Tue. Jun 19, 2018

Main Hall

Oral presentation | Inkjet

[IJ1] Inkjet (1) Process

Session Chair:Masahiko Fujii(Fuji Xerox Co., Ltd.), Satoshi Kimura(Seiko Epson Corporation)
2:00 PM - 3:00 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ1-01] High Quality Inkjet Printing Technology for Plastic Substrate

*TAKESHI MIYATO[1], YUSUKE FUJII[1], AYATO SATO[1], IPPEI NAKAMURA[1], TAKAHIRO HAMAMOTO[1], KOJI KAWATO[1] （1. FUJIFILM Corporation）

2:00 PM - 2:20 PM

[IJ1-02] The new system for generating microjets for highly viscous ink

*Hajime Onuki[1], Mao Maeshima[1], Yoshiyuki Tagawa[1]（1. Tokyo University of Agriculture and Technology）

2:20 PM - 2:40 PM

[IJ1-03] Observation of Fast Wetting Dynamics of Micro-Dorplets on Substrates

*Ryohsuke Yokota[1], Taichi Hirano[1], Shujiro Mitani[1], Keiji Sakai[1] （1. The University of Tokyo）

2:40 PM - 3:00 PM

Oral presentation | Inkjet

[IJ2] Inkjet (2) Ink

Session Chair:Sadanao Okuda(SAKATA INX CORPORATION), Shinichi Okada(DIC Corporation)
3:20 PM - 4:40 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ2-01] Preparation of a W/O Emulsion Ink for Inkjet Printing

*Naofumi Ezaki[1], Shunsuke Uozumi[1] （1. RISO KAGAKU CORPORATION）

3:20 PM - 3:40 PM

[IJ2-02] New White Pigments -Correlation between Structure of Inorganic Hollow Particles and White Opacity-

*Tomohiro Hirade[1], Hiroshi Goto[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

3:40 PM - 4:00 PM

[IJ2-03] Pigments for Inkjet Food Packaging Printing

*Stephane Biry[1], Ruth Bauer[2] （1. BASF Colors &Effects Switzerland AG, 2. BASF Colors &Effects GmbH）

4:00 PM - 4:20 PM

[IJ2-04] Influence of the Characteristics of Emulsion on Image Quality

Takahashi Shigeki[1], *Yoshikawa Takahiro[1] （1. KAO Corporation）

4:20 PM - 4:40 PM

Reception Hall

Oral presentation | Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

[IM] Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

Session Chair:Makoto Matsuki(former NTT Qualis), Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.)
12:50 PM - 2:10 PM Reception Hall (3rd Floor, Keyaki Kaikan)

[IM-01] Color Management System for Metallic Color

*Masahiko Kubo[1], Kaoru Yamauchi[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

12:50 PM - 1:10 PM

[IM-02] Steganography Technology for Inkjet Printing System

*Yuki Ishida[1] （1. Canon Inc.）

1:10 PM - 1:30 PM

[IM-03] Application of Deep Learning to Technology to Create Photo Books from a Large Amount of Images

*Hirokazu Kondo[1], Yukinori Noguchi[1], Hiroyuki Furuya[1], Takuya Tsutaoka[1] （1. FUJIFILM Corporation）

1:30 PM - 1:50 PM

[IM-04] Color Uniformity Correction Technology for Multi-Display

*Gaku Furuichi[1], Yasushi Adachi[1], Terumitsu Katohgi[1], Makoto Hayasaki[1], Hideki Ohnishi[1], Toshiyuki Okunishi[1], Toshiyuki Gotoh[1], Daisuke Igarashi[1], Daiichi Sawabe[1], Tomoya Ishikura[1], Haruo Yamamoto[1] （1. Advanced Technology Development Unit, Business Solution Business Unit, SHARP Corporation）

1:50 PM - 2:10 PM

Conference Room

Oral presentation | Electrophotography

[EPm] Electrophotographic Materials

Session Chair:Tatsuya Tada(Ibaraki University), Akihiko Itami(Konica Minolta, Inc.)
1:00 PM - 2:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EPm-01] Development of New Solid-capsuled Toner

*Masami Tsujihiro[1], Masaki Okita[1], Hidetoshi Miyamoto[1], Naruo Yabe[1], Yoshio Ozawa[1] （1.

©The Imaging Society of Japan

KYOCERA Document Solutions Inc.)
1:00 PM - 1:20 PM

[EPm-02] Investigation of Fogging Toner by Measurement Technique for Electrostatic Charge on Single Particle with MEMS-based Actuated Tweezers
*Daichi Yamaguchi[1] (1. Ricoh Company, Ltd.)
1:20 PM - 1:40 PM

[EPm-03] Adhesion of Liquid Electrographic Images with a Substrate in Flexible Packaging
*Chisato Urano[1], Osamu Ide[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)
1:40 PM - 2:00 PM

[EPm-04] Application of Volatile Liquid Toner for Liquid Electrophotography System Using High Concentration Contact Developing Method
*Yuki Yokoyama[1], Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)
2:00 PM - 2:20 PM

Oral presentation | Electrophotography

[EP1] Electrophotographic Devices (1)

Session Chair:Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.), Takashi Bisaiji(Ricoh Company, Ltd.)
2:40 PM - 3:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP1-01] Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer
*Nobuyuki Nakayama[1], Satoshi Tatsuura[1], Taichi Yamada[1], Toshihiko Suzuki[1], Takamaro Yamashita[1], Osamu Ide[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)
2:40 PM - 3:00 PM

[EP1-02] Development of a Beam Splitting Laser Scanning Method with an Optical System Removing Ghost Light
*Tadashi Nakamura[1], Shigeaki Imai[1], Yoshinori Hayashi[1] (1. Ricoh Company, Ltd.)
3:00 PM - 3:20 PM

Oral presentation | Electrophotography

[EP2] Electrophotographic Devices (2)

Session Chair:Yasuaki Watanabe(Fuji Xerox Co., Ltd.), Hiroyuki Matsushiro(Ricoh Company, Ltd.)
3:40 PM - 4:40 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP2-01] On External Heating Fuser Technology for On Demand and High Productivity Printing of LBP
*Akimichi Suzuki[1], Satoshi Nishida[1], Isamu Takeda[1], Shotaro Ikegami[1] (1. Canon Inc.)
3:40 PM - 4:00 PM

[EP2-02] The Energy-Saving Fixing Apparatus Which Achieved Production Print Image Quality and Cardboard Speeding
*Toshihiro Wazumi[1], Kazunori Nishinoue[1], Hiroaki Miho[1] (1. KONICA MINOLTA, INC.)
4:00 PM - 4:20 PM

[EP2-03] Development of Drying Process for Liquid Electrophotography
*Masaaki Abe[1], Satoshi Tatsuura[1], Nobuyuki Nakayama[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)
4:20 PM - 4:40 PM

©The Imaging Society of Japan

Wed. Jun 20, 2018

Main Hall

Oral presentation | Inkjet

[IJ3] Inkjet (3) Syetem

Session Chair:Kazuhiro Nakajima(Canon Inc.), Atsushi Tomotake(Konica Minolta, Inc.)
10:40 AM - 11:40 AM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ3-01] Verification of Cockling Reduction Effect on Offset-Coated Paper by Drying Technology Using Laser Exposure

*TAKESHI ZENGO[1], SATOSHI HASEBE[1], AKIRA SAKAMOTO[1], TOSHINOBU HAMAZAKI[1], TOMOZUMI UESAKA[1], YUKARI MOTOSUGI[1], TAKUMA ISHIHARA[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

10:40 AM - 11:00 AM

[IJ3-02] Development of New Garment Printer

*Tsuguyori Kemma[1] （1. RICOH COMPANY,LTD.）

11:00 AM - 11:20 AM

[IJ3-03] **Nassenger SP-1 toward Further Improvement of Image Quality**

*Setsu Takeuchi[1], Toshihiko Yoshimura[1], Shingo Tsubotani[1], Yusuke Hanashima[1] （1. Konica Minolta, Inc.）

11:20 AM - 11:40 AM

Oral presentation | Inkjet

[IJ4] Inkjet (4) Image Processing/Image Evaluation

Session Chair:Masanori Nagoshi(Mitsubishi Paper Mills Limited), Toshiaki Kakutani(Seiko Epson Corporation)
1:00 PM - 2:00 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ4-02] Categorization and expression technique of metallic design

*Ryo Nishizawa[1], Akira Takatsu[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD.）

1:20 PM - 1:40 PM

[IJ4-03] The Effects of Printing with Seven-Color Separation Ink in the High Speed Inkjet Printer

*Masaru Ohnishi[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD）

1:40 PM - 2:00 PM

Oral presentation | Digital Fabrication and 3D Printing

[DF] Digital Fabrication

Session Chair:Shinri Sakai(The University of Tokyo), Masatoshi Sakai
2:20 PM - 3:20 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[DF-01] Droplet Deposition Technique of Inkjet in Printed Electronics

*Atsushi Nakajima[1,2], Shinichi Nishi[1], Toshihide Kamata[1,3] （1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPERA), 2. Konica Minolta Inc., 3. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)）

2:20 PM - 2:40 PM

[DF-02] Application of Organic Circuits with Inkjet-Printed Electrodes to Lactate Sensing

*Rei Shiwaku[1], Hiroyuki Matsui[1], Kuniaki Nagamine[1], Mayu Uematsu[1], Taisei Mano[1], Yuki Maruyama[1], Ayako Nomura[1], Kazuhiko Tsuchiya[1], Kazuma Hayasaka[1], Yasunori Takeda[1], Takashi Fukuda[2], Daisuke Kumaki[1], Shizuo Tokito[1] （1. Yamagata University, 2. Tosoh Corporation）

2:40 PM - 3:00 PM

[DF-03] Bridge Pattern Printing for Flexible Transparent Touch Panel Applications

*Kye-Si Kwon[1], Seongjun Kim[2], Soobin Oh[1], Md. Khalilur Rahman[1,3] （1. Soonchunhyang University, 2. Samsung Electronics Co. Ltd, 3. Comilla University）

3:00 PM - 3:20 PM

Oral presentation | Novel Imaging

[NI] Novel Imaging

Session Chair:Yoshihiko Hotta(Ricoh Company, Ltd.), Toshifumi Sato(Tokyo Polytechnic University)
3:40 PM - 4:40 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[NI-01] Preparation and Physical Properties of Metal-like Lustrous Polymer Alloy

*Rihito Tamura[1], Katsuma Miyamoto[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

3:40 PM - 4:00 PM

[NI-02] Preparation and Characterization of Solution-Cast Metal-Like Lustrous Films of Water-Soluble 3-Methoxythiophene Oligomers

*Minako Tachiki[1], Reo Tagawa[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

4:00 PM - 4:20 PM

[NI-03] Effect of Polymerization Condition on the Color and Structure of Organic Metallic Lustrous Films

*Minako Kubo[1], Kenta Horikoshi[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

4:20 PM - 4:40 PM

©The Imaging Society of Japan

Conference Room

Oral presentation | Image Quality and Vision

[QV] Image Quality and Vision

Session Chair:Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.), Yumiko Kishi(Ricoh Company, Ltd.)
9:30 AM - 10:10 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[QV-01] Consideration on a Correlation Model between Visibility of Local Density Unevenness and Input Image Characteristics
*Natsuko Minegishi[1], Keiji Uchikawa[2] (1. KONICA MINOLTA, INC., 2. Kanagawa Institute of Technology)
9:30 AM - 9:50 AM

[QV-02] Influence of Beam Spot Property on Graininess of Electrophotographic Image
*Naoki Sakai[1], Takuroh Sone[1], Yumiko Kishi[1], Naoto Watanabe[1], Masahiro Soeda[1], Kohji Sakai[1], Hiroyuki Suhara[1], Makoto Hino[1] (1. Ricoh Company, Ltd.)
9:50 AM - 10:10 AM

Oral presentation | Electronic Paper, Flexible Devices, Imaging Device and Electronic Imaging

[EI] Electronic Paper and Electronic Imaging

Session Chair:Kazuki Nakamura(Chiba University), Shuichi Maeda(Tokai University)
10:30 AM - 11:30 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EI-01] What Is Difference of Electronic Conduction Mechanism between High-ordered Liquid Crystal and Crystal?
*Akira Ohno[1], Hiroaki Iino[1], Jun-ichi Hanna[1] (1. Tokyo Institute of Technology)
10:30 AM - 10:50 AM

[EI-02] Specific Nature of Monoalkylated Liquid Crystalline Organic Semiconductors for Organic Transistors and Its Generality
*Hao Wu[1], Jun-ichi Hanna[1], Hiroaki Iino[1] (1. Tokyo Institute of Technology)
10:50 AM - 11:10 AM

[EI-03] Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules
*Keyaki Yogome[1] (1. Konicaminolta, Inc.)
11:10 AM - 11:30 AM

Oral presentation | Electrophotography

[EPs] Electrophotographic System

Session Chair:Yoshiaki Kondoh(Konica Minolta, Inc.), Yukio Nagase(Canon Inc.)
1:00 PM - 2:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EPs-01] The IQ-501 Intelligent Quality Optimizer: Simple, Quick, and Precise Color Management
*Kenji Kawatsu[1], Akihiko Shimazu[1], Takeshi Yamaguchi[1], Makoto Ikeda[1] (1. KONICA MINOLTA, Inc)
1:00 PM - 1:20 PM

[EPs-02] High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S
*Jun Hitosugi[1], Tadashi Ogawa[1], Tetsuya Ofuchi[1], Kentaro Mikuniya[1], Yuuki Sagimori[1], Yuuichiroh Uematsu[1] (1. Ricoh Company, Ltd.)
1:20 PM - 1:40 PM

[EPs-03] Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network
*Shuhei Kobayakawa[1], Kazuya Tamura[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)
1:40 PM - 2:00 PM

[EPs-04] Improvement of Reliability for a Corona Discharging Device by a New Air Flow System Applying the Pressure Rising Effect
*Yuki Nagamori[1], Yasunori Momomura[1], Masafumi Kudo[1], Kazuki Inami[1] (1. Fuji Xerox Co.,Ltd)
2:00 PM - 2:20 PM

Oral presentation | Electrophotography

[EP3] Electrophotographic Devices (3)

Session Chair:Takeshi Menjo(Canon Inc.), Takeshi Watanabe(Toshiba Tec Corporation)
2:40 PM - 3:40 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP3-01] Evaluation of the Powder Adhesion Properties by Friction Test
- New Index for Paper Characterization -
*Yosuke Tsukiyama[1], Yohei Sato[1], Keisuke Kato[1], Isami Nitta[1] (1. Niigata University)
2:40 PM - 3:00 PM

[EP3-02] A Study on Paper Feed Velocity in a Transfer System with Elastic Intermediate Transfer Belt
*Takashi Hashimoto[1], Hideaki Kibune[1] (1. RICOH COMPANY, LTD.)
3:00 PM - 3:20 PM

[EP3-03] Development of Transfer Process Applicable to Various Mediums for Liquid Electrophotography with Tandem-Electrostatic Transfer Method
*Taijyu Gan[1], Takeshi Nagao[1], Toshihiko Mitsuhashi[1],

©The Imaging Society of Japan

Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

3:20 PM - 3:40 PM

Oral presentation | Simulation

[SI] Numerical Simulation of Electrophotography

Session Chair:Hiroyuki Ishikawa(Brother Industries, Ltd.), Masami Kadonaga(Ricoh Company, Ltd.)

4:00 PM - 5:00 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[SI-01] Study to Define Main Factors Affecting Electro Static Jam and to Develop CAE Model

*JUN SEONG WOO[1], Byoungho Yoo [1], Woon Kyung Kim[1], Taehan Kim[1] (1. HP Printing Korea Co., Ltd)

4:00 PM - 4:20 PM

[SI-02] Analysis of Mechanical Characteristics of Polyimide by Using Coarse-Grained Molecular Dynamics Simulation

*Tomohiro Seko[1], Masatoshi Toda[2], Hiroshi Morita[2], Tsukasa Matsuda[1] (1. Fuji Xerox Co., Ltd., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

4:20 PM - 4:40 PM

[SI-03] Development of 1DCAE Model for Electrophotography, and Application to Numerical Simulation

*Yuichi Kuroyanagi[1], Kouji Fujiwara[1], Ryo Oshima[1] (1. KONICA MINOLTA, Inc)

4:40 PM - 5:00 PM

©The Imaging Society of Japan

Thu. Jun 21, 2018

Conference Room

Oral presentation | Inkjet

[IJ5.1] Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

Session Chair:Hirotoshi Eguchi, Shinichi Nishi(Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association)
9:30 AM - 10:30 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[IJ5.1-01] Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

*Chiaki Tanuma[1], Yutaka Tanaka[1], Gaku Minorikawa[1] （1. Hosei University）

9:30 AM - 9:50 AM

[IJ5.1-02] Development of Full Color 3D Printer

*Kunio Hakkaku[1], Hiroyoshi Ohi[1], Kenta Imai[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO.,LTD）

9:50 AM - 10:10 AM

[IJ5.1-03] Investigation of Release Agent Coating Method Using Electrostatically Extracted Ink Jet System

Kazuhisa Matsuo[1], *Yui Ayasiro[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

10:10 AM - 10:30 AM

Oral presentation | Inkjet

[IJ5.2] Inkjet (5-2) Applications/3D Printing/Bio Printing

Session Chair:Takeshi Miyato, Koei Suzuki(Ricoh Company, Ltd.)
10:50 AM - 11:50 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[IJ5.2-01] Study on Edible Ink Coating Method Using Electrostatically Ink Jet Method

Kazuhisa Matsuo[1], *Minori Okabe[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

10:50 AM - 11:10 AM

[IJ5.2-02] Development of a Bioprinting Technique by Combining Inkjetting Technology and Enzyme-mediated Hydrogelation

*Shinji Sakai[1], Makoto Nakamura[2] （1. Osaka University, 2. University of Toyama）

11:10 AM - 11:30 AM

[IJ5.2-03] Challenging Research on Organ Engineering by Inkjet Bioprinting

*Makoto Nakamura[1], Shintaroh Iwanaga[1], Yuta Hamada[1], Taketoshi Kurooka[1], Shinji Sakai[2] （1. University of Toyama, 2. Osaka University）

11:30 AM - 11:50 AM

©The Imaging Society of Japan

Oral presentation | Inkjet

[IJ1] Inkjet (1) Process

Session Chair:Masahiko Fujii(Fuji Xerox Co., Ltd.), Satoshi Kimura(Seiko Epson Corporation)

Tue. Jun 19, 2018 2:00 PM - 3:00 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ1-01] High Quality Inkjet Printing Technology for Plastic Substrate

*TAKESHI MIYATO[1], YUSUKE FUJII[1], AYATO SATO[1], IPPEI NAKAMURA[1], TAKAHIRO HAMAMOTO[1], KOJI KAWATO[1] （1. FUJIFILM Corporation）

2:00 PM - 2:20 PM

[IJ1-02] The new system for generating microjets for highly viscous ink

*Hajime Onuki[1], Mao Maeshima[1], Yoshiyuki Tagawa[1] （1. Tokyo University of Agriculture and Technology）

2:20 PM - 2:40 PM

[IJ1-03] Observation of Fast Wetting Dynamics of Micro-Dorplets on Substrates

*Ryohsuke Yokota[1], Taichi Hirano[1], Shujiro Mitani[1], Keiji Sakai[1] （1. The University of Tokyo）

2:40 PM - 3:00 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ1] インクジェット(1) プロセス
Inkjet (1) Process

2018年6月19日(火) 14:00 ～ 15:00 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ1-01] 非浸透基材への高品質インクジェット印刷技術
High Quality Inkjet Printing Technology for Plastic Substrate

*宮戸 健志[1]、藤井 勇介[1]、佐藤 綾人[1]、中村 一平[1]、浜本 貴紀[1]、河戸 孝二[1] （1. 富士フイルム株式会社）
*TAKESHI MIYATO[1], YUSUKE FUJII[1], AYATO SATO[1], IPPEI NAKAMURA[1], TAKAHIRO HAMAMOTO[1], KOJI KAWATO[1] （1. FUJIFILM Corporation）

デジタルシートフィード式インクジェットプレスシステム「JetPress720S」では、色滲みとドット干渉を「Rapid Pigment Coagulation (RAPIC) Technplogy」によって制御している。RAPIC技術を応用すると非浸透基材では、低浸透基材と比較し、更に高速に凝集することを確認できた。凝集剤がインクの高速凝集挙動に与える影響を報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

非浸透基材への高品質インクジェット印刷技術

宮戸　健志*，藤井　勇介*，佐藤　綾人*
中村　一平*，浜本　貴紀**，河戸　孝二**

*富士フイルム株式会社　R&D 統括本部　アドバンストマーキング研究所
**富士フイルム株式会社　R&D 統括本部　解析技術センター

High quality inkjet printing technology for plastic substrate

Takeshi Miyato*, Yusuke Fujii*, Ayato Sato*, Ippei Nakamura*
Takanori Hamamoto **, Koji Kawato **
* FUJIFILM Corporation, ADVANCED MARKING LABORATORIES
RESEARCH & DEVELOPMENT MANAGEMENT HEADQUARTERS
** FUJIFILM Corporation, ANALYSIS TECHNOLOGY CENTER
RESEARCH & DEVELOPMENT MANAGEMENT HEADQUARTERS

In the digital sheet-fed inkjet press system “Jet Press 720S”, color blur and dot interference are controlled by “Rapid Pigment Coagulation (RAPIC) Technology”. With RAPIC Technology, ink droplets coagulate immediately by the reaction between ink and pre-conditioner coated on the substrate. We successfully detected faster coagulation of ink droplets on the plastic substrate compared to the penetrant one. This result suggests that the concentration of coagulant has a significant influence on the behavior of dot interference on the substrate.

１．はじめに

当社が開発した「Jet Press 720S」は、シングルパス方式で菊半サイズ対応 (最大印字サイズ: 720×520 mm) の印刷を実現し、更に多様な印刷用紙にオフセット印刷レベルの画質を再現する高速、高画質(4 階調 1200 dpi)の解像度インクジェット印刷機である。Jet Press 720S のマーキングプロセスでは、プレコンディショナーとインクを反応させる高速凝集技術 (Rapic 技術) を採用しており、インクの滲みやインク液滴間の合一を抑制し、画質向上を図っている [1)]。

高画質化のためには、ドットの拡がりを精緻に制御することが重要になる。これまで、プレコンディショナーを塗布した浸透基材上におけるドット形成挙動にインク物性が与える影響について、高速度カメラ観察から解析した結果を報告した [2),3)]。本発表では、非浸透基材を用いた際の高速な凝集挙動の直接観察した結果を報告する。

２．実験方法

ドット形成過程の観察は、市販の高速度カメラとズームレンズを組み合わせ、透過照明配置で行った。インクジェットヘッドの直下に基板を配置し、顔料インク吐出から着弾、ドット形成までを観察した。非浸透基材は、PET フィルムを使用した。プレコンディショナー塗布は、プレコンディショナーを基材にバー塗布し、乾燥させることで行った。ドット形成挙動の解析では、得られたタイムプロファイルを single exponential ($r = A\exp(-t/\tau)+B$) でフィッティングし、着弾後のドット径の濡れ拡がり距離 (r-(A+B)) が-A の 99%に達した時間を顔料凝集時間とした。

３．結果と考察

非浸透基材 (PET フィルム) 使用時における着弾後の液滴サイズのタイムプロファイルを Fig.1 に示した。着弾後の液滴が数 μs オーダーの慣性領域における濡れを経て、粘性領域において PET フィルム上を濡れ拡がる様子が観測された。一方、乾燥後のドット径を実測すると 48.5 μm であったことから、顔料凝集は、およそ 70 μm で生じていると推定した。顔料凝集後も液滴サイズが拡がっているのは、PET フィルム上では溶媒の浸透が無く、且つ顔料の凝集が非常に速いため、顔料凝集後に溶媒のみが濡れ拡がる挙動が観察されたためと推定した。顔料凝集にかかる時間の凝集剤濃度依存性を求めた結果を Fig.2 に示した。凝集剤濃度 100%で観察された顔料凝集時間 約 70 μs は、浸透基材使用時 (1.1 ms) と比較して 1 桁早かった。非浸透基材を用いることで、プレコンディショナーの浸透が抑制され、基材表面に多量に凝集剤が存在するため、効率的に顔料凝集が進むと推定した。

＊〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島 577
＊577 Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakamigun,
Kanagawa, 258-8577, Japan
e-mail: takeshi.miyato@fujifilm.com

© 一般社団法人 日本画像学会

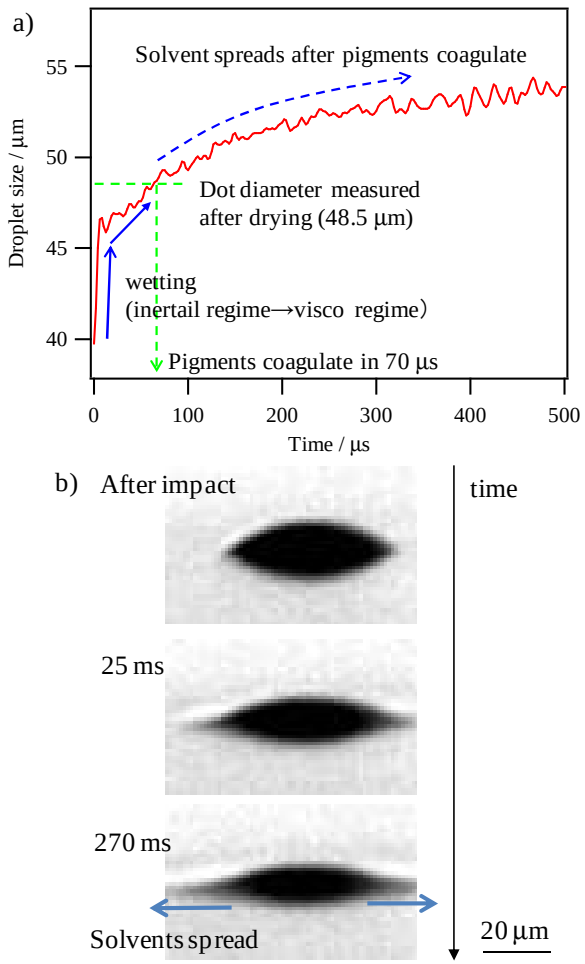


Fig.1 a) Time profile of droplet size jetted on the Plastic substrate.
b) Ink droplet images after just landing.

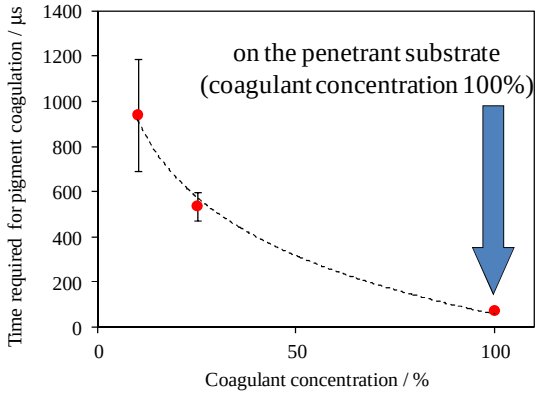


Fig.2 Coagulant concentration dependence of coagulation speed on the non-penetrant substrate.

４．まとめ

非浸透基材 (PET フィルム) 上において、凝集剤がインク高速凝集挙動に与える影響を明らかにし、凝集剤により凝集速度、濡れ速度を ms オーダーで制御できると分かった。また、凝集剤濃度を変化させることでドット径を制御できること、浸透基材同等の凝集速度を持たせるためには凝集剤量を減量できることが分かった。

当社は今後も、高品質なインクジェット印刷システム実現に向け、材料開発技術と解析技術の継続的な向上を目指す。

尚、当日は非浸透基材対応インクのインクジェットヘッドからの吐出挙動を直接観察した結果も併せて報告する。

参考文献

1) Atsushi Kaeriyama, Ryuji Shinohara, Akihiro Endou, Shoji Yasuda, “Environment-friendly ink-jet print material technology”, Proceeding of The 134th Conference of The Japanese Society of Printing Science and Technology (2015). [in Japanese].

2) Takanori Hamamoto, Yuki Sato, Koji Kawato, Atsushi Kaeriyama, Baku Nishikawa, Yasutoshi Hirabayashi, Takeshi Miyato, “Dot control technology in high quality inkjet prints”, Proceeding of The 135th Conference of The Japanese Society of Printing Science and Technology (2016). [in Japanese].

3) Takanori Hamamoto, Koji Kawato, Yusuke Fujii , Takeshi Miyato, Shoji Yasuda “Dot control technology of inkjet droplet on penetrant/non-penetrant substrate” Proceeding of The 119th The Annual Conference of The Imaging Japanese Society of Japan (2017). [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ1] インクジェット(1) プロセス
Inkjet (1) Process
2018年6月19日(火) 14:00 ～ 15:00 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ1-02] 新規高粘度インク吐出装置の開発
The new system for generating microjets for highly viscous ink

*大貫 甫[1]、前嶋 麻緒[1]、田川 義之[1] （1. 東京農工大学）
*Hajime Onuki[1], Mao Maeshima[1], Yoshiyuki Tagawa[1] （1. Tokyo University of Agriculture and Technology）

インク吐出技術は，インクジェットプリンタなど印刷技術において，そのクオリティを決定し得る重要な技術である．しかしこれまでの主な吐出技術では，低粘度（10 cP程度）のインクのみの射出に限定されていた．そこで我々は，高粘度（1000 cP）液体を吐出する技術を新たに開発した．吐出の駆動力として，液体容器に打撃を加える手法を採用した．これに加え，液体容器内に細管を挿入し，細管内外の液面差をつける工夫を施した．これらの工夫により高粘度インクの吐出が可能になる．本研究では，開発したインク吐出技術のメカニズムについて実験・数値計算を用いて議論する．

This study proposed the new technology for generating microjets for highly viscous ink. The present technology can eject only low viscous ink. In our technology, the jet is induced inside a thin tube partially submerged in a liquid. The meniscus inside the tube is kept deeper than that outside the tube. An impulsive force added at the bottom of a liquid container leads ejection of the microjets with high viscosity up to 1,000 cP. This study experimentally and numerically reveals the mechanism of our method.

©一般社団法人 日本画像学会

新規高粘度インク吐出装置の開発

大貫　甫*，前嶋　麻緒*，田川　義之*

*東京農工大学 大学院工学府　機械システム工学専攻

The new system for generating microjets for highly viscous ink

Hajime Onuki*, Mao Maeshima*, and Yoshiyuki Tagawa*

* Department of Mechanical Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

This study newly proposed a device for generating microjets for highly viscous ink. The present technology can eject only low viscous ink. In our technology, the jet is induced inside a thin tube partially submerged in a liquid container. The meniscus inside the tube is kept deeper than that outside the tube. An impulsive force added at the bottom of the container leads ejection of the microjets with high viscosity up to 1,000 cP, which is same viscosity as honey. This study experimentally and numerically reveals the viscous effect on the liquid jet induced by the proposed device.

１．緒言

液体ジェットは，インクジェット印刷技術 [1]など幅広い分野で利用されている．これまでの液体ジェット技術の多くは，液体を微細な穴から押し出すことで液体を射出しているが，低粘度（10 cP 程度）のインクのみの射出に限定される．粘度の制限は，吐出時の液体の飛散や塗布後の滲みの問題となって現れる．この問題の解決のため，我々は高粘度液体も射出可能な装置を開発した [2]．本技術では，駆動力として打撃を採用している．さらに本装置では細管を挿入し，細管内側の気液界面位置を細管外側より深くする工夫を施した．これにより従来では射出困難であった高粘度インク(1,000 cP)の射出を可能にした．本装置はインクジェット技術の発展のみならず，3D プリンタや金属配線，細胞印刷など次世代技術への応用が期待できる．

本研究では，開発した液体射出技術のメカニズムの解明を目的とする．射出メカニズムの解明のため，タイムスケールが異なる二つの現象に着目した．それぞれの現象について，実験および数値計算を行い，粘性の寄与を明らかにすることで射出メカニズムの把握を目指す．

２．装置概要

本装置の概要を Fig.1(a)に示す．本装置では，まず液体を充填した試験管に濡れ性の良い細管を挿入する．細管の濡れ性により細管内側の気液界面は，下に凸の形状を有する．次に細管内側の気液界面を容器底部へ押し下げ，細管内外の液面差を作る．なお細管内外の液面差は，細管外側の気相を減圧することで作る．この状態を維持したまま，容器底部に打撃を与える．これらに工夫により，細管内側より液体ジェットが射出される．実際に蜂蜜(1,000 cP 程度)を射出した様子を Fig.1(b)に示す．蜂蜜のような高粘度の液体もジェットとして射出されている．

本装置による液体ジェットは，タイムスケールの違いにより二つの過程に分けることができる．一つ目の過程は，打撃による急加速過程である（衝突過程と呼ぶ）．液体容器に打撃が加わるとき，液体は短時間で急激な加速度を得る．本過程は，液体ジェット射出全体のタイムスケール（~10 ms オーダー程度）に比べて非常に短い（0.1 ms オーダー以下）．二つ目の過程は，気液界面での流れの集束過程である（集束過程と呼ぶ）．衝突過程に速度を得た気液界面は，液体ジェットとして射出される．このとき凹面形状を持つ気液界面付近では，速度は界面中心軸方向に向く．この現象は流れの集束と呼ばれ，細管径より細い液体ジェット射出を引き起こす．この集束過程のタイムスケールは，衝突過程に比べて非常に大きい（0.1 ms 以上）．本装置で射出される液体ジェットは，1)衝突過程により速度を得て，2)集束過程により液体ジェットとして射出される．以下にそれぞれの過程で起こる現象について説明する．

まず衝突過程について着目する．打撃により液体が急加速されるとき，液体の運動は剛体運動と同様に瞬間的な運動をとらえることができる．打撃により液体は鉛直方向 z に速度 U_0 を持つとする．このとき Navier-Stokes 方程式より液中の速度 U_0 は ，

$$U_0 = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \Pi}{\partial z} \tag{1}$$

と表される．なお，ρ は液体の密度である．ここで Π は圧力力積と呼ばれる値であり，打撃付与時間における圧力の積分値である．式(1)より，液中の速度 U_0 は圧力力積勾配$\partial\Pi/\partial z$ に比例する．

＊〒184-0002 東京都小金井市中町 2-24-16
＊2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-0002, Japan
e-mail: h_onuki@cc.tuat.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

ここで細管内側の圧力力積に着目する．細管内側の圧力力積勾配$\partial\Pi'/\partial z$は，細管外側の圧力力積勾配$\partial\Pi/\partial z$に比べて大きくなる（Fig.2）．ここで，細管外側の気液界面から細管内側の気液界面までの距離をl_{top}，細管内側の気液界面から細管端面までの距離をl_{middle}と定義する．幾何関係より細管内側の圧力力積勾配$\partial\Pi'/\partial z$は，

$$\frac{\partial\Pi'}{\partial z}=\left(\frac{l_{\mathrm{top}}}{l_{\mathrm{middle}}}+1\right)\frac{\partial\Pi}{\partial z} \tag{2}$$

と表される．また，細管内側の速度U'は，式(1)と同様の関係を持つ．したがって式(1)および式(2)より，細管内側の速度U'は，

$$U'=\left(\frac{l_{\mathrm{top}}}{l_{\mathrm{middle}}}+1\right)U_0 \tag{3}$$

と表される．式(3)より細管内側の速度U'は，細管内側の液面位置に関する二つのパラメータl_{top}，l_{middle}により，大幅に増速可能である．

次に集束過程に着目する．打撃により速度U'を得た気液界面は流れの集束により液体ジェットとして射出される．このときジェット速度V_{jet}'は気液界面が得る速度（初期速度U'）に比例することがわかっている．これと式(3)より，ジェット速度V_{jet}'は，

$$V_{\mathrm{jet}}'=\beta\left(\frac{l_{\mathrm{top}}}{l_{\mathrm{middle}}}+1\right)U_0 \tag{4}$$

と表される．式(4)よりジェット速度V_{jet}'は，液面位置により大幅に増速できる．なお式(4)におけるβは，初期速度U'に対するジェット速度V_{jet}'の増速率であり，界面形状および粘度に関するパラメータである．

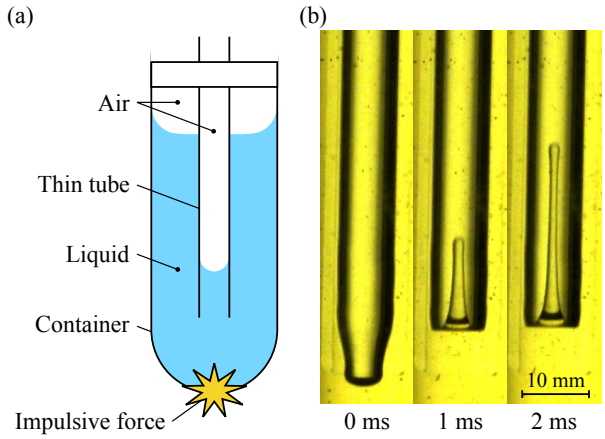


Fig.1 (a) Schematic image of the viscous microjet generator. (b) Generation of liquid jet with honey.

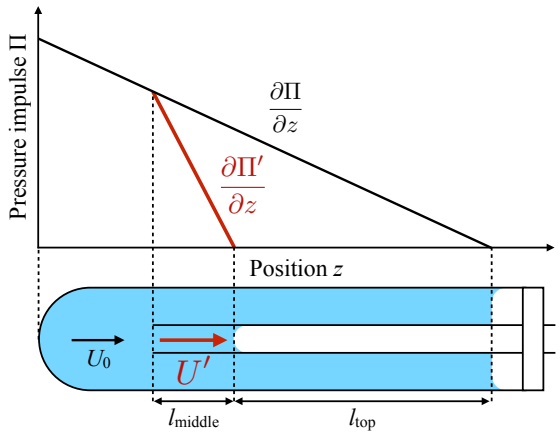


Fig.2 Model based on a pressure impulse approach during the impact interval.

3．実験・計算概要

3．1　実験概要

実験装置を Fig.3 に示す．本実験では，容器として試験管（A-10，マルエム，内径 8.0 mm），液体としてシリコーンオイル（KF-96, 信越化学, silicone oil, Sigma Aldrich）を用いる．液体を充填した試験管にガラス管（FPT-80，Fujiston，内径 0.5 mm）を挿入する．液面差はシリンジにより細管外側の気相を減圧することで作る．打撃はコイルガンにより鉄心（SS400）を鉛直上部に射出し，容器底部と衝突させることで与える．打撃後，細管内側の気液界面よりマイクロジェットが生成される．実験の様子は，二台の高速度カメラ（FASTCAM SA-X, Photron）および白色光源（White Led Backlight, Phlox）で撮影する．撮影速度はそれぞれ，ジェット生成を撮影するものを 50,000 fps, 容器全体の移動を撮影するものを 12,500 fps とする．なお，二台の高速度カメラはパルスジェネレータ（Model 575 Digital Delay/Pulse Generator, BNC）で同期されている．本実験では，液体の動粘度ν，l_{top}，l_{middle}および初期速度U_0をν = 1-500 cSt, l_{top} = 39.7-61.7 mm, l_{middle} = 1.6-10.0 mm，U_0 = 0.3-0.5 m/s の範囲で変化させる．マイクロジェットの速度V_{jet}'は，ジェット先端が三相接触点を初めて超えた瞬間から 0.2 ms までのジェット先端の移動距離から算出する．初期速度U_0は同時刻から 0.8 ms までの容器底部の移動距離から算出する．

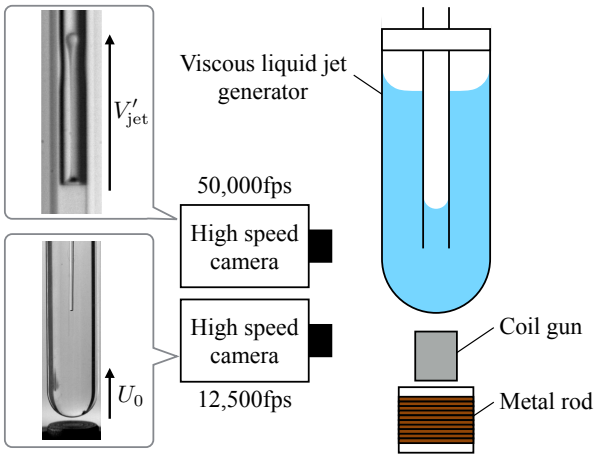


Fig.3 Experimental setup.

© 一般社団法人 日本画像学会

３．２　計算概要

本計算は，汎用シミュレーションソフトウェア（COMSOL Multiphysics, 計測エンジニアリング）による有限要素法で行う．計算の支配方程式として，非圧縮の Navier-Stokes 方程式および連続の式を用いる．気液界面の追跡方法として Level-Set 法を採用する．Level-Set 法では，Level-Set 関数 ϕ を定義し，$\phi = 1$ を液体，$\phi = 0$ を気体とし，$0 < \phi < 1$ を液体気体の混合体として二相流を計算する．本計算では，$\phi = 0.5$ を気液界面として追跡する．本計算では，衝突過程と集束過程の二つの異なるタイムスケールの過程について，それぞれ独立した計算を行う．なお，液体の物性は実験に合わせて設定している．

衝突過程での計算対象を Fig.4(a)に示す．本過程では，細管を含む容器全体を計算対象とする．打撃として計算対象の底部および側部に時刻 $t = 0$–10^{-6} s で U_0 まで加速する境界条件を与える．本計算では，細管内半径 $r = 2.5\times10^{-1}$ mm，初期速度 $U_0 = 0.4$ m/s と一定とし，動粘度 ν，l_{top} および l_{middle} をそれぞれ ν = 1-500 cSt, l_{top} = 40.0-47.5 mm, l_{middle} = 2.5-10.0 mm の範囲で変化させる．

集束過程計算での計算対象を Fig.4(b)に示す．本過程では，計算負荷軽減のため，細管内側の気液のみを計算対象とする．打撃として計算対象底部に時刻 $t = 0$–10^{-6} s の間に圧力が急激に変化する境界条件を与える．本計算では，細管内半径 $r = 2.5\times10^{-1}$ mm を一定とし，動粘度 ν および細管内側の速度 U' をそれぞれ，ν = 1-500 cSt, U' = 2.0-20.0 m/s の範囲で変化させる．

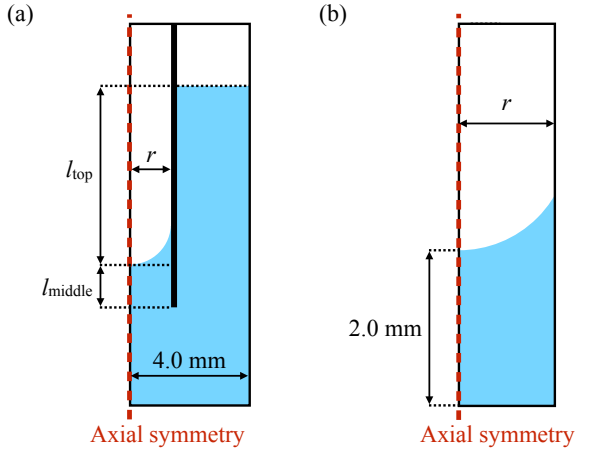


Fig.4 Geometry for calculating (a) liquid acceleration during the impact interval and (b) generation of the liquid jet during the focusing interval.

４．結果・考察

４．１　衝突過程における粘性の影響

計算より求めた圧力力積分布を Fig.5 に示す．なお，各位置における圧力力積 Π は，容器底部の圧力力積で除することで無次元化し，管軸方向距離 z は細管外側の気液界面位置で除することで無次元化している．数値計算により求めた圧力力積分布を破線で，モデル（式(2)）を実線でそれぞれ示す．数値計算がモデルと良く一致している．したがって，式(2)により本現象を記述可能である．また，各動粘度 ν および各$(l_{top}/l_{middle}+1)$における圧力力積勾配および細管内側の流速を Table 1 に示す．なお，Table 1 における細管内側の圧力力積勾配$\partial\Pi'/\partial z$ は，細管外側の圧力力積勾配$\partial\Pi/\partial z$ で無次元化しており，細管内側の流速 U'は，細管外側の流速 U_0 で無次元化している．各$(l_{top}/l_{middle}+1)$において，無次元化圧力力積勾配$\partial\Pi'^*/\partial z^*$と無次元化速度 U^*が$(l_{top}/l_{middle}+1)$とおおよそ一致している．これは式(2)および式(3)と一致する傾向である．したがって本装置では，液面差$(l_{top}/l_{middle}+1)$により圧力力積勾配$\partial\Pi'^*/\partial z^*$，速度 U^*を容易に調節できる．また動粘度 ν に関わらず，圧力力積勾配$\partial\Pi'^*/\partial z^*$と速度 U^*はほぼ一定である．これより衝突過程では，粘度の影響は小さく無視できる．

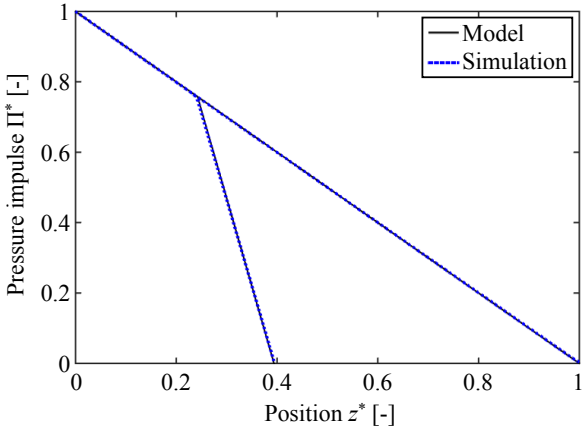


Fig.5 Relation between the pressure impulse Π* and the vertical position z^*.

Table 1 Relation between $l_{top}/l_{middle}+1$, the normalized gradient of the pressure impulse $|\partial\Pi'^*/\partial z^*|$ and the normalized liquid velocity inside the tube U^*.

$l_{top}/l_{middle}+1$	ν [cSt]	$\lvert\partial\Pi'^*/\partial z^*\rvert$	U^*
5	1	4.9	4.9
	10	4.9	4.9
	100	4.9	4.9
10	1	9.5	9.6
	10	9.5	9.4
	100	9.5	9.4
15	1	13.8	13.4
	10	13.8	13.4
	100	13.8	13.4
20	1	18.1	17.3
	10	18.0	17.3
	100	18.0	17.3

© 一般社団法人 日本画像学会

4．2　集束過程における粘性の影響

数値計算より求めた液体ジェット射出時における流速場を Fig.6 に示す．なお流速場は，与えた初期速度 U' で除し無次元化している．各動粘度 ν において，打撃付与直後(t = 1 μs)では速度場はほぼ一定である．これは，打撃付与中における粘度の影響は小さいことを意味し，4.1 節と一致する傾向である．一方，低粘度流体(10 cSt)の場合，界面の変形に伴い，界面中心の流速が初期速度 U' の 2 倍程度になっている．これは，流れの集束による増速効果であると考えられる．しかし，高粘度流体(100 cSt)の場合，流れの集束による増速効果は観測されない．また高粘度流体では，細管管壁付近の低い速度が観測される．この領域は境界層の発達によるものであると考えられる．ここで，境界層の発達が流れの集束を阻害すると仮定し，境界層の厚さに着目する．

一般的に境界層厚さ δ は，$\delta = (\nu t)^{1/2}$ で表される．流れの集束は，界面が凹面形状を有する間に起こり続け，その時間 t_f は，

$$t_f \sim \frac{2r}{U'} \tag{5}$$

と見積もられる．式(5)より，流れの集束直後の無次元化境界層厚さ δ^* は，

$$\delta^* = \frac{\delta|_{t=t_f}}{r} = \sqrt{\frac{2}{\mathrm{Re}}} \tag{6}$$

と表される．なおレイノルズ数 Re は，Re=$U'r/\nu$ で定義される．式(6)より無次元化境界層厚さ δ^* は，レイノルズ数 Re の関数である．液体ジェットの増速率 β と無次元化境界層厚さ δ^* の関係を Fig.7 に示す．なお増速率 β は，式(4)を用いて求めている．先行研究による非粘性の数値計算 [3] を Fig.7 に実線で示す．また，先行研究による細管内半径 r = 1.0 mm の実験 [4] を Fig.7 に三角プロットで示す．細管内半径 r，初期速度 U' および動粘度 ν が変化した場合でも境界層厚さ δ^* により増速率 β の傾向を統一的に記述できる．境界層厚さ δ^* が小さい場合，本結果が非粘性の数値計算 [3] と良く一致している．この範囲では，粘性の影響は小さく無視できる．一方，境界層厚さ δ^* が大きい場合，δ^* の増加に伴い増速率 β は低下する．これより，この範囲では粘度の影響は顕著に現れ，粘度は増速率 β の低下に寄与する．

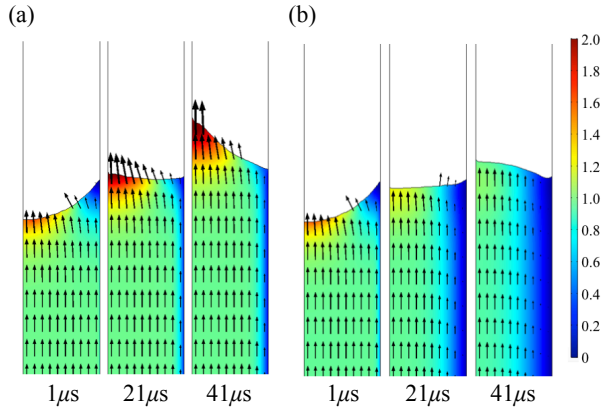


Fig.6 Velocity fields in the liquid during the focusing duration with (a) small viscous liquid (ν = 10 cSt). and (b) large viscosity one (ν = 100 cSt).

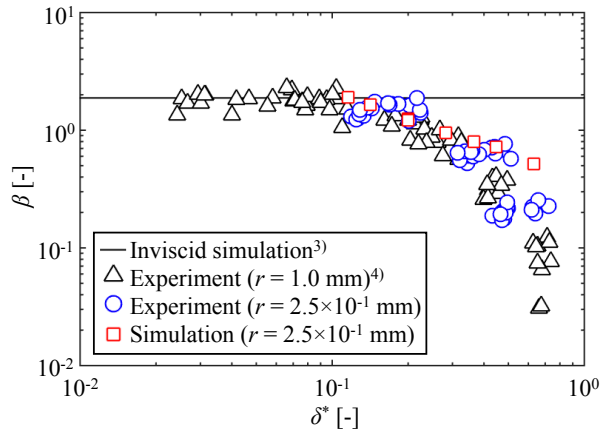


Fig.6 The increment ratio of the jet velocity β vs. the normalized thickness of boundary layer δ^*.

5．結言

本研究では，従来では射出が困難であった高粘度液体を射出可能な装置を開発した．本装置における粘性の影響を明らかにするため，1)打撃による衝突過程，2)流れの集束による集束過程，の異なるタイムスケールに分け，それぞれの過程について粘性の影響を調査した．衝突過程では，圧力力積に着目したモデルを提案し，数値計算と良い一致を得た．さらに衝突過程では，粘性の影響は小さく無視できることがわかった．一方，集束過程では，粘性の影響は大きく現れ，境界層の発達に着目することで粘性の影響を統一的に記述できた．

参考文献

1) M. Fuji, “Series Digital Printing technology ‘Inkjet’”, Tokyo-denki University Press (2008) [in Japanese].
2) H. Onuki, Y. Oi and Y. Tagawa, “Microjet generator for highly viscous fluids”, Physical Review Applied, **9**, 014035 (2018).
3) I. R. Peters, Y. Tagawa, N. Oudalov, C. Sun, A. Prosperetti, D. Lohse, and D. van der Meer, “Highly focused supersonic microjets: Numerical simulations”, Journal of Fluid Mechanics, **719**, pp. 587-605 (2013).
4) H. Onuki and Y. Tagawa, “A highly-viscous liquid jet generator”, Trans. J. Multiphase Flow, **29**, pp. 335-342 (2015) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ1] インクジェット(1) プロセス
Inkjet (1) Process

2018年6月19日(火) 14:00 〜 15:00 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ1-03] 微小液滴の高速着弾現象の観察
Observation of Fast Wetting Dynamics of Micro-Dorplets on Substrates

*横田 涼輔[1]、平野 太一[1]、美谷 周二朗[1]、酒井 啓司[1] （1. 東京大学）
*Ryohsuke Yokota[1], Taichi Hirano[1], Shujiro Mitani[1], Keiji Sakai[1] （1. The University of Tokyo）

インクジェット液滴が基板に着弾し、濡れ広がる様子をマイクロ秒以下の時間分解能で鮮明に観察する簡便な方法を開発した。この手法により、ガラス基板やインクジェット紙、ゲルなどの様々な基板での微小液滴の高速な濡れ広がりを観察し、動的接触角を高時間分解能で測定することに成功した。本講演では、開発した手法を説明するとともに、得られた動的接触角の基板や液体への依存性について議論する。

©一般社団法人 日本画像学会

微小液滴の高速着弾現象の観察

横田　涼輔*，平野　太一*，美谷　周二朗*，酒井　啓司*

*東京大学生産技術研究所

Observation of fast impingement dynamics of micro-droplets on substrates

Ryohsuke Yokota*, Taichi Hirano*, Shujiro Mitani* and Keiji Sakai*

*Institute of Industry and Science, the University of Tokyo

Recently, inkjet technology is applied not only for printing but also for patterning of electric circuits. However, it is difficult to observe impingement, wetting and drying dynamics of microdroplets ejected from inkjet due to the lack of spatial and temporal resolution of the measurement system. We developed a simple method that can observe the microdroplets dynamics on substrates with high time resolution. We succeeded in observing and analyzing the dynamic wetting and contact angle accurately.

１．はじめに

近年の技術革新によって，インクジェットは紙への印刷だけでなく，Printed Electronics や Bio プリントなど様々な分野に応用を広げている．その際に重要となるのは，液滴の濡れ広がりや乾燥といったダイナミクスである．しかし，インクジェットのような微小液滴の運動の時定数は，マイクロ秒オーダであり，このような微小領域における高速な現象を直接観察することは高性能ハイスピードカメラを用いたとしても困難である．

そこで我々は，マイクロメートルオーダの微小な液滴が基板に着弾し，濡れ広がる様子や乾燥する様子をマイクロ秒オーダで観察する手法を新たに開発した．この手法は，様々な液体・基板に対応できるため，様々な応用に利用できると考えられる．

２．実験

２．１　液滴生成機構

液滴生成機構は，独自に開発したオンデマンド型のインクジェットヘッドを利用している．このインクジェット機構の基本となる部分は，ガラス毛細管を外側からピエゾ素子で挟んだ形状になっている．この機構により液体に触れる部分がガラス毛細管のみとなるため，耐腐食性が高い．また機構も簡便であり，ディスポーザブルなガラス管を用いていることから，汎用性が高いという特徴がある．

２．２　光学系

観察にはストロボ法を用いた．高速な運動であっても繰返し再現性が高い場合には，ストロボの発光周波数と運動の周波数を同期させることによって映像上は停止して撮影される．また，ストロボの発光タイミングをずらすことによって，運動の様子をコマ送りの映像として観察することも可能である．このときの 1 コマあたりの時間間隔は，発光タイミングのずらし方で決まるため，運動の時間スケールに応じた動画撮影時の時間スケールの変更が容易である．この手法における時間分解能は，ストロボの発光の持続時間のみで決まるため，マイクロ秒以下の時間分解能を実現することが可能である．

光源には，発光時間が短く大光量のパルスライトである菅原研究所製 NPL-91 を用いた．このパルスライトの発光時間は 75 ns である．このような大光量のパルスライトを用いたとしても，インクジェットのような極微な空間を観察するには，十分な明るさでない．そのため，レンズによって光を液滴の着弾地点で集光させることにより，十分な明るさを実現した．また基板端の影響を小さくするため，顕微鏡をほんの僅かに傾けて設置している．そのため集光したパルスライトの光は基板に反射した後，顕微鏡に入射するようにセットアップした．

２．３　制御系

射出した液滴をそのまま基板に着弾させるだけでは，浸透や乾燥を待ってから射出するとしても，残留物などの影響が積算されることとなり，現象の繰返し再現性が保てなくなる．そのためストロボ法を利用するにあたっては，液滴が移動し，新たに射出された液滴は新しい表面に着弾する必要がある．そこで我々は，移動ステージを用い，移動ステージと液滴の射出タイミングを制御することにより，高時間分解能かつ長時間の観察可能な実験系を実現した(Fig. 1)．

＊〒153-8505 東京都目黒区駒場 4 丁目 6-1
＊4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505, Japan
e-mail:　ryokota@iis.u-tokyo.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

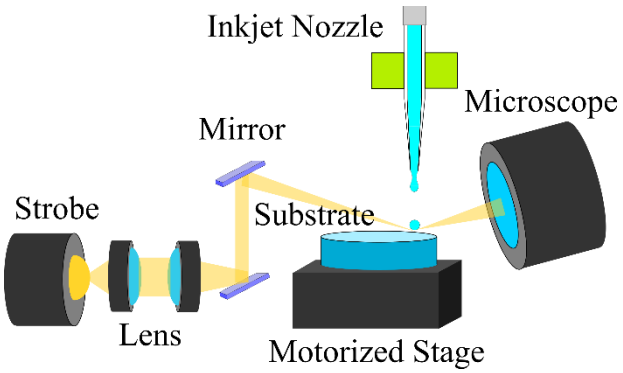


Fig.1 Schematic image of measurement setup.

本手法では，新しい表面を供給し続ける必要があるため，一回の実験時間が制限されている．そのため単純な横移動等では，実験可能な時間は 2-3 分程度であり，十分な実験時間を確保できない．そこで我々は，基板上に螺旋を描きながら射出することにした(Fig. 2)．この手法では，一定の直線運動と回転運動のみの単純な制御で，基板を効率良く使うことができるため，実験時間は 15 分程度になる．さらに螺旋形状を描くことで，省スペースで実験が可能である点も，この手法の特徴である．

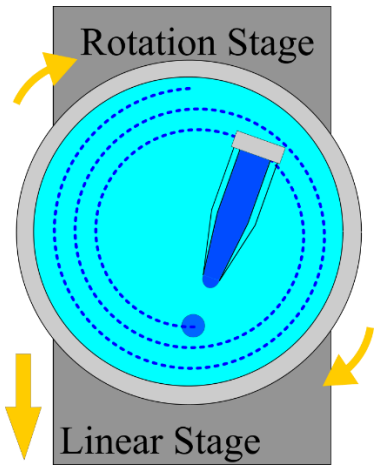


Fig.2 Newly developed method of ejection by spiral pitch. Setup for providing flesh surface at landing spot of droplets.

3．結果

3．1　測定試料・基板

測定試料として，異なる物性値を持つ 4 種類の液体を用いて実験を行った(Table 1)．

基板については，ガラス基板とインクジェット紙基板を用いた．ガラス基板には，光学用の平行平面基板を用いた．またインクジェット紙基板は，プラスティック製の円形基板の上に，インクジェット紙を貼り付けたものである．

Table 1 Table of physical properties of sample liquid.

	Density [g/cm³]	Surface Tension [mN/m]	Viscosity [mPa・s]
Water	1.00	72.8	0.89
Ethylene glycol	1.11	48.4	16.1
Ethanol	0.785	22.4	1.10
10cSt Silicon	0.935	20.1	9.35

3．2　実験結果

500 ns ごとに，画像の撮影を行った．ここでは，ガラス基板に対し水液滴を着弾させた際の画像の一部を Fig. 3 に示す．

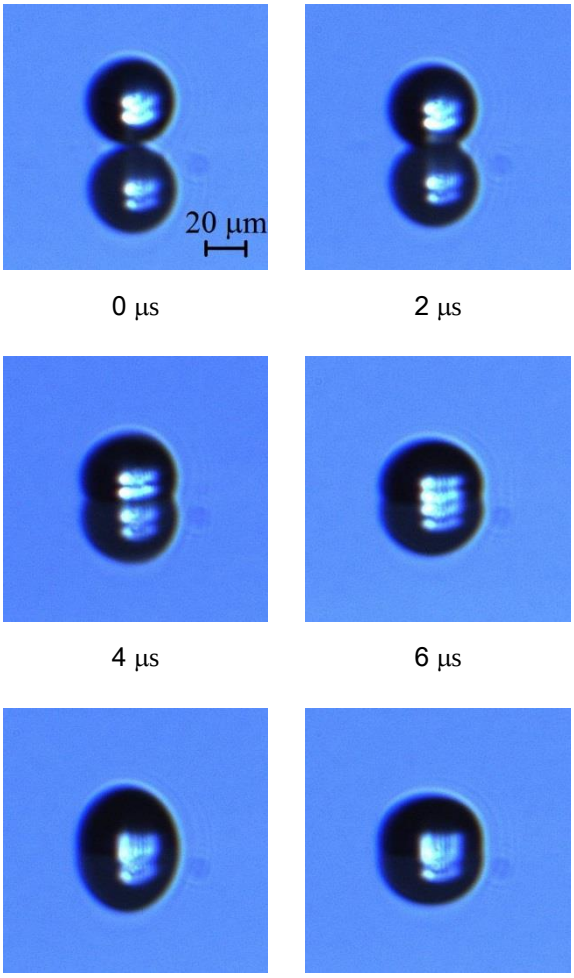


Fig.3 Water droplets impinge on glass substrate. The image reflected by the substrate are also observed.

© 一般社団法人 日本画像学会

４．液滴の形状解析

濡れ広がりや接触角の動的な変化を調べるために画像解析を行った．

４．１　解析手法

液滴画像を二値化し，解析することにした．今回撮影を行ったどの液滴においても，基板による反射も観察されている．液滴は濡れ広がり部分球の形状になる．このときの高さを h，幅を w とした．また接触角については，液滴の幅 w 及び高さ h を用いて，次の式により算出した．

$$\theta = 2\tan^{-1}\frac{h}{w} \qquad (1)$$

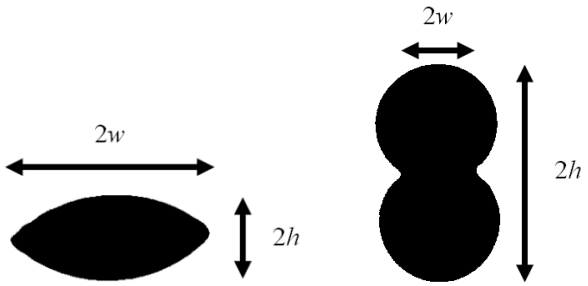


Fig.4 Binary image of droplet.

４．２　解析結果

Fig.5 はガラス基板上に着弾させた液滴の濡れ広がり幅 w の時間変化を示したものである．Fig.6 はガラス基板上に着弾させた液滴の接触角の変化を示したものである．Fig.7 は，インクジェット紙上の各種液滴の濡れ広がりの様子である．

またガラス基板上に着弾させた液滴については，10 μs 程度までは，どの液滴も類似の傾向を示している．しかし，それ以降は表界面張力の差によって，濡れ広がりや接触角に差が出ていることが分かる．

インクジェット紙基板については，液滴の濡れ広がりに対して，紙への浸透が支配的になるまでの時間に差があることが分かる．エタノールが他の 2 液体に比べて，早く液滴が小さくなっているのは，液滴の浸透だけでなく蒸発も支配的になっていると考えられる．

このことから，液滴の粘度や表界面張力といった物性値に依存して，濡れ広がりの様子が変化することが確認された．

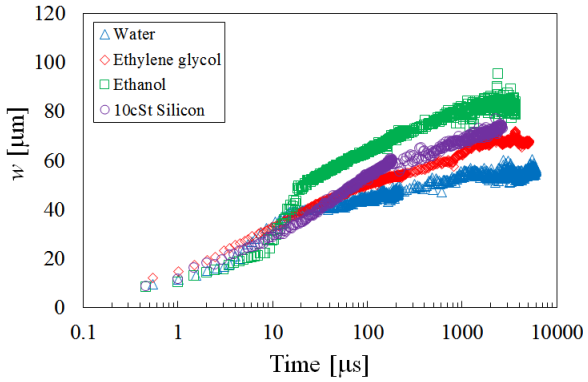


Fig.5 Width of Droplet on glass.

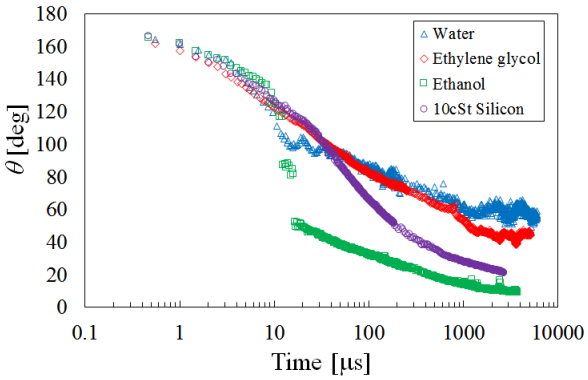


Fig.6 Contact angle of droplets on glass.

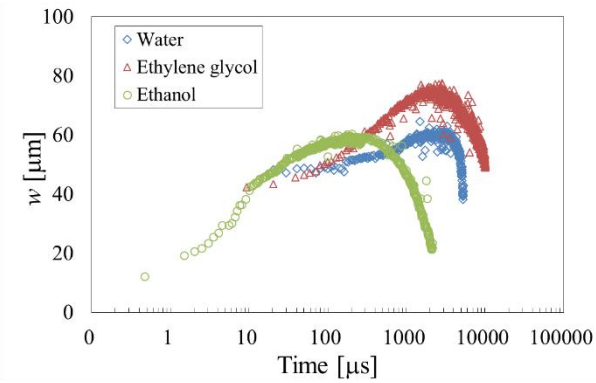


Fig.7 Width of droplets on paper.

５．まとめ

新たな手法の開発により，インクジェットのような微小な液滴が基板に着弾し，濡れ広がるダイナミクスを観察・解析することに成功した．また液体の物性値の違いによる，濡れ広がりや接触角の変化を捉えることにも成功した．この手法によって，これまで困難であった，インクジェットが基板に着弾する過程の直接観察が容易に可能になり，濡れ広がりや乾燥のダイナミクスの理解につながると考えられる．

© 一般社団法人 日本画像学会

参考文献

1) P. G. de Gennes, “Wetting: statics and dynamics”, Reviews of Modern Physics, 57, 3, pp.827-863 (1985)
2) L. Tanner, “The spreading of silicone oil drops on horizontal surfaces”, Journal of Physics D: Applied Physics, 12, 9, pp.1473-1484 (1979)
3) Tatsuya Yamada and Keiji Sakai, “Observation of collision and oscillation of microdroplets with extremely large shear deformation”, Physics of Fluids, 24, 022103 (2012)
4) Hideaki Kutsuna and Keiji Sakai, “Hyper Rheology Measurement by Emission and Collision of Micro-Fluid Particles”, Applied Physics Express, 1, 027002 (2008)
5) Horace Lamab, “Hydrodynamics”, DOVER SCIENCE BOOK, (1932)

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Inkjet

[IJ2] Inkjet (2) Ink

Session Chair:Sadanao Okuda(SAKATA INX CORPORATION), Shinichi Okada(DIC Corporation)

Tue. Jun 19, 2018 3:20 PM - 4:40 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ2-01] Preparation of a W/O Emulsion Ink for Inkjet Printing

*Naofumi Ezaki[1], Shunsuke Uozumi[1] （1. RISO KAGAKU CORPORATION）

3:20 PM - 3:40 PM

[IJ2-02] New White Pigments -Correlation between Structure of Inorganic Hollow Particles and White Opacity-

*Tomohiro Hirade[1], Hiroshi Goto[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

3:40 PM - 4:00 PM

[IJ2-03] Pigments for Inkjet Food Packaging Printing

*Stephane Biry[1], Ruth Bauer[2] （1. BASF Colors &Effects Switzerland AG, 2. BASF Colors &Effects GmbH）

4:00 PM - 4:20 PM

[IJ2-04] Influence of the Characteristics of Emulsion on Image Quality

Takahashi Shigeki[1], *Yoshikawa Takahiro[1] （1. KAO Corporation）

4:20 PM - 4:40 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ2] インクジェット(2) インク
Inkjet (2) Ink

2018年6月19日(火) 15:20 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ2-01] インクジェット用 W/Oエマルションインクの調製
Preparation of a W/O Emulsion Ink for Inkjet Printing

*江崎 直史[1]、魚住 俊介[1] （1. 理想科学工業株式会社）
*Naofumi Ezaki[1], Shunsuke Uozumi[1] （1. RISO KAGAKU CORPORATION）

油性インクジェットインクは、印刷時の用紙変形が発生しないため、紙を対象とした高速印刷に適している。油性インク中に水を乳化した油中水型（W/O）エマルションインクでは、色材の浸透が抑制され、画質が向上する。一方で、水を乳化するとインクの粘度が高くなる事が課題であった。また、エマルション粒子の凝集・合一が起こるため、貯蔵安定性にも課題があった。
本研究では、油相と水相の組成を変えてW/Oエマルションインクを作製した。それらの粘度と貯蔵安定性を評価し、組成との関係性を調べた。その結果、水相に特定の2価イオンを添加する事によって、粘度を抑えながら貯蔵安定性を向上させられる事を明らかにした。

©一般社団法人 日本画像学会

インクジェット用 W/O エマルションインクの調製

江﨑　直史*，魚住　俊介*

*理想科学工業株式会社　開発本部 R&I センター AR 開発部

Preparation of a W/O Emulsion Ink for Inkjet Printing

Naofumi Ezaki* and Shunsuke Uozumi*

*AR Development Department, R&I Center, Research & Development Division, RISO KAGAKU CORPORATION

Water in oil (W/O) emulsion ink for inkjet printing is a possible candidate which can achieve both high image quality and high speed printing for plain paper. However, it was hard to prepare a W/O emulsion ink which is suitable for inkjet printing because it had higher viscosity and worse stability. In this study, effects of compositions of the W/O emulsion on its viscosity and stability were investigated in order to prepare the W/O emulsion available as inkjet ink. Addition of a specific divalent cation to the water phase of the W/O emulsion was found to achieve both low viscosity and good stability.

１．緒言

インクジェットインクは、溶媒の種類によって、水性、油性、溶剤、UV に分類される。印刷対象物の種類に応じて、適したインクが選択される。液体が浸透し易い紙を対象とした印刷においては、水性インク、もしくは油性インクが用いられる。特に、油性インクは、印刷時の用紙変形が発生しないため、高速印刷に適している。一方で、油性インクは浸透現象のみで乾燥させるため、紙の種類によっては印刷物裏側付近まで色材が浸透する。その結果、印刷物の発色が低くなり、また裏抜けが多くなる場合があった。この問題を解決する手段の１つとして、油性インク中に水を乳化した油中水型 (W/O) エマルションインクが挙げられる。W/O エマルションインクでは、用紙変形を防止しつつ、色材の浸透が抑制され、発色が向上し、裏抜けも少なくなる。しかしながら、水を乳化するとインクの粘度が高くなり、インクジェットヘッドからの吐出が困難になることが課題であった。また、エマルション粒子の凝集・合一が発生するため、貯蔵安定性にも課題があった。

本研究では、インクジェットに適した W/O エマルションインクを調製する事を目的として、油相と水相の組成を変えて W/O エマルションを調製した。それらの粘度と貯蔵安定性を評価し、組成との関係性を調べた。

２．実験

２．１　材料

界面活性剤は、非イオン界面活性剤であるポリリシノレイン酸デカグリセリル（PR-20）を使用した。油は、ドデカン、パルミチン酸イソオクチル（IOP）、オレイルアルコール（OA）を使用した。水相への添加剤として、塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化カルシウムを使用した。

２．２　W/O エマルションの調製

イオン交換水に PR-20 および各種油相を種々の濃度で順次添加し、ローター式ホモジナイザーを用いて 10,000rpm、5 分間攪拌することによりエマルションを調製した。また、無機塩を添加するときは、まず水に無機塩を添加して溶解した後に PR-20、ドデカンを種々の濃度で添加し、ローター式ホモジナイザーを用いて 10,000rpm、5 分間攪拌することによりエマルションを調製した。

２．３　評価

粘度測定にはストレス制御式粘度計、エマルション粒子の粒度分布測定には超音波減衰式粒度分布測定器、エマルション粒子の観察にはフリーズフラクチャー透過型電子顕微鏡（FF-TEM）を用いた。

３．結果と考察

油相の油の種類の変更、および水相に無機塩を添加した W/O エマルションを作製し、粘度と貯蔵安定性を評価した。また、W/O エマルションの粒子サイズを評価し、インクジェット適性を調べた。

３．１　油の種類

油の種類が W/O エマルションの粘度と貯蔵安定性に与える影響を調べた。油は、極性が異なるドデカン、IOP、OA を使用した。油/水/界面活性剤 (PR-20) の 3 成分系で、組成比を変えて W/O エマルションを作製し、貯蔵安定性が優れる組成比を調べた。

＊〒305-0818 茨城県つくば市学園南 2 丁目 8 番 1
＊2-8-1 Gakuen-minami, Tsukuba, Ibaraki 305-0818 Japan
e-mail:　ezaki-n@riso.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

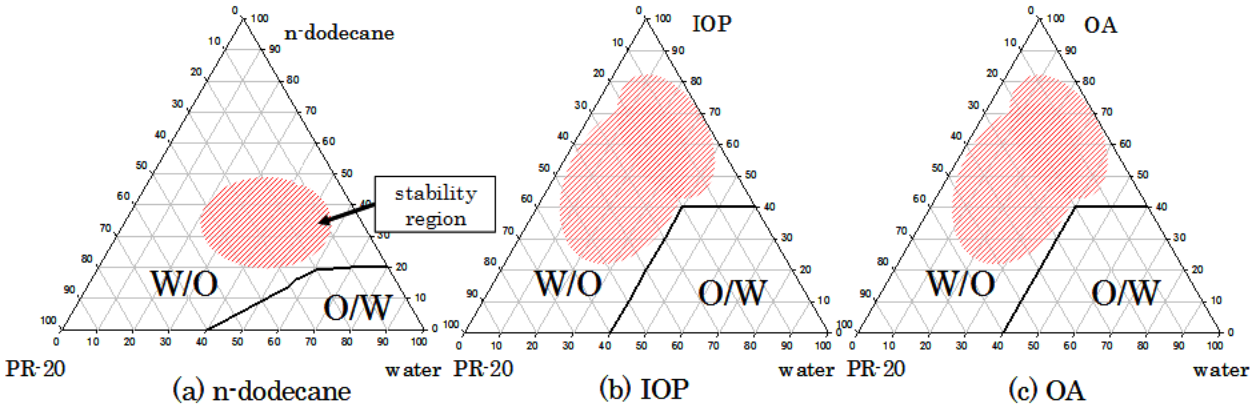


Fig.1　Stabilities of W/O emulsions using different oils

極性が高い IOP や OA を使用すると、極性が低いドデカンを使用した場合と比較して、貯蔵安定性が優れる組成の領域が拡がることが明らかになった。しかしながら、極性が高い油は粘度が高いため、単独で使用することは困難である。ドデカンの様な粘度が低い油と組合せて使用する必要があると考えられる。

３．２　水相への無機塩添加

水相への無機塩添加が W/O エマルションの粘度と貯蔵安定性に与える影響を調べた。無機塩は、塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化カルシウムを使用した。いずれの無機塩を添加した場合でも、W/O エマルションの貯蔵安定性は向上した。特に塩化カルシウムを添加した場合に、貯蔵安定性が優れる組成の領域が拡がることが明らかになった。粘度は、塩化カルシウムを添加していない場合と比較して、ほとんど変化がなかった。したがって、水相へ塩化カルシウムを添加する事によって、粘度を抑えながら貯蔵安定性を向上させられる事が明らかになった。

３．３　W/O エマルションの粒子サイズ

エマルション粒子のサイズがインクジェットに適しているかを確認する為、ドデカン/水/PR20 の三成分系で W/O エマルションを調製し、超音波減衰式粒度分布計、光学顕微鏡、FF-TEM を用いてエマルション粒子のサイズを調べた。粒度分布測定では、300～800nm の粒子が多いことが明らかになった。光学顕微鏡で観察すると、1μm 以上の粗粒が見られた。エマルションを FF-TEM で観察すると、100～200nm の粒子とそれらが凝集した粒子が見られた(Fig.2)。粒度分布測定で 300～800n の領域に見られたピークは、100～200nm 程度の粒子が凝集した物と推測される。したがって、エマルション粒子の凝集を抑制し、1μm 以上の粗大粒子を除去すれば、インクジェットに適した粒子サイズのエマルションを調製できると考えられた。

４．結論

インクジェットに適した W/O エマルションインクを調製する事を目的として、油相の油の種類の変更、および水相に無機塩を添加した W/O エマルションを作製し、粘度と貯蔵安定性を評価した。

油の種類変更では、極性の高い油を使用する事によって貯蔵安定性が向上することを明らかにした。極性の高い油は粘度が高いため、極性の低い油と組合せて使用する必要がある。

水相への無機塩添加では、塩化カルシウムを添加する事によって、粘度を抑えながら貯蔵安定性を向上させられることを明らかにした。

W/O エマルションの粒子サイズは、貯蔵安定性を向上させる事によって粒子の凝集を抑制し、粗大粒子を取り除けば、インクジェットに適したサイズを実現できると考えている。

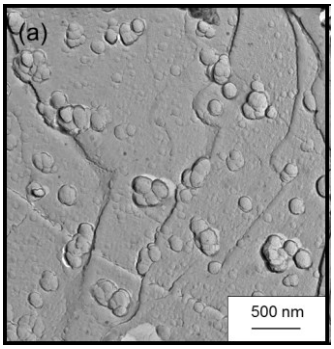


Fig.2　Particles of the W/O emulsion observed by FF-TEM

５．謝辞

本研究は、東京理科大学理工学部酒井・酒井研究室との共同研究により実施しました。

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ2] インクジェット(2) インク
Inkjet (2) Ink
2018年6月19日(火) 15:20 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ2-02] 新規白色顔料の開発　-無機中空粒子の構造と白色隠蔽性の関係-
New White Pigments -Correlation between Structure of Inorganic Hollow Particles and White Opacity-

*平出 智大[1]、後藤 寛[1] （1. 株式会社リコー）
*Tomohiro Hirade[1], Hiroshi Goto[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

白色インクには色材として一般的に酸化チタンが用いられるが、高比重なためインク中では沈降するという課題がある。また、低比重色材として中空樹脂粒子を用いた場合、加熱乾燥時に中空粒子の形状を維持できず、狙いの白色隠蔽性が得られない。
上記の中空樹脂粒子の課題に対して低比重かつ加熱乾燥に耐用可能な色材として中空シリカ粒子に着目した。中空シリカ粒子は内部空気層を利用した散乱光により隠蔽性が得られる。中空シリカの一次粒子径、及びシェル厚を制御因子として白色隠蔽性に対する要因効果を把握することで、耐熱／耐溶剤性に優れ、かつ、低比重で高い白色隠蔽性が得られる白色顔料を開発した。

©一般社団法人 日本画像学会

新規白色顔料の開発
-無機中空粒子の構造と白色隠蔽性の関係-

平出　智大，後藤　寛

株式会社リコー　CIP 開発本部　機能材料開発センター

New White Pigment
-Correlation between Structure of Inorganic Hollow Particles and White Opacity

Tomohiro Hirade, Hiroshi Goto

Functional Material Development Center, Commercial and Industrial Printing Development Division,
Ricoh Company Ltd.

We have made a new white ink which features less sedimentation and high white opacity even upon non-permeable media. Titanium dioxide has been used in the white ink in order to obtain high opacity, but it has the problem of sedimentation. Hollow resin particles have also been used for white ink. Sedimentation is drastically reduced, however, white opacity is limited when heating and drying especially on non-permeable media. In order to overcome these problems, we focused on characteristics of hollow silica particles with low density in addition to heat resistance and solvent resistance. We developed new white pigment of hollow silica particles which lead to less sedimentation and high white opacity by optimizing primary particle size and wall thickness size.

１．はじめに

白色インクジェットインクは、透明なフィルム材や着色した印字媒体上に高画質の描画が可能となることから、サイングラフィックス、ラベル、パッケージ印刷などにすでに実用化されている[1-3]。

今回我々は、白色インクジェットインクに広く適用が期待できる新規白色顔料を開発した。無機中空粒子である中空シリカの性質を利用し、一次粒子径およびシェル厚を最適化することで、低比重でありながら高い白色隠蔽性が得られることを見出したため報告する。

２．白色インクジェットインクの課題

白色インクジェットインクに求められる特性の一つとして、印字媒体を十分に隠蔽する白色隠蔽性が挙げられる。そのため、白色顔料には高屈折率である酸化チタンが一般に広く用いられている。しかし、酸化チタンは比重が大きいため、インク中で容易に沈降するという課題がある。これにより長期保存時のケーキングや使用時の不吐出などの不具合を引き起こす。これに対し、プリンター装置内を撹拌する機構を設けるなどの工夫がされている。最近ではノズル近傍までインクを常時撹拌可能なインクジェットヘッドが発売されている[4]。

材料的アプローチでは、白色顔料として中空粒子を利用することが知られている[5]。Fig.1に示すように、中空粒子は粒子内部に空隙を有し低比重であるとともに、外殻部と内部空隙の屈折率差を利用した散乱により、白色隠蔽性が得られる。近年では、中空樹脂粒子を利用した水性白色インクを搭載するインクジェットインクプリンターが発売されている[6]。しかし、中空樹脂粒子を利用する場合は、乾燥時に塗膜中の溶剤成分が抜けやすい浸透性の印字媒体を併用する必要がある。非浸透性の印字媒体では、大気側にしか溶剤成分が抜けないため、高速乾燥するには高温条件とする必要がある。その場合、Fig.2に示すように、乾燥温度を上げると中空樹脂粒子が潰れ、白色隠蔽性が大きく低下するという課題が発生する。

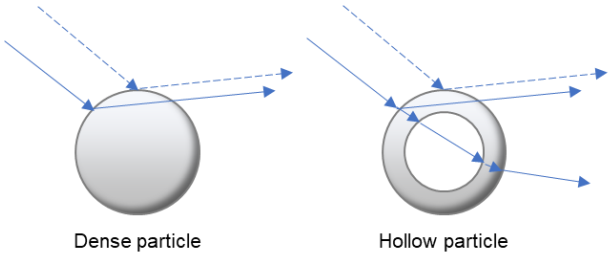


Fig.1 Image of light scattering from dense particle and hollow particle.

＊〒243-0460 神奈川県海老名市泉二丁目 7 番 1 号
＊2-7-1 Izumi, Ebina-shi, Kanagawa, 243-0460, Japan
e-mail:tomohiro.hirade@jp.ricoh.com

© 一般社団法人 日本画像学会

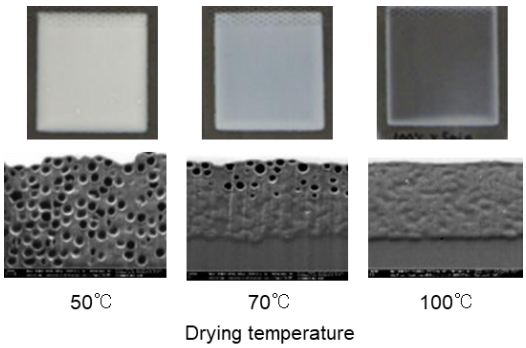


Fig.2 Printed white ink containing hollow resin particles on PET.

我々はこれら課題に対応するため、無機中空粒子である中空シリカに着目した。シリカの比重は2.2g/cm^{3}と、酸化チタンの比重4.0g/cm^{3}と比較しても低比重であり、沈降課題に対して有利である。無機中空粒子では、中空チタンや中空シリカなどがインクジェットインクへの適用検討が報告されているが[7, 8]、前者は粒子比重による顔料沈降の懸念が大きく、後者は粒子径が数十ナノメートルと小さいため十分な白色隠蔽性を得ることができないと思われる。
我々は、中空シリカの一次粒子径および外殻部の厚み（シェル厚）を最適化することで、耐熱性および耐溶剤性に優れ、かつ、従来の酸化チタンと比較しても沈降しにくく高い白色隠蔽性が得られる白色顔料を開発した。

3．実験

3．1　中空シリカの合成

種々の合成条件を検討することにより、一次粒子径およびシェル厚の異なる中空シリカを得た。合成した中空シリカをFig.3にまとめて示す。Fig.3(B)では、一部粒子が割れているものが観察された。一次粒子径が大きくなると、一定の厚み以上のシェルを有さないと中空粒子の強度が不足するものと考えられる。これら合成した粒子を用いて水系白色インクを調製した。

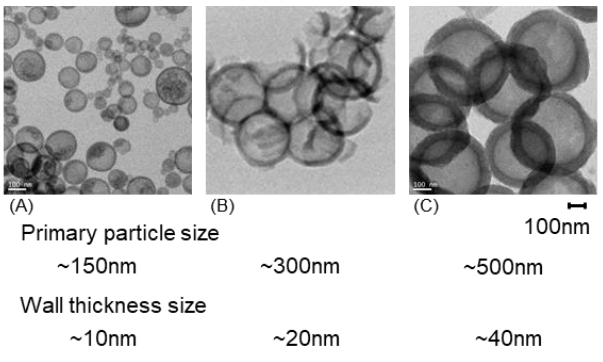


Fig.3 TEM images of synthesized hollow silica particles.

3．2　白色隠蔽性及び沈降速度に対する要因効果

前述した粒子特性の異なる調製インクを用いて、非浸透性のOPP（Oriented PolyPropylene）上にバーコート（巻き線径0.15mm）塗膜を形成した。乾燥条件は80℃とした。Eq. 1に示すハンター白色度を用いて白色隠蔽性評価を行い、Eq.2に示すストークスの式を用いて沈降速度を計算した。Fig. 4に一次粒子径の白色隠蔽性および沈降速度に対する要因効果を示す。中空シリカの一次粒子径が大きくなるにつれて白色隠蔽性が増加し、同時に、沈降速度も増加する。それでもなお、一次粒子径500nmの中空シリカの沈降速度は、一次粒子径200nmの酸化チタンと比較すると小さく、沈降課題は軽減されることが期待される。

$$W = 100 - \{(100 - L)^2 + a^2 + b^2\}^{1/2}$$

W : Hunter whiteness　　a : redness-greenness
L : Lightness　　b : yellowness-blueness

Eq.1 Hunter whiteness.

$$V = \frac{D^2 (\rho_p - \rho_f) g}{18 \eta}$$

V : Sedimentation velocity (m/s)　　ρ_f : Density of fluid (kg/m^3)
D : Diameter of particle (m)　　g : Gravitational acceleration (m/s^2)
ρ_p : Density of particle (kg/m^3)　　η : Viscosity (kg/m s)

Eq.2 Stokes's law.

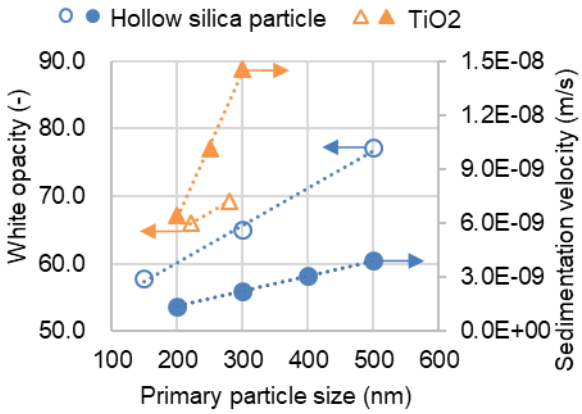


Fig.4 Influence of primary particle size on white opacity and sedimentation velocity.

3．3　顔料付着量と白色隠蔽性の関係

最も高い白色隠蔽性が得られた、Fig.3(C)に示す一次粒子径約500nmの中空シリカを用いて白色インクの印字評価を実施した。印字条件は、リコー製GXe5500を用い、解像度600×600dpiでヘッド駆動電圧により付着量を調整した。Fig.5に中空シリカと酸

© 一般社団法人 日本画像学会

化チタンの顔料付着量と白色隠蔽性の関係を示す。いずれも顔料付着量が増加するにつれて、白色隠蔽性は増加する傾向にある。同一顔料付着量で比較すると、中空シリカは酸化チタンと比較して白色隠蔽性が高いと言える。従来の白色インクジェットインクでは、下地を十分に隠蔽するために印字回数を重ねる必要があるが、中空シリカでは少ない印字回数で白色隠蔽性の高い塗膜を形成可能となり、生産性向上が期待される。

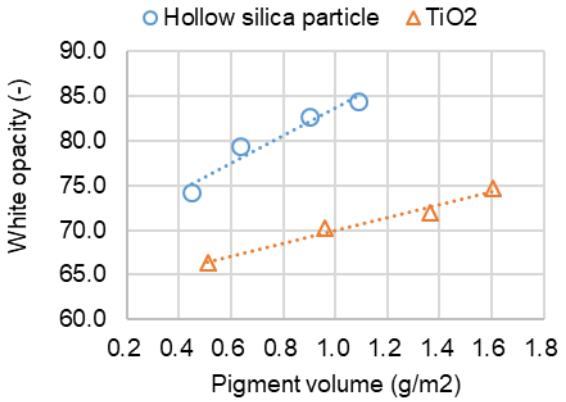


Fig.5 Correlation between pigment volume and white opacity.

３．４．印字塗膜観察

上記で得られた、中空シリカおよび酸化チタンの印字塗膜断面を SEM 観察した様子を Fig.6 に示す。Fig.6(A) の中空シリカ印字膜は、顔料付着量 0.64g/m^2、平均膜厚 4.9±0.3um であり、Fig.6(B) の酸化チタン印字膜は、顔料付着量 1.60g/m^2、平均膜厚 2.9±0.4um であった。中空シリカ印字膜は、酸化チタン印字膜と比較して低顔料付着量にも関わらず、膜厚は厚いことが確認された。また、中空シリカ印字塗膜では、塗膜中を粒子が中空形状を維持して構成されており、非浸透性の印字媒体上での加熱乾燥にも十分耐用可能であることを確認した。中空シリカは無機材料であるため、大きな乾燥エネルギーを必要とする高速生産にも対応でき、さらに溶解性の強いソルベントインクなどにも適用できるものと推測される。

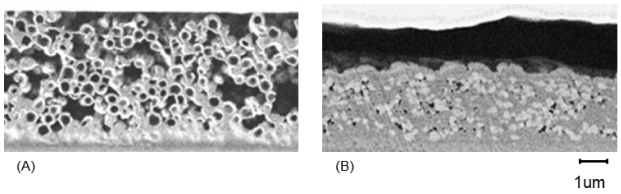


Fig.6 SEM image of printing film of (A) hollow silica particle and (B) TiO_2.

４．まとめ

今回開発した新規白色顔料は、中空シリカの性質を利用し、一次粒子径およびシェル厚を最適化することで、低比重でありながら高い白色隠蔽性を示すことを確認した。さらに樹脂中空粒子の課題であった耐熱性および耐溶剤性にも優れることを確認し、非浸透性の印字媒体や適用インクの拡大を期待することができる。

中空シリカの一次粒子径は、インクジェット吐出特性に影響することが予測されるため、今後さらに、一次粒子径と吐出特性の関係を把握して、設計する必要がある。

参考文献

1) Kazuhiro Nakajima, “Inkjet Technologies 2004”, Journal of the Imaging Society of Japan, **43**, pp. 473-479 (2004) [in Japanese].
2) Akira Takeuchi, “New Technological Trends UV Ink-Jet and Wide-Format Printers”, Journal of the Imaging Society of Japan, **48**, pp. 180-185 (2011) [in Japanese].
3) Masaru Ohnishi, “Historical Developments of Inkjet Ink Materials and its Application”, Journal of the Imaging Society of Japan, **52**, pp. 132-141 (2013) [in Japanese].
4) Ricoh Industrial Inkjet heads MH5421H/5241MF, Retrieved April 19, 2017, https://jp.ricoh.com/release/2017/0419_1.html
5) Kunihide Takarabe, “The natures and Applications of Polymer Particles with Voids”, Shikizai, **61**, pp. 494-508 (1988) [in Japanese].
6) Takayoshi Kagata, “Development of Aqueous White Ink”, Journal of the Imaging Society of Japan, **49**, pp. 404-411 (2010) [in Japanese].
7) Hewlett-Packard Company, WO 2015/047306 A1.
8) Harrison Robert Holzgang, “Investigate Novel Inkjet Printing of High Performance Silica-based Nanostructured Anti-Reflection Coatings”, Oregon State University (2015).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ2] インクジェット(2) インク
Inkjet (2) Ink

2018年6月19日(火) 15:20 〜 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ2-03] Pigments for Inkjet Food Packaging Printing

*Stephane Biry[1], Ruth Bauer[2] （1. BASF Colors &Effects Switzerland AG, 2. BASF Colors &Effects GmbH）

With inkjet printing showing strong and steady growth in packaging and industrial printing, there are rising concerns over the suitability and compliance of inkjet inks for sensitive applications such as food packaging, where the inks – and thereby the primary ink components like pigments, resins and additives – need to meet stringent requirements in terms of their toxicological profile and migration behavior. This paper reviews pigments for inkjet food packaging printing, in the light of the latest changes in legislations and recommendations by the competent authorities, particularly the EU authorities.

©一般社団法人 日本画像学会

Pigments for Inkjet Food Packaging Printing

Stephane Biry* and Ruth Bauer**

*BASF Colors & Effects Switzerland AG, Basel, Switzerland
** BASF Colors & Effects GmbH, Ludwigshafen, Germany

With inkjet printing showing strong and steady growth in packaging and industrial printing, there are rising concerns over the suitability and compliance of inkjet inks for sensitive applications such as food packaging, where the inks – and thereby the primary ink components like pigments, resins and additives – need to meet stringent requirements in terms of their toxicological profile and migration behavior.
This paper reviews organic pigments that are suitable for inkjet food packaging printing, in the light of the latest changes in legislations and recommendations by the competent authorities, particularly the EU authorities.

1. Digital Packaging Printing

Digital printing (inkjet and electrophotography) has become a significant print technology for all kinds of applications, including publication, commercial and industrial printing.

The well-known benefits of digital printing, like variable data printing and print customization, short-run efficiency, print-on-demand, minimal set-up and switchover time and costs, are also of high value for packaging printing applications. For example, there are many trends in packaging that lead to a decrease of the average print run length. Packaging is critical in establishing brand identity and serves as an advertising medium, and there are more and more specific, seasonal or regional packaging designs. This is resulting in shorter run lengths and the need for a better management of the packaging supply costs, which are negatively impacted by long lead times and high stock levels. Thus, it comes as no surprise that digital printing is on the rise in the label and package printing sector, to the detriment of the conventional packaging printing technologies such as flexography, gravure and offset.

An increasing number of products around the world are adopting digital printing. According to a recent Smithers-Pira study, in 2017 all digitally printed packaging amounted to some $13.2 billion sales, which is about 3.33% of all printed packaging. The labels sector is currently the most advanced in its adoption of digital print. Through 2022, the value of the digital packaging sector will grow at 11.2% CAGR to $23.2 billion, accounting for nearly 5.3% of packaging by value, while print volume will reach the equivalent of 334 billion A4 prints (some 3.2% of the total print area output). This projected growth is driven mainly by new, highly productive corrugated inkjet and electrophotographic presses, with additional contribution from cartons and other segments, such as flexibles, rigids and metals.

＊Klybeckstrasse 141, 4057 Basel, Switzerland
e-mail: stephane.biry@basf.com

2. Food Packaging and the Food Contact Regulatory Landscape

Packaging has always served a critical role in the food supply chain and roughly 90% of all foodstuffs are packaged, at least in mature countries. Considering that the value share of food and beverage packaging is approximately 70% of the overall consumer packaging market, food packaging printing is obviously a primary target market for all players in the digital printing value chain, from raw material suppliers to OEMs and converters.

Besides design and sustainability, a major topic for food packaging relates to consumer health and food-safe packaging, including the printing of food packaging. This is reflected in the increasing regulation of food packaging materials and the printing inks used to print on them, which is aiming to guarantee food safety and human health through use of appropriate packaging materials and printing technologies.

Guidelines and regulations for food packaging differ from region to region, and even from country to country, but the underlying principle is that the packaging should not endanger human health, change the composition of the foodstuff or alter its organoleptic properties.

Amongst the guidelines and regulations that pertain to food package printing inks for indirect food contact (i.e. inks for use on the non-food contact surfaces of food packaging), there are few which are particularly important and enforced. For example, the EU Framework Regulation (EC) No. 1935/2004 which – in substance –

© The Imaging Society of Japan

states that food contact materials shall be safe. Also, the GMP Regulation (EC) No. 2023/2006, which lays down the general rules for all business operators in the food packaging value chain, and specifies that quality assurance and control systems are established and implemented. The more recent EU plastic packaging regulation (EC) No. 10/2011 is relevant for food package printing inks too, since printed plastics are also in scope. A lot of attention is also going to the Swiss Ordinance SR 817.023.21, since it was officially enacted in April 2008. SR 817.023.21 comprises positive lists of chemicals that are allowed to be used in inks for food packaging printing. List A comprises substances that have been thoroughly evaluated in terms of their health and safety risk and have a stated Specific Migration Limit (SML) or have to comply with the Overall Migration Limit (OML). List B comprises substances for which there is insufficient information currently to define a SML, but are allowed for use provided they comply with a migration threshold of maximum 10 ppb. EuPIA (European Printing Ink Association) provides general guidelines, including directions on Good Manufacturing Practice, and a negative list of banned ink chemicals. Worth mentioning, is the fact that the EU commission started activities to adopt a new Union legislation on printed food contact materials, including printing inks and commonly printed materials such as paper and board, in 2018.

In the US, the FDA concerns itself with food additives and direct food contact, and does not provide a regulation for inks for indirect food contact applications (no-migration principle).

In Japan, under the Food Sanitation Law, the inertness of food packaging must be ensured and the Japanese Printing Ink Manufacturers Association has issued recommendations on food packaging inks.

Also, some brand owners (e.g., Nestlé) have defined their own guidelines for food packaging printing, which have to be complied with by their packaging suppliers.

As far as pigments are concerned, the primary concern of regulations which pertain to food packaging pigments is to define upper limits for impurities such as traces of heavy metals, Primary Aromatic Amines (PAAs), Polychlorinated Biphenyls (PCBs) or dioxins. In Europe, the most relevant recommendations concerning the colorants for food packaging are the European Resolution AP (89) 1 (1989) and the German BfR IX (2015).

3. Ink Migration

A major concern with printed food packaging, when it comes to food safety and consumer health, is ink migration. All printing inks have the potential to migrate from the printed side of the packaging to the food-contact side and contaminate the food. At this point, it must be emphasized that ink migration into the packaged foodstuff is not only a function of the ink itself, but also largely depends on the other packaging components (print substrate), the printing and processing conditions, and also on the nature of the packaged food (e.g., fatty foodstuffs are more prone to absorb ink migrants). In the end, it's the entire printed packaging together with its content that must be compliant with regulations to ensure consumer safety, not just the ink. Ultimately, the responsibility therefore lies with the converter and the brand owner.

As a general rule, it is always recommended to use barrier substrates such as glass or metal or implement functional barrier layers (aluminium laminated cardboard, for example), even though this doesn't resolve the set-off migration issue. Also, low-migratory ink components should be selected whenever possible, and if migrating substances cannot be avoided, comprehensive toxicological data must be available and migration levels must be below the defined SML.

Ink migration and thereby food contamination can occur in different ways. The most common migration mechanisms are set-off, diffusion and gas phase migration. Set-off might occur when the prints are stacked or rolled up after printing and before conversion. In that case, ink components might transfer directly from the printed side to the reverse side of the packaging and later be in direct contact with food. In case of diffusion migration, ink compounds might reach the food by diffusing through the packaging substrate (e.g. thin-walled PE pouches). Gas phase migration might occur during strong heating (e.g., microwave-ready meals).

Examples of ink components with high migration potential include low molecular weight photoinitiators and monomers, as present in UV-curable inks, solvents, plasticizers, as well as any other low molecular weight substances (< 1'000 $g.mol^{-1}$). In general, ink components like binders, inorganic materials (e.g., fillers, silica matting agents) and organic pigments have no or extremely low migration potential and are usually not regarded as migrants. That said, aforementioned non-migrants might contain impurities which could migrate and contaminate food. In case of organic pigments, such impurities often consist of substances with significant toxicity and human health risks such as Primary Aromatic Amines (PAAs) or Polychlorinated Biphenyls (PCBs).

© The Imaging Society of Japan

4. Azo Pigments and Primary Aromatic Amines (PAAs)

Azo pigments still reign supreme amongst organic pigments and represent more than 50% of the worldwide organic pigment production by volume. They are used in all kind of industries and applications, in particular in printing inks.

All azo pigments can potentially contain traces of PAAs, which are relatively small, mostly hydrophobic aromatic molecules that are prone to migrate, unlike the pigment itself (due to its particulate, crystalline nature). This is related to the azo pigment manufacturing process, which always starts with the conversion of a primary aromatic amine into a diazonium salt in the 1st synthesis step (the so-called diazotization). In addition, the coupling component introduced in the second step – while not being a PAA itself – might also contain PAA residues. Considering possible PAA residues originating from the coupling component and unreacted PAA from the diazotization step, the final azo pigment might contain residual PAAs at its surface or embedded into the crystal lattice (even after thorough washing). On top of that, certain non-azo pigments are also made from PAAs and can also potentially include PAA impurities. All in all, there are numerous pigments, mostly azos but some non-azo types as well, that are potentially contaminated by PAA residues, especially yellow, orange, red and magenta pigments (cyan and green pigments of the copper-phthalocyanine type or DPP red pigments, for example, are not concerned).

Issue with PAAs is that most of them exhibit acute or chronic toxicity, and a number of them are suspected human carcinogens. Actually, at least 22 PAAs are recognized and classified as CMR (Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) substances and are not allowed to come into contact with food at all. Examples of CMR-classified PAAs include 3-3'-Dichlorobenzidine (used in the synthesis of PY 13, PY 83 and other diarylide pigments) and o-Anisidine (used in the synthesis of e.g. PY 74). Both PY 83 and PY 74 are very popular yellow ink pigments, also widely used in inkjet inks and electrophotographic toners.

5. PAAs in Printed Food Packaging Materials

5.1 Regulatory Landscape

Older regulations and recommendations about PAAs are usually dealing with PAA content of the pigment itself (e.g. AP (89) 1 (1989) or EuPIA 2011), whereas for more recent regulations like BfR IX (2015) or (EC) No. 10/2011, it is the final packaging item that is in scope and it is PAA migration to food which is defined and regulated. For instance, under European Resolution AP (89) 1 (1989), the maximum threshold limit for PAAs in pigments is 500 ppm in total and 10 ppm for 3 specific PAAs (singly and in total). In the German BfR IX recommendation from October 2015, limit values for PAAs are no longer defined for pigments but for migration from final article, with a migration limit of 10 ppb in total and only 2 ppb singly for 22 specific PAAs that are recognized as CMR substances.

According to BASF Colors & Effects' worst-case assessment, aforementioned migration limits for PAAs translate into PAA content requirements for pigments which are significantly lower compared to the 500 ppm limit as recommended under AP (89) 1 (1989) or the old BfR IX recommendation from 2010. Thus, maximum PAA content of the pigment should now be less than 100 ppm singly and in total and 20 ppm singly for 22 PAAs classified as CMR.

5.2 New Analytical Method for PAA Analysis

Following the recent change in BfR (IX) recommendation regarding PAAs, and considering similar European regulations which are also focusing on PAA migration, there was an urgent need for a new analytical method to accurately identify and quantify PAAs as single substances in organic pigments. The established method from ETAD (Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigments Manufacturers), ETAD No. 212, became obsolete since it didn't anymore fulfil the criteria regarding sample preparation, PAA extraction, selectivity and detection limit, as required by latest recommendations and regulations pertaining to PAA migration. Since no industry-wide feasible and accepted analytical method existed that complies with the newly required benchmarks, during 2015/2016 BASF developed a new test method for the exact qualitative and quantitative analysis of PAAs in pigments. BASF promoted the test method at ETAD, who had it validated by a round robin test within ETAD members. The method was subsequently published as ETAD Method No. 212 revised, edition May 3rd, 2016. As a released ETAD method, industry-wide acceptance is ensured and conversion into a norm is intended. All ETAD members, which include all major pigment and dye manufacturers, have the right to use the method free of charge, while non-ETAD members can purchase the method.

© The Imaging Society of Japan

6. Conclusion

Digital printing enjoys increasing popularity for packaging printing applications. Food packaging is a strongly regulated field and Primary Aromatic Amine (PAA) impurities commonly present in organic pigments and thereby in printing inks, are of particular concern with regard to food safety and human health. Indeed, many PAAs are toxic and may endanger consumer health in case of migration from the printed packaging into foodstuff. To control PAAs in digital printing inks for food packaging, it is advisable to use pigments not relying on PAAs for their synthesis and therefore free of PAA impurities or breakdown by-products.

In case PAAs are used in pigment manufacturing, only pigments from reliable sources that are strictly monitored for PAA content should be used.

BASF Colors & Effects is analyzing its pigments with a new method to accurately identify and quantify PAA impurities. A pigment selection for digital food packaging printing inks which is meeting all relevant EU (incl. latest German BfR IX (2015)), Swiss Ordinance SR 817.023.21, as well as US and Asia-Pacific regulations, is available from BASF Colors & Effects.

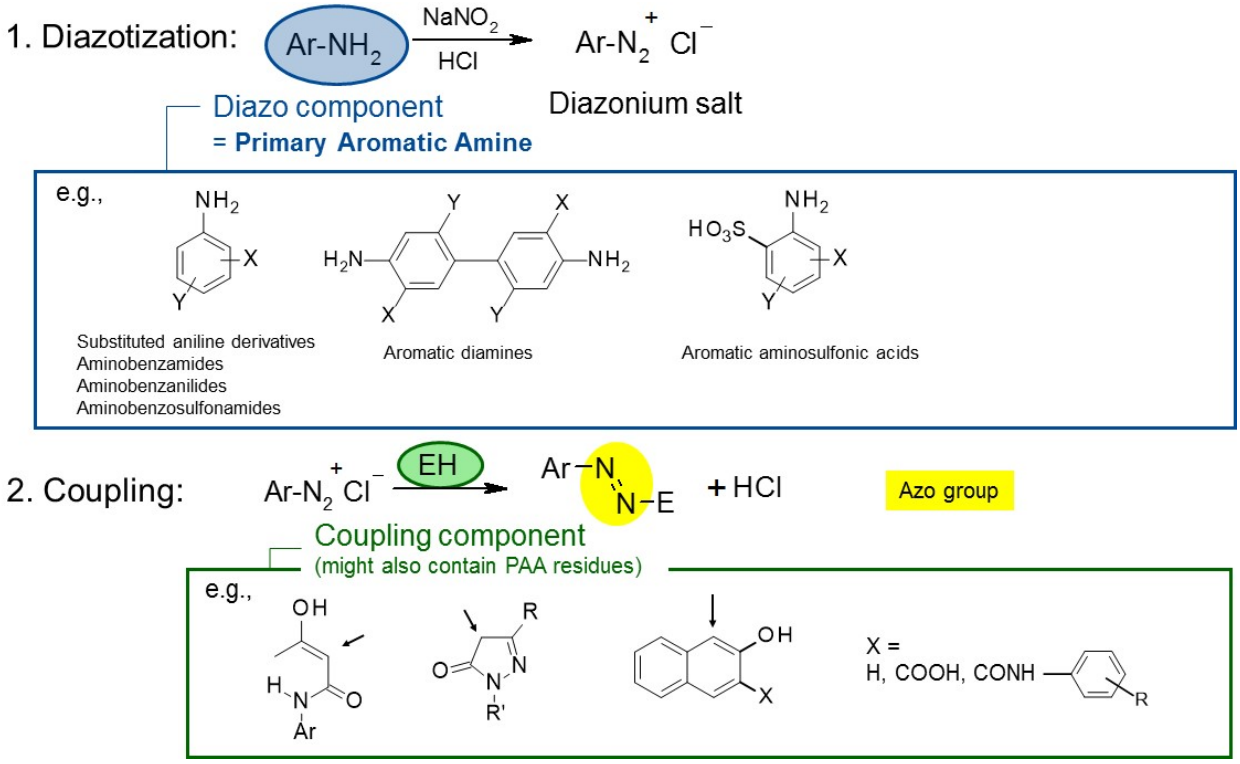


Fig.1 Azo pigments synthesis.

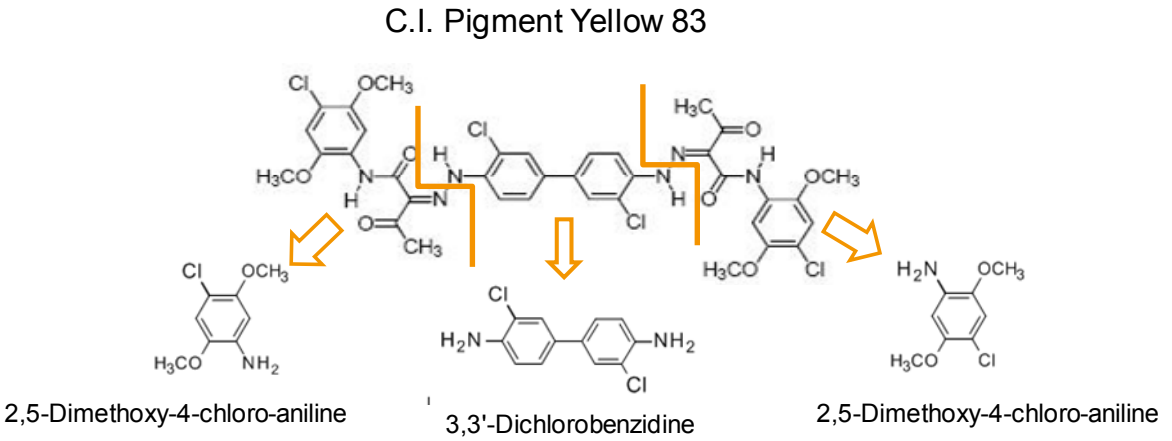


Fig.2 Possible PAA contaminants in P.Y. 83.

© The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ2] インクジェット(2) インク
Inkjet (2) Ink
2018年6月19日(火) 15:20 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ2-04] O/W型乳化重合エマルション特性が画質に及ぼす影響
Influence of the Characteristics of Emulsion on Image Quality

高橋 茂樹[1]、*吉川 貴裕[1] （1. 花王株式会社）
Takahashi Shigeki[1], *Yoshikawa Takahiro[1] （1. KAO Corporation）

本研究より，O/W乳化重合エマルションを含有するインク性能は，エマルション自体の特性に大きく依存することがわかった．乳化エマルション含有インクを紙へ印字した後の画像濃度は，インク中の乳化エマルション量，即ち液滴中の粒子数（固形分）が多いと，また，粒子径が大きくなると低下し，Tgが高いと高くなることがわかった．さらに，紙との相互作用を表すインク滴の広がり面積と光沢度の積が，画像濃度を予測する新たな指標となることがわかった．定着性については，乳化エマルションがカーボンブラック量よりも同じ，または多くなると紙に着弾したポリマーの絡み合いが増し，定着性が高まることがわかった．

The image quality after printing the emulsion-containing ink on paper was found to be decreased as the amount of emulsion in the ink, that is, the number of particles in the droplet was larger, or as the particle size was increased. On the other, the image quality was higher when Tg of emulsion was higher. In addition, it was found that the product of the spreading area of ink droplets indicating the interaction with paper and the glossiness was a new index for predicting image density. Regarding the fixing property, it was found that when the amount of emulsion was the same as or larger than that of colorant, the entanglement of the polymer landed on the paper was thought to be improved and the fixing property was enhanced.

©一般社団法人 日本画像学会

O/W型乳化重合エマルション特性が画質に及ぼす影響

高橋　茂樹，吉川　貴裕

花王株式会社　テクノケミカル研究所

Influence of the Characteristics of Emulsion on Image quality

Shigeki Takahashi, and Takahiro Yoshikawa

Global R&D Performance Chemicals Research Laboratories

According to this study, it was found that the ink performance including the O/W type emulsion greatly depends on the characteristics of the emulsion.

The image quality after printing the emulsion-containing ink on paper was found to be decreased as the amount of emulsion in the ink, that is, the number of particles in the droplet was larger, or as the particle size was increased. On the other, the image quality was higher when Tg of emulsion was higher. In addition, it was found that the product of the spreading area of ink droplets indicating the interaction with paper and the glossiness was a new index for predicting image density.

Regarding the fixing property, it was found that when the amount of emulsion was the same as or larger than that of colorant, the entanglement of the polymer landed on the paper was thought to be improved and the fixing property was enhanced.

１．はじめに

インクジェット方式を用いたプリンタは安価で省エネルギーであるため，その利用が写真並の高画質が得られるパーソナル分野，オフィス分野や少量多品種印刷分野まで広がり，最近では大型プリンタにも展開されている．大型プリンタ（印刷機）は従来のアナログ印刷からデジタル化が進み，必要な時に必要な部数だけを直ぐに印刷できるデジタルプリンタが印刷機として使われ始めた．このデジタルプリンタは，電子写真方式から導入が始まり，カタログや冊子などのカット紙をベースに市場を拡大してきたが，画質や連続生産性に優れるインクジェット方式が注目されてきた．インクジェット印刷方式は，ライン型プリントヘッドの躍進により幅広印刷，高密度化と連続生産性を強みとし，商業，帳票，最近では包装ラベル･パッケージにも用途を広げている．

顔料インクは，界面活性剤と樹脂エマルションで保護層を形成[1)]，顔料にジアゾ化合物や酸化処理により官能基を化学結合することによって静電反撥力を付与[2, 3)]，高分子量ポリマーを吸着させ静電斥力[4)]や立体斥力[5)]を利用することによって安定化させた報告がある．

しかし，これらの顔料インクではさらに画像濃度や耐擦過性について解決すべき課題が残っている．耐擦過性については，インクにポリマー微粒子を入れて耐擦過性を向上させた報告[6)]があるが，ポリマー物性といった観点からの詳細な報告はない．そこで本研究では，ポリマーの特性が印刷物に及ぼす影響を分りやすくするために，自己分散カーボンブラック（分散剤を必要としない色材）を用いて併用するポリマーの性能を評価した．実際に乳化エマルションを作製して，添加量，粒子径やガラス転移点などの特性と画像濃度の関係を検討した．

２．自己分散カーボンブラックと乳化重合法エマルションの設計

本研究では，単純なモデル実験として，着色剤としてカーボンブラック（Pigment Black 7)を液相酸化した分散体(自己分散カーボンブラック)，ポリマーは安定な重合が可能なアクリル系モノマーを使って作製した乳化重合エマルションを用いた．エマルション粒子の作製方法は，水を媒体とし水に難溶な疎水性のモノマーを重合する乳化重合法（O/W 型エマルション）を選択した．先ず，自己分散カーボンブラックの配合量を検討し，次に乳化エマルション添加量（顔料とポリマー比率），ポリマーエマルション粒子径の得られた印刷画像に与える影響について検討した．最後に，ポリマーの成膜性を示すガラス転移点の影響などを検討した．

（ａ）．自己分散カーボンブラック添加量の影響
（ｂ）．ポリマーエマルション添加量の影響
（ｃ）．ポリマーエマルション粒子径の影響
（ｄ）．ガラス転移点の影響
（ｅ）．水溶性溶剤の影響

＊〒640-8580 和歌山市湊１３３４番地
＊1334 Minato, Wakayama, Wakayama Prefecture, 640-8580, JAPAN
e-mail: takahashi.shigeki@kao.com, yoshikawa.takahiro2@kao.com

© 一般社団法人 日本画像学会

３．インク配合処方及び画像評価

上記２で得られた自己分散カーボンブラック，乳化エマルションを含有するインクをインクジェットプリンタ（ピエゾ方式）で印字するため，自己分散カーボンブラック 5.0ｇ，乳化エマルション 2.5ｇ，2,4,7,9-テトラメチル-5-デシン-4,7-ジオールのエチレンオキサイド付加物 1.0ｇを添加し，グリセリンとイオン交換水でインク粘度を 4.0 mPa･s に調整しインク配合物を作製した．自己分散カーボンブラックの配合量を変更する場合は 1.0～10.0ｇの範囲とし，乳化エマルションの配合量を変更する場合は 0.5～10.0ｇとした.また,溶剤種を変更する場合は,グリセリンを水溶性溶剤に置き換えて検討した.

４．実験と結果

４．１　自己分散カーボンブラック,乳化エマルション配合量と画像濃度との関係

先ず最初に自己分散カーボンブラックの配合量が画像濃度に及ぼす影響を確認した．自己分散カーボンブラック量と画像濃度の関係を Fig.１に示した．紙表面にコート層を設けている印刷用紙や吸液層を持つインクジェット専用紙は粒子がそのまま紙表層に堆積するため，配合量が５％を超えると画像濃度が飽和していることがわかった．また，画質の指標として光沢度を評価した．印刷用紙では自己分散カーボンブラック量が増えると光沢度が高くなり，５％で飽和している．しかし，水分を吸収しやすいインクジェット専用紙では配合量が増えると光沢が低下することがわかった．これらの結果を基に，自己分散カーボンブラックの配合量を画像濃度が安定する５％に設定して以下の検討を行った.

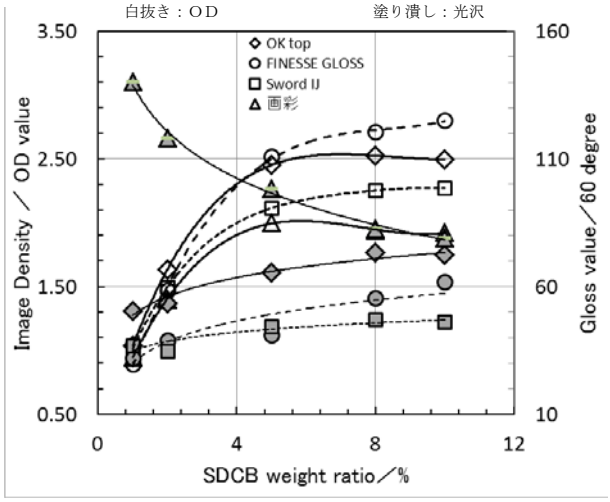


Fig.1 Relationship between self-dispersed carbon black weight ratio and image density

次に自己分散カーボンブラックの配合量を固定し，乳化エマルション添加量と画像濃度の影響を調べた．その結果，Fig.２ に示すように，印刷用紙，インクジェット専用紙で乳化エマルションの添加量が増えると画像濃度が低下することがわかった．また，光沢も乳化エマルション添加量が増えると低下することがわかった．インクジェットインクの粒子数が増加すると吐出速度が低下する問題が生じる可能性があるため，画像濃度と安定吐出しやすい配合量という観点で乳化エマルション添加量２．５％を選択した.

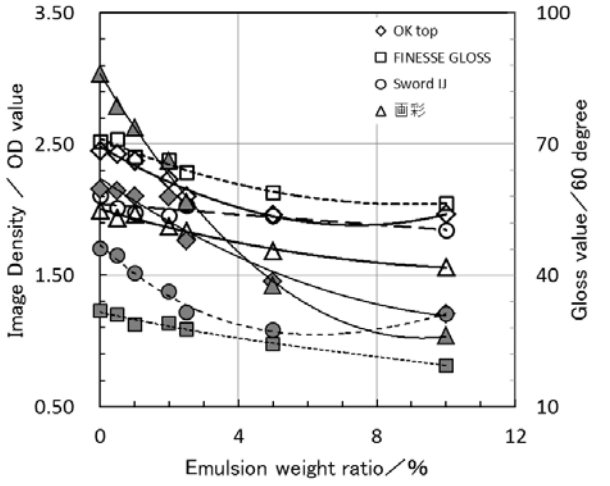


Fig.2 Relationship between emulsion weight ratio and image density .

４．２　乳化エマルション粒子径と画像濃度との関係

Fig.３ に乳化エマルションの平均粒子径と画像濃度，および，粒子径と光沢度の関係を示した．粒子径を大きくしても全ての用紙で画像濃度が低下し，粒子径が小さいと画像濃度が高くなることがわかった．また，光沢度も粒子径が大きくなると低下する傾向にあることがわかった.

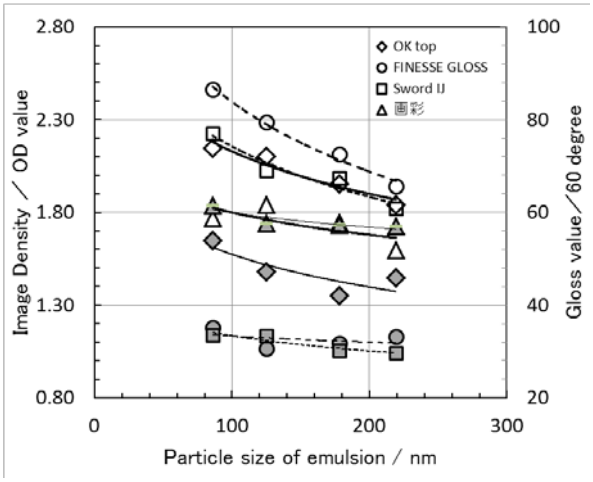


Fig.3 Relationship between particle size of emulsion and image density

© 一般社団法人 日本画像学会

４．３　乳化エマルションのガラス転移点と画像濃度との関係

乳化エマルションのガラス転移点（スチレン，アクリル酸ブチル比率を変えた組成）による影響を調べた．Fig.4 に乳化エマルションのガラス転移点と画像濃度の関係を示した．図のように印刷用紙は，ガラス転移点が高いと画像濃度が高くなる傾向になる．インクジェット専用紙では，画像濃度に影響しないことがわかった．光沢度は，印刷用紙では影響を受けにくく，インクジェット専用紙はガラス転移点が低くなると高くなる傾向にある．吸液の速いインクジェット専用紙では，低ガラス転移点の乳化エマルションほど紙表面で融着しやすいため光沢が高くなったと考えられる．

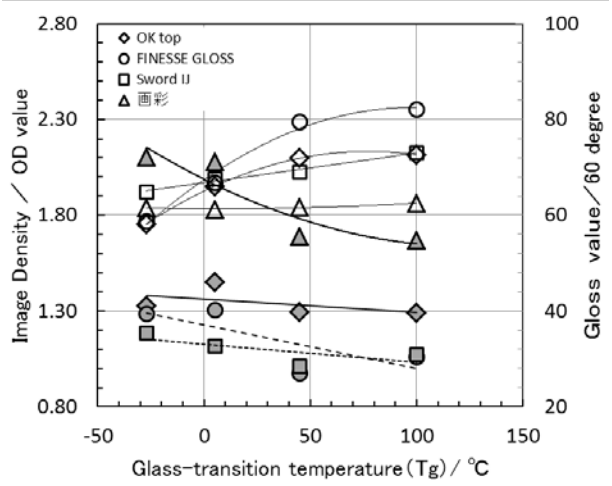


Fig.4　Relationship between glass-transition temperature of emulsion and image density

４．４　沸点の異なる水溶性溶剤と画像濃度との関係

Fig.5 に溶剤の沸点と画像濃度の関係を示した．図のように，印刷用紙やインクジェット専用紙では沸点を変えても画像濃度が変わらないことがわかった．光沢度は，印刷用紙では影響を受けにくく，インクジェット専用紙は沸点が高くなると光沢度が高くなる傾向にある．

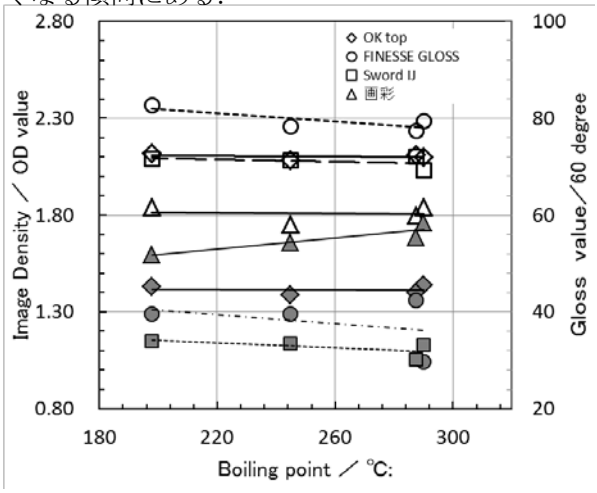


Fig.5 Relationship between boiling point of ink and image density

５．コロイド粒子と画像濃度の考察

画像濃度を高くするためには，粒子を表層に多く留めることとインクが紙上で平滑に濡れ広がることが重要である．印刷されたベタ部の表面を観察すると，乳化エマルション粒子数が多くなるほどベタ部埋まりが悪く，ボイド（白抜け）面積が多くなり画像濃度ムラが発生していることがわかった．また，粒子径が大きくなるほど白抜け面積が増え画像濃度ムラが発生していることが確認された．各種用紙にインク滴（2μL）を一定に滴下できる接触角計を用いて濡れ広がり面積を測定すると，紙種によってその度合いは異なるが，自己分散カーボンブラック，乳化エマルションの添加量が多いインクほど濡れ広がり面積が小さく（Fig.6），また，乳化エマルション粒子径が大きくなるにつれてインク滴の広がり面積が小さくなっている．

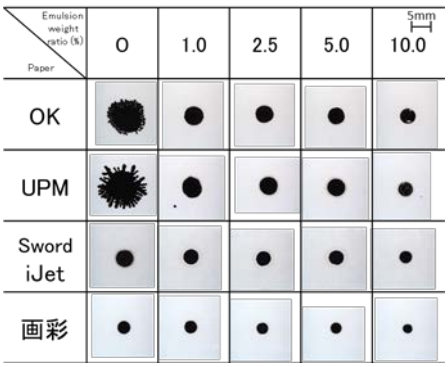


Fig.6 Wet spreadability of ink droplet with different emulsion weigh ratio.

このことから，粒子数が多いインクや大粒径を添加したインクは，液滴が紙に着弾後ビヒクル（液体）の紙への浸透が進み，ポリマー粒子の拡散速度が遅いため表層付近の溶液濃度が内部よりも高くなり，疎水性粒子の微凝集（不動化 [7]）がより起こりやすくなるため濡れ広がりが抑制され，その結果，不均一なベタ画像になり画像濃度が低下したと考えられる．この広がり面積はポリマー粒子と紙との相互作用を示しており，これによって濡れ広がり時の固体薄膜（外周）がどこで生成されるかが決まる．

このように濡れ広がり面積が画像濃度に深く関わることがわかったが，濡れ広がりが同じでも紙種によって画像濃度が異なることから，画像濃度に関わるさらに別の因子が存在すると考えられる．ベタ部の観察から，光沢が高い印刷ほど白抜けが少なく表面粗さも小さくなっており，画像濃度に寄与してくると考えられる．そこで．画像濃度と光沢度の関係を調べてみると，全ての用紙で画像濃度と光沢に傾

© 一般社団法人 日本画像学会

向があることがわかった．光沢は，上記固体薄膜が生成された後に溶剤の蒸発により限られた面積の液滴皮膜が形成され，その皮膜の浪打ち状態で決まるものと仮定すると，固体薄膜の位置と固体薄膜で囲われた液滴皮膜の平滑性を数値化した値は画像濃度を表現できるはずである．Fig.7 に示すように，インクの広がり面積に光沢度を乗じた値と画像濃度との間に高い相関があり，成膜された膜の物性（液滴成膜面積）が画像濃度を示す新しい指標となることがわかった．

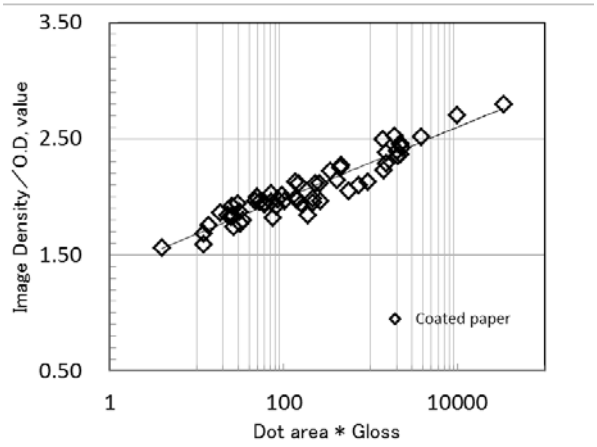


Fig.7 Relationship between droplet formation and image density

６．擦過性

画像保存性を確保するために，紙への定着性は非常に重要な要素である．非吸液紙は顔料粒子が紙表面にそのまま残るため，強い擦りに対して定着性が弱いと考えられる．そこで乳化エマルション添加量と定着性の関係を示した（Table 1）．

Table 1 Effects of emulsified emulsion weight ratio on mechanical smear

Number of times / Emulsion weight ratio (%)	Ref.	Rub.10th	Rub.30th
0	電驚	電驚	電驚
1.0	電驚	電驚	電驚
2.5	電驚	電驚	電驚
5.0	電驚	電驚	電驚
10.0	電驚	電驚	電驚

乳化エマルションを用いた混合インクでは，顔料が介在することでポリマーの成膜がしにくいと考えられるが，乳化エマルションがカーボンブラック量よりも同じ，または多くなると紙に着弾したポリマーの絡み合いが大きくなり，成膜性が高まったと考えられる．また，乳化エマルションの添加量とガラス転移点がその紙への定着性に関係するものと考えられる．

７．まとめ

本研究より，O/W 乳化重合エマルションを含有するインク性能は，エマルション自体の特性に大きく依存することがわかった．乳化エマルション含有インクを紙へ印字した後の画像濃度は，インク中の乳化エマルション量，即ち液滴中の粒子数（固形分）が多いと，また，粒子径が大きくなると低下し，Tg が高いと高くなることがわかった．さらに，紙との相互作用を表すインク滴の広がり面積と光沢度の積が，画像濃度を予測する新たな指標となることがわかった．定着性については，乳化エマルションがカーボンブラック量よりも同じ，または多くなると紙に着弾したポリマーの絡み合いが増し，定着性が高まることがわかった．

参考文献

1) Ichiroh Fujii, Keita Katoh, Tomohiro Nakagawa, Masaki Kudoh, Akihiko Matsuyama, Akihiko Gotoh, and Kiyofumi Nagai : Development of GELJET Ink for IPSiO SG Series, Ricoh Technical Report, No.38, pp.83-87, (2012). [in Japanese].
2) Akihiro Oshima, Toshiyuki Sato, and Joseph E. Johnson : Surface Modification of Black Pigments -A Novel Approach for Advancing Black Pigment Performance -, Japan Hardcopy ‘97 collected papers, pp.161-164, (1997). [in Japanese]
3) Toshihide Kuwahara, and Seishiro Ito : Studies on Pigment Dispersion in Water Ⅲ -The Wet Oxidation of Carbon Black and the Dispersibility in Water -, Journal of the Japan Society of Colour Material, 45, [11], pp.9-14, (1972). [in Japanese].
4) Shigeki Takahashi :Effect of Properties of High-Molecular Weight Polymer on the Characteristics of Polymer-Dispersed Pigment in Water-Based Ink, Journal of the Japan Society of Colour Material, 85, 〔7〕, pp.271–278, (2012).[in Japanese].
5) Shigeki Takahashi :Effect of Properties of High-Molecular Weight Polymer on the Characteristics of Colored Emulsion by Phase Inversion Emulsification, Journal of the Japan Society of Colour Material, 88, 〔9〕, pp.312–320, (2015). [in Japanese].
6) Masahiro Yatake : Polymers for Pigment-based Inkjet Ink, Polymers, 55, [6], pp.410-413, (2006). [in Japanese].
7) Atsushi Ikeda, Toshiharu Enomae and Fumihiko Onabe : Interaction between latex and starch in coatings during drying, Japan Technical Association of the Pulp and Paper Industry journal, 55 〔2〕, pp.236-243, (2001). [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

[IM] Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

Session Chair:Makoto Matsuki(former NTT Qualis), Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.)

Tue. Jun 19, 2018 12:50 PM - 2:10 PM Reception Hall (3rd Floor, Keyaki Kaikan)

[IM-01] Color Management System for Metallic Color

*Masahiko Kubo[1], Kaoru Yamauchi[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

12:50 PM - 1:10 PM

[IM-02] Steganography Technology for Inkjet Printing System

*Yuki Ishida[1] （1. Canon Inc.）

1:10 PM - 1:30 PM

[IM-03] Application of Deep Learning to Technology to Create Photo Books from a Large Amount of Images

*Hirokazu Kondo[1], Yukinori Noguchi[1], Hiroyuki Furuya[1], Takuya Tsutaoka[1] （1. FUJIFILM Corporation）

1:30 PM - 1:50 PM

[IM-04] Color Uniformity Correction Technology for Multi-Display

*Gaku Furuichi[1], Yasushi Adachi[1], Terumitsu Katohgi[1], Makoto Hayasaki[1], Hideki Ohnishi[1], Toshiyuki Okunishi[1], Toshiyuki Gotoh[1], Daisuke Igarashi[1], Daiichi Sawabe[1], Tomoya Ishikura[1], Haruo Yamamoto[1] （1. Advanced Technology Development Unit, Business Solution Business Unit, SHARP Corporation）

1:50 PM - 2:10 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 画像入力/画像処理/画像感性

[IM] 画像入力，画像処理および画像感性
Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

2018年6月19日(火) 12:50 ～ 14:10 レセプションホール (けやき会館 三階)

[IM-01] メタリックカラー用カラーマネジメントシステム
Color Management System for Metallic Color

*久保 昌彦[1]、山内 薫[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Masahiko Kubo[1], Kaoru Yamauchi[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

特殊トナーを生かした付加価値の高い印刷物へのニーズに応えるため，ゴールドトナー/シルバートナー単色だけでなく，CMYKトナーとの掛け合わせによるメタリックカラーを検討した．メタリックカラーでは測色角度に対する色再現が異なるため，従来のカラーマネジメント技術では，ターゲットと色の見え方が異なるという課題があった．そこで，複数の測色角度に対する色再現を考慮したメタリックカラー用カラーマネジメント技術を開発した．本発表では，新規カラーマネジメント技術と，本技術を搭載したプロダクション用デジタル印刷機について紹介する．

In order to respond to the needs for highly value-added print making use of special toner, metallic color was examined. In metallic color, since the color reproduction depends on the observation direction, the conventional color management technology has a problem that the color appearance of the target and the print are different. Therefore, we developed color management technology for metallic color considering color reproduction for multiple observation directions. In this presentation, we introduce new color management technology and digital printing press for production with this technology.

©一般社団法人 日本画像学会

メタリックカラー用カラーマネジメントシステム

久保　昌彦*，山内　薫*

*富士ゼロックス株式会社　デバイス開発本部　イメージングプラットフォーム開発部

Color Management System for Metallic Color

Masahiko Kubo*, and Kaoru Yamauchi*

*Imaging Platform Development Device Development Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

In order to respond to the needs for highly value-added print making use of special toner, metallic color was examined. In metallic color, since the color reproduction depends on the observation direction, the conventional color management technology has a problem that the color appearance of the target and the print are different. Therefore, we developed color management technology for metallic color considering color reproduction for multiple observation directions. In this presentation, we introduce new color management technology and digital printing press for production with this technology.

１．はじめに

近年，プロダクション用デジタル印刷機の画質および生産性が向上し，オフセット印刷からの移行が加速されている．プロダクション用デジタル印刷機としては，特殊トナーを生かした付加価値の高い印刷物へのニーズがあり，当社では Color 1000i Press において、ゴールドトナーとシルバートナーを搭載した [1]．ゴールドトナーとシルバートナーの画質はお客様から好評であったが，ゴールドトナーやシルバートナーの単色ではなく，CMYK トナーとの掛け合わせにより様々なメタリックカラーを再現したいとの要望が寄せられ，メタリックカラーの再現を検討した．

当社では，金泥を使った甲冑装飾の絵など，メタリックカラーを含んでいる古文書の複製活動に取り組んでおり [2]，鮮やかなメタリックカラーを表現するためには，CMYK トナーの下層に隠蔽性の高いメタリックトナー層を形成することが必要であることがわかった．Color 1000i Press では，メタリックトナー層は CMYK トナー層の上層に形成されるため，Fig.1 に示すようにメタリックトナー層を CMYK トナー層の下刷りになるように刷り順を変更した．しかしながら，メタリックカラー画像では，測色角度によって色再現が異なるため，オフセット印刷用のメタリックカラー特色を，CMYK トナーとメタリックトナーの組み合わせで再現する場合，Fig.2 に示すように，従来の入射光の拡散方向となる測色角度 45° に基づくカラーマネジメント技術では，入射光の正反射方向に近い測色角度 15° における色再現が，目標と異なってしまい，色の見え方が暗くなるという課題があった．

そこで，メタリックカラーの特徴である複数の測色角度に対する色再現性を考慮することで、目標に色の見え方を近づけることが可能なカラーマネジメント技術を開発した．この技術により，従来機種に比べて，オフセット印刷用メタリックカラー特色に近い再現を実現することができた．

本発表では，複数の測色角度に対する色再現を考慮したメタリックカラー用新規カラーマネジメント技術と，本技術を搭載したプロダクション用デジタル印刷機について報告する．

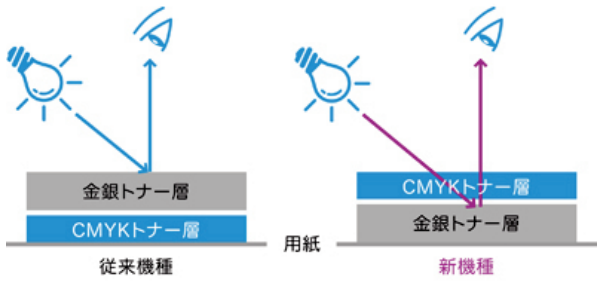


Fig.1 Changing the order of printing for metallic color.

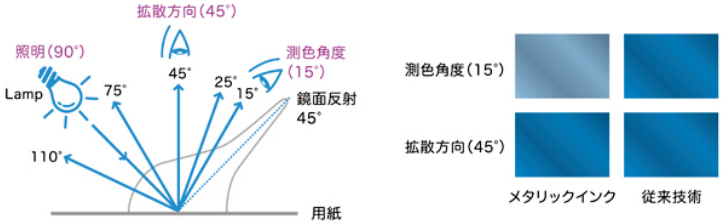


Fig.2 Problem of the conventional color management.

＊〒220-8668 神奈川県横浜市西区みなとみらい 6-1
＊6-1 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 220-8668, Japan　e-mail:　Masahiko.Kubo@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

２．メタリックカラーの色再現における課題

従来の測色角度 45°に基づくカラーマネジメント技術を,メタリックカラーに適用した場合の課題について説明する．まず，Color 1000i Press の刷り順を変更し，CMYK トナーの下層となるシルバートナー量を 100%に固定した.つぎに，オフセット印刷用メタリックカラー特色の測色角度 45°における測色値（*L*a*b**）をターゲットとして,フレキシブル UCR のアルゴリズム [3]により，測色値との色差が最小となる CMYK トナー量を求め,メタリックカラー画像を出力した．光輝感が高い色票Ａと光輝感の低い色票Ｂについて，メタリック塗料の色再現評価として一般的な測色角度 15°/25°/45°/75°/110°における明度(*L**)の評価結果を Fig.3 に示す.また,ターゲットとの色の見えの差を 5 段階の妨害尺度を用いて主観評価した結果を Fig.4 に示す.5 段階の妨害尺度としては，*G4* 以上が色の見えの差が分からないレベル，*G3* 以上が色の見えの差は分かるが許容できるレベルと設定した.

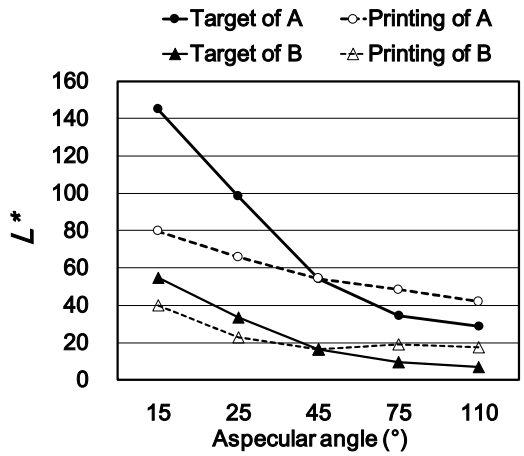


Fig.3 Difference in *L** form the target at the aspecular angles.

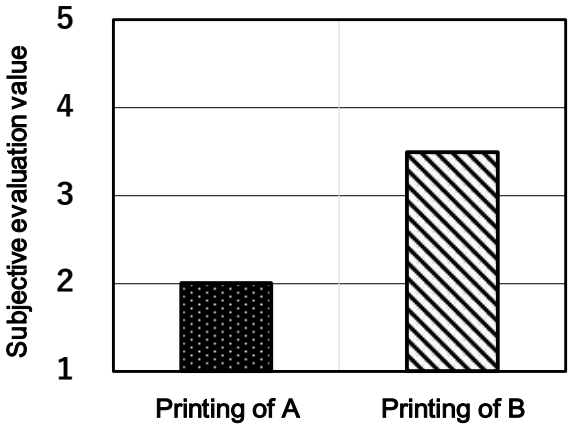


Fig.4 Result of subjective evaluation.

Fig.3 および Fig.4 に示すように，ハイライト側（測色角度 15°/25°）における *L** が低く，光輝感が低い色票 B では，プリントサンプルの測色角度における *L** はターゲットと近くなっており，主観評価値が許容レベル以上となっている.しかしながら,ハイライト側における *L** が高く，光輝感が高い色票 A では，測色角度における *L** は,測色角度 45°では一致するものの,ハイライト側ではターゲットよりも大幅に低くなり,主観評価値は許容レベル未満となる.したがって，メタリックカラー特色として良く使われる光輝感の高い色票については,従来の測色角度 45°に基づくカラーマネジメント技術では,色の見え方を近づけることができず，光輝感も低くなってしまうことがわかった.

３．メタリックカラー用カラーマネジメント技術

３．１　色変換アルゴリズムの提案

メタリックカラーにおいて色の見えを近づけ，光輝感を高めるためには，測色角度 45°の色再現性を近づけるだけでは不十分であり,ハイライト側(測色角度 15°/25°)およびシェード側（測色角度 75°/110°）の色再現性も平均的に近づける必要があるのではないかと考えた.

本発表で提案する色変換アルゴリズムの処理フローを Fig.5 に示す．処理は以下の手順による.

① ターゲットの複数角度（15°/25°/45°/75°/110°）における測色値（*L*a*b**）とシルバートナー量 *Si* を入力する.

② シルバートナー量 *Si* を固定し,ターゲットとの複数角度における色差の平均値を最小化する CMYK トナー量 *CMYK* を決定する.

③ 決定した CMYK トナー量 *CMYK* とシルバートナー量 *Si* を出力する.

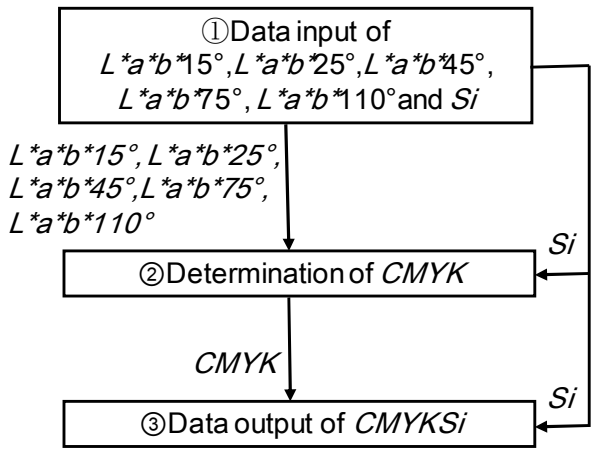


Fig.5 Processing flow of proposed color conversion algorithm.

© 一般社団法人 日本画像学会

３．２　色変換アルゴリズムの実現

色変換アルゴリズムの具体的な実現方法について述べる.①については,多角度の測色計を用いてターゲットとなるメタリックカラー特色を測色したデータを用いる.シルバートナー量については,光輝感やプリントコストを考慮して設計者やユーザが任意に設定する．②については，デジタル印刷機の CMYKSi トナー量から，各測色角度における $L^*a^*b^*$への変換を行なうニューラルネットワークで構成されたプリンタモデルを用いる．ニューラルネットワークについては,ハイファイカラー用プリンタモデル [4]を展開し，RGB トナー量をシルバートナー量 Si と測色角度 θに置き換えることにより,(1)式のように実現した.

$$(L^*, a^*, b^*) = F(C, M, Y, K, Si, \theta) \quad (1)$$

ターゲットとの複数角度における色差を最小化する CMYK トナー量については，K トナー量 Kを先に決定しておき，ターゲットとの複数角度における平均色差を目的関数として,プリンタモデルを非線形最適化手法であるシンプレックス法 [5]を用いて解くことにより，CMY トナー量 CMYを決定した.

３．３　評価結果および考察

２章で示した評価条件において，メタリックカラー用カラーマネジメント技術を適用した場合の測色角度における L^*と主観評価結果を，それぞれ Fig.6 および Fig.7 に示す．色変換に用いたニューラルネットワークによるプリンタモデルの色予測精度は、平均色差で 2.0 であり、ハイファイカラー用プリンタモデルと同等の色予測精度が得られた.

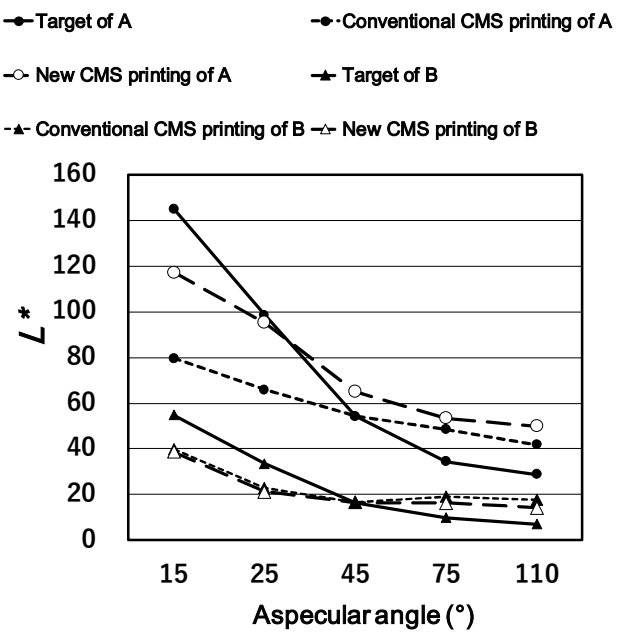


Fig.6 Difference in L^* form the target at the aspecular angles.

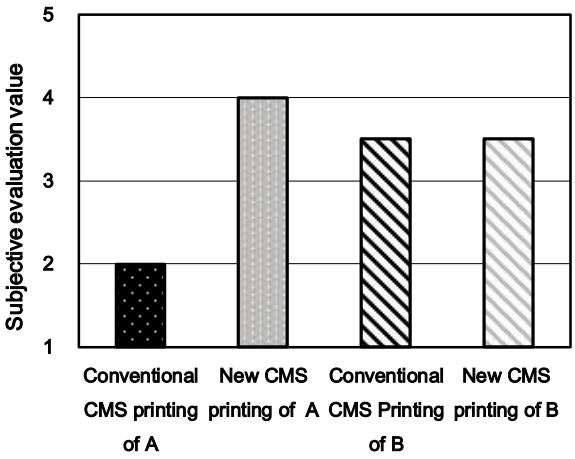


Fig.7 Result of subjective evaluation.

Fig.6 および Fig.7 から，本技術により光輝感の高い色票 A におけるハイライト側の L^*は従来技術に対して大きく向上し,主観評価値も大幅に改善することがわかる.本技術では，測色角度 45° からシェード側における明度差は，従来技術よりも若干大きくなるものの，ハイライト側の明度差は大幅に小さくなっており，ハイライト側からシェード側までの複数の測色角度における明度差は，平均的に小さくなっている.また,光輝感の低い色票 B においても測色角度における L^*と主観評価値は従来技術と同等となっており,メタリックカラー特色の光輝感にかかわらず,ターゲットに近い色の見えと光輝感が実現できている.

これらの結果より，本発表で提案した複数の測色角度に対する色再現を考慮したメタリックカラー用新規カラーマネジメント技術により,メタリックカラーの色の見えと光輝感を改善することができると考えられる.

４．本技術を搭載したデジタル印刷機

本技術を Fig.7 に示す Iridesse™ Production Press に搭載し，従来機種に比べて PANTONE®のメタリックカラーライブラリに近い再現を実現した.



Fig.7 Iridesse™ Production Press

© 一般社団法人 日本画像学会

Iridesse™ Production Press の開発方針は，プロダクション用デジタル印刷機として重要な生産性，用紙汎用性，画質，信頼性の向上を基盤に，特殊トナーなど多彩なアプリケーションを用途に応じて増やせる付加価値の高い商品を目指した．Color1000 Press のプラットフォームを進化させ，業界初のワンパス 6 色プリントエンジンと新規カラーマネジメント技術により，ゴールド，シルバー，ホワイトの下刷りで，光輝感の高いメタリックカラー表現や色紙/黒紙へのホワイトの印字を可能にしている．これを実現させるために，本技術に加え，新トナー設計，6 色マーキングエンジン技術，高画質補正技術，高速高画質コントローラ設計，高信頼性/耐久性設計などの技術開発を行った．

また，本技術の知見をもとに，社内デザイナーの意見をフィードバックし，Fig.8 に示すプロダクション用デジタル印刷機に対して最適な光輝感のメタリックカラーを実現する富士ゼロックス独自のスウォッチテーブルを搭載した．



Fig.8 Fuji Xerox original swatch table.

このスウォッチテーブルを用いることにより，メタリックブルー，メタリックレッドなどのシルバートナーベースのメタリックカラーに加えて，青金，赤金などのゴールドトナーベースのメタリックカラーを用いた印刷物を簡単に作成することが可能になり，Fig.9 に示すように，表現力の広がりによる，新たな価値提供を実現した．



Fig.9 Print samples of metallic color.

５．まとめ

本発表では，メタリックカラー用のカラーマネジメント技術について，複数の測色角度におけるターゲットとの色差を考慮した新しい色変換処理方式について検討を行なった．本技術をシルバートナーと CMYK トナーを搭載したデジタル印刷機を用いて評価した結果，従来技術である測色角度 45° の色差に基づいた色変換処理方式に比べて，光輝感が向上し，主観評価値を大幅に改善することができた．

今後，さらなるメタリックカラーの画質向上を実現するためにはカラーマネジメント技術の進化に加えて，デジタル印刷機の光輝感の向上や色域の拡大が重要であると考えられ，より付加価値の高い印刷物を提供可能な技術を検討していく予定である．

商標について

- Iridesse は，米国ゼロックス社の商標です．
- PANTONE およびその他の Pantone 商標は Pantone LLC の登録商標です．

参考文献

1) Atsushi Minoda, “Color 1000i Press”, Fuji Xerox Technical Report, No.25, pp. 131-140, (2016). [in Japanese]
2) Hideki Kimura, “A Project to Restore Traditional Documents of Kyoto and the Digital Printing Technologies That Make It Possible”, Fuji Xerox Technical Report, No.24, pp. 61-68, (2015) [in Japanese].
3) Hitoshi Ogatsu, Kazumasa Murai, Shinji Kita, “Flexible gray component replacement(GCR) based on CIE L*a*b*”, Proceedings of SPIE, 2424, pp. 123-133, (1995).
4) Masahiko Kubo, “The Color Conversion Method for HiFi Color which guaranteed Colorimetric Color Reproduction, Continuousness of Color Separation and Adjustment K/RGB”, Journal of the Imaging Society of Japan, Vol.44, No.6 pp. 408-415, (2005). [in Japanese]
5) Masahiko Kubo, “The Color Conversion Method for DTP Printer which guaranteed Preservation of Black Separation and Colorimetric Color Reproduction”, Journal of the Imaging Society of Japan, Vol.40, No.3 pp. 192-200, (2001). [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 画像入力/画像処理/画像感性

[IM] 画像入力，画像処理および画像感性
Image Input, Image Processing and Kansei Imaging

2018年6月19日(火) 12:50 ～ 14:10 レセプションホール (けやき会館 三階)

[IM-02] IJプリントシステム向けステガノグラフィ技術
Steganography Technology for Inkjet Printing System

*石田 祐樹[1] （1. キヤノン株式会社）
*Yuki Ishida[1] （1. Canon Inc.）

近年、高機能なスマートフォンが普及し、ユーザは気軽に写真を撮影できるようになった。また、ユーザはパソコンを介さずにスマートフォンからプリンタに直接印刷できるようになった。その結果、ユーザがスマートフォンから印刷する写真の枚数も増え続けている。そこで我々はスマートフォンを使った写真の新たな楽しみ方を提供するために、スマホアプリ"Message in Print"を開発した。"Message in Print"は写真に情報を埋め込み印刷する機能と情報が埋め込まれた印刷物からカメラを使って情報を読み取る機能を持つ。講演ではこれらの機能と使用されている技術について紹介する。

©一般社団法人 日本画像学会

ＩＪプリントシステム向けステガノグラフィ技術

石田　祐樹*

*キヤノン株式会社　インクジェットデバイス開発センター

Steganography Technology for Inkjet Printing System

Yuki Ishida*

*Inkjet Device Development Center, Canon Inc.

In recent years, high-function camera capable smartphones have spread through the market, and users who had the smartphones have come to be able to take more photographs easily. In addition, the users have come to be able to print them directly from a smartphone without via PC. As a result, print volume from the smartphones is extremely increasing. Therefore we developed a smartphone application "Message in Print" to offer a new way of enjoying photographs using the smartphones. "Message in Print" is composed of the following two major functions. The first function is to embed user-designated information in a photograph and to print it, and the second function is to extract the embedded information from the printed photograph. Here we report details of those functions.

１．背景

近年、高度な機能を持つモバイル端末であるスマートフォンが普及し、ユーザは気軽に写真を撮れるようになった。その為、スマートフォンを使用した写真の撮影枚数は増加し続けている。弊社では従来から写真文化の発展を目的として写真を「きれいに」「素早く」「簡単に」印刷できるように努めてきた。スマートフォンから「簡単に」印刷する為にアプリを使用してスマートフォンから直接写真を印刷できるようにした。また、ストレージサービスやソーシャルネットワークサービス（以下 SNS）等、様々なクラウドサービスから印刷できる環境を提供してきた。

昨年、スマートフォンを使用した写真印刷を更に楽しんでもらう為にステガノグラフィ技術を利用したスマートフォンアプリ「Message in Print」（以下 MinP）を開発した。ステガノグラフィ技術とは、音声や画像の中に情報を秘匿して埋め込む技術である。弊社では以前からステガノグラフィ技術を利用した製品の開発を行っていたが、開発当初は写真に埋め込まれた情報を読み取る端末としてイメージスキャナを想定していた。イメージスキャナはコンピュータに接続して使用する事が一般的であり、ユーザが手軽に使用することができなかった。しかし、近年スマートフォンが普及し、スマートフォンに搭載されたカメラも年々進化してきた。そこでイメージスキャナの代わりにスマートフォンに搭載されたカメラを使用することで写真から情報を手軽に読み取ることが出来るようになった。

＊〒212-8530 神奈川県川崎市幸区塚越 3-451
＊451, Tsukagoshi 3-chome, Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 212-8530, Japan
e-mail: ishida.yuuki@canon.co.jp

MinP を使用すると、テキストメッセージや SNS の Uniform Resource Locator（以下 URL）などの色々な情報を目に見えない形で写真に埋め込み印刷する事ができる。そして、印刷した写真を MinP で読み取るとメッセージや動画をスマートフォンに表示することができる。また、写真をプレゼントする際に写真と共にメッセージや動画を送ることでサプライズを演出する事ができる。



トップ画面　　メッセージ種類選択画面

Fig.1 Canon “Message in Print”.

２．ステガノグラフィ技術

MinP に搭載した弊社のステガノグラフィ技術は“写真を劣化せずに情報を埋め込み印刷する技術”と“印刷された写真から素早く情報を読み取る技術”が重要であった。本稿ではそれらの埋め込み技術と読み取り技術について紹介する。

© 一般社団法人 日本画像学会

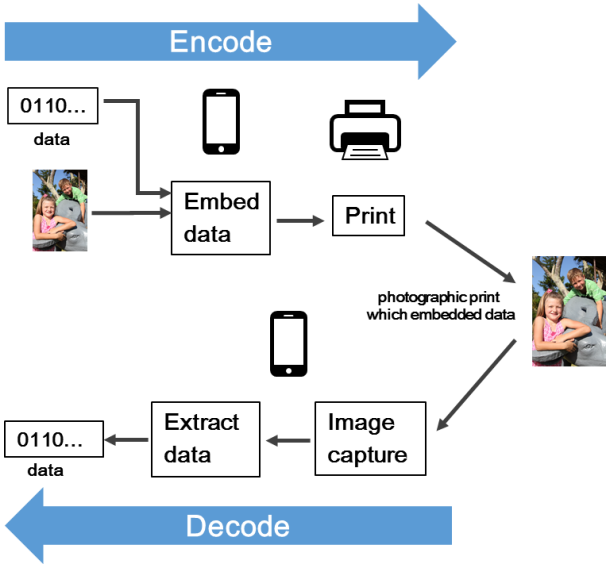


Fig.2 Whole flow of steganography.

Fig.2 を用いて、情報の埋め込みと読み取りの全体フローを説明する。情報の埋め込みはスマートフォンで行う。アプリを起動し、画像と埋め込む情報を選択し、情報を埋め込む。そして、情報が埋め込まれた画像をプリンタへ送信し印刷する。プリンタの印刷は通常の印刷と同様の処理を行う。情報の読み取りは MinP のアプリを起動し、情報が埋め込まれた印刷物をスマートフォンのカメラで撮影する。そして、アプリ内で撮影した画像から情報を読み取る。

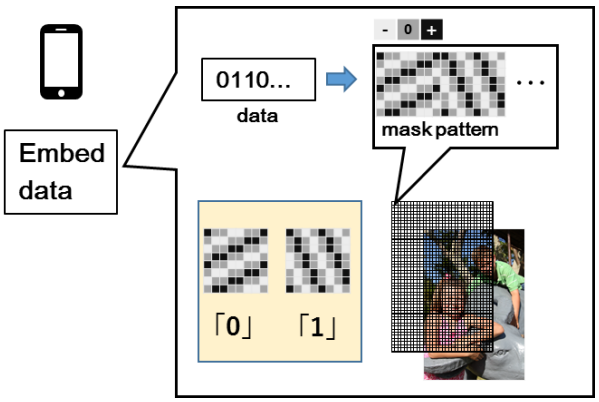


Fig.3 Encoding algorithm of steganography.

次に Fig.3 を用いて情報の埋め込みについて説明する。情報は画質劣化しないように埋め込む必要がある。その為、Fig.3 に示すように人の目で識別が難しい極小のパターンを画像に連続的に重畳する。情報の埋め込みはマスクパターンを用いる。「0」と「1」で表現された実データに誤り検出訂正符号 [1]を追加し、埋め込みデータを作成する。誤り検出訂正符号は情報を読み取る際に実データに誤りを検出訂正する事ができる。「0」と「1」で表現された埋め込みデータに対し、それぞれ異なるマスクパターンを用いて画像に適用する。マスクパターンを適用する画像を RGB 画像とすると、Red は以下の式で表すことが出来る。

$$R'(x,y) = R(x,y) + mask(x,y)\lambda_{\mathrm{color}}$$

xとyは画素のx方向、y方向の位置を表している。$R(x,y)$および$R'(x,y)$はマスクパターン適用前後の Red の画素値を表している。$mask(x,y)$は該当する画素位置がマスクパターンの「-1(マイナス)」「0(変化なし)」「+1(プラス)」のどの値が適用されるかを示している。λ_{color}は重み係数であり、色毎に値を変えることが出来る。Green 及び Blue についても Red と同様の計算を行う。画像の所定の領域毎にマスクパターンを適用する事で、情報が埋め込まれた画像が生成される。生成された画像を高精度に紙面上で表現するために、インクジェットプリンタを使用して印刷する。その結果、人の目では識別できず、カメラでは識別可能なパターンを印刷物上に表現する事ができる。

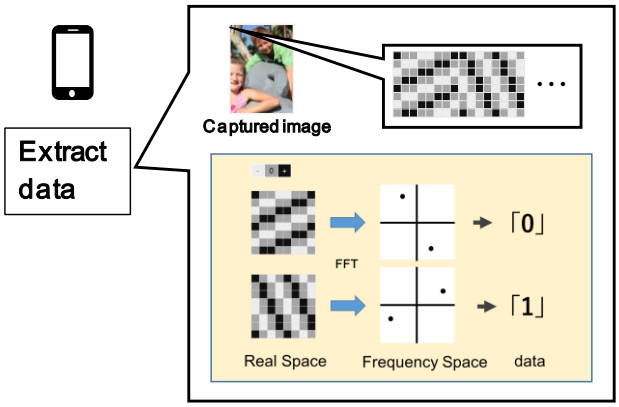


Fig.4 Decoding algorithm of steganography.

Fig.4 を用いて情報の読み取りについて説明する。情報の読み取りは周波数解析を用いる。

以下の数式を用いて画像の所定の領域に対して 2 次元のフーリエ変換 [2]を行う。

$$F(\xi,\eta) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)e^{j2\pi(\xi x+\eta y)}dxdy$$

画像データは座標(x,y)の関数$f(x,y)$で表現される。(ξ,η)は周波数を表しており、それぞれ(x,y)軸方向、y軸方向の空間周波数を表している。

Fig.3 で「0」と「1」のパターンとして埋め込んだ印刷物の撮影画像を周波数空間に変換するとそれぞれ異なる周波数に特徴点が発生する。この特徴点を判定する事で「0」と「1」の情報を取得することが出来る。

© 一般社団法人 日本画像学会

３．技術課題

ステガノグラフィ技術の製品化を実現するために導入した処理の一部を紹介する。

３．１　画質劣化を防止する埋め込み方法

既に説明したように画像に情報を埋め込む処理はスマートフォンで行っている。

仮に画像に適用するマスクパターンの振幅量を固定値（重み係数λ_{color}を固定値）にした場合、印刷された埋め込み画像は色毎に周波数の強度が増減してしまうことがわかった。周波数の強度が増えると印刷物の画質劣化が発生する。また、周波数の強度が減ると情報の読み取りが出来なくなってしまう。

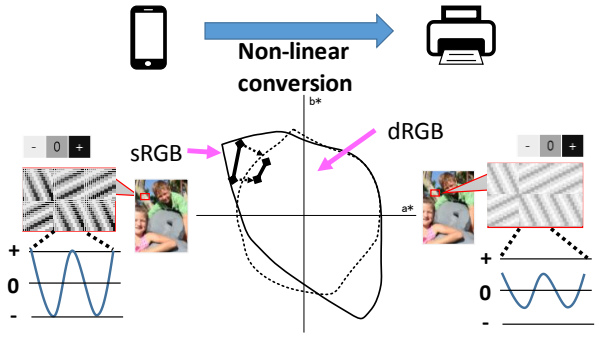


Fig.5 color conversion for printer.

周波数の強度の増減は異なるデバイス間の色変換が影響している。Fig.5 で入力デバイスの色空間を標準色空間(sRGB)、出力デバイスの色空間をプリンタ色空間（dRGB）として色変換により周波数の強度が可変する仕組みを図示している。Fig.5 に示すように入力デバイスと出力デバイスでは色再現域の形状が異なる為、非線形な色変換が行われる。その結果、印刷物上で色毎に周波数の強度が変わってしまう問題があった。

この問題を解決するためには印刷物上で一定の周波数の強度を維持する必要がある。仮に出力デバイスの色空間でマスクパターンを適用する場合の重み係数を$\lambda_{\mathrm{dRGB_color}}$とすると、$\lambda_{\mathrm{dRGB_color}}$を色に依らず一定の値にすることで印刷物上の周波数の強度を一定の値にすることが出来る。しかしながら、MinP の埋め込みフローでは出力デバイスではなく入力デバイスの色空間で情報を埋め込む必要があった。

$$\lambda_{\mathrm{sRGB\_color}} = f^{-1}\left(\lambda_{\mathrm{dRGB\_color}}\right)$$

そこで、出力デバイスの重み係数$\lambda_{\mathrm{dRGB_color}}$から入力デバイスの重み係数$\lambda_{\mathrm{sRGB_color}}$を算出する。具体的には、色毎に非線形な色変換により周波数の強度が増える場合は入力デバイスの重み係数$\lambda_{\mathrm{sRGB_color}}$を減らし、周波数の強度が減る場合は入力デバイスの重み係数$\lambda_{\mathrm{sRGB_color}}$を増やす。

$\lambda_{\mathrm{sRGB_color}}$を$\lambda_{\mathrm{color}}$として色毎に設定したものが前述の画像の RGB 値にマスクパターン適用する式に相当する。そして、λ_{color}を適用する事で印刷物上の周波数の強度が維持される。

３．２　読み取り高速化方法

印刷物からスマートフォンで情報を読み取る際には、出来るだけ素早く情報を読み取ることが求められる。情報を読み取る際にスマートフォンを印刷物上にかざす。印刷物とスマートフォンは固定されていないため、撮影画像中で印刷物の位置も一定ではない。つまり、撮影画像中のどの位置に情報が埋め込まれているかわからないという問題があった。

Fig.6 は情報の読み取り時のフローチャートである。スマートフォンのカメラを動画モードで起動しライトを点灯する。動画モードを用いると連続的に撮影画像を取得することが出来る。次に撮影画像の中で情報の埋め込み位置を探索する。ここで埋め込み位置を素早く探索するために、アンカーブロックを用いる。アンカーブロックは情報が埋め込まれているブロック（以下データブロック）と比較して幅と高さがそれぞれ２倍のブロックである為、データブロックと比較してブロック位置の探索が容易となっている。このアンカーブロックを印刷物の中に所定の間隔で埋め込み、情報の読み取り時にはアンカーブロックを探索してからデータブロックを解析する事で素早くデータを取得することができる。

データ取得後、誤り訂正処理と誤り検出処理を実施する。誤り訂正処理を行う事でデータの一部が間違っていても訂正することが出来、誤り検出処理を実施することでデータが全て取得できたか検出することが出来る。データが完成したら読み取り処理は終了し、データが完成しなかったら再度画像を取得し同様の処理を繰り返す。

前記フローを実施する事で情報の読み取りを素早く行うことが出来る。

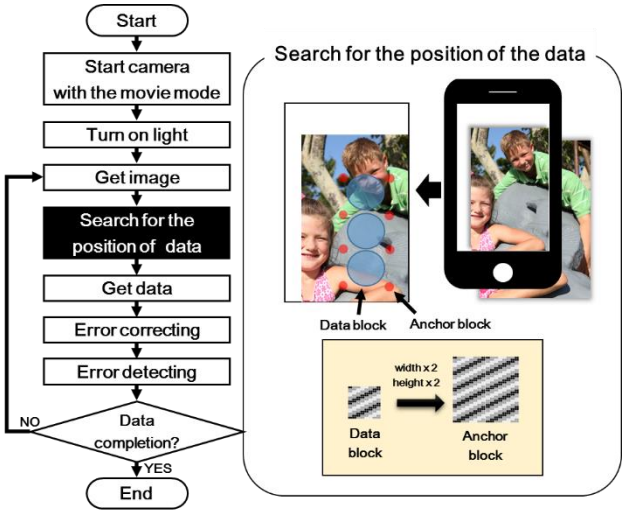


Fig.6 Search for the position of the data.

© 一般社団法人 日本画像学会

４．性能検証

提案したステガノグラフィ技術の効果を示す画質性能と読み取り性能の検証を行った。

４．１　画質性能

画質性能は色変換後の画像を用いて検証する。マスクパターンを適用した画像の振幅の「-(マイナス)」「0(変化なし)」「+(プラス)」の 3 点の輝度差(ΔL^*)に注目する。Fig.7 はマスクパターンを適用後の振幅の輝度差(ΔL^*)を示す図である。印刷物上は極小領域での振幅である為、所定の輝度差以内であれば、一定の距離で印刷物を確認すると振幅が平均化され、パターンは視認できない。検討の結果、振幅の最大輝度差が$\Delta L^*_{max} < 3$であれば視認できない事がわかった。

画質性能の検証として 729 種類の色を含むカラーチャートに情報の埋め込みを行い、色変換後のカラーチャートの各色の最大輝度差(ΔL^*_{max})を算出した。Fig.8 は画質性能の検証結果である。横軸はカラーチャートの 729 色を示し、縦軸は前述の 3 点の中での最大輝度差(ΔL^*_{max})を示している。ほとんどの色が$\Delta L^*_{max} < 3$となっている。一部の色の$\Delta L^*_{max} \geq 3$となっているがこれは黒周辺の色であり、画質劣化しにくい色であることが確認されている。

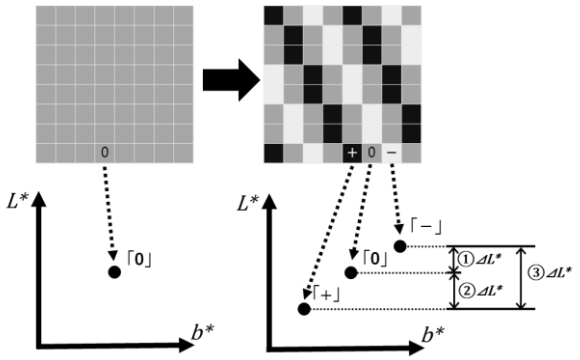


Fig.7 Difference of Luminance.

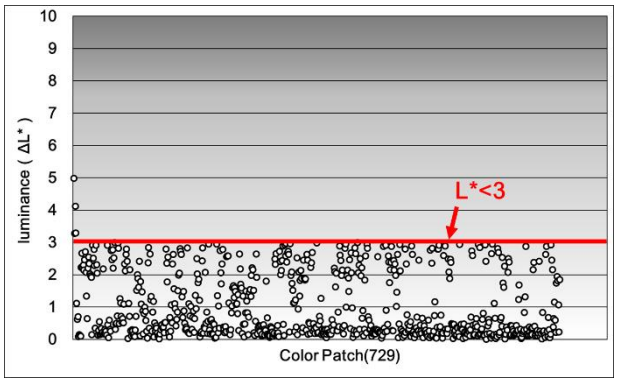


Fig.8 Result of image quality evaluation.

４．２　読み取り性能

読み取り性能は被験者実験によって検証する。スマートフォンを印刷物上にかざして実際に情報を読み取る時間を測定する。被験者 A, B, C, D の 4 名により A～V の 22 種類の印刷物を読み取る時間を測定する。情報の読み取り開始から読み取り完了するまでの時間を測定する。

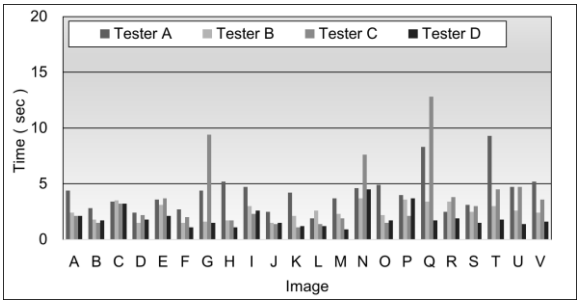


Fig.9 Result of decoding time evaluation.

Fig.9 は読み取り時間の測定結果である。ほとんどのケースで 10 秒以内に読み取りを完了している。

ただし、測定結果は弊社測定条件によるものであり、スマートフォンの処理速度やカメラのオートフォーカスの性能によっては測定結果が変わる可能性があることに注意されたい。

５．今後の課題

読み取りの高速化検討により読み取り操作性に一定の効果が出たが、QR コードの読み取り操作性には達していない。今後は更なる読み取り操作性の改善が必要であると考えている。また、本稿で説明したステガノグラフィ技術は様々な利用用途が考えられる。利用用途を広げるために種々のプラットフォーム（iOS、Android 等）やアプリケーションの形態に柔軟に対応できるようにする必要がある。

６．まとめ

以上述べたように、本稿では“ステガノグラフィ技術の概要”、“写真を劣化せずに情報を埋め込み印刷する技術”及び“印刷された写真から素早く情報を読み取る技術”について説明した。さらに提案した技術により画質性能及び読み取り性能が一定の性能に達していることがわかった。今後も提案した技術の改良及び新たな利用用途を模索し、写真の新たな楽しみ方を提供する事で写真文化の発展に貢献していく。

参考文献

1) Y.Fujii: IPSJ Magazine, Vol.45, No.8, pp.1980-1997 (2004) [in Japanese].
2) 高木（監）, “新編 画像解析ハンドブック”, 東京大学出版会（2011 第 3 版）[in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 画像入力/画像処理/画像感性
[IM] 画像入力，画像処理および画像感性
Image Input, Image Processing and Kansei Imaging
2018年6月19日(火) 12:50 ～ 14:10 レセプションホール (けやき会館 三階)

[IM-03] 大量画像からフォトブックを作成する技術への深層学習の応用
Application of Deep Learning to Technology to Create Photo Books from a Large Amount of Images

*近藤 浩和[1]、野口 幸典[1]、古谷 宏行[1]、蔦岡 拓也[1] （1. 富士フイルム株式会社）
*Hirokazu Kondo[1], Yukinori Noguchi[1], Hiroyuki Furuya[1], Takuya Tsutaoka[1] （1. FUJIFILM Corporation）

デジタルカメラやスマートフォンで撮影した画像をネット上で共有するだけでなく，テーマに沿ったオリジナルの写真アルバムを作成するという楽しみ方も定着してきている．しかし，大量に撮りためた画像から良い写真を選択し，アルバムのページに上手くレイアウトすることは，多くのユーザーにとって大きな課題となっている．これら課題の解決を支援する技術として，当社の写真のノウハウをベースにした独自アルゴリズムによる「Image Organizer」技術を開発して商品・サービスに展開してきた．本報告では，近年，進展が著しい深層学習を取り入れることによる写真選択・レイアウト機能の性能向上について述べる．

©一般社団法人 日本画像学会

大量画像からフォトブックを作成する技術への深層学習の応用

近藤　浩和*，野口　幸典*，古谷　宏行*，蔦岡　拓也*

*富士フイルム株式会社　R&D 統括本部　画像技術センター

Application of Deep Learning to Technology to Create Photo Books from a Large Amount of Images

Hirokazu Kondo*, Yukinori Noguchi*, Hiroyuki Furuya*,and Takuya Tsutaoka*

*Imaging Technology Center, R&D Management Headquarters, FUJIFILM Corporation

In addition to sharing images shot with digital cameras and smartphones on the net, it is also becoming popular to create original photo albums. However, choosing a good photo from a large amount of images taken and laying it well on the page of the album is a big task for many users. As a technology to support the solution of these problems, we have developed "Image Organizer" technology based on our own algorithm based on our know-how of photography and applied it for products and services. In this article, we describe improvement of the performance of photo selection / layout function by introducing deep learning which is remarkable progress in recent years.

１．はじめに

デジタルカメラやスマートフォンで撮影した画像をネット上で共有するだけでなく，テーマに沿ったオリジナルの写真アルバムを作成するという楽しみ方も定着してきている．しかし，大量に撮りためた画像から良い写真を選択し，アルバムのページに上手くレイアウトすることは，多くのユーザーにとって大きな課題となっている．これら課題の解決を支援する技術として，当社の写真のノウハウをベースにした独自アルゴリズムによる「Image Organizer」技術を開発して商品・サービスに展開してきた．本報告では，近年，進展が著しい深層学習を取り入れることによる写真選択・レイアウト機能の性能向上について述べる．

２．Image Organizer 技術の概要

「Image Organizer」とは，大量の写真画像の中から良い写真を自動的に選択する「スマートセレクト」機能，選ばれた複数の画像に最適なページレイアウトを提案する「スマートレイアウト」機能からなり，Year Album サービスにおける確かな画像選択とメリハリのあるレイアウトを実現している．特に写真アルバムで重要な登場人物については顔認識技術を使って中心人物・主要人物を自動で分類する「スマートキャスティング」機能を実現した[1)]．

人物写真が中心のアルバムでは，顔検出による顔の大きさ・向き・表情の評価と，明るさやボケ・ブレ等の評価によって，顧客満足度の高い写真の選択・レイアウトができている．しかし，主要被写体が人物ではない画像での良い写真の選択・レイアウトには，別の評価モデルを導入する検討する必要があった．

３．深層学習による画像認識

主要被写体が人物ではない写真では，写っている物体の種類やシーンが判別できると，写真アルバムとしてより適切なページレイアウトを提案できる可能性がある．このような画像認識技術の歴史は長く，画像認識アルゴリズムの進展とともに大規模なデータセットが作成されることで性能の向上が続いてきた．物体クラスごとに画像が整理されたデータセット ImageNet を使った画像認識コンペティション ILSVRC で毎年新しい手法が提案され性能を競ってきたが，2012 年に深い層構造をもつ畳み込みニューラルネットワーク(convolutional neural network, CNN)が他の画像認識アルゴリズムの性能を大きく上回ったことで，深層学習に大きな注目が集まるようになった[2)]．

４．フォトブック作成で必要な画像認識

CNN による画像認識を実際の商品・サービスで活用するには，商用利用可能な大量の教師データ(正解付きの画像データ)の収集がコスト面での課題となる．また，スマートフォンのアプリ上でも高速に動作させるためには，CNN のサイズ(パラメータ数)を小さくしなければならないというソフト実装上の課題がある．

そこで今回は，認識する物体カテゴリ数をフォトブック作成で有用と考えられる，人・ペット・食べ物・夜景・乗り物・花・アウトドア・インドアなど

＊〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798
＊798 Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa, 258-8538, Japan
e-mail: hirokazu.kondo@fujifilm.com

© 一般社団法人 日本画像学会

を含む 20 以下に絞り込み,実用上の精度が確保できる CNN のサイズを探って行った．前述の AlexNet のネットワーク構造と同じながら，パラメータサイズは約 1/60 とすることで,学習に必要となる画像数を大幅に減らし，スマートフォン上でも実用的な動作速度を確保することができている．

４．１　画像アノテーション

学習用画像として 20 万枚以上の一般画像を収集し上述のカテゴリのラベル(複数)を付けたものを使用した．

また，婚礼アルバムなどの業務用途での写真選択の効率化のためには，例えば，結婚式・披露宴の雰囲気を醸し出すのに不可欠な小物やシーンなどの「イメージカット」と呼ばれる画像を分類することが必要だが，これらの良質な教師データを大量に集めることは困難なので，更にパラメータサイズを小さくして,「イメージカット」かそうでないかの２クラス判別器として実装した．

４．２　良い写真判別

良い写真を判別する方法として，画質や色合いなどの人手で設計した画像特徴量を使って統計的機械学習で判別する手法が報告されている [3]．このような研究で使われている評価のついた画像は写真コンテストなどをソースとしているため，一般ユーザーが多数撮影する写真に比べて作品としてのレベルが高く，また，失敗に近い写真は通常は SNS で公開されることは少ない．

一般ユーザーの写真アルバムの作成を支援するという意味では，失敗に近い写真も適切に判別しなくてはならないが，学習に使える評価のついた画像を大量に準備することは困難である．今回は，社内で保有する失敗写真も含む画像から,約 7000 枚を抽出して一般ユーザー200 名による写真の良さの評価を実施しこれを教師データとした．

しかし，この画像数で CNN そのものを学習することは現実的ではないため，画像アノテーションの物体識別器として学習済みの CNN を転用し，約 7000 枚の画像に対して CNN が出力する特徴量(多次元ベクトル)とその写真の良さを回帰することで,一般ユーザーが撮影した画像に対する一般ユーザーの観点での写真の良さを判別することが可能になった．

４．３　類似画像判別

良い写真と判別された画像であっても，類似した画像が写真アルバムの同じページにレイアウトされるのは好ましくない．したがって，これも一般ユーザーの観点で写真として類似しているかの判別が必要になる．これも良い写真判別と同様に，画像アノテーションの識別器として学習済みの CNN は，一般ユーザーが写真を見る目を既にもっていると考えることができ，１組の入力画像に対して CNN が出力する特徴量の距離で類似画像が判別できることが分かった．

５．性能評価

５．１　評価方法

画像アノテーションの評価は，評価用画像セットに対してカテゴリのラベルあり・なしに正しく分類されたか，精度(precision)，再現率(recall)とそれらの調和平均である F 値(F-measure)で評価する．

類似画像判別も，評価用の類似画像セットと非類似画像セットに対して，類似している・いないの２クラス分類として，画像アノテーションと同様の評価指標を用いた．

良い写真判別の評価は，個人による評価のバラツキが大きいため，評価画像に付けた唯一の良い・良くないの正解を判別できても一般ユーザーの感覚に近いとは言えないため，ここでは複数の評価者の判別結果との一致度を評価した．

５．２　評価結果

画像アノテーションは複数のカテゴリラベルが付いた 5000 枚の評価画像に対して,ラベル別の F 値は乗り物(0.94),夜景(0.93),花(0.90),ペット(0.89),人(0.86)などとなった．婚礼アルバムの「イメージカット」は 400 枚の評価画像に対して F 値は 0.92 であった．

類似画像判別は 200 組の評価画像セットに対して F 値は 0.81 となった．

良い写真判別は 100 枚の評価画像に対して 15 人の被験者がそれぞれ良いと判断した画像に対して，平均 64%の一致度であった．

６．まとめ

本報告では，大量の画像からの写真選択とページレイアウトを支援する Image Organizer 技術へ，近年，進展が著しい深層技術を取り入れることによる機能・性能の向上について述べた．

参考文献

1) Xuebin Hu, Tetsuya Takamori, Kei Ymaji, and Tetsuya Matsumoto, "'Image Organizer Technology' which makes it easy to create photo book from a large amount of image, The 113th Annual Conference of the Imaging Society of Japan (2014).
2) Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", NIPS (2012).
3) Ritendra Datta, Dhiraj Joshi, Jia Li, and James Z. Wang, "Studying aesthetics in photographic images using a computational approach", ECCV (2006).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 画像入力/画像処理/画像感性
[IM] 画像入力，画像処理および画像感性
Image Input, Image Processing and Kansei Imaging
2018年6月19日(火) 12:50 ～ 14:10 レセプションホール (けやき会館 三階)

[IM-04] マルチディスプレイ向けユニフォミティ向上技術
Color Uniformity Correction Technology for Multi-Display

*古市 岳[1]、安達 靖[1]、加藤木 央光[1]、早崎 真[1]、大西 英樹[1]、奥西 稔幸[1]、後藤 俊之[1]、五十嵐 大輔[1]、澤辺 大一[1]、石倉 知弥[1]、山本 治男[1] （1. シャープ株式会社 ビジネスソリューション事業本部　次世代技術開発センター）
*Gaku Furuichi[1], Yasushi Adachi[1], Terumitsu Katohgi[1], Makoto Hayasaki[1], Hideki Ohnishi[1], Toshiyuki Okunishi[1], Toshiyuki Gotoh[1], Daisuke Igarashi[1], Daiichi Sawabe[1], Tomoya Ishikura[1], Haruo Yamamoto[1] （1. Advanced Technology Development Unit, Business Solution Business Unit, SHARP Corporation）

近年、デジタルサイネージ（電子看板）を使った広告が増えており、中でも複数の液晶ディスプレイを組合せた大画面のデジタルサイネージのニーズが高まり、数多く見受けられるようになっている。デジタルサイネージではテレビとは違い、白画面など均一な階調のコンテンツの表示や複数枚の画面を組み合わせた表示が多くなるため、テレビでは大きな問題にならなかった液晶ディスプレイ面内の色ムラ/輝度ムラや面間のばらつきが画質問題となる場合があるため、面内・面間共に高精度な色/輝度均一性の向上を可能とする技術を新たに開発した。本稿では、同技術の概要や特長、実際の製品搭載にあたり解決した技術課題などを中心に報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

マルチディスプレイ向けユニフォミティ向上技術

古市 岳*, 安達 靖*, 加藤木 央光*, 早崎 真*, 大西 英樹*,
奥西 稔幸*, 後藤 俊之*, 五十嵐 大輔*, 澤辺 大一*, 石倉 知弥*, 山本 治男*

*シャープ株式会社 ビジネスソリューション事業本部
次世代技術開発センター

Color Uniformity Correction Technology for Multi-Display

Gaku Furuichi*, Yasushi Adachi*, Terumitsu Katohgi *, Makoto Hayasaki*, Hideki Ohnishi *,
Toshiyuki Okunishi*, Toshiyuki Gotoh*, Daisuke Igarashi*, Daiichi Sawabe *, Tomoya Ishikura* and Haruo Yamamoto*
*Advanced Technology Development Unit,
Business Solution Business Unit, SHARP Corporation

Recently, advertisements using digital signage are increasing. Among of those, multi-LCD (Liquid Crystal Display) has a great need and can be seen in many places. In the digital signage field, since many LCDs are assembled as one big single display and/or to display a certain single color level, such as white and/or major colors, there are some image quality issues of luminance and color mura (un-uniformity) in the single display and the color differences among the displays that are not big issues in the consumer LCD-TV field. Therefore, we developed new technologies to improve the uniformities of luminance/color precisely for both of the single display and the multi-display. In this paper, we will mainly introduce about the general description of the issues, the features of our luminance/color uniformity correction technologies, and the issues we resolved by implementing those technologies in our LCD products.

１．はじめに

近年、デジタルサイネージ(電子看板)は交通/公共/教育機関や商業施設などへの導入が多くなっている。デジタルサイネージで使用される業務用液晶ディスプレイは、業務用途に適した耐久性やパフォーマンスを兼ね備えており、高解像度で情報量が多く、屋内/屋外にも設置が可能で、経年劣化も少なく、メンテナンスがしやすい利点を持っている。

民生用の液晶 TV と異なり、商品やコーポレートカラーなどの静止画も長時間表示させる場合があるため、個々の液晶ディスプレイでの高精度(忠実)な色再現が要求されるが、液晶ディスプレイの構造において、液晶パネル内のセル厚のばらつきによる色の変化やバックライトの配置による明るさの変化が主な原因で色ムラや輝度ムラが生じてしまう。また、訴求効果を高めるため、複数の液晶ディスプレイを縦横配置したマルチディスプレイで組むことも多く、大画面マルチでの色再現の一体感も重要である。

個々の液晶ディスプレイの高精度な色再現を実現するためには、面内(画面内)の色再現が均一である必要があり、更に、製造工程や材料のバラツキにより生じる異なるディスプレイ間での個体差を吸収する必要がある。よって、これらの面間の色を合わせるための色調整技術(面間カラーマッチング)も要求される。また、表示色約 10 億色(RGB3 色 10bit での全組み合わせ)に対し、面内の色ムラ(以後、輝度ムラも含む)補正と面間カラーマッチングを製造工程上で短時間に、かつ、低コストで実現しなくてはならない。

このように液晶ディスプレイをデジタルサイネージに利用する利点は多く、今後市場拡大が期待される。それに伴い高精度で低コストに実現可能な色再現/色調整技術が必要になっている。当社では、それらを実現する技術「SHARP UCCT」(Uniform Color Calibration Technology)を開発し、2015 年発売の PN-V551 に搭載した。翌年には、更に進化させた「SHARP Advanced UCCT」を開発し 2017 年発売の PN-V701 に搭載している。本稿ではその技術の一部を紹介する。



Fig1: Image of multi-layout of PN-V701

＊〒261-8520 千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2
＊1-9-2, Nakase, Mihama-ku, Chiba-shi, Chiba, 261-8520, Japan

© 一般社団法人 日本画像学会

２．面内色ムラ補正技術

まずは、個々の液晶ディスプレイにおける面内の色ムラ補正技術について説明する。色ムラ補正と面間カラーマッチングは液晶ディスプレイの製造工程内(Fig2)で行われ、液晶ディスプレイに様々な色を表示させ、それをカメラで撮影し、色ムラの状態を取得する。色ムラ補正に使用する色はグレー色や主要 RGBCMY 色の各色からいくつかの階調を選択し、製造工程での処理時間に応じた色数を選定する必要がある。撮影するカメラに起因するデータの不均一性を予め取り除くため、シェーディング補正や幾何学補正を行い、測定値から色度 XYZ 値に色変換を行う。表示色に対し、目標 XYZ 値とカメラにより得られた測定 XYZ 値をもとに、目標値との差分 XYZ 値から対象の液晶ディスプレイの補正すべき RGB 値を算出する。

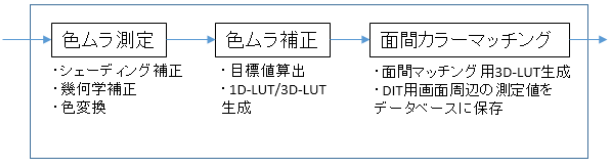


Fig2: Process of color uniformity correction in the product line

これを液晶ディスプレイのピクセル単位ごとに適切な補正値を算出することが理想ではあるが、この場合膨大なメモリ容量と処理能力が必要になってしまう。そこで、可能な限り低コストで、高精度な色ムラ補正を行うため、当社は 1D(１次元)-LUT(ルックアップテーブル)と 3D(３次元)-LUT の構成で実現した。なお、選定された色以外の補正値は、算出された補正値の補間により求められる。

1D-LUT では、画面を小さな領域ごとに分割し、その局所領域における各 RGB の階調を調整できるようにした。そして、1D-LUT は主に輝度ムラを補正することになる。局所領域の数は多くなるものの、個々の領域における補正テーブル数が少ないため、比較的メモリ容量を削減することが可能になる。(Fig3)

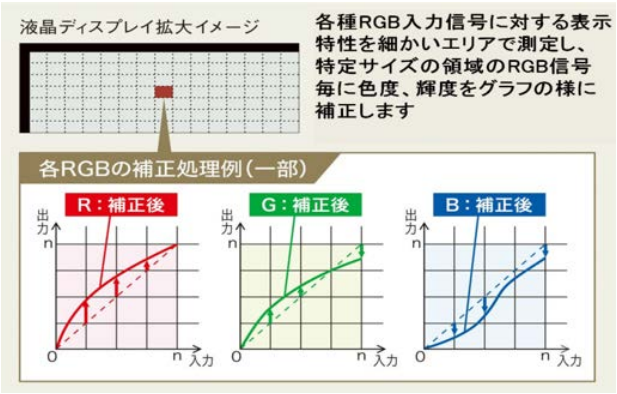


Fig3: 1D-LUT at local area in the display

一方、3D-LUT は、画面を比較的大きく分割し、色の彩度、色相方向の調整用として、1D-LUT で補正しきれなかった色ムラを補正するために利用する。しかし、3D-LUT を 1D-LUT と同じ階調分の調整箇所数(N)で設けると、N^2倍のメモリ容量に増大してしまう。(Fig4)

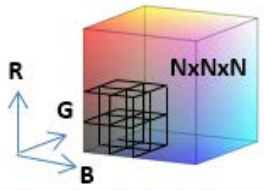


Fig4: Image of one area of 3D-LUT in the display

そこで、このメモリ容量を低減しながら、高画質化を実現させるため、３つの手法を用いた。まず、①高次元(測定色×RGB3 色の補正値)の色情報をクラスタリングすることで、補正テーブル数を削減した。(Fig5)

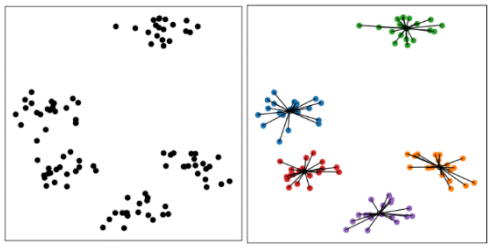


Fig5: Image of clustering method

Fig5 の(a)はクラスタリング開始時の初期状態であり、開始点（初期シーズ）とこれらの点(色情報)における最近傍にもとづいてクラスタ分けし、各クラスタで重心、最近傍、クラスタの再分割のサイクルを、重心の移動がある一定値以下になるまで繰り返す(Fig5(b))。色ムラの状態により総クラスタ数を変えることができ、各クラスタに共通の１つの 3D-LUT を用いることで、全ピクセルにテーブルを持たせた場合と比べ、大幅にテーブル数を削減でき、低コストになる。

しかし、この手法だけでは、トーンギャップ(擬似輪郭)や粒状感(ノイズ感)が出てしまうので、高画質化させるため、別途②ギャップ軽減処理と③粒状感改善処理を施している。

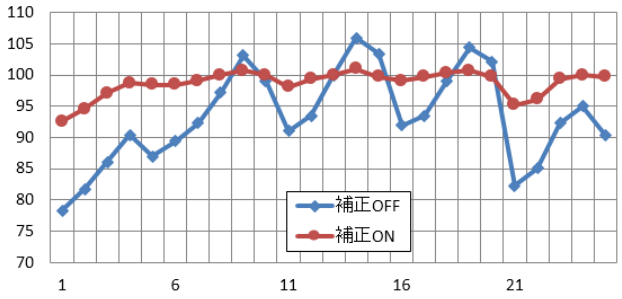
このように 1D-LUT と 3D-LUT を組み合わせることにより、少ない測色数とメモリ容量を抑えながら、色ムラを補正し、高画質化にすることが可能になる。

Fig6 は、面内を縦 5×横 5 に均等割りした箇所(Fig6(a))における補正 OFF と ON の輝度比と色度分布の比較結果である。輝度比(Fig6(b))は、明らかに補正 ON の方が補正 OFF に比べ輝度比が一定に近づいており、色度分布(Fig6(c))も、補正 ON の方が補正 OFF に比べ、画面中央の色度に集まっていることから、本補正処理を行うことで、色ムラ/輝度ムラ共に改善されていることが分かる。

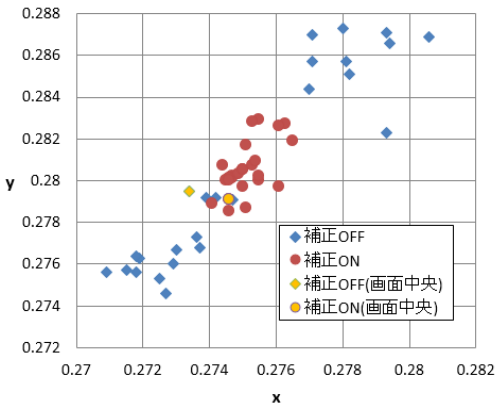
© 一般社団法人 日本画像学会



(a) 25 evaluation points on the display



(b) Luminance ratio



(c) Chromaticity distribution map

Fig6: Result of color uniformity correction

ただし、色ムラを優先的になくすよう(全面を均一)にすると、ディスプレイの最高輝度の能力は出せず、エッジやコーナー付近の低輝度側に合わせないといけなくなってしまい、画面全体が暗くなる傾向にある。輝度低下はデジタルサイネージにおいて視認性を下げることになり、利用するユーザーにとって好ましくない場合がある。そのため、利用するユーザーの意図に合うように複数のモードを設けるようにした。高輝度モードは、最高輝度をできるだけ確保しつつ主に色ムラを補正し、ムラ補正優先モードでは、輝度をやや抑えながら、色ムラ/輝度ムラ両方を可能な限り補正する。これは入力階調を、ムラ補正優先モードでは画面のエッジでの最高階調と同じ輝度になるような階調付近まで画面全体の階調を落とすように調整することで実現できる（高輝度モードでは入力階調は調整しない)。

3．面間カラーマッチング技術

個々の液晶ディスプレイの色再現領域は、製造/材料のバラツキにより個体差が生じる場合がある。そして、この異なる液晶ディスプレイをマルチに組むと、１つ１つの液晶ディスプレイ内の色再現は均一であっても、コンテンツを全画面で表示するマルチディスプレイでの一体感が得られにくい。広告として表示される商品が異なるディスプレイ間をまたいで表示されると、その商品の本来の質感や訴求力を損なってしまう。また、人間にとって敏感な人肌ではコンテンツの内容とは異なった印象を与えてしまう。

そのため、異なる液晶ディスプレイでマルチに組んだ場合においても、マルチ全体での色均一性が保てるような色調整技術が必要であり、ここでは色調整技術にあたる面間カラーマッチング技術について説明する。

面間カラーマッチングも面内の色ムラ補正と同様、限られた色数の中での高精度なカラーマッチングを行う必要がある。予め、目標値(目標とする色特性情報)を設定し、液晶ディスプレイの機種における基準色特性値と製造工程上のディスプレイにおける主要色を含む複数色の測定値に基づき、目標値に近づくような 3D-LUT の調整値を求める。製造工程上で測定できる色数は限られており、それら以外は線形補間で求められるため、誤差が生じやすい。そのため、補間値に対し、前述の基準色特性値との差分を加算することで(差分補正加算)、補間精度の向上を図っている。(Fig. 7)

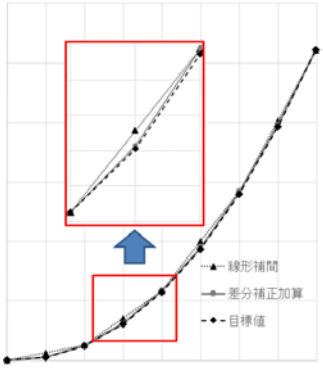
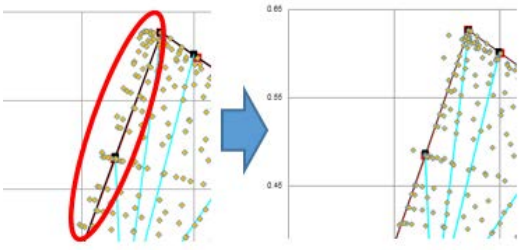


Fig7: 3D-LUT interpolation for color matching

また、この面間カラーマッチングにより、例えば色域外にあった対象ディスプレイの表示色(Fig8(a))は目標値に近づき、色域内にほぼ収まるようになり(Fig8(b))、面内・面間含めて色再現が均一性/一体感のあるマルチディスプレイが実現される。



(a)Before color matching (b) After color matching

Fig8: Before/after of applying color matching around green region of chromaticity diagram

© 一般社団法人 日本画像学会

４．設置時/設置後の色調整ツール(DIT:Display Installation Tool)

面内の色ムラ/輝度ムラ補正と面間カラーマッチングを行ったとしても、マルチで組んだ場合に隣り合うディスプレイのエッジ付近での僅かな色の違いが目立ってしまう場合がある。そのため、予め製造工程上(Fig2)で個々の液晶ディスプレイの画面周辺付近を数カ所測定し、その測定値をデータベースに保存しておく。その測定値をもとに、DIT は画面付近の色の似たもの同士を隣り合わせるように、設置現場での最適なレイアウトを求める。

また、マルチディスプレイを設置後、個々のディスプレイの経年変化の度合が異なり、それによって、ディスプレイ間での色がずれてしまう場合がある。この場合、ディスプレイに接触するような測色機を用いても、非接触型のカメラを用いても、色調整できるような機能が DIT に備わっており、メンテナンスも容易にできるようになっている。

５．終わりに

このように色ムラ補正技術でディスプレイ面内の色均一性を向上し(Fig9(b))、面間カラーマッチング技術で異なるディスプレイ間の一体感を向上させ、設置時/設置後には DIT を用いることで、様々な状況での柔軟な対応と利便性を上げることが可能になった(Fig9(c))。



(a) Image of before correction



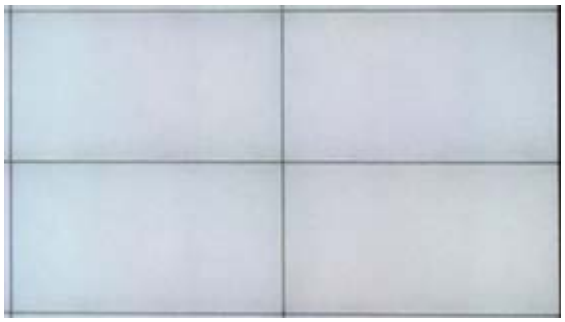
(b) Image of after color uniformity correction



(c) Image of after color matching and DIT

Fig9: Image of color uniformity correction

最後に、それらを適用した実際の設置結果を Fig10 に示す。



(a) Before correction



(b) After correction

Fig10: Before/after of color uniformity correction

今回紹介した色ムラ補正技術、色調整技術は製造工程上で短時間に、またメモリ容量削減で低コストでありながら、高精度/高画質化を実現できるものである。今後は液晶ディスプレイだけでなく、他のデジタルサイネージ媒体(LED ディスプレイ、プロジェクター)にも応用していきたい。

参考文献

1) 三宅洋一,"ディジタルカラー画像の解析・評価", 東京大学出版会(2000)[in Japanese].
2) 大田登, "色再現光学の基礎", コロナ社(1997)[in Japanese].
3) 映像情報メディア学会編, "カラー画像工学", オーム社出版局(1997)[in Japanese].
4) 日本色彩学会編, "カラーサイエンス", 朝倉書店(2004)[in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electrophotography

[EPm] Electrophotographic Materials

Session Chair:Tatsuya Tada(Ibaraki　University), Akihiko Itami(Konica Minolta, Inc.)

Tue. Jun 19, 2018 1:00 PM - 2:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EPm-01] Development of New Solid-capsuled Toner

*Masami Tsujihiro[1], Masaki Okita[1], Hidetoshi Miyamoto[1], Naruo Yabe[1], Yoshio Ozawa[1] （1. KYOCERA Document Solutions Inc.）

1:00 PM - 1:20 PM

[EPm-02] Investigation of Fogging Toner by Measurement Technique for Electrostatic Charge on Single Particle with MEMS-based Actuated Tweezers

*Daichi Yamaguchi[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

1:20 PM - 1:40 PM

[EPm-03] Adhesion of Liquid Electrographic Images with a Substrate in Flexible Packaging

*Chisato Urano[1], Osamu Ide[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

1:40 PM - 2:00 PM

[EPm-04] Application of Volatile Liquid Toner for Liquid Electrophotography System Using High Concentration Contact Developing Method

*Yuki Yokoyama[1], Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

2:00 PM - 2:20 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EPm] 電子写真材料
Electrophotographic Materials

2018年6月19日(火) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPm-01] 新規ソリッドカプセルトナーの開発
Development of New Solid-capsuled Toner

*辻廣 昌己[1]、大喜多 正希[1]、宮本 英稔[1]、矢部 成男[1]、小澤 義夫[1] （1. 京セラドキュメントソリューションズ株式会社）

*Masami Tsujihiro[1], Masaki Okita[1], Hidetoshi Miyamoto[1], Naruo Yabe[1], Yoshio Ozawa[1] （1. KYOCERA Document Solutions Inc.）

長期にわたる画質の安定性を達成し, 次世代の省エネシステムに対応する新規カプセルトナーを開発した. 製法としては, 乾式プロセスと湿式プロセスを組み合わせた独自の生産システムでポリエステル素材の特徴を最大限に高め, その表面に薄膜のカプセルを形成したものである. 結果として, 十分な耐熱保存性を確保しつつ高い省エネ性能と長期にわたる画質の安定性を達成した. 本稿では, TASKalfa6052ciなどに搭載, 商品化した新規カプセルトナーの特徴, 性能について述べる.

New capsuled toner that achieves long-term image quality stability and corresponds to the next-generation energy saving system. As a manufacturing method, it is our unique production system combining a dry process and a wet process to maximize the characteristics of polyester material and form a capsule of thin film on its surface. As a result, we achieved high energy saving performance and long term stability of image quality while securing adequate heat preservability. On this paper, we describe the feature and performance of the new capsule toner installed and marketed in TASKalfa 6052ci and others.

©一般社団法人 日本画像学会

新規ソリッドマイクロカプセルトナーの開発

辻廣 昌己*，大喜多 正希*，宮本 英稔*，矢部 成男*，小澤 義夫*

*京セラドキュメントソリューションズ株式会社

Development of New Solid-micro-capsuled Toner

Masami Tsujihiro*, Masaki Okita*, Hidetoshi Miyamoto*, Naruo Yabe*, and Yoshio Ozawa*

* KYOCERA Document Solutions Inc.

The various toners have been developed during 80 years until now since C.Carlson developed the image of letter “ASTORIA” by using dyed spore under studying of electro-photography in 1938.
In last 20 years, there were big changes that the binder resins shifted from styrene-acrylic to polyester by the material point of view, and the save energy became the keyword. Moreover, the wet chemical method became popular instead of the dry kneading pulverizing method by the production process point of view.
After reviewing the two changes, we report about the capsuled toner by our new dry and wet processes.

１．はじめに

C.Carlson が電子写真の研究の中で 1938 年に ASTORIA の文字を植物の胞子を染色したトナーで現像してから 80 年になり，今日まで様々なトナーが開発されてきた．直近の 20 年間の大きな変化は素材面では結着樹脂がスチレン-アクリル系からポリエステル系を主体とした樹脂にシフトし，省エネが重視されたこと，製法面では乾式プロセスの混練粉砕法から湿式プロセスのケミカル法が一般化したことである．

ここでは，この二つの変化の振り返りを行った後に当社の新たな乾式-湿式プロセスによるカプセルトナーについて述べる．

１．１　トナーの素材面と製法面の変化

混練粉砕法ではスチレン-アクリル系樹脂からポリエステル系樹脂への移行が進み，さらには非結晶性ポリエステル樹脂の中に結晶性ポリエステル樹脂を微細に混合して低温定着性を達成する技術が一般化し，ケミカルトナーと同等レベルの省エネを達成している．[1)] 設備面でも微粉砕機の内部ローターの冷却によって温度に敏感で粉砕熱で軟化しやすい素材においても粉砕効率が飛躍的に向上し，トナーの小径化についても対応可能になっている．[2)] 混練粉砕法は乾式プロセスのため不純物の混入を懸念することなく多様な素材が使用可能であり，設計の自由度が高い等の利点はあるが，省エネ設計をした場合，樹脂設計を低分子量化する必要があり，ブロッキング性をどう担保するかが課題である．湿式プロセスのケミカル法においてもスチレン-アクリル系のモノマーを用いた懸濁重合法や乳化重合凝集法から，省エネの要求に対応するためポリエステル系の結着樹脂を用いた溶解懸濁法[3)] やエステル伸長重合法[4)] へとシフトしてきた．溶融性を改良する目的で結晶性ポリエステルの使用も一般化してきている．これらのケミカルトナーは形状が正確に制御され均一性が高いために画質の鮮明さや安定性に優れている．

一方，ポリエステル系樹脂は縮重合法で合成されるため，湿式プロセスのケミカル法でトナー化するためにはいったん合成した樹脂を溶剤で溶解させるか乳化等で微細化した後に凝集させる必要があり，生産プロセスに必要な界面活性剤や溶剤の除去・回収に多大なコストを要する．また洗浄残の界面活性剤等がトナーの帯電に影響を与え，環境によっては画質を変化させることもある．

当社が新たに開発したトナーは乾式プロセスと湿式プロセスを組み合わせることで設計自由度を高めると同時に生産時の環境負荷を大きく低減した独自の製法である．このトナーのモデル図を Fig.1 に示す．

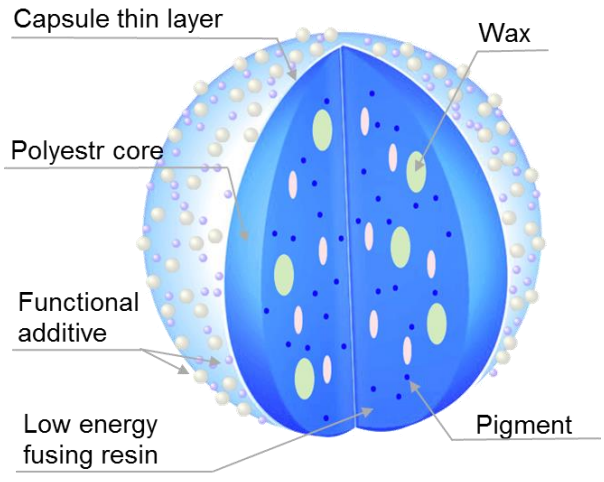


Fig.1 Solid-micro-capsuled toner image.

＊〒540-8585 大阪市中央区玉造 1-2-28

© 一般社団法人 日本画像学会

1．2　ソリッドマイクロカプセルトナー

ソリッドマイクロカプセルトナーとは固体微粒子表面に薄膜のカプセル膜を形成するカプセル化技術で作製したトナーである．

各種微粒子の表面をカプセル化する手法は古くから試みられ，医薬品や食品分野等において広く製品化されている．この手法を用いたトナーの特許出願[5]やトナー化の実験報告もされているが[6]製品化された例はない．技術的な課題はカプセルのコアとなる粒子表面の特性とマイクロカプセル材料との結合の制御，および定着ニップにおけるカプセル破壊を制御できるかが課題であった．当社が開発したマイクロカプセル化技術は，コア材料として露出界面を制御したポリエステル樹脂を開発したこと，独自のカプセル材を開発したこと，さらにカプセル薄膜を形成する製造プロセスを開発したことである．製法として，乾式プロセスでコアを作製することでトナー粉体粒子の設計自由度を高め，湿式プロセスをカプセル化に集中させて界面活性剤や分散剤などの使用を無くし，カプセル化工程に要する水の使用量を極小とすることが可能になり，生産プロセスにおける環境負荷低減と各種環境下での帯電の安定が図られた．以下，具体的なカプセル化技術と製法について記す．

2．ソリッドマイクロカプセルトナーの構造と製法

2．1　ソリッドマイクロカプセルトナーの構造

Fig.1 に示したモデル図においてバインダ樹脂，ワックスおよび着色材で構成された低温定着ポリエステルコアを保護する目的でコア表面にカプセル薄膜を形成する．カプセル化材のタイプによってトナーの正または負に帯電性を制御することができる構造である．

2．2　ソリッドマイクロカプセルトナーの製法

ソリッドマイクロカプセルトナーの製法を Fig.2 に示す．Step1 においてポリエステルコアとカプセル化材を混合する．Step 2 ではポリエステルの表面活性を利用してコア表面とカプセル化材との密着性を高め，カプセルの前駆体を形成させる．Step 3 においては加熱反応処理でコア表面とカプセル化材の化学的なインターラクションを高めつつ粒子形状を適正なレベルにまで制御する．トナーは円形度を上げると現像性や転写性が向上する一方で，ブレードクリーニング性は悪化する．この製法は搭載するプロセスの特性に応じて混練粉砕トナーの形状から真球に近い形状にまで自由に制御することが可能である（Fig.3）．反応が終了した後，脱水・乾燥工程を経てソリッドマイクロカプセルトナーを得る．

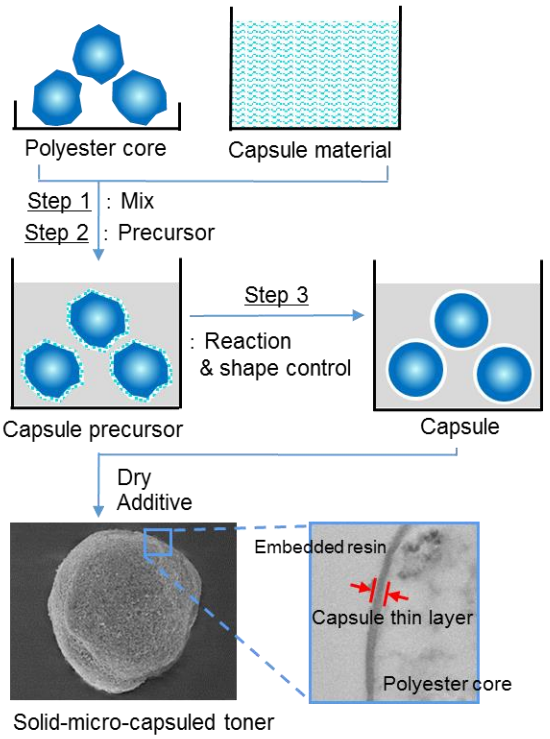


Fig.2　Manufacturing process of the solid-micro-capsuled toner.



Fig.3　Toner shape control.

3．ソリッドマイクロカプセルトナーの特性

3．1　定着性能

Fig.4 において当社のソリッドマイクロカプセルトナーと従来トナーの定着可能領域を比較した．このグラフの幅は定着器の定着可能温度の範囲を示している．当社の新規開発トナーは従来のトナーと比較して 40℃以上の低温定着性を有しており，多様な定着システムについて対応が可能である．

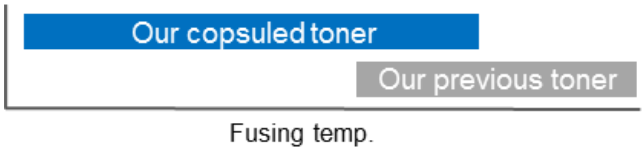


Fig.4 Fixable temperature range.

© 一般社団法人 日本画像学会

Fig.5 に低温定着ソリッドマイクロカプセルトナーを搭載した当社カラーＡ３複合機 TASKalfa 6052ci の消費電力は従来機と比較して半減した.

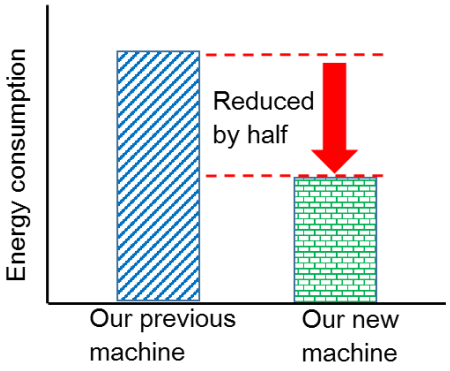


Fig.5 Comparison of energy consumption.

３．２　定着性能と保存安定性の両立

一般に, 低温定着性と保存安定性はトレードオフの関係にある. 従来のコア-シェル型のケミカルトナーにおいてもその関係は両立していない. 当社ソリッドマイクロカプセルトナーは, カプセル薄膜の強度を高くすることで, この関係にとらわれることなくこの相反する性能を両立させることができた（Fig.6）.

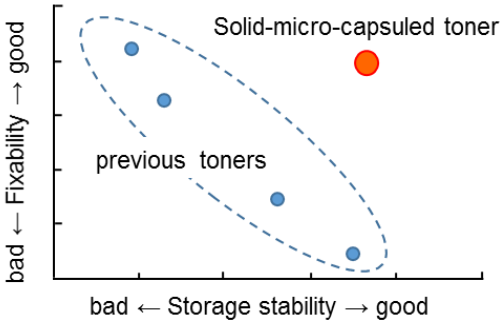


Fig.6 Relationship between Storage stability and fixability.

３．３　帯電制御

混練粉砕法トナーは帯電性を付与するために CCA（帯電制御剤）や CCR(帯電制御樹脂)を使用し, 粉砕界面に露出したそれら薬剤で帯電性を制御していた. 当社の新しいトナーはカプセル薄膜の材料に帯電性のモノマーを共重合し, カプセル膜がポリエステルコアを保護すると同時に, 帯電付与と制御機能を有する設計をした. この製法では使用するモノマーを選ぶことでトナーの極性を自由に変えることが可能である. Fig.7 はトナーとキャリアを混合・攪拌し続けた場合のソリッドマイクロカプセルトナーの帯電量変化を示した. この新規開発トナーは正帯電であっても負帯電であっても帯電量の変化が小さい.

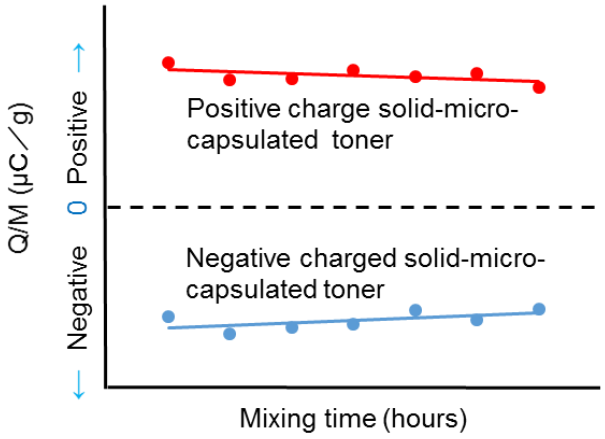


Fig.7 Relationship between Q/M and mixing time

Fig.8 に環境変化に伴う帯電量の変化を当社のソリッドマイクロカプセルトナーと従来トナーとを比較して示した.

当社ソリッドマイクロカプセルトナーにおいては, カプセル材料が帯電制御を受け持つため, ポリエステルコアの環境変化に伴う水分子の吸着で生じる帯電の変化をうけにくい.

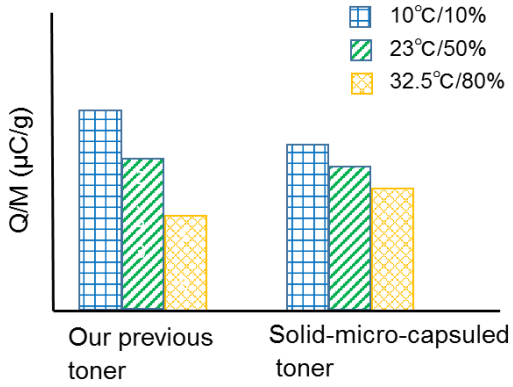


Fig.8 Charging stability.

３．４　架橋微粒子の開発

当社では架橋構造を有する有機微粒子のことを CLP(Cross Linked Particle)と呼び, ソリッドマイクロカプセルトナーの外添材料として開発した.

従来, 大粒子径のシリカ[7]や樹脂微粒子[8]が使用された例はあるが, 大粒径シリカは硬いカプセル薄膜から脱落しやすい. また, 樹脂微粒子は強度が不十分で変形しやすい. そこで, 当社はソリッドマイクロカプセルトナーの保存安定性や帯電安定性をさらに向上させることを目的としてこの CLP を開発した. CLP の走査型電子顕微鏡写真を Fig.9 に示した.

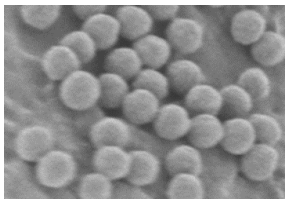


Fig.9 SEM image of CLP on our toner.

© 一般社団法人 日本画像学会

このCLPをソリッドマイクロカプセルトナー表面に配合することによってカプセル膜の安定性をさらに向上させ長期にわたる画像の安定性を図ることができた.

３．５　長期安定性

当社のソリッドマイクロカプセルトナーは低温定着性を有しながら長期にわたって帯電性を一定に保ち, 出力画像を高いレベルで安定化できる. 当社ソリッドマイクロカプセルトナー搭載の TASKalfa 6052ci は 60 万枚出力後も良好な画質を維持した. Fig. 10 には 60 万枚出力後の帯電量分布を示した. 当社の新規開発トナーは初期の分布を殆ど維持していた.

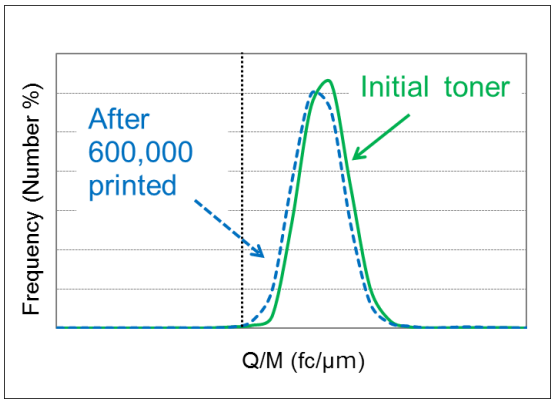


Fig.10　Toner charge distribution after 600,000 printed.

４．まとめ

固体粒子表面に薄膜を形成するソリッドマイクロカプセル法によるトナーを開発, 商品化した. 今回開発したカプセル化技術では帯電コントロールおよび形状コントロールをカプセル化と同時に行い, トナー性能向上を図った. この新規開発トナーを TASKalfa 6052ci などに搭載し, 長期にわたる画像安定出力と省エネ性能の大幅な向上が確認できた.

Fig. 11 に代表機種を示した.



Fig.11 Appearance of the onboard models.

参考文献

1) N.Fukuri"Low energy fusing toner by controlling nano dispersion of crystalline polyester", IS&T's NIP24 International Conference on Digital Printing Technologies, 78 (2008).
2) 古川,"高冷却型機械式微粉砕機グラシスを使ったトナー処理" 粉砕 No 75(2014)［in Japanese］
3) 大門, "EA-Eco Toner", 富士ゼロックステクニカルレポート No.20 2011［in Japanese］
4) 八木,"Ricoh Technical Report", No.29 DECEMBER, 2003［in Japanese］
5) 特開平 2013-109330［in Japanese］
6) 日暮," 電子写真トナーのマイクロカプセル化", 日本画像学会誌第 43 巻第 3 号（2004）Nigel J. Bunce, "Environmental Chemistry", Wuerz Publishing Ltd. (1991), pp. 1-115. ［in Japanese］
7) 松村," ゾルゲルシリカ微粒子", 日本画像学会誌第 54 巻第 2 号（2015）［in Japanese］
8) 塚田," 有機微粒子のトナー用添加剤への応用", 日本画像学会誌第 54 巻第 2 号（2015）［in Japanese］

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPm] 電子写真材料
Electrophotographic Materials
2018年6月19日(火) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPm-02] MEMSピンセットによる一粒子帯電量計測技術を用いた地汚れトナー解析
Investigation of Fogging Toner by Measurement Technique for Electrostatic Charge on Single Particle with MEMS-based Actuated Tweezers

*山口 大地[1] （1. 株式会社リコー）
*Daichi Yamaguchi[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

In situ measurements of charge of fogging toner have been carried out using measurement technique with MEMS-based Actuated Tweezers and AFM cantilever. Because this technique enables picking up single particle and measurement of the charge successively, the technique has great potential for application to the analysis of single isolated toner particles, such as those in fogging. The fogging toners on the flat ITO substrate were generated with several voltage conditions, and the amounts of fogging toners were quantified by image analysis. The relationship between the amount and the charge of fogging toner were analyzed. The results demonstrate that the amount of fogging toners decreases as the charge of fogging toners increases positively.

©一般社団法人 日本画像学会

MEMS ピンセットによる一粒子帯電量計測技術を用いた地汚れトナー解析

山口　大地*

*株式会社リコー　研究開発本部

Investigation of Fogging toner by Measurement Technique for Electrostatic Charge on Single Particle with MEMS-based Actuated Tweezers

Daichi Yamaguchi

*Research and Development Division, Ricoh Company, Ltd.

In situ measurements of charge of fogging toner have been carried out using measurement technique with MEMS-based Actuated Tweezers and AFM cantilever. Because this technique enables picking up single particle and measurement of the charge successively, the technique has great potential for application to the analysis of single isolated toner particles, such as those in fogging. The fogging toners on the flat ITO substrate were generated with several voltage conditions, and the amounts of fogging toners were quantified by image analysis. The relationship between the amount and the charge of fogging toner were analyzed. The results demonstrate that the amount of fogging toners decreases as the charge of fogging toners increases positively.

１．はじめに

非画像部にトナーが付着する“地汚れ“現象は，電子写真技術にて頻出する課題である．電子写真は，摩擦帯電させたトナーを電界で移動させることで画像を形成する技術であり，非画像部は，正規帯電したトナーが移動しないように電界設計される．その為，地汚れトナーは帯電不良を起こしていることが予測されるが，その検証は必ずしも容易で無いケースも存在する．ブローオフ法やE-spart 等の，既存の帯電量計測手法では，計測粒子数がマクロスケールであり，現像器内トナーや画像部トナーも含めて評価することが多い[1),2),3)]．地汚れ現象と帯電量の計測値との相関が表れにくくなる為である．

上記の地汚れのような，電子写真の少量異常発生トナーの状態を見極めるべく，筆者は，MEMS ピンセットを用いた一粒子トナーの帯電量計測技術を開発した[4)]．MEMS ピンセットで把持した任意の一粒子トナーをカンチレバーに近接させることで発生する，カンチレバーの反りから，把持したトナーの電荷を計測するという技術である．従来の原因解析のアプローチでは，現像装置や感光体上の一定量以上のトナーの平均帯電量，すなわち，狙い通りに機能しているトナーも含めた計測するのに対して，本技術は異常トナーのみの帯電量を直接計測する．部品等に付着した異常トナーについて in situ な電荷量計測を行うことで，異常現象に対して，感度の高い評価手法となり，より明確な因果関係を導き出せることが期待できる．

本研究では，モデル試験機により，地汚れ現象を模擬したトナーを発生させ，MEMS ピンセットによる帯電量計測技術で解析した．以下に結果を報告する．

２．実験方法

感光体を模擬する平板サンプルを用いて，単体試験機により地汚れ現象を再現した．平板サンプルには，ガラス表面に ITO 層を形成した導電性基板を用いた．Fig. 1 における現像ローラ，及び，ITO に Table 1 の条件で電圧を印加した．現像剤には，負帯電性トナーを混合した二成分現像剤を用いた．ブローオフ法にて計測した帯電量 Q/M は，-22 μC/g であった．

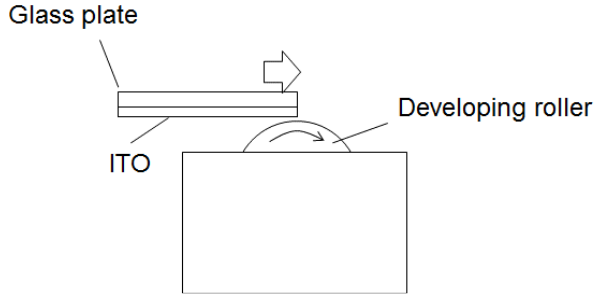


Fig.1 Experimental setup

〒243-0460 神奈川県海老名市泉二丁目７番１号
2-7-1 Izumi, Ebina, Kanagawa 243-0460, Japan
e-mail: daichi.yamaguchi@jp.ricoh.com

© 一般社団法人 日本画像学会

Table 1 Voltage condition

Voltage applied to ITO electrode		-350 V
Voltage applied to developing roller	Offset	-250 V
	Peak to peak	DC (-) AC 750,1000 V
	Frequency	DC - AC 2, 9, 20 kHz
	duty	50 %

単体試験機通過後の平板サンプル表面を光学顕微鏡にて観察して，地汚れトナー量を評価した．より具体的には，光学顕微鏡画像から，画像解析ソフト Image-Pro Plus により，二値化処理と粒子カウントをおこない，地汚れトナー量を計測した．

地汚れトナー10 粒子について，ナノピンセットによる 1 粒子トナー帯電量計測技術によって，帯電量を評価した．詳細は以下の通りである．

２．１　MEMS ピンセットによる一粒子帯電量計測技術

筆者らは，トナー一粒子を把持操作可能な MEMS 駆動ピンセットと AFM 用カンチレバーを用いた，トナー帯電計測技術性評価技術を開発した [4]．MEMS 駆動のマイクロピンセットには，アオイ電子株式会社製ナノピンセットを用いた [5]．

本技術は，ナノピンセットでサンプリングした任意の一粒子トナーをカンチレバーに近接させることで発生する，カンチレバーの反りから，把持したトナーの電荷量を計測するという技術である(Fig. 2)．ナノピンセットで把持したトナーの鏡像力-変位曲線から，電荷量を算出する．電荷量算出の際には，トナー粒子表面の不均一な電荷分布を，仮想的な点電荷で置き換え，最小二乗法で計測値にフィッティングを実施する．

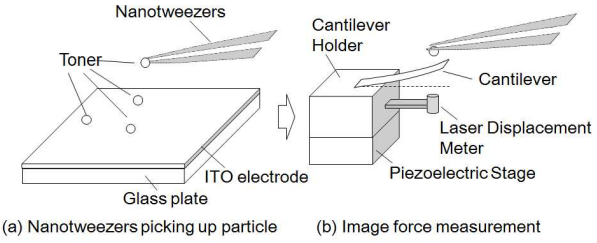


Fig.2　Schematic diagram of image force measurement of single toner particle

本技術は，1 粒子トナーの帯電極性を判別することも可能である．鏡像力計測は，カンチレバーは接地した状態で実施するが，Fig. 3 に示すように，カンチレバーに電圧を印加した際に，カンチレバーがトナー側に引き寄せられるか，もしくは反発するかでトナーの帯電極性を判別できる．

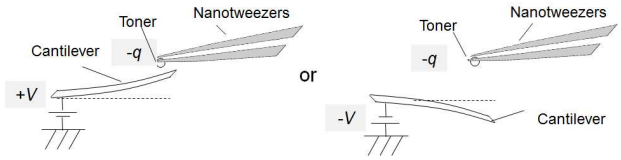


Fig.3　Schematic diagram of image force measurement of single toner particle

本研究においては，ナノピンセットでサンプリングしたトナーについて，帯電極性を評価した後，引き続き鏡像力を計測することで,同一粒子について，帯電極性と帯電量を評価した．

３．結果と考察

平板サンプル上の地汚れトナーの観察結果の一例として，Fig. 3 に DC 電圧印加時の結果を示す．基板上に，トナーが付着している様子がわかる．

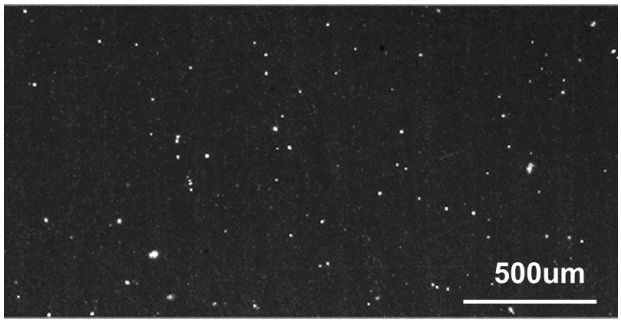


Fig.4 Optical microscope image of fogging toners on ITO substrate at application of DC voltage

Fig. 4 と同様の観察を，Table 1 の電圧条件で実施し，更に，画像解析により地汚れトナー量を計測した．単位面積あたりの地汚れトナー量として，まとめた結果を Fig. 5 に示す．電圧条件に依存して，地汚れトナー量が変化すること，特に，AC 電圧印加時はピークツーピーク電圧を下げ，周波数を上げることで地汚れトナー量が減少することがわかる．

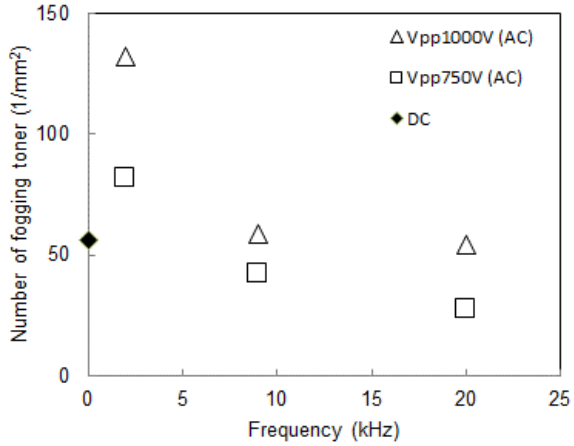


Fig.5 Applied voltage dependence of number of fogging toner

© 一般社団法人 日本画像学会

Fig. 6 に DC 電圧印加の地汚れトナー帯電量計測結果を示す. 計測した 10 粒子において, 正負の帯電量のトナーが混在していることがわかる. なお, 以下の結果も含めて, 帯電量の測定値はソートして表示している. 横軸のサンプルナンバーは, 測定順とは無関係のことを付記する.

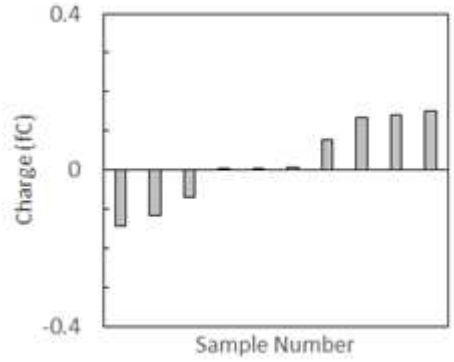


Fig.6 Charge measurement results at application of DC voltage

更に, AC 電圧印加時の地汚れトナー帯電量計測結果を Fig. 7, Fig. 8 にて示す. Fig. 7 がピークツーピーク電圧 750V で周波数を変えた結果, Fig. 8 がピークツーピーク電圧 1000V で周波数を変えた結果である. Fig. 7, Fig. 8 ともに周波数を上げると, 地汚れトナーの帯電量が全体的にプラス側にシフトすることがわかる. 更に, Fig. 7 と Fig. 8 を比較すると, ピークツーピーク電圧が低い方が, 地汚れトナーの帯電量がプラス側にシフトすることがわかる.

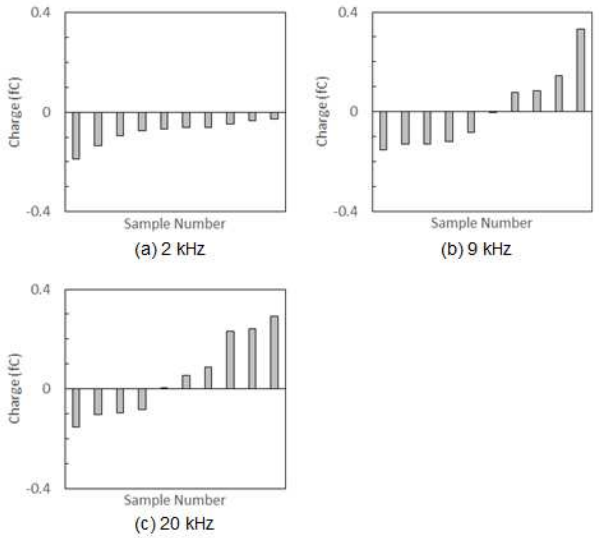


Fig.7 Charge measurement results at application of AC voltage with Vpp of 750 V

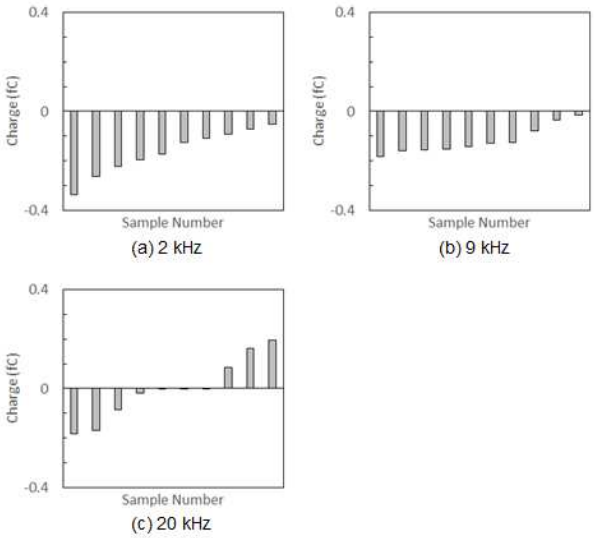


Fig.8 Charge measurement results at application of AC voltage with Vpp of 1000 V

Fig. 6 から Fig. 8 の帯電量計測結果から, 各条件での 10 粒子の帯電量の平均値と, 電圧印加条件との関係を Fig. 9 に示す. AC 電圧印加時で, 地汚れトナーの帯電量が DC 電圧時よりも, プラス側に大きいのは, ピークツーピーク電圧 1000V, 周波数 20kHz の条件のみであることがわかる. また, AC 電圧印加時に, 周波数を上げる, もしくは, ピークツーピーク電圧を下げることによって, 地汚れトナー帯電量がプラス側にシフトすることがわかる.

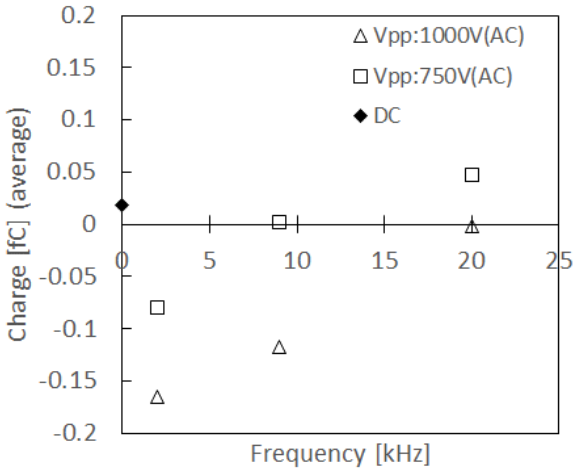


Fig.9 Applied voltage dependence of Charge of fogging toner

Fig. 9 について電圧波形から考察した結果を Fig. 10 に示す. DC 電圧印加時はマイナス帯電トナーが ITO 電極に移動する電界は作用しない為, DC 電圧印加時に比べて, AC 電圧印加時の方が地汚れトナー中に占めるマイナス帯電トナーが多くなる傾向を示す, と考えられる. また, AC 電圧印加時は, 現像剤中の多数を占めるマイナス帯電トナーであっても,

© 一般社団法人 日本画像学会

現像ローラから ITO 電極へ移動する電界が作用する（図中の斜線領域）．周波数を上げることは，マイナス帯電トナーが ITO 電極へ電界移動する時間が短くなることであり，１周期でマイナス帯電トナーが ITO 電極側へ移動する距離が短くなることである．よって，周波数を上げると，マイナス帯電トナーが ITO 電極部に付着しにくくなり，地汚れトナーの帯電量がプラス側にシフトすると考えられる．

一方，ピークツーピーク電圧を下げると，マイナス帯電トナーを地肌部へ移動させる電界強度が小さくなる．よって，１周期でマイナス帯電トナーが地肌側へ移動する距離が短くなり，マイナス帯電トナーが ITO 電極に到達しにくくなると考えられる．したがって，ピークツーピーク電圧を下げると，地汚れトナーの帯電量がプラス側にシフトすると考えられる．

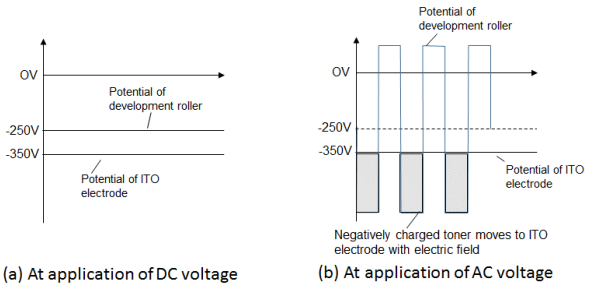


Fig.10 Relationship between voltage waveform and movement of negatively charged toner

Fig.5 と Fig.9 を基に作成した，地汚れトナーの発生量と帯電量の関係を Fig. 11 に示す．地汚れトナー帯電量がプラス側に大きいと，地汚れトナーの発生量が少ない関係にあることがわかる．トナー中の多数を占めるのはマイナス帯電トナーである．Fig.11 は，現像電圧条件を変えて地汚れトナーの発生状態を変えていることから，Fig.11 は，正規の帯電状態であるマイナス帯電トナーが非画像部に付着しないように，現像電圧条件を設計することが，地汚れ低減に重要であることを示していると考えられる．

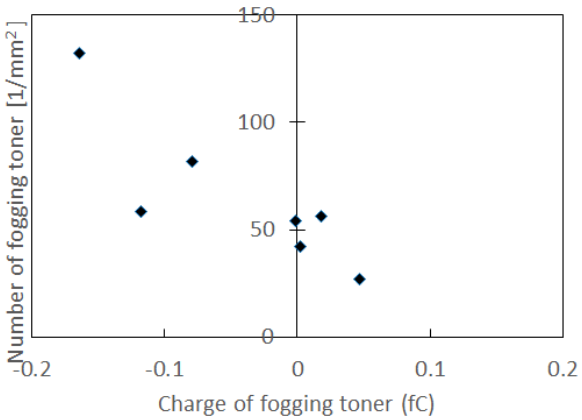


Fig.11 Relationship between amount of fogging toner and charge of fogging toner

４．まとめ

モデル試験機により，地汚れ現象を模擬したトナーを発生させて，MEMS ピンセットにより，地汚れトナーの帯電量を in situ に計測した．地汚れトナー帯電量がプラス側に大きいと，地汚れトナー発生量が少なくなる関係にあることを明らかにした．

参考文献

1) Dan A. Hays, “Toner Adhesion”, The Journal of Adhesion, **51**, pp. 41-48 (1995) .
2) L. B. Shein, “Electrophotography and Development Physics”, Springer, New York, (1988), p. 80.
3) M. K. Mazumder, R. E. Ware, T. Yokoyama, B. J. Rubin, D. Kamp, “Measurement of Particle Size and Electrostatic Charge Distributions on Toners Using E-SPART Analyzer”, IEEE Transactions on Industry Applications. 27, pp. 611-619, (1987).
4) D. Yamaguchi, S. Shuusuke, M. Hamaguchi, “Measurement Technique for Electrostatic Charge on Single Toner Particles with Microelectromechanical-based Actuated Tweezers”, Journal of Imaging Science and Technology, 61, pp. 030501-1-030501-8, (2017) .
5) Takeshi Umemoto, Kenjiro Ayano, Masato Suzuki, Masatoshi Yasutake, Takashi Konno, and Gen Hashiguchi “Nanotweezers with Proximity Sensing and Gripping Force Control System”, Japanese Journal of Applied Physics, **48**, pp. 08JB21-08JB21-4 (2009).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPm] 電子写真材料
Electrophotographic Materials
2018年6月19日(火) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPm-03] 液体現像方式による軟包装印刷物の接着強度
Adhesion of Liquid Electrographic Images with a Substrate in Flexible Packaging

*浦野 千里[1]、井出 収[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Chisato Urano[1], Osamu Ide[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

液体現像方式によるトナー画像と軟包装基材との接着性を解析した。軟包装は基材上の印刷画像にフィルムをラミネートする工程を伴い、基材とフィルムの高い接着性が求められる。基材がPETの場合、トナーと基材間の接着性が低いことが課題だった。接着性に影響する現像剤材料と物性因子を解析した。材料はトナー樹脂組成と離型剤、分散剤が寄与した。物性因子は高SP値の分散剤ほど接着性が高い傾向となったが、トナー分散性との両立が難しかった。複数成分からなるSP値の異なる高分子分散剤を作製して、SP値と接着性及び分散性との相関を評価した。高接着の樹脂組成と最適SP値の分散剤により、目標の接着性が得られた。

©一般社団法人 日本画像学会

液体現像方式による軟包装印刷物の接着強度

浦野　千里*,　井出　収*

*富士ゼロックス株式会社　研究技術開発本部　マーキング技術研究所

Adhesion of Liquid Electrographic Images with a Substrate in Flexible Packaging

Chisato Urano* and Osamu Ide*

*Marking Technology Laboratory, Research and Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

Dispersants for liquid immersed developers, obtaining strong peel force in soft packaging applications formed by laminating a film on a toner layer fused on a thin PET film, were investigated. It was estimated that commercially available high molecular dispersants with sufficient dispersion stability decrease the toner adhesion with a PET film due to their hydrophobic components for the dispersiblility in a nonpolar carrier solvent and amine components for the affinity with toner resin, which decrease the adhesion caused by the reaction with the isocyanate component of adhesive agents used for the lamination. A laminated application with sufficient peel force can be obtained by using the developer comprising the dispersant optimized both for the structure of amine component and the ratio of hydrophobic component.

1.　はじめに

デジタル印刷技術は商業印刷に普及し，近年はラベル，紙器（紙製パッケージ），軟包装（薄フィルムパッケージ）など印刷プロダクション市場全般への拡張を狙っている．これらの市場では，高画質，高生産性に加えて，メディア汎用性（厚紙，薄紙，フィルムなど）や後加工適性（ラミネート，ニス塗布など）といったさまざまな性能が要求される．

Indigo®シリーズ(Hewlett-Packard Inc.)に代表される液体現像方式は，高画質と高生産性の特徴から商業印刷やフォトブック用途に使用されていた [1]．液体現像剤は数ミクロンの小径トナーを分散した非極性キャリアオイルを主成分とし，キャリアオイル中のトナー凝集を防ぐ分散剤やトナーの帯電を調整する帯電制御剤などが添加される [2]．

液体現像の新たな用途としてデジタル化が進んでいない軟包装印刷への用途展開が期待されている．軟包装では，Fig. 1 に示すようにトナー像を設けた印字基材の上にラミネート基材（以下ラミ基材と略す）を貼り合わせるラミネート工程がある．ラミネートはドライラミネートと呼ばれる方式が一般的で，この方式では画像が形成された印字基材の表面に有機溶剤に溶かした熱硬化性接着剤を塗布して，溶剤を蒸発乾燥させた後にラミ基材と貼り合せる．接着剤は使いやすさと接着強度に優れることから，ポリウレタン系接着剤を用いることが多い [3]．

軟包装では，画像と印字基材間の接着力が不十分であることが課題になっている．印字基材にはポリプロピレンや PET などの薄層フィルムを使い，画像印字面をコロナ処理することで接着性を高めている．

グラビア印刷では，インク材料の極性を高くすることで接着力を高めている [4]．しかし，液体現像剤の場合，キャリア液との親和性からトナー表面の極性が低く，印字基材との充分な接着性を得ることが難しい．特に PET フィルムにおける接着性が低かった．この課題を解決するために，印字基材上にアンダーコート層を設けることでトナーと印字基材間の接着力を高めている商品が多い [5]．アンダーコート層の作製にはコストと時間がかかるため，この層なしで高接着性を実現する液体現像技術が求められている．

本報告では，液体現像剤によるトナー画像と印字基材間の低接着性の原因を解析し，その改善方法を検討した．



Fig. 1 Configuration of laminated flexible package with toner layer

2.　実験

2.1　液体現像剤の構成

キャリアオイルには炭化水素系溶媒を用いた．トナーは，フタロシアニン系シアン顔料，樹脂及び離型剤の混合物を小径化して作製した．さらに後述する分散剤を添加，攪拌して液体現像剤を得た．

一般に，トナーと基材との接着性には，トナー結着樹脂の種類と離型剤が寄与することが知られてい

＊〒250-0852 神奈川県南足柄市竹松 1600
＊1600 Takematsu, Minamiashigara-shi, Kanagawa, 250-0111, Japan
e-mail: urano.chisato@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

る．そこで樹脂組成と離型剤量を変化させたトナーを準備した(Table 1)．

Table 1 Compositions of toner samples

Toner	A	B	C	D	E
Polymer component	a	b	c	b	b
Release agent (ratio)	0	0	0	1/3α	α

2.2　評価画像の作製法

印字基材には 12μm の PET フィルムを用い，Select-Roller(オーエスジーシステムプロダクツ株式会社製)を使用して,そのコロナ処理面上に液体現像剤を均一塗布した (Fig. 2)．真空乾燥によりキャリアを除去後,120℃で加圧定着してトナー画像を形成した．乾燥後のトナー量はカラー画像で想定される最大量とした(以下，W と記載)．

トナー画像面に二液硬化型ウレタン接着剤(TOMOFLEX™ CAT-RT37，TOMOFLEX™ TM-570 と溶剤との混合物，東洋モートン株式会社製)を塗布した後，70℃のホットプレート上で 15 秒間加熱して溶剤を除去した．接着剤塗布面にラミ基材の 20μm の OPP フィルムを重ねて熱圧着して貼り合せた(Fig. 3)．その後,60℃の恒温槽に 18 時間置き接着剤を硬化させた．

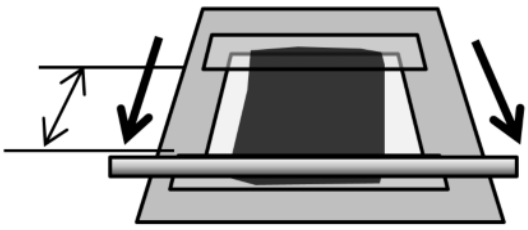


Fig. 2 Experimental apparatus to coat developer

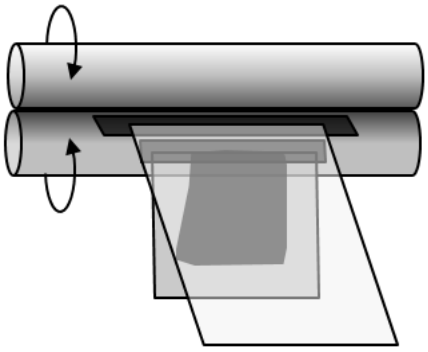


Fig. 3 Experimental apparatus for lamination

2.3　接着性の評価法

接着性評価は，ストログラフ V1（株式会社東洋精機製）を使用した．JISZ0237 に従い，ラミ基材を下側に固定して,印字基材側を 90 度で剥離したときの強度を測定した(Fig. 4)．印刷会社へのヒアリングにより接着性の目標値を決めた(以下，1.0 A.U. と記載)．

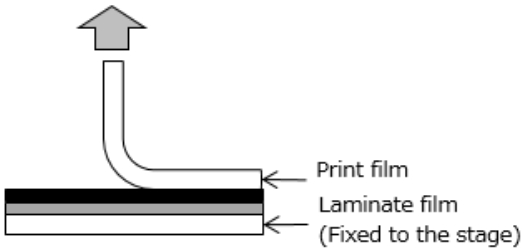


Fig. 4 Schematic view of peel force measurement

3.　低接着の原因究明

3.1　低接着部の特定

トナーC を用いた現像剤で作製した画像の接着性を測定した．分散剤には分散安定性の観点からポリエステル-ポリアミン系分散剤を用い[6]，1 w%(対トナー重量)添加した.トナー画像と印字基材間で剥離し，接着性は 0.2 A.U. と低い値だった．

上記トナー画像と印字基材との接着性を調べた．トナー画像を形成した印字基材上にラミ基材を重ねて，接着剤を用いずに熱圧着によりトナーを溶融させて貼り合わせた．このトナー画像と印字基材間の接着性は 0.3 A.U. と低かった．

接着剤と印字基材の接着性を測定した．印字基材に接着剤を塗布後，熱圧着によりラミ基材を貼り合せた．接着剤と基材の接着性は 2.5 A.U. 以上と基材が破断するほど高い強度となった．

3.2　分散剤量と接着性

トナーC を用いて分散剤量を変化させた現像剤を作製し，分散剤量と接着性の相関を評価した．この結果を Fig. 5 に示す．分散剤量を 1/2 にすると接着力は 2 倍になった．このときも剥離面はトナーと印字基材間だった．一方，分散剤を添加しない画像の接着強度は非常に高く,印字基材が破断する 2.5 A.U. まで剥離は生じなかった．分散剤が接着性を阻害することが示唆された．

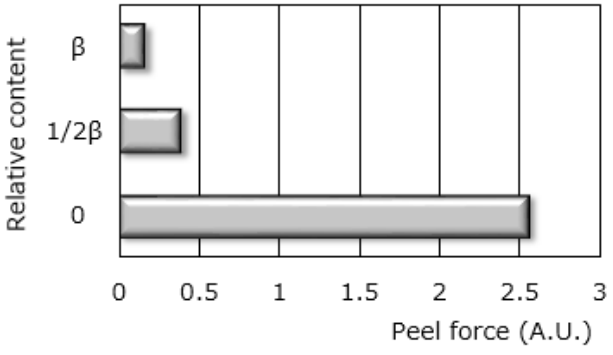


Fig. 5 Peel force dependent on relative weight content of dispersant

© 一般社団法人 日本画像学会

3.3　トナー量と接着性

トナーと印字基材との接着性を考察するため，定着画像を観察した．Fig. 6 に示すように，基材全面がトナーで覆われておらず，トナー間に空隙があることがわかった．ドライラミネート工程では接着剤をトナー画像上に加圧しながら塗布する．このときに接着剤が印字基材の表面にまで浸透することで，トナー自体の低接着力を補い印字基材との接着力を高めていると推測した．

この仮説が正しければ，トナー層に空隙が多い方が接着性は高くなると推測した。空隙はトナー量が少ないほどより多くなると考え，トナー量と接着性との相関を評価した(Fig. 7)．予想通り，トナー量減少に伴い接着性は高くなった．

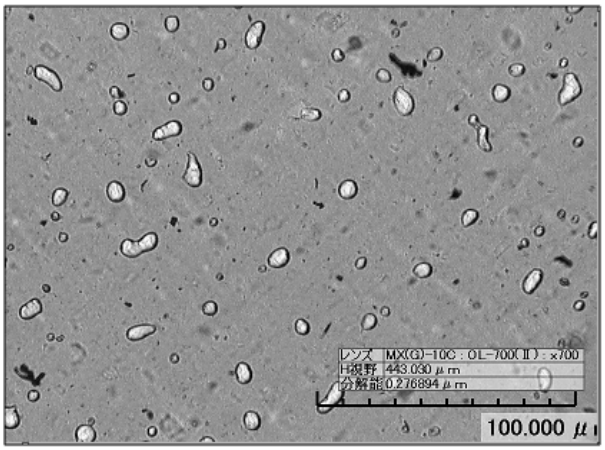


Fig. 6 Microscopic image of toner layer fixed on film

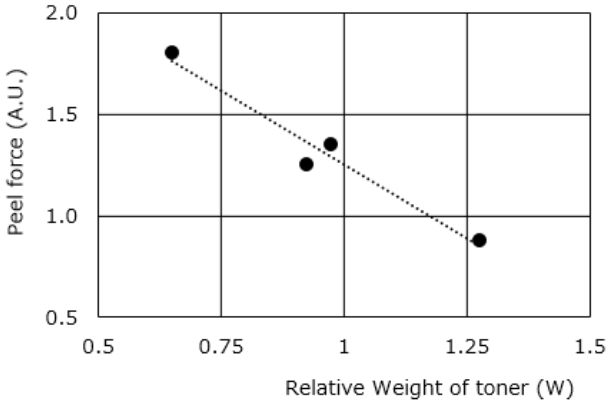


Fig. 7 Peel force dependent on weight density of toner layer

3.4　分散剤構造

非極性キャリアオイル中へのトナーの分散を考察すると，分散剤はキャリアオイルとの親和性のある疎水基と，極性基を有するトナーとの親和性のある親水性基が必要である．ポリエステルトナーとの親和性を高めるにはアミノ基が良好であることが報告されている[6]．

まず，トナーC を用いて，Fig. 8 に示すように分散剤のアミン量とドライラミネート接着性との相関を評価した．分散剤中の 1 級と 2 級のアミン量が増加するに伴いドライラミネート接着性は低下した．アミノ基が接着阻害の要因であることが示唆された．

ここでポリウレタン系接着剤は，主剤の水酸基含有ポリエステルと反応性のイソシアネート硬化剤の 2 液から構成される．イソシアネートは水酸基よりもアミノ基との反応性が高い．イソシアネートが分散剤のアミノ基と反応し，接着剤の硬化反応が阻害されたために接着性が低下したと推測した．

次に，トナーC を用いた現像剤に，分散剤の疎水基成分を添加して，その添加量と接着性との相関を評価した．Fig. 9 に示すように，疎水成分の添加により接着性は 1/3 に低下した．

接着性はトナーの結着樹脂の極性基と基材のコロナ処理で生じた極性基との相互作用に依存すると考えられる．非極性の分散剤疎水基が結着樹脂と基材の間に入り込むことで接着性を阻害すると推測した．

以上より，分散剤設計において，親水性基の 1 級と 2 級のアミン量，及び疎水基の量を低減することが重要であることが示された．

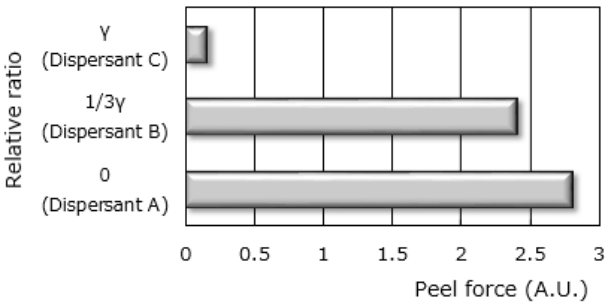


Fig. 8 Peel force dependent on relative mole ratio of primary and secondary amine in dispersant

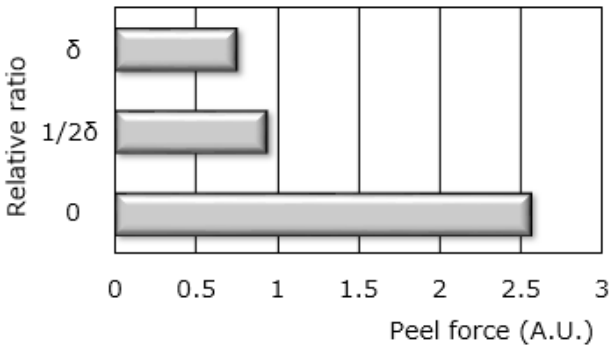


Fig. 9 Peel force dependent on relative weight ratio of hydrophobic component

3.5　トナー組成

分散剤を添加しない条件で，接着性に対するトナーの結着樹脂の寄与を評価した．結果を Fig. 10 に示す．樹脂組成により接着性は変化した．

© 一般社団法人 日本画像学会

次に離型剤の影響を評価した．離型剤は極性が低く，またトナー層界面に析出しやすく接着性を低下させると推測した．離型剤量と接着性との相関を Fig. 11 に示す．離型剤の量に応じて接着性は低下することが示された．

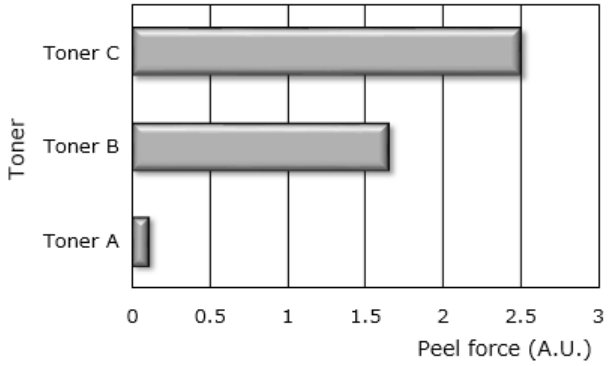


Fig.10 Peal force dependent on toner resin

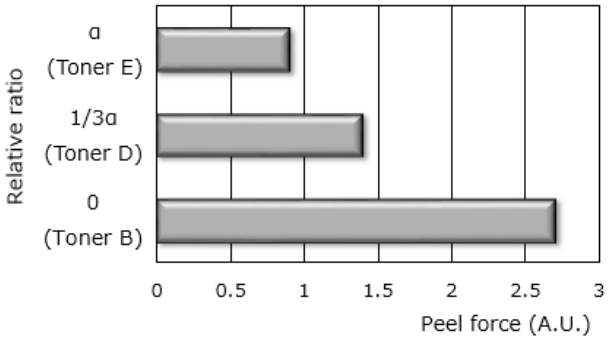


Fig. 11 Peel force dependent on relative weight ratio of release agent

4. 分散剤の最適化

前章の結果を踏まえて，ドライラミネート接着性に最適な分散剤構造を検討した．ここでは接着性に最適なトナーとして，接着性が最も高く，離型剤を含まないトナーC を用いた．

分散剤の親水性基のアミンは，接着剤の硬化反応を阻害しない 3 級アミンとした．アミン量を一定量として．疎水基の極性を変化させた含アミンポリマーを作製した．

分散剤として使用するためには非極性キャリアオイルに溶解しなければならない．そこで分散剤の SP 値とキャリアオイルへの溶解性を評価した．SP 値が高くなるにつれて溶解性は低下し，その量が ε+0.2 以上で不溶となった．

次に，トナーC に作製した分散剤を添加した現像剤を準備して，SP 値と接着性の変化を評価した．Fig. 12 に示すように，SP 値の増加とともに接着力は高くなり， ε 以上の領域で目標とする接着力 1.0 A.U.以上を達成できた．

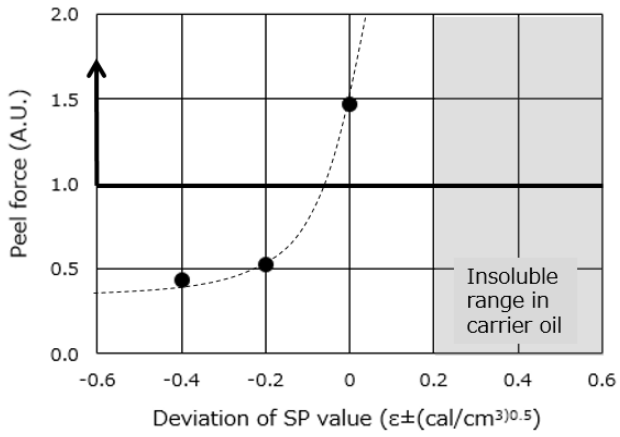


Fig. 12 Peel force dependent on relative solubility parameter of dispersant

5. まとめ

液体現像剤による軟包装印刷物のドライラミネート接着性を評価した．接着性には分散剤の量と組成，トナー結着樹脂の組成，及び離型剤量が寄与することが明らかになった．アミン系分散剤において，3 級アミンを導入して，SP 値を制御することで，キャリア溶解性とドライラミネート接着性を両立することを示した．

この分散剤組成の現像剤は，現像剤の保管安定性に加えて，現像，転写，定着などの電子写真プロセス適性も満たした．ただし，キャリアオイルへの溶解性と接着目標を両立する分散剤の SP 値範囲が狭いこと，また定着部材の汚染抑制などを考慮すると，トナー樹脂や離型剤の更なる改善が必要だと考える．

参考文献

1) E. Odake, “Outlook of Liquid Development Technology”, Journal of the Imaging Society of Japan, **49**, p108-115 (2010)

2) M. Aruga, “Electro Ink Imaging Technology-HP Indigo Press-”, Journal of the Imaging Society of Japan, **48**, p58-62 (2009)

3) K. Matsumoto and K. Kawakami, “Daredemowakaru laminating”, Kakougijyutsukenkyukai, p156-158 (1998) [in Japanese]

4) T. Suzuki, “Trend of Gravure Ink”, Journal of the Imaging Society of Japan, **32**, p77-87 (1995)

5) M. K. Bhattacharyya, H. T. Ng, E. G. Hanson, B. J. Jackson, S. D. Morse and M. Aronhime, “Probing Interfacial Acid-Base Interactions in Ink-Substrate Adhesion”, J. Imaging Sci. Technol., **54**(1), p10504-1-10504-6(2010)

6) Y. Hanada, “Analysis of surface modified fine particles dispersion behavior in liquid by colloid probe AFM method”, Tokyo University of Agriculture and Technology, Ph.D. Thesis, p58 (2009)

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPm] 電子写真材料
Electrophotographic Materials
2018年6月19日(火) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPm-04] 高濃度接触現像系の液体現像方式における揮発系液体トナーの適用
Application of Volatile Liquid Toner for Liquid Electrophotography System Using High Concentration Contact Developing Method

*横山 優樹[1]、鈴木 俊彦[1]、中山 信行[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Yuki Yokoyama[1], Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

揮発系液体現像剤による高濃度接触現像系の液体現像方式に関して，液体現像剤供給部の機能設計を行った．高濃度接触現像系は高速適性に優れる一方で，感光体に接触させる現像ロール上に均一な現像剤薄層を形成する工程（層形成プロセス）が，高画質を得るうえで重要となる．高濃度接触現像系における揮発系液体現像剤のハンドリングはこれまで実績が無く，液体現像剤の乾燥や，低粘度化に伴うリビング起因ディフェクトなどの課題を抽出した．そこで，上記課題に対応した独自技術を実装することで，揮発系現像剤に適用した高濃度接触現像系の液体現像方式を確立し，安定動作と高画質を実証した．

©一般社団法人 日本画像学会

高濃度接触現像系の液体現像方式における揮発系液体トナーの適用

横山　優樹，鈴木　俊彦，中山　信行

富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部 マーキング技術研究所

Application of Volatile Liquid Toner for Liquid Electrophotography System Using High Concentration Contact Developing Method

Yuki Yokoyama, Toshihiko Suzuki, and Nobuyuki Nakayama

Marking Technology Laboratory, Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

Regarding high concentration contact developing method using a volatile liquid toner of LID (Liquid Ink Development), compositions for the developer supply system were specified. While the high concentration contact developing method has ability in high-speed printing, it is important to obtain high image quality that the process of forming a uniform thin developer layer on a developing roll which is transferred to the photoreceptor. It has not been conducted using the volatile liquid toner in the high concentration contact developing method, therefore, several problems due to the high volatility and the low viscosity of the liquid toner were occurred. In this report, it was determined that the key elements and those basic specifications for the developer supply system.

１．はじめに

液体現像方式（Liquid Ink Development，以下 LID）は，キャリアオイルと呼ばれる絶縁性液体中に分散させたトナーによる電子写真技術である．インクジェットに対しては普通紙画質，フィルム適性，環境適性などの点で，乾式電子写真に対しては生産性やランコストなどの点で優位性をもつ[1)]．

液体現像剤に用いられるキャリアオイルは，大きく不揮発性と揮発性に分けられる．不揮発性キャリアオイルは，メンテナンス性などに利点を有するが，画像形成後にメディア上にオイルが残留するため，ラミネートやニス塗布といった後加工適性が獲得しにくい．

本研究では，揮発性キャリアオイルと微小粒径トナーからなる液体現像剤を採用し，幅広いアプリケーションに共通に適用できるタンデム型液体現像システムの研究開発に取り組んだ．乾式電子写真ではハンドリングが困難な微小粒径トナーで画像形成が可能なことから，高精細，高品質な印刷画像が得られ，さらに，静電潜像を形成する感光体と現像ロールをニップさせる接触現像により，広幅，高速印刷が可能である．一方で，液体現像剤をマーキング部に供給する機構が必要であり，装置が複雑化，大型化するという側面も持っていることから，生産性の高い印刷市場へ向けた技術として研究開発を進めてきた．

本報告では，高濃度接触現像系の液体現像方式における揮発系現像剤の適用を目的として，液体現像剤供給部の基本構成と，接触現像パラメータ設計および揮発系現像剤マネジメント技術を提示する．

〒243-0494 神奈川県海老名市本郷 2274 番地
2274 Hongo, Ebina-shi, Kanagawa, 243-0494, Japan
e-mail: yuki.yokoyama@fujixerox.co.jp

２．液体現像方式の現像プロセスの概要

液体現像システムの現像方式は，扱う液体現像剤の粘度と現像の仕組みから大きく 2 つに分類される[2)](Fig.1)．本研究で扱う現像方式は高濃度接触現像であり，現像ニップ上流の現像ロール（Developing Roll, DR）上に液体現像剤の薄層を形成し，現像ロールと感光体を接触させて潜像に応じて転移させる．この方式は薄層形成と接触転移の機能が分離されており，現像工程に電気泳動を利用しないことから，低濃度現像剤を用いる方式と比較して高速適性に優れる．

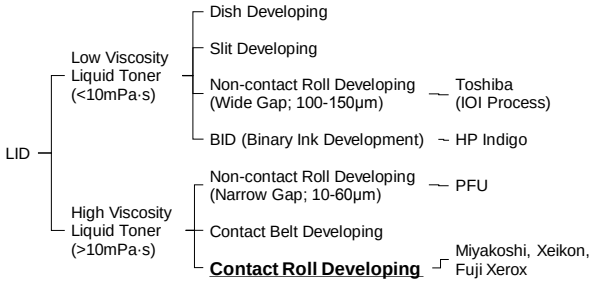


Fig.1 Classification of LID.

一方で，感光体に転移させる現像剤薄層の不均一性が，粒状性や文字品質などの画像構造に直接影響する．これは，低濃度現像方式が電気泳動による飽和現像であるのに対し，高濃度現像方式では現像ロール上に形成された現像剤薄層を，感光体の潜像に対して高効率で転移させることに起因する．よって，現像ロール上に均一な現像剤薄層を形成する工程（以降，層形成プロセスと記載）が，高画質を得るうえで重要となる．

© 一般社団法人 日本画像学会

本研究の層形成プロセスでは，フレキソ印刷の刷版へのインキ供給などで薄層液体供給に実績のあるアニロックスロール（Anilox Roll，AR）を採用している．アニロックスロールとは，クロムメッキやセラミックスコートされた金属のシリンダーの表面に，セルと呼ばれる微細な窪み（もしくは溝）を有する硬質のロールで，セル内に液体を保持する．Fig.2 にアニロックスロールの代表的な彫刻パターン [3]の形状を示す．

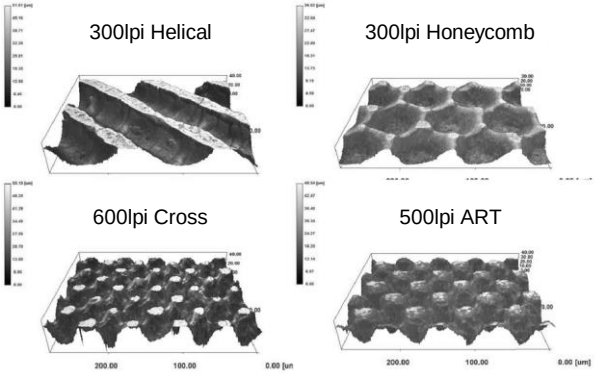


Fig.2 Several cell pattern of anilox roll.

Fig.3 に，揮発性の低い液体現像剤を用いた高濃度接触現像系の液体現像方式 [4]における層形成プロセスから現像プロセスの構成の概略を示す．アニロックスロールの下部は液体現像剤を満たした現像剤槽に浸漬されており，それぞれのロールは接触して回転する．

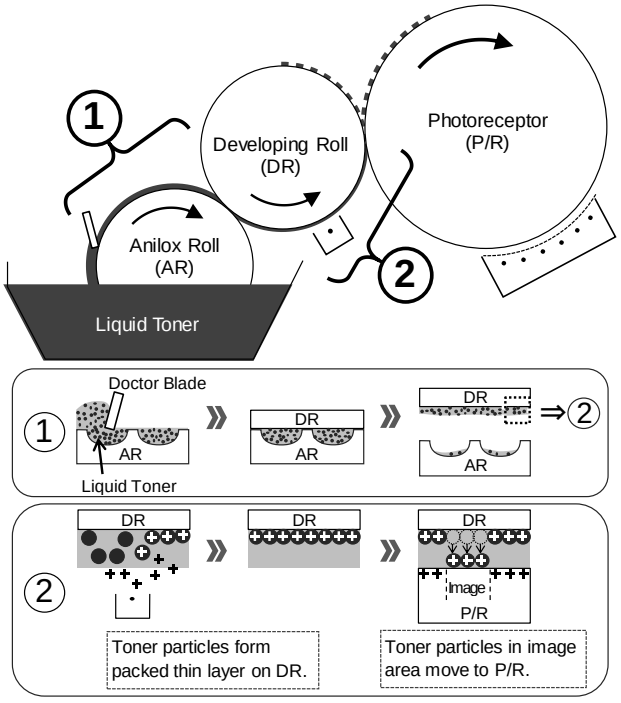


Fig.3 High concentration contact developing system for non-volatile liquid toner.

アニロックスロールの回転により汲み上げられた液体現像剤はドクターブレードによって規制され，アニロックスロール表面のセル内にのみ残る．このセル内の液体現像剤を濡れ性と電界によって現像ロールへ転移することで，常に安定した量の液体現像剤が現像ロールへ供給される（Fig.3 の①）．

現像ロール上に設置された帯電器により，電界転移に必要な電荷がトナーに付与されるとともに，トナーパッキング（凝集）層を形成する．現像ニップに突入した現像剤薄層は，感光体の潜像に対して高効率で電界転移する（Fig.3 の②）．

３．揮発系現像剤を使用するうえでの課題

高濃度接触現像系の液体現像方式において，揮発性キャリアオイルと微小粒径トナーからなる液体現像剤を適用させるうえで，主に以下の課題を抽出した．

３．１　液体現像剤の乾燥

本研究で使用するキャリアオイルは水よりも揮発性が低く，印刷動作中の乾燥が問題になることは無いが，印刷停止中に各工程で液体現像剤の乾燥が進行し，部材へのダメージや，乾燥した二次粒子状のトナーのコンタミなどが生じる．

また，Fig.4 に示すように，液体現像剤の固形分濃度が上昇して流動性を失う時間は，液体現像剤の膜厚に依存する．ブレードニップ部などに溜まる液体現像剤の厚みに相当する mm オーダーの膜厚では，数時間で流動性を失う一方で，アニロックスロールのセル深さなどに相当するμmオーダーの膜厚では，数分で流動性を失うことから，各プロセスで適切な乾燥対策を施すことが重要になる．

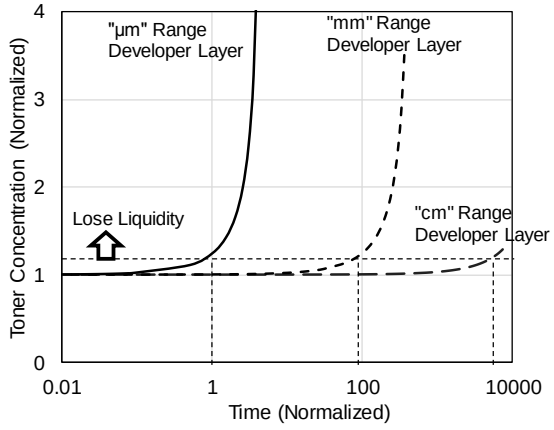


Fig.4 Increasing rate of toner concentration.

３．２　液体現像剤の低粘度化に伴うリビング起因ディフェクトの悪化

本研究で採用している接触現像方式では，ロールニップの出口（ポストニップ）で現像剤薄層が分断する際に，Fig.5 に示すような，うね状の周期的構造を形成するリビング現象が発生し，このリビングに起因する筋状ディフェクト（ニップ筋）や，画像の尾引きなどの画質劣化が発生する．また，オイルの粘度が低いほどリビングが発生しやすく，オイルの

© 一般社団法人 日本画像学会

粘度と揮発性は概ね正の相関関係にあることから，揮発系現像剤ではリビングに対してロバストな現像剤/システム設計が必要となる．

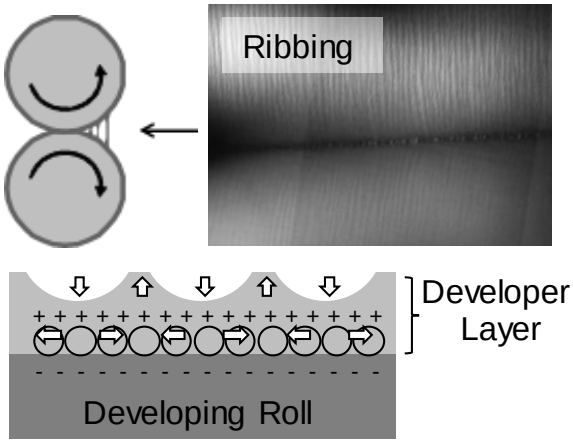


Fig.5 Ribbing phenomenon in post nip area.

4．揮発系現像剤に適用した高濃度接触現像系の液体現像方式

3章で抽出した課題に対応した本研究の液体現像システムにおける層形成プロセスから現像プロセスの構成の概略を Fig.6 に示す．また，Fig.6 の中でハイライトした項目は本研究の液体現像システムを成立させる上で特に重要な要素であり，それらの基本的な機能と仕様について，設計根拠などの詳細を後述する．

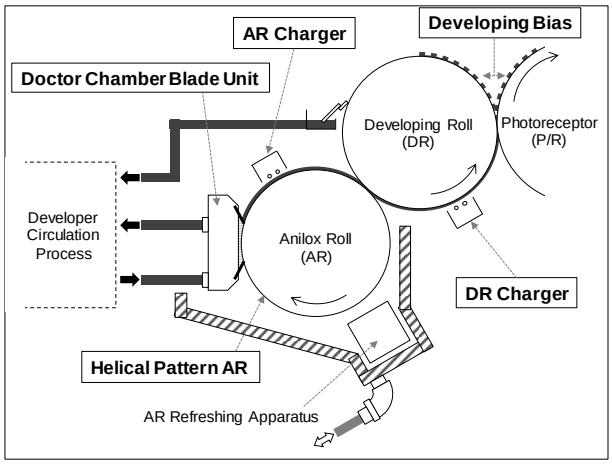


Fig.6 High concentration contact developing system for volatile liquid toner.

4．1　ドクターチャンバー

現像剤貯留部の液体現像剤の乾燥を抑制するために，フレキソ印刷で液の飛散や悪臭・異物混入防止に実績のある，密閉構造のドクターチャンバー方式を採用した．現像剤循環プロセスで固形分濃度や分散性などが調整された液体現像剤がドクターチャンバーに供給され，アニロックスロールへと転移する．ドクターチャンバーからオーバーフローした液体現像剤は，マーキングプロセスの各クリーニング工程などで回収された液体現像剤とともに，再び現像剤循環プロセスへ回収される．

アニロックスロールの下方には，セットアップ時などに使用するアニロックスロール洗浄機構を配置している．

4．2　ヘリカル彫刻パターン

代表的なアニロックスロール彫刻パターンであるヘリカル構造とハニカム構造のアニロックスロールを用いたときの，現像ロール上のトナー層の観察像を Fig.7 に示す．本結果から，特にアニロックスロールと現像ロールのニップ圧力を大きくしたときに，オープンセルのヘリカル構造に比べ，クローズドセルのハニカム構造ではリビングの影響を受けやすいことが明らかとなり，本システムではリビングに対してロバスト性の高いヘリカル構造を選択した．

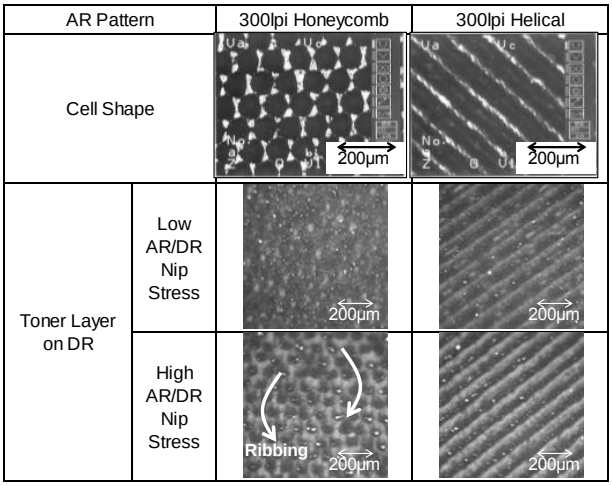


Fig.7 Toner layers on the developing roll.

4．3　現像パラメータ設計

2章で述べたとおり，高濃度接触現像系の液体現像方式では，現像ロール上に設置された帯電器（DR Charger）により，電界転移に必要な電荷がトナーに付与されるとともに，トナーパッキング（凝集）層を形成する．DR Charger の出力（＝トナー電荷量）が低いと，トナーパッキング性低下によるリビング起因ディフェクト（ニップ筋，尾引き）の悪化や，カブリが発生する．一方で，DR Charger の出力（＝トナー電荷量）が高いと，トナーパッキング性向上により画像品質が改善するが，Fig.8 に示すように，感光体上の潜像部に誘起される逆極の電荷量が不足するため，現像されるトナー量（＝現像効率）が低下する．よって，リビング，現像効率，カブリの三者を両立する現像パラメータ設計が必要となる．

DR Charger の出力と現像バイアスに対するリビング起因ディフェクト，現像効率，カブリの要因効果を Fig.9 に示す．本パラメータ設計により，現像効率とカブリを維持しながらリビングを抑制し，文字品質やハイライトドット再現性をはじめとする高い画像品質を獲得した（Fig.10）．

© 一般社団法人 日本画像学会

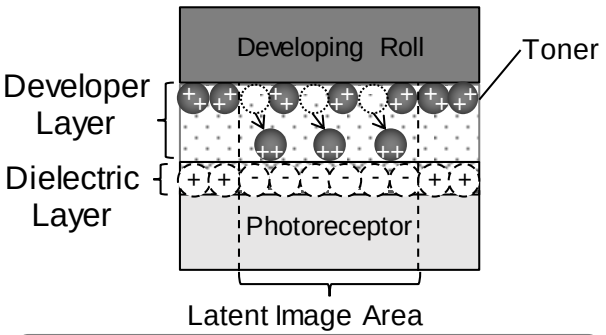


Fig.8 Developing phenomenon of LID.

DR Charger Output	Low	Mid	High	Mid	Mid	Mid
Developing Bias	Mid Low	Mid Low	Mid Low	**Low**	**Mid High**	**High**
Solid Area						
Tail Edge						
Ribbing Defect	×	△	△	△	○	○
Developing Rate	○	△	×	×	○	○
Background Density	△	○	○	○	○	×

Fig.9 Developing parameter design.

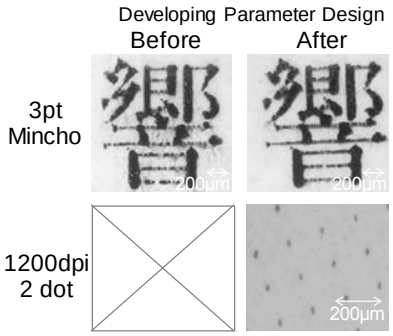


Fig.10 Text and highlight dot quality.

４．４　現像ロール上トナー量制御（AR Charger）

乾式電子写真と同様に,液体現像方式においても,メディアの種類に応じて転移するトナー量を制御する必要がある．フレキソ印刷などではセル容積の異なる複数のアニロックスロールを使い分けることでインキ量を制御する方法が知られているが，少量多品種ジョブまでの対応を想定すると，アニロックスロールの交換を繰り返すのは現実的ではない．

そこで，アニロックスロールの交換なく，トナーにかかる静電気力（F＝qE）を変えることで，現像ロールへのトナーの転移量を制御する.具体的には，アニロックスロールと現像ロールの間に一定の電位差を付与した状態（E：一定）で，アニロックスロールに対向して配置した帯電器（AR Charger）でトナーの帯電量（q）を変え，トナー量を制御する手段を選択した．Fig.11 に印刷速度 60m/min で AR Charger の出力を変えたときの現像ロール上トナー量の推移を示す．本結果をもとに，アニロックスロールのセル容積を最適化することで，目標のトナー量に応じて制御範囲を調整する．

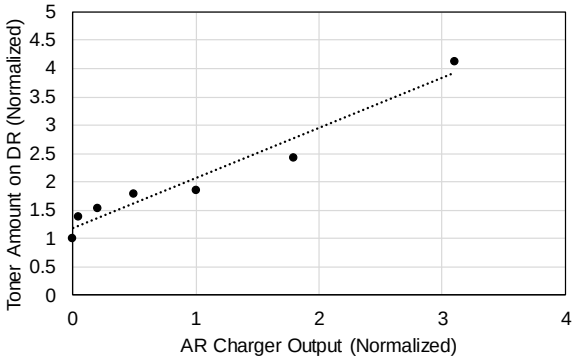


Fig.11 Toner amount control.

５．まとめ

本報告では，高濃度接触現像系の液体現像方式における揮発系現像剤の適用を目的として，液体現像剤供給部の基本構成と，接触現像パラメータ設計および揮発系現像剤マネジメント技術を提示した．

- 揮発性キャリアオイルと微小粒径トナーからなる液体現像剤を採用したことによる主な課題は,「液体現像剤の乾燥」「液体現像剤の低粘度化に伴うリビング起因ディフェクトの悪化」である．
- 上記課題に対応した液体現像剤供給部の基本構成と，キーとなる要素について基本的な機能と仕様を示した．

本研究により，揮発系現像剤に適用した高濃度接触現像系の液体現像方式を確立し，連帳紙を用いて印刷速度 60m/min でオフセット印刷同等の画質を獲得した．さらに，軟包装フィルムを含む多様なメディアへの印字と，ラミネートやニス塗布などの後加工適性を実証した．

参考文献

1) Nobuyuki Nakayama, Satoshi Tatsuura, Taichi Yamada, Toshihiko Suzuki, Takamaro Yamashita, and Osamu Ide, “Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer”, Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].
2) Hosoya, ISJ’s Symposium (2004) [in Japanese].
3) Yuichi Sasaki, “The Latest Technologies of Laser Engraved Ceramic Roll”, Journal of printing science and technology, **43**, pp. 255-258 (2006) [in Japanese].
4) Lode Deprez, Werner Op de Beeck, Wim Libaers, Mathias Van Remortel, and Dirk Gijsbrechts, “Xeikon Trillium: the Next Generation of High Quality, High Speed and Low Cost Sustainable Digital Printing”, Digital Fabrication and Digital Printing: NIP30 Technical Program and Proceedings, pp. 44-47 (2014).

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electrophotography

[EP1] Electrophotographic Devices (1)

Session Chair:Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.), Takashi Bisaiji(Ricoh Company, Ltd.)

Tue. Jun 19, 2018 2:40 PM - 3:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP1-01] Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer

*Nobuyuki Nakayama[1], Satoshi Tatsuura[1], Taichi Yamada[1], Toshihiko Suzuki[1], Takamaro Yamashita[1], Osamu Ide[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

2:40 PM - 3:00 PM

[EP1-02] Development of a Beam Splitting Laser Scanning Method with an Optical System Removing Ghost Light

*Tadashi Nakamura[1], Shigeaki Imai[1], Yoshinori Hayashi[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

3:00 PM - 3:20 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EP1] 電子写真デバイス (1)
Electrophotographic Devices (1)

2018年6月19日(火) 14:40 ～ 15:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP1-01] 揮発性キャリア現像剤を用いた液体現像システムの開発
Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer

*中山 信行[1]、辰浦 智[1]、山田 太一[1]、鈴木 俊彦[1]、山下 隆麿[1]、井出 収[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Nobuyuki Nakayama[1], Satoshi Tatsuura[1], Taichi Yamada[1], Toshihiko Suzuki[1], Takamaro Yamashita[1], Osamu Ide[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

高沸点揮発性キャリアオイルと小径トナーで構成される現像剤を用いた液体現像システムを開発した．商業印刷からラベル，軟包装までプロダクション市場へ幅広く適用するため，高速高画質のほか，メディア汎用性，後加工適性，低ランコストなどを狙いとした．これらを達成するため，現像剤/添加剤の開発とあわせ，接触薄層現像/タンデム静電多重転写プロセス，多段ロール定着/背面加熱乾燥プロセス，現像剤循環/再分散プロセスなどの開発を行った．連帳紙を用い，オフセット印刷同等の画質を達成し，また，多様なメディアへの印字と，ラミネートやニス塗布などの後加工適性を実証した．

©一般社団法人 日本画像学会

揮発性キャリア現像剤を用いた液体現像システムの開発

中山 信行，辰浦 智，山田 太一，鈴木 俊彦，
山下 隆麿，井出 収

富士ゼロックス株式会社　マーキング技術研究所

Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer

Nobuyuki Nakayama, Satoshi Tatsuura, Taichi Yamada, Toshihiko Suzuki,
Takamaro Yamashita, and Osamu Ide

Marking Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.

A liquid electrophotography system was developed using liquid developer consist of volatile carrier oil with a high boiling point and fine toner particles. Objectives of the system were to achieve high image quality, high productivity, wide media latitude, low run cost, and high post process capability in order to obtain applicability to wide variety of production print applications such as commercial print, label, carton and soft package. For the purpose, in addition to engagement of newly designed developer and additives, an image forming process using contact development process and tandem type electrostatic multi transfer process, back heat type oil drying process, roller fixing process, and developer circulation and dispersion process were developed. High image quality comparable to offset prints, printability to wide variety of media and high capability to post laminating or varnishing process were demonstrated.

1. はじめに

近年，商業印刷，ラベル，紙器（紙製パッケージ），軟包装（薄フィルムパッケージ）など印刷プロダクション市場への拡張を目指したデジタルプリント技術の開発が活性化している [1,2]．これらの市場では，高画質，高生産性，低ランコスト，メディア汎用性（厚紙，薄紙，フィルム，ラベル紙など），後加工（ラミネート，ニス塗布など）適性といったさまざまな性能が要求され，また適用するアプリケーションにより，重要度や要求値が異なる．さらに，ラベルなどでは連続紙が一般的であるが，商業印刷などでは，カット紙であることや両面適性が重要である．

これらの要求に対する主要な画像形成技術は，インクジェット（IJ: Ink jet）と電子写真技術であり，後者では，乾式トナーを用いるプロセス（DX: Dry xerography）と液体キャリアオイル中に分散したトナーを用いる液体現像（LID: Liquid ink development）プロセス [3,4]がある．

LID プロセスは後述する Fig. 2 に示す原理であり，絶縁性液体中に分散させたトナーに外部から電荷を付与し，接触現像/転写を行う．接触プロセスであること，液体中で微小粒径のトナーを使用できること，オイル潤滑により部材の長寿命が期待できることなどから，高画質，高生産性，低ランコスト，メディア汎用性などを同時に獲得でき，幅広いアプリケーションに適用できる可能性がある．また，IJ に対しては，普通紙画質，フィルム適性などの点で，DX に対しては，生産性やランコストなどの点での優位性が期待できる．

液体現像剤に用いられるキャリアオイルは，揮発性で特徴付けられる．揮発性の低いオイルは，画像形成後にメディア上に残留し，ラミネートやニス塗布といった後加工適性が獲得しにくい問題がある．

Table 1　Market requirements and adopted methods.

	Application	Com-mercial printing	Label	Carton	Soft package
Requirement	Image quality	◎	○	○	○
	Productivity	◎	○	◎	◎
	Run cost	◎	○	○	◎
	Medium latitude	○	◎	◎	◎
	Post process capability	–	◎	○	◎
	Cut sheet/ Duplex capability	◎	–	–	–

Adopted methods
- Volatile oil/ fine toner
- Tandem layout
- Contact development
- Electrostatic transfer
- Roller/IR drying
- Roller fixing

◎ Highly important, ○ Important, – Less important
Improving relation　Degrading relation

本研究では，揮発性の高いキャリアオイルを用いて微小粒径のトナーを分散した液体現像剤を採用し，幅広いアプリケーションに共通に適用できるタンデム型 LID システムの開発に取り組んだ．各アプリケーションの要求特性と，採用した技術の関係は Table 1 に示すとおりである．タンデム型静電転写方式の採用は，生産性の点で有利であるが，メディア汎用性がひとつの課題となる．また，後加工適性を獲得するため，オイルを除去する乾燥プロセスを設ける

〒250-0111 神奈川県南足柄市竹松 1600 番地
1600 Takematsu, Minamiashigara, Kanagawa, 250-0111, Japan
e-mail: Nobuyuki.Nakayama@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

が，高生産性を達成するためには，高速乾燥性能が必要となる．さらに，揮発性現像剤を安定して扱うための技術が必要である．

2. LID システム

2.1 システム構成

開発した LID システムの全体構成を Fig. 1 に示す．電子写真の原理による帯電，露光，現像，転写プロセスで構成される画像形成部を 4 色分併置した．各色画像形成部の構成と画像形成プロセスは Fig. 2 に示すとおりである．

Fig. 1 において，最終転写後には，オイルを除去する乾燥プロセスと，トナーの定着プロセスが配置される．このほかに，画像形成領域各部に搬送された現像剤を回収し，固形分濃度などを調整して再度現像部に供給する現像剤の循環プロセスが必要となる．

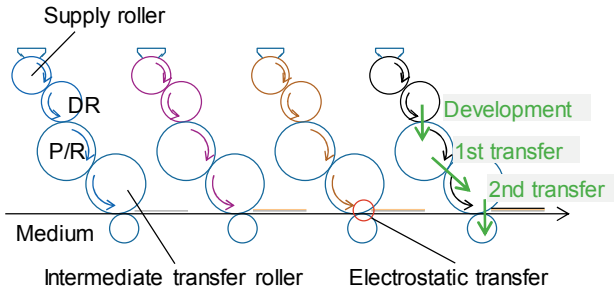


Fig. 1 Developed LID system configuration.

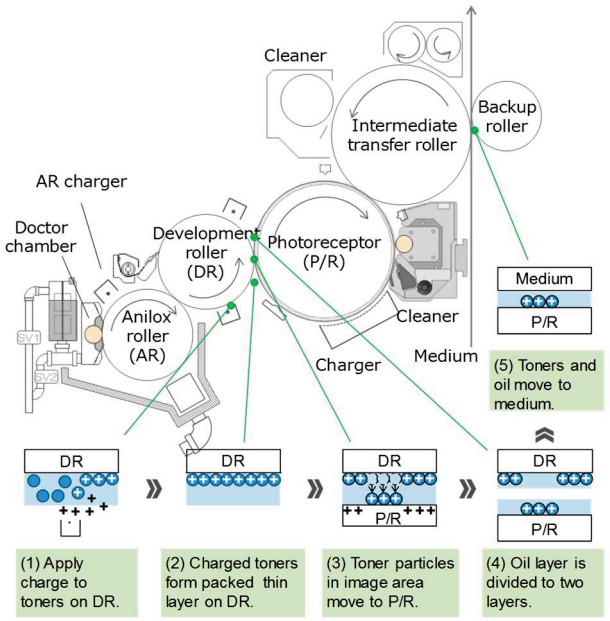


Fig. 2 Image forming process and configuration.

開発した主要技術の特長は以下のとおりである．

現像剤： 分散性/定着性/フィルム接着性/保管性を両立する小径トナー技術および添加剤技術
現像： 高画質化接触現像パラメータ技術と揮発現像剤のマネジメント技術
転写： 多種メディアへのタンデム多重転写技術
乾燥： 多種メディアでの浸透オイル高速除去技術
定着： 定着性と後加工適性を実現するローラ定着パラメータ技術
循環： 現像剤循環・回収機構と現像剤の再分散・固形分濃度制御技術

2.2 画像形成プロセス

画像形成プロセスの動作の概略を Fig. 2 を参照して説明する．

貯蔵槽（Doctor chamber）内の液体現像剤が現像剤供給ローラ（Supply roller）上に供給され薄層を形成する．供給ローラには，フレキソ印刷で利用されるアニロックスローラ（AR: Anilox roller）を採用した．続く層形成プロセスでは，AR から現像ローラ（DR: Development roller）に転移させたトナーにコロトロン電荷を付与し（Fig. 2 (1)），静電力により DR 表面側へ一様膜状に付着（パッキング）させ，高精細で均一な画像形成を可能とする（Fig. 2 (2)）．

現像プロセスでは，DR と感光体の表面を接触させ，DC 現像バイアスを印加してパッキングしたトナーを画像部へ転移させる（Fig. 2 (3)）．瞬時に画像形成が完了することから，高速適性に優れる一方で，現像剤薄層のムラがそのまま画像構造に影響するため，上述した層形成プロセスが重要となる．現像ニップ出口では，キャリアオイル層内部でオイルが両方のローラ表面に分断されることで，現像像の乱れやカブリを防止する（Fig. 2 (4)）．トナー層の電荷量変化やトナーの過度な凝集により，現像効率の低下や非画像部へのカブリが生じる場合がある．また，現像ニップの出口では，キャリアオイルの表面うねり（リビング）が発生し，その影響で筋状の画像ムラとなる LID 方式特有の課題がある．

転写プロセスは，中間体ローラを用いており，一次転写では，感光体上の現像像を DC バイアスで中間体へ転写し（Fig. 2 (5)），さらに，中間体からメディアへの二次転写を行う．メディアの静電容量，表面電位，転写ニップ前後の姿勢，などにより，転写特性が大きく影響を受ける．さらには複数エンジン間では前色のエンジンでの転写履歴や，連続紙の場合には搬送張力（テンション）など機械力によるトナー像の乱れが生じる場合がある．

3. 主要要素技術

以下に主要要素技術の構成と特長，性能を述べる．

3.1 現像剤/添加剤 [5)]

現像剤は，揮発性キャリアオイルと一般の乾式トナーより微小粒径のトナーを採用し，樹脂，添加剤などを新たに開発した．

現像剤の構造は Fig. 3 示すとおりである．トナー母体については，揮発オイルとの親和性，フィルム

© 一般社団法人 日本画像学会

基材との接着性を考慮した樹脂を開発した．また，LID 特有のリビングの影響を抑制するため，添加剤により現像時のトナーのパッキング性を上げる施策を導入した．

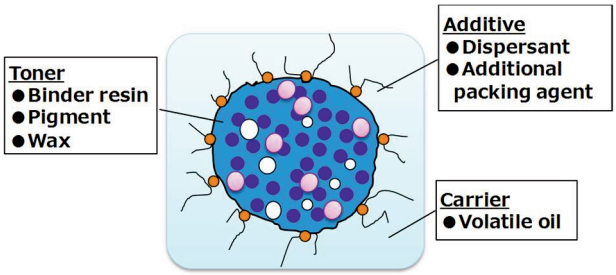


Fig. 3　Liquid developer configuration.

3.2　現像プロセス [6)]

現像剤供給には，前述した AR を用いている．AR は，表面に微細な窪み（セル）を有する硬質のローラで，ドクターブレードを当接して回転させることにより，所望量の液体現像剤をローラ表面に保持する．AR 表面のセルパターンは，リビングの影響をうけにくいヘリカル構造を選択した．また，AR に現像剤を供給する貯蔵槽には，現像剤乾燥を抑制するために，密閉構造のドクターチャンバー方式を採用した．

AR から DR へ均一化した現像剤層を転移させるプロセスでは，供給されるトナー量をメディアの種類により制御する必要がある．そこで，AR に対向して配置したコロトロン（AR charger）により付与するトナーの帯電量を変えることで，トナー量を制御している．

3.3　転写プロセス [7)]

転写プロセスの構成は Fig. 1 および Fig. 2 に示したとおりである．感光体上に現像されたトナー像は，中間体を介してメディア上に静電転写する．このようなタンデム型静電転写により，多様なメディアへの多重転写性を確保することが課題である．具体的には，厚紙や合成紙など，静電容量が小さいメディアへの転写効率向上が問題となる．リビングの影響抑制などのために現像プロセスで高帯電/高バイアスが必要なことから，転写前のトナー電荷量が高い（DX の 10 倍以上）ことがひとつの障害である．

転写効率改善のため，転写領域の電界解析も行って要因と対策を検討し，次の施策を導入した．

①メディアパスを最適化してプレニップ放電を抑制し，トナーの逆極性化を抑制し，また高電界を確保する．

②一次転写バイアスによりトナー電荷量を制御し，二次転写バイアスの過度な上昇を抑制する．

これにより，合成ラベル紙のような静電容量が小さいメディアでも十分な転写効率が実証できた．

3.4　乾燥プロセス [8)]

後加工適性を獲得するためにメディア上への画像形成後に，メディアに浸透したオイルを回収する乾燥プロセスが必須となる．メディア上にトナーとオイルが転写塗布された際には，トナー層/メディアコート層/メディア基材層の各層にオイルが吸収されながら，各層からある速度で揮発する．オイルの存在比率は，塗布後の経過時間と各層の毛管現象による吸引力で決定され，揮発速度は飽和蒸気圧と各層の通気抵抗および表面からの浸透深さによって決まる．さらに溶融したトナーは変形し表面を覆って通気抵抗を変化させるため，乾燥効率は表面のトナー量と加熱温度および時間にも依存する．

上記メカニズムに基づいて要因効果を検討し，乾燥性はメディア温度に強く依存することが分かった．短時間でメディアを昇温するため，連続紙に対しては，背面からの接触加熱＋温風による蒸気排出方式を採用した．また，カット紙に対しては，ローラとの接触が不安定となることから，遠赤外ヒーター方式を採用した．

3.4　定着プロセス

定着プロセスについては，基本機能であるグロスや定着強度に加え，ラベルや紙器で必要となるラミネート/ニス適性を獲得する必要がある．これらについては，トナー樹脂および添加剤と，2 ローラ定着パラメータの最適化を行っている．目標とする定着性能を達成し，後加工適性については，ラミネート接着強度や，ニス塗布性に対して問題ない結果を得ている．

3.5　循環プロセス

画像形成領域では，キャリアオイル量，トナー量が変化しながら，ローラ間を現像剤が順次転移していく．各ローラ上に転移した余剰現像剤を回収して，混合し，さらにトナー分散性や固形分濃度（SC: Solid concentration）を適性値に再調製して再利用する現像剤循環プロセスを設けている．

Fig. 4 に開発した現像剤循環プロセスの構成を示す．画像形成領域各部から回収した現像剤を冷却しながら超音波攪拌により再分散する．その後，メインタンク内で，新たな高濃度現像剤やキャリアオイルと所定比率で混合する．ここでは，回収した現像剤の SC を検知しながら，高濃度現像剤とキャリアオイル量を制御する．分散性，SC が調整された現像剤は中間タンクを介して現像層形成プロセスの現像剤貯蔵部に供給する．

画像カバレッジを 4～60%の範囲で切り替えながら稼動させた際の，中間タンクにおける SC の変化を Fig. 5 に示す．目標 SC に対して変動幅を数%の範囲に制御できている．

© 一般社団法人 日本画像学会

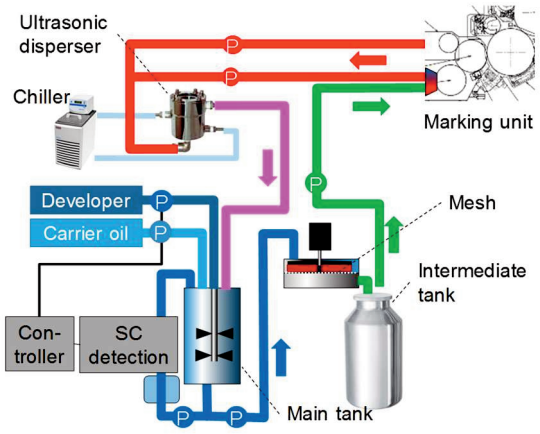


Fig. 4　Developer circulation process configuration.

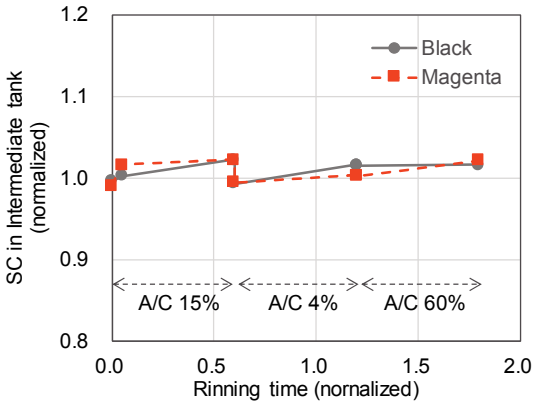


Fig. 5　Relation between SC and operation time.

4.　性能検証結果

以上で述べた LID システムにより，所望の画質，生産性，メディア汎用性，後加工適性が得られた．画質に関しては，Fig. 6 に示す拡大写真のとおり小サイズ文字およびハイライト中間調画像の良好な再現性が検証できた．小径トナーの採用とリビングの影響抑制が寄与した．また，総合的な画質評価結果を市販印刷機の結果と合わせて Fig. 7 に示す．縦軸は，独自に規程している画質スコアであり，アナログ印刷と遜色ないレベルの画質が得られている．

5.　まとめ

揮発性キャリアオイルと小径トナーからなる現像剤を導入し，幅広いアプリケーションに共通に適用できるタンデム型 LID システムの開発に取り組んだ．現像剤/添加剤の開発とあわせ，接触薄層現像/タンデム静電多重転写プロセス，多段ローラ定着/背面加熱乾燥プロセス，現像剤循環/再分散プロセスなどの開発を行った．

画質，生産性，メディア汎用性，後加工適性など市場要求を満足する性能を達成した．画質については，小径トナーによる解像度，粒状性の向上と，LID 特有のリビングの影響を解消することにより，印刷同等の画質が達成できた．

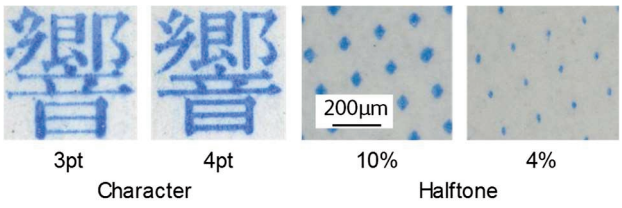


Fig. 6　Image obtained in present study.

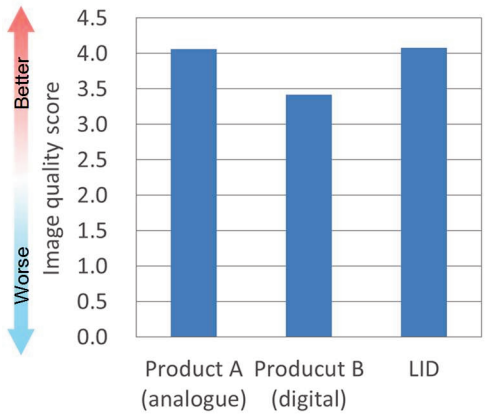


Fig. 7　Image quality evaluation results.

参考文献

1) Hidetomo Doi, “Digital Printing and Publishing Market in Japan,” Journal of the Imaging Society of Japan, **55**, pp. 549-555 (2016) [in Japanese].
2) Shinri Sakai, “Report of Drupa 2016,” Journal of the Imaging Society of Japan, **56**, pp. 107-110 (2017) [in Japanese].
3) Eishu Odake, “Outlook of Liquid Development Technology,” Journal of the Imaging Society of Japan, **49**, pp. 108-115 (2010) [in Japanese].
4) Tsutomu Teraoka, “Think Liquid Development Technology for Digital Printing,” Presentation Material of 54th Imaging Cafe of the Imaging Society of Japan, (2016).
5) Chisato Urano and Osamu Ide, “Adhesion of Liquid Electrographic Images with a substrate in Flexible Packaging,” Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].
6) Yuki Yokoyama, Toshihiko Suzuki, and Nobuyuki Nakayama, “Application of Volatile Liquid Toner for Liquid Electrographic Images using High Concentration Contact Developing Method,” Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].
7) Taijyu Gan, Takeshi Nagao, Toshihiko Mitsuhashi, Toshihiko Suzuki, and Nobuyuki Nakayama, “Development of Transfer Process Applicable to Various Mediums for Liquid Electrophotography with Tandem-Electrostatic Transfer Method,” Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].
8) Masaaki Abe, Satoshi Tatsuura, and Nobuyuki Nakayama, “Development of Drying and Fixing Processes for Liquid Electrophotography,” Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EP1] 電子写真デバイス (1)
Electrophotographic Devices (1)

2018年6月19日(火) 14:40 ～ 15:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP1-02] ゴースト光除去光学系による光束分割書込方式の開発
Development of a Beam Splitting Laser Scanning Method with an Optical System Removing Ghost Light

*仲村 忠司[1]、今井 重明[1]、林 善紀[1] （1. 株式会社リコー）
*Tadashi Nakamura[1], Shigeaki Imai[1], Yoshinori Hayashi[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

ゴースト光を除去する光学系により、カラー電子写真装置における低コスト・省スペース化を可能とする光束分割書込方式の搭載を実現可能とした

©一般社団法人 日本画像学会

ゴースト光除去機構を有する光束分割書込方式の開発

仲村　忠司，今井　重明，林　善紀

株式会社リコー　研究開発本部　APT 研究所　画像応用開発センター

Development of a beam splitting laser scanning method with an optical system removing ghost light

Tadashi Nakamura, Shigeaki Imai, and Yoshinori Hayashi

Applied Imaging Development Center, Institute of APT, R&D Division, RICOH Co., LTD.

In a beam splitting laser scanning method, ghost light due to a return light to a light source causes an error image. We show the optical system removing ghost light and its effect for an error image. Using this beam splitting laser scanning method, we developed the world's first beam splitting laser scanning unit with VCSEL (vertical cavity-emitting laser) light source to realize high-speed, high-density, low-cost and compact color production printer.

１．背景と目的

カラー電子写真装置においては，シアン，マゼンタ，イエロー，ブラックの各色に対応した感光体を並列したタンデム方式が主流となっており[1)]，通常，4 つの感光体に対して 4 つの光源部を備えている．特に，近年では，高速化，高画質化の要求に応えるため，光源部に VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser)[2)]等のマルチビーム光源を用いる機種が増えてきている．そのような機種では[3)]，光源のコストウェイトが高く，駆動ボード含めたサイズも大きいため，光源の数を低減することが，低コスト化と省スペース化に対して有効である．我々はそのために，光束を分割し，光源数を低減する方法を検討した．

光束を分割し，複数の走査領域を走査する技術として，回折素子を用いた方式があり，回折光学素子により，一つの光束を複数に分割して，マルチビーム化を実現している[4),5)]．しかし，この方式は，分割したそれぞれの光束を独立に変調させる音響光学素子などが必要であり，コストアップと大型化を招く．

これに対し，我々は 1 つの光束から分割した光束をそれぞれ異なる感光体へ導光し，それぞれの感光体を走査するタイミングを時間的に分離し，2 つの感光体を交互に走査する光束分割方式を考案した．この方式では，上述の音響光学素子のような特別な変調素子を用いることなく光源部の数を半減することができるので，低コスト，省スペースが可能となる．この方式では，方式特有のゴースト光が発生し，そのゴースト光に起因して，異常画像が発生してしまうが，このゴースト光を低減するための光学系構成をこれまでに報告している[6)]．本報では，その構成によるゴースト光低減の効果と，その結果としての異常画像の抑制結果について報告する．

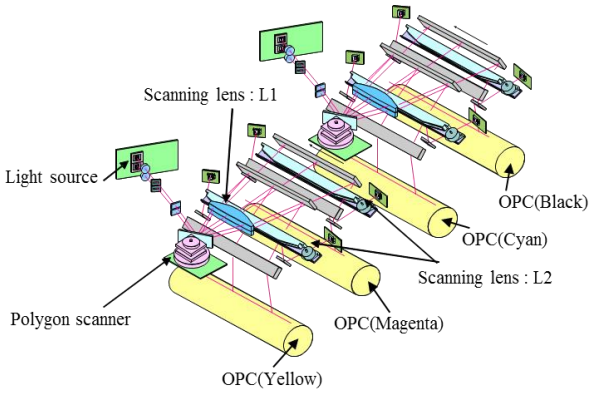


Fig.1 Tandem type LSU(laser scanning unit) in color laser printer.

２．光束分割書込方式の構成

先に示した Fig. 1 のタンデム書込ユニットの例では，2 つの書込ユニットで構成されており，1 つの書込ユニットは 2 つの光源部を有しており，各光源からの光束が，反射面を 2 段構成とした 2 段ポリゴンスキャナの上下段にそれぞれ入射し，ポリゴンスキャナが回転することにより，各光束がそれぞれ対応する 2 つの感光体に露光する．

このような書込ユニットの 2 色対応部(Yellow, Magenta)用のレーザ駆動と感光体露光のタイミングチャートを Fig. 2 に示す．また，書込光学系の模式図を Fig. 3 に示す．Fig. 2 では，横軸に時間をとっており，時間 t が経過するにつれ，複数の反射面(Fig. 3 中では 4 面)を持つポリゴンスキャナが反時計回りに回転し，光源部からの光束を走査していく．多くの場合，感光体上の画像領域の直前に配置した同期センサ PD(Photo Diode)を走査するタイミングで光源部を発光し，その信号出力(Sync detection)により，ポリゴンスキャナの回転角を検知して，感

＊〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1
＊2-7-1 Izumi, Ebina-city, Kanagawa, 243-0460, Japan
e-mail: tadashi.t1.nakamura@jp.ricoh.com

© 一般社団法人 日本画像学会

光体上の書き出し位置を制御している．走査角 θ は，1 つの光源がポリゴンスキャナ 1 面で走査できる最大の角度，画角 θ_0 は，1 つの感光体の画像領域を走査する角度である． また，それぞれの角度だけ光束を走査する時間を t_θ，$t_{\theta 0}$ とする．ここで，Yellow，Megenta 対応部の 2 つのレーザは異なる駆動回路を用い，並列に駆動制御されている．

これに対して，光束分割書込ユニットは，1 つの光源部から射出した光束を分割し，分割された 2 つの光束がそれぞれ異なる感光体を交互に走査する．2 つの感光体への書込データは異なるため，それぞれの感光体を露光するタイミングが時間的に分離されている必要がある．

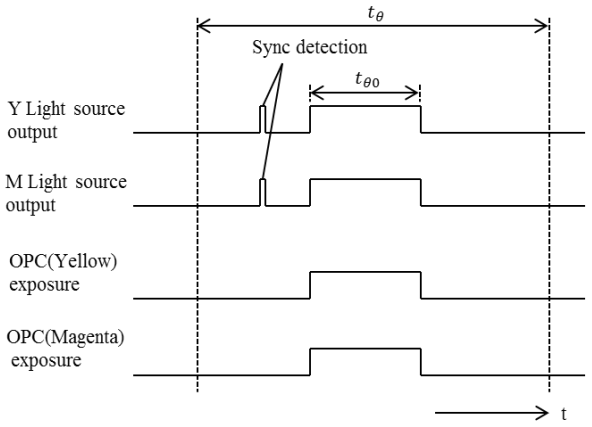


Fig.2 Timing chart of laser driving of general LSU.

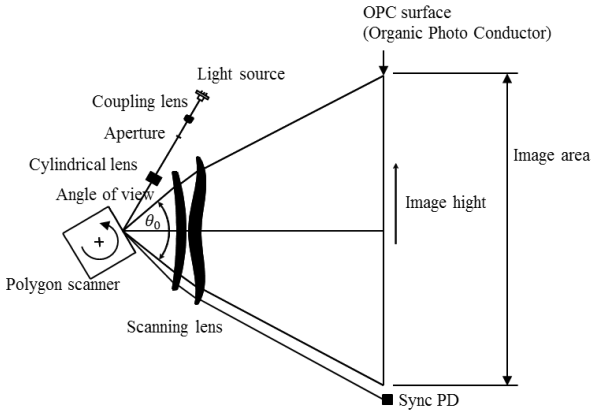


Fig.3 Optical system of LSU.

光束分割書込光学系の主要部構成を Fig. 4, 7 に示す．光源からの光束を偏光ビームスプリッタ (Polarizing Beam Splitter：PBS) と全反射プリズムにより上下に平行な 2 つの光束に分割し，回転方向に位相をずらした，位相差 2 段ポリゴンスキャナにより，上下段の光束を時間的にずらして感光体を走査する．このような構成により，1 つの光源で 2 つの感光体を時間的に交互に走査することができる．このことを Fig. 5 を用いて詳細に説明する．図示された位相差 2 段ポリゴンスキャナの上下段 4 面ミラーの位相差は 45 度である．ここで，位相差 2 段ポリゴンスキャナは反時計回りに回転しており，(a) に対し，(b) は反時計回りに 20 度回転，(c) は 45 度回転，(d) は 65 度回転した状態である．

(a) では，下段ミラーでの反射光が感光体に到達し，上段ミラーでの反射光は遮光される．(b) では，(a) と同様に下段ミラーでの反射光が感光体に到達し，上段ミラーでの反射光が遮光されるが，(a) とは感光体上の照射位置が異なる．(c)，(d) では，上段ミラーでの反射光が上記とは異なる感光体に到達し，下段ミラーでの反射光は遮光される．(a) に対し，位相差 2 段ポリゴンスキャナが 90 度時計回りに回転すると，再び，(a) の状態になる．

上記のように，光束分割方式を採用した書込ユニットのタイミングチャートを Fig. 6 に示す [7]．Fig. 6 に示すように，光束分割方式では，2 つの感光体 (Yellow，Magenta) を走査する時間が異なっている．

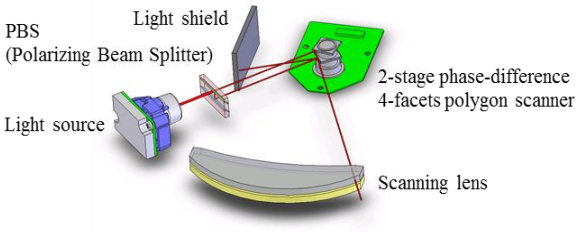


Fig. 4 Main configuration of beam splitting method.

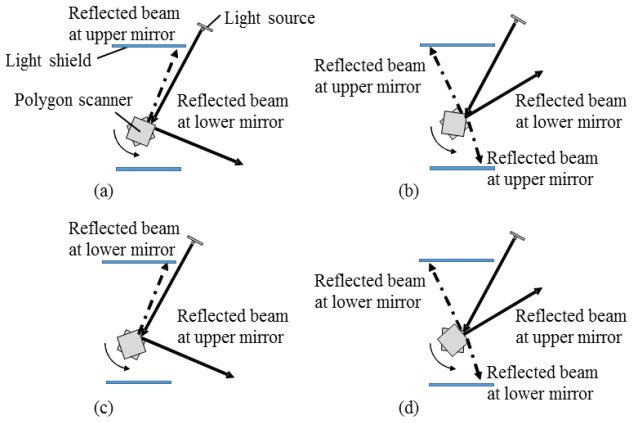


Fig. 5 Alternately scanning with use of 2-stage phase-difference polygon scanner.

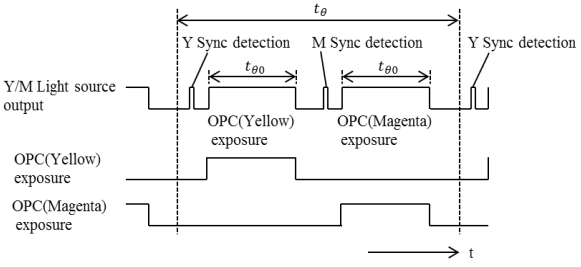


Fig. 6 Timing chart of laser driving of the beam splitting method.

3．ゴースト光を除去する光学系

© 一般社団法人 日本画像学会

光束分割書込光学系の，光源からポリゴンスキャナまでの構成を Fig. 7 に示す．ここで，ポリゴンミラーの回転軸方向を z 方向，z 方向とポリゴンスキャナまでの各光学素子の光軸に垂直な方向を y 方向と呼ぶ．y 方向を偏光方向，光学軸，透過軸での 0 度と定義し，z 方向を 90 度と定義する．

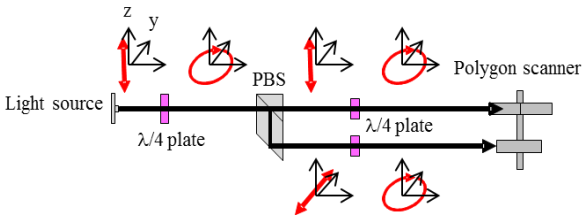


Fig. 7 The configuration from the light source to the polygon scanner.

光源から射出される光束は，偏光方向 90 度の直線偏光であり，光学軸が 45 度の 1/4 波長板(以降，λ/4 板と呼ぶ)により円偏光に変換される．円偏光となった光束は，透過軸が 90 度と 0 度の PBS と全反射プリズムにより，上段は偏光方向 90 度，下段は偏光方向 0 度の直線偏光として，上下方向に平行な 2 つの光束に分割される．

このとき，光束分割方式特有の，次のような問題が発生する．上段ミラーの反射光が感光体へ書き込みを行っている際，下段ミラーが光源からの入射光に対し垂直配置となるタイミングが生じ，下段ミラーでの反射光が光源へ戻る光が発生する．その様子を Fig. 8 に示すが，光源へ戻った光は光源で反射し，再び上段ミラーに向かい，上段で反射されて，書き込み中の感光体に到達するゴースト光となり，異常画像を形成してしまう．

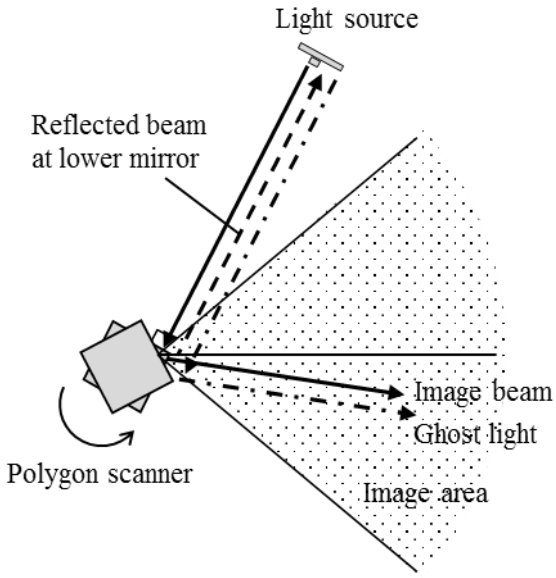


Fig. 8 The reflected beam going back to the light source.

そこで，このようなゴースト光を除去するため，本光学系では，上下に分割された各々の光束に対し，再度 λ/4 板を透過させ，同じ回転方向の円偏光としてポリゴンミラーに入射させる構成としている．この結果，Fig. 9 に示すとおり，下段ミラーで反射され光源側に戻る円偏光の光束は，λ/4 板を透過し，偏光方向が 90 度の直線偏光の光束として PBS に入射するため，PBS を透過し，光源側に反射光は向かわない．また，同様に上段ミラーで反射され光源側に戻る円偏光の光束は，λ/4 板を透過し偏光方向が 0 度の直線偏光の光束として PBS に入射するため，PBS で反射し，光源側に透過されない[8),9)]．このような構成をとることにより，ゴースト光を除去できる．

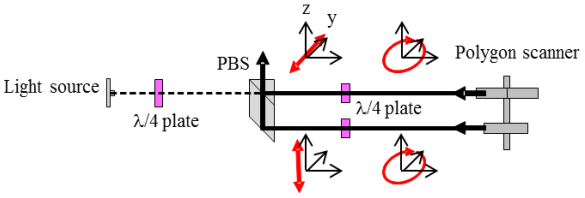


Fig. 9 Optical system removing the ghost light.

4．ゴースト光除去の効果

前節で述べたゴースト光除去のための構成の効果を，光出力の測定にて検証した．その測定結果を Fig. 10 に示す．ここでは横軸に像高，縦軸に光出力をとっており，中央部の矢印で示した部分が，戻り光が発生してゴースト光が感光体に重畳照射されている領域である．Fig. 10 の(a)はゴースト光対策を施していないため，ゴースト光が重畳されていない領域の光量 157 μW に対して，ゴースト光が重畳照射されている領域の光量は 165 μW であり，光量が急峻に変化している．前節で示したゴースト光除去対策すると，このような急峻な光量変化が解消されることを確認した．

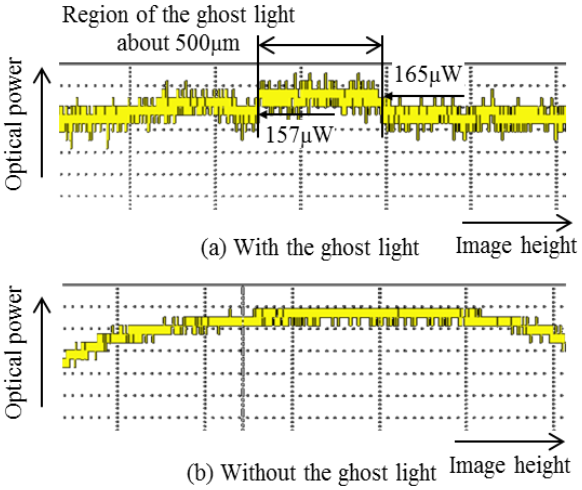


Fig. 10 Effect of the ghost light on optical power.

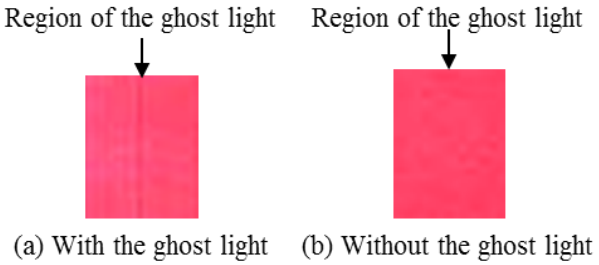


Fig. 11 Effect of the ghost light on image.

さらに，ゴースト光除去対策を施していない光束分割書込ユニットと，対策を施した書込ユニットにて画像を出力した結果を Fig. 11 に示す. ゴースト光除去対策を施していない Fig. 11(a)では，ゴースト光が重畳されている領域で光量が強くなり，その領域(Fig. 11 中矢印部分)の濃度が濃くなり，縦筋の異常画像が発生した．これに対して，Fig. 11(b)はゴースト光除去対策を施した結果であり，ゴースト光が除去され，縦筋の異常画像が解消されていることがわかる．

５．まとめ

カラー電子写真装置において，光源数を半減することで，低コスト，省スペースを可能とする世界初の光束分割方式を考案した．光束分割方式ではゴースト光が発生し，縦筋の異常画像が形成するが，ゴースト光を除去する光学系により，縦筋の異常画像が解消されることを示した．

40 チャンネル VCSEL を用いたプロダクションプリンティング分野のカラー複合機に，上記ゴースト光除去対策を施した光束分割方式を搭載することで，40 チャンネル VCSEL の使用個数を半減し，大幅なコストダウンと小型化を実現した．

参考文献

1) K. Sakai, “A Technical Overview of Optical Unit for Tandem Color Laser Printer,” IS&T International Conference NIP22 (2006), pp.568-571.
2) N. Jikutani et al., “780nm-range 40 Channels VCSEL Array for Printers,” Ricoh Technical Report, 37, pp.74-80 (2011) [in Japanese].
3) K. Sakai et al., “Laser Scanning Module Adopted with VCSEL array,” Ricoh Technical Report, 37, pp.81-86 (2011) [in Japanese].
4) K. Kataoka, “High-speed and high-resolution laser printer optics using multiple beams,” Journal of the Society of Electrophotography of Japan, 37, No.1 pp.91-98, (1998) [in Japanese].
5) K. Kataoka et al., “Optics for modulating multiple beams using an asymmetric multilevel phase grating and a multichannel acousto-optic modulator,” Applied Optics, 36, No.4 853-861, (1997).
6) Y. Itami et al., Ricoh Technical Report No.42 P.83-P.90, (2016) [in Japanese].
7) Y. Hayashi (Ricoh Co., Ltd.), Japanese Registered Patent 4880767 (2011).
8) Y. Hayashi (Ricoh Co., Ltd.), Japanese Registered Patent 4445234 (2010).
9) Y. Hayashi (Ricoh Co., Ltd.), Japanese Registered Patent 4500738 (2010).

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electrophotography

[EP2] Electrophotographic Devices (2)

Session Chair:Yasuaki Watanabe(Fuji Xerox Co., Ltd.), Hiroyuki Matsushiro(Ricoh Company, Ltd.)

Tue. Jun 19, 2018 3:40 PM - 4:40 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP2-01] On External Heating Fuser Technology for On Demand and High Productivity Printing of LBP

*Akimichi Suzuki[1], Satoshi Nishida[1], Isamu Takeda[1], Shotaro Ikegami[1] （1. Canon Inc.）

3:40 PM - 4:00 PM

[EP2-02] The Energy-Saving Fixing Apparatus Which Achieved Production Print Image Quality and Cardboard Speeding

*Toshihiro Wazumi[1], Kazunori Nishinoue[1], Hiroaki Miho[1] （1. KONICA MINOLTA, INC.）

4:00 PM - 4:20 PM

[EP2-03] Development of Drying Process for Liquid Electrophotography

*Masaaki Abe[1], Satoshi Tatsuura[1], Nobuyuki Nakayama[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

4:20 PM - 4:40 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EP2] 電子写真デバイス (2)
Electrophotographic Devices (2)

2018年6月19日(火) 15:40 ～ 16:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP2-01] オンデマンド性・高生産性を実現した外部加熱定着方式
On External Heating Fuser Technology for On Demand and High Productivity Printing of LBP

*鈴木 彰道[1]、西田 聡[1]、竹田 敢[1]、池上 祥太郎[1] （1. キヤノン株式会社）
*Akimichi Suzuki[1], Satoshi Nishida[1], Isamu Takeda[1], Shotaro Ikegami[1] （1. Canon Inc.）

キヤノンは、高い生産性と省エネ性を兼ね備えたLBP654Cを、2017年4月に発売した。この製品では、新規開発となる外部加熱方式の定着器技術を採用することにより、TEC値1.0kwh、連続印刷27枚/分・ファーストプリント8.6秒の高速プリントを実現した。これらの実現のために、外部加熱方式の定着器技術として、外部加熱ユニット、3層の層構成を有する定着ローラ、加圧ユニット、均熱板を採用した。本報告では、伝熱シミュレーションを用いて、従来機定着器との比較から、これらの技術による定着器性能向上を確認した。

Canon has released LBP654C which is an energy saving and a high-speed printing in April, 2017. This product accomplished a high-speed printing of up to 27 pages per minute with a quick first print of 8.6 seconds and a high print quality. For these achievement, an external heating fuser technology has been newly developed. Especially this new fuser technology contributes to the print quality uniformity and temperature rise on the non-paper region. In this paper, the improvement of the fuser performance has been confirmed through comparison with the conventional fuser by using a heat transfer simulation.

©一般社団法人 日本画像学会

オンデマンド性・高生産性を実現した外部加熱定着技術

鈴木　彰道，西田　聡，竹田　敢，池上　祥太郎

キヤノン株式会社 周辺機器第二開発センター

On External Heating Fuser Technology for On Demand and High Productivity Printing of LBP

Akimichi Suzuki, Satoshi Nishida, Isamu Takeda, Shotaro Ikegami

Peripherals Development Center 2, Canon Inc.

Canon has released LBP654C which is an energy saving and a high-speed printing in April, 2017. This product accomplished a high-speed printing of up to 27 pages per minute with a quick first print of 8.6 seconds and a high print quality. For these achievement, an external heating fuser technology has been newly developed. Especially this new fuser technology contributes to the print quality uniformity and temperature rise on the non-paper region. In this paper, the improvement of the fuser performance has been confirmed through comparison with the conventional fuser by using a heat transfer simulation.

１．はじめに

近年、レーザープリンターの消費電力削減のために、各社で様々な定着器が活発に開発されている。キヤノンでは、低熱容量化を図った ODF（On Demand Fuser）を開発し、多くの機種に採用している [1)]。

一方、レーザープリンターの小型化・高速化がより一層進展しており、各社から様々な製品が発表されている。ODF は小型化・ファーストプリント時間短縮・消費電力削減の面で大きな利点がある反面、高速化に伴い定着部材や加圧部材の非通紙部昇温の増大が課題として挙げられる。

キヤノンは、高い環境性能・高速プリントを特長とする LBP654C を、2017 年 4 月に発売した [2)]。従来機（LBP7200C）との比較で、連続印刷速度（A4 サイズ）35%向上、ファーストプリント時間 42%短縮、TEC 値に関しては 28%削減を実現した。本製品は、上記の実現のために新たに開発された外部加熱方式の定着器を搭載した。

本稿では、LBP654C に搭載した外部加熱方式の定着技術に関して、技術概要と動作原理に関して説明する。また、伝熱シミュレーションを用いた技術考察、及び、従来機定着器との比較からの性能向上に関する検証結果について報告する。

２．LBP654C の紹介

LBP654C の製品概要を述べる。Table 1 に LBP654C の基本仕様を、Fig. 1 に LBP654C の外観図を挙げる。

LBP654C は、連続印刷 27 枚/分・ファーストプリント 8.6 秒の高速プリント、TEC 値 1.0kWh の高い環境性能を実現し、両面印刷や無線 LAN、タッチパネル搭載などの機能性も充実している、更には、より鮮やかでくっきりとした高画質を実現し、カラー写真などもクリアにプリントすることが出来る。

Table 1 Specifications of LBP654C

Type	Desktop Color Laser Printer
Printing Method	Electrophoto Method
First-Print Time (BW/Color)	8.3s/8.6s
Print Speed (BW/Color)	Up to 27/27ppm (A4)
Warm-up Time	13s or Less from Power On
Recovery Time	2s or Less from Sleep State
Typical Electricity Consumption	1.0kWh
Energy Star	Yes

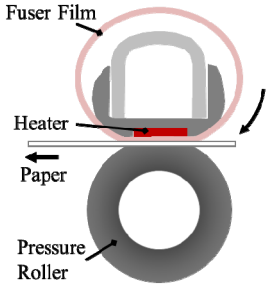
Refer to disclaimers of reference 2).

〒212-8602 神奈川県川崎市幸区柳町 70-1
70-1, Yanagicho, Saiwaiku, Kawasaki, Kanagawa 212-8602, Japan
e-mail: suzuki.akimichi @canon.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会



Fig. 1 LBP654C の外観図



Fuser Film	
Diameter	18mm
Top Layer	PFA
Elastic Layer	Silicone Rubber
Base Layer	Stainless Steel
Heater	
Substrate	Ceramic
Pressure Roller	
Diameter	20mm
Top Layer	PFA
Elastic Layer	Silicone Rubber
Core	Steel

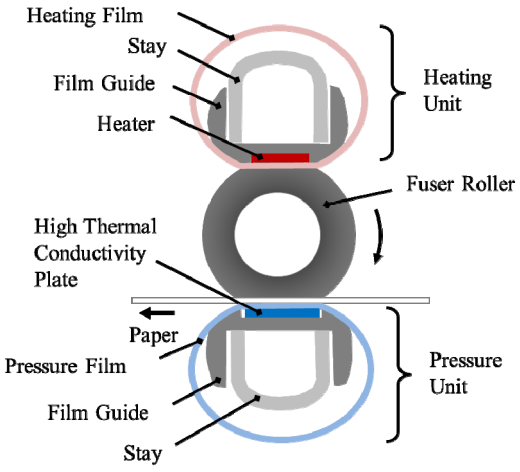
B. Conventional ODF Fuser (LBP7200C)
Fig. 2 Cross-section of Fuser Unit

3．外部加熱定着技術

LBP654C では、前述した従来 ODF 定着の課題である非通紙部昇温に対する対応、及び、画像均一性の向上のため、新規に開発した外部加熱方式のオンデマンド定着技術を採用した。以下に、LBP654C における定着器技術の概要を説明する。

3－1．外部加熱方式の構成

外部加熱方式の定着技術に関して説明を行う。Fig. 2 に外部加熱方式(A)と従来 ODF 方式(B)の定着器構成の断面概略図を挙げる。外部加熱方式は、加熱ユニット、定着ローラー、加圧ユニットの 3 つの要素からなる。加熱ユニットは、従動回転する加熱フィルムとその内部に配置されたセラミックヒーターを有し、不図示の加圧機構で定着ローラーに押圧されている。定着ローラーは、不図示の駆動部に回転駆動され、3 層の層構成を有する。加圧部は従動回転する加圧フィルムとその内部に配置された高熱伝導板からなり、不図示の加圧機構により押圧されている。紙は、定着ローラーと加圧ユニットで形成された定着ニップ部に挿入され、熱と圧により紙上のトナーの定着工程を経て機外に排出される。



A. External Heating Fuser (LBP654C)

3－2．加熱フィルム

外径 18㎜ の加熱フィルムは、耐熱樹脂からなる基層 、 PFA （ tetrafluoroethylene-perfluoroalkyl vinyl ether）の表層から構成されている。フィルムの厚みは、定着ローラーへの熱伝達を効率的に行うために総厚約 65μm とした。

3－3．定着ローラー

Fig. 3 に定着ローラーの断面概略図を挙げている。外径 18㎜ の定着ローラーは、外径 11㎜ の鋼製の芯金上に 3 層の層構成を有し、基層には厚みが約 3.5㎜ となるシリコーンゴムをベースとした発泡ゴムを採用することで、断熱性と低硬度を実現した。中間層は、ベース材料のシリコーンゴムに熱伝導フィラーを添加することにより、薄層で高熱伝導かつ高熱容量となるようにした。表層は、オフセット防止の観点から PFA を採用した。

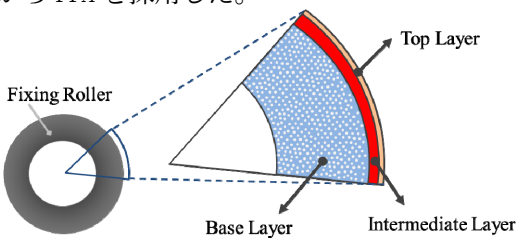


Fig. 3 Cross-section of Fuser Roller

3－4．加圧ローラー

外径 18㎜ の加圧フィルムは、耐熱樹脂からなる基層 、 PFA （ tetrafluoroethylene-perfluoroalkyl vinyl ether）の表層から構成されている。LBP654C では、定着ローラーと加圧ユニット部によって形成された定着ニップ部での紙の搬送を安定させる観点から、逆クラウン形状とした。

3－5．高熱伝導板

高熱伝導板は、アルミニウムからなる厚み 0.8㎜ 幅が 9.3㎜ の板状の部材からなる。

© 一般社団法人 日本画像学会

３－６．外部加熱方式の動作

本外部加熱定着構成における、動作について説明する。

定着ローラーは､加熱ユニットから熱を受け取る。その際、加熱ユニット内のヒーターは、定着ローラーが所望の温度になるように、ヒーターの裏側に配置された温度検知素子を用いて制御される。定着ローラーが加熱ユニットから受けった熱は、定着ローラー基層には熱伝導性の低い（断熱性の高い）発泡ゴムを採用しているため、ローラー内部へと拡散せず、表層の近傍部にある高熱伝導の中間層に蓄熱される。本方式の定着方式では、中間層の厚みを定着可能な範囲で極力薄くすることでオンデマンド性を確保することが可能となる。

中間層に蓄熱された熱は、定着ローラーの回転により、定着ローラーと加圧ユニットで形成された定着ニップ部へと搬送される。未定着トナーが担持された紙は、定着ニップにおいて、中間層に蓄熱された熱と圧力で定着され機外に排出される｡この際に、定着ローラー上の奪われた熱は、再度ヒーターより供給されるため、連続した印刷に対しても定着が可能となる。

定着ローラーは、低硬度であるため、定着ニップ部で紙の凹凸に対しての追従性が高くトナーの溶けムラを軽減し、画像均一性を改善することが可能となる。

また、本構成では、加圧ユニット内には定着ニップ部に接するように高熱伝導板が配置されている。このため、幅の狭い紙を通紙した場合に発生する定着ローラーの非通紙部の昇温を、均熱化し抑制することにより、特に幅狭の紙における印刷生産性を改善することが可能となる。

４．伝熱シミュレーションによる性能評価

ここでは、伝熱シミュレーションを用いて、定着ローラーの中間層厚みと定着性との関係、及び、高熱伝導板の非通紙部昇温の抑制効果について確認を行う。

４－１．伝熱シミュレーション技術

伝熱シミュレーションでは、フーリエの法則に基づいて物体内の熱移動を考慮し、ニュートンの法則に基づいて空気への熱移動を考慮した。また、物体間の熱移動に接触熱抵抗を考慮した[3)]。非通紙部の昇温に関するシミュレーションでは、紙幅方向中央基準で紙を搬送する定着器を想定し、シミュレーションモデルは対称性を考慮し搬送位置中央から半分をモデル化した。伝熱シミュレーションで用いた加熱フィルム、ヒーター、定着ローラー、加圧フィルム等の構成は前述の通りである。また、ヒーター中央部の裏面にはモデル化した温度検知素子を配置した。

その他、各部材に熱伝導率 λ[W/mmK]、比熱 Cp[J/kgK]、密度 ρ[kg/mm^3]、初期温度を与え、ヒーターには入力電力 IE[W]を与えた。また、各部材間には実測に基づいた接触熱抵抗 H[mm^{2}K/W]を与え、部材表面の放熱には放熱係数 R[W/mm^{2}K]を与えた。

４－２．中間層の厚みと紙温度の関係

伝熱シミュレーションによる中間層厚みの影響の評価方法を述べる。

148 mm/s の速度で定着ローラーを回転させると同時に、電力を投入する。電力投入から 10 秒経過時に通紙開始し 10 枚を連続通紙させる｡中間層厚みによらずヒーター表面が同じ温度になるようにヒーターを駆動制御した時の、5 枚目から 10 枚目までの紙温度の平均値で評価を行った。紙温度は、定着性との相関があり紙温度が高い程、定着性が良好となる。尚、中間層の厚みは、1μm から 500μm の間でシミュレーションを行った。

Fig. 4 に中間層の厚みを振った場合の紙温度の関係を示す。計算の結果、中間層厚みが薄くても厚くても紙温度は低く、100μm 付近に適正な領域（紙温度が高く定着性が良好な領域）があるといえる。これは、中間層が薄すぎると中間層への蓄熱が不十分となり、通紙により定着ローラーの熱が奪われ、紙への熱供給が減少したためであると考えられる。一方、中間層が厚すぎると中間層の熱容量が増大し定着ローラーが十分に昇温せず、紙の温度が低くなると考えられる。

また、中間層が厚くなるほど消費エネルギーが大きくなるため、LBP654C では定着性が確保できる範囲で中間層は薄くすることで、定着性とオンデマンド性との両立を図った。

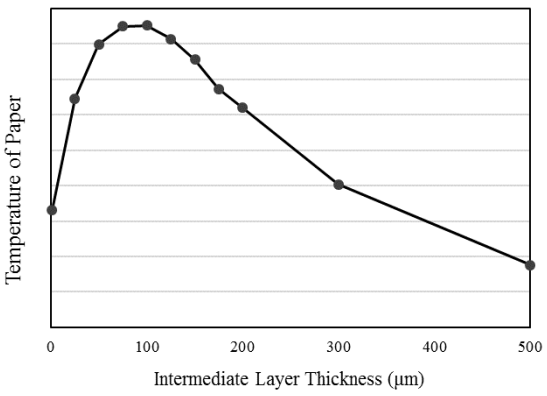


Fig.4 Intermediate Layer Thickness vs. Temperature of Paper

© 一般社団法人 日本画像学会

４－３．非通紙部昇温の性能

次に、定着器の非通紙部昇温性能を確認する。まず、伝熱シミュレーションによる非通紙部昇温性能の評価方法を述べる。148 mm/s（従来機では 115 mm/s）の速度で定着器を回転した状態で、ヒーターに電力を投入した。一定経過時間後に B5 サイズ紙を通紙開始し、ヒーターに投入する電力は、定着ニップ下流端における紙平均温度が 100℃以上になるように制御した。紙物性値は Océ 社製 Red Label Presentation FSC 80g/m² に基づいた。そして、連続 30 枚通紙した後の、定着ニップ下流端における定着部材の最高温度の比較を行った。Fig.5 に、従来 ODF 構成と外部加熱構成で、比較を行った各部材の温度（図中の Maximum temperature）の定義について示す。

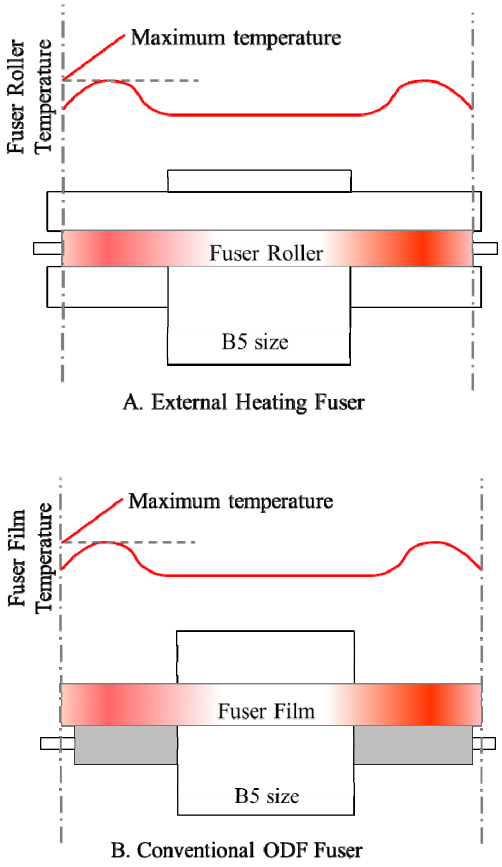


Fig. 5 Definition of the temperatures for comparison

Table 3 に外部加熱方式定着器を用いた LBP654C と従来機(LBP7200C)との、様々な印刷速度における非通紙部昇温のシミュレーション結果を挙げる。従来機の構成は、Fig2 の B に示した構成である。Table2 中の ΔT_R は、従来機の定着器を従来の印刷速度(115mm/s)で印刷した場合の定着フィルムの温度(Maximum temperature)を基準温度として、基準温度との差分で表記している。

Table 2 Conditions and Results of simulations

	Conventional (LBP7200C)	Comparison #1	LBP654C
Speed [mm/s]	115	148	148
Fuser	Conventional ODF Fuser	Conventional ODF Fuser	External Heating Fuser
ΔT_R [℃]	Reference	+28	-7

従来機定着器の構成（LBP7200C）のまま、印刷速度を LBP654C 同等（148mm/s）に増速した比較例 1 においては、ΔT_R は 28℃上昇した。これは、速度増加した状態で、紙温度を 100℃以上に保つためにヒーターから定着ローラーへの熱供給が増大したために端部の定着フィルムの温度が上昇したためである。一方、外部加熱方式の LBP654C 構成では、148mm/s の速度においても、ΔT_R は基準温度よりも 7℃低く抑制される。つまり、本外部加熱方式の定着器は、従来機よりも高速化したにも関わらず、部材端部の昇温が従来機よりも低く抑えられている。これは、定着ローラーと加圧ユニットとのニップ部近傍に配置されたアルミニウム製の高熱伝導板により、定着ローラー上の熱が長手方向に均熱化されるためである。これにより巾狭の紙を通紙した場合においても非通紙部の昇温を抑制し、高い生産性を維持することが可能となる。

５．まとめ

本報告では、LBP654C に採用された外部加熱方式のオンデマンド定着器の技術紹介を行った。また、伝熱シミュレーションを用いて、中間層の厚みと定着性との関係を確認した。また、非通紙部の昇温に関しては、従来機定着器との比較から、LBP654C の定着器技術による定着器性能向上を確認した。

参考文献

1) Y.Otsuka , K. Okuda, Y. Tomoyuki, A. Kuroda, “ A study on On-Demand Fusing Technology”, Proceeding of Japan Hard Copy ’94, The Imaging Society of Japan (1994), pp. 61-64, [in Japanese]

2) Canon Official Website, Available at: http://cweb.canon.jp/satera/lbp/lineup/a4-color/654c/ (Accessed March 22, 2018) [in Japanese]

3) Y. Otsuka, T. Ochiai, T. Sano, and Y. Nishizawa, “Optimum Heater Designing for Low Energy Consumption Fuser”, Proceeding of PPIC’08: Pan-Pacific Imaging Conference ‘08, The Imaging Society of Japan (2008), pp. 196-199.

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EP2] 電子写真デバイス (2)
Electrophotographic Devices (2)
2018年6月19日(火) 15:40 ～ 16:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP2-02] プロダクションプリント画質と厚紙高速化を達成した省エネ定着
The Energy-Saving Fixing Apparatus Which Achieved Production Print Image Quality and Cardboard Speeding

*和澄 利洋[1]、西埜植 一紀[1]、三保 広晃[1] （1. コニカミノルタ株式会社）
*Toshihiro Wazumi[1], Kazunori Nishinoue[1], Hiroaki Miho[1] （1. KONICA MINOLTA, INC.）

小規模印刷業やオンデマンドプリントショップ，企業内印刷を含むライトプロダクションプリント市場においては、顧客のコスト・環境意識が高まる中で，前任機に対して大幅な省エネを実現し、且つプロダクションプリント品質（画質・厚紙高速化）を実現する必要がある。

我々は省エネに有効な低熱容量スポンジローラの採用を目指し、プロダクションプリント品質を確保するために生じる定着圧力の増加とそれによる耐久性の悪化を両立させるため、テストピースを用いた材料選定と、ひずみのCAE解析に基づく部材設計を行うことで、スポンジローラの採用に成功し、長寿命かつ高品質な省エネ定着装置を開発した。

©一般社団法人 日本画像学会

プロダクションプリント画質と厚紙高速化を達成した省エネ定着

和澄　利洋，西埜植　一紀，三保　広晃

コニカミノルタ株式会社　情報機器開発本部　EP 画像技術開発センター

The Energy-saving Fixing Apparatus Which Achieved Production Print Image Quality and Cardboard Speeding

Toshihiro Wazumi, Kazunori Nishinoue, and Hiroaki Miho

EP Image Engineering Development Center R&D Headquarters Business Technologies, Konica Minolta, Inc.

While customer's cost and environment consciousness is rising, in a small-scale print trade, a on demand print shop and a light production print market including in-house printing, we have to achieve low electricity consumption and achieve the production print quality (image quality and cardboard speeding).

We aimed to adopt the low thermal capacity sponge roller, but excessive fixing pressure caused destruction of the sponge. We have developed the long-lived life and high-quality fixing apparatus by practicing component design based on material selection using test piece and CAE analysis of strain.

１．はじめに

小規模印刷業やオンデマンドプリントショップ，企業内印刷を含むライトプロダクションプリント市場においては、顧客のコスト・環境意識が高まる中で，前任機に対して大幅な省エネを実現し、且つプロダクションプリント品質（画質・厚紙高速化）を実現する必要がある。

我々は省エネに有効な低熱容量スポンジローラの採用を目指し、プロダクションプリント品質を確保するために生じる定着圧力の増加とそれによる耐久性の悪化を両立させるため、テストピースを用いた材料選定と、ひずみの CAE 解析に基づく部材設計を行うことで、スポンジローラの採用に成功し、長寿命かつ高品質な省エネ定着装置を開発した。

２．Konica Minolta AccurioPress C3080

本報告の定着システムは、本年 1 月に上市した Konica Minolta AccurioPress C3080 に搭載した。外観図を Fig.1 に示す。基本仕様を Table1 に示す。

高い信頼性と優れた画質で、市場評価の高い bizhub PRESS C1070 シリーズ。長尺紙使用の大量印刷機能､高品質印刷物を安定供給する IQ-501 の強化などを加え、パワーアップしたマルチロール印刷システム、AccurioPress C2070 シリーズ。そこからさらなる進化を遂げ、市場競争力を高める生産性を付与したシステムが、AccurioPress C3080 シリーズである。



Fig.1 Photograph of the AccurioPress C3080

Table1 Basic specifications of AccurioPress C3080

		AccurioPress C3080
Print / Copy process		Laser electrostatic process
Development system		Dry dual component magnetic brush development
Productivity	Print speed A4 Print speed A3	81ppm/71ppm 45ppm/39ppm
	Warm-up time	390s
	First copy time	4.2s (B&W) 6.5s (Full Color)
Media versatility	Paper size	Postal card ~ 323 x 480mm
	Paper weight	62 ~ 350g/m2
	Maximum Paper capacity	15390 Sheets maximum
Resolution / Gradation		1200dpi x 1200dpi/ 256 8-bit CMYK
Operebility		Large 15" color touch-screen display
Dimensions		800x903x1076mm

＊〒192-8505 東京都八王子市石川町 2970
＊2970 Ishikawa-machi, Hachioji-shi,Tokyo,192-8505,Japan
e-mail:toshihiro.wazumi@konicaminolta.com

© 一般社団法人 日本画像学会

3．開発コンセプト

我々が目指す究極のデジタルプレスシステム商品の共通コンセプトは、『安心・簡単・快適』である。多様な使用環境・使用条件に対して、高画質を安定して提供することを可能にし、お客様に『安心』して使っていただく製品として、信頼性と安定性を重視して設計した。またお客様に『快適』に使っていただくために、機械サイズをコンパクトに設計した。

本稿では前任機 AccurioPress C2070 に対して、高生産性（Fig.2）と省エネ性能（Fig.3）を付与した定着システムに焦点を絞り報告する。

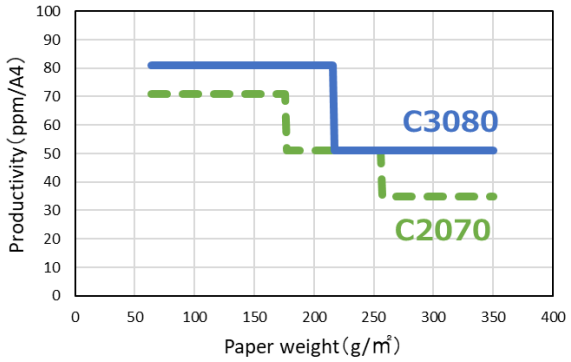


Fig.2 In C3080, acceptable range of printing speed on paper weight was extended by improving temperature stabilization control.

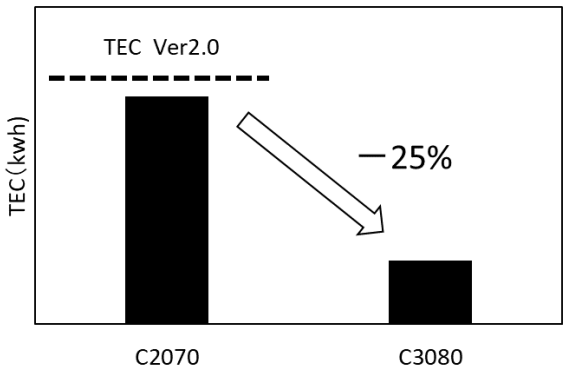


Fig.3 C3080 achieved 25% lower electricity consumption.

4．定着プロセス技術

Fig.4 に定着部の基本構成を示す。AccurioPress C3070 は C2070 同様に上二軸ベルト方式を採用した。低温定着トナー（デジタルトナーHD^{E}）を採用するとともに、①上加圧ローラ弾性層のスポンジ化、②定着ニップ圧力アップ、③温度分布を最適化した新規ヒーターランプの採用、を通じて効率的な熱供給を可能にすることによって、C2070 に対して大幅な消費電力削減による省エネ性向上、及び厚紙通紙時の定着性確保を実現した（C2070 に対して約 25%の消費電力を削減）。

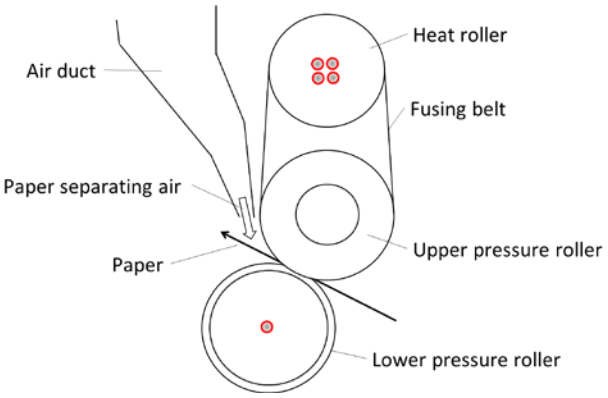


Fig.4 Fixing Unit of AccurioPress C3080

また、多様な市場ニーズに対応するために、C3080 では通紙可能な紙種の拡大にも注力した。

用紙分離のためのエアブロー方式定着分離機構はエアフローに関する CAE 解析技術により、あらゆる場面での紙挙動を極限まで安定することができるエアダクトによる送風の効率向上に成功した。その結果、厚紙での高速通紙性と薄紙通紙時の用紙分離性能との両立を達成した。

2 次転写部で高抵抗ベルトを採用し、新規の押圧可変機構を使用するとともに、定着部ではトナーへの熱供給効率の向上と，ニップ圧力と上下加圧ローラ構成の最適化を行うことにより、エンボス紙使用時の印刷品質を大幅に改善した(Fig.5)。

その結果、多様なサイズ、坪量（薄紙から厚紙まで)、紙種（エンボス紙など）での高画質化を可能とした。

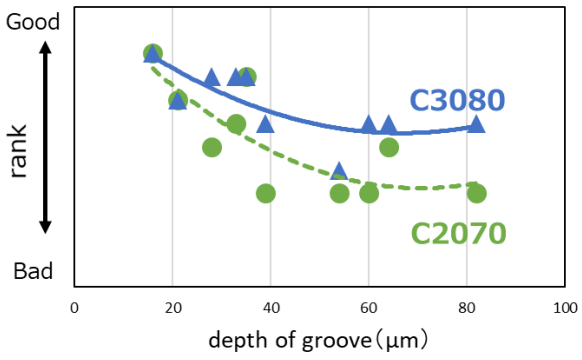


Fig.5 In C3080, print quality on embossed paper was improved compared with C2070.

© 一般社団法人 日本画像学会

４．１　狙いと課題

本定着器の狙いは大幅な省エネルギー化及び PP 品質（厚紙高速化・画質）と耐久性の両立である。

従来のオフィス機はスポンジローラを採用することで省エネを実現しているため、プロダクションプリント機でもスポンジローラを採用することで省エネを達成できる。しかしながらプロダクションプリント品質達成のためにはオフィス機に比べ大幅に定着圧力を上げる必要があり、耐久性が悪化することが経験的にわかっている(Table2)。よって従来はスポンジローラをプロダクションプリント機で使うのは不可能と考えられていた。

Table 2 Pros and cons of the sponge roller for applying to the production printer.

	Request	Conventional solid for PP	Sponge roller for MFP	Conventional sponge to PP	Countermeasures or adverse effects
①	Environmental speriority (TEC Value)	×	○	○	Adopting sponge roller
②	Temperaturel control (Thermal responsibility)	○	○	○	−
③	Cardboard productivity	×	×	○	Extending nip by loading up
④	Image quality (noise or ununiformity on image)	○	×	○	Raising pressure by loading up
⑤	Durability	○	○	×	Getting worse by loading up
⑥	Fixing strength	○	○	○	−
⑦	Paper passing reliability	○	○	○	−
⑧	Separating performance	○	○	○	−

実際に C2070 の上加圧ローラにスポンジを適用したところ、短時間で破壊に至ることを確認した（Fig. 6)。

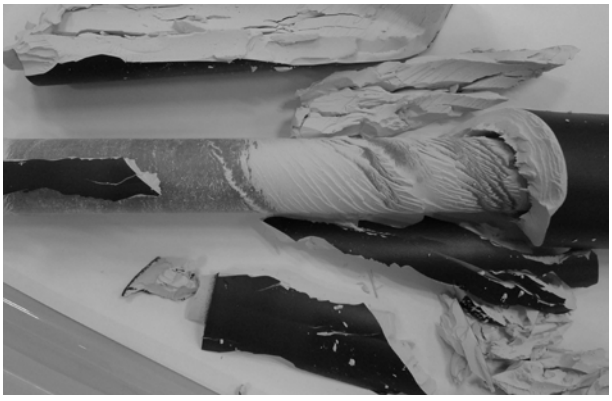


Fig.6 To achieve print quality for production print, it required higher fixing pressure, which caused destruction of the sponge layer in short time.

４．２ 機能特性フロー図

破壊メカニズムを分析し、機能フロー図を作成した (Fig. 7)。機能フロー図とはパラメータと品質 (今回は耐久破壊）をつなぐ、特性値を見える化したものである。作成したフローの中から破壊につながる特性として①熱劣化、②疲労負荷、③ゴム変形に着目し、それぞれ解析を行った。

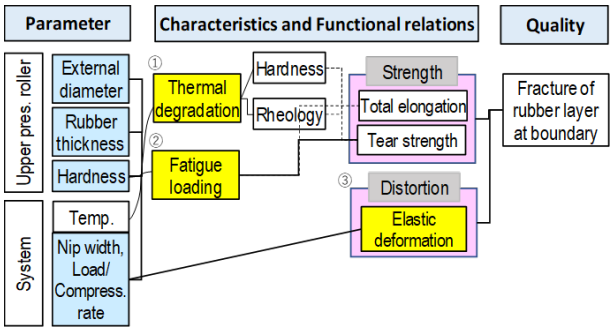


Fig.7 Functional properties flowchart

４．３　熱劣化

テストピースを用いて 100 時間加熱放置し、強度を測定した(Fig. 8)。従来のソリッドゴムは加熱放置を行うと、急速に強度の低下が発生しているが、スポンジは加熱放置しても強度が変化しないことが分かった。よって本定着器で採用したスポンジローラは従来のソリッドゴムと異なり、熱劣化の影響を考慮しなくて良いことが分かった。

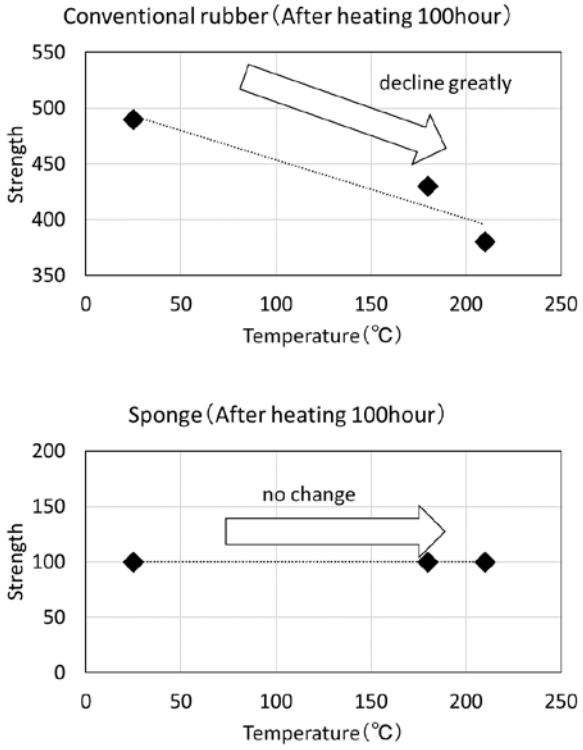


Fig.8 Comparison of temperature dependence on strength degradation between conventional solid rubber (upper) and foamed rubber (lower).

© 一般社団法人 日本画像学会

４．４　疲労負荷

テストピースを用いて機械的な負荷を繰り返し付与し、破壊までの回数を測定した（Fig.9）。従来のソリッドゴムは実使用よりもはるかに大きな負荷を繰り返しかけても、破壊しなかったが、スポンジは負荷を大きくしていくと、破壊までの回数が大幅に少なくなることが分かった。よって本定着器で採用したスポンジローラは従来のソリッドゴムと異なり、疲労負荷の影響を強く受けることが分かった。

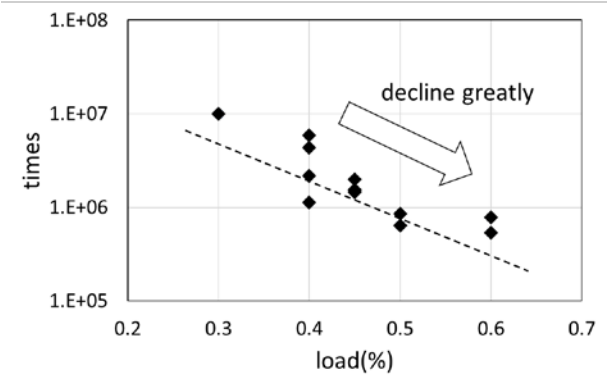


Fig.9 Results of cyclic test count till the test piece was fructured by changing loading intensity.

４．５　ひずみ（CAE 解析）

ゴム変形に対して、スポンジにかかるせん断ひずみを CAE で算出した（Fig.10）。

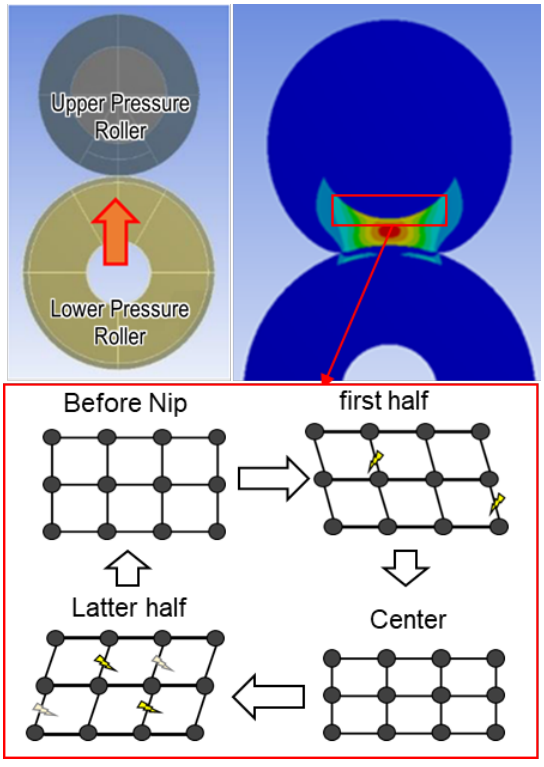


Fig.10 Image diagram of CAE analysis for calculating interfacial shear strain.

スポンジの耐久での破壊は芯金との界面近傍で発生しており、界面付近のせん断ひずみを切り出して解析を行った。
CAE で算出したひずみと耐久時間の関係を並べた結果が Fig.11 である。非常に高い相関があり、界面せん断ひずみを低減することで耐久が急速に改善することがわかった。AccurioPress C3080 では高荷重のままひずみを低減するローラ構成に変更し、飛躍的に耐久性を改善することができ、プロダクションプリント機としては初めてスポンジローラの採用に成功した。

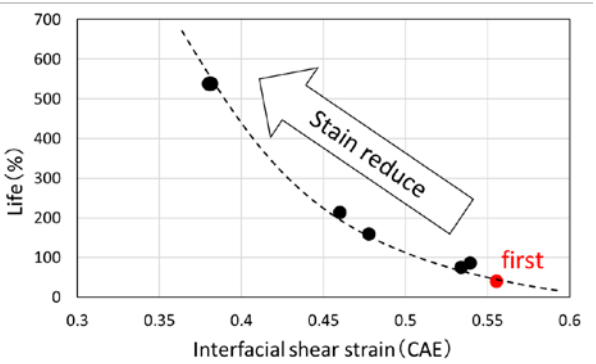


Fig.11 Relation between experimental results of sponge roller life and calculated results of interfacial shear strain by CAE.

５．まとめ

我々が開発した定着装置は、印刷業を営むお客様の多様なビジネスモデルに応えるべく、信頼性と安定性を重視して設計された。

定着上加圧ローラにスポンジローラを採用し、大幅な省エネ化と、プロダクションプリント品質（画質・厚紙高速化）を実現した。

また、テストピースを用いた材料選定と、ひずみの CAE 解析に基づく部材設計を行うことで、プロダクションプリント機にスポンジローラを採用することに成功し，長寿命かつ高品質な省エネ定着装置を開発した。

今後も我々プロダクションプリント製品に携わる開発者は真摯にお客様の求めるニーズを探索し、真の価値まで掘り下げて新しい技術と製品を提供し続けていきたい。

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EP2] 電子写真デバイス (2)
Electrophotographic Devices (2)

2018年6月19日(火) 15:40 ～ 16:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP2-03] 液体現像方式における乾燥技術の開発
Development of Drying Process for Liquid Electrophotography

*阿部 昌昭[1]、辰浦 智[1]、中山 信行[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Masaaki Abe[1], Satoshi Tatsuura[1], Nobuyuki Nakayama[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

高沸点揮発性キャリアオイルを用いた液体現像方式における乾燥技術を開発した。課題は基材に転移・浸透するキャリアオイルの乾燥時間短縮である。基材を短時間で昇温し、基材内の水蒸気によってオイルを押し出すことで、乾燥時間の大幅な短縮が可能であることを見出した。これらにより、短時間乾燥で良好な定着性能を獲得する新たな乾燥定着システムを開発できた。

©一般社団法人 日本画像学会

液体現像方式における乾燥技術の開発

阿部　昌昭，辰浦　智，中山　信行

富士ゼロックス株式会社　マーキング技術研究所

Development of Drying Process for Liquid Electrography

Masaaki Abe, Satoshi Tatsuura, and Nobuyuki Nakayama

Marking Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.

A drying process was developed for liquid electrophotography using volatile carrier oil with high boiling point and fine toner particle. A drying process of the oil is necessary to obtain post-process capability such as lamination and varnishing. Since the toner layer covering the surface of the medium served as a resistance layer, it was hard to dry the oil penetrated into a permeable medium such as coated paper. In this study, it was clarified that drying performance strongly depends on the temperature of the media, and required rapid heating system to obtain temperature above the boiling point of water. Based on the study, high-speed drying processes for continuous medium and sheet-fed medium were presented.

１．はじめに

液体現像（LID：Liquid Ink Development）の原理は，図１に示す通り，液体現像剤を用いる電子写真プロセスであり，液体現像剤としてキャリアオイルにトナーを分散させ，微小粒径トナーの接触現像/転写を行う．接触プロセスであること，液体中で微小粒径のトナーを使用できること，オイル潤滑により長寿命が期待できることなどから，高画質，高生産性，メディア汎用性，低ランコスト，環境適性などを同時に獲得でき，プロダクション市場での幅広いアプリケーションに適用できる可能性を持つ[1, 2]．

一方，ラミネートやニス塗布といった後加工適性を獲得するため，転写工程でメディアに転移するキャリアオイルの除去技術が必要となる．液体現像剤に用いられるキャリアオイルは，大きく不揮発性と揮発性に分けられるが，不揮発性オイルは，メディア上にオイルが残留し，上記後加工適性を獲得しにくい．そのため，揮発性キャリアオイルを採用した液体現像システムの乾燥技術開発に取り組んだ．

揮発性キャリアオイルの乾燥は，コート紙などの浸透性メディアで大きな課題となる．メディア内部に浸透したキャリアオイルは，表面を覆うトナー層が抵抗となって揮発が妨げられるためである．本報告では，メディアに浸透したキャリアオイルの乾燥メカニズムを考察し，定着基本性能と後加工適性獲得に必要な乾燥条件を検討した．そして，検討結果に基づいて，連帳と枚葉メディアそれぞれに適した液体現像システムの乾燥プロセスについて検討した．

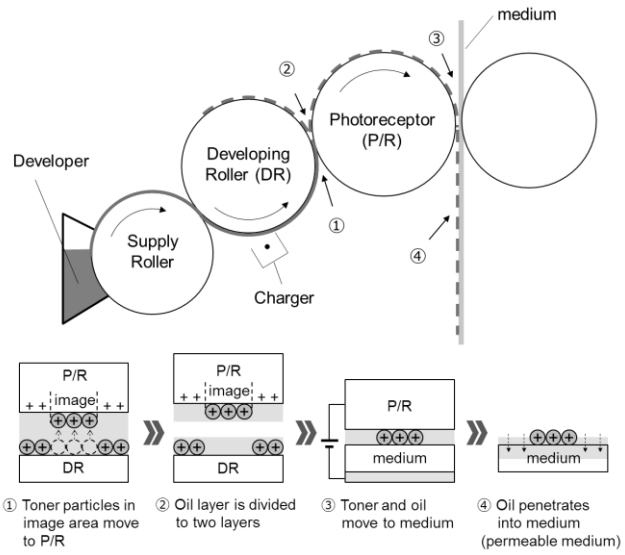


Fig.1 LID process.

２．乾燥技術の概要

２．１　乾燥メカニズム

メディアに浸透したキャリアオイルは，次の２つのプロセスで乾燥すると推察される．

(1)メディア内部の水蒸気によってキャリアオイルがメディア外に押し出され，押し出されたキャリアオイルがメディア（またはトナー層）表面で揮発するプロセス．主に，メディアが水の沸点以上に急速加熱される過程でおこる．

(2)メディア温度によって決まるメディア内のキャリアオイルの蒸気濃度，および，トナーとメディア各層の拡散係数に従って拡散揮発するプロセス．

〒259-0157 神奈川県足柄上郡中井町境 430
430 Sakai, Nakai-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa, 259-0157, Japan
e-mail:　masaaki.abe@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

２．２　乾燥性能の検証方法

図２に示す実験装置で乾燥性能を検証した．金属製の背面加熱ロール（BHR：Back Heat Roller）をメディア裏面に接触させて急速加熱し，水蒸気によりキャリアオイルを押し出して乾燥するプロセス（メカニズム 1，図 2A～B）と、乾燥炉内に一定時間メディアを滞留させ，キャリアオイルを拡散乾燥するプロセス（メカニズム 2，図 2B～C）で構成される．転写後（図 2A）は，画像部，非画像部で，同一量のオイルが残留するようにした．

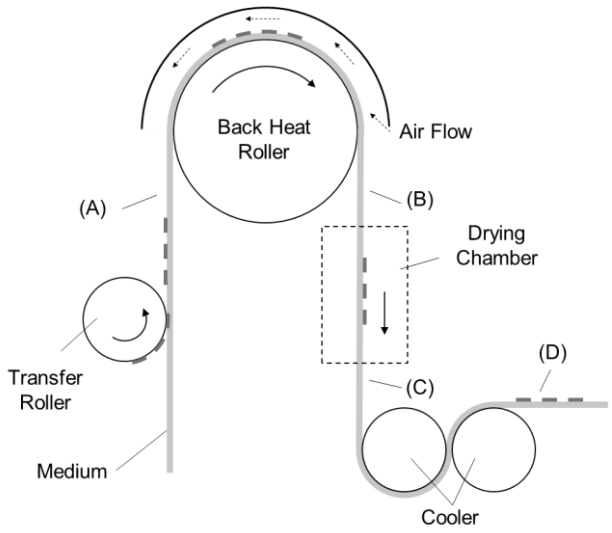


Fig.2 Schematic of experimental apparatus for LID drying process.

２．３　水蒸気によるキャリアの押し出し乾燥

BHR 出口（図２の B）における残留キャリアオイル量は，図３に示すように，メディア温度に大きく依存し，メディア温度に比例して残留キャリアオイル量が減少した．また，図４に示すように，トナー層の影響は小さいことがわかる．トナーが溶融前にキャリアオイルが水蒸気によってメディア外に押し出されるため，トナー層の抵抗の影響が小さいと推察される．

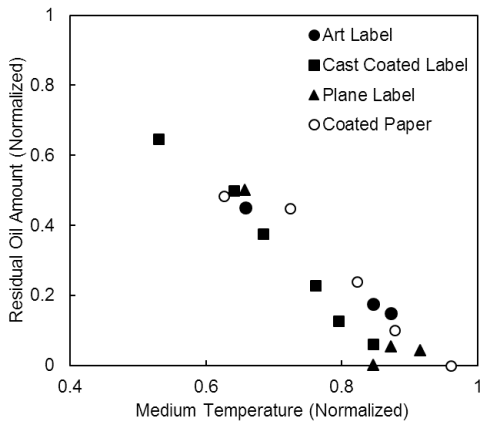


Fig.3 Relation between residual oil amount and medium temperature in BHR process.

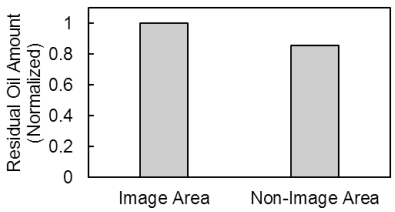


Fig.4 Comparison between image and non-image area.

２．４　メディア内キャリアオイルの拡散乾燥

乾燥炉内でのメディア滞留時間と残留オイルの関係は，図５に示す通り，時間に比例して残留オイルが減少することがわかる．画像部の揮発速度（図 5 の傾き）は，非画像部に対して半分以下に低下する．さらに，図６に示すように，揮発速度とグロス（高いほどトナーが溶融した状態）が負の相関であり，トナー溶融度の影響も受けることがわかる．トナー溶融後となる拡散乾燥では，2.3 節で述べた結果とは異なり，トナー層が抵抗となる影響を強く受ける．

以上の結果から，拡散揮発による乾燥（乾燥炉）では，トナー層の通気抵抗を増大させないことが重要であることがわかる．

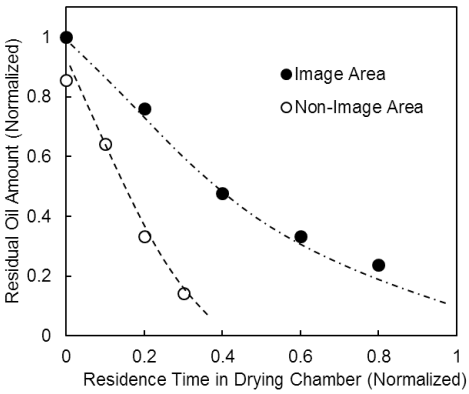


Fig.5 Relation between residual oil amount and residence time in drying chamber.

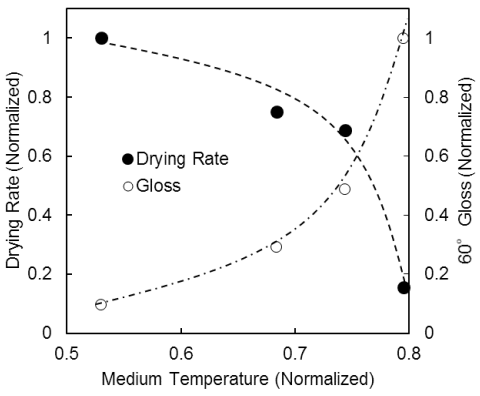


Fig.6 Relation between drying rate and gloss.

© 一般社団法人 日本画像学会

２．５　乾燥方式

2.3 節，2.4 節で述べた結果から，①メディアをトナー溶融温度以上に急速に昇温する乾燥方法，または，②トナー溶融温度以下でトナー層の通気性を確保して乾燥する方法のいずれかを選択する．乾燥方法②では，定着基本性能と後加工適性を獲得するために乾燥炉で数 10 秒程度の滞留時間が必要となる．印刷機には 100 m/min 程度の高速性が求められると想定し，高速乾燥が可能な乾燥方法①を選択した．

３．連帳メディアの乾燥システム構成

連帳メディアでは，ラベルや軟包装などで使われるフィルムメディアへの対応も必要である．フィルムメディアは非浸透性のため，乾燥性は問題とならないが，熱変形の点で安定した温度制御が必要となる．そのため，加熱手段としてメディア裏面からの接触加熱（BHR）を採用した．接触加熱では，メディア内部の水分が水蒸気となってメディア裏面（BHR とメディアの接触界面）に流出し，密着性が低下して加熱効率が低下する．水蒸気によるキャリアオイル押し出しと密着性低下の回避の両立が課題となるが，対策として，図 7 に示すように，複数の BHR で間欠的に接触加熱することでメディア裏面の水蒸気を逃がし，密着性を改善する方法を検討した．

図 8 に示すように，加熱時間の延長より，BHR の多段化が有効であることがわかる．メディア裏面から水蒸気が逃げるため，後段の BHR で高い密着性と熱伝達効率が得られることが高い到達温度に繋がる．最終的に 3 段の BHR による加熱構成とし，乾燥プロセス時間数秒以下で目標の乾燥性が得られた．

本構成では，搬送ロールへ画像面が接触することによる画質劣化が懸念されるが，BHR#1 の温度設定と接触時間，離形性の高い搬送ロール表面材質を使うことで，問題にならないことを検証した．

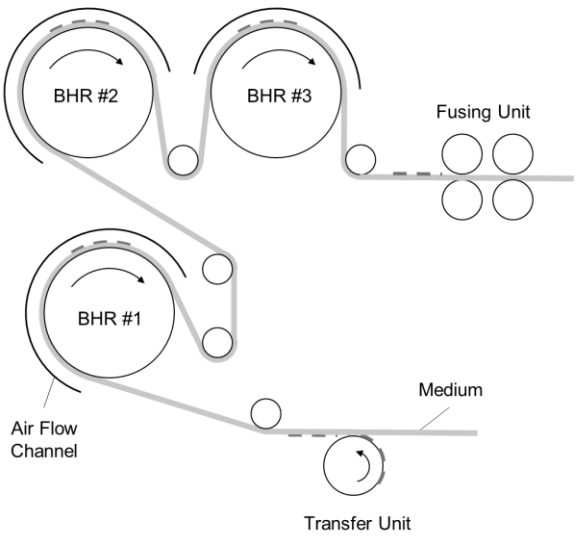


Fig.7 Schematic of multiple BHRs heating system.

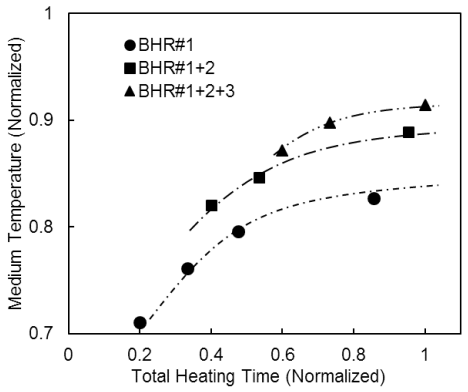


Fig.8 Heating characteristic of multiple BHRs.

４．枚葉メディアの乾燥システム構成

枚葉印刷機で採用されるグリッパー用紙搬送では，メディアに張力を印加できない．従って，3 章で述べた接触加熱方式では，密着性の低下，メディア終端部の跳ね上がりによる画像部のこすれ，温度均一性低下の懸念がある．そのため，加熱手段として，遠赤外線ヒーター(IR ヒーター：Infrared heater)による非接触加熱を採用した．

４．１　IR ヒーターの基本性能

IR ヒーターの加熱効率はヒーターの放射波長と被加熱物の吸収波長の組み合わせに依存し，一般的に K 色（カーボン含有）部が白紙部と比較して高温になる．色間温度差が大きい場合，たとえば，K 色部を乾燥温度に合わせて加熱すると，他色部では乾燥性能が不足する．色間温度差を解消するためには IR ヒーター表面温度を下げて放射波長を長波長にし，白紙部の吸収率を高める必要がある．図 9 に示すとおり，ヒーター表面温度を下げることで，実用上問題とならない色間温度差に低減できることを検証した．

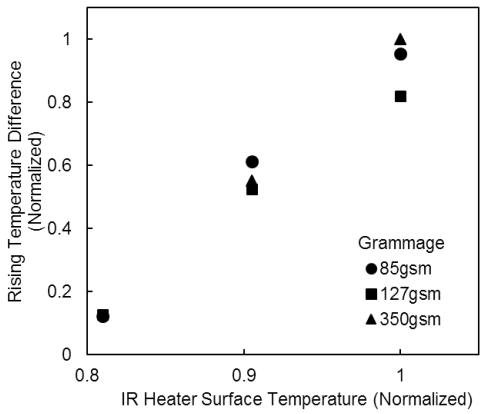


Fig.9 Relation between rising temperature difference and IR heater surface temperature.

© 一般社団法人 日本画像学会

４．２　ブリスター対策

用紙中で急激に蒸発・膨脹した水蒸気がトナー層に妨げられ，圧力が紙の内部結合強度を超えるとブリスターが発生する．通気抵抗が最も高くなる，メディア両面にトナー層がある場合のブリスター発生状況を図 10 に示す. 図中の×印はブリスター発生点を示す．昇温速度を遅くすることでブリスターを回避できることがわかる．

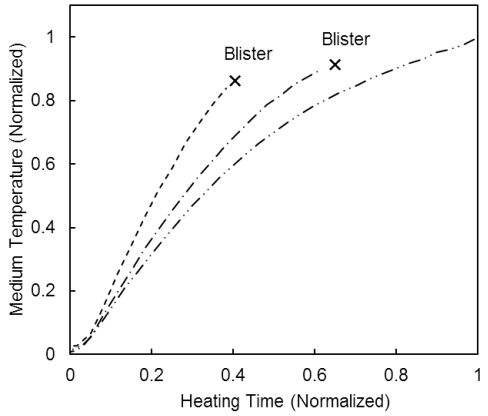


Fig.10 Temperature rising characteristic and blister.

５．まとめ

高沸点の揮発性キャリアオイルの乾燥技術開発に取り組んだ. 乾燥が課題となる浸透性メディアでは，メディアを急速に昇温し，メディア内で発生する水蒸気によってオイルを押し出すことが高速乾燥に必要であることが分かった．

連帳メディアと枚葉メディアそれぞれに適した乾燥システムを検討した．連帳メディアに対して，3 段の BHR 加熱構成によって接触性低下の課題を解消した．枚葉メディアに対して，IR ヒーターのパラメータ調整によって色間温度差とブリスターの課題を解消した．

一連の検討により，表 1 に示すように，幅広いアプリケーションに適用可能な，液体現像の乾燥システムを構築した．

Table 1 Typical applicable medium.

Application	Medium
Commercial	Coated and uncoated paper
Packaging	Coated and uncoated paper Pressure sensitive labels (Paper, PET, Synthetic paper, Metallic) Paperboard Films (PET, OPP, ONY)

参考文献

1) Nobuyuki Nakayama, Satoshi Tatsuura, Taichi Yamada, Toshihiko Suzuki, Takamaro Yamashita, and Osamu Ide, “Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer”, Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].

2) Tsutomu Teraoka, “Think Liquid Development Technology for Digital Printing,” Presentation Material of 54th Imaging Cafe, (2016) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Inkjet

[IJ3] Inkjet (3) Syetem

Session Chair:Kazuhiro Nakajima(Canon Inc.), Atsushi Tomotake(Konica Minolta, Inc.)

Wed. Jun 20, 2018 10:40 AM - 11:40 AM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ3-01] Verification of Cockling Reduction Effect on Offset-Coated Paper by Drying Technology Using Laser Exposure

*TAKESHI ZENGO[1], SATOSHI HASEBE[1], AKIRA SAKAMOTO[1], TOSHINOBU HAMAZAKI[1], TOMOZUMI UESAKA[1], YUKARI MOTOSUGI[1], TAKUMA ISHIHARA[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

10:40 AM - 11:00 AM

[IJ3-02] Development of New Garment Printer

*Tsuguyori Kemma[1] （1. RICOH COMPANY,LTD.）

11:00 AM - 11:20 AM

[IJ3-03] Nassenger SP-1 toward Further Improvement of Image Quality

*Setsu Takeuchi[1], Toshihiko Yoshimura[1], Shingo Tsubotani[1], Yusuke Hanashima[1] （1. Konica Minolta, Inc.）

11:20 AM - 11:40 AM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ3] インクジェット(3) システム
Inkjet (3) Syetem

2018年6月20日(水) 10:40 ～ 11:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ3-01] レーザー乾燥技術のオフセットコート紙におけるしわ抑制効果の検証
Verification of Cockling Reduction Effect on Offset-Coated Paper by Drying Technology Using Laser Exposure

*前後 武志[1]、長谷部 恵[1]、坂本 朗[1]、浜崎 聡信[1]、上坂 友純[1]、本杉 友佳里[1]、石原 拓真[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）

*TAKESHI ZENGO[1], SATOSHI HASEBE[1], AKIRA SAKAMOTO[1], TOSHINOBU HAMAZAKI[1], TOMOZUMI UESAKA[1], YUKARI MOTOSUGI[1], TAKUMA ISHIHARA[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

富士ゼロックスではレーザー乾燥技術の開発を行っており、印字直後のレーザー照射によるピニングで濡れ広がりや浸透が制御できるため、これまで浸透紙におけるにじみおよびしわ改善効果や単色の濃度むら改善効果があることを示してきた。高速IJ機のプロダクションビジネスへの拡張においては、オフセットコート紙への適用が必要であるが、インクの浸透性が低いため、インク滴同士の着弾干渉により粒状性が悪化することや、乾燥定着性としわとのトレードオフが課題となっている。今回、レーザー乾燥技術がオフセットコート紙においても、しわ低減効果が有ることをオフラインベンチとシミュレーションにより検証した結果を報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

レーザー乾燥技術のオフセットコート紙におけるしわ抑制効果の検証

前後武志，長谷部恵，坂本朗，浜崎聡信，上坂友純，本杉友佳里，石原拓真

富士ゼロックス株式会社　研究技術開発本部　マーキング技術研究所

Verification of Cockling Reduction Effect on Offset-Coated Paper by Drying Technology Using Laser Exposure

Takeshi Zengo, Satoshi Hasebe, Akira Sakamoto, Toshinobu Hamazaki, Tomozumi Uesaka, Yukari Motosugi and Takuma Ishihara

Marking Technology Laboratory, Research and Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

High-speed inkjet printing system for offset-coated paper is growing in recent years. Laser-drying technology can heat only the ink without heating the paper faster than conventional dryer because of its high power density and near-infrared wavelength. Therefore, this technology has advantages applicable to various types of papers. In this article, we demonstrate that this technology can suppress cockles both thick and thin offset-coated papers. Furthermore, we verified that shorter interval time from after printing to laser exposure is more effective to suppress cockles.

1. はじめに

富士ゼロックスは，商業印刷市場をターゲットにした高速インクジェット連帳機を開発している．その次世代乾燥技術として，高密度エネルギーを照射できるレーザーダイオードを用いた方式を検討している．本方式は，紙や水が吸収し難い近赤外領域のレーザー光を照射するため，インクだけを短時間で高温まで加熱できる．これまで印字直後にレーザー照射することにより，普通紙においては滲み，裏抜け，高濃度化およびしわに改善効果があること [1]，オフセットコート紙においては濃度ムラ抑制効果があることを示した [2]．

商業印刷市場で利用されるオフセットコート紙は，水性インクの浸透性が低いため，特に乾燥性能向上が課題である．また，印字カバレッジが高いため用紙繊維の膨潤量増大によるしわも課題となる．

従来の乾燥方式としては，用紙裏面から加熱ドラムを接触させる方式や赤外線ヒータによる輻射熱で水分を加熱する方式が知られている．これらの乾燥方式では，乾燥エネルギーを上げるとインクがある画像部だけでなくインクのない白紙部まで余計に乾燥させてしまうため，白紙部と画像部の収縮差により画像部が座屈し，しわを悪化させる [3]．特にコシの弱い薄紙ではしわが顕著となる．画像部のしわを抑制するためには，非画像部を乾燥させずに速やかに画像部の水分を蒸発させることが重要である．従来の方法で非画像部の乾燥を抑えるためには，蒸発時間を稼ぐ必要があり，装置を大型化するか印字速度を下げて対応することになる．

本報告では，レーザー乾燥技術が，オフセットコート紙の厚紙(127.9gsm)と薄紙(73.3gsm)に対してしわ抑制効果を有することを，オフラインベンチにより検証した結果を報告する．

2. 実験方法

図 1 に実験装置の概略を示す．用紙を載せた可動ステージを移動させて,印字, レーザー照射を行い, 用紙変位（カックル高さ）を測定する．レーザーは富士ゼロックス内製面発光レーザー(VCSEL)で, 発振波長 820nm，照射光強度 30W/cm^2(1.5J/cm^2)，照射面積(搬送方向 40mm，紙幅方向 20mm)，インクは富士ゼロックス PIGMENT INK BLACK(水性顔料インク)，用紙は,薄紙:王子製紙社 OK トップコート+ 73.3gsm, 厚紙：王子製紙社 OK トップコート+ 127.9gsm，レーザー変位計は Keyence 社 LJ-V7000/LJ-V7200 を用いた．

ステージの移動速度と IJ ヘッドからレーザーまでの距離，レーザー出力は可変とし，印字からレーザー照射までの時間や照射エネルギーによるカックル成長および抑制の影響を把握できるようにした．

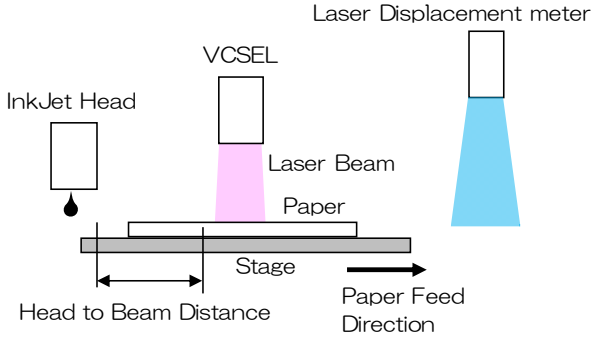


Fig.1 Experimental setup

〒243-0494 海老名市本郷 2274
2274 Hongo Ebina, 243-0494, Japan
E-mail: takeshi.zengo@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

図 2 にステージ上への用紙設定とレーザー変位計によるしわ観察系の概略を示す．用紙は連帳機内で加わるテンション相当(1.5kgf)をステージ上で加え，テンション方向が用紙繊維方向（MD）となるように固定した．ステージ停止後，印字領域の用紙繊維と直行する方向（CD）のカックル高さ分布の時間変化をレーザー変位計で測定した．

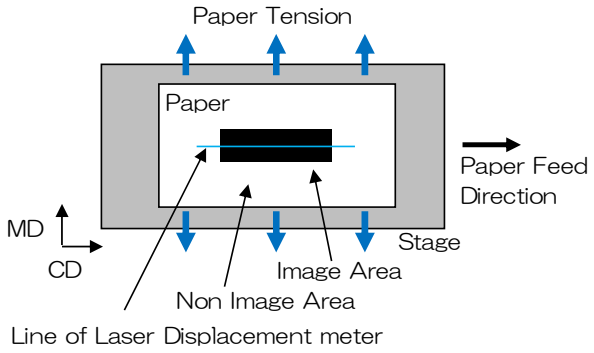


Fig.2 Experimental setup for observation of cockle using laser displacement meter

3. 実験結果

3.1 温度と水分蒸発量

図 3 にレーザー照射エネルギーに対する用紙白紙部および印字部温度と用紙白紙部とインクの蒸発量の測定結果を示す．画像サイズは幅 10㎜×長さ 60㎜，印字率 100%で（1200dpi，滴量 2pl）である．インク温度は照射エネルギー2J/cm² 近傍で 100℃に到達し，その時のインク中の水分残量はほぼ 0%まで減少する．一方，白紙部に温度変化および水分量の変化は無かった．レーザーは印字部のみを加熱し，水分蒸発させていることがわかる．

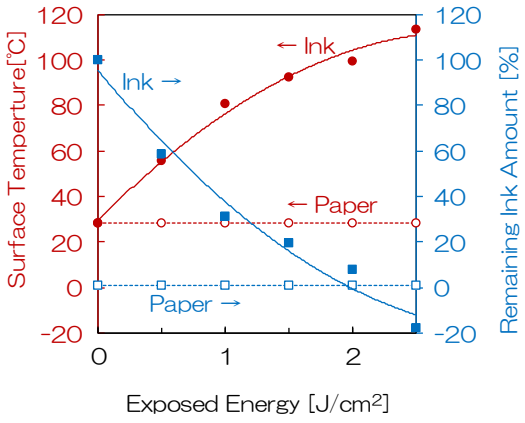
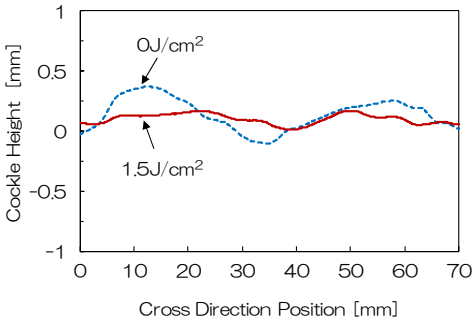


Fig.3 Ink and paper temperature and remaining water in Ink and paper after laser exposure

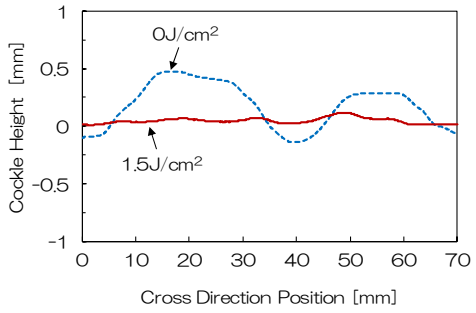
3.2 厚紙のしわ抑制効果

図 4 は，厚紙(127.9gsm)に印字率 100%で印字したときのしわ形状分布の時間変化をレーザー照射なし(0J/cm²)，あり（1.5J/cm²）で比較したものである．レーザー照射タイミングは，印字後 0.15sec とした．

印字から 3sec 後のしわ形状(a)は，照射なしではしわが大きく発生しているが，照射ありではしわは若干確認できる程度に抑制されている．さらに時間が経過した 20sec 後のしわ形状(b)は，照射なしでは更にしわが大きく成長しているのに対し，照射ありでは全く成長していないことがわかる．



(a) After 3sec



(b) After 20sec

Fig.4 Effects of suppressing cockles in thick paper by laser exposure in the paper profile of view

図 5 は図 4 と同じ印字条件（照射タイミング 0.15sec）で，レーザーエネルギーを変化させたときのカックル高さ（Peak-to-peak の Max 値）の時間変化である．レーザー照射エネルギーが大きく水分蒸発量が多いと，カックル低減が速くなっている．また，水分蒸発に十分なエネルギーが与えられない場合は，カックル低減に限界があることがわかる．

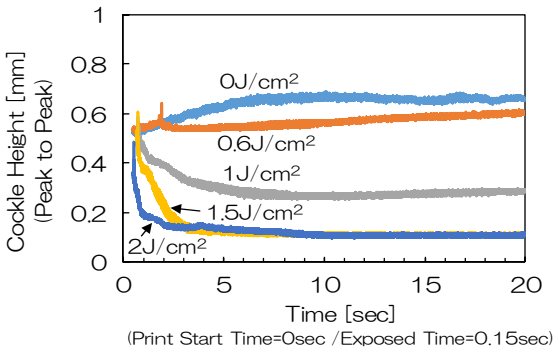
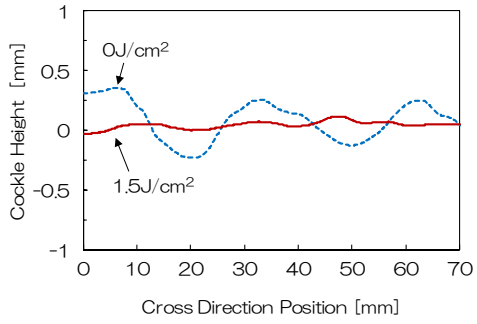


Fig.5 Cockles changes in thick paper by laser exposure

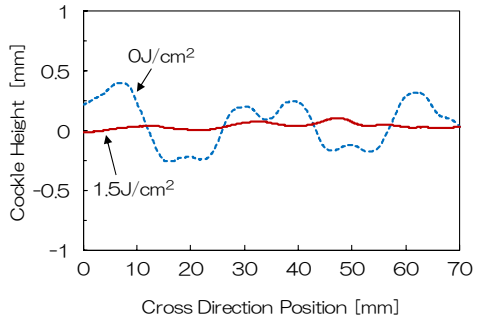
© 一般社団法人 日本画像学会

3.3 薄紙のしわ抑制効果

図 6 は，図 4 で示した実験と同じ内容を薄紙(73.3gsm)で検証した結果を示す．印字開始から 3sec 後のしわ形状(a)は，照射なし（0J/cm²）では厚紙よりもしわの数が多く発生していることがわかる．一方，1.5J/cm² 照射ではしわはほとんどなく，薄紙でもしわ抑制効果があることを確認した．また印字開始から 20sec 後のしわ形状(b)は，照射なしでは高さ方向には成長せず，しわの数が更に増加している．しわ形状分布の時間経過を追跡したところ，しわが成長すると座屈が発生し，しわの数が増えることを確認している．



(a) After 3sec



(a) After 20sec

Fig.6 Effects of suppressing cockles in thin paper by laser exposure in the paper profile of view

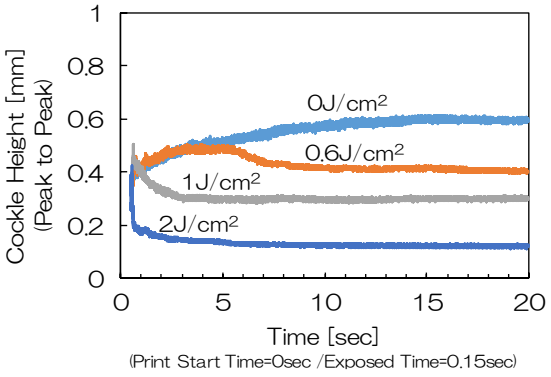


Fig.7 Cockles changes in thin paper by laser exposure

図 7 は，レーザーエネルギーを変化させたときの薄紙のカックル高さ（Peak-to-peak の Max 値）の時間変化である．薄紙においても，厚紙同様レーザーエネルギーが大きく，インク水分の蒸発量が 100%に近いとしわ抑制効果が高くなることが示された．

3.4 レーザー照射タイミングの影響

Fig.8 にレーザー照射インターバルによるしわ低減挙動を示す．レーザー照射エネルギーは 1.5J/cm² とした．印字からレーザー照射までのインターバルが短い場合(0.15sec)，しわが短時間で戻るが，インターバルが長い場合(1.5sec)はしわが戻る時間が長くなる．インクの浸透および用紙繊維の膨潤が進行する前に画像部の水分を除去すると速やかにしわを低減できることを示唆している．

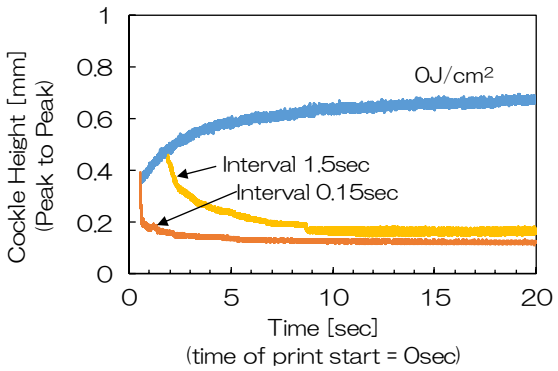


Fig.8 Effects of suppressing cockles on thin paper by the interval time from print to laser exposure

4. シミュレーションによる考察

4.1 解析モデル

実験で得られた紙厚や浸透・膨潤の進行およびレーザー照射有無によるしわ形成挙動について考察するため，Abaqus を用いてシンプルなモデルで用紙変形をシミュレーションした．用紙繊維の膨潤は熱膨張でモデル化し，用紙の水分率を温度に対応させた．用紙は線形弾性体モデルであると仮定し，インクが浸透している領域には一様に濡れた用紙のヤング率を設定した [4]．

4.2 解析条件

用紙物性は一般的な値を用いた．表 1 に用紙の設定パラメータを示す．表中の x, y, z はそれぞれ用紙の MD 方向，CD 方向，厚さ方向を表す．

Table 1 Simulation condition

Physical property		Coordinate	Value
Young's modulus	Non-printed area	x	6.670[Gpa]
		y, z	2.615[Gpa]
	Printed area	x	1.780[Gpa]
		y, z	0.690[Gpa]
Poisson ratio		x, z	0.3
		y	0.163

© 一般社団法人 日本画像学会

紙厚は厚紙 100μm，薄紙 50μm（用紙物性同じ），MD 方向にテンション 1.5kgf 印加，計算領域は図 2 に示す範囲（画像領域 60mm×10mm，周囲に白紙領域），インク浸透深さおよび画像部の膨潤率をパラメータとした．

4.3 解析結果

図 9 に厚紙(100μm)，図 10 に薄紙(50μm)のカックル形状（CD 方向）のシミュレーション結果を示す（実線：レーザー照射あり，破線：レーザー照射なし）．パラメータの組み合わせによりカックル分布形状がばらつくが，厚紙では膨潤率 4%（照射時 1%），インク水分の浸透距離 37.5μm，薄紙では膨潤率 4%(照射時 0.5%)，浸透距離 25μm のとき，カックル高さおよび分布形状が実験結果（図 4，図 6）を良好に再現した．カックルの分布形状は，概して非画像部と画像部の剛性の分布（紙厚と用紙内におけるヤング率分布に依存）と画像部の膨張力とのバランスに依存するといえる．

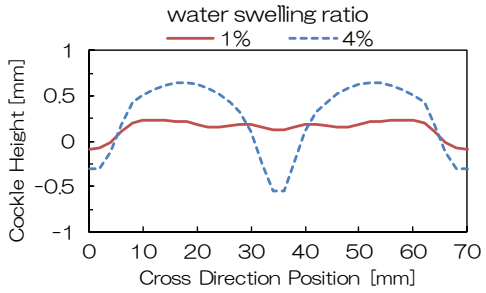


Fig.9 Simulated cockle profile of thick paper (100μm) with/without laser exposure

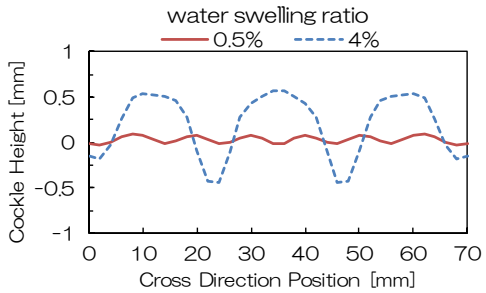


Fig.10 Simulated cockle profile of thin paper (50μm) with/without laser exposure

次に，浸透深さおよび膨潤率によるカックル形状への影響を調べた．

図 11 は，膨潤率を固定したときのカックル高さに対する浸透深さの影響を示したものである（用紙厚 100μm．図 2 と異なる計算条件）．インク水分の浸透が進むほどカックル高さが大きくなる傾向を示し，膨潤率が大きいほど感度が高くなることがわかる．

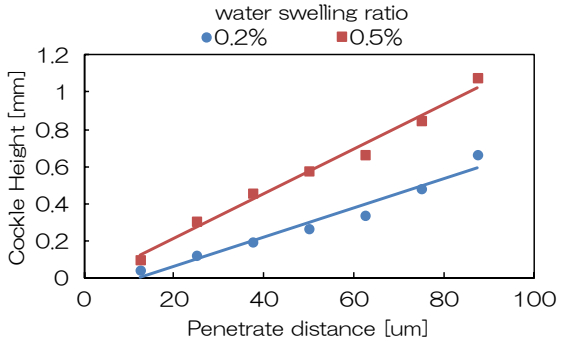


Fig.11 Dependence of penetrate distance and water swelling ratio for cockle height (100μm)

5. まとめ

インクのみを短時間で加熱できるレーザー乾燥技術を用いて，オフセットコート紙のしわ抑制効果を検証し，以下の知見を得た．

・レーザー照射により，印字後速やかにインク水分を蒸発させることで，厚紙・薄紙ともにしわを抑制できる．

・印字後のレーザー照射タイミングが速いほど，より速くしわを抑制できる．

参考文献

1) Akira Sakamoto, Manabu Numata, Yasuhiro Ogasawara, Mami Hatanaka, Yukari Motosugi, and Naoki Morita, Laser Exposure of Dry Aqueous Ink for Continuous-Feed High-Speed Inkjet Printing, J. Imaging Sci. Technol. 59(2): 020501-1020501-7(2015).

2) Takuma Ishihara, Akira Sakamoto, Satoshi Hasebe, Mamoru Fujita, Takeshi Zengo and Toshinobu Hamazaki, Application of Drying Technology using Laser Exposure to Hight-speed Inkjet Printing System and Verification of Inhibiting Effect on Image-density Inhomogeneity, ICJ2016, 101-104(2016).

3) Tetsuya Hirabayashi e al, Development of the Coated Graphic Paper “OK Non-wrinkle”, SEN’I GAKKAISHI, Vol.59, No.11, 363-367(2003).

4) Motoharu Nakao, Satoshi Hasebe, Ryosuke Takahashi, Takashi Ogino, Study of Paper Deformation Mechanism in Color Inkjet Printing Process with IR Heater, ICJ2016, 105-108(2016).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ3] インクジェット(3) システム
Inkjet (3) Syetem

2018年6月20日(水) 10:40 ～ 11:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ3-02] Newガーメントプリンターの開発
Development of New Garment Printer

*見満 継頼[1] （1. 株式会社リコー）
*Tsuguyori Kemma[1] （1. RICOH COMPANY,LTD.）

店頭に置けるコンパクトボディ。新たなガメントプリンター。

低価格・コンパクト・高い安全性・簡単操作を可能とした技術。

Low Cost・・・エントリーモデルとして最適
Compact・・・店頭にも置けるコンパクトボディ
Safety・・・使う人を選ばない高い安全性
EASY・・・直感的な操作感

©一般社団法人 日本画像学会

ＮＥＷガーメントプリンターの開発

見満継頼

株式会社リコー　ＣＩＰ開発本部　ＩＰ開発センター　ＤＴＧ開発室　ＨＧ－ＰＴ

Development of NEW Garment Printer

Tsuguyori Kemma

HG Project Team DTG Development Room Industrial Printing Development Center

Commercial & Industrial Printing Development Div. ,RICOH COMPANY,LTD.

RICOH Ri 100 is a direct to garment (DTG) printer released by Ricoh in November 2017. RICOH Rh 100 is a dedicated fixing machine. It is easy to handle even for general users. In order to realize it, it is necessary to be "low price" "small size" "high safety" "easy operation". In the text, we introduce technical points which realized "compact", "high safety" and "easy operation".

１．はじめに

1.1　背景

デジタルファブリケーション技術の進歩と共に，個人レベルでの新しいものづくりへの気運が高まりつつある．Ｔシャツ等の「Garment(衣料)」に直接印字する製品を，DTG(Direct to Garment)プリンタと称する．DTG プリンタはスクリーン印刷と異なり，版を要せず，ガーメントに対して鮮明なグラデーション印刷を行う事の出来る作像システムである．

従来の DTG プリンタは,「価格」「サイズ」「安全性」「操作性」の観点から，一般ユーザーが広く取り扱う製品にはなり得ていなかった．

1.2　開発コンセプト

リコーでは「世界中のお客様が楽しめ，笑顔になる新しいプリント文化を創りたい」という想いから，一般ユーザーでも手軽に取り扱えるような DTG プリンタの開発を行った．

開発コンセプトである「低価格」「コンパクト」「高い安全性」「簡単操作」を追及した結果，「RICOH Ri 100」と，RICOH Ri 100 専用定着機の「RICOH Rh 100」を 2017 年 11 月に上市するに至った．(Fig. 1)



Fig.1 RICOH Ri 100 & RICOH Rh 100

＊〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1
＊2-7-1 Izumi, Ebina-shi, Kanagawa, 243-0460, Japan
e-mail:　tsuguyori.kemma@jp.ricoh.com

開発コンセプトを達成する為の施策が多く盛り込まれた RICOH Ri 100 と RICOH Rh 100 について，特に「コンパクト」「高い安全性」「簡単操作」の達成に寄与した特徴的な構成と，それによって生じた技術課題について紹介と解説を行う．

２．製品概要

まずは製品の概要について，説明する．

2.1　作像方式

RICOH Ri 100 は先述の通り DTG プリンタである．Fig.2 に示す通り，インクジェット方式により対象のガーメントに直接印字する方式である．印字後にガーメント上のインクを加熱定着させる為に RICOH Rh 100 を用いる．

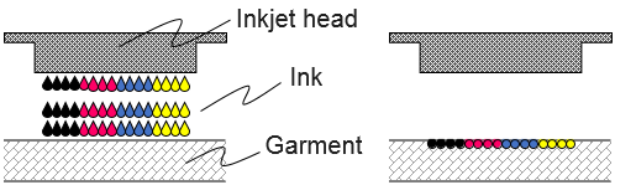


Fig.2 DTG method outline

2.2　製品仕様

RICOH Ri 100 の製品仕様の概略を Table.1 に示す．比較の為，他社の DTG プリンタの仕様も併記する．

RICOH Ri 100 は白インクを搭載していない．白インクの利点はガーメントの下地色に影響を受けずに印字する事が出来る点である．反面，白インクは顔料成分が沈殿しやすいという特徴がある．それにより定期的なメンテナンスを要する為，開発コンセプトの「簡単操作」にマッチしないと判断し，RICOH Ri 100 には搭載をしていない．

© 一般社団法人 日本画像学会

Table.1 Outline of specification

	RICOH Ri 100	Company A	Company B
Corresponding ink	CMYK	CMYKW	CMYKW
Image Resolution	1200x1200 *dpi*	1440x720 *dpi*	1200x1200 *dpi*
Print speed / A4 size	80 *sec*	50 *sec*	58 *sec*
Print size	A4	A3	A3
Size (WxDxH)	399x683x293 *mm*	985x1425x490 *mm*	1400x1300x550 *mm*
Weight	25 *kg*	82 *kg*	120 *kg*

他社では A3 サイズとなっている印刷範囲を A4 サイズとした理由は，開発コンセプトの「コンパクト」を達成する為である．市場調査結果からも，A4 サイズで要求を満たす見込みがあったのも一因である．「コンパクト」の開発目標は「店舗店頭でも設置可能なサイズ」であり，その具体的な数値目標値は，主要什器メーカの什器寸法を元に算出されている．結果，店舗店頭でも充分に設置可能なサイズの製品を開発する事が出来た．

2.3 簡単操作

Fig.3 に操作手順を示す．RICOH Rh 100 は定着機能(Step4)だけではなく，印字前のアイロン機能(Step2)も併せ持つ．

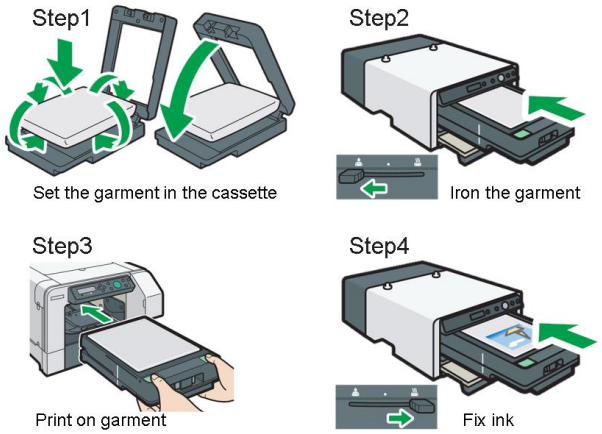


Fig.3 Outline of use procedure

従来の DTG プリンタでは，定着機としてヒートプレスを使用していた．その為，印字後にガーメントを取り外し，ヒートプレスに再セットする手順が必要であったが，RICOH Ri 100 と RICOH Rh 100 であれば，ガーメントの再セット手順が不要となった．

3．特徴的な構成

次に開発コンセプトを達成するのに大きく寄与している特徴的な構成について説明する．従来の DTG プリンタとの大きな差別化ポイントは，以下の 2 点である．

・カセット方式
・RICOH Ri 100 専用定着機

それぞれについて，詳細説明を行う．

3.1 カセット方式

従来の DTG プリンタは，Fig.4 に示す通りガーメントセット部が搬送路と一体化している．



Fig.4 Conventional machine configuration

これに対し，RICOH Ri 100 は，Fig.5 に示す通りガーメントセット部をカセット方式とし，製品と別体化させる構成とした．



Fig.5 Separate cassette

従来の DTG プリンタの場合，ガーメントをセットする際の作業性を考慮すると，ガーメントセット部全体を製品本体から大きく露出させる(飛び出させる)必要が生じる．これにより，結果として製品の大型化を招いてしまう．

一方カセットを別体化する事で，ガーメントのセット行為は製品から切り離される．これにより製品自体の小型化を実現する事が出来た．

又，ガーメントのセット行為と製品を切り離す事は，製品の稼働状況に寄らずガーメントのセットが出来る事を意味する．つまり複数個のカセットを使用すれば，ガーメントのセット行為が生産性のボトルネックとはならず，生産性の向上が図れる．

© 一般社団法人 日本画像学会

Fig.3 で示した通り，カセットにガーメントを一度セットした後は，RICOH Ri 100 と RICOH Rh 100 へのカセットの出し入れのみの作業となり,「簡単操作」を実現する事が出来ている.

3.2 RICOH Ri 100 専用定着機

従来の DTG プリンタでは，インク定着の手法として主に Fig.6 のような汎用のヒートプレスが使用される．ヒートプレスはアイロンと同じく熱源が露出している構造である為,安全性が高いとは言えない．又，DTG プリンタ本体とは別に設置面積を要する為，トータルの設置面積が大きくなるというデメリットも併せ持つ.

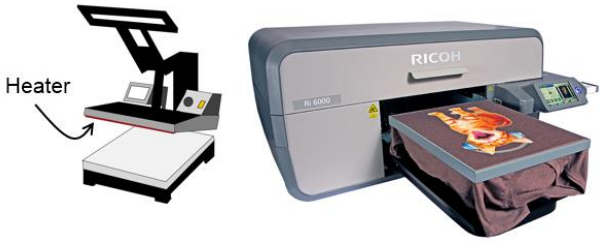


Fig.6 Heat press and its installation

リコーでは「高い安全性」「コンパクト」を達成する為,専用定着機としての RICOH Rh 100 を開発した．Fig.7 の通り，重ねて設置する事により設置面積を変えずに,「コンパクト」を達成している.



Fig.7 A view on the top

RICOH Rh 100 は，定着の為の熱源を製品内部に有しており，扉で隔離されている．つまり熱源が露出していない．使用時もカセットの出し入れの作業となり，熱源に触れる可能性が低く，この点で従来よりも「高い安全性」を実現している.

Fig.3 でも示した通り，RICOH Rh 100 は「アイロン」と「定着」の 2 つの機能を有している．レバーの切り替えにより「アイロン」と「定着」処理を実行する.「アイロン」時には，熱源とガーメント表面が圧接し，ガーメントのシワを伸ばし，毛羽を寝かせる.これによりガーメント表面の平面度を高める．インクジェット作像方式は，吐出ヘッドと印字媒体とのクリアランス精度が画像品質に与える影響が大きく，ガーメント表面の平面度を高める事が，クリアランス精度を確保する事に繋がり，結果的に良好な画像品質を得る事が可能となった.

Fig.8 に示す通り，ヒートプレスでのインク定着では，熱源への接触定着がなされる．熱源への接触が生じる事からガーメントの作像面には，通常シリコンペーパー等を挟み，熱源へのインク転写を回避している．それに対し RICOH Rh 100 の特徴的な構成として，非接触定着が挙げられる．これにより，従来消耗品として必要であったシリコンペーパーを必要としない定着機能を実現している．併せてシリコンペーパーをセットする手間を省く事が出来，これも「簡単操作」に繋がっている.

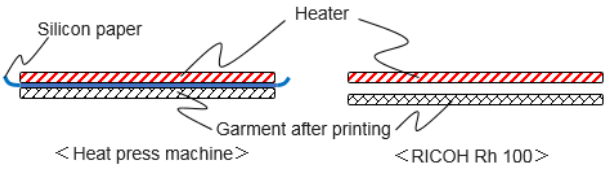


Fig.8 Difference in fixing method

4．達成する為の技術課題

先述の特徴的な構成とする事で，インク定着に関する技術課題が生じた．それは，非接触定着方式に起因する技術課題である.

4.1 非接触定着方式の課題

Fig.8 に示した通り，一般的に従来の DTG プリンタは接触定着方式であり，接触による伝熱の為，ガーメント表面に伝わる熱量は安定し易い.

逆に非接触定着方式の場合，熱源とガーメント表面の間に空気層が存在する事で，伝わる熱量が接触方式よりも外乱の影響を受け易くなる．結果的に定着不充分による洗濯堅牢性低下という問題に繋がる.

4.2 洗濯堅牢性

DTG プリンタは先述の通り，ガーメント表面にインクジェット方式で直接印字する作像方式である．基本的に作像面は，インク顔料成分が固着した状態である.(ガーメント自体を化学的に染色しているわけではない)

その為，洗濯等でインク固着面に外力が働いた場合，インク顔料が脱落し Fig.9 に示すように，あたかも色あせたかのように見える現象となる.

インク顔料をガーメント上で固着させるには，インク中の水分を揮発させ，顔料をホールドする為のバインダー成分を溶かす必要がある．その為，熱量が不十分であった場合，顔料が脱落し易い状態となってしまう．非接触方式の場合，熱源とガーメント表面間の空気層の厚み(クリアランス)が，インクの定着性に対して重要な因子となる.

© 一般社団法人 日本画像学会

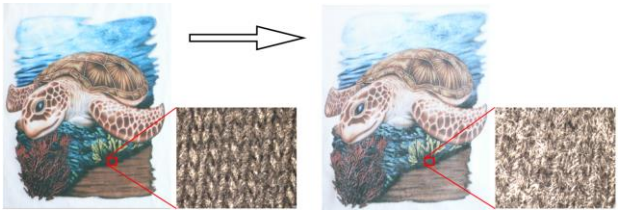


Fig.9　Falling due to washing and images

4.3　クリアランスとガーメント表面温度

Fig.10 は，熱源とガーメント表面までの距離(クリアランス)別に,ガーメント表面温度の測定結果を時系列でプロットしたものとなる.

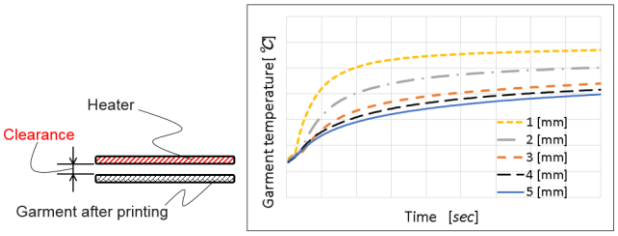


Fig.10　Clearance and garment temperature

クリアランスが 1㎜～3㎜ の領域は,経時的に到達するガーメント表面温度の差が大きく，クリアランスによる影響が大きい領域である事が分かる.

到達するガーメント表面温度のロバスト性を考慮すると，クリアランが 3㎜ より大きい領域を設計の狙い値に設定する事が望ましい．しかしその場合，狙いの定着性能を得るまでに要する時間が長くなってしまうという問題がある．市場調査の結果，定着処理にかかる時間の期待値は 3 分以内であり，定着完了までの時間目標値を 3 分以内とした.

以上より非接触定着方式において，定着時間を極力短くしつつ，狙いの定着性能を得る為には，出来る限りクリアランスを狭く設定する事が望ましい．つまりクリアランスのばらつきを如何に小さくする事が出来るか,という事が具体的な技術課題となる.

4.4　クリアランスのばらつき要因

クリアランスがばらつく要因としては,

要因 1　RICOH Rh 100 の組立ばらつき

要因 2　カセットのガーメント表面までのばらつき

に分けられる.

要因 1 について，RICOH Rh 100 の内部構造をカセット載置面から熱源までの寸法精度確保の為に，熱変形に強いプレス部品とし，寸法公差の積み上がりの少ない構成とした．又，該当寸法を測定する測定治具を作成し，製造工程にて全数チェックを実施している.

要因 2 については，更に以下の要因に分ける事が出来る.

要因 2-1　ガーメント厚の違いによるばらつき

要因 2-2　熱によるカセットの変形

要因 2-3　カセットの組立ばらつき

要因 2-1 について，Fig. 11 に示す通りカセットプラテン面を可動構造とし，高さ方向の位置決めをカセットフレームで行う構成とした．これにより，セットされたガーメントの厚み分プラテン面が沈み込む為，カセット内でのガーメント表面高さは変わらない.

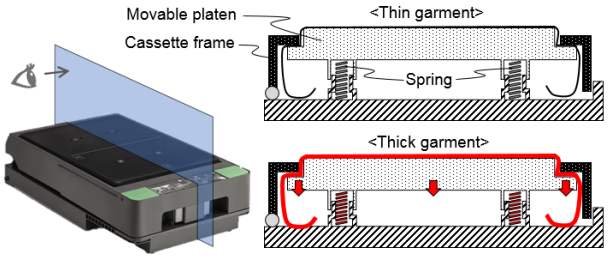


Fig.11　Movable platen

要因 2-2 について，カセット内部の機能部品については，熱変形に強いプレス部品を用いた．プレス部品に出来ないカセットベース部は熱に強い材質を選定．又，カセットプラテン面は，平面度が出し易く熱に強いアルミを材質として選定した．表面には静電植毛を施し,ユーザビリティにも配慮している.

要因 2-3 について，製造工程での調整組みが出来る構成とし，部品によるばらつきを吸収する手法を採用した.

以上の対応により，定着処理時のクリアランス精度 2㎜±1㎜ を達成する事が出来，定着処理時間 3 分で狙いの定着性能を得る事が出来た.

5．おわりに

開発コンセプトである「低価格」「コンパクト」「高い安全性」「簡単操作」を達成する DTG プリンタを開発した事により，ガーメントへ印字するという行為がより身近となる製品を開発する事が出来た.

各地で行われたイベントや体験デモに数多く参加したところ，プリントされた T シャツやトートバッグを手にされたお客様は本当に嬉しそうであり,「笑顔」を生み出すという当初の狙いも達成出来たように思う.

リコーとして新規事業領域であるガーメントプリンタの開発という事で,ガーメントへの定着方法や,その他評価方法については模索状態であったが，開発を通して一通りの知見を獲得し，商品化に漕ぎ付ける事が出来た.

参考文献

1)　Hisato KATO,Katsunori GOI, and Naoko NAKAJIMA,” Inkjet Printing System for Textiles”, Journal of the Imaging Society of Japan, 48,pp.285(2009)[in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ3] インクジェット(3) システム
Inkjet (3) Syetem
2018年6月20日(水) 10:40 ～ 11:40 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ3-03] NASSENGER SP-1 さらなる高画質化に向けて
Nassenger SP-1 toward Further Improvement of Image Quality

*竹内 節[1], 吉村 俊彦[1], 坪谷 真吾[1], 花島 優介[1] （1. コニカミノルタ株式会社）
*Setsu Takeuchi[1], Toshihiko Yoshimura[1], Shingo Tsubotani[1], Yusuke Hanashima[1] （1. Konica Minolta, Inc.）

本講演では、コニカミノルタのシングルパステキスタイルプリンターの高画質に向け改良してきたふたつの技術を紹介する。ひとつは,布帛への印刷特有の白スジに対応するため,インクの液量をユーザーで選択できるようにした。もう一つは,カメラを使用してのノズル列方向の着弾位置調整において、その精度を上げるための技術である。

©一般社団法人 日本画像学会

NASSENGER SP-1 さらなる高画質化に向けて

坪谷　真吾，吉村　俊彦，花島　優介，竹内　節

コニカミノルタ株式会社　情報機器開発本部

NASSENGER SP-1　toward Further Improvement of Image Quality

Shingo Tsubotani, Toshihiko Yoshimura, Yusuke Hanashima and Setsu Takeuchi

R&D Headquarters Business Technologies KONICA MINOLTA, INC.

Printing on fabric is mainly done by screen printing, and the production amount is about 30 billion m 2 in one year. On the other hand, inkjet printing started at the end of the 1990s, but the progress of digitization has been slow, still only 4% of the market share. The printing speed of the scanning inkjet printer was less than half of the conventional rotary screen printing, which delayed the shift to digitalization. Under these circumstances, Konica Minolta released the single pass printer NASSENGER SP-1, which is equivalent to the rotary screen printing, but it is not completely substitutable for image quality, and further improvement in image quality is required.

１．はじめに

布帛上へのパターン印刷を意味する捺染は，主にスクリーン印刷によって行われており，生産量は全世界でおおよそ一年間に 300 億㎡と言われている。インクジェットプリンターによるデジタル印刷は，1990 年代の終わりにはじまっているもののデジタル化の進展は遅く，その比率は現在でも 4%程度にとどまっている。従来のスキャン型インクジェットプリンターでは印刷速度が，ロータリースクリーン印刷による従来捺染の数分の 1 以下であり，これがデジタル化への移行を遅らせていた。しかし，近年ファストファッションの台頭により，従来の短納期，大量生産に加え，多品種生産へのニーズが強まっており，印刷装置には，無版でのデジタル印刷や高生産性が求められている。こうした市場要望に応え，コニカミノルタは，2016 年 4 月，シングルパスプリンター NASSENGER SP-1 をリリースした(Fig. 1)。無版のデジタル印刷を，従来技術の中で最も高速であるロータリースクリーン方式と同等の生産性能で実現した。しかし，ロータリースクリーン方式の印刷と比べ，画質の面において，全ての印刷が代替可能なわけではなく，市場からはさらなる画質向上を求められている。本稿では，リリース以降，さらなる高画質に向け，改良してきた技術の紹介を行う。

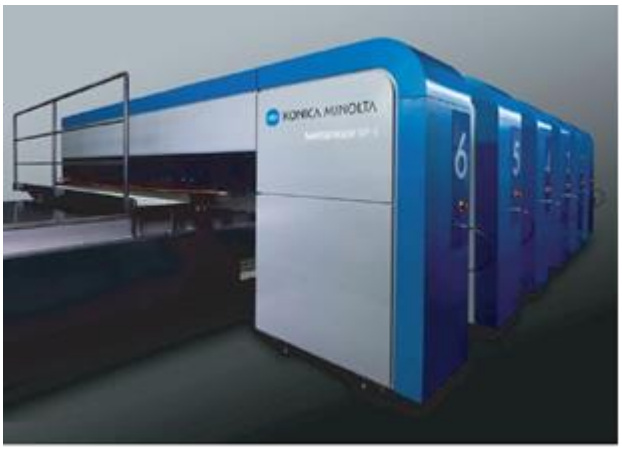


Fig.1 NASSENGER SP-1

２．市場背景

2．1　ファストファッションの台頭

2000 年代半ばごろから，ファストファッションと言われる SPA（アパレル製造小売業）の販売形態が台頭してきた。これは，「作ったものを売る」ではなく「売れるものを作る」戦略である。このため，今この瞬間に流行する柄を把握し，それを最短の時間で店頭に並べる，ということが必要である。これによって原価率 30%でも利益が出る構造になっている。

2．2　多品種・大量生産・短納期

物流も含めたリードタイム短縮は SPA のビジネスモデルを成立させるためには必須で，プリントに要する期間は，発注からサンプル出力まで，数日のレベルとなっている。

＊〒191-8511 東京都日野市さくら街 1 番地
＊No.1 Sakura-machi, Hino-shi, Tokyo 191-8511, Japan
e-mail:　toshihiko.yoshimura@konicaminolta.com

© 一般社団法人 日本画像学会

従来印刷である,ロータリースクリーン印刷では,版を起こす必要があり,この様な短納期や多品種には対応できない。そこで無版で印刷が可能な,デジタルテキスタイルプリンティングが求められているが,印刷速度において,ロータリースクリーンにはかなわない。

コニカミノルタは,これらを両立し,無版のデジタル印刷を,従来技術の中で最も高速であるロータリースクリーン方式と同等の生産性能で実現した,シングルパスプリンターNASSENGER SP-1 をリリースした。

2. 3　要求画質の向上

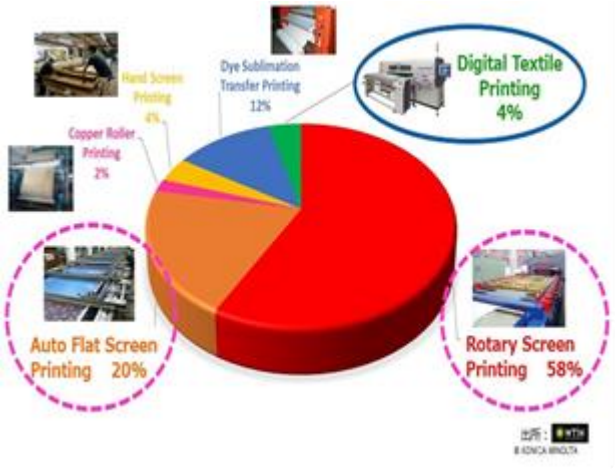


Fig.2 Market size by production method.

NASSENGFR SP-1 は,無版のデジタル印刷を,従来のロータリースクリーン印刷と同等の生産能力で印刷することが可能である。しかし,デジタルテキスタイル印刷の市場での比率は未だにわずか 4%程度にすぎない(Fig. 2)。

そのひとつの要因として,画質面において色ズレや白スジというあらたな課題が発生し,全ての印刷を代替可能なわけではないことがあげられる。ロータリースクリーン印刷は,調合して特色のインクを作成し,単一のインクで柄を印刷するのに対し,インクジェットプリンターは複数インク色による面積階調で色を表現する。そのため,たとえば Fig. 3 のような混色による格子柄は,適切な調整を施さないと,ノズル列方向に容易に色ズレを起こしてしまう。

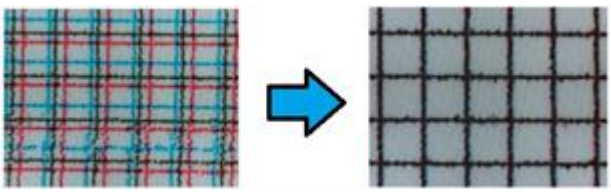


Fig.3 Effects of image alignment correction-fine pattern.

また,インクの重ね打ちができないシングルパスインクジェット特有の問題として,布帛特有の白スジの問題もある。以降の章で,SP-1 リリース以降に,これらの問題に対して画質向上のために導入した技術を紹介する。

3. SP-1　画質を向上させるための技術

3. 1　ユーザーによるインク液量の選択

紙への印刷とは異なり、布帛に印刷するシングルパスプリンターでは,染めたい糸に対してインクが十分な量着弾できない場合,搬送方向に連続して伸びる白スジが発生する。

要因は以下の 3 つが挙げられる。

① 印刷解像度もしくはインクを射出するノズルピッチと布の経糸の周期の関係性
② 液滴サイズと経糸の太さ（繊度）の組み合わせ
③ ハードウェア起因の着弾誤差

これらの背景としては以下 2 つが挙げられる。

① インクジェットプリンターでは粒状性の視認低減のために,数 *pl* 単位で液滴を射出できることが一般的である。それにより、インクが当たらない糸が発生する。
② 捺染印刷では印刷中にベルトをブラシによって水洗浄するため,Fig. 4 のようなベルトクリーニングシステムが必要である。このシステムには水切り用のブレードが配置されており,印刷中にベルトと常に接触している。その振動により,ベルトクリーニングシステムを使用時は,インクの着弾に±1 画素程度の誤差が生じる。

© 一般社団法人 日本画像学会

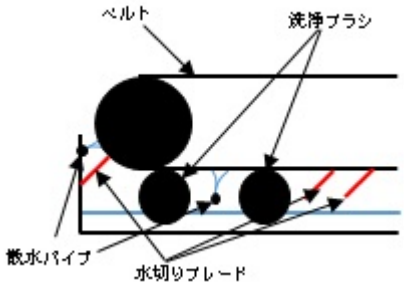


Fig.4 Belt cleaning system

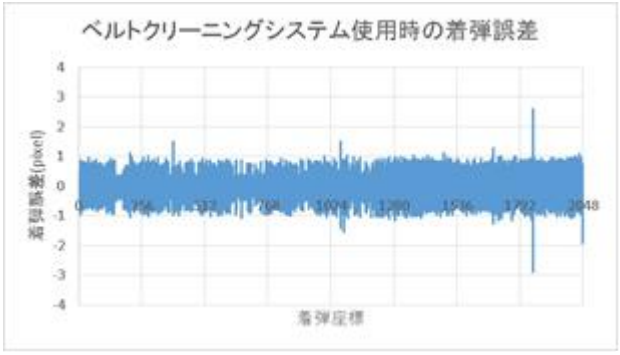


Fig.5 Error when using belt cleaning system

上記Fig. 5のように1画素レベルの着弾誤差が生じる系において小さすぎる液滴サイズでは Fig. 6のように主に高階調部にて糸を幅手方向に染めきるには液量が足りない場合がある。具体的にはFig. 6の経糸①では幅手方向に2ドット着弾している。これが糸を染める十分なインク量であるとき,経糸②では着弾位置と経糸の周期にずれがあるため,1.5ドットの液量しか着弾しない。さらにドット列の着弾座標が赤枠のようにずれた際に Fig. 7 の緑枠がFig. 8の左写真のように白スジとしてユーザーに認識される。

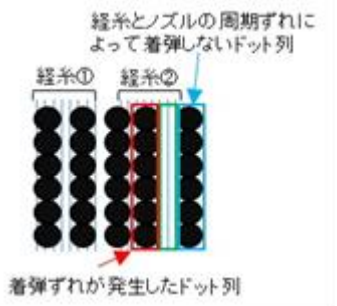


Fig.6 Before steaming

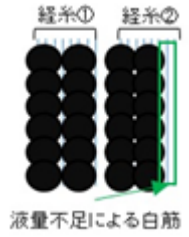


Fig.7 After steaming

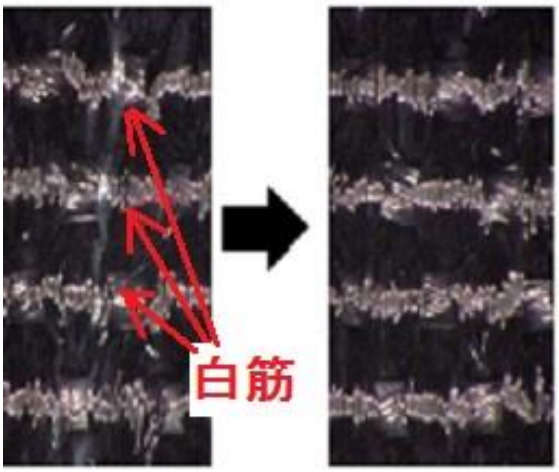


Fig.8 White line

この課題は布帛の種類によって傾向が異なるため,布や印刷する画像によって印刷に用いる最小液滴サイズを任意に変更することで,各印刷ジョブにおける画質劣化の抑制を達成している。Fig. 9は、液滴サイズをより大きくしたものであり、これによりFig. 8右写真のように白スジの発生を低減している。

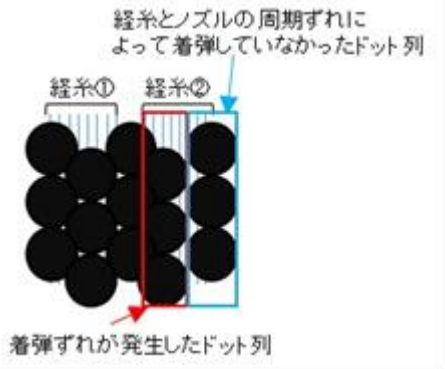


Fig.9 Large ink drops

3. 2　カメラでのノズル列方向調整精度向上

SP-1 では競合他社のシングルパステキスタイルプリンターにはない CCD カメラによる位置調整機能を有している。

これにより,SP-1 では, 各色,各ヘッド間のノズル列方向の位置に対して,調整用パターンを印画し,Image scan unit(Fig. 10)で読み取ることにより,位置を計測し,自動で調整している。



Fig.10 Image scan unit.

© 一般社団法人 日本画像学会

しかし,ベタ模様のモジュール間つなぎ部分の白スジや,幾何学模様に代表されるような,色ズレが画質に悪影響をおよぼすデザインを満足するには,より高精度な着弾位置調整が望まれている。

Fig. 12 は, 検出された着弾位置と, 理想の着弾位置との差である。ヘッド幅 72㎜ の間で約 150㎛ ほど差異がある。

従来技術では,着弾調整に使用される検出領域が広くとられており,Image scan unit での調整パターン読取時に読み取りカメラの搬送速度が変動すると,読み取った画像が、読み取りごとに変動してしまい,マーカー検出位置が安定せず,調整誤差が生まれていた。

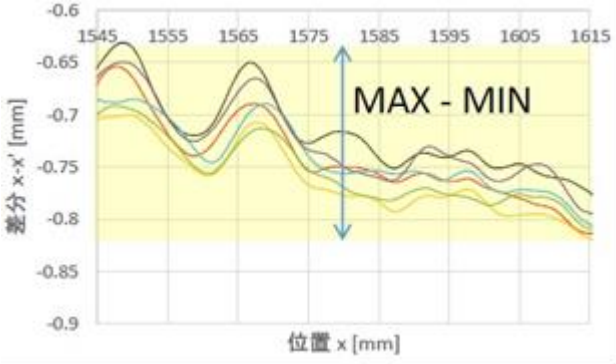


Figure 11 Difference from theoretical value.

そこで,速度変動による影響を無視できる狭い領域にマーカーを配置することで,調整精度の向上を図った。

Fig. 12 は、従来のノズル列方向調整画像と、改良された調整画像である。従来画像は、ヘッドの位置を検出するためのマーカーが、ヘッド全域にわたり等間隔に配置されているのに対し、改良された画像は、隣接ヘッドと重なりあう部分にのみ、狭いピッチでマーカーを配置している。

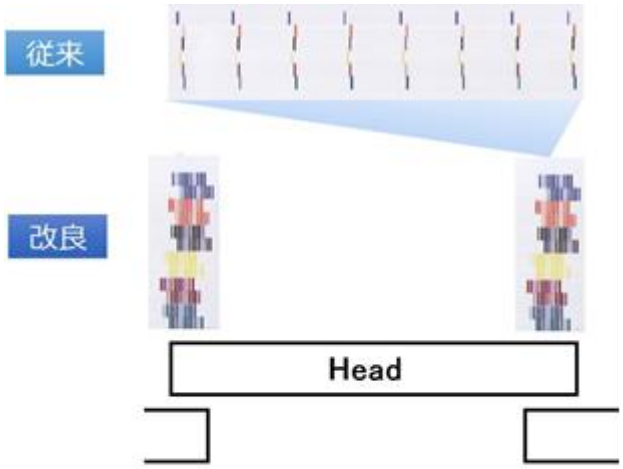


Figure 12 Conventional image for adjustment and image after improvement.

Fig. 13 は、Image scan unit のカメラが調整画像のマーカーを読み取っている図である。改良された調整画像では、狭いピッチでマーカーが配置されているため、カメラの搬送速度の変動による読取誤差の影響が少なくなっている。

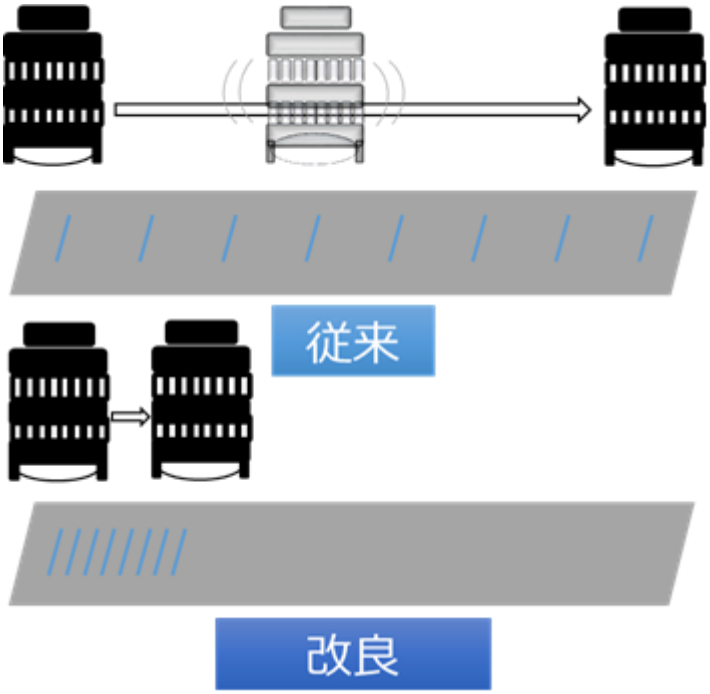


Figure 13 Reading images with camera

この調整画像の改良により、ヘッド間つなぎの位置精度が±2 画素から±1 画素に向上した。また,色ズレに関しては 1.5 画素以上の色間のバラつきが 43%から 7%まで削減され,読み取りの繰り返し精度が向上し,ベタ模様の白スジが低減、色ズレによる画像の乱れも低減した。

4. おわりに

コニカミノルタは,市場の多品種・大量生産・短納期のニーズに応えるためシングルパスプリンター NASSENGER SP-1 をリリースし,さらに改良を続けることによって,デジタルプリンティングの適用範囲を広げてきた。これにより,ロータリースクリーン方式のアナログ印刷機に匹敵する速度を確保しつつ,無版のデジタル捺染印刷を可能とした。しかし,未だ画質の面ではロータリースクリーンの方が有利なデザインも多々存在する。SP-1 の画質をさらに向上することにより,インクジェットプリンターによるデジタル捺染の拡大がすすみ,捺染業界の発展に寄与できることを期待する。

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Inkjet

[IJ4] Inkjet (4) Image Processing/Image Evaluation

Session Chair:Masanori Nagoshi(Mitsubishi Paper Mills Limited), Toshiaki Kakutani(Seiko Epson Corporation)

Wed. Jun 20, 2018 1:00 PM - 2:00 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJ4-02] Categorization and expression technique of metallic design

*Ryo Nishizawa[1], Akira Takatsu[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD.）

1:20 PM - 1:40 PM

[IJ4-03] The Effects of Printing with Seven-Color Separation Ink in the High Speed Inkjet Printer

*Masaru Ohnishi[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD）

1:40 PM - 2:00 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ4] インクジェット(4) 画像処理・評価
Inkjet (4) Image Processing/Image Evaluation
2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:00 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ4-02] メタリック意匠性のカテゴライズ化と表現技法
Categorization and expression technique of metallic design

*西澤 遼[1]、髙津 章[1] （1. 株式会社ミマキエンジニアリング）
*Ryo Nishizawa[1], Akira Takatsu[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD.）

身の周りには鏡や金属、メタリック塗装など、メタリック調の外観を持つ素材が数多く存在する。しかし、人が視認してメタリック調であると判断する素材群に、見た目や質感の一様性はなく、それらを簡易的に数値化する手法は確立されていない。今回の報告では、メタリック調の外観を持つ素材群のメタリック意匠性を、色調と光沢感の観点から定義しカテゴライズ化する検討を行った。また、本検討を応用し、インクジェット方式によるメタリック印刷物の作製に於いて、メタリック意匠性を向上する手法について提案する。

©一般社団法人 日本画像学会

メタリック意匠性のカテゴライズ化と表現技法

西澤　遼，髙津　章

株式会社ミマキエンジニアリング　技術本部

Categorization and expression technique of metallic design

Ryo Nishizawa，Akira Takatsu

Development Division, Mimaki Engineering Co, Ltd.

In our living space, there are many metallic tone materials such as a mirror, a metal, and metallic paint. People think that visually a material is metallic tone; however, the appearance and texture of the material are not the same. And there is no method to quantifying them simply. In this report, we have defined the design of metallic tone materials, depending on color tone and glossy feeling, and then categorized them. In addition, by applying this study, we will propose a technique to improve metallic design in metallic printed media production with inkjet method.

１．はじめに

『〇〇感』とはなにか？印刷物で”ある特殊な特性”を表現しようとした時にぶつかる疑問である．近年，印刷業界では高付加価値印刷の要求が高まっており，CMYK4 色のプロセスカラーなどのいわゆるカラー印刷とは異なった特別な印刷効果の表現が求められている [1]．特殊印刷に用いられるインクにはさまざまなものがあるが，金属的な輝きの表現には金・銀・パールインクが用いられる．また，金属的な輝きを表現する技法としてメタリック感，パール感や光輝感があるが，印刷業界で提案された評価方法は少ない [2]．その要因として，インク特性はそのインクに使用される金属顔料に依存する面が大きく，金属顔料の評価は主に顔料・塗料・化粧業界で評価されている項目であるためと考えられる．また，ここまで”金属的な輝き”と表現してきたが，金属的外観を持つ素材の見た目は必ずしも一致しない．例えば，アルミ顔料やパール顔料を配合した塗色を用いる自動車外装塗装では，キラキラとした光輝性を感じることをメタリック感とする．それに対して，実際の金属である金の認識メカニズムは，対象物表面に周囲環境が鏡像として映る「映り込み」によるものであると大良ら [3]は報告している．そこで，本稿では様々な意匠性を持つメタリック素材のメタリック感を定量的に数値化しカテゴライズ化する手法と，インクジェット印刷方式におけるメタリック意匠性表現技法に関して報告する．

２．従来のメタリック意匠性の位置づけと評価方法

メタリック意匠性は，一般的に『メタリック，パール感』として認知されている．曽根らが報告した光沢性の分類 [4]の中では，Table 1 のように光沢特定の一種として分類されている．

Table 1 Types of gloss.

特性 [Characteristic]	種類 [Type]
印象特性 [Perception characteristic]	光沢感 [Subjective gloss, Gloss perception]
	写像性（像鮮明性） [Clarity, Distinctness of image]
	メタリック，パール感 [Metallic/Pearlescent color]
	ミクロ光輝感 [Sparkle, Glint, Gloss graininess(granularity), Micro brilleance]
ノイズ特性 [Noise characteristic]	光沢ムラ [Gloss noise, Microgloss, Gloss graininess(granularity)]
	光沢スジ [Gloss streak]
	段差感（レリーフ感） [Appearance of image height difference, Relief sense]
	光沢均一性 [Gloss uniformity]

印象特性の一種のミクロ光輝感は粒子感，スパークル感やグリントなどとも呼ばれ，光輝材の粒子径や分布，反射特性，配向条件によるテクスチャのキラキラ感のことを示し，メタリック感にも寄与する要素として考えられている [5]．過去の文献でもメタリック感を表現するのに最も研究されている手法であり，測定機器には多数の照明や受光角で計測可能

＊〒389-0512 長野県東御市滋野乙 2182-3
＊2182-3 Shigeno-Otsu, Tomi-shi, Nagano, 389-0512, Japan
e-mail:　ryo_nishizawa@mimaki.com

© 一般社団法人 日本画像学会

なマルチアングル型の分光光度計や変角光度計が用いられる．ASTM E2194[6]，DIN 6175-2[7]で規定されている幾何光学条件を満たした測色機が多くのメーカーから市販されているほか，CCD カメラを用いた画像計測装置による導出[8-9]や変角分光光度計を用いた官能評価と相関性の高い評価方法[10]が提案されている．また，光輝感には 2 種類あり，巨視的な観察で知覚される質感「マクロ光輝感」と，微視的な観察で知覚される質感「ミクロ光輝感」によって光輝性顔料を含む塗色の質感を表現できる，と川口ら[11]は報告している．

３．新規評価方法の提案

光沢には前項のような印象特性が挙げられるが，それらの中からメタリック意匠性に影響のある特性として下記の 3 つに着目した．

① マクロ光輝感：フリップフロップ現象
② 像鮮明性：写像性
③ ミクロ光輝感：粒子感，キラキラ感

また，印刷業界におけるメタリック感の評価に適した手法であるために，測定手法としては下記を条件とした．

A) 簡易的な測定手法である
B) 定量的である
C) 小面積での測定が可能である

上記を条件とした理由は，印刷業界の製品生産にかかる時間は短く，且つメタリック表現印刷はワンポイントで用いられることが多いためである．そこで，①マクロ光輝感の評価にはマルチアングルタイプの分光測色計を用いた．これは 1 回の測定で 3 方向（25°，45°，75°）から照射し，1 方向から受光する方式である．この 25° と 75° の明度差をフリップフロップ現象の数値とする．また，②像鮮明性および③ミクロ光輝感の評価には光沢度計，その中でもアピアランスを測定できるものを使用した．なお、①マクロ光輝感の指標には『角度依存による明度差』,②像鮮明性の指標には正反射光との相関が高い『写像性』,③ミクロ光輝感の指標には印刷表面の微細構造によって生じる散乱光と相関が高い『ヘイズ』を採用した．

４．評価結果

後述する４．１から４．５の手法でメタリック意匠性を５つに分類分けした（Table.2）

４．１　メタリックと単色の分類

まず，マルチアングルタイプ分光測色計を用いて測定角度による明度差を測定した．この結果，カラー印刷サンプルや官能評価で単色と視認されるサンプルは明度差がほとんどないことが判った．明度差の発現イメージを Fig. 1 に示す．なお，単色サンプルで表面に凹凸があり明度差が比較的高くなるものでは，ヘイズ値が低い値を示した．このことから光散乱度が低く，明度差・ヘイズの値が低い場合，メタリック意匠性が発現せず単色と視認されると考えられる．

Table 2 Measurements of metallic design

分類	明度差 マクロ光輝感	写像性 像鮮明性	ヘイズ ミクロ光輝感
単色	低い	低い	低~中
高鏡面性	低い	高い	低~高
低鏡面性	低~中	中程度	中~高い
高光輝性	高い	低い	中程度
低光輝性	中~高	低い	高い

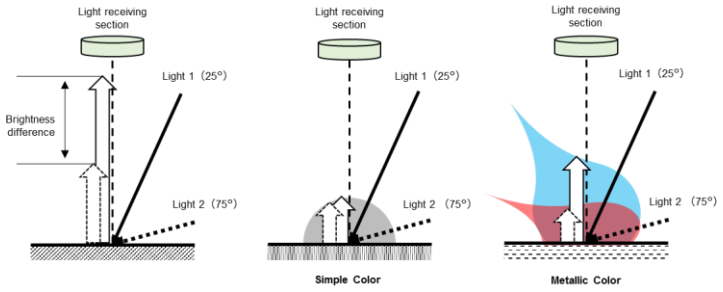


Fig.1 Brightness difference image

４．２　鏡面性と光輝性の分類

次に，明度差があるメタリック素材を鏡面性と光輝性に分類する．ここで写像性を用いると，鏡のような見た目を持ち光が正反射しやすいものほど値が高くなり鏡面性と分類できる．また，キラキラとした見た目で光散乱が起こりやすいものは低い値となり光輝性と分類できる．

４．３　鏡面性のグレード

前項で像鮮明性の視点から鏡面性と光輝性メタリック意匠性の分類分けを行った．鏡面性メタリック意匠性の中では写像性が高いほど，高鏡面性に分類されるが，そのときヘイズ（ミクロ光輝感）は表面の微細な凹凸構造，ヘアライン（金属の表面処理加工の一種；単一方向に細かい傷を付ける加工方法）のような細かい傷などに影響を受けるため，範囲の制限ができない．しかし，写像性の低下と共に，明度差とヘイズの値がどちらも高くなる傾向が見られた．光散乱が支配的になるほど低鏡面性メタリックと分類できる．

４．４　光輝性のグレード

４．２で鏡面性を持たないメタリック素材を光輝性メタリックと分類した．ここでもヘイズ（ミクロ光輝感）に着目してみると，メタリック塗装やラメ印刷のようなギラギラとしたメタリック意匠性が視認できる素材はヘイズの値が中程度を示し，これを

© 一般社団法人 日本画像学会

高光輝性メタリックと分類する．この条件として，表面の凹凸が大きいこと，金属顔料の粒子径が大きく，粒子感があることが上げられる．さらにヘイズ値が高くないものは粒子感が小さくなり，４．３で分類分けした低鏡面性メタリックの見た目に近くなっていくことが判った．これを低光輝性メタリックと分類する．

４．５　低鏡面性と低光輝性

低鏡面性メタリックと低光輝性メタリックの切り分けは，メタリック意匠性の発現が光の正反射と光散乱のどちらが主要因であるかで行い，本稿では像鮮明性の値を参照して分類する．

５．インクジェット方式によるメタリック意匠

印刷方式にはスクリーンやグラビア，オフセット印刷など様々なものがあるが，それらの方式とインクジェット方式の大きな違いにインク液滴の吐出有無がある．インクジェット方式では，ヘッドのノズル径以上の粒径をもつ色材は吐出することができない．そのため，使用できる金属顔料の粒径は数μｍまでに制限される．また，金属顔料の輝度感は粒子径に依存することが知られている．このため，より大きな粒子径の金属顔料を使用できる印刷方式ほど光輝感の高い印刷が可能である．

しかし，ここで再度インクジェット方式の特徴に立ち戻ると，視認できる最小単位が他の印刷方式では顔料粒径であるのに対して，インクジェット方式ではドット径であることに気付く．他の印刷方式では，輝度感が粒径に依存してしまうのに対して，インクジェット方式ではメタリック視認性がドットの径や充填度で可変できるということである．1 種類のインクであっても印刷方式を工夫することで異なる意匠性が表現できることが，他の印刷方式にないインクジェット方式の特長と言える．

弊社のソルベントインクSS21とES3にはシルバーインクがラインナップされている．SS21 シルバーは写像性が高いため高鏡面性メタリックに，ES3 シルバーは写像性が劣り明度差とヘイズが高くなるため低鏡面性メタリックに分類できる．ソルベントタイプのシルバーインクはインク液滴着弾後，乾燥までに時間がかかり，その間にインク液敵同士が繋がることで印刷表面に顔料が配向し，鏡面性メタリックを形成する．ここで，インク液滴の距離を空けた状態で乾燥させ，徐々にドットを充填させるなど印刷方式を工夫することでメタリック意匠性を変化させることができる．

６．まとめ

従来の評価方法では行われていなかったメタリック意匠性の分類分けに取り組んだ．

①角度依存による明度差からメタリックと単色に分類した．

②写像性から鏡面性メタリックと光輝性メタリックに分類した．

③ヘイズから鏡面性メタリックと光輝性メタリックのグレードを分類分けした．

今後，グレードを低下させる粒子感や微細構造など各パラメータについても，簡易的な方法で数値化できるようになることで，印刷によるメタリック感がより判りやすく表現できるようになる．

参考文献

1) DTP&印刷 スーパー仕組み辞典 2017：株式会社ボーンデジタル，p.300(2017).
2) セイコーエプソン株式会社: メタリック感評価装置およびメタリック感評価方法，特開 2010-175497(2010).
3) 大良智夫，面谷信：金色の認識メカニズムの解明 - 証明条件に依存した金色認識の変化による考察 - , 日本画像学会誌，Vol.50，No.6，pp.498-502 (2011).
4) 曽根拓郎，日野真，船橋一樹：印刷物における光沢性の評価技術，Ricoh Technical Report, No.39, pp.203-214 (2014).
5) 立田美佳，小川哲史，阿部圭子：光学異方性をもつメタリック色の評価方法，松下電工技報，Vol.55，No.4，pp.72-76 (2007).
6) ASTM E2194 – 14：2017．Standard Test Method for Multiangle Color Measurement of Metal Flake Pigmented Materials
7) DIN 6175-2 Tolerances for automotive paints – Part2, Goniochromatic paints，Deutsches Institut Fur Normung E.V. (2001).
8) 野村栄治，平山徹，ミクロ光輝感の官能評価と画像計測，塗料の研究，No.132，pp.22-35 (1999).
9) 平山徹，山長伸，蒲生真一，ミクロ光輝感の官能評価と画像計測（第 2 報），塗料の研究，No.138，pp.8-24 (2002).
10) 川口洋一，高橋輝好，山長伸，メタリックカラーにおける質感再現方法，塗料の研究，No.145，pp.14-21 (2006).
11) 井土尚泰，度会弘志，萩巣康彦，光輝感の定量評価方法，豊田合成技報，Vol.43，No.1，pp.21-26 (2001).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ4] インクジェット(4) 画像処理・評価
Inkjet (4) Image Processing/Image Evaluation
2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:00 大ホール (けやき会館 一階)

[IJ4-03] 高速インクジェットプリンタにおける7色分版インク印刷の効果
The Effects of Printing with Seven-Color Separation Ink in the High Speed Inkjet Printer

*大西 勝[1] （1. 株式会社ミマキエンジニアリング）
*Masaru Ohnishi[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD）

マルチパスシリアルプリンタ（MSP）方式は広幅化に適することからSG分野やフラットベッドの分野で主に用いられてきた。MSP方式の問題点はノズル乾燥を避けるためにプリントヒーターの温度が低くする必要があり、蒸発乾燥型のインクを使うと滲みが激しくなり、高速プリントができないことである。従来、多色分版は演色性（Color rendering properties）の改善を中心に検討されてきた。蒸発乾燥型インクの「滲み」の問題を解決し、高画質と高速プリントを同時に実現する方法として、混色による２次と３次色を完全に無くした完全７色分版プリント方式を検討した。

©一般社団法人 日本画像学会

高速インクジェットプリンタにおける７色分版インク印刷方式の効果

大西勝

株式会社ミマキエンジニアリング　技術本部

The Effects of Printing Processes of Seven-Color Separation and Sequential Color Print in the High Speed Inkjet Printer

Masaru Ohnishi
R&D Division, MIMAKI ENGINEERING CO., LTD.

Multi-pass Serial Printer (MSP) method is suitable for wide-format print, and has been widely used in the Sign Graphics field. MSP using a low temperature print heater and evaporative drying type ink, has a problem of blurring in printed ink. So that high-speed printing could not be performed. However, for analog printing that can eliminate the blurs by adjusting the ink viscosity, multi-color separation has been used mainly to improve color rendering properties. We are now report that by adopting processes of seven separation color inks print and sequentially each color ink print, not only improving color rendering properties but also reducing the blurs and usage amount of ink at high-speed printing effectively.

１．はじめに

印刷とIJプリンタの最も大きな違いは、使用するインクの粘度である。印刷では、印刷方式に合わせてインクの粘度を数百から数十万 mPa･sec 程度の間に選択し、滲みはインクの粘度により調整している。

一方、通常のマルチパスシリアルインクジェットプリンタ（MSP）ではヘッドで吐出可能なインクの粘度が、２０mPa・sec 程度以下に限定されているために、滲みの問題は避けて通れない問題である

乾燥までに十数秒を要する蒸発乾燥型インクを使う MSP において滲みを防止するには少なくとも1000mPa・sec 程度位以上まで、インクの溶媒を蒸発させての高粘度化を短時間に行う必要がある。しかし、MSP で使用されているプリントヒーターの温度は、ノズル乾燥を避けるためには 50℃程度 以下の低温に維持する必要があり、乾燥速度を早くできない。そのため、滲みを止め高画質プリントをするためには単位時間・面積当たりのインク着弾量を低減する必要があり、マルチパスプリント方式を使っている。高解像度画像の滲み止めにはパス数が 16～32 以上となり、高画質と高速を同時に満たすプリンタの実現が困難となっていた。

従来のインクジェットにおける多色分版の多くは、演色性の改善を目的としているものである。このため、YMC で再現し難い。オレンジやグリーンの２色だけをプラスして YMCｋ＋O_r、GK 等のインクセットを使う６色分版を採用しているものが多い。

この報告は、混色で作る２次色を無くした YMCEGBK の完全７色分版方式と、1 次、２次および３次色をメディア走行方向にずらして配する次数色別色順次プリント方式（以下、次数別色順次方式）用いると、低粘度な蒸発乾燥型インクを使う MSP で、著しい滲み抑制と高速プリント効果が得られることを検証したものである。

２．　評価した２方式の説明

2.1 完全７色分版方式

本報の完全７色分版方式は、次の様な方式である。

インク Y と M からインク R への置換の場合を例にとると、各々の基本色のインク体積をα（αの最大値が１）とすると、次式で表されるように一次色 Y、M と２次色 R が共に等インク量のαとなるように完全に置換する。

$$\alpha Y + \alpha M = \alpha R \qquad (1)$$

Fig.1 に例示した YMC インクの組み合わせデータを、３色（YMC）と４色(YMCK)と７色(YMCRGBK)でプリントした場合の総インク量の変化を Table 1 に各々示した。Table 1 から次のことが分かる。

(1)4 色分版では最大総インク量が 100%を超える場合も、７色分版では常に 100%以下になる。

(2) ２次色を有する全ての画像データで、４色分版より７色分版の方が送インク量は少なくなる。

(3)次数色毎に時間差を置いて７色プリントする次数別色順次方式では１つ一次色のみのデータを除き、総インク量は 100%未満となる。

＊〒389-0512 長野県東御市滋野乙 2182-3
＊2182-3 Shigeno-Otsu Tomi-shi,Nagano Japan
e-mail: ohnishi@mimkai.com

© 一般社団法人 日本画像学会

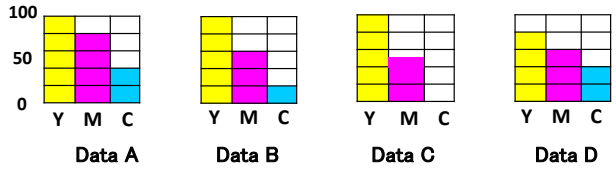


Fig.1 Examples of combination data of Y and M and C.

Table 1　Total ink volume printed with three, four and seven colors inks by image data shown in Fig1.

Number of Color / Print Data	3- colors	4-colours	7-color	7-color ＋ sequentially color print Fig.2-(d)
A	220	140	100	80
B	200	140	100	60
C	150	150	100	50
D	190	100	80	60

2. 2 次数別色順次方式

次数別色順次方式とは、次の様な方式である。Fig.2 に MSP におけるヘッドの配置例を示す。

Fig.2 の(a)が 4 色分版プリンタで一般に用いられている配置で、YMCK ヘッドが Y 軸方向に一列に並んでいる。(b)は YMCK 各色ヘッドを X 方向にずらして配置した完全色順次方式の例である。また、(c)は従来ヘッド配置のままで 7 色分のヘッドを配置した例である。

Fig.2(d)は、１次色と２次色ヘッドをずらし、３次色は１次色と同じ列に配置した例である。本報告では、この方式を次数別色順次方式と称している。

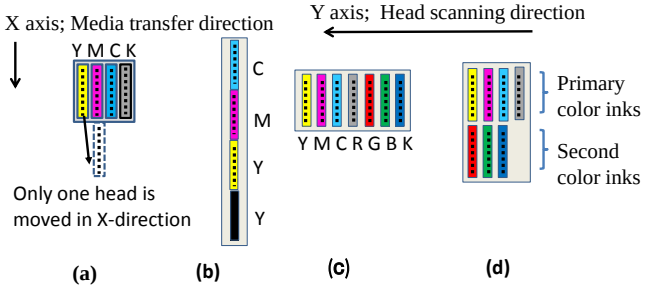


Fig.2　Placement of print head.

(a) Case of conventional 4-colors printing., and experimental method of sequentially print.

(b) Case of perfect sequentially printing with 4 -colors ink

(c) Case of 7-color separation ink printing by the conventional head placement.

(d) Case of perfect 7-colors ink printing sequentially. Primary colors and Second colors are printed at the other line.

３．実験

3-1　滲み量測定法と定義

Fig.3 に滲み量測定用パターンと測定法を示す。5㎜ 角の中心部分に滲み測定用のインクでプリントし、その周辺に基本色の単色をプリントする。プリント後に内側のプリント角の縁周辺に滲んだ部分の幅 a を測定する。滲み量は、幅 a の測定値より、Table２に示した判定基準により、〇(OK)、△、×(NG)の３段階に分けて評価した。

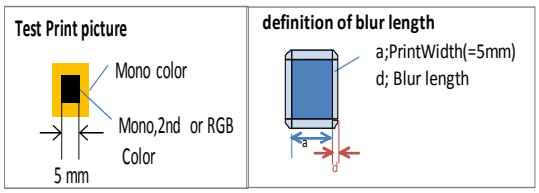


Fig.3　A calculation method of blur width.

Table2　Evaluation standard of blur length.

Judgment	Judgment condition	The enlarged ratio	Blur length (mm)
O (OK)	5.00 ≦ a < 5.05	< 1%	< 0.05mm
Δ	5.15 ≦ a < 5.25	1%～ 2%	< 0.10mm
x (NG)	5.25 ≦ a	2% ≦	0.10mm ≦

3-2　評価画像とプリント条件

評価画像には Fig.5 の評価用画像を使用した。また、プリント条件は次の通りである。

(1)使用プリンタ；UJF-3042MkⅡの改造機。ヘッド配置変更と増設およびインク交換

(2)解像度；　900×900dpi

(3)使用メディア；　無処理白 PET フィルム他

(4)パス数とパス間走査時間；４～３２パスで選択。パス数が増える毎に約 2,1 秒乾燥時間増え、かつパス数の増加に半比例して単位時間・面積当たりのインク滴の着弾量が減少するので、インク乾燥が間に合うようになる。

４．結果と考察

4-1　完全７色分版方式

Fig.2 (a)の従来の４色ヘッド配置および Fig.1(c)に示した YMCKRGB の７色ヘッドを Y 軸上に配置した場合について比較実験した。パス数によりプリント速度とプリントヒーター温度を変えて、Table2 の判定基準に従い滲みを評価した結果を Fig.4 の(a)と(b)に各々示す。

両者の比較から、完全７色分版化することで、４

© 一般社団法人 日本画像学会

色に比べて 3～８倍程度に滲み無しに高速プリント出来ることが分かる。

4-2　YMCK 色順次方式

色順次方式は、色間の滲みを軽減できる方式であり、Fig.2(b)のように、本来は一色毎に X 方向にヘッドをずらしてプリントする方式である。前の色が乾燥後に次の色をプリントすることで。色間の滲みを無くすことができるが、全色をずらすと、ヘッド並びの X 方向の幅が大きくなる欠点がある。

この報告では、Fig. 2 の(a)の点線のように、線上に１列に並んだ従来のヘッド配列の YMCK の基本色の一つだけを X 方向にほぼ１ヘッド分ずらして配置して、元の位置にある時の４色プリント時との滲みの違いを測定した。その結果を、Fig.4 の(c)に示す。従来の Y 線上にからヘッドを X 方向に１ヘッド分ずらした色順次方式を使うと、２～４倍程度高速プリント出来ることが分かる。

この、高速で滲みが低減する効果は、ヘッドを同一 Y 軸上に置かないことにより、１パス内で同一場所に着弾する最大インク量が１００％を超えないように出来るためである。今回は改造実験機の制約から、１つのヘッドのみを Fig.2(a)のようにずらして実験したが、Fig.2(b)のように４色全てをずらして配置すると、インクの最大同時着弾量は 1/4 になり、さらに高速化が可能である。

4-3　完全７色分版＋次数別色順次方式

１次色 YMC に対して、２次色 RGB を X 方向にずらせて Fig.2(d)のように各色ヘッドを配置する。この配置は、複数の１次色は２次色か３次色 K に、また複数の２次色は K と１つの２次色変換されるので、１次色と２次色各々は複数色が同時に同じ位置にプリントされることが無くなる。

そこで、１と２次色を別ライン上に配置するだけで、７色分版と色順次のインク量の低減による相乗的な乾燥促進効果を持たせることができる。

Fig.4(d)に示したように、従来の４色分版ヘッド配置に比べて、４～８倍以上の高速プリントが可能となる。

4-4　実プリント画像での比較

次に、従来の YMCK４色同時プリントと完全７色分版同時プリントと YMCK４色の色順次により実プリントした画像による、滲み低減効果を Fig.5 に示す。　プリント条件は、無処理白色 PET フィルム上に、ラテックスインクを使い、プリントヒーター温度３０℃、８パスで印刷した。

このプリント画像の少女の眼の付近や左側の１次色、２次色、３次色が縦横にクロスする画像の部分から、完全７色分版と色順次プリントでは、画像の滲みが殆ど無くなっていることが分かる。

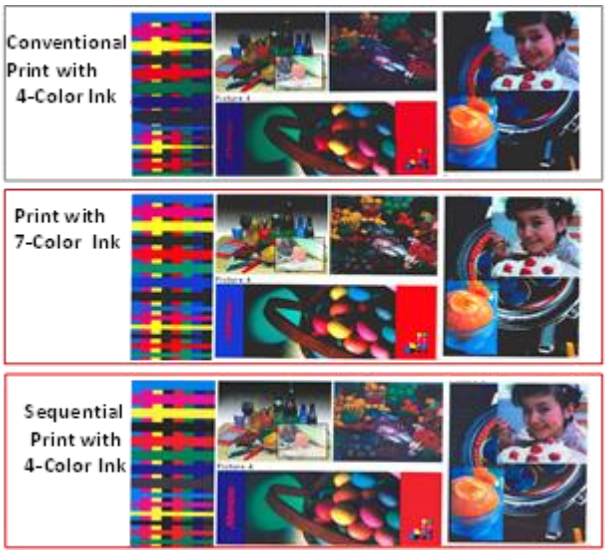


Fig. 5 Comparison of pictures, printed with four or seven color inks at the same time, and printed with four color Inks sequentially

・Printer; JV400-130LX
1200×1200dpi/Bi/8P,
・Print heater;　３0℃,
・Media ; Non-coat PET,
・Ink　;　latex Ink)

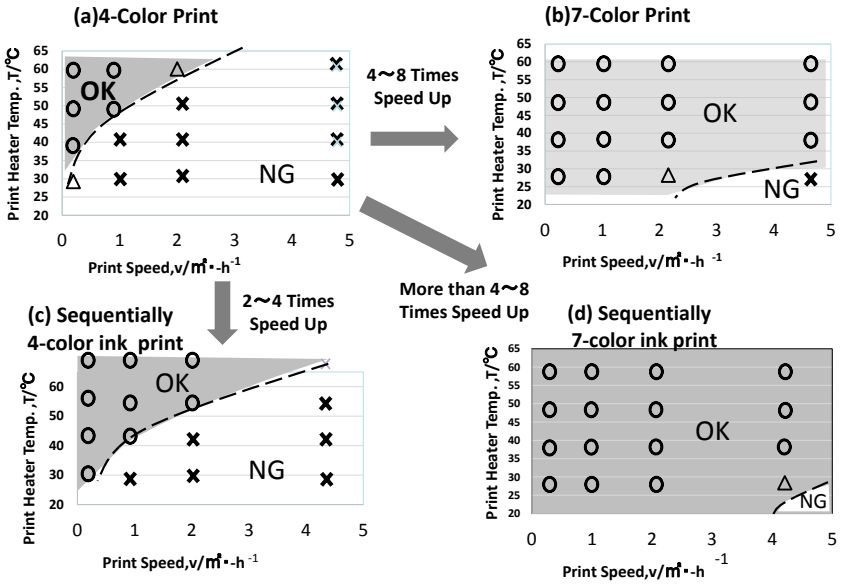


Fig.4 Comparison of a reduction effect of a blur.
(a) Conventional 4-color inks print.
(b) Perfect 7-color inks print.
(c) Sequentially 4-color inks print.
(d) Sequentially 7-color inks print.

© 一般社団法人 日本画像学会

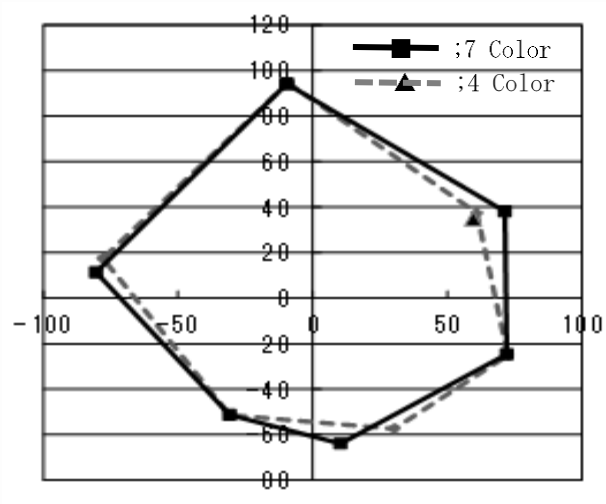


Fig.6　Color gamut for 4-color and 7-color print.

4-５　プリントインク量の低減効果

Table3 は、Fig.5 に示したテスト画像をプリントした時の総インク量を、プリントされるインク滴の数を計数結果として求めたものである。その結果、４色に比べて７色分版プリントでは、総インク使用量を 52%（48%減）に大きく低減できることが分かった。

4−5　演色性の改善

これは、従来から良く知られている効果であるが、今回使用した水性ラテックスインクで、４色と７色プリントした画像により測定したガラーガマットを Fig.6 に示す。特に、R と G との領域で色再現領域が広がっているのが分かる。

Table3. Comparison of the number of the print shots by three methods. Printed image is shown in Fig.5.

Printing Process	Total Shot Number
Perfect 7 Colors	26,749,449
Conventional 4 Colors	51,278,281
The ratio of 7 colors print dots to 4 colors	0.52

５．結論

完全７色分版と色順次方式のいずれも高速プリント時の滲み防止に大きな効果のあることが分かった。

この効果は７色分版ではプリント総インク量の低減のよる効果であり、４色分版に比べ完全７色分版化することにより、４８%程度のインクが削減できることが実画プリントで確認できた。

このことは、完全７色分版化は高速化だけでなく、インク使用量が多くなる高速インクジェットプリンタのインク消費量を大きく減らし、ランニングコストの低減につながるメリットがある。勿論、従来から知られている高演色性を保ちながら、かつ３～８倍高速でかつ高画質のプリンタが実現できるだろう。

７色分版と色順次を併用する時には、１次色と２次色ヘッドを１ヘッド分だけ X 軸方向にずらして配置する次数別色順次方式を用いることで、K は１次色と１次色と同じラインに配置しても滲み防止効果が維持できることが分かった。指数別色順次プリント方式の採用により、従来の４色ヘッド配置に比べて、４～８倍以上高速プリントしても滲みを防止できる。

また、次数別色順次プリント方式は、全色色順次に比べて、ヘッド占有部分の容積を縮小できるので、プリンタの小型化に貢献するだろう。

今後、蒸発乾燥型のインクを使い高速でかつ高精細・高演色のマルチパスシリアルプリンタを実現する上で、完全７色分版と次数別色順次プリント方式が重要な要素技術となるだろう。

以上

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Digital Fabrication and 3D Printing

[DF] Digital Fabrication

Session Chair:Shinri Sakai(The University of Tokyo), Masatoshi Sakai

Wed. Jun 20, 2018 2:20 PM - 3:20 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[DF-01] Droplet Deposition Technique of Inkjet in Printed Electronics

*Atsushi Nakajima[1,2], Shinichi Nishi[1], Toshihide Kamata[1,3] （1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPERA), 2. Konica Minolta Inc., 3. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)）

2:20 PM - 2:40 PM

[DF-02] Application of Organic Circuits with Inkjet-Printed Electrodes to Lactate Sensing

*Rei Shiwaku[1], Hiroyuki Matsui[1], Kuniaki Nagamine[1], Mayu Uematsu[1], Taisei Mano[1], Yuki Maruyama[1], Ayako Nomura[1], Kazuhiko Tsuchiya[1], Kazuma Hayasaka[1], Yasunori Takeda[1], Takashi Fukuda[2], Daisuke Kumaki[1], Shizuo Tokito[1] （1. Yamagata University, 2. Tosoh Corporation）

2:40 PM - 3:00 PM

[DF-03] Bridge Pattern Printing for Flexible Transparent Touch Panel Applications

*Kye-Si Kwon[1], Seongjun Kim[2], Soobin Oh[1], Md. Khalilur Rahman[1,3] （1. Soonchunhyang University, 2. Samsung Electronics Co. Ltd, 3. Comilla University）

3:00 PM - 3:20 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | デジタルファブリケーション／３Dプリンティング

[DF] デジタルファブリケーション
Digital Fabrication

2018年6月20日(水) 14:20 〜 15:20 大ホール (けやき会館 一階)

[DF-01] プリンテッドエレクトロニクスにおけるインクジェットのドロプレット デポジッション技術
Droplet Deposition Technique of Inkjet in Printed Electronics

*仲島 厚志[1,2]、西 眞一[1]、鎌田 俊英[1,3] （1. 次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合（JAPERA）、2. コニカミノルタ株式会社、3. 産業技術総合研究所（AIST））

*Atsushi Nakajima[1,2], Shinichi Nishi[1], Toshihide Kamata[1,3] （1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPERA), 2. Konica Minolta Inc., 3. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)）

インクジェット方式は機能性材料を個別ドットとして高精度に着弾させることができることから、エレクトロニクスデバイスの製造への寄与が期待されている。JAPERAではエレクトロニクスデバイスの印刷基盤技術の確立を進めており、その一環としてフレキシブルＴＦＴ（薄膜トランジスター）アレイの全印刷基盤技術を開発した。ここではインクジェット方式を孤立ドットパターンである、有機半導体と層間接続電極に適用している。複数滴の機能性材料を高精度にデポジットすることで、電極上に薄膜半導体を均質に形成する事例、高アスペクト比の電極ポストを形成する事例を示す。

The inkjet system is expected to be applied to the manufacture of electronic devices since it is possible to land highly functional materials as individual dots. JAPERA has developed the whole printing base technology of Flexible TFT array. Here, the inkjet method is applied to an organic semiconductor and an interlayer connection electrode which are an isolated dot patterns. By depositing multiple drops of functional material with high precision, we show cases of homogeneously forming thin film semiconductors on electrodes and cases of forming electrode posts of high aspect ratio.

©一般社団法人 日本画像学会

プリンテッドエレクトロニクスにおけるインクジェットのドロプレットデポジッション技術

仲島　厚志[1,2]，西　真一[1]，鎌田　俊英[1,3]

[1]次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合（JAPERA）
[2]コニカミノルタ株式会社
[3]産業技術総合研究所（AIST）

Droplet Deposition Technique of Inkjet in Printed Electronics

Atsushi Nakajima[1,2], Shinichi Nishi[1], and Toshihide Kamata[1,3]

[1] Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPERA)
[2] KonicaMinolta Inc.
[3] The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

The inkjet system is expected to be applied to the manufacture of electronic devices since it is possible to land highly functional materials as individual dots. JAPERA has developed the whole printing base technology of Flexible TFT array. Here, the inkjet method is applied to an organic semiconductor and an interlayer connection electrode which are an isolated dot patterns. By depositing multiple drops of functional material with high precision, we show cases of homogeneously forming thin film semiconductors on electrodes and cases of forming electrode posts of high aspect ratio.

１．はじめに

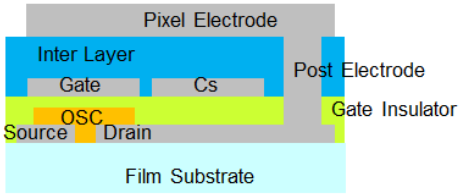
印刷方式は既存のシリコンプロセスに比べて低温処理が可能であることから、フィルム等のフレキシブルで軽量なデバイスへの適用が期待されている。また、印刷はデザイン変更も容易であることから小ロット多品種のカスタム生産に適しており、今後増大する様々なＩｏＴデバイスへの実装に寄与するものと考えられる。

ＪＡＰＥＲＡではエレクトロニクスデバイスの印刷基盤技術の確立を進めており、その一環としてフレキシブルＴＦＴ（薄膜トランジスター）アレイの全印刷基盤技術を開発している[1) 2) 3)]。ＴＦＴはディスプレイ等の出力デバイス、光学または圧力センサー等の入力デバイスへの利用が期待される。

ＴＦＴは複数の機能層を積層パターニングして得られるが、要求特性に応じて印刷方式を適宜選択した。ここではインクジェット方式を有機半導体と層間接続電極に適用した事例を報告する。

２．有機ＴＦＴの全体構成と印刷方式

適用したトップゲートボトムコンタクト型の層構成と印刷方式を Fig1 に示す。高解像度が必要な電極の印刷はオフセット方式を、大面積の均質塗布が必要なゲート絶縁膜はスリットダイコートによる塗布を適用している。有機半導体と層間接続電極は孤立ドットであることから、インクジェット方式が適している。この構成では、撥液性の層間接続電極（以下、撥水ピラーと呼ぶ）を形成した後にゲート絶縁膜および中間層を塗布積層し、乾燥工程で撥液電極部を開口させることで上部電極との通電接続を行う方式を検討した（Fig2）。絶縁膜をシンプルな塗布プロセスでパターニングできる利点があり、トップゲート構造や、有機ＥＬディスプレイやエレクトロクロミックディスプレイといった電流駆動型で適するトランジター構造（１画素に複数のトランジスターを有する）を印刷のみで作成することが可能となる。



機能層	材料	印刷方式
画素電極	銀ナノ	オフセット
中間層	ポリマー	スリットダイ塗布
ゲート電極	銀ナノ	オフセット
半導体	有機高分子	インクジェット
ゲート絶縁膜	ポリマー	スリットダイ塗布
層間接続電極	銀ナノ	インクジェット
ソース･ドレイン電極	銀ナノ	オフセット

Fig1 有機トランジスターの構成と印刷方式

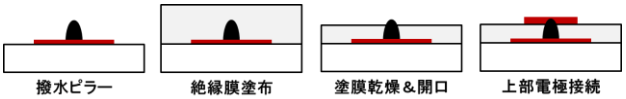


Fig2 撥水ピラー電極による層間接続プロセス

1 〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1 産総研つくば中央第 5-1
AIST Tsukuba Central 5-1, 1-1 Tsukuba city, Ibaraki, 305-8565, Japan.　e-mail:　a.nakajima@japera.or.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

ＴＦＴアレイを高解像化していくと、有機半導体、撥水ピラーともに狭い領域に高精度にインクジェットで着弾させる必要がある。更に、有機半導体は薄膜で均質な塗膜を形成すること、撥水ピラーは出来るだけ着弾径が小さくアスペクト比の大きい電極形状を形成することが要求される。以下、１５０ppi（ＴＦＴピッチが１６９μｍ)、１Ｔｒ、１ＣのＴＦＴアレイに適用した事例を示す。

３．有機半導体の薄膜均質形成

有機半導体は、ソース電極およびドレイン電極と基材からなる異種材料表面を含むチャネル領域に、薄膜かつ均質に形成することが求められる。電極と基材は半導体インクの濡れ性が異なるため、着弾インクの流動が起こる。また、チャネル形状に応じて複数のインクを着弾させた場合、１滴目に対し２滴目のインクが引き寄せられる現象が起こる。従って、チャネル形状に均質な薄膜を形成するためには、半導体インクを非常に高い着弾精度で配置させる必要がある。

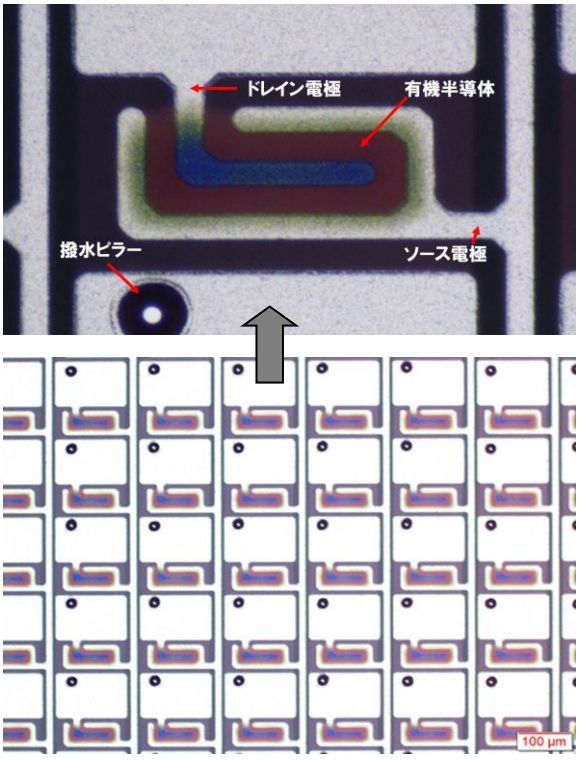


Fig3　ＩＪ印刷による有機半導体パターニング

Fig3 は３０μｍ×１００μｍのチャネルに液滴径２０μｍ（４ｐＬ）の有機半導体インクを８滴（４行×２例）着弾させた画像である。チャネル外へ半導体がはみだすこと無く、ＴＦＴアレイ全てのチャネルを充填させるために、絶対着弾精度を５μｍ未満、バラツキσは１μｍを切るレベルまで半導体インクとインクジェットヘッドのマッチングを行い、高精度の印刷を行うことで実現した。チャネル外へのはみだしを抑え、被覆形状を一定とすることで半導体膜厚のバラツキを均質化、３０ｎｍの均質薄膜を作成することができた。これにより寄生容量も少なく、ばらつきの小さなＴＦＴアレイが得られた（Fig4)。

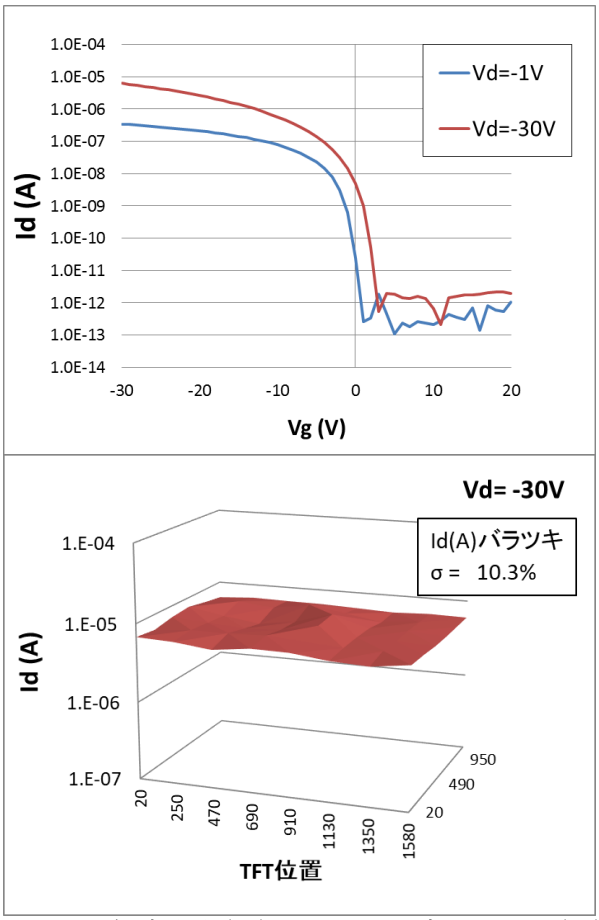


Fig4 TFT 伝達特性（上）および Id 面内バラツキ（下）

４．層間接続電極の形成

撥水ピラープロセスは撥液性の電極を高アスペクト比で印刷することが好ましい。厚みのある電極を印刷する手法としてはスクリーン印刷が代表的であるが、単独ドットを小径で形成することが難しい。一方インクジェット方式は濡れ性の制御により着弾径を小さくすることが可能なため、高解像度のＴＦＴアレイへ適用できるポテンシャルを有する。

Fig2 に示す通り、絶縁膜の開口プロセスには、下部電極、撥水ピラー電極、絶縁膜塗布液の３者が関連し、各々の表面エネルギー、表面張力、絶縁膜塗布時のウエット膜厚と乾燥膜厚をマッチングさせることで実現した。

確実な絶縁膜の開口と層間接続性を得るためには、アスペクト比を大きく形成することが求められる。しかし所望のＴＦＴ特性を得るための材料制約により、十分なピラー高さを得られないことがある。そうした場合、インクジェット方式では撥水ピラーを同じ位置に重ね打ちすることでアスペクト比を大きくすることが可能である。Fig5 は、ある材料組合せ

© 一般社団法人 日本画像学会

での撥水ピラー印刷形状と絶縁膜塗膜と層間接続の関係性を示したものである。絶縁膜塗布膜厚に応じて撥水ピラー高さを大きくすることで、絶縁膜の上下電極の接続性を確実なものにできる。

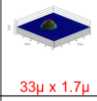
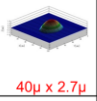
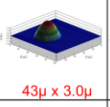
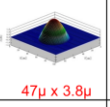
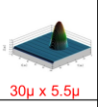
ピラー総液滴数	8pL	16pL	24pL	36pL	36pL
scan	1scan	(8pLx2scan)	(12pLx2scan)	(12pLx3scan)	(4pLx6scan)
ピラー形状					
	33μ x 1.7μ	40μ x 2.7μ	43μ x 3.0μ	47μ x 3.8μ	30μ x 5.5μ
GI 420nm (wet膜厚2.μm)	× 0/10	× 35/120	△ 78/120	○ 120/120	○ 120/120
GI 580nm (wet膜厚2.μm)	×	× 0/10	× 15/120	△ 108/120	○ 120/120
GI 850nm (wet膜厚4.μm)	×	×	×	× 7/120	○ 120/120

Fig5 撥水ピラーの印刷形状と絶縁膜開口・層間接続

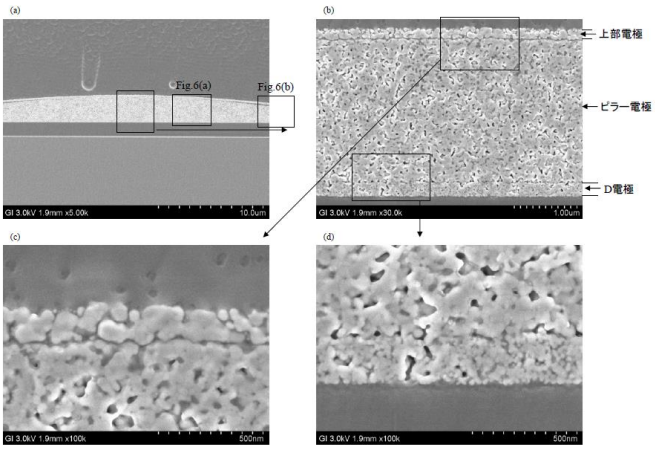


Fig6 撥水ピラーによる層間接続断層写真

a)撥水ピラー断面図（全体）、b)拡大図＝下部電極、撥水ピラー、上部電極、c)上部電極と撥水ピラーの接合部、d)下部電極と撥水ピラーの接合部

Fig6 は層間接続部の断面ＳＥＭ画像である。上下電極と撥水ピラー電極とのナノ接合が確認できる。

同一箇所にインクを正確に重ね打ちすることでピラー高さを得るため、撥水ピラーインクとインクジェットヘッドのマッチングを行った[4)]。繰り返しの着弾精度を高め着弾径が広がるのを抑えるとともに、サテライトやミストの発生を排除して電極間の不要なショートを防ぎ、高解像のＴＦＴアレイ作成に適用した。１５０ppi ＴＦＴアレイの作成に用いた撥水ピラーインク着弾精度を Fig7 に示す。４ｐＬの撥水ピラーインクを合計４滴重ね打ちし、電極径３０μｍ以下、電極高さ４～５μｍの撥水ピラー電極を形成、ゲート絶縁膜と中間層を開口させ、ゲート電極から画素電極までの層間接続を得ることができた。

Fig8 はインクジェット印刷直後の状態および焼成後の撥水ピラーである。撥水ピラー焼成時の体積収縮により、電極径が着弾径より若干小さくなっている様子が分かる。インクジェットプロセスをマッチングおよび、プロセス制御により、１６００ × １２００素子のＴＦＴアレイ全点で、ショート無く層間接続することができた。

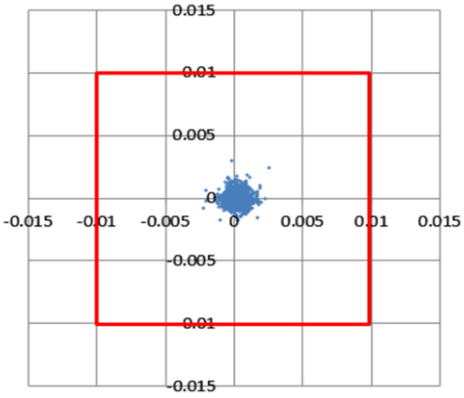


Fig7 撥水ピラーインクの着弾精度
(KonicaMinolta 製 KM512S ヘッド使用)

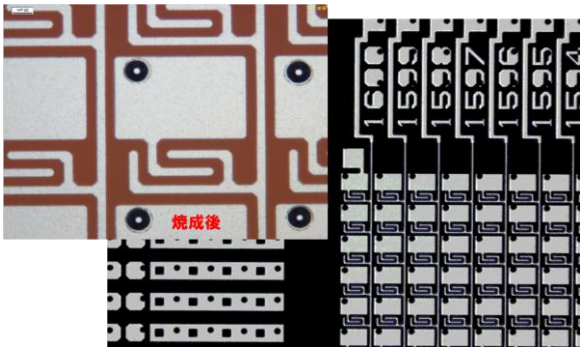


Fig8 撥水ピラー重ね印刷後と焼成後（左上）の形状



Fig9 印刷ＴＦＴ全自動試作ライン

５．まとめ

フレキシブルＴＦＴアレイの全印刷プロセスにおいて、有機半導体と層間接続電極の形成にインクジェット方式を適用した。有機半導体においては、チャネル領域に複数滴を隣接配置し、厚さ数十ナノメートルの均質な薄膜塗膜を得た。一方、層間接続のための撥水ピラープロセスでは、同一箇所に液滴を重ね合わせ３０μｍ径／数μｍ高さの撥水性電極を形成した。

いずれも所望の形状を得るために、インクとインクジェットヘッドのマッチングを行い、非常に高い着弾精度で吐出すること、着弾面の濡れ性制御をマ

© 一般社団法人 日本画像学会

ッチングすることで、高解像度のＴＦＴアレイを印刷により実現した。このプロセスはＢＧＢＣ（ボトムゲートボトムコンタクト）型、ＴＧＢＣ（トップゲートトップコンタクト）型いずれのＴＦＴ構造にも適用可能である。

ＪＡＰＥＲＡでは、インクジェットおよび他の印刷装置と連動した全自動試作ライン（Fig9）を構築しており[1) 2) 3)]、様々なアプリケーションに対応したＴＦＴアレイの開発と試作を行っている。ＴＦＴアレイの性能を活かした電子ペーパー等のフレキシブルディスプレイ、触覚センサーとなりうる高解像度の圧力分布センサー、大面積の圧力分布センサー、圧力と温度を同時測定できるデバイス[5)]等であり、これらの社会実装に向けた取り組みを進めている。

今後、ＩｏＴ、ＣＰＳ社会においては、質の高いデータの取得と出力デバイスが求められる。印刷を活用したフレキシブルで軽量なエレクトロニクスデバイスがこれらの分野に寄与することが期待される。

謝辞

本研究はＮＥＤＯ、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の支援で行われた。

参考文献

1) S. Nishi and T. Kamata, Automated Continuously-Manufacturing Line of All-Printed Organic TFT Array Flexible Film, Proc. NIP30, pg.414. (2014)
2) S. Nishi and T. Kamata, Automated Manufacturing Line of All-Printed TFT Array Flexible Film, Proc. ICFPE2014, S11-2, pg.27. (2014)
3) S. Nishi, Toru Miyoshi, Hiroyuki Endoh, and T. Kamata, Driven by All-Printed Organic TFT Array Film, P Proc. NIP32, pg.305. (2016)
4) N.Kurihara(Idemitsu Kosan), A.Nakajima(KonicaMinolta), Japanese Patent Disclosure 2017-117581（2017）
5) H. Kondoh, T. Miyoshi, S. Nishi, T. Kamata:"Multifunctional Flexible Sheet Sensor Using Printing Technologies",Proc.IDW2017. Flexible Sensors and Devices,pp.1487-1490,Sendai,Japan(2017-9)

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | デジタルファブリケーション／３Dプリンティング
[DF] デジタルファブリケーション
Digital Fabrication
2018年6月20日(水) 14:20 ～ 15:20 大ホール (けやき会館 一階)

[DF-02] インクジェット印刷電極を有する有機集積回路の乳酸センサ応用
Application of Organic Circuits with Inkjet-Printed Electrodes to Lactate Sensing

*塩飽 黎[1]、松井 弘之[1]、長峯 邦明[1]、植松 真由[1]、眞野 泰誠[1]、丸山 祐樹[1]、野村 綾子[1]、土屋 和彦[1]、早坂 和将[1]、竹田 泰典[1]、福田 貴[2]、熊木 大介[1]、時任 静士[1] （1. 山形大学、2. 東ソー株式会社）
*Rei Shiwaku[1], Hiroyuki Matsui[1], Kuniaki Nagamine[1], Mayu Uematsu[1], Taisei Mano[1], Yuki Maruyama[1], Ayako Nomura[1], Kazuhiko Tsuchiya[1], Kazuma Hayasaka[1], Yasunori Takeda[1], Takashi Fukuda[2], Daisuke Kumaki[1], Shizuo Tokito[1] （1. Yamagata University, 2. Tosoh Corporation）

プリンテッドエレクトロニクス(PE)は、真空フリー、大面積、アディティブ、ハイスループットな電子デバイスの製造を可能にする次世代技術である。このPEの基本素子となるものが、有機半導体を活性層に用いた有機薄膜トランジスタ(OTFT)である。OTFTの一般的な課題として、高性能化と特性の均一化がある。この課題に材料科学・界面科学・物理学的な観点から取り組み、アナログ回路を作製できるレベルの性能・均一性を達成した。さらに、この性能・均一性を活かしてバイオセンサ用途の集積回路システムを印刷プロセスで作製することに成功した。以上の結果から、PEのウェアラブルセンサデバイスへの応用が期待される。

©一般社団法人 日本画像学会

インクジェット印刷電極を有する有機集積回路の乳酸センサ応用

塩飽　黎*，松井　弘之*，長峯　邦明*，植松　真由*，眞野　泰誠*，
丸山　祐樹*，野村　綾子*，土屋　和彦*，早坂　和将*，竹田　泰典*，
福田　貴**，熊木　大介*，時任　静士*

*山形大学
**東ソー株式会社

Application of Organic Circuit with Inkjet-Printed Electrodes to Lactate Sensing

Rei Shiwaku*, Hiroyuki Matsui*, Kuniaki Nagamine*, Mayu Uematsu*, Taisei Mano*,
Yuki Maruyama*, Ayako Nomura*, Kazuhiko Tsuchiya*, Kazuma Hayasaka*, Yasunori Takeda*,
Takashi Fukuda**, Daisuke Kumaki* and Shizuo Tokito*

*Yamagata University
**Tosoh Corporation

Wearable sensor device technologies, which enable continuous monitoring of biological information from the human body, are promising in the fields of sports, healthcare, and medical applications. Further thinness, light weight, flexibility and low-cost are significant requirements for making the devices attachable onto human tissues or clothes like a patch. Here we demonstrate a flexible and printed circuit system consisting of an enzyme-based amperometric sensor, feedback control and amplification circuits based on organic thin-film transistors on a plastic film. This simple system worked very well like a potentiostat for electrochemical measurements, and enabled the quantitative and real-time measurement of lactate concentration with high sensitivity of 1 V/mM and a short response time of a hundred seconds.

１．はじめに

ウェアラブルデバイス技術が急速に成長してきている。近年では、様々な種類のバイオセンサを一枚のプラスチック基板上に集積した「スマート汗センサ」が報告された[1]。これにより、汗から生理学的な情報をリアルタイムで得ることが可能となり、ヘルスケア・医療・スポーツ科学の分野に大きく貢献する成果であると言われている。このスマート汗センサは、真空プロセスや従来のシリコン半導体に基づく技術によって実現されている。

プリンテッドエレクトロニクス(PE)は、真空フリー、大面積、アディティブ、ハイスループットな電子デバイスの製造を可能にする次世代技術である。その PE の基本素子となるものが、有機半導体を活性層に用いた有機薄膜トランジスタ(OTFT)であり、IoT 社会を実現するためには欠かせない基礎技術の１つであると言われている。印刷 OTFT に基づいて上述のようなウェアラブルデバイスを実現することは、デバイスの柔軟性・生産性のさらなる向上に繋がるという点で大きな意義がある。

しかし、印刷 OTFT 技術に基づいてバイオセンサ用途の集積回路を実現することは難しい。なぜならば、OTFT には、①駆動電圧が高い、②電気特性のばらつきが大きいという課題が残されているためである。近年、我々はこれらの課題に、材料科学・界面科学・物理学的な観点から取り組み、アナログ回路を作製可能なレベルの低電圧動作・均一な特性を実現した[2–4]。

今回我々は、この高い均一性を活かし、印刷有機集積回路を乳酸(体液に含まれる代謝物質)センシングに必要なアナログ回路へと応用した。この回路は、従来の電気化学測定ハードウェア(ポテンショスタット)と同等に機能したため、乳酸濃度の定量測定が可能であった。これにより、印刷有機集積回路のウェアラブルデバイスへの応用の可能性を実証したので報告する。

２．印刷法で作製した乳酸センサ電極

乳酸は汗などの体液に含まれる代謝物質であり、筋肉の疲労度と深く関わっている。この乳酸濃度を定量的に測定するために、印刷法に基づいて Fig.1a に示すような乳酸センサを作製した。まず、PEN フィルム上にインクジェット印刷法によって銀電極を形成した。次に、メディエーター層として、プルシアンブルーとカーボングラファイトの混合インクを銀電極上に塗布形成した。その周辺に、テフロンの隔壁バンクを形成した。最後に、乳酸酸化酵素とキトサン(固定剤)の混合インクを塗布形成した(Fig.1b)。

乳酸の検出原理を Fig. 2c に示す。まず、乳酸が酵素によって酸化されたとき過酸化水素が発生する。

© 一般社団法人 日本画像学会

その過酸化水素とプルシアンブルー還元体（PB_{red}）が反応し、プルシアンブルー酸化体（PB_{ox}）に変わる。PB_{ox} はカーボンから電子を受容することで、再び PB_{red} に変わる。これら一連の反応が次から次へと起こることで、最下層の銀電極に電流が発生する。この電流値は乳酸濃度に線形に比例するため、電流値を測定することで乳酸濃度の定量化ができる。

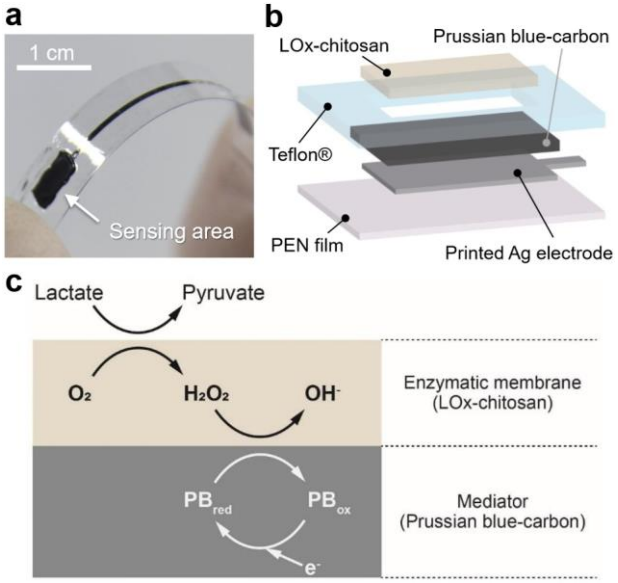


Fig.1 Printed lactate sensor electrode. (a) Photograph and (b) schematic structure of the fabricated lactate sensor electrode. (c) The principle of lactate sensing.

3．印刷法で作製した有機デバイス

Fig. 1a は作製した印刷有機デバイスの写真、Fig. 1c は作製した OTFT の構造である。電極材料には銀ナノ粒子インク、絶縁膜にはパリレン、有機半導体層にはジチエノベンゾジチオフェン誘導体（DTBDT-C_6）とポリスチレン（PS）のブレンドインク、バンク（半導体インクの濡れ広がり制御のための層）および封止膜にはテフロンを用いた。絶縁膜以外の層は全てインクジェット印刷やディスペンサ印刷によって形成しており、電子データを書き換えるだけで自由にデバイスのレイアウトをカスタマイズできるオンデマンドなプロセスである。

印刷法で作製する OTFT の高性能化・特性の均一化のためには、以下 3 点が重要である。

（1） 低分子の結晶化メカニズムを理解し「結晶成長方向を制御」（Fig. 1b）[5]

（2） 低分子半導体インクに絶縁性高分子を混合し「低分子と高分子の相分離を利用」することで半導体層の成膜性を改善（Fig. 1c）[2,6]

（3） 半導体層形成後の熱処理条件の最適化により「低分子と高分子の相分離を促進」[7]

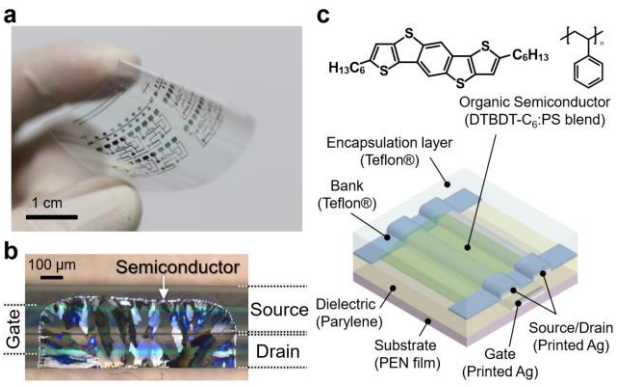


Fig.2 Printed organic transistors and circuits on a plastic film. (a) Photograph of the devices. (b) Cross-polarized optical microscope image of the OTFT channel. (c) schematic structure of the fabricated OTFT devices.

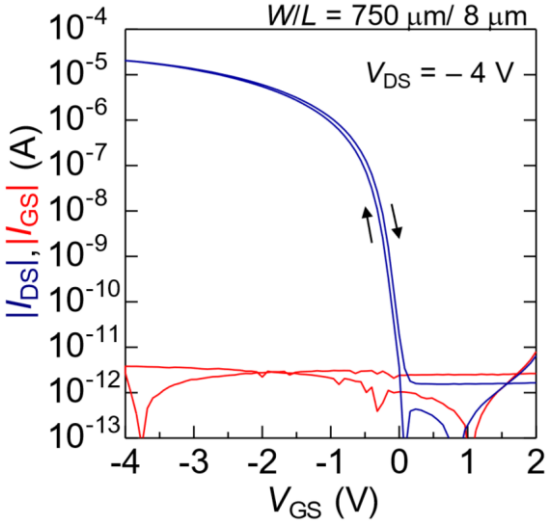


Fig.3 Transfer characteristics of the OTFT. Drain-source current (I_{DS}) and gate-source current (I_{GS}) were plotted as a function of gate-source voltage (V_{GS}).

Fig. 3 はトランジスタの電気特性である。上記 3 つの項目を適用した結果、移動度（μ）は 1.3 cm^2/Vs であり、これはアモルファスシリコン薄膜トランジスタと同等以上の値である。また、閾値電圧（V_{TH}）のばらつき標準偏差は 0.03 V であり、印刷有機デバイスの分野では最も高い均一性を得た。

4．印刷有機回路の乳酸センサ応用

印刷法で OTFT を同一基板上に集積化することで有機回路を作製し、その回路と乳酸センサを用いて、乳酸濃度の定量測定を行った。本研究の乳酸センサは、作用極／参照極／対極を用いた三電極法に基づいて動作する。そこで、2 つの印刷有機インバータ

© 一般社団法人 日本画像学会

回路をそれぞれ(1)参照極／対極のフィードバック制御と(2)作用極(乳酸センサ電極)の電流－電圧変換に用いて、Fig. 4 のようなセンシングシステムを作製した。

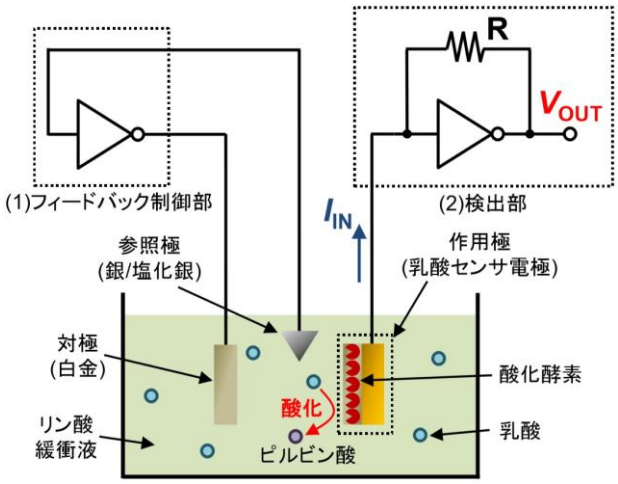


Fig.4 A three-electrode circuit system for amperometric electrochemical sensing.

乳酸濃度を 0 mM から 0.5 mM まで 0.1 mM ステップで変化させると、それに応じて出力電圧 V_{OUT} はステップ状に変化し、感度は 1 V/mM、応答速度は 100 秒程度であった（Fig. 5）。その際、参照極電位 V_{RE} と作用極電位 V_{WE} は概ね等しく一定に保たれており、2000 秒間の測定時間における変化は 10 mV 以下であったことから、有機インバータ回路によるフィードバック制御が安定に機能していることが分かった。本システムは酵素反応を利用するあらゆる電気化学バイオセンサ（グルコース・尿酸センサなど）にも適用可能であり、印刷有機回路に基づいたウェアラブルデバイス応用が期待される。

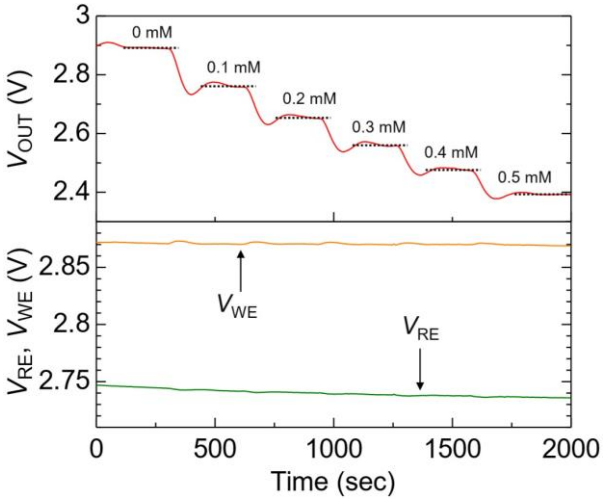


Fig.5 Quantitative measurement of lactate concentration using the printed organic circuit system and the printed lactate sensor electrode.

５．総括

インクジェット印刷に基づいて作製した有機デバイスの中では最も均一な特性を実現したことで、バイオセンサ用途の集積回路を、薄くて柔らかいフィルム上へ印刷することが可能となった。また、この集積回路は従来のポテンショスタットと同等に機能した。以上より、印刷有機集積回路のウェアラブルデバイスへの応用の可能性を実証した。

参考文献

1) W. Gao *et al*, “Fully Integrated Wearable Sensor Arrays for Multiplexed *in situ* Perspiration Analysis”, Nature **529**, 509 (2016).
2) R. Shiwaku *et al*, “Printed 2 V-Operating Organic Inverter Arrays Employing a Small-Molecule/Polymer Blend”, Scientific Reports **6**, 34723 (2016).
3) R. Shiwaku *et al*, “Printed Organic Inverter Circuits with Ultralow Operating Voltages”, Advanced Electronic Materials **3**, 1600557 (2017).
4) R. Shiwaku *et al*, “A Printed Organic Amplification System for Wearable Potentiometric Electrochemical Sensors”, Scientific Reports **8**, 3922 (2018).
5) K. Fukuda *et al*, “Printed Organic Transistors with Uniform Electrical Performance and Their Application to Amplifiers in Biosensors”, Advanced Electronic Materials **1**, 1400052 (2015).
6) T. Ohe *et al*, “Solution-Processed Organic Thin-Film Transistors with Vertical Nanophase Separation”, Applied Physics Letters **93**, 053303 (2008).
7) J. Kang *et al*, “Structure and Properties of Small Molecule-Polymer Blend Semiconductors for Organic Thin Film Transistors”, J. Am. Chem. Soc. **130**, 12273 (2008).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | デジタルファブリケーション／３Dプリンティング
[DF] デジタルファブリケーション
Digital Fabrication
2018年6月20日(水) 14:20 〜 15:20 大ホール (けやき会館 一階)

[DF-03] Bridge Pattern Printing for Flexible Transparent Touch Panel Applications

*Kye-Si Kwon[1], Seongjun Kim[2], Soobin Oh[1], Md. Khalilur Rahman[1,3] （1. Soonchunhyang University, 2. Samsung Electronics Co. Ltd, 3. Comilla University）

Bridge patterning is required to electrically connect driving electrodes on a substrate for capacitive touch panel. In this study, we propose an ultrafine bridge pattern printing via a near-field electro spinning (NFES) technique. For this purpose, Ag metallic ink is mixed with a high molecular weight polymer to produce thin conductive lines on a flexible PET (Polyethylene terephthalate) substrate with transparent diamond shaped ITO (Indium Tin Oxide) electrodes for driving and scanning purpose. By using the proposed method, the printed bridge conductive pattern was about 4 mm in width, which is invisible to naked eyes and the resistance was below 10 Ω/mm by using laser sintering. To sinter printed nano-silver ink, we used green laser to minimize damages of the PET substrate.

©一般社団法人 日本画像学会

Bridge pattern printing for flexible transparent touch panel applications

Kye-Si Kwon[1], Seongjun Kim[3], Soobin Oh[1], Md. Khalilur Rahman[2,4]

[1]Dept. of Mechanical Eng., Soonchunhyang University, Asan, Chungnam, Korea,
[2]Dept. of Electronic Materials and Devices Eng., Soonchunhyang Univ., Asan, Chungnam, Korea,
[3]Global Technology Center, Samsung Electronics Co. Ltd, Suwon, Korea,
[4]Dept. of Physics, Comilla University, Comilla, Bangladesh.

Bridge patterning is required to electrically connect driving electrodes on a substrate for capacitive touch panel. In this study, we propose an ultrafine bridge pattern printing via a near-field electro spinning (NFES) technique. For this purpose, Ag metallic ink is mixed with a high molecular weight polymer to produce thin conductive lines on a flexible PET (Polyethylene terephthalate) substrate with transparent diamond shaped ITO (Indium Tin Oxide) electrodes for driving and scanning purpose. By using the proposed method, the printed bridge conductive pattern was about 4 μm in width, which is invisible to naked eyes and the resistance was below 10 Ω/mm by using laser sintering. To sinter printed nano-silver ink, we used green laser to minimize damages of the PET substrate.

1. Introduction

Flexible transparent electrodes (FTEs) has been important components for flexible optoelectronic devices, including photovoltaic cells, organic light-emitting diodes and touch panels [1, 2]. In this study, we propose the use of NFES to print conductive line with width less than 5 μm on PET film so that the patterns can be invisible to naked eyes. As a practical application of NFES, ultrafine bridge patterns are printed between two transparent ITO conductive PADs on a PET substrate, which is designed for flexible transparent touch panel sensor. For this purpose, Ag nano-paste ink was mixed with high molecular weight polymer for printing ink using NFES technique. Then, the ink is supplied to the nozzle via syringe pump. Here, the nozzle part is applied to high voltage (around 1~2kV) so that the ink can be pulled down to the substrate via the electrical field. During the pulling of ink via electrical field, the ink stream is further stretched to produce continuous and fine patterning on the substrate during high speed printing of more than 300 mm/s [3]. After printing, sintering is required in order to obtain good conductive pattern. Since the PET film has low glass transition temperature of 62°C [4], it is very difficult to apply sufficient heat to the substrate [4, 5]. In this study, we will discuss the use of green laser to sinter the printed line while minimizing damage to the substrate.

2. Experimental procedure

The ink used in this research work is commercially available Ag paste ink (ES-INK, NPK, Korea), which contains 85.5 wt% of Ag content, which has typical viscosity of 11,200 cPs. Then, 3wt% of poly ethylene oxide (PEO) with molecular weight of 400,000 g/mol was mixed with 97wt% of chloroform until the PEO is fully dissolved in the solvent to make polymer solution. Then, the polymer solution is mixed with Ag paste ink with weight ratio of 5 (Ag paste):1 (polymer solution). The prepared ink is fed to the nozzle with inner diameter of 100 μm with flow rate of 0.5 μL/min. Fig.1 shows the cone jet from the nozzle during the printing when high voltage of 1100 V is applied to the nozzle.



Fig.1 Cone-jet printing for fine pattering.

To print the bridge electrode between two pads on a PET substrate, the nozzle and moving direction is aligned with respect to center of PAD electrodes as shown in Fig.2.

22, Soonchunghyang -Ro, Shingchang, Chungnam, Asan, 336-745, Korea. E-mail: kskwon@sch.ac.kr

© The Imaging Society of Japan

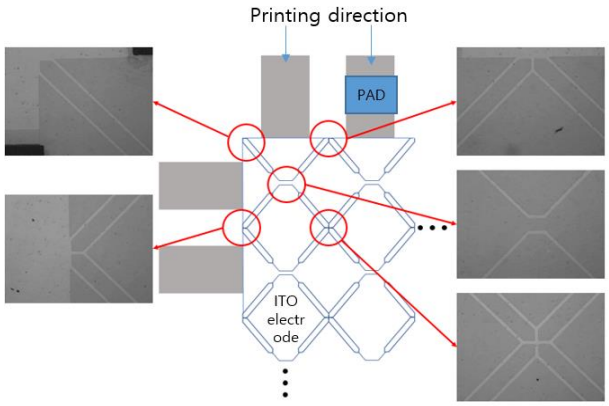


Fig.2 Printing direction for bridge patterning.

The bridge patterns are printed 46 mm in length between two pads as shown in Fig.3. After printing, the bridge patterns were sintered using green laser (532nm) in continuous mode.

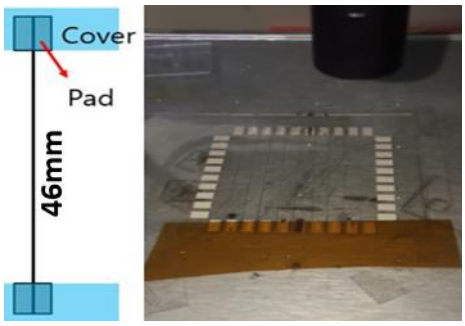


Fig.3 Sintering process after printing.

3. Results and discussion

Fig. 4 shows the printed bridge patterns. As shown in Fig. 4 (a), the microscopic image of printed pattern can be aligned with respect to the target location. After green laser sintering of the electrode, silver nano-particles were sintered and connected to one another without damaging of PET film shown in Fig. 4(b). However, we have limitation for increasing laser power because it may damage the PET substrate. The measured resistance between the PADs was 289 Ω, which corresponds to 6.3 Ω/mm.

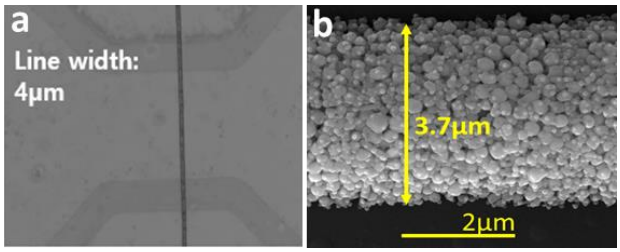


Fig. 4 Printed results of (a) microscope image and (b) SEM image.

4. Conclusion

In this study, flexible transparent bridge patterns have been printed between two pads using NFES technique on a PET substrate. By using NFES, high speed (more than 300 mm/s) and fine pattern (3.7 μm) can be obtained. After printing, selective laser sintering was used to avoid damage on PET film and we obtained the resistance of 289 Ω between PADs, which has distance of 46 mm.

Acknowledgement

This work was supported by the Samsung electronics and partially supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education (2016R1D1A1B01006801).

References

1) Youngwoo Lee, “Thermal pressing of a metal-grid transparent electrode into a plastic substrate for flexible electronic devices”, Royal Society of Chemistry. **4,** pp. 7577-7583 (2016).
2) Minghui Luo, “Towards Flexible Transparent Electrodes Based on Carbon and Metallic Materials”, MDPI, **12**, pp. 1-16 (2017).
3) Gobind S. Bisht, “Controlled Continuous Patterning of Polymeric Nanofibers on Three-Dimensional Substrates Using Low-Voltage Near-Field Electrospinning”, ACS publications, 1**1,** pp. 1831-1837 (2011)
4) Sebastian Wünscher, “Progress of alternative sintering approaches of inkjet-printed metal inks and their application for manufacturing of flexible electronic devices. “Royal Society of Chemistry, **2**, pp. 10232-10261(2014).
5) Zhuang Hui, “Chemical sintering of direct-written silver nanowire flexible electrodes under room temperature.” **28**, IOP publishing, pp.1-12(2017)

© The Imaging Society of Japan

Oral presentation | Novel Imaging

[NI] Novel Imaging

Session Chair:Yoshihiko Hotta(Ricoh Company, Ltd.), Toshifumi Sato(Tokyo Polytechnic University)
Wed. Jun 20, 2018 3:40 PM - 4:40 PM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[NI-01] Preparation and Physical Properties of Metal-like Lustrous Polymer Alloy

*Rihito Tamura[1], Katsuma Miyamoto[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

3:40 PM - 4:00 PM

[NI-02] Preparation and Characterization of Solution-Cast Metal-Like Lustrous Films of Water-Soluble 3-Methoxythiophene Oligomers

*Minako Tachiki[1], Reo Tagawa[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

4:00 PM - 4:20 PM

[NI-03] Effect of Polymerization Condition on the Color and Structure of Organic Metallic Lustrous Films

*Minako Kubo[1], Kenta Horikoshi[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

4:20 PM - 4:40 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 新規イメージング

[NI] 新規イメージング
Novel Imaging

2018年6月20日(水) 15:40 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[NI-01] 金属調光沢ポリマーアロイの作製と物性
Preparation and Physical Properties of Metal-like Lustrous Polymer Alloy

*田村 理人[1]、宮本 克真[1]、星野 勝義[1] （1. 千葉大学）
*Rihito Tamura[1], Katsuma Miyamoto[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

金属調光沢色は、高級感の象徴として建造物など様々なところで価値のあるものとして扱われている。一般的な金属調光沢塗料は、金属のフレークを用いることで光沢感を発現している。そのため、金属を利用するがゆえの様々な問題を抱える。現在、非金属化合物を用いた溶液塗布による安定な金属調光沢膜を形成する方法は未だに存在しない。このような背景の中、本研究室では、3-メトキシチオフェンを化学重合し、溶液塗布することで金色調光沢膜が得られた。しかし、その塗膜の機械的強度は極めて低い。そこで、機械的強度向上に向けて、チオフェン重合体と透明樹脂を混合してポリマーアロイを形成し、その物性を測定したので、報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

金属調光沢ポリマーアロイの作製と物性

田村　理人*，宮本　克真*，星野　勝義*

*千葉大学大学院　工学研究院　物質科学コース

Preparation and physical properties of metal-like lustrous polymer alloy

Rihito Tamura*, Katsuma Miyamoto*, Katsuyoshi Hoshino*

*Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Chiba University

Previously, we synthesized the oligomer of 3-methoxythiophene under a specific condition and revealed that the oligomer cast films developed a gold-like lustrous color. In this study, polymer alloy films of polyester and 3-methoxythiophene oligomer were prepared in order to improve the mechanical strength of the films, and their color and structural properties were investigated by the measurements of specular reflectance, color, and X-ray diffraction. The investigations demonstrated that the polymer alloy films also had a gold-like lustrous color and that the color was induced by the specific edge-on lamellar crystallites of the oligomer. These experimental findings imply that the lamellar structures still exists in the film even in the coexistence of the polyester.

1. 緒言

金属のような輝きを持つ色は、金属調光沢色やメタリックカラーとも呼ばれ、過去から現在に至るまで、高級感の象徴として建造物や装飾品などに利用されており、人類の社会、文化、宗教的に深く根付いた特別な色となっている。それだけでなく、近年では金属独特の光沢により複写が困難なことを利用し、紙幣や金券の偽造防止コーティング材としても使用されている。また一方では、金属独特の反射を利用し、建造物の室内冷房費削減のためのエコロジーコーティング材としても注目されている。

既存の金属調光沢塗料は、黄色などの展色剤の中に、光沢を発現させるためのアルミニウムや亜鉛などのフレーク状の金属粉末を分散することにより作成されている。そのため、金属と塗料樹脂の比重の差による沈殿生成と、それを防止するための常時撹拌の必要性、またそれに伴う色ずれや光沢感の変化、さらに塗料・塗膜自体が重いなどの問題点を抱えている。

そこで近年は、金属を用いずに金属調光沢色を発現させる学術的な試みが行われている。非金属化合物が金属調光沢色を呈する例はいくつか報告があり、ピロール系化合物[1-6]やアゾベンゼン誘導体[7,8]などの興味ある例が挙げられる。しかし最近まで、溶液に可溶なため塗布液を作製することができ、かつそれを塗布することによって安定な金属調光沢膜を形成する材料の報告はなかった。

このような背景の中、我々のグループで、3-メトキシチオフェン（3MeOT）の重合によって得られるオリゴマーの粉体がいくつかの有機溶媒に可溶であり、さらにその塗布膜が Fig. 1 のような鮮やかな金色調の光沢色を発現することが見出された[9-14]。この材料は、上述の金属色塗料の持つ問題点を解決できると考えられ、種々の用途への展開が期待される。また、電気化学的手法により、金属光沢を持つ 3MeOT 重合体膜を得ることにも成功した[15-18]。

しかしながら、この塗布膜は機械的強度が乏しく、工学的応用への足かせとなっている。そこで、機械的強度向上に向けて、3MeOT オリゴマーと汎用透明樹脂を混合してポリマーアロイを形成し、その塗布膜の機械的強度、光沢特性および色相などの物性を測定したので、その結果について報告する。

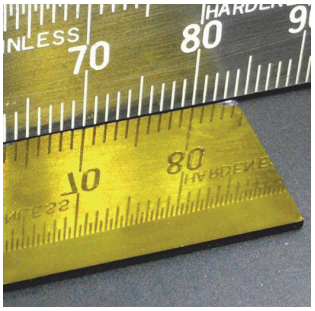


Fig. 1　Photograph of a gold-like lustrous film prepared by applying the solution of oligo(3-methoxythiophene) on a glass plate.

＊〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33
＊1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba city, Chiba 263-8522, Japan
e-mail: k_hoshino@faculty.chiba-.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

2. 実験方法

2.1 3MeOT オリゴマーの合成

窒素雰囲気下において、原料モノマーである 3MeOT のアセトニトリル溶液に、過塩素酸鉄（III）のアセトニトリル溶液を滴下することにより、過塩素酸イオン ClO_4^- がドープされた 3MeOT オリゴマーを得た。

2.2 ポリマーアロイ塗布液・膜の作製

γ-ブチロラクトンに、ポリエステル(PES)と 2.1 節の方法により得られた 3MeOT オリゴマーを質量比 1:1 (a), 4:1 (b), および 8:1(c)で溶解させて塗布液を作製し、ガラス基板上にキャストした。その後、80℃で温風乾燥することにより塗布膜を得た。なお、上記の混合比によって形成された塗布膜を今後、それぞれポリマーアロイ膜(a)、(b)および(c)と表記することにする。

2.3. ポリマーアロイ膜の物性評価

作製したポリマーアロイ膜の評価は、デジタルマイクロスコープ（KEYENCE、VHX-5000）による外観画像撮影、白色プラスチック基板をベースとした正反射スペクトル測定（コニカミノルタ、CM-600d）および分光測色計（コニカミノルタ、CM-600d）を用いた金蒸着膜との色差測定によって行った。さらに、ポリマーアロイ膜内のオリゴマー分子の配向は、薄膜 X 線回折測定（XRD）により検討した。また、膜の機械的強度の測定のために鉛筆硬度試験(Allgood 社鉛筆硬度試験機)を行った。

3. 結果および考察

3.1 外観

上記で得られたポリマーアロイ膜(a)~(c)と PES を含有しない単体膜(d)の観察像を Fig. 2 に示す。PES を混合しても金色調光沢を発現した。また、PES の混合比率が高くなるほど平滑性・映り込みの程度が減少した。前報の結果から [15]、ポリマーアロイ膜が金色調の色調を示すのは、3MeOT オリゴマーにより形成される edge-on ラメラ構造（オリゴマー中のチオフェン環がガラス基板に対して垂直に配向し、それが基板に対して平行にスタッキングして形成されるラメラ）に起因することがわかっている。単独膜の塗布乾燥過程では、溶媒が揮発するとともにオリゴマー分子同士が配向して edge-on ラメラ構造を形成する。ポリマーアロイ膜においても、金色調光沢が発現したことから、PES が存在しても edge-on ラメラ構造が形成されることがわかる。

3.2 正反射スペクトルと色度図

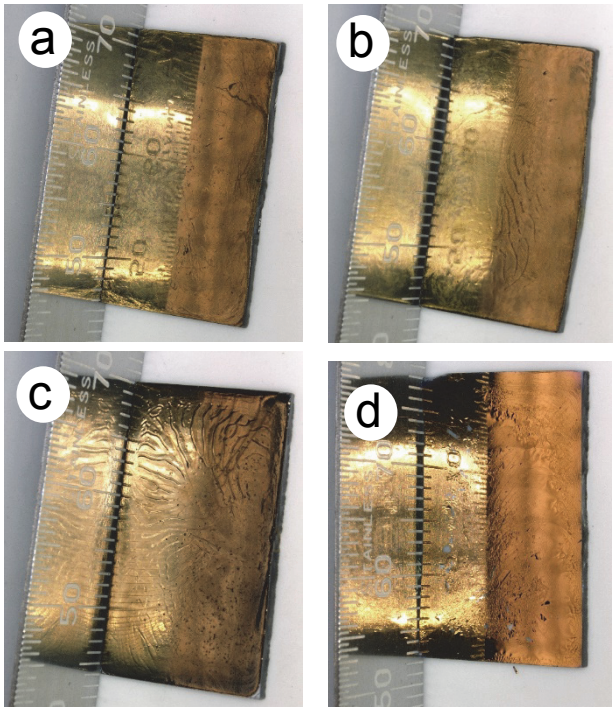


Fig. 2 Photographs of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. Photograph d corresponds to a 3MeOT oligomer single film.

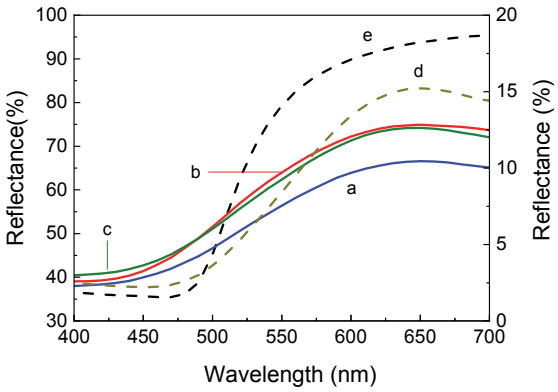


Fig. 3 Specular reflection spectra of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. spectra d and e correspond to a 3MeOT oligomer single film and a vacuum evaporated gold film, respectively.

次に、塗布膜(a)~(d)および比較対照として作成した金蒸着膜の正反射スペクトルを Fig. 3 に、色度図を Fig. 4 に示す。ポリマーアロイ膜の正反射スペクトル a~c の形状は、単独膜 d および金蒸着膜 e のスペクトルの概形と類似しており金色調の光沢を発現していることがわかる。また単体膜のスペクトルと比較した場合、500～550nm 付近の正反射率が大きくなっていることから、ポリエス

© 一般社団法人 日本画像学会

テルを混合することで緑味がかった金色調光沢色になることがわかる。このことは Fig. 4 に示された a^* および b^*の値からも指示される。

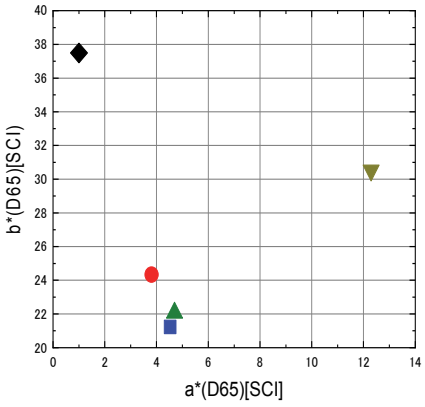


Fig. 4　The values of a^* and b^* for the polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: ■, 1:1; ●, 4:1; ▲, 8:1. ▼, The inverted triangle and diamond correspond to a 3MeOT oligomer single film; ◇,　a vacuum evaporated gold film, respectively.

3.3 X 線回折測定（XRD）

次に、得られた膜中のチオフェン重合体の配向構造を検討するため、ポリマーアロイ膜 a~c および単独膜 d の XRD 測定を行った(Fig. 5)。スペクトルは、2θ = 7 . 87°, 15.87°, 18.33° および 26° 近傍にピークを示した。2θ = 7,87° および 15.87° のピークはオリゴマー分子中のチオフェン環が基板に対して垂直に配向して形成する edge-on ラメラの層間距離に基づくシグナルであり、このピークが光沢発現の要因であると考えられている。また 26° 近傍のシグナルは、オリゴマー分子中のチオフェン環が基板に対して平行に配向し、基板に垂直方向にスタッキングして得られるフェイスオンラメラのスタッキング距離に帰属される（Fig. 6)。さらに、18.33° は PES に起因するシグナルである。以上の帰属結果から、まずポリマーアロイ膜でも、ラメラの層間距離とスタッキング距離に対応するシグナルが見られ、PES 共存下でもラメラ微結晶が存在することがわかります。そして、18.33° のポリエステルのシグナルに対する 7.87° のラメラのシグナルの強度比は、ポリエステルの混合比率が増すにつれて低下した。このことは、X 線の侵入領域（測定領域）内では、当然のことながら、ポリエステル比率が高くなるほどラメラの比率が単純に低下することを示している。従って、ポリマーアロイ膜の正反射率と色が混合比率により変化したのは、オリゴマーのラメラ結晶構造の変化ではなく、ラメラ結晶と PES の存在比率が変化したことによる膜の光学特性（屈折率および消衰係数）の変化と考えることができる。

鉛筆硬度試験についての詳細は当日報告する。

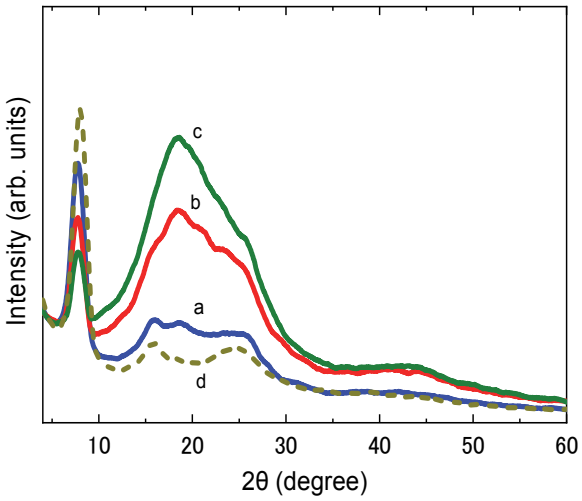


Fig. 5　X-ray diffraction patterns of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. Pattern d corresponds to a 3MeOT oligomer single film.

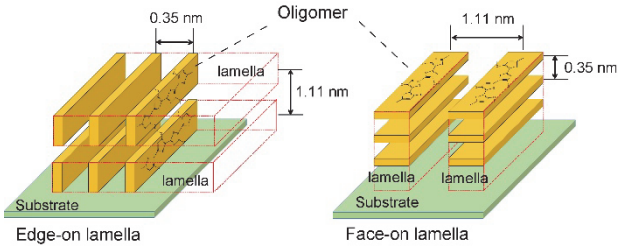


Fig. 6 Edge-on lamella and face-on lamella structures.

4. まとめ

3MeOT を化学酸化重合して得られたオリゴマーとポリエステルを混合することで、金色調光沢を有するポリマーアロイ膜を得ることができた。その色調はオリゴマー単体膜と同様の金色調であり、ポリエステル量が増えるにつれて、平滑性・正反射特性が低下し、色相がわずかながら変化した。また、XRD 測定により、膜構造について検討を行った。その結果、ポリマーアロイ膜においても金色調光沢発現の原因構造であるラメラ微結晶が存在することがわかった。そして、ポリエステルの比率が高くなると、ポリエステルのドメインと微結晶領域の比率が変化

© 一般社団法人 日本画像学会

し、その結果、膜の光学特性が変化することが示唆された。この光学特性の変化が上述のポリマーアロイ膜の正反射率と色相変化の要因であると考えている。

参考文献

1) K. Ogura, R. Zhao, H. Yanai, K. Maeda, R. Tozawa, S. Matsumoto, M. Akazome: *Bull. Chem. Soc. Jpn*., **75**, 2359–2370 (2002).
2) R. Zhao, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10225–10231 (2002).
3) R. Zhao, S. Matsumoto, M. Akazome, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10233–10241 (2002).
4) K. Ogura, R. Zhao, M. Jiang, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Yamaguchi: *Tetrahedron Lett.*, **44**, 3595–3598 (2003) .
5) K. Ogura, R. Zhao, T. Mizuoka, M. Akazome, S. Matsumoto: *Org. Biomol. Chem*., **1**, 3845–3850 (2003).
6) K. Ogura, K. Ooshima, M. Akazome, S. Matsumoto: *Tetrahedron*, **62**, 2484–2491 (2006).
7) A. Matsumoto, M. Kawaharazuka, Y. Takahashi, N. Yoshino, T. Kawai, Y. Kondo: Y. *J. Oleo Sci*., **59**, 151–156 (2010).
8) Y. Kondo, A. Matsumoto, K. Fukuyasu, K. Nakajima, Y. Takahashi: *Langmuir*, **30**, 4422−4426 (2014).
9) R. Tagawa, H. Masu, T. Itoh, K. Hoshino: *RSC Adv*., **4**, 24053–24058 (2014).
10) R. Tagawa, T. Itoh, H. Masu, K. Hoshino: 85th JSCM Anniversary Conference, Proceedings pp.29–32, October 24–25, 2013, Tokyo, Japan.
11) T. Mitogawa, M. Kobayashi, K. Hoshino: Joint Workshop on Chirarity in Chiba University and Soft Molecule Activation, March 17, 2016, Chiba University, Chiba, Japan.
12) K. Saito, K. Hoshino: 1st TDU-CU Joint Meeting on Imaging Science and Technology, Proceedings pp.41-42, February 26-29, 2016, Chulalongkon University, Bangkok, Thailand.
13) 星野 勝義: 色材協会誌, **88**, 101 - 105 (2015).
14) Y. Takashina and K. Hoshino, *Langmuir*, **34**, 3049-3057 (2018).
15) T. Tokuda, D. Takamura, K. Hoshino: 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Proceedings s07-029, October 4-9, 2015, Taipei, Taiwan
16) T. Tokuda and K. Hoshino, *Polym J.*, **48**, 1141-1149 (2016).
17) 高村 檀, 徳田 琢也, 星野 勝義: 日本画像学会誌, **55**, 519-526 (2016).
18) D. Takamura and K. Hoshino, *Chem. Lett.*, **47**, 540-543 (2018).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 新規イメージング
[NI] 新規イメージング
Novel Imaging
2018年6月20日(水) 15:40 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[NI-02] 金属調光沢を発現する水溶性3-メトキシチオフェン重合体塗布膜の作成と物性
Preparation and Characterization of Solution-Cast Metal-Like Lustrous Films of Water-Soluble 3-Methoxythiophene Oligomers

*立木 美奈子[1]、田川 麗央[1]、星野 勝義[1] （1. 千葉大学）
*Minako Tachiki[1], Reo Tagawa[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

本研究グループは数年前に、（１）有機物だけから構成され、（２）さまざまな有機溶媒に可溶であり、（３）その溶液をガラスやプラスチック等の基板上に塗布し乾燥させるだけで均一塗布膜を形成可能、という特長を合わせ持つ世界初の金属調光沢発現物質を開発した。この物質は3-メトキシチオフェンを酸化重合することで得られる重合体であった。本研究では、その重合方法を検討する過程で、水溶性の重合体が見出され、これにより、金色調光沢を発現する水溶性インクとしての応用の期待が高まった。本発表では、この水溶性重合体の塗布膜に関して種々の物性検討を行ったのでその結果について報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

金属調光沢を発現する
水溶性 3-メトキシチオフェン重合体塗布膜の作成と物性

立木　美奈子*，田川　麗央*，星野　勝義*

*千葉大学大学院 工学研究院物質科学コース

Preparation and Characterization of Solution-Cast Metal-Like Lustrous Films of Water-Soluble 3-Methoxythiophene Oligomers

Minako Tachiki*, Reo Tagawa*, and Katsuyoshi Hoshino*

* Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Chiba University

Water-soluble Cl^--doped oligo(3-methoxythiophene)s were prepared by the chemical oxidative polymerization of 3-methoxythiophene using $FeCl_3$ and $FeCl_3{\cdot}6H_2O$ under a specific condition. The aqueous solutions of the former and the latter oligomers were applied on a glass plate to provide gold-like and bronze-like lustrous films, respectively. The specular reflection spectra of the gold-like and bronze-like films revealed their high reflection characteristics compared with that of a hydrophobic ClO_4^--doped gold-like film previously reported by us. The cause of the higher reflection was investigated by the X-ray diffraction measurements and it was suggested that the amount of the lamellar crystallites formed by the oligomer was a key to the development of the light reflection.

1. 諸言

金、銀および銅に代表される金属色は、“優秀”、“高級”、“希少”等の付加価値を付与するため、特別な色として認識されており、例えばメダル、トロフィー、自動車等の塗装に利用されている。また、金属色の光沢は独特であり、その複写が困難であることを利用し、紙幣や金券の偽造防止コーティング材としても使用されている。さらに、太陽光をよく反射し遮蔽することから、ビルや自動車の室内冷房費削減のためのエコロジーコーティング材として利用される可能性をもつ。

現在実用の金属色塗料は、樹脂の溶液中にアルミニウムフレーク微粉末と黄色などの塗料が分散しており、塗布したときにそのフレークが配向するために金属光沢が再現される。しかしながら、比重の大きな金属が含まれているために、塗料自体が重く、また分散安定性が極めて低いために溶液の持続的な攪拌が不可欠である。さらにこの分散不安定性により、フレーク配向の乱れや塗布むらなどが発生し、金属色の光沢の再現性低下を招く。そこで近年、非金属材料のみを用いることで金属調光沢を発現させる試みがなされてきた。化合物粉体が金色を呈する例として、ピロール系化合物[1-6]が報告された。また、アゾベンゼン誘導体[7,8]の凝集物が金色調の光沢を発現する興味深い例も報告されている。しかしながら我々の知る限り、溶媒に可溶であり、かつ塗布製膜が可能な化合物の報告例はなかった。

＊〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33
＊1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba city, Chiba 263-8522, Japan
e-mail: k_hoshino@faculty.chiba-.jp

このような背景の中、我々のグループが開発した3-メトキシチオフェン(3MeOT)を酸化重合することで得られる重合体は、(1)有機物だけから構成され、(2)さまざまな有機溶媒に可溶であり、(3)その溶液をガラスやプラスチック等の基板上に塗布し乾燥させるだけで均一塗布膜を与える、という特長を併せ持つ初の金属調光沢発現物質であった[9-13]。これにより現在実用の金属色塗料の持つ問題点を解決できると考えられ、種々の用途への展開が期待されている。

さらに我々は、3MeOT 重合体の重合方法や塗布方法を検討してきた。例えば電気化学的手法により、金属光沢を持つ 3MeOT 重合体膜を得ることにも成功した[14-16]。また、溶媒を用いず、重合体粉体に物理的に力を加えても金色調光沢が発現することも報告した[17]。

上記で報告された金色調光沢発現物質[9-13]は、酸化剤として過塩素酸鉄（III）を用いて 3MeOT を化学酸化重合することで得られた、過塩素酸鉄イオンがドープされた重合体であり、様々な有機溶媒に可溶である。しかし、塗布溶媒として望ましい水には不溶であった。本研究では、3MeOT 重合体の重合条件を検討する過程で、水溶性の重合体が見出され、水性塗布液の作成可能であることが判明した。そこで、その塗布膜の種々の物性測定を行ったのでその結果について報告する。

2. 実験方法

2.1. 3MeOT 重合体の合成

© 一般社団法人 日本画像学会

今回報告の水溶性重合体の合成手順は、我々のグループが初めて報告した有機溶媒可溶 3MeOT 重合体の場合と基本的に同じであり、相違点は、酸化剤として過塩素酸鉄（III）の代わりに塩化鉄を用いる点である。まず窒素雰囲気下において、原料モノマーである 3MeOT のアセトニトリル溶液に、酸化剤として塩化鉄無水和物（または塩化鉄 6 水和物）のアセトニトリル溶液を加え、2 時間撹拌した。その後、エタノールで洗浄した後、50℃において 1.5 時間の真空乾燥を施した。これにより、塩化物イオンがドープされた 3MeOT 重合体の粉末が得られた。以下、酸化剤として塩化鉄無水和物を用いた場合に得られた 3MeOT 重合体を oligomer 1、塩化鉄 6 水和物の場合を oligomer 2 と略記する。

2.2. 3MeOT 重合体塗布膜の作製

Oligomer 1（または oligomer 2）4 mg を、水 2 mL に溶解させることで重量濃度 0.2wt%の塗布液を調製した。その塗布液を 15 mm×25 mm のガラス基板に 600 μL 塗布し、室温下で 12 時間乾燥させることで塗布膜を得た。以下、oligomer 1 を用いて作製された塗布膜を film 1、oligomer 2 を用いて作成されたものを film 2 と記す。

また、比較として、我々が以前報告した有機溶媒可溶性 3MeOT 重合体の塗布膜を film 3 と記す。Film 3 は、既報[9-13]の手順で作製された重合体 11 mg をニトロメタン 1.0 mL に溶解させることで重量濃度 1wt%の塗布液を調製し、それをガラス基板上に塗布・乾燥させることで作成された。

2.3. 塗布膜の物性評価

塗布膜の評価は、デジタルカメラ（Canon、EOS Kiss X8i）による外観画像撮影、分光測色計（コニカミノルタ、CM-600d）を用いた色度および明度測定、正反射スペクトル測定（日本分光、MSV-370）、レーザー顕微鏡（KEYENCE、VK-9700）による表面性状（粗さ）測定によって行った。また、塗布膜中の重合体分子の配向は、Out-of-Plane 法の薄膜 X 線回折測定（XRD）により検討した。

3. 結果および考察

3.1. 塗布膜の外観

Film 1、film 2 および film 3 それぞれの外観を Fig. 1 に示す。Film 1 は金色調光沢を発現し、それに比べて film 2 はやや赤みがかっており、その光沢は銅色に近い。Film 3 は膜全体が一様に金色調光沢を発現しているのに対して、film 1 および film 2 の中心付近には光沢のない暗いステイン領域が観察された。以降で説明する物性評価は、各塗布膜のステイン領域ではなく、光沢を発現している領域について行われた。

3.2. 塗布膜の色度および明度

Film 1（●）、film 2（▲）および film 3（■）それぞれの色度および明度を Fig. 2 に示す。また、比較のため、金蒸着膜（○）および銅蒸着膜（△）の値も同時に示す。Film 1 の色度は (a*, b*) = (8, 36)であり、これらは金蒸着膜の色度(a*, b*) = (7, 37)および film 3 の色度(a*, b*) = (11, 37)に非常に近いことから、film 1 の色相は、金および film 3 に近いことが数値的に示された。一方、film 2 の色度は(a*, b*) = (23, 21)であり、これは金蒸着膜の色度よりも銅蒸着膜の色度(a*, b*) = (17, 25)に近いため、film 2 の色相は銅に近いことが示された。明度に関しては、塗布膜の明度はいずれも L* = 35～45 であるのに対し、金蒸着膜および銅蒸着膜の明度は L* 80～90 であり、塗布膜の光沢色を金属と同等にするためにはさらなる工夫が必要であることがわかった。

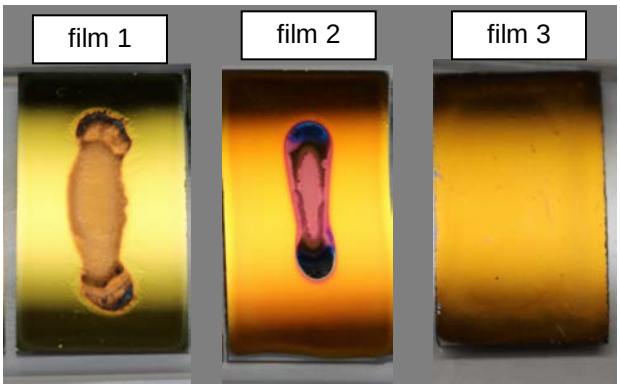


Fig. 1 Photographs of film 1 (left), film 2 (middle), and film 3 (right).

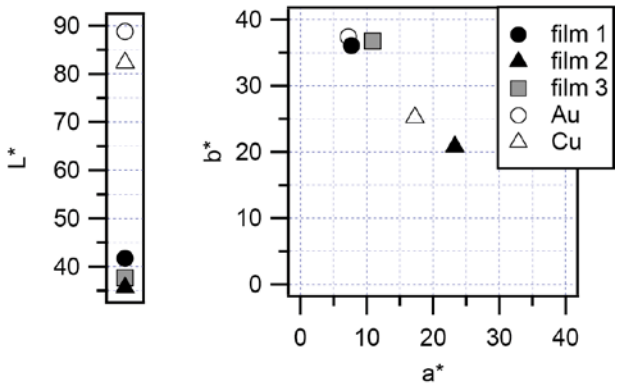


Fig. 2 The values of *a**, *b**, and *L** for film 1 (●), film 2 (▲), and film 3 (■). Included for comparison are the values for evaporated metal gold (○) and evaporated metal copper films (△).

© 一般社団法人 日本画像学会

3.3. 塗布膜の正反射スペクトル

Film 1（a）、film 2（b）および film 3（c）の正反射スペクトルを Fig. 3 の上図に示す。比較のため、金蒸着膜（d）および銅蒸着膜（e）のスペクトルも下図に示す。film 1 のスペクトル形は、緑色(495-570 nm)、黄色 (570-590 nm)、オレンジ色 (590-620 nm)、および赤色（620-750 nm）領域の反射率が高く、紫色（380-450 nm）及び青色（450-495 nm）領域の反射率が低い。これは金蒸着膜の反射特性と同様である。これと同様の形のスペクトルを film 3 も示したが、film 3 の最大反射率(18%)は film 1 のそれ(28%)よりも低い値であった。一方、film 2 の反射領域の波長は、金蒸着膜よりもむしろ銅蒸着膜のそれに近く、銅色調の光沢を帯びた色度をもつことがわかった。

反射率の最大値を比較すると、film 2（34%）が最も高く、次いで film 1（28%）であり、いずれも film 3（18%）よりも高かった。なお、film 2 の最大反射率は、市販の金色折り紙の最大反射率とほぼ同等である。film 1 および film 2 の反射率の高さの要因を検討する目的で、レーザー顕微鏡を用いて膜表面の算術平均粗さを測定した。その結果、film 1、film 2 および film 3 の算術平均粗さは、それぞれ 0.029 μm、0.025 μm、0.017 μm であり大きな差異は見られなかった。このことは、膜表面の表面粗さの差異が反射率の差の原因ではないことを示すものである。そこで次に、膜中での分子配向の程度がその原因ではないかと考え、次節で XRD 測定を実施した。

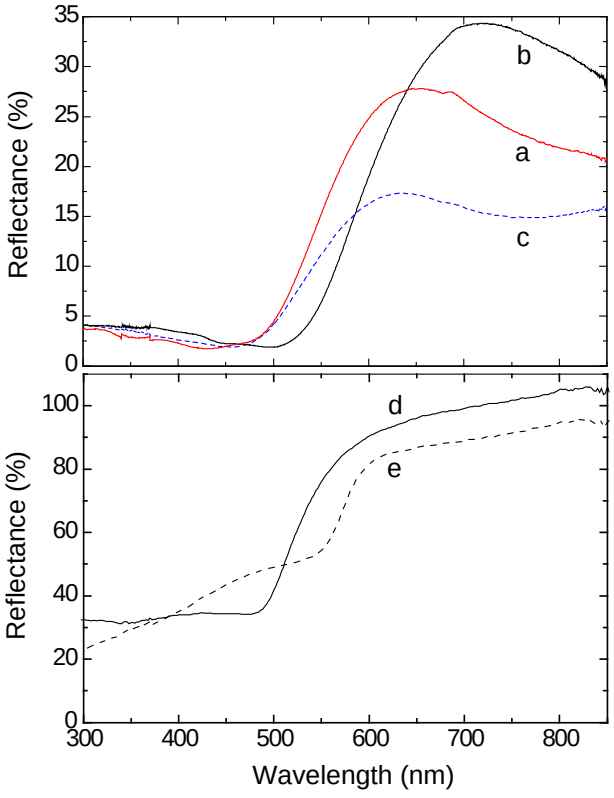


Fig. 3 Reflection spectra of film 1 (a), film 2 (b), and film 3 (c). Included for comparison are the spectra for the evaporated metal gold (d) and evaporated metal copper films (e).

3.4. 塗布膜中の分子の配向構造

塗布膜中の重合体分子の配向構造を検討するため、XRD 測定を行った。Fig. 4 に film 1（a）、film 2（b）および film 3（c）の X 線回折スペクトルを示す。一般にポリ（3-アルキルチオフェン）の準結晶は、ラメラ結晶ドメインをアモルファスが取り囲む構造をとり、そのラメラ結晶は直方晶系であることが知られている。Film 3（パターン c）のスペクトルは特徴的な 3 つのピークをもつ。そのピーク位置は 2θ = 7.84, 15.84 及び 25.11°であり、このうち 2θ = 7.84 及び 15.84°のピークはラメラ層状構造に由来する(100)および(200)面からの反射に相当し、2θ = 25.11°のピークは重合体分子の π-π スタッキングに由来する(020)面からの反射に相当する。すなわち、膜中には、重合体分子中のチオフェン環が基板に対して垂直に配向し、それが基板に対して平行にスタックしたエッジオンラメラ結晶と、チオフェン環を基板に対して平行に配向させ、それが基板に対して垂直にスタックしたフェイスオンラメラ結晶があること、そして前者のシグナルが圧倒的に大きいことから膜はほぼフェイスオンラメラから形成されることがわかる[9-13]。Film 1（パターン a）および film 2（パターン b)のスペクトルも特徴的な 3 つのピークを持ち、それらのピーク位置とピーク高さの大小関係は film 3 の場合とほぼ同様であった。よって、film 1 および film 2 のラメラ結晶内の重合体分子の配向は、film 3 と同様であるといえる。また、シグナルの大きさを比較すると、film 2 > film 1 > film 3 であり、この大小関係は、3.3 節で述べたピーク反射率の高さの大小関係と一致する。したがって、film 1 および film 2 の高いピーク反射率は、塗布膜中の重合体分子配向の規則正しさに由来していることが示唆された。

4. まとめ

酸化剤として塩化鉄無水和物（または塩化鉄 6 水和物)を用いて 3MeOT を化学酸化重合することで、水に可溶な重合体が得られた。その水性塗布液を用いて作成された塗布膜は光沢を発現し、その色は金（または銅）に近いことが、色度および正反射スペクトル形状から示された。この塗布膜のピーク正反射率は 28%（もしくは 34%）もの高い値を示し、前回報告の有機溶媒可溶 3MeOT 重合物[9-13]塗布膜の値（18%）を大きく上回る結果となった。この高い正反射率の要因について検討するために、各塗布膜について XRD 測定をおこなったところ、塗布膜中の重合体分子配向の規則正しさに由来することが示唆された。

© 一般社団法人 日本画像学会

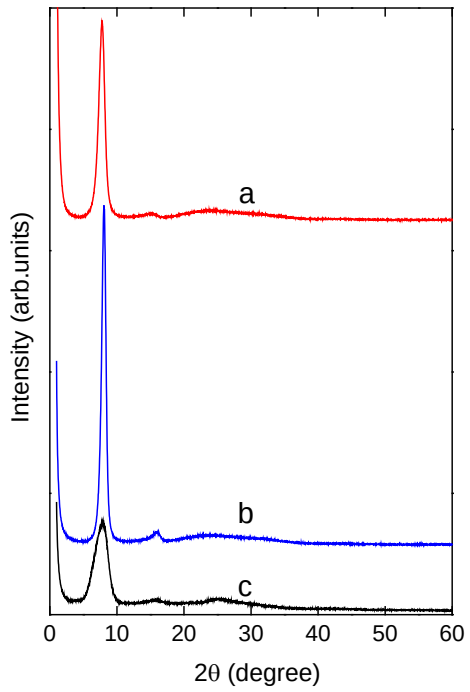


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of film 1 (a), film 2 (b), and film 3 (c).

5. 謝辞

本研究の一部は、平成 27 年度コニカミノルタ画像科学奨励賞の助成及び JSPS 科研費 JP17K06815 の助成を受けたものです。

参考文献

1) K. Ogura, R. Zhao, H. Yanai, K. Maeda, R. Tozawa, S. Matsumoto, M. Akazome: *Bull. Chem. Soc. Jpn*., **75**, 2359–2370 (2002).
2) R. Zhao, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10225–10231 (2002).
3) R. Zhao, S. Matsumoto, M. Akazome, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10233–10241 (2002).
4) K. Ogura, R. Zhao, M. Jiang, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Yamaguchi: *Tetrahedron Lett.*, **44**, 3595–3598 (2003) .
5) K. Ogura, R. Zhao, T. Mizuoka, M. Akazome, S. Matsumoto: *Org. Biomol. Chem.*, **1**, 3845–3850 (2003).
6) K. Ogura, K. Ooshima, M. Akazome, S. Matsumoto: *Tetrahedron*, **62**, 2484–2491 (2006).
7) A. Matsumoto, M. Kawaharazuka, Y. Takahashi, N. Yoshino, T. Kawai, Y. Kondo: Y. *J. Oleo Sci*., **59**, 151–156 (2010).
8) Y. Kondo, A. Matsumoto, K. Fukuyasu, K. Nakajima, Y. Takahashi: *Langmuir*, **30**, 4422−4426 (2014).
9) R. Tagawa, H. Masu, T. Itoh, K. Hoshino: *RSC Adv*., **4**, 24053–24058 (2014).
10) R. Tagawa, T. Itoh, H. Masu, K. Hoshino: 85th JSCM Anniversary Conference, Proceedings pp.29–32, October 24–25, 2013, Tokyo, Japan.
11) T. Mitogawa, M. Kobayashi, K. Hoshino: Joint Workshop on Chirarity in Chiba University and Soft Molecule Activation, March 17, 2016, Chiba University, Chiba, Japan.
12) K. Saito, K. Hoshino: 1st TDU-CU Joint Meeting on Imaging Science and Technology, Proceedings pp.41-42, February 26-29, 2016, Chulalongkon University, Bangkok, Thailand.
13) 星野 勝義: 色材協会誌, **88**, 101 - 105 (2015).
14) T. Tokuda, D. Takamura, K. Hoshino: 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Proceedings s07-029, October 4-9, 2015, Taipei, Taiwan
15) T. Tokuda and K. Hoshino, *Polym J*., **48**, 1141-1149 (2016).
16) 高村 檀, 徳田 琢也, 星野 勝義: 日本画像学会誌, **55**, 519-526 (2016).
17) T. Mitogawa, K. Hoshino:Imaging Conference JAPAN 2016 Fall Meeting, Proceedings pp. 65-68, November 17-18, 2016, Kyoto, Japan.

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 新規イメージング
[NI] 新規イメージング
Novel Imaging
2018年6月20日(水) 15:40 ～ 16:40 大ホール (けやき会館 一階)

[NI-03] 金属光沢を有する有機薄膜の色調と構造に及ぼす重合条件の影響
Effect of Polymerization Condition on the Color and Structure of Organic Metallic Lustrous Films

*久保 美菜子[1]、堀越 健太[1]、星野 勝義[1] （1. 千葉大学）
*Minako Kubo[1], Kenta Horikoshi[1], Katsuyoshi Hoshino[1] （1. Chiba University）

当研究室でこれまで行ってきた金属光沢を有する有機薄膜の研究について、薄膜作製用ポリマーの重合条件の検討を行った。３-メトキシチオフェンモノマーに過塩素酸鉄溶液を滴下する重合反応において、滴下速度によって薄膜の色調が異なることがわかった。正反射スペクトル測定によると、滴下時間が短いほど立ち上がりが長波長側にシフトし、反射率も高い。脱ドープした重合物のNMR分析により、滴下時間によってチオフェン環の結合状態が変化することも示唆された。本発表では、滴下条件と得られた重合物の量、また薄膜の色調および構造の変化について詳述する。

©一般社団法人 日本画像学会

金属光沢を有する有機薄膜の色調と構造に及ぼす重合条件の影響

久保　美菜子，堀越　健太，星野　勝義
千葉大学

Effect of Polymerization Condition on the Color and Structure of Organic Metallic Lustrous Films

Minako Kubo, Kenta Horikoshi, and Katsuyoshi Hoshino
Chiba University

Gold metallic luster is one of the most attractive colors in human arts and crafts. Our group has been studying non-metal gold-like lustrous films of 3-methoxythiophene oligomer. In this study, the effect of polymerization condition on the color and reflectance of 3-methoxythiophene oligomer film was investigated. Specifically, the oxidant acetonitrile solution of iron(III) perchlorate was added to monomer solution while varying the dropping time, *t* (*t* = few seconds, 5 min, 20 min, and 60 min). All the films have a good surface smoothness, however, a rough stain was observed in the film at *t* = 20 and 60 min. The reflectance spectrum and the color measurements revealed that the film prepared at *t* = few seconds was closest in appearance to metal gold.

１．緒言

金色は貴金属をイメージさせ、金箔などが装飾品のコーティング材料として古くから用いられている。現代においても、金属光沢を持つ金色塗料はパッケージ印刷や自動車などのインテリアの軽量プラスチック材料に高級感をもたらす塗料として使用され、擬似的に金属の外観を与えるところが他の色調とは異なる特長である。現在一般的な金属光沢塗料はアルミニウムなどの金属フレークを溶液中に分散させており、比重が重く分散安定性も低いために使用時に注意が必要であり、また塗料の効率的な使用が可能で近年普及が進む微細ノズルによるインクジェット印刷ではノズルに詰まりやすいことから適用が難しい。軽量化及びインクジェット印刷への適用を目指し有機化合物を用いた金属光沢色塗料の研究はなされているが[1-8]、これまでのところ実用化はされていない。本研究室では近年、3 - メトキシチオフェンを化学重合して得られたオリゴマーの溶液を塗布・乾燥すると金色の金属光沢を持つ薄膜が得られることが見出された[9-13]。これまで化学重合における酸化剤の量やチオフェン環のアルコキシ基の鎖長による色調の変化及び電解重合により得られた金属光沢をもつ電解重合膜の特性について報告[14-16]してきたが、酸化重合の酸化剤の滴下時間による影響については精査されていなかった。本研究では、酸化剤の滴下時間を変えることによって、得られたオリゴマーからなる薄膜の色調と反射率が異なることが見出されたので、その結果を構造解析を含めて報告する。

＊〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33
＊1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba, 263-8522, Japan
e-mail: k_hoshino@faculty.chiba-u.jp

２．実験方法

重合反応としては、3 - メトキシチオフェン（0.114 g, 1 mM）をアセトニトリル（10 ml）に溶解し、30 分間の窒素バブリングにより不活性雰囲気下にしたところに、過塩素酸第二鉄（1.01 g, 2 mM）をアセトニトリル（10 ml）に溶解した溶液を、(a) 瞬時（数秒)、(b) 5 分、(c)20 分、及び (d) 60 分の各時間をかけて滴下し、滴下終了後 1 時間攪拌した。

作製した塗布膜の評価は、デジタルマイクロスコープ（KEYENCE、VHX-5000）による外観画像撮影、蒸着アルミニウム基板をベースとした正反射スペクトル測定（日本分光、MSV-370)、レーザー顕微鏡（KEYENCE、VK-9700）による表面性状（粗さ）測定、分光測色計（コニカミノルタ、CM-600d）を用いた金蒸着膜との色差測定によって行った。

また、塗布膜内のオリゴマー分子の配向は、薄膜 X 線回折測定（XRD）により検討した。オリゴマー分子の結合状態については、GPC（JASCO, LC-NET2/ADC 、HITACHI, UV-vis Detector, Model: L-4200、Shodex KF-806M×2 本）及び重ジメチルスルホキシド中での H^1-NMR（JEOL, ECA500）測定によっても解析した。

３．結果および考察

３．１　外観

得られた金属光沢をもつ 4 種類の 3 - メトキシチオフェンオリゴマー塗布膜の観察像を Fig. 1 に示す。画像 (a)、(b)、(c) および (d) はそれぞれ、酸化剤の滴下時間が数秒、5 分、20 分、60 分の反応によって得られたオリゴマーから形成された塗布膜の写真である。

© 一般社団法人 日本画像学会

滴下時間により、表面形状や色調に違いがあることがわかる。数秒で滴下したときの薄膜がもっとも平滑で色調も金色に近い。5 分滴下ではややくすみが生じ、20 分と 60 分の滴下ではステインが見られた。

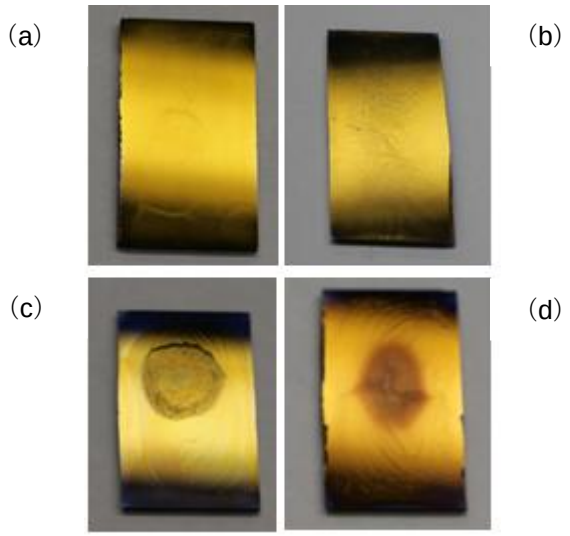


Fig. 1 The photographs of gold-like lustrous films of 3-methoxythiophene oligomers which were polymerized by dropping the oxidant solution for few seconds (a), 5 min (b), 20 min (c), and 60 min (d).

3.2　正反射スペクトル

次に、得られた塗布膜の正反射スペクトル測定を行った。Fig. 2 に、滴下時間が数秒 (a)、5 分 (b)、20 分 (c)及び 60 分 (d)の条件下で重合されたオリゴマーの塗布膜の正反射スペクトルを示す。

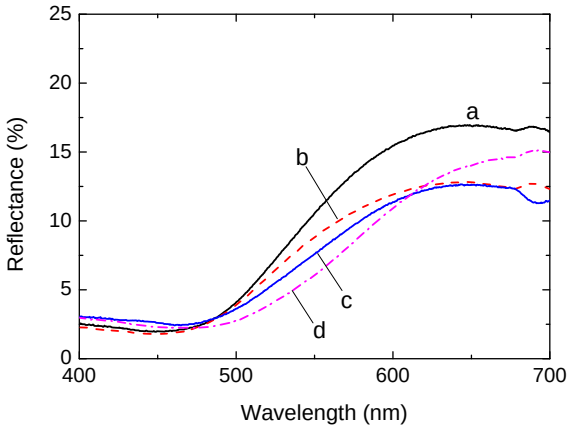


Fig. 2 Specular reflection spectra of lustrous films of 3-methoxythiophene oligomers which were polymerized by dropping the oxidant solution for few seconds (a), 5 min (b), 20 min (c), and 60 min.(d).

4．まとめ

3 - メトキシチオフェンの重合条件において、酸化剤の滴下時間を変化させることで塗布膜の色調および正反射スペクトルが変化した。滴下時間が短いほど色調は金属金に近くなることがわかった。

参考文献

1) K. Ogura, R. Zhao, H. Yanai, K. Maeda, R. Tozawa, S. Matsumoto, M. Akazome: *Bull. Chem. Soc. Jpn*., **75**, 2359–2370 (2002).
2) R. Zhao, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10225–10231 (2002).
3) R. Zhao, S. Matsumoto, M. Akazome, K. Ogura: *Tetrahedron*, **58**, 10233–10241 (2002).
4) K. Ogura, R. Zhao, M. Jiang, M. Akazome, S. Matsumoto, K. Yamaguchi: *Tetrahedron Lett.*, **44**, 3595–3598 (2003) .
5) K. Ogura, R. Zhao, T. Mizuoka, M. Akazome, S. Matsumoto: *Org. Biomol. Chem*., **1**, 3845–3850 (2003).
6) K. Ogura, K. Ooshima, M. Akazome, S. Matsumoto: *Tetrahedron*, **62**, 2484–2491 (2006).
7) A. Matsumoto, M. Kawaharazuka, Y. Takahashi, N. Yoshino, T. Kawai, Y. Kondo: Y. *J. Oleo Sci*., **59**, 151–156 (2010).
8) Y. Kondo, A. Matsumoto, K. Fukuyasu, K. Nakajima, Y. Takahashi: *Langmuir*, **30**, 4422−4426 (2014).
9) R. Tagawa, H. Masu, T. Itoh, K. Hoshino: *RSC Adv*., **4**, 24053–24058 (2014).
10) R. Tagawa, T. Itoh, H. Masu, K. Hoshino: 85th JSCM Anniversary Conference, Proceedings pp.29–32, October 24–25, 2013, Tokyo, Japan.
11) T. Mitogawa, M. Kobayashi, K. Hoshino: Joint Workshop on Chirarity in Chiba University and Soft Molecule Activation, March 17, 2016, Chiba University, Chiba, Japan.
12) K. Saito, K. Hoshino: 1st TDU-CU Joint Meeting on Imaging Science and Technology, Proceedings pp.41-42, February 26-29, 2016, Chulalongkon University, Bangkok, Thailand.
13) 星野 勝義: 色材協会誌, **88**, 101 - 105 (2015).
14) T. Tokuda, D. Takamura, K. Hoshino: 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Proceedings s07-029, October 4-9, 2015, Taipei, Taiwan
15) T. Tokuda and K. Hoshino, *Polym J*., **48**, 1141-1149 (2016).
16) 高村 檀, 徳田 琢也, 星野 勝義: 日本画像学会誌, **55**, 519-526 (2016).
17) Y. Takashina and K. Hoshino, *Langmuir*, **34**, 3049-3057 (2018).
18) D. Takamura and K. Hoshino, *Chem. Lett.*, **47**, 540-543 (2018).

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Image Quality and Vision

[QV] Image Quality and Vision

Session Chair:Yoshihiro Hattori(Konica Minolta, Inc.), Yumiko Kishi(Ricoh Company, Ltd.)

Wed. Jun 20, 2018 9:30 AM - 10:10 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[QV-01] Consideration on a Correlation Model between Visibility of Local Density Unevenness and Input Image Characteristics

*Natsuko Minegishi[1], Keiji Uchikawa[2] （1. KONICA MINOLTA, INC., 2. Kanagawa Institute of Technology）

9:30 AM - 9:50 AM

[QV-02] Influence of Beam Spot Property on Graininess of Electrophotographic Image

*Naoki Sakai[1], Takuroh Sone[1], Yumiko Kishi[1], Naoto Watanabe[1], Masahiro Soeda[1], Kohji Sakai[1], Hiroyuki Suhara[1], Makoto Hino[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

9:50 AM - 10:10 AM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 画質・視覚

[QV] 画質・視覚
Image Quality and Vision

2018年6月20日(水) 09:30 ～ 10:10 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[QV-01] 局所的濃度ムラの視認性と原稿画像特徴量の相関モデルに関する考察
Consideration on a Correlation Model between Visibility of Local Density Unevenness and Input Image Characteristics

*峯岸 なつ子[1]、内川 恵二[2] （1. コニカミノルタ株式会社、2. 神奈川工科大学）
*Natsuko Minegishi[1], Keiji Uchikawa[2] （1. KONICA MINOLTA, INC., 2. Kanagawa Institute of Technology）

印刷画像に発生する濃度ムラの目立ち易さは、原稿画像の内容によって異なることが知られている。本研究では、局所的な濃度ムラの視認性と相関のある特徴量を、濃度ムラ自体の特徴量と、原稿画像の明度分布から得る手段を検討した。結果、濃度ムラを成す明度分布の短手方向のエッジ間距離が視角2度未満である場合に限り、ムラ視認性と画像特徴量の関係を示す相関モデルを提案できた。原稿画像の特徴量を抽出する際には離散フーリエ変換を用いている。しかし相関モデルの精度向上や、モデルの適用範囲を前記エッジ間距離が視角2度を超える場合へ拡張するためには、離散フーリエ変換とは異なる代替手段を検討すべきであることが示唆された。

©一般社団法人 日本画像学会

局所的濃度ムラの視認性と原稿画像特徴量の相関モデルに関する考察

峯岸　なつ子*，内川　惠二**

*コニカミノルタ株式会社　技術開発部
**神奈川工科大学　ヒューマンメディア研究センター

Consideration on a Correlation Model between Visibility of Local Density Unevenness and Input Image Characteristics

Natsuko Minegishi* and Keiji Uchikawa**

*EP Process R&D Division 1, EP Image Engineering Development Center, R&D Headquarters Business Technologies, Konica Minolta, Inc.

**Human Media Research Center, Kanagawa Institute of Technology

It is known that visibility of density unevenness on printed images is varied depending on contents of original images. In this study, methods to extract characteristics, which was correlated with visibility of local density unevenness, have been suggested. The characteristics were obtained on each unevenness itself and luminance distribution on each original image. As a result, a correlation model between visibility of density unevenness and image characteristics has been suggested, when the target was the unevenness with narrower width below 2 degrees of visual angle. Although discrete Fourier transform (DFT) has been used to extract the characteristics, some alternatives different from DFT can improve accuracy of the model or expand the model for the unevenness with narrower width over 2 degrees of visual angle.

１．はじめに

ある明度コントラストの濃度ムラが発生する印刷機で出力する時，その目立ち易さは原稿画像の内容に依存していることが経験的に知られている．本研究では，電子写真で特に問題になり易い局所的に発生するもので且つ，直線状あるいは直径 2，3㎜ 程度の円形の濃度ムラを対象にした．特に直線状の濃度ムラに着目し，原稿画像の特徴量及び濃度ムラ自体の特徴量から，濃度ムラの視認性を予測する相関モデルの提案を目的とした．更に，ここで提案するモデルを，幅が異なる直線状濃度ムラや先述の円形濃度ムラに対しても適用できるように検討した．

２．仮説

観察者が濃度ムラの程度を評価する時，少なくとも一度は高解像度で詳細に観察すると予想される．人の視野のうち詳細に観察できるのは中心窩サイズに相当する視角 2 度の範囲であるから，濃度ムラ評価時の注目領域の基本サイズは視角 2 度の範囲であるべきと考えた．この範囲を超えるような幅の広い濃度ムラに対しては，観察者は無意識のうちに濃度ムラを成す明度分布の境界（エッジ）部分を視角 2 度毎に区切って詳細観察していると予想した．したがって，濃度ムラの形状によらず，濃度ムラのエッジ位置付近を中心とする視角 2 度の範囲が，ムラの目立ち易さを評価する際の注目領域として適切だと考えた．そしてこの注目領域における原稿画像の明度分布の空間周波数成分と，濃度ムラの視認性とに相関があると仮定した．

直線状濃度ムラの明度変化のエッジは基本的に，向かい合う 2 本が 1 対になって現れる．ここで，濃度ムラが直線状の場合は向かい合うエッジ間の距離を w，円形の場合はエッジが成す円の直径を w とする．w を視角で表した時に $w \geqq 2$ 度であれば，各濃度ムラの視認性と相関がある空間周波数成分を得るための解析対象，すなわち注目領域は，その中心が当該濃度ムラのエッジ位置にあるべきと考えた．$w < 2$ 度であれば，当該濃度ムラの両側のエッジが 2 本同時に観察されるため，解析対象となる注目領域は濃度ムラの中心位置に配置されるのが妥当と考えた．

次に，視角 2 度に相当する長さを λ とし，λ 四方の正方形を注目領域として，その中心が濃度ムラのエッジあるいは中心に相当する位置にあるように配置した場合を考える．全面一様な階調に設定した上で濃度ムラが発生している画像では，前記注目領域に 1 つの濃度ムラの片側または両端のエッジがある場合の両方において，濃度ムラを成す明度分布に特

＊〒192-8505 東京都八王子市石川町 2970
＊EP Process R&D Division 1, EP Image Engineering Development Center, R&D Headquarters Business Technologies, Konica Minolta, Inc. No. 2970, Ishikawa-machi, Hachioji-shi, Tokyo, 192-8505, Japan
e-mail: N.Minegishi@konicaminolta.com
＊＊〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030
＊＊Human Media Research Center, Kanagawa Institute of Technology 1030, Shimo-Ogino, Atsugi, Kanagawa, 243-0292, Japan

© 一般社団法人 日本画像学会

有の空間周波数パワースペクトルは 1/λ で最大パワーを示すと予想される．一方過去の研究では，濃度ムラと類似する空間周波数成分が原稿画像に含まれている程，そのムラが目立たなくなる傾向が確認されている[1)]．

以上を考慮して，濃度ムラの視認性と相関のある空間周波数成分の抽出条件は次のようにすれば良いと仮定した．

濃度ムラが無い原稿画像データ上において，DFT の対象にする注目領域の中心を，印刷後に濃度ムラが出現する位置を基準に配置する．特に，濃度ムラを成す明度分布のエッジ間距離（w）が $w \geqq 2$ 度の時は，注目領域を濃度ムラのエッジ位置に配置し，$w < 2$ 度の時は濃度ムラのピーク位置に配置する．注目領域サイズをλ(視角 2 度）四方の正方形として，この注目画像領域で DFT によりパワースペクトルを得る．そのうち，濃度ムラによる明度変化のエッジに垂直な一方向のみの空間周波数を表すパワースペクトルを抽出する．抽出したスペクトルにおいて，周波数 1/λ 付近でパワーを積分したものを，本研究で定義する原稿画像の特徴量とする．

この特徴量が，濃度ムラの視認性に影響を及ぼすと考えた．円形濃度ムラの場合は全方向の周波数成分が視認性に影響を及ぼす可能性が高いが，ムラの形状によらず同一の条件で視認性に影響を及ぼす因子を抽出可能か検証するために，円形であっても一方向のパワースペクトルから特徴量を算出することにした．

３．実験方法

フルカラーの自然画像データ上に意図的に濃度ムラを描いて印刷した画像を呈示し，被験者に濃度ムラの視認性を評価してもらう心理物理実験を行った．その後，原稿画像特徴量や，濃度ムラを成す明度分布の特徴量と，視認性評価結果との相関モデルを仮定した．最後に，仮定したモデルの確からしさを，モデルの仮定に使わなかったデータを用いて検証した．モデル仮定に用いるデータの採取実験を実験１，検証データの採取実験を実験２として説明する．

３．１　実験１：モデル仮定用実験

３．１．１　実験装置

ライトブース内（アイカラービューワ：アイグラフィックス社製，平均相対色温度 4930K）でテスト画像を呈示した．テスト画像サイズは 300×300mm^2 で，周辺が L^* = 50（CIE1976）の一様なグレーの枠で囲まれた印刷物であり，枠を含めた全体サイズは 425×410mm^2 であった．印刷にはインクジェットプリンターPX-H10000(セイコーエプソン社製)を用いた．被験者の疲労軽減のため，テスト画像はブース内で 85 度の角度で立てて呈示し，座った状態で観察できるようにした．被験者はテスト画像からの距離が 850mm の位置に設置された紐を顎台として頭部を略固定された．また，光沢が視野に入らない位置から観察した．

３．１．２　呈示刺激

任意に撮影した自然画像から，Oliva らが提案した Openness という指標[2)]に対して偏りが生じないように抽出したものをテスト画像に適用した．モチーフは風景，建造物，動植物，人物，飲食物，その他の物品であり，人物の顔や文字は極力避けた．

このように選んだ自然画像データに，濃度ムラを想定した明度変化を意図的に加えた．濃度ムラは水平方向に伸びる直線状で且つ，色度が変化せず明度のみが変化するものに限定した．また，一つのテスト画像に 1 か所（１本）のみ含まれるようにした．最終的に，濃度ムラの特徴 54 種に対し自然画像を 5 水準ずつ設定し，合計 270 種のテスト画像を用いた．

濃度ムラの特徴量を表すパラメータを Fig.1 のように決めた．濃度ムラとして明度が変化する全域の幅を D，明度変化が最大になる範囲(ピーク領域)の幅を d として，d 及び D をそれぞれ 3 水準設定した．d/D が 1 に近い程，濃度ムラの明度分布のエッジが明瞭であることを示す．d/D が 1 未満の時は，ピーク領域の端部から濃度ムラ全域の端部まで正規分布に従って画像の階調変化率が変わるようにした．原画像より明度が明るくなる白ムラと，暗くなる黒ムラを作図した．この時，L^* = 50 の一様濃度画像上に濃度ムラを描いた結果，印刷画像上で生じる明度コントラストが，白ムラと黒ムラとでそれぞれ 3 水準になるように設定した．印刷画像上の明度測定手段は，印刷画像全域をスキャナ ES-10000G（セイコーエプソン社製）でスキャンし，AdobeRGB 色空間で保存した階調値から明度に換算する方法にした．濃度ムラのピーク領域と周辺領域を後述する内容で定義し，それぞれにおける平均明度を L^*_1, L^*_2 として，$\Delta L^* = |L^*_1 - L^*_2|$ を用いて，$\Delta L^*/L^*_2$ を明度コントラストと定義した．本稿ではこれを $\Delta L^*/L^*$ と表記する．明度測定の際に適用したピーク領域と周辺領域の定義についてはまず，画像の鉛直方向におけるそれぞれの範囲を Fig.1 に示す通りした．画像の水平方向におけるピーク領域と周辺領域の範囲は共通にしたが，一様濃度画像上に濃度ムラを描いた画像の場合と，テスト画像（自然画像上に濃度ムラを作図したもの）の場合で異なる条件にした．前者は任意の位置で視角 2 度相当の幅（236pixel）の範囲とし，後者は実験結果として半数以上の被験者が「特に目立つ」と回答した範囲にした．

L^* = 50 の一様濃度画像上に濃度ムラを作図した時，印刷後の明度変化量が最大変化量の 1/2 になる位置を，その濃度ムラのエッジと定義し，向かい合

© 一般社団法人 日本画像学会

うエッジ間の距離を w とした（Fig.1）．w は視角で表すことにした．

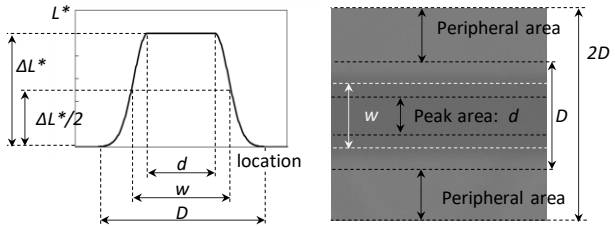


Fig.1 The definition for physical values of density unevenness images.

Table 1 The conditions of the density unevenness

Levels	Small		Middle		Large	
Polarity	Dark	Light	Dark	Light	Dark	Light
$\Delta L^*/L^*$	0.001~0.067		0.074~0.145		0.146~1.055	
d (mm)	0.24~0.98		D/2		D	
D (mm)	5.72		63.15		124.71	
d/D	0.0019~0.17		1/2		1	
w (°)	0.2~0.4		2.2~4.3		4.6~8.3	

３．１．３　実験手続き

被験者は視力または矯正視力正常の 12 名であった．呈示されるテスト画像は全て異なるもので，被験者が 2 度と同じ画像を見ないようにした．被験者は練習をした上で本実験を行った．テスト画像の呈示順序はランダムにした．

実験開始時には呈示画像が一様なグレーのカバーで覆われた状態であり，実験者の合図と共にカバーが外された．外されると同時に被験者は濃度ムラ部分がどこにあるか探索した．実験者は濃度ムラ部分が発見されるまでにかかる反応時間（Reaction Time: *RT*）を計測した．被験者が濃度ムラと認識した部分が作図された濃度ムラと異なる場合や，*RT* が 10 秒を超える場合は，その *RT* 計測値を無効にした．

RT 計測に続いて，実験者は被験者にどの部分が作図した濃度ムラであるか教示した．被験者はその濃度ムラの物理的な見え易さを表す度合いを“目立ちランク”として評価した．続いて被験者はその濃度ムラが気になる度合いを“印象ランク”として評価した．具体的には，印象ランク評価を「自分が購入した写真集を見ていると思って評価する」ことにした．目立ちランクと印象ランクは共に 4 段階に設定し，0.1 刻みで評価して良いとした（Table.2）．一度ランク 4（最も目立つ/気になる）を付けた後にそれを超える程度のテスト画像があった場合は，隣り合うランク間の程度差が均一になるよう被験者自身が心掛けた上で，4 を超えるランクを付けても良いとした．被験者が評価するランクには個人差が生じるが，被験者の回答はその人の感覚を表す純粋な測定値であると考え，正規化等の処理は行わなかった．

被験者は最後に，作図された濃度ムラのうちどの部分が「特に目立つ」かを，縮小印刷されたテスト画像上で図示した．結果として半数以上の被験者が「特に目立つ」と判断した領域を解析対象とした．また，その領域の水平方向幅を N とした．「特に目立つ」とされる領域は，濃度ムラの上下のエッジ位置に分割されることがある上に，水平方向の幅は上下の各エッジ上で異なる場合がある．そこで，N は「特に目立つ」領域に含まれる上下のエッジ長さを別々に計測して合計した値とした．

Table 2 The criteria for each rank.

Rank	Criteria for Visibility	Criteria for Impression
4	非常に目立つ	非常に気になる
3	目立つ	気になる
2	やや目立つ	やや気になる
1	見えるが目立たない	見えるが気にならない
0	濃度ムラとして認識できない	

３．２　実験２：検証用実験

実験 2 は過去に実施された実験であり [1]，多くの条件は実験 1 と同一であった．実験 1 との相違点はまず，被験者が実験 1 とは異なる 7 名であった点である．次に，ランク評価で目立ちランクと印象ランクを区別せず，「目立つ」を「気になる」と置き換えても良いとした．また，作図する濃度ムラの形状は水平方向に伸びる直線状ムラと円形ムラの 2 種類で，それぞれ白ムラと黒ムラを用意した．いずれも，ムラ画像の作図によって生じる階調変化率が正規分布に従うものとした．円形濃度ムラの w はエッジが成す円の直径とした．実験 2 の濃度ムラの w は視角 0.9～1.4 度であり，全て 2 度未満であった．

４．解析方法とモデルの仮定

原稿画像の特徴量を，視角 2 度四方の正方形毎に算出した．実験 1 の w＜2 度のテスト画像に用いた，濃度ムラ作図前の原稿画像データ上において，濃度ムラが「特に目立つ」と判断された範囲内に収まる数だけ，前記正方形を並べて配置した．この時，各正方形の中心がムラのピーク位置と一致するようにした．配置された正方形範囲をそれぞれ注目領域として切り取り，個々に明度分布に変換した上で 2 次元 DFT を行って，画像の鉛直方向，すなわち今回用いた直線状濃度ムラに垂直な方向の空間周波数パワースペクトルのみ抽出した．ここで，視角 2 度に相当する長さを λ とし，得られたパワースペクトルを $4/\lambda$ 以上 $19/\lambda$ 未満の周波数帯（2.0～9.4 [cycle/degree]）で積分し，この積分値を *PF* とした．一つの原稿画像において複数の注目領域がある場合は，それぞれにおいて同じ手法で得た積分値を平均したものを *PF* とした．ここで積分範囲にした周波数帯は，本稿で述べた仮説に反しない条件下にあることを前提とした上で，実験 1 の w＜2 度の濃度ムラが

© 一般社団法人 日本画像学会

用いられた時の印象ランクに対して，*PF*がより強い相関を示すように合わせた結果，選択されたものである．

濃度ムラ自体を表す特徴量である，エッジの明瞭さ（*d/D*），向かい合うエッジ間の距離（*w*），半数以上の被験者が「特に目立つ」と回答した範囲の長さ（N）と，原稿画像特徴量 *PF* を用いて，次の相関モデルを仮定した．

$$\text{濃度ムラ視認性} = a \times \ln\{N \cdot (d/D)/(PF \cdot w)\} + b \quad \cdots(\text{eq. 1})$$

a，b は定数である．濃度ムラ視認性は，*RT*，目立ちランク，印象ランクの何れかを指すものとする．

実験１のうち *w*≧2 度の濃度ムラに対応する原稿画像については，*PF* を得るための注目領域をその中心がムラのエッジ位置と一致するように配置して，先述の方法で *PF* を算出した．実験２で円形濃度ムラが描かれた原稿画像に対しては，視角 2 度四方の 1 つの正方形を注目領域とし，その中心とムラの中心位置が一致するように配置して *PF* を算出した．

４．結果と考察

仮定した相関モデルに用いた各パラメータ，及び eq. 1 の右辺を計算した値を A とし，A と濃度ムラ視認性を表す各評価値との相関係数を Table 3 に示す．この時，濃度ムラ視認性の各評価値には全被験者の平均値を適用した．Table 3 の $\Delta L^*/L^*$ は濃度ムラの明度コントラストである．

Table 3 The correlation factors (R) between values representing visibility of density unevenness and image characteristics.

(a) experiment 1: Light and dark unevenness were included when R was calculated.

		RT	Visibility rank	Impression rank
$w < 2^\circ$	$\Delta L^*/L^*$	-0.03	0.10	0.10
	d/D	-0.35	0.42	0.42
	w	0.28	0.30	0.30
	N	-0.50	0.59	0.59
	PF	0.43	0.45	0.48
	A	0.52	0.61	0.55
$w \geq 2^\circ$	*PF*	0.09	0.20	0.19

(b) experiment 2

	RT				Impression rank			
	Circular		Belt-like		Circular		Belt-like	
	Dark	Light	Dark	Light	Dark	Light	Dark	Light
PF	0.26	0.41	0.21	0.30	0.38	0.49	0.42	0.53
A	0.26	0.41	0.21	0.32	0.51	0.52	0.44	0.59

実験１で濃度ムラのエッジ間距離が *w*＜2 度である場合は，印象ランクと *PF* の相関がより強くなるように *PF* 計算条件を設定したが，*PF* や A と濃度ムラ視認性評価値との相関強さは中程度以下に留まった．一方，濃度ムラの視認性と相関があることが自明である明度コントラスト $\Delta L^*/L^*$ と視認性との相関が無かった．今回扱った他の因子と視認性との相関は何れも *PF* と同等かやや強い程度だった．以上を考慮すると，原稿画像特徴量が視認性に強く影響を及ぼしている可能性は否定できない．また，*PF* が原稿画像の特徴量を適切に捉えていなかった可能性がある．

実験１の *w*≧2 度の濃度ムラに対しては，*w*＜2 度の場合と同様に算出した *PF* では，ムラ視認性に対する相関関係を認められなかった．よって eq. 1 のモデルは *w*≧2 度の濃度ムラには不適切だと判断された．

全ての濃度ムラが *w*＜2 度であった実験２のデータは，*PF* 算出条件に利用していないため，*PF* 算出条件と eq. 1 の検証用のデータとして扱った．実験２から得た *PF* 及び A は，*RT* と弱い相関があり，印象ランクと中程度の相関があった．すなわち，*w*＜2 度であれば，原稿画像特徴量 *PF* の算出方法と eq. 1 のモデルは妥当であり，濃度ムラ視認性と原稿画像特徴量（*PF*），及び濃度ムラ自体の特徴量（*d/D*，*w*，N）とには弱い～中程度の相関があると実証できた．

５．今後の課題

実験１の *w*＜2 度の結果から，原稿画像特徴量として定義した *PF* が，意図する特徴量を適切に捉えていない可能性が示唆された．*PF* は矩形窓を適用した状態の 2 次元 DFT から得た値であり，窓関数を工夫する余地がある．しかし，今回対象としたような，周期性を持たない局所的な濃度ムラを表す明度分布に関しては，どの窓関数を用いてもその影響は完全には排除できないため [3]，DFT 以外の手法で *PF* に代わる特徴量を抽出する方法を探索する価値がある．

また，*PF* は明度分布のパワースペクトルを 2.0～9.4 [cycle/degree]の周波数帯で積分したものであり，この周波数帯は人の視覚のコントラスト感度が高い領域とよく似ている [4]．この現象の解明も，相関モデルの精度向上に繋がると期待される．

参考文献

1) N. Minegishi and K. Uchikawa, “Correlations between Visibility of Printed Density Unevenness and Characteristics in Input Images”, Journal of the Imaging Society of Japan, 56, pp. 24-34 (2017) [in Japanese].
2) A. Oliva and A. Torralba, “Modeling the Shape of the Scene: A Holistic Representation of the Spatial Envelope”, International Journal of Computer Vision 42, pp. 145-175 (2001).
3) S. Gade and H. Herlufsen, “Technical Review”, Brüel & Kjær, No. 3, pp. 1-38 (1987).
4) K. Hirai and Y. Miyake, “Image Quality Evaluation of Flat Panel Display Based on Spatio-temporal Characteristics of Human Visual System”, The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, 62, pp. 322-328 (2008) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 画質・視覚

[QV] 画質・視覚
Image Quality and Vision

2018年6月20日(水) 09:30 ～ 10:10 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[QV-02] ビームスポット形状が粒状性に与える影響
Influence of Beam Spot Property on Graininess of Electrophotographic Image

*坂井 直樹[1]、曽根 拓郎[1]、岸 由美子[1]、渡辺 直人[1]、添田 真弘[1]、酒井 浩司[1]、須原 浩之[1]、日野 真[1] （1. 株式会社リコー）

*Naoki Sakai[1], Takuroh Sone[1], Yumiko Kishi[1], Naoto Watanabe[1], Masahiro Soeda[1], Kohji Sakai[1], Hiroyuki Suhara[1], Makoto Hino[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

粒状性は、印刷物の画質における重要な項目のひとつであり、特に電子写真ではオフセットライクな画像を得るために重要視されている。電子写真の粒状性を悪化させる要因には、画像を形成するドットの大きさ・形状のばらつきといったドット品質が挙げられる。ドットを形成する最初の工程は露光であるが、露光に用いるレーザービームの特性によって、最終的に出力される印刷物の粒状性が影響を受ける。本発表では、粒状性を向上させるための最適な露光条件を探るため、ビームスポット形状を変化させ、印刷物の粒状性に与える影響を評価した。

©一般社団法人 日本画像学会

ビームスポット形状が粒状性に与える影響

坂井　直樹，曽根　拓郎，岸　由美子，渡辺　直人，
添田　真弘，酒井　浩司，須原　浩之，日野　真

株式会社リコー　研究開発本部　ＡＰＴ研究所

Influence of Beam Spot Property on Graininess of Electrophotographic Image

Naoki Sakai, Takuroh Sone, Yumiko Kishi, Naoto Watanabe,
Masahiro Soeda, Kohji Sakai, Hiroyuki Suhara, Makoto Hino
Institute of Advanced Printing Technology, Research and Development Division, Ricoh Company, Ltd.

We study a relationship between graininess of electrophotographic image and beam spot properties. We evaluate graininess of the images printed in several exposure conditions. Decrement of beam spot size improves the graininess. However, over small beam spot suppresses the effect of improving graininess. To analyze these results, we calculate electric potential distributions of latent images. The sharpness of latent image is an important factor which characterizes the graininess of image.

１．はじめに

粒状性は，印刷物の画質における重要な項目のひとつであり，特に電子写真ではオフセットライクな画像を得るために粒状性を向上させることが重要視されている．電子写真の粒状性を悪化させる要因には，画像を形成するドットの位置，形状のばらつきといったドット品質が挙げられる[1)，2)]．

画像生成工程において，印刷物のドットを形成する最初の工程である露光は，印刷物の画質に大きな影響を与える．露光によって形成された潜像がドット品質に影響を与えることが確認されている[3)]．また，レーザービーム径と粒状性について，シミュレーション上では相関があることが確認されている[4)]が，このような傾向を実験上で確認したという報告は為されていない．本報告では，レーザービームの特性を変化させて画像を出力し，粒状性に与える影響について評価した結果を述べる．

２．評価方法

２．１　粒状性評価法

本検討では，粒状性を以下の式（１）を用いて評価した[1)]．これは，Dooley らの粒状性評価式[5)]を，カラー画像にも適用できるよう，改良したものである．

$$\text{(粒状性)} = f(\bar{L}^*)\cdot p_B \int \sqrt{WS_B(u)}\cdot VTF_B(u)du + p_{C1}\int \sqrt{WS_{C1}(u)}\cdot VTF_{C1}(u)du + p_{C2}\int \sqrt{WS_{C2}(u)}\cdot VTF_{C2}(u)du + C \quad \cdots（１）$$

式（１）中の$f(\bar{L}^*)$は評価対象の平均明度$\bar{L}^*$を用いた関数，$WS_B(u)$，$WS_{C1}(u)$，$WS_{C2}(u)$は評価対象の明度，色度成分のウィナースペクトル，$VTF_B(u)$，$VTF_{C1}(u)$，$VTF_{C2}(u)$は明度・色度成分に対する視覚の空間周波数特性を示している．p_B，p_{C1}，p_{C2}はパラメータ，Cは定数である．

２．２　実験条件

本検討では，露光条件の調整が可能な作像装置を用いて画像を出力し，粒状性を評価した．露光条件を調整することで，5 条件のレーザービーム強度分布を設定した．Fig. 1 は，各条件におけるレーザービーム強度のプロファイルを示している．Fig. 2 は，各露光条件におけるビーム断面の形状を示している．ビーム断面は，ビーム強度が最大値の$1/e^2$となる断面と定義した．Fig. 3 は，ビーム断面の面積を示している．条件 A，B，C，D の順で，ビーム強度のプロファイルの裾野が広くなり，ビーム面積が拡大している．条件 E のビーム面積（3085 μm^2）は，条件 B（2680 μm^2）と同等であるが，主に主走査方向にサイドローブが発生し，ビーム断面形状も大きく変形している．

Table 1 は，粒状性を評価するために作成した画像データの仕様を示している．本検討では，粒状性の明度に対する依存性を確認するために，面積率の異なる 11 種類のパッチを作成した．なお，本検討では評価対象は黒色の単色画像としたが，将来的にカラー画像に対する評価の実施を見込み，粒状性の評価式は，カラー画像にも対応した式（１）を使用した．

〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1
2-7-1, Izumi, Ebina, Kanagawa, 243-0460, Japan
e-mail:　naoki.sakai@jp.ricoh.com

© 一般社団法人 日本画像学会

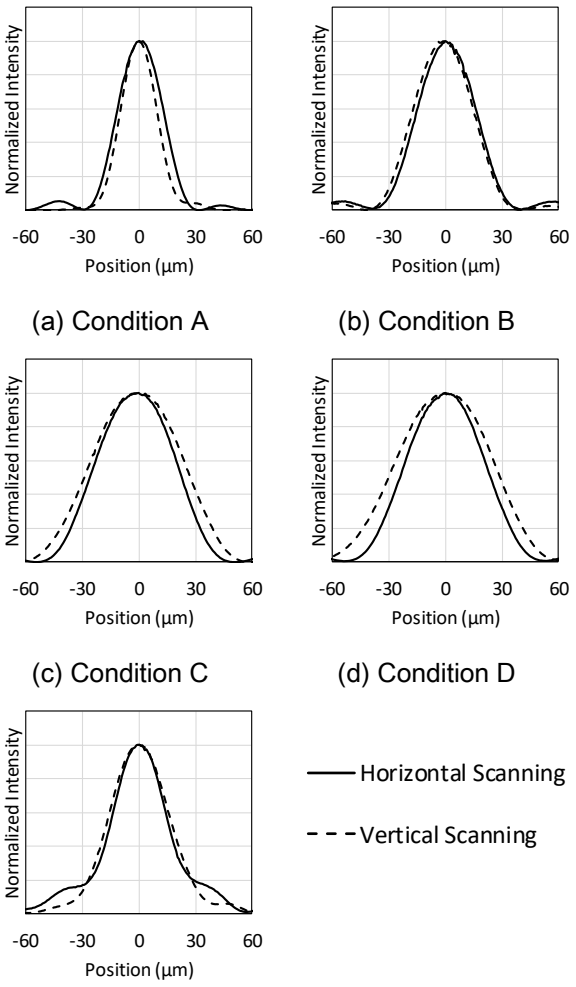


Fig. 1 Beam profiles of each exposure condition

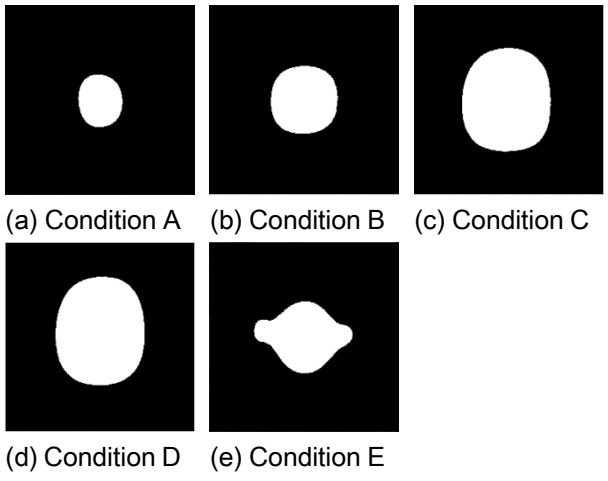


Fig. 2 Beam spot shapes

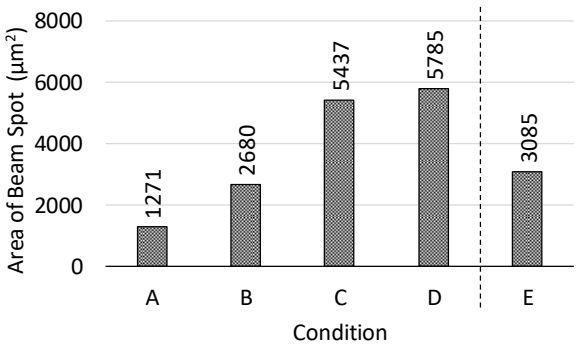


Fig. 3 Area of beam spot

Table 1 Configuration of test chart

Resolution (dpi)	1200
Halftoning	Dot Screen
Area Ratio of Binary Image(%)	3 – 100 (11 Steps)
Color	Single Color of K

出力された画像を CCD カメラで撮影し，評価対象の RGB 分布を取得した．これを $L^*a^*b^*$均等色空間に変換し，前記の評価式（１）を用いて粒状性を評価した．

３．評価結果

３．１　ビーム面積と粒状性

ビーム面積を変化させた場合（条件 A-D）の粒状性の評価結果を Fig. 4 に示す．Fig. 4 の横軸は明度，縦軸は評価式（１）で算出した評価値を示しており，評価値は数字が小さいほど粒状性が良いことを表す．

条件 B，C，D の評価結果を比較すると，明度 50～80 の中明度でビーム面積の縮小に伴って粒状性が改善している傾向が確認できる．また，条件 A（ビーム面積：1271 μm^2）と条件 B（ビーム面積：2680 μm^2）は，評価値に大きな違いが認められず，ある程度ビーム面積が小さくなると粒状性が改善しなくなる傾向が見られた．

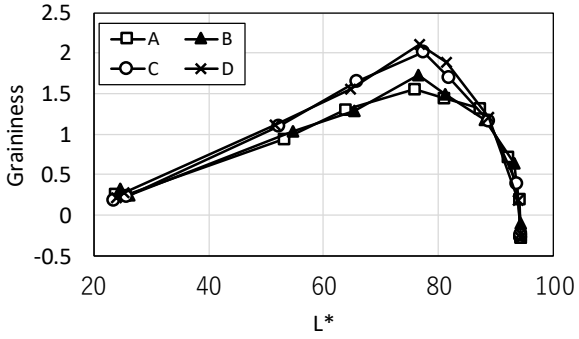


Fig. 4 Graininess of exposure condition A-D

© 一般社団法人 日本画像学会

３．２　ビーム断面形状と粒状性

ビーム断面形状を変化させた場合（条件 B, E）の粒状性の評価結果を Fig. 5 に示す．条件 B と E は，ビーム面積は同程度であるが，条件 E はビーム形状が大きく歪んでいる．両者の粒状性を比較すると，すべての明度の範囲で評価値はおおむね一致しており，ビーム断面形状が粒状性に与える影響は認められなかった．

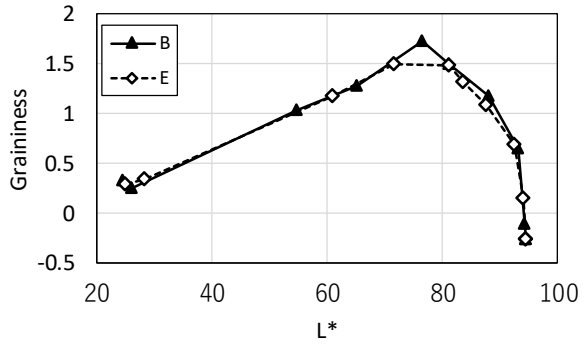


Fig. 5 Graininess of exposure condition B and E

４．考察

４．１　ビーム面積縮小による粒状性の改善

Fig. 4 に示したように，ビーム面積の縮小に伴い，中程度の明度範囲で粒状性の改善が認められた．この点について，考察する．

４．１．１　ドット形状の観察

粒状性は，微視的にみると画像を構成するドットの位置，形状のばらつきなどに起因する．そこで，各条件で出力された画像のドット形状を観察した．Fig. 6 は，各条件の面積率 50%の画像を顕微鏡で観察したものである．

ビーム面積が小さい場合（条件 A, B）は，面積率の変化は認められるが，いずれの条件もドットの位置，形状のばらつきは小さい．これに対し，ビーム面積が大きい場合（条件 C, D）は，ドットの位置，形状のばらつきが大きい．

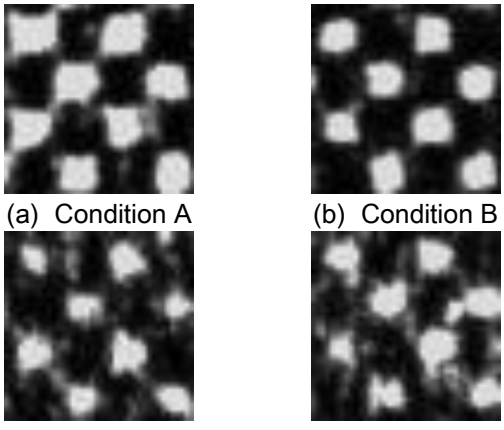


Fig. 6 Microscopic images (Coverage:50%)

４．１．２　潜像電位分布シミュレーション

ドットの輪郭が変化した原因を推定するために，感光体上の潜像の電位分布を計算した．まず，各条件におけるビームの強度分布を実測し，これを主・副走査方向に二次元的に走査することで，露光強度分布を得た．次に，露光強度分布を光誘導放電（PIDC）曲線にあてはめ，感光体上の潜像の電位分布をシミュレーションした．

Fig. 7 は，シミュレーションで求めた各条件における潜像の電位分布である．Fig. 7 左に示す面積率 50%のパターンについて，潜像の電位分布を求めた．図の黒色の部分が露光部，図の白色の部分が非露光部を示している．ビーム面積が小さい場合（条件 A, B）は，露光部と非露光部の電位変化が急峻である．これに対し，ビーム面積が大きい場合（条件 C, D）は，露光部と非露光部の電位がなだらかに変化している．

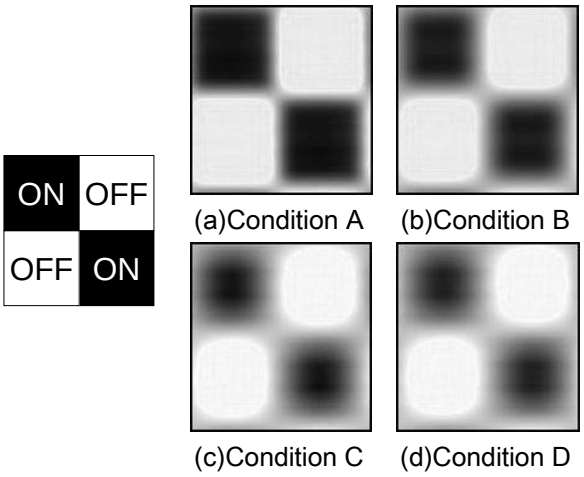


Fig. 7 Simulated electric potential distributions

４．１．３　粒状性改善モデル

以上の結果から，ビーム面積の縮小に伴い中明度で粒状性が改善した現象について，Fig. 8 に示すモデルで説明できると考える．露光プロセスにおいて，条件 B のような面積が小さいビームで作像する場合は，ビームの強度分布（図中破線）の裾野は狭い．このようなビームを走査して作像すると，隣接するビームの裾野同士が重なる部分は小さくなり，露光部と非露光部との境界領域で急峻な電位変化を持つ潜像になる（図中実線）．対して，条件 C, D のような面積が大きなビームでは，ビームの強度分布の裾野が広い．このようなビームで作像すると，ビーム同士の裾野が重なることで，露光部と非露光部との境界領域で電位がなだらかに変化する潜像が得られる．

現像プロセスにおいて，露光部と非露光部の境界の電位変化が急峻な潜像は，トナー付着部と地肌部の境界が明瞭なトナー像が得られる．対して，境界の電位変化がなだらかな潜像は，現像が不安定にな

© 一般社団法人 日本画像学会

る領域が増え，ドットの境界が不鮮明になる．これによりドットの形状，位置がばらつき，粒状性が低下したと考えられる．

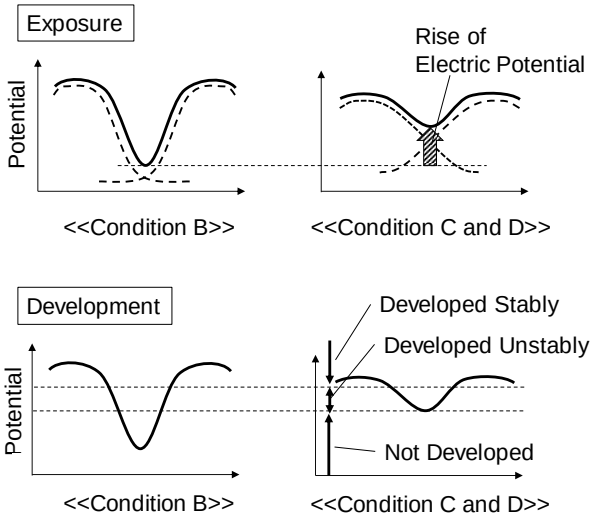


Fig. 8 Exposure and development model

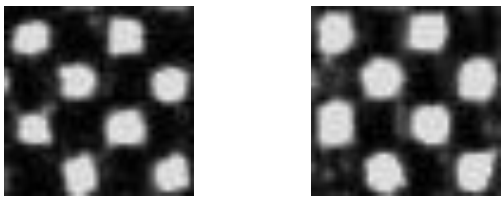
条件 A については，ビーム面積は条件 B より小さいが，粒状性は同等であった．これは，条件 B の段階で，ビーム同士の裾野の重なりが，粒状性に影響を与えない程度に十分小さくなっていたからであると考えられる．そのため，さらにビーム面積の小さい条件 A において粒状性が改善しなかったと考える．

４．２　ビーム断面形状が粒状性に与える影響

Fig. 5 に示したとおり，ビーム断面形状によって粒状性は変化しなかった．この点について考察する．

４．２．１　ドット形状の観察

Fig. 9 に，条件 B と E で出力した画像のドット形状を，顕微鏡で観察したものである．条件 B，E は，面積率に差異は生じているが，いずれの条件もドットの輪郭は明瞭であり，粒状性に影響を与えるドット位置，形状のばらつきには大きさ差異は認められなかった．

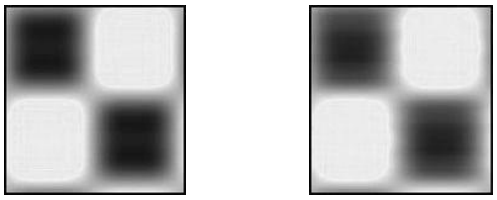


(a) Condition B　　(b) Condition E

Fig. 9 Microscopic images of condition B and E (Coverage:50%)

４．２．２　潜像電位分布シミュレーション

Fig. 10 に，条件 B および E の潜像電位分布のシミュレーション結果を示す．シミュレーション方法は，４－１－２と同様である．露光部と非露光部との境界の電位変化には，わずかな差異が認められるが，これは粒状性に影響を与える程度の差異ではなかったと考える．



(a) Condition B　　(b) Condition E

Fig. 10 Simulated electric potential distributions of condition B and E

５．まとめ

ビーム面積が粒状性に与える影響を評価した結果，ビーム面積を縮小することで粒状性が改善することが確認できた．これは，面積の小さなビームで作像するとビームの裾野同士の重なりが小さくなり，潜像の露光部と非露光部の電位変化が急峻になることで，現像後のドット品質が安定したためであると考えられる．ただし，ビーム面積が一定以下になると，粒状性が変化しないことが確認された．これは，ビーム面積が一定以下になると，ビームの裾野同士の重なりが粒状性に対して影響を与えない程度に小さくなるためと考えられる．また，本検討ではビーム断面形状によって粒状性は変化しなかった．これは，ビーム断面形状は潜像に変化を与えるが，その変化が粒状性に影響を与えるほど大きなものではなかったためだと考える．

以上のことから，ビームスポットを小さくすると必ずしも粒状性が改善する訳ではなく，最善の粒状性を与える適正なビームスポット面積を設定することが重要である．

参考文献

1) Susumu Imakawa, Makoto Hino, Kenji Kagitani, “Noise Evaluation Method for Halftone Color Image”, Ricoh Technical Report No.23 (1997), pp. 53-59 [in Japanese]
2) Shinjiro Ito, Yoshiaki Kondo, Kazunori Ishige, Toru Makino, “Evaluation of Electrophotographic Image Quality Aided by Numerical Simulation”, Konica Minolta Technology Report Vol. 8 (2011), pp. 40-44 [in Japanese]
3) Hiroyuki Suhara, “Study on Measurement of Electrostatic Latent Images in Electrophotography”, Waseda University (2015), Ph.D. thesis. [in Japanese]
4) Kazuo Terao, Kazuhiro Arai, Daisuke Yoshino, “Effect of the Size of Toner Particle and Laser Spot on the Image Noise”, Journal of the Imaging Society of Japan, Vol. 43, No. 3 (2004), pp. 128-133 [in Japanese]
5) R. P. Dooley, R. Shaw, “Noise Perception in Elecrophotography”, Journal of applied photographic engineering, Vol. 4, No. 4 (1979), pp. 190-196

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electronic Paper, Flexible Devices, Imaging Device and Electronic Imaging

[EI] Electronic Paper and Electronic Imaging

Session Chair:Kazuki Nakamura(Chiba University), Shuichi Maeda(Tokai University)

Wed. Jun 20, 2018 10:30 AM - 11:30 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EI-01] What Is Difference of Electronic Conduction Mechanism between High-ordered Liquid Crystal and Crystal?

*Akira Ohno[1], Hiroaki Iino[1], Jun-ichi Hanna[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

10:30 AM - 10:50 AM

[EI-02] Specific Nature of Monoalkylated Liquid Crystalline Organic Semiconductors for Organic Transistors and Its Generality

*Hao Wu[1], Jun-ichi Hanna[1], Hiroaki Iino[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

10:50 AM - 11:10 AM

[EI-03] Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules

*Keyaki Yogome[1] （1. Konicaminolta, Inc.）

11:10 AM - 11:30 AM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子ペーパー/フレキシブル デバイス/イメージング デバイス/エレクトリック イメージング

[EI] 電子ペーパー／エレクトリック イメージング
Electronic Paper and Electronic Imaging

2018年6月20日(水) 10:30 ～ 11:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EI-01] 高次配向秩序をもつ液晶と結晶の電子伝導機構は何が異なるのか？
What Is Difference of Electronic Conduction Mechanism between High-ordered Liquid Crystal and Crystal?

*大野 玲[1]、飯野 裕明[1]、半那 純一[1] （1. 東京工業大学）
*Akira Ohno[1], Hiroaki Iino[1], Jun-ichi Hanna[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

同一の化学構造を持つ有機半導体であっても、構造解析的に結晶相と見なされる高次液晶相の薄膜の移動度は、その値が1cm^2/Vsを超える結晶薄膜と比べ、約1桁程度小さい。本研究では何故、液晶において結晶のような高速の電子伝導を実現しないのか、量子効果を無視しない電子遷移速度を用いた同一のシミュレーションから伝導の違いを議論する。

©一般社団法人 日本画像学会

高次配向秩序をもつ液晶と結晶の電子伝導機構は何が異なるのか？

大野　玲，　飯野　裕明，　半那　純一

東京工業大学　未来産業技術研究所

What is difference of electronic conduction mechanism between high-ordered liquid crystal and crystal？

Akira Ohno, Hiroaki Iino and Jun-ichi Hanna

Imaging Science and Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology

The mechanism of charge transport in organic semiconductors exhibiting liquid crystalline has been studied comparing with that in the same materials exhibiting crystalline phase. The structural order of smectic E (SmE) phase is a kind of crystalline phase forming herringbone alignment of the aromatic core moiety, while their electronic mobilities are usually lower than those in the crystalline phase. The charge transport in crystalline semiconductor appears as if in the regime of different mechanism of charge transport from those in liquid crystalline one. A decrease in mobility with increasing temperature is generally explained by the band-like models, while an increase in mobility with increasing temperature is explained by Marcus electron transfer theory. In this study, we apply the quantum CT rate proposed by Lin *et al*[1] for our organic semiconductors. The model can explain the negative temperature dependence of mobility without using band-like model. Using the same model for different phase, we can understand why the charge transport of organic semiconductor in SmE phase of liquid crystal causes different behavior of charge transport with lower mobility than that in crystal.

１．緒言

我々はこれまで、液晶相における有機半導体の電荷輸送を、結晶相を有する有機半導体の電荷輸送と比較して議論してきた。液晶性有機半導体の一種である、Ph-BTBT-10 (2-phenyl-7-decyl benzothieno benzo thiophene) では、液晶を前駆体として均一薄膜を形成した後に相転移させ、多結晶薄膜を形成することによって、トランジスタを作成したところ、FET 移動度が 10 cm^2/Vs を超え、単結晶と比較しても遜色なく高速な動作を実現した。また、低温でのプリンタブルな薄膜の作製が可能なことと、いったん薄膜が形成されると、高温処理に耐える熱耐性を有するため、工業的なプロセスの観点からも有望な材料として注目されている。[2]

薄膜形成の前駆体として液晶相を用いるのは、液晶の持つ流動性と自己組織化を利用することで、均一平坦な薄膜作成が印刷によるプロセスを可能とするからである。しかし、前回議論 [3] したように、薄膜形成に利用する液晶相は smecticE 相（SmE 相）であり、この相は流動性など、液晶としての物性を示す一方で、高い配向・並進秩序性を示しており、構造としては結晶に分類される。また、共役部位の芳香環は、その長軸方向は基板に垂直に配向し、基板に平行な方向に herringbone 構造を形成する。この時の液晶の流動性はアルキル鎖の自由度に由来し [4,5] 隣接分子間距離は結晶相とほぼ同等である（Ph-BTBT-10, C10-BTBT において、結晶相における最近接分子間距離はどちらも ～4.9Å。これは SmE 相での隣接分子間距離と殆ど同じ値）。したがって SmE 相では、キャリアの輸送を担う共役部位は既に FET におけるチャンネル界面での 2 次元伝導に有利な構造が形成されている。むしろ結晶で動作させるには液晶－結晶相転移時に大きな構造変化を伴わないことが望ましい。（ただし Ph-BTBT-10 等では液晶−結晶相転移において monolayer から bilayer への構造変化が起こる。[2]）

SmE 相が結晶と大きく異なるのは主にアルキル鎖が融解していること [4,5] であって、キャリアの伝導を担う共役部位の秩序性は結晶と殆ど変わらないと考えられる。それにもかかわらず、電子伝導は液晶と結晶で、移動度に大きな差を有する。以前我々は、同じ SmE 相の液晶性有機半導体でも物質によって移動度が異なる原因を明らかにしたが、[3] それは effective transfer integral[6] で示されるキャリアの遷移の違いによるのではなく、再配置エネルギーの違いと、エネルギーのディスオーダーの違いによるのであって、分子そのものでなく分子構造の緩和と液晶の構造の乱れに依存していることを示した。

一方で結晶と液晶の移動度の大きな違いは、液晶−結晶相転移時に、移動度が正の活性化型の温度依存性から負のべきに従う温度依存性に変わって電子伝導機構そのものが変化することが考えられる。またアルキル鎖が凍結して秩序が形成され、エネルギーのディスオーダーが消失することが原因とも考えられる。前述のように共役部位の配置、隣接分子間距離の変化は液晶−結晶転移では変化がないので（“face to face”になっている隣接分子の芳香環と

＊〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259 メールボックス J1-2
＊4259 Nagatsuta-cho Midori-ku Yokohama, 226-8503, Japan
e-mail:　akira@isl.titech.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

芳香環との間のなす角の違いによる違いはあることが予想されるが）transfer integral の値において、液晶と結晶で本質的な違いが生ずる積極的な理由は考えられない。

液晶と結晶との伝導機構の違いの起源を明らかにするに為に、実験によって移動度の温度・電場依存性を解析から示すのは困難である。実験では、液晶においても、室温やそれより高い温度範囲において、また液晶相の狭い温度範囲において、移動度の温・電場依存性は殆ど現れず、移動度の特性から伝導機構の違いを明らかにすることは困難である。[3)]

２．目的とモデル式

そこで本研究では結晶と液晶(SmE 相)の移動度の違いの本質的な原因を探るため、液晶と結晶、両方の伝導機構を、共通の輸送モデルを用い議論することで、輸送機構の起源、その違いを、モデルに基づいてどのような電荷輸送機構が生ずるか、比較し明らかにすることにした。

キャリアの移動速度については以下の式(1)に示す、Lin らの提案した quantum CT rate を用いる。[1, 7)]

$$k_{CT}=\frac{\left|J_{eff}\right|^2}{\hbar^2}\int_{-\infty}^{\infty}dt\exp\left(i\omega_{fi}t\right)\cdot\exp\left\{-\sum\nolimits_j S_j\left[(2\bar{n}_j+1)-\bar{n}_j e^{-i\omega_j t}-(\bar{n}_j+1)e^{i\omega_j t}\right]\right\} \quad (1)$$

ただし

$$\bar{n}_j=\frac{1}{e^{\hbar\omega_j/k_BT}-1} \quad (2)$$

で、j 番目の基準振動の分布を示している。また、

$$S_j=\frac{\frac{1}{2}\omega_j^2\Delta Q_j^2}{\hbar\omega_j}=\frac{\lambda_j}{\hbar\omega_j} \quad (3)$$

はホアン・リー因子である。(1)式は隣接分子の２振動準位間の electron transfer を Fermi の黄金律からスタートして Condon 近似、Plazcek 近似のもと、量子効果をまったく無視しない、一般的に適用できる速度式である。

このとき strong coupling 条件 $\Sigma_j S_j >> 1$ において(1)式は Marcus-Levich 式

$$k_{CT}=\frac{\left|J_{eff}\right|^2}{\hbar^2}\sqrt{\frac{\pi}{\sum_j\frac{1}{2}S_j\omega_j^2(2\bar{n}_j+1)}}\exp\left[-\frac{\left(\omega_{fi}+\sum_j S_j\omega_j^2\right)^2}{4\sum_j\frac{1}{2}S_j\omega_j^2(2\bar{n}_j+1)}\right] \quad (4)$$

が導かれる、さらに十分に高温のとき

$$\frac{\hbar\omega_j}{k_BT}<<1\Rightarrow\bar{n}_j\approx\frac{k_BT}{\hbar\omega_j} \quad (5)$$

を課すと Marcus 式

$$k_{CT}=\frac{\left|J_{eff}\right|^2}{\hbar}\sqrt{\frac{\pi}{\lambda k_BT}}\exp\left[-\frac{\left(\lambda+\Delta G\right)^2}{4\lambda k_BT}\right] \quad (6)$$

が得られる。ただし、再配置エネルギーλは

$$\lambda=\sum_j\lambda_j=\sum_j\hbar\omega_j S_j \quad (7)$$

のように各基準振動モードの総和であり、ΔG は両サイトの基底エネルギーの差

$$\Delta G=\hbar\omega_{fi}=\hbar\omega_f-\hbar\omega_i=E_f-E_i \quad (8)$$

としてあらわすことができる。このように(1)式は strong coupling や半古典近似など、条件を課すことで得られるよく知られた量子的、古典的 Marcus 式を導出することができ、どちらも内包していることがわかる。量子効果を無視しないため、広く一般の系に適用することができる。そこで本研究において(1)式を用いて電荷輸送を議論し、結晶状態と液晶状態での電荷輸送機構の違いを議論することにした。

３．モデル分子への適用

本モデルを適用するモデル分子の１例として、フェニルナフタレンの誘導体 8–PNP–O4 について取り上げる。まず、冷却、昇温過程における 8–PNP–O4 の相転移温度について DSC によって測定した実験結果を Table 1 に示す。昇温過程において、この分子の SmE 相の温度範囲は 60℃～125℃であり、60℃以下は結晶相であった。次に、この分子について、Time-Of-Flight (TOF)法を用いて得られた過渡光電流波形から得られる、キャリアの走行時間から移動度を求めることができる。測定した移動度について、

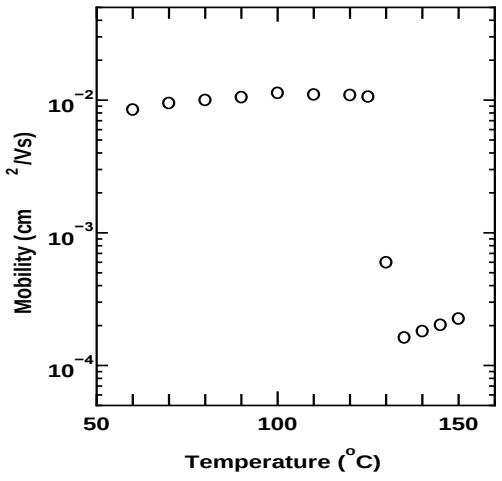


Fig.1 Temperature dependence of mobilities in 8-PNP-O4. Mobilities are obtained from phototransient currents using Time-of-Flight (TOF) technic.

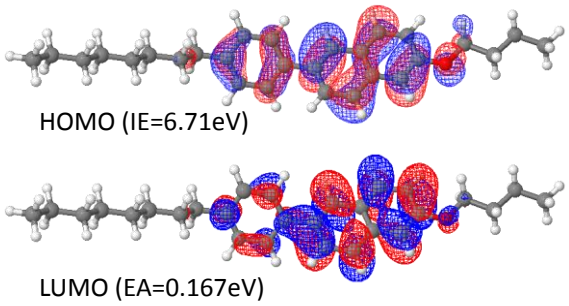


Fig.2 Molecular structure and HOMO/LUMO of 8-PNP-O4. Values are calculated Ionization Energy (IE) and Electron Affinity (EA), respectively.

Table 1 Phase transition temperatures of 8-PNP-O4 measured by DSC

	Phase transition temperatures (℃)
cooling	K – 46 – SmE – 123 – SmA – 129 – Iso
heating	K – 60 – SmE – 125 – SmA – 130 – Iso

その温度依存性を Fig.1 に示す。[3] SmE 相においては、移動度の温度依存性は、～70℃前後において若干正の依存性が見えるが、全体として温度依存性がないことが分る。また電場依存性も観測されなかった。60 度以下の結晶相については、実験で得られた過度電流波形から有意な走行時間を見出すことができず、移動度は求められなかった。これは結晶に相転移した際、相転移に伴う構造変化で、クラックなど電荷輸送を妨げるグレイン・バウンダリ等が生じて deep trap などを形成したため、電荷輸送が確認できなくなったためと考えられる。

分子構造と HOMO、LUMO の様子を Fig.2 に示す。構造と軌道は量子化学計算ソフト Gaussian09 を用いて、B3LYP/6-311+G(2d,2p)レベルで計算したものである。さらに孤立分子の断熱のイオン化エネルギーと電子親和力、ホールと電子の再配置エネルギー を計算する。導出方法は以前[8]に示したとおりである。Table2 にその結果を示す。比較の為 8–PNP–O4 のみでなく、PNP–O、8–PNP–4、Ph–BTBT–10 の計算結果も示す。イオン化エネルギー(IE)は 6.6–7.2eV 程度である。結晶や液晶では分極エネルギーが加わるので約 1eV 程度小さくなるものと考えられる。再配置エネルギーについては（6）式で⊿G＝0eV とおけば分るように分子間でλ/4の、隣接分子へのホッピング伝導の活性化エネルギーとして寄与する。8–PNP–O4 は hole については Table 2 にあげた 4 種類の分子の中で再配置エネルギーが最も大きく、約、91meV の活性化エネルギーとなる。全体として若干 electron の再配置エネルギーが hole に比べて大きくなっている。Ph–BTBT–10 については他の分子に比べて hole の再配置エネルギーが 100meV ほど小さくなっていて、hole の電荷輸送に有利であることが分る。

Table 2 Calculated values of Ionization Energy (IE), Electron Affinity (EA) and total reorganization energies.

	IE (eV)	EA (eV)	λ_h (eV)	λ_e (eV)
8–PNP–O4	6.71	0.167	0.363	0.368
PNP–O	7.15	0.197	0.328	0.395
8–PNP–4	6.99	0.222	0.302	0.378
Ph–BTBT–10	6.78	0.538	0.250	0.351

4．基準振動モードに対する再配置エネルギー

次に、式(1)をモデル分子に対して適用する為、各基準振動モードに対する再配置エネルギーを求めた。これは Gaussian09 を用いて電荷中性状態とカチオン（アニオン）状態の分子構造をそれぞれ構造最適化し、中性状態とカチオン(アニオン)状態における各原子の平衡位置のずれから、各基準振動モードの再配置エネルギーを求める。計算を簡単にする為、ここでは PNP–O について議論する。この基準振動解析にはシドニー大学の J. R. Reimers 教授による DUSHIN code[9] を用いた。 Fig.3 に、PNP–O の hole の再配置エネルギーについて、基準振動解析の結果を示す。 Fig.3-(a)はカチオン状態の平衡位置での電荷中性状態のエネルギーから中性状態の平衡位置のエネルギーを引いた再配置エネルギーλ_1 であり、Fig.3-(b)は電荷中性状態の平衡位置でのカチオン状態のエネルギーからカチオン状態の平衡位置のエネルギーを引いた再配置エネルギーλ_2である。全対称性のナフタレン面内基準振動モードの寄与が大きいが低波数域にナフタレンに対するフェニルのねじれ振動の寄与も大きい。(7)式に示したように各基準モードの総和$\Sigma\lambda_1+\Sigma\lambda_2$が再配置エネルギーである。hole について PNPO を確認すると、Table2 にあるようにλ_h=328meV であるのに対し、基準振動解析の結果はλ_h=362meV と大きくなったが、近い値となった。

4．電荷輸送への再配置エネルギーの寄与

基準振動解析を用いて得たそれぞれの基準振動モードに対する再配置エネルギーの寄与を(1)式に代入し、量子効果を無視しない quantum CT rate k_{CT} を求める。ここで有効トランスファー積分は、以前 8–PNP–O4 について分子動力学計算で得た SmE 相での各分子構造の配置を用いて、ZINDO レベルで隣接分子間の有効トランスファー積分の分布を求めており[3]、その幾何平均値 $|J_{eff}|$＝0.0194eV を代入した。その結果を Fig.4 に示す。あわせて Marcus 式と比較

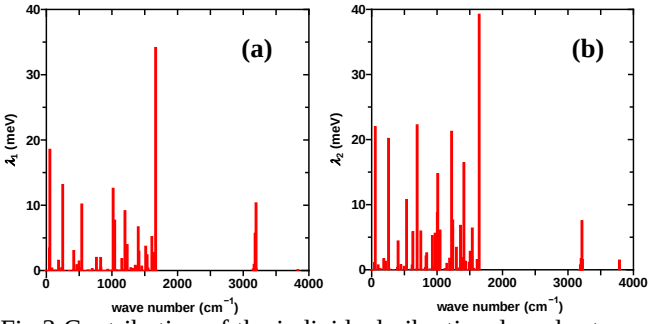


Fig.3 Contribution of the individual vibrational modes to reorganization energies for neutral (λ_1) and cationic (λ_2) molecules of PNP-O

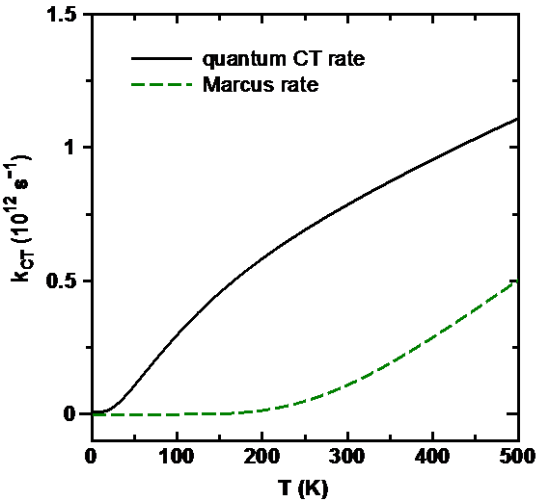


Fig.4 Hole transfer rate for PNP-O dimer as a function of temperature. The quantum rate (solid line) and the classical Marcus rate (dashed line) are compared.

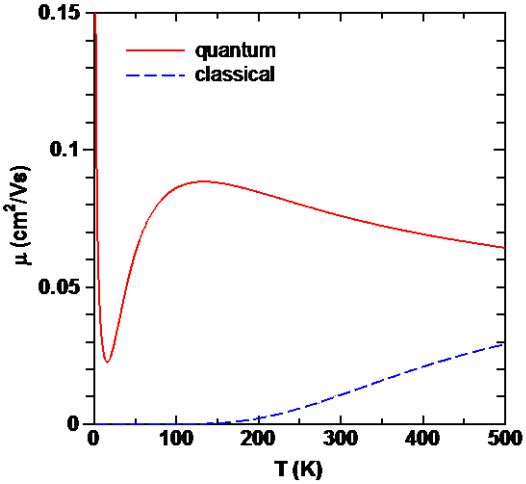


Fig.5 Hole mobilities derived from eq.(9) for PNP-O dimer as a function of temperature. The mobilities are obtained based on the quantum rate (solid line) and on the classical Marcus rate (dashed line).

する。室温以上で quantum CT rate も活性化型に近い形となるが、Marcus 速度式の値より倍以上大きいことが分る。また温度が降下するとき、室温以下の rate の減衰は Marcus 式に比べはるかに緩やかで、活性化型にはならない。トンネル効果による寄与が働いている為と考えられる

さらに隣接分子間距離を a = 5Åとし、アインシュタインの関係式から

$$\mu = \frac{eD}{k_B T} = \frac{ea^2}{k_B T} k_{CT} \qquad (9)$$

を用いて求めた移動度を Fig.5 に示した。Marcus 式では移動度は活性化型であるが quantum CT rate に基づく移動度は室温近辺で移動度の緩やかな負の温度依存性を示す。すなわち、再配置エネルギーを示すような活性化型の伝導はしないことが分る。このことから分るのは量子効果を無視しない場合、室温近辺ではホッピングであっても負の温度依存性を示し、再配置エネルギーが数百 meV 程度の大きさのときは熱活性化型にはならないことを示している。結晶での伝導はこの状態を示している。

一方で液晶については、室温近辺での温度依存性がない場合や、室温以下で正の温度依存性を示すことになるが、液晶の場合、結晶と見なせる SmE 相でさえアルキル鎖が融解しているなど、ディスオーダーの影響が結晶より大きい。これが液晶での移動度の正の温度依存性の原因と考えられる。ディスオーダーは基底準位の差に導入できるが、これは(8)式より、 (1)式の ω_{fi} の部分に導入でできる。(9)式ではなく、ディスオーダーを導入してモンテカルロシミュレーションを実行すると、このディスオーダーの寄与がどのように電子伝導を変え、移動度の正の温度依存性にシフトするか、発表時に議論する予定である。

参考文献

1) S. H. Lin, C. H. Chang, K. K. Liang, R. Chang, Y. J. Shiu, J. M. Zhang, T.-S. Yang M. Hayashi, F. C. Hsu, “Ultrafast Dynamics and Spectroscopy of Bacterial Photosynthetic Reaction Centers”, Advances in Chemical Physics, 121, pp.1-88 (2002).

2) H. Iino, T. Usui, and J. Hanna, "Liquid crystals for organic thin-film transistors", Nature communications, 6, pp.6828-1-8 (2015).

3) A. Ohno, T. Nitta, Y. Takayashiki, H. Iino, and J. Hanna, "Charge Transport of Organic Semiconductor Controlled by Structural Disorder of SmE Liquid Crystal", Proceedings of Imaging Conference JAPAN 2017, B-24, (2017) [in Japanese].

4) T. Adachi, H Saitoh, Y. Yamamura, M. Hishida, M. Ueda, S. Ito, K Saito, "Universality of Molten State of Alkyl Chain in Liquid-Crystalline Mesophases: Smectic E Phase of 6-Alkyl-2-phenylazulene", Bulletin of The ChemicaL Society of Japan, 86, pp.1022-1027 (2013).

5) Y. Yamamura, T Murakoshi, M. Hishida, K. Saito, "Examination of molecular packing in orthogonal smectic liquid crystal phases: a guide for molecular design of functional smectic phases", Physical Chemistry ChemicaL Physics, 19, pp.25518-25526 (2017).

6) E.F. Valeev, V Coropceanu, D.A. da Silva Filho, S. Salman, and J. Bredas, "Effect of Electronic Polarization on Charge-Transport Parameters in Molecular Organic Semiconductors", 128, pp.9882-9886 (2006).

7) Nan, Guangjun, Yang, Xiaodi, Wang, Linjun, Shuai, Zhigang, Zhao, Yi, "Nuclear tunneling effects of charge transport in rubrene, tetracene, and pentacene", Physical Review B, 79, pp.115203-1-9 (2009).

8) A. Ohno, T. Nitta, Y. Takayashiki, H. Iino, and J. Hanna, " Carrier Transport Properties in Crystal E Phase of Liquid Crystalline Materials", Proceedings of Imaging Conference JAPAN 2016, B-29, (2016) [in Japanese].

9) J.R. Reimers, “A practical method for the use of curvilinear coordinates in calculations of normal-mode-projected displacements and Duschinsky rotation matrices for large molecules”, Journal of Chemical Physics, 115, pp.9103-9109 (2001).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子ペーパー/フレキシブル デバイス/イメージング デバイス/エレクトリック イメージング
[EI] 電子ペーパー／エレクトリック イメージング
Electronic Paper and Electronic Imaging
2018年6月20日(水) 10:30 ～ 11:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EI-02] Specific Nature of Monoalkylated Liquid Crystalline Organic Semiconductors for Organic Transistors and Its Generality

*Hao Wu[1], Jun-ichi Hanna[1], Hiroaki Iino[1] （1. Tokyo Institute of Technology）

Monoalkylated liquid crystalline organic semiconductors, Ph-BTBT-10, not only provides us with crystalline thin films having uniform and flat surface morphology, thanks to the liquid crystallinity, but also causes the phase transition from monolayered crystals to bilayered crystals when thermally annealed for a short time. Significant improvement in mobility, which reaches almost one order of magnitude, takes place after the annealing when its crystalline thin films are used for an active layer for organic transistors. In the presentation, we will show its generality through observation of phase transition behaviors and evaluation of organic field effect transistors fabricated with a various type of the monoalkylated liquid crystals.

©一般社団法人 日本画像学会

Specific nature of monoalkylated liquid crystalline organic semiconductors for organic transistors and its generality

Hao Wu*, Jun-ichi Hanna, and Hiroaki Iino

Imaging Science and Engineering Research Center, FIRST,
Tokyo Institute of Technology

Monoalkylated liquid crystalline organic semiconductors, Ph-BTBT-10, not only provides us with crystalline thin films having uniform and flat surface morphology, thanks to the liquid crystallinity, but causes the phase transition from mono-layered crystals to bilayered crystals when thermally annealed for short time. Significant improvement in mobility takes place after the annealing when its crystalline thin films are used for an active layer for organic transistors, which reaches almost one order of magnitude. show that the formation of bilayered crystal and the significant increase of FET mobility in the resulting crystals is not a particular case of Ph-BTBT-10, but is probably general through observation of phase transition behaviors and fabrication and evaluation of organic field effect transistors with a various type the monoalkylated liquid crystals for organic semiconductors.

1. Introduction

For realization of printed electronics, there are several requirements for organic semiconductor materials not only high mobility but also processability of the materials compatible with solution processes.[1] We have proposed a liquid crystal of Ph-BTBT-10 exhibiting highly ordered smectic liquid crystal phase of SmE, which satisfies these requirements.[2] This material is very unique because FET mobility of the crystalline films fabricated from SmE films is very much increased, e.g., about one order of magnitude up to over 10cm^2/Vs, accompanying crystal-to-crystal transition from monolayered crystal to bilayered crystal as shown in Fig. 1, when thermally annealed for a short time.

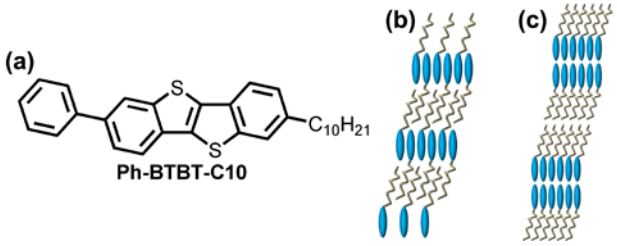


Fig. 1 Chemical structures of Ph-BTBT-10 (a), and schematic diagrams of monolayered crystals (b) and bilayered crystal (c).

The molecular design for mono-alkylated highly ordered smectic liquid crystals would provide a new strategy of the molecular design for high mobility organic transistor materials, if this coincidence of the crystal-to-crystal transition induced thermally and significant increase of FET mobility is not the particular case of Ph-BTBT-10 and general in highly ordered smectic liquid crystals. Thus, we investigated this crystal-to-crystal transition and FET performance before and after thermal annealing in FETs fabricated with as-fabricated polycrystalline thin films of representative types of highly ordered smectic liquid crystals.

There are two types of highly ordered smectic liquid crystals: one is an oligomer type of liquid crystals consisting of several small aromatic core moieties such as a terphenyl $(Ph)_3$ and a terthiophene $(Tp)_3$; the other is smectic liquid crystals having a large π-conjugated aromatic core and an additional small core moiety such as Ph-BTBT derivatives. Thus, we selected Ph-$(Tp)_3$-C_n and Ph-BDT-C_n as a model compound as shown in Fig. 2.

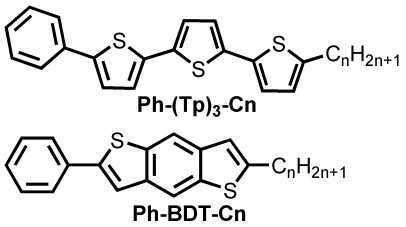


Fig. 2 Chemical structures of Ph-$(Tp)_3$-Cn and Ph-BDT-Cn for model compounds.

2. Experiments

We synthesized a series of monoalkylated Ph-$(Tp)_3$-Cn and Ph-BDT-Cn derivatives, and characterized their phase transition behaviors by differential scanning calorimetry (DSC), X-ray diffraction (XRD) study , and observation of polarized optical microscope (POM). Crystalline thin films for fabrication of field effect transistors (FETs) were fabricated by spin-coating of their p-xylene solution at their SmE temperatures on SiO_2 (300nm)/Si substrates.[3] The resulting films were cooled down to a room temperature to obtain polycrystalline thin films, whose

*4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama, 226-8503, Japan,
E-mail: wh@isl.titech.ac.jp

© The Imaging Society of Japan

grain size was around 20 μm. Au was vacuum-evaporated onto the crystalline films through a metal mask for source and drain electrodes to make bottom-gate and top contact transistors, whose structures were illustrated in Fig. 3.

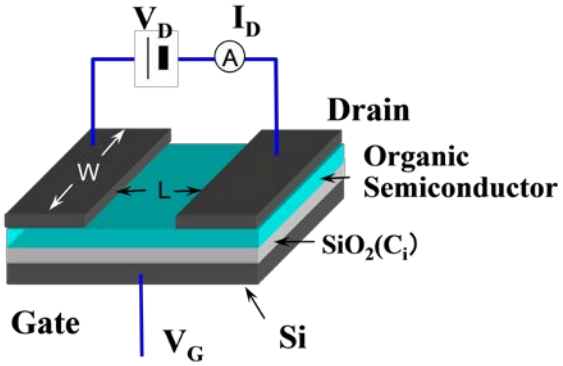


Fig. 3 Schematic diagram of structure of bottom-gate and top-contact type of FETs fabricated for this study.

The FET performance was evaluated by V-I characteristics of the FETs at ambient atmosphere. The FET mobility was estimated from I_D-V_G characteristic in the saturation regime, based on the following equation described below:

$$I_D = \frac{WC_i\mu}{2L}(V_G\text{-}V_T)^2$$

in which μ is the FET mobility, I_D is source-drain current, C_i is the gate capacitance, V_G is the gate voltage , and V_T is the threshold voltage, and W/L is the channel width/length.

3. Results and Discussion

3.1 Characterization of phase transition behaviors

Ph-$(Tp)_3$-Cn synthesized exhibited single liquid crystalline phase, whose POM texture is shown in the inset of Fig. 4, which shows a typical texture of highly ordered smectic phases without accompanying low-ordered liquid crystalline phase. We identified this liquid crystalline phase to be SmE phase by 3 characteristic XRD peaks of (110), (200) and (210) in wide diffraction angles of 2θ = 20-30°, in addition to a sharp peak at a small diffraction angle for (001) corresponding to a layer thickness of the smectic liquid crystal, as indicated in Fig. 4.

Fig. 5 is a summary of the phase transition behaviors of Ph-$(Tp)_3$-Cn.

In the same manner, we identified a single mesophase of Ph-BDT-Cn derivatives to be SmE phase.

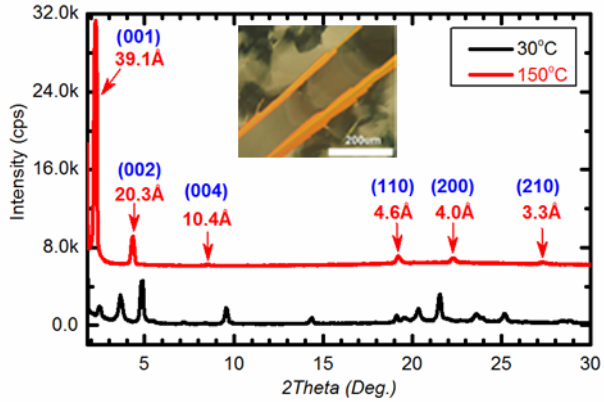


Fig. 4 Bulk film XRD pattern of Ph-$(Tp)_3$-C18 at different temperature on heating. The inset shows a typical POM texture of SmE phase obtained from isotropic phase directly.

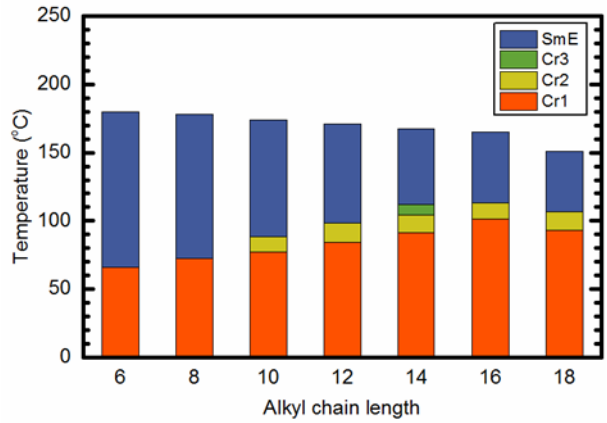


Fig. 5 A summary of phase transition behaviors of Ph-$(Tp)_3$-Cn.

3.2 As-fabricated and thermal annealed polycrystalline thin films

We fabricated polycrystalline thin films by spin-coating a p-xylene solution of the liquid crystalline materials at their SmE temperature. The resulting polycrystalline thin films had uniform and flat surface morphology thanks to soft nature of SmE phase as-spun and crystallization at lower temperature, whose grain size was around 20μm. Judging from a peak at 2θ = ~2.5°, which corresponds to a layer thickness and a molecular length of each molecule, the resulting films were monolayered crystals irrespective of Ph-$(Tp)_3$-Cn and Ph-BDT-Cn derivatives, in which the molecules sit perpendicular to the substrate surface.

We investigated the effect of thermal annealing of the as-fabricated films on crystal structure of the films.

We annealed each film at a different temperature lower than its crystal-to SmE phase transition temperature for 5 min, and examined the crystal structure of each film. Fig. 6 shows XRD patterns as a function of annealing temperature, in which the as-fabricated films were annealed for 5 min at each temperature.

© The Imaging Society of Japan

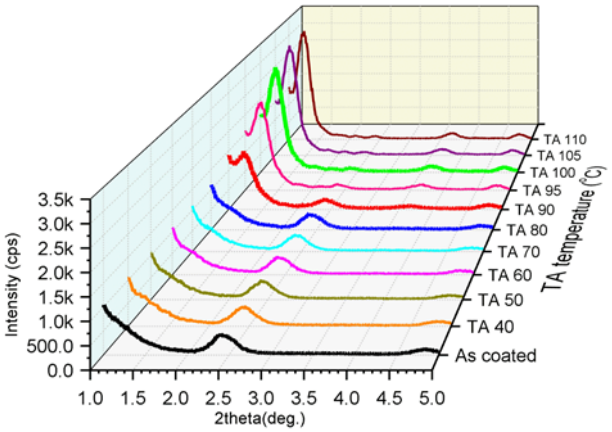


Fig. 6 Thin film XRD pattern of Ph-TTP-C18 as a function of thermal annealing temperature in the crystal state for 5min, then cooling to room temperature)

Judging from a fact that the diffraction peak for monolayered crystal decreased as an increase of new diffraction peak at a smaller angle of 2θ = 1-1.5°, the crystal film structure was changed from monolayered crystal to bilayered crystal, in which two molecules sit in head-and-head manner in the molecular layers.

In fact, we obtained similar results when Ph-BTBT-Cn was thermally annealed in the same manner.

These facts that monolayered crystals of Ph-(Tp)$_3$-Cn and Ph-BDT-Cn derivatives as-fabricated were be transformed into the bilayered crystals by thermal annealing to bilayered crystals proves this crystal-to-crystal transition is not a particular case of Ph-BTBT-10 films as fabricated from SmE films.

3.3 FET performance before and after thermal annealing

We fabricated bottom-gate and top contract FETs with Ph-(Tp)$_3$-Cn and Ph-BDT-Cn polycrystalline thin films as-fabricated *via* SmE phase and investigated FET performance in FETs before and after thermal annealing.

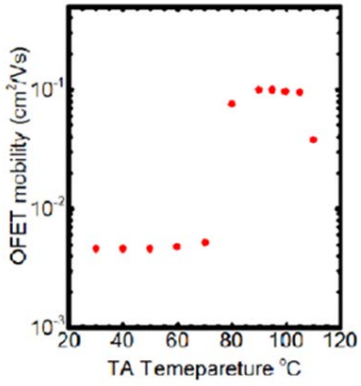


Fig. 7 FET mobility of Ph-TTP-C18 as a function of thermal annealing temperature in the crystal state for 5min, then cooling to room temperature).

Fig. 7 shows FET mobility at a room temperature after annealing at different temperatures for 5 min. It is very clear that the FET mobility was very much increased by more than one order of magnitude after thermal annealing at temperature range close to the phase transition temperatures.

Fig. 8 shows Transfer and output characteristics in the FET fabricated with Ph-(Tp)$_3$-C18 before and after thermal annealing.

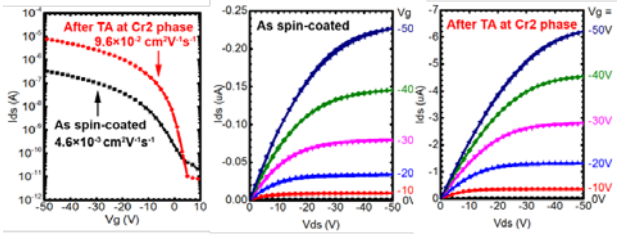


Fig. 8 Transfer and output characteristics of FET fabricated with polycrystalline thin films of Ph-(Tp)$_3$-C18 before and after thermal annealing at 100°C for 5min.

We observed significant increase of FET mobility in FETs fabricated with Ph-BDT-Cn after thermal annealing as well. Fig. 9 shows transfer and output characteristics of FETs fabricated with Ph-BDT-Cn before after thermal annealing at 130°C.

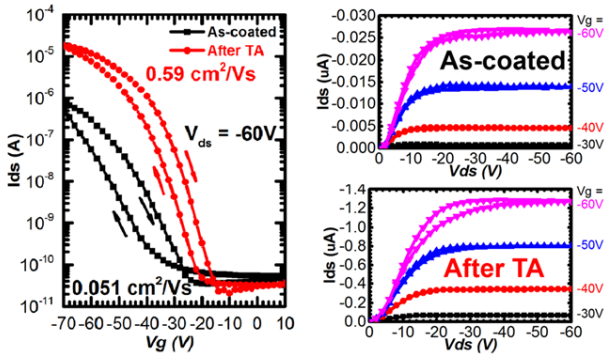


Fig. 9 Transfer and output characteristics of FET fabricated with polycrystalline thin films of Ph-BDT-C14 before and after thermal annealing at 130°C for 5min.

After systematic study of the thermal annealing on FET performance with different Ph-(Tp)$_3$-Cn and Ph-BDT-Cn derivatives, we learned that the enhancement of FET mobility in FETs fabricated with these materials was generally observed irrespective of Cn, even though the enhancement ratio of FET mobility before and after thermal annealing was different from material to materials, as shown in the case of Ph-(Tp)$_3$-Cn in Fig. 10.

It is well know that the thermal annealing of organic FETs at a certain temperature result in improvement of FET performance in some extent, which includes enhancement of FET mobility due to the improvement of

© The Imaging Society of Japan

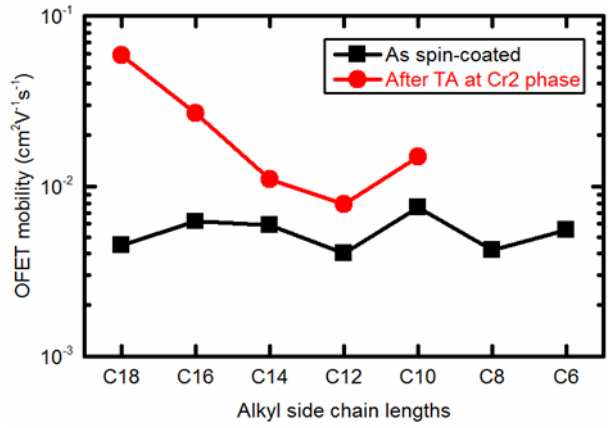


Fig. 10 FET mobility in FETs fabricated with polycrystalline thin films of Ph-(Tp)$_3$-Cn before and after thermal annealing.

crystallinity and electrical properties at the electrode interfaces. However, the enhancement ratio is rather limited within several times in general, compared with the present results up to one order of magnitude or more. In fact, the monolayered crystals derived from SmE phase of mono-alkylated smectic liquid crystals are not perfect or disordered, compared with those of Di-alkylated one; therefore, it is very plausible that the crystal-to-crystal transition to the bilayered crystals results in improvement of the films crystallinity because the disorder is swept away during the rearrangement of molecules to form bilayered crystals, which are thermodynamically stable. However, the exact reason why such a significant increase in the mobility takes place after the transition from monolayered crystals to bilayered ones has not been clarified yet.

4. Conclusion

We investigated the crystal-to-crystal phase transition from monolayered to bilayered crystals thermally induced in polycrystalline thin films fabricated *via* the SmE phase of mono-alkylated liquid crystals and significant mobility enhancement after the transition, which was discovered recently in Ph-BTBT-10 exhibiting SmE phase, with two representative types of highly ordered smectic liquid crystals, i.e., Ph-(Tp)$_3$-Cn of an oligomer type and Ph-BDT-Cn having small and large π-conjugated core moieties. The systematic study with these materials revealed that these unique phenomena are not a particular case of Ph-BTBT-10 but probably general in highly ordered smectic liquid crystals having a single side chain, which is essential to form bilayered crystals.

Therefore, the present results provide a new strategy of molecular design for high mobility in organic field effect transistors, i.e., utilization of mono-alkylated highly ordered smectic liquid crystals. In addition, to answer a question, i.e., why does such a significant enhancement of mobility after the crystal-to-crystal transition take place?, gives an insight into molecular structure and property relation in organic crystalline semiconductors.

References

1) Chengliang Wang, Huanli Dong, Wenping Hu, Yunqi Liu, and Daoben Zhu, “Semiconducting π-Conjugated Systems in Field-Effect Transistors: A Material Odyssey of Organic Electronics”, Chemical Reviews, **112**, 2208-2267 (2012).
2) Hiroaki Iino, Takayuki Usui, and Jun-ichi Hanna, “Liquid crystals for organic thin-film transistors.” Nature Communication, **6**, 6828 (2015).
3) Hiroaki Iino, and Jun-ichi Hanna, “Availability of liquid crystallinity in solution processing for polycrystalline thin films”, Advanced Materials, **23**, 1748-1751 (2011).

© The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子ペーパー/フレキシブル デバイス/イメージング デバイス/エレクトリック イメージング

[EI] 電子ペーパー／エレクトリック イメージング
Electronic Paper and Electronic Imaging

2018年6月20日(水) 10:30 ～ 11:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EI-03] 分子動力学法を用いた蒸着シミュレーション技術の開発
Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules

*余米 希晶[1] （1. コニカミノルタ株式会社）
*Keyaki Yogome[1] （1. Konicaminolta, Inc.）

我々は、次世代の照明やディスプレイへの応用を目指して有機EL素子（Organic Light Emitting Diode、以下OLEDと略記する）の技術開発を進めてきた。OLEDは多層構造を持つ。そのため性能向上には、各層および界面の状態を生成後だけではなく、成膜中においても明らかにすることが不可欠である。しかしながら、蒸着プロセスは非平衡なプロセスであるため、成膜中の状態を実験的に把握することは困難である。今回、蒸着中の膜や界面の状態を分子レベルで可視化することを目的として、分子動力学法を用いたシミュレーション手法を開発した事例を紹介する。

©一般社団法人 日本画像学会

分子動力学法を用いた蒸着シミュレーション技術の開発

余米 希晶*

*コニカミノルタ株式会社　開発統括本部 要素技術開発センター

Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules

Keyaki Yogome*

*Analysis & Simulation Division, Advanced Technology Center, Corporate R&D Headquaters,

Reported here is a simulation model which simulates the molecular dynamics of deposition processes. Konica Minolta is deeply involved in organic light-emitting diodes (OLEDs). OLEDs are manufactured by using either wet or vapor deposition process. Vapor deposition enables manufacturing of high-erformance devices.　OLDEs consist of a plurality of layers plural layers, and their performance depends on structures and surface boundary conditions between those layers. Thus, understanding of layer conditions and their formation process is key to technological advance. Unfortunately, vapor deposition is non-equilibrium phenomenon, rendering experimental approach impractical. So, we turned to simulation, named "molecular dynamics simulation of the deposition of molecules" (MDSDM) for the better understanding of the process.

１．はじめに

我々は，次世代の照明やディスプレイへの応用を目指して有機EL素子(Organic Light Emitting Diode，以下OLEDと略記する)の技術開発を進めてきた[1, 2]。OLEDは，省電力・高効率・面発光・フレキシブル性といった特徴を持つ次世代の照明手段であるが，その生産プロセスによって蒸着型と塗布型に分けられる。前者は性能を高めやすく，後者は生産性が高いといった特徴がある。今回は前者の蒸着型OLEDをターゲットとして技術開発を行った事例を紹介する。

OLEDは，一般にFig.1のような多層構造を有している。

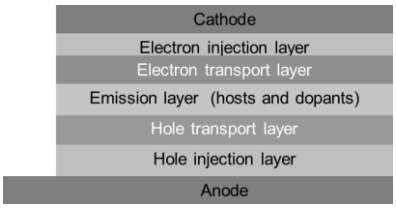


Fig. 1　General OLED's layer structure.
The electron transport, emission, hole transport, and hole injection layers are organic layers. The emission layer includes dopants and host materials. These four organic layers can be deposited either by vapor deposition or by wet deposition. Our interest here was in vapor deposition.

Cathodeと Anodeに挟まれた層は，主に有機分子からなる。OLEDの特性は，層自体あるいは層間界面の状態に影響を受けることが一般に知られているが，各層の厚みは数 10nm 程度と分子オーダの厚みである。従って，性能向上には各層の状態を分子オーダで制御することが必要であり，そのためには成膜後の状態や形成過程を把握・理解することが重要となる。しかしながら蒸着過程は非平衡な現象であり，成膜中の状態を実験的に把握することは困難である。今回，OLEDの特性改善を目的として，膜の状態を分子レベルで可視化するツール～蒸着 MD～の開発を行った。

我々は蒸着MDを開発するにあたり，ダッソー・システムズ社のMaterials Studioの分子動力学エンジン Forciteとスクリプト言語Material Scriptの組合せを選択した。プログラムを内製化することで，シミュレーション条件の自由度を高めることが可能である。今回は紹介していないが，蒸着分子の状態について様々な設定ができると共に，必要な機能の追加も容易である。

蒸着 MD の動作検証を目的として，OLED などの有機電子デバイスで一般的に用いられるTPDやPNについて蒸着MDを実施し，どのような膜ができるのかを議論した。

以下，本プログラムを蒸着MD，蒸着される分子が真空層に発生し基板に向かって移動させることを射出，蒸着される分子（特に飛翔中の分子）を射出分子，射出分子が基板に到達することを着弾，蒸着MDで作成した膜構造を蒸着膜と呼ぶこととする。なお，分子構造や実測値等についての詳細な情報は非公開とさせて頂いている。

２．シミュレーション手法

Fig.2に，蒸着 MD 初期の状態を示す。以下では，画像の上方を+z 方向，水平方向を x，y 方向とする。射出分子は，所定の振動状態を与えてランダムに回転させ，−z 方向を基準に所定の角度をなす初速度を

＊〒569-8503 大阪府高槻市桜町 1-2
＊1-2 Sakura-machi, Takatsuki-shi Osaka, 569-8503, Japan
e-mail:　keyaki.yogome@konicaminolta.com

© 一般社団法人 日本画像学会

与えた上で，一定の時間間隔で所定の位置に発生させている。今回は，角度の分布，初速度の分布，回転速度は与えていない。発生位置は，高さは一定，xy 方向（基板水平方向）はランダムとしている。Fig.2 から，射出分子が異なる位置，異なる配向角で飛翔していることが分かる。振動状態は，並進速度が 0 の状態における所定の温度での熱振動状態を採用している。実験における射出速度は，るつぼ温度や蒸気圧に依存して平均速度・分布幅が変化することが想定される。今回は測定を行っていないことから，これらの値は固定の条件で行っている。蒸着レートは射出分子の発生間隔で決まり，蒸着分子の質量/射出間隔/基板面積で求めることができる。

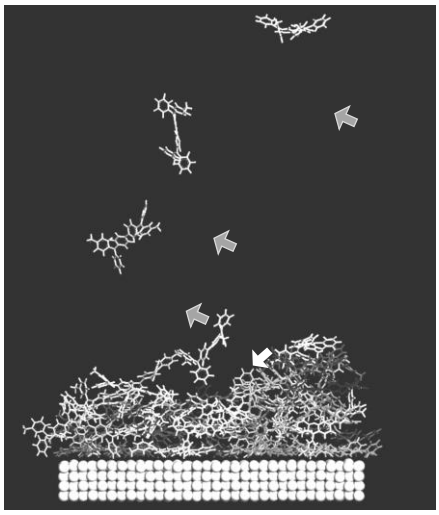


Fig. 2　A cross-sectional view of a substrate and layer deposit at an early stage in an MDSDM simulation.
The three molecules (dark arrows) fly through a vacuum toward the substrate. A molecule (light arrow) is just arriving at the surface of the deposit on the substrate. The molecules of the wet layer are aligned on the substrate.

蒸着 MD の条件は以下の通りに設定した。アンサンブルは NVE を用いた。温度制御は，後述の温度制御層を温度スケール法で一定に制御することでのみ行っている。温度制御を含む NVT などで行うと，系全体が温度制御されてしまい，射出速度が変化するなどの問題が生じる。なお実験上，蒸着中の基板温度がほぼ一定であることが確認されており，この制御方法で妥当と判断している。

静電相互作用エネルギーの計算手法には PPPM (particle- particle particle-mesh) 法を用い，van-der-Waals エネルギーの cutoff 距離は 1.5nm に設定した。時間刻みは 0.5 もしくは 1.0fs を採用した。

基板には SiO2 などを用い，別途，事前に MD で緩和させた上で，x-y 平面に水平に設置した。別の有機分子を蒸着 MD 等を用いてこの基板の上に積層し，蒸着 MD に適用することで多層蒸着を検討することも可能である。また Fig.3 のように，機能により厚さ方向に 3 つの領域を持つ。表面側から，表層，温度制御層，固定層と呼ぶ。固定層は，着弾した分子の運動 E により基板が下方に移動することを防ぐために設けている。

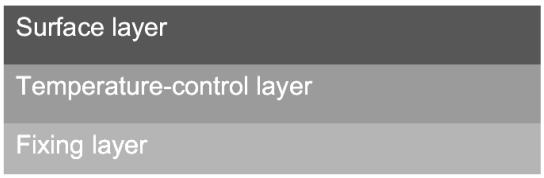


Fig. 3　Structure of substrate used with MDSDM.
Molecules deposited on the surface layer have their thermal energy transmitted through the temperature-control layer to the fixing layer. The temperature control layer is kept at a constant temperature by virtue of velocity scale. In the MDSDM, temperature is controlled only in this layer. At the bottom, the fixing layer prevents the substrate from being disturbed by the kinetic energy of the deposited molecules.

３．結果および考察

３．１　射出後の分子の挙動

まず初めに，射出後の分子の挙動を確認した。一例を Fig.4 に示す。Fig.4 左は x-z 平面での軌跡を，Fig.4 右は x-y 平面の軌跡をしている。Fig.4 左のように，射出分子は一定速度で基板に向かう。分子 2 や 3 の軌跡は，着弾直前に基板等と相互作用することにより飛翔方向が変化することを示している。また，射出速度が速い場合など，着弾後に再度真空層に向かう現象も確認される。Fig.4 右の直線部分は真空中の飛翔に対応する。着弾により方向が変化し，ランダムウォーク様の軌道に変化する。着弾後しばらくは基板上を拡散するが，最終的にはある一定の位置を中心に熱振動していることが確認できる。また，分子が基板表面を拡散している間に，後で射出された分子が着弾し強制的に拡散が抑制される場合なども確認されている。この強制的な固定化は，乱雑化（アモルファス化）・低密度化の要因の 1 つであると考えている。

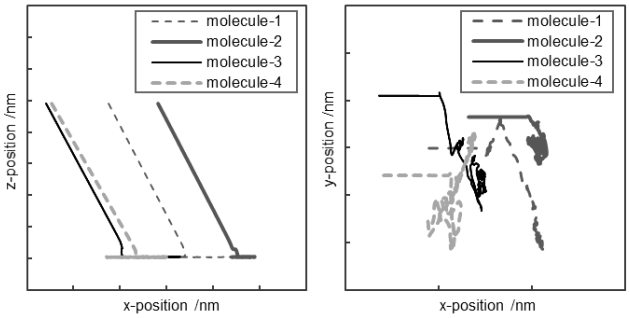


Fig. 4　The paths of four molecules being deposited.
Left: paths in the x-z plane. Right: paths in the x-y plane. Four molecules are emitted 20° inclined with respect to the z axis, and are deflected in the vicinity of the substrate surface. Thermal diffusion moves the molecules in various directions on the substrate surface.

© 一般社団法人 日本画像学会

３．２　嵩高い分子の蒸着膜

汎用的な有機半導体化合物である TPD や CBP は，蒸着によりアモルファス膜を形成することが知られている。CBP は，TPD と比較して平面性が高く，蒸着膜の配向性が高くなることが期待される。両者の蒸着 MD を実施し，蒸着膜の状態を確認・比較した。Fig.5 は，CBP(左)および TPD(右)の蒸着膜の例である。基板界面では，いずれの分子種でも基板上に明確な 1 層の水平配向が確認できる。

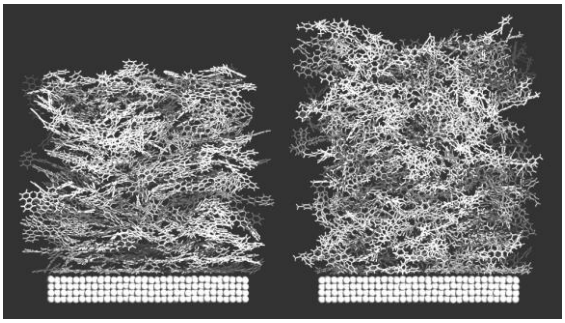


Fig.5　The last stage of an MDSDM simulation.
Left: CBP deposition. Right: TPD. In the wet layer on the substrate surface, the molecules are laterally aligned. Above the wet layer, the molecules are amorphous.

Fig.6 に密度プロファイルを示す。基板から数周期程度まで密度の振動構造がみられる。CBP と TPD を比較すると，CBP の方がより上方まで密度の振動構造が確認でき，想定通り配向性が高まっていることが確認できる。また,密度振動の周期については，CBP は 0.35-0.4nm 程度であるのに対し，TPD は 0.45-0.50nm 程度と長いことが分かる。

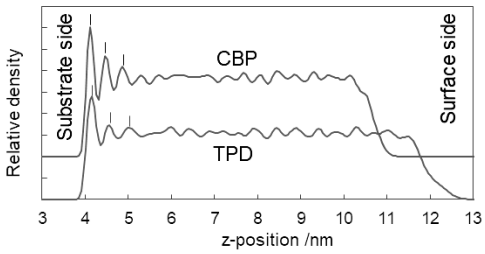


Fig. 6　Density profiles of CBP and TPD in the z axis direction.
The CBP and TPD each have three density peaks near the substrate surface. The intervals between the density peaks are shorter for the CPB than for the TPD, which indicates that the CPB has more neatly stacked molecules than the TPD.

密度振動の周期の違いについて検討するため，第 2 ピーク付近に対応する分子を複数取り出して構造を確認した（Fig.7）。CBP が層構造を形成していると共に，分子平面性が高いことが確認される（Fig.7 上）。一方，TPD においては， biphenyl 基が層をなしているが，末端基と垂直に近い二面角をなし，末端基が基板に垂直配向する特徴的な構造が確認された（Fig.7 下）。TPD における周期の増大は，この垂直配向によるものと考えられる。

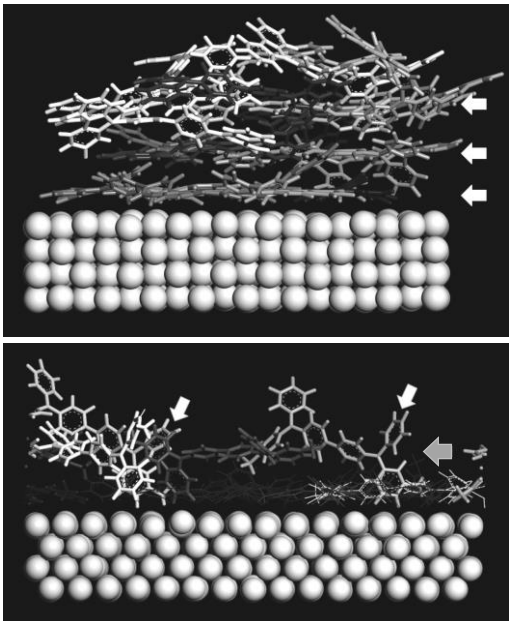


Fig. 7　Layer structures of CBP (above) and TPD (below) molecules simulated by MDSDM.
Above: three layers indicated by arrows correspond to the density peaks of the CPB in Fig. 6. Below: terminal groups of molecules are vertically directed (light arrows), so that the second layer (dark arrow) is farther from the first layer than in the case of CBP (see also Fig. 6).

３．３　平板状の分子の蒸着膜

前章の TPD 等に比べ，より配向・結晶化しやすい分子として PN を検討した。先行文献 [5]で，PN は結晶構造が得られることが報告されており，蒸着 MD でも同様の構造が得られるかを確認した。結果を Fig.8 に示す。文献同様にヘリンボーン構造が確認されたが，基板に水平配向しており，配向角は異なった。実験では成膜温度で配向方向が変化することが知られており，より低温で基板に水平配向し，高温では垂直配向した構造が得られる [7]。本蒸着 MD の結果は，緩和が不足した，より低温の状態に対応していると思われる。

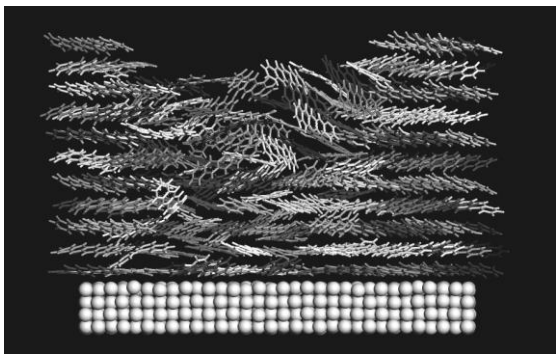


Fig. 8　Snap shot of MDSDM for pentacene at the last frame.
Almost all the molecule lies horizontally on the surface of the substrate.

© 一般社団法人 日本画像学会

Fig.9 に密度プロファイルを示した。いくつかのドメインに分かれてはいるものの，規則的な密度変動が基板から蒸着膜の最表面まで続いており規則的な構造が全層にわたって形成されていることが確認できる。この構造を結晶構造 6)と比較したところ，平行性に若干の乱れがみられるものの非常に良く一致することが分かった（Fig.10)。

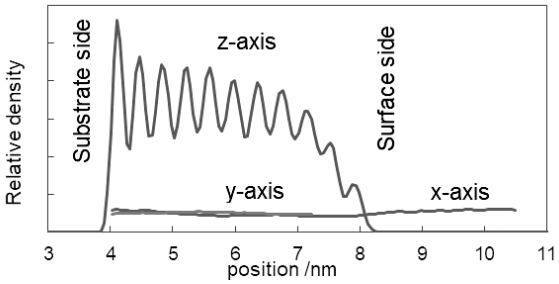


Fig. 9　Density profiles of the pentacene layers of Fig. 8.
The z axis profile (orange) has a density oscillation throughout the layer, which indicates that the top layer is affected by the substrate surface. The x axis and y axis density profiles (blue and gray) are constant.

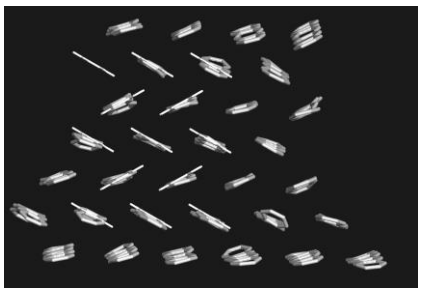


Fig. 10　Comparison of the structures found in Figs. 8-9 (orange) and an experimentally formed crystal structure of pentacene (white).
Both have herringbone structures

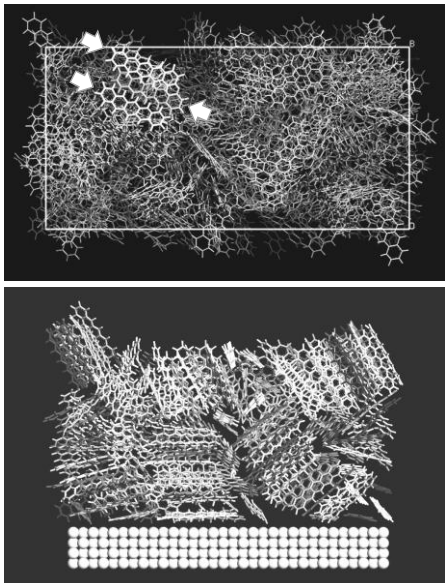


Fig. 11　Structures simulated by a commonly used molecular dynamics simulation. Above: no substrate. Below: with a substrate.
Without a substrate, only a few herringbone structures are observed, seen in the upper-left (arrows). With a substrate, a greater number of herringbone structures are observed, although fewer than in Fig. 8.

蒸着 MD で得られる構造と，一般的な MD シミュレーション手法で得られる構造との差異について確認した。後者の構造の例を Fig.11 に示す（アンサンブルとして NVT を用いた他は蒸着 MD と同条件)。基板を追加することでヘリンボーン構造が増える傾向が見られるが，その広がりは狭い。それに対し，蒸着 MD のヘリンボーン様の構造は，より広い範囲まで成長していることが確認できる。

以上の事から，蒸着 MD を用いることで，基板界面での配向構造や結晶構造などの特徴的な構造を可視化できることが確認できた。

４．総括

今回，蒸着過程に対し分子動力学法を用いてモデル化した蒸着 MD を開発した。TPD や PN などの一般的な有機分子を用いて機能検証を行った事例を紹介した。

その結果、基板界面近傍では分子は基板に配向するが，厚みが増すにつれアモルファス化が進む。PN では規則的な構造が確認され，実験で確認されているヘリンボーン構造とよく一致することが確認された。

今後も蒸着 MD の機能追加，定量化手法の開発を進め，OLED 素子や他テーマの開発に適用していく。

参考文献

1) 鍋田博之，岩崎利彦，檜山邦雅，若松秀明，北弘志，内藤裕義，”塗布型有機 EL 素子のインピーダンス分光”， KONICA MINOLTA Technology Report, **14**, pp.102-107 (2017) [in Japanese].
2) 北 弘志，応用物理，**80**, 290 (2011) [in Japanese].
3) Della Valle, R. G., et.al., ChemPhysChem, **10**, pp. 1783–1788 (2009).
4) Shakeel S. Dala., et al., PNAS, **112:14**, 4227–4232 (2015).
5) M. Yoneya, et al., J. Mater. Chem., **20**, pp.10397-10402 (2010).
6) Crystallography Open Database http://nanocrystallography.org/
7) 八瀬 清志，応用物理，**77:1**, 56 (2008) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electrophotography

[EPs] Electrophotographic System

Session Chair:Yoshiaki Kondoh(Konica Minolta, Inc.), Yukio Nagase(Canon Inc.)

Wed. Jun 20, 2018 1:00 PM - 2:20 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EPs-01] The IQ-501 Intelligent Quality Optimizer: Simple, Quick, and Precise Color Management

*Kenji Kawatsu[1], Akihiko Shimazu[1], Takeshi Yamaguchi[1], Makoto Ikeda[1] （1. KONICA MINOLTA, Inc）

1:00 PM - 1:20 PM

[EPs-02] High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S

*Jun Hitosugi[1], Tadashi Ogawa[1], Tetsuya Ofuchi[1], Kentaro Mikuniya[1], Yuuki Sagimori[1], Yuuichiroh Uematsu[1] （1. Ricoh Company, Ltd.）

1:20 PM - 1:40 PM

[EPs-03] Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network

*Shuhei Kobayakawa[1], Kazuya Tamura[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

1:40 PM - 2:00 PM

[EPs-04] Improvement of Reliability for a Corona Discharging Device by a New Air Flow System Applying the Pressure Rising Effect

*Yuki Nagamori[1], Yasunori Momomura[1], Masafumi Kudo[1], Kazuki Inami[1] （1. Fuji Xerox Co.,Ltd）

2:00 PM - 2:20 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EPs] 電子写真システム
Electrophotographic System

2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPs-01] AccurioPress C6100シリーズにおける IQ-501連携によるスキルレスオペレーションの実現
The IQ-501 Intelligent Quality Optimizer: Simple, Quick, and Precise Color Management

*川津 憲治[1]、嶋津 明彦[1]、山口 岳志[1]、池田 信[1] （1. コニカミノルタ株式会社）
*Kenji Kawatsu[1], Akihiko Shimazu[1], Takeshi Yamaguchi[1], Makoto Ikeda[1] （1. KONICA MINOLTA, Inc）

コニカミノルタは，2017年度第1四半期に商業印刷市場にむけたデジタル印刷システムAccurioPress C6100/IQ-501を発売開始した。印刷機であるAccurioPress C6100と画質最適化装置であるIQ-501で構成される本システムにより，従来熟練した作業者でも時間がかかっていた機器の調整を効率化・省人化し，簡単に調整ができるスキルレスオペレーションを実現した。本発表では，IQ-501 に搭載した測色計とスキャナーの連携を可能としたハイブリッド測色技術，印刷用紙の表裏を読み取り，印刷画像位置をリアルタイムで補正する制御技術，これらを精度よく実行するための搬送技術について紹介する。

©一般社団法人 日本画像学会

AccurioPressC6100 シリーズにおける IQ-501 連携によるスキルレスオペレーションの実現

川津　憲治*，嶋津　明彦*，山口　岳志**，池田　信**

*コニカミノルタ株式会社　情報機器開発本部　第 1 開発センター
**コニカミノルタ株式会社　情報機器開発本部　システム制御開発センター

The IQ-501 Intelligent Quality Optimizer: Simple, Quick, and Precise Color Management

Kenji Kawatsu*, Akihiko Shimazu*, Takeshi Yamaguchi** and Makoto Ikeda**

*Products Development Center 1, R&D Headquarters Business Technologies, KONICA MINOLTA, Inc.
**System Control Development Center, R&D Headquarters Business Technologies, KONICA MINOLTA, Inc.

There is a strong customer demand today for a system that processes printing jobs efficiently, error-free, and with high productivity. Konica Minolta has met that demand with the IQ-501. Paired with the AccurioPress C6100 printer, the IQ-501 Intelligent Quality Optimizer accommodates a wide range of print media and enables minimally trained operators to easily perform color adjustments.

Among the IQ-501's newly developed technologies are (1) hybrid colorimetry technology in which scanners and an on-board spectrophotometer perform jointly, (2) control technology that allows duplex printing and precise image registration in real time, and (3) the high-precision transport technology necessary to achieve those first two technologies.

１．はじめに

近年コニカミノルタのプロダクションプリント機器の導入先である印刷業界では印刷物単価の下落への対応が大きな課題となっている．この課題に対して，印刷ジョブを効率的かつ安定して高い生産性で処理できる機能への要求が一層強くなってきている．このお客様の要求に対応することを狙いとして開発が行われたのが AccurioPress C6100/IQ-501 システムである．本稿では AccurioPress C6100/IQ-501 システムに搭載された機能および，IQ-501 の搭載技術の紹介と合わせて，その価値について報告する．

２．製品紹介

コニカミノルタは，2017 年度第 1 四半期にデジタル印刷システムのカラー最上位機種 AccurioPress C6100 を発売開始した．本システムは，前任機より好評である画像品質を維持しつつ，用紙対応力拡大と，印刷生産機としての安定性を確保して，高い品質の印刷物を安定して出力するシステムとなっている．用紙対応力拡大としては，クラストップの 400 g/m2 厚紙対応，最長 1300 mm の長尺印刷，フラットニップ専用定着による封筒印刷など，お客さまの新たなサービス，ビジネス拡大を支援するための多様な出力ジョブへの対応を実現した．

安定性向上としては，濃度や色管理，表裏見当調整の自動化を可能とする IQ-501 を新規開発した．IQ-501 は，従来はオペレータの手作業であった印刷前の調整時間を大幅に削減するとともに，階調や表裏見当をリアルタイムで監視し補正する事で，印刷中の色変動や見当ずれを最小限とする高品質な印刷物をスキルレスで提供する．

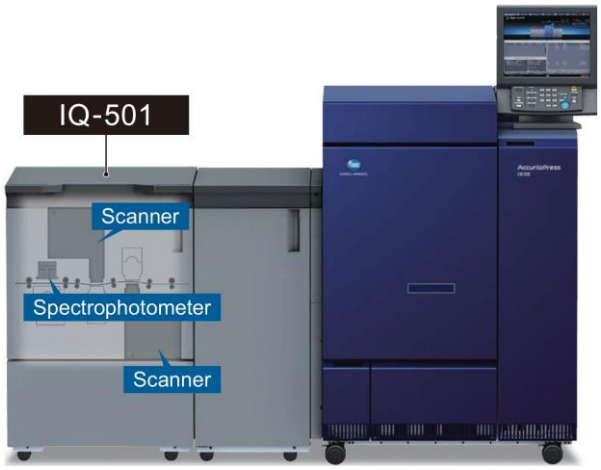


Fig.1 Layout of the IQ-501's two scanners and its spectrophotometer.

IQ-501 は Fig. 1 に示すように印刷物の表裏画像を読み取るライン型 CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサーを備えた二つのスキャナーと，コニカミノルタが保有する測色技術を用いた分光測色計 [1) 2)] を搭載している．

＊〒192-8505 東京都八王子市石川町 2970
＊2970 Ishikawa-machi, Hachioji-shi, Tokyo, 192-8505, Japan
e-mail: kenji.kawatsu@konicaminolta.com

© 一般社団法人 日本画像学会

３．IQ-501 の用紙搬送技術

３．１　スキャナー読み取り領域における搬送技術

IQ-501 におけるスキャナーの主な役割は，用紙全面に対して，1.印刷物の色を安定して読み取ること，2.用紙に対する画像の位置を正確に読み取ること，の二つである．

1.の色を安定して読み取るための搬送要件は，読み取り中に用紙とスキャナーとの距離を一定に保つことであり，2.の用紙に対する印刷の位置を正確に読み取るための要件は，読み取り中に用紙を一定速度で搬送し続けることである．

IQ-501 ではこれら二つの要件を満たすために，Fig. 2 に示すような搬送構成を採用した．

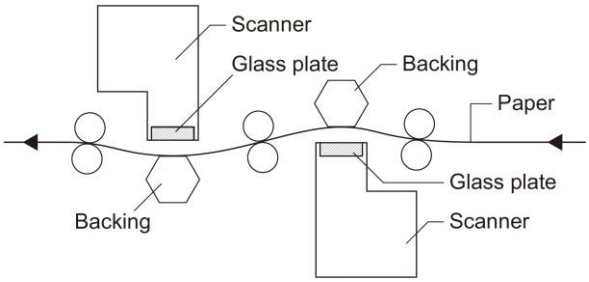


Fig.2 Paper transport mechanism.

1.の用紙とスキャナーの距離を一定に保つという要件を満たすため，搬送経路は各スキャナーから離れる方向に，読み取り中の用紙の背景となる面と読み取りラインの交点を頂点とする屈曲経路とした．これにより用紙は読み取りライン上で屈曲し，Fig. 2 の奥行方向の波うちが解消され，かつ背景面に押し付けられるため距離が保たれる．これらの設計思想により，用紙とスキャナーとの距離の変動を 0.5 mm 以下に保つことが可能となった．

一方 2. の一定速度で搬送するという要件においては，各スキャナーの上流側，中間，下流側の 3 本のローラーの形状を長手方向に均一とし用紙の全幅をローラーで挟むことで対応した．これにより用紙の先端が搬送経路上のローラーや構成部品に衝突する際の衝撃等が伝わりにくくなりトンボの読み取り中の速度変動を 1％ 以下に抑え，結果的に二つのスキャナーで読み取った同一印刷物のトンボ位置の差を 0.2 mm 以下に抑えることができた．

３．２　分光測色計読み取り領域における搬送技術

IQ-501 における分光測色計の役割は，印刷機本体の CMYK 各色のトナーで印刷される最高濃度を検査することと，分光測色計で得た測色値によってスキャナーの CCD センサーを補正することの二つである．この測色計により最高濃度を検査することで印刷機本体のトナー付着量を最適化するとともに，スキャナーを補正することで，スキャナーを測色計よりも広範囲かつ高速に印刷物を読み取る色検査装置として使用可能とする．

そのため，分光測色計での読み取りはスキャナーと比べさらに用紙との距離の管理が重要である．そこで IQ-501 では Fig. 3 に示すような搬送構成を採用した．

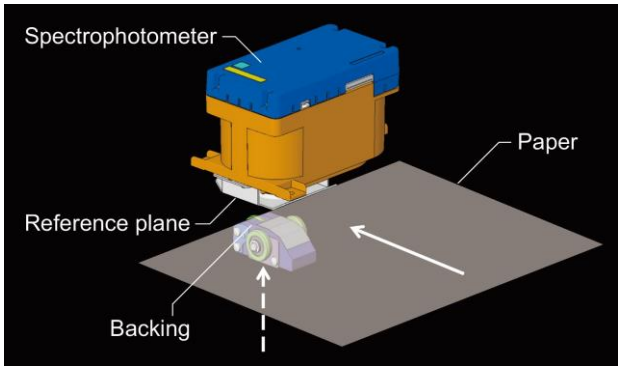


Fig.3 Spectrophotometer transport mechanism.

分光測色計に設けられた基準面に沿って用紙が搬送されるよう，三つの車輪を設けた読み取り背景を基準面に押し当て，その車輪と基準面の間を用紙が通過する構成とした．三つの車輪の基準面への押し当てにより用紙は平面を形成し，その平面上の色を読み取る．この構成により読み取り中の用紙と分光測色計との距離変動を 0.2 mm 以下に抑えることが可能となった．

４．画像調整システム

４．１　一括自動調整

高品質な印刷を実現するために，印刷機には複数の異なる調整機能が搭載されている．各調整機能には相互作用が生じる物もあるため，調整は適切な順番で実施する必要がある．従来はユーザーの操作により個々の調整機能の画面に遷移し，ユーザーが適切な順番で調整を実施していた．それらの操作はユーザーの負担となっておりまた，全ての調整が完了するまでユーザーを拘束していた．本システムでは一括自動調整機能を搭載し，IQ-501 により自動化された複数の調整機能を，一つの画面からの操作で実施可能とした．ユーザーは一つの画面で実施したい調整項目を選択し，開始ボタンを押すだけで全自動で調整が完了する．

IQ-501 による自動化の強みを活かし，ユーザーの操作を最小限に抑える事で，従来ユーザーにかかっていた負担を軽減し，スキルレスな調整作業を実現した．一括自動調整機能を実現することで削減した調整時間を，Fig. 4 に示す．本システムにより従来の調整時間を約 1/4 に短縮した．

© 一般社団法人 日本画像学会

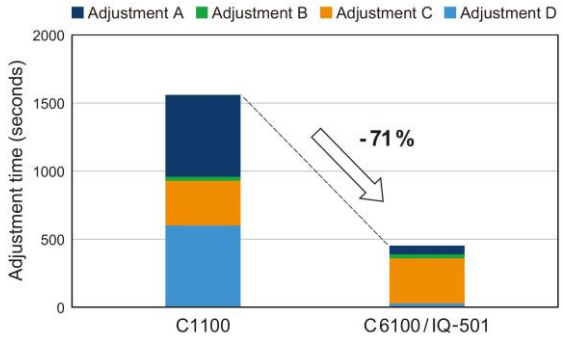


Fig.4 Faster color adjustment.

４．２　リアルタイム調整

商用印刷には高い表裏見当精度が求められるため，印刷中の機械状態の変化による，表裏見当の変動を調整する事が必要となる．従来，表裏見当を調整する際には，調整用チャートを定規で測定する手動調整や，調整用チャートを印刷機本体付属のフラットベッドスキャナーで測定する半自動調整をする必要があった．本システムでは IQ-501 により，印刷中の変動分の調整を可能とするリアルタイムでの表裏見当調整機能を実現した．印刷中の自動調整を実現することで削減したダウンタイムを，各調整方法の所要時間と比較した図で示す（Fig. 5）．

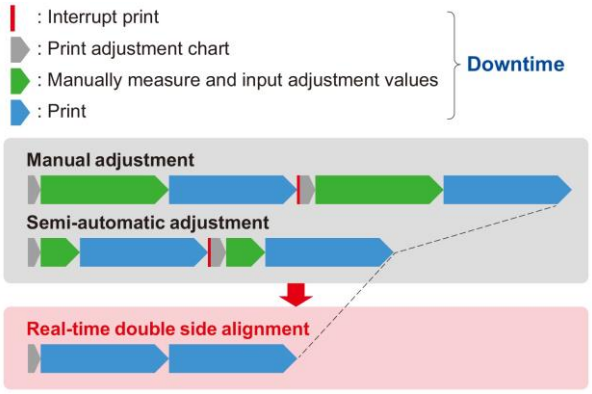


Fig.5 Reduced downtime.

本システムの調整方法としては，狙いの位置との差分を随時検知し，印刷データにフィードバックする．その際，ノイズの影響を防止するため複数枚の結果を参照して補正量を算出している．

更に本システムでは，断裁しろに調整用のトンボパターンを付加し，印刷時に IQ-501 でトンボパターンを読み取る事で印刷中の自動調整を可能としている．Fig. 6 に調整用のトンボパターンを示す．有効画像領域を広げるためトンボパターンの形状を工夫した．

また，階調調整に於いても同様にリアルタイムでの調整機能を実現し，印刷効率の向上を可能にした．

表裏見当と同様に，断裁しろに調整用の階調パッチを付加し(Fig. 6)読み取る事で階調測定を実現した．

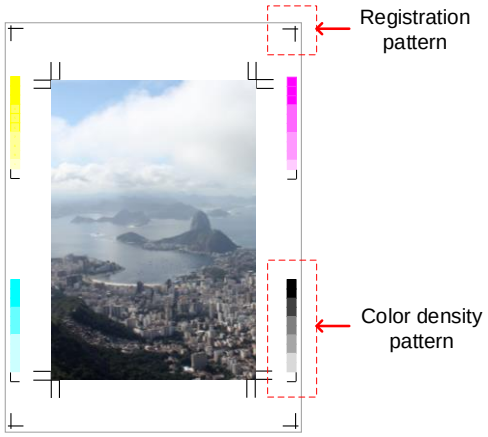


Fig.6 Real-time adjustment patterns.

５．ハイブリッド測色技術

５．１　分光測色計を用いた CCD の補正

プリンターのカラーマネージメントを実施するには紙面上のカラーパッチの測色が必須となる．我々はユーザーによる測色作業を不要にするため，IQ-501 機内へ測色センサーを搭載した．測色センサーに分光測色計を採用すれば，正確な測色データが測定できる．しかし，分光測色計で大量のパッチを測定するには大量の印刷枚数とそれに伴う印刷・測定時間がかかるというデメリットがある．一方，測色センサーに CCD センサーを用いると，一度に大量のパッチを測ることができるが，センサーの変動や用紙特性の影響を受け，正確な測色データを取得できない．そこで，我々は両者のメリットを活かすために，分光測色計で得た測色値によって CCD センサーを補正することで，一度に大量のパッチを正確に測色可能にするハイブリッド測色技術を開発した．

５．２　４次元スキャナープロファイル

ハイブリッド測色時に，CCD センサーの応答値を測色値として扱うには，RGB 値から XYZ 値への変換を行う必要がある．変換にはルックアップテーブル方式のスキャナープロファイルを用いるのが一般的であるが，電子写真は CMYK の 4 色のトナーで色を再現しているため，仮に同じ RGB 値のパッチが存在したとしても，K の含有率によって異なる XYZ 値を返すことがある．これは，RGB フィルターと，XYZ 等色関数の分光特性の違いから発生する(Fig. 7)．

そこで，コニカミノルタは，スキャナープロファイルの入力として RGB 値の他に，RIP(Raster Image Processor)から取得した該当パッチの K 値を追加した，4 次元のスキャナープロファイルを作成し，RGBK から XYZ への変換をすることで，ハイブリッド測色時に使用するスキャナープロファイルの性能向上を実現した．

© 一般社団法人 日本画像学会

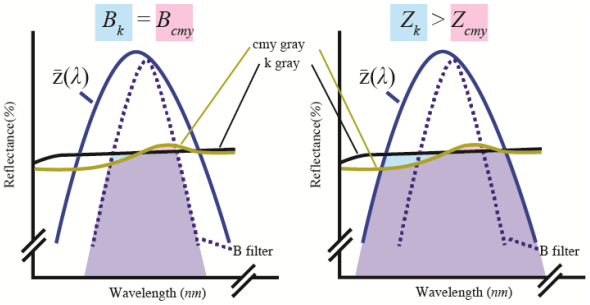


Fig.7 12 Correspondence between RGB and XYZ due to difference in black amount.

５．３　チャートのフレア対策

CCD を使ってパッチの RGB 値を測定する際に該当パッチの周りのパッチからの散乱光（フレア）が誤差要因となる．スキャナープロファイル作成用チャートのカラーパッチと，実際のサンプル測色時のカラーパッチに同じ XYZ 値のパッチがあったとしても，周囲のパッチが異なると RGB 値が変わり，誤差となってしまうからである（Fig.8）．

そこで，コニカミノルタはチャートのどのパッチを測定しても周囲の RGB 値の平均値が略同等になるようなパッチを生成するアルゴリズムを開発して，フレアの影響度を最小限に抑えた．

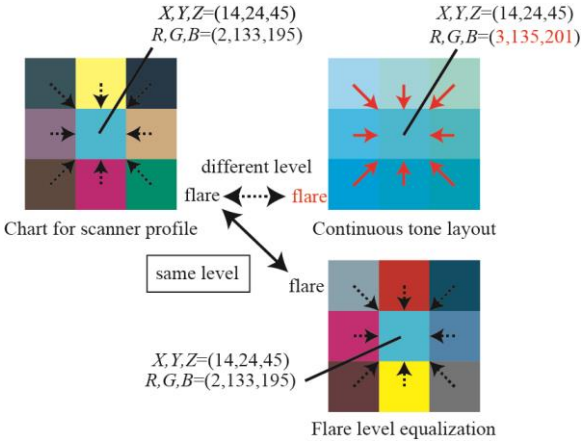


Fig.8　Method of flare equalization of color chart.

５．４　ハイブリッド測色性能

ハイブリッド測色を用いた測色性能を a*-b*色度平面にプロットしたものを Fig.9 に示す．各プロットの半径は CCD センサー測色値（スキャナープロファイルを用いた算出測色値）と実際に分光測色計で測定した結果との色差ΔE00 を表している．他社製の市販のスキャナープロファイル作成ソフトを用いて，CCD センサーで読み取った RGB 値から算出した測色値（図左）に比べ，本ハイブリッド測色技術で取得した測色値（図右）は高い精度で測色できていることが確認できる．

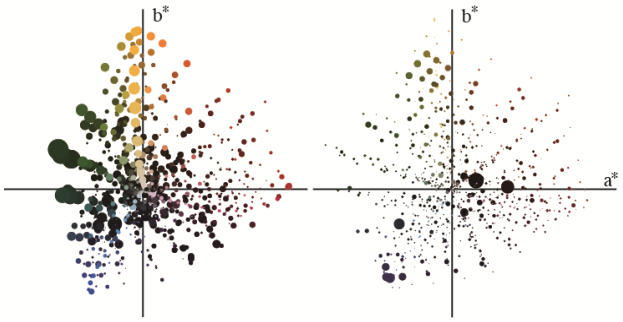


Fig.9 Color difference between spectrophotometer and estimated colorimetric value from CCD sensors (Left: Third-party ICC Profiler, Right: Hybrid Colorimetry).

上記の技術を搭載したハイブリッド測色技術によって，ユーザーによる測色作業を不要とし，短時間で高精度な測色をすることができるようになった．本システムでは測色値を使用する機能として多次色 LUT によるキャリブレーション機能，プリンタープロファイル作成機能，色検証機能を搭載し，従来の測色計での測定を含め手間がかかっていたカラーマネージメント作業を簡便に，短時間で実施できるようになった．

６．まとめ

AccurioPress C6100/IQ-501 では，お客様が提供可能な印刷物の範囲を広げ，機器の調整を効率化，省人化しスキルレスにオペレーションできるシステムを達成した．新しい用紙搬送技術の実現により，従来の手動調整と同等の読み取り性能で自動調整が可能となり，従来の調整作業を大幅に短縮した．さらに印刷中に表裏見当及び階調再現を監視しフィードバックすることで，リアルタイムな調整を可能とした．また CCD センサーと分光測色計のハイブリッド測色技術により，スキルレスなカラーマネージメントを実現した．

今後は IQ-501 による機能を発展させ，さらなる付加価値を提供できるシステムを構築していく．

参考文献

1) S.Yamamoto, Y.Goto, and N.Matsubara, “The FD-7 Spectrodensitometer: Taking the Fluorescence of the Substrate into Account when Measuring the Color of a Printed Object”, KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT Vol.8(2011).pp.138-142.[in Japanese].

2) Y.Yamamoto, Y.Nagashima, K.Harada, Y.Goto, and S.Yamamoto, “Development of the Auto Scan Spectrophotometer FD-9”, KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT Vol.13(2016).pp.118-122.[in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPs] 電子写真システム
Electrophotographic System
2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPs-02] 高速デジタルカラープリンター RICOH Pro C7210S/C7200S
High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S

*一杉 潤[1]、小川 禎史[1]、大淵 哲也[1]、三國谷 健太郎[1]、鷺森 悠樹[1]、植松 勇一郎[1] （1. 株式会社リコー）
*Jun Hitosugi[1], Tadashi Ogawa[1], Tetsuya Ofuchi[1], Kentaro Mikuniya[1], Yuuki Sagimori[1], Yuuichiroh Uematsu[1]
（1. Ricoh Company, Ltd.）

RICOH Pro C7210S/C7200SはPro C7110S/C7100Sシリーズを発展的に受け継ぎ、リコーのプロダクションプリンターのラインナップを強化、印刷物の多品種化・小ロット化・短納期化をはじめ、多彩な印刷用紙や装飾効果による表現力の要求等、幅広く多様化するPOD市場ニーズに対応したデジタルフルカラープリンターである。主な特徴を以下に示す。
1) 高生産性：カラー/モノクロ共に毎分95枚(C7210S)/85枚(C7200S)の出力
2) 画像位置精度：IQCTによるリアルタイム表裏見当調整、メカニカルレジスト調整
3) 高付加価値印刷：スペシャルカラーラインナップ強化、白トナー先刷り機構の搭載

RICOH Pro C7210S / C7200S inherits Pro C7110S / C7100S series in an evolutionary way, strengthening the lineup of Ricoh's production printers.
It is a digital full-color printer that responds to a wide variety of POD market needs including multifarious, small lot, short delivery time of printed materials,variegated printing paper and expressive power by decorative effect. The main features are as follows.
1) High productivity: Output of 95 sheets (C7210S) / 85 sheets (C7200S) per minute for both color and monochrome
2) Image position accuracy: Real time front and back registration adjustment by IQCT, mechanical registration adjustment
3) High Value Added Printing: Strengthening Special Color Lineup, Installing White Toner Printing Mechanism

©一般社団法人 日本画像学会

高速デジタルカラープリンター RICOH Pro C7210S/C7200S

一杉 潤*, 小川 禎史*, 大渕 哲也*, 三國谷 健太郎*
鷺森 悠樹**, 植松 勇一郎***

*株式会社リコーCIP 開発本部 第一 CP 開発センター
**同 CTL 開発センター, ***同 APT 研究所情報基盤開発センター

High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S

Jun Hitosugi*, Tadashi Ogawa*, Tetsuya Ohfuchi*, Kentaro Mikuniya*
Yuuki Sagimori**, and Yuuichiroh Uematsu***

*1st CP Development Center, Commercial & Industrial Printing Development Div., Ricoh Company, Ltd.
**Controller Development Center
***Information Fundamental Development Center, Institute of Advanced Printing Technology.

RICOH Pro C7210S / C7200S inherits Pro C7110S / C7100S strengthening the lineup of Ricoh's production printers. It is a digital full-color printer that responds to a wide variety of POD market needs including multifarious, small lot, short delivery time, variegate printing paper and expressive power by decorative effect. The main features are as follows.

1) High productivity: 95ppm(C7210S) / 85ppm(C7200S) for both color and monochrome.
2) High image quality stabilization: Main / sub scanning density deviation correction technology.
3) Image position accuracy: Real time registration by IQCT, mechanical registration adjustment.
4) High-value-added Printing: Special Color Lineup, Installing White Toner Printing Mechanism

1. はじめに

近年、商用印刷市場・企業内印刷市場においては印刷物の多品種化・少ロット化をはじめ、必要な時に必要な部数を低コストで印刷できるカラーPODに対するニーズが拡大している。また、普通紙やグロス紙等の一般用紙以外にも、様々な風合いを特徴とする濃色紙、凹凸紙、透明フィルム、樹脂メディア、メタリック紙など多彩な印刷用紙や媒体のプリンター用途への普及と相俟って､従来の CMYK カラー以外のスペシャルカラーによる色彩的な装飾効果を付与することで印刷物の表現力・訴求力を高める高付加価値印刷へのニーズも高まっている。

こうした中、RICOH Pro C7210S/7200S シリーズは前身モデルとなる RICOH Pro C7110S/C7100S を発展的に受け継ぎ、リコーのプロダクションプリンターのラインナップを強化､「高画質」「高信頼性」「高生産性」「高付加価値印刷」をキーワードとして、新技術「IQCT」によるスキルレスオペレーションを実現し、生産性と品質を両立するとともに、最大 4 色のスペシャルカラーによる多彩な表現力でお客様の業務拡大を強力にサポートすることを狙いとしたプロダクションプリンターの新製品である。

〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1
2-7-1, Izumi, Ebina-City, Kanagawa-Pref,243-0460, Japan
jun.hitosugi@jp.ricoh.com

2. 製品概要

RICOH Pro C7210S/C7200S シリーズのオプション装着時の外観写真を Fig.1 に示す。右から①エアピック式大容量給紙トレイ（⑤長尺用紙拡張キット付き）および⑥手差しトレイ（上)、本体および大画面操作パネル、⑬用紙冷却ユニット、⑫大容量 5000 枚スタッカー、⑧3000 枚フィニッシャーであり、基本仕様を Table.1 に示す。

3. 高画質安定化技術

3.1 主走査/副走査濃度偏差自動補正技術

プロダクションプリンティング市場において、濃度均一性は重要な品質管理項目である。特に感光体や現像ローラの部品寸法などに起因する周期的な濃度偏差は視認性が高く、改善が求められている。この課題に対して、RICOH Pro C7210S/C7200S シリーズにはリコー独自の濃度偏差補正技術が搭載されている。これによって感光体や現像ローラの部品精度向上によるコストアップを避けつつ、従来機種以上の濃度均一性を実現している。

本補正技術の概要を Fig.2 に示す。この制御における補正データ取得および補正動作は、感光体および

© 一般社団法人 日本画像学会



Fig.1 Exterior photo when installing options

Table.1 Specifications (RICOH Pro C7210S)

Term	Specifications
Configuration	Console
Printing Process	Laser Electrostatic Transfer System: 5-drum Tandem Engine
Printing Speed per Min.	Full Color: 95ppm (A4_LEF), 53ppm(A3)
	Black & White: 95ppm (A4_LEF), 53ppm(A3)
First Print Speed	Full Color: Less than 11.0 seconds
	Black & White: Less than 11.0 seconds
Resolution	2400dpi×4800dpi
Tones Reproducibility	256tones
Zoom	25%～400%
Paper Sizes	Standard Tray: A5_SEF～13×18inch（330.2×457.2mm）
	LCT: A6_SEF～13×19.2inch（330.2×487.7mm）
Maximum Image Area	323×480mm
Paper Weights	Standard Tray: 52.3～300.0gsm
	LCT: 52.3～360.0gsm
Paper Capacity	Standard: 2,200sheets×1＋550 sheets×1
	Maximum: 7,700sheets
Duplexing	Standard
Power Source	200V, 30A, 50/60Hz
Power Consumption	Less than 5.0kW
Warm-Up Time	Less than 300 seconds
Dimensions	1,320×910×1,816mm
Weight	Less than 580kg

現像ローラーの回転位置を検出するフォトインタラプタの検出信号に同期させて行う。補正データは、中間転写ベルト上に形成した濃度偏差検出用トナーパターンを濃度センサーによって検出した濃度データから算出する。そして、補正データに基づいて現像ローラー、帯電ローラーへの印加電圧、および露光量をリアルタイムで変調し、感光体−現像ローラー間の電界を安定化することで周期的な濃度偏差を補正している。露光量は各主走査位置に応じて変調量を調整することが可能であり、主走査位置によって濃度偏差の波形が異なるケースにも対応することができる。なお、上述した一連の補正データ取得動作は機内にて全て自動で行なわれるため、特別な作業や用紙の印刷は不要である。Fig.3 に本補正技術の効果を示す。Fig.3 から分かるように、本補正技術によって周期的な濃度変動が低減している。

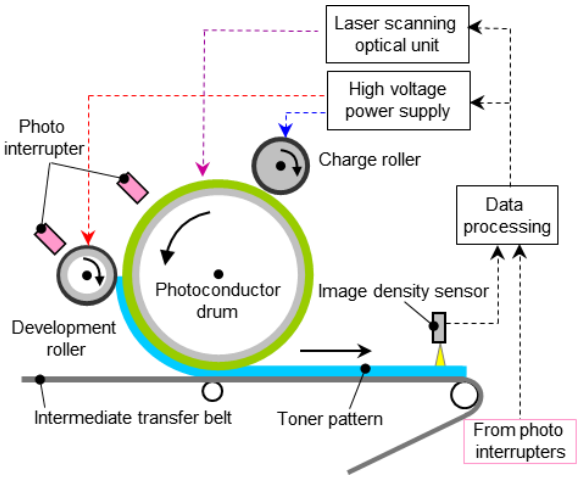


Fig.2 Illustration of the new correction technology

© 一般社団法人 日本画像学会

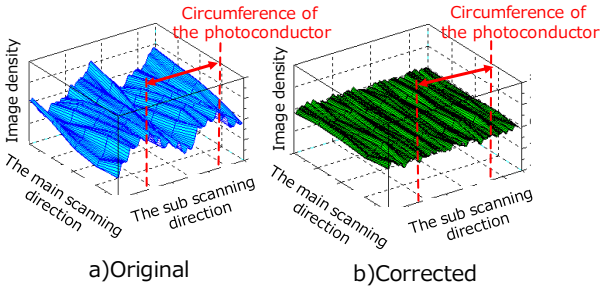


Fig.3 Control effect for the density unevenness

3.2 画像位置精度向上

プロダクションプリンティング市場では印刷物の画像位置精度は非常に重要な品質項目であるが、画像位置調整には時間を要する場合が多く、調整作業の簡易化も求められている。本機では以下の技術を搭載することで画像位置精度向上と調整作業簡易化というニーズの両立を実現している。

・ロータリーゲート方式

用紙のスキューと主走査レジストを別々に制御するロータリーゲート方式を採用している。概要を Fig.4 に示す。スキューは用紙先端を補正ゲートに突き当てて補正、主走査レジストは用紙端部をイメージセンサーで検出して転写ベルト上の画像に対するずれ量を算出して用紙をシフトさせている。ロータリーゲートは補正ゲートが搬送ローラーと一体となって回転する構造であり、ゲート退避動作を待たずして用紙搬送を行うことが出来る。

・IQCT（Inline Quality Control Technology）

概要を Fig.5 に示す。イメージセンサーを主走査方向に 2 本並べ、2 個の高精度センサー間に測長ローラーを配置した構成となっており、検出マークと用紙サイズの検出を行うことで補正している。定着熱による用紙伸縮等に対し、印刷中にリアルタイムで検出＆補正を行うことが可能となっている。

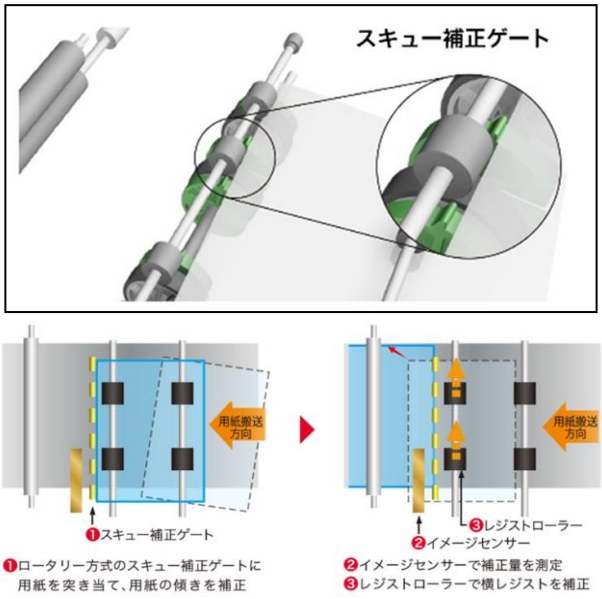


Fig.4 Illustration of the rotary gate control system

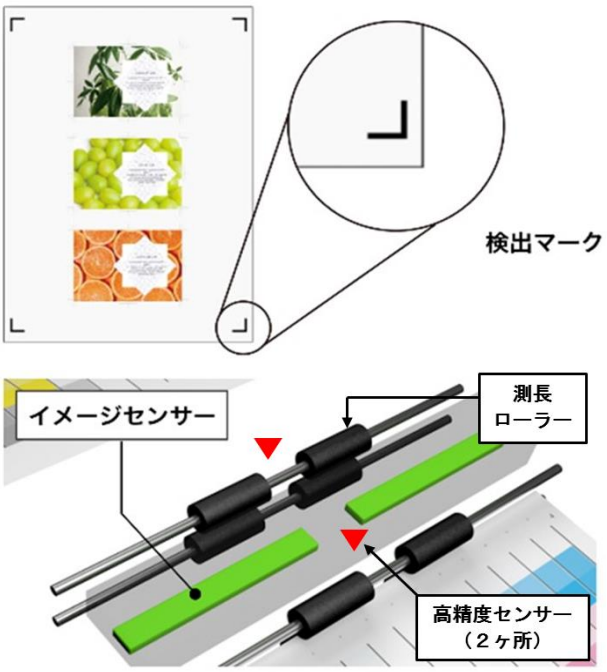


Fig.5 Illustration of the Inline Quality Control Technology

4. 高付加価値印刷

4.1 特色ラインナップ強化

近年、スマホやタブレットといったデジタルメディアの普及によって、印刷物という従来メディアの価値が相対的に低下しつつある。こうした中、顧客の印刷ビジネス拡大に貢献すべく、印刷物に対する更なる付加価値向上が重要となっている。

本機の 5 ステーションモデルでは従来のプロセスカラー4 色(CMYK)にスペシャルカラー1 色を加えた 5 色マルチカラー印刷を搭載、印刷物の表現力を高め、付加価値向上を実現している。スペシャルカラーはラインナップから任意の色を選択することが可能であり、ユーザー自身が自由に色交換を行うことが出来るため、小ロットかつオンデマンドな用途が多い POD 機に適した運用を可能としている。

前身モデル RICOH Pro C7110S/C7100S 発売当初から提供してきたクリアトナー/ホワイトトナーに加え、C7210S/C7200S 発売に向けて新たにネオンイエロートナー/ネオンピンクトナー/インビジブルレッドトナーを追加し、スペシャルカラーラインナップの拡充を実現した。(*1)。

4.1.1 クリアトナー

印刷物に光沢感を付与し、透明トナー特有の視覚効果や高級感を与える表面装飾及び全面コートによる表面保護効果を特長としている。

4.1.2 ホワイトトナー

隠蔽度の高いホワイトトナーにより、濃色紙、透明メディア、メタリック紙といった多彩なメディアを使用した印刷が可能となり、印刷物の表現力や訴求力の向上を実現している。

© 一般社団法人 日本画像学会

4.1.3 ネオンイエロートナー

ビビッドな蛍光色によるアイキャッチ効果を持ち、デジタルディスプレイでは表現の出来ない蛍光色固有の色彩表現を提供している。

4.1.4 ネオンピンクトナー

視覚的なインパクトの強い蛍光感によるアイキャッチ効果に加え、プロセスカラーとの掛け合わせによる肌色やオレンジ系の表現力を特長としている。

4.1.5 インビジブルレッドトナー(*2)

ブラックライト照射で赤く発光する特性を持ち、印刷物のデザイン性や装飾性に幅を持たせる他、簡易的なセキュリティ効果も可能としている。

*1：全 5 色ラインナップは C7100S/C7200S 共通。
*2：2018 年 4 月現在、海外のみで発売。

4.2 ホワイトトナー先刷り機構

4.2.1 背景

前身モデル RICOH Pro C7110S/C7100S シリーズから提供しているホワイトトナーは単色の表現力は元より、濃色紙やメタリック紙に対する CMYK 色の下地効果として活用されるケースも多い。概要を Fig.6 に示す。従来で 1 度目の印刷（以下、1 パス）で下地用としてホワイト単色を印刷し、2 度目の印刷（以下、2 パス）で CMYK を上重ね印刷するという作業を必要としていたため、単純に 2 回の印刷を行う手間だけでなく、ホワイトと CMYK の色ズレ調整が課題となっていた。こうした課題に対し、本機では 1 度の印刷で画像位置ずれの無いホワイト先刷りを可能とする「ホワイトトナー先刷り機構」を搭載した。

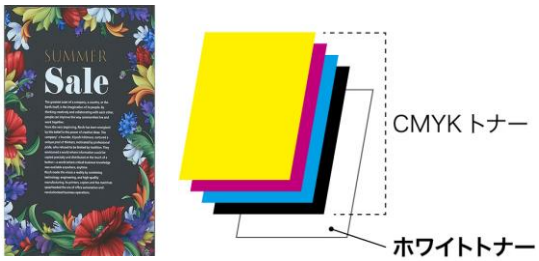


Fig.6 CMYK color print on White

4.2.2 ホワイトトナー先刷り機構概要

ホワイトトナー先刷り機構を Fig.7 に示す。印刷前準備としてブラックとホワイトの現像ユニット及びトナー補給ユニットの入替を行う。現像ユニットは前身モデルから踏襲し、新旧シリーズで交換可能な構成としている。トナー補給ユニットは前身モデルから搭載した自社独自のダイヤフラムポンプと搬送チューブの構成を踏襲しつつ、一部に改良を加えている。搬送チューブによるトナー搬送のレイアウト自由度を活かし、ブラックトナーとホワイトトナーの搬送チューブを本体内部へ収納可能とし、トナー補給ユニットの位置によって搬送チューブの長さを可変とする方式を採用した。

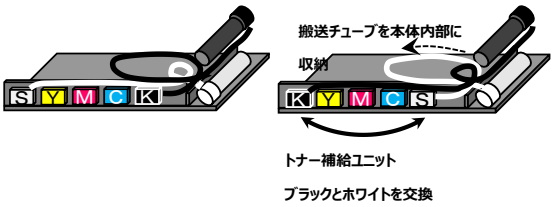


Fig.7 Illustration of the CMYK color print on White system

4.2.3 ホワイト先刷り用キャリブレーション

ホワイトトナー先刷りによる 1 パス印刷は従来の 2 パス印刷と比較するとホワイトトナー上の CMYK の画像濃度が低くなる傾向にある。概要を Fig.8 に示す。これは 1 パス印刷にてホワイトトナーと CMYK トナーが同時に定着されるためにトナー同士が混ざり合うという一般的な現象に起因している。この現象に対し、ユーザーが個別に色味調整を行うと手間が掛かってしまうため、ホワイトトナー先刷り用キャリブレーション機能を実装した。ユーザーは 2 パス印刷時の画像濃度をターゲットとして保持しておき、1 パス印刷時に画像濃度を補正するキャリブレーションチャートを印刷、分光測色計を用いて測定することでホワイトトナー先刷りによる画像濃度低下分の補正を行うことが出来る。

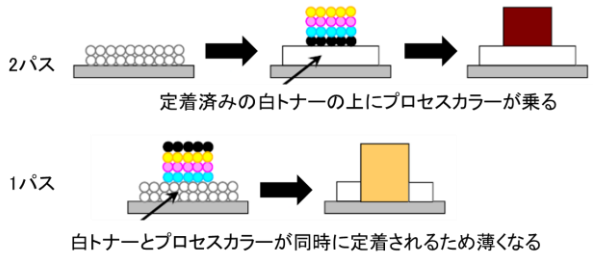


Fig.8 Difference in color mixing of 1 pass and 2 pass

おわりに

以上、カラーPOD 機 RICOH Pro C7210S/C7200S シリーズの特徴と搭載技術について述べた。今後も全方位の技術分野において技術向上を継続的に進め、顧客視点に立った魅力ある高付加価値商品の開発を進めていく。

参考文献

1) M.Komatsu,S.Katoh,N.Takeuchi,A.Yoshida, “Optimal Toner Supply Contorol System for Stabilization of Image Density”,Proceeding of ICJ2013:The 111st Annual Conference of the Imaging Society of JAPAN (2013),pp.209-212 [in Japanease].
2) H.Nakai,K.Hasegawa,S.Tanaka,H.Ninomiya,A.Takashima “Technologies for High Durability and Reliability of the Photoconductor Unit ” ,Ricoh Technical Report,38,pp.37-43(2012) [in Japanease].
3) H.Inenaga,R.Mimbu,K.Maeda,S.Ishikawa, “ Technology of Media Capability for Color POD Printers”, Proceeding of ICJ2012:The 109th Annual Conference of the Imaging Society of JAPAN (2012),pp.197-199 [in Japanease].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPs] 電子写真システム
Electrophotographic System
2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPs-03] ベイジアンネットワークによる複写機内エアフローの自律制御技術
Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network

*小早川 周平[1]、田村 和也[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Shuhei Kobayakawa[1], Kazuya Tamura[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

微粒子排出規制の拡大や新興国市場の拡大、印刷機の高速化に伴い、熱・汚れ・結露・騒音などに対する環境対応技術の向上が求められている。
環境に応じた気流の自律適応制御によって高い環境性能を実現する技術について報告する。

まず初めに気流と熱/汚れの関係を解析し、それを元に気流の切り替えによって性能バランスを変更する技術を構築した。
ここで、印刷機が設置された環境や使用方法によって優先すべき性能が変化するため、印刷機が自律的に気流を切り替える必要がある。
そこで、ベイジアンネットワークに基づく自律制御アルゴリズムを構築した。
これにより従来の気流制御と比較して高い環境対応性能を発揮できることを確認した。

©一般社団法人 日本画像学会

ベイジアンネットワークによる複写機内エアフローの自律制御技術

小早川　周平*，田村　和也*

*富士ゼロックス株式会社　研究技術開発本部 基盤技術研究所

Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network

Shuhei Kobayakawa*, Kazuya Tamura*

*Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.

Handling of heat and toner dust inside the printing machine became difficult with the globalization of printer market. Trade-off relation between air cooling and dust control made it difficult to handle them at low cost. In this report, we have reported adaptive control technique of airflow system. First, we analyzed relation between wind velocity and heat/dust. Then, we designed airflow altering system using multi-objective optimization method. Finally, we developed optimal control algorithm by Bayesian Network.

１．はじめに

プリンタ市場の拡大に伴い、寒冷地域や熱帯地域などの厳しい設置環境への対応が求められている。例えば、寒冷地域での結露や熱帯地域での機内温昇、更に高湿下では、帯電量低下による遊離トナー増に伴う機内汚れなどへの対応も必要となる。コストの観点からファン風量などの気流制御で対応することが望ましいが、冷却・排熱を促進する強い気流を形成するとトナー粒子が飛散して機内汚れが増加するなどの弊害が生じるため、これら複数の問題を回避するエアシステムの実現は容易ではない。

著者らはこれまで、気流と熱/汚れの関係について解析を進めてきた[1]。その結果、冷却や排熱に適したエアシステムとトナーダストの回収や機内汚れの抑制に適したエアシステムは、気流が必要な箇所や風速が大きく異なり、全く異なるエアシステムが必要であることを示した。本報告ではこれら異なるエアシステムを同一の機内で切り替えて使用し、複数の目的に対して適応制御する技術について検討した。具体的には、機内の複数の開口を開閉することでエアシステムを切り替える機構、およびそれを自律的に切り替え制御するためのベイジアンネットワークに基づく制御アルゴリズムについて報告する。

２．気流と熱/汚れの関係

エアシステムの切り替え制御に向けて、熱の移動やトナーダストなどの微粒子汚れの回収に対する気流の影響をモデル化する。

2.1　気流と熱の関係

まず熱については、気流とパーツ温度 T の関係を(1)式のように扱う。

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C}\left(\frac{dQ}{dt}_{\text{発熱}} + \frac{dQ}{dt}_{\text{伝熱}} + \frac{dQ}{dt}_{\text{熱伝達}}\right) \quad (1)$$

C ：熱容量[J/K]

現像剤の摩擦等により自己発熱する効果を発熱項として扱う。また、定着器や電子回路などの高温部からの熱伝導や移流を第 2 項で扱う。風冷による熱の移動はニュートンの冷却則より、複写機周囲の雰囲気温度 T_{air} を用いて(2)式のように記述できる。

$$\frac{dQ}{dt}_{\text{熱伝達}} = -\alpha S(T - T_{air}) \quad (2)$$

α ：熱伝達率[W/m²・ K]
S ：部品の表面積[m²]

熱伝達率 α は部品の形状や気流条件によって決まる冷却効率を表す係数であり、風速が大きいほど α も大きくなる。熱流体シミュレーションによりパーツの温度変化を計算し、それを元に熱伝達率 α を求めた(Fig.1)。



Fig. 1　Computational fluid dynamics of printer engine

＊259-0157 神奈川県足柄上郡中井町境 430 グリーンテクなかい
*430 Sakai, Nakai-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa, Japan
e-mail: kobayakawa.shuhei@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

2.2 気流と汚れの関係

トナー汚れの主因は現像器からのトナー飛散であることがわかっており、トナー汚れの飛散量は現像プロセスにおけるニップ部周辺の風速に依存することが実験的に確認されている(Fig.2)[2]。

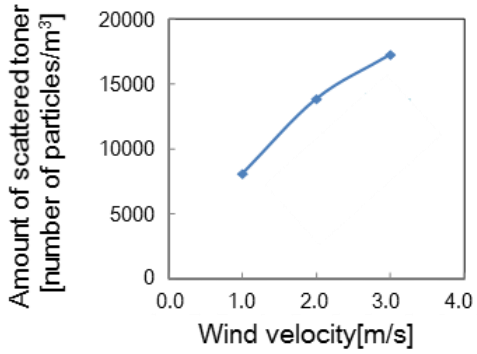


Fig. 2 Relationship between the amount of scattered toner and wind velocity [2]

飛散したトナーはフィルターなどを用いて回収されることが望ましいが、一部トナーは周辺の部材に付着してしまう。部材の壁面に付着するトナーの量は飛散したトナー量と壁面近傍の沈降速度 v に基づいて算出した。

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_S - \rho_W)gd}{3\rho_W C_d}} \qquad (3)$$

ρs ：飛散トナーの密度[g/m³]
ρw ：空気の密度[g/m³]
Cd ：流体の抗力係数[-]
g ：重力加速度[m/s²]
d ：トナーの直径[m]

3．気流による環境性能切り替え

著者らのこれまでの研究では、冷却に適した気流と汚れ回収に適した気流が大きく異なることが確認されている[1]。本章では”冷却優先”や”汚れ回収優先”などの複数のエアシステムを簡易な切替機構だけで 1 つのマシン上に実現する方法を検討した。具体的には、機内に設置したファンと開口部の開閉操作により効率的に気流を切り替える方法を多目的最適化手法を用いて検討した。多目的最適化手法は、トレードオフ関係にある複数の目的を同時に満たす設計条件を最小限の試行回数で探索するものである。1 つの画像形成エンジンあたり 3 つのファンと 11 個の開口を設置して冷却性能と汚れ回収性能の 2 目的を最適化する解群を探索した結果 Fig.3 のようなトレードオフ関係が抽出された。例えば Fig.3 中のエアシステム A では冷却性能が、エアシステム B では汚れ回収性能が優れており、画像形成エンジン下方の

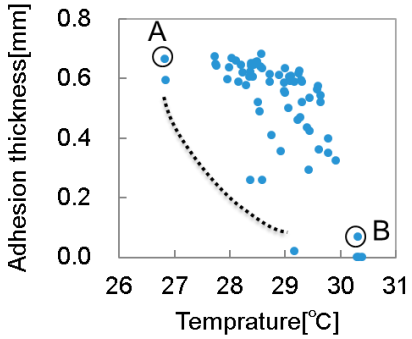


Fig. 3 Pareto solutions of airflow system

開口によって性能を切り替えられることがわかった。2 つの性能指標を同時に良化させる方向性を探索すると共に、制御因子を明確にすることができた。

エアシステム A、B 近傍の解の特徴を考察した結果、汚れ回収に優れたエアシステム(B 近傍)では現像器の長手方向に緩やかで均一な気流を形成することで飛散トナーを回収フィルターに誘導し、冷却に優れたエアシステム(A 近傍)では汚れの発生部であるニップ領域から離れた画像形成エンジン下方からやや風速の早い乱流を当てる構成となっており、従来研究で示された思想に倣った気流が単純な切り替え機構によって実現できることを確認した。

4．気流の自律適応制御アルゴリズム

前章で構築した気流切り替え機構を制御するアルゴリズムを検討した。多数のファンや開口からなる制御因子群に加えて、熱や汚れに影響を及ぼす環境条件や使用条件などの外乱条件も多岐に渡り、制御アルゴリズムは複雑な気流操作を要求される。このため PID(Proportional Integral Differential)などのシンプルな制御では対応が難しいため、機械学習を用いた制御アルゴリズム構築を行なった。設定した気流条件下でどのような熱/汚れへの対応性能が発現するかについて、熱流体シミュレーションにより多量のデータを生成し学習することで最適制御を行なう

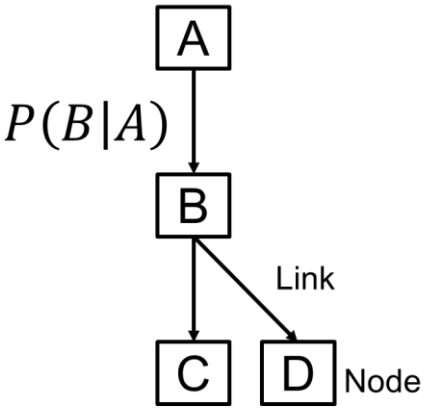


Fig. 4 Bayesian Network Model

© 一般社団法人 日本画像学会

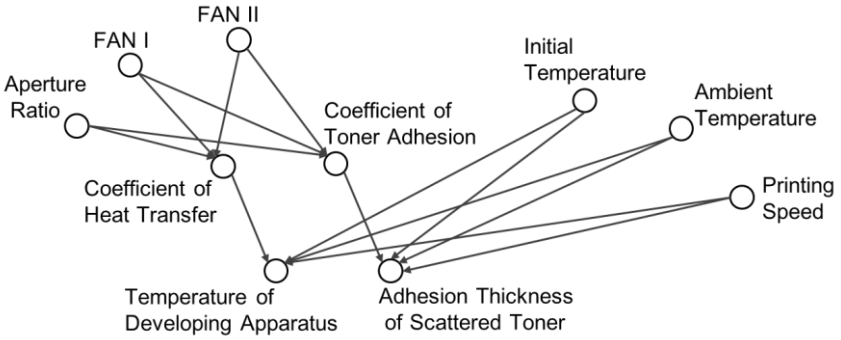


Fig. 5　Network model for adaptive control system

アルゴリズムを構築した。使用したのはベイジアンネットワークと呼ばれる機械学習モデルで、変数をノード、関係性をリンクとして表現することで多数の変数間の関係をネットワーク状のモデルに変換することができる(Fig.4)。学習データから得られた変数間の関係性は条件付き確率としてモデル化され、矢印で表現される。ネットワークのリンク接続構成はデータから学習する方法と、開発者が明示的に与える方法がある。本報告のモデルでは、2 章で述べた物理メカニズムを元に開発者がネットワーク構造を決定した。

ベイジアンネットワークモデルではベイズの定理

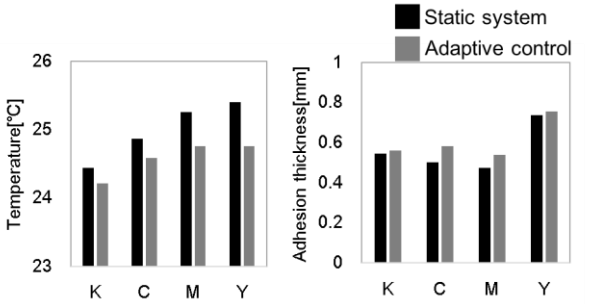
$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \qquad (4)$$

を用いることで指定した制御結果が得られる条件を確率として逆推定することができる。本報告では、これを利用して所望の環境性能が得られる気流設計条件を推定した。

汚れの発生量や必要な冷却性能は温湿度や機器の状態に応じて変化するため、全ての条件を詳細に扱おうとすると必要な学習データが指数関数的に増加する。そこで、本研究で構築したネットワークモデルは Fig.5 のような構成をとった。エアシステムの性能を表す熱伝達係数や汚れ係数を中間ノードとして配置し、エアシステムと係数の関係をベイジアンネットワークで、係数と制御結果の関係を物理モデルで計算した。温湿度や機器の使用状態による影響は物理モデル側で算出することによって、機微な条件差をすべてシミュレーションする必要を排除した。

５．効果確認と考察

シミュレーションによって適応制御の効果を確認した。4 色エンジンを持つ複写機を 22 ℃の環境に設置し、30 分間稼働させた場合の汚れと温度上昇を評価すると、Fig.6 のようになった。高温環境において、大きく汚れを増加させることなく、各エンジンの温度を狙い値(25 ℃)以下に抑制することができている。



(a)　(b)

Fig. 6　Simulation results of Airflow systems
(a)Temperature　(b)Adhesion thickness

開口の開閉により気流導入路の角度を切り替えることで現像器に沿った層流と衝突方向の乱流の活用バランスを変更し、温度上昇や汚れへの対応を両立させることができたものと考えられる。

６．まとめ

本報告では、単純な切り替え機構を加えることで目的の異なるエアシステムを 1 つの構成内で実現する技術を構築した。また、ベイジアンネットワークに基づいて多数の環境要因やノイズを考慮にいれてエアシステムを制御する技術を構築した。これらの技術を用いて低コストに温度上昇や汚れの抑制を実現する方法として気流の適応制御手法を構築し、シミュレーションによって有効性を確認した。

参考文献

1) Kazuya Tamura, Masafumi Kudo, Yasunori Momomura, Minoru Kasama, and Koji Udagawa, “System selection of airflow systems in copying machines by using operation window”, RQES2017S (2017) [In Japanese]
2) Kazuya Tamura, Masafumi Kudo, Yasunori Momomura, Minoru Kasama, and Koji Udagawa, “Functionality evaluation of airflow systems for scattered toner dust in a copy machine”, 31st International Conference on Digital Printing Technologies (2015)
3) 本村陽一, “ベイジアンネットワーク: 入門からヒューマンモデリングへの応用まで”,日本行動計量学会第 7 回 (2004) [In Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EPs] 電子写真システム
Electrophotographic System
2018年6月20日(水) 13:00 ～ 14:20 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EPs-04] 昇圧効果を利用した新規エアフローシステムによる帯電信頼性の改善
Improvement of Reliability for a Corona Discharging Device by a New Air Flow System Applying the Pressure Rising Effect

*長森 由貴[1]、百村 裕智[1]、工藤 雅史[1]、井波 かづき[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Yuki Nagamori[1], Yasunori Momomura[1], Masafumi Kudo[1], Kazuki Inami[1] （1. Fuji Xerox Co.,Ltd）

コロナ放電を利用した帯電器では，機外から導入した外気によるエアフローでオゾンを帯電器から押し出し，フィルターを介して機外に排出している．しかしながら，この外気には微小な塵などが含まれており，エアフローに追従して帯電器に付着する．この結果，エアフローの風速分布に従って付着物の偏在が発生し，帯電均一性が悪化して帯電器の寿命を縮めている．そこで，空調分野などの大空間で使われているプレナムチャンバーを応用し，均一なエアフローを形成する新規ダクト開発により，帯電器の信頼性を大幅に向上したので報告する．

©一般社団法人 日本画像学会

昇圧効果を利用した新規エアフローシステムによる帯電信頼性の改善

長森　由貴*，百村　裕智**，工藤　雅史***，井波　かづき***

富士ゼロックス株式会社
*デバイス開発本部　次世代マーキング開発部
**デバイス開発本部　デバイスシステム開発部
***研究技術開発本部　基盤技術研究所

Improvement of Reliability for a Corona Discharging Device by a New Air Flow System Applying the Pressure Rising Effect

Yuki Nagamori*, Yasunori Momomura**, Masafumi Kudo***, and Kazuki Inami***

* Advanced Marking Development, Device Development Group
** Device System Development, Device Development Group
*** Key Technology Laboratory, Research & Technology Group
Fuji Xerox Co., Ltd.

In xerography, ozone is being exhausted using airflow in a corona discharging device. But density difference according to the distribution of airflow velocity occur because of sticking of minute trash included in outside air to a discharging device. The plenum chamber generally used for huge air conditioning system is applied to small blower duct of copying machine, the reliability of a discharging device is improved substantially.

１．はじめに

コロナ放電を利用した帯電器では，放電時に発生するオゾンによって感光体が劣化するのを防止する必要がある．一般的には，機外から導入した外気を吸気し，フィルターを介し，帯電器内部で発生したオゾンを機外に排出している [1)]．しかしながら，この外気には微小な塵や加湿器から発生するカルシウム等の絶縁物が含まれており，エアフローに追従して帯電器に付着する．その結果，エアフローの風速分布に従って付着物の偏在が発生する．特にグリッドへの付着は部分的な高抵抗化を引き起こし，帯電均一性が悪化し帯電器の寿命を縮める．そこで，空調分野等の大空間で使われているプレナムチャンバーを応用し，軸方向において均一なエアフローを形成する新規エアフローダクト開発により，帯電器の信頼性を大幅に向上したので報告する．

２．エアフローの課題

弊社のプロダクションプリンタである Color 1000 Press 等に搭載されている帯電器は，2 つのスコロトロンを併設する構成となっており，高画質・高生産性・高信頼性を実現している．そのため，両方のスコロトロンにエアフローを形成する必要があり，風速に差がないことが重要となる．また，グリッドと感光体の距離を近接させる高効率な帯電方式であるが，その反面，グリッドの状態が帯電均一性に影響しやすく，軸方向の均一性が一段と重要になる．

Fig.1 に Color 1000 Press の断面図を示す．図中の矢印はエアフローを表し，外気から吸気した空気を帯電器に送風し，スコロトロンワイヤ近傍に発生するオゾンを帯電器外へ排出する役割を持つ．しかしながら，風速の強弱に追従し，外気に含まれる粉塵等のグリッドへの付着量も増減する．この結果，局所での帯電電位差が発生し，濃度のムラとして視認される．

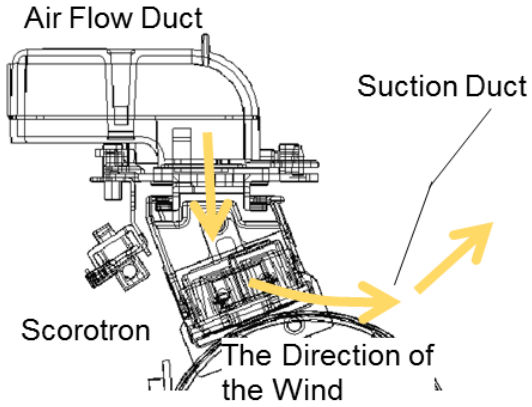


Fig.1 Air flow for Color 1000 Press.

Fig.2 に帯電器のグリッド位置における軸方向の風速分布と，長期にプリントテストを実施した際の

*〒243-0494 神奈川県海老名市本郷 2274 番地
*2274 Hongo, Ebina-shi, Kanagawa 243-0494, Japan
e-mail: yuki.nagamori@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

濃度(初期とプリントテスト後の 40%ハーフトーンの濃度差)の関係を示す.風速が高い領域において濃度差が大きくなっており，風速分布と濃度ムラに相関があることがわかる．これは，風速増加によってスコロトロンに付着する微小浮遊物の量も増加したことにより，電位制御機能が低下し，濃度が低下していることを意味している．この結果，局所での帯電電位差が発生し，濃度のムラとして視認される．

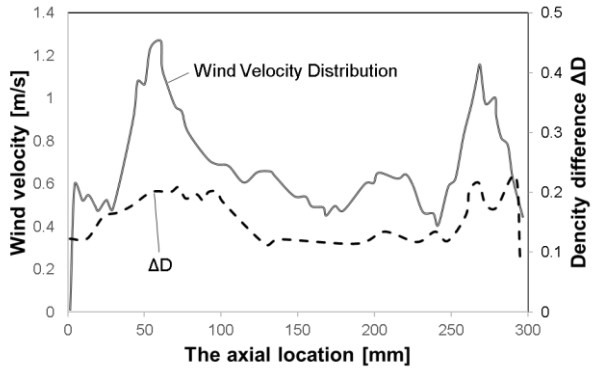


Fig.2 Wind velocity and density difference along the axial location of scorotron.

濃度ムラを抑制するには，軸方向に均一なエアフローを形成し，グリッドへの付着量も均一化することが重要である．従来は，整流板によって軸方向に分流するエアフローの方式が多く採用されている．しかしながら，この方式では，Fig.3 に示すように，整流板に沿って風速の高いエアフローが形成され，整流板間では滞留渦が形成されて風速が弱まるため，局所での風速差が大きくなる．

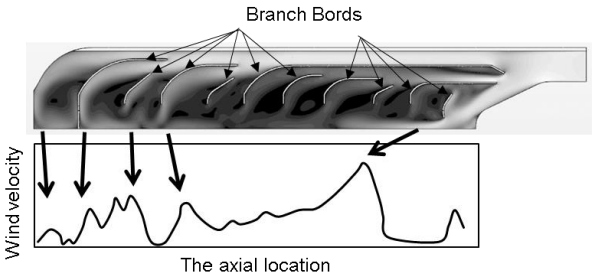


Fig.3 Wind velocity distribution of the neighborhood at the rib duct exit.

また，スコロトロン内部ではコロナ放電によるイオン風が発生[2)]しており，シールド内だけでなく，スコロトロン 1 とスコロトロン 2 の干渉によっても多数の渦状の流れが発生する．この領域にスコロトロン上部から Fig.4 に示す軸方向に細いエアフローを形成すると，シールド内の渦が助長され，スコロトロンから放電生成物が排出されずに画像流れなどの不具合が生じてしまう．

これらの課題に対して，エアフローを制御して帯電器内の軸方向に風速を均一化させる手段として，空調設備の分野で一般的に使用されるプレナムチャンバー方式に着目した.プレナムチャンバー方式は，ある体積を持つ空間（チャンバー）に空気を一度溜めることにより，壁面にかかる圧力を均一化する．そのため，任意の位置に排出口を設けることで，エアフローを形成することができる．さらに排出口の圧力が均一化されることにより，均一な風速分布を形成することができる．そこで，大空間を必要とする空調技術を約 0.56ℓという小さな容積の帯電器送風ダクトへ適用する検討を行った．

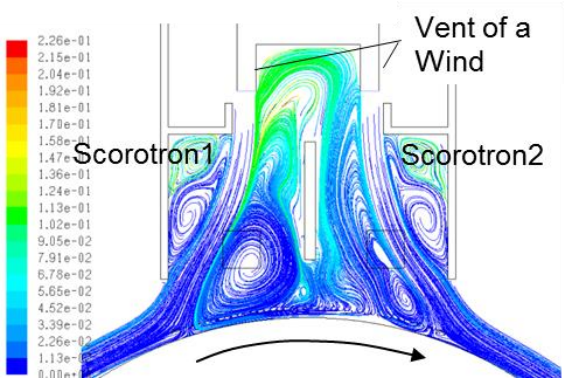


Fig.4 Ionic wind at double scorotron.

３．新規ダクト検討

３．１　狙いと基本構成

帯電器送風ダクトは,以下の 3 つの機能と目標値を満たす必要がある．本報告における目標値は事前検証により決定した.

①帯電器のグリッドなどへ絶縁物が局所的に付着することを防止するため，均一な風速分布であることが必要となる.そこで目標は 50mm 幅の中での風速最大値と最小値の差分（以下，PK-PK）が 0.5m/s 以下，かつ全幅での PK-PK が 0.6m/s 以下とした.

②帯電器内のオゾンの滞留を防止するため,上面から面状にエアフローを形成する構成であること.さらに，スコロトロン 1 とスコロトロン 2 の風量差によっても滞留渦が増加することがわかっており，その差を 0.1m^3/min 以下とした.

③オゾンによる画像流れを防止するために必要な最低風量以上とした.

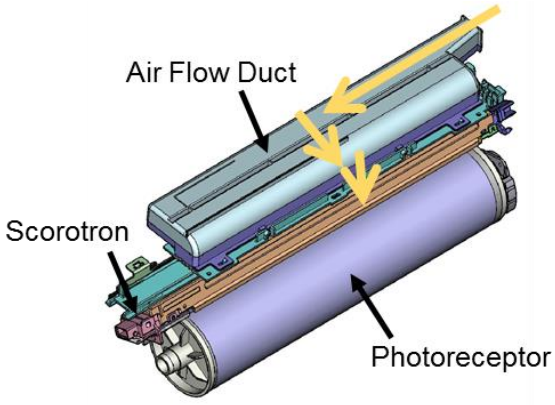


Fig.5 Charge device and air flow duct for Color 1000 press.

© 一般社団法人 日本画像学会

さらに，Fig.5 に示すように，約 0.56ℓ のダクト体積の中で，背面側から吸気したエアを軸方向に均一化し，上部から 2 つのスコロトロンに送風するといった実装上の制約もある．このような体積の制約から，大容積の空間に一度エアを溜めて周囲を押す力で制御する静圧の概念ではエアフローの方向と均一性を制御することはできない．つまり，エアフローの風速によって流れ方向に存在する圧力である動圧が支配的となるため，均一性と流量を両立するためにどこまで圧力損失を与え，ダクト内を昇圧するかが重要となる．

上記の機能を満たすダクトの基本構成を Fig.6 に示す．装置の背面から前面に向かうエアフローを軸方向に均一な風速分布にするため，圧力損失部を設けて風速を低下させ，最初の風向制御と風速の均一性を同時に実現する．さらに，滞留渦抑制のためには帯電器上部から面状にエアフローを形成する必要があることから，ダクト出口を多孔質形状とし，2 回目の風向制御も同時に行う．それぞれの形状パラメータを数値流体解析により検討した．

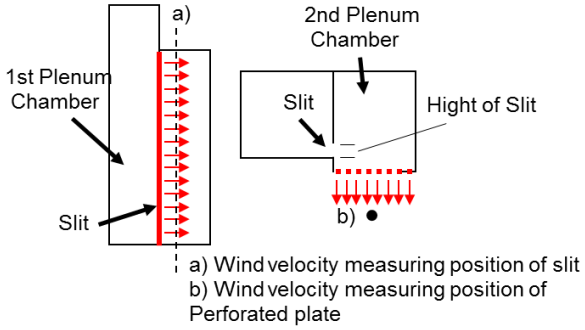


Fig.6 Key composition of the needed function for plenum duct.

3．2　パラメータの検討

i）軸方向均一性

圧力損失を行う形状として，Fig.6 左図に示す軸方向に薄い空間(以下スリット)を構成し，スリットの高さをパラメータとした．

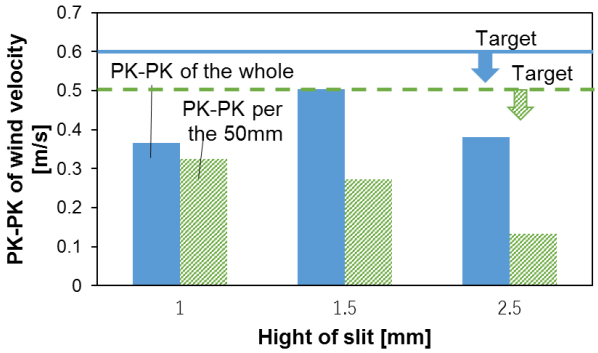


Fig.7 The difference between the maximum and the minimum value of wind velocity.

スリットの高さに対する軸方向全体の風速 PK-PK と，50㎜あたりの局所的な風速PK-PKの関係をFig.7 に示す．この結果より，本報告におけるスリットの検証範囲において，所望の均一性が得られていることがわかる．また，風量は風速×断面積であり，所望の風量を得るにはスリット部の断面積，すなわちスリットの高さで制御可能となる．

ii）スコロトロン 1 と 2 の風量差

帯電器への全面排出を実現するため，本報告では保全性を考慮し多孔板を選定した．多孔板のパラメータとしては，Fig.8 に示される開口部の配置 a，孔の間隔 b，開口幅 c，孔径 d のほか，板の厚さなどがある．ここでは，2 つのスコロトロンへの風速差に対して最も効果が大きかった開口部の配置に関する結果について述べる．

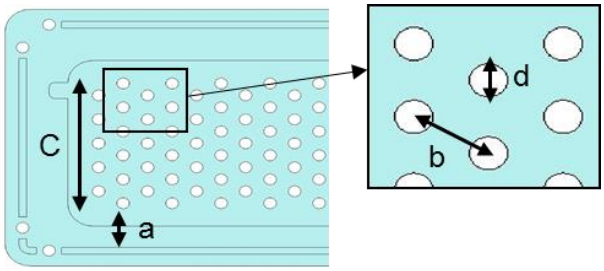


Fig.8 Arrangement and parameter of a perforated plate.

Fig.9 は開口部の配置 a を変化させたときのスコロトロン 1 と 2 の平均風速の差を示している．多孔板の配置をスリット側に近づけるほど全体の風速 PK-PK が小さくなり，均一化されている．また，全体の風速も小さくなっていることから，孔の位置をスリット側に近づけることによって圧力損失が大きくなり，風速均一化の効果が高まっているとも言える．この結果から，2 つのスコロトロンの風速差は，開口部の配置が支配的となっていることがわかる．

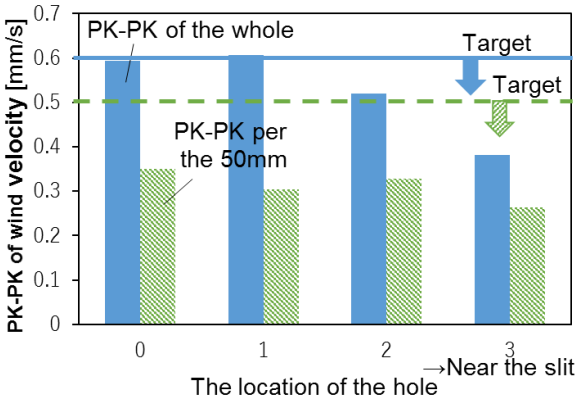


Fig.9 The Scorotron1 and the Scorotron2 wind velocity difference.

以上の結果から，スリットの高さを 2.5㎜，多孔板の孔の配置を最もスリットに近づけた条件 3 で解析したプレナムダクト内のコンター図とダクト出口の風速分布を Fig.10 に示す．この結果より，第 1 のチャンバー内で背面から流れ込む風速が減速され，スリット部での圧力が高まることで第 2 のチャンバー内の風速が均一化していることがわかる．また，

© 一般社団法人 日本画像学会

ダクト出口の風速分布も Fig. 4 に示したリブダクト出口の風速分布に比べて均一化されている.

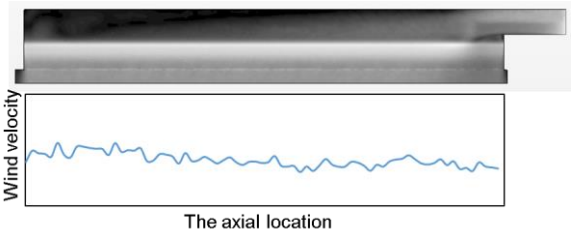


Fig.10 Wind velocity distribution of the neighborhood at the Plenum duct exit.

4. 結果

4.1 風速分布の均一性

量産性を考慮してパラメータを選択し，作成したダクトの断面図を Fig. 11 に示す. エアフローは図中奥側から手前に向かって第 1 のチャンバーに流れ込み，左右 2 つの空間をつなぐ下部のスリットによって圧力制御を受けながら右側の第 2 のチャンバーに流れ込む. スリットを通ったエアフローの一部は，多孔板に向かう斜め下向きの流れとなるが，大部分は円弧形状の壁面に沿った上向きの流れとなり，スリットから多孔板に向かう流れと合流して多孔板から帯電器に向かうエアフローとなる.

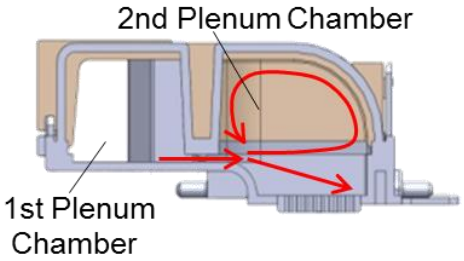


Fig.11 The cross-sectional view of the plenum duct for scorotron.

Fig. 12 に，このダクトによるグリッド近傍の風速分布を示す. スリットの圧力制御と多孔板の風向制御により，軸方向に均一な風速分布となっているだけでなく，2 つのスコロトロンの風速差もほとんどない. このエアフローは，画像流れを発生させない最低風量を確保し，かつ外部から絶縁物質を取り込む量をできるだけ少なくする風速で実現できている.

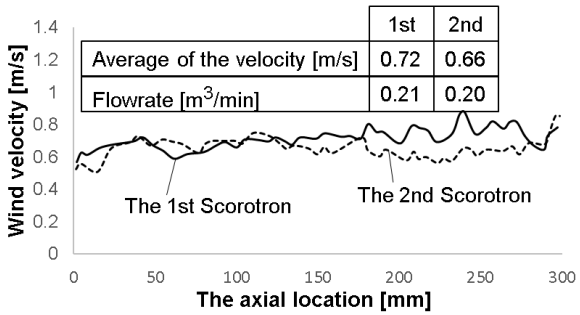


Fig.12 Wind velocity distribution in two scorotron wire neighborhoods.

4.2 信頼性評価

Fig. 11 に示すダクトを Color 1000 Press に取り付け，信頼性評価を行った結果を Fig. 13 に示す. Color 1000 Press でドラムの回転数 2 メガサイクルに相当する走行テストを行った際の 40%ハーフトーンの軸方向濃度差(初期濃度との差)で示している.

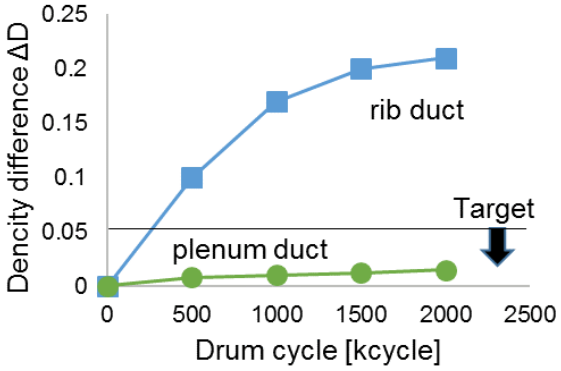


Fig.13 Change in Δ E in a run test.

従来のリブダクトに対し，大きな信頼性改善効果が得られており,プレナムダクトによる風速均一化，風量最適化による効果が確認できた.

5. まとめ

コロナ放電型の帯電器に適用するエアフローダクトについて，大容量の空調設備に使用されるプレナム効果を応用し，小さな容積を常に空気で満たすことで昇圧効果を最大限に引き出した. その結果，軸方向に均一な風速を実現し，かつ画像流れなどの二次障害を発生させないエアフローダクトを獲得することができた. また，圧力を制御するためのスリット，2 つのスコロトロンの風速を等しくするための多孔板という 2 つの構成要素について，それぞれのパラメータを制御することで，エアフローダクトを自由に設計できることを示した.

本プレナムダクトは，Color 1000i Press，Iridesse™ Production Press に搭載され，高い信頼性を実現している.

参考文献

1) Nobuhiko Okano, “Heightened Productivity and Reliability in a Next-Generation B/W Mid-Production Printer”, KONIKA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT, VOL15, pp.46-52(2018). [in Japanese]

2) Kazuhiro Mori, “Computational Fluid Dynamics of Ionic Wind in a Corona Device in Electrophotography-(2)”, Journal of Imaging Science and Technology, Vol 53, No.4, pp40502-1-40502-8 (2009).

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Electrophotography

[EP3] Electrophotographic Devices (3)

Session Chair:Takeshi Menjo(Canon Inc.), Takeshi Watanabe(Toshiba Tec Corporation)

Wed. Jun 20, 2018 2:40 PM - 3:40 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[EP3-01] Evaluation of the Powder Adhesion Properties by Friction Test - New Index for Paper Characterization -

*Yosuke Tsukiyama[1], Yohei Sato[1], Keisuke Kato[1], Isami Nitta[1] （1. Niigata University）

2:40 PM - 3:00 PM

[EP3-02] A Study on Paper Feed Velocity in a Transfer System with Elastic Intermediate Transfer Belt

*Takashi Hashimoto[1], Hideaki Kibune[1] （1. RICOH COMPANY, LTD.）

3:00 PM - 3:20 PM

[EP3-03] Development of Transfer Process Applicable to Various Mediums for Liquid Electrophotography with Tandem-Electrostatic Transfer Method

*Taijyu Gan[1], Takeshi Nagao[1], Toshihiko Mitsuhashi[1], Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1]
（1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

3:20 PM - 3:40 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | 電子写真

[EP3] 電子写真デバイス (3)
Electrophotographic Devices (3)

2018年6月20日(水) 14:40 ～ 15:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP3-01] 摩擦試験による紙粉付着性の評価 ～紙特性評価のための新指標～
Evaluation of the Powder Adhesion Properties by Friction Test - New Index for Paper Characterization -

*月山 陽介[1]、佐藤 陽平[1]、加藤 桂介[1]、新田 勇[1] （1. 新潟大学）
*Yosuke Tsukiyama[1], Yohei Sato[1], Keisuke Kato[1], Isami Nitta[1] （1. Niigata University）

プリンタ複合機（MFP）の作像・搬送性能に影響する紙粉発生の良し悪しを判断する評価手法として開発した『ローラ摩擦紙粉検出法（仮称）』について報告する。この手法は紙をローラで100mm摩擦した時の摩擦低下を測る簡便な手法で、各種用紙のMFP適合性を紙粉の観点から評価可能である。最適なゴム種および荷重などの試験条件について，通紙性能が判明している4紙を用いて明らかにし，また，海外市場の紙29銘柄をテストした結果も併せて報告する。現在一般社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会（JBMIA）に本手法の標準化提案を行っている．ワークショップでも本発表と関連内容のディスカッションが予定されている．

We developed an paper evaluation method for the paper lint that has an influence on imaging and paper feed performance of the Multi-function printers(MFP). In this method, the rollers slide on paper surfaces for 100mm and the decrease of the friction during sliding is measured. By this method, we are capable of characterizing and evaluating the effect of the paper lint on the performance of the paper feed. We evaluated the 4 kinds of papers whose paper feed performance in MFPs are known, and the test result matches with the paper feed performance. We also report the evaluation results for 29 brands of papers in overseas market.

©一般社団法人 日本画像学会

摩擦試験による紙粉付着性の評価
－ 紙特性評価のための新指標 －

月山 陽介*，佐藤 陽平**，加藤 桂介**，新田　勇*

*新潟大学 自然科学系(工学部)
**新潟大学大学院 自然科学研究科 材料生産システム専攻

Evaluation of the Powder Adhesion Properties by Friction Test
- New Index for Paper Characterization -

Yosuke TSUKIYAMA*, Yohei SATO**, Keisuke KATO**, and Isami NITTA*

*Institute of Science and Technology (Engineering), Niigata University

**Advanced Materials Science and Technology, Graduate School of Science and Technology, Niigata University

Paper lint adhesion is one of the main factors that influence friction between rubber rollers and papers in feeding units used in MFPs. MFP manufacturers design their feeding units by concerning many kinds of paper properties such as rigidity, curling, surface strength and so on. Paper lint adhesion is also concerned with, but there has been no easy and simple method to measure. Therefore, we developed a paper lint measuring method by roller friction. This method measures the paper lint transferring from paper onto rubber roller surfaces. In this paper, we clarified the optimum mechanical conditions for this method and mechanism of the influence of paper lint adhesion on friction and wear of rubber rollers.

１．はじめに

複合機(MFP)の給紙ユニットでは高信頼性･長寿命化が求められている.給紙不良(重送,紙詰まりなど)の発生因子としては,紙の剛度,カール,表面強度,灰分などを含めた多くの因子が考慮される.加えて,紙粉付着(紙からの脱離しやすさも含む)が給紙不良に影響を及ぼすことが経験的に知られている.特に,ゴムローラを使った摩擦分離方式の給紙ユニットでは，ローラと紙間の摩擦力が紙同士の摩擦力よりも高くなるように設定されるため，紙粉の影響解明が重要である．ただし，膨大枚数の通紙の実施や，大がかりな設備導入はコストがかかるため，簡便な評価手法の開発が必要と考えられる．

そこで本研究では，紙をゴムローラで摩擦するだけの簡便な評価手法として，ローラ摩擦式紙粉検出法を提案する．この手法では，紙からゴムへの紙粉移着による，紙とゴムローラ間の摩擦係数の減少率を指標としている．摩擦係数を指標とすることにより，填料等の量，接着強度，断裁による紙粉発生，などを総合的に且つ簡便に評価できる．紙粉による摩擦低下については，通紙により紙粉が移着すると真実接触面積および摩擦力が減少することが報告[1]されている．清浄なゴム表面は高摩擦であり，そこに紙粉が移着すると摩擦係数が減少することを利用した方法といえる．本稿では，この評価手法に最適なゴムローラ，試験荷重，速度などの検討結果と，最適な条件下での評価例，および海外市場における29銘柄の紙を評価した結果について報告する．

＊〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐２の町8050番地
＊8050 , Ikarashi 2-nocho, Nishi-ku, Niigata, Niigata, 950-2181, Japan
e-mail: tsukiyama@eng.niigata-u.ac.jp, nitta@eng.niigata-u.ac.jp

２．実験概要

２．１　実験方法

本手法では，回転を抑制したゴムローラを紙に対して100㎜しゅう動(摩擦)させ，その時の摩擦力を計測する．摩擦試験装置（新東科学株式会社製トライボギア TYPE:14DR）を用いた装置例を概略図でFig.1に示す．得られた実験データにおける0-20㎜の区間の最大摩擦係数をμ，100㎜すべらせた時点のμからの変化量をΔμとし,摩擦係数変化率Δμ/μを算出する．一般に紙粉は脱離したセルロース繊維，添加剤，填料などを指すが，本稿では填料として使用される炭酸カルシウム粉に絞っている．また,最適な条件を検討するため，しゅう動速度は0.5mm/sec，1.0mm/sec,2.0mm/sec,垂直荷重は0.5N,2N，8Nで実施した．

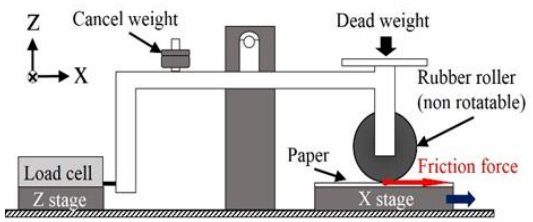


Fig.1 Schematic of friction test apparatus

© 一般社団法人 日本画像学会

２．２　試験片

評価に用いたゴムローラの材質はウレタン(U),エチレン-プロピレン(EPDM)(E),シリコーン(S)の３種類のゴムと,それぞれのゴム種で２つのゴム硬度(軟質(s)および硬質(h))を準備した.ゴム表面仕上げは,中粗研磨加工，および細かい突起が形成されているシボ加工(ウレタンのみ，添え字 e で区別)を用いた.以下，8 種類のゴムローラは Table 1 に示した記号で呼ぶこととする．また，紙は経験的に給紙不良の発生頻度が判明している紙 4 銘柄を用いた．具体的には，α紙，β紙，γ紙，δ紙の順で給紙不良が発生しやすい．また，本手法を用いて，外国市場における販売実績をもとにして抽出した海外製の用紙 29 銘柄を評価した.

３．実験結果および考察

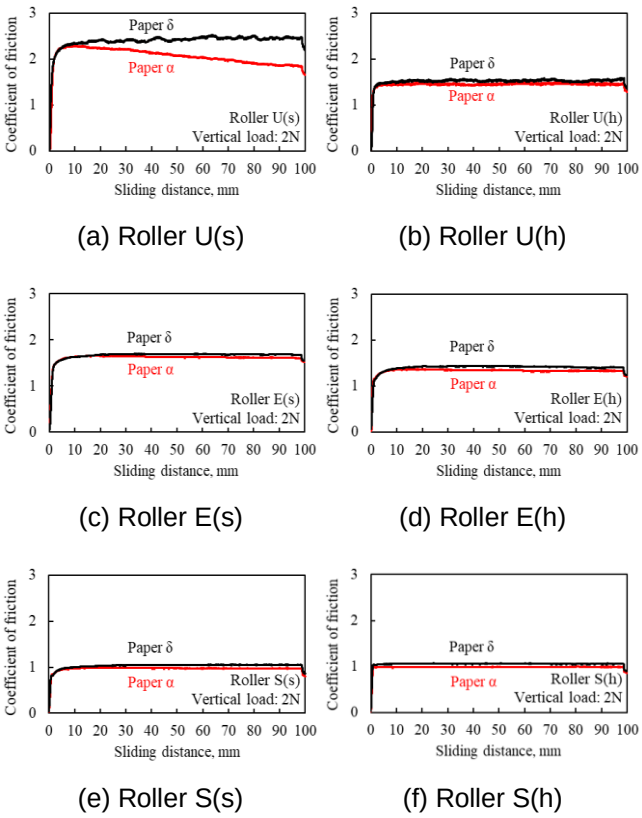
3．1 本手法の最適条件と 4 紙の評価

まず，最適なゴム材質を明らかにするため，α紙とδ紙の 2 紙に対して中粗研磨ローラ 6 種を用いて実施したすべり摩擦試験結果の例を Fig.2 に示す．この実験では垂直荷重を 2N としている.この図で横軸はすべり距離，縦軸は摩擦係数である．Fig.2(a)に示すウレタンの軟質ローラ U(s)を用いた場合のみ，給紙不良発生頻度が最も高いα紙ではすべり距離にともなって摩擦係数が減少した．給紙不良が発生しにくいδ紙では，摩擦係数が減少しなかった．また，他のローラでは，2 紙の差が生じなかった．そこで，本手法において 2 紙の紙粉の違いを明確に検出するために最適なローラはウレタン材質とした

次に,最適なゴム表面形状を明らかにするために,シボ加工のローラを用いた実験結果を Fig.3 に示す.Fig.3(a)の軟質ウレタンシボローラでα紙をしゅう動すると,すべり距離 30mm までの早い段階で摩擦係数が大幅に減少したことが分かる．そこで，Fig.4 に摩擦係数減少率と，α紙とδ紙の減少率の差を示す．この図から，ウレタン軟質ローラのシボ形状が摩擦係数減少率およびα紙-δ紙の差も大きいことが分かる.

Table 1 Classification table of rubber rollers

		Surface shape	
		Abrasion pattern	Emboss pattern
Hardness	Soft	U(s)	U(s, e)
		E(s)	
		S(s)	
	Hard	U(h)	U(h, e)
		E(h)	
		S(h)	

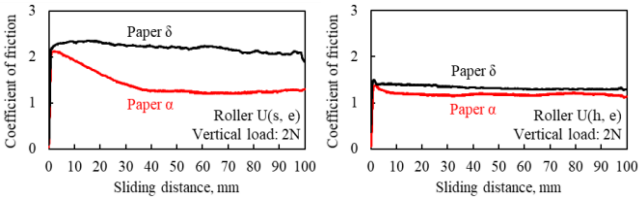


(a) Roller U(s)　(b) Roller U(h)

(c) Roller E(s)　(d) Roller E(h)

(e) Roller S(s)　(f) Roller S(h)

Fig.2 Coefficient of friction of rubber rollers with abrasion patterns slid against paper α and δ



(a) Roller U(s, e)　(b) Roller U(h, e)

Fig.3 Coefficient of friction of rubber rollers with embossed patterns slid against paper α and δ

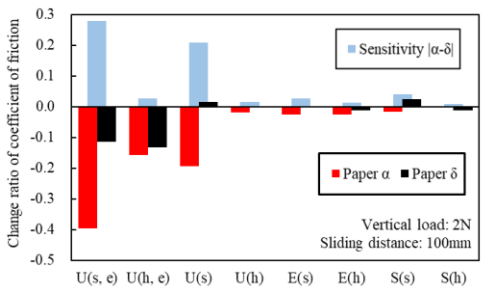
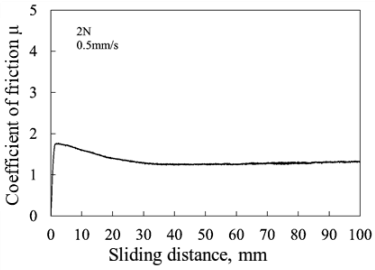


Fig.4 Change ratio of coefficient of friction of rubber rollers slid against paper α and δ

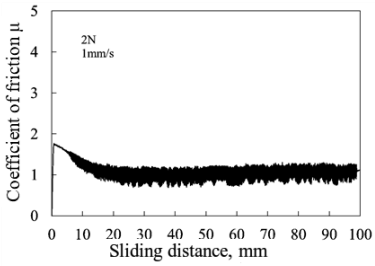
© 一般社団法人 日本画像学会

次に，軟質シボローラにおけるしゅう動速度の影響を図 5 に示す．摩擦係数の値には大きな変化がないが，速度が大きいほどノイズが発生しやす傾向があるため，0.5mm/sec が最適であった．次に，荷重については図を割愛するが，低荷重ほどノイズが発生しやすいため，2N が最適と判断した．

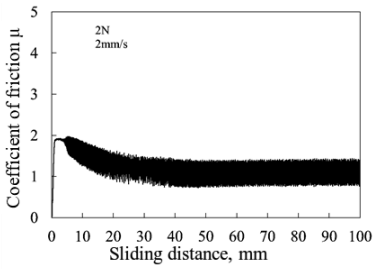
以上の結果から，0.5mm/sec，2N，ウレタン軟質シボローラが最適な組み合わせと考えられ，この条件で4紙を本手法によって評価した結果を図6に示す．



(a) 0.5mm/sec



(b) 1.0 mm/sec



(c) 2.0 mm/sec

Fig.5 Influence sliding speed on coefficient of friction of rubber roller U(s,e) slid against paper α under normal load of 2N

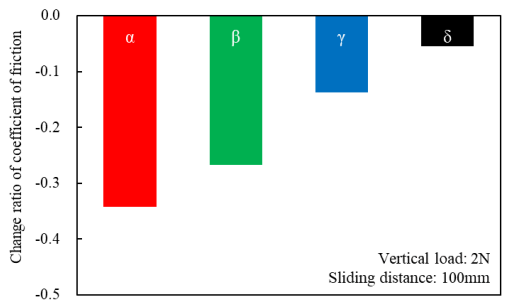
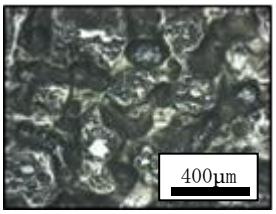


Fig.6 Change ratio of coefficient of friction of rubber roller U (s, e) slid against paper α, β, γ and δ

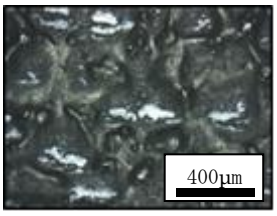
この図から，給紙不良の発生頻度と同じ序列で摩擦係数減少率が大きいことが分かる．

3．2　摩擦摩耗に及ぼす紙粉の影響

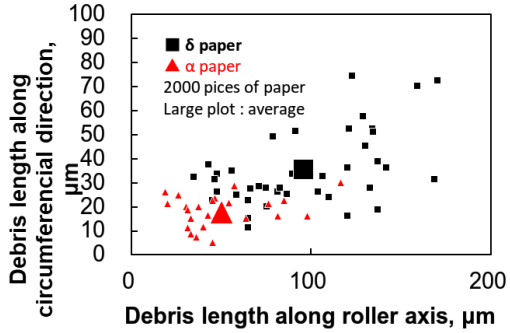
前節においてウレタン軟質シボローラが紙粉の影響を最も感度良く検出可能であることを示した．本節では，そのメカニズムについて考察する．図 7(a)および(b)にα紙およびδ紙をそれぞれ 2000 枚通紙後に，軟質ウレタンシボローラ表面を観察した結果を示す．この図から，ウレタン軟質シボローラを用いた場合は，ゴムローラ上に発生するゴム摩耗粉の大きさが通紙した紙によって異なることが分かる．



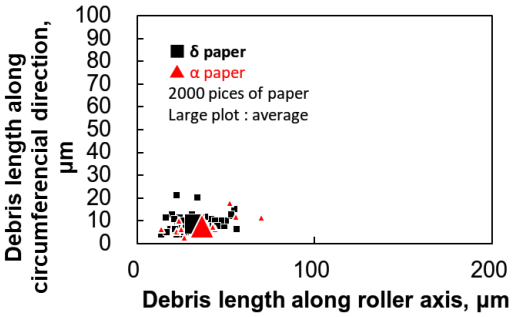
(a) Paper α and roller U(s,e)



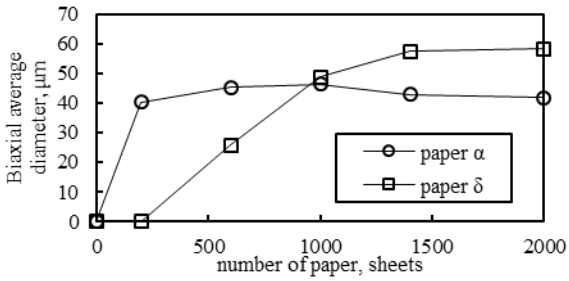
(b) Paper δ and roller U(s,e)



(c) Debris size on Roller U(s,e)



(d) Debris size on Roller U(h,e)



(e) Changes of debris size on Roller (s,e)

Fig.7 Debris size (wear particle of rubber) on the rubber roller after feeding 2000 pieces of paper

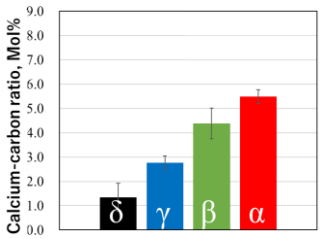


Fig.8 Calcium-carbon ratio of the rubber surface after paper feed analyzed by SEM/EDX

次に同図 7(c)および(d)に 2000 枚通紙後の軟質および硬質シボローラ状のゴム摩耗粉サイズを紙毎に示す．この図から，硬質シボローラは摩耗粉サイズが小さく，軟質シボローラは摩耗粉サイズが大きいことが分かる．また，軟質シボローラでは通紙する紙によっても摩耗粉サイズが異なることが分かる．そこで，通紙枚数毎に軟質シボローラ状の摩耗粉サイズを計測した結果を同図(e)に示すと，摩耗粉の成長サイズおよび到達サイズが，α紙およびδ紙を使用した場合で異なることが分かる．通紙後のローラ上の紙粉試着量を電子顕微鏡の EDX 分析で簡易的に計測すると，図 8 に示すように移着量は給紙不良発生頻度の順番と一致している． 以上から，紙粉の移着量が，ゴムローラ表面の摩擦摩耗特性に影響を及ぼすことが明らかとなった．

3．3　外国市場の 29 銘柄の紙の評価例

外国市場における海外銘柄 29 紙を本手法によって評価した結果について，図 9 に示す．紙 29 種はそれぞれ第 1 紙から第 29 紙と呼ぶこととする．海外紙の紙粉付着量の予測は可能であると考える． 全 29 紙のすべり摩擦試験から摩擦係数変化率を測定した結果を，給紙性能が判明している 4 紙の結果と合わせて Fig. 10 に示す．グラフ内右端の緑の棒グラフで示すβ紙と比較すると，大部分は摩擦係数変化率が小さいが，同程度に摩擦係数が減少するものが数銘柄あることがわかった．これらを通紙すると紙粉付着が給紙に影響する度合いが大きいと考えられる．

4．結言

紙から給紙ローラへの紙粉移着を簡便に評価する手法として，ローラ摩擦式紙粉検出法を開発し，最適条件，評価例，ゴムの摩擦摩耗に及ぼす紙粉の影響，および海外の 29 銘柄の評価例を示した．得られた主な結言を以下に示す．

(1)　ウレタン軟質シボローラが紙粉の検出感度が最も高く，垂直荷重 2N，しゅう動速度 0.5mm/sec が最適な評価条件である．

(2)　ローラへの紙粉移着量が多いほど摩擦係数が減少しやすく，本手法によって 4 紙の給紙性能差を検出可能であった．

(3)　紙粉移着量がゴム表面の摩擦摩耗に影響を及ぼすことを示した．本研究では，特に，摩擦係数の減少および摩耗粉サイズに及ぼす影響を明らかにした．

(4)　海外市場の 29 紙の評価結果では，数種類の銘柄が給紙に対する紙粉の影響が大きいと推測できた．

謝辞

本研究は㈱電通国際情報サービス，㈱ISID エンジニアリングおよび MFP コンソーシアムの支援・協力により行った．この場を借りて感謝申し上げる．

参考文献

1) Y. Tsukiyama, Y. Sato, K. Kato, I. Nitta : Frictional Property and Real Contact Area of Contaminated Rubber Rollers for Paper Feed, Proceedings of ICMDT2017, (2017) 220.

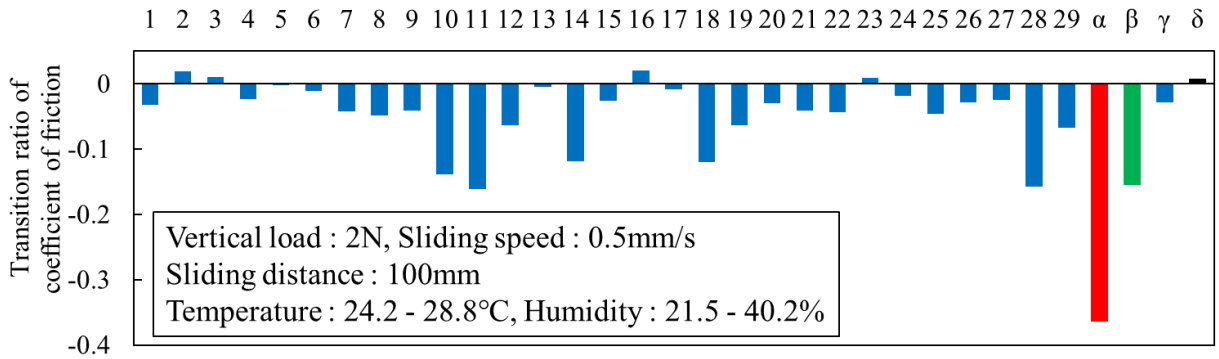


Fig.9　U (s, e) slid against 29 commercial papers in oversea market

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EP3] 電子写真デバイス (3)
Electrophotographic Devices (3)
2018年6月20日(水) 14:40 ～ 15:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP3-02] 弾性中間転写ベルトを搭載した転写システムにおける用紙搬送速度に関する研究
A Study on Paper Feed Velocity in a Transfer System with Elastic Intermediate Transfer Belt

*橋本 崇[1]、木船 英明[1] （1. 株式会社リコー）
*Takashi Hashimoto[1], Hideaki Kibune[1] （1. RICOH COMPANY, LTD.）

近年，商業印刷の分野において，多品種・小ロット印刷が可能な電子写真プロセスによるオンデマンドプリンティングが普及してきている．しかし，異なる用紙印刷時や周囲の環境変化等によって，二次転写部における用紙搬送速度が変化し、画像倍率に誤差が発生することが問題になっている．特に中間転写に弾性ベルトを用いた構成では，二次転写ニップにおける変形や摩擦現象が複雑で，これらが用紙搬送速度に及ぼすメカニズムはわかっていない．本研究では，二次転写ニップにおける変形，摩擦特性を明らかにした上で，用紙搬送速度を有限要素法(FEM)解析により計算した．実験との比較の結果，FEM解析結果が妥当であることが確認できた．

©一般社団法人 日本画像学会

弾性中間転写ベルトを搭載した転写システムにおける用紙搬送速度に関する研究

橋本　崇*，木船　英明*

*(株)リコー　APT 研究所

A Study on Paper Feed Velocity in a Transfer System with Elastic Intermediate Transfer Belt

Takashi Hashimoto*, and Hideaki Kibune*

*Institute of Advanced Printing Technology, Ricoh Company, Ltd.

Digital on-demand printing machines have been widely used in the commercial printing field. However, magnification errors of an image in the vertical scanning direction at a second transfer, which likely occur in various kinds of paper printing and environments, are unacceptable problems.

In this study, the mechanism of magnification errors is investigated by FEM analysis. At first, friction characteristics of a second transfer nip are investigated experimentally. And then, motion and deformation of a belt, a paper and rollers with the friction characteristics are analyzed by FEM. Finally, calculated paper velocity is validated by comparison with experiments.

１．はじめに

近年，商業印刷の分野において，多品種・小ロット印刷が可能な電子写真プロセスによるオンデマンドプリンティングが普及してきている．商業印刷分野では，多種多様な厚みや表面性を有する用紙への印刷が求められており，用紙対応力向上を目的として中間転写に弾性ベルト，二次転写に樹脂ベルトを採用した印刷機が上市されている[1)]．しかし，異なる用紙印刷時や周囲の環境変化等によって，二次転写部における用紙搬送速度が変化し、画像倍率に誤差が発生することが問題になっている．

二次転写部における用紙搬送速度のメカニズムを解析するためには，ローラあるいはベルトニップの用紙搬送メカニズムを解析する必要がある．従来例として，ゴムローラと鋼ローラのニップによって搬送される紙の速度とゴムローラの速度比を解析したものがある[2)]．ゴムローラと平板のニップによって搬送される紙の速度を動摩擦係数の速度依存性を考慮してより精度良く解析したものがある[3)]．しかし，ベルトニップにおける搬送メカニズム解析は現在のところ実施されていない．特に中間転写に弾性ベルトを用いた構成では，二次転写ニップにおける変形や摩擦現象が複雑で，これらが用紙搬送速度に及ぼすメカニズムはわかっていない．

本研究では，二次転写ニップにおける変形，摩擦特性を明らかにした上で，用紙搬送速度を有限要素法(FEM)解析により計算した．実験との比較の結果，FEM 解析結果が概ね妥当であることが確認できた．

＊〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1
＊2-7-1 Izumi, Ebina-shi, Kanagawa, 243-0460, Japan
e-mail: takashi.ht.hashimoto@jp.ricoh.com

２．ニップ部摩擦特性の把握

２－１．動摩擦試験機

二次転写ニップにおける摩擦特性を把握するために，ベルト-用紙間の動摩擦係数を測定した．

図１は動摩擦試験機の概要を示すものである．この装置は，中間転写ベルトユニット，二次転写ベルトユニット，ベルト駆動装置及びフォースゲージで構成される．中間転写ベルトユニットは，弾性ベルト(EB)が対向ローラ，テンションローラを含む複数のローラで張架されたユニットである．二次転写ベルトユニットは，ポリイミドベルト(PIB)が二次転写ローラ，テンションローラを含む 4 本のローラで張架されたユニットであり，中間転写ベルトユニットに対して所定の加圧力で加圧可能である．用紙をニップさせた状態で用紙後端をチャッキングし，フォースゲージに連結する構成となっている．ベルト駆動装置は，ステッピングモータ及びカップリングで構成され，カップリングを介して対向ローラあるいは二次転写ローラを回転駆動可能な構成となっている．

２－２．動摩擦係数の測定

対向ローラあるいは二次転写ローラ回転数を変化させることで，ベルト-用紙間のすべり速度 0.01～20㎜/sec を与え，完全すべり状態でベルト-用紙間に生じる摩擦力 T をフォースゲージで測定し，動摩擦係数 μ=T/F を算出する．対向ローラ駆動時(二次転写ローラ従動)は EB-用紙間動摩擦係数，二次転写ローラ駆動時(対向ローラ従動)は PIB-用紙間動摩擦係数の測定となる．

© 一般社団法人 日本画像学会

表 1 に示す用紙 3 銘柄におけるすべり速度と EB-用紙間，PIB-用紙間の動摩擦係数の関係を図 2，図 3 に示す．すべり速度が増加するにつれて動摩擦係数は増加している．PIB-用紙間よりも EB-用紙間の動摩擦係数の方が高いことがわかる．銘柄 C は他の銘柄に比べて EB-用紙間の動摩擦係数が低いことがわかる．これは，銘柄 C のみコート紙であり平滑度が高いためと考える．

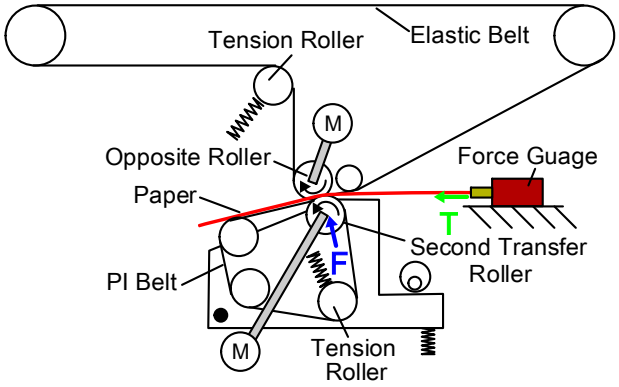


Fig.1 Outline of dynamic friction tester for belt and paper

Table 1 List of Paper

	Thickness (μm)	Type of Paper
A	80	Plain
B	320	Plain
C	320	Coat

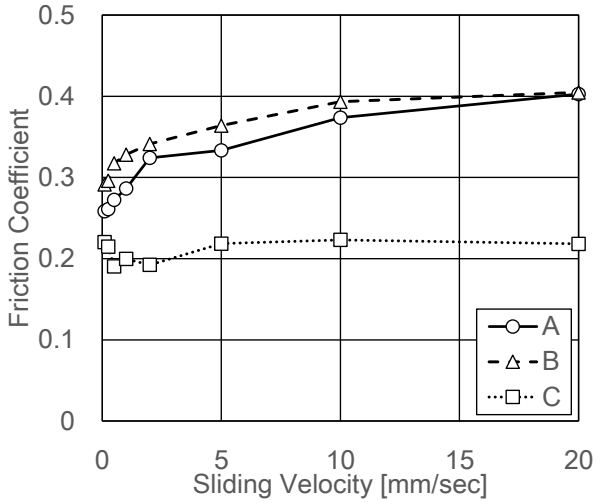


Fig.2 Relationship between sliding velocity and dynamic friction coefficient between elastic belt and paper

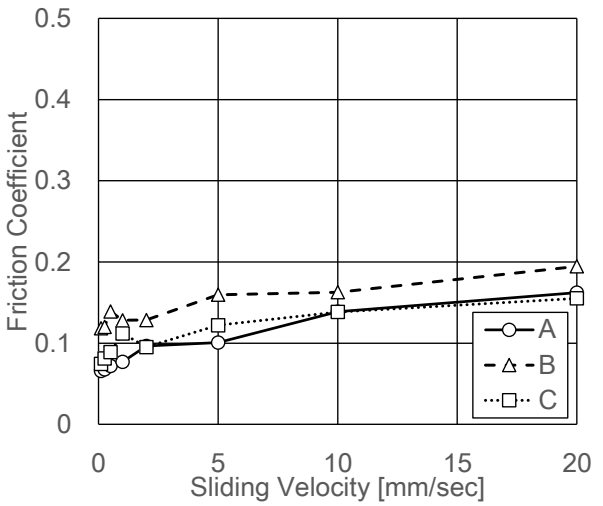


Fig.3 Relationship between sliding velocity and dynamic friction coefficient between PI belt and paper

3．ベルト・用紙搬送実験

図 4 は用紙搬送実験に用いる印刷機の転写，用紙搬送部の概要を示すものである．この部分は，主に中間転写ベルトユニット，二次転写ベルトユニット及び用紙搬送ユニットで構成される．中間転写及び二次転写ベルトユニットは，図 1 とほぼ同等である．それぞれのユニットには DC モータ及び減速ギヤで構成されるベルト駆動装置が具備されている．用紙搬送装置は，搬送ローラ対及び駆動装置で構成され，所定のタイミングで用紙を転写部へと搬送する．弾性ベルト(EB)の裏面には所定の間隔でスケールが貼付されており，搬送時のスケール通過時間を計測することで EB の搬送速度を算出可能としている．EB の駆動装置は，EB の搬送速度が所定の値となるようにフィードバック制御を実施している．二次転写部の下流に高速度カメラを設置し，ポリイミドベルト(PIB)及び用紙表面の搬送速度を計測する．PIB の搬送速度は，トンボ印刷時における用紙が二次転写部通過前の平均速度であり，EB 及び用紙の搬送速度は，用紙が二次転写部通過中の平均速度である．

表 1 の用紙 3 銘柄について， PIB の搬送速度を変化させた場合の用紙搬送速度を図 5 に示す．なお，EB の搬送速度は固定であり，二次転写-搬送ローラ間で用紙の引張りが発生しないように，PIB の搬送速度の変化に応じて搬送ローラ部の速度も変化させている．二次転写ベルトユニットの加圧力は，動摩擦係数測定時とほぼ同等である．図中はすべて EB に対する搬送速度比で表現している．PIB の搬送速度に応じて全ての銘柄で搬送速度は増加しているが，それぞれ傾き及び値は異なっている．銘柄 A は他の銘柄に対して用紙速度が全体的に低い．銘柄 B，C 間で比較すると，銘柄 C における用紙速度の傾きが大きい．要因については考察で述べる．

© 一般社団法人 日本画像学会

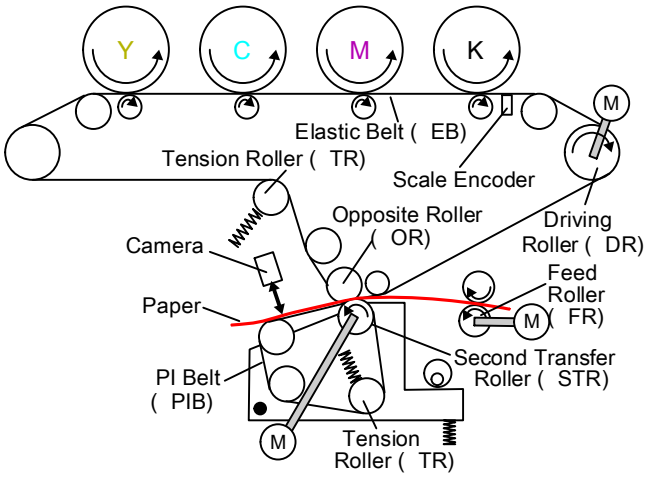


Fig.4 Outline of experimental setup for belt paper feeding experiment

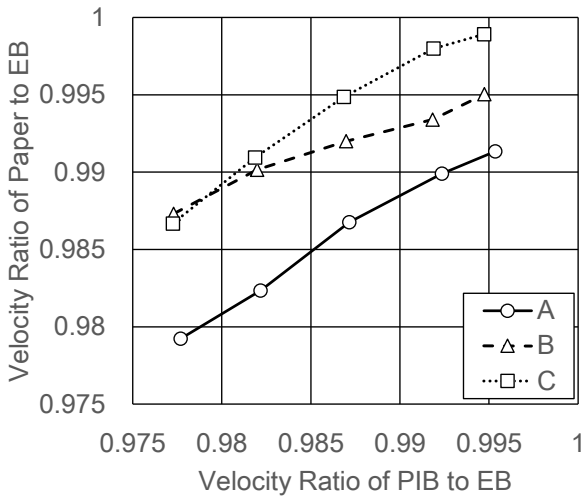


Fig.5 Relationship between velocity ratio of PI belt to elastic belt and velocity ratio of paper to elastic belt

4．有限要素法シミュレーション

4－1．有限要素モデル

用紙二次転写ニップ搬送時における，ベルト，用紙，ローラの変形，挙動を計算するために，汎用有限要素法解析ソフト MARC/MENTAT によるシミュレーションを行った．図 6 にローラ，ベルト，用紙の FEM モデルを示す．二次転写ローラ，テンションローラの加圧力の左右差やベルト，用紙のスキューは考慮しないため，二次元の有限要素モデルとしている．弾性ベルト(EB)，ポリイミドベルト(PIB)，対向ローラ，二次転写ローラゴム層，搬送ローラゴム層，用紙を弾性体として，平面ひずみ状態の四角形要素で分割した．それぞれの要素数は，(15000，4)，(1500，1)，(720，11)，(720，7)，(720，5)，(2000，3)である．その他のローラは全て剛体である．各ローラ，ベルト，用紙の物性値を表 2 に示す． EB-用紙間及び PIB-用紙間の動摩擦係数は，図 2，図 3 に示す測定結果であり，FEM モデルに反映する．

上記モデルについて，所定の線速における用紙搬送の動解析を行ない，用紙二次転写ニップ搬送時における用紙搬送速度(平均値)を算出する．

4－2．実験，計算比較(ニップ幅)

二次転写ニップにおける変形特性を把握するために静止時のニップ幅を測定及び計算した．二次転写ユニットの加圧力を変化させた場合のニップ幅について，実験，計算比較を行った結果を図 7 に示す．それぞれの加圧力において，計算値は実験値に対して良く一致しており，シミュレーションの妥当性を確認した．

4－3．実験，計算比較(用紙搬送速度)

表 1 の用紙 3 銘柄について，PIB の搬送速度を変化させた場合の用紙搬送速度の実験，計算比較結果を図 8 から図 10 に示す．図中はすべて EB に対する搬送速度比で表現している．計算値は実験値に対して概ね一致しており，シミュレーションの妥当性を確認した．

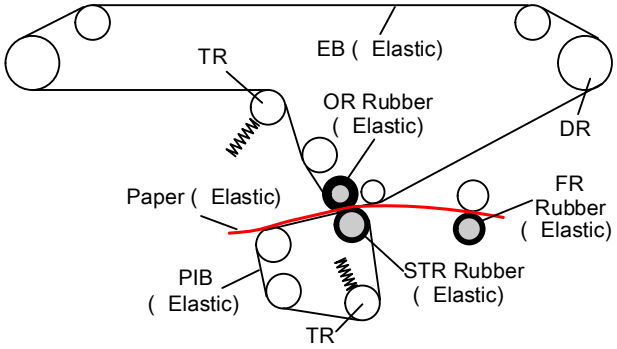


Fig.6 Outline of FEM Model

Table 2 Main parameters of simulation model

Component	Thickness (μm)	E (MPa)	v
PIB	90	3000	0.39
EB	450	2.5	0.49
OR Rubber	-	0.81	0.49
STR Rubber	-	6.5	0.49
FR Rubber	-	8.3	0.49
Paper A	80	1000	0.3
Paper B	320	1500	0.3
Paper C	320	1000	0.3
v: Poisson coefficient			

© 一般社団法人 日本画像学会

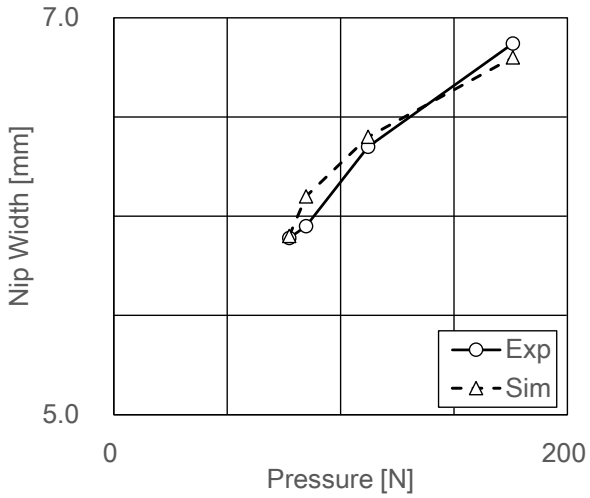


Fig.7 Relationship between pressure and nip width

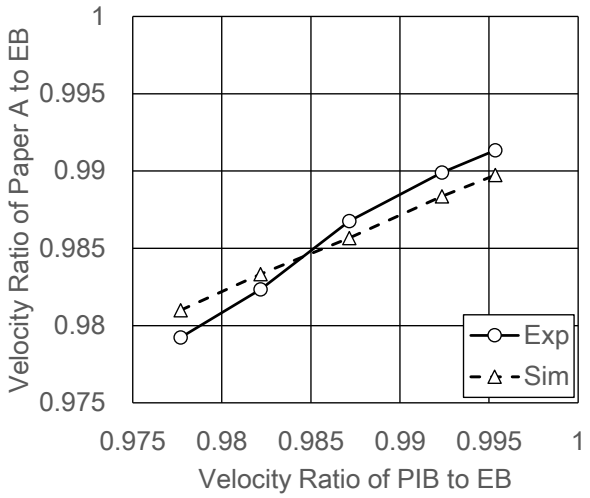


Fig.8 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper A to elastic belt

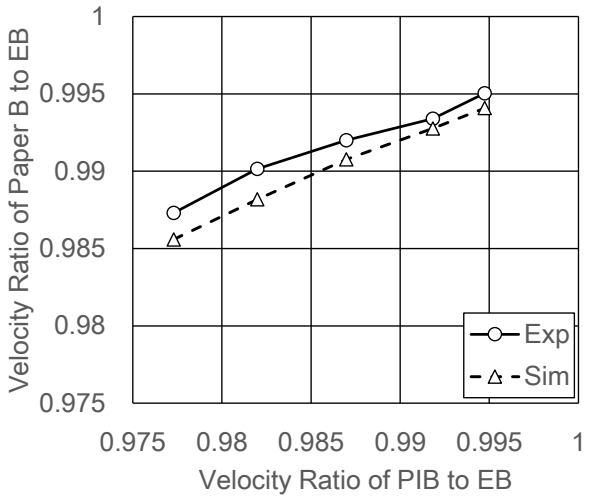


Fig.9 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper B to elastic belt

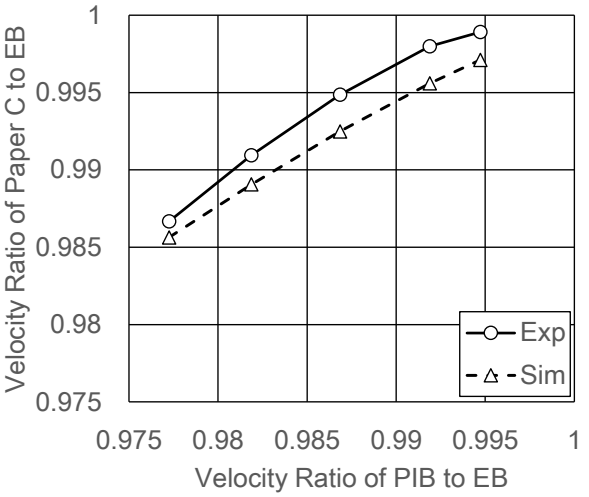


Fig.10 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper C to elastic belt

５．考察

銘柄 A は他の銘柄に対して用紙速度が全体的に低いことがわかる．これは二次転写駆動側からみて紙厚分回転半径が小さいためであると考える．

同じ紙厚である銘柄 B と C において，銘柄 C における用紙速度の傾きが大きくなっていることがわかる．これは銘柄 B よりも EB-紙間の動摩擦係数が低く，EB の搬送速度(固定)よりも PIB の搬送速度変化の影響が増加したためと考える．

実験では，トンボを印刷するため転写バイアスが印加されているが，シミュレーションではその影響を考慮していない．バイアスによる静電吸着力が用紙搬送速度に何らかの影響を与えていると考えており，モデルの精度向上のためにこの影響を考慮することが今後の課題である．

６．結論

中間転写に弾性ベルトを用いた構成において，二次転写ニップにおける変形や摩擦特性を明らかにした上で，用紙搬送速度を有限要素法(FEM)解析により計算した．実験との比較の結果，FEM 解析結果が概ね妥当であることが確認できた．

参考文献

1) K. Sugiura, Y. Wada, H. Kubo and J. Aoto, “New Transfer System with Elastic Intermediate Transfer Belt and Secondary Transfer Pressure Variable Unit”, Ricoh Technical Report No.41, (2016). [in Japanese].

2) H. Yamaura, K. Ono and T. Nakazawa, “Characteristics of a Paper Transport Mechanism with a Short Rubber-Layered Roller and Steel Roller”, JSME. C, Vol. 70, No. 694, pp. 1588-1594, (2004). [in Japanese]

3) H. Umano and H. Ymaura, “Velocity Dependencies of Paper Feeding Characteristics”, JSME. C, Vol. 77, No. 778, pp. 2476-2485, (2011-6). [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | 電子写真
[EP3] 電子写真デバイス (3)
Electrophotographic Devices (3)
2018年6月20日(水) 14:40 ～ 15:40 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[EP3-03] タンデム/静電転写方式の液体現像システムにおけるメディア汎用性の獲得
Development of Transfer Process Applicable to Various Mediums for Liquid Electrophotography with Tandem-Electrostatic Transfer Method

*鳶 大樹[1]、長尾 剛次[1]、三橋 利彦[1]、鈴木 俊彦[1]、中山 信行[1] （1. 富士ゼロックス株式会社）
*Taijyu Gan[1], Takeshi Nagao[1], Toshihiko Mitsuhashi[1], Toshihiko Suzuki[1], Nobuyuki Nakayama[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd.）

高速性に有利なタンデム/静電転写方式の液体現像印刷システムにおいて、メディア汎用性の獲得に取り組んだ。PETラベル等の低静電容量メディアに対して転写効率を得るには、放電を抑制しながら高い転写バイアスを印加するため、転写部上流でメディアと中間転写体を接触(ラップ)させる必要がある。メディアラップは画像乱れとトレードオフの関係にあり、画像被覆率が急峻に切り替わる画像パターンでドット崩れが発生した。転写部の用紙搬送解析から、摩擦係数が異なる画像境界が転写部を通過する際に、メディア搬送速度が変動してせん断力が生じることを明らかにし、搬送パラメータの最適化によってドット崩れを解消した。

©一般社団法人 日本画像学会

タンデム/静電転写方式の液体現像システムにおける メディア汎用性の獲得

鳶 大樹*，長尾 剛次**，三橋 利彦***，鈴木 俊彦*，中山 信行*

*富士ゼロックス株式会社　マーキング技術研究所
**富士ゼロックス株式会社　基盤技術研究所
***富士ゼロックス株式会社　次世代マーキング開発部

Development of Transfer Process Applicable to Various Mediums for Liquid Electrophotography with Tandem-Electrostatic Transfer Method

Taijyu Gan*, Takeshi Nagao**, Toshihiko Mitsuhashi***, Toshihiko Suzuki*, and Nobuyuki Nakayama*

*Marking Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.
**Key Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.
***Advanced Marking Development, Fuji Xerox Co., Ltd.

A tandem-electrostatic transfer process applicable to various mediums was developed for liquid electrophotography. To improve transfer efficiency to low capacitance mediums such as film labelstocks, discharge control was studied by wrapping the continuous medium on the intermediate transfer roll in the pre-transfer area. On the other hand, the wrapping was in a trade-off relationship with image reproducibility, and dot collapses occurred in a particular image pattern. By the simulation of medium conveyance, it was revealed that when the image boundary with different coefficient of friction passes through the transfer nip, the medium slips and shear force is applied to the toner image. By the optimization of the medium conveyance parameters based on the analysis results, dot collapses were resolved. By these countermeasures, high multi-transferability to various mediums was achieved.

１．はじめに

近年，商業印刷，ラベル，紙器，軟包装など印刷プロダクション市場への拡張を目指したデジタルプリント技術の開発が活性化している [1]．この市場では，高画質，高生産性，メディア汎用性(厚紙，薄紙，フィルムなど)，低ランコスト，環境適性，後加工適性といったさまざまな性能が要求される．

液体キャリアオイルを用いた電子写真方式である液体現像システムは，接触プロセスであること，液体中で微小粒径のトナーを使用できること，オイル潤滑により長寿命が期待できることなどから，上記の市場要求性能を同時に獲得でき，幅広いアプリケーションに適用できる可能性を持つ [2]．これを実現するには，高生産性(高速性)とメディア汎用性を両立する低コストな転写技術が必要である．

二次転写プロセス(以下，転写プロセス)は，現像プロセスで形成したトナー像を，中間転写体(以下，中間体)を介してメディア上に転移させる工程であり，主にマルチサイクル方式とタンデム方式がある．タンデム方式は図 1 に示すように，複数色の転写ユニットを直列に並べ，メディア上に順次転写して色を重ねる方法であり，高速性に関して優位性が高い．

また，転写手段には，トナー像を溶融させ機械的に転写する溶融熱転写法と，帯電したトナー像を静電気力で転写する静電転写法がある．前者はメディア適性に優れる一方，後者は部材寿命が長くコストが低い利点がある．

本研究では，高速性に優れ，部材長寿命化による低コストが期待できるタンデム/静電転写方式を採用し，幅広いアプリケーションで用いられる多様なメディアに適用可能な転写技術の獲得に取り組んだ．

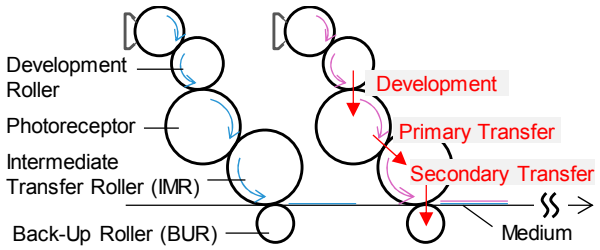


Fig.1 Tandem-electrostatic transfer process.

２．転写プロセスの課題

転写プロセスでは，中間体上のトナーをメディアに高効率で転移させる必要がある．同時に，トナー像を崩さず忠実に転移させる像再現性も求められる．

＊〒250-0111 神奈川県南足柄市竹松 1600
＊1600 Takematsu, Minamiashigara-shi, Kanagawa, 250-0111, Japan
e-mail: taijyu.gan@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

タンデム/静電転写方式では，静電気力によってメディア上に順次転写するため，メディア物性の影響を受けやすい課題がある．図 2 に示すとおり，特にメディアの静電容量は転写効率への影響が大きく，PET ラベルや合成紙ラベルなど，厚みが大きく静電容量の低いメディアでは転写効率が顕著に低下する．

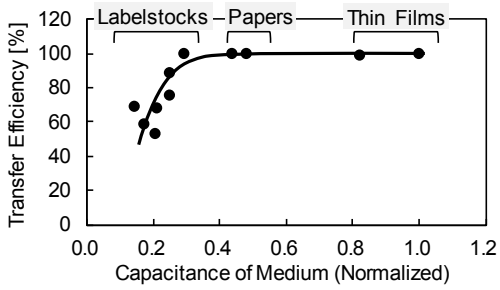


Fig.2 Relation between transfer efficiency and capacitance of medium.

3．転写効率の改善

3．1　低転写効率の要因

低静電容量メディアへの転写効率が低い要因について，以下のように分析した．低静電容量メディアでは，トナー層に十分な転写電界を与えるために高いバイアス電圧を印加する必要がある．加えて，リビング現象(接触現像工程など，2 ロール間で液体層が分断される際に発生する周期的畝状の液体流動)による画像劣化を抑制するため，現像プロセスにおいて高帯電/高バイアスを必要とし，転写前のトナー電荷量が大きい(乾式電子写真の約 10 倍)ことも，転写バイアス増加の一因となる．高バイアスを印加すると，図 3 左に示すように，転写部の入口近傍(プレニップ)で放電が生じ，トナー電荷が消失，あるいは逆極性化することで，静電転写力(トナー電荷量と電界強度の積)が低下して転写不良となる．この対策として，以下の 2 つを抽出した．

対策(1)：放電を抑制する(放電開始電圧を上げる)．

対策(2)：転写前のトナー電荷量を下げ，転写バイアスを低減する．

(1)の手段として，図 3 右のように，プレニップにて中間体にメディアを巻き掛け，空隙をなくすことで放電を抑制することを検討した．ただし，転写電界が作用する前に中間体上のトナー像がメディアと接触するため，トナー像が乱れて像再現性が低下する懸念がある．そこで，像再現性への影響を最小限に抑えるため，シミュレーションを活用して放電を抑制可能な最小のメディア巻き掛け角を検討した．

3．2　電界シミュレーション

図 4 にシミュレーションモデル [3]の概要を示す．有限要素法による二次元構造解析から，ロール部材(中間体/バックアップロール)とメディアとの空隙分布を計算した．この空隙データを厚さ方向の一次元電界解析モデルに代入し，転写ニップの入口から出口にかけて，電界分布や電荷の移動を順次解析した．トナー層の厚み方向の電荷量および電界分布より，静電転写力が付着力(鏡像力)を上回る領域のトナーのみが転移するとして，推定転写効率を算出した．

図 5 はメディア巻き掛け角に対するプレニップ放電量および推定転写効率の解析結果である．巻き掛け角の増大にともなって放電量が減少し，転写効率が増加する傾向が確認でき，解析に基づいて放電量を許容範囲内に抑制可能な巻き掛け角を設計した．

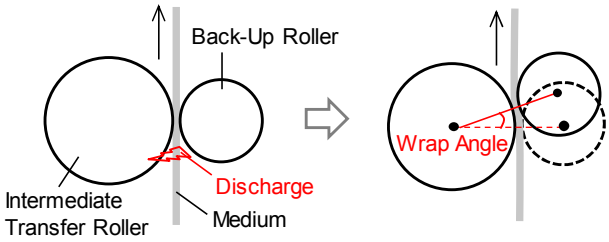


Fig.3 Pre-nip discharge and medium wrap angle.

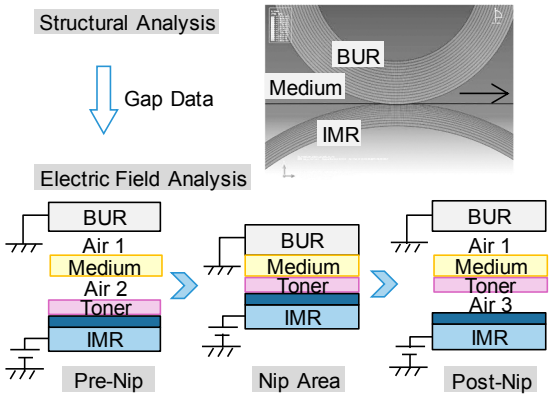


Fig.4 Model of electric field analysis.

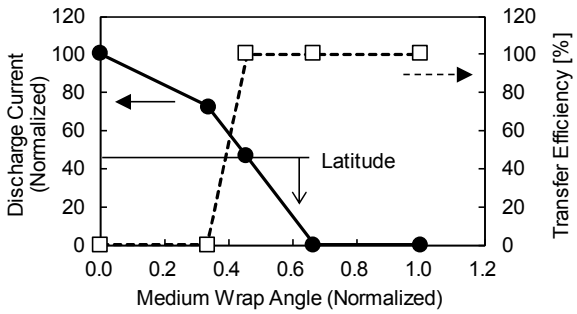


Fig.5 Simulated result of discharge current and transfer efficiency.

3．3　転写バイアスの低減

さらに対策(2)として，転写前のトナー電荷量の低減を検討した．現像から転写までの各工程がトナー電荷量に及ぼす影響を分析し，図 6 実線に示すように，感光体から中間体に転移させる一次転写バイアスが，二次転写前のトナー電荷量に大きく影響することを見出した．これは，バイアスが印加されたロール間のニップ出口において，剥離放電によってトナーが電荷を受け取り，ニップ突入前に保持していた電荷量が上書きされるためと考察する．

© 一般社団法人 日本画像学会

したがって，現像プロセスで与えた電荷量とはほぼ独立に，一次転写バイアスによって二次転写前のトナー電荷量を制御可能であり，図 6 破線のように二次転写バイアスを大幅に低減できた．

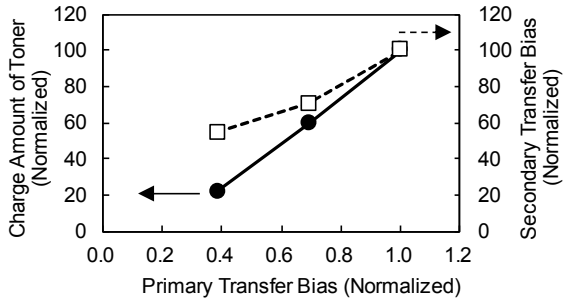


Fig.6 Effect of primary transfer bias on charge amount of toner and secondary transfer bias.

３．４　効果の検証

以上の対策の効果を，試作機で検証した．図 7 は静電容量の小さい樹脂ラベル 2 種に対する，対策前後の転写効率である．狙いどおり放電を抑制し，転写効率を実用レベルまで大幅に高めることができた．

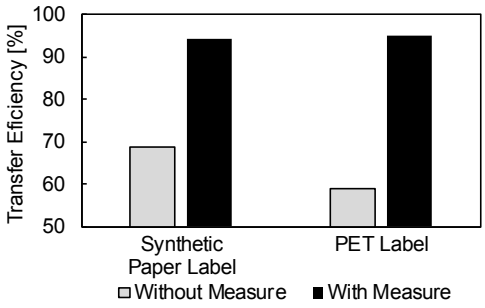


Fig.7 Transfer efficiency to low capacitance mediums.

４．画像乱れの抑制

４．１　ドット崩れの抽出と要因分析

前章では放電を抑制可能な最小限のメディア巻き掛け角を検討した．しかし，転写電界の作用前にトナー像とメディアが接触することは避けられないため，既述のとおり像再現性は低下傾向となる．そこで，様々な画像を試作機で出力し，特定の画像パターンにおいて画像欠陥が生じる課題を抽出した．具体的には，図 8 に示すように，中間域の面積階調率の画像から非画像部に急峻に切り替わる際に，境界から下流側に一定距離のドットが崩れて染みのような欠陥となる．この障害は，連帳機において用紙搬送経路を制御する際の，本質的課題と考えられ，抜本的対策のため，発生メカニズムを詳細に解析した．

ドット崩れの発生メカニズムについての考察を，図 9 の模式図を用いて述べる．欠陥の起点となる中間調画像(トリガー画像)と，非画像部との境界が転写ニップを通過する際，両者の摩擦係数が異なることで，メディアがわずかにスリップして搬送姿勢が乱れる．このとき，プレニップでは転写電界が弱い状態でメディアとトナー像が接触し，メディアの姿勢乱れによってトナー像にせん断力が作用してドットが崩れると推察した．

この仮説を検証するため，トナー像の摩擦係数を評価した．トリガー画像となる中間調の摩擦係数は非画像部の約 2 倍であり，有意な差があった．

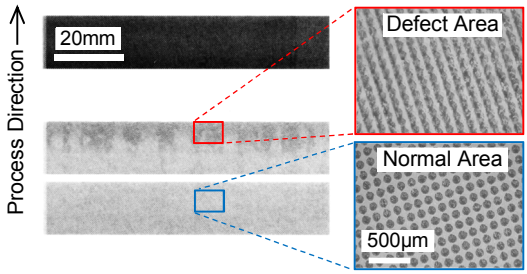


Fig.8 Image defect due to dot collapse.

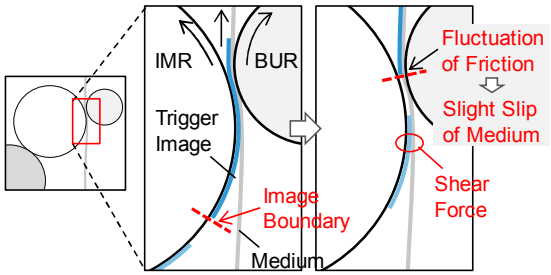


Fig.9 Mechanism of dot collapse.

４．２　用紙搬送シミュレーション

トナー像の摩擦係数の変動によるメディア姿勢への影響を検証するため，転写部の部材とメディアの動きを有限要素法で解析する用紙搬送シミュレーションを行った．図 10 はシミュレーションモデルの概要である．連帳メディアに一定の張力を与えながら印刷速度で搬送し，メディアを中間体とバックアップロールで挟んで転写ニップを形成した．中間体上にトリガー画像を模した摩擦係数の高い領域を与え，トリガー画像が転写ニップを通過する際のメディアの動きを解析した．

解析結果を図 11 に示す．図の縦軸はトリガー画像の通過前後における，メディアと中間体表面との相対速度の変化量を，搬送速度で除して規格化した値である．横軸はメディア搬送方向の位置であり，原点はニップの中心を示す．図より，摩擦係数が一定の場合(実線)は，当然ながら相対速度の変動がほとんどない．一方，トリガー画像の摩擦係数を非画像部より大きくした場合(破線)は，ニップ通過後にプレニップ領域の相対速度が小さく(メディアの方が中間体表面よりも遅く)なることがわかった．

すなわち，トリガー画像がニップを通過した際に，プレニップでメディアがスリップして姿勢が乱れることを示している．また，メディアの姿勢が乱れる位置も，試作機によるドット崩れの発生位置とよく一致した．

© 一般社団法人 日本画像学会

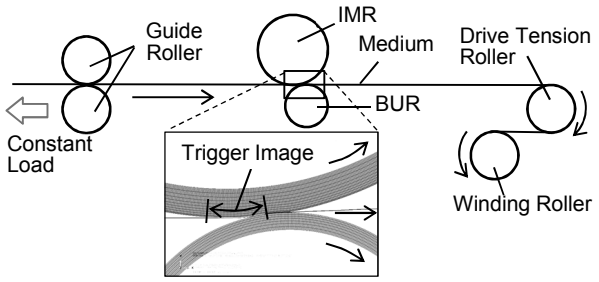


Fig.10 Simulation model of medium conveyance.

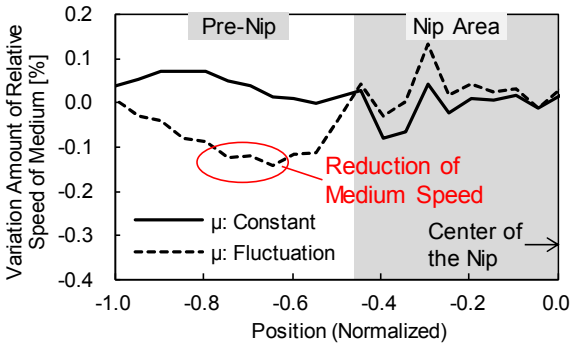


Fig.11 Simulated result of conveyance speed variation of medium.

4．3　対策と結果

以上の結果をもとに，ドット崩れを抑制する対策を検討した．トナー像を崩すせん断力の要因は，メディアのスリップによる搬送方向のずれと，トナー像に作用する摩擦力である．ただし，摩擦係数は画像パターンに依存するため制御できない．そこで，以下の 2 つの対策を抽出し，検証した．

対策(1)：搬送方向のずれを抑制するため，メディアの搬送張力を高める．

対策(2)：摩擦力(垂直抗力)を低減するため，転写圧力を弱める．

(1)に関しては，中間体の周速度，用紙搬送ロールの周速度，前後の転写ユニットの周速度をそれぞれ調整して張力を制御した．

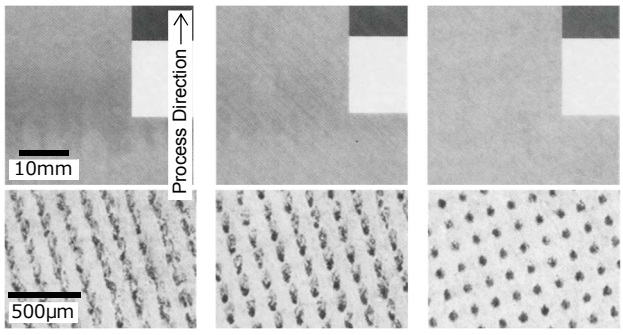


Fig.12 Scanned images and microscopic images of printed samples.

試作機による検証結果を図 12 に示す．図は各条件で出力したサンプルのスキャン画像と，拡大観察像である．サンプル(A)は対策前，サンプル(B)は対策(1)の搬送張力を高めた条件，サンプル(C)は対策(1)に加えて(2)の転写圧力を弱めた条件である．2 つの対策はともに顕著な効果があり，両方を実施したサンプル(C)でドット崩れを抑制できた．

5．メディアの適用範囲と多重転写性

以上の検討から，90%以上の高効率で，画像欠陥のない転写を実証したメディアの適用範囲を表 1 に示す．商業印刷用紙，各種粘着ラベル，軟包装フィルムなど，広範なメディアに対して高い転写性を得た．

また，タンデム/静電転写方式による多重転写では，転写ニップの通過後に剥離放電によってメディアが帯電し，下流側の転写ユニットにおける転写バイアスの増大が課題となる．3.3 節で述べたトナー電荷量低減策により転写バイアスを下げることで，低静電容量メディアに対して 6 色の多重転写性を得た．

Table 1 Applicable range of mediums

Media Characteristics	Applicable Range
Thickness	12-700 μm
Facestock	Paper: Coated, Gloss, Wood-Free, Metallic Film: Polyester, Polypropylene, Nylon, Synthetic Paper

6．まとめ

タンデム/静電転写方式の液体現像システムにおいて，メディア汎用性の獲得に取り組んだ．低静電容量メディアに対して高い転写効率を得るため，プレニップにてメディアを中間体に巻き掛けることで放電を抑制する対策などを検討した．

一方，メディアの巻き掛けによる放電抑制は像再現性と二律背反の関係にあり，面積階調率が急峻に切り替わる画像パターンでドット崩れが発生した．用紙搬送解析から，摩擦係数が異なる画像境界が転写ニップを通過する際に，メディアがスリップしてせん断力が生じることを明らかにし，搬送パラメータの最適化によってドット崩れを解消した．

以上から，高速性に優れたタンデム型で，幅広いメディアに適用可能な転写技術を獲得した．

参考文献

1) Tsutomu Teraoka, “Think Liquid Development Technology for Digital Printing,” Presentation Material of 54th Imaging Cafe, (2016).

2) Nobuyuki Nakayama, Satoshi Tatsuura, Taichi Yamada, Toshihiko Suzuki, Takamaro Yamashita, and Osamu Ide, “Development of Liquid Electrophotography System with Volatile Carrier Developer”, Proceeding of ICJ2018: Imaging Conference Japan 2018, (2018) [in Japanese].

3) Takeshi Nagao, Nobuyuki Nakayama, Hirofumi Goto, and Yoshihiro Enomoto, “Numerical Analysis on Transfer Latitude”, Journal of the Imaging Society of Japan Vol.55 No.2, pp.166-170 (2016)

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Simulation

[SI] Numerical Simulation of Electrophotography

Session Chair:Hiroyuki Ishikawa(Brother Industries, Ltd.), Masami Kadonaga(Ricoh Company, Ltd.)

Wed. Jun 20, 2018 4:00 PM - 5:00 PM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[SI-01] Study to Define Main Factors Affecting Electro Static Jam and to Develop CAE Model

*JUN SEONG WOO[1], Byoungho Yoo [1], Woon Kyung Kim[1], Taehan Kim[1] （1. HP Printing Korea Co., Ltd ）

4:00 PM - 4:20 PM

[SI-02] Analysis of Mechanical Characteristics of Polyimide by Using Coarse-Grained Molecular Dynamics Simulation

*Tomohiro Seko[1], Masatoshi Toda[2], Hiroshi Morita[2], Tsukasa Matsuda[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

4:20 PM - 4:40 PM

[SI-03] Development of 1DCAE Model for Electrophotography, and Application to Numerical Simulation

*Yuichi Kuroyanagi[1], Kouji Fujiwara[1], Ryo Oshima[1] （1. KONICA MINOLTA, Inc）

4:40 PM - 5:00 PM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | シミュレーション

[SI] 電子写真シミュレーション
Numerical Simulation of Electrophotography

2018年6月20日(水) 16:00 ～ 17:00 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[SI-01] Study to Define Main Factors Affecting Electro Static Jam and to Develop CAE Model

*JUN SEONG WOO[1], Byoungho Yoo [1], Woon Kyung Kim[1], Taehan Kim[1] （1. HP Printing Korea Co., Ltd ）

This study is about jam caused by static electricity after toner transfer system. We developed a simple paper behavior model (2D). In this model , the electrostatic force generated on the paper is expressed as the product of the electric field vector (E) and the surface charge density (σ) on the paper.
Tests have been performed to define main factors affecting the electric field and surface charge, and these factors have been applied to the CAE model. The electric field (E) was controlled by changing the potential of TR and OPC. The charge density (σ) on paper was examined by the bias voltage of the charge eliminator, the water content of the paper,etc. We expect that it will help to design robust system against unstable paper behavior by understanding mechanism of electrostatic jam and severe evaluative condition

©一般社団法人 日本画像学会

Study to define main factors affecting electro static jam and to develop CAE model

Jun Seong Woo*, Byoungho Yoo, Woon Kyung Kim*, and Taehan Kim*

* Core R&D Team, HP Printing Korea Co., Ltd

This study is associated with the jam caused by static electricity after toner transfer system. We developed a simple paper behavior model (2D). In this model, the electrostatic force generated on the paper is expressed as the multiplication of the electric field vector (E) and the surface charge density (σ) on the paper. Several tests have been performed to define main factors affecting the electric field and surface charge, and these factors have been applied to the CAE model. The electric field (E) was controlled by changing the potential of TR and OPC. The charge density (σ) on paper was examined by the bias voltage of the charge eliminator, the water content of the paper and curl curvature of paper etc. We expect that this study will help to design robust system against unstable paper behavior by understanding mechanism of electrostatic jam under severe evaluative condition.

1. Introduction

This study is about electrostatic forces, one of the factors that interfere with stable paper behavior after toner transfer. Electrostatic forces can occur on everywhere through the paths and affect the paper. However, the most direct and severe position is after toner transfer. (fig.1) This electrostatic force can cause to disturb entering of paper to the fuser. Also, unstable entry may cause wrinkles or image defects. In this study, the modeling parameters were tested to determine the mechanism of electrostatic force, and these factors were applied to the 2D paper feeding CAE model.

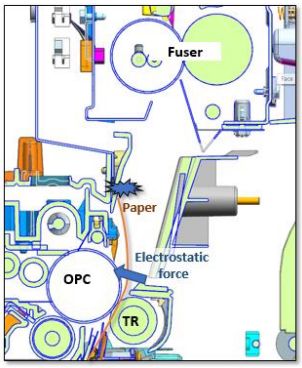


Fig.1 Unstable paper behavior due to electrostatic force

2. The concept of Electrostatic force model

The electrostatic force can be generally expressed as Equation (1), which describes the force applied to the charge Q by the point charges $q_1, q_2 \cdots$. Each distance from Q are $\gamma_1, \gamma_2 \cdots$. ε_0 is permittivity of free space.

This formula can be applied to electrostatic force on the paper between OPC and TR. The charge Q can be thought of as the surface charge on the paper. Electric field ($\vec{E}$)can be implemented by surface charge on TR and OPC.

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \cdots = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{\gamma_1}\hat{\gamma}_1 + \frac{q_1}{\gamma_2}\hat{\gamma}_2 + \cdots\right) = Q\vec{E} \qquad (1)$$

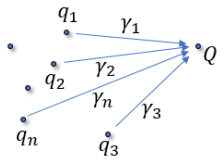


Fig.2 electrostatic force applied to Q by point charges

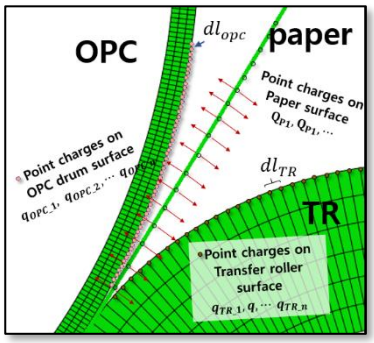


Fig.3 Paper feeding CAE model (ABAQUS 2D)

In this analytical model, the element length (dl) and charge density (σ) were multiplied to get a representative charge for each node point. (So, it is necessary to keep each element as small as possible.). The electrostatic force $\vec{F}_{P1}$at an element $P_1$of paper is generated by multiplying Q_{P1} and the electric field $\vec{E}$ which is created by q_{TR_1}, $q, \cdots q_{TR\_n}$ and q_{OPC_1}, $q_{OPC\_2}, \cdots q_{OPC_n}$.

* 129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16677, Rep. of KOREA
e-mail: junseong.woo@hp.com

© The Imaging Society of Japan

In this same way, each $\vec{F}_{P2}, \vec{F}_{P3,} \cdots \vec{F}_{Pn}$ can be calculated.

This CAE model is composed of 2D elements (ABAQUS s/w). And Fortran code for distributed-pressure expresses electrostatic force as user-subroutine.

This modeling technique allows distributed charge-density on a flexible body such as the transfer roller(TR) or the transfer belt. For example, deformation of the nip shape by the flexibility of TR can change the position of paper in electric field. This leads the change of electrostatic force.

3. surface charge on paper

3-1. Surface potential and charge density

According to equation (1), the electrostatic force(F) is expressed by the multiplication of the surface charge (Q) and the electric field ($\vec{E}$). This means that extremely reduced Q can make value of electrostatic force around zero. Therefore, it is necessary to check what cause the variation of the surface charge on paper.

To find the factors affecting the surface charge on the paper, an experimental apparatus was made to measure the surface potential of the paper during printing. (fig.4)

If $\sigma(r)$ is constant for all the unit areas (da), σ can be estimated from the measured surface potential(V). (eq.(2))

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\sigma(r)}{\gamma} da = \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{da}{\gamma} \qquad (2)$$

$$= \frac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^{2\pi}\int_0^{s} \frac{r}{\sqrt{D^2 + r^2}} dr d\theta$$

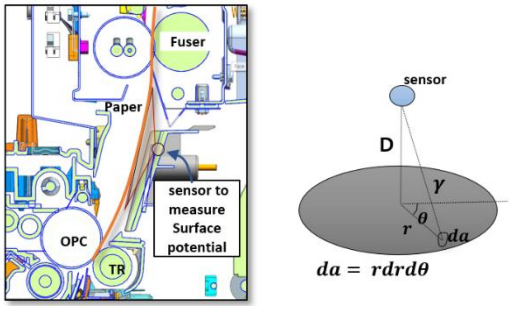


Fig.4 sensor to measure surface potential on paper

* The surface potential experiment was analyzed with internal camera for paper behavior. when the surface potential of the paper was high, the paper was unstable and move to the OPC side.

3-2. The potentials of OPC & TR

The potentials of OPC(a) and TR(b) are required to transfer toner from supply to OPC surface and from OPC surface to the paper, respectively (fig.5). Toner-transfer-efficiency can be controlled by these potentials. Therefore, the potential of OPC and TR needs to be tested to check affects the surface charge of the paper. (fig.6)

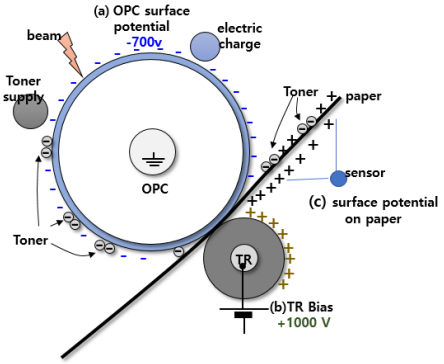


Fig.5 Charges on surface of OPC, TR and paper

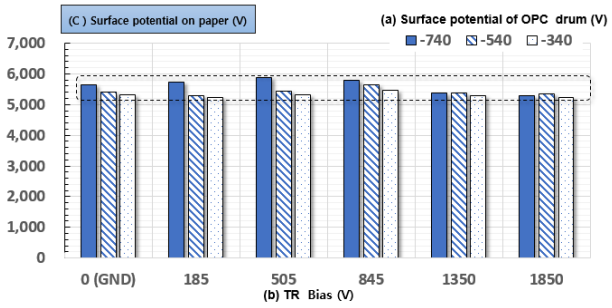


Fig.6 Measured potentials on paper surface

We tested the combination cases of TR and OPC at 0 ~ 1850V and -740V ~ -340V, respectively. As shown in Fig. 6, the measured surface potential of the paper did not change significantly through all cases. The potentials of OPC and TR are not main factors affecting surface charge on paper.

3-3. Concentration of toner on paper

As shown in Fig. 5, the toner concentration on the paper seems to affect the surface potential. It is necessary to examine the surface potential of the paper according to the density of the toner on the paper by changing the brightness.

According to the results shown in Fig. 7, as the image becomes darker and the amount of toner on the paper becomes larger, the measured surface potential becomes lower. Therefore, it is appropriate to test with blank paper (0%) when high electrostatic force on the paper is needed to check paper jam in severe condition.

© The Imaging Society of Japan

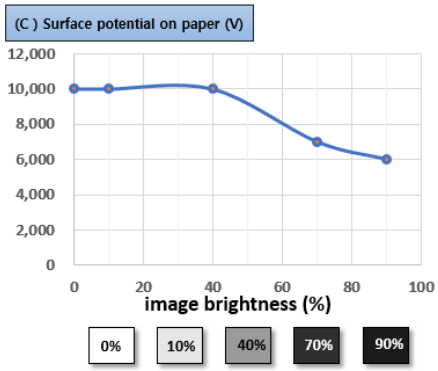


Fig.7 Density of toner vs. potential of paper

3-4. Moisture content of paper

It is a common fact that static electricity is more likely to occur in a dry environment such as winter. It is necessary to check whether the moisture content of the paper is related to the surface charge.

Fig.8 shows that the surface potential of paper varies depending on the moisture content. At more than 6.5%, low surface potentials are seen regardless of the brands. And the paper behavior was very stable at over 6.5%. However, at under 6.5%, the surface potential rapidly increases and varies depending on the brands of paper. The paper behavior was also very unstable. Thin and dry paper caused jam.

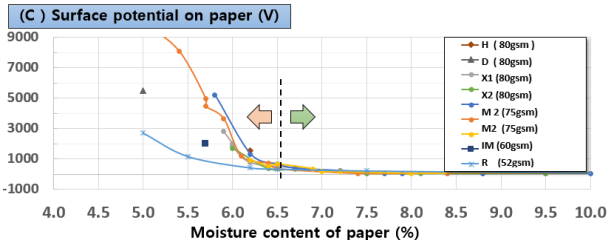


Fig.8 Moisture content vs. surface potential on paper

4. Electric field and electric charge

Although the potentials of TR and OPC do not affect the surface charge of the paper, they can make stronger electrostatic force by increasing the strength of the electric field ($\vec{E}$). It is because the change of the surface charge of TR (q_{TR_1}, q_{OPC_2},$\cdots$) and OPC (q_{OPC_1}, q_{OPC_2},$\cdots$).

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \cdots = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{\gamma_1}\hat{\gamma}_1 + \frac{q_1}{\gamma_2}\hat{\gamma}_2 + \cdots\right) = Q\vec{E} \qquad (1)$$

Increased difference of potential between TR and OPC surface makes strong the electric field ($\vec{E}$). According to Equation (1), a paper placed in a high electric field get stronger force. The same results were confirmed by the simulation and test results. In Fig.9(1) test result, strong electric field ($\vec{E}$) by increased potential of TR generates strong electric force ($\vec{F}$). The strong force makes paper unstable.

Fig.9 (2) shows a simulation results that the electrostatic force becomes strong by increased surface charge(Q) in the same electric field ($\vec{E}$) condition.

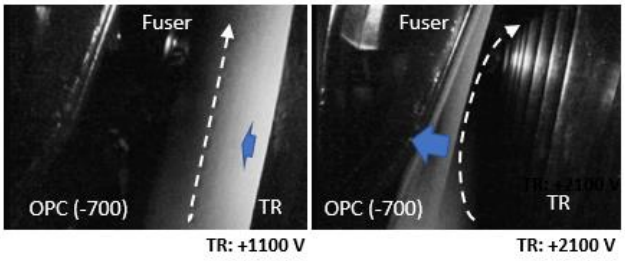


Fig.9 (1) change of electric field by TR potential

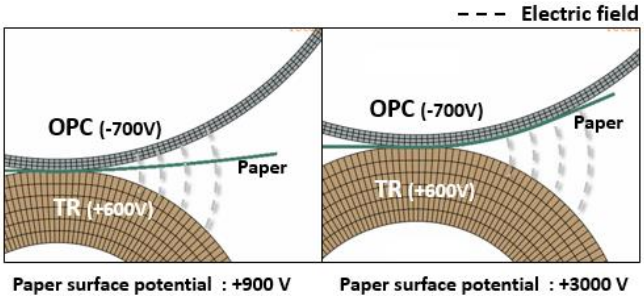


Fig.9 (2) Change of surface charge

5. Curl and moisture content of paper

The water content of the paper affects the paper behavior in two ways. The first is curl. Fuser heater of high temperature evaporates moisture from the paper into the air in an instant. At the same time, the difference in shrinkage between the front and back sides of the paper makes curvature. Generally, the higher the water content, the curvature becomes increased. As curl increases, paper becomes unstable to enter fuser. [4]

Fig.10 shows the effect of curl curvature on electrostatic force as an analytical model. the environment conditions of three cases are same except curl curvature. Potentials of OPC & TR are -740V & +600V , respectively . Radius of OPC and TR are 15 and 9.4 mm. Paper curvature(m) was changed only (m=1/radius). As the curvature of the curl increases, the electrostatic force is stronger to move the paper to the OPC. It is because that the electric field is changed by the position of the charge of paper. The electric field is inversely proportional to the square of the distance (eq.1) . The increased curl curvature places the paper close to OPC surface, then the electric field becomes stronger.

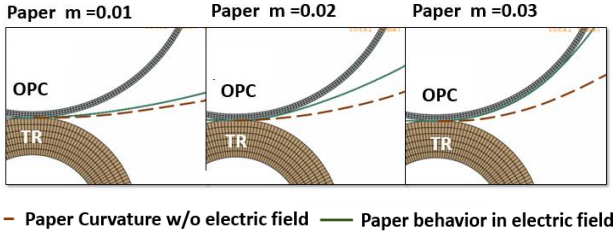


Fig.10 Curled paper in electric field (CAE)

© The Imaging Society of Japan

The second is surface charge density. As described in 3-3, low water content greatly increases the surface charge, and the paper behavior becomes unstable. Conversely, high-water content causes a low surface charge density on a paper, and the paper behavior becomes stable.

However, there is severe condition where both problems occur at the same time. It is the case of two-sided printing with thin paper(under 60gsm) containing moisture.

It was confirmed by test that the 8.5% water content in thin paper decreased to less than 6% immediately after the first fusing for the front-side printing. in Fig.8 We can see the difference of surface potential between 8.5% and 6.0% in water content . At the same time, water evaporation also causes curl of the paper.

After the front-side printing, curled and dried paper re-enters between OPC & TR for back-side printing. At this time, dried paper makes strong electrostatic force due to high surface charge, and curl curvature. This case causes not only jam, but also wrinkles and image defects.

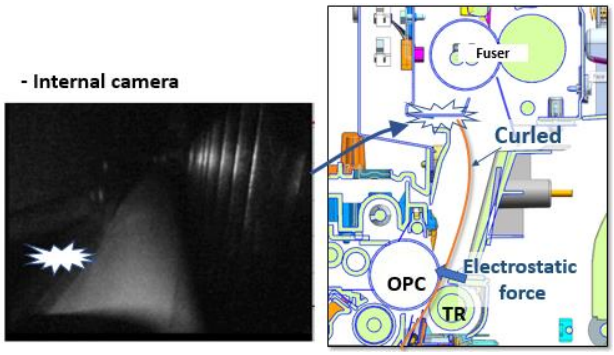


Fig.11 Two-sided printing of thin paper with moisture.

The movement of the paper with different curvature was monitored. (Table.1) High curvature over 0.013 makes the behavior unstable regardless of strength of electric field. However, under 0.010, curvature makes various electrostatic force in different electric field.

		Curl Curvature			
OPC	TR	0.013	0.010	0.008	flat
-700V	0V	Unstable	OK	OK	OK
-700V	+600V	Unstable	Unstable	Unstable	OK

Table.1 curl and electric field test with thin paper

In the case of thick paper (over 80gsm), with strong bending rigidity, papers can withstand the electrostatic force. Furthermore, fuser heater cannot evaporate moisture easily due to the thickness. As a result, the remaining moisture lowers the curvature size and surface charge on the paper. It is why the thick papers are more stable than thin papers

6. Conclusion

In this study, we considered that equation (1) could explain the electrostatic force among OPC and TR, and paper. In the CAE simulation, surface charge of OPC and TR formed an electric field (E) , and paper behavior of charge (Q) in the electric field was analyzed. we can control the surface charge and the curl curvature as initial input factors.

The surface potential was measured for charge density of paper. The factors affecting the charge were experimentally verified. The water content of the paper has a great influence on the static electricity. The intensity of electric field was verified by changing the potential of TR and OPC. The effect of curvature of curl about the electric field is also analyzed. We found severe condition about double-sided printing. A thin paper with rather moisture causes high curvature and high charge density at back-side printing procedure.

For further study, we plan to develop ion flow model for effective surface charge eliminator. Design factors will be considered for this model including bias voltage, edge sharpness, distance to paper, and surrounding guide etc.

References

1) T. Sasaki, T. Onishi, A. Sugiyama and S. Nasu, "Transfer process Multiphysics Simulation in Electrophotography." Journal of Imaging Science and Technology (2010)
2) J.L. Davis, J.F. Hoburg, “HVDC Transmission line computations using finite element and characteristics methods”, Journal of Electrostatics(1986)
3) David J. Griffiths,” Introduction to Electrodynamics”, Fourth Edition (2013)
4) Masato Ando, Takashi Ogino, Tomoyuki Ito, " Simulation Model to Predict Curl of Paper Transported through Fuser Nip", B-27 Imaging Conference JAPAN (2014)
5) Paula Andrea Marin Zapata , Maurice Fransen, Jan ten Thije Boonkkamp, Louis Saes, “ Heat and moisture transport in a paper sheet moving over a hot print surface”

© The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | シミュレーション

[SI] 電子写真シミュレーション
Numerical Simulation of Electrophotography

2018年6月20日(水) 16:00 ～ 17:00 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[SI-02] 粗視化分子シミュレーションによるポリイミドの力学物性解析
Analysis of Mechanical Characteristics of Polyimide by Using Coarse-Grained Molecular Dynamics Simulation

*世古 丈裕[1]、戸田 昌利[2]、森田 裕史[2]、松田 司[1] （1. 富士ゼロックス株式会社、2. 産業技術総合研究所）
*Tomohiro Seko[1], Masatoshi Toda[2], Hiroshi Morita[2], Tsukasa Matsuda[1] （1. Fuji Xerox Co., Ltd., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

粗視化分子動力学シミュレーションを使い、ポリイミドの応力歪み曲線を解析する計算技術を開発した。本研究では、従来の原子レベルの分子シミュレーションに比べて、大規模なポリイミド分子の構造を扱えるようKremer-Grest粗視化手法による分子モデル化方法を考案した。従来の粗視化モデルでは、応力歪み曲線の塑性域での傾向を近似できなかった。そこで、ポリイミド分子鎖間のスタックを模擬した相互作用などを取り入れたモデルへと改良した。本改良モデルにより、応力歪み曲線の傾向を近似できた。

©一般社団法人 日本画像学会

粗視化分子シミュレーションによるポリイミドの力学物性解析

世古 丈裕*，戸田 昌利**，森田 裕史**，松田司*

* 富士ゼロックス株式会社　研究技術開発本部　基盤技術研究所
** 産業技術総合研究所 機能材料コンピュテーショナルデザイン研究センター

Analysis of Mechanical Characteristics of Polyimide by Using Coarse-Grained Molecular Dynamics Simulation

Tomohiro Seko*, Masatoshi Toda**, Hiroshi Morita**, and Tsukasa Matsuda*

* Key Technology Laboratory, Research & Technology Group, Fuji Xerox Co., Ltd.
** Research Center for Computational Design of Advanced Functional Materials, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

In the electrophotographic system, the polyimide is sometimes used for materials having a durability; thermal stability and mechanical strength. Polyimide takes higher order structure, which is affected to the mechanical strength. However its structure makes us difficult to control the properties of polyimide, and it is needed to study the relationship between higher order structures and properties of polyimide. To study the mechanical property of polyimide, we make the coarse-grained model of polyimide, and performed the molecular dynamics simulation to calculate the stress-strain curve. We applied the several models, such as the model with an attractive interaction to represent the stacking effect, or the model which potentials are derived from atomistic MD simulation, etc. From our simulations, using the latter model we can reproduce the stress-strain curve having the transition from elastic to plastic.

１．はじめに

ポリイミドは高い機械的強度，高温耐性などをもつ優れた高分子材料であり，工業的に広く使われている．電子写真システムでも，耐久性が要求されるベルト材料などに使われている．電子写真システム内では，様々な温度条件および機械的負荷がかかる状況下で使用されるため，ベルト材料の変形，破壊が生じる懸念がある．

一般的には、力学的特性である変形や破壊は，材料の分子構造に大きく支配される.高分子材料では，数ナノオーダーの一次構造から，高分子鎖が絡み合ったネットワーク構造などの数 10 ナノ～ミクロンオーダーの高次構造にわたる複雑な階層構造が構成されており，それが力学物性を支配する要因になることが知られている[1)]．

しかしながら，高次構造を原子レベルで直接観測し，物性との関係を明らかにすることは技術的には困難度が高い．そこで，ナノオーダーの分子構造や物性を解析する有効な手法の１つとして，分子動力学（Molecular Dynamics, MD）シミュレーションがあり，電子写真材料であるトナー樹脂の原子レベルの解析にも適用されている[2)]．しかし原子レベルの精密なモデルに基づく全原子 MD シミュレーションは計算負荷が高いので，高次構造など大規模な系を扱うためには，分子構造を近似してモデル化する粗視化 MD シミュレーションが利用されている[3, 4)]．

この MD シミュレーションを使い,架橋フェノール樹脂の分子構造と引張による応力歪曲線との関係を明らかにした事例が報告されている[5)]．しかし先行研究が対象としているのは，主に応力歪曲線の弾性域である．

そこで本研究では，破壊・変形に関連する力学物性と構造との関係を解明することを目的に，弾性域から塑性域に渡る引張による応力歪曲線を近似できる粗視化 MD シミュレーション技術を開発した．

２．粗視化分子動力学シミュレーションとモデル

従来の全原子 MD シミュレーションは,分子を構成する原子間の相互作用をもとに原子個々の運動を計算することで，分子構造を解析する方法である[6)]．全原子 MD 法は,原子単位で分子構造を表すモデルを使い，個々の原子間に対する相互作用を計算するので膨大な計算量を要する．したがって，数 10nm 以上の空間サイズをもつ高分子の高次構造を計算することは難しい．

＊〒259-0157　神奈川県 足柄上郡 中井町境 430
＊430 Sakai, Nakai-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 259-0157
e-mail : Tomohiro.Seko@fujixerox.co.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

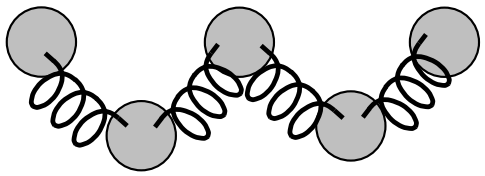


Fig.1 Concept of Bead-spring model. Circle represents bead which approximates several monomers, and spring indicates connectivity between beads.

そこで複数の原子群をグループ化（粗視化）した Kremer-Grest 粗視化（ビーズ-スプリング）モデルが考案されている[3,7]. これはモノマー数個程度の大きさの分子構造をビーズ 1 個で表し，それらをバネで繋いで高分子鎖をモデル化したものである(Fig.1).

粗視化 MD 法は，次の手順で計算を行う. まず各ビーズ(粒子)の座標 $\mathbf{r}_i$ において，それぞれ働く力 $\mathbf{F}_i(t)$ を，式(1)に従い求める. 式(1)において U は相互作用を表すポテンシャルであり，化学結合力と非結合力による 2 つの種類の作用の和である. Γ は摩擦係数，W はランダムノイズを表す. 次に式(2)によって，各粒子の速度 $\mathbf{v}_i(t)$を求める. ここで $t-\Delta t$ とは，現時刻 t(現在ステップ)より，1 ステップ(時間刻み Δt)だけ前の時刻である. そして式(3)から，Δt 後の新しい粒子の位置が求められる. 式(1)～(3)の計算を繰り返し，逐次，粒子の座標と速度を更新することで，分子の時間変化による挙動を計算できる.

$$m\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}=\mathbf{F}_i(t)-m\Gamma\frac{d\mathbf{r}}{dt}+W(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{v}_i(t)=\mathbf{v}_i(t-\Delta t)+\frac{\Delta t}{m_i}\frac{\mathbf{F}_i(t)+\mathbf{F}_i(t-\Delta t)}{2} \quad (2)$$

$$\mathbf{r}_i(t+\Delta t)=\mathbf{r}_i(t)+\Delta t\mathbf{v}_i(t)+\frac{\Delta t^2}{2m_i}\mathbf{F}_i(t) \quad (3)$$

連結粒子間には，式(4)の FENE(Finitely Extensible Nonlinear Elastic)ポテンシャルによる力が作用している. また粒子間の非結合作用力による力は,式(5)の Lennard-Jones 型のポテンシャルで与えられる. ここでσはビーズのサイズを決める長さの単位,εはビーズ間相互作用エネルギーの大きさを示す.粒子間の結合角ポテンシャルは(6)式で与える.

$$U_{FENE}(r)=-\frac{1}{2}kR_0^2\ln\left[1-\left(\frac{r}{R_0}\right)^2\right] \quad r\le R_0 \quad (4)$$

$$U_{LJ}(r)=4\varepsilon\left[\left\{\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12}-\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{6}\right\}+\frac{1}{4}\right] \quad r\le 2^{1/6}\sigma \quad (5)$$

$$U_{angle}=\sum_{angles}K_\theta(\theta-\theta_{eq})^2 \quad (6)$$

以上のように分子構造を粗視化したモデルによって，計算で取り扱う粒子数を抑制することで，全原子 MD では難しかった,空間スケールの大きな高分子の高次構造の特徴を扱え，同時に時間スケールも粗視化することで高分子の長い緩和時間も計算できる. 本 MD シミュレーションには，JSOL 社が開発したソフトウェア J-OCTA/VSOP[7]を用いた.

本研究では Fig.2 に示すポリイミド分子に対して，ベンゼン環 1 個程度の大きさの分子構造をビーズ 1 個で表し，粗視化モデル化した.

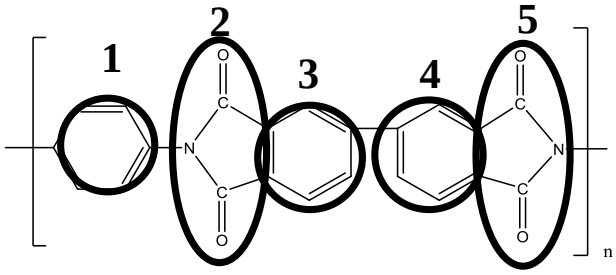


Fig.2 Molecular structure of polyimide and, coarse-grained model. Circle indicates unit of coarse-grained model.

３．シミュレーション結果

３．１　斥力相互作用モデルと応力歪曲線

式(5)で表す非結合相互作用では,斥力のみを考慮している. この計算条件をもつポリイミドの斥力相互作用モデルを使い，緩和した分子構造を得た. 次にこの構造に対して伸張計算を実施し，応力歪曲線を算出した（Fig. 3）. 引張試験により実測した応力歪曲線（Fig. 4）では，歪みが大きくなるにつれ，歪み 0.05 程度まで弾性域が続いた後,降伏点を経て塑性域に入る. 全領域にわたり応力が増加するが，塑性域では弾性域より応力の増加率が小さい. 応力歪曲線の計算結果では，弾性域の応力増加傾向は再現できている. しかし降伏点が生じた後，塑性域の応力が低下し，実験値で見られる塑性域での応力増加傾向を再現できなかった.

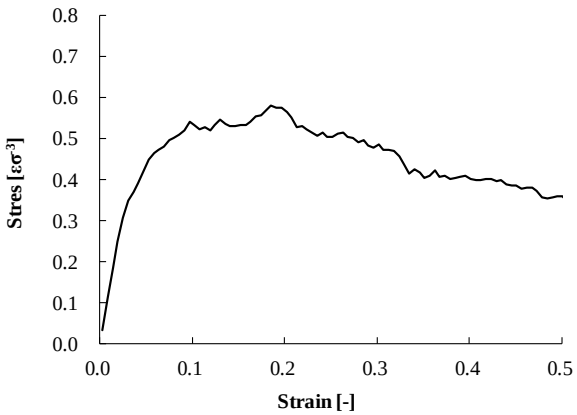


Fig. 3 Calculated stress-strain curve by repulsive model of polyimide.

© 一般社団法人 日本画像学会

ポリマー鎖の絡み合い点数を解析する手法である Primitive Path Analysis 法[8]を用い,伸張に伴う絡み合い点数の変化を解析した（Fig.5）．伸張によって分子鎖の絡み合い点数が減少しており，これが応力低下の原因と推定する．

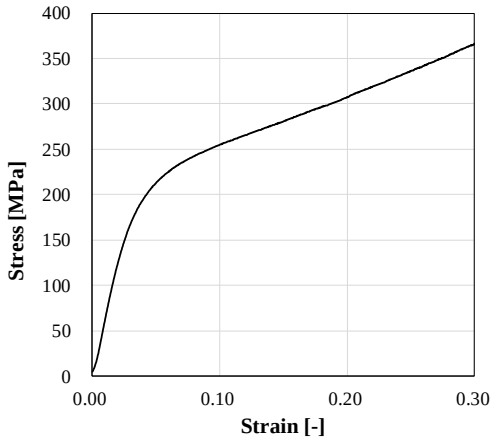


Fig.4 Experimental stress-strain curve by tensile test.

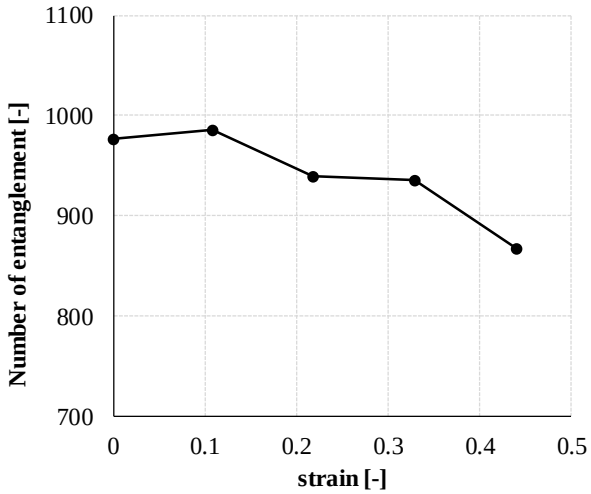


Fig.5 The number of entanglements between the polymers depending on strain.

３．２　斥力/引力相互作用モデルと応力歪曲線

斥力相互作用モデルで実験応力歪曲線を再現できなかった原因は，ポリマー鎖間の相互作用をきちんと考慮できていなかったためと考え，モデルを次の通り修正した．まず式(5)の相互作用範囲を $2^{1/6}\sigma$ から 2.5σ に変更し，エネルギーの値を適切にシフトすることで,粒子間に働く相互作用を斥力のみから,引力を含むよう変更した．またポリイミドは近接する分子鎖間の芳香環を介してスタック相互作用が働くことが知られている[9]．そこで Fig. 2 の粗視化モデルにおいて，番号 1，3，4 で示す芳香環間にはたらく引力相互作用を他の引力相互作用より 3 倍強くし,ポリイミドのスタック相互作用をモデル化した．このスタック相互作用の有無による応力歪曲線の計算結果を Fig. 6 に示す．なお応力は以下の方法で物理量化した．まず,全原子 MD モデルを使って,Fig. 2 の粗視化モデルの各ビーズの大きさを算出し，σの値を決定した．次に応力歪曲線の実験値及び計算値を降伏点で合わせ,応力値を比較することでεの値を決定した．その結果，スタックなしモデルに比べてスタックを導入したモデルでは応力が大きくなり，Fig. 3 で見られた塑性域での応力低下が抑制されている．またスタック相互作用を入れた場合は絡み合い点数も増加した（Fig. 7）．ただし，実験値で観測される塑性域での応力増加傾向は再現できていない．相互作用のモデル化精度を改善する必要があり，そのために粗視化ポテンシャルを改良する必要があると考えられる．

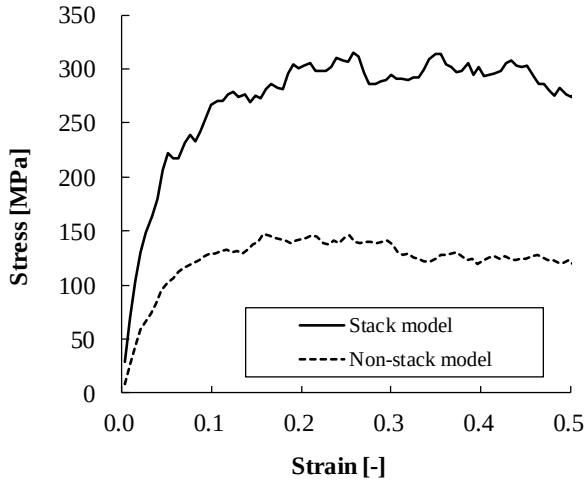


Fig.6 Stress-strain curve calculated by stack and non-stack model.

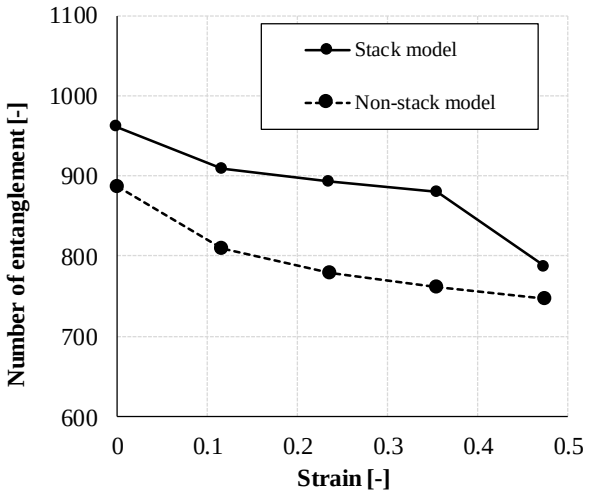


Fig.7 The number of entanglements between the polymers depending on strain for stack and non-stack model.

© 一般社団法人 日本画像学会

３．３　全原子 MD に基づく粗視化ポテンシャルモデルと応力歪曲線

粗視化モデルによる応力歪曲線計算精度を向上するため，全原子 MD に基づき粗視化ポテンシャルを以下の方法で作成した．最初に全原子モデルを使って平衡状態における分子構造を算出し，得られた構造を粗視化モデルの各ビーズに対応するよう割り当てる．次に，各原子に対して全原子モデルの結合長を変えた場合のエネルギー変化を求め，それを各粗視化モデルのビーズに対応させることで，結合に関する粗視化ポテンシャル関数のパラメータ値を決定する．そして粗視化結合角ポテンシャル，非結合ポテンシャルを決定した．

本ポテンシャルに基づくモデルを使い，算出した応力歪曲線を Fig.8 に示す．本モデルでは塑性域での応力増加傾向を近似できた．斥力/引力相互作用モデルに比べて，本モデルで利用したポテンシャルは，Lennard-Jones の相互作用範囲を広くしており，これが塑性域の挙動に影響したと推定する．ただし本モデルでは，降伏点位置と塑性域の応力傾きの実測値を近似できていない点が今後の課題である．

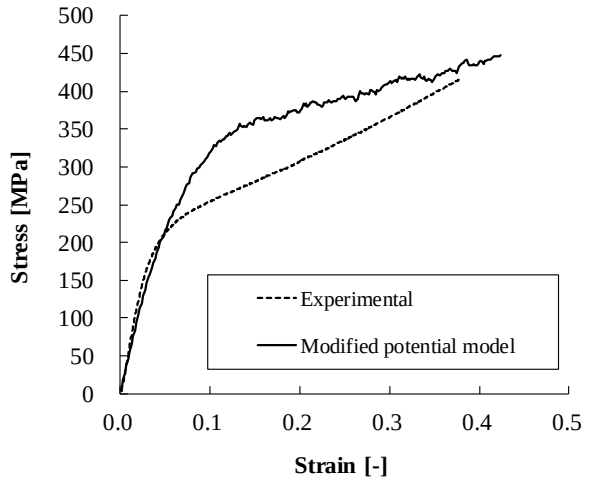


Fig.8 Stress-strain curve calculated by model with modified potential which is derived from atomistic MD simulation.

４．結論

粗視化 MD 法を用い，ポリイミドの弾性域から塑性域に渡り応力歪曲線を計算できる手法を開発した．芳香環の間のスタックによる引力相互作用，全原子モデルに基づく引力相互作用範囲を広くしたポテンシャルを用いることで，塑性域の応力増加傾向を近似できた．

謝辞

本研究は，産業技術総合研究所との共同研究コンソーシアム〝ゴム・エラストマーにおける理論・シミュレーション基礎研究会〟にて実施した．また実験データ測定・解析に関し，富士ゼロックス 鈴木友子氏に多くの協力をいただいた．関係者各位に感謝する．

参考文献

1) Y. Matsushita, T. Sato, T. Kanaya, K. Ito, H. Watanabe, K. Tanaka, T. Shimomura, and T. Inoue, “Koubunshi no kouzou to bussei”, Koudansya, (2013) [in Japanese].
2) T. Seko, Y. Sasaki, K. Yanagida, and N. Nakayama, “Study on Atomistic Behavior of Toner Polymer by Molecular Dynamics Simulation”, Proceeding of Imaging Conference JAPAN 2014 (2014), pp. 247-250 [in Japanese]
3) K. Kremer, and G. S. Grest, “Dynamics of entangled linear melts: A molecular-dynamics simulation,” Journal of Chemical Physics, **92**, pp. 5057-5086 (1990).
4) T. Seko, I. Fujino, and N. Nakayama, ”Study on Effectiveness of Molecular Dynamics Simulation by Coarse-grained Model for Enlargement in Scale”, Journal of the Imaging Society of Japan, **54**, No.6, pp. 533-541 (2015).
5) A. Izumi, T. Nakao, and M. Shibayama, “Atomistic molecular dynamics study of cross-linked phenolic resins”, Soft Matter, **8**, pp. 5283-5292 (2012).
6) S. Okazaki, “Computer simulation no kiso”, Kagaku Doujin, (2011) [in Japanese].
7) Japan Association for Chemical Innovation ed., “Koubunshi simulation, OCTA katsuyou jireisyuu”, Kagaku kougyo nippousya (2014), pp. 18-22 [in Japanese].
8) V. A. Harmandaris, and K. Kremer, “Dynamics of Polystyrene Melts through Hierarchical Multiscale Simulations”, Macromolecules, **42**, pp. 791-802 (2009).
9) Nihon polyimide houkouzoku koubunshi kenkyuukai, “Saishin polyimide”, NTS, (2010), pp. 56-60, [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | シミュレーション
[SI] 電子写真シミュレーション
Numerical Simulation of Electrophotography
2018年6月20日(水) 16:00 ～ 17:00 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[SI-03] 電子写真における1DCAEモデルの開発と画像シミュレーションへの応用
Development of 1DCAE Model for Electrophotography, and Application to Numerical Simulation

*畔柳 祐一[1]、藤原 康司[1]、大島 亮[1] （1. コニカミノルタ株式会社）
*Yuichi Kuroyanagi[1], Kouji Fujiwara[1], Ryo Oshima[1] （1. KONICA MINOLTA, Inc）

製品開発において効果的にシミュレーションを活用するために1DCAEモデルの開発を進めている。開発にあたり1DCAEモデルの設計フローを定め、それに従い開発した1DCAEモデルの一例と、その応用として弊社が従来より開発してきた画像シミュレーションに、1DCAEモデルを組み込み、機能向上した事例を報告する。

©一般社団法人 日本画像学会

電子写真における 1DCAE モデルの開発と画像シミュレーションへの応用

畔柳 祐一*，藤原 康司*，大島 亮*

*コニカミノルタ株式会社　情報機器開発本部

Development of 1DCAE Model for Electrophotography , and Application to Numerical Simulation

Yuichi Kuroyanagi*, Kouji Fujiwara*, Ryo Oshima*

*R&D Headquarters, Konica Minolta, Inc.

Evaluation by simulation is an effective method in product development of the electrophotography. Particularly in 1DCAE, it is possible to simulate multiple functions of electrophotographic processes at the beginning of product development. We have developed 1DCAE models in electrophotographic process. The 1DCAE model of the fixing unit was confirmed to have sufficient reproducibility compared to the practical two-dimensional simulation.

Furthermore, these 1DCAE models were applied to the internal processing of numerical simulation. We confirmed that the numerical simulation was able to calculate input / output characteristics based on the physical properties of parts. It is expected to utilize numerical simulation at the detailed design stage.

１．はじめに

電子写真方式による MFP やプロダクションプリント機の製品開発において、シミュレーションが広く活用されている。求める機能の検証にシミュレーションを用いることで、実験の準備や作業にかかる期間の短縮やコスト削減が見込まれるほか、観察や測定が困難な現象を評価できるからである。我々はシミュレーションをさらに効果的に活用すべく、製品開発初期の段階に適用可能な 1DCAE モデルの開発を進めている。本稿では開発した 1DCAE モデルの事例を紹介する。

また、我々は入力画像と製品機能仕様から出力画像の濃度分布や色再現性を推定し評価する画像シミュレーションを開発してきた。構築した 1DCAE モデルを画像シミュレーションにおける画像情報の変換処理に応用した例を報告する。

２．　電子写真における 1DCAE モデルの開発事例

２．１　電子写真におけるシミュレーション

電子写真プロセスの技術開発に用いられるシミュレーションの多くは有限要素解析に代表されるような対象物や対象の空間を２次元や３次元に離散化して計算する手法である。この手法は実物の形状を模擬しているため、注目箇所の可視化や詳細な評価ができる点で優れている。一方で、開発初期の技術検討では様々な条件で計算することが求められるため、解析モデル作成や計算処理に長時間を要し、シミュレーションのメリットを十分に生かしきれないことがある。また、電子写真においては、各プロセスに関わる現象や制御が複雑に絡み合うため、それらの相互影響を加味したシミュレーションは大規模かつ複雑になり、計算時間が膨大になるなど、シミュレーションが活用できない場面がしばしばある。

近年、シミュレーションの手法の１つとして、1DCAE が注目されている。1DCAE とは対象の機能に注目し、構成するパラメータと入出力の関係を物理法則や実験データをもとに数式化（モデル化）して計算する手法である [1)]。機能をシンプルに表現することで、複数のモデルの連携が容易になり、製品開発初期の機能成立性の検証を行う際にも、複数プロセスの相互影響による不具合等の抽出が可能になる。今回、我々は製品開発におけるシミュレーションの活用範囲を拡大すべく、電子写真プロセスの 1DCAE モデルを構築した。

２．２　1DCAE モデルの設計フロー

1DCAE モデルは構成要素であるコンポーネントや、それらを組み合わせたサブシステムを適切に設計することで、複雑なモデルの連携や他モデルへの流用が可能となる。我々は 1DCAE モデルを構築するにあたり、Fig.1 に示す設計フローを定めた。初めに開発対象とするユニットやプロセス、技術課題について、それを構成する機能に分解し、機能単位で１つのモデル（基本モデル）を定義する。次に機能を物理法則や実験式に細分化し、係わる部材やパラメータ、入出力情報を明確にする。この物理法則や実験式が１つのコンポーネントとなる。これらの入出力情報を連結したブロック図を作成し、情報や機能の過不足を確認したうえで、各コンポーネントおよびサブシステムの実装に移る。

*〒442-8503 愛知県豊川市穂ノ原 3 丁目 22-1
*3-22-1 Honohara, Toyokawa-shi, Aichi, 442-8503, Japan
e-mail:　yuichi.kuroyanagi@konicaminolta.com

© 一般社団法人 日本画像学会

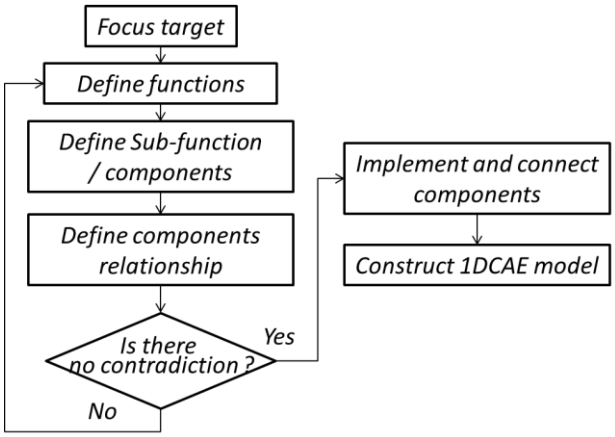


Fig.1 Design flow in the development of 1DCAE model.

2．3　定着部のモデル化

ここでは定着部を例に挙げる。我々はまず定着部を機能分解し、6つの基本モデルを定義した。 定着部の機能とは、「取り込んだ紙と紙上のトナーとを密着させながら熱を加え定着し、紙を送り出す」ことである。これを機能分解すると、1．トナーを密着させる「圧力」、2．トナーに熱を与える「伝熱」、3．トナーが溶ける「溶融」、4．ベルトや紙を送る「搬送」、5．ベルトから紙を引き離す「分離」、6．熱の伝達や紙の挙動に影響する「気流」と表現できる(Fig.2)。それらを基本モデルとして構築し、相互に連携させることで定着部の 1DCAE モデルを構築した。

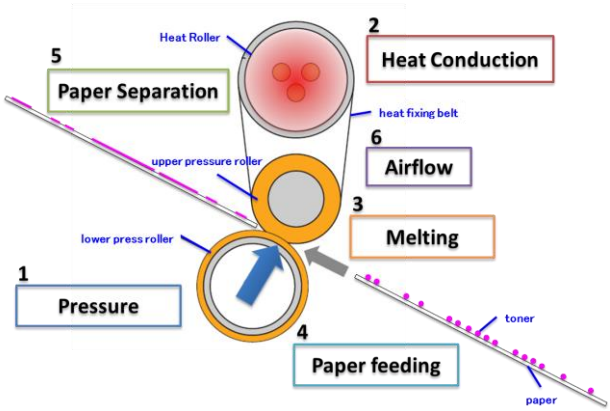


Fig.2 Six functions that compose the fixing process.

2．4　定着ニップ部の熱伝導

定着ニップ部の熱伝導について、6つの基本モデルから、伝熱モデルと圧力モデルを例に述べる。定着部で考慮する必要がある伝熱機能を、ヒータ部による発熱、定着部を構成するローラやベルトの内部への熱伝導、周囲の空気への放熱（熱伝達）、定着ニップ部など接触を介した熱伝導、ローラの回転やベルト搬送の運動による熱移動と定義し、これらの伝熱モデルを作成した。

例えば、伝熱モデルにおいて、定着ニップ部のベルトと紙との接触における熱移動 Q_c は、式(1)で表される。

$$Q_c = \frac{1}{R_c}\left(T_{belt} - T_{paper}\right) \qquad (1)$$

ここで R_c は部材間の接触熱抵抗であり、実験的に求められる。また、接触熱抵抗は接触部に仮想的な厚さの空気層があると見なして、式(2)で表される。

$$R_c = \frac{D_v}{KA} \qquad (2)$$

K は空気の熱伝導率、A はニップ幅、D_v は空気層の仮想厚さを表す。空気の仮想厚さは紙の凹凸によって異なり、Fig.3 に示すように、紙のベック平滑度と相関が得られている。一方、ニップ幅はニップを形成するローラの変形によって決まるため、圧力モデルにて求めた値を用いる。

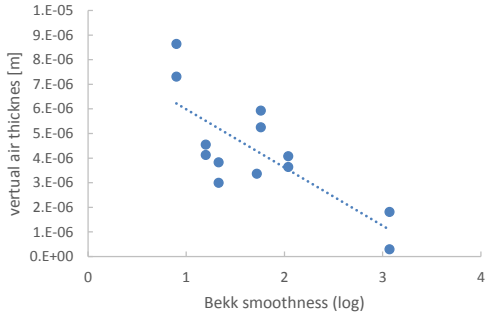


Fig.3 Correlation between Bekk smoothness and virtual air thickness.

圧力モデルにおいて、定着ニップ幅を求める構成則には、ヘルツの公式を適用した。接触長さ L、半径 R_1, R_2 の2つの円柱を垂直荷重 W で押しつけた際の平面ひずみのニップ幅 A は式(3)で求められる。

$$A = 4\sqrt{\frac{R_1 R_2\left(\frac{1-{\nu_1}^2}{E_1} + \frac{1-{\nu_2}^2}{E_2}\right)W}{(R_1 + R_2)\pi L}} \qquad (3)$$

ここで E_1, E_2 は定着ニップを形成するローラのヤング率、ν_1, ν_2 はポアソン比である。ローラの剛性は温度の影響を受けるため、伝熱モデルとの連携により剛性を決定している。このように機能モデル間で必要な情報を互いに受け渡しながら熱伝導を解く。

2．5　1DCAE モデルの妥当性

構築した 1DCAE モデルの妥当性を検証するために、紙通過による定着ニップ温度の変化について、社内で実績のある2次元解析との比較を行った。

Fig.4 は有限要素解析による2次元の簡略化した定着部のモデルである。加熱ローラ内のヒータが発熱し、ベルトへの熱伝達とベルト搬送からなる熱移動により、上下の加圧ローラで挟まれたニップ部に熱が伝えられる。ここに紙が通ると紙に熱が伝わる。

© 一般社団法人 日本画像学会

ベルト温度は温度センサーにて検知し、温度に応じてヒータの ONOFF を制御する。

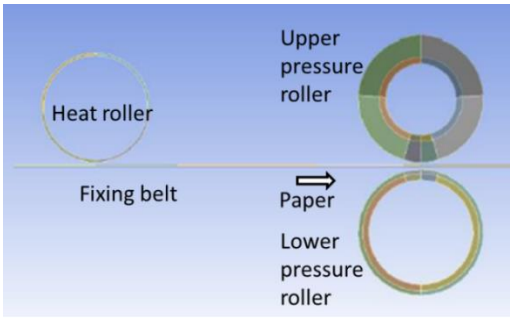


Fig.4 Simple two-dimensional model of fixing process by FEA.

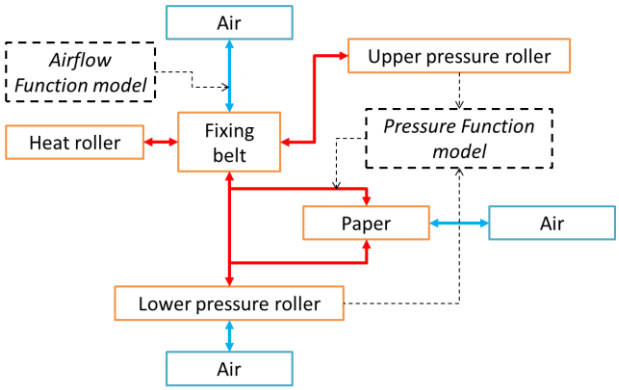


Fig.5 Block diagram of heat transfer function in fixing nip. In cooperation with pressure and Airflow function model in calculation of heat transfer between parts.

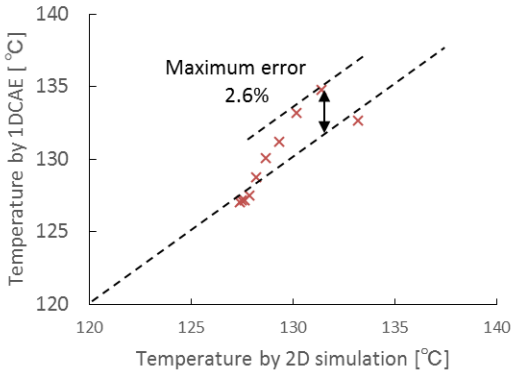


Fig.6 Correlation of paper maximum temperature in continuous paper feeding.

この 2 次元解析モデルと同様の計算を行う 1DCAE モデルの伝熱機能のブロック図を Fig.5 に示す。実線矢印は熱の移動を表す。部材間の熱の移動は先述の接触を介して熱が伝わる。また、周辺の空気にも同様に熱が伝わる。空気への熱の移動は空気との熱伝達係数によって決まる。熱伝達係数は周辺の空気の流れによって変化するため、気流モデルによって流速を求め、決定した。

これらのモデルを用いて、温度センサーによる温調温度 200℃における連続通紙時の用紙温度を計算した。Fig.6 は紙毎の定着通過後最大温度について、両モデルの相関図を示している。両モデルの用紙温度のずれは最大2.6%とほぼ一致しており、1DCAE モデルで 2 次元解析を代用できることを確認した。また、計算時間は 2 次元解析がおよそ 60 分を要したのに対し、1DCAE では 2 分ほどと 1/30 となり、大幅に短縮された。我々は定着部以外も同様に 1DCAE モデルへの置き換えを進めている。

3．画像シミュレーションへの 1DCAE モデルの適用

3．1　画像シミュレーションとは

我々は以前から、入力画像と機能仕様から出力画像品質を推定するシミュレータ（画像シミュレーション）を開発してきた[2)]。入力画像情報に対し、電子写真の各プロセスにて発生する、色ずれやトナーの付着むら等の画像劣化を推定し、出力画像の濃度分布や色再現性等の品質を予測し、評価するものである。画像シミュレーションは開発初期の製品仕様検討時に出力画像の評価に活用される。

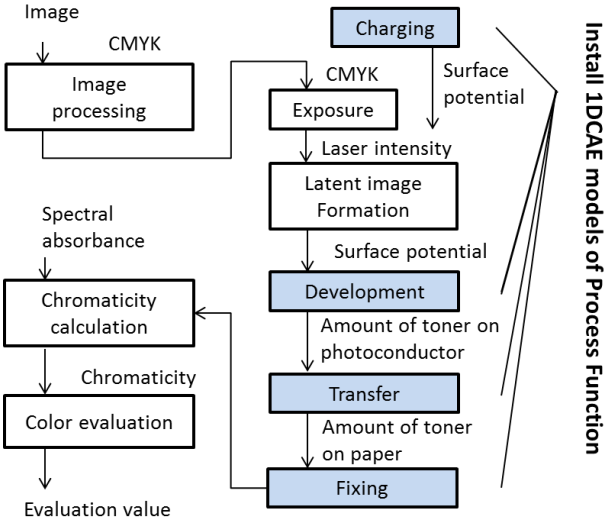


Fig.7 Flow chart of numerical simulation. In this study, we installed 1DCAE models of process function in filled process.

3．2　従来の画像シミュレーションの課題

従来の画像シミュレーションの処理フローを Fig.7 に示す。入力された画像情報について、各プロセスでは入出力特性を利用し、他の物理量への変換処理を行う。例えば 1 次転写部の入出力特性は転写効率であり、これを用いて感光体上から転写ベルト上へとトナーの付着量を変換する。この転写効率は、製品機能仕様として想定する値が用いられる。ただし、従来の画像シミュレーションには内部に物理現象を解く計算処理は含まれておらず、その転写効率を満たすための設計検討には有効でない。そこで我々は画像シミュレーションを設計検討においても有効に活用すべく、さらにはプロセス間の相互影響も考慮すべく、画像シミュレーションの各プロセスに対し、機能をモデル化した 1DCAE モデルを組み

© 一般社団法人 日本画像学会

込み、機能を構成するパラメータに応じて画像情報の変換が行われるよう変更した。

3．3　1DCAE モデルによる入出力特性の変換

Fig.8 は画像シミュレーションの 1 次転写プロセスに使用した 1DCAE モデルのブロック図である。以下に処理を説明する。

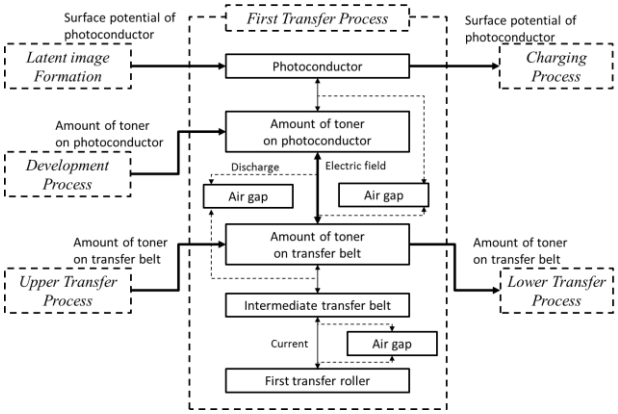


Fig.8 Block diagram of first transfer process calculating electric field intensity in numerical simulation.

入力画像は露光部と現像部を経て、感光体上のトナー量として 1 次転写部に入力される。2 色目以降であれば、上流色からも中間転写ベルト上トナー量が同様に入力される。出力はベルト上のトナー量となる。入出力の変換処理として、1 次転写条件に従って、感光体とベルトに挟まれたトナー部にかかる電界強度を計算する。それによるクーロン力と、感光体の付着力とのつり合いからベルト上に移動するトナー量を求める。得られたベルト上トナー量は、1 次転写部の出力として、次の転写部へと渡す。

また、転写中の電流や放電により、電荷が感光体表面へと移動し、1 次転写部通過後には感光体の表面電位が変化している。この表面電位を帯電部に渡すことで、1 次転写の影響を帯電部やそれ以降のプロセスに及ぼすことが可能となる。本検討では、Table 1 に示す 1 次転写部以外のプロセスについても機能をモデル化した 1DCAE モデルを組み込んだ。

Table 1 Characteristics and 1DCAE model replaced in process of numerical simulation.

Process	Characteristics	1DCAE model
Charging	Charging voltage	Discharge model
Development	Development curve	Charge Transport Equilibrium
Transfer(1^{st}, 2^{nd})	Transfer efficiency	Electric Field model
Fixing	Spectral absorbance	Melting model

3．4　1DCAE モデル組み込みの効果確認

新たな画像シミュレーションの効果確認のために、Table 2 に示す 1 次転写ローラの抵抗値を用いて、1 次転写効率および出力画像濃度を確認した。

Table 2 First transfer condition.

Transfer current [μA]	Resistance [logΩ]
Constant	5.8
	7.3
	9.0

Fig.9 によると、1 次転写ローラの抵抗値に応じて、1 次転写効率が変化することが確認でき、それに応じて出力画像濃度を表す明度 L^*の変化もみられる。参考に同条件の実測による 1 次転写効率と比較すると、傾きに乖離はあるが、同一方向に変化することが確認できた。乖離の理由はトナーの付着や帯電変化に関するモデルの妥当性が不十分であると考えられる。精度に課題は残るが、構成部品のパラメータによる入出力特性の変化が確認でき、設計検討にも使用できる見込みを得た。また、パラメータや出力情報を各プロセス間で共有することで、プロセス間の相互影響を加味した検討が期待できる。

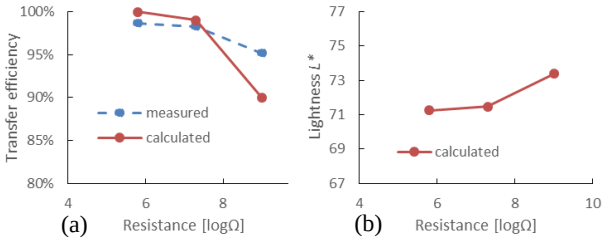


Fig.9 (a)First transfer efficiency and (b)Lightness L^* of output image.

4．まとめ

製品開発初期におけるシミュレーションの有効性の向上のため、これまでの 2 次元、3 次元解析に代わる 1DCAE モデルを開発した。実機適用の実績のある 2 次元解析と同様の計算結果が得られた。また、計算時間が短縮し、複数モデルの連携ができるなど、シミュレーションの活用範囲が広がった。さらに、開発した 1DCAE モデルを画像シミュレーションに適用したことで、機能を構成するパラメータから入出力特性が変化するようになり、画像シミュレーションを設計検討段階においても活用できる見込みを得た。

今後は、1DCAE モデルの精度向上とともに、制御やプロセス間の連携をさらに強め、より多くの技術課題を抽出できるシミュレーションへと拡張していきたい。

参考文献

1) K.Otomi, T.Hato: Design Innovation Applying 1DCAE, Toshiba Review Vol.67 No.7, pp.7-10 (2012) [in Japanese].
2) S.Ichitani, T.Makino, Y.kondoh, T.Harashima:Study of a Simulation for Color Reproduction of Electrophotographic Image Based on Arithmetic Processing of Spectral Absorbance, KonicaMinolta Technology Report Vol.10, pp.24-29 (2013) [in Japanese].

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Inkjet

[IJ5.1] Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

Session Chair:Hirotoshi Eguchi, Shinichi Nishi(Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association)

Thu. Jun 21, 2018 9:30 AM - 10:30 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[IJ5.1-01] Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

*Chiaki Tanuma[1], Yutaka Tanaka[1], Gaku Minorikawa[1] （1. Hosei University）

9:30 AM - 9:50 AM

[IJ5.1-02] Development of Full Color 3D Printer

*Kunio Hakkaku[1], Hiroyoshi Ohi[1], Kenta Imai[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO.,LTD）

9:50 AM - 10:10 AM

[IJ5.1-03] Investigation of Release Agent Coating Method Using Electrostatically Extracted Ink Jet System

Kazuhisa Matsuo[1], *Yui Ayasiro[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

10:10 AM - 10:30 AM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ5.1] インクジェット(5-1) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

2018年6月21日(木) 09:30 ～ 10:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.1-01] インクジェット3Dプリンタの積層プロセスの検討
Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

*田沼 千秋[1]、田中 豊[1]、御法川 学[1] （1. 法政大学）
*Chiaki Tanuma[1], Yutaka Tanaka[1], Gaku Minorikawa[1] （1. Hosei University）

インクジェット方式3Dプリンタは，低コスト，高精度，サポートレスで生産性の高い技術として，積層造形法の有望な選択肢の一つにあげられている．紫外線(UV)硬化樹脂材料を用いたインクジェット方式により，自立する微細な円柱の造形のための積層プロセスの検討を行ってきた．
本報告は，UV硬化樹脂材料を用いたインクジェットシステムにおける高速化，高精度化のための積層造形プロセスについて，インクの吐出と積層過程の検討を行った結果について述べる．

©一般社団法人 日本画像学会

インクジェット 3D プリンタの積層プロセスの検討

田沼　千秋*，田中　豊**，御法川　学***

*法政大学　マイクロ・ナノテクノロジー研究センター
**法政大学　デザイン工学部システムデザイン学科
***法政大学　理工学部機械工学科

Study on Lamination Process of Inkjet 3D Printer

Chiaki Tanuma*, Yutaka Tanaka**, and Gaku Minorikawa***

*Research Center for Micro-nano Technology, Hosei University of Japan
** Department of Art and Technology, Faculty of Engineering and Design, Hosei University of Japan
*** Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Hosei University of Japan

By studying the ink lamination process of ink-jet 3D printer using ultraviolet curable ink, we succeeded in forming a fine column. We found that by controlling the ink volume of an ink drop ejected from an ink-jet head, the ink volume of an ink layer, and the time of UV irradiation, it is possible to control the thickness of the fine column. In addition, optimization of the above-mentioned parameters showed that it is possible to control the time for fine column formation. fine cylinder whose diameters were 0.22mm and 0.55mm were formed by using the ink-jet print head that ejected an ink drop of 6pL.

１．はじめに

積層造形技術による 3D プリンタは，製造における試作・評価工程で利用されてきたが，製品に採用するためには，廃棄物の低減(サポートレス)，高精度化(表面の平滑性)，高温耐性の向上，複合化，付加造形などが課題として挙げられる．これらの課題を解決する技術として，インクジェット方式が期待されている．インクジェット方式の 3D プリンタは，多様な材料を用いて高精度な積層造形が可能であるが，サポートレス化を含めた低コスト化と生産性の向上が課題である [1)2)].

インクジェット方式の多くは，紫外線硬化型(UV 硬化型)のインクを用いる．インク液滴の吐出と UV 光照射を繰り返すことで積層造形を行うが，造形物の形状維持のために，サポート材を用いる．つまり，造形と同時にサポート材を一緒に形成する必要がある．一方，造形物の形成に要する時間は，インク液滴の吐出時間と UV 光照射時間の和となる．高速に造形するためには，一層を形成するインク液滴量を増やし，UV 光照射回数を減らすことが必要となる．また，サポートレスの造形により高速化が可能と考えられる．

著者ら [3)]は，カチオン重合型インクを用いて立体の造形を試み，自立する直径 0.55mm，高さ 5mm の円柱の形成に成功した．しかし，その造形の過程については詳細な検討がなされていなかった．

本報告は，微細な円柱が形成される過程について高速ビデオカメラによる観察などを行い，サポートレスでかつ高速な造形の可能性を検討した結果について述べる．

２．実験

２．１実験装置の概要

Fig.1 に，実験に用いた装置の概略構成図を示す．また，Fig.2 に，実験装置の写真を示す．実験装置は，3D インクジェットプリンタ，高速ビデオカメラとカメラ用 LED 光源で構成した．

3D インクジェットプリンタは，東芝テック社製ピエゾ型インクジェットヘッド CA3A，UV-LED，X-Y ステージとこれらを制御する駆動制御回路から構成され，PC を介して所望の制御を行った．インクの粘度の最適化のため，インクの温度制御をおこなった．

インクは，ダイセル社製 LED カチオン硬化型インクジェットインク VEX-12001(開発品)を用いた．UV-LED は，中心波長が 365nm で最大出力が 2300mW の素子をパルス制御して用いた．

高速ビデオカメラは，フォトロン社製 FASTCAM SA-Z を用いた．レンズは，ライカ社製 Z16-APO を用いた．高速ビデオカメラ用の LED 光源は，ユーテクノロジー社製 UFLS-75 を用いた．インク液滴の飛翔状態の撮影のための装置構成は，インク液滴が投影されるように，LED 光源，インクジェットヘッド，高速ビデオカメラの順に配置した．

＊〒184-0003　東京都小金井市緑町 3-11-15
＊3-11-15 Midori-cho, Koganei-shi, Tokyo 184-0003, Japan
e-mail:　chiaki.tanuma.45@hosei.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

２．２実験方法

実験は，インクジェットヘッド駆動条件の最適化，インクの硬化条件の確認，円柱の形成の順に行った．インクジェットヘッドの駆動条件の最適化は，吐出体積，サテライトの発生を高速ビデオカメラで観察して，駆動電圧などの最適化を行った．インクの硬化条件は，インクの流動が停止する最小限のエネルギーを求め，積層造形の高速化を目指した．

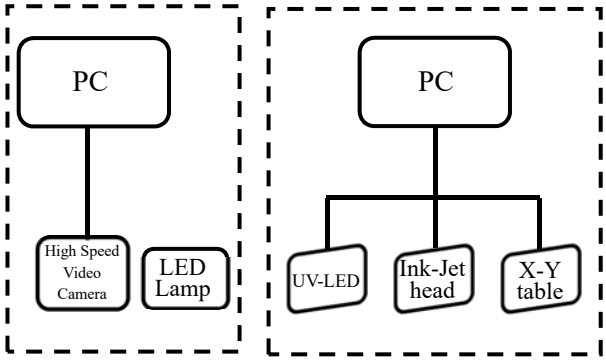


Fig.1 Schematic of experimental facility for laminating process in Ink-Jet 3D printer

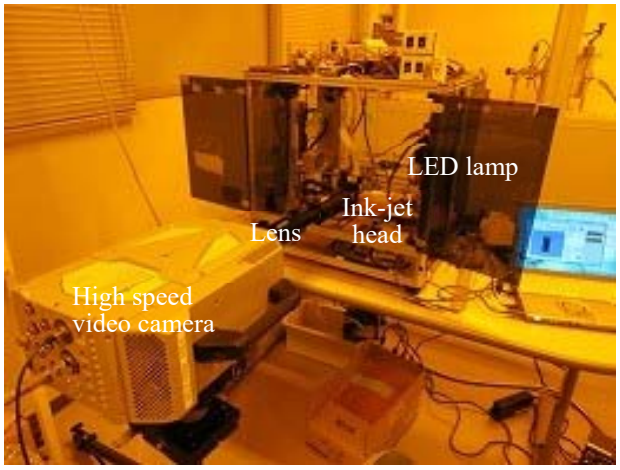


Fig.2 Photograph of experimental facility for laminating process in Ink-Jet 3D printer.

３．結果と考察

Fig.3(a)(b)に，カチオン重合型 UV インクを用いて作成した円柱の写真を示す．

Fig.3(a)の円柱は，直径が 0.65mm で高さは，およそ 5mm である．円柱の作成は，25,200pL のインク液滴を吐出して，積算光量が 50mJ/cm^2 となるように UV 光を照射した．この操作を 70 回繰り返し，円柱を形成した．

Fig.3(b)は，直径が 0.35mm で高さは，およそ 1.6mm の円柱である．4,200pL のインク液滴を吐出して積算光量が 50mJ/cm^2 となるように UV 光を照射した．この円柱の作成は，前記の操作を 30 回繰り返した．

二つの円柱の側面には，積層過程で形成された僅かな段差が観察された．また，積層した最上層は，わずかに盛り上がっており，ドーム形状となっている．

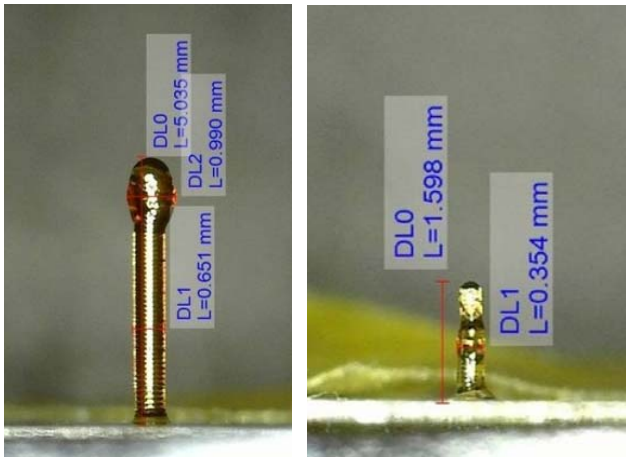


Fig.3 Photograph of fine cylinder using catatonically polymerized ink.
(a) diameter 0.65mm, height 5mm
(b) diameter 0.35mm, height 1.6mm

Fig.4,5 に，インク液滴の積層数と円柱の形状変化を示す．

Fig.4 は，直径が 0.22mm の円柱を形成する際の積層過程を高速ビデオカメラで撮影し，積層数とその形状を静止画で示した．

4,200pL のインク液滴を吐出して，所定の積算光量の UV 光を照射した後に，同じ場所に同量のインク液滴を吐出して UV 光を照射し層を重ねた．

Fig.4 に示す(a)(b)(c)(d)は，インク液滴がそれぞれ 1 層，5 層，10 層，15 層した際の形状である．5 層目以降に積層されたインク液滴は，円柱の直径を決定する形状となっており，その後は，円柱が一定の直径で積層された．

Fig.5 は，直径が 0.55mm の円柱を形成する際の積層過程を高速ビデオカメラで撮影し，積層数とその形状を静止画で示した．

25,200pL のインク液滴を吐出して，所定の積算光量の UV 光を照射した後に，同じ場所に同量インク液滴を吐出して積層を行った．Fig.5 に示す(a)(b)(c)(d)は，それぞれ 1 層，5 層，10 層，15 層した際の形状である．5 層目から直径は一定となり，その後は，円柱が縦方向に成長した．

Fig.6,7 に積層数と円柱の高さの関係を示す．二つのグラフで円柱の高さは，5 層目以降で傾きが大きくなり，積層数に応じて円柱が高くなった．すなわち，5 層目までは，インク液滴は，着弾後に広がる傾

© 一般社団法人 日本画像学会

向であったが，インク液滴が一定の量まで積層されると円柱の直径は一定となり，比較的スムーズな側面の円柱が形成された．

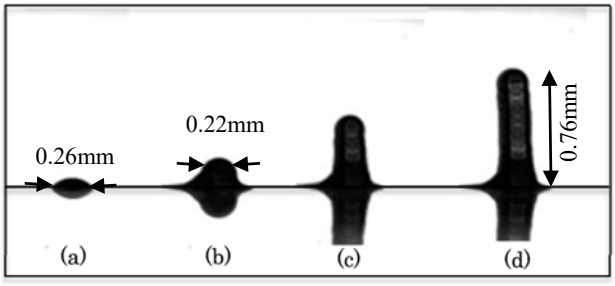


Fig.4 Formation process of fine cylinder.
(a) Ink volume:4,200pL, Number of layer:1
(b) Ink volume:4,200pL, Number of layer:5
(c) Ink volume:4,200pL, Number of layer:10
(d) Ink volume:4,200pL, Number of layer:15

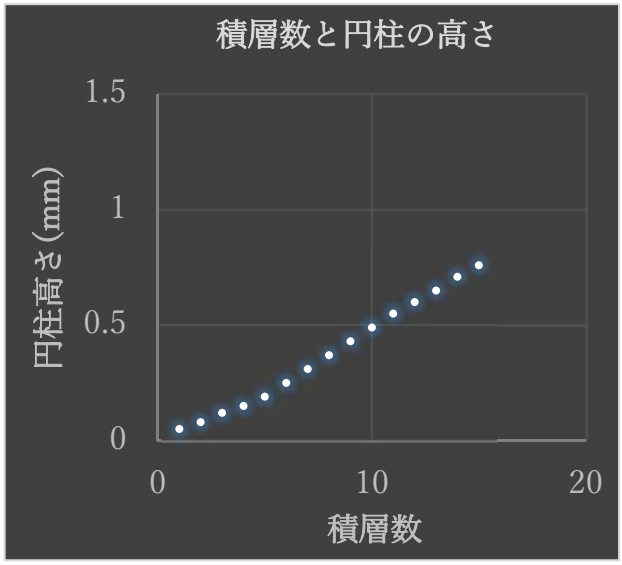


Fig.6 Relationship between number of layers and height of fine cylinder: Ink volume:4,200pL

Fig3-7 に示す結果から，インクジェット方式による微細な円柱の形成過程において，基板にインク液滴が着弾して，一定の範囲でインク液滴が硬化すると，円柱形成の土台となり，その後に着弾した液滴は，一定の直径で円柱が形成されるように見える．一回に吐出するインク液滴の量を増やすと円柱の直径が大きくなることから，インクの表面張力により直径が決定されていると推測される．つまり，インク液滴の量と表面張力のバランスにより，円柱が形成されると考えられる．

なお, Fig.3 と Fig4,5 の円柱の直径が異なるのは，造形を行うテーブルの振動が影響しているためと推察している．

4．まとめ

高速ビデオカメラによる観察などにより，微細な円柱が形成される過程について検討を行い，サポートレスで高速な造形の可能性について検討した．

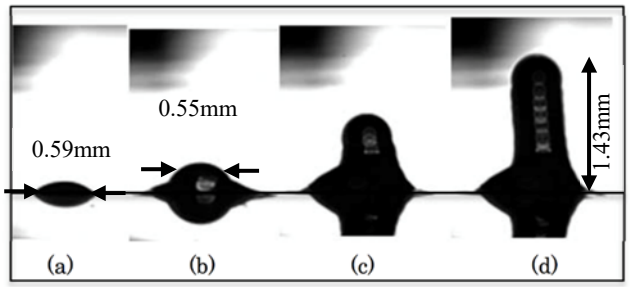


Fig.5 Formation process of fine cylinder.
(a) Ink volume:25,200pL, Number of layer:1
(b) Ink volume:25,200pL, Number of layer:5
(c) Ink volume:25,200pL, Number of layer:10
(d) Ink volume:25,200pL, Number of layer:15

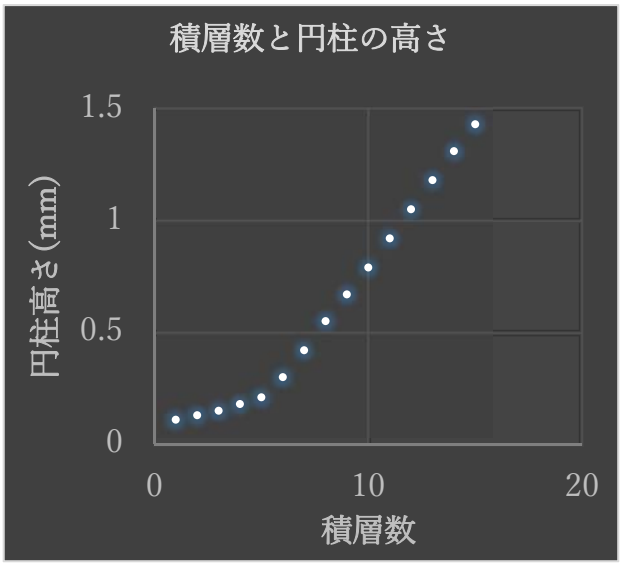


Fig.7 Relationship between number of layers and height of fine cylinder: Ink volume:25,200pL

その結果，インク液滴の量と一回ごとに積層するインクの量を制御することで，円柱の直径と形成時間の最適化が可能であることが分かった．今後，インクの表面張力, 噴射速度などのパラメータを加え，形成時の精度向上と時間短縮の可能性を明らかにする．

謝辞

本研究は，私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「グリーンテクノロジーを支える次世代エネルギー変換システム」（文部科学省 2013～2017 年）の助成，および経済産業省・戦略的基盤技術高度化支援事業「工業製品製造に適した革新的な多次元

© 一般社団法人 日本画像学会

制御方式による 3D プリンタの技術開発」の助成を受けて実施された

本研究の遂行にあたり、インクジェットによる造形などに協力していただいた加藤 航 氏並びに関 智弥 氏(デザイン工学部　システムデザイン学科　田中　豊研究室　2018 年卒)の両名に深く感謝いたします。

参考文献

1) Barry Berman; Business Horizons, Vol.55, Issue 2, March-April 2012, Pages 155-162
2) Christopher Thomas Schmitt; Low Cost Inkjet Process for 3-D Printing, a thesis submitted in partial fulfillment of the honors requirements for the degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering, Univ. Arkansas May 2016
3) Chiaki Tanuma, Wataru Kato and Yutaka Tanaka; Visualization of ink laminating process in ink-jet 3D printer, Proceedings of Visualization Society of Japan, OS-5-3, Nov.2017

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット
[IJ5.1] インクジェット(5-1) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing
2018年6月21日(木) 09:30 ～ 10:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.1-02] フルカラー３Ｄプリンターの開発
Development of Full Color 3D Printer

*八角 邦夫[1]、大井 弘義[1]、今井 健太[1] （1. 株式会社 ミマキエンジニアリング）
*Kunio Hakkaku[1], Hiroyoshi Ohi[1], Kenta Imai[1] （1. MIMAKI ENGINEERING CO.,LTD）

フルカラー３Ｄプリンターは、デザイン確認、スキャナーやドローン等の撮影データからの造形、ＣＧ創造物の立体化等の用途が期待されています。著者らは昨年１１月に世界初のフルカラー３Ｄプリンター：３ＤＵＪ－５５３を商品化しました。
基本技術としてUV硬化インクによる２Ｄインクジェット方式を採用、３Ｄ自由曲面のフルカラー造形を実現する為、１層での内部造形とカラー表面画像とを同時形成して、順次積層する方法としました。
本報告では、２Ｄのフルカラー技術を３Ｄに拡張するために必要な、Ｚ軸走査、減法混色インクの配置、信頼性確保等の技術を報告します。

©一般社団法人 日本画像学会

フルカラー３Ｄプリンターの開発

八角 邦夫 ， 大井 弘義 ， 今井 健太

株式会社ミマキエンジニアリング　技術本部

Development of Full color 3D printer

Kunio Hakkaku, Hiroyoshi Ohi, Kenta Imai

Development Division, Mimaki Engineering Co, Ltd.

Full color 3D printer has been expected for many years. We have realized Full color 3D printer by UV inkjet technology and commercialized 3DUJ-553[1)] last year. There were some difficulties to achieve the surface color with modeling by 'layer by layer' method, but we enabled precision color by forming the color domain of the constant thickness along the normal direction from the free surface of the object. In this paper, we explain a Z-axis scanning technology and 3D surface color technologies by expanding 2D imaging to 3D imaging.
.

１．はじめに

近年，３Ｄプリンターの造形物は試作品から量産品にまで広がりを見せ始めている．中でもデザイン確認には造形物のカラー化が求められており，更に３Ｄスキャナーの進歩もあり，高画質なフルカラー方式が検討されている．[2)−7)]

２．２Ｄから３Ｄ

２．１ 着色

２Ｄ（平面印刷）から３Ｄへは，単純にはＺ（縦）軸が増えることにある．また，造形後に着色する方式[8)]では自由形状に対応できないので，造形と着色を同時に行うこととした．更に、弊社の技術ドメインから，積層法によるＵＶ硬化インクジェット造形方式（Fig.1）とした．

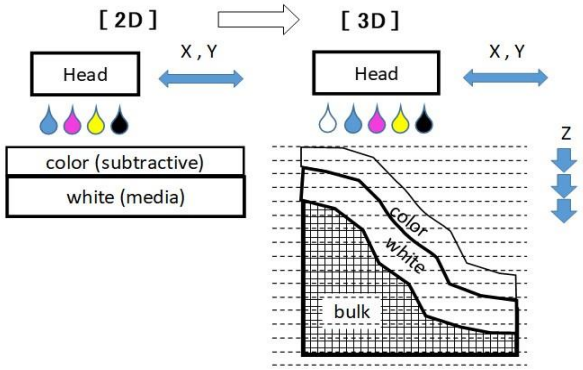


Fig.1　From 2D to 3D

また，全ての視認方向に着色を均一化する意味で
・着色層を表面の法線方向に一定の厚さ．
・２Ｄと同様に，反射（白）層も表面の法線方向に一定の厚さで形成し，その外（表面）側に減法混色で着色する．
とした（Fig.2）．

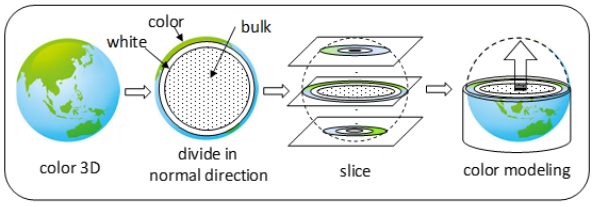


Fig.2 'Layer by layer' procedure

２．２ 走査

インクジェットヘッドとＵＶ−ＬＥＤ，平坦化ローラーを搭載したキャリッジをＸ−Ｙ走査し，造形テーブルをＺ走査（順次降下）とした．

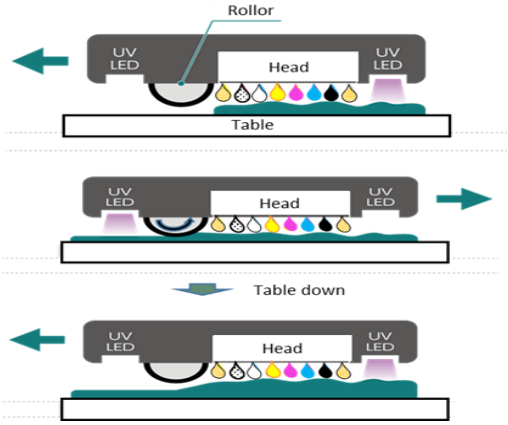


Fig.3 Scanning

３．一層の厚さ（Ｚ軸）形成

積層の為のＺ軸走査は，ボールネジで±２μｍ以下/層の送り精度で，造形台を順次降下して行ってい

＊〒389−0512 長野県東御市滋野乙 2182−3
＊2182-3 Shigeno-otsu, Tomi-shi, Nagano, 389-0512, Japan
＊e-mail:　kunio_hakkaku@mimaki.com

© 一般社団法人 日本画像学会

る. またヘッドの吐出(量)ムラ等に起因するインク層の凹凸に対応して，ローラーで平坦化し，一層の面の厚さの均一化を行っている.

３．１　平坦化機構

平坦化は Fig.4 の構成である．金属ローラーにインク上面の凹凸部分：S を付着させて汲み上げ，ブレードで汲み上げたインクを除去する.

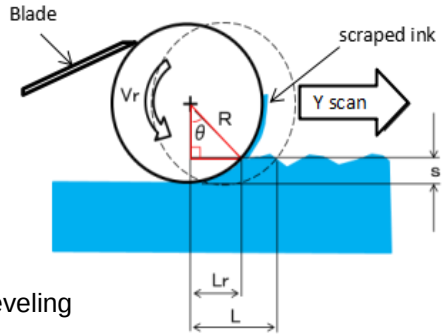


Fig.4 Leveling

３．２　平坦化能力

凹凸部分のインク：S(10μm 以下)を汲上げる能力を，ローラーの周速とローラー面上の汲み上げインク厚さで確認した結果を Fig.5 に示す.

要求される汲み上げ厚さ：s は１０μm 以下であるので，図から，100-600mm/sec の走査速度の範囲で十分な能力（付着濡れ）があることが解る.

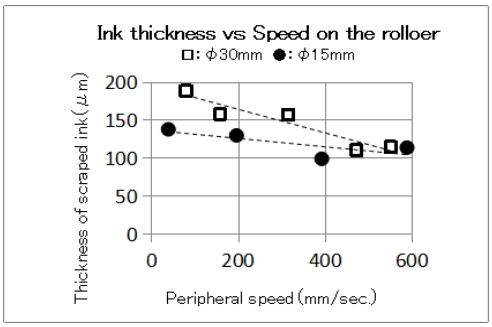


Fig.5　Thickness of scraped ink

４．表面領域の構成

自由曲面の造形物の表面にカラー領域を形成するために，内部から順に，内部領域 ⇒光反射領域 ⇒分離領域 ⇒カラー領域 ⇒保護領域とした(Fig.6).

ここで内部領域に白インクを用いるのであれば，光反射領域(白)と一体であって良い．内部領域に白以外のインクを含む場合は，光反射領域(白)の隠ぺい力が十分になるよう，領域の厚さや白色顔料の濃度を大きくすることが必要である.

さらに退色や擦れに対応する保護領域は，必要に応じて透明インクで形成しても良いし，造形後に透明な保護材料を塗布で形成しても良い.

なお，内部領域以外の領域は，色の均一性から表面の法線方向に均一な厚さであることが望ましい.

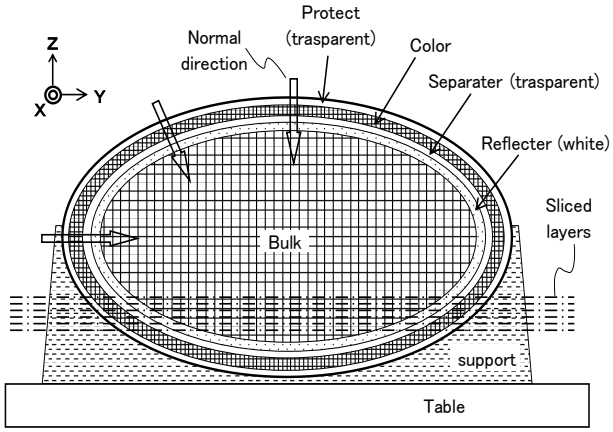


Fig.6 Cross section of the object

４．１　分離領域

特に造形物側面ではカラー領域と反射領域の voxel（立体要素）の混色があると視認性が劣化するので，２つの領域の間に一定厚さの光学的な分離(透明インク）領域を設けた．結果，Fig.7 から，造形物の視認角度による明度：L の不安定さを改善できることが解った.

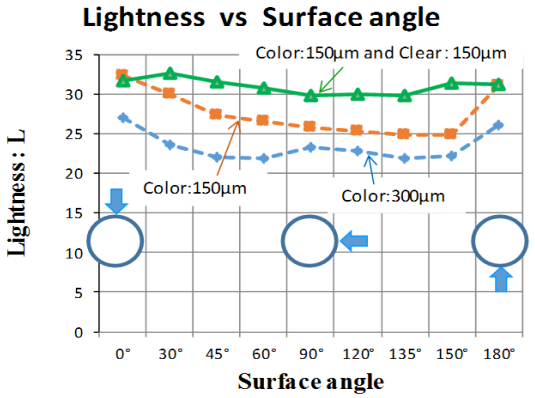


Fig.7　Lightness of various surface angle

４．２　カラー領域

Inkjet 方式ではインクの飛翔は上→下(Z)方向であり，1 voxel の X，Y：Z のアスペクト比が大きい（相対的に Z が小さい）．従って Fig.7 での視認角度により voxel の構成が大きく異なってしまう．これに対応して，造形物表面(ポリゴン)に法線方向のカラー領域の厚さ（容積）を場所に依らず一定とした. 結果、カラーテクスチュアは法線方向に延在した厚みを有するカラー領域を形成する.

φ１５mmの円柱形状の表面を青色着色した造形物を円方向に切断した断面の撮影結果を Fig.8 に示す. カラー領域の法線方向の厚さを 350μm，1 層の厚さを 24μm としたので，このカラー領域で法線方向に入る voxel 数は上/下面では14～15個，またＹ方向の解像度は 600dpi（42μm ピッチ）であるので，側面では 8～9 個となる.

© 一般社団法人 日本画像学会

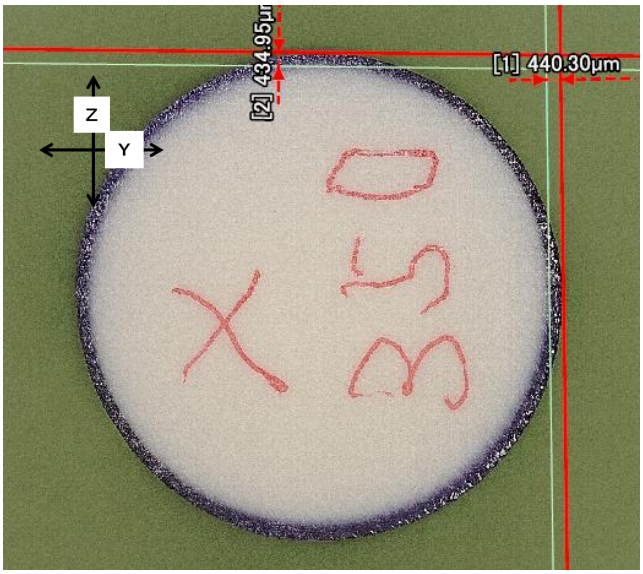


Fig.8　Cross section (φ15mm)

Fig.8 ではY，Z方向ともに厚さ設定値の 350μm を上回っているが，voxel 中心を設定値の範囲内に入れて量子的に配置しているためである．

４．３　カラー領域へのインク補填

カラー領域内ではカラーvoxel の密度が変化するため，特に造形物の側面の低濃度部分で層の形成が乱れてしまう．そこで透明インク（Fig.9 のカラー領域中のT）をカラーインクの空席 voxel に補填して，必ず１層の厚さ以上としている．そうすることで，Z走査と平坦化ローラーによって，一定の層の厚さとカラー領域の一定の法線方向の厚さを維持している．

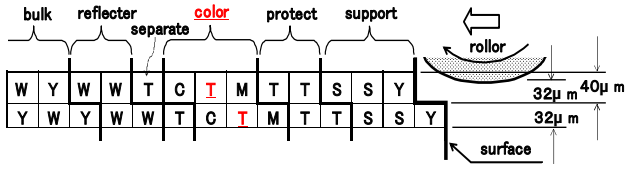


Fig.9　Transparent ink (T) fill to the color domain .
(T: transparent ink, C/M/Y/W:color ink, S: support ink)

５．サポート領域

自由曲面の造形物でのオーバーハング部分（例えば Fig.6 の造形物の下半分）の造形を可能にするために，造形物の外側にサポート（造形物を支持）領域が必要である．サポート領域は造形物のテーブル方向への射影面より広くし，外殻を斜面の構成とすることで壁面の崩れを防いでいる．

全てのインクはＵＶ硬化型であるが，サポートインクだけは更に水溶性とすることで，造形後の除去作業を容易とした．

６．吐出安定性

２Ｄの Inkjet 方式ではヘッドのノズルが不吐出になると画像面に記録抜けが発生する．一方，３Ｄの表面画像では３次元方向のロジカルシークにより層間/パス間で抜け位置が変化する点，また表面が積層面なので抜けが連続しない点の２点で，視認されにくいという設計上のマージンがある．

然しながら，不吐出は造形形状の劣化の原因にもなるので，全てのヘッドを循環型ヘッドとし，またインク経路を循環系で構成し，更に循環経路中に内部灌流型脱気モジュールを配置して，インクの脱気を行っている．

循環・脱気の経過時間によるインク中の溶存酸素の減少と，不吐出ノズルの減少を確認した結果を Fig.10 に示す．20-30 分で溶存酸素が減少し，それに伴って不吐出の発生率が減少していることがわかる．

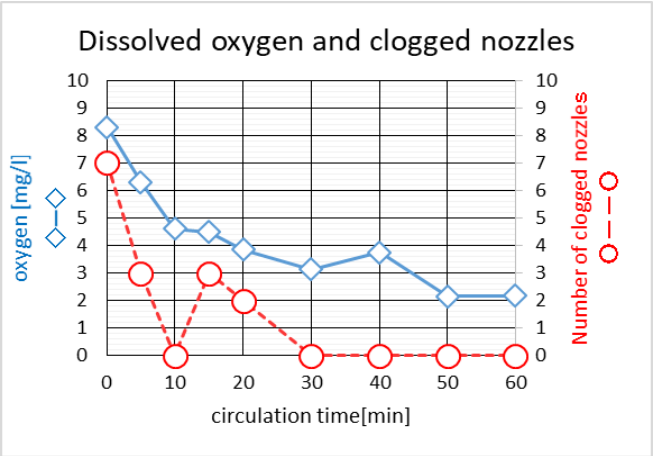


Fig.10　Ink degassing and clogged nozzles.

７．結言

３Ｄ造形でのフルカラー化を，２Ｄの画像技術の延長として開発を進め，商品化した．造形物は過去に２Ｄで言われたＷＹＳＩＷＹＧ（What you see is what you get）に近付いたものと考えている．今後は，より高品質な画像，高速化，低ランニングコスト等，市場の要求に応えていきたい．

参考文献

1)　“3DUJ-553” http://mimaki.com/product/3d/3d-flat/3duj-553/
2)　Yamane et al. APPARATAS AND METHOD FOR FORMING THREE-DIMENSIONAL ARTICLE.　U.S. Patent 5,059,266. Oct.22,1991

© 一般社団法人 日本画像学会

3) Tochimoto et al. THREE DIMENSIONAL OBJECT MOLDING APPARATUS. U.S.Patent 6,612,824. Sep.2,2003
4) Eliahu M Kritchman. METHOD AND SYSTEM FOR BUILDING PAINTED THREE-DIMENSIONAl OBJECTS. U.S.Patent 7,991,498. Aug.2,2011
5) 八角邦夫, 原浩文. 造形物およびその製造方法. 特許第6261363号. 2017. 12. 22
6) 大西勝. 立体造形物の製造方法. 特許第6305760号. 2018. 3. 16
7) Alan Brunton, Can Ates Arikan and Philipp Urban, “Pushing the Limits of 3D Color Printing: Error Diffusion with Translucent Materials”, Fraunhofer Institute arXiv:1506.02400v1 [cs.GR] 8 Jun 2015.
8) “SP-303”http://www.japanjournal.jp/tjje/show_art.php?INDyear=09&INDmon=01&artid=b54865f65e833acf186c335d73651e01

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ5.1] インクジェット(5-1) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

2018年6月21日(木) 09:30 ～ 10:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.1-03] 静電誘引形インクジェット方式を利用した離型剤コーテイング方法の検討
Investigation of Release Agent Coating Method Using Electrostatically Extracted Ink Jet System

松尾 一壽[1]、*綾城 唯[1]、山崎 雄三[1] （1. 福岡工業大学）
Kazuhisa Matsuo[1], *Yui Ayasiro[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

一般に、インクジェットは記録技術であると考えられているものと思われる。しかし現在、X、Y軸の２次元にZ軸を加えた3次元の立体物を造形する3Dプリンタや記録対象物体へ可食インクを付着させるフードプリンタも出現している。
　我々は、静電誘引形インクジェット方式を利用した離型剤コーテイング方法について検討を行っている。離型剤は型枠に入った造形物を取り出すとき型崩れ等を防止するために必要な技術である。この離型剤コーテイング方法には、手塗りやスプレーなどの方法があるが、塗り斑や空間に飛散して周囲を汚すなどの課題がある。
　本稿では、離型剤の飛翔特性やガラス基板に付着した状態などの基礎的な諸特性について報告する。

In general, inkjet is considered to be a recording technique. However, research is currently being conducted in many fields such as 3D printers and food related fields.We are investigating releasing agent coating method using electrostatically extracted inkjet method. A release agent is necessary when taking out a modeled object in a form. This is to prevent the shape of the model from collapsing. Methods for coating release agents include manual work and spraying. However, this method has problems such as scattering of the release agent into the space and contamination of the surroundings.
In this paper, we report various fundamental characteristics such as flight characteristics of release agent.

©一般社団法人 日本画像学会

静電誘引形インクジェット方式を利用した離型剤コーティング方法の検討

綾城　唯*，山崎　雄三*，松尾　一壽*
*福岡工業大学　情報工学部　情報工学科

Investigation of Release Agent Coating Method using Electrostatically Extracted Ink Jet System

Yui AYASIRO*, Yuzo YAMASAKI*, and Kazuhisa MATSUO*
*Fukuoka Institute of Technology, Faculty of Information, Computer Science and Engineering

In general, inkjet is considered to be a recording technique. However, research is currently being conducted in many fields such as 3D printers and food related fields.We are investigating releasing agent coating method using electrostatically extracted inkjet method. A release agent is necessary when taking out a modeled object in a form. This is to prevent the shape of the model from collapsing. Methods for coating release agents include manual work and spraying. However, this method has problems such as scattering of the release agent into the space and contamination of the surroundings.
In this paper, we report various fundamental characteristics such as flight characteristics of release agent.

１．はじめに

一般に、離型剤は食品を焼く工程で金属の型枠から焼き上がり後に成形品である食品を取り出すとき剥離しやすくするために用いられる．また，離型剤の塗り斑は、成形品に焼き斑を生させる．従って、これらの型崩れや焼き斑を生じた成形品は品質に影響を与える．

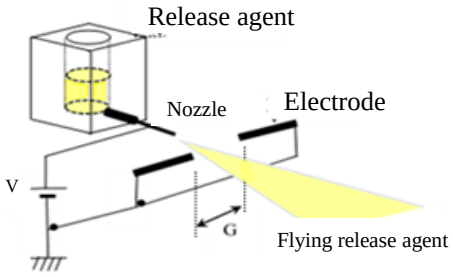
現在，離型剤コーティング方法として，スプレーや手塗りによる手法で行われている．しかし，これら何れの手法も高価である離型剤が金属の型枠外や空間へ飛散すること，さらに塗り斑などが課題となっている．

我々は、金属の形枠のみ均一に離型剤のコーティングする方法について検討を行っている[1)]．

静電誘引形インクジェット方式は、ノズル先端から飛翔する離型剤が微粒子群となった状態をコーティングに適用することを念頭に置いている．本稿では、静電誘引形インクジェット方式による離型剤の飛翔状態の確認とその基礎的な諸特性について報告する．

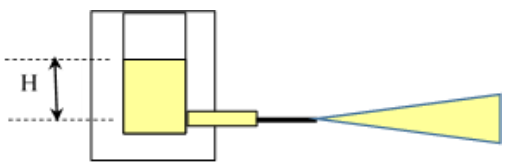
２．実験装置の構成

図 1 に実験装置の構成を示す．なお，この図は離型剤を横方向へ飛翔させたときである．図(a)はノズルヘッド部と離型剤の飛翔状態の模式図である．ノズルは離型剤が入った壷に直接取り付けられている．ノズルの先端から 2mm 隔てて 2 本の対向電極が設けられている．2 本の対向電極間の間隙 G は 5mm である．電圧はノズルと対向電極間に印加される．なお、ノズルは正極とし対向電極は接地している．離型剤は、ノズルと対向電極間に印加される電圧に基づいたクーロン力によって対向電極間の間隙を飛翔することになる．離型剤の飛翔観測は，ハロゲンランを光源として用いた．離型剤コーティングは，プレパラートに付着させた．このプレパラートと対向電極間の距離は 10mm である．図(b)は，離型剤が入った壷の横視である．この静圧 H によりノズル先端にメニスカスを形成させる要因となる．



V : Applied voltage

(a) Configuration of nozzle head part



H : Release Agent Static pressure

(b) Side view

Fig.1　Nozzle head and flying release agent

＊〒811-0295 福岡市東区和白 3-30-1
3-30-1 Wajoro Higashi HIgasi-ku Fukuoka,811-0295,Japan
e-mail:　s15a2003@bene.fit.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

３．実験結果と議論

3.1　離型剤の飛翔状態

図 2 はノズル先端から飛翔する離型剤である．離型剤は，ノズル先端から細い糸状となって 2 本の棒状の対向電極の間隙を通過し，やがて“椰子の葉状”に広範囲に亘って飛散する様子が分かる．

得られた結果から，静電誘引形インクジェット方式によって離型剤の飛翔が可能であることが分かった．実験で用いたノズルの形状は，内径 380μm，外径 480μmである．この方式の特徴の一つは，大きなノズル径が使用可能である．この時の実験条件は，印加電圧=3.8kV，静圧 H=5mm である．

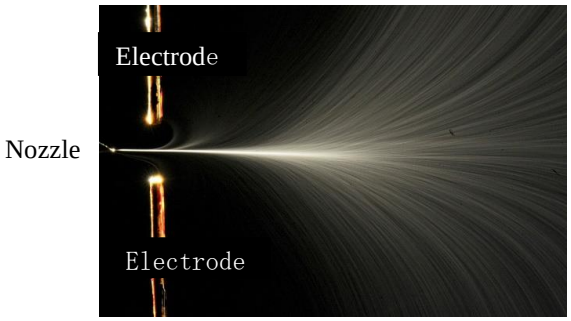


Fig.2 Flying release agent

離型剤の飛翔を確認した後，飛翔方向および飛翔の垂直方向の濃度差について検討を行った．図 5 に図 4 で示した飛翔観測例におけるノズル先端から電極方向へ飛翔する離型剤の濃度値と半値幅特性について調べた．

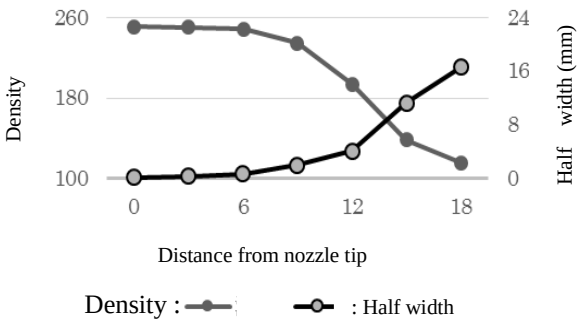


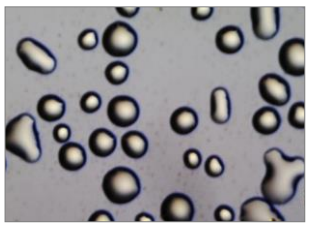
Fig.3 Characteristics of distribution and densit
the distance from the nozzle tip

なお，離型剤の広がり具合については，半値幅で表している．濃度は無次元量であり，画像中黒い部分との差を 256 階調で表している．

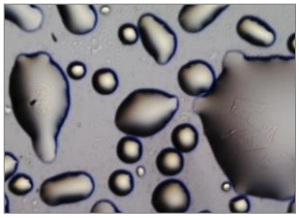
得られた結果から、ノズル先端から飛翔する離型剤の濃度は徐々に低下していくことが分かった．また、広がり具合は，ノズル先端では狭いが飛翔距離が離れるほど広くなっている．離型剤のコーティングを考えた場合、広い空間に飛翔する領域を使用した方が有利であると思われる．

3.2　離型剤コーティング

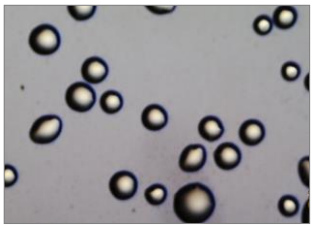
実際に離型剤をプレパラートにコーティングした状態を図 4 に示す．コーティング面の観察には光学式マイクロスコープを用いた．このときの実験条件は，印加電圧 V＝4.0kV，静圧 H=40mm，走査速度 v=1mm/s，走査回数は 1 回である．図 5 に付着した離型剤の観察を行った位置 A, B, D を示す．コーティングの中心から上下の距離に応じて，付着する離型剤の粒径や分布の状態がわかる．



(a) 5mm from center (B point)



(b) The central part of the release agent coating (A point)



(c) 10 mm from center (D point)

0　0.1　mm

Fig.4 Release agent attached to the preparation

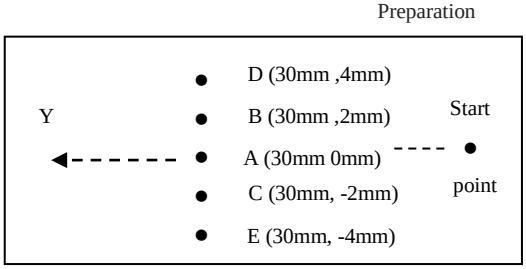


Fig.5 Measurement position

© 一般社団法人 日本画像学会

３．まとめ

得られた結果から，離型剤コーティングの中心部付近から離れるに従って付着する離型剤の密度が低下していくことが分かった．また，付着した離型剤の中心部から離れるほど,粒径は小さくなっている．

これは図 2 から離型剤飛翔の中心部分は密度が高く，中心部から離れるに従って低くなっていることがから推測される．さらに中心部では粒子がプレパラート上に付着した瞬間結合して大きくなる事も考えられる．残されている課題もあり，今後も継続して検討を進める予定である．

離型剤コーティングに関する研究の一部は，平成 27 年度 JST マッチングプランナープログラム「探索試験」の助成を受けて実施された．厚く感謝いたします．

参考文献

1) Yuzo Yamasaki, Takafumi Ienaga, Tomio Ohno, and Kazuhisa Matsuo, “Adhesion State of Mold Release” The 2017 ANNUAL WEETING OF THE INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS OF JAPAN, 3-013,(2017) [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

Oral presentation | Inkjet

[IJ5.2] Inkjet (5-2) Applications/3D Printing/Bio Printing

Session Chair:Takeshi Miyato, Koei Suzuki(Ricoh Company, Ltd.)

Thu. Jun 21, 2018 10:50 AM - 11:50 AM Conference Room (2nd Floor, Engineering Research Building II)

[IJ5.2-01] Study on Edible Ink Coating Method Using Electrostatically Ink Jet Method

Kazuhisa Matsuo[1], *Minori Okabe[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

10:50 AM - 11:10 AM

[IJ5.2-02] Development of a Bioprinting Technique by Combining Inkjetting Technology and Enzyme-mediated Hydrogelation

*Shinji Sakai[1], Makoto Nakamura[2] （1. Osaka University, 2. University of Toyama）

11:10 AM - 11:30 AM

[IJ5.2-03] Challenging Research on Organ Engineering by Inkjet Bioprinting

*Makoto Nakamura[1], Shintaroh Iwanaga[1], Yuta Hamada[1], Taketoshi Kurooka[1], Shinji Sakai[2] （1. University of Toyama, 2. Osaka University）

11:30 AM - 11:50 AM

©The Imaging Society of Japan

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ5.2] インクジェット(5-2) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-2) Applications/3D Printing/Bio Printing

2018年6月21日(木) 10:50 ～ 11:50 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.2-01] 静電誘引形インクジェット方式を利用した可食インクコーティング方法の検討
Study on Edible Ink Coating Method Using Electrostatically Ink Jet Method

松尾 一壽[1]、*岡部 美紀[1]、山崎 雄三[1] （1. 福岡工業大学）
Kazuhisa Matsuo[1], *Minori Okabe[1], Yuzou Yamasaki[1] （1. Fukuoka Institute of Technology）

インクジェット技術は画像や文字等の記録方式として研究が主になされてきた。その研究成果として、文字はもちろん画像記録は写真画質を有するまでに至っている。さらに、最近インクジェット技術は記録対象物体が記録紙ではなく菓子類へキャラクターなど可食インクを用いて描画するものも現れている。ただし、記録対象物体として水分を含んだものは困難である。
　我々は、可食インクを用いた静電誘引形インクジェット方式により水分を含んだ"すり身"などへのコーティングを目的に、その可能性について検討している。今回は、本方式により可食インクの基礎的な飛翔特性である印加電圧及びインク静圧の制御による振る舞いについて報告する。

Inkjet technology has been studied as a method of recording characters and images. As a result, not only letters but also image recording has reached photographic image quality. Furthermore, recently the inkjet technology has been drawn using edible ink not only on recording paper but also on candy characters and the like. However, recorded matter containing moisture is difficult. We are studying an electrostatic induction type inkjet method using edible ink. This aim is coating on moisture-containing "surimi" etc. This time, we will report on the fundamental study of edible ink by this method.

©一般社団法人 日本画像学会

静電誘引形インクジェット方式を利用した可食インクコーティング方法の検討

岡部　美紀*，山崎　雄三*，松尾　一壽*
*福岡工業大学　情報工学部　情報工学科

Study on Edible Ink Coating Method using Electrostatically Extracted Ink Jet Method

Minori OkABE*, Yuzo YAMASAKI *, and Kazuhisa MATSUO*
*Fukuoka Institute of Technology, Faculty of Information, Computer Science and Engineering

Inkjet technology has been studied as a method of recording characters and images. As a result, not only letters but also image recording has reached photographic image quality. Furthermore, recently the inkjet technology has been drawn using edible ink not only on recording paper but also on candy characters and the like. However, recorded matter containing moisture is difficult. We are studying an electrostatic induction type inkjet method using edible ink. This aim is coating on moisture-containing "surimi" etc. This time, we will report on the fundamental study of edible ink by this method.

１．はじめに

近年，インクジェット技術は医療や食品製造機器さらに 3D プリンタなどの多種多様な分野で研究がなされている [1].

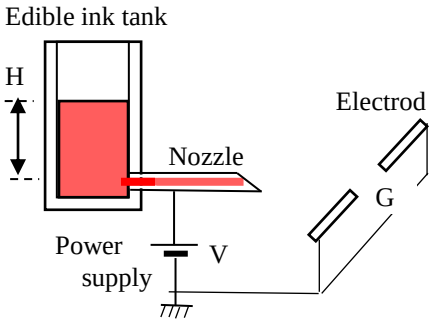
筆者らは、新たなインクジェット技術の応用として食品製造機器への適用を試みている [2]．具体的には、可食インクを用いてコーティングを行うものである. なお､インクジェット方式は静電誘引形である。静電誘引形インクジェット方式は，他の方式と異なり特有なインクの飛翔状態を示す．インクは，ノズル先端から連続流のインク液柱となり，やがて広い空間へ霧状態となって飛散している．

本稿では，可食インクが静電誘引方式による飛翔の可能性や、さらに可食インクに印加される電圧や静圧の変化による振る舞いについて検討したので報告する．なお、可食インクとしてパプリカ色素の飛翔を試みた．なお，可食インクの付着は“すり身”への着色の目的としているが今回は記録紙を用いた．

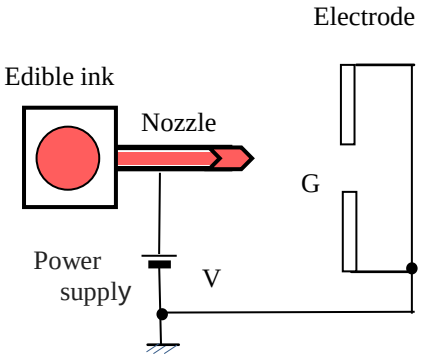
２．実験装置の概要

図 1 にインクジェットを構成するノズルヘッド部を示す．図(a)は、可食インク壺を横方向から、対向電極は右方向へ少し変化を付けて見やすいようにしたものである．図(b)は可食インク壺、ノズル、対向電極を上から見たものである．

可食インクとして、パプリカ色素を用いた．ノズルヘッド部の構成は、可食インク壺に直接取り付けられたノズル，ノズル先端から 2mm 隔てて対向電極を設けた．なお，この対向電極は 2 本の棒状で、その間隙 G=5mm である．電圧をノズル対向電極間に印加すると可食インクは飛翔する．ここで H は可食インクの静圧である．この実験では大気圧を利用している．



(a) Side view



(b) Top view

Fig. 1 Nozzle head

＊〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1
3-30-1 Wajoro Higashi Higasi-ku Fukuoka, 811-0295, Japan
e-mail: s15a2013@bene.fit.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

3. 結果 と議論

3.1 可食インクの飛翔観測例

図 2 にノズル先端から飛翔する可食インクの飛翔状態を示す．この観測例は，印加電圧 V=3.2kV，可食インク静圧 H=5mm，シャッター速度 v=1/30 s である．ノズル先端から飛翔する可食インクは対向電極の間隙 G の中心部分を通過する．この図から，ノズル先端の近傍から拡がりを見せ始めて対向電極を通過すると極めて更に広範に亘って飛散していく様子を観測することができる．静電誘引形方式で印刷用インクを飛翔させた場合に観測される飛翔状態とは，かなり異なっている．しかし，食品色素の飛翔においても本方式が有効であることが分かった．

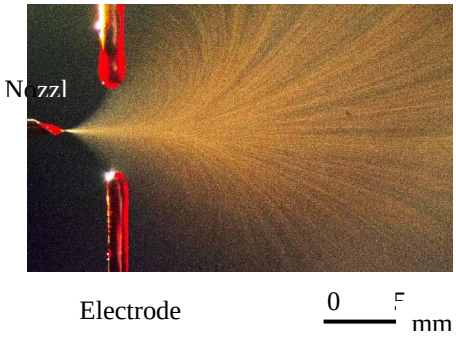


Fig. 2 Observation example

3.2 印加電圧の影響について

図 2 の予備実験によって食品着色料パプリカの飛翔が可能であることに基づいて，次の実験を実施した．ノズルの走査回数 N=1 回，走査速度 V=10mm/s および静圧 H=40mm を，それぞれ一定として印加電圧 V=3.2 k V，3.4 k V および 3.6 k V における結果を比較した．なお，最終的な本研究の目標は “すり身” などの練り製品などの食品への着色である．しかし，練り製品などは水分含有量も多く，コーティング特性の検証を行いにくいと考えられたため本研究では普通紙をコーティング対象に設定した．図 3 に普通紙にコーティングを行った例を示す．ここで，パプリカ色素のコーティング測定の色の数値化には，表色系を使用した．L*，a*，および b*色空間は物体の色を表すのによく使用されているものである．L*，a*，および b*色空間では，明度を L*，色相と彩度を示す色度 a*，および b*で表す．図 4 に L*，a*，および b* 値の印加電圧ごとの変化を示す．L*，a*，および b* 値の測定は，コーティングの 開始位置から 10mm の位置(Fig.3 の矢印)に統一して測定を行った．

図 3，4 から，印加電圧が高くなるに従い色味が高まり，また，コーティングできる幅が広くなる傾向が見受けられる．これは，静電誘引力が高くなることにより，ノズルから誘引される着色料の流量が増加するものと考えられる．また，着色料の粒子に与えられる運動量が大きくなり、より広く拡散するものと思われる．

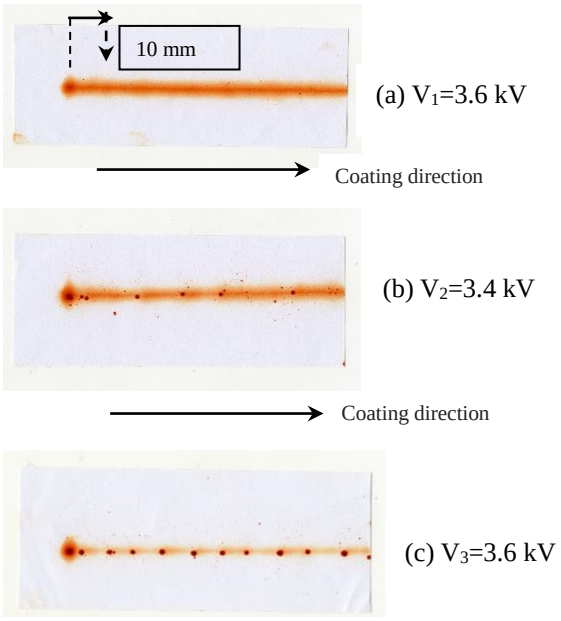


Fig.3 Coating Example

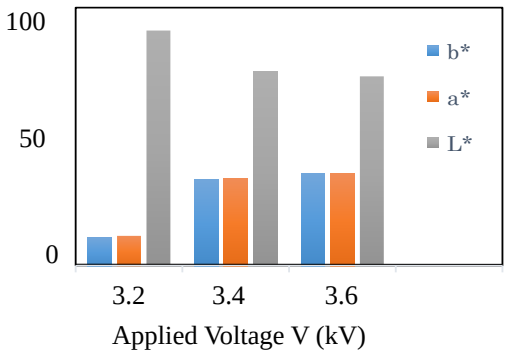


Fig.4 Characteristics of applied voltage - L*，a*，b*
(1 scan, Scan speed=10mm/s, H=40mm, Measure at 10mm from coating start position)

なお，コーティング面の左側に見られる大きな点状の付着痕は，走査および印加電圧の開始との時間差によるもので，一箇所にコーティングが集中したためである．得られた結果から，図 3(c) に観測されているように印加電圧が低い場合は，飛翔が不安定になり，コーティング面に周期的な点が現れていることが観測された．この点は，均一なコーティングを行いたい場合は，印加電圧の適正な制御が重要である．また、逆に何かを模倣した練り製品の製造時の着色への応用を念頭に置いた場合，敢えてコーティングが不安定になるような印加電圧を設定して用いるという可能性もある．

3.3 走査速度の影響について

コーティング技術として評価する上で，ノズルの走査速度が与える影響は重要な課題である．そこで印加電圧 V=3.6kV，静圧 H=40mm，走査回数=1 回と

© 一般社団法人 日本画像学会

して，ノズルの走査速度 V=20，30，40，50mm/s とした場合について結果を比較した．図 5 に L*，a*，および b* 値の走査速度ごとの変化を示す. L*, a*，および b* 値の測定はコーティング開始から 10mm の位置に統一して行なった．また，図 6 は実際のコーティング面である．なお，同図においてコーティングは左から右方向に行なわれており，コーティングの開始部はノズルが停止したタイミングと電圧が印加されるタイミングとの差で，濃く着色されている．

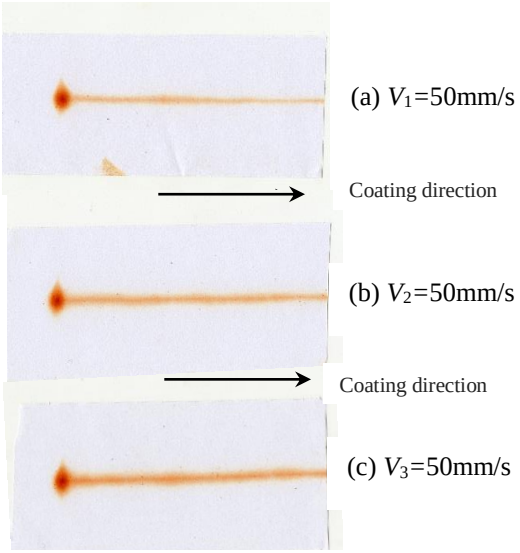


Fig.5 Coating Example

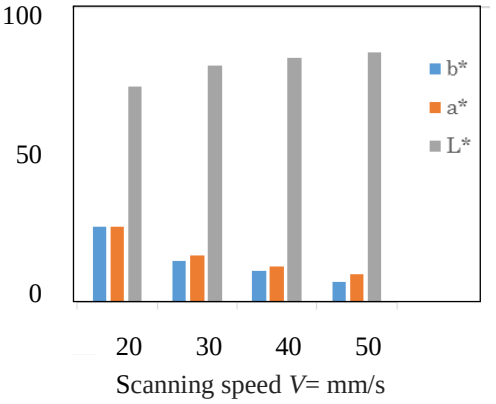


Fig.6 Characteristics of scanning speed – L*，a*，b*
(1 scan, Applied voltage=3.6kV, H=40mm, Measure at 10mm from coating start position)

得られた結果から，走査速度を制御した場合では，速度が遅いほど濃く着色できる傾向が分かった．これは速度が変化することで同じ面積にコーティングされる着色料の密度が変化するためと考えられる．

3. 4 走査回数の影響について

コーティング技術として走査回数 N の変化について検討した．これは，一般に重ね塗りのことである．これについては，印加電圧 V=3.6kV，走査速度 V=50mm/s，静圧 H=40mm として走査回数 N=1，2，3，4，5 回とした場合について検討を行なった．図 12 に L*，a*，および b* 値の走査回数ごとの変化を示す．L*，a*，および b* 値の測定はコーティング開始から 10mm の位置に統一して行なった．なお，図 7 に実際のコーティング結果を示す．得られた結果から，走査回数を増加させるに従って，色濃く着色されていることが分かる．所定の濃さが必要なときは，走査回数を制御することで対応が可能であるものと推測される．

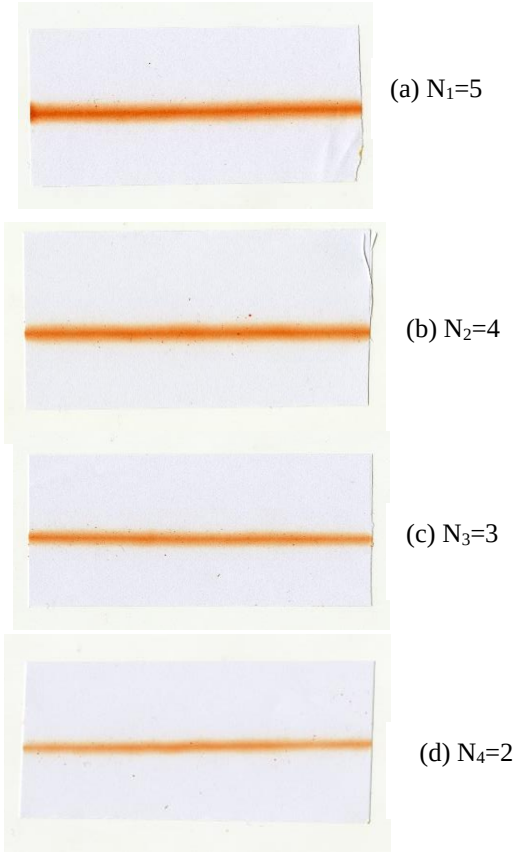


Fig.7 Coating Example

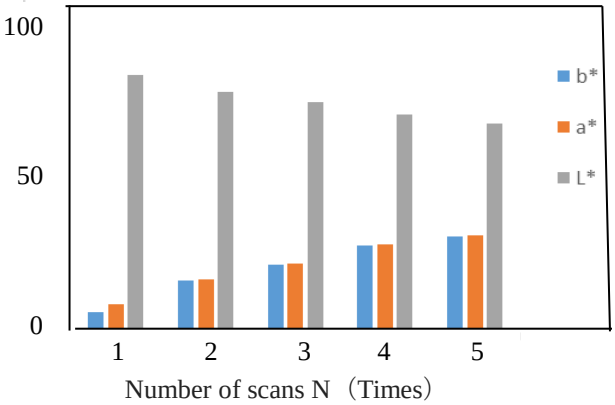


Fig.8 Characteristics of scanning number

4. まとめ

静電誘引形インクジェット方式による可食インクの飛翔が可能であることが分かった．可食インクは

© 一般社団法人 日本画像学会

印加される電圧や走査速度さらに回数によって記録状態が変化することが分かった．今後の課題として水分の含有率などによって飛翔・記録特性がどのように変化するかについて検討を行う．

可食インクコーティングに関する研究の一部は，平成 27 年度 JST マッチングプランナープログラム「探索試験」の助成を受けて実施された．厚く感謝いたします．

参考文献

1) Hiromi KOBAYASHI, “Latest 3D Printer on the Inkjet Technology”, Journal of the Imaging Society of Japan, **49**, 5, pp. 431-438 (2010) [in Japanese].
2) Itoko TOMOIKE, Yuzo YMASAKI, Kazuhisa MATSUO, “The Behavior of the Edible Ink Adhering to the Electrode, The 2017 ANNUAL WEETING OF THE INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS OF JAPAN, 3-086,(2016) [in Japanese]

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ5.2] インクジェット(5-2) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-2) Applications/3D Printing/Bio Printing

2018年6月21日(木) 10:50 ～ 11:50 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.2-02] 酵素架橋とインクジェットの融合による3Dバイオプリンティング技術の開発
Development of a Bioprinting Technique by Combining Inkjetting Technology and Enzyme-mediated Hydrogelation

*境 慎司[1]、中村 真人[2] （1. 大阪大学、2. 富山大学）
*Shinji Sakai[1], Makoto Nakamura[2] （1. Osaka University, 2. University of Toyama）

3Dバイオプリンティングは、再生医療や組織工学分野で、その発展が期待されている。既存のプリンティング方式の中で、より機能的な組織体の構築につながるものとして期待されているのが、インクジェット方式によるものである。一方で、この方式の普及、発展を阻害しているのが、使用可能なインク材料が極めて限られていることである。我々はこれまでに、西洋わさび由来ペルオキシダーゼが触媒する架橋形成反応を利用して、高分子の水溶液からヒドロゲルを作製し利用することについて、様々な報告を行ってきた。本研究では、この酵素反応によるゲル形成を用いた、インクジェットバイオプリンティング技術の開発を行った。

©一般社団法人 日本画像学会

酵素架橋とインクジェットの融合による 3D バイオプリンティング技術の開発

境　慎司*，中村　真人**

*大阪大学　大学院基礎工学研究科
**富山大学　大学院理工研究部・教育部（工学 ）

Development of a Bioprinting Technique by Combining Inkjetting Technology and Enzyme-mediated Hydrogelation

Shinji Sakai*, and Makoto Nakamura**

*Graduate School of Engineering Science.

**Department of Applied Imaging Engineering, Graduate School of Engineering, Imaging University of Japan

An inkjet-based bioprinting approach that enables the use of varieties of bioinks to produce cell-laden hydrogels with a wide range of characteristics is strongly desired. We attempted to develop it by using the hydrogelation system mediated by horseradish peroxidase (HRP) for stabilizing bioinks. Cell-laden constructs could be obtained through the sequential dropping of a bioink containing polymer(s) cross-linkable through the enzymatic reaction and H_2O_2 onto droplets of another bioink containing the polymer, HRP, and cells. The viability of the enclosed cells was more than 95%.

１．はじめに

生体は、直径数十 μm の細胞の集合体であり、さまざまな種類の細胞が、適材適所で配置され機能を発現することにより、恒常性が維持されている。そして、それぞれの細胞の周囲には、その機能発現と密接に関係する細胞外マトリックスが存在している。組織工学は、1 つ 1 つの細胞から生体の組織を模倣構造体の作製を目指すものであり、生体と同様に、細胞周囲に配置される足場材料は、得られる構造体の機能に大きな影響を与える。

この組織工学において近年大きな注目を集めているのが、細胞を含む構造体をデジタルデータにもとづいて作製する 3D バイオプリンティングである。そして、複数存在するプリンティング方式の中で、より機能的な組織体の構築につながるものとして期待されているのが、インクジェット方式である。この方式では、細胞よりもわずかに大きなサイズのインク液滴を、設定した位置に 1 滴ずつ積み重ねながら造形を行う。したがって、さまざまな種類の細胞を、細胞種毎にその細胞に適した環境を提供する材料とともにカートリッジに充填し、別々のインクジェトノズルから吐出すれば、インク液滴 1 滴スケールで異なるゲルの特性や細胞を有する構造物を造形することができる。一方で、この方式の普及、発展を阻害しているのが、使用可能なインク材料が極めて限られていることである。具体的には、インク溶液は、直径数十 μm のノズルから吐出できるよう、低粘度である必要があること、着液したインクは周囲に流れる前に極めて短時間にゲル化する必要があること、またそのゲル化は細胞に悪影響を与えないことなどが必要なためである。しかし、これらを同時に満たすインクは極めて限られており、多くの細胞の増殖や機能化には適していないにも関わらず、Ca^{2+}などの多価金属イオンとの接触により瞬時にゲル化するアルギン酸 Na を含んだ水溶液が広く用いられてきた。細胞毎に異なる環境を作り出すことのできる、さまざまな材料をインクとして利用できるようになれば、この方式を使った組織構築が大きく進展すると考えられる。

我々はこれまでに、西洋わさび由来ペルオキシダーゼ（HRP）が、微量の過酸化水素の存在下にて触媒するフェノール性水酸（Ph）基間の架橋形成反応（Fig. 1）を利用して、細胞を含有するヒドロゲル構造物を作製し、各種用途に利用する検討を行ってきた。[1]この方法の利点は、Ph 基を導入することができれば、異なる性質を有するさまざまな材料からヒドロゲルを作製できる点である。本研究では、この酵素反応によるゲル形成を、インクジェットノズル

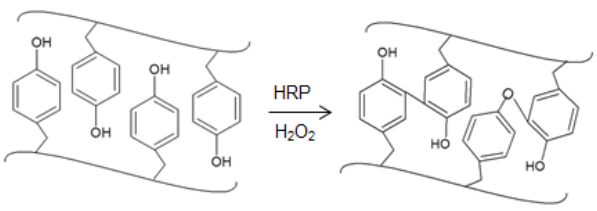


Fig. 1 Crosslinking of Ph moieties through HRP-catalyzed crosslinking.

＊〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
＊1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, 560-8531, Japan
e-mail:　sakai@cheng.es.osaka-u.ac.jp

© 一般社団法人 日本画像学会

から吐出されるインクのゲル化に用い、3D 構造物を造形する技術の開発を行った。

２．実験方法

Ph 基を導入したアルギン酸（Alg-Ph）とヒアルロン酸（HA-Ph）は、それぞれの高分子中のカルボキシ基とチラミンのアミノ基を、水溶性カルボジイミドを用いて縮合させることにより作製した。また、Ph 基を導入したゼラチン（Gelatin-Ph）は、ゼラチンと 3-(4-ヒドロキシフェニル)プロピオン酸より同様の方法で作製した。これらの誘導体をリン酸緩衝生理食塩水（PBS、pH7.4）に溶解させた溶液に、HRP もしくは過酸化水素を溶解させた。細胞を含む構造体は、HRP を含むインクに、マウス胎児由来線維芽細胞株 10T1/2 細胞を分散させたものから作製した。各インクを、直径 60 μm の吐出口を有するインクジェットノズルから 500 Hz にて吐出した。吐出したインクをゲル化・定着させるために、HRP を含むインクが滴下された直後に過酸化水素を含むインクを吐出するようにした（Fig. 2）。細胞への影響を調べるために、細胞を含有する構造物を作製した後、生存率を測定した。また、構造物中での細胞の伸展は、共焦点レーザー顕微鏡を用いた観察により評価した。

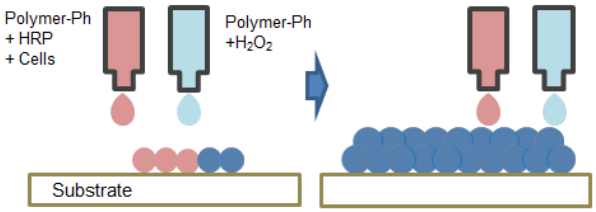


Fig. 2 Schematic of bioprinting of cell-laden hydrogel constructs using bioinks containing HRP + cells, and H_2O_2.

３．結果と考察

インクジェット方式のバイオプリンティングにおいて各種高分子を構成成分とするインクを利用するためには、安定して吐出可能な物性を明らかにする必要がある。このため、さまざまな濃度、種類の高分子水溶液を用い、インクジェットノズルからの安定した吐出可能性と、溶液の粘度、界面張力、曳糸性の関係を調べた。その結果にもとづいて調製した 0.75% Alg-Ph と 300 u/mL HRP および 0.75% Alg-Ph と 10 mM 過酸化水素を含む 2 種類のインクを用いてプリントを行った。その結果、Fig. 3a のような三角柱の構造体を作製することができた。

動物細胞を含んだ構造体をプリントする場合には、過酸化水素が細胞に悪影響を与えることが危惧される。このため、過酸化水素の濃度はできるだけ少ない方が望ましい。したがって、過酸化水素の濃度と造形性に関する検討、および作製した構造物中に残存する過酸化水素の濃度に関する検討を行った。過酸化水素を 1 mM とした場合には 10 mM の場合と同様の構造物を作製できたが（Fig. 3b）、0.1 mM に低下させると、設計図と乖離したいびつな形の構造物が形成した（Fig. 3c）。これは、HRP による架橋形成反応に必要な過酸化水素が、十分量なかったためと考えられる。過酸化水素の残留濃度を、試験紙を用いて調べたところ、10 mM の過酸化水素を含むインクを用いた場合には、作製して 10 分後にも測定可能な値を大きく超える 1 mM 以上の過酸化水素が残留していた。一方で、1 mM の過酸化水素を含むインクを用いた場合には、作製して 10 分以内に、過酸化水素濃度は、検出限界（0.015 mM）以下になった。

以上の結果にもとづいて、10T1/2 細胞を含むインクを用いて Alg-Ph ゲルの構造体をプリントしたところ、細胞の生存率は約 90%であった。しかし、この構造物中では、数日間の培養後も細胞は伸展することはなかった。一方で、同じ形状の構造体は、Gelatin-Ph と HA-Ph を含む水溶液からも作製でき、このゲル構造体に包括された 10T1/2 細胞は、培養開始から 1 日以内にゲル内部で伸展した。この結果より、本方法の細胞適合性の高いと、適切なインクを選定することで、細胞の挙動を制御できることが明らかになった。

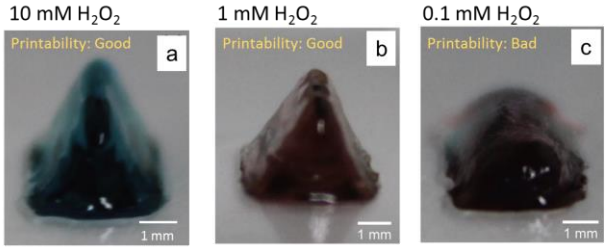


Fig. 3 Bioprinted hydrogel constructs obtained from bioinks difference in H_2O_2 content.[2)]

４．まとめ

本研究では、さまざまな材料をインクとして用いることができるインクジェット方式のバイオプリンティング技術の開発を行った。そして HRP によるゲル形成反応を用い、これを達成することができた。これまでに 20 種類程度の高分子について、同酵素反応よりゲル化させられるようになったことが報告されている。今後は、これらを使った複雑な造形に取り組みたい。

参考文献

1) Shinji Sakai and Masaki Nakahata, “Horseradish peroxidase-catalyzed hydrogelation for biomedical, biopharmaceutical, and biofabrication applications”, Chemistry: An Asian Journal, **12**, pp. 3098-3109(2017).

2) Shinji Sakai, Kohei Ueda, Enkhtuul Gantumur, Masahito Taya and Makoto Nakamura, “Drop-on-drop multimaterial 3D bioprinting realized by peroxidase-mediated cross-linking, Macromolecular Rapid Communications”, **39**, 1700534 (2018).

© 一般社団法人 日本画像学会

一般セッション(口頭講演) | インクジェット

[IJ5.2] インクジェット(5-2) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング
Inkjet (5-2) Applications/3D Printing/Bio Printing

2018年6月21日(木) 10:50 ～ 11:50 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟２二階)

[IJ5.2-03] インクジェットバイオプリンティングによる臓器づくりのための挑戦的研究
Challenging Research on Organ Engineering by Inkjet Bioprinting

*中村 真人[1]、岩永 進太郎[1]、浜田 裕太[1]、黒岡 武俊[1]、境 慎司[2] （1. 富山大学、2. 大阪大学）
*Makoto Nakamura[1], Shintaroh Iwanaga[1], Yuta Hamada[1], Taketoshi Kurooka[1], Shinji Sakai[2] （1. University of Toyama, 2. Osaka University）

日本でも世界でも多くの人が臓器を待っている。移植臓器は科学の力で作るべく、生きた細胞から生きた 臓器を作る組織工学の研究が始まってはや25年が経とうとしている。従来の組 織工学の課題を解決して限界を超えるために、『機械で臓器を作れるか？』の挑戦を始めた。インクジェットのポテンシャルを知り、世界 に先駆けて生きた細胞を3次元で配置するインクジェット式３Dバイオプリンターを開発した。インクジェットの導入は、再生医療・組織工学の領域に おいて、様々なブレークをもたらす可能性がある。インクジェットバイオプリンティングによる臓器作りの自験例を概説するとともに、 様々な挑戦的要素について概説する。

Many people are waiting for organs. Such organs for transplant should be provided by science and technology, reasonably. It has passed 25 years since the researches on tissue engineering were started. We also started the challenging researches “Can human produce organs by using machine’s hands?” in order to overcome several limitations of conventional tissue engineering. Considering to the advantages of inkjet, we have developed a custom-made inkjet 3D Bioprinter, with which several types of living cells can be positioned in three dimension, respectively. Applying inkjet bioprinting, various drastic challenges will be brought about in tissue and organ engineering.

©一般社団法人 日本画像学会

インクジェットバイオプリンティングによる臓器づくりのための挑戦的研究

中村　真人*，岩永進太郎*，浜田裕太*，黒岡武俊*，境　慎司**

*富山大学　大学院理工学研究部・教育部(工学)、
**大阪大学　大学院基礎工学研究科

Challenging research on organ engineering by inkjet bioprinting

Makoto Nakamura*, Shintaroh Iwanaga*, Yuta Hamada*, Taketoshi Kurooka*,and Shinji Sakai**
*Graduate School of Sciences and Engineering for Research/Education, University of Toyama.
** Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Many people are waiting for organs. Such organs for transplant should be provided by science and technology, reasonably. It has passed 25 years since the researches on tissue engineering were started. We also started the challenging researches “Can human produce organs by using machine’s hands?” in order to overcome several limitations of conventional tissue engineering. Considering to the advantages of inkjet, we have developed a custom-made inkjet 3D Bioprinter, with which several types of living cells can be positioned in three dimension, respectively. Applying inkjet bioprinting, various drastic challenges will be brought about in tissue and organ engineering.

１．はじめに

いろいろな原因で臓器が障害され、機能不全に陥った場合を臓器不全という。その最後の砦となる治療法が臓器移植だが、それには健康な臓器が必要である。現状、臓器は誰かの死を待つか、健康なボランティアから受けることになるが、他人の犠牲の上に成り立つ治療法は決して理想的ではない。世界的にもドナー臓器不足の問題は深刻化している。そこで、移植臓器は科学の力で作るべく、人工臓器や生きた細胞から生きた臓器を作る組織工学（再生医工学）の研究が始まった。

２．組織工学（再生医工学）

失われた臓器機能を取り戻すために､生きた細胞、生体材料、増殖因子などを駆使して生きた臓器の代替物を作る目的で組織工学が提案されて、四半世紀が経つ。その間、ES 細胞や iPS 細胞、ヒトゲノム解読などの凄まじい進歩があったが、組織工学で作られた実用レベルの組織や臓器は、未だ皮膚や軟骨などの薄く単純な無構造のものしかない｡その原因は、①細胞の分布制御、②多種細胞の構成制御、③3 次元構造の制御、④増殖因子の濃度勾配制御、そして⑤毛細血管の誘導と十分な血流確保、という重要課題は解決されておらず、今なお大きな障壁となっているからである。

＊〒930-8555 富山市五福 3190
＊3190　Gofuku, Toyama city, Toyama930-8555, Japan
e-mail:　maknaka@eng.u-toyama.ac.jp

３.『機械（プリンター）で臓器を作れるか？』の挑戦

そこで、我々はこれらの課題を解決して従来の組織工学の限界を超えるために、今までにない作り方で臓器を作ろうと思い立った。それは、生きた細胞ごと 3 次元積層して作ろうという発想で､今で言う、Additive manufacturing（付加的製造法）の手法である。しかし、そもそも、組織や臓器は受精卵から発生学的に発生して形成されるものである。その工程を無視して、最終形の臓器を、構成物を並べて積み上げて造るのは、確かに神への挑戦でもある。しかし、臓器不全患者の治療には、このような無謀が必要である。それは臓器不全の患者さんは大人サイズの臓器に育つまで何年も待てないからである。

そして、本気でこの作り方を実現しようと奮い立ったのは、インクジェットのポテンシャルを知った時からである。

４．インクジェットのポテンシャルと挑戦

1) ミクロのインクドットでの印刷：

細胞、組織や臓器の重要構造は、顕微鏡で見て初めてその存在や特殊な構造が分かる。肉眼では見えない。一方、インクジェットプリンターはヘッドにある多数のノズルからインクを打ち出し描画する。写真画質印刷ができるようになった現在、もはやインクのドットは目に見えない。そこで、写真印刷したものを顕微鏡で確認すると、ドットの大きさは個々の細胞サイズに匹敵することが分かった。インクジェットには、個々の細胞を適材適所並べられる

© 一般社団法人 日本画像学会

ポテンシャルがある。ヒトの手作業で細胞を播くだけの組織工学から細胞レベルで細胞を並べての微細構造構築への挑戦が可能になる。

2)カラー印刷：多種材料での複合組織構築への挑戦

カラー写真の印刷は、CMYB の 4 色のインクを打ち出して印刷する。一方、生体組織、臓器では多種細胞が特殊構造を作っている。細胞を混ぜてばら撒く組織工学から、異なる材料での複合組織の構築が可能になる。

３）大量のドット印刷：

1 cm^3（1g）の生体組織には、約 10 億個の細胞が存在する。一方、720dpi×1440dpi の市販インクジェットプリンターでは A4 サイズの用紙に目いっぱい印刷すると、ドットの数はおよそ 1 億個で、それがわずか 1 分足らずで印刷している。さらに、すべてのドットの位置、密度、色、配合をコンピュータが制御している。このインクジェットの技術なら、10 億個の細胞すべての位置をコンピュータ制御して作ることさえ実現できるポテンシャルがある。

５．インクジェット３D バイオプリンターの開発

その他、非接触での吐出、生体材料、増殖因子などを配置する、など、組織・臓器作りにブレークスルーをもたらすポテンシャルがある。これらを踏まえて、我々は 4 色で印刷可能なインクジェット３D バイオプリンターを開発してきた(図 1)。

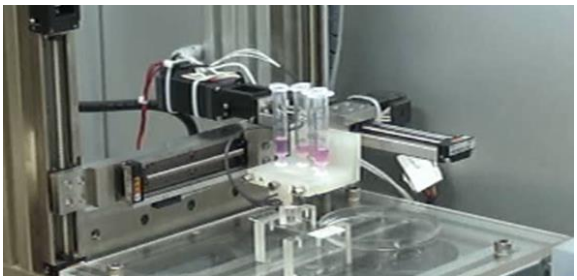


図１、開発したインクジェット 3D Bioprinter

５．バイオインクの開発

インクジェットプリンターの進歩には、プリンター装置の進歩とともに、インクの進歩が大きな役割を果たしてきた。バイオインクの開発は本手法の進歩のための重要要素の一つである。バイオインクの開発においては、次の二つの特性が重要である[1]。

1)造形性：3 次元積層造形のためには、作りやすく構造が維持されやすい特性が必要である。我々は、これまで、2 液混合でゲル化するアルギン酸ゲルを中心に利用してきた。瞬時にゲル化し、構造維持にも優れた特性がある。

2) 組織形成能：造形後は細胞同士が接着し、組織化していく必要がある。この点、アルギン酸ゲルは細胞が接着できないため、細胞の接着、増殖、組織化に問題がある。そこで、フィブリノーゲンとトロンビンを用いて同様に 3 次元造形した。この場合、フィブリンゲルは軟らかく、構造維持、ハンドリングが非常に困難で、造形性は明らかに悪かった。しかし、細胞はゲルに接着し伸展し、ゲル上を自在に遊走するのも観察された。組織形成能に優れている。

これらの経験をもとに、1)と 2)について、両ゲルの特性と開発の方向性を示した(図 2)。

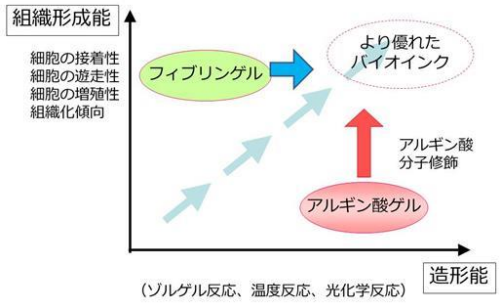


図 2、バイオインクの開発[1]

この考えのもとに、境らの材料に着目し、共同研究を開始した[2]。フェノール基の分子修飾、酵素架橋反応で、造形能に優れたアルギン酸のゲル化能を残したまま、細胞接着に優れたゼラチンとのゲル化を可能にした。このバイオインクで造形した構造には細胞が接着し組織化が進むことも確認できた(図 3)。今後、いろいろな細胞での 3 次元構造物が作れることが期待できる。

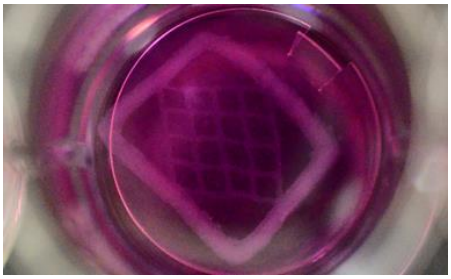


図 3、心筋細胞が接着し増殖し拍動する造形物

6. まとめ

世界に先駆けて生きた細胞を 3 次元で配置するインクジェット式３D バイオプリンターを開発した。インクジェットには、様々なブレークをもたらす可能性がある。インクジェットバイオプリンティングをさらに発展させ、様々な臓器作りに対する挑戦を進めていきたい。日本でも世界でも多くの人が臓器を待っている。

参考文献

1) Nakamura M, et.al, Biomatrices and biomaterials for future developments of bioprinting and biofabrication. Biofabrication 2: 014110-6, 2010.

2) Sakai S, et.al. Drop-On-Drop Multimaterial 3D Bioprinting Realized by Peroxidase-Mediated Cross-Linking. Macromol Rapid Commun. 2018 Feb;39(3). doi: 10.1002/marc.201700534. Epub 2017 Dec 11.

© 一般社団法人 日本画像学会