

Wed. Jun 20, 2018

Main Hall

Invited presentation | Topical Session

[IJs] Special Talk: Inkjet

Session Chair: Atsushi Tomotake (Konica Minolta, Inc.), Yasuhiro Sekiguchi (Brother Industries, Ltd.)

9:30 AM - 10:20 AM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJs-01] Evolution Theory of Ink Jet Technologies -

Progress by Component or Architectural
Knowledge

*Masahiko Fujii¹ (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

9:30 AM - 10:20 AM

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 ZENGO¹, SATOSHI HASEBE¹, AKIRA SAKAMOTO¹, TOSHINOBU HAMAZAKI¹, TOMOZUMI UESAKA¹, YUKARI MOTOSUGI¹, TAKUMA ISHIHARA¹
(1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

10:40 AM - 11:00 AM

[IJ3-02] Development of New Garment Printer*Tsuguyori Kemma¹ (1. RICOH COMPANY,LTD.)

11:00 AM - 11:20 AM

[IJ3-03] Nassenger SP-1 toward Further Improvement of Image Quality*Setsu Takeuchi¹, Toshihiko Yoshimura¹, Shingo Tsubotani¹, Yusuke Hanashima¹ (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 Nishizawa¹, Akira Takatsu¹ (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 Ohnishi¹ (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 Nishi¹, Toshihide Kamata^{1,3} (1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPER), 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 Shiwa¹, Hiroyuki Matsui¹, Kuniaki Nagamine¹, Mayu Uematsu¹, Taisei Mano¹, Yuki Maruyama¹, Ayako Nomura¹, Kazuhiko Tsuchiya¹, Kazuma Hayasaka¹, Yasunori Takeda¹, Takashi Fukuda², Daisuke Kumaki¹, Shizuo Tokito¹ (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 Kwon¹, Seongjun Kim², Soobin Oh¹, 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 Tamura¹, Katsuma Miyamoto¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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 Tachiki¹, Reo Tagawa¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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 Kubo¹, Kenta Horikoshi¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (1. Chiba University)

4:20 PM - 4:40 PM

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 Minegishi¹, Keiji Uchikawa² (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 Sakai¹, Takuroh Sone¹, Yumiko Kishi¹, Naoto Watanabe¹, Masahiro Soeda¹, Kohji Sakai¹, Hiroyuki Suhara¹, Makoto Hino¹ (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 Ohno¹, Hiroaki Iino¹, Jun-ichi Hanna¹ (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 Wu¹, Jun-ichi Hanna¹, Hiroaki Iino¹ (1. Tokyo Institute of Technology)

10:50 AM - 11:10 AM

[EI-03] Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules

*Keyaki Yogome¹ (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 Kawatsu¹, Akihiko Shimazu¹, Takeshi Yamaguchi¹, Makoto Ikeda¹ (1. KONICA MINOLTA, Inc)

1:00 PM - 1:20 PM

[EPs-02] High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S

*Jun Hitosugi¹, Tadashi Ogawa¹, Tetsuya Ofuchi¹, Kentaro Mikuniya¹, Yuuki Sagimori¹, Yuuichiroh Uematsu¹ (1. Ricoh Company, Ltd.)

1:20 PM - 1:40 PM

[EPs-03] Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network

*Shuhei Kobayakawa¹, Kazuya Tamura¹ (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 Nagamori¹, Yasunori Momomura¹, Masafumi Kudo¹, Kazuki Inami¹ (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 Tsukiyama¹, Yohei Sato¹, Keisuke Kato¹, Isami Nitta¹ (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 Hashimoto¹, Hideaki Kibune¹ (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 Gan¹, Takeshi Nagao¹, Toshihiko Mitsuhashi¹,

Toshihiko Suzuki¹, Nobuyuki Nakayama¹ (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 WOO¹, Byoung-ho Yoo¹, Woon Kyung Kim¹,
Taehan Kim¹ (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 Seko¹, Masatoshi Toda², Hiroshi Morita²,
Tsukasa Matsuda¹ (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 Kuroyanagi¹, Kouji Fujiwara¹, Ryo Oshima¹ (1.
KONICA MINOLTA, Inc)

4:40 PM - 5:00 PM

Wed. Jun 20, 2018

Meeting Room #2

Satellite Event | Satellite Event

[WS] Workshop

10:30 AM - 12:30 PM Meeting Room #2 (2nd Floor, Keyaki Kaikan)

[WS-01] Discussion on Evaluation Method to Judge

Impact of Paper Lint on MFP

*Atsushi ITO¹, Takeshi MENJO², Toshiharu ENOMAE³,

Yosuke TSUKIYAMA⁴ (1. Information Services

International-Dentsu, Ltd., 2. Canon Inc., 3. University of Tsukuba, 4. Niigata University)

10:30 AM - 12:30 PM

Invited presentation | Topical Session

[IJs] Special Talk: Inkjet

Session Chair: Atsushi Tomotake (Konica Minolta, Inc.), Yasuhiro Sekiguchi (Brother Industries, Ltd.)

Wed. Jun 20, 2018 9:30 AM - 10:20 AM Main Hall (1st Floor, Keyaki Kaikan)

[IJs-01] Evolution Theory of Ink Jet Technologies - Progress by Component or Architectural Knowledge

*Masahiko Fujii¹ (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

9:30 AM - 10:20 AM

招待講演 | 特別セッション

[IJs] インクジェット 特別講演 Special Talk: Inkjet

2018年6月20日(水) 09:30 ~ 10:20 大ホール (けやき会館 一階)

[IJs-01] インクジェット技術進化論 -コンポーネントな知とアーキテク チャルな知による進化 Evolution Theory of Ink Jet Technologies - Progress by Component or Architectural Knowledge

*藤井 雅彦¹ (1. 富士ゼロックス株式会社)

*Masahiko Fujii¹ (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

過去50年のインクジェット技術の進化を2つのタイプ「システムを構成する基本コンポーネントの性能を高めることでシステム性能を向上させる進化：CFP」と「コンポーネントの組み合わせによりシステム性能を最大化する進化：SFP」に分類する。これらの進化がそれぞれの限界を補うように交互に発生しており、2005年にインクジェット技術進化にとって大きな変局点があった。さらにHendersonらのイノベーションポートフォリオを参考にしてこの自説を発展させ、現在インクジェット技術が応用されているさまざまな領域、市場における課題に対し、先進企業の果たすべき役割と技術コミュニティの重要性を提言する。

インクジェット技術進化論 -コンポーネントな知と アーキテクチャルな知による進化

藤井 雅彦

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

Evolution Theory of Ink Jet Technologies - Progress by Component or Architectural Knowledge

Masahiko FUJII

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

過去 50 年のインクジェット技術の進化を 2 つのタイプ「システムを構成する基本コンポーネントの性能を高めることでシステム性能を向上させる進化：CFP」と「コンポーネントの組み合わせによりシステム性能を最大化する進化：SFP」に分類する。これらの進化がそれぞれの限界を補うように交互に発生しており、2005 年にインクジェット技術進化にとって大きな変局点があった。さらに Henderson らのイノベーションポートフォリオを参考にしてこの自説を発展させ、現在インクジェット技術が応用されているさまざまな領域、市場における課題に対し、先進企業の果たすべき役割と技術コミュニティの重要性を提言する。

* 〒243-0494 神奈川県 海老名市 本郷 2274

* 2274 Hongo, Ebina-shi, Kanagawa, 242-00494, Japan

e-mail: Masahiko.Fujii@fujixerox.co.jp

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 ZENGO¹, SATOSHI HASEBE¹, AKIRA SAKAMOTO¹, TOSHINOBU HAMAZAKI¹,
TOMOZUMI UESAKA¹, YUKARI MOTOSUGI¹, TAKUMA ISHIHARA¹ (1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

10:40 AM - 11:00 AM

[IJ3-02] Development of New Garment Printer

*Tsuguyori Kemma¹ (1. RICOH COMPANY,LTD.)

11:00 AM - 11:20 AM

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

*Setsu Takeuchi¹, Toshihiko Yoshimura¹, Shingo Tsubotani¹, Yusuke Hanashima¹ (1. Konica Minolta, Inc.)

11:20 AM - 11:40 AM

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 ZENGO¹, SATOSHI HASEBE¹, AKIRA SAKAMOTO¹, TOSHINOBU HAMAZAKI¹, TOMOZUMI UESAKA¹, YUKARI MOTOSUGI¹, TAKUMA ISHIHARA¹ (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。

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、普通紙においてはしみ、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 $30\text{W}/\text{cm}^2$ ($1.5\text{J}/\text{cm}^2$), 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。

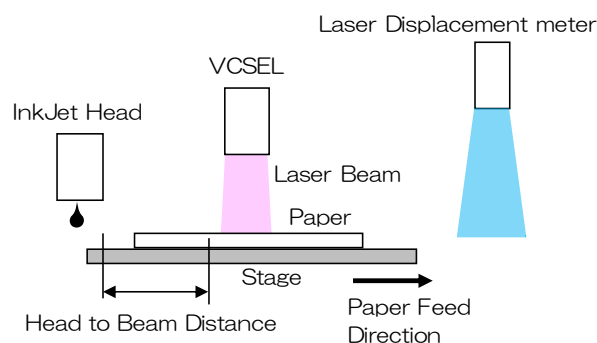


Fig.1 Experimental setup

〒243-0494 海老名市本郷 2274

2274 Hongo Ebina, 243-0494, Japan

E-mail: takeshi.zengo@fujixerox.co.jp

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。

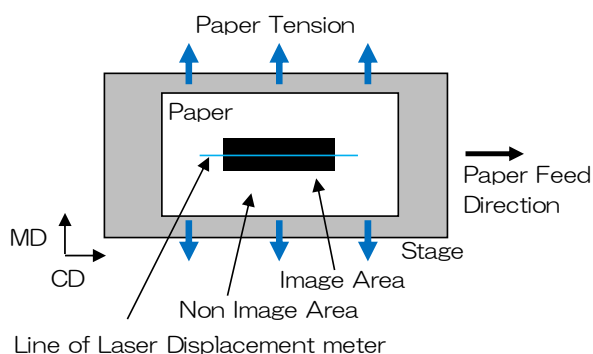


Fig.2 Experimental setup for observation of cockle using laser displacement meter

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10mm×長さ60mm、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 $2\text{J}/\text{cm}^2$ 近傍で 100°C 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。

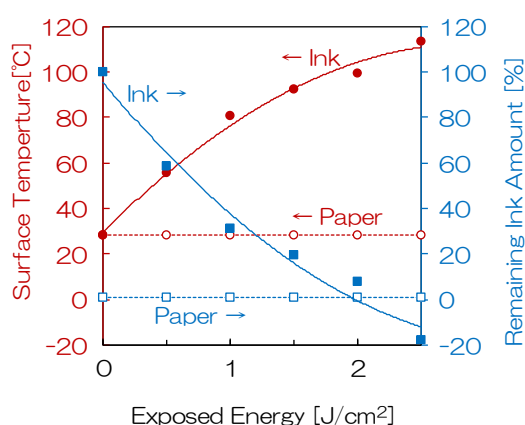
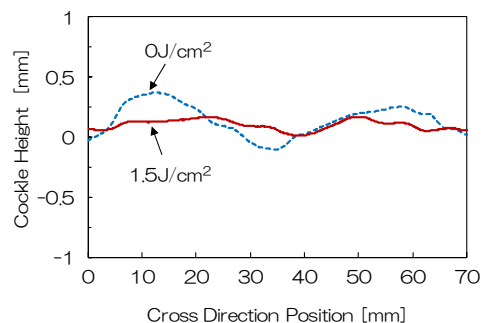


Fig.3 Ink and paper temperature and remaining water in Ink and paper after laser exposure

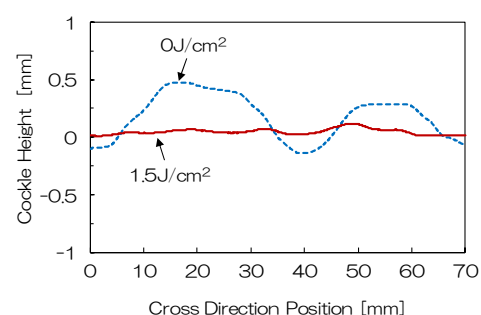
3.2 厚紙のしわ抑制効果

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($0\text{J}/\text{cm}^2$)、あり($1.5\text{J}/\text{cm}^2$)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。

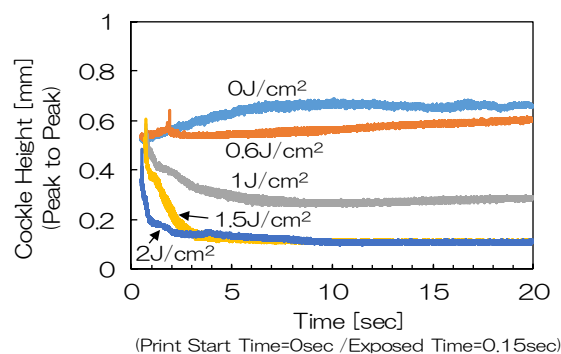
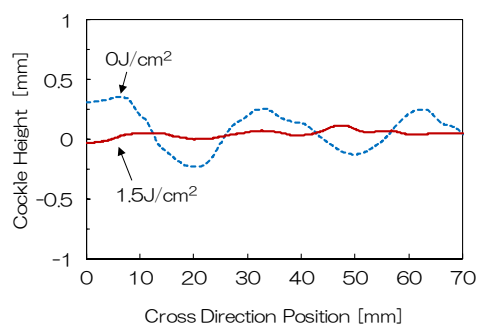


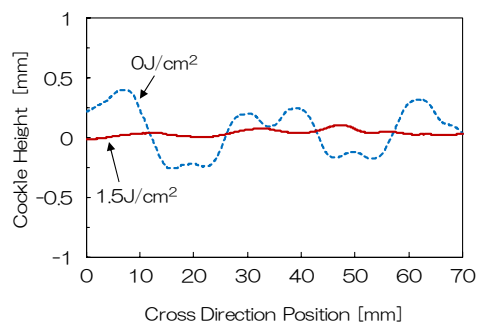
Fig.5 Cockles changes in thick paper by laser exposure

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 ($0\text{J}/\text{cm}^2$) 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、 $1.5\text{J}/\text{cm}^2$ 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

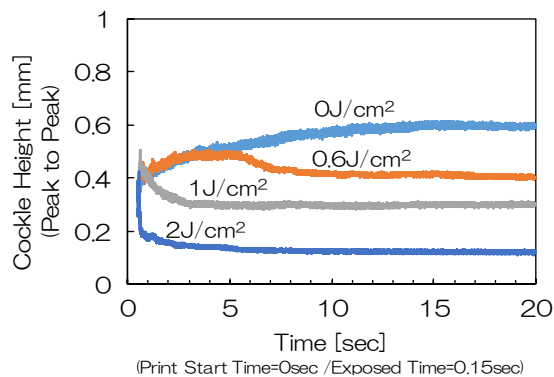


Fig.7 Cockles changes in thin paper by laser exposure

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 $1.5\text{J}/\text{cm}^2$ 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。

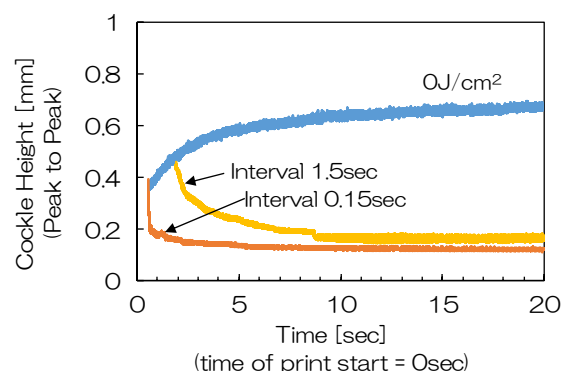


Fig.8 Effects of suppressing cockles on thin paper by the interval time from print to laser exposure

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	x 6.670[Gpa]
	area	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

紙厚は厚紙 100 μm , 薄紙 50 μm (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 $\times$ 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(100 μm), 図 10 に薄紙(50 μm)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 37.5 μm , 薄紙では膨潤率 4%(照射時 0.5%), 浸透距離 25 μm 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。

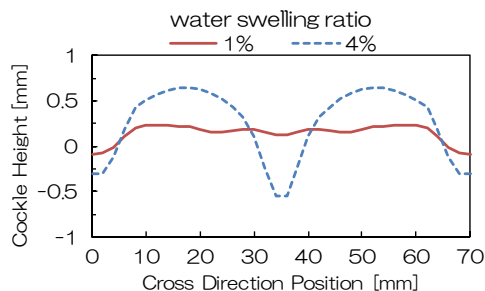


Fig.9 Simulated cockle profile of thick paper (100 μm) with/without laser exposure

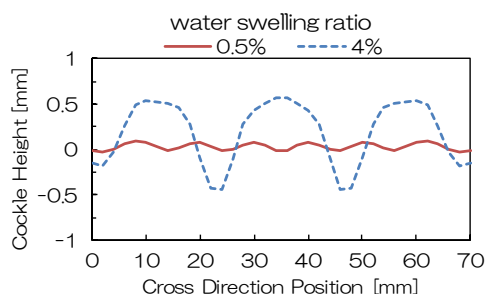


Fig.10 Simulated cockle profile of thin paper (50 μm) with/without laser exposure

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 100 μm , 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。

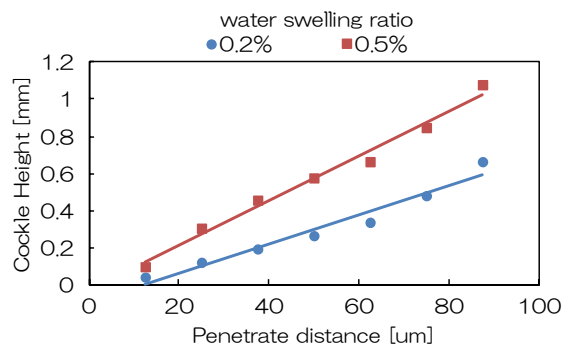


Fig.11 Dependence of penetrate distance and water swelling ratio for cockle height (100 μm)

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 High-speed Inkjet Printing System and Verification of Inhibiting Effect on Image-density Inhomogeneity, ICJ2016, 101-104(2016).
- 3) Tetsuya Hirabayashi et 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ゲーム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 Kemma¹ (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

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 C I P 開発本部 I P 開発センター DTG 開発室 H G - P T

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」という思いから、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

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。

* 〒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

Table.1 Outline of specification

	RICOH Ri 100	Company A	Company B
Corresponding ink	CMYK	CMYKW	CMYKW
Image Resolution	1200x1200 <i>dpi</i>	1440x720 <i>dpi</i>	1200x1200 <i>dpi</i>
Print speed / A4 size	80 <i>sec</i>	50 <i>sec</i>	58 <i>sec</i>
Print size	A4	A3	A3
Size (WxDxH)	399x683x293 <i>mm</i>	985x1425x490 <i>mm</i>	1400x1300x550 <i>mm</i>
Weight	25 <i>kg</i>	82 <i>kg</i>	120 <i>kg</i>

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、主要什器メーカーの什器寸法を元に算出されている。結果、店舗店頭でも十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。

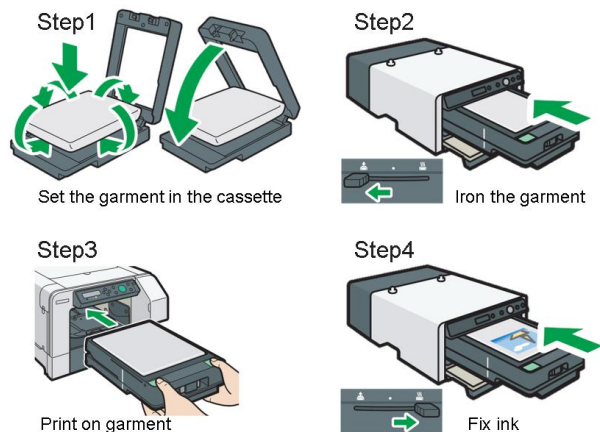


Fig.3 Outline of use procedure

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。

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。

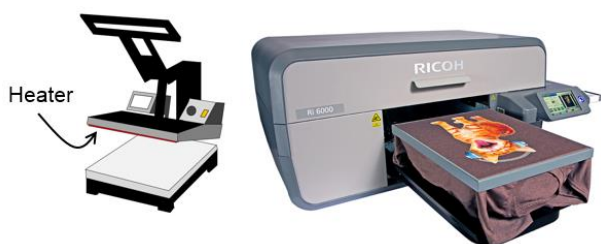


Fig.6 Heat press and its installation

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。

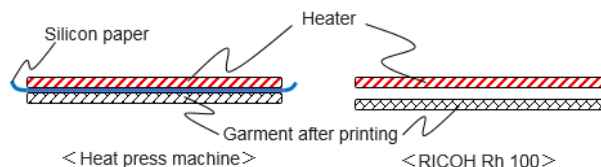


Fig.8 Difference in fixing method

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。結果的に定着不十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になってしまう。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。

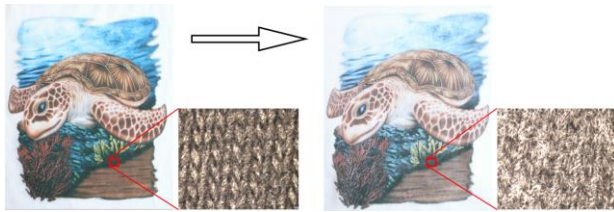


Fig.9 Falling due to washing and images

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。

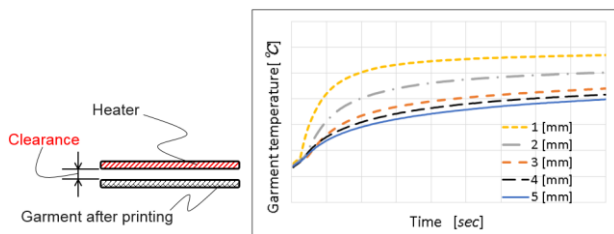


Fig.10 Clearance and garment temperature

クリアランスが 1mm~3mm 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、クリアランスが 3mm 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い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。

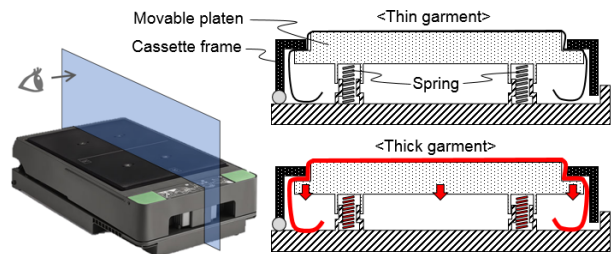


Fig.11 Movable platen

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 2mm±1mm 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し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 Takeuchi¹, Toshihiko Yoshimura¹, Shingo Tsubotani¹, Yusuke Hanashima¹ (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。

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 m² 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 m² 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。従来のスクリー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。

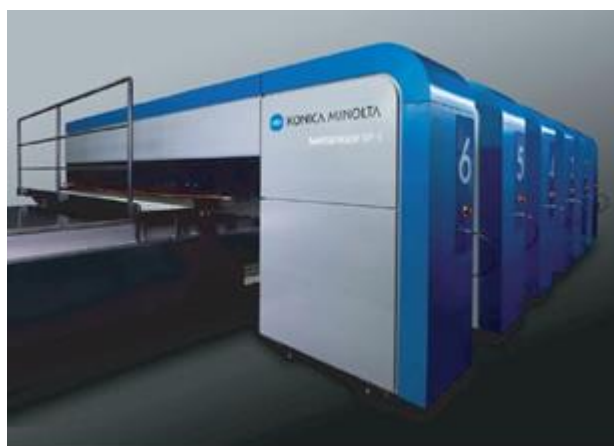


Fig.1 NASSENGER SP-1

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

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、このよう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いわない。

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

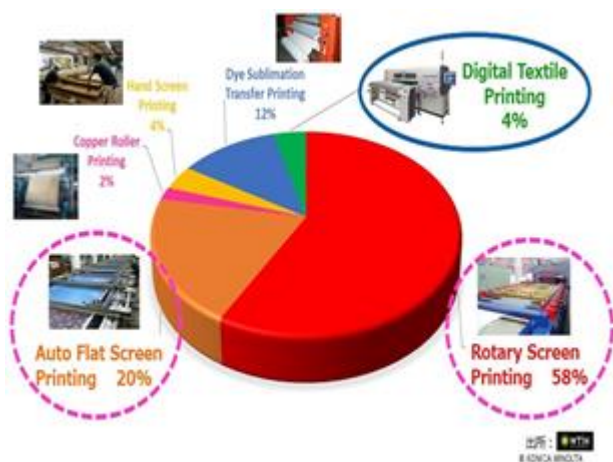


Fig.2 Market size by production method.

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。

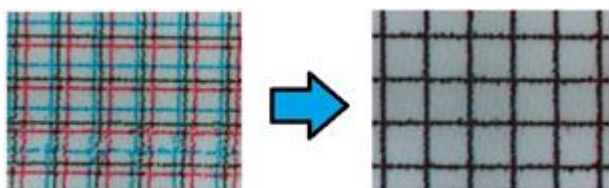


Fig.3 Effects of image alignment correction-fine pattern.

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（織度）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 pI 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。

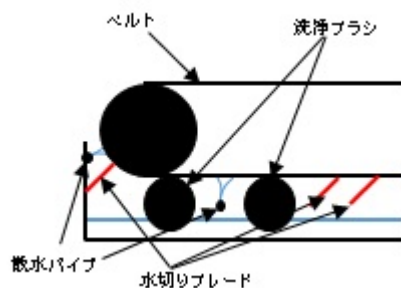


Fig.4 Belt cleaning system

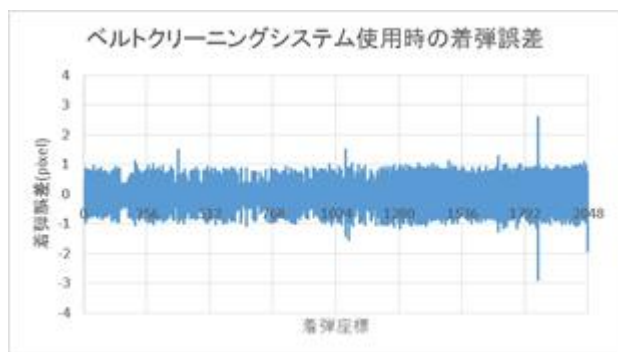


Fig.5 Error when using belt cleaning system

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。

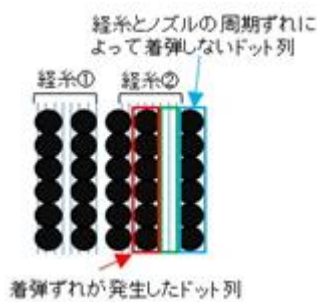


Fig.6 Before steaming

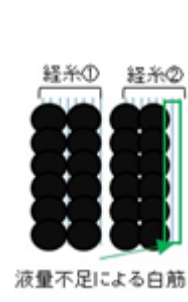


Fig.7 After steaming

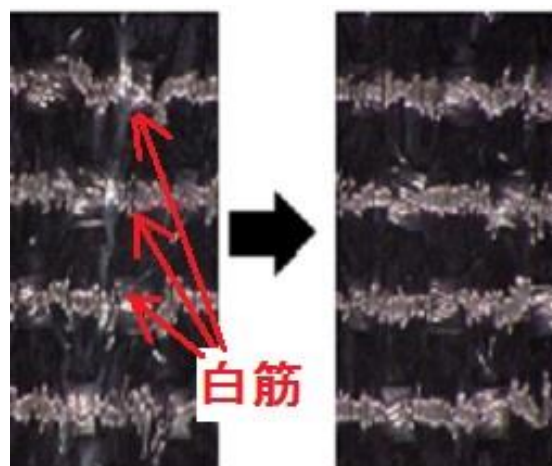


Fig.8 White line

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。

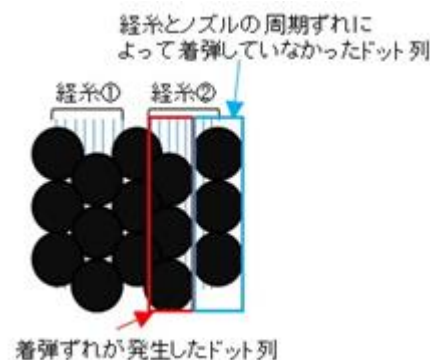


Fig.9 Large ink drops

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) で読み取ることで、位置を計測し、自動で調整している。



Fig.10 Image scan unit.

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 72mm の間で約 150 μ m 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。

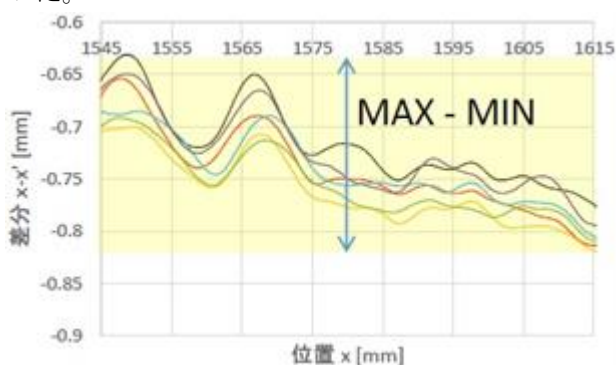


Figure 11 Difference from theoretical value.

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。

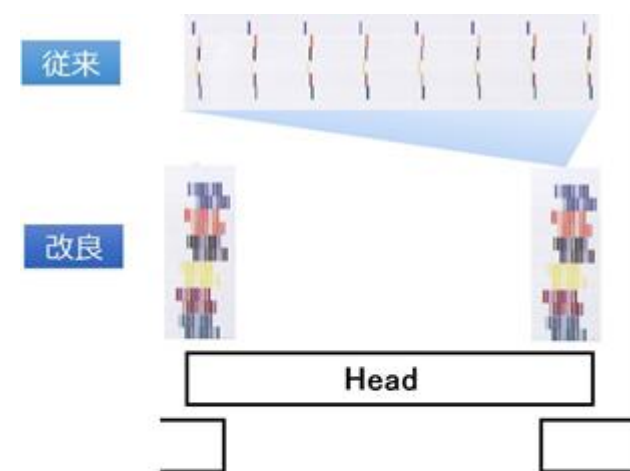


Figure 12 Conventional image for adjustment and

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。

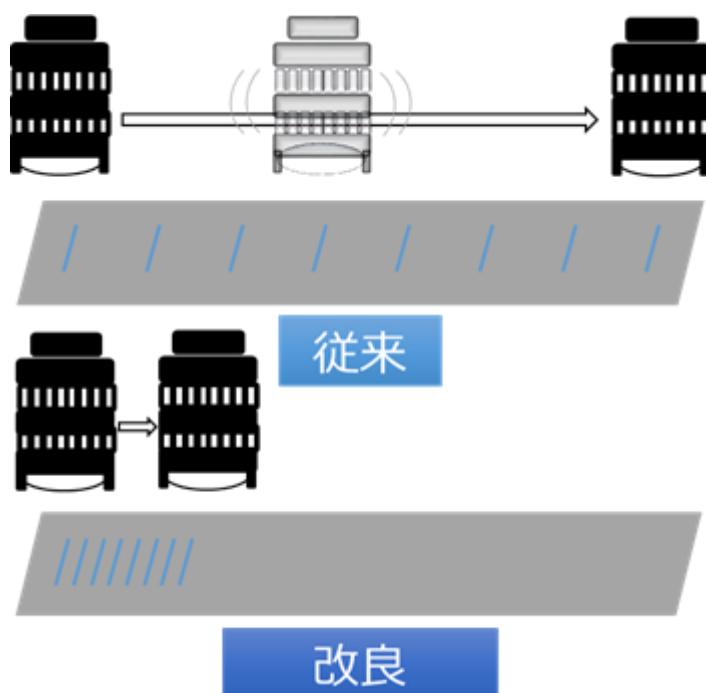


Figure 13 Reading images with camera

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。

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 Nishizawa¹, Akira Takatsu¹ (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 Ohnishi¹ (1. MIMAKI ENGINEERING CO., LTD)

1:40 PM - 2:00 PM

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、高津 章¹ (1. 株式会社ミマキエンジニアリング)

*Ryo Nishizawa¹, Akira Takatsu¹ (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、見た目や質感の一意性はなく、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。

メタリック意匠性のカテゴライズ化と表現技法

西澤 遼, 高津 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。曾根らが報告した

光沢性の分類⁴⁾の中では、Table 1のように光沢特定の一つ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 brilliance]
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

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 E2194⁶⁾、DIN 6175-2⁷⁾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则认为られる。

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

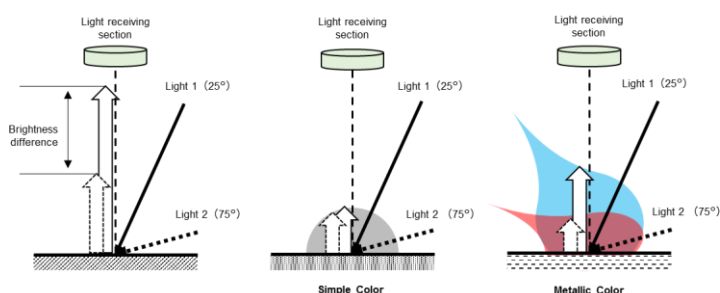


Fig.1 Brightness difference image

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

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：株式会社ボーデデジタル, 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) 曾根拓郎, 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, 萩原康彦, 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 Ohnishi¹ (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。

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 程度の間を選択し、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、20 mPa・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 1000 mPa・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る、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_rGK 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、次数色別色順次方式) 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。

$$\alpha Y + \alpha M = \alpha R \quad (1)$$

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色別色順次方式では 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

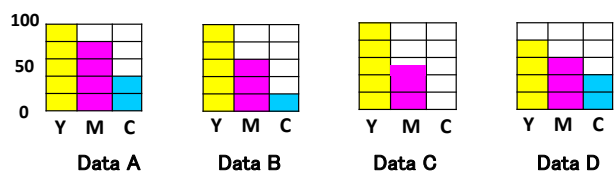


Fig.1 Examples of combination data of Y and M and C.

Table 1 Total ink volume printed with three, four and seven colors inks by image data shown in Fig1.

Print Data \ Number of Color	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。

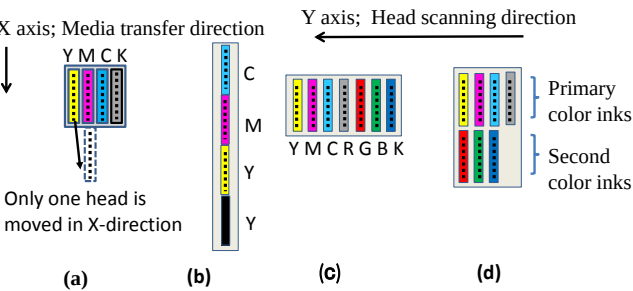


Fig.2 Placement of print head.
(a) Case of conventional 4-colors printing., and experimental method of sequentially print.
(b) Case of perfect sequentially printing with 4 -colors ink
(c) Case of 7-color separation ink printing by the conventional head placement.
(d) Case of perfect 7-colors ink printing 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。5mm 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、Table 2 に示した判定基準により、○ (OK)、△、× (NG) の 3 段階に分けて評価した。

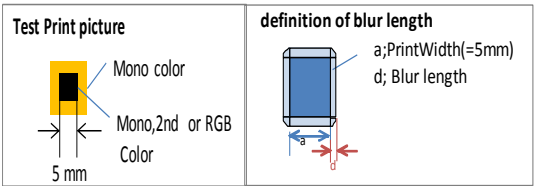


Fig.3 A calculation method of blur width.

Table2 Evaluation standard of blur length.

Judgment	Judgment condition	The enlarged ratio	Blur length (mm)
○ (OK)	$5.00 \leq a < 5.05$	$< 1\%$	$< 0.05\text{mm}$
△	$5.15 \leq a < 5.25$	$1\% \sim 2\%$	$< 0.10\text{mm}$
× (NG)	$5.25 \leq a$	$2\% \leq$	$0.10\text{mm} \leq$

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-3042Mk II 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

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ることができるが、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目の付近や左側の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。

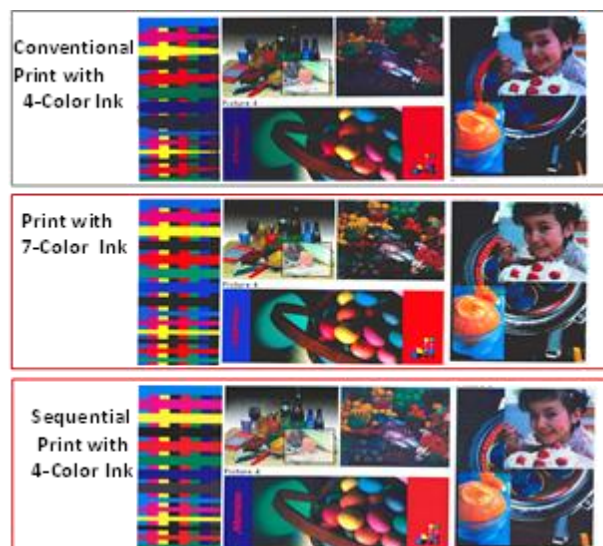


Fig. 5 Comparison of pictures, printed with four or seven color inks at the same time, and printed with four color

Inks sequentially

- Printer; JV400-130LX
1200×1200dpi/Bi/8P,
- Print heater; 30℃,
- Media ; Non-coat PET,
- Ink ; latex Ink)

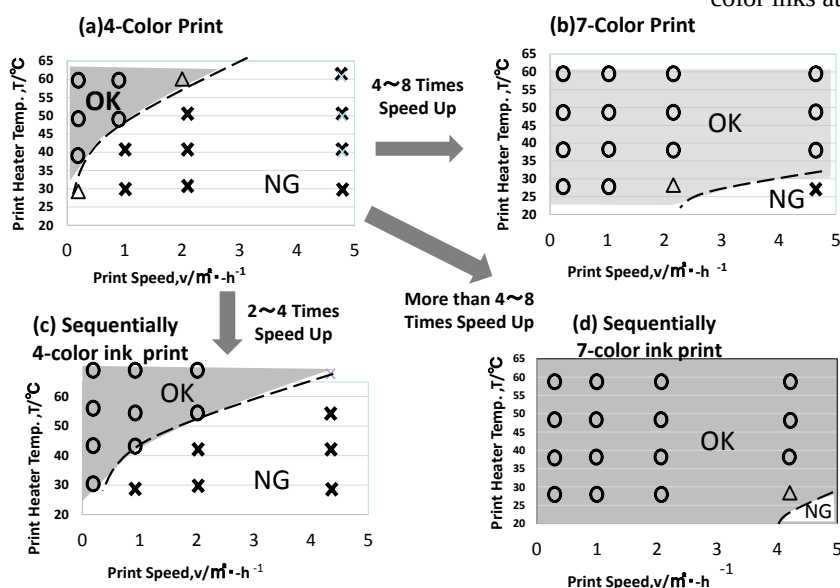


Fig.4 Comparison of a reduction effect of a blur.

- (a) Conventional 4-color inks print.
- (b) Perfect 7-color inks print.
- (c) Sequentially 4-color inks print.
- (d) Sequentially 7-color inks print.

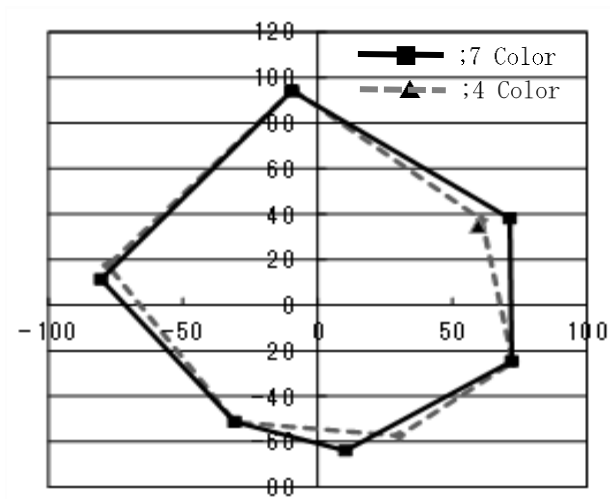


Fig.6 Color gamut for 4-color and 7-color print.

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カラーガマットを 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による効果であり、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

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 Nishi¹, Toshihide Kamata^{1,3} (1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPER), 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 Shiwaku¹, Hiroyuki Matsui¹, Kuniaki Nagamine¹, Mayu Uematsu¹, Taisei Mano¹, Yuki Maruyama¹, Ayako Nomura¹, Kazuhiko Tsuchiya¹, Kazuma Hayasaka¹, Yasunori Takeda¹, Takashi Fukuda², Daisuke Kumaki¹, Shizuo Tokito¹ (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 Kwon¹, Seongjun Kim², Soobin Oh¹, Md. Khalilur Rahman^{1,3} (1. Soonchunhyang University, 2. Samsung Electronics Co. Ltd, 3. Comilla University)

3:00 PM - 3:20 PM

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 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 (JAPER A)、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 Nishi¹, Toshihide Kamata^{1,3} (1. Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association (JAPER A), 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。JAPER A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) 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. JAPER A 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.

プリント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次世代プリント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 Nishi¹, 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の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。

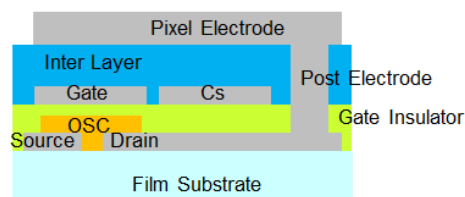
JAPERAではエレクトロニクスデバイスの印刷基盤技術の確立を進めており、その一環としてフレキシブルTFT（薄膜トランジスタ）アレイの全印刷基盤技術を開発している^{1) 2) 3)}。TFTはディスプレイ等の出力デバイス、光学または圧力センサー等の入力デバイスへの利用が期待される。

TFTは複数の機能層を積層パターン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ン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スタ構造（1画素に複数のトランジスタを有する）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

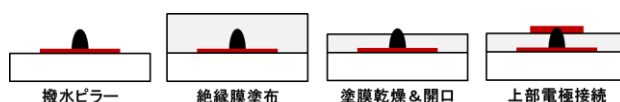


Fig2 撥水ピラー電極による層間接続プロセス

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

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 $169\mu\text{m}$)、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。

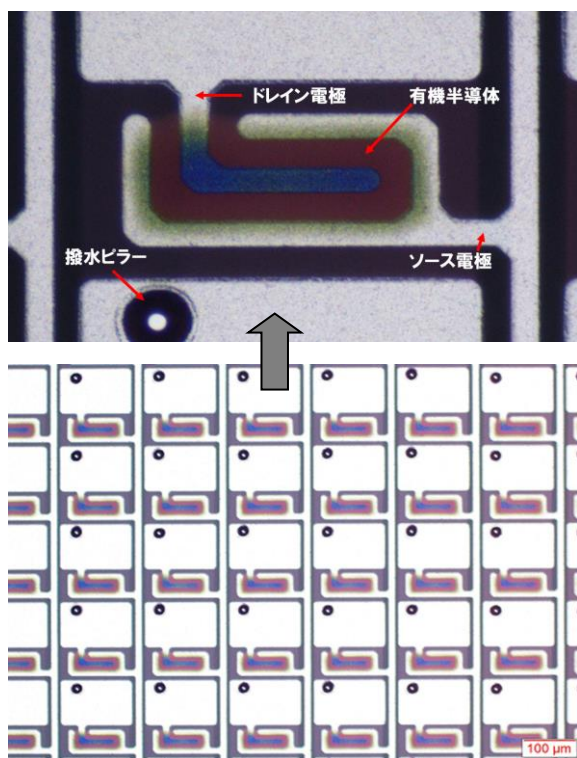


Fig3 IJ印刷による有機半導体パターンニング

Fig3 は $30\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ のチャンネルに液滴径 $20\mu\text{m}$ (4 pL) 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。チャンネル外へ半導体がはみだすことなく、TFTアレイ全てのチャンネルを充填させるために、絶対着弾精度を $5\mu\text{m}$ 未満、バラツキ σ は $1\mu\text{m}$ 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。チャン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)。

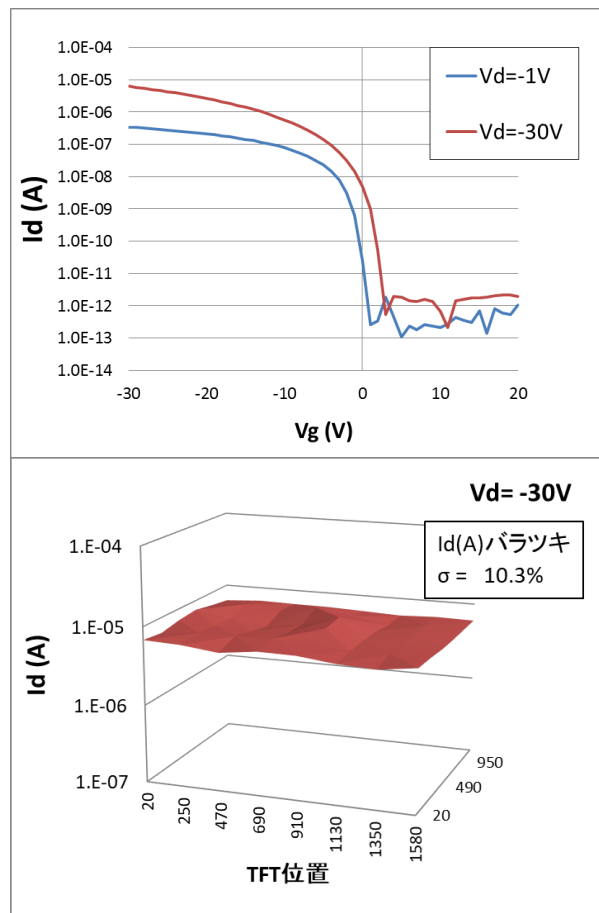


Fig4 TFT 伝達特性 (上) および Id 面内バラツキ (下)

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、絶縁膜塗布時のウェ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

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	×	×	△	○	○
GI 580nm	×	×	×	△	○
GI 850nm	×	×	×	×	○

Fig5 撥水ピラーの印刷形状と絶縁膜開口・層間接続

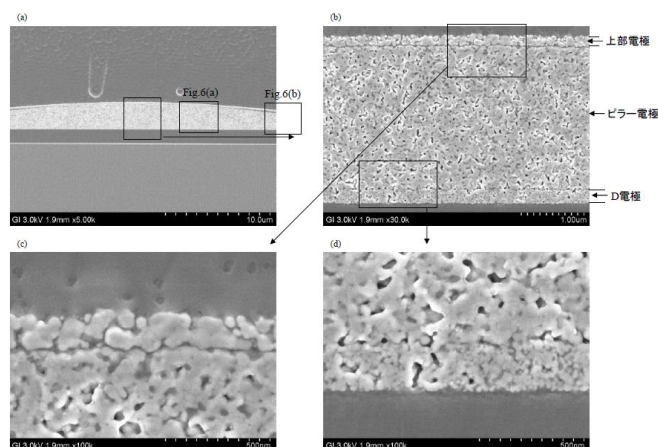


Fig6 撥水ピラーによる層間接続断層写真

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て着弾径が広がるのを抑えけるとともに、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TF Tアレイ作成に適用した。150ppi TF T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TF Tアレイ全点で、ショート無く層間接続することができた。

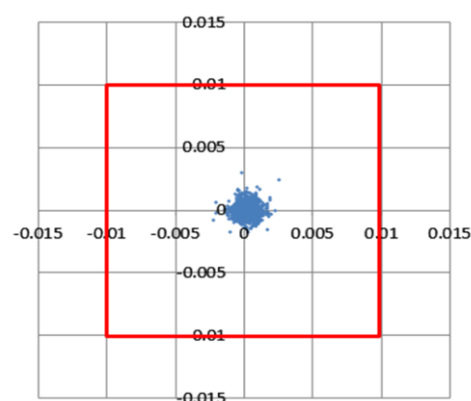


Fig7 撥水ピラーインクの着弾精度
(KonicaMinolta 製 KM512S ヘッド使用)

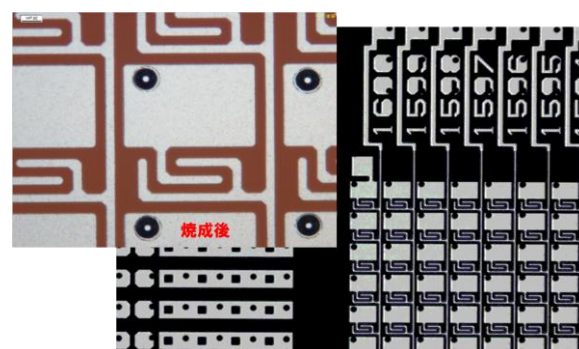


Fig8 撥水ピラー重ね印刷後と焼成後（左上）の形状



Fig9 印刷TF T全自動試作ライン

5. まとめ

フレキシブルTF T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、チャン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

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。

JAPER A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の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 Shiwaku¹, Hiroyuki Matsui¹, Kuniaki Nagamine¹, Mayu Uematsu¹, Taisei Mano¹, Yuki Maruyama¹, Ayako Nomura¹, Kazuhiko Tsuchiya¹, Kazuma Hayasaka¹, Yasunori Takeda¹, Takashi Fukuda², Daisuke Kumaki¹, Shizuo Tokito¹ (1. Yamagata University, 2. Tosoh Corporation)

プリント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。

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。

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}) になる。 PB_{ox} はカーボンから電子を受容することで、再び PB_{red} になる。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。

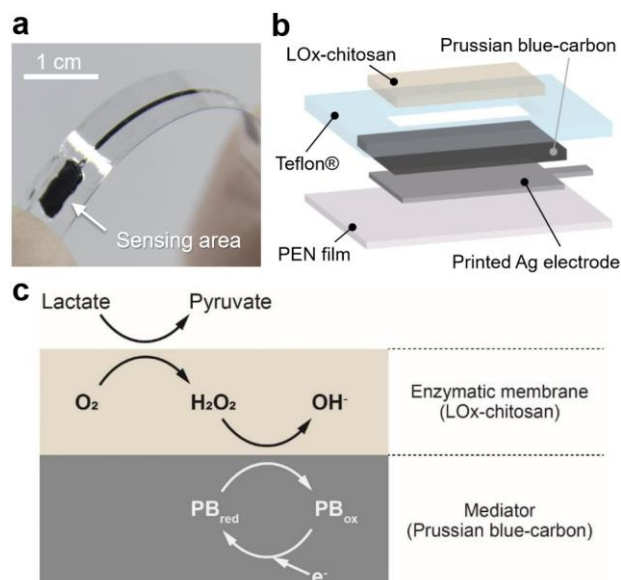


Fig.1 Printed lactate sensor electrode. (a) Photograph and (b) schematic structure of the fabricated lactate sensor electrode. (c) The principle of lactate sensing.

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

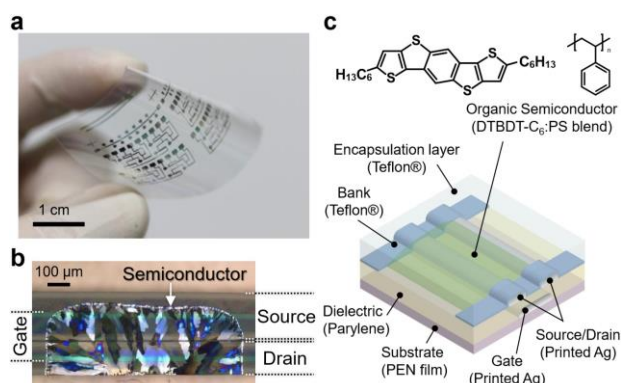


Fig.2 Printed organic transistors and circuits on a plastic film. (a) Photograph of the devices. (b) Cross-polarized optical microscope image of the OTFT channel. (c) schematic structure of the fabricated OTFT devices.

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]

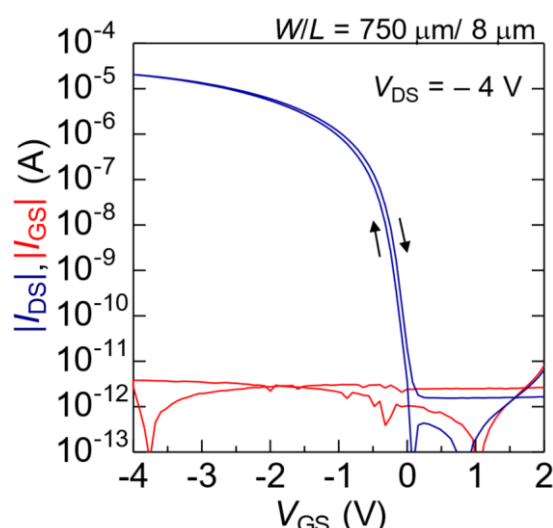


Fig.3 Transfer characteristics of the OTFT. Drain-source current (I_{DS}) and gate-source current (I_{GS}) were plotted as a function of gate-source voltage (V_{GS}).

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 $1.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 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

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。

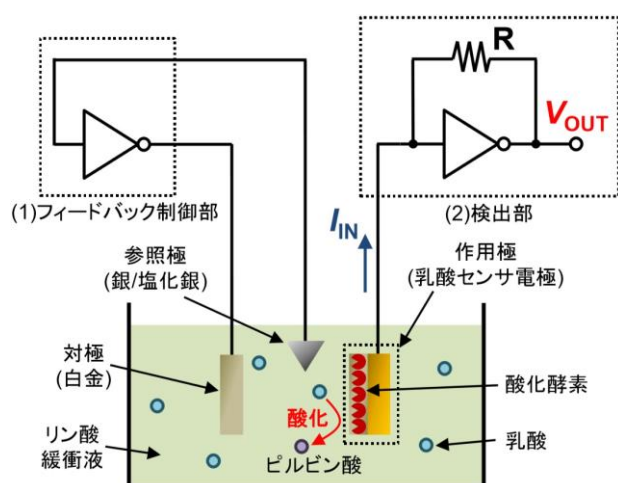


Fig.4 A three-electrode circuit system for amperometric electrochemical sensing.

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。

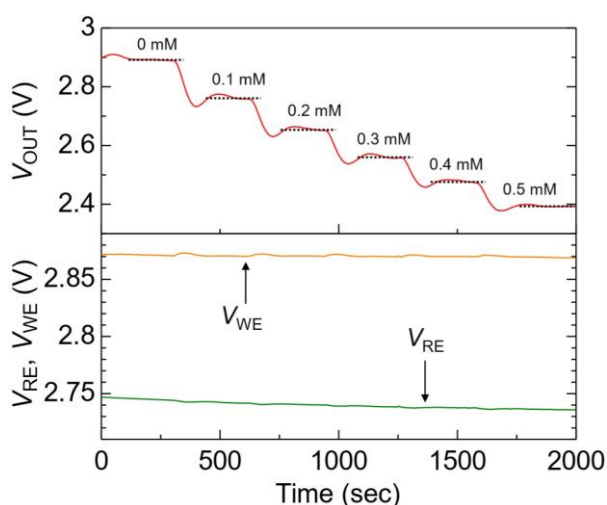


Fig.5 Quantitative measurement of lactate concentration using the printed organic circuit system and the printed lactate sensor electrode.

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 Kwon¹, Seongjun Kim², Soobin Oh¹, 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.

Bridge pattern printing for flexible transparent touch panel applications

Kye-Si Kwon¹, Seongjun Kim³, Soobin Oh¹, Md. Khalilur Rahman^{2,4}

¹Dept. of Mechanical Eng., Soonchunhyang University, Asan, Chungnam, Korea,

²Dept. of Electronic Materials and Devices Eng., Soonchunhyang Univ., Asan, Chungnam, Korea,

³Global Technology Center, Samsung Electronics Co. Ltd, Suwon, Korea,

⁴Dept. 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.

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 $\mu\text{L}/\text{min}$. 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 patterning.

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.

2. Experimental procedure

The ink used in this research work is commercially available Ag paste ink (ES-INK, NPK, Korea), which

22, Soonchunhyang -Ro, Shingchang, Chungnam, Asan, 336-745, Korea. E-mail: kskwon@sch.ac.kr

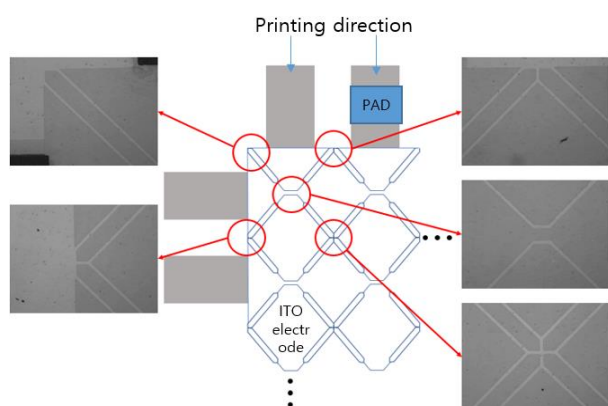


Fig.2 Printing direction for bridge patterning.

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.

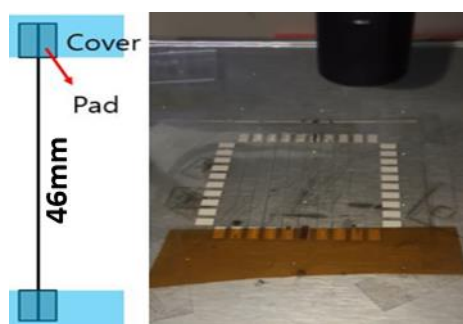


Fig.3 Sintering process after printing.

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 .

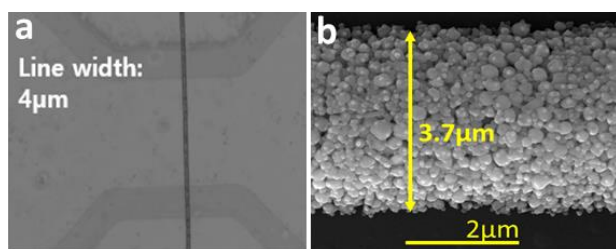


Fig. 4 Printed results of (a) microscope image and (b) SEM image.

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*, **11**, 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)

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 Tamura¹, Katsuma Miyamoto¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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 Tachiki¹, Reo Tagawa¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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 Kubo¹, Kenta Horikoshi¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (1. Chiba University)

4:20 PM - 4:40 PM

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 Tamura¹, Katsuma Miyamoto¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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-メトキシチオフエンを化学重合し、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、チオフエ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。

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攪拌の必要性、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。

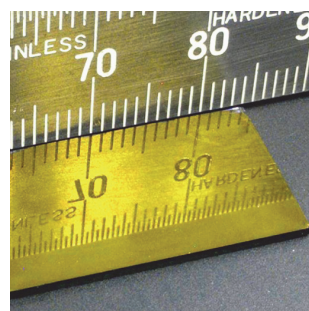


Fig. 1 Photograph of a gold-like lustrous film prepared by applying the solution of oligo(3-methoxythiophene) on a glass plate.

* 〒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

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^- がドーピングされた 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

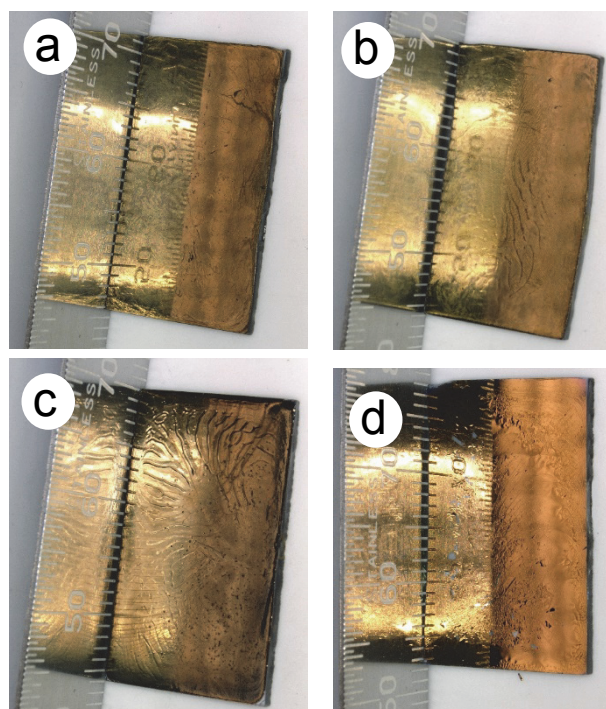


Fig. 2 Photographs of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. Photograph d corresponds to a 3MeOT oligomer single film.

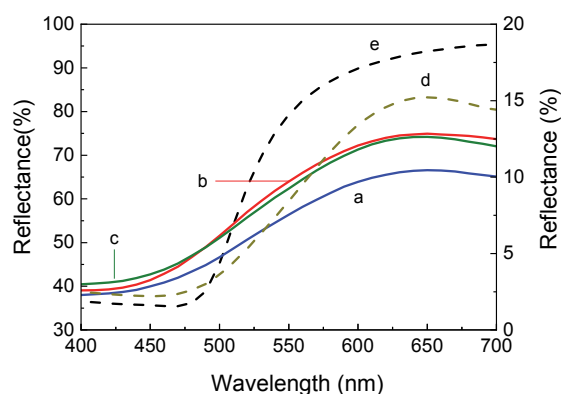


Fig. 3 Specular reflection spectra of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. spectra d and e correspond to a 3MeOT oligomer single film and a vacuum evaporated gold film, respectively.

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

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。

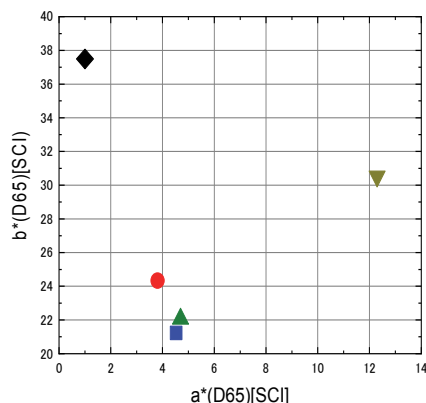


Fig. 4 The values of a^* and b^* for the polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: ■, 1:1; ●, 4:1; ▲, 8:1. ▼, The inverted triangle and diamond correspond to a 3MeOT oligomer single film; ◇, a vacuum evaporated gold film, respectively.

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、 $2\theta = 7.87^\circ, 15.87^\circ, 18.33^\circ$ および 26° 近傍にピークを示した。 $2\theta = 7.87^\circ$ 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。

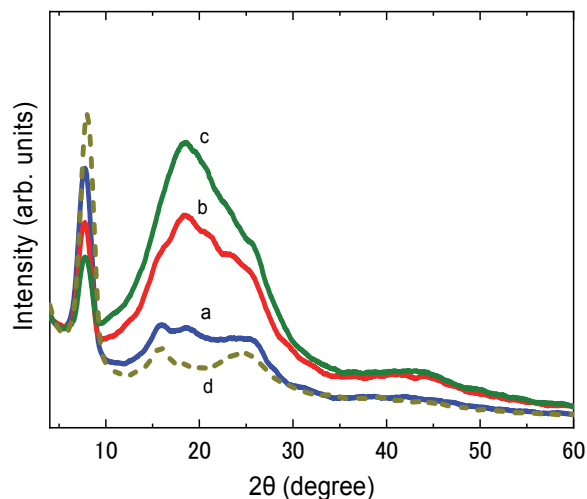


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of polymer alloy films. The weight ratio of 3MeOT oligomer and PES: a, 1:1; b, 4:1; c, 8:1. Pattern d corresponds to a 3MeOT oligomer single film.

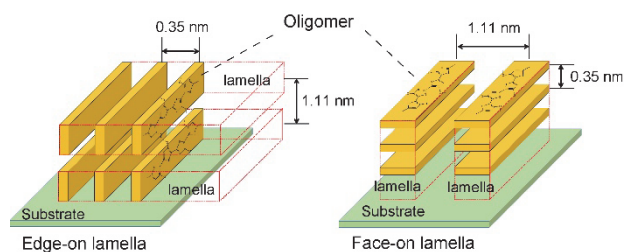


Fig. 6 Edge-on lamella and face-on lamella structures.

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

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 Chirality 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, Chulalongkorn 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-メトキシチオフエン重合体塗布膜の 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 Tachiki¹, Reo Tagawa¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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-メトキシチオフエ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。

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 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 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。

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ピング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

* 〒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

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 時間攪拌した。その後、エタノールで洗浄した後、50°C 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ブされた 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 μ L 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 はやや赤みがかったおり、その光沢は銅色に近い。Film 3 は膜全体が一樣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) に近いから、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。

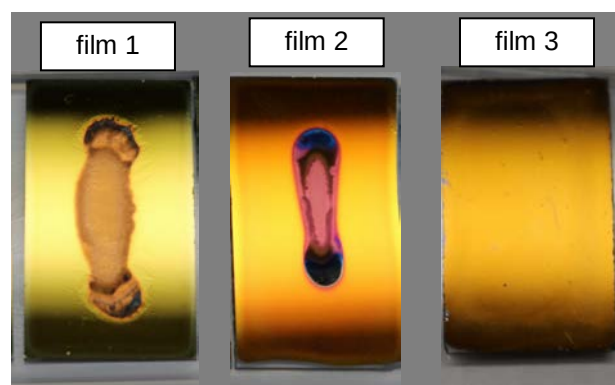


Fig. 1 Photographs of film 1 (left), film 2 (middle), and film 3 (right).

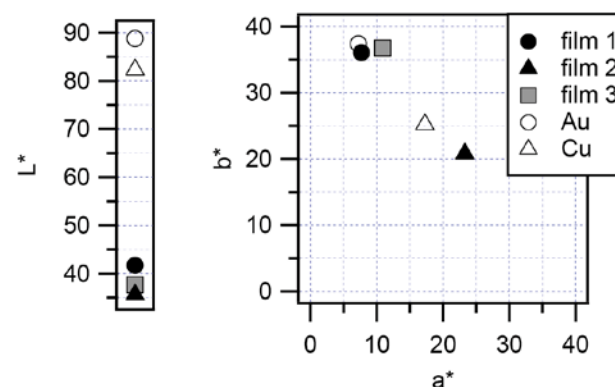


Fig. 2 The values of a^* , b^* , and L^* for film 1 (●), film 2 (▲), and film 3 (■). Included for comparison are the values for evaporated metal gold (○) and evaporated metal copper films (△).

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

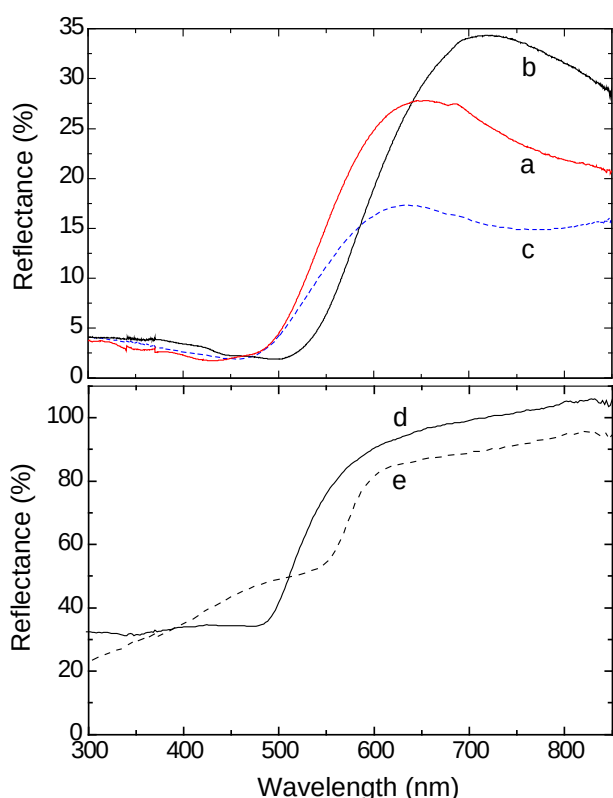


Fig. 3 Reflection spectra of film 1 (a), film 2 (b), and film 3 (c). Included for comparison are the spectra for the evaporated metal gold (d) and evaporated metal copper films (e).

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。

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を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 $2\theta = 7.84, 15.84$ 及び 25.11° であり、このうち $2\theta = 7.84$ 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、 $2\theta = 25.11^\circ$ 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、水に可溶性重合体を得られた。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 重合体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。

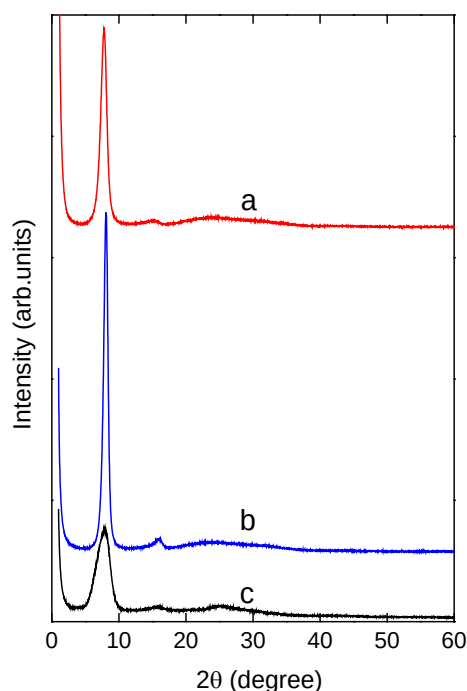


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of film 1 (a), film 2 (b), and film 3 (c).

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 Chirality 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 Kubo¹, Kenta Horikoshi¹, Katsuyoshi Hoshino¹ (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長波長側にシフトし、反射率も高い。脱ドーブした重合物の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。

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。

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 ^1H -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。

* 〒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

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。

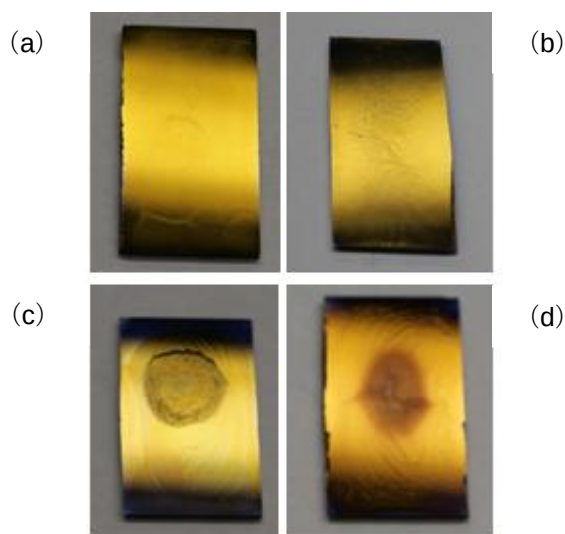


Fig. 1 The photographs of gold-like lustrous films of 3-methoxythiophene oligomers which were polymerized by dropping the oxidant solution for few seconds (a), 5 min (b), 20 min (c), and 60 min (d).

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。

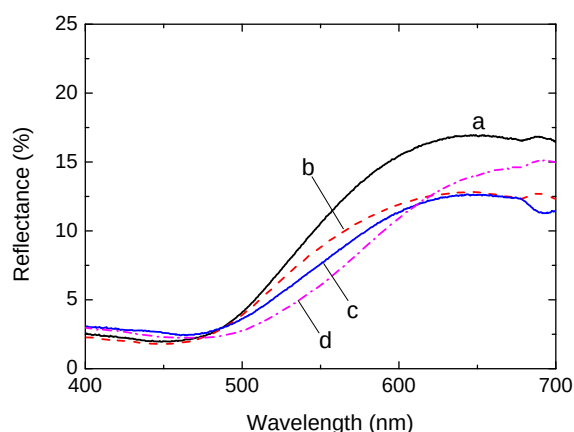


Fig. 2 Specular reflection spectra of lustrous films of 3-methoxythiophene oligomers which were polymerized by dropping the oxidant solution for few seconds (a), 5 min (b), 20 min (c), and 60 min (d).

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: *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 Chirality 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, Chulalongkorn 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).

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 Minegishi¹, Keiji Uchikawa² (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 Sakai¹, Takuroh Sone¹, Yumiko Kishi¹, Naoto Watanabe¹, Masahiro Soeda¹, Kohji Sakai¹, Hiroyuki Suhara¹, Makoto Hino¹ (1. Ricoh Company, Ltd.)

9:50 AM - 10:10 AM

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 Minegishi¹, Keiji Uchikawa² (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。

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 恵二**

*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, 3mm 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 $w \geq 2$ 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

有の空間周波数パワースペクトルは $1/\lambda$ 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 $w \geq 2$ 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 $1/\lambda$ 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 $300 \times 300 \text{mm}^2$ 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 $425 \times 410 \text{mm}^2$ 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

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.

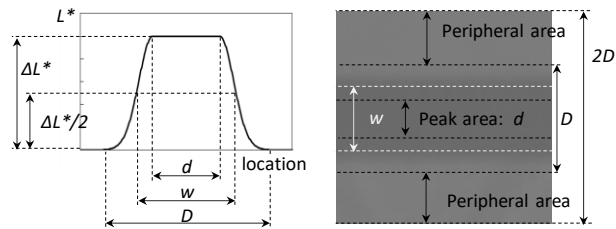


Fig.1 The definition for physical values of density unevenness images.

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のどの部分が “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 of 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

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 $w \geq 2$ 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 $w \geq 2$ 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 $w \geq 2$ 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 Sakai¹, Takuroh Sone¹, Yumiko Kishi¹, Naoto Watanabe¹, Masahiro Soeda¹, Kohji Sakai¹, Hiroyuki
Suhara¹, Makoto Hino¹ (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。

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。

$$\begin{aligned} (\text{粒状性}) = & f(\bar{L}^*) \cdot p_B \int \sqrt{WS_B(u)} \cdot VTF_B(u) du \\ & + p_{C1} \int \sqrt{WS_{C1}(u)} \cdot VTF_{C1}(u) du \\ & + p_{C2} \int \sqrt{WS_{C2}(u)} \cdot VTF_{C2}(u) du + C \\ & \dots (1) \end{aligned}$$

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($3085 \mu\text{m}^2$)は、条件B($2680 \mu\text{m}^2$)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

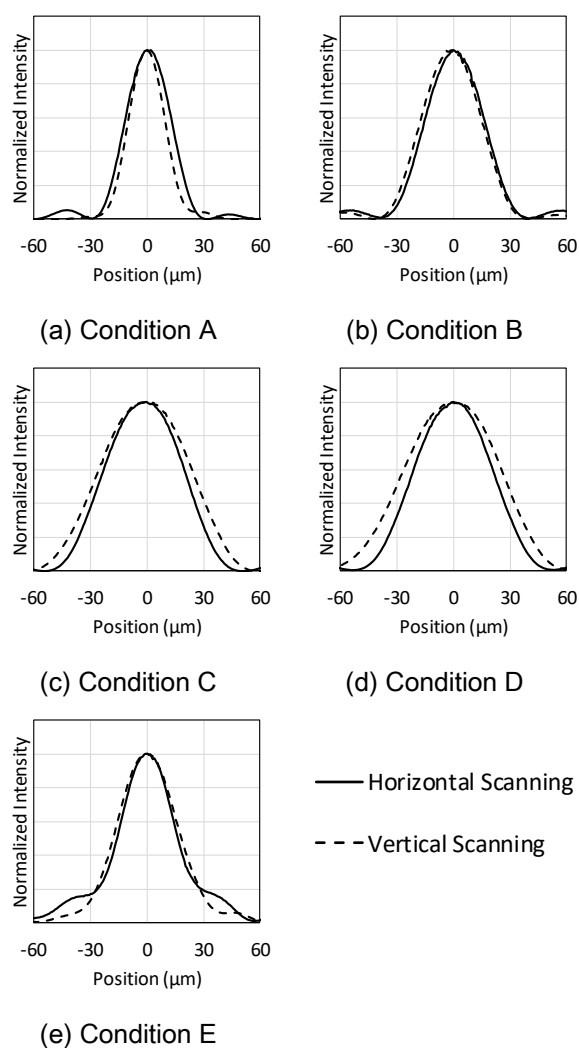


Fig. 1 Beam profiles of each exposure condition

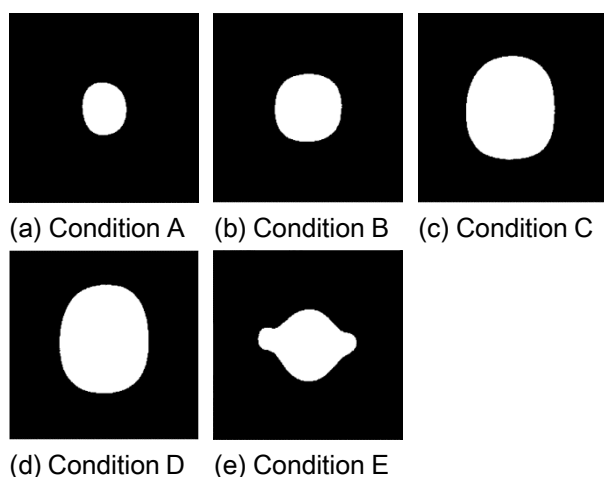


Fig. 2 Beam spot shapes

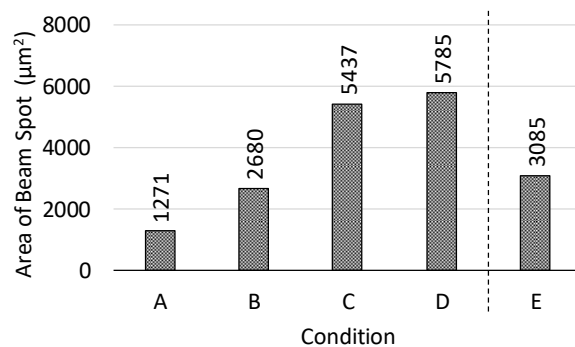


Fig. 3 Area of beam spot

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: $1271 \mu m^2$) と条件 B (ビーム面積: $2680 \mu m^2$) 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。

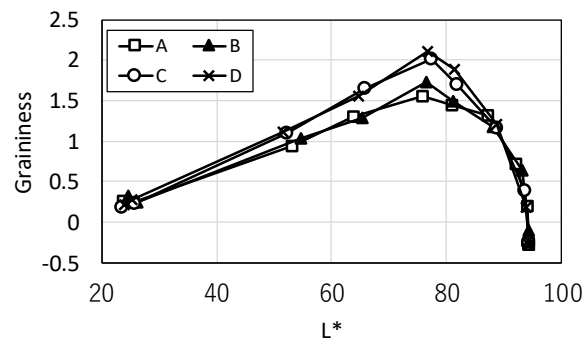


Fig. 4 Graininess of exposure condition A-D

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。

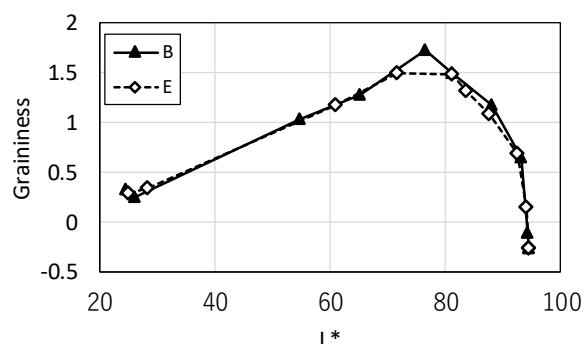


Fig. 5 Graininess of exposure condition B and E

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。

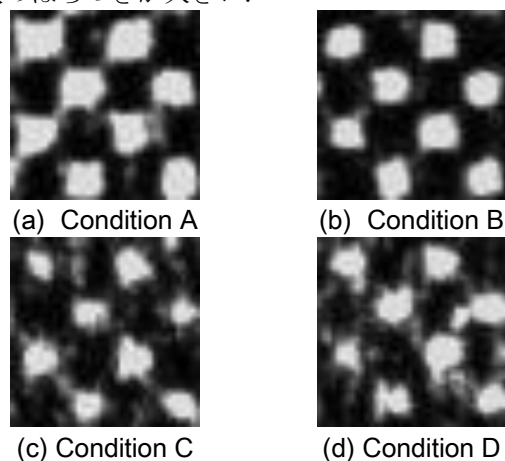


Fig. 6 Microscopic images (Coverage: 50%)

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。

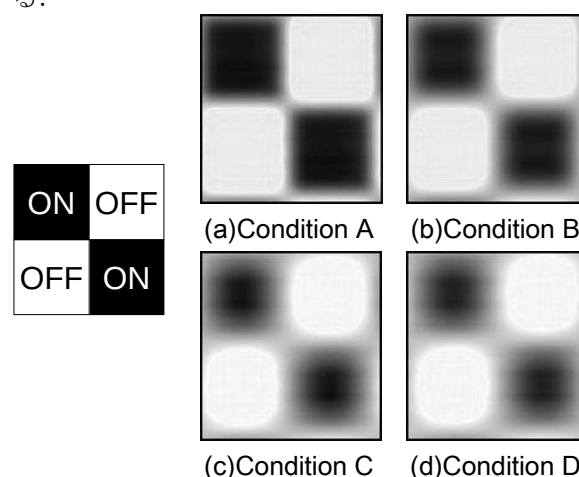


Fig. 7 Simulated electric potential distributions

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

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。

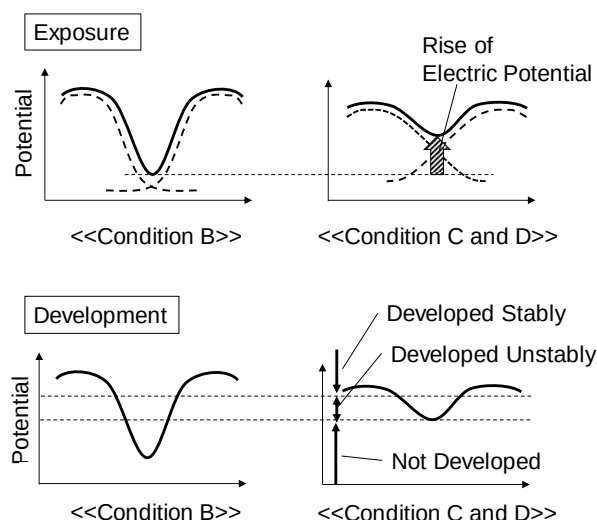


Fig. 8 Exposure and development model

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っ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な差異は認められなかった。

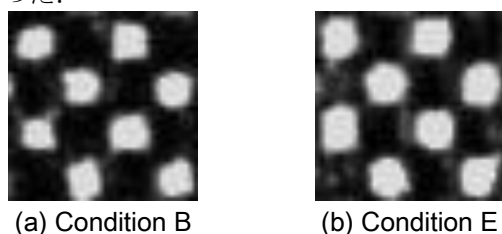


Fig. 9 Microscopic images of condition B and E (Coverage:50%)

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。

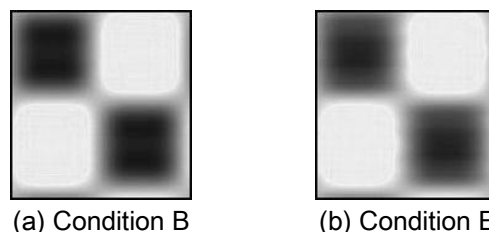


Fig. 10 Simulated electric potential distributions of condition B and E

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 Electrophotography", Journal of applied photographic engineering, Vol. 4, No. 4 (1979), pp. 190-196

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 Ohno¹, Hiroaki Iino¹, Jun-ichi Hanna¹ (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 Wu¹, Jun-ichi Hanna¹, Hiroaki Iino¹ (1. Tokyo Institute of Technology)

10:50 AM - 11:10 AM

[EI-03] Molecular Dynamics Simulation of the Deposition of Molecules

*Keyaki Yogome¹ (1. Konicaminolta, Inc.)

11:10 AM - 11:30 AM

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 Ohno¹, Hiroaki Iino¹, Jun-ichi Hanna¹ (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 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 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、量子効果を見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。

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 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 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で、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 $\sim 4.9 \text{ \AA}$ 。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 integral⁶⁾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

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ために、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、移動度の温度・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)}

$$k_{CT} = \frac{|J_{eff}|^2}{\hbar^2} \int_{-\infty}^{\infty} dt \exp(i\omega_f t) \cdot \exp \left\{ -\sum_j S_j \left[(2\bar{n}_j + 1) - \bar{n}_j e^{-i\omega_j t} - (\bar{n}_j + 1) e^{i\omega_j t} \right] \right\} \quad (1)$$

ただし

$$\bar{n}_j = \frac{1}{e^{\hbar\omega_j/k_B T} - 1} \quad (2)$$

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 $\sum_j S_j \gg 1$ において (1)式は Marcus-Levich 式

$$k_{CT} = \frac{|J_{eff}|^2}{\hbar^2} \sqrt{\frac{\pi}{\sum_j \frac{1}{2} S_j \omega_j^2 (2\bar{n}_j + 1)}} \exp \left[-\frac{(\omega_f + \sum_j S_j \omega_j^2)^2}{4 \sum_j \frac{1}{2} S_j \omega_j^2 (2\bar{n}_j + 1)} \right] \quad (4)$$

が導かれる、さらに十分に高温のとき

$$\frac{\hbar\omega_j}{k_B T} \ll 1 \Rightarrow \bar{n}_j \approx \frac{k_B T}{\hbar\omega_j} \quad (5)$$

を課すと Marcus 式

$$k_{CT} = \frac{|J_{eff}|^2}{\hbar} \sqrt{\frac{\pi}{\lambda k_B T}} \exp \left[-\frac{(\lambda + \Delta G)^2}{4\lambda k_B T} \right] \quad (6)$$

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

$$\Delta G = \hbar\omega_i - \hbar\omega_f - \omega_i E_f + \omega_f E_i \quad (8)$$

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、条件を課する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°C ~ 125°C であり、60°C 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、

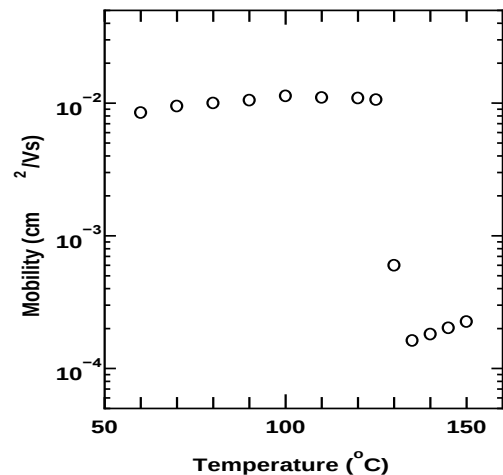


Fig.1 Temperature dependence of mobilities in 8-PNP-O4. Mobilities are obtained from phototransient currents using Time-of-Flight (TOF) technic.

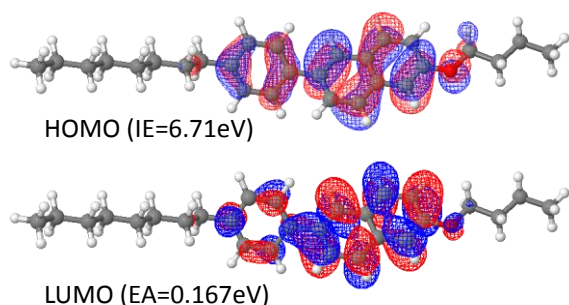


Fig.2 Molecular structure and HOMO/LUMO of 8-PNP-O4. Values are calculated Ionization Energy (IE) and Electron Affinity (EA), respectively.

Table 1 Phase transition temperatures of 8-PNP-O4 measured by DSC

	Phase transition temperatures (°C)
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、 $\sim 70^\circ\text{C}$ 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⁹⁾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 $\Delta G=0\text{eV}$ とおけば分るように分子間で $\lambda/4$ 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

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

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。

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 code⁹⁾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。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 $\lambda_h=328\text{meV}$ であるのに対し、基準振動解析の結果は $\lambda_h=362\text{meV}$ 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、量子効果を見ない 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 $|J_{\text{eff}}|=0.0194\text{eV}$ を代入した。その結果を Fig.4 に示す。あわせて Marcus 式と比較

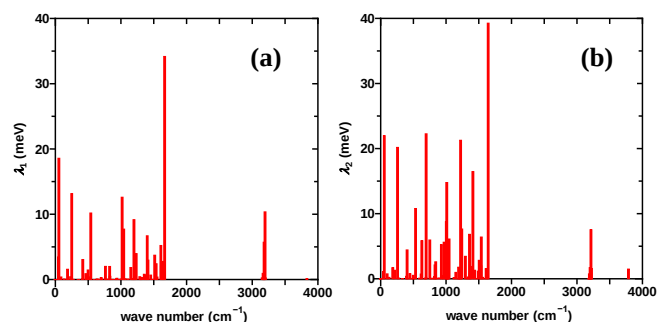


Fig.3 Contribution of the individual vibrational modes to reorganization energies for neutral (λ_1) and cationic (λ_2) molecules of PNP-O

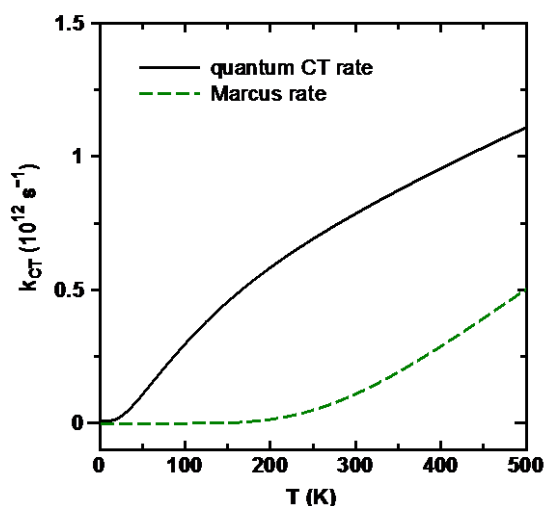


Fig.4 Hole transfer rate for PNP-O dimer as a function of temperature. The quantum rate (solid line) and the classical Marcus rate (dashed line) are compared.

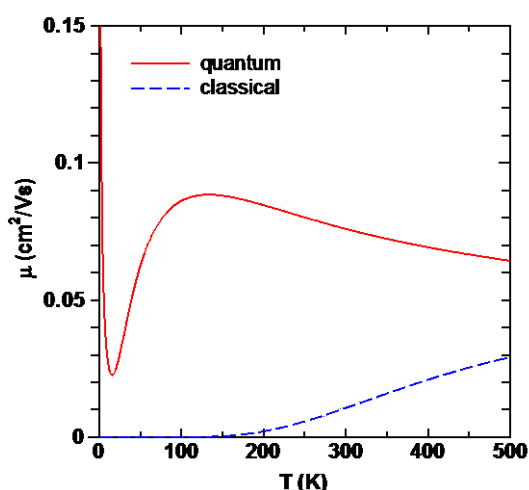


Fig.5 Hole mobilities derived from eq.(9) for PNP-O dimer as a function of temperature. The mobilities are obtained based on the quantum rate (solid line) and on the classical Marcus rate (dashed line).

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と考えられる

さらに隣接分子間距離を $a = 5 \text{ \AA}$ とし、アインシュタインの関係式から

$$\mu = \frac{eD}{k_B T} = \frac{ea^2}{k_B T} k_{CT} \quad (9)$$

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_i の部分に導入できる。(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 Wu¹, Jun-ichi Hanna¹, Hiroaki Iino¹ (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.

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 10cm²/Vs, accompanying crystal-to-crystal transition from monolayered crystal to bilayered crystal as shown in Fig. 1, when thermally annealed for a short time.

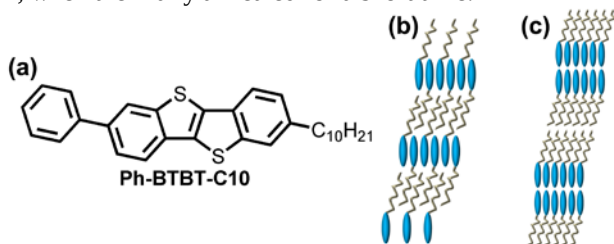


Fig. 1 Chemical structures of Ph-BTBT-10 (a), and schematic diagrams of monolayered crystals (b) and bilayered crystal (c).

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.

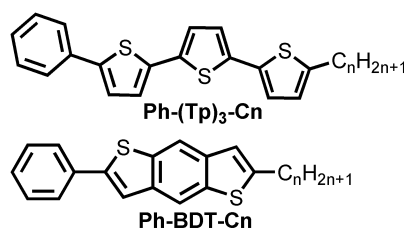


Fig. 2 Chemical structures of Ph-(Tp)₃-C_n and Ph-BDT-C_n for model compounds.

2. Experiments

We synthesized a series of monoalkylated Ph-(Tp)₃-C_n and Ph-BDT-C_n 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 SiO₂ (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

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.

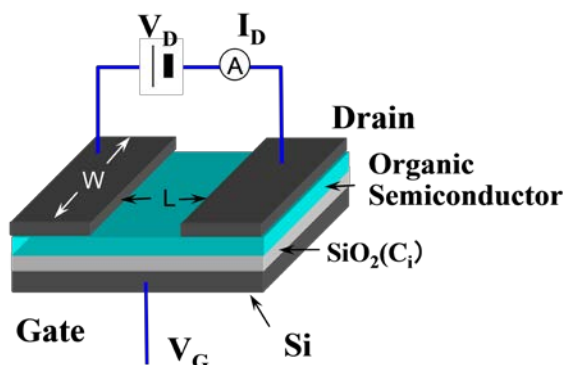


Fig. 3 Schematic diagram of structure of bottom-gate and top-contact type of FETs fabricated for this study.

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:

$$I_D = \frac{WC_i\mu}{2L} (V_G - V_T)^2$$

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

$\text{Ph}(\text{Tp})_3\text{Cn}$ 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 $2\theta = 20$ - 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 $\text{Ph}(\text{Tp})_3\text{Cn}$.

In the same manner, we identified a single mesophase of $\text{Ph}\text{-BDT-Cn}$ derivatives to be SmE phase.

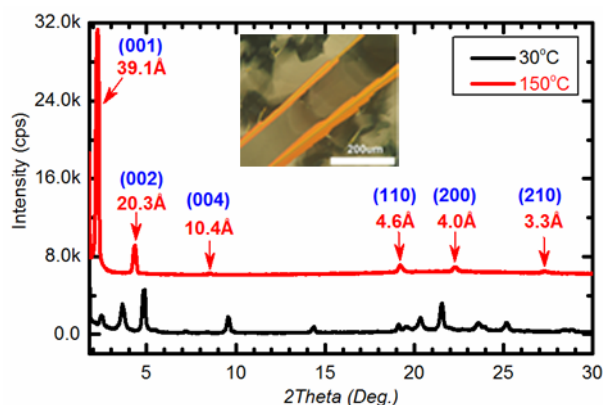


Fig. 4 Bulk film XRD pattern of $\text{Ph}(\text{Tp})_3\text{C18}$ at different temperature on heating. The inset shows a typical POM texture of SmE phase obtained from isotropic phase directly.

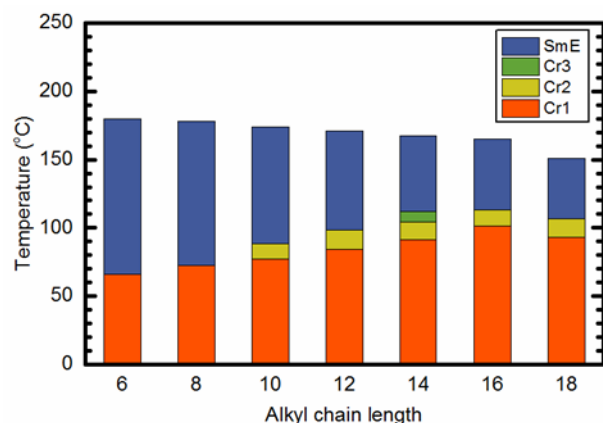


Fig. 5 A summary of phase transition behaviors of $\text{Ph}(\text{Tp})_3\text{Cn}$.

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 20 μm . Judging from a peak at $2\theta = \sim 2.5^\circ$, which corresponds to a layer thickness and a molecular length of each molecule, the resulting films were monolayered crystals irrespective of $\text{Ph}(\text{Tp})_3\text{Cn}$ and $\text{Ph}\text{-BDT-Cn}$ 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.

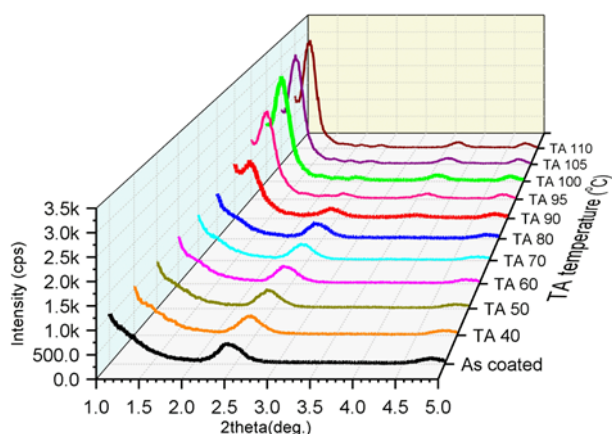


Fig. 6 Thin film XRD pattern of Ph-TTP-C18 as a function of thermal annealing temperature in the crystal state for 5min, then cooling to room temperature)

Judging from a fact that the diffraction peak for monolayered crystal decreased as an increase of new diffraction peak at a smaller angle of $2\theta = 1-1.5^\circ$, 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 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.

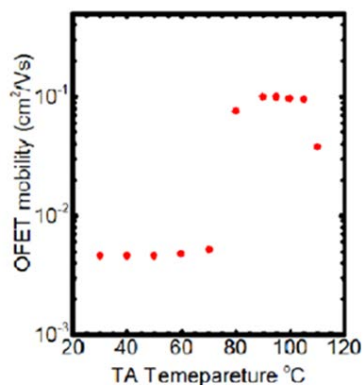


Fig. 7 FET mobility of Ph-TTP-C18 as a function of thermal annealing temperature in the crystal state for 5min, then cooling to room temperature).

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.

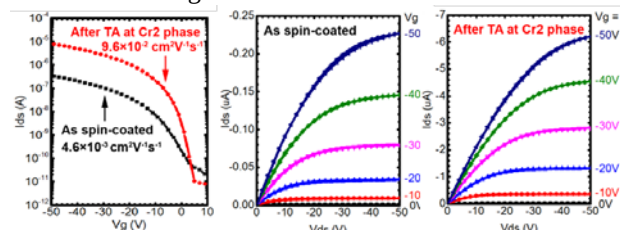


Fig. 8 Transfer and output characteristics of FET fabricated with polycrystalline thin films of Ph-(Tp)₃-C18 before and after thermal annealing at 100°C for 5min.

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.

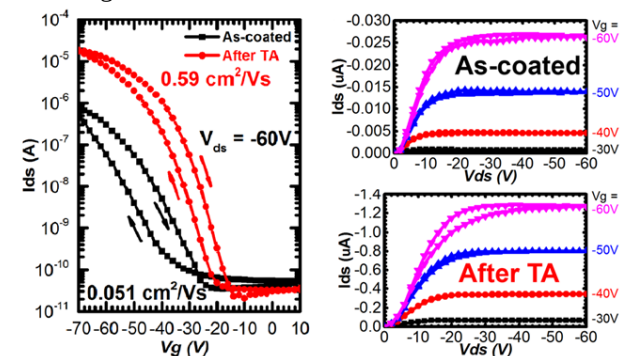


Fig. 9 Transfer and output characteristics of FET fabricated with polycrystalline thin films of Ph-BDT-C14 before and after thermal annealing at 130°C for 5min.

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

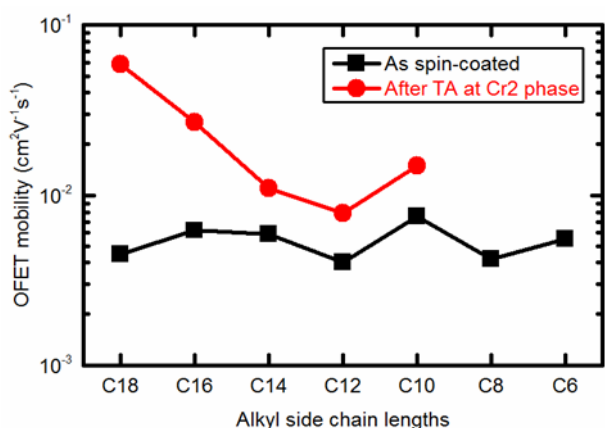


Fig. 10 FET mobility in FETs fabricated with polycrystalline thin films of Ph-(Tp)₃-Cn before and after thermal annealing.

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).

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 Yogome¹ (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。

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 Headquarters,

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-performance devices. OLEDs 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" (MDSMD) 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。

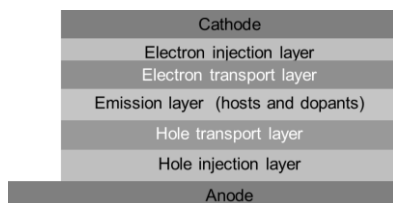


Fig. 1 General OLED's layer structure.

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

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。

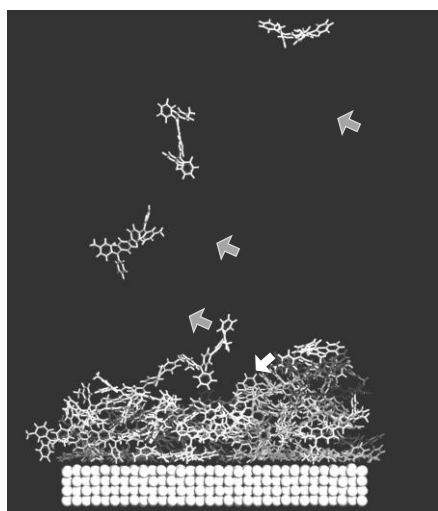


Fig. 2 A cross-sectional view of a substrate and layer deposit at an early stage in an MDSDM simulation. The three molecules (dark arrows) fly through a vacuum toward the substrate. A molecule (light arrow) is just arriving at the surface of the deposit on the substrate. The molecules of the wet layer 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という問題が生じる。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。

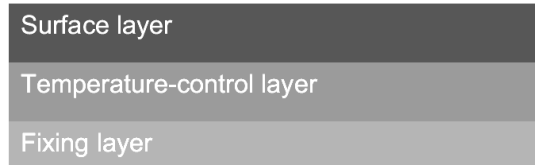


Fig. 3 Structure of substrate used with MDSDM. Molecules deposited on the surface layer have their thermal energy transmitted through the temperature-control layer to the fixing layer. The temperature control layer is kept at a constant temperature by virtue of velocity scale. In the MDSDM, temperature 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。

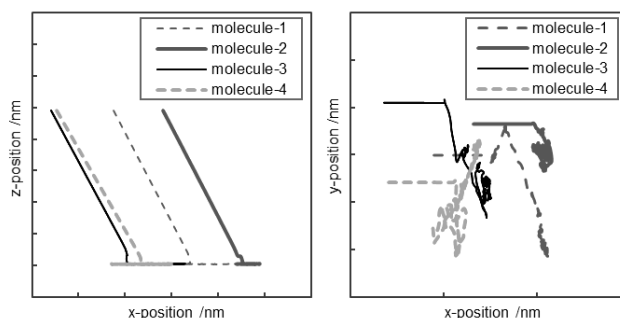


Fig. 4 The paths of four molecules being deposited. Left: paths in the x-z plane. Right: paths in the x-y plane. Four molecules are emitted 20° inclined with respect to the z axis, and are deflected in the vicinity of the substrate surface. Thermal diffusion moves the molecules in various directions on the substrate surface.

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。

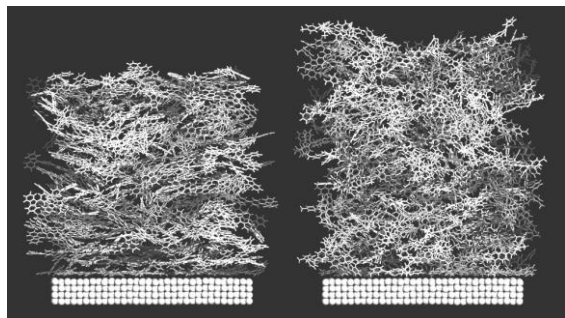


Fig.5 The last stage of an MDSDM simulation. Left: CBP deposition. Right: TPD. In the wet layer on the substrate surface, the molecules are laterally aligned. Above the wet layer, the molecules are amorphous.

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。

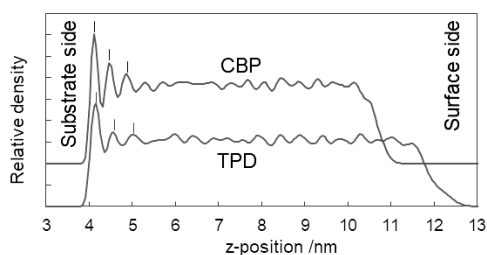


Fig. 6 Density profiles of CBP and TPD in the z axis direction. The CBP and TPD each have three density peaks near the substrate surface. The intervals between the density peaks are shorter for the CPB than for the TPD, which indicates that the CPB has more neatly stacked molecules than the TPD.

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。

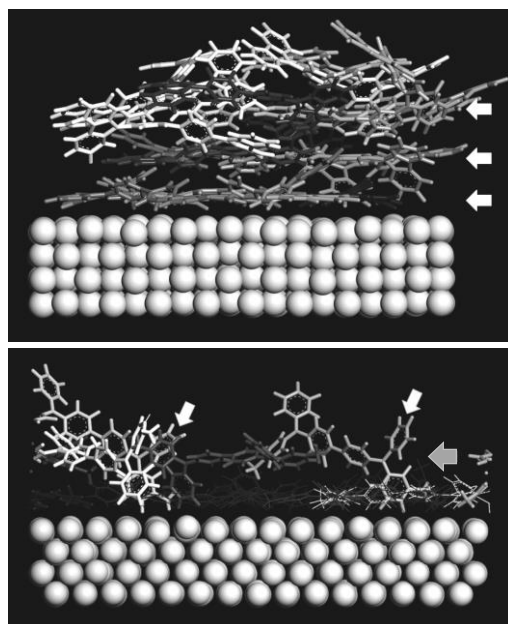


Fig. 7 Layer structures of CBP (above) and TPD (below) molecules simulated by MDSDM. Above: three layers indicated by arrows correspond to the density peaks of the CPB in Fig. 6. Below: terminal groups of molecules are vertically directed (light arrows), so that the second layer (dark arrow) is farther 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 비해、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。

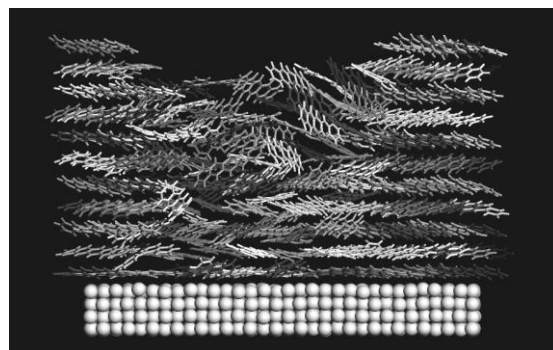


Fig. 8 Snap shot of MDSDM for pentacene at the last frame. Almost all the molecule lies horizontally on the surface of the substrate.

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)。

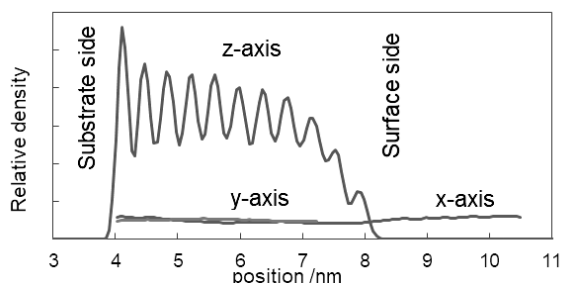


Fig. 9 Density profiles of the pentacene layers of Fig. 8. The z axis profile (orange) has a density oscillation throughout the layer, which indicates that the top layer is affected by the substrate surface. The x axis and y axis density profiles (blue and gray) are constant.

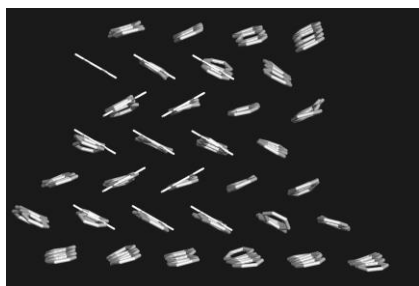


Fig. 10 Comparison of the structures found in Figs. 8-9 (orange) and an experimentally formed crystal structure of pentacene (white). Both have herringbone structures

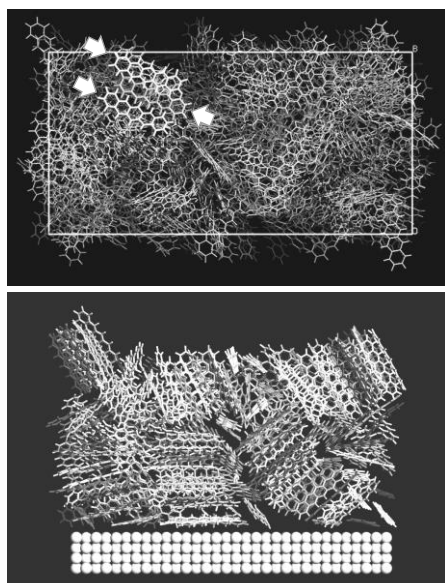


Fig. 11 Structures simulated by a commonly used molecular dynamics simulation. Above: no substrate. Below: with a substrate. Without a substrate, only a few herringbone structures are observed, seen in the upper-left (arrows). With a substrate, a greater number of herringbone structures are observed, 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].

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 Kawatsu¹, Akihiko Shimazu¹, Takeshi Yamaguchi¹, Makoto Ikeda¹ (1. KONICA MINOLTA, Inc)

1:00 PM - 1:20 PM

[EPs-02] High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C7210S/C7200S

*Jun Hitosugi¹, Tadashi Ogawa¹, Tetsuya Ofuchi¹, Kentaro Mikuniya¹, Yuuki Sagimori¹, Yuuichiroh Uematsu¹ (1. Ricoh Company, Ltd.)

1:20 PM - 1:40 PM

[EPs-03] Adaptive Control of Airflow in a Printing Machine Using Bayesian Network

*Shuhei Kobayakawa¹, Kazuya Tamura¹ (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 Nagamori¹, Yasunori Momomura¹, Masafumi Kudo¹, Kazuki Inami¹ (1. Fuji Xerox Co.,Ltd)

2:00 PM - 2:20 PM

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 Kawatsu¹, Akihiko Shimazu¹, Takeshi Yamaguchi¹, Makoto Ikeda¹ (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。

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ト、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

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。

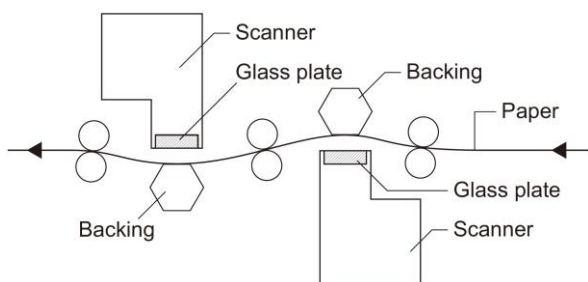


Fig.2 Paper transport mechanism.

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。

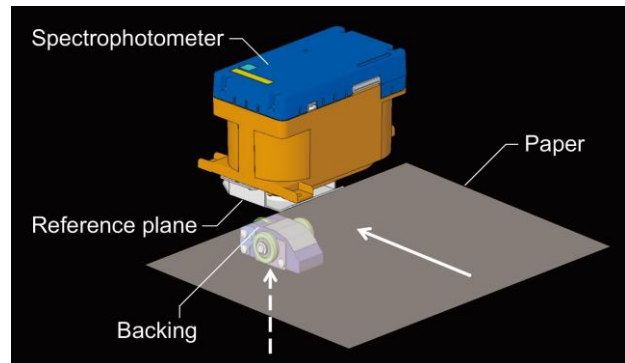


Fig.3 Spectrophotometer transport mechanism.

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。

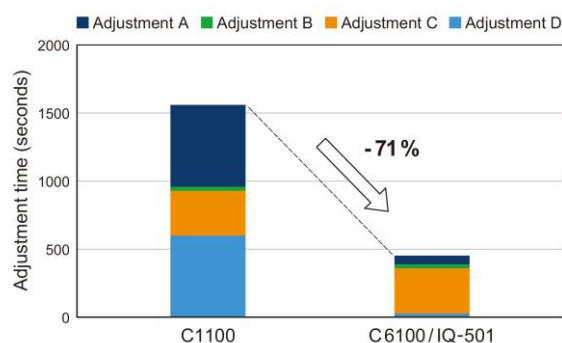


Fig.4 Faster color adjustment.

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)。

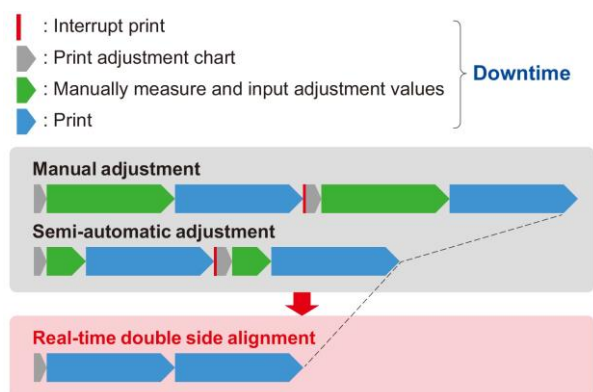


Fig.5 Reduced downtime.

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。

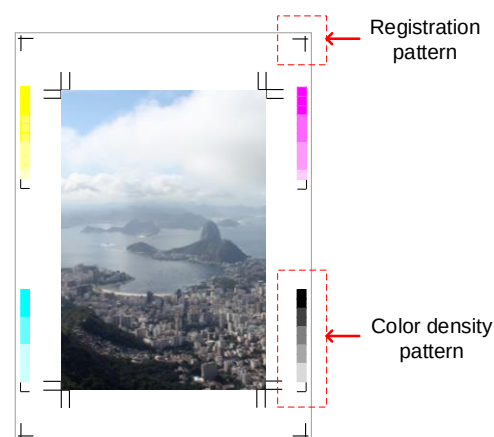


Fig.6 Real-time adjustment patterns.

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。

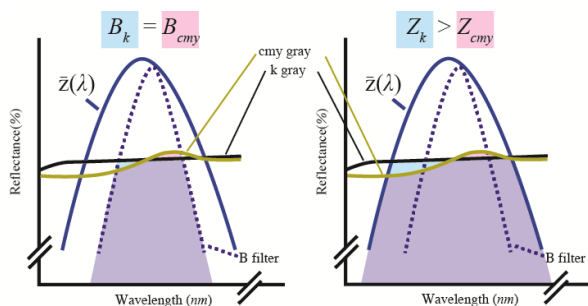


Fig.7 12 Correspondence between RGB and XYZ due to difference in black amount.

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。

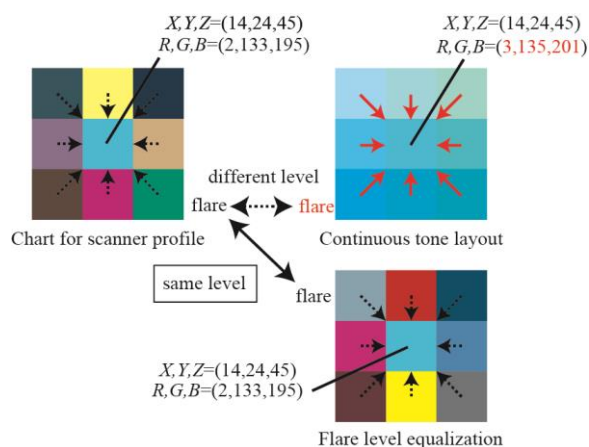


Fig.8 Method of flare equalization of color chart.

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 ΔE_{00} を表している。他社製の市販のスキャナ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。

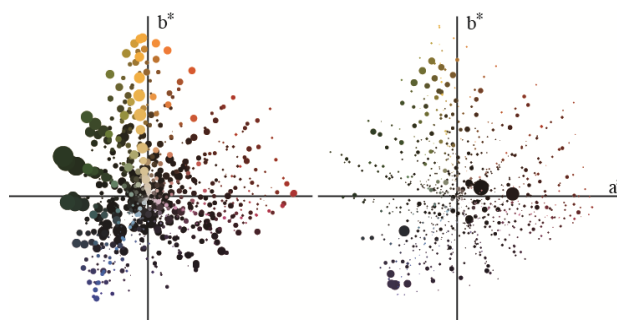


Fig.9 Color difference between spectrophotometer and estimated colorimetric value from CCD sensors (Left: Third-party ICC Profiler, Right: Hybrid Colorimetry).

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 Hitosugi¹, Tadashi Ogawa¹, Tetsuya Ofuchi¹, Kentaro Mikuniya¹, Yuuki Sagimori¹, Yuuichiroh Uematsu¹
(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

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



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。

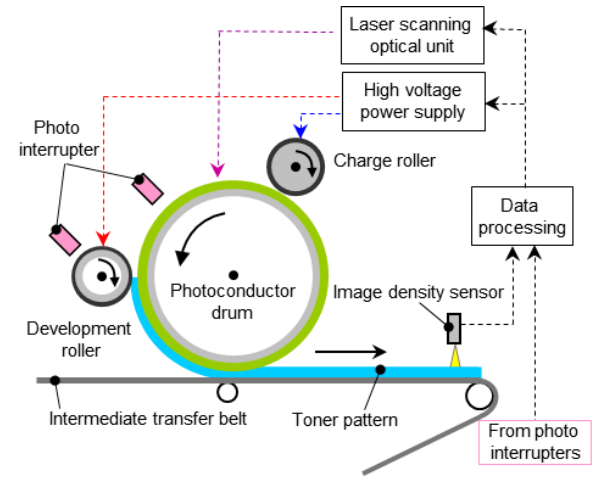


Fig.2 Illustration of the new correction technology

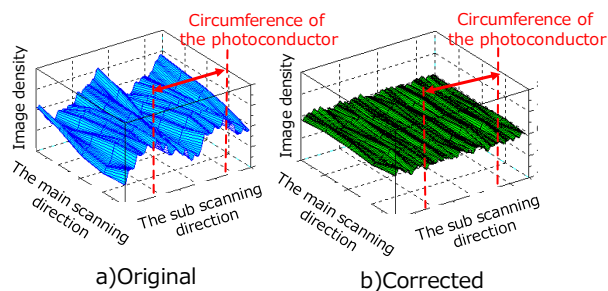


Fig.3 Control effect for the density unevenness

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。

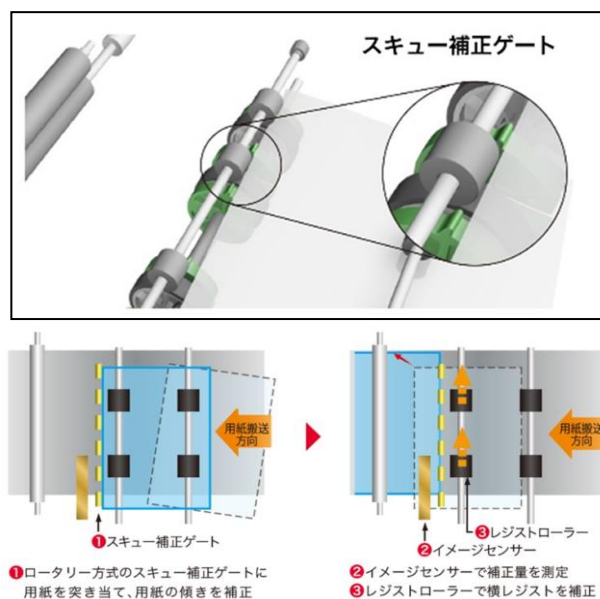


Fig.4 Illustration of the rotary gate control system

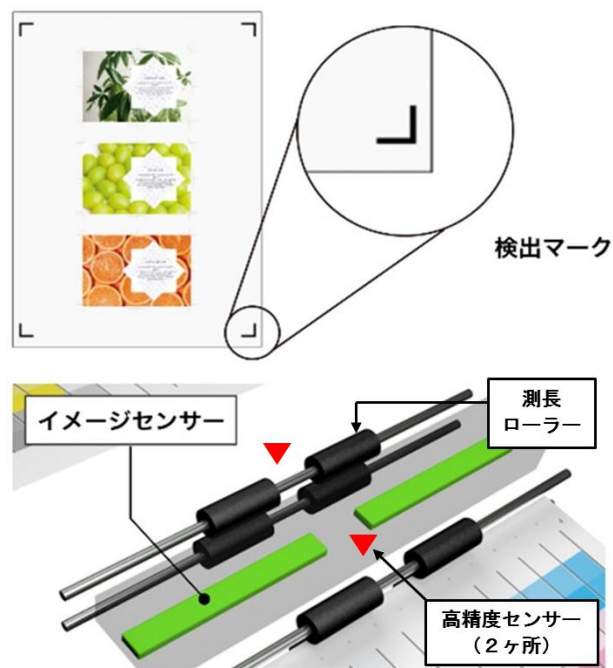


Fig.5 Illustration of the Inline Quality Control Technology

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。

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。

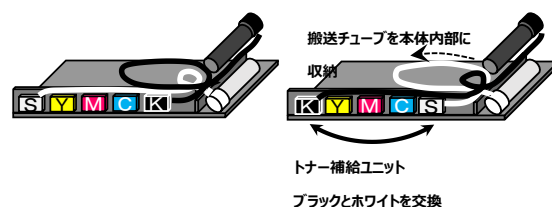


Fig.7 Illustration of the CMYK color print on White system

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。

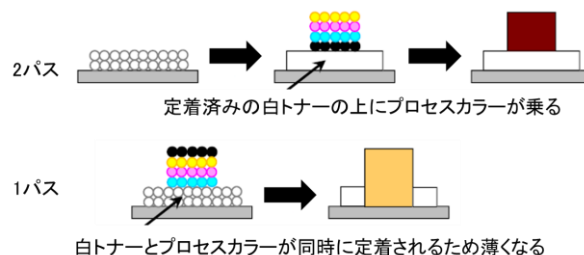


Fig.8 Difference in color mixing of 1 pass and 2 pass

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 Control System for Stabilization of Image Density", Proceeding of ICJ2013: The 111st Annual Conference of the Imaging Society of JAPAN (2013), pp.209-212 [in Japanese].
- 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 Japanese].
- 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 Japanese].

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 Kobayakawa¹, Kazuya Tamura¹ (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。

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、更に高温下では、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)。



- unsteady simulation
- implicit method
- k-ε turbulence model

Fig. 1 Computational fluid dynamics of printer engine

*259-0157 神奈川県足柄上郡中井町境 430 グリーンテックなかい

*430 Sakai, Nakai-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa, Japan

e-mail: kobayakawa.shuhei@fujixerox.co.jp

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]。

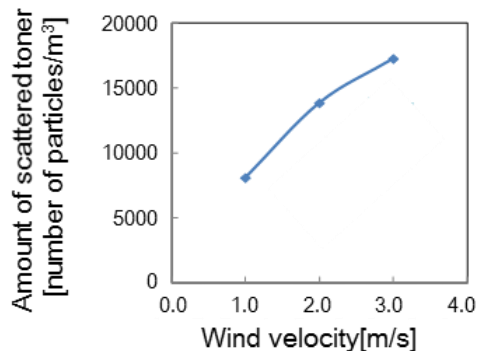


Fig. 2 Relationship between the amount of scattered toner and wind velocity ^[2]

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。

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho_w)gd}{3\rho_w C_d}} \quad (3)$$

ρ_s : 飛散トナーの密度[g/m³]

ρ_w : 空気密度[g/m³]

C_d : 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

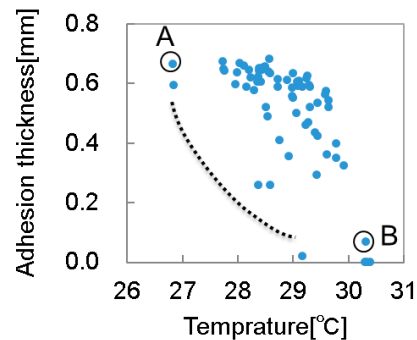


Fig. 3 Pareto solutions of airflow system

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或使用条件などの外乱条件也多岐に渡り、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

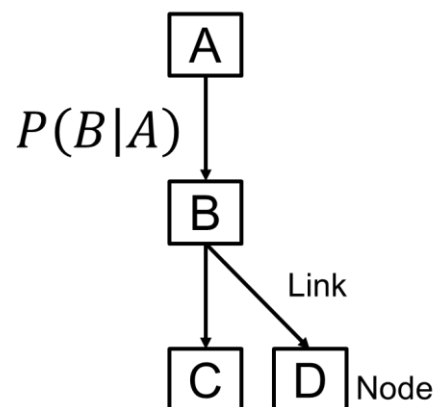


Fig. 4 Bayesian Network Model

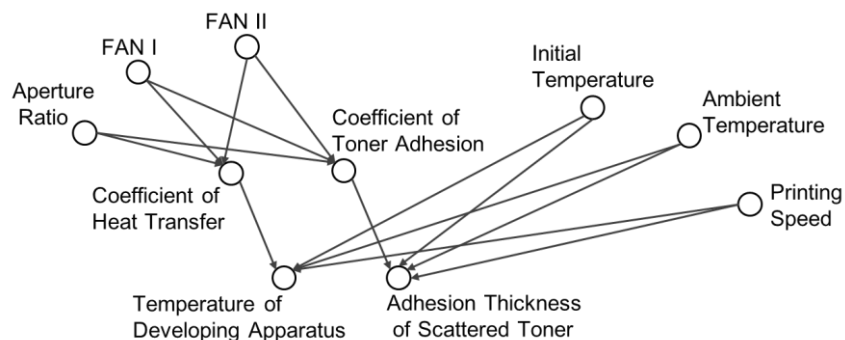


Fig. 5 Network model for adaptive control system

アルゴリズムを構築した。使用したのはベ이지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이지アンネットワークモデルではベイズの定理

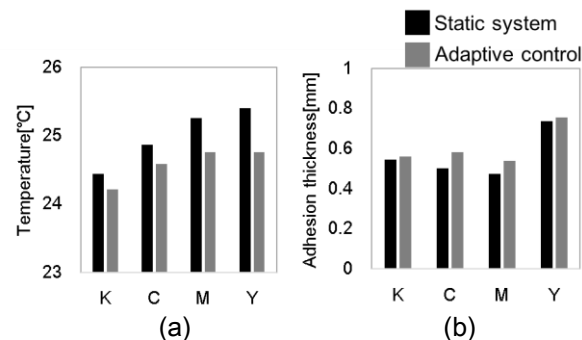
$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (4)$$

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이지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。

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이지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이지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 Nagamori¹, Yasunori Momomura¹, Masafumi Kudo¹, Kazuki Inami¹ (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。

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る、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。

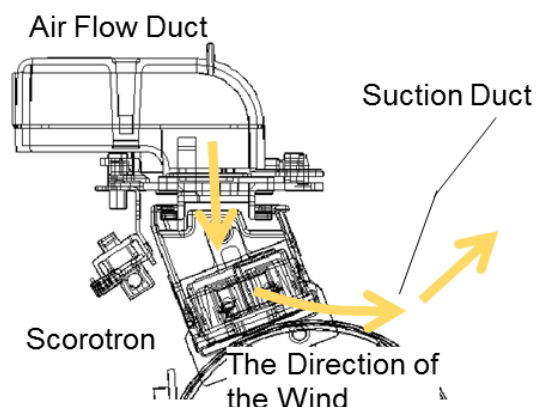


Fig.1 Air flow for Color 1000 Press.

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

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。

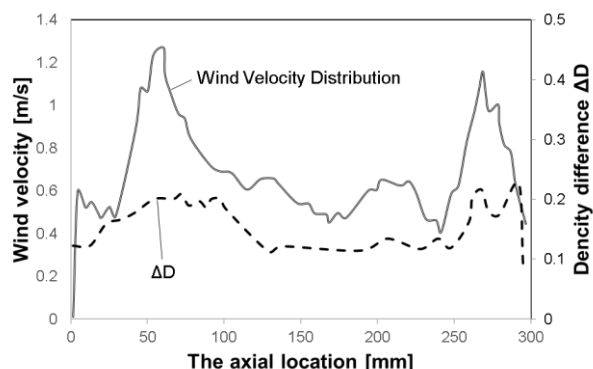


Fig.2 Wind velocity and density difference along the axial location of scorotron.

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。

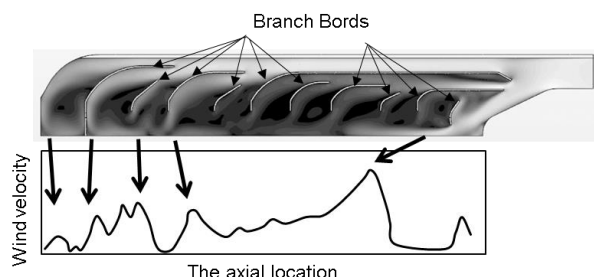


Fig.3 Wind velocity distribution of the neighborhood at the rib duct exit.

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。

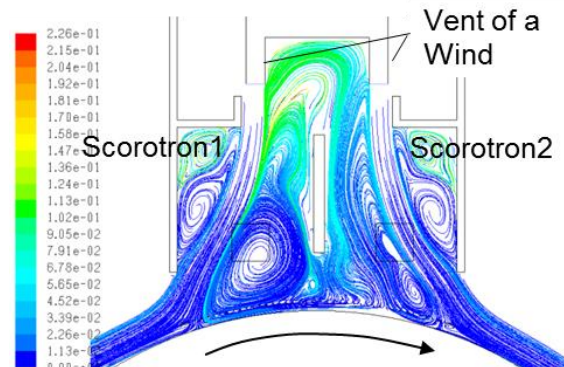


Fig.4 Ionic wind at double scorotron.

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0.1m³/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。

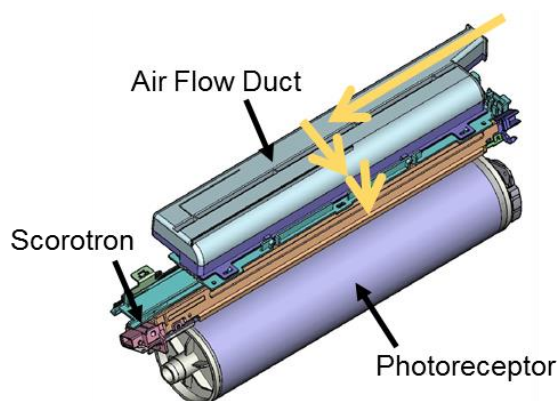


Fig.5 Charge device and air flow duct for Color 1000 press.

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。

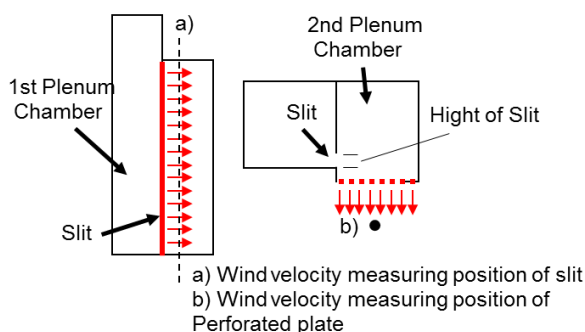


Fig. 6 Key composition of the needed function for plenum duct.

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。

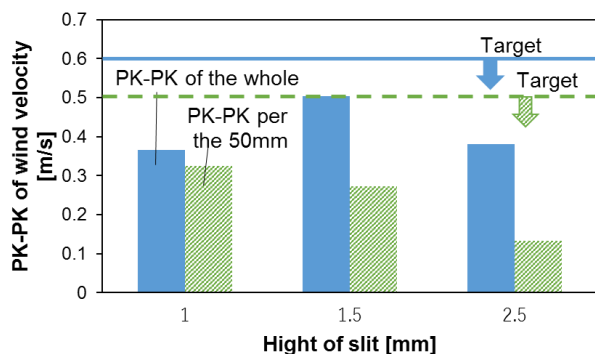


Fig. 7 The difference between the maximum and the minimum value of wind velocity.

スリットの高さに対する軸方向全体の風速 PK-PK と、50mm 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、本報告では安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。

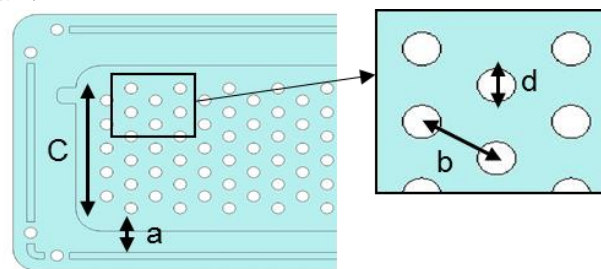


Fig. 8 Arrangement and parameter of a perforated plate.

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。

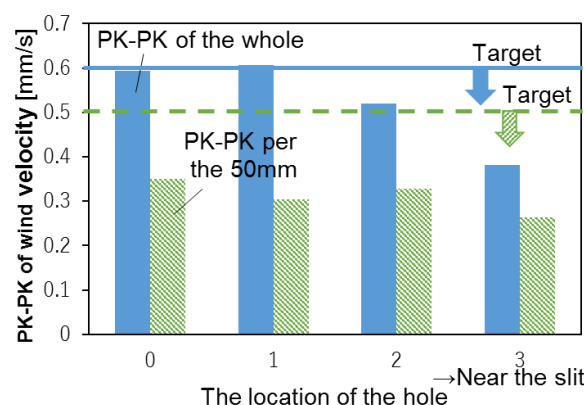


Fig. 9 The Scorotron1 and the Scorotron2 wind velocity difference.

以上の結果から、スリットの高さを 2.5mm、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、

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。

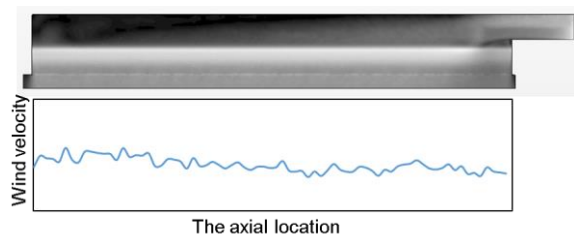


Fig.10 Wind velocity distribution of the neighborhood at the Plenum duct exit.

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。

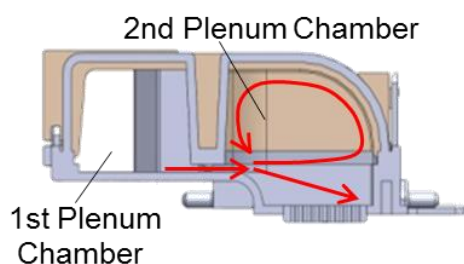


Fig.11 The cross-sectional view of the plenum duct for scorotron.

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。

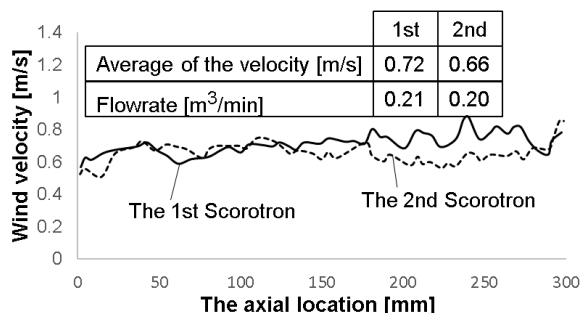


Fig.12 Wind velocity distribution in two scorotron wire neighborhoods.

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。

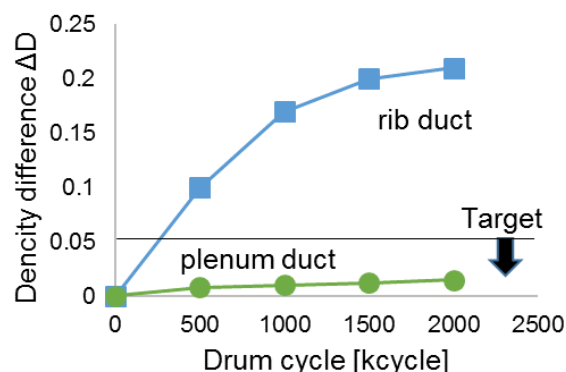


Fig.13 Change in ΔE in a run test.

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", KONICA 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).

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 Tsukiyama¹, Yohei Sato¹, Keisuke Kato¹, Isami Nitta¹ (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 Hashimoto¹, Hideaki Kibune¹ (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

*Taiju Gan¹, Takeshi Nagao¹, Toshihiko Mitsuhashi¹, Toshihiko Suzuki¹, Nobuyuki Nakayama¹
(1. Fuji Xerox Co., Ltd.)

3:20 PM - 3:40 PM

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 Tsukiyama¹, Yohei Sato¹, Keisuke Kato¹, Isami Nitta¹ (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 (JBMA) 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.

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。

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100mm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0-20mmの区間の最大摩擦係数を μ , 100mmすべらせた時点の μ からの変化量を $\Delta\mu$ とし, 摩擦係数変化率 $\Delta\mu/\mu$ 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。

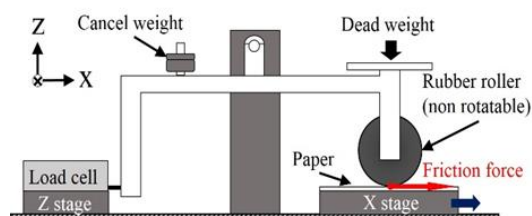


Fig.1 Schematic of friction test apparatus

* 〒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

2.2 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ま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)	

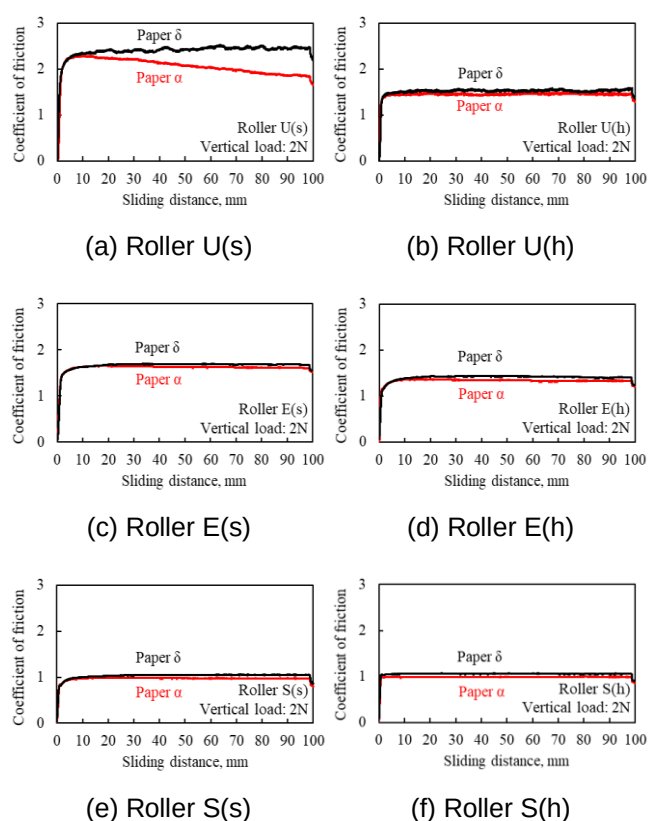


Fig.2 Coefficient of friction of rubber rollers with abrasion patterns slid against paper α and δ

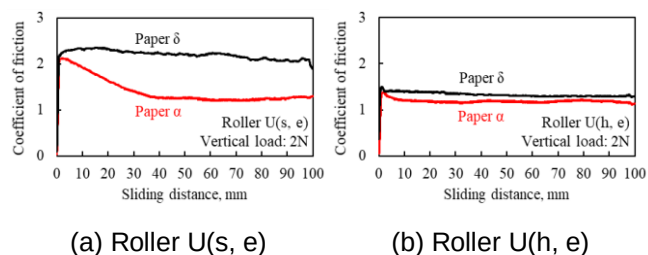


Fig.3 Coefficient of friction of rubber rollers with embossed patterns slid against paper α and δ

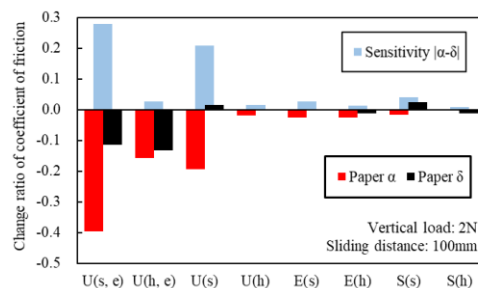
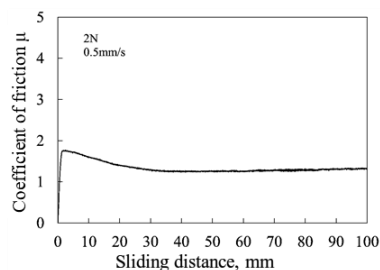


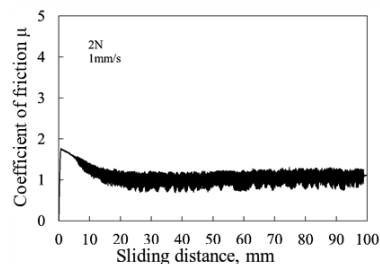
Fig.4 Change ratio of coefficient of friction of rubber rollers slid against paper α and δ

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い傾向があるため、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。

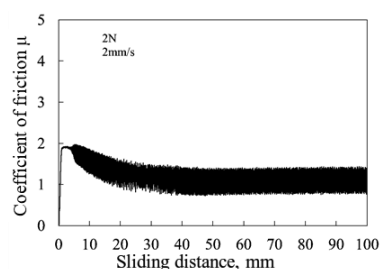
以上の結果から、0.5mm/sec, 2N, ウレタン軟質シボローラが最適な組み合わせと考えられ、この条件で4紙を本手法によって評価した結果を図6に示す。



(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

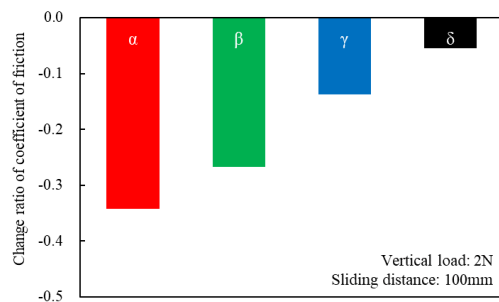
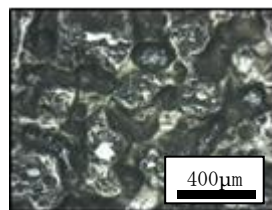


Fig.6 Change ratio of coefficient of friction of rubber roller U (s, e) slid against paper α , β , γ and δ

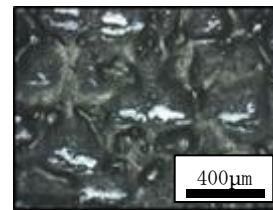
この図から、給紙不良の発生頻度と同じ序列で摩擦係数減少率が大きいが分かる。

3. 2 摩擦摩耗に及ぼす紙粉の影響

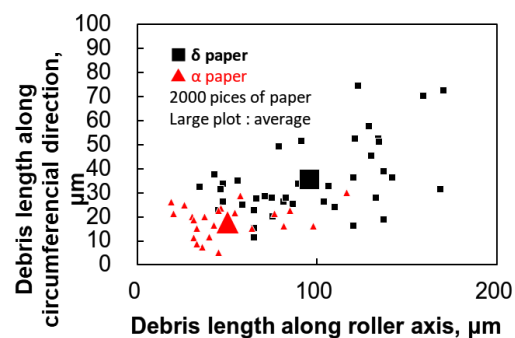
前節においてウレタン軟質シボローラが紙粉の影響を最も感度良く検出可能であることを示した。本節では、そのメカニズムについて考察する。図7(a)および(b)に α 紙および δ 紙をそれぞれ2000枚通紙後に、軟質ウレタンシボローラ表面を観察した結果を示す。この図から、ウレタン軟質シボローラを用いた場合は、ゴムローラ上に発生するゴム摩耗粉の大きさが通紙した紙によって異なることが分かる。



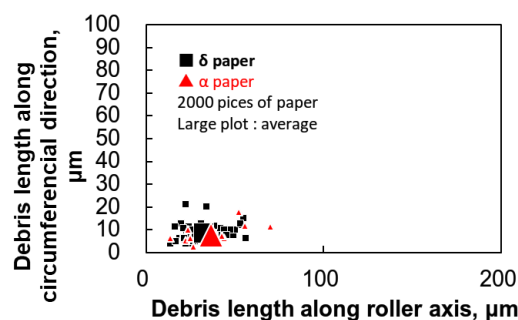
(a) Paper α and roller U(s,e)



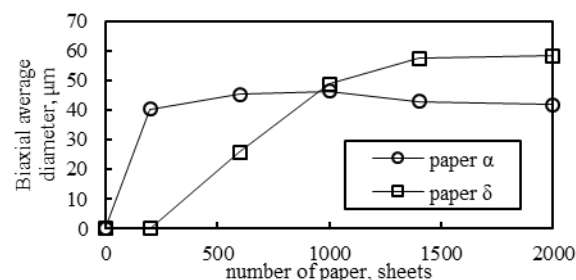
(b) Paper δ and roller U(s,e)



(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

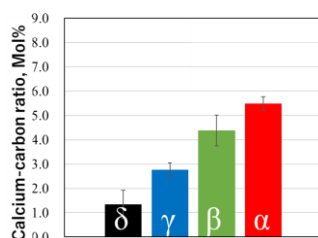


Fig.8 Calcium-carbon ratio of the rubber surface after paper feed analyzed by SEM/EDX

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、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。

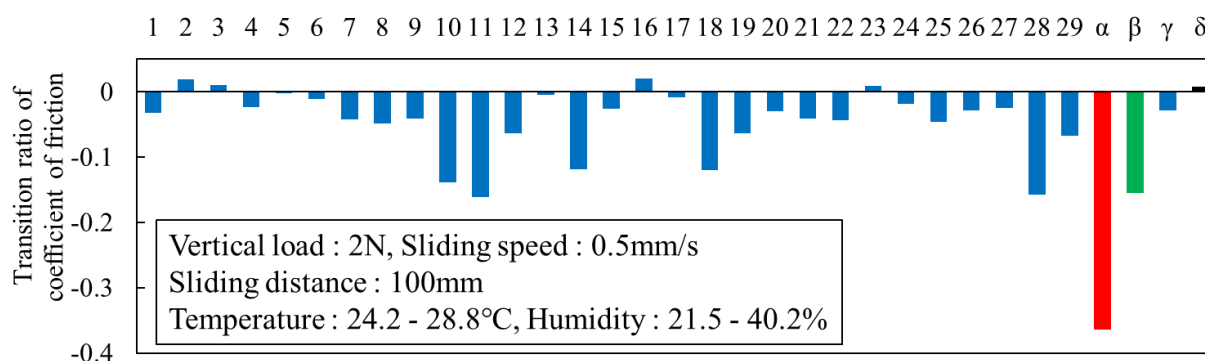


Fig.9 U (s, e) slid against 29 commercial papers in oversea market

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(株)電通国際情報サービス、(株)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.

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 Hashimoto¹, Hideaki Kibune¹ (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。

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。

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 0.01~20mm/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 $\mu = T/F$ 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。

* 〒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

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.

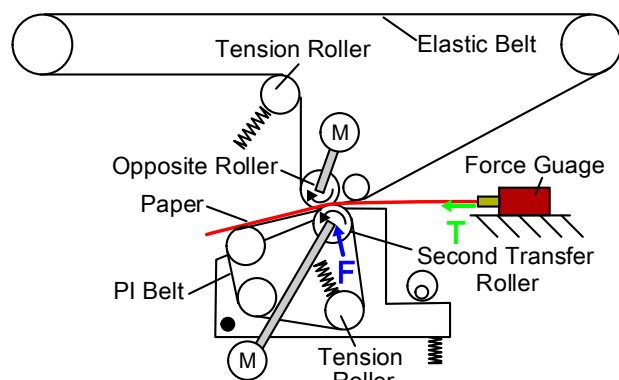


Fig.1 Outline of dynamic friction tester for belt and paper

Table 1 List of Paper

	Thickness (μm)	Type of Paper
A	80	Plain
B	320	Plain
C	320	Coat

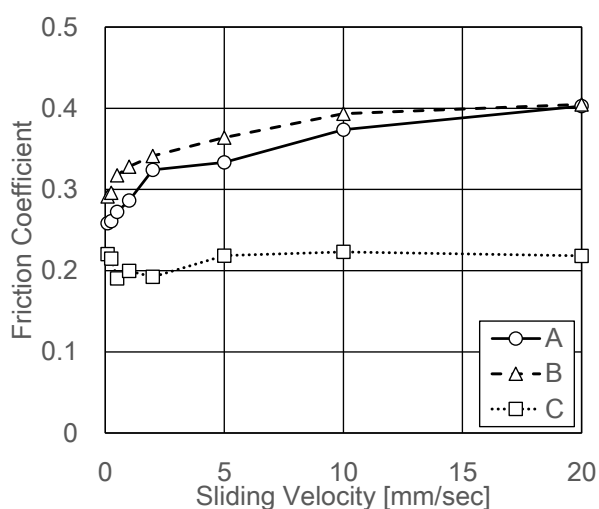


Fig.2 Relationship between sliding velocity and dynamic friction coefficient between elastic belt and paper

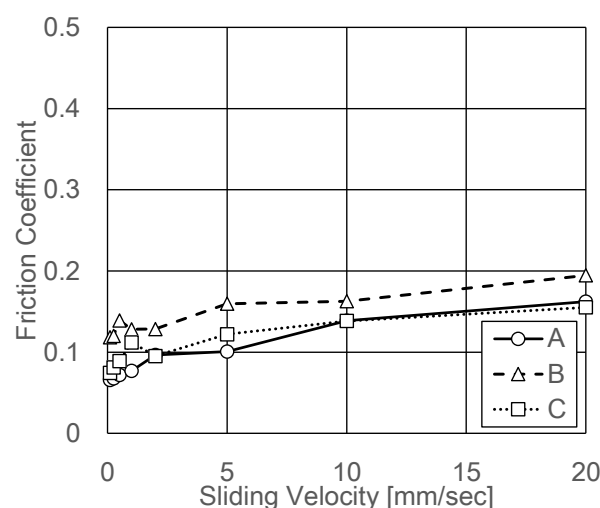


Fig.3 Relationship between sliding velocity and dynamic friction coefficient between PI belt and paper

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. 図中ではすべて 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.

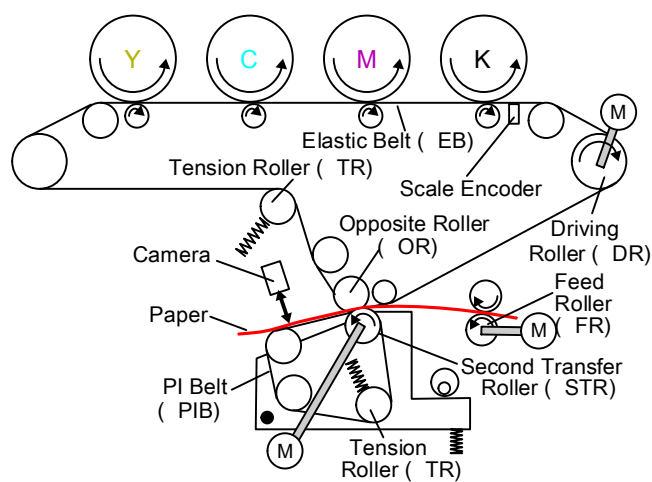


Fig.4 Outline of experimental setup for belt paper feeding experiment

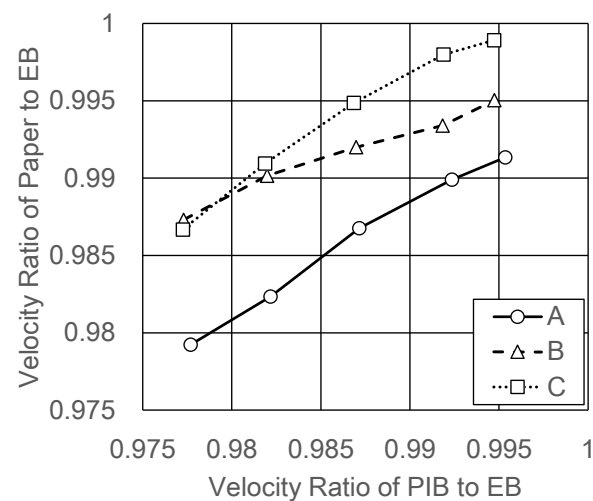


Fig.5 Relationship between velocity ratio of PI belt to elastic belt and velocity ratio of paper to elastic belt

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。図中ではすべて 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。

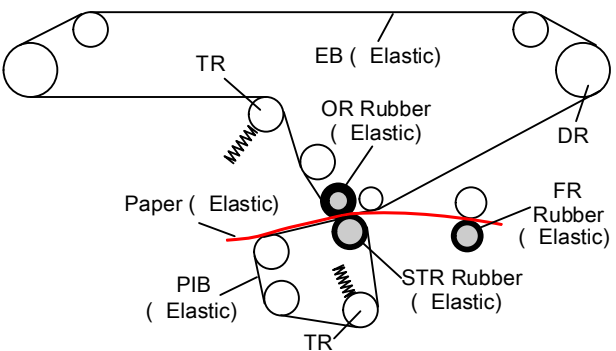


Fig.6 Outline of FEM Model

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			

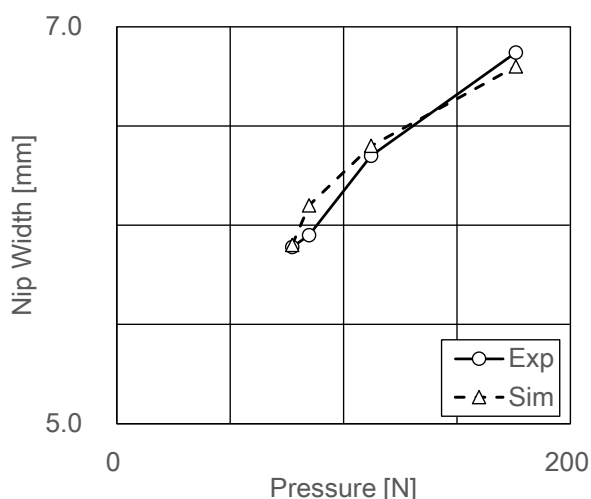


Fig.7 Relationship between pressure and nip width

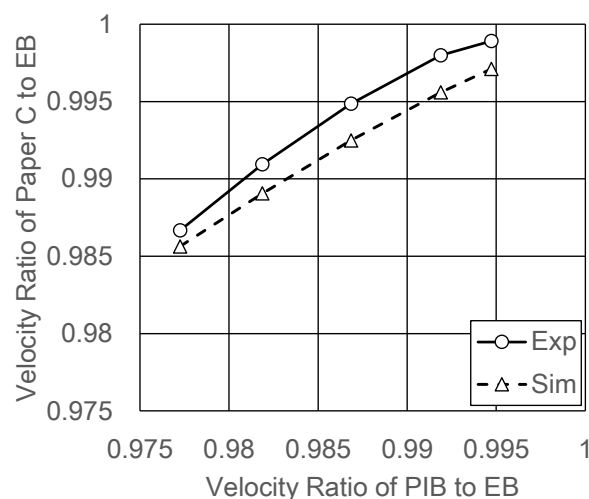


Fig.10 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper C to elastic belt

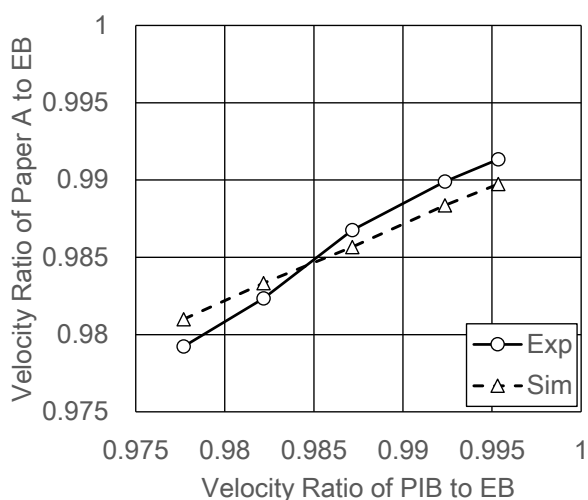


Fig.8 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper A to elastic belt

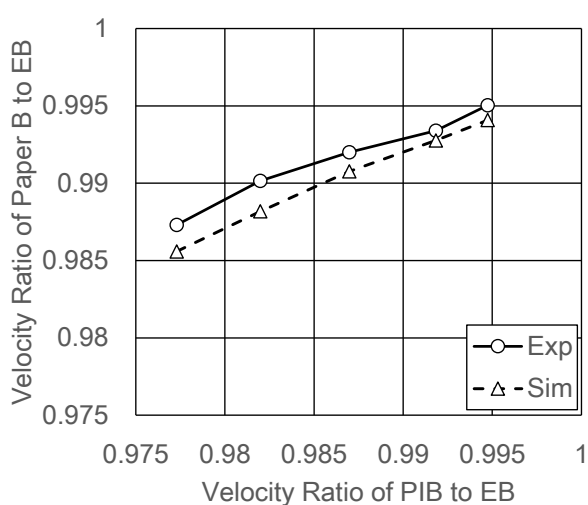


Fig.9 Comparison between calculated and experimental velocity ratio of paper B to elastic belt

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られる。

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. Umamo and H. Yamaura, "Velocity Dependencies of Paper Feeding Characteristics", JSME. C, Vol. 77, No. 778, pp. 2476-2485, (2011-6). [in Japanese]

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现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

*鴈 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 Gan¹, Takeshi Nagao¹, Toshihiko Mitsuhashi¹, Toshihiko Suzuki¹, Nobuyuki Nakayama¹ (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现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。

タンデム/静電転写方式の液体现像システムにおける メディア汎用性の獲得

鷹 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现像システムは、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。

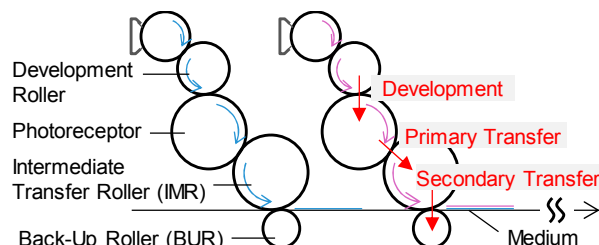


Fig.1 Tandem-electrostatic transfer process.

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

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。

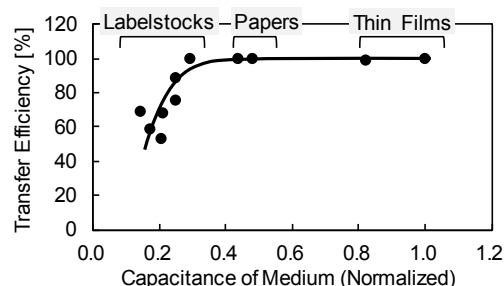


Fig.2 Relation between transfer efficiency and capacitance of medium.

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(接触現象工程など、2ロール間で液体層が分断される際に発生する周期的畛状の液体流動)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多い(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。

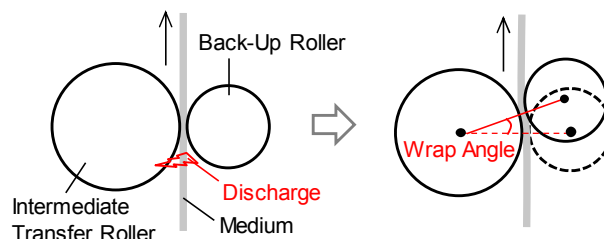


Fig.3 Pre-nip discharge and medium wrap angle.

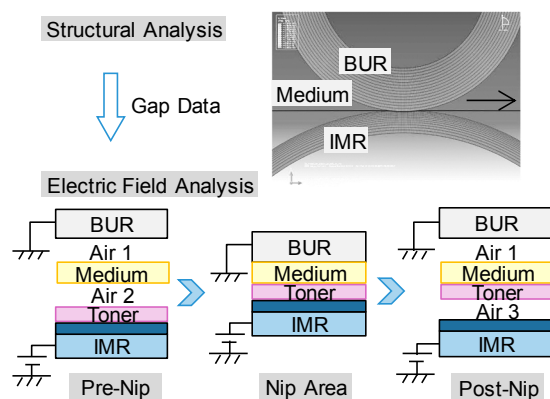


Fig.4 Model of electric field analysis.

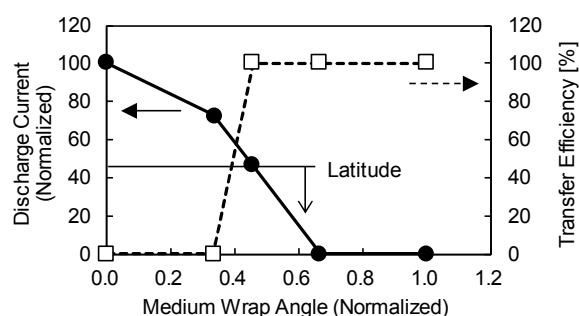


Fig.5 Simulated result of discharge current and transfer efficiency.

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写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。

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。

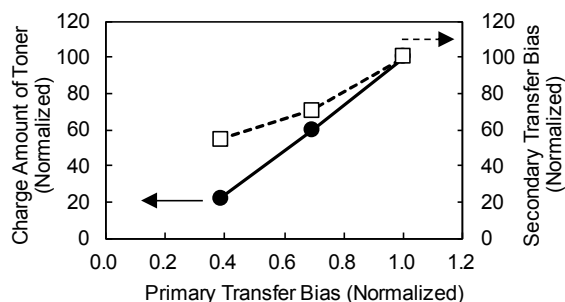


Fig.6 Effect of primary transfer bias on charge amount of toner and secondary transfer bias.

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。

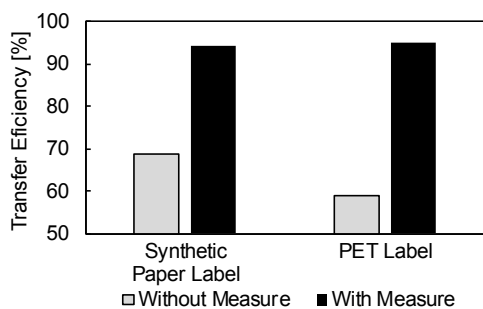


Fig.7 Transfer efficiency to low capacitance mediums.

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。

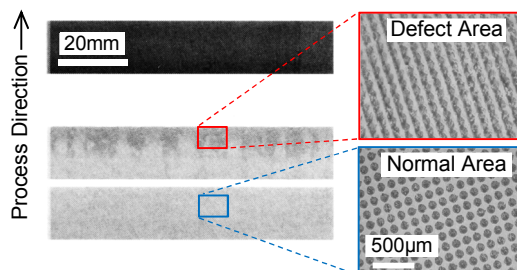


Fig.8 Image defect due to dot collapse.

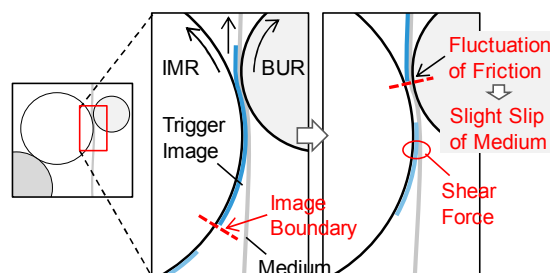


Fig.9 Mechanism of dot collapse.

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。

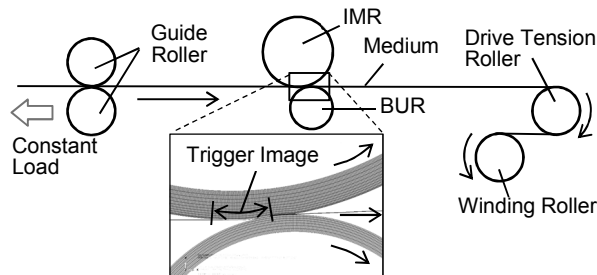


Fig.10 Simulation model of medium conveyance.

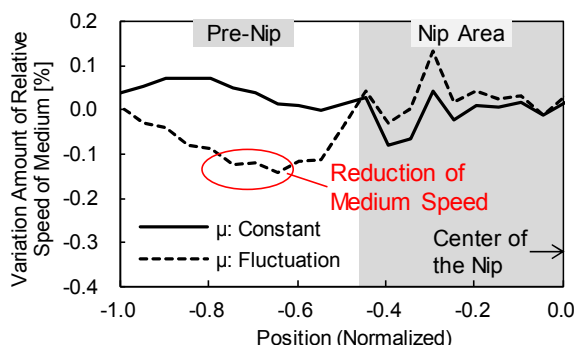


Fig.11 Simulated result of conveyance speed variation of medium.

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。

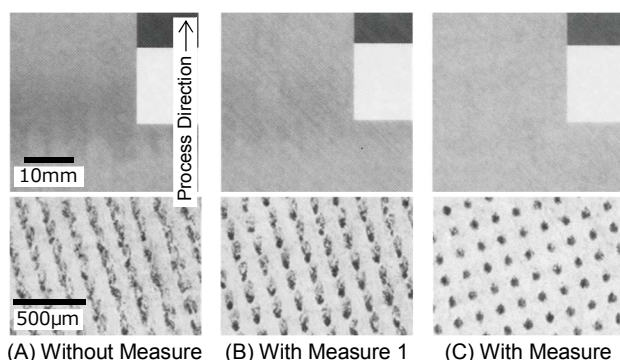


Fig.12 Scanned images and microscopic images of printed samples.

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现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)

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 WOO¹, Byoungho Yoo¹, Woon Kyung Kim¹, Taehan Kim¹ (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 Seko¹, Masatoshi Toda², Hiroshi Morita², Tsukasa Matsuda¹ (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 Kuroyanagi¹, Kouji Fujiwara¹, Ryo Oshima¹ (1. KONICA MINOLTA, Inc)

4:40 PM - 5:00 PM

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 WOO¹, Byoungho Yoo¹, Woon Kyung Kim¹, Taehan Kim¹ (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

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.

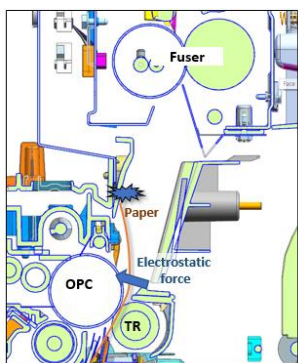


Fig.1 Unstable paper behavior due to electrostatic force

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 $q_1, q_2 \dots$. Each distance from Q are $\gamma_1, \gamma_2 \dots$. 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.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{\gamma_1} \hat{\gamma}_1 + \frac{q_2}{\gamma_2} \hat{\gamma}_2 + \dots \right) = Q\vec{E} \quad (1)$$

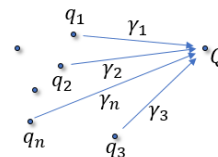


Fig.2 electrostatic force applied to Q by point charges

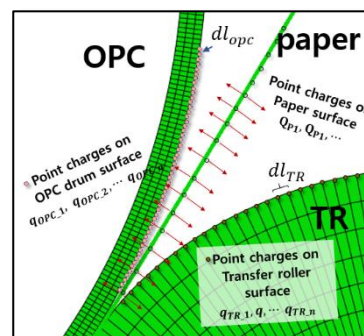


Fig.3 Paper feeding CAE model (ABAQUS 2D)

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 $q_{TR_1}, q, \dots, q_{TR_n}$ and $q_{OPC_1}, q_{OPC_2}, \dots, q_{OPC_n}$.

* 129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16677, Rep. of KOREA
e-mail: junseong.woo@hp.com

In this same way, each $\vec{F}_{p2}, \vec{F}_{p3}, \dots, \vec{F}_{pn}$ 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))

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma(r)}{r} da = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{da}{r} \quad (2)$$

$$= \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi} \int_0^s \frac{r}{\sqrt{D^2 + r^2}} dr d\theta$$

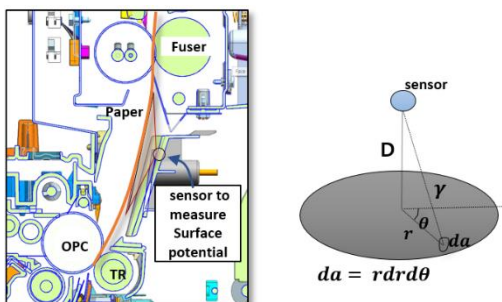


Fig.4 sensor to measure surface potential on paper

* 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)

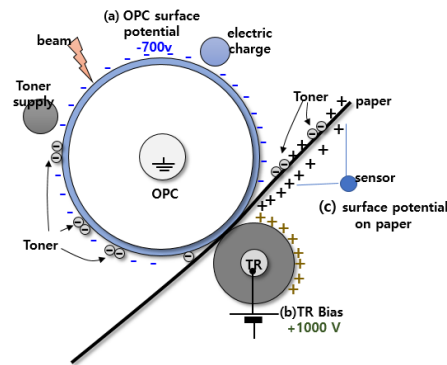


Fig.5 Charges on surface of OPC, TR and paper

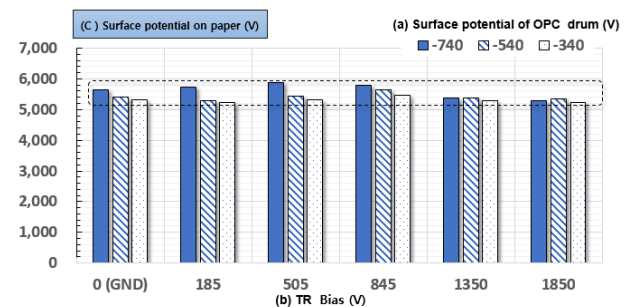


Fig.6 Measured potentials on paper surface

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.

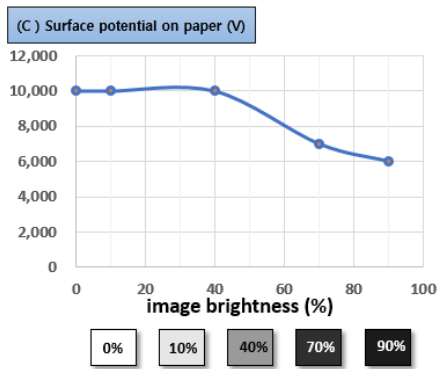


Fig.7 Density of toner vs. potential of paper

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.

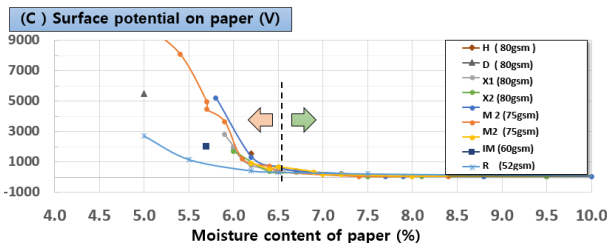


Fig.8 Moisture content vs. surface potential on paper

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 ($q_{TR_1}, q_{OPC_2}, \dots$) and OPC ($q_{OPC_1}, q_{OPC_2}, \dots$).

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} \hat{r}_1 + \frac{q_2}{r_2} \hat{r}_2 + \dots \right) = Q\vec{E} \quad (1)$$

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.

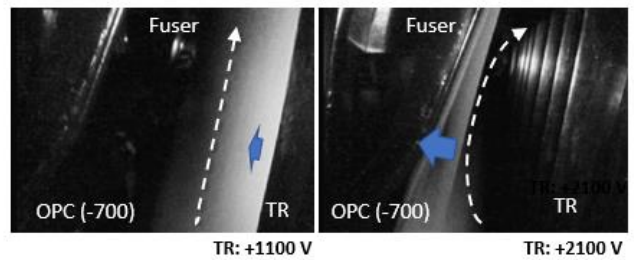


Fig.9 (1) change of electric field by TR potential

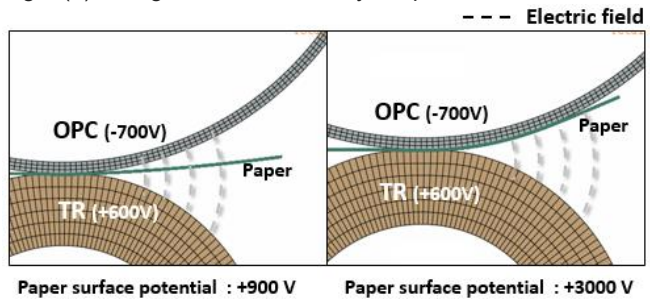


Fig.9 (2) Change of surface charge

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 ($m=1/\text{radius}$). 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.

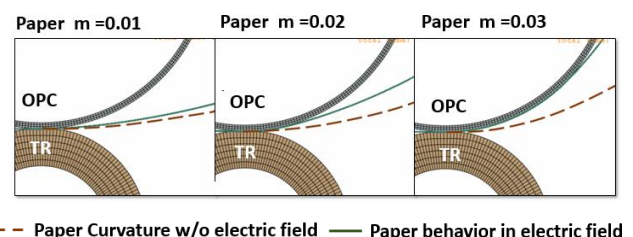


Fig.10 Curled paper in electric field (CAE)

The 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.

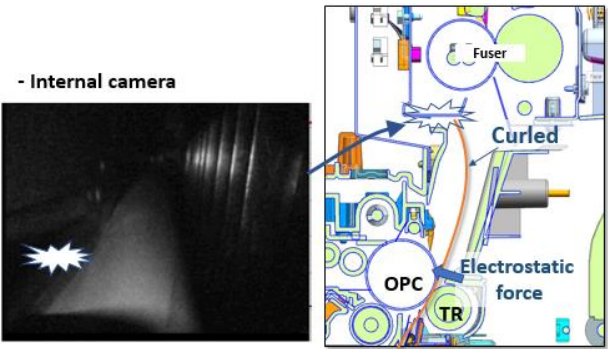


Fig.11 Two-sided printing of thin paper with moisture.

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"

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 Seko¹, Masatoshi Toda², Hiroshi Morita², Tsukasa Matsuda¹ (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。

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 機能材料コンピュータシミュレーション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～マイクロ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ため、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 430

* 430 Sakai, Nakai-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 259-0157

e-mail : Tomohiro.Seko@fujixerox.co.jp

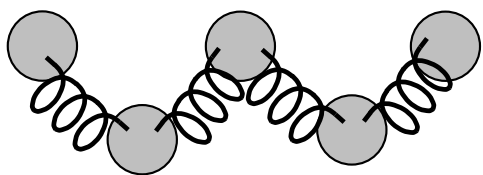


Fig.1 Concept of Bead-spring model. Circle represents bead which approximates several monomers, and spring indicates connectivity between beads.

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。

$$U_{FENE}(r) = -\frac{1}{2} k R_0^2 \ln \left[1 - \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right] \quad r \leq R_0 \quad (4)$$

$$U_{LJ}(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] + \frac{1}{4} \quad r \leq 2^{1/6} \sigma \quad (5)$$

$$U_{angle} = \sum_{angles} K_\theta (\theta - \theta_{eq})^2 \quad (6)$$

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/VSOP⁷⁾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。

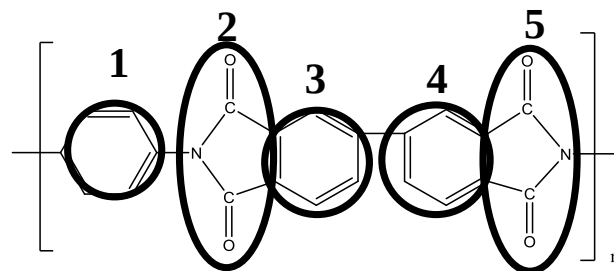


Fig.2 Molecular structure of polyimide and, coarse-grained model. Circle indicates unit of coarse-grained model.

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。

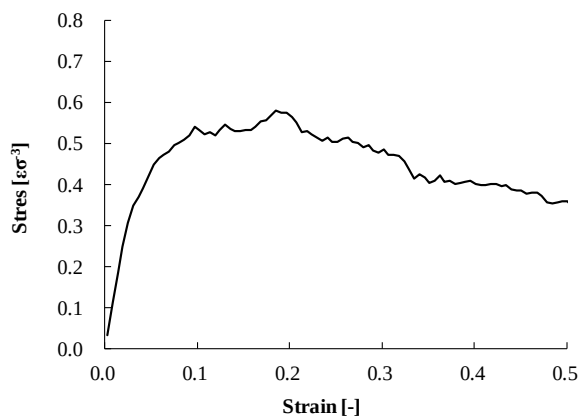


Fig. 3 Calculated stress-strain curve by repulsive model of polyimide.

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。

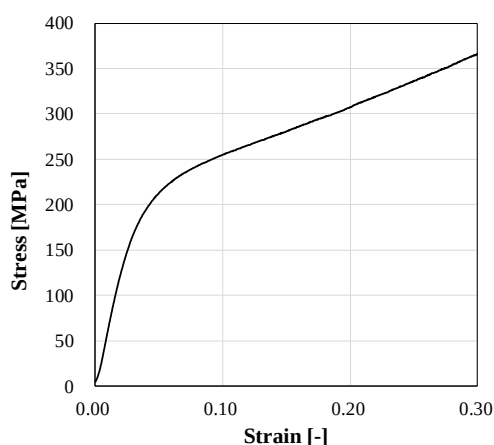


Fig.4 Experimental stress-strain curve by tensile test.

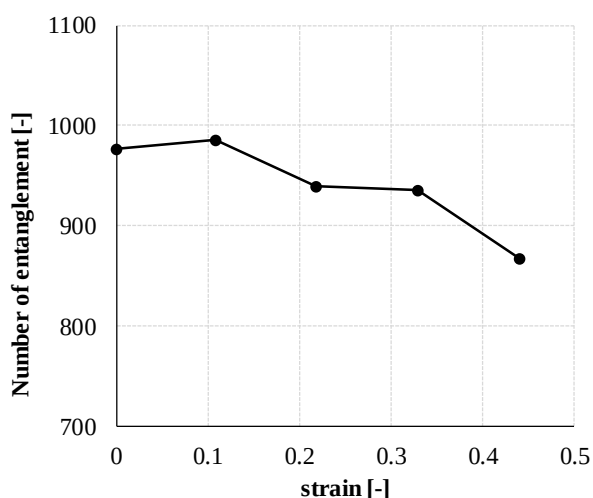


Fig.5 The number of entanglements between the polymers depending on strain.

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る、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。

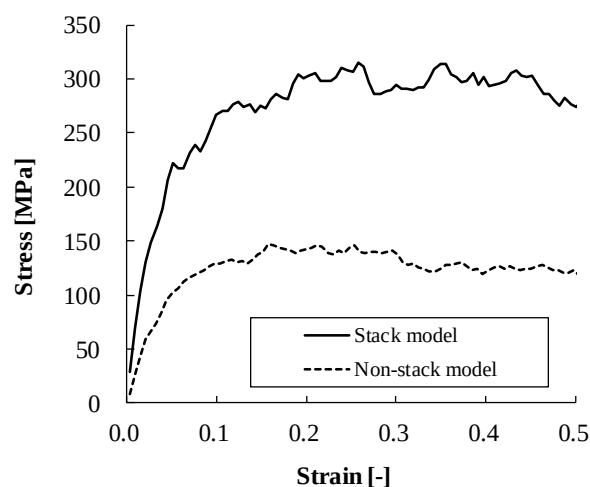


Fig.6 Stress-strain curve calculated by stack and non-stack model.

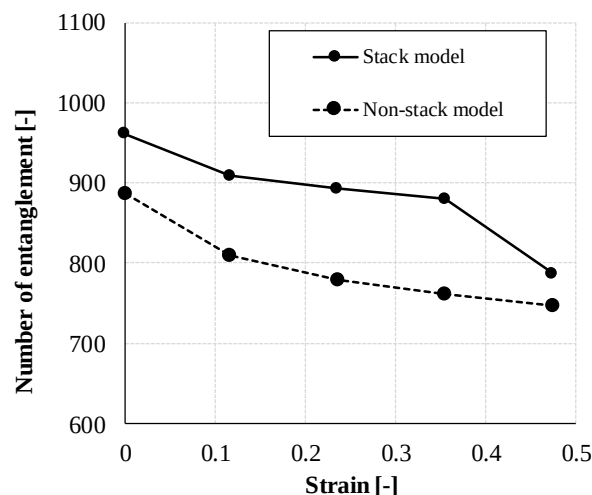


Fig.7 The number of entanglements between the polymers depending on strain for stack and non-stack model.

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。

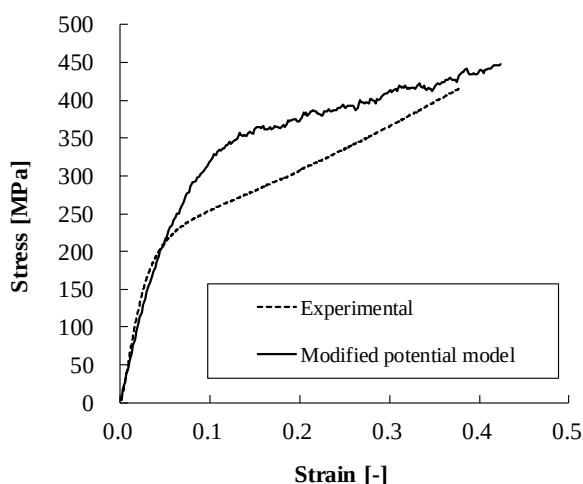


Fig.8 Stress-strain curve calculated by model with modified potential which is derived from atomistic MD simulation.

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 koushou 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 kougyou 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 Kuroyanagi¹, Kouji Fujiwara¹, Ryo Oshima¹ (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。

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

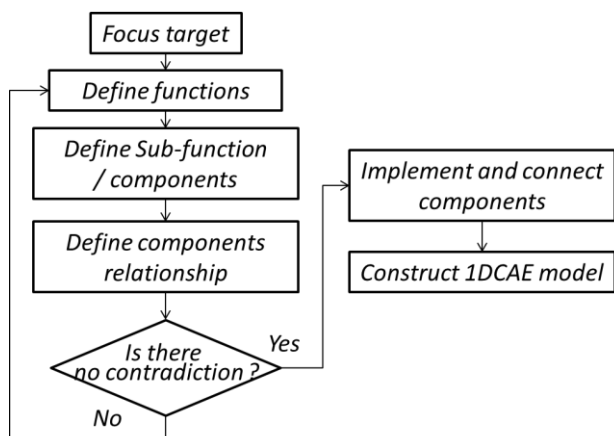


Fig.1 Design flow in the development of 1DCAE model.

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「熔融」、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。

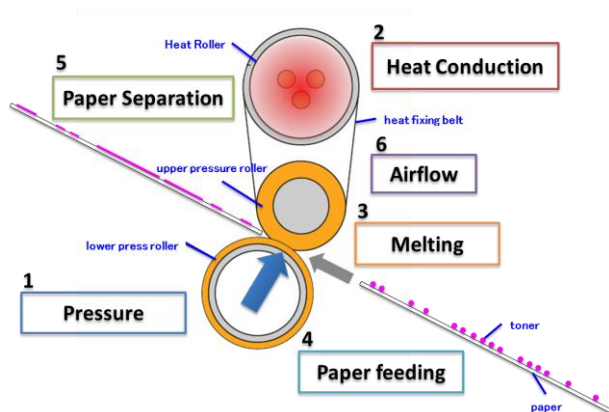


Fig.2 Six functions that compose the fixing process.

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。

$$Q_c = \frac{1}{R_c} (T_{belt} - T_{paper}) \quad (1)$$

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。

$$R_c = \frac{D_v}{KA} \quad (2)$$

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。

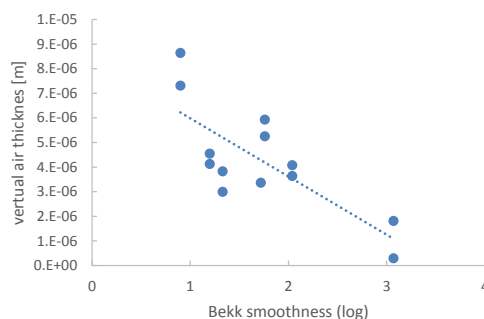


Fig.3 Correlation between Bekk smoothness and virtual air thickness.

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。

$$A = 4 \sqrt{\frac{R_1 R_2 \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) W}{(R_1 + R_2) \pi L}} \quad (3)$$

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。

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 ON/OFF を制御する。

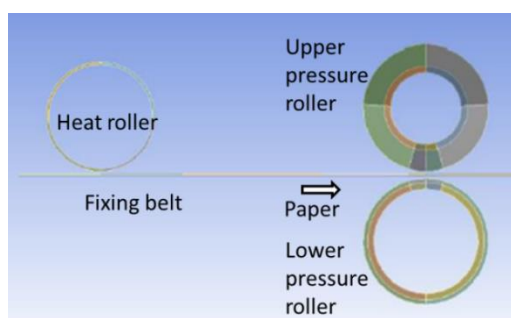


Fig.4 Simple two-dimensional model of fixing process by FEA.

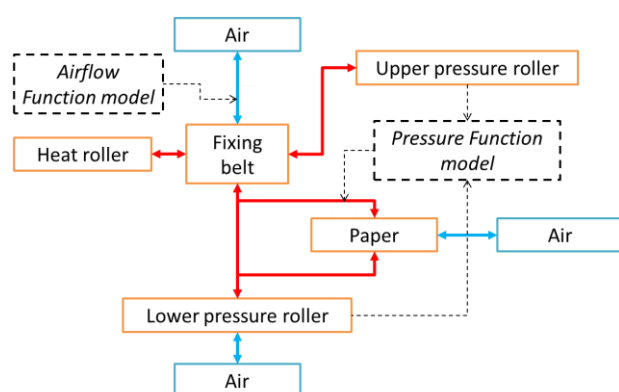


Fig.5 Block diagram of heat transfer function in fixing nip. In cooperation with pressure and Airflow function model in calculation of heat transfer between parts.

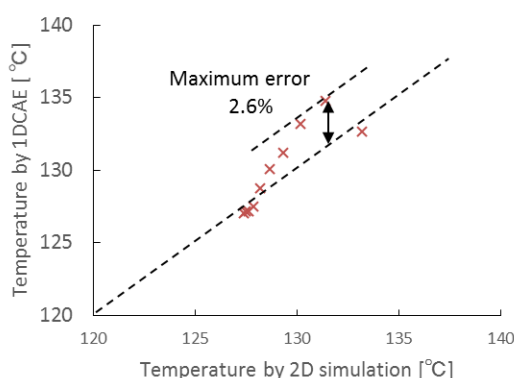


Fig.6 Correlation of paper maximum temperature in continuous paper feeding.

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。我々は定着部以外にも同様に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。

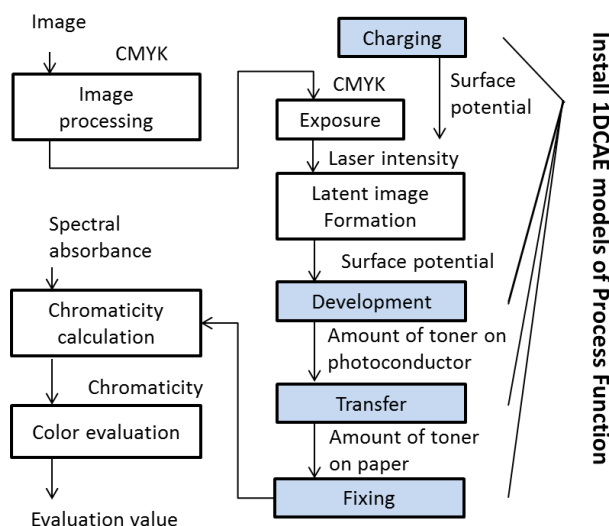


Fig.7 Flow chart of numerical simulation. In this study, we installed 1DCAE models of process function in filled process.

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

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。

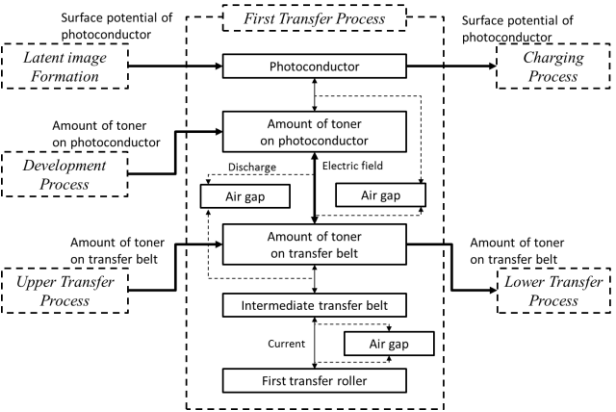


Fig.8 Block diagram of first transfer process calculating electric field intensity in numerical simulation.

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 [μ A]	Resistance [$\log\Omega$]
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。参考と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。

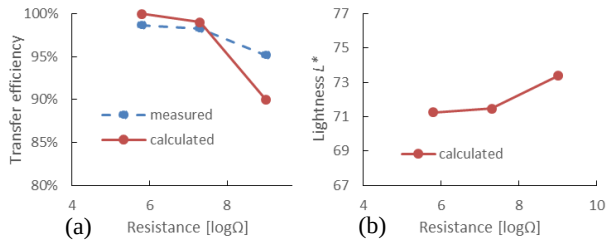


Fig.9 (a)First transfer efficiency and (b)Lightness L^* of output image.

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].

Satellite Event | Satellite Event

[WS] Workshop

Wed. Jun 20, 2018 10:30 AM - 12:30 PM Meeting Room #2 (2nd Floor, Keyaki Kaikan)

[WS-01] Discussion on Evaluation Method to Judge Impact of Paper Lint on MFP

*Atsushi ITO¹, Takeshi MENJO², Toshiharu ENOMAE³, Yosuke TSUKIYAMA⁴ (1. Information Services International-Dentsu, Ltd., 2. Canon Inc., 3. University of Tsukuba, 4. Niigata University)

10:30 AM - 12:30 PM

併催行事 | 併催行事

[WS] ワークショップ Workshop

2018年6月20日(水) 10:30 ~ 12:30 会議室 2 (けやき会館 二階)

[WS-01] 紙粉発生の良し悪しを判断する評価手法に関するディス カッション Discussion on Evaluation Method to Judge Impact of Paper Lint on MFP

*伊藤 敦史¹、校條 健²、江前 敏晴³、月山 陽介⁴ (1. 株式会社電通国際情報サービス, 2. キヤノン株式会社、3. 筑波大学、4. 新潟大学)

*Atsushi ITO¹, Takeshi MENJO², Toshiharu ENOMAE³, Yosuke TSUKIYAMA⁴ (1. Information Services International-Dentsu, Ltd., 2. Canon Inc., 3. University of Tsukuba, 4. Niigata University)

MFPコンソーシアムでは、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『ローラ摩擦式紙粉検出法』を開発した。

本手法は用紙をローラで100mmこすっ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り、現在JBMIAに標準化提案を行っている。

本ワークショップでは、データを見ながら参加者と議論を行う事で、本手法をよりの確な標準にしていくと共に、市場用紙品質向上のための活用法等のご意見も頂き、より価値あるものとする為の議論の場としたい。

紙粉発生の良し悪しを判断する評価手法に関するディスカッション

企画:伊藤 敦史*

株式会社電通国際情報サービス

司会:校條 健

キヤノン株式会社

Discussion on Evaluation Method to Judge Impact of Paper Lint on MFP

Planner: Atsushi Ito*

Information Services International-Dentsu, Ltd.

Facilitator: Takeshi Menjo

Canon Inc.

The MFP Consortium has developed the "Paper Lint Measurement method by Roller friction: PLMR method" as an evaluation method to judge whether paper lint is affecting the image forming and paper feeding performance of MFP. This method is a simple method of measuring friction reduction when a paper is rubbed 100mm with a roller, and it is possible to evaluate MFP suitability for various kinds of paper from the viewpoint of paper lint. Currently, standardization proposal is made to JBMIA. In this workshop, by discussing with the participants while viewing the data, opinions about utilizing it for better quality paper will be gathered, and it is expected that the method becomes more accurate and valuable.

1. 企画の背景

MFP のトラブルは、外部要因である用紙の紙粉に起因する問題が多い。紙粉が給紙ローラに付着しスリップを起こす Jam 現象。クリーニングブレードに挟まって発生する画像汚れ。機内が紙粉で汚染されて発生する誤検知や画像不良など、課題が多い。これらの問題が市場で発生した場合はサービスマン訪問による対応も必要となり、MFP メーカーにとってはサービスコストとして跳ね返ってくるので、収益を圧迫されることになる。

2. 狙い

上記の原因である紙粉発生に関しては、確固たる測定標準が存在しない。従って、定量的な目標設定がされず、紙粉が多いとされる銘柄にて商品開発を行っても、市場ロット品で想定外の不具合があることがある。指標がないことにより、そのロット品が

どの程度の品質なのかフィードバックもできない状況にある。このように品質の差を明確にできないので、海外からの低価格品質品が流通し、価格競争による市場紙の品質低下が危惧される。本ワークショップでは紙粉発生の良し悪しを判断する評価手法を活用することによって、MFP メーカー、製紙会社、ユーザーが Win-Win となる市場紙品質向上の可能性を探りたい。

3. 対象

各メーカーの用紙関連技術者、製紙会社の技術者。または、紙粉に関し各種現象に直面している技術者など。

4. 扱う領域

用紙測定技術。抄紙技術。

Topic 1

紙の摩擦係数と快適触感について

江前敏晴
筑波大学 生命環境系

Coefficient of Friction and Comfortable Touch of Paper

Toshiharu Enomae

Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

1. はじめに

紙の摩擦係数は、サイズ剤として用いられるアルキルケテンダイマー等の長鎖アルキル基を持つ薬品の添加やカオリン等の平板状顔料の塗工によって生じる滑りを評価する目的で測定されることが多かった。これらに加え、近年では段ボールの滑りやすさやティッシュペーパーの触感評価にも使われる。ここでは、摩擦係数を測定装置に組み込まれているバネの弾性係数が測定結果に与える影響、ティッシュペーパーの快適触感、ウェアラブルデバイス用の紙基板作製技術について報告する。

2. スティックスリップ現象

摩擦係数測定時に見られる振動現象は、2つの物体の間に生じる凝着の脱着の繰り返しが起こる現象であるが、測定器内にあるロードセルの破壊を防ぐ

ためにつけられているバネが関係している可能性があることが分かった。

3. ティッシュペーパーの快適感

最近では肌触りのよい高級ティッシュペーパーがよく使われるようになった。快適触感(肌触りのよさ)を決める要因は何か、摩擦係数は関係しているのか、を調べた。

4. ウェアラブルデバイス基板として紙

紙は、使い切り用途に適した汗などの液体吸収機能をもつウェアラブルデバイス基板として活用される可能性がある。その場合の紙の機能化として片面に回路印刷適性(平滑性、高密度など)、反対面に装着適性(柔軟性、強靱性)を付与する技術を検討した。

Topic 2

プリンタ複合機適合紙判定のためのローラ摩擦式紙粉検出法に関する研究とその標準化

月山 陽介
新潟大学

Research on Paper Lint Measurement Method for MFP by Roller Friction and Standardization proposal

Yosuke Tsukiyama

Institute of Science and Technology, Niigata University

1. 概要

日本国内において、ユーザーの印刷用途により様々な紙が存在し、MFPの紙搬送不良に影響を及ぼしている。そのため摩擦特性による給紙性能の簡便な紙評価手法の開発が重要である。そこで、すべり摩擦試験による紙評価手法の検討を行い『ローラ摩擦式紙粉検出法(PLMR法: Paper Lint Measurement method by Roller friction)』を開発した。本手法

におけ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紙を用いて摩擦係数と給紙性能の関係を明らかにした。また、ゴム表面の紙粉付着量の増加にともなって摩擦係数が減少することを実験的に明らかにすることで本手法の妥当性を確認した。海外市場における数十種の紙をテストした結果も併せて報告する。