

Wed. May 31, 2023

Room D

OS14 PSE/計算科学・可視化・教育

**[D-04] OS14 PSE/計算科学・可視化・教育 (1)**

座長:松本 正己(米子工業高等専門学校)

3:00 PM - 4:30 PM Room D (2F Conference Room 201B)

**[D-04-01] 上毛かるた取りゲームへの参加による実践的プログラミング教育**

\*寺元 貴幸<sup>1</sup>、黒木 祥光<sup>2</sup>、小保方 幸次<sup>3</sup>、井上 泰仁<sup>4</sup>、奥田 遼介<sup>5</sup>、大墳 聡<sup>6</sup>、川本 真一<sup>6</sup>、布施川 秀紀<sup>6</sup>  
 (1. 津山工業高等専門学校、2. 久留米工業高等専門学校、3. 一関工業高等専門学校、4. 舞鶴工業高等専門学校、5. 株式会社Preferred Networks、6. 群馬工業高等専門学校)

3:00 PM - 3:15 PM

**[D-04-02] 学科紹介用チャットボットの作成**

\*宮地 英生<sup>1</sup>、小出 敦也<sup>1</sup> (1. 東京都市大学)

3:15 PM - 3:30 PM

**[D-04-03] ゲームエンジン用可視化フレームワーク**

VisAssetsの開発

\*川原 慎太郎<sup>1</sup>、宮地 英生<sup>2</sup>、伊藤 貴之<sup>3</sup>、田中 覚<sup>4</sup>、榎山 和男<sup>5</sup> (1. 海洋研究開発機構、2. 東京都市大学、3. お茶の水女子大学、4. 立命館大学、5. 中央大学)

3:30 PM - 3:45 PM

**[D-04-04] GNSSデータに基づくロケーションベース**

MR可視化システムの構築

\*中祖 諒大<sup>1</sup>、大川 博史<sup>2</sup>、榎山 和男<sup>1</sup>、琴浦 毅<sup>3</sup> (1. 中央大学、2. 株式会社エイト日本技術開発、3. 五洋建設株式会社)

3:45 PM - 4:00 PM

**[D-04-05] 分散システム振舞い検証のための可聴化の試行**

\*早勢 欣和<sup>1</sup> (1. 富山高等専門学校)

4:00 PM - 4:15 PM

**[D-04-06] 富山湾の潮流データに関する一考察**

\*中谷 俊彦<sup>1</sup>、河合 雅司<sup>1</sup>、家城 竜也<sup>2</sup>、亀井 志聖<sup>1</sup>、早勢 欣和<sup>1</sup>、布目 明弘<sup>1</sup>、浦 恵里夏<sup>1</sup>、牧田 祥子<sup>1</sup> (1. 富山高等専門学校、2. 株式会社YDKテクノロジーズ)

4:15 PM - 4:30 PM

OS14 PSE/計算科学・可視化・教育

**[D-05] OS14 PSE/計算科学・可視化・教育 (2)**

座長:早勢 欣和(富山高等専門学校)

4:45 PM - 6:15 PM Room D (2F Conference Room 201B)

**[D-05-01] プログラミング能力や論理的思考力の測定方法に**

ついての考察

\*日置 慎治<sup>1</sup> (1. 帝塚山大学)

4:45 PM - 5:00 PM

**[D-05-02] Photogrammetryを用いた圧縮試験中の供試体破壊形状の3次元キャプチャシステムの開発**

内井 右京<sup>1</sup>、\*新保 泰輝<sup>1</sup>、福元 豊<sup>2</sup> (1. 石川工業高等専門学校、2. 長岡技術科学大学)

5:00 PM - 5:15 PM

**[D-05-03] アドバンシングフロント法による4面体と5面体を併用した6面体ソリッドメッシュの自動生成手法の開発 ---CAEソフトウェアへの適用---**

\*藤井 みゆき<sup>1</sup> (1. 神奈川工科大学)

5:15 PM - 5:30 PM

**[D-05-04] 畳み込みオートエンコーダによるサーモグラ**

フィ画像の異常検知

志村 涼介<sup>1</sup>、\*前田 太陽<sup>1</sup> (1. 埼玉工業大学)

5:30 PM - 5:45 PM

**[D-05-05] アルゴリズム支援による大規模要因実験計画法の**

活用

\*宮田 悟志<sup>1</sup> (1. ダッソー・システムズ株式会社)

5:45 PM - 6:00 PM

**[D-05-06] Webアンケート解析支援用 AIシステムの構築**

\*松本 正己<sup>1</sup>、加藤 誠<sup>1</sup> (1. 米子工業高等専門学校)

6:00 PM - 6:15 PM

**[D-04] OS14 PSE/計算科学・可視化・教育 (1)**

座長:松本 正己(米子工業高等専門学校)

Wed. May 31, 2023 3:00 PM - 4:30 PM Room D (2F Conference Room 201B)

**[D-04-01] 上毛かるた取りゲームへの参加による実践的プログラミング教育**

\*寺元 貴幸<sup>1</sup>、黒木 祥光<sup>2</sup>、小保方 幸次<sup>3</sup>、井上 泰仁<sup>4</sup>、奥田 遼介<sup>5</sup>、大墳 聡<sup>6</sup>、川本 真一<sup>6</sup>、布施川 秀紀<sup>6</sup> (1. 津山工業高等専門学校、2. 久留米工業高等専門学校、3. 一関工業高等専門学校、4. 舞鶴工業高等専門学校、5. 株式会社Preferred Networks、6. 群馬工業高等専門学校)

3:00 PM - 3:15 PM

**[D-04-02] 学科紹介用チャットボットの作成**

\*宮地 英生<sup>1</sup>、小出 敦也<sup>1</sup> (1. 東京都市大学)

3:15 PM - 3:30 PM

**[D-04-03] ゲームエンジン用可視化フレームワーク VisAssetsの開発**

\*川原 慎太郎<sup>1</sup>、宮地 英生<sup>2</sup>、伊藤 貴之<sup>3</sup>、田中 覚<sup>4</sup>、樫山 和男<sup>5</sup> (1. 海洋研究開発機構、2. 東京都市大学、3. お茶の水女子大学、4. 立命館大学、5. 中央大学)

3:30 PM - 3:45 PM

**[D-04-04] GNSSデータに基づくロケーションベース MR可視化システムの構築**

\*中祖 諒大<sup>1</sup>、大川 博史<sup>2</sup>、樫山 和男<sup>1</sup>、琴浦 毅<sup>3</sup> (1. 中央大学、2. 株式会社エイト日本技術開発、3. 五洋建設株式会社)

3:45 PM - 4:00 PM

**[D-04-05] 分散システム振舞い検証のための可聴化の試行**

\*早勢 欣和<sup>1</sup> (1. 富山高等専門学校)

4:00 PM - 4:15 PM

**[D-04-06] 富山湾の潮流データに関する一考察**

\*中谷 俊彦<sup>1</sup>、河合 雅司<sup>1</sup>、家城 竜也<sup>2</sup>、亀井 志聖<sup>1</sup>、早勢 欣和<sup>1</sup>、布目 明弘<sup>1</sup>、浦 恵里夏<sup>1</sup>、牧田 祥子<sup>1</sup> (1. 富山高等専門学校、2. 株式会社YDKテクノロジーズ)

4:15 PM - 4:30 PM

# 上毛かるた取りゲームへの参加による 実践的プログラミング教育

Programming Education by the Competition of Jomo-Karuta Game

寺元貴幸<sup>1)</sup>, 黒木祥光<sup>2)</sup>, 小保方幸次<sup>3)</sup>, 井上泰仁<sup>4)</sup>, 奥田遼介<sup>5)</sup>,

大墳聡<sup>6)</sup>, 川本真一<sup>7)</sup>, 布施川秀紀<sup>8)</sup>

Takayuki Teramoto, Yoshimitsu Kuroki, Koji Obokata, Yasuhito Inoue,  
Ryousuke Okuda, Satoshi Ohtsuka, Shinichi Kawamoto, and Hideki Fusegawa

- 1) 博(工) 津山高専 総合理工学科 教授(〒708-8509 津山市沼624-1, teramoto@tsuyama-ct.ac.jp)
- 2) 博(工) 久留米高専 制御情報工学科 教授(〒830-8555 久留米市小森野1-1-1, kuroki@kurume-nct.ac.jp)
- 3) 博(工) 一関高専 未来創造工学科 教授(〒021-8511 一関市萩荘字高梨, obokata@ichinoseki.ac.jp)
- 4) 博(工) 舞鶴高専 電気情報工学科 准教授(〒625-8511 京都府舞鶴市宇白屋234, yinoue@maizuru-ct.ac.jp)
- 5) 株式会社Preferred Networks(〒113-0033 東京都文京区本郷2-40-1, g.okuta@gmail.com)
- 6) 博(工) 群馬高専 電子情報工学科 教授(〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580, ohtsuka@gunma-ct.ac.jp)
- 7) 博(工) 群馬高専 電子情報工学科 准教授(〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580, kawamoto@gunma-ct.ac.jp)
- 8) 修(工) 群馬高専 電子情報工学科 准教授(〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580, fusegawa@gunma-ct.ac.jp)

The 33rd programming contest was held online on October 15 – 16, in Takasaki city. We give this paper about a system construction and use of the competition section of the 33rd programming contest. At this year's NAPROCK programming contest, we developed a game of taking karuta, and developed a contest in which the team that more accurately distinguishes between read speech. In 2021, it was difficult for players to assemble at the venue due to COVID-19. In 2022, teams in Japan could assemble at the venue to hold face-to-face games, but foreign teams were not allowed to enter Japan. So we developed a system that allows players to participate in the games via the network, and we would like to report on this system. We give this paper about why we did not hold the competition section of the 33rd Kosen programming contest.

**Key Words :** Programming Contest, Voice Identification, Programming Education

## 1. はじめに

コロナ禍の世界では遠隔授業や会議システムなどのソフトウェアが一気に世界中で利用されるようになり、それはコロナ禍が終息に向かった段階でも引き続き利用され、我々にとって必要不可欠なツールとなった。さらに日本国内ではDX需要が増加し、ソフトウェアを含めたシステム開発能力を兼ね備えたプログラマーが不可欠な状況となっている。このため教育現場でもプロジェクト管理能力とプログラミングスキルの習得が大きな課題となっていると考えている。我々はこのプログラミングスキルの習得と向上を支援するシステムを開発してきた[1]~[16]。また高専生から一流のプログラマーを育成する目的にプログラミングコンテスト(高専プロコン)が企画され、今回で33回目の大会となった。今回は群馬高専(群馬県)を主管校として令和4年10月開催で計画されていた。

2021年は2020年に引き続き新型コロナウイルスの影響が日本だけでなく世界中で非常に大きな影響を与え続け

ていた。感染の状況は感染拡大の時期と比較的感染が落ち着いている時期を繰り返し、イベントの開催に関しては大変判断の困難な状況が続いていた。2021年は大会のオンラインで実施した。2022年は日本国内のチームは対面での開催形式に戻すことができたが、海外チームは日本国内に入れないため、リモートでの参加となった。このため、国内の大会とNAPROCKの国際大会は違う方式での開催となり、かなりイレギュラーな開催方式となった。

本論文では主に国内大会(対面形式)の競技部門の開催状況を報告する

## 2. 競技概要と競技ルール

今回の競技は「力あわせる六万人」というタイトルをつけ、複数枚のかるたを同時に読み上げた音声から読み上げられたかるたを正確に判別する競技である。通常のかるたは1枚ずつ読み上げるが、本競技では複数枚を同時に読み上げるため、読み上げを聞き分けなければならない。

かるたには群馬県の郷土かるたである上毛かるたを使用する(図-1)。上毛かるたは44枚の取り札と読み札で構成されており、日本語版と英語版の2種類がある。本競技では両方の音声を使用した。音声をメインテーマにした競技は、高専プロコン競技部門では初めてであり、その取り扱いはかなり困難であった。

ただ、音声データといってもデジタルデータの音声データは突き詰めれば単なる2進数の数字の羅列であり、サーバで取り扱う限り画像データと本質的な違いはない。そのため、サーバサイドのプログラムは従来の競技システムを使うことができた。むしろ問題を作成するツールが必要であり、また大会前に難易度設定が大変困難であった。



図-1 上毛かるた

以下に競技の詳細と用語を紹介する。

「絵札」

- ・44種類の札があり、絵札は市販の上毛かるたを使用する。

「読み札」

- ・1種類の絵札ごとに日本語と英語の2種類の読み札がある。

「読みデータ」

- ・読み札を読み上げた音声データ。
- ・音声は日本語版、英語版それぞれ1人の音声である。
- ・音声データは無圧縮ニアPCM、量子化ビット数16ビット、モノラル、サンプリング周波数48kHzで、WAV(RIFF)形式である。
- ・読みデータは事前に公開し、公開は2022年5月23日に行った。

「問題データ」

- ・読みデータのうちのいくつかを重ね合わせた音声データのことである。
- ・問題データは読みデータと同じ形式である。
- ・重ね合わせる読みデータ数は最小で3、最大で20である。重ね合わせ数は試合開始前に発表する。
- ・同じ絵札の日本語読みデータと英語読みデータの両方が含まれることはない。
- ・重ね合わせる際に読みデータの位置をずらしたり、冒頭と末尾の一部を削除したりすることがある。
- ・問題データの長さは試合によって異なる。
- ・位置のずらしは1サンプル(標本値)単位で行う。
- ・重ね合わせは音量を変えることなく行う。量子化ビ

ット数の関係でクリッピングが発生する場合がある。

- ・1試合は複数の問題データで順次行う。問題データ数は試合開始前に通知する。
- ・1試合内で同じ読みデータが複数の問題データに含まれることはない。

「分割データ」

- ・問題データを分割したデータである。分割は1サンプル(標本値)単位で行う。
- ・分割データは問題データと同じ形式である。
- ・分割数は最小で2、最大で5であり、分割数は試合開始前に発表する。
- ・分割データの長さは一様ではなく、少なくとも0.5秒以上である。
- ・各分割データには、データの並びがわかるように、分割前の順番で番号付けがされている。
- ・競技者は取得するデータ数を指定することができる。どの分割データを取得するかを指定することはできない。データ数に応じてあらかじめ定められた分割データを取得できる。
- ・取得するデータは解答時間内に随時追加することができる。
- ・使用した分割データ数に応じて、ボーナス係数が与えられる。ボーナス係数は使用した分割データ数が少ないほど高い係数となる。ボーナス係数は試合開始前に発表する。
- ・問題データと分割データのサンプルを事前に公開し、公開は2022年5月23日に行った。

「取り」

- ・問題データに含まれる読みデータと関連した絵札を選択することを取りと定義する。
- ・取りは未選択の札のほか、前の問題データの取り札や変更札も取ることができる。
- ・未選択の札を取った場合はそれを取り札とする。
- ・問題データの読みデータ数まで札を取ることができる。
- ・複数の問題データに対して同一の絵札を取ることはできない。

「変更」

- ・前の問題の取り札や変更札を取ることを変更と言い、変更した札を変更札とする。
- ・変更すると前の問題で取った札が減るが、その分を追加することはできない。
- ・変更札は枚数に応じて減点される。1枚当たりの減点数は試合開始前に公開する。
- ・変更札を別の問題で再度変更しても2重には減点されない。

「正解とお手付き」

- ・すべての問題が終了すると各問題の取り札と変更札が確定する。なお、すべての問題が終了したときにすべての絵札44枚が使われているとは限らない。

- すべての問題が終了後、各々の問題データに含まれている札を公開する。問題ごとにデータに含まれる取り札と変更札の両方を正解とし、正解した札のことを正解札とする。
- 正解札にはポイントが与えられ、1枚当たりのポイントにボーナス係数を乗じたものが正解ポイントとなる。1枚当たりのポイントは試合開始前に公開する。
- 問題データに含まれていない札を取り札もしくは変更札に選択することをお手付きと言い、お手付きした札のことをお手付き札とする。
- お手付き札は枚数に応じて減点される。1枚当たりの減点数は試合開始前に公開する。

「制限時間」

- 問題ごとに解答の制限時間を定める。
- 制限時間は2分～10分であり、制限時間は、試合開始前に公開する。
- 解答は制限時間内に送信が完了している必要がある。解答の送信中に制限時間が経過した場合には、その解答は無効になる。

### 3. 競技システム

2022年の競技部門は対面形式の開催のため参加者は従来の大会と同様にステージ上に集まって参加することになる。セキュリティ並びに公正をきすために、インターネットから切り離された独立したLANをステージ上に構築し、参加者は最大3台のパソコン(プログラマブルな装置)をサーバに接続する。

国際大会の場合は、参加者が国内・海外の両方からさかんかするため、競技サーバはインターネットからアクセスできる必要がある。セキュリティならびに主催者の観点から、外部からアクセス可能なオンプレミスのサーバを準備するよりクラウドを利用の方が安全性が高いと予想される。また試合進行の状況を遠隔からコントロールすることも含めてAWS上にサーバを構築することとした。ただし、大会期間中は国内大会の運営に集中しており、国際大会をリアルタイムに監視することは困難であった。このため、競技サーバをタイマーを使って一定期間だけ運用し、その間はいつでも何度でも回答が遅れるように設定した。



図-2 2022年大会の競技運用の様子

### 4. 大会の実施状況

令和4年10月に高崎市で開催された本選大会の競技部門には国内チーム49、海外チーム3全52チームが応募し、国内大会では1回戦(5試合)、敗者復活戦リーグ(3試合)、準決勝(3試合)、そして決勝戦が行われた。

本選では、各チームの回答結果を表示するプレゼンターを準備して、試合後に参加チームの回答状況を並べて表示するなど観客にもわかりやすい進行に努めた(図-2)。また、4月1日に競技概要を公開し、6月末に予選審査を行うまでに、システムの開発と並行して競技の疑問点の質問を受け付けてそれに回答した。実際2022年の大会では19件の問い合わせがあり、これに回答し、それをWebで情報共有してきた。また参加者とサーバとの接続を確実にするため常時接続できる練習用競技システムを準備するなど、参加者がいつでも試すことができる環境を準備した。

本番となる本選大会の運営は概ね良好であったとらえている。オンライン開催を想定したルール設定を行ったこと、また前述したテストサーバを公開したことで提出方法、フォーマットエラーの事前確認が十分行えたことがスムーズな運営を行うことができた要因と考えてる。

また本来の目的である、プログラミング能力の向上に関しても、人間では識別困難な音声データから多数のチームが正しい回答を提出したことは大変大きな成果だと思われる。また決勝戦では12枚のかかるたの読み上げ音声を重ねた非常に難しい問題にも関わらず上位2チームがパーフェクトな回答を提出し、順位決定戦を行うなど大変素晴らしい成果であった(図-3)。

第33回 全国高等学校 プログラミングコンテスト

競技部門「力あわせる六万人」

決勝戦 結果速報

| 順位   | 合計    | 第1回   |      | 第2回 |      | 第3回 |       | 第4回 |      | 順位決定戦 |   |     |       |   |     |       |     |
|------|-------|-------|------|-----|------|-----|-------|-----|------|-------|---|-----|-------|---|-----|-------|-----|
|      |       | 正解数   | ボーナス | 正解数 | ボーナス | 正解数 | ボーナス  | 正解数 | ボーナス |       |   |     |       |   |     |       |     |
| 大塚山大 | 7,800 | 7,800 | 0    | 0   | 12   | 2   | 2,400 | 10  | 2    | 2,000 | 8 | 2   | 1,800 | 8 | 2   | 1,800 | 400 |
| 巧明高校 | 7,800 | 7,800 | 0    | 0   | 12   | 2   | 2,400 | 10  | 2    | 2,000 | 8 | 2   | 1,800 | 8 | 2   | 1,800 | 200 |
| 松江   | 6,820 | 7,000 | 2    | 1   | 9    | 2   | 1,800 | 10  | 2    | 2,000 | 8 | 2   | 1,800 | 8 | 2   | 1,800 | -   |
| 豊田   | 6,320 | 6,800 | 5    | 0   | 7    | 2   | 1,400 | 10  | 2    | 2,000 | 8 | 2   | 1,800 | 8 | 2   | 1,800 | -   |
| 明石   | 4,880 | 5,000 | 3    | 2   | 5    | 2   | 1,000 | 6   | 2    | 1,200 | 7 | 2   | 1,400 | 7 | 2   | 1,400 | -   |
| 阿南   | 4,820 | 4,820 | 0    | 0   | 11   | 1.2 | 1,320 | 7   | 1.5  | 1,050 | 7 | 1.5 | 1,050 | 8 | 1.5 | 1,200 | -   |
| 鳥羽高校 | 4,040 | 4,200 | 0    | 2   | 7    | 1.5 | 1,050 | 8   | 1.5  | 1,200 | 8 | 1.5 | 900   | 7 | 1.5 | 1,050 | -   |
| 片岡南  | 3,070 | 3,750 | 5    | 5   | 8    | 1.5 | 1,200 | 3   | 1.5  | 450   | 6 | 1.5 | 900   | 8 | 2   | 1,200 | -   |
| 宮小牧  | 2,720 | 3,200 | 0    | 6   | 10   | 1   | 1,000 | 8   | 1    | 800   | 7 | 1   | 700   | 6 | 1   | 800   | -   |

図-3 決勝戦のスコア

5. まとめ

第33回プロコンも昨年に引き続き例年と全く異なる大会となった。競技部門は久しぶりの対面形式での開催であり、2年間のブランクがあった影響もあり、非常に準備に時間が必要な大会となった。2020年に関しては競技部門の中止を余儀なくされ、2021年開催した秋田大会も新型コロナウイルスの影響を考慮する必要がある、参加選手はリモート参加、運営スタッフは現地集合という開催形態だった影響は大きく、対面開催のノウハウをすっかり忘れた状態での開催であり、細かいところまで注意する必要があった。今後、新型コロナの影響がいつまで残るか未定の状態であるが、次の開催では海外チームも日本に入国できるようになり、本来の大会に戻ることを期待している。しかし、コロナ禍での大会の経験も今後の大会運営に生かせる可能性があるのここに記録しておきたい。また本来の目的である本システムを活用したプログラミング教育用システムを開発するなどプログラミング教育の教材として活用する方法を模索して行きたい。

参考文献

[1] 寺元貴幸, 高橋原野, 岡田正, 川田重夫: ネットワーク分散型教育用 P S E システムにおけるデータベース設計に関する考察, 計算工学講演会論文集 Vol.12, pp703-706, 2007.

[2] 寺元貴幸, 青山亮太, 岡田正, 川田重夫: プログラミング教育における習熟別アドバイスメッセージの自動生成に関する考察, 計算工学講演会論文集 Vol.13, pp965-968, 2008.

[3] 寺元貴幸, 青山亮太, 岡田正, 川田重夫: プログラミング教育における習熟別アドバイスメッセージの自動生成に関する考察, 計算工学講演会論文集 Vol.14, pp. 431-432, 2009.

[4] 寺元貴幸, 大西淳, 岡田正, 川田重夫: プログラミング教育におけるアルゴリズム可視化とアドバイスシステムに関する考察Ⅱ, 計算工学講演会論文集 Vol.15, pp.1039-1040, 2010.

[5] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 谷澤俊弘, 山口巧, 今井一雅, 金寺登, 井上恭輔, 山下晃弘, 岡田正, 川田重夫: インターネット対戦型戦略ゲームへの参加による実践的プログラミング, 計算工学講演

会論文集Vol.16, F-6-5, 2011.

[6] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 片山英昭, 熊谷一生, 奥田遼介, 川田重夫: 画像修復対戦ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.17, H-4-4, 2012.

[7] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 千田栄幸, 井上泰仁, 尋木信一, 奥田遼介, 鈴木貴樹, 川田重夫: サイコロ数えゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.18, C-8-6, 2013.

[8] 寺元貴幸, 森川一, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 奥田遼介, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 川田重夫: サイコロ通信ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.19, F-12-5, 2014.

[9] 寺元貴幸, 井上泰仁, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 後藤弘明, 奥田遼介, 千田栄幸, 井上泰仁, 長尾和彦, 川田重夫: 画像修復ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.20, F-12-1, 2015.

[10] 寺元 貴幸, 井上泰仁, 小保方幸次, 藤田悠, 伊藤祥一, 奥本隼, 若林哲宇, 猪田陽介, 奥田 遼介, 長尾和彦, 川田重夫: ピース敷き詰め型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.21, E-10-6, 2016.

[11] 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 出江幸重, 江崎修央, 田添丈博, 奥田遼介, 川田重夫: シルエットパズル型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.22, D-12-5, 2017.

[12] 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 橘理恵, 石原良晃, 出江幸重, 奥田遼介, 川田重夫: シルエットパズル型ゲームⅡへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.23, F-03-5, 2018.

[13] 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 太田健吾, 岡本浩行, 出江幸重, 奥田遼介, 川田重夫: 陣取り型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.24, C-12-03, 2019.

[14] 寺元貴幸, 黒木祥光, 小保方幸次, 井上泰仁, 丸田要, 臼井昇太, 奥田遼介, 川田重夫: 陣取り型ゲームⅡへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.25, F-09-01, 2020.

[15] 寺元貴幸, 黒木祥光, 小保方幸次, 井上泰仁, 奥田遼介, 川田重夫: 陣取り型ゲームⅢへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.26, D-09-01, 2021.

[16] 寺元貴幸, 黒木祥光, 小保方幸次, 井上泰仁, 奥田遼介, 川田重夫: 画像復元パズルゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.27, D-06-03, 2022.

# 学科紹介用チャットボットの作成

## Development of Chatbot for Department Introduction

宮地英生<sup>1)</sup>, 小出敦也<sup>2)</sup>

Hideo Miyachi and Atsuya Koide

1) 博(工) 東京都市大学 情報システム学科 教授 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1, E-mail: miyachi@tcu.ac.jp)

2) 東京都市大学 情報システム学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)

Two types of chatbots were developed for introducing the department, one answered by current students and the other by faculty and staff, and made available to high school students. The results showed that high school students preferred to use the students' chatbot, and that they considered the chatbot as a "person" and may ask personal questions.

**Key Words :** Chatbot, Web Page

### 1. はじめに

人工知能を活用した自動会話プログラム：チャットボット(chatbot)は、2016年以降カスタマーサポートで活用されるようになってきた[1,2]。チャットボットは人工知能の導入により、テキストまたは音声で自然な形で質問を入力できる点、長々とした説明を聞いてボタンを選択しなければならない電話自動応答システムに比べて誰でも手軽に利用できる。サポート側も人件費の削減に加えて、利用者からの質問ログを記録でき、正答を加えていくことでサポート品質を上げていくことが可能となる。

我々は、高校生向けの学科紹介サイトに、在学生と教職員が回答する2種類のチャットボット（以下、教員bot、学生botと呼ぶ）を設置し、オープンキャンパスに来場した高校生に利用してもらい、2種類のチャットボットの違いについて検討した。

### 2. チャットボットの開発

チャットボットは、タケロボ株式会社が提供するサンキューチャットbot[1]を使用した。これは想定される会話の対を登録することで人工知能による学習が行われ、自由記述の質問に対して自動的に回答を作成して返す機能を持つ。利用者は、自分のホームページに、図1に示すチャットボットインターフェイスへのURLをリンクするだけで利用を開始できる。本実験では「学生が答えます」、「教職員が答えます」のような文字情報にリンクを貼り、それぞれのチャットボットへ誘導した。学生botは「何でも聞いてね?」とフランクな印象のプロンプトを表示し、教員botは「聞きたいことをどうぞ」と少しフォーマルな印象でプロンプトを表示する。

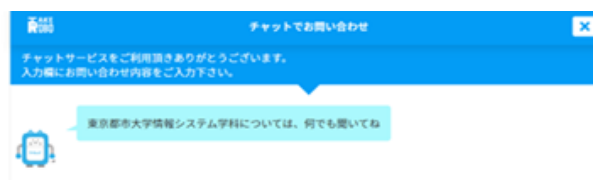


図1 開発したチャットボットインターフェイス

学習させる会話は541対登録した。まず、500個の質問を作成し、その回答を教員と学生が協力して作成した。そのうち88の回答は教員botと学生botに異なる回答を登録した。例えば、「学生寮のメリットは?」という質問に対して、教員botは「安いです」、学生botは「友達出来ます」と、学生botは学生目線の回答するように設定した。

次に、在学生7名に、どちらを利用するという指示なく、利用させた。図2に、この試験利用のときの学生botへの質問ログを示す。1, 2, 3は良い回答を返しているが、4, 5は質問に正しく回答できていない。そこで、このログ(合計183)から新たに41個の会話対を作成して追加学習した。

| No | 質問             | 回答                                |
|----|----------------|-----------------------------------|
| 1  | 自習スペースはありますか?  | あります                              |
| 2  | お昼ご飯はどうしていますか? | 11:00~13:00までです。                  |
| 3  | 最寄り駅はどこですか?    | 横浜キャンパスは横浜市営地下鉄ブルーラインの中川駅、世田谷(省略) |
| 4  | どの講義がおすすめです?   | 宮地研究室、関研究室です                      |
| 5  | 課題はどれくらい出ますか?  | プログラミング系の講義、ビジュアライゼーションです。        |

図2 試験利用での問答例

### 3. オープンキャンパス来場者の利用

2022年11月13日(日)に実施された東京都市大学「一般選抜対策オープンキャンパス」(会場、東京都世田谷区) [2]の情報システム学科の説明会場に来場した高校生に、学生からの学科紹介の研究例として本実験について説明してアクセス用QRコードを印刷したチラシを渡した。その結果、87の質問を得ることができた。

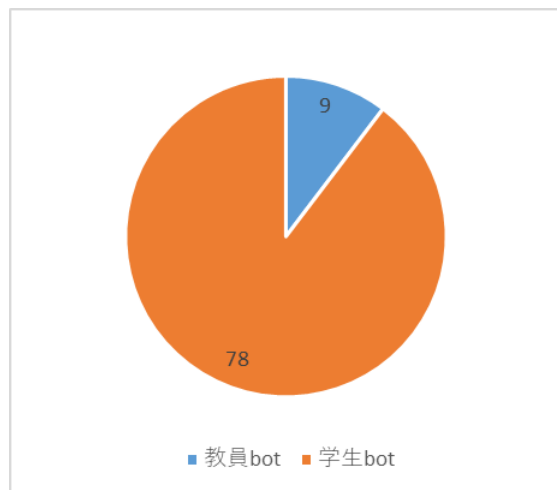


図3 教員bot .vs. 学生bot (質問数)

図3は、両botへの質問数を示す。78対9で、高校生は圧倒的に学生botへ多くの質問を投げた。在学生の意見を聞きたいという意思の表れと思われる。但し、ホームページ上のエントリーが、上に学生bot、下に教員botを配置したため、上から利用された可能性はある。

#### 4. 質問の内容

オープンキャンパスでの教員botへの回答数が少なかったため、別途、知人の高校生4名に依頼して使ってもらった76の質問を追加した合計163の質問の内容をカテゴリに分けた。学生へはサークル活動、教員へは講義や研究、のような傾向を予測したが、ほぼ同じ割合での質問だった。図4に教員botへの質問内容のカテゴリを示す。

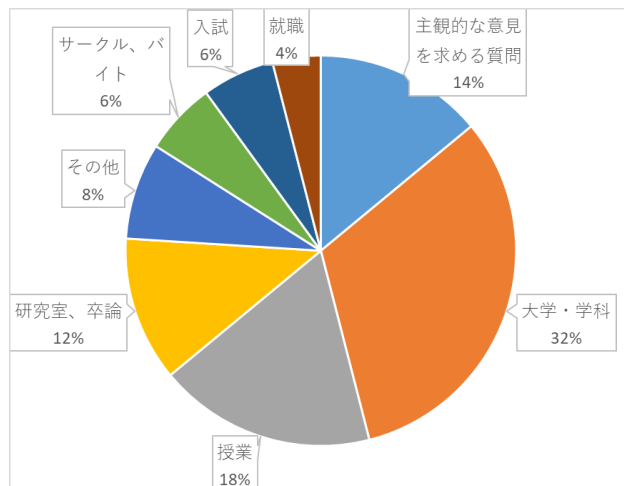


図4 質問の内容 (教員bot)

図4は教員botに対する質問のカテゴリを示す。「主観的な意見を求める質問」は、他の分類と異なり、チャットボットを「人」とみなした質問、例えば「教授は儲かりますか?」、「学生生活で楽しいことは何か?」のように客観的な事実を質問するものではなく、回答者に意見を求める質問の数を示している。図4に示したカテゴリの比率は両botでほぼ同じだが、この主観的な質問は学生bot 8%に対して教員bot 14%となった。大学生は身近に居ても、大学教員が身近に居ることは少ないので、教員に対して個人的な興味が高くなるのかもしれない。但し、そのような問答は想定していないので、回答は的外れなものとなった。

#### 5. まとめ

学科紹介のホームページに学生bot、教員botの2種類のチャットボットを配置して利用され方の違いを調べた。オープンキャンパスに来場した高校生は、教員botよりも学生botを好んで利用した。知人の高校生を含めた163間の質問分析からは学生botと教員botに質問内容の差は見られなかった。チャットボットを使うことで主観的な意見を求める質問が出る点が興味深い結果となった。個人的な興味は学生よりも教員に対して高くなる結果となった。

謝辞：本実験のためにサンキューチャットボットの利用に便宜を図っていた抱きました株式会社タケロボの竹内清明社長に感謝します。

#### 参考文献

- [1] 峰内暁世, 松葉龍一, 戸田真志, 鈴木克明: チャットボットを利用した学びの促しを支援するツールの開発, 大学ICT推進評議会, <https://axies.jp/files/report/publications/papers/papers2017/TF2-5.pdf>
- [2] 金城辰一郎: チャットボット: AIとロボットの進化が変革する未来, ソーテック社, 2016
- [3] タケロボ株式会社ホームページ: <http://www.takerobo.co.jp/index.html>
- [4] リクルート社「スタディサプリ」ホームページ2022年度東京都市大学オープンキャンパス案内 <https://shingakunet.com/gakko/SC000508/openCampus/archive/0000614213/gak>

# ゲームエンジン用可視化フレームワーク VisAssetsの開発

Development of VisAssets: a Visualization Framework for the Game Engine

川原慎太郎<sup>1)</sup>, 宮地英生<sup>2)</sup>, 伊藤貴之<sup>3)</sup>, 田中覚<sup>4)</sup>, 檜山和男<sup>5)</sup>

Shintaro Kawahara, Hideo Miyachi, Takayuki Itoh, Satoshi Tanaka and Kazuo Kashiyama

- 1) 博(工) 海洋研究開発機構 (〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25, E-mail: kawahara@jamstec.go.jp)
- 2) 博(工) 東京都市大学 メディア情報学部 教授 (〒224-8551 横浜市都筑区牛久保西3-3-1, E-mail: miyachi@tcu.ac.jp)
- 3) 博(工) お茶の水女子大学 基幹研究院 教授 (〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1, E-mail: itot@is.ocha.ac.jp)
- 4) 理博 立命館大学 情報理工学部 教授 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1, E-mail: stanaka@is.ritsume.ac.jp)
- 5) 工博 中央大学 理工学部 教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27, E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp)

We are developing an open-source visualization framework named VisAssets that runs on the game engine Unity. One of the features of this framework is that visualization applications can be developed simply by connecting small modularized visualization elements. VisAssets was targeted at structured grid data. However, it is now being extended to unstructured grid data, particle data, and data for information visualization. This paper presents an overview of VisAssets and its development status.

**Key Words:** Visualization, Framework, Game Engine

## 1. はじめに

ゲームエンジンUnityで動作する、オープンソースの可視化フレームワークVisAssets[1]の開発を進めている。モジュール化された可視化の小要素を階層的に接続するだけで、可視化アプリケーションを開発できるのが本フレームワークの特徴である。当初は構造格子データを対象として開発を開始したが、現在はそれ以外のデータ形式にも適用範囲を広げつつある。本稿ではVisAssetsの概要と、現在の開発状況について報告する。

## 2. 可視化フレームワークVisAssets

安価なヘッドマウントディスプレイ (HMD) の登場により、CAVE[2]のような大型かつ高額な機器を用いなくても没入感の高い立体映像を提示できるようになった。CAVE, HMDともに、その上で動作するアプリケーションの開発は旧来のプログラミング言語でも可能ではあるが、開発効率やメンテナンス性の面から「ゲームエンジン」と呼ばれるソフトウェアを用いるのが現在では主流となっている。計算科学分野においても、シミュレーション等により得られたデータの可視化結果をHMDで提示する事例が増えており、その多くでゲームエンジンが用いられている。これは、3-Dモデルデータ化された可視化結果をゲームエンジンにインポートするだけでHMDに表示できるためであるが、この場合可視化条件を変更する度にモデルデータの差し替えが必要となる。一方、対象となるデータの読み込みから可視化アルゴリズムの適用までの全工程をUnity上で行う場合、それらの機能はユーザ自身がプログラミングにより実装しなければならない。

ゲームエンジンへの可視化機能の実装の例としては、VTK[3]のUnity対応版であるActiViz for Unity[4]があるが、内部でVTKのWindowsDLLを利用する仕組みのため、AndroidベースのOSを搭載する多くのスタンドアロン型HMDでは動作しない。Windowsでの利用においても、VTKの機能を利用するためにはユーザ自身によるプログラミングが必要な点も導入のハードルとなっている。

これに対し、VisAssetsではデータ読み込み、フィルタリング、マッピングの三種に大別される可視化フローの小要素をモジュールとして提供している。これらをUnityのビジュアルエディタ上で適切に接続することで、プログラミングレスで可視化アプリケーションを作成できる。また、特定のプラットフォームに依存する機能を用いていないため、スタンドアロンHMDの他、スマートフォンでも動作する。図-1はVisAssetsによる可視化の様子を示したものである。本図下部にあるアイコン群がVisAssetsにおける可視化モジュールであり、これらを適切な親子関係で接続することで可視化フローを構築できる。

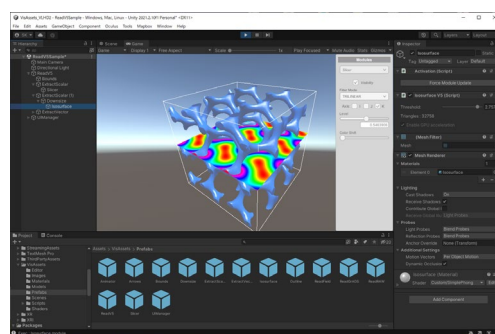


図-1 VisAssetsによる可視化の様子

### 3. さまざまなデータ形式への対応の試み

VisAssetsの公開パッケージに含まれるサンプルモジュールは、いずれも構造格子データを対象として設計されたものである。読み込みモジュールは指定したデータを内部データクラス内の構造格子用変数に格納し、フィルタリングおよびマッピングモジュールはそのデータクラスに対して可視化アルゴリズムを適用する。構造格子以外の入力データに対しても、この内部データクラスの拡張により柔軟に対応することができる。VisAssetsの核となるのは親子関係にある可視化モジュール間の接続可否判定と状態遷移であり、これは入力データの形式に依らず機能する基本的な動作原理であるためである。

ここでは、構造格子以外のデータ形式への対応例として、全く異なるデータ構造を持つ非構造格子、点群、情報可視化データの三種を対象とし、それらをVisAssetsの枠組み内で扱うための試みについて紹介する。内部データクラス内でのデータ保持方法の規定が最も重要な工程となるため、現時点ではいずれもテスト実装段階である。

#### (1) 非構造格子データ

既存のデータ形式 (VTK, AVS/Express) を参考に、非構造格子データを保持できるよう内部データクラスを拡張し、AVS/Express用非構造格子データの読み込みと外形線の表示を行うモジュールをテスト実装した (図-2)。本図では格子点番号に応じた色を設定している。

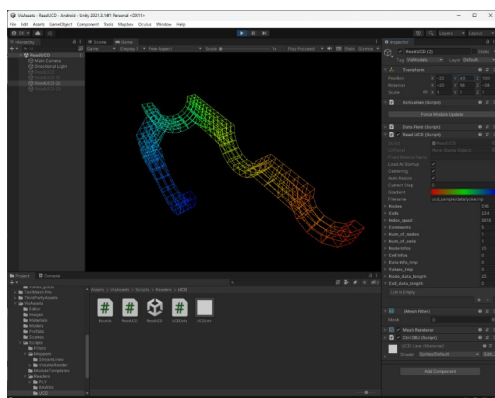


図-2 非構造格子データの可視化例

#### (2) 点群データ

点群データを保持できるよう内部データクラスを拡張し、PLY形式データの読み込みと表示を行うモジュールをテスト実装した (図-3)。本図では500万点超の点群表示の他、同じ領域の構造格子データを既実装の同データ用モジュールを、地図表示にはMapBox[5]を用いている。このように、他のオブジェクトとの同時利用が容易にできるのもゲームエンジンを用いる利点の一つである。

他のデータ形式においても同様ではあるが、描画対象 (この場合は点群) が大量となる場合は描画負荷が非常に高く、PCでの実行時には問題がなくても、スタンドアロン型HMDでの実行時には点群数の相当な削減が必要であった。

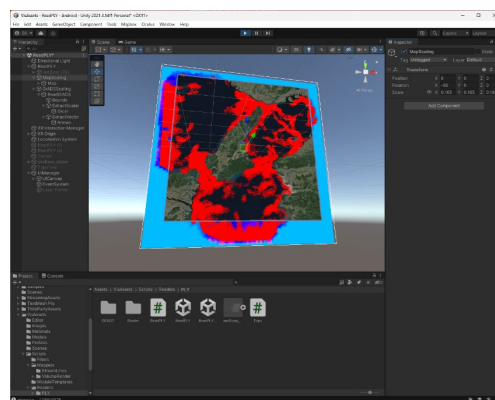


図-3 点群データの可視化例

#### (3) 情報可視化データ

情報可視化手法である平安京ビュー[6]のデータの読み込みと表示を行うモジュールをテスト実装した。専用のデータ形式であるため、内部データクラスの構造や描画ルーチンの実装においては、Javaで記述されたオリジナル版の平安京ビューのソースコードをほぼそのままC#で移植することで対応し、オリジナル版の平安京ビューの機能をほぼ実装することができた。

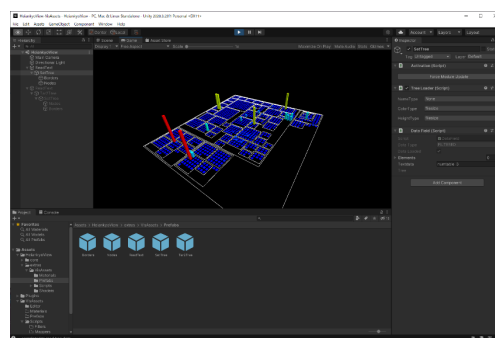


図-4 「平安京ビュー」データの可視化例

### 4. 構造格子用モジュールの開発

構造格子データ用として、ボリュームレンダリングモジュールを開発した (図-5)。伝達関数の変更用ユーザインタフェースの実装が今後の課題である。

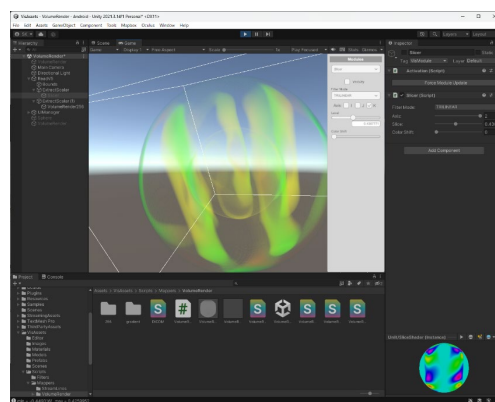


図-5 ボリュームレンダリングモジュール

### 5. まとめ

本稿では、Unity用可視化フレームワークVisAssetsの概要を紹介するとともに、構造格子以外のデータ形式への

対応の試みなど, その開発状況について述べた. VisAssets はgithubにて公開しており[7], 誰でも自由に利用することができる. 今回紹介したモジュール群についても今後のバージョンアップでの公開を予定している. 新たなモジュールの作成を容易にする仕組みも提供しており, 利用者自身による開発へのフィードバックにも期待したい.

#### 謝辞

本稿に関する研究の一部はJSPS科研費21K11916およびJP22K12054の助成を受けたものです.

#### 参考文献

[1] 宮地英生, 川原慎太郎: ゲームエンジンを用いた VR 可視化フレームワークの開発, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.59-67, 2020.

- [2] Cruz-Neira, C. et al: Surround-Screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, Proc. of SIGGRAPH'93, pp.135-142, 1993.
- [3] VTK: <https://vtk.org/> (最終アクセス日: 2023年4月6日)
- [4] Activiz for Unity: <https://www.kitware.eu/activiz/> (最終アクセス日: 2023年4月6日)
- [5] Mapbox: <https://www.mapbox.com/unity> (最終アクセス日: 2023年4月6日)
- [6] 伊藤貴之, 山口裕美, 小山田耕二: 長方形の入れ子構造による階層型データ可視化手法の計算時間および画面占有面積の改善, 可視化情報学会論文集, Vol.26, No.6, pp.51-61, 2006.
- [7] VisAssets: <https://github.com/kawaharas/VisAssets> (最終アクセス日: 2023年4月6日)

# GNSS データに基づくロケーションベース MR 可視化システムの構築

## Development of a Location-based MR Visualization System based on GNSS Data

中祖諒大<sup>1)</sup> 大川博史<sup>2)</sup> 樫山和男<sup>3)</sup> 琴浦毅<sup>4)</sup>  
Ryoudai Nakaso and Hiroshi Okawa and Kazuo Kashiya

<sup>1)</sup>修士 中央大学 理工学研究科 学生 (〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail: a19.pj7j@g.chuo-u.ac.jp)

<sup>2)</sup>株式会社エイト日本技術開発 (〒 164-8601 東京都中野区本町 5-33-11, E-mail: ookawa-hi@ej-hds.co.jp)

<sup>3)</sup>工博 中央大学 理工学研究科 教授 (〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail: kaz.90d@g.chuo-u.ac.jp)

<sup>4)</sup>五洋建設株式会社 (〒 112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8, E-mail: tsuyoshi.kotoura@mail.penta-ocean.co.jp)

This paper presents a location-based MR visualization system based on GNSS data for work support at construction sites. This system uses a GNSS receiver capable of centimeter-level positioning by network RTK surveying, and superimposes a 3D model onto real space accurately and automatically. In order to verify the validity and effectiveness, this system is applied to the visualization for the underground structures and compares the accuracy of the superimposed position by performing marker-based superimposition.

**Key Words :** Mixed Reality, Hololens2, Location-based

### 1. はじめに

近年、建設業界では作業支援を目的とした可視化技術の導入及び利用が進められている。可視化技術の一つである Mixed Reality(以後、MR)は頭部装着型の専用のデバイスを必要とするというデメリットがある一方で、可視化時は両手が自由な状態となるため安全を確保できるというメリットがある。このような点から、建設現場で利用する場合似たような技術である AR(Augmented Reality)[1]と比較してより有用であると考えられる。

著者らはこれまで、マーカーベース MR 可視化システムの構築を行ってきた [2]。しかし、この手法は現地において正確にマーカーを設置する手間がかかる他、移動を伴う可視化においては移動距離が大きくなると重畳精度が大幅に下がるという問題点があった。そこで本研究ではロケーションベース手法に着目した。ロケーションベース手法は衛星からの位置情報を基に可視化位置を決定する手法であり、現地においてマーカーを設置する手間が省けるため、マーカーを設置できない海上やマーカーを認識できない夜間でも可視化が可能である。また、重畳精度は取得する位置情報の精度に依存するため、高精度な GNSS 受信機を用いることで高精度な重畳が可能となる。本研究は GNSS データに基づくロケーションベース MR 可視化システムの構築を目的とし、本手法の妥当性と有効性について、従来のマーカーベース MR 手法との比較のもとに行った。

### 2. MR 可視化システム

本システムのフローチャートを図-1 に示す。

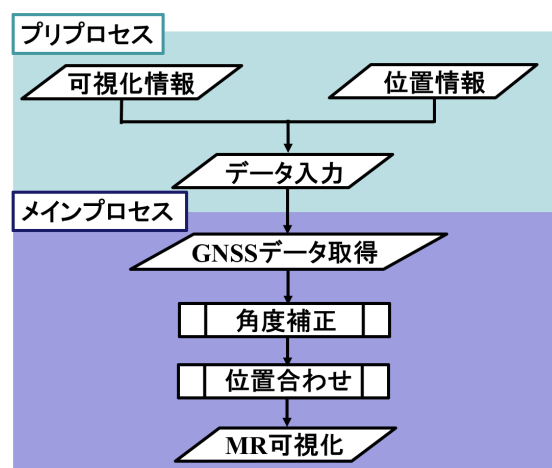


図-1 フローチャート



図-2 可視化時の Hololens2 装着の様子

#### (1) 開発環境

本研究では、統合開発環境として Unity を使用し、開発キットとして MRTK を使用した。デバイスには、図-2

表-1 GNSS 受信機の測位状態の定義

| 数値表記 | 測位状態               | 推定精度  |
|------|--------------------|-------|
| 0    | 即位不可               | 8     |
| 1    | 単独測位               | 3.0 m |
| 2    | 相対測位               | 40 cm |
| 5    | float(RTK 測位完了前段階) | 20 cm |
| 4    | fixed(RTK 測位完了)    | 2 cm  |

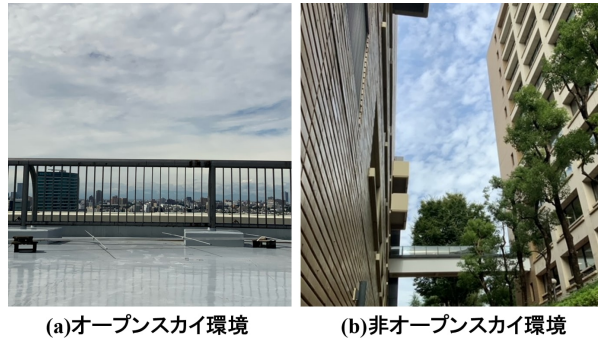


図-3 計測環境

に示す Microsoft 社製の頭部装着型コンピューターデバイスである Hololens2 を用いた。位置情報を取得する GNSS 受信機には、コア社製の QZNEO を用いた。また、GNSS 受信機から Hololens2 に位置情報を送信する際の通信プロトコルには、同時に複数の端末と通信が可能であり、通信速度が TCP 通信と比較してより速い UDP 通信を採用した。

(2) GNSS 受信機の位置情報精度

表-1 に本機の受信状態の定義を示す [3]。あらかじめ、本機の位置情報を精度を確認するため、図-3 に示すオープンスカイ環境 (a) と非オープンスカイ環境 (b) にて 24 時間受信位置の変化について計測を行った。このとき、受信状態はオープンスカイ環境で表中の 4 の fixed、非オープンスカイ環境で 5 の float であった。以後、受信状況は表中の数値表記を用いる。図-4 図-5 に計測結果から算出した偏差の分布を示す。図より、1 秒毎に受信する位置情報の変動幅は、オープンスカイ環境ならば数 cm であり、本システムに適用可能であることが分かった。

(3) プリプロセス

可視化情報の入力では、可視化するモデルの 3D データを入力する。本研究では、埋設管モデルを用いた。位置情報の入力ではモデルの重畳位置の緯度、経度、楕円体高を入力する。

(4) メインプロセス

アプリケーション起動時の初期設定では、デバイスの位置を原点とし鉛直上向きを y 軸の正、デバイスの正面方向を z 軸の正とした左手系の座標系が構築される。しかし、本システムは位置合わせの際、北を z 軸、東を

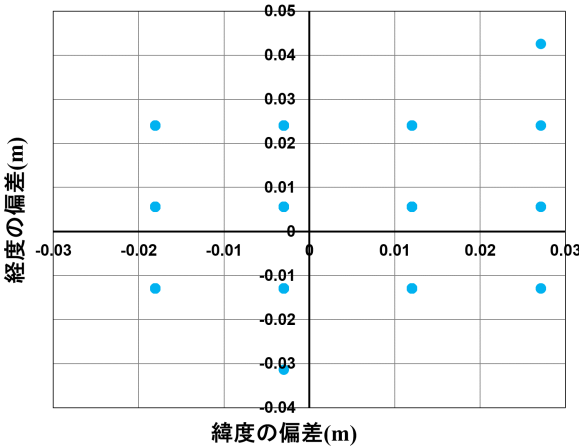


図-4 オープンスカイ環境での値の範囲

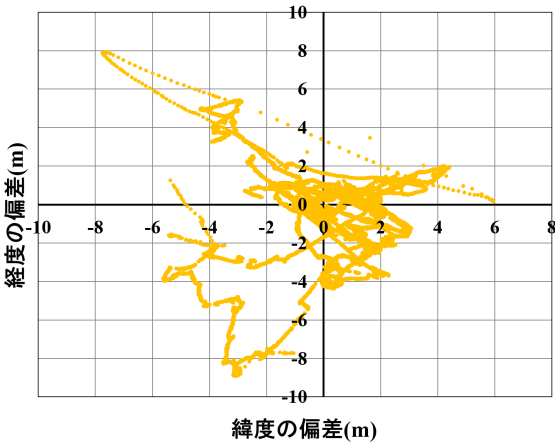


図-5 非オープンスカイ環境での値の範囲

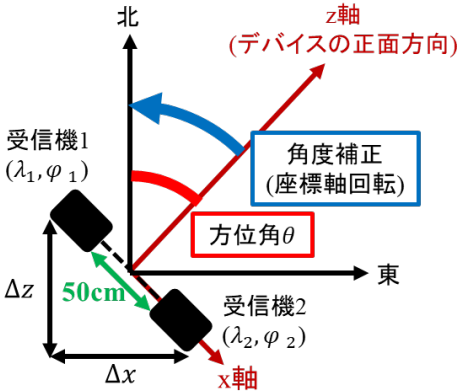


図-6 角度補正手法

x 軸、鉛直方向を y 軸を対応させ、それぞれ緯度、経度、楕円体高を用いて計算を行う。よって、図-6 に示すように北と z 軸、東と x 軸を一致させるために角度補正を行う。アプリケーション起動時の 2 台の GNSS 受信機が取得する位置情報の緯度差  $\Delta z(m)$ 、経度差  $\Delta x(m)$  からデバイスの正面方向の方位角の大きさ  $\theta$  を算出する。y 軸周りに  $\theta$  座標系を回転させることで角度補正が完了

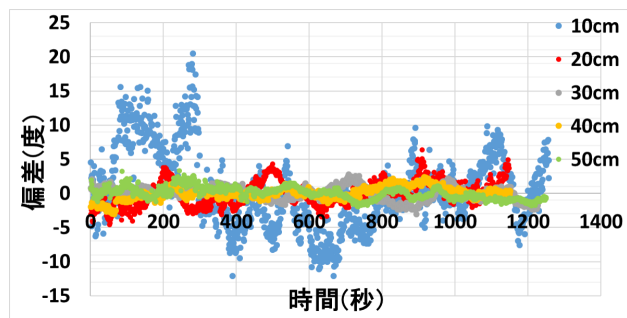


図-7 各距離間の偏差

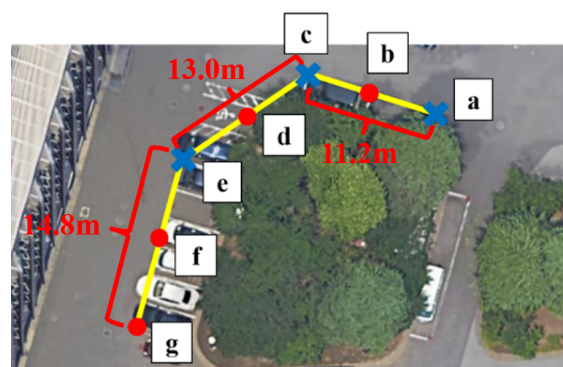


図-9 実施環境



・可視化モデル: 管径0.5m, 長さ10mの円管

図-8 3D モデルを用いた角度補正精度の比較

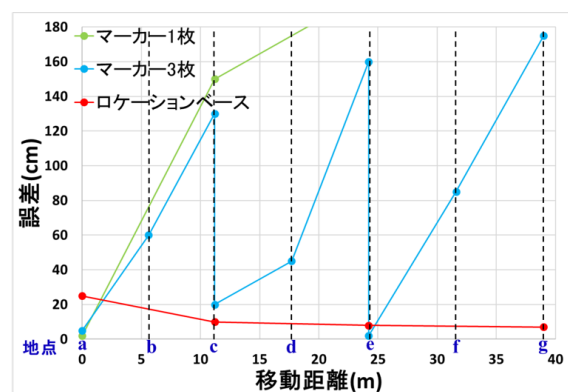


図-10 重畳精度の変化

する。補正された座標系において、重畳位置の位置情報とデバイス位置の位置情報の差からデバイスから重畳位置までの距離を算出し重畳位置を決定する。位置情報は一秒毎に更新されるためデバイスの移動にも対応している。なお、デバイス位置には2台のGNSS受信機が取得する位置情報の平均値を用いる。また、緯度、経度に関しては単位が度であるため、円周の公式を用いてメートルに変換を行う。

### 3. 角度補正精度検証

角度補正は位置情報を基に行われるため、その精度は取得する位置情報の精度に影響される。また、位置情報の誤差が角度補正の精度に与える影響の大きさは、2台の受信機間の距離によって変化することが考えられる。そこで、2台の受信機間の距離と角度補正精度の関係を検証により評価し、最も精度が高くなる距離間を本システムに採用することとする。なお、可視化時2台のGNSS受信機はHololens2の上部に設置するため、最大距離は50cmとした。

#### (1) 計測結果の偏差の比較

偏差の範囲から精度の比較及び評価を行うため、10cmから50cmの5種類の距離でそれぞれ約20分間ずつ方位角の計測を行った。図-7に各距離間の計測結果から算出した偏差を示す。結果から、距離間が30cm以上の場合は偏差の範囲が狭く精度が高いことが分かった。一方で、距離間が10cmと20cmの場合は偏差の範囲が大きく精度が低いことから本システムでは不採用とした。

#### (2) 3Dモデルを用いた比較

高精度を確認した30cmから50cmの距離間について、3Dモデルの重畳精度から角度補正精度の比較及び評価を行う。各距離間で5回ずつモデルの重畳を行い、結果を同じ場所から撮影し写真を合成することで視覚的に判断をする。なお、重畳位置は画像奥行き方向の白線上である。図-8に各距離間の重畳結果の画像を示す。結果から、距離間が大きくなるほど角度補正精度が向上することが分かった。よって、本システムでは2台の受信機間の距離は50cmを採用した。

### 4. 適用例

#### (1) 移動距離と重畳精度の関係

##### a) 実施環境

実施環境は図-9に示す中央大学後楽園キャンパス内の中庭である。可視化対象は水道管を模した総延長約40mの円柱の3Dモデルである。移動距離と重畳精度の関係を評価方法として、地点aからgに移動し各地点において重畳位置の誤差を計測することで行う。また、既往研究であるマーカーベース手法でも同様の可視化を行重畳精度の比較を行う。なお、マーカーベース手法においては、マーカーは地点a、地点c、地点eの3箇所に設置した。

##### b) 適用結果

図-10に各地点における重畳位置の誤差の大きさを表したグラフを示す。結果から、本システムであるロケーションベース手法は地点gにおいても重畳位置の誤差

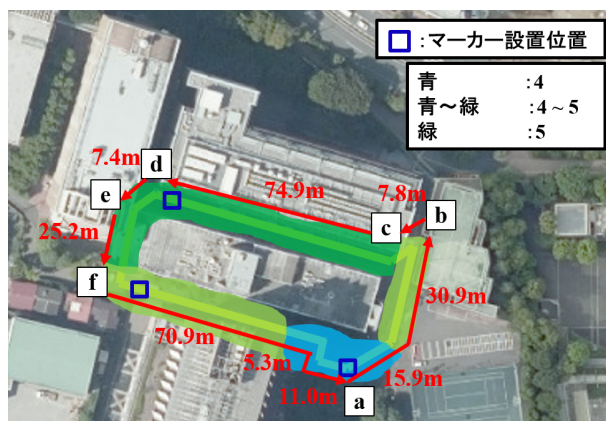


図-11 実施環境

の大きさが小さいことから、マーカーベース手法と比較して移動距離が大きくなっても高精度を維持できることが分かった。要因として、マーカーベース手法はデバイスのカメラで周囲の特徴点を取得することでデバイスの移動を感知しモデルの重畳位置を調節するのに対し、ロケーションベース手法はデバイス位置の位置情報を1秒毎に取得しモデルの重畳位置を再計算するためと考えられる。マーカーベース手法は地点cや地点eにおいて重畳位置の誤差は大きく、マーカーを再認識することで精度が戻ったことから、移動に伴う可視化においては複数のマーカーの設置が必要なが分かった。

## (2) 街中を想定した仮想埋設管可視化への適用

### a) 実施環境

実施環境は図-11に示す中央大学後楽園キャンパスの1号館周辺である[4]。実際に街中で可視化を行う場合、周辺の高層建築物により電波が反射することで到達が遅れ、正確な測位が困難となるマルチパスが発生することが考えられる。よって、本適用例においても周辺に高層建築物がある範囲を一部採用している。ここで、図において青色の範囲はGNSS受信機の受信状況の数値表記で4、緑色の範囲は5を表す。可視化対象は水道管を模した総延長約250mの円柱の3Dモデルである。重畳精度の評価方法として、地点aからf、そして一周後の地点aを含めた計7地点において重畳位置の誤差の大きさを計測することで移動距離と位置情報精度、及び重畳精度の関係を検証、評価する。また、既往研究であるマーカーベース手法でも同様の可視化を行い重畳精度について比較を行うことで、本システムの有用性を評価する。

### b) 適用結果

図-12に本手法における可視化結果を、図-13に移動距離と取得する位置情報精度、及び各地点における重畳位置の誤差の大きさを現したグラフを示す。結果から、本システムであるロケーションベース手法は移動距離が大きくなっても高精度を維持できる一方で、受信状況が悪化する環境においてはマーカーベース手法と比較して大幅に精度が低いことが分かった。

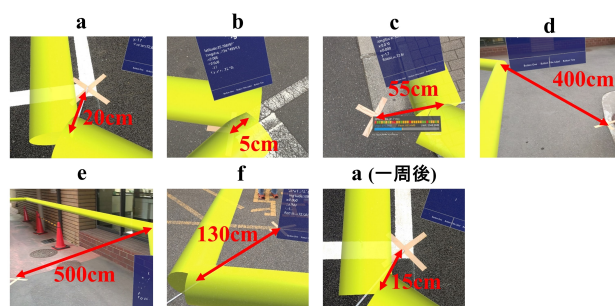


図-12 本手法における可視化結果

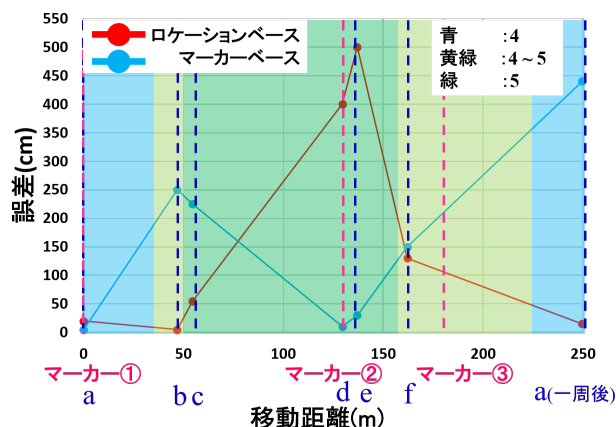


図-13 重畳精度の変化

## 5. おわりに

本研究では、GNSSデータに基づくロケーションベースMR可視化システムの構築として、システムの構築及び仮想埋設管可視化への適用を行い、以下の結論を得た。

- 2台の受信機間の距離に応じて角度補正の精度は向上する。
- 移動距離が大きくなった場合においても本手法は高精度を維持することができる。
- GNSSデータの受信状況が良いオープンスカイ環境下では本手法の妥当性と有効性手法を確認した。一方で、受信状況が悪い非オープンスカイ環境下では、マーカーベース手法が適している。

今後は、本システムを海上等を含む様々な可視化対象に適用を行う予定である。

### 参考文献

- [1] 洲崎文哉, 榎山和男, 吉永崇, 琴浦毅, 石田仁: ARKitを用いた地下埋設物のAR可視化システムの構築と重畳精度の高精度化の検討, 土木学会論文集 F3, Vol.77, No.2, pp.I131-I139, 2021.
- [2] 川越健生, 藤飛, 榎山和男, 吉永崇, 琴浦毅, 石田仁: MR技術を用いた地下埋設物の可視化システムの構築, 土木学会論文集 F3, Vol.78, No.2, pp.I73-81, 2022.
- [3] <https://www.core.co.jp/service/gnss/qzneo/dl/qzneofileserver> (入手 2023.3.29)
- [4] <https://www.gsi.go.jp/> (入手 2023.3.29)

# 分散システム振舞い検証のための可聴化の試行

Trial of data sonification to validate the behavior of a distributed system

早勢 欣和

HAYASE Yoshikazu

修 (工) 富山高等専門学校 (〒 933-0293 富山県射水市海老江練合 1-2, E-mail: hayase@nc-toyama.ac.jp)

A distributed system as a problem-solving environment works based on cooperative structures. In particular, an autonomous asynchronous cooperation system such as a Web-based PSE has complex collective behavior because they do not cooperate sequentially. So far, the behavior of a distributed system has been observed by visualizing the state changes of each computer. Incidentally, auditory information obtains without concentration, but visual information must see consciously. This trial examines the effectiveness of data sonification to validate the behavior of a distributed system.

**Key Words** : Problem Solving Environment, Distributed System, Sonification

## 1. はじめに

ネットワークや Web の基本的な技術を用いて構築できる分散システムは、ネットワークに接続された双方向通信可能なコンピュータ群であるだけでも言えるが、各コンピュータにデプロイするソフトウェアパッケージが互いに連携して問題を解決するといった、Web ベース問題解決環境として利用できる。中でも、自律的かつ非同期で個々のソフトウェアパッケージが連携処理を行う自律的非同期連携システムでは、任意のシステム状態から、一斉あるいは徐々に連携処理を開始することができ、更にはシステムを停止することなく構成するコンピュータを増減することもできる。システムの挙動は自律的非同期連携の場合は特に複雑だが、個々のコンピュータの状態変化が収まる、あるいは僅かになるなどすることがある。連携構造や連携処理の内容によるが、全てのコンピュータが収束状態にあるとき、分散システムの状態を連携処理による解として捉えることができる。なお、一旦ひとつの解に収束しても、構成するコンピュータ群内で僅かでも変化が生じると、連携処理が再開し、時には全体にまで拡散して、再び収束状態となるまで繰り返すことになる。こうした分散システムを問題解決環境として用いることで、解を一意に求めることができない問題に対しても解を提案することができる [1]。さて、分散システムにおける連携処理は、ワークフローとして記述できる場合は処理の過程をチェックポイントにおける局所的観測も可能だが、各所で同時に連携処理が行われるといった場合はシステム全体の観測となる。これまで分散システムの状態データの観測は、可視化による手法に取り組んできたが、この場合、観測者は意識して他の作業を停止し注視する必要がある [2][3][4]。これに対し、可聴化した情報であれば視野を邪魔しないことから、分散システムの状態変化の観測を他の作業と並行して観測できることが期待できる [5]。今回は、分散システム振舞い検証のための可聴化を行うためのシステム構想と、状態遷移時系列データからの音生成の試行について述べる。

## 2. システム構成構想

各コンピュータ間でデータのやり取りが必要な問題解決環境としての分散システムは、分散ファイルシステムによるファイル共有や、Web などといった基本的な技術を用いることで容易に構築できる。処理の流れをワークフローで示すことができる分散システムであれば、チェックポイントを設けて全コンピュータの処理を一時停止することで、任意の時刻におけるシステム全体の状態データを取得できる。しかし、自律的非同期連携システムではシステム全体としての処理ステップそのものがないため、外部におけるステップ毎の観測となる。ポータルサーバなどで行う外部観測では、数値などを含むテキストによる時系列データを取得することができ、Web ブラウザなどでポータルサーバにアクセスし確認することができる。これまでは、システム状態観測には、HTML5 の canvas 要素を用いてデータを可視化することを行ってきた。今回は、図 1 のシステム構想図に示すように、音を生成するために Web Audio API を用いてデータを可聴化する [6]。分散システムの状態情報から何を可聴化するのか、その有効性の検証のための実験環境構築を目的とする。

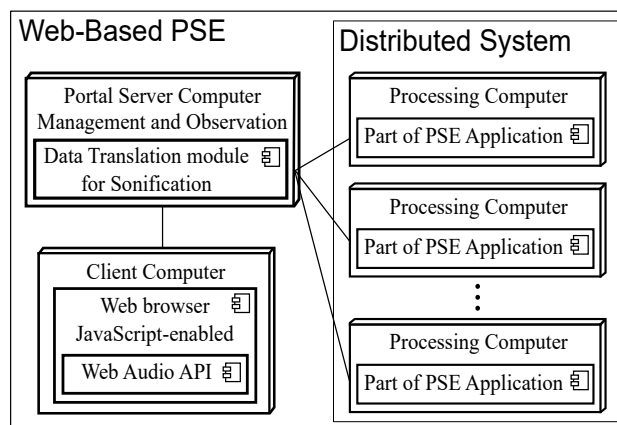


図-1 システム構想図

### 3. 外部観測データ可視化例

自律的非同期連携システムで求めた四彩色問題の解から作図した例を図2に示す．領域毎にコンピュータを割り当て、それぞれの状態(色値)の変化に伴い、動的に表示画像は変化する．

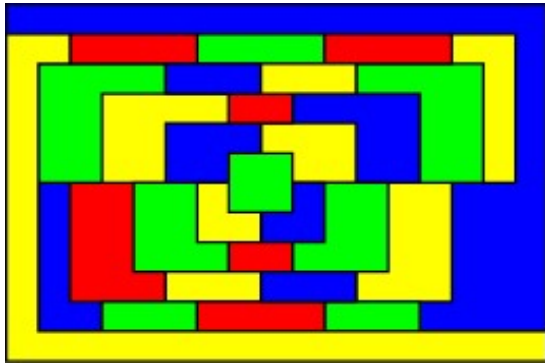


図-2 四彩色問題の一つの解

ソーティング問題を解いた際の各コンピュータ状態の変化に伴う時系列データを可視化した例を図3に示す．各コンピュータが自身の状態変化をログとして記録したものであるが、解の状態となると、各コンピュータは状態変化することがなくなり、収束状態となる．

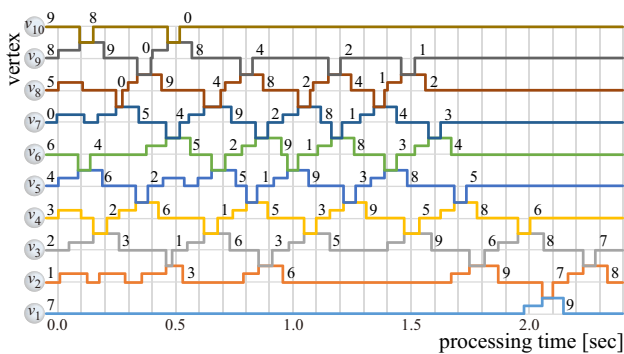


図-3 ソーティング問題における処理時系列データ

### 4. 可聴化の方法

外部観測時間毎の観測で得られる時系列データとなる分散システムの状態の値を可聴化するために、コンピュータ毎に割り当てる  $id$  番号と各コンピュータの状態データ  $data_{id}$  の各値を用いて音生成を行う．例えば、音階は  $id$  番号、音量は状態データ  $data_{id}$  で決定とする．標準音 A4 440[Hz] を基準として、 $id$  番号を用いてコンピュータ毎に割り当てる音階  $scale_{id}$  は、式1のように決定する．

$$scale_{id} = 440 \times 2^{\frac{id}{12}} \quad (1)$$

音量は、外部観測時間  $t_o$  における状態データ  $data_{id}$  の値のみから正規化し決定する方法と、直前の外部観測時間  $t_{o-1}$  における状態データ  $data_{id}(t_{o-1})$  との変化量に基づいて決定する方法などある．分散システム状態の観測観点によって、音階と音量の決定などのパラメータは入れ替えることになる．

### 5. 生成サンプル

分散システムの各コンピュータは、それぞれの状態変化をログファイルとして記録する．外部観測のためのポータルサーバで全てのログファイルを集めて時間で並び替えた一つの時系列データに加工することができる．図2の構造となる四彩色問題を解く際における各領域の時系列変化から生成した音源の一部を図4に示す．ここでは、時系列データで出現する順に、音階を領域  $id$ 、音量を色  $color$  の値に基づき音を生成した．

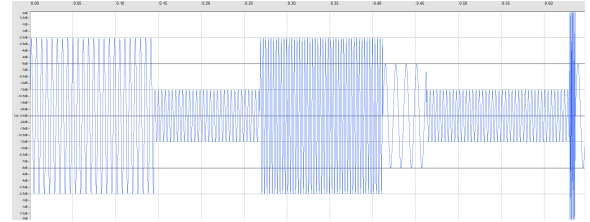


図-4 生成した音源の波形サンプル

### 6. おわりに

分散システムの振舞いの観測から得られるデータの可聴化を試み、問題解決後のログデータから時系列順に生成した音が聞き取り可能であることを確認した．今後、四彩色問題における観測のように、複数個のデータが同時に得られる場合についても試行する予定である．この場合、複数の音階を重ね合わせるなどして生成することになるが、分散システムの状態のどのような要素をどのように組み合わせるのか、また可聴化した情報の有効性について検討する必要がある．

### 参考文献

- [1] Yoshikazu HAYASE, Shigeo KAWATA Unique functions of an autonomous asynchronous cooperation useful to a problem-solving environment (PSE) *Transactions of the Japan Society for Computational Engineering and Science*, Volume 2018 (2018), Issue 1, Pages 20181004, 2018
- [2] 早勢 欣和, Web ベース PSE のための動的外部観測における可視化処理 第 24 回問題解決環境ワークショップ 2022 論文集, pp.21-23, 2022
- [3] 早勢 欣和, 自律的非同期連携システムの確率的振舞いに関する検討 計算工学講演会論文集, Vol.23, F-03-04, 2018
- [4] 早勢欣和, 宮地英生 WAPSE における Web ベースエージェントの振る舞いの OpenGL フュージョンによる可視化を用いた検討 計算工学講演会論文集, Vol.17, H-3-4, 2012
- [5] Kramer, Gregory; Walker, Bruce; Bonebright, Terri; Cook, Perry; Flowers, John H.; Miner, Nadine; and Neuhoof, John, Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda *Faculty Publications, Department of Psychology*. 444, 2010
- [6] Web Audio API, <https://www.w3.org/TR/webaudio/>, W3C Recommendation, 17 June 2021

# 富山湾の潮流データに関する一考察

## A Study on Analysis of Tidal Current Data in Toyama Bay

中谷俊彦<sup>1)</sup>、河合雅司<sup>2)</sup>、家城竜也<sup>3)</sup>、亀井志聖<sup>4)</sup>、早勢欣和<sup>5)</sup>、布目 明弘<sup>6)</sup>、  
浦恵里夏<sup>7)</sup>、牧田祥子<sup>8)</sup>

Toshihiko Nakatani, Masashi Kawai, Tatsuya Yashiro, Shisei Kamei, Yoshikazu Hayase, Akihiro Nunome,  
Erika Ura and Shoko Makita

- 1) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [nakatani@nc-toyama.ac.jp](mailto:nakatani@nc-toyama.ac.jp))
- 2) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [mkawai@nc-toyama.ac.jp](mailto:mkawai@nc-toyama.ac.jp))
- 3) ㈱YDKテクノロジーズ(〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-23-13, E-mail: [tatsuya\\_yashiro@ydktechs.co.jp](mailto:tatsuya_yashiro@ydktechs.co.jp))
- 4) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [kamei@nc-toyama.ac.jp](mailto:kamei@nc-toyama.ac.jp))
- 5) 富山高等専門学校 電子情報工学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合-12, E-mail: [hayase@nc-toyama.ac.jp](mailto:hayase@nc-toyama.ac.jp))
- 6) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [nunome2020@nc-toyama.ac.jp](mailto:nunome2020@nc-toyama.ac.jp))
- 7) 富山高等専門学校 技術室 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [ura@nc-toyama.ac.jp](mailto:ura@nc-toyama.ac.jp))
- 8) 富山高等専門学校 技術室 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合1-2, E-mail: [makita405@nc-toyama.ac.jp](mailto:makita405@nc-toyama.ac.jp))

This paper describes the results of analysis of tidal current data collected in Toyama Bay. Current data at depths of 10 m and 30 m were collected every 30 minutes by the Shin-Minato Fishery Cooperative Association from oceanographic buoys located approximately 3 km offshore from the mouths of the Shogawa and Oyabe Rivers in Toyama Prefecture and approximately 3 km offshore from the National Institute of Technology, Toyama College, Imizu Campus. A multi-variable statistical optimal model was constructed from the obtained data, and various time series analyses, such as noise contribution and impulse response, were carried out.

**Key Words :** Tidal current data, Oceanographic buoy, Autoregressive model, Noise Contribution

### 1. はじめに

近年、各種のセンサが発達したおかげで、様々な分野でのフィールドデータを容易に取得できるようになってきている。富山湾でも海洋観測ブイが設置され、特定の水深での潮流データも計測できるようになった。

本研究では、富山湾で収集された潮流データについて解析結果について述べる。解析対象データは、富山県の代表的な河川である庄川・小矢部川河口から約3km沖合の地点と富山高専射水キャンパスの約3km沖合の2つの地点に設置された海洋観測ブイで収録された。このデータに多次元自己回帰モデルのあてはめを試みる。このモデルへの同定が行えれば、既に解析手法が確立されているノイズ寄与率解析やインパルス応答解析を行うことができる。

以下では、その時系列解析結果について報告する。

### 2. 富山湾の潮流データの収録

潮流データは、庄川と小矢部川河口から約3km沖合(36° 49.02'N, 137° 05.24'E)と射水市海老江海岸の約3km沖合(36° 47.67'N, 137° 09.52'E)に設置された海洋観測ブイで、新湊漁業協同組合により流向流速計を用いて30分毎に観測された水深10mと30mにおける流速データを用いた。使用

された流向流速計は、JFEアドバンテック社 INFINITY AEM-CADであり、流速センサーは2軸電磁誘導方式で、測定範囲: 0~±500cm/s、分解能: 0.02cm/s、精度: ±1cm/s or ±2% (流速検定は0~±100cm/sの範囲)である。また、方位(磁針方位)センサーはホール素子で、測定範囲: 0° C~360°、分解能: 0.01°、精度: ±2°である。

尚、観測は2022年4月より行なわれており、今回は2022年4月と5月のデータを解析した。

図-1に潮流データを収録した地点を富山湾上に示す。

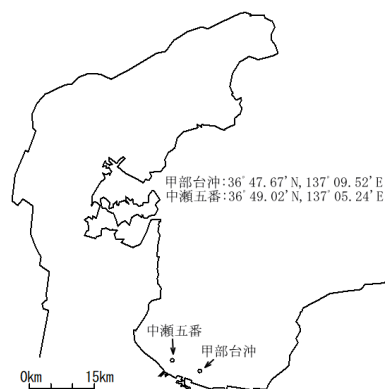


図-1 富山湾における潮流データの収録地点

### 3. 多次元自己回帰モデルによる同定

解析に際しては、以前より用いている多次元自己回帰モデルと呼ばれる統計モデルを用いた[1]。

実際に収録したデータは、2つの地点で、それぞれの地点における2種類の水深で収録されているので、計4種類(以下、4ch)分のデータを収録した。収録データ数は2928個/chであったので、時間換算で2928個×0.5時間=1464時間≒約2カ月(61日)分のデータを解析対象とした

各chのデータは具体的には、

1ch(甲部台沖,水深10m)、2ch(中瀬五番,水深10m)

3ch(甲部台沖,水深30m)、4ch(中瀬五番,水深30m)

であり、これを使って4次元の自己回帰モデル、

$$X(n) = \sum_{m=1}^M A(m)X(n-m) + U(n) \quad (1)$$

を構築した。各要素で表現すると下記のようになる。

$$A(m) = \begin{pmatrix} a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) \\ a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) \\ a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) \\ a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) & a_{11}(m) \end{pmatrix}$$

$$X(n-m) = \begin{pmatrix} x_1(n-m) \\ x_2(n-m) \\ x_3(n-m) \\ x_4(n-m) \end{pmatrix} \quad U(n) = \begin{pmatrix} u_1(n) \\ u_2(n) \\ u_3(n) \\ u_4(n) \end{pmatrix}$$

$$m=1, \dots, M$$

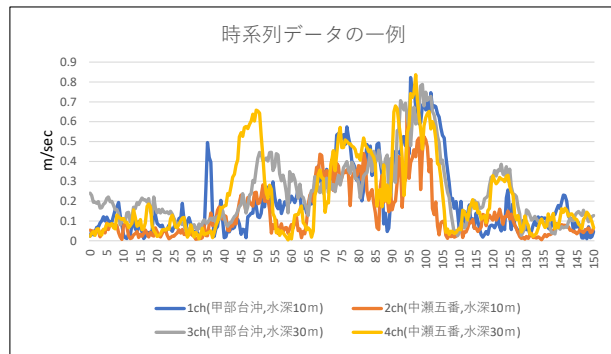


図-2 時系列データの一例

### 4. 解析結果の例

使用した時系列データの一部を図-2に示す。注意深く観察すると、周期の長い変動では何らかの関連性があるようにも思われるが、定量的な判断はできない。

次に、時系列データに自己回帰モデルをあてはめる。解析では、比較的変動が大きいと思われる部分を切り出した。またその切り出し部分を数回変化させ、それぞれでモデルを作成して解析を行った。いずれの場合もモデルの次数は8次から10次であった。このモデルを使って、ノイズ寄与率やインパルス応答を求め解析を行った。

図-3に4ch(中瀬五番,水深30m)へのノイズ寄与率を示す。スペクトルは特に低域でのパワーが大きかったが、図か

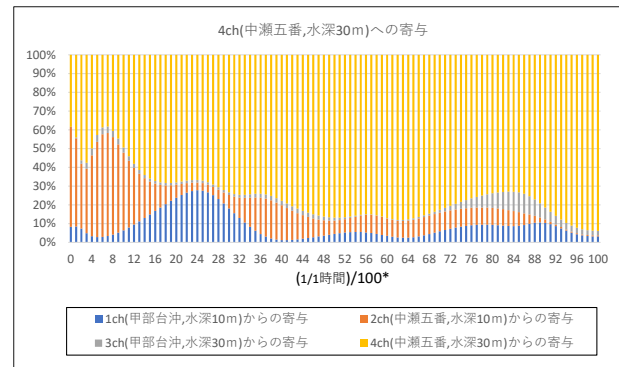


図-3 4ch(中瀬五番, 水深 30m) へのノイズ寄与率

らわかるように、低周波領域に注目すると、2ch(中瀬五番, 水深10m)からのパワー寄与が比較的大きいことがわかる。

続いて時間領域での変数間の応答特性を確認するためにインパルス応答を計算した。図-4に1ch(甲部台沖,水深10m)から3ch(甲部台沖,水深30m)へのインパルス応答と、2ch(中瀬五番,水深10m)から4ch(中瀬五番,水深30m)へのインパルス応答を比較したものを示す。図から、2ch(中瀬五番,水深10m)から4ch(中瀬五番,水深30m)へのインパルス応答のほうが大きいことがわかる。中瀬五番の位置は2.で述べたように庄川と小矢部川河口から約3kmの地点である。このため表層における河川水の影響により、応答が大きく現れているのかもしれない。

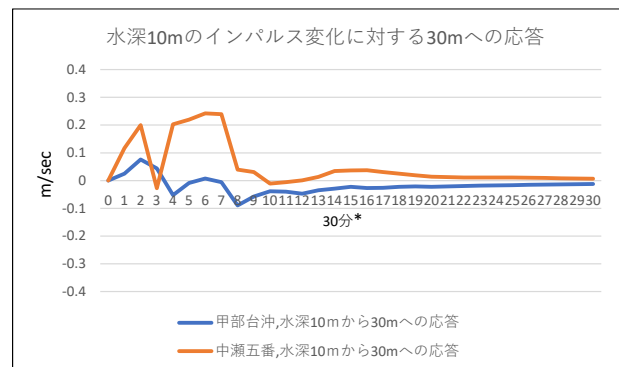


図-4 水深10mのインパルス変化に対する30mへの応答

### 5. おわりに

現在、収録されたデータを自己回帰モデルに当てはめ、解析を試行した。使用したデータは2022年4月と5月の2ヶ月分であるが、今回の解析結果が例えば季節と関係があるのかなどについては、今のところ不明である。今後は、さらにデータの収録を積み重ね、富山湾の海象についての知見とも組み合わせ、季節変動等も注意しながら、さらに解析を進めたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 中谷俊彦,他: 船体運動とエンジンの統合解析と制御について, 計算工学講演会論文集, Vol.27, D-07-04, 2022.

---

OS14 PSE/計算科学・可視化・教育

## [D-05] OS14 PSE/計算科学・可視化・教育 (2)

座長:早勢 欣和(富山高等専門学校)

Wed. May 31, 2023 4:45 PM - 6:15 PM Room D (2F Conference Room 201B)

---

### [D-05-01] プログラミング能力や論理的思考力の測定方法についての考察

\*日置 慎治<sup>1</sup> (1. 帝塚山大学)

4:45 PM - 5:00 PM

### [D-05-02] Photogrammetryを用いた圧縮試験中の供試体破壊形状の3次元キャプチャシステムの開発

内井 右京<sup>1</sup>、\*新保 泰輝<sup>1</sup>、福元 豊<sup>2</sup> (1. 石川工業高等専門学校、2. 長岡技術科学大学)

5:00 PM - 5:15 PM

### [D-05-03] アドバンスングフロント法による4面体と5面体を併用した6面体ソリッドメッシュの自動生成手法の開発 ---CAEソフトウェアへの適用---

\*藤井 みゆき<sup>1</sup> (1. 神奈川工科大学)

5:15 PM - 5:30 PM

### [D-05-04] 畳み込みオートエンコーダによるサーモグラフィ画像の異常検知

志村 涼介<sup>1</sup>、\*前田 太陽<sup>1</sup> (1. 埼玉工業大学)

5:30 PM - 5:45 PM

### [D-05-05] アルゴリズム支援による大規模要因実験計画法の活用

\*宮田 悟志<sup>1</sup> (1. ダッソー・システムズ株式会社)

5:45 PM - 6:00 PM

### [D-05-06] Webアンケート解析支援用 AIシステムの構築

\*松本 正己<sup>1</sup>、加藤 誠<sup>1</sup> (1. 米子工業高等専門学校)

6:00 PM - 6:15 PM

# プログラミング能力や論理的思考力の 測定方法についての考察

Discussion on how to measure the skills about the programming and/or the logical thinking

日置慎治

Shinji Hioki

工博 帝塚山大学 教授 (〒631-8501 奈良市帝塚山7-1-1, E-mail: hioki@tezukayama-u.ac.jp)

Although it is expected and believed that better programming skills will improve logical thinking, this relationship may not be clear. As a preliminary study, we examined the relationship between ICT literacy and logical thinking ability. We found a correlation coefficient of 0.24, indicating a weak but positive correlation. As a result of detailed consideration, it is desirable to develop ICT literacy first and logical thinking skills later. We would like to apply this to investigate the relationship between programming ability and logical thinking ability.

**Key Words :** Programming ability, Logical thinking ability, ICT literacy, correlation, causal relationship

## 1. はじめに

内閣府は科学技術政策の中で、Society5.0とは現実社会とサイバー社会が融合した新しい社会であり、我が国が目指すべき未来社会であると提唱している.[1]

そしてSociety5.0を実現するためには人材育成が求められており、教育現場や社会において必要とされる事項を簡潔にまとめると以下のように考えられている.[2]

- IoTやAIといった技術の利用が必要不可欠
- あくまでも人間が中心
- 全ての国民がAIやデータ活用の知識を持ち、
- AIに代替されない力を身に付けることが目標
- それには教育が欠かせない
- 大学では文理問わずに数理・データサイエンス・AI教育を展開
- 初等教育ではICT環境の整備、STEAM教育の充実
- 小学校では2020年からプログラミング教育が必修化

これに伴う形で大学現場においては、ここ数年データサイエンス系の学部・学科等の新設が相次いでいる。

同時に、文部科学省の「数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度（リテラシーレベル）」も3年目となり、認定を受けた大学がデータサイエンス教育の充実に力を入れている.[3]

ここでは上記のうち「AIに代替されない力」に注目したい。従来の教育現場では、記憶・知識に偏重した教育に重点が置かれてきた。つまり、より多くの事柄を記憶している人材を養成してきた。しかしながら、デジタル社会、ネット社会になった今、知識はすぐに取り出すことができるため、こういった力はコンピューターやAIによって簡単に代替できてしまう。

では「AIに代替されない力」とは具体的にはどんな力であるのだろうか。最もよく言われるのは「論理的思考力」

である。「論理的思考力」とは簡単にいうと「ある成果を出すために最も効率的かつ安全な方法」を筋道立てて考えられる能力であるとされる.[4]

これはつまり問題解決能力なのではないだろうか。そして「論理的思考力」を育成するために、プログラミングが有効であるとされている。

本稿では「論理的思考力」と「プログラミング」の関係について議論していきたい。

## 2. プログラミングと論理的思考力

プログラミングで論理的思考力が育つと考えられている。その理由として、コンピューターに対しては論理的思考にもとづいて細かく正確な指示を与えなければ正確に機能しないからだと言われる。

例えば電卓をプログラミングで作成する場合には、

- ・数字や演算記号のボタンを配置する
- ・ボタンで指定された1つめの数字を記憶・表示する
- ・指定された演算（+など）を記憶する
- ・ボタンで指定された2つめの数字を記憶・表示する
- ・「＝」ボタンが押されたら計算結果を表示する

など順番を考えながら細かい指示を与えないといけない。つまり、プログラミングとは論理的思考そのものであり、プログラミングを繰り返し行うことは論理的思考力を育てることと同義であると考えられている。

また、プログラミングの現場では何もかも計画通りに事が運ぶわけではないため、プログラミングを学ぶことで、そうした問題と日常的に対面することで、問題へ対処するための論理的思考力も自然と養われると期待されている。従ってプログラミングを学んで得た論理的思考力は、すべてのビジネスに通じる「自律的に考え、行動し、物事を解決していく力」つまり、「AIに代替されない力」ということに繋がると考えられている。

3. 相関関係と因果関係

「プログラミング能力」を高めれば「論理的思考力」が高まると期待されているし、信じられているが、この関係は自明ではないかもしれない。つまり「因果関係」が必要となる。両者に共通の要因がある場合には両者の間には「相関関係」は見られるが直接の「因果関係」がないという場合もありうる。

一例として1999年5月13日「ScienceDaily」の記事がある。「子どもの寝る部屋が明るいとその後近視になりやすい」と報告された。その後の研究により親が近視であるという共通の要因が指摘された。つまり親が近視であれば、子どもも近視になりやすく、かつ、子どもを明るい部屋で寝かせる傾向があるということである。[5]

4. プレ調査

相関関係と因果関係を調べるための準備として、学生によるプレ調査の結果を考察する。

これは「ICTリテラシー」と「論理的思考力」の関係を調べたものである。それぞれ簡単なテストを用意して、大学生に回答してもらった結果の分析である。[6]

結果は図-1の通りである。

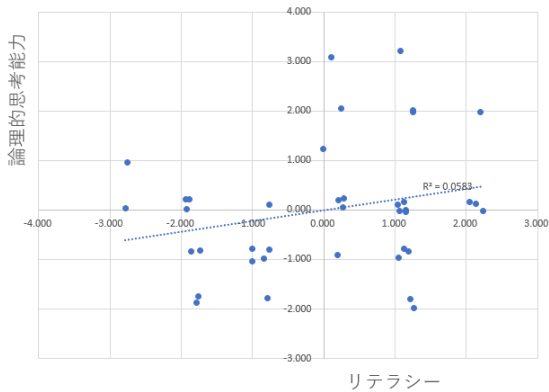


図-1 「ICT リテラシー」と「論理的思考力」の関係

この結果では両者の相関係数は0.24となり、弱いながらも正の相関が認められた。

ただ、この結果だけでは両者の間に「因果関係」があるかどうかまでは認められない。

そこで、相関直線から外れたデータに着目してみることにする。具体的には相関直線から外れたデータを以下の2つの群に分けてみる。

A群) リテラシーは高いが、論理的思考力は低い

B群) 論理的思考力は高いが、リテラシーは低い

2つの群のデータ数を比べると明らかにA群の方が多いことが分かる。これらを図にしたのが図-2である。つまり、両方が低い左下のエリアから、両方が高い右上のエリアに誘導する場合に、右下を経由する方が容易であると推察できる。言い換えるなら、先にICTリテラシーを育成してから後で論理的思考力を高めることが望ましいと考えられ、その理由としてはICTリテラシーを高めておけば論

理的思考力の育成が容易である、つまり順番的には因果関係がある可能性が高いと期待される

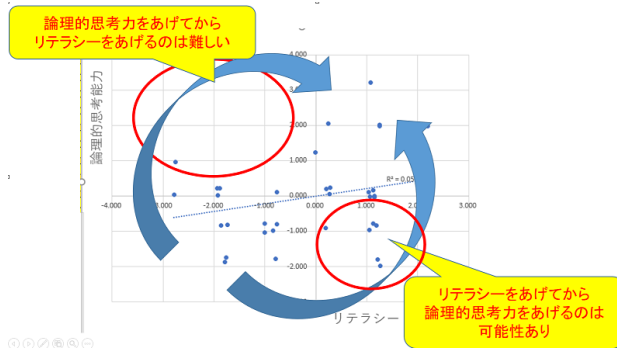


図-2 「ICT リテラシー」と「論理的思考力」の関係2

5. 論理的思考力を高めるアプリ開発

次のステップとして、論理的思考力を高めるとされるアプリを開発している (図-3)。プログラミング能力を同時に測ることにより、より詳しい分析ができると考えている。現在進行中のため、報告は今後に期待されたい。

| 名  | 問1 | 問2 | 問3 | 問4 | 問5 | 点 |
|----|----|----|----|----|----|---|
| A  | 2  | 1  | 1  | 2  | 1  | 3 |
| B  | 2  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1 |
| C  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1 |
| D  | 2  | 2  | 2  | 1  | 2  | 1 |
| E  | 1  | 1  | 2  | 2  | 2  | 4 |
| 正解 | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |   |

図-3 論理的思考力を高めるアプリ例

参考文献

[1] 内閣府:  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)

[2] Society 5.0を徹底解説:  
<https://www.softbank.jp/biz/blog/business/articles/202007/beginner-society5>

[3] 数理・データサイエンス・A I 教育プログラム認定制度 (リテラシーレベル) :  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/suuri\\_datascience\\_ai/00002.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/suuri_datascience_ai/00002.htm)

[4] 論理的思考力とは;  
<https://products.sint.co.jp/topsic/blog/programming-logical-thinking-ability>

[5] The Children's Hospital of Pennsylvania. "Near-Sightedness In Children Linked To Light Exposure During Sleep Before Age Two." ScienceDaily, 13 May 1999.

[6] 藤田泰成 (帝塚山大学経済経営学部)  
2022年度ゼミ研究報告会資料

# Photogrammetryを用いた圧縮試験中の 供試体破壊形状の3次元キャプチャーシステムの開発

Development of a 3D Capture System for  
Specimen Failure Shapes during Compression Testing Using Photogrammetry

内井右京<sup>1)</sup>, 新保泰輝<sup>2)</sup>, 福元 豊<sup>3)</sup>  
Ukyo Uchii, Taiki Shimbo, and Yutaka Fukumoto

1)石川工業高等専門学校 専攻科生 (〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条, E-mail: s213201@gm.ishikawa-nct.ac.jp)  
2)博(工) 石川工業高等専門学校 准教授 (〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条, E-mail: shimbo@ishikawa-nct.ac.jp)  
3)博(農) 長岡技術科学大学 准教授 (〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町1603-1, E-mail: yfukumoto@vos.nagaokaut.ac.jp)

To clarify the mechanism of soil failure, the authors have previously performed compression tests on soil specimens and reproduced their failure shapes using 2D analysis. However, in general, since the failure phenomenon occurs in 3D, it is necessary to capture the failure shape of the specimens themselves in 3D for more detailed reproduction. In this study, a system was developed to capture the 3D failure phenomenon of soil specimens during compression testing by photographing them with 20 cameras and using photogrammetry.

**Key Words :** 3D model capture, Photogrammetry, Crack propagation

## 1. はじめに

著者らはこれまでに亀裂を有する粘性土の一軸圧縮試験を通して粘性土の破壊靱性値の算出や、破壊形態の分類を実施した<sup>1)</sup>。一方、粘性土の破壊形態を再現するために、2次元のPeridynamicsによる再現解析を行っている<sup>2)</sup>。しかし、破壊現象は3次元的な挙動であることから、3次元による再現が望ましい。そのためには、圧縮試験中の供試体挙動を3次元的に取得する必要がある。実物体を3次元モデルで再現する方法にPhotogrammetryがある。Photogrammetryとは、対象物を複数の角度から撮影した画像を統合することで、3次元モデルを作成する方法であり、近年幅広い分野で利用されている。土質試験への応用として、Li, L.ら<sup>3)</sup>は3軸試験の供試体のゴムスリーブ上にマーカを設置してPhotogrammetryによる3次元形状再現を行っている。ただし、ゴムスリーブがあるために亀裂進展形状は明確ではない。Li, Z.S.ら<sup>4)</sup>は試験中に撮影タイミングを用意し、撮影時に載荷と停止（除荷）を行い、供試体を回転させて撮影することで供試体の3次元形状再現を行っている。ただし、撮影時に載荷を停止することから、脆性的な亀裂進展中の状況については原理的に捉えられない。そこで、ほぼ同時に土供試体に対して動画撮影をすることで、土供試体の破壊形状を含む3次元形状が再現できるのみならず、一時的な状態を記録し続けることにより、経時的な変化まで表現できると考え、本研究では供試体に対して20方向から動画撮影を試み、得られた動画から3次元形状再現を実施するシステムの開発した。

## 2. 供試体3次元モデル化の検討

Photogrammetryは、入力された画像を用いて3次元モデ

ルを出力する手法である。したがって、出力される3次元モデルの再現度は、入力する画像に依存する。そこで、本章では、円柱供試体（以後、供試体と記載）の3次元モデルを作成するために必要な入力画像についての検討する。また入力画像の要素の中でも画像の画素数、枚数、被写体の鮮明度の3要素についての検討することを目的に、使用するカメラの種類、カメラの台数に関する検証結果を記す。また以下の検証を通して、Photogrammetryソフトウェアには、Agisoft Metashapeを用いた。

### (1) 使用するカメラ種類の検討

カメラはその種類によって、画素数や視野角が異なり、取得される画像についても明度や彩度に違いがある。また、試験機に設置できる規模であることが望ましい。そこで、供試体の3次元モデルを作成することに適するカメラを選定するために表-1に示す6つのカメラを検証した。カメラの画素数、視野角、FPSを表-1に記す。

各カメラを用いて供試体を20視点から各1枚、計20枚撮影し、取得画像を用いて3次元モデル作成を試みた。図-1に取得した画像（正面視点）と作成モデルを示す。

表-1 検証したカメラの一覧

|          | 画素数    | 視野角 | FPS |
|----------|--------|-----|-----|
| Camera-1 | 約1300万 | 75° | 15  |
| Camera-2 | 約96万   | 55° | 30  |
| Camera-3 | 約207万  | 75° | 30  |
| Camera-4 | 約400万  | 75° | 30  |
| Camera-5 | 約200万  | 90° | 30  |
| Camera-6 | 約200万  | 81° | 30  |

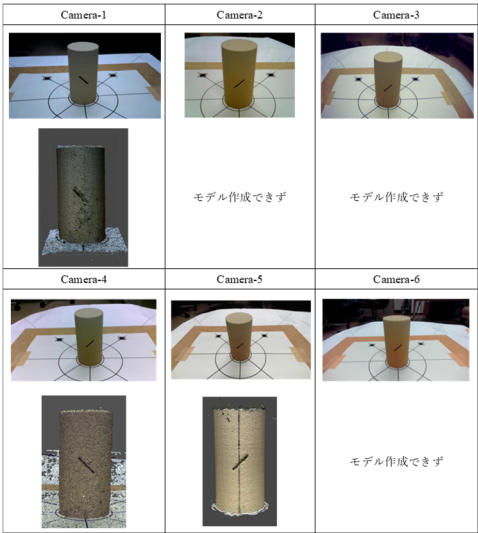


図-1 各カメラからの取得画像と制作されたモデル

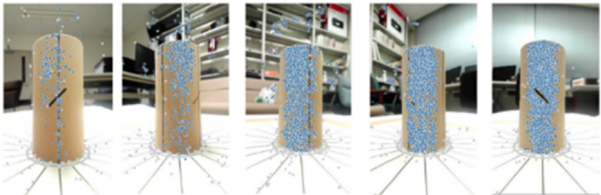


図-2 抽出された特徴点 (Camera-5)

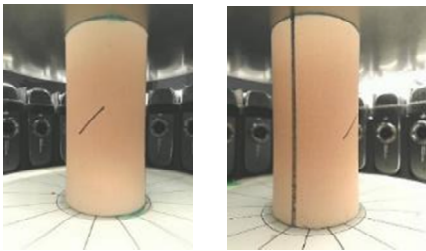
|              | 24 分割     | 20 分割     | 18 分割     | 16 分割     |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 作成モデル        |           |           |           |           |
| Tie points   | 42,024    | 23,151    | 11,522    | 8,474     |
| Crowd points | 6,482,941 | 6,176,327 | 4,188,131 | 4,757,997 |

図-3 カメラ台数の検証

Camera-2とCamera-6は画像のアラインメントができず、3次元モデルを作成することができなかった。それぞれ、Camera-2は画素数が少ないことによる情報量不足、Camera-3、Camera-6は被写体を鮮明に捉えきれていないことが原因だと考えられる。また、3次元モデルを作成できた3つのカメラのうち Camera-5が最も多くの特徴点が抽出できており、抽出できた特徴点が供試体全体に広がっていた(図2)。以上の検討結果から、本研究ではCamera-5を選定し、開発システムに組み込むことにした。

(2) カメラ台数の検討

Photogrammetryを用いて3次元モデルを作成する際、入力する画像の枚数が多いほど再現度の高い3次元モデルが作成できることが知られている。しかし制作物の構造上、入力できる画像の枚数は使用するカメラの台数によって決まる。また設置できるカメラの台数にはスペース及び制御上の問題から限りがある。よって、3次元モデル作成のために必要最低限のカメラ台数を検討するため、供試体を撮影する最適な分割数を検証した。図-3に検証結果を示す。検証結果は、作成されたモデルと推測される撮影位置、Tie point数(特徴点を基にプロットされた点)、



(a) 被写体 (b) ガイドライン  
図-4 被写体 (円柱供試体)

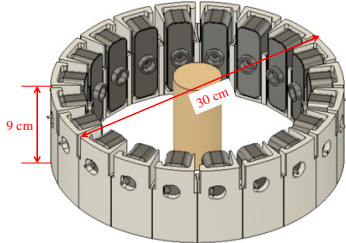


図-5 供試体を円状に設計

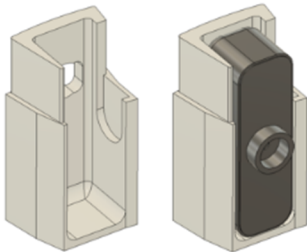


図-6 カメラ固定用の道具



図-7 装置の外観

Cloud point数(Tie pointsを基に空間補填された点)を表している。検討結果から20分割以上であれば、供試体全体を再現した3次元モデルが作成されることが分かった。また18分割以下であれば、供試体の側面全体がモデル化されず、途切れたようにモデル化されていることが分かる。これは、Tie points及びCloud pointが比較的少ないことにより、3次元モデルを作成するための画像の枚数が少なく情報量が足りなかったことが原因と考えられる。以上の検証結果より、供試体側面を最低20分割で撮影することができれば、3次元モデルを作成できることが分かった。本研究では、供試体を20分割で撮影することとし、土供試体を中心に20台のカメラを円形上に配置することにした。

3. システム概要

本システムの被写体は3Dプリンタで出力した砂型円柱供試体(直径5cm、高さ10cm)とする(図-4)。また、供試体には貫通亀裂(幅2cm、斜め45°)と4箇所縦のガイドラインを含んでいる。この供試体を一軸圧縮試験機

の上下加圧板を用いて圧縮力を载荷させる。また供試体の上下面は試験機の加圧板で隠れるため、供試体の側面形状をキャプチャーすることとした。

本システムに用いたカメラは2章にて検証したCamera-5であるAngetube STREAM WEBCAM (200万画素, フルHD, 1080P) とする。また, 本研究では, カメラ20台を同一平面上に円形に配置することで被写体の側面形状の記録を試みるために図-5に示すように供試体を円状に囲う形でカメラを設置する設計とした。また, カメラ自体を固定するために治具 (図-6) を3Dプリンタで出力する等, 簡易的な装置を実現している。実際に開発した治具を用いてカメラを配置した状況を図-7に示す。

また, 同一タイミングに20視点からの画像を取得する必要があることから, 20台のカメラを同時に制御することが求められる。そこで, パソコンにカメラ20台を接続し, 並列的にカメラを制御することで限りなく同時に複数のカメラを制御することを可能としている (図-8)。また3台のパソコンに20台のカメラを分散して接続することで, 処理を分散させ効率化を図った (図-9)。カメラの制御にはOpenCVを, カメラの並列処理にはマルチスレッドを用

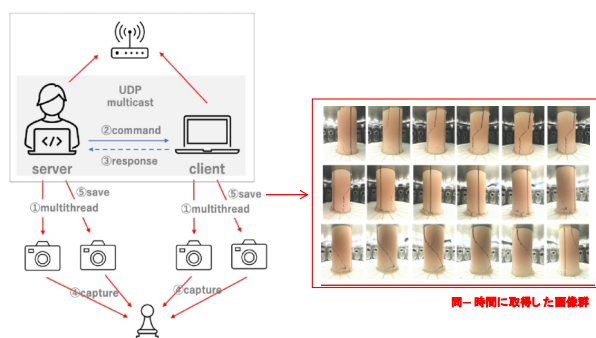


図-8 制御システムの概要



図-9 パソコン3台連携

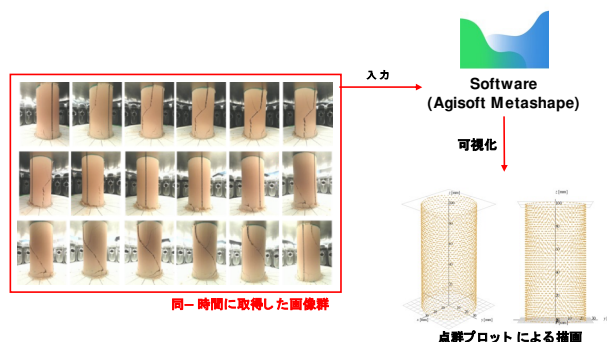


図-10 3次元モデル作成手順

いている。また各パソコン間はマルチキャストを用いたUDP通信によって連携している。具体的な制御コードは、参考文献を参照されたい。

#### 4. 破壊形状の表現について

前章のシステムで撮影された各画像をPhotogrammetryソフトウェアに入力することで, 高密度化された点群データを出力し, それを3次元空間にプロットすることで点描として3次元モデルを作成する (図-10)。本研究では, PhotogrammetryソフトウェアとしてAgisoft Metashapeを, 点群可視化ソフトウェアとして, CloudCompareを用いた。また, 動画で被写体を撮影した場合は動画をフレームごとに静止画に変換することで, 各時間の3次元モデルが作成される。本研究で使用したカメラのフレームレートは30FPSであるため, 約0.033秒ごとに3次元モデルが作成できる。そこで, 撮影した画像群を統合し3次元モデルを作成することで, 破壊形状を3次元的な表現を試みた。図-11, 図-12に同一時間に撮影した画像群と作成した3次元モデルを示す。図より初期亀裂から斜め方向に進展した亀裂が表現できていること分かる。これらの結果から, 生成点群が不十分であり抜け落ちている箇所が目立つことが分かる。これは供試体表面のテクスチャーを鮮明に捉えきれず, 生成された特徴点数が不十分であったことが原因と考えられる。この課題については, 環境光の工夫や画素数の多いカメラを用いることで課題の解決につながると推測される。また, 被写体は円柱であるのに比較し, 作成された3次元モデルは上面が広がった歪んだ形状になっていることが分かる (図-11, 図-12)。これはレンズの歪みによるものである。被写体とレンズの距離を調整することや, 歪み補正等の画像処理をしてから3次元モデルを作成することで解決できると推測できる。

作成した3次元モデルを撮影時間ごとに並べることで, 亀裂生成及び進展等の破壊プロセスの3次元的な表現を試みた。図-13に土供試体全体の検証結果を示す。図-13に示すように初期亀裂先端部から亀裂が生成され, 斜め方向に亀裂が進展していく過程が表現できていることが分かる。このことから, 亀裂生成及び進展の破壊プロセスが3次元的に表現できたといえる。また破壊プロセスのみならず供試体の変形の過程も表現できていることが分かる。破壊プロセスを3次元的に捉えることで, 破壊プロセスについて多角的なアプローチが可能となり, 破壊メカニズム解明に貢献できると考えられる。

本システムの課題として, カメラ制御によるタイムラグが挙げられる。本目的において, 同一タイミングに複数視点の画像を取得することが必要である。しかし制御のタイムラグによって僅かに撮影タイミングがずれてしまう。現状では20台カメラのうち最大0.03秒のずれが生じていることが確認されている。亀裂生成のタイミング及び亀裂進展の過程を適切に捉えるために, ずれは無視できるほど小さいことが理想であるものの現システムでは

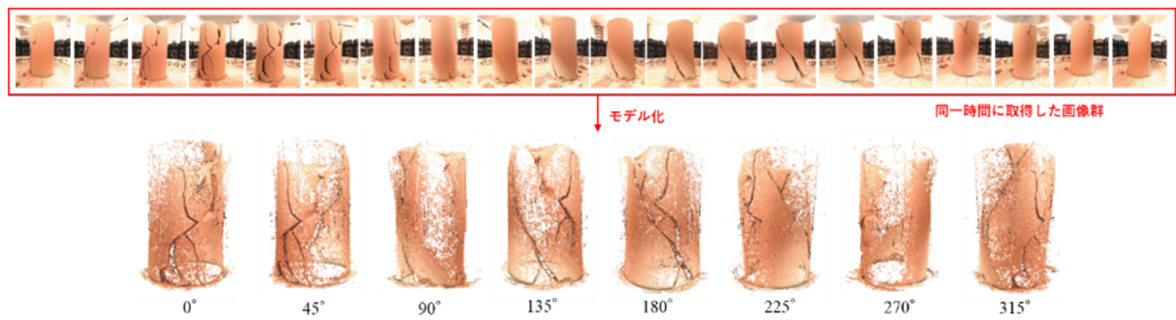


図-11 作成した3次元モデル (Case1)

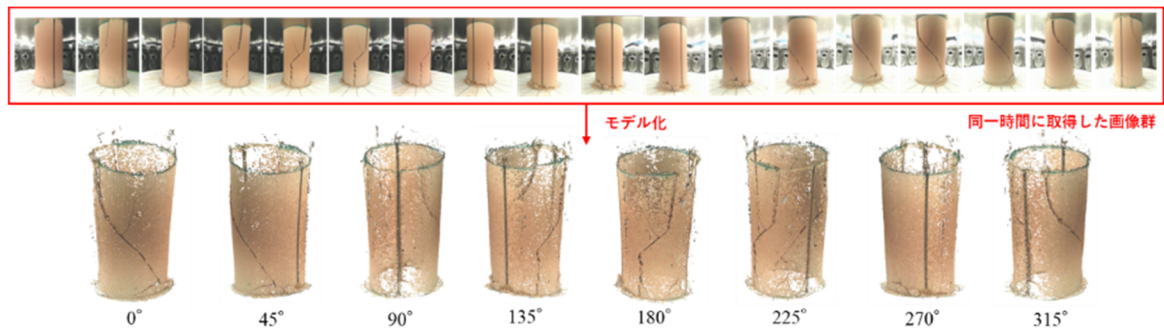


図-12 作成した3次元モデル (Case2)

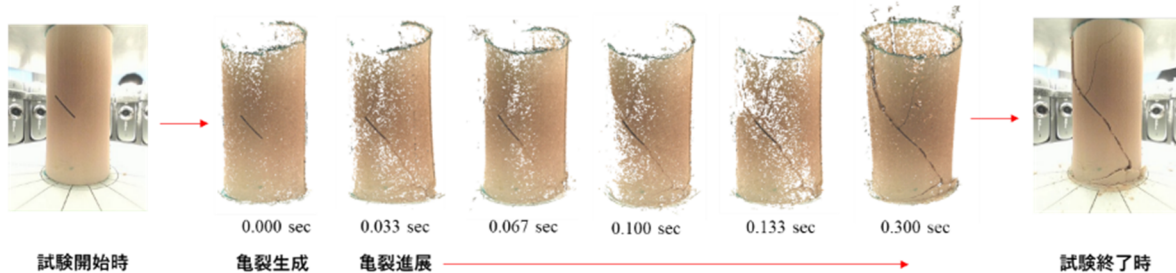


図-13 時間経過による土供試体の破壊プロセスの可視化

解決が難しい問題である。カメラを分散して処理することや、制御アルゴリズムの効率化を図ることで、タイムラグを小さくできることが推測される。今後の課題としたい。

## 6. まとめ

供試体の破壊形状を3次的に可視化、そして同様に経時的な破壊プロセスを3次的に表現することを目的に、土供試体を対象とした3次元キャプチャーシステムの開発に取り組んだ。その結果、以下のことが分かった。

- 20台のWeb Cameraを並列分散的に制御することにより、ほぼ同時に土供試体の側面形状を撮影することができた。
- Photogrammetryを用いることで、供試体の側面形状を3次的に捉えることができ、それにより圧縮亀裂を含む破壊形状を3次的に記録できた。
- 一時的な破壊形状を連続して捉えることにより、亀裂進展を含む経時的な破壊プロセスが表現できた。

謝辞: 本研究は科研費22K04307, 令和4年度高専一長岡技科大共同研究助成, 砂防・地すべり技術センター研究開発助成の助成を受けて実施した。ここに記して感謝する。

## 参考文献

- [1] Taiki Shimbo, Chisato Shinzo, Ukyo Uchii, Ryota Itto, Yutaka Fukumoto, Effect of water contents and initial crack lengths on mechanical properties and failure modes of pre-cracked compacted clay under uniaxial compression, Engineering Geology, 2022.
- [2] Chisato Shinzo, Taiki Shimbo, Yutaka Fukumoto, Crack propagation analysis of compacted clays with various water contents using Peridynamics, STI-GIGAKU2022, 2022.
- [3] Li, L., Zhang, X. Factors influencing the accuracy of the photogrammetry-based deformation measurement method. Acta Geotech. Vol. 14, pp.559–574, 2019.
- [4] Zhong-Sen Li, Yinning Zhang, Mateusz Janiszewski, Leena Korkiala-Tanttu, Radial deformation and failure of stabilised soft clay under uniaxial compression, Soils and Foundations, Vol.62 (5), 2022.
- [5] [https://github.com/uchii01ukyo/photogrammetry\\_study](https://github.com/uchii01ukyo/photogrammetry_study) (参照日: 2023.03.9)

---

5:15 PM - 5:30 PM (Wed. May 31, 2023 4:45 PM - 6:15 PM Room D)

[D-05-03] アドバンシングフロント法による4面体と5面体を併用した6面体  
ソリッドメッシュの自動生成手法の開発 ---CAEソフトウェアの  
への適用---

\*藤井 みゆき<sup>1</sup> (1. 神奈川工科大学)

---

5:30 PM - 5:45 PM (Wed. May 31, 2023 4:45 PM - 6:15 PM Room D)

[D-05-04] 畳み込みオートエンコーダによるサーモグラフィ画像の異常検知

志村 涼介<sup>1</sup>、\*前田 太陽<sup>1</sup> (1. 埼玉工業大学)

# アルゴリズム支援による 大規模要因実験計画法の活用

Practical Application of Large-scale Factorial Experiments Supported by  
Algorithm and CAE Software

宮田 悟志

Satoshi Miyata

博(工) ダッソー・システムズ (株) (〒141-6020 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower, E-mail:  
satoshi.miyata@3ds.com)

Effectiveness of large-scale fractional factorial experiments (FFE) are argued. FFEs can have both of accuracy of factor effects captured and smaller number of experiments required. They can be controlled by resolution and defining relations. In that purpose, however, size of FFEs has crucial impact on the efficacy. CAE-based experiments ease the limitation and allow fine FFEs analyses.

**Key Words :** Design of Experiments, Fractional Factorial Experiments, Resolution IV, Resolution V

## 1. はじめに

複数の処理や材料の組み合わせ効果を評価する方法として、要因実験計画や一部実施要因実験計画等の実験計画法が産業界で広く使われている。実験計画法は今日のCAEの普及以前に確立・普及した方法論であるが、CAEを使用した設計検討においても注目されている。リードタイム、製品開発コストについての今日の厳しい要求下では、物理実験をシミュレーション実験で代替することは必須の実務プラクティスであり、CAEベースでの実験計画法の普及は自然な帰結と言える。

CAEベースの実験計画法の利用には、複数の異なる方向性が存在する。(i) 要因計画系の方法による設計パラメータの感度・寄与度の評価、(ii) 準乱数や空間点過程による実験点を基底関数やニューラルネットで補間して利用するサロゲートモデル、(iii) タグチのパラメータ設計法のようなロバスト設計、(iv) 変数スクリーニングを目的とした過飽和計画系のアプローチ、(v) ベイズ推定と組み合わせた適応的最適計画、等が代表的と思われる。

本論ではこれらの内、“(i) 要因計画系の方法”について論じる。この実験計画法のカテゴリは、実験計画法成立の最初期から研究されていて、今日では「過去の手法」と見做されることも多い。しかし、設計現場へのコンピュータ普及の萌芽期・移行期であった1960～1990年代と、コンピュータ使用が常態化した今日では、要因計画系の方法の設計への有効性は全く異なる。この点を明らかにすると共に、1990～2000年代のこの分野の知見を加え、CAEベースの実験計画法が、強力な問題解決のツールとなることを論じることが本論の目的である。

## 2. 要因計画とその一部実施

要因計画 (full factorial experiments) は、検討対象である

複数の因子 (= 設計パラメータ) について、その水準組み合わせの全てを実験する。よってある実験計画における実験 (= CAE解析の実行) の総数は、因子の水準数の冪となる。たとえば、2水準の $m$ 個の因子の場合 $2^m$ 回、3水準の $n$ 個の因子の場合 $3^n$ 回の実験を行う。2水準8因子で256回、3水準5因子で243回である。よって多因子の場合、実験実施の負荷は非常に高い。しかし因子の組み合わせ効果は完全に捕捉できるので、重要な因子間の相互作用 (交互作用) が多数存在すると考えられる場合には、高い実施負荷をおして敢えてこの計画が使用される。

しかしそれでも、因子数が増えるに従い実施の困難さは急激に上がるので、一般には、水準組み合わせの一部のみを実施する一部実施要因計画 (fractional factorial experiments) が使用される。国内で広く使用される「直交表 (orthogonal arrays)」はその典型で、2水準因子の256回の実験を行う直交表としては $L_{256}(2^{255})$ 、3水準因子の243回の実験を行う直交表としては $L_{243}(2^{121})$ が存在している。表名における下添え字は実験回数 (直交表の行数)、上添え字は扱い可能な最大因子数 (直交表の列数) を表している。要因実験の場合は、それぞれ8個、5個の因子しか扱うことができないから、直交表 (今の場合、 $L_{256}(2^{255})$  と  $L_{243}(2^{121})$ ) は、格段に優れた実験計画であるかのように見える。しかし、この非常に多数の取り扱い可能因子数には、重要な付帯条件が存在している。実験計画法の分野で、計画の Resolution と呼ばれる特性値である。

Resolutionは、その計画の実施により得られる要因効果の解像度 (過誤なく判別できる要因効果の最小値) を示す指標で、一般にIIIが最小で、IV, V, VI, ... と数値が上がるにしたがって、要因効果の判別精度が上がって行く。その概要を表1に示す。表においては、因子をアルファベット小文字の1文字で表示していて、語が交互作用を表して

いる。長さ2の語は2因子間交互作用、長さ3の語は3因子間交互作用であり、長い語ほど多数の因子間の交互作用であることを表している。

表-1 Resolutionの概要

| Resolution | Word   | Clear effects                        |
|------------|--------|--------------------------------------|
| III        | abc    | NA                                   |
| IV         | abcd   | main effects                         |
| V          | abcde  | main effects & 2 factor interactions |
| VI         | abcdef | main effects & 2 factor interactions |

Resolution III における語  $abc$  は、一部実施計画では  $abc=I$  を意味していて ( $I$ は乗法の単位元)，この等式を「定義関係 (defining relation)」と呼ぶ。定義関係  $abc=I$  は、3因子  $abc$  の積は変量として意味をもたない (= 定数 1) となることを表示している。このとき積として意味を持つのは2因子までで、 $abc=I$  は、 $ab=c, bc=a, ca=b$  と読み替えられる。1つ目の等式  $ab=c$  は「因子aと因子bの2因子間交互作用は、因子cの主効果と同一視される」ことを意味する。第2、第3の式の意味も同様である。

先に挙げた  $L_{256}(2^{255})$  と  $L_{243}(2^{121})$  における、非常に多数の取り扱い可能因子数は、全ての因子をResolution IIIで扱うことを前提としたものである。Resolution IIIでは、主効果すら、別名関係により正確な評価はできない。よって、要因効果の推定を目的として直交表を使う場合には、可能な最大因子数まで使い切ることは避け、重要な因子についてはResolution IVが確保できるように、より少数の因子数で実験計画を立てる必要がある。直交表実験計画法の成書が説明に多くの紙面を割くところである。

また要因実験を指向する場合、通常は、主効果だけではなく、2因子間交互作用の一部についても正確に知りたい場合が多い。よって、Resolution IVやResolution Vの計画が重要になるが、これを既成の直交表で行うことは容易ではない。先に例として挙げた  $ab=c, bc=a, ca=b$  等の「別名関係」が、実験計画中の因子全体にどの程度波及しているか知る為には、多数の代数計算が必須であり、これを手計算で網羅することは困難だからである。結果として、「(有名な) 直交表を使って実験をしてみたが、解釈に困る分析結果しか得られなかった」という事態が起こる。CAEベースの実験計画法において、直交表の利用が進まない理由の一つである。

3. 定義関係による一部実施

別名関係の完全な把握に主眼を置いて構成されている実験計画が、定義関係を使った一部実施要因計画である[1]。定義関係は因子間の制約であるから、定義関係を計画に導入することは、その計画における独立因子の数を

減らすことになる。例として7つの2水準因子  $a, b, c, d, e, f, g$  の計画を考える。この要因計画は  $2^7=128$  で、128回の実験を要する。この計画に定義関係  $I=abcf$  を一つ導入すると、 $f=abc$  であるから、因子fの水準は、因子  $a, b, c$  の3因子間交互作用の水準と同一になる。すなわち因子fの水準値は、因子  $a, b, c$  の水準値を決めれば自動的に決まり、実験の独立自由度ではなくなる。よって、要因計画から独立自由度が一つ消去され、実験回数は  $2^{7-1}=64$  となる。更にもう一つ定義関係  $I=abdeg$  を加えると、独立自由度はまた一つ消去され、実験回数は  $2^{7-2}=32$  となる。定義関係を2つ加えることで、見かけ上の因子数は7つのままで、実験回数は 1/4 に減少したことになる。計画の Resolution は次のように考える。定義関係が一つの場合は、その定義関係の語の長さがそのまま計画の Resolution となる。定義関係が複数存在する場合は、定義関係間の積を全ての組み合わせについて考える。2水準因子で  $p$  個の定義関係の場合、その組み合わせ総数は  $2^p-1$  個存在する。上記の例の場合、 $abcf, abdeg, abcf \times abdeg=cdefg$  の3つである(乗法の定義については参考文献[1]の第4章を参照)。これを「定義対比部分群 (defining contrast subgroup)」と呼ぶ。この定義対比部分群に含まれる語の最小長が、その計画のResolutionとなる。上記の場合、語 $abcf$ の長さが4で最小であるから、この一部実施計画のResolutionはIVとなる。定義対比部分群は、第2章の最後の段落で触れた「別名関係が、実験計画中の因子全体にどの程度波及しているか」を計算する為の基本情報であり、その一部実施計画の特徴や良否を論じる基礎となる。 $p$ 値が大きい場合、定義対比部分群の全てを列挙することは困難なので、通常は、語長の一覧を表示する。上の場合の表示は  $(0, 1, 2, 0)$  で、語長4の定義関係が1つ、語長5の定義関係が2つ、語長3と語長6の定義関係はゼロであることを示している。この表示を word length pattern (WLP) と呼ぶ。因子数や定義関係の数がより多い場合、語長もより長くなるが、ここでは語長6までを表示している。

定義関係による一部実施計画の場合、定義関係をどう選ぶかが実験計画の要となる。しかし、任意の因子数に対して必要なResolutionを満足する定義関係を見出す為には、コンピュータによる大規模な数値サーベイが必要となり、一部の専門家以外には困難である。一般の利用者は、専門家が公表している数表(実験回数、因子数、定義関係、Resolution, WLP からなる)を利用することになる。この状況は、直交表の利用における、直交表と因子割り付けパターン選択と似ている。しかし定義関係による一部実施計画の場合、定義関係が分かればそこから定義対比部分群を計算することは簡単なプログラムで実現できるので、利用者は要因効果の間の別名関係を、必要な全てについて知ることができる。この点が直交表の利用の場合との違いである。直交表の場合にも、定義対比部分群やWLPに相当する計画の特性量は当然存在しているのだが、これらに注目することなく、「選点図」等により、注目因子

とその2因子間交互作用の局所的な関係にのみ注目して因子の割り付けを行う。しかし、割り付けた因子の影響は、計画に含まれる全ての要因効果に波及する。波及の悪影響が小さければ問題ないが、そうでなければ、第2章の最後で触れたような事態となる。

ただしこの直交表の利用の状況は、1960～1980年代という方法の普及時期を考えれば、やむを得ない事と言える。実務家は紙面に印刷された数表とその補足解説をもとに実験計画を立てるしかなかった。「コンピュータプログラムを使えば、別名関係は必要なだけ把握できる」というのは、今日だからこそ通用する主張と言える。

#### 4. 大規模計画の意義

直交表による一部実施計画と定義関係による一部実施計画は、互いに等価な構成が可能なので、以下では、特に必要な場合以外は、両者を区別せずに論を進める。

要因計画法と直交表の成立・普及期は、「実験」と言えば物理的な実験が主流であった。この結果として、多数の実験が必要となる計画は敬遠される傾向になる。表2は、要因効果推定を目的とした2水準と3水準の直交表の例である。ただし「コア因子数」列は、別名関係ゼロで実験を行うことが可能な因子数を表す。

表-2 直交表の例

| コア因子数 | 2水準直交表             | 3水準直交表             |
|-------|--------------------|--------------------|
| 3     | $L_8(2^7)$         | $L_{27}(2^{13})$   |
| 4     | $L_{16}(2^{15})$   | $L_{81}(2^{40})$   |
| 5     | $L_{32}(2^{31})$   | $L_{243}(2^{121})$ |
| 6     | $L_{64}(2^{63})$   | $L_{729}(2^{364})$ |
| 7     | $L_{128}(2^{127})$ | -                  |
| 8     | $L_{256}(2^{255})$ | -                  |

100回超の実験を行う直交表も存在するが、物理的実験を前提とした場合、100回を超える実験の実施は考えづらい。実際、田口玄一博士による実験計画法の大著[2]の巻末には直交表の利用に関する多数の付表が掲載されているが、その最大規模は、2水準実験の場合は $L_{64}(2^{63})$ 、3水準実験の場合は $L_{81}(2^{40})$ である（下巻の付表12参照）。

ところが、Resolution IV 以上で計画を考えたいなら、2水準因子の場合は $L_{32}(2^{31})$ 、3水準因子の場合は $L_{81}(2^{40})$ が最低ラインとなる。これよりサイズの小さな直交表では、因子の別名関係が計画全体に強く波及し、Resolution IV 以上で扱える因子数は、要因実験の場合の因子数とあまり差がなくなることによる。この事実は、選点図の状況：2水準の場合の $L_{16}(2^{15})$ と $L_{32}(2^{31})$ の差異（上巻の付表6参照）、3水準の場合の $L_{27}(2^{13})$ と $L_{81}(2^{40})$ （下巻の付表12参照）からも理解できるが、一部実施計画法の定義関係に

ついて網羅的な情報を掲載している文献[1]の table 4A.2, 4A.3, 5A.2, 5A.3 を見れば、より詳細に理解できる。これらの表では、Resolution, 定義関係, クリアな要因効果について情報を網羅している。WLP は直接掲載されていないものの、同一Resolutionの計画において、minimum aberration基準での最良計画と、クリアな要因効果数での最良計画の両方が掲載されており、実用性が高い。

同書には、2水準に関しては、11因子のResolution V計画 $2_V^{11-4}$ 、32因子のResolution IV計画 $2_{IV}^{32-26}$ まで掲載されている。直交表で言えば、 $L_{64}(2^{63})$ と $L_{128}(2^{127})$ に対応する。

Resolution Vで扱える因子数が11と少し少ないが、Resolution IVでは32因子まで情報が掲載されているので、実用上問題にならないと思われる。

一方3水準に関しては、5因子のResolution V計画 $3_V^{5-1}$ 、10因子のResolution IV計画 $3_{IV}^{10-6}$ まで掲載されている。直交表で言えば $L_{81}(2^{40})$ に対応する。2水準の場合に比べて明らかに因子数が少ないことが判る。つまり3水準因子の実験においては、81回の実験は、有効性のある一部実施計画としては最低ラインであることを意味する。多因子による柔軟な計画を考えるなら、243回、729回の実験を想定すべきであると言えよう。この規模になると、製品試作を行っての物理的な実験は殆ど不可能であるから、CAEベースの実験でのみ実現可能な領域となる。

ところで文献[1]は、この分野の実務家向けのテキストの定番の一つであるが、初版の発行時期が2000年という背景もあり、より大規模な243回、729回の実験についての情報は含まれていない。この規模の計画になると、組み合わせ生成の指数的な増大により、定義対比部分群の計算や計画の相同性判定に多大な計算量を要し、素朴なアルゴリズムでは手に負えない為である。数学的手法を駆使して、 $L_{243}(2^{121})$ と $L_{729}(2^{364})$ まで、Resolution IVとResolution Vを調べた結果が文献[3]に報告されている。同文献のTable 10は、Resolution Vについては $3_V^{11-6}$ までの6計画、Resolution IVについては $3_{IV}^{20-15}$ までの51計画が掲載されている。またtable 11には、 $3_V^{14-8}$ までの、22個のResolution V計画が掲載されている。3水準因子についてはこれですでに十分と思われる。ただし、文献[3]の一部実施計画の表記は、直交表の生成行列における独立成分列（表2において「コア因子」と表記している成分に対応する列）を基準としており、定義関係による表記にはなっていない。著者自身が論文中で書いているように、定義関係を導出するには簡単な計算が必要である。

#### 5. 商用ソフトウェアによる実施例

本章では筆者が所属するダッソー・システムズ(株)が開発・販売を行う Isight [4]における例を示す。Isight は多数の直交表を標準機能として有する一方で、Java言語やPython言語による高い拡張性を特徴としている。文献[1]

の記述にとづき、2水準と3水準の定義関係による一部実施計画をカスタム実装し、3水準11因子のResolution V計画を、有限要素構造解析に適用した結果を示す。

図1、図2、図3は $3_{IV}^{11-6}$ の計画定義の様子を示すGUIのスクリーンショットである。

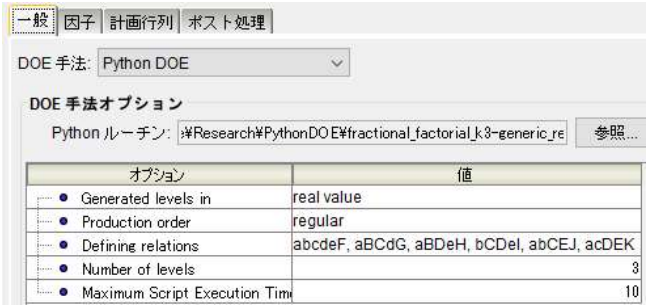


図-1 水準数と定義関係の指定

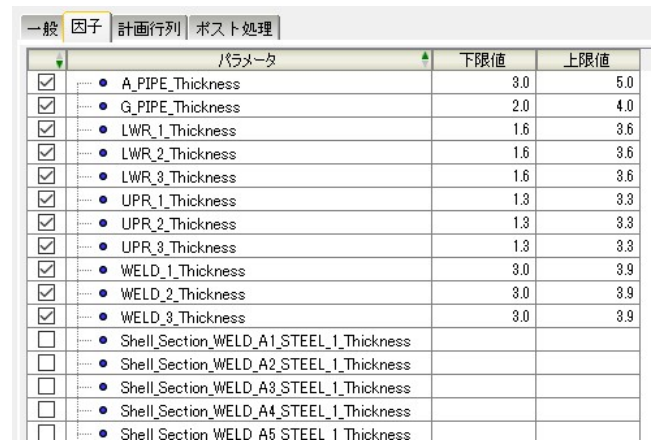


図-2 実験因子の指定

| 一般 因子 計画行列 ポスト処理 |                 |                 |                  |                  |                 |
|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 表示: 実水準値         |                 |                 |                  |                  |                 |
|                  | LWR_1_Thickness | LWR_2_Thickness | A_PIPE_Thickness | G_PIPE_Thickness | LWR_3_Thickness |
| 1                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 2.0              | 1.6             |
| 2                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 2.0              | 2.6             |
| 3                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 2.0              | 3.6             |
| 4                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 3.0              | 1.6             |
| 5                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 3.0              | 2.6             |
| 6                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 3.0              | 3.6             |
| 7                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 4.0              | 1.6             |
| 8                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 4.0              | 2.6             |
| 9                | 1.6             | 1.6             | 3.0              | 4.0              | 3.6             |
| 10               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 2.0              | 1.6             |
| 11               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 2.0              | 2.6             |
| 12               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 2.0              | 3.6             |
| 13               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 3.0              | 1.6             |
| 14               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 3.0              | 2.6             |
| 15               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 3.0              | 3.6             |
| 16               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 4.0              | 1.6             |
| 17               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 4.0              | 2.6             |
| 18               | 1.6             | 1.6             | 4.0              | 4.0              | 3.6             |
| 19               | 1.6             | 1.6             | 5.0              | 2.0              | 1.6             |
| 20               | 1.6             | 1.6             | 5.0              | 2.0              | 2.6             |
| 21               | 1.6             | 1.6             | 5.0              | 2.0              | 3.6             |
| 22               | 1.6             | 1.6             | 5.0              | 3.0              | 1.6             |

図-3 生成された計画行列（一部抜粋）

図1の“Defining relations”項目において、定義関係を入力している。この箇所以外は、計画定義における専門性は存在しない。他は、水準数と実験因子を指定するのみである。図3は、定義関係から生成した実験計画（全243行）の一部抜粋である。Isightは元々、大量のCAE実行とその結果利用を前提にしているソフトウェアなので、243回程度の

CAE実行は、全く負荷にならない。実験計画の生成と並行して、定義対比部分群、WLP、クリアな要因効果、別名関係の計算が自動的に行われる。これらの情報を自動生成できることが、今日的なCAE実行を前提とした実験計画法の利点と言える。表3にこれらを示す。ただし、紙面の都合上、重要なもののみ掲載した（定義対比部分群の語長は6まで、別名関係は主効果についてののみ4因子間交互作用まで）。第2章では2水準因子の場合について定義対比部分群の概念を示したが、3水準因子の場合はより複雑で、6つの定義関係を導入した場合、定義対比部分群は364個の語からなる。因子名に大文字と小文字の2種類が登場するのも3水準の場合の特徴である。文献[1]では大文字・小文字ではなく、A, B, C, ..., A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, C<sup>2</sup>, ... の指数表記になっているが、プログラム実装の簡潔さからこちらの記法を選んだ。内容は同一である。

図4に結果分析の一例を示す。構造体の特性値（この例では、ひずみ）についての要因効果を、主効果、2因子間交互作用、3因子間交互作用、4因子間交互作用について表示している（ただし交互作用については、定義関係におけるコア因子 a, b, c, d, e について見ている。これらは5因子要因計画を形成するものである）。図示形態そのものは一般的なものだが、3因子間交互作用、4因子間交互作用についても要因効果グラフを掲載している点がこの分析の特徴である。Resolution Vでの実験なので、3因子間交互作用は2因子間交互作用と、4因子間交互作用は主効果と別名関係なる。一般的なResolution IIIによる直交表の利用で3因子間交互作用と4因子間交互作用を論じる意味はないが、Resolution V実験においては、主効果や2因子間交互作用と対等に検討できる有意な量である。実際、この有限要素解析の場合は興味深い特徴が分析されている。

11因子の内、特に大きな主効果を持つ因子が幾つか存在し、また、2因子間交互作用についても存在していることが判る。ここまではResolution IIIの実験でも判ることが判る。更に、3因子間交互作用と4因子間交互作用のグラフにおいて、大きな効果を示すものが見られる。よってこれらと別名関係にある因子 f, g, h, i, j, k の2因子間交互作用と主効果をチェックする必要がある。この用途の為に、表3に掲載したような一連の情報が必要である。一部実施の結果として生じた別名関係かもしれないが、物理的にその交互作用が存在している可能性もある。後者なら、明らかに設計上の知見である。4因子間交互作用の大きな2つ（abceとbcde）は、主効果よりは小さいものの、2因子間交互作用よりも大きい。よって、「高次交互作用だから無視する」といった定型的な扱いは過誤の原因となる。漏らさず分析を進める必要がある対象である。別名関係のリストを検索することとで、abceはdFと、bcdeはaFと別名関係にあることが直ぐに判る。いずれも因子fの2因子間交互作用である。f は定義関係abcdeFにより導入した因子だが、非常に大きな主効果を持っている。この結果として、その2因子間交互作用の一部も大きいと理解できる。このよう

な要因効果分析は、Resolution III実験では応答の解像度が低く分析の範疇外であるだけでなく、紙面に印刷された限定的な数表を頼りにした分析でも不可能である。組み合わせ生成と検索が自然な、ソフトウェア支援環境だからこそ可能な分析と言える。

6. おわりに

今日における要因計画の在り方と有効性について、現在利用される代表的な方法の特徴と得失を示しながら論じた。直交表を使用した一部実施実験にしろ、定義語を使用した一部実施実験にせよ、Resolution IV以上で考えることができれば、要因効果分析の上でメリットが大きい。従

来はこれは困難とされて来たが、今日のソフトウェア支援の設計環境下では自然に実施できるものになっている。大規模・高Resolution 実験の普及が期待される。

参考文献

[1] Wu CFJ, Hamada M: Experiments: planning, analysis and parameter design optimization, Wiley, New York, 2000

[2] 田口玄一: 第3版 実験計画法 [上],[下], 丸善, 1977.

[3] Hongquan Xu: A Catalogue of Three-Level Regular Fractional Factorial Designs, Metrika 62, pp.259-281, 2005

[4] <https://www.3ds.com/ja/products-services/simulia/products/isight-simulia-execution-engine/>

表-3 定義関係にもとづく計画の特性量

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Defining words:</b> ['abcdeF', 'aBCdG', 'aBDeH', 'bCDeI', 'abCEJ', 'acDEK']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Complete Defining Relations:</b> n=364 ['ABCdG', 'aBDeH', 'aBEfI', 'aBcfl', 'aBgij', 'aBhJK', 'aCDFi', 'aCJjk', 'aCefh', 'aCgHK', 'aDGJk', 'aDghI', 'aEGHj', 'aEhik', 'abCEJ', 'abDfj', 'abFGh', 'abcHi', 'abdIK', 'abegk', 'acDEK', 'acFgJ', 'acdHj', 'aceGI', 'adEfg', 'adFHK', 'adeiJ', 'aeFjK', 'afGiK', 'afHIJ', 'bCDeI', 'bCGik', 'bCdFH', 'bCghj', 'bDEFk', 'bDGHK', 'bDhiJ', 'bEGHI', 'bEijK', 'bcEfG', 'bcFJj', 'bcdJk', 'bcehK', 'bdFgi', 'bdeGj', 'beFHJ', 'bfgJK', 'bfhIk', 'cDGij', 'cDHIk', 'cDefJ', 'cEgjk', 'cEhIJ', 'cdFGK', 'cdegH', 'ceFik', 'cfHjK', 'cfghi', 'dEGIk', 'dEHJK', 'deFhI', 'dfGhJ', 'dfijk', 'efGHk', 'efglj', 'gHiJk', 'aBCFhJ', 'aBCeiK', 'aBDFgK', 'aBGHIk', 'aBcDIJ', 'aBcEgh', 'aBdEjk', 'aBdfhi', 'aBefGJ', 'aCDegj', 'aCEFGk', 'aCGhiJ', 'aCdEHI', 'aCdFJK', 'aDEFhJ', 'aDHijK', 'aDefIk', 'aEgIJK', 'abCDhk', 'abCfgl', 'abDEGi', 'abEfHK', 'abFiJk', 'abcGjK', 'abcdeF', 'abdgHJ', 'abehIj', 'acDfGH', 'acEfjJ', 'acFhIK', 'acdGik', 'aceHJK', 'adFGIj', 'adeGhK', 'aeFgHi', 'afghjk', 'bCDFGJ', 'bCEFhi', 'bCHIJk', 'bCdEgK', 'bCefjk', 'bDefgh', 'bDgJjk', 'bEGhJk', 'bcDEHj', 'bcdFik', 'bcFgHk', 'bcdGhI', 'bcegiJ', 'bdEfIJ', 'bdFhJK', 'bdeHik', 'beFGIK', 'bfGHij', 'cDEFGI', 'cDghJK', 'cEGHiK', 'cdEfhk', 'cdFHIj', 'cdeIjK', 'ceFGhj', 'cfGIJk', 'dEghij', 'deFgJk', 'dfgHIK', 'efhiJK'] |
| <b>Word Length Pattern:</b> [0, 0, 66, 66, 0, 165, 55, 0, 12]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Clear Effects:</b> ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'h', 'i', 'j', 'k', 'ab', 'aB', 'ac', 'aC', 'ad', 'aD', 'ae', 'aE', 'af', 'aF', 'ag', 'aG', 'ah', 'aH', 'ai', 'aI', 'aj', 'aJ', 'ak', 'aK', 'bc', 'bC', 'bd', 'bD', 'be', 'bE', 'bf', 'bF', 'bg', 'bG', 'bh', 'bH', 'bi', 'bI', 'bj', 'bJ', 'bk', 'bK', 'cd', 'cD', 'ce', 'cE', 'cf', 'cF', 'cg', 'cG', 'ch', 'cH', 'ci', 'cI', 'cj', 'cJ', 'ck', 'cK', 'de', 'dE', 'df', 'dF', 'dg', 'dG', 'dh', 'dH', 'di', 'dI', 'dj', 'dJ', 'dk', 'dK', 'ef', 'eF', 'eg', 'eG', 'eh', 'eH', 'ei', 'eI', 'ej', 'eJ', 'ek', 'eK', 'fg', 'fG', 'fh', 'fH', 'fi', 'fI', 'fj', 'fJ', 'fk', 'fK', 'gh', 'gH', 'gi', 'gI', 'gj', 'gJ', 'gk', 'gK', 'hi', 'hI', 'hj', 'hJ', 'hk', 'hK', 'ij', 'iJ', 'ik', 'iK', 'jk', 'jK']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Alias [a]</b> min.length=4: ['bcDg', 'bdEh', 'befi', 'bCFK', 'bGIJ', 'bHjk', 'cdfI', 'ciJK', 'cEFH', 'cGhk', 'dgiK', 'dGHI', 'eghJ', 'eHIK', 'bCEJ', 'bdFj', 'bFGh', 'bcHi', 'bdIK', 'begk', 'cDEK', 'cFgJ', 'cdHj', 'ceGI', 'dEfg', 'dFHK', 'deiJ', 'eFjK', 'fGiK', 'fHIJ']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [b]</b> min.length=4: ['aCdG', 'aDeH', 'aEfI', 'acfk', 'agij', 'ahJK', 'aCEJ', 'aDfj', 'aFGh', 'acHi', 'adIK', 'aegk', 'cdEi', 'cgIK', 'cDFh', 'cGHJ', 'defK', 'dghk', 'dHIj', 'eGhi', 'eIJK', 'cEFG', 'cFJj', 'cdJk', 'cehK', 'dFgi', 'deGj', 'eFHJ', 'fgJK', 'fhIk']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [c]</b> min.length=4: ['aBdG', 'aBfk', 'aDFi', 'aJjk', 'aefh', 'agHK', 'abEJ', 'abHi', 'aDEK', 'aFgJ', 'adhj', 'aeGI', 'bDeI', 'bGik', 'bdFH', 'bghj', 'bEfG', 'bFJj', 'bdJk', 'behK', 'dgIJ', 'dhiK', 'dEFJ', 'eGJK', 'eHij', 'dFGK', 'degH', 'eFik', 'fHjK', 'fghi']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [d]</b> min.length=4: ['aBCG', 'aBeH', 'aCFi', 'aGJK', 'aghI', 'abfj', 'abIK', 'acEK', 'achj', 'aEfg', 'aFhk', 'aeiJ', 'bCeI', 'bCfh', 'bEFk', 'bGHK', 'bhiJ', 'bcJk', 'bFgi', 'beGj', 'cGij', 'cHIK', 'cefJ', 'cFGK', 'cegH', 'egiK', 'ehjk', 'eFhI', 'fGhJ', 'fijk']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [e]</b> min.length=4: ['aBDH', 'aBfI', 'aCfh', 'aGHj', 'ahik', 'abCJ', 'abgk', 'acDK', 'acGI', 'adfg', 'adiJ', 'aFjK', 'bCDI', 'bDFk', 'bgHI', 'bijK', 'bcfG', 'bchK', 'bdGj', 'bFHJ', 'cdFj', 'cgjk', 'chIJ', 'cdgH', 'cFik', 'dGIk', 'dHJK', 'dFhI', 'fGHk', 'fgIJ']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [f]</b> min.length=4: ['aBEI', 'aBck', 'aCDi', 'aCeh', 'abDj', 'abGh', 'acgJ', 'adEg', 'adHK', 'aejK', 'aGiK', 'aHIJ', 'bCdH', 'bDEK', 'bcEG', 'bcIj', 'bdgi', 'beHJ', 'bgJK', 'bhlk', 'cDeI', 'cdGK', 'ceik', 'cHjK', 'cghi', 'dehI', 'dGhJ', 'dijk', 'eGHk', 'egIj']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [g]</b> min.length=4: ['aBCd', 'aBij', 'aCHK', 'aDJK', 'aDhI', 'aEHj', 'abFh', 'abek', 'acFJ', 'aceI', 'adEf', 'afiK', 'bCik', 'bChj', 'bDHK', 'bEHI', 'bcEf', 'bdFi', 'bdej', 'bfJK', 'cDij', 'cEjk', 'cdFK', 'cdeH', 'cfhi', 'dEIk', 'dfhJ', 'efHk', 'efIj', 'hJkI']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [h]</b> min.length=4: ['aBDe', 'aBJK', 'aCef', 'aCgK', 'aDgI', 'aEGj', 'aEik', 'abFG', 'abci', 'acdj', 'adFk', 'afIJ', 'bCdF', 'bCgj', 'bDGK', 'bDiJ', 'bEgI', 'bceK', 'beFJ', 'bffk', 'cDIk', 'cEIJ', 'cdeg', 'cfjK', 'cfgi', 'dEJK', 'deFI', 'dfGJ', 'efGk', 'giJK']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [i]</b> min.length=4: ['aBEF', 'aBgj', 'aCDF', 'aCjk', 'aDgh', 'aEhk', 'abcH', 'abdK', 'aceG', 'adeI', 'afGK', 'afHJ', 'bCDe', 'bCGk', 'bDhJ', 'bEGH', 'bEjK', 'bcFj', 'bdFg', 'bfhk', 'cDGj', 'cDhk', 'cEhJ', 'ceFk', 'cfgh', 'dEGK', 'deFh', 'dfjk', 'efgj', 'gHJK']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [j]</b> min.length=4: ['aBgi', 'aBhK', 'aCIk', 'aDGK', 'aEGH', 'abCE', 'abDf', 'acFg', 'acdH', 'adei', 'aeFK', 'afHI', 'bCgh', 'bDhi', 'bEiK', 'bcFI', 'bedk', 'bdeG', 'beFH', 'bfgK', 'cDGi', 'cDef', 'cEgk', 'cEhI', 'cFHK', 'dEHK', 'dfGh', 'dfik', 'efgI', 'gHik']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Alias [k]</b> min.length=4: ['aBcf', 'aBhJ', 'aCIj', 'aCGH', 'aDGJ', 'aEhi', 'abdI', 'abeg', 'acDE', 'adFH', 'aeFj', 'afGi', 'bCGi', 'bDEF', 'bDGH', 'bEij', 'bcdJ', 'bceh', 'bfgJ', 'bfhI', 'cDHI', 'cEgi', 'cdFG', 'ceFi', 'cfHj', 'dEGI', 'dEHJ', 'dfij', 'efGH', 'gHIJ']                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

図 2 中の変数名と計画定義中のアルファベットの対応は次の通り：

'a': 'LWR\_1\_Thickness', 'b': 'LWR\_2\_Thickness', 'c': 'A\_PIPE\_Thickness', 'd': 'G\_PIPE\_Thickness', 'e': 'LWR\_3\_Thickness',  
'f': 'UPR\_1\_Thickness', 'g': 'UPR\_2\_Thickness', 'h': 'UPR\_3\_Thickness', 'i': 'Shell\_Section\_WELD\_1\_STEEL\_1\_Thickness',  
'j': 'Shell\_Section\_WELD\_2\_STEEL\_1\_Thickness', 'k': 'Shell\_Section\_WELD\_3\_STEEL\_1\_Thickness'

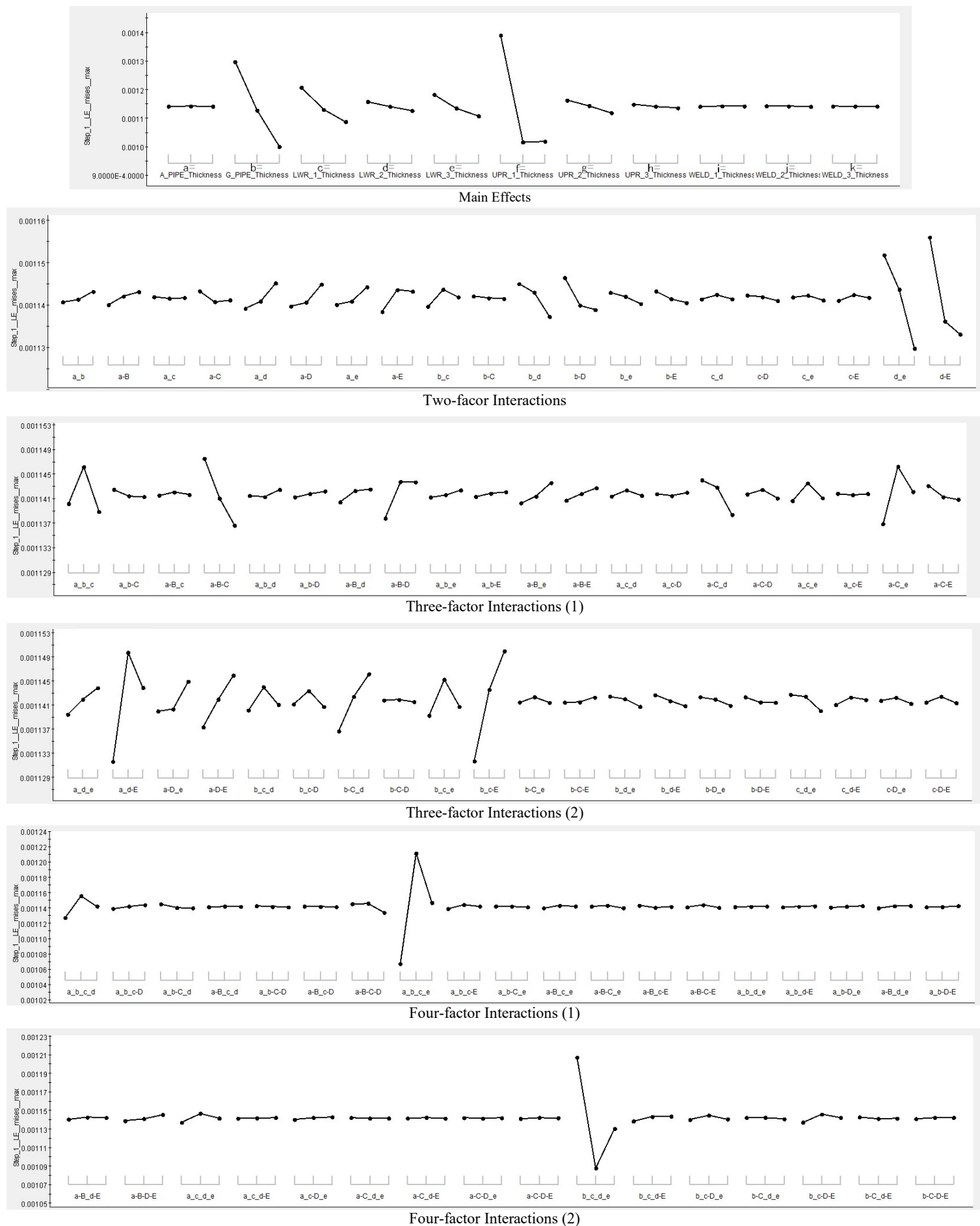


図-4 Resolution V 計画の為の要因効果図

6:00 PM - 6:15 PM (Wed. May 31, 2023 4:45 PM - 6:15 PM Room D)

## [D-05-06] Webアンケート解析支援用 AIシステムの構築

\*松本 正己<sup>1</sup>、加藤 誠<sup>1</sup> (1. 米子工業高等専門学校)