

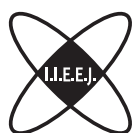
画像電子学会誌

*The Journal of the Institute of
Image Electronics Engineers of*

*The Journal of the Institute of
Image Electronics Engineers of
Japan*

*The Journal of the Institute of
Image Electronics Engineers of
Japan*

- ◆【随 想】2026 年の幕開けにあたって
- ◆【来し方行く末】プリンティング技術はすでに成熟したのか？— AI で問われる画像処理技術 —
- ◆【来し方行く末】企業における研究開発と大学における教育研究
- ◆【論 文】CLIP を統合した遺伝的アルゴリズムによる樹木のテキスト駆動のモデリング手法
- ◆【論 文】領域分割結果から得られるエッジを手掛かりとした部屋の 3 次元構造推定
- ◆【システム開発論文】病理標本解析のための可視・近赤外ハイパースペクトル画像統合システムの開発
- ◆【コーヒーブレイク】“Collapse” とその後
- ◆【報 告】Visual Computing ワークショップ 2025 (VCWS 2025) 報告



一般社団法人

画像電子学会

Vol.55 No.1

2026

池上通信機株式会社
科学技術振興機構
公益財団法人画像情報教育振興協会
桂川電機株式会社
株式会社ゲネシスコンマース
コニカミノルタ株式会社

Z A Z A 株式会社
大日本印刷株式会社
日本テレビ放送網株式会社
日本電信電話株式会社
日本放送協会
株式会社日立製作所

富士フイルムビジネスイノベーション株式会社
古野電気株式会社
三菱電機株式会社
株式会社リコー

編集委員会

- (委員長) 内田 理
(副委員長) 小林直樹, 竹島由里子, 石川雅浩.
(編集顧問) 安田靖彦, 富永英義, 小宮一三, 小野文孝, 羽鳥好律, 松本充司, 加藤茂夫, 田中 清, 児玉 明.
(編集理事) 石川雅浩, 新田高庸, 向井智彦, 今給黎 隆
(編集幹事) 河村尚登, 森谷友昭, 山田雄一郎.
(編集・査読委員) 荒井良徳, 池田充郎, 井尻 敬, 石川知一, 五十嵐悠紀, 上平員丈, 大井 翔, 大木眞琴, 木村俊一, 久下哲郎, 倉掛正治, 小池崇文, 櫻井快勢, 佐藤甲斐, 佐藤周平, 白川真一, 新谷幹夫, 関野雅則, 田中賢一, 田中 清, N.P.チャンドラシリ, プレマチャンドラ・チンタカ, 豊浦正広, 長谷川まどか, 濱本和彦, 藤澤 誠, 藤代一成, 牧田孝嗣, 吉田典正, 吉川 浩, Chee Seng CHAN, Paramesran RAVEENDRAN, KokSheik WONG.
(査読委員) 荒川賢一, 荒木昭一, 有川智彦, 伊藤貴之, 五十嵐悠紀, 岩切宗利, 岩橋政宏, 大澤秀史, 尾上孝雄, 金井 崇, 金子俊一, 金森由博, 金子 格, 金田和文, 北郷正輝, 勝間ひでとし, 栗原恒弥, 黒沢俊晴, 洪 博哲, 小館亮之, 駒形英樹, 小町祐史, 今間俊博, 斎藤隆文, 齋藤 豪, 齊藤文彦, 佐藤真知子, 篠原克幸, 島村 潤, 下馬場 朋禄, 白井啓一郎, 杉崎栄嗣, 瀬崎 薫, 瀬政孝義, 高島洋一, 高野邦彦, 田中芳樹, 高橋時市郎, 谷口行信, 田村 徹, 辻 宏行, 鉄谷信二, 中村康弘, 納富一宏, 包 躍, 林 正樹, 福江潔也, 堀田裕弘, 本宮隆広, 茅 暁陽, 松木 眞, 松田浩一, 三田雄志, 三ツ峰秀樹, 六浦光一, 森島繁生, 柳原政弘, 藪下浩子, 山口隆二, 山崎龍次, Hernan AGUIRRE, Yoong Choon CHANG, Robin Bing-Yu CHEN, Mochamad HARIADI, Pizzanu KANONGCHAIYOS, Teck Chaw LING, Keat Keong PHANG, Nordin BIN RAMLI.
(事務担当) 大嶽英宗, 浮ヶ谷 修, 福島理恵子, 本田京子.

入会のご案内

入会ご希望の方は下記ご参照の上, 学会ホームページよりお申込頂くか, 事務局にその旨ご連絡ください。

○会員の種別

正会員: 本会の目的に賛同する個人

学生会員: 本会の目的に賛同する学生

賛助会員: 本学会を援助する個人または法人

特殊会員: 本学会の目的に賛同する個人以外の図書室, 研究室など

○入会金および年会費

入会金: 正 会 員 1,000 円 学生会員 500 円

年会費: 正 会 員 10,000 円

学生会員 3,000 円

賛助会員 50,000 円 (1 口)

特殊会員 12,500 円

○ご連絡先

〒116-0002 東京都荒川区荒川 3-35-4

ライオンズマンション三河島第二 101 号

TEL (03)5615-2893 FAX (03) 5615-2894

E-mail: hensyu@iieej.org (編集)

kikaku@iieej.org (研究会・会員情報)

hyoujun@iieej.org (テストチャート)

<http://www.iieej.org/>

<http://www.facebook.com/IIEEJ>

画 像 電 子 学 会 誌

第55巻 第1号 通巻275号 (2026年1月)

目 次

随 想

- 1 2026年の幕開けにあたって 内田 理

来し方行く末

- 2 プリンティング技術はすでに成熟したのか？
ー AI で問われる画像処理技術 ー 河村尚登
- 5 企業における研究開発と大学における教育研究 向井信彦

論 文

- 7 CLIP を統合した遺伝的アルゴリズムによる樹木のテキスト駆
動のモデリング手法 市村侑大, 佐藤周平
- 18 領域分割結果から得られるエッジを手掛かりとした部屋
の3次元構造推定 森岡隼也, 中山果瑛, 安達美穂, 宮本龍介

システム開発論文

- 34 病理標本解析のための可視・近赤外ハイパースペクトル
画像統合システムの開発 石川雅浩, 中村 駿, 小林直樹

コーヒープレイク

- 42 “Collapse” とその後 古閑敏夫

報 告

- 45 Visual Computing ワークショップ 2025 (VCWS 2025)報告 画像電子学会 Visual Computing 研究会

会 告・ニュース

- | | |
|---|------------------------------|
| 58 「会員用Web」への登録実施のお願いおよび、会費の口座振替特典
終了のお知らせ | 74 論文賞候補論文推薦のお願い・論文賞表彰規定 |
| 59 理事会日より | 76 西田賞候補論文推薦のお願い・西田賞表彰規定 |
| 61 画像電子学会研究会等予定 | 78 アレキサンダー・ペイン賞候補推薦募集 |
| 62 第315回研究会 in 北海道 開催案内 | 80 画像電子技術賞候補の推薦のお願い |
| 64 第54回VMA研究会/第20回 視覚・聴覚支援システム研究会開催案内 | 83 フェロー候補推薦募集 |
| 65 第10回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会講演募集 | 85 代議員候補推薦のお願い |
| 66 第11回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会講演募集 | 86 日本画像学会誌・日本写真学会誌・日本印刷学会誌目次 |
| 68 2026年10月号 ビジュアルコンピューティング論文特集論文募集 | 89 会 報 |
| 69 2027年4月号 社会貢献と画像電子関連技術特集 論文募集 | 89 編集後記 |
| 70 論文投稿の手引き | 90 総目次 |

**The Journal of
the Institute of Image Electronics Engineers of Japan
Vo1.55 No.1 January 2026
CONTENTS**

Foreword

- 1** Greetings at the Start of 2026 Osamu UCHIDA

The Past & The Future

- 2** Is Printing Technology Matured?: Meaning of Image Processing Technology in the AI Era Naoto KAWAMURA
- 5** Research and Development in Companies versus Education and Research in Universities Nobuhiko MUKAI

Contributed Papers

- 7** A Text-Driven Modeling Method of Tree by CLIP-Integrated Genetic Algorithm Yudai ICHIMURA, Syuhei SATO
- 18** Estimation of 3D Room Structure Using Edges on Segmented Images Junya MORIOKA, Kae NAKAYAMA, Miho ADACHI, Ryusuke MIYAMOTO

System Development Papers

- 34** Development of an Integrated Visible and Near-Infrared Hyperspectral Image System for Pathology Specimen Analysis Masahiro ISHIKAWA, Shun NAKAMURA, Naoki KOBAYASHI

Coffee Break

- 42** “Collapse” and Thereafter Toshio KOGA

Reports

- 45** The Report of Visual Computing Workshop2025 (VCWS2025) Visual Computing Committee

2026 年の幕開けにあたって

内田 理 (編集委員長, 東海大学)

Greetings at the Start of 2026

Osamu UCHIDA (Editor in chief, Tokai University)



会員の皆様、新年明けましておめでとうございます。2026 年 1 月号の発行にあたり、編集委員会を代表してご挨拶申し上げます。

昨年は、EXPO 2025 大阪・関西万博（開催期間：2025 年 4 月 13 日～10 月 13 日）が開催され、国内外から多くの来場者を迎え、連日大きな注目を集める一大イベントとなりました。先端技術の展示や様々な体験的イベントを通じて、「画像・映像」が人々の認知や理解、さらには感動や行動変容に直結し得ることを、改めて実感された方も多いのではないのでしょうか。画像電子技術は、情報の獲得や伝達、共有、そして意思決定を支える基盤として、社会のさまざまな領域で不可欠なものとなりました。万博という“これからの社会を体感する場”で披露された最新技術への大いなる期待と、同時に浮き彫りになった新たな問いかけは、研究課題として今後さらに掘り下げられていくでしょう。そこで導かれた解を実装により磨き上げ、よりよい社会の実現につなげるからこそ、私たち画像電子学会に課された重要な役割であると信じています。

今年 2 月にはイタリアでミラノ・コルティナ 2026 冬季オリンピックが、3 月にはパラリンピックが開催されます。このような世界的スポーツイベントの舞台裏では、高精細な画像や映像の入力・伝送・表示技術に加え、AI による映像解析や競技支援、視聴体験の拡張など、画像電子分野の成果が幅広く活用されていることは周知のとおりです。競技の興奮と感動が世界へ共有される瞬間に、我々の研究領域が深く関与していることは、我々はもちろん、将来この分野を目指している若者にとっても大きな励みとなるのではないのでしょうか。

さて、本年 3 月 16 日（月）～19 日（木）に、広島大学霞キャンパスにて、The 9th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2026) が開催されます。今回は、2024 年に Sister Society 契約を締結した IEEE Consumer Technology Society による技術協賛の下での最初の開催であり、本学会の国際化を今後更に進展させるうえで記念すべきイベントとなることが期待されています。画像電子とビジュアルコンピューティングという二つの核に加え、AI という大きな波、医療応用など隣接分野を含めた幅広い議論に基づく共創の場として、国内外の研究者・学生の交流を後押ししてまいります。会員の皆様におかれましては、是非ご参加いただき、最新の研究成果の共有と、新たな共同研究の芽を育む機会としてご活用いただければ幸いです。さらに、英文誌 (IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing) の本年 12 月号にて、論文特集 “Extended Papers Presented in IEVC2026” を企画いたします。IEVC での発表内容をベースに、より充実した検証や関連研究の整理、実装や再現性の観点を加えた「深化版」として取りまとめていただき、是非ご投稿ください。

また、第 54 回画像電子学会年次大会を、2026 年 8 月 24 日（月）～26 日（水）に筑波大学で開催予定です。今回も昨年までと同様にジャーナルトラックを予定しており、大会発表と論文投稿を連動させる形で、研究成果の迅速な公開を支援する取り組みを継続してまいります。

画像電子技術の裾野は年々広がり、その進歩や社会実装のスピードも日々増しています。その中で、研究成果を明確かつわかりやすく記述し、査読・校正作業を通じ、より正確で、信頼性の高い形に磨き上げ、後世に残していくという学会誌・論文誌の意義も、むしろ高まっているといえるのではないのでしょうか。編集委員会としても、引き続き、公正で質が高く、また迅速な査読体制の維持と、投稿しやすいカテゴリーの整備、読みやすい誌面づくりの実現に努めてまいります。一方で、以前より掲げております、学会誌・英文論文誌のオープンアクセス化、英文論文誌の SCOPUS 収載についての議論は、残念ながら、編集委員長の力不足によって足踏み状態にあり、心よりお詫び申し上げる次第です。本件の加速に向けて広く会員の皆様からのご意見並びにお力添えを賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

最後に末筆ながら、年頭に当たり会員の皆様のご健勝とご多幸をお祈り申し上げますとともに、本学会への一層のご理解とご協力を賜りますよう、宜しく願い申し上げます。

来方行く末

プリンティング技術はすでに成熟したのか？

－ AI で問われる画像処理技術 －

河村 尚登 (フェロー, カワムラ・テクノラボ)

Is Printing Technology Matured?
: Meaning of Image Processing Technology in the AI Era

Naoto KAWAMURA (Fellow, Kawamura-TechnoLab)

1. はじめに

既に定年退職して久しいが、キヤノン (株) に入社して以来画像出力 (記録) 装置の開発や画像処理技術の研究開発に携わってきた。それから早 50 年、初期の画像入出力装置や技術は革新的な進化を遂げ日本製品は世界市場を席巻してきた。

図 1 に画像入力装置 (カメラ等)、画像出力装置 (プリンタ等) 及び両者をつなぐ統合画像処理の技術開発の流れを示す。多くのメーカーにおいてもほぼ同じような流れであると思う。50 年という歳月で俯瞰して技術と製品の変遷を眺めると感慨深い反面、装置として既に成熟し、「もはやこれ以上の新しい技術開発は必要ないのでは」という不安も感じる。そこで、画像出力装置を中心にその歴史を振り返り、これからの方向について考えてみたい。

2. デジタル化の潮流と NIP の夜明け

1970 年代からのデジタル化の潮流により、出力 (記録) 装置は主にコンピュータの出力端末として位置づけられるようになった。特に、1970 年代後半から始まった NIP (ノンインパクトプリンタ) の波は DTP (Desk Top Publishing) の印刷端末としてレーザプリンタ、インクジェットプリンタ、サーマルプリンタ など、新しいデジタルプリンタを登場させ、グーテンベルグ以来 500 年以上の歴史を持つ印刷関連技術は、デジタル技術と融合したこれらの新たなデジタルプリンタへと受け継がれて行った。

私自身も、キヤノン (株) において世界初の半導体レーザを搭載した小型のレーザビームプリンタ (LBP-10 : 1979 年発売) の開発に携わった。価格はそれまでのレーザプリンタの

10 分の 1 (195 万円) という大幅な低価格化を実現し、続く後継機において更なる進化が図られ、OEM でも販売されるようになり需要層が劇的に拡大した。また、カラー機では、世界初のデジタルカラーレーザ複写機 (CLC-1 : 1987 年発売, 388 万円) の開発に携わった。カラーズキャナを搭載し、当時は二値のディザ出力が主流であったが、レーザのパルス幅変調 (PWM : Pulse Width Modulation) により、飛躍的な高画質を実現し、本格的なカラーのプリント/コピーの時代に入った。

一方、1970 年代半ば、キヤノンの研究者が、実験室でインクを詰めた注射器の針に熱したハンダごてが偶然接触した時、針先からインク滴が勢よく噴出するのを目にしたことから、ヒーターによる加熱でインク滴を吐出させるというキヤノン独自のインクジェット技術が偶然の産物として誕生した。圧電素子を利用するピエゾ方式のインクジェットとも互いに競い合い、インクジェットプリンタは家庭用プリンタとして急速に普及した。シリアル方式であるインクジェットはインクの数を増やせることが一つの特徴であり、淡シアン、淡マゼンタなどを加えた多色インク方式により、粒状感を徹底的に抑えた写真画質が売り物になった。

一方、デジタル化の潮流により、画像入力装置においては、1980 年代から報道用・業務用のデジタルカメラが登場し、1990 年代に入ると多くのメーカーからコンシューマ用のデジタルカメラが発売された。その後、センサの解像度競争が始まり、高解像度化が急激に進行した。印刷分野においては、デジタルカメラによる入稿が可能となり、RGB 入稿のワークフローが確立され、カメラとプリンタが連携するようになった。

3. 高画質化処理と入出力統合処理の技術開発

出力装置における高画質化の基本技術として、デジタルハーフトーニング技術がある。リニアで滑らかな階調特性、色再現性、粒状ノイズやモアレの低減、文字と写真の両立等、ハーフトーニングはプリンタの画質を左右する基本技術であるといっても過言ではない。

画像記録装置のハーフトーニング法は、エンジンの機構や特性を考慮して最適化する。初期のレーザプリンタではエンジンノイズやピッチムラに耐性のある線スクリーンによる PWM 方式が有効であったが、倒れ補正光学機構の搭載や高解像度化により、伝統的な AM スクリーンや FM スクリーン法も用いられるようになり、文字と写真の両立を目指した処

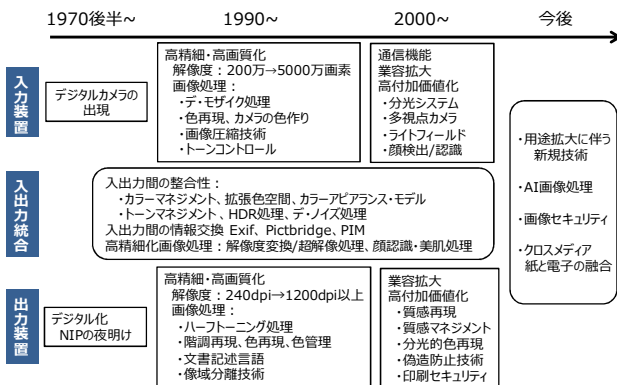


図 1 画像入出力装置の技術開発の流れ

理も盛り込まれるようになった。

インクジェットプリンタでは、誤差拡散法をベースとした FM スクリーンを主軸に、マルチパスと組み合わせて、粒状感やアーティファクトを徹底的に減じるためのアルゴリズムが盛り込まれた。

一方、画像入出力装置として多種の装置を発売していた当社にとって、機種ごとに再現色が異なっては問題であるので、これらの装置間の整合性をとるのが重要課題であった。特に人間の記憶色に基づく好ましい色再現(知覚色再現:perceptual color reproduction)は主観性が強く、人、文化、時代によっても異なるため、統一した指針を定義する必要があった。そこで様々な職種のパネラーを統計的に処理できる母数だけ集め、パネルテストを行い目標色や許容量の定量化を行った。人種や文化の違いも考慮し、海外でのパネルテストも実施した。パネルテストの結果は、主に写真調のプロファイルとしてメーカー固有の絵作りのデフォルト値とし、各種ドライバーに搭載された。

一方、色再現域の異なる装置間での色の整合性をとるためのカラーマネジメント(CMS: Color Management System)も重要である。当時、主流の色空間は sRGB 標準色空間であったが、色材の進歩に伴い、より広い色再現規格が必要となり、CMS も拡張色空間に対応したものへと進化した。また、色刺激は、周囲環境光や、順応状態などにより異なる応答を示すため、色の見え(color appearance)としての知覚色に対する色管理も必要となった。CAM (Color Appearance Model) に基づく CMS は、環境での「見え」を一致させた出力を得ることで、環境光に非依存の色管理を追求したものである。この技術はマイクロソフトとの協業で Windows Vista に搭載された。

4. 画像圧縮技術の標準化と特許問題

画像圧縮は画像装置にとって不可欠な技術であり、画像通信や蓄積においては標準化が前提となるが、採用した標準で特許問題が生じると装置メーカーにとって極めて深刻である。近年の標準化は技術開発型へと変化してきているため、標準化の初期段階から参加して活動していくことが大事であり、会社の方針もその様に変化してきた。

1980 年代後半にキヤノンから「写真やカタログ等の中間調のある原稿でも驚くほど鮮やかに美しく再現」という謳い文句で誤差拡散法を搭載したファクシミリを発売した。画質は著しく向上したが、通信量が大きく増大した。そこで、二値画像の画像圧縮を目指した標準である JBIG (Joint Bi-level Image Experts Group) が 1988 年 8 月に発足した際に、初めて標準化会議に参加しアルゴリズム提案等を行った。また、1996 年からスタートした JPEG2000 の標準化活動にはキヤノンからオーストラリア及びフランスの研究所と連携した国際チームでアルゴリズム提案や基本仕様である Part 1 の参照実装(Reference Implementation)に参加し、規格の策定作業に貢献した。企業のグローバル化に伴い海外ブランチと連携して標

準化活動を行う企業がこの頃から多くなったと記憶している。

また、本来フリーとされていた JPEG 特許を、米国のある会社がデジタルカメラ・メーカーをはじめとする主要機器メーカーにライセンス料の支払いを求めてきて大騒ぎになることがあった。このような事例があったため、JPEG2000 では画像電子学会協賛の下で国内小委員会の IP 分科会を設立し、「No more JPEG!」を掲げて国内企業や関連団体が協力して知財問題の解決にあたった。日本製の画像装置が、国際市場で優位に立てたのはこのような地道な活動があったからであろう。

5. 質感再現や高付加価値印刷の取り組み

2000 年頃からペーパーレス化が盛んに叫ばれ始め、紙に替わって電子端末(電子ペーパー)が注目され始めた。当初の表示装置の多くは粗く低解像度の印象が強かったが、IGZO と呼ばれる薄膜トランジスタの登場で、より高解像度・高精細で、かつ、軽量・薄型、低消費電力が実現され、ペン入力も搭載されて、これまで可搬性と加筆性が特徴の紙文化の牙城が崩れかけてきた。更に、表示装置では、コンピュータグラフィックス(CG)技術の発展により、物理的な光学過程をシミュレートして画像生成することや、画面と観察者との相対的な位置関係を偏角特性として入力することにより、さまざまなシェーディング手法を用いて実時間でリアルな映像と質感を再現できるようになってきた。

そこでプリンタなどの記録装置では、質感再現や高付加価値印刷で差別化する取り組みを始めた。特色、高輝性、光沢のあるインクやトナーと、表面の凹凸やテクスチャなどの表面加工による質感再現である。異なる色と BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) を持つ多数のインクを組み合わせることで質感マネジメントを行い、光沢度をコントロールする。つまり異なる BRDF 特性を持つインクを網点によるハーフトーンで面積比を変えて加法混色することにより BRDF の制御が可能となり、更に、インク層の表面の凹凸やテクスチャなどの表面加工が行える。このように、表示装置にはできない質感再現の提供により、印刷物のブランド価値を大幅に高め、高級感の演出や強調を実現できるようになった。

6. 偽造防止技術と画像セキュリティ

プリンタの高画質・高精細化に伴い、偽造や著作権侵害などの社会的問題が増大し、プリンタ自体に紙幣の偽造を防止するための仕組みを組み込むことが社会的な責任となった。追跡型は、印刷する文書全体にイエロードットのパターンを印刷し、このパターンにプリンタの製造番号、モデル名、印刷日時などの情報を符号化して印刷し、偽造紙幣が発見された時に追跡可能とする。偽造防止型は、中央銀行偽造対策グループ(CBCG)が推進する偽造抑止システム(Counterfeit Deterrence System: CDS)が機器に組み込まれており、機器が偽造データを認識した場合に黒く塗りつぶす等の未然防止を行う。また、紙幣に印刷されたユーリオンパターン(小さな

円形の模様を特定の法則で配置したパターン)を認識する手段、電子透かしを検出する手段があり、後者の例として米国 Digimarc 社が開発した紙幣の線画の太さに透かしを組み込む方式があるが、当然のことながら詳細は公表されていない。

7. 業容拡大とソリューション事業への転換

プリンタは事務用や家庭用の印刷装置として市場を伸ばしてきたが、プロダクション装置として商業印刷、POD (print on demand)、バリエーション印刷の分野へと需要が広がることになった。また、紙への印刷だけではなく、テキスタイルやガラス、タイル等、様々なメディアへと印刷の適用範囲も拡大している。さらに、インクジェットプリンタは、微細記録の特性を生かして OLED (有機 LED) などディスプレイのカラーフィルタ、DNA チップのようなバイオチップの製造など、産業用・医療用分野へと業容も拡大し技術領域も広がった。

ペーパーレス化の脅威に対し、プリンタメーカは「紙に出力する装置を提供する企業」から「ドキュメント・情報管理のソリューションを提供する企業」へと変貌を遂げ、異分野への進出も含めた事業領域の拡大に取り組んでいる。

8. AI 画像処理の登場

AI 画像処理の出現により、画像処理技術は大きく変貌した。例えば、一昔前は超解像技術と言え、反復逆投影 (IBP : Iterative Back Projection) 法、MAP (Maximum a posteriori) 法、POCS (Projection onto convex sets) 法、ML (Maximum likelihood) 法、Wavelet SR 法など多くのアルゴリズムが提案され、その都度苦労して画質を比較検討したものであるが、AI 超解像はシンプルで、予想以上の効果があり、また高速に処理できる。

同様に、高画質化処理、高精細な色処理等、様々な画像処理でも AI は驚くような効果を上げている。AI 技術の登場以来、従来の画像処理技術の多くが、AI 技術に置き換わり、より高機能に、かつより高精度に変貌しつつある。また、画像生成 AI は今まで機械にはできなかった画像の「創作」まで可能とし、画像を取り巻く環境が著しく変貌しようとしている。

画像入力装置は、スマートフォンの様にカメラと CPU 及び通信機能を組み合わせ、AI 画像処理で、画像検索や Inpainting (修復)、画像合成などの様々な処理が可能となり、新たな魅力を作り出した。

一方、DTP が出始めの頃は、プリンタなどの出力装置に対し、「ホストコンピュータの作ったデータをそのまま忠実に出せばよいので、余計なことはするな」という意見が強かったが、今では出力装置はソリューションの一環とされ、ホスト側の処理も含めてトータルのシステムで最適化するという風に変わってきている。そのため、プリンタドライバーは、AI 技術を取り込み、より高機能になりつつある。

AI 画像処理をシステムに取り込むためには、AI モデルとネットワークパラメータをドライバーあるいは装置に取り込み、高速に処理を行う必要がある。学習 (トレーニング) は大量のデータを用いて高性能なサーバーやクラウドの環境下で事

前に実施するので、組み込み型の AI 画像処理を構築するにはシンプルな AI モデルと実機でのパフォーマンスの両方を追求する必要がある、かなりハードルが高い。次世代記録装置の重要課題であろう。

9. 次世代画像記録技術を俯瞰

以上述べたように、画像出力装置や処理技術はペーパーレス化の波にも負けず、技術革新や事業領域を拡大して成長し今日に至っている。しかしながら、「マーキング技術」という原点に立ち返ってみると、「かなりの技術が完成に近く、ほぼ成熟したのではないか」、「これからはコスト削減と環境負荷低減の技術のみをやっていればよいのではないか」という意見をよく耳にする。そこで、次世代の開発に向けた課題について、以下で「私見」を述べたい。

一つは、更なる高付加価値を追求し、AI 技術を駆使し画像システムとして機能を拡張し精度を高めることである。例えば、紙質や画像内容に対して適応的な色再現、文字や画像に対するハーフトーニングの最適化、光沢度の制御などである。またスペクトラルマッチングの手法は質感再現に効果的で、かつ、メタメリズムの回避につながる。

次に、画像のセキュリティ制御を AI 技術を用いてより強固にする必要がある。フェイク (偽) 画像、著作権侵害画像、違法改竄画像などの蔓延は、現在大きな社会問題となっている。記録装置を含む全ての画像関連装置は、これら非合法的な画像を識別し警告すると同時に、不正処理を抑止する方策が望まれる。様々な解決案が考えられるが、画像データ自体にも何らかの仕掛けが必要となろう。安心して画像を取り扱えるようにするソリューションの早期の提供を待ちたい。

更に、紙印刷と電子データをつなぐ様々なクロスメディア・ソリューションの構築が鍵となる。QR コードや電子透かし技術などの利用により、紙上の画像やコードからの情報読み出し、データベースへのリンク、音楽や音声の朗読、映像へのアクセスなど様々なメディアとの連携と融合が可能となり、新たな次元も含めた付加価値の創造が大いに期待できる。

10. まとめ

上記のようにプリンタメーカは、業容を拡大しソリューションを提供する企業へと変貌している。また、AI 技術や生成 AI 技術が登場し、これまでの画像処理技術の多くが見直しを余儀なくされつつある。このような環境の中で、画像出力装置が今後更に発展するためには、画像を取り扱うトータルのソリューションにおいて、AI 技術の活用が肝要であることは言うまでもない。その上で、基盤技術として画像のセキュリティ技術とクロスメディア・ソリューションに取り組むことが更なる業容拡大につながると信じている。

以上、私の感じたことを自由気ままに述べさせていただきました。今後も日本の画像出力装置が引き続き世界市場で先頭を走ることを心から祈って筆をおきます。

来し方行く末

企業における研究開発と大学における教育研究

向井 信彦 (正会員, 東京情報大学)



Research and Development in Companies versus Education and Research in Universities

Nobuhiko MUKAI (Member)

Tokyo University of Information Sciences

1. はじめに

画像電子学会で新たに「来し方行く末」というコラムが創設され、CGの分野からは記念すべき初回の2024年1月号に西田友是先生、第2回の2025年1月号に高橋時市郎先生が寄稿されている。第3回が「私で良いのか?」とは思ったが、企業勤務時代には尊敬する上司であり、また、本学会の元会長でIEEEのFellowでもおられる小野文孝先生からのお誘いであるため、二つ返事でお受けした。西田先生はご自身の経歴をCGの歴史に重ねて詳しく説明されており、高橋先生は大学での研究活動について分かりやすく述べておられる。

私は三菱電機(株)に17年、東京都市大学(旧武蔵工業大学)に23年の合計40年間の勤務後定年退職し、現在は東京情報大学で嘱託教授という職を得て、未だ大学における教育と研究の活動を続けている。「来し方行く末」とは「過ぎてきた方向とこれから向かう方向」、つまり、「過去と未来」ということなので、企業勤務時代に経験した「研究開発」と大学における「教育研究」について雑感を述べようと思う。

2. 企業における研究開発

「企業」とは「営利目的で事業を企てる経営体」である。したがって、「利益追求」のために商品やサービスを「開発」することが主目的となり、「研究」は将来必要となる商品やサービスの「開発」を見据えた活動となる。しかしながら、将来のヒット商品を予想することは難しく、また、優れた研究が直ちにヒット商品につながるとは限らない。一方で企業は研究に費やした投資を回収する必要がある、少なくともある割合で研究投資が回収できるための戦略が求められる。

私は大学学部や大学院では機械工学を学びながら、情報工学の分野にも興味を持ち、画像処理の研究を行っていた。就職した企業では情報電子研究所に配属され、「情報」の仕事ができることに期待感があった。最初の所属は確か「端末システムグループ」だったと記憶している。今では「端末」って何?と思われるだろうが、当時は一人一台のコンピュータなど夢のまた夢であり、大型コンピュータに接続された「端末」すなわち「入出力のみができる機器」を利用して計算を行っていたのである。配属されたグループでは将来を見据えて「ワークステーション(WS)」を開発していた。WSとはパーソナルコンピュータ(PC)よりもはるかに高い能力を要する「小

型」計算機であり、WS一台あれば大型計算機は不要とも考えられていた。入社年には「つくば万博」が開催され、各社こぞってWSを展示していた。WSには将来コンピュータグラフィックス(CG)が必要になるということから、私は情報処理学会に設置されたCGの国際標準化委員会(ISO/IEC JTC1/SC24/WG2)に参画させて頂き、2次元グラフィックスであるGKS(Graphical Kernel System)や3次元グラフィックスであるPHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)の国際標準化や国内におけるJIS化の経験をするこゝもできた。ちなみに、グラフィックスを搭載したWSであるGWS(Graphics WS)はAppollo社やSUN社など各社から出荷されたが、最終的にはSGI(Silicon Graphics, Inc.)社の一人勝ちとなった。しかしながら、そのSGI社も現在ではHPE(Hewlett Packard Enterprise)社に吸収されている。WSがGWSとなり、現在のPCやスマホの原型を作ったという意味では我々も将来を見据えた研究開発を行ってきたと思うが、移り変わりの激しい時代に、どういう仕様の機種を開発し、どのタイミングで出荷するのかは何とも難しい判断であったと思う。

WS開発が一区切りした後、米国に留学させて頂き、修士号を取得して帰国すると、将来を見据えたウェルネスプロジェクト(Wellness Project)が新たに立ち上がっていた。これは、「健康の維持・増進に向けた取り組み」である。特に「手術」は生死を分ける高度な技術であり、しかも、人体を用いた訓練ができないことから、仮想現実(Virtual Reality)を用いた手術シミュレータの開発を行うことになった。図1は旭川医科大学との共同研究で開発した眼科用手術シミュレータである。双眼鏡型顕微鏡やフットスイッチなど現実の手術を模擬し、両手で操作する術具で力覚を感じることができる。本シミュレータを学会で発表した際の反響は大きく、注目を集めた。その後、大学を始めとする様々な研究機関で手術シミュレータが開発されることになり、その点では、企業として眼科用手術シミュレータの開発は先見の明があったと言えるのかも知れないが、利益を伴うヒット商品とまではいかなかったため、営利企業としての開発成功例にはならないのではないのかと思われる。

企業では商品を出荷する前には必ず特許を出願し、他社による類似製品の開発を防いだり、類似製品から特許料収入を得たりする戦略を取る。本シミュレータも特許を取得したが、特許料収入があったかどうかまでは残念ながらわからない。



図1 眼科用手術シミュレータ

3. 大学における教育研究

三菱電機(株)を2002年に退職し、武蔵工業大学(現 東京都大学)に転職した。企業時代の眼科用手術シミュレータの開発成果について同じ研究室の小杉信先生と相談した結果、手術シミュレータを基盤として血管の変形や血流の研究を行うことになった。当時、大学には生体医工学科が設置され、外科医と内科医の先生も着任されており、内科医でもある仁木清美先生から榊原記念病院の心臓外科医である高梨秀一郎先生をご紹介頂き、心臓における血流と圧力変化のシミュレーションが始まった。図2は心臓内の左心室から大動脈への血流シミュレーションである。粒子法を用いて計算し計算対象である粒子をそのまま可視化しているため、血液や心臓は全て粒子で表現されており、血液粒子の色は圧力を表している。(a)は僧房弁を介して左心室に血液が流入するところで、(b)に示すように左心室が収縮した後、(c)のように大動脈弁が開いて血液は大動脈へと流れ、(d)では左心室の弛緩に伴い左心室圧力が低下し、(e)で大動脈弁が閉鎖して、(f)で左心室が元の状態に戻る様子を表現している。この研究は手術シミュレータよりも基礎的な医工学の領域であり、結果として大学勤務時代における主たる研究の一つとなった。

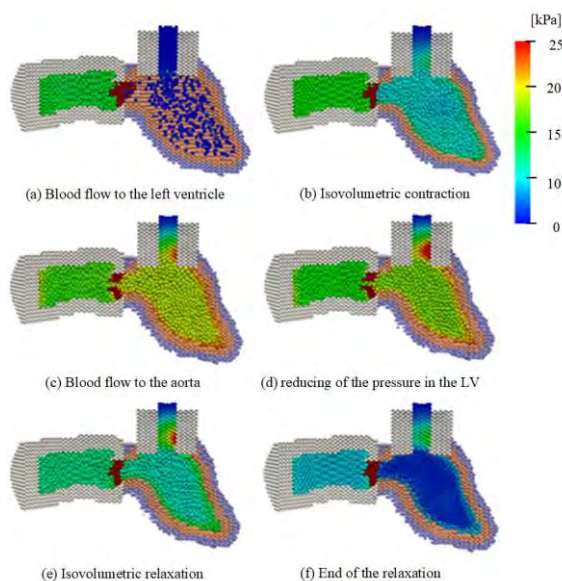


図2 左心室から大動脈への血流シミュレーション

さて、大学の主目的は「研究」より「教育」とよく言われる。しかしながら、1年次や2年次の低学年における基礎科目であれば教科書通りの授業をしていれば良いが、3年次や4年次の高学年の授業では最新のトピックスを取り入れた授業が必要であり、特に卒業研究では最先端の技術を視野に入れた指導が必要であるため、決して「研究」をおろそかにはできず、充実した「教育」のためには「研究」は必須である。

学生に最新動向を把握させ、その研究を指導するだけではなく、自らも将来を見据えた研究を行うことが必要であり、そのためには、大学から支給される配分研究費は充分とは言えず、外部資金が必要となる。日本における最も一般的な外部資金は、日本学術振興会が行っている科学研究費助成事業、いわゆる科研費であり、これを受給するために、大学の教員は企業の研究者よりもさらに先を見据えた研究を行う必要がある。ただし、科研費の研究期間は一般に最長5年であるが、総額の最大が決まっているため、十分な研究資金を得るためには通常、3年ほどの期間で申請せざるを得ない。すると、3年間で成果を出せる研究ばかりとなり、より将来を見据えた基礎研究を行うことは困難である。これは2025年にノーベル化学賞を受賞された北川進先生も「科研費という競争的資金ではトピックスが絞られ、自由な発想にならない」と指摘されている。

4. むすび

近年では人工知能(AI)がブームとなり、AI関連の研究が急速に発展してきている。今まで極めて複雑で多大な計算時間を要していた研究が、膨大な情報を基にしたAIによって一瞬にして解決される時代がやってくる。そのため、AIを利用した研究が競って行われている。研究者が競争することは悪いことではなく、研究の発展にはむしろ良いことかも知れない。しかしながら、AI一辺倒では、企業も大学も先を見据えた基礎的な研究がおろそかになるであろう。日本は1970年代から1980年代にかけて「技術立国日本」としての地位を確立してきたが、今後も日本からノーベル賞の受賞者を輩出し、技術立国としての地位を保ち続けられるのかは甚だ疑問である。企業、大学、そして政府機関には将来を見据えた自由な基礎研究が行える基盤を確立し、若い研究者に十分な研究資金が行き渡るよう、切にお願いしたい。

文献

- 1) 向井信彦, 原田雅之, 室井克信, 宮本裕仁, 浦谷明宏, 矢野徹: PC ベー スリアルタイム手術シミュレータの開発, 信学論, Vol.J84-D-II, No.6, pp.1213-1221 (2001年6月).
- 2) Nobuhiko Mukai, Kohta Takayama, Takuya Natsume, and Youngha Chang: Pressure Change Simulation along Blood Flow in the Left Ventricle and the Aorta, ITE Trans. on MTA, Vol.11, No.3, pp.102-112, <https://doi.org/10.3169/mta.11.102> (July 2023).

CLIP を統合した遺伝的アルゴリズムによる樹木のテキスト駆動のモデリング手法

市村 侑大[†] 佐藤 周平^{††}(正会員)[†]法政大学, ^{††}プロメテック CG リサーチ

A Text-Driven Modeling Method of Tree by CLIP-Integrated Genetic Algorithm

Yudai ICHIMURA[†], Syuhei SATO^{††}(Member)[†]Hosei University, ^{††}Prometech CG research

〈あらまし〉 樹木の 3D モデルの作成は、多大なコストを伴う煩雑な作業を要する。樹木のモデリングの手間を削減するため、画像やスケッチから樹木の 3D モデルを再構成する手法が複数存在するが、高品質なモデルを生成するためにはユーザが適切な画像を選択するか、様々な種類の樹木を描き分けなければならない。これに対し、テキストを入力として 3D モデルを生成する深層学習ベースの方法が多数提案されているが、樹木のような複雑で詳細な形状を生成するのは難しい。そこで我々は、画像とテキストの類似度を比較できる CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) を適応度関数に用いた遺伝的アルゴリズムにより、植物の手続き型モデリング手法である Lindenmayer System (L-system) のパラメータを最適化することで、テキストから樹木の 3D モデルを生成する新たな手法を提案する。事前学習モデルである CLIP を用いるため、追加の学習は不要である。提案手法の有効性を様々な例を通して示す。

キーワード: モデリング, テキスト駆動生成, 樹木モデル, CLIP, L-system

〈Summary〉 Creating 3D models of trees is a labor-intensive task that incurs significant cost. To reduce the effort involved in tree modeling, several methods have been proposed to reconstruct 3D tree models from images or sketches. However, to generate high-quality models, users must either carefully select suitable images or be able to accurately draw various types of trees. In contrast, many deep learning-based methods have been proposed for generating 3D models from text input, but generating complex and detailed structures such as trees remains a challenging problem. To address this, we propose a novel method for generating 3D tree models from text by optimizing the parameters of the Lindenmayer System (L-system), a procedural modeling technique for plants, using a genetic algorithm with CLIP (Contrastive Language-Image Pre-training) as the fitness function. Since our method utilizes CLIP, a pre-trained model, no additional training is required. We demonstrate the effectiveness of the proposed approach through various examples.

Keywords: modeling, text-driven generation, tree model, clip, l-system

1. はじめに

コンピュータグラフィックスにおいて、建物や樹木のような複雑な 3D モデルはアニメーションのリアリティを高めるために必要不可欠である。しかし、複雑な 3D モデルを得るには多数の頂点や面を手動で編集する必要があり、煩雑な手間と多くの時間を要する。特にこの手間は、樹木のような複雑な形状において顕著に増加する。この問題に対し、少ないルールから自動的に複雑な形状を作り出すための手続き的なモデリング手法が多数提案されている。樹木においては、代

表的な手法の一つに L-system¹⁾を利用したものがある。しかし、L-system のルールは直感性に欠け、所望の樹木のモデルを得るには試行錯誤的にルールを編集する必要がある。

画像ベースの手法は、比較的簡単に 3D モデルを生成することができ、実画像やスケッチからの再構成をはじめとする多くの手法が存在する。しかしこれらの手法は、適切な参照画像が必要であることやユーザのスケッチ能力に依存しているという問題がある。近年では、その代替としてテキスト入力注目されており、テキストから画像や 3D モデルを生成するための手法が多数提案されている^{2)~10)}。テキスト入力

は、画像やスケッチと比較して簡単であるため、3D モデル生成における入力として広く使われるようになってきている。しかし、樹木のモデルは人や動物、人工物などと比較して複雑であるため、これらの手法を樹木モデルの生成に単純に適用することはできない。

この問題に対処するため、我々は樹木のモデリングに特化した新たなテキスト駆動の 3D モデル生成手法を提案する。画像の入力では、枝や葉を個別に認識することが難しく、スケッチでは枝や葉を全て明確に描くには労力を要する。一方で、テキストの場合は樹木の名前や特徴を入力すればよく、枝や葉を画像から高精度に認識する必要もない。これにより、3D モデリングや L-system に関する知識やスキルを持たないユーザでも直感的に尤もらしい樹木を作成でき、ゲームやメタバース空間などで必要とされるアセットの作成を大幅に簡素化できる可能性がある。樹木生成には L-system¹⁾を採用し、そのパラメータをユーザの入力テキストに沿うように最適化する。提案手法では 3 つの異なる L-system が利用可能であり、それぞれ異なる特徴を持った樹木を生成できる。ユーザはそれら 3 つの L-system から所望の樹木に適したシステムを選択できる。最適化プロセスには遺伝的アルゴリズム (GA) を採用する。GA の目的関数である適応度を算出するために、テキストと画像の意味論的な類似度を評価できる事前学習モデルである CLIP¹¹⁾を使用する。CLIP により、L-system によって生成された樹木の画像とユーザの入力テキストとの類似度を計算する。本手法では事前学習済みの CLIP モデルをそのまま使用するため、大量の学習データや膨大な学習時間を伴う追加の訓練は不要である。CLIP に基づくシステムの中では、樹木を生成することに特化した手法は初であり、画像やスケッチを入力とする既存の深層学習ベースの手法により生成される 3D モデルよりも複雑な樹木モデルを生成できる。

2. 関連研究

2.1 樹木の手続き型モデリング

樹木のモデリング方法として、Prusinkiewicz らは、文字列を置換規則で変換していくことで再帰構造を記述する型式言語 (L-system) を提案した¹⁾。置換された文字列をタートルグラフィックスの制御命令として解釈することで、樹木の画像を生成できる。また、タートルグラフィックスを 3 次元に拡張することで、3 次元的な図形も生成できる。本手法ではこの L-system を樹木の 3D モデルの生成に使用する。Runions らは、枝や芽が光や空間を求めて競争する過程をシミュレーションすることで、樹木を生成できる手法を提案した¹²⁾。Palubicki らは、この手法を発展させ、光の影響や枝の脱落などの生物学的な根拠を導入し、より写実的な木を生成する手法を提案した¹³⁾。しかしこれらの手法は、成長プロセスにおいて繰り返し探索を行う必要があり計算コストが高い。そのため、本手法では高速に計算が可能な、Prusinkiewicz

らの L-System¹⁾を採用する。

L-system を用いた樹木の自動生成について、様々なアプローチが研究されている。目標となる画像から、それを生成する L-system の規則を推定する逆手続き型モデリングというアプローチが存在する。Št'ava らは、2D のベクタ画像からそれに沿った L-system を生成する逆手続き型モデリングを提案した¹⁴⁾。Guo らは、深層学習を用いて分岐構造を持つ画像から線分や分岐などの構造を検出し、L-system の置換規則を学習する逆手続き型モデリング手法を提案した¹⁵⁾。これらの手法に対して、我々はテキストを入力とする樹木のモデリングシステムを提案する。深層学習を用いて、L-system の生成プロセスを直接表現するアプローチも提案されている。Lee らは、Transformer を用いて L-system の出力文字列を直接生成することで、樹木の 3D モデルを得るための手法を提案した¹⁶⁾。しかしこの手法は、学習データに近い樹木しか生成できず、学習されていない種類の樹木は生成できない。Senn らは、ノイズの含まれる L-system の文字列から規則を学習するニューラルネットワークを提案した¹⁷⁾。ただし、この手法では比較的単純な規則で表現できる形状のみを対象としている。また、進化的手法で L-system を探索する手法も存在する。L-system のパラメータを最適化してユーザの意図に沿った植物のモデルを得ることを目的として、Curry は対話型遺伝的アルゴリズムによる手法を提案した¹⁸⁾。この手法では、遺伝的アルゴリズムを使用し、L-system によって生成されたいくつかの植物モデルの中からユーザが好みのものを選択していくことで、パラメータを最適化する。L-system について深い知識を持っていなくても利用可能だが、一方で最も好みに近い植物モデルを繰り返し選択する時間や手間がかかる。Jacob は L-system を遺伝的プログラミングの遺伝子として表現する方法を提案した¹⁹⁾。この手法を基に、Chen らは畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を適応度関数として使い、木か否かの判定や樹種の分類を行って L-system を自動的に進化させる方法を提案した²⁰⁾。しかしこれらの手法は規則そのものを変化させるため、樹木らしくない形状も生成されやすい。これらに対して提案手法では、規則は樹木らしい構造を生成できるものに固定することで、分岐構造が失われるといった致命的な破綻を防ぐ。

2.2 画像からの樹木モデリング

画像から樹木モデルを 3 次元的に再構成するための手法が多数提案されている。Neubert らは、樹木の骨格のスケッチや葉の密度のペイントなどのユーザ操作によって、入力画像から樹木を再構成する手法を提案した²¹⁾。この手法では、まず画像からボリュームデータを抽出し、その密度値を用いて生成したパーティクルを根元に向かって追跡することで樹木の形状を作成する。Tan らは、複数の画像を領域分割して葉を再構成し、見えている枝を手掛かりに隠れた枝を含む形状を補完することで、少ないユーザ操作によって 3D モデルを

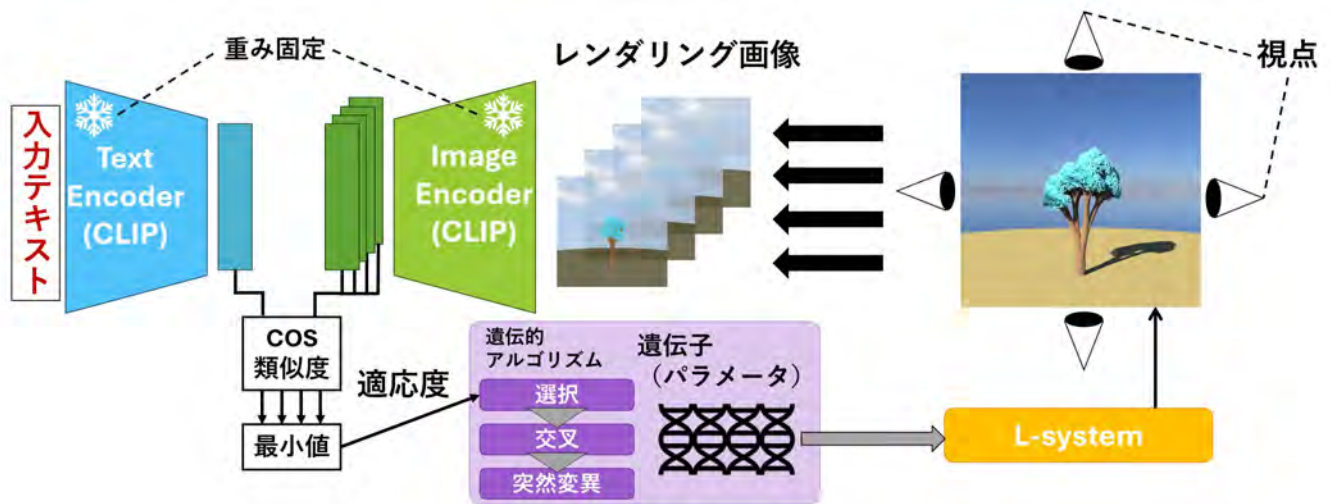


図 1 提案手法の概要
Fig. 1 Overview of the proposed method

生成する手法を提案した²²⁾。その後の研究で Tan らは、ユーザが単一の画像上に葉の範囲と主幹をスケッチとして描きこむだけで、樹木の 3D モデルを再構成する手法を提案した²³⁾。近年では、Li らによる機械学習を用いた手法²⁴⁾が存在する。この手法は、入力画像から 3 段階のニューラルネットワークを用いて 3D モデルを再構成する。これらの手法は画像から簡単に 3D 樹木モデルを作成できる。しかし、生成されるモデルのクオリティが入力画像に依存しており、複数の樹木が映っていたり、前景と背景の分離が困難な場合には適用が難しい。Chen らが提案したシステム²⁵⁾では、ユーザのスケッチと、データベースにある 3D 樹木モデルの 2 次元投影を比較し、最もマッチするモデルを選択する。その後、3D モデルがスケッチの 3 次元投影になるようにマルコフ確率場を用いて枝を生成する。しかし、スケッチベースの手法では、枝葉の詳細な構造まで描くことは、絵を描きなれていないユーザには難しい。

2.3 テキストベースの生成モデル

画像とテキストの類似性を評価する方法として、Radford らは、画像とテキストのペアを予測する事前学習モデル (CLIP) を提案した¹¹⁾。このモデルは、画像を埋め込み表現に変換する Image Encoder と、テキストを埋め込み表現に変換する Text Encoder から構成される。対照学習により、画像とテキストが意味的に近い場合に両者の埋め込み表現が類似するように学習が進む。本手法では、この CLIP を利用し事前に学習された 2 つの Encoder を基に、遺伝的アルゴリズムでの選択操作に必要なテキストと木のモデルとの適応度を算出する。

近年、テキストを入力として画像を生成する研究が活発に行われている。Frans らは、CLIP を評価関数として用いてベジェ曲線のパラメータを最適化することで、テキストからイラスト風の画像を生成する手法を提案した²⁶⁾。他にも、服

を着た人物の画像⁴⁾や 4K を超える解像度の HDRI 画像²⁾をテキストから生成する手法が開発されている。同様にテキストから 3D モデルやテクスチャを生成する研究も数多く行われている。Jain らは、Neural Radiance Field (NeRF) と CLIP を用いて、3D データを使用することなくテキストから 3D モデルを生成する手法を提案した²⁷⁾。Poole らは、Score Distillation Sampling (SDS) という、2D の拡散モデルによって NeRF を最適化する手法⁶⁾を提案した。この手法は計算コストが課題であったが、Lin らによる 2 段階の最適化によって高速化された⁸⁾。Wang らは、SDS を発展させた変分スコア蒸留により、同じ入力テキストに対する多様性や詳細度、頑健性を高めた手法を提案した⁹⁾。Tang らは、NeRF ではなく 3D Gaussian Splatting を用いて、テキストから数分で 3D モデルを生成する手法を提案した¹⁰⁾。また、Khalid らは CLIP を使用し、メッシュを直接最適化することで形状やテクスチャを生成する手法を提案した⁵⁾。拡散モデルを利用して、3D 形状をサーフェスとして生成する手法^{28), 29)}もあるが、これらの手法は学習のために大量の 3D データを必要とする。特定の対象に特化した手法として、Hong らによる、CLIP によってテキストから 3D アバターのジオメトリとテクスチャ、さらにアニメーションを生成する手法がある³⁾。また Sarafianos らは、単一の画像またはテキストから、テンプレートメッシュを変形することにより 3D の衣服を生成する手法を提案した³⁰⁾。Zhang らは、2 次元画像のみから多様な見た目の人間のモデルを生成し、ポーズや視点を指定できる方法を提案した⁷⁾。本研究の目標は、テキスト駆動の樹木モデリングを実現することである。しかし、Liu らも述べているように³¹⁾、樹木モデルはこれらの従来手法が対象とする形状よりも複雑であり、3D モデルを直接生成することは困難である。そのため我々は、CLIP と L-system を組み合わせてテキストから樹木モデルを生成する手法を提案する。

テキストから樹木の 3D モデルを生成するための手法もい

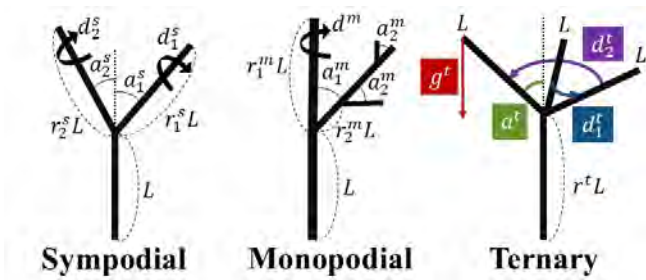


図2 樹木の生成モデルとパラメータの対応関係

Fig. 2 Correspondence between each tree generation model and parameters

くつか提案されている。Wu らは、3D スペースコロナイゼーションアルゴリズム (3D SCA) と 3D Gaussian Splatting を用いて、テキストに沿った中国風盆栽の 3D モデルを生成する手法を提案した³²⁾。この手法では樹木の骨格を 3D SCA で生成する。しかし、3D SCA はテキストの情報を一切使用しないため、枝の分かれ方がテキストで指定できず、木全体の大まかな形状までテキストの特徴を反映させることができない。Todd らは、テキストから生態学的に妥当な 3D の森林を作成する手法を提案した³³⁾。しかしこの手法は、森林を構成する個々の木の位置や高さ、直径などの分布を生成することに特化したものであり、個々の樹木の外観を制御することは考慮していない。Ichimura らは、CLIP を評価値とした遺伝的アルゴリズムを用いて L-system のパラメータを最適化することで、テキストに沿った樹木の 3D モデルを生成する手法を提案した³⁴⁾。その後の研究において、樹種ごとに異なる樹木生成モデルを使用することでより多様な種類の樹木の生成を可能とし、加えて提案手法に含まれる GA の収束性分析を行っている³⁵⁾。本論文は、この Ichimura らの論文³⁵⁾に対して新たに、テキストから 3D モデルを生成する従来手法との比較や勾配法に対する GA の優位性の議論、ユーザスタディを行ったものである。

3. 提案手法

提案手法の概要を図 1 に示す。まず、ユーザは所望の樹木を表すテキストを入力する。次に初期世代として、L-system のパラメータを表すランダムな個体の遺伝子群が生成される。これらの遺伝子から L-system を介して木のモデルが生成される。本手法では、表現できる樹木の特徴の異なる 3 つの L-system からユーザが選択したものを使用する。そして、これらのモデルをレンダリングし複数の画像を生成する。その画像と入力テキストの類似度を、CLIP を用いて求め、個体の適応度とする。そして GA の選択、交叉、突然変異という世代交代操作を行う。この処理を繰り返すことで、入力テキストとの類似度が最大となる個体を探索する。以降では、各処理の詳細について述べる。

表 1 樹木生成モデルにおける L-system のパラメータ
Table 1 L-system parameters for the tree model

a_1^s, a_2^s	各枝のヨー方向の回転角度
d_1^s, d_2^s	各枝のロール方向の回転角度
r_1^s, r_2^s	各枝の長さの減衰率
a_0^m	幹と側枝の間の角度
a_2^m	枝の回転角度
d^m	幹のロール方向の回転角度
r_1^m, r_2^m	幹と枝の長さの減衰率
d_1^t, d_2^t	枝のロール方向の回転角度
a^t	親となる枝からの回転角度
r^t	枝の長さの増幅率
g^t	重力の強さ

表 2 葉と花のモデルのパラメータ
Table 2 Parameters of our leaf and flower models

l_x, l_y	要素の制御点
l_a	要素を配置する際の角度の範囲 (葉のみ)
l_n	要素の数
l_s	全体の拡大率
l_r, l_g, l_b	色の RGB 値

3.1 L-system による樹木モデル生成

提案手法では、樹木の 3D モデルを生成するために L-system^{1),18)}を用いる。本手法では、Curry の手法¹⁸⁾と同様に L-system の初期文字列と規則を固定することにより、数値パラメータのみで樹木のモデリングができるようにしている。提案手法では生成される木の特徴が異なる Sympodial, Monopodial, Ternary の 3 種類のモデルを使用でき (図 2)、それぞれが異なる規則に対応している。Sympodial モデルは、主要な軸がない複雑な枝分かれを持った木が生成でき、ブナやカエデなどの一般的な広葉樹に適している。Monopodial モデルは、真っすぐに伸びる 1 つの幹に対して交互に側枝が生えているような木が生成されるため、マツやスギなどの針葉樹に適している。また他のモデルに比べて高さや枝の広がり種類の多様であり、針葉樹以外の木の生成にも利用できる。Ternary は Sympodial に類似しているが、重力が含まれるため、しだれた木を表現することが可能である。ユーザは、これら 3 つの樹木生成モデルから所望の木が生成されるものを一つ選択する。Sympodial モデルは、Curry の手法¹⁸⁾と同様のものを使用する。Monopodial モデルと Ternary モデルは¹⁾で言及されているものを使用するが、Curry の手法では遺伝子表現を実際のパラメータに変換するために定数によるスケールが行われており、これらのモデルにも同様のスケールを行う。各モデルにおいて最適化されるパラメータを表 1 に示す。ここで、上付き文字は、各モデルを表す (s は Sympodial, m は Monopodial, t は Ternary)。図 2 に、各モデルにおけるパラメータの対応を視覚的に示す。L は親となる枝の長さを表す。

L-system は初期文字列、置換規則、数値パラメータで構成されているが、本手法では数値パラメータのみを最適化する。これは初期文字列と置換規則を固定しても十分に多様な樹木を生成できるためである。樹木は、以下の手順に従って

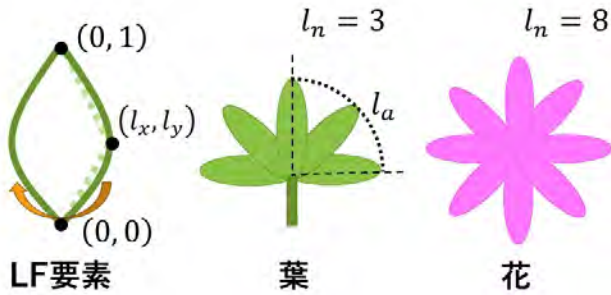


図3 葉と花のモデル定義
Fig. 3 Definitions of leaf and flower models

生成される。まず、初期文字列が置換規則によって繰り返し書き換えられる（詳細は Prusinkiewicz らの書籍¹⁾と Curry の論文¹⁸⁾を参照）。我々の実験では繰り返し回数を Ternary モデルでは 8 回、その他モデルでは 14 回に設定した。その後、書き換えられた文字列はタートルと呼ばれる 3 次元空間上の仮想的なロボットの制御命令として解釈される。タートルは命令に従い、主幹の下部から上に向かって、分岐を作りながら円柱型のメッシュを生成する。その後メッシュは滑らかに接続され、樹皮のマテリアルが適用されることで最終的な木のモデルを得る。枝垂れた枝など、枝が地面を突き抜ける場合には、その部分のメッシュは削除する。

葉や花は、L-system とは別に手続き的な方法により生成する。葉や花の形状は、曲線により定義される単一の要素（図 3 左、以下 LF 要素と呼ぶ）を 1 つ以上用いて表現する。LF 要素を作成するには、まず $(0,0)$, (l_x, l_y) , $(0,1)$ の 3 つの座標点を結ぶ曲線を作り、これを細分化して滑らかな曲線にする。そして、それを左右反転させたものと合わせて、単一の LF 要素とする。葉の場合（図 3 中央）、上方から左右それぞれ角度 l_a の範囲に l_a/l_n ずつ角度を変えて l_n 個の LF 要素を配置し、最後に葉の柄を取り付ける。花は、360 度の範囲に l_n 個の LF 要素を $360/l_n$ ずつ角度を変えて配置することで作成する（図 3 右）。この方法を用いて、所望の木に合った葉や花をユーザが事前に作成する。そして、葉や花の大きさと色のみを、木のモデルの L-system パラメータと同時に最適化する。これは、L-system により生成された樹木の枝の先端に、ユーザが事前に作成した葉や花を付けることで、レンダリング画像において葉や花についても評価ができるようにする。葉と花の形状、大きさや色のパラメータは表 2 にまとめられている。

3.2 遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ最適化

前述の L-system のパラメータを入力テキストに従った樹木のモデルが得られるように最適化する。本システムでは最適化手法として、遺伝的アルゴリズム (GA) を採用する。これは、L-system ではパラメータの微小な変化に対してその結果が大きく変化する場合があります、勾配法などの微分値を基に解空間を探索する方法が適さないことが理由である。実

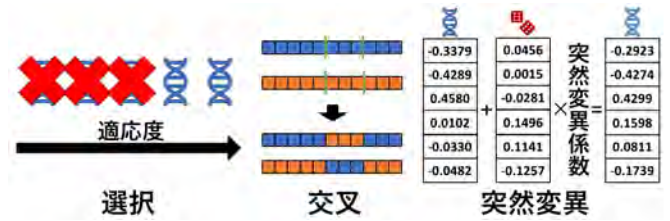


図4 遺伝的操作の定義
Fig. 4 Definitions of genetic operations

際に我々の予備実験において、CLIP による評価関数の値が、類似したパラメータにおいて激しく変化していることを確認している（第 4.2 節）。

遺伝子は浮動小数点数を値を持つベクトルとして定義され、1 つの次元が最適化対象となる L-system および葉・花のパラメータのうちの 1 つに対応する。遺伝子の各値は $-0.5 \sim 0.5$ の範囲に正規化されており、L-system に入力するにはパラメータごとにスケーリングを行う。本システムの GA は、最も基本的なバイナリ値を扱う GA³⁶⁾をベースとしつつ、Curry の手法¹⁸⁾を参考に、連続値を扱うよう交叉と突然変異の処理を変更する。バイナリ値の GA における二点交叉は、ビット列をランダムな 2 点で分離して中心を交換する操作であるが、Curry の手法では連続値の列に対して同様の操作を行う。また、バイナリ値の GA での突然変異は、ランダムなビットを反転する操作であるが、Curry の手法では後述するようにランダムな実数値ベクトルを加算する。これらを導入することで、GA において連続値を扱うことができる。

最初に遺伝子が一様乱数によって初期化され、初期個体群となる。最適なパラメータは選択、交叉、突然変異を通して決定される。これらの遺伝的操作の定義を図 4 に示す。具体的には、まず親世代の中から適応度が最も高い 2 つの個体を選択する（図 4 左上）。我々の実験では、適応度が低い個体も選ばれる可能性のあるルーレット選択やトーナメント選択よりも良好な結果が得られたため、この選択方法を採用した。次に、その 2 個体に繰り返し二点交叉を適用し、親世代と同じ数の子世代の個体を作成する（図 4 右上）。最後に、すべての子個体のベクトルに、一様乱数ベクトルに突然変異の強さを表す突然変異係数を掛けた値を足し合わせる（図 4 下）。突然変異を確率的に行うこともできるが、本手法ではすべての子に適用する。後述の検証でも示すように、L-system では異なるパラメータでも類似した外見を持つ場合があり、また、CLIP では異なる外見でも同程度に高い評価値を得られる場合もある。これらのことから、入力を満たす唯一の最小解が存在するわけではなく、同じような類似度を持つ複数の解が存在すると我々は考え、それらの解に効率的に到達することを目的としてこのような方法を採用した。実際に突然変異率を様々に変えて実験を行ったところ、突然変異率が高いほど安定して良好な結果が得られる傾向にあった（4.2 節）。今回の実験では各世代は 20 個体で構成され、繰り返し回数

は 50 回とした。また、初期化時および突然変異時の乱数の範囲は $-0.5 \sim 0.5$ とし、突然変異係数は 0.33 とした。

3.3 CLIP を用いた類似度の算出

GA における適応度関数として CLIP¹¹⁾を用いて、入力テキストと出力の樹木モデルとの類似度を評価する。L-system のパラメータ（遺伝子）から生成された樹木モデルは、局所照明モデルによって複数の視点からレンダリングされる。我々は、レイトレーシングなどによる写実的なレンダリングを用いた実験も行ったが、結果に差がなかったため、実行時間の少ない局所照明モデルを採用した。本実験では、樹木モデルを中心に 90 度ずつ異なる 4 視点からレンダリングした画像を最適化に利用した。また、画像に収まらない範囲の樹木の形状が破綻するのを防ぐため、レンダリングごとに樹木モデル全体が画面に収まるようにカメラを前後に移動する。次に、入力のテキストとレンダリングされた画像は、それぞれ CLIP の Text Encoder と Image Encoder（図 1）によって埋め込みベクトルに変換される。視点ごとの画像ベクトルと 1 つの共通のテキストベクトルとのコサイン類似度が計算され、全視点の中で最も小さい値を、その個体の適応度として使用する。最小値を採用することで、最も類似度が低い視点においてもテキストに沿ったモデルが生成されるようにする。

4. 実 験

4.1 提案手法による結果

図 5-8 に、提案手法により生成された樹木モデルを示す。結果の画像は、最適化において利用したレンダリング方法とは異なり、Houdini に搭載されている物理ベースのレンダリングを利用して描画した。樹皮のテクスチャは最適化時には使用せず、これらの結果の画像のレンダリングにのみ使用した。提案手法の実装には、Python の CLIP モジュールを使用し、CLIP モデルは ViT-B/32 を使用した。実験に使用したデスクトップ PC は、CPU が Intel Core i9-13900K、GPU が NVIDIA RTX A6000、メモリが 64GB である。すべての例において、入力テキストを画像の下に示す。各行は同一入力かつ同一パラメータでの複数回の試行を表す。葉と花は図 9 から適切なものを使用した。基本的にはテキストの赤字で示された部分に対応する葉や花を使用し、そうでないものは“normal”が使用されている。また、“weeping cherry”は“cherry”の花、“weeping willow”は“coniferous”の葉を使用している。補足の動画には、各結果の樹木モデルを周囲 360 度からレンダリングしたアニメーション例が含まれている。

図 5 は、樹木について同一のテキストを指定し、葉の色のみを変更した結果である。いずれも指定した葉の色となっていることがわかる。特に、“cobalt blue”は、現実には存在しない色にも関わらず表現ができています。図 6-8 は、実際に存在する木の種類を入力テキストとした場合の例である。結果か

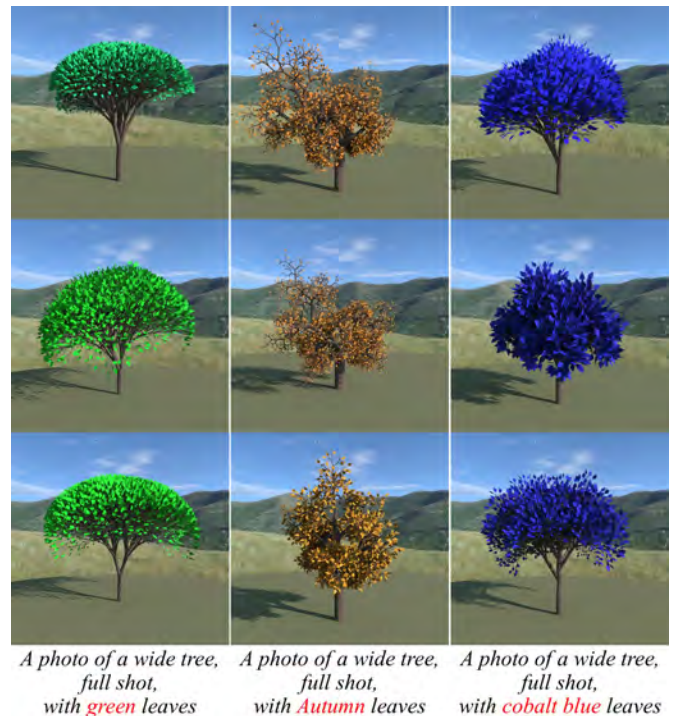


図 5 Sympodial モデルにおいて異なる葉の色を指定した場合の結果

Fig. 5 Results of specifying different leaf colors in the Sympodial model

ら、それぞれ指定した木の種類の実際の印象に近い木のモデルが得られていることがわかる。特に、図 7 の“coniferous”と“acacia”を比較すると、“coniferous”が針葉樹らしい背の高い木になったのに対し、“acacia”の方は背が低く、横に広がった木を表現できた。Ternary モデルは、いずれも似た木を表現できている。ただし、本システムでは GA を使用していることから、テキストが同一の場合でも実行ごとに木の形状や、葉と花の色が変わる場合がある。実行時間は、Sympodial と Monopodial ではいずれも 30～40 分程度、Ternary は 20～30 分程度であった。ただし“acacia”については実行時間が 88 分と他の例に比べて長くなった。これは花を構成するポリゴンが多いことによるメッシュのコピー回数の増加が原因であると考えられる。

4.2 提案手法の有効性の検証

提案手法の有効性を確認するために、テキストから 3D モデルを生成する従来手法である DreamFusion⁶⁾と DreamGaussian¹⁰⁾による樹木の生成結果を図 10 に示す。DreamFusion では、“red maple”のプロンプトで幹が生成されず、“cherry”や“weeping cherry”においては木ではなく実のようなものが生成された。DreamGaussian では、樹木らしい形状にはなっているものの、枝や葉が 1 つの閉じたメッシュとして表現されている。これらの手法は、NeRF や 3D Gaussian Splatting に基づいた手法であるため、詳細なメッシュの生成に限界があることが原因として考えられる。それに対して図 5-8 に示す提案手法による結果は、枝や葉の詳細を保った



A photo of a red maple tree, full shot A photo of an American elm tree, full shot A photo of a cherry tree, full shot

図6 Sympodial モデルを用いた結果
Fig. 6 Results created using Sympodial model



A photo of a weeping cherry tree, full shot A photo of a weeping willow tree, full shot A photo of a weeping elm tree, full shot

図8 Ternary モデルを用いた結果
Fig. 8 Results created using Ternary model



A photo of a coniferous tree, full shot A photo of an acacia tree, full shot A photo of a tulip tree, full shot

図7 Monopodial モデルを用いた結果
Fig. 7 Results created using Monopodial model

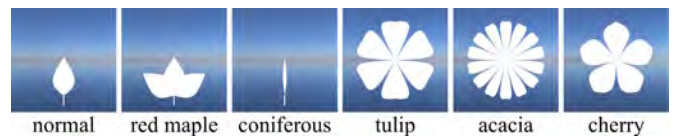


図9 実験に使用した葉と花のモデル
Fig. 9 Leaf and flower models used in our experiments

表3 合成画像とテキストプロンプトとの類似度
Table 3 Similarity between synthetic images and text prompts



		
A photo of an oak tree	0.2629	0.2585
A photo of a pine tree	0.2573	0.3049

表4 実写画像とテキストプロンプトとの類似度
Table 4 Similarity between real images and text prompts

	松	ケヤキ	カエデ
A photo of a pine tree	0.2837	0.2629	0.2467
A photo of a zelkova tree	0.2534	0.3267	0.2942
A photo of a maple tree	0.2325	0.3032	0.3079

樹木のモデルを生成できている。

本手法では評価関数として CLIP を用いている。この妥当性を確かめるため、我々は2つの実験を行った。1つ目の実験では、手動でパラメータを調整して作成したナラの木と松の木を模した樹木の合成画像に対し、それぞれ“A photo of an oak tree”, “A photo of a pine tree”のテキストとの類

似度を計算した。この結果を表3に示す。“oak”のテキストに対しては左側のナラの木の写真が、“pine”の写真に対しては右側の松の木の写真がそれぞれ類似度が高くなった。2つ目の実験では、松、ケヤキ、カエデの木の実写画像を各5枚ずつ用意し、すべての画像に対してそれぞれ“A photo of a pine tree”, “A photo of a zelkova tree”, “A photo of



図 10 DreamFusion と DreamGaussian による樹木の生成結果
Fig. 10 The result of tree generation using DreamFusion and DreamGaussian



図 11 検証に用いた画像の一部
Fig. 11 Example images used for verification

a maple tree” のテキストとの類似度を計算し、樹種とテキストの組み合わせごとに平均値を求めた。実験に用いた画像の一部を図 11 に、実験結果を表 4 に示す。いずれも対応する画像群が最も高い平均類似度を得た。これらのことから、CLIP は各樹木の大まかな形状の特徴を捉えられることが確認できた。しかし、“maple” のテキストに対してはケヤキの画像の類似度も高くなっている。これはケヤキとカエデでは大まかな形状が類似していることが原因であると考えられる。

遺伝的アルゴリズムを採用することの妥当性を示すために、CLIP の類似度の勾配を数値微分によって求め、最急降下法により最適化した場合の類似度のグラフを図 12 に示す。“Autumn” の例（図 12 上）では、イテレーション 33 から 34 の間で類似度が急落しており、モデルが潰れたような見た目に変化している。この 1 回でのパラメータ更新での変化量は大きくなかったため、L-system のパラメータ空間に形状が大きく変化する崖のような部分が存在することがわかる。“red maple” の例（図 12 下）では、イテレーション 18 において全体で最も大きな類似度に到達したものの、次のイテレーション 19 で少し下がり、イテレーション 20 では急落し

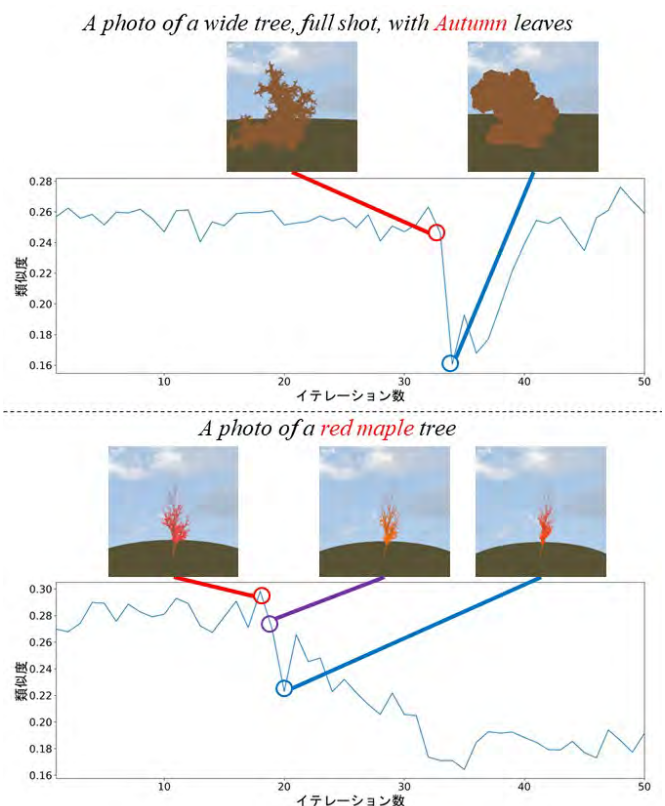


図 12 最急降下法によって最適化した場合の類似度のグラフ

Fig. 12 Graph of similarity when optimized by the gradient descent

ている。この際、モデルは若干の形状変化と色味の変化以外は似通って見える。このことから、L-system に加え、CLIP 自体にもパラメータに対する敏感性があることが示唆される。これらのことから、勾配情報を必要とせず、多点探索が可能であるため、一度類似度の低い解に陥っても安定して最適化を進められる遺伝的アルゴリズムの方が、我々の目的に適していると判断した。また、実行時間も遺伝的アルゴリズムの場合とほぼ同等であったため、計算コストの面でのデメリットもほとんどない。

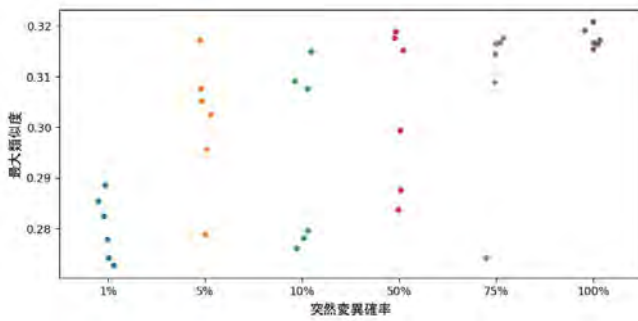


図 13 突然変異確率を変化させた場合の各試行における最大類似度

Fig. 13 Maximum fitness in each trial when the mutation probability is varied

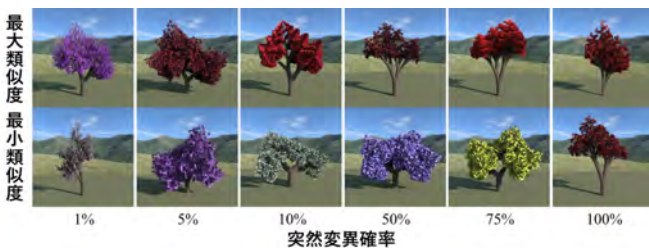


図 14 突然変異確率を変化させた場合の結果

Fig. 14 Results when the mutation probability is varied

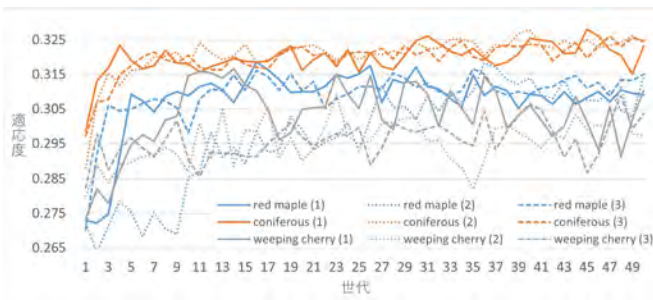


図 15 反復回数に対する類似度の推移のグラフ

Fig. 15 The graph of similarity over iterations

本手法では一般的な GA と異なり、すべての子個体に突然変異を適用している。この妥当性を確かめるため、子個体に対して突然変異の確率を変えて、“red maple”を入力として提案手法を 6 回ずつ実行した。この実験での各試行の最大類似度を図 13 に、この実験で生成された樹木のうち類似度が最大のものと最小のものの画像を図 14 に示す。突然変異率が 1% の場合は最大類似度がいずれも 0.29 を下回ったのに対し、突然変異率が 100% の場合はすべて最大類似度が 0.31 を超えており、突然変異率が高いほど安定して類似度の高いパラメータを探索できていることがわかる。

遺伝的アルゴリズムの各世代における類似度の最大値の推移を図 15 に示す。視認性を高めるため、それぞれのモデルにおいて 1 種類ずつのみ掲載した。木の名前の後ろの数字は図 5-8 における列番号を表している。多くの例では、最初の数世代で類似度が大きく上昇し、途中で致命的なレベルの急落は発生していない。これは最急降下法の場合とは対照的で

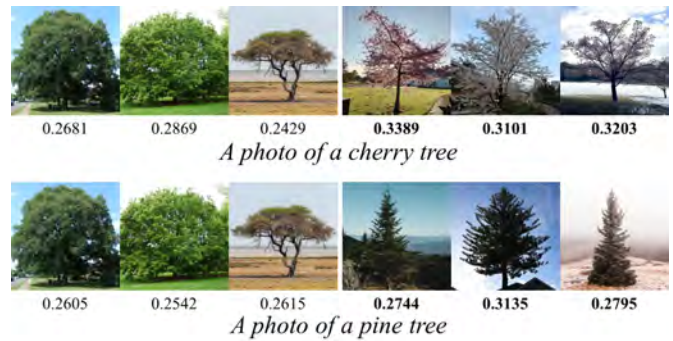


図 16 CLIP 類似度の安定性

Fig. 16 Stability of CLIP Similarity

あり、遺伝的アルゴリズムの方が安定した最適化が可能であることがわかる。おおむね 20 世代以降はランダムウォークに近い変化となっており、最適化が収束したことを示している。ただし“red maple (2)”では、最初の数世代は低い類似度にとどまっておき、その後数十世代かけて徐々に大きくなったため、より良い解を得るために 40~50 世代程度が必要であると考えられる。複数回の試行において、“coniferous”の場合はいずれも類似した曲線となっているのに対して、“red maple”や“weeping cherry”では試行ごとの違いが大きくなっている。特に“weeping cherry”は評価値が激しく上下している。ここから、モデルごと、あるいは入力テキストごとに最適化の安定性が異なることがわかる。特に Ternary モデルはより安定性を高める余地があることを示唆している。

図 15 における最適化の挙動には、評価手法である CLIP と最適化手法である GA の両方が影響を及ぼしたと考えられる。そこでまず、CLIP の類似度の信頼性を検証するため、プロンプトテキストに対応する樹種と対応しない樹種の実写画像を複数枚用意し、CLIP の評価値を比較する実験を行った(図 16)。対応する樹種の画像群は対応しない樹種の画像群と比べて高い類似度となったものの、同じ樹種でも類似度に最大で 0.03~0.04 程度の差があることがわかる。評価関数自体にこのような性質があるため、GA による探索がどれだけ結果に影響を及ぼしたのかを検証することは困難であるが、図 13 に示された結果から、突然変異率などのパラメータを適切に設定すれば、GA に関しては問題なく探索が機能していると考えられる。

4.3 ユーザスタディ

次に、本システムがユーザのイメージどおりの樹木を生成できるかを確認するためにユーザスタディを実施した。実験参加者は、情報系の学部所属する学部 2 年~修士 2 年の学生 31 人である。入力テキストとそれから提案手法により生成された 3D モデルの画像の組を提示し、樹木モデルの「全体的な形状」「枝の広がり方」「葉・花の色」の 3 要素が、それぞれテキストに沿っているかどうかを 5 段階のスコアで参加者は評価する。また樹種を指定した例においては、その樹種を知っているかどうかを申告してもらい、知らない場合には

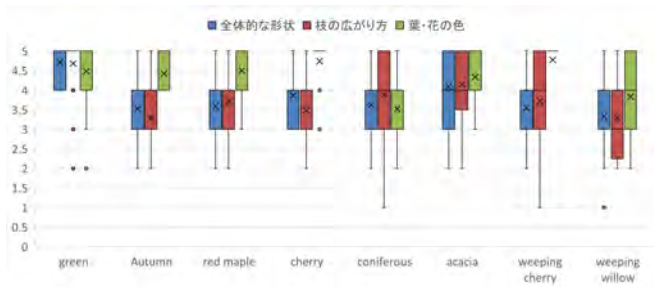


図 17 各例においてユーザが与えたスコア

Fig.17 Scores given by the user in each example

評価から除外した。これを図 5-8 の各例について実施した。各例における項目ごとのスコアを箱ひげ図として図 17 に示す。図中のバツ印は平均値を表している。ただし、それぞれの例において、その木を知っていた人数が 10 人未満のものについては集計していない。図 17 から、集計したすべての例および項目において平均 3 以上の評価を得た。“green”はすべての項目で高評価を得た。“acacia”も全体的に高い評価であった。葉・花の色は、全体的に高い評価を得ており、ばらつきも小さい。しかし、“coniferous”では比較的低い結果となった。これは、“green”などと違い色を直接指定しておらず、ユーザごとに葉の色のイメージに違いがあることが理由として考えられる。関連して、枝の広がり方について、全体的に評価値の分散が高い傾向にあった。

5. む す び

本稿では、テキストから樹木のモデルを生成することを目的に、L-system のパラメータを最適化する新たな手法を提案した。本手法では、L-system を用いて樹木の 3D モデルを生成し、そのパラメータを遺伝的アルゴリズムで最適化する。このために、L-system で生成されたモデルを複数視点からレンダリングした画像と、ユーザの入力テキストの類似度を CLIP を用いて求めた。そして、これを遺伝的アルゴリズムの適応度とすることで、入力テキストに沿った L-system のパラメータを探索した。結果から、提案システムが追加の学習プロセスを経ることなく、テキストに沿った樹木を生成できることが確認できた。

しかし、最適化パラメータが局所解に陥ることで実物とは異なる木が生成される場合もあり、複数回の実行が必要とされる場合もある。最適化方法の更なる改良が今後の課題である。また、本手法では葉や花の形状、樹皮のテクスチャは最適化対象に含まれず、ユーザが編集、準備をする必要がある。これらも最適化に含められるよう手法を改良する予定である。本手法ではユーザが 3 つの L-system から 1 つを選択する必要があるが、これは知識のないユーザにとって障壁となり得る。そのためテキストから自動で適切なシステムを選択する、もしくは置換規則そのものを最適化対象に含める、などの方法を検討する予定である。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP23K28204, および JP23K18514 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- 1) P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, The Algorithmic Beauty of Plants, Springer-Verlag (1990).
- 2) Z. Chen, G. Wang, Z. Liu: “Text2Light: Zero-Shot Text-Driven HDR Panorama Generation”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 41, No. 6, pp. 195:1–195:16 (2022).
- 3) F. Hong, M. Zhang, L. Pan, Z. Cai, L. Yang, Z. Liu: “Avatar-CLIP: Zero-Shot Text-Driven Generation and Animation of 3D Avatars”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 41, No. 4, pp. 161:1–161:19 (2022).
- 4) Y. Jiang, S. Yang, H. Qiu, W. Wu, C. C. Loy, Z. Liu: “Text2Human: Text-Driven Controllable Human Image Generation”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 41, No. 4, pp. 162:1–162:11 (2022).
- 5) N. Mohammad Khalid, T. Xie, E. Belilovsky, T. Popa: “CLIP-Mesh: Generating Textured Meshes from Text Using Pre-trained Image-Text Models”, Proc. of SIGGRAPH Asia 2022 Conference Papers, pp. 25:1–25:8 (2022).
- 6) B. Poole, A. Jain, J. T. Barron, B. Mildenhall: “DreamFusion: Text-to-3D Using 2D Diffusion”, Proc. of The Eleventh International Conference on Learning Representations (2023).
- 7) J. Zhang, Z. Jiang, D. Yang, H. Xu, Y. Shi, G. Song, Z. Xu, X. Wang, J. Feng: “AvatarGen: A 3D Generative Model for Animatable Human Avatars”, Proc. of Computer Vision – ECCV 2022 Workshops, pp. 668–685 (2023).
- 8) C.-H. Lin, J. Gao, L. Tang, T. Takikawa, X. Zeng, X. Huang, K. Kreis, S. Fidler, M.-Y. Liu, T.-Y. Lin: “Magic3D: High-Resolution Text-to-3D Content Creation”, Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 300–309 (2023).
- 9) Z. Wang, C. Lu, Y. Wang, F. Bao, C. Li, H. Su, J. Zhu: “ProlificDreamer: High-Fidelity and Diverse Text-to-3D Generation with Variational Score Distillation”, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 36, pp. 8406–8441 (2023).
- 10) J. Tang, J. Ren, H. Zhou, Z. Liu, G. Zeng: “DreamGaussian: Generative Gaussian Splatting for Efficient 3D Content Creation”, Proc. of The Twelfth International Conference on Learning Representations (2024).
- 11) A. Radford, J. W. Kim, C. Hallacy, A. Ramesh, G. Goh, S. Agarwal, G. Sastry, A. Askell, P. Mishkin, J. Clark, G. Krueger, I. Sutskever: “Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision”, Proc. of International Conference on Machine Learning, pp. 8748–8763 (2021).
- 12) A. Runions, B. Lane, P. Prusinkiewicz: “Modeling Trees with a Space Colonization Algorithm”, Proc. of Eurographics Workshop on Natural Phenomena, pp. 63–70 (2007).
- 13) W. Palubicki, K. Horel, S. Longay, A. Runions, B. Lane, R. Měch, P. Prusinkiewicz: “Self-organizing Tree Models for Image Synthesis”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 28, No. 3, pp. 58:1–58:10 (2009).
- 14) O. Št'ava, B. Beneš, R. Měch, D. G. Aliaga, P. Křištof: “Inverse Procedural Modeling by Automatic Generation of L-systems”, Computer Graphics Forum, Vol. 29, No. 2, pp. 665–674 (2010).
- 15) J. Guo, H. Jiang, B. Benes, O. Deussen, X. Zhang, D. Lischinski, H. Huang: “Inverse Procedural Modeling of Branching Structures by Inferring L-Systems”, ACM Trans. on Graph-

- ics, Vol. 39, No. 5, pp. 155:1–155:13 (2020).
- 16) J. J. Lee, B. Li, B. Benes: “Latent L-Systems: Transformer-Based Tree Generator”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 43, No. 1, pp. 7:1–7:16 (2023).
- 17) C. W. Senn, C. M.-L. Frischknecht-Gruber, M. Weyland, R. M. Fuchsli: “Neural Lindenmayer Systems”, Proc. of Artificial Life Conference, p. 56 (2024).
- 18) R. Curry: “On the Evolution of Parametric L-Systems”, University of Calgary, Department of Computer Science (1999).
- 19) C. Jacob: “Genetic L-System Programming”, Parallel Problem Solving from Nature — PPSN III, pp. 333–343 (1994).
- 20) X. E. Chen, B. J. Ross: “Deep Neural Network Guided Evolution of L-System Trees”, 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), pp. 2507–2514 (2021).
- 21) B. Neubert, T. Franken, O. Deussen: “Approximate Image-Based Tree-Modeling Using Particle Flows”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 26, No. 3, 88:1–88:8 (2007).
- 22) P. Tan, G. Zeng, J. Wang, S. B. Kang, L. Quan: “Image-Based Tree Modeling”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 26, No. 3, 87:1–87:8 (2007).
- 23) P. Tan, T. Fang, J. Xiao, P. Zhao, L. Quan: “Single Image Tree Modeling”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 27, No. 5, pp. 108:1–108:7 (2008).
- 24) B. Li, J. Kažuný, J. Klein, D. L. Michels, W. Pałubicki, B. Benes, S. Pirk: “Learning to Reconstruct Botanical Trees from Single Images”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 40, No. 6, pp. 231:1–231:15 (2021).
- 25) X. Chen, B. Neubert, Y.-Q. Xu, O. Deussen, S. B. Kang: “Sketch-Based Tree Modeling Using Markov Random Field”, ACM Trans. on Graphics, Vol. 27, No. 5, pp. 109:1–109:9 (2008).
- 26) K. Frans, L. Soros, O. Witkowski: “CLIPDraw: Exploring Text-to-Drawing Synthesis through Language-Image Encoders”, Proc. of Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 35, pp. 5207–5218 (2022).
- 27) A. Jain, B. Mildenhall, J. T. Barron, P. Abbeel, B. Poole: “Zero-Shot Text-Guided Object Generation with Dream Fields”, Proc. of 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 857–866 (2022).
- 28) Z. Yu, Z. Dou, X. Long, C. Lin, Z. Li, Y. Liu, N. Müller, T. Komura, M. Habermann, C. Theobalt, X. Li, W. Wang: “Surf-D: Generating High-Quality Surfaces of Arbitrary Topologies Using Diffusion Models”, Proc. of European Conference on Computer Vision, pp. 419–438 (2025).
- 29) J. Zhou, W. Zhang, B. Ma, K. Shi, Y.-S. Liu, Z. Han: “UDiFF: Generating Conditional Unsigned Distance Fields with Optimal Wavelet Diffusion”, Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 21496–21506 (2024).
- 30) N. Sarafianos, T. Stuyck, X. Xiang, Y. LI, J. Popović, R. Ranjan: “Garment3DGen: 3D Garment Stylization and Texture Generation”, Proc. of International Conference on 3D Vision 2025, pp. 1382–1393 (2025).
- 31) Z. Liu, K. Wu, J. Guo, Y. Wang, O. Deussen, Z. Cheng: “Single Image Tree Reconstruction via Adversarial Network”, Graphical Models, Vol. 117, pp. 101115:1–101115:13 (2021).
- 32) H. Wu, H. Wang, R. Li, X. Ma, H. Xiong: “3DBonsai: Structure-Aware Bonsai Modeling Using Conditioned 3D Gaussian Splatting”, arXiv preprint arXiv:2504.01619 (2025).
- 33) G. Todd, M. Bailey: “Foliager: Procedural Forest Generation from Natural Language Using Scientific Data and AI”, Proc. of the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Posters, pp. 16:1–16:2 (2025).
- 34) Y. Ichimura, S. Sato: “Text-driven Tree Modeling on L-System”, Proc. of SIGGRAPH Asia 2023 Posters, pp. 36:1–36:2 (2023).
- 35) Y. Ichimura, S. Sato: “Text-driven Tree Modeling via CLIP-based Optimization”, Proc. of Computer Animation and Social Agents 2025, pp. 124–137 (2025).
- 36) D. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. (1989).

(2025 年 7 月 7 日 受付)

(2025 年 10 月 16 日 再受付)



市村 侑大

2024 年 法政大学情報科学部卒業。現在 法政大学情報科学研究科修士課程在学中。コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。



佐藤 周平 (正会員)

2009 年 北海道大学工学部卒業。2011 年 北海道大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2014 年 同博士後期課程修了。同年 株式会社ユビキタスエンターテインメント研究員。2015 年 株式会社ドワンゴ研究員。2019 年 プロメテック・ソフトウェア株式会社研究員。同年 富山大学工学部助教。2022 年 法政大学情報科学部准教授。現在に至る。博士(情報科学)。コンピュータグラフィックス、特に流体シミュレーションに関する研究に従事。

領域分割結果から得られるエッジを手掛かりとした部屋の3次元構造推定

森岡隼也[†] 中山果瑛^{††} 安達美穂[†] 宮本龍介[†](正会員)[†] 明治大学 理工学部 情報科学科, ^{††} 明治大学 大学院 理工学研究科 情報科学専攻

Estimation of 3D Room Structure Using Edges on Segmented Images

Junya MORIOKA[†], Kae NAKAYAMA^{††}, Miho ADACHI[†], Ryusuke MIYAMOTO[†](Member)[†] Department of Computer Science, School of Science and Technology, Meiji University,^{††} Department of Computer Science, Graduate School of Science and Technology, Meiji University

〈あらまし〉 近年のVR/AR技術の発展に伴い、2次元画像から3次元構造を推定するタスクの重要性が急速に高まっている。中でも部屋の3次元構造の推定は、不動産のバーチャル内覧やリモートコワーキングなどに応用できる。そこで本研究では、単眼RGB画像のみを入力として、より手軽でリアリティのある部屋の3次元構造推定を試みる。提案手法は、近年精度向上が著しい意味論的領域分割から得られた画像に対して、論理演算を用いて部屋のエッジを検出し、直方体モデルとのフィッティングを行い、部屋の3次元構造を推定する。部屋の構成要素の意味論的領域分割の結果、提案手法はmIoUで0.9928の精度を達成し、2次元画像上で部屋の構成要素を高精度に認識できることが示された。さらに、領域分割結果から得られたエッジを用いた3次元構造推定において、提案手法は*AbsRel*で0.0299、 δ_1 で0.9998の精度を達成し、高精度に部屋の3次元構造の復元が行えることが示された。

キーワード：3次元構造推定, 意味論的領域分割, エッジ検出

<Summary> In recent years, the rapid development of VR/AR technologies has greatly increased the importance of inferring 3D structure from 2D images. In particular, estimating the 3D structure of rooms can be applied to virtual tours of real estate and remote coworking. Therefore, in this study, we aim to estimate the 3D structure of rooms more conveniently and realistically using only monocular RGB images as input. The proposed method detects room edges using logical operations on images obtained from semantic segmentation, which has shown remarkable accuracy improvements in recent years, and estimates the 3D structure of rooms by fitting with a cuboid model. In the recognition of room components on 2D images, the proposed method achieved an accuracy of 0.9928 in mIoU, demonstrating that room components and edges can be recognized with high precision. In the evaluation of 3D structure estimation using depth estimation evaluation metrics, the proposed method achieved an accuracy of 0.0299 in *AbsRel* and 0.9998 in δ_1 , demonstrating that highly accurate reconstruction of 3D room structure can be performed.

Keywords: 3D structure estimation, semantic segmentation, edge detection

1. はじめに

2次元画像から3次元構造を復元する試みは、建築やロボティクス、バーチャルリアリティ(VR)などの様々な分野への応用が可能であるため、長年研究されている^{1)~4)}。特に近年は、VRデバイスの普及や技術の向上により、実空間を仮想空間に反映する技術の需要が高まっている。その技術の1つである3次元構造推定の応用先としては、仮想空間での不動産の内覧の実現が挙げられる^{5)~8)}。新たな賃貸物件を探す際には、部屋の内部構造を確認するために、内覧を行うこと

が一般的である。しかし、物理的に離れた物件を複数訪問することは、時間的にも交通費の面からもコストを要するという問題がある。これらのコストを削減するアプローチとして、仮想内覧が考えられる。これが実現すれば、遠隔地に居ながら賃貸物件の比較を行うことが可能となる。仮想内覧の既存の実現手法としては、全方位カメラ画像を用いる手法があるが、この手法では3次元的な構造情報を扱えないため、利用者の視点移動が制限されたり、仮想空間において家具等を仮配置するといった、賃貸物件の選択の際に重要になる体験が困難である。そこで我々は、部屋の3次元構造を取得し、よ

り現実感の高い仮想内覧の実現を目指している。

部屋の3次元構造を高精度に取得するための代表的な手法の1つは、3D スキャナ⁹⁾による計測である。しかし、3D スキャナは装置の価格が非常に高く、運用に専門知識が必要である。iPhone 等に搭載されている比較的安価な3D LiDARを用いる手法も考えられるが、精度や点群密度の低さが懸念される。

近年は深層学習等の機械学習を用いた手法で、3次元構造を推定する手法も盛んに研究されている。代表的な手法として、Structure from Motion (SfM)¹⁾や Multi-View Stereo (MVS)²⁾、ニューラルレンダリングを用いた手法^{3),4)}が挙げられる。しかし、これらの手法は複数のカメラの画像と姿勢を入力として要求するため、手軽さに欠ける。また、得られる情報が点群であるため、LiDAR ベースの手法と同様に点群の欠落や密度の低さが問題となる。そして、リアリティのある仮想内覧の実現には、色情報を扱うことのできるテクスチャの付与やシェーディングを行うためのサーフェス情報が不可欠である。

部屋のレイアウトに対象を絞った研究^{10)~13)}は、ほとんどが2次元画像から部屋の2次元レイアウトを推定するのみであり、3次元構造復元までを行う手法は少ない。その中でも、3次元構造の推定を行う研究^{14)~17)}は特殊な機材の必要な3次元点群やパノラマ画像、深度画像、カメラ姿勢付きの複数視点画像を使用しているため、計算量や手軽さの面で問題がある。

部屋環境において、サーフェス情報を含めた3次元構造を推定するには、既存の深度推定手法が苦手としている、天井や壁、床などの平面の3次元構造を高精度に推定することが不可欠である。従来の単眼深度推定手法は、平面領域において深度の不連続性や不均一性が問題となることが多い。そのためには、画像中の平面の領域を正しく認識して、均一な面として扱う必要がある。そこで我々は、深層学習の登場によって精度向上が著しい、画像から画素ごとにクラスを推定し、各クラスの領域を特定する意味論的領域分割手法 (Semantic Segmentation) に注目し、部屋の床や壁の認識を行うことを試みる。意味論的領域分割モデルの学習には、RGB 画像とラベル画像のみを利用するため、取得の難しい深度画像や3次元点群を必要としない点も大きな特徴である。また、平面の3次元構造の認識を正確に行うために、日本国内のほとんどの賃貸物件の構造が天井、床、壁の3種類の平面からなることを利用し、部屋を直方体モデルで近似する。本研究では、直方体モデルの制約を用いることで、より正確で均一な部屋の3次元構造推定手法を提案する。

本研究の主な貢献は以下の通りである。

- 意味論的領域分割と直方体モデルフィッティングを組み合わせることで、単眼 RGB 画像のみから部屋の3次元構造を推定する新しい手法を提案する。従来手法で必要

とされる特殊な機材や複数画像を用いることなく、手軽で実用的な3次元構造推定を実現する。

- 部屋の構成要素を意味論的領域分割モデルで6種類に分類し、論理演算を用いたエッジ検出手法により、部屋の構成要素と部屋の各面のエッジを正確に識別する手法を提案する。これにより、部屋の3次元構造を推定する際に、副次的に部屋のレイアウトを2次元画像上で得ることができる。
- 部屋の構造を直方体モデルで近似し、そのパラメータを求めることで、従来の深度推定手法では困難であった平面領域の均一で高精度な3次元構造推定を可能にする。

2. 関連研究

2.1 3次元構造推定

画像を用いた3次元構造推定手法は、Structure from Motion (SfM)¹⁾を基礎として長年にわたって広く研究されている。SfM は異なる視点から撮影された複数画像間の特徴点対応と幾何学的拘束に基づき、カメラの姿勢と3次元構造の両方を推定する手法である。この領域では近年、SfM の構成要素に深層学習を用いた高精度なキーポイント検出手法¹⁸⁾や、特徴点マッチング手法¹⁹⁾を用いることで高精度な3次元構造復元が可能となっている。しかし、SfM を用いた手法は3次元構造をスパースな点群として表現しているため、再構成後のシーンに欠落が発生しやすく、リアリティのある3次元構造を推定することは難しい。

さらに、近年は Neural Radiance Fields (NeRF)³⁾といったニューラルレンダリングを用いた手法も3次元構造推定の手法として注目されている。NeRF は多視点画像と SfM から得られたカメラの姿勢を入力として、推定対象のシーンを表す関数をニューラルネットで学習する。推論時は位置と視線方向を入力し、その点の密度と放射輝度などを出力することで、対象とするシーンを任意の視点から撮影したフォトリアスティックな画像を合成することが可能である。後続の3D Gaussian Splatting⁴⁾はシーンを NeRF のようなニューラルネットではなく、3次元ガウス分布の集合として表現することで、NeRF で問題となっていた推論時の演算の高速化に成功している。これらの手法は、高精度かつ高品質な3次元構造推定が可能である一方、学習に高品質な点群が必要な点や計算コストが高い点が課題となっており、手軽さに欠けている。さらに、シーンをニューラルネットや3次元ガウス分布として表現しているため、シーンに対する追加や変更が困難で、既存の3D モデルとの組み合わせが難しい。

既存手法は多視点の複数画像を用いる手法が主流である一方、1枚の画像のみを用いる手法についても研究が行われている^{2),20)~22)}。その手法の多くは、近年データセットの大規模化^{22),23)}によって精度が向上した単眼深度推定手法に基づく手法であり、1枚の画像のみを入力とするため、多視点の複数画像を用いる手法と比較して手軽に高速な推論が可能で

ある．特に Metric3D²⁴⁾や Depth Pro²¹⁾といった手法は、精緻で高精度な深度画像を推定した上で、絶対距離を推定することを目標としている．

既存の手法では、3次元構造を点群として表現しているため、欠落が発生しやすく、サーフェス情報も含まれないため、テクスチャの加工やシェーディングなどの色の処理が困難である．本研究では対象を室内環境に限定し、室内を直方体のモデルに近似するという制約のもと、高精度かつリアルティのある3次元構造推定を目指す．

2.2 意味論的領域分割

意味論的領域分割 (Semantic Segmentation) は、入力画像の各画素に対して、そのクラスを推定する技術である．これによって、道路・歩道・障害物・人などのオブジェクトを識別し、位置関係や形状などといった意味情報を取得できる．

深層学習の登場以前は Markov Random Field (MRF)²⁵⁾などを用いた手法が主流で、他にも k-means 法²⁶⁾などの手法が用いられていた．また、平滑化フィルタであるバイラテラルフィルタ²⁷⁾も用途によっては利用可能であり、それを発展させた Co-occurrence Filter²⁸⁾は、深層学習による意味論的領域分割手法の精度が大幅に向上した当時においても、ゼロショットで高い精度を示したことから注目を浴びた．

畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network; CNN) の登場により、ImageNet²⁹⁾に代表される画像分類タスクや、物体検出タスクの精度は急激に向上したが、意味論的領域分割は、密な画素単位で正解ラベルを推定する、難易度の高いタスクであるため、深層学習の登場直後には良い精度を示す手法は提案されていなかった．ある程度の精度改善を達成した手法としては、Fully Convolutional Networks (FCN)³⁰⁾が挙げられる．この手法は画像全体の構造や関係性を十分に考慮できないという問題があった．

画像中における大域的な相互関係を考慮することによって、意味論的領域分割の精度向上を図った手法として、PSPNet (Pyramid Scene Parsing Network)³¹⁾がある．PSPNet には、画像中における様々な部位の相互関係を理解するために、空間ピラミッドプーリング³²⁾が導入され、分類精度が大幅に改善された．派生として、推論精度を保ったまま高速化を行う ICNet³³⁾や、さらなる精度改善を狙った PSANet³⁴⁾、DeepLab³⁵⁾が提案されたように、PSPNet の着眼点は意味論的領域分割というタスクにおいては重要かつ画期的な手法であった．

その後、自然言語処理の分野において大きな成果を挙げた Transformer³⁶⁾の画像処理への導入も盛んに行われており、Vision Transformer (ViT)³⁷⁾と呼ばれる手法が代表的である．Transformer の導入は、意味論的領域分割手法にも行われており、モデル全体を Transformer のみで構成する Segformer³⁸⁾が良い精度を達成することが示されている．この手法は、2次元意味論的領域分割を対象とした色付き3次元点群からの

データセット生成においても良い成果^{39),40)}を示しており、今後の実応用への期待が高まっている．

本研究では実応用の一環として、近年精度向上の著しい意味論的領域分割を、部屋の構成要素の認識に利用し、高精度かつリアルティのある3次元構造推定を目指す．

2.3 部屋のレイアウト推定

室内レイアウト推定の研究は、VR/AR などの応用を背景として発展してきた．初期の手法では、室内を直方体 (cuboid) としてモデル化し、画像中の線分や消失点に基づき壁・床・天井を推定するものが一般的であった．Hedau ら⁴¹⁾以降の研究⁴²⁾では、線分抽出・クラスタリング・幾何最適化によりレイアウトを復元する．しかし、線分抽出は家具・雑物・テクスチャノイズの影響を強く受け、複雑環境では精度が不安定になることが問題視されている．一方、近年は直方体仮定を緩和し、複数の壁面をもつ非直方体 (non-cuboid) 構造を扱う手法も提案されている．Yang ら⁴³⁾による手法は天井・床に加えて複数の垂直壁を扱い、平面推定と幾何推論を組み合わせることで多様なレイアウトを復元可能である．しかし、非直方体形状を扱うために複雑な最適化が必要となり、誤推定した平面の影響が最終構造に大きく反映されやすいという課題もある．

本研究はこれらの従来手法とは異なり、直方体という幾何学制約は維持しつつ、意味論的領域分割に基づくクラス境界のみによって直方体の構造エッジを抽出する．これにより、従来の手法よりも、カメラの位置や回転に対する制約を緩和し、家具や推定ラベルの誤りに由来する局所的ノイズの影響を受けにくく、エッジの部分的欠損が存在する環境でも安定した推定が可能である．また、本研究の対象は直方体近似が妥当な室内に限定されており、非直方体を扱う手法とは問題設定が根本的に異なる．しかし、住宅やオフィスなど多くの実環境では直方体近似が適用可能な場面が多くあり、内見や AR といった応用において本手法は有用である．

3. 提案手法

本章では図1に概要を示す、提案手法について述べる．提案手法は、意味論的領域分割と直方体のモデルフィッティングを組み合わせ、1枚のRGB画像から部屋の3次元構造を推定する．

3.1 意味論的領域分割による部屋の構成要素の識別

提案手法では、図1の左のRGB画像から中央の領域分割画像を得るために、意味論的領域分割モデルを利用して、部屋を撮影したRGB画像から部屋の構成要素を識別する．表1に示したように、提案手法では部屋の構成要素を、天井、左壁、右壁、床、正面、障害物の6種類と定義し、意味論的領域分割モデルは、これらの構成要素を各画素について識別する．後段のエッジ検出では、得られた領域分割画像を用いて、部屋の床や壁の境界を推定するため、それぞれの構成要素が高精

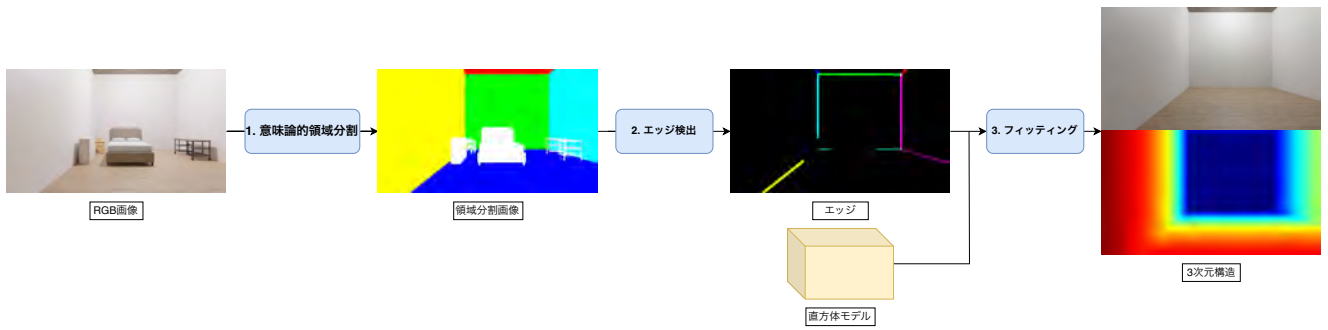


図 1 提案手法の概要

Fig. 1 Overview of the proposed method

表 1 意味論的領域分割の分類とカラーラベル

Table 1 Classification and color labels of semantic segmentation

ID	構成要素	カラー 1			カラー 2		
		R	G	B	R	G	B
1	天井	255	0	0	0	0	0
2	左壁	255	255	0	255	0	0
3	右壁	0	255	255	0	0	255
4	床	0	0	255	255	255	255
5	正面	0	255	0	0	255	0
6	障害物	255	255	255	0	0	0

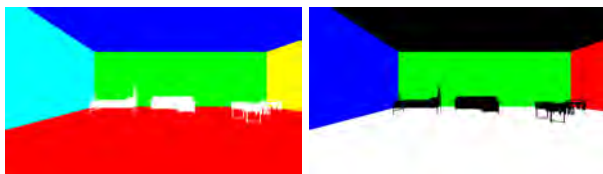


図 2 意味論的領域分割の色の例

Fig. 2 Example of color of semantic segmentation

度に識別されることが望ましい。そこで、提案手法では意味論的領域分割のモデルとして、特徴抽出器に InternImage-L⁴⁴⁾ を用いた SegFormer³⁸⁾を採用する。InternImage は、局所特徴の抽出に優位性を持つ CNN をベースとしたネットワークでありながら、Transformer ベースのネットワークと同様に大域的情報を有効活用するような構造となっており、局所特徴と大域的情報の両方に対して、高い性能を示すことが報告されている⁴⁴⁾。そのため、本研究の部屋の構造のような、左右の壁などの部屋の全体的な構造の区別や、局所的なエッジの検出精度が求められる状況でも高い性能を示すことが期待される。

3.2 壁・床・天井のエッジ検出・分類

次に、3.1 節で得られた領域分割画像から、部屋の床や壁のエッジを検出する。ここで得られたエッジは、後段の直方体モデルとのフィッティングに利用する。

画像中のエッジと直方体のフィッティングを行う方法とし

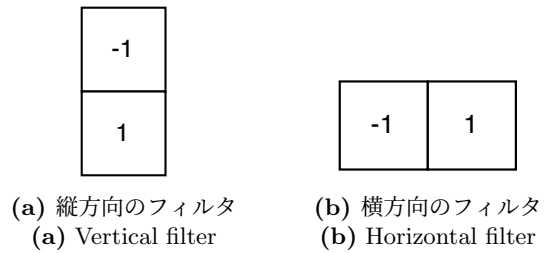


図 3 エッジ検出フィルタ

Fig. 3 Edge detection filter

て、全体のエッジと直方体の辺をフィッティングする方法が考えられる。しかし、この方法では、対応関係のないエッジと辺の誤差についても計算することになるため、正しくフィッティングができない可能性がある。

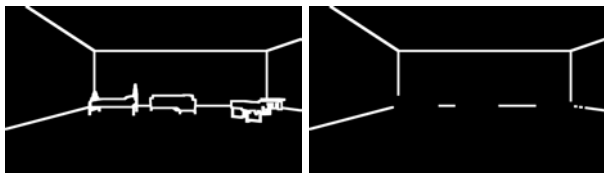
そこで、提案手法では、意味論的領域分割の結果、部屋の各面が識別可能になっていることを利用し、画像中に存在する部屋の床や天井と壁のエッジを、図 1 の右のエッジ画像のように、それぞれ直方体のどの辺であるかを分類して検出した上で、フィッティングを行う。そのため、提案手法の最終的なエッジ検出の結果には、表 2 の右列のように、直方体の 1 辺にあたるエッジのみがそれぞれ検出されている。

直方体の各辺を検出する素朴な方法として、各領域の 2 値画像を作成して、隣り合った領域の同士の論理和を取ること、直方体の 1 辺を抽出する方法が考えられる。提案手法では、等価かつ、効率的な方法として、意味論的領域分割モデルの出力結果において、各領域に割り当てる表示色 (インデックスカラー) を自由に設定して可視化できる点に着目し、表 2 の 2 種類のカラーを用いて、エッジの検出と分類を行う。3.1 節で得られた領域分割画像に対して、表 2 のカラー 1, 2 のように、異なる 2 種類の色分けを行い、それぞれの色チャンネルに対してエッジ検出を行う。その結果、一部のエッジのみを選択的に検出することができる。その後、表 2 のように、エッジ画像同士の論理演算を行うことで、目的とする直方体の 1 辺のみを分類する。

3.2.1 領域分割結果からのエッジ検出

目的とする直方体の各辺を検出するために、3.1 節で得られた領域分割画像に対して、エッジ検出を行う。

エッジ検出の手法として、一般にノイズの多い自然画像に



(a) エッジ検出結果
(a) Result of edge detection
(b) 障害物を除去したエッジ検出結果
(b) Result of edge detection without obstacle

図 4 図 3 のフィルタを用いたエッジ検出結果

Fig. 4 Edge detection results using the filter in Fig. 3

対しては、Canny 法⁴⁵⁾や、Sobel フィルタ⁴⁶⁾などが広く用いられているが、図 2 のように、本手法でエッジ検出対象となる、意味論的領域分割の結果として得られるラベル画像では、画像の各画素について、天井・壁・床・正面・障害物の 6 クラスのいずれかに対応する任意の整数値を割り当てられる。そのため、自然画像と異なり、境界部分に対する画素値の変化は、整数値の差分としてはっきりと表現される。そのため、より計算量の少ない方法として、図 3(a) のような 2×1 の縦方向の微分フィルタと、これを転置した図 3(b) のような 1×2 の横方向の微分フィルタを用いてより高速にエッジを検出することができる。領域分割結果に対して、図 3 のフィルタを用いて検出されたエッジの例を図 4 に示す。検出結果が示すように、領域分割結果の境界の検出は、図 3 のエッジ検出フィルタで十分に検出できる。

図 4(a) のように、領域分割結果に障害物が含まれている場合は、障害物のエッジも検出されてしまい、後段の直方体モデルとのフィッティング時にノイズとなる。そこで、障害物に該当するエッジの画素を、領域分割結果を用いてマスク処理することで、直方体の辺のみを抽出した欠けのある図 4(b) のエッジ画像を得ることができる。以降のエッジ検出では、障害物の領域をマスク処理することで、障害物以外の部屋の各面の領域のエッジのみを扱う。

分割領域の色の組み合わせを変えるだけでは、表 2 の右列のように、直方体の 1 辺のみを検出することはできない。例えば、天井と左壁の境界を検出したい場合、天井と左壁を異なる色で表示すると、同時に天井と正面の境界や左壁と床の境界も検出されてしまう。さらに、領域分割結果の境界には、本来とは異なるラベルの画素の混入や、境界線の揺らぎなどのノイズが含まれている可能性がある。そこで、複数の異なる色分けから得られたエッジ画像に対して論理演算を適用することで、不要なエッジを除去し、目的とする直方体の特定の 1 辺のみをノイズに対して頑健に抽出することができる。

エッジ検出において、一部のエッジのみを検出するために、領域を表 1、図 2 のカラー 1, 2 に色分けする。この結果、領域分割結果に対してエッジ検出を行うと、図 4(b) のように、全体のエッジが検出されるが、2 種類の色分けによって、各チャンネルの画像は 2 値画像となっているため、例えば、カラー 1 の R 成分画像に対して、図 3 のフィルタを用いてエ

ッジ検出を行うと、

図 5(a) のように、天井・左の壁とそのほかの領域のエッジを検出することができる。これを表 1 のカラー 1, 2 の R, G, B それぞれのチャンネルに対して同様に行うと、図 5 のような、一部のエッジのみを検出することができる。

各色チャンネルは表 1 の色設定により、異なる領域を連結した 2 値画像のエッジを検出するため、カラー 1 の R, G, B チャンネルとカラー 2 の R, G, B チャンネルから、それぞれ異なるエッジパターンを得ることができる。なお、カラー 1, 2 の B チャンネルは、図 5(c), 図 5(f) のように、同じエッジが検出されるため、この色分けで合計 5 種類のエッジ検出結果を得ることができる。後述のエッジ分類では、この 5 種類のエッジ検出結果に加えて、領域分割画像に対してエッジ検出をした図 4(b) を加えた、合計 6 種類のエッジ検出結果を利用する。

3.2.2 論理演算による直方体の辺の分類

表 2 に、図 5 のエッジ画像に対する論理演算で、直方体それぞれの辺を分類する方法を示す。3.2.1 節で得られたエッジ画像に対して、表 2 の論理演算を行うことで、RGB 画像上に映る部屋の正面の壁の上下左右のエッジと、左右の壁の上下のエッジを分類することができる。

一例として、左の壁と天井に接する辺については、カラー 1 の B チャンネルから得られた図 5(c) のエッジ画像と、カラー 2 の G チャンネルから得られた図 5(e) のエッジ画像、領域分割画像から得られた図 4(b) のエッジ画像を用いて、OR 演算と XOR 演算を行うことで、分類することができる。他の 7 種類の直方体の辺についても同様に、表 2 に示した論理演算を行うことで、画像上のエッジを分類することができる。この処理の結果、画像上には直方体の 8 辺に相当するエッジがそれぞれ独立して検出される。

3.3 エッジに基づく直方体モデルのフィッティング

本節では、図 1 の最後の処理にあたる、エッジ画像と直方体モデルのフィッティング方法について述べる。本研究の目的は、部屋の 3 次元構造を推定することであるため、部屋の天井、壁、床の 5 つの面がカメラに映っている画像について取り扱う。これは、本手法を実アプリケーションに適用する際に、ユーザーに全ての面が映っている画像の撮影を要求することを想定している。

図 6 に 2 次元画像上と 3 次元空間上の直方体モデルの関係を示す。図 6 では、図 6(a) に提案手法で扱う直方体モデルとパラメータの関係を示し、図 6(b) にモデル座標系での直方体の頂点の座標を示し、図 6(c) にカメラ画像上のエッジと頂点の例を示す。図 6(a) に示すように、提案手法では、部屋を表す直方体モデルを部屋の幅、高さ、奥行きを示す $width$, $height$, $depth$ と、図 6(a) で、点 O_{camera} で示されたカメラ原点と点 P で示された直方体の中心との並進 t_x , t_y , 直方体のモデル座標の各軸周りの回転角 rx , ry , rz の 8 つのパラ

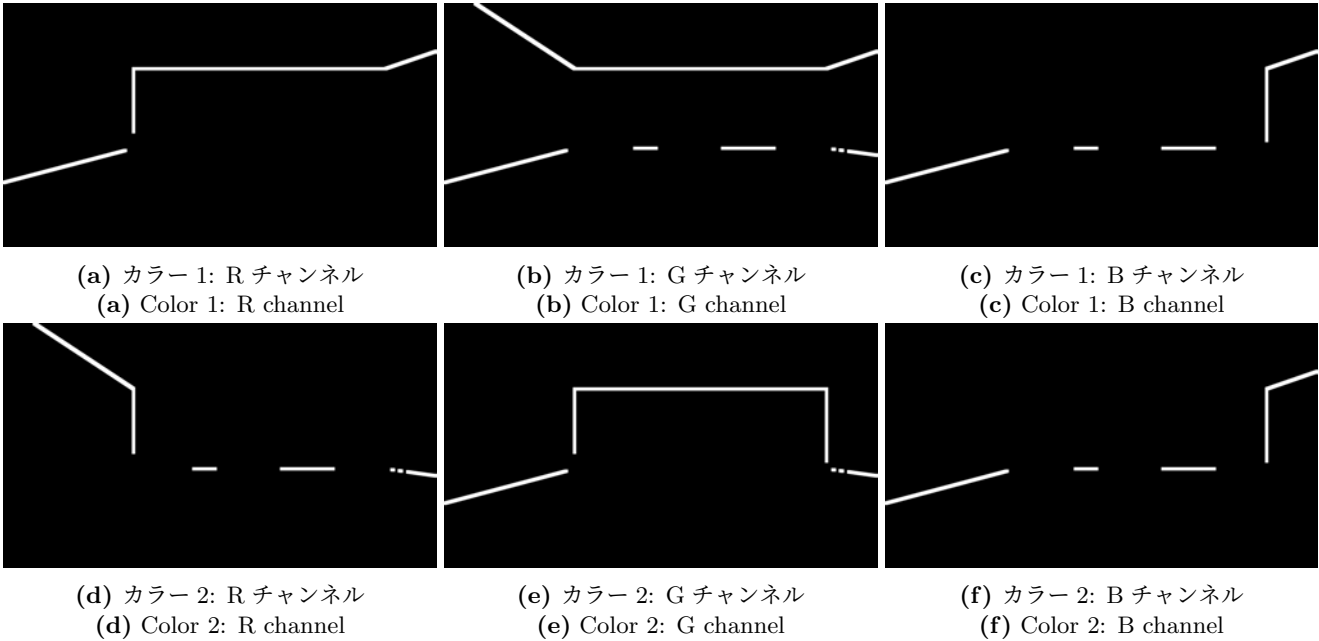


図 5 各色成分のエッジ検出結果

Fig. 5 Example of edge detection results using each color component

表 2 論理演算によるエッジ分類

Table 2 Edge classification by logical operations

論理演算				結果
(XOR) AND (AND	
(	XOR	) AND (	AND
(	XOR	) AND	AND
(	XOR	) AND	AND
(	XOR	) AND	AND
(	XOR	) AND	AND
(	XOR	) AND	AND
(	XOR	) AND	AND

メータで表現する. 提案手法では, カメラから見た部屋の構造のみを推定するため, カメラよりも後ろの部屋の範囲を考慮しない. そのため, カメラ座標原点と直方体の中心の z 座標軸の距離は, $depth/2$ に固定している. これらのパラメー

タを用いて表したモデル座標系での直方体の頂点の座標を, 図 6(b) に示す. 図 6(b) の頂点 A, B, C, D は, 図 6(c) のカメラ画像上の正面の頂点 a, b, c, d に対応しており, 画像上の点 e', f', g', h' は, 直方体の辺 AE, BF, CG, DH 上の

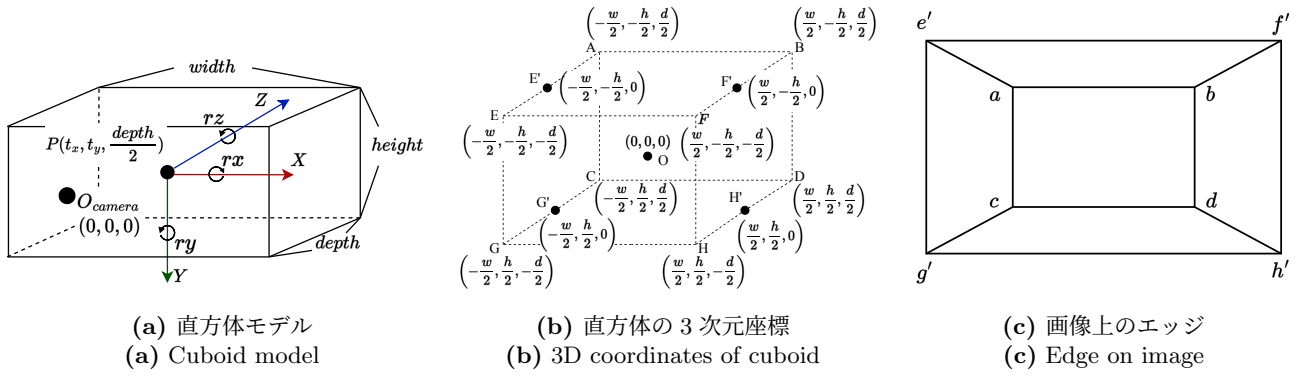


図6 画像と3次元空間上の直方体モデルの関係

Fig. 6 Relationship between 2D image and 3D cuboid model

点に対応している。

まず、図6(b)の直方体モデル座標系の座標を、パラメータ rx, ry, rz の回転行列を用いて、カメラ座標系での座標に変換する。パラメータ rx, ry, rz の回転行列をそれぞれ R_x, R_y, R_z とすると、各回転行列は以下のように表される。

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(rx) & \sin(rx) \\ 0 & -\sin(rx) & \cos(rx) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos(ry) & 0 & -\sin(ry) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(ry) & 0 & \cos(ry) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos(rz) & -\sin(rz) & 0 \\ \sin(rz) & \cos(rz) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

次に、式(1)、(2)、(3)の回転行列の積を用いて、モデル座標系とカメラ座標系間の回転を行う。今回は、直方体の各回転をロール(roll)・ピッチ(pitch)・ヨー(yaw)の順に行うため、モデル座標系の回転を表す回転行列 R は以下のように表される。

$$R = R_z R_y R_x \quad (4)$$

式(4)の回転行列 R を用いて、モデル座標系の座標をカメラ座標系の座標に変換する。モデル座標系の座標を (x_m, y_m, z_m) とし、カメラ座標系の座標を (X_c, Y_c, Z_c) とすると、以下の式が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ \frac{depth}{2} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式(5)によって、直方体のパラメータを用いて、直方体の座標をカメラ座標系で表すことができる。

次に、画像上のエッジと対応する直方体の辺をフィッティングするために、ピンホールカメラモデルの透視投影変換を

用いて、画像座標系とカメラ座標系の関係を定式化する。画像座標系の点の座標を (u, v) とし、カメラ座標系の点の座標を (X_c, Y_c, Z_c) とすると、ピンホールカメラモデルにおいて、以下の関係式が成り立つ。

$$u = \frac{f_x X_c}{Z_c} + c_x, \quad v = \frac{f_y Y_c}{Z_c} + c_y \quad (6)$$

f_x, f_y はカメラの焦点距離を、 c_x, c_y は光学中心を表す。式(5)、(6)の2つの関係式を用いることで、画像座標系とカメラ座標系、モデル座標系の関係を表すことができる。

最後に、画像上のエッジと対応する直方体の辺をフィッティングするために、最小二乗法で最適化する誤差関数を定義する。フィッティングでは、観測された画像上のエッジ上の点と、パラメータを用いて計算した直方体の辺の距離が最小となるように、最小二乗法で解くことで、直方体のパラメータを推定する。まず、直方体のパラメータを用いて、画像上に投影された直方体の辺の式を定式化する。画像上には直方体の辺のうち、正面の壁の上下左右のエッジ ab, cd, ac, bd 、天井と左右の壁の上下のエッジ ae', cg', bf', dh' が投影される。画像上の直方体の各辺の式を得るために、以下の直方体の8点のモデル座標系での座標を用いる。

$$\begin{aligned} A &= \left(-\frac{width}{2}, -\frac{height}{2}, \frac{depth}{2} \right) \\ B &= \left(\frac{width}{2}, -\frac{height}{2}, \frac{depth}{2} \right) \\ C &= \left(-\frac{width}{2}, \frac{height}{2}, \frac{depth}{2} \right) \\ D &= \left(\frac{width}{2}, \frac{height}{2}, \frac{depth}{2} \right) \\ E' &= \left(-\frac{width}{2}, -\frac{height}{2}, 0 \right) \\ F' &= \left(\frac{width}{2}, -\frac{height}{2}, 0 \right) \\ G' &= \left(-\frac{width}{2}, \frac{height}{2}, 0 \right) \\ H' &= \left(\frac{width}{2}, \frac{height}{2}, 0 \right) \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)のモデル座標系の各頂点を、式(5)、(6)を用いて、画像座標系の座標に変換する。式(6)を用いて画像座標系の座標に変換する際に、カメラ座標系の z 成分による0除算を防ぐため、各辺上の中間の点 E', F', G', H' の座標を用いる。画像座標系のエッジ上の2点の座標を $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ とし、この2点から直線の方程式を求める。2点を通る直線の一般

形 $ax + by + c = 0$ において、点と直線の距離は以下のよう
に表される。

$$\begin{aligned} distance &= \frac{|ax + by + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ &= \frac{|(v_2 - v_1)x + (u_1 - u_2)y + c|}{\sqrt{(v_2 - v_1)^2 + (u_1 - u_2)^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

領域分割結果から観測されたエッジ上の点の座標と、式 (7)、(8) を用いて、画像座標系のエッジと観測されたエッジ上の点の距離が最小となるように最適化することで、領域分割画像に投影された直方体モデルのパラメータ $width$, $height$, $depth$, t_x , t_y , rx , ry , rz を決定する。このパラメータを用いて直方体モデルを再投影することで、目的とする部屋の構造を推定することができる。

4. 実験・評価

本章では、提案手法の性能評価を行う。まず、評価に用いるデータセットについて述べ、その後、意味論的領域分割モデルが部屋の構成要素を認識できるかを確認し、部屋のエッジ検出の精度を評価する。最後に本研究の目標である部屋の3次元構造推定の性能評価を行う。

4.1 データセット

深度画像やカメラパラメータなどの3次元構造を含む屋内環境のデータセットとしては、NYUv2⁴⁷⁾や2D-3D-Semantics⁴⁸⁾などが知られている。しかし、これらのデータセットは提案手法で利用する意味論的領域分割用のラベルや、部屋を構成する面のエッジが十分に得られず、深度情報の精度も十分ではない。表3に、既存の部屋のレイアウトを扱ったデータセットの例を示す。この表の深度情報が点群となっているNYUv2や2D-3D-Semanticsは、深度情報が点群であるため、欠損やノイズが多く、提案手法の評価には適さない。Structured3D⁴⁹⁾は、フォトリアリスティックで大規模な部屋の3D CGモデルから作成された画像が提供されているが、撮影された画像の多くは、壁の1,2面のみ映っており、部屋を再構成するのに十分な範囲が撮影されておらず、カメラの位置も床から1.5mの高さに固定されているため、撮影条件の多様性が不十分である。RealEstate10k⁵⁰⁾は、室内を撮影したYouTubeの動画から抽出した画像をもとに作成されたデータセットである。しかし、作成された壁面に対するアノテーションの3次元情報は、SfMベースの手法で推定されたものであり、欠損や精度に問題がある。また、Structured3DやRealEstate10kは、非直方体前提の部屋構造を扱っているため、本研究の問題設定である直方体に近似可能な部屋構造を扱っていない。よって、表3に示した既存のデータセットは、特に深度情報に問題を抱えているものが多く、本研究の目的である部屋の3次元構造推定の評価には適さない。

そこで本研究では、3D CGソフトのBlender⁵¹⁾を用いて、

多様な部屋環境を再現したCGデータセットを作成し、評価を行う。図7に作成したデータセットの一例を示す。データセットはRGB画像、深度画像、ラベル画像の組で構成され、撮影に用いたカメラのパラメータも記録されている。ラベル画像は部屋を構成する天井、正面の壁、左壁、右壁、床、障害物の6クラスに分割されており、画像内に映る直方体の8辺のエッジの直線のパラメータと、端点の座標が記録されている。本研究の目的は、広い範囲の部屋の構造を推定することにあるため、正面、左壁、右壁、床、天井の5つの面が映る画像のみを作成している。画像枚数は15000枚作成し、訓練用10000枚、検証用2000枚、評価用3000枚とした。部屋の高さや奥行き、回転角はランダムに設定し、部屋の内装や家具の種類や配置、光源の位置や強度もランダムに設定している。壁面には高画質なテクスチャが含まれたambientCG⁵²⁾を利用し、家具にはAmazonで販売されている商品の3D CGモデルが含まれたAmazon Berkeley Objects (ABO) Dataset⁵³⁾のモデルを利用している。

表4に、作成した評価用データセットにおける部屋のエッジの隠蔽率を示す。表4では、部屋の面のエッジのピクセル数のうち、障害物に隠されている部分を隠蔽率として計算しており、隠蔽率が高いほど、エッジが家具などに隠されていることを示している。最も家具などで遮蔽されやすい、正面下や左下、右下のエッジの隠蔽率が高いことから、より現実的な環境を再現できていると言える。

また、意味論的領域分割モデルが、実環境における部屋の構造を認識できるかを評価するため、図8に示す、LSUN room dataset⁵⁴⁾を用いて、部屋の構造認識の評価を行う。LSUN room datasetは、実環境の室内を撮影した画像に対して、天井・床・左壁・右壁・正面の5つの面に対するラベルを付与したデータセットである。CGデータセットと比較して、実環境に則した窓やドアなどの複雑な構造や背景が含まれているため、実際の環境で部屋のレイアウトをどの程度認識可能かを評価できる。データセットには、深度などの3次元情報やカメラパラメータが含まれておらず、付与された正解ラベルはマンハッタンワールド仮説⁵⁵⁾に即して抽象化されており、壁面の境界線は作成者の推定によるもので、幾何学的な厳密さを保証するものではない。したがって、実験においては、このデータセットを2次元画像上における意味論的領域分割の評価のみに用いる。

4.2 意味論的領域分割の性能評価

本節では、Blenderで作成したデータセットと、LSUN room datasetを用いて、意味論的領域分割の認識性能を評価する。提案手法の意味論的領域分割のモデルである、InternImage-L⁴⁴⁾を用いたSegFormer³⁸⁾に加えて、意味論的領域分割モデルの既存手法として、ResNeXt 101D 32x4d⁵⁶⁾を用いたCNNベースのPSPNet³¹⁾と、SegFormer-B5³⁸⁾との比較を行う。そして2次元画像に対する部屋のレイアウト

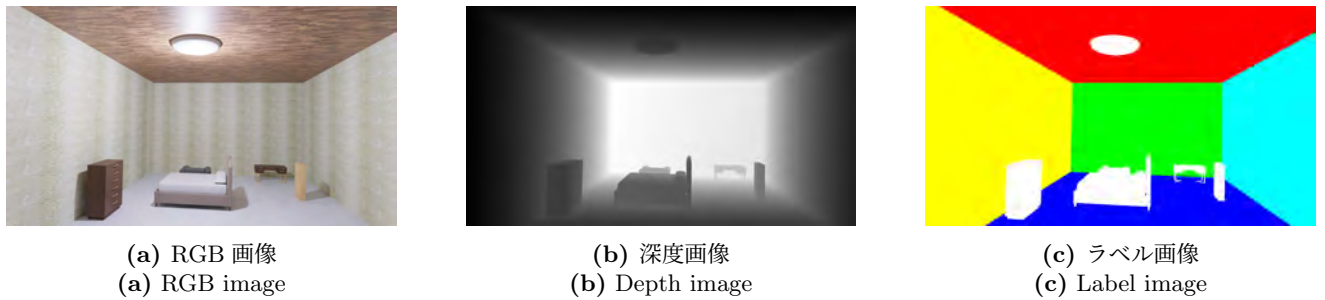


図 7 CG データセットの例

Fig. 7 Example of CG dataset

表 3 部屋のレイアウトを扱ったデータセット例

Table 3 Example of datasets for room layout

	構成要素	3D Object	壁面のエッジ	部屋構造	深度情報
NYUv2 ⁴⁷⁾	実画像	あり	なし	直方体	点群
2D-3D-Semantics ⁴⁸⁾	実画像	あり	なし	直方体	点群
Structured3D ⁴⁹⁾	CG	あり	あり	非直方体	メッシュ
RealEstate10k ⁵⁰⁾	実画像	なし	あり	非直方体	なし
本研究 CG データセット	CG	あり	あり	直方体	メッシュ

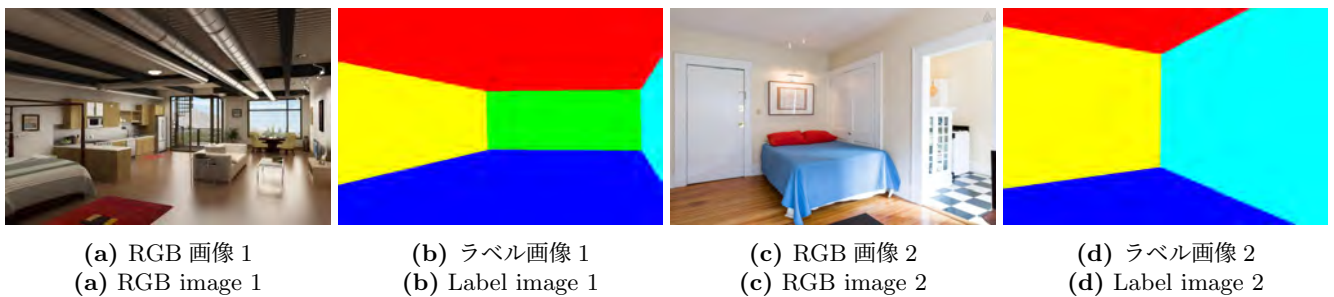


図 8 LSUN room dataset の例

Fig. 8 Example of LSUN room dataset

表 4 評価データセットのエッジの分布

Table 4 Distribution of edges in the evaluation dataset

	平均隠蔽率 [%]	最大隠蔽率 [%]
左上	0.64	100
正面上	3.09	86.19
右上	0.50	100
正面左	10.34	100
正面右	10.63	100
左下	21.91	100
正面下	46.70	100
右下	22.08	100
全体	17.23	68.83

の認識を行う手法である。Lin らの手法¹¹⁾とも比較を行う。意味論的領域分割モデルの学習のエポック数は 50 とし、バッチサイズは 8、学習率は 0.0001、最適化関数は Schedule-Free RAdam⁵⁷⁾とした。Lin らの手法の学習パラメータは、元論文と同じ設定を使用した。

意味論的領域分割の性能は、主に Intersection over Union (IoU) を用いて評価される。IoU は予測領域と正解領域の重なり割合を示す指標であり、次の式で定義される。

$$\text{IoU} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN}} \quad (9)$$

式 (9) において、TP(True Positive) は予測領域と正解領域が一致しているピクセル数、FP(False Positive) は予測領域のみに存在する誤分類したピクセル数、FN(False Negative) は正解領域のみに存在する見落としたピクセル数を表す。IoU の値が高いほど、予測領域と正解領域が一致していることを示し、意味論的領域分割の精度が高いことを示す。本研究では評価指標として上記の IoU に加えて、分類結果のクラスごとの正解率を示す Class Accuracy と、レイアウト認識手法の評価で一般的な、正解したピクセルの割合を示す Pixel Accuracy を用いて性能評価を行う。

表 5, 6 に、部屋の RGB 画像に対する意味論的領域分割の精度を示す。Lin らの手法と比較して、提案手法と意味論的領域分割モデルの PSPNet と SegFormer-B5 は、部屋の構成要素を CG データセット、LSUN room dataset の両方で高精度に認識することができている。特に、CG データセットでは、Lin らの手法と比較して、意味論的領域分割モデルは障害物の認識精度が向上していることがわかる。図 9 に意味

表 5 意味論的領域分割の精度
Table 5 Accuracy of semantic segmentation

データセット	クラス	Class Accuracy				IoU			
		Lin ⁽¹¹⁾	PSPNet	SegFormer-B5	提案手法	Lin ⁽¹¹⁾	PSPNet	SegFormer-B5	提案手法
CG	天井	0.9940	0.9992	0.9915	0.9997	0.9831	0.9923	0.9882	0.9980
	左壁	0.9686	0.9919	0.9883	0.9995	0.9620	0.9882	0.9822	0.9976
	右壁	0.9717	0.9959	0.9894	0.9984	0.9658	0.9927	0.9814	0.9977
	床	0.9669	0.9872	0.9931	0.9963	0.9211	0.9827	0.9866	0.9947
	正面	0.9787	0.9906	0.9946	0.9963	0.9282	0.9748	0.9743	0.9930
	障害物	0.9380	0.9677	0.9862	0.9885	0.8362	0.9354	0.9695	0.9756
	平均	0.9697	0.9888	0.9911	0.9965	0.9327	0.9777	0.9804	0.9928
LSUN	天井	0.8487	0.9415	0.9470	0.9481	0.7214	0.8739	0.8833	0.8840
	左壁	0.8518	0.8691	0.8940	0.9131	0.7753	0.7894	0.8159	0.8474
	右壁	0.8854	0.9164	0.9190	0.9179	0.7828	0.8137	0.8445	0.8585
	床	0.7828	0.9548	0.9599	0.9601	0.8665	0.9009	0.9142	0.9192
	正面	0.7748	0.5761	0.6604	0.7617	0.4063	0.4355	0.5077	0.5990
	平均	0.8711	0.8856	0.9026	0.9169	0.7600	0.7627	0.7931	0.8216

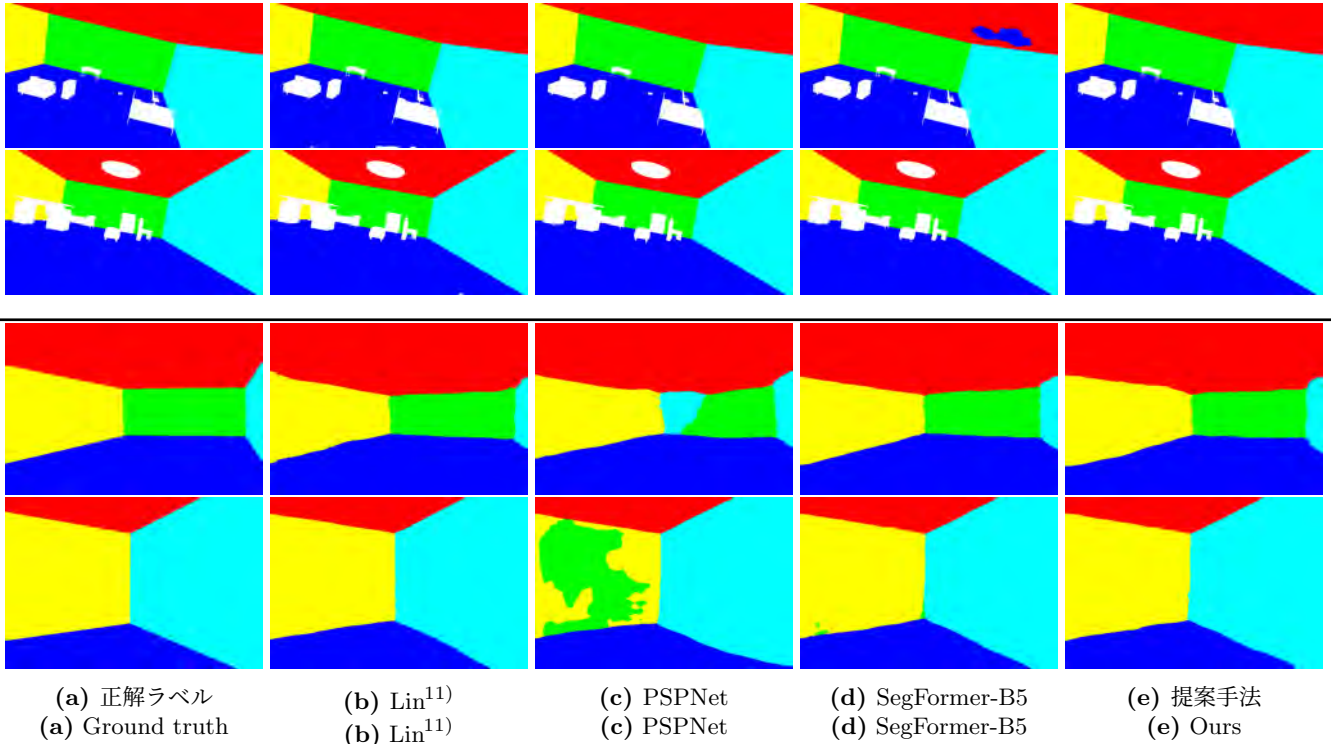


図 9 意味論的領域分割の結果

Fig. 9 Result of semantic segmentation

表 6 意味論的領域分割の Pixel Accuracy
Table 6 Pixel Accuracy of semantic segmentation

手法	Pixel Accuracy	
	CG	LSUN
Lin ⁽¹¹⁾	0.9785	0.8732
PSPNet	0.9898	0.8856
SegFormer-B5	0.9911	0.9026
提案手法	0.9916	0.9169

論的領域分割の結果画像を示す。図 9 の上 2 行は、CG データセットの結果画像であり、下 2 行は、LSUN room dataset

の結果画像である。図 9 から、提案手法の意味論的領域分割モデルは、領域分割結果にノイズが少なく、部屋の構成要素を高精度に認識できることが視覚的にも確認できる。特に LSUN room dataset の結果では、複雑な背景であっても部屋の構成要素を認識できており、提案手法において、意味論的領域分割モデルが実画像でも有効であることを示している。

次に、3.2 節で述べた画像上の直方体のエッジ検出の精度を CG データセットを用いて評価する。評価を行うにあたって、領域分割から得られたエッジ画像を用いて、直線の一般形 $ax + by + c = 0$ のパラメータ a, b, c を最小二乗法で求め、そのパラメータを用いて、エッジの傾きの角度誤差と直方体

表 7 エッジ検出の精度

Table 7 Estimation accuracy of edge detection

	Lin ¹¹⁾		PSPNet		SegFormer-B5		提案手法	
	角度 [rad]	距離 [px]	角度 [rad]	距離 [px]	角度 [rad]	距離 [px]	角度 [rad]	距離 [px]
左上	2.7673	124.5799	0.4094	12.4087	1.1952	834.5539	0.0772	1.4609
正面上	0.5488	209.1435	0.0662	20.9714	0.6734	1696.9930	0.0114	2.1049
右上	2.6206	116.2880	0.2813	11.3918	1.3546	899.7793	0.0682	1.9428
正面左	11.5861	492.1432	2.0488	28.4670	11.0860	1249.8762	0.0843	2.8547
正面右	9.5801	278.4537	0.8345	20.5652	12.9041	1072.9851	0.1085	2.9648
左下	3.9370	442.3464	1.0902	18.2976	5.5166	506.5242	0.2341	2.3688
正面下	1.5947	559.0856	0.2007	27.9635	0.6791	488.5259	0.0868	2.9372
右下	2.1051	200.6291	0.5516	10.6683	4.8502	212.6932	0.1965	2.3186
画像平均	4.3900	301.5076	0.6829	18.9488	4.7930	887.6989	0.1051	2.3679

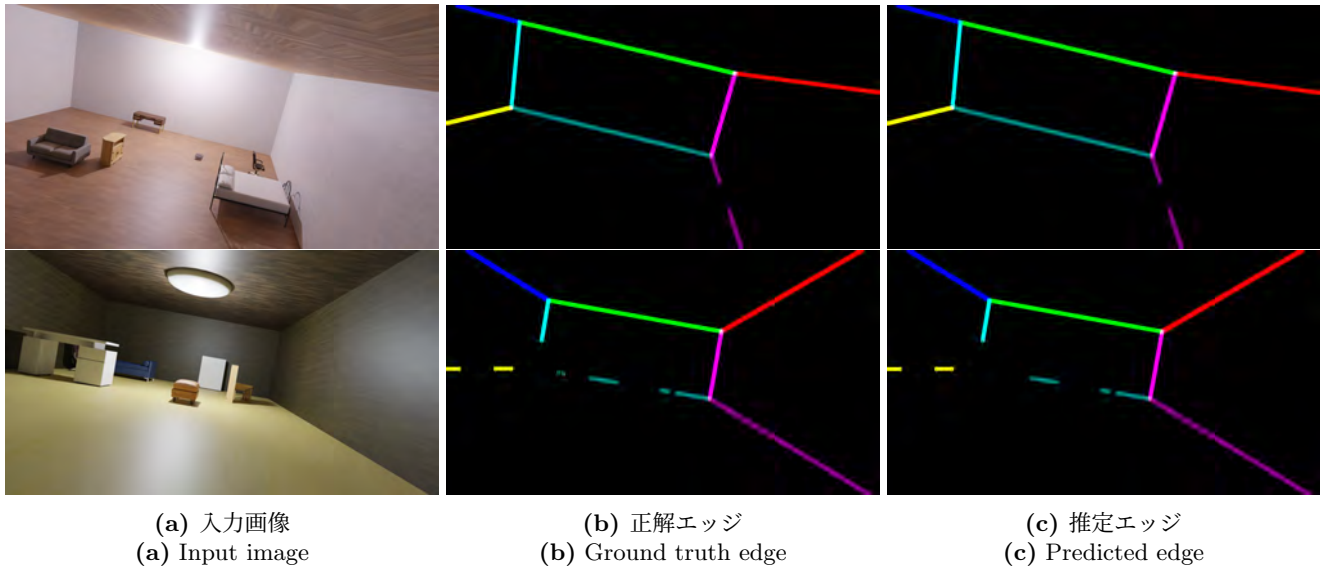


図 10 エッジ検出の結果

Fig. 10 Result of edge detection

表 8 エッジ検出の成功率
Table 8 Accuracy of edge detection

	Lin ¹¹⁾	PSPNet	SegFormer-B5	提案手法
左上	0.7640	0.9335	0.7545	0.9892
正面上	0.6408	0.9062	0.6846	0.9826
右上	0.7581	0.9606	0.7365	0.9912
正面左	0.6405	0.8660	0.6758	0.9637
正面右	0.6686	0.9021	0.7000	0.9664
左下	0.5840	0.8784	0.7254	0.9723
正面下	0.5617	0.8447	0.6652	0.9612
右下	0.6131	0.9161	0.7201	0.9736
全体	0.3785	0.7700	0.5762	0.9242

の辺の端点の距離誤差を計算し、その平均値を用いた評価と、エッジの端点の距離誤差が 10 ピクセル以内に収まっているものを検出成功として、その割合を Accuracy として評価を行う。

表 7 に、抽出されたエッジに基づく直線推定の精度を示す。提案手法の領域分割結果を用いて、エッジ検出を行った場合の全体の平均誤差は、角度誤差は 0.1051、距離誤差は

2.3679 であった。角度誤差は 1rad 以内、距離誤差は数ピクセル以内に収まっていることから、高い精度でエッジを検出できていることがわかる。図 10 にエッジ検出の結果画像を示す。図 10 から、提案手法はエッジ検出の精度が高いことがわかる。

表 8 に、エッジ検出の成功率を示す。表 8 の全体の値は、画像上で検出可能な、全てのエッジの検出が成功した割合を表している。表 8 から、提案手法は、全体のエッジ検出の成功率が 92.42% であり、既存手法と比較して、高い成功率を達成していることがわかる。

また、表 7, 8 に示すように、Lin らの手法と PSPNet と SegFormer-B5 の領域分割結果に対するエッジ検出の精度や成功率は、提案手法と比較して、大きく精度が低下していることがわかる。これは、領域分割結果の画像にノイズが多く、正しいエッジを検出できていないことが原因である。その意味で、表 5, 6 に示す意味論的領域分割の数値上の差が、表 7, 8 のエッジ検出の成功率の差として現れていると考えられる。本研究で想定している部屋の内覧のようなユースケースでは、

表 9 直方体のパラメータの推定精度
Table 9 Estimation accuracy of cuboid parameters

	正解画像 [m]		推定画像 [m]	
	MAE ↓	RMSE ↓	MAE ↓	RMSE ↓
width	0.0058	0.0417	0.0124	0.0618
height	0.0086	0.0615	0.0121	0.0648
depth	0.0047	0.0345	0.0104	0.0540
tx	0.0077	0.0485	0.0128	0.0531
ty	0.0050	0.0334	0.0091	0.0383
rx	0.9536	1.2987	0.9604	1.3089
ry	0.8672	1.2003	0.8874	1.2412
rz	0.8382	1.1587	0.8421	1.1648
平均	0.3363	0.4172	0.3433	0.4274

ユーザは推定された部屋の輪郭や奥行きに基づいて家具の配置や通路幅を判断するため、床・天井・壁の主要なエッジが正確に検出されていることが重要である。いずれかのエッジが欠落したり誤って検出された場合には、直方体モデルのフィッティング結果が歪み、壁の位置や部屋の奥行きがずれる可能性がある。つまり、表 8 のエッジ検出の成功率が高いことは、多くの画像において部屋全体の構造を破綻なく再構成できることを示しており、実際のユースケースでは形状推定の安定性の差として現れていると解釈できる。

さらに、PSPNet と SegFormer-B5 では、PSPNet の方が SegFormer-B5 よりも精度が高い。これは局所特徴をうまく扱える CNN ベースの PSPNet の方が、エッジ検出に適していることを示唆している。この点において提案手法は、局所特徴と大域特徴の両方に強みのある InternImage を特徴抽出器として用いているため、より高精度にエッジを検出できていると考えられる。

4.3 3次元構造推定の評価

本節では、本研究の目的である部屋の 3 次元構造推定の精度を評価する。まず、本研究で定義した直方体のパラメータである *width*, *height*, *depth*, *tx*, *ty*, *rx*, *ry*, *rz* の推定精度を、正解の領域分割画像と領域分割モデルで推定した領域分割画像の 2 つの場合で評価する。評価指標は、平均絶対誤差 (MAE: Mean Absolute Error) と、二乗平均平方根誤差 (RMSE: Root Mean Squared Error) を用いる。8 つのパラメータのうち、相対スケールの *width*, *height*, *depth*, *tx*, *ty* の値は、正規化した値で評価を行った。

表 9 に、正解画像を用いた場合の精度と、推定画像を用いた場合の直方体のパラメータの精度を示す。正解画像と推定画像のどちらの場合でも、精度に大きな違いがないことがわかる。これは、意味論的領域分割モデルの推定精度が高いことを示している。

次に、3 次元構造推定の精度を深度推定の評価指標と比較し、提案手法の有効性を検証する。既存手法として、単眼深度推定モデルの中で近年高精度を達成している Depth Pro²¹⁾と、Marigold²²⁾を比較する。Depth Pro はカメラの焦点距離を入力して、より精度の高い深度推定を行うこと

ができるため、焦点距離を真値で入力して評価を行った。評価指標は単眼深度推定手法の比較で一般的に用いられる、絶対平均相対誤差 (Relative Absolute Error, Abs Rel) と、 $\delta_1(1.25)$, $\delta_2(1.25^2)$, $\delta_3(1.25^3)$ を用いる。Abs Rel は次の式で定義される。

$$\text{Abs Rel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|d_i - d'_i|}{d_i} \quad (10)$$

式 (10) において、 d_i は正解深度、 d'_i は推定深度を表す。 $\delta_{1,2,3}$ はそれぞれ、Abs Rel の誤差が 1.25, 1.25², 1.25³ 以内に収まっている画素の画像全体に対する割合を示している。既存手法の Depth Pro においては、出力として得られる絶対距離の深度画像を用い、最も遠い値を 1.0 として正規化した相対深度画像を用いて評価を行う。提案手法においては、推定された直方体のパラメータを用いて、Blender で部屋を表す直方体モデルをレンダリングし、その際に取得可能な深度画像を用いて評価を行う。

本研究では部屋の構造を推定することを目的としているため、障害物のピクセルについては正解ラベルを用いて深度推定の評価から除外している。これにより、本研究の推定対象である部屋を構成する天井・床・壁のみについて 3 次元構造推定の評価を行うことができる。

表 10 に、既存手法と提案手法の深度推定の精度を示す。提案手法は既存手法と比較して、 δ_2 以外のすべての評価指標で 3 次元構造推定の精度の向上が見られた。提案手法は最先端の深度推定手法と同等か、それ以上の精度で深度を推定できていることがわかる。

図 11 に、既存手法と提案手法の深度推定の結果を示す。図 11 から、提案手法は既存手法と比較して、競争力のある精度を達成できていることがわかる。特に、図 11 の下段の部屋の正面にある壁の深度推定においては、提案手法は既存手法と比較して、より正確に深度を推定できていることがわかる。

さらに、図 12 に、エッジの隠蔽率と Abs Rel の関係を示す。図 12 から、隠蔽率が高い場合でも、3 次元構造を推定できており、提案手法はエッジの隠蔽にも頑健であることがわかる。

5. 考 察

本研究における提案手法には、実応用において以下の制約がある。

1. 部屋の構造が直方体に近いこと。
2. 部屋の天井、床、壁の 5 つの面がカメラに映っていること。
3. 得られる 3 次元構造は相対スケールであること。

本章では、これらの制約について議論する。

制約 1 について、提案手法では、部屋の構造が直方体であるという強い仮定を置いている。そのため、部屋の構造が直

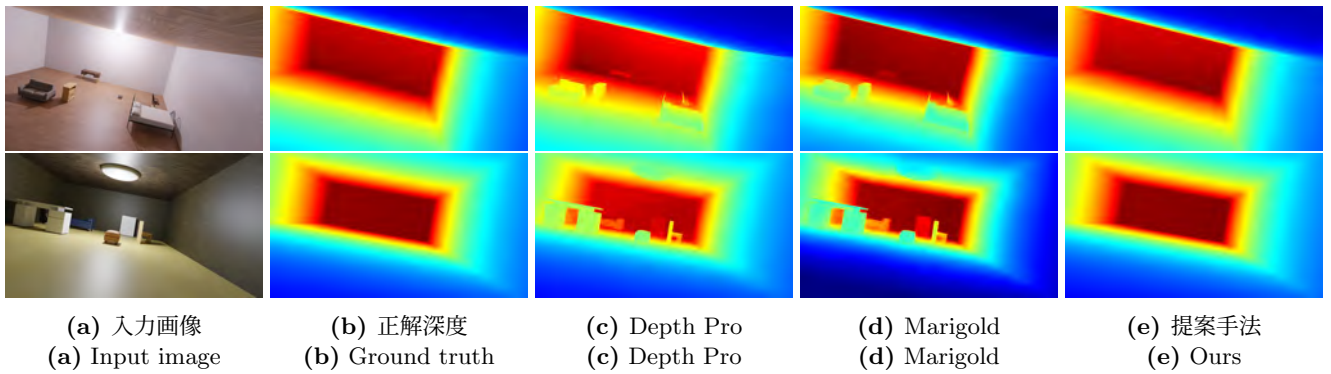


図 11 3次元構造推定の結果

Fig. 11 Result of 3D structure estimation

表 10 相対深度推定の精度

Table 10 Result of relative depth estimation

	AbsRel ↓	MSE ↓	RMSE ↓	δ_1 ↑	δ_2 ↑	δ_3 ↑
Depth Pro	0.0361	0.0014	0.0280	0.9929	0.9982	0.9993
Marigold	0.4797	0.1092	0.2953	0.4442	0.6874	0.8244
提案手法	0.0299	0.0010	0.0227	0.9998	0.9979	0.9999

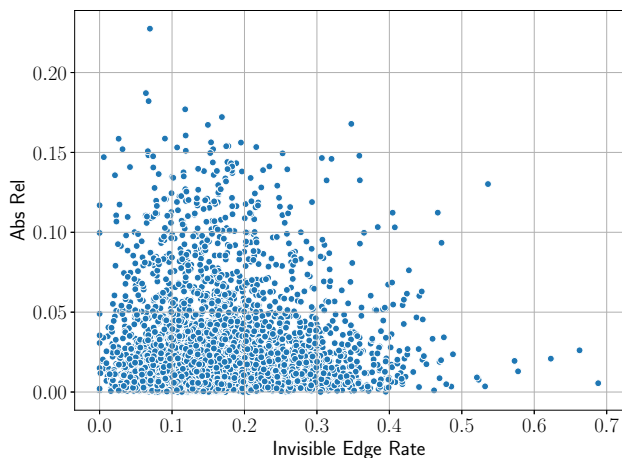


図 12 Abs Rel とエッジの隠蔽率の関係

Fig. 12 Relationship between Abs Rel and invisible edge rate

方体でない場合や、柱などがある場合には、3次元構造の推定精度が低下してしまう恐れがある。また、本研究で構築したCGデータセットは、天井・床・壁と家具による遮蔽に着目して設計しており、窓やドアの開口部、巾木、複雑な梁・柱構造などの建築要素は現時点では明示的には含まれていない。これらの要素が存在する場合には、意味論的領域分割モデルの分割クラスを拡張し、目的とする境界エッジを明示的に扱う必要があると考えている。したがって、将来の課題として、より複雑な室内環境を再現したデータセットや実画像を用いて、提案手法の頑健性を検証する必要がある。

制約2について、本研究では評価において、部屋の5面がカメラに映る画像を用いている。実環境では一部の面が見えない場合も考えられるが、3.3節で述べたように、領域分割画像から得られるエッジをすべて用いてフィッティングを行

なっているため、一部の面が映っていなかった場合でも、残りの面のエッジを用いてフィッティングを行うことで、3次元構造の推定を行うことができる。さらに、Linらの手法¹¹⁾で用いられているLSUN Room Dataset⁵⁴⁾では、部屋の形状を11種類のパターンに分類している。本提案手法においても同様に、部屋の形状の分類を追加で行い、それを手掛かりとして3次元構造復元が可能であると考えられる。

制約3について、提案手法では、部屋の3次元構造を推定する際に、部屋の構造を直方体モデルで近似し、そのパラメータを求めることで、3次元構造の推定を行なっている。提案手法で求めることができるのは、部屋の幾何学的な大きさの比率であり、絶対スケールを求めることができない。しかし、システム導入時に一度だけ、あらかじめ三脚等でカメラを固定し、床からカメラの光学中心までの高さ(垂直距離)を計測したり、部屋の壁の高さなどの取得が容易な既知の距離情報を用いることで、容易に絶対スケールで3次元構造を推定することができる。

6. おわりに

本研究では、リアリティのある不動産の仮想内覧を目標に、部屋の3次元構造を推定する手法を提案した。提案手法は、意味論的領域分割モデルと論理演算を用いて、部屋の天井や床、壁のエッジを検出し、部屋に見立てた直方体モデルとフィッティングを行うことで、部屋の3次元構造を推定する。提案手法は1枚のRGB画像に対する意味論的領域分割とエッジ検出、直方体モデルのフィッティングのみで構成されるため、専用の高価なセンシング機器を必要とせず、単眼カメラのみを用いて不動産内覧時に部屋の3次元構造をその場でリアルタイムに可視化することができる。実験では、意味論的領域分割の部屋の認識精度を確認し、エッジ検出に足る精度を

もつことを確認した。深度推定の評価指標による部屋の3次元構造推定の精度は、Abs Rel で 0.0299, δ_1 で 0.9998 の精度を達成し、既存手法と比較して、同等かそれ以上の精度を達成した。

今後は、より多様な部屋への適用や、実環境への応用に取り組む。提案手法の実環境への応用には、本稿で作成したデータセットのように、実環境の画像に対する意味論的領域分割の正解ラベルや、部屋の3次元構造を正確に捉えた深度情報をもつデータセットを作成する必要がある。しかし、これらを撮影・アノテーションするには、高価な機材と時間的なコストを要する。他の方法として、CG 画像のみで学習したモデルの実環境での精度を向上させる、Synthetic-to-Real 手法の検討を進める。Synthetic-to-Real は、照明条件の違いや、人間の目には見えない画像のノイズの違いなどが課題となる困難なタスクではあるが、近年の研究^{39),58),59)}では、CG 画像を用いた画像分類や意味論的領域分割における精度向上が報告されている。これらの知見を本研究に適用することで、提案手法の実用性をさらに高められると期待される。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP25K01236, 明治大学 科学技術研究所 若手研究, アズビル山武財団の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- 1) H. C. Longuet-Higgins: "A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections", *Nature*, Vol. 293, No. 5828, pp. 133–135 (1981).
- 2) J. Wang, M. Chen, N. Karaev, A. Vedaldi, C. Rupprecht, D. Novotny: "VGGT: Visual Geometry Grounded Transformer", *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 5294–5306 (2025).
- 3) B. Mildenhall, P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T. Barron, R. Ramamoorthi, R. Ng: "NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis", *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 405–421 (2020).
- 4) B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkuehler, G. Drettakis: "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 42, No. 4, pp. 1–14 (2023).
- 5) 森岡 隼也, 政木 研人, 宮本 龍介: "遠隔協調作業における臨場感向上のための単眼カメラによる部屋の3次元構造の推定", *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 123, No. 429, LOIS2023-63, pp. 90–95 (2024).
- 6) J. Morioka, R. Miyamoto: "3D Structure Estimation of Room Environment Using Semantic Segmentation and Model Fitting", *Proc. of IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment*, pp. 448–453 (2024).
- 7) 中山 果瑛, 森岡 隼也, 安達 美穂, 宮本 龍介: "バーチャル内見を目的とする3次元構造推定のための効率的なセマンティックエッジ抽出", *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 124, No. 406, IMQ2024-20, IE2024-98, MVE2024-37, pp. 35–36 (2025).
- 8) 中山 果瑛, 森岡 隼也, 安達 美穂, 宮本 龍介: "屋内環境における単一画像からの3次元情報推定手法の回転耐性の向上", *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 124, No. 444, LOIS2024-91, pp. 122–127 (2025).
- 9) "FARO 3D Measurement, Imaging and Realization Technology", <https://www.faro.com/> (2025).
- 10) C.-Y. Lee, V. Badrinarayanan, T. Malisiewicz, A. Rabinovich: "RoomNet: End-to-End Room Layout Estimation", *Proc. of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 4875–4884 (2017).
- 11) H. J. Lin, S.-W. Huang, S.-H. Lai, C.-K. Chiang: "Indoor Scene Layout Estimation from a Single Image", *Proc. of the International Conference on Pattern Recognition*, pp. 842–847 (2018).
- 12) W. Zheng, J. Lu, J. Zhou: "Structural Deep Metric Learning for Room Layout Estimation", *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 735–751 (2020).
- 13) T. Zhou, R. Tucker, J. Flynn, G. Fyfe, N. Snavely: "Stereo magnification: learning view synthesis using multiplane images", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 37, No. 4, pp. 1–12 (2018).
- 14) H.-a. Gao, B. Tian, P. Li, X. Chen, H. Zhao, G. Zhou, Y. Chen, H. Zha: "From Semi-supervised to Omni-supervised Room Layout Estimation Using Point Clouds", *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2803–2810 (2023).
- 15) G. Pintore, M. Agus, E. Gobbetti: "AtlantaNet: Inferring the 3D Indoor Layout from a Single 360° Image Beyond the Manhattan World Assumption", *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 432–448 (2020).
- 16) C. Zou, J.-W. Su, C.-H. Peng, A. Colburn, Q. Shan, P. Wonka, H.-K. Chu, D. Hoiem: "Manhattan Room Layout Reconstruction from a Single 360° Image: A Comparative Study of State-of-the-Art Methods", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 129, No. 5, pp. 1410–1431 (2021).
- 17) S. Ikehata, H. Yang, Y. Furukawa: "Structured Indoor Modeling", *Proc. of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 1323–1331 (2015).
- 18) D. DeTone, T. Malisiewicz, A. Rabinovich: "SuperPoint: Self-Supervised Interest Point Detection and Description", *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, pp. 337–349 (2018).
- 19) J. Edstedt, Q. Sun, G. Bökman, M. Wadenbäck, M. Felsberg: "RoMa: Robust Dense Feature Matching", *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 19790–19800 (2024).
- 20) W. Yin, J. Zhang, O. Wang, S. Niklaus, L. Mai, S. Chen, C. Shen: "Learning to Recover 3D Scene Shape from a Single Image", *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 204–213 (2021).
- 21) A. Bochkovskiy, A. Delaunoy, H. Germain, M. Santos, Y. Zhou, S. Richter, V. Koltun: "Depth Pro: Sharp Monocular Metric Depth in Less Than a Second", *Proc. of the International Conference on Learning Representations* (2025).
- 22) B. Ke, A. Obukhov, S. Huang, N. Metzger, R. C. Daudt, K. Schindler: "Repurposing Diffusion-Based Image Generators for Monocular Depth Estimation", *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 9492–9502 (2024).
- 23) L. Yang, B. Kang, Z. Huang, Z. Zhao, X. Xu, J. Feng, H. Zhao: "Depth Anything V2", *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 37, pp. 21875–21911 (2024).
- 24) M. Hu, W. Yin, C. Zhang, Z. Cai, X. Long, H. Chen, K. Wang, G. Yu, C. Shen, S. Shen: "Metric3D v2: A Versatile Monocular Geometric Foundation Model for Zero-Shot Metric Depth and Surface Normal Estimation", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 46, No. 12, pp. 10579–10596 (2024).
- 25) Z. Kato, T.-C. Pong: "A Markov random field image segmen-

- tation model for color textured images”, *Image and Vision Computing*, Vol. 24, No. 10, pp. 1103–1114 (2006).
- 26) T.-W. Chen, Y.-L. Chen, S.-Y. Chien: “Fast image segmentation based on K-Means clustering with histograms in HSV color space”, *Proc. of IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 322–325 (2008).
- 27) C. Tomasi, R. Manduchi: “Bilateral filtering for gray and color images”, *Proc. of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 839–846 (1998).
- 28) R. J. Jevnisek, S. Avidan: “Co-occurrence Filter”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3816–3824 (2017).
- 29) O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. C. Berg, L. Fei-Fei: “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge”, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 115, No. 3, pp. 211–252 (2015).
- 30) J. Long, E. Shelhamer, T. Darrell: “Fully convolutional networks for semantic segmentation”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3431–3440 (2015).
- 31) H. Zhao, J. Shi, X. Qi, X. Wang, J. Jia: “Pyramid Scene Parsing Network”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 6230–6239 (2017).
- 32) K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun: “Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition.”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 346–361 (2014).
- 33) H. Zhao, X. Qi, X. Shen, J. Shi, J. Jia: “ICNet for Real-Time Semantic Segmentation on High-Resolution Images”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 405–420 (2018).
- 34) H. Zhao, Y. Zhang, S. Liu, J. Shi, C. C. Loy, D. Lin, J. Jia: “PSANet: Point-wise Spatial Attention Network for Scene Parsing”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 267–283 (2018).
- 35) L.-C. Chen, Y. Zhu, G. Papandreou, F. Schroff, H. Adam: “Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 833–851 (2018).
- 36) A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. u. Kaiser, I. Polosukhin: “Attention is All you Need”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30, pp. 6000–6010 (2017).
- 37) A. Dosovitskiy, L. Beyer, A. Kolesnikov, D. Weissenborn, X. Zhai, T. Unterthiner, M. Dehghani, M. Minderer, G. Heigold, S. Gelly, J. Uszkoreit, N. Houlsby: “An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale”, *Proc. of the International Conference on Learning Representations*, pp. 45–67 (2021).
- 38) E. Xie, W. Wang, Z. Yu, A. Anandkumar, J. M. Alvarez, P. Luo: “SegFormer: Simple and Efficient Design for Semantic Segmentation with Transformers”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 34, pp. 12077–12090 (2021).
- 39) M. Wada, H. Sudo, M. Adachi, Y. Ueda, R. Miyamoto: “Does a Dense Point Cloud for Training Data Generation Improve Segmentation Accuracy?”, *Proc. of IEEE International Conference on Big Data*, pp. 4356–4361 (2023).
- 40) M. Wada, Y. Ueda, M. Adachi, R. Miyamoto: “Area-wise Augmentation on Segmentation Datasets from 3D Scanned Data Used for Visual Navigation”, *Proc. of IEEE International Conference on Control, Decision and Information Technologies*, pp. 1499–1504 (2024).
- 41) V. Hedau, D. Hoiem, D. Forsyth: “Recovering the spatial layout of cluttered rooms”, *Proc. of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 1849–1856 (2009).
- 42) M. Hirzer, P. M. Roth, V. Lepetit: “Smart Hypothesis Generation for Efficient and Robust Room Layout Estimation”, *Proc. of IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*, pp. 2901–2909 (2020).
- 43) C. Yang, J. Zheng, X. Dai, R. Tang, Y. Ma, X. Yuan: “Learning to Reconstruct 3D Non-Cuboid Room Layout from a Single RGB Image”, *Proc. of IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*, pp. 235–244 (2022).
- 44) W. Wang, J. Dai, Z. Chen, Z. Huang, Z. Li, X. Zhu, X. Hu, T. Lu, L. Lu, H. Li, X. Wang, Y. Qiao: “InternImage: Exploring Large-Scale Vision Foundation Models with Deformable Convolutions”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 14408–14419 (2023).
- 45) J. Canny: “A Computational Approach to Edge Detection”, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, No. 6, pp. 679–698 (1986).
- 46) N. Kanopoulos, N. Vasanthavada, R. Baker: “Design of an image edge detection filter using the Sobel operator”, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 23, No. 2, pp. 358–367 (1988).
- 47) N. Silberman, D. Hoiem, P. Kohli, R. Fergus: “Indoor Segmentation and Support Inference from RGBD Images”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 746–760 (2012).
- 48) I. Armeni, S. Sax, A. R. Zamir, S. Savarese: “Joint 2D-3D-Semantic Data for Indoor Scene Understanding”, *ArXiv e-prints* (2017).
- 49) J. Zheng, J. Zhang, J. Li, R. Tang, S. Gao, Z. Zhou: “Structured3D: A Large Photo-Realistic Dataset for Structured 3D Modeling”, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, pp. 519–535 (2020).
- 50) D. Rozumnyi, S. Popov, K.-K. Maninis, M. Nießner, V. Ferrari: “Estimating generic 3D room structures from 2D annotations”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 37786–37798 (2023).
- 51) “blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software”, <https://www.blender.org/> (2025).
- 52) “ambientCG - CC0 Textures, HDRIs and Models”, <https://ambientcg.com/> (2025).
- 53) J. Collins, S. Goel, K. Deng, A. Luthra, L. Xu, E. Gundogdu, X. Zhang, T. F. Y. Vicente, T. Dideriksen, H. Arora, M. Guillaumin, J. Malik: “ABO: Dataset and Benchmarks for Real-World 3D Object Understanding”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 21094–21104 (2022).
- 54) “LSUN 2016 Large-scale Scene Understanding Challenge: Room Layout Estimation”, <http://lsun.cs.princeton.edu/2016/> (2019).
- 55) J. Coughlan, A. L. Yuille: “The Manhattan World Assumption: Regularities in Scene Statistics which Enable Bayesian Inference”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 809–815 (2000).
- 56) T. He, Z. Zhang, H. Zhang, Z. Zhang, J. Xie, M. Li: “Bag of Tricks for Image Classification with Convolutional Neural Networks”, *Proc. of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 558–567 (2019).
- 57) A. Defazio, X. Yang, H. Mehta, K. Mishchenko, A. Khaled, A. Cutkosky: “The Road Less Scheduled”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 37, pp. 9974–10007 (2024).

- 58) M. Wada, Y. Ueda, J. Morioka, M. Adachi, R. Miyamoto: "Dataset Creation for Semantic Segmentation Using Colored Point Clouds Considering Shadows on Traversable Area", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 35, No. 6, pp. 1406-1418 (2023).
- 59) T. Inoue, M. Ohkoba, K. Gakuta, E. Yamada, A. Kariya, M. Kinoshada, Y. Kitaide, R. Miyamoto: "Shape-Centric Augmentation with Strong Pre-Training for Training from Rendered Images", Proc. of IEEE Region 10 Conference, pp. 96-99 (2024).

(2025 年 8 月 7 日受付)

(2025 年 11 月 25 日再受付)



森岡 隼也

2021 年 明治大学 理工学部 情報科学科 卒業。
2023 年 同大学 大学院 理工学研究科 情報科学
専攻 博士前期課程 修了。現在、同大学 理工学
研究科 情報科学専攻 博士後期課程、同大学 理
工学部 助手。画像処理に関する研究に従事。修
士(理学)。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理
学会各会員。



中山 果瑛

2023 年 明治大学 理工学部 情報科学科 卒業。
2025 年 同大学 大学院 理工学研究科 情報科学
専攻 博士前期課程 修了。現在、NTT docomo
に勤務。修士(理学)。



安達 美穂

2019 年 明治大学 理工学部 情報科学科 卒業。
2021 年 同大学 大学院 理工学研究科 情報科学
専攻 博士前期課程 修了。2024 年 同大学 大学
院 理工学研究科 情報科学専攻 博士後期課程 修
了。現在、同大学 理工学部 情報科学科 助教。博
士(理学)。画像認識, 自律移動ロボットに関す
る研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本
ロボット学会, 計測自動制御学会各会員。



宮本 龍介 (正会員)

1998 年 京都大学 工学部 工業化学科 卒業。2007
年 同大学 大学院 情報学研究科 博士後期課程 修
了。同年 奈良先端科学技術大学院大学 助教。2012
年 大阪大学 特任研究員。2013 年 明治大学 理
工学部 情報科学科専任講師。2022 年より、同大
学 理工学部 情報科学科准教授。博士(情報学)。
メディア処理, 画像認識, 組込み実装に関する研
究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理
学会, 計測自動制御学会各会員。

病理標本解析のための可視・近赤外ハイパースペクトル画像統合システムの開発

石川 雅浩^{†,††} (正会員) 中村 駿^{††} 小林 直樹^{††} (名誉会員)

[†] 近畿大学工学部, ^{††} 埼玉医科大学保健医療学部

Development of an Integrated Visible and Near-Infrared Hyperspectral Image System for Pathology Specimen Analysis

Masahiro ISHIKAWA^{†,††} (Member), Shun NAKAMURA^{††}, Naoki KOBAYASHI^{††} (Honorary Member)

[†] Faculty of Engineering, Kindai University, ^{††} Faculty of Health & Medical Care, Saitama Medical University

〈あらまし〉 近年、分光画像を撮像可能なマルチスペクトルカメラやハイパースペクトルカメラが商用化され、リモートセンシング等の分野に限らず様々な分野で分光画像の活用が検討されている。病理標本は、組織の状態によって染色液の染まり具合が微細に変化するため分光画像の活用が期待されている。より詳細な解析法として、可視光と近赤外のスペクトル情報を統合して解析することでこれまで病理診断で得られていない新たな情報を得られる可能性がある。しかし、標本全体の可視光・赤外分光画像を取得可能なシステムは未だ開発されていない。本研究では、可視光スペクトルカメラと赤外光スペクトルカメラを用いて別々に分光画像を取得し、2枚の画像を位置合わせし可視・赤外分光画像を取得するシステムを開発したので報告する。また、各分光画像の撮影時にXYステージを自動制御し組織の広い範囲を撮影可能にしている。

キーワード：分光画像、ハイパースペクトル、可視光、赤外光、病理標本

〈Summary〉 In recent years, multispectral cameras and hyperspectral cameras capable of capturing spectral images have become commercially available, and their use in various fields is being considered. Spectral imaging is expected to be utilized for pathology specimens, as staining characteristics change subtly depending on the condition of the tissue. As a more advanced analysis method, integrating visible light and near-infrared spectral information may provide new information that has not been obtained in pathological diagnosis so far. However, a system capable of acquiring visible and infrared spectral images of the entire specimen has not yet been developed. In this study, a visible light spectral camera and an infrared light spectral camera were used to acquire spectral images separately. We report the development of a system that acquires visible and infrared spectral images by registering the two images. In addition, the XY stage is automatically controlled during the acquisition of each spectral image to enable the acquisition of a wide area of tissue.

Keywords: spectral images, hyperspectral image, visible light, infrared light, pathological slide

1. はじめに

近年、仮想顕微鏡画像(WSI: whole slide imaging)の進展に伴って病理診断におけるコンピュータ診断支援への期待が高まっている。N/C比率¹⁾の算出や組織構造²⁾である索状構造の定量化など様々な手法が提案されている。WSIは画像が非常に巨大であり、診断の効率化や学習データの確保などから深層学習の親和性が高いと考えられている³⁾。しかし、病理診断はがん・非がんのグレード判別など専門病理医の経験に基づいて診断されるため膨大な病理データへのアノテーション付与が容易ではないことが問題となっている⁴⁾。また、病理組織の構造は非常に多彩な形態を有しており、テキストチャ情報に着目した深層学習では汎化性能の高い学習を行うことは容易で

はない。加えて、病理診断は診断の確定や治療方針の決定など非常に重要な役割を担っているため、理由の不明な誤検出・誤診断が非常に少なかったとしても、病理医にとって大きな問題であり病理医から信頼を得ることは容易ではない。これに対して、組織形状では無く人間の目には判別困難な染色液の色の違いを解析して組織状態の判別が解析可能なハイパースペクトル画像の病理診断への応用が期待されている⁵⁾。マルチスペクトルカメラやハイパースペクトルカメラは商用化されており、特別なシステムを開発しなくても分光画像が取得可能となっている⁶⁾。病理標本は組織や組織の状態によって染色液の染まり具合が異なるため、RGB画像よりも詳細な色解析が可能な分光画像による高精度なコンピュータ診断支援が期待されている。可視光の分光画像を用いた病理画像の

研究は以前から検討されており、病理標本が染色液による色が支配的であることに注目してランバートベールの法則を用いて病理画像の色補正を行う技術が提案されている^{7,8)}。また、可視光域の分光画像を用いることで脳腫瘍組織の判別精度が向上することが報告されている⁹⁾。分光画像と深層学習を組み合わせることで頭頸部扁平上皮癌を自動検出する手法も提案されている¹⁰⁾。これらの研究は可視光分光画像をそのまま用いて RGB 画像よりも推定精度が向上することを示している。筆者らは、可視光分光情報をそのまま用いるよりも染色液の濃度を考慮して定量化した方が、膀胱がんの判別精度が向上することを示している^{11,12)}。近赤外ラマン分光を用いた組織解析法も報告されている¹³⁾。

しかし、病理標本の解析に可視光分光画像を用いた研究は報告例が少ない。Awan らは、Perkinelmer 社の液晶チューナブルフィルタ(Varispec)の VIS-20-20 (400~720nm)と LNIR-20-20 (850~1800nm)を用いて可視光に加えて赤外光の分光情報を用いることで大腸がんの判別性能が改善することを報告している¹⁴⁾。また、赤外光を解析に用いることの重要性は認識されており、Paterova らは簡便な方法で赤外光分光情報を取得する手法を提案している¹⁵⁾。分光画像を用いた研究については Ortega らの総説論文が分かりやすくまとめられている⁹⁾。Ortega らの総説論文では、赤外光を用いた病理標本の解析はほとんど報告されておらず、標本全体を撮影するシステムが構築されていないことは今後の課題として述べられている。また、一般的なシーンを対象とした広視野の RGB 画像と、狭視野のハイパースペクトル画像の位置合わせに関する研究も報告されている¹⁶⁾。しかし、本研究が対象とする病理標本は、薄く透過性が高いという特徴を持つため、一般的な物体とは光学特性が大きく異なる。特に本研究で用いる赤外光領域では、波長によるコントラスト変化が乏しく、Caron らのような特徴点ベースの初期化や輝度情報に直接基づく手法を安定して適用することは困難である。病理標本の自動撮影システムの構築¹⁷⁾やハイパースペクトル画像のスティッチング技術¹⁸⁾に関する研究も報告されているが、これらの研究で扱われている波長域は主に可視光域 (470nm~900nm) であり、本研究の目的である可視光分光画像と赤外光分光画像を統合するものではない。

そこで本研究では、光学顕微鏡の XY ステージを自動制御し、ハイパースペクトルカメラでピントを合わせつつ撮影することで、広範囲を病理標本中の可視光域分光画像と赤外域分光画像を撮影し、組織形状に基づいて位置合わせし、可視・赤外分光画像を取得するシステムを開発したので報告する。

2. 材料

本研究では、病理標本の撮影に EBA Japan 社の NH-3 (350~1100nm, 752×480 画素, 波長分解能: 5nm, データビット数 10 ビット)と SIS-I (900~1700nm, 400×320 画素, 波長分解能: 10nm, データビット数 12 ビット)を用いることとした。

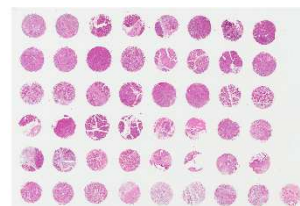


図 1 Tissue Micro Array

Fig. 1 Tissue Micro Array

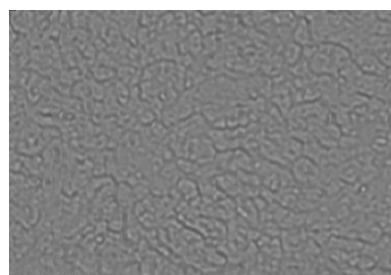


図 2 赤外光分光画像(960nm)

Fig. 2 Infrared spectral image (960 nm)

標本は US Biomax 社の研究用 Tissue Micro Array (TMA: BIC14011b)を HE 染色して用いることとした。TMA とは異なる患者の組織を円柱状に切り抜いて一定間隔に並べてパラフィンブロックを作成し薄切した標本である。本研究で使った TMA を図 1 に示す。本標本には合計 49 個の組織が固定されている。症例は 24 例あり、膀胱の炎症、悪性腫瘍のグレード IIA~III, 初期がんなどが含まれている。標本の厚さは 5 μ m, 組織の直径は 1.5mm である。

3. 手法

本研究で可視光・赤外光分光画像の統合手順を以下に示す。

1. SIS-I による赤外分光画像の HE 染色標本の撮影
2. NH-3 による可視分光画像の HE 染色標本の撮影
3. 赤外・可視光分光画像の位置合わせ

本研究で用いた可視光と赤外光の分光画像は性質が異なり、NH-3 よりも SIS-I の方が、撮影可能範囲が広い。このため、本研究では最初に撮影可能範囲の広い SIS-I で赤外光分光画像を撮影し、次に NH-3 で可視光分光画像を撮影する。この時、NH-3 の 1 視野では SIS-I と同じ範囲の組織を撮影できない。そこで、NH-3 では XY ステージを制御し、撮影する標本の位置を移動しながら撮影範囲を広げることとした。最後に、別々に撮影した可視光・赤外光分光画像を位置合わせして可視光・赤外光のスペクトル波形を取得する。

3.1 SIS-I による赤外分光画像の HE 染色標本の撮影

SIS-I は 1 回の撮影で撮影可能な範囲が広いので、対象組織につき 1 枚の画像を撮影した。解像度は 400×320 画素であり、撮像視野の実サイズは約 289×679 μ m²である。本研究で撮影した分光画像を図 2 に示す。全ての波長の表示は困難なため、比較的吸光に差が見られた 960nm の画像を示す。

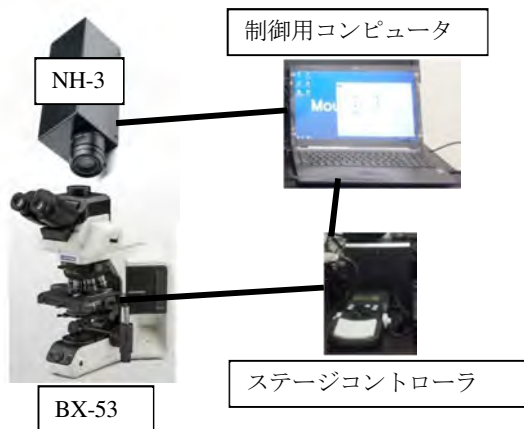


図3 病理標本の分光画像取得システム

Fig. 3 Spectral image acquisition system for pathological specimens

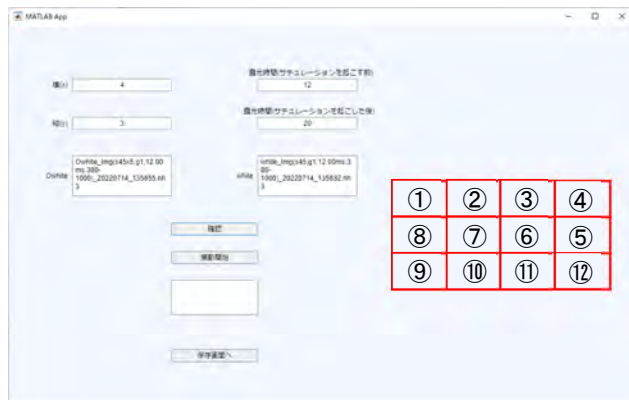


図4 病理標本撮影用ソフトウェアの画面

Fig. 4 Pathology specimen capture software Interface

3.2 NH-3による可視分光画像のHE染色標本の撮影

本システムで可視分光画像撮影に用いる NH-3 は解像度が 752×480 画素であり、実際の組織サイズに直すと $120 \times 207.4 \mu\text{m}^2$ であり、非常に狭い範囲の組織しか撮影することができない。そこで本研究では、制御用コンピュータに NH-3 と XY ステージを、ステージコントローラを経由して接続し、Mathworks 社の MATLAB を用いて自動で撮影を行うシステムを開発した(図3)。具体的には、顕微鏡のステージコントローラに対し、MATLAB のシリアル通信機能を用いてステージ移動命令を送信することで XY ステージを制御している。開発したソフトウェア上でユーザーが撮影範囲をタイル枚数(横×縦)で指定すると、各タイルの撮影座標が自動計算され、「移動→ピント合わせ→撮影」という一連のプロセスを指定された全タイルで繰り返すことにより、広範囲の撮影を実現している。開発した撮影用ソフトウェアの画面を図4に示す。本ソフトウェアでは、最初に横方向と縦方向に撮影する画像枚数を指定する。次に、HDR(High-dynamic-range rendering)画像を作成するために露光時間の短い画像と長い画像を撮影する。ここでは露光時間の短い画像は 12ms、露光時間の長い

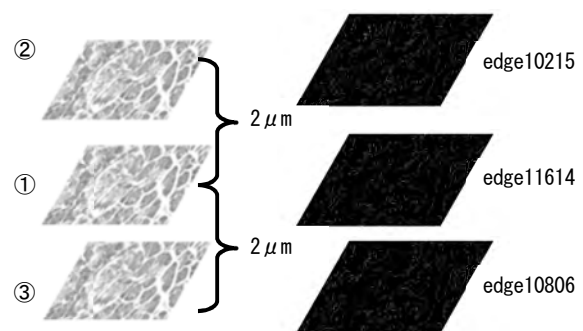


図5 エッジによるピント選択法

Fig. 5 Focus selection method by edges

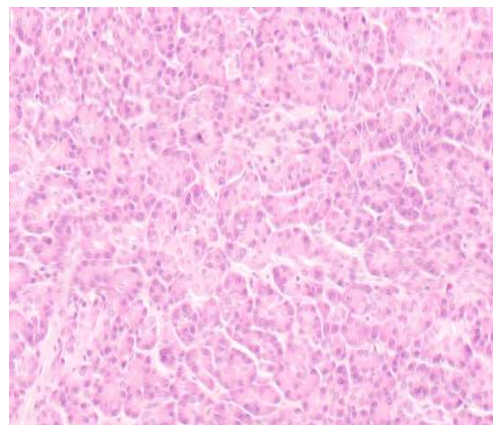


図6 分光画像から再構成した RGB 画像

Fig. 6 RGB image reconstructed from spectral images

画像は 20ms としている。加えて、撮影する画像の枚数を縦方向と横方向の枚数で指定する。図4では横方向に4枚、縦方向に3枚撮影するように設定している。この時、混乱しないように撮影の状況をソフトウェア上では、赤枠で表示している。また、このときの撮影の順番も①～⑫で示している。XY ステージを制御しながら標本の撮影位置を変えていくと場所によって組織の厚さが異なるためピントが合わないという問題が生ずる。そのため本システムでは、エッジによる自動ピント合わせ法を構築した。これは、画像のピントが合うと細胞核の輪郭など微細な構造が鮮明になり、エッジ検出フィルタで算出されるエッジ強度の合計値が最大になるという、画像処理におけるオートフォーカスの基本原理に基づいている。同一視野を異なる焦点深度で撮影した画像群を比較するため、ステージ位置の微細な変化による画像のシャープネスの変化がエッジ合計値に直接反映される。

具体的なアルゴリズムとして、まず基準となる Z 軸位置とその上下 $2 \mu\text{m}$ の計3点で画像を撮影し、エッジが明瞭な 550nm の波長画像から Sobel フィルタを用いてエッジ合計値を算出する。次に、最も値が高かった点からさらに同方向へ $2 \mu\text{m}$ ずつステージを移動させながら評価を続ける(図5)。この探索プロセスは、エッジ合計値が減少に転じるピーク(極大値)が見つかるまでソフトウェアが自動で繰り返し最適な Z 軸位置

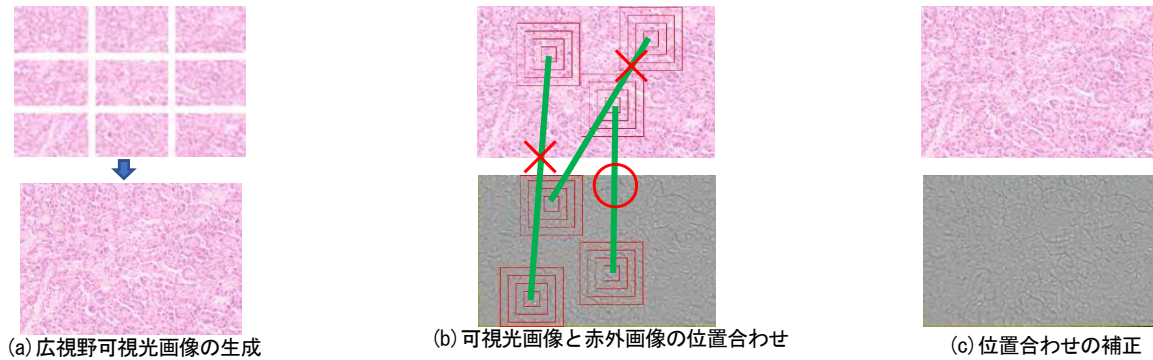


Fig. 7 Overview of the image registration process

を決定する山登り法として実装されている。XY ステージの制御については視野がある程度重なるように撮影し、得られた画像は重なり部分を削除して結合することで1枚の巨大な可視光分光画像を作成する。結合した可視光分光画像から再構成したRGB画像を図6に示す。

また、撮影時にガラス領域は解析に不要なため、撮影時間短縮のためエッジ数が5000以下の場合には可視分光画像の撮影は行わないこととした。

3.3 赤外・可視光分光画像の位置合わせ

本研究で最も難しいのは可視光分光画像と赤外光分光画像を統合し、連続したスペクトルを取得する点である。対象の病理標本は非常に薄く、染色液の吸光が主に可視光域で起こるため可視と赤外の分光画像で観察される組織構造のコントラストは大きく異なる。加えて、視野の狭い高解像度タイル画像を視野の広い低解像度画像に直接位置合わせすることは、特徴量が乏しく誤対応が生じやすいため困難である。本システムにおける位置合わせの流れを図7に示す。本研究では、まず3.2節で撮影した高解像度の可視光タイル画像を結合し、赤外光カメラの視野と同等の広視野可視光画像を生成する(図7(a))。次に、得られた広視野可視光画像と赤外光画像(図7(b))の間で特徴点マッチングを行い、対応点を抽出する。最後に、算出された変換行列を用いて可視光画像にアフィン変換を適用することで、解像度の違いを補正しつつ赤外光画像との正確な重ね合わせを実現した(図7(c))。アフィン変換は、XY方向の平行移動、回転、及び画像の拡大・縮小(スケーリング)ができるため画像間の解像度の相違を補正できる。

具体的な処理として、まず位置合わせに用いるRGB画像を両方の分光画像から再構成する。可視光分光画像(図6)はそのままRGB画像を再構成し、赤外光分光画像は1090nm(20band)、1290nm(40band)、1490nm(60band)からRGB画像を作成することとした(図8)。赤外域ではカメラ感度が低下する1090nm以下および1490nm以上の帯域を除外し、残りの範囲からRGB画像を生成した。病理標本は非常に薄いため透過性が高く、赤外画像では波長によるコントラスト変動が限定的であったことから、過度に局所帯域に依存しないよう20band間隔でサンプリングすることとした。

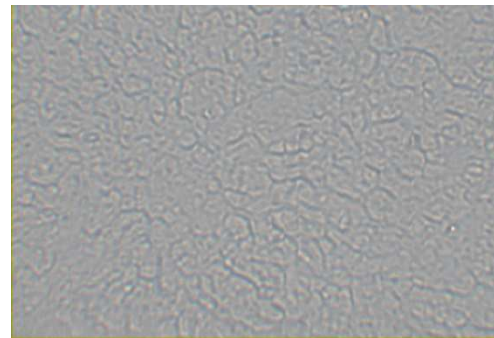


図8 近赤外光分光画像から構築したRGB画像
Fig. 8 RGB image reconstructed from near-infrared spectral

また、可視光分光画像と赤外光分光画像は900~1100nmで重複しているが、900nm以降は可視光分光画像のカメラ感度が低下するため位置合わせが困難であり位置合わせには使用していない。ここで、波長からRGB画像を生成した主な目的は、色収差によるピントのズレが大きな影響を与えていないことを視覚的に確認するためである。確認後、実際の位置合わせ処理はRec.ITU-R BT.601-7に準拠した係数による加重平均によってグレースケール画像に変換したものをを用いた。赤外光画像(図8)は、ガラス領域が暗くなるなど可視光RGB画像とは輝度分布が大きく異なるため、単純な正規化相互相関では安定した位置合わせが困難である。そこで本研究ではRandom Sample Consensus (RANSAC)^{19,20)}に基づき、最適なアフィン変換パラメータを探索する。RANSACは、外れ値が多いデータに対しても安定してモデルを推定できるため、組織構造が繰り返し現れる病理画像に適している。具体的には以下の3つのStepを200回繰り返すことにより、最もずれの少ない位置を探索した。

- Step1: 赤外光RGB画像からランダムで切り出し座標を決定する。
- Step2: 切り出し座標を中心に50×50, 100×100, 150×150, 200×200の大きさで赤外RGB画像を切り出す。
- Step3: 切り出した50×50, 100×100, 150×150, 200×200の各赤外RGB画像と可視RGB画像間で正規化相互相関を用いて位置合わせを行う。

具体的には、赤外光 RGB 画像から切り出したテンプレート画像と、可視、RGB 画像との間で J. P. Lewis らが提案した高速アルゴリズム²¹⁾に基づき、正規化相互相関マップを算出する。このマップ上で最も相関値が高いピーク位置の座標を算出する。これを 50×50 , 100×100 , 150×150 , 200×200 で切り出した画像ごとに算出し、各画像ごとに求められた位置合わせ座標の分散の平均を求める。本研究では、この一連の試行を 200 回繰り返し、その中で最も座標のばらつきが少なかったものを、最適な位置合わせ結果として採用した。このアプローチは、位置合わせに適した特徴的な組織領域がサンプリングされた場合、テンプレートのサイズに影響されず、一貫した座標が検出されるという仮定に基づいている。また、正規化相互相関で得られた座標は平行移動のみを考慮するものであり、カメラを C マウントで接続する際に生じる微細な回転や、可視・赤外カメラ間の撮像倍率の違いは考慮されないため、アフィン変換を用いて微調整を行うこととした。加えて、赤外光分光画像は可視光分光画像よりも解像度が低いいため細い血管や管等の本来明るく写る部分でエッジの影響により画像が暗くなる傾向が見られた。これは、正規化相互相関を用いて位置合わせする際に正の相関ではなく負の相関としてピークが検出されることによる。

そこで、最終的な正規化相互相関によるピーク検出では絶対値をとり負の相関も含めてピーク検出することにした。また、位置合わせを行った可視・近赤外画像を統合する必要がある。可視光分光カメラは 350~1100nm、近赤外分光カメラは 900~1700nm と重複波長があるが、可視光分光カメラは赤外域に近づくともカメラ感度が低下するため 940nm までを可視光分光画像とし、960nm 以降は赤外分光画像を採用することとした。最終的に得られた可視・近赤外光分光統合画像から取得した細胞核と細胞質のスペクトルを図 9 に示す。図 9 を観察すると、可視光域においては細胞質よりも細胞核の方が、染色液が多く入っており透過光がヘマトキシリン、エオジンの吸光帯において減少していることが確認できる。また、赤外光においては細胞核よりも細胞質の方が、透過光が減少しており、可視光分光画像とは異なる情報を取得できていることが確認できる。

4. 評価実験

4.1 実験環境

提案法の有効性検証として以下の 2 つの実験を行うこととした。①TMA 中の組織をランダムに 43 視野撮影しピントが合うかの検証、と②撮影した 43 視野の可視光分光画像と赤外光分光画像の位置合わせが成功するかの検証、である。位置合わせについては、比較のための位置合わせ法として、Matlab で実装されている正規化相互相関^{21,22)}、Speeded Up Robust Features (SURF)を用いた位置合わせ²³⁾、強度ベースのレジストレーションで実験を行った²⁴⁻²⁶⁾。以下では各位置合わせ法について概説する。

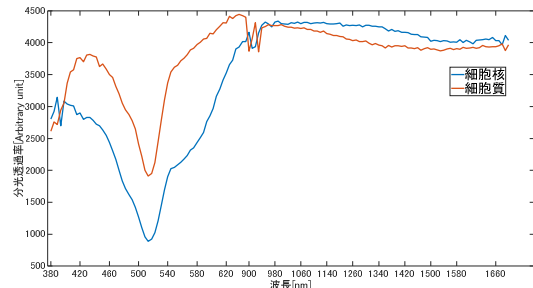


図 9 可視光・赤外光分光画像から得られたスペクトル波形

Fig.9 Spectral waveforms obtained from visible and infrared spectral images

4.1.1 正規化相互相関

正規化相互相関はテンプレートマッチングの一種であり、輝度の分布ではなく、輝度の明暗の分布が似ているかどうかで位置を合わせることができる。正規化相互相関に用いる評価式を式(1)に示す。

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x-u, y-v) - \bar{t}]}{(\sum_{x,y} [f(x,y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x-u, y-v) - \bar{t}]^2)^{0.5}} \quad (1)$$

この時、 f は可視光分光 RGB 画像、 t は切り出した赤外光分光 RGB 画像である。 \bar{t} はテンプレートの平均値、 \bar{f} はテンプレートに該当する可視光分光画像の平均値である。

4.1.2 SURF ベースの位置合わせ

SURF は Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) の高速化を実装した特徴点算出法であり、SIFT と同様に回転不変な特徴量の算出が可能である。両方の画像で、SURF でキーポイントを算出し、閾値処理で類似度の高い対応点を決定し位置合わせを行う。

4.1.3 強度ベースのレジストレーション

比較手法として、MATLAB の `imregister` 関数を用いた強度ベースのレジストレーションによる評価も行った。本研究で扱う可視光・赤外光画像は輝度関係が一定でないマルチモーダル画像であるため、単純な輝度差を用いる手法は適していない。本比較手法では、画像の輝度分布の統計的な関連性に基づき類似度を評価する相互情報量 (Mutual Information) を指標とし、その値が最大となるアフィン変換パラメータを繰り返し探索した。

4.2 可視光分光画像における組織ピント合わせの評価

本実験では、49 組織が配置された TMA スライドを用いたが、染色の過程で剥離したものや、組織が小さく撮影困難なものを除く、計 43 組織を評価対象とした。TMA 上の各組織は大きさが異なるため、図 4 に示す撮影方法に基づき、それぞれの組織全体をカバーできるよう撮影範囲を調整した。その結果、撮影したタイル枚数は横 2 枚×縦 3 枚から横 4 枚×縦 5 枚の範囲となった。提案した自動ピント合わせアルゴリズムは安定して動作し、評価対象の全 43 視野において定量的な

表 1 位置合わせ精度評価

Table 1 Evaluation of registration accuracy

位置合わせ法	成功	失敗	成功率
正規化相互相関	0	43	0%
SURF ベースの位置合わせ	0	43	0%
強度ベースの位置合わせ	0	43	0%
RANSAC による位置合わせ	30	13	70%
絶対値を含めた位置合わせ	42	1	98%

エッジ合計値の最大点を探索・決定できた。また、その結果として得られた画像は目視においても鮮明であり、本手法の有効性を確認した。

4.3 位置合わせの精度評価

43 視野での位置合わせ評価を行った。実験結果を表 1 に示す。従来法として、正規化相互相関を用いた位置合わせ、SURF を用いた位置合わせ、強度ベースの位置合わせを適用した。まず、単純な正規化相互相関では赤外分光 RGB 画像では広範囲で分布が一致しないため高い相関を得ることができなかった。次に、SURF 等の特徴点を用いる手法は病理組織では細胞核や線維などよく似た構造が散見されるため適切な特徴点の対応関係を求めるのが困難であった。また、強度ベースのレジストレーションも正規化相互相関と同様で、可視光分光 RGB 画像と赤外光分光 RGB 画像では輝度の分布が異なる場所が多いため位置に変換パラメータを推定することができなかった。なお、本手法で用いる可視・赤外分光カメラは解像度が本質的に異なるため、ピクセル単位の数値的な誤差評価は位置合わせ精度の本質的な評価指標となり得ない。そのため本研究では、構造的な対応関係の正しさを目視で確認する方法を、最も妥当な評価基準として採用した。評価基準は、血管や組織輪郭といった主要な構造の連続性と、高倍率観察における赤外画像上で判別可能な個々の細胞核の一致とした。

この基準に基づき評価した結果、提案する RANSAC に基づく手法では 43 視野中 30 視野（成功率 70%）で位置合わせに成功した。失敗例の分析から、正規化相互相関マップのピーク検出時に相関値の絶対値をとる改良を加えたところ、この基準を満たす成功視野は 43 視野中 42 視野（成功率 98%）へと大幅に向上し、その有効性が確認できた。

5. 考察

提案法により 24 症例から 43 視野の可視光・赤外光分光画像撮影を行い、全ての組織で対応する大きさの可視光・赤外光分光画像の撮影に成功した。可視光・赤外光分光画像の位置合わせにおいては、最大で 43 視野中 42 視野で位置合わせに成功した。成功例を図 10(a)～(c)に、失敗例を図 10(d)～(f)に示す。位置合わせに失敗した 1 視野（図 10(d)～(f)）の原因は、両カメラの撮像視野の大きさが異なることに起因して、撮影範囲の大半が特徴のない「ガラス領域」で占められてし

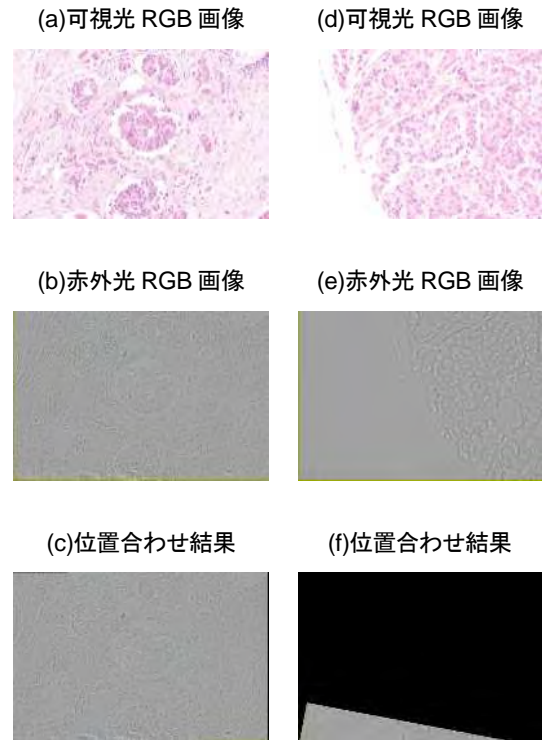


図 10 位置合わせ結果例（左列：成功例，右列：失敗例）

Fig. 10 Examples of image registration results (left: success; right: failure)

まったためと考えられる。具体的には、赤外光の広い視野の端にごく小さな組織片のみが存在していたため、それを撮影した可視光画像（図 10(d)）が広大なガラス領域を含むことになり、RANSAC が安定した対応点を見つけ出せなかったといえる。また、今回全 43 視野を撮影したが、1 視野あたりの可視光分光画像の撮影に 3～7 時間程度を要し、全組織の撮影には 1 週間程度の時間が必要であった。なお、本稿の中心課題である位置合わせの計算は撮影後のオフライン処理で行われ、本研究で用いた計算機環境（CPU: Intel Core i7-8700, RAM: 16GB）において 1 視野あたり数分程度であり、数時間に及ぶ撮影時間に比べるとごくわずかな処理時間であった。

6. まとめ

本研究では、ハイパースペクトルカメラと光学顕微鏡の XY ステージを 1 台のコンピュータで自動制御することで広範囲の視野の分光画像を取得するシステムを開発した。また、視野を移動させる際にエッジを用いてピントを評価しピントを自動的に合わせた組織画像を撮影した。検討で用いた 43 視野中 42 視野でピント合わせに成功するという結果が得られた。位置合わせに失敗した例では可視光分光画像と赤外光分光画像の撮影範囲が大きくずれていることが原因と思われる。このため、撮影時にはなるべく広い範囲で撮影し、可視光分光画像と赤外光分光画像の撮影範囲にずれが無いようにすることが重要と考えられる。

今後は、本システムを用いて可視・赤外分光画像が病理標本解析に有効であるかを検証する予定である。現状のシステムは、未知の有用な波長帯域を探索するためのハイパースペクトル撮影を行うので、1視野あたり3〜7時間という長時間の撮影が必要となり、その短縮が課題である。この探索的研究を通じて、例えばがん・非がんの判別に真に有効な特定の波長帯域が明らかにできれば、その発見された波長のみを高速に撮影する実用的な「マルチスペクトルシステム」を将来的に構築することが可能となる。これが、本研究が目指す最終的な臨床応用への道筋であり、撮影時間の大幅な短縮につながるものであるといえる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP21K19926 と埼玉医科大学保健医療学部グラント 22-011 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) M. A. Aziz, H. Kanazawa, Y. Murakami, F. Kimura, M. Yamaguchi, T. Kiyuna, Y. Yamashita, A. Saito, M. Ishikawa, N. Kobayashi, T. Abe, A. Hashiguchi, M. Sakamoto: "Enhancing Automatic Classification of Hepatocellular Carcinoma Images Through Image Masking, Tissue Changes and Trabecular Features", *Journal of Pathology Informatics*, Vol.6, No.1, pp.1–13 (2015).
- 2) M. Ishikawa, Y. Murakami, S. T. Ahi, M. Yamaguchi, N. Kobayashi, T. Kiyuna, Y. Yamashita, A. Saito, T. Abe, A. Hashiguchi, M. Sakamoto: "Automatic Quantification of Morphological Features for Hepatic Trabeculae Analysis in Stained Liver Specimens", *Journal of Medical Imaging*, Vol.3, No.2, 027502 (2016).
- 3) J. D. Webster, R. W. Dunstan: "Whole-Slide Imaging and Automated Image Analysis: Considerations and Opportunities in the Practice of Pathology", *Veterinary Pathology*, Vol.51, No.1, pp.211–223 (2014).
- 4) D. Komura, S. Ishikawa: "Machine Learning Methods for Histopathological Image Analysis", *Computational and Structural Biotechnology Journal*, Vol.16, pp.34–42 (2018).
- 5) S. Ortega, M. Halicek, H. Fabelo, G. M. Callico, B. Fei: "Hyperspectral and Multispectral Imaging in Digital and Computational Pathology: A Systematic Review [Invited]", *Biomedical Optics Express*, Vol.11, No.6, pp.3195–3233 (2020).
- 6) Y. Takara, N. Manago, H. Saito, Y. Mabuchi, A. Kondoh, T. Fujimori, H. Kuze: "Remote Sensing Applications with NH Hyperspectral Portable Video Camera", *Proc. of SPIE Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques and Applications IV*, Vol.8527, pp.243–250 (2012).
- 7) T. Abe, Y. Murakami, M. Yamaguchi, N. Ohyama, Y. Yagi: "Color Correction of Pathological Images Based on Dye Amount Quantification", *Optical Review*, Vol.12, No.4, pp.293–300 (2005).
- 8) 田代充良, 村上百合, 山口雅浩, 小尾高史, 大山永昭, 阿部時也, 八木由香子: "マルチスペクトル病理画像に基づく染色濃度調整処理の実装方法に関する検討", *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, Vol.26, No.4, pp.223–232 (2008).
- 9) S. Ortega, H. Fabelo, R. Camacho, M. L. Plaza, G. M. Callico, R. Sarmiento: "Detecting Brain Tumor in Pathological Slides Using Hyperspectral Imaging", *Biomedical Optics Express*, Vol.9, No.2, pp.818–831 (2018).
- 10) M. Halicek, H. Fabelo, S. Ortega, G. M. Callico, B. Fei: "In-Vivo and Ex-Vivo Tissue Analysis Through Hyperspectral Imaging Techniques: Revealing the Invisible Features of Cancer", *Cancers*, Vol.11, No.6, p.756 (2019).
- 11) M. Ishikawa, C. Okamoto, K. Shinoda, H. Komagata, N. Kobayashi: "Detection of Pancreatic Tumor Cell Nuclei Via a Hyperspectral Analysis of Pathological Slides Based on Stain Spectra", *Biomedical Optics Express*, Vol.10, No.8, pp.4284–4299 (2019).
- 12) 石川雅浩, 篠田一馬, 小林直樹: "分光画像による病理標本の解析技術", *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, Vol.38, No.4, pp.171–176 (2020).
- 13) N. Stone, C. Kendall, N. Shepherd, P. Crow, H. Barr: "Near-Infrared Raman Spectroscopy for the Classification of Epithelial Pre-Cancers and Cancers", *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol.33, No.7, pp.564–573 (2002).
- 14) R. Awan, S. A. Maadeed, R. A. Saddy: "Using Spectral Imaging for the Analysis of Abnormalities for Colorectal Cancer: When Is It Helpful?", *PLOS ONE*, Vol.13, No.6, e0198889 (2018).
- 15) A. V. Paterova, S. M. Maniam, H. Yang, G. Greci, L. A. Krivitsky: "Hyperspectral Infrared Microscopy with Visible Light", *Science Advances*, Vol.6, No.44, eabd0460 (2020).
- 16) G. Caron, S. J. Kessy, Y. Mukaigawa, T. Funatomi: "Direct Alignment of Narrow Field-of-View Hyperspectral Data and Full-View RGB Image", *Proc. of 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp.3201–3205 (2022).
- 17) G. Rosa-Olmeda, M. Villa, S. Hiller-Vallina, M. Chavarrias, F. Pescador, R. Gargini: "A Microscope Setup and Methodology for Capturing Hyperspectral and RGB Histopathological Imaging Databases", *Sensors*, Vol.24, No.17, 5654 (2024).
- 18) M. Villa, et al.: "Stitching Technique Based on SURF for Hyperspectral Pushbroom Linescan Cameras", *Proc. of 2021 XXXVI Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS)*, pp.1–6 (2021).
- 19) M. A. Fischler, R. C. Bolles: "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography", *Communications of the ACM*, Vol.24, No.6, pp.381–395 (1981).
- 20) Z. Hossein-Nejad, M. Nasri: "An Adaptive Image Registration Method Based on SIFT Features and RANSAC Transform", *Computers & Electrical Engineering*, Vol.62, pp.524–537 (2017).
- 21) J. P. Lewis: "Fast Normalized Cross-Correlation", *Industrial Light & Magic* (1995).
- 22) R. M. Haralick, L. G. Shapiro: *Computer and Robot Vision*, Volume II,

Addison-Wesley, pp.316–317 (1992).

- 23) H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L. Van Gool: “SURF: Speeded Up Robust Features”, Computer Vision and Image Understanding, Vol.110, No.3, pp.346–359 (2008).
- 24) M. Styner, C. Brechbuehler, G. Székely, G. Gerig: “Parametric Estimate of Intensity Inhomogeneities Applied to MRI”, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol.19, No.3, pp.153–165 (2000).
- 25) S. Rahunathan, D. Stredney, P. Schmalbrock, B. D. Clymer: “Image Registration Using Rigid Registration and Maximization of Mutual Information”, Proc. of Medicine Meets Virtual Reality 13 (MMVR13), pp.407–413 (2005).
- 26) D. Mattes, D. R. Haynor, H. Vesselle, T. Lewellen, W. Eubank: “Non-Rigid Multimodality Image Registration”, Proc. of SPIE Medical Imaging 2001: Image Processing, Vol.4322, pp.1609–1620 (2001).

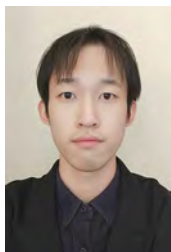
(2025 年 3 月 31 日 受付)

(2025 年 10 月 15 日 再受付)



石川 雅浩 (正会員)

2004 年 新潟大学大学院修士課程修了。2007 年同大学大学院博士後期課程修了。博士 (工学)。東京工業大学産学官連携研究員を経て 2013 年 埼玉医科大学保健医療学部助教。2018 年 同講師。2023 年より近畿大学工学部准教授。主に医用画像処理、病理画像認識、コンピュータ支援診断 (CAD) に関する研究に従事。



中村 駿

2023 年 埼玉医科大学保健医療学部臨床工学科卒業。同年 埼玉医科大学病院入職。現在 同院臨床工学技士として血液浄化業務 (透析業務) を中心とする臨床業務に従事。



小林 直樹 (名誉会員)

1981 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。2000 年 新潟大学自然科学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。1981 年 日本電信電話公社 (現 NTT) 入社, NTT 研究所勤務。2008 年 埼玉医科大学保健医療学部教授。2024 年 同大学客員教授・名誉教授, 神奈川工科大学客員教授。現在に至る。専門分野: 医用画像処理, 生体信号処理, 画像通信・符号化。ISO/IEC JTC1 SC29/WG1 国内委員会委員, IEEE, 日本生体医工学会, 日本遠隔医療学会、電子情報通信学会会員。



“Collapse” とその後

古閑 敏夫 (フェロー)

“Collapse” and Thereafter

Toshio KOGA (Fellow)

はじめに

“collapse”は、崩れる、あるいは倒れるなどを表す動詞あるいは名詞として使われる単語である。1996年 第6号の本誌コーヒブレイクには、大久保榮氏(元NTT)による実体験を基にした6個の英単語や英語表現に関する記事¹⁾が掲載されている。“collapse”はその中のトピックの一つであり、この言葉に関わる2件の出来事の中の2件目が「某社のK氏」に関するものであった。ご参考までにその部分を再掲する。

「このように会議中に出席者が倒れる事件は、1987年10月、米国レッドバンクの会合でも起きました。こちらは会議が進行中のできごとで、わが国某社のK氏が気を失いライバル会社のM氏に支えられることとなりました。近くの病院に二、三日収容されはしましたが、大事に至らなかったのは不幸中の幸いです。」

本記事では、ここで紹介されたK氏の“collapse”とそれに伴う入院の際の経験が日本とはかなり異なり、興味深いものであったので、古い話で恐縮ではあるがその一部を紹介する。

“collapse”の現場

K氏に係る“collapse”の現場は、New Jersey州 Redbankにある Molly Pitcher Inn というモーテル内の会議室である。近隣の Holmdel 地区には、11件ものノーベル賞を受賞するなど世界のトップレベルの研究成果を誇るベル電話研究所(通称:ベル研)があり、世界中の研究者たちが多数訪問していた。某社の関係者は Holmdel 訪問時にこのモーテルに滞在するのが常であった。他社の方々も多数滞在されたであろう、いわば Holmdel 巡礼時の定宿であった。ちなみにその当時ベル研が発行していた研究月報“Bell Systems Technical Journal (略称:BSTJ)”は世界中の研究者達にとってまさに「バイブル」であり、毎月の発行が待たれていた。

事の発端

1987年10月にこのモーテルにて開催された大久保氏を議長とする H.261 専門家会合での事であった。(H.261: テレビ電話・会議画像信号の ITU-T 標準符号化方式)

“collapse”の前夜は季節外れに冷え込んだのでスチーム暖房を入れたが、モーテル側の「油断」のためか作動しなかった。K氏は寒さのせいか翌朝少し熱が出たので解熱剤を服用

し、手持ちが無くなったので午前の会議終了後に買いに行くつもりであった。ハッキリした記憶はないがおそらくは午前の会議後半に頭がぐらくらし始め、ダークグリーン系のモノクロームの万華鏡のような画像が頭の中全体に広がったところで、記憶が途切れた。ふと気が付くと床上に仰向けに寝かされた状態で多くの人に取り囲まれていた。上を見あげると、丸い輪のようにつながった多くの顔があり、その間には円盤状に切り取られた会議室の天井が見えた。さながらルネッサンス時代の宗教画に見られる情景にそっくりであった。

やがて救急隊員が入室し、瞳孔を見た後に首筋や心臓付近さらに体のあちこちを触診して体調を確認した。その時点ではもう意識もはっきりして落ち着いていたが、救急車で近くの Redbank 川沿いの病院(その名も Riverview Hospital)に搬送された。この病院は車で5分程度の近距離で現在も同じ場所にあり、Redbank 地域の医療センターのようにも思えたが正確には分からなかった。

搬入された部屋は2人用で、相棒は30歳前後。入院した2泊3日の間、日中は次々に若い女性達が相棒のお見舞いに来るなど、大変華やかな病室であった。

入院初日(午後)

病室に搬入されて落ち着いた頃、K氏の治療全体を統括する言わば「主治医」が登場した。まずは、握手と自己紹介、そしてこの後に行う一連の検査概要の説明。その後、検査項目毎にそれぞれの専門医が登場し、同様に握手と自己紹介、そして各検査の内容を丁寧に説明してから検査を実施した。検査項目としては、少なくとも胸部X線撮影、脳波測定、心電図、血液検査等が含まれていた。これを見た瞬間、これでは米国での医療費が高いのは当然と感じた。悪く言えば、さながら患者に群がる医師、という構図である。やはり、患者はネギを背負った鴨なのか。

驚いたのは食事であった。午後3時頃だったか、ベッドで横になっているとウエイトレスと思われる服装の女性が近づいてきた。メニューを手に、「今日の夕食は何にしますか?」とオーダーを取りに来たのであった。しかしながら、初日の食事は緊急入院と言うことで、主治医の指示により流動食に制限されていた。仕方なくメニュー記載の流動食からセブアップ、ヨーグルト、プリンなどを選んだ。なお、翌日の朝

食およびそれ以降については普通食のメニューからの選択であった。

入院 2 日目 (午前)

各検査担当の専門医達により、それぞれの検査結果とその評価について順次説明が行われた。幸いにもすべての検査結果は「異常なし」とのことで安心した。その中で、「脳波検査」に係る専門医との会話で「私の頭の中は空っぽではなかったか？」と冗談ぽく尋ねると、彼はまじめな顔をして「中身はちゃんと入っていたよ」と答えて一緒に大笑い。

脳波検査に関する偶発的幸運

K 氏は“collapse”の数年前の出勤時に車で近隣の駅に向かう途中、信号がない交差点で出会い頭の事故にあっていた。相手側の一時停止の見落としが原因で K 氏の車は右側後部座席付近に突っ込まれ、交差点左前方に立っている電柱に激突したあげく左側後部座席ドアにその電柱が 1/3 程食い込んだ状態で停止した。決して小さくはない衝突事故であった。

この時、K 氏はそのはずみで運転席から助手席のダッシュボードまで上半身が曲げられて額をぶつけた。シートベルトをしてなかったことも一因ではあるが、その当時はしなのが普通であった。僅かながら出血があったので救急車が呼ばれ、近隣の救急病院に搬送された後すぐに脳波を含む各種の検査を受けた。この時生まれて初めて脳波検査を受けた。結果は「心配するほどの事はないが、少し異常がみられる」という診断で、経過観察のためにその後半年ほど毎月 1 回通院した。しかし状況は何も変わらないので、担当医師は「もう経過観察は不要」と言うと同時に「自分は脳波の専門医ではないので、精密な診断を望むなら専門医に相談してください」との驚くべき言葉を発した。しかし、実際には何ともなかったものでその後もずっと放置していた。

このような経過のもとに因らずも米国で脳波の検査を受けた訳である。専門医による「異常なし」との診断は、偶然ながら、これまでのもやもやした状況をすっきりと解消するまさに【神のご託宣】に思えた。

入院 2 日目 (午後)

体調もほぼ正常に回復したので、その後の予定を考えると一日も早く退院したいところであるが、その具体的な手続きが分からなかった。そこでまず看護婦さんに退院希望を伝えると、すぐに主治医に連絡を取ってくれた。やがて主治医が現れて「あなたが退院を希望するなら、私にはそれを止めることはできない」との返答。驚いたのは、退院するかどうかは、ざっくり言えば「患者が決めてよい事」と分かったことである。結果として、医師からは、退院後の移動先に近いクリニックで血液検査等を受けて異常がないことを確認してほしいとの希望が述べられ、K 氏もそれを了解して円満に翌日退院との運びになった。その時の主治医との会話の中で、「患

者の退院を承諾する」趣旨で“discharge”が使われた。電気電子系の技術者であればほとんどの方が「放電」に関する動詞ないし名詞として理解すると思われるが、辞書によれば他に「医学的根拠をもって退院を承認する」際にも使用される。確かに「放つ」との意味は共通しているので場の状況からすぐに理解できたが、そこで使われたことに驚いた。「入院患者は放電される」訳ではないのは言うまでもない。

丁度この頃、某社の米国における現地法人 (Virginia 州) に出向中の同僚が、お見舞い方々病院に来てくれたので、モーターに残したままの荷物の引き取りや宿泊費の精算などのサポートを依頼した。大変ありがたい事であった。

次に、退院を翌日に控えて気になったのは医療費の精算であった。金額はもちろん、どのように請求が来てどのように支払えばよいのか、米国内で治療を受けたにも関わらず精算は帰国してから日本で、とややこしい状況になりそうで悩ましいことであった。

入院 3 日目 (午前)

主治医が来訪し、前夜の体温検査において若干の変動があったので、「医師としては用心のためにもう一晚入院してもらって体調の安定さを確認したい」と言われた。しかし、K 氏は「退院したい」と主張した。その結果、前日話題になった「退院後に検査すること」を条件に“discharge”との最終結論になった。

入院 3 日目 (午後)

さて、まだ「難問」が残っていた。それは、どのように病院から退出するか、その具体的な方法ないし手順であった。それで、先の看護婦さんに「退院はどうすれば良いのか？」と尋ねると、あっけらかんとして「自分の荷物をまとめて出て行けばよい」との答え。すなわち、文字通り立ち去ればよい、とのことであった。「えっ、それで問題ないのか？」と思い、逡巡した。まだ精算が終わっていないのにそのまま立ち去っても構わない、とは！ 彼女いわく「後で請求書が来るよ」。この余りにもあっさりした退院に関して、前記の同僚が病院を訪れた際に「支払い保証」をしたおかげかもしれないなど一瞬考えたが、どうもそのような手続きはしてなかったようである。

結局 K 氏は病院の会計部門等に立ち寄ることもなく荷物を持って病院内のタクシー乗り場に行った。さながら夜逃げをしているように思えた。後にも先にもこのような気分になったのはこの時限りである。そして近隣のニューアーク空港からワシントン DC 行の便に乗り、数時間後にはワシントン・ナショナル空港近くのホテルに無事到着した。

翌日には近隣のクリニックを訪れて所定の検査を受けて異常がないことを確認した。その後は前記現地法人のオフィスにて引き続き 1 週間ほど勤務してから帰国した。

帰国後の精算

帰国は当初の予定通り成田を出発しておよそ2週間後となった。その後、病院及び各専門医関係の請求書が次々と自宅宛てに郵送されてきた。当初、精算については勤務先の健康保険組合に依頼した。処理には関係書類がすべて揃っている必要があるのですが、病院に「請求書は、全部で何枚、何ヵ所から来るのか」と問い合わせしてみたが「分からない」との返事であった。確かに、その病院と出入りの各専門医の所属事務所とは経営・経理は互いに独立で、「他者による請求は知らない」ということなのかもしれない。実際には、入院等に係る全般的な費用は病院から、それぞれの検査については各専門医（または、その所属事務所）から個別に自宅宛に送付されてきた。上記のように健康保険組合に依頼したものの、残念ながら事は円滑に運ばなかった。当時においても某社の海外出張者は相当多かったが、出張中に病院に行く、ましてや入院するなどはほとんど耳にすることがなかった。したがって、担当者が本件の処理に馴れてなかったとしても無理からぬことであった。

上記の状況が続く中、時間だけが経過した。そうこうするうちに、病院からであったかどうか今では不明だが「早く支払わないと本件を“collector”に廻す」との督促状が来た。“collector”は半導体でよく使われる単語ではないか。もちろん、ここでの適切な意味は「債権回収業者」であることは言を俟たない。

さすがに不安になったとき、成田空港を出発する直前にいわゆる「旅行者傷害疾病保険」を掛けていたことを思い出した。旅行者保険会社に連絡を取ると、それが使える状況であり「関連書類を送ってくれば、すぐに対応します」と言われ、その言葉にひとまず安心した。受け取った7〜8種類程度の請求書と各検査との対応を記載したメモを含む関係書類一式を旅行者保険会社に送付するとすぐに「提出された書類で十分なので精算を開始します」との連絡がありこれで「一件落着」となった。

最近の実情は不明だがかれこれ40年程前は、海外出張中にたとえ相当程度体調が悪くなくても、薬を飲みながら「何とか耐えて成田まで戻るぞ」と我慢する人が圧倒的に多かったようである。K氏の場合は失神して“collapse”した状態、すなわち自分の判断が許されないまま救急車にて搬送⇒入院なので例外的事例だったかもしれない。

むすび

業務あるいは私的のいずれであっても海外旅行中に体調不良になるのは誰にでもあり得る事である。本記事は、大久保栄氏によるコーヒブレイク記事の“collapse”項の後日談として、米国での入院の際に経験した日本国内とは大きく異なる出来事を中心に記述した。ただし、これらが当時の米国で果たして標準的であったか否かは定かではない。

なお、その後も引き続き海外出張が予想されていたK氏は

余分な心配をかけないため、本記事中の“collapse”～“discharge”について家族にはしばらく伏せておき、数年経ってから話したそうである。

参考文献

- 1) 大久保栄：「Coffee break－身体で覚えた英単語－」，画像電子学会誌，第25巻 第6号，pp.730－733 (1996)。



古閑 敏夫（フェロー）

1969年 九州大学工学部電子工学科卒業。1971年 同大学院修士課程修了。同年 NEC 日本電気(株)入社。画像符号化方式及び画像通信システムの研究・開発に従事。2000年～2012年山形大学教授(工学部)。工博。科学技術庁長官賞(研究功績者)，1990-1991 エミー賞(米国テレビジョン芸術科学アカデミー：グループ受賞)，Outstanding Paper Award (第3回デジタル衛星通信会議)，NTC'76 Best Paper Award (IEEE)，市村産業賞功績賞(新技術開発財団)，その他を受賞。IEEE Fellow, SPIE Fellow, 電子情報通信学会フェロー，本学会フェロー。

Visual Computing ワークショップ 2025 (VCWS 2025)報告

画像電子学会 Visual Computing 研究会

VC 委員長 土橋 宜典

VCWS 2025 担当幹事 澤山 正貴, 尾下 真樹

2025 年の Visual Computing ワークショップが北海道・札幌の「定山溪ビューホテル」にて 12 月 7-8 日に開催された。下記のとおり 21 件の発表があり、30 名が参加した。シミュレーション、レンダリング、モデリング、アニメーションなど幅広い分野からの研究報告があった。本年は、例年より発表件数が多く、1 件の発表に 20 分（講演 15 分、質疑応答 5 分）の時間枠となったが、活発な討論が行われ、本ワークショップの特徴である深いところまで踏み込んだ議論が行われた。以下にプログラムと講演要旨を掲載する。

プログラム

【セッション 1】 座長：佐藤 周平 (法政大学, プロメテック CG リサーチ)

(1) セル画調ボリュームレンダリングにおけるインタラクティブな色境界制御

○新重 俊樹 (北海道大学), 土橋 宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(2) SPH における水流誘導のための地形形状最適化

○木村 悠希 (北海道大学), 佐藤 周平 (法政大学/プロメテック CG リサーチ), 土橋 宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(3) 配光特性を考慮したスポットライト光跡のレンダリング高速化

○稲垣 壮哉 (北海道大学), 土橋 宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

【セッション 2】 座長：澤山 正貴 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(4) VR ヘッドセットを活用した視覚障害者向けの仮想空間探索システム

○久保田 雅也 (早稲田大学), 栗林 雅希 (早稲田大学/日本科学未来館), Renato Alexandre Ribeiro (日本科学未来館), 森島 繁生 (早稲田大学理工学術院総合研究所)

(5) 視覚障がい者向けスキーシミュレーションのための空間オーディオの提案

○田口 優汰 (早稲田大学), 平野 稔祐 (東京科学大学), 栗林 雅希 (早稲田大学), Yichen Peng (東京科学大学), Erwin Wu (東京科学大学), 小池 英樹 (東京科学大学), 森島 繁生 (早稲田大学)

(6) VR における中心窩レンダリングを目的としたタスクと注意度の関係性の調査

○山田 美緒 (法政大学), 吉井 碧人 (東京科学大学), 佐藤 周平 (法政大学/プロメテック CG リサーチ), 齋藤 豪 (東京科学大学)

【セッション 3】 座長：謝 浩然 (北陸先端科学技術大学院大学)

(7) Stable Cosserat Rods による髪質を考慮した髪の毛シミュレーション

○國見 大成 (東京大学), 金井 崇 (東京)

(8) 単眼高速度カメラ計測に基づくチョウの翅の動作アニメーション推定

○上之山 将太 (芝浦工業大学), 猪腰 大樹 (芝浦工業大学), 井尻 敬 (芝浦工業大学)

【セッション 4】 座長：齋藤 豪 (東京科学大学)

(9) Computer Graphics における広角での周辺湾曲を表現可能なカメラモデル

○馬場 雅志 (安田女子大学)

(10)微分レンダリングを用いた知覚空間探索

○澤山 正貴 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ), 土橋 宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(11)ソーティングモデルに基づく色覚障がいシミュレーション方法

○Haiqiang Zhou (University of Yamanashi), Zhenyang Zhu (University of Yamanashi), Xiaoyang Mao (University of Yamanashi)

【セッション 5】 座長：土橋 宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(12)流れ関数に基づく流体場への障害物挿入・編集手法

○陳 益漳 (東京大学大学院), 金井 崇 (東京大学)

(13)混合ガウスと距離関数を用いた固体と水の相互作用シミュレーション

○増渕 薫乃 (法政大学), 佐藤 周平 (法政大学/プロメテック CG リサーチ)

(14)スケッチを用いた拡散モデルによる煙の生成と制御

○常 恒遠 (北陸先端科学技術大学院大学), 佐藤 周平 (法政大学), 謝 浩然 (北陸先端科学技術大学院大学)

【セッション 6】 座長：横田 壮真 (筑波大学)

(15)昆虫標本の微小凹凸と反射特性を含めた 3D デジタルデータ化に関する研究

○細淵 翔太(芝浦工業大学), 西田 拓央(芝浦工業大学), 土橋 宜典(北海道大学/プロメテック CG リサーチ), 井尻 敬(芝浦工業大学)

(16)視覚特性を考慮した 3DGS の削減の検討

○吉井 碧人(東京科学大学), 齋藤 豪(東京科学大学), 澤山 正貴(北海道大学/プロメテック CG リサーチ), 土橋 宜典(北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(17)VR における中心窩レンダリングを目的としたタスクと注意度の関係性の調査

○山田 美緒(法政大学), 吉井 碧人(東京科学大学), 佐藤 周平(法政大学/プロメテック CG リサーチ), 齋藤 豪(東京科学大学)

【セッション 7】 座長：土橋宜典 (北海道大学/プロメテック CG リサーチ)

(18)拡散モデルを用いたスケッチベース錯テクスチャの生成手法

○張 永銘 (北陸先端科学技術大学院大学), 張 天宇 (北陸先端科学技術大学院大学), 宮田 一乗 (北陸先端科学技術大学院大学), 謝 浩然 (北陸先端科学技術大学院大学/早稲田大学)

(19)拡散モデルに基づく単眼地形画像の固有画像分解

○立川 駿 (法政大学), 佐藤 周平 (法政大学/プロメテック CG リサーチ)

(20)浅水方程式を用いた質量保存を保証する濡れ乾き境界を考慮した仮想絵具計算法

○阪口 丈瑠 (東京科学大学), 齋藤 豪 (東京科学大学), 佐藤 周平 (法政大学)

(21)Normalizing flow を用いた位相関数の重点的サンプリング手法の検討

○横田 壮真 (筑波大学), 金森 由博 (筑波大学)

Visual Computing ワークショップ 2025 講演要旨

(1) セル画調ボリュームレンダリングにおけるインタラクティブな色境界制御

新重 俊樹[†], 土橋 宜典^{†, ‡}[†]北海道大学, [‡]プロメテック CG リサーチ

近年、アニメやゲーム等の映像制作において、炎や煙などの流体现象をセル画調で表現するVFXの需要が高まっている。セル画調画像の生成手法の一つである減色処理において、K-Means法等の既存アルゴリズムは結果が一意に定まるため、「特定色の領域形状を意図通りに調整したい」という制作者の意図を反映した局所的な微調整が困難であった。そこで本研究では、ユーザ指定の制御点に基づき、色の境界位置をインタラクティブに編集可能なセル画調ボリュームレンダリング手法を提案する。

本手法では、まず渋川¹⁾の最適化手法を用いてボリュームデータから連続階調画像を生成する。次に、ユーザが画像上で「色を変えたい位置」と「目標とするパレット色」を指定する。システムはこれらの制約を満たすよう、グローバルなアフィン変換と局所的な放射基底関数 (RBF) を組み合わせた関数を用いてRGB色空間全体を非線形に変形 (ワーピング) させる。この最適化プロセスには、絶対的な距離ではなく各パレット色との相対的な関係を学習するTriplet Lossを導入し、L-BFGS法を用いて変換パラメータを高速に推定することで、対話的な編集を実現した。

実験の結果、提案手法によりユーザの意図に沿った直感的な境界制御が可能となることを確認した(図1)。また、アニメーション適用時にも、初期フレームの最適化パラメータを後続フレームに適用することで、ちらつきの少ない安定した結果が得られた。今後は、同一色を持つ画素の空間的な個別制御や、伝達関数パラメータとの同時最適化による生成プロセスの統合を目指す。

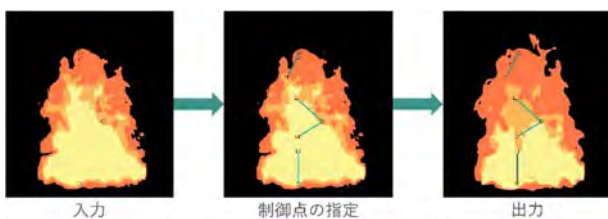


図1 提案手法による実験例

- 1) 渋川 雄平, 土橋 宜典, 山本 強: “ガス状物体のボリュームレンダリングのための特徴量に基づく伝達関数設計手法”, 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.2, pp.J66-J71 (2014).

(2) SPH における水流誘導のための地形形状最適化

木村 悠希[†], 佐藤 周平^{†, ‡, ‡‡}, 土橋 宜典^{†, ‡‡‡}[†]北海道大学, [‡]法政大学, ^{‡‡‡}プロメテック CG リサーチ

エンターテインメント分野における映像制作において、河川や滝など、地形形状に強く依存した水流表現の需要は高い。しかし、所望の流体挙動を実現するためのシミュレーションパラメータ調整は試行錯誤を伴い、アーティストにとって多大な負担となっている。従来、流体制御には外力場を用いる手法が多く提案されてきたが、物理的な不自然さが課題となる場合があった。一方で近年、シミュレーション過程の勾配情報を用いて物理パラメータを最適化する微分可能シミュレーション^{1), 2)}が注目を集めている。本研究では、この微分可能シミュレーションと類似した戦略を取り入れ、地形形状そのものを最適化変数とすることで、物理法則と整合した自然な水流を誘導する手法について検討した。

提案手法では、流体を Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)法でモデル化し、地形をハイトマップで表現する。目標軌道の指定には、重力と地形反発力のみを考慮した簡易的なパーティクルシステムを用いる。最適化問題としては、SPH シミュレーションから得られる粒子密度分布と、目標軌道から生成された目標密度分布との間の二乗誤差を最小化するように定式化した。具体的な処理として、目的関数を地形の法線ベクトルで偏微分し、勾配降下法により法線を更新する。勾配計算には連鎖律を用い、各タイムステップの粒子位置・速度の法線微分を SPH ソルバ内で逐次的に計算する手法をとった。その後、更新された法線ベクトル場に適合するように、ポアソン方程式を解くことで地形ハイトマップを再構成する。

単純な 2 次元の坂道地形を用いて本手法の検証を行った結果、最適化の初期段階では損失値の減少と目標への誘導傾向が確認された。しかし、反復が進むにつれて勾配が不安定になり、最終的には地形形状が破綻し、収束には至らなかった。この原因として、ペナルティ法による境界条件の不連続性や勾配爆発が考えられる。今後は、勾配計算の見直しや、完全な微分可能シミュレーターを用いた実装との比較検証を行い、手法の改善を目指す。

- 1) Winchenbach, R. and Thuerey, N.: diffSPH: Differentiable Smoothed Particle Hydrodynamics for Adjoint Optimization and Machine Learning (2025).
2) Li, Z., Xu, Q., Ye, X., Ren, B. and Liu, L.: DiffFR: Differentiable SPH-Based Fluid-Rigid Coupling for Rigid

Body Control, ACM Transactions on Graphics, Vol. 42, pp. 1–17 (online), DOI: 10.1145/3618318 (2023).

(3) 配光特性を考慮したスポットライト光跡のレンダリング高速化

稲垣壮彦[†], 土橋宜典^{†, ‡}

[†]北海道大学, [‡]プロメテック CG リサーチ

ステージ照明などに用いられるスポットライトは、配光特性と呼ばれる指向性のある輝度分布を持つ。この配光特性を考慮した光跡を正確に描画するには、配光特性と散乱光の積を数値積分する必要がある。光源数に比例してさらに計算コストが増加する。そのため、ライブステージのように多数の光源が使用されるシーンではリアルタイム描画が困難である。

そこで本研究では、配光特性を2次元のテクスチャとして表し、輝度計算式を「配光特性の平均値」と「散乱光積分」の積の形に近似する。これにより、両者の事前計算を可能とし、レンダリング時の積分計算を事前計算テーブルの参照に置き換えることができる。

図1に、数値積分に基づく逐次計算法と、提案法によるレンダリング結果および計算時間の比較を示す。提案法は視覚的品質を維持しつつ、計算時間を約6倍高速化できることを確認した。

提案法には、依然として光源数に比例した計算コストが残るという課題がある。今後は、ポアソン方程式を利用した補間手法を組み合わせ、複数光源を同時に処理することで、さらなる高速化を目指す。

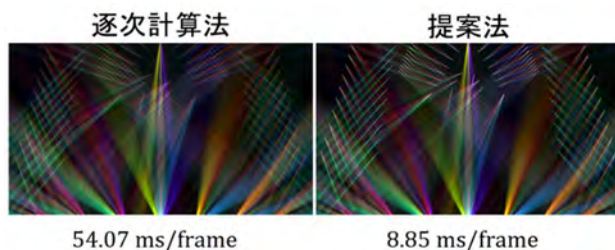


図1 レンダリング結果の比較

(4) VR ヘッドセットを活用した視覚障害者向けの仮想空間探索システム

久保田 雅也[†], 栗林 雅希^{†, ‡}, Renato Alexandre Ribeiro^{††}, 森島 繁生^{†††}

[†]早稲田大学, ^{††}日本科学未来館, ^{†††}早稲田大学理工学術院総合研究所

仮想現実(Virtual Reality; VR)は没入的な体験を提供する一方で、その情報提示は主に視覚的フィードバックに依存している。そのため、視覚障害者にとってVRを利用するこ

と、特に仮想空間を「探索」することは困難である。

これまでに、音声や振動フィードバックといった非視覚的な情報提示を活用し、視覚障害者による仮想空間の探索を支援する研究が数多く行われてきた。既存研究では、視覚障害者が仮想空間内の経路構造を理解するために、空間オーディオや振動フィードバック、音声指示を用いて経路情報を提示し、現実世界の経路の事前学習を支援するシステムが提案されている。また、ゲームコントローラなどのデバイスを用いて、視覚障害者が仮想空間内の物体位置やシーンといった空間的特徴を理解できるように支援するシステムも提案されている。しかし、これらの研究は新規的なインタラクション手法を評価することに焦点を当てており、比較的単純な環境を対象としたユーザ実験に留まっている。一方で、実用的に利用される仮想空間は、カーブや分岐を含む経路構造や多数の物体を有するような、広く複雑な環境である。このような複雑な仮想環境を探索するためには、既存研究とは異なり、ユーザが移動と周囲の状況把握を同時に行い、経路構造と空間的特徴の双方を統合的に理解することが不可欠である。

本研究では、視覚障害者が経路構造と空間的特徴の両方を統合的に理解することを支援する、VRヘッドセットを活用した仮想空間探索システムを実装した。ユーザ実験を通して、視覚障害者が仮想空間をどのように探索するのかを分析し、視覚障害者が複雑な仮想環境を理解する際の課題・好み・探索戦略を調査した。

(5) 視覚障がい者向けスキーシミュレーションのための空間オーディオの提案

田口 優汰[†], 平野 稔祐^{††}, 栗林 雅希[†], Yichen Peng^{††}, Erwin Wu^{††}, 小池 英樹^{††}, 森島 繁生[†]

[†]早稲田大学, ^{††}東京科学大学

本研究では、視覚障がい者が単独で滑走できるようになることを目標にしており、空間オーディオを活用した視覚障がい者向けスキー支援システムを提案する。

ブラインドスキーは視覚障がい者が晴眼者ガイドの「右」「そのまま」といった指示を受けることでスキーを楽しむことができるスポーツである。しかし、熟練したガイドの人数は限られており、視覚障がい者が単独で滑走できるようなシステムを作成することが求められている。従来研究でも単独での滑走を可能にしたシステムは存在するが、静的な障害物のみを対象に実験されており、他のスキーヤー

やスノーボーダーといった動的な障害物が存在する現実的な環境には適応できていない。

この課題に対応するために、本研究では障害物との距離および方向に基づいた空間オーディオフィードバックを提供することで、ユーザが移動する障害物をリアルタイムに把握・回避することを可能にするシステムを提案する。本システムでは2種類の聴覚フィードバックを設計した。1種類目が「Object Audio」(図1)というスロープ上に存在する障害物の位置を提示するサウンドで、ユーザが障害物に接近するにつれて音の発せられる頻度および音量が増加し、接近度と危険性の高まりを伝える。2種類目は「Side Audio」というコース端の位置を提示するサウンドである。

従来手法との比較および設計上の初期検証のために6名のアイマスクを着用した晴眼者を対象に予備実験を実施した。その結果、本システムは従来手法と比較して、動的環境下における障害物回避数および障害物との最短距離を改善するとともに、作業負担を軽減することが示された。

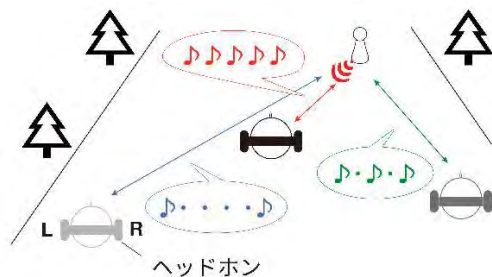


図1 Object Audio の概要図

(6) VR における中心窩レンダリングを目的としたタスクと注意度の関係性の調査

山田 美緒¹, 吉井 碧人², 佐藤 周平^{1,3}, 齋藤 豪²

¹法政大学, ²東京科学大学, ³プロメテック CG リサーチ

中心窩レンダリングは、中心視を高解像度に、周辺視を低解像度にすることで計算負担を低減する手法である。Krajancichらは、注意度の程度に対応したコントラスト感度曲線(CSF)では、既存のCSFと比べて空間周波数に依らずコントラスト感度が低下することをユーザー実験で示し、中心窩レンダリングにおいて注意度が高いほど周辺視野の解像度を下げても良い可能性を報告している¹⁾。この研究の課題として、注意度をタスク難易度に基づく離散値として扱っている点、そしてタスクをCGやVRのシーンではなく2D画像に対して行っている点がある。

本発表では、注意度に対応した中心窩レンダリング手法の確立に向けて、VRタスクと注意度の関係を調査する。まず、VR内でRSVP(Rapid Serial Visual Presentation)課題を実

施し、正誤結果に加えて瞳孔径、頭部姿勢、注視点座標を取得する。RSVP課題の1試行は、待機時間5秒、文字提示時間0.5秒、回答時間5秒で構成される。難易度は文字数 $N=1, 4, 6$ の3段階とし、各難易度につき10試行取り組む。得られた注視点座標をガウス混合モデルでクラスタリングしてArea of Interest(AOI)を自動分割し、Stationary Gaze Entropy(SGE)とGaze Transition Entropy(GTE)を算出する。最後に、項目応答理論の1つであるRaschモデルに基づき、正誤結果を目的変数、瞳孔径・頭部姿勢・SGE・GTEを説明変数として正答確率に与える影響を組み込んだ階層ベイズモデルを構築する。この階層ベイズモデルの未知パラメータを、マルコフ連鎖モンテカルロ法の一つであるNo-U-Turn Samplerにより推定する。

19名に対して上記の実験を行い、Gelman-Rubin統計量により、推定した全ての未知パラメータに対して事後分布の収束を確認した。特に難易度の事後平均は、設定した難易度レベルに応じて単調に増加する傾向を示した(表1)。また、生体情報の回帰係数に関しては、最頻密度区間(HDI)から、頭部姿勢が大きいほど正答確率が低下することが示唆され、瞳孔径も同様に負の係数となった。一方でSGEよりGTEが寄与する傾向がみられたものの、いずれもHDIが0を跨ぎ、効果は傾向レベルに留まった。今後は、瞳孔径係数が負となった要因を単純モデルとの比較で検証する。さらに、AOI設定や入力値定義の再検討、参加者数の増加、タスク設計の拡充を通して、一意的な注意度を導出できるモデルへの発展可能性について検討する。

表1 階層ベイズモデルのパラメータ推定結果

	事後平均	事後分布の HDI_3%	事後分布の HDI_97%	Gelman- Rubin統計量
難易度[低]	0	0	0	0
難易度[中]	0.343	-0.619	1.422	1.03
難易度[高]	1.585	0.605	2.523	1.06
瞳孔径	-0.441	-0.839	-0.048	1.01
頭部姿勢	-0.263	-0.514	-0.016	1.02
SGE	0.07	-0.323	0.49	1.02
GTE	0.112	-0.324	0.679	1.02

1) Krajancich, B., Kellnhofer, P., & Wetzstein, G. (2023). Towards attention-aware foveated rendering. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 42(4), Article No. 77.

(7) Stable Cosserat Rods による髪質を考慮したシミュレーション

國見 大成, 金井 崇

東京大学

本研究は、Vertex Block Descent(VBD)という物理シミュレーションフレームワーク上で、Cosserat Rods と呼ばれる、曲げ、ねじり、伸び、せん断を考慮した1次元のロッド状の物体をシミュレートする手法である Stable Cosserat Rods(SCR)¹⁾を髪の毛シミュレーションに適用した場合に発生する種々の問題の解決を試みつつ、従来の髪の毛シミュレーションでは考慮されていなかった髪質という要素について議論を行うものである。

第一の問題として、SCR では、パラメタの物理的な意味が失われているという事柄が挙げられる。この問題は、シミュレーション結果の制御が難しくなるという状況を引き起こす。その上、髪質についての意味のある議論も難しくなる。そこで、ヤング率 E_s と、曲げ剛性の理論値からの逸脱量 δ_b を新しいパラメタとして定義し、 δ_b に対して、ロッドの断面の不均質さという解釈を与えた。また、 δ_b を用いて髪質を表現できるという仮定を提示した。

第二の問題として、SCR を単に髪の毛シミュレーションに適用しただけでは、髪の毛のくせなど、局所的な形状を保持できないという問題がある。その問題に対処するために、シミュレーション空間上の髪の毛の初期状態から重力の影響を取り除く手法として知られる Sag-free 化を、新しい定式化した上で適用した。しかしながら、この手法では上記の問題の解決することはできなかった。

今後の課題として、第二の問題の根本的な原因を追究するとともに、その問題を解決する方法を考案することが挙げられる。

- 1) Jerry Hsu, Tongtong Wang, Kui Wu and Cem Yuksel. 2025. Stable Cosserat Rods. In Proceedings of the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Conference Papers (SIGGRAPH Conference Papers '25). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 75, 1–10.
<https://doi.org/10.1145/3721238.3730618>

(8) 単眼高速度カメラ計測に基づくチョウの翅の動作アニメーション推定

上之山 将太, 猪腰 大樹, 井尻 敬

芝浦工業大学

飛翔するチョウは、多くの映像コンテンツで用いられる表現である。チョウのアニメーションは、翅にリグを配置し、リグの時間変化を指定することで生成可能であるが、制作に多大な労力がかかる。加えて、実際の飛翔時の翅には空気抵抗を受けて「しなる」ような複雑な変形を伴うが、

これを手作業で表現するのは難しい。

そこで本研究では、チョウの正確な飛翔アニメーション生成を目的とし、単眼高速度カメラ計測に基づく翅動作の復元手法を提案する。提案手法は、単眼高速度カメラで撮影したチョウの飛翔動画を入力とし、翅の特徴点追跡・剛体位置合わせ・微分可能レンダリングを順に適用することで、蝶の翅の3次元的な動きを復元する。

提案手法では、以下の4ステップでアニメーションを復元する。1) 高速度カメラによるチョウの飛翔の撮影を行う。飛翔するチョウを背中側から翅を広げた際に翅がカメラの正面を向くように撮影する。2) 動画像中の翅の特徴点追跡を行う。この追跡のため、オプティカルフローに沿って特徴点を動かす半自動追跡ツールを提案する。1回の羽ばたきストロークを翅の位置に応じて4つの区間の場合分けし、各区間に応じて追跡方向を逆転させることで堅固な追跡を実現する。3) 続いて、入力動画から平面的な翅のテンプレートモデルを作成し、追跡した特徴点を利用してこのテンプレートモデルの3次元姿勢を推定する。4) 最後に、微分可能レンダリングを用いて、姿勢推定した平面的な翅テンプレートの非剛体変形を計算する。

提案手法の有用性を確認するため、複数のチョウの高速度動画より翅のアニメーションを作成した。その結果2Dテンプレートの3次元姿勢推定については概ね良好な結果を確認した。また、微分可能レンダリングにより空気抵抗を受けて「しなる」ような動きが一部のフレームで復元できた。一方、微分可能レンダリングによる変形結果が不安定であるという課題がある。今後、フレーム間一貫性を考慮することで安定化を図りたい。また、提案手法は手動に依存する工程が多いため、その自動化も今後の課題である。

(9) Computer Graphics における広角での周辺湾曲を表現可能なカメラモデル

馬場 雅志

安田女子大学

実世界では、より広い範囲を撮影できるレンズとして、広角レンズや魚眼レンズが使用されている。しかし、CGにおけるカメラモデルでは、90度以上の画角で透視投影を行うと物体の間延びなど不自然な点が生じるため、90度以上の広角が使用されることはほとんどない。魚眼レンズを使用すると視野角180度が実現できるが、透視投影とは投影モデルが異なるため、ズームレンズのように望遠から広角まで連続的に変化させることはできない。馬場らは、通常の透視投影を行うカメラモデルの前面に仮想的なメ

メニスカスレンズを付加することにより、広角での周辺湾曲を表現する手法を提案している¹⁾。しかしながら、メニスカスレンズの形状を決定するためのパラメータが多数あり、所望する効果を得るためにはそれらを試行錯誤により決定する必要がある。また、画像生成にはレイトレーシング法を用いており、パラメータ変更のたびに画像を生成するには時間がかかる。

本研究では、任意の画角の画像を生成するためのカメラモデルとして魚眼レンズの射影方式を採用する。

また、画像生成時には、まずキューブマップ用の6面の画像を生成し、その6枚の画像から正距円筒画像を作成し、魚眼レンズの射影方式により任意画角の画像を生成する。

提案手法により作成した画像を図1に示す。この画像は、魚眼レンズの射影方式のうち等距離射影方式により作成された画角150度の画像である。図1より、広角時の周辺湾曲が表現できていることがわかる。

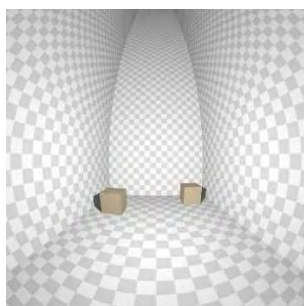


図1 等距離射影方式により作成した画像

- 1) 馬場雅志, 藤木陽太, 古川亮, 宮崎大輔:「メニスカスレンズ付加による広角での周辺湾曲を表現したCG画像の生成」, Visual Computing 2020, pp. 3-1-3-6 (2020).

(10) 微分レンダリングを用いた知覚空間探索

澤山 正貴, 土橋 宜典

北海道大学/プロメテック CG リサーチ

物理ベースのパラメータによるCGの制御は、フォトリアリスティックな質感を再現する上で有効である一方、ユーザーにとって直感的な操作が難しいという課題がある。この問題に対し、レンダリングパラメータと人間の知覚との対応関係を明らかにするための知覚空間探索が数多く試みられてきたが、その知覚空間構造はいまだ十分に理解されていない。これは、レンダリングパラメータが本質的に多次元であるのに対し、知覚計測に用いられる心理物理学的手法の多くが、一次元的な刺激変化に対する知覚量の測定を前提として設計されており、多次

元空間の探索には大きな測定コストを要することが、主要な要因のひとつである。

本研究では、微分可能レンダリングにおけるパラメータ最適化軌跡に着目し、未知の多次元知覚空間を効率的に探索する手法を提案する。微分可能レンダリングによるレンダリングパラメータの最適化では、所望の画像を目標として、多次元パラメータ空間上における連続的な最適化軌跡が、初期値から一次元の経路として生成される。さらに、画像の平均二乗誤差を損失関数とし、確率的勾配降下法によって最適化を行う場合、初期値近傍における最適化軌跡は、画像のパラメータ勾配方向に沿った直線的な挙動を示しやすいという特性をもつ。本研究では、これらの特性を利用し、一次元軌跡上における画像の知覚距離を計測することで、多次元レンダリングパラメータ空間に対応する知覚の部分空間を推定する方法について議論する。

(11) ソーティングモデルに基づく色覚障がいシミュレーション方法

ゾオ ハイチン, 朱 臻陽, 茅 曉陽

山梨大学

本研究では、色のソーティング結果に基づいて、色覚障がい (Color Vision Deficiency : CVD) ユーザの固有色覚空間をシミュレーションする手法を提案する。具体的には、Farnsworth-Munsell 100 Hue Test (100-Hue) における色キャップの並び順を、個人の知覚特性を反映した行動データとして捉え、個人の色覚空間のモデリングを行う。

色覚障がい (CVD) は代表的な先天性視覚特性の一つであり、色の識別および弁別能力に影響を与える。従来の CVD シミュレーション手法の多くは、生理学的モデルに基づき、タイプ (Protan, Deutan など) および度合を想定して正常色覚空間における色の変換を行ってきた。しかし、既存の生理学的シミュレーションモデルにおける重症度パラメータは、実際の CVD ユーザの行動的あるいは知覚的な反応から直接推定することが困難であり、その結果、個人化された知覚モデリングへの適用性が制限されている。

提案手法は二段階構成からなる。第1段階では、色集合を入力として知覚的な並び順を推定する色ソーティングモデル[2]を構築する。実ユーザデータの不足を補うため、Machado らの生理学的 CVD シミュレーションモデルを用い、異なるタイプおよび度合を仮定した仮想 CVD ユーザの 100-Hue 並び順データを生成し、これを用いてソーティングモデルの事前学習を行った。また、人為的な操作

誤差を考慮するため、近傍色キャップの入れ替えに基づくノイズを導入した。第2段階では、ユーザに提示した色キャップ集合を入力とし、実際のソーティング結果を正解とし、第1段階で学習したソーティングモデルを固定したまま、残差型の色マッピングモデルを学習させることで、ユーザ個人の色覚空間を獲得する。評価実験では、複数のCVD参加者を対象として定量的評価および可視化結果の比較を行った。その結果、提案手法はMachadoら[1]の結果と比べて、Spearman相関係数やKendall係数といった複数の順位一致指標において改善を示した。以上より、残差型色マッピングモデルを用いて、CVDユーザによる100-Hueテスト結果から個人の色覚空間をシミュレーションでできる可能性が示唆された。

- 1) G. M. Machado, M. M. Oliveira, and L. A. F. Fernandes, "A physiologically-based model for simulation of color vision deficiency," IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., vol. 15, no. 6, pp. 1291-1298, Nov. 2009.
- 2) J. Kim, J. Yoon, and M. Cho, "Generalized neural sorting networks with error-free differentiable swap functions," arXiv preprint arXiv:2310.07174, 2023.

(12) 流れ関数に基づく流体場への障害物挿入・編集手法

CHEN Yizhang, 金井 崇

東京大学

流体シミュレーションは映像制作やゲーム開発において広く用いられているが、計算コストが非常に高い。既存の流体シミュレーション結果に新たな障害物を追加した場合、従来は最初から再シミュレーションを行う必要があった。本研究では、既存の流体場に対して障害物を編集的に挿入する手法を提案する。

本手法は流れ関数に基づいている。非圧縮性流体の速度場は流れ関数の回転として表現でき、自動的に発散ゼロの条件を満たす。流れ関数はポアソン方程式を解くことで得られ、GPU加速により前計算として高速に完了する。

図1に示すように、提案手法は3つの主要コンポーネントから構成される。まずは障害物の距離場とC1連続性を持つラング関数を用いて流れ関数を修正し、障害物付近で滑らかに減衰させる。続いて幾何的な高曲率解析と圧力勾配情報を組み合わせて分離点を検出する。本手法は非粘性流体フレームワークで動作するが、ベルヌーイの式を用いて粘性効果を近似的に捉える。その後、検出した分離点にLamb-Oseen渦モデルを用いて渦を生成し、修正された流れ関数と重ね合わせて全体の流れ関数を再構築する。渦の循環強

度は圧力勾配に応じて適応的に増幅される。最後に、再構築された速度場で密度を移流し、最終的な可視化結果を得る。

実装はPhiFlowとJAX NumPyをベースとし、256×256解像度のシミュレーションにおいて、再シミュレーションと比較して約3~4倍の高速化を達成した。提案手法の計算オーバーヘッドは移流コストの20%未満であり、インタラクティブな編集アプリケーションに実用的である。

今後の課題として、境界での数値異常の処理、障害物内部への密度移流の防止が挙げられる。また、3D流体編集への拡張、効率的なデータ構造の開発、C++への実装移行を計画している。

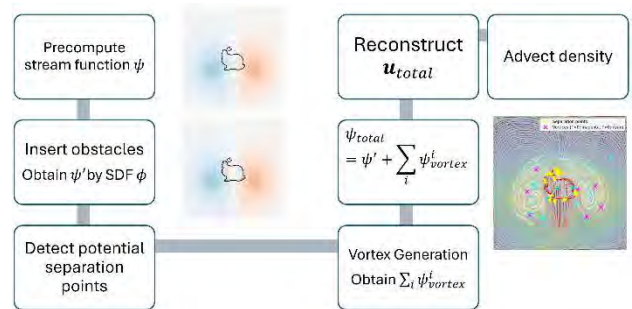


図1 提案手法の全体フロー

(13) 混合ガウスと距離関数を用いた固体と水の相互作用シミュレーション

増淵 薫乃[†], 佐藤 周平^{†,‡}

[†]法政大学, [‡]プロメテック CG リサーチ

コンピュータグラフィックス(CG)の分野では、これまでに流体をシミュレーションするための手法が数多く提案されている。その中でも本研究では、固体とのインタラクションに焦点を当てる。これまでの流体-固体のインタラクション手法では、流体の近似サイズに比べて大きな固体や、砂など球体として近似可能な固体を対象としている手法がほとんどであり、ラメやプラシートの薄板や、異方性のある小片を扱うような手法はCGの分野には存在しない。本研究では、そのような薄板や小片などの微小固体の水中での動きを再現するためのシミュレーション手法を提案する。本手法のポイントは、微小固体を符号付距離関数(SDF)と混合ガウス(GMM)とのハイブリッドで表現することである。符号付距離関数により固体同士の衝突に係る力を計算し、混合ガウスにより流体との相互作用により発生する力を算出する。これによりそれぞれの表現の特徴を活かした精度の良い計算を効率的に行うことができる。提案手法により、センサーボトルのような、微小固体が

多数水中を動き回るような、CGにおいてこれまで表現されていないシーンをシミュレーションできる。

本手法では、FLIP (Fluid Implicit Particle)により流体をシミュレーションする。固体同士の衝突では、一方の固体の表面上に配置したサンプル点が、もう一方の固体にどの程度めり込んでいるかを、各サンプル点位置でのSDFの値を参照することで取得し、その値を基に衝突時の力を計算する。流体と固体との相互作用では、固体を複数の異方性ガウス関数の集合として定義し、各ガウスを楕円体として考えた場合に解析的に得られる投影面積から、抗力や揚力等を低コストで算出する。

提案手法による実験の結果を図1に示す。図1ではハート形になるようにガウス関数を2つ並べた固体を作成し、流体中での動きを提案手法により計算した。固体から流体への力は現状で未実装であるが、ある程度尤もらしい挙動となった。今後は固体から流体への力の実装や、固体を複数のガウスにより自動で近似するための最適化手法の開発を進める予定である。

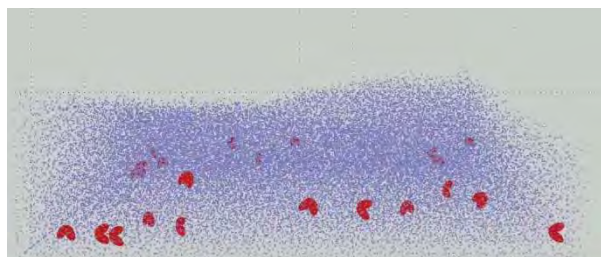


図1 ハート形の固体でのシミュレーション例

(14) スケッチを用いた拡散モデルによる煙の生成と制御

常 恒遠[†], 佐藤 周平^{††}, 謝 浩然[†]

[†]北陸先端科学技術大学院大学, ^{††}法政大学

本研究では、2Dの煙動画の生成のため、二段階の拡散モデルに基づくビデオ生成フレームワークを提案した。提案手法の第一段階は、入力スケッチから流れ関数を生成し、可視化操作で流れ関数の可視化結果を計算する。同時に、入力スケッチからマスクされたスケッチを編集し、煙動画の最初参照フレームを生成する。第二段階の煙動画の生成は、テキスト、参照フレーム、可視化された流れ関数三つの条件を入力し、共に煙動画の生成を制御する。速度場から抽出された流体運動を記述するスカラー特徴量である流関数を、運動制御条件として用いることで、煙動画の生成を制御する。本研究では、生成された参照フレームに対してスタイル変換を適用し、得られた煙のイラストに対して運動制御および動画生成を実現する。最後に、本研究では生成される煙動画の正確性と安定性をさらに向上させる

ため、今後は異なる生成モデルのフレームワークの変更を検討する。

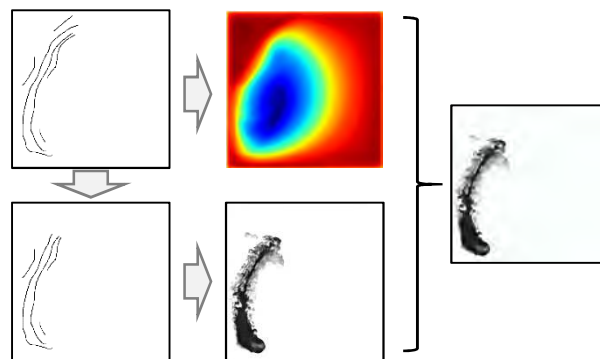


図1 提案手法の概要

(15) 昆虫標本の微小凹凸と反射特性を含めた3D デジタルデータ化に関する研究

細淵 翔太[†], 西田 拓央[†], 土橋 宜典^{††,†††}, 井尻 敬[†]

[†]芝浦工業大学, ^{††}北海道大学, ^{†††}プロメテック CG リサーチ

昆虫標本の長期保存には経年劣化や保管スペースを要するといった課題があるため、計測に基づく標本のデジタルデータ化手法の確立が求められている。昆虫標本のモデリングを行う既存研究として、形状とアルベドを復元するもの¹や、形状・アルベド・ラフネスの復元を目指す手法²が挙げられる。本研究では、既存手法²を拡張し、昆虫標本の形状・アルベド・ラフネスに加えて、法線マップも復元するデジタルデータ化手法を提案する。

提案手法では、2本の線形光源下で昆虫標本を回転させながら撮影することで多視点写真を取得し、フォトグラメトリを適用することで標本の3次元モデルと各写真の視点位置を復元する。次に、各写真を3次元モデル上に逆投影することで、モデル表面上の各点における反射率プロファイルを取得する。この反射率プロファイルは、モデル上の各点の上を線形光源とカメラが移動した際に計測される色の変化を表す。続いて、モデル上の各点において、計測された反射率プロファイルに解析的なBRDFモデルがフィットするようにラフネスの値を最適化する。最後に、微分可能レンダリングを用いて、アルベド・ラフネス・法線オフセットを推定する。

提案手法により復元された3次元モデルの例を図1に示す。本発表では、既存手法²との比較を通して、提案手法の有用性を確認した。今後の課題として、法線マップに残存するノイズの低減や、カメラ位置推定誤差のさらなる改善などが挙げられる。

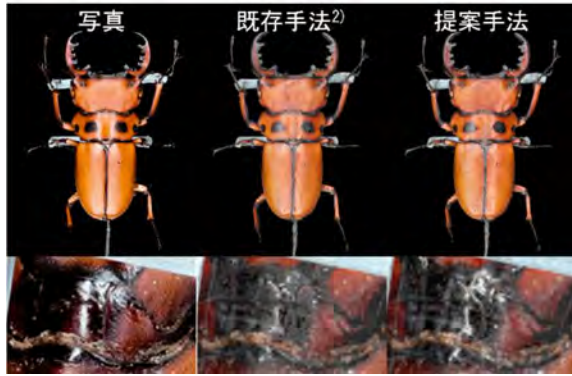


図1 提案手法による写真とレンダリング結果の比較

- Thanh-Nghi Doan and Chuong V. Nguyen. A low-cost digital 3d insect scanner. Information Processing in Agriculture, Vol. 11, No. 3, pp. 337–355, 2024.
- 西田拓央, 藪本悠紀, 土橋宜典, 井尻敬. 線形光源下における多視点フォーカスブラケット撮影による微小標本の反射特性推定. Visual Computing, poster, 2024.

(16) 成長シミュレーションを介した画像からの結晶の3次元再構成

桐原 暖人[†], 津田 康汰[†], 佐藤 周平^{†,††}

[†]法政大学, ^{††}プロメテック CG リサーチ

多面体結晶の3Dモデルは、エンターテインメント分野から学術的用途まで幅広く用いられている。しかし、結晶モデルを一から作成するには手間と専門知識が必要である。また、既存の三次元再構成手法では、多視点の画像を必要とする点や透明物体の再構成が困難である点が課題である。そこで本研究では、結晶の成長シミュレーションに基づく最適化により、単眼画像から結晶を個別に三次元再構成する手法を提案する。

提案手法では、まずSAM2¹⁾を用いて入力画像を結晶ごとにセグメンテーションし、目標となる結晶マスクを取得する。次に、結晶形状を決定するパラメータとして成長率、シード位置、成長方向を定義する。これらのパラメータに基づき、ボリューメトリックな成長シミュレーション²⁾を行い、結晶の3D形状を生成する。そして生成された3D形状をレンダリングして得られる2Dマスクと入力マスクとの一致度を、IoUに基づく目的関数として評価する。最適化は、結晶ごとにパラメータの各成分を微小に変化させてシミュレーションし、目的関数の値が減少する更新のみを適用することで行う。

図1に結果を示す。実験の結果、水晶や緑柱石などの合成データにおいて、単眼画像から各結晶の形状や配置を良好に再現できることを確認した。しかし、結晶同士が重な

り合っている場合には、正確なシード位置を特定できないという課題がある。今後は、前面にある結晶を基に背後の結晶形状を推定する手法を検討し、より複雑な結晶においても高精度な三次元再構成を目指す。

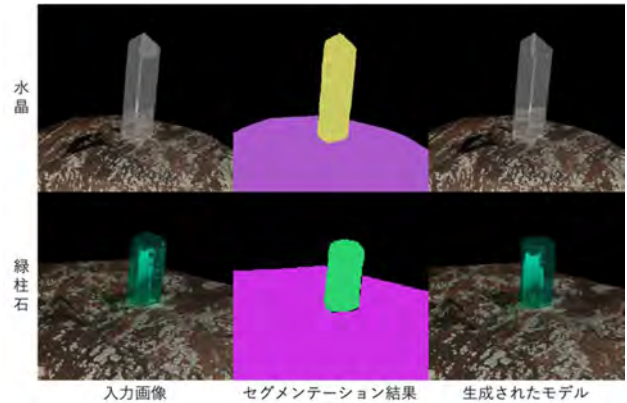


図1 提案手法による実験結果

- Nikhila Ravi et al., "SAM 2: Segment Anything in Images and Videos", arXiv preprint arXiv:2408.00714 (2024)
- 田宮 聖之, 土橋 宜典, "多面体結晶の集合体のモデリングとその評価指標に関する一検討", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J104-D, No.10, pp.776-777 (2021)

(17) 視覚特性を考慮した3DGSの削減の検討

吉井 碧人[†], 齋藤 豪[†], 澤山 正貴^{††}, 土橋 宜典^{††}

[†]東京科学大学, ^{††}北海道大学, プロメテック CG リサーチ

3D Gaussian Splatting¹⁾ (3DGS)は、3次元シーンを多視点画像から多数の3次元ガウス分布で再構成する手法である。各ガウシアンは位置、回転、大きさ、色、透明度のパラメータを持ち、これらを画面上に投影することで高品質なシーン描画を実現する。しかし、高い描画品質を得るためにはシーンあたり数十万から数百万規模のガウシアンが必要となり、描画計算コストやメモリ消費量に課題が残る。

本研究では、ヒトの視覚特性に基づき、視覚的な品質を維持した3DGSにおけるガウシアンの削減を検討しており、我々はヒトの視覚特性の1つであるコントラスト感度関数(CSF)に注目し、Foveated Renderingで用いられる輝度CSFに基づいて二つのコントラスト間の視覚的差異を評価するモデル²⁾をガウシアンの視覚的品質評価に適用し、さらに、この評価を階層化されたガウシアンのレイヤ選択に用いることで、視覚的品質を保ちながら描画するガウシアンの数の削減を試みた。

本手法は、事前処理として3DGSで再構成されたガウシアンのシーンに対して3段階のレイヤでガウシアンを階層化する。階層化は、近傍の複数ガウシアンを1つに統合す

ることで行う。描画するガウシアンレイヤ選択では、レイヤごとにガウシアンをフーリエ変換することで空間周波数ごとのコントラストを求め、輝度CSFに基づいてレイヤ間のガウシアンの視覚的な差異を評価する。レイヤ間で視覚的差異が小さいと評価された場合は統合されたガウシアンを描画し、視覚的差異が大きいと評価された場合は統合前のガウシアンを描画する。なお、評価に用いる輝度CSFは、ガウシアンの表示位置と被験者の注視位置からなる偏心度を考慮して計算される。

階層化前のガウシアンによる描画結果と本手法による描画結果の比較より、描画されたガウシアンの数が減少している一方で、注視点を固定した場合に視覚的な差異が小さいことが確認された。今後は、被験者実験や他手法との比較を含む評価実験を行う予定である。

- 1) Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkuehler, T., & Drettakis, G. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. ACM Transactions on Graphics, 42(4), 2023.
- 2) Tursun, O. T., Arabadzhyska-Koleva, E., Wernikowski, M., Mantiuk, R., Seidel, H. P., Myszkowski, K., & Didyk, P. Luminance-contrast-aware foveated rendering. ACM Transactions on Graphics, 38(4), 2019.

(18) 拡散モデルを用いたスケッチベース錆テクスチャの生成手法

張 永銘¹, 張 天宇¹, 宮田 一乗¹, 謝 浩然^{1,2}

1. 北陸先端科学技術大学院大学 2. 早稲田大学

ユーザーが所望する特定の錆テクスチャを作成することは、その材質の複雑さゆえに、従来の描画手法やGAN等の生成アルゴリズムでは困難であった。そこで本研究では、ControlNetモデルに基づき、Control MapとAge Mapによる誘導を行うことで、より高品質な錆画像生成を実現する拡散モデルの生成フレームワークを提案した。

提案手法では、生成の誘導にあたり2種類の間画像を導入した。Age Mapは連続性を持ち、錆の成長パターンを表現するものである。一方、Control Mapは離散的な特性を持ち、錆の腐食度合いを表現するものである。具体的には、まず入力スケッチから対応するControl Mapを生成し、そのControl Mapを用いて最終的な画像を生成する。これらをPix2PixやSDXL 1.0ベースの学習済みモデルと組み合わせることで、入力スケッチの構造を維持しつつ、天然の錆に近い複雑なテクスチャ生成を実現した。定量・定性評価においても、ベースラインと比較して構造的安定性と写実性の向上が確認された。

現在は、時系列整合性を持つ錆の成長シミュレーションの構築に取り組んでいる。これはAge Mapを時間経過に伴い拡張処理し、対応するControl Mapを生成することで、錆が徐々に拡大する効果を表現するものである。

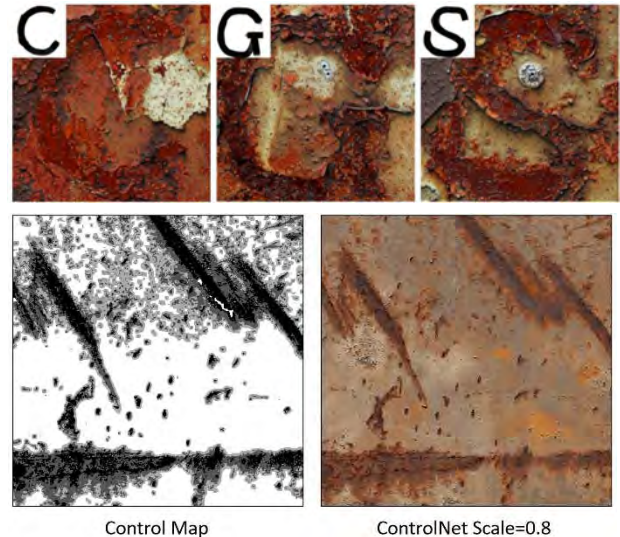


図1 生成結果

(19) 拡散モデルに基づく単眼地形画像の固有画像分解

立川 駿¹, 佐藤 周平^{1,2}

¹法政大学, ²プロメテック CG リサーチ

深層学習に基づく画像生成技術の発達により、リテクスチャリングや再照明といった技術が注目されている。これを実現するためには、入力画像からマテリアル等の固有成分を分解する必要があるが、既存研究の多くは近距離物体を対象としており、大規模な自然地形画像に対してはうまく推定できない。そこで本研究では、地形画像に特化したデータセットおよび、固有画像分解手法を提案し、我々のアプローチの有効性についてリテクスチャリングや再照明への適用を通して実験、検証する。

提案手法では、アルベド等のマテリアル成分に加え、鏡面反射を考慮したカラーシェーディングと霧マップを固有成分として採用した。これによりアルベドと、地形画像に多く含まれる水域の反射や大気成分による色の変化を別々に捉えることができる。様々な地形画像に対して、これらの成分を頑健に推定するために、独自の合成地形データセットを構築する。我々はランダムノイズに基づいて3D地形モデルを生成し、勾配に基づいて崖や地平面など計4領域に分割、それぞれに異なるテクスチャや季節変化を考慮したアセットを配置することでリアルな地形データを作成した。このモデルの各パラメータを、大気パラメータ

と合わせて制御する．こうして得た多様な合成データで、既存の拡散画像変換モデルを微調整することで固有画像分解モデルを得た．実験では、各成分を、同様の合成データで訓練された条件付き拡散モデルに入力することで、画像編集が可能かについて調査した．実験の結果、合成画像に対する定量評価で従来手法よりも高い推定精度を示し、**図 1** のように実画像に対して頑健な画像分解と、季節や大気パラメータを変化させるような画像編集が可能であることがわかった．

現状、固有画像分解における水域の誤推定や、画像編集における各成分の編集方法の正確性に課題がある．これに対して我々は、セグメント情報の導入による一貫性のある画像分解や、数値パラメータによる生成結果の制御等を検討している．

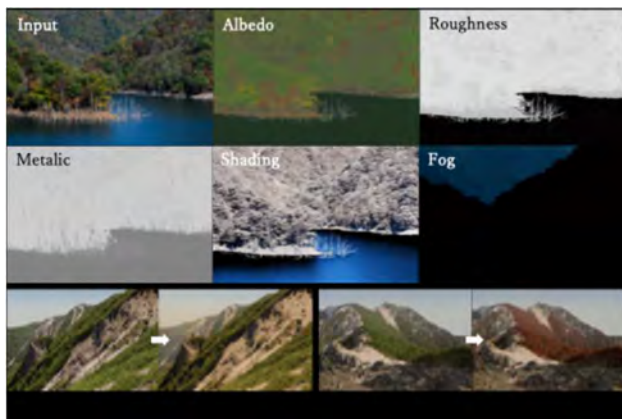


図 1 実画像に対する固有画像分解と画像編集結果

(20) 浅水方程式を用いた質量保存を保証する仮想絵具の高解像度シミュレーション

阪口 丈瑠[†], 齋藤 豪[‡], 佐藤 周平^{†, ††}

[†]東京科学大学, [‡]法政大学, ^{††}プロメテック CG リサーチ

ペインティングアプリケーションでは、アーティストが作品を製作している間、つまり実時間で何時間もの稼働が予想される．発色の品質は絵具薄膜の厚みに依存するため、このような長期間の絵具計算では質量保存性の精度が重要となる．しかし、3DCGにおける薄膜表現で主流な粒子法は、計算コストや解像度の制限から絵具に不向きである．そこで、本発表では、1)で提案されているマルチモーメント有限体積法(MM-FVM)による仮想絵具表現に適した流体計算モデルを報告した．MM-FVMは、体積平均積分(VIA)に加えて点値(PV)を計算補助として用いる．これにより、計算コストを抑えつつ高精度質量保存と高次精度の自由表面構築が可能となり、絵具計算に適する．支配方程式は浅水方程式(SWE)でモデリングされ、メモリ効率の良

い計算による高解像度シミュレーションの実現や高さ場を用いた効率的な色計算への拡張が容易である．

また、絵具を対象とする場合、濡れ乾き境界の取り扱いが課題となる．境界では、絵具流出量や自由表面の不連続性に対して適切な対策を行わなければ、質量保存精度や自由表面の滑らかさが損なわれてしまう．本モデルでは、MM-FVMによる濡れ乾き境界を含む流体計算法に焦点を当て、流出量に基く濡れ乾き境界の追跡を考慮している．濡れセルではPVとVIAを用いてセル間の自由表面を再構築し、semi-Lagrange手法で移流を計算するが、濡れ乾き境界では、特性曲線がその境界で途切れてしまう．そこで、本モデルでは、絵具の流出に伴い乾きセルへ外挿されるPVを用いて特性曲線を延長する．外挿された高さPVが十分大きければ、乾きセルが濡れたとみなして、境界を前進させる．このとき、流出量は境界セルのVIAとして定められるため、質量は数値的に保存される．

本手法を1次元流れ場用実装し、液滴のダムブレイク実験を行った．結果として、開始直後の乾きセルへの流出は望んだ挙動であったが、薄く広がるにつれて数値安定性が損なわれていく様子が確認された．原因は、境界の速度が上昇して多量の流出が発生した結果、外挿による境界の推定精度が低下し、PVとVIAの整合性が損なわれたためであると予想される．今後は、この問題の解決や表面張力の導入、2次元への拡張に取り組む予定である．

1) Toda, K. et al.: Multi-dimensional conservative semi-Lagrangian method of characteristics CIP for the shallow water equations, J. Comput. Phys, Vol. 228, No. 13, pp. 4917–4944 (2009).

(21) Normalizing flow を用いた位相関数の重点的サンプリング手法の検討

横田 壮真, 金森 由博

筑波大学

位相関数は、関与媒質における 1 回の散乱イベントにおいて、入射光がどの方向に散乱されやすいかを表現した球面上の確率密度関数 (pdf) である．コンピュータグラフィックス (CG) 分野では、主に関与媒質のボリュームレンダリングに用いられる．CG における位相関数の表現には、形状をルックアップテーブル (LUT) として保持する方法と、パラメトリックな pdf で近似する方法がある．LUT は、十分な解像度を用いることで、関数の形状を精度よく近似できるが、メモリを圧迫するうえ、重点的サンプリングには通常 LUT の探索処理が必要になる．対して、パラ

メトリックな関数は、解析的な重点的サンプリングを行える一方で、表現力の制約により、位相関数の特徴的な分布形状を十分に近似できず、視覚的に重要な光学現象を再現できない場合がある。

そこで、本研究では Normalizing flow を用いた位相関数の解析的かつ高精度な近似手法を提案する。パラメトリックな基底分布に沿う確率変数を、位相関数の正解データに沿う確率変数へ写像する変換を学習することで、位相関数の正解データに沿ったサンプル生成と、変数変換則に基づく pdf の厳密な評価を両立する。既存のパラメトリックな pdf と比較して、位相関数の形状をより柔軟に表現しつつ、LUT と比較して、メモリ使用量を削減できる可能性がある。

本講演では、粒径と波長を条件として、Henyey-Greenstein 位相関数と Draine 位相関数の混合モデル (HG+D 関数)¹⁾ から、空気中における微小水滴の Mie 散乱への写像を学習した結果を報告した。提案手法は、HG+D 関数と比較して、pdf をより正確に表現できることを定性的に確認した。また、LUT と比較して、2 桁程度のメモリ圧縮効果が見込めることを確認した。

今後は、このモデルを GPU レンダラ上へ実装し、本手法を実行した際の計算時間と、レンダリング結果の品質について定量的な評価を行うことで、本研究の有効性について議論する。

- 1) Johannes Jendersie and Eugene d'Eon: "An approximate Mie scattering function for fog and cloud rendering," *SIGGRAPH 2023 Talks*, 2023. DOI: 10.1145/3587421.3595409

理事会だより

第 352 回 理事会

1. 日時：2025 年 9 月 16 日(火)17:00-18:00
2. 場所：事務局を主たる場所としてオンライン（ZOOM）併催
3. 出席者：理事 20 名

総出席者：27 名

【会長】高村

【副会長】内田、藤澤

【編集】今給黎、向井

【企画】馬場、河合、澤口、菅野

【財務】阿部、北本、西村

【総務】志水、鈴木

【技術専門】金澤、丸山、草野、早瀬

【地方】藤井、甲斐

【監事】竹島、金盛

<オブザーバ> 小野元会長

<次期会長> 土橋

<年次大会実行委員長> 岩崎

<事務局> 大嶽、浮ヶ谷

4. 議題・資料

	担当	付番
前回議事録確認	<藤澤副会長>	351-001-01

議 題

(1) 議題 1：第 5 2 回年次大会速報	<岩崎実行委員長>	352-002-01
(2) 議題 2：第 5 3 回年次大会実行委員長選定について	<高村会長・藤澤副会長>	352-003-01
(3) 議題 3：IEVC2026 進捗	<内田副会長>	352-004-01

報 告

(4) 報告 1：編集委員会報告	<内田副会長>	352-005-01
(5) 報告 2：画像関連学会連合会 第 11 回合同秋季大会報告	<事務局>	352-006-01
(6) 報告 3：フェロー候補、アレキサンダー・ベイン賞、技術賞の募集について	<事務局>	352-007-01
(7) 報告 4：法人登記進捗について	<事務局>	352-008-01

5. 議事 司会：藤澤副会長、議事録：志水総務理事

第 353 回 理事会

1. 日時：2025 年 12 月 25 日(木)17:00-18:00
2. 場所：会場（TKP ガーデンシティ PREMIUM 京橋カンファレンスルーム 22E）を主たる場所としてオンライン（ZOOM）併催

3. 出席者：理事 21 名

総出席者：25 名

【会長】 高村

【副会長】 佐藤、内田、藤澤、山本

【編集】 今給黎、新田

【企画】 石樽、馬場、河合、澤口、菅野

【財務】 阿部、北本、中村

【総務】 藤堂

【技術専門】 丸山、草野、早瀬

【地方】 藤井、甲斐

【監事】 竹島、金盛

<オブザーバ> 小野元会長

<次期会長> 土橋

<事務局> 大嶽、浮ヶ谷

4. 議題・資料

	担当	付番
前回議事録確認	<佐藤副会長>	351-001-01
議 題		
(1) 議題 1：2025 年度中間決算報告	<事務局>	353-001-01
(2) 議題 2：第 53 回年次大会の選奨について	<高村会長>	353-002-01
(3) 議題 3：第 54 回年次大会の準備状況について	<藤澤実行委員長>	353-003-01
(4) 議題 4：IEVC2026 の進捗について	<内田副会長>	353-004-01
(5) 議題 5：AIS2026 の開催案について	<丸山企画理事>	353-005-01
(6) 議題 6：事務局長、事務局員の雇用契約について	<事務局>	353-006-01
(7) 議題 7：学会 Web サーバー管理に関する事務局からのお願い	<事務局>	353-007-01
報 告		
(1) 報告 1：編集委員会報告	<内田副会長>	353-008-01
(2) 報告 2：企画委員会報告	<石樽企画委員長>	353-009-01
(3) 報告 3：画像関連学会連合会合同秋季大会報告	<藤井地方理事、事務局>	353-010-01
(4) 報告 4：今後のスケジュールについて	<事務局>	353-011-01
5. 議事 司会：佐藤副会長、議事録：藤堂総務理事		

<お知らせ>

会員各位

画像電子学会

「会員用 Web」への登録実施のお願い および、会費の口座振替特典終了のお知らせ

当学会では 2026 年度より会費精算を会員用 Web での支払いに統一致します。これに伴い、正会員会費の口座振替（自動引落とし）の場合の特典であった 10%割引（10,000 円→9,000 円）が終了となり、一律 10,000 円となりますので、ご了承ください。

「会員用 Web」への登録実施のお願い

当学会では、現在「会員用 Web（シクミネット）」を開設しておりますが、2026 年度より会費の精算が会員用 Web に統一されます。つきましては、まだ会員登録がお済みでない方は、以下の会員用 Web サイトにアクセスいただき、会員登録の作業を実施頂きますよう、よろしくお願い致します。

<https://iieej.shikuminet.jp/login/>

なお、ログイン ID、パスワードにつきましては個別にお知らせ致しますので、下記の問い合わせ先までメールにてご連絡ください。

《問い合わせ先》

E-mail: gazo_iieej@iieej.org

会費の口座振替特典終了のお知らせ

これまで口座振替（自動引き落とし）の場合に会費の 10%を割引させていただき特典を設けておりましたが、2026 年度より会費の精算を会員用 Web での決済に統一することに伴い、この特典を終了させて頂くこととなりました。なにとぞ、ご理解のほどよろしくお願い致します。

《お問い合わせ先》

一般社団法人 画像電子学会

〒116-0002

東京都荒川区荒川 3-35-6 ライオンズマンション三河島第二 101 号

TEL:03-5615-2893 FAX:03-5615-2894

E-mail: gazo_iieej@iieej.org

2025-2026 年度画像電子学会研究会等予定

研究会等名	開催日	場所	テーマ	締切	記事
第10回DMH研究会	2月16日(月)	大阪工業大学平方 キャンパス	画像認識・表現・処 理技術とAI	申込締切:1/31(土),原稿締切:2/7 (土)	
第54回VMA研究会/第 20回 視覚・聴覚支援シ ステム研究会	2月19日(木)	専修大学神田キャン パス	読書支援技術及び 一般	申込締切:1/31(土),原稿締切:2/7 (土)	
第315回研究会 in 北海 道	2月26日(木)	ゆめホール知床 (北海道)(ハイブリッ ド)	画像一般	申込・原稿締切済	
第316回研究会-映像表 現/芸術科学フォーラム 2026	3月2日(月)	東京工芸大学 中野キャンパス		申込・原稿締切済	共催
第11回DMH研究会	3月4日(水)	国立歴史民俗博物館	デジタルアーカイブ とバーチャルリアリ ティ	申込締切:2/16(月),原稿締切:2/23 (月)	
ドローン研究会	3月9日(月)	大阪工業大学 枚方 キャンパス DXフィー ルド(予定)	無人航空機技術	申込締切:2/15(日)	
IEVC2026 in Hiroshima	3月16日(月)-19日 (木)	Hiroshima University, Hiroshima City, Japan		申込・原稿締切済	
第317回研究会	5-6月(予定)				
Advanced Image Seminar 2026	6月(予定)				
第54回年次大会Media Computing Conference 2025	8月24日(月)-26日 (水)	筑波大学			
Visual Computing2026	9月(予定)				
画像関連学会連合会第 13回秋季大会	11月(予定)				共催
第318回研究会-高臨場 感ディスプレイフォーラム 2025	11月(予定)				共催
ビジュアルコンピュー ティングワークショップ 2026	11-12月(予定)				
第12回DMH研究会	2月(予定)				
第319回研究会	2月(予定)				
第55回VMA研究会/第 21回 視覚・聴覚支援シ ステム研究会	3月(予定)				
第13回DMH研究会	3月(予定)				
第320回研究会-映像表 現/芸術科学フォーラム 2027	3月(予定)				共催

*研究会の場合、いずれも「画像一般」を含む

*空欄部は未定

*上記の予定は変更になる場合があります

問い合わせ先: 〒116-0002 東京都荒川区荒川3-35-4-101

一般社団法人 画像電子学会

TEL:03-5615-2893 FAX:03-5615-2894

E-mail:kikaku@iieej.org

https://www.iieej.org/

https://www.facebook.com/IIEEJ

画像電子学会 第 315 回研究会 in 北海道 開催案内

標記研究会を下記のとおり開催いたします。奮ってご参加下さい。

- ・ 日時：2026 年 2 月 26 日（木）13:00～18:10
- ・ 場所：斜里町公民館ゆめホール知床＋オンラインのハイブリッド開催
https://www.town.shari.hokkaido.jp/kosodate_kyoiku_bunka_sports/yumehallshir-etoko/index.html
- ・ テーマ：画像一般
- ・ 参加費：1,000 円（PDF 予稿集付）
- ・ 参加申込フォーム：<https://forms.gle/ALRkGEov4F6mL2jK7>
（申込締切：2/20（金）、Zoom 参加 URL 送付：2/24（火）予定）

* 資料は研究会開催日の 1 週間前からダウンロードできます。詳細は参加申し込みいただいた方にメールでお知らせいたします。

【プログラム】

2 月 26 日（木）

13:00-13:10 開会の挨拶 石樽康雄（公立はこだて未来大学／画像電子学会企画委員長）

13:10-14:10 【招待講演】

座長：金田北洋 (Rapidus)

1. 知床エリアにおける自然・生物の現状と課題

○中川元（知床自然アカデミー）

14:10-15:30 セッション 1（画像による材料・表面分析）

座長：菅野勝 (KDDI)

2. スタイル変換に基づくホーニング加工用砥石画像の異常データ生成

○室伏信宙（東京電機大学）・倉持和宣・勝見康德（ナーゲル・アオバプレシジョン）・阿倍博信（東京電機大学）

3. ツバキの葉の形状特徴の定量化とテクスチャ解析

○駒形英樹・大導寺輝・菱木郁弥・野崎陸斗・柳澤怜也・河野義広（東京情報大学）・篠田一馬（宇都宮大学）・乗越亮（東京農業大学）・杉山立志（東京農業大学）

4. 機械学習による表面 SEM 像を用いた Cu スパッタ膜の硬さ予測モデルの検討

○天野隼輔（同志社大学大学院）・中村守正・松岡敬（同志社大学）

5. 敵対的生成ネットワークに基づく金属面の傷の自動検出の検討

○平川疾（大阪工業大学大学院）・佐野睦夫（大阪工業大学）

15:45-16:45 セッション 2 (3D/XR)

座長：澤口聡（リコー）

6. 歩行時の AR グラス使用における障害物回避支援技術に関する基礎検討

○小林優斗・加藤駿弥・佐藤生馬・石樽康雄（公立はこだて未来大学）

7. LiDAR SLAM のためのレーザ特性および局所特徴に基づく点群拡張法

○内田樹・岩切宗利（防衛大学校）

8. 3次元点群モデルの歪み補正に関する一考察

○飯田修斗（信州大学大学院）・岩切宗利（防衛大学校）・田中清（信州大学）

16:45-18:05 セッション 3 (インフラ・農業・応用)

座長：内田理（東海大学）

9. 深層学習を用いた災害画像からのコンクリート構造物変状検出システムの構築

○小倉匡顕・佐野睦夫（大阪工業大学）

10. 福岡工業大における農業 DX -Cameras in the Farm：2025 年度の取り組みと展望-

○前原 秀明・古賀矢響・田中悠登・白石恒太・永田大翔・本田ゆい・前田楓果（福岡工業大学）・前村健太（マエムラファーム）

11. Anomaly Classification with Scene Description in Public Roads

○Emilio VERA-CORDERO・Gibran BENITEZ-GARCIA（The University of Electro-Communications）・Mariko Nakano（National Polytechnique Institute）・Hiroki TAKAHASHI（The University of Electro-Communications）

12. 世帯型視聴モデルを用いたトラヒック予測における一考察

○勝岡航海・児玉明（広島大学）

18:05-18:10 閉会挨拶

菅野勝（KDDI）

画像電子学会 第 54 回 VMA 研究会・第 20 回 VHIS 研究会 講演募集

VMA 研究会は、主として画像の撮影・合成・加工・処理、それらの応用、およびそれらの実現形態として生じる Visual Appliance について論じ、その議論の中から今後の画像電子学会で扱うべきトピックスを見出すとともに、さらにその調査・検討に向けた情報交換の場の提供を目的としています。これまでその時々話題(デジカメ最新技術、ユニバーサルデザインの動向、VMA の近接領域など)を取り上げ、年 2 回程度の研究会を実施してきました。VHIS 研究会は、視覚障害者・聴覚障害者に対する情報保障・コミュニケーション支援の研究会を実施してきています。

今回、第 54 回 VMA 研究会・第 20 回 VHIS 研究会の共催で、「読書支援技術及び一般」をテーマに、視覚障害者を含む障害者への支援技術を含め、読書支援技術およびそれらに関連する事例に関する研究会を開催します。このテーマに関わらず、VMA 研究会および VHIS 研究会の扱う分野に関連するものであれば、発表可能です。幅広く研究発表を募集します。いわゆる研究成果発表でなくとも、事例紹介、研究紹介、調査報告、意見発表などでも構いません。卒業研究、修士研究に関連した発表も歓迎です。多数の皆様のご発表、ご参加をお待ちしております。なお、Zoom によるオンライン参加と会場参加を併用した開催形式となります。

— 記 —

テーマ: 読書支援技術及び一般

日時: 2026 年 2 月 19 日(木) 13:00~17:00(予定) ※発表件数により、時間は変動します。

場所: 専修大学・神田キャンパス 10 号館 10091 教室 + Zoom によるオンライン開催

<https://www.senshu-u.ac.jp/about/campus/>

協賛: 画像関連学会連合会(FIS)

参加費: 会員 1,000 円(PDF 予稿集付)、非会員 2,000 円(画像電子学会のアソシエイトになって頂きますと、入会・年会費(1,000 円)を含む計 2,000 円で参加できます。)研究会運営のため、講演者も含め参加費をお願いしていますが、研究会委員長の承認を得た場合は無料となります。

講演形式: 質疑応答を含めて 30 分程度の口頭発表ですが、発表件数により時間調整します。学生の発表は 15~20 分程度となります。使用言語は原則として日本語とします。これ以外の発表形式(展示発表、ポスター発表、他言語での発表など)をご希望される場合は、事前にご相談ください。障害者への情報保障のために、事前に発表資料を電子媒体でご提供していただく場合もありますのでご協力をお願いします。

予稿形式: 原則として学会所定の研究会予稿形式にてご執筆ください。分量は 6 ページ程度を標準としますが、2 ページ~12 ページの範囲であれば任意の分量で構いません。

研究会原稿用テンプレート https://www.iieej.org/trans/kenkyukai/template/file-3_template_7R.doc

申込〆切: 2025 年 1 月 31 日(土)

講演申込フォーム: <https://forms.gle/BfLGN51UKhQQHZYp8>

予稿〆切: 2026 年 2 月 7 日(土)(厳守)までに学会事務局へ E-mail によりご提出ください。

予稿原稿の公開: 発表内容・予稿原稿は原則として後日研究会ウェブページにて公開されます。

情報保障: 視覚、聴覚、その他の障害により、字幕、手話通訳、予稿テキスト事前配布などの情報保障を必要とされる方は事前にご相談ください。個別に対応します。

ご質問・ご相談等: 学会事務局(kikaku@iieej.org)または植村八潮(yashio@isc.senshu-u.ac.jp)、平山亮(makoto.hirayama@oit.ac.jp)までお願いします。

画像電子学会 第 10 回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会 講演募集(2/16 開催)

テーマ：画像認識・表現・処理技術と AI

第 10 回の DMH 研究会では、博物館・人文学の分野を中心として、画像認識・表現・処理技術と AI について考えます。近年の画像認識・表現・処理技術は、大規模言語処理モデル、ディープラーニング、生成 AI などの AI 関連技術により、変貌してきています。これらの技術をデジタルミュージアム・人文学分野の研究やシステム実装に応用していくことは今後必要になっていくでしょう。今回の研究会では、画像の認識・表現・処理、CG、VR/AR など、および AI を主題として、幅広く研究発表を募集します。関西での開催となりますので、関西方面の大学・専門学校の修士研究、卒業研究の研究発表の機会ともなります。

「画像認識・表現・処理技術と AI」とその関連領域の研究発表を募集します。デジタルミュージアム・人文学（DMH）研究会の扱う範疇であればその他の領域の研究発表も応募可能です。また、いわゆる研究成果発表でなくとも、事例紹介、研究紹介、調査報告、意見発表などでも構いません。卒業研究、修士研究に関連した発表も歓迎です。多数の皆様のご発表、ご参加をお待ちしております。なお、Zoom によるオンライン参加と会場参加を併用した開催形式となります。

—記—

第 10 回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会 講演募集

テーマ：画像認識・表現・処理技術と AI

日時：2026 年 2 月 16 日(月) 13:00～17:00（予定）※発表件数により、時間は変動します。

場所：大阪工業大学枚方キャンパス+Zoom によるオンライン開催 <https://www.oit.ac.jp/>

協賛：画像関連学会連合会(FIS)

参加費：1,000 円（PDF 予稿集付）

講演形式：質疑応答を含めて 30 分程度の口頭発表ですが、発表件数により時間調整します。学生の発表は 15～20 分程度となります。使用言語は原則として日本語とします。これ以外の発表形式(展示発表、ポスター発表、他言語での発表など)をご希望される場合は、事前にご相談ください。障害者への情報保障のために、事前に発表資料を電子媒体でご提供していただく場合もありますのでご協力お願いします。

予稿形式：原則として学会所定の研究会予稿形式にてご執筆ください。分量は 6 ページ程度を標準としますが、2 ページ～12 ページの範囲であれば任意の分量で構いません。

研究会原稿用テンプレート https://www.iieej.org/trans/kenkyukai/template/file-3_template_7R.doc

申込〆切：2025 年 1 月 31 日(土)

講演申込フォーム：<https://forms.gle/KZgVpAh97Ua9bxvK6>

予稿〆切：2026 年 2 月 7 日(土)（厳守）までに学会事務局へ-mail によりご提出ください。

予稿原稿の公開：発表内容・予稿原稿は原則として後日研究会ウェブページにて公開されます。

情報保障：視覚、聴覚、その他の障害により、字幕、手話通訳、予稿テキスト事前配布などの情報保障を必要とされる方は事前にご相談ください。個別に対応します。

ご質問・ご相談等：学会事務局(kikaku@iieej.org)または河合紀彦(norihiko.kawai@oit.ac.jp)までお願いします。

画像電子学会 第 11 回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会

「デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ」 講演募集

<https://www.iieej.org/events/dmh11bosyu/>

テーマ：デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ

第 11 回の DMH 研究会は、デジタルアーカイブとバーチャルリアリティをテーマに開催します。デジタルエクスペリエンス(DX)、デジタルヒューマニティ(DH)など、デジタル技術を活用した社会変革を志向するキーワードが飛び交うなかにあって、デジタルアーカイブはデジタル社会の基礎をなすデータの記録・保存の実務を担う点で、また、バーチャルリアリティは人間をデジタル社会に接続する可視化技術を象徴する点で、いずれもデジタル社会における基盤技術といえます。

今回の研究会では、デジタルアーカイブの実務に取り組む方、あるべきデジタルアーカイブ像を模索する方、バーチャルリアリティの基礎技術を磨く形、博物館展示等の現場にバーチャルリアリティを導入したい方、など、作る側・利用する側の別を問わず、さまざまな段階・環境にある方々が一堂に会してざっくばらんに交流を図る場としたいと考えます。通常の学会研究会では発表しにくい話題を大いに歓迎いたします。「デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ」を主テーマとしますが、これに関わらず広くデジタルミュージアムおよび人文学に関わる領域の研究発表についてもご発表いただけます。

今回は、総合研究大学院大学（総研大）文化科学研究科日本歴史研究専攻の前山和喜氏（<https://researchmap.jp/k-maeyama>）による招待講演を行います（オンラインもしくは事前録画の可能性あり）。前山氏は2019年に総研大に入学し、このほど学位審査論文「日本における黎明期の電子計算機の成立と受容—「計算実践の変容」と「計算センターの形成」—」を提出されました。この論文は、日本における黎明期のコンピュータの受容史」について論じたもので、コンピュータの発明・発展が（戦後の日本）社会をどう変えたか、という「コンピュータ史」の視点ではなく、社会の変化や要請に、コンピュータの登場がどう適合し、受け入れられて（受容されて）いったのか、という「コンピューティング史」の視点から見た1940～60年代の日本社会の動きについて、その意味するところを読み解く、というものです。コンピューティング史は近年欧米圏で確立しつつある研究分野ですが、日本を対象にしたコンピューティング史研究としては、前山氏の論文が本邦初の「まとまった成果」として評価できるものです。前山氏の活動は多岐にわたりますが、計算キ（＝計算機＋計算器）関連資料の保存活動に強い意欲をもっており、日立製作所・東北大学・気象庁等の資料の発掘に努めたほか、「東京農工大学情報工学科西村コンピュータコレクション」資料の整理・保全活動に取り組んでいます。

「デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ」を主テーマに、デジタルミュージアムおよび人文学に関わる領域の研究発表を募集します。いわゆる研究成果発表でなくとも、事例紹介、研究紹介、調査報告、意見発表などでも構いません。また卒業研究、修士研究に関連した発表も歓迎です。多数の皆様のご発表、ご参加をお待ちしております。

なお、Zoomによるオンライン参加と会場参加を併用した開催形式となります。

第 11 回 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会 講演募集

テーマ：デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ

日時：2026 年 3 月 4 日(水) 13:00～17:00（予定）

※時間内に国立歴史民俗博物館の見学も予定しています。

場所：国立歴史民俗博物館＋Zoom によるオンライン開催

<https://www.rekihaku.ac.jp>

協賛：画像関連学会連合会(FIS)

参加費：1,000 円（PDF 予稿集付）

講演形式：質疑応答を含めて 30 分程度の口頭発表ですが、発表件数により時間調整します。使用言語は原則として日本語とします。これ以外の発表形式(展示発表、ポスター発表、他言語での発表など)をご希望される場合は、事前にご相談ください。障害者への情報保障のために、事前に発表資料を電子媒体でご提供していただく場合もありますのでご協力お願いします。

予稿形式：原則として学会所定の研究会予稿形式にてご執筆ください。分量は 6 ページ程度を標準としますが、2 ページ～12 ページの範囲であれば任意の分量で構いません。

研究会原稿用テンプレート https://www.iieej.org/trans/kenkyukai/template/file-3_template_7R.doc

申込方法：2026 年 2 月 16 日(月)（厳守）までに、以下の講演申込フォームよりお申し込みください。

講演申込フォーム：<https://forms.gle/iRGaLniENNd6CGMD7>

予稿〆切：2026 年 2 月 23 日(月)（厳守）までに学会事務局へ E-mail によりご提出ください。

予稿原稿の公開：発表内容・予稿原稿は、原則として後日研究会ウェブページにて公開されます。

情報保障：視覚、聴覚、その他の障害により、字幕、手話通訳、予稿テキスト事前配布などの情報保障を必要とされる方は事前にご相談ください。個別に対応します。

ご質問・ご相談等：学会事務局(kikaku@iieej.org)または鈴木卓治(suzuki@rekihaku.ac.jp)までお願いします。

以上

ビジュアルコンピューティング論文特集号 論文募集

画像電子学会編集委員会

ビジョンとグラフィックスの統合を目指したビジュアルコンピューティング研究委員会（現ビジュアルコンピューティング研究会）は 1993 年に発足し、シンポジウムおよびワークショップを通して活発な活動を行ってきております。そこで本年度も、表記の論文特集号を下記の要領により企画いたしました。採録論文は本学会論文賞、および、西田賞の対象にもなりますので、奮って御応募下さい。

1. キーワード

- グラフィックスの基礎（レンダリング、モデリング、形状モデル、シミュレーション）
- グラフィックスシステム（入出力デバイス、GPU、Web／モバイルシステム）
- グラフィックスの応用（マルチメディア、アニメーション、可視化、医療応用、地理情報処理）
- デジタルファブリケーション（3D プリンタ、建築応用、デジタルエンジニアリング）
- エンタテインメント（ゲーム、エージェント・人工知能応用、インタラクション応用）
- VR 基礎・応用（複合／拡張現実、五感インタフェース、視覚心理・認知モデル）
- 画像処理（画像の表示・計測・認識等、ビジョンとグラフィックスの融合技術）
- コンテンツ処理（形状・素材データの検索／編集、異種媒体での表示）

これらに少しでも関連をもつ、より新しいまたより広い分野からの研究成果の投稿を期待しています。

2. 論文の種類と取扱い

「論文」「ショートペーパー」を受け付けます。他の種目については、編集幹事が内容を確認した上で、受け付けるかどうかを決定します。

取り扱いは通常の論文投稿と同一です。なお採録決定が特集号に間に合わなかった場合には、通常の投稿として扱います。

3. 特集号発行

画像電子学会誌 2026 年 10 月号予定（電子版）

4. 論文投稿締切日

2026 年 3 月 23 日（月） 必着

5. 論文の投稿方法

論文投稿システムよりご投稿ください。

<http://www.editorialmanager.com/iieej/>

論文投稿にあたっては、下記の論文投稿の手引きをご一読ください。

<https://www.iieej.org/call-for-papers/guide-paper-submission/>

6. 問い合わせ先

画像電子学会事務局

〒116-0002 東京都荒川区荒川 3-35-6 ライオンズマンション三河島第二 101 号

TEL: 03-5615-2893 FAX: 03-615-2894

事務局 福島 hensyu@iieej.org

<http://www.iieej.org/>（電子投稿）

ゲスト編集委員長 土橋 宜典（北海道大）

ゲスト編集幹事 古屋 貴彦（山梨大） 謝 浩然（北陸先端大/早稲田大）

藤堂 英樹（拓殖大）

2027 年 4 月号 ・ 英文誌 6 月号 論文特集号 論文募集
— 社会貢献と画像電子関連技術特集 — (締切 2026 年 10 月 30 日[金])

画像電子学会 編集委員会

近年、地球環境問題、少子高齢化、災害対策、地域格差の是正など、社会が抱える課題は深刻化しさらに多様化・複雑化の一途をたどっています。こうした中で、画像・映像技術、センシング技術、AI、ロボティクス、ドローン利用、データ解析などの進展により、画像電子技術についてもその活用が進められており、防災・減災支援、医療・福祉支援、教育・文化振興、環境保全、地域活性化など、さまざまな分野において課題解決や業務効率化にとどまらず新しい社会的価値の創出も期待されています。一方で、これらの技術を社会に実装する際には、公平性・倫理性・プライバシーなどの観点も考慮する必要があります。技術と社会とのあるべき関係性を再構築する取り組みが求められています。

本特集では、「社会貢献」をキーワードに、画像電子関連技術が社会の持続的発展や人々の生活の質の向上にいかに関与できるかをテーマとした研究成果を広く募集いたします。具体的には、上記の分野への応用研究に加え、社会実装に関する評価や実践的事例、さらに技術の社会的影響に関する調査・提言などを対象とします。

1. 対象トピック

以下に対象となるトピック例を挙げますが、これらに限らず、社会貢献と画像電子関連技術に関連するものを広く募集します。

- ・ 地域活性化・地域問題解決・災害予防・災害復興
- ・ 教育・医療・健康・家庭・福祉
- ・ 安心・安全技術、危機管理全般
- ・ ウェアラブル、VR/AR、スマホ利活用
- ・ ユニバーサルデザイン、感性デザイン、ユーザビリティ、UI/UX、人間工学、障害者対応
- ・ AI 活用・自動化・省力化、ロボティクス、ドローン、データ解析、アーカイブ

2. 投稿論文種別（著者に学会員を含む等の掲載件は適用されます）

フルペーパー、ショートペーパー、システム開発論文、実践論文、サーベイ論文

3. 論文の取り扱い

投稿様式、査読プロセスとも通常の投稿論文と同様です。採録決定が特集号に間に合わなかった場合には、通常の投稿論文として取り扱います。英文での投稿も受け付けます（英文論文誌 掲載）。

4. 特集号発行

画像電子学会誌（電子版） 2027 年 4 月号、英文論文誌 2027 年 6 月号

5. 論文投稿締切日

2026 年 10 月 30 日（金）

6. 投稿方法および問い合わせ先

画像電子学会 <http://www.iieej.org/>

〒116-0002 東京都荒川区荒川三丁目 35 番 4 ライオンズマンション三河島第二 101 号室

TEL : 03-5615-2893, FAX : 03-5615-2894, E-mail : hensyu@iieej.org

論文投稿の手引き

<https://www.iieej.org/call-for-papers/guide-paper-submission/>

2017 年 1 月 6 日改訂
2018 年 7 月 6 日改訂
2020 年 10 月 2 日改訂
2024 年 11 月 6 日改訂
2024 年 12 月 19 日改訂

論文投稿の手引き

1. 論文投稿

(1) 投稿前

- ・ 著者は「論文投稿の手引き」、「スタイルフォーマット」を学会ホームページの「学会誌」、「英文論文誌」欄からダウンロードして、投稿論文の準備をする。
- ・ 「スタイルフォーマット」は TeX 版、Word 版の 2 種類が準備されており、出版コストおよび出版に至る労力削減のために、TeX 版の利用を推奨している。
- ・ 原稿には以下の 6 種類がある。
 - 論文：画像電子技術に関する独創的な研究成果、開発結果、検討結果を学术论文（フルペーパー）としてまとめたもの。新しいアイディアの提案を目的とする通常論文であり、新規性、有用性、信頼性、了解性に基づいて評価する。原則として刷り上がり 8 ページ以内とする。
 - ショートペーパー：研究速報的な性格を持ち、部分的にある程度良好な結果、新しい知見が得られたことを研究報告としてまとめたもの。原則として刷り上がり 4 ページ以内とする。（論文・システム開発論文のいずれとも組み合わせが可能とする）
 - システム開発論文：通常論文の新規性、有用性とは別に、既存技術の組み合わせ、或いはそれ自身に新規性があり、開発結果が従来法より優れているか、或いは他システムへ応用可能であり、新しい知見が示されているもの。原則として刷り上がり 8 ページ以内とする。
 - 資料論文：試験、運用、製造などの新しい成果をまとめたもの。あるいは現場の新技术紹介や提案などで、必ずしも独創的でなくてもよい。原則として刷り上がり 8 ページ以内とする。
 - サーベイ論文：新しい研究の発表を目的とせず、既存の研究・開発をある視点の下に体系付け、比較してその位置づけを明確にし、時代的な変遷を明らかにすること等を目的とする論文。参考文献の網羅、全体像の呈示、客観的評価、特定機関の宣伝に与しないことなどが要求される。また、以下の要件を満たすことが望ましい。その分野に関する状況・課題・及びそれらが、研究者や関係者に与える影響を理解していること。その分野への参入、開発・応用等への進展を促しさらには他分野への展開や新たな研究を触発する可能性を有すること。原則として刷り上がり 8 ページ以内とする。必要に応じて複数パート構成とすること。
 - 実践論文：事例※やフィールドワークに関する発見、工夫、既存技術の新たな組み合わせ等で、事例設計の客観性・相互主観性を有し、個別の事例（フィールドワークも含む）から、他の事例（より一般的な事例も含む）への発展可能性（一般法則化）、利活用・応用可能性などを示せるもの。原則として刷り上がり 6 ページ以内とする。
※事例とは、画像関連技術の開発・利活用に関する、フィールドワーク、システム開発、システム導入、ソフトウェア実装、アプリケーション開発、表示・提示方法、入出力インタフェース開発、試験・評価方法、サービス、データベース作成等の事例を示す。
- ・ 原稿の投稿および掲載の条件として、論文、ショートペーパー、資料論文、実践論文のいずれも、著者のうち必ず 1 名以上は本学会の正会員または学生会員であることを必要とする。
- ・ 原稿の二重投稿を禁止する。論文、ショートペーパー、システム開発論文、資料論文、実践論文

のいずれも、その採録決定以前に投稿原稿と同一内容のものが、投稿原稿と同一の著者もしくは少なくともその中の1名を含む著者によって他の公開出版物に掲載または投稿中の場合には、原則として採録としない。公開出版物とは、内外の書籍、雑誌および官公庁、学校、会社等の機関誌、紀要などをいう。ただし、本学会または他学会（国外の学会を含む）等の年次大会、研究会、シンポジウム、コンファレンス、講演会などの予稿、特許公開公報、当学会編集委員会で認めたものなどについてはこの限りではない。また、本会誌にショートペーパーとして採録になったものについて、成果を追加し内容を充実させ、論文として再び投稿したものについては二重投稿とみなさない。

(2) 投稿

- ・ 投稿原稿では、全ての著者情報を削除すること。ただし、参考文献はこの限りではない。
- ・ 著者は以下の論文投稿のページよりユーザ登録を行った上で、ログインして必要事項の記入と「スタイルフォーマット」を使用し作成した論文原稿のアップロードを行う。論文原稿のファイルはpdf形式（TeXのdviを変換したもの）またはWord形式とする。「スタイルフォーマット」を使用するため、原則として図表等は論文原稿内に組み込む。（査読の参考となる別のファイルを同時にアップロードすることは可能）

<https://www.editorialmanager.com/iieej/>

- ・ 投稿に関して質問がある場合には、学会事務局編集担当者に相談のこと。（連絡先：〒116-0002 東京都荒川区荒川 3-35-4 ライオンズマンション三河島第二 101 号 TEL: 03-5615-2893 FAX: 03-5615-2894 E-mail: hensyu@iieej.org 画像電子学会事務局編集担当）

2. 論文査読と対応

(1) 査読

- ・ 論文原稿は該当専門分野に詳しい査読者によって審査され、「採録」、「条件付採録」または「返戻」のいずれかに判定される。査読結果は、学会事務局より連絡著者宛にメールで通知される。なお、最終的な採録判定についてはショートペーパーを除き、いずれのカテゴリーの論文であっても2名以上の査読者の採録を必要とする。
- ・ 評価方法
 - 通常論文は、次の基準で評価する。
 - ✓ 新規性：投稿内容に著者の新規性があること。
 - ✓ 有用性：投稿内容が学術や産業の発展に役立つものであること。
 - ✓ 信頼性：投稿内容が読者から見て信用できるものであること。
 - ✓ 了解性：投稿内容が明確に記述されており、読者が誤解なく理解できるものであること。
 - ✓ 文献調査：投稿内容に関連する文献調査が行われており、必要な比較が行われていること。
 - ショートペーパーは、通常論文の新規性、有用性とは別に、研究内容に速報性があり、斬新性の尺度からある程度良好な結果、部分的にでも新しい知見が得られたことを評価する。
 - システム開発論文は、通常論文の新規性、有用性の代わりに次の基準で評価する。
 - ✓ システム開発の新規性：既存技術の統合であっても、組み合わせの新しさ、システムの新しさ、開発したシステムで得られた知見の新しさなどをシステムの新規性として認める。
 - ✓ システム開発の有用性：類似システムと比較し、総合的或いは部分的に優れていること。システムとして先駆的な新しい応用コンセプトが示されていること。組み合わせが実用化のために合目的最適性を有すること。性能限界や実利用システムの性能事例が示されていること。
 - 資料論文は、通常論文における新規性要件については、試験、運用、製造などの新しい成果、

現場の新技术紹介や提案など、必ずしも独創的でなくても優先性があれば新規性として認める。また、有用性要件については新しい成果が既存技術と比較し優れており、学術や産業の発展に役立つものであればそれを評価する。

- サーベイ論文は、通常論文における新規性に代えて網羅性、俯瞰性、客観性について評価する。信頼性、了解性、及び文献調査においては、基本的に通常論文と共通の観点により評価する。
- 実践論文は、通常論文の新規性、有用性に代えて合目的性、独自性、適応性の基準で評価する。また、信頼性、了解性、及び文献調査においては、基本的に通常論文と共通の観点により評価する。（なお、5段階評価において通常論文の評価項目を流用する場合は通常論文の新規性を「合目的性」に、有用性を「独自性」に、信頼性を「適応性及び信頼性の総合」に読み替えて記入するものとする。）
- ✓ 合目的性：投稿内容に合目的性があること。
- ✓ 独自性：投稿内容に著者の独自性や拡張性があること。
- ✓ 適応性：投稿内容が先行事例より優れていること。また、当該事例の合目的性に対する要求条件及び適用範囲において、当該事例が同一条件下で先行事例と比べ、複数の視点で高い客観性・相互主観性を有し、サービスの向上に貢献するものであること。

これらの具体的な例を以下に示す。

- ✓ 合目的性：当該事例への提案内容の導入が一定の目的にかなった方法であることが示されていること。また、分析結果の適用範囲において高い合目的性を有すること。
- ✓ 独自性：当該事例において先駆的な独自応用コンセプトが示されていること。先行事例の組み合わせであっても組み合わせの独自性、導入事例の適用範囲の独自性、事例構成の独自性、他の事例（システム、サービス）への拡張性、現状の画像電子技術に係るサービスの有効性、得られた知見の独自性などを事例の独自性として認める。
- ✓ 適応性：提案事例のもつ適応性を判断するために充分な導入分析結果及び考察が示されていること。提案事例と先行事例との適応性に関する比較結果が、共通条件下で示されていること。提案事例が先行事例と比較し、総合的或いは複数の部分で性能が優れていること、或いは課題、合目的性に対する要求条件及び適用範囲において、より高い客観性・相互主観性を有していること。

(2) 査読結果受領後の対応

- ・ 「採録」の場合、著者は最終原稿の準備（3. に記載）に進む。
- ・ 「採録（参考意見有り）」の場合、著者は査読者からの参考意見を考慮して論文を修正し、最終原稿の準備（3. に記載）に進む。
- ・ 「条件付採録」の場合、著者は査読者から示された「採録の条件」に基づき、指定された期日まで（60日以内）に論文を修正し、照会内容への対応を明記した回答書とともに再提出し、再度審査を受ける。修正論文には、修正箇所がわかるように、色を付けるか、下線を引くなどすること。また、回答書は必ず添付し、採録条件全てに対し、修正点、主張点、今後の課題などを丁寧に説明すること。
- ・ 「返戻」の場合、著者は以降のプロセスに進むことができない。査読者から示された「返戻の理由」を吟味して論文内容を再検討し、あらためて投稿することができる。

(3) 修正原稿査読

- ・ 「条件付採録」で再提出する場合は、回答書・修正清書原稿・修正箇所マーク原稿の修正原稿一

式を投稿ページより再提出する。但し、「条件付採録」で指定された期日を過ぎて提出された場合は、新規の初回投稿論文として取り扱われるので注意すること。

- ・ 再提出された修正原稿は原則として同一の査読者によって再審査され、「採録（参考意見付記を含む）」または「返戻」のいずれかに判定される。
- ・ 以降の対応は（2）と同様である。

3. 最終原稿提出から出版まで

(1) 最終原稿提出

- ・ 「採録」通知受理後は、事務局から最終原稿作成に関するメールが送付されるので、著者はその指示に従い最終原稿一式（電子データ）を準備し、指定の期日までに、事務局へ送付する。
- ・ 最終原稿一式とは、「スタイルフォーマット」を使用して作成した論文原稿のソースファイル (TeX 版または Word 版)、その pdf ファイル、すべての図表の eps ファイル (bmp, jpg, png など含む)、著者紹介用写真（縦横比 3:2、胸より上、300dpi 以上の eps ファイル、或いは、jpg ファイル）であり、これらを zip 等の圧縮ファイルに格納して提出する。
- ・ 最終論文原稿には、著者名・組織名、著者紹介、必要により謝辞を記入する。（スタイルファイル内のマクロのフラグを解除する）
- ・ 採録が決定した著者は、当該論文の掲載料を支払わなければならない。なお、別刷りの購入は任意。（別紙 1 「別刷価格表」参照）

(2) ゲラ刷りの校正

- ・ 論文掲載号の発行のおよそ 1 ヶ月前に論文原稿のゲラ刷り（ハードコピー）の確認が依頼される。著者は指定の期日まで（約 1 週間）に校正を行い、修正した原稿をスキャンした pdf ファイルを作成し、事務局へメールにて送付する。この際、「別刷り購入票」および「コピーライトフォーム」を記入し、同様にスキャンした pdf ファイルをアップロードする。
- ・ 本会誌に掲載されるすべての記事については、電子的形態による利用も含め、著作権は原則として本会に帰属する。
- ・ 「別刷申込書」および「コピーライトフォーム」は学会ホームページの「学会誌」欄からダウンロードする。（別紙 2 「別刷申込書」、別紙 3 「コピーライトフォーム」参照）

(3) 出版

- ・ 最終校正された論文原稿は学会誌、或いは、英文論文誌（電子ファイル形態）としてオンライン出版されるとともに、学会ホームページに掲載される。
- ・ 著者は、グリーンオープンアクセス（セルフアーカイブ）として、本誌からの出版ののちすぐに、自身の著者最終稿を機関リポジトリなどの公的なオンラインリポジトリから公開することができる。

以上

論文賞候補論文推薦のお願い

来年度は第22回の論文賞表彰を行いますので、下記の要領で受賞候補論文をご推薦頂きたく、お願いいたします。

- 推薦対象と推薦数

学会誌第53巻 第1号（通巻267号）～ 第54巻 第4号（通巻274号）：2024年1月～2025年10月
英文論文誌（T-IEVC）第12巻 第1号～ 第13巻 第2号：2024年6月～2025年12月
（招待論文，資料論文，ショートペーパーを含む）のなかから優れたもの2編以内
- 推薦資格

本学会正会員，学生会員および名誉会員
- 推薦方法

下欄の推薦用紙に記入の上，郵送，FAX くださるかまたは必要事項を記載の上 Eメールでお送りください。
（FAX：03-5615-2894，Eメール：hensyu@iieej.org）
- 締切日

2026年1月26日（月）
- 表彰規定等

論文賞表彰規定参照（次ページ）
- その他

推薦された論文（招待論文，資料論文，ショートペーパーを含む）を基に選定して第55回通常総会もしくは年次大会で行う予定です。表彰は賞牌。

-----きりとり-----

論文賞候補論文推薦用紙

		受付番号
論文・資料題名		
著者名		
掲載番号	巻 号（通巻 号）*	巻 号（通巻 号）*
推薦理由		
推薦者	氏名	会員番号
	住所	

*英文論文誌の場合，通巻番号のご記入は不要です。

論文賞表彰規定

第1条(目的)

論文賞は、本会定款第2章第5条による表彰で、本会発行の会誌および英文論文誌に発表された論文(招待論文、資料論文、ショートペーパーを含む、以下同じ)のうち、とくに優秀なものの2編以内を最優秀論文賞として選び、その著者に贈呈する。

第2条(対象)

表彰は隔年とし、原則として前々年および前年発行の会誌に掲載された論文を対象とする。

第3条(選定)

論文賞の選定は、別途定める「論文賞授賞候補選定手続規定」に従い、選定委員会で行われた評価結果に基づき、上位の論文2編以内を最優秀論文授賞候補論文として、理事会で決定するものとする。

ただし、第1条および本条前記の規定に拘らず、理事会が必要と認めた場合は、上記の定数を超えて選出し、決定することができる。なお、最優秀論文以外の論文の中から優秀論文を選出することができる。ただし、優秀論文の総数は第2条における全表彰対象論文数の5%を超えないものとし、最優秀論文賞が2編を超えた場合はそれに応じて減らすものとし、2編未満の場合はそれに応じて増やすことができる。

第4条(表彰)

最優秀論文賞は賞牌とし、優秀論文賞は表彰状とし、通常総会(隔年)で表彰する。著者が共著の場合には著者全員を表彰し、また同一著者に重ねて授賞しても差し支えない。なお、表彰時点においても著者のうち少なくとも1名は会員(正会員、学生会員および名誉会員)であることを条件とする。

論文賞授賞候補選定手続規定

1. 選定委員会の編成

会長は、下記の構成により委員長、幹事、委員を委嘱し、選定委員会を発足させる。

委員長	編集委員長
副委員長	副編集委員長
幹事	編集理事、企画理事、総務理事
委員	編集委員、企画委員

2. 委員長は副委員長・幹事と協議し、会誌の発行状況により対象とする会誌の範囲、候補推薦および授賞候補選出の日程を決める。

3. 候補推薦用紙の配布

学会事務局は候補推薦用紙を作成し、会誌とじ込みで会員に配布する。なお、推薦資格は正会員、学生会員および名誉会員とし、推薦は2編以内、記名式とする。候補の推薦は会誌とじ込み用紙以外でも受け付ける。

4. 推薦論文一覧表の作成

幹事は候補推薦締切日以後ただちに推薦論文一覧表を作成し、委員長に報告する。選定委員会は、投稿時の査読評価結果等、選定委員会で定める基準を満たす論文を推薦論文一覧表に加えることができる。

5. 授賞候補選定手続き

- 委員長は授賞候補選出のため、推薦論文一覧表を添えて選定委員会委員に締切日までの投票を依頼する。なお、投票資格は委員長・副委員長・幹事・委員とし、投票編数は2編以内、記名式とする。得票数を評価得点とする。
- 上記a.の規定に拘らず、委員長は選定委員会の承認を得て、選定委員会の構成委員の中から論文評価委員(10名以上)を選定し、締切日までに評価点の提出を委嘱し、その評価得点を選定の基準とすることができる。

6. 授賞候補選出評価結果の集計

幹事は、授賞候補選出評価提出締切日以後ただちに評価得点を集計し、順位一覧表を作成して委員長に報告する。

7. 評価上位の資格審査

委員長は副委員長・幹事を招集し、評価順位一覧表の上位論文について授賞候補としての資格審査を行う。

8. 授賞候補の選定

委員長は選定委員会を開催し、授賞候補選出評価結果および上位論文の資格審査結果を報告し、最優秀論文授賞候補2編以内を選定し、理事会に答申する。ただし、選定委員会が必要と認めた場合は、本定数を超えて候補論文を選出し、理事会に答申することができる。また、必要に応じ最優秀論文候補論文以外の論文の中から規定数以内の優秀論文候補論文を選出し、理事会に答申する。

西田賞候補論文推薦のお願い

来年度は第 11 回西田賞の選考を行いますので、下記の要領で授賞候補論文をご推薦頂きたく、お願い致します。

推薦対象と推薦数	学会誌第 53 巻 第 1 号（通巻 267 号）～ 第 54 巻 第 4 号（通巻 274 号）：2024 年 1 月～2025 年 10 月 英文論文誌（T-IEVC）第 12 巻 第 1 号～ 第 13 巻 第 2 号：2024 年 6 月～2025 年 12 月 （招待論文，資料論文，ショートペーパーを含む）のなかから優れたもの 2 編以内
推薦資格	本学会正会員，学生会員および名誉会員
推薦方法	下欄の推薦用紙に記入の上，郵送，FAX くださるかまたは必要事項を記載の上 E メールでお送りください。 （ FAX：03-5615-2894，E メール：hensyu@iieej.org ）
締 切 日	2026 年 2 月 9 日（月）
表彰規定等	西田賞表彰規定参照（次ページ）
そ の 他	推薦された論文（招待論文，資料論文，ショートペーパーを含む）を基に西田賞選定委員会において選考を行い，第 55 回通常総会もしくは年次大会で行う予定です。 表彰は賞牌。

-----きりとり-----

西田賞候補論文推薦用紙

		受付番号
論文・資料題名		
著者名		
掲載番号	巻 号（通巻 号）*	巻 号（通巻 号）*
推薦理由		
推薦者	氏名	会員番号
	住所	

*英文論文誌の場合，通巻番号のご記入は不要です。

西田賞表彰規定

平成 18 年 3 月 17 日制定 平成 19 年 11 月 2 日改定

第 1 条（目的）

西田賞は、本会定款第 2 章第 5 条による表彰で、本会発行の会誌および英文論文誌に発表されたビジュアルコンピューティング関連の論文（招待論文、資料、ショートペーパーを含む、以下同じ）のうち、とくに優秀なもの 1 編以内を選び、その第一著者に贈呈する。

第 2 条（対象）

表彰は隔年とし、原則として前々年および前年発行の会誌に掲載されたビジュアルコンピューティング関連の論文を対象とする。

第 3 条（選定）

西田賞の選定は、別途定める「西田賞授賞候補選定手続規定」に従って、会員（正会員、学生会員および名誉会員、以下同じ）推薦による推薦論文を対象に選定委員会で投票を行い、得票上位の論文 1 編以内を授賞候補論文として選定し、理事会で決定するものとする。

ただし、第 1 条および本条前記の規定に拘らず、理事会が必要と認めた場合は、上記の定数を超えて選出し、決定することができる。

第 4 条（表彰）

西田賞は賞牌とし、通常総会（隔年）で表彰する。著者が共著の場合には第一著者を表彰する。なお、第一著者は会員であること。

西田賞授賞候補選定手続規定

1. 選定委員会の編成

会長は、下記の構成により委員長、副委員長、幹事、委員を委嘱し、選定委員会を発足させる。

委員長	VC 委員長
副委員長	VC 副委員長
幹事	編集理事および VC 委員より 2 名
委員	編集理事および VC 委員より 10 名程度、

2. 選定対象と日程

委員長は幹事と協議し、会誌の発行状況により対象とする会誌の範囲、候補推薦および授賞候補選出の日程を決める。

3. 候補推薦用紙の作成

幹事は候補推薦用紙を作成し、会員に提供する。なお、推薦資格は正会員、学生会員および名誉会員、推薦は 2 編以内、記名式とする。

4. 推薦論文一覧表の作成

幹事は候補推薦締切日以後ただちに推薦論文一覧表を作成し、委員長に報告する。

5. 授賞候補選出投票用紙の配布

委員長は授賞候補選出のための投票用紙を作成し、推薦論文一覧表とともに選定委員会委員に配布する。なお、投票資格は委員長、幹事および委員、投票は表彰予定編数以内、記名式とする。

6. 授賞候補選出投票結果の集計

幹事は、授賞候補選出投票締切日以後ただちに投票結果を集計し、得票順位一覧表を作成して委員長に報告する。

7. 得票上位の資格審査

委員長は幹事を招集し、得票順位一覧表の得票上位について授賞候補としての資格審査を行う。

8. 授賞候補の選定

委員長は選定委員会を開催し、授賞候補選出投票結果および得票上位の資格審査結果を報告し、授賞候補 1 編以内を選定、理事会に報告する。ただし、選定委員会が必要と認めた場合は、本定数を超えて候補論文を選出し、理事会に報告することができる。

アレキサンダー・ベイン賞候補推薦募集

2025 年 10 月 1 日

一般社団法人画像電子学会
会 長 高村 誠之

本学会では、画像工学の学術の進展に対して卓越した業績のあった会員、または産業界の発展に特別の功労がありその功績が顕著であった会員へのアレキサンダー・ベイン賞推薦候補を募集します。

別紙の候補者推薦書にご記入の上、2026年 2 月 13 日（金）必着で学会事務局までにメール添付で送付ください（推薦書の電子ファイルは上記学会ホームページ（<http://www.iieej.org/>）からダウンロードできます）。

アレキサンダー・ベイン賞規程（抜粋）

第 1 条 本会定款第 4 条に基づく画像工学に関する学術に関し卓越した業績のあった者、または産業界や本学会関連事業に関し特別の功績があった者に対し、本規程による表彰を行う。

第 7 条 本賞は、10 年を超えて本学会会員である者を受賞対象とし、過去に本賞を受賞していない者のうちから、原則として毎年若干名以内を選定し贈呈する。

第 8 条 各年度に適切な該当者がいない場合は、該当者なしとする。

第 9 条 本賞として、賞状および記念メダルを贈呈する。

アレキサンダー・ベイン賞選定手続き規程（抜粋）

第 2 章 選定委員会選定細則

第 5 条 アレキサンダー・ベイン賞の一般推薦の推薦状フォーム並びに推薦締め切り期日については期日前にフェロー会員に周知する。

2. 推薦状にはフェロー会員 2 名の推薦を必要とする。

3. 推薦状フォームは本規程別紙に掲げるものを使用する

[贈呈式]

2026年の総会もしくは年次大会で行う予定です。

上記、アレキサンダー・ベイン賞規程等の詳細は当学会ホームページ（<https://www.iieej.org/admission/arexande/>）を参照してください。

以上

別紙

アレキサンダー・ベイン賞 候補者推薦書

受賞候補者名	氏名 会員番号, 在籍年数所属, 住所, 電話番号, メールアドレス		
受賞候補者経歴	学歴, 職歴:		
	本学会での活動歴:		
	学術的業績, 産業的貢献, 社会的貢献:		
推薦理由 (サイテーション)			
主たる功績 (いずれか, または複数に○印) (1) 学術的業績 (2) 産業的貢献 (3) 社会的貢献 (4) 学会活動 推薦理由			
受賞候補者の推薦者 氏名 (フェロー認定年)	(1)	()
	(2)	()

画像電子技術賞候補の推薦のお願い

画像電子学会では、画像電子に関する極めて優れた製品、システム、デバイスを開発した個人またはグループを毎年若干件選出して画像電子技術賞として表彰します。つきましては、本技術賞に相応しいと思われる候補（個人もしくはグループ）を下記要領に従って、推薦下さるようお願い致します。なお、選定は画像電子技術賞選定委員会で行います。

記

- ・推薦者の資格：本学会正会員であること（一人1件に限る）。
- ・候補者の資格：表彰時において、本学会会員であること。
- ・推薦方法：次頁の推薦用紙またはこれをコピーしたものに、
 - (1) 推薦する個人もしくはグループ全員の氏名、所属（連絡先）
 - (2) 推薦する製品名、システム名、デバイス名
 - (3) 推薦理由
 - (4) 推薦者の氏名、所属、住所、電話／FAX番号、e-mail
を記入の上、学会あてFAX、郵便またはe-mailでお送り下さい。
尚、推薦理由を裏付ける資料があれば、その案内（論文の場合であれば、
題目、発表機関、VOL. NOなど）を推薦理由欄に付記して下さい。

- ・推薦の締切：2026年2月13日（金）
- ・送付先：〒116-0002 東京都荒川区荒川三丁目35番4 ライオンズマンション三河島第二 101号
画像電子学会〈TEL〉03-5615-2893 〈FAX〉03-5615-2894 〈E-mail〉hyoujun@iieej.org
- ・表彰内容：楯及び表彰状を贈呈します。
- ・表彰方法：通常総会もしくは年次大会の席で表彰するとともに、学会誌に解説を掲載します。
- ・技術展示：受賞技術は、2026年の年次大会にて技術展示をお願いします。

・画像電子技術賞授賞リスト（最近の例）

受賞年度	受賞技術名もしくは製品・システム名	<受賞者所属先>
2023年	波長依存PSFメタレンズを用いた圧縮スペクトルイメージング ＜曽我部 陽光＞他 日本電信電話株式会社 コンピュータ&データサイエンス研究所 先端集積デバイス研究所	
2021年	3次元データ空間の歪み検出・補正およびスケール付与システム ＜青木 勝彦(株式会社AB.do) 他＞	
2020年	非エピポーラ光伝搬の計測と解析に基づく皮下血管のリアルタイムイメージング ＜久保尋之(東海大学) 他＞	
2019年	非接触式血中酸素飽和度測定装置 ＜長尾嘉満(早稲田大学)＞	
2018年	羽虫の群れの動き生成システム ＜北海道大学大学院情報科学研究科> (2件) 展示会見学体験向上を目的とするユニバーサルオブジェクト認識技術を用いたMICEアプリの提供 ＜NTTサービスエボリューション研究所＞	
2017年	アクティブ照明と多視点カメラ入力による実時間インテグラル立体表示 ＜名古屋大学大学院工学研究科/日本放送協会> (2件) 視覚の知覚メカニズムを活用した視点移動対応裸眼3D映像スクリーン技術 ＜日本電信電話株式会社/東北大学>	
2016年	24時間連続稼動全天球ライブストーリーミングカメラ RICOH R Development Kit ＜(株)リコー 技術経営センター＞	

画像電子技術賞表彰規定

2015年9月4日改訂

第1条（目的）

画像電子技術賞は、画像電子に関する極めて顕著な新しい技術、製品、システムを開発した個人またはグループを毎年若干件選出して表彰するものである。

第2条（選定）

画像電子技術賞は、別途定める「画像電子技術賞候補選定手続規定」に従って候補を選出し、理事会で決定するものとする。但し、過去に受賞した個人またはグループは候補から除く。

第3条（表彰）

画像電子技術賞は、楯および表彰状とし、毎年通常総会もしくは年次大会で表彰するとともに、学会誌上で紹介する。なお、年次大会にて技術展示を依頼する。

画像電子技術賞候補推薦用紙

＜技術・製品または，システム名＞

＜受賞候補者＞（複数の場合は全員ご記入ください）

[illegible]

<推薦者>

氏名：

所属：

TEL :

FAX :

以下の各項目にご記入ください。

- ・画像電子分野との関連性

- ・新規性

・有効性

・販売、採用などの実績

・参考となる資料

2025年度フェロー候補推薦募集

2025年10月1日

一般社団法人画像電子学会

会 長 高村 誠之

本学会では、学術上の業績、学会活動の活性化、教育・社会活動への取り組み、標準化活動などにおいて、特に貢献のあった会員に対しフェローの称号を授与する制度を設けています。フェロー称号認定につきましては以下の通り実施致しますので、フェロー候補の推薦をお願いします。なお、本情報は学会ホームページからも参照できます。

[推薦募集要領]

別紙のフェロー候補推薦書にご記入の上、2026年2月13日（金）必着で学会事務局までにメール添付で送付ください（推薦書の電子ファイルは学会ホームページからダウンロードできます）。選定委員会で審査の上、理事会で決定されます。

なお、条件、資格等はフェロー制度規程[pdf] 学会ホームページに記載されていますので参照して下さい。また、候補者1名に対し推薦者は2名必要ですが、その内少なくとも一人は候補者と同一の機関に属されない方といたします。

[称号授与]

フェロー称号授与式は2026年の総会もしくは年次大会で行う予定です。

以上

画像電子学会フェロー候補推薦書

フェロー候補者	氏名 会員番号, 在籍年数 所属, 住所, 電話番号, メールアドレス		
候補者略歴	学歴, 職歴:		
	本学会での活動歴:		
	業績; (特に, 本学会分野での業績)		
功績内容 (サイテーション) (22文字以内)			
<p>主たる功績 (いずれか, または複数に○印)</p> <p>(1) 工学的・科学的先駆者 (2) 学会活動推進者 (3) 技術開発指導者</p> <p>(4) 教育者 (5) 標準化・社会活動</p> <p>推薦理由</p>			
フェロー候補の推薦者	(1)	(	)印
氏名 (会員番号)	(2)	(	)印

(注) 記入スペースが不足する場合はそのまま行数を増やして書いてください。複数ページでも結構です。

代議員候補推薦のお願い

一般社団法人 画像電子学会
代議員選挙管理委員長

画像電子学会では、2026年度の代議員改選を行います。
下記の要領で代議員のご推薦をお願いします。

1)代議員とは

毎年1回6月に開催される総会に出席し、予算、決算、役員、事業計画など学会の重要事項につき審議する役割の人です。以前の総会には正会員なら誰でも出席し審議に参加出来たのですが、代議員制では正会員及び名誉会員を代表する形で代議員が総会に出席することになります。

総会は、学会の最高議決機関ですのでそれに正会員及び名誉会員を代表して出席する重要な役割を担うことになります。

2)代議員の人数と任期は

30人ぐらいで、任期は2年で（2026年選出の方は、2026.6.総会日～2028.6.総会前日）、2期程度とします。

3)選出する方法は

立候補及び学会の正会員、名誉会員などからの推薦により候補を定め、正会員、名誉会員の選挙によって選出します。

4)どのような人が代議員になれるのか

代議員は正会員、名誉会員から選出されます。但し役員（理事、監事）に就いている人は代議員になれません。

5) 推薦決定及び選挙方法は

ご推薦頂いた方を代議員選挙管理委員会にて資格審査し信任方法で選挙を行います。

学会の発展のためにお尽力頂ける意欲的な方をご推薦下さい。
勿論自薦でもかまいません。よろしくお願いします。

- ・推薦及び送付方法：添付の推薦書に必要事項を記入しメール又はFAXで事務局 大嶽宛にお送り下さい。
- ・送り先：FAX；03-5615-2894 E-mail；hyoujun@iieej.org
- ・締め切り日：2026.2.13(金)
- ・推薦の場合は、被推薦者の了解を得ておいてください。（非会員の場合は推薦後正会員にご入会頂きます）

氏 名	
所属・役職	
住所	
TEL・FAX	
e-mail	

推薦者 _____

<参考> 代議員選挙規程（必要な方は、事務局へお申し込み下さい。メールでお送りします）

目 次

論 文

- Characterization of Inkjet Inks by Ultrasonic Viscoelastic Measurements
..... Nobuaki OMATA...558(2)
- Description of Jetting Conditions Based on Dynamic Surface Tension Derived from Ink Drop Oscillation Behavior Naoki MORITA, Tsutomu NISHIWAKI, and Shigeki TAKAHASHI...565(9)

Special Topic

- 「Printed Flexible Electronics and Devices」
Introduction Kazuki NAKAMURA, Yuki YOKOYAMA,
Masanori NAGOSHI, and Atsushi TOMOTAKE...572(16)
- The Potential of Ultra-Flexible Organic Photonic Devices in Anesthesia and Vital Sign Monitoring
..... Tomoyuki YOKOTA and Takao SOMEYA...573(17)
- Efficiency Advancements and Mechanical Durability of Ultrathin Flexible Organic Photovoltaics
..... Kazuma NAKAJIMA and Kenjiro FUKUDA...581(25)
- An Inkjet-Printed Electron Transport Layer for Large-Area Perovskite Solar Cells Using a Commercial Inkjet Print Head Jinyoung LEE, Hyelin JEON, Jaeryul. YU, Seungryeol LEE,
Dongkyun SHIN, Jongsu YU, Kwangsoo KIM, and Daigeon YOON...589(33)
- Wettability-Driven Perovskite Patterning via UV Ozone Treatment for Reduced Material Usage
in Perovskite Solar Cells Nao SAITO and Masashi IKEGAMI...597(41)
- A Review of Aerosol Printing With Emphasis on Shuttering Methods
..... Md. Abu MOSA and Kye-Si KWON...607(51)
- Water Vapor Barrier Performance of Printable Photodensified Polysilazane and
Wavelength Dependence in Light Irradiation ... Yoshiyuki SUZURI and Tatsuki SASAKI...615(59)

Imaging Highlight

- 創作の軌跡もまたアートである KISEKI ART Project 井出信孝, 加藤哲朗...623(67)

教育講座

- 画像技術を支える高分子の基礎 (XI) —ゴムの試験法— 近藤寛朗...627(71)

研究室訪問

- エルゴノミクスデザイン研究室 (矢口研究室) 東京電機大学 理工学部 理工学科 情報システムデザイン
学系 643(87)

会報 646(90)

会告 647(91)

投稿案内 648(92)

日本印刷学会誌の目次 650(94)

画像電子学会誌の目次 651(95)

Journal of Imaging Science and Technology の目次 652(96)

画像閑話

令和七年編集委員

編集委員長	宮 本 栄 一 (株式会社エム・シー・エス)	編集幹事	石 塚 一 輝 (コニカミノルタ)
編集副委員長	名 越 応 昇 (三菱製紙)	編集副幹事	中 村 一 希 (千葉大学)
	山 口 大 地 (リコー)		

編集委員

新 井 啓 之 (日本工業大学)	次 田 将 大 (東海大学)	名 越 応 昇 (三菱製紙)
石 塚 一 輝 (コニカミノルタ)	常 安 翔 太 (東京工芸大学)	前 田 秀 一 (東海大学)
岩 田 基 (大阪公立大学)	椿 頼 尚 (シャープ)	宮 本 栄 一 (株式会社エム・シー・エス)
梅 津 信二郎 (早稲田大学)	朝 武 敦 (コニカミノルタ)	村 上 和歌子 (リコー)
加 藤 知 之 (東芝テック)	内 藤 裕 義 (大阪公立大学)	山 口 大 地 (リコー)
岸 由美子 (リコー)	中 村 一 希 (千葉大学)	山 崎 弘 (元コニカミノルタ)
齋 藤 将 史 (株式会社エム・シー・エス)	中 山 信 行 (東京工芸大学)	横 山 優 樹 (株式会社フィルムビジネスイノベーション)

口絵・口絵解説

- 327 「画像からくり」
第 71 回 リアタイムでレリーフを生成「ピンスクリーン」あるいは「ピンアート」
桑山 哲郎

写真のある美術館・博物館・資料館

- 329 ふげん社のご紹介

- 331 **会告** 日本印刷学会誌・日本画像学会誌・画像電子学会誌

特集 学会創立 100 周年記念特集：「語り継がれる写真産業史・写真文化史」

- 336 **解説** ソニーにおけるカメラ開発史ーデジタル一眼レフからミラーレスへの展開を中心にー
水口 淳

- 344 **解説** 三菱製紙（株）におけるインクジェット用紙産業史
名越 応昇，徳永 幸雄

一般論文

- 355 歴史的建造物，旧陸軍通信学校将校集会所のデジタルアーカイブスの検討
内田 孝幸，海老澤 模奈人，岩田 悠希，星野 龍彦，武井 琉奈，熊坂 憲広，越地 福朗，正 洋樹，中川 真人

- 368 2025 年度（第 11 回）画像関連学会連合会 秋季大会 講演要旨

- 409 **会報** 理事会抄録，入会のおすすめ

■ 巻頭言	
技術と感性の協奏— AI が拓く印刷の未来	藤谷 崇 251
■ 総説 特集「文化・芸術と印刷」	
デザインと印刷は共鳴して進化する	山形季央 252
18世紀英国における活字鋳造家ウィリアム・キャスロンによる	
古典的ローマン体活字の品質	山本政幸 261
美術と技術の融合した銀行券	齋藤和春 272
■ 国際会議報告	
The 15th Asian Symposium on Printing Technology (ASPT2025):	
Integration Creates the Future	東 吉彦 283
■ 印象記	
2025年度スクリーン印刷技術研究会セミナー	
「スクリーン印刷基礎講座『応用・上級編』」	江連真市 286
2025年第2回 P&I 研究会シンポジウム印象記	杉 裕紀 287
2025年日本印刷学会秋期セミナー印象記	江川慎一 288
■ Abstract	290
■ 資料	291
■ 総目次	293
■ 学会だより	295

日本印刷学会誌編集委員

編集委員長	矢口博之 (東京電機大学)	杉山 徹 (大日本印刷 (株))	小泉真一 (共同印刷 (株))
委員	東 吉彦 (東京工芸大学)	前田満穂 ((独) 国立印刷局)	
	光本知由 (富士フイルム (株))	伊藤 学 (TOPPAN ホールディングス (株))	
	矢島久夫 (東洋インキ (株))	大場久恵 (東京電機大学)	常安翔太 (東京工芸大学)
	次田将大 (東海大学)		
幹 事	小関健一		
表紙デザイン	益田宏樹		

会 報

○新入会員紹介（2025 年 12 月 31 日）

正会員

笠原 幹大（宇宙科学研究所）

学生会員

土屋 雅大（オムロン）

Wang Sikun（福岡工業大学）

○会員現況

名誉会員	18 名
正会員	437 名
学生会員	48 名
賛助会員	18 社 21 口
特殊会員	25 件

編集後記

新年あけましておめでとうございます。2026 年 1 月号（第 55 巻第 1 号）をお届けします。本年も、随想、論文、報告など、様々な記事構成を通じて、画像電子分野の現在と今後を多角的に捉えていただけることをめざして本誌を刊行してまいります。画像電子学会ならびに本学会誌を引き続きどうぞよろしくお願い申し上げます。

新年号の読み物として定着しつつある「来し方行く末」は、本号でも二編の寄稿を掲載しています。その一編では、AI 技術の急速な進展を背景に、プリンティング技術や画像処理技術が現在どのような成熟段階にあり、今後どのような問いを突き付けられるかについて論じています。もう一編では、企業における研究開発と、大学における教育・研究という課題を比較し、役割の相違や相互関係、さらにはそれらにおける人材育成の在り方について両方の現場体験を持つ著者から貴重な示唆が示されています。短期的な技術動向にとらわれず、分野の歴史的歩みをふまえつつ将来を展望するこれらの論考は、世代や立場を超えて多くの読者に、関連の課題を深く探る材料を提供するものと考えています。

論文としては、テキスト駆動によるモデリング手法、三次元構造推定、医用画像解析といった、多彩なテーマの研究成果を掲載しています。基礎的なアルゴリズムの工夫から実用を強く意識したシステム構築までが網羅され、画像電子分野の広がりや奥行きを感じさせる内容といえるでしょう。また、システム開発論文として掲載された研究は、現場での利用を前提とした構成となっており、本学会誌が重視している「研究成果を社会に接続する視点」を体現したものといえます。

読み物としては、久しぶりにコーヒーブレイクを掲載しました。研究や開発の最前線とは少し離れた視点から、技術的体験や出来事を振り返るこのような記事も、日々の研究活動の合間でふと立ち止まり、物事を改めて考え直す糸口として親しまれているものと思います。

報告記事では、Visual Computing ワークショップ 2025（VCWS2025）の開催報告を掲載しました。その発表内容や議論の概要を通じて、Visual Computing 分野における最近の動向、研究や関心の方向性を把握していただくと同時に、今後の研究テーマ設定や共同研究の声掛けのきっかけとしても役立てていただければ幸いです。

本号の巻末では、研究会予定や論文募集など、今後の学会活動に関する情報を多数掲載しています。3 月の IEVC もいよいよ近づいてまいりましたし、今年の年次大会も例年通り 8 月に開催の予定です。これらの行事は、研究成果の発表だけでなく、分野を横断した議論や人的交流を生み出す貴重な場です。是非会員の皆様方の積極的なご参加をお願い申し上げます。また、本学会誌は、こうした活動の足跡を記録し、次の研究や実践につなげる役割も担っています。今後もその機能をさらに高めるべく、編集委員一同努めてまいります。

本年が、会員の皆様にとって実り多く、新たな研究や挑戦へとつながる一年となることを祈念し、本号の編集後記といたします。

（編集理事 今給黎 隆）

画像電子学会誌総目次
(2025年)

著者名	題名	巻-号	ページ	掲載月
随 想				
内田 理	2025年の幕開けにあたって	54-1	1	2025.1
石博康雄	企画委員長就任挨拶	54-2	219	2025.4
藤澤 誠	副会長就任挨拶	54-3	287	2025.7
山本 奏	リアルを超えて心に寄り添う画像メディアの未来	54-4	373	2025.10
来し方行く末				
松木 眞	デジタル時代の写真再現	54-1	3	2025.1
高橋時市郎	ビジュアルコンピューティングの思いも寄らない幸運な旅	54-1	5	2025.1
追悼文				
酒井善則	安田浩 名誉会員を偲んで ーデジタルコンテンツ普及の最大の功労者ー	54-1	2	2025.1
各種表彰・学会役員				
	名誉会員推戴, フェロー, アレキサンダー・ペイン賞, 研究奨励賞, 優秀研究賞, 研究会若手奨励賞 贈呈	54-3	288	2025.7
	2025年度画像電子学会役員	54-3	292	2025.7
論文 資料論文 ショートペーパー				
[一般論文]				
河合紀彦 木内一隆 今村真平	表情を考慮した全方位カメラによる自撮りシステム	54-1	138	2025.1
國武千人 岩切宗利 田中 清	Super Voxel Patch を用いた低重複点群レジストレーション	54-1	147	2025.1
藍原直大 宮崎 剛 田中 博 上田麻理	画像変換を用いた複合音識別の高精度化とヒトの聴こえによる識別評価	54-1	157	2025.1
寺田卓馬 岡田一真 木村亮介 陳 延偉	円筒投影変換と深層学習による三次元顔点群データのエスニシティ 識別手法	54-3	296	2025.7
藤原章大 高村誠之	V-PCC 符号化における効率的なパッチ間補間法	54-3	304	2025.7
古川 諒 岩下晋治 常盤公德 福江潔也 長 幸平	筆跡のゆらぎに潜む筆者個性を活用した模倣筆跡の検出	54-4	422	2025.10
[システム開発論文]				
寺浦信之 越前 功 岩村恵市	キメラ構造と外郭構造を用いたQRコードのパーセント誤り耐性の向上	54-1	166	2025.1
山内大輝 林 正樹 平山 亮	AIによる自動選別を備えたバーチャル・ゴッホ・ミュージアム	54-3	313	2025.7
【VR/ARにおける画像電子関連技術論文特集号】				
編集委員会	VR/ARにおける画像電子関連技術論文特集に寄せて	54-2	220	2025.4
[論文]				
寺尾保範 伊達宗和 水科晴樹 山本健詞	足裏への振動を用いた空中像タッチにおける指の検出位置及びその検出タイミングが 操作性に与える影響	54-2	221	2025.4
中西康介 伊達宗和 水科晴樹 山本健詞	実写映像への輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理によるベクシヨンの増大	54-2	229	2025.4

宮崎彩乃 太田ひろ子 岩崎公弥子 浦田真由 遠藤 守 安田孝美	華道の初等教育を対象としたVR教材の試作	54-2	238	2025.4
工藤聖央 竹中誠人 丸山 充	メタバース空間内における多地点立体音響配信システム	54-2	247	2025.4
[ショートペーパー]				
廣川七海 佐藤周平	画像認識に基づく靴の整頓を促すための教育用ARシステム	54-2	255	2025.4
【ビジュアルコンピューティング論文特集/映像表現・芸術科学フォーラム論文小特集号】				
金井 崇	ビジュアルコンピューティング論文特集/映像表現・芸術科学フォーラム論文小特集に寄せて	54-4	374	2025.10
ビジュアルコンピューティング論文特集				
[論文]				
青木悠真 床井浩平	cGANによる中空オブジェクトの脆性破壊形状生成	52-4	375	2025.10
中山雅紀 藤代一成	PolySlerp: 球面多角線形補間	52-4	384	2025.10
坂本夏海 五十嵐 悠紀	写真を入力とする2次元アバター用衣装制作支援	52-4	395	2025.10
徳永恵太 藤代一成	Frame-Break: アナモルフォーシスを用いた裸眼立体映像の立体感の強化	52-4	405	2025.10
[ショートペーパー]				
福田徹平 石井雅樹 堂坂浩二	物体識別を目的とした物体のインタラクション領域の取得手法	52-4	412	2025.10
映像表現・芸術科学フォーラム論文小特集号				
[ショートペーパー]				
飛鳥井翠 菊池知世 金井 崇	メッシュのスペクトル処理を用いた位置ベースダイナミクス的高速化	52-4	417	2025.10
報 告				
高村 誠之	IEEE CTSocとのSister Society契約の締結	54-1	174	2025.1
画像電子学会Visual Computing 研究会	Visual Computing ワークショップ2024 (VCWS 2024)報告	54-2	177	2025.1
渡邊 修	万博スイス館でのJPEG ワークショップ	54-3	322	2025.7
ベイン賞選定委員会	第9回アレキサンダー・ベイン賞 授賞報告	54-4	435	2025.10
岩崎 慶	2025 年度 第53 回 画像電子学会年次大会報告	54-4	438	2025.10
年 報				
編集委員会	画像電子年報特集号の発行にあたって	54-1	7	2025.1
内田 理	1. 編集委員会の活動	54-1	8	2025.1
	2. 各種大会・イベントの取り組み			
田中 清, 佐野睦夫	2-1 年次大会	54-1	10	2025.1
平山 亮	2-2 セミナー	54-1	15	2025.1
竹島由里子	2-3 IEVC	54-1	19	2025.1
	2-4 画像関連学会連合会傘下イベント	54-1		
平山 亮	2-4-1 FIS秋季大会	54-1	21	2025.1
高田英明	3. 第1種研究会の取り組み	54-1	24	2025.1
	4. 第2種研究会の取り組み			
平山 亮	4-1 第2種研究会の位置付けと概要	54-1	26	2025.1
	4-2 ビジュアルコンピューティング分野			
金井 崇	4-2-1 ビジュアルコンピューティング (VC) 研究会	54-1	30	2025.1
高田英明	4-2-2 多次元画像 (MDI) 研究会	54-1	32	2025.1
	4-3 メディア応用分野			

深見拓史	4-3-1 VMA (Versatile Media Appliance) 研究会	54-1	34	2025.1
平山 亮	4-3-2 デジタルミュージアム・人文学(DMH)研究会	54-1	37	2025.1
4-4 標準化関連分野				
小野文孝	4-4-1 静止画符号化標準化 (SIC) 研究会	54-1	39	2025.1
4-5 生活支援分野				
平山 亮	4-5-1 視覚・聴覚支援システム (VHIS) 研究会	54-1	41	2025.1
4-6 共通領域				
長尾嘉満 長谷川克也 吉野 勝	4-6-1 建築と画像電子の共通領域 (AIM) 研究会	54-1	43	2025.1
長谷川克也 長尾嘉満	4-6-2 ドローン (DRC) 研究会	54-1	47	2025.1
5. 標準化動向				
山口雅浩	5-1 国際照明委員会第8部会 ―画像技術―	54-1	51	2025.1
山本秀樹	5-2 ITU-T SG16 (マルチメディアとデジタルサービス) ― 第3回及び合同作業部会合報告 ―	54-1	54	2025.1
中尾康二	5-3 ISO/IEC JTC 1/SC 27 ―セキュリティ技術―	54-1	60	2025.1
濱田信明	5-4 ISO/IEC JTC 1/SC 28 ―オフィス機器―	54-1	67	2025.1
渡邊 修	5-5 ISO/IEC JTC 1/SC 29 ―マルチメディア符号化―	54-1	72	2025.1
永田 徹	5-6 ISO/TC42/WG18, 20, 23, 26, 28 ―デジタル写真分野―	54-1	76	2025.1
上原まひる	5-7 IEC TC 100 ―オーディオ・ビデオ・マルチメディアのシステム および機器―	54-1	78	2025.1
佐藤利文	5-8 ISO/TC130 ―印刷技術―	54-1	81	2025.1
平川秀治	5-9 IEC SyC Smart Cities	54-1	83	2025.1
6. 装置動向				
児玉 明	6-1 タブレット端末	54-1	86	2025.1
植村八潮	6-2 電子書籍端末	54-1	91	2025.1
河村尚登	6-3 ディスプレイ・表示装置	54-1	94	2025.1
坂本静生	6-4 3Dスキャナ (3D入力装置)	54-1	98	2025.1
児玉 明	6-5 ウェアラブル機器	54-1	100	2025.1
児玉 明	6-6 スマートフォン	54-1	107	2025.1
陶山史朗	6-7 3Dディスプレイ	54-1	118	2025.1
川畑広隆 藤井秀樹 渡邊哲次 和田 学 副島秀樹	6-8 ファクシミリ	54-1	121	2025.1
長谷川克也	6-9 ドローン	54-1	124	2025.1
松木 眞	6-10 ノン・インパクト・プリンタ	54-1	126	2025.1
今給黎 隆	6-11 ゲーム機・ゲームソフト	54-1	129	2025.1
祖田寛貴 川原大弥 六日市正弘	6-12 BD レコーダ・プレーヤ	54-1	132	2025.1
編集委員会	6-13 各種装置の市場推移	54-1	135	2025.1
グループ紹介				
福里 司	早稲田大学 福里研究室	54-3	324	2025.7
藤堂英樹	拓殖大学 藤堂研究室	54-4	441	2025.10
スキャニング				
小野 文孝	JPEG標準化記念行事とJPEG会合の最新事情	54-2	261	2025.4
図書紹介				
田中 賢一	AI・量子コンピュータにかかわるリスク管理 セキュリティからガバナンスへ	54-2	264	2025.4

IEEEJ Transactions on
Image Electronics and Visual Computing (2025)

Papers				
【Regular Section】				
[Contributed Papers]				
Fumitaka ONO Kazuto KAMIKURA Yousun KANG	Basic Design and its Performance of Multiplication-Free Multi-Alphabet Arithmetic Code for Markov-Model Sources	13-1	33	2025.6

Shione ISHIDA Kyoko SUDO [Short Paper]	Online Hand Drawing Pattern Classification Using Sketch-RNN	13-1	42	2025.6
Ryoma HASHIMOTO Yoshinori DOBASHI [Invited Paper]	Interactive Bayesian Optimization of Level of Abstraction for Stylized Image Composition	13-1	50	2025.6
Fumitaka ONO Osamu WATANABE [Contributed Paper]	JPEG 2000: Its History of 25 Years and the Future Prospect	13-2	62	2025.12
Hideki KOMAGATA	Parallel-Line Detection and Attitude Estimation from Omnidirectional Images	13-2	68	2025.12
【Special Issue on Image Electronics Technologies Related to VR/AR/MR/XR】				
Takafumi KOIKE [Contributed Papers]	Upon the Special Issue on Image Electronics Technologies Related to VR/AR/MR/XR	13-1	1	2025.6
Liang LYU Jiaqing LIU Shurong CHAI Fang WANG Tomoko TATEYAMA Xu QIAO Yen-Wei CHEN	W-Attention Net for Lung Airway Precise Segmentation	13-1	2	2025.6
Taishi IRIYAMA Chihiro HOSHIZAWA Takashi KOMURO [System development paper]	Material Appearance Reproduction via GAN-Based Novel View Synthesis Considering the Naturalness of Intensity Changes in Viewpoint Transitions	13-1	14	2025.6
Ryota SUZUKI Yuto ISHIYAMA Yoshinori KOBAYASHI	Crossing over Virtual and Real Experiences through Digital Twin Partner Robot	13-1	25	2025.6

画像電子学会誌

第55巻第1号（通巻275号）
令和8年1月30日発行（年4回発行）
©2026 画像電子学会
E-mail : hensyu@iieej.org
<https://www.iieej.org/>

発行所 一般社団法人 画像電子学会
〒116-0002 東京都荒川区荒川 3-35-4 ライオンズマンション三河島第二 101 号
TEL (03) 5615-2893 FAX (03) 5615-2894（振替 00180-3-166232）
編集・発行者 内田 理

