

Visual Computing, Devices & Communications

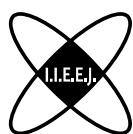
画像電子学会誌

*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*

- ◆【論文】ベタプリント色モデルに基づく2インキ層オーバープリントの色予測
- ◆【論文】安全性の高い印刷耐性を有する多値グリーンノイズ拡散電子透かし法
- ◆【論文】3D 仮想眼鏡試着のためのリアルタイム眼鏡取替映像生成法
- ◆【ショートペーパー】異なるサイズで算出した従来型 HOG 特徴量の集団学習を利用した画像認識性能改善の一手法
- ◆【ショートペーパー】SqueezeNet による蛍光顕微鏡画像上の CTC の自動検出
- ◆【報告】第19回ビジュアル情報処理研究合宿の開催報告
- ◆【講座】進化計算を用いたパターン生成



一般社団法人

画像電子学会

Vol.49 No.2

2020

株式会社朝日新聞社
池上通信機株式会社
オリパス株式会社
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KDDI研究所
株式会社ゲネシスコンマース
コニカミノルタ株式会社

サクサ株式会社
シリコンスタジオ株式会社
株式会社テレビ朝日
ソニー株式会社
DIC株式会社
大日本印刷株式会社
ディライトワークス株式会社
東芝テック株式会社
凸版印刷株式会社

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
富士ゼロックス株式会社
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) 児玉 明
(副委員長) 内田 理, 小林直樹, 竹島由里子
(編集顧問) 安田靖彦, 富永英義, 小宮一三, 青木正喜, 小野文孝, 羽鳥好律, 松本充司, 田中 清.
(編集理事) 荒井良徳, 佐藤周平, 石川知一, 関野雅則.
(名誉編集幹事) 加藤茂夫
(編集幹事) 津田大介, 森谷友昭, 山田雄一郎.
(編集・査読委員) 石川雅浩, 上平員丈, 大木眞琴, 金井 崇, 河村尚登, 木村俊一, 久下哲郎, 倉掛正治, 櫻井快勢, 佐藤甲癸, 篠田一馬, 白川真一, 新谷幹夫, 田中賢一, N.P. チャンドラシリ, プレーマチャンドラ・チンタカ, 坪下幸寛, 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, 若原俊彦, 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, 斉藤文彦, 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) 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るか, 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館, 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 (口座振替 9,000 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49巻 第2号 通巻252号 (2020年4月)

目 次

随 想		
99	ピンチをチャンスに	関野雅則
	追悼文	
100	中前栄八郎初代VC研究会委員長を偲んでー Visual Computing 委員会立上げの貢献者ー	西田友是
101	山崎泰弘 名誉会員を偲んでー 眠れる巨人『ファクシミリ』を 目覚めさせた功労者ー	若原 恭
	論 文	
102	ベタプリント色モデルに基づく2インキ層オーバープリントの 色予測	徐 咏馳, 徐 錦林
110	安全性の高い印刷耐性を有する多値グリーンノイズ拡散電子 透かし法	河村尚登, 姜 玄浩, 岩村恵市
119	3D仮想眼鏡試着のためのリアルタイム眼鏡取替映像生成法	小林 巧, 杉浦裕太, 斎藤英雄, 上間裕二
	ショートペーパー	
128	異なるサイズで算出した従来型HOG特徴量の集団学習を利用 した画像認識性能改善の一手法	盧 忻, 城澤大輝, 木村彰男
136	SqueezeNet による蛍光顕微鏡画像上のCTC の自動検出	中道一貴, 陸 慧敏, 金 亨燮, 米田和恵, 田中文啓
	コーヒーブレイク	
144	ビールの魅力	田中 清
	報 告	
146	第19 回ビジュアル情報処理研究合宿の開催報告	大上 俊, 森久保愛, 田代裕子
	講 座	
154	進化計算を用いたパターン生成	小野智司
	グループ紹介	
160	東京電機大学 理工学部 理工学科 理学系 数理情報学コース	石原聖司
	スキャンニング	
162	デジタル化で変容した画像処理と印刷	深見拓史
	会 告・ニュース	
165	理事会だより・協賛案内	177 短期特別査読制度に係る論文募集
168	画像電子学会研究会等予定	178 論文投稿の手引き
169	自動化・省人化・増力化を支える画像処理技術論文募集(和・英)	181 日本画像学会誌・日本写真学会誌・日本印刷学会誌目次
171	未来社会の実現に向けた画像関連技術論文募集(和・英)	187 会 報
173	「短期特別論文査読制度」のご案内	187 編集後記

**The Journal of
the Institute of Image Electronics Engineers of Japan**
Vo1.49 No.1 January 2020
CONTENTS

Foreword

- 99** Tough Times Bring Opportunity Masanori SEKINO

In Memoriam

- 100** Eihachiro NAKAMAE Tomoyuki NISHITA
101 Yasuhiro YAMAZAKI Yasushi WAKAHARA

Contributed Papers

- 102** Color Prediction of Two-Ink Layer Overprint Based on Solid Print Color Model Yongchi XU, Jinlin XU
110 Secure Multi-level Green-Noise Diffused Watermarking with Printing Durability Naoto KAWAMURA, Hyunho KANG, Keiichi IWAMURA
119 Real-time Eyeglasses Replacement Method for 3D Virtual Try-on Takumi KOBAYASHI, Yuta SUGIURA, Hideo SAITO, Yuji UEMA

Short Papers

- 128** An Improvement of Image Recognition Performance Using Ensemble Learning for Conventional HOG Features Calculated with Different Sizes of Cell and Block Xin LU, Daiki SHIROSAWA, Akio KIMURA
136 Automatic Detection of CTC in Fluorescence Microscopy Images by Using SqueezeNet Kazuki NAKAMICHI, Huimin LU, Hyoungseop KIM, Kazue YONEDA, Fumihito TANAKA

Coffee Break

- 144** Fascinated by Beer Kiyoshi TANAKA

Report

- 146** The Report of the 19th Visual Information Processing Camp Shun OHUE, Ai MORIKUBO, Yuko TASHIRO

Tutorial

- 154** Pattern Generation Using Evolutionary Computation Satoshi ONO

Research Group Introduction

- 160** Mathematical Informatics Course, Division of Science, Department of Science and Engineering, School of Science and Engineering, Tokyo Denki University Seiji ISHIHARA

Scanning

- 162** The Digital Transformation of Image Processing and Printing Takushi FUKAMI

ピンチをチャンスに

関野 雅則 (編集理事, 富士ゼロックス株式会社)

Tough Times Bring Opportunity

Masanori SEKINO (Board Member of IEEEJ, Fuji Xerox Co., Ltd.)



新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が流行しています。音楽・セミナーなどの文化イベントやスポーツイベントの中止や、無観客での開催への変更が相次いでおり、7月から9月にかけてのオリンピック・パラリンピックの開催も案じられています。入試や期末・期初というイベントの多いシーズンにも重なったことから、学内外や職場での対処に苦心されている方も多いと思います。本稿を書いている3月上旬では、流行の中心であった中国において、新規の感染者数が減少に転じているとの情報もありますが、過去のコロナウイルスの流行であるSARS (2003年) やMERS (2015年) の場合には、終息までにそれぞれ6ヵ月、8ヵ月以上かかったことを考えると、混乱は当面続くのではないのでしょうか。

この度のような感染症の流行について、歴史を簡単に振り返ってみますと、近代以降、18世紀から20世紀初頭にかけて、ペスト、コレラ、インフルエンザなどが世界的な流行をみました。その背景には、産業革命以降の急激な都市化にともなう住環境の悪化や、蒸気船や鉄道の発明による交通手段の発達とそれにとともなう商品流通と人の移動の活発化などがあげられます。

感染症への対処が社会的に求められたことが、社会レベルでの健康を取り扱う公衆衛生学や、病気の発生原因と予防について研究する疫学の発展につながりました。下水道および下水処理施設、行政によるごみ収集によって衛生状態が改善され、病原体から病気が感染することが明らかとなったことから、汚染された水源など、感染源の効果的な排除が可能になり、ペストについては先進国では19世紀にほぼ根絶されました。これについてはペスト菌の発見者で新千円札の肖像にも選ばれた北里柴三郎や血清療法を見出したベーリングらの功績がよく知られています。コレラも19世紀末のコレラ菌の発見によりその後は世界的流行には至っていません。

しかしながら、100年前の第一次世界大戦中に流行したインフルエンザの一種であるスペインかぜ (1918-1919) は、各地域での流行を経て世界人口の3割近くが感染し、死者数は5,000万~1億人といわれるほどの、大きな被害をもたらしました。当時の感染対策としては、マスクの着用、うがいや石鹸での手洗い、人混みの回避、咳エチケットの啓蒙、集会やイベントの中止、患者の隔離や検疫などが行われたそうです。

その後、1929年のペニシリンの発見以降、優れた抗菌力をもつ抗生物質の発見が続き、細菌感染症の治療は飛躍的に進歩しました。しかし、ウイルス感染症については、スペインかぜの流行時は推測上の存在だったウイルス粒子を電子顕微鏡で直接観測できるようになり、DNAやRNAの仕組みも明らかになった現在においても、効果的な抗ウイルス薬の開発は困難であるようです。

翻って今日のCOVID-19に対して行われている感染対策を見ると、内容的には100年前のスペインかぜの時代の感染対策と大差なく、病原体への接触を避けるという基本に変化は無いようです。しかしその具体的方法においては、近年の進歩が著しいICT技術を活用した、さまざまなアプローチが見受けられます。日本も含め、感染拡大の恐れがある国々では、リモートワークやオンライン会議の導入が促進されています。その際、遠隔コミュニケーションを近接コミュニケーションにより近づけるAR/VR技術の本格的な活用が期待されています。また、医療従事者と患者の接触を最小限とするための5G回線を利用した遠隔診断の導入、都市封鎖における自動運転配送車の活用、無人搬送ロボットの開発など、COVID-19への対策の中から、無人化技術やリモート技術に対する新たなユースケースや課題が掘り起こされているように思います。国連の予想によれば、世界人口の都市部への集中は今後も続き、2018年の55%から、2050年には66%に達すると予想されています。人口集中による環境悪化と感染症の流行を防ぎ、安全性と経済性の向上に資するこれらの技術の重要性は、今後もさらに高まっていくのではないのでしょうか。

さて、100年前のスペインかぜの流行は、第一次世界大戦の早期終結をもたらし、戦後に民間に売却された軍用機の活用と軍務を退いた飛行士らの登場によって旅客機の時代が始まったといえます。勿論、ウイルスの流行自体は歓迎されざるものですが、このピンチをチャンスとして、新たな時代につながるような技術の創出や社会システムの改革を願うとともに、一研究者、一技術者として、その発展に微力ながら貢献していきたいと思います。



中前栄八郎初代 VC 研究会委員長を偲んで

— Visual Computing 委員会立上げの貢献者 —

中前栄八郎初代 VC 研究会委員長は、2019 年 12 月 25 日に逝去されました。享年 91 歳でした。ここに謹んで哀悼の意を表します。

中前先生の薫陶を受けられた会員の方々が後述のように数多くおられる中、私が追悼文を書かせて頂くのは、何より本学会に Visual Computing 研究の隆盛をもたらされたご功績をお伝えするためであります。

ご承知のように、CG 研究の先駆者にして世界最先端・最高の研究者でもいらっしゃった中前先生は、1993 年に、画像電子学会の Visual Computing 研究委員会の初代委員長に就任され、4 年間委員長職を務めていただきました。その後、委員長は画像処理研究の世界的なパイオニアである、鳥脇純一郎先生に引き継がれました。その後を、中前先生の直接の弟子である小生がお引き受けしたわけですが、このようなりレーは CG と画像処理の融合を目指す Visual Computing 研究委員会にとって、大変心強いものでした。

中前先生が初代委員長に着任された Visual Computing 研究委員会は、先生の率先垂範の行動力、的確な指導力と敬愛される人となりとが相まって、順調に活動の輪が広がり、勢いが加速されて行きました。まず、1993 年に第 1 回の VC ワークショップが筑波で開催され、1995 年 6 月号の学会誌において最初の VC 特集号が発行され、1997 年には第 1 回の VC/GCAD 合同シンポジウムが開催されました、いずれも投稿件数が年々増加し、この分野の国内最高峰の論文特集・シンポジウムに成長して、現在に至っております。

広島大学での中前先生の講座名は電気機器で、機器設計結果の製図への応用ということから図形処理の研究を始められました。当時、計算機で図形を描くということは画期的で、その研究に生涯を捧げられた中前先生は「日本の CG の父」と称されるようになりました。中前先生は研究のみでなく人材育成にも貢献されており、VC 委員会のメンバーとしては小生（当時東大）のほかに、金田和文（広島大）、多田村克己（山口大）、馬場雅志（広島市立大）、土橋宜典（北大）ら（敬称略）を育てられ、さらに小生は画像電子学会会長（2009）、土橋宜典は副会長（2016）を務めるなど、学会にも貢献させていただいています。

中前先生は広島大学をご退職後、広島県立大学、広島工業大学に勤務され、その間 80 歳になられても、以前に指導された海外の研究者との共著論文を発表されるなど、その衰えを知らない研究意欲には敬服せざるを得ません。亡くなられる 2、3 週間前に多田村先生と電話をされており、私も前日にメールを頂いており、お元気な様子でしたのでまさに晴天の霹靂でした。葬儀は家族葬でしたが、「偲ぶ会」が故郷の尾道で開催の予定です（新型コロナの影響で 5 月以降に延期）。中前先生の進取のご気性とたゆまぬご尽力によって現在の Visual Computing 研究分野の隆盛がもたらされたことに、改めて深謝致しますとともに、心より先生のご冥福をお祈り申し上げます。

東京大学名誉教授 西田 友是（フェロー）

<中前栄八郎先生ご略歴>

昭和 29 年 3 月	早稲田大学 第一理工学部電気工学科 卒業
昭和 31 年 3 月	早稲田大学 大学院工学研究科修士課程電気工学専攻 修了
昭和 42 年 10 月	工学博士(早稲田大学)
昭和 31 年 4 月	広島大学工学部 助手
昭和 39 年 1 月	広島大学工学部電気工学科 助教授
昭和 43 年 4 月	広島大学工学部電気工学科 教授
昭和 48 年 8 月	文部省在外研究員 クラークソン工科大学客員研究員
昭和 51 年 4 月	広島大学工学部第二類（電気系）教授
平成 4 年 5 月	広島県立大学経営学部経営情報学科 教授
平成 8 年 4 月	広島工業大学工学研究科電気工学科 教授
平成 11 年 5 月	(株) 三英技研 会長



山崎泰弘 名誉会員を偲んで

－ 眠れる巨人『ファクシミリ』を目覚めさせた功労者 －

本学会名誉会員・フェロー（元会長）の山崎泰弘様は、2020年3月8日にご逝去されました。享年77歳でした。あまりにも突然のことで、訃報に接した際には暫く言葉を失っていました。昨春お会いして食事と団らんを楽しむ機会があり、今年も暖かくなったらと考えていた矢先のことでした。山崎さんの代表的な研究であるファクシミリに関し指導を頂きながら苦楽を共に研究する機会を持てたことに感謝しつつ追悼の辞を述べさせていただきます。

山崎さんは1970年代から映像メディア分野において先駆的な研究に取り組み、ファクシミリ・階層形画像通信システム・音声翻訳通信技術・高度情報取得システム等に関し多大な成果を挙げられました。いずれの研究も「基礎から実用化まで」と「要素技術からシステム技術まで」をモットーに奥深くかつ幅広く技術を探求し、成果はすべて情報通信システムとして結実しました。特に電話網用ファクシミリについてはデジタル圧縮符号化方式の考案と開発に加え国際標準化にも成功し、これによって100年以上の長い期間『眠れる巨人』だったファクシミリが目覚めることとなり、数億台のデジタルファクシミリ（G3）装置が世界中の事務室や家庭等で利用されるまでに至りました。

ファクシミリのこの爆発的な発展の鍵は伝送時間の大幅な短縮にありました。当時実用されていたファクシミリはアナログ方式でA4サイズ1枚の伝送に6/3分必要だったため利用が伸び悩んでおり、伝送時間を1分/30秒程度に短縮できる技術が強く切望されていました。山崎さんは1973年に国際電信電話株式会社KDDに入社されてこの実現に向けた研究を開始し、以来デジタル圧縮符号化方式の考案と改良及び国際伝送実証実験に尽力され、その結果RAC（Relative Address Coding）方式が完成しました。その後NTTと共同研究を進めて更に優れたREAD（Relative Element Address Designate）方式の開発に成功し、1978年にREAD方式は当時国際標準化を担っていた国際電信電話諮問委員会CCITT（現国際電気通信連合電気通信セクターITU-T）への日本からの正式な提案となりました。その頃世界の主要国もファクシミリ符号化方式に関して積極的な研究開発を進め、合計7方式の提案が集まりました。標準化の審議は総合的な国際比較評価試験を含めた熾烈な争いでもありましたが、READ方式の秀逸さは客観的に認められ、簡易化のために若干の変更を加えたMR（Modified READ）方式が唯一の2次元デジタルファクシミリ圧縮符号化方式として採択されました。その最終勧告文書の起草チームのリーダーには山崎さんが推挙され、勧告文書は1980年に満場一致で承認されてMRが正式な世界標準となりました。これを機にデジタルファクシミリ装置の生産が開始され、以降指数関数的な勢いで世界に普及していき、20世紀から今世紀にかけての世界的な情報化による社会の急速な発展に大きく貢献しました。

この偉大な功績に対し、山崎さんは内閣総理大臣発明賞・科学技術庁長官賞・前島賞・業績賞・論文賞・フェロー称号等各界から多数の表彰や栄誉を授与されました。更に、この功績は内外の学会においてマイルストーンにも選定されています。

このような山崎さんは技術に関しては常に本質を捉え徹底した厳しさがある一方、日頃の粘りや責任感の強さ、そして冷静沈着な態度と温和なお人柄は研究者としての鑑でもありました。ご本人が語られることはあまりなかったと思いますが、山崎さんは音楽の愛好家でもありました。40余年の長い期間お付き合いを頂きながら、学生時代から始められたチェロの演奏も数年前のカーネギーホールでの合唱も拝聴する機会を得なかったことが残念でなりません。

山崎泰弘様の偉大な業績に対し謹んで尊敬と感謝の意を表し、みたまのとこしえの安らかならんことを心よりお祈りいたします。

東京大学名誉教授 若原 恭

<山崎泰弘様のご略歴>

1968年3月	東京大学工学部電気工学科 卒業
1973年3月	東京大学大学院工学系研究科電気工学専門課程博士課程 修了(工学博士)
1973年4月	国際電信電話株式会社 KDD 入社
1985年8月	KDD 研究所端末装置研究室 室長
1990年7月	KDD 研究所 次長
1993年3月	ATR 音声翻訳通信研究所 代表取締役社長
2000年10月	東海大学情報理工学部 教授
2008年3月	東海大学 退職

ベタプリント色モデルに基づく2インキ層オーバープリントの色予測

徐 咏 馳[†] (正会員) 徐 錦 林^{††}

[†]中国西安工程大学 服装と芸術デザイン学院

^{††}中国西安理工大学

Color Prediction of Two-Ink Layer Overprint Based on Solid Print Color Model

Yongchi XU[†] (*Member*), Jinlin XU^{††}

[†] School of Apparel and Art Design, Xi'an Polytechnic University, China

^{††} Xi'an University of Technology, China

〈あらまし〉多色印刷ではインキの重ね刷り（オーバープリント）が必然的に発生し、第一色のインキ層が乾かないうちにオーバープリントした第二色のインキ層が薄くなるという、いわゆるインキトラッピング率問題が生じる。本論文では、まず均質で平坦なインキ層を想定してインキ層分布を表す等価表現方法について述べ、インキ層の厚さの比を用いてインキトラッピング率を表示する。次に、紙とインキの光散乱特性に基づく単色のベタプリントの色予測モデルを参考にして、第一色のベタプリント色モデルに基づく2インキ層オーバープリントの色予測方法を提案する。その中で、印刷物中のインキ層の光学パラメータを測定するために、透明フィルムに印刷したベタインキ層（模擬インキ層）の考えを導入する必要性、および模擬インキ層の製作方法について説明し、特定の波長におけるインキ層の逆方向透過率によってインキ層の厚さを推定するアルゴリズムを説明する。続いてオーバープリントのプロセスを正確にシミュレートするためのサンプル作成技術を導入する。さらに、模擬インキ層の反射率を補正する処理の必要性と補正方法について具体的に説明する。最後に、実験サンプルの予測値と実測値との比較結果を示し、本予測モデルにより2インキ層オーバープリントの色を正確に予測できることを確認した。

キーワード：オーバープリント、インキトラッピング率、模擬インキ層、色予測モデル

<Summary> Multicolor printing inevitably results in the overprinting of ink layers and wet-on-wet printing. In this case, the ink trapping rate is defined to describe how much less the volume of the second ink printed on the wet ink layer is than it printed on the dried ink layer or on the blank paper. In order to predict accurately the color of overprint solids, a new color prediction model was built on the basis of the simplest two-color overprint solid in this paper. Firstly, the uneven distribution of ink layers in two-color overprint solid was reduced to evenly distributed ink layers. As a result, the ink trapping rate was provided in which the rate of thickness of second ink layer printed on the wet first ink layer or on the blank paper was calculated. Secondly, referring to the color prediction model based on the light scattering characteristics of the paper and ink layer, the necessity of selecting the simulation ink layer to measure the optical parameters of ink layer was explained, a new preparation method of the simulation ink layer was described, an algorithm for calculating the thickness of ink layer with the reverse transmittance of ink layer based on a specific wavelength was built, a new production method of experimental samples to simulate accurately the process of overprinting was provided, the necessity and method of correcting the reflectance of simulation ink layer was emphasized, the color prediction model of the two-color overprint solid based on a solid print was given in this paper. Finally, by comparing the predicted and measured values of the experimental samples, the proposed model can accurately predict the color of two-color overprint solids.

Keywords: overprint, ink trapping rate, simulation ink layer, color prediction model

1. はじめに

現代のカラー印刷物は、CMYK4色または4色以上のインキで繰り返し印刷される。ハーフトーン印刷のプロセスでは、後刷りプレートのドット部分のインキは、紙を直接覆うことに加え、先刷りのドットも覆い、ドットの重なりを形成する。つまり、多色刷りの過程では、インキ層の重ね刷り（オーバープリント）が必ず発生する。インキの重なる面積の大きさに違いがあるとはいえ、本質的にはすべてがインキ層の重ね刷りとみなせる。多色印刷機では1時間に何万枚もの印刷物を印刷でき、先刷りと後刷りの印刷時間の間隔は非常に短いので、先刷りのインキがまだ乾かないうちに、後刷りのインキを印刷する。このような印刷過程は通常「ウェットオンウェット」と呼ばれる。濡れたインキ層は紙とは性質が異なり、後刷り印刷プレート上のインキ量、圧力や速度など、印刷プロセスの条件が変わらなくても、プレートから紙に転写された先刷りのインキ量と比べ、先刷りのインキ層に転写される後刷りのインキ量は少なくなる。つまりインキトラッピング率の問題がある。後刷りインキ量の低下は、印刷画像の色相や階調レベルの再現に直接的な影響を与え、印刷画像の色やグレーのバランスを左右するため、トラッピング率の制御は、多色印刷においてインキ混色の安定度を制御するための重要な手段である¹⁾。インキが紙に印刷されれば、インキが紙に浸透する現象が生じる。しかしインキが先刷りのインキ層に印刷されれば、透明フィルムに印刷されるのと同様であり、ほとんど浸透はしない。両者の光学的構造は異なり、発色効果も異なる。

これまでの研究で、密度法²⁾、重量法³⁾、色度法⁴⁾など、様々なインキトラッピング率の定義や解析が提案されてきたが、人間の目で見えた視覚効果とは異なっていたり、その検出が困難であることから、これらはいずれも印刷業界に受け入れられるに至っていない。また、ハーフトーンプリントの色予測モデルとしては、たとえば、有名なNeugebauer方程式⁵⁾やClapper-Yuleモデル⁶⁾がある。しかし、それらの論文では、Demichel式を使用して各色要素の面積率を求め、各色要素の測色値を基本パラメータとして色予測を行っており、各要素の色形成メカニズムにはほとんど言及していない。本論文でとりあげる、紙とインキ層内での光の散乱によって、光の透過方向によりインキ層の透過率が異なることなどを考慮した、オーバープリント部の色予測を扱った文献は、見あたらない。

本論文の構成は次のとおりである。2章では、まず印刷物の発色効果がインキ量によって決定されるため、均質で平らなインキ層を用いてインキ層の分布状態をシミュレーションし、インキ層の厚さの比を用いてオーバープリントのインキトラッピング率を表示する。3章では、第一色のベタプリントを第二色印刷のサブストレートと見なし、第一色ベタプリントに基づく2インキ層オーバープリントの反射率予測モデルを提案する。そのなかで、3.1節では、模擬インキ層（透明

フィルムに印刷されたベタインキ層、以下同じ）を用いてインキ層の光学パラメータを測定する必要性を説明し、模擬インキ層の作成方法を紹介する。3.2節では、特定波長におけるインキ層透過率によってインキ層の厚さをフィッティングする必要性とその方法を紹介する。3.3節では、インキ層の反射率をフィッティングするとき、模擬インキ層の反射率の測定値を補正することの重要性とその方法を説明する。4章では、オーバープリントサンプルを作成する方法を紹介し、オーバープリントサンプルの測定結果に基づくデータ分析を行い、このモデルによる2インキ層のオーバープリントにおける色予測精度を確認する。5章は本論文のまとめである。

2. オーバープリントのインキ層分布の等価表現とインキトラッピング率

大まかには、インキ層はサブストレートの表面を均一に覆うと考えられるが、実際には様々な原因から、インキ層の厚さは均一ではなく、その表面も平坦ではなく、どこかに小さな穴ができていいる可能性もあることが顕微鏡で観察できる。これは第一色インキ層にオーバープリントした第二色インキ層についても同様である。図1(a)は、インキ層分布状況の概略図である。印刷物の発色原理は、典型的な減法混色である。インキの発色効果は入射光の選択吸収に依存する。一般的に光の吸収量はインキの量と直接関係がある。インキの総量が一定であるという前提の下で、本研究ではインキ層を厚さが一定の連続的なインキ層として扱うが、第二色インキ層の厚さは第一色よりやや薄くなる。オーバープリントしたインキ層の等価表現分布状態は図1(b)に示すとおりである。

一定のインキ層被覆面積の下では、インキ層の厚さはインキの量に比例する。したがって、「ウェットオンウェット」印刷におけるインキトラッピング率は、次の式(1)のように表示できる。

$$\eta = \frac{D_{op2}}{D_2} \quad (1)$$

ここで、 D_{op2} は第一色のインキ層に転写された第二色のインキ層の厚さで、 D_2 は紙に転写された第二色のインキ層の厚さで、 η はインキトラッピング率である。ウェットインキ量と乾燥後のドライインキ量とが線形関係であると仮定すれば、サンプル制作時のウェットインキ量の比率は、インキ層の厚さの比率として表すことができる。

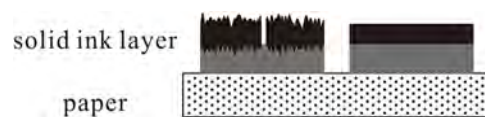


図1 印刷インキ層分布及び等価表現の概略図

Fig. 1 Overprint ink layer distribution and equivalent performance diagram

3. ベタプリント色予測モデルに基づく2インキ層オーバープリントの色予測

プリントの色は、プリントの反射率に完全に依存することがわかっており、いわゆるプリントの色予測はプリントの反射率予測といえる。筆者らは文献7)で紙とインキの光散乱特性に基づき、モノクロベタプリントの色予測モデルを次の式(2)のように提案した。

$$R_{print} = R_{ink} + R_{paper} * TF_{ink} * TR_{ink} \quad (2)$$

ここで、 R_{print} は単色ベタプリントの反射率、 R_{paper} は平行光の垂直入射の場合の紙の反射率、 TF_{ink} はインキ層の順方向透過率、すなわち照明光源によるインキ層の透過率、 TR_{ink} はインキ層の逆方向透過率、つまり紙の反射光によるインキ層の透過率、 R_{ink} はインキ層の反射率である。このモデルの特徴のひとつは、紙とインキの光散乱特性を考慮していることである。0/dのテストジオメトリの場合、入射光はコリメート光であるにもかかわらず、紙の反射によって再びインキ層を透過する光はコリメート光ではない。その結果インキ層の順逆方向で透過率が異なる。次に、インキ層の反射率がプリントの反射率に与える影響を考慮しなければならない。このモデルでは、インキ層の光散乱による紙の反射率への影響を無視したまま、紙のコリメート反射率を採用している。

2インキ層オーバープリントと単色ベタプリントの主たる違いは紙の上を2インキ層が覆うことである。図2は2インキ層オーバープリントの反射率予測モデルの見取り図である。このなかで入射光 I_0 だけがコリメート光であり、ほかはすべて散乱光である。また、記号の意味は、 R_{print1} は第一色のベタプリントの反射率、 TF_{opink} 、 TR_{opink} 、 R_{opink} は順にオーバープリントする第二色インキ層の順方向透過率、逆方向透過率、反射率である。このモデルを検討する際に、簡便な方法として、第一色のベタプリントを紙に似たサブストレートとみなし、そのうえに第二色のインキを印刷するものとする。その場合、次の式(3)のように2インキ層オーバープリントの色予測モデルを構築できる。

ルを構築できる。

ここで、 R_{op} はオーバープリントの反射率である。実際のベタ

$$R_{op} = R_{opink} + R_{print1} * TF_{opink} * TR_{opink} \quad (3)$$

プリントでは、インキ層と紙は光学的に接触しており、分離できないので、式(3)のなかで直接測定できるのは、各色プリントの反射率のみである。したがって、この予測モデルを検証し使用するうえでの問題は、印刷した第二色インキ層の厚さ、および順逆方向の透過率と反射率などの光学パラメータをどのようにして得るかということになる。

3.1 模擬インキ層の製作とパラメータ測定

実際のプリントでは、インキ層と紙とを完全に剥離できないので、インキ層の厚さと光学パラメータを計器で測定することができない。本研究では、文献8)の方法を参考として、印刷適性試験機を使用し、PET透明フィルムに単色のベタインキ層を生成し、模擬インキ層のサンプルを作る。次に電子天秤でサンプル上のインキ量を測定する。サンプルのインキ付着面積が一定であるため、インキ量の変化はインキ層の厚さの変化を表すといえる。また、380nm～730nmの波長範囲を、10nm間隔で、サンプルの順方向分光透過率と分光反射率を分光光度計で実際に測定し、それに基づき、MATLABのpolyfit関数を使用し、3次多項式のフィッティング関数の係数行列を計算して、模擬インキ層の厚さから反射率を導くフィッティング関数 $DtoR$ と、模擬インキ層の厚さから順方向透過率を導くフィッティング関数 $DtoTF$ とを構築する。

図3は、Hanghuaインキの透過率が大きい部分(C500nm, M650nm, Y650nm)で $DtoTF$ 関数を使用し模擬インキ層の厚さから計算した模擬インキ層の順方向透過率のグラフである。

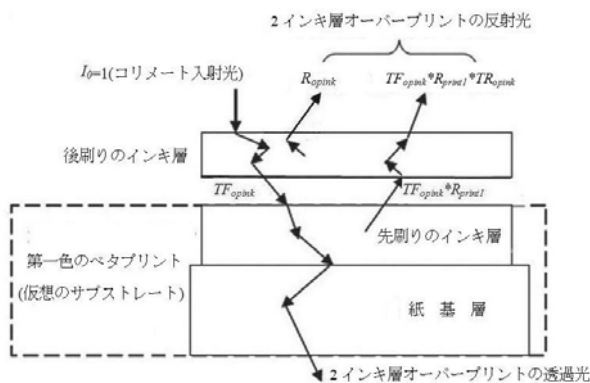


図2 2インキ層オーバープリントの反射率予測モデルの見取り図

Fig.2 Interpretation of reflectance prediction models for two ink layer overprints

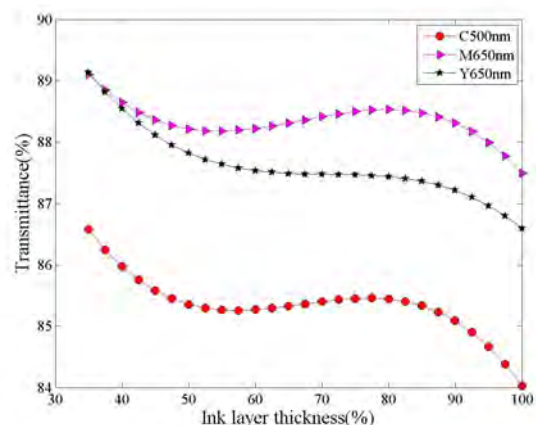


図3 Hanghuaインキの透過率が大きな部分で $DtoTF$ 関数を使用し模擬インキ層の厚さから計算した模擬インキ層の順方向透過率

Fig.3 The forward transmittance curve of simulated ink layer calculated by using $DtoTF$ function from the thickness of simulated ink layer at certain wavelength where Hanghua ink has higher transmittance

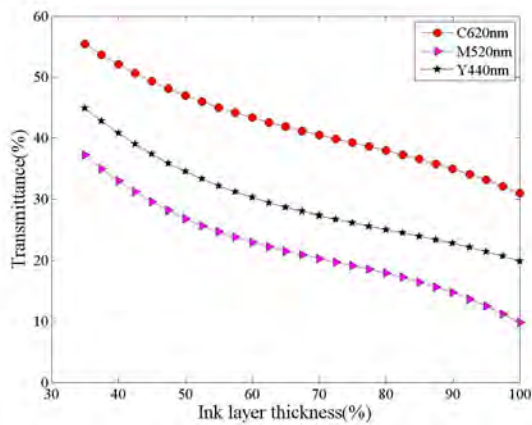


図4 Hanghua インキの透過率が小さい部分で DtoTF 関数を使用し模擬インキ層の厚さから計算した模擬インキ層の順方向透過率

Fig.4 The forward transmittance curve of simulated ink layer calculated by using DtoTF function from the thickness of simulated ink layer at certain wavelength where Hanghua ink has lower transmittance

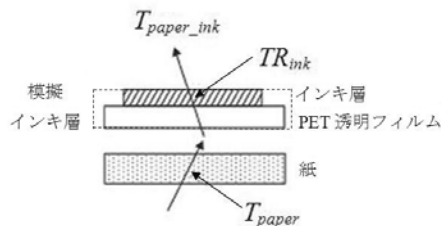


図5 模擬インキ層を用いたインキ層の逆方向透過率を求める方法の見取り図

Fig.5 Schematic diagram of calculation method for the reverse transmittance of the ink layer by using a simulated ink layer

図4は、Hanghua インキの透過率が小さい部分（C620nm, M520nm, Y440nm）で DtoTF 関数を使用し模擬インキ層の厚さから計算した模擬インキ層の順方向透過率のグラフである。

散乱入射光の測定条件をシミュレーションすることが困難なため、インキ層の逆方向透過率は直接測定することができない。図5は模擬インキ層を用いたインキ層の逆方向透過率を求める方法の見取り図である。そこで、模擬インキ層と印刷用紙を重ねて模擬印刷物を構成し、入射光を用紙側に想定して合成物の透過率 T_{paper_ink} を測定し、これを用紙のコリメート透過率 T_{paper} で除算すれば、模擬インキ層の逆方向透過率 TR_{ink} が、次の式(4)として得られる。

$$TR_{ink} = \frac{T_{paper_ink}}{T_{paper}} \quad (4)$$

3.2 第二色インキ層の厚さの決定方法

第二色インキ層は、紙に印刷されたインキの量と異なるだけでなく、インキの粘着性（Tack 値）、印刷色の順番などを

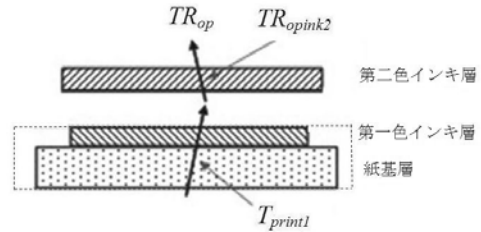


図6 オーバープリントの第二色インキ層の逆方向透過率を求める方法の見取り図

Fig.6 Schematic diagram of calculation method for the reverse transmittance of the overprinted second color ink layer

含む印刷条件の影響も受け、オーバープリントの第二色インキの量が印刷プロセス中にも変化するので、サンプルを作る際に直接測定が困難であるだけでなく、フィルムのサンプルでシミュレーションすることもできない。本研究では、オーバープリントしない第一色および第二色のインキ層の逆方向透過率は、それぞれ式(4)で求められるが、オーバープリントの第二色インキ層の逆方向透過率 TR_{opink2} は、オーバープリントの逆方向透過率 TR_{op} を第一色印刷物の透過率 T_{print1} で除することによって得られ、次の式(5)で表される。

$$TR_{opink2} = \frac{TR_{op}}{T_{print1}} \quad (5)$$

図6はオーバープリントの第二色インキ層の逆方向透過率を求める方法の見取り図である。

一般に、インキ層の厚さが薄いほど透過率は大きくなるが、一部の帯域においてはこの関係は必ずしも当てはまらない。これは、筆者らの研究により発見された現象で、数年にわたり、4種のブランドのCMYインキを使用して、透明なフィルムと、異なる坪量のコート紙に異なるインキ層の厚さのサンプルを作成し測定したところ、テスト結果は同じであった。一般に、Lambert-Beer法則を導入する場合、文献では媒質の吸収のみが考慮され、光の反射は含まない⁹⁾。実際、光が媒体を通過するとき、光の吸収、透過、反射が同時に存在し、その3つのエネルギーの合計は、入射光のエネルギーに等しくなる。媒質の吸収率が大きい帯域では、反射の影響は無視でき、媒質の厚さが薄いほど吸収率は小さくて透過率は大きくなる。一方、吸収率が小さい帯域では、吸収の影響は無視できるが、反射の影響が無視できないため、媒体の厚さと透過率の関係は単純には表現できない。この形成メカニズムは、今後の研究課題である。

図7はXinbaolong Y色インキ層の厚さが異なる場合のプリントの逆方向透過率スペクトルである。Dは、標準のインキ層の厚さに対するサンプルインキ層の厚さの割合(%)である。異なる色のインキ層の厚さの基準値はインキの比重により決定される。図7において、特に図中の局部拡大図では、異な

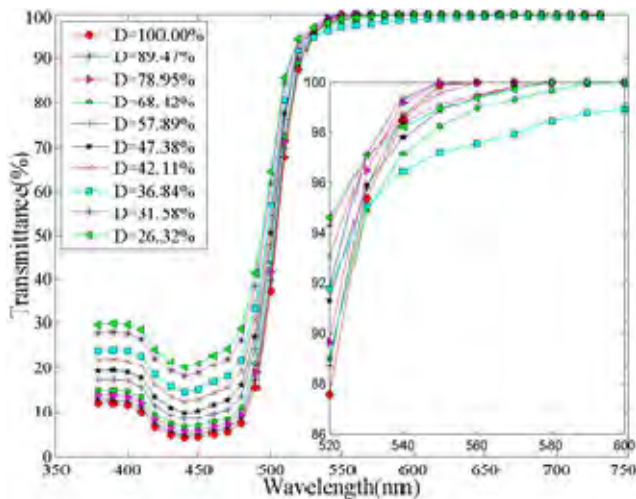


図7 Xinbaolong Y インキ層の厚さが異なる場合のプリントの逆方向透過率スペクトル

Fig.7 Reverse transmittance spectrum of single color solid prints with different ink layer thickness using the Xinbaolong Yellow ink

るインキ層の厚さのスペクトル曲線が特定波長範囲では重なったり交差が生じたりしている。つまり同じ透過率が2つ以上のインキ層の厚さに対応することもありうる。Hanghua C, M, Y 色インキでも同じである。

インキ層の逆方向透過率から対応するインキ層の厚さを求める、TRtoD のフィット関数を作成するためには、逆方向透過率の値がインキ層の厚さと 1 対 1 に対応していることを確認する必要がある。すなわちインキ層の厚さ D は逆方向透過率 TR の単一値関数でなければならない。図7を観察すると、インキの透過率が低い帯域では、透過率スペクトル曲線は重なっていない。インキ層の厚さ（インキ量）は、印刷材料や印刷プロセスには関係するが、波長には関係せず、いずれの波長でも同じ値である。そこで、筆者らは Hanghua C 色インキの 620 nm, M 色インキの 520 nm, Y 色インキの 440 nm を選んで、これら特定の波長におけるインキ層の逆方向透過率 TR 値を基に、3 次の多項式で TRtoD のフィット関数を構築する。この関数とインキ層の逆方向透過率によって、オーバープリントしない第一色および第二色プリント、およびオーバープリントの第二色インキ層の厚さをそれぞれ確定できる。したがって、この印刷物のインキトラッピング率は、式(1)によって求めることができる。

3.3 オーバープリントの第二色インキ層の反射率補正

オーバープリントでは、第二色インキ層は第一色のインキ層を覆うが、紙に印刷されるのとは異なり、インキの浸透現象が起こらないので、透明フィルムへの印刷に似ている。ひとたびインキ層の厚さ D が求まれば、模擬インキ層における DtoTF と DtoR を用いて、オーバープリントした第二色インキ層の順方向透過率 TF_{opink2} と反射率 R_{opink2} がそれぞれ計算される。

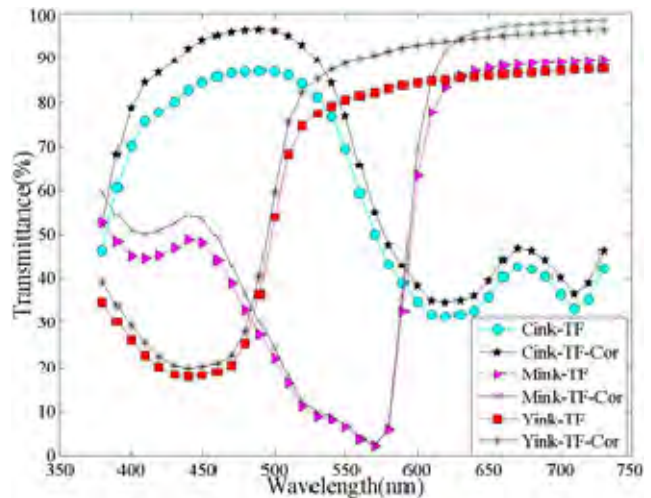


図8 Hanghua CMY 三色インキ層の順方向透過率の補正効果を表すスペクトルグラフ

Fig.8 Comparisons of modification effect of forward transmittance spectrum curve of simulated ink layer of Hanghua CMY ink layer

透明フィルムは非常に薄く（通常は厚さ数十 μm ）、透過率も高いので、模擬インキ層に対する影響が、研究ではしばしば無視される。しかし、インキ層オーバープリントの色予測を議論するとき、フィルムが模擬インキ層の光学パラメータ、特に反射率に与える影響は無視できない。

模擬インキ層は透明フィルムにインキを印刷して、インキ層とフィルムを重ね合わせたものである。模擬インキ層の順方向透過率は次に示す式(6)で算出できる。

$$TF_{ink_cor} = \frac{TF_{ink}}{T_{film}} \quad (6)$$

ここで、 TF_{ink_cor} は模擬インキ層の順方向透過率の補正值、 TF_{ink} は模擬インキ層の順方向透過率の測定値である。 T_{film} は透明フィルムの透過率の測定値であり、透明フィルムでは順方向透過率と逆方向透過率を区別する必要がないのでこのような表記を用いている。

また、模擬インキ層は、透明フィルムを基材とするベタプリントとみなすことができるので、その反射率は、式(2)に従って計算される。透明フィルムの光散乱の程度が低いことを考慮すると、模擬インキ層の順方向透過率と逆方向透過率は同じであると仮定でき、模擬インキ層の反射率は次の式(7)で算出できる。

$$R_{ink_cor} = R_{ink} - R_{film} * TF_{ink_cor} * TF_{ink_cor} \quad (7)$$

ここで、 R_{ink_cor} は、模擬インキ層の反射率の補正值、 R_{ink} は模擬インキ層反射率の測定値、 R_{film} は透明フィルム反射率の測定値、 TF_{ink_cor} は補正した模擬インキ層の順方向透過率である。

図8はHanghua CMY三色インキ層の順方向透過率の補正効果を表すスペクトルグラフである。図8からわかるように、補正したCMY三色インキ層の順方向透過率スペクトルは透過

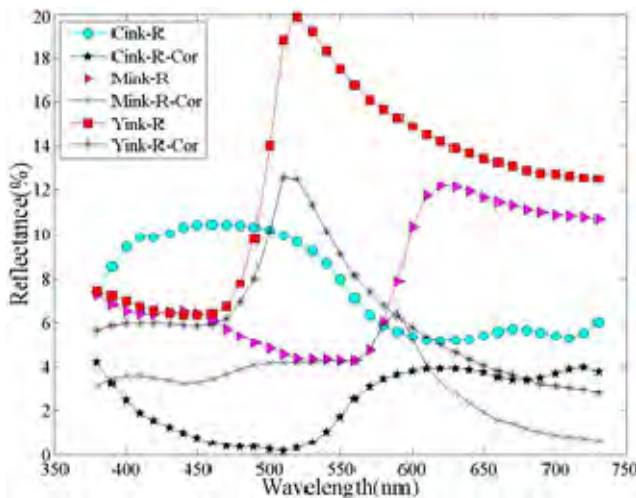


図9 Hanghua CMY 三色インキ層の反射率の補正効果
Fig.9 Correction effect of reflectance of Hanghua CMY ink layer

率値がやや大きくなるだけで、その形状はほぼ変わらず、フィルムそのものの模擬インキ層の順方向透過率への影響は少ないと言える。また、フィルムそのものの模擬インキ層の逆方向透過率への影響もほぼ同じと推測できる。過去の研究により、インキ層内での光の散乱により紙の透過率がわずかに増加することが知られているが、模擬インキ層の逆方向透過率の計算では、簡便のため紙のコリメート透過率で代用した。また、透明フィルムの透過率がインキ層の逆方向透過率に影響を与えることが考えられるが、ここでは、簡便のため無視した。

図9はHanghua CMY 三色模擬インキ層の反射率の補正効果を表すスペクトルグラフである。同図からわかるように、フィルムの存在による、模擬インキ層の反射率への影響が大きい。Cインキ層の反射スペクトル曲線は補正前後でほぼ互いに対称な曲線になる、Mインキ層の反射スペクトル曲線は短波長帯域と長波長帯域で大きく異なる、Yインキ層の反射スペクトル曲線は中波長および長波長帯域で大幅に変化している。このように、模擬インキ層の反射率の補正が必要であり、これはオーバープリントの色予測過程でも十分に確認された。インキ層の反射率の補正は、オーバープリント色を正確に予測するうえで重要な技術の一つであり、本研究における価値ある発見と考える。

4. サンプル作成と測定及びデータ分析

モノクロのベタ模擬インキ層のサンプルは IGT C1 印刷適性試験機で、厚さ 45 μ m の PET 透明フィルムに、Hanghua CMY 三色インキを印刷し作成した。フィルムのインキ付着に関する静電気の影響を除くため、フィルムには事前に静電気防止処理を行った。試験中にまず各色のインキの比重を測定する。実際の印刷物のインキ層の厚さを参照し、印刷適性試験機に 0.4mL の Y インキを加えて、最初のサンプル（以後のサンプ

ルのインキ量は逐次減少する）のインキ層の厚さを Y インキの標準的な厚さとし、CM 色インキ層の標準的な厚さをインキの比重によって決定する。

第一色が C インキであれば、第二色は M インキか Y インキのいずれかである。第一色が M インキであれば、第二色は Y インキだけである。二色印刷の時間間隔はできるだけ短くする。同時に、インキ層のオーバープリント過程を正確にシミュレートするために、第二色を印刷する時は、第一色インキ層にオーバープリントする部分と紙に印刷する部分とが一回で完結するように特別な工夫をしなければならない。

サンプルを制作するとき、インキ層の量の測定には 0.001mg の精度の Adventurer 3130 型電子天秤を採用した。インキが乾いた後、Lambda 650S 紫外/可視分光光度計(波長範囲 380nm～730nm, 波長間隔 10nm) でサンプルの透過率と反射率を測定した。反射率の測定では、サンプル裏側に標準の反射型白色板ではなく光トラップを配置した。光トラップによりサンプルを透過した光は吸収され、サンプル内で反射された光だけが反射率として測定される。透過光の量、反射光の量、および吸収された光の量の合計が入射光の量に等しくなるので、この透過率と反射率の測定からサンプルの吸収率を間接的に測定することができる。

本研究では、実際に 3 つのブランドインキのサンプルを作成した。本論文では Hanghua インキのサンプルを例として、2 色インキ層オーバープリントサンプルの色予測結果を説明する。図 10, 図 11, 及び図 12 に、それぞれ Hanghua インキの CM-1 (C は第一色, M は第二色, 以下同様), CY-1, MY-1 のオーバープリントサンプルの実測と予測の反射率スペクトル曲線を示し、インキ層の反射率を補正しない場合の曲線も示す。また、表 1 には、2001 年の国際照明委員会が推奨した DE 2000 色差式で計算した CM, CY, MY オーバープリントの 9 つのサンプル予測色差と、実測値と予測値の反射率スペクトル曲線の類似度を示す残差平方和 (SSE) を記載している。印刷業界では、通常 $\Delta E < 0.5$ はわずかな色差、 $\Delta E = 0.5 \sim 1.5$ は軽い色差、 $\Delta E = 1.5 \sim 3.0$ は明らかな色差、 $\Delta E = 3.0 \sim 6.0$ は大きな色差、色差 $\Delta E > 6.0$ は強い色差と評価される¹⁰⁾。

図 10～図 12 および表 1 からわかるように、本論文で提案した色予測モデルを採用すると、平均色差 $\Delta E_{00} = 1.71$, 平均残差平方和 $SSE = 0.0147$ である。一方、インキ層の反射率未補正の予測平均色差は 8.67, 平均残差平方和は 0.1695 で、両方ともインキ層の反射率補正の場合よりもはるかに大きい。したがって、提案方式の予測精度が極めて高いことがわかる。この結果により、インキ層の反射率補正の重要性が実証されたと同時に、本論文で提案するインキ層の反射率補正がきわめて適切なものであることが示されたといえる。

表 1 の 2 列目は、サンプルの第二色インキのインキトラッピング率を示し、すべて 100%未満であり、オーバープリントされた第二色インキ層が実際に薄くなることがわかる。

なお、表 1 で MY-3 番サンプルの予測色差がやや大きい

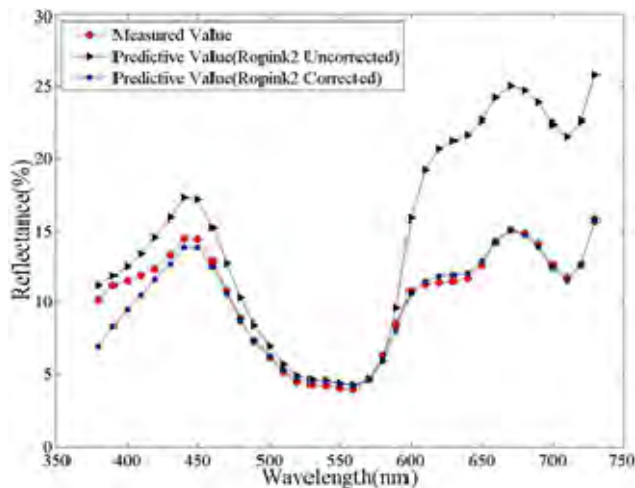


図 10 CM-1 インキオーバープリントサンプルの色予測結果

Fig.10 Color prediction results of the CM-1 ink overprinting samples

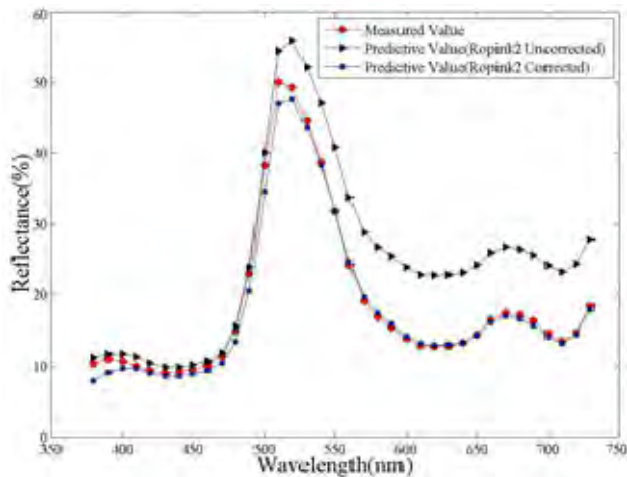


図 11 CY-1 インキオーバープリントサンプルの色予測結果

Fig.11 Color prediction results of the CY-1 ink overprinting samples

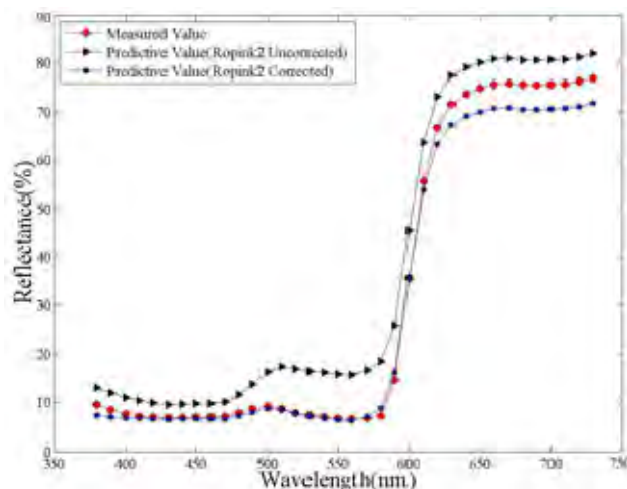


図 12 MY-1 インキオーバープリントサンプルの色予測結果

Fig.12 Color prediction results of the MY-1 ink overprinting samples

表 1 Hanghua インキオーバープリントサンプルの色予測結果

Table 1 Color prediction of Hanghua ink overprinting samples

Sample	Ink trapping rate η (%)	ΔE_{00}		SSE	
		R_{ink} Uncorrected	R_{ink} Corrected	R_{ink} Uncorrected	R_{ink} Corrected
CM-1	90.1	5.40	0.92	0.1306	0.0027
CM-2	89.4	5.26	1.56	0.1182	0.0026
CM-3	91.9	6.11	1.91	0.1290	0.0019
CY-1	70.5	7.15	1.21	0.1945	0.0051
CY-2	71.2	7.87	1.66	0.2123	0.0049
CY-3	80.0	8.70	2.21	0.2727	0.0092
MY-1	34.1	10.70	0.86	0.1555	0.0294
MY-2	47.2	12.68	1.77	0.1495	0.0343
MY-3	47.1	14.12	3.30	0.1636	0.0426
Average		8.67	1.71	0.1695	0.0147

のは、このサンプルのインキ量が ΔE_{00} 関数、 ΔE_{00} 関数をフィッティングしたときの最大インキ量の範囲を超えていることによっている。したがって、付加的な色差の増加を避けるには、模擬インキ層サンプルの最大インキ量を標準インキ層の厚さに対応するインキ量よりも多く設定する必要がある。

5. まとめ

本論文では、多色印刷において必然的に発生するインキのオーバープリントの色予測について考察した。まずプリントの発色効果がインキの色に加えてインキの量に依存することに対し、均質で平坦なインキ層を仮定してベタインキ層の分布状態をシミュレーションし、インキトラッピング率をインキ層の厚さの比を用いて表した。次に印刷物では、インキ層は紙と光学的に接触しており完全に剥離できず、インキ層の厚さと光学パラメータを機器で直接測定することはできないことから、透明フィルムの上にインキを印刷した模擬インキ層を導入した。

異なるインキ層の厚さに対する透過率（反射率も同様）スペクトル曲線は、波長によって分布状況が異なるため、特定の波長におけるインキ層の透過率値を選択して、インキ層の厚さをフィットさせることとし、特定の波長におけるインキ層の逆方向透過率によってインキ層の厚さを推定するアルゴリズムを導いた。透明フィルムの導入によるインキ層の透過率に対する影響は小さいので無視できるが、インキ層の反射率に対する影響は大きいので、インキ層の反射率の補正方法を導入した。最後に、実験サンプルの具体的作成方法を示し、テストデータと色予測を比較した結果、本論文で提案したベタプリント色予測に基づく 2 インキ層オーバープリントの反射率予測モデルは適切な補正を実現し、高い予測精度が実現できることがわかった。

謝 辞

本研究の一部は中国陝西省自然科学基金研究計画一般項目 (No.2018JM6107) によるものである。

参考文献

- 1) Z. Feng: "Electronic Color Separation and Platemaking Engineering", Printing Industry Press, pp. 69-71 (1992).
- 2) F. Preucil: "Color and Tone Errors of Multicolor Press", Proc. of Technical Association of the Graphic Arts, pp. 102-110 (1953).
- 3) ISO 13656:2000 Graphic technology – Application of Reflection Densitometry and Colorimetry to Process Control or Evaluation of Prints and Proofs: The International Organization for Standardization (2000).
- 4) R. Chung, F. Hsu: "Predicting Color of Overprint Solid", Proc. of the 36th IARIGAI Research Conference, Advances in Color Reproduction (2009).
- 5) C. -F. Hu: "Printing Color and Colorimetry", Printing Industry Press, pp. 298-305 (1993).
- 6) R. D. Hersch, F. Collaud, F. Crete, P. Emmel: "Spectral Prediction and Dot Surface Estimation Models for Halftone Prints", Proc. of IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Color Imaging IX: Processing, Hardcopy, and Applications, Vol.5293, pp.356-369, (2003).
- 7) Y. -C. Xu: "Basic Research on Print Color Prediction Model", Ph.D. Dissertation, Xi'an University of Technology, 2014.11: pp. 32-63 (2014).
- 8) M. Hebert, R. D. Hersch: "Deducing Ink-Transmittance Spectra from Reflectance and Transmittance Measurements of Prints", Proc. of IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Color Imaging XII: Processing, Hardcopy and Applications, SPIE 6493: pp. 649314-1-649314-13 (2007).
- 9) H. -B. Cui, Y. -P. Li, K. -M. Duan.: "Optics", Science publisher, p.220 (2008).
- 10) X. -J. Teng, J. -Y. Qiu, X. -D. Zeng.: "Color Measurement Technology", China Metrology Publishing House, p.45 (2008).

(2019年 9月 2日受付)

(2020年 2月 7日再受付)



徐 咏驰 (正会員)

2002年 中国西安電子科学技術大学自動制御専攻 卒業. 2009年 中国西安理工大学パルプ製紙専攻修士課程 修了. 2015年同大学印刷包装技術と設備専攻博士課程 修了. 現在 西安工程大学服装と芸術デザイン学院 講師. 印刷色彩予測と画像処理などの研究に従事.



徐 錦林

1966年 中国北京輕工業学院珪酸塩工学専攻 卒業. 1977年~2002年 西安理工大学印刷包装工程学院 教授. 1988年~1990年日本静岡大学工学部(浜松)で研修. 印刷画像処理 (FM Screening) と印刷色彩再現などの研究に従事.

安全性の高い印刷耐性を有する多値グリーンノイズ拡散電子透かし法

河村 尚登 (フェロー)[†] 姜 玄浩^{††} 岩村 恵市[‡][†]カワムラ・テクノラボ ^{††}東京工業高等専門学校 [‡]東京理科大学

Secure Multi-level Green-Noise Diffused Watermarking with Printing Durability

Naoto KAWAMURA[†](Fellow) Hyunho KANG^{††} Keiichi IWAMURA[‡][†]Kawamura Techno Lab. ^{††}National Institute of Technology, Tokyo College [‡]Tokyo University of Science

〈あらまし〉グリーンノイズ拡散法による電子透かしは、強く埋め込んでも視覚的に高画質性を保ち、印刷耐性もあり可逆であるという特徴を持つ。しかしながら、運用形態によっては埋め込み容量がまだ十分ではなく、かつ、ブロック型のため結託攻撃を受けやすいという点で問題がある。そこで、多値化による埋め込み量の増大を図り、グレイコードと誤り訂正符号を用いることにより抽出エラーを低減し、印刷耐性をさらに高め、普通紙や汚れた印刷物からの透かし抽出も可能とするとともに、カムフラージュ・パターンを導入し結託攻撃からの安全性を向上させることで性能の改善を図ることができた。さらに、Annotation としての応用では埋め込み画像に事前に僅かな平滑化を行うことにより、画像による依存性を少なくし、様々な画像に対して安定した透かしの抽出を実現した。

キーワード：電子透かし，グリーンノイズ，著作権保護

<Summary> Digital watermarking by Green-Noise Diffusion Method has characteristics with visually high image quality, and print-resistance and reversibility, even embedded strongly. However, there are still some problems that the embedding capacity is not yet sufficient, and watermark is easily attacked as it is block type. Therefore, we obtained increased amount of embedding by multi-leveling, the extraction error is reduced by using both Gray code and error correction code, so that the printing durability is further improved, the watermark extraction from plain paper or dirty printed matter is enabled. And we obtained improved security from collusion attacks introducing the camouflage patterns. In the application as Annotation, it is possible to extract a stable watermark from various images by applying smoothing on the images.

Keywords: digital watermark, green-noise, copyright protection

1. はじめに

情報社会におけるデジタル化とネットワークの発展により、情報の複製が容易にでき、物理的距離によらず多くの人が情報を共有できるようになり社会の利便性が高まった。しかし、その反面、著作権侵害や、情報の不正流出、情報の改ざんなどのセキュリティの問題が深刻化してきた。

また、近年の画像機器の高画質化により原画と寸分違わぬ複製が簡単に得られるようになったが、逆に著作権を侵害した違反コピーだけでなく、紙幣や有価証券等の偽造行為という悪質な犯罪行為を助長させる結果となっている。

このような不正行為の対策技術の一つとして電子透かし (Digital Watermark) 技術が注目されている。暗号化やDRM (Digital Right Management) と異なり、文書や画像情報の中に情報を直接埋め込むため、究極のセキュリティ技術として著作権の保護、不正使用防止や追跡などを可能とする。

かかる電子透かし技術は、その使用形態によって求められる要件が異なる。著作権保護への運用ではHigh Quality の写真が電子データのみならず印刷物としても出回るため、印刷物を含めて追跡・監視する必要がある。また、埋め込まれた画像をカメラで撮影して専用のアプリケーションへ誘導させるAnnotationとしての運用形態では、モニタ画像や印刷物が媒体物として用いられる。このような背景から、単に電子データのみでなく、印刷物からの読み取りが可能な電子透かし技術が要請される。

しかしながら、透かしの印刷耐性を保持するためには、画像に埋め込み強度を大きくして埋め込む必要があり、通常、Artifact や著しい画質劣化が発現する。さらに、埋め込みパターンが視認されるようになり、逆解析を容易にし、攻撃を受けやすくなるなどの問題が生じる。

電子透かし手法は、耐性と画質及び埋め込み容量が互いにトレードオフの関係にある。例えば、耐性を強くすれば画質は低

下し、埋め込み可能な情報量は減少する。このため、高画質を維持したまま耐性を向上させ、かつ目的に即した十分な埋め込み量を確保することは大変難しい。

グリーンノイズ拡散法による電子透かし法¹⁾²⁾は、ブロック分割型のスペクトル拡散法に属する手法で、視覚的に高画質性を保持しつつ高耐性を有するため、画質と耐性の両立が可能であるものの、埋め込み情報量はブロック数により制限され、小さいサイズの画像に対しては十分な情報を埋め込むことができない。

また、ブロック型の透かしの弱点として、多数のブロックの埋め込み情報を基に機械学習により埋め込みパターンを探り出し、透かしを除去するなどの攻撃を受けやすいという問題がある³⁾⁴⁾。このような攻撃に対しても安全性の確保が必要となる。

このように、電子透かし技術の実用化においては、高耐性、高画質、十分な埋め込み容量を確保したうえで、より安全性を向上させることが必要となる。

そこで、本論文は、従来のグリーンノイズ拡散法において、埋め込みパターンの多値化(4 値化)を行い埋め込み情報量を増大させると同時に、埋め込みパターンに空間的揺動を与え、安全性を向上させた電子透かし法を提案する。

さらに、グレイコードと誤り訂正符号を用いることにより、普通紙や汚れのある印刷画像からの透かし抽出を可能とし、電子メディア及び紙メディア間にまたがる広い適用範囲を実現するものである。

以下では 2 章で多値グリーンノイズ拡散法のアルゴリズムを、3 章で実験と評価を、4 章で考察を述べ、最後にまとめる。

2. 多値グリーンノイズ拡散法のアルゴリズム

2.1 多値グリーンノイズパターンの生成

画像を $R \times R$ のブロックで分割し、ブロック毎に透かし情報を埋め込む。多値グリーンノイズパターンは次の方法で生成する。

Step1: 疑似乱数発生器の種(Seed)を S として、 $R \times R$ の領域に $R^2/2$ 個のランダム黒ドットを生成し $p(x, y) \in (0, 1)$ とする。

Step2: 次に、ドットパターンの二次元フーリエ変換を行い、スペクトル特性 $P(u, v)$ を得る。ただし、 (u, v) は周波数を表す。

Step3: $P(u, v)$ に対して、周波数 u, v が、

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}, \quad v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$$

の帯域に制限されるフィルタ $D(u, v)$ を乗じて新たなスペクトル特性 $P'(u, v)$ を得る。

Step4: $P'(u, v)$ に逆フーリエ変換を行い、多値のドットパターン $p'(x, y)$ を得る。

Step5: 誤差 $e(x, y) = p'(x, y) - p(x, y)$ を、白ドット、黒ドット毎に求め、誤差の大きい順に、同数白、黒反転する。

Step6: Step2~5 を繰り返し行い、誤差が一定の値以下になった時点で終了し、最終的なドットパターン p_i を得る。

N 値 ($N = 2^m$) の透かし埋め込み用のパターンは、 N 種類の異方性のあるフィルタ $D_i(u, v)$ パターンから p_i ($i = 0, 1, \dots, N-1$) を得る。この異方性は、主軸方向が $(180/N)^\circ$ ずつ回転した N 個の楕

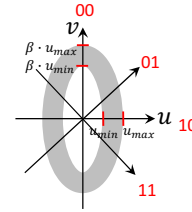


図 1 4 値のスペクトルパターンとグレイコード

Fig.1 Spectral pattern of 4-levels output and their Gray code

P_i	$p_0(x, y)$	$p_1(x, y)$	$p_2(x, y)$	$p_3(x, y)$
コード	(00)	(01)	(11)	(10)
R=64				
スペクトル				

図 2 埋め込みパターンとそのスペクトル及び埋め込みコード (R=64)

Fig.2 Embedding patterns and their spectrum and embedding code (R=64)

円パターンから構成される。 $D_i(u, v)$ が点対称であるため、 p_i は実数である。乱数発生器の種(Seed) S を変えることにより $R^2 C_{R^2/2}$ 個の異なるパターンを得ることができる。パターンに付与する多値コードは、その系列がハミング距離 1 となるグレイコードで構成する。図 1 に 4 値のグリーンノイズパターンのスペクトルと対応コードを、図 2 に $R=64$ の 4 値の埋め込みパターン p_0, p_1, p_2, p_3 と、そのスペクトル及び埋め込みコードを示す。

2.2 カモフラージュ・パターンの導入

結託攻撃(collusion attack)は多くのユーザが結託して透かし情報を打ち消す攻撃であり、画像を平均化する平均値攻撃が最も脅威となる。このような攻撃を回避し安全性を高めるため、同じスペクトルを示しドットパターンが異なるカモフラージュ・パターン(camouflage pattern)を導入しパターンを揺動する。カモフラージュ・パターンは反転パターンと位相シフトパターンから構成される。

2.2.1 反転パターン

i 番目のパターン $p_i(x, y)$ に対して、 σ_j $j=0, 1, \dots, 7$ の 8 個の反転パターン $p_{i, \sigma_j}(x, y)$ を次のように生成する。

σ_0 : $p_i(x, y)$ のパターン

σ_1 : $p_i(x, y)$ の上下反転パターン

σ_2 : $p_i(x, y)$ の左右反転パターン

σ_3 : $p_i(x, y)$ の上下左右反転パターン

σ_4 : $p_i(x, y)$ のネガパターン

σ_5 : $p_i(x, y)$ の上下反転のネガパターン

σ_6 : $p_i(x, y)$ の左右反転のネガパターン

σ_7 : $p_i(x, y)$ の上下左右反転のネガパターン

上下, 左右の方向は, それぞれ楕円の長軸方向, 短軸方向とする. ネガパターンは白ドットと黒ドットを反転させたパターンである. 白ドット数と黒ドット数は同数であるため, 反転させても個数は変わらない. 図3に $p_{0,\sigma_j}(x, y)$ の反転パターンを示す. これらはすべて同じスペクトル形状を示す. σ_j は乱数発生器により発生させ, ブロック毎にランダムに設定する.

2.2.2 位相シフトパターン

さらに, パターンの開始位置をずらした位相シフトパターンを導入する. このため, パターン $p_{i,\sigma_j}(x, y)$ の各 i, σ_j に対して位相をランダムにシフトさせる. 今, シフト量を $s_k = (x_k, y_k)$ ($0 \leq x_k, y_k < R$) としたとき, シフトしたパターンは式(1)で表せる.

$$p_{i,\sigma_j,s_k}(x, y) = p_{i,\sigma_j}((x + x_k) \bmod R, (y + y_k) \bmod R) \quad (1)$$

ここで, $\bmod R$ は R を法とした剰余を表す. 一つの (i, σ_j) のパターンに対して R^2 個のパターンが生成可能である.

図4に, シフト量 s_k を乱数で発生させたときの $p_{0,\sigma_0,s_k}(x, y)$ の8パターンを示す. シフト量 s_k はブロック毎に乱数で発生する. パターン $p_{i,\sigma_j,s_k}(x, y)$ は, σ_j, s_k が異なっても同じスペクトル形状を示す.

反転パターン及び位相シフトパターンで構成されるカモフラージュ・パターンは, カモフラージュ・パターンリスト $L(k)$ として鍵に格納し, 透かし除去の際利用される. $L(k)$ は, 配列形式で, k 番目のブロックに対して, $(\sigma, s) = (\sigma_k, x_k, y_k)$ $0 \leq \sigma_k \leq 7, 0 \leq x_k, y_k \leq R - 1$ となる整数値の乱数列である.

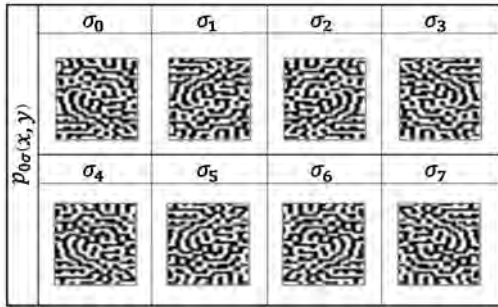


図3 p_0 の反転パターン: $p_{0,\sigma_i}(x, y)$ ($R=32$)

Fig.3 inversed patterns of p_0 : $p_{0,\sigma_i}(x, y)$ ($R=32$)

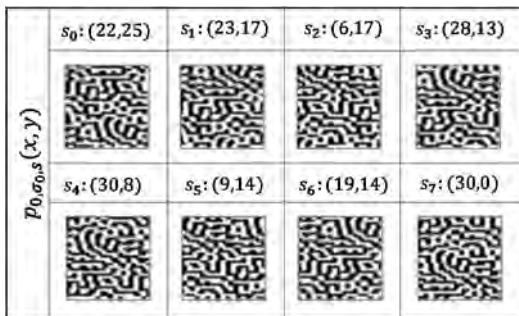


図4 p_{0,σ_0} の位相シフトパターン: $p_{0,\sigma_0,s}(x, y)$ ($R=32$)

Fig.4 Phase shifted patterns of p_{0,σ_0} : $p_{0,\sigma_0,s}(x, y)$ ($R=32$)

2.3 誤り訂正符号の導入

埋め込み文字コード情報をビット列に展開し画像データに埋め込む. 抽出エラーを訂正するため誤り訂正符号を導入する. アイコンサイズの小さな画像 (例えば, 「考察」で紹介する 128×128 サイズの画像) にも対応できるようにするため, 符号長の短い BCH(16,8)符号を使用する. BCH(16,8)符号は 8 ビットの情報ビットに, 8 ビットの検査ビットを付加し, 16 ビットの codeword (情報ビットに検査ビットを合わせた符号語) とするもので, 2 ビットまでのランダム誤りと連続 3 ビットまでのバースト誤りが訂正可能である⁵⁾.

2.4 透かしの埋め込み

透かし情報の埋め込みは実空間 (画素空間) で $R \times R$ のブロック単位で行う. 今, k 番目のブロックの画像データを $i_k(x, y)$, 埋め込み強度を $gain$, 透かしの埋め込まれた画像データを $w_k(x, y)$ とする. 埋め込む透かしデータは 1 次元ビット列に展開し $wm \in (0,1)$ とする. 埋め込みはブロック毎に wm から 2 ビットずつ取り出し, k 番目のブロックへの埋め込みは式(2), (3)で表される.

$$w_k(x, y) = i_k(x, y) + gain \cdot p_{i,\sigma_k,s_k}(x, y) \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{ll} wm=(00) \text{ のとき} & p_{i,\sigma_k,s_k}(x, y) = p_{0,\sigma_k,s_k}(x, y) \\ wm=(01) \text{ のとき} & p_{i,\sigma_k,s_k}(x, y) = p_{1,\sigma_k,s_k}(x, y) \\ wm=(11) \text{ のとき} & p_{i,\sigma_k,s_k}(x, y) = p_{2,\sigma_k,s_k}(x, y) \\ wm=(10) \text{ のとき} & p_{i,\sigma_k,s_k}(x, y) = p_{3,\sigma_k,s_k}(x, y) \end{array} \right\} \quad (3)$$

平均輝度 (濃度) を保つため $p(x, y) \in (-1/2, 1/2)$ とする. (σ_k, s_k) はカモフラージュ・パターンリスト $L(k)$ から呼び出す. 埋め込みによる画素データのオーバーフロー/アンダーフローを避けるために, 埋め込み前に次の線形変換を施す.

$$i'(x, y) = (1 - gain) \cdot i(x, y) + gain/2 \quad (4)$$

2.5 透かしの抽出

抽出は, 埋め込み時と同様に埋め込まれた画像を $R \times R$ のブロックに分割し, ブロック毎に行われる. n 番目のブロック内の画像を取り出し FFT (高速フーリエ変換) を行い, スペクトル情報 W_n に変換する. 続いて, ヒストグラム・イコライゼーションによる輝度分布の正規化を行う. その後パターンの識別を行い, 識別パターンから埋め込み情報の 2 ビットデータを抽出する. パターンの識別は, 図5に示すマスクパターンを識別器としてマッチング操作を行い, その出力から求める. i 番目のマスクを M_i として, W_n とのマッチングの出力 Q_i は, 次のように求められる.

$$Q_i = \frac{1}{Z_i} \sum M_i(u, v) \cdot W_n(u, v) \quad (i = 0, \dots, 3) \quad (5)$$

$$Z_i = \sum M_i(u, v)$$

ただし, Σ はブロック内の各画素 (空間周波数に対応) について行われる. その結果, 各マスクに対応した出力 (Q_0, Q_1, Q_2, Q_3) が

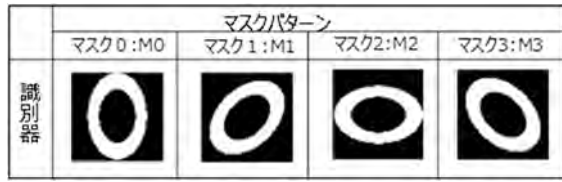


図5 抽出用マスクパターン

Fig.5 Mask patterns for extraction

得られる. この4つの出力のうち最も大きいものを Q_{max} として, 次の透かし情報を得る.

$$\left. \begin{aligned} Q_{max} &= Q_0 \text{ のとき, } wm = 00 \\ Q_{max} &= Q_1 \text{ のとき, } wm = 01 \\ Q_{max} &= Q_2 \text{ のとき, } wm = 11 \\ Q_{max} &= Q_3 \text{ のとき, } wm = 10 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

次に, Q_{max} の次に大きな出力を Q_{next} とすると, 信頼度 Rel は式(7)で表される.

$$Rel = \alpha(Q_{max} - Q_{next}) \quad (7)$$

α は規格化常数であるが, 簡単のため1とする. Rel の値は2値の場合にも有効である.

2.6 透かしの除去

透かしの除去は, 埋め込みを減算することで可能であり, 完全可逆となる. すなわち, 式(2)より,

$$i_k(x, y) = w_k(x, y) - gain \cdot p_{i, \sigma_k, s_k}(x, y) \quad (8)$$

となり, 透かし埋め込み画像から埋め込みパターンに $gain$ を乗じて引くことで, 原画に戻すことが可能である. (σ_k, s_k) はカモフラージュ・パターンリスト $L(k)$ から得られる. 完全可逆のためには整数型演算が必要である. オーバーフロー/アンダーフロー対策のため式(4)等の変換を施した場合は, 丸め誤差が生じる.

除去に際しては鍵を必要とする. 鍵には, 埋め込みパターン, $gain$ 及びカモフラージュ・パターンリスト $L(n)$ が含まれる. 鍵の容量については考察で述べる.

3. 実験と評価

3.1 グリーンノイズパターンと埋め込み画質

印刷耐性を得るために, カラー画像データをY, Cb, Cr変換し, 輝度Yにブロック単位で埋め込む. ブロックサイズは $R=32$ とし, グリーンノイズパターンの空間周波数の上限値を u_{max} , 下限値を u_{min} とすると, $(u_{max}, u_{min}) = (f_0 - 1, f_0 - 5)$, 楕円率 β は1.5とした. ここで, $f_0 = \sqrt{1/2} \cdot R/2$ である⁶⁾. かかるグリーンノイズパターンの平均的主周波数 $\bar{f}_p$ は, $\bar{f}_p \cong 1.25(f_0 - 3) \cong 0.65f_N$ となる. ここで f_N はナイキスト周波数である. 188ppiで印刷すると, $\bar{f}_p$ は印刷でいうところの122線, 175ppiの印刷では114線相当のクラスタードットパターンとなる. 埋め込み画像のPSNR値は, 式(2)より, 式(9)となり, $gain$ のみに依存する.

$$PSNR = -20 \log_{10}(gain/2) \quad (9)$$

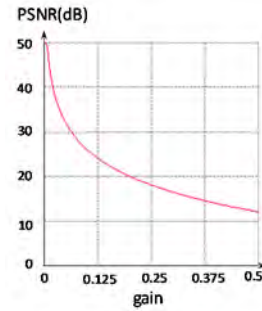


図6 gainに対するPSNR値

Fig.6 PSNR value as a function of gain

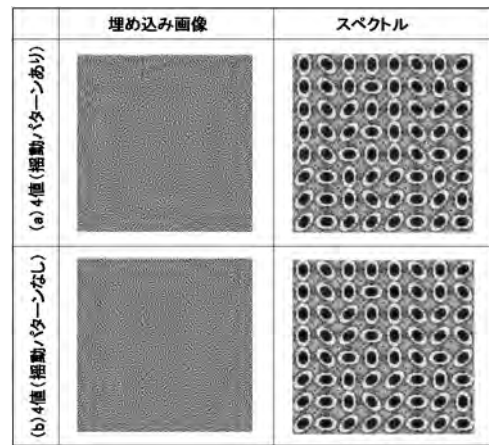


図7 カモフラージュ・パターンあり/なしの比較

Fig.7 Comparison with / without camouflage patterns

図6に $gain$ に対する PSNR を示す. 188ppiで印刷した画像を明視の距離で見た場合, 透かしパターンは視認系のVTF(Visual Transfer Function)により視覚的 PSNR 値は5~7dB向上する. 印刷耐性を満たすためには, $gain$ は0.125~0.1875以上が必要で, このとき, PSNRは20~23dBであるが, 視覚的 PSNRは27~30dB程度となる^{1),2)}.

図7に一樣輝度のパターンに $gain=0.5$, $R=32$ で埋め込んだときの, カモフラージュ・パターンあり/なしの場合の画質の比較を示す(パターンを強調するため大きな $gain$ を与えている). ブロックの境界は, グリーンノイズパターンのランダム性のため, カモフラージュ・パターンの有無にかかわらず視認されにくい. 元々グリーンノイズパターンは境界がないが, 異方性を入れたためパターンの境界が生じる. この量は楕円率 β に依るが, $\beta \leq 1.5$ ではその影響は小さい.

3.2 耐性評価

2値のグリーンノイズ拡散法は様々な攻撃に対してロバストで, 印刷耐性もあることを文献1)にて報告した. そこで, ここでは2値と4値のグリーンノイズ拡散法の比較実験と, 4値での印刷耐性に対する実験を行った.

3.2.1 2値パターンとの比較実験

実験は、 256×256 の画像に 64 ビット(8 文字)を $gain=0.0625$ (256 階調 ± 8 の埋め込み)及び 0.125 (同 ± 16)で誤り訂正符号を無効にして埋め込み、2 値パターン(p_0, p_1 の直交パターン)と 4 値パターン(p_0, p_1, p_2, p_3)についてカモフラージュの(あり/なし)で埋め込んだ場合のエラー率と信頼度(平均信頼度及び最低信頼度)を電子データで比較した。4 値の場合は誤り訂正符号を用いず、同じ文字列を 2 度繰り返して埋め込み 16 文字とした。4 値-A(16 文字)は、そのまま 16 文字として抽出したもの、4 値-B(8 文字)は、信頼度が高い方の 8 文字を選んで抽出したものである。

図 8 に埋め込み画像を、表 1 に実験結果を示す。画像 6,7,8 では、すべての方式で抽出エラーがあった。これは後述する画像の空間周波数特性による。最小信頼度は画像により大きく変動する。全画像の平均値でみると、4 値-A の信頼度は 2 値に比べると低い。これは、埋め込み容量と耐性(信頼度)とは、互いにトレードオフとなっていることを物語っている。一方、4 値-B では 2 値とほぼ同程度となっている。これは 2 度繰り返して埋め込まれたものから、信頼度の高い方を選択するためである。4 値のカモフラージュあり/なし間での大きな差異は見られなかった。

総じて、2 値と 4 値-B、カモフラージュの有無で大きな差異は見られない。むしろ画像内容による影響が大きいことがわかる。4 値-A の信頼度は それらに比較するとやや低い。このため 2 値と同等の信頼度を確保するためには $gain$ を大きくするか、エラーを修復する誤り訂正が必要である。誤り訂正では、[情報ビット長 $\geq$ 検査ビット長]であれば埋め込み情報量で優位であり、かつ、紙

汚れなどによるエラーの補正もできる、4 値-A が優位であるといえる。また、後述する僅かな平滑化を画像に施すことにより画像依存性は少なくなり、4 値-A での抽出信頼度は向上する。ただし、これは利用形態にもよる。

3.2.2 印刷耐性評価

2 値のグリーンノイズ拡散法は印刷耐性があることを、以前報告した¹⁾。そこで、今回は誤り訂正符号を付加し、より過酷な条件での透かし抽出の実験を行った。実験は 512×512 サイズの Lenna 画像に対し、ASCII コード 32 文字 (256 ビット)に BCH(16,8)符号を付加した全 512 ビットを埋め込んだ。印刷はキヤノンのインクジェットプリンタ TS5030 を使用し、紙送りローラにインク汚れがある状態で、175ppi ($74\text{mm} \times 74\text{mm}$) で、3 種類の $gain$ にて普通紙 (A4) に印刷した。図 9 に印刷画像を示す。



図 8 実験に用いた標準画像 (256×256)

Fig.8 Standard images used in the experiment (256×256)

表 1 2 値と 4 値(カモフラージュあり/なし)の比較実験結果

Table 1 Experimental results by bi-level and 4-level (with/without camouflage patterns) output

画像	gain	2値			4値-A (16文字)			4値-B (8文字)			4値-Bカモフラージュ(8文字)		
		エラー率	Ave信頼度	min信頼度	エラー率	Ave信頼度	min信頼度	エラー率	Ave信頼度	min信頼度	エラー率	Ave信頼度	min信頼度
1 Aerial	0.0625	0%	10.69	3.08	0%	6.63	0.26	0%	7.79	2.11	0%	7.73	3.92
	0.125	0%	17.09	12.73	0%	11.17	5.44	0%	12.20	8.44	0%	12.11	8.96
2 Airplane	0.0625	0%	14.65	0.03	0%	10.19	2.46	0%	13.86	6.05	0%	13.65	7.58
	0.125	0%	18.78	8.87	0%	12.99	6.44	0%	15.23	9.87	0%	14.88	11.7
3 Balloon	0.0625	0%	20.08	12.26	0%	13.97	7.82	0%	15.50	11	0%	14.95	10.95
	0.125	0%	22.46	18.67	0%	15.47	11.86	0%	16.15	13.32	0%	15.68	12.17
4 Girl	0.0625	0%	17.96	5.54	0%	13.24	5.43	0%	14.44	8.61	0%	14.31	10.91
	0.125	0%	21.35	13.75	0%	15.1	9.78	0%	15.83	13.26	0%	15.55	12.66
5 Lenna	0.0625	0%	17.62	6.51	2.3%	11.06	1.68	0%	14.00	7.66	0%	13.76	7.23
	0.125	0%	21.10	12.89	0%	13.78	6.20	0%	15.65	11.55	0%	15.36	10.97
6 Light House	0.0625	7.8%	10.76	0.06	9.4%	8.29	1.46	1.6%	11.94	2.9	0%	11.87	3.24
	0.125	0%	14.99	0.10	0.78%	11.25	0.95	0%	14.39	7.13	0%	14.14	8.24
7 Mandrill	0.0625	12.5%	9.33	0.09	16.4%	6.74	0.16	3.9%	8.94	1.38	4%	8.89	2.22
	0.125	0%	14.45	1.71	0%	10.21	1.14	0%	12.38	2.25	0.8%	12.03	4.27
8 Parrots	0.0625	1.6%	18.64	2.01	3.9%	12.5	0.5	0%	15.21	10.22	0%	14.51	8.69
	0.125	0%	21.03	4.50	1.6%	14.17	1.26	0%	15.93	13.23	0%	15.37	11.67
9 Pepper	0.0625	0%	15.28	7.65	0%	10.82	1.83	0%	12.45	4.51	0%	12.31	4.64
	0.125	0%	19.87	12.44	0%	13.96	6.47	0%	14.98	8.42	0%	14.81	9.68
10 SailBoat	0.0625	0%	15.73	8.31	0%	11.41	4.99	0%	13.16	5.86	0%	12.56	5.17
	0.125	0%	20.71	16.31	0%	14.53	9.08	0%	15.54	10.4	0%	14.92	10.72
平均値	0.0625		15.07	4.55		10.49	2.66		12.73	6.03		12.45	6.46
	0.125		19.18	10.20		13.26	5.86		14.83	9.79		14.49	10.10

エラー率 = 誤判定ビット数/全ビット数 赤字は誤判定ビットのあった場合

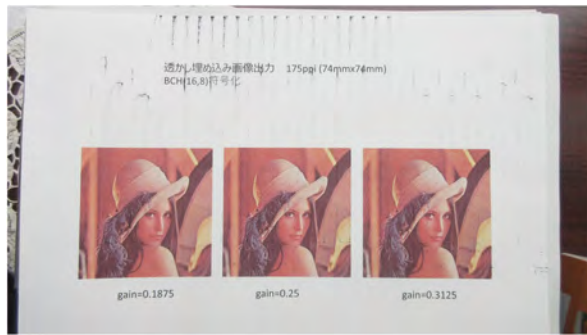


図9 汚れのある印刷画像：普通紙(A4)に印刷

Fig.9 Stained print images: printed on plain paper (A4 size)

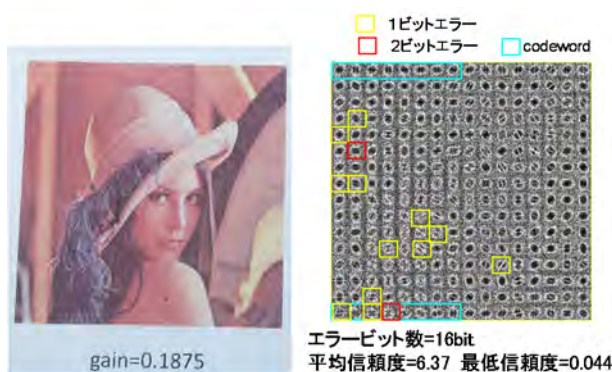


図10 透かし抽出結果：カメラ撮影画像及びスペクトル画像：黄、赤枠は判定エラーのあるブロック，青枠は16ビットのcodeword

Fig.10 Watermark extraction result: Image captured by camera and spectral image: The yellow and red frames are the blocks with judgement errors, and the blue frames show 16-bit codewords

ローラ汚れは紙の周辺で大きく中央部では少なくなっているが、画像上にも乗っている。読み取りはデジタルカメラにて撮影し、画像の4端を検出して射影変換を施し、元の画像サイズ(512×512)に補正して透かしを抽出した。4端の検出はHough変換にて行い、射影変換はHomography行列によって行った。抽出結果は、 $gain=0.25$ 以上では問題なく正答を得た。 $gain=0.1875$ 近傍が印刷耐性のボーダーラインで、512ビット中16ビットにエラーが生じエラー率は3.1%であった。図10(a)に印刷画像のカメラ画像を、(b)にそのスペクトル画像を示す。黄枠及び赤枠の部分は判定エラーのブロックで、黄枠は1ビットのエラー、赤枠は2ビットのエラーである。誤り訂正により32文字中、31文字が正答で1文字のみ訂正不能であった。同図(b)の左下のcodeword(青枠部分)が訂正不能箇所であり4ビットの誤りが生じていた。16ビットのエラー中、2ビットのエラーとなったブロックは2つで、残り14ブロックは1ビットのエラーで、グレイコードの効果と思われる。種々の画像で実験した結果、32文字を2回繰り返して埋め込む4値-Bの方式とBCH(16,8)との優劣の差はあまりみられなかった。むしろ、画像依存性の方が高いといえる。

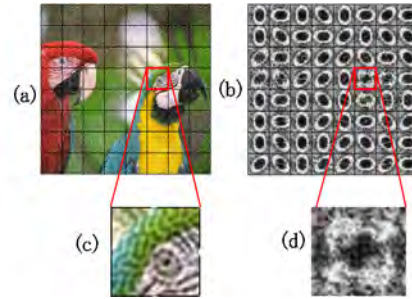


図11 抽出エラーの発生：赤枠の箇所は判定エラー

Fig.11 Occurrence of extraction error: Error has occurred in red frame

3.3 画像依存性の評価と回避策

図10では、10個のcodeword中、9個では誤り訂正が有効であったが、1つのcodeword(同図(b)の左下)において誤り訂正不能であった。これは主にこの領域に高周波数領域が分布しているためである。

図11(a)はParrots(256×256)の画像に透かしを埋め込んだもので、同図(b)にそのスペクトル画像を示す。赤枠は判定エラーのブロックで、同図(c)に示すようにparrotの目の周辺で発現している。これは目の周辺が高周波数、特にグリーンノイズの周波数に近いため、スペクトルが重なり干渉を起こし、その結果、同図(d)に示すスペクトルとなり、判定エラーを誘引している。これについては多少gainを上げてもエラーは除去できず、過大のgainは全体の画質劣化を引き起こす。この図の場合(1,0)の埋め込みビットが(0,1)と判定され2ビット誤りとなっている。

誤り訂正によりこのような局所的エラーは修復可能であるが、画像内に高周波領域が広く分布する場合、パーストエラーが生じ、誤り訂正符号能力を超える場合が生じる。様々な画像に対して電子透かし技術が適用されるためには、画像依存性をなくすことが必要である。この対策は考察にて述べる。

3.4 安全性の実験と評価

前記のとおり、結託攻撃は多くのユーザが結託して透かし画像を平均化することで透かし情報を打ち消す平均値攻撃である。ブロック型の電子透かし埋め込み法は、ブロック単位で多数の透かし画像が得られるため、平均値攻撃は最も脅威とする攻撃と考えられる⁷⁾。カモフラージュ・パターンの導入はかかる平均値攻撃を防御する方法であるが、効果を最大にするためには全ブロックで同一パターンが発生しないようにすることである。

平均値攻撃では、ブロックを $p_i(x, y)$ ($i = 0, \dots, 3$)毎に分類し、それらを加算し平均値 $C_i(x, y)$ を求めると式(10)のようになる。

$$\begin{aligned} C_i(x, y) &= \frac{1}{N} \sum_n w_n(x, y) \\ &= \frac{1}{N} \sum i_n(x, y) + gain \cdot \frac{1}{N} \sum p_i(x, y) \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 Σ は各ブロックの画素単位の加算、 N はパターン数である。

る. N を大きくすると, カモフラージュ・パターンがない場合は,

$$\lim_{N \rightarrow \infty} C_i(x, y) = \text{gain} \cdot p_i(x, y) + \text{const} \quad (11)$$

となりパターンが検出されてしまう. 一方, カモフラージュ・パターンを用いた場合は, $p_{i,k}(x, y)$ はパターンがランダムなため,

$$\lim_{N \rightarrow \infty} C_i(x, y) = \text{const} \quad (12)$$

となり, 埋め込みパターンは抽出できない. 図 12 は, Mandrill の画像(512×512)に $R=32$, $\text{gain}=0.1875$ で透かし埋め込みを行い, 平均値攻撃を行ったものである. 図から, カモフラージュありの場合パターンが抽出され難い. したがって, カモフラージュ・パターンを導入することによりパターンの解読が困難になるといえる.

4. 考察

4.1 ブロックサイズに対する考察

埋め込み量を増やすためにはブロックサイズ R を小さくすることが効果的である. 本検討では $R=32$ としたが, より小さなブロックサイズ($R=16$)で検討した結果, 抽出エラーが激増した. その理由として, ブロック内の画素数の減少によるスペクトル分布の精度の低下, 印刷画像の読み取りのブロック同期誤差などが挙げられる. ($R=16$ では, 175 線での印刷での 1 ブロックサイズは 2.32mmとなる). したがって, 印刷耐性を求めるならば, $R=32$ が実用上の限界と考えられる.

4.2 安定性に対する考察

既に述べたように, 埋め込み画像の攻撃に対する耐性の安定性は, 元画像の周波数特性による影響が大きい. すなわち, 元画像に高周波成分があると, グリーンノイズスペクトルと干渉しエラーとなりやすい. その対策として誤り訂正符号の検査ビット長を長くすれば訂正できるようにはなるが, 埋め込める情報量が減少する. また, 埋め込みの gain を大きくすればエラーを少なくできるが, 画質が低下する.

どのような画像に対してもこの問題を回避する方策として, 画像に平滑化処理を施すことで画像の高周波スペクトル強度を低下させ, 干渉を抑制することができる. 図 13 は Parrots の

画像に 2 画素平滑化を施して埋め込んだときのスペクトルで, 図 11 と比較すると, 平滑化によりナイキスト周波数が 1/2 に低下し, 正しく判定できるようになる(同図(d)). また, かかる平滑化処理を行うことにより図 10 の抽出エラーは, 6 ビットに激減し, 誤り訂正により正答を得た.

このように, 画像平滑化はバーストエラーの発生を抑制し, 誤り訂正符号の検査ビット長を小さくできるが, 平滑化により画質が若干劣化し, かつ, 透かしの可逆性が喪失される. しかし, Annotation の用途では, 埋め込まれた画像は誘導材として用いられるため, 多少の画質劣化は許容されるし可逆性も必要としない. むしろ, どのような画像でも安定して透かし抽出ができることの方が重要である.

図 14 は Annotation としての応用を想定して実験したもので, 同図(a)は Mandrill の画像(512×512)に 2 画素平滑化を

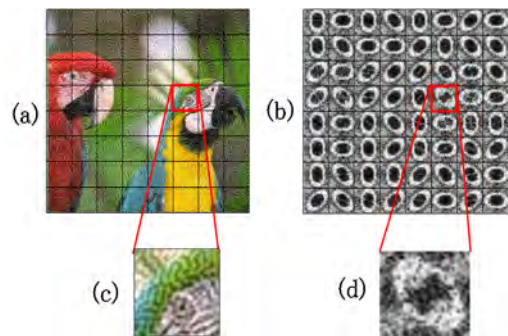


図 13 平滑化画像(a)とスペクトル(b):(c)及び(d)はそれらの拡大画像

Fig.13 Smoothed image (a) and spectrum (b): (c) and (d) are their enlarged images



図 14 モニタ画像をカメラで読み取ったときの透かし抽出 (a)カメラ撮影画像, (b)切り出し画像, (c)抽出スペクトル

Fig.14 Watermark extraction capturing by camera; (a) monitor image, (b) clipped image, (c) extracted spectrum

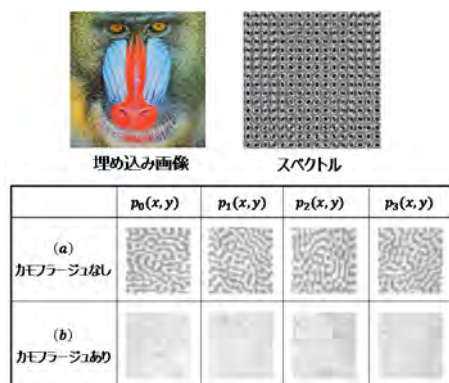


図 12 カモフラージュ・パターンあり/なしの平均値攻撃結果

Fig.12 Average value attack result with / without camouflage pattern

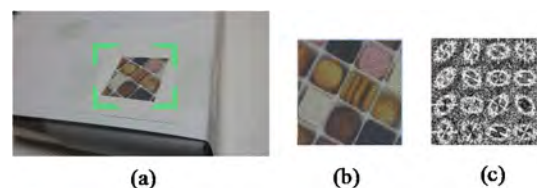


図 15 パッケージ印刷画像からの透かし読み出し

(a)カメラ撮影画像, (b)切り出し画像, (c)抽出スペクトル

Fig.15 Watermark extraction from package print image; (a) captured image, (b) clipped image, (c) extracted spectrum

行い、32 文字を $\text{gain}=0.25$ で埋め込んだものをモニタに表示したものである。周囲環境により反射光の映り込みが見える。同図(b)は、これをデジタルカメラで撮影し切り出したもの、同図(c)は同図(b)の補正画像からのスペクトル画像を示す。その結果、32 文字が正しく抽出され、平均信頼度 11.07、最低信頼度 3.50 で、判定ビットエラーは 0 であった。Mandrill 画像は高周波成分を多く含み、判定エラーが出やすいが、平滑化を施すことにより高い信頼度で透かし抽出が可能となる。

図 15 はその一応用で、パッケージに 128×128 の透かし埋め込み画像 ($18.5\text{mm} \times 18.5\text{mm}$) を張り付けたもので、同図(a)はカメラで撮影した画像、同図(b)は画像を切り出し 128×128 に補正した画像、同図(c)はそのスペクトル画像で、16 ビットが正しく抽出されている。

Annotation 応用においては、QR コードのような使われ方が考えられるが、どのような画像に対しても常に安定して透かし抽出が求められ、このため、平滑化操作を行うことが効果的である。

4.3 安全性に対する考察

本手法の安全性は、グリーンノイズ・パターン及びカモフラージュ・パターンにより確保される。電子透かしの安全性はケルクホフスの原理 (Kerckhoffs' principle) に基づく安全性で評価される。ケルクホフスの原理とは、「暗号方式は、秘密鍵以外の全てが公知になったとして、なお安全であるべきである」ということで、アルゴリズムが全て公開されたとしても秘密鍵により安全性が担保されているということである。本手法は、埋め込みは実空間で行い、抽出はスペクトル空間で行う、いわゆる非対称型である。一般に非対称型は外部からの攻撃に対して強靱であると言われている⁸⁾。しかし、鍵の紛失や結託攻撃による鍵の解読等が懸念される。

グリーンノイズ拡散法はパターン生成時に乱数発生 Seed 値 S を変えることにより異なる埋め込みドットパターンが生成され、秘密鍵に保存される。画像ごとに異なるパターンを用いることにより盗難された鍵から他の画像の透かしを除去することは困難となる。

結託攻撃に対しては、カモフラージュ・パターンを用いることにより、安全性は向上する。しかしながら、複数の画像からミクロに相関性を解析することにより埋め込みパターンを解読することは不可能ではない。これを防ぐ方策として、パターン p_i をさらに異なる Seed 値から発生させた複数のパターンで構成することにより解読をより困難にすることが可能である。この場合鍵容量が大きくなるという問題がある。このため運用形態のセキュリティレベルに応じて選択すればよい。

鍵の最小容量は、 p_0, p_1 のパターンのみを鍵に保存する (p_2, p_3 は p_0, p_1 を 90° 回転させて得る) のとすれば、 $R=32$ の場合、256 バイトとなる。一方、カモフラージュ・パターンは画像サイズに比例して鍵の容量が増大する。例えば、 512×512 のサイズの画像で $R=32$ とし、各ブロックで (σ_k, x_k, y_k) を 3 バ

イトとすると、必要な鍵情報容量は 768 バイトとなる。画像サイズが大きくなるとこの値はさらに増大する。そこで、乱数発生 Seed 値を鍵に保存すれば数バイト程度で済み、かつ、鍵容量は固定されるため実用的である。

p_0, p_1 のパターンも受信側で Seed 値を受けることにより生成することができ、鍵容量をさらに減少させることも可能であるが、これは得策ではない。パターン発生器には、ループの過程で変動を与えるなど、収斂性を良くするための細工がされており、機密性が高く、このパターン発生ソフトウェアを配布することは適切ではない。このため、配信側で一元管理する必要がある。

5. まとめ

4 値のグリーンノイズ拡散法による電子透かしによる安全性の高い、印刷耐性を有す電子透かし法を検討した。グリーンノイズ拡散法は、強く埋め込んでも視覚的に高画質性を維持し、高耐性である。4 値化により埋め込み容量を増大させ、グレイコードと誤り訂正符号を用いることにより抽出精度を向上させることができ、さらに、普通紙や多少汚れた印刷物からの透かし読み取りも可能となった。また、カモフラージュ・パターンを導入することにより結託攻撃からの安全性を向上させることができた。かかるカモフラージュ・パターンは反転と位相シフトにより作成されるが、ブロックや位相シフトの境界は視認されにくく、高画質性を維持できる。Annotation 応用では前処理として画像に平滑化を施すことにより、どのような画像の印刷物からも安定して透かしを読み取ることができる。これは QR コードのような運用形態で有効と思われる。

参考文献

- 1) 河村尚登: “グリーンノイズ拡散法による印刷耐性のある電子透かし”, 画像電子学会誌, Vol.48, No.2, pp.290-302 (2019).
- 2) 河村尚登: “情報の多重埋め込みを可能とするグリーンノイズ拡散型電子透かし法”, 画像電子学会誌, Vol.48, No.2, pp.221-227 (2019).
- 3) T.Dekel, M.Rubinstein, C.Liu, W.T.Freeman; “On the Effectiveness of Visible Watermarks”, Proc. of The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2017(CVPR), pp. 2146-154 (2017).
- 4) A.Boroujerdzadeh, A.R.Ghobadi, A.H. Yaribakht, M.S. Abdoullah; “A Novel Method to Reduce Collusion Attack Possibility on Watermarking”, Proc. The 15th International Conference on Advanced Communications Technology-ICACT2013, pp.1066-1071 (2013).
- 5) <http://www.finetune.co.jp/~lyuka/technote/ecc/ecc1608/> (2019).
- 6) N. Kawamura; “Digital Halftoning by Stochastic Dither Screen Mask Representing Green to Blue Noise Characteristics”, Trans. on IEVC, Vol.5, No.1, pp.34-41 (2017).
- 7) 久世慎吾, 岩村恵一: “電子透かしに平均値攻撃耐性を持たせるための一手法”, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-CSEC-51, No.2 (2012).

- 8) 小松尚久, 田中賢一監修, 画像電子学会編, 電子透かし技術, 電機
大学出版局, pp.167-179 (2004).

(2020年1月14日 受付)

(2020年3月18日 再受付)



河村 尚登 (フェロー)

1971年 九州大学理学部物理学科大学院修士課程修了. 同年キャノン(株)入社. 光学設計, カラー画像装置開発, 画像処理, 画像符号化などの研究開発に従事. 1990~1996年 キャノン豪州研究会社取締役. 現在, KTL (カワムラ・テクノラボ) にて技術コンサルタントを行う. 工学博士. 映像情報メディア学会, 日本画像学会各会員. 本学会フェロー



姜 玄浩

2008年 電気通信大学大学院情報システム学研究科情報システム設計学専攻博士課程修了. 博士(工学). 同年 中央大学研究開発機構助教. 産業技術総合研究所 特別研究員, 東京理科大学工学部第一部電気工学科 助教を経て, 2017年 東京工業高等専門学校電子工学科 准教授となり, 現在に至る. 電子透かし技術, バイオメトリクス of セキュリティ研究, Physical Unclonable Function 研究, 機械学習を含む情報セキュリティ応用分野に従事. 電子情報通信学会シニア会員, 情報処理学会会員.



岩村 恵市

1980年 九州大学工学部情報工学科卒業. 1982年 同大学大学院情報工学研究科修士課程修了. 同年キャノン(株)入社. 1994年 東京大学博士(工学). 現在, 東京理科大学工学部電気工学科教授. 主に符号理論, 並列処理, 情報セキュリティ, 電子透かしの研究に従事. 情報処理学会フェロー, 電子情報通信学会フェロー. IEEE, 電気学会会員.

3D 仮想眼鏡試着のためのリアルタイム眼鏡取替映像生成法

小林 巧[†] 杉浦 裕太[†] 斎藤 英雄[†](正会員) 上間 裕二^{††}[†]慶応義塾大学, ^{††}株式会社ジンズ

Real-Time Eyeglasses Replacement Method for 3D Virtual Try-on

Takumi KOBAYASHI[†], Yuta SUGIURA[†], Hideo SAITO[†](Member), Yuji UEMA^{††}[†] Keio University, ^{††} JINS Inc.

あらまし 本論文では、ユーザー自身が矯正眼鏡を着用した状態のままでも利用可能な新しい仮想眼鏡試着の映像生成手法を提案する。研究背景として、眼鏡店を訪れる消費者は鏡を使って試着用の眼鏡が自分に似合っているかどうか試すが、視力が悪いために矯正眼鏡を掛けた状態でないと鏡に映った自身の様子を確認できないというジレンマが存在する。スマートフォンのカメラで撮影したユーザーの顔画像に仮想的に眼鏡を掛けた映像を生成するアプリケーションも存在するが、それらほぼ全てのシステムは眼鏡を外した顔の画像または動画を撮影して仮想眼鏡を重ねることを前提としているため、視力の悪いユーザーが画面をはっきりと見ることができないという課題は解決されていない。そこで本手法では、カメラで撮影した動画中の実眼鏡領域を本人の皮膚テクスチャで上書きすることで消去し、さらに別の仮想眼鏡を重ねた複合現実感映像を生成する。これにより、眼鏡試着における障壁を取り除くことが可能な3次元仮想試着を実現する。また、ユーザーの顔の動きに合わせてリアルタイムに3D仮想眼鏡を表示するために、高精度で高速に顔追跡可能な顔解析ツールを応用する。さらに、矯正レンズの歪みによる変化と光の屈折・反射も考慮して仮想レンズを描画することで、通常の試着用眼鏡では確認できないようなより実際の眼鏡を掛けた状態に近い映像を生成することが可能となる。実験を通して、眼鏡を掛けた状態のままでも違和感の生じない試着映像がリアルタイムで生成されたことを示し、その有効性を確認する。

キーワード：3D 仮想眼鏡試着, 眼鏡取替, 複合現実感, 拡張現実感

<Summary> This paper presents a 3D virtual eyeglasses try-on system for practical use. For fitting eyeglasses in a shop, consumers wish to look at themselves in a mirror while trying on various eyeglass styles. However, for people who need to wear eyeglasses for correcting problems with eyesight, it is impossible for them to clearly observe their face in the mirror without wearing eyeglasses. This makes fitting them for new eyeglasses difficult. Many studies on virtual glasses try-on have been conducted, and some eyewear brands have already put the system into practical use, but none of these mixed reality systems considered processing in case users wear their own glasses. This research proposes a virtual try-on system that can be used while wearing eyeglasses. We replace the user's eyeglasses in the input video with new eyeglasses virtually. Also, a fast and accurate face tracking tool enables our system to automatically display 3D virtual glasses following a user's head motion. Moreover, taking into account the change due to distortion of the correction lens and the refraction and reflection of light, it is possible to generate more realistic glasses by drawing a virtual lens. Experimental results demonstrate that the proposed method can render virtual glasses naturally while the user is wearing real eyeglasses.

Keywords: 3D virtual eyeglasses try-on, eyeglasses replacement, mixed reality, augmented reality

1. はじめに

一般的に、人は眼鏡を購入する際は、実際に眼鏡店へ行き試着用に用意された眼鏡を鏡の前で掛けることで見た目を確かめる。しかし、眼鏡の試着に関しては多くの課題が存在し

ている。まずはじめに、消費者が眼鏡を試着する際に感じる最大の不満点として店舗で試着用に用意されている眼鏡には矯正用レンズが挿入されていないため視界がぼやけてしまうという問題が挙げられる。人によって近視や遠視の度合いが異なるため、店舗での試着では度が入っていないレンズが

挿入された眼鏡しか通常試すことができない。だが、眼鏡を購入しようとする消費者は当然視力の悪い人が多く、矯正眼鏡を外して試着用眼鏡を掛けても鏡に映った様子をはっきりと確認することが困難である。したがって、本人の代わりに他人に眼鏡を掛けた様子を見てもらって意見を聞くか、写真を撮って後で確認するしか術がなかった。加えて、何度も様々な種類の眼鏡を掛けて外すという作業を繰り返すことは非常に煩わしく、いくつもの試着結果を覚えておくことは非常に困難であるといえる。さらに、眼鏡を掛けている状態のユーザーの見た目は、矯正レンズの挿入前と挿入後で光の屈折の影響によって目の大きさなどの見た目が変わってきてしまうという懸念点もある。この点においても試着用眼鏡では再現することができない課題の一つであるといえる。

一方で、複合現実感と呼ばれる仮想空間と現実空間を混同させる映像生成技術の進歩により、ファッション業界でも仮想試着サービスの実応用化が加速している。近年では、実際に撮影された人物や空間に仮想的に衣服や家具を重畳することで、仮想空間上で商品を試すことができる技術も盛んに開発されている。このようなシステムは実際に店舗に行かなくても自宅などで試着することが可能になるため、インターネット販売の売上促進に繋がる。眼鏡に関しても、仮想試着システムによって場所を問わず手軽に眼鏡を試すことができるようになるといえる。実際にいくつかの眼鏡ブランドでは、スマートフォンのカメラで撮影したユーザーの顔画像に仮想的に眼鏡を掛けた映像を生成するアプリケーションも実用化されつつある。しかし、それらほぼ全てのシステムは、眼鏡を外した顔の画像または動画を撮影して仮想眼鏡を重畳することを前提としているため、視力の悪いユーザーが画面をはっきりと見ることができないという課題は解決されていない。特にリアルタイムで仮想試着映像を生成するサービスにおいては、仮想眼鏡を掛けている様子を直接目で確認できるように、矯正眼鏡を外す必要のないシステムであることが求められる。

そこで本研究では、眼鏡試着における課題点を解決するために、ユーザー自身が掛けている矯正眼鏡を掛けた状態のままでも利用可能な新たな仮想眼鏡試着映像生成法を提案する。ここで、本研究における前提条件を整理する。

- 様々な状況下で簡易的に利用可能な仮想試着システムを実現するために、距離カメラや特別なセンサなどは使用しない。また、スマートフォンやPCでも作動できるような簡易的なシステムを想定し、単眼のカメラだけを使用する。
- 仮想試着を開始する前の準備として、ユーザー本人の目周辺の皮膚テクスチャを取得するため、眼鏡を外した顔画像を1枚だけ撮影する。さらに、背景の画像も事前に1枚撮影する。カメラは固定されているものとし、背景は大きく変化しない。

また、本研究では、顔追跡と顔器官検出のための手法として Convolutional Experts Constrained Local Model (CE-CLM)^{1),2)}を用いた顔解析ツール「OpenFace³⁾」を使用する。OpenFaceにより、顔の特徴となるランドマーク点の3次元位置と2次元位置を高速で取得することが可能になり、3次元的なユーザーの顔の動きに合わせてリアルタイムに仮想眼鏡を重畳することができることが特徴である。さらに、入力動画中の人物の実眼鏡が存在すると推定される目周辺のマスク画像を取得し、その領域に顔皮膚テクスチャのマッピングを行うことにより、実眼鏡の領域推定を行わずに消去することが可能になる。次に、仮想眼鏡のレンズとフレームの鏡面反射光と、レンズの表面における光の屈折を考慮することで、より再現性の高い仮想眼鏡を描画できることを明らかにする。

2. 関連研究

2.1 3D 眼鏡仮想試着システム

近年では、眼鏡仮想試着システムに関する研究が多くなされており、眼鏡ブランドの中では既に実用化しているサービスを提供しているものもある。3次元的な顔の動きに合わせて忠実に仮想眼鏡が重畳される複合現実感を実現するには顔の3次元形状の取得する必要があるため、仮想眼鏡試着に関する多くの研究では距離カメラを使用している^{4),5)}。また、Yuan⁶⁾の仮想眼鏡試着システムのように通常のカメラを利用している研究もあるが、鏡とスクリーンを組み合わせた大規模な装置が必要であり、事前に手作業による操作も求められるため簡易的なシステムであるとはいえない。一方で、眼鏡のレンズにかかる光の反射と屈折、フレームの影まで忠実に描画することで、仮想眼鏡の現実感を高めることを目的とした研究も行われている⁷⁾。レイ・トレーシング法によって仮想眼鏡の描画を行っているためリアリティは非常に向上するが、計算コストも増大してしまうためリアルタイム性を求めるシステムには向いていない。

そして、これらの仮想試着システムは実眼鏡を掛けたユーザーが利用する場合を想定しておらず、眼鏡試着における潜在的な問題は残存している。当然であるが、眼鏡を着用したまま従来の仮想試着を行った場合、図1(a)のように実眼鏡と仮想眼鏡の二つの眼鏡が重なって表示された不自然な結果が得られてしまう。なお、図1(b)は改善例である。(本提案方法を利用)

2.2 顔画像中の眼鏡消去

画像中から眼鏡を消去する手法については、主に学習ベースのアプローチをとっている研究が広く行われている。顔画像のデータセットを主成分分析することで入力顔画像に類似した目付近の皮膚画像を再構築する手法^{8),9)}や、深層畳み込みニューラルネットワーク(DCNN)によって眼鏡を掛けた顔画像から眼鏡を外した画像に変換する手法¹⁰⁾がある。さらに、敵対的生成ネットワーク(GAN¹¹⁾)と呼ばれる学習ベ-

スの画像生成モデルによって、眼鏡を掛けていない顔画像を再現する研究も行われている。しかし、これらの手法は顔認識を行う際に精度低下の原因になりうるオクルージョン処理を主な目的としている場合がほとんどであり、入力として動画ではなく静止画を扱っている。

2019年11月にJINS社が公開した「Megane On Megane¹²⁾」では、本研究と同様に眼鏡の試着映像を生成することを目的として動画中の眼鏡消去を行っている。この手法ではディープラーニングによって顔画像データを学習することで、眼鏡を着用した顔画像から眼鏡を外した状態の顔画像に変換

して画像生成を行っている。これに対して本手法では、眼鏡を着用しない状態で撮影した本人の顔表面テクスチャを、眼鏡装着時の眼鏡領域にマッピングことで眼鏡の無い画像を生成しているため、学習ベースの手法で必要となる大量の顔画像や眼鏡あるいは眼鏡を掛けた顔画像のデータベースを作成する必要が無く、また学習と認識時に高性能なGPUも用いる必要も無い。

3. 提案手法

本研究では、ユーザーの眼鏡を別の眼鏡に自動的に取り替える仮想試着映像生成法を提案する。図2に提案手法の流れを示す。

まず、仮想試着を開始する前に背景画像1枚と眼鏡を外した素顔画像1枚を撮影する。背景画像は仮想レンズを通して映る背景部分のテクスチャとして、素顔画像は仮想レンズの描画と眼鏡消去で必要になる皮膚テクスチャとして用いる。この事前準備を行った後、実眼鏡を掛けたユーザーを動画で撮影して仮想試着へと移る。本手法の構成は大きく四つの段階に分けられる。まず、顔解析ツール「OpenFace」を利用し、以降の処理に必要な顔器官点の検出・追跡と顔姿勢推定を行う。顔器官検出は入力動画だけでなく素顔画像に対しても行い、顔の皮膚のテクスチャ座標を取得する。そして、OpenFaceによって得られた入力動画中の顔の3次元位置姿勢に合わせて、仮想の矯正レンズと眼鏡、事前に取得した顔皮膚テクスチャを張り付けた顔モデルをそれぞれ3次元空間上に配置する。次に、生成した顔皮膚テクスチャと矯正レンズをカメラ視点から見た画像中に投影し、入力フレームに合成することで実眼鏡領域を消去する。最後に、オクルージョ

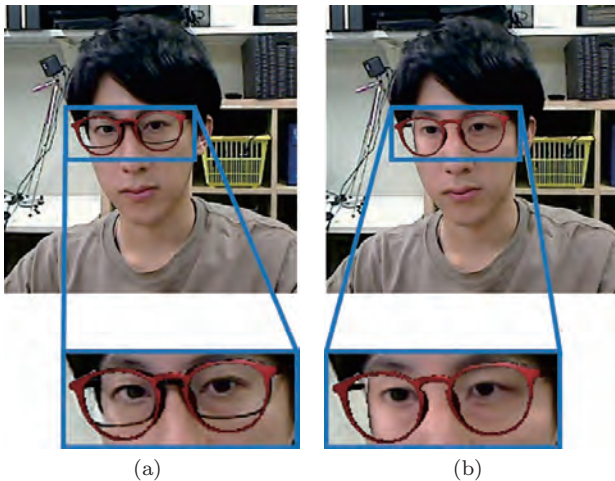


図1 実眼鏡着用時の眼鏡切替の例 ((a) 従来の仮想眼鏡試着システムを利用, (b) 提案手法を利用)

Fig. 1 Example of eyeglasses switching while wearing real eyeglasses; (a) Result by a conventional virtual reality try-on and (b) Result of the proposed method)

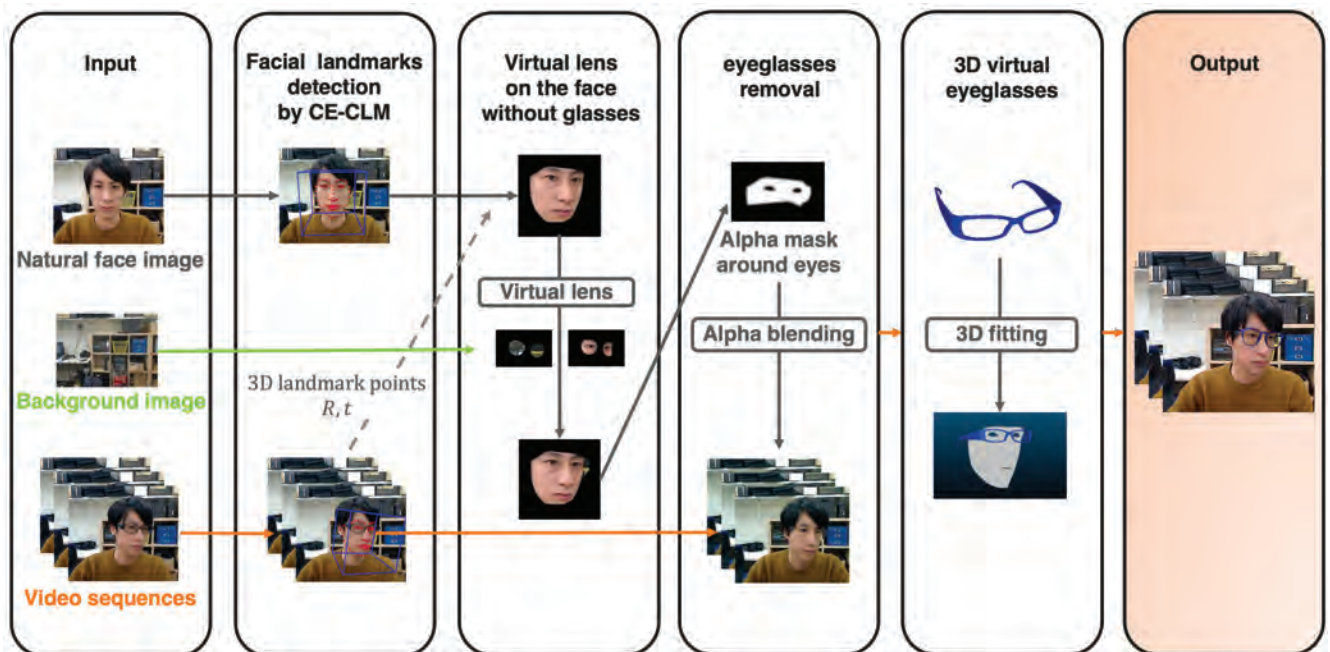


図2 提案手法の流れ

Fig. 2 Overview of the pipeline for our 3D virtual try-on system

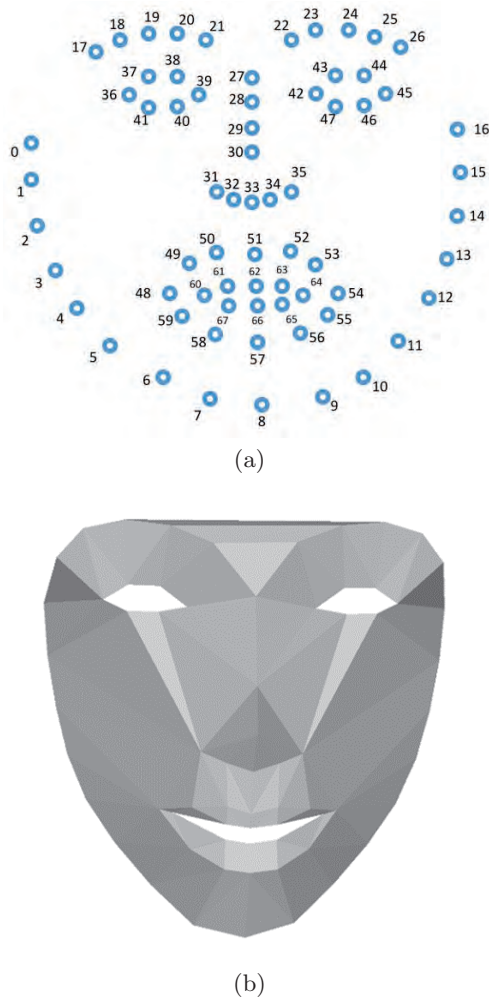


図3 Point Distribution Model (PDM) ((a) PDM で表現される顔器官 68 点, (b) PDM 顔モデルの各頂点を結ぶ三角メッシュで表現された 3 次元顔形状)

Fig. 3 Point Distribution Model (PDM); (a) Facial landmark points of PDM and (b) 3D face shape reconstructed by triangle mesh

ン処理を施した仮想眼鏡を重畳することで、別の眼鏡に取り替えたような画像を生成する。これらの処理を毎フレーム行うことで複合現実感映像を生成し、眼鏡を着用した状態でも利用可能な仮想試着システムを実現する。

3.1 顔器官点検出と顔姿勢推定

本手法では、OpenFace を利用して動画中のユーザーの顔器官点検出を行う。OpenFace では、ディープラーニングによる顔検出器 CE-CLM によって、Point Distribution Model (PDM)¹³⁾で表現される顔器官 68 点に対応する 3 次元座標と 2 次元座標を取得することが可能である。PDM の顔モデルに含まれる顔器官点 68 点を図 3 (a) に示す。そして、内部的に各点の 3 次元座標と 2 次元座標の対応関係から PnP (Perspective-n-Points) 問題を解くことで、顔の位置姿勢推定までを行う。ゆえに、取得された顔器官点座標と顔位置姿勢推定の結果を利用することで、皮膚テクスチャのマッピングや仮想眼鏡を重畳することが可能になる。ここで、事前撮影された素顔画像を顔解析し、検出された顔器官点の 2 次元座標を u^{skin} ,



図4 別の 3 次元顔器官点に合わせてテクスチャマッピングした顔モデルの例

Fig. 4 Example of face model by texture mapping to another 3D facial landmarks

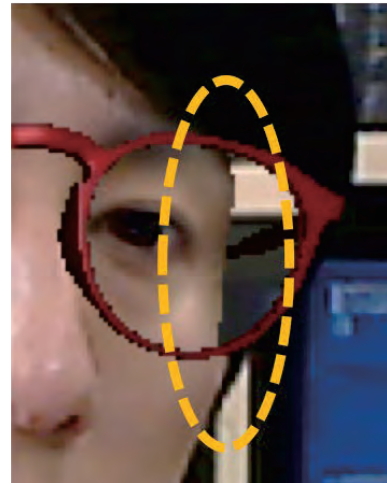


図5 レンズ表面での屈折の例

Fig. 5 Example of refraction on the surface of prescription lens

入力動画フレーム中の顔器官点の 3 次元座標を v とおく。

$$u_i^{skin} = (x_i, y_i), \quad (i = 0, 1, \dots, 67) \quad (1)$$

$$v_i = (x_i, y_i, z_i), \quad (i = 0, 1, \dots, 67) \quad (2)$$

動画中のユーザーの顔の各顔器官点の 3 次元位置 v_i に皮膚テクスチャの u_i^{skin} が対応しており、図 3 (b) で表される三角メッシュを構成する面上にテクスチャマッピングすることで、最初に撮影した顔画像を入力動画中の顔の向きや表情の変化に合わせて変形させたような素顔の 3 次元顔形状を再現することが可能になる。皮膚テクスチャを別の顔形状にテクスチャマッピングすることで生成された 3 次元顔モデルの例を図 4 に示す。

3.2 矯正レンズの描画

矯正レンズには歪みがあるため、図 5 のように近視レンズを通すと光の屈折により輪郭が内側に狭まったように映ることや目が小さく見えるなどの変化が生じる。一般的に矯正レンズは単純な凹凸形状になっているのではなく、中心部と外側の厚みを変化させるなど様々な形状が存在する。コンピュータグラフィックスで仮想レンズの屈折による影響を正確に表現するためには、レンズの表面だけでなくレンズ内を通過した裏側の面の法線も考慮した屈折光の方向ベクトルと、その先にある物体との距離を把握する必要がある。しかし、リアルタイムで描画する際にこれら全てを計算しようとする

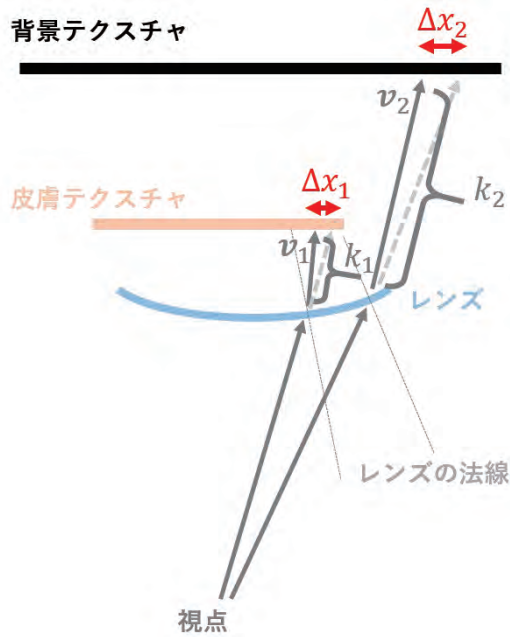


図6 屈折光の光路
Fig. 6 Refraction light path

と処理が非常に重くなってしまう．そこで本手法では，図6で示すように単純にレンズの表面の屈折のみを考慮し，レンズを通過した屈折光 v を一定の長さ k で変化させることで，レンズとの距離が大きく異なる顔と背景の歪みの違いを表現する．まず，顔皮膚画像と背景画像が映る仮想レンズを二種類生成することを考える．ここで，レンズを通り皮膚テクスチャと背景テクスチャに届く屈折光の単位ベクトル v_1, v_2 の長さをそれぞれ k_1, k_2 とおく．屈折光は入射角を θ ，反射角を ϕ とすると，スネルの法則 $\sin \theta = n \sin \phi$ (n は屈折率の比) により求められる．そして，テクスチャ画素の移動量である $\Delta x, \Delta y$ は，次の近似式によって計算し，レンズ上にマッピングする．

$$\Delta x \approx kv_x \sin(\theta - \phi) \quad (3)$$

$$\Delta y \approx kv_y \sin(\theta - \phi) \quad (4)$$

仮想試着中に入力フレームに仮想レンズを重ねていく際には，皮膚画像を映したレンズだけでは埋めきれない顔輪郭外の部分を仮想レンズを通した背景テクスチャで合成するという処理を行う．

また，レンズには屈折光だけでなく鏡面反射光も考慮する必要がある．忠実に反射光を再現するためには，全方位カメラを使って環境マップと光源位置を取得する必要があるが，本手法では単純にカメラ上方に光源が存在すると仮定する．そして，仮想眼鏡の向きによって，レンズの法線方向を軸として視点の反射方向に光源が来る場合に光が反射して見えるように描画する．これによって，顔の動きに合わせてレンズの色味も変化するようになり，仮想レンズの再現性を高められることが期待される．レンズとフレーム部分の反射光に

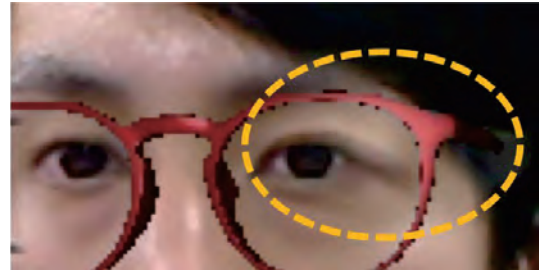


図7 仮想眼鏡の鏡面反射光を反映させた例
Fig. 7 Example of specular reflection on virtual glasses

よる色情報の変化を加味した描画は OpenGL による Phong シェーディング¹⁴⁾によって実装した．仮想眼鏡に反射光の影響を反映させた様子の例を図7に示す．

3.3 眼鏡消去

次に，実眼鏡着用時にも利用可能なシステムを実現する上で不可欠な処理である，顔画像中の眼鏡消去を行う．画像中から不要な領域を消去する方法としては，近傍画素などから推定される別の画素値によって上書きする Inpainting^{15),16)} という手法がある．眼鏡の場合であれば近傍の皮膚の画素を用いて消去する方法が考えられるが，Inpainting によって境界部分を中心に滑らかに皮膚の画素を生成することは困難であり半透明な眼鏡が表示されているような違和感のある結果になってしまう．さらに，動画中の実眼鏡領域は細く小さいため，マスク画像となる眼鏡領域を正確に抽出することも難しい．したがって，本手法では動画中の実眼鏡を追跡・検出するのではなく，顔位置推定の結果を利用する．眼鏡は常に目周辺に存在すると想定し，事前に眼鏡を外した素顔画像の目周辺領域を動画中の対応位置に合成することで実眼鏡領域を消去する．この方法により，ユーザーが掛けている眼鏡のサイズや大小に依存することなく処理することが可能となる．

まず，3.1 節で生成した素顔の3次元顔形状モデルを顔姿勢推定の結果を用いて2次元画像上に投影する．顔全体の皮膚テクスチャを置き換えるのではなく，目周辺のみの領域を切り抜いて合成することを考える．本手法で用いる PDM によって表現される顔モデルの各頂点にはそれぞれ ID が振られているため，目周辺の領域を判断することができる．これにより，対象領域を抽出してマスク画像を生成することが可能となる．このとき，目の内部は動画中の目を使用するため，マスク画像には含まないようにする．目の内部は敢えて残すことで，ユーザーの視線の動きだけでなく，実際に掛けている矯正眼鏡レンズを通して見える目の大きさや形状を維持することが可能になり自然な合成結果を得られる．

ただし，このまま合成処理を行ってしまった場合，合成した境界部分が目立ってしまい望ましい結果を得ることができない．よって，合成割合を境界部分を中心に段階的に変化させるアルファブレンディングを行う．まず，合成領域を表すマスク画像を二値画像で表す．そして，マスク画像に対して平滑化フィルタを掛け，境界部分が徐々に0から1の値にな



図8 アルファマスク画像
Fig.8 Alpha mask image

るように周辺画素の平均値を計算していく．このマスク画像の画素値を α とおき， α の値に従って二つの画像の合成割合を決定する．すなわち，各画素値の値は次の式 (5) によって求められる．

$$I = \alpha S + (1 - \alpha)D \quad (5)$$

I は合成後の各画素値であり， S が合成元となる皮膚テクスチャの画素値， D が合成先の入力フレームの画素値を表す．これにより得られるアルファマスク画像の例を図8に示す．

そして，3.2節で生成した仮想レンズを重畳する．仮想レンズは境界部分を滑らかにする必要がないためアルファブレンディングは行わずに合成する．

3.4 3D 仮想眼鏡の重畳

3D 仮想眼鏡の重畳処理について述べる．複合現実感を表現するために，ユーザーの顔の動きに追従して仮想眼鏡を移動・回転させながら表示する必要がある．顔姿勢推定の結果から仮想眼鏡モデルを剛体変換させることができるが，そのまま2次元投影してしまうと眼鏡のテンプル(つる)の部分などの姿勢によっては顔で隠れるはずの部分がそのまま表示されてしまう．オクルージョン処理がされていない例を図9(a)に示す．そこで，入力フレームの3次元顔位置推定の結果から頭部の3次元形状を再構成し，仮想眼鏡が頭部よりも内側にありオクルージョンとなるべき領域を判断して，手前に見えるべき領域だけを適切に表示するように描画処理を行う．具体的には，顔の中心から正面方向に z 軸をとり，顔輪郭を表す線分を通り z 軸方向に平行な面よりも内側に存在する仮想眼鏡領域を非表示にし，外側に存在する領域のみを表示した．図9(b)に適切にオクルージョン処理を行った結果を示す．

4. 実験結果と考察

実眼鏡を着用したユーザーに対して，提案手法によって仮想試着を行った実験結果を述べる．実験で用いたPCのOSはUbuntu 18.04 LTS，CPUはInter Core i7-7700K @ 3.60 GHz，GPUはNVIDIA GeForce GTX 1070である．GPUについては仮想眼鏡のCG処理のみに用いた．撮影に用いるカメラは，Logicool社製のUSBカメラ「Logicool Webcam Pro 9000」を使用した．リアルタイムで処理するために撮影画像の解像度は 640×480 とし，仮想眼鏡をレンダリングした合成元画像も全て同じ解像度に合わせた．

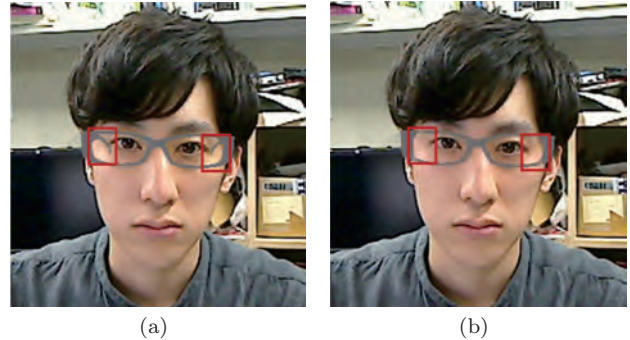


図9 オクルージョン問題とその処理例 ((a) オクルージョン問題, (b) 処理結果)

Fig.9 Example of occlusion problem and its handling; (a) Occlusion problem and (b) The result after occlusion handling

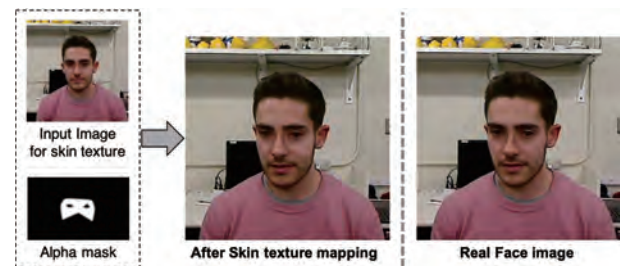


図10 顔皮膚テクスチャをマッピングした結果と実際の顔画像

Fig.10 Result of facial skin texture mapping and real face image

実験の流れとしては，まずパソコンにUSBカメラを設置し，事前に背景となる画像を1枚撮影しておく．そして，ユーザーはパソコンの前に座り，仮想試着を行った．最初に，画面の指示によってユーザーは眼鏡を外し，正面を向いた画像を1枚撮影した．そして，動画撮影が開始された後にユーザーが自身の眼鏡を着用し，頭を回転させて様々な視点と角度を変えながら見た目の確認を行った．提案手法による仮想試着映像生成の実行速度は12～15fpsであった．

4.1 顔皮膚テクスチャマッピング

まず，実眼鏡領域を消去するために行う顔皮膚テクスチャマッピングの結果を図10に示す．再現性を確認するために，眼鏡を着用していない実際の顔画像と比較を行う．提案手法では目周辺の3次元顔器官点が一致するようにマッピングを行っているため，使用する皮膚テクスチャの元となる顔画像が別方向を向いていたとしても，定性的に大差ない再現結果が得られている．また，図10のマスク画像を用いてアルファブレンディングを行ったため，境界部分が目立たないように合成されていることを確認した．

ここで，顔皮膚テクスチャマッピングを行った結果が実際の顔画像を復元していることを定量的に評価するために，これらの画像の類似度を計算した．ここでは類似度の指標として，画像の構造的類似性を表すSSIM(Structural similarity)を用い，眼鏡を掛けていない3人の被験者それぞれに対して

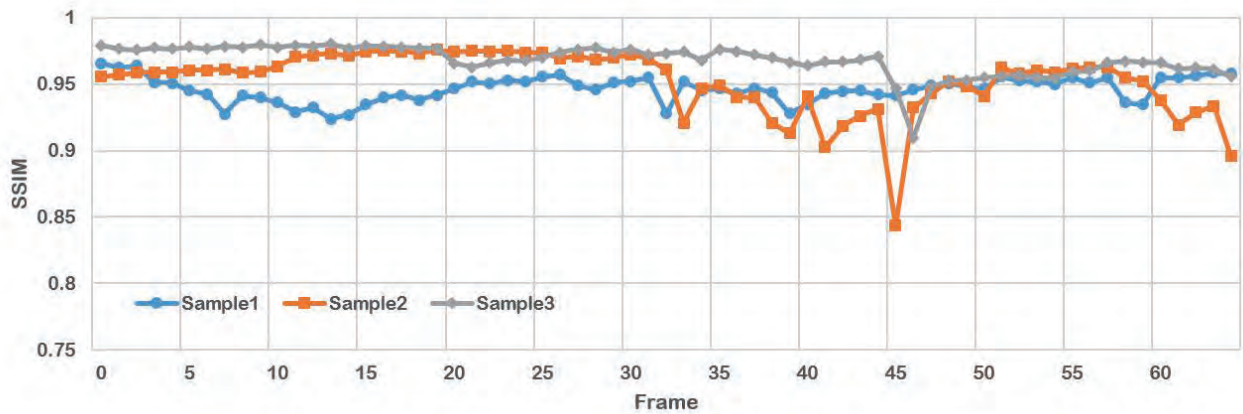


図 11 顔皮膚テクスチャマッピング結果と実際の顔画像の類似度 (SSIM)

Fig. 11 Similarity calculation between each result of facial skin texture mapping and real face image in terms of SSIM

約 5 秒間撮影した動画に目周辺の顔皮膚テクスチャを合成した結果の 65 フレーム分を比較した。顔の動きに依らず違和感なく合成されていることを確認するため、被験者は顔を上下左右に回転させるなどして動画を撮影した。また、目的の顔領域のみの類似度を計算するために、後処理として全フレームにおいて顔の輪郭が収まるようにトリミングし、それぞれ 120×120 の画像サイズに調整してから SSIM 値を求めた。図 11 に計算した SSIM の値をグラフで示す。SSIM の値は 1 に近いほど 2 枚の画像が類似しており、一般的に 0.9 以上あれば人間の感覚では差がないように見えるとされている。今回の実験結果では被験者が大きく横を向いた場合に SSIM 値が低下したが、0.9 を下回っているのは Sample2 の 2 フレームのみであった。この結果、使用するユーザーやその姿勢に依らず類似性の高い復元結果を得られていることを確認した。

4.2 実験結果と本手法の有効性の検証

図 12 (a) ~ (d) に、3 人の被験者に提案手法による仮想試着映像の一部の結果画像を示す。背景画像についても二つのパターンで実験を行った。図 12 (b) は眼鏡消去を行った結果を表しており、図 12 (a) で顔上に存在していた実眼鏡領域が皮膚テクスチャで上書きされていることが確認できた。また、合成された境界部分も滑らかに合成されていることが分かる。図 12 (c) は、図 12 (b) に仮想レンズを描画した結果である。この結果により、仮想レンズ内の部分の実眼鏡領域も消去されていることを確認した。さらに、顔の部分と背景の部分で屈折による影響が異なるように描画されていることが確認できる。最後に、図 12 (d) に仮想眼鏡を重畳した最終的な生成画像を示す。図 12 (a) と比較すると、図 12 (a) に存在していた実眼鏡が仮想眼鏡に取り替えられた画像が生成されていることが分かる。この結果から、視力の悪い人であっても自身の眼鏡を着用したまま利用できるため、容易に試着の様子を確認することができた。

次に、本手法の有効性を検証するために、従来の仮想眼鏡試着システムのように仮想眼鏡の重畳処理のみを行った場合の結果と、提案手法により生成した仮想試着結果を比較した。図 13 に異なる 2 パターンの背景画像で比較した実験結果を示す。図 13 (a) は、入力フレーム、図 13 (b) は、眼鏡消去処理を行わずに仮想眼鏡のフレームのみ重畳した結果であり、図 13 (c) が本手法による結果である。図 13 (b) では、ユーザーが実際に着用している眼鏡と仮想眼鏡が二重に重なって見え、新しい眼鏡の形状や色が見にくいことが分かる。一方で、図 13 (c) では実眼鏡が本人の皮膚テクスチャによって消去されているため、仮想眼鏡だけを着用した試着映像になっており、眼鏡を着用したまま仮想試着を行う場合に本手法が有効であることを確認できる。

ただし、本手法では実眼鏡領域自体の検出は行っていないため、実眼鏡のサイズや形状が極端に大きく顔や仮想眼鏡よりも外側に実眼鏡が存在している場合などには完全に消去することができない。このような場合に、背景の画像で埋め合わせる方法も考えられるが、実眼鏡の裏側に髪の毛や頭が存在する場合もあるため望ましい結果を得られない。これらの実眼鏡領域については消去されていなくても、仮想試着の結果においては大きな影響がなかったため本手法では対処しないこととした。また、本手法では実際の照明環境を取得していないため仮想眼鏡の影のレンダリングは行っていない。顔皮膚テクスチャを合成する際にユーザーが実際に掛けている眼鏡の影が一部消えてしまうという課題があるものの、架空の光源のみで違和感なく仮想眼鏡の影を描画することが困難であった。よって、仮想眼鏡の影は再現されていないが、陰影処理や反射光を反映させることでユーザーが現実感を得られたということを実験を通して確認した。

5. む す び

本論文では、単眼カメラのみで作動する、ユーザーが眼鏡を着用したまま利用できる仮想眼鏡試着のための映像生成

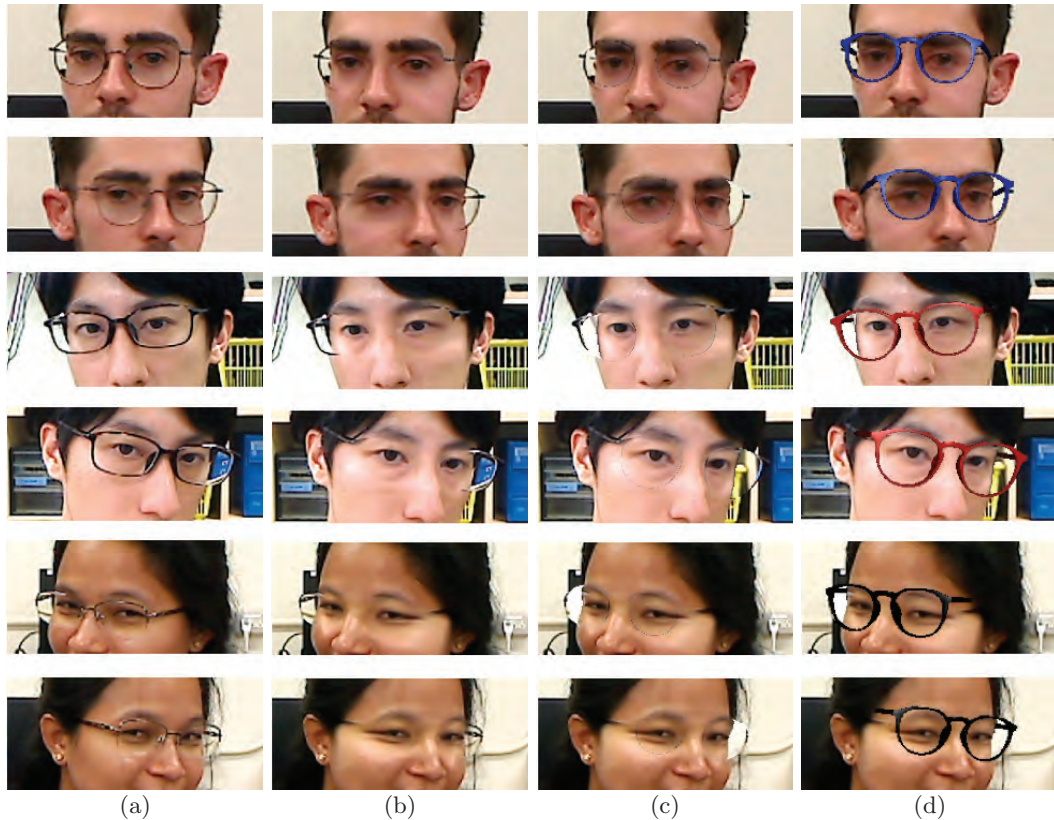


図 12 提案手法による画像処理例 ((a) 入力フレーム, (b) 眼鏡消去後画像, (c) 仮想レンズ描画後画像, (d) 仮想眼鏡重畳画像)

Fig. 12 Examples of the images processed by the proposed method; (a) input image, (b) Image after eyeglasses removal, (c) Image with virtual lens rendering, and (d) Image with virtual glasses rendering)

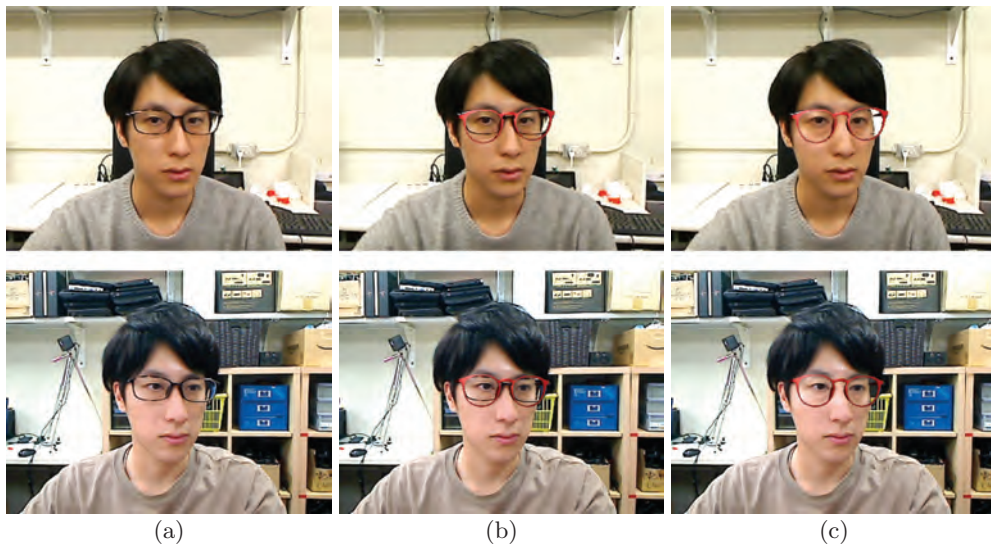


図 13 本手法と従来の眼鏡試着画像の比較 ((a) 入力フレーム, (b) 従来の仮想眼鏡試着, (c) 提案手法)

Fig. 13 Comparison between result images obtained by the proposed method and the previous virtual fitting; (a) input image, (b) usual virtual fitting and (c) proposed method

手法を提案した．提案手法では，眼鏡を着用しない状態で撮影した 1 枚の画像を使用して，眼鏡を着用した状態で試着中の動画像中の眼鏡のみを消去し，試着する仮想眼鏡を顔の向きに応じて重畳表示することにより，眼鏡を着用した状態での仮想試着を実現した．実験結果を通して，提案手法で生成された画像において違和感なく皮膚テクスチャと仮想眼鏡が

合成されていることを示した．また，本手法では素顔の顔画像と背景画像を 1 枚撮影するだけなので，多くの眼鏡消去手法に用いられる顔画像データセットや学習に必要な GPU も不要である．

今後の課題として，顔や仮想眼鏡よりも外側に存在する実眼鏡領域の処理が挙げられる．実眼鏡領域の検出法を検討し，

周辺画素などで完全に消去することができればより理想的な結果が得られると考えられる。また、本手法では実際の照明環境を取得していないため仮想眼鏡の影の部分については考慮していない。しかしながら、複合現実感における3次元CGにおいて仮想物体の影は接触している物体同士の構図を理解するために重要な要素の一つである。したがって、本手法においても全方位カメラを用いて実際の照明環境を取得することでシャドウマッピングを行うが可能になり、試着結果の再現性が向上すると考えられる。

謝 辞

本研究は、JST AIP-PRISM JPMJCR18Y2の支援を受けたものです。

参 考 文 献

- 1) A. Zadeh, T. Baltrušaitis, L.-P. Morency: "Convolutional Experts Constrained Local Model for Facial Landmark Detection", Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp.2519–2528 (2017).
- 2) T. Baltrušaitis, P. Robinson, L.-P. Morency: "Constrained Local Neural Fields for Robust Facial Landmark Detection in The Wild", Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, pp.354–361 (2013).
- 3) T. Baltrušaitis, A. Zadeh, Y. C. Lim, L.-P. Morency: "OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit", Proc. of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, (2018).
- 4) D. Tang, J. Zhang, K. Tang, L. Xu, L. Fang: "Making 3D Eyeglasses Try-On Practical", Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), pp.1–9 (2014).
- 5) P. Azevedo, T. O. Dos Santos, E. D. Aguiar: "An Augmented Reality Virtual Glasses Try-On System", Proc. of XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), pp.1–9 (2016).
- 6) M. Yuan, I. R. Khan, F. Farbiz, A. Niswar, Z. Huang: "A Mixed Reality System for Virtual Glasses Try-on", Proc. of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry", pp.363–366 (2011).
- 7) Q. Zhang, Y. Guo, P.-Y. Laffont, T. Martin, M. Gross: "A Virtual Try-On System for Prescription Eyeglasses", Journal of IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 37, No.4, pp.84–93 (2017).
- 8) C. Wu, C. Liu, H.-Y. Shum, Y.-Q. Xu, Z. Zhang: "Automatic Eyeglasses Removal from Face Images", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 3, pp.359–363 (2004).
- 9) G. Pei, S. Fei: "Enhanced PCA Reconstruction Method for Eyeglass Frame Auto-Removal", Proc. of the 4th IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, pp.322–336 (2014).
- 10) M. Liang, Y. Xue, K. Xue, A. Yang: "Deep Convolution Neural Networks for Automatic Eyeglasses Removal", DEStech Trans. on Computer Science and Engineering (AIEA) (2017).
- 11) W. Shen, R. Liu: "Learning Residual Images for Face Attribute Manipulation", Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.8789–8797 (2017).
- 12) JINS. Inc, Megane On Megane, <https://jinsholdings.com/jp/ja/news/shibuya-parco> (2019).
- 13) T. Cootes, C. Taylor, D. Coopers, J. Graham: "Training Models of Shape from Sets of Examples", Proc. of British Machine Vision Conference, Vol. 9, pp.9–18 (1992).
- 14) F. Hill, S. Kelley, Computer Graphics Using OpenGL, 3rd ed., Pearson (2007).
- 15) M. Bertalmio, A. L. Bertozzi, G. Sapiro: "Navier-Stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting", Proc. of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol. 1 (2001).
- 16) A. Telea: "An Image Inpainting Technique Based on The Fast Marching Method", Journal of Graphics Tools, Vol. 9. No.1, pp.23–34 (2004).

(2019年12月9日 受付)

(2020年2月13日 再受付)



小 林 巧

2018年 慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学院理工学研究科開放環境科学専攻博士前期課程に在学中。コンピュータビジョンやその複合現実感への応用に関する研究に従事。



杉 浦 裕 太

2013年 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科博士後期課程修了。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特任助教、産業技術総合研究所特別研究員、慶應義塾大学情報工学科助教、2018年4月より、同専任講師。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。博士(メディアデザイン学)。



斎 藤 英 雄 (正会員)

1992年 慶應義塾大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 同大助手。その後、専任講師、助教授を経て2006年 慶應義塾大学理工学部情報工学科教授。この間、1997–1999年まで学術振興会海外特別研究員として、米国カーネギーメロン大学ロボティクス研究所に滞在し主に Virtualized Reality の研究に従事。2000年–2003年 JST さきがけ研究「情報と知」領域研究員兼務。2006–2012年 JST CREST 研究者代表。現在、主としてコンピュータビジョンとそのVR応用に関する研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会フェロー、情報処理学会、IEEE シニア会員、映像情報メディア学会、計測自動制御学会会員。



上 間 裕 二

2008年 慶應義塾大学理工学部物理情報工学科卒業。2010年 同大学院メディアデザイン研究科前期博士課程修了。2013年 同大学院メディアデザイン研究科後期博士課程単位取得退学。2013–2015年 慶應義塾大学大学院研究員。2015年 株式会社ジェイアイエヌ(現:株式会社ジンズ)入社。スマートアイウェアの研究開発に従事。

異なるサイズで算出した従来型 HOG 特徴量の集団学習を利用した
画像認識性能改善の一手法盧 忻[†] 城澤大輝^{††} 木村彰男[†](正会員)[†]岩手大学 理工学部, ^{††}岩手大学 工学研究科An Improvement of Image Recognition Performance Using Ensemble
Learning for Conventional HOG Features Calculated with Different
Sizes of Cell and BlockXin LU[†], Daiki SHIROSAWA^{††}, Akio KIMURA[†] (*Member*)[†]Faculty of Science and Engineering, Iwate University, ^{††}Graduate School of Engineering, Iwate University

あらまし 物体認識問題において HOG 特徴量, およびそれを機械学習させて対象物を識別する方式は, きわめて有効な手法として知られており, 最近ではさらにその性能を向上させる手法として特徴量の分散の考慮や, 多重解像度的な特徴量の構成手法の提案なども行われている. 本論文はある適切な範囲のセルサイズとブロックサイズを様々な組み合わせで複数種類の従来型 HOG 特徴量を算出し, これらすべてを学習に利用するというシンプルな手法における画像認識性能を評価している. その結果, 特に, 顔や身体の実画像を用いた評価実験において, 従来型 HOG より若干の計算時間の増加は伴うものの, CoHOG や MRCoHOG など極めて複雑な最新手法に匹敵する学習性能が得られることを示す.

キーワード: HOG 特徴量, 集団学習, AdaBoost, 画像認識

<Summary> In object recognition problem, HOG features and some machine learning methods for learning them to identify an object are known as extremely effective techniques. Recently, emphasizing feature variance and multiplying feature resolution have also been proposed for further improving recognition performance. This paper calculates multiple types of the conventional HOG by combining their various cell sizes and block sizes in an appropriate range, and proposes a simple method to learn them and evaluate the corresponding object recognition performance. Especially in evaluation experiments using real images of faces and bodies, the experimental results show that learning performance of the proposed method comparable to the extremely complicated latest methods such as CoHOG and MRCoHOG can be achieved, although its execution time slightly increases compared to the conventional HOG.

Keywords: HOG features, ensemble learning, AdaBoost, image recognition

1. ま え が き

画像認識の研究分野において, 物体認識問題は最も重要な課題の一つとして知られているが, Dalal ら¹⁾によって提案された Histogram of Oriented Gradients(HOG) 特徴量記述子, およびその HOG 特徴を機械学習させて対象物を識別する方式は, 最も成功した研究例の一つといえるだろう. この HOG については, その発表以降, 実に多くの関連研究が行われ, 例えばサンプリング法を改善した手法^{2)~5)}, HOG の算出コストを軽減させた手法^{6),7)}, 周辺スケールを用いた

マルチスケーリング法^{8)~10)}, 差分画像から動きを検出する手法^{11)~16)}など, 非常に広い範囲で手法の改善・拡張が行われてきた.

その中で, 本稿では, HOG を算出する際のセルサイズとブロックサイズに注目している. 元の Dalal ら¹⁾の文献では, セルサイズを 6×6 画素, ブロックサイズを 3×3 セルに固定して HOG 特徴を算出すると, 画像の局所特徴が上手く表現でき, 結果として最も良い検出性能が得られる, とされている. しかし, 最近になって, HOG の算出時に特徴量の分散まで考慮する CoHOG¹⁷⁾や, セルサイズとブロック

サイズを同比率で変化させ、いわゆる多重解像度的な特徴量を構成する MRHOG⁸⁾、さらに、これら二つを組み合わせた MRCoHOG¹⁸⁾などの優れた画像特徴量が提案されており、これらを学習に用いると、オリジナルの HOG よりも優れた認識性能が得られることが報告されている。

しかしながら、これらの CoHOG や MRCoHOG は、その構造そのものが (通常の HOG よりも) 複雑であり、プログラムソースも開示されていないため、より多くの計算時間を要することが推察される。また、これらの文献には、本来の性能を発揮するためのパラメータ調整法に関する議論がなされていないため、これらを実利用したいケースでは、かなり多くのパラメータを実験的に調整しなければならない。ゆえに、現状では、これらの特徴量を手軽に扱えるとは言い難い。

そこで本稿では、ある適切な範囲で定めたセルサイズとブロックサイズを様々に組み合わせて複数種類の従来式 HOG を算出し、これらすべてを学習に利用することを考える。便宜上、以下ではこれを Variation-HOG (V-HOG) と呼ぶことにするが、提案 V-HOG と MRHOG との最大の違いは、セルサイズとブロックサイズを同比率で変化させるだけではなく、複数の組み合わせで求めている点にある。そして、このシンプルな V-HOG を学習させることで、単一の HOG だけで学習させた場合よりも性能が高く、しかも最新の CoHOG や MRCoHOG にまで迫る性能をもった識別器が構成できることを、実際の顔や人物の実画像を利用した評価実験を通じて示す。提案 V-HOG は、基本的には従来式 HOG を複数種類、計算してそれらをすべて学習に使うだけなので、特徴量そのものがシンプルであり、学習時間が少し延びる程度で手軽に扱えるという特長をもつ。

2. Variation-HOG の構成と学習

2.1 HOG 特徴量

まずはベースとなる HOG 特徴量¹⁾の具体的な算出手順を示すが、詳細については文献 1) を参照されたい。

手順 1) 画像 I をグレースケールに変換し、適当なサイズにリサイズする。

手順 2) 画素位置 (x, y) での輝度を $L(x, y)$ とし、 x, y 方向の微分をそれぞれ

$$L_x(x, y) = L(x+1, y) - L(x-1, y) \quad (1)$$

$$L_y(x, y) = L(x, y+1) - L(x, y-1) \quad (2)$$

と定義する。このとき、位置 (x, y) における勾配強度 m と勾配方向 θ を、それぞれ次式から求める。

$$m(x, y) = \sqrt{\{L_x(x, y)\}^2 + \{L_y(x, y)\}^2} \quad (3)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L_y(x, y)}{L_x(x, y)} \quad (4)$$

図 1 に、計算結果例を示す。図中右側の勾配画像で

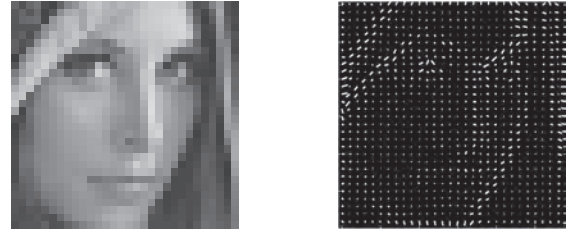


図 1 左: 入力画像 I , 右: 勾配画像
Fig. 1 Left: input image I , right: gradient image

は、画素単位で強度 m と方向 θ が示されており、 m が大きいほど長く、明るく表示されている。

手順 3) 画像 I を $N_p \times N_p$ 画素ごとに区切り、その一つの領域をセルとよぶ。そして、セルごとに、それぞれ輝度勾配ヒストグラムを作成する。この際、勾配の方向は 20 度ごとに量子化するものとし、0 度から 180 度を 9 個のビン (例えば 30 度と 210 度は同一方向として考える) で表現する。つまり、 i 番目のセルにおけるヒストグラム v_i は、次のように 9 次元ベクトルで表現される形となる。

$$\mathbf{v}_i = [v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,9}]^T \quad (5)$$

手順 4) さらに、 $N_c \times N_c$ 個のセルを 1 つのブロックと考え、ブロック $B^{(n)}$ ごとに式 (6) でヒストグラムを正規化する。

$$\hat{\mathbf{v}}_i^{(n)} = \frac{\mathbf{v}_i^{(n)}}{\sqrt{\sum_{j \in B^{(n)}} \|\mathbf{v}_j\|^2 + 0.01}} \quad (6)$$

ここで、 j はブロック $B^{(n)}$ に含まれるセル番号を表している。なお、各セルは一部オーバーラップしているため、ほとんどのセルが別のブロックに複数回、含まれることになる。そこで式では、 i 番目セルのヒストグラムベクトル $\mathbf{v}_i$ がブロック $B^{(n)}$ に含まれることを明示するために $\mathbf{v}_i^{(n)}$ という記述で示している。

手順 5) ブロック $B^{(n)}$ 内に存在する $N_c \times N_c$ 個のすべての正規化勾配ヒストグラムベクトル $\hat{\mathbf{v}}_i^{(n)}$ を連結し、ブロック 1 つ ($B^{(n)}$) につき、1 つの正規化ベクトル ($\mathbf{v}^{(n)}$) が次式のように得られると考える。

$$\mathbf{v}^{(n)} = [\hat{\mathbf{v}}_1^{(n)T}, \hat{\mathbf{v}}_2^{(n)T}, \dots, \hat{\mathbf{v}}_{N_c \times N_c}^{(n)T}]^T \quad (7)$$

この正規化ベクトルは $9 \times N_c \times N_c$ 次元ベクトルである。

手順 6) ブロックをずらしながら式 (7) にしたがって表現ベクトルを計算する。画像 I に $N_w \times N_h$ 個のセル、すなわち、 $(N_w - N_c + 1) \times (N_h - N_c + 1)$ 個のブロックが含まれていた場合、算出された全ての $\mathbf{v}^{(n)}$ を連結したベクトルは、

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}^{(1)} \\ \mathbf{v}^{(2)} \\ \vdots \\ \mathbf{v}^{((N_w-N_c+1) \times (N_h-N_c+1))} \end{bmatrix} \quad (8)$$

となり、これを、画像 I の HOG 特徴 (記述ベクトル) とする。

以上から、最終的な HOG 記述子 $\mathbf{v}$ の次元は $(9 \times N_c \times N_c) \times (N_w - N_c + 1) \times (N_h - N_c + 1)$ となる。なお、本稿では、これを改めて

$$\mathbf{v} = [\tilde{v}_1, \tilde{v}_2, \dots, \tilde{v}_i, \dots, \tilde{v}_M]^T \quad (9)$$

のように、成分 $\tilde{v}_i$ を使って記述する。もちろん、 $M = (9 \times N_c \times N_c) \times (N_w - N_c + 1) \times (N_h - N_c + 1)$ である。こうすると、添字 i の違いによって“ある特定セル位置における勾配の向き”を区別することができ、さらに個々の $\tilde{v}_i$ の値は、その向きの勾配の (正規化された) 大きさ情報を有している、という形になる。HOG は、輝度変化に対して頑健な特徴量となることが知られている。

2.2 Variation-HOG 特徴量

HOG 特徴量記述子は、1 セルの画素数 N_p と 1 ブロックのセルサイズ N_c がそれぞれ固定された形で算出されるため、ある一定サイズの局所領域のみを考慮した特徴が抽出されている。そこで本稿では、 N_p と N_c がそれぞれ異なる複数の HOG を組み合わせ、様々なサイズの局所領域特徴を捉えることを考える。

セルサイズは大きく設定し過ぎると算出される HOG 特徴の差が少なくなり、ブロックサイズを小さく設定し過ぎると画像の輝度変化に弱くなってしまいう傾向があることが報告されている^{1),19)}、そこで、本稿では、特に 30×30 画素の顔画像群、および 30×60 画素の身体画像群を学習に用いることを踏まえて、 N_p, N_c をそれぞれ

- $N_p = 3$ 画素, $N_c = 3$ セル (以下, HOG₃₃)
- $N_p = 3$ 画素, $N_c = 4$ セル (以下, HOG₃₄)
- $N_p = 3$ 画素, $N_c = 5$ セル (以下, HOG₃₅)
- $N_p = 5$ 画素, $N_c = 3$ セル (以下, HOG₅₃)
- $N_p = 5$ 画素, $N_c = 4$ セル (以下, HOG₅₄)
- $N_p = 5$ 画素, $N_c = 5$ セル (以下, HOG₅₅)
- $N_p = 6$ 画素, $N_c = 3$ セル (以下, HOG₆₃)
- $N_p = 6$ 画素, $N_c = 4$ セル (以下, HOG₆₄)

とそれぞれ変えた場合の、合計 8 種類の HOG_{pc} 特徴 ($p \in \{3, 5, 6\}$, $c \in \{3, 4, 5\}$) に着目する。ここでは、1 セルのサイズは最大でも 6×6 画素 ($N_p = 6$)、1 ブロックのサイズは最低でも 3×3 セル ($N_c = 3$) となるように設定しており、いずれも 30 の約数で構成されている。ここで、 30×60 画素の画像に対して、縦方向の N_c は横方向の N_c の 2 倍になる。本稿では、これら 8 種の HOG をまとめて Variation-HOG

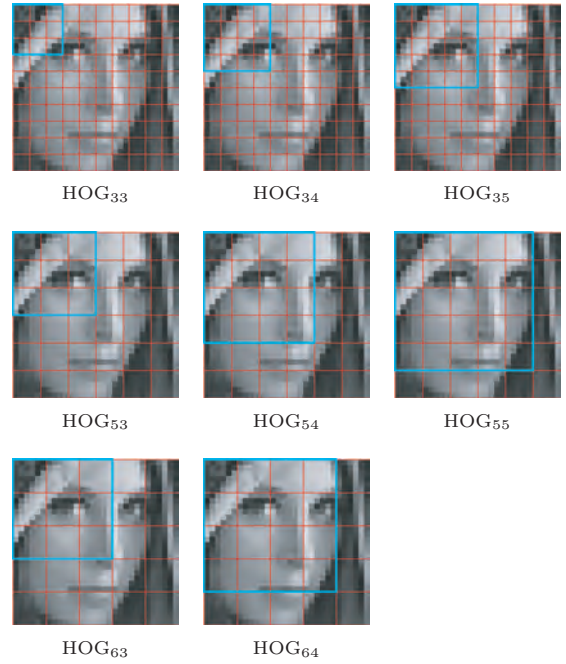


図2 Variation-HOG(V-HOG) 特徴
Fig.2 Variation-HOG(V-HOG) feature

(V-HOG) 特徴^{20),21)}と呼称する。図 2 は、V-HOG 特徴を得るための 8 種類の HOG を例示したものである。

この V-HOG は、適切なサイズで定めた複数の局所領域から得た特徴量で構成されているため、HOG を単体で学習に用いるよりも、最終的な識別性能が良くなることが期待できる。

2.3 AdaBoost による Variation-HOG の学習

ここでは、前節の Variation-HOG 特徴量に基づいて (画像認識という形で) クラス分類を行うための手順について述べる。本稿では、学習手段として AdaBoost を採用する。

AdaBoost の基本的な考え方は、学習によって複数個の弱識別器 (weak classifier) を作って、それらの重み付き多数決で最終識別を行う、というものである。

AdaBoost 学習の概略を示すために、従来の HOG 特徴量に基づいて顔画像を認識する問題を具体例として考える。いま、顔、及び非顔のラベル付画像が合計 K 枚あるとし、これを教師データ (学習データ) としよう。 M 次元 HOG 特徴ベクトルが画像 $I_k (k = 1, \dots, K)$ から算出されたことを明確に示すために $\mathbf{v}_k(I_k)$ と書き、 I_k に対応するクラスラベルを $y_k = \{-1, +1\}$ と書くことにする (-1 の場合は非顔, $+1$ の場合は顔)。このとき、AdaBoost の概略はアルゴリズム 1 に示した形となる。

はじめに、 K 個の入力 HOG データ $\{\mathbf{v}_k\}$ に対して、初期重みがそれぞれ均等に設定される。次に、弱識別器 h_t を構築していくが、ここでは、全ての学習データ $\{(\mathbf{v}_k, y_k)\}$ を最も誤りの少ない形で顔 (positive) と非顔 (negative) にクラス分けできるような式 (9) で示された HOG 特徴ベクトル中の要素、すなわち、式 (10) を最小化するただ一つの要素を

アルゴリズム 1 AdaBoost の学習手順

Algorithm 1 Learning procedure of AdaBoost

Require: K 個のデータ集合 $\mathcal{D} = \{(\mathbf{v}_k, y_k)\}_{k=1}^K$
Ensure: 強識別器 $H(\mathbf{v})$
 initialize: 各データの重み $\{w_k^{(1)} = 1/K\}_{k=1}^K$
 for $t = 1, \dots, T$ do
 i 番目特徴を用いた場合の評価関数 J_i をそれぞれ計算
 for $i = 1, \dots, M$ do

$$J_i = \sum_{k=1}^K w_k^{(t)} \cdot \text{istrue}(h_i(\mathbf{v}_k) \neq y_k), \quad (10)$$

where $h_i(\mathbf{v}_k) : \mathbb{R}^M \rightarrow \{-1, +1\}$,

$$\text{istrue}(x) = \begin{cases} +1, & x \text{ is true} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

end for

$t = \arg \min_i J_i$ なる $h_t(\mathbf{v})$ を, t 番目の弱識別器として選択
 誤り率を計算

$$\epsilon_t = \sum_{k=1}^K w_k^{(t)} \cdot \text{istrue}(h_t(\mathbf{v}_k) \neq y_k) \quad (11)$$

信頼度を計算

$$\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \{(1 - \epsilon_t)/\epsilon_t\} \quad (12)$$

重みを更新して再正規化

$$w_k^{(t+1)} = w_k^{(t)} \exp\{-\alpha_t y_k h_t(\mathbf{v}_k)\}, \quad (13)$$

$$w_k^{(t+1)} = w_k^{(t+1)} / \sum_{k=1}^K w_k^{(t+1)}$$

end for
 return

$$H(\mathbf{v}) = \text{sgn} \left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(\mathbf{v}) \right) \quad (14)$$

選ぶように設計する。言い換えれば、画像中のどのセル位置 (インデックス i) に注目して、その位置での勾配情報がどうなっていれば最も良く学習データをクラス分けできるか決める、ということになる。ここで選ばれた HOG 特徴中の一つの要素が, t 番目の弱識別器 $h_t(\mathbf{v})$ として定められる。その後は、前段の弱識別器 h_t が誤って分類したデータに対して大きな重みを式 (13) のように付与し、それを用いて次段の弱識別器 h_{t+1} を構築する、という手順が繰り返される。つまり、後段の弱識別器では、前段が苦手だったデータなるべく正しく分類するように学習が行われることになる。そして、一つ一つの弱識別器では、式 (11) で計算される誤り率 ϵ_t に応じた信頼度 α_t が式 (12) から計算され、 T 個すべての弱識別器が学習された後に最終識別器 $H(\mathbf{v})$ が式 (14) に基づいて作られる。

この強識別器 $H(\mathbf{v})$ により、未知のデータ $\mathbf{v}$ に対しては式 (14) で重み付き多数決が取られ、その符号で顔か非顔を推測できる。以上のように、AdaBoost では、多数の特徴量候補 (HOG の場合は要素インデックス i で示される局所セル

位置の勾配向き)の中から、認識対象物の検出に有効な特徴量を学習することができる。

V-HOG を用いる場合、上記 $\mathbf{v}_k(I_k)$ が (8 種類の HOG が全てまとめられたものに) 置き変わるだけで、手順としては全く同様であるが、弱識別器の総数 T が増えると計算コストが若干、増大することに注意が必要となる。

3. V-HOG の性能評価実験

3.1 HOG と V-HOG の学習済特徴量の違い

まずはじめに、従来型の単独 HOG_{pc} ($p \in \{3, 5, 6\}$, $c \in \{3, 4, 5\}$)、および提案手法である V-HOG をそれぞれ AdaBoost で学習させた場合、弱識別器として定められる特徴にどのような違いがあるかを調べた。ここでは、文献 22) の顔データセットから無作為に抽出した顔画像 4,316 枚、および文献 23) のデータセットから抽出した非顔画像 4,316 枚の合計 8,632 枚の実画像を学習のためのトレーニングデータとして選び、すべて 30×30 画素にサイズ調整した上で学習を実行した。そして、従来の HOG_{pc} と提案 V-HOG のそれぞれについて、上位に選ばれた特徴量を比較した。なお、以降すべての実験は、Intel Core(TM) i7-7700 CPU@4.20GHz, 64GB メモリ, MATLAB R2018a の実行環境で実施したことを付記しておく。

評価実験の結果を図 3 に示す。この図は、提案 V-HOG により定められた上位 18 位までの特徴量を示したものであるが、従来の HOG_{pc} のみで学習させた場合の順位を併記してある。なお、図中では、顔の平均画像上に弱識別器として選ばれた特徴量が重ねて表示されており、黄色い線で書かれた枠は選択されたセルとそのセルを含むブロック、赤い線はそのセル位置で最大となった勾配の方向をそれぞれ表している。

さて、V-HOG の上位 4 位までは HOG₆₃($N_p = 6$, $N_c = 3$) の上位 4 つと全く同じ特徴が選ばれており、5 位には HOG₅₄($N_p = 5$, $N_c = 4$) の 5 位と同じ特徴が、さらに 6 位と 8 位にはそれぞれ HOG₃₅($N_p = 3$, $N_c = 5$) の 1 位と HOG₆₃($N_p = 6$, $N_c = 3$) の 6 位と同じ特徴が選ばれている。しかしながら、その他の 7 位、および 9~18 位までの特徴については、どの HOG_{pc} においても上位 6 位までには選ばれていないことが確認できる。つまり、提案 V-HOG による学習では、よりさまざまなセルサイズ、ブロックサイズで算出された特徴が重要視され、従来の HOG を単体で学習させた際には下位に位置する特徴であっても、それらがより認識に有効であると判断していることがわかる。これより、提案 V-HOG に基づく学習によってさらなる顔認識率の向上が期待できると考えられる。

3.2 正確度による評価

続いて、提案 V-HOG を学習に用いた場合の物体識別性能を、従来の各種特徴量で学習した場合の性能とそれぞれ比較した。本稿では、識別対象として「顔」と「身体」の 2 種類

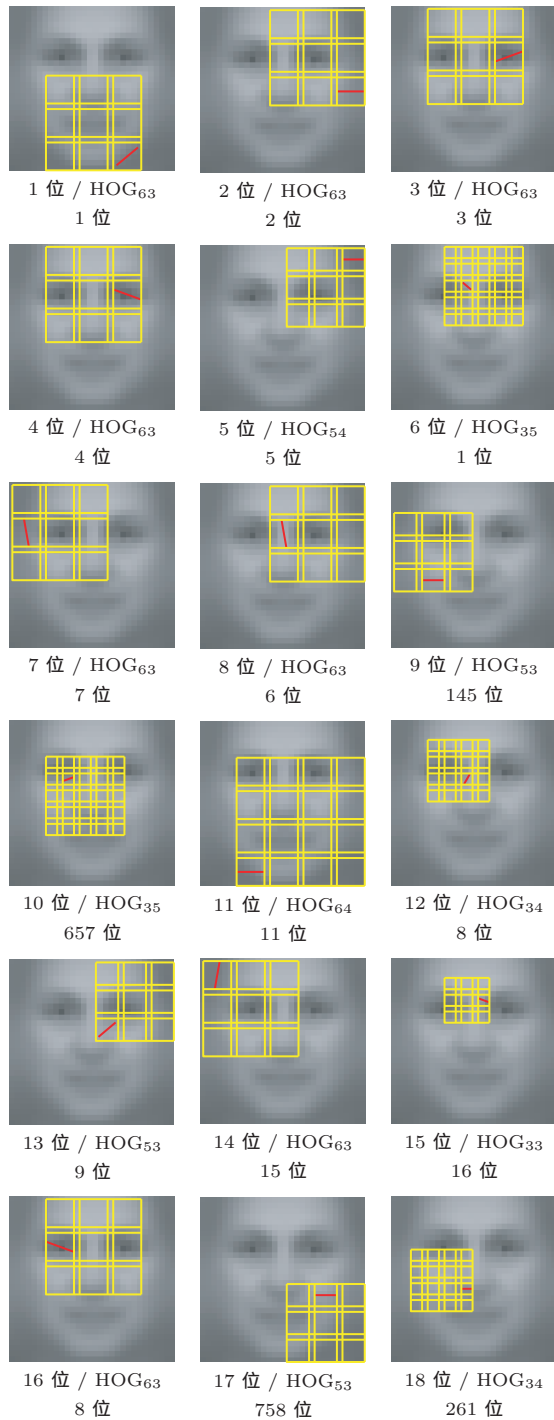


図3 上位18位までの学習済 V-HOG 特徴
Fig. 3 Top 18 features of learned V-HOG

を考え、各特徴量を AdaBoost で学習した場合に作られた強識別器の性能を、正確度 (Accuracy) に着目して評価した。

比較の対象とした特徴量は、 HOG_{33} , HOG_{34} , HOG_{35} , HOG_{53} , HOG_{63} , および、MRHOG⁽⁸⁾, CoHOG⁽¹⁷⁾, MRCoHOG⁽¹⁸⁾ の9種類である。ここで、MRHOG や CoHOG, MRCoHOG については、予備実験をもとに次のようにパラメータを設定した。まず、MRHOG では、 30×30 画素の「顔」入力画像を 18×18 画素、 15×15 画素に縮小した画像を作成し、その各々から HOG_{33} を抽出して結合した特徴量とした。

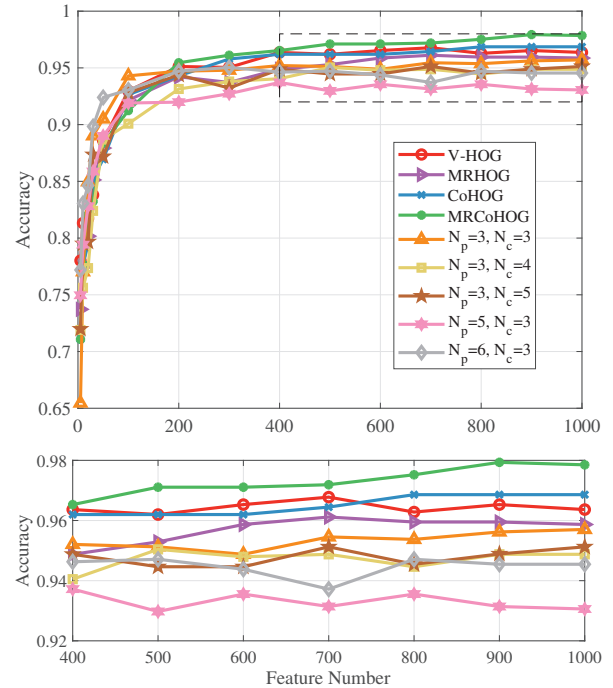


図4 未知画像に対する顔識別の正確度。下図は弱識別器の個数を400以上とした際の拡大図。

Fig. 4 Accuracies of face classification for unknown test images. Lower is an enlargement view of the part of greater than 400 weak classifiers.

また、 30×60 画素の「身体」入力画像に対しては、 18×36 画素、 15×30 画素に縮小した画像を作成してその各々から HOG_{33} を抽出して結合した特徴量とした。CoHOG では、勾配ヒストグラムのビン数を8、共起マトリックスサイズを 8×8 、ブロックサイズを 5×5 ピクセル、オフセット距離を1, 2, 3, 4 ピクセルとそれぞれ設定し、MRCoHOG では、画像リサイズ倍数を $1/3$, $2/3$, 1 と設定した。

3.2.1 顔データに対する正確度

まず、3.1 節で示した顔データと同様の合計8,632枚の実画像をトレーニングデータとして用い、これらの画像を 30×30 画素に縮小して算出した各特徴量を、それぞれ AdaBoost 学習させて最終識別器を構築した。

これらの各識別器に対し、未知のテストデータ、ここでは3.1 節と同じデータセット^{(22),(23)}から学習に未使用の顔画像605枚と非顔画像605枚の合計1,210枚を選び、それらに対する推定の正確度を比較した。図4に、その結果を示す。このグラフでは、縦軸が正確度、横軸が弱識別器として選ばれた特徴の個数を表している。

このグラフから、弱識別器の個数が200個以上になると、やはり CoHOG や MRCoHOG の性能が高くなっていくことが確認できるが、提案 V-HOG の正確度も、それに迫っていることが見てとれる。一方で、弱識別器を200個以下とした場合は従来の HOG_{33} が優れているという結果になったが、提案 V-HOG も、それに近い正確度が達成されている。ちなみに、弱識別器を50個以下とした場合は HOG_{63} の性能が一番高かったが、既に図3でも示したとおり、学習済特徴量

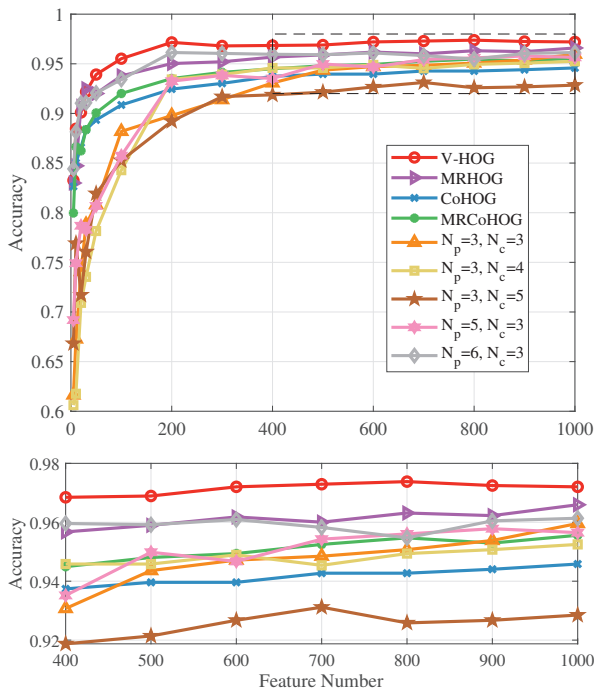


図5 未知画像に対する身体識別の正確度
Fig. 5 Accuracies of body classification for unknown test images

の上位 18 位までには HOG₆₃ の占める割合が多かったことがこれを裏付けているものと考えられる。

繰り返しになるが、提案 V-HOG は、CoHOG や MRCoHOG に必要な多くのパラメータ調整が不要であるにもかかわらず、それに迫る性能が得られている、という意味で、より簡易に取り扱えるのではないかと考える。

3.2.2 身体データに対する正確度

次に、人間の身体を対象とした場合の比較結果を示す。この実験では、文献 1) のデータセットから身体画像を 2,416 枚抽出し、文献 23) のデータセットから非身体画像を 2,416 枚抽出して、合計 4,832 枚の実画像を 30×60 画素に縮小した上で、学習を実行した。

未知のテストデータとしては、文献 1) のデータセットから身体画像を 1,126 枚、文献 23) のデータセットから非身体画像を 1,126 枚それぞれ抽出して、これらの合計 2,252 枚の実画像をすべて 30×60 画素に縮小した上で実験に使用した。

各特徴量を用いた場合の正確度を比較した結果が図 5 である。ただし、図 5 の下図は弱識別器の個数を 400 以上とした際の拡大図を示している。

グラフの見方は先ほどと同様であり、このグラフから、用いた弱識別器の個数にかかわらず提案 V-HOG で学習させた場合の正確度が最も高いことが確認できる。ちなみにこの実験では、弱識別器が 50 個程度という少ない構成であっても、90% 以上という比較的高い正確度を達成することができた。

一方、CoHOG や MRCoHOG の正確度は提案 V-HOG を下回る結果となってしまったが、既に述べたように、CoHOG や MRCoHOG は多数のパラメータを調整する必要があるた

表 1 顔と身体の見出しにおける IoU 指標

Table 1 IoUs for face and human body detection

	HOG	CoHOG	MRCoHOG	V-HOG
顔	56%	75%	78%	73%
身体	33%	57%	55%	45%

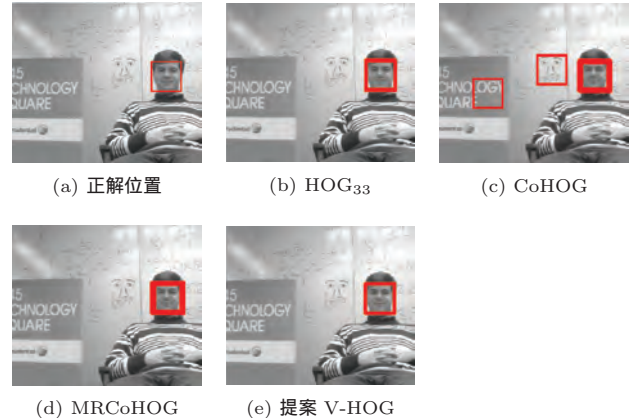


図 6 顔検出結果 ((a) 正解位置, (b) HOG₃₃, (c) CoHOG, (d) MRCoHOG, (e) 提案 V-HOG)

Fig. 6 Face detection results; (a) ground truth, (b) HOG₃₃, (c) CoHOG, (d) MRCoHOG, and (e) proposed V-HOG

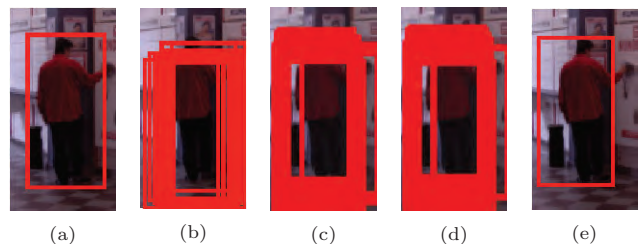


図 7 身体検出結果 ((a) 正解位置, (b) HOG₃₃, (c) CoHOG, (d) MRCoHOG, (e) 提案 V-HOG)

Fig. 7 Human body detection results; (a) ground truth, (b) HOG₃₃, (c) CoHOG, (d) MRCoHOG, and (e) proposed V-HOG

め、さらに細かい検証・調整を繰り返すことでより高い正確度も達成できるものと考えられる。

3.3 実画像を用いた物体検出例

最後に、より一般的な場合を想定し、実画像から顔や身体を認識して検出する実験を試みた。実験では、文献 1) や文献 24) のデータセットからそれぞれ 30 枚ずつランダムに画像を選び、Viola ら²⁵⁾と同様のスライディングウィンドウ方式でこれらの画像から顔や身体を検出することを試みた。

結果の一例を図 6 と図 7 に示す。いずれの図においても検出された部分が赤枠で示されており、(a) が正解位置、(b) から (e) はそれぞれ、学習済 HOG₃₃, CoHOG, MRCoHOG, 提案 V-HOG によって構築された識別器 (弱識別器はいずれも 1,000 個) による検出結果である。なお、検出枠が太く見える箇所は、単に複数の検出結果が重なって表示されているだけである。

これらの結果をみると、顔に対してはいずれの学習済特徴

量を用いた場合でもほぼ正しい位置で検出されていることが確認できるが, CoHOG では, 人物後部の手書き箇所を顔として誤検出してしまっている. 一方, 身体に対してはどの学習済特徴量を用いても正解に近い位置で検出されていることが確認できるが, 提案 V-HOG を除いた従来の HOG, CoHOG, MRCoHOG では多くの複数箇所が身体領域として検出された.

そこで, 物体検出で広く利用される IoU (Intersection over Union) をさらなる指標に導入して, 検出精度の定量的評価も試みた. 先に述べた 30 枚ずつの画像で IoU 値の平均を取った結果を表 1 に示す. この表から, 顔については MRCoHOG が, 身体については CoHOG が最も優れた性能を示したといえるが, 提案 V-HOG は特に顔を検出対象とした場合にこれらに迫る性能を発揮しているといえる.

4. む す び

本稿では, セルサイズとブロックサイズを適切な範囲で変化させて組み合わせた複数の従来型 HOG 特徴 (Variantion-HOG; V-HOG) を AdaBoost を用いて学習させることで, 最近の高性能な特徴量記述子である CoHOG や MRCoHOG を学習させた場合に匹敵する物体識別性能が得られることを示した. 評価実験から, 提案 V-HOG を学習することで構築した識別器は, 特に身体識別において高い性能をもつことを示した. V-HOG は, 従来の高性能 CoHOG や MRCoHOG に比べると極めてシンプルな形で構成されており, より手軽に利用できるものと考えられる.

本稿で提案した V-HOG は, 従来型の HOG よりは学習や物体検出に多くの時間を要する. このため, さらに簡易に取り扱うには, 必要な計算量を減すためのアルゴリズムの改良, Viola²⁵⁾らが採用したカスケード構造の導入, などが必要と思われるが, これらは今後の課題である.

参 考 文 献

- 1) N. Dalal, B. Triggs: "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," Proc. of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol. 2, pp. 886–893 (2005).
- 2) S. Bileschi: "A Multi-Scale Generalization of the HOG and HMAX Image Descriptors for Object Detection", Technical Report, Massachusetts Institute of Technology (2008).
- 3) T. Watanabe, S. Ito, K. Yokoi: "Co-Occurrence Histograms of Oriented Gradients for Pedestrian Detection", Proc. of Pacific Rim Symposium on Advances in Image and Video Technology, pp. 37–47 (2009).
- 4) R. Minetto, N. Thome, M. Cord, N. J. Leite, J. Stolfi: "T-HOG: An Effective Gradient-Based Descriptor for Single Line Text Regions," Pattern Recognition, Vol. 46, No. 3, pp. 1078–1090 (2013).
- 5) T. Kato, R. Relator, H. Ngouv, Y. Hirohashi, O. Takaki, T. Kakimoto, K. Okada: "Segmental HOG: New Descriptor for Glomerulus Detection in Kidney Microscopy Image", BMC Bioinformatics, Vol. 16, (2015).
- 6) Y. Pang, Y. Yuan, X. Li, and J. Pan: "Efficient HOG Human Detection", Signal Processing, Vol. 91, No. 4, pp. 773–781, (2011).
- 7) V. Chandrasekhar, G. Takacs, D. M. Chen, S. S. Tsai, Y. Reznik, R. Grzeszczuk, and B. Girod, "Compressed Histogram of Gradients: A Low-Bitrate Descriptor", International Journal of Computer Vision, Vol. 96, No. 3, pp. 384–399 (2012).
- 8) A. J. Newell and L. D. Griffin: "Multiscale Histogram of Oriented Gradient Descriptors for Robust Character Recognition", Proc. of International Conference on Document Analysis and Recognition, pp. 1085–1089 (2011).
- 9) T. Hassner, V. Mayzels, L. Zelnik-Manor: "On Sifts and Their Scales", Proc. of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1522–1528 (2012).
- 10) P. Dollár, R. Appel, S. J. Belongie, P. Perona: "Fast Feature Pyramids for Object Detection", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 36, No. 8, pp. 1532–1545 (2014).
- 11) N. Dalal, B. Triggs, C. Schmid: "Human Detection Using Oriented Histograms of Flow and Appearance", Proc. of European Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 428–441 (2006).
- 12) A. Kläser, M. Marszałek, C. Schmid: "A Spatio-Temporal Descriptor Based on 3D-Gradients", Proc. of British Machine Vision Conference (BMVC), pp. 99.1–99.10 (2008).
- 13) I. Laptev, M. Marszałek, C. Schmid, B. Rozenfeld: "Learning Realistic Human Actions from Movies", Proc. of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1–8 (2008).
- 14) A. Makia, A. Seki, T. Watanabe, R. Cipolla: "Co-Occurrence Flow for Pedestrian Detection", Proc. of International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 1889–1892 (2011).
- 15) H. Wang, A. Kläser, C. Schmid, C.-L. Liu: "Dense Trajectories and Motion Boundary Descriptors for Action Recognition", International Journal of Computer Vision, Vol. 103, No. 1, pp. 60–79 (2013).
- 16) H. Kataoka, K. Hashimoto, K. Iwata, Y. Satoh, N. Navab, S. Ilic, Y. Aoki: "Extended Co-Occurrence HOG with Dense Trajectories for Fine-Grained Activity Recognition", Proc. of Asian Conference on Computer Vision (ACCV), Vol. 5, pp. 336–349 (2014).
- 17) T. Watanabe, S. Ito, K. Yokoi: "Co-Occurrence Histograms of Oriented Gradients For Human Detection", IPSJ Trans. on Computer Vision and Application, Vol. 2, pp. 39–47 (2010).
- 18) 岩田壮平, 榎田修一: "多重解像度処理を導入した cohog に基づく物体検出", 画像電子学会誌, Vol. 45, No. 1, pp. 42–52 (2016).
- 19) P. Carcagni, M. D. Coco, M. Leo, C. Distant: "Facial Expression Recognition and Histograms of Oriented Gradients: a Comprehensive Study," Springerplus, Vol. 5, No. 645, pp. 1–25 (2015).
- 20) X. Lu, D. Shirokawa, A. Kimura: "Fusion and Learning of Local Features with Different Variations for Face Detection", Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (2016).
- 21) D. Shirokawa, X. Lu, A. Kimura: "A Performance Evaluation of Variation-HOG Descriptor For Human Face Detection", Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (2017).
- 22) L. Lenc, P. Král: "Unconstrained Facial Images: Database for Face Recognition under Real-World Conditions", Proc. of 14th Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI), pp. 25–31 (2015).
- 23) M. J. Huiskes, M. S. Lew: "The Mir Flickr Retrieval Evaluation", Proc. of the ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval, pp. 39–43 (2008).

- 24) VASC Image Database, <http://vasc.ri.cmu.edu/idb/html/face/frontal.images/> (2020).
- 25) P. Viola, M. Jones: "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features", Proc. of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 511–518 (2001).

(2020 年 3 月 17 日 受付)



盧 忻

2006 年徳島大学大学院工学研究科機能システム工学専攻博士後期課程修了．同年岩手大学工学部助手．現在，同大理工学部助教．信号処理，機械学習，統計学などの研究に従事．米国電気電子学会，電子情報通信学会，計測自動制御学会各会員．



城 澤 大 輝

2018 年岩手大学大学院工学研究科電気電子・情報システム工学専攻博士前期課程修了．同年カルソニックカンセイ (株) 入社．在学中は主として機械学習を用いた画像認識に関する研究に従事．



木 村 彰 男 (正会員)

1993 年岩手大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了．同年ソニー株式会社入社．在社中は磁気記録関係の研究開発に従事．1995 年より岩手大学工学部助手，同講師を経て，現在同大理工学部准教授．画像処理，コンピュータビジョン，機械学習などの研究に従事．電子情報通信学会，情報処理学会，芸術科学会各会員．

SqueezeNet による蛍光顕微鏡画像上の CTC の自動検出

中道 一貴[†] 陸 慧敏[†] 金 亨燮[†] 米 田 和 恵^{††} 田 中 文 啓^{††}[†]九州工業大学, ^{††}産業医科大学

Automatic Detection of CTC in Fluorescence Microscopy Images by Using SqueezeNet

Kazuki NAKAMICHI[†], Huimin LU[†], Hyungseop KIM[†], Kazue YONEDA^{††}, Fumihito TANAKA^{††}[†]Kyushu Institute of Technology, ^{††}University of Occupational and Environmental Health

〈あらまし〉現在、日本人の死因第一位はがんであるが、転移を起こす前の早期発見、早期治療が重要であることが知られている。そこで、新しいがん検査のためのバイオマーカーとして血中循環がん細胞（CTC：Circulating Tumor Cells）が注目されている。CTC は転移性がん患者の血液に存在し、その解析を行うことにより、がんの検査や抗がん剤の治療効果の評価が可能とされている。病理学者は血液サンプルを蛍光顕微鏡で撮影した画像から解析を行うが、血液中に含まれる CTC の数は非常に少数であるため、負担の大きい作業となる。そこで本稿では、蛍光顕微鏡画像から CTC の自動検出法を提案する。提案手法では、まず選択的強調フィルタとブロブ解析を用いて細胞領域を検出したのち、畳み込みニューラルネットワークの一種である SqueezeNet を用いて CTC の識別を行う。SqueezeNet への入力画像には、蛍光顕微鏡で撮影された 3 種類の画像を合成したものをを用いる。実験では、6 症例（5,040 枚の画像）に対し提案手法を適用し、真陽性率：97.30[%]、偽陽性率：3.150[%]という良好な結果を得た。

キーワード：血中循環がん細胞、コンピュータ支援診断システム、畳み込みニューラルネットワーク、SqueezeNet、蛍光顕微鏡

<Summary> Recently, cancer is the leading cause of death in Japan. It is known that early detection and early treatment of cancer before metastasis occurs is important. Therefore, circulating tumor cells (CTC) is expected as a useful biomarker that can be new cancer tests. The CTC exists in the blood of patients with metastatic cancer and pathologists analyze CTC to diagnosis the condition of cancer. Pathologists analyze blood samples from images taken with a fluorescence microscope, but it is time-consuming since the number of CTC in the blood is very few. In this paper, we develop an automatic detection method of CTC in fluorescence microscopy images. In the proposed method, we detect cell regions by using the selective enhancement filter and blob analysis and then identify CTC by using SqueezeNet, which is one of the kinds of convolutional neural network (CNN). The input image to SqueezeNet is a composite of three images taken with a fluorescence microscope. As a result of applying the proposed method to 5,040 microscope images (6 cases), 97.30[%] of true positive rate (TPR) and 3.150[%] of false positive rate (FPR) was obtained.

Keywords: circulating tumor cell, computer aided diagnosis, convolutional neural network, SqueezeNet, fluorescence microscope

1. はじめに

現在、日本人の死因第一位はがん、全死亡者に占める割合は 27.8[%]となっており、全死亡者のおよそ 3.6 人に 1 人ががんによって死亡している。がんによる死亡者数は年々増加しており、2017 年には約 37 万人にも上っている¹⁾。がんの検査には様々な方法があるが、近年新たなバイオマーカーとして血中循環がん細胞（CTC：Circulating Tumor Cells）が注目されている。

CTC とは、腫瘍組織から離脱して血液中へと浸潤し、全身を循環する腫瘍細胞であり、転移性がん患者の血液に存在することが知られている。この CTC を解析することにより、がんの早期発見や、抗がん剤の治療効果の評価が可能になると期待されている²⁾。CTC 検出には様々な手法が存在するが、Veridex 社の開発した CellSearch system は、米国食品医薬局（FDA）から認証された唯一の半自動 CTC 計数システムである。しかし、CellSearch system は上皮由来のがん細胞に顕著に見られる上皮細胞接着分子（EpCAM）に対する抗体を用い

表1 標的に対する抗体と蛍光物質、蛍光発色に用いる波長

Table 1 Targets, antibodies, fluorescent materials and wave lengths for fluorescent coloration

標的	抗体と蛍光物質	波長
サイトケラチン	一次抗体：ラビット抗ワイドサイトケラチンポリクローナル抗体 二次抗体：ヤギ抗ラビット IgG 抗体+Alexa Fluor 594	赤色光 (a) 560/40 (b) 645/75
白血球	一次抗体：ラット抗 CD45 モノクローナル抗体 二次抗体：ヤギ抗ラット IgG 抗体+Alexa Fluor 488	緑色光 (a) 480/40 (b) 527/30
細胞核	Hoechst33342 核染色	青色光 (a) 350/50 (b) 460/50

(a) 励起フィルタ (励起に必要な波長の光を抽出) [nm]/[nm], (b) 蛍光フィルタ (試料から発せられた蛍光とその他の光を分離) [nm]/[nm]

表2 CTCの蛍光反応パターン

Table 2 The reaction of CTC

	サイトケラチン (赤色)	白血球 (緑色)	細胞核 (青色)
反応	+	-	+

て細胞の検出を行うため、EpCAMの特性を持たないCTCが存在する場合、検出が難しいという問題点がある³⁾。

この問題を解決するため、Universal CTC-Chipの研究が進んでいる^{4), 5)}。これは、表面に3万個以上のマイクロポストと呼ばれる微小の突起状の構造をもつ、高分子マイクロ流体デバイスである。このマイクロポストは、任意の抗体でコーティングすることができるため、血液中の多様な細胞を標的とした捕捉が可能である。本稿ではCTCの検出のため、3種類の物質の蛍光発色の反応を用いる。表1に標的とする物質とそれに対する抗体、蛍光物質を示す。本研究では、細胞の蛍光発色と撮影にLeica社の倒立顕微鏡DMi8⁶⁾を用いた。この顕微鏡の励起フィルタと蛍光フィルタの波長も表1に示す。また、表2にCTCの蛍光反応パターンを示す。表2において、「+」は陽性反応、「-」は陰性反応を示す。これによってCTCは、「サイトケラチンが陽性であり、細胞核を保有し、かつ白血球ではない細胞」であることがわかる。病理学者は、撮影された画像からこの特徴をもつ細胞の検出を行うが、多量の細胞の中からごくわずかに存在するCTCを見つける必要があるため、作業に多大な労力と時間を要する。さらに、検出結果が判定者の主観に依存するという問題もあるため、コンピュータによる定量的な解析手法が求められている。

TsuijiらはArtificial Neural Network (ANN)と論理積を用いたCTCの自動検出手法を提案した⁷⁾。この手法では、複数のフィルタリング処理によって細胞領域の検出を行い、その結果に対してANNと論理積を用い、CTC有無の識別を行った。論理積を用いた手法では、3種類の画像に対してセグメンテーションを行い、細胞が存在するか否かを判断し、表2の反応パターンを満たすものをCTCとして識別を行った。しかし、セグメンテーションの手法に識別結果が依存するという問題

があった。ANNを用いた手法では、3種類の画像から111次元の特徴量を計算し、それらを入力としたANNによる識別を行った。しかし、特徴量を手動で選択していたため、新しい症例に対して汎用性に欠ける可能性があった。

ところで近年、画像認識の分野で畳み込みニューラルネットワーク (CNN: Convolutional Neural Network) が注目されている。CNNは画像から識別に有効な特徴量を自動で抽出し、効率的な学習を行うことができるため、様々なパターン認識分野で高い有用性が示されている。医用画像の分野においても、CTやMR画像から病変の検出や領域分割、位置合わせを行うタスクで高い性能を発揮している⁸⁾。さらに、MaoらやObonyoらは位相差顕微鏡で撮影された画像から畳み込みニューラルネットワークを用いてCTCを検出する手法を提案し、手動で選択した特徴を用いる検出手法と比較して優れた結果をもたらすことを実証した^{9), 10)}。そこで本稿では、CNNモデルの一つであるSqueezeNet¹¹⁾を用いた蛍光顕微鏡画像上のCTCの自動検出手法を提案し、実験を行った結果について考察とその有用性を述べる。

2. 提案手法

本稿では、健康者の血液にがんの細胞株を付加したものを血液サンプルとして実験に用いる。なお、健康者の血液サンプルの使用は倫理委員会が審査され認証されている。また、本稿で使用した細胞株は、ヒト肺癌由来の細胞株 (PC-9) とヒト胸膜中皮腫由来の細胞株 (ACC-MESO-4) の2種類である⁴⁾。各サンプルに用いた細胞株の種類を表3に示す。まず、血液サンプル1[mL]をUniversal CTC-Chipに流し込むことにより、細胞の捕捉を行った。さらに表1に示す3種類の標的を反応させ、DMi8による撮影を行った。撮影された画像の例を図1に示す。同図に示す3種類の画像は、視認性向上のため本来の画像の一部を切り取ったものであり、輝度コントラストを調整している。さらに、これらの画像はグレイスケール画像として生成されるが、同様に視認性の向上のため、人工的に各波長の色を着色している。例えば、赤色画像であれば、RGB値のRチャンネルへグレイスケールの画素値を格納し、GBチャンネルへ値0を与えている。

表3 使用した細胞株

Table 3 List of cell line

サンプル番号	細胞株
1	なし
2	ACC-MESO-4
3	PC-9
4	PC-9
5	ACC-MESO-4
6	PC-9

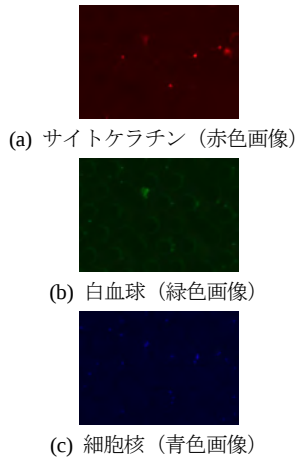


図1 撮影された画像の例

Fig.1 Example of captured images

画像処理による CTC の自動検出を行う流れを図2に示す。我々が提案する手法は主に2つのステップで構成される。最初のステップでは、赤色画像において細胞領域の検出を行う。次に、赤色画像から抽出された細胞の座標情報を基に、関心領域 (region of interest : ROI) を赤、緑、青色画像それぞれに設定する。最後に、抽出された3枚の画像を用い、その細胞が CTC かどうかの識別を行う。以下に詳細を述べる。

2.1 細胞領域の検出

まず、赤色画像に対し細胞領域の検出を行う。ここで赤色画像を用いるのは、他のチャンネルの画像に比べて細胞領域のコントラストが高く明確な境界を示しており、さらに細胞領域の数が少ないためである。これは、病理学者が実際に行う手法に基づいている。一般に CTC の検出を行う際は、赤色画像中の細胞領域を探索し、確認できた細胞領域と同じ座標上の緑色と青色画像の細胞領域の参照を行っている。

検出の流れを図3に示す。まず、選択的強調フィルタ¹²⁾を用いて細胞領域の強調を行う。これは、ヘッセ行列の固有値を解析することにより、画像中の任意の大きさの点成分や線成分を選択的に強調することができる手法である。本稿で検出すべき細胞領域は円形に近いため、点成分を強調するフィルタを用いて細胞領域の検出を行う。本稿では、強調する

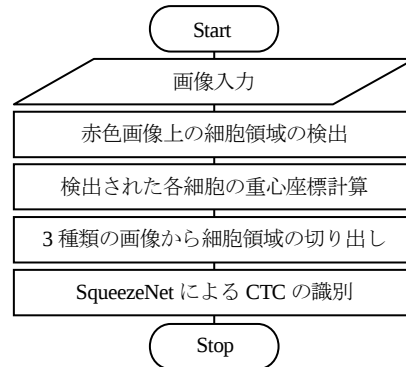


図2 提案手法の全体の流れ

Fig.2 Overall flow of the proposed method

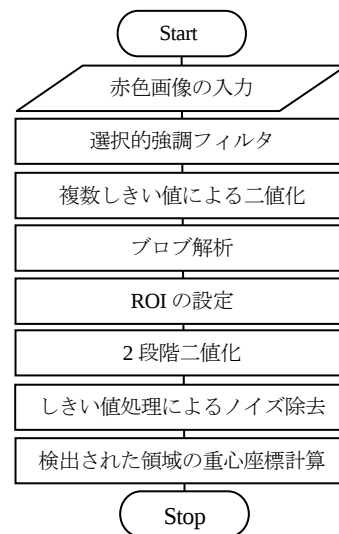


図3 細胞領域の検出の流れ

Fig.3 Flow of the cell region detection

最小の直径を9、最大の直径を33とし、平滑化のスケールを $N=5$ とした。これらは実験的に求めた値であり、このフィルタは Tsuji らの手法⁷⁾でも使用されている。

次に強調結果に対し、複数のしきい値を用いて二値化処理を行う。そこで得られた画像に対し、プロブ解析¹³⁾を行う。これは、二値化後の画像にラベリング処理を行い、ラベル付けされた塊の特徴量を解析する処理である。本稿では、解析する特徴量を面積、円形度、慣性比、凸度の4種類とする。円形度 $F_{circularity}$ 、慣性比 $F_{inertiaratio}$ 、凸度 $F_{convexity}$ はそれぞれ式(1)~(3)で表される。

$$F_{circularity} = \frac{4\pi S}{L} \quad (1)$$

$$F_{inertiaratio} = \frac{I_{min}}{I_{max}} \quad (2)$$

$$F_{convexity} = \frac{S}{S_{conv}} \quad (3)$$

ここで、 S はラベル付けされた面積、 L は周囲長、 I_{min} は共分

散行列の最小固有値, $I_{\max}$ は共分散行列の最大固有値, S_{conv} は凸包の面積である. 本稿では, しきい値を 1 から 10 まで変更して二値化処理を行った画像 10 枚に対し, 設定した 4 種類の特徴量の条件を 5 枚以上の画像で満たしている領域を細胞領域として検出した. この処理により, 強調後のグレースケール画像において複数のしきい値にわたって安定的に細胞に近い形状を示す領域を検出し, それ以外の領域をノイズとして除去することが可能となる. ここで特徴量の条件の範囲は実験的に, 面積: 40~400[pixel], 円形度: 0.6~1.0, 慣性比: 0.3~1.0, 凸度: 0.7~1.0 とした. 検出された領域を細胞候補領域として 64×64[pixel]の ROI を設定し, ROI 内に処理を行うことにより, 最終的な細胞領域の検出を行う.

まず, ROI に対して判別分析法¹⁴⁾による二値化処理を行う. これは画像の輝度ヒストグラムにおいて, クラス内分散とクラス間分散の比が最大となるしきい値によって二値化処理を行う手法であり, 自動で最適なしきい値を決定することができる手法である. しかし, この処理だけでは図 4(a)の黄色の枠で示すような淡い細胞領域は背景成分とみなされる場合が生じるため, 1 回目の二値化処理でしきい値を超えた領域の画素値のみを用い, 再び判別分析法による二値化処理を行った. このような 2 段階の二値化処理により, 淡い細胞領域であっても正しく細胞領域を検出することができる. 最後に, 二値化画像に対するノイズ除去を行う. すなわち, 二値化画像上の面積が 10[pixel]以下, 400[pixel]以上, または円形度が 0.5 以下の領域をノイズ成分とし, それ以外の領域を細胞領域とみなし, その重心座標 (整数) を求める. ここで得られた重心座標を用い, 赤, 緑, 青色のそれぞれの画像から 32×32[pixel]の ROI の切り出しを行う.

2.2 CTC の識別

前述により得られる細胞領域の画像から, CNN の一種である SqueezeNet¹¹⁾を用いた識別を行った. CNN は対象を識別するのに適した特徴量を設計者が選択する必要がなく, 学習により最適な特徴量を自動で抽出することができるものであり, 画像認識などの分野で高い性能を示している. 本稿で用いた SqueezeNet は, 少ないパラメータ数で高い識別性能を発揮するモデルである. 各層の詳細を表 4 に示す. SqueezeNet の特徴として, Fire module と呼ばれる構造がある. Fire module の詳細を図 5 に示す. Fire module では, squeeze 層で 1×1 の畳み込みによって特徴マップの次元の削減を行い, その出力結果を expand 層の 3×3 の畳み込みにより特徴抽出を行いつつ次元の復元を行うが, その一部を 1×1 の畳み込みに置き換えることにより, パラメータの削減を行っている. 3×3 の畳み込みは隣接する画素との関係性をとらえるが, 1×1 の畳み込みでは各特徴マップ間の単一画素の関係性をとらえることができる.

SqueezeNet への入力, 切り出された 3 色の画像を合成することで作成したカラー画像を使用する. 前述のように, 顕

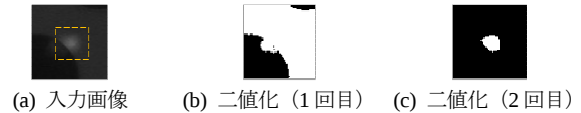


図 4 2 段階二値化

Fig.4 Two-step binarization

微鏡画像はグレースケールであるため, 赤色画像の画素値を R チャンネル, 緑色画像の画素値を G チャンネル, 青色画像の画素値を B チャンネルに格納することによりカラー画像を作成した. 入力画像の例を図 6(a)~(c)に示す. ここで図 6(a)はサイトケラチンと核に対して陽性反応を示しているため CTC であり, (b)はサイトケラチンのみ陽性, (c)はサイトケラチンと白血球が陽性であるため非 CTC である.

入力画像には, CTC とその他の血中細胞の 2 種類が存在するが, CTC は血液に含まれる数が非常に少ないため, データセットに偏りが発生する. そこで本稿では, CTC データの赤色と青色画像の組み合わせを変更することでデータ拡張を行った. 通常は同じ座標から切り出された 3 枚の画像を合成するが, 切り出した CTC の RGB 画像について, 異なる座標からサイトケラチン (赤色) と核 (青色) を組み合わせることで疑似的に新しい CTC データを作成し, それを訓練データとした. 例えば, ある座標から切り出された 3 種類の画像をそれぞれ R-1, G-1, B-1 とすると, R-1, G-1 に対して異なる座標から切り出された B-2 や B-3 を組み合わせることでデータの作成を行う. 表 2 に示すように, CTC は白血球ではなく, サイトケラチンが陽性であり, 細胞核をもつ細胞なので, 同じ座標上の細胞の組み合わせでなくてもこの条件を満たすように別の座標上の 3 色の細胞を組み合わせることにより, 疑似的に新しい CTC データを作成することができると考え, この方法で作成した画像を訓練データとして使用した. CTC データごとに多少の反応の差はあるが, サイトケラチン, 核ともに基本的には円形の形状を示すため, 組み合わせを変更しても CTC として逸脱したデータは生成されないと考える.

3. 評価実験

本稿では, 6 サンプル分の画像 5,040 枚に対し提案手法を適用した. サンプル 1, 4 には 3 種類の画像がそれぞれ 270 枚, それ以外の 4 サンプルは 285 枚である. また, これらの画像サイズはすべて 1,296×966[pixel]である. 顕微鏡で血液サンプルを撮影する際, Universal CTC-Chip 上の撮影範囲を手動で設定したため, 各サンプルの画像枚数にばらつきが生じている. これらのデータは, 辻らの手法⁷⁾で用いられたものと同じである. なお, 識別に用いた SqueezeNet の学習には, Adam (Adaptive Moment Estimation) を用いて最適化を行った. ハイパーパラメータは初期の学習率を 0.01, バッチサイズを 128, 最大イテレーション数を 20,000 とした. また, データ不足による過学習を軽減するため, CTC データについては前述の画像の組み合わせの変更を行い, 非 CTC の細胞画像については

表 4 SqueezeNet の詳細

Table 4 Details of SqueezeNet

Number	Type	Size/Stride	Output	Filters (1×1 squeeze)	Filters (1×1 expand)	Filters (3×3 expand)
0	Input	-/-	32×32×3	-	-	-
1	Convolution	3×3/1	32×32×96	-	-	-
2	Fire	-/-	32×32×128	16	64	64
3	Fire	-/-	32×32×128	16	64	64
4	Add 2 and 3 layer	-/-	32×32×128	-	-	-
5	Fire	-/-	32×32×256	32	128	128
6	Max Pooling	2×2/2	16×16×256	-	-	-
7	Fire	-/-	16×16×256	32	128	128
8	Add 6 and 7 layer	-/-	16×16×256	-	-	-
9	Fire	-/-	16×16×384	48	192	192
10	Fire	-/-	16×16×384	48	192	192
11	Add 9 and 10 layer	-/-	16×16×384	-	-	-
12	Fire	-/-	16×16×512	64	256	256
13	Max Pooling	2×2/2	8×8×512	-	-	-
14	Fire	-/-	8×8×512	64	256	256
15	Add 13 and 14 layer	-/-	8×8×512	-	-	-
16	Batch Normalization	-/-	8×8×512	-	-	-
17	Activation(ReLU)	-/-	8×8×512	-	-	-
18	Global Average Pooling	8×8/1	1×1×512	-	-	-
19	Fully Connected	-/-	1×1×2	-	-	-

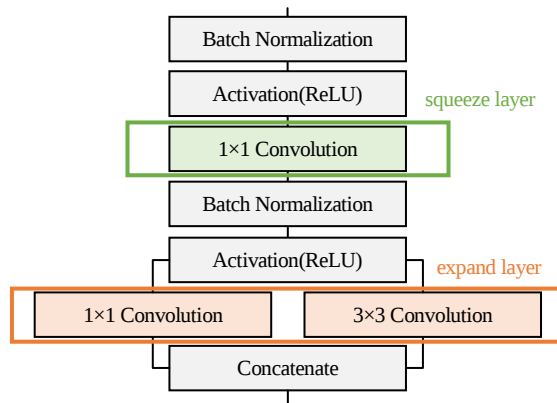


図 5 Fire module の詳細

Fig.5 Details of Fire module



(a) CTC (b) 非 CTC (赤反応) (c) 非 CTC (赤緑反応)

図 6 生成した入力画像の例

Fig.6 Example of generated input images

様々な変換処理を加えることでデータ拡張を行った。具体的

には、画像に対して回転、垂直方向反転、水平方向反転、垂直方向シフト、水平方向シフトをランダムで行った。

3.1 実験結果

本稿では、提案手法の性能評価を真陽性率（TPR：True Positive Rate）、偽陽性率（FPR：False Positive Rate）を用いて行った。それぞれを導出する式は次のようになる。

$$TPR = \left\{ \frac{a}{a+b} \right\} \times 100 \quad (4)$$

$$FPR = \left\{ \frac{c}{c+d} \right\} \times 100 \quad (5)$$

ここで、 a 、 b 、 c 、 d は、表 5 の混同行列に示す領域に属する細胞領域の数を意味している。表 5 において、ground truth とは、各サンプルに含まれる CTC の正解データであり、一人の病理学者が手動で作成したものである。本稿ではこれを SqueezeNet の訓練データの正解ラベルや、性能評価の正解データとして用いるため、提案する手法は一人の病理学者の診断を模倣するシステムといえる。また、陽性は CTC、陰性は非 CTC を表している。本稿では、提案手法の CTC 検出の性能評価を行う際、Leave-One-Out Cross Validation 法を用いた。これは、標本群からサンプルの一つ取り出してテストデータとし、それ以外を訓練データとして用いる手法である。

提案手法の性能評価の結果を表 6(a)に示す。結果として、真陽性率：97.30[%]、偽陽性率：3.150[%]となった。

さらに、Tsuiji らの手法⁷⁾を用いて CTC の検出を行った場合の実験結果を同表の(b), (c)に示す。ここで、表 6(a)と(b), (c)において全領域数に違いがあるのは、細胞領域の検出手法が異なるためである。Tsuiji らの手法も提案手法と同様に、検出と識別の 2つのステップで構成されている。検出のステップでは、最初に選択的強調フィルタ¹²⁾を適用し、細胞領域を強調した。強調結果に対し二値化処理を行い、さらにノイズ成分の除去のためにオープニング処理を適用した。残った領域の重心を計算し、ROI を設定した。次に、ROI に対して顕著性マップ¹⁵⁾を適用することで細胞領域を強調し、続けて判別分析法による二値化を行った。最後に面積によるしきい値処理によってノイズ成分を除去し、抽出された領域を細胞領域として座標の計算を行った。

識別のステップでは、論理積を用いる場合、検出結果の座

標情報を用いて赤、緑、青色画像から切り出した ROI に対し、検出のステップで ROI に適用した処理を加えることで領域が存在するか否かを判別し、その結果が表 2 を満たすものは CTC、それ以外を非 CTC とした。ANN を用いる場合は、切り出された画像に対し、ヒストグラム解析やグレイレベルの濃度共起行列解析などを用い、特徴量を計算する。そこで計算した 111 次元の特徴量を入力とした ANN を用いて識別を行った。結果として、論理積を用いた場合は、真陽性率：

表 5 混同行列

Table 5 Confusion matrix

		ground truth の状態	
		陽性	陰性
提案手法による 識別結果	陽性	a	c
	陰性	b	d

表 6 性能評価の結果

Table 6 Performance evaluation results

(a) 提案手法

サンプル番号	真陽性率 TPR[%]	偽陽性率 FPR[%]	全領域数[個] (a+b+c+d)	真陽性数[個] (a)	偽陰性数[個] (b)	偽陽性数[個] (c)	真陰性数[個] (d)
1	100.0	2.004	450	1	0	9	440
2	84.62	0.922	447	11	2	4	430
3	97.06	3.978	1149	66	2	43	1038
4	100.0	3.712	932	16	0	34	882
5	100.0	3.896	83	6	0	3	74
6	100.0	3.203	325	44	0	9	272
平均	97.30	3.150	564.3	24.0	0.667	17.0	522.6
合計	-	-	3386	144	4	102	3136

(b) 論理積⁷⁾

1	100.0	7.582	489	1	0	37	451
2	69.23	6.184	579	9	4	35	531
3	97.06	4.285	1655	66	2	68	1519
4	93.75	9.591	944	15	1	89	839
5	100.0	10.67	81	6	0	8	67
6	100.0	2.632	386	44	0	9	333
平均	95.27	6.172	689.0	23.50	1.167	41.0	623.3
合計	-	-	4134	141	7	246	3740

(c) ANN⁷⁾

1	100.0	7.992	489	1	0	39	449
2	53.85	3.357	579	7	6	19	547
3	97.06	6.490	1655	66	2	103	1484
4	100.0	8.513	944	16	0	79	849
5	100.0	29.33	81	6	0	22	53
6	95.45	16.67	386	42	2	57	285
平均	93.24	8.003	689.0	23.0	1.667	53.17	611.1
合計	-	-	4134	138	10	319	3667

95.27[%], 偽陽性率: 6.172[%]となり, ANN を用いた場合は, 真陽性率: 93.24[%], 偽陽性率: 8.003[%]となった. 以上より提案手法では, 論理積を用いた手法と比較すると, TPR は 2.03[%], FPR は 3.022[%]の改善, ANN を用いた手法と比較すると, TPR は 4.06[%], FPR は 4.853[%]の改善がみられた.

3.2 考察

蛍光顕微鏡で撮影された画像に対し, 選択的強調フィルタとプロブ解析によって細胞領域を検出し, その細胞領域が CTC か否かの識別を, SqueezeNet により行った. その結果, 真陽性率: 97.30[%], 偽陽性率: 3.150[%]という良好な結果が得られ, Tsuji らの手法と比較しても精度の向上がみられた.

真陽性率については, 特にサンプル 2 において向上がみられた. ここで, 細胞領域の検出の段階では, どちらの手法においても CTC の見落としはなかった. したがって, 精度向上には識別のステップに要因があることがわかる. ANN を用いた識別では, 図 7 に示すような細胞核が非常に弱い反応をしている CTC を正しく識別できなかった. これは, 使用する特徴量の選択が適切でなかったことが要因として考えられる. 例えば, 特徴量の一つである青色画像の円形度は, 二値化後に領域が存在しない場合は計算できないため, 青色の反応が弱い CTC を正しく識別できなかった可能性がある. しかし, 提案手法では CNN の使用により, 識別に有効な特徴量を選択できたことが, 真陽性率向上につながったと考えられる. さらに, CTC は RGB の各チャンネルの組み合わせに特徴があるが, 本稿で用いた CNN モデルの SqueezeNet は, 各特徴マップの関連性をとらえることのできる 1×1 の畳み込み層を保有しているため, これも精度向上に貢献したと考えられる.

ここで, 表 3 よりサンプル 1 は健常者の血液にがん細胞株を添付していないことがわかる. しかし, 表 6 よりサンプル 1 の血液中にも CTC がある理由は, 「CTC である可能性を否定できないサイトケラチン陽性の細胞」が, 健常者の血液にも存在することがあるためである.

次に, 偽陽性率の低減についての考察を行う. これについても, CNN の使用により識別に有効な特徴量を選択できたことがその要因であると考えられる. さらに, Tsuji らの手法では, 検出の段階で図 8(a)に示すような細胞片が集まった非細胞領域を誤検出する場合があった. このような領域は一部に点成分を含んでいるため, 選択的強調フィルタを適用した際に強調され, 細胞領域として図 8(b)のように誤検出される. このような誤検出の増加が, CTC 識別の偽陽性増加の要因となった. しかし, 本稿で提案した検出手法では, プロブ解析などの形状特徴を考慮する処理を加えることで, 細胞片が集まった領域の多くはノイズ成分として図 8(c)のように除去することができた. このような細胞領域の検出精度の向上も偽陽性率の低減に貢献したと考えられる. しかし, 検出対象である細胞同士が隣接している場合, プロブ解析によって細胞がノイズとして除去されてしまうことがあるため, 細胞領域

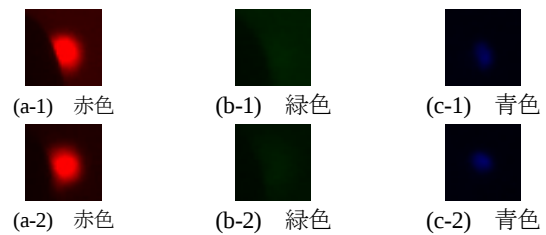


図 7 細胞核の反応が弱い CTC の例

Fig.7 Example of CTC with weak nuclear reaction

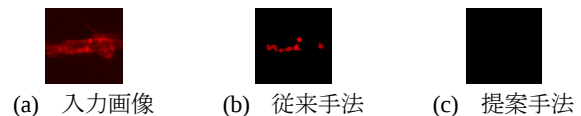


図 8 細胞片が集まった領域に対する検出結果の例

Fig.8 Example of detection for a region where cell debris gathered

の検出手法について改善を行う必要がある. さらに細胞領域の検出, CTC の識別とそれぞれのステップについて従来手法との比較を行う必要があり, これは今後の課題である.

今後のさらなる精度向上のためには, モデルの改善が必要であると考えられる. 本稿で識別に用いる画像サイズは 32×32[pixel]と小さいため, 画像のサイズを小さくする際に情報が減らないような構造を導入することが必要であると考えられる. さらに, 本稿における識別対象である CTC に対する SqueezeNet の有用性を示すため, 他の CNN モデルを用いた識別実験を行う必要がある. また, より多くのサンプルを用いた実験が必要であるが, 医用画像は個人情報の取り扱いの面などから大量に収集することが困難である. そのため, さらなるデータ拡張法の検討が必要であると考えられ, これらは今後の課題である.

4. まとめ

本稿では, SqueezeNet を用いて蛍光顕微鏡で撮影された画像から血中細胞がん細胞を自動で識別する手法を提案した. 提案手法を 6 サンプル分 5,040 枚の画像に適用し, CTC 検出の性能評価を行った結果, 真陽性率: 97.30[%], 偽陽性率: 3.150[%]という良好な結果を得た. さらなる精度向上のためには, 異なる CNN モデルを用いての精度評価や, モデルの改善, データ拡張法の検討を行う必要があり, これらは今後の課題である.

謝 辞

本研究は, 文部科学省科学研究費補助金(16K10697)の補助を受けている.

参考文献

- 1) 厚生労働省, 平成 29 年度 (2017) 人口動態統計月報年計 (概要) の概況, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai>

17/dl/gaikyou29.pdf (2019).

- 2) F. Tanaka, K. Yoneda, S. Hasegawa: "Circulating Tumor Cells (CTCs) in Lung Cancer: Current Status and Future Perspectives", Lung Cancer: Targets and Therapy, Vol.1, pp.77–84 (2010).
- 3) 石本 真一郎, 村松 高, 四万村 三恵, 古市 基彦, 西井 竜彦, 竹下 伸二, 諸岡 宏明, 大森 一光, 塩野 元美, 杉谷 雅彦, 細川 芳文: "肺癌患者における Cell Search System を用いた循環腫瘍細胞の検討", 日大医学雑誌, Vol.68, No.2, pp.236–239 (2009).
- 4) Y. Chikaishi, K. Yoneda, T. Ohnaga, F. Tanaka: "EpCAM-Independent Capture of Circulating Tumor Cells with a 'Universal CTC-Chip'", Oncology Reports, Vol.37, pp.77–82 (2017).
- 5) K. Yoneda, T. Kuwata, Y. Chikaishi, M. Mori, M. Kanayama, M. Takenaka, S. Oka, A. Hirai, N. Imanishi, K. Kuroda, Y. Ichiki, T. Ohnaga, F. Tanaka: "Detection of Circulating Tumor Cells with a Novel Microfluidic System in Malignant Pleural Mesothelioma", Cancer Science, Vol.110, No.2, pp.726–733 (2019).
- 6) Leica, Products, <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/p/leica-dmi8-id/> (2019).
- 7) K. Tsuji, H. Lu, J. K. Tan, H. Kim, K. Yoneda, F. Tanaka: "Detection of Circulating Tumor Cells in Fluorescence Microscopy Images Based on ANN Classifier", Mobile Networks and Applications, DOI: 10.1007/s11036-018-1121-0 (2018).
- 8) 本谷 秀堅: "ディープニューラルネットワークの医用画像処理分野から見た研究動向", 医用画像情報学会雑誌, Vol.34, No.2, pp. 39–44 (2017).
- 9) Y. Mao, Z. Yin, J. Schober: "A Deep Convolutional Neural Network Trained on Representative Samples for Circulating Tumor Cell Detection", Proc. of 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 1–6 (2016).
- 10) S. Obonyo, J. Orero: "Circulating Tumor Enumeration using Deep Learning", Proc. of the 10th International Joint Conference on Computational Intelligence, Vol.1: IJCCI, pp. 297–303 (2018).
- 11) F. N. Iandola, M. W. Moskewicz, K. Ashraf, S. Han, W. J. Dally, K. Keutzer: "SqueezeNet: Alexnet-Level Accuracy with 50x Fewer Parameters and <0.5MB Model Size", arXiv:1602.07360 (2016).
- 12) Q. Li, S. Sone, K. Doi: "Selective Enhancement Filters for Nodules, Vessels, and Airway Walls in Two- and Three-Dimensional CT Scans", Medical Physics, Vol.30, No.8, pp. 2040–2051 (2003).
- 13) T. Lindeberg: "Detecting Salient Blob-Like Image Structures and Their Scales with a Scale-space Primal Sketch: A Method for Focus-of-attention", International Journal of Computer Vision, Vol.11, No.3, pp. 283–318 (1993).
- 14) N. Otsu: "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.9, No.1, pp. 62–66 (1979).
- 15) R. Achanta, S. Hemami, F. Estrada, S. Susstrunk: "Frequency-Tuned Salient Region Detection", Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1597–1604 (2009).

(2019年5月29日 受付)
(2020年1月7日 再受付)



中道 一貴

2018年九州工業大学工学部機械知能工学科卒業。現在、九州工業大学大学院機械知能工学専攻知能制御工学コースに在籍中。医用画像処理、人工知能に関する研究に従事。



陸 慧 敏

2008年揚州大学物理工学部卒業。2011年九州工業大学博士前期課程修了。2014年同大学院工学研究院博士後期課程早期修了。博士(工学)。2012年日本学術振興会特別研究員を経て2016年10月九州工業大学機械知能工学科助教及び文部科学省卓越研究員。現在同大学准教授。人工知能、海洋光学における水中知能ロボットに関する研究に従事。ACM, IEEE, CCF 各会員。



金 亨 變 (正会員)

1994年九州工業大学工学部卒業。1996年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1997年九州工業大学工学部助手。2005年同大学工学部講師を経て、現在同大学工学部教授(機械知能工学科)。画像解析、医用画像処理、パターン認識に関する研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会、日本医用画像工学会、医用画像情報学会、IEEE 各会員。



米 田 和 恵

1998年熊本大学理学部卒業。2013年兵庫医科大学大学院医学研究科医科学専攻博士課程修了。2002年～2007年大阪大学医学部第二内科学(現 内分泌・代謝内科学)、2007年～2013年兵庫医科大学呼吸器外科学、2013年産業医科大学医学部第2外科学。呼吸器悪性腫瘍における臨床検体を用いたトランスレーショナル研究に従事。



田 中 文 啓

1986年京都大学医学部卒業。1996年京都大学大学院医学研究科器官外科学中退。1996年京都大学胸部疾患研究所外科助手。2001年京都大学大学院医学研究科呼吸器外科学講師。2005年兵庫医科大学呼吸器外科准教授。2010年産業医科大学第2外科学教授。肺癌や胸膜中皮腫などの呼吸器悪性腫瘍に対する手術を中心とする集学的治療とバイオマーカーの研究に従事。特に微小転移と血液中を循環するがん細胞(循環腫瘍細胞)の研究がライフワーク。



ビールの魅力

田 中 清 (正会員)

大妻女子大学

Fascinated by Beer

Kiyoshi TANAKA (Member)

Otsuma Women's University

1. はじめに

私は、ビールが好きである。飲み始めた頃はそれほど好きではなかったが、いつの間にか飲み会ではビールを飲まずにいられなくなった。同じように最初はビールが好きでなかった人が結構いるらしく、あるインターネット調査¹⁾によると、8割近くの人が最初はビールに好印象を持たなかったという。また面白いことにその9割はその後ビール好きになったそうだ。飲み進めることによってその印象が変わるビールの魅力について、思うところを書いてみたい。

2. ビールの種類

ビールは発酵食品である。ビール酵母を使って麦汁を発酵させてアルコールと炭酸を生成することによって、ビールを生み出している。ビールの起源は紀元前8,000~4,000年までさかのぼるという説があり、古代メソポタミアのシュメール文明には粘土板に楔形文字でビール作りの模様が描かれていたそうである²⁾。ただ当時は乾燥させた麦を焼いてパンを作

り、そのパンを砕いて水を加えたものを自然発酵させてビールを作るという製法だったとのことで、現在の作り方とは随分異なっていた模様である。

現在のビールは、麦を発芽させた麦芽と、香りの元となるホップ、さらに水を主原料として麦汁を作り、酵母を加えて時間をかけて発酵させており、この工程によってビールの美味さが出来上がっている。味の違いは、米やとうもろこし、でんぷん、糖類といった使用する副原料の違いや、酵母の種類による発酵方法の違いによっても生まれている。詳しいビールの製法については参考文献3),4)、ビール酵母については参考文献5)を参照頂きたいが、ここでは発酵方法による主なビールの分類について触れておきたい。

ビールには発酵中に液の表面に浮かび上がる上面発酵酵母と発酵の終わりに沈む下面発酵酵母を使用したビールがあり、それぞれエール、ラガーと呼ばれている。これ以外にも自然に生息する酵母を用いた自然発酵という種類もある。日本でよく飲まれる主要メーカーのキリン ラガーやアサヒ スーパードライ、サッポロ 黒ラベルなどはラガーであり、サントリー ザ・プレミアム・モルツ<香るエール>やエビス プレミアムエールはその名の通りエールである。

表1は主なビールの種類をまとめたものである。最近のクラフトビールブームで、これらの名前を聞いたことがある方も少なからずおられると思うが、機会があれば是非様々な種類のビールをお試しになることをお勧めする。

私がビールを飲み始めたときは、初めてでも飲みやすいパドワイザーやクアーズを代表とするアメリカ系の軽いピルスナーが好きだったが、いつの頃からか物足りなくなった。最近、個人的には小麦で作ったヴァイツェンがフルーティで香り高く、飲みやすいと思う。初めて飲んだ時に、こんなビールもあったのか、と感動したことを覚えている。また、ホップを大量に効かせたペールエールのIPA（インディアペール

表1 ビールの種類

Table 1 Beer type

発酵の種類	色	主なビールの種類
上面発酵	淡色	ペールエール, ヴァイツェン, ケルシュ
	中濃色	マイルドエール
	濃色	スタウト, ポーター, アルト, アンバーエール
下面発酵	淡色	ピルスナー, ヘレス
	濃色	デュンケル, ミュンヘン, ボック
自然発酵	(*)	ランビック

(*) 銘柄に依存

エール) にもはまっている。あんな苦いもの、もう飲みたくないと思っていたが、いつのまにか IPA の魅力に囚われてしまった。

ところで別の軸での分類として、生ビールか否かという分け方もある。生ビールといえば、樽からジョッキに注がれる居酒屋のビールを思い浮かべる方も多いだろうが、実際は缶でも生ビールは提供されており、熱処理 (パステライゼーション) が施されていないビールのことである。(いらっしやらないと思うが) 疑う方は「キリン一番搾り 生」などの缶ビールの表記を確認されたい。

3. ビールの注ぎ方

ビールの味を決めるものとして注ぎ方も重要である。缶や瓶から直接飲むのではなく、ジョッキに注いでから飲むと味わい深い。注ぎ方はビール工場やビールの試飲イベントでも教わったことがあるが、以下の手順を守ると美味しいビールにありつける。

- 1.きれいに洗ったグラスをテーブルに置き、一気に半分までビールを注ぎ入れる
- 2.泡が落ち着くのを待って、ゆっくりと泡を持ち上げるようにビールを注ぐ
- 3.さらに落ち着いたら、もう一度注ぎ足して完成

この注ぎ方は三度注ぎと呼ばれており、多少の違いはあるもののいくつかの Web 頁でも紹介^{6,7)}されているので、是非試して頂きたい。

一方、ビアパブに行くとビールを蛇口から注いでくれる。あのビールサーバは実に心地がいい。最近のレストランや気の利いたファストフード店でもセルフサービスの自動ビールサーバが置かれており、ジョッキを置いてボタンを押すとビールサーバからビールが注がれる。

また国内外の空港で搭乗前にラウンジでビールをサーバから注いで飲むことも楽しみになっている。国内の空港のラ

ウンジでは自動ビールサーバからビールが注がれるが、海外では図 1 のような本格的なビールサーバが置かれているラウンジがあり、こうしたビールサーバを使いこなすことが試練になる。適度に泡を盛るように注ぐのはなかなか難しく、勢いあまってビールをジョッキからこぼしてしまうこともあるが、きれいに注げたときには感動がある。

4. おわりに

ビールには数多くの種類があり、それぞれに味わいがある。注ぎ方によっても味が変わってしまう飲み物でもある。旅先でしか飲めない限定ビールや地ビールも魅力的である。ビールをはじめ、お酒にはさまざまな楽しみ方がある。ひとりで飲むときも、みんなで飲むときも、潤滑剤として場をなごませる力を持っている。飲み過ぎは身体にも良くないが、酒は百薬の長と言われるように、適度にたしなむことはよいのだろう。つらつらと個人的な思いを入れながらビールについて書いてみたので、専門家や諸兄の皆様からお叱りを受けることもあるかもしれないが、素人の戯言としてご容赦願いたい。

参考文献

- 1) “ビールをはじめて美味しいと感じたとき”, ハピ研アンケート, 第 291 回, アサヒグループホールディングス, <https://www.asahigroup-holdings.com/company/research/hapiken/maian/bn/200906/0291/> (2009).
- 2) “ビールの歴史”, ビール酒造組合, <http://www.brewers.or.jp/tips/history.html>.
- 3) 山岸 裕美: “ビールと酵母”, モダンメディア, Vol. 63, No. 5, pp.120-124 (2017).
- 4) “ビールの造り方”, ビール酒造組合, <http://www.brewers.or.jp/tips/production.html>.
- 5) 有村 治彦: “ビール酵母”, 醸協, Vol. 95, No. 11, pp.791-802 (2000).
- 6) “香りと味の違いを科学で解明! 「三度注ぎ」のビールはなぜおいしいのか”, キリンビール, https://www.kirin.co.jp/company/rd/result/report/report_020.html (2014).
- 7) “このひと手間でプロの味【三度注ぎ】”, 日本ビール株式会社, http://www.nipponbeer.jp/column_tag/注ぎ方/ (2017).



図 1 空港ラウンジのビールサーバ

Fig. 1 Beer server in airport lounge



田 中 清 (正会員)

1992 年 大阪大学工学部通信工学科 卒業。
1994 年 同大学大学院博士前期課程 修了。
同年日本電信電話株式会社 入社。以来、NTT 研究所にて、ビデオオンデマンドシステム、デジタルサイネージシステムをはじめとする映像システムの研究開発に従事。
2010 年から ITU-T SG16, W3C を中心に国際標準化に寄与。NTT サービスエボリューション研究所・主幹研究員を経て、2020 年 4 月より大妻女子大学社会情報学部・准教授。博士 (工学)。本学会、電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会各会員。本学会前技術専門理事。

第 19 回ビジュアル情報処理研究合宿の開催報告

大 上 俊[†] 森久保 愛[‡] 田 代 裕 子^{*}

[†]法政大学, [‡]東京工科大学, ^{*}東京電機大学

The Report of the 19th Visual Information Processing Camp

Shun OHUE[†], Ai MORIKUBO[‡], Yuko TASHIRO^{*}

[†]Hosei University, [‡]Tokyo University of Technology, ^{*}Tokyo Denki University

あらまし 2019 年 9 月 21 日～23 日に開催されたビジュアル情報処理研究合宿 (以下, 本合宿) について報告する。本合宿は, ビジュアル情報処理分野を始めとした視覚的に情報処理に関する研究を行う学生を幅広く対象とした研究合宿であり, 本年度で 19 回目を迎えた。全国の学生有志が企画から当日の運営までを行っており, 参加学生への研究に関する活発な議論や交流の場の提供を目的としている。本年度は “New Stage” をテーマとし, ポスターセッションやグループワークなどの企画を行った。本稿では, 本合宿の開催概要と当日の状況を報告し, 合宿最終日に行った参加者へのアンケート結果を基に来年度の活動に向けた考察を行う。

キーワード: VIP 2019, 研究合宿, 報告, ビジュアル情報処理

<Summary> We report the 19th Visual Information Processing Camp (VIP Camp) held from 21st to 23th, September 2019. The VIP Camp is taken place for the students who study visual information processing and other related research fields and it was 19th times this year. The VIP Camp is planned and operated every year by voluntary university students from all over Japan. The primary purpose of the Camp is to provide opportunities for practicing their research presentations and face-to-face discussion on them. The catchword of the Camp this year is “Next Stage”. As represented by the catchword, we arranged poster sessions with fast-forward presentations, and a group work session in which the participants discuss research papers presented “What is a good poster presentation?”, and so on. In this paper, we report the organizing activities for the 19th VIP Camp and discuss possibilities to improve the future VIP Camps by analyzing the answers in participant questionnaires.

Keywords: VIP 2019, research camp, report, visual information processing

1. はじめに

本稿は 2019 年 9 月 21 日～23 日に, 埼玉県県民活動総合センター¹⁾にて開催された第 19 回ビジュアル情報処理研究合宿 (Visual Information Processing Camp: VIP2019, 以降, 本合宿) について報告する。本合宿は CG や画像処理, 情報可視化, インタラクティブアート, 認知科学など, 視覚化できる情報処理技術について研究を行う全国の学生を対象とした研究合宿である。また, 企画から運営までの全てを有志の学生の手により行っているという大きな特徴を持つ。本合宿の主な目的は次の 2 つである。

1. 学部から博士まで, 研究成果に関係なく自分の研究について率直な意見交換が可能な場の提供
2. 他大学学生, 教員, 社会人との交流の場の提供

毎年, 合宿を開催するにあたってテーマを決めている。本年度のテーマは “New Stage” とした。参加した学生が本合宿での経験により成長し, 自身の研究が 1 つ上の段階に進められるように手助けをすることを目標としている。

本年度は, 愛知工業大学, 東京工科大学, 東京電機大学, 東京農工大学, 東邦大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 広島大学, 法政大学, 和歌山大学, 早稲田大学の 10 大学と企業から 40 名の参加があった。

表 1 に参加者内訳を示す。また, 図 1 に参加者の集合写真を, 図 2 に VIP2019 ロゴを示す。なお本合宿は, 表 2 に示す 2 泊 3 日のスケジュールで行われた。

本稿では, 本合宿開催までの運営活動および合宿当日の様子について報告し, 合宿最終日に参加学生を対象に実施したアンケートをもとに合宿全体の考察及び来年度への取り組み



図 1 参加者の集合写真
Fig. 1 Group photo of the participants



図 2 VIP2019 ロゴ
Fig. 2 VIP2019 Logo



図 3 VIP2019 Web サイト
Fig. 3 VIP2019 Web site

を検討する。

2. 合宿の概要

2.1 運営

本合宿の活動は2019年4月から同12月まで約8ヶ月に及んだ。本合宿の運営委員4名を次に示す。

- 逸見萌香 (B4: 東京工科大学, 代表)
- 大上俊 (M1: 法政大学大学院, 副代表)
- 森久保愛 (B4: 東京工科大学)
- 山田章登 (B4: 東京農工大学)

表 1 所属ごとの参加人数一覧

Table 1 List of participants from each affiliation

	学生	教員	社会人
愛知工業大学	5	0	0
東京工科大学	7	2	0
東京電機大学	0	1	0
東京農工大学	6	2	0
東邦大学	2	0	0
奈良先端科学技術大学院大学	0	1	0
広島大学	2	0	0
法政大学	1	0	0
和歌山大学	2	1	0
早稲田大学	5	0	0
その他	0	0	4
小計	30	6	4
合計			40

表 2 合宿のスケジュール

Table 2 Schedule of VIP Camp

	1 日目	2 日目	3 日目
午前	受付	ポスターセッション	グループワーク 閉会式
午後	開会式 アイスブレイク ポスターセッション 社会人・教員セッション 立食会	昼食 グループワーク 懇親会	



図4 VIP2019 CFP
Fig. 4 VIP2019 CFP

2.2 日程および開催地

2010年度から本合宿の開催地として埼玉県民活動総合センター(けんかつ)を利用している。JR大宮駅から比較的近く、最寄り駅までの無料シャトルバスも運行されている。年々設備環境も向上し、無線LAN開放のほか、宿泊設備も充実している。本合宿は2019年9月21日(土)~23日(月・祝)で実施した。

2.3 広報活動

広報活動には本合宿のWebサイト²⁾(図3)、CFP(図4)作成の他、ダイレクトメールによる案内、後援学会のメーリングリストの活用、Twitter³⁾やFacebook⁴⁾を利用した。準備や当日の様子などを写真付きで投稿し、情報発信することで合宿に対する興味や意欲の向上に繋がるよう努めた。また、協賛企業の紹介にも活用した。

2.4 協賛企業

本合宿では、近年、合宿内での各イベントや備品などの拡充を目的として企業からの協賛を募っている。また、このような協賛を得ることで、参加学生と企業の間新たな関わりが生まれることも重要と考えている。本合宿の活動に興味を持っていた企業に、協賛特典についてプレゼンテーションを行い、協力を仰いだ。

提案した協賛特典の一部を次に示す。

- 本合宿 Web サイト後援・協賛団体紹介ページにて協賛

企業の紹介

- Facebook, Twitter で協賛企業として紹介
- 本合宿 Web サイトの全ページフッタに企業ロゴ及びリンクの掲載
- 社会人セッションでの講演, パンフレット・フライヤーの配布
- 企業賞の設立ならびに受賞者の選出

協賛企業からのご支援により、本年度は長年の課題であった合宿参加費の値下げが実現した。また、宿泊の際のアメニティの追加や食事内容の充実にも繋がり、参加者の満足度の向上がうかがえた。今回、協賛をいただいた企業5社を以下に紹介するとともに、関係者の皆さまへの御礼に代えさせていただきます。

- 株式会社ウサギイ 様 (<https://usagee.co.jp>)
- 株式会社ジオクリエイツ 様 (<https://geocreates.net>)
- ファイブ株式会社 様 (<https://www.five-corp.com>)
- 株式会社リンクス 様 (<http://rental-cfo.com>)
- 株式会社 EBILAB 様 (<https://ebilab.jp>)

3. 企画紹介

3.1 アイスブレイク

初日に研究発表やグループワークでの議論促進を目的とし、参加学生を4~5人のグループに分け、アイスブレイクを実施した。決められた素材で自立可能かつできるだけ高いタワーを建てるマシュマロタワー・チャレンジを行った。一般的なマシュマロタワー・チャレンジを本合宿にアレンジし、重さ、形状の異なる複数のマシュマロを用意した。また、マシュマロの種類によって難易度を設定し、追加ポイントを付与することとした。

グループにより選んだマシュマロの種類が異なるため、純粋に高さによる勝負をするか、強度や安定性を優先して、マシュマロによる追加ポイントを狙うなど、様々な戦略を練るため、グループ内でのコミュニケーションが必須となる。ゲームや勝負などの共通の目的を持たせることで、初対面でも自然に会話が生じ、参加者同士の交流の場を提供できたといえる。

当日のアイスブレイクの様子を図5に、アイスブレイクについてのアンケート結果を図6に示す。

「積極的な交流ができたと思うか」の問いに対し「思う」、「少し思う」との回答は95%であった。また、感想や意見として「必然的に会話が多くなってよい企画だった」、「時間が短いながら、わくわくできるのでアイスブレイクとしてとても楽しかった」、「大笑いしながらできて仲良くなれたと思う」などの意見があり、企画の目的を達成できたといえる。



図5 アイスブレイクの様子
Fig. 5 Icebreaking

3.2 ポスターセッション

合宿 1 日目と 2 日目に、本合宿の特徴である「学部から博士まで、研究成果に関係なく自分の研究について率直な意見交換が可能な場の提供」を実現する研究発表の場としてポスターセッションを実施した。研究の過程では指針に従って作業を進めることだけでなく、研究を他人に発表することも重要である。本セッションでは参加学生に研究発表練習と研究の過程を議論する場を設けた。

発表形式は、ここ数年の発表形式や前年度のアンケート結果⁵⁾なども考慮し、1 セッション 45 分、6 セッションを 2 日間で行った。対外発表の練習も想定し、かつ、セッション中の議論を円滑に進めるため、昨年度から各セッションの開始前にファストフォワードを導入している。

また本合宿では、今後の研究への意欲向上を目的として、特に優れた発表者に対して表彰を行った。本年度は参加者投票によって選ぶ「VIP AWARD」の他、協賛企業賞の「ウサギ賞」、「ジオクリエイツ賞」の 3 部門を設けた。

3.2.1 当日の様子

ファストフォワードの様子を図 7 に、ポスターセッションの様子を図 8、図 9 に示す。

ポスターの貼替えを 1 セッションごととし、各セッションを前後半に分けることで、発表者が同セッション発表者のポスターを閲覧できるよう配慮した。また、運用面からみても発表者の入れ替えが円滑に行われていた。聴講者と発表者の距離が近いポスター形式を採用したことで意見交換が活発となり、学会参加経験の少ない学生も積極的に質問している様子がみられた。

3.2.2 VIP AWARD

VIP AWARD では、参加者によるセッションごとの得票数をもとに最優秀賞 1 名、優秀賞 1 名、敢闘賞 1 名を選出した。加えて、独創的な視点から非常に興味深い研究テーマでの発表があり、参加いただいた先生方と運営委員とで相談し、運営・教員特別賞を設置した。

投票率の向上を図り、本年度は次の対策をとった。あらかじめ参加者に投票用紙を配布し、ポスターセッション終了時

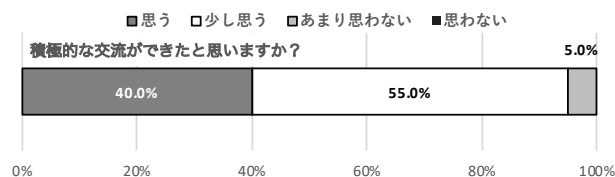


図 6 アイスブレイクについてのアンケート結果
Fig. 6 Participants' impressions for the icebreaking

に提出をさせた。

- 投票用紙 1 枚につき、参加者は 3 票まで、1 つの発表には最大 2 票まで投票可能とした。
- 投票数に幅を持たせ、最終的に参加者から提出をさせることで、投票しやすく、効率的に票を回収できるように運用した。

また、その場で議論しきれなかったことや気軽にコメントできるようにフィードバック用紙も用意した。投票用紙とフィードバック用紙とを別々に用意したことも投票率の向上につながっているといえる。

研究内容のほか、デモの実演や活発な議論が行われていた発表が選ばれていたようである。受賞者には運営委員代表より賞状と副賞が授与された。次に VIP AWARD の受賞者を示す。

- 最優秀賞
 - 岩瀬翔平 (早稲田大学)
“音声入力による個性を反映した歌唱時の表情アニメーション生成”
- 優秀賞
 - 古川真帆 (東京工科大学)
“バトルロイヤルゲームの練習モードにおける人間操作を模倣するキャラクター AI に関する研究”
- 敢闘賞
 - 山田章登 (東京農工大学)
“紙工作におけるのりしろと作成手順の最適化”
- 運営・教員特別賞
 - 佐藤 葵 (東京工科大学)
“昆虫の視覚の推定とその可視化”

3.2.3 ウサギ賞

協賛特典として、企業賞を設けている。株式会社ウサギ代表取締役の町裕太氏の推薦により、最優秀賞 1 名、優秀賞 1 名、ノミネート 3 名を選出した。商品化や実用化につながりそうなもの、可能性の高いものが評価基準の 1 つとされて



図7 ファストフォワード
Fig. 7 Fast-forward



図8 ポスターセッションの様子1
Fig. 8 Poster session 1



図9 ポスターセッションの様子2
Fig. 9 Poster session 2

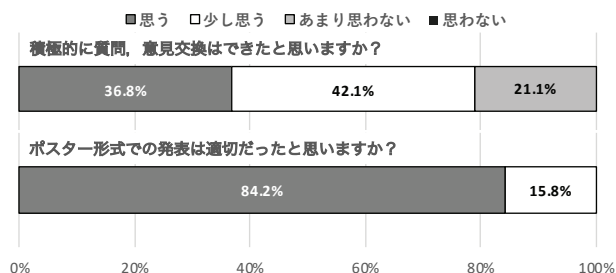


図10 ポスターセッションについてのアンケート結果
Fig. 10 Participants' impressions for the poster session

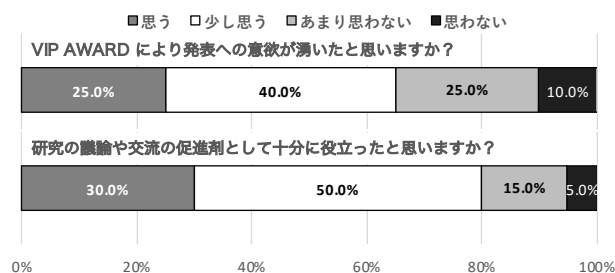


図11 VIP AWARD についてのアンケート結果
Fig. 11 Participants' impressions for the VIP AWARD

いた．受賞者には町氏より賞状と副賞が授与された．次にウサギ賞の受賞者を示す．

● 最優秀賞

- 田中啓太郎 (早稲田大学)

“Deep clustering を用いた入力楽器を限定しない楽器アクティベーション特定”

● 優秀賞

- 横山和明 (愛知工業大学)

“連続指文字データにおけるインデクシング手法の検討”

● ノミネート

- 川口颯斗 (愛知工業大学)

“色および深度情報を用いた視覚障がい者歩行支援技術の検討”

- 平塚 愛 (東京農工大学)

“旋光性による干渉色の制御”

- 大上 俊 (法政大学)

“絵画鑑賞時における視線動作からの感性推定”

3.2.4 ジオクリエイティブ賞

株式会社ジオクリエイティブ代表取締役の本田司氏の推薦により，最優秀賞1名を選出した．研究内容へ対する評価に加え，実用面への期待を大きく評価されていた．次にジオクリエイティブ賞の受賞者を示す．

● 最優秀賞

- 大石涼火 (東邦大学)

“セマンティック画像を用いた多様なインスタンスを含む画像生成”

3.2.5 アンケート結果

ポスターセッションに関するアンケート結果を図10，VIP AWARDに関するアンケート結果を図11に示す．

参加者へのアンケートの結果「積極的に質問，意見交換はできたか」の質問に78.9%が「思う」「少し思う」と回答した．ファストフォワードで発表の概要をつかみ，活発な意見交換が行われたと考えられる．

「ポスター形式での発表は適切だったと思うか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は100%、「良い質問，意見を得ることができたか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は94.8%であった．対外発表の経験が少ない学生を対象としている本合宿において，ポスター形式の採用は，発表のしやすさに加え，活発な意見交換に有効であったといえる．

「VIP AWARD により発表への意欲が湧いたか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は65%、「研究の議論や交流の促進剤として十分に役立ったと思うか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は80%であった．合宿に参加するまでVIP AWARDがあること自体を知らなかった学生からは「副賞の存在を知ってたらモチベーションも違ったのに」との声も聞かれたことから，投票の呼びかけだけでなく，VIP AWARDの趣旨や副賞の存在など，開催前に告知することも検討課題となった．アンケート結果からVIP AWARDの存在は，研究の議論や交流の促進剤として十分に威力を発揮しているといえる．参加者のさらなるモチベーション向上につなげる工

夫が必要である。

3.3 社会人・教員セッション

第一線で活躍されている企業の方々、普段話す機会が少ない他大学の教員と交流と本合宿テーマである“New Stage”が掲げる参加した学生が本合宿での経験により成長し、自身の研究が1つ上の段階に進められるようにすることを目的として、社会人・教員セッションを実施した。

3.3.1 当日の様子

社会人セッションの様子を図12に示す。講演者には、簡単な自己紹介と議題について5分程度のプレゼンテーションを行っていただき、その後は気兼ねなく積極的な議論ができるように各テーブルに分かれて座談会を行った。社会人・教員の席は固定とし、学生を5~6人のグループにわけ、ローテーションする様な形で実施した。

企業で行われている最新の研究・開発技術の話から、ご当地ネタまで様々な切り口からお話を頂き、活発な意見交換や談笑する姿がみられた。

次に講演者を紹介するとともに、ご多忙にもかかわらずご協力をいただいた皆様に、心から御礼申し上げます。

- 町 裕太 氏 (株式会社ウサギ)
- 本田 司 氏 (株式会社ジオクリエイツ)
- 類地 孝介 氏 (ファイブ株式会社)
- 床井 浩平 先生 (和歌山大学)
- 久保 尋之 先生 (奈良先端科学技術大学院大学)

3.3.2 アンケート結果

社会人セッションに関するアンケート結果を図13に示す。「興味深いまたは参考になる内容だったか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は85%あり、高い評価を得られた。「座談会形式は適切だったと思うか」の質問に「思う」「少し思う」との回答は95%と、実施形式にも高い評価が得られた。参加者からは「もっと話を聞きたかった」「今後のキャリアパスについて考える良い機会となった」「いろんな話ができただけになった」「ラーメンが食べたくなった」などの感想や意見が得られた。

3.4 グループワーク

グループワークの目的は、集団で1つの課題を議論し、結論を導くことである。企業の採用試験の1つとして実施されることもあり、就職活動前の学生にとっては良い練習の機会になると考えられる。また、他大学の学生との交流を深める良いきっかけにもなる。次に企画から実施までの詳細を述べる。

3.4.1 テーマと背景

2日目午後と3日目午前にグループワークを実施した。合宿参加者の多くが自身の研究に着手し始めたばかりの学部生であること、本合宿のテーマが“New Stage”であることに合わせて、よりよい発表を行うためにはどのようにすれば良

いか考察する機会にしたいと考えた。また、初めてポスター作成をした学生の振り返りにも役立つと考え、「bad ポスターを good ポスターに」をテーマに企画した。

3.4.2 内容

グループワークは「論文サーベイの手法紹介」と「相手に伝わるポスターを作成する」の2つで構成した。「論文サーベイの手法紹介」では大学図書館やインターネット上のデータベースについての紹介とそれらの利用方法についてのレクチャを行った。

「相手に伝わるポスターを作成する」ではどのような工夫をすれば相手に伝わるポスターとなるのかという点についてレクチャとグループ内での議論を行ったのち、グループごとに割り当てられた論文からポスターを作成してもらった。1グループは4~5人で構成され、ポスター作成から発表まで合計4時間で実施した。使用する論文は「限られた時間内で参加学生がまとめられるか」「参加学生にも理解しやすい内容か」などを考慮し、事前に運営委員で選定した。さらに選定にあたっては、普段触れることのないような分野の「面白い論文」を参考文献⁶⁾などから選定した。グループワークで用いた論文を次に示す。

- 傾斜面に着座するカップルに求められる他者との距離⁷⁾
- 画像の感性を反映されたフォントの自動生成手法⁸⁾
- リクルートスーツのシャツの色が印象形成に及ぼす影響⁹⁾
- 「かわいい」の原因系と結果系の分類:「かわいい」を類似化する¹⁰⁾
- HMMに基づく視線動作モデルの個人性と顔再認特性との関係を探る¹¹⁾

3.4.3 当日の様子

合宿2日目の午後に論文の読み合わせと発表資料作成を行い、3日目に作成したポスターの発表を各グループ5分で行った。各グループとも短い時間の中で積極的に議論を行っており、対象の論文を深く理解、よりよいポスターを作成しようという意気込みがある印象を受けた。グループワークの様子を図14に示す。

3.4.4 アンケート結果

グループワークに関するアンケート結果を図15に示す。参加者に「積極的に参加できたと思うか」「テーマは適切だったと思うか」と参加者自身の意欲・積極さや企画に関するアンケートを行った。この結果、いずれも「そう思う」「少し思う」との回答が約85%得られており、満足度の高い企画を立案することができた。

参加者からは「制作物を1つ完成させるというのが有意義だった」「グループワークが良い経験となった」という感想が得られた。一方で、簡単な開発を望む声や「同一の論文で実施した方が良い」「画像やCGに関する論文が良い」の意見もあり、今後の参考としたい。



図 12 社会人・教員セッション

Fig. 12 Business persons and Teachers session



図 14 グループワークでの発表の様子

Fig. 14 Presentation on the group discussion

3.5 懇親会

参加者同士の交流の場として懇親会を実施した。大学や学年の異なるグループに分けて着席し、幅広い交流を促した。また、会話のきっかけを提供することを目的として、逆ビンゴやグループ対抗のクイズ大会を実施した。逆ビンゴとは、通常のビンゴゲームと同じように進めるのだが、ビンゴになった人が脱落していく、つまり、最後まで数字が揃わなかった人が一位になるというものである。数字が読み上げられるたびに、ビンゴの人から落胆の声が漏れ、独特な盛り上がりが見られた。グループ対抗クイズには、「プレッシャー Study」と「お絵かきリレー」を実施した。前者は、出されたお題を連想させる漢字を解答者以外のメンバーが1つずつ書き、それを見てグループ内の解答者がお題を当てるというものである。後者は、出されたお題を10秒で描き、次の人へ描いた絵のみを見せることで意図を伝え、最終的に描き上がった絵からグループ内の解答者がお題を当てるというものである。特にクイズ大会では、グループごとに1つの答えを出す、かつ直接的な解答につながる言葉は使えないなどの制約がある中で会話となり、大いに盛り上がりを見せていた。グループで解答を発表する度に近くのグループとも会話が弾む場面

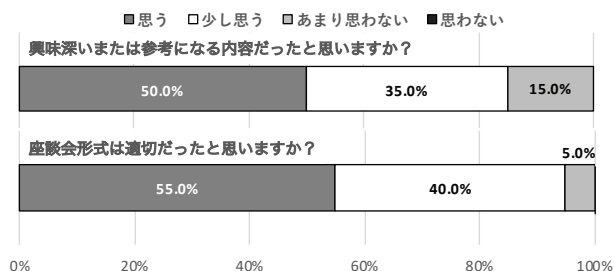


図 13 社会人・教員セッションについてのアンケート結果

Fig. 13 Participants' impressions for the business persons and teachers session

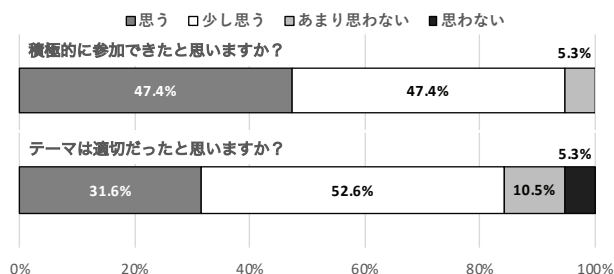


図 15 グループワークについてのアンケート結果

Fig. 15 Participants' impressions for the theme discussion



図 16 懇親会の様子

Fig. 16 Banquet

がみられた。これらを通して参加者間の交流や親和度の向上に貢献できたと考えられる。懇親会の様子を図 16 に示す。

4. 全体の考察

全体についてのアンケート結果を図 17 に示す。「本合宿が有意義なものとなったと思うか」の質問では「思う」、「や

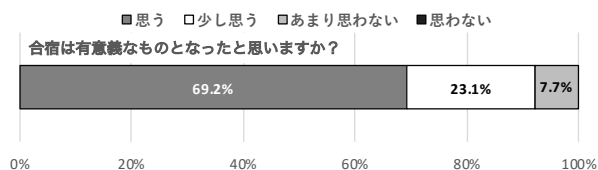


図 17 全体についてのアンケート結果
Fig. 17 About VIP2019

や思う」との回答が 92.3%得られた。自由記述欄には「外部の方々と交流して意見交換することの楽しさを知れてよかった」、「(参加することに)初めはだいが渋っていたが、とても有意義で楽しいものとなった」とのコメントもあった。普段とは違う環境で、様々な人たちとの議論を行い、本合宿が参加者にとって満足度の高い研究合宿となったといえる。

5. おわりに

本合宿では、参加した学生が本合宿での経験により成長し、自身の研究が 1 つ上の段階に進められるようにと“New Stage”をテーマとした。ポスターセッション前に国際会議などでは一般的となっているファストフォワードを導入し、対外発表の練習の場を提供し、初めてポスター発表を行う学生が議論をしやすいように手助けすることもできた。また、社会人・教員セッションを座談会形式にすることで、リラックスした状態での議論を促すこともできた。グループワークでは、相手に伝わるポスター作成を目的とし、最終的にポスターを作成し、具体的な成果物の提出を求めることにより、参加者が積極的に議論する場を提供することができた。一方で、例年よりも運営委員が少なかったこともあり、十分な対応ができなかった部分もあったが、当日は参加者へ積極的に手伝いや協力を仰ぎ、スケジュール通りに進めることができた。

本合宿の主目的である研究の意見交換の場の提供と他大学・教員・社会人との交流の場の提供についても、多少の課題は残るが、実現ができたといえる。

謝 辞

本合宿を開催するにあたり、ご後援いただいた画像電子学会、映像情報メディア学会、芸術科学会、ADADA Japan、CG-ART 協会に御礼を申し上げる。また、ご協賛くださった株式会社ウサギ様、株式会社ジオクリエイツ様、ファイブ株式会社様、株式会社リンクス様、株式会社 EBILAB 様に深く感謝申し上げます。社会人・教員セッションへのご協力をいただいた床井浩平先生、久保尋之先生、本合宿に参加頂いた渡辺大地先生、安倍雅樹先生、斎藤隆文先生、北直樹先生に深く御礼を申し上げます。最後に本合宿に参加していただいた先生方、OB・OG、社会人の方々、学生の皆様に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 埼玉県民活動総合センター, <http://www.kenkatsu.or.jp> (2019).
- 2) 第 19 回ビジュアル情報処理研究合宿 Web サイト, <https://vipcamp.org/> (2019).
- 3) ビジュアル情報処理研究合宿 Twitter アカウント, <https://twitter.com/vipcampstaff> (2019).
- 4) ビジュアル情報処理研究合宿 Facebook ページ, <https://www.facebook.com/vipcampvip> (2019).
- 5) 神山拓史, 中本啓子, 藤井亜希彦, 宮川翔貴, 井上和樹: “第 18 回ビジュアル情報処理研究合宿の開催報告”, 画像電子学会誌, Vol. 48, No. 1, pp. 170-177, (2019).
- 6) サンキュータツオ, 変な論文, 角川文庫, ISBN:978-4044003340 (2017).
- 7) 小林茂雄, 津田智史, “傾斜面に着座するカップルに求められる他者との距離”, 日本建築学会環境系論文集, 72(615), pp.65-71 (2007).
- 8) 中村充志ほか, “画像の感性を反映されたフォントの自動生成手法”, 日本感性工学会論文誌, 17(5), pp.523-529 (2018).
- 9) 庄山茂子ほか, “リクルートスーツのシャツの色が印象形成に及ぼす影響”, デザイン学研究, 50(6), pp.87-94 (2004).
- 10) 宇治川正人, “「かわいい」の原因系と結果系の分類:「かわいい」を類似化する”, 日本感性工学会論文誌, Vol.15, No.1, pp.39-46 (2016).
- 11) 大上俊, 山田涼子, 赤松茂: “HMM に基づく視線動作モデルの個人性と顔再認特性との関係を探る”, HCG シンポジウム 2018 予稿集 (2018).



大 上 俊

2019 年法政大学理工学部応用情報工学科卒。現在、同大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻に在学中。浮世絵を用いた絵画鑑賞時の視線動作分析に関する研究に従事。



森久保 愛

現在、2020 年 東京工科大学メディア学部メディア学科卒業。機械学習を用いた二次元アイドルキャラクター衣服制作支援ツールの開発に従事。



田 代 裕 子

2000 年東京電機大学工学部第二部情報通信工学科卒業。2002 年同学大学院工学研究科情報通信工学専攻修士課程修了。2003 年同学嘱託助手。2008 年より東京電機大学などで非常勤講師、現在に至る。情報処理学会会員。

進化計算を用いたパターン生成

小野 智司

鹿児島大学 大学院理工学研究科

Pattern Generation Using Evolutionary Computation

Satoshi ONO

Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

1. はじめに

本稿では、ブラックボックス最適化、すなわち、目的関数の勾配や領域知識等を必要としない最適化に主に利用される進化計算を紹介するとともに、著者らが取り組んでいる応用研究を紹介する。なお、本稿では、進化計算の特徴をわかりやすく伝えることを意図して、「パターン認識」を主たる目的の1つとする機械学習と対比させ、「パターン生成」とタイトルを定めた。

近年、飛躍的な発展を遂げている深層ニューラルネットワークであってもその基本的な振る舞いは内挿を行う点にあり、訓練データ分布から離れた点における予想、すなわち、外挿を行うことは容易ではない¹⁾。一方、外挿を可能にし得る技術の一つとして、著者は進化計算に着目して研究を行ってきた。進化計算は、1989年にGoldbergが書籍を執筆したことを切掛けに90年代に広く研究が行われた遺伝的アルゴリズム²⁾と、欧州で主に研究が行われてきた進化戦略³⁾とが統合された分野であり、人工知能を中心とする計算機科学、設計、制御等の多様な分野の研究者が活躍する学際的な領域である。

進化計算は、多点探索型のメタヒューリスティクス⁴⁾である。個々の解候補を仮想的な生物(個体)とみなし、個体間の相互作用により新しい個体を生み出す。あらかじめ定められた目的関数に着目して個体の評価を行い、よい値を持つ個体を環境に適応している個体とみなし、次世代以降に生存する可能性を高める。世代交代を繰り返すことで、良質な個体同士が子個体を生み出す際に、より良質な解が創出されることが期待できる。進化計算では、個体の生成方法の違いにより、無数のアルゴリズムが存在する。例えば、代表的な進化計算法の一つである共分散行列適応進化戦略(Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy: CMA-ES)⁵⁾では、解候補の確率分布を多変量正規分布により表現し、これに従ってサンプリングを行うことで個体の集合を生成する。

2. 進化計算の基本的な枠組み

機械学習と最適化は関連が深い技術であるが、対象とする問題は基本的に異なる。機械学習は、入力 $\mathbf{x}$ から出力 y を決定する関数 $f(\cdot)$ を考えた場合に、 $y = f(\mathbf{x})$ となる $f(\cdot)$ を帰納的に推定する枠組みである。 $\mathbf{x}$ は説明変数と呼ばれ、通常は高次元のベクトルとなる。 y は目的変数と呼ばれるスカラーであり、 y が名義尺度である場合は識別問題や分類問題、 y が連続尺度である場合は回帰問題と呼ばれる。

これに対して最適化は、目的関数 $f(\cdot)$ が与えられた際に、その値が最小となる設計変数の値の組合せ $\mathbf{x}$ を発見する問題である。 $\mathbf{x}$ に含まれる各要素が連続の場合は最適化問題、離散値を持つ場合は組合せ最適化問題と呼ばれる。ここで、進化計算が対象とする最適化問題を以下のように定義する。

$$\text{minimize } f(\mathbf{x})$$

$$\text{subject to } \mathbf{x} \in \mathcal{F}$$

$\mathbf{x}$ は対象問題の解候補、 $f(\cdot)$ は目的関数、 $\mathcal{F}$ はすべての制約条件を満たす実行可能領域を表す。解 $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_D\}$ を構成する設計変数 x_d が連続値を持つ場合を(連続)最適化問題、離散値を持つ場合を組合せ(離散)最適化問題と呼ぶ。以上のように問題を定義した場合、大域的最適解 $\mathbf{x}^* (\in \mathcal{F})$ は、

$$f(\mathbf{x}^*) \leq f(\mathbf{x}), \quad \forall \mathbf{x} \in \mathcal{F}$$

と定義することができる。

進化計算は、複数の解候補を同時に反復改善させる直接探索法であり、解候補の生成と評価の2つのプロセスを繰り返すことで最適化を行う。ここでは、連続最適化問題を対象とした進化計算アルゴリズムの例として、CMA-ESと差分進化アルゴリズムの両者を紹介する。

CMA-ES⁵⁾は、解候補の確率分布を多変量正規分布 $N(\mathbf{m}, \sigma^2 \mathbf{C})$ により表現する手法である。すなわち、CMA-ESは、 $N(\cdot)$ に従ってサンプリングを行うことで λ 個の解候補の集合を生成する。また、解候補の評価を行った後に、良好な μ

個の解候補を用いて分布のパラメータ $\mathbf{m}$, σ , C の更新を行う。CMA-ES は、設計変数間に依存性があり、問題の分割(変数分離)を行えない問題や、大きなノイズを含む問題に強く、特に、図 1 (a) に示すような、景観を巨視的にみた場合に凸性を有する目的関数に有効なアルゴリズムである。

差分進化 (Differential Evolution: DE)⁶⁾ は、個体間の相互作用に基づいて大域的最適解を発見するアルゴリズムであり、注目する解候補(目標ベクトル) $\mathbf{x}_i$ ごとに、以下の手順により新しい解候補を生成する。まず、ランダムに選択された解候補 $\mathbf{x}_{r1}$, $\mathbf{x}_{r2}$ 間の差分ベクトルを移動量とし、 $\mathbf{x}_{r1}$, $\mathbf{x}_{r2}$ とは別にランダムに選択された基底ベクトル $\mathbf{x}_{r3}$ に差分ベクトルを加算した変異ベクトル $\mathbf{x}_{r3} + F(\mathbf{x}_{r1} - \mathbf{x}_{r2})$ を生成する ($i \neq r1 \neq r2 \neq r3$)。次に、設計変数ごとに変位ベクトルと目標ベクトルとのいずれかの値を採用した解候補 $\mathbf{x}_o$ を生成する。この操作は「交叉」と呼ばれる。最後に、生成された $\mathbf{x}_o$ と目標ベクトル $\mathbf{x}_i$ とを比較し、 $f(\mathbf{x}_o) \leq f(\mathbf{x}_i)$ の場合は $\mathbf{x}_i$ を淘汰して $\mathbf{x}_o$ を次世代に残す。DE は、スケール係数 F などのごく少ない制御パラメータを持つが、それらの調整を適応的に行う自己適応型 DE が提案されており、実問題に適用する際にパラメータ調整の労力を抑えられる点、及び、大域的多峰性を有する目的関数に対して有効である点に特徴がある。

3. 進化計算の特色を活かした最適化

進化計算の特色を活かした最適化として、多峰性関数の最適化、多目的最適化、及び、対話型最適化について概説する。また、パターン生成におけるそれらの最適化の応用例についても同様に紹介する。

3.1 多峰性関数最適化とその応用例

深層ニューラルネットワーク (Deep Neural Network: DNN) において確率的勾配降下法 (Stochastic Gradient Descent: SGD) やその改良アルゴリズムが広く利用されているように、連続最適化問題において目的関数が微分可能である場合は、1 次や 2 次の勾配を参照して最適化を行うことが一般的である。一方で、これらが大域的に最適、あるいは、実用上十分な品質を持つ準最適解を発見するためには、良好な初期解の設定が必要となる。これに対して、多点探索である進化計算アルゴリズムは、あらかじめ初期解を設定する必要がなく、探索空間において最適解が存在すると思われる範囲を十分に覆えるようにランダムに初期解を分布させるだけでよい。また、初期解の分布範囲に最適解が含まれない場合であっても、目的関数の適応度景観に大域的な傾向が含まれる場合は、集団が初期分布の範囲外に移動するため、大域的最適解を発見できる見込みがある。

上記のような特性から、進化計算は、目的関数が大域的に多峰である場合に、予め有効な初期解を与えることなく良好な準最適解を発見することができる。図 1 (a) に示すような大域的に単峰である問題では CMA-ES が、同図 (b) に示すような大域的に多峰な問題では制御パラメータの多様性を重視

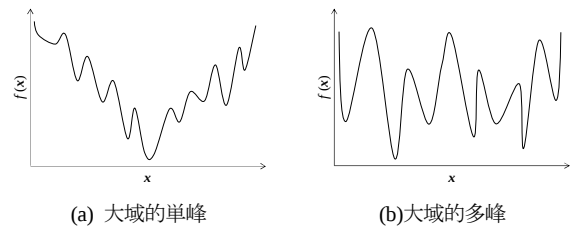


図 1 目的関数の景観の例

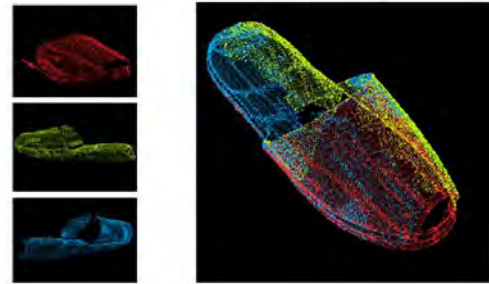


図 2 3 次元位置合わせ問題への応用: 従来は困難であった 3 回の計測結果 (左) のみから対象物体の全周形状の復元に成功

した自己適応型 DE が、それぞれ適している。

ここでは、多峰性関数最適化における進化計算の応用例として、3 次元形状の位置合わせ問題を紹介する。本問題は、3 次元スキャナを用いて撮影した物体の部分 3 次元形状を適切に結合することで物体の全周形状を復元する問題である。一般的には、対象形状間に共通して計測されている形状部における特徴点を検出することで行われるため、対象物体全体の 3 次元形状を復元する場合は、数回から 10 回程度、物体の周囲から計測を行う必要がある^{7,8)}。これに対して、著者らは、進化計算を最適化器として使用することを前提に、物体計測時のシルエットに基づく目的関数を提案し^{9,10)}、図 2 に示すような、2 回または 3 回の極めて少ない回数の計測結果から、物体の 3 次元形状全周を復元できる手法を実現した。

3.2 多目的最適化とその応用例

実世界における問題の多くは、性能とコストのようにトレードオフの関係にあるような複数の目的関数を含むことが多い¹¹⁾。一般的には、それらの目的関数を線形結合することで単一の目的関数にまとめ最適化を行う。すなわち、目的関数を $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \{f_1(\mathbf{x}), \dots, f_{N_f}(\mathbf{x})\}$ と表すと、次のように表される。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \sum_{k=1}^{N_f} \alpha_k f_k(\mathbf{x}) \\ & \text{subject to} \quad \mathbf{x} \in \mathcal{F} \end{aligned}$$

これに対して多目的最適化は、複数の目的関数を統合せずにパレート曲面上の複数の解を同時に探し出す点に特徴がある。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \{f_1(\mathbf{x}), \dots, f_{N_f}(\mathbf{x})\} \\ & \text{subject to} \quad \mathbf{x} \in \mathcal{F} \end{aligned}$$

ここで、解候補 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ が以下の関係にあるとき、 $\mathbf{x}_1$ は $\mathbf{x}_2$ を支配する関係にあると定義し、 $\mathbf{x}_1 > \mathbf{x}_2$ と表記する。

$$\forall i: f_i(\mathbf{x}_1) \leq f_i(\mathbf{x}_2) \wedge \exists j: f_j(\mathbf{x}_1) < f_j(\mathbf{x}_2) \Rightarrow \mathbf{x}_1 > \mathbf{x}_2$$

$$(i, j \in \{1, \dots, N_f\})$$

例えば、図3において、 $\mathbf{x}_1$ は $\mathbf{x}_3$ を支配するが、 $\mathbf{x}_1$ と $\mathbf{x}_2$ は互いに支配されない関係にある。他のいずれの解にも支配されない解を非劣解と呼ぶ。単目的の最適化は単一の大域的最適解を発見することが目的であるが、多目的最適化は非劣解の集合を発見することが目的となる。得られた非劣解集合から、意思決定者の目的に合致した解を選択することが可能であるほか、非劣解集合を対象としたデータマイニングを行い、対象問題に対する知見を獲得することも可能である¹²⁾。

多目的最適化を行う進化計算 (Evolutionary Multi-objective Optimization: EMO) アルゴリズムの代表例は、NSGA-II (Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)¹³⁾、及び、MOEA/D (Multi-objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition)¹⁴⁾の2つである。

NSGA-II は解候補のランク付けを行うことで優劣を決定する。すなわち、解候補集団 $\mathcal{P}$ から非劣解をすべて取り出し、ランク1の解候補群 F_1 とする。次に、残りの解候補集団 $\mathcal{P} \setminus F_1$ における非劣解を取り出し、ランク2の解候補群 F_2 とする。以後、同様にしてすべての解候補群に対してランクを付与する。ランクが低い個体から順に解候補を選択し、次の世代の解候補集団とする。なお、同一ランクの解候補群のなかでは、混雑距離により解候補の優劣関係を決定する。

MOEA/D は、多目的最適化問題を多数の単目的最適化問題の集合に変換することで非劣解の集合を得る。例えば、チェビシェフ関数を用いる方式では、以下の問題へと変換される。

$$\text{minimize } g(\mathbf{x}|\boldsymbol{\lambda}^j, \mathbf{z}^*) = \max_{i \in \{1, \dots, N_f\}} \{\lambda_i^j |f_i(\mathbf{x}) - z_i^*\}$$

$$\text{subject to } \mathbf{x} \in \mathcal{F}$$

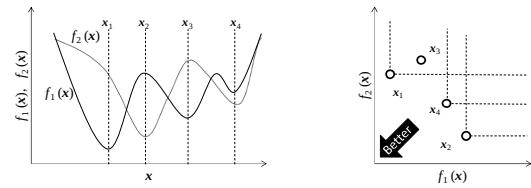
ここで、 $\boldsymbol{\lambda}^j = (\lambda_1^j, \dots, \lambda_{N_f}^j)$ は $\lambda_i^j \geq 0$ の重みベクトルであり、

$\sum_i \lambda_i^j = 1$ である。 $\mathbf{z}^* = z_1^*, \dots, z_{N_f}^*$ は次の式により計算される参照点である。

$$z_i^* = \min\{f_i(\mathbf{x}) | \mathbf{x} \in \mathcal{P}\}$$

NSGA-II は、2目的または3目的の問題において多様なパレート解を発見できる点に特徴があり、MOEA/D はより多くの目的関数を含む問題にも適用される。なお、4目的以上の多目的最適化問題は多数目的最適化とも呼ばれ、良質な非劣解集合の発見が困難となる¹⁵⁾。

ここでは、DNNの脆弱性を検証するための敵対的事例の生成にEMOを応用した例を紹介する。畳み込みニューラルネットワークの登場により、画像認識技術は飛躍的な発展を遂



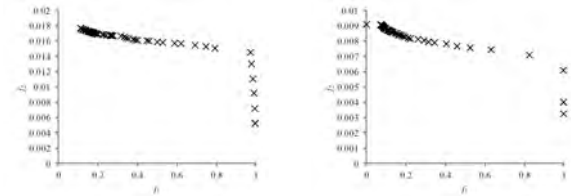
(a) 設計変数空間

(b) 目的関数空間

図3 多目的最適化における解の例



(a) 敵対的事例の生成例



(b) 得られた非劣解集合：正解クラスの信頼度と振幅のトレードオフ関係が確認できる

図4 画像認識用DNNの誤認識を引き起こす敵対的事例をEMOにより生成した例。

げているが、近年の研究により、モデルが誤認識するように攻撃者が意図的に設計した敵対的事例 (Adversarial Example: AE) の影響を受け、正しく物体認識を行えないことが明らかにされている¹⁶⁾。AEの生成方式の多くは、DNN内部の情報である損失関数の勾配を必要とする。一方で、市販のソフトウェアやサービスを対象としてAEを生成する場合、上記の勾配情報が利用できない場合が多い。

このため、本研究では、EMOを用いることで多様な特性を持つAEを生成する方式を実現する¹⁷⁾。提案方式は、対象となるDNNの内部情報を用いることなくAEを生成することができるほか、従来手法では扱うことが難しい目的関数や制約条件を扱うことも可能であり、従来手法が生成するAEとは異なる特性を持つAEの生成が期待できる。

本方式では、対象画像が正しく認識される際の信頼度と、対象画像に加える摂動の量とを2つの目的関数とする。これにより、対象画像における誤認識率と摂動量との関係性を明確化することができ、また、多様なAEを一度の最適化で生成することができる。

$$\text{minimize } f_1(\mathbf{x}) = P(\mathcal{C}(\mathbf{I} + \boldsymbol{\rho}) = \mathcal{C}(\mathbf{I}))$$

$$\text{minimize } f_2(\mathbf{x}) = \|\boldsymbol{\rho}\|_e$$

ここで、 I は対象画像、 ρ は摂動パターン、 $\mathcal{C}(\cdot)$ は分類結果を表し、第1目的関数 f_1 は、対象となる分類器が摂動画像 $I + \rho$ を正しいクラス $\mathcal{C}(I)$ に分類する信頼度を示す。第2目的関数 f_2 は、摂動 ρ の量をノルムによって表す。上記の多目的最適化問題を解くために、提案方式では MOEA/D を用いて非劣解の集合を導出する。

ImageNet1000 画像データセットを用いて学習された VGG16¹⁸⁾ を対象とし、図4(a)に示す画像に対する AE の生成を試みた。MOEA/D によって発見された非劣解の集合を同図(b)に示す。提案手法により分類精度と摂動量の間のトレードオフの関係が明確にされていることがわかる。また、生成された AE の例とその摂動パターンを図5(c)及び(d)に示す。同図(c)に示されたギターの画像はイモリに、海岸の画像は高山にそれぞれ誤認識された。また、同図(d)より、対象とする画像によって異なる特性を持つ摂動パターンが適応的に生成されていることがわかる。

また、DNN を用いた単眼深度推定手法¹⁹⁾に対しても同様に、誤った深度推定を引き起こす敵対的事例を EMO により生成できることを確認した²⁰⁾。図6に示すように、物体のテクスチャに摂動を加えることで、当該物体が存在しないような誤認識を引き起こす脆弱性があることを明らかにした。

同様に、DNN を用いた音声認識方式²¹⁾に提案方式を応用し、脆弱性の検証を行った²²⁾。第1目的関数、第2目的関数を正解クラスの信頼度の平均および標準偏差とするロバスト最適化²³⁾を行うことで、対象音声と摂動との間に時間のずれが生じた場合にも誤認識が生じてしまう危険度の高い脆弱性があることを確認した(図6)。

3.3 対話型最適化とその応用例

最後に、人間と計算機が協調して最適化を行う対話型最適化を紹介する。進化計算における対話型最適化は、人間を評価器として用いる狭義の対話型進化計算(Interactive Evolutionary Computation: IEC)²⁴⁾と、最適化の最中に何らかの形でユーザが介入する広義の対話型最適化とに大別される。著者らは、後者の1つとして、人間が持つ領域知識や嗜好を質的な目的関数として、最適化の過程で動的に取り入れることを目的とした枠組みであるユーザシステム協調型進化計算(Cooperative Evolution by User and System: CEUS)を提案した²⁵⁾。CEUS は、anytime algorithm である進化計算の特徴を活かし、個体(解候補)の生成や評価といった探索の役割をシステムとユーザの間で動的に切り替えることを許す。例えば、対象問題に対して十分な知識を持つユーザであれば、探索序盤に解の大枠を設計して以後の最適化をシステムによる最適化に委ね、その過程で得られた好適な解候補に対して微調整を行うことを繰り返すような最適化が可能となる。逆に、序盤の最適化をシステムに委ね、多様な解候補が得られた段階で好適な解を選択し、解を直接編集することも可能である。

以上のように、CEUS は、ユーザの持つ知識や最適化の目的、時間の制約に応じて、任意のタイミング、任意の方法でユ

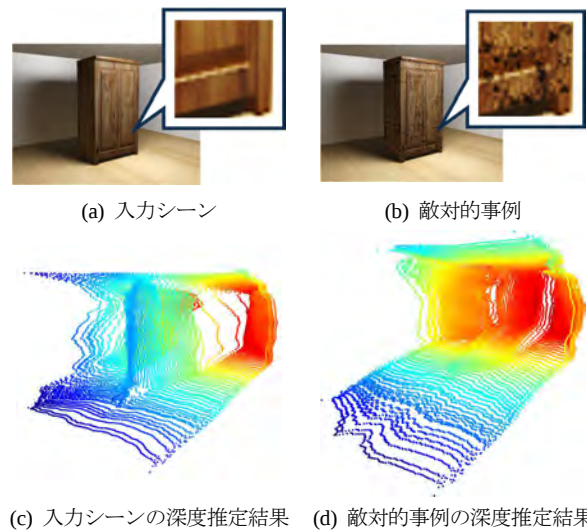


図5 単眼深度推定用深層 NN の誤認識を引き起こす敵対的事例を EMO により生成した例

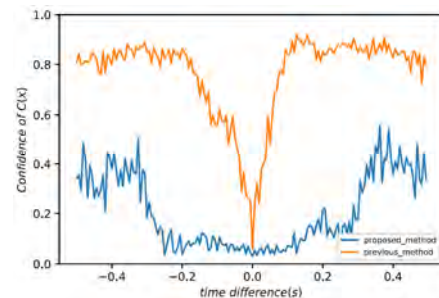


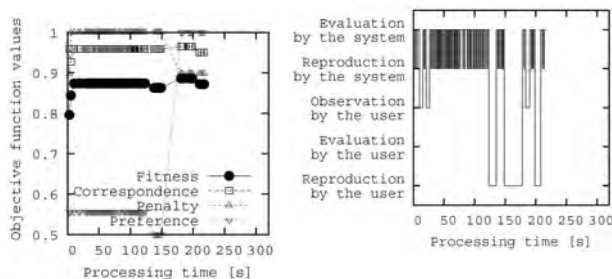
図6 音声認識用 DNN の誤認識を引き起こす敵対的事例を EMO により生成した例：摂動と対象音声に時間差が生じた場合であっても誤認識が引き起こされることを確認

ーザが自身の知識や嗜好を最適化に反映させることができる。これにより、ユーザの負担を増大することなく、質的、量的の双方の評価関数の最適化を行うことができる。

ここでは、モジュールパターンの最適化による QR コードの装飾方式への CEUS の応用について紹介する²⁶⁾。QR コードの符号を構成するリードソロン符号は、埋め草コード語をエラー訂正コード語と入れ替えることが可能であり²⁷⁾、この性質を利用することで、QR コードの規格を遵守しつつ QR コード内部に装飾性を持たせることが可能となる。本問題は、パターンを似せる目標画像を、QR コード内のどの位置にどのような大きさで配置するかを決定する問題と、QR コードを構成する符号においてどの部分を埋め草コード語として選択し、パターンの生成に利用するかを決定する問題とを含む。提案手法では、前者を CEUS により解き、後者は貪欲法で解く構成をとる。これは、装飾 QR コードを作成する場合において、前者による影響がより大きく人間による評価が不可欠であるためである。本手法では、量的な目的関数として、与えられた画像と生成された QR コードとの一致率 $Cor(x)$ お



図7 CEUSを用いた装飾QRコードデザインシステム



(a) 目的関数の推移 (b) 役割分担の推移

図8 ユーザとシステムの役割分担の推移

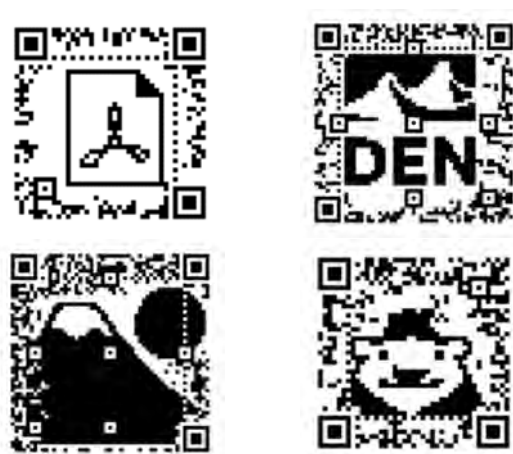


図9 生成された装飾QRコードの例

および制約違反量にもとづくペナルティ関数 $Pen(x)$ の2つの指標を用い、また、質的な目的関数として、ユーザの嗜好に基づく評価関数 $Pre(x)$ を用いた。これらを総合した目的関数は次の式で表される。

$$f(x) = \{(1 - w^{(p)}) \cdot Cor(x) \cdot Pen(x) + w^{(p)} \cdot Pre(x)\} \cdot S(x)$$

ここで、 $S(x)$ は解候補の過剰な収束を回避するシェアリング関数であり、 $w^{(p)}$ は目的関数間の優先度を調整する重みであ

る。ユーザの嗜好に基づく評価関数 $Pre(x)$ は図7に示すインタフェース上で行われるユーザの操作を訓練データとした学習により近似された関数 $\overline{Pre}(x)$ を用いる。本手法では、2, 3 回程度のごく少ない回数からでもユーザの嗜好を推定できるよう、事例ベース推論²⁸⁾に基づく代替モデルを利用する。

提案手法により装飾QRコードを生成する過程で、ユーザとシステムによる役割分担が変更された例を図8に示す。この例では、探索序盤に非対話型の最適化が行われ、後半にユーザによる解候補の修正が行われている。生成された装飾QRコードの例を図9に示す。これらの装飾QRコードは、QRコードの規格を遵守しつつ装飾性を有している点に特徴がある。

4. むすび

本稿では、ブラックボックス最適化に適した進化計算の概要と、その特性を活かした3種類の最適化について述べた。また、それぞれの最適化に関する応用例を紹介した。世代交代を繰り返すことで良質な解を求める進化計算の枠組みは、生物、人間、組織、社会の挙動に共通する極めて普遍的な考え方である⁴⁾。学問の発達自体も同様のモデルに基づいていると言え、機械学習とは異なる可能性を秘めている点が進化計算の魅力である。

謝辞

本研究の一部は、科研費 23700272, 15H02758 の助成を受けて行われた。また、本稿は、電子情報通信学会の許諾のもと、筆者による研究報告²⁹⁾の本文および図3~6、図9を引用した。

参考文献

- 1) 樋口知之: “視点 人工知能はみよみまねマシンの究極形”, 情報管理, Vol.59, No.5, pp. 331–335 (2016).
- 2) D. E. Goldberg: “Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning”, Addison Wesley, Reading (1989).
- 3) I. Rechenberg: “Evolutionsstrategien”, Simulationsmethoden in der Medizin und Biologie, Springer, pp. 83–114 (1978).
- 4) 小林重信: “進化計算への招待”, 進化計算学会論文誌, Vol.1, No.1, pp. 1–4 (2010).
- 5) N. Hansen: “The CMA Evolution Strategy: A Tutorial”, arXiv preprint arXiv:1604.00772 (2016).
- 6) R. Storn, K. Price: “Differential Evolution a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces”, Journal of Global Optimization, 11, pp. 341–359 (1997).
- 7) P. J. Besl, N. D. McKay: “A Method for Registration of 3-D Shapes”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.2, pp. 239–256 (1992).
- 8) J. Yang, H. Li, Y. Jia: “Go-icp: Solving 3d Registration Efficiently and Globally Optimally”, Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1457–1464 (2013).
- 9) T. Ushinohama, Y. Sawai, S. Ono, H. Kawasaki: “Simultaneous

- Entire Shape Registration of Multiple Depth Images Using Depth Difference and Shape Silhouette”, Proc. of The 12th Asian Conference on Computer Vision (ACCV), 02-8 (2014).
- 10) T. Shigenobu, T. Ushinohama, H. Kawasaki, S. Ono: “Silhouette-Based Three Dimensional Image Registration Using CMA-ES with Joint Scheme of Partial Restart and Variable Fixing”, Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, GECCO '18, pp. 133–134 (2018).
- 11) 小平剛央, 鈮持寛正, 大山聖, 立川智章: “応答曲面法を用いた複数車種の同時最適化ベンチマーク問題の提案”, 進化計算学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.11–21 (2017).
- 12) K. CHIBA, S. OBAYASHI, H. MORINO: “Knowledge Discovery for Transonic Regional-Jet Wing through Multidisciplinary Design Exploration”, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.2, No.3, pp. 396–407 (2008).
- 13) K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan: “A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: Nsga-ii”, Evolutionary Computation, IEEE Trans. on Evolutionary Computation, Vol.6, No.2, pp. 182–197 (2002).
- 14) Q. Zhang, H. Li: “MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition”, IEEE Trans. on Evolutionary Computation, Vol.11, No.6, pp. 712–731 (2007).
- 15) H. Ishibuchi, Y. Hitotsuyanagi, N. Tsukamoto, Y. Nojima: “Use of Biased Neighborhood Structures in Multiobjective Memetic Algorithms”, Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications (2008).
- 16) I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. WardeFarley, S. Ozair, A. Courville, Y. Bengio: “Generative Adversarial Nets”, Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 2672–2680 (2014).
- 17) T. Suzuki, S. Takeshita, S. Ono: “Adversarial Example Generation Using Evolutionary Multi-objective Optimization”, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (2019). (<http://arxiv.org/abs/2001.05844>)
- 18) K. Simonyan, A. Zisserman: “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition”, arXiv preprint arXiv:1409.1556 (2014).
- 19) I. Laina, C. Rupprecht, V. Belagiannis, F. Tombari, N. Navab: “Deeper Depth Prediction with Fully Convolutional Residual Networks”, Proc. of International Conference on 3D Vision, pp. 239–248 (2016).
- 20) 大毛廉也, 鈴木崇大, 小野智司: “単眼深度推定器に対する敵対的事例の進化的生成に関する基礎検討”, 情報処理学会 火の国情報シンポジウム 2020, No.A3-2 (2020).
- 21) T. N. Sainath, C. Parada: “Convolutional Neural Networks for Small-Footprint Keyword Spotting”, Proc. of InterSpeech, pp. 1478–1482 (2015).
- 22) S. Ishida, S. Ono: “Robust Adversarial Example Generation in Speech Recognition Using Evolutionary Multi-Objective Optimization”, Proc. of 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (2020).
- 23) S. Ono, Y. Hirotani, S. Nakayama, “A Memetic Algorithm for Robust Optimal Solution Search-Hybridization of Multi-objective Genetic Algorithm and Quasi-Newton Method”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 12, pp.5011–5019 (2009).
- 24) H. Takagi: “Interactive Evolutionary Computation – Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation”, Proc. of the IEEE, Vol. 89, pp. 1275–1296 (2001).
- 25) S. Ono, H. Maeda, K. Sakimoto, S. Nakayama: “User-System Cooperative Evolutionary Computation for Both Quantitative and Qualitative Objective Optimization in Image Processing Filter Design”, Applied Soft Computing, Vol.15, No.2, pp. 203–218 (2014).
- 26) M. Kamizono, K. Shimomura, M. Tajiri, S. Ono: “Two-Dimensional Barcode Decoration Using Module-Wise Non-Systematic Coding and Cooperative Evolution by User and System”, Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2016 (GECCO '16), pp. 245–252 (2016).
- 27) 藤田和謙, 栗林稔, 森井昌克: “QR コードへの画像埋め込みに関する検討と提案”, 電子情報通信学会技術研究報告. ICM, 情報通信マネジメント, 第 110 巻, pp. 39–44 (2011).
- 28) R. Schank, A. Kassand, C. Riesbeck: “Inside Case-Based Explanation”, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey (1994).
- 29) 小野智司: “進化計算を用いた様々なパターン最適化” 電子情報通信学会 研究会 IMQ2018-51 (2019).



小野 智司

2002 年 筑波大学大学院工学研究科博士課程修了。2001 年 日本学術振興会 特別研究員。2003 年 鹿児島大学工学部情報工学科 助手。2010 年 同大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻 准教授、現在に至る。博士（工学）。進化計算とその応用の研究に従事。2009 年、2016 年 人工知能学会研究会優秀賞、2010 年 芸術科学会論文誌論文賞、2013 年 情報処理学会山下記念研究賞、2019 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence Excellent Paper Award 等受賞。IEEE、情報処理学会、電子情報通信学会、人工知能学会、進化計算学会等各会員。

東京電機大学 理工学部 理工学科 理学系

数理情報学コース

石原 聖司 (正会員)

東京電機大学

Mathematical Informatics Course, Division of Science, Department of Science and Engineering,
School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

Seiji ISHIHARA (Member)

Tokyo Denki University

1. はじめに

東京電機大学は、「実学尊重」を建学の精神とし、「技術は人なり」という丹羽保次郎初代学長の提唱した考えを教育研究理念とする、創立 110 年を超える長い伝統をもつ理工系大学である。社会に貢献できる高度な専門性をもった研究者・技術者の育成を大きな使命としている。2012 年に、東京・神田から、東京・千住へと本部キャンパスを移転させた。

東京電機大学の中において、理工学部は、拡大する技術系人材の需要と科学技術の高度化・多様化に対処し、理学と工学の学際的視点から新たな分野の開拓を図るため、1977 年に開設された。理工学部のある埼玉・鳩山キャンパスは、比企丘陵自然公園内に位置し、なだらかな丘陵を生かした東京ドーム 8 個分、約 10 万坪の自然環境に恵まれた環境キャンパスである (図 1 参照)。学系と呼ぶ複数の専門分野から主・副コースを選択するカリキュラムを導入し、現在の理工学部は、1 学科 (理工学科) 6 学系 (理学、生命科学、情報システムデザイン学、機械工学、電子工学、建築・都市環境学の各学系) 16 コースによって構成されている。2,500 名を超える学部生が埼玉鳩山キャンパスで学んでいる。また、併設の大学院として理工学研究科 (修士課程) および先端科学技術研究科 (博士課程 (後期)) を設置している。

理学系では、数理学及び自然科学における基本理念及び基本法則を身につけた、問題を本質的に捉えて解決できる応用力の高い理学分野の専門家の養成を目指し、4 つのコース (数学、物理学、化学、数理情報学の各コース) を設けている。中学校・高等学校の教員免許状 (数学、理科、情報の各教科) を取得するための教職課程も用意している。

2. 数理情報学コース概要

数理情報学コースでは、人間の持つ知的な情報処理の機能を数理的かつ人工的に実現する情報学分野の人材育成を目標とし、数理的なアプローチによって情報の本質に迫る教育・



図 1 東京電機大学理工学部全景

研究に取り組んでいる。数理情報学コースを主コースとする学生には、数学・コンピュータ・情報の基礎的な内容を低年次のうちに理学系の共通科目で習得させ、高年次になるにつれて情報学の数理的な側面からの学習を進めさせている。その後の課程で、人工知能、データ科学、ロボット科学、学習理論、システム理論、制御理論などのコース専門科目を配当している。また、これらに並行して、コンピュータ系の演習科目と輪講科目とを各セメスタに段階的に配置することで、少人数クラスによる課題解決型の実践的な学習のプログラムを提供している。

3. 研究室概要

数理情報学コースには次の 4 つの研究室がある。

人工知能研究室 (勝野裕文 教授) では、コンピュータ上に知識を表現する方法、様々なデータを知識として統合する方法を研究している。状況変化に対応し人間のように柔軟に振舞うコンピュータを実現するには、コンピュータで多様な知識を処理する方法を確立しなければならない。近年の研究テーマは、「サポートベクトルマシンを用いた宿泊施設レビューの分類」、「他者評価オンラインクラウドソーシング」などである。

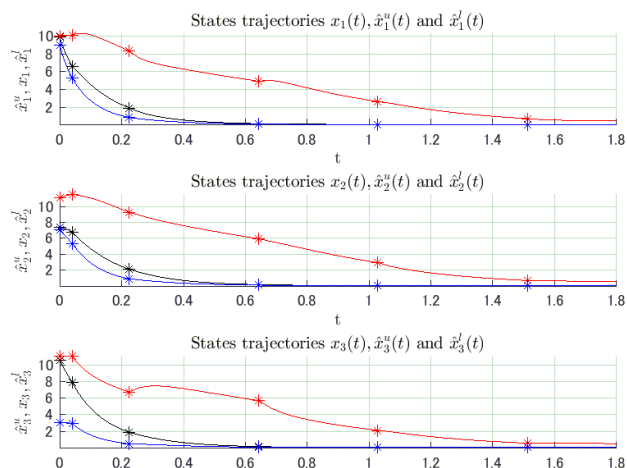


図2 区間 Positive 線形切り替えオブザーバの状態軌道

数理システム論研究室（大塚尚久 教授）では、不確かなパラメータを含む動的システムの数理的な性質について研究している。動的システムの数理モデルは、連続時間と離散時間、線形と非線形、有限次元と無限次元、状態の取る値に制限があるかないかなど、いろいろな場合に分類される。特に、時間または状態によってシステムの動特性が切り替わる切り替えシステムの制御問題と安定性に着目し、上記の様々な数理モデルに対して研究を進めている。近年の研究テーマは、切り替えシステムに対する「安定性と切り替えオブザーバの設計」、「幾何学的性質と外乱除去問題」などである。図2（大塚教授提供）は、不確かさを有する Positive 線形切り替えシステムの状態を推定するために、区間 Positive 線形切り替えオブザーバが設計できるための条件について調べ、検証を行ったものである。

統計的情報処理研究室（筆者）では、エージェントの行動決定に関する方策を強化学習の手法を用いて獲得するための理論、画像情報を数値解析して画像の分類や領域分割を行うための数理モデルなどを、確率論や情報論とともに研究している。場の確率に関するグラフィカルモデルであるボルツマンマシンの深層化など、確率的なニューラルネットワークの学習理論が大きく発展してきており、この分野に特に着目している。近年の研究テーマは、「方策勾配法による強化学習とファジィ制御との融合」、「ウェーブレットフレーム分解したテクスチャ画像に対する確率モデル」などである。ウェーブレットフレーム分解によって得られる係数の冗長性を利用してガウスマルコフ確率場モデルを構成する筆者らの提案法は、図3に示すように、テクスチャ画像の領域分割の結果が入力画像のシフトに影響されにくいという特色をもつ。

マシンビジョン研究室（日高章理 准教授）では、ここ数年の AI ムーブメントの中核技術であるディープラーニングを用いて、ヒトの脳に内在する数理をコンピュータに獲得させることを目指した研究を行っている。特に畳み込みニューラルネットワーク（CNN）が持つ極めて強力な学習・認識能

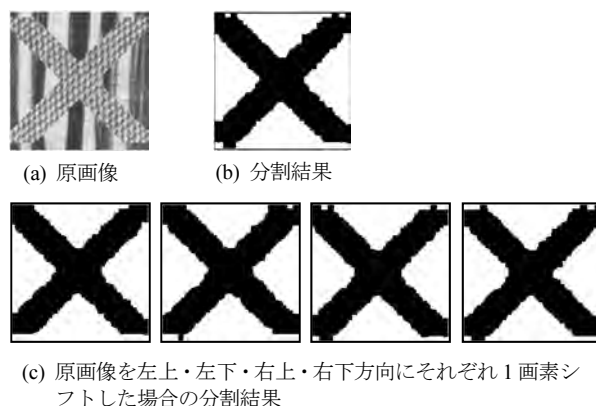


図3 ガウスマルコフ確率場モデルによる領域分割の一例

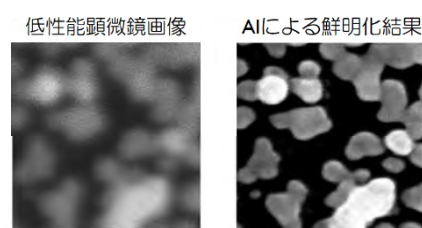


図4 低性能顕微鏡画像のノイズ除去と鮮明化の一例

力を活かした AI 技術の研究を行っており、近年の研究テーマは、「Pix2pix 法による低性能顕微鏡画像のノイズ除去と鮮明化」（図4（日高准教授提供）参照）、「視認困難な物体に対する CNN の検出性能の評価と改善」、「CNN を用いた手術行為認識」などである。

4. おわりに

数理情報学コースの卒業生の多くは情報関連企業を中心とする民間企業に就職している。また、埼玉県などの地方公務員として就職する学生もいる。一方、さらに高度な知識を身につけるために大学院理工学研究科理学専攻（修士課程）への進学も積極的に勧めている。

学部全体では、大学院進学を前提とした、学部・大学院一体の「3+3=6」年一貫教育を志向した特別プログラムである理工学部オナーズプログラムを2018年に設置した。学ぶ意欲が強く成績優秀な学生は、3年次より大学院教育との連携も強化した学系間を横断する複合学問領域を学習し、高度な研究に取り組むことができる。



石原 聖司（正会員）

2000 年 法政大学大学院工学研究科システム工学専攻博士後期課程 修了。博士（工学）。同年（株）リコー入社。2002 年 近畿大学工学部 講師、2007 年 同大学 准教授。2012 年 東京電機大学理工学部 准教授、2016 年 同大学 教授、現在に至る。画像情報処理、機械学習等の研究に従事。本学会技術専門理事。電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会、日本神経回路学会など各会員。

デジタル化で変容した画像処理と印刷

深見拓史 (正会員)

有限会社インターメディアジャパン

The Digital Transformation of Image Processing and Printing

Takushi FUKAMI (member)

Inter Media Japan, Inc.

1. まえがき

印刷会社を離れて久しいが、デジタル化による画像処理と印刷の変化・激動の歴史と諸先輩が努力し、築き上げて来た技術や製造の流れの変容を振り返ってみたい。

2. 文字処理の歴史

2.1 活字組版から写真植字へ

コミュニケーションの道具として欠かせないのが言葉であり、文字である。文字には長い歴史があるが、木版画から飛躍的に進歩したのが金属活字の発明であろう。私が入社した1968年当時では、活字はまだ現役で活躍していた。活字で組み、ページ紙面を作り上げる活字組版というプロセスである。しかし活字文選工が腕を振るい、速さを競う時代も次第に終わりに近づきつつあった。モノタイプという機械で、予め原稿を鑽孔テープに起こし、熱で溶かした鉛を文章に従って型にはめ次々と活字を作っていく方式も現れた。英文ならば26文字種のアルファベットで済むのだが、かな・漢字となると、そうもいかない。その違いは文字の種類の多さに圧倒されるからである。この当時までは活字という言葉は、死語ではなかった。

しかし写真植字機が開発され、ネガ文字盤（ガラス板に黒地に透明の文字や記号が並ぶ文字盤。選んだ文字を、光を当てる位置に移動させ、印画紙を感光させる仕組みで印字）と拡大レンズを用いて、モノクロ写真印画紙に焼き付けて文章を作成していく写真植字方式（いわゆる写植）が確立されてからは、次第に活字の利用が少なくなっていった。入社して1-2年の頃、大阪工場から活字をなくすという時に、先輩から立会いを命ぜられたのを思い出す。本当に大丈夫なのかと心配するほどの思い切った決断であったらと思う。

2.2 電算写植の登場

写真植字機ではオペレータが手作業で文字盤から文字を探すので従来の男性中心の活字文選作業から、女性中心のオペレータによる文字入力へと流れは変化していった。やがてマイクロコンピュータや電子計算機（電算）を用いた電算写

植と呼ばれる技術が開発された。電算写植とは、ネガ文字盤から文字を探すのに代わり、全ての漢字が文字配列された日本語文字入力のための独特の大きなサイズのキーボードを用い、原稿に従って文字のキー入力をしていくものである。あわせて使用する文字の大きさや書体なども設定できる。そして、入力された文字に割り当てられたコードを、紙テープと呼ばれる細い巻き紙に鑽孔していく。電子計算機ではこの紙テープを読みこみ写植によって紙面データを印字していく。この電算写植では、紙面を組み上げるためのソフトウェアが一世を風靡したものである。また、この日本語文字のキー入力作業に多くの若い女性オペレータが従事し、スピードと正確性を競い合ったのである。

2.3 コンピュータ組版システム (CTS)

活字組版方式では、追加・削除・修正などが発生するたびに活字組み換えが膨大な作業となる。そこに登場してきたのがコンピュータ組版システム (CTS) とよばれるもので特に改訂版などの制作に大きな威力を発揮することになった。CTSはComputerized Typesetting System、もしくは高温で溶かして作る活字と対照させたCold Typesetting Systemの略称である。前節で紹介した電算写植は、手動写植のルールをコンピュータにプログラミングしたものであり、CTSは活版の組版ルールをコンピュータにプログラミングしたものであるという点で両者は異なる。例えば電算写植の単位はQ数(1Q=0.25ミリメートル)であるが、CTSの活字の寸法の単位はポイント(1ポイント=72分の1インチ、約0.35ミリメートル)となる。また文字についても電算写植は手動写植を継承したもので、書体は豊富であるが文字数が少ないのに対し、CTSは活版を継承しており、書体が少なく文字数が多い。結果として電算写植は商品カタログ・チラシなどに使われたのに対し、CTSが最も威力を発揮するのは編集段階で項目の追加や削除が頻繁な、事辞典、古典、名簿などであった。当時は好景気ということもあって各家庭での百科事典の購入が流行し始め、大手出版社も全30巻などという高額な百科辞典の販売に大いに力を入れたのである。

入社当時、毎月の朝礼で社員全員にCTS部門の業績が発表

され、CTS による生産数量が A4 換算あるいは B4 換算で何ページ版の実績だったと発表され、さらに CTS 部門の収益はどうだったかが発表されるのだが、毎月、赤字、赤字と続いていたのである。これがなんと 10 年以上も続いたのだから驚きである、この赤字部門に投資し続ける体力の凄さや執念、当時事業部トップや経営トップの判断に若輩者としては驚きの念を禁じえなかった。また同時に、その後の次のような言葉にも驚かされたのである。「CTS システムを開発していなかったらデータベースは出来ておらず次の受注は無かったであろう。CTS こそわが社の救世主であった」と。

しかし、そんな CTS も実はそれから数年でその役割を終えようとしていた。米国で開発され爆発的なブームとなった Macintosh を中心とする DTP(Desk Top Publishing) システムの登場がその要因である。当初は、あまりにみずばらしい文字の書体、あまりに貧弱な組版結果の体裁など、プロには見向きもされなかったのだが、この DTP システムがやがて世の中を席捲することになったのである¹⁾。

3. 新聞社の紙面製作システム

3.1 新聞組版システムの開発

印刷会社だけではなく、新聞社でも同様の動きがあった。コンピュータを使って紙面製作をしようとする動きである。新聞紙面の組版を作成するシステムを完成させるには多くの時間と工数が必要であった。当時この莫大な開発費は一社ではとても負担できないとして朝日新聞社と日本経済新聞社が共同で開発費を折半する形で、日本 IBM に開発依頼した。これを担当した日本 IBM の担当営業が後に社長に昇進したのも知られている。当時のお金にして各社 50 億円規模の開発費を投じたという。1980 年には、それまで有楽町駅前（現在のマリオン）にあった朝日新聞社が、築地に移転する計画があった。そして築地移転に際しては、あらたな新聞紙面制作にコンピュータを利用することは決定していたのである。朝日新聞労働組合はこのコンピュータ化に伴う職場配置転換に神経質であった、特に従来の文選工だった人達をどのように配置転換するかで大いにもめた。結局のところこれらの社員をコンピュータの入力オペレータとして再訓練して再配置するというのが当時の会社の施策であり、その解決なしには築地移転はありえなかった。すなわちコンピュータ利用問題とは新しい労働環境への適応でもあった。朝日新聞のネルソンシステムと日本経済新聞のアネックスシステムは同時進行していたのだが、その他にも、コンピュータ化に伴う様々な問題を解決していかなければならなかった。紙面製作を取ってみても見出し文字の制作や地紋への上乗せ、白抜き囲い文字の制作など多くの課題を解決せねばならなかった。

3.2 新聞紙面伝送システム

東京の編集部で制作された紙面を各地方に送り印刷するための写真電送の技術も必要とされていた。そして生まれた

のが遠隔地への写真電送技術であった。この技術によって完成された紙面をドラムに巻き付けてスキャンし、地方に送ることが実現されたのである。余談だが新聞の下段には広告の部分がある。専門用語で「記事下」と呼ぶが、本文と記事下でスキャン線数を変えていると聞いたときには驚きもした。もちろん広告のある記事下のスキャン線数のほうが、より細かいのは言うまでもない。業務用の写真電送の技術は新聞ファクシミリとして浸透していった。当時の画像電子学会の主要研究・技術課題であったファクシミリに関連する技術規格の策定や、メーカーへの協力の集大成化なども並行して行われていった。こうして、これらの技術は、民生用のファクシミリ技術へと発展し花開いたのである。

4. 文字と画像の統合システム

4.1 統合システム

文字処理がコンピュータ化されると同時に写真を中心とした画像処理との統合が問題となった。当初は写真の拡大縮小やトリミング、さらに多くの時間を要する切り抜き画像の処理などである。特定人物の画像の輪郭線に沿った切抜き、自転車のフォーク部分の切抜き処理、さらには風景写真から不要な電信柱などを取り除きまわりの景色となじませるなどの加工処理である。これらは当初は人間の目視による手作業であったが、自動化も進んできており、将来 AI 技術などによって完全自動化されるのかもしれない。こうして得られた処理済画像を所定のレイアウトに従って貼り込むなどの紙面制作を終了すれば完成だが、これらをコンピュータ画面上で行ういわゆる WYSIWYG (What You See Is What You Get) システムを実現目標としたのが、パーソナルコンピュータとしてはアップル社の Macintosh であり、ソフトウェアとしては、アドビ社のフォトショップやイラストレータなどである。また一世を風靡したクウォーク社のクウォーク・エクスプレスやアドビ社のアドビ・インデザインといった統合システムが DTP システムとして完成されていった。その始まりは 1985 年頃のことである。

4.2 色分解技術

印刷プロセスの中の写真処理において、モノクロでなくカラー処理は必須である。当初は色分解用のカラーフィルターを使用して特殊カメラでアナログ的に画像処理していたが、やがて印刷用に 4 色分解するためのドラム巻き付け方式のスキャナーシステムが出現した。なぜかイスラエル（サイテックス社）で開発された高額なシステムがもてはやされた。ドラムに写真のポジカラーやネガカラーフィルムを巻き付けスキャンしながら色分解し黄、赤、藍、墨 (YMCK) の 4 色の版に分解する。分解されたフィルムを用いて、“もう少し赤みを出し、青を抑えて”などのクライアントの要求に基づく色修正が行われるのは言うまでもない。4 色分解された分版フィルムを手作業で修正することが当初は必然であった。この技

法は分版フィルムを、化学薬品を用いて職人技で減色するもので、水洗いをしながら、ライトテーブルと呼ばれる作業台の上で目視によって行うのが当たり前であった。やがて、これもコンピュータ画面上で行われるようになり、ライトテーブルが不要(ライトテーブルレス)となっていったのである。

CEPS (Color Electronic Prepress System) システムが製版工程のデジタル化を推進していき、先ほどのイスラエルのサイテックス社がこれを牽引していった。4色分解のノウハウは印刷業界からやがてプリンター業界に持ち込まれ、カラートナー印刷方式のカラーレーザプリンターとなり、さらにインクジェットプリンターとして採用されている。元はといえば印刷会社のノウハウの結実である4色分解と網点技術の結晶の横取りであるとも言える。このようにしてカラー紙面を文字も画像も統合した形で完成できるようになったのは1980年頃、今から40年ほど前のことである¹⁾。

5. データベースあるいはコンテンツマネージメントシステム

様々な文字データや画像も含むデータベースが蓄積されていくと、これらコンテンツの再利用、2次利用が話題となってきた。いわゆる電子書籍・電子出版の登場である。文字データから静止画像・動画像、さらにはデジタル化された音声データも扱えるようになり、マルチメディア化の動きが始まった。パッケージメディアは、初期はフロッピーディスク(8インチ、5インチ、3.5インチ)が代表的であり、やがてより大容量のCD-ROMが登場し、8インチCD-ROMにデータを入れ専用の端末で読み出すソニー社のデータディスクマンなどの登場で出版物のコンテンツが電子メディア化されていったのである。これらの電子メディア商品の発行元は出版社であるがそれを技術的あるいは作業的、製作的に支えてきたのは、印刷会社である。この代表例が、岩波書店の「広辞苑」のCD-ROM版などである²⁾。

6. インターネットの到来

ネットワーク系メディアへの注目は少し後になる。インターネットが注目されたのは1993年の商用化からであろうか？これに逸早く反応したのは印刷会社であった。企業などのホームページが当たり前になるまえに、印刷会社では、サイバーパブリッシングジャパンというホームページを立ち上げ、各参加企業のサイトにリンクして飛ぶことが出来るシステムの開発や運用を始めたのである。その時、ホームページのトップを飾ったのは今も人気のドラえもんであった。あれからすでに30年弱が経過しようとしているが、インターネットの利用がここまで進化すると誰が想像できただろうか？日本で最初にインターネット商用サービスを開始したインターネットイニシアティブジャパン社は今も成長し続けている³⁾。アマゾンに代表される物販システムは情報開示の多さ、早さ

と同時に物流や決済流も確立して発展の留まることを知らない。プラットフォームのGAFA (Google, Amazon, Facebook, Apple) が大躍進する時代である。新たな社会インフラとして定着すると同時に従来の商習慣やマーケティング手法を次々と覆していくであろうことは言うまでも無い。そのスピード感はすさまじく、僅か30年間でこの動きであるから、将来の姿を想像することは筆者にはとてもできそうにない。

7. おわりに

ここに記した内容はもう20年も前に起こっていることである。従来の紙の上に印刷をするというプロセスのデジタル化は必然であったのかも知れない。その後さらにデジタル化は進展し、情報は紙でなく、電子の情報としてPCやスマートフォンに表示されるようになった。紙の出版物の販売部数は、1995年あたりから下降の一途をたどり、25年間も減り続け、紙の書籍・雑誌の生産量は最盛時の50%まで落ち込んでいる。一方で電子書籍、電子コミックなどの電子出版は伸張しているとはいえ、全体の落ち込みをカバーするに至っていない。デジタル化がもたらす動きは、なんとも素早く、また必然であるのだが、次々と起こる変化についていくのは大変なことである。デジタル化されたデータは、再生のためのアプリケーションも含めて100年先でも読めるのだろうか？インクジェットやトナーのオンデマンド印刷方式で、経済面から、品質面から、従来の書籍や雑誌の印刷を十分に置き換えられるのであろうか？などと余計な心配をしている。技術だけに限らない様々な問題を抱えているとはいえ、次の世代では、どんな変革がもたらされるのであろうか？若い世代の人達の感性に期待したい。

私自身がこの激動の50年を過ごせたのは、厳しい面もあったとはいえ、幸運だったというべきかも知れない。かなり昔の思い出話ばかりとなってしまいましたがご容赦下さい。

参考文献

- 1) 「印刷博物誌」、凸版印刷株式会社、2001年6月4日発行。
- 2) 「電子出版クロニクル」、日本電子出版協会、2009年1月発行。
- 3) 「私の履歴書 鈴木幸一」、日本経済新聞社(2019年10月1日～2019年10月31日)。



深見 拓史 (正会員)

1968年 東京工業大学理工学部応用物理学科卒業。1970年 同大学院修士課程修了。1968年 凸版印刷入社。画像情報センター長・本社技術企画部長を経て2000年(株)廣済堂 専務執行役員。2004年廣済堂スピーチ販売(株)代表取締役。2011年(有)インターメディアジャパン代表取締役。IEC TC 100のメンバとして、マルチメディア機器・システムの国際標準化作業に参加。IEC1906 賞受賞(2015年)。元千葉大学講師。日本印刷学会会員。本学会セミナー委員長。

理事会だより

第 305 回理事会

1. 日 時：2020 年 1 月 24 日（金）18:30-20:30
2. 場 所：早稲田大学・63 号館・電子物理システム学科・会議室（1 F）
3. 出席者：理事 17 名

総出席者：19 名

【会長】斎藤

【副会長】田中清、吉田、土橋

【編集】児玉(Skype)、佐藤(Skype)、関野【企画】柿本、深見、和泉、上条

【財務】

【総務】春日、田中宏和

【技術専門】高橋、古木、大西

【地方】久保(Skype)

【監事】

＜事務局＞ 浮ヶ谷事務局長、関沢アドバイザー

4. 議題・資料

議 題	担当	付番
(1) 前回議事録確認	＜司会者 田中副会長＞	305-010
報告および検討事項		
(2) 理事改選候補の調整と選出スケジュール	＜斎藤会長・事務局＞	305-011
(3) 2020 年次大会 テーマ決定		
2021 年次期年次大会実行委員長の選出について	＜吉田年次大会実行委員長＞	305-012
(4) AIS2020 の企画について	＜高橋技術専門理事＞	305-013
(5) 編集委員会関係	＜児玉編集委員長＞	305-014
(6) 企画委員会関係	＜柿本企画委員長＞	305-015
(7) セミナー委員会関係	＜深見セミナー委員長＞	305-016
(8) 各 WG の経過報告について		
(9) (1) 学会運営と活動人員確保	＜斎藤会長＞	305-017
(10) (2) 会員制度の見直しと会員増加策	＜吉田副会長＞	305-018
(11) (3) 学会参加者・論文投稿者の増加策		
・インターセッション企画について	＜土橋副会長＞	305-019
(12) (4) 予算均衡化と効率的運営	＜田中副会長＞	305-020
報告事項		
(13) 画像電子技術賞の応募について	＜事務局＞	305-021
(14) フェロー、バイン賞 募集促進のお願い	＜事務局＞	305-022
(15) 2020 年度財務検討会議開催について	＜事務局＞	305-023
(16) 日本学術会議「軍事的安全保障研究に関する声明」についてのアンケート回答		
	＜事務局＞	305-024
(17) 理事会開催年間予定表	＜事務局＞	305-025

5. 議事（司会者：田中 副会長 議事録：春日 総務理事）

第 306 回理事会

新型コロナウイルス（COVID19）の感染を避けるためメール開催とした

尚、決議事項は（決議の省略）定款 37 条に従いメールによる書面審議とした

1. 日 時：2020 年 3 月 13 日

2. 場 所：

3. 出席者：理事 25 名 監事：2 名

総出席者：29 名

【会長】斎藤

【副会長】田中清、金井、吉田、土橋

【編集】児玉、佐藤、荒井、石川、関野 【企画】柿本、深見、和泉、田坂、上条

【財務】長尾、田村

【総務】春日、田中、竹村

【技術専門】高橋、古木、大西、石原 【地方】久保

【監事】中根、姜

<事務局> 浮ヶ谷事務局長、関沢アドバイザー

4. 議題・資料

議 題	担当	付番
(1) 前回議事録確認 報告事項		306-000
(2) メール審議 議案 1 2020 年暫定予算案--正味財産増減計	<斎藤会長・財務理事>	306-001
(3) メール審議 議案 2 3 月期特別賞与について	<財務理事>	306-002
(4) メール審議 議案 3 学会参加者・論文投稿者の増加策 ・インターセッションの企画推進について	<土橋副会長>	306-003
(5) 報告事項 1 鹿児島での研究会の開催報告	<柿本企画委員長>	306-004
(6) 報告事項 2 2020 年度第 48 回年次大会について、開催を前提として どのような方法があるか検討を開始する。	<吉田年次大会実行委員長>	306-005
(7) 相談事項 AIS2020 開催の可否について	<高橋技術専門理事>	306-006
(8) 依頼事項 2020 年改選理事推薦のお願い	<事務局>	306-007
(9) 理事会開催年間予定表<事務局>		306-008

協 賛 案 内

＜協賛のお知らせ＞

会 合 名	開催日時	開催場所	主 催	連絡先	参加費/その他
SSII2020(第26回画像センシングシンポジウム)	2020/6/10～12 オンライン開催	パシフィコ横浜 アネックスホール	画像センシング技術研究会	TEL03-3367-0571 Mail: info@ssii.jp 画像センシング技術研究会事務局	https://confit.atlas.jp/guide/event/ssii2020/top?lang=ja
【ODF'20】	2020/6/2～4 Due to the worldwide coronavirus pandemic, ODF'20 has been postponed until further notice.	台湾	日本光学会光設計研究グループ	Mail: odf20@pac.ne.jp	http://www.odf20.tw/
「3次元画像コンファレンス2020」	2020/7/9～10 オンラインでの開催	東京工業大学 大岡山キャンパス	3次元画像コンファレンス	TEL 03-3367-0571 3次元画像コンファレンス事務局	http://www.3d-conf.org/
ISOM'19(光メモリ・画像・計測国際シンポジウム)	2020/11/29-12/02	サンポート高松	一般社団法人日本光学会	TEL 03-5925-2840 光メモリ・画像・計測国際シンポジウム(ISOM)事務局(株)アドスリー内	https://www.isom.jp/
第27回ディスプレイ国際ワークショップ(IDW'20)	2020/12/9-11	福岡国際会議場	映像情報メディア学会(ITE) & Society for Information Display(SID) 共催	TEL 03-3263-1345 一般社団法人 ディスプレイ国際ワークショップ事務局 IDW'20 事務局	https://www.idw.or.jp/IDW201stAnnounce.pdf
ACM CHI 2021	2021/5/8～13	パシフィコ横浜 North 他	Association of Computing Machinery (略称: ACM)	北村喜文(東北大学教授) 東北大学電気通信研究所 〒980 8577 仙台市青葉区片平2-1-1	http://chi2021.acm.org/

2020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
Advanced Image Seminar 2020	5月→中止				
Media Computing Conference 2020第48回年次大会	6月25日(木)-27日(土) →12月2日(水)-4日(金)に延期	慶應義塾大学 来往舎	今日も画像電子技術の一日なり (「今日も生涯の一日なり」 福沢諭吉)	企画OS提案:2/28(金) 申込締切:4/13(月) 原稿締切:5/18(月) →調整中	共催
3次元画像コンファレンス 2020	7月9日(木)-10日(金)	東京工業大学 大岡山キャンパス		申込締切:4月3日(金) →4月20日(月)に延長	
第294回研究会	8-9月調整中	地方開催予定	画像一般		共催
第20回 ビジュアル情報処理研究合宿2020(学生会)	9月予定	埼玉県県民活動総合センター (予定)			
第49回VMA研究会	10月予定	首都圏予定			
第40回秋期セミナー	調整中				
秋の特別研究会	10月予定	大阪工業大学(梅田キャンパス) 予定			
見学会	11月予定	首都圏予定			
第11回VMAワークショップ	11月予定	首都圏予定			共催:DSG
第295回研究会-高臨場感ディスプレイフォーラム2020	11月予定	首都圏予定			共催
ビジュアルコンピューティングワークショップ2020	12月予定	地方開催予定			
第50回VMA研究会	10月予定	首都圏予定			
第296回研究会	2-3月予定	松山大学(予定)	画像一般		
第297回研究会-映像表現/芸術科学フォーラム	3月予定	首都圏予定			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@iicej.org

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

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

2021 年 1 月号 論文特集号 論文募集

— 自動化・省人化・増力化を支える画像処理関連技術 —

画像電子学会 編集委員会

先進国において少子高齢化は共通の課題です。とりわけ日本では、生産年齢人口が 1995 年をピークに減少を続け人手不足に陥っています。一方で、日本の 1 人当たり労働生産性は OECD 加盟 36 カ国中 21 位(2018 年)と極めて低く、労働力不足の解消を図るには労働人口の拡大だけでなく、1 人あたりの労働生産性を向上させることが必要といえます。

労働生産性が低い理由については日本固有の人事制度や社会慣習が背景にあるといえますが、テクノロジーによる自動化や省人化・省力化も生産性向上の一つの手段として期待されており、昨今話題の自動運転技術に加え、RPA (Robotic Process Automation) によるホワイトカラー業務の自動化にも、高い関心が寄せられています。具体的には、進化する画像認識技術と、増加する IoT 機器からの情報や、低価格化が進んでいるロボットを活用することで、今後幅広い分野で自動化アプリケーションの普及が期待できます。

また、生産性の向上は製品の高付加価値化やクラウド利用などによる個人の能力の増力化によっても可能です。例えば画像解析技術による意思決定の支援、IoT 機器を用いたリモート処理による移動時間の削減、さらにはインタラクティブな映像処理システムによる顧客対応の改善など、幅広い画像処理技術が、生産性向上に貢献できる可能性を秘めているといえます。

本特集号では、上記のように自動化や省人化・省力化を支える各種の画像処理技術に関する論文、システム開発論文を広く募集いたします。

1. 対象分野 (キーワード) :

- ・ 画像処理, 画像認識, 画像検出, パターン認識
- ・ 機械学習, コンピュータビジョン
- ・ IoT, ユビキタス, ビッグデータ
- ・ 自動運転, RPA, オートメーション, ロボティクス
- ・ ユーザビリティ, インタフェース, インタラクション

2. 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 (IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing への掲載となります)。英文 CFP は次ページをご参照ください。

3. 特集号発行

画像電子学会誌 (電子版) 2021 年 1 月号

(英文: IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vol.8, No.2 2020 年 12 月発行)

4. 論文投稿締切日

2020 年 5 月 29 日(金)

5. 投稿方法および問い合わせ先

詳細は右記 URL をご確認ください。 <http://www.iieej.org/ronbun.html>

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

Call for Papers

Special Issue on CG & Image Processing Technologies for Automation, Labor Saving and Empowerment

IIEEJ Editorial Committee

A declining birthrate and a rapid aging population are common problems in developed countries. Particularly in Japan, the working-age population is declining continuously, after reaching its peak in 1995, resulting in a shortage of labor. On the other hand, per capita labor productivity in Japan is very low, ranking 21st out of 36 OECD countries in 2018. In order to solve the labor shortage, it is necessary not only to expand the workforce but also to improve labor productivity.

Low productivity may be due to Japan-specific personnel systems and social customs, but improvements in productivity can also be expected through automation and labor saving technologies such as autonomous driving that has been actively studied in recent years and white collar work automation using RPA (Robotic Process Automation). Specifically, automation applications can be expected to expand into a wide range of fields in the future by using evolving image recognition technology, increasing information from IoT devices, and less expensive robots.

Productivity can also be improved by adding value to the product or empowering workers, such as by using the Cloud. A wide range of image processing technologies can contribute to productivity, such as decision making support with image analysis, time saving with remote processing using IoT devices, and improvement of customer service through interactive video processing systems.

Based on this background, we look forward to receiving your papers, system development papers, and data papers in this special issue.

1. Topics covered include but not limited to

Image Processing, Image Recognition, Image Detection, Pattern Recognition, Machine Learning, Computer Vision, IoT, Ubiquitous, Big Data, Autonomous Driving, RPA, Automation, Robotics, Usability, Interface, Interaction, Other related fundamental / application / systemized technologies.

2. Treatment of papers

Submission paper style format and double-blind peer review process are the same as an ordinary contributed paper. If the number of accepted papers is less than the minimum number for the special issue, the acceptance paper will be published as an ordinary contributed paper. We ask for your understanding and cooperation.

3. Publication of Special Issue:

IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vo.8, No.2 (December 2020)

4. Submission Deadline:

Friday, May 29, 2020

5. Contact details for Inquires:

IIEEJ Office E-mail: hensyu@iieej.org

6. Online Submission URL: <http://www.editorialmanager.com/iieej/>

2021 年 4 月号 論文特集号 論文募集
ー未来社会の実現に向けた画像関連技術ー

画像電子学会 編集委員会

ICT 技術の導入・普及による経済発展と社会的課題の解決がもたらす高度化社会・快適化社会への期待は大きいものがある。このため、政府は狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな未来社会として Society 5.0 を提唱し推進している。

その狙いはサイバー空間 (仮想空間) とフィジカル空間 (現実空間) を高度に融合させるシステムの構築と位置づけられ、ドローン、AI 家電、医療・介護対応、スマートワーク、スマート経営、自動走行などが活用事例として挙げられている。また、これらを実現するための要素技術としては画像認識や可視化のほか、サイバー空間をより身近なものにする仮想現実 (VR)、拡張現実 (AR)、複合現実 (MR) などを統合した XR 技術も不可欠といえ、単なる視覚的効果だけでなく、人間の五感に相互に訴えるクロスモーダルな感覚提示が重要視されている。

さらに、これらの技術基盤をなす、コンピュータグラフィックス、コンピュータビジョン、ユーザーインタフェース、ユーザーエクスペリエンスなどにおける技術革新が重要であり、画像や映像を通して、視覚のみならず、それ以外の感覚にも訴える技術の実用化が期待されている。

本特集では、このように画像や映像を通して未来社会を実現する画像関連要素技術、システム技術に関する論文、システム開発論文を広く募集いたします。

1. 対象分野 (キーワード) :

- ・ VR, AR, MR
- ・ コンピュータグラフィックス, 画像処理
- ・ インタラクション, リアルタイム処理, クロスモーダル現象
- ・ コンピュータビジョン, パターン認識, 機械学習
- ・ ユーザーインタフェース, ユーザーエクスペリエンス 等

2. 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 (IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing への掲載となります)。

3. 特集号発行

画像電子学会誌 (電子版) 2021 年 4 月号

(英文: IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vol.9, No.1 2021 年 6 月発行)

4. 論文投稿締切日

2020 年 10 月 31 日(土)

5. 投稿方法および問い合わせ先

詳細は右記 URL をご確認ください。 <http://www.iieej.org/ronbun.html>

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

Call for Papers
Special Issue on
Image-Related Technologies for the Realization of Future Society

IEEEJ Editorial Committee

There is a great expectation for an advanced and comfortable society brought about by economic development and the solution of social issues through the introduction and spread of ICT technology. For this expectation, the government advocates and promotes Society 5.0 as a new future society, following hunting society (Society 1.0), agricultural society (Society 2.0), industrial society (Society 3.0), and information society (Society 4.0). It is clearly stated that this purpose is to build a system that coalesces cyber space (virtual space) and physical space (real space) at a high level, and integrates drones, AI devices, medical / nursing care, smart work, smart management and autonomous driving etc.

Not only image recognition and visualization, but also XR that integrates virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR) is also necessary to make cyber space more familiar. In addition to visual effects, cross-modal sensory presentation that appeals to the human senses is emphasized. Therefore, technological innovation in computer graphics, computer vision, user interface, user experience, etc., which form these technological foundations, is important, and practical application of technology that appeals not only to vision but also to other senses through images and video.

In this special issue, we look forward to receiving your papers, system development papers, and data papers that will realize a future society through images and video.

1. Topics covered include but not limited to

VR, AR, MR, Computer graphics, Image processing, Interaction, Realtime processing, Cross-modal sensory, Computer vision, Machine learning Image analysis, Object detection, Image recognition, User interface, User experience

2. Treatment of papers

Submission paper style format and double-blind peer review process are the same as an ordinary contributed paper. If the number of accepted papers is less than the minimum number for the special issue, the acceptance paper will be published as an ordinary contributed paper. We ask for your understanding and cooperation.

3. Publication of Special Issue:

IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vo.9, No.1 (June 2021)

4. Submission Deadline

Friday, October 30, 2020

5. Contact details for Inquires:

IEEEJ Office E-mail: hensyu@iieej.org

6. Online Submission URL: <http://www.editorialmanager.com/iieej/>

2020 年 4 月 3 日

「短期特別論文査読制度」のご案内

編集委員会

当学会会員の皆様から、投稿論文に対し通常論文よりも更に査読期間を短く対応して欲しいとの要望がありました。これまで、当学会に投稿いただいた論文では、第 1 次査読判定までの時間として、通常の論文査読の場合 7~10 週程度を要します。その内訳として、査読幹事選定（投稿受付後、最初の編集委員会で決定するため、1~4 週必要）、査読者選定（1~2 週）と第 1 次査読（ショートペーパー: 3 週、通常論文: 4 週）に要する時間に基づいています。しかし、特に博士論文審査など、短期に査読を実施して欲しいという要望を踏まえて、各過程の時間を短縮し、投稿から最初の判定までを短縮化する「短期特別論文査読制度」を、募集期間を設定して昨年に引き続き実施いたします。

この査読方式の場合、投稿から第 1 次査読判定までの時間は、ほぼ半分になります。仮に条件付き採録判定となった場合でも、修正投稿後の通常査読期間に対し半分の期間で評価を実施いたしますので、著者が修正投稿までの期間を短く対応できれば、採録までの判定期間を短くすることが可能です。この制度を利用したい方は、できれば投稿の 2 週間以上前に、投稿予定日、投稿から第 1 次評価までの希望期間、論文種別、論文タイトル、論文概要、キーワード、英和の区分、頁数見込み、投稿論文の専門分野、問い合わせ対応著者などの情報を添えてメールで事務局に依頼ください。ご依頼を頂いてから 1~1.5 週で特別査読の対応（各専門分野の査読者の都合を踏まえて）の可否と投稿から第 1 次査読判定までの想定期間をご返事します。皆様のご協力とご理解のほど、よろしくお願い申し上げます。

「短期特別論文査読制度」の概要

画像電子学会編集委員会

通常論文査読とは別に、通常査読よりも約半分の期間で査読判定する「短期特別論文査読制度」を試験実施する。

次に示す項目を熟読の上、お申込ください。申込時点で、記載内容を承諾しているとします。

1. 募集期間

期間を限定して、募集いたします。詳細は学会誌での募集案内（1次募集，2次募集予定），及びHPをご確認ください。

2. 査読期間

査読期間の目安を表1に示す。表1の査読期間を前提に第1次判定結果報告予定日を設定します。

表1 通常査読と短期特別査読における第1次査読判定時間の比較（目安）

査読種別		通常査読	短期特別論文査読
ショート ペーパー	① 査読幹事選定	1~4 週	0.5 週
	② 査読者選定	1~2 週	0.5~1 週
	③ 第1次判定結果報告	3~4 週	1.5 週
通常論文・ システム開 発論文など	① 査読幹事選定	1~4 週	0.5 週
	② 査読者選定	1~2 週	0.5~1 週
	③ 第1次判定結果報告	4~5 週	2.5 週

3. 評価方法

査読方法（投稿論文の評価方法）については、「論文投稿の手引き」及び「論文査読の手引き」に規定されている評価基準と同一基準で評価する。ただし、特集論文時に新たに定めた評価基準を設ける場合はそれに従う。

4. 費用

判定結果に分けて頁当たり投稿料（ x （円））と投稿料（ y （円））を定める。なお、掲載時には別途掲載料を申し受ける。ここで、ショートペーパー，論文・システム開発論文の総ページ数を p （枚），査読回数を n とする。また， $x=2,500\sim 10,000$ （円）と定める。金額は，募集時に案内する予定です。

(a) 即「採録」

投稿料: $y = x \times p$ （円）

本費用を，掲載料と合わせて請求する。（投稿料＋掲載料）

(b) 「条件付き採録」判定後，「採録」

投稿料: $y = (1 + 0.5(n - 1))(x \times p)$ （円）

本費用を，掲載料と合わせて請求する。（投稿料＋掲載料）

- (c) 「条件付き採録」判定後、「返戻」(割引)
投稿料: $y = 0.8x \times p$ (円)
本費用を、「返戻」判定通知時に請求する。(投稿料)
- (d) 即「返戻」(割引)
投稿料: $y = 0.5x \times p$ (円)
本費用を、「返戻」判定通知時に請求する。(投稿料)
- (e) 取り下げの場合
取り下げの時期を考慮して、(d)または(c)で対応する。

5. 申込方法

次に示す手順に従って、申込ください。

- 論文投稿前 (2 週間前までに所定の情報を著者は事務局へ送付)
 - 投稿予定日、投稿から第 1 次評価までの希望期間、論文概要、英和の区分、頁数見込みなどを事務局にメールで送付 (担当: 福島, メールアドレス: hensyu@iicej.org)
【書誌情報記載例】
本制度を利用した下記の投稿論文を予定しています。書誌情報は以下のとおりです。
(1) 論文番号: 201x-xxxx (後で、事務局が記載するので投稿予定者は記入しないこと。)
(2) 投稿予定日: (本メール送付日より、最低 2 週間後を設定してください。また、予定日より 2 週間以上遅れた場合は、受理通知は無効とし、再度、申込してください。)
(3) 第 1 次評価までの希望期間: 特になし あるいは xx 日まで (学位審査予定日・判定限度日等がある場合は、それらの日を具体的にご記入してください。)
(4) 論文種別: 通常論文 システム開発論文 ショートペーパー ショートペーパー (システム開発)
(5) 論文タイトル (副題も含む):
(6) 使用言語: 日本語 あるいは 英語 (どちらか一方を残してください。)
(7) キーワード: (5 つ程度を記入)
(8) 論文概要: (投稿予定の論文の概要を 300 字以上 (日本語), 或いは, 200 ワード (英語) で記述ください。
(9) 頁数見込み: xxx 頁
(10) 論文専門分野: (別紙を参照し該当番号を記入ください。複数記入可。)
(11) 担当者 (第一著者, 或いは, 論文責任者等) 氏名及び連絡先: (氏名・所属・メールアドレス・電話番号・FAX 番号)
 - 本制度受理の可否の通知
本査読の事前申込 (メール送付) から, 7 営業日以内 (休日期間を除く) に, 短期特別査読論文としての受理の可否を著者へ通知する。ただし, 当該論文に対する査読者が本制度対応可能であるかを踏まえて, 受理を判断する。必ず受理できるとは限らないことをご了承ください。

- 受理の回答後
 - 事務局から本制度における論文査読受理の回答を著者へ送付
 - 回答後、投稿予定日までに投稿を完了すること。投稿予定日から 2 週間以上経過した場合は、再度本制度申込を行うこととする。
 - 本制度を利用した論文投稿
通常査読と区別して短期特別論文査読制度を使用し論文を投稿する。（システム内の短期特別論文査読の項目を選び、投稿すること。）
- 本制度を利用した査読過程とその結果通知
 - 査読期間 2～3 週間が目安であり、査読判定後、一回目は投稿日より 4 週間以内、二回目以降は 18 日以内に事務局より査読結果が送付される。
- 判定後の対応
 - 採録判定の場合
事務局より、正式な採録通知が送付される。最終原稿提出の依頼と投稿料及び論文掲載料等を含めた請求書を送付する。
 - 条件付き判定の場合
事務局より、採録条件が送付されるので、基本的に 2 週間以内に修正論文を提出すること。修正論文提出が遅延した場合、最終判定が遅れても、一切学会は責任を負わないものとする。
 - 返戻の場合
残念ながら返戻となった場合、返戻通知が送付されるとともに、事務局から投稿料の支払い請求を行う。
- 採録時
 - 事務局の指示に従い、当該論文に関し、通常論文と同様に最終原稿提出、校正作業等を経て、学会誌、或いは、英文論文誌に掲載する。

6. 留意事項

- 「短期特別論文査読制度」希望として申込した時点で、本制度の内容を十分理解しているものとする。（受理の可否、査読期間、費用等）
- 短期特別査読投稿論文に関して、著者照会がある場合（条件付き採録判定の場合）、基本的に通知日から 2 週間以内に修正原稿を提出するとする。ただし、修正原稿の提出が遅延した場合、当初予定していた日程までに判定通知ができなくても、予め提示している本査読期間目安を満たしている場合、学会は一切責任を負わないとする。ただし、投稿料は発生することに注意。

以上

短期特別査読制度に係る論文募集

編集委員会

短期に査読を実施して欲しいという要望を踏まえて、投稿から最初の判定までを通常の投稿よりも短縮化する「短期特別論文査読制度」を昨年に引き続き実施いたします。本制度に係る論文を、次に示す期間で専門分野を限定して募集いたします。是非、皆様のご投稿をお待ちしております。

● 募集専門分野

「画像符号化」「画像処理（画像認識・特徴抽出）」、「コンピュータグラフィックス」「ビジュアルライゼーション」及び「画像処理一般」

● 募集期間

2020 年度 1 次募集期間： 2020 年 5 月 7 日（木）～2020 年 6 月 5 日（金）

● 受付件数

数件程度（申込順）。想定を超えた数の論文申込がある場合は、ご希望に沿えない場合があります。ご理解のほどよろしくお願いします。

● 費用

本制度を利用して論文投稿される場合、通常投稿とは別に投稿料（画像電子学会学会誌 2019 年 4 月号資料内y）を定めています。今回は、頁当たりの費用（別紙資料内x）を 7,500 円（特別割引価格）といたします。

● 手続き方法

本制度を利用するには、投稿予定日 2 週間前までに事務局へ書誌情報を電子メールにて送付する必要があります。

【書誌情報記載例】

- (1) 論文番号: 20xx-xxxx（後で、事務局が記載するので投稿予定者は記入しないこと。）
- (2) 投稿予定日：（本メール送付日より、最低 2 週間後を設定してください。また、予定日より 2 週間以上遅れた場合は、受理通知は無効とし、再度、申込してください。）
- (3) 第 1 次評価までの希望期間： 特になし あるいは xx 日まで（学位審査予定日・判定限度日等がある場合は、それらの日を具体的にご記入してください。）
- (4) 論文種別： 通常論文、システム開発論文、ショートペーパー、ショートペーパー（システム開発）
- (5) 論文タイトル（副題も含む）：
- (6) 使用言語： 日本語 あるいは 英語（どちらか一方を残してください。）
- (7) キーワード：（5 つ程度を記入）
- (8) 論文概要：
（投稿予定の論文の概要を 300 字以上（日本語）、或いは、200 ワード（英語）で記述ください。）
- (9) 頁数見込み： xxx 頁
- (10) 論文専門分野：（別紙を参照し該当番号を記入ください。複数記入可。）
- (11) 担当者（第一著者、或いは、論文責任者等）氏名及び連絡先：（氏名・所属・メールアドレス・電話番号・FAX 番号）
- (12) その他 要望事項

※ 本制度の詳細および具体的な手続きにつきましては、別紙資料を参照ください。

● 問い合わせ先

一般社団法人 画像電子学会 担当： 福島（E-mail: hensyu@iieej.org）

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 4 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。
 - 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。
- ・ 原稿の投稿資格は、論文、ショートペーパー、資料論文のいずれも、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、検討を重ねて内容を充実させ、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)

<http://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。
- 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。

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、部分的或いは斬新的な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、有用性とは別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、通常論文の新規性、有用性とは別に、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、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。

(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。

以上

目 次

巻頭言

日本画像学会の発展を願って……………面谷 信… 3(3)

論文

質感の強調と転送に関する新しい試み……………小寺宏暉… 4(4)

界面単位を考慮した有機電界効果トランジスタの等価回路
……………末永 悠, 永瀬 隆, 小林隆史, 内藤裕義… 18(18)

速報

サイディングによる振動子の振動特性の改善に関する研究……………保坂一貴, 今野和彦… 28(28)

日本画像学会「Imaging Conference JAPAN 2019」特集

Introduction……………美才治隆, 山口大地… 33(33)

論文

金属調光沢膜物性に及ぼすドーパント種の影響……………土井浩敬, 久保美菜子, 塚田 学, 星野勝義… 34(34)

有機潤滑剤薄膜の表面・深さ方向の分析技術と開発への適用……………込戸健司… 40(40)

微小パターン電極による微弱放電の計測および解析方法
……………大塚幸治, 井本雅規, 山本晃介, 渡口 要, 大西拓馬… 45(45)

定着フィルム表層摩耗の予測技術……………中尾修一, 吉岡広起, 内藤洋介… 51(51)

定着プロセスにおける濃度ムラの物理モデルと定量評価方法の構築
……………安井甲次, 加藤恭平, 石黒敬太, 依田寧雄, 金森昭人… 56(56)

解説

高画質と高生産性を両立した低温定着ホワイトトナーの開発……………村上 毅, 佐藤修二, 飯塚章洋… 62(62)

論文

高速インクジェットプリンタにおける乾燥技術の開発……………西村秀明, 小篠 団, 羽橋尚史… 68(68)

高発色高密着 UV 硬化型インクの開発……………小林広紀, 小島智之… 75(75)

蒸発・増粘を考慮したインクジェット着弾シミュレーション……………門永雅史… 83(83)

動的接触角と接触線速度の関係を考慮したインクジェット液滴の広がり挙動のシミュレーション
……………福岡誠之, 門永雅史… 96(96)

位置ずれに対するロバスト性向上ハーフトーン技術の原理解析……………角谷繁明…103(103)

親撥パターンニング法を用いた微細配線形成と有機 TFT 応用
……………吉田将太, 松浦 陽, 塩飽 黎, 竹田泰典, 関根 智, 浜口 仁, 熊木大介, 時任静士…111(111)

電極表面修飾不要な p 型半導体を用いた印刷型相補型集積回路 ……………竹田泰典, 時任静士…118(118)

Imaging Today

「省エネ技術」

Introduction……………富家則夫, 石田稔尚, 山崎 弘…126(126)

令和元年編集委員

編集委員長	中 村 一 希 (千 葉 大 学)	編集幹事	秋 山 勇 治 (キ ャ ノ ン)
編集副委員長	水 野 知 章 (富士フイルム)	編集副幹事	岩 田 基 (大阪府立大学)
	梅 津 信二郎 (早 稲 田 大 学)		

編集委員

秋 山 勇 治 (キ ャ ノ ン)	木 村 正 利 (元富士ゼロックス)	中 村 一 希 (千 葉 大 学)
新 井 啓 之 (日本工業大学)	黒 沢 俊 晴 (千 葉 大 学)	中 山 信 行 (富士ゼロックス)
池 田 光 弘 (三 菱 製 紙)	高 橋 正 樹 (東 芝 テ ッ ク)	美才治 隆 (リ コ ー)
石 田 稔 尚 (シ ャ ー プ)	竹 内 達 夫 (元キャノン)	前 田 秀 一 (東 海 大 学)
石 塚 一 輝 (コニカミノルタ)	富 家 則 夫 (京セラドキュメントソリューションズ)	水 野 知 章 (富士フイルム)
岩 田 基 (大阪府立大学)		山 口 大 地 (リ コ ー)
梅 津 信二郎 (早 稲 田 大 学)	朝 武 敦 (コニカミノルタ)	山 崎 弘 (元コニカミノルタ)
北 野 賀 久 (富士ゼロックス)	内 藤 裕 義 (大阪府立大学)	

最近の画像機器の省エネ基準動向 2019	増田道晴	127 (127)
最新のカラー高速定着技術	横山秀治, 田中雅也, 古山 昇, 菊地和彦	132 (132)
粉碎トナーにおける省エネの取り組み	和田 統, 椿 頼尚	142 (142)
Super EA-Eco トナーの開発	松本 晃, 清野英子, 飯塚章洋	149 (149)
コニカミノルタ bizhub i シリーズの省エネ技術	芦田賢一, 鳴瀬邦彦, 小澤開拓, 中島智章, 小鶴浩之, 山本直樹	155 (155)
Imaging Highlight		
見えなかったナノの世界の“見える化”	山田澄人	160 (160)
教育講座		
流体工学 (Ⅳ) —空気薄膜内の潤滑圧力と液滴衝突—	田川義之・横山裕杜	165 (165)
研究室訪問		
岸川・桑折研究室 千葉大学大学院工学研究院 ソフト材料化学研究室		171 (171)
会報		173 (173)
会告		181 (181)
投稿案内		182 (182)
日本写真学会誌の目次		184 (184)
日本印刷学会誌の目次		185 (185)
画像電子学会誌の目次		186 (186)
画像閑話		

目 次

論文

- DEM による現像剤粒子搬送シミュレーションと GPU を用いた計算処理速度の改善検討
 竹中 直, 佐藤浩一郎, 大谷晃文...188(2)

速報

- 有限要素法を用いた鋭敏色可視化法における積分光学効果の検討
 鈴木海里, 西平守正, 今野和彦...195(9)

Imaging Today

- 「Beyond Paper Interaction—紙に学ぶ・紙を超えるユーザインタフェース—」
 Introduction.....北野賀久, 秋山勇治, 高橋正樹, 山口大地...201(15)
 特集「Beyond Paper Interaction」に寄せて.....柴田博仁...202(16)
 メディアと読み書きの認知科学.....柴田博仁...204(18)
 電子書籍端末が変える読書の環境負荷.....天沢逸里...212(26)
 レイアウトデザインによる効率的な読みの支援.....小林潤平...219(33)
 ペン UI を活用したアニメーションのデザイン支援.....丸谷大樹...228(42)
 マルチモーダルインタフェースによる作図支援.....徐 興亜, 柴田博仁...235(49)
 操作メディアとしての紙の利用.....洪田一夫, 柴田博仁...242(56)

Imaging Highlight

- UV インクジェット技術による 2.5D 立体複製画の開発.....亀井稔人, 畑中伸一...249(63)

教育講座

- 流体工学(V)—液滴の蒸発とコーヒーステイン現象—.....田川義之...255(69)

研究室訪問

- 新井研究室 日本工業大学 先進工学部 情報メディア工学科.....259(73)

- 会報.....264(78)

- 会告.....268(82)

- 投稿案内.....269(83)

- 日本写真学会誌の目次.....270(84)

- 日本印刷学会誌の目次.....271(85)

- 画像電子学会誌の目次.....272(86)

- Journal of Imaging Science and Technology の目次.....273(87)

画像閑話

令和二年編集委員

編集委員長	中 村 一 希 (千 葉 大 学)	編集幹事	秋 山 勇 治 (キ ャ ノ ン)
編集副委員長	水 野 知 章 (富士フイルム)	編集副幹事	岩 田 基 (大阪府立大学)
	梅 津 信二郎 (早 稲 田 大 学)		

編集委員

秋 山 勇 治 (キ ャ ノ ン)	木 村 正 利 (元富士ゼロックス)	美才治 隆 (リ コ ー)
新 井 啓 之 (日本工業大学)	黒 沢 俊 晴 (千 葉 大 学)	前 田 秀 一 (東 海 大 学)
池 田 光 弘 (三 菱 製 紙)	高 橋 正 樹 (東 芝 テ ッ ク)	水 野 知 章 (富士フイルム)
石 田 稔 尚 (シ ャ ー プ)	竹 内 達 夫 (元キャノン)	宮 本 栄 一 (京セラドキュメントソリューションズ)
石 塚 一 輝 (コニカミノルタ)	朝 武 敦 (コニカミノルタ)	
岩 田 基 (大阪府立大学)	内 藤 裕 義 (大阪府立大学)	山 口 大 地 (リ コ ー)
梅 津 信二郎 (早稲田大学)	中 村 一 希 (千 葉 大 学)	山 崎 弘 (元コニカミノルタ)
北 野 賀 久 (富士ゼロックス)	中 山 信 行 (富士ゼロックス)	

口絵・口絵解説

- 1 「画像からくり」
第 48 回 盲点と知覚的補完（フィルイン）
桑山哲郎

写真のある美術館・博物館・資料館

- 3 LUMIX GINZA TOKYO（ルミックス・ギンザ・トウキョウ）のご紹介 / 坂本維賢

私の写真史

- 5 第 1 部 写真科学に魅せられて / 谷 忠昭

- 15 **会 告** 日本印刷学会誌・日本画像学会誌・画像電子学会誌・IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing・掲載論文一覧／イベント案内・画像関連学会連合会第 7 回春季大会論文募集

特集 画像保存

- 22 - 特集にあたって - / 水口 淳

- 23 **解説** 文化財としての写真原板の活用と写真保存における意義
高橋則英

- 27 **解説** シカゴ美術館における写真の保存と修復の現状
堀田 文

- 32 **解説** 「文化財写真の保存に関するガイドライン」改訂審議の概況
吉田英明

- 36 **解説** 紙資料のデジタル化における色の再現について
綿引雅俊

- 41 **解説** フィルム映像のデジタル化における色の再現について
大関勝久・山田 誠

- 47 **解説** 芸術の保存と継承
平 諭一郎

- 50 **論文** 化学的分析による写真用 TAC ベースの劣化診断
山本大輔

解説

- 56 **解説** 写真産業の技術革新史 その 6 - 写真製版のグラフィック・アーツからシステムへの変遷
高田俊二

一般論文

- 65 島状金ナノ粒子固定 ITO 電極を用いたピロールの電解重合
山田勝実・金沢恵美・常安翔太・越地福朗・内田孝幸・佐藤利文

追悼

- 69 上田博造氏を偲ぶ / 谷 忠昭

- 70 **会 報** 理事会抄録、投稿規定等、執筆の手引き、著作権の取扱い、入会のおすすめ

■ 巻頭言	
オリンピックと印刷産業	佐藤 博 1
■ 総説 1 特集「エネルギーと印刷」	
フレキシブル有機太陽電池の開発	渡辺伸博 2
新たなエネルギーハーベスターとしてのスクリーン印刷を用いたバイオ燃料電池	四反田 功 6
印刷工程への紫外光と大気圧非平衡プラズマの適用	島本章弘・中村謙介・平岡尊宏 11
医療デバイスへの DLC 膜形成による生体バリア性の向上	中谷達行 17
■ 総説 2 特集「アジアシンポジウム」	
RAIN RFID Tags: Applications, Design and Manufacturing	Teemu AINASOJA 21
The Rise of 3D Printing: Its Human Capability Impacts and the Nature of Emerging Interdependencies Along the Global Supply Chain	Adam VOAK and Michael SMITH 23
Crossing Borders: Anticipated Challenges in Building a Body of Knowledge for the Digital Printing Sector to Promote Relevant Human Capability and Mobility in a Local Context	Adam VOAK and Brian FAIRMAN 29
■ 国際会議報告	
ISO/TC130 (印刷技術) 2019 年秋季国際会議 (リーハイ/米国)	佐藤利文 33
■ 印象記	
フレキシソ研究会 第 19 回研究例会 (大阪開催) ～環境対応フレキシソ製版システム～	横井郷平 38
2019 年プリプレス研究会・オフセット印刷技術研究会 合同研究例会 「令和時代のスマートな色管理」～プリプレスとオフセットが一緒に考えた～	西川博史 39
2019 年度 P&I 研究会シンポジウム印象記	岡本良平 41
西部支部 2019 冬季セミナー印象記	広瀬高志 42
■ Abstract	44
■ 文献紹介	46
■ 学会だより	48
■ 日本印刷学会賛助会員名簿	54

日本印刷学会誌編集委員

編集委員長	東 吉彦 (東京工芸大学)	編集副委員長	矢口博之 (東京電機大学)
委 員	江前敏晴 (筑波大学)	秋山宏介 (特種東海製紙 (株))	杉山 徹 (大日本印刷 (株))
	高橋 敦 (共同印刷 (株))	因埜紀文 (富士フイルム (株))	寺本 悟 ((独) 国立印刷局)
	井上武治郎 (東レ (株))	川田育孝 (東洋インキ (株))	宇山晴夫 (凸版印刷 (株))
幹 事	小関健一		
表紙デザイン	益田宏樹		

■ 巻頭言	
情報メディアとしてデジタルと共存していく紙	前田秀一 65
■ 総説 特集「SDGs と印刷」	
印刷業界における SDGs とは？～大日本印刷における取組事例～	鈴木由香 66
池田印刷京浜島工場・第 17 回印刷産業優良工場表彰経済産業大臣賞受賞までの取り組み	池田幸寛 70
印刷用 UV 光源の LED 化技術	田口 明・奥田勝己・内田信也・田久保匡美 73
マイクロプラスチックと私たちの暮らし	田中周平 78
カンボジアの教員養成大学における SDGs を活用した環境教育の普及活動	宮川皓子・岩間美代子・宮川洋一郎 83
■ 印象記	
2020 年冬期セミナー印象記	柴崎純平 89
令和 2 年第 16 回「紙メディア」シンポジウム印象記	
—メディアとしての紙の科学と芸術—	水本秀一 91
■ Abstract	93
■ 文献紹介	95
■ 学会だより	97

日本印刷学会誌編集委員

編集委員長	東 吉彦 (東京工芸大学)	編集副委員長	矢口博之 (東京電機大学)
委 員	江前敏晴 (筑波大学)	秋山宏介 (特種東海製紙 (株))	杉山 徹 (大日本印刷 (株))
	高橋 敦 (共同印刷 (株))	因埜紀文 (富士フイルム (株))	寺本 悟 ((独) 国立印刷局)
	井上武治郎 (東レ (株))	川田育孝 (東洋インキ (株))	宇山晴夫 (凸版印刷 (株))
幹 事	小関健一		
表紙デザイン	益田宏樹		

会 報

○新入会員紹介（2020 年 3 月 31 日）

正会員

戸倉 暢史((株)昭和電気研究所)

○会員現況

名誉会員	18 名
正会員	616 名
学生会員	65 名
賛助会員	25 社 36 口
特殊会員	35 件

編集後記

2020 年 4 月号をお届けいたします。今号では論文 3 件、ショートペーパー 2 件を掲載しています。随想、スキヤニング、コーヒープレイク、グループ紹介などの定例記事も興味深い内容を寄稿いただきました。ぜひ一通り目をお通し頂きたく存じます。

本来ですと学校・会社などにおいて年度替わりに伴う作業や行事に皆様お忙しくされている頃と思いますが、今年は新型コロナウイルス（COVID-19）の猛威に全世界がさらされ、例年とは状況が大きく変化してしまいました。流行当初は、手洗い・うがいなどの徹底のお蔭で例年よりインフルエンザが少ないという嬉しいニュースもありましたが、あっという間に世界中に広まり、収まる気配をみせないこの見えざる敵に、人類とウイルスの戦争というものを意識せざるを得ません。画像系の研究者がこの問題で前線にて活躍することは少ないと思いますが、2019 年 4 月号で完結した連載技術解説「画像電子技術の医療分野における応用」で紹介された技術がどこかで役に立っているのかもしれない。

口頭発表による学会の多くが開催中止や延期となっているようですが、逆にオンライン発表など新しい形式の試みやその改革が加速していくのかもしれない。また、口頭発表の機会が少なくなり、外出も控えるようになっていることの影響なのか、論文投稿をする方が増えているとも聞いています。本号の随想にもあるように様々な悪影響があるなかで前向きに対応していくことが重要なのでしょう。

この記事を読者がお読みになる頃には緊急事態宣言が終結して欲しいと切に願うばかりです。とにかく先が見え、混乱が早く収まり、人々が物理的に交流できる時代に戻って欲しいと思うのは全人類の願いでしょう。科学者としては失格かも知れませんが思わず神に祈ってしまいます・・・

さて、本学会誌の 2019 年度を振り返ると 250 号記念特集がありました。また我々の生活に直接関係するようなテーマの特集や論文なども増えてきたと思います。画像認識系においては数年前に始まった AI ブームが依然続いていますやや落ち着きつつあるようにも思います。その中で多くの皆様に様々な記事の御執筆、特集及び一般論文への御投稿、更には学会主催行事への口頭発表などのご支援を賜り本学会が無事この 1 年を終えることができましたことに改めて深く感謝申し上げます。令和最初の年度にあたり、今年度も学会としてきちんと、技術的情報の開示ができ、世の中の役に立っていけるよう、編集委員会一同心新たにお願いしたいと思います。

最後になりましたが本学会の VC 研究会の礎を築かれた中前栄八郎先生、ファクシミリの国際標準化の立役者であった山崎泰弘名誉会員が残念ながら相次いで鬼籍に入られ、追悼記事を掲載させていただきました。お二人の生前のご功績に改めて感謝申し上げますとともに、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

（編集理事 荒井良徳）

画像電子学会誌

第49巻 第2号 (通巻252号)

2020(令和2)年4月30日発行 (年4回発行)

©2020 画像電子学会

E-mail : hensyu@iieej.org

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

発行所 一般社団法人 画像電子学会

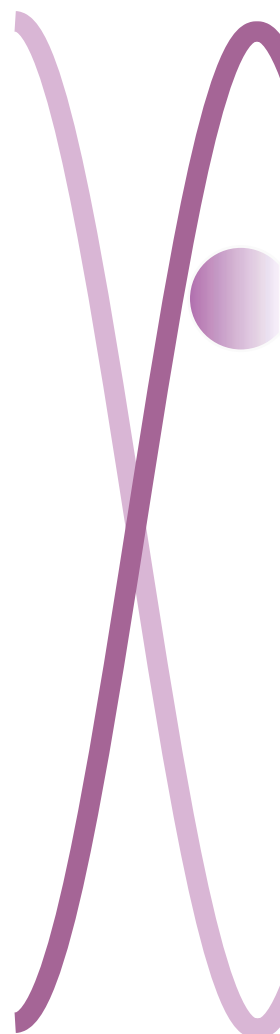
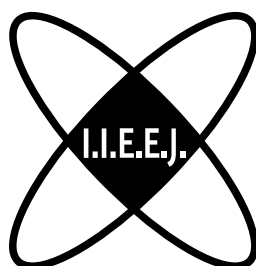
〒116-0002 東京都荒川区荒川3-35-4 ライオンズマンション三河島第二 101号

TEL (03) 5615-2893 FAX (03) 5615-2894 (振替 00180-3-166232)

編集・発行者 児玉 明

Journal of the IIEEJ 252
2020 Vol.49 No.2

画像電子学会誌



第49巻
第2号