



**The 5th**  
**International Symposium**  
**2024**

by the International Research Center  
for Color Science and Art

[PROCEEDINGS]

# 色の国際科学芸術研究センター 第5回国際シンポジウム2024

The 5th International Symposium 2024 by the International Research Center for Color Science and Art

## 日時 Date and Time

2024年2月24日（土） 10:00 - 17:20（懇談会17:30 - 19:00）

10:00 - 17:20 (Social gathering will be 17:30-19:00), Saturday, February 24, 2024

## テーマ Theme

写真と画像のカラーサイエンス&アート

Color Science and Art of Photography and Imaging

## 特別対談 Special Discussion

東京工芸大学学長・日本写真学会会長対談

“社会と人々を彩ってきた写真とともに 100周年を迎えて“

Dialogue Between the President of Tokyo Polytechnic University and the President of the Society of  
Photography and Imaging of Japan:

Celebrating the 100th Anniversary with Photos That Colored Society and People

## パネリスト Panelists

・吉野 弘章(東京工芸大学 学長)

・YOSHINO Hiroaki (President, Tokyo Polytechnic University)

・中野 寧氏(日本写真学会 会長)

・NAKANO Yasushi (President, The Society of Photography and Imaging of Japan)

司会: 山田 勝実(東京工芸大学 教授)

Moderator: YAMADA Katsumi (Prof., Tokyo Polytechnic University)

## 基調講演者 Keynote Speakers

- ・港 千尋氏 (多摩美術大学 教授)
- ・MINATO Chihiro (Prof., Tama Art University)
  
- ・桑山 哲郎氏 (日本写真学会 フェロー)
- ・KUWAYAMA Tetsuro (Fellow, The Society of Photography and Imaging of Japan)
  
- ・ミンチン・ジェームス・シュー氏 (中国文化大学 教授)
- ・Ming-Ching James Shyu (Prof., Chinese Culture University, Taiwan)

## 会場 Venue

オンラインと会場(東京工芸大学 中野キャンパス 6号館)のハイブリッド形式で開催  
Hybrid of online and venue.

東京工芸大学 中野キャンパス 6号館 1階 6101 教室

〒164-0013 東京都中野区弥生町 1-10

Nakano Campus of Tokyo Polytechnic University

#6101, No.6 Building 1F

1-10 Yayoicho, Nakano City, Tokyo 164-0013



## タイムテーブル Timetable

※TPU・・・Tokyo Polytechnic University(東京工芸大学)の略

10:00~10:05	開会挨拶 Opening Address 吉野 弘章 (東京工芸大学 学長) YOSHINO Hiroaki (President of TPU)
10:05~10:50	基調講演 1 Keynote Speech 1 新しい色名の文化的意味 Cultural meanings of naming colors 港 千尋 (多摩美術大学 教授) MINATO Chihiro (Prof.,Tama Art University)
10:50~11:05	事業研究者講演 1 Oral Presentation 1 六櫻社式天然色印画とその三色分解ネガの保存と活用のための研究 Research on the preservation and utilization of Rokuoh-sha Style Color Prints and their Three-color Separation Negative Films 矢島 仁, 山田 勝実 YAJIMA Hitoshi, YAMADA Katsumi
11:05~11:20	事業研究者講演 2 Oral Presentation 2 ベトナム・ホーチミン市における都市空間と照明の関係 Relationship between urban space and lighting in Ho Chi Minh City, Vietnam 小林 紀晴 KOBAYASHI Kisei
11:20~11:35	事業研究者講演 3 Oral Presentation 3 マルチスペクトルカメラ・赤外線カメラを搭載したドローン用いて 特徴を抽出した地形や建物のカラーインデックスマッピング

	<p>Color index mapping of landform and buildings using a drone equipped with a multispectral camera and infrared camera to extract features</p> <p>内田 孝幸</p> <p>UCHIDA Takayuki</p>
11:35~11:50	<p>事業研究者講演 4 Oral Presentation 4</p> <p>制約付き積み上げ式凹凸マップ</p> <p>Constrained Stacked Relief Maps</p> <p>今給黎 隆, 原 寛徳</p> <p>IMAGIRE Takashi, HARA Hironori</p>
11:50~12:05	<p>事業研究者講演 5 Oral Presentation 5</p> <p>ジェネラティブアートと大規模言語モデルを用いた生成 AI</p> <p>Generative Art and Generative AI Using Large Language Model</p> <p>久原 泰雄</p> <p>KUHARA Yasuo</p>
12:05~13:05	<p>昼休み / 展示見学</p> <p>Lunch break / Exhibition Tour</p>
13:05~13:50	<p>特別対談 Special Discussion</p> <p>東京工芸大学学長・日本写真学会会長 対談</p> <p>"社会と人々を彩ってきた写真とともに 100 周年を迎えて"</p> <p>Dialogue Between the President of Tokyo Polytechnic University and the President of the Society of Photography and Imaging of Japan</p> <p>"Celebrating the 100th Anniversary with Photos That Colored Society and People"</p> <p>吉野 弘章 (東京工芸大学 学長), 中野 寧 (日本写真学会 会長)</p> <p>司会: 山田 勝実 (東京工芸大学 教授)</p> <p>YOSHINO Hiroaki (President, Tokyo Polytechnic University),</p>

	<p>NAKANO Yasushi (President, the Society of Photography and Imaging of Japan), Moderator: YAMADA Katsumi (Prof, Tokyo Polytechnic University)</p>
13:50~14:35	<p>基調講演 2 Keynote Speech 2</p> <p>カラーイメージング技術の現在・過去・未来 -カラー写真の歴史から学ぶ事柄</p> <p>Present, past, and future of color imaging technology</p> <p>- What we can learn from the history of color photography</p> <p>桑山 哲郎 (日本写真学会 フェロー)</p> <p>KUWAYAMA Tetsuro (Fellow, The Society of Photography and Imaging of Japan)</p>
14:35~14:45	<p>休憩 Break</p>
14:45~15:00	<p>事業研究者講演 6 Oral Presentation 6</p> <p>色光照明を用いた IoT スマートアクアポニックスシステム</p> <p>Effect of Lighting Conditions for IoT-based Smart Aquaponics System</p> <p>森山 剛, Phok Chrin (カンボジア工科大学), T.Y. Boreborey (カンボジア工科大学)</p> <p>MORIYAMA Tsuyoshi, Phok Chrin (Institute of Technology of Cambodia), T.Y. Boreborey (Institute of Technology of Cambodia)</p>
15:00~15:15	<p>事業研究者講演 7 Oral Presentation 7</p> <p>外観デザインと調和する超広帯域透明アンテナ</p> <p>Ultra-wideband transparent antenna matching with surrounding appearance and design</p> <p>越地 福朗, 齋藤 優花, 安田 洋司, 小林 信一, 山田 勝実, 内田 孝幸</p> <p>KOSHIJI Fukuro, SAITO Yuka, YASUDA Yoji, KOBAYASHI Shin-ichi, YAMADA Katsumi, UCHIDA Takayuki</p>
15:15~15:30	<p>事業研究者講演 8 Oral Presentation 8</p> <p>金属様光沢膜を用いたエレクトロクロミック反射素子の製作</p> <p>Fabrication of electrochromic reflective device using metallic luster film</p>

	<p>山田 勝実, 矢島 仁</p> <p>YAMADA Katsumi, YAJIMA Hitoshi</p>
15:30~15:45	<p>事業研究者講演 9 Oral Presentation 9</p> <p>シングルショット高精度位相計測透過型干渉顕微鏡の開発</p> <p>Single-shot phase-shifting interference microscopy using a polarization camera</p> <p>陳 軍, 豊田 光紀</p> <p>CHEN Jun, TOYODA Mitsunori</p>
15:45~16:00	<p>事業研究者講演 10 Oral Presentation 10</p> <p>プラスチック用自動色分析システム:ロボットアームとカラーセンサーの統合</p> <p>Automated Color Analysis System for Plastics: Integrating a Robotic Arm and Color Sensors</p> <p>姜 有宣, 辛 徳</p> <p>KANG Yousun, SHIN Duk</p>
16:00~16:15	<p>事業研究者講演 11 Oral Presentation 11</p> <p>色情報による筋活動のトレーニングシステム</p> <p>A Muscle Activity Training System Using Color Information</p> <p>神原 裕行, 辛 徳</p> <p>KANBARA Hiroyuki, SHIN Duk</p>
16:15~16:25	<p>休憩 Break</p>
16:25~17:10	<p>基調講演 3 Keynote Speech 3</p> <p>Expanding the Boundary of Photographic Technology in the Massive Computing Era – Taking Spectral Imaging as an Example</p> <p>ミンチン・ジェームス・シュー (中国文化大学 教授)</p> <p>Ming-Ching James Shyu (Prof. Chinese Culture University, Taiwan)</p>

17:10~17:20	閉会挨拶 Closing Address 野口 靖 (色の国際科学芸術研究センター長) NOGUCHI Yasushi (The Director of the International Research Center for Color Science and Art, TPU)
17:30~19:00	展示見学&懇談会 Exhibition Tour and Social gathering

## 主催 / 協賛 Organizer/Sponsorship

主催 Organizer	東京工芸大学 色の国際科学芸術研究センター The International Research Center for Color Science and Art, Tokyo Polytechnic University
特別協力 Special collaboration	<u>日本写真学会</u> <u>The Society of Photography and Imaging of Japan</u>
後援学会 Academic Supporting Organizations	<u>日本印刷学会 The Japanese Society of Printing Science and Technology</u> <u>日本画像学会 The Imaging Society of Japan</u> <u>画像電子学会 The Institute of Image Electronics Engineers of Japan</u> <u>日本色彩学会 The Color Science Association of Japan</u> <u>日本写真芸術学会 The Japan Society for Arts and History of Photography</u>

# 色の国際科学芸術研究センター 第5回国際シンポジウム2024

The 5th International Symposium 2024 by the International Research Center for Color Science and Art

## 写真と画像のカラーサイエンス&アート Color Science and Art of Photography and Imaging

### 学長からのご挨拶

吉野 弘章



東京工芸大学は 2023（令和 5）年に創立 100 周年を迎えました。1923（大正 12）年 4 月、日本初の写真専門の高等教育機関として創立した小西写真専門学校を前身とする本学は、テクノロジーとアートが融合した当時最先端メディアであった写真の教育と研究を原点として、現在では工学部と芸術学部という 2 つの学部からなる特色ある大学へと発展してきました。

この 100 年間に社会や人々の生活は大きく変化しました。しかし本学は、最先端のテクノロジーとアートの融合を推進し、新たな価値を創造することを教育と研究の目標としており、そこには建学の精神が一貫して受け継がれています。

2016（平成 28）年度に、文部科学省の私立大学研究ブランディング事業に採択されたことを契機として、色の国際科学芸術研究センターが設立されました。本センターは、本学のルーツである写真、印刷、光学といった学問分野に根差し、今日の工学部と芸術学部の二つの学部に通じる全学的な研究テーマとして「色」を取り上げた国内の大学で唯一の「色」の国際的な研究拠点です。そして厚木キャンパスにあるカラボギャラリー（col.lab Gallery）は、「色」の研究成果を楽しく学ぶために、写真、映像、拡張現実、プロジェクションマッピング、CG など最新のメディアアートの手法によって情報発信する、本学ならではの公開施設です。

東京工芸大学では、色の国際科学芸術研究センターの活動などを通して、次の 100 年に向けて、未来を創造する科学と芸術の発展に資することを目指してまいりますので、どうぞこれからも本学の取り組みにご期待ください。

## センター長からのご挨拶 野口 靖



東京工芸大学 色の国際科学芸術研究センターは、おかげさまで、この度「第5回国際シンポジウム 2024」を開催する運びとなりました。今回のシンポジウムは、「写真と画像のカラーサイエンス&アート」をテーマとし、1件の特別対談、3件の基調講演の他、本学教員による11件の多様な「色」の研究成果の報告を予定しております。

本センターは、2016年度の文部科学省による「私立大学研究ブランディング事業」の選定事業の一環として発足して以来、「色」に関する工芸融合プロジェクトを積極的に推し進めて参りました。さらに、令和3・4年度は文化庁の「大学における文化芸術推進事業」にも採択され、新たな展開を見せております。これまでに本センターの助成を受けた研究課題は72件に上り、附属の展示施設であるカラボギャラリーでは、現在、第11回目となる企画展「色を聴く、色に触れる-知覚の多様性」が開催中です。

世界は、2020年からの新型コロナウイルスの流行に振り回されましたが、2023年には感染症法上の位置付けが5類に移行し、ようやく日常を取り戻してきました。この間に、オンラインミーティングの利用が爆発的に増え、シンポジウムの形も大きく変わりました。

このような背景のもとで、本シンポジウムは昨年度に引き続き、会場とオンラインでの開催を同時に行う予定です。また、工学研究科及び芸術科学研究科にまたがる本センターの工芸融合機関としての特性を活かし、「口頭発表と展示会」という形式で研究制作活動の成果を公開する予定です。会場でご参加の方は、展示会場にもぜひ足をお運びください。

東京工芸大学色の国際科学芸術研究センターは、国内の大学で唯一の「色の国際科学芸術研究拠点」としての使命を果たすべく、今後も持続可能な活動を続けて参ります。

## Invited Lecturers

<p>Prof. Chihiro Minato (Tama Art University, Tokyo, Japan)</p> <p>Chihiro Minato is a professor of Information Design and Media Art at Tama Art University. His main interest is origin of Image and Art. As a founding member of the Institute for Art and Anthropology and as an independent curator, he curated/directed several international exhibitions including the Japanese Pavilion in Venice Biennale(Italy 2007), Aichi Triennale (Japan 2016). He is currently the director of the Institute of Anthropology for Art and Design in Tama Art University. His writings include 《Color-scape of France》 (Seigensha 2017) 《Contemporary Color Theory》 (Inscript 2021), 《 Theory of Contemporary Photography》 (Chuokoronsha 2022).</p>	
<p>Prof. M. James Shyu (Chinese Culture University, Taipei, Taiwan)</p> <p>Prof. Ming-Ching James Shyu received M. S. in Color Science from Rochester Institute of Technology and Ph. D. in Color Imaging from Chiba University. Previously he received B. S. in Engineering Science in Taiwan as well as M. S. in Computer Science from Colorado State University, USA. He is now a professor in the Department of Information Communications, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan. He serves as Taiwan's national delegate to CIE Div. 8 and member to CIE technical committee in spectral imaging. His research interest is in color imaging technology, especially in multi-spectral imaging and high dynamic range imaging (HDR) for digital archiving of artworks and digital photography. In the mean time he enjoys photography as a hobby.</p>	
<p>・桑山 哲郎氏（日本写真学会 フェロー）</p> <p>東京工業大学大学院機械物理工学専攻修士課程を1975年に修了しキヤノン株式会社に入社。中央研究所に所属して物理光学の研究を担当。社内教育、国際標準化推進を担当。2016年退職。1987年より千葉大学工学部で「画像技術史」の非常勤講師を担当。神戸芸術工科大学、宇都宮大学工学部ほかで非常勤講師を担当。またペンネーム「鏡 惟史」としてコラムを執筆。2003年3月神戸芸術工科大学より博士(芸術工学)の学位を取得。現在、日本写真学会誌に「画像からくり」を63回、色彩学(日本色彩学会誌)に「画像機器と色の研究を巡る話題から」を52回連載。</p>	

## 東京工芸大学学長・日本写真学会会長対談： 社会と人々を彩ってきた写真とともに100周年を迎えて

Dialogue with the President of Tokyo Polytechnic University and the President of the Society of Photography and Imaging of Japan: Celebrating the 100th Anniversary with Photography That have Colored Society and People

吉野 弘章\*, 中野 寧\*\*, 山田 勝実\*,\*\*  
YOSHINO Hiroaki, NAKANO Yasushi\*, YAMADA Katsumi\*\*

東京工芸大学、164-8678 東京都中野区本町2-9-5

\* 一般社団法人 日本写真学会、164-8678 東京都中野区本町2-9-5 東京工芸大学内

### 概要

東京工芸大学は2023年に創立100周年を迎えました。また、日本写真学会は、2026年に創立100周年を迎えます。今回、日本の写真の研究・技術・教育を担う2つの組織が100周年という大きな節目を迎えたことの記念として、両組織のトップに立つ東京工芸大学学長吉野弘章と日本写真学会会長中野寧による対談が実現しました。工学と芸術の両面について、世の中における写真の可能性をディスカッションすることで、工学と芸術が創り出す「写真の色」がもたらした歴史と、さらなる100年先の未来を浮かび上がらせていきます。司会は東京工芸大学教授および日本写真学会副会長の山田勝実が務めます。

東京工芸大学の前身は、1923(大正12)年に設立された、小西写真専門学校です。小西写真専門学校は、小西本店(現在のコニカミノルタ株式会社)代表の七代 杉浦六右衛門が創立した旧制専門学校で、創立者の父で小西本店創始者の六代 杉浦六右衛門が提唱していた「時勢の必要に応ずべき写真術の実技家及び研究家を養成し、併せて一般社会における写真術の向上発達を図る」という理想と遺志を後継し実現するために設立されました。また、初代校長、結城林蔵は、「学理及び技術に通じたゼントルマンを養成する」という教育理念を掲げておりました。すなわち本学は、こうした創設者の建学の精神と初代校長の教育理念の下に、当時の最先端メディアの一つである写真を広く社会に普及させること、ならびにそれをリードする教養と人徳を備えた人材の育成を目的としていたのです。本学は、建学の精神を継承しつつ、科学技術の進歩や社会の要請に応じて、数多くの卒業生を社会に送り出すとともに、工学部と芸術学部で構成される本学の特色を生かし、先端テクノロジーとアートの



融合を推進するユニークな高等教育機関としてその活動を展開してまいりました。2023年に創立100周年を迎えた東京工芸大学では、これからも創立者や初代校長の理想と、大学の歴史の中で脈々と培われてきた教育研究活動のエッセンスを継承して、次の100年においてもテクノロジーとアートの融合を推進しながら、常に学生の知識・教養・人格の向上に努め、人々のために、社会の発展のために、ますます貢献していきたいと存じます。

日本写真学会は1926(大正15)年に創立された、歴史ある学会です。100年ほど前から写真や画像の技術は、科学・カメラ産業・画像材料・保存・文化歴史に深く関わり貢献し、現代の社会の一翼を支えてきたと感じています。それは、100年先の希望と未来を託した写真・画像に対する期待であると考えます。ところで、『写真』:photographとはどういう意味を持つのでしょうか。一般に、30年以上前は、写真といえば撮影という行為と銀塩写真フィルムを用いた現像プロセスとプリント、作品の鑑賞の全てを指していました。広辞苑(岩波書店)の記載によれば、光学的手法云々の記載と並列に、『ありのままを写す』として写生や写実に近い意味のことも書かれています。江戸・明治時代の人々が初めて写真を見て驚愕したことが容易に想像できます。英語はもっとシンプルです。Etymology Dictionary等にPhoto(光)graph=graphic formulaと記載があります。総じて、『写真』:photographという言葉には、『単なる画像化する技術の意味』に加えて、『芸術や精神に影響を与えるなにか』の両方が含まれていると思われます。『写真・Shashin』という言葉が、100年後も普遍的でかつ、身近な言葉になるのではと思います。皆様はどうお感じでしょうか。



# 新しい色名の文化的意味 Cultural meanings of naming colors

港千尋  
Chihiro Minato

多摩美術大学 東京都八王子市鎌水 2-1723 Tama Art University, 2-1723 Yarimizu, Hachioji, Tokyo

## 概要

日常生活で色を伝えるときの名前は、多くの場合、基本色名と伝統色名のごく一部だが、色名を作ることは色彩文化の一部である。たとえば色見本メーカーは毎年新しい色名を発表し、「今年の色」にも使われる。新しい色名はブランディングやマーケティングに使われ、新製品のイメージ戦略の要素である。この研究では色名の考案にはいくつかのパターンがあることを示すとともに、それが文化的な意味を持つことをクレヨン为例にとりて示したい。さらに写真を用いた色名創作の研究について、最近の事例を報告したい。

## はじめに

ある製品の新しいラインナップを発表する際に、同一の製品に複数のカラーバリエーションを準備するのは珍しくない。しかしカラーバリエーションに新しい色名を付ける例は限られており、そのひとつが携帯電話や PC である。マーケティングにおいて、色と色名は一体のものとして機能するものとして考案されており、消費者の興味を引くようなネーミングが採用される。膨大な数の色から選ばれる色のネーミングには、通常は消費者には意識されないが、いくつかのパターンがある。それはデザイナーのクリエイティブな思考が試される場面である。

人間の色の使用に文化や言語の違いを越えて一定のパターンがあることを示した、バーリンとケイによる基本の色彩語研究はあまりに有名である。たとえば基本語の最初のふたつである黒と白はさまざまな製品のラインナップに使われるが、それらを<ミッドナイト>、<スターライト>と名付けることにより、色は基本の色彩語とは異なる文脈に配置されることになる。

いっぽう固有の物質と結びついた色を、色名として使うことによって、物が使われる文脈を意識させることも可能である。この点で新しい色名を考えることは、色が使われる文脈を考えることでもある。誰にでも試すことができる方法を、写真を使った例で示してみたい。

## 1. 色名創作のパターン

### 1.1 風景

先に挙げた<ミッドナイト>や<スターライト>は Apple 社の製品 iPhone13 のカラーバリエーションに付け

られた名前である。他にはダークグレー、明るいオレンジ、ネイビーブルー、深緑、ピンクがそれぞれ<スペースグレー><コーラル>、<パシフィックブルー>、<ミッドナイトグリーン>、<ローズゴールド>と名付けられている。これらの色名が置かれている文脈は考えてみると、たとえば太平洋に浮かぶ島から見た星空、森、珊瑚礁といった風景が想像されてくる。それぞれは比較的単純な名前であるにもかかわらず、ラインナップ全体は地球環境を描くようなネーミングで、未来感とともに自然への想像力を刺激するのである。緑や藍のように、もともと色名には自然や自然物から採られたものが少なくないが、アップル社のネーミングは、使用されている色を使ってある風景を与えているように思われる。大きな風景を想定し、それを構成する要素として色名を与えてゆくのである。



図 1. iPhone 13 color series

Rose Gold, Midnight Green

### 1.2 メタファー

パントン社が発表した 2024 年のカラーは PANTONE 13-1023「Peach Fuzz」である。ファズはあいまいさ、ぼんやりした状態を意味する。カラーとしてはピーチトーンであるが、言葉が伝えるのは桃の表面の産毛のような柔らかさで包む感覚であろう。自身と他者をともに育むという願望が投影されている。パントン社の発表によれば

「親密さにつながりへの、本来的な憧れを反映する色合いとして、暖かさとモダンなエレガンスを備えた色を選んだ」とある。思いやりの心、触覚的な抱擁などを意図しているという。

この色名に見られるように、何らかの感覚や感情を引き起こすようなメタファーを使用するのも、新しい色名を作るパターンのひとつである。アメリカの塗料会社シャーウィン・ウィリアムズ社が選んだ 2024 年の色は「UPWARD SW 6239」で、明るいグレーのトーンだが、「上向き」というネーミングで同社が伝えようとしているのは「リラックスしつつ明日への英気を養う時間」といったイメージである。これらのふたつの色名は、期せずしてアフターコロナの時期に個人的にも社会的にも必要な「リカバリー」のメタファーになっていると言える。



図 2. PANTONE color of the year 2024 Peach Fuzz

色の説明には平和な未来・育成・共感・同情・健康といった単語が使われている。災害や戦争で混乱した世界を前にした選択であることが想像される。

### 1.3 記憶

懐かしい風景や憧れの土地を想起させるような名前も、新しい色名として使われやすい。記憶の色といいかえてもよい。シャーウィン・ウィリアムズ社の 2022 年のトレンドカラーは「エバーグリーン・フォッグ」であった。塗料会社によるトレンドカラーは、ニュートラルな色が一般的だが、「霧に包まれた常緑」は清冽な自然の空気を思い起こさせるだろう。これもまたコロナで行動が制限された社会が憧れたイメージではないかと思う。

新しい色名を付ける場合の一般的なパターンは、基本色と別の単語を組み合わせるといもので、以下のよう性格ともっている。

- ①一定の調和をもつ風景
- ②感覚や感情を引き起こすメタファー

### ③ノスタルジーも含めた記憶の色

これらは新しい色名を使ったコミュニケーションによって、基本的なパターンとなるように思う。

## 2 色名創作の実例

### 2.1 景観色

「薄桜うすざくら」「雪灯ゆきあかり」「氷柱つらら」「山鳴らしやまならし」、「雁金草かりがねそう」—これらは、札幌市が色彩景観の基準として選んだ 70 色の色名である。札幌らしいオリジナルの色名として、「心に働きかけ心に止めておけるように」選ばれたもので、「みるく金時」のように視覚以外の感覚に働きかける名前も含まれる。このように、ある土地に固有の名前を用いることにより、景観全体の色彩的な調和を言葉によってイメージさせようという取り組みも実現している。1であげた 3 つのパターンが含まれていることがわかる。



図 3. 札幌の景観色

札幌市による【色彩景観ガイドライン】70色は地名、食品名、自然、気象、建材など、土地固有の色名。コンセプトは「色から言葉へ、言葉から色へ」であり、市民が街の色から考えるきっかけとなることが期待されている。

### 2.2 土地に固有の色

北海道浦幌町(うらほろ)で栽培される野菜のなかから、規格外として廃棄される野菜を原料につかった「とからちいろくれよん」がある。これは青森県の廃棄野菜を使った「おやさいくレヨン」を製造・販売している mizuiro 株式会社とのコラボ企画で生まれたもので、野菜の一大生産地である浦幌町特産の「てんさい」や「レッドムーン」(じゃがいもの品種)といった、新しい色名のクレヨンが作られている。特定の土地と結びついた原料と名前が、北海道の大地の風景をイメージさせるとともに、それを使って絵を描きながら、環境への想像力を養うという効果も期待できる。



図 4. とかちといろくれよん mizuuro.inc HP より  
製品名は「とかちといろおやさいくれよん」。10色全てが地元で収穫されている野菜である。このうち黒にあたる「うらほろもくたん」は、地元でおよそ100年の歴史がある浦幌木炭が名前の由来。炭焼き職人が伝統的な技術で続けてきた貴重な炭が原料になっている。炭焼きの伝統を守る取り組みと色名が直結しているところがユニークである。「レッドムーン」はノーザンルビーやシャドーティーンなどとならんで、北海道特産のじゃがいもの種類のなかから、淡いピンク色をもつこの品種が選ばれた。「てんさい」は北海道だけで生産されている野菜で、浦幌町の特産でもある。別名「ビーツ」であるが、「葉」の部分が使われている。浦幌町は「あずき」の一大生産地で、流通されない廃棄豆が原料に使われている。

こうした取り組みが注目される背景には、現代社会特有の問題がある。日本では高度成長期に国土の隅々まで都市化が進んだ結果、いわゆる「地方色」は薄れてゆき、町の景観から生活の中身まで、画一化が一般的になった。英語でもローカルカラーと言うように、それぞれの地方にはもともと固有の色がある。その微妙なニュアンスは気候風土や町の生い立ちから地場産業の歴史などが育んだ複合的なもので、一朝一夕に生まれるものではない。しかし都市中心部の再開発と消費社会のグローバル化はローカルの垣根を崩し、1970年代以降景観と消費行動の均一化が急速に進行した。

色彩の観点からは、急速な均一化の背景にあるモータリゼーションとそれに付随して増加したコンビニエンスストアなどのチェーン店、ショッピングセンターやショッピングモールなどの郊外の巨大量販店も見逃すことが出

来ない。こうした店舗が集中する国道沿いの景観は全国どこでも似通っており、使用されている建材や規格化された商品が生み出す色彩は、いまやローカルの色をほぼ消し去り、大量生産大量消費の色に塗り替えられている。言うまでもなくそれは日本だけの現象ではない。アメリカ型の都市文明は国境を越えて地球環境の変化を加速しており、社会的には現代都市と社会の「モール化」とも言われる。その結果、地方の歴史や文化の差異とは関係なく、同一の色が使われるようになっているのである。

廃棄野菜を原料に使ったクレヨンの色名は、単に珍しい色の名前として付けられているわけではない。画一化と均一化が極限まで進んでいるかに見える現代社会に対する、ささやかではあるが、大切な視点が、色の名前に込められていると見る必要があるのではないだろうか。

### 2.3 台湾客家の色名

固有の色と均一化は国境を越えて起きていることを、別のクレヨンの例に見てみたい。2023年に台湾で現代芸術のフェスティバル「浪漫台3線芸術祭」が開催された。会場となる地域が全長150キロメートルに及ぶという、台湾史上最大規模の芸術祭に、わたしは国際部門キュレーターとして参加し、多くの企画に携わった。芸術祭の主催は中央政府の委員会のひとつである、客家委員会である。一般的に、「客家」とは漢族のサブグループで、華北から南下しながら移住してきた子孫として、広東省をはじめ南東部に住んできた集団をさす。今日では台湾から東南アジア、太平洋地域へと拡散しており、独自の言語と信仰をもち野菜を多用する伝統的な食文化でも知られる。

開催地域は台湾の国道にあたる省道3号線沿いの郷、鎮、市などを含む17の町であるが、その多くは、鉄道や高速道路からも遠く、台北市民にもあまり馴染みのない所であり、公共交通のアクセスも良いとは言えない。それにも関わらず、65日間に延べ100万人以上が体験したという芸術祭は、やはりアーティストとデザインチームが客家の伝統的な暮らしをリサーチして実現したプロジェクトが、一般の人の興味を引いたからである。また食文化を扱う独立したキュレーションが行われ、地元の人しか知らないローカルなレストランとのコラボレーションによって、客家料理の特別メニューが提供された。客家料理の奥深さに台北から出かけた人びとも驚いたというが、名実ともに客家を中心にした文化的景観が創出されることになったのである。



図 5. 客家文化の食材と料理の紹介コーナー  
台北で行われた芸術祭の開会で披露され、多くの人が客家食材や料理を再認識する機会となった。

客家の伝統家屋には独特の色調をもつ建築も多い。わたしは芸術祭の機会に、色名研究をベースにした客家文化を新しい色名によってアピールすることを提案して、「客家色名クレヨン」が実現した。これは「とちかちというくれよん」と同じ mizuuro.inc と客家委員会のコラボレーションで作られたもので、製品名は客家文化の基本の色という意味で「客家本色」である。色彩部分は日本で生産されるため原料は同じく浦幌町の廃棄野菜を使い、色名を客家のレシピに使われる食材やスパイスとした。

たとえば茶色にあたる「福菜色」は客家料理の基本中の基本である、漬物からの連想である。紫色にあたる「紫蘇色」は日本人にもわかると思うが、「棗干色」は馴染みがないだろう。これは芸術祭の開催地域で生産されている、赤い色をしたナツメの実を乾燥させたもので、やはり客家伝統の保存食の一種である。黄色の「破布子」も客家伝統の調味料で、台湾の人なら色名を聞くと味や香りが想像できるという。

また黒にあたる「仙草色」の仙色は、台湾では飲料として好まれているシソ科の植物で、中国医学では生薬として用いられてきた。乾燥させると黒くなり、客家の地域では冷たいゼリーとして人気が高い軽食である。台湾の人であれば、その名前からたちまち黒い色と、清涼な食感が想像されるもので、その意味では色-食感-味-香りが連合されて記憶される名前とも言える。

このような色名には感覚を連合させる働きがある。前述した「ピーチファズ」は触覚的な柔らかかささせるが、同様に「仙草色」はそれを知る者には冷たい食感から、伝統的な屋台で売られている台湾の町独特の風景が想起されるはずである。感覚的な連合や記憶を想起させるクレヨンが使われることを考えて、芸術祭主催者である台湾客家委員会にとっては、教育普及プログラムの一貫としての新しい色名という企画になった。



図 6. 客家本色クレヨン  
全 10 色のクレヨン、箱にはシンプルにオリジナルの色名だけが記されているが、客家出身でなくても台湾の人ならだいたい想像できる範囲であるという。

クレヨンの包装の色は、本体とできるだけ近い色を選択し、色名が目立つように配置されている。カナ文字のない漢字文化のデザインだが、かえって色名そのものがデザインの一部であることがわかる。今後は色名の文字を全面的に使ったデザインを、ミュージアムグッズなどに応用する展開も考えられる。新しい色名は視覚言語として、文化的意味を担っているのである。

### 3. 写真と新しい色名

#### 3.1 写真を利用した色名抽出

発表者は実際に新しい色名を作る試みを大学の美術学部の学部生とともにやっている。多摩美術大学には大きく分けてデザイン系学科とアート系学科があり、色名の使用は絵の具の色名を日常的に使用している絵画系学科のほうに多い。デザイン系では色の正確な指定が優先することから、カラーチップのコードで指定することが一般的で、微妙な色を言葉で表現することはあまりない。こうした違いはあるものの、新しい色名を考案するために誰にでもできるような、簡単な方法を考えてみた。

- ①カメラを使って写真を撮影する。
- ②撮影した写真のなかからスポット機能を使って特定の色を抽出し、カラーチップを作る。
- ③色名を考え、簡単な解説文を付ける。

デジタル写真のデータから、任意の一部を選んで色を抽出できるから、基本的に撮影可能な対象であれば、被写体は何でもよい。スマートホンのカメラでも十分である。撮影の機材と設定によって、実際の色と記録された色のあいだに差異が生じることはもちろんであるが、このトライアルでは色の再現性に重きを置いてはいない。実空間にあるさまざまなトーンを記録して、そこから好きな色を抽出するプロセスを経験することが重要と

考えている。抽出される色が含まれる空間の全体を見るという経験は、身体的な感覚と結びついた記憶を残すからである。2023 年度の学生の作品例をいくつか紹介してみたい。

### 3.2 2024 年の色名

・色を抽出した画像



・カラーチップ



・色名  
Waruch  
Warm + touch

・簡単な説明  
人と人が触れ合う時にだけできる手と手の間の色を「体温の色」ととらえた。コロナ禍では、人との接触を避けることが多かった。今でもコロナは終息したわけではないが、徐々に緩和され元の世界に戻りつつある。接触という行為自体、コロナを経て私たちの認識は変わってしまい、元の感覚に戻ることは難しいと感じる。（落ち着きつつある今でも人混みでは以前とは違う息苦しさや不安感がある）人の肌と肌に触れ合った時、お互いの血液が通じた体温の色が合わさった時生まれる色がある。一人では作れない色ということに、2024年は、より人との関わり方が変化する年とし、温かな体温を思わせる色が流行すると考えた。

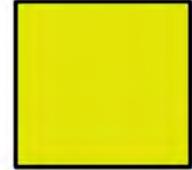
図 7.色名の考案例《waruch》

図 7 は waruch という色名の例である。これは 2024 年の流行色を想定して新しい色名を作るという課題の作品で、説明にあるように温かみを表す warm と触れ合いを表す touch を組み合わせた造語である。抽出に使った写真は大人の指を握る乳児の手のアップであるが、肌と肌が触れ合うあたりの、赤みの強いオレンジ色が選ばれている。作者の意図はコロナ禍で人と人との接触が避けられた期間の後に必要な、「人の体温」を表すような色と色名である。その意図どおりの、温かみのある色調であるが、付け加えておけば、この作品はパントン社が 2024 年のテーマカラーを発表する以前に作られたものである。色のトーンは異なるものの、背後にあるコンセプトはほぼ同一と言ってよい。



【写真について】  
4月の晴れた日に撮った写真。

【色名】  
リフレッシュシャイニーグリーン



【説明】  
2024 年は、コロナからの復活、日常の再開、新しい日々の始まりなど、今まで我慢していたものが溢れ返り、人々の活動がより活発となると考えられます。

そのため、ただのフレッシュではなく、前とは違う「リフレッシュ」と、希望があるという意味を込めた「シャイニー」を掛け合わせ、成長のイメージがある植物の「グリーン」の色を合わせて抽出しました。

図 8.色名の考案例《refresh shiny green》

図 8 は満開の桜を撮影したときの、若葉から抽出され、《リフレッシュシャイニーグリーン》と名付けられた例である。説明にあるように、この色名もコロナ禍が終息に向かうなか、再開される活動に「リフレッシュ」の語をあて、期待感を「シャイン」と表現している。こうした例からうかがえるのは、色と色名によって人間と社会を肯定的に捉えようとする、若い世代の感覚や思考と言えるだろう。の方法を使って、一枚の写真のなかから複数の部分を抽出することによって、複数の色を含むパレットを作ることできる。風景のどの部分から抽出するかはまったく恣意的な作業になるが、ある特定の風景に含まれている＝特定の文脈を背景にした調和をもったトーンを考える訓練になる。

### 3.3.パレットを作る

この方法を使って、一枚の写真のなかから異なる部分の色を抽出することによって、パレットを作ることができる。写真のどの部分から抽出するかは恣意的な作業になるが、特定の風景に含まれていることから、特定の文脈を背景にした一種の調和を考えることが必要になる。次の作品はその良い例である。



【色説明】

選んだ写真は埼玉県秩父市の山奥にある三峯神社の参道の写真です。神社の中で見る太陽の光や土は日常生活を送る中で感じる光と比べ、とても神聖なもののように思えます。また、三峯神社付近ははかつて海だったこともあり、死んだ珊瑚や貝が堆積して石灰岩が多く落ちています。その土地ならではの特徴や、三峯神社に参拝した際の心情をコンセプトにし、カラーチップを作成しました。

図 9. 色名パレットの考案例《神土色》

提出された色名のパレットは、秩父にある神社の参道を撮影した写真から抽出されている。神社へ至る道に落ちる木漏れ日の微妙なトーンをうまく拾い出し、清冽な空気感を伝える色名が考えられている。それは個人的な感覚や記憶に基づいた名前であるが、9つのカラーは組み合わせさせて使えるようにバランスが取れている。

同じ色を別の場所で撮影したデータから抽出することも可能だが、同じようなパレットになるかどうかはわからない。そこで色名を作ることの文化的バックグラウンドが重要になってくる。特定の色が記憶に残ったり、そこからある感情が引き起こされることは個人的で主観的な出来事であるが、色名によるコミュニケーションは社会的なものであり、その色名が使われる文脈が重要になってくるのである。

風景から抽出された自然の色彩は、そのまま調和しているが、人工的な環境ではなかなかそうはいかない。図10は対照的に人口の光のみを使って色を抽出した例である。写真は東京駅の夜景で、抽出された光とその色名には個人的な感情やユーモアが反映されているが、これをグラフィックデザインとして見ると、新しい色名がデザインの要素になりうるが見えてくる。つまり写真はデザインの素材であるだけでなく、色彩から意味を取り出すための技法でもあり、色名の考案はデザイン教育にとっても、十分に意義のあるトライアルと言えるだろう。



図 10. 色名パレットの考案例《夜長舎》

写真のカラー表現は多様な色彩表現を生み出して今日にいたるが、色の名前を新しく作る方法としての利用は、まだ日が浅い。今後は日本語以外の言語でも試しながら、文化的意味の研究を続けていきたいと考えている。写真のカラー表現は多様な色彩表現を生み出して今日にいたるが、色の名前を新しく作る方法としての利用は、まだ日が浅い。今後は日本語以外の言語でも試しながら、文化的意味の研究を続けていきたいと考えている。

4. 参考文献

港千尋 「現代色彩論講義」 インスクリプト (2022)  
 港千尋 三木学 「フランスの色景 -写真と色彩を巡る旅」 青幻社 (2014)

# カラーイメージング技術の現在・過去・未来

## —カラー写真の歴史から学ぶ事柄

### Present, past, and future of color imaging technology - What we can learn from the history of color photography

桑山哲郎

Tetsuro Kuwayama

一般社団法人 日本写真学会 フェロー, 博士 (芸術工学)  
Fellow, The Society of Photography and Imaging of Japan, Ph.D.

#### 概要

現代のデジタルイメージング機器は急速に発展してきて最新の機能と性能が話題に上がる。長く教育にかかわってきた者としては、最新技術の基礎を勉強しようということが少ないことが気になる。本報告では、最新技術の理解には歴史的な技術の経緯を学ぶことが有益と主張する。カラー写真の技術史を辿ると、そこにははっきりとした繰り返しを見出すことができ、この知見は現代と将来の技術を理解するのに役立つことを示す。

#### 1.はじめに

学会において、歴史に対する姿勢は個人で異なり、技術史が重要と考える人の数はあまり多くない。私自身は早くからガラス乾板を用いるカメラに興味を持ち、特にカラー写真とカメラに関するいろいろな発明について情報を収集してきた。そして、ビデオカメラが撮像管からCCD撮像素子に切り替わっていく過程で、その光学系の配置、カラー化の方式に続々とガラス乾板時代に用いられている方式が再登場するのを見てきた。技術史を研究することは製品開発、技術開発に直接役立つ部分もあることに気が付いた。現在はスマートフォンやXRの機器の機器が急速な進展を見せているが、イメージングの技術の歴史から学ぶことができる事柄は、増々増えていると感じている。

カラー写真の技術史にかかわる展望は博士論文<sup>1)</sup>にまとめ、2014年から日本色彩学会誌に連載<sup>2)</sup>を行っている。近年、ネット上で入手することができる情報が急速に増大している。カラー映画技術に関する第一次資料集<sup>3)</sup>が内容を日々更新した大部の歴史的に重要な書物<sup>4)</sup>も電子書籍の形で全文を読むことができる様になっている。情報が氾濫している状況で重要なのは全体展望、全体像を描くことであり、適切な情報の収集と分析により最新の技術を技術史に立脚した枠組みで理解、今後の技術発展に向け役立てることができると考える。

#### 2. カラー写真の機器を構成する技術様子と歴史的展開の例

##### 2.1 技術要素

カラー写真を実現するための感光材料の研究や機

器構成は多岐にわたる。研究・試作だけではなく発売された感光材料やカメラは多岐にわたり<sup>5, 6)</sup>一つ一つが極めて興味深い内容である。ここでは基本的な事項をTable 1にまとめ、歴史が繰り返す例をあげる。

Table 1 カラー写真方式における基本的技術要素

A	時系列/時分割
B	像面分割
C	多層構成
D	複数光軸
E	ハーフミラー分割/合成
F	瞳分割

##### 2.2 歴史的なカラー方式の例

実際の機器は表1の技術要素を複数組み合わせる場合が多い。Fig.1はテクニカラー方式の映画撮影カメラの構造で、緑(G)光を反射、赤と青(R,B)の光を反射するダイクロイック特性を持った反射膜を用いている。青色に感光するフィルムと赤色に感光するフィルムは感材面を密着してフィルムゲートを通る。技術要素CとEを用いている。

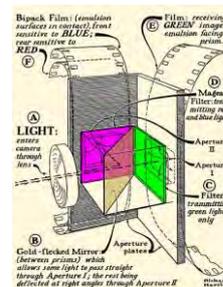


Fig.1 テクニカラー方式カメラの光学系

同一構成の光学系が歴史上再登場した例をFig.2に示す<sup>7)</sup>。1920年頃、アマチュアが撮影する16mmムービーカメラのカラー方式としては、レンチキュラーフィルム(カマボコ形レンズのフィルムベース)を用い、大口径レンズにRGBストライプ分割したフィルターを用いる方式だけが存在していた。反転現像されたフィルムは専用の映写レンズを用いることでスクリーン上にフルカラーの像を作り出す。1950年代になり、カラーテレビ番組を記録、再放映するために同一方式が復活した。更に1990年代には、液晶プロジェクターとしてRGB塗分けの色フィルターを用いることなくレンチキュラーレンズ板とダイクロイックミラーを用いる製品<sup>8)</sup>が発売された。

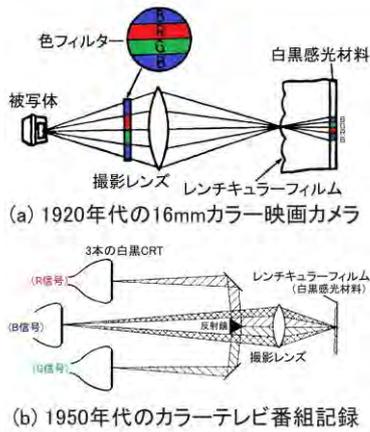


Fig.2 レンチキュラーフィルム使用のカラー動画

現在使用されているプロジェクターの多くは、RGBの色光の像を時分割(面順次)で映写する方式を用いている。これは、網膜上のL,M,Sの錐体の時間積分効果による加法混色に基づいている。これは1666年のニュートンの実験で指摘されているが、1900年頃になり、銀塩感光材料の感度域が赤色光にまで伸びたことから、面順次方式のカラー映画機材が現れた。16コマの3倍、毎秒48コマで撮影・映写された。上演現場で色のフリッカーと目立ち明るさが暗かったことから3本の映写レンズを介してRGB同時映写を行う方式<sup>2)</sup>に改良された(Fig.3)。撮影方式Aが映写時には方式Dに変換されている。観賞者が視点を早く動かすとカラーブレイクを生じる事情は、現在にも受け継がれている。

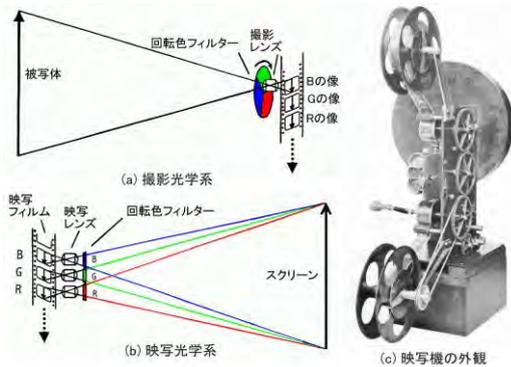


Fig.3 面順次撮影のカラー映画方式

ガラス乾板と組み合わせるカラーモザイクフィルターはFig.4(a)のRGBストライプフィルターに始まりその後いろいろなモザイクフィルターが採用された。同様な事が、スマートフォン画面表示器が液晶から有機ELに変わる際に生じた<sup>9)</sup>。

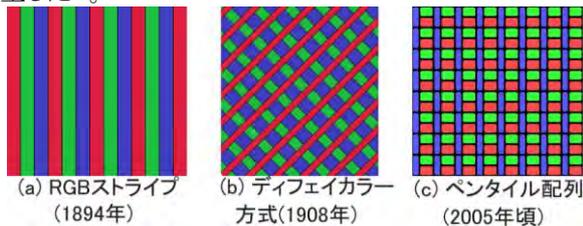


Fig.4 カラーモザイクフィルターの変遷

### 3. 他のイメージング要素への拡張

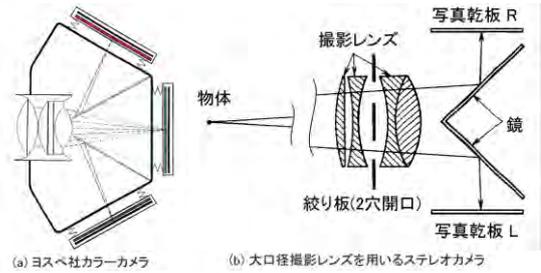


Fig.5 同じ方式の別目的使用<sup>10)</sup>

Table 1の方式分類は、イメージングにおける別要素にも拡張が可能である。明暗、動き、奥行きへの拡張結果をTable 2に示す。Fig.5では、瞳分割Fがステレオ写真用カメラにも用いられている。

Table 2 イメージングにおける他の要素への拡張

	階調(明暗)	カラー	動き	奥行/視差
A 時系列/時分割	○	◎	◎	◎
B 像面分割	○	◎	・	○
C 多層構成	◎	◎	・	○
D 複数光軸	○	◎	○	◎
E ハーフミラー分割/合成	○	◎	○	○
F 瞳分割	・	○	・	◎

### 4. おわりに

カラー写真の技術史研究から、イメージングの技術を方式の要素で捉えた。歴史的に技術は繰り返し、最新のデジタルイメージング機器中にも歴史的な技術の方式が受け継がれていることを示した。この事柄は今後の研究開発に有用と考える。

### 5. 参考文献

- [1] 桑山哲郎, “映像技術の成り立ち”, 博士論文(芸術工学), 神戸芸術工科大学 (2003年3月26日).
- [2] 桑山哲郎, 連載第1回 プロジェクターの中で回転する色フィルター円板, 日本色彩学会誌, 38, 272 (2014).
- [3] Barbara Flueckiger: Timeline of Historical Film Colors. <https://filmcolors.org/> 2024年1月29日アクセス
- [4] Joseph F. Friedman: “History of Color Photography”, The American Photographic Publishing Co. (1945).
- [5] 久保走一, 新連載 色再現のシステム1 その創成期, 写真工業, 第30巻7号, 46 (1972年7月).
- [6] 石川英輔, “総天然色への一世紀”, 青土社 (1997).
- [7] 桑山哲郎, 連載第29回 レンチキュラーフィルムとカラーテレビ, 日本色彩学会誌, 43, 132 (2019).
- [8] 浜田浩, カラーフィルターレス単板式液晶プロジェクターシステム, 光学, 25, 315 (1996).
- [9] 桑山哲郎, 連載第54回 カラーモザイクフィルター, 日本写真学会誌, 84, 125 (2021).
- [10] 桑山哲郎, 連載第7回 瞳分割方式のカラーカメラ, 日本色彩学会誌, 39, 184 (2015).

# Expanding the Boundary of Photographic Technology in the Massive Computing Era - Taking Spectral Imaging as an Example

**M. James Shyu**

Chinese Culture Univ., 55 Hwa-Kang Road, Yang Ming Shan, Taipei 11114, Taiwan

## **ABSTRACT**

*Capturing information instantaneously about the light of the scene is a distinctive feature of photography. In a way, the appearance of the photographed objects is kept during exposure time. However, with the advancement in computing technology, the appearance of the object can be generated by computing the surface information and designated lighting conditions, which still generates the appearance of the object as photography always does. Consequently, what is recorded is the object's surface spectral property, not the light of that object at that moment. This might expand the boundary of photographic technology. Spectral imaging is discussed here as an example.*

## **1. INTRODUCTION**

Photography was invented nearly 190 years ago. It started with the concept to record the light of the scene by light-sensitive material. Furthermore, "The Decisive Moment" by Cartier-Bresson notably describes the idea to give an event simultaneous recognition in a fraction of a second [1]. To capture the instance of light to represent the event of the scene is a unique feature of photography.

Photographic technology has been developed in many aspects. Listed by McCann as one of the foundational ideas about color [2], the Zone System proposed by Ansel Adams precisely controls the relationship between the light of the scene and its reflection density of the print. Adams further mentioned: "the negative is similar to a musician's score, and the print to the performance of that score." [3] In a way, this negative-to-print manner is like the concept of analysis and synthesis stages (or input/output) in the color reproduction world [4]. Moreover, in the Zone System process, the "visualization" part mentioned by Adams is also similar to the "processing" stage mentioned by Berns in the color imaging system.

Color reproduction process has been implemented in various forms as well as in many fields, for example, photography and printing. Back in 1861, James Clerk Maxwell reproduced the first trichromatic photograph [5]. Nowadays trichromatic color reproduction is very common in photographic technology to reproduce color image in three primaries. The digital color system mainly correlates the three primary signals in the device-dependent color space (like R, G, B) to device-independent space (like CIE XYZ or CIELAB) to perform colorimetric matching to our color visual system. Colorimetry published by CIE is the fundamental base to support color reproduction, as

well as color photography [6]. In Colorimetry, tristimulus value is calculated from the interaction between the object's surface spectral property and the illuminating light with color matching functions in the visible wavelength. Most color reproduction systems handle signals based on the tristimulus values in analysis and synthesis stages. However, a spectral imaging system is capable to process imaging signals in spectral manner. It is then possible to record the spectral reflectance factor of the object and then, according the lighting condition, to compute the specific tristimulus values to represent the given appearance. This may bring a new way into that photography has since been considered as only recording the light to represent the appearance. Given the fact that computing power has been dramatically improved recently, it is more feasible to perform spectral imaging using massive computation. The advantages and extra processing needed by spectral imaging when applied to photographic technology is described hereafter.

## **2. COLOR PHOTOGRAPHIC REPRODUCTION**

Comparing the measurements of light reflected from the object to measurements of light reflected or transmitted by the photographic reproduction is deemed the objective tone-reproduction properties of the photographic system [7]. In quantitative sense, it is the relationship between the subject's luminance and corresponding reflection or transmission density that are processed in the photographic reproduction. For the tri-chromatic color reproduction system, it is the numerical transformation from the scene's luminance to device-dependent signals, and then to corresponding device-independent signals that are processed in the color reproduction system [4]. The colorimetric characterization for this reproduction transformation makes it possible to represent scene appearance for human color vision. As shown in formula 1, the calculation of tristimulus values requires parameters from the illuminant, the object's spectral reflectance factor and CIE standard color-matching functions. The resulting tristimulus values X, Y and Z are the device-independent signals that are used for color transformation to-and-from the device-dependent color, mostly in R, G and B signals in a digital camera, or C, M, K densities in color photographic material. For trichromatic color photography in general, the R, G and B signals are recorded in the analysis stage; the C, M, Y signals are used to reproduce the image in the synthesis stage.

$$X = k \sum_{\lambda} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$Z = k \sum_{\lambda} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$k = 100 / \sum_{\lambda} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda$$

**Formula 1. Tristimulus integration for reflecting objects in visible wavelength. S is the illuminant; R is the object's spectral reflectance factor; x, y, z are CIE color-matching functions; k is a normalizing constant; X, Y, Z are the CIE tristimulus values.**

Maxwell had shown that trichromatic signals are sufficient to reproduce color image. However, a close observation of the calculation process of tristimulus values in formula 1 reveals that the three values on the left side of the equation are calculated by integrating the spectral lighting condition with the object's surface spectral property and then color matching functions. In other words, what one has seen in the trichromatic color reproduction is the object under specific lighting condition, not the object's property itself only. It is known that the appearance of the object can be influenced by the characteristics of the lighting condition. If one can record the spectral information of the object on the right side of the equation, the true physical property is recorded. Then, the appearance of the object can be reproduced by computation with any given lighting condition.

### 3. SPECTRAL IMAGING APPLICATION

The spectral imaging system processes every pixel for the image information in a wavelength manner. With a proper calibration procedure in the analysis stage, the spectral reflectance factor of an object can be derived and recorded [8]. For museum application, the culture heritage object is usually archived by photographing the object. The trichromatic color system records the appearance of a painting under fixed lighting conditions. However, the spectral imaging system can archive a painting's physical reality – the spectral reflectance factor itself [9]. The appearance of the painting can be computed with any given lighting condition in the synthesis stage, which is in-line with the trend for virtual reality where object appearance is generated dynamically by computing with the surrounding lighting conditions [10]. However, the spectral imaging system generates more than 10 times the amount of data than the trichromatic system if sampled in 10 nm intervals, and requires much more computation. With recent advancement in computing power, like GPUs, it is now possible to record and reproduce the appearance of the heritage objects with the spectral imaging system. If

reproducing the appearance of an object is an important feature of photography, the spectral imaging system may expand the possibilities of photographic technology towards new boundaries.

### 4. CONCLUSION

Photography has been a part of human culture for almost 200 years, used to capture the light of the scene and reproduce objects' appearance. As technology advances, recording the light of the scene as the unique feature for photography may have new possibilities. Spectral imaging technology enables the reproduction of the appearance of an object by recording the spectral information of the object's surface property and generating the appearance of the object by colorimetric computation. It is not the light of the scene that is recorded anymore. It is the object's information being recorded which may expand the boundaries of photography. However, spectral imaging records much more information and needs more computation than the trichromatic imaging system. Given the recent explosive advancement of massive computing power and the new developments in extended reality (XR), spectral imaging technology can be integrated into new ways how photography is realized, signaling an exciting future to come.

### 5. REFERENCES

- [1] H. Cartier-Bresson, "The Decisive Moment," Steidl (2015).
- [2] J. McCann, "Art, Reproduction Technology, and Science: Foundation of Understanding Color," Proc. 2<sup>nd</sup> International Symposium for Color Science and Art 2020, pp. 4-6 (2020).
- [3] A. Adams, The Print, Little Brown (2003).
- [4] R. S. Berns, Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, 3rd Edition, John Wiley & Sons (2000).
- [5] R. W. G. Hunt, The reproduction of colour in photography, printing & television, 4<sup>th</sup> edition, Fountain Press (1987).
- [6] E. C. Carter et. al., Colorimetry, 4<sup>th</sup> edition (CIE015:2018), International Commission on Illumination (2018).
- [7] L. Stroebel, J. Compton, I. Current and R. Zakia, Photographic materials and processes, Focal Press (1986).
- [8] M. J. Shyu and T. Lin, "Benchmarking a Grating-Based Spectral Imaging System," Proc. AIC2015 Tokyo, pp. 1333-1338 (2015).
- [9] M. J. Shyu and Y. Chang, "An application of hyper-spectral color technique in finding proper color pigment for painting conservation," Proc. AIC2020 Avignon, pp. 254-260 (2020).
- [10] M. J. Murdoch, "Color from Real Reality to Extended Reality," Proc. 3<sup>rd</sup> International Symposium for Color Science and Art 2022, pp. 5-6 (2022).

# 六櫻社式天然色印画とその三色分解ネガの保存と活用のための研究

## Research on the Preservation and Utilization of Rokuoh-sha Style Color Prints and their Three-color Separation Negative Films

矢島 仁\*, 山田 勝実\*\*,

Hitoshi YAJIMA \*, Katsumi YAMADA\*\*,

\* 東京工芸大学芸術学部、164-8678 東京都中野区本町2-9-5

\*\* 東京工芸大学工学部、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

### 概要

東京工芸大学に保管されていたネガフィルムとカラープリントを調査した結果、江頭春樹が開発した「六櫻社式天然色印画」とそのためのトライパック方式の三色分解ネガ「さくら三色用フィルム」が多数含まれていることがわかった。

この写真方式の材料は1941年6月、株式会社小西六本店から発売されたが、戦争の影響で1944年までには販売が終了し、あまり広くは知られていない。



Fig 1, 初期の六櫻社式天然色印画

(1940年12月発行のLIFE誌が写し込まれている)

### 1 はじめに

江頭春樹は小西寫真専門学校（現、東京工芸大学）創立時の理事であり、講師でもあった。当時の本職は小西六本店工場「六櫻社」の技師長であり、印画紙製造の専門家である。

感光膜面が容易に剥離できる特殊印画紙に発色カプラーを加え、三枚の単色発色の画像膜を重ね合わせることでカラープリントを作成する方法を開発し1940年11月「六櫻社式天然色印画法」として発表した。

昭和36年（1961年）8月江頭教授の逝去後、東京写真短期大学・江頭研究室に残されていた研究資料のうち、主に写真の資料が大学図書館に「江頭先生標本二千点」として収蔵された。

2020年ごろ、新たに何枚かの写真の撮影日が判明し、この資料が概ね1930年代から1961年までのカラー写真の開発に関わる実物資料であるらしいことが判った。

その研究成果は、2022年12月からカラボギャラリー第10回企画展「色を記録する展」で展示し、また現在も同ギャラリーで一部を再展示している。

### 2 さくら三色用フィルム

#### 2.1 初期の膜面構成

さくら三色用フィルムは、普通の機材でしかもワンショットで三色分解ネガを得るためのトライパック方式のフィルムであり、3枚で1セットである。初期の膜面構成は、3枚ともに乳剤面がレンズを向く構成になり、黄色フィルターは第一枚目の青感フィルムの裏面に塗布されていた。発売時期は1941年6月からおよそ1年間である。

#### 2.2 改良された膜面構成

1942年6月から、改良された三色用フィルムが発売された。改良点は第一枚目の青感フィルムをベース面から露光するようにしたことである。第一面乳剤と第二面の緑感乳剤を密着させることで、緑感乳剤の鮮鋭度低下を抑えようとする改良である。なお、黄色フィルター色素は青感乳剤に混入したとされている。

### 3 さくら発色転写現像紙

#### 3.1 発色現像方式以前

コロタイプ印刷資材として開発された転写現像紙の、膜面を容易に剥離できる性質を応用して、カラープリントを構成しうるのは1938年には「写真月報」誌で公表されていた。

### 3.2 発色現象導入後

調色の困難を克服するために新しい技術としての内式の発色現象を採用した3枚組みの「さくら発色転写現象紙」を開発し、容易に色素画像を得られるようにした。

## 4 保存環境

### 4.1 今までの保存環境

東京工芸大学にこれらの資料が保存されていたのは、図書館書庫の一隅、窓もなく大量の書籍に囲まれた中で、大判の写真プリントは紙ばさみに重ねられ、多量の紙による圧力のかかった状態であった。それに対して、小さな写真プリントは菓子の紙箱に重ねて入っていた状態で、膜面を内側に著しくカーリングしていた。

ネガフィルムは専用の紙製のネガ袋に入れられて重ねられており、状態は比較的良好であった。

いずれにしても、書庫という大量の紙に囲まれた窓もない環境が幸いしたと思われる。

### 4.2 これからの保存環境

資料に整理番号の付加や特記事項を記入するために、またデリケートな画像表面を保護するためにも何らかのホルダーに入れる必要がある。

これまでの保存環境を踏襲するならば、適度な通気性のある安定した素材に包み、適度な圧を掛けることである。

### 4.3 保護材

#### 4.3.1 資料ホルダー

安定した保護材として、伝統的製法に準じて製造され、保存性にも留意されているキャンソン社製MBM木炭紙を採用することにした。

紙をホルダー状に加工する際にも接着剤は使用せず、白色木綿糸での縫製とした。

#### 4.3.2 印画表面保護材

剥離性のある転写現象紙は、あらかじめ平滑な製図用トレーシングペーパーに挟んでからホルダーに収める。

#### 4.3.3 加圧材

平面性を維持するために、印画を取めたホルダーにはガラス板を紙で包装した適度なウェイトを乗せる。

### 4.4 標本番号

#### 4.4.1 標本総数と標本番号システム

資料総数は二千点と称されているが、あらかじめ写真のサイズと材料で大まかに分類すれば、それぞれの総数は数百点にとどまるが、4桁では西暦と混同しやすいので、基本の標本番号は5桁とした。

また、この資料群には三色分解ネガが数多くふくまれており、その版種別を表す数字と、同一複製物が複数ある場合の枝番号をくみあわせる。

標本は2つのハイフンで3グループに区切られた数字で個体識別する。

9 9 9 9 9 - 9 - 9 9

それぞれの詳しいコードは別に定める。

## 5 画像ファイルと検索システム

この資料群にはガラス、フィルム、紙、など様々なベースの写真が、しかもロールフィルムから全紙印画まで、年代も写真方式も異なる多種多様な資料が混在している。これらを整理・分類し、解析を進めるためには各資料に整理番号を付し、目的の資料の取り出しが速やかにできる収蔵システムの構築が急がれる。

そのうえで、画像ファイルを作成すれば、ネガとプリントの照合が容易にできると考えられる。

## 6 今後の課題

この資料群の特徴は、研究・試作段階の資料が多く含まれていることである。手作業による試作品の裁断は寸法が一定せず、ベースの厚みも様々なものがある。

これら資料の技術力を理解するためには、画像内容はもちろんであるが、写真材料の物理的な寸法にくわえ、撮影時のフレームや他のフィルムの影などからの情報も大切である。

そのような主な画像以外の情報をどのように測定し、記録するかが今後の課題である。

## 7 まとめ

江頭先生は製造の現場を離れてもなお、我が国を代表するカラー写真の専門家であり、資料の中に大学の江頭研究室でプリントされた天皇陛下御家族のカラー写真（1958年3月撮影）の試し焼きが残されていた。

このことは、本学が写真に関しての高い技術力と専門性を持っていた証であり、これらを含む資料を管理し研究してゆくことは、創立100年にもなる本学のルーツを確かめることにもなるのであろう。

## 8 参考文献

矢島仁 “東京工芸大学に残されていた六櫻社式天然色印画とそのネガフィルム” 日本写真学会誌 vol. 86, p135-142(2023)

# ベトナム・ホーチミン市における 高層ビル群、旧市街、郊外ニュータウンの色と建築の関係 Colors and Architectural Relationships among Skyscrapers, Old Town, and New Town in Ho Chi Minh City, Vietnam

小林紀晴

Kisei kobashi

東京工芸大学 164-8678 東京都中野区本町2-9-5  
2-9-5 Honcho, Nakano-ku, Tokyo, 164-8678, Japan

## 概要

いまなお発展著しい(2023年第4四半期GDP6.72%)ベトナム・ホーチミン市の高層ビル群(再開発地)、旧市街、郊外ニュータウンの三箇所を撮影地とし、ライトアップされた建築、広告ディスプレイなどに注目した。なかでも近年、東南アジアで使用頻度が急激に高まっているフルカラーLEDの照明に興味をもった。人の「欲望」は最初に都市の表層(建築物、広告など)に現れると仮定し、照明器具が上記三カ所でどう用いられているかを視野にいれながら、写真作品を制作。なお当初の予定にはなかった歓楽街を現地調査の過程で知り、加えた。



Fig1,2 レロイ通り沿 巨大なフルカラーLED 広告

## 1 はじめに

長くアジアの都市を撮影してきたが、近年その景観に共通した大きな変化があることに気がついた。フルカラーLEDなど新たな照明器具の多様化だ。建築家・磯崎新は「いま、中国でコンペをやると、都市の完成状態を夜景で描くように言われます。昼間は街の汚さが目立ちます、夜にライトアップすると幻想的な街に見える」[1]と発言。またフランスの人類学者マルク・オジェは著書『非一場所』[2]のなかで現在の都市空間を「スーパーモダニティ」と名付けた。それらを踏まえ、ホーチミン市を被写体(研究対象)に選んだ。

## 2. 高層ビル群(再開発地)

政府機関、商業、観光施設などが集中する一区、ビンタン地区を中心に撮影。特徴的なのは2000年以降に新たに建設されたホテルなどの装飾だ。フルカラーLEDを多用し、動画的に激しく変化する。さらにレロイ通り広場には夜になると20代を中心に多くの人が集うが、通り沿いには巨大なフルカラーLEDの電光看板が点在する。映し出される広告はコココーラ、H&Mなど海外資本の商品、ベトナム国内の有名女優などを起用した化粧品などが主(図1.2)。10,20代をターゲットとしたものであることは明らか。ベトナムの平均年齢は31歳(なかでも20歳後半の割合が非常に高いのが特徴)と若い。

## 3. 旧市街

チョロン(中華街)と呼ばれるエリア。昔ながらの面影を残す地区で、個人商店や路上で野菜、果物を売る露店が多い。露店の照明の光源は色温度6500kの電球型LED(図3)が中心。野菜、果物の色再現を正しくすることにより、新鮮であると訴えるためと考えられる。同じ理由で、魚などを扱う店でも6500kの電球型LEDの使用頻度が高い。肉類を扱う商店では色温度が3000kのものを使っている例が多い。赤みを帯びて同じく新鮮に映るためだと考えられる。白熱電球の使用頻度はかなり低い。LEDが選ばれるのは消費電力の少なさと寿命の長さからだと考えられる。



Fig3, 6500KのLED照明 チョロン地区の野菜市場

#### 4. 郊外ニュータウン

市内から車で1時間程の距離にあるビンズン省、ビンズン新都心では東急電鉄が省と合弁の「ベカメックス東急有限会社」を設立し「東急ビンズン田園都市」[3]の開発を2012年から行う。3つのエリアからなり、住宅ゾーン「MIDOR」内の HARUKA Terrace(図4)は緑と水が調和した低層住宅ゾーンで色温度の低い調光式の LED 照明を導入。それに対して商業・エンターテイメントゾーンである「SORA」の照明は原色使いで、次々と色を変える演出がされている。なお、省庁(図5)の巨大な建物もまたフルカラーLED が使用され、ベトナム国旗、共産主義のシンボルである「鎌と槌」の標章などがアニメーション的に次々映し出される。



Fig4、「MIDOR」 HARUKA Terrace



Fig5、ビンズン省庁

#### 5. 歓楽街

市街地西側のブイヴィエン通り。コロナ禍以前は外国人を対象とした安宿・飲食街だったが、外国人が去った後、ベトナム人好みのクラブミュージックを流し始める。水着姿の女性が立つ。レーザー光を多用した照明を放ち、通りそのものが巨大なクラブと化している(図6)。コロナ明けに外国人観光客がそれに注目し、再び外国人が集まる現象が起きている。



Fig6、ブイヴィエン通り

#### 6. まとめ

冒頭で述べた通り「欲望」は最初に都市の表層(建築物、広告など)に現れると仮定し撮影を行った。具象、心象を含め街のコントラストを強く感じた。そのなかには昼と夜の景観の差異も含まれる。磯崎新が語った「ライトアップすると幻想的な街に見える」の言葉が当てはまり、それを象徴する光景にも出会った。サイゴン川の荒地に夜だけオープンする簡易飲食店(図7)。多くの市民が、ライトアップされた対岸を望んでいた。あたかも「近未来」を夢見ているように感じられた。



Fig7、サイゴン川東岸から高層ビル群(再開地)を望む

Photo:©Kisei Kobayashi

#### 7. 参考文献

- [1]対談 磯崎新×ホンマタカシ  
写真専門誌『IMA』vol.29,2019 Autumn,amana
- [2] マルク・オジェ『非一場所』 訳・中川真知子 水声社 2017
- [3]TOKYU GARDEN CITY  
<https://tokyugardencity.com/ja/>
- [4]Ho Chi Minh MEGA City Michael Waibel(Hrsg.) regio SPECTRA 2013
- [5] 岩井美佐紀(編著)『現代ベトナムを知るための 63 章』明石書店 2004
- [6]Luat Vitenam 屋外広告規制概要・広告法・屋外広告媒体に関する国家技術規則  
<https://luatvietnam.vn/doanh-nghiep/quy-dinh-ve-quang-cao-ngoai-troi-561-29031-article.html>  
<https://luatvietnam.vn/thuong-mai/luat-quang-cao-2012-71732-d1.html>  
<https://vietart.co/blog/luat-lam-bang-hieu-quang-cao-tai-tphcm/>  
<https://luatvietnam.vn/xay-dung/thong-tu-19-2013-tt-bxd-bo-xay-dung-82815-d1.html>
- [7]ヴァンタン運河の改修計画 01  
<https://baodautu.vn/cuoc-dai-di-doi-dan-ven-kenh-rach-tphcm-vo-tran-vi-dau--bai-3-von-cong-du-an-trong-diem-chi-du-do-ve-d171588.html>  
ヴァンタン運河の改修計画 02  
<https://laodong.vn/bat-dong-san/tphcm-muon-day-nhanh-di-doi-nha-lup-xup-cai-tao-kenh-rach-bang-von-tu-nhan-1148576.lido>  
ヴァンタン運河の改修計画 03  
<https://laodong.vn/xa-hoi/tphcm-sap-chi-3200-ti-dong-hoi-sinh-hai-tuyen-kenh-rach-quan-trong-1157093.lido>

# マルチスペクトルカメラ・赤外線カメラを搭載したドローン用いて特徴を抽出した地形や建物のカラーインデックスマッピング

## Color index mapping of landform and buildings using a drone equipped with a multispectral camera and infrared camera to extract features

内田孝幸  
Takayuki Uchida

東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

### 概要

近年、無人航空機(UAV:通称ドローン)の飛行性能、高精度位置測位を伴った精度の高い飛行によって、目的の撮影位置からの画像を短時間で収集できるようになった。さらに、撮影用のカメラの高性能化は可視領域だけでなく、特定のスペクトルや赤外線といった人の目に見えない箇所の撮影も可能になっている。この人の目には通常見えない特徴を抽出し、3Dインデックスマッピングさらにはその、3D造形を手にとることで、多角的な視点から直感的にその地形や建物の特徴を理解する技術の一例を示す。

### はじめに

近年、無人航空機の飛行性能、高精度位置測位を伴った精度の高い飛行によって、目的の撮影位置からの画像を短時間で収集できるようになった。さらに、マルチスペクトルカメラは、可視光線やそれ以外の波長の光を狭い帯域幅で捉えることができるカメラであるため、通常のデジタルカメラが可視光線のみを捉えるのに対し、特定の物質の特徴を抽出できる可能性をもっている。例えば、人工衛星を用いた画像分野では、すでにリモートセンシングとして研究されているが、UAVを用いることによって近接した撮影が可能であるため、より高い解像度やS/N比、精度を向上させた、研究が可能となっている。被写体は、それを構成する物質や構造によって、一般に固有の光吸収や反射を有するため、分光分析という非接触での物質の分析・同定が可能であり、近年さらに注目を集めている。よく知られている応用例としては、植生の育成状態や作物の成長状況をモニタリングするために、後述するNDVI(正規化差分植生指数)に使用されている。さらに環境の調査の点に目を向けると、環境汚染や自然災害の影響を評価するためにも使用されている。その情報を元に3D造形技術を活用して、直感的に状況が把握可能なフルカラー立体地図や、インデックス3Dマッピングが作成可能となる。このような組み合わせにより、迅速で効果的な対応が可能となる。

さらに、最近の話題に目を向けると、月に着陸したSLIMにはMBC(マルチバンドカメラ)が搭載されており、この特殊なカメラによって、月の岩石を持ち帰ることなく、非接触の分光という技術で、その岩石の成分を検討する(さらには月の起源の検討)といった最新の技術の有効性を示している。本研究では、マルチスペクトルカメラ・赤外線カメラを搭載したドローンによる検討を述べる。

## 2. 実験

### 2.1 マルチスペクトルカメラを搭載したドローンによる画像・データ取得

マルチスペクトルカメラを搭載したドローンとしてP4 Multispectralを用いた。この機体に搭載しているカメラは、B, G, R, Ir Edge, の4バンド(帯域幅はそれぞれ、30nm)とNIR(帯域幅約50nm)と可視光の1バンドで総合計6バンドである。飛行はGS-proによって、経路とオーバーラップ率などを指定して自動のミッション飛行で撮影を行った。測定場所は大学近くの水田を対象とした。マルチスペクトルカメラの有効性を示すものとして、リモートセンシングなどでもよく用いられる、植生の健全性を示すNDVIを算出、マッピングした。NDVIは前述のRとNIRの2バンドを用い、①式で算出される。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \dots\dots\dots ①$$

### 2.2 赤外線カメラを搭載したドローンによる画像・データ取得

赤外線カメラを搭載したドローンには、Matrice 300RTKにクラウドカメラであるH20Tを取り付けた。サーマルカメラは解像度640×512、温度分解能: ≤50mk@f1.0(NEDT雑音等価温度差)である。測定場所としては、大学近くの営農型太陽光発電(上がルーバー配置のソーラーパネル、下が畑)の「あつぎ市民発電所」を対象として、冬(1月)の午前に測定を行った。

### 2.3 画像群からの3Dモデリング

ドローンで撮影した画像から、3Dモデルをフォトグラメトリの技術によって構築するSfMソフトは用途によって、以下のものを使った。NDVIのマッピングにはPix4DFieldsを、NDVIの3Dモデル構築にはMetaShapeを用いた。H20Tから得られる赤外線画像の温度の定量的な評価には、DJI Thermal Analysis Tool 3を、赤外線画像のオルソ化にはPix4DFieldsを用いた。

### 2.4 フルカラー3D造形・3Dプリント

MetaShape上で構築された3Dモデルを可視光でのテクスチャーだけでなく、NDVIやIRといった特徴をキーとしてインデックスマッピングを2Dで行った。なお、NDVIもIRもその特徴の重みによる着色のアサインは現状統一されているものはないが、筆者らは、なるべく直感的に受け入れやすいものとした。具体的には、温度であれば、低温側を青色に高温側を赤色とした。NDVIは植生の元気さ、活性度を示す指標であるので、育成が不良な方を赤色に、良好な方を緑としてインデックスマッピングを施した。

### 3. 結果

#### 3.1 マルチスペクトルカメラを用いた水田のNDVI

測定に用いた水田を図1(a)に示す。区画ごとに①～⑤ならびに、アスファルトの箇所を⑥として割り当てた。図1(b)に7月の時期のNDVIのインデックスマッピングを示す。各月のNDVIの推移のヒストグラムを図1(c)にまた、その領域の平均値の推移を図1(d)を示す。NDVIはどの区画でも、稲の育成とともに上昇し、収穫直前で僅かに値が低下することが分かる。

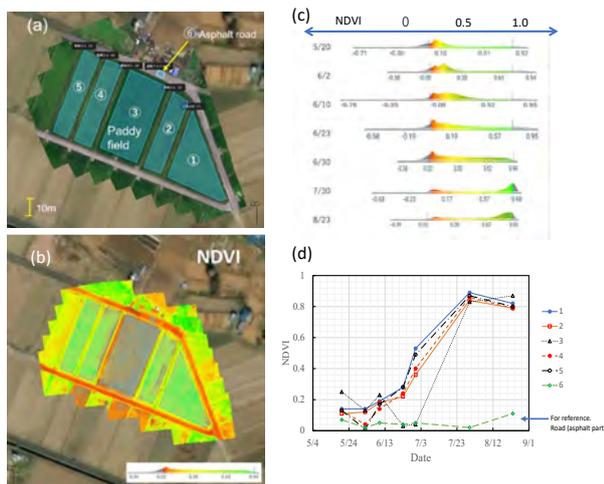


図1 水田における(a) 区画の割り当て、(b) NDVI のマッピングの一例 (7月)、(c) 月推移におけるNDVIのヒストグラム、(d) NDVIの時間依存性<sup>1)</sup>

#### 3.2 インデックスマッピングによる3D造形

3D造形において、一般に地形などは、可視光画像や等高線などを示すが、インデックスマッピングでは、その対象の特徴例えば、サーモグラフィであれば温度をマッピングする。これらの事例は通常、2次元の平面図で示す場合があるが、最近では一部のSfMで3Dとして構築、また造形することが可能である。今回は一例として、上記の水田の3Dを紙積層型フルカラー3Dプリンタで造形したものを図2に示す。水田はほぼ平面であるが、それでも、稲やあぜ道の高さが再現されており、何より、可視光画像では判別しにくい、あぜ道からの土または水の流出の可能性が示唆されていることが分かる。

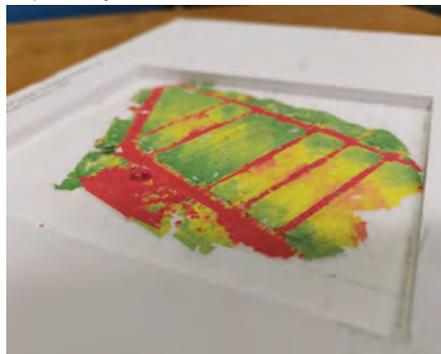


図2 水田における3DのNDVIマッピング

#### 3.3 赤外線カメラを搭載したドローンによる営農型太陽光発電所の検討

「あつぎ市民発電所」において、ミッション飛行に

よって、可視光画像ならびにIR画像を取得し、SfMでデータを処理し、さらに3D化ならびに、インデックスマッピング(2D)を行った。一般にIR画像は、可視光画像と比べて画像の解像度や階調が低いいため、画像を統合する際に特徴点などが抽出し難いため、オルソ化が比較的難しい。測定結果として可視光画像を図3(a)に、1ショットで全体が入るように高度を上げて撮影し測定、DJI Thermal Analysis Tool 3で処理したものを、図3(b)に、IR画像郡をオルソ化して表示したものを図3(c)に示す。

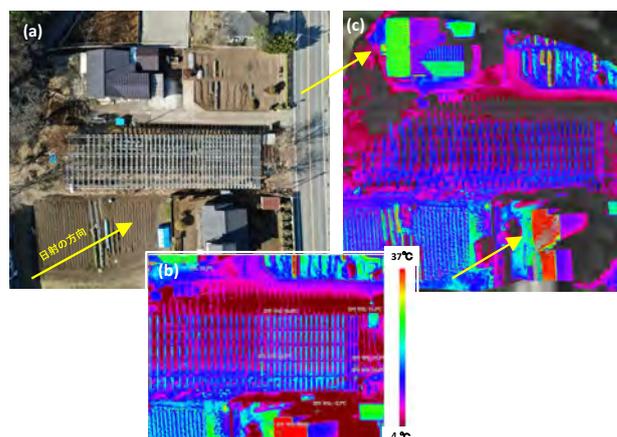


図3 営農型太陽光発電のあつぎ市民発電所における可視光画像と赤外線 (IR) 画像。(a) 可視光画像、(b) 1枚の画像からのIRデータ、(c)オルソ化したインデックスマッピング。

図3(c)左上では、ソーラーパネルの側の家屋の屋根が写っているが、日射をうける面、影の出来方で温度分布が異なっていることが明確に分かる。ルーバー上のソーラーパネルの下に畑のある構造は、3D化する場合にも難易度が高く図3(c)のパネルの部分では一部、オルソ化の構築にズレが生じていることが分かる。一方、屋根のような連続的な構造体では、屋根の垂木を含めIR画像でも良好なインデックスマッピングを示している。

### 4. まとめ

マルチスペクトルカメラ・赤外線カメラを搭載したドローン用いて特徴を抽出した地形や建物のカラーインデックスマッピングの検討を行った。NDVIやIRといったスペクトルの特徴を抽出し、インデックスマッピングする事例は広まっているが、今回はこれらを3Dに拡張しモデリングを行い、さらに3D造形を行った。このような造形を手にとることで、多角的な視点から直感的にその地形や建物の特徴を理解する技術の一例を示した。

### 6. 参考文献

- 1) T.Uchida, Proc. of International conference on advanced imaging 2021, (2021)
- 2) 内田孝幸、美田翼、久原泰雄、東吉彦、「ドローンによる地形情報の取得と紙積層型プリンタによる3D形状の出力」、第59巻第4号、pp.28-33 (2022)
- 3) 内田孝幸、小嶋優輝、行谷時男、小林信一、安田洋司、越地福朗、高橋章浩、「マルチスペクトルカメラを搭載したドローンによるインデックスマッピングとフルカラー3D造形」、日本写真学会誌 第86巻、pp.50-55 (2023)

# 制約付き積み上げ式凹凸マップ Constrained Stacked Relief Maps

今給黎 隆, 原 寛徳\*  
Takashi Imagire, Hironori Hara\*

東京工芸大学, 164-8678 東京都中野区本町2-9-5  
2-9-5 Honcho, Nakano-ku, Tokyo 164-8678, Japan

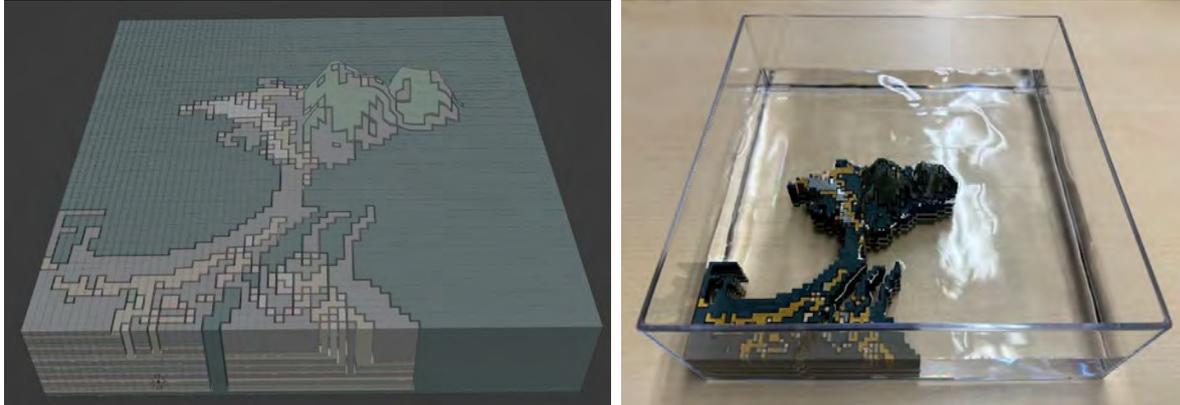


Fig. 1 江ノ島の航空写真から作成した3Dモデル(左)と3Dプリンターでの印刷結果(右)

## 概要

本研究は、積み上げ式凹凸マップの実装及び拡張に関する研究である。図1は、18cm平方の平面を64×64のブロックに分割して、単色プリンターで印刷したオブジェクトを積み重ねて構築する凹凸が付いた絵である。この3Dモデルは画像から生成しているが、解像度が高くなったり、絵の様相が複雑になると、モデルの形状を計算するための時間やメモリが多くなり、幅優先探索や深さ優先探索では解の発見が困難になる。形状を計算するための探索方法について調査を行い、エニータムビームサーチ法やモンテカルロ木探索によって、近似解ではあるが十分に正確で、高速に解を得ることに成功した。また、探索時のグラフ構造を有向グラフにすることで積み上げる順を制御する手法を提案する。

### 1. はじめに

NICOGRAPH 2020 で、凹凸のある絵に関する作品を発表した [1]。この作品は単色の 3D プリンターで印刷したオブジェクトを重ねて作成された立体的なカラーの絵である。この作品は、ディザ法を理解するための可視化という教育目的で制作を始めた。3D プリンターで印刷した部品を下から上に積み上げることによって作品が出来上がる。この作品を制作するための挑戦は、重ねるオブジェクトの個数を減らすことである。どのようにすれば部品の数を減らせるのかということが問題となる。この問題は、問題の設定自体が特定の作品を対象としたものであるため自明ではない。また、この作品の発展として電飾が考えられる。火山があれば赤く光らせたいし、夜の街の表現であれば電灯を光らせたいであろう。

このような場合は、光らせる部品を透明な部材で印刷して、下から光源で照らせば良い。この場合、透明なオブジェクトの下に不透明なオブジェクトがあると光が届かなくなるため、透明なオブジェクトは一番下に配置する必要がある。このような部品間の上下の指定は制約付き最適化問題となり、NICOGRAPH 2020 での計算よりも複雑な問題となる。

## 2. 提案手法

### 2.1 制約のない形式の解法

今回は、複数に分割した部品を、特定の順番で積み上げることで一枚の凹凸のある絵を構築する。ここで、分割した部品の数はなるべく小さくしたい。本問題を解くために画像からグラフ構造を構築する。画像について繋がっている同じ色の画素を一塊のグループと見なす。そして、グループをノードとするグラフを構築する。ノード間のエッジは、グループ内の画素について隣接する画素があるグループの間を接続する。図2がグラフの一例である。図2(a) を変換元の画像とする。グループを計算したものが図2(b)である。ここでは、各グループにIDとなる数値を記した。黄色い線は、グループ間に隣接する画素があることを示している。グループをノードとして無向グラフとして明示的に記述したのが図2(c)である。

構築したグラフ構造から、凹凸マップの部品を構築する。グラフ構造に上下の軸を導入し、作成した部品の位置の上下をグラフの上下と考える。この上下構造をレイヤーと定義する。図2(d)がノードのレイヤー分けの結果である。図2(d)の右の数字は、上から数えたレイヤーの段数である。3Dプリンターで印刷するのは単色の印刷物であり、横方向に同じ色のノードが存在できる。ただ

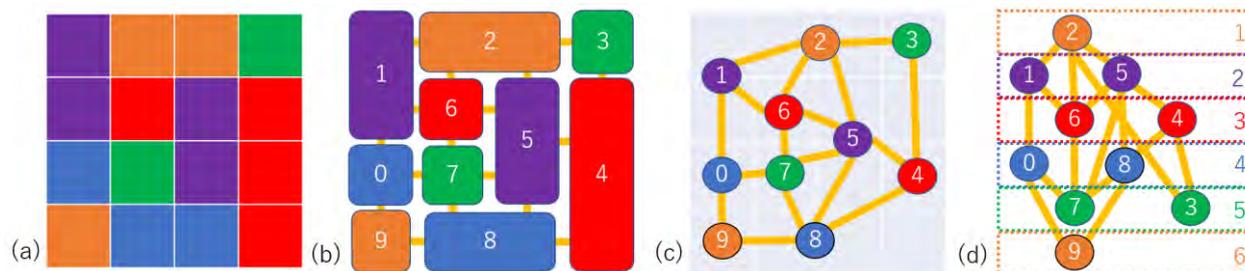


Fig. 2 画像のグラフ化と並び替え. (a)元の画像. (b)グループ化と接続情報. (c)グラフ化. (d)レイヤー分け

し、これらのノードは一つの印刷物として印刷できなければならない。具体的には、同じレイヤーにあるノードは、自分よりも上のレイヤーのノードの下を回り込んで繋がっている必要がある。これを満たすには、各レイヤーのノードがそのレイヤーよりも上のレイヤーのノードを伝って到達できれば良い。

レイヤー数を最小化するために最適化関数を導入する。ただし、単にレイヤー数を最小化するのではなく、組み立て易さを考慮した最適化関数を導入する。小さな部品を上置くのは大きな部品を上置くよりも細かな作業となり、神経をすり減らす。また、小さな部品が上に置かれると、固定されにくいために倒れたり、紛失やすくなる。このため、表から見て、大きな部分ほど手前に来る最適化関数を導入する。具体的には、次の(1)式での目的関数 $E$ を最小化する解を最適解とする。この目的関数の最適解を探すには、幅優先探索(BFS)や深さ優先探索(DFS)といった探索方法を利用することができる。

$$I = \text{minimize } E, \quad E = \sum_{x,y} d(x,y). \quad (1)$$

## 2.2 制約付き問題の定式化

透明な部品を使う際は、その下に不透明な部品が来ては困るので、一番下の色を透明な色としたい。複数の透過色を用いる場合は、複数の透過色のレイヤーの上下関係を指定することが考えられる。この状況に対応するためにグラフを無向グラフから有向グラフに拡張する。下のレイヤーにしたい色を持つノードにつながるエッジに対して、下のレイヤーの色のノードへ進む向きに有向辺の向きを設定する。レイヤー分けの際に、有向辺の向きが下のレイヤーから上のレイヤーに向かう矢印が現れたら、そのレイヤーの色の組み合わせは無効な状況として除外する。この拡張によって、透明なノードの下に不透明のノードが入らない構造を構築できる。

ただし、この制約付きの探索では、未探索ノードが残っているにも関わらず、探索するノードがない（無向もしくは有向グラフの順方向に繋がるノードがない）という状況が発生する。これは、（透明な）レイヤーのノードによって他のノードの繋がりが分断され、制約がない場合には下を通して繋がれていたものが、下を通ることができないために、オ

ープンリストに登録できないノードが生じるためである。探索するノードがないにも関わらず、未探索ノードが残っている場合は、未探索ノードの中からノードを一つ選択し、新たな最上位ノードとして探索をやり直すことで、最後まで探索を続けることができる。異なる最上位ノードから始まるレイヤーの塊は、互いに接することがないので、独立して透明なレイヤーの上に位置することになる。したがって、ポリゴンモデルを作成する際も、最初の最上位ノードから始まるレイヤー群の高さは、別の最上位ノードから始まるレイヤー群の高さを差し引いて各表面の高さを設定すれば良い。

## 3. 結果

表1は、画像の解像度を変化させて探索時間を調査した結果である。時間が短いほど良い結果である。白と黒のモノラル画像に対する検索では、レイヤーの色は上位のレイヤーとは異なる色を選択するだけなので、シンプルなDFSやBFSが高速な結果となっている。色数が増えるとDFSでは計算時間が増大し、BFSでは2GB以上のメモリを確保しようとしてアプリケーションが強制終了した。モンテカルロ木探索やエニータムビームサーチ法では、エニータムビームサーチ法の方が10倍から100倍程度高速であるが、共に現実的な時間で計算を終了できている。

表1. 検索時間(秒)の比較。括弧の場合は、開始からメモリ不足により終了した時点までの時間

	 2色 64×64 Bayer 配列	 8色 48×48 最近接色	 8色 64×64 最近接色
グループ数	1534	209	311
レイヤー数	13	13	13
DFS	1.537	16354.5	1233150
BFS	1.926	(24.245)	(23.97)
モンテカルロ	456.606	355.61	207.451
ビームサーチ	4.370	4.898	19.891

## 4. 参考文献

- [1] 今給黎隆, 原寛徳, “積上げ式凹凸マップによるディザリングの立体化,” NICOGRAPH 2020, E-1.

# ジェネラティブアートと大規模言語モデルを用いた生成AI Generative Art and Generative AI Using Large Language Model

久原泰雄  
Yasuo Kuhara

東京工芸大学 164-8678 東京都中野区本町2-9-5  
2-9-5 Hon-cho, Nakano-ku, Tokyo 164-8678, Japan

## 概要

1990年代頃にコンピュータが一般に普及すると共に芸術表現をプログラミングによって実装することが行われるようになった。人工生命の概念は1980年代には存在していたが、コンピュータによるジェネラティブアートはMax/MSP, Pure Data, Processingなどのアーティスト向けの開発環境と共に2000年代に入って盛んになった。2010年代にはニューラルネットワークの性能が格段に向上し、ディープラーニングを芸術分野に応用する例が登場した。2020年代には自然言語を扱うニューラルネットワークのモデルであるTransformerの性能が注目され、言葉を媒体として文章や画像などのコンテンツが高品質で生成できるようになり、新たな局面を迎えている。

本稿では筆者が2023年度に制作し、展示したジェネラティブアートの作品2点を解説し、その後、生成AIの基盤となっている大規模言語モデルの可能性について論じる。ジェネラティブアートと生成AIの両者には、いずれもジェネラティブ、すなわち、生成という語が含まれているが、各々の持つ意味合いは、かなり異なり、その違いについても考察する。

## 1. フラクタル抽象絵画

### 1.1 再帰的矩形分割による自己相似

フラクタル幾何学の特徴は自己相似性であり、自然

界に頻繁に出現する。自己相似性は基本図形を再帰的に呼出して描画することで実現できる。次に紹介する作品は再帰的に矩形分割を繰り返すことによって得られる自己相似性をもつ抽象絵画である。

### 1.2 AI Composition 100th Anniversary Portrait

本作品の原型であるAI Composition Paintedは、キャンバスを単なる一つの矩形と捉え、AIによって再帰的に二分割を繰り返し、フラクタルな自己相似の矩形の集合として再構成した抽象絵画の作品である[1]。絵の具の三原色として知られる赤青黄のみで彩色することで普遍性を持つ抽象的な表現をジェネラティブに描画した。

一方、本作品は上述の再帰的な矩形分割のアルゴリズムを踏襲しつつ、矩形の配色を青緑黄の3色に限定してB0サイズ(幅1030mm 高さ1456mm)の3つのキャンバスに描画した。左のキャンバスはテクノロジーを表す青、右のキャンバスはアートを表す黄、中央のキャンバスはテクノロジーとアートの融合を表す緑で彩色している。各色は、各キャンバスの右端中央、左端中央、中央を中心とする円に基づいて構成される。配色のアルゴリズムによって、各円の中心から離れるにしたがって着色される確率と濃度が小さくなるように設定している。プログラムを実行するたびに異なるパターンが無数に生成される。結果として、大学のシンボルマークが浮かび上がり、創立100年を記念した芸術学部フェスタ2023「百花繚乱」に出展する作品とした(図1参照)。

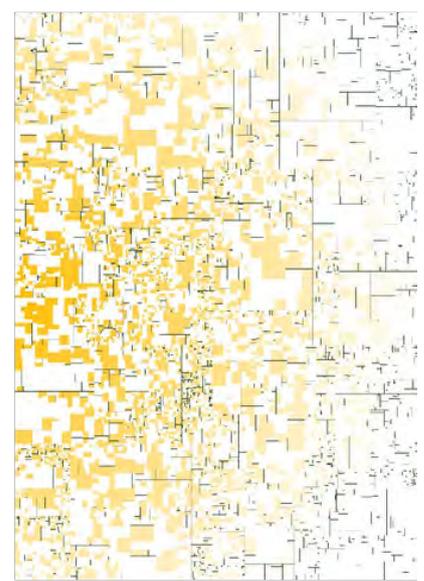
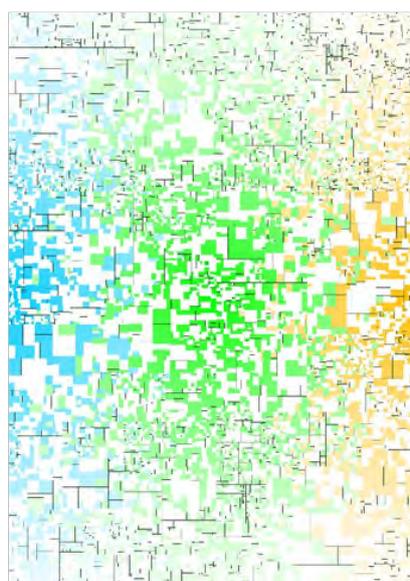
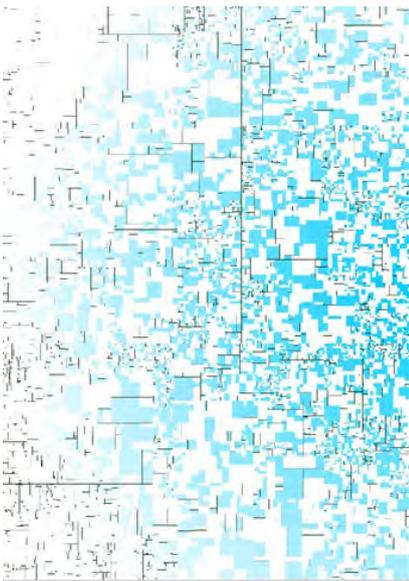


Fig. 1 AI Composition 100th Anniversary Portrait

## 2. 人工生命による創発的描画

### 2.1 AI Gaudi 3D Projection Mapping

人工生命に代表される創発的なAIは簡潔なルールから予想外の複雑な結果を生み出す。本作品の原型であるAI Gaudi Sustainable Architectureは、人工生命である「ラングトンのアリ」を応用した離散的計算モデルで構成され、サグラダファミリアを自動で着色する[2]。

一方、本作品AI Gaudi 3D Projection Mappingは、これをプロジェクションマッピングとして再構成し、3Dプリンタで造形した立体物(幅829.356mm 高さ974.992mm 奥行き279.100mm)に投影した。生誕のファサードの3つの門の色彩を差別化して正面の3つの配色の違いを明確にした(図2参照)。背後の塔の部分は、館内の大理石の柱群に映し出される太陽の傾きに応じて変化するステンドグラスの投影を3Dモデルの光源の動きで表現した(図3参照)。本作品は、東京工芸大学創立100周年記念展「写真から100年」に出展した[3]。



Fig. 2 AI Gaudi 3D Model and Projection Mapping

人類が持つデジタルコンテンツを学習し巨大な意味空間を構築した生成AIは言語を媒体として、単純で具体的な単語から複雑で抽象的な概念まで蓄えており、人間はプロンプトを通してそれらを手入することができる。芸術は自己に内在する感情や思考を表現することに他ならないが、人間の学習能力は時間的、身体的な制約のため限界がある。一方、生成AIはコンピュータ資源を存分に活用して人間には成しえない膨大なコンテンツを学習するため、計り知れない芸術表現の潜在力を持つと思われる。今後の発展とその活用方法に目が離せない。

## 3. 大規模言語モデルによる生成AI

生成、すなわちジェネラティブという言葉からジェネラティブアートと生成AIは同類と誤解されかねないが、2者は全く異なる。生成AIの特徴は大規模言語モデルによって自然言語をディープラーニングで学習することにある。学習方法は与えられた文章の次にくる単語を予測しているだけであるが、単語の意味や概念を1000から10000次元程度のベクトル空間で表現している。例えば1000次元で各次元が0か1の値をとるとしても $2^{1000} \approx 10^{300}$ の巨大な意味空間を構成していることになる。

## 4. 参考文献

- [1] Y. Kuhara, AI Composition Painted, 芸術世界, 東京工芸大学芸術学部紀要第29号, pp77-83 (2023).
- [2] Y. Kuhara, Artificial Life Coloring Architecture Applying Langton's Ant, 3rd International Symposium for Color Science and Art 2022, pp27-28 (2022).
- [3] 山村健, 久原泰雄, ガウディから学ぶ色と形 AIが着色する未完の正面, 写真から100年, pp182-185(2023).

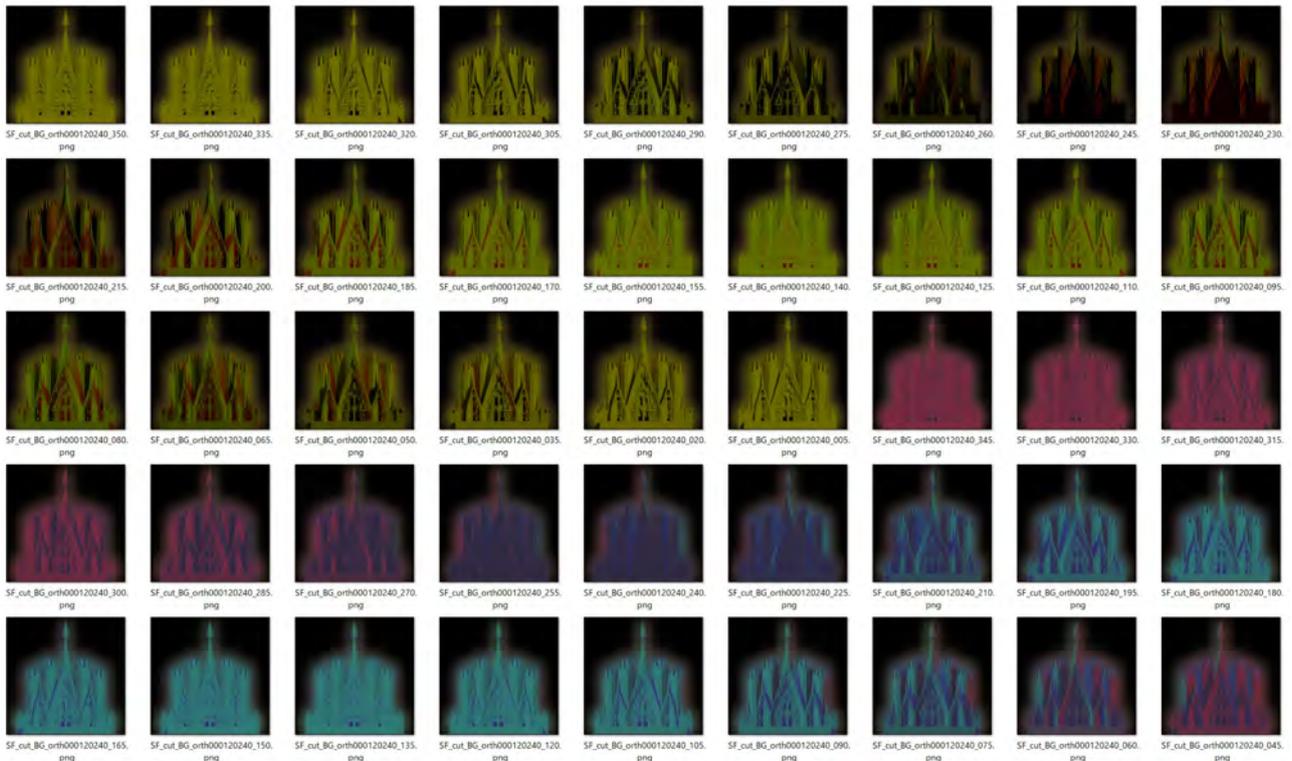


Fig. 3 AI Gaudi 3D Projection Mapping Background Image

# 色光照明を用いたIoTスマートアクアポニックスシステム

## Effect of Lighting Conditions for IoT-based Smart Aquaponics System

森山剛\*, Phok Chrin\*\*, T.Y. Boreborey\*\*  
Tsuyoshi Moriyama\*, Phok Chrin\*\*, and T.Y. Boreborey\*\*

\* 東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

\*\* P.O. Box 86, Russian Federation Blvd, Toul Kork District, Phnom Penh, Cambodia

### 概要

SDGsに合致し環境の浄化と食糧計画、さらに人の癒しの効果も期待されるアクアポニックスにIoTを導入したスマートアクアポニックスを作成した結果及び色光照明を用いた水耕栽培の結果について報告する。農業は学問分野も国境も超える究極の分野横断的な課題であり、また人類にとって基本的かつ恒久的な挑戦である。色彩をはじめとした技術を今後活用する方法について議論する。

### はじめに

アクアポニックスとは、水耕栽培(Hydroponics)と水産養殖(Aquaculture)を同時に行う農業形態である。これは決して新しいものではなく、約1500年前の東南アジアでは水田と魚の養殖が組み合わせられて稲作が行われていた[1]。しかしこれまで水を循環させることによる高い生産性を実現する方法であったものが、現代では、一種の工場として食料を計画的に生産することにより、食料の安定供給とフードロスの削減を実現する食糧生産システムとして期待されている。さらに、魚介類のエサとなる藻に温室効果ガスを吸収させたり、アクアポニックスで必要とする電力を生活ゴミを燃料として給電したりと、人の暮らしの浄化装置としての役割も期待されている[2]。

一方で、アクアポニックスを成功させるには植物と魚介類の両方に生存するのに適した環境を保全しなければならないが、単純ではない。例えば、水耕栽培ではミネラルの可溶性から酸性環境が望ましいが、魚の糞を硝化して植物の養分にする硝化細菌が最も活動するのはアルカリ性環境である。また、その硝化細菌が最も硝化するのは水温約30℃であるがニジマスなど冷水魚や葉物野菜は30℃では弱ってしまう。そこで、水温やpHが個別に調整できるように水の循環のさせ方を工夫したり、水温やpHの妥協点を保持するように管理したりといったことが行われる[1]。

本研究では、センサー等IoTデバイスを配備したスマートアクアポニックスシステムを構成し、その環境の管理及び可視化の方法を確立することを目的としている。特に本報告では、スペクトルの異なる色光照明下では野菜の生育状況が異なるとする先行研究に基づき[3]、環



Fig. 1 アクアポニックスの基本構成

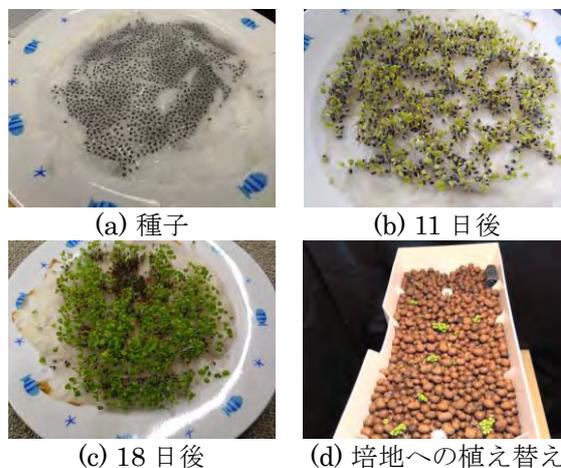


Fig. 2 バジルの導入

境要因の一つである照明条件に関する実験の経過について報告する。

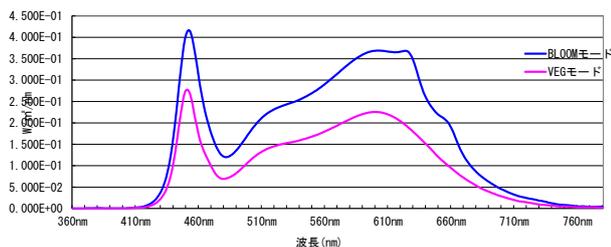
## 2. アクアポニックスの作成

### 2.1 基本構成

アクポニ製おさかな畑アクアスプラウトSVを導入し、野菜としてバジル、魚として金魚を用いることとした。バジルは種子で購入したものを湿らせたティッシュペーパー上で発芽させたものをハイドロボール(培地)上にまばらに植え替えた(図1及び2)。



(a) 左が BLOOM モードで右が VEG モード



(b) 色光照明のスペクトル

Fig. 3 導入した色光照明装置

## 2.2 色光照明装置

uplighting製UPA1000を2基用意し、図3のように暗幕で仕切ったアクアポニックス2基にそれぞれ、VEGモード(図中左で発芽段階用)、BLOOMモード(図中右で成長段階用)に切り替えたものを設置した。それぞれの色光を分光放射照度計CL-500Aで計測したスペクトルを図3(b)に示す。

## 2.3 センサーシステム

図4に示すようにArduino Uno (AD変換)を経由して接続したセンサーからPCにデータを転送し、図5のように全方位カメラ画像を球体に投影した映像に重畳表示したものを球体の内側の視点から見ることにより、アクアポニックス内の様子をリアルタイムかつ臨場感をもって視認することができるようにした。

## 3. 異なる照明条件下の植物の成長過程

図6に示すようにVEGモード(右)と比較してBLOOMモード(左)の方が歯面積が大きく色光照明の違いによって成長度が異なる結果が観察された。

## 4. まとめと今後の課題

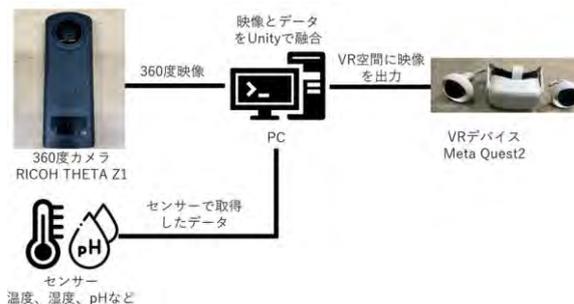
IoTを導入したスマートアクアポニックスを作成し、色光照明条件の違いによる成長の違いを観察した。今後、温度、pH、硝酸やアンモニア濃度等センサーデータの解析結果をリアルタイムにモニタリングできるシステムを実装する。

## 5. 参考文献

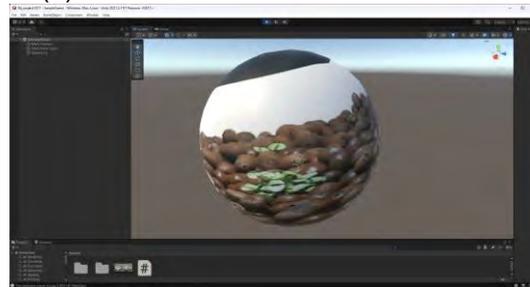
[1] 榎康明, 山口智子, 筒浦さとみ, 化学と生物: 日本



Fig. 4 pHセンサーを接続した Arduino Uno



(a) 全方位モニタリングシステムの構成



(b) 球面に投影された 360° カメラ画像

Fig. 5 遠隔集中管理のための全方位可視化



(a) BLOOM モード (b) VEG モード

Fig. 6 異なる色光照明条件下での成長の違い

農芸化学会会誌: 生命・食・環境/日本農芸化学会編, 61(11), pp.530-538 (2023).

- [2] 町田市バイオエネルギーセンター, <https://machidashi-bioenergycenter.com/>.
- [3] 北雄介, 青木広宙, 精密工学会学術講演会講演論文集2021年度精密工学会春季大会 (2021).

# 外観デザインと調和する超広帯域透明アンテナ

## Ultra-Wideband Transparent Antennas Matching with Surrounding Appearance and Design

越地 福朗, 齋藤 優花, 安田 洋司, 小林 信一, 山田 勝実, 内田 孝幸

**Fukuro Koshiji, Yuka Saito, Yoji Yasuda, Shin-ichi Kobayashi, Katsumi Yamada and Takayuki Uchida**

東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

### 概要

近年, Internet of Things(IoT)や, 第5, 第6世代移動通信システム(5G, 6G)に関する研究開発が進められており, 機器やシステムのデザイン性を損なわないように実装可能な光学的に透明なアンテナが望まれている. 著者らは, Indium Tin Oxide (ITO)透明導電膜によって形成し, 可視光透過率とアンテナ放射効率を両立するモノポールアンテナを実現している. 本研究では, 広帯域な特性を有することで知られるUWB用広帯域半円台形不平衡ダイポールアンテナを透明導電膜で構成する検討を行った. その結果, 従来サイズの82%の小型サイズでありながら, UWB帯域を含む3 GHz以上の周波数帯で動作する, 広帯域特性と小型サイズを両立するアンテナを得た.

### 1. はじめに

近年, スマートシティの実現に向けて, Internet of Things(IoT)や, 第5, 第6世代移動通信システム(5G, 6G)に関する研究開発が進められている. これらの通信システムにおいては, 通信特性向上のために, アレーアンテナが利用されている. また, アンテナの放射特性を確保する観点から, アンテナ設置場所は機器筐体内部よりも筐体表面が望まれている. こうした背景から, 機器やシステムのデザイン性を損なわないように, 光学的に透明なアンテナが望まれている.

著者らは, これまでにガラス基板上に膜厚300 nmのIndium Tin Oxide (ITO)透明導電膜を形成し, 81%以上の可視光透過率と68%以上のアンテナ放射効率を有するモノポールアンテナを実現している[1]. また, 著者らは, Ultra-wideband (UWB)通信システムで利用する3.1~10.6 GHzの帯域をカバーする広帯域アンテナとして半円形と台形の放射素子を組み合わせ, 半円台形不平衡ダイポールアンテナを実現しており[2], このアンテナの透明化が望まれるものの, これまでに広帯域な特性を有する透明アンテナの検討はほとんどされていない.

本研究では, 放射素子をITO透明導電膜によって形成するUWB用広帯域半円台形不平衡ダイポールアンテナの実現可能性について検討し, 試作アンテナによって特性確認を行う.

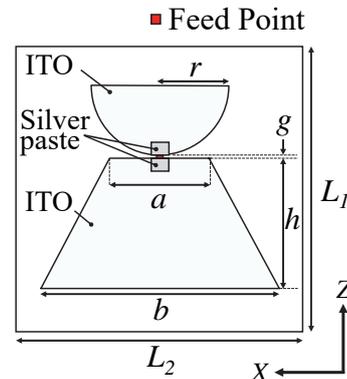


Fig. 1 Antenna configurations

Table 1 Dimensions of antenna

Parameters [mm]	Original Values	Optimized Values
$r$	11	9.02
$a$	16	13.12
$b$	38	31.16
$h$	21	17.22
$g$	0.5	0.82
$L_1$	40	32.8
$L_2$	40	32.8

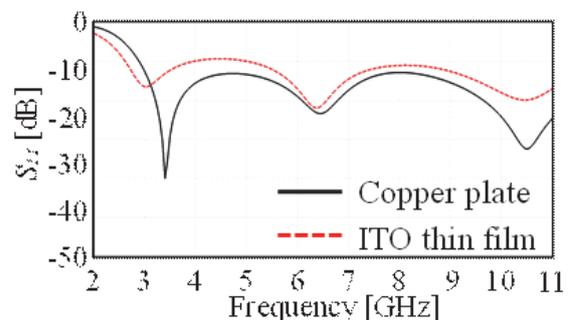


Fig. 2  $S_{11}$  characteristics

## 2. アンテナの構造

図1は、本稿で検討する半円台形不平衡ダイポールアンテナの構成を示したものである。表1のOriginal Valuesに、アンテナ各部の寸法を示す。厚さ0.7 mmのガラス基板上（比誘電率 $\epsilon_r=5.5$ ）に半円形、および台形の放射素子を形成する。放射素子に用いる透明導電膜は、光学的透過率80%以上を有するITO薄膜を想定しており、膜厚300 nm、導電率 $5.6 \times 10^5$  S/mの放射素子を形成したアンテナをモデル化し、それらの放射素子間（給電点）を50  $\Omega$ の内部インピーダンスを有する励振源にて給電する。発表者には下線を引く。

## 3. アンテナの基本特性

図2は、図1に示すアンテナの反射特性 $S_{11}$ を示したものである。同図には、比較のために導体板で同じ寸法で形成した反射特性 $S_{11}$ もあわせて示す。同図より、ITO薄膜で形成したアンテナの反射特性 $S_{11}$ は、導体板で形成したアンテナの特性と比較して低域側にシフトし、反射特性 $S_{11}$ も悪化している。しかしながら、両者の反射特性 $S_{11}$ は、3つの共振が得られるなど類似した共振特性となっており、放射素子形状を変更によって、小型化と特性改善を両立が期待できる。

## 4. 試作アンテナ

図3は、UWB帯域である3.1~10.6 GHzにおいて、 $S_{11} \leq -10$  dBとなるように、アンテナ各部の寸法を最適化し、試作したアンテナの写真である。このときのアンテナ各部の寸法は、表1のOptimized Valuesに示す。図4は、図3に示すアンテナの反射特性 $S_{11}$ を示している。同図からわかるとおり、得られたアンテナの $S_{11}$ 特性は、UWB帯域を含む3 GHz以上の周波数帯で、 $S_{11} \leq -10$  dBとなっており、UWB帯域を含む周波数帯での良好な動作が確認できる。また、アンテナサイズも従来サイズの82%へと小型化されており、小型形状とUWB周波数帯をカバーする広帯域特性を両立している。

## 5. まとめ

本研究では、ITO透明導電膜によって形成するUWB用半円台形不平衡ダイポールアンテナについて検討を行った。その結果、従来サイズの82%の小型サイズでありながら、UWB帯域を含む3 GHz以上の周波数帯で、 $S_{11} \leq -10$  dBが得られ、UWB帯域を含む広帯域特性と小型サイズを両立するアンテナが得られることを確認した。



Fig. 3 A picture of prototyped antenna

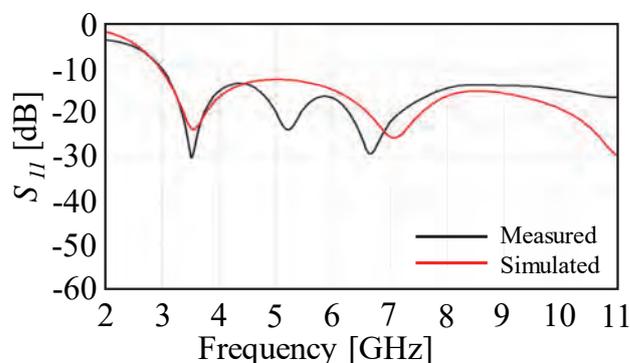


Fig. 4  $S_{11}$  characteristics

## 参考文献

- [1] F. Koshiji, et al., "Transparent antenna with high radiation efficiency and high optical transmittance using dielectric-metal-dielectric composite materials based on ITO/Ag/ITO multilayer film", Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, Vol.15, pp. E22-001-1-7, July 2022.
- [2] 越地福朗, 他, "UWB用半円台形不平衡ダイポールアンテナの提案と検討", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.10, No.3, pp.200-pp.210, May 2007.
- [3] 齋藤優花, 山田友里, 越地福朗, 鈴木美里, 安田洋司, 山田勝実, 内田孝幸, "ITO 透明導電膜で形成する広帯域アンテナの検討", 第37回エレクトロニクス実装学会春季講演大会講演論文集, pp.90-91, March 2023.

# 金属様光沢膜を用いたエレクトロクロミック反射素子の製作 Fabrication of Electrochromic Reflective Device using Metallic Luster Film

山田勝実\*, 矢島 仁\*  
Katsumi Yamada, Hitoshi Yajima, \*

東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1  
\* 5-45-1, Iiyama-minami, Atsugi, Kanagawa, 243-0297, Japan

## 概要

色素膜の電気化学的酸化還元により、金属様光沢のON-OFF制御を行うことを目的に反射型エレクトロクロミック素子を構築した。メチレンブルー膜では反射率の増減が認められた。ポリチオフェン誘導体膜からは金属様光沢の色調変化が認められた。

## はじめに

有機色素の中にはその固体状態で液状とは異なる色調を示すものがある。ベニバナ色素のように液状では紅色であるが、塗って乾かすことで光沢のある緑色の色調を示す。私たちはいくつかの色素で同じような金属様光沢を示す色素固体膜について反射特性を調べてきた。それらの中で、これらの反射色が色素の光吸収にかかわる化学結合内の結合電子が重要な役割を果たしていることを明らかとした。これらの結論から、結合電子の状態を変化させることができれば、反射現象そのものや反射色を任意に切り替えることが可能になると考えた。私たちはこの30年あまり、色素や導電性高分子の透過色を電気化学的に制御するエレクトロクロミズムの研究を行ってきた。色素の金属様光沢の研究とエレクトロクロミズムの研究を組み合わせることで、金属材料を用いない調光ミラーの実現を目指す研究を思い立った。

## 2. 方法

### 2.1 測定試料の作製方法

クリスタルバイオレットをクロロホルムに溶解させ、スライドガラスに滴下し、クリーンベンチ内で風乾燥して膜が得られた。メチレンブルーを中性リン酸塩緩衝液に溶解させたものを重合溶液に用いた。メチレンブルーの電解重合はITO透明電極を作用電極、銀塩化銀ワイヤーを参照電極、白金線を対向電極に用いて、-600 mVから+1200 mVの範囲で印加電位をサイクル走査 (50回) して行ってメチレンブルー重合体膜を得た。[1] ポリチオフェン誘導体膜の調製では、ブタノールと水を体積比で9:1とした混合溶媒を用いて、3-メトキシチオフェンおよび過塩素酸リチウム、ドデシル硫酸ナトリウムを溶解させたものを重合液とした。[2] 電解重合はITO透明電極を作用電極、銀塩化銀ワイヤーを参照電極、白金

線を対向電極に用いて、-1000 mVと+1400 mVの定電位を交互に印加する方法 (MSPS重合) で行った。

## 3. 結果

### 3.1 クリスタルバイオレット

図1のようにクリスタルバイオレット膜は金色の金属様光沢を示した。反射率は20%程度と高くは



Fig. 1 Images of crystal violet films before and after base treatment.

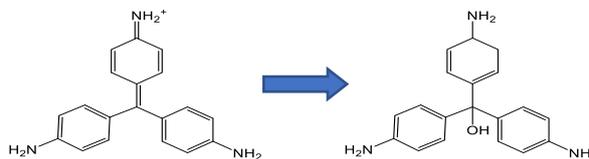


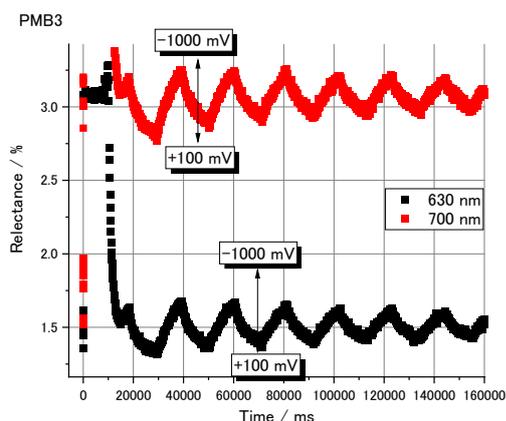
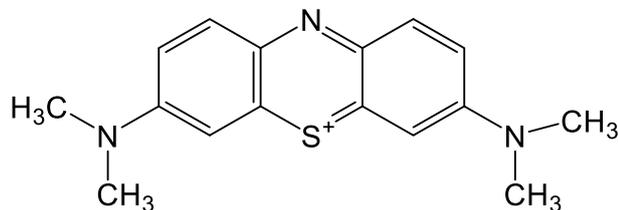
Fig. 2 Change in chemical structures of crystal violet before and after base treatment.

ないが、模型を鏡のように映し出している。この膜をアルカリ処理すると反射率が低下し色調が変化した。図2に示したように、クリスタルバイオレットの中心の二重結合炭素に水酸基が置換された結果クリスタルバイオレットの色が薄くなり、反射も弱くなったものと考えられる。

### 3.2 メチレンブルー重合体

メチレンブルーのエタノール溶液をスライドガラス上に滴下すると赤紫色の金属様光沢を示す膜が形成される。この膜は電気化学活性ではあるが電解液に溶け出すために不溶化を行う必要があり、メチレンブルーの電解重合を行った。得られた重合膜の膜厚が大きくならな

かったので金属様光沢は弱いものとなった。しかしながら反射スペクトルには単量体と同様に波長630 nmに反射極大が現れた。モニター波長を630 nmとして重合膜の酸化還元による反射率変化を測定した。その結果を図3に示した。確かにメチレンブルー重合膜の電気化学的酸化還元による反射率の増減が認められた。

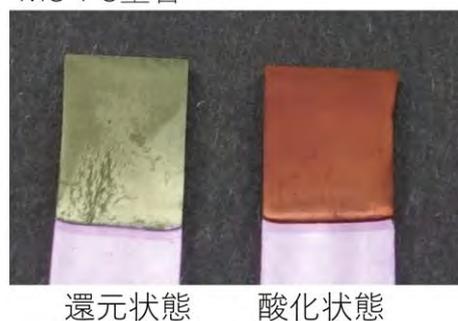


**Fig. 3** Chemical structures of methylene blue and change in reflectance of methylene blue film at wavelengths of 630 nm and 700 nm by applying electrochemical potentials of -1000 mV and +100 mV alternately.

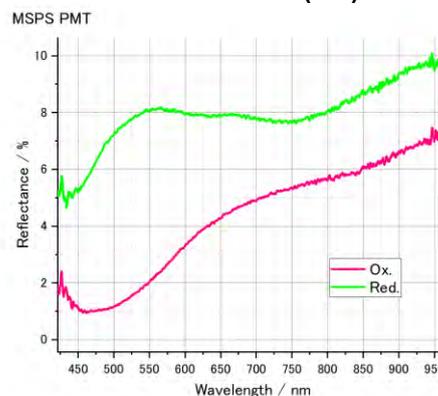
### 3.3 ポリチオフェン誘導体

いくつかの導電性高分子膜から金属様光沢が得られることは知られている。他の研究者の報告から、3-メキシチオフェンを特殊な条件で電解重合することで金色の金属様光沢を示す高分子膜が得られる。電解重合を印加電位を高速で掃引すると光沢が現れないことが知られており [3]、光沢を得るためにはラメラ形成を目的とした還元時の高分子鎖のコンホメーション変化を誘起する時間が必要とされている。印加電位のサイクル掃引による電解重合では印加電位は連続的に変化するため、特にモノマー酸化が起こる電位が変化することで重合反応も連続的に変化し、結果的に物性が異なる高分子が混合されて形成される可能性がある。ここでは、反射率を向上させるために均質な物性の高分子が形成される方法を検討した。異なる定電位を交互に印加する方法で電解重合 (MSPS重合) することでポリ(3-メキシチオフェン)膜が得られた。図4に示したように、この膜を

電気化学的に還元(r)することで緑色の光沢が現れ、酸化(o)することで変色し光沢が弱くなることが明らかとなった。



**Fig. 4** Chemical structures of poly(3-methoxythiophene) and image of product films on ITO electrode before (red.) and after electrochemical oxidation (ox.).



**Fig. 5** Reflection spectra of poly(3-methoxythiophene) films before (red.) and after electrochemical oxidation (ox.).

### 6. 参考文献

- [1] B. Liu, H. Cang, L. Cui, H. Zhang, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 12, 9907 (2017).
- [2] M. Fall, J. J. Aaron, N. Shakmeche, M. M. Dieng, M. Jouini, S. Aeiayach, J. C. Lacroix, P. C. Lacaze, *Synth., Met.*, 93, 175 (1998).
- [3] D. Takamura, K. Hoshino, *Chem. Lett.*, 47, 540 (2018).

# シングルショット高精度位相計測透過型干渉顕微鏡の開発 Single-shot phase-shifting interference microscopy using a polarization camera

陳 軍, 豊田 光紀  
Jun Chen, Mitsunori Toyoda

東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1  
Tokyo Polytechnic University, 5-45-1 Iiyama-Minami, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan

## 概要

光導波路や生物試料のような微小で透明な位相物体の迅速、高精度計測のため、偏光カメラを用いたシングルショット透過型共通光路位相シフト干渉顕微鏡を開発しました。位相シフト干渉顕微鏡では、干渉する物体光と参照光の間に、 $\pi/2$ ずつの位相シフトを導入した4つの干渉縞画像からサブナノメートル以下の精度で被検の位相を高精度で計測できます。しかし、位相シフトを与えた複数の干渉画像の撮影が必要のため、動的な計測には不向きである。そこで、個々の画素に異なる偏光方向の偏光板を貼り付けた偏光カメラを導入することでシングルショット位相計測を可能にしました。

### 1. はじめに

光導波路や生物細胞のような微小で透明な位相物体の高精度計測はフォトニクスやバイオニクスの分野で強く求められている[1]。我々はバイプリズムやウォラストンプリズムの横移動を用いた共通位相シフト干渉顕微鏡の研究に取り組んできた [2~4]。このシステムでは干渉する2光波がほぼ同じ光路を通過するため、振動や空気ゆらぎなどの影響をほとんど受けない。また、必要な位相シフトはプリズムの横移動で精密に導入できる。微小な位相物体を高精度で計測できることから研究や生産現場で応用されている。しかし、 piezo素子でプリズムを移動させて位相シフトを導入しているため、秒程度の時間がかかる。そのため、実時間の計測には不向きであった。そこで、偏光カメラを用いるシングルショット共通光路位相シフト干渉顕微鏡を構成し、実験でその有効性を確かめたので報告する。

### 2. 光学系と原理

偏光カメラを用いる透過型位相シフト干渉顕微鏡の構成をFig.1に示す。これは透過型光学顕微鏡の結像系にウォラストンプリズム(WP)(方解石、分離角 $2^\circ$ )を挿入したもので、光源には強度安定化He-Neレーザー(HP社製、発振波長:632.8nm、直線偏光、パワー:2mW)を用いた。光源からの光を平行光にし、 $\lambda/2$ 板で光の偏光方向を $45^\circ$ 方向に調整したのち

試料を照射する。

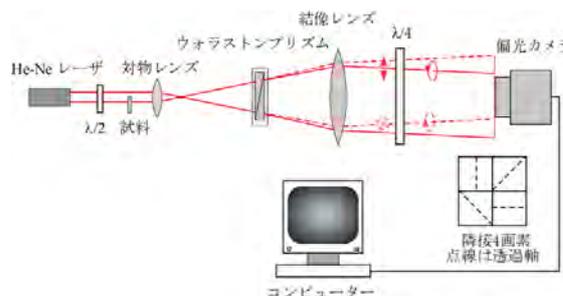


Fig.1 Experimental setup

被検試料を入射光の片側に位置するように設定し、残りの片側は参照光として用いる。試料は無限遠補正の対物レンズ(20倍、NA0.4)と焦点距離が200mmの結像レンズでカメラの撮像面に結像される。試料を透過した光と試料のない部分を透過した光はWPによって偏光方向が直交する二つの光に分け、 $\lambda/4$ 板で右、左回りの円偏光にしたのち、検出面で重ね合わせる。干渉縞の検出には、個々の画素の前に、透過軸が $45^\circ$ ずつ回転した微小な偏光板が張り付けた偏光カメラ(ソニー製、XCG-CP520)を用いる。位相シフトを与えた4つの画像がシングルショットで撮像できるため、リアルタイムの計測が可能となる。干渉縞の強度分布はCCDカメラで検出され、コンピュータに取り込まれる。干渉縞の強度分布は

$$I(x, y; \delta_j) = a(x, y) + b(x, y) \cos[2\pi fx + \varphi(x, y) + \delta_j], \quad (1)$$

と表すことができる。ここで  $a(x, y)$  と  $b(x, y)$  は干渉縞のバイアスと振幅で、 $2\pi fx$  は干渉する2光波の波面の傾きで、 $\delta_j (j=1\sim 4)$  は偏光カメラによって導入される位相シフトである。Fig.1の挿入図には隣接4画素に張り付けた偏光板の透過軸の方向を示した。 $45^\circ$ の透過軸の方位差が $90^\circ$ の位相シフトに対応する。 $\varphi(x, y)$  は被検の位相分布で、厚さ  $t$ 、屈折率分布  $n(x, y)$  の試料の場合、

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} t [n(x, y) - n_r], \quad (2)$$

となる。ただし、 $n_r$  は参照領域の屈折率である。シングルショットで撮像した一つの干渉縞画像から4つの位相シフトした画像が得られ、位相計測が可能とな

る。

### 3. 実験と実験結果

開発した干渉顕微鏡の性能を確かめるためいくつかの実験を行った。

#### 3.1 位相計測の線形性とシステム誤差

まず、位相計測の線形性とシステム誤差を評価するため、被検試料を入れずに、チルト波面の計測を行った。実験結果をFig. 2に示す。Fig. 2(a)はモザイク様の画像だが、同じ偏光方向の画素を抽出すると、(b)のような $\pi/2$ ずつ位相シフトした干渉画像が得られた。これらの干渉画像に対して4-Step位相導出法で計算したチルト位相分布の3Dプロットとラインプロファイルを示す(c)と(d)を示す。また、光学系のひずみとそれを除去した残差を(e)、(f)に示し、rms誤差は約3.6nmであった。

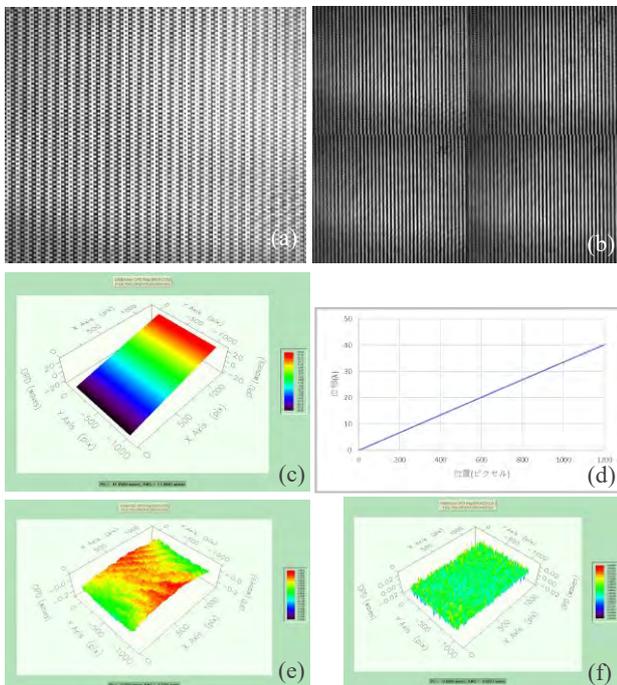


Fig.2 Experimental results for measuring the tilt wavefront between the object and reference waves.

#### 3.2 偏光保持光ファイバーの計測

偏光カメラを用いた位相シフト干渉顕微鏡の有効性を確かめるため、PANDA型偏光保持光ファイバーの測定を行った。計測サンプルとしては、偏光保持光ファイバーを厚さ $31\mu\text{m}$ にスライスし、研磨したものを用いた。計測結果をFig.3に示し、(a)~(d)はシングルショットで撮像した1枚の画像から抽出した4つの位相シフトを与えた干渉画像で、(e)と(f)は計測で得られた位相分布(屈折率分布に比例)の擬似カラー表示と位相分布の3Dプロットである。中心部のコア部の

屈折率が最も高く、“肩部”はクラッド、その両サイドは応力付与部に対応している。応力付与部の屈折率が最も低くなっていることがわかる。また、試料を移動させながら位相シフトを与えた干渉縞画像の動画が撮像でき、動的な計測が可能であることが分かった。

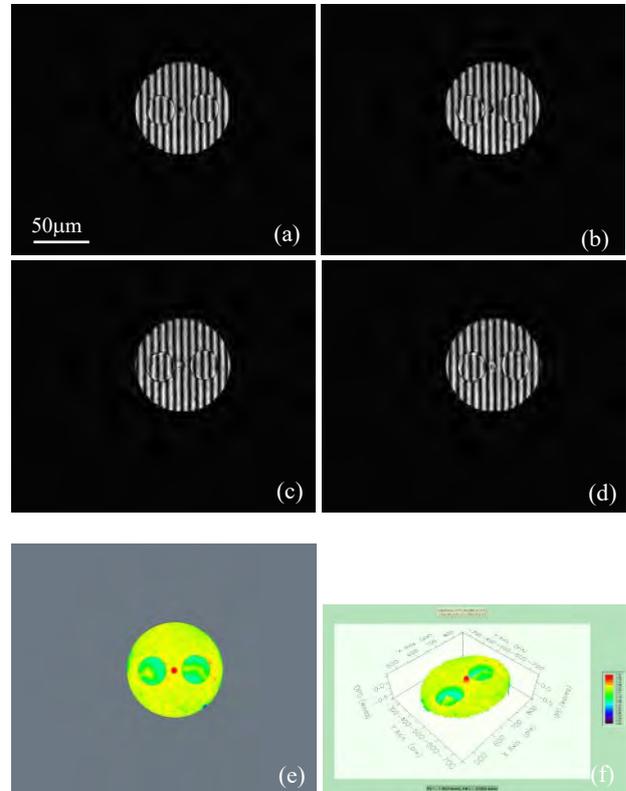


Fig.3 Experimental results for measuring polarization remaining optical fiber.

### 4. まとめ

微小な位相物体の高精度実時間計測を実現するため、透過型共通光路位相シフト干渉顕微鏡システムに偏光カメラを導入し、基礎的な実験を行った。バックグラウンドノイズを取り除いたRMS誤差は200分の1波長であった。光ファイバーの計測実験で、この方法の有効性を確かめた。

### 6. 参考文献

- [1] M. K. Kim, “Digital Holographic Microscopy”, Springer, (2011).
- [2] J. Endo, J. Chen, D. Kobayashi, Y. Wada, and H. Fujita, Appl. Opt. 41, 1308(2002).
- [3] 陳 軍, 東京工芸大学工学部紀要 Vol.43, No.1, 258(2020).
- [4] 陳 軍, 菱山大吾, 豊田光紀, 第71回応用物理学会春季学術講演会 24a-P05-5 (発表予定, 2024).

# プラスチック用自動色分析システム：ロボットアームとカラーセンサの統合

## Automated Color Analysis System for Plastics: Integrating a Robotic Arm and Color Sensors

姜有宣\*, 辛徳\*

Yousun Kang and Duk Shin

東京工芸大学, 243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

\* Tokyo Polytechnic Univ., 5-45-1 Iiyama-minami, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan

### 概要

日本では少子高齢化が進み、特に製造業界での就業人口の減少が深刻な社会問題となっている。多くの企業が工場の自動化を進めているが、人の判断に依存して行っている検査工程を自動化するのは現状困難である。本研究では、車体のプラスチック部品の色検査のため、ロボットアームとカラーセンサを組み合わせた新たな自動化システムを提案する。このシステムは、多種多様な色や形をした自動車部品の検査工程を深層学習とロボットアーム技術を利用し、自動化を目指す。精密な検査工程作業が可能なることからヒューマンエラーを防止し、製造業における効率性と品質の向上に期待できる。

### 1.はじめに

近年、工場の自動化ではAIやIoTの技術を導入し、センサやデバイスをネットワークに接続し、リアルタイムでデータを収集、分析を行い生産プロセスのモニタリングやリモート制御、外観検査などを行っている。特に画像認識の技術を利用し、外観検査システムを実装することで、物体の形に異常がないか、異物が混入していないかなどの検査を行っている。このシステムは、自動車製造の車の組み立てラインや食品産業における外観検査などに用いられている。

本研究では自動車部品の生産ラインで塗装したプラスチック部品の色検査を自動的に行うシステムを提案する。ここで色検査というのは、塗装したプラスチック部品の色が元々提供された基準色に比べてどのくらい色差があるか調べる作業である。その作業を人間の目に依存するとヒューマンエラーが発生する恐れもあるからロボットやAIを導入することで、人間が検査を行うより作業の効率や安定が望める。提案した色検査システムは、高い精度のカラーセンサとそのセンサを制御するアクチュエータが必要となる。ロボットアームの先端にカラーセンサを取り付けることにより、色検査システムの自動化を図る。

### 2.導入した小型ロボットアーム

現在ロボットアームを導入している産業では、数多くの用途のロボットアームが導入されている。中でも垂直

多関節ロボットは、現在の製造現場で最も主流なロボットである。このロボットアームは、人の関節の働きに近く、軸が多いほど様々な場所に自由に移動できる。本研究では、教育用に開発された小型アームロボット(DOBOT Magician、Dobot社)を使用する。小型アームロボットは、16cm×16cmのスペースに設置できる4軸の低価格デスクトップ・ロボットアームである。

### 3.高性能のカラーセンサ

本研究では光ファイバーケーブルが内蔵されたカラーセンサをコントローラに接続し正確なカラー値を測定する。このセンサを利用するとプラスチック部品の色の細かな違いや抜け、むらなどが原因となる不良品を検知することができる。使用したカラーセンサはMicro-epsilon社の角度付きセンサCFS1とリングセンサCFS2、コントローラはCFO200である。

図1に示したように角度付きセンサCFS1は、測定する対象物の表面に影響を与えることなく、正確な照明を当てることができる。表面の色の拡散反射した部分のみを検出するので直接反射(室内の照明などによって反射された表面の光沢)は測定には影響しないので、高光沢面や拡散反射する表面に適している。照射された光は、対象物に対して14°、20°、45°の角度で検査対象部品の表面に横向きに照射される。リングセンサCFS2は、構造や反射に関係なく拡散反射色を検出することができる。光沢のある金属表面、白色シェードなどの色を識別するのに適している。リングセンサCFS2は図1の右側に示す。

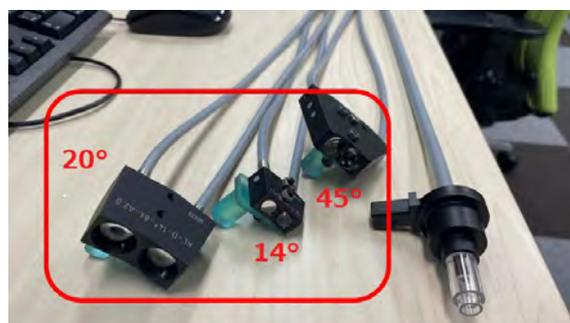


Fig. 1 Appearance of the four types of color sensors (From left to CFS1 20°, CFS1 14°, CFS1 45°, and CFS2)

#### 4. 物体認識による3次元空間上の座標取得

カラーセンサは部品の表面に光を照射する際にセンサまでの距離に非常に敏感である。図2(a)に示すように、ロボットアームを用いることで揺れない安定した状態でプラスチック部品の色の測定ができる。ロボットアームを任意の位置へ動かすためには、3次元空間上のX, Y, Z軸の座標値を指定する必要がある。本研究では、深度計測が可能な深度カメラ (Intel RealSense Depth Camera D415, Intel社) を利用し、測定する部品の3次元座標値を取得する。ロボットアームを上から見たときのX, Y, Z軸は、Xが垂直(vertical), Yが水平(horizontal), Zが奥行き(height)になり、この座標値はmm単位で指定できる。カメラとロボットアームの位置座標を合わせるため、事前にキャリブレーションを行う必要がある。

深度カメラから部品を撮影したカラー画像は図2(b)に示す。このカラー画像を用いて領域分割した結果は図2(c)の左側に示す。図2(c)の右側は深度カメラから撮影した入力画像で部品までの奥行きを表している。カラー画像から物体認識手法を用いてプラスチック部品の3次元の位置情報が得られる。本研究ではプラスチック部品の種類を認識するために、Faster R-CNN(Region-based Convolutional Neural Networks)アルゴリズム[1]を使用した。Faster R-CNNアルゴリズムは、深層学習に基づく物体検出のためのアルゴリズムで、特にリアルタイムでの物体検出と位置特定において優れた性能を持っている。Faster R-CNNを用いることによりプラスチック部品の種類を高速かつ正確に識別できた。

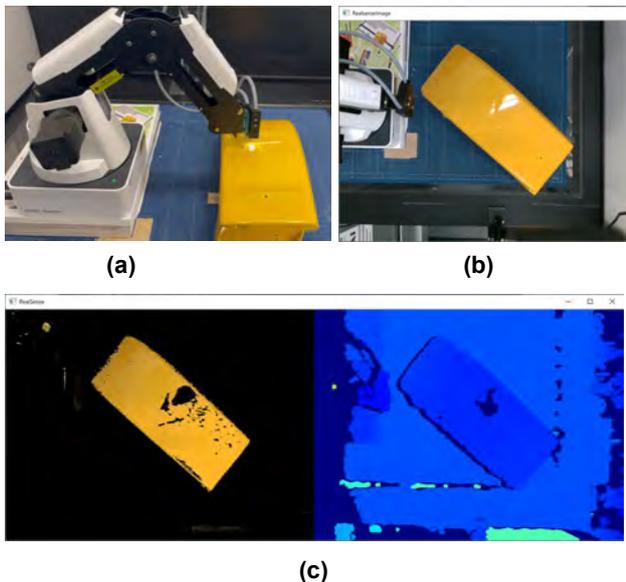


Fig. 2 (a) Robot arm measuring color values using a color sensor (b) Input RGB image (c) Segmented part image(left) and its depth image(right)

#### 5. 実験結果

本実験では図3に示した2個のプラスチック部品の色差を測定し、良品と不良品の判断を行った。工場から指定された部品の色の基準値はL\*a\*b\*色空間での座標値、(73.08, 11.73, 70.35)である。色差を表すため、式(1)のような $\Delta E$ を使用した。この $\Delta E$ 値は3.0を基準として値がその以上大きくなると色が違う不良品に判断する。

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \text{ 式(1)}$$

角度付きセンサCFS1(45°)を用いて測定したカラー値と色差 $\Delta E$ の結果を表1に示す。実験結果、良品は $\Delta E = 3$ を下回っており実用的な製品であることが検証できた。不良品は、 $\Delta E = 3$ から大きく離れていることから正しく不良品であることが検証できた。



Fig. 3 Appearance of good(left) and defective(right) products by color difference

Table 1 Color value(L\*a\*b\*) and color differences  $\Delta E$  between good and defective products

	standard value	good products	defective products
L*	73.08	71.89	84.37
a*	11.73	9.68	7.15
b*	70.35	71.39	85.41
$\Delta E$		2.5885	19.3712

#### 6. 結論

本研究では、自動車工場の検査工程における自動化システムの実現を目的とし、色の測定や色差を求めるシステムを提案した。小型ロボットアームとカラーセンサCFSとコントローラCFOを利用し自動車部品の色をLab値で求め、色差 $\Delta E$ を計算し良品と不良品を検出した。

#### 参考文献

- [1] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015, pp. 91-99.

# 色情報による筋活動のトレーニングシステム

## A Muscle Activity Training System Using Color Information

神原裕行, 大澤涼輝, 辛徳\*  
 Hiroyuki Kambara, Atsuki Oosawa, Shin Duk\*,

東京工芸大学、243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

### 概要

筋肉の活動を色情報として可視化することにより、目標や現在の自分の筋活動を知覚しやすくなるかを検証するため、手首運動に関する筋活動トレーニング実験を行った。その結果、複数の筋の協調的な活動を色情報として表示することで、各筋肉の活動をグラフとして表示するよりも高い精度で目標とする筋活動を実現できることが示唆された。

### はじめに

現代日本の社会問題として超高齢化社会の到来が挙げられるが、運動機能の維持やリハビリテーションを目的とした運動トレーニングを自宅で気軽に行えることが望まれる。運動を評価する専門家が不在の自宅では、自らが運動の質を評価し改善する努力を行う必要があるが、その際には身体運動の基となっている筋肉の活動を認識することでトレーニングを効率的に行える可能性が考えられる。

我々はこれまでに、運動中の筋肉の活動を色情報として可視化するシステムの開発を行ってきた[1]。このシステムでは、手首の筋肉群の活動を、筋シナジーと呼ばれる複数の筋の協調活動の成分に分解するとともに、筋シナジーの活動情報を色情報へと変換することで、筋活動の知覚を促進することを目指している。本研究では、このシステムを用いて、目標とする筋活動を色情報として表示することによる筋活動トレーニングの有効性を検証することを目的とする。

## 2. 提案システム

### 2.1 筋シナジーとは

脳が身体運動を生成する際には、筋肉一本一本を独立に調節するのではなく、筋シナジーと呼ばれる複数の筋肉群に内在する協調構造を利用している可能性が示唆されている。過去の研究により、様々な運動中の筋活動パターンが、下記の式(1)のように、数個の筋シナジーの基底ベクトルの線形和として再現できることが確かめられている[2]。

$$\mathbf{m}(t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) \mathbf{w}_i \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{m}(t) \in \mathbb{R}^M$ は時刻 $t$ における $M$ 個の筋肉の活動度、 $c_i(t) \in \mathbb{R}$ は時刻 $t$ における $i$ 番目のシナジーの活動レベル、 $\mathbf{w}_i \in \mathbb{R}^M$ は $M$ 個の筋肉に対する $i$ 番目のシナジ

ーの基底ベクトル、 $N$ はシナジーの個数を表す。なお、シナジーの個数 $N$ は筋肉の個数 $M$ よりも小さい数となる。

### 2.2 色情報を用いた筋活動の可視化システム

本研究で提案するシステムでは、手首の筋肉群に関する三つの筋シナジーの活動レベルを、光の三原色のR、G、Bのそれぞれの値に割り当てることで色情報へと変換し可視化する (Fig.1)。以下、その概要を説明する。手首の筋活動は、Myo (Thalamic Labs社製) と呼ばれる八個の電極を持つアームバンド型の表面筋電計を用いて計測する。また、キャリブレーションとして、Myoで計測された手首運動中の筋電位 ( $\mathbf{m}(t)$ ) に非負値行列因子分解を適用し、三つの筋シナジーの基底ベクトル ( $\mathbf{w}_i$ ) を求める。その後、基底ベクトルを列要素とする行列の擬似逆行列をMyoで計測された筋電位に作用させることで、筋シナジーの活動レベル ( $c_i(t)$ ) が算出される。最後に、三つの筋シナジーの活動レベルをそれぞれR、G、Bの値に割り当てることで、手首の筋活動を色情報へと変換する。

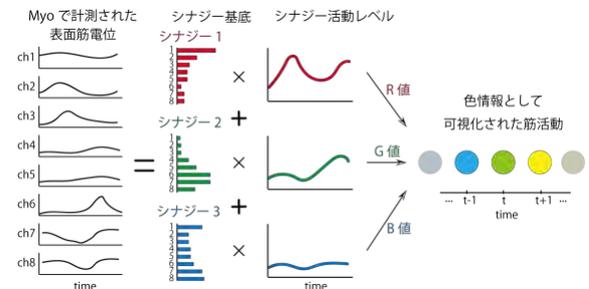


Fig.1 Muscle activity visualization system.

## 3. 筋活動のカラー化によるトレーニング効果検証

### 3.1 筋活動トレーニング実験

手首の筋活動の目標値や実現値を三つの異なる表示条件で提示し、目標値からの誤差を比較する。三つの条件は以下の通りである (Fig.2)。

- [条件1] Myoの八個の電極で計測された筋電位に関する目標値を点線、実現値を実線で表示
- [条件2] 三つの筋シナジーの活動レベルに関する目標値を点線、実現値を実線で表示
- [条件3] 筋シナジーの活動レベルから変換された色に関する目標値と実現値を並べて表示

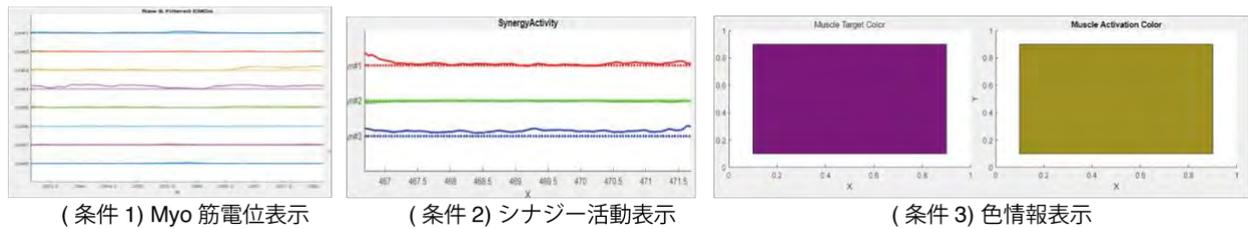


Fig.2 Three conditions for muscle activity visualization.

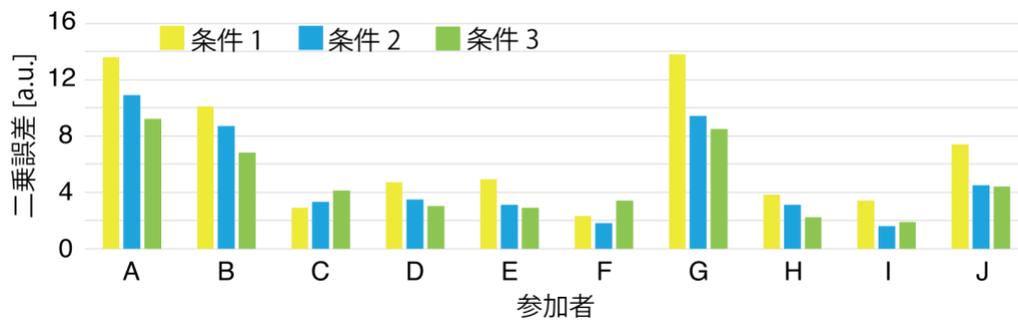


Fig.3 Mean squared error in the three muscle activity training conditions.

実験には健康な成人12名が参加した。まず初めに、各参加者ごとに手首の屈曲-進展と橈屈-尺屈の二自由度を含む八個の方向に等尺性収縮運動を実施してもらい、その際の八パターン筋活動を各自の目標筋活動とした。その後、条件1~3に従い筋活動を表示し、目標値とする筋活動に実現値をできるだけ近づけるトレーニングを行ってもらった。条件1~3を行う順番は各参加者ごとにランダムとして、実験への慣れによる効果を取り除くこととした。また、一回の試行は5秒間として、各条件ごとに40回の試行を実施し、各試行における目標筋活動は八個の筋活動パターンが各条件中に5回ずつ出現するようにした。各条件間には3分程度の休憩を取るとともに、参加者からの申し出により、試行と試行の間にも休憩を取れるようにした。

### 3.2 解析方法

目標とする筋活動をどれだけ実現できていたかを評価するため、各試行中の目標値と実現値の二乗誤差を評価する。なお、条件1に関しては、Myoの八個の電極で計測される筋電位に関する目標値と実現値の二乗誤差を算出した。一方、条件2と3に関しては、シナジー活動レベルの目標値を式(1)を用いてMyoの八個の電極に関する筋電位の値に変換し、試行中にMyoで計測された筋電位との二乗誤差を算出した。なお、参加者12名中2名のデータに不備があったため、解析対象からは除外した。

### 3.3 実験結果

Fig.3に各被験者ごとの、三つの条件に関する筋活動

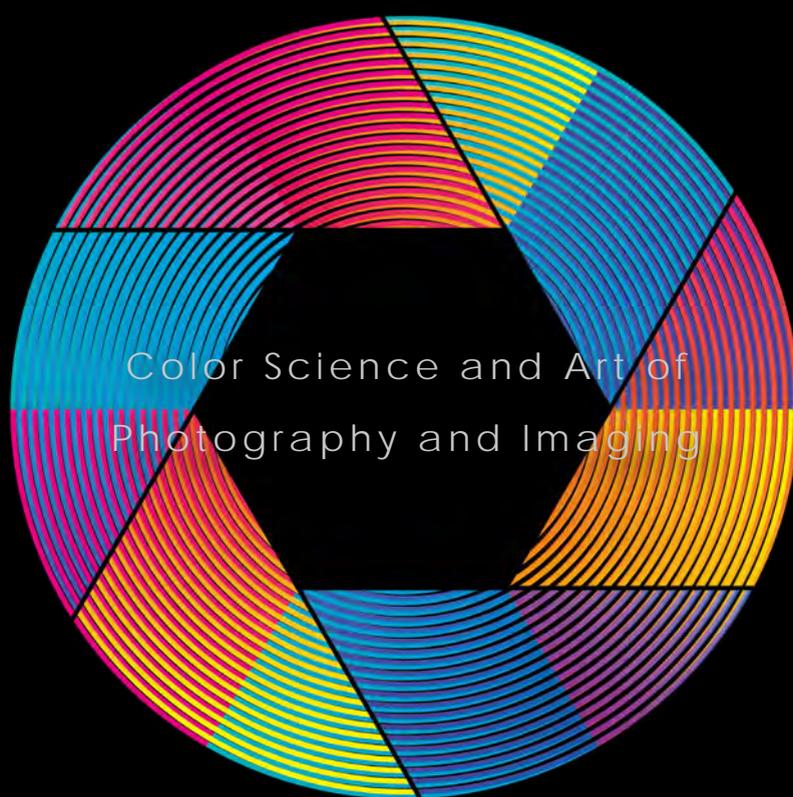
の二乗誤差を示す。なお、各条件ごとに、各試行中の全サンプル点と全電極に渡り平均値を求め、さらにその平均値を全試行に渡り平均した値を図に示した。この図から、多くの参加者において、筋活動を色情報として提示した条件3において、目標筋活動からの誤差が最も小さくなっていることが分かる。実際に、10名中7名の参加者において条件3の目標とする筋活動に最も近くなることが確認できた。

### 4. まとめ

本研究では、運動中の筋活動を色情報として可視化するシステムの有効性を検証するために、手首運動に関する筋活動をトレーニングする実験を行った。Myoで計測された表面筋電位を表示する条件、表面筋電位から計算された筋シナジーの活動を表示する条件、筋シナジーの活動を色情報として表示する条件の三つの条件において目標筋活動からの誤差の大きさを比較した。その結果、10名中7名の参加者において、筋活動を色情報として表示する条件において、最も誤差が小さくなることが確認された。この結果から、筋活動を色情報として可視化することで、目標とする筋活動や現在の自分の筋活動を知覚しやすくなる可能性が示唆され、本研究で提案するシステムの有効性が確認された。

### 参考文献

- [1] 神原裕行, 辛徳, 姜有宣, 筋シナジー情報による筋活動のカラー化, Proceedings of 4th International Symposium for Color Science and Art 2023 (2023).
- [2] M.C. Tresch, A. Jarc: Curr. Opin. Neurobiol. 19(6), 601-7(2009).



Color Science and Art of  
Photography and Imaging

[Date]

2024.2.24 Sat. 10:00-17:20

[Organizer]

The International Research Center for Color Science and Art,  
Tokyo Polytechnic University (TPU)

[Special Collaboration]

The Society of Photography and Imaging of Japan

[Venue]

Nakano Campus of Tokyo Polytechnic University