The 3rd International Symposium 2022 by the International Research Center for Color Science and Art

[PROCEEDINGS]

会場 Venue

東京工芸大学中野キャンパス6号館1階6101教室
〒164-8678 東京都中野区本町2-9-5

Nakano Campus of Tokyo Polytechnic University #6101, No.6 Building 1F
2 Chome-9-5 Honcho, Nakano City, Tokyo 164-8678

色の国際科学芸術研究センター 第3回国際シンポジウム2022

The 3rd International Symposium 2022 by the International Research Center for Color Science and Art

●Timetable　タイムテーブル

Saturday, March 12, 2022　　2022年3月12日（土）

TPU = Tokyo Polytechnic University

9:00	**開会挨拶　Opening Address** 吉野 弘章, 学長, TPU YOSHINO Hiroaki, President of TPU
9:05	
	基調講演 1　Keynote Speech 1 現実の色から拡張現実の色へ Color from Real Reality to Extended Reality マイケル・マードック, ロチェスター工科大学 Michael J. Murdoch, Rochester Institute of Technology
10:05	
	基調講演 2　Keynote Speech 2 知覚の扉: 色彩、シュルレアリスム、ディズニーアニメーション The Doors of Perception: Color, Surrealism and Disney Animation カースティン・トンプソン, シアトル大学 Kirsten Moana Thompson, Seattle University
11:05	
11:15	休憩　Break
	事業研究者講演 1　Oral Presentation 1 色を用いたバランス能力の分析と獲得のためのVRシステムの開発 Development of a VR system for analysis and acquisition of balance ability using color 大海 悠太, 牧田 孝宏, 児玉 謙太郎, 山本 正彦 OGAI Yuta, MAKITA Takahiro, KODAMA Kentaro, YAMAMOTO Masahiko
11:35	
	事業研究者講演 2　Oral Presentation 2 スマートミラーを用いた顔色変化の数値化と健康モニタリングへの応用 Complexion visualization using smart mirror and its applications to health monitoring 森山 剛, Piyarat Silapasuphakornwong, 上平 員丈 MORIYAMA Tsuyoshi, Piyarat Silapasuphakornwong, UEHIRA Kazutake
11:55	
	事業研究者講演 3　Oral Presentation 3 建築家アントニガウディのデザイン手法に関する研究　ーサグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼の色と形ー Study on a design method of Antoni Gaudi, Color and Form of the pinnacle of Sagrada Familia church 山村 健 YAMAMURA Takeshi
12:15	
	事業研究者講演 4　Oral Presentation 4 ラングトンのアリを応用した人工生命カラーリング建築 Artificial Life Coloring Architecture Applying Langton's Ant 久原 泰雄 KUHARA Yasuo
12:35	
	昼休み　Lunch Time 展示見学　Exhibition Tour
13:40	

13:40

基調講演 3　Keynote Speech 3

明かりと翳りの色彩

Beauty of color in the light and the shade

大住 雅之, 株式会社オフィス・カラーサイエンス

OSUMI Masayuki, Office Color Science Co., Ltd

14:40

事業研究者講演 5　Oral Presentation 5

外観デザインと調和する透明アンテナ

Transparent antennas matching with the surrounding appearance and design

越地 福朗, 山田 友里, 安田 洋司, 山田 勝実, 内田 孝幸

KOSHIJI Fukuro, YAMADA Yuri, YASUDA Yoji, YAMADA Katsumi, UCHIDA Takayuki

15:00

事業研究者講演 6　Oral Presentation 6

LN結晶を用いたフルカラーホログラム動画表示素子の開発

Development of a full-color holographic flip-books system using LN crystals

陳 軍, 豊田 光紀, 石井 行弘

CHEN Jun, TOYODA Mitsunori, ISHII Yukihiro

15:20

15:30　休憩　Break

事業研究者講演 7　Oral Presentation 7

金属元素を用いない二つの有機材料からの金属様光沢の特性

Metallic luster from two organic pigments without metallic elements

山田 勝実, 矢島 仁

YAMADA Katsumi, YAJIMA Hitoshi

15:50

事業研究者講演 8　Oral Presentation 8

マルチスペクトルカメラを搭載したUAVによる立体モデルの構築、

ならびにそれらへのインデクスマッピング・フルカラー３D造形

Construction of 3D models using UAVs equipped with multispectral cameras,

and their index mapping and full-color 3D printing

内田 孝幸, 美田 翼, 久原 泰雄

UCHIDA Takayuki, MITA Tsubasa, KUHARA Yasuo

16:10

事業研究者講演 9　Oral Presentation 9

有色黒鉛層間化合物の大気非暴露環境における構造・物性評価

Characterization of colored graphite intercalation compounds under an inert atmosphere

松本 里香, 大嶋 正人, 山田 勝実, 行谷 時男, 實方 真臣

MATSUMOTO Rika, OSHIMA Masato, YAMADA Katsumi, YUKIYA Tokio, SANEKATA Masaomi

16:30

事業研究者講演 10　Oral Presentation 10

「うつろいの色、紅」学術映像の制作

A science filmmaking “Dynamic Color, Beni”

矢島 仁, 小田 珠生, 松本 里香, 山田 勝実

YAJIMA Hitoshi, ODA Tamaki, MATSUMOTO Rika, YAMADA Katsumi

16:50

閉会挨拶　Closing Address

野口 靖, 色の国際科学芸術センター長, TPU

17:00　NOGUCHI Yasushi, The Director of the International Research Center for Color Science and Art, TPU

18:00　展示見学　Exhibition Tour

色の国際科学芸術研究センター，第 3 回国際シンポジウム 2022
― 色の科学と芸術の社会的展望―
The 3rd International Symposium 2022 by the International Research Center for Color Science and Art

学長からのご挨拶
吉野 弘章

東京工芸大学の原点は、1923 年（大正 12 年）に創立した、我が国で最初の写真専門の高等教育機関「小西写真専門学校」です。当時最先端メディアであった写真の技術者・研究者を養成するために創設され、写真技術（テクノロジー）と写真表現（アート）との融合を目指す極めて先駆的な学校でした。現在の本学は、工学部と芸術学部という二つの学部を擁するユニークな構成の総合大学へと発展していますが、それは「工・芸融合」という創設以来継承される本学の精神を体現しているのです。

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共通す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。

カラボギャラリー（col.lab Gallery）は、「色」について楽しく学ぶことができる公開施設であり、「色」の研究成果を、写真、映像、拡張現実、プロジェクションマッピング、CG 等の最新のメディアアートの手法によって情報発信する、「工・芸融合」を推進する本学ならではの取り組みと言えるでしょう。色の国際科学芸術研究センターの活動を通して、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、これからの本学の取り組みにどうぞご期待ください。

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 3 回国際シンポジウム 2022」を開催する運びとなりました。今回は、「色の科学と芸術の社会的展望」をテーマとし、関連する各分野からお招きした 3 名の専門家の講演と、本学教員による 10 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。そして、今年度は文化庁の「令和 3 年度 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 51 件に上り、本センター附属の展示施設で

あるカラボギャラリーでは、現在第 8 回となる企画展が開催中です。
この 2 年間、世界は新型コロナウイルスに振り回されてきました。Zoom などの遠隔会議ツールが急速に普及し、オンラインでつながることの利便性や自由度を知って驚くとともに、他者に直接会って話すことが私たちの生活にとって重要であることを改めて認識した 2 年間でもありました。このように目まぐるしく変化する価値観の中で、私たちはシンポジウムや展示の方法に関しても、従来の方法論を越えた持続可能な形を模索する必要に迫られております。
本シンポジウムは、感染症対策に万全を期した上で、会場とオンラインでの開催を同時に行なうことを予定しております。また、本センターの、本学工学研究科及び芸術科学研究科にまたがる工芸融合機関としての特性を活かし、「口頭発表と展覧会」という形式で研究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 lectures

Associate Professor Michael J. Murdoch

Michael Murdoch is an Associate Professor in Color Science and the Director of the Munsell Color Science Laboratory at the Rochester Institute of Technology (RIT) in Rochester, New York, USA. Michael teaches courses including colorimetry, psychophysics, lighting, and imaging. He leads a research project on color appearance in augmented reality (AR) funded by a National Science Foundation CAREER Award, and additionally conducts research on displays and temporally dynamic LED lighting. Through his career, Michael has enjoyed working on color system modeling and human-centered design for solid state lighting, HDR LCD, and OLED display systems, previously working at Kodak Research and Philips Research. He holds a BS in Chemical Engineering from Cornell University, MS in Computer Science from RIT, and PhD in Human-Technology Interaction from Eindhoven University of Technology in The Netherlands.

Michael's website:
https://www.rit.edu/directory/mmpocs-michael-murdoch

Professor Kirsten Moana Thompson

Dr. Kirsten Moana Thompson is Professor and Director of Film and Media at Seattle University. She teaches and writes on animation and color studies, as well as American, German, and Pacific studies. She is particularly interested in the materiality of color production processes in 2D animation and the impact of color in visual culture in the nineteenth and twentieth centuries. Recent work has focused on the animated surfaces in Moana; the material color history of Disney and Faber Birren, and Ludwig Von Drake and the Disney promotional film. She has been appointed to the Color in Motion Advisory Board of the Academy of Motion Pictures, Arts and Sciences Museum in Los Angeles, 2021 and will be helping to plan an upcoming exhibition on color in the motion pictures for 2024. Publications include Animation and Advertising (co-ed. M. Cook, Palgrave, 2019), the first book to examine the relationship of animation with non-theatrical media; Apocalyptic Dread: American Cinema at the Turn of the Millennium (SUNY Press, 2007); Crime Films: Investigating the Scene (Wallflower: 2007) and Perspectives on German Cinema (co-eds with T. Ginsberg , GK Hall: NY, 1996). She is currently working on three new books, Color, Visual Culture and American Cel Animation; Bubbles; and Animated America: Intermedial Promotion from Times Square to Walt Disney.

大住 雅之

【略歴】
1982　　東京農工大学工学部卒
1982‐2003　日清紡　繊維事業本部，カラーシステム事業部
2004‐　　株式会社 オフィス・カラーサイエンス 代表取締役

日清紡績株式会社（現日清紡ホールディングス）に入社後、色彩制御・管理システムの構築・研究に従事。研究中に開発した技術を基にカラーシステム事業を開始。CCM(コンピュータ・カラーマッチングシステム)等のシステムを繊維，印刷，塗料，プラスチック製造業界向けに展開。2004 年に独立し、株式会社 オフィス・カラーサイエンスを設立、現在に至る。自動車塗料に関する CCM 及びカラーシミュレーションシステムの研究・開発を得意分野とし、自動車、電子機器、塗料、材料メーカー等にシステムを提供すると共に、テクニカルアドバイザーを務める。仕事の関係先や取引先は、アジア、ヨーロッパ、北米を中心とした各国にわたる。

【活動】
日本色彩学会／測色研究会：主査
ＪＩＳ検討委員会：委員長
ＣＩＥ：TC1-95、TC2-85、JTC-12 委員

KEYNOTE SPEECH

PROCEEDINGS

Color from Real Reality to Extended Reality

Michael J. Murdoch

Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, USA

ABSTRACT

As the development of extended reality technologies bring us closer to what some call the metaverse, it is valuable to investigate how our perception of color translates from physical, reflective objects to emissive and transparent virtual renderings. Colorimetry quantifies color stimuli and color differences, and color appearance models account for adaptation and illuminance level. However, these tools do not extent satisfactorily to the novel viewing experiences of extended reality. Ongoing research aims to understand the perception of layered virtual stimuli in optical see-through augmented reality with the goal of improving or extending color appearance models. This will help ensure robust, predictable color reproduction in extended reality experiences.

1 INTRODUCTION

We spend most of our time in real reality, experiencing real-world objects under real illumination. We experience color as the interaction of objects, illumination, and our visual system, and in general we have evolved an excellent visual sense capable of understanding the real world around us. Traditional media from painting to imaging, printing, and display allow people to create and present visual stimuli that look like the real world or convey an artist's impression of a scene. None of this surprises us; the real world is beautiful, and art helps us share, enjoy, and interpret it.

At the moment we are on the rapid upswing of the development of amazing visual technologies known as extended reality (XR), which includes virtual reality (VR), augmented reality (AR), and other variations. XR promises to transport us to remote places, allow us to collaborate with automata and other people in a shared environment, and augment our vision to improve our understanding of the world around us. XR is compelling in part because it is surprising; the visual environment created with VR and AR can be quite unlike real-world objects and traditional media. The novelty of visual experience in XR demands careful study both to understand our visual response to it and to enable the development of more comfortable, more accurate, and more predictable XR systems and content.

2 COLOR IN OBJECTS

In the real world, we like to attribute color to the objects themselves. This is not fully correct, because lighting clearly affects color and appearance, and we are also able to perceive and appreciate changes in illumination and the colors of emissive objects themselves. However, the adaptation mechanisms of our visual system allow us to approach color constancy to a sufficient extent that objects indeed seem to securely possess their colors.

Object color has been studied and organized using color order systems, including the Munsell system, based on the basic dimensions of color perception: hue, value, and chroma. Quantifications along these dimensions allow accurate specification of color, and color palettes such as Pantone also allow unambiguous communication about object colors [1].

Color systems, as well as traditional art media, rely on metamerism, the phenomenon by which spectrally-different color stimuli may be perceived as the same color, in a particular viewing environment. Thus, an artist doesn't need to recreate the physics of a sunset sky, just mix a combination of pigments to look like the sky.

2.1 Colorimetry and Color Appearance Models

Quantifying color matches is the role of colorimetry, which provides a system for numerical specification of a measured color stimulus, scaled to be perceptually meaningful but falling short of describing perception. Colorimetry and color differences are used in assessing color matches between samples in many industries including textiles, coatings, and printing.

Color appearance models (CAMs), including CIECAM02 and CAM16, extend colorimetry by accounting for some of the perceptual effects caused by viewing conditions, such as the illuminant color and intensity. CAMs still don't fully describe appearance, but they are capable of specifying color matches in terms of a correspondence between colors in different viewing conditions [2][3]. CAMs have been developed using data from visual experiments mostly involving reflective color samples, though some data sets have also incorporated colors as light sources or displayed on screens.

3 COLOR IN DISPLAYS

Emissive color displays have become ubiquitous for image presentation and user interface, and the accurate representation of colors on displays has required careful transfer of object color characteristics. Color management involves computing the correspondence of colors from one medium to another, accounting for the color and intensity of the lighting in a scene as well as the color balance and intensity of the display. The color reproduction of an entire imaging chain from capture to display describes how object colors in an illuminated scene are rendered on a display, whether accurate or intentionally enhanced [4].

Modern displays in mobile devices actively compensate for ambient illumination, automatically dimming the display and changing the white balance of the display in response

to the user's environment. Ideally, these transformations are done in the paradigm of CAMs in order to preserve color appearance, but in some cases they may be simply applied to images as scale factors.

Many displays offer high dynamic range (HDR) and wide color gamut (WCG), increasing their capability to produce a wide range of colors. Because CAMs were mostly developed using reflective object colors at normal illumination levels, recent research has tested their accuracy and suggested improvements where needed [5][6]. Despite ongoing progress, CAMs have so far not been widely tested using XR colors and images.

4 COLOR IN EXTENDED REALITY

XR systems are constructed in a variety of form factors based on different engineering priorities, but at the core of any system is a display. Optical configurations can make the display appear further away, cover a wide field of view, and/or be transparent, all of which can affect the appearance of displayed content.

VR systems may be able to completely control the visual field, offering new opportunities to influence visual adaptation. Initial research shows that color accuracy and chromatic adaptation can measured and controlled in VR, but a VR CAM remains unstudied [7].

4.1 Scission in AR

AR systems with transparent displays enable the composition of real-world and virtual content in the same field of view, which further complicates color appearance. Physically, a transparent display adds virtual colors to the real backgrounds visible behind, but perceptually these two layers, virtual and real, may be seen as distinct in a phenomenon known as perceptual scission. Depending on the spatial configuration and the visual task, experiments have shown that viewers can discount the contribution of either the AR foreground or the real-world background when interpreting and matching colors [8].

Specifically, when AR foreground colors are compared and matched, the influence of the background is discounted [9]. Alternatively, when background colors are compared and matched, the AR foreground is discounted [10]. The extent of discounting, influenced by perceptual scission, varies widely depending on the visual cues of the layered presentation, including the alignment of AR overlays, luminance levels, stimulus complexity, and the presence of borders [11][12]. So far, a deterministic model of the extent of discounting according to these influences remains elusive, which means a full model of color appearance in XR also remains difficult.

Ongoing research aims to complete this model. More experimental data on the correspondence between AR and real-world stimuli in different configurations are needed, and proposed models of foreground-background blending must be verified and/or improved.

5 CONCLUSION

Color descriptions, colorimetry, and traditional color appearance models have developed based on reflective objects illuminated in real-world environments. Concepts describing color appearance and the effects of viewing environment have been successfully applied across media to printing and display applications. However, the viewing experiences of extended reality expose the limitations of these models. Ongoing research has uncovered visual responses, including scission, and shown what kinds of experimental data still need to be collected to create more capable models for color appearance in XR environments.

ACKNOWLEDGEMENT

This material is based upon work supported by the National Science Foundation under Grant No. 1942755.

REFERENCES

[1] Berns, R. S. (2019). *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*. John Wiley & Sons.

[2] Fairchild, M. D. (2013). *Color Appearance Models*. John Wiley & Sons.

[3] Li, C., Li, Z., Wang, Z., Xu, Y., Luo, M. R., Cui, G., ... & Pointer, M. (2017). Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16-UCS. *Color Research & Application*, 42(6), 703-718.

[4] Giorgianni, E. J., & Madden, T. E. (2008). *Digital color management: Encoding solutions* (2ed). John Wiley & Sons.

[5] Xinye, S., Yuechen, Z., & Ronnier Luo, M. (2021, November). A new corresponding color dataset covering a wide luminance range under high dynamic range viewing condition. In *Color and Imaging Conference* (Vol. 2021, No. 29, pp. 184-187). IS&T.

[6] Safdar, M., Hardeberg, J. Y., & Luo, M. R. (2021). ZCAM, a colour appearance model based on a high dynamic range uniform colour space. *Optics Express*, 29(4), 6036-6052.

[7] Gil Rodríguez, R., Bayer, F., Toscani, M., Guarnera, D. Y., Guarnera, G. C., & Gegenfurtner, K. R. (2022). Colour Calibration of a Head Mounted Display for Colour Vision Research Using Virtual Reality. *SN Computer Science*, 3(1), 1-10.

[8] Hassani, N. (2019). *Modeling Color Appearance in Augmented Reality*, PhD Dissertation, Rochester Institute of Technology.

[9] Hassani, N., & Murdoch, M. J. (2019). Investigating color appearance in optical see-through augmented reality. *Color Research & Application*, *44*(4), 492-507.

[10] Murdoch, M. J. (2020). Brightness matching in optical see-through augmented reality. *JOSA A*, 37(12), 1927-1936.

[11] Downs, T., & Murdoch, M. (2021, November). Color Layer Scissioning in See-Through Augmented Reality. In *Color and Imaging Conference* (Vol. 2021, No. 29, pp. 60-65). IS&T.

[12] Zhang, L., Murdoch, M. J., & Bachy, R. (2021). Color appearance shift in augmented reality metameric matching. JOSA A, 38(5), 701-710.

The Doors of Perception: Color, Surrealism and Disney Animation

Kirsten Moana Thompson

Seattle University, 901 12th Ave Casey 430-02, Seattle , WA 98122, USA, thompski@seattleu.edu

ABSTRACT

Inspired by the writings of Aldous Huxley on perceptual hallucination and color effects, this paper considers the formal role of color in the production of abstract, experimental or surrealist representation in 2D animation of several Disney features of the forties: Dumbo (1941), Saludos Amigos (1943) and The Three Caballeros (1945). While Disney's pioneering innovations brought 2D animation to a higher form of verisimilitude more typical of the live action film, this paper suggests that Disney's stylized and non-representational animation demonstrated the heightened role that color played in the depiction of hallucinatory perception as imagined by Huxley.

1. INTRODUCTION

1.1 CEL ANIMATION AND DISNEY'S INNOVATIONS

My research focuses on the material color production processes of animation: the ink and paint department, the cels on which the drawings were traced, inked and then colored, and the paint pigments used to manufacture different kinds of paints, from water colors to poster paint, oils and dry and wetbrush effects. 2D cel animation consisted of composite drawings that were inked and painted onto clear acetate sheets called cels and layered together with background paintings. Up to 12 individual drawings were photographed, usually twice each, to produce the illusion of movement for every second of onscreen time. Long before *The Wizard of Oz* and other films with distinctive colour palettes, the Disney studio played a pioneering role in colour cinematography by releasing the first films in subtractive three strip color or what was called Technicolor IV, and which introduced colors like yellow and blue to cinema. Disney had an exclusive patent with Technicolor for this process between 1932 and 1934, and introduced the first Technicolor IV cartoon *Flowers and Trees* which would win an Academy Award for its innovations in color cinematography In effect, Disney was an early adopter for the film industry, pioneering Technicolor IV's color cinematographic process about 5 years before it would appear in major studio features like MGM's *The Wizard of Oz* and *Gone with the Wind* in 1939. The Disney studio has been a consistent innovator in color technologies from its pioneering Silly Symphony cartoons in the thirties to its early adoption of color television in The Wonderful World of Disney series in the sixties, to its technological innovations with fireworks, water fountains and projected animation in shows like The Wonderful World of Color

1.2. DISNEY'S HYPPERREALISM AND SPECIAL EFFECTS

In the classical American studio period (from the coming of sound through to the late fifties), Disney played a seminal role in developing an industrialized assembly line process that created a highly specialized division of labor—of directors, animators, ink and painters, colorists, background artists, layout artists and other specialists. As part of this, Disney helped develop a 2D animation special effects department that created the meticulous visual effects that simulated difficult to animate subjects such as atmospheric effects (rain, fog, mist); water effects (ripples, waves, bubbles, ripples), and fire and light effects (candle light, firelight, flames) as well as other scintillating and luminous light effects. This attention to detail in his feature films, and prior to that, in his Silly Symphony cartoons of the thirties, where many of these effects were first developed, meant that Disney's pioneering 2D animation or Hyperrealism [1] as it has been called, came closer to photographic realism or than had seemed previously possible. His realism was also particularly attentive to natural light effects and to the flora and fauna of the real world. Nonetheless within Disney's meticulous realism, were periodic eruptions that used color in highly nonrealistic ways, that reflected avant-garde influences, like the "Pink Elephants sequence" from Dumbo (1941). In this sequence, which we will examine, Dumbo the elephant and Timothy the mouse drink what they assume to be water but is actually alcohol. They become intoxicated and start to hallucinate pink elephants.

2. SURREALISM

Salvador Dali considered Walt Disney 'an American surrealist'[2]. Disney was in turn fascinated by the creative work of Dali, and the two collaborated for a period of time in the mid-forties on the unfinished short film *Destino* (later completed and released in 2003). This surprising collaboration between one of the leading surrealist painters of the twentieth century and the pioneering producer of a form of animated (hyper)realism leads me to explore the role in which color has been used as a key device in the Disney studio, not as primary tool for its otherwise dominant form of animated realism, but rather for a wildly experimental, even avant-garde approach to color**.**

2.1. WRITINGS OF HUXLEY

As with Dali, Disney also collaborated with many other experimental artists, philosophers and thinkers, including Sergei Eisenstein, Oscar Fischinger and Aldous Huxley, the latter briefly working on a script idea for *Alice in Wonderland* for Disney that was ultimately never produced. What can the writings of philosophers like Aldous Huxley tell us about the relationship of color and animation? Huxley suggested in *The Doors of Perception* and *Heaven and Hell,* his famous studies about the perceptual effects of taking mescalin and LSD, that luminosity, intense color and a heightened sense of meaning were three key characteristics of visionary experience (a special form of the imagination). Like Goethe before him, Huxley suggested that ascetics, artists, or children all share visionary perception. But for everyone, visionary perception can also be triggered by special kinds of aesthetic objects, exemplified by the jewel, which is "self-luminous" and exhibits a preternatural brilliance of color and significance, and whose "colored, moving, living geometrical forms" typify a recurrent formal dimension of hallucinatory vision, especially under the effects of mescaline.[3]

3.JEWELS IN ANIMATION; TWINKLING, SCINTILLATING AND REFRACTIVE COLOR

Precious gems like emeralds, rubies and diamonds were frequent narrative pretexts for product differentiation, foregrounding the spectacular display and affective appeal of the new color cinematographic process Technicolor in animation. I argue that the animated jewel, and other related visual figures like fireworks, shooting stars, rocket flares, explosions and lightning flashes exemplify what I call starburst animation, or animation whose incremental shimmer and literal frame by frame control of speed, duration and concentration of light produce an affective trigger between onscreen imagery and off-screen bodies, that can produce a resemblance to what Huxley called "those intensely significant, inwardly glowing objects encountered at the mind's antipodes"[4] and are altered states of perception, that dimly echo visionary experience, foregrounding the imaginative expression of "experience by experience." [5]

3.1 STARBURST ANIMATION AND DISNEY'S LATIN FILMS

Saludos Amigos (1942) and *The Three Caballeros* (1945) appeared as part of nine package films made by Walt Disney between *Bambi* (1942) and *Cinderella* (1950). Shaped by the financial constraints of the war and the cut off European market, the Disney studio's two Latin American features were sponsored by the Office of the Coordinator of Inter-American Affairs, a branch of the State Department headed by Nelson Rockefeller, whose goal was to realign the loyalties of the Central and South American markets with the United States at a time when Nazi Germany was deepening its influence in nations like Argentina and Brazil. In the features color becomes a device for the hallucinatory and synesthetic expression of music, food, costumes and cultural practices. Huxley suggests that popular cultural practices like fireworks, pageantry and theatrical spectacles were "vision inducing devices" [6], and I want to suggest here that Disney's irreverent musicals and its rollicking, rambunctious three protagonists, Jose Carioca, the Brazilian parrot, Panchito, the Mexican rooster, and Donald Duck, the American avatar take us on a perceptual ride through color.

3.2. VITALITY EFFECTS AND COLOR

Finally, I will discuss the relationship of color to perceptual phenomena which neuropsychologist Daniel Stern has termed "vitality affects," such as "surging, falling, fading, increasing, or explosions" and which are key recurrent elements in animation, frequently represented through transformation, flux and metamorphosis[7]. I will focus on certain perceptual phenomena of pulsating, transforming, abstract colored forms which feature extended examples of these vitality effects: the Pink Elephants sequence in *Dumbo*, the 'Aquarela do Brazil' in *Saludos Amigos*, and the eponymous musical climax in *The Three Caballeros.*

4. REFERENCES

[1] Paul Wells. "The Problem of Realism" *Understanding Animation*. (Routledge, 1998), 25.

[2] *Disney and Dali: Architects of the Imagination*, 2015, cited by Hank Hine, Director of Fundacio Gala-Salvador Dalí Museum in St Petersburg, Florida.

[3] Aldous Huxley, *The Doors of Perception* and *Heaven and Hell* (Harper: NY, 2009), 103; 96.

[4] Aldous Huxley, *The Doors of Perception* and *Heaven and Hell* (Harper: NY, 2009), 103; 96.

[5]Vivian Sobchack. *The Address of the Eye: A Phenomenology of Film Experience.* Princeton: Princeton University Press, 1992, 11.

[6] Aldous Huxley, *Heaven and Hell*, Harpers: NY, 2009, 157.

[7] Daniel Stern, *Forms of Vitality: Exploring Dynamic Experience in Psychology and the Art*. Oxford University Press; Oxford, 2010, 53-61.

明かりと翳りの色彩
Beauty of color in the light and the shade

大住雅之*

株式会社 オフィス・カラーサイエンス、222-0033　神奈川県横浜市港北区新横浜3-20-12 新横浜望星ビル402
*Office Color Science Co., Ltd., 3-20-12 Shinyokohama, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 222-0033, Japan

概要

日本の色彩文化、特に質感に関連した多様な表現を、光学的な測定をもとに考察することを試みた。日本古来の工芸品のもつ質感は、精緻な技法や工夫によってもたらされた複雑な表面構造を有し、多くの匠の手によって試行が繰り返され、より完成度の高いものへと昇華した。特に茶の湯の精神性としての侘と寂の思考は、多くの変容を様々な工芸品にもたらした。また、能装束といった古典芸能は、日本の芸術の粋である。本研究では、茶道具の中で光学異方性を持つ緞子古帛紗と油滴天目茶碗、孔雀羽根といった光学異方性材料を用いた帯、復元能装束、更には現代の工芸品として最新の特徴ある自動車外装塗色に着目し，光学的な特徴を分光イメージング装置や多角度分光光度計で計測し、加えて各々の対象の「質感」を日本の色彩の一環として考察、特に陰翳に関する光学異方性の特徴を捉えるために、変角分光計測を行い、角度毎の色空間上の分布を解析することで、対象の持つ質感に関する要素を数理的に捉えた。

1. はじめに

日本の色彩文化を語る上で重要な視点は、質感の言葉に代表される多様な表現にある。これは複雑な表面構造による、精緻な技法や工夫によってもたらされるもので、その多くは周辺のアジア諸国から伝搬されたが、日本独特の文化の変容に伴い、多くの匠の手によって長い年月の中で試行が繰り返され、より完成度の高いものへと昇華していった。特に日本では、茶の湯における、精神性としての侘と寂の思考が、多くの変容を様々な工芸品にもたらせたと言え、同時に茶室という空間の中には、その結果を凝縮した形でみることができる。また、日本の代表的な古典芸能である能は、光の中での舞いを極限までに高めた精神文化であり、その重要な構成要素である装束には、究極の芸術的な要素が込められている。古典技法から現代に至るまでの、様々な光学異

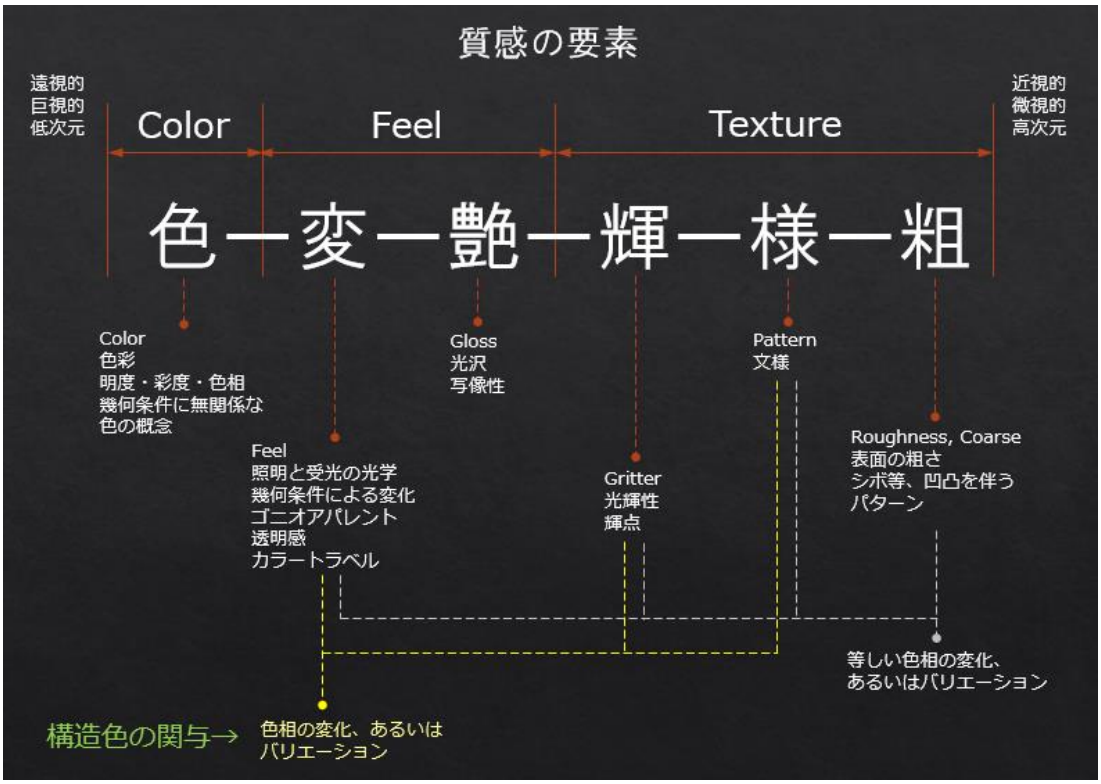


Fig. 1 質感の要素

方性を持つ工芸対象を視点に置き、特にそれらが有する「質感」の要素を日本の色彩の一環として論じる。

2. 質感と光学条件

2.1 質感の概念

質感という言葉を英訳するのは至難の業で、適切なフレーズを探すことが難しい。理由としては、日本独特の表現であること、そして単語の持つ意味の多様性にあると考える。単純には材質そのものや感じ方を表わすが、同時に表面のテクスチャや見えの変化を意味したり、時には高級感を意図する品質の程度に用いられたりもする。そして質感の持つ意味の多様性は、匠の技による質と表現の指向と追及の交差点のように思えてならない。今回取り上げる対象の全ては、差し込む光と観察する視点の方向との関係によって、色彩やテクスチャの表情が変化するゴニオアパレントなもので、厚さ僅か1～2mm以内の表面構造の中で繰り広げられる複雑な光の演出である。

ここで質感の概念を構成する要素をそれぞれ漢字一文字に当てはめてみる。ピックアップした漢字は色、変、艶、輝、様、粗で、基本的に物作りに関する色彩と質感は、この6文字に集約される（Fig.1）。「色」は色彩そのものの概念で、明度、彩度、色相の3属性で表せられる要素である。「変」は、照明と受光の光学幾何条件による変化であり、例えば、メタリックであるとか、シルクライクであるとか、マットやグロスのような感覚を引き起こす概念である。更にその変化が正反射付近に特化すると「艶」となり、それが極めて微小領域に限定され強度が増すと「輝」という概念に繋がる。一方、文様である「様」は、生地の組織、大理石のパターン、木目等々であり、最後の概念「粗」は、表面の3次元凹凸を伴う要素である。お互いはそれほどかけ離れた概念ではなく、近接した関係に有るが、これらの要素が複合化し、あるバランスの上で質感の特徴が成立していると考える。つまりこれらは色彩と質感構成のエレメントと捉えることができる。

また、この6つの要素は、最近の計測システムの測定対象と連携している。計測の上では、表面及び表面下での散乱により、表面構造や照明のモードと照射と受光に関する光学幾何条件と相まって、「見え」への影響を与える。これ故に表面及び表面下の両者を的確にとらえることによって、質感の正確な把握に繋がる。一般的に、色彩情報は正反射方向から離れた角度に多くの情報が含まれており、逆にハイライト近傍では、質感に関する情報が多く含まれている。測定機器は、市場のニーズから計測システムとしての確からしさを伴うべく、計測原理を開発しており、現在では色彩と質感を融合した要素を捉えられるように機能を展開している。

2.2 質感とイメージング

質感の計測にはイメージングによる手法が必須であり、特に光輝材を含む塗色では、光学幾何条件を可変できる変角システムの適用が必須である。今回、用いたシステムは、当初は自動車外装塗色への計測応用を中心に研究を進めたもので、光輝材を含む塗色を正確に測定する為には、かなり厳しい条件を満たす必要があった。光輝材一つ一つのフレークの正反射方向への反射は極めて高輝度で、輝点の大きさが小さく、光学幾何条件の依存性が高い。また、干渉性光輝材の場合は、分光分布プロファイルはシャープで純色に近い発色を示す。この為、変角でかつ広いGamutが確保できる分光方式を必要とし、広いダイナミックレンジとピクセル分解能の高さが求められる。得られる情報量は極めて多く、精細かつ正確であり、一定水準の精度を確保することができれば、質感研究の為の多くの知見を得ることが可能となる。本講演では独自に開発した変角分光イメージングを用いた、最近の研究例を紹介する。

使用したシステムは、液晶チューナブルフィルターを分光手段に用いて構成した装置で、スキャン波長毎に1

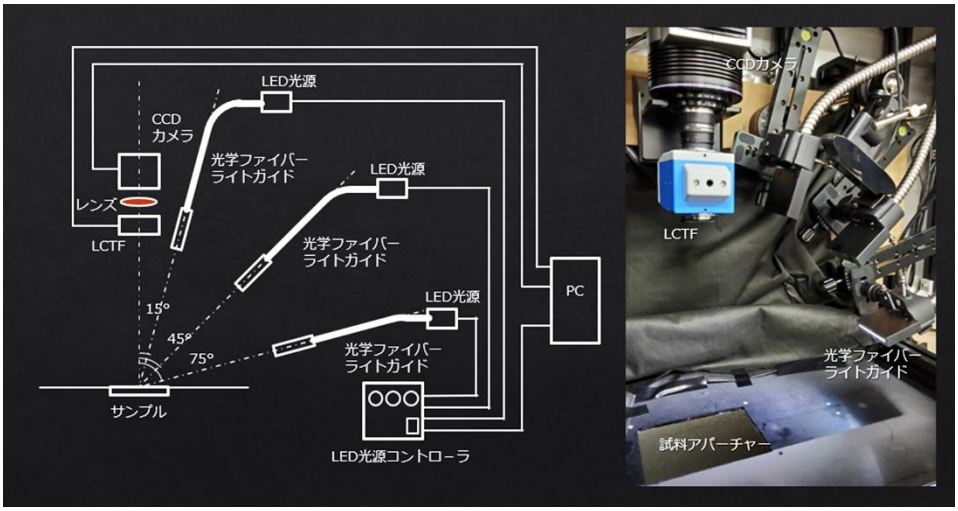


Fig. 2 分光イメージング測定に用いた光学幾何条件

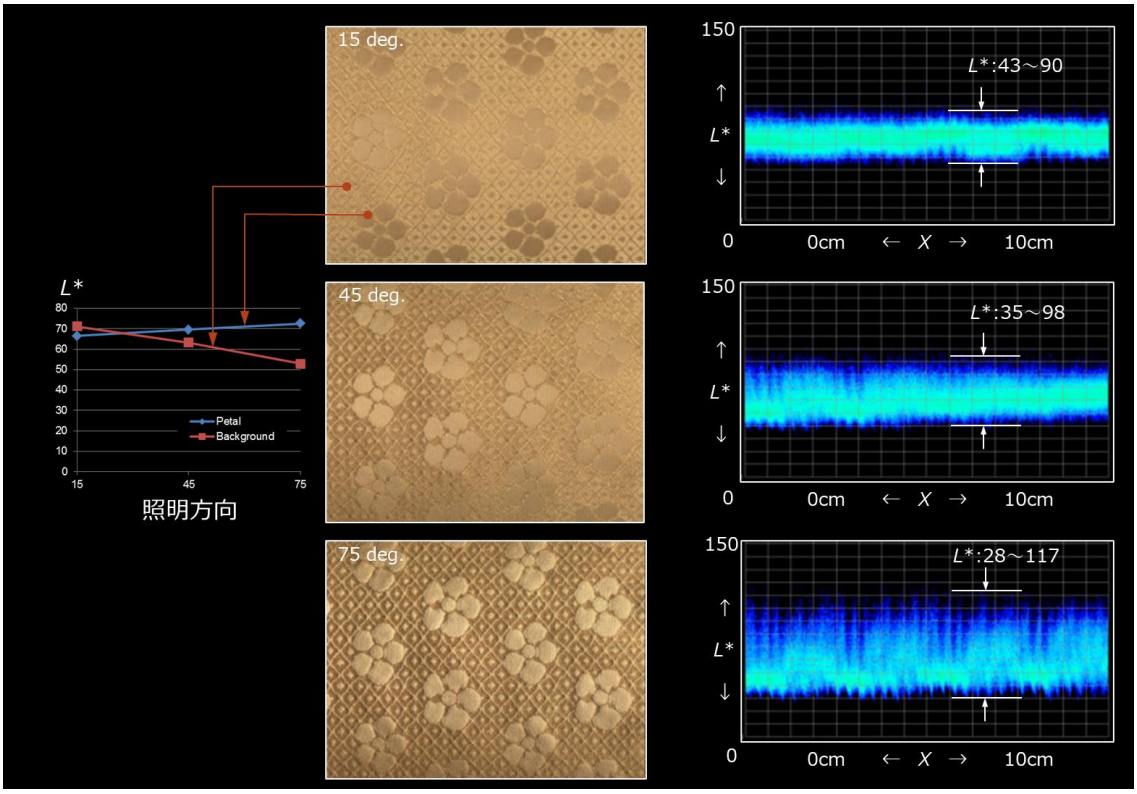


Fig. 3 古帛紗の光学幾何条件による明度(*L)分布**

フレームの画像を取り込む、スナップショット方式のものである。可能な限りノイズを低減する目的で、画像センサーにはペルチェ冷却とアンチブルーミングを備えた16bit出力のモノクロCCDカメラを用い、光源の分光分布とCCDセンサーの分光特性の波長毎の違いを調整し効率化する為に、校正時に波長毎に露出時間を最適化し、多角度の照明を可能とした(Fig.2)。液晶チューナブルフィルターは、旧CRI製の VariColor Spectroで、半値幅10nmの透過帯域を、420から700nmまで10nm毎に計測する。またモノクロCCDセンサーはBitRAN製で、772×580ピクセルの画素を持ち、ペルチェ冷却及びアンチブルーミング機構を付属している。光源には紫外LED励起にRGBの蛍光体を組み合わせた、高演色性の白色LED(シーシーエス製)を用いて、測定の安定化を図った。

3. 古帛紗と油滴天目

緞子の古帛紗と油滴天目の平板サンプルを作製し、それぞれを変角分光イメージングで計測し、光学幾何条件の変化に於ける、見えや表面の表情の変化を捉えた。

3.1 古帛紗の光学特性

古帛紗とは裏千家などで用いられる茶道具の一つで、一辺が五寸の正方形をした布地である。二つ折にして懐中している状態から、使用する時は広げて、点てた茶碗を運ぶ際に下に敷いたり、茶器の拝見の際に畳の上に広げたりして用いる。緞子は織組織の一種であり、発祥地はシリアのダマスカス地方とされ、緞子の事を「ダマスク」とも呼ぶ。日本には室町時代に中国より盛んに輸入されるようになり、貿易港である堺から技術が伝搬された。絹の持つ光沢の特性と織組織に起因し、照明の方向を変えると、文様と地の部分で明るさが変化し、角度によって反転する現象が見受けられる。即ち光の照射と視点の空間的な幾何条件によって表情が変化する。この状況を光学的により明確にする為に、典型である梅の文様の古帛紗（蛇の目地梅花紋緞子）を対象に、変角分光イメージングシステムを用いての計測を試みた。

方法は、古帛紗の垂直方向から受光し、光の照射は試料に対して垂直方向から、15°、45°、75°の3つの異なる幾何条件で計測した(Fig.3)。

得られた分光反射率から明度値*L**の分布を調べたところ、表面全体の分布では，正反射に近い15°の観察に於いて分布幅は比較的小さいが、正反射から異なる水平方向に近い角度では、*L**の分布幅は大きくなる。また文様と地の部分の領域の平均*L**を見ると、文様部では*L**は照明方向が生地に対して水平方向に近くなるほど直線的に増大し、地の部分は逆に減少する。計測対象の古帛紗の場合は、おおよそ角度が25度近辺で交差する。文様と地の境界は接しているので、視覚的には色差（明度差）には敏感となり、錯視も伴って

表情の多彩な変化につながっている。このような増加と減少が同時に起こるのは、素材の絹本来が持つ独特の光沢を放つ光学特性と、複雑な形状を有する糸と織構造が起因しており、この古帛紗全体での光学異方性の組合せの妙技と言える。

3.2 油滴天目の光学特性

古帛紗を脇の存在と考えるならば、茶碗は主の存在である。茶の湯に用いられる茶碗も釉薬層や表面の起伏によって様々な表情を光の中でとらえることができる。天目茶碗は、中国宋代以降に盛んに製造され、禅僧により日本に伝えられた。油滴天目は、ガラス質の黒く光沢のある表面層の中に鉄釉の結晶を持ち、光学異方性の特徴が顕著である(**Fig. 4**)。

古帛紗の計測と同様，分光イメージング装置を用いて、分光画像から照明角度ごとにCIELAB空間での出現頻度を求めた。試料は油滴天目の技法を適用した10cm四方の平面試料で、計測精度を確保する為に、特別に作成した。照明角度が正反射に近い角度では*L**の分布幅は大きくなり、水平方向に向かって照射角度を変えるに従い、*L**の分布は小さくなる。これは光学異方性の発現機構が、ガラス層中に析出している鉄を主体とした金属反射を引き起こす、結晶の配向性に依存していることを示唆している。レーザー共焦点顕微鏡で、焼成後の釉薬層の鉄結晶表面の3次元情報を取得し配向分布を求めたところ、垂直方向に分布が多く集中しており、計測結果と符合する。これは古帛紗と逆の特性である。

3.3 古帛紗と油滴天目の関係性

色彩に関するピクセル毎のパラメータを分光計測から導出し、その分布や変動幅を調べたところ、お互いを引き立て合う関係に有る事を見出した。照明の正反射近辺では、油滴天目のように釉薬層の中に金属結晶が析出し、独特の文様を発現している場合には、多くの情報量を有し、コントラストや強い反射強度を有する。一方で、脇役の古帛紗では、正反射近辺の緞子の文様はコントラストを欠き、油滴様を引き立てる。また、正反射から離れたシェード方向では、反対に油滴天目の平板は落ち着いた表情となり、明度分布の振幅も小さくなる反面、古帛紗では文様のコントラストが増し、明度分布の幅も大きくなり、油滴天目と古帛紗の間には反対の挙動が存在し、お互いを引き立て合う関係が成立する(**Fig. 5**)。

極東に位置する日本では、時代の流れの中で様々な文化が導入されたが、いずれも日本独特の表現に発展していく過程の中で、例えば茶の湯に代表される精神性の高い文化の変容との相互作用が存在したのではと考える。特に光学異方性を持った精緻な表面構造を持つ工芸は、気が遠くなるほどの手間と時間を費やす匠の技に他ならない。茶室内では、日本独特の採光手段である障子によって、指向的ではあるが極めて柔らかい拡散光を生む。このような照明環境の中、ゴニオア

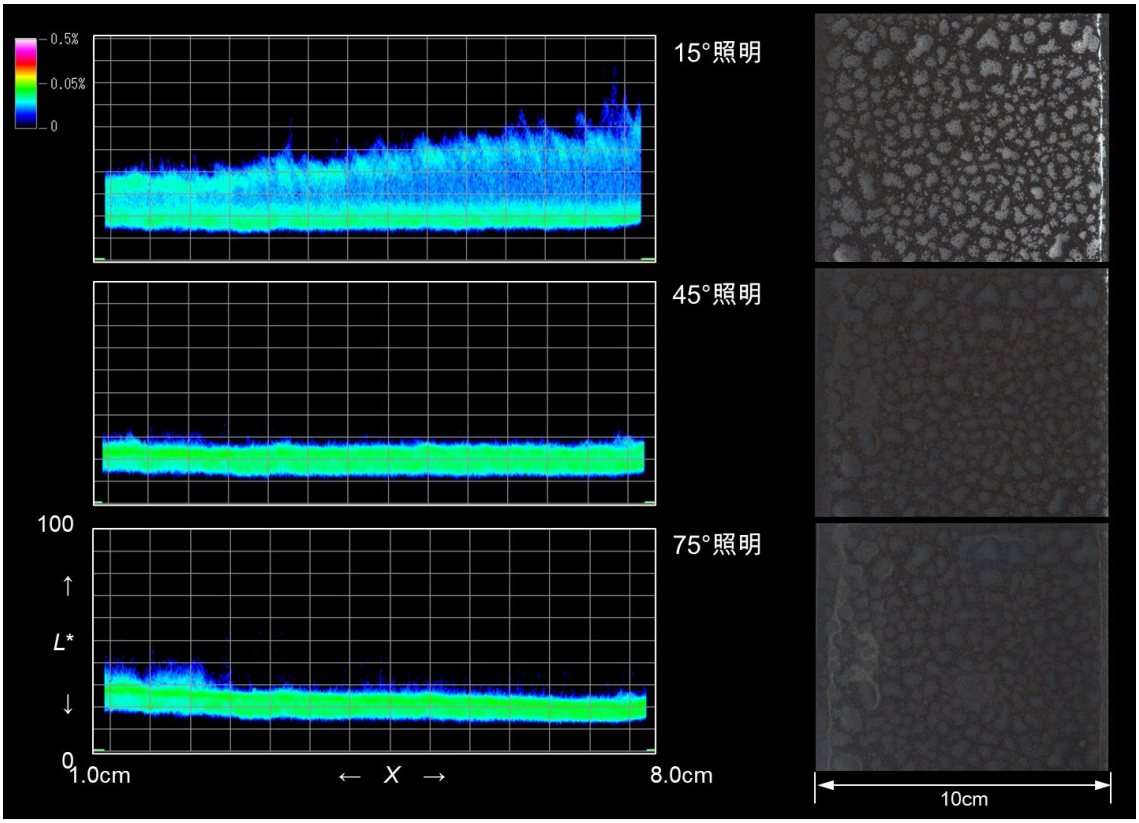


Fig. 4 油滴天目の光学幾何条件による明度(*L)分布の違い**

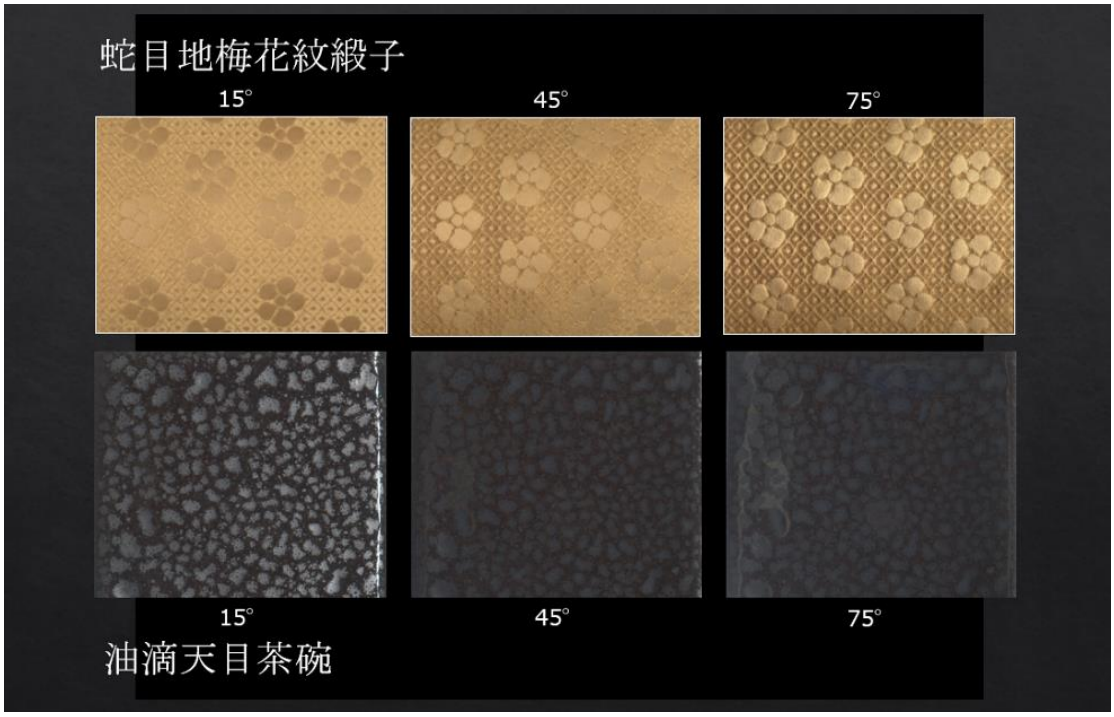


Fig. 5 緞子古帛紗と油滴天目表面の光学幾何条件による違い

パレントな性質は、見る者にとって、より一層の深い感銘を与える。今回着目した古帛紗は脇であり、天目茶碗は主の関係にあるが、素材や表現技法が異なる両者は、光学異方の特性も異なる。茶碗は正反射によって激しい表情から、柔らかい表情へ移ろうが、古帛紗は逆に落ち着いた表情からはっきりした表情に変化する。お互いが相方の存在をより際立たせる関係に有り、一期一会に結びつく高度な演出を見て取れる。そしてその追及の姿勢は，今なお日本の工業製品の開発に受け継がれているように思う。今回の油滴天目の計測試料は、山辺田窯の西山徳右衛門氏にご協力を頂いた。

4. 孔雀羽根の分光特性

古帛紗や油滴天目の分光特性と質感印象を調べ，それらが仕草によって時間的空間的に形状や艶めきと陰影を変化させるさまについて考察してきた。変化に誘発される「綺麗」は，螺鈿，蝶や甲虫，鳥の羽根など天然の構造色素材を用いた美術工芸品にも見受けられる。染料や顔料の色材で描画再現する際には、手技と素材による技法の条件を最適化するといった表現の工夫が多くある。一方、自然界の実材（生物の体の部位）をそのまま使用する場合でも、素材感を活かすために同様の条件と工夫がある。古来より孔雀の羽根は、陣羽織などにも用いられ、意匠性の高い素材とされてきた。近年、帯に適用された例があり、その視覚効果を光学的に検証する為に、素材としての孔雀羽根の構造色特性を調査することが、本例の目的である。

孔雀羽根（インドクジャクの雄の上尾筒と呼ばれる部位で眼状紋のある装飾羽根）に注目し、その光学的特徴を、光学顕微鏡を用いての、照明幾何条件に基づく微細構造観察と、変角分光イメージング装置を用いての、構造色の分光特性、及びCIELAB空間上の分布を調査した。

試料は、美術工芸品における孔雀羽根素材の効果を研究する事を目的とした上で、美術工芸品の素材としての一本の上尾筒と、上尾筒の後羽根部の羽枝のみを水平に重ね並べたサンプルを測定に用いた。

4.1 光学顕微鏡による観察

デジタル光学顕微鏡（キーエンス製 VHX-5000）を用いて微細構造の観察を行った。本装置は、垂直落射照明（明視野像）、リング照明（暗視野像）、片側落射照明等といった、種々の照明条件による撮像が可能で、今回はリング照明による暗視野像と、片側落射照明、及び垂直落射とリング照明の混合の3種を用いた。尚、本装置は垂直方向にレンズ位置を動かし、焦点を深度方向に合成する全深度合成機能と、合成中に同時に3次元像を得るD.F.D.（Depth from Defocus）機能が備わっており、観察にはこれらの機能を併用した。

Fig. 6に眼状紋部分の顕微鏡像を示した。羽根には高彩度に発色する部位と茶褐色の発色をする部位があり、それぞれ表面の状態はやや異なるが、両者ともに拡大してみると、人間の髪の毛と同じようなCuticle状の構造が見受けられる。孔雀羽根は皮質部にメラニン顆粒が規則正しく並ぶことで，可視光領域での光の干渉が引き起こされ、構造色が発現することが先行研究で知られている。メラニンによる低明度の背景が、高彩度の発

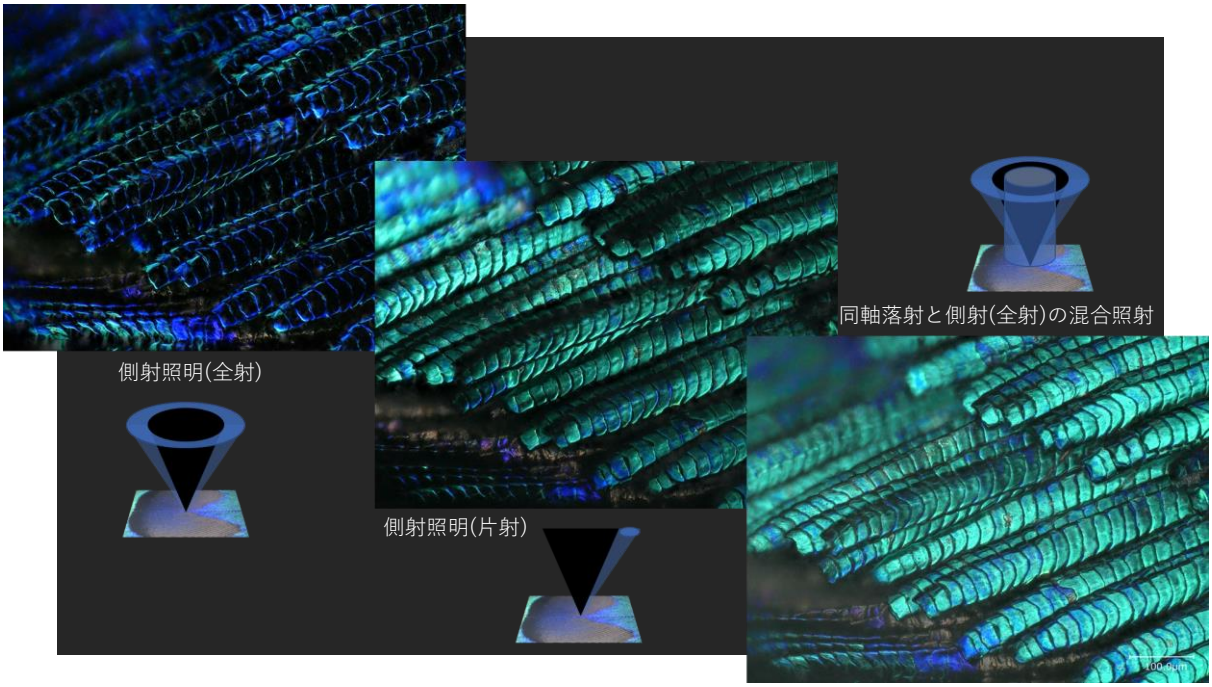


Fig. 6 孔雀羽根尾筒部の各種照明条件下に於ける顕微鏡観察

色に繋がっていることが，推察される。

顕微鏡観察では、照明方法によって多彩な表情の変化があり、これもメラニン顆粒による構造色発現機構に依存した変化で、正反射方向と、シェード方向では、大きな発色の違いが認められる。

4.2 変角分光イメージングによる観察

変角分光イメージングでの計測では、照明方法に光の放射端がライン形状の石英ガラス製光学ファイバーを用いたライトガイドを組合せ、試料の垂直方向から15°，45°，75°の3角度について計測を行った。これにより再現性の高い光学幾何条件の計測を実現した。撮像範囲は6.5cm×4.9cmで772×580ピクセルの解像度である. また，校正には白色マット面を、ダイナミックレンジを確保する為に、各波長の強度や感度の違いを吸収するように露出時間を最適化しつつ行った。

15°から75°にかけての3角度での分光イメージング測定結果から、D65光源、10°視野で計算した画像と、CIELAB空間のa^*-b^*平面での分布状態を求めた。角

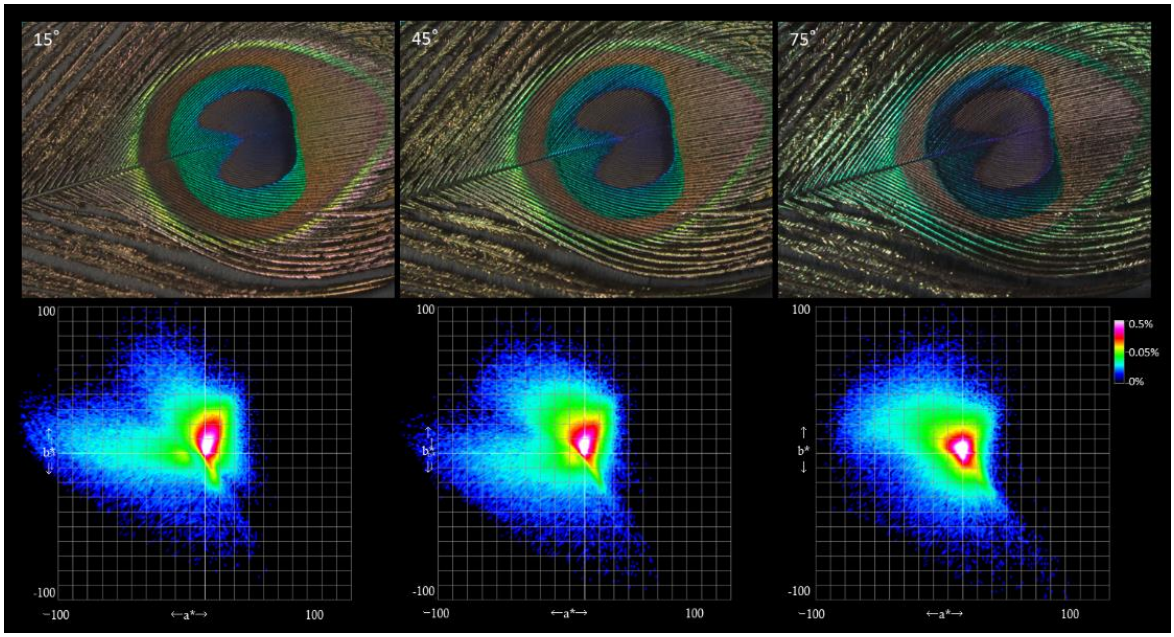


Fig. 7 孔雀羽根尾筒部の変角分光イメージングによる計測結果

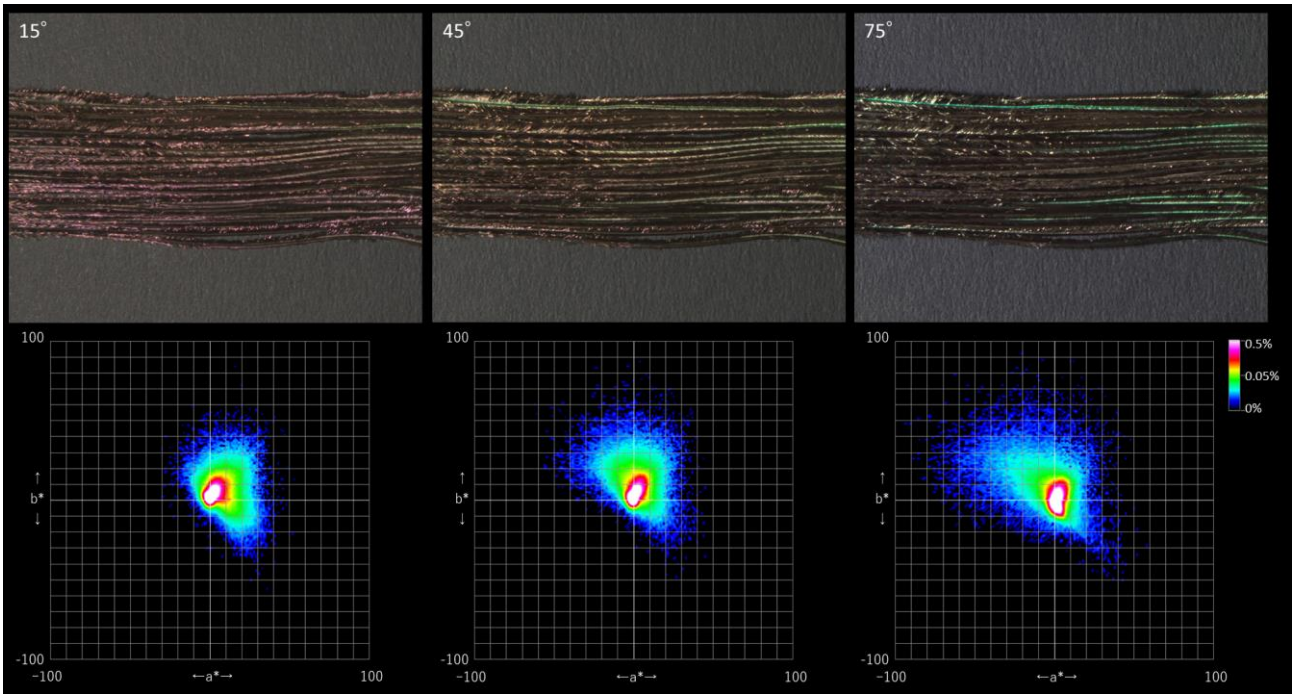


Fig. 8 孔雀羽根綿状羽枝の変角分光イメージングによる計測結果

度が75° になると分布の色域も広がり、特に*a**が負でb*が正の緑の領域については顕著に広がっている。範囲はかなり広く、また高明度方向にも同様に広い領域に分布している。この構造発色全域をカバーする為には、広いGamutが必要で、sRGBの領域は超えているものと推察される。孔雀羽根（上尾筒）である、特徴的なアイボール部位を変角分光イメージングで計測すると、かなり広い色域まで分布していることが分かる（**Fig. 7**）。

一方、上尾筒の後羽根部の羽枝のみを水平に重ね並べたサンプルでは、照明の幾何条件が垂直方向15° から75° に変化すると赤みから緑みへと反対色の色相変化を引き起こす（**Fig. 8**）。また90° サンプルの方位を回転させ、同様の測定を行ったところ、方位方向の変化にはあまり依存しない事を確認した。天頂角方向の幾何条件に対しては極めて高いレスポンスで色相が変化し、方位角方向に関しては殆ど依存性が無いことから、球状の顆粒が規則正しく整列していて、粒子の大きさがちょうど可視光領域に干渉として作用するということが、構造色の発現理由にとして整合する結果が認められた。

孔雀羽根を織に適用する場合は、比較的柔らかい綿状羽枝を用いることになるが、女性の帯に用いた場合、結び方によって織組織は直交する関係となるが、構造色の発現機構が小球配列では、方位角の依存性を持たない為に、直交しても発色の程度はあまり変わらないという効果が予想される。一方、シェード方向になると、特に高彩度の緑色の発色が顕著になり、前面からの観察では中心近辺にハイライトによる高い明度部分と、逆に側面付近では、低明度の中に高彩度の羽枝のラインが引き立つ構図となる。綿状羽枝を集めた織組織では、アイボールのような特異的な文様は無いが、高彩度が引き立つところどころに輝きのような文様が、より美しさを際立たせる要因になり得ると考える。

眼状紋の硬く密で光沢感ある羽枝による補色配色は華やかである。孔雀羽根の綺麗感は、眼状紋部より疎らながら羽枝が長く、小羽枝も広がって空気に揺れる後羽根部羽枝の光輝感を伴う色相変化により向上するであろう。帯のような衣装となると、揺れの要素は抑えられるが、面としてのまとまりの中に、複雑な光輝の移動を示すようになる。硬い面的な着装となる帯の意匠にはふさわしく、孔雀羽根織帯は、和室の光環境のなかでの仕草にともなう光輝感の出現と消滅、色相変化の効果が予想される。

5. 能装束の光学特性

渡文株式会社により、西陣織の能装束「紅浅葱段替り露芝に梅水仙の雪輪と垣に菊文様唐織」が復元された。今回の講演に先立ち、貴重な計測の機会を得たので、変角分光イメージングによる非接触測定を試みた。本例では、その結果を報告する。

復元装束は、露芝地に梅と水仙をおさめた雪輪を配し、凛とした相州の趣をあらわした部位と、垣に菊花で秋の風情を見せ、春秋を示す文様の部位で構成されており、この二種の組み合わせが、各段におさまるように配されている。計測は、それぞれの代表的な部位、合計2か所に対して行い、計測角度は古帛紗同様に試料面垂直方向に対して、15° 、45° 、75° の3角度に対して実施した。計測視野は、凡そ32㎜×24㎜である。

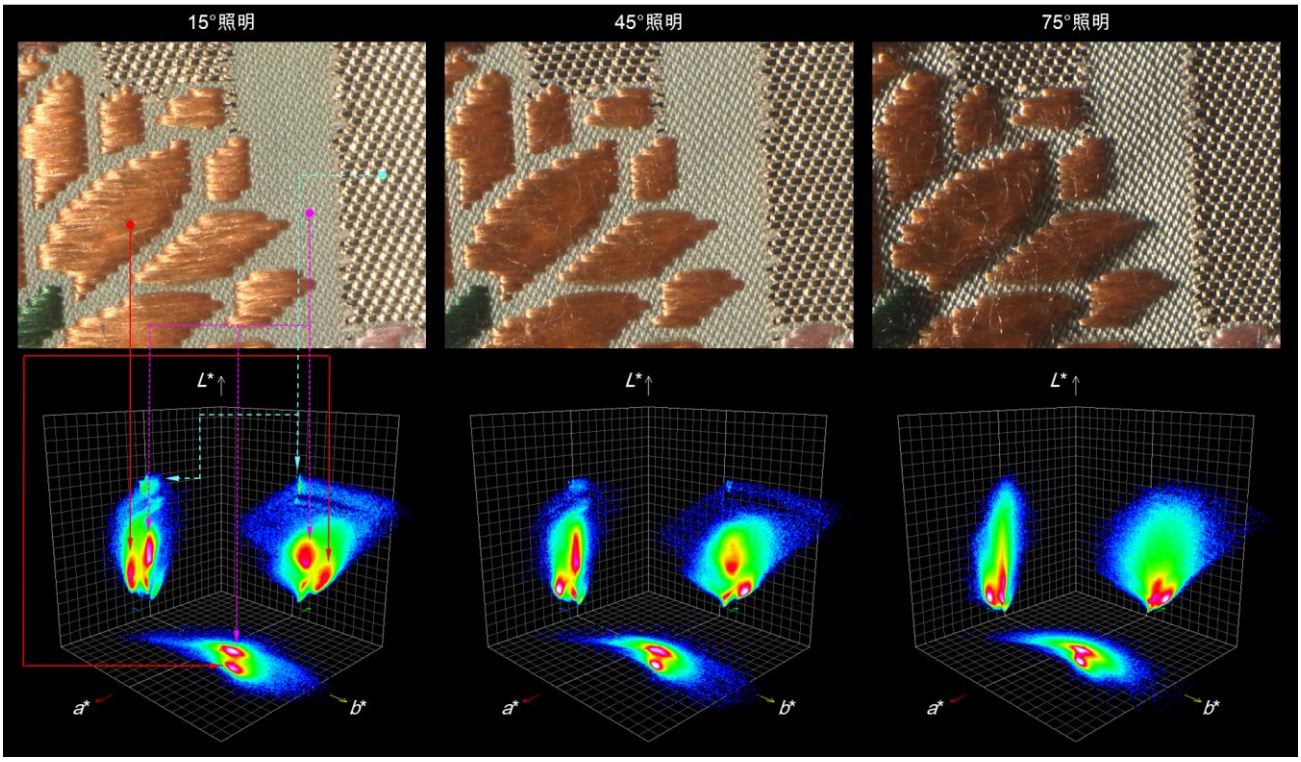


Fig. 9 復元能装束の変角分光イメージング計測結果－照明角による CIELAB 空間分布の変化

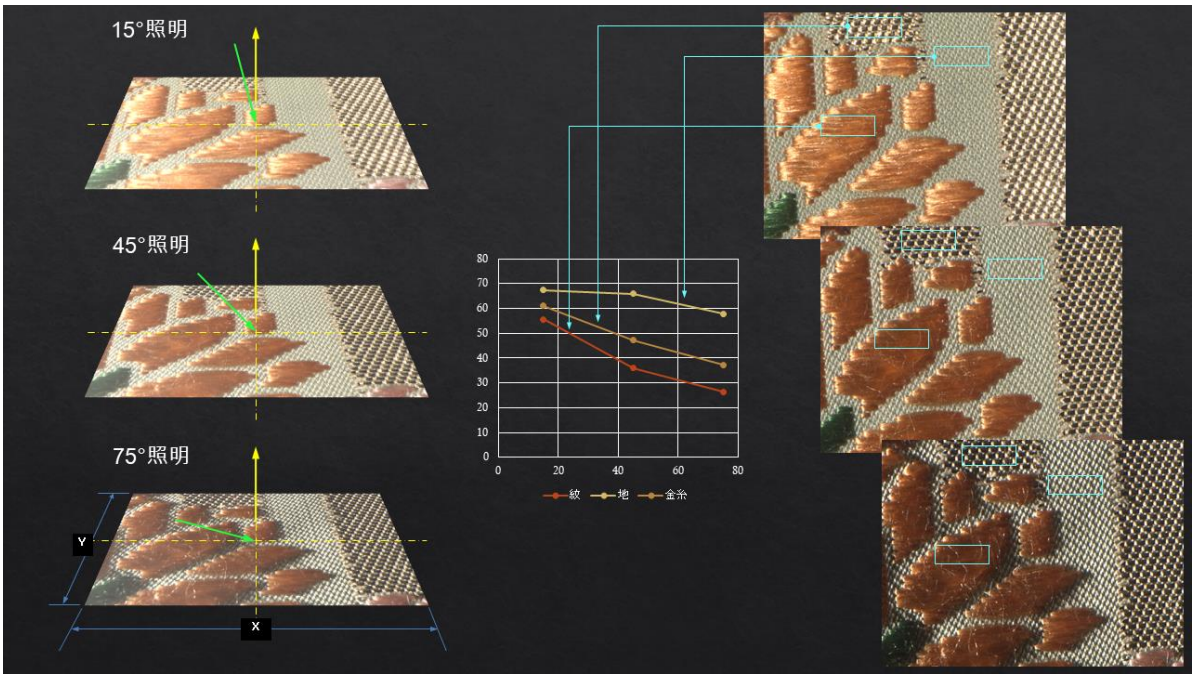


Fig. 10 復元能装束の変角分光イメージング計測結果－照明角による *L値の変化**

尚、照明方向は、実際の能舞台を意識して、体幹軸に対して側方から照明している状態を想定した。

垣に菊花文様で地が鶯色の部位を分光イメージング計測し、それに対してCIELAB値を求め、色空間上の分布を示した(**Fig.** 9)。視野の全体は絹糸で織られており、西陣独特の美しさを有している。垣の部分には金糸が用いられ、織り込まれた部分に指向性の照明を施すと、織組織に伴う光輝性の反射と相まって、煌びやかな印象を与える。菊花文様の部分は橙色で、絹固有の光沢のある反射が認められる。また視野の右下には、葉の文様が緑色の糸であしらわれている。加えて地の部分は鶯色の織で構成される。CIELAB色空間上の分布を画面全体に対してプロットすると、15° 照明下では、4者の関係が明確に見て取れる。45° から75° にかけて、照

明角を垂直近辺から水平方向に移行させると、有彩色の絹糸の意匠は、低明度、低彩度方向にシフトする。また、金糸では、正反射方向の反射成分が減少し、特に45°では分布量が15°と比較すると大幅に減衰、75°で略、消滅している。

次に計測視野の中の代表部位を矩形でピックアップして、範囲内の平均明度値*L**を求めた(**Fig. 10**)。部位は菊花文様、地、及び垣に施された金糸織り込みの3か所である。いずれの*L**値も照明角度の増大に伴い、減少している。然しながら減少の程度は、各部位で異なり、地の部分は、それほど大きな変化をもたらさなかったものの、菊花文様及び垣金糸織り込み部位については、大きく減衰した。これは、絹糸、金糸といった素材の持つ反射特性と、織組織に依存する現象である。復元能装束の場合は、全体が明度減少の傾向になる。

更に矩形範囲内の画素毎にL*をプロットし、分布を求めた(**Fig. 11**)。菊花文様部位では、矩形範囲を明らかな正反射部分を含む形で設定したが、*L**分布は照明角15°では広く分布していることが確認され、照明角が増大するに従い分布範囲は狭くなり、かつ低い値に分布の中心が変化する。菊花文様では、絹糸が視野の横方向に配されており、方向依存による反射挙動となっている。一方で地の部分は織組織が極端に異なり、分布の幅は広がっているが、分布の中心はそれほど低い値にシフトしていない。正反射部分とシェード部分の角度変化によるバランスがとれるような織組織であることが推測される。

また、金糸の部分では、分布の幅はそれほど変化が無いか、分布の中心は低い値にシフトしており、特に正反射と見受けられる分布は、角度が増大するにつれて、減衰、消滅している。15°照明での上位に位置する分布は、恐らく装置の測定レンジの影響で、測定レンジ以上の反射が上限付近に留まり、プロットされた結果であると考えられる。

一方で今回の復元品は大変貴重なものであり、計測時のダメージを極力抑える為に、非接触、短時間、微弱光下での測定であったので、かなり限定的であった。そこで、知見を補う為に、能装束の端切れを入手し、接触測定を行った。構成には、菊花文様同様の絹糸刺繍部位、絹糸織部位、及び金糸の織り込み部位が含まれている。但し金糸は、箔を施したもので、形状は復元能装束のそれとは大きく異なる。測定では形状と正反射強度を計測し、具体的には光学顕微鏡観察(KEYENCE製VHX-7000)で、照明の方位方向による変化、D.F.D.による3次元形状観察を行い、KEYENCE製VR-5000による3次元形状測定も行った。また、接触式の測定機器としてSpectra2Profiler(独BYK Gardner社製)による、3次元形状観察、及び0/0光学系による正反射強度の測定を行った。結果としては金糸の部分の正反射強度は相当に高く、金属反射を伴う文様の場合は、他の部位と比べて極端である。然しながら絹の光沢も、ある程度の高さを保っている。能装束を、シテ方が着装すると、外観上は袖等の平面部位がかなりある。体幹を軸にして回転する所作では、軸の角速度に対して、固定された照明からの正反射の動きは、倍の速さになる。つまり、体の軸を角度θ回転させた場合、正反射は2θ変化する。この点にうつろいの煌びやかさがあるが、同時により美しく表現する為には、体幹がしっかりとした動きを実現することも必要になる。ここに能の舞いと装束の重要な関係性があると考える。

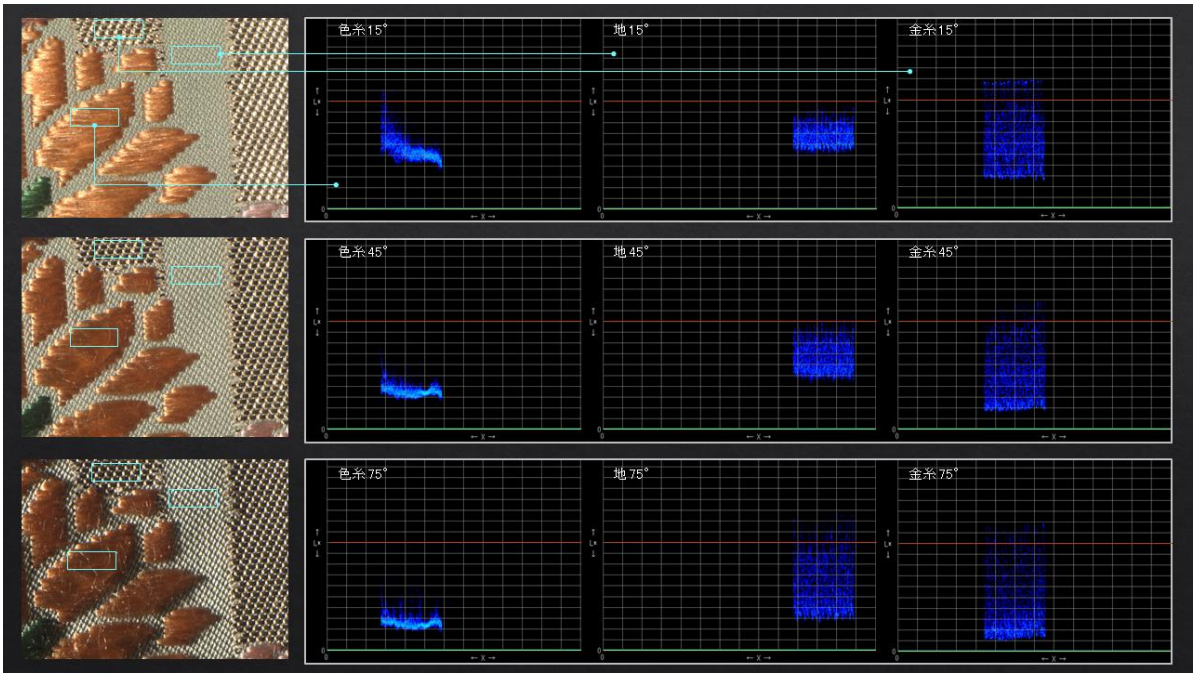


Fig. 10 復元能装束の変角分光イメージング計測結果ー照明角による *L値分布の変化**

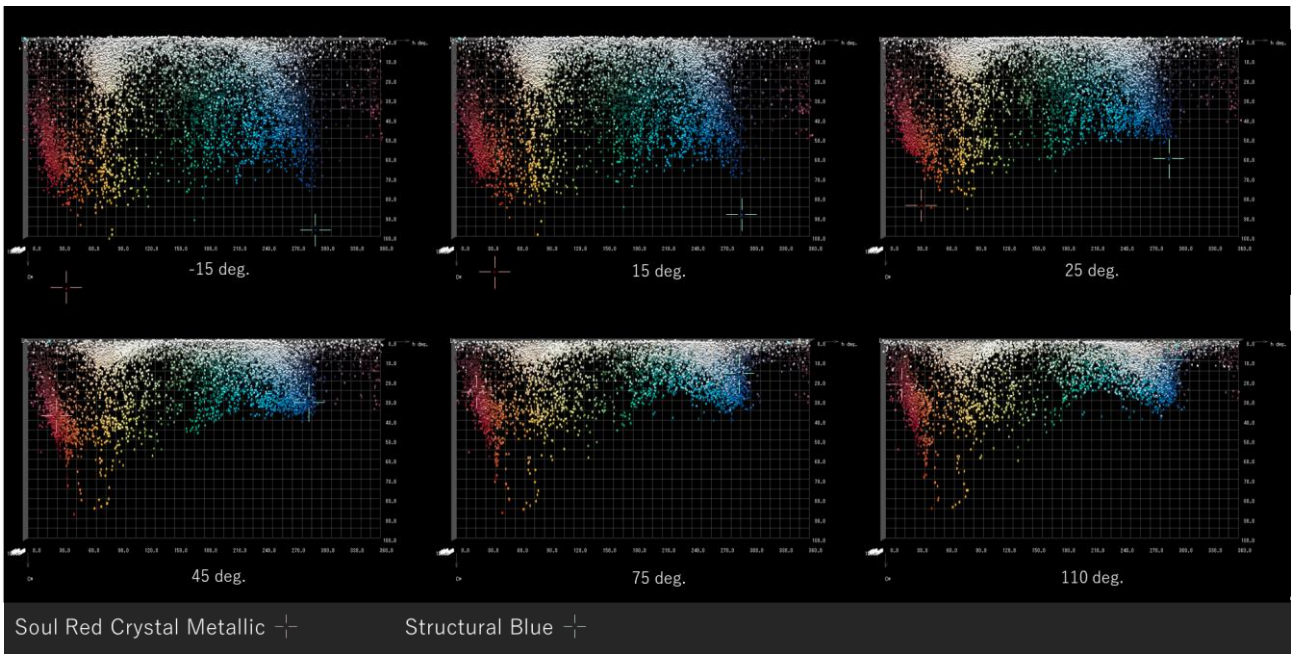


Fig. 11 光学幾何条件による自動車塗色分布と高彩度塗色の関係

6. 特徴的な自動車外装塗色２例

さて現代に於ける工芸ではどうか。工業製品の代表格である自動車の外装色に目を転じたい。現代の工業製品は、特殊な光学特性を備えた材料や複雑な表面加工を施す事によって、多様な質感を表現している。自動車業界における色彩と質感の重要性は相当に高い。塗色開発のフェーズをCMFで考えると、色彩設計、光輝材や顔料といった材料開発、材料の組み合わせと配合に関する塗色設計及び塗装の層構造、即ちマルチレイヤー化といった3つの要素を複雑に組み合わせてクリエーションを行う。それぞれを異なる事業者が担当しており、材料開発が時間的に先行し、実際に採用されて市販化されるまで、場合によって10年程度の時間を必要とする。これ故に、塗色開発の合理化が重要なポイントとなる。合理化に求められる機能の一つは、シミュレーション技術であるが、導入効果を上げる為には、塗色デザインの段階で、出来るだけ高精度のリアリティと、塗色の実現可能性を検証できる、フィジビリティチェックの両面が求められる。前者はフォルムのデザインと組み合わせることができるデジタルモックアップであり、高精度化は即ち、実態と同様の質感再現を意味する。後者は仮想的に生成した塗色デザインが、実在する材料の組み合わせと配合、場合によっては塗装構造も含めた工夫によって現実なものとなり得るかの検証をシミュレーションするもので、塗装にとって大切な隠ぺい力や塗膜厚によるコスト評価、耐候性評価等を含む。

尚、前述の如く、外装塗色の質感パラメータの検討も重要で、CGのリアリティ再現だけではなく、工程の品質管理や、部品・材料の受け入れ規格・仕様の展開に対しても重要な要素となる。パラメータの確立は、同時に塗色の特徴づけにもつながり、対応する測定システムで計測・蓄積されたデータは、新しい塗色の検討を行う為の重要な過去資産となる。自動車の外装色は、光輝材の混入することが殆どで、フロップ特性を持つものばかりであり、特に干渉性光輝材を基にした構造色発現の塗色が多いことも、重要な点である。この構造色の最近の話題として、マツダのソウルレッドクリスタルメタリック（カラーコード46V）とトヨタレクサスLCの限定色であるストラクチャラルブルーに着目してみる。前者は、光輝材層の上に透明で鮮明な赤のカラークリア層を形成したもので、大変鮮やかな色彩と質感の調和が素晴らしく、かなり話題に上った塗色である。後者は、青の発色のみを正反射方向に行う、やはり多膜層型の干渉性光輝材から構成され、構造色でありながら色相変化が無く、また、ハイライトとシェード方向の明度差が極めて大きい独特の発色を示す。両者ともに一連のワールドワイドな自動車塗色の中で、同一色相で比較した場合に、ハイライトでは最も高彩度であり、シェードでは極めて低彩度、かつ低明度となるフロップ特性が顕著である。

この検証の為に、6角度で計測が可能なポータブルの変角分光測定装置（独 BYK Gardner社製 BYK mac i）で計測された、自動車補修塗料のデータベースから、1万7千色あまりをピックアップして、そのプロットを比較した。計測は-15°、15°、25°、45°、75°、110°であり、この角度は試料面垂直方向から45°傾けた位置から照明し、正反射方向を0°の基準とした時の幾何条件である（A-normal表記）。計測された分光反射率係数は、全ての角度毎にCIEのL^*、C^*、h°値を計算し、横軸に色相（h°）、縦軸に彩度（C^*）でプロットした。両者ともに、最新の技術を駆使して開発された塗色であり、特に正反射方向に近い-15°～25°では、相当に高彩度である。反対に45°～110°の正反射から離れたシェ

ード方向では彩度は極端に低くなり、角度による変化の幅が極端に大きい事が分かる。両塗色ともに、明度方向の変化も同様であり、正反射付近では高彩度色でありながら、明度も高く、一方でシェード方向では極端に低くなる。まさに明かりと翳りという点で、絶大な効果を持っている事が理解できる。

日本に於ける自動車外装塗色の特徴であるが、このような多層化を行って表現する塗色が、他の自動車開発国と比較すると多い。製造工程自体は、多層化に伴い、塗装と乾燥を幾度となく繰り返す必要があり、手間とコストがかかる。この一般的な検証例として、自動車外装色の白の領域があげられる。世界で新車として登録される外装色で最も比率が高いのは白であり，これは地域によらず全世界で共通の傾向である。日本人は白の塗色を好むと誤解を招きやすいが、特に突出して高いわけではない。2018年時点での調査結果では、登録車数の世界平均は40%近くが白であるが、日本はむしろ平均より少ない。一方で同じ白のカテゴリーでも、多層化の代表例である3コート色の比率は極めて高く、71%が光学異方性を持つ塗色によって構成され、日本独自の際立った特徴となっている。3コート色は、白のベースコートの上に干渉性の光輝材層を形成したもので、光輝材はパールの質感を模す為にドイツで開発されたのが始まりである。一方で塗装構造は日本の代表的な光学異方性を持つ漆工芸品である蒔絵細工とほぼ同様である。3コート色は通常の塗色と比較すると工程も多く、価格も他より高額であるが、単なる白には無いひと手間をかけた美しさがあり、そこには日本人の精神性が求める何かが存在するのではないかと想像している。

デザイン要求に見合う加工や調色といった製造方法の確立や、安定した供給を実現することは容易ではない。そして、このような背景の中、ハイテクを用いたデザイン開発であっても、開発上の判断や、製造上の品質管理では、質感に関連する高次元の情報を、経験者によるセンスや技能・技巧の判断によって支えているのも事実である。

7. 参考文献

[1] 大住雅之，日本色彩学会学会誌，62, 269 (1999).
[2] Axalta, Global Automotive 2018 Color Popularity Report
[3] 粟野由美, 緞子の特性を最大化する絹の経糸緯糸同色緞子の質感と美的評価に関する文化的考察－図柄織物における配色のバルールと艶めき印象の効果について, 形の文化研究, 11号, p17-26, 2018.
[4] Masayuki Ohsumi, Recent technology of measurement in metallic pearl color. Journal of the Color Science Association of Japan. vol 33, No.1. 2009.
[5] Isao Fujimoto, Study for the disperse imaging by high resolution multi spector camera, Bulletin of Hiroshima Institute of technology, vol 44, 2010.
[6] Robert, H, Confocal scanning laser ophthalmoscope, Applied Optics, vol.26, issue 6:1492-1499, 1987.
[7] Brakenhoff, GJ, 3-dimensional imaging of biological structures by high resolution confocal scanning laser microscopy, Scanning Microscopy, vol.2:33-40, 1988.
[8] Seubert, C, Measurement and Modeling of Aluminum Flake Coatings, BYK Gardner User Meeting Presentation Document, 2013
[9] José M. Medina, José A.Diaz. Pate Vukusic, Classification of peacock feather reflectance using principal component analysis similarity factors from multispectral imaging data, OPTICS EXPRESS 10198, 2015.
[10] José A Díaz,et al, Classification of peacock feather reflectance using principal component analysis similarity factors from multispectral imaging data, Optics Express, 2015
[11] 森本元:鳥類の羽色と機能～羽毛の発色と生物学的背景 J. Jpn. Soc., Colour Mater, 89[6], 184 -190(2016)
[12] 大住雅之,粟野由美,「孔雀羽根織」の分光特性と質感に関する考察, 日本色彩学会第51回全国大会予稿集, 2019.
[13] 大住雅之,粟野由美：孔雀羽根を用いた衣服の象徴性と視覚的影響に関する考察,日本色彩学会画像色彩研究会２０２０年度研究発表会論文集, pp17-22, 2021
[14] Awano Y and Osumi M:Gonio-photometric spectrum analysis and texture evaluation of structural color design —Considerations on "Peacock feather weave" by Kondaya-Genbey, AIC2020 Proceedings, 2020.

ORAL PRESENTATION

PROCEEDINGS

色を用いたバランス能力の分析と獲得のためのVRシステムの開発

Development of a VR system for analysis and acquisition of balance ability using color

大海 悠太，牧田 孝宏，児玉 謙太郎*，山本 正彦
OGAI Yuta, MAKITA Takahiro, KODAMA Kentaro, YAMAMOTO Masahiko

東京工芸大学工学部、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583
*東京都立大学 大学教育センター、192-0397　東京都八王子市南大沢1-1

概要

バランス能力は日常的な行動でも必要とされ、リハビリの場面などでも獲得方法が期待されている。本研究では、視覚刺激によるバランス能力への影響を調べ、獲得方法につなげるためのVRシステムの開発を、HMDとWiiバランスボードにより行なった。実験から視覚によるバランス能力への影響を示唆する結果が得られ、今後の視覚刺激やフィードバック方法の開発について提案を行なった。

1. はじめに

バランス能力はスポーツの場面だけではなく、日常の行動にも必要とされている。リハビリの現場でもスラックラインなどのバランス能力向上のためのスポーツを導入する試みも行われている。視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)という現象では、実際には静止している人間が、視覚情報によって移動しているような感覚が引き起こされる。さらに視覚刺激は色によって強弱が変わると考えられ、これをコントロールすることで、バランス能力の分析と獲得のためのシステムが構築できると考えている。また、逆に色の与えるインパクト自体を、バランス能力の変化として定量的に評価できる可能性がある。

これまで著者らは重心動揺計を用いて、実験参加者に片足立ちをしてもらい、モニタのパターンが静止している場合と動いている場合とで足圧中心(CoP: Center of Pressure)の計測を行った[1]。得られたCoPをトレンド除去変動解析法(DFA)によって解析したところ、結果はパターンが静止状態と運動状態とでDFAが変化していることを示唆していた。また実験後のアンケート結果でも、パターンが動いている状態でバランスを取ることが難しいという報告を得た。

しかし、参加者の目の前にモニタを配置する実験環境では、バランスを崩した時などに目線が外れてしまうため、視覚に与える影響を完全にコントロールしているとは言い難い。また、PCと独立に動作する重心動揺計を用いており、視覚にフィードバックする機能を導入をすることができない。そこでヘッドマウントディスプレイ(HMD)とWiiバランスボードを用いたVRシステムの開発可能性を探り、まずは視覚へのフィードバックのない実験を行った。

2. 方法

2.1 システム開発

VRシステム開発プログラムにはUnity、HMDにはHTC VIVE Pro Eye、CoPの計測にはWiiバランスボードを用いた。Unityの実行に高速計算が必要なため、GPUにはNVIDIA GeForce RTX 2070 SUPERを用いた。WiiバランスボードはUnityのアセットWiiBuddyによって、Unityと接続され、出力結果はCSVで保存している。Wiiバランスボードは四隅にフォースセンサが搭載されており、そのセンサ値からCoPを算出することが可能である[2]。

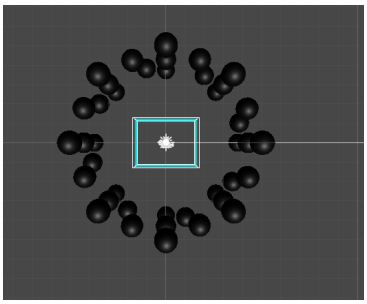


図1 Unity上での、VR空間内の実験参加者と球体の位置関係を上方から見た様子。

VR空間内の視覚刺激として、実験参加者の周囲に球体が右方向に約6.3m/sの速度で回るものを用いる(図1)。球体の直径は1mとし、実験参加者から球体の中心までの距離は4mとしている。球体は8個等間隔に配置され、5段に積み重ねている。奇数段目と偶数段目の球体は入れ違いに配置されている。球体の色は白赤緑青の4色を用いる(図2)。

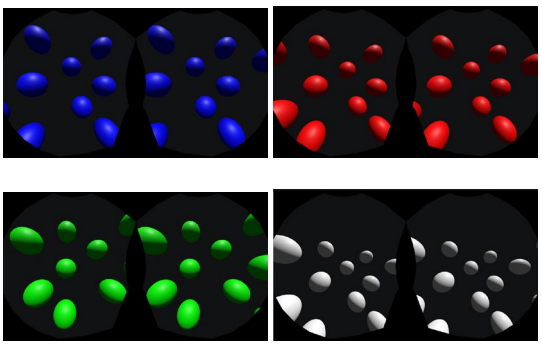


図2 参加者の各色(青、赤、緑、白)の球体を見る視点。

2.2 実験方法

実験参加者は20代男性3名である。図3に示すようにWiiバランスボードの上で片足立ちをしてもらい、120秒以上になる場合はそこで止めた。動いている白赤緑青を見ている状態と、コントロールとして閉眼と静止してい

る白の状態の6状態について計測した。また、軸足は左右両方ともについて計測をした。毎回の計測毎に、バランスの取りやすさについてなどのアンケートも行なった。

図3 HMDを装着して片足立ちをする実験の様子。

3. 結果、考察

3.1 片足立ちができた時間

図4に参加者の片足立ちできた時間を示す。参加者1は動いている球体を見ている方が、他の状態より時間が長くなっている。しかし、参加者2と3では静止状態の方が時間が長くなっていた。逆側の足でも同様の傾向が見られた。参加者1は極端に時間が短いので例外として考えると、視覚からバランス能力に影響があった可能性があると言える。アンケート結果も立てていた時間に合う報告があった。色によって立てた時間の長さに違いがあったが、参加者1と2は赤、参加者3は緑の時に時間が短くなっており、人により異なっていた。バランス能力獲得のために、色を選択して練習するような機能が考えられる。

3.2 CoPの軌跡

図5は参加者3の右足片足立ちでのCoPの軌跡で、左図の静止した白い球体を見ている状態では約117秒、右図の動いている緑色の球体を見ている状態では約15秒だけ立っていることができた。球体の回転方向に対する力が見られるかと予想したが、この図だけではあまり違いがあるようには見えなかった。球体の速度を変化させたり、CoPの状態を速度にフィードバックさせることで関係性がより見られると考えている。

DFAによる解析で違いが見られる可能性がある[1]が、Wiiバランスボードで得られるデータはサンプリングレートが一定ではなく、後処理により解析可能になるか調査する必要がある。

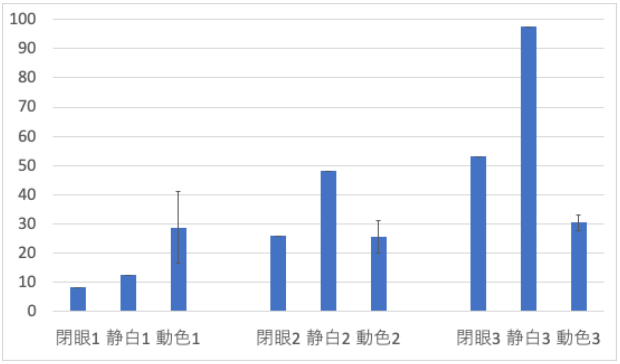


図4 参加者の片足立ちできた時間。参加者が片足立ちしやすいと思う方の足を使用し、参加者1は右足、参加者2、3は左足。ラベルの数字は参加者の番号。「閉眼1」は参加者1が目を閉じた状態で計測した時間、「静白1」は静止している白い球体を見ていた状態で計測した時間。「動色1」は動いている各色の球体を見ていた状態で計測した時間の平均値。エラーバーは標準誤差。

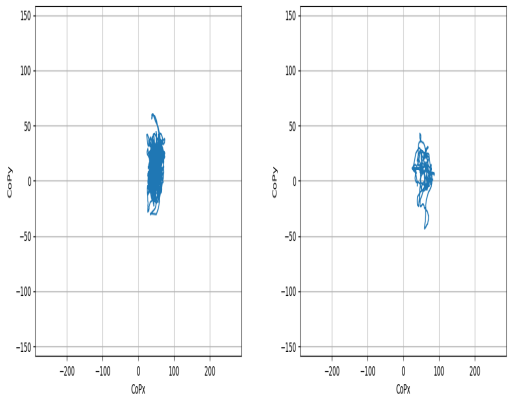


図5 参加者3の右足片足立ちでのCoPの軌跡。左図は静止した白い球体を見ている状態。右図は動いている緑色の球体を見ている状態。

4. まとめ

HMDとWiiバランスボードにより、バランス能力を分析するVRシステムを構築し、実験を行なった。視覚によるバランス能力への影響を示唆する結果が得られ、それを元にさらなる視覚刺激やフィードバック方法の開発について提案を行なった。

5. 参考文献

[1] Yuta Ogai, Masahiko Yamamoto, Kentaro Kodama, “Development of an interactive system using color for analysis and acquisition of balance”, Proceedings of 2nd International Symposium for Color Science and Art, 7-8. (2021)

[2] Julia M Leach, Martina Mancini, Robert J Peterka, Tamara L Hayes, Fay B Horak, “Validating and calibrating the Nintendo Wii balance board to derive reliable center of pressure measures”, Sensors 2014, 14, 18244-18267 (2014)

スマートミラーを用いた顔色変化の数値化と健康モニタリングへの応用

Complexion visualization using smart mirror and its applications to health monitoring

森山剛*, Piyarat Silapasuphakornwong**, 上平員丈**
MORIYAMA Tsuyoshi*, Piyarat Silapasuphakornwong**, and UEHIRA Kazutake**

*東京工芸大学、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583
** 神奈川工科大学、243-0292　神奈川県厚木市下荻野1030

概要

生活の中で中長期的に人の健康をモニターし、健康不調の兆候にいち早く気づくことが、予防医療（特に一次予防）実現に必須である。本研究では、生活の中で必ず向き合う洗面所の鏡にカメラやマイク等を組み込んだスマートミラーを提案する。本発表では、その中で使用する生理心理状態の数値化手法の応用例としてヒートショックの影響に関する実験、さらに作成中のスマートミラーの実装結果に関して報告する。

1. はじめに

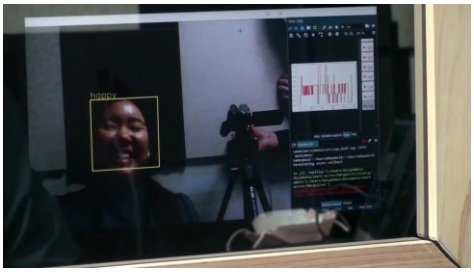
国民医療費の削減には予防医療のうち一次予防が肝要だが、現状では高々年に一度の定期健康診断を行うに留まっており、より細やかな健康観察が望ましい。例えば、日常生活において中長期的に健康状態を観察しフレイル（病気に至る前の虚弱な状態）を本人に気づかせるような技術があれば良い。これに対し、近年市販されているスマートミラーは、洗面所やメイクルームなど日常生活で定点観測が可能な場所に設置できるメリットがある。

そこで本研究では、健康観察に有効なセンサーを搭載したスマートミラーを試作し、実装上の問題を明らかにすると共に、既存の顔画像解析技術や音声解析技術を搭載して使用することで有効な健康観察手法について検討する。また、スマートミラーに搭載するセンサーとして心拍センサーを検討するため、ヒートショック時の健康状態を数値化する実験を行ったので報告する。

2. スマートミラーの製作

図1に製作したスマートミラーを示す。ハーフミラーの背面に設置した液晶ディスプレイはWindows PCに接続され、PCにインストールされたプログラムは、同じくPCに接続されたカメラから入力される画像から顔及び顔部品を検出し、あらかじめ定めた規則に従って顔特徴点座標から6基本感情を認識する（図1(b)）。また、PCに接続されたマイクから入力される音を解析し、音声の抑揚や声質を数値化することや、音声と同様の1次元生体信号を解析すること、さらに、これらの解析結果を総合評価することも可能である。

(a) 製作したスマートミラー



(b) 顔画像解析による感情認識の様子

図 1 画像解析及び音声解析を統合したスマートミラーの製作

3. ヒートショックに関する生理状態可視化実験

ヒートショックは、急激な温度変化によって血圧が乱高下し、心臓や血管に疾患が起こるショック症状であり、特に65歳以上の高齢者が影響を受けやすいと言われている。厚生労働省調査における入浴中の事故も多く

表1 実験プロトコル

時刻(H:M)	場所	内容
	前室前	血圧計測①
0:00	前室	順応時間。心拍計測開始
0:30	前室	血圧計測②
1:00	測定室	**ヒートショック**
1:15	測定室	血圧計測③
1:30	前室前	血圧計測④。心拍計測終了。主観評価アンケート

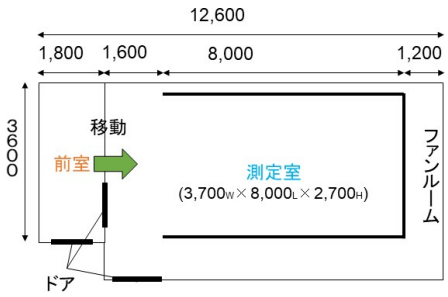


図 2　風工学センター人工気候室

報告されている[1]。ヒートショックによる生体反応に関しては温熱環境の快適性実験がなされていない。そこで、部屋移動に伴う急激な温度変化でヒートショックが起こる原因を人間の生体反応の計測と主観評価アンケートの結果を下に数値化して解析した。実験プロトコルを表1に示す。

3. 1. 実験条件

実験室は本学風工学研究センター人工気候室を使用した(図2)。前室及び測定室の温度は、温度差を考慮しそれぞれ27℃と15℃(湿度はほぼ同じ)に設定した。被験者は、循環器系の既往歴がなくかつ血圧が正常(収縮期血圧(最大血圧)が110～130mmHg前後)な、20代学生計8名(男性5名、女性3名)とした。服装は全員リクルートスーツ用Yシャツと薄いTシャツ(またはタンクトップ)に揃えた。被験者には，実験中，動画視聴やPCを使用する課題，インターネット検索を自由に行わせた。

3. 2. 生体反応の計測

心拍数と心拍波形の周波数成分(低域LF及び高域HF、それらの比LF/HF)、血圧を計測した。心拍センサーはユニオンツールmyBeat、血圧はオムロン上腕式血圧計HCR-7104を用いた。

3. 3. 心理反応の計測

実験終了後、寒暑感／快感・不快感／乾湿感に関する7段階評定尺度、さらに受容度に関するyes/noの二択を用いた主観評価アンケートに回答させた。

3. 4. 生体反応及び心理反応の解析

実験で得た8人分の計測データの平均値を図3及び図4に示す。図3では唯一HF成分に有意な亢進が見られ、測定室に滞在したことによって安静度が増加したこ

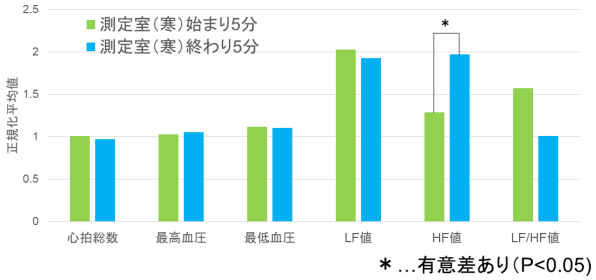


図3　測定室入室直後と 30 分後の生体反応の比較

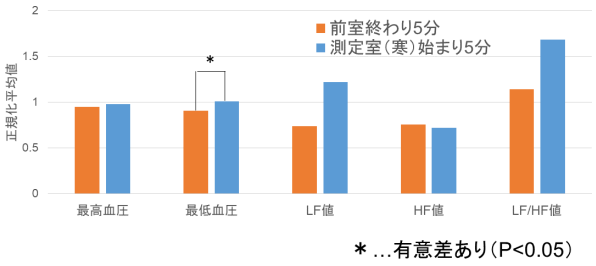


図4　ヒートショック時の心拍の比較

とを示唆している。また図4では最低血圧で有意に上昇が見られた。最低血圧は心拍周期のうち膨張期に相当し、通常は血圧が下がるのに対してヒートショック時にはこれが下がらずに高止まりしたことを示している。その原因としては、血管が温度変化により収縮したことを推測される。その他主観評価アンケートの結果では、前室から測定室への移動により、寒暑感と快不快感で有意に寒く不快な方へ変化した。

4.　まとめ

生活の中で健康観察を中長期に行うことのできるスマートミラーの実現を目指し、カメラ及びマイクをPCに接続し、ハーフミラーの背面にディスプレイと共にそれらの装置を隠蔽したシステムを製作した。PCに顔画像解析や音声処理プログラムを実装した。一方で、スマートミラーに生体センサーを搭載することを目指し、ヒートショック時の人の生体反応、心理反応を計測する実験を行った。実験の結果、ヒートショックによる血管の収縮を検出する可能性が示され、今後、スマートミラーに搭載されたカメラから顔脈波を数値化し同種の解析を行うことができれば、ヒートショックにより体内の見えない危険状態を検出して警告を発するといった応用へ繋げられると考えられる。

謝辞

本学風工学研究センター山本佳嗣准教授にご協力頂きました。

参考文献

[1]　消費者庁News Release 令和2年11月19日

建築家アントニガウディのデザイン手法に関する研究 ― サグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼の色と形 ―

Study on a design method of Antoni Gaudí, Color and Form of the pinnacle of Sagrada Familia church

山村　健
Takeshi YAMAMURA

東京工芸大学工学部、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583

概要

本研究では、19-20世紀にスペイン、バルセロナで活躍した建築家アントニ・ガウディ・イ・クルネット（Antoni Gaudí i Cornet, 1852-1926）に関する一連の研究の一端を成すものである。本研究では、ガウディが最期まで携わったサグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼部（鐘を鳴らすための塔）における色と形に関する考察を試みる。本研究の特徴は、同鐘楼部の1/10再現模型を製作し、それを対象として、ガウディの言説ならびにその形態と色彩の特徴から、そのデザイン手法に関して考察を行うものである。

1. はじめに

1.1 研究背景

カタルーニャ工科大学・バルセロナ建築大学の王立ガウディ講座名誉教授ジュアン・バセゴダ・ノネル（Juan Bassegoda Nonell, 1930-2012）による大著*El Gran Gaudí*（1989）の冒頭において「現在、ガウディの建築は世界中に知れ渡り、賞賛されている。無数の書物や論考が出版され、世界のいたるところで展覧会やセミナーが開かれている」 と、ガウディ論ならびにガウディに関する興味の広範さを捉えている。しかしながら、それらの一連の研究を俯瞰しても、ガウディの色に関する研究は稀少である。その理由は大きく二つ挙げられると考えられる。一つ目は、1936年の市民戦争によって、ガウディが活動の拠点としていたサグラダ・ファミリア聖堂内におけるアトリエの設計資料が焼失したことで、具体的な色彩計画を示す資料の不足である。二つ目は、ガウディ建築における色彩は協働者であったジュジョール（Josep Maria Jujol Gibert, 1879 - 1949）の影響が強いと指摘される点である。本研究において同聖堂の鐘楼を研究対象とする理由は、ガウディが鐘楼について弟子たちに語った言説が残されていることと、鐘楼のデザインを作る次期にはジュジョールの関与が希薄となっていたことから、同鐘楼はガウディ自身が考えた色と形に関するデザイン手法を知る対象として有用だと考えるためである。

1.2 研究目的と研究方法

本研究の目的は、建築家アントニ・ガウディが設計したサグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼部における色と形のデザイン手法の一端を明らかにすることである。本研究は次の順に考察される。第一に鐘楼の設計過程を概説し、第二に、同鐘楼の形態的分析を行う。第三に、その色彩分析を行う。最後に以上の考察を踏まえて、まとめとする。

2. サグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼デザイン

2.1 ガウディとサグラダ・ファミリア聖堂の関係

ガウディは1883年に二代目建築家として同聖堂の設計に携わり始めた。初代建築家はヴィリャール（Francisco de Paula del Villar y Lozano, 1828-1901）で、地下聖堂まで施工した段階で、建築主のボカベリャ（José María Bocabella y Verdaguernota, 1815-1892）との不仲から解任され、大学時代のガウディの恩師であるジュアン・マルトレイ（Joan Martorell i Montells, 1833-1906）の推薦によりガウディが引き継ぐこととなった。

ガウディが残した設計資料は稀少だが、ボカベーリャが発行していた*El propagador*という広報誌に掲載された図面や当時の新聞などに掲載された写真から、年代的な進捗を確認することが可能なため、次章では時系列的に鐘楼のデザインの変遷について概説する。

2.2 1905年から1926年の鐘楼のデザインの変遷

最初に鐘楼の姿が確認されるのは1905年の模型写真である。模型の大きさは1/25と想像される。その頂部は先細りになり、冠のような塊から螺旋状に上昇する円錐が載っている。何か具体的な造形をデザインしているかのようである。

1908年にガウディの弟子であったジュアン・ルビオ（Joan Rubió y Bellver, 1870-1952）が描いたスケッチが存在する。聖堂の中心に聳える高さ170mのイエスに捧げられる塔が初めて公になった。先述の模型写真で表された生誕の門では四本の鐘楼の姿が確認されるが、鐘楼先端部の輪郭はぼやけている。

その次は、パリ万博（1910）に展示された生誕の門の模型写真がある。この展覧会はガウディのパトロンであったグエル伯爵（Eusebi Güell i Bacigalupi, 1846-1918）がスポンサーとなり実現したが、ガウディは渡仏せず、模型と写真を郵送したのみであった。しかし、その時に初めて生誕の門の下部が色彩豊かに着彩されることが説明された。ここで鐘楼の形態に着目すると、1905年のものと酷似しており、具象的な冠のような塊は変わっていないことがわかる。つまり、5年間、その形態のスタディが発展していないことが確認される。

1913年には、再びルビオのスケッチが確認される。前回よりディテールが描かれているが、新たな進展はない。

1915年の模型写真では、鐘楼の先端が外されている。模型の縮尺が1/25だとすると、生誕の門の最高高さは100m近くなるため、実寸で4m程度の模型となる。制作限界範囲ならびに移動時の便利性などを考慮すると、模型を分解可能にすることは妥当だと考えられる。一方で、脱着式にすることで、様々な形態を考案し、製作し、設置し、確認し、修正するエスキースを繰り返えすことが可能であり、そのために脱着式にしていた仮定することも可能であろう。現にガウディの寝室には、先

端が外された鐘楼模型が設置されていたことから、日々ガウディは先端のデザインを考えていたと推察される。

1918年に雑誌*El Propagador*に掲載された生誕の門の模型写真において形態の変化が確認される。1905年に確認された螺旋状の円錐は消え、冠の上部には何かが球体にまとわりついた形態がみえる。形態に付与された象徴性は不明だが、精巧かつ具象的なモチーフであることは確認できる。

1921年、形態は一変する。それは現存する鐘楼の形にもっとも近く、幾何学が積層された形態となっている。生誕の門、受難の門、栄光の門のそれぞれの門に4本の鐘楼が建ち、計12本が建つことが計画されていた。それらはキリストの12人使途に捧げられ、その頂部は教皇の帽子、指輪、杖がシンボルとして形態になったと説明されている。その形がここに現れている。

2.3 具象的形態から抽象的形態へ

ここで、この形態の変化の理由をガウディの言説を頼りに考察する。ガウディは学生時代に*Manuscrit de Reus*と現在呼ばれている建築に関する覚書きを記している。その中に「距離と視点」の関係について記している。

> 遠方から眺望されるギリシアの神殿においては、デザインの構成は明瞭であるがゆえに切り詰められた的確な形態である。建築のエレメントは複雑ではなく簡潔であり、明暗法なしに輪郭はくっきりとしている。距離が真に考慮されており、生命ある輝きは強い色彩をそれ自身の中に内包していた。(*Manuscrit de Reus* , p.57-58)

ガウディは、パルテノン神殿に強く影響を受け、その幾何学の使用方法を研究していた。その結果、抽象的な形態は遠方からの視認性がよく、具象的な形態は近景に適していると考えていた。ゆえに本研究の対象である鐘楼も、遠方からの視認性を考慮して、抽象的な形態を採用したと考えられる。

3. 形態的分析

3.1 幾何学的構造の分析

今回検証に用いる鐘楼の3Dモデルを作成し、幾何学の構成を分解してみると図1のようになる。

平面形状の変化を下部から上部へみていく。底面は六角形で、そこから六角錐が立ちあがる。その次に、各辺から四点が生成され、平面が二十四角形になる。再び四点が二点ずつに集約され、六角形に絞り込まれていく。この六角形を底面とする正二十面体へと展開していくが、ここで形態に捻れが加わっている。それにより直下の六角柱はひねられた形状となっている。二十面体の直上は再び六角柱であり、各二点が一点に集約して三角形平面となる。三角形平面が徐々に小さくなり、頂部は菱形の帽子が載る構成となっている。

ガウディ建築の形態的特徴の一つに、線織面の使用がある。例えば、双曲面を双曲線面へと線分に分解することで、一本の線が次の別の幾何学形態へと連続するための補助線となる。。それにより、幾何学をただ重ねるのではなく、下から上へと形が連続していく表現を獲得している。ここでは、六角柱から正二十面体に接続していく部分でその手法を確認することができる。

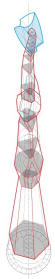
4. 色彩的分析

本章では三章で考察した形態と色彩の関係に関して考察を進める。

ガウディは生前に聖ベルナベウの塔を完成(1926)させた。ゆえにその塔はガウディのオリジナルとして位置づけることができる。実際は、赤・黄・金が基調となり、赤と黄はカタルーニャの州旗の色であり、カタルーニャ主義を貫いたガウディの思想が体現されているといえる。金は塔の完成時にガウディが、「あのモザイクのすべてがギリシアなのだ。コンスタンチノープルだ」と述べており、ビザンチン建築の影響が伺える。モザイクタイルは、サン・マルコ寺院（Basilica di San Marco）にみられるようにビザンチン建築の特徴である。ガウディは複雑形状の表面に、モザイクタイルを細かく砕くことで、タイルを小粒状にして曲面や捻れ面に被覆する技法を発明した。これは「トレンカディス(Trencadís)」と呼ばれ、この技法により色彩を細分化することができる。例えば、赤なら、深紅、緋、茜のタイルを混ぜることで、自然の花々のような鮮やかな赤の表現が獲得される。これはガウディが建築を自然に近づけようとして考えた思考が具体化したものであるといえる。

本研究では、配色まで再現した鐘楼の1/10模型を作成した（図2）。それを用いて色彩の分布を考察した。

例えば、ガウディは赤と黄が隣り合わせる場合、その中間に赤と黄色の混合部を設けている。それによって二色間に連続性を生み出しされている（図3）。前章で指摘した線織面を用いた形態の連続性を、ここではトレンカディスを用いて行っているといえる。さらに、光が照射する部分と影になる部分においても工夫がされている。正二十面体において、赤の他に濃い紫が混ぜられており、光の当たる上面は赤が多く、影となる下面には紫を多くすることで、光が照射したときに形態の立体感が際立つようにデザインされている。このようにして形は上下で連続的であり、色彩は連続的でありながらも光の要素も考慮して形態を浮かびあがらせるデザイン手法を施していたことが確認された。



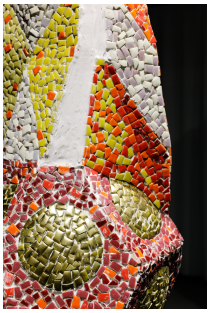


図１（左）鐘楼の3Dモデル　図2（中央）1/10の鐘楼模型

図３（右）1/10の鐘楼模型の部分。赤と黄の昼間部

5. まとめ

以上の考察により、サグラダ・ファミリア聖堂の鐘楼部を対象としたガウディの色と形のデザイン的特徴の一端を提示することができた。特に形態の線織面と色彩のトレンカディスの使用法において類似性を抽出できたことは大きいと考えている。今後は、ガウディ建築の他の部分でも同様の検討を重ねていきたい。図2および図3は建築写真家小野寺宗貴氏によるものである。感謝申し上げます。

6. 参考文献

[1] Bassegoda Nonell, Juan, *EL Gran Gaudí*, Ausa,1989
[2] Martinell,Cesar., *Gaudí i la Sagrada Família,* Cossentania., 1999 (2da Edicio)
[3] Gaudí Antoni, *Manuscrit de Reus*, Museo de Reus

ラングトンのアリを応用した人工生命カラーリング建築

Artificial Life Coloring Architecture Applying Langton's Ant

久原 泰雄
KUHARA Yasuo

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

概要

ガウディのサグラダ・ファミリアにAIを使って彩色する作品AIガウディ・サスティナブル・アーキテクチャ(AI Gaudi Sustainable Architecture)を制作した。AIとして人工生命である「ラングトンのアリ」を応用した。これはセルオートマトンの一種で、格子状のセルと局所的な規則による離散的計算モデルで構成される。本作品は生物のような豊かな色彩を生成する人工生命カラーリング建築を実現する。まるで試行錯誤しながら制作する建築家のように持続的に構造物を着色し続ける。

1. はじめに

サグラダ・ファミリアはアントニ・ガウディ(1852-1926)が設計したカタロニア・モダニズム建築の代表的な建造物であり、1882年以来、140年近く経つ現在も持続的に建設中である。サグラダ・ファミリアの生誕のファサードは当初から着彩する予定だったが、ガウディの死後、実行されることはなかった。弟子の言説や1910年パリで開催されたガウディ展に出展の模型などからある程度の推測は可能だが、その着彩のパターンやデザインは今でも未解明のままである。本作品では未解決の色彩についてAIを用い、新たな可能性を提示する。

2. 作品

2.1 コンセプト

代表的なAIである機械学習は既存のデータを学習して、人間の知能に迫る試みである。一方、人工生命(Artificial Life;以下ALifeと記す)に代表される創発的なAIは、ミクロなレベルでの簡潔なアルゴリズムから、マクロな視点で予想外の複雑な結果を生み出す。今回の作品では、代表的なALifeである「ラングトンのアリ」を応用し、アリの動きから複雑な色彩を生成した。色彩は芸術表現の重要な要素だが、自己の表現が飽和状態に達して行き詰まった時など、創発性を持つALifeからインスピレーションを得ることは有力な手段と考えられる。

図1 導出した7色6階調の色彩(RGB16進値を併記)

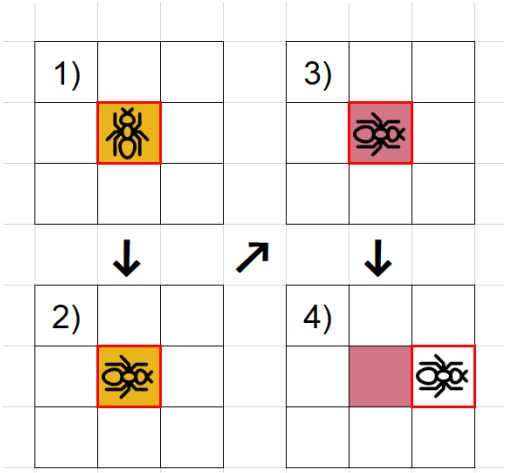


図2 アリの動きの例

2.2 システム

「ラングトンのアリ」はセルオートマトンであり、局所的なルールに基づいてセル上を動作する仮想的なアリとして構成される。ガウディは形状に彩色する際、陶器を細かく砕き、モザイク状に貼るトレンカディス技法を多用した。本作品では、アリはモザイクをセルに見立て、ガウディの既存の建築物から導出した7色の色彩(青黄桃紫緑茶赤)を用いて装飾を生成する。各色はサグラダ・ファミリアの点描画から得られた明度に基づき6階調に変換する(図1参照)。

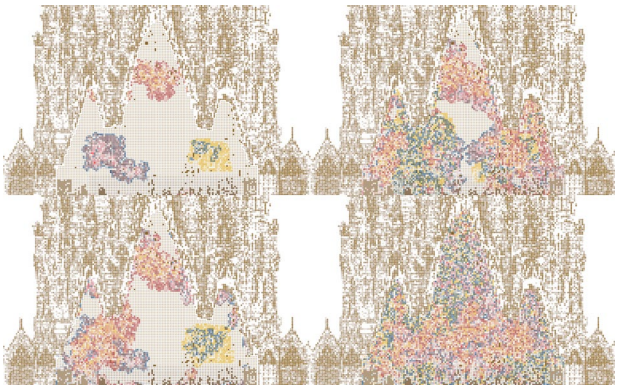


図3 彩色過程の例(左上,左下,右上,右下の順)

アリはセルの内部状態から得られる4種の値[0123]に基づいて、右転回[R]または左転回[L]する。転回ルールは $2^4 = 16$通りであるが、動きが単調な[RRRR]と[LLLL]を除く14通りのルール[RLRL,LRLR,RLLR,LRRL,RRLL,LLRR,RRRL,LLLR,RRLR,LLRL,RLRR,LRLL,LRRR,RLLL]を設定した。アリは3組で構成したので、ルールの組合せは $14^3 = 2744$通りである。また、アリはセルの内部状態から得られる7種の値[0123456]に基づいて、色リスト(7色の並び)上の色を指定し、セルを着色する。色リストの順列は $7! = 5040$通りである。

アリの動きの例を図2に示す。4種の値が**1**，転回ルールが[**LR**RL]，7種の値が**2**，色リストが[青黄**桃**紫緑茶赤]の場合、アリは、1)現在のセル(赤線枠)から内部状態を得て、2)右転回[**R**]し、3)セルを**桃**色に着色し、内部状態を更新後、4)次のセルに移動する。

彩色過程の例を図3に示す。セピア色の背景画像(図4下図)はサグラダ・ファミリアの点描画(図4上図)の生誕のファサードの部分(図4赤点線枠)から得た。着色対象となるセルは7142個であり、初期状態は白で、点描画から得た6階調の明度の情報を持つ。アリは、ルールを通して得た色彩と点描画から得た明度に基づいて着色する。一度、着色されたセルは、別の色に上塗りされることはあるが、初期状態の白に戻ることはない。

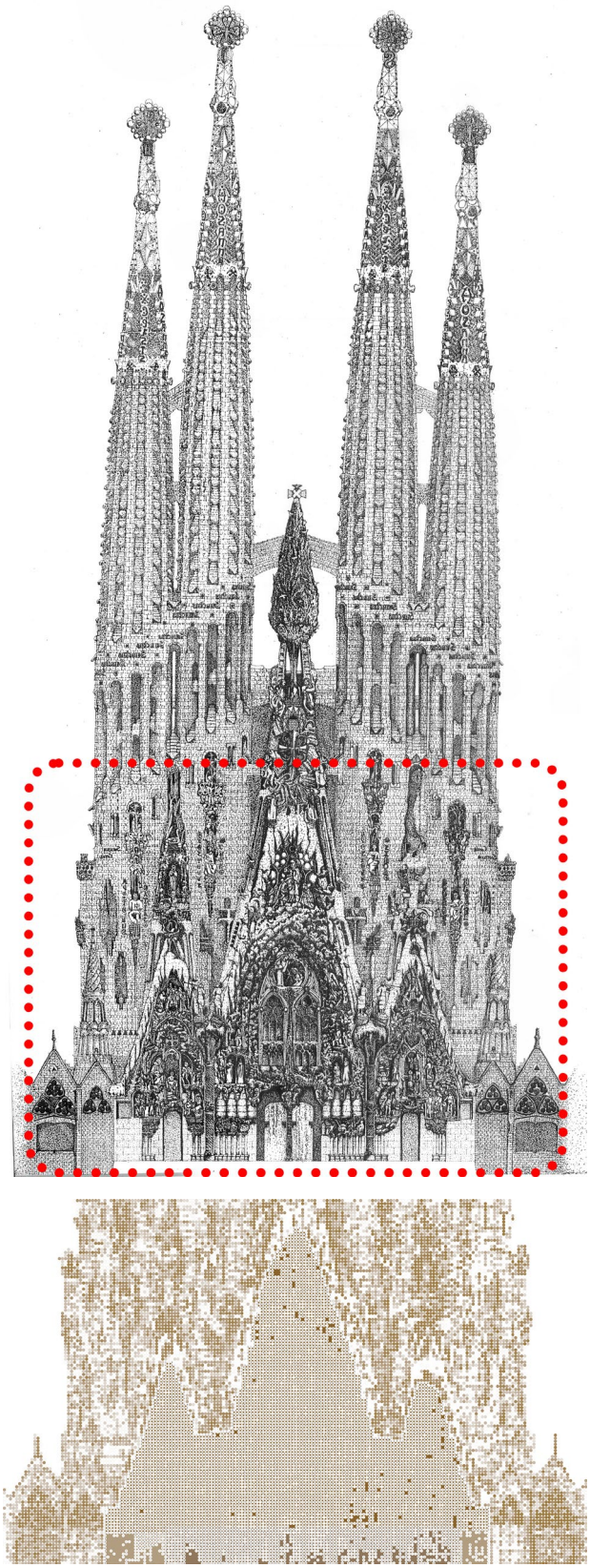


図4 生誕のファサードの点描画と彩色背景画像

3. 展示

2021/7/9～12/10の期間、色の国際科学芸術センターのカラボギャラリーで開催された第7回企画展「ガウディの色と形」[1]に出展した(図5左参照)。ここでは、来館者が色彩シールを貼り、生誕のファサードを完成させる丸シートアートと対峙させ、AIと人間の感性の関係や違いを視覚的に示した。図5のカラボギャラリーの写真内の左側がAIであり、右側が丸シートアートである。また、2021/11/6～11/26の期間、芸術学部フェスタ2021「サスティナブル×SUSTAINABLE」[2]に出展した(図5右参照)。

4. 展望

ALifeに代表される創発的なAIには、ラングトンのアリ以外にも様々な手法があり、人間の経験を超えた予測不可能な結果を生み出す。これらを芸術分野に応用することは、人智を超えた未知の芸術表現の可能性を秘めており、意義深いと考えられる。

5. 参考文献

[1] カラボギャラリー第7回企画展「ガウディの色と形」，https://collab.t-kougei.ac.jp/7th-exhibition/ (2021).
[2] 芸術学部フェスタ2021, https://www.t-kougei.ac.jp/activity/extension/festa2021/

図5 カラボギャラリー(左)と芸術学部フェスタ(右)の展示

外観デザインと調和する透明アンテナ

Transparent antennas matching with the surrounding appearance and design

越地 福朗，山田 友里，安田 洋司，山田 勝実，内田 孝幸
KOSHIJI Fukuro, YAMADA Yuri, YASUDA Yoji,
YAMADA Katsumi, and UCHIDA Takayuki

東京工芸大学, 243-0297　神奈川県厚木市飯山1583

概要

本研究では，ITO透明導電膜を対象に，アニール処理による導電率向上（シート抵抗低減）を検討し，透明導電膜を用いたモノポールアンテナにおける放射効率改善の検討を行った．その結果，膜厚の増加とアニーリング処理によってシート抵抗が大幅に低減し，放射効率が改善することが確認され，膜厚2000 nmのITO膜に，200℃で1時間の大気アニーリング処理を行うことで，72.23 %のアンテナ放射効率が得られることが確認された．

１．はじめに

近年，Internet of Things (IoT)や，第5世代移動通信システム(5G)に関する研究開発が進められている[1]．5Gでは通信特性向上のために，従来に比べて多くのアンテナが必要となり，アンテナの設置箇所も，放射特性を確保する観点から機器内部ではなく筐体表面への配置が望まれている．そのため機器やシステムのデザイン性を損なわないようにアンテナを設置する必要があり，透明導電膜を利用したアンテナが検討されている[3, 4]．一般に，透明導電膜を利用するアンテナは，良好な光学的透明性と電気的特性の両立が必要不可欠であるが，膜厚やシート抵抗，導電率に対する放射効率などのアンテナ性能に関する研究はほとんどなされていない[5]．

本研究では，Indium Tin Oxide (ITO) 透明導電膜を対象に，アニーリング処理によるシート抵抗低減を検討し，透明導電膜を用いたモノポールアンテナにおける放射効率改善の検討を行う．

２．ITO透明導電膜の成膜

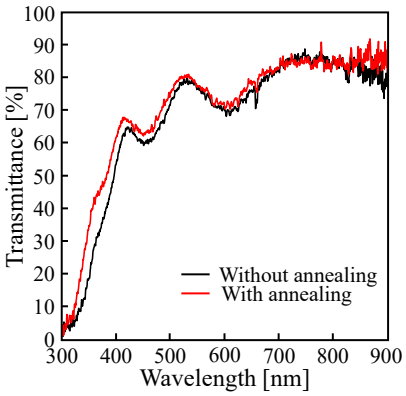
ITO膜は，対向ターゲット式スパッタ装置を用いて，25 mm×25 mm×0.7 mmの無アルカリガラス基板上に400～2000nmの範囲で400 nm刻みで堆積した．基板温度は室温，スパッタガス圧は4 mTorrで，Arガス流量20 sccm、Ar + 10%O_2ガス6 sccmをマスフローコントローラで制御し堆積槽に導入して堆積した．スパッタ電流は500 mA一定で行い，堆積速度は80 nm/minであった．作製したサンプルは電気炉（アズワン MMF-1）によって，200℃で1時間大気アニーリング処理を行った．Fig. 1は，成膜したITO膜の写真であり，(a)400nm，(b)2000nmのものである．

３．透過率

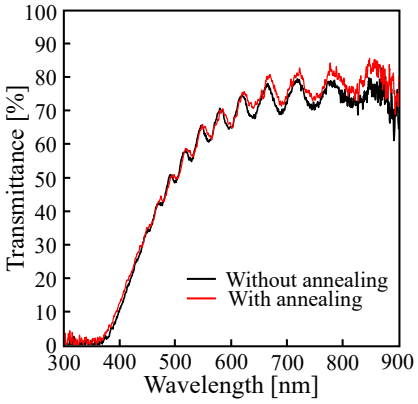
Fig. 2は，2．で成膜したITO膜において，膜厚が，それぞれ(a) 400 nm，(b) 2000 nmのときの，光学的透過率を示したものである．同図には，可視光の範囲を含む300 nm～900 nmの透過率を示している．

(a) 400 nm　(b) 2000 nm

Fig. 1 Photos of deposited ITO films



(a) 400 nm



(b) 2000 nm

Fig. 2 Optical transmittance

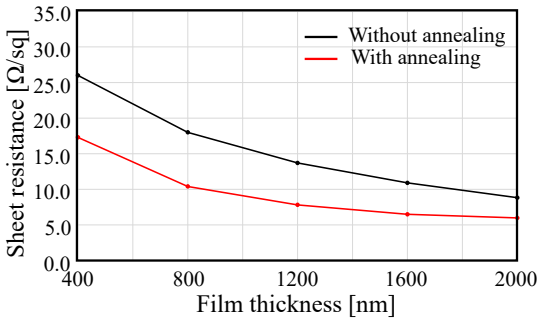


Fig. 3 Sheet resistance

同図からわかるとおり，膜厚の増加に対して，透過率が低下することがわかる．また，透過率の低下は， 400 nm～600 nmの短波長側で顕著であることがわかる．

また，アニーリング処理前後で透過率に大きな変化はなく，アニーリング処理による透過率への影響は小さいことが確認できる．

4．シート抵抗

Fig. 3は，2. において成膜したITO膜の膜厚400 nm～2000 nmに対するシート抵抗をVan der Pauw法によって測定した結果であり，アニーリング処理前後の測定値をそれぞれ示している． 同図からわかるとおり，アニーリング処理の有無によらず，膜厚の増加にともない，シート抵抗は低減することがわかる．また，アニーリング処理後のシート抵抗は，アニールリング処理前のシート抵抗に比べて小さく，膜厚400 nmにおいては28.2 Ω/sqから18.2 Ω/sqへと10.0 Ω/sq低減し，膜厚2000 nmでは9.3 Ω/sqから6.4 Ω/sqへと2.9 Ω/sq低減している．以上より，膜厚の増加とアニーリング処理がシート抵抗低減に効果的であることがわかる．

5. アンテナの構造

Fig. 4は，本稿で放射効率を計算するモノポールアンテナの構成を示したものであり，放射素子長 ℓ = 20 mm，幅 w = 5 mm，グラウンド板幅d = 80 mm，給電点の間隔 g = 0.5 mmとしている．透明導電膜の膜厚tは400 nm ～ 2000 nm としている．同図のアンテナは，3.3 GHz付近（素子長がおよそ1/4波長）で共振する．

6. 放射効率

Table 1は，Fig. 1で得られたシート抵抗を用いて，Fig. 3に示すモノポールアンテナに透明導電膜を利用した場合の放射効率を有限要素法による電磁界解析によって計算したものである．同表からわかるとおり，膜厚の増加にともない，放射効率が大幅に改善することがわかる．また，アニーリング処理後の放射効率は，膜厚400 nmの場合で39.95 %から56.78 %へと16.83 %向上し，膜厚2000 nmの場合では63.97 %から72.23 %へと8.26 %向上することが確認された．

7. まとめ

本研究では， ITO透明導電膜を対象に，アニール処理による導電率向上（シート抵抗低減）を検討し，透明導電膜を用いたモノポールアンテナにおける放射効率改善の検討を行った．その結果，膜厚の増加とアニーリング処理によってシート抵抗が大幅に低減し，放射効率が改善することが確認され，膜厚2000 nmのITO膜に，200℃で1時間の大気アニーリング処理を行うことで，72.23 %のアンテナ放射効率が得られることが確認された．

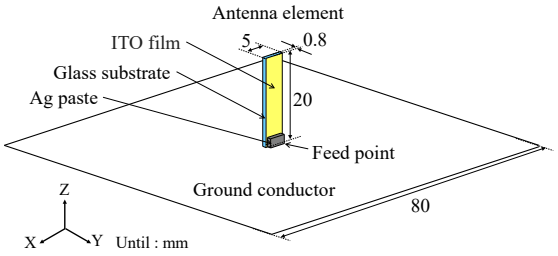


Fig. 4 Monopole antenna model

Table 1 Radiation efficiency

Film thickness [nm]	Radiation efficiency [%]	
	Without annealing	With annealing
400	39.95	56.78
1200	51.21	67.39
2000	63.97	72.23

参考文献

[1] Jeffrey G. Andrews, Stefano Buzzi, Wan Choi, Stephen V. Hanly, Angel Lozano, Anthony C. K. Soong, Jianzhong Charlie Zhang, “What Will 5G Be?”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 32, No. 6, pp.1065-1082, June 2014.

[2] Yong Niu, Yong Li, Depeng Jin, Li Su, Athanasios V. Vasilakos, “A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges”, Wireless Networks, Volume 21, Issue 8, pp 2657–2676, November 2015.

[3] F. Colombel, X. Castel, M. Himdi, G. Legeay, S. Vigneron, E. Motta Cruz, “Ultrathin metal layer, ITO film and ITO/Cu/ITO multilayer towards transparent antenna”, IET Science, Measurement & Technology, vol.3 Issue 3, pp.229-234, May 2009.

[4] 山田友里，越地福朗，安田洋司，内田孝幸，山田勝実，他，“ITO 透明導電膜を利用するモノポールアンテナの放射効率”，第 35 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会講演論文集，18B5-01，pp.1-2，Online，Japan，March 2021.

[5] Yuri YAMADA, Fukuro KOSHIJI, Yoji YASUDA, Takayuki UCHIDA, Katsumi YAMADA, et al.,, “Analysis of Reflection Characteristics and Radiation Efficiency on Thickness and Conductivity of Monopole Antenna Using Transparent Conductive Film”, International Conference on Electronics Packaging 2021 (ICEP 2021), Online, Japan, May 2021.

LN結晶を用いたフルカラーホログラム動画表示素子の開発

Development of a full-color holographic flip-books system using LN crystals

陳　軍, 豊田光紀, 石井行弘*
CHEN Jun, TOYODA Mitsunori, ISHII Yukihiro*

東京工芸大学、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583
*東京理科大学理学部、162-8601 新宿区神楽坂1-3
1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan
* 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan

概要

1万円札を大きく回転させると、左下のホログラムからは額面数値や桜の画像、デザイン文字“日”が順次に現れる。我々はこのようなホログラムの多重記録技術を発展させ、ニオブ酸リチウム($LiNbO_3$, LN)結晶を用いた書き換え可能な動画表示素子の開発に取り組んできた。いままで、角度多重記録したホログラムから単色のカラー動画の再生に成功している。本研究では、RGB 3色用のホログラムを異なる角度で記録するというユニークな方法を考案し、実現が困難なフルカラー再生を可能にした。

1. はじめに

ホログラム動画と言えば、映画「スターウォーズ」(1977年)を思い出す人が多いだろう。しかし、それはホログラムに似せたもので、多くの研究努力にもかかわらず、本物のホログラム動画はいまだに実現されていない。この分野では、超音波光変調器やフォトリフラクティブ高分子材料を用いた試みが注目されている[1,2]。しかし、その実用化は高速で書き換え可能の記録媒体の出現を待たなければならない。一方、書き換え可能の記録媒体として、フォトリフラクティブ(PR)効果[3]を有する強誘電体のLN結晶がホログラフィックメモリの記録媒体として再び注目され、フーリエ変換ホログラムの2波長を用いる不揮発再生法が報告されている[4]。我々は、LN結晶の角度多重記録特長に注目し、ホログラム動画表示素子の開発に取り組み、単色カラーの動画再生を実現した[5,6]。ここでは、開発したLN結晶を用いたホログラムからのフルカラー再生法の原理と実験結果について報告する。

2. 原理と光学系

2.1 ホログラムの記録

LN結晶を用いるホログラム記録の光学系をFig. 1に示す。レーザからの光はビームスプリッター(BS)で2つに分け、一方は入力画像を表示した空間光変調器(SLM)を照射し、物体光を形成する。もう一方は参照光として用いる。物体光と参照光は一定の交差角でLN結晶に入射し、結晶上で重なり合って干渉縞を形成する。LN結晶では、フォトリフラクティブ効果により、干渉縞の強度分布に対応した電荷分布が形成され、ポッケルス効果により電場分布に比例した屈折率分布が形成される。電界による屈折率変化が最大となるよう格子ベクトルは結晶のc軸に平行になるように光学系を配置した。

Fe添加のLN結晶は、赤色の光に対しては感度を持たず、緑色のレーザ光に対して最大の感度を有するため、ホログラム記録には、緑色のレーザ光のみを用いる。この場合、通常のフーリエ変換ホログラムでは、記録波長と異なる波長で再生すると、画像の一部しか再生できない。そこで、4f光学系によりSLMをLN結晶に結像し、イメージホログラム方式を用いた。

動画の記録に際して、パソコンから画像を次から次へとSLMに表示し、回転ステージで結晶を少しずつ回転させてホログラムを多重記録する。

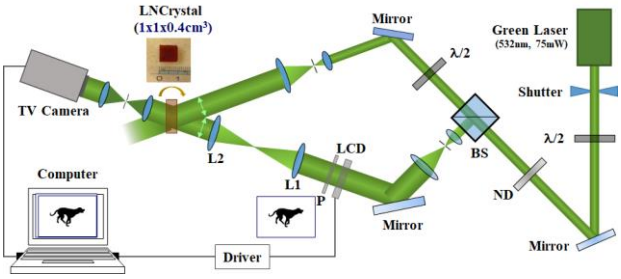


Fig. 1　Experimental setup for hologram recording

2.2 ホログラムからのフルカラー再生

通常のフルカラーホログラムでは、RGB3色のレーザ光を同時に照射してホログラムを記録しておき、3色のレーザ光で再生すればよい。しかし、Fe添加のLN結晶の場合、緑色光にしか感度を持たないため、フルカラー再生には特別な工夫が必要となる。

波長 λ_G の物体光と参照光を左右両方向から同じ入射角 θ_G で結晶に入射させた場合、結晶の中に周期 $d=\lambda_G/(2\sin\theta_G)$ の干渉縞が形成される。このような厚いホログラムを再生するには、ブラッグ条件

$$2d\sin\theta=\lambda, \qquad (1)$$

を満たす必要がある。緑色再生の場合は、再生照明光を参照光の方向から入射すればよい。しかし、赤色や青色でホログラムを再生する場合は、それぞれ、$\theta_R=\sin^{-1}[\lambda_R/(2d)]$ 及び $\theta_B=\sin^{-1}[\lambda_B/(2d)]$ の入射角で光を照射する必要があり、そのため、異なる色の再生光

も異なる角度で出射し、フルカラー再生にはならない。

フルカラー再生を実現するため、Fig. 2に示すように、結晶を真正面に向かせた方向で緑色用のホログラムを記録し、次にLN結晶それぞれ角度を $\theta_R - \theta_G$ 、及び $\theta_B - \theta_G$ だけ回転させて、赤、青色用のホログラムを記録する。その後、結晶をもとの角度に戻して、RGB3色のレーザ光をそれぞれ $2\theta_R - \theta_G$ 、θ_G 、$\theta_G - 2\theta_B$ の入射角で入射すれば、ホログラムからフルカラーの再生が得られる。

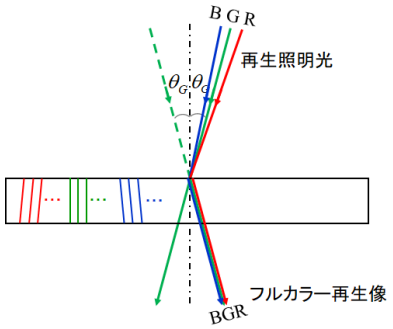


Fig. 2 Optical arrangement for full-color reconstruction

3. 実験と実験結果

ホログラムの記録では、波長532nmの固体レーザ(コヒレント社製315M-100SL、出力100mW)を用いた。記録媒体には10mm角、厚さ4mmのFe添加LN結晶を用いた。レーザ光波長が532nmで、物体光と参照光の入射角 θ_G が15°の場合、LN結晶で形成される干渉縞の周期dは1.028μmとなる。ホログラムの再生には、緑色レーザの他に波長632.8nm(赤色)のHe-Neレーザと波長450nm(青色)の半導体レーザを用いた。

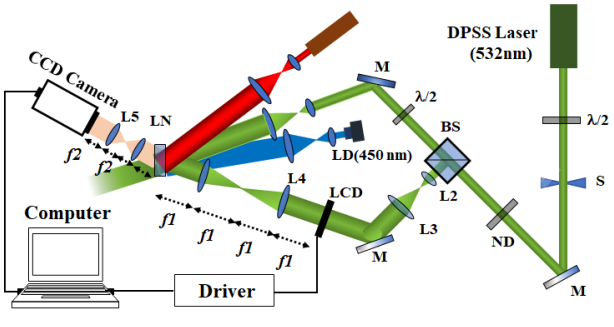


Fig. 3 Experimental setup for hologram-reconstruction

赤色再生用のホログラムを記録するとき、パルスモータでLN結晶を反時計回りに2.93°回転しておき、緑色のレーザ光を使ってホログラムを記録した。そのままの状態で緑色の再生照明光を照射すると、通常の緑色の再生像Fig. 4(a)が得られる。結晶をもとの状態に戻し、波長632.8nmの光を入射すると、Fig. 4 (b)の赤色の再生像が得られた。

次に、結晶を時計回りに2.36°を回転させてホログラムを記録し、そのままの位置での緑色再生と初期の位置に戻してからの青色再生像をFig. 4(c)と(d)に示す。

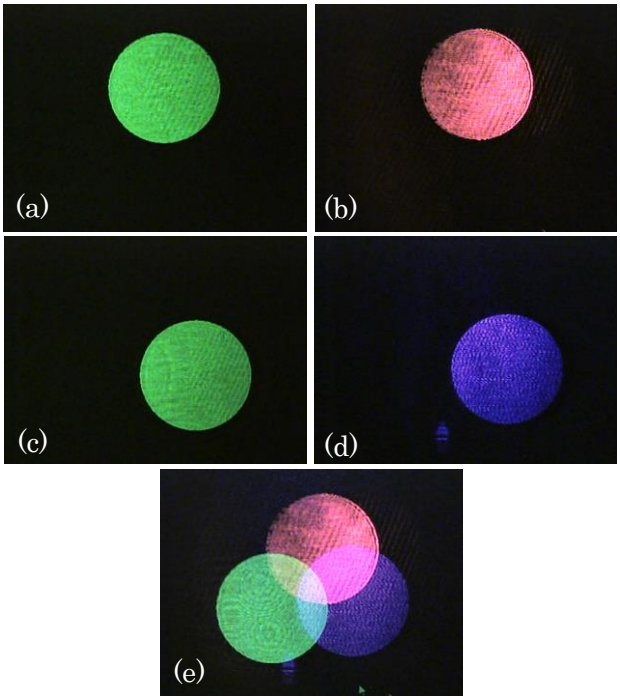


Fig. 4 Experimental results of full-color reconstruction

LN結晶を初期の位置に戻して、RGB3色のレーザ光を同時に照射して再生した結果をFig. 4(e)に示す。3色の再生像が同時に得られた。各色の照明光強度を調整すれば、様々の色を作りだすことが可能となる。

4. 終わりに

LN結晶のような数mmの厚さを持つ記録媒体では、結晶内部に体積型ホログラムが形成される。体積型ホログラムの再生には、ブラッグ条件を満たす必要がある。通常の方法では、異なる色の再生像が同じ方向では再生されず、フルカラー再生は不可能である。そこで、再生像が同じ方向から出射させるため、色ごとのホログラムを異なる角度で記録する方法を考案して、実験でフルカラー再生が可能であることを示した。

謝辞:本研究の一部は本学「2021年度 色の国際科学芸術研究センター」の助成を受けて行われたものである。

5. 参考文献

[1] P.St-Hilaire et al., Proc. SPIE 1667(1992).
[2] P. A. Balanche et al., Nature, 468, p.80(2010).
[3] 黒田和男,「非線形光学」p153, コロナ社(2008).
[4] R. Fujimura, T. Shimura, and K. Kuroda: Opt. Exp. 18, (2010), pp. 1091-1098.
[5] 宍戸 太, 桶舎 佳洋, 陳 軍, 豊田 光紀、石井 行弘, Optics & Photonics Japan 2019, 3pP12.
[6] 陳 軍, 豊田 光紀, 石井 行弘,第46回光学シンポジウム講演予稿集pp. 74-75 (2021).

金属元素を用いない二つの有機材料からの金属様光沢の特性

Metallic luster from two organic pigments without metallic elements

山田 勝実, 矢島 仁
YAMADA Katsumi, YAJIMA Hitoshi

東京工芸大学、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583
* 1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan

概要

金属元素を含まない有機色素の中には、それらの固体膜から溶液状態とは異なる色調の金属様光沢を呈するものがある。この研究では、それらの金属様光沢の性質を調べ、光沢発現の機構に焦点をあてた。さらに、それらの色素を透明高分子に分散させることで、一種類の色素から異なる色調の金属様光沢を取り出すことに成功した。

1. はじめに

金属光沢は、私たちの視覚を介して、その物体・物品の華やかさ、高級感やソリッド感を感じさせてくれる。しかしながら、用途によっては金属材料が利用できないことがあり、金属材料は重たくて硬いため、これらを加工（板金、メッキ）して用いることも容易ではない。そのような場合には、金属以外の材料の表面をメタリック装飾して金属様光沢を取り出している。ここでは、合成有機色素による多色金属様光沢の取り出しを研究する。光沢の質としての偏光度に関しては分子の遷移双極子モーメントの方向の制御、反射率に関しては結合電子密度の制御を戦略として、本物の金属の質感を再現することが、本プロジェクトの学術的な特色や独創性になる。金属元素を含まない合成有機色素を活用するため、希少資源の有効活用、環境保全の立場からも近年のSDGsを目指した研究活動である。

2. 方法

2.1 試料調製

Nafion117シート（厚み：200μm）にクリスタルバイオレット（CV）やシアニン色素（3,3'-Dipropyl-thiadicarbocyanine Iodide：CY）のエタノール溶液を浸して、Nafionシートへ有機色素を静電的に導入した。その色素溶液の濃度や、浸す時間を変えて、色素膜を作製した。

2.2 測定

反射スペクトルを確認して、色素単体、凝集体の種類と色調の関係を評価した。色素が導入されたNafionシートを専用治具で延伸し、延伸倍率と偏光度の関係を明らかとした。金属様光沢の測定は、主に拡散透過・拡散反射角度特性測定システム OP-TR/RF-GONIO-MNを用いて行った。

2.3 試料撮影

色温度5400KのLEDライトボックスを面光源とし、デジタルカメラEOS-5Dsを用いて、試料の撮影を行った。

3. 結果および考察

3.1 金属様光沢の発現機構

現在までに、平面構造で遷移双極子モーメントの向きがランダムなクリスタルバイオレット（CV）を用いて高分子分散膜とした場合、高分子膜を延伸することで金属様光沢の偏光度が低下することが明らかとなっている。これは、延伸によりCV平面構造が膜表面に平行に配向していくことで、様々な方向の振動の光に共鳴し、様々な方向に反射光を放出できるためと考えた。そこで、遷移モーメントの向きが直線状になっているシアニン色素を用いて、分散膜の延伸配向を行い反射光の測定を行

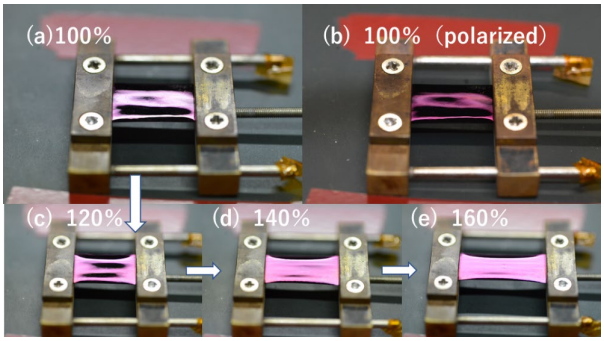


Fig. 1 Photographs of Nafion+CY at various stretching ratio.

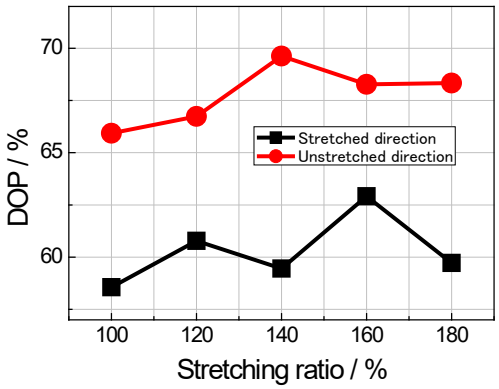


Fig. 2 Degree of polarization of Nafion+CY at various stretching ratio.

った。図1にNafion+CYの写真と延伸時の状態を示した。純粋なCY色素からなるキャスト膜と同様に、赤紫色の金属様光沢が認められた。入射角を変えて偏光反射率（波長600 nm）を測定し、延伸倍率と偏光度の関係を図2に示した。図2から延伸方向では、延伸が進むことで、偏光度が増大していることがわかる。[1]このことから直線形で遷移モーメントの方向も直線になっているCY色素では、延伸により単一方向への配向が進み、偏光が強くなることが明らかとなった。

以上のことから、これらの色素の金属様光沢は、色素の吸収（共鳴）に基づく反射（再放出）であると結論された。

3.2 クリスタルバイオレットの多色金属様光沢

Fig. 3 Photograph of Nafion+CV obtained from different soaking time.

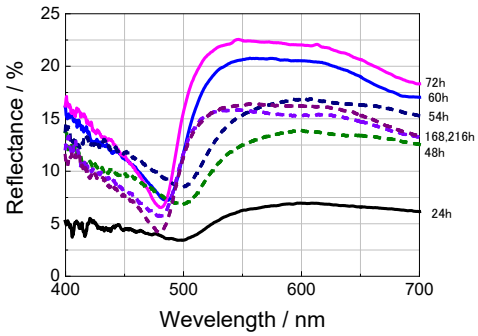


Fig. 4 Reflectance spectra of Nafion+CV obtained from different soaking time.

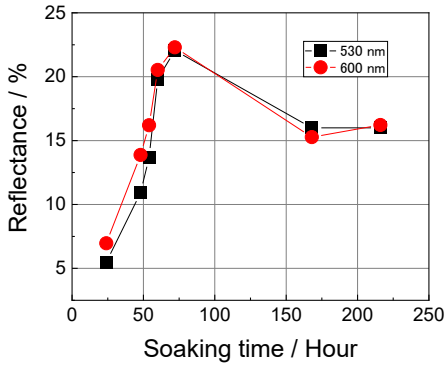


Fig. 5 Reflectance (at 530 and 600 nm) of Nafion+CV obtained from different soaking time.

図3に色素溶液への浸漬時間を変えて得られたNafion+CVの色調を示した。はじめは赤みのある金色であるが、次第に本来の金色になっていくことが明らかとなった。図4に浸漬時間と反射スペクトルの関係を示した。初期では、波長600 nm付近（分子分散状態）の反射極大が認められた。浸漬時間の増加に伴い、全体の反射率が増大していくが、波長530 nm付近（H-ダイマー）の反射が強くなっていくことが明らかとなった。これにより、緑色が強くなり金色になっていくものと考えられる。図5には、浸漬時間と二つの波長の反射率の関係を示した。浸漬時間が3日より長くになると、両波長の反射率は減少していることが明らかとなった。一旦Nafionに導入されたCVが何らかの影響で排出されているものと考えられる。

3.3 シアニン色素の多色金属様光沢

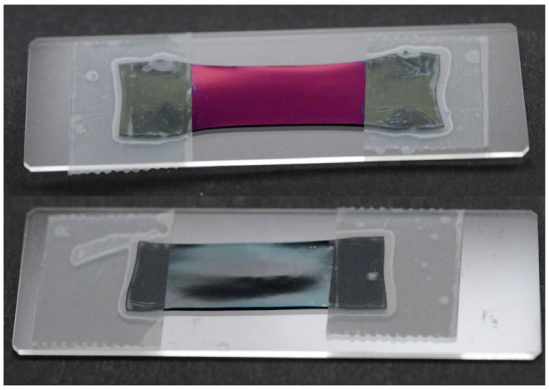


Fig. 6 Photographs of Nafion+CY obtained from different soaking time.

図6に短時間（3日以内：上）および長時間（4日以上：下）の浸漬で得られたNafion＋CYの色調を示した。短時間では色素だけからなるキャスト膜と同じ色調の赤紫色の光沢が認められた。一方、長時間浸漬では、反射率が低くなり、暗い青緑色となった。長時間試料では、CYの分子分散状態の吸収波長で反射率の低下が認められ、膜表面よりも深部に光が屈折しているものと考えられる。これは、何らかの理由で一旦導入されたCYが排出され、表面での遮蔽が抑制されているものと考えられる。Nafion＋CVとの違いとして、CYのエタノールへの溶解性の違いから、色素溶液の濃度がCVでは10分の1程度となっていることが、影響しているものと考えられる。

多色金属様光沢の発現に関しては、今回はCYでは達成できなかったが、CVのように凝集体の反射が現れる場合には、光沢の色調を幅広く選択できる可能性が見出された。

4. 参考文献

[1] T. Kaki, K. Yamada: Bull.Soc.Photogr.Imag.Jpn. 31, 5(2021).

マルチスペクトルカメラを搭載したUAVによる立体モデルの構築、ならびにそれらへのインデクスマッピング・フルカラー3D造形

Construction of 3D models using UAVs equipped with multispectral cameras, and their index mapping and full-color 3D printing

内田孝幸, 美田翼*, 久原泰雄*
UCHIDA Takayuki, MITA Tsubasa *, KUHARA Yasuo *

東京工芸大学工学部、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583
*東京工芸大学芸術部、164-8678　東京都中野区本町2-9-5

概要

本研究では、本学の厚木・中野両キャンパスをUAV(通称ドローン)で空撮し、それらの画像群を元に3Dモデル化した。また、FDMや紙積層型フルカラー3Dプリンタを用いて、3Dモデルから3D 造形ができることを示した。さらに、可視画像だけでなく、その対象物の特徴をマッピングした、インデックスマッピング(例えば、サーモグラフィやNDVI(正規化差分植生指数など))が3D造形できること、ならびにその有用性を示した。

1. はじめに

近年のUAV(無人航空機、通称ドローン)の技術の進展は目覚ましいものがあり、特に、UAVの飛行性能・技術の発展だけでなく、搭載するカメラの性能の向上、高精度位置測位を可能とするGNSS(全球測位衛星システム)などの技術と相まってフォトグラメトリを実現する画像群が得られるようになってきた。さらに、これらを元に、フォトグラメトリ技術を構築するSfM(多視点画像からの3D形状復元)の目覚ましい発達によって、ほぼ半自動で、高精細・高品位な3Dモデルを構築できるようになっている。このような背景の中、フルカラーでの3Dモデル造形のニーズは高まっている。

そこで、本研究では、1)本学の厚木・中野両キャンパスをUAV(通称ドローン)で空撮し、それらの画像群を元に3Dモデル化した。2)これらのモデルを2種類の方式のプリンタ、一つはFDM(熱溶解積層方式)、もう一つは、「紙積層型フルカラープリンタ」[1] を用いて3Dモデルを造形し、比較・検討を行う。特に、「紙積層型3Dプリンタ」が、フルカラーの3D造形、特に地形や建築物などの再現に関して技術的にも優位性があることに加えて、プラスチックを用いていない「紙」での造形による低コスト、低公害、さらにリサイクルを考慮に入れれば低環境負荷である意義を有している。

さらなる検討として、3)マルチスペクトルカメラを搭載したUAVを用いて測定した場合、通常、人の目では見えない位置、帯域の情報を得られることで、これまで判別の難しかった情報、例えば、IR情報であるサーモグラフィや植物の育成状態を可視化できるNDVIマッピングを行った。また、これらのインデックスマッピングを、通常の2Dでなくカラー3Dプリントで行いその有用性を検証した。

2. 実験

2.1 UAVによる画像取得

UAVの画像取得では、筆者らが所属する2キャンパス(中野／厚木)のうち、厚木キャンパスで撮影したものを用いた。UAVは産業用のMavic 2 Enterprise Dualを用いて行った。このUAVの可視光カメラの解像度はVisで、4000 × 3000／枚である。飛行においては自動飛行・撮影ミッションソフトであるGS-Pro を用い、高度86mで広範囲の画像を、高度57mでキャンパス中心部分をそれぞれ撮影し、元データの写真群約200枚を用意した。

マルチスペクトルカメラを搭載したUAVでは、Phantom 4 Multispectralを用いて、上記と同様GS-Proを使ってミッション飛行して必要な画像群を撮影した。マルチスペクトルカメラには図1に示すように6個(可視、B, G, R, RE(赤外端), NIR(近赤外))のカメラが帯域に応じて配置されており、1撮影で6帯域に対応した6枚の画像を取得する。今回の測定はキャンパスの近くのゴルフ場の一部を使って、NDVI(正規化差分植生指数)を求めた。

図1　マルチスペクトルカメラを搭載した UAV のカメラの配置と帯域

2.2 フォトグラメトリとインデックスマッピング

上記のプロセスによって得られた、画像群をSfMのソフトウェアの一つであるMetaShapeを使って、オルソ化(正射影による統合画像)ならびに、3Dのモデリングを行った。NDVIのマッピングでは2DではPix4D_Fieldsをまた3Dのマッピングではは MetaShapeを用いた。

2.3 フルカラー3Dプリント

最後に、ソフト上で構築された3Dモデルを、モノカラーのFDM(Zortrax社、 M200)と紙積層型フルカラー3Dプリンタ(Mcor IRIS)をもちいて、3Dの造形を行った。

3. 結果

3.1 マルチスペクトルカメラ

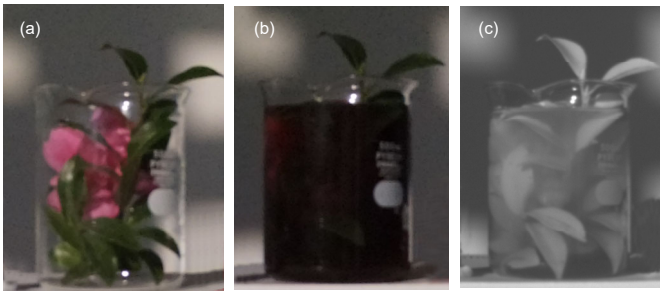


図 2　コーヒーに浸けた椿の写真。(a)コーヒーなしの可視光画像、(b)コーヒーに浸けた可視光画像、(c)コーヒーに浸けた NIR 画像

今回用いた図1のカメラの有効性を示すために、コーヒーに浸けた植物（ここでは椿の花と葉）の写真を示す。(a)コーヒーなしの可視光画像、（b）コーヒーに浸けた椿の可視光画像、（c）コーヒーに浸けた椿のNIR画像である。この図から、可視光では見えない椿の葉が、NIRの帯域では明確に確認できる。これは一例であるが、さらに後述するような、測定対象物を抽出し特徴化するインデックスを用いることによって、可視光の帯域だけでは分離・判別できないものを可視化することが可能である。

3.2 キャンパスの3Dモデルとフルカラー3D造形

UAVのミッション飛行・撮影によって得られた画像をフォトグラメトリの技術、SfMによって3Dモデルを構築した。そのモデルをFDMでのモノカラープリントならびに紙積層型フルカラー3Dプリントを行った。紙で造形した結果の一例を図3に示す。このモデルでは、紙を304枚積層して構築されている。この作製に用いた装置では、汎用のインクジェットプリンタで3Dモデルのスライスデータに応じたモデルの輪郭を予め両面カラープリントしておき、その紙束を本体に装填して、カットと糊付けを繰り返す。各層の色はこれらのプロセスによって得られるため、3Dという構造の凹凸に加え、各箇所の忠実な着色（色再現）によって、3Dモデルの質感を向上させている。

図 3 厚木キャンパスのフルカラー3D プリントモデル（紙積層型プリンタで造形）

3.3 ゴルフ場のインデックスマッピングとカラー3D造形

UAVのミッション飛行・撮影によって得られた画像をSfMによって3Dモデルを構築した。キャンパス近くにあるゴルフ場のクラブハウスと10番ホールの一部の領域のモデルをFDMのモノカラープリントを図4(a) に紙積層型フルカラー3Dプリントを図4(b) に示す。さらに、この領域に対してNDVIマッピングを行った。NDVIは①式で与えられるもので、
植生の健全さの指標である。一般に育成の良好な植物は図2にも示すように、NIRを強く反射し、その一方、Rを強く吸収する（反射が小さくなる）。その結果①式における右辺の分子のNIR-Rの値が大きくなる。

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

このマッピングでは、図4の右上のカラーアサインのようにNDVIの増加に伴って、赤、黄色、緑とした。これらは通常2Dで表示されるものであるが、図4（c）に示すように、3D でのNDVIインデックスの3D モデルの構築・造形が可能であることを示した。

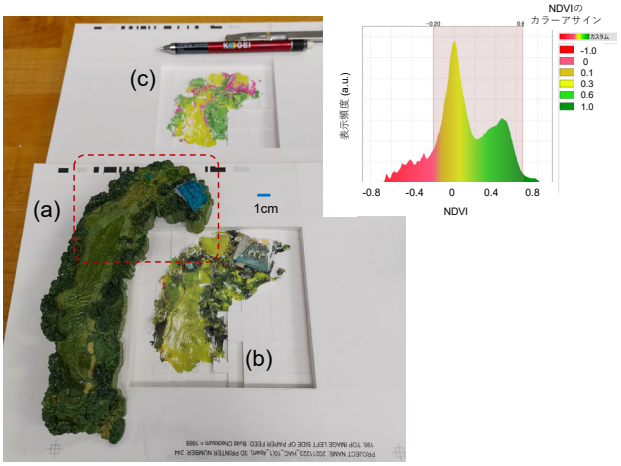


図 4 ゴルフ場のクラブハウスとコースの一部の 3D 造形. (a)FDM でプリントした 10 番ホール、(b) 紙積層型プリンタでの可視の 3D 造形、(c) 紙積層型造プリンタでの NDVI の 3D 造形.

4. まとめ

発展が著しいUAVを用いたフォトグラメトリ技術によって、キャンパスの3Dモデリングを行った。さらに、これらの精細モデルの質感をほぼ損なうことなく、紙積層プリンタを用いて、フルカラー3D造形が出来ることを示した。さらに、マルチスペクトルカメラを用いることで、目には見えない特徴をインデックス化して可視化し、上記の技術を伴って3D造形ができることを併せて示した。

UAVの飛行制御、カメラ性能の向上、フォトグラメトリ、SfM画像構築技術の進展に伴って、ほぼ半自動で地形や構造物の構築が出来るようになってきた。これらを、PC上で画面表示するだけでなく、フルカラーでのプリントで造形できる紙積層型の造形技術はプラスチックレスといった時代の要請にもマッチしながら今後も必要性が増し発展するものと思われる。

5. 参考文献

[1] Ekelund, Daniel Ihlen, Master thesis of NTNU (2015).
[2] Rouse, J.W.*et. al*. Proc. 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, SP-351, 309-317. (1973).

有色黒鉛層間化合物の大気非暴露環境における構造・物性評価

Characterization of colored graphite intercalation compounds under an inert atmosphere

松本里香, 大嶋正人, 山田勝実 , 行谷時男, 實方真臣
MATSUMOTO Rika, OSHIMA Masato, YAMADA Katsumi, YUKIYA Tokio, and SANEKATA Masaomi

東京工芸大学、243-0297　神奈川県厚木市飯山1583

概要

黒鉛層間化合物（Graphite Intercalation compound; GIC）の中には、ホストの黒鉛とは異なり、金色や青色、緑色などの色を呈するものが多い。GICの色はGIC研究にとって重要な情報であるが、論文等にGICのカラー写真が掲載されることは少ない。よって、我々は、さまざまな有色のGICを合成し、合成方法、構造、特性等のデータをまとめたデータベースの構築を始めた。また、GICの多くは大気下で不安定である。よって、より正確な情報を記録するために、大気非暴露環境における写真撮影、構造・物性評価の実施を目指している。本発表では、現在構築中のGICデータベースに関する進捗状況を紹介する。

1. はじめに

黒鉛層間化合物（GIC）は黒色の層状物質である黒鉛の層間に金属原子や金属塩化物分子等が挿入した化合物であり、金色や青色等の有色のものも多い。この色変化は挿入物質（インターカレート）と隣接黒鉛層との間の電荷移動の結果であるため、GICの色の観察は電気的特性を議論する際にも重要となる。しかし、GICの色に関する情報は乏しく、カラー写真で色を示した例はほとんどない。また、近年、研究が盛んなグラフェンやポストリチウムイオン電池の分野にはGICが応用されるため、新たにGIC研究を始める研究者も増えている。

よって、我々は、これらの先端研究に貢献すべく、2019年度に「黒鉛層間化合物の色標本の作製」と題した研究を始め、さまざまなGICを合成し、カラー写真を撮影している[1-3]。さらに、その写真を、合成方法、構造、特性等と共に整理しようとしているが、GICの多くは大気下で不安定であるため、本来の構造や特性を評価するためには、大気非暴露の環境で測定を行う必要がある。

本研究では、写真撮影だけではなく、構造解析に用いるX線回折測定、ラマン分光測定、反射スペクトル測定、および、GICの重要な特性である電気伝導率等の物性測定に関して、大気非暴露環境における測定を実施する。そして、最終的に、主要なGICに関して、カラー写真を軸とし、合成方法、構造、特性をまとめ、公開することを目指している。

2. 実験

ホスト黒鉛として、ポリイミド由来の黒鉛シート（PGS, Panasonic）および高配向性熱分解黒鉛（HOPG）を主に用いた。GIC試料は、真空下で黒鉛とインターカレート蒸気を反応させる気相法、または、液体状のインターカレートに黒鉛を浸漬する浸漬法で合成した。

生成したGICは、X線回折測定（XRD; MiniFlex300, RIGAKU）およびラマン分光スペクトル測定（NRS-5500, 日本分光）により構造を評価した。また、反射スペクトルは膜厚測定システム（F20, FLIMMETRICS）を用いて測定し、電気伝導率測定には4端子法を用いた。

3. アルカリ金属GIC

重アルカリ金属（AM = K, Rb, Cs）に関して、金色のステージ1構造（組成 : AMC_8）と青色のステージ2構造（AMC_{24}）の化合物を気相法で合成した。

生成したAM-GICはAr下で反応管から流動パラフィン中に取り出し、大気下でXRD測定を行った。試料片を流動パラフィンで覆うことで、大気接触を防ぐ狙いがある。このようにして測定したステージ1とステージ2のK-GICのXRDパターンを**Fig.1**に示す。ステージ1構造はArに接触した直後に褪色が始まり、5分後に測定したXRDパターンにはステージ1構造のピークの他、ステージ2構造のピークが観測された。一方、ステージ2構造の褪色は遅く、ほぼステージ2構造のピークのみが観測された。よって、ステージ1構造に関しては、今後、XRD専用の不活性雰囲気測定ホルダーの利用を検討する。

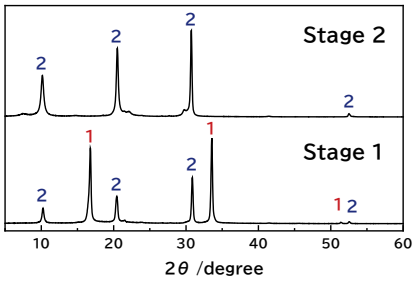


Fig. 1 XRD patterns of stage-1 and 2 K-GICs.

また、分光用セル付きのガラス管を反応管に用いることで、大気非暴露環境での写真撮影、ラマン分光および反射スペクトル測定を可能にした。**Fig.2**はステージ1構造のRb-GICの反射スペクトルである。PGSは表面に凹凸があるためスペクトル強度が弱くなってしまうが、表面が平坦なHOPGをホストに用いることで、強いスペクトルを得ることができた。

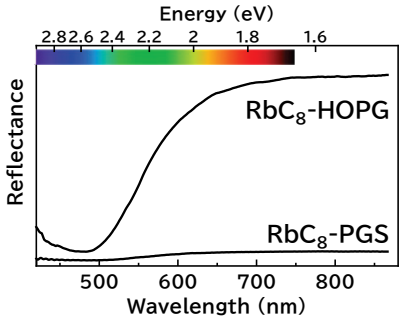


Fig. 2 Reflectance spectra of stage-1 Rb-GICs.

次に、大気安定性が低いステージ1構造のK-GICについて、大気下および大気非暴露環境で電気伝導率を測定し、比較した。ホストに用いた厚さ25 μmのPGSシートの室温における電気伝導率は1.3×10^4 Scm^{-1} であった。一方、大気接触直後のK-GICの電気伝導率は9.0×10^4 Scm^{-1}、Ar下で測定した場合は 7.2×10^4 Scm^{-1} となり、大気暴露の有無による値の違いはなかった。これはステージ1とステージ2構造の電気伝導率が相違ないことに起因すると考えられる。

4. アルカリ土類金属GIC

ステージ1構造のCa-GIC(CaC_6)を、溶融合金法と気相法で合成した。**Fig.3**に示すように、両方法とも白っぽい金色の化合物を生成した。これらはXRD測定よりステージ1のCa-GICであることを確認したが、気相法の場合、GIC形成は表面近傍のみであった。

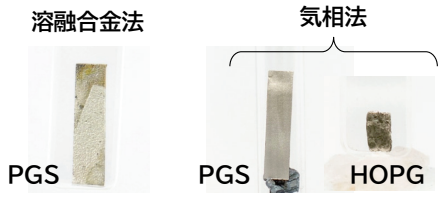


Fig. 3 Photos of stage 1 Ca-GICs.

5. アマルガムGIC

水銀の合金(アマルガム)のGICとして、K-Hg-GICの合成を行った。ステージ1構造(組成: $KHgC_4$)の場合、ピンク色であるが、組成の僅かな違いにより黄色になることが知られている[4]。**Fig.4**はPGSをホストとして合成したK-Hg-GICの写真である。ピンク色、金色、銀色、青色とさまざまな色を呈した。**Fig.4**の(a)ピンク色、(b)銀色、(c)青色の部分のXRDパターンを**Fig.5**に示す。(a)のピンク色はステージ1のK-Hg-GIC($KHgC_4$)、銀色に見える(b)は青色のステージ2構造($KHgC_8$)とピンク色のステージ1構造が混在していた。(c)の青色部分はK-GICのステージ2と少量のステージ3構造であった。また、加熱時間により、K-GICのステージ2、ステージ1を経て、K-Hg-GICが形成されることが観測された。

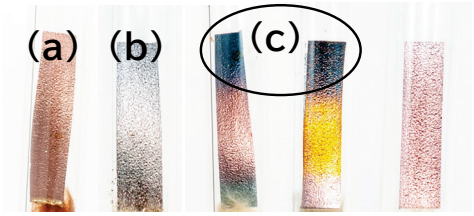


Fig. 4 Photos of K-Hg-GICs prepared from PGS.

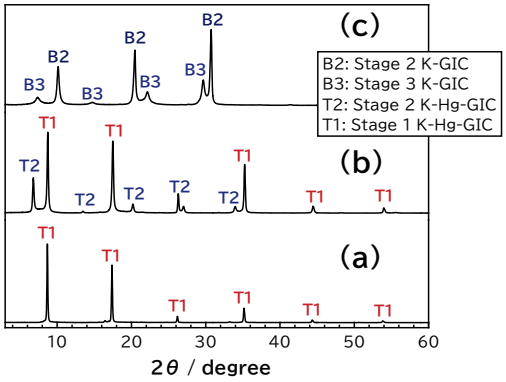


Fig. 5 XRD patterns of K-Hg-GICs prepared from PGS.

6. 金属塩化物GIC

金属塩化物$FeCl_3$, $MoCl_5$, $AlCl_3$, $CuCl_2$等のGICを気相法で合成した。ステージ1構造は青色～青緑色の暗色であり、反射率が低く、反射スペクトルの測定が難しい。また、ステージ2以上の構造では呈色を確認できない。また、金属塩化物GICは比較的安定であるため、XRDや電気伝導率測定を大気下で行っても分解による影響はなかった。また、$CuCl_2$-GICはPGSやHOPGをホストとした場合、反応が極めて遅く、純粋なステージ1構造を得ることができず、色を確認することができていない。

7. まとめ

代表的なGICであるアルカリ金属と金属塩化物GICを中心に、様々な種類のGICを合成し、写真撮影の他、構造解析や反射率スペクトル測定、電気伝導率測定を進めている。今後、Li-GICなどの未着手のGICの合成や、金属塩化物GICの反射スペクトル測定、大気非暴露環境でのホール係数測定等を実施する。その後、順次、データをまとめ発表する予定である。

参考文献

[1] 松本里香, 大嶋正人, 山田勝実, 行谷時男, 實方真臣, 第46回炭素材料学会年会 (オンライン, 2020.12).
[2] R.Matsumoto, M. Oshima, K. Yamada, T. Yukiya, M. Sanekata, 3rd International Symposium for Color Science and Art 2021(Online, 2021.03).
[3] 松本里香, 大嶋正人, 山田勝実, 行谷時男, 實方真臣, 第47回炭素材料学会年会 (オンライン, 2021.12).
[4] S. Chanen, M. Fauchard, P. Lagrange, C. Herold, TANSO No.268 145 (2015).

「うつろいの色、紅」学術映像の制作

A science filmmaking “Dynamic Color, Beni”

矢島仁*・小田珠生*・松本里香**・山田勝実**
YAJIMA Hitoshi, ODA Tamaki, MATSUMOTO Rika, YAMADA Katsumi

*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1583

概要

この研究は紅花の色素研究の3番目の映像作品であり、2014年からの研究の蓄積でわかった紅花色素の性質を、ダイナミックに変化をする色素と捉えて企画した。

命短く儚い色彩と考えられがちな紅花色素の意外な一面を、古代エジプトの「紅花染め？」と表記のあるミイララッピングクロスの調査結果を交えて紹介する映像作品である。

1.　はじめに

紅花に関するいくつもの文献に「2500年前のミイラの着衣は紅花で染められていた。」という記述が見られる。しかしその出典や根拠については何も記されておらず、真偽を判断することができなかった。

私たちの研究グループでは、緑色光励起での紅花色素の赤色蛍光の検出と撮影に成功しており、この撮影方法でミイラの巻布からの蛍光の検出調査を行なった。本来ならば詳細な三次元蛍光分析を行うことが望ましいが、そもそも蛍光の検出が可能かさえもが不明であったので、予備的な調査の位置付けで渡英した際の未発表映像を中心に構成した。

なお、本年度の映像制作は covid-19 感染拡大により多くの困難に直面し、予定していた研究内容を十分に消化することが叶わず、過去に発表した映像等を引用しての解説になったので、静止画（写真）の部分があるがご了承願いたい。

2.　映像作品

2.1　導入部

「紅」 の冒頭のシーンの映像{1}を引用したが、ここで見せたいのは紅ではなく紅花染め。淡いピンク色の着物は紅花で染めたもの、胸元に見える黄色い帯揚げも紅花の黄色染め。もちろん彼女が手に持つ猪口には緑色の反射も明らかに「紅」が掃いてある。

2.2　「にほふ」美しさ

芸術学部フェスタ2021でのポスター発表、『日本の古典文学における「くれなゐ」について　うつろうものの喩えとして』小田珠生(2021)からの引用{3}で、紅の美しさは「にほふ」という言葉で表されることを取り上げ、「にほふ」とは何かと問いかける。

図1，小田珠生のポスター発表

2.3　紅花染め出張ワークショップ

「にほふ」色を体験するカラボの出張ワークショップ、「本当の紅花で染めてみよう」の参加者の鮮やかな色彩に対する反応の様子。

そして紅の特別な色彩の秘密をいくつかの赤色の天然染料を比較してみせる。

図2, 各種の天然染料で染めた赤い布の写真

左から　無染色, 西洋茜, インド茜, 蘇芳, コチニール, 紅花

上段は　ラミー麻,　下段は　絹布

2.4　ミイラの着衣

大英博物館の標本は持ち出せない、博物館の暗室を借りてしかも怪しげな装置からの光を当てての観察。困難な交渉であったが、なんとか目的は達成できた。

結果は予想をはるかに超える明らかな赤色蛍光が観察された。今後、放射波長の確認等の再調査をしたいと申し込んだまま、再度の訪問が出来ないままになっている。

2.5　笹色の紅化粧

笹色の紅化粧{2}と云われる上の唇は赤く、下の唇は緑色の金属様光沢の蛍光放射を観察し、紅色素膜が厚い場合は蛍光放射が出ていないことを示す。

2.6　光に脆弱な紅の緑色反射

紅色素膜の緑色光沢は、光によって失われる場合がある。ではどのような条件が最も紅色素膜を変化させるのかを調べた。その結果、紅色素が吸収する波長と、紅色素膜が反射する波長が同じであり、波長 550 nm の光と紅色素が共鳴する関係にあるとした昨年度の研究発表{2}の実験過程の紹介をしている。

3　紅花の色素の特殊性

咲き始めの紅花の花弁の色は黄色い、しかし花が萎れるころの花弁は赤くなる。人は、黄色い花を摘み破砕し、酵素の作用で赤色色素の増加を促進させ利用する。

この色素は、緑色を吸収し赤い光を放射する特別な色彩を持っている。

白色光から緑色光が吸収されれば、それだけでも赤く見える。そこへ更に赤い蛍光放射が加われば、赤に赤が加わり、明るさを伴う特別の価値感のある赤色になる。

だから、紅を差した唇は「透き通るように美しい」のである。

しかし、蛍光放射をするなどの複雑な挙動をする紅色素の分子は、過剰な光エネルギーを吸収すると容易に壊れてしまうという儚さも兼ね備えている。

「にほふ」色彩ゆえの「儚さ」、
まさに　うつろいの色　べに　である。

4　引用文献等

4.1　映像作品

{1}「紅」(2016) 佐々木麻衣子, 矢島 仁
{2}「笹色の紅」(2020)佐々木麻衣子, 高橋圭子, 大嶋正人, 平岡一幸, 八代盛夫, 山田勝実, 矢島 仁

4.2　ポスター発表

{3}小田珠生 (2021)日本の古典文学における「くれなゐ」について---うつろうものの喩えとして芸術学部フエスタ2021, 東京工芸大学芸術学部

4.3　論文

{4} H.Yajima M.Sasaki K.Takahashi M.Oshima K.Hiraoka M.Yashiro K.Yamada, Bull. Soc. Photogr. Imag. Japan, 28,18 (2018).

色の国際科学芸術研究センター，第 3 回国際シンポジウム 2022
― 色の科学と芸術の社会的展望―

The 3rd International Symposium 2022 by the International Research Center for Color Science and Art

展示 Exhibition

① フォトグラメトリを元に紙で創るフルカラー３D プリント
内田　孝幸、美田　翼、久原　泰雄

② AI Gaudi Sustainable Architecture
久原　泰雄

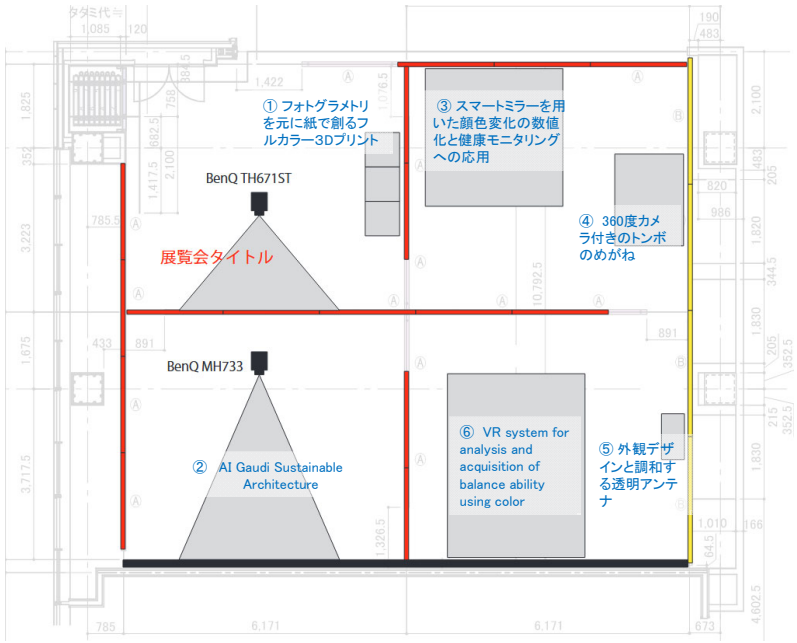
③ スマートミラーを用いた顔色変化の数値化と健康モニタリングへの応用
森山　剛、Piyarat Silapasuphakornwong, 上平員丈

④ 360 度カメラ付きのトンボのめがね
今給黎　隆

⑤ 外観デザインと調和する透明アンテナ
越地　福朗、山田 友里、安田 洋司、山田 勝実 、内田 孝幸

⑥ VR system for analysis and acquisition of balance ability using color
大海 悠太、牧田 孝宏、 児玉 謙太郎、 山本 正彦

展示会場：6 号館 B1 展示室

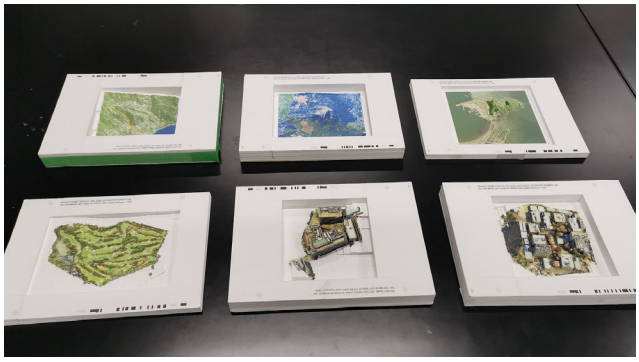


展示レイアウトは予定です。

① フォトグラメトリを元に紙で創るフルカラー３D プリント

内田　孝幸、美田　翼、久原　泰雄

ドローンを用いて両キャンパスを空撮し、リアリティーの高いフルカラー３D モデルを造形しました。

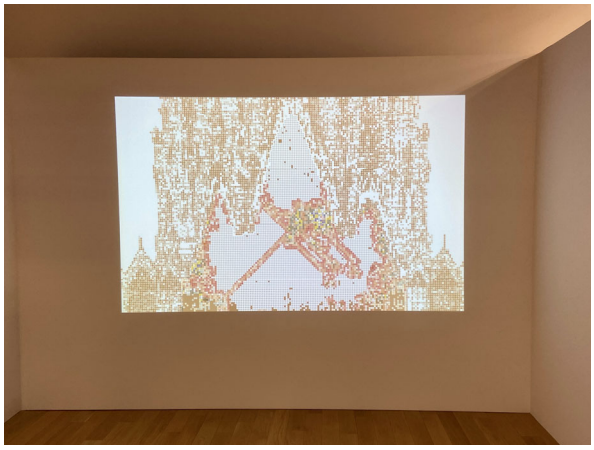


厚木・中野両キャンパスを対象に UAV（通称ドローン）で撮影し、フォトグラメトリ、SfM（多視点画像からの 3D 形状復元）によって３D モデルを構築しました。また、広い領域での地形モデルは国土地理院のデータを利用しました。これらのモデリングデータを元に紙積層型３D プリンタによってフルカラーの３D モデルをプリントしました。紙にフルカラーで着色することによって、リアリティーの高いモデルが構築できます。

② AI Gaudi Sustainable Architecture

久原　泰雄

アントニ・ガウディの代表的な建築物で現在も建設中のサグラダ・ファミリアに AI を使って着色する作品

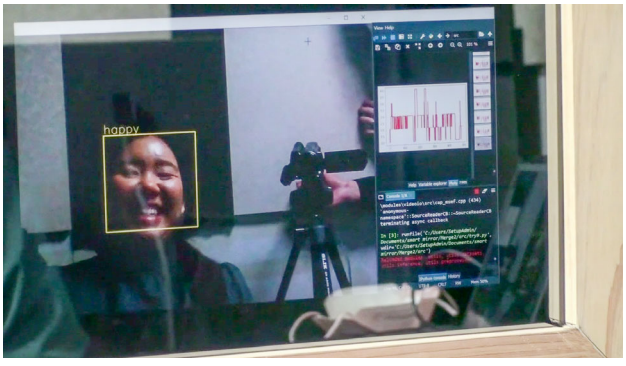


ガウディは複雑な形状に彩色する際、陶器を細かく砕き、モザイク状に貼るトレンカディス技法を多用した。本作品で用いた AI はセルオートマトンと呼ばれ、格子状のセルと局所的な規則による離散的計算モデルであり、セルをモザイクに見立て、複雑な生命現象のごとく豊かな色彩を生成する。まるで試行錯誤しながら制作する建築家のように持続的に構造物を着色し続ける。

③ スマートミラーを用いた顔色変化の数値化と健康モニタリングへの応用

森山　剛、Piyarat Silapasuphakornwong, 上平員丈

ヒートショックに関する基礎的実験と各種センサーを組み込んだスマートミラーに関して報告する。



生活の中で中長期的に人の健康をモニターし、健康不調の兆候にいち早く気づくことが、予防医療（特に一次予防）実現に必須である。本研究では、生活の中で必ず向き合う洗面所の鏡にカメラやマイク等を組み込んだスマートミラーを提案する。本発表では、その中で使用する生理心理状態の数値化手法の応用例としてヒートショックの影響に関する実験、さらに作成中のスマートミラーの実装結果に関して報告する。

④ 360 度カメラ付きのトンボのめがね

今給黎　隆

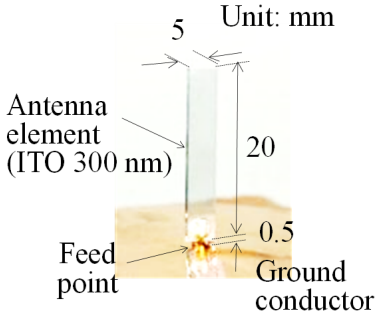
ヘッドマウントディスプレイに 360 度カメラを取り付けて、トンボの視覚で周りの風景を覗ける展示です。

カラボギャラリー第 2 回企画展でヘッドマウントディスプレイでトンボの視覚を体験できる展示を行った。その際は、あらかじめ用意された動画をトンボの視覚に変換をして体験できる作品であった。しかしながら、展示では、現在の景色をトンボの視覚で見ているように誤解している来場者が見られた。その結果をヒントに、360 度カメラを組み合わせてトンボの視覚で現在の風景を覗ける作品を制作した。

⑤ 外観デザインと調和する透明アンテナ

越地　福朗、山田 友里、安田 洋司、山田 勝実 、内田 孝幸

窓ガラス・めがねなど透明なものに透明性を維持したまま外観を変えることなく搭載できるアンテナを実現

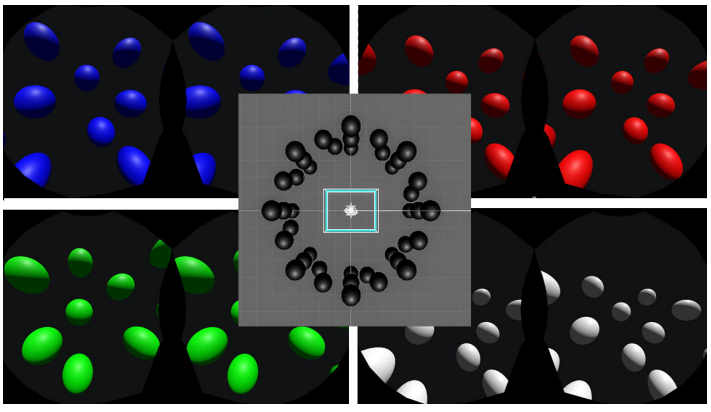


本研究では，複数の透明導電膜を併用・合成・積層することで，従来にない高い電気的導電性と光学的透明性を両立し，デザイン性と機能性を両立する【外観デザインと調和する透明アンテナ】を目指すものである．本研究の成果によって，窓ガラス・めがねなど透明なものに透明性を維持したまま，そして，壁・天井・ディスプレイ・自動車ボディなどに対しては外観を変えることなくアンテナを付加することが可能となる．

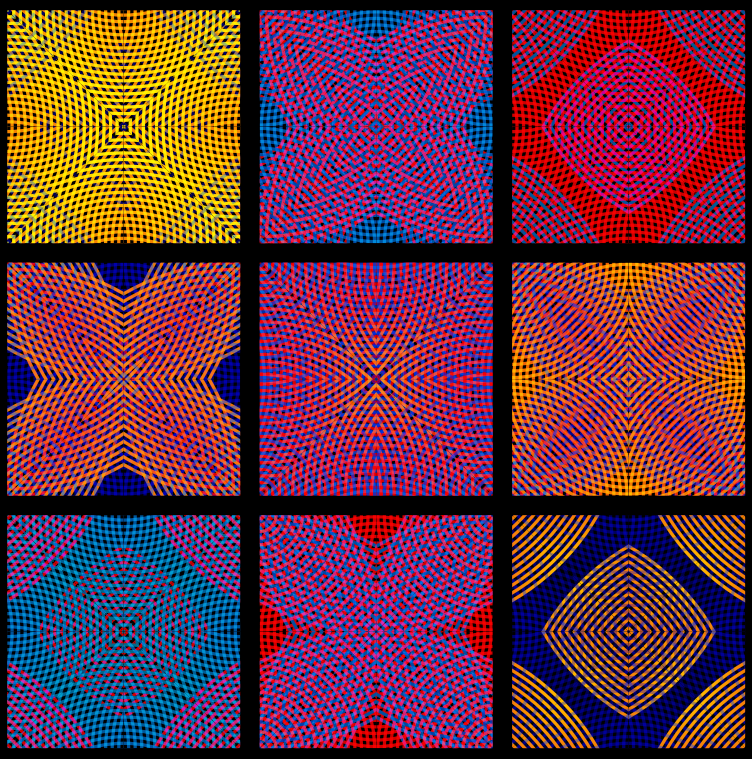
⑥　VR system for analysis and acquisition of balance ability using color

大海 悠太、牧田 孝宏、 児玉 謙太郎、 山本 正彦

様々な色の動く物体による、バランス能力への影響を調べるための VR システムを開発しました。



視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)とは、実際には静止している人間が、視覚情報によって移動しているような感覚が引き起こされてしまう現象です。本システムでは、VR 空間内に移動する様々な色の球体を配置し、ヘッドマウントディスプレイでそれを見ることでベクションが生じバランス能力に影響を与える様子を調べるためのものです。Wii バランスボードで重心を計測し状態をフィードバックします。



[Date]
2022.3.12 Sat. 9:00-18:00
[Organizer]
The International Research Center for Color Science and Art,
Tokyo Polytechnic University (TPU)
[Venue]
Nakano Campus of Tokyo Polytechnic University

KOGEI 100th Anniversary Since1923

cololab
Color Science and Art Center

文化庁
大学から文化力
POWER OF CULTURE

令和3年度 文化庁 大学における文化芸術推進事業