Print ISSN 0285-9831
Online ISSN 1348-0316
CD-ROM ISSN 2186-716X
272

Visual Computing, Devices & Communications

画像電子学会誌

The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan

【VR/AR における画像電子関連技術論文特集号】

◆【特集論文】足裏への振動を用いた空中像タッチにおける指の検出位置及びその検出タイミングが操作性に与える影響
◆【特集論文】実写映像への輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理によるベクションの増大
◆【特集論文】華道の初等教育を対象とした VR 教材の試作
◆【特集論文】メタバース空間内における多地点立体音響配信システム
◆【特集ショートペーパー】画像認識に基づく靴の整頓を促すための教育用 AR システム
◆【随 想】企画委員長就任挨拶
◆【スキャニング】JPEG 標準化記念行事と JPEG 会合の最新事情

一般社団法人
画像電子学会
Vol.54 No.2 2025

画像電子学会賛助会員　　(2025 年 3 月 31 日現在)

池上通信機株式会社	ＺＡＺＡ株式会社	日本放送協会
株式会社　ＡＢ．ｄｏ	シリコンスタジオ株式会社	株式会社日立製作所
科学技術振興機構	大日本印刷株式会社	富士フイルムビジネスイノベーション株式会社
公益財団法人画像情報教育振興協会	東芝テック株式会社	古野電気株式会社
桂川電機株式会社	凸版印刷株式会社	三菱電機株式会社
株式会社ゲネシスコンマース	日本テレビ放送網株式会社	株式会社リコー
コニカミノルタ株式会社	日本電信電話株式会社	

入会のご案内

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

○会員の種別
正会員：本会の目的に賛同する個人
学生会員：本会の目的に賛同する学生
賛助会員：本学会を援助する個人または法人
特殊会員：本学会の目的に賛同する個人以外の図書室, 研究室など

○入会金および年会費
入会金：正 会 員　1,000 円　　学生会員 500 円
年会費：正 会 員　10,000 円（口座振替 9,000 円）
学生会員　3,000 円
賛助会員　50,000 円（1 口）
特殊会員　12,500 円

○ご連絡先
〒116-0002　東京都荒川区荒川 3-35-4
ライオンズマンション三河島第二　101 号
TEL (03)5615-2893　　FAX（03）5615-2894
E-mail: hensyu@iieej.org（編集）
kikaku@iieej.org（研究会・会員情報）
hyoujun@iieej.org（テストチャート）
http://www.iieej.org/
http://www.facebook.com/IIEEJ

画 像 電 子 学 会 誌

第54巻 第2号　通巻272号　（2025年4月）

目　　次

随　想

219 企画委員長就任挨拶　石樽康雄

VR/ARにおける画像電子関連技術論文特集号

220 VR/ARにおける画像電子関連技術論文特集に寄せて　編集委員会

論 文

221 足裏への振動を用いた空中像タッチにおける指の検出位置及びその検出タイミングが操作性に与える影響　寺尾保範，伊達宗和，水科晴樹，山本健詞

229 実写映像への輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理によるベクションの増大　中西康介，伊達宗和，水科晴樹，山本健詞

238 華道の初等教育を対象としたVR教材の試作　宮崎彩乃，太田ひろ子，岩崎公弥子，浦田真由，遠藤 守，安田孝美

247 メタバース空間内における多地点立体音響配信システム　工藤聖央，竹中誠人，丸山 充

ショートペーパー

255 画像認識に基づく靴の整頓を促すための教育用ARシステム　廣川七海，佐藤周平

スキャニング

261 JPEG標準化記念行事とJPEG会合の最新事情　小野文孝

図書紹介

264 AI・量子コンピュータにかかわるリスク管理 セキュリティからガバナンスへ　田中賢一

会　告・ニュース

265 理事会だより
266 画像電子学会研究会等予定
267 IEVC2026 in 広島 Call for Papers
269 2025年度 第53回 画像電子学会 年次大会Call for Papers
271 画像電子学会 第313回研究会 in 長野 発表募集
273 Advanced Image Seminar 2025 (AIS2025)「サイバーフィジカルシステムとそれに向けたセンシング，環境認識技術の最新動向」
275 2026 年4月号（英文誌6月号） 論文特集号 論文募集 ― AI技術と画像電子関連技術特集 ―
276 論文投稿の手引き
280 日本画像学会誌・日本写真学会誌・日本印刷学会誌目次
285 会　報
285 編集後記

The Journal of
the Institute of Image Electronics Engineers of Japan
Vo1.54 No.2 April 2025

CONTENTS

Foreword

219 Greetings from the Planning Committee Chair — Yasuo ISHIGURE

Special Issue on Image Electronics Technologies Related to VR/AR/MR/XR

220 Upon the Special Issue on Image Electronics Technologies Related to VR/AR/MR/XR — Editorial Committee

Papers

221 Influence of Finger-Detecting Position and Finger-Detecting Timing on Usability of Touching the Aerial Image Using Vibration to the Sole of the Foot — Yasunori TERAO, Munekazu DATE, Haruki MIZUSHINA, Kenji YAMAMOTO

229 Enhancement of Vection by Gradual Superposition of Luminance Grating on Live-Action Videos — Kosuke NAKANISHI, Munekazu DATE, Haruki MIZUSHINA, Kenji YAMAMOTO

238 A Prototype of VR Teaching Materials for Elemental Kado Education — Ayano MIYAZAKI, Hiroko OTA, Kumiko IWAZAKI, Mayu URATA, Mamoru ENDO, Takami YASUDA

247 Multipoint Stereophonic Distribution System for Metaverse Space — Tsukasa KUDO, Masato TAKENAKA, Mitsuru MARUYAMA

Short Paper

255 An Educational Augmented Reality System Based on Image Recognition for Urging Shoes Tidying — Nanami HIROKAWA, Syuhei SATO

Scanning

261 Commemoration of JPEG Standard and Recent Information on JPEG Meetings — Fumitaka ONO

Book Review

264 IT Systems Affected by AI and Quantum Computers - toward Modern Risk Management - — Ken-ichi TANAKA

Published four times a year by the Institute of Image Electronics Engineers of Japan（Gazo Denshi Gakkai）
101, 3-35-4, Arakawa, Arakawa-ku, Tokyo 116-0002, Japan
Tel：+81-5615-2893 Fax：+81-5615-2894 E-mail：hensyu@iieej.org http://www.iieej.org/

IIEEJ 随想

企画委員長就任挨拶

石榑　康雄（企画委員長，公立はこだて未来大学）

Greetings from the Planning Committee Chair

Yasuo ISHIGURE (Planning Committee Chair, Future University Hakodate)

昨年春に，画像電子学会企画委員長を拝命することとなりました．本稿では画像電子に纏わるこれまでの私自身の体験を振り返りながら，今後に関しても少し考えてみたいと思います．

私が画像に関する研究・開発に携わり始めたのは約 30 年前のことです．当時はまだアナログ全盛の時代でしたが，その後のデジタル化，高精細化といった技術の進歩は目覚ましく，通信・放送技術の発展との相乗効果もあり，年々目覚ましく進化する画像の世界にワクワクしながら毎日を送ったことをよく覚えています．

約 30 年前というと，バブル景気が崩壊し，日本経済が急激に下降していた頃です．私は団塊ジュニア世代であり，その後の 30 年は就職超氷河期に始まり，企業のリストラクチャ，研究開発投資の縮小，平均給与の低下，株価の低迷，超高齢化に伴う社会保障費の増加，増税など，個人としてはあらゆるマイナスの影響を受けてきた気がします．このような時代背景において，画像電子に関する技術・製品の動きは如何でしたでしょうか？幾多の困難もあったとは思いますが，諸先輩方のご尽力により，市場のニーズは高まり，技術は着実に発展し，グローバル化した社会経済において，無くてはならない存在として貢献してきたものと思います．

ある通信企業の研究所に入社してすぐ，新入社員の私は，所属組織の上司から次のような言葉をかけられました．「(石榑さんには）世の中をビックリさせるような，夢を与える仕事をして欲しい」．バブル景気のムードから少しばかり変化が起き始めた企業において，とても勇気づけられる言葉を頂いたと思いました．その後．当時として少なくない研究費を使わせていただき，「光通信の実現によりこんなに素晴らしい高臨場感通信が実現できる」ことを多くの人々に見て頂けるよう，研究・開発に取り組むことになりました．その過程において，学会や展示会等での発表のほか，国家的な大規模イベントのいくつかにも関わる機会があり，そのたびに絶対に失敗できないという強い緊張感を覚えつつ，一方で成功した時の感動はそれこそ格別なものがあったと記憶しています．こうした経験は，「一目瞭然」という言葉が示すように，まさに画像関連の仕事における醍醐味であると思っています．

これまで，多くの画像電子技術の成果がオリンピック・パラリンピック競技大会や万国博覧会，サッカーワールドカップなどの世界的大規模イベントの場で広く一般にお披露目されてきました．私自身が，その一端に直接携わることができたのは，極めて貴重な経験であったと思っています．とはいえ，上司から最初に頂いた言葉のように人をビックリさせるような，また人に夢を与えるような仕事をこれまでに成し遂げられたかというと，まだまだ私個人として大きな宿題を残しているとも感じています．

本号の発行月である 2025 年 4 月 13 日（日）に大阪・関西万博が開幕し， 10 月 13 日（月）までの 184 日間にわたり，大阪 夢洲で開催されます．私も訪問する予定ですが，これまでの大規模イベントと同様に，画像電子技術を通してきっとワクワクするような体験が得られるものと期待しています．そして，そのワクワク感が将来を担う若者たちにポジティブな影響を与え，そのフィードバックがさらに次世代の画像電子技術の発展に繋がるものと信じています．昨今の画像電子技術は，画像生成 AI，ドローンによる映像表現，プロジェクションマッピング，AR グラスなど，ありとあらゆる方向への発展がみられます．きっと，万博等で触発された若者たちが先頭に立ち，その体験を次のアイデア創出に繋げていってくれるものと期待しています．

さて，昨年より企画委員長を拝命し，主に夏と冬に開催している研究会の企画・運営を行っています．学会のあり方が時代に合わせて大きく変化している中，過去と同じ流れを踏襲していてはその展望は開けず，特に次代を担う若者層に，如何にワクワク感をもって参加してもらえるかを考えることの重要性を認識しています．今後，少なくともその任期の期間，画像電子技術の発展と，多くの人によるその成果の享受という学会の目標達成に向け，与えられた環境下で私ができることを，微力ながら一歩ずつ進めていきたいと考えています．是非，研究会に積極的にご参加いただき，共に高め合える場とできることを楽しみにしています．

（桜満開の函館五稜郭より）

VR/AR における画像電子関連技術論文特集に寄せて

編集委員会

近年，人工現実感（VR）および拡張現実（AR）に関する研究開発は，HMD（ヘッドマウントディスプレイ）や空中映像，触覚デバイスなどのハードウェア技術の進展，ならびに空間認識・画像認識・動作推定などのソフトウェア技術の発展とともに，急速に高度化・多様化しています．こうした技術は，エンターテインメントや教育，医療，製造業など多様な分野への応用が進んでおり，日常生活におけるインタラクティブ体験の質を大きく変えつつあります．このような背景のもと，本特集号では，VR/AR 技術に関連する画像電子技術，すなわちディスプレイ技術，映像生成，ユーザインタフェース，センシング，レンダリング，リアルタイム処理などを対象に，基礎研究から応用事例，実践的なシステム開発に至るまで幅広い論文の投稿を募集いたしました．その結果，10 件（内 英文論文 4 件）という近年の論文特集では大変多くの論文投稿を頂き，和文論文 6 件からはフルペーパー4 件，ショートペーパー1 件の計 5 件が採録となり，残り 1 件は本特集号の発行スケジュールに間に合わず，現在引き続き審査中です．

採録された論文のうち，1 件目は「足裏への振動を用いた空中像タッチにおける指の検出位置及びその検出タイミングが操作性に与える影響」に関する研究で，ユーザの身体感覚を活用したインタラクション手法の検討を行っています．2 件目は「実写映像への視覚運動刺激のなだらかな重ね合わせ処理によるベクションの増大」に関する研究で，映像合成によるベクションの向上を目指しています．3 件目は「華道の初等教育を対象とした VR 教材の試作」で，伝統文化の学習支援に VR 技術を活用する取り組みが紹介されています．4 件目は「メタバース映像と共に臨場感のある音響情報を聴取可能なシステムアーキテクチャ」に関する研究で没入感の高い音響情報配信システムの提案と共に検証結果が紹介されています．5 件目はショートペーパーとして投稿された，「画像認識に基づく靴の整頓を促すための教育用 AR システム」に関する研究で，身近な行動変容を促す AR アプリケーションが提案されています．また，英文の採択論文については 6 月発行の英文論文誌に特集として掲載の予定です．

VR/AR 分野は多くの応用可能性を持つ成長領域であり，本特集号を通じてその研究の一端をご紹介できることを嬉しく思います．本誌では今後も，特集論文に限らず一般論文として，当分野に関する投稿を随時受け付けておりますので，通常論文・システム開発論文・実践論文等様々なカテゴリーで，最新の成果をご投稿いただければ幸いです．

最後になりますが，ご多忙の中，論文の査読をご担当いただいた査読者の皆様，ならびに編集・出版にご尽力いただいた関係者の皆様に，心より御礼申し上げます．

＊特集号編集理事
小池 崇文（法政大学）

（小池 崇文　記）

IIEEJ 論文 -- VR/AR における画像電子関連技術論文特集 --

足裏への振動を用いた空中像タッチにおける指の検出位置及びその検出タイミングが操作性に与える影響

寺 尾 保 範† (学生会員)　伊 達 宗 和††　水 科 晴 樹†,‡　山 本 健 詞†

†徳島大学，††徳島文理大学，‡信州大学

Influence of Finger-Detecting Position and Finger-Detecting Timing on Usability of Touching the Aerial Image Using Vibration to the Sole of the Foot

Yasunori TERAO†(*Student Member*), Munekazu DATE††, Haruki MIZUSHINA†,‡, Kenji YAMAMOTO †

†Tokushima University, ††Tokushima Bunri University, ‡Shinshu University

〈あらまし〉 近年，非接触なインタフェースである空中像タッチディスプレイの活用が注目されている．このデバイスは空中でタッチ操作を行うため，触覚フィードバックを得られず，従来のタッチパネルと同様に空中像にタッチした感覚を得ることは難しい．我々は，空中タッチに付与するフィードバック法として指ではなく足裏に振動を与える触覚フィードバック法を提案し，これに視覚と聴覚を組み合わせることで操作性を向上させる研究を行ってきた．本研究ではさらなる操作性の向上を目指すため，2 つのパラメータに着目した．1 つ目は指を検出する赤外線センサの位置で，空中像よりも少し手前に赤外線センサを設置する．2 つ目が指を検出するタイミングで，センサ上に指が入るタイミングで位置を検出する．これらの手法によりフィードバックの提示を早くすることができ，空中タッチの操作性に違いが表れるのではないかと考え，操作時間の計測とシェフェの一対比較法を用いた官能評価実験による分析を行った．その結果，指の検出位置は空中像と同じ位置が適しており，指の検出タイミングは空中像から指を離すときにフィードバックを提示することにより操作性が向上することが示唆された．

キーワード：空中タッチディスプレイ，非接触，ヒューマンインタフェース，操作性

<Summary> Utilizing aerial touch display as contactless human interface is attracting attention. This device is operated in the air, so it is difficult to touch aerial image as well as touch panel without tactile feedback. We proposed a tactile feedback method that providing vibration to the sole of the foot instead of finger and have conducted research on improving usability by combining tactile, visual, and auditory feedback. In this study, to aim to further improve the usability, we focused on two parameters. The first is the finger detecting position. Infrared sensor is installed in front of the aerial image. The second is finger detecting timing. The finger position is detected when it passes above the sensor. We considered that these methods make the timing of providing the feedback faster and affect the usability of contactless touching, so we conducted the usability evaluation by an analysis of variance using Scheffé's method of paired comparison. As a result, the improvement of usability is demonstrated by the difference in the timing of finger detection.

Keywords: aerial touch display, contactless, human interface, usability

1. はじめに

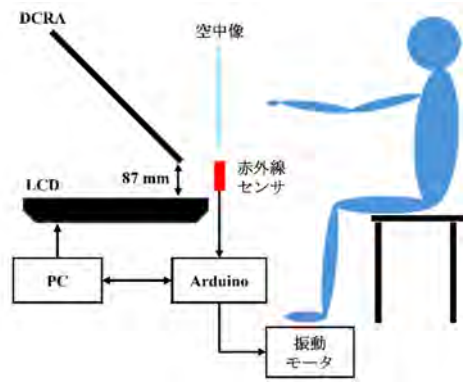
何も無い空中に映像を浮かび上がらせ表示することができる空中像は，デジタルサイネージやアミューズメント施設での活用が期待されている．近年では，新型コロナウイルス感染症の影響により，非接触なヒューマンインタフェースとして空中像をタッチ操作する空中像タッチディスプレイが注目されている．空中に映像を表示する方法には，光学素子を用いた実像を形成する方式やハーフミラーを用いて虚像を観察できる方式[1)]，フォグスクリーン[2)]，フェムト秒レーザーを用いた表示[3)]，電子ホログラフィ[4)]など，様々存在する．実像を形成する方法には，二面コーナーリフレクタアレイ（DCRA）[5),6)]，再帰反射による空中結像（AIRR）[7),8)]，マイクロミラーアレイプレート（MMAPs）[9)~11)]などがあり，これらは簡単な光学素子と光源のみで空中像を形成することができる．これらに加え，指を検出するための赤外線センサを組み込むことで，空中でのタッチが可能となる．

空中像タッチディスプレイは浮かんでいる画面をタッチするので，通常のタッチパネルのように画面に触れる触覚を得ることはできず，タッチパネルと同等に安定かつ素早くタッチすることは難しい．先行研究では，超音波や空気噴射などを使用して空中像にタッチする指先に直接触覚のフィードバックを提示する方法が報告されている [12)-15)]．しかし，この方法で用いられる装置は複雑で大掛かりなシステムになってしまう．さらに，ATM のタッチパネル操作のような視覚や聴覚のフィードバックが無ければ，タッチしている実感が得られないという問題もある．これらを解決するため，我々は触覚フィードバックとして振動モータを用いて足裏に振動を提示する方法を提案し，この触覚と視覚・聴覚の 3 つのフィードバックでそれぞれ最適なパラメータを明らかにした．また，それら 3 つのパラメータを組み合わせたマルチモーダルフィードバックが，空中タッチの操作性を向上させることも明らかにした [16)]．

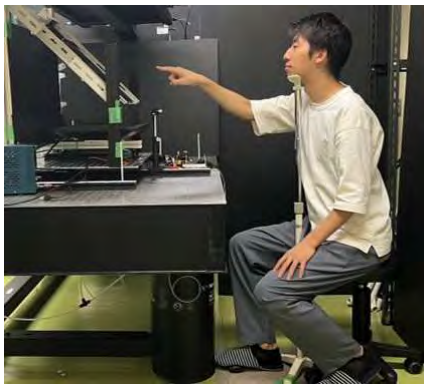
この結果を得て，我々は空中像タッチディスプレイの操作性をさらに向上させる方法を探るため，2 つのパラメータに着目した．1 つはタッチする指の検出位置である．空中像に指を伸ばしてタッチをするときにフィードバックを提示することによって，ユーザーの指のリーチング位置の不安定さを低減し，空中像の結像面に正しく指をリーチングできることが報告されている [17)-19)]．このことから，空中像にタッチするときに空中像よりも少し手前で指の位置を検出しフィードバックを与えることで正確なリーチングが容易になり，操作性の向上につながるのではないかと考えた．

そしてもう 1 つはタッチする指を検出するタイミングである．PC でのマウス操作には，マウスが押されたときにアクションが発生する場合（MouseDown イベント）とマウスが離されたときにアクションが発生する場合（MouseUp イベント）の 2 種類がある．タッチパネルや赤外線センサでは，指が画面から離れたときにアクションが発生する MouseUp イベントが一般的であり，空中像タッチディスプレイの場合も，空中像から指が離れたときにタッチ操作が完了し，その後フィードバックが提示されることになる．しかし，空中像タッチディスプレイで MouseDown 時に指の位置を検出しフィードバックを提示することにより，タッチ時間が短縮され操作性が向上する可能性もある．

以上のことから，本研究では，空中像と赤外線センサの位置関係を変化させること及びフィードバックを提示するタイミングである MouseDown 時と MouseUp 時を比較することにより，空中像タッチディスプレイの操作性に違いが表れるのかを評価する．操作性には様々なパラメータが存在するが，本研究では操作性として主観評価による操作のしやすさと操作時間に着目し議論する．



(a)　実験装置概要図



(b)　実験風景

図 1 実験システムの概要

Fig. 1 Apparatus of experimental system

2.　実験システム

2.1　システムの概要

実験システムの概要を**図 1** に示す．本研究では空中像を表示するのに二面コーナーリフレクタアレイ（dihedral corner reflector array，以下 DCRA）を使用した（パリティ・イノベーションズ，パリティミラー）[20)]．DCRA の原理を**図 2** に示す．DCRA は再帰反射の原理を利用した板状の光学素子である．素子の表面は複数の 2 面コーナーリフレクタで構成されており，入射した光は，各リフレクタ内の垂直に交差した鏡面で 2 回反射される．このとき，DCRA に垂直な光の成分のベクトルは変化せず，DCRA に平行な光の成分のベクトルは逆向きになる [6)]．それにより，光源から入射した光は DCRA に対して面対称な位置に収束する．したがって，液晶ディスプレイ（LCD）などの光源を使用すると，表示画像に対して 1:1 の大きさとなる実像が形成される．観察者はこれを空中像として観察する．本実験では，図 1 に示すように LCD（I-O DATA, EX-LD2071TB-B4，サイズ：460 mm×260 mm，画素数：1920×1080，輝度：125.6 cd/m^2）を光学定盤と平行になるように設置し，DCRA を LCD とのなす角が 45 度となるように設置した．そのため，LCD に対して垂直な位置に結像した空中像を観察することができる．また，このとき，DCRA と LCD の

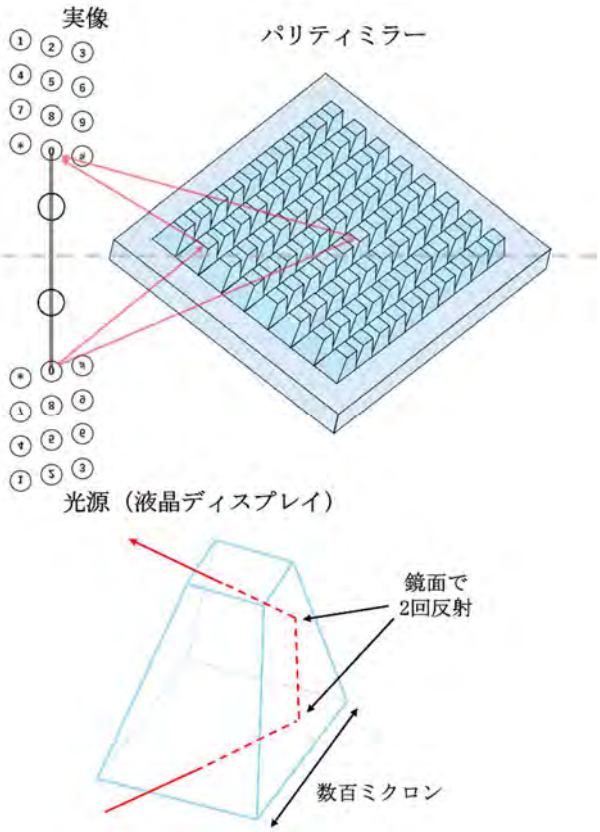


図 2 パリティミラー（DCRA）の原理 [20]

Fig. 2 Principle of parity mirror (dihedral corner reflector array)[20]

図 3 空中像と周辺の装置

Fig. 3 Aerial image and peripheral equipment

距離は 87 mm としている．なお，パリティミラーでの 1 回反射や多重反射の迷光によるゴースト像を視野制御シート（EF-PFS19W，サイズ : 408 mm×255 mm）を LCD に貼り付けて防止した．

表示画像は，数字と記号を 4 行 3 列で並べたものを作成し使用した．ボタンの横に表示した数字は次に押す数字を示している．図 3 はそれを空中像として観察した様子である．空中像のボタンの直径は 20 mm で，輝度は 15.1 cd/m^2 であった．

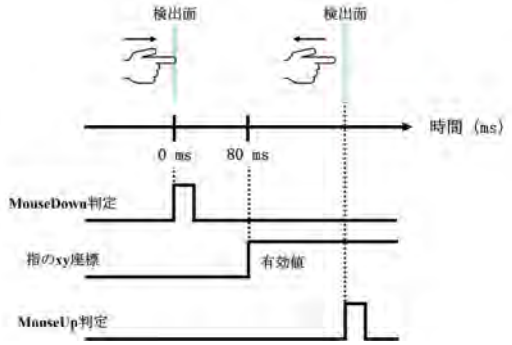


図 4 AirBar における MouseDown と MouseUp の動作

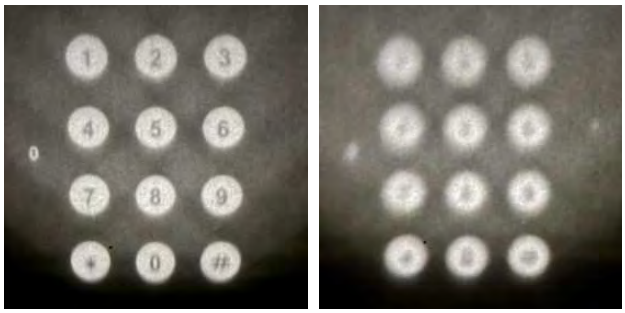
Fig. 4 The action of MouseDown and MouseUp in AirBar

図 5 振動モータ

Fig. 5 Vibration motor

指の位置検出をするための赤外線センサには，AirBar（AIRBAR140，14 インチ）を使用した．これは，ノート PC の画面に取り付けることにより，センサ上の 2 次元平面内（xy 座標で表現される平面）で画面タッチ操作を可能にするデバイスであり，タッチする指の MouseUp 時にアクションが発生する．図 4 に AirBar での動作を時間軸で示している．AirBar では MouseDown/Up の判定と xy 座標の検出は別々に処理されている．MouseUp 判定では，指が検出面へ入ると指の xy 座標が検出され，指が検出面から抜けると MouseUp でのタッチ判定となる．一方で MouseDown 判定は，指が検出面に入ると MouseDown でのタッチ判定となるが，指の xy 座標の検出が 80 ms 遅れる．つまり，MouseDown 判定時には 1 つ前にタッチした xy 座標の信号が得られるため，正しくタッチ判定するには xy 座標の検出を 80 ms 遅らせる必要がある．しかし，連続で同じ数字を押すことについてはこの限りではない．これ以降では，この xy 座標の位置検出の遅れのことを「delay」と表記する．

なお，AirBar からの距離の異なる 2，5，8，0 のボタンの位置で検出面のずれを測定したところ，2 番は 0 番よりも 1.6 mm 程度検出面が奥であった．しかし後述するように，本実験では空中像の結像面を 10 mm 単位で変化させるため，このずれが実験結果に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる．



(a) 結像面　　(b) 結像面の手前 10mm

図 6 空中像結像位置の決定

Fig. 6 Decision of position forming aerial image

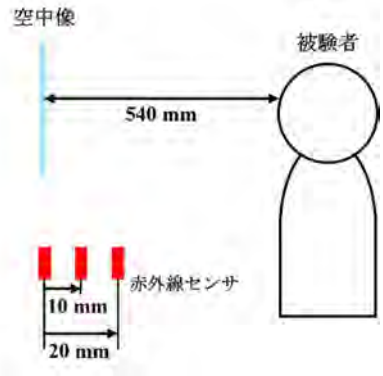


図 7 赤外線センサの位置

Fig. 7 The position of infrared sensor

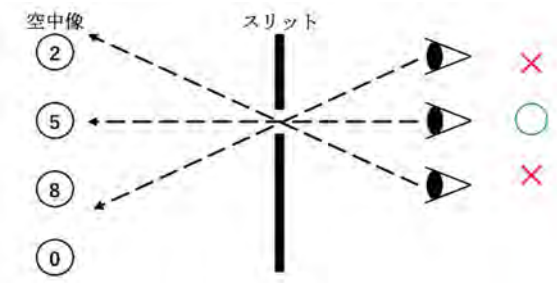


図 8 スリットを用いた視点調整

Fig. 8 Viewpoint Adjustment using slit

被験者が空中像に指を近づけると，AirBar が指の位置を検出し，その信号を Arduino で受け取ると 3 つの感覚フィードバック（触覚・視覚・聴覚）が提示される．本研究では，我々が以前の研究で明らかにしたこれら 3 つの感覚の最適なフィードバックを組み合わせたマルチモーダルフィードバック[16]を提示する．触覚フィードバックは足裏に設置した振動モータをタッチと同時に振動させた．使用した振動モータを図 5 に示す（モータサイズ : 67×56×28 mm（L×W×H），定格電圧 : 12 V - 2200 RPM）．この振動モータは DC モータで 12 V まで印加することができ，印加電圧を上げると振動強度も増大する．本実験では我々の過去の研究結果における最適値に基づき，電圧を 8 V（かなり強く振動を感じる程度），振動時間を 200 ms とした[16]．視覚フィードバックは押された数字の色を反転させ，聴覚フィードバックはタッチすると同時にタッチ音を出力した．これら 3 つのフィードバックはすべて MouseDown と MouseUp の判定時に提示した．MouseDown の場合は delay の 80 ms だけフィードバックが遅れる．

2.2　システムの動作確認

空中像の結像面に白いコピー用紙（白紙）を設置した写真を図 6（a）に，結像面の手前 10 mm に白紙を設置した場合の写真を同図（b）に示す．白紙を空中像の結像面から前後に動かすとぼやけた空中像が観察される．暗室内でこの白紙を空中像の結像面付近で前後させながら，最も鮮明な投映像が観察できる位置を本実験の空中像の結像位置とした．

3.　実験 1：空中像と赤外線センサの位置及び指の検出タイミングの違いによる操作性の評価

空中像と赤外線センサの位置のずれによる指の検出位置の違いと MouseDown 時と MouseUp 時の指の検出判定の違いによる空中像タッチディスプレイの操作性を評価するための実験を行った．

3.1　実験方法

DCRA と LCD の位置を固定し赤外線センサを前後に動かすことで，空中像の結像位置と指の位置の検出位置の相対関係を変化させた．図 7 に本実験のシステムを横から見た図を示す．

我々の過去の研究で，赤外線センサと空中像のずれを 20 mm や 40 mm と設定して実験をした際は，有意差は認められなかった．また，赤外線センサが空中像よりも奥側に存在する場合に関しては，予備実験段階から操作がしにくいことを確認し，実験での被験者の負担を軽減するため排除した．以上から，空中像の結像面と赤外線センサの検出平面が同一平面上に存在する場合を 0 mm とし，赤外線センサの設置位置を 0 mm，被験者側に 10 mm と 20 mm の 3 種類とした．

各赤外線センサの位置で MouseDown（delay が 80 ms）と MouseUp の 2 種類の，空中像にタッチする指の検出タイミングを用意した．したがって，これらの組み合わせの 6 種類で操作性を比較した．以降ではこれらの組み合わせを Down_0mm，Up_10mm，のように表記することとする．

実験の開始前に，被験者が空中像を見る高さを統一するため，図 8 のようにスリットを通して空中像を見てもらい，数字の 5 を含む行がスリットにちょうど納まって見える高さになるように顎台と椅子の高さを調整してもらった．調整後はスリットを取り外し，被験者は顎台で頭部を固定した状態で空中像にタッチをした．また，顎台から空中像までの距離は小柄な人が無理をせず指を伸ばせるように 540 mm と設定した．具体的には被験者の中で最も小柄な方が手を伸ばせる距離を計測し決定した．

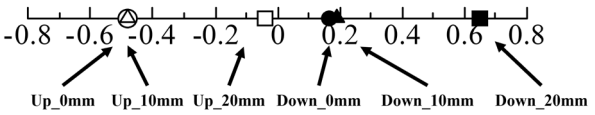


図 9 各条件での平均嗜好度（実験 1）

Fig. 9 Scale values of each condition (Experiment 1)

表 1 主観評価での有意差

Table 1 Significant difference in subjective evaluation

＊：p < 0.05, ＊＊：p < 0.01, - ：有意差なし

		MouseDown			MouseUp		
		0mm	10mm	20mm	0mm	10mm	20mm
Mouse Down	0mm		-	＊＊	＊＊	＊＊	-
	10mm			＊＊	＊＊(1)	＊＊	-
	20mm				＊＊	＊＊	＊＊
Mouse Up	0mm					-	＊
	10mm						＊
	20mm						

例）(1)は Up_0mm と Down_10mm の条件間に有意水準 1%で有意差あり

本実験では，シェフェの一対比較法による主観評価とタッチによる操作時間の計測により，6 種類のタッチの操作性を比較した．一対比較は複数の条件から 2 つずつ比較し，すべての条件対の組み合わせの嗜好を評価することで順位をつける方法である．被験者は 1 つ目の条件と 2 つ目の条件で同じ操作を行い，1 つ目の条件での操作に対する 2 つ目の条件での操作がどれだけタッチしやすいかを評価した．評価は次の 7 段階とした．

3:大変操作しやすい，2:操作しやすい，1:少し操作しやすい，
0:変わらない， -1:少し操作しにくい ，-2:操作しにくい，
-3:大変操作しにくい

また，実験後にすべての被験者に対して，「この実験で比較したパラメータはどのような変化であったか気づきましたか?」という質問をした．

被験者は同じスリッパを履き，振動モータを足で踏みながら操作をした．操作は被験者自身の携帯電話番号を 1 回入力してもらうこととした．このとき，被験者にはなるべく早くタッチするように指示をした．また，赤外線センサを動かすことによって空中像との相対的位置が推測されるのを防ぐため，試行と試行の間は目を瞑ってもらった．タッチ開始の 3 秒前に空中像を表示し，開始の合図とともにタッチをするように指示をした．被験者は全員空中像タッチディスプレイの操作を経験済みの 10 名（20 歳～24 歳の男性大学生）で行った．

一対比較に対する統計処理はシェフェが提唱している方法を使用した [21]．各パラメータにおいて，シェフェの一対比較法を用いた分散分析により平均嗜好度を算出し，主効果と各条件間の有意差を検定した．平均嗜好度は数値が低いものほど操作がしやすいことを表す．タッチによる操作時間に関する統計処理については，一元配置分散分析を行った後ボンフェローニ法により多重比較を行った．

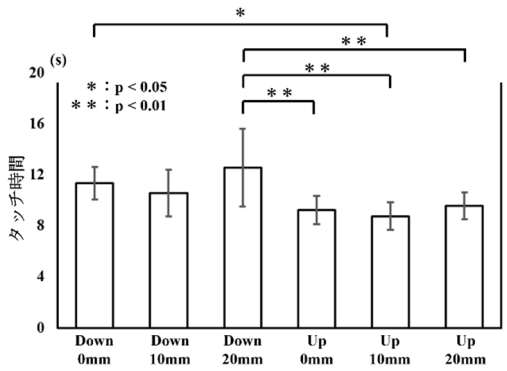


図 10 各条件でのタッチによる操作時間と有意差（実験 1）

Fig. 10 Touch duration of each condition and significant difference (Experiment1)

3.2 実験結果

図 9 に各条件での平均嗜好度を示す．プロット点の黒が MouseDown，白が MouseUp，丸が 0 mm，三角形が 10 mm，四角形が 20 mm を表している．**表 1** には各条件間における有意差の有無をまとめたものを示しており，例えば表中(1)では Up_0mm と Down_10mm の各条件間に有意水準 1%で有意差があることを表している．図 9 から，Up_0mm と Up_10mm の場合が最も操作しやすく，Down_20mm の場合が最も操作がしにくくなっている．また，MouseDown よりも MouseUp でのタッチの方が操作しやすい傾向になった．分散分析の結果では，$F(5, 270)=20.048$, $p<0.01$ で条件の違いによる主効果が認められた．また下位検定の結果，表 1 に示すとおりいくつかの条件間に有意水準 5%，もしくは 1%で有意差が認められた．赤外線センサの位置に関する有意差は 0 mm と 20 mm，10 mm と 20 mm の各条件間で顕著に表れ，MouseUp と MouseDown の条件間にも有意差が認められた．平均嗜好度の値や有意差の有無からも，赤外線センサの位置を空中像の結像面から手前にずらすことによる操作のしやすさへの影響はないが，指の検出タイミングに関しては MouseDown よりも MouseUp の方が操作しやすいといえる．

図 10 にタッチによる操作時間の計測結果のグラフと多重比較による有意差検定の結果を示す．この実験では一対比較の実験により，すべての被験者が各条件で 10 回ずつ操作している．図 10 では 10 名の被験者の各条件での操作時間の平均と標準偏差を示している．グラフから，MouseDown よりも MouseUp でのタッチの方が操作時間が短く，早くタッチできている．そして一元配置分散分析の結果，$F(5, 54)=6.25$, $p < 0.001$ で条件の違いによる主効果が認められた．また多重比較

の結果から，赤外線センサの位置をずらすことによっての操作時間に有意差はないが，MouseDown と MouseUp の操作時間では一部の条件間で有意差が認められた．

また，実験後のアンケート調査では空中像と赤外線センサの相対的な位置関係が変化していることに気が付いた被験者は数人見受けられたが，指を検出するタイミングが変化していることに関してはすべての被験者が「わからなかった」と回答した．

3.3 考察

空中像と赤外線センサ位置をずらすことによる指の検出位置の違いに関して, 操作時間では MouseDown ごとと MouseUp ごとで，指の検出位置のどの条件間にも有意差は認められなかった．操作のしやすさでは MouseDown と MouseUp のどちらの条件でも 0 mm と 20 mm，10 mm と 20 mm の各条件間に有意差があり，空中像よりもユーザー側に 20 mm 手前で指を検出した場合に操作がしにくくなっていた．センサの位置の違いに気が付いた被験者は空中像だけでなく赤外線センサの位置を目視していた可能性があり，空中像とセンサの位置の大きすぎる誤差に違和感を持っていたため操作がしにくいと評価した．また，赤外線センサが空中像より手前 20 mm に設置している状態で空中像に指を伸ばすと，タッチする指がセンサ上を通過し他の指や手がセンサ上に入り，これによりタッチミスが増えていたことで操作がしにくくなったと考えられる．さらに，空中像に一度タッチしてから指を手前に引ききれずに，センサ上に指が留まったままになることも原因として考えられる．このように 20 mm の場合に操作がしにくいことに加え 0 mm と 10 mm の条件間では有意差が認められていないことから，空中像と赤外線センサの位置をずらしても操作性は向上しないといえる．

MouseDown と MouseUp の違いに関して，主観評価では MoseuUp の方が操作がしやすい結果となった．さらに，操作時間に関しても MouseUp の方が短くなっていた．これらのことから, MouseUp の方が操作性が良いと判断できる. しかし，アンケート結果ではすべての被験者がこれらの違いに気付いていなかった．この原因として，実験 1 では delay が 80 ms の状態の MouseDown と delay の無い MouseUp を比較したために，被験者がフィードバックのタイミングに差を感じることができなかったのではないかと考えられる．

4. 実験 2：指の検出タイミングと指の位置検出遅延の違いによる操作性の評価

実験 1 でのアンケート調査の結果，すべての被験者が MouseDown と MouseUp の違いに気づいていなかった．理由としては，MouseDown の delay が 80 ms であったことに起因していると考えた．このことから，MouseDown で delay が 0 ms の場合は, MouseUp よりも操作性が向上する可能性があるのではないかと考え，実験 2 では MouseDown と MouseUp の違い及び delay の違いによる空中像タッチディスプレイの操作性を評価する実験を行った．

4.1 実験方法

この実験では，MouseDown と MouseUp の 2 種類の指を検出するタイミングと 0 ms と 80 ms の 2 種類の delay を準備し，MouseDown で 0 ms，MouseDown で 80 ms，MouseUp で 0 ms の 3 種類で操作性を比較した．これ以降これらの組み合わせは Down_0ms のように表記する．またこのとき，空中像の結像面と赤外線センサの検出平面が同一平面上にあるように設置してあり，顎台から空中像までの距離は 540 mm に設定した．

本実験も実験 1 と同様にシェフェの一対比較法による主観評価と操作時間の計測により操作性を比較した．被験者は，顎台で頭部を固定した状態で「5」のボタンを 20 回連続でタッチした．このとき，なるべく早くタッチすると共に空中像にタッチした際は一度指を手前に引き抜いてから次のタッチをするように指示をした．また，実験 2 も実験 1 と同様に実験後に被験者に対して,「この実験で比較したパラメータはどのような変化であったか気づきましたか?」という質問をした．そのほかの条件と評価方法は実験 1 と同様である．

4.2 実験結果

図 11 に各条件での平均嗜好度と有意差の有無を示す. このグラフから，Down_80ms よりも Down_0ms でのタッチの方

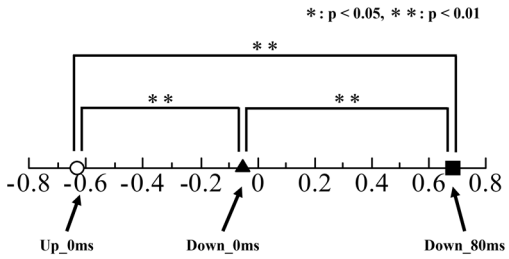


図 11 各条件での平均嗜好度と有意差（実験 2）

Fig. 11 Scale values of each condition and significant difference (Experiment 2)

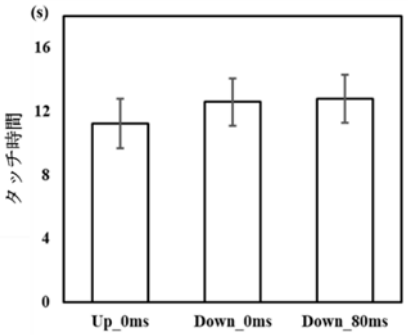


図 12 各条件でのタッチ時間（実験 2）

Fig. 12 Touch duration of each condition (Experiment 2)

が操作しやすく，Down_0ms よりも Up_0ms の方が操作しやすいことがわかる．分散分析の結果では，F(2, 54)=39.952, p<0.01 で条件の違いによる主効果が認められた．また下位検定の結果, すべての条件間において有意水準 1%で有意差が認められた．

図 12 は操作時間の計測結果のグラフである. この実験ではすべての被験者が各条件で 4 回ずつ操作している．このグラフでは 10 名の被験者の各条件での 4 回の操作時間の平均と標準偏差を示している．このグラフから，MouseUp での操作時間が MouseDown より短い傾向が見られるが，一元配置分散分析の結果では，F(2, 27)=2.766, p=0.081 で条件の違いに有意な主効果は認められなかった．

また，実験後のアンケート調査では，delay に関して被験者の半分は「わからなかった」「言われてみれば反応が遅かった気がする」と回答し，半分は delay の違いに気が付いていた．MouseDown と MouseUp の違いに関しては，すべての被験者が「わからなかった」と回答した．

4.3 考察

delay の有無に関して，10 人の操作時間の平均値では，統計的に有意な差は無いが，delay が 80 ms の場合にはフィードバックのタイミングが遅れていることに気付いている被験者もあり，主観評価では delay が大きくなると有意に操作がしにくくなることからもフィードバックを遅延させる必要はないといえる．また，被験者 10 人の内 7 名には MouseUp で delay が 80 ms の場合についても同様に操作性を比較してもらったが，delay のない MouseUp より操作はしにくく，また MouseDown より操作がしやすいとはいえない結果となった．

delay が 0 ms の MouseDown と MouseUp に関して，主観評価では MouseUp の方が操作しやすいことが有意に示されたが，アンケート結果ではすべての被験者がこれらの指の検出タイミングの違いに気が付いていなかった．つまり，被験者はタッチしても違いはわからないが, 感覚的には MouseUp の方が操作しやすいと回答していることを示唆している．被験者が MouseDown と MouseUp の変化に気付けなかった要因としては，今回の実験ではなるべく早くタッチ操作をするように指示しており，タッチパネルを操作するように画面をはじくように操作をしてもらったため, フィードバックの提示が, 指をセンサ上に入ったときなのかセンサ上から出したときなのかがわからなかったものと推測される．

5. まとめ

本研究では，空中像タッチディスプレイの操作性を向上させるための方法として，空中像の結像面と赤外線センサによる指の検出位置の相対関係及び指を検出するタイミングの 2 つを変化させることに着目した．そしてこれらによりフィードバックを提示するタイミングが変わることに基づく空中タッチの操作性への影響を評価した．実験結果として，指の検出位置に関しては，空中像の手前 20 mm のように差を大きくし過ぎるとタッチミスが起きやすくなること，空中像の結像面から検出位置をずらしても操作性は改善されないことがわかった．指の検出タイミングに関しては，MouseDown 時よりも MouseUp 時にアクションを起こす方が空中タッチに適していることが明らかになった．

本研究では，空中像タッチディスプレイの操作性について「操作のしやすさ」と「操作時間」の 2 つに着目したが，操作性として別の着眼点でも操作性を検討していくべきであると考えている．例えば，タッチパネルではタッチと認識されるまでの時間である保持継続時間を設定することができる．空中像タッチディスプレイでもタッチパネルと同様に，保持継続時間が操作性に影響を与える可能性がある．また，本実験では足裏への振動は MouseDown/Up 判定時に 200 ms 提示した．これに関してもタッチパネル同様に空中像に触れているときのみに提示することによる MouseDown/Up での時間軸での触感の推移の違いが操作性に影響する可能性がある．これらのような項目も今後は考慮するべきである．

本研究は 2 つの実験を通して操作性を評価し，MouseUp が MouseDown より操作性が良いという傾向が得られたが，被験者はこれらの違いに気付いておらず，MouseUp の方が操作しやすいことの原因を特定できなかった．実験に参加した被験者は日常的にスマートフォン（ほとんどのアプリが MouseUp でタッチを判定している）を使用していたために，アンコンシャス・バイアス（無意識の思い込み）によって MouseUp の方が一般的であると感じていた可能性がある．しかし，タッチパネルはスマートフォンのように MouseUp 判定だけでなく, ATM のように MouseDown 判定になっているものもある．今後の研究ではなぜ MouseUp が MouseDown よりも操作がしやすいと感じられたのかについて探求していく必要がある．

謝辞

この研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（JP22H00535，JP23H03485）による助成を受けたものです．

参考文献

1) T. Kikuchi, Y. Yahagi, S. Fukushima, S. Sakaguchi, T. Naemura:“AIR-range: Designing Optical Systems to Present a Tall mid-AIR with Continuous Luminance on and above a Tabletop”, ITE Trans. on MTA, Vol. 11, No. 2, pp.75–87 (2023).

2) M. Umemoto, H. Mizushina, S. Suyama, K. Yamamoto:“Evaluation of Depth Perception Characteristics in Plane Fog Screen”, ITE Trans. on MTA, Vol. 12, No. 1, pp.68–77 (2024).

3) Y. Ochiai, K. Kumagai, T. Hoshi, J. Rekimoto, S. Hasegawa, Y. Hayasaki:“Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields”, ACM Transactions on Graphics, Vol. 35(2), No. 17, pp.1–14 (2016).

4) K. Yamamoto, Y. Ichibashi, T. Senoh, R. Oi, T. Kurita:“3D Objects Enlargement Technique Using an Optical System and Multiple SLMs for Electronic Holography”, Optics Express, Vol. 20(19) pp.21137–21144 (2012).
5) D. Miyazaki, N. Hirano, Y. Maeda, S. Yamamoto, T. Murai, S. Maekawa:“Floating Volumetric Image Formation using a Dihedral Corner Reflector array device”, Applied Optics, Vol. 52(1), pp.A281–A289 (2013).
6) D. Miyazaki, N. Takemura:“Visual Feedback Using Semitransparent Mirror to Enhance Depth Perception of Aerial Image in Floating Touch Display”, ITE Trans. on MTA , Vol. 12, No. 1, pp.2-8 (2024).
7) H. Yamamoto, Y. Tomiyama, S. Suyama:“Floating Aerial LED Sinage Based on Aerial Image by Retro-reflection (AIRR)”, Optics Express, Vol. 22(22), pp.26919–26924 (2014).
8) E. Abe, M. Yasugi, H. Takeuchi, E. Watanabe, Y. Kamei, H. Yamamoto:“Development of Omnidirectional Aerial Display with Aerial Imaging by Retro-reflection (AIRR) for Behavioral Biology Experiments”, Optical Review, Vol. 26, pp.221–229 (2019).
9) ASKA3D, https://aska3d.com/ja/
10) S. Kiuchi, N. Koizumi:“Simulating the Appearance of Mid-air Imaging with Micro-mirror Array Plates”, Computers & Grapphics, Vol. 96, pp.14–23 (2021).
11) Y. Yano, N. Koizumi:“Omnidirectional Mid-air Image System Using Micro-mirror Array Plates”, Optics Express, Vol. 32(12), pp.21473–21486 (2024).
12) T. Hoshi, M. Takahashi, T. Iwamoto, H. Shinoda:“Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound”, IEEE Trans. Haptics, Vol. 3, No. 3, pp.155–165 (2010).
13) I. Rakkolainen, A. Sand, R. Raisamo:“A Suvey of Mid-Air Ultrasonic Tactile Feedback”, IEEE International Symposium on Multimedia, pp.94–98 (2019).
14) Y. Suzuki, M. Kobayashi:“Air Jet Driven Force Feedback in Virtual Reality”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25(1), pp.44–47 (2005).
15) 樋口 綾，諾 明，マルコン シャンドル，前川 聡:“空気ジェットによる空中映像内触覚刺激に関する研究”，情報処理学会研究報告, Vol. 2012-HCI-147, No. 23 (2012).
16) Y. Terao, H. Mizushina, K. Yamamoto:“Evaluation of Usability Improvement of Contactless Human Interface with Visual, Auditory, and Tactile Sensation for Aerial Display”, Optical Review, Vol. 31, pp.126–133 (2024).
17) L. W. Chan, H. S. Kao, M. Y. Chen, M. S. Lee, J. Hsu, Y. P. Hung:“Touching the Void: Direct-touch Interaction for Intangible Displays”, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.2625–2634 (2010).
18) 寺尾 保範，水科 晴樹，山本 健詞:“空中ディスプレイの操作における空中像と多感覚フィードバックの提示位置のずれの影響の評価”, HIP2023-61, Vol. 123, No. 205, pp.11–15 (2023).
19) Y. Terao, H. Mizushina, K. Yamamoto:“Evaluation on Usability of Aerial Display by Changing the Timing of Providing Multimodal Feedback”, Proceedings of the International Display Workshops, Vol. 30, 3DSAp1-4 (2023).
20) パリティ・イノベーションズ, https://www.piq.co.jp/
21) H. Scheffe:“An Analysis of Variance for Paired Comparisons”, Journal of the American Statistical Association, Vol. 47, No. 259, pp.381–200 (1952).

（2024 年 10 月 2 日 受付）
（2024 年 12 月 26 日 再受付）

寺 尾 保 範 （学生会員）
2023 年 徳島大学理工学部理工学科卒業. 現在徳島大学大学院創成科学研究科理工学専攻修士課程に在学. 空中像タッチディスプレイの操作性向上に関する研究に従事.

伊 達 宗 和
1990 年 学習院大学理学部物理学科卒業. 1992 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了. 1992 年 日本電信電話株式会社入社，高分子分散液晶ホログラムによる反射型表示素子，3D ディスプレイ等の研究に従事. 2003 年 東京理科大学理学研究科化学専攻にて博士（理学）取得. 2010 年から NTT コムウェア株式会社にて 3D コンテンツ生成技術，近接通信技術の開発に従事. 2012 年から日本電信電話株式会社にて，高臨場感映像の研究に従事. 2023 年から徳島文理大学理工学部電子情報工学科にて通信サービスの研究に従事，現在に至る.

水 科 晴 樹
1998 年 新潟大学工学部情報工学科卒業. 2000 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了. 2003 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻博士後期課程修了. 同年 高知工科大学工学部情報システム工学科教育講師. 2004 年 カナダ・ヨーク大学心理学科博士研究員. 2007 年 東京工業大学産学官連携研究員. 2009 年 国際電気通信基礎技術研究所（ATR）研究員. 2012 年 情報通信研究機構（NICT）研究員. 2015 年 徳島大学工学部講師. 2024 年 信州大学繊維学部准教授. 人間の視覚情報処理や 3D ディスプレイ, 空中ディスプレイの研究に従事. 博士（工学）.

山 本 健 詞
2007 年 名古屋大学大学院博士課程後期修了. 同年 情報通信研究機構採用. 2021 年から徳島大学で教職, 現在に至る. 電子ホログラフィ, ライトフィールド, カメラアレイ, 2D-3D 変換, ToF カメラ, フォグスクリーン, 映像によるベクション提示, 空中映像の操作性評価, 避難訓練への映像活用, ホログラフィックコンタクトレンズなどの研究に従事. 博士（工学）.

IIEEJ 論文 -- VR/AR における画像電子関連技術論文特集 --

実写映像への輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理によるベクションの増大

中 西 康 介† (学生会員)　伊 達 宗 和††　水 科 晴 樹†,‡　山 本 健 詞†

† 徳島大学大学院，†† 徳島文理大学，‡ 信州大学

Enhancement of Vection by Gradual Superposition of Luminance Grating on Live-Action Videos

Kosuke NAKANISHI†*(Student Member)*, Munekazu DATE††, Haruki MIZUSHINA†,‡, Kenji YAMAMOTO†

† Tokushima University,　†† Tokushima Bunri University,　‡ Shinshu University

〈あらまし〉　ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を使った VR 映像の視聴において，自己運動感覚の欠如が原因で没入感を損なってしまっている．この現状に対して，私達は視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）を増大させることで解決しようと考えた．先行研究より実写映像への輝度縞の合成はベクションを増大することが明らかになっている．しかし，この先行研究では，画像の合成に起因する 2 点の課題が確認された．1 つ目は輝度縞の合成領域と非合成領域の境界が目立ち，映像の違和感が増加している点である．2 つ目は合成による実写映像の劣化が対象物の視認性を低下させている可能性があるという点である．これらの課題を考慮して，本研究では HMD に提示する実写映像への輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理によってベクションが増大されるのかを検証し，処理条件がベクション増大にどのように影響を与えるのかを明らかにする．また，この処理による実写映像の劣化が視認性低下を誘発するのかを確認する．結果より，重ね合わせ処理はベクションを増大させ，輝度縞の提示面積が大きくなるほどにベクション強度が増大することがわかった．一方，輝度縞の重ね合わせ処理による視認性の低下は見られなかった．

キーワード：ベクション，オプティカルフロー, HMD, VR

<**Summary**>　The lack of self-motion perception impairs the sense of immersion in the VR video when he or she wears HMD. We attempted to enhance the sensation of self-motion by inducing vection. Previous studies have shown that adding luminance grating to live-action videos enhanced vection, but two problems were revealed by the adding process. The first problem is that the boundary between the adding and non-adding regions of luminance grating is emphasized, and the unnaturalness with video is increasing. The second problem is that degradation of live-action video due to the adding process may reduce the visibility of target objects in the videos. In consideration of these problem, this study aims to confirm whether the vection is enhanced by the gradual superimposition of luminance grating on the live-action video displayed on the HMD to make the boundary less noticeable, and to clarify how the superposing conditions affect the vection enhancement. In addition, we confirm whether video degradation due to superposition processing reduces visibility in live-action video. The results showed that the superposition process enhanced the vection and that the vection strength enhanced as the display area of luminance grating increased. In addition, there was no decrease in visibility due to the superposition processing of luminance grating.

Keywords: vection, optical-flow, HMD, VR

1.　はじめに

Head-mounted Display(HMD)技術の発展に伴う装置の小型化と映像の高解像度化は，没入感の高い VR 空間を身近なものにしており，エンターテインメントコンテンツで頻繁に使用されるようになっている．また VR の使用はそれだけではなく，実世界で再現するには危険な状況や，大規模な施設が必要とされる環境を比較的容易に再現することが可能であるという点で，訓練や運転シミュレータへの活用が行われている[1]．しかし現在使用されている VR 映像では，自己運動感覚の欠如により，シミュレーションで意図している状態との乖離が発生しており，VR 空間への没入感の低下を招いている．そこで, VR 空間内での自己運動感覚の増大を実現する手法を提案し，その中での各種条件と自己運動感覚の関係を明らか

にすることはVR空間への没入感の向上につながると考える．

自己運動感覚を増大する手法としては，視覚以外の感覚情報によるものと視覚情報そのものに加工をするものがある．まず，視覚以外の感覚情報を付加する手法では，風 [2]や振動 [3]，音 [4]-[6]，匂い [7]などを用いた手法が提案されている．ただしこれらの手法には，多感覚情報の厳密な制御が必要となり，かつ，あらゆるモダリティ間の相互作用を考慮する必要もある．一方，視覚情報を加工する手法は，視覚という単一のモダリティ内で完結する為，刺激の制御も比較的容易であり，複数モダリティの相互作用を考慮する必要もないので，自己運動感覚を安定して増大させることができると考えられる [8]．

本研究ではこれを踏まえて，静止した観察者が一定方向に運動する視覚情報を観察することで，観察者自身があたかも視覚情報とは反対の方向に動いていると錯覚する感覚である視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）[9],[10]に着目する．そして，効率的にベクションを増大する手法の中でもオプティカルフローの増大と，視野周辺領域での運動刺激の提示を活用して映像を作成する．

類似の映像を使用した先行研究として文献 11)，12)が挙げられるが，本研究はこれらと比較して 3 点で新規性がある．1 つ目は実写映像上に直接運動刺激を合成している点，2 つ目は運動刺激の強度を増大させてベクションの強度を測定している点，3 つ目は運動刺激の合成による実写映像の劣化が対象物体の視認性の低下を招いているのかを検証する点である．

実験では誘発されたベクションの強度の評価指標として，ベクション強度，持続時間，潜時の 3 指標（以降はベクション強度の 3 指標と呼ぶ）に着目して測定をする．ここでの潜時とは，映像を観察してから初めてベクションを感じるまでの時間であり，ベクションの誘発されやすさを示している．また，運動刺激を重ね合わせることによる実写映像の劣化が通行者や信号，標識に対する視認性を低下させるのかを検証する．これらの測定結果により，運転シミュレータに類似した環境において，映像の処理条件がベクションの強度にどのように影響を与えるのかを明らかにする．

2. 先行研究での合成処理と課題

我々の先行研究 [13]では，実写映像の視野周辺領域にのみ拡大する輝度縞を合成する処理を行い，作成された映像がベクションを増大するのかを検証した．また，実験を通して 2.2 節で述べる 2 つの課題が明らかになった．

2.1 輝度縞の合成処理

先行研究での輝度縞の合成処理にはアルファブレンドを用いた．映像中心を円の中心とした円 C を設定し，視野中心部における実写映像の視認性の低下を防ぐ為に，円 C の外側にのみアルファブレンドを行い，実写映像に輝度縞を合成した．ここで画像中央を観察者が見たときの円 C の角度を τ [degree]とする．$(h_{\mathrm{A}}, w_{\mathrm{A}})$ は実写映像における高さと幅のピクセル座標である．アルファブレンドを式(1)に示す．

$$c'_{\mathrm{out}} = \alpha' c'_{stripe} + (1-\alpha') c'_{live} \quad (1)$$

α'はアルファブレンドに使用されるアルファ値，c'_{out}，c'_{stimuli}とc'_{live}はそれぞれ出力映像，輝度縞映像と実写映像の座標$(h_{\mathrm{A}}, w_{\mathrm{A}})$のピクセル値である．**図 1** は従来手法での出力映像の例である．

図 1 出力映像の例

Fig.1 Example of output video

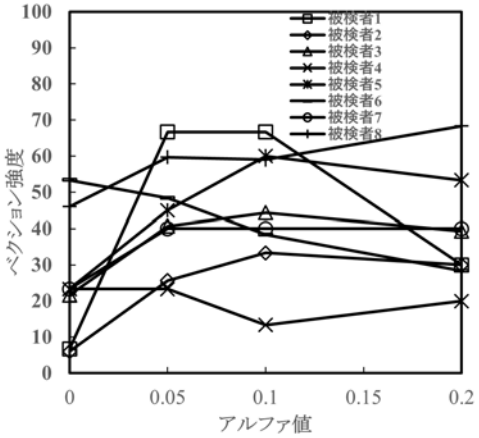


図 2 先行研究での結果

Fig.2 Result of our previous study

2.2 合成処理による効果と課題

図 2 に，角度$\tau = 10$におけるベクション強度を表した先行研究での結果の例を示す．なお，図 2 中のシンボルは各被験者における結果を示している．グラフの横軸はアルファ値であり，数値が大きくなるほどに輝度縞が不透明になる．縦軸はベクション強度であり，被験者の主観によって 0（ベクションを感じない）から 100（とても強いベクションを感じる）の 101 段階で評価された値である．シンボルの違いは被験者の違いである．図 2 よりアルファ値が 0.05 及び 0.1 において，未加工の実写映像（アルファ値が 0）を観察した時よりもベクション強度は増加している．その為，この手法はベクション強度の増大に有効であると考えられる．

一方，この実験から 2 つの課題が明らかになった．1 つ目

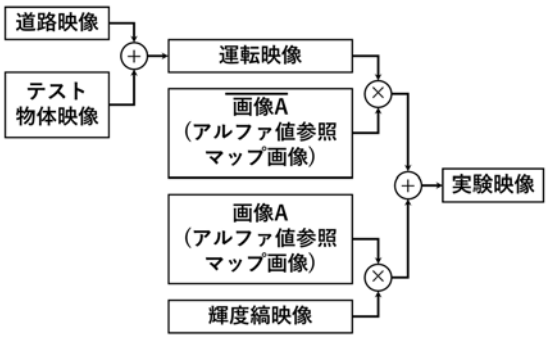


図 3　重ね合わせ処理のブロック図

Fig.3　Block diagram of the superposition process

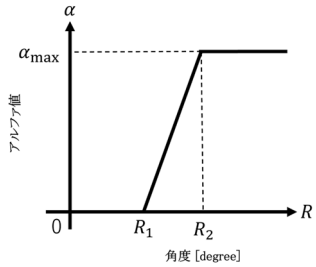


図 4　アルファ値の設定

Fig.4　Setting alpha value

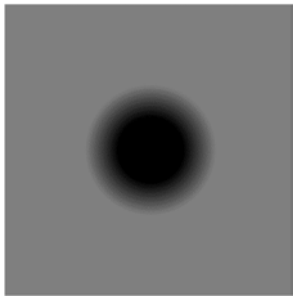


図 5　画像 **A** の例
($\alpha_{\max} = 0.5, (R_1, R_2) = (20, 40)$)

Fig.5　Example of Image **A**
($\alpha_{\max} = 0.5, (R_1, R_2) = (20, 40)$)

は，図 1 のように輝度縞の合成領域と非合成領域の境界が明確になり，映像の違和感によって没入感が失われている可能性があるという点である（以降は課題 1 と呼ぶ）．2 つ目は，輝度縞の合成による実写映像の劣化が，通行者，信号や標識に対する視認性の低下を誘発させる危険性があるという点である（以降は課題 2 と呼ぶ）．

3.　実験内容

先行研究で明らかになった課題 1 に対しては合成領域と非合成領域の境界を曖昧にする為に映像のなだらかな重ね合わせ処理を試み，課題 2 に対しては実験映像に通行者，信号や標識を提示して被験者がそれらを視認できているのかを検証する．また，輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理がベクションと視認性にどのような影響を与えるのかを明らかにする．

3.1　実験装置

実験映像の提示には HMD（Vive Pro[14]）を使用した．この HMD の解像度は片眼あたり 1440×1600 pixel，両眼での視野角は水平方向で最大 110°，リフレッシュレートは 90 Hz であった．

3.2　輝度縞のなだらかな重ね合わせ処理

本実験では，アルファ値参照マップ画像（以降は画像 **A** と呼ぶ）からアルファ値を取得し，ピクセルごとにアルファブレンドを行うことでなだらかな重ね合わせ処理を実現した．**図 3** に本実験における重ね合わせ処理のブロック図を示す．画像 **A** は 1920×1920 pixel のピクセル値が 0 から 1 で正規化されたグレースケール画像とした．画像中央を重ね合わせの中心とした場合，この画像 **A** は画像中央から周辺に向けて同心円状に参照アルファ値が漸次増加するように設計した．画像 **A** は式(2), (3)によって作成した．式(2)は**図 4** のように表すことができる．

表 1　式(2), (3)中の文字の説明

Table 1　Explanation of characters in Equations (2) and (3)

$\boldsymbol{\alpha}$	アルファブレンドに使用されるアルファ値
$(\boldsymbol{h}, \boldsymbol{w})$	画像 **A** の高さと幅のピクセル座標
$\boldsymbol{\alpha_{\max}}$	最大アルファ値
$\boldsymbol{R_1}$	画像中央を観察者が見たとき，アルファブレンドを行う領域の最内円の角度(degree)
$\boldsymbol{R_2}$	画像中央を観察者が見たとき，アルファブレンドを行う領域の最外円の角度(degree)
$\boldsymbol{R}$	画像中央を観察者が見たとき，画像上の任意の座標までの角度(degree)

$$a = \begin{cases} 0, & (R < R_1) \\ \dfrac{a_{\max}}{R_2 - R_1}|R - R_1|, & (R_1 \le \mathrm{R} \le \mathrm{R}_2) \\ a_{\max}, & (R_2 < R) \end{cases} \qquad (2)$$

$$c_{\exp} = \alpha\, c_{\mathrm{stripe}} + (1 - \alpha) c_{driving} \qquad (3)$$

実際に最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$，重ね合わせ領域$(R_1, R_2) = (20, 40)$の条件で作成した画像 A を**図 5** に示す．ここで式(2),(3)中の文字の説明を**表 1** に示す．

本実験でのアルファブレンドも式(1)と同様に式(3)で表せる．なお$c_{\exp}$，c_{stripe}とc_{driving}はそれぞれ実験映像，輝度縞映像と運転映像の座標(h, w)におけるピクセル値である．

3.3　映像

道路映像の撮影にはステレオカメラ（Insta360 Evo[15]）を使用した．このステレオカメラの2つのレンズ間距離は65 mm，フレームレートは 30 fps，画角は水平方向と垂直方向共に 180° で，片眼での解像度は1920×1920 pixelである．このカメラを自転車のハンドル中央に地面からの高さ 1100 mm の位置に固定し，時速 30 km で走行する映像を 10 秒間撮影した．**図 6** に道路映像の例を示す．ステレオカメラで撮影した為左右視点が分割されて提示されているが，HMD で視聴すると両眼融合し映像が立体的に知覚できる．

テスト物体映像の作成とレンダリングには CG ソフト（OmegaSpace[16]）を使用した．テスト物体映像に出現する物体は通行者，信号や標識（以後はこれらをテスト物体と呼ぶ）のみである．通行者は道路上のどこかから出現するように設定し，標識は道路上のランダムな位置に設置した．信号機は

道路上の特定の位置に設置しているが，灯器の色は赤，青，黄のいずれか 1 つが常に点灯するように設定した．テスト物体映像と道路映像の質感が大きく異ならないように配慮している．具体的には，CG データで作成した標識と道路映像の標識を比較して，明るさが類似するようにテスト物体の標識を調整した．**図 7** に道路映像の標識とテスト物体の標識を比較した画像を示す．図 7 中の「横断歩道」の標識が実際に設置されているものであり，「合流有」の標識がテスト物体として我々が作成した標識である．これらのテスト物体が出現，配置する状況の中でステレオカメラが時速 30 km 一定で直進するシーンをレンダリングした．この映像をレンダリングしたカメラは水平と垂直方向の画角は 120° であり，左右視点のカメラ間距離，地面からの距離とカメラの解像度は道路映像を撮影したときと同じ条件をカメラに設定した．道路映像とテスト物体映像を合成したものを，以後，運転映像と呼ぶ．

先行研究 [13]とは異なる輝度縞映像の作成とレンダリングにも CG ソフト（OmegaSpace[16]）を使用した．運動刺激として輝度縞を使用しており，白黒の正弦波縞（周期 : 走行方向にx [m]）が内側に張り付けられた半径d [m]のトンネル内をステレオカメラが時速 30 km 一定で直進するシーンをレンダリングした．レンダリングに使用したカメラの設定はテスト物体映像をレンダリングした設定と等しくした．

実験映像は，運転映像と輝度縞映像をなだらかに重ね合わせて作成した. なおHMD を使用して実験映像を視聴すると，実験映像に提示される輝度縞や実写風景，テスト物体はステレオ提示によって立体的に知覚できる．

3.4 実験条件

輝度縞映像を正弦波縞の周期$x = 2.66\ [m]$，トンネル半径 $d = 4.44\ [m]$[17),18)] の条件下で作成した．**図 8** に輝度縞映像の例を示す．

テスト物体映像ではランダムに出現するテスト物体として標識，通行者，青，赤，黄色に点灯する信号機の画像を設定した．なお標識は，自動車専用，自転車専用，逆トト形交差点，合流有，制限速度（時速 50 km），重量制限（5.5 t）の計 6 種類とし，輝度縞が合成されている領域に標識が重なるほど接近しなければ種類の判別できない標識を選定した．本実験では 17 種類のテスト物体映像を作成した．ただし，各テスト物体映像に出現するテスト物体の数は合計 4 つであり，内訳は，信号機 1 つ，標識は 1 つあるいはそれぞれ異なる種類の 2 つ，通行者は 2 人あるいは 1 人であった．全てのテスト物体映像でテスト物体の数を統一し，それらが密集しないように配置した．標識と通行者の視認し易さは等しく，その合計は全ての運転映像で統一しているので，運転映像間の視認性の難易度は大きく変化しない．また，実験前にテスト物体を記憶する訓練を十分に行っている為，実験映像視聴中の出現したテスト物体の記憶保持が困難になることはない．

図 6 道路映像の例
Fig.6 Example of road video

図 7 道路映像の標識とテスト物体の標識
Fig.7 Road footage sign and Test-object sign

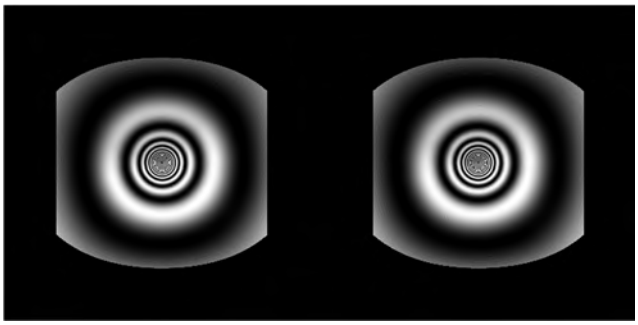


図 8 輝度縞映像の例（$\boldsymbol{x = 2.66, d = 4.44}$）
Fig.8 Example of stripe video ($\boldsymbol{x = 2.66, d = 4.44}$)

図 9 実験映像の例（$\boldsymbol{\alpha_{max} = 0.5, (R_1, R_2) = (20, 40)}$）
Fig.9 Example of experimental video
($\boldsymbol{\alpha_{max} = 0.5, (R_1, R_2) = (20, 40)}$)

テスト物体が道路上に配置あるいは出現する為，輝度縞が合成されていない中心視野領域にテスト物体が一時的に提示され，視認性の評価が正しく行われない問題があると考えられる．しかし，標識や信号機は，標識や信号機に輝度縞が重なるほどに近づかなければ種類や色を区別できない．また通行者に関しては，輝度縞に重なる領域に出現するように設定している為，この問題は発生しない．

実験映像における重ね合わせの条件は 2 種類の最大アルファ値($\alpha_{\max} = 0.2, 0.5$)と，8 種類のなだらかな重ね合わせ領域(R_1, R_2)=$(0, 20)$, $(0, 30)$, $(0, 40)$, $(10, 20)$, $(10, 30)$, $(10, 40)$, $(20, 30)$, $(20, 40)$の組合せである 16 条件，そして$\alpha_{\max} = 0$かつ$(R_1, R_2) = (0, 0)$で表す重ね合わせを行わない条件を足した合計 17 条件とした．**図 9** に最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$，重ね合わせ領域$(R_1, R_2) = (20, 40)$の条件で作成した実験映像の例を示す．図 9 に示すとおり，本実験の実験映像にはあえて注視点を設けてはいない．なぜなら，将来的に本実験の合成方法を運転シミュレータへ活用しようと考えており，現在の運転シミュレータには注視点が設けられていないからである．

試行は重ね合わせ条件ごとに 3 回行い，各重ね合わせ条件で運転映像を変える為，合計 51 本の実験映像を作成した．実験映像 1 つ当たりの提示時間は 10 秒，解像度は片眼当たり 1920×1920 pixelである．

3.5 実験手順

実験には実験目的を知らない 9 名の男性(年齢 21-24 歳)が被験者として参加した．被験者の内 4 名は正常視力，5 名は矯正視力であった．実験前に被験者は HMD に提示された訓練映像を視聴することで，映像に提示されたテスト物体を記憶し，標識の種類，通行者の人数，信号機の色，そして後述する基準に沿ってベクション強度を評価，回答する練習を十分に行い，実験の流れを確認した．

被験者は着席状態で HMD を装着し，立体提示された実験映像を視聴した．実験開始前に，我々は被験者に 5 つのことを指示した．1 つ目は，実験中は頭部を動かさないことである．なぜなら，HMD ではドームに張り付いた形で実験映像が提示されるので，被験者が頭部を動かすとドーム内での視聴位置が移動して，提示誤差が大きくなるからである．2 つ目は，ベクションが断続的に誘発されることを考慮して，実験映像視聴中に最も強くベクションを感じたときの強度を 0(ベクションを感じない)から 100(とても強くベクションを感じる)の 101 段階でベクション強度を主観評価 [13),19)]することである．3 つ目は，実験映像視聴中にベクションを感じている間，ボタンを押し続けることである．これはベクションの持続時間と潜時を測定する為に指示をした．4 つ目は，実験映像中に出現するテスト物体を視認し，記憶することである．出現したテスト物体の内，標識では標識の種類を，信号機の灯器では灯器の色を，通行者では人数を記憶するように指示した．5 つ目は，実験映像視聴中，被験者は映像の中心を注視することである．もし，テスト物体が提示された場合は，一時的な視線の移動のみを許容し，テスト物体を視認するように求めた．

ベクションが断続的に誘発されている場合も考慮し，ベクションの持続時間は 1 つの実験映像提示中にボタンを押している合計時間，ベクションの潜時は実験映像開始時から初めてボタンを押すまでの時間として測定をした．

提示順序をランダムにした 17 個の実験映像（各 10 秒）の間に 60 秒の休憩時間を設けた合計 18 分 50 秒の映像セットを 3 つ作成した．1 つの映像セットには 17 種類の重ね合わせ条件をそれぞれ適用した 17 種類の運転映像が含まれている．3 つそれぞれの映像セットには異なった重ね合わせ条件と運転映像の種類の組合せで作成された実験映像が含まれている．3 つの映像セットを視聴することで，それぞれの重ね合わせ条件を 3 回ずつ測定した．

被験者は，視聴した実験映像のベクション強度，提示されたテスト物体を 60 秒間の休憩時間中に回答した．ベクション強度については，直前の実験映像で主観評価した強度を口頭で回答した．テスト物体については，出現位置や時間・順序ではなく，標識の種類・信号機の灯器の色・通行者の人数を口頭で回答した．例えば，実験映像中に自動車専用標識・合流有の標識・通行者 1 人・信号機の赤色灯器が提示された場合，被験者は「赤信号，通行者 1 人，自動車専用，合流有」の様に提示順序や場所に関係なく回答した．

4. 実験結果と考察

まず初めに，実験映像視聴中にテスト物体を視認する課題によってベクションが断続的に誘発されており，純粋に重ね合わせ処理によるベクション増大効果を明らかにはできてはいない．しかし，本研究での実験映像の様に視線を動かして周囲の状況を把握する動作は，運転シミュレータでの視線の動きと近似しており，将来的に運転シミュレータへ活用しようと目指している本研究の重ね合わせ処理がこの環境においてベクション増大に影響を与えるのかを検証することは意味があることであると考える．

本章では，計測結果であるベクション強度・持続時間・潜時・正答率，及び重ね合わせ条件である角度R_2・重ね合わせのなだらかさに着目して，順に実験結果と考察を述べる．

[ベクション強度]

ベクション強度の箱髭図を，重ね合わせ条件ごとに**図 10** に示す．図 10 における横軸は最大アルファ値を，縦軸はベクション強度を表し，バツ印は平均値，横軸表記の括弧は重ね合わせ領域を示している．

図 10 より，未加工映像（最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0$）と比較して，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2, 0.5$のときのベクション強度の平均値は増大している．また，最大アルファ値が大きくなるほどにベクション強度の平均値は増大する傾向が見受けられる．これは，先行研究 [20)]で述べられているように，輝度縞

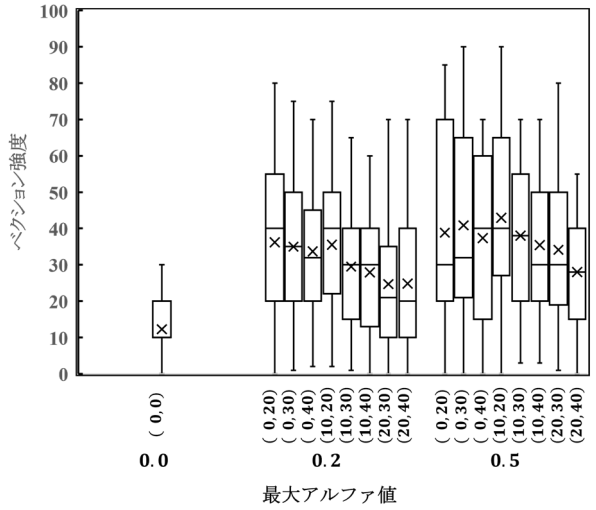


図 10　各重ね合わせ条件でのベクション強度

Fig.10　Vection strength of each superposition condition

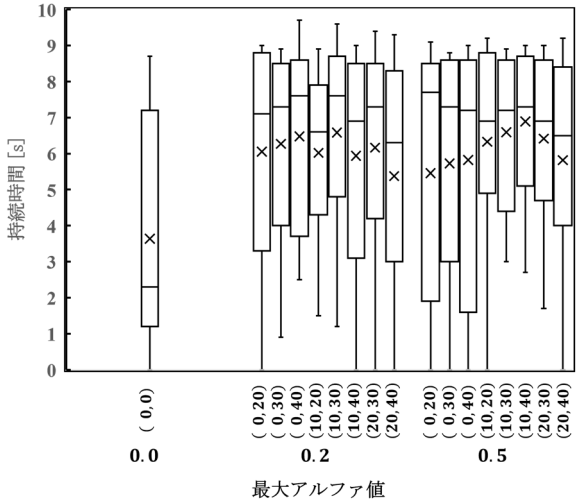


図 12　各重ね合わせ条件での持続時間

Fig.12　Duration of each superposition condition

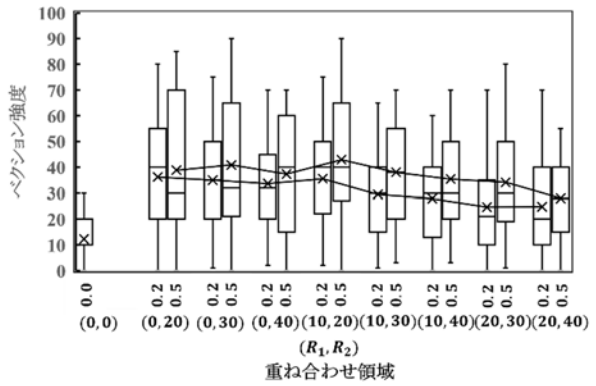


図 11　各重ね合わせ領域でのベクション強度

Fig.11　Vection strength at each range of superposition

のコントラスト比が高くなることによってベクションが強度増大されているとも考えられる．$\alpha_{\max} = 0, 0.2, 0.5$ のデータに対して$\alpha_{\max}$ を説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところベクション強度にて有意差が見られた（$p < .001, \varepsilon^2 = .080$）．Dunn-Bonferroni の方法での後検定より，ベクション強度は全てのα_{max} の組合せ$(0.0 - 0.2, 0.0 - 0.5)$で有意$(p < .050)$であった．これらより，輝度縞の重ね合わせ処理はベクション強度を増大し，最大アルファ値が大きくなるとベクション強度も増大する傾向が見受けられる．

ベクション強度の箱髭図を，重ね合わせ領域(R_1, R_2)ごとに**図 11** に示す．図 11 における横軸は重ね合わせ領域(R_1, R_2)を，縦軸はベクション強度を表し，バツ印は平均値，横軸表記は最大アルファ値を示している．

図 11 より，$R_1 = 0, 20$の場合のベクション強度の平均値を比較すると，$R_1 = 0$の場合の方がベクション強度は増大されている．これはR_1 の値が小さい，つまり視野周辺部の輝度縞の提示面積が大きくなる条件でベクション強度が大きくなると読み取れる．しかし，$R_1 = 0$と$R_1 = 10$の条件を比較するとベクション強度の平均値はほぼ等しい．これは 2 条件間の映像に違いがないように知覚できる為であると考える．なぜなら，CG 空間上では，映像の $R_1 < 10$ の領域の輝度縞が撮影カメラからみて遠方に存在する為輝度縞が解像限界を超えてしまってレンダリングできず，あたかもその領域には輝度縞がないかのように提示される為，たとえ$R_1 = 0$条件の映像であったとしても，被験者によっては$R_1 = 10$条件の映像のように知覚できてしまうからである．

これらの結果と考察を踏まえて，輝度縞の提示面積がベクション強度に関与すると考えられる．これは先行研究 [21)-23)] で報告されている結果と同様である．角度R_1を説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところベクション強度でのみ有意差が見られた（ベクション強度, $p = .004, \varepsilon^2 = .026$; 持続時間，$p > .05, \varepsilon^2 = .006$；潜時，$p > .05, \varepsilon^2 = .013$）．Dunn-Bonferroni の方法での後検定より，ベクション強度は角度R_1の組合せ$(0 - 10, 10 - 20)$で有意$(p < .05)$であった．

[持続時間]

持続時間の箱髭図を，重ね合わせ条件ごとに**図 12** に示す．図 12 における横軸は最大アルファ値を，縦軸は持続時間を表し，バツ印は平均値，横軸表記の括弧は重ね合わせ領域を示している．

図 12 より，未加工映像と比較して，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2, 0.5$の持続時間の平均値は増大している．角度$R_1 = 0$の条件では，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$よりも$\alpha_{\max} = 0.2$の方が持続時間は長く，角度$R_1 = 10, 20$の条件では，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2$よりも$\alpha_{\max} = 0.5$の方が持続時間は長くなっている．$\alpha_{\max} = 0, 0.2, 0.5$ のデータに対して$\alpha_{\max}$ を説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところ持続時間にて有意差

が見られた（$p < .001, \varepsilon^2 = .037$）．Dunn-Bonferroni の方法での後検定より，持続時間は最大アルファ値の組合せ$0.0 - 0.2, 0.0 - 0.5$で有意($p < .050$)であった．

このことより，角度R_1の値が小さい，つまり輝度縞の重ね合わせ領域が広い条件（$R_1 = 0$）では，領域が狭い条件（$R_1 = 10, 20$）と比較して，持続時間は最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2$で長くなる．よって，激しすぎる重ね合わせ処理は効率的にベクションを増大するには適していないと考えらえる．

[潜時]

潜時の箱髭図を，重ね合わせ条件ごとに**図 13** に示す．図 13 における横軸は最大アルファ値を，縦軸は潜時を表し，バツ印は平均値，点は外れ値，横軸表記の括弧は重ね合わせ領域を示している．

図 13 より，未加工映像と比較して，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2, 0.5$の潜時の平均値は減少している．角度$R_1 = 0$の条件では，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$よりも$\alpha_{\max} = 0.2$の方が潜時は短く，角度$R_1 = 10, 20$の条件では，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2$よりも$\alpha_{\max} = 0.5$の方が潜時は短くなっている． $\alpha_{\max} = 0, 0.2, 0.5$ のデータに対して$\alpha_{\max}$ を説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところ潜時にて有意差が見られた（$p = .008, \varepsilon^2 = .021$）．Dunn-Bonferroni の方法での後検定より，潜時は$\alpha_{\max}$ の組合せ$(0.0 - 0.2, 0.0 - 0.5)$で有意$(p < .050)$であった．これらより，重ね合わせ処理は潜時を減少させるが，角度$R_1 = 0$ のとき，$\alpha_{\max} = 0.5$ では$\alpha_{\max} = 0.2$ よりも潜時が長くなり，ベクションを増大しにくいことが分かり，持続時間と同様に激しすぎる重ね合わせ処理は効率的にベクションを増大するには適していないと考えらえる．

［正答率］

表 2 では提示されたテスト物体を正しく視認できているのかを確認した正答率を示している．表 2 より，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.2, 0.5$では正答率が95%以上である．このことより，正答率が 100%ではなかったものの，課題 2 で示されていた運動刺激の重ね合わせによる映像の劣化が通行者，標識，信号機の視認性の低下を誘発する懸念はあまり無いと考えられる．被験者の内観報告より実験映像観察時，被験者に求められる行動が多く提示されたテスト物体を記憶することが困難であり，視認はできたが覚えていない場合があるとのコメントを得ている．

[角度R_2]

角度R_2を説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところベクションの強度の 3 指標（ベクション強度，持続時間，潜時）のそれぞれで有意差は見られなかった（ベクション強度, $p > .05, \varepsilon^2 = .013$; 持続時間，$p > .05, \varepsilon^2 = .000$; 潜時，$p > .05, \varepsilon^2 = .002$）．

[重ね合わせのなだらかさ]

重ね合わせのなだらかさを式(2)より $\frac{\alpha_{\max}}{R_2 - R_1}$とし，$\alpha_{\max} =$ $0.2, 0.5$のデータに対し，重ね合わせのなだらかさを説明変数として Kruskal-Wallis 検定を行ったところ, ベクションの強度の 3 指標においてそれぞれ有意差は見られなかった（ベクション強度，$p > .05, \varepsilon^2 = .019$; 持続時間，$p > .05, \varepsilon^2 = .006$; 潜時, $p > .05, \varepsilon^2 = .008$）．このことより，本実験で検証した重ね合わせのなだらかさはベクションの増大に寄与しないと考えられる．しかし被験者からの内観報告より，我々の先行研究 [13]の$\alpha' = 0.2$条件の実験映像と本実験の$\alpha_{\max} = 0.2$条件の映像を比較すると，本実験での実験映像は輝度縞の合成領域と非合成領域の境界が曖昧になっているので，映像への違和感が減少しているとのコメントが得られた．これにより，なだらかな重ね合わせ処理は課題 1 を改善できていると考えられる．

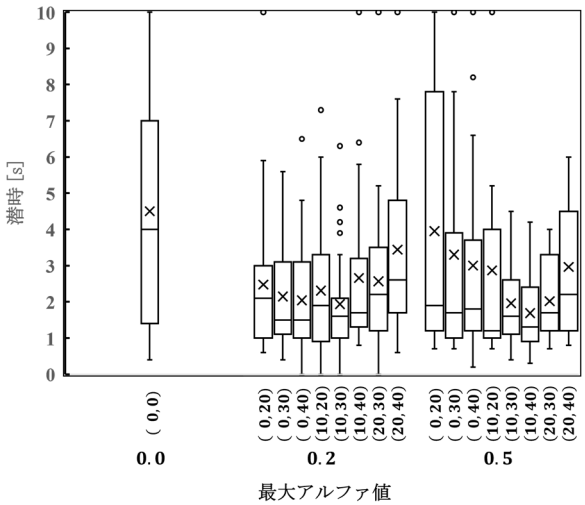


図 13　各重ね合わせ条件での潜時

Fig.13　Latency of each superposition condition

表 2　テスト物体の正答率

Table 2　Percentage of correct answers

$\alpha_{\max}$の値	0	0.2	0.5
信号の色 [%]	100.0	99.1	96.8
人数 [%]	100.0	99.7	100.0
標識の種類 [%]	94.4	97.8	98.4

5.　まとめ

本研究では我々の先行研究 [13]で明らかになった 2 つの課題を検証しつつ, HMD 使用時の映像への没入感を高める新しいベクションの増大手法を評価した．1 つ目の課題はストライプ柄の輝度縞の合成領域と非合成領域の境界が明確になり，映像の違和感によって没入感が失われている可能性（課題 1）があることであり，2 つ目の課題は輝度縞の合成による実写映像の劣化が，通行者や信号，標識への視認性の低下を誘発させる可能性（課題 2）があることである．

課題 1 に対しては先行研究とは異なる輝度縞をなだらかな重ね合わせ処理を施す手法によって実写映像に合成することで改善を試み，この手法はベクションを増大させ，特に運動刺激を合成する最小領域の半径を観察者が見たときの角度が$R_1 = 0$かつ，重ね合わせ処理の強度である最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$の条件，つまり，運動刺激の提示面積が大きく，かつ輝度縞が視認しやすい条件でベクション強度が増大されることが明らかになった．しかし，最大アルファ値$\alpha_{\max} = 0.5$など輝度縞の視認しやすさがコントラスト比[20]や空間周波数といったベクションを誘発する基礎的な特性によってベクションが増大された可能性がある為，これを明らかにする実験が必要であり，今後の課題であると考えられる．課題 2 に対しては実験映像に通行者，標識，信号機を提示して，被験者がこれらを正しく視認できるのかを検証した．実験結果より実験映像の劣化はあるものの，視認性の低下を誘発することは無いと考えられる．

今後は VR コンテンツにおける様々な状況にてベクションを増大する手法を検討していきたい．具体的には HMD 装着者が加減速しながら直進する状況，曲がり道に沿って進んでいる状況で運動刺激の重ね合わせ処理がベクションを増大するのかを検討したい．

謝辞

この研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（JP22H00535, JP23H03485）による助成を受けた．

参考文献

1) https://www.solidray.co.jp/product/safemaster/. (2024)
2) 村田佳代子, 小松英海, 石原正規, 市原茂 , 増田直衛: “皮膚感覚からの自己運動知覚を前庭刺激との関係から検討(5)－風源の接近と後退による影響－”，映像情報メディア学会技術報告, Vol. 40, No. 37, pp. 21–23 (2016).
3) 渡邊紀文, 森文彦, 大森隆司: “周辺視ディスプレイと振動デバイスを利用した歩行誘導効果と感覚統合のモデル構築”，日本知能情報ファジイ学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 608–616 (2016).
4) T. Seno, E. Hasuo, H. Ito, Y. Nakajima: “Perceptually Plausible Sounds Facilitate Visually Induced Self-Motion Perception (Vection)”, Perception, Vol. 41, No. 5, pp. 577–593 (2012).
5) 福原千絵, 加村孝信 , 末冨隆雅: “エンジン音と加速度の組合せが車の走り感に与える影響の研究”，騒音制御, Vol. 31, No. 5, pp. 401–409 (2007).
6) H. Terashima, Z. Cui, S. Sakamoto, Y. Iwaya , Y. Suzuki: “Sound Localization in the Coexistence of Visually Induced Self-Motion and Vestibular Information”, i-Perception, Vol. 2, No. 8, p. 866 (2011).
7) 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治: “HMD 提示によるベクション刺激と嗅覚刺激の知覚的相互作用に関する検討”, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 361–370 (2019).
8) 中村信次: “多種の感覚情報に基づく自己運動知覚-多層の座標系における感覚情報の統合-”，日本福祉大学情報社会科学論集, Vol. 6, pp. 1–8 (2003).
9) 妹尾武治: “効率的なベクション駆動に関する知見と脳イメージング研究から得られたベクションの知見の VR コンテンツへの活用可能性”，日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 14, No. 4, pp. 481–490 (2009).
10) 妹尾武治: “ベクションとその周辺の近年の動向”，認知科学, Vol. 21, No. 4, pp. 523–530 (2014).
11) 伊藤輔, 島崎敢, 藤井愛, 加藤麻樹, 三嶋博之, 古山宣洋, 石田敏郎: “ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度感覚に与える時系列効果”，ヒューマンファクターズ, Vol. 24, No. 2, pp. 58–64 (2020).
12) 鈴木亮太, 中村優介, 福田悠人, 小林貴訓 , 久野義徳: “ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導”, 情報処理学会 インタラクション 2017, pp. 122–126 (2017).
13) K. Nakanishi, H. Mizushina, K. Yamamoto: “Increasing Vection Strength by Video Processing in the Periphery of the Visual Field in a Driving Simulator”, Optical Review, Vol. 31, pp. 135–143 (2024).
14) HTC Corporation, https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-full-kit/ (2023).
15) Insta360, https://www.insta360.com/jp/product/insta360-evo/ (2023).
16) Solidray Co., Ltd., https://www.solidray.co.jp/product/omega/ (2023).
17) T. Seno, K. Murata, Y. Fujii, H. Kanaya, M. Ogawa, K. Tokunaga, S. Palmisano: “Vection Is Enhanced by Increased Exposure to Optical Flow”, i-Perception, Vol. 9, No. 3, pp. 1–16 (2018).
18) Y. Fujii, T. Seno, R. S. Allison: “Smoothness of stimulus motion can affect vection strength”, Experimental Brain Research, Vol. 236, pp. 243–252 (2017).
19) T. Seno, H. Ito, S. Sunaga: “Vection can be induced in the absence of explicit motion stimuli”, Experimental Brain Research, Vol. 219, pp. 235–244 (2012).
20) 郭炫汝, 妹尾武治, 中村信次: “コントラストがベクションに及ぼす影響”, 2021 年 3 月 10 日知覚情報研究会, pp. 23–26 (2021).

21) P. B. Robert: “Circular Vection is Independent of Stimulus Eccentricity”, Perception, Vol. 17, No. 6, pp. 734–744, 1988.

22) 小西晃広，田村秀行，橘口哲志，木村朝子，柴田史久: “リニアベクション現象を高める広視野空間での周辺視刺激の活用とその効果”，電子情報通信学会論文誌 D，Vol. J100-D, No. 2, pp. 162–170 (2017).

23) 岡野裕，雑賀慶彦，橋本悠希，野嶋琢也，梶本裕之: “速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討”，情報処理学会研究報告，Vol. 2008, No. 11, pp. 145–150 (2008).

（2024 年 10 月 22 日受付）
（2024 年 12 月 25 日再受付）

中 西 康 介 （学生会員）

2023 年 徳島大学理工学部理工学科卒業．現在徳島大学大学院創成科学研究科理工学専攻修士課程に在学．視覚誘導性自己運動感覚に関する研究に従事．

伊 達 宗 和

1990 年 学習院大学理学部物理学科卒業．1992 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科電子システム専攻修士課程修了. 1992 年 日本電信電話株式会社入社，高分子分散液晶ホログラムによる反射型表示素子，3D ディスプレイなどの研究に従事. 2003 年 東京理科大学理学研究科化学専攻にて博士（理学）取得．2010 年 NTT コムウェア株式会社にて 3D コンテンツ精製技術. 近接信号技術の開発に従事. 2012 年 日本電信電話株式会社にて高臨場感映像の研究に従事．2023 年から徳島大学理工学部電子情報工学科にて通信サービスの研究に従事，現在に至る．

水 科 晴 樹

1998 年 新潟大学工学部情報工学科卒業. 2000 年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了．2003 年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻博士後期課程修了．同年 高知工科大学工学部情報システム工学科教育講師．2004 年 カナダ・ヨーク大学心理学科博士研究員. 2007 年 東京工業大学産学官連携研究員. 2009 年 国際電気通信基礎技術研究所（ATR）研究員．2012 年 情報通信研究機構（NICT）研究員．2015 年 徳島大学工学部講師．2024 年信州大学繊維学部准教授．人間の視覚情報処理，3D ディスプレイ，空中ディスプレイの研究に従事．博士（工学）．

山 本 健 詞

2007 年 名古屋大学大学院博士課程後期修了. 同年 情報通信研究機構採用. 2021 年から徳島大学で教職，現在に至る．電子ホログラフィ，ライトフィールド，カメラアレイ，2D-3D 変換，ToF カメラ，フォグスクリーン，映像によるベクション提示，空中映像の操作性評価，避難訓練への映像活用，ホログラフィックコンタクトレンズなどの研究に従事．博士（工学）．

IIEEJ 論文 -- VR/AR における画像電子関連技術論文特集 --

華道の初等教育を対象としたVR教材の試作

宮崎 彩乃†(学生会員)　太田 ひろ子††　岩崎 公弥子†††
浦田 真由†　遠藤 守†　安田 孝美†

†名古屋大学大学院 情報学研究科，††華道家元池坊 名古屋支部，†††金城学院大学 国際情報学部

A Prototype of VR Teaching Materials for Elemental Kado Education

Ayano MIYAZAKI†(*Student Member*), Hiroko OTA††, Kumiko IWAZAKI†††,
Mayu URATA†, Mamoru ENDO†, Takami YASUDA†

†Graduate School of Informatics, Nagoya University, ††Nagoya Branch, Ikenobo Society of Floral Art,
†††Faculty of Global and Media Studies, Kinjo Gakuin University

〈あらまし〉 本研究では，華道教育における Digital Transformation(DX) の一環として，自由形式のいけばなである「自由花」を対象に，初級者の学習促進を目的とした VR 教材の作成手法を提案する．初級者が習得すべき内容の一つとして，作品におけるバランスの良い花材の長さや角度を見極める技能が挙げられるが，これを短期間で習得することは難しい．我々は標準的な VR デバイスを用いて VR 空間でいけばな作品を制作できる「いけばな VR」を提案し，体験会においてその有効性の検証も行っており，本研究ではこれを活用する．まず，初級者向けのオーソドックスな作品を対象として，習熟者の制作サンプル及び講師による作品の修正傾向から，作品の評価指標となる花材レイアウトの適正値を求める．次にそれを用いて，作品を評価し初級者にアドバイスを行えるエキスパートシステムの機能を VR 教材として実現する．これにより，現在の華道教室中心の教育では実現が難しい，初級者向けの独習や反復練習の機会を提供することが可能となる．

キーワード：華道教育 DX, VR 教材, 作品評価, 独習支援, エキスパートシステム

<**Summary**> This study proposes a method for developing VR teaching materials to enhance learning among beginner-level learners of free-style ikebana as part of Digital Transformation (DX) in ikebana education. A key skill for beginners is determining the optimal length and angle of flower materials to achieve balanced ikebana compositions; however, mastering this skill within a short period can be challenging. To address this, we have been developing "VR Ikebana," a platform that enables users to create ikebana arrangements within a VR environment using standard VR devices. Leveraging VR Ikebana, we implement an expert system that uses benchmark values and characteristic layout features derived from skilled practitioners' samples of typical beginner-level arrangements. The system evaluates learners' works against these benchmarks and provides tailored feedback for improvement. This approach facilitates self-study and repetitive practice—opportunities that are difficult to achieve in traditional, in-person ikebana classes.

Keywords: ikebana education dx, vr teaching materials, artwork evaluation, self-study support, expert system

1. はじめに

我が国の代表的な伝統文化の一つである華道は，現代において女性のステータスとしての意味合いが薄れたことや，フラワー・デザイン，ガーデニングなどの他の選択肢が増えたことも影響し，その人口が年々減少しており，特に若い世代で顕著である[1),2)]．文献 1) においては，いけばなの沈滞要因として以下の 4 つが指摘されている．

1. ライフスタイルの変化により居住空間の中で床の間を喪失した
2. 多面性を持ち合わせていないため飾る場所が限定される
3. 流儀花がいけばなのイメージ．かわいい花はフラワー・デザインというイメージ
4. 費用に対する不安と，不透明な許状申請のあり方に対する敬遠

1. 及び 2. への対策としては，例えば日本で最も長い歴史

を持つ華道団体の池坊[3]においても，従来の「立花」,「生花（しょうか）」といった床の間へのレイアウトを前提とした古典的な花形以外に,「自由花」という，花材やいけ方に特別な規定のない，食卓や玄関など飾る場所も制限されない現在の生活様式に適した花形を定めている．3. 及び 4. については，現代に生きる若者には，華道における作法や流儀の修得，芸術性の追求といった点が敬遠され，身近で実用的なフラワー・デザインやガーデニングが好まれる結果となっていると考えられる．しかしながら華道は他にはない芸術性や伝統文化という側面を有している．西洋化によって失われかけた伝統文化を尊重する心を取り戻すこと，長い年月をかけて培われてきたこの日本独自の文化「いけばな」を深く理解し，後世においても存続させることは現代に生きる我々の使命ともいえる．

池坊は華道の流派の中でも 550 年以上の長い歴史を持ち，少ない花材で空間を有効活用した芸術性の高い作品で知られている．花の美しさを際立たせるだけでなく，命の尊さを表現することを重視している．池坊では初級者は現代の生活環境に馴染みやすい自由花を最初に習うことが多いが，自由花は花材の選定やいけ方に明確な規定がなく自由度が高いゆえの難しさがある．

そこで池坊は近年，初級者にとって理解が容易で，独習も行えるよう，基本となるガイドを示し，それに基づいていけ方を，順を追って学べる自由花の教育カリキュラムを作成した．花や茎，葉などの花材の部位を線，面，点などとみなす形状的特徴，縦，斜めまたは横の花材をいける方向，花材の剣山への挿し方の違いを基本ガイドとし，それらを使い分け，その上でバランスの良い花材の長さや角度，各花材の役割が見極められるようになることを目的としている．しかしながら，初級者にとってこれを実践することは容易ではなく，見本を真似ていけることでさえ難しい者もいる．自分がいけている作品において，花材の長さや向きのバランスを厳密に把握できるようになるためには多くの経験を要する．そのため，新規の入門者が現れたとしても，モチベーションを持続できず，早期に退会してしまう者も少なくない．

一方で， VR 機器がゲームデバイスとして一般に普及し，若者の間に浸透しつつある．VR は CG 映像を用いて 3 次元空間を可視化できる技術であり，今やゲームコンテンツに限らず，医療や産業，教育など様々な分野において DX の一環として応用が模索されている．我々も池坊名古屋支部のいけばな講師の監修のもと，VR 空間内で CG モデルの花材を加工し，作品を制作できる「いけばな VR」[4]を開発し，その体験会を実際の花展の併設イベントとして毎年開催している．いけばな VR を華道教育に導入することで，初級者の学習効果を高め，長期的なモチベーションの維持が期待される．

そこで本研究では，このいけばな VR を活用し，現在の華道教室中心の教育では実現が難しい初級者の学習強化を図るために，独習や反復練習の機会を提供する VR 教材の作成手法を提案する．まず，初級者向けのオーソドックスな作品を対象として，習熟者の制作サンプル及び講師による作品の修正傾向から，作品の評価指標となる花材配置の適正値を求める．次にそれを用いて，作品を評価し初級者にアドバイスを行えるエキスパートシステムの機能を VR 教材として実現する．

2. 華道の普及活動や華道に関する学術的研究

2.1 華道団体による若者への普及活動

若者への華道の普及促進ために，各華道団体は若者が華道に触れ，習う機会を提供する様々な施策を行っている．池坊でも，学校の部活動としての華道教室の開催をサポートするために，講師を学校に派遣したり，学校での資格取得を可能にしたりしている．文化庁も華道を含む様々な伝統文化を対象とした体験教室に親子で参加できる促進事業[5]を展開している．また，駅やホテルなどパブリックスペースへの作品設置などを通じていけばなを若者へ発し続けている．池坊では門下学生に対しても作品コンペやインターネット上でのコンクールを実施するなどして，若者がモチベーションを維持し，華道を続けるための活動も行っている．これらの施策による一定の効果はあると考えられるが，若者の華道人口を増加させる著しいレベルには至ってはいない．

2.2 VR を用いた華道のプロモーション事例

華道のプロモーションの方法としては，書籍の出版や華道を題材にした映画制作や，華道家のテレビ出演などが挙げられるが，近年のコンピュータゲームやエンターテインメントの分野での VR 技術の進歩に伴い，華道のプロモーション活動に VR を利用した例も出てきている．

本国の華道三大流派の一つ草月流は株式会社ビービーメディアと共同で Windows Mixed Reality を用いた「IKEBANA VR EXPERIENCE」[6]を開発し，米国オースティン市で開催されるエンターテイメントの複合イベント SXSW2018 に出展した．市販の VR デバイスによって，華道作品制作の基本操作を VR で体験することができる．もう一つの三大流派である小原流は，在シアトル日本国総領事館，ナンゴク R スタジオ及び日本マイクロソフトと共同で米国シアトル市で「IKEBANA × TECHNOLOGY」[7]を開催した．HoloLens2 Mixed Reality を使った，リアルいけばなと CG の融合により，伝統文化の新しい表現方法と鑑賞体験を提案した．以上の 2 つのコンテンツはエンターテイメント性の質が高く，海外に向けた華道のプロモーション事例として貴重である．

我々も 2022 年以来毎年名古屋市内の百貨店で行われる池坊花展の併催で「いけばな VR」の体験会を開催し，華道経験者だけでなく百貨店に来場する一般人向けにも体験会を通じた華道のプロモーションを行っている．**図 1** に体験会の様子及びいけばな VR によって制作された作品例を示す．

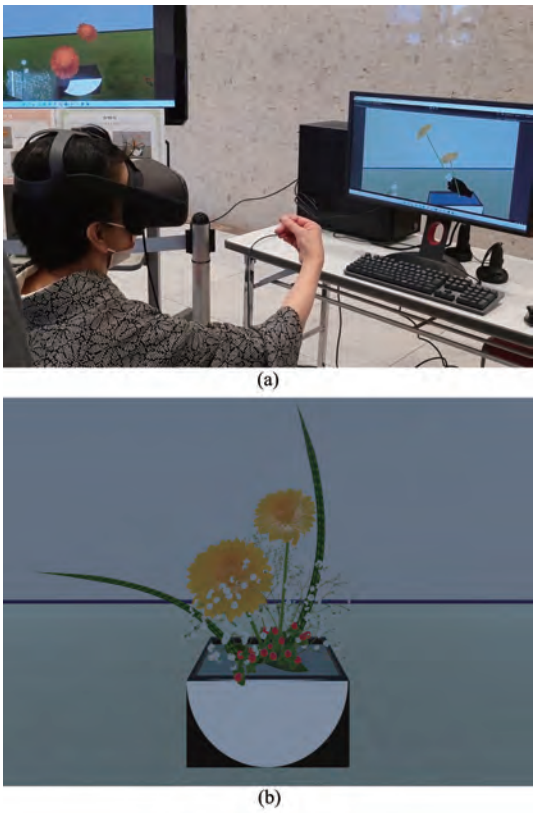


図 1　いけばな VR の概要: (a) 体験会でのいけばな VR を操作する様子 (b) いけばな VR で制作した作品例

Fig. 1　Introduction to Ikebana VR: (a) Operating Ikebana VR at a hands-on event (b) An artwork created with Ikebana VR

2.3　いけばな作品の制作に VR を応用した事例

現在の標準的な VR デバイスが安定的に利用できるようになるまでには，いけばなへの VR 応用の学術的研究の興味は主に花材操作のためのインタフェースの開発に向けられていた．

向井らは，触覚フォースフィードバックデバイス Phantom を用いたいけばな練習システム[8]を提案した．花材を剣山に挿す操作の練習を，反力をリアルタイムに感じながら行うことができる．花材の固さに応じて反力の大きさを決定している．向井らはその後，このシステムを更新し，花材の強度と劣化を考慮した両手によるインタラクションを可能にした[9]．

黄らはネットワーク通信による仮想空間共有の対象としていけばなシステム[10]を提案した．通信の品質評価が主目的ではあるが，嗅覚と Phantom による力覚を伴ったシステムを実装している．

横窪らは，安価な情報機器を組み合わせることで，VR トラッカーが取り付けられたタッチペンを花材の茎，トラックパッドを剣山と見立てた独自の入力デバイスを用いて，3D 空間内で花材を操作し花をいけることができる，いけばな練習システム[11]を提案した．花軸デバイスとして，プレゼンテーション用の光学式ポインティングポインターと 3D 位置センサーを備えたタブレット用スタイラスペンを使用し，剣山デバイスとして，タッチ入力可能なタブレット PC とトラックパッドを使用している．3D 空間での花素材オブジェクトの「選択」,「切り取りと復元」,「挿入と再挿入」,「構成の確認」などの操作を実現している．複数の独立したデバイスを組み合わせることで自然な入力インタフェースを実現している．

これらの事例に対して，近年では標準的な VR デバイスを用いた VR コンテンツが実現されている．2.2 で紹介した「IKEBANA VR EXPERIENCE」の他，株式会社ファインは Meta Quest 用コンテンツとして公開している「華道 VR」[12]では，ハンドトラッキング入力で花材自由に配置する機能を実現している．また，実際のいけばな作品の写真から 3D モデルを生成し，VR Chat 内で展示会を行うという試み[13]も行われており，華道のプロモーションの効果も期待できる．

我々も同様の機能を有する「いけばな VR」を開発しているが，これらの研究の焦点が入力インタフェースにあるのに対し，本研究では VR 環境を用いて，いけばなの修練を VR でシミュレーションするための機能の実現と，それを用いた VR コンテンツ教材の開発を目指している．そのため花材を単にレイアウトするだけでなく，花材を様々に加工する機能や，作品評価の機能を備えている．

2.4　いけばなの制作支援と評価に関する学術的研究

是永らは，感性をあらわす単語に基づいていけばなの特徴量を確率的に決定するなどして花材のレイアウトを自動生成する支援システム[14]を提案している．

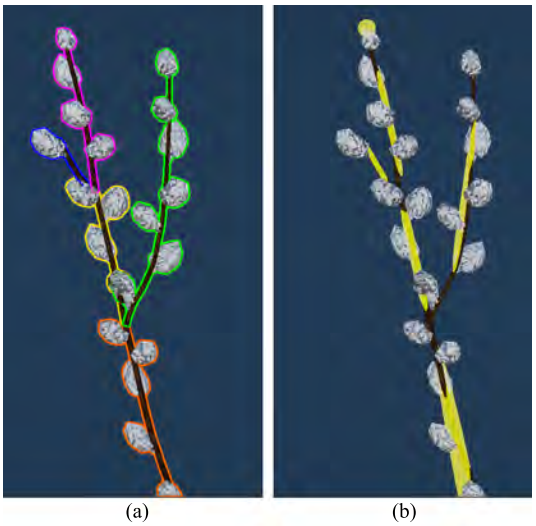
横窪らはリアル花材をタブレット PC のカメラで取り込み，それらをタブレット PC 上でレイアウトすることができるいけばなのデザイン支援システム[15]を提案している．いけばなの色や形のルールに基づいたアルゴリズムにより取り込んだ花材のレイアウト結果を自動的に生成し，その結果をガイドにしてユーザが作品制作を実践できる．

池坊らは，生花（しょうか）の作品を対象として，いけばな熟練者と未経験者の間で印象評価にどのような差異が生じるか，さらに写真による評価と実物による評価に差異が生じるか，という問題提起をし，アンケート調査を実施することにより熟練者の優位性の検証とその考察を行っている[16]．その結果，いけばなにおいては生来的な感性だけでなく，学びによって培われる感性の影響が大きいと結論づけている．

我々も花材レイアウトに基づいて作品評価を行うための手法[17]を提案しており，その成果はいけばな VR において生徒の独習における作品評価や自動修正の機能の実現に応用可能である．

2.5　いけばな VR の概要

本研究のインフラシステムであるいけばな VR は，**図 2** に示す花材モデルに対して，VR コントローラやハンドジェスチャを用いた「移動」,「切断」,「折り曲げ」，及び「曲線曲げ」の 4 種類の操作を組み合わせ，初級者向けの作品制作を



(a) (b)

図 2 加工可能な花材モデルの例: (a) 枝ごとに分割された各部分の輪郭を単色実線で表示 (b) 分岐を除く枝部分に配置された衝突判定用オブジェクトを黄色の領域で表示

Fig. 2 Examples of flower models that can be processed: (a) Branch segments outlined with a single-colored solid line (b) Collision detection objects placed on branches, excluding junctions, highlighted in yellow

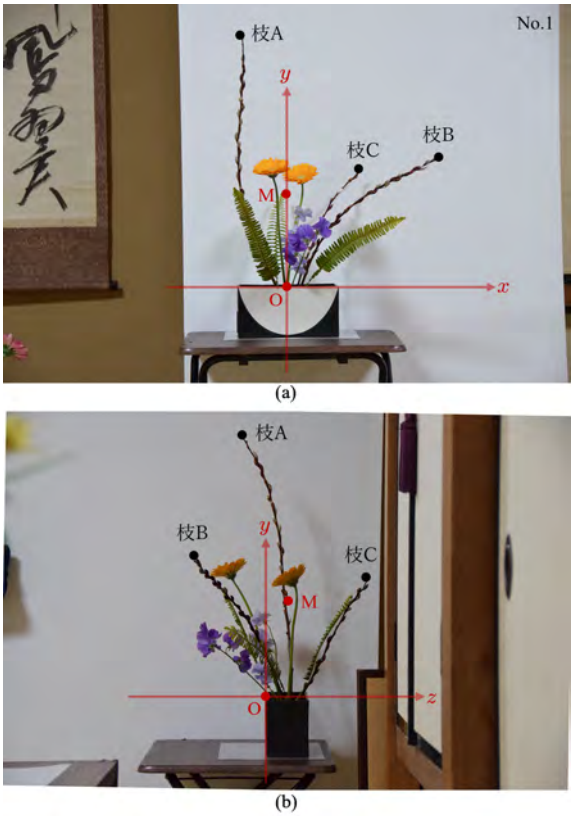


図 3 教材制作の対象となった作品 No.1 を正面 (a) 及び右側面 (b) から撮影した写真

Fig. 3 Photographs of Ikebana Artwork No.1 used in the creation of teaching materials: (a) Taken from the front (b) Taken from the right side

シミュレーションできる[4),18)]．また，作品における花材の各部位の 3 次元座標取得や花材レイアウトへの図形のあてはめ，生徒が VR 空間内で制作した作品と，それを講師が修正した結果を重畳表示で比較する機能なども備えている．

一般に花材モデルは単一モデルとして制作されることが多いが，これに加工が可能な機能をもたせるため，図 2(a) に示すようにあらかじめ枝ごとにモデルを分離し，階層構造を持たせている．これにより，任意の枝に対する切断や，任意の枝から先のすべての枝をまとめて折り曲げる加工を，比較的単純なアルゴリズムで実現している．

花材の把持や加工が可能な部分は，図 2(b) の黄色の領域で示すように，枝茎の分岐を除く部分に限定し，そこに Unity で利用可能な衝突判定用の立体「Collider」を配置する．Collider は衝突判定機能に加え，物理シミュレーションや運動学的制約を用いて衝突現象を表現する機能も有しており，これを有効にすることで，花材を剣山に挿す操作において，花材が剣山に到達した際，さらに内部へ侵入しないよう抑制される．これにより，練習者は切断により自ら調整した長さの花材が，剣山に刺さった状態を観察できる．

3. 独習用教材の制作

いけばな作品の評価は，華道流派の独自の花形の順守や作品のコンセプトに従っているかなど多岐にわたるが，花材レイアウトにおけるバランスの良さも作品の美観に大きく影響し重要である．特に初心者が花材を適切な長さで切断し，適切な向きに配置できるようになるためには一定の期間，経験を積む必要がある．池坊の教育カリキュラムではこれをサポートするために，花材の構成要素である花，茎，葉などを「線」「面」「点」「塊」の 4 つの図形要素に当てはめ，レイアウトを把握し易くする手法が取られている．前回は，これらの 4 要素のうち，直線状の枝や細長い葉などの「線」要素のみで構成された作品を対象とし，見本を示さずに生徒が自由にいけた作品を，線分分布の特徴量を用いて評価する試み[17)]を行った．これに対して今回は，講師がいけた作品の見本通りに生徒がいけるケースを対象とする．

自由花には明確ないけ方の規定がなく，使用される花器や花材，作品の表現も多様である．そのため，教科書には自由花全般に適用できる具体的ないけ方は記述されておらず，作品のレイアウトに関する大まかな分類や，個別の作品に対する説明に留まっている．レイアウトのバランスを整えるため，古典的な花形で用いられる花材の役割や比率，一般的なデザインの要素比率や配色技法などを規範として引用することはあるが，それらを作品に応じて適切に選択し効果的に応用できなければ，作品制作に活かすことはできない．そのため実際の教室では，講師が自身の判断で入手可能な花材を選び，いけ方の目安を指示した上で，生徒が見本を模倣しながらいけるという学習スタイルが基本となる．生徒はこのプロセスを繰り返すことで経験を積み，徐々に表現力や技術を向上させていくことが期待される．

3.1　教材制作の対象とした作品

今回は，**図 3** に示す，ネコヤナギ，ガーベラ，タマシダ，スイートピーの 4 種類の花材を用いて，初級者向けに講師がいけた独自の作品（作品 No.1 と呼ぶ）を教材制作の対象とした．花器は池坊の初級課程の学習用に指定されているものである．ネコヤナギの枝の曲線をうまく用い，作品全体が右になびくような自然さを表している点に特徴がある．人工的な加工を最小限にとどめ，花材の自然な形状を活かしながら，各花材の役割が明確に表れている点は初級者向けの作品として相応しい．

自由花において，花材をいける手順は明確に定められていないが，ここではオーソドックスに以下の手順でいけることを想定する．

1. ネコヤナギ 3 本を立体的に配置して，作品全体の大きさを定める．
2. ガーベラ 2 本を主役として，ネコヤナギとの相対的なバランスを考慮して作品の中心あたりに配置する．
3. タマシダ 3 本を下草として，自然の中で下の方に生えている草木をイメージして配置する．
4. スイートピーをガーベラ下部の空いた空間を埋めるように配置する．

上記のうち 1. のネコヤナギ 3 本は，作品全体の大きさを定める役割をもち，他の花材と比べて枝の長さが長く，枝の配置の差異が作品に大きく影響するため，初心者と熟達者の差が出やすい．また，他の花材のガイドとしての役割を担う点も重要である．そこで今回はこのネコヤナギ 3 本を評価の対象とする．以降，図 3 に示すように，3 本の枝のうち左の背の高い枝を「枝 A」，右の横方向に延びる枝を「枝 B」，残りの中央の枝を「枝 C」と呼ぶ．また，各枝の先端を同様に点 A，点 B 及び点 C と呼ぶ．ネコヤナギの枝は他の花材と異なり固く，曲線形状を作るためには「撓め（ため）」と呼ばれる，枝を折れない程度に押し曲げて，塑性変形で曲線を成すように変形させる技術が必要である．初心者にとって習得の難易度が比較的高く，レイアウトを事前に予習することが，実教室での実践に効果的に作用する．

また，花材の絶対的な長さを数値で示しても生徒が実践するのは困難なため，講師は花器や既にいけた花材の長さとの相対比を用いて，次にいける花材の長さを指示することが多い．作品制作にあたり，講師は生徒に以下のような指示を事前に与えた．花材間の従属的な関係を示すことで，生徒が他の花材に対する相対的な配置に着目しながらいけるよう促す狙いがある．

1. 枝 A を花器の横幅の約 2 倍の高さにする．
2. 枝 B の高さは左枝の高さの半分とし，右方向になびくように配置する．
3. 三角形 ABC が正三角形や二等辺三角形のような人工的な形状にならず，不等辺三角形として自然なバランスを保つよう，枝 C を左右の枝に対して右寄りに配置し，後方になびかせる．

3.2　花材の 3 次元位置の計測

今回はミリメートル単位の高い精度は要求されないので，作品の正面及び右側面の 2 方向から撮影した写真上に透視投影された 2 次元座標から，空間内での 3 次元座標を求める．図 3(a) の写真中の花器の横幅が 23.5 cm であることから投影面（写真）の横幅 W [cm] は，写真中の花器の横幅のピクセル数 n_v，写真の水平方向のピクセル数 n_p を用いて

$$W = 23.5\,\frac{n_p}{n_v} \tag{1}$$

となる．DX フォーマットの焦点距離 70mm で撮影した場合の水平画角が 19.14° であることから，カメラから投影面までの距離 d_z [cm] は

$$d_z = \frac{W}{2\tan 9.57^\circ} \tag{2}$$

で求められる．同様に，花器の奥行幅が 9 cm であることから，図 3(b) の右側面からの写真におけるカメラからの距離 d_x を求める．

図 3 に示すように，花器の前面かつ上面の中心を原点 O，正面写真の水平方向右向き，垂直方向上向き，及び側面写真の水平方向右向きが，x, y, z の各座標軸の正方向となるように 3 次元座標系を設定する．求める任意の 3 次元位置を点 $\mathrm{P}(x, y, z)$ とし，P の正面写真上の投影位置の x 座標を x_s，右側面写真上の投影位置の z 座標を z_s とすると

$$(\frac{x_s}{x}, \frac{z_s}{z}) = \Big(\frac{d_z}{d_z + z}, \frac{d_x}{d_x - x}\Big) \tag{3}$$

が成り立ち，変数 x, z に関する連立一次方程式の解

$$(x, z) = \frac{1}{1 + \frac{x_s z_s}{d_x d_z}}\Big(x_s(1 + \frac{z_s}{d_z}), z_s(1 - \frac{x_s}{d_x})\Big) \tag{4}$$

が得られる．今回の撮影では，カメラと作品の距離を 3m 以上とすることができたため，$\frac{x_s z_s}{d_x d_z}$ の絶対値は高々0.01 であり，これを無視することにより

$$(x, z) = \Big(x_s(1 + \frac{z_s}{d_z}), z_s(1 - \frac{x_s}{d_x})\Big) \tag{5}$$

と簡略化できる．写真は花器が左右の中心になるように撮影しているため，上記では原点 O を写真の中心点として用いているが実用上問題はない．z 値については差は存在するが 5cm 程度である．

これに対して y 座標については，図 3 で示されるように原点 O と写真の中心点 M の差は無視できるほど小さくはない．そこで点 P の正面写真上への投影位置及び中心点 M の y 座標をそれぞれ y_s 及び M_y とし

$$y = (y_s - \mathrm{M}_y)(1 + \frac{z_s}{d_z}) + \mathrm{M}_y \tag{6}$$

図 4　10 名の生徒が制作した作品 (No.2 – No.11)
Fig. 4　The artworks created by the 10 students (Artworks No.2 — No.11)

表 1　3.2 節の方法により求めた各作品における 3 点 A，B，C の 3 次元座標 (x, y, z)[cm]

Table 1　For each work, the 3D coordinates $(x, y, z$ in cm) for points A, B, and C, obtained using the method described in Subsection 3.2

No.	A	B	C
1	-10.2, 57.3, -11.2	33.5, 29.5, -17.8	17.9, 26.7, 14.9
2	-5.1, 58.3, 4.6	31.9, 32.9, -6.2	17.1, 25.9, 12.9
3	8.9, 57.1, 13.0	27.7, 34.8, -25.7	22.3, 31.3, 10.7
4	-5.9, 61.8, -1.6	33.2, 39.7, -15.4	27.8, 25.3, 18.7
5	2.0, 59.9, 3.4	35.6, 30.1, -10.7	22.8, 28.3, 11.7
6	-17.3, 58.2, -7.4	37.1, 33.6, 0.8	15.8, 27.0, 16.1
7	-10.0, 59.9, -3.0	29.4, 37.2, -20.9	21.0, 35.7, 7.8
8	-16.2, 57.4, 8.3	28.7, 31.3, -16.9	16.1, 32.8, 15.3
9	-2.8, 57.4, -4.9	31.1, 33.6, -8.5	9.6, 28.0, 14.0
10	0.2, 59.4, -6.9	32.3, 29.9, -14.9	20.5, 28.5, 6.5
11	0.8, 61.5, 9.7	26.3, 35.9, -17.3	20.0, 27.4, 7.4

により求める．

図 4 は図 3 に示す作品 No.1 を見本として，習熟者である生徒 10 名がいけた作品（作品 No.2 – No.11 と呼ぶ）である．これらの作品におけるネコヤナギの 3 頂点の 3 次元位置を本節の方法で求めた結果を**表 1** に示す．以降の節では，枝頂点の分布の傾向に基づき，各枝の配置の適正範囲を定める．

3.3　枝 A に関する指標

図 5 は表 1 における全 11 作品の，点 A の 2 次元座標 (x, y) を平面にプロットした結果である．ここでは初級者向けに正面から見た状態を重視し，z 座標は評価対象から除外している．

図 4 中の赤色の実線は講師が写真上で枝 A 及び枝 B の位置を修正した結果を示しており，習熟者の 10 作品の内 6 作品が修正されている．これらの作品については図 5 中で，赤枠白塗りの点及び赤点が，それぞれ修正前 (Before) 及び修正後 (After) の位置を示している．なお，各枝の修正後の 3 次元座標値は，修正前の z_s 値を用いて，3.2 節の算出方法を同様に適用して求めた．

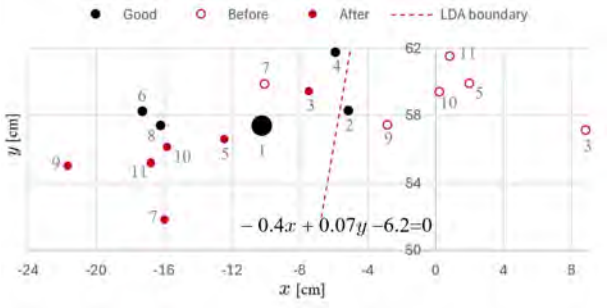


図 5　点 A の 2 次元座標 (x, y) の分布
Fig. 5　Distribution of the 2D coordinates(x, y) of Point A

修正された 6 作品においては，枝 A が右に寄りすぎの傾向が共通してみられ，すべて左方向に移動されている．見本の作品 No.1 においては，枝 A が剣山から垂直に立ち上がった直後に，撓めによって左方向に曲げられているが，これらの作品ではこの撓めが十分でなく，その結果右寄りになっていると考えられる．

図 5 中の赤の破線は，修正された作品（Before）及び修正されなかった作品 (Good) の 2 クラスに対する線形判別分析の結果を示している．サンプル数が不十分ではあるが，修正の判断基準が x 値に大きく依存し，花器の左半分の中間点辺り $(x = -0.25w)$ がその境界であることを暗示している．なお，作品 No.7 は，この基準では修正不要と判断されるにもかかわらず修正されている，この作品ではガーベラが左寄りにいけられており，講師が修正した理由は，ガーベラに対し

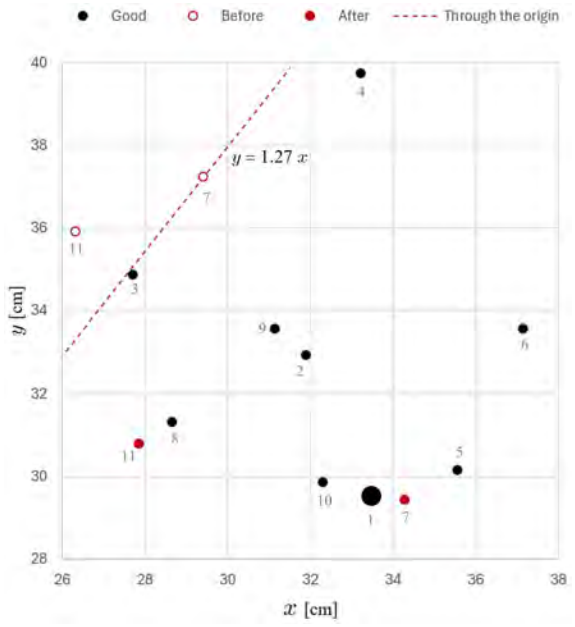


図 6　点 B の 2 次元座標 (x, y) の分布
Fig. 6　Distribution of the 2D coordinates(x, y) of Point B

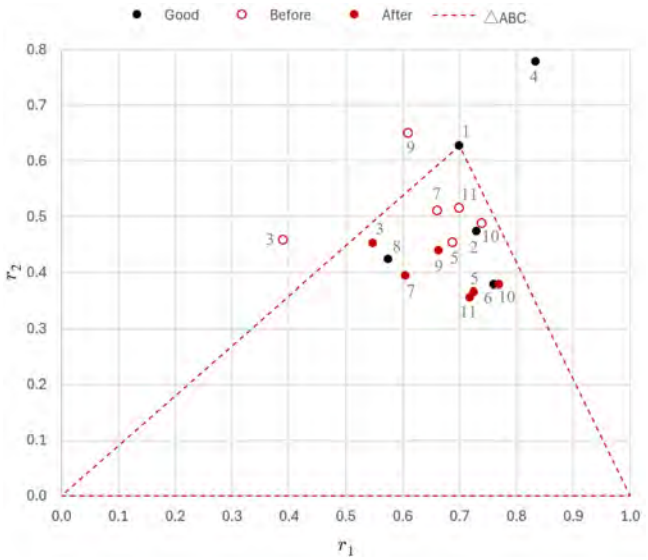


図 7　3 本の枝の先端を結んでできる三角形 ABC に関する 2 つの特徴量 r_1 及び r_2 の分布
Fig. 7　The distribution of two features, r_1 and r_2 within triangle ABC, which is formed by connecting the tips of the three branches

てバランスを取るためだった可能性がある．

枝の高さについては，$2w$ という目安が講師から示されているが，講師自身がいけた見本において $2.44w$，高さが最大の作品 No.4 において $2.62w$ であっても修正が加えられていないことから，高さについては許容範囲が広いと考えられる．以上を勘案し，花器の幅を w として

$$-w < x < -0.25w \ \wedge \ 2w < y < 3w \tag{7}$$

を枝 A の適正値の指標とすることとした．

3.4　枝 B に関する指標

同様に，**図 6** は点 B の 2 次元分布を示している．また，図 4 において，作品間の高さの違いを把握し易くする目的で，作品 No.4 の枝 B の高さを破線の水平線で示す．講師は比較的枝先が高い，y 座標が大きい作品に修正を加えているが，作品 No.4 は作品 No.7 よりも y 値が大きいにもかかわらず修正されていない．作品 No.4 は高い位置にはあるが，図 4 で示されるように，作品 No.7 と比較して，枝が撓められ，右方向に張り出している．この比較から，講師は単に枝の高さだけでなく，右への張り出し具合にも着目していると考えられる．図 6 中の赤の破線は原点 O 及び作品 No.7 の点を通る直線であるが，No.4 の枝の傾きは，傾きが 1.27 の No.7 や，それよりも傾きが大きい No.11 よりも小さい．したがって枝 B の適正範囲の評価には枝先の高さに加え，枝の傾きも用いる．

また，枝の x 座標についても許容範囲は広いと考えられる．以上を勘案し

$$w < x < 2w \ \wedge \ y < 1.5w \ \wedge \ 1.2 < \frac{y}{x} \tag{8}$$

を枝 B の適正値の指標とする．枝 B の高さは枝 A の半分程度という目安が示されているが，これとも合致している．なお，枝 B の高さを低くするためには強い撓めが必要であり，低くなりすぎることは現実には起こらないと考えてよい．

3.5　枝 C に関する指標

枝 C については，講師の指示で用いられている三角形 ABC の形状に着目する．この場合は，正面から観察した状態を重視する枝 A 及び枝 B とは異なり，作品を俯瞰して観察したときのバランスも初級者にとって重要であるため，3 点 A，B，C の 3 次元座標値を用いる．実際の作品において，これらの 3 次元位置を正確に把握することは困難であるが，いけばな VR においては容易に取得できるので，VR 教材上での作品評価も容易である．

頂点 C の辺 AB への正射影（点）を D として，r_1 = AD/AB 及び r_2 = CD/AB の 2 つの変量を用いる．前者は頂点 C が頂点 A と頂点 B のどちら寄りかという指標となる．後者は辺 AB を底辺としたときの三角形の底辺に対する高さの割合である．これは，粒子形状の分析においてアスペクト比と呼ばれ，代表的な特徴量として用いられている．**図 7** に 11 作品の変量 r_1 及び r_2 の値を示す．赤の破線は作品 No.1 の三角形の形状を示している．点 (0,0) が点 A，点 (1,0) が点 B に対応する．点 C は線分 AB に対して B 寄りで，他のサンプルと大きく離れている右上の 1 サンプルを除けば辺 AB を底辺とする三角形 ABC の高さが底辺の 3 割〜7 割程度に収まっている．したがって

$$0.5 < r_1 < 0.8 \ \wedge \ 0.3 < r_2 < 0.7 \tag{9}$$

を枝 C の適正値の指標とする．

表 2　枝の位置に応じて表示するメッセージ
Table 2　Messages displayed relative to the branch's position

枝 A	$x < -w$: Too Left	$x > -0.25w$: Too Right
	$y < 2w$: Too Short	$y > 3w$: Too Long
	else: Good Position	
枝 B	$x < w$: Too Short	$x > 2w$: Too Long
	$y > 1.5w \wedge y/x > 1.2$: Too High	
	else: Good Position	
枝 C	$r_1 < 0.5$: Too Left	$r_1 > 0.8$: Too Right
	$r_2 < 0.3$: Too Near	$r_2 > 0.7$: Too Far
	else: Good Position	

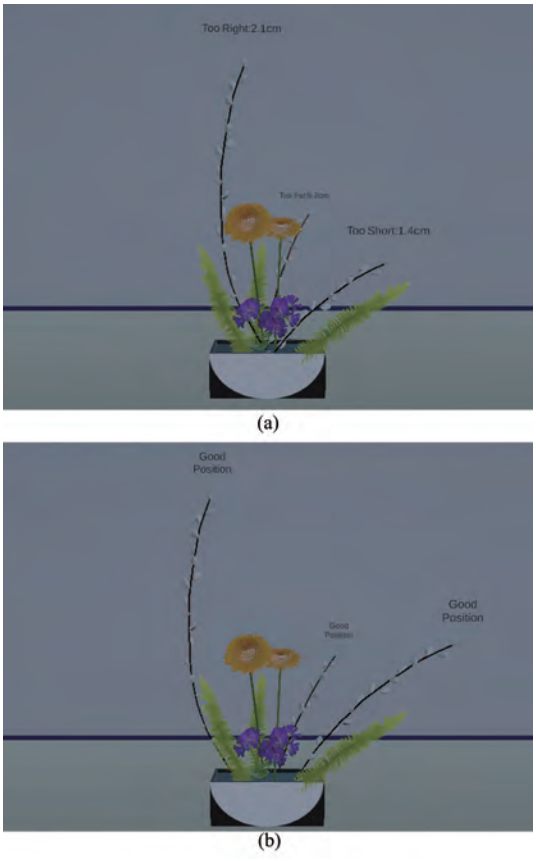


図 8　いけばな VR 内での作品評価表示の効果: (a) 初級者による作成例 (b) 評価結果を参考にして修正を加えた状態
Fig. 8　Effectiveness of work evaluation displayed within Ikebana VR: (a) Example of creation by a beginner (b) State with modifications made based on the evaluation results

3.6　VR 教材への応用

前節までに求めた花材レイアウトの適正値をいけばな VR に反映させた．**表 2** に示すように，各枝の評価結果を文字で表示するとともに，適正な値でない場合は，適正値を超えた量を示している．枝 C については，三角形 ABC に関する変量 r_1 及び r_2 を用いた評価を行っているが，枝 A 及び枝 B と一貫性をもたせた表示とするために，r_1 及び r_2 の値を cm 単位の実寸に換算し，表示している．

本来ならば，3 本の枝すべてについて，x，y，及び z の各方向で評価結果を提示すべきであるが，ここでは初級者を対象とすることを考慮し，各枝を 2 方向に限定した単純化した提示を行っている．枝 A 及び枝 B については正面から観察した 2 次元的配置である x 及び y の 2 方向，枝 C については，枝 A 及び枝 B の修正後に頂点 C の x 及び z の値の変更によって三角形 ABC の形状を調整することを想定し，これら 2 方向の評価を提示している．

図 8 は初級者がいけばな VR でいけた作品であるが，修正前の (a) では，ネコヤナギの枝間の間隔が狭く，作品全体の広がりが不足しており，他の花材の配置が窮屈な印象となっている．(b) はその後，この初級者が枝 A，B，及び C の上部に表示された評価結果をガイドとして修正を加えた結果であるが，ネコヤナギの枝の間隔を広げると共に，左右対称に近い配置が，左右非対称で右方向に流れるような自然美を強調する配置に改善されている．このように今回提案した教材を用いて，初級者が作品を自身の力で修正することを繰り返すことにより，いけばなの効果的な学習が期待できる．

なお，実物の花材では，(a) の作品内で短く切りすぎた枝 B を，(b) の作品のように元の長さに戻すことはできない．そのため，初級者は教室で実物の花材を切断する際に躊躇し，結果として適正な長さよりも長めに切断する傾向がある．そこで，いけばな VR では，制作のどの段階においても任意の花材を復元できる機能を提供することにより，切断された花材の剣山に挿された状態での長さを把握する訓練を初級者に反復させ，教室で実物の花材を扱う前に適正な長さに切断する感覚を身につけることを可能にしている．これにより対象者の技能向上が促進されるとともに，花材を無駄にしてしまうことによる失望感の抑制にも寄与するため，初級者教育において有効であると考えられる．

4. む　す　び

本研究では，いけばなの習熟者がいけた作品のサンプルから，花材レイアウトに関する適正値の範囲を定め，それを初級者がいけた作品の評価に用いることにより VR 教材を制作する手法を提案した．いけばな教室で本教材を併用することにより，いけばなを習い始めた初級者に対し，より効果的な学習環境を提供することが期待できる．今回の実験では得られたサンプル数が少数であり，評価手法の十分な評価には至っていないが，教材の基本的な機能は実現できたと考えられる．本教材の有効性については，今後大規模な実験の機会を設け，追加実験を行っていく予定である．また，今回は Unity における通常のレンダリング機能 (URP) しか用いておらず，CG によるいけばな作品の質感が実物に比べて見劣りする結果となっている．この点に関しては，今後，VR 教材でいけ終わった後にフォトリアリスティックレンダリングによって作品を鑑賞できる機能を追加することでモチベーションの維持に寄与できると考えている．

(2024 年 10 月 31 日 受付)
(2025 年 2 月 18 日 再受付)

謝　　辞

本研究を進めるにあたり作品制作の調査にご協力いただいた華道家元池坊 太田ひろ子いけばな教室の皆様，また，日頃より熱心にご討論いただく研究室の皆様に深く感謝申し上げます．さらに，本稿を注意深くお読みいただき，適切な助言を賜りました二名の匿名査読者の方々にも，心より御礼申し上げます．

参 考 文 献

1) 今井孝司:“いけばなにおける沈滞要因の考察（１）いけばな史における考証”, 京都精華大学紀要, No.17, pp.116–132 (1999).
2) 文化庁 地域文化創生本部事務局, 生活文化調査研究事業報告書（華道）（令和２年度）, https://www.bunka.go.jp/tokei_hakusho_shuppan/tokeichosa/seikatsubunka_chosa/ (2021).
3) 華道家元池坊, 公式サイト, https://www.ikenobo.jp/ (2024).
4) 宮崎彩乃, 太田ひろ子, 岩崎公弥子, 浦田真由, 遠藤守, 安田孝美:“華道教室のためのいけばな VR”, Proc. of NICOGRAPH 2023, E-3 (2023).
5) 文化庁, 伝統文化親子教室事業, https://www.oyakokyoshitsu.jp/ (2024).
6) 草月流, ビービーメディア株式会社, IKEBANA VR EXPERIENCE, https://kiq.ne.jp/works/posts/190 (2018).
7) 小原流, 南国アールスタジオ株式会社, 日本マイクロソフト株式会社, Ikebana*times*Technology, https://ikebana-naota.org/settle/ (2020).
8) 向井信彦, 高良沙矢佳, 瀬川綾, 中川真志, 小杉信:“力覚提示装置を用いたいけばな練習システムの試作”, 映像情報メディア学会誌, Vol.64, No.10, pp.1510–1515 (2010).
9) N. Mukai, M. Yanagisawa, Y. Chang:“Japanese Flower Arrangement Simulator Considering Deterioration of Flowers”, Proc. of the 25th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2023), pp. 609-–615 (2023).
10) 黄平国, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司:“分散仮想環境における香りの動的出力タイミング制御のユーザ体感品質評価”, 映像情報メディア学会誌, Vol.66, No.12, pp.J495–499 (2012).
11) 横窪安奈, 加藤祐二, 薬師神玲子, 椎尾一郎:“TracKenzan: トラックパッドとタッチペンを用いたいけばな練習システムの提案と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.11, pp.2006–2018 (2019).
12) 株式会社ファイン, 華道 VR, https://www.meta.com/ja-jp/experiences/6580845638650370/ (2023).
13) VRC 茶道部, VR Ikebana Exhibition 2024, https://vrchat.com/home/launch?worldId=wrld_d2284169-c234-4dc0-94a7-cb853155f178 (2024).
14) 是永基樹, 萩原将文:“対話型進化計算法によるフラワーレイアウト支援システム”, 感性工学研究論文集, Vol.4, No.2, pp.81–88 (2004).
15) 横窪安奈, 椎尾一郎:“CADo：身近な花材を利用した生け花支援システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.4, pp.1246–1255 (2014).
16) 池坊由紀, 高井由佳, 後藤彰彦, 桑原教彰:“いけばな作品評価アンケートによる未経験者と熟練者の見極めの比較 - いけばな実作と写真を用いて - ”, 日本感性工学論文誌, Vol.13, No.1, pp.307-–314 (2014).
17) 宮崎彩乃, 太田ひろ子, 岩崎公弥子, 浦田真由, 遠藤守, 安田孝美, 山田雅之:“VR 環境を用いたいけばな教育のための作品評価に関する研究-線要素レイアウトの評価への影響-”, 情報文化学会誌, Vol.26, No.1, pp.11–18 (2019).
18) A. Miyazaki, H. Ota, K. Iwazaki, M. Urata, M. Endo, T. Yasuda, M. Yamada:“Curving Leaves in VR Ikebana”, Proc. of IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), pp.622—625 (2019).

宮　崎　彩　乃（学生会員）
2019 年 金城学院大学大学院文学研究科博士前期課程修了．現在 名古屋大学大学院情報学研究科博士後期課程 在学中．VR を華道教育に応用する研究に従事．修士（社会学）．画像電子学会，芸術科学会，情報文化学会各会員．

太　田　ひろ子
一般財団法人池坊華道会 理事 兼華道家元池坊名古屋支部 最高顧問．幼少の頃から茶道や華道に親しんできた経験を活かし，日本が世界に誇る心の文化の継承活動に従事．

岩　崎　公弥子
2002 年 名古屋大学大学院人間情報学研究科満期単位取得退学．2004 年 金城学院大学現代文化学部講師，2007 年 同准教授，2010 年 同大大学院文学研究科准教授，2012 年 同大国際情報学部准教授，2015 年 同教授，現在に至る．科学館や水族館と連携したデジタル教材や展示物の開発など，e-Learning に関する研究に従事．博士 (学術)．

浦　田　真　由
2011 年 名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了．同年 同大学院国際開発研究科助教，2017 年 同大学院情報学研究科講師，2021 年 同研究科准教授，現在に至る．2017 年より総務省地域情報化アドバイザー，2019 年よりデジタル庁（旧：内閣官房）オープンデータ伝道師を務め，産官学連携によるオープンデータ推進やデジタル技術の社会実装に関する研究に従事．博士 (情報科学)．

遠　藤　　守
2003 年 名古屋大学大学院人間情報学研究科修了．同年 中京大学情報科学部講師，2008 年 同大情報理工学部准教授，2013 年 同大工学部准教授，2014 年 名古屋大学大学院情報科学研究科准教授，2017 年同情報学研究科准教授，現在に至る．博士 (学術)．

安　田　孝　美
1987 年 名古屋大学大学院工学研究科修了．同年 同大工学部助手，1993 年 同大情報文化学部助教授，2003 年 同大大学院情報科学研究科教授，2017 年 同情報学研究科教授，2025 年 金城学院大学特命副学長，現在に至る．1990 年 市村賞学術貢献賞，1995 年 科学技術庁長官賞．日本工学アカデミー，芸術科学会等各会員．

IIEEJ 論文 -- VR/AR における画像電子関連技術論文特集 --

メタバース空間内における多地点立体音響配信システム

工 藤 聖 央† (学生会員)　竹 中 誠 人‡　丸 山 充‡ (正会員)

†神奈川工科大学 創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科
‡神奈川工科大学 情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科

Multipoint Stereophonic Distribution System for Metaverse Space

Tsukasa KUDO† (***Student Member***), Masato TAKENAKA‡, Mitsuru MARUYAMA (***Member***)‡

†Department of Home Electronics Development, Faculty of Creative Engineering, Kanagawa Institute of Technology
‡Department of Information Network and Communication, Faculty of Informatics, Kanagawa Institute of Technology

〈**あらまし**〉 VR 技術の発展に伴い，「メタバース」と呼ばれるインターネット上の仮想空間において，ストリートライブやライブハウスでのバーチャル演奏を体感できる音楽イベントが普及し始めている．しかし，臨場感のある視覚情報とは対照的に，メタバース空間で広く使用されている音響情報は一般的にモノラルやステレオにとどまり，配信の遅延についても考慮されていないため，没入感が大きく損なわれていた．本稿では，既存のメタバースプラットフォームである VRChat と統合しながら，演者からの音響データを立体音響処理サーバでサラウンド変換し，多地点配信サーバを用いて多数のクライアント端末に配信することにより，メタバース映像と共に臨場感のある音響情報を聴取可能なシステムアーキテクチャを提案する．提案アーキテクチャに基づくプロトタイプを実装し，システム内遅延が 100ms 以下である事を確認したほか，同システムを公開イベントや展示実験の場で検証した．

キーワード：VR，メタバース空間，立体音響，多地点配信，メタバースプラットフォーム，VRChat

<Summary> With the development of virtual reality (VR) technology, live street concerts and live music events in virtual spaces on the Internet, known as metaverses, have been started. However, in contrast to visual information that provides a sense of presence, the acoustic information widely used in metaverse spaces is generally delivered in monaural or stereo forms, with no consideration of delay, which significantly impairing the sense of immersion. In this study, we propose a system architecture that integrates VRChat, an existing metaverse platform, to enable the listening of realistic acoustic information along with metaverse images by converting acoustic data from the performer to surround sound using a stereophonic acoustic processing server and distributing it to client terminals using a multipoint distribution server. A prototype based on the proposed architecture was implemented and verified to have an intra-system delay of less than 100 ms, and the prototype was verified at public events and exhibition experiments using a prototype.

Keywords: VR,metaverse, space, stereophonic acoustic, multipoint distribution, metaverse platform, VRChat

1. はじめに

近年，VR(バーチャルリアリティ)技術の発展に伴い，これまでにない視覚的臨場感を身近に体験することが可能となった．なかでもメタバース [1]と呼ばれるインターネット上の仮想空間において，ストリートライブやライブハウスでのバーチャル演奏を体感できる音楽イベントが普及し始めている．これにより，従来は現実でそのような場を経験したことのない演者や観客も気軽にライブ演奏を楽しめるようになってきている．しかし視覚的な臨場感とは対照的に，メタバース空間で広く使用されている音響情報は，演者から奏でられる音源に空間音響技術を用いず，モノラルやステレオで配信するのが一般的である．また，配信遅延時間についても考慮されていないこともあり，没入感は大きく損なわれている．

本研究の目的は，既存のメタバースプラットフォームを活用しつつ，リアルタイムで多数のクライアントがメタバース映像とともに臨場感のある音響情報を聴取できるシステムを目指す．同時に，演者は現実の生演奏と同様にメタバース空間のスピーカからのモニタ音源を聞きながら違和感なく演奏できる低遅延性を具備したシステムを提案することである．

現状，メタバースプラットフォームとしては，米国の VRChat Inc. が 2014 年に発表し，2017 年に Steam [2]環境に対応した VRChat [3]が，世界最大のソーシャル VR プラットフォームとして知られている．その後，国内からも続々とプラットフォームが提案され，ライブ志向のものとしては REALITY [4]，DOOR [5]，XR CLOUD [6]，αU [7]，XR World [8]などが登場している．実際のライブ配信の実例としては，VRChat を用いた SANRIO Vfes [9]や TBS META=KNOT [10]，ゲーム志向の

Fortnite[11]のプラットフォームを使ったバーチャルライブ，ブロックチェーンを活用した Decentraland[12]のプラットフォームによる音楽フェスティバルなどがある．

しかしながら，2023 年 2 月に筆者らが VRChat 内のイベントでクライアント 80 人への立体音響配信に初めて成功するまで，立体音響での配信実例は見当たらない．

本稿では，誰でも臨場感のある音響を聴取可能なシステムを既存の VRChat に統合した形態として提案する．本システムは，演者から送出されるステレオ音源に対し，音響技術により立体感がある音響に変換し，メタバース空間のクライアントへ低遅延で臨場感ある演奏を届けることを可能とする．

本提案の多地点立体音響配信システムは，様々な演者の方が既存の配信方法を変更せずに利用可能であること，及び演奏イベントによって大きく変動するクライアント数に対しても安定的な低遅延配信の実現ができること，クライアント端末に面倒な操作なくインストールして利用可能とすることを目指す．

本稿では，2．において，多地点立体音響システムの構成に関わる課題を整理し，3．で課題に配慮したシステムのアーキテクチャを提案する．4．において提案アーキテクチャに基づいたプロトタイプシステムの構成と基本評価を示し，5．で様々な広域網を使った実証実験を紹介する．6．でまとめ及び今後の課題について示す．

2. 多地点立体音響配信システム構成の課題

現在，VRChat に対応した映像，音声リアルタイム配信システムとしては TopazChat[13]があり，VRChat の配信サービスのデファクトスタンダードになっている．TopazChat は 2Mbps までの映像と 2ch ステレオ AAC 圧縮 320Kbps までの音声を 1 秒未満の遅延で配信可能である．TopazChat を用いたこれまでの楽曲生演奏では，ステレオ品質の楽曲を端末のスピーカまで配信するための End to End 遅延は約 1 秒であり，低遅延性と臨場感の両面で難があった．

ここでは，多地点立体音響システムの実現に向けた課題を整理する．

(1)メタバースプラットフォームにおける立体音響処理機能

立体音響に関連する既存処理技術としては，VR 空間におけるサラウンド多チャンネル化するシステム提案がある．例えば，YAMAHA が開発している仮想立体音響 Sound XR[14]は，VR を基盤にローカルでの動作がメインになるため，メタバース空間への適用は想定されていない．また，Sound XR は，各クライアント端末で立体音響処理を行うため，個々のマシン性能によっては再生できない可能性もある．

関連して，高負荷な立体音響処理をどこで実現するかの課題がある．

(2)様々な配信クライアント規模へ対応する多地点配信機能

演奏イベントにアクセスする配信クライアント端末数は，イベントごとに数十人から数千人規模と幅が広いので，多地点配信機能は配信数に対応した帯域や低遅延性を有するネットワークが必要である．多地点配信機能は，配信規模によって設置場所を変更できるよう，立体音響変換機能とは分離した構成が適切であると考えられる．

また，セキュリティに関する配慮も必要である．多地点配信機能はメタバース空間内における全世界のクライアントに向けて音と映像を伝送するため，パケットキャプチャツールなどを用いることで IP アドレス及びストリームキーが第三者に容易に取得され得る状態であるので，乗っ取り配信などへの対策が不可欠である．

(3)メタバースプラットフォームに統合化されたクライアント端末環境

既存のソーシャルメタバースプラットフォームの多くのクライアント端末に面倒な操作なくインストールして利用可能にするため，統合化できる工夫が必要である．

多くのクライアントが利用することで，開発段階では様々なクライアント環境下でのフィードバックを得ることができ，システム改善に反映することができる．このようなフィードバックサイクルを生み出すことで，システム更新へのモチベーションの維持や，今後の新しい利用シーンへの展開が期待できる．

3. 提案システム

本章では，2．の課題を踏まえ，メタバース空間でアドオン可能な多地点立体音響配信システムを提案する．これまでのネットワークで接続されたメタバース空間での音声配信は，クラウドで処理を行いクライアントに配信する構成になっている．これをそのまま踏襲して，クラウドで立体音響処理を行うと処理能力不足により，リアルタイム性を損なう可能性があるため，立体音響処理および配信処理をメタバースプラットフォームと独立したサーバ環境で実行することとした．また，配信クライアント数の増減に対応するために，立体音響処理サーバと多地点配信サーバを分離し，多地点配信サーバは配信数に応じたネットワーク環境に接続する．

図 1 に示すように演者の演奏する楽曲をバイパスし立体音響処理サーバで 6ch または 8ch へサラウンド化し，多地点配信サーバ経由でメタバースプラットフォーム内の多地点のクライアント端末に別経路で配信するシステム構成を採用する．これにより，VRChat のクラウドの処理遅延に左右されず，低遅延かつ安定配信を実現できる．さらに，視聴者数に応じた処理能力を有する多地点配信サーバの選択が可能な他，配信数や遅延条件に応じた様々な広帯域ネットワークインタフェースや配置箇所を柔軟に変更することが可能である．

本システムの到達目標は，400～600 端末に向けて，遅延を 100ms 以下に抑えて配信することとした．低遅延 IP 音声伝送の一つの基準として MOS 値[15]と呼ばれる IP 電話における総

合品質評価があり，最高クラスであるクラス A の許容遅延は 100ms 以下でありこれを踏襲した．またこの低遅延性能があれば，リアル空間でのコンサートのようにマイクで発した音をメタバース上のモニタースピーカを通して自身の耳で確認しながら演奏できる環境が提供できる．

以下，各機能についてまとめる．

(1)立体音響処理サーバの構成

立体音響処理サーバでは，演者より配信された楽曲の音源を受信し，ノイズ除去とミキシング及び立体音響であるサラウンド化の処理を行う．演者からの音源配信は，既存の TopazChat でサポートしている全ての入力フォーマットに加えて，より低遅延な VBAN [16](VB-Audio Network)等をサポートした．このため，演者の方が既存の配信方法を変更せずに利用可能である．

サラウンド化を行う DAW (Digital Audio Workstation)は市中のソフトウェアである Reaper [17]を使用している．市中ソフトウェアの中で多チャンネルを使用して音源を変化させる唯一の DAW ソフトであることから，本ソフトウェアを採用した．また音源の位相やイコライザーを調整し，演者の音補助を行う目的で，VST (Virtual Studio Technology)と呼ばれる DAW 上で使用するエフェクトプラグインを使用した．VST には，Waves [18]や iZotope [19]などさまざまな市中プラグインソフトがあるが，本システムでは iZotope を採用している．理由としては，他の VST と異なり，AI による分析機能により音源を忠実性のある音へと変化させる機能と，演者の音補助としてリアルタイム分析をしながら声のピッチなど調整できる機能が備わっているためである．

AI を使用しリアルタイムで音を分析していることにより，立体音響処理サーバに処理負荷がかかるので，GPU 搭載かつ処理速度の速い CPU 搭載のサーバ環境が必須となる．

次に，立体音響処理サーバの論理構成を図 2 に示す．演者からのステレオ音源を VB-Audio Matrix [20]と呼ばれる仮想オーディオルータを経由して DAW に伝送し，DAW で多チャンネル化を行い，仮想オーディオルータを経由して OBS [21](Open Broadcaster Software)で配信を行う．OBS はオープンソフトウェアであり，YouTube のライブ配信や，ゲーム画面の録画などに幅広く使用されている，ストリーミングと録画を兼ね備えたソフトウェアである．

OBS を採用した理由は，多チャンネル(6ch or 8ch)での音源伝送を RTSP (Real Time Streaming Protocol)で行うことができるためである．演者からの音源は全て 48KHz 16bit（ロスレス）で伝送されており，最終的に OBS から多地点配信サーバに送信される配信ビットレートは 10Mbps 前後となる．

上記の提案は，一般的なメタバースプラットフォーム共通に適用可能な構成であるが，以下は VRChat 独自のメタバース空間で立体音響を生成するための工夫点をまとめる．

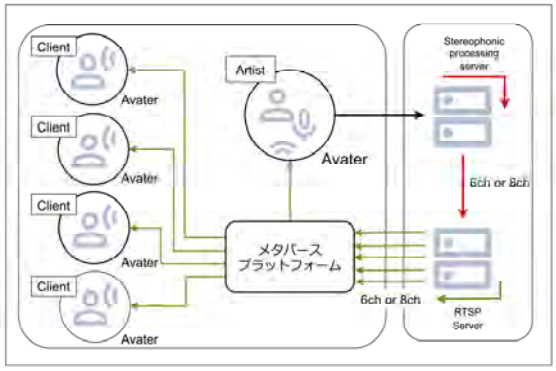


図 1 立体音響多地点配信システムの全体構成

Fig.1 Overall configuration of the multipoint stereophonic distribution system

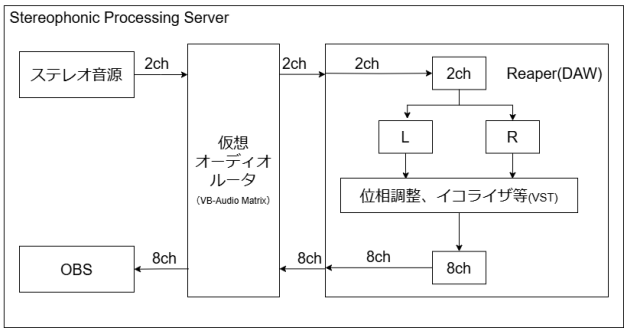


図 2 立体音響処理サーバの論理構成

Fig.2 Logical configuration diagram of a stereophonic processing server

・既存のスピーカサラウンド配置をベースに現実では置くことが出来ない壁の裏や床下などに配置し，より臨場感を高める音作りを行う．

・ゲームエンジン上ではスピーカから出た音が壁に跳ね返る残響音の表現ができないので，疑似的に残響音を出すスピーカ（チャンネル）を作成し，後方に配置する．

・最終的な音作りにおいては，実際にクライアント端末と同じ環境でメタバース内に入り，歩き回りながらリアルタイムで音の調整するフィードバックが有効である．このために，Chrome リモートデスクトップなどのリモートアクセスソフトを使用して立体音響処理サーバに接続して最終的な細かな音の調整を行う．

(2)多地点配信サーバの構成

本サーバは，立体音響処理サーバから OBS 経由で受信したストリームを多数のクライアント端末に配信する機能を持つ．受信側のクライアント端末における VRChat は外部からのライブ映像を再生する際に AVpro Video Player [22]と呼ばれる再生プレイヤを採用している．そのため，通信プロトコルは RTSP もしくは RTMP (Real Time Messaging Protocol)，HLS (HTTP Live Streaming)に限定される．その中で今回は，多チャンネル配信が可能な RTSP を採用し，配信サーバ機能には

Mediamtx [23]と呼ばれるソフトウェアを使用している．また RTSP は TCP (Transmission Control Protocol)による通信の安定性を確保することができる点と，通信速度を計測した際に RTMP より RTSP の方が伝送速度が速いことも優位点としてあげられる．

また，多地点配信サーバを分離したことによるセキュリティ対策のために，**図 3** に示すように特定の立体音響処理サーバからのみ RTSPS (RTSP over SSL)を受信し，広域ネットワークを用いて RTSP で多地点へのクライアント端末へ配信を行う機能が必要である．多地点配信サーバの RTSP サーバ部の OBS 用の入力専用ポートとクライアントからの入力専用ポートの番号は乗っ取り防止のために別々に割り当てを行う．これにより，クライアント端末からは多地点配信サーバ側の入力ポートの情報は秘匿することができ，配信をクライアント側ポートから同じストリームキーで入力しようとしてもセッションを張ることができないようになる．さらに，OBS 側の入力専用ポートに SSL (Secure Sockets Layer) の暗号化を利用することにより，ネットワーク上での情報乗っ取りが防止できる．

(3)メタバースプラットフォームと統合したクライアント端末

クライアント端末は，AVpro Video Player を介して多地点配信サーバからの立体音響データを直接受信できる仕組みを新たに付加する．これを実現するために，クライアント端末が VRChat のワールド上の API からクライアント端末のグローバルアドレスを多地点配信サーバに通知することで，多地点配信サーバから対外接続用ポートで直接クライアント端末に送信することができる．また，VRChat 標準の SDK [24] (Software Development Kit)に同梱されている VRC Special Audio Source と呼ばれる距離減衰を表現するプラグインを利用することにより，メタバース空間内に設置されたスピーカからクライアントのアバターとの距離を自動的に演算し，音量調整がかけられたサラウンド楽曲をリアルに視聴可能とする．

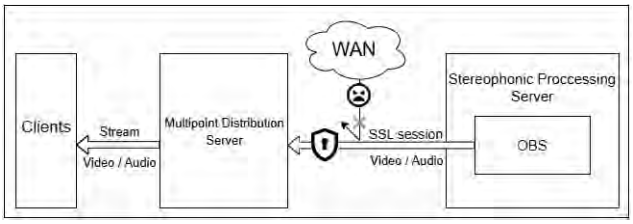


図 3 多地点配信サーバのセキュリティ構成

Fig.3 Security configuration diagram of multipoint distribution server

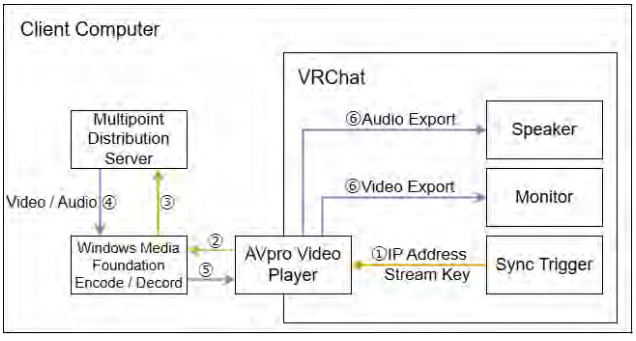


図 4 VRChat クライアント端末の構成

Fig.4 VRChat client terminal configuration

図 4 は，クライアント端末側からのトリガにより IP アドレスの通知及び，それに基づく多地点配信サーバからの立体音響伝送と端末で受信したデコード処理の手順を示す．VRChat では AVproVideo というプラグインで動画再生を行う．さらに，AVproVideo は Windows Media Foundation [25] という Windows OS の標準 API を介して受信を行う．今回新たに，クライアント端末の IP アドレスを通知するために，メタバース空間上に SyncTrigger ボタンという押下ボタンのようなギミックを実装した．それをクライアントが押すことによって①IP アドレスが多地点配信サーバに②，③を介して通知される仕組みになっている．その結果，多地点配信サーバから立体音響データが④で受信され，⑤で VRChat ワールドに統合され⑥で再生される．またクライアント端末の設定により SyncTrigger ボタンを押さなくても自動的に IP アドレスを RTSP サーバに通知することもできる．

4. プロトタイプシステムと基本性能評価

4.1 プロトタイプシステム

本節では，3. で提案したアーキテクチャに基づいたプロトタイプシステムについて示す．現在の立体音響処理サーバは**図 5** に示す市中の GPU 内蔵デスクトップパソコンを使用しており，**表 1** に諸元を示す．また，多地点配信サーバの諸元を**表 2** に示す．

使用 OS は立体音響処理サーバと多地点配信サーバ共に Windows Server 2022 を採用している．その理由としては，立体音響処理サーバでは市販の Windows 用の DAW ソフト Reaper と DAW プラグインソフト iZotope を使用して変換を行うためである．また，多地点配信サーバで Windows Server 2022 を採用した理由としては，配信遅延に関する予備的な評価において Windows Server Core 2022 Datacenter と Ubuntu Server 24. 04 LTS の 2 つの OS で動作させたところ，Windows Server Core 2022 Datacenter の方が 50ms～100ms ほど低遅延で

図 5 立体音響処理サーバ

Fig.5 Stereophonic processing server

表 1 立体音響処理サーバの諸元

Table.1 Surround sound processing server specifications

CPU	Intel(R) Xeon(R) W9-3475X
GPU	NVIDIA RTX 6000Ada Generation
MB	ASRock W790 WS
RAM	DDR5-4800MHz 512GB
DISK	SATA SSD 256GB
LAN	Intel(R) X520 10Gigabit Ethernet

表 2 多地点配信サーバの諸元

Table.2 Multipoint distribution server specifications

CPU	CPU Intel(R) Xeon(R) Gold 6138 x2
MB	HA8000V/DL360 Gen10
RAM	DDR4-2666MHz 288GB
DISK	M.2 NVMe 1TB
LAN	Mellanox ConnectX-4 100Gbit Ethernet

あることが実験より明らかになった為である．OS による処理遅延差が生じる理由に関しては今後解析を行う予定である．

4.2 プロトタイプシステムの基本性能評価

本節では，演者からの入力音源を立体音響処理サーバで処理を行い，多地点配信サーバを介した配信データをクライアント端末の VRChat が再生するまでの処理遅延性能を評価する．本評価には，入力音響データとして単発のクリック音を用い，複数の観測ポイントでの波形を観測することで，遅延を測定する方法を採った．

図 6 は本評価に用いた論理構成図である．なおこの計測は立体音響処理サーバと多地点配信サーバを同一ネットワークセグメントで接続することにより伝送遅延が入らない状況で実施し，クライアント端末の VRChat を立体音響処理サーバ内の別プロセスとして実行した．①の入力音を基準値として，②が立体音響処理サーバでの音響処理後の波形を示し，③が音響処理後に OBS から RTSP で配信し，多地点配信サーバ経由で VRChat のプロセスで受信した後の波形を示す．

評価実験の結果，図 6 にある録音で受けた音データが図 7 になる．録音には Audacity [26]というソフトを使用し，それぞれのクリック部分から出力された波形をまとめて表示した．①音源入力から②立体音響処理後までの処理時間は 17ms であり，①音源入力から③RTSP を用いて多地点配信サーバ経由でクライアント端末の VRChat で再生されるまでの伝送遅延が 66ms であった．

本評価実験により，ローカルネットワーク環境下において，立体音響処理サーバでの遅延と多地点配信サーバの配信遅延が当初目標の 100ms 以下の性能を持つことが明らかになった．

上記のように構成した本プロトタイプシステムの特徴を以下にまとめる．

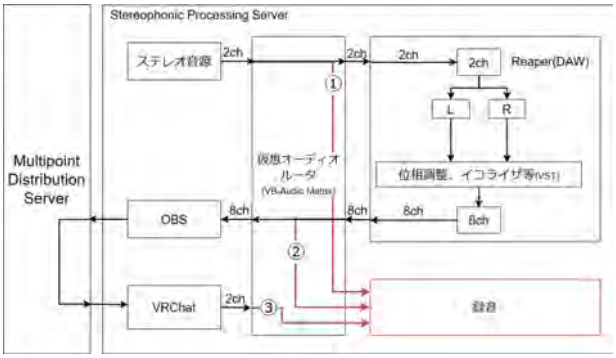


図 6 音遅延計測における論理構成

Fig.6 Logic diagram in voice delay measurement

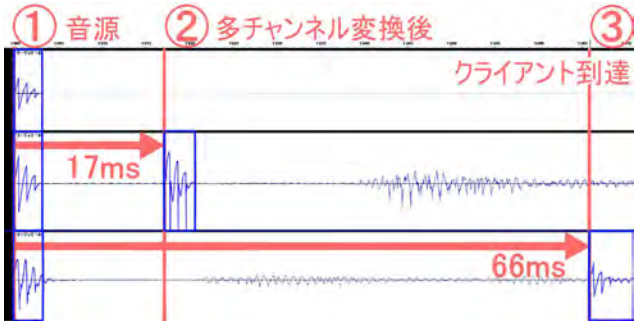


図 7 音響遅延の測定と評価

Fig.7 Sound delay measurement and evaluation

- 立体音響処理サーバでサラウンド化を行うために，楽曲を提供するアーティスト側の録音環境に左右されにくい上，ライブ PA (Public Address)のようなミキシングの調整がリアルタイムで可能．
- 多地点配信サーバを分離することにより，視聴者数の増減に応じて様々な広帯域ネットワーク環境に設置することが可能．
- クライアント端末側では立体音響を再生するために追加のソフトウェアをダウンロードする必要がないので，VRChat の参加者は，気軽にサラウンド化により高臨場感が体感できる．
- 配信遅延の観点では，既存で普及している TopazChat ではクライアント端末に到達するまで約 1000ms 要するのに対し，本提案の立体音響処理サーバと多地点配信サーバを通してクライアント端末に到達するまでの基本性能は 100ms (0.1s)以下を達成している．

5. プロトタイプを用いた実証実験

プロトタイプを用いた実証実験では，クライアントが高臨場感の音響体験ができるように様々な観点で実験を行った．

(1) 全国のクライアント端末に向けた伝送実験

(2) 展示会場のクライアント端末への伝送実験

(3) 複数の演者による音響データを用いた圧縮配信実験

※インターネット帯域の制限により，圧縮音声での実験

(4) 立体音響処理サーバの 32ch 多重化と 8K メタバース映像の配信実験

それぞれの実証実験で得た知見を紹介する．

5.1 全国のクライアント端末に向けた伝送実験

2023 年 2 月に本提案システムを使用した最初の実証実験では，自宅の宅内の同一セグメント内に立体音響処理サーバと多地点配信サーバを接続し，フレッツ光の一般回線を用いて VRChat 内のイベントで 80 人のクライアントに配信することができた．しかしながらベストエフォート式回線では，帯域幅保証がないので，クライアントとのネットワーク相性等によっては大規模な配信において音飛びや音が聞こえなくなる事象が発生した．

これを受けて，2023 年 7 月に立体音響処理サーバと多地点配信サーバを物理的に分離したシステムを構築した．多地点配信サーバを国立情報学研究所(NII)が提供する学術ネットワーク SINET6 に 100Gbps の帯域で接続している神奈川工科大学の実験ネットワークに設置して配信実験を実施した．この実験は，全国のクライアント端末に向け無圧縮 8ch 音源に加え，演者紹介用の HD 画質の圧縮映像を用いて 1 台あたり 10Mbps での伝送を約 2 時間行った．広帯域なネットワークを使うことにより，合計 185 人へのクライアントに伝送することができ，多地点配信サーバによる RTSP を用いた多地点配信が安定的に可能であることを本実験で確認することができた．しかしながら，クライアント端末への配信には，ハードウェアやネットワークなどさまざまな要因により，トータルで 370ms ほどの音響遅延が発生しているため，今後，クライアント端末の性能と遅延の関係を追求する．

音響設計では，出演者の演奏の聞きやすさと音の反響を含めた音場表現をメタバース空間内で試聴を重ねながら独自に調整を行った．また，多地点立体音響配信システムの評価のために，イベント終了後の一般ユーザーのクライアント向けに行ったアンケートでは，「音質と空間表現の効果」への質問に対し，回答者 15 名で，5 段階中平均 4.47 と好評であった．この結果から立体音響配信の有効性が確認できたといえる．

5.2 展示会場のクライアント端末への伝送実験

2023 年 12 月に実施された XR の展示 XRKaigi2023[27]では，立体音響に変換されたクライアント端末の展示実験を行った．当日用いた音源及び立体音響処理サーバ，多地点配信サーバは，神奈川工科大に設置したものを利用した．

会場内のフリーWi-Fi の不安定さを考慮し，国立情報学研究所（NII）が提供するモバイル SINET を使用して大学環境と端末を閉域網接続した．

モバイル SINET は，5G や LTE 経由で接続するが ISP を経由しないので，セキュリティとバンド幅の確保が可能であるという特徴を持つ．展示会場と大学間を「NEC IX2207」を使用しモバイル SINET を介して EtherIP(RFC3378)[28]でのレイヤ 2 VPN トンネルで接続し，大学内の多地点配信用サーバに接続した．当日は，Softbank5G エリア内で安定した 80Mbps 以上のスループットと，ほぼゼロのパケットロスを実現し，端末側で必要とする 10Mbps の再生デモを行うことができ，様々な方に本システムを体感いただいた．本展示の結果，XRkaigi Award 2023 U-25 ヤングスター部門 最優秀賞の受賞に繋がった．

5.3 複数演者からの音響データを用いた圧縮配信実験

2024 年 6 月に，北海道大学から複数の演者からの音源伝送実験を行った．この実験は，リアルタイムで複数の演者からの音源を神奈川工科大に設置した立体音響処理サーバに伝送し，サラウンド処理をしてから多地点配信サーバ経由で全国多地点にわたり配信することを目指した．

具体的には，北海道大学から 5.2 で行った実験で用いたモバイル SINET を経由して，神奈川工科大学に設置した立体音響処理サーバに音源を送信した．複数の演者の 2ch 音源を入力し，12ch に変換後，それぞれ圧縮 6ch，2 ストリームに分割し，クライアント端末に伝送を行った．この実証実験では，12ch の音源をクライアントの狭帯域に合わせるために AAC (Advanced Audio Coding)[29]を用いて音源圧縮を行った．しかし，VRChat で使用されるデコーダ：Windows Media Foundation の制約により，1 つのストリームに圧縮音源では 6ch 分しか多重処理をすることができない．そのため，12ch を 6ch×2 ストリームに変換し伝送を行った．クライアント端末側では，複数のストリームに分けてデコードするので，ストリーム間で一部の人が気づくような音のずれ約 20ms の遅延差が発生した．そこで，遅延が発生した場合，手動でクライアントのデコーダの再同期を行うという対策を行った．実験の様子は**図 8** に示す．

今回，クライアント端末までの圧縮 6ch 音源 2 ストリームの多地点配信は成功したが，実計測で約 2.15 秒の遅延が発生した．現地からサーバへ Traceroute や Ping でラウンドトリップタイムを確認した際にも秒単位の遅延があったため，モバイル SINET を用いたアクセスポイントや，基地局への接続性の問題も含めて今後詳細を解析する．

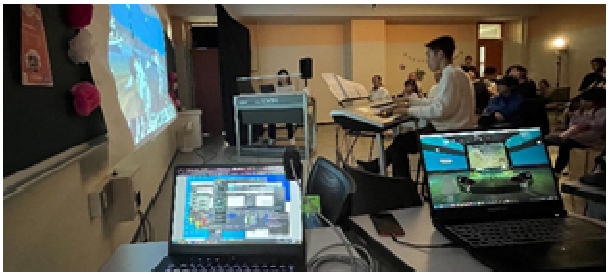


図 8 北海道大学の実証実験

Fig.8 Demonstration experiment at Hokkaido University

5.4　立体音響処理サーバの 32ch 多重化と 8K メタバース映像の多重配信実験

2024 年 6 月，千葉県幕張メッセで開催された Interop Tokyo 2024 の神奈川工科大学展示ブースにて，VRChat を用いて 8K 圧縮映像と 32ch 立体音響伝送の実証実験を行った. 本実験では，会場まで引かれた広帯域ネットワークを用いて，ブースまで VRChat を用いた 8K 圧縮映像と 32ch の伝送実験を行った．本実験では，音源を無圧縮で伝送したため，クライアント端末の音声デコードは，1 ストリームあたり 8ch まで処理可能であった．素材音源を，神奈川工科大内に設置した立体音響処理サーバにて，2ch から 32ch に変換．クライアント端末でデコードできるようにするために 8ch×4 ストリームへ分割し，多地点配信サーバを経由して配信したものを展示ブース内で実験展示し，安定した映像と音源の伝送を確認することができた. 今回は 32ch の音源に変換する立体音響処理サーバの負荷を分散するために，音のエンコードサーバと映像のエンコードサーバを分離して実験を行った．実験時の構成図を**図 9** に示す.

メタバース空間内での 32ch 用のオーディオソースの位置を構築するにあたり，文献 30)を参考に 22.2ch サラウンドシステムに対して 4 個の天井スピーカと 2 個のサブウーファを追加する形で設置した．オーディオソースを目視化するために，色のついた球体を置きメタバース空間内で構築した．様子を**図 10** に示す．色は各ストリームを示しており，第 1 ストリーム(黄色，赤色)，第 2 ストリーム(紫色)，第 3 ストリーム(青色)，第 4 ストリーム(緑色)となる．ステレオ 2ch と本システム 32ch を比較して視覚的にわかりやすくするために，第

図 9　InteropTokyo2024 での実証実験構成図

Fig.9 Diagram of the demonstration at InteropTokyo2024

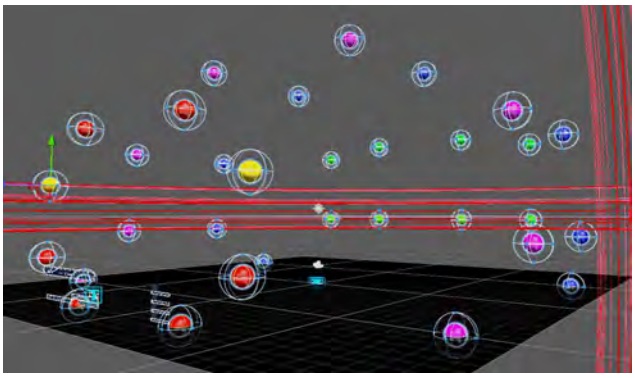


図 10 オーディオソースの全体配置図

Fig.10 Overall layout of audio sources

1 ストリーム部の 2ch の色を黄色にしている．サラウンド構成はフロント，側面，背面のスピーカを 24 個，サブーファを 4 個，天井スピーカを 4 個で構成した 24.4.4ch である．これにより，現実には非常に大規模な設備が必要で容易に体験しづらい超マルチチャンネルスピーカーによる高臨場体験を気軽に体験することが可能となった．クライアント端末への伝送帯域に関しては 8K 圧縮映像を合わせて 200 ~ 300Mbps のため，将来的には自宅の広帯域アクセス回線を使用しての視聴も可能である．ただし，音と映像をそれぞれ 4 ストリームに分割して配信したことと，エンコード，デコード性能の不足により，トータル遅延は約 3 秒という結果となった.

6.　まとめと今後の展望

本論文では，メタバース空間で利用可能な多地点立体音響配信システムとして，2 つのサーバに機能分割されたシステムを提案した．また，既存メタバースプラットフォームである VRChat へのクライアント端末の統合について提案すると共に，プロトタイプシステムを作成してローカルネットワーク環境では，100ms 以下の低遅延性能を確認した他，様々な実ネットワーク網を用いた実証実験について報告を行った.

これらの実証実験を通して基本動作の安定性については実証できたが，端末も含めたトータルな低遅延化の取り組みや同期処理への取り組みが必要なことも明らかになった.

今後は，広域ネットワーク環境においても，当初の目標である現実の生演奏と同様にメタバース空間のスピーカからのモニタ音源を聞きながら違和感なく演奏できるような End-to-End の低遅延化を目指す.

また，メタバース空間に限らない立体音響伝送への応用として，例えばスマートフォンなどの端末を立体配置し，それぞれに多チャンネル配信サーバからの音チャンネルを分割して再生することでワイヤレスサラウンド空間を現実に作り出すような応用検討も行う予定である.

謝　辞

基本アーキテクチャの実装についてご教授頂いた ViXtRiA の皆様，滝沢秀斗氏に感謝いたします．初期プロトタイプにて，VRChat の API を用いた配信システムを使用させていただいた TopazChat 開発者よしたか氏に感謝いたします．5.1 の実証実験でご協力いただきました，アーティストの皆様，まくろねこ様，BooThtore の皆様に感謝いたします．5.3 の伝送実験にご協力いただきました北海道大学「北海道大学メタバース研究所」の福田英輝氏，「北大エレクトーンサークル」の皆様に感謝いたします．VRChat の API を用いて多重配信システムの製作に御協力いただいた東北工業大学「東北工大メタバース」の森谷昂央氏に感謝いたします.

また，様々な実証実験の実施にあたり，NICT, NII, ShowNet, Arista Networks Japan 合同会社，ピュアロジック株式会社をはじめ関連組織の皆様のご協力をいただきました.

本研究の一部は 2023 年度国立情報学研究所公募型共同研究（23S0208）及び 2024 年度共同研究（24S0105）の助成を受けています．また，本研究の実験の一部は NICT 委託研究（JPJ012368C03101），JST CRONOS 委託研究（JPMJCS24N9）により得られた成果です．

参考文献

1) 総務省，令和 6 年版情報通信白書, https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/pdf/index.html (2024).
2) Valve Corporation, Steam, https://store.steampowered.com (2024).
3) VRChat, VRChat, https://hello.vrchat.com (2024).
4) REALITY, Inc., REALITY, https://reality.app (2024).
5) NTT, DOOR, https://door.ntt/ (2024).
6) NEC Corporation, XR CLOUD, https://www.nec.com/en/global/solutions/xrcloud/ (2024).
7) KDDI Corporation, αU, https://alpha-u.au.com (2024).
8) NTT, XR World, https://xr.ntt/ (2024).
9) Sanrio Co., Ltd., SANRIO Virtual Festival (Vfes), https://www.sanrio.co.jp/ (2024).
10) Tokyo Broadcasting System Television, Inc., META=KNOT, https://www.tbs.co.jp/ (2024).
11) Epic Games, Fortnite, https://www.epicgames.com/fortnite (2024).
12) Decentraland Foundation, Decentraland, https://decentraland.org (2024).
13) よしたか, TopazChat README, https://github.com/TopazChat/TopazChat/blob/main/README.md (2024).
14) Yamaha Corporation, Yamaha SoundXR, https://www.yamaha.com (2024).
15) 高橋玲,吉野秀明,北脇信彦: “IP 電話サービスの通信評価技術”, 電子情報通信学会論文誌,B Vol.J88-B,2005
16) VB-Audio Software, VBAN - Audio over network, https://vb-audio.com/Voicemeeter/vban.htm (2024).
17) Cockos Incorporated, REAPER | Audio Production Without Limits, https://www.reaper.fm (2024).
18) Waves Audio Ltd., Waves - Audio Plugins for Mixing, Mastering & Music Production, https://www.waves.com (2024).
19) iZotope, Inc., iZotope - Audio Plug-ins for Music Production, Mixing, Mastering, and Repair, https://www.izotope.com (2024).
20) VB-Audio, VB-Audio Matrix, https://vb-audio.com/Matrix/ (2024).
21) OBS Project, Open Broadcaster Software | OBS, https://obsproject.com (2024).
22) Renderheads, AVPro Video - High Performance Video Playback, https://renderheads.com/products/avpro-video/ (2024).
23) Bluenviron, Mediamtx, https://github.com/bluenviron/mediamtx (2024).
24) VRChat, Become a VRChat Creator | VRChat Creation, https://creators.vrchat.com (2024).
25) Microsoft, Microsoft Media Foundation SDK, https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/win32/medfound/microsoft-media-foundation-sdk (2024).
26) Audacity Team, Audacity | Free, Open Source, Cross-Platform Audio Software, https://www.audacityteam.org (2024).
27) mogura, inc., XR Kaigi Award, https://xrkaigi.com (2024).
28) NEC Platforms, EtherIP, https://support.necplatforms.co.jp/ix-nrv/manual/fd/02_router/08_eth erip.html (2024).
29) Wikipedia, AAC, https://ja.wikipedia.org/wiki/AAC (2024).
30) 長谷川知美，杉本岳大，大久保洋幸，小森智康: “家庭用音響機器へ実装可能な 22.2 マルチチャンネル音響対応 MPEG-4 AAC のデコーダーの開発”，映像情報メディア学会誌, Vol.75, No.6, pp.838-843, Japan, (2021).
31) 竹中 誠人，工藤 聖央，丸山 充: “メタバース空間での立体音響多地点配信システムの提案とモバイル SINET を用いた配信実験”，電子情報通信学会総合大会, ISS-A-043 (2024 年 3 月).
32) 工藤 聖央，竹中 誠人，丸山 充: “メタバース空間内における多チャンネル音源配信システムの提案”, 第 52 回画像電子学会年次大会, [S6]学生セッション 6[VR 構築・影響評価], S6-1, 長崎大学 (2024 年 8 月).

（2024 年 11 月 12 日受付）
（2025 年 3 月 22 日再受付）

工 藤 聖 央 （学生会員）
2021 年 神奈川工科大学 創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科入学．ハードウェアからソフトウェアにおける音響関係の研究に従事．2024 年 神奈川工科大学情報学部情報ネットワーク・コミュニケーション学科ネットワークコンピューティング研究室配属．2025 年ミハル通信株式会社入社．本学会，電子情報通信学会各会員．

竹 中 誠 人
2021 年 神奈川工科大学 情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科入学．ネットワークを用いた映像伝送研究に従事．2024 年神奈川工科大学情報学部情報ネットワーク・コミュニケーション学科ネットワークコンピューティング研究室配属．電子情報通信学会会員．

丸 山 充 （正会員）
1985 年 3 月 電気通信大学大学院 修士課程 応用電子工学専攻 修了．同年 4 月 日本電信電話株式会社（NTT）入社．2012 年 4 月 神奈川工科大学 情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科・教授に着任．現在 超高速ストリーム処理システムアーキテクチャおよび高精度ネットワーク解析の研究に従事．博士（工学）．本学会，電子情報通信学会，情報処理学会，IEEE 各会員．

IIEEJ ショートペーパー -- VR/AR における画像電子関連技術論文特集 --

画像認識に基づく靴の整頓を促すための教育用 AR システム

廣 川 七 海† 佐 藤 周 平††(正会員)

†北陸先端科学技術大学院大学，††法政大学

An Educational Augmented Reality System Based on Image Recognition for Urging Shoes Tidying

Nanami HIROKAWA†, Syuhei SATO††(*Member*)

†Japan Advanced Institute of Science and Technology, ††Hosei University

〈あらまし〉 靴を揃えることは，整理整頓する習慣を身につけることにつながるため，日本において大切とされている．我々は，自発的に整理整頓の習慣を身につけてもらうことを目的として，靴の姿勢判定と AR による情報提示を利用した靴の整頓システムを提案する．本システムでは，Web カメラで靴を置く範囲を撮影し，その画像から靴の位置及び姿勢を推定する．位置の推定には，物体姿勢推定手法である CenterPose の靴カテゴリの学習済みモデルを用いる．靴の姿勢は，粗い二値画像によるテンプレートマッチングを行うことで，リアルタイムに推定する．推定された靴の位置と姿勢に応じて，靴を揃えるためのガイドのアニメーションを生成し，カメラ映像に重畳して画面上に視覚的に提示する．本稿では，提案システムの姿勢推定の精度，及び自発的な整理整頓の習慣付けのために，ユーザ，特に子どもが本システムにより楽しく靴を整頓できたかについて検証する．

キーワード：画像認識, 姿勢推定, 拡張現実, 靴の整頓, 教育システム

<**Summary**> In Japan, aligning shoes is considered important because it helps cultivate the habit of keeping things organized. We propose a system that uses shoe posture estimation and AR-based information presentation to teach users how to align shoes, with the goal of encouraging them to develop the habit of tidying up voluntarily. The system captures images of the area where shoes are placed using a webcam, then estimates the position and posture of the shoes from these images. For position estimation, the system employs a pre-trained model of the shoe category from CenterPose, a method for object pose estimation. The posture of the shoes is estimated in real time through template matching using rough binary images. Based on the estimated position and posture, the system generates a guide animation to help users align the shoes and visually overlays it on the camera feed, displaying it on the screen. This paper evaluates the accuracy of our posture estimation and investigates whether the system effectively helped users, particularly children, enjoy aligning their shoes and develop the habit of tidying up voluntarily.

Keywords: image recognition, posture estimation, augmented reality, aligning shoes, education system

1. はじめに

玄関で靴を整頓することは，整理整頓する習慣を身につけることにつながる[1]ため，日本において大切とされている．小学校の基本的生活習慣に係る調査研究[2]では，月別生活目標で取り上げられている内容において,「身の回りの整理整頓」が,「規則を守る」,「あいさつ」に次ぐ 3 番目に多く，整理整頓への関心が高いことがわかる．加えて，靴を揃えることは，小学校などでも積極的に取り組まれている[3]．

そこで我々は，玄関での靴の整頓に着目し，自発的に靴を揃えたくなるシステムの開発を目的としている．本稿では，画像認識による靴の姿勢推定及び AR による情報提示を行うシステムを提案し，姿勢推定の精度，及び子どもが楽しく靴を整頓できるかを実験，検証する．これまでに，画像認識を用いた下駄箱の靴の揃い方を判定するシステム[4]や，玄関の履物の状態によって在室管理をするシステム[5]が開発されている．しかし，玄関に置かれる靴に注目した，教育目的の研究は行われていない．

提案システムの概要を**図 1** に示す．靴の置かれる範囲の上方に Web カメラを設置する．撮影した映像から，靴が置か

図 1　提案システムの概要
Fig. 1　Overview of the proposed system

れた位置や倒れているかどうかなどの姿勢を判定する．靴の姿勢の判定にはテンプレートマッチングを用いるが，カメラから得られる映像をそのまま使うとピクセル数や，陰影や靴の模様といった情報量が多く，計算コストの増大や判定精度の低下が起こることを実験により確認した．そこで本手法では，靴の画像をダウンサンプル及び二値化して情報量を削減することで，90%程度の判定精度でリアルタイム処理を実現する．そして判定された結果に応じて，現在の位置・姿勢から目標の位置・正しい靴の姿勢へと誘導するガイドを，AR 技術を用いて別途用意したディスプレイ上で靴に重ね合わせて表示する．提案システムを用いることで，楽しく自発的に靴を揃えてもらうことを目指す．特に本稿では，靴の整頓をしたくなる環境を提供するため，一連の処理を一定の精度を保ちつつリアルタイムで実行できるか，本システムが靴を楽しく整頓できるものとなっているか，の 2 点を主に検証する．

2.　提案システム

2.1　画像認識による姿勢推定

CenterPose[6]によりカメラ映像を入力として対象を囲む 3 次元のバウンディングボックスが算出される．これにより，水平面上の靴の位置と向きが推定できる．しかし，CenterPose では，靴が倒れているかどうかは判断できないため，テンプレートマッチングによる靴の姿勢判別の処理を行う．

事前に判別対象となる左右の靴の，正面，左側面，右側面の画像の合計 6 枚のテンプレート画像を用意する．提案システムでは子どもたちによる利用を想定しており，よく使われる運動靴などを対象としている．これらの靴は，完全に裏向きで静止することは少ないと仮定し，テンプレート画像は，靴の正面，左側面，右側面の 3 方向から撮影した画像を用いている．カメラの撮影範囲内に，事前に整頓対象以外の靴が置かれている場合，画像上のその領域を特定の色で塗りつぶすことで，整頓対象の靴のみを検出する．本実験では，床の色に近いため，白色で塗りつぶした．実時間処理ではまず，**図 2** のように，カメラ映像から靴部分の画像を取得する．計算量を削減するため，CenterPose により得たバウンディングボックスの頂点座標をもとに，靴が存在する関心領域 (図 2(b)) を求める．次に，関心領域における靴のシルエット図 2(c) を算出する．背景の細かなノイズを削減するため，入力画像をメディアンフィルタで平滑化し，Canny 法によりエッジを抽出した後，凸包で面積が最小となる図形で近似し内部を塗りつぶすことでシルエットを得る．最後に，シルエットを基にして，テンプレート画像と同じサイズに靴画像を切り取る図 2(d)．このとき，シルエットの重心を靴の中心として切り取る範囲を決める．上記靴画像取得の処理は，靴の検出開始時のフレームと，CenterPose によるバウンディングボックスの移動量が一定以上のときに実行される．しかし，靴の形状や模様次第では，靴の前後左右が識別できず，誤判定する場合がある．そのため，靴の検出開始時の足の位置によって，事前に前後左右を決定する．具体的には，ユーザが靴を脱ぎ，靴の検出が開始する時点の前後の画像の差分が小さい

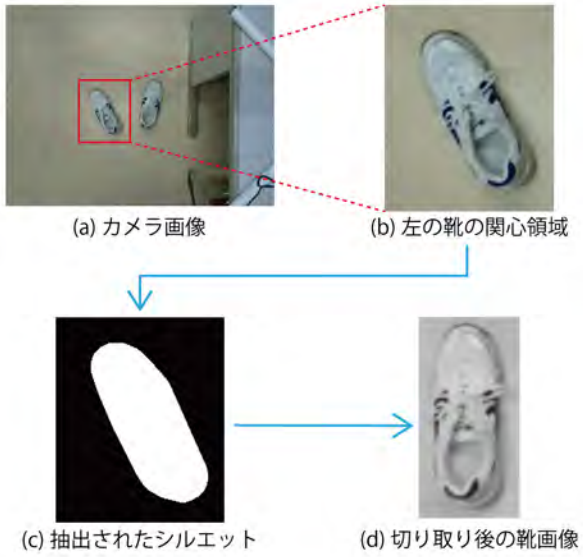


図 2　靴画像取得の概要
Fig. 2　Overview of the shoe image extraction

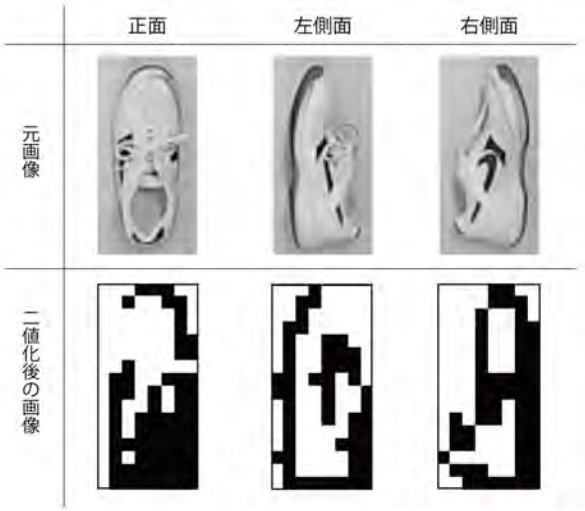


図 3　テンプレートマッチングに用いられる二値画像
Fig. 3　Binary images used in the template matching

(1) 左の靴が倒れているときの表示　(2) 靴が倒れていないときのガイド表示　(3) 靴が目標位置に揃ったときの表示

図 4　靴の状態に応じたガイド表示
Fig. 4　Guide display based on the state of the shoes

(a) 運動靴 (白黒)　(b) 運動靴 (白)　(c) 運動靴 (黒)
(d) 運動靴 (青)　(e) ローファー　(f) サンダル

図 5　検証に利用した靴
Fig. 5　The shoes used in the verification

(a) ビニル系床 A　(b) ビニル系床 B

図 6　検証に利用した床
Fig. 6　The floors used in the verification

方向，すなわち，足の写っていない方向を靴の前方とし，左側の靴を左足の靴，右側の靴を右足の靴とする．

左右それぞれの靴について，対応するテンプレート画像と取得した靴画像とを比較する．本システムでは判定精度の向上のために，比較する画像にダウンサンプルと二値化の処理を適用したテンプレートマッチングを行う．まず，取得した靴画像とテンプレート画像をダウンサンプルする．本稿では，2 種類の画像ともに元々のサイズは 50×100 ピクセルであり，それらを 8×16 ピクセルにダウンサンプルした．次に，画像全体の輝度の平均値を閾値として二値化し，**図 3** のような二値画像を作成する．これにより，細かな陰影の影響が軽減し，靴の特徴が捉えやすくなる．そして，二値化後の画像を比較し，ピクセルの一致率を求め，最も一致率が高い姿勢として判定する．ユーザの手などによる遮蔽により，CenterPose で靴の検出ができず，姿勢判別が中断された場合，検出を再開した際に，検出を中断する前の靴の左右の情報と姿勢を，再検出時の初期値として用いる．

2.2　AR による情報提示

判定した位置・姿勢を基に，カメラで撮影した靴の映像の上に，靴の置き方を示すガイドを，AR 技術を用いて重畳表示する．靴を置くべき目標位置は，赤の三角形と GOAL の文字で明示する．**図 4**(1) のように，靴が倒れているときは，倒れていることを示す緑の矢印を靴に重ねて表示する．また，靴が倒れておらず，置くべき場所にない場合は，その時点で靴が置かれている位置から，靴を置くべき目標位置まで，足跡が動くアニメーションを表示する (図 4(2))．靴の置かれている位置をリアルタイムで反映し，フィードバックすることで，ユーザは自身の靴が目標位置にどの程度近づいたかを把握できる．左足の靴は赤色の足跡，右足の靴は青色の足跡で案内される．両足の靴が目標位置に揃った場合，GOOD の文字と靴を囲むように効果線を表示し，その位置に靴が正しく置かれたことを示す (図 4(3))．目標位置はユーザが実行前に自由に決めることができる．

ガイド表示が見やすいよう，今回は目標位置を画面中央とした．カメラの撮影範囲内に整頓対象以外の靴がある場合には，取得したカメラ画像において，あらかじめ対象以外の靴部分を背景に似た色で塗りつぶすことで，誤判定を防ぐことができる．また，撮影範囲内に棚などが入っていても，整頓対象の靴に影がかからなければ判定への影響はないと考える．

表 1　テンプレート画像の各サイズに対する，テンプレートマッチングの 1 フレームあたりの計算時間 T [msec]，検出率 R_d，及び適合率 R_p

Table 1　Computation time per frame T [msec] and detection rate R_d and fit rate R_p, for template matching on each size of template images

	白黒の運動靴			白の運動靴		
	T	R_d	R_p	T	R_d	R_p
4×8	1.82	0.95	0.88	1.79	0.89	0.80
8×16	1.88	0.93	0.93	1.85	0.91	0.86
16×32	1.92	0.92	0.89	1.89	0.90	0.88
32×64	1.99	0.93	0.90	1.96	0.90	0.85
50×100	1.84	0.95	0.86	1.83	0.89	0.83
50×100 （二値化なし）	0.65	0.94	0.47	0.65	0.89	0.19

表 2　靴と床の組み合わせに対する検出率 R_d と適合率 R_p

Table 2　Detection rate R_d and fit rate R_p for our system on each combination between shoes and floors

	ビニル系床 A		ビニル系床 B	
	R_d	R_p	R_d	R_p
白の運動靴	0.85	0.87	0.99	0.95
黒の運動靴	0.98	0.88	1.00	0.89
青の運動靴	0.98	0.87	0.93	0.94
ローファー	0.85	0.88	0.82	0.90
サンダル	0.96	0.87	0.87	0.91

3.　判定精度の検証

テンプレート画像のサイズの違いと二値化の有無による計算時間と判定精度の関係を**表 1** に示す．実験は，白黒及び白の運動靴 (**図 5**(a) 及び (b)) を対象に暖色照明のビニル系床の玄関 (**図 6**(a)) にて実施した．元々の画像サイズが 50×100 であり，比較のために 4 パターンのサイズを用意した．計算時間については，サイズが小さいほど，わずかに計算時間が少なくなった．ダウンサンプルも二値化も行わない場合は最も高速であるが，他と比べ格段に精度が低い．これに対し，二値化を行うことで 8 割程度まで精度が向上する．そして，サイズが 8×16，16×32，32×64 の場合には 9 割程度の適合率が得られた．この後の実験では，計算時間と精度の両方を考慮して，全て 8×16 のサイズを採用した．

また，室内の LED 照明条件下にて，靴と床の種類に対する姿勢判別手法の判定精度を調べた．靴と床の違い以外の影響を抑えるため，靴の上方に照明があり検出対象の影ができるだけ生じない場所で実験を行った．靴 5 種類 (図 5(b)〜(f))，床 2 種類 (図 6) を用いた 10 種類の組み合わせで，靴の正面，左側面，右側面を含む 20 秒間の映像を用いて実験を行った．床と靴の組み合わせごとに 5 回ずつ実験を行い，検出可能なフレームにおいて，検出された靴の姿勢のうち，検出できた数である検出率の平均と，判定があっていた割合である適合率の平均を**表 2** に示す．

正面，右側面，左側面の靴の姿勢判定精度を**表 3** に示す．ビニル系床 A にて実験を行う．どの靴の場合も正面の姿勢判定精度は 94 から 99 %と高い精度を達成している．しかし，白の運動靴と黒の運動靴の右側面，ローファーとサンダルの左側面の精度は低い結果となった．これは，靴が倒れているかどうかは判断できるものの，左右の誤判定が一定時間正しい判定結果に戻らなかったことが大きく影響している．また，影の影響で二値化した際の靴部分を示す形状が変化し，左右の判別が難しい場合があることが原因である．一方，青色などの靴は背景の色と影の色に差があり，影の影響を受けにくいため，精度が保たれる傾向がある．ピクセルの一致率に加え二値画像のパターンの類似度を考慮するなど，判定に対する影の影響を抑えることが今後の課題である．

表 3　靴の姿勢精度

Table 3　Accuracy of shoe posture

	正面	左側面	右側面
白の運動靴	0.94	0.78	0.38
黒の運動靴	0.99	0.97	0.65
青の運動靴	0.96	0.70	0.79
ローファー	0.99	0.65	0.91
サンダル	0.96	0.52	0.86

暖色照明のビニル系床の玄関は，元々照明が設置されていなかったため，一般的な玄関を想定して，暖色系のテープライトを上方に設置した．実験の結果，87〜88%の適合率が得られた．検出率については，床の色と明確な差のある黒色と青色の運動靴に対して 98%，白色の運動靴は検出率が 85% であり，十分な精度があると考えられる．薄黄色のビニル系床での実験で，運動靴は検出率が 9 割程度またはそれ以上であり，CenterPose での検出が途切れにくい．これは，運動靴が CenterPose の学習データに含まれる靴の形状に近いためと考えられる．特に，白色と黒色の運動靴は，床との色の差が明確であり，倒れているかどうかについても，正しく判定されやすい．一方でローファーやサンダルは，靴を動かしたときに検出が途切れ，再検出されるまで時間がかかり，検出率が低下した．特にローファーの場合は，靴の模様が全くなく，正面と側面の概形が類似しており，連続して正しくない姿勢として判定される場合があった．いずれの靴の場合も，靴が静止しているときは判定が安定し，靴の姿勢を見分けるためには支障がない程度の精度が得られたと考える．しかし，判定精度は，判定に用いる靴画像がテンプレート画像の取得条件とどれだけ類似しているかに依存し，変換した二値画像は，照明の明るさや位置による影響も受ける．そのため，環境に応じて二値化する際の閾値を調整するなど，改善が必要である．

4.　ユーザスタディ

提案システムの楽しさと分かりやすさを評価するため，5 才，7 才，8 才の 3 名の子どもたちを対象に実験を行った．普段の靴の整頓状況について，7 才男児は，普段靴は揃えていないと述べ，8 才男児は，普段は靴を下駄箱にしまっている

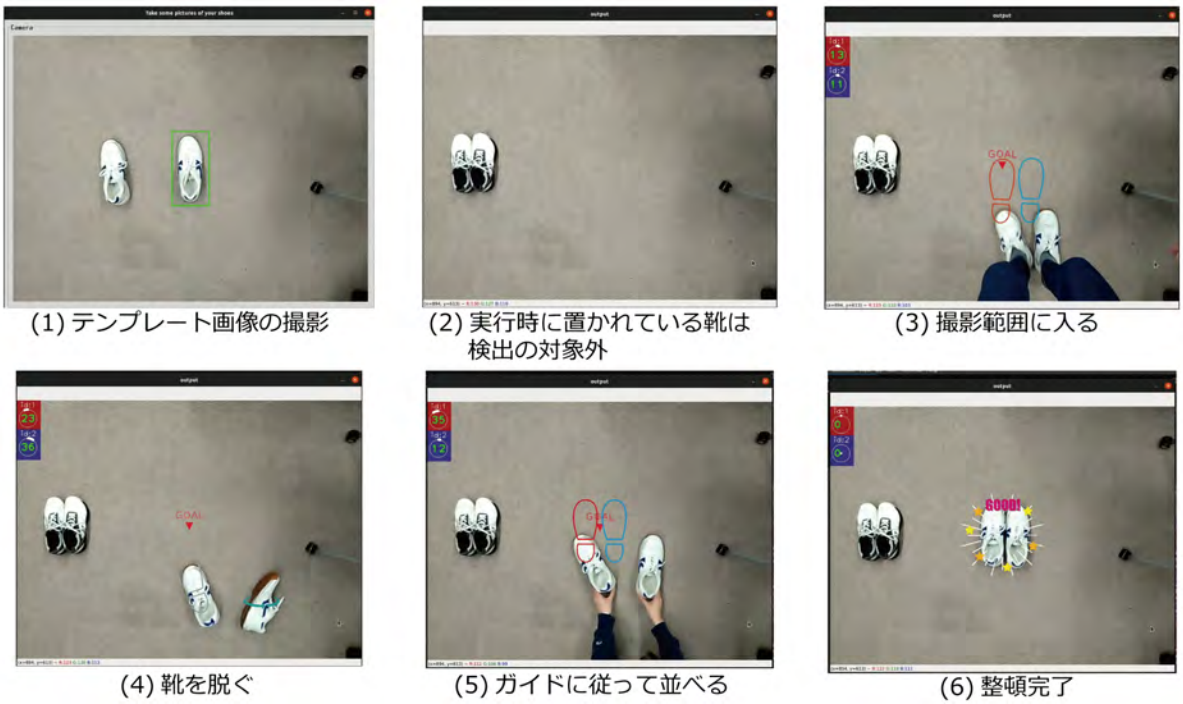


図 7　提案システムの使用手順
Fig. 7　Instructions for use of our system

表 4　アンケート結果
Table 4　Results of the questionnaires

	Q1	Q2	Q3	Q4
5 才女児	2	2	2	3
7 才男児	5	4	5	5
8 才男児	4	3	5	5

と回答した．実験は通常照明の室内で，ディスプレイはユーザの正面付近に設置し，ガイド表示を確認しながら靴を揃えられるようにした．この環境で，自身の靴を並べてもらった．

実験の手順は以下のとおりである．手順に対応する実行画面を**図 7** に示す (図 7(2)〜(6) の画面左上の数値は水平面内での靴の傾きを示す)．(1) 実際にシステムを使用する場所で，テンプレート用の靴の画像を取得する．左右の靴の正面，右側面，左側面を撮影する．(2) 撮影領域内に整頓対象外の靴が既に置かれている場合，事前に置かれている靴を含む矩形領域を判定し，その領域を特定の色で塗りつぶした画像を CenterPose に入力することで探索の対象にならないようにする．(3) 靴を履いた状態で，撮影範囲に入る．このとき，靴の検出を開始する．(4) 靴を脱ぐ．ユーザによって，靴は無作為に配置される．(5) 靴の置かれ方に応じて画面に表示されるガイドを見ながら，靴を並べる．靴を置く場所の目安として，画面中央付近に，赤い三角のマークと GOAL の文字を表示している．(6) 靴が目標位置に揃うと，GOOD の表示をする．それを確認し，実験を終える．

システムを評価するためのアンケートは，質問 4 項目 (Q1：置き方のガイドは靴を並べる手助けとなったか，Q2：靴を揃えたいと感じたか，Q3：AR による提示は分かり易かったか，Q4：楽しさや面白さを感じたか) と，自由記述から成り，5 段階評価により集計した．子どもたちには，まずいつもどおりに靴を脱いでほしいと説明し，実験を開始した．

子ども 3 名と対象とした実験の個々の回答を**表 4** に示す．評価の平均値は，Q1(靴を並べる手助け)，Q2(靴を揃える意欲)，Q3(AR 提示の分かり易さ)，Q4(楽しさ)，はそれぞれ，3.7，3.0，4.0，4.3 だった．靴を並べる手助けとなったか，揃えたいと感じたかについては，靴を並べるというより，良い表示が出るように靴を動かすことに意識が向いていたため，「どちらともいえない」に近い評価になったと考える．しかし，良い表示になるよう靴を揃えることに意識してもらえたことから，靴は並べた方がよいという意識付けに役立つ可能性がある．良い表示が出るように靴を並べることは，楽しく靴を整頓するきっかけとなり，結果的に靴の整頓への意欲を高める効果があると考える．

表示が分かり易かったか，楽しかったかについては，操作に応じて表示が動くことを楽しさとして感じてもらえたため，「ややそう思う」に近い評価が得られたと考えられる．

自由記述について，7 才男児は，「自分の靴が画面に映って楽しかった」と回答した．自身の靴の置き方に応じて，表示が変わるところを楽しんでもらえたことがわかる．8 才男児は「なんか変な感じだった」と回答した．普段は靴を下駄箱にしまっているため，床に並べることに不自然さがあったのだと考えられる．5 才女児は，普段から靴を揃えており，特にコメントはなかった．

この実験では実験参加者本人の靴を用いており，子ども向けの小さいサイズの靴でも姿勢の判別が可能であることを確

認している．

5. む す び

本稿では，玄関での靴の整頓に着目し，靴を自発的に楽しく揃えてもらうことを目的とした教育システムを提案した．Web カメラで撮影した映像から，靴を検出し，置かれた位置と倒れているかどうかの姿勢を判定する．そして，判定結果に応じて，画面上の靴の上に情報を重畳し提示した．検証実験により本システムの精度及び処理速度が十分であることが確認できた．また，子どもたちを対象とした実験の結果から，提案システムを用いることで，靴を並べる楽しさを感じてもらえたことがわかる．今後，より多くの普段靴を整頓する習慣のない子どもたちを対象にユーザスタディを行い，本システムの有用性を検証していく予定である．

しかし，画面を見ながら操作するため，実際の靴の位置と画面上での位置を照らし合わせるのが困難な場面があった．プロジェクションにより，実空間にガイドを投影することで解決できる可能性があるが，情報が投影されている状態の靴では検出精度に影響を及ぼす可能性が高く工夫が必要である．UI 面では，利用しやすいシステムとするために，ゲーム性を高めるなど，興味を持ってもらえる仕組みを検討したい．

参 考 文 献

1) アルファーラベル株式会社，お名前ピタットシール，https://onamae-pitatto.jp/wp/kutsuoki-sticker/ (2023).
2) 熊谷 和彦:“小学校の基本的生活習慣に係る調査研究〜仙台市公立小学校の生徒指導事例を通して〜”, 教職研究, Vol.2016, pp.197-218 (2017).
3) 小学館，みんなの教育技術，https://kyoiku.sho.jp/110096/ (2022).
4) 佐藤 和紀, 板垣 翔大, 赤坂 真二, 堀田 龍也:“人工知能による画像認識を活用した「下駄箱の靴の揃い方判断支援システム」の試作と小学校における実践の考察”, 日本学級経営学会誌, Vol.5, pp.29-37 (2023).
5) 高橋 洸人, 岩井 将行:“玄関の履物に対する画像認識を用いた在室管理手法の提案”, マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol.2016, pp.1804-1809 (2016).
6) Y. Lin, J. Tremblay, S. Tyree, P. A. Vela, S. Birchfield:“Single-Stage Keypoint-based Category-level Object Pose Estimation from an RGB Image”, 2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.1547-1553 (2022).

(2024 年 10 月 30 日 受付)
(2025 年 1 月 13 日 再受付)

廣 川 七 海
2023 年 富山大学工学部卒業．北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科博士前期課程在学中．画像処理に関する研究に従事．

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

IIEEJ スキャニング

JPEG 標準化記念行事と JPEG 会合の最新事情

小野 文孝（名誉会員）

Commemoration of JPEG Standard and Recent Information on JPEG Meetings

Fumitaka ONO (*Honorary Member*)

1. まえがき

学会誌 2013 年 3 月号のスキャニング欄に「JPEG 25 年」[1]と題して JPEG 委員会の発足，標準の制定の経緯，その後の JPEG ファミリー標準の進捗状況，今後の符号化の課題等について寄稿させていただいた後，2018 年 7 月号の「スキャニング：草創期の JPEG と JBIG」[2]において，関連の情報を紹介してから約 7 年が経過した．本稿では，まず，これまでの JPEG 標準化 25 周年にちなむ記念イベントや雑誌掲載記事について，やや時間を経たものも含めまとめておくと共に関連の動きや参考となる記事も紹介する．次に，JPEG 委員会の会合開催回数や会合における新規情報，標準化手続きの最新情報についても紹介する．

2. JPEG25 周年余聞

JPEG 25 周年の先陣を切ったのは，A3C7[3]主催によるセレモニーで，JPEG 標準で採用された DCT 方式の提案者の一人である Alain Leger 氏から 2014 年 12 月 1 日～6 日にレンヌ郊外のセソン・セヴィニェで実施する旨とその中での NHK 番組「ホワイトボックス」（2010 年 6 月 10 日放映：安田浩先生に対する JPEG 関連インタビュー等）の画像使用及び英文キャプション付与の要請があり，関係者の了承と協力を得て提供した. このセレモニーの DVD はその後送付いただいた．

また，SC29/WG1 会合（JPEG 会合）においては JPEG 標準が ITU-T で T.81 として標準化された 1992 年を起点として，2017 年を JPEG 25 周年の記念の年と定め，同年 7 月の第 76 回トリノ会合で欧州在住の旧 JPEG メンバーを，同年 10 月の第 77 回マカオ会合でアジア在住の旧 JPEG メンバーを招待しそれぞれセレモニーを行った．ちなみに，もっと時間を遡るが 2013 年 1 月の第 60 回ローザンヌ会合に先立つ 1 月 18-19 日 に Second International Workshop on Standards and Technologies in Multimedia Archives and Records (STAR 2013)が EPFL にて開催されており，このイベントでは JPEG20 周年記念として JPEG 標準の制定を回顧したいくつかの発表が行われている．

なお，25 周年と直接は関連しないが 2019 年 10 月に JPEG 標準の普及と産業界に与えた多大なる影響と貢献を称えて Engineering Emmy 賞が授与され本学会誌でも 2020 年 1 月号にその報告記事[4]を掲載した．実は 1996 年にも JPEG 標準はエミー賞を受賞しているがその受賞は, JPEG 標準に MPEG-1 及び MPEG-2 を加えた 3 規格に対する評価であり，JPEG 標準に限定された受賞は 2019 年が最初である．

JPEG25 周年に関連した出版関係では Journal of Electronic Imaging の 2018 年 7 月/ 8 月号で Alain Leger 氏ら DCT 方式のオリジナル提案メンバーと当時の CCITT 側のラポータ（Istvan Sebestyén 氏）の連名で JPEG 25 周年を記念する長文の論文[5]が掲載された．その構成は JPEG 発足の経緯，標準案制定の過程，JPEG 諸技術の説明，画像符号化標準一覧，JPEG 後継標準の解説などであり，フルテキストをサイトから自由にダウンロードできる．また，IEEE Computer Society が発行する Computing edge の 2018 年 7 月号にも文献 5)とほぼ同じ著者による 25 周年記事[6]が掲載された．こちらは文献 5)よりも読み物風になっており, JPEG 特許問題についても若干言及している点が興味深い．さらに，この関連で，ITU Journal: ICT Discoveries の 2020 年 6 月号に Istvan Sebestyén 氏が History Review Paper として JPEG 制定の知られざる歴史を精細にまとめている[7]．古い標準化文献の表紙なども掲載され，まさに貴重な歴史的資料となっている．

3. JPEG 委員会第 100 回会合

これは 2 年前の話になるが JPEG 委員会の第 100 回会合がポルトガルの Covilha で 2023 年の 7 月に開催され通常の審議に加え，記念の式典がとり行われた．本号が発行される 2025 年の 4 月には JPEG 委員会の第 107 回の会合がブリュッセルで開催の予定である．

JPEG 委員会の姉妹組織である MPEG 委員会では 2012 年の 4 月に第 100 回会合がジュネーブで開催され，2025 年の 3 月から 4 月には第 150 回会合の開催が予定されている．JPEG 委員会は MPEG 委員会より先にスタートしたことをご存知の方は JPEG 委員会の開催回数が MPEG 委員会のそれよりかなり少ないことに疑問を抱かれるかもしれないのでその理由について以下で説明しておきたい．

まず標準化会議の開催間隔であるが，標準化会合が終わり，投票対象の文書が作成された場合，投票終了直後に次会合が開催されれば，投票結果の処理をし，新たな段階に進むことができるので効率が良い．投票期間は投票の種類によって若

干異なるが 3 ヵ月を想定し，会合開催時期の自由度をある程度もたせるとすると年に 3 回くらいの開催が最も効率が良いとされている．このため JPEG 会合は基本的に発足以来このスケジュールに従ってきた．

一方，MPEG 会合は 1988 年 5 月の発足以来，並走している多くのプロジェクトの進捗を最大限とするために，年に 4 回の開催を基本としてきた．実際，これ以上の頻度で定期的に開催している会合の例は他にないであろう．ただ，JPEG 委員会でもプロジェクト数が近年増加しており，2014 年以降は MPEG 会合に倣い，年 4 回の開催に切り替えている．

両者の開催回数番号が大きく異なるもう一つの理由は，第 1 回の扱いの相違である．MPEG は SC2/WG8, SC2/WG11, SC29/WG11, そして現在の SC29/（WG2~8）と組織が変わってきたとはいえその会合番号をずっと引き継いできた．実際 MPEG サイト [8]では開催番号を基に創設時からのすべての会合の開催時期や開催場所を知ることができる．一方 JPEG も MPEG と同様に SC2/WG8, SC2/WG10, SC29/WG10, SC29/WG1 と組織名は変遷してきたが，現在の開催番号は SC29/WG1 となって最初の開催（1994 年 3 月の Boca Raton 会合）を第 1 回としている．よって JPEG の創設からの通算開催回数を知るには SC2/WG8, SC2/WG10, SC29/WG10 での開催回数を加える必要がある．これについては文献 1), 2)が参考になり，1986 年 12 月 Geneva での CCITT 会合も含めると SC29/WG10 発足前が 19 回，SC29/WG10 時代が 5 回で，計 24 回になる(**表 1** 参照)．なお，開催回数計算の判断が分かれる場合として週末等をはさみ開催地が変更される例があげられる．例えば 1988 年の 9 月はトリノで PCS(Picture Coding Symposium)が開催された後，現地で JPEG 会合が開催され，週明けにロンドンに場所を移して JPEG 会合が開催されている．同様の形態をとった MPEG ではトリノとロンドンを独立の会合としてカウントしているが，上記の JPEG の開催回数では合わせて 1 回としている．

つまり JPEG と MPEG の本報告時点での通算開催回数は 131 と 150 で，その差は 19 回といえる．今後 JPEG 会合も MPEG 会合も年 4 回の開催を継続する限りこの差は保たれるものと思われる．

4. JPEG 会合最新事情

次に，JPEG 会合の最新状況であるが，まず文書番号の採番規則が変わり，これまでは単に連続番号で採番していたのに対し，2019 年の 3 月会合から文書番号の先頭に会合の回数を記載し，どの会合での提案文書，もしくは出力文書であるかが一目でわかるようになった．また，会合文書はこれまでの WG1 の独自サイトから ISO の共通サイトで保管されるようになっている．

さて，2017 年 3 月の第 75 回会合から最終プレナリでの決定事項の表現形態が Resolution から Recommendation に変更になった．この 2 つの用語のどちらを採用するかの議論は実は JBIG 発足時にもあったので約 30 年を経て用語が見直されたことになる．WG レベルでは元々，国ごとの投票に基づく決議という概念は存在せず「合意(consensus)」によって技術的課題に結論を出すことが求められており，その合意を上部組織が承認(=決議)する，という位置付けになっている．このため Recommendation の方が用語としてよりふさわしいということが再認識されたといえる．実は，JTC 1 の Directives には“NOTE Consensus need not imply unanimity.”という注記 [9]があり，「コンセンサスは全会一致（unanimous）とは限らない」ことに注意を向けたうえで，コンセンサスの定義が詳しく述べられている．技術的な議論で全会一致を必須とすると膠着状態に陥る恐れがあるので, Directives はそのような状況を想定したうえで，このような記載をしているものと思われる．文献 10)によると Directives にこのような記載が登場したのは遅くとも 2004 年以降のことらしい．

実際，ある程度の審議時間を費した段階ではたとえ一部に強い反対意見があっても，多数の賛同を背景に議長が審議を次の段階に進めることがよくあるが，それが Directives に明

表 1 SC29/WG1 発足以前の JPEG/JBIG 会合

JPEG #			
1	1986.11	Parsippany	Joint
2	1986.12	Geneva	CCITT
3	1987.3	Darmstadt	Joint
4	1987.6	Copenhagen	Joint
5	26-30 Oct 1987 Bethesda		
6	30-1 Dec 1987 Winchester		
7	2-3 Dec 1987 Rennes		
8	25-29 January 1988 Copenhagen		
9	9-13 May 1988 Ottawa		
10	11-13 July 1988 Rennes		
11	1988. 9 Torino/London (JPEG/JBIG)JBIG Start		
	1988.11 Almaden (JBIG)		
12	1989.2 Livingston (JPEG/JBIG)		
13	1989.7 Stockholm (JPEG/JBIG)		
14	1989.11 Kurihama /Osaka (JPEG/JBIG)		
	1989.11Tokyo Arithmetic AHG		
15	1990.3 Tampa (JPEG/JBIG)		
16	1990.7 Porto (JPEG/JBIG)		
17	1990.10 Boston (JPEG)		
	1990.11 Almaden (JBIG)		
	1991.5 Pforzheim (JBIG)		
18	1991.8 Santa Clara (JPEG/JBIG)		
19	1991.11 Kurihama (JPEG+ Tokyo SC29)		
20	1992.3 Haifa (JPEG/JBIG+SC29)		
21	1992.7 Toronto (JPEG/JBIG)		
22	1992.11 Mountain View (JPEG)		
	1993.2 Berlin (JBIG)		
23	1993.6 Brussels (JPEG/JBIG)		
24	1993.11 Seoul (JPEG/JBIG+SC29)		

記されていることは，ごく最近 WG1 国内委員会の前主査である石川孝明氏（現キヤノン）からご教示いただくまで，不覚にして気づいていなかった．まさに汗顔の至りである．

5. 標準化手続きの最新情報

投票規則等に関しても近年いくつかの変更が行われており，まず投票期間の表現が以前の月単位から週単位になった．次に 2022 年[10]から CD（Committee Draft）が voting（投票）から consultation（諮問）に変更された．consultation の具体的な進め方は文献 11)に詳しい．この変更に関連し，文献 12)にあるように CD stage をスキップすることも可能となっている．

続いてプロジェクトの期間管理に関し，以前より存在していた規定の運用が厳格化されたことを挙げておく．STD (standards development track) は開始時に 18 ヵ月，24 ヵ月，36 ヵ月から選択でき[13]，DIS の登録の limit date （期限の 12 ヵ月前）と，publication の limit date（申告 timeframe 内）のそれぞれで timeframe 超過によるキャンセルが設定されている．この規定によるプロジェクトのキャンセルは 2021 Edition までは発生せず，2022 Edition ではコロナ禍において 6 ヵ月の猶予が認められたが 2023 Edition から即刻運用となり，2024 Edition では PAS も対象となり，SC29 においても既にいくつかの適用例がある．また，Request of subdivision（新 part の追加）は現在 NWIP(New Work Item Proposal)扱いになっておりプロジェクトというのは part 単位で考える必要がある．なお，救済措置として Request of timeframe extension という名目で 9 ヵ月以内の期間延長が可能である．さて，期限を過ぎてしまった場合，Request of reestablishment の発行によりプロジェクトの再開ができる．仮に CD を通過し DIS に進むまでの時点での時間切れなら DIS からスタートできるので，それまでの審議の全てが無駄になるわけではない．さらに再スタート時に当初の規格番号を引き継ぐことも可能である．とはいえ IS 直前でのキャンセルの場合は，DIS からのやり直しとなり，時間的なロスは大きい．

このように最近の標準化の手続きには多くの変更が生じており，以上の記載内容については上掲した石川孝明氏並びに SC29 コミティマネージャの小池真由美氏（情報規格調査会）からご教示をいただいた．なお，文献 14)には Directives の 2024 年版の変更点一覧がパワーポイントで紹介されているので関心のある方はご参照いただきたい．

最後に，担当国内委員会の呼称が SC29/WG1 小委員会から JPEG 小委員会に改称されている．これは MPEG 関係の小委員会の改称と整合をとったものである．

6. むすび

JPEG 標準化 25 周年にまつわる記念行事や雑誌記事について，記録として残す目的で，時期的に古いものも含め紹介させていただき，併せて 25 周年とは直接関係しない JPEG 標準関連の動きや回顧論文の存在なども紹介した．さらに JPEG 委員会第 100 回会合の話題に関連して MPEG 会合との開催回数の差の背景を紹介すると共に JPEG 会合の最新の状況や標準化手続きの最新情報についても報告した．

JPEG 標準は静止画符号化の最初の標準として，制定後三十余年を経ても高い存在価値が維持されていることを改めて讃えると共に，この場を借りて JPEG の父とも称されてきた安田浩 先生，JPEG Part 1 の Editor を務めた Joan Mitchell 氏に，深謝と哀悼の意を表したい．

参考文献

1) 小野文孝:“スキャニング　JPEG 25 年”, 画像電子学会誌 Vol.42, No.2, pp.281–286 (2013).
2) 小野文孝：“スキャニング　画像通信今昔(7-1)　草創期の JPEG と JBIG”，画像電子学会誌 Vol.47, No.3, pp.277–282 (2018).
3) http://racines.a3c7.fr/a3c7V3/index.php
4) 石川孝明：「JPEG 標準の 2019 年 Engineering Emmy 賞受賞」，画像電子学会 Vol.49, No.1, pp.51–53（2020）.
5) G. Hudson, A. Léger, B. Niss, I. Sebestyén, J. Vaaben: “JPEG-1 standard 25 years: Past, present, and future reasons for a success”, Journal of Electronic Imaging, 27(04), 040901-1~040901-19, (2018). https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-electronic-imaging/volume-27/issue-04/040901/JPEG-1-standard-25-years--past-present-and-future/10.1117/1.JEI.27.4
6) G. Hudson, A. Léger, B. Niss, I. Sebestyén: “JPEG at 25:Still Going Strong”, computing edge Vol.4, No.7. pp.38–45 (July 2018)
7) I. Sebestyén: “Some Little-Known Aspects of the History of the JPEG Still Picture-Coding Standard, ITU-T T.81 | ISO/IEC 10918-1 (1986-1993)”, ITU Journal: ICT DiscoveriesVol.3(1), pp.123–158 (2020).
8) https://www.mpeg.org/meetings/
9) https://www.iso.org/sites/directives/current/consolidated/index.html#a_2_5_6
10) https://webdesk.jsa.or.jp/pdf/dev/md_5663.pdf
11) https://helpdesk-docs.iso.org/article/229-create-cd-consultation
12) https://www.iso.org/sites/directives/current/consolidated/index.html#_Toc165305054
13) https://www.iso.org/sites/directives/current/consolidated/index.html#a_2_1_6
14) https://www.iso.org/resources/publicly-available-resources.html?t=WUVrVhPZuNUWOMg3vDDEMtSXlnpXmCcf-uCF7yTBb5m5S1dluyxJSlZF-YqCt88D&view=documents#section-isodocuments-top

小野文孝　（名誉会員）

1971 年 東京大学 工学部電子工学科 卒業．1973 年 同 大学院 修士課程 修了．同年 三菱電機（株）入社．画像符号化・処理の研究に従事．2000 年 東京工芸大学 教授．2014 年 同 名誉教授．1982 年 イリノイ大客員研究員．工博．電子通信学会学術奨励賞，本学会 研究奨励賞，同 技術賞，同 業績賞，同 最優秀論文賞，同 アレキサンダー・ベイン賞，情報規格調査会 標準化功績賞，同 貢献賞，文部科学大臣賞科学技術功労者表彰，経済産業大臣表彰工業標準化事業功労者，SCAT 会長大賞などを受賞．元 ISO/IEC JTC 1/ SC29/ WG1/ JBIG ラポータ．IEEE Fellow，電子情報通信学会フェロー．本学会フェロー・元会長・元編集長・元企画委員長．現在，東京大学 客員研究員 等.

IIEEJ 図書紹介 BOOK

AI・量子コンピュータにかかわるリスク管理 セキュリティからガバナンスへ

著者：坂本静生・宇根正志
発行：オーム社　発行年月日：2025 年 2 月 7 日
判型：A5　ページ数：360 ページ　ISBN：978-4-274-23309-8　定価：4,400 円（税抜）

本書は，人工知能や量子コンピュータを運用するにあたっての，実用的なリスク管理のありかたを演習形式にて論述した書である．また，米国をはじめとした動向に関する内容も記述されており，ただ単に使えれば良いというのではなく，どのように使いたいか，どのように役立てたいか，どのようにリスクを最小限にしながら運用すれば良いかということにつながる論旨展開となっている．

JIS や ISO などにも準拠しながら各論が論じられており，今から IT システムを導入したいとか，自前でシステム構築をしたい場合に，設定をどうするかというより，どのようにして構築システムを安全に動作せしむるか，という観点に力点がおかれている．これが，「セキュリティからガバナンスへ」というサブタイトルの所以であると理解できる．本書を読むことで，改めて人工知能や量子コンピュータを動かすためのリスク管理について，大きなパラダイムシフトを伴っていることも感じ取れるであろう．

本書においては，前半部分が解説となっており，後半部分で実際の運用にあたってのカテゴリー別チェックリストを示し，演習形式になるような記述がなされている．このことから，実践形式の要素を大いに含んだ実用書的な位置づけを目標に定めていることがわかるし，その狙いが功を奏していると考える．

本書の主要構成の一覧を次に示す．1 章と 2 章の最後には［ワーク］として「自分の組織の対応を確認してみよう」という項目が設けられており，本書の内容と実際の運用対象との対応付けを常に意識するような心づかいが示されている．

1 章: IT システムにおけるリスクと新技術
2 章: 量子コンピュータが暗号にもたらすリスク
3 章: AI の発展と規制
4 章: AI システムにおけるリスク管理
これからのリスク管理とガバナンス

本書を読みこなすには，情報系の学士課程もしくは修士課程で講述されるレベルのセキュリティに関する知識が前提として必要である．しかし，仮にそのような知識を有していたとしても，いざ AI や量子コンピュータの実際のシステム設計や実装などを自ら行うとなると多くの課題や疑問が生まれ，行き詰ることが予想される．本書のように，その際に考えるべき要点をコンパクトにまとめた専門書の存在は，システムを実際に設計・運用する際に，極めて有用なものといえる．つまり，人工知能や量子コンピュータを自前で安全に設計・運用しようと考えている技術者が，是非とも座右に置きたい書籍の一つであると考える．

最後に，やや私的な感想となるが人工知能や量子コンピュータについて，25 年以上前からコンピュータサイエンスの展望の一部分として講述してきた評者にとって，本書は，とうとう，人工知能や量子コンピュータが現実のものとなり，かつ実用に供するようになったと実感させられたものといえ，極めて感慨深い一冊である．

（編集委員　田中賢一 記）

理事会だより

第 347 回　理事会

１．日時：2024年12月19日(金)17:00-

２．場所：会場（東京都中央区新富区民館）4号室(洋室)& オンライン(ZOOM)

３．出席者：理事20名

総出席者25名

【会長】高村 【副会長】 山本、岩崎、内田

【編集】新田 【企画】石榑、馬場、佐野、福里、窪田

【財務】中村、渡部、西村 【総務】久保、茂木、鈴木

【技術専門】北原、杉田、濱田、丸山

【監事】金盛

金井VC委員長

＜オブザーバ＞ 小野元会長　＜事務局＞ 浮ケ谷事務局長、大嶽次期事務局長

４．議題・資料

	担当	付番
(1)前回議事録確認	＜山本副会長＞	347-000-01

議題

（1）	議題1： 2024年度中間決算報告	＜事務局＞	347-001-01
（2）	議題2： 終身会員制度について	＜小野元会長＞	347-002-01
（3）	議題3： 第52回年次大会の選奨について	＜佐野実行委員長＞	347-003-01
（4）	議題4： 第53回年次大会の準備状況について	＜岩崎副会長＞	347-004-01
（5）	議題5： AIS2025開催準備について	＜北原技術専門理事＞	347-005-01
（6）	議題6： Visual Computing の運営体制の変更について	＜石榑企画委員長＞	347-006-01
（7）	議題7： 事務局長・次期事務局長、事務局員の雇用契約について	＜事務局＞	347-007-01
（8）	議題8： 会員管理システムの導入について	＜事務局＞	347-008-01

報 告

（1）	報告1： IEEE CTSoc との Sister Society 契約締結報告	＜高村会長・小野元会長＞	347-009-01
（2）	報告2： 編集委員会報告	＜内田副会長＞	347-010-01
（3）	報告3： 企画・セミナー委員会報告	＜石榑企画委員長・佐野企画理事＞	347-011-01
（4）	報告4： 画像関連学会連合会合同秋季大会報告	＜事務局＞	347-012-01
（5）	報告5： 事務局よりお願い	＜事務局＞	347-013-01

5. 議事　司会：山本副会長、議事録：鈴木総務理事

2025年度画像電子学会研究会等予定

研究会等名	開催日	場所	テーマ	締切	記事
Advanced Image Seminar 2025	6月6日(金)	オンライン開催	サイバーフィジカルシステムとそれに向けたセンシング、環境認識技術の最新動向	申込締切：6/4（水）	
第313回研究会	6月30日（月） -7月1日（火）	富士通労働組合センター	画像一般	申込締切：5/2（金） 原稿締切：6/9（月）	共催
第53回年次大会Media Computing Conference 2025	8月25日（月） -27日（水）	埼玉大学		Conference Track 申込締切（要旨提出）：6/16（月） 大会予稿集用原稿締切：7/23（水） Journal Track 学会誌用原稿締切：5/26（月） 発表申込締切（要旨提出）：6/16（月） 大会予稿集用原稿締切：7/23（水）	
Visual Computing2025	9月7日（日） -10日（水）	早稲田大学（予定）		概要申込締切：5/30（金） 原稿締切：6/6（金） カメラレディ原稿締切8/18（月）	
画像関連学会連合会第12回秋季大会	11月（予定）				
第314回研究会-高臨場感ディスプレイフォーラム2025	11月（予定）				
ビジュアルコンピューティングワークショップ2025	11－12月（予定）				
第10回DMH研究会	2月（予定）				
第315回研究会	2月（予定）				
第54回VMA研究会/第20回 視覚・聴覚支援システム研究会	3月（予定）				
第11回DMH研究会	3月（予定）				
第316回研究会-映像表現/芸術科学フォーラム2026	3月（予定）				

*研究会の場合，いずれも「画像一般」を含む　*空欄部は未定　*上記の予定は変更になる場合があります

問合わせ先 〒116-0002 東京都荒川区荒川3-35-4-101
一般社団法人 画像電子学会
TEL：03-5615-2893　FAX：03-5615-2894
E-mail：kikaku@iieej.org
https://www.iieej.org/
https://www.facebook.com/IIEEJ

First Call for Papers

The 9th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing 2026 (IEVC2026)

Hiroshima Univ., Hiroshima, Japan / March 16-19, 2026

https://www.iieej.org/en/ievc2026/ (in preparation)

Purpose:

The International Conference on Image Electronics and Visual Computing 2026 (IEVC2026) will be held in Hiroshima City, Japan, on March 16-19, 2026, as the 9th international academic event of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan (IIEEJ). Past IEVCs were held in Cairns, Australia (2007); Nice, France (2010); Kuching, Malaysia (2012); Koh Samui, Thailand (2014); Danang, Vietnam (2017); Bali, Indonesia (2019); online (2021); and Tainan, Taiwan (2024). The conference aims to bring together researchers, engineers, developers, and students from various fields in both academia and industry for discussing the latest researches, standards, developments, implementations and application systems in all areas of image electronics and visual computing.

Topics:

The conference will cover a broad set of research topics including, but not limited to, the following:

- ✧ 3D image processing
- ✧ Bioinformatics and authentication
- ✧ Computer vision
- ✧ Data hiding
- ✧ Image analysis and recognition
- ✧ Image and video coding
- ✧ Image and video retrieval
- ✧ Image assessment
- ✧ Image restoration
- ✧ Mobile image communication
- ✧ Motion analysis
- ✧ Object detection
- ✧ Printing and display technologies
- ✧ Segmentation and classification
- ✧ Smart display
- ✧ Versatile media appliance
- ✧ Animation
- ✧ Content production
- ✧ Extended Reality
- ✧ Metaverse
- ✧ Modeling
- ✧ Non‐photorealistic rendering
- ✧ Rendering
- ✧ Visual computing
- ✧ Visualization
- ✧ Architectural industry mondiale
- ✧ Artificial intelligence and deep learning
- ✧ Big data and cloud computing
- ✧ Content delivery network
- ✧ Digital museum, digital archiving
- ✧ Generative AI
- ✧ Hardware and software implementation
- ✧ Interaction
- ✧ International standards
- ✧ Security and privacy
- ✧ Social secured cybertechnology
- ✧ Unmanned Aerial Vehicle
- ✧ Visual and hearing impaired support
- ✧ Visual communication

Paper submission:

The official language is English, and authors should submit their papers as PDF through the online submission system, which will be available around June 2025 at the following IEVC2026 official website:

https://www.iieej.org/en/ievc2026/

The paper submission guide and IEVC formats (TeX format / MS Word format) will be also provided at this site. The organizing committee particularly encourages graduate students to present their works in the special sessions that are now planned by the committee of the conference.

General Papers:

The general papers category is divided into two types: journal track and conference track.

✧ Journal Track:

Journal track aims to publish the papers on the journal in addition to the publishing in the conference, with a quick review process. This type of paper will appear in a special issue on "Journal Track Papers in IEVC2026" in the IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 14, No. 1 (June 2026), if accepted through the journal review process. The authors have to prepare two types of papers different in the amount, the paper for the conference and the paper for the journal. The latter one is the extended version of the former one. **Note that the paper for the journal should follow the "guidance for paper submission" available from the website of IIEEJ, to be finally published in the IIEEJ Transactions.**

Important Dates

- Pre-Entry Submission (title, authors, 100 words abstract):	Sept. 12, Friday, 2025
- Paper Submission (2-4 pages, for the conference):	Sept. 26, Friday, 2025
- Paper Submission (6-8 pages, for the journal):	Oct. 24, Friday, 2025
- Notification of Conference Acceptance:	Nov. 21, Friday, 2025
- Camera-Ready Paper (2-4 pages, for the conference):	Dec. 12, Friday, 2025

✧ Conference Track:

Conference track aims to present the papers about recent results and preliminary work at IEVC2026. The authors are required to submit a paper of which length is 2-4 pages. Accepted papers will be published both in the online proceedings of IEVC2026 (indexed by J-stage) and in the USB proceedings. Rejected papers in the conference track can be resubmitted as late breaking papers.

Important Dates

- Pre-Entry Submission (title, authors, 100 words abstract):	Sept. 12, Friday, 2025
- Paper Submission (2-4 pages):	Sept. 26, Friday, 2025
- Notification of Acceptance:	Nov. 21, Friday, 2025
- Camera-Ready Paper (2-4 pages):	Dec. 12, Friday, 2025

Late Breaking Papers:

All suitably submitted papers for this category will be accepted for the conference. The authors must submit an abstract of which length is 1-2 pages, and select one from the following two types: 1) Technical papers or 2) Art/Demo papers. All the registered papers as late breaking papers will be published only in the USB proceedings of IEVC2026.

Important Dates

- Pre-Entry Submission (title, authors):	Nov. 24, Monday, 2025
- Abstract Submission (1-2 pages):	Nov. 28, Friday, 2025
- Notification of Acceptance:	Dec. 5, Friday, 2025
- Camera-Ready Paper (1-2 pages):	Dec. 12, Friday, 2025

Further information:

After the conference, the Trans. on IEVC of IIEEJ is planning a forthcoming special issue on "Extended Papers Presented in IEVC2026", which will be published in Dec. 2026. More detailed information will be notified on the IEVC2026 website and the Journal of IIEEJ.

Call for Papers

2025 年度 第 53 回 画像電子学会 年次大会

Media Computing Conference 2025

埼玉大学（埼玉県さいたま市）

後援: 国立大学法人　埼玉大学

2025 年度 画像電子学会 年次大会（Media Computing Conference 2025）を，2025 年 8 月 25 日～8 月 27 日に埼玉大学にて開催いたします．一般セッション，学生セッション，企画セッションのほか，特別企画（基調講演，招待講演，パネルディスカッション等）も計画中です．会員の皆様，奮ってご参加ください．

1. 開催日程・場所

開催日程： 2025 年 8 月 25 日（月）～8 月 27 日（水）
場所: 埼玉大学 （〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255）

2. 講演・参加申込み方法、参加費

Conference Track と Journal Track の二形態で募集します．

✧ Conference Track
従来の年次大会の講演募集と同様で，「一般セッション」「学生セッション」「企画セッション」で募集します．
- 一般セッション：画像電子学会の会員が一堂に会し，画像電子工学全般に関する研究の発表と意見の交換を行うことを目的とします．学生会員の発表も歓迎します．
- 学生セッション：画像電子工学に関する研究を行っている学生が一堂に会し，研究の発表と意見の交換を行うことを目的とします．課題提案を含め，卒論，修論などで検討された内容も歓迎します．様々な知見を持った専門家との議論によって研究を発展させる良い機会ととらえて積極的な応募をお願いします．なお，博士課程における研究成果はなるべく一般セッションでの発表をお願いします．
- 企画セッション：最近のメディアコンピューティング技術のトピックスを本学会研究委員会等が企画し，発表を通して，意見交換を行うことを目的としています．企画セッションについては現在検討中です．

講演分野は 5. 講演分野をご覧ください．

✧ Journal Track（査読付き発表）
✧ 画像電子学会誌への投稿論文を併せて提出してもらう形態です．対象セッションは Conference Track と同様「一般セッション」「学生セッション」「企画セッション」とします（各セッションの概要は Conference Track 欄をご覧ください）．
- 掲載号：2026 年 1 月号（「年次大会ジャーナルトラック特集号」）
- 投稿種別：通常の画像電子学会誌の投稿種別と同様，以下の 5 種類とします．
「論文」「ショートペーパー」「システム開発論文」「資料論文」「実践論文」

原則として採否は年次大会までに決定し，ご連絡いたします．採録が決定した論文は，査読付発表として取り扱います．

3. 論文提出方法・提出期限

✧ 論文提出方法
- Conference Track
EasyChair を利用して要旨，及び大会予稿集掲載用原稿を提出いただきます．
5 月下旬に申し込み受付を開始する予定です．

- Journal Track
学会誌への投稿論文は学会誌の投稿システム（Editorial Manager）を利用して提出いただきます．
なお，要旨，及び大会予稿集用原稿を Conference Track と同様，別途提出いただきます．

✧ 論文提出期限

- Conference Track
  - 発表申込(要旨提出)期限:2025 年 6 月 16 日(月)
  - 大会予稿集用原稿提出期限:2025 年 7 月 23 日(水)

- Journal Track
  - 学会誌用原稿提出期限:2025 年 5 月 26 日(月)
  - 発表申込(要旨提出)期限:2025 年 6 月 16 日(月)
  - 大会予稿集用原稿提出期限:2025 年 7 月 23 日(水)

4. 参加申し込み方法・参加費

後日, 年次大会 Web サイトに掲載します. 参加申し込み受付は 5 月下旬開始予定です.

5. 講演分野

[1] 画像符号化(静止画像符号化, 動画像符号化, 可逆符号化, 変換符号化, 動き補償, エントロピー符号化, 符号化ハードウェア, 符号化ソフトウェア, 国際標準化 等)
[2] セキュリティ(ステガノグラフィ, データハイディング, 著作権保護, 不正コピー防止, 改ざん防止, フィンガープリンティング, 攻撃技術, 透かし解析技術, ブロックチェーン, コバートチャネル, サブリミナルチャネル, 画像暗号化, 画像認証, バイオメトリクス, イメージフォレンジックス 等)
[3] 通信・ネットワーク(画像通信, 光ネットワーク, 符号化制御技術, 画質制御技術, 画像検索技術, 通信プロトコル, マルチメディア通信, クラウド, 標準化方式 等)
[4] 画像処理・認識(画像復元, 画像強調, フィルタ技術, 特徴抽出・追跡, オブジェクト抽出・検出, 動き解析, 領域分割, 画像認識, 文書画像, 顔画像解析, 動画像解析, 文字認識, 高解像化処理, コンテンツ制作 等)
[5] 画像入出力・色・画質評価(カラー画像処理, ディスプレイ技術, プリンタ技術, 色評価, 心理評価 等)
[6] バーチャルリアリティ・CG・コンピュータビジョン(ステレオ・多視点画像解析, 3 次元画像技術, 仮想現実感・拡張現実感, 映像生成, コンピュータグラフィックス, モデリング, レンダリング, ビジュアライゼーション, アニメーション, 画像再構成・復元, 照明・反射解析, マルチメディア処理, メディア統合, ホログラフィ, ポイントクラウド, ライトフィールド 等)
[7] 画像基礎・画像アプリケーション, その他画像一般(人工知能, ニューラルネットワーク, リモートセンシング, 機械学習, 深層学習, 進化計算, 遺伝的アルゴリズム, 画像データベース, 教育支援システム, Web 関連技術, ヒューマンインタフェース, ユーザビリティ, アクセシビリティ, 医用画像, IoT, ビックデータ, クラウドコンピューティング, デジタルサイネージ, 標準化教育, 災害応用, スマートシティ, ドローン, 産業応用, テレワーク, 遠隔教育, ロボット工学, 医療・農業・建設業などとの境界領域 等)

6. 問合せ先

画像電子学会事務局
〒116-0002 東京都荒川区荒川三丁目 35 番 4 ライオンズマンション三河島第二 101 号
TEL: 03-5615-2893 FAX: 03-5615-2894 E-mail: kikaku@iieej.org

画像電子学会 第 313 回研究会 in 長野 発表募集（6/30～7/1 開催）
共催：映像情報メディア学会（映像表現＆コンピュータグラフィックス研究会）

下記により、画像電子学会 第 313 回研究会（共催：映像情報メディア学会（映像表現＆コンピュータグラフィックス研究会)）の発表論文を募集いたします。
ご関係の各位には奮ってご応募ください。今回は現地とオンラインによるハイブリッド形式で開催します。
画像電子学会の第一種研究会では「コメント・サービス」に加え、優れた研究発表を行った若手研究者に対して「研究会若手奨励賞」を授与する予定です。

－記－

■テーマ：
画像一般（色再現、立体映像、CG、VR、アニメーション技術、画像処理、ME 関係、画像符号化など幅広く扱います。年次大会投稿に向けた議論の場としても歓迎します。）

■開催日：
2025 年 6 月 30 日（月）～ 7 月 1 日（火）
（発表件数により期間を短縮する可能性があります）
■会場：
富士通労働組合センター（〒389-1227 長野県上水内郡飯綱町大字高坂 1308-63）
https://www.iizna-sc.com/sightseeing.html
・会場は駅から遠くアクセスしづらいため、送迎付き・宿泊付きでの参加を推奨いたします。
・プログラム公開後に宿泊についての申込調査を実施いたします。
■発表形式：
現地とオンラインのハイブリッド開催、質疑応答含み 1 件当たり 30 分前後（実施方法や発表時間は、今後の状況により変更になる場合があります。）

□現地での発表・聴講形式：
発表者は各自の PC にてビデオ会議システム Zoom の画面共有機能により画面を共有しつつ発表を行っていただきます。発表前日までに発表者に Zoom への接続情報を電子メール等にてお送りします。（接続トラブルなどを想定し、念のため、USB メモリ等にて PowerPoint ファイル等を別途ご持参下さい。）

□オンラインでの発表・聴講形式：
発表者は各自の PC にてビデオ会議システム Zoom の画面共有機能により画面を共有しつつ発表と質疑応答を行っていただきます。各自マイク、カメラ、スピーカーを備えた PC をご用意ください。発表前日までに発表者と参加者に Zoom への接続情報を電子メール等にてお送りします。

■申込締切日：2025 年 5 月 2 日（金）
下記、共催映像情報メディア学会の URL から直接お申込みください。（ページ内の案内に沿ってお申込み下さい）
https://www.ite.or.jp/ken/program/index.php?tgid=IIEEJ

■原稿締切日：2025 年 6 月 9 日（月）
原稿の目安：A4 サイズ　2 段組　2〜4 頁

■参加費(予稿集付)：　2 日開催 2,000 円（1 日開催の場合は 1000 円）
・学生で予稿集（ダウンロード）が不要の場合は参加費無料です。
・参加申込、および、参加費の支払い方法は別途ご案内いたします。

■コメント・サービスについて：
研究会（本学会主催/共催の第一種研究会）では、発表内容がその後学会誌論文としての投稿に発展することを促進するため、発表者の希望に基づいて、当学会が指名した研究者が事前に発表者の最終原稿を読んだ上で、当日発表時に質問やコメントをし、さらに後日、コメントを発表者に送付する「コメント・サービス」を実施しています。
このサービスを活用すると、発表に関してより踏み込んだ議論が期待できますので、今回の研究会での発表内容を将来的に学会誌論文として投稿することを検討されている発表者は、申込締切後に画像電子学会より送付されるアンケートにて「コメント・サービス希望」とご回答ください。なお、本サービスの対象発表数には限りがありますので、最終原稿に基づき選抜させていただくことがあります。あらかじめご了承ください。

■研究会若手奨励賞について：
画像電子学会第一種研究会において優れた研究発表を行った若手研究者に対して「研究会若手奨励賞」を毎年若干名授与します。受賞資格は以下のとおりです。研究会奨励賞の対象者（研究会における発表登壇時において 35 歳以下）は発表申込み時に生年月日をご記入ください。
– 本奨励賞の受賞時において本学会会員（学生会員含む）であること。
– 研究会における発表登壇時において 35 歳以下であること。
– 過去に同賞を受賞したことがないこと。

■お問い合せ先：一般社団法人 画像電子学会
〒116-0002　東京都荒川区荒川 3-35-4　ライオンズマンション三河島第二 101 号室
TEL: 03-5615-2893　FAX: 03-5615-2894　E-mail: kikaku@iieej.org

詳細については学会ホームページで順次掲載いたします。
画像電子学会ホームページ　https://www.iieej.org/

■共催：
映像情報メディア学会（映像表現＆コンピュータグラフィックス研究会）

■後援：
一般社団法人信州産学みらい共創会

■その他：
当学会では研究会予稿を電子化しており、予稿（電子ファイル）の事前配布を可能とするため、予稿の公開日は研究会開催日の 1 週間前となる予定です。

以上

画像電子学会セミナー

Advanced Image Seminar 2025 (AIS2025)

「サイバーフィジカルシステムとそれに向けたセンシング、環境認識技術の最新動向」

サイバーフィジカルシステムでは、環境に関する情報をセンシングし、サイバー空間で解析して実世界に様々な価値をフィードバックします。製造業、医療、交通など様々な分野で新しい価値を創出して社会をスマート化するものとして期待されており、環境の多様な側面を詳細にとらえるセンシング技術、得たデータに基づいて環境の具体的な状態を理解する環境認識技術、これらを組み合わせて多様な価値を創出する技術といったキー技術の研究が盛んに進められています。本セミナーでは、このような技術領域における最新技術や活用事例、将来の展望など、第一線で活躍されている講師をお招きし、幅広い話題を含めて解説していただきます。

主催：画像電子学会
協賛（予定）：映像情報メディア学会，情報処理学会，画像関連学会連合会（日本画像学会、日本写真学会、日本印刷学会）
後援（予定）：電子情報通信学会，画像情報教育振興協会

開催日：2025 年 6 月 6 日（金）10:20-12:00 13:00-15:40
場所：オンライン開催

参加費：会員（賛助会員／協賛学会／後援協会会員を含む）12,000 円 / 会員（参与）3,000 円 / 学生 3,000 円/
非会員 18,000 円
●振込手数料はご負担願います 。
●参加者には 講演後に、講演資料をダウンロード可能とする予定です 。
※お申し込み頂いた非会員の方で、入会希望の方は、入会金・初年度会費 が免除となります。
振込先：みずほ銀行 浜松町支店
口座番号：（普）1961408 口座名：一般社団法人画像電子学会
申し込み先：https://forms.gle/GcSHvnzHSJGtMNJH6 よりお申し込みください。
申込締切：2025 年 6 月 4 日（水）

全般お問合せ先：画像電子学会 事務局
〒116-0002 東京都荒川区荒川三丁目 35 番 4 ライオンズマンション三河島第二 101 号
TEL: 03-5615-2893, FAX 03-5615-2894, e-mail: kikaku@iieej.org

【プログラム】
(1) 10:20-11:10 NTT コンピュータ＆データサイエンス研究所 曽我部陽光 氏
タイトル：メタレンズと深層学習で実現する小型・リアルタイムのハイパースペクトルイメージング
(概要) 本講演では、波長依存 PSF を備えたメタレンズと深層学習による画像再構成手法を組み合わせた圧縮スペクトルイメージングを紹介する。本技術により撮像装置の小型化と単純化を実現しつつ、高解像度かつ可視光から近赤外光（45 バンド）のハイパースペクトル動画をリアルタイムに取得可能である。これにより、肉眼では識別困難な微細な特徴を対象から抽出でき、多様な応用が期待される技術である。

(2) 11:10-12:00 千葉大学　准教授　久保尋之 氏
タイトル：Visualization of the Invisible: 光伝搬の選択的計測と解析に基づく潜在的映像情報の可視化
(概要) 私たちは、目では見えないシーンの潜在的な映像情報の可視化を目的として、光伝搬の選択的計測と解析に基づく技術の開発を進めています。本講演では，時間同期式プロジェクタ・カメラシステムを用いた皮下血管のリアルタイムで鮮明な可視化技術を紹介するほか、濃霧における路面映像の鮮明化技術や、流体における流れ場の可視化技術、非視線方向（NLoS）イメージングなど、様々なイメージング技術を紹介し、その幅広い応用について解説します。

12:00-13:00 お昼休み

(3) 13:00-13:50 産業技術総合研究所　大隈隆史 氏
タイトル：コミュニケーションを拡張するインターバースの実現に向けて
(概要) バーチャル空間と実環境が融合したインターバースにおけるコミュニケーション拡張の研究開発プロジェクトの取り組みを紹介する。XR 技術や行動計測などの要素技術を活用した空間や状況の共有により、既存の情報伝達の制約を超えた新たなコミュニケーションモデルの実現に向けた取り組みを進めている。

(4) 13:50-14:40 東京理科大学　教授 谷口行信 氏
タイトル：カメラ映像解析による乳牛個体管理と交通量計測
(概要) カメラ映像解析を用いた環境認識の研究事例を紹介します：1) マルチカメラシステムを用いた乳牛個体管理――乳用牛の疾病兆候・発情兆候の早期発見に向けた乳牛検出・追跡・個体識別技術、2) CCTV カメラからの車種別交通量計測――渋滞時や夜間帯に対応した頑健な車種別車両カウント。

14:40-14:50 休憩

(5) 14:50-15:40 三菱電機株式会社　安達 佳明 氏
タイトル：現実とバーチャルを繋ぐ時空間データ基盤「GeoCLOVER」
(概要) 近年、人手不足、環境配慮、災害対策などの社会課題解決に向けて、さまざまなモノや活動をデジタルデータとして収集し、それらを高度に連携、表現したデジタルツインの活用が注目されています。デジタルツインを実現するためには、人、物品、設備など、現実世界を構成するあらゆるモノをデータとして収集し、それらの位置と時間の関係を正確に把握する必要があります。
当社では、前記課題を解決するために、ビル、工場、都市などの現実世界をまるごと空間と時間のデータとして収集し、バーチャル上に再現する時空間データ基盤「GeoCLOVER」を開発しております。今回は、GeoCLOVER に関する当社取り組みを中心に、GeoCLOVER のコンセプトや活用方法をご紹介いたします。

2026 年 4 月号 英文誌 6 月号 論文特集号 論文募集
― AI 技術と画像電子関連技術特集－ (締切 2025 年 10 月 31 日(金)必着)

画像電子学会 編集委員会

近年の AI（人工知能）技術の急激な進歩は，画像や映像の処理，認識，生成をはじめとするさまざまな画像電子関連技術に飛躍的な進展と向上をもたらしました．応用分野も自動運転，医療画像診断，顔認証システム，工場等での異常検知，監視カメラ／ドローンなどと枚挙に遑がありません．一方で，フェイク画像の作成など, 技術の使い方によって生じる社会的問題の対策も大きな課題となることが予想されます. いずれにせよ，今後，画像電子関連分野において AI 技術が益々その重要性を増していくことは間違いのないことでしょう．

本特集では，これら AI 技術と，それによって加速される画像電子関連技術の研究成果や，それらを実際に応用した結果の評価に関する論文，システム論文，実践論文，さらにサーベイ論文等を広く募集いたします．

1. 対象トピック

以下に対象となるトピックの例を挙げますが，これらに限らず，AI 技術と画像電子関連技術に関連するものを広く募集します．

・画像処理における AI 技術の応用（認識，分類，生成）
・機械学習・深層学習を用いた画像認識技術
・AI 技術による映像圧縮や伝送技術の向上
・AI 技術を用いたコンピュータビジョン技術
・生成 AI による画像生成および編集
・自然言語処理と画像処理の融合技術
・医療画像処理における AI 技術の応用
・自動運転における AI 技術
・監視カメラやドローンを用いた映像分析における AI 技術応用

2. 投稿論文種別（著者に学会員を含む等の掲載条件は適用されます）

フルペーパー，ショートペーパー，システム開発論文，実践論文，サーベイ論文

3. 論文の取り扱い

投稿様式，査読プロセスとも通常の投稿論文と同様です．
採録決定が特集号に間に合わなかった場合には，通常の投稿論文として取り扱います．
英文での投稿も受け付けます
（IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing （6 月号）への掲載となります）．

4. 特集号発行

画像電子学会誌（電子版） 2026 年 4 月号，英文論文誌 2026 年 6 月号

5. 論文投稿締切日

2025 年 10 月 31 日（金）

6. 投稿方法および問い合わせ先

画像電子学会 http://www.iieej.org/
〒116-0002 東京都荒川区荒川三丁目 35 番 4 ライオンズマンション三河島第二 101 号室
TEL： 03-5615-2893， FAX： 03-5615-2894， E-mail：hensyu@iieej.org
論文投稿の手引き
https://www.iieej.org/call-for-papers/guide-paper-submission/

2017 年 1 月 6 日改訂
2018 年 7 月 6 日改訂
2020 年 10 月 2 日改訂
2024 年 11 月 6 日改訂
2024 年 12 月 4 日改訂

論文投稿の手引き

1. 論文投稿

(1) 投稿前

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

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

(2) 投稿

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

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

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

2. 論文査読と対応

(1) 査読

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

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

○ サーベイ論文は，通常論文における新規性に代えて網羅性，俯瞰性，客観性について評価する。信頼性，了解性，及び文献調査においては，基本的に通常論文と共通の観点により評価する。

○ 実践論文は，通常論文の新規性，有用性に代えて合目的性，独自性，適応性の基準で評価する。また，信頼性，了解性，及び文献調査においては，基本的に通常論文と共通の観点により評価する。(なお，5 段階評価において通常論文の評価項目を流用する場合は通常論文の新規性を「合目的性」に，有用性を「独自性」に，信頼性を「適応性及び信頼性の総合」に読み替えて記入するものとする。)

✓ 合目的性：投稿内容に合目的性があること。

✓ 独自性：投稿内容に著者の独自性や拡張性があること。

✓ 適応性：投稿内容が先行事例より優れていること。また，当該事例の合目的性に対する要求条件及び適用範囲において，当該事例が同一条件下で先行事例と比べ，複数の視点で高い客観性・相互主観性を有し，サービスの向上に貢献するものであること。

これらの具体的な例を以下に示す。

✓ 合目的性：当該事例への提案内容の導入が一定の目的にかなった方法であることが示されていること。また，分析結果の適用範囲において高い合目的性を有すること。

✓ 独自性：当該事例において先駆的な独自応用コンセプトが示されていること。先行事例の組み合わせであっても組み合わせの独自性，導入事例の適用範囲の独自性，事例構成の独自性，他の事例（システム，サービス）への拡張性，現状の画像電子技術に係るサービスの有効性，得られた知見の独自性などを事例の独自性として認める。

✓ 適応性：提案事例のもつ適応性を判断するために充分な導入分析結果及び考察が示されていること。提案事例と先行事例との適応性に関する比較結果が，共通条件下で示されていること。提案事例が先行事例と比較し，総合的或いは複数の部分で性能が優れていること，或いは課題，合目的性に対する要求条件及び適用範囲において，より高い客観性・相互主観性を有していること。

(2) 査読結果受領後の対応

・ 「採録」の場合，著者は最終原稿の準備（3. に記載）に進む。

・ 「採録（参考意見有り）」の場合，著者は査読者からの参考意見を考慮して論文を修正し，最終原稿の準備（3. に記載）に進む。

・ 「条件付採録」の場合，著者は査読者から示された「採録の条件」に基づき，指定された期日まで（60 日以内）に論文を修正し，照会内容への対応を明記した回答書とともに再提出し，再度審査を受ける。修正論文には，修正箇所がわかるように，色を付けるか，下線を引くなどすること。また，回答書は必ず添付し，採録条件全てに対し，修正点，主張点，今後の課題などを丁寧に説明すること。

・ 「返戻」の場合，著者は以降のプロセスに進むことができない。査読者から示された「返戻の理由」を吟味して論文内容を再検討し，あらためて投稿することができる。

(3) 修正原稿査読

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

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

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

3. 最終原稿提出から出版まで

(1) 最終原稿提出

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

(2) ゲラ刷りの校正

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

(3) 出版

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

以上

日本画像学会誌　　第64巻　第1号　（通巻273号）　2025年

目　　次

巻頭言

年頭にあたり……藤井雅彦…　2（ 2 ）

論　　文

液晶性有機半導体を用いたイメージセンサピクセルの作製……鈴木一世，半那純一，飯野裕明…　3（ 3 ）

打滴干渉に対する粒状性向上ハーフトーン技術

……鈴木拓也，高橋　浩，後藤隆之，村井宏亘，高橋健太…　9（ 9 ）

Imaging Today

「デジタル印刷機器の最新技術」

Introduction……朝武　敦，中山信行，名越応昇，宮本栄一…　15（15）

インクジェット技術の進化と最前線……酒井真理…　16（16）

環境配慮型水系顔料インクを用いたデジタル印刷機器について―TASKalfa Proシリーズと

FOREARTH―……小澤範晃，高折靖子，染手隆志，泉地祥男，坂田昌一，廣島　進…　23（23）

高速デジタル印刷における相変化型UVインクの技術革新…池田征史，保坂憲一郎，飯島裕隆…　30（30）

高速カラーインクジェット連帳機“Jet Press 1160CF”……幡谷航暉，瀬戸信二…　38（38）

乾式電子写真技術によるB2紙印刷への挑戦……木内　豊，田中有周，久家秀喜，馬場俊彰…　43（43）

Pro C9500に搭載された摺動定着技術について

……湯淺周太郎，青木悠貴，小川禎史，窪田啓介，菅原祥樹，徳田哲生…　54（54）

ファッションビジネスの未来―デジタルテキスタイルとインクジェット捺染に関する一考察―

……岡本慶子…　61（61）

Imaging Highlight

LEDビジョンによる3D表示　画像の基礎から巨大物体表示へ……桑山哲郎…　70（70）

教育講座

画像技術を支える高分子の基礎（Ⅵ）―トナー用バインダー―

……岡内伸暁，須釜宏二，茂木健太郎…　75（75）

研究室訪問

熱流体工学研究室（石井研究室）　中央大学　理工学部　精密機械工学科……　86（86）

会報……　89（89）

会告……　94（94）

投稿案内……　95（95）

日本写真学会誌の目次……　97（97）

日本印刷学会誌の目次……　98（98）

画像電子学会誌の目次……　99（99）

画像閑話

日本画像学会誌　　第64巻　第2号　（通巻274号）　2025年

目　　次

論　文

カラー・コードを利用した簡易的な多重化可視光通信システム
…… 荻原僚介，常田妃登美，滝本和哉，曽根宏靖…102（ 2 ）

布および糸の構造を考慮した液体浸透シミュレーション……高津直樹，正井　智，宮澤　弘…107（ 7 ）

Imaging Today

「画像技術を高度化するシミュレーション最新事例」

Introduction……中山信行，宮本栄一，岸由美子，山口大地，加藤知之，横山優樹…116（16）

電子写真におけるトナー画像形成工程のシミュレーション……加藤恭平…117（17）

キャリアの運動にもとづくトナーの運動と現像諸特性の予測モデル……赤羽健二，横山優樹…130（30）

電子写真における火花放電とその放電形態……長尾剛次，大森雅夫，中山信行…141（41）

サロゲートモデルと多目的最適化を用いた定着器設計手法
……吉岡広起，中尾修一，安井甲次，依田寧雄…152（52）

定着プロセスにおける紙上トナー像形成のシミュレーション
……加藤恭平，江守香南子，大西拓馬，田中正信，安井甲次…157（57）

ピコリットルサイズ純水液滴の蒸発解析
……森山裕将，原田祥宏，西村秀明，加藤弘一，伏信一慶，門永雅史…166（66）

インクジェットシミュレーション解析……門永雅史…175（75）

吐出シミュレーションによるインク粘弾性影響解析……佐武健一，森　亮久…183（83）

価値の創出に向けMBDに期待したいこと―サーマル印刷の熱回路網法を例に―
……福江高志，寺尾博年…193（93）

1D-CAEとサロゲートモデル連成によるサーマル印字プロセスの熱計算手法……丸山泰弘…200(100)

多角度分光計測をベースとした色予測モデルの構築と構造色インクジェット色質感再現シミュレーション
……針貝潤吾，桑田良隆，佐々田美里，高田勝之，河本匠真…205(105)

Imaging Highlight

REMAX WORLD EXPO 2024報告……山﨑　弘…215(115)

教育講座

画像技術を支える高分子の基礎（Ⅶ）―光重合反応とその応用―……朝武　敦…224(124)

研究室訪問

知能センシング研究室（長原研究室）　大阪大学D3センター（大学院情報科学研究科）……233(133)

会報……235(135)

会告……241(141)

投稿案内……242(142)

日本印刷学会誌の目次……243(143)

画像電子学会誌の目次……244(144)

画像閑話

日本写真学会誌
88巻Ⅰ号（2025年/令和7年）

口絵・口絵解説

1 「画像からくり」
第68回　3Dメガネの話題
桑山哲郎

写真のある美術館・博物館・資料館

3 ニコンミュージアム

5 会告 2025年度 日本写真学会年次大会発表募集要綱参加募集要綱・日本画像学会誌・日本印刷学会誌・IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing・画像電子学会誌

特集 学会創立100周年記念特集：「語り継がれる写真産業史・写真文化史」

9 解説 株式会社ケンコー・トキナーにおける写真産業史
田原栄一

15 解説 株式会社浅沼商会における写真産業史
伊藤豪朗

20 解説「インスタント写真産業史　ポラロイド～コダック～富士フイルム」
御林慶司

29 解説 セイコーエプソンにおけるインクジェットシステム産業史
角谷繁明

36 解説 キヤノンにおけるインクジェットプリンター産業史
田鹿博司

41 解説 日本の大学等における写真関連の研究2（千葉大学）
久下謙一

45 2024年度（第10回）画像関連学会連合会 秋季大会 講演要旨

89 会報 理事会抄録，投稿規定等，執筆の手引き，著作権の取扱い，入会のおすすめ

日本印刷学会誌

目次

第 62 巻　第 1 号（2025 年 2 月）

巻頭言
グラビア印刷の未来に向けて . . . . . 村中正則　1
総説 1　特集「環境と印刷（1）SDGs と企業の取り組み」
水性フレキソ印刷技術と環境対策への取組み . . . . . 佐々木高夫　2
マテリアルリサイクルの可能性を広げる，
プラスチック包装および成型品の剥離・脱墨技術 . . . . . 原子詩奈　7
環境に配慮した折り紙食器の開発 . . . . . 山田秀生　12
総説 2　特集「アジアシンポジウム」
Application of Artificial Intelligence (AI) in Vietnamese Food Packaging Design: Trends and Challenges. . . . . Le Thi Bich Loan and Cung Duong Hang　18
Investigation on Conformance of Sheet-Fed Offset Ink to ISO 2846-1 Standard . . . . . Nguyen Thanh Phuong, Nguyen Long Giang, Le Cong Danh, Nguyen Thi Ngoc Nhung and Nguyen Le Phuong Trinh　27
Applications of ZnO Nanoparticles for Security Printing Ink and Smart Packaging . . . . . Nguyen Thanh Phuong, Nguyen Thi Ngoc Nhung, Luu Duc Hai My, Nguyen Long Giang and Le Cong Danh　33
The Role of Color and Printing Technology in Spring Newspaper Covers in Southern Vietnam before 1975 . . . . . Nguyen Thi Thu Trang　39
国際会議報告
The 14th Asian Symposium on Printing Technology (ASPT2024) Artificial Intelligence and Sustainable Printing: Trends and Challenges . . . . . 東　吉彦　44
印象記
2024 年グラビア研究会　第 14 回研究例会に参加して . . . . . 奥野誠二　47
第 20 回「紙メディア」シンポジウム印象記
紙メディアの可能性をデザインの視点から探る . . . . . 松本　圭　48
2024 年度プリメディア研究例会印象記 . . . . . 田中　貞　50
2024 年度スクリーン印刷技術研究会セミナー印象記. . . . . 佐竹保彦　52
Abstract 54
学会だより 56
日本印刷学会賛助会員名簿 61

日本印刷学会誌

目次

第 62 巻　第 2 号（2025 年 4 月）

■ 巻頭言
アジアの学術研究者とのさらなる交流を . . . . . 東　吉彦　71
■ 総説 1　特集「環境と印刷（2）環境対応技術の最新動向」
印刷分野における国際標準化と環境規制への戦略的対応 . . . . . 佐藤忠伸　72
特色インキを使用しない特色印刷「EP サステナ印刷」. . . . . 山田秀邦・伊藤　健　76
無処理 CTP 版の技術動向 . . . . . 渡邉駿平　81
印刷技術の発想から生まれたペロブスカイト太陽電池 . . . . . 池上和志　89
環境配慮を目的とした脱アルミ箔パッケージ . . . . . 多久島和弘　94
水性フレキソ印刷とノンソルベントラミネートを組み合わせた
レトルト対応パッケージの開発 . . . . . 青木徹也　98
■ 総説 2　特集「アジアシンポジウム（2）」
Transforming Wastepaper into Value: A Study on Papercrete Applications
. . . . . Krissawan Korkiate, Thanakorn Wasanapiarnpong and Aran Hansuebsai　102
Innovative Utilization of Wastepaper from Printing Houses in Molded Pulp: Enhancing Quality, Reducing Carbon Footprint, and Promoting Sustainable Products. . . . . Yolravee Kittiboongate, Sarita Pornputtkul, Chi Hong Liao, Takehiro Ishihara, Alan Dong Tehua and Aran Hansuebsai　106
■ 印象記
2025 年冬期セミナー印象記 . . . . . 古賀裕之　111
2025 年第 1 回 P&I 研究会シンポジウム印象記 . . . . . 伊藤陽平　113
■ Abstract 114
■ 学会だより 116

会 報

○新入会員紹介（2025 年 3 月 31 日）

○会員現況

名誉会員	17 名
正会員	459 名
学生会員	51 名
賛助会員	18 社 27 口
特殊会員	27 件

編集後記

画像電子学会誌 2025 年第 2 号（4 月号）をお届けいたします．本号は,「VR/AR における画像電子関連技術論文特集」と題し, 論文 4 編, ショートペーパー1 編を掲載しております. そのまえがき（VR/AR における画像電子関連技術論文特集に寄せて）にもある通り，本特集には英文論文を含め合計 10 編の投稿が寄せられました．これは，近年の論文特集では特筆すべき数で, 画像電子分野における VR/AR 技術への関心の高まりと，当該分野における研究活動の活発さを如実に示すものと言えるでしょう．また，英文論文についても採録予定の数編が，本年 6 月号の英文論文誌に掲載の予定です．なお，来年（2026 年）4 月号の論文特集テーマは「AI 技術と画像電子関連技術特集」であり，投稿締め切りは 2025 年 10 月 31 日の予定です．AI と画像電子の融合に関する最新の研究成果のご投稿を，心よりお待ちしております.

本号には，他に，石榑企画委員長による随想「企画委員長就任挨拶」, 小野名誉会員にご執筆いただきましたスキャニング「JPEG 標準化記念行事と JPEG 会合の最新事情」，さらに田中賢一編集委員による図書紹介「AI・量子コンピュータにかかわるリスク管理 セキュリティからガバナンスへ」など，会員の皆様にとって関心の高い記事も掲載されております．ぜひご一読ください.

さて，2025 年 4 月 13 日に「2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）」が開幕いたしました．報道や公式 Web サイトによれば，各パビリオンなどにおいて，最新の画像電子関連技術がふんだんに活用されているとのことです．本年 1 月号の随想でも触れましたが，私は 1985 年に開催された「国際科学技術博覧会（つくば科学万博）」に 10 回以上足を運び，その体験から得た感動と興奮が，今の自分に多大な影響を与えたと実感しております．今回の大阪・関西万博も，多くの子どもたちや若者たちにとって，その人生を変えるような貴重な機会となることを願ってやみません.

最後に，今後開催予定の学会行事についてご案内申し上げます．今年 6 月，そして来年 2 月の定例研究会はいずれも極めて魅力的な地での開催を企画しています．次に「2025 年度第 53 回画像電子学会年次大会」が，2025 年 8 月 25 日から 3 日間，久しぶりに首都圏の埼玉大学にて，また「The 9th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2026)」が 2 年ぶりに 2026 年 3 月 16 日から 4 日間, 広島大学霞キャンパスにて開催されます. 両イベントについては，本号に Call for Papers が掲載されており Journal Track として, 学会誌や英文誌への論文投稿を伴う発表形態も設けております．是非ご投稿・ご参加をご検討ください.

今後とも，画像電子学会へのご支援を賜りますよう，何卒宜しくお願い申し上げます.

（編集委員長　東海大学　内田　理）

画像電子学会誌
第 54 巻 第 2 号（通巻 272 号）
令和 7 年 4 月 30 日発行（年 4 回発行）

E-mail：hensyu@iieej.org
http://www.iieej.org/

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

画像電子学会誌
Journal of the IIEEJ 2025
2025 Vol.54 No.2

VR／ARにおける画像電子関連技術論文特集号

第54巻 第2号