

先端国際共同研究推進事業

2023 年度採択

次世代のための ASPIRE

AI・情報分野

2023 年～2024 年度

年次報告書・公開版

研究課題名 シームレス・リアリティ：実世界指向アバターによるサイバー・
フィジカル空間の接合技術基盤

日本側研究代表者 伊藤 勇太 東京大学大学院情報学環 特任准教授

相手側研究代表者

・Aksit Kaan, Associate Professor, University College
London

・Normand Jean-Marie, Associate Professor, École
centrale de Nantes

・Bickel Bernd, Professor, ETH Zurich

研究期間 2024 年 2 月 1 日～2027 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

【WP1】ARディスプレイの表現力拡張および軽量化

ARディスプレイの表現力拡張において、光学遮蔽型と光減衰型の利点を統合した新しいOST-HMDを開発した。デジタルマイクロミラーデバイスと非画素型偏光フィルタの高速同期制御により、従来は複数必要だった空間光変調器を単一デバイスに集約し、小型でありながら広色域な光減衰を実現した。さらに、光源も含めた同期制御と知覚駆動型の最適化により、小型フォームファクタを維持したまま高品質な色減算表示を達成した。

軽量化に関しては、ビーミングディスプレイの新たな設計アプローチとして2つの重要な成果を得た。複数のステアリングプロジェクターを協調制御することで、ユーザの頭部姿勢の制限を大幅に緩和した。また、特殊な結合格子を持つ回折型ウェーブガイドを用いることで、約2mmの薄さでありながら従来の5度という制限を大きく超える20-30度の入射角許容範囲を実現した。

【WP2】視覚認知に基づくARアバター設計

ARアバターの実在感向上を目的として、複数の研究アプローチを展開した。物理アクチュエータをOST-HMDを介してARのバーチャルキャラクタで覆い隠す手法を開発し、チェスゲームを用いた実験により、バーチャルキャラクタの社会的存在感と没入感の向上を実証した。

また、小学校教育における創造的な身体表現を支援するシステムを開発した。生徒のジェスチャーをARパーティクル効果として視覚化することで、感情や思考を表現する身体動作を促進した。実証実験を通じて、授業への参加度向上と創造的表現能力の改善を確認した。

さらに、色振動現象を応用した新たな視覚的注意誘導手法を確立し、ARアバターの感情表現や非言語コミュニケーションにおける微細な変化の伝達手段としての可能性を示した。

【WP3】実物体の形状・触感操作によるARアバターの実在感向上

形状操作と触覚提示に関する複数のアプローチを提案した。形状操作に関して、液晶エラストマーを用いたRobotic Surfaceの研究開発を実施し、レーザー走査による非接触加熱で多様な三次元形状への変形を実現した。また、気相-液相転移アクチュエータの多層化構造の研究では、ファブリケーション環境を構築し、計算論的設計の実現可能性を検証した。さらに、低沸点液体の染色による光熱変換による液相-気相アクチュエータ駆動を実現し、LEDの色による波長分割選択的な無線駆動を可能にした。さらに、群ロボットを用いた形状表現による身体実体化を実現し、SPHモデルを用いた効率的な群ロボット制御手法を確立した。

触覚提示に関しては、微小な繰り返し構造による振動伝播制御手法を提案し、局所的な振動特性を持つ触覚ディスプレイを実現した。また高周波の色振動信号を用いた低遅延な視触覚重畳提示システムを開発した。

<得られた成果>

【WP1】ARディスプレイの表現力拡張および軽量化

表現力拡張に関する研究成果は、VR/AR分野における主要な国際論文誌であるIEEE TVCGおよび主要国際会議IEEE ISMAR 2024に採録された。

軽量化に関する成果は、複数プロジェクトの協調制御による頭部姿勢制限の緩和について、同じく IEEE TVCG に採録された。また、回折型ウェーブガイドを用いた新しい設計については、IEEE ISMAR 2024 Poster で速報的な成果を発表し、さらに詳細な研究成果が主要国際会議 IEEE VR 2025 に採録された。

【WP2】視覚認知に基づくARアバター設計

AR アバターの実在感向上に関する研究は、人間拡張に関する国際会議 ACM Augmented Humans 2024 と IEEE VR 2024 内のワークショップで発表を行った。また、AR による身体表現支援の教育現場における実証実験については、SIGGRAPH Asia Educator's Forum '24 にて発表し、Honorable Mention Award を受賞した。色振動現象を用いた視覚的注意誘導手法は、IEEE TVCG への採録が決定している。加えて、色振動の特性理解の研究は CG に関するトップ国際会議である ACM SIGGRAPH 2024 にてポスター発表を行い、1st Place Student Research Competition for Undergraduate Work を受賞した。

メタバースプラットフォームを活用した評価基盤については、IEEE ISMAR 2024 でのデモ発表を行った。また、VR 空間のオブジェクトの振る舞いを自然言語から生成するツールの研究については、国際論文誌 IEEE Access に採録された。

【WP3】実物体の形状・触感操作によるARアバターの実在感向上

液相-気相転移アクチュエータの非接触駆動の研究については、ロボットに関する主要国際会議 IEEE ICRA@40 でポスター発表を行った。また、デバイス筐体内の局所的な振動特性制御を実現する研究については、HCI における主要国際会議 ACM CHI 2024 にてデモ発表を行った。実物体の形状・触感の操作により、AR 環境の実在感を向上させる発展的研究展開においては、空中像への情報埋め込みによる視触覚重畳提示システムについては、IEEE TVCG に採録された。また、小型の群ロボットを用いた形状表現に関する研究は、ACM CHI 2024 にて口頭発表、ロボットに関する主要国際会議 IEEE/RSJ IROS 2024 にて口頭発表を行った。また、ACM CHI 2024 における発表ではデモ発表も合わせて実施し、Interactivity Popular Choice Honorable Mention を受賞した。

② 国際頭脳循環の促進にかかる成果

＜実施したこと＞

1. ETH Zurich での ASPIRE メンバーによる Closed なワークショップを実施
2. クラスター（株）での ASPIRE メンバーによる Closed なワークショップを実施
3. ECN での ASPIRE メンバーによる Closed なワークショップを実施
4. IEEE VR2025 での公開の ASPIRE ワークショップ（投稿論文募集含む）実施。14 件の論文が発表され、1 件のキーノートを実施。
5. 学生 2 名の海外への中・長期派遣

＜得られた成果＞

チームから学生 2 名（5 月～年度末、および 12 月から年度末）を ASPIRE プロジェクトの連携先である 仏 ECN に派遣し、国際共同研究および頭脳循環を行った。Closed なワークショップを通じて、ASPIRE 研究による共同研究を加速するとともに、訪問側・現地学生間の交流を促した。また、ASPIRE プロジェクトの根幹テーマである Seamless Reality をかかげ、国際会議での公開ワークショップを通じ、ASPIRE 研究テーマに沿った多様な参加者を集めた。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ1	伊藤勇太	東京大学・情報学環・特任准教授
研究テーマ2	廣井裕一	クラスター株式会社・メタバース研究所・シニアリサーチサイエンティスト
研究テーマ3	平木剛史	筑波大学・図書館情報メディア系・助教

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

原著論文

- [1] Y. Hiroi, T. Hiraki, Y. Itoh, "StainedSweeper: Compact, Variable-Intensity Light-Attenuation Display with Sweeping Tunable Retarders", IEEE Trans. Vis. Comp. Graph., vol. 30, no. 5, pp. 2682-2692, 2024.
- [2] H. Aoki, T. Tochimoto, Y. Hiroi, Y. Itoh, "Towards Co-operative Beaming Displays: Dual Steering Projectors for Extended Projection Volume and Head Orientation Range," IEEE Trans. Vis. Comp. Graph., vol. 30, no. 5, pp. 2309-2318, 2024.
- [3] R. Tosa, S. Hattori, Y. Hiroi, Y. Itoh, T. Hiraki, "ChromaGazer: Unobtrusive Visual Modulation using Imperceptible Color Vibration for Visual Guidance", IEEE Trans. Vis. Comp. Graph., 10 pages, 2025.
- [4] R. Kurai, T. Hiraki, Y. Hiroi, Y. Hirao, M. Perusquia-Hernandez, H. Uchiyama, and K. Kiyokawa, "MagicItem: Dynamic Behavior Design of Virtual Objects with Large Language Models in a Commercial Metaverse Platform," IEEE Access, 12 pages, 2025.
- [5] R. Nagano, T. Kinoshita, S. Hattori, Y. Hiroi, Y. Itoh, and T. Hiraki, "HaptoFloater: Visuo-Haptic Augmented Reality by Embedding Imperceptible Color Vibration Signals for Tactile Display Control in a Mid-Air Image," IEEE Trans. Vis. Comp. Graph., vol. 30, no. 11, pp. 7463–7472, 2024.

表彰

- [6] Honorable Mention Award, ACM SIGGRAPH Asia Educator's Forum '24.
- [7] 1st Place in SIGGRAPH 2024 Student Research Competition for Undergraduate Work, ACM SIGGRAPH 2024.
- [8] Interactivity Popular Choice Honorable Mention, ACM CHI 2024.