

## 2023 年度研究ステーション研究成果報告書

1. 研究ステーション名 バーチャルリアリティ研究ステーション  
研究代表者名（所属部局・職・氏名） 小泉 直也

2. 研究組織(今年度関わった全ての構成員を記してください。)

電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報学専攻	教授	梶本 裕之
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報学専攻	准教授	小泉 直也
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報・ネットワーク工学専攻	教授	成見 哲
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報学専攻	准教授	野嶋 琢也
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報学専攻	教授	橋本 直己
電気通信大学	大学院情報理工学研究科	情報学専攻	教授	広田 光一

3. 2023 年度の研究の特筆すべき成果

本年度は、研究ステーションの立ち上げ時期であり、主に環境整備等に注力している。研究成果として以下の研究成果を挙げる。

### ・赤外線反射光学素子を用いた空中像インタラクション手法の実現

本研究では空中像と実物体の幾何学的整合性を保ったインタラクションの実現を目的として、空中像の背部から実物体の形状を計測可能な光学系を提案した。提案手法では、赤外線(Infrared,IR)を透過、可視光を反射する光学素子であるホットミラーを利用し、反射したIRを計測することで実質的に空中像背部からのセンシングを実現した。これにより、ユーザー視点で観察される実物体と空中像の接点が明確となり、実物体と重ならない位置に空中像を描画可能となった。

2023 年度は、光学系を実装したのち、提案手法が空中像の画質に与える影響の調査を始めとした複数の実験を実施した。空中像の画質評価では、本手法によりホットミラーを介して表示される空中像の解像度・輝度・色度を従来の空中像光学系と比較した。その結果、いずれもユーザーの知覚には影響を及ぼさない程度の差であるとわかった。

さらに、提案手法により実現可能なアプリケーション例を提示し、実際に実装して動作を確認した。提案手法を用いた空中像インタラクションでは、映像の時間的変化が容易である空中像と、実体を持つため直接操作できる実物体の両者の特性を活かすことにより、CG空間や実空間単体では実現し得ない体験が実現可能となる。国際会議や学内イベントでの展示では、累計120人以上の体験者が、提案手法により実装されたインタラクションを楽しむ様子を観察した。

本光学系は、エンターテインメント施設などでの使用が期待される。空中像が裸眼で観察可能であることに加え、本手法では任意の実物体を使用してインタラクション可能なため、誰でも気軽に立ち寄って使用できる。今後の展望として、奥行方向に移動する空中像光学系などのその他光学系との組み合わせや、遮蔽矛盾問題の解決、テレプレゼンスでの応用が期待される。

#### ・全方位空中像提示装置の原理検証

本研究では、迷光・透過光を抑制し、空中像を全方位に表示する光学系の実現を目的とする。提案手法では、まず光路制御フィルム(ViewControlFilm, VCF)により迷光・透過光を抑制することで空中像を形成する光だけをユーザに見せる。次に、その状態で学素子を高速回転させることで、空中像を形成する光が全方位に広がり、全方位から空中像を観察できるようになる。

原理にもとづいて光学系を実装したのち、本提案手法において迷光・透過光が抑制され、空中像が全方位から観察可能かを確かめるため、実際の空中像を撮影した。迷光・不要光の抑制に関する検証の結果、仰角 $\theta E=60^\circ, 65^\circ, 70^\circ$ では、迷光・透過光が抑制されていた。また、全方位から観察可能か検証した結果、MMAPとVCFを高速回転させることによって、全ての方位角において、空中像が歪むことなく観察できた。

本研究は、空中像の用途が限定されていた要因である視域の制限を突破するものであり、日本が世界をリードしている空中像研究のさらなる発展に貢献する基盤技術となるものである。

#### 4. 2023年度の研究成果の公表実績

本研究ステーションでは、情報学やVR技術に興味を持つ多くの高校生や大学生に、その内容を紹介することも重要な役割と考えており、情報発信を積極的に実施している。以下にVR studioでの2023年度の展示活動実績を示す。

オープンラボ：VR空間で、空中像の設計をする研究の展示・空中像装置の展示

匠ガール（夏）：VR空間で、空中像の設計をする研究の展示・空中像装置の展示

オープンキャンパス（夏）：短期留学生の作成したデモの展示・空中像装置の展示

オープンキャンパス（秋）：情報工学工房の学生の作品展示・空中像装置の展示

高校生訪問（春）：研究スペースの紹介

#### 5. 外部資金の獲得状況

(種別・種目・相手機関(企業)・研究題目・代表者名・直接経費額・間接経費額)

科研費(基盤研究(B))日本学術振興会「拡張現実技術による映像と実空間が融合した情報提示が子どもの行動に及ぼす影響の解明」代表者名 白井 述 直接経費: 12,800千円、間接経費: 3,840千円

受託研究(創発的研究支援事業) JST「時空自在計算による究極のディスプレイの設計手法」代表者名 小泉直也 直接経費 20,000千円・間接経費 6,000千円

科研費(挑戦的研究(開拓))日本学術振興会「電気触覚と静電気触覚の統一的理解と同時提示手法の確立」代表者名 梶本裕之 直接経費 19,700千円・間接経費 5,910千円 令和6年度~9年度

受託研究(A-STEP 育成型) JST「神経電気刺激を用いた広触野・高精細・多自由度触覚提示システムの開発」代表者名 梶本裕之 直接経費 24,401千円・間接経費 7,320千円 令和5年度~7年度

## 6. 今後の研究発展

(外部への発信、外部資金獲得計画を含む)

### 国際交流

・2023年度に、短期留学プログラム生（JUSST生）を受け入れ、VR研究ステーション管理スペースであるVR studioで研究活動する機会を準備した。該当学生は国内会議での発表活動を行ったと同時に、本研究ステーション内の別研究室への博士進学を決め、海外からの博士課程学生の獲得につながった。今後も、短期留学生等の受け入れや、海外大学へ留学の後押しするなど、国際交流を積極的に進めたいと考えている。

### 教育効果に関して

・本研究ステーションは、「VR技術の創出」、「VRを利用して人間そのものを研究」、「VRの教育活用」を3本柱に掲げている。「VRの教育活用」を担うのが1類の情報工学工房での活動であり、VRに関する実践的な教育に取り組んでいる。学生自身がモーションキャプチャなどの最新機器に触れる機会を提供し、最新技術への関心・意欲を高め、学内のVRリテラシーの向上に寄与する。

### メンバーの拡大

・本研究ステーションのメンバーとして、2024年度から情報学専攻の羽田先生を加え、研究要素として視覚・触覚・身体性に新たに音響の要素を加えた。

### 研究スペースの検討

・ステーション内部での議論を行ったところ、今後の研究展開に必要な要素として研究スペースの課題が挙げられた。VRでの自由な歩行を含めた研究活動には、人間の身体が動作しても安全で衝突等のない十分なスペースが必要であることを認識したうえで、今後の研究加速に向けたスペースの検討を、引き続き議論することとした。

## 7. 発表論文等（各項目ごとに記載してください。）

「雑誌論文」：著者名・論文タイトル・雑誌名・査読の有無・巻・発行年(西暦)及びページ

- ・S. Tanaka and H. Kajimoto, "Measurement of the Transfer Function of Kinesthetic Illusion Induced by Antagonistic Tendon Vibration," in IEEE Access, vol. 11, pp. 125684-125691, 2023. (査読有)
- ・T. Hamazaki, M. Kaneda, S. Kaneko and H. Kajimoto, "Chemical Approach to the Thermal Grill Illusion," in IEEE Access, vol. 11, pp. 29385-29396, 2023. (査読有)
- ・S. Ando and N. Koizumi, "An Optical Design for Interaction with Mid-air Images Using the Shape of Real Objects," in IEEE Access, vol. 12, pp. 39129-39138, 2024. (査読有)

「学会発表」：発表者(代表)名・発表タイトル・学会等名・発表年月日・発表場所  
国際会議：

- E. Narita, S. Nakayama, M. Manabe, S. Tanaka, I. Mizoguchi, and H. Kajimoto, "Manipulation of Body Sway Interpretation through Kinesthetic Illusion Induced by Ankles Vibration," IEEE World Haptics Conference 2023, 2023.07, Delft, Netherlands.
- Y. Suga, M. Miyakami, I. Mizoguchi, and H. Kajimoto, "3D Shape Presentation by Combination of Force Feedback and Electro-tactile Stimulation," IEEE World Haptics Conference 2023, 2023.07, Delft, Netherlands.
- T. Takami, T. Saito, T. Kameoka, and H. Kajimoto, "LivEdge: Haptic Live Stream Interaction on a Smartphone by Electro-Tactile Sensation Through the Edges," ACM SIGGRAPH 2023 Emerging Technologies, 2023.08, Los Angeles, US.
- Y. Yano and N. Koizumi, "Mid-air image's background changes the impression of a mid-air image," ICAT-EGVE2023, 2023.12, Ireland.
- T. Takami, T. Saito, T. Kameoka, and H. Kajimoto, "ExtEdge: Haptic Augmentation of Visual Experiences of a Smartphone by Electro-Tactile Sensation Through the Edges," The 11th ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI 2023), 2023.10, Sydney, Australia.
- Y. Yano and N. Koizumi, "AiRound: a touchable mid-air image viewable from 360 degrees," SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies (SA '23), 2023.12, Sydney, Australia.
- J. Sano and N. Koizumi, "Mid-air Imaging Based on Truncated Cylindrical Array Plate," 2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 2024.3, Orlando, FL USA.
- Y. Suga, I. Mizoguchi, and H. Kajimoto, "Presentation of Finger-size Shapes by Combining Force Feedback and Electro-tactile Stimulation," IEEE VR 2024, 2024.03, Orlando, FL USA.

国内発表：

- 矢野裕太郎, 小泉直也, "AiRound: 360度から見える空中像光学系の原理検証," 第68回 EC 研究会・第203回 HCI 研究会 合同研究発表会, 2023.06, 東京大学.
- 成田叡賦, 中山翔太, 真鍋光希, 牛山奎悟, 田中叡, 溝口泉, 梶本裕之, "足首への振動提示で生じる運動錯覚による身体の揺れの解釈の操作," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 2023.06, 名古屋国際会議場.
- 加藤総真, 須賀悠偉, 宮上昌大, 溝口泉, 梶本裕之, "回転板による指先へのなぞり感提示手法の提案," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 2023.06, 名古屋国際会議場.
- 須賀悠偉, 宮上昌大, 溝口泉, 梶本裕之, "皮膚電気刺激と力覚の融合による三次元形状提示," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 2023.06, 名古屋国際会議場.
- 高見太基, 齋藤大雅, 亀岡嵩幸, 溝口泉, 梶本裕之, "スマートフォン側面部電気刺

- 激インタフェースを用いた柔らかさ感を提示できるグリッパ入力手法の検討, " ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023, 2023.06, 名古屋国際会議場.
- 佐多美咲, 小泉直也, 白井述, 伊村知子, "空中像提示されたバーチャルペットに対する心的状態の推測 — 4~9歳の子どもと大人の比較, " 日本赤ちゃん学会第23回学術集会, 2023.08, 千里ライフサイエンスセンター.
  - 高見太基, "【VTuber・Vライバーに さわれる! ?】スマートフォン×電気刺激を用いたライブ配信の触覚エンタテインメント, " CEDEC 2023 インタラクティブセッション, 2023.08, パシフィコ横浜.
  - 安藤将平, 小泉直也, "空中像結像平面にある実物体の形状情報を活かしたインタラクティブの提案, " エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023, 2023.09, 東京工科大学.
  - 佐野遵平, 小泉直也, "両端斜切円柱集積構造による空中像光学素子の検討, " 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2023.09, 東京たま未来メッセ.
  - 田中叡, 梶本裕之, "力検出と腱振動刺激を用いたVR歩行インタフェース, " 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2023.09, 東京たま未来メッセ.
  - 須賀悠偉, 溝口泉, 梶本裕之, "皮膚電気刺激と力覚の融合による微細形状提示, " 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2023.12, 朱鷺メッセ (新潟).
  - 浜崎拓海, 高見太基, 牛山奎悟, 溝口泉, 梶本裕之, "アルコールの揮発を利用したユビキタスな冷感提示, " 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2023.12, 朱鷺メッセ (新潟).
  - 成田叡賦, 牛山奎悟, 溝口泉, 梶本裕之, "足首腱振動による主観的な身体の揺れへの感覚の定量評価, " 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2023.12, 朱鷺メッセ (新潟).
  - 加藤総真, 須賀悠偉, 溝口泉, 梶本裕之, "回転刺激を用いたなぞり感提示手法における回転速度が及ぼす影響の調査, " 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2023.12, 朱鷺メッセ (新潟).
  - Luca Barre, 林竜吾, 小泉直也, "Using Hand Tracking in Mixed Reality to Reproduce Optical Systems for Mid-air Images, " 第28回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクティブ 2024, 2024.03, 一橋講堂.
  - 菅原陵央, 林竜吾, 小泉直也, "Followinggraphic Display: 実物体に追従する空中像, " 第28回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクティブ 2024, 2024.03, 一橋講堂.
  - 柴尾啓太, 濱野晃暉, 成見哲, "VR技術を用いたダーツにおけるスローイング動作のトレーニングシステムの開発, " 第28回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクティブ 2024, 2024.03, 一橋講堂.
  - 林竜吾, 小泉直也, "実空間及びVR空間での空中像インタラクティブの比較, " 第71回EC研究発表会, 2024.03, 京都.

「招待講演発表」：発表者(代表)名・発表標題・学会等名・発表年月日・発表場所

「図書」：著者名・出版社名・書名・発行年(西暦)及び総ページ数(共著の場合、最初と最後のページを記載)

「受賞」：授与団体・受賞者(代表者)名・受賞標題・受賞年月日

- ICAT-EGVE2023・矢野裕太郎・Best Paper Honorable Mention Award・2023年12月6日
- 一般財団法人 最先端表現技術利用推進協会・小泉研究室・第7回羽倉賞・奨励賞・2023年11月10日
- エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023 実行委員会・安藤将平・ティザー最優秀賞・2023年9月1日
- エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023 実行委員会・安藤将平・企業賞：バンダイナムコスタジオ賞・2023年9月1日
- エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023 実行委員会・安藤将平・デモ優秀賞(一般投票)・2023年9月1日
- エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2023 実行委員会・安藤将平・優秀研究賞・2023年9月1日
- 情報処理学会・安藤将平・山下記念研究賞・2024年3月15日
- 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会・安藤将平・学生優秀賞・2023年6月20日
- 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会・高見太基・研究奨励賞・2023年3月17日
- CEDEC 2023 運営委員会・高見太基・インタラクティブ賞(運営委員会推選)・2023年9月28日
- 計測自動制御学会システムインテグレーション部門・須賀悠偉・優秀講演賞・2023年12月15日
- 計測自動制御学会システムインテグレーション部門・浜崎拓海・優秀講演賞・2023年12月15日

「特許出願」：出願した特許の名称・発明者・権利者・種類・番号・出願年月日・国内外別

- 空中像形成素子・小泉 直也, 佐野 遵平, 特願 2023-146350, 2023.09.08, 国内

「その他」：ホームページ等

VR 研究ステーション web サイトを作成した。

<https://sites.google.com/gl.cc.uec.ac.jp/uecvr/home>