

# ポータルを介した空間接続表現における被牽引感提示による 対話相手の存在感の強化

## Enhancing Presence of Partner by Presenting Sense of Being Towed in Expression of Spatial Connection Through Portals

長谷川 駿 \*1, 吉野 孝 \*2

Shun Hasegawa, Takashi Yoshino

\*1 和歌山大学大学院システム工学研究科 Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

\*2 和歌山大学システム工学部 Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

**要旨:** これまで、テレプレゼンスを向上させる試みとして、対話相手と同じ部屋にいるような感覚「同室感」の向上を目指してきたが、実際には対話相手は別の空間に存在し、利用者は表現している状況と実際の状況に差異を感じてしまう。そこで、本研究では、侵入可能な実物の枠を境界として、遠隔地空間を繋ぐ映像表現に加え、引っ張られるような感覚「被牽引感」を提示することで、対話相手のテレプレゼンスの向上を目指す。

**キーワード:** テレプレゼンス、被牽引感、磁力、ポータル、複合現実

**Abstract:** In the past, attempts to improve telepresence have aimed to enhance the sense of being in the same room. Actually, a partner exists in a different space, and there is a difference between the situation being represented and the actual situation. In this research, we aim to improve the telepresence of a partner by presenting a being pulled sensation, that is, sense of being towed in addition to the video representation that connects the remote space with a real frame as a boundary.

**Keywords:** telepresence, sense of being towed, magnetic force, portal, mixed reality

### 1 はじめに

近年、ICT 化が進み、LINE や Discord といったオンライン通話アプリなどが普及し、どこにいても、誰とでもコミュニケーションができるようになってきている。また、xR デバイスの普及により、高い没入感、臨場感を体験できることができるようになった。そのため、仮想情報の存在感を身体で感じられるようになり、実体のないものに対して相互インタラクションを行うことは容易になってきている。最近では、コロナウイルスによるパンデミックの影響で、感染拡大の対策として、ビジネス、教育や医療の現場において、Zoom や Teams といったビデオチャットなどのオンラインツールを活用した取り組みが積極的に行われている [1]。しかし、従来のビデオチャットには、対面環境に比べて、対話相手との心理的な距離感を感じてしまうという問題点がある。この問題を解決するためには、遠隔地間のコミュニケーション

において、テレプレゼンスが重要である。テレプレゼンスとは、離れた場所にいる人とあたかも対面していて、そこにいるかのような感覚のことである。これまで、人の活動は現実の場所に制限されていたが、自身の存在を遠隔地へと拡張することができれば、自身のいる場所にとらわれず活動を行うことが可能になる。そこで、情報技術の発展により、テレプレゼンスやテレイグジスタンスと呼ばれる研究分野では、自身の存在を遠隔地へと拡張する試みが行われている。しかし、実際には対話相手は別の空間に存在しており、身体的な接触ができず、表現している状況と実際の状況に差異を感じてしまう。そこで、本研究では、侵入可能な実物の枠を境界として遠隔地間を繋ぐ映像表現に加え、境界を越えて、対話相手の空間に干渉することができるような接触表現手法を提案する。提案手法では、AR/MR 技術を用いることで、実際の空間に遠隔地へと繋がる枠を出現させる。この空間同士を繋げる枠を、本研究では、「ポータル」と呼ぶ。

また、本手法では、ユーザに行動の制限を与えることなく、装置から離れた位置に十分な力覚提示を行うことができる方法として、磁力を採用した。磁力により、「引っ張られるような感覚」被牽引感を提示することで、対話相手のテレプレゼンスを向上させる手法を検討する。

## 2 関連研究

### 2.1 仮想物体のプレゼンス強化に関する研究

青木ら [2] は、仮想アバタが現実空間内にある実物体をあたかも移動させているかのように再現することで、仮想アバタの存在感を向上させる手法を提案している。森ら [3] は、磁力によって、仮想アバタの「蹴る」といった動作に合わせて、現実空間上の実物体を、磁力を用いて移動させることで、あたかも仮想アバタが現実世界に干渉しているかのような AR システムを開発している。鶴重ら [4] は身体や実物体に直接永久磁石を貼り付け、環境に埋め込まれた電磁石を駆動し任意の波形振動を表示することで、触覚提示を行い、仮想物体の接触感を再現している。木村ら [5] は電磁石により永久磁石との間に発生する斥力を制御することで、3D ディスプレイで表示される空中映像に対して力触覚提示を行うことで、3D アバタとのインタラクションを実現している。

### 2.2 テレプレゼンスの強化に関する研究

テレプレゼンスを向上させる手法は今までにも数多く提案されている。PopArm[6] では、対話相手の映像の一部を実体化したかのように見せることにより、存在感を向上させている。野村ら [7] は、遠隔地の対話相手が、あたかも現地のテーブル上にある実物体を移動させていくかのように見せることで、存在感を向上させている。ドアコム AR[8] では、ポータルを介して遠隔地間を繋ぎ、対話相手が境界を越えて侵入していくように見せることにより、存在感を向上させている。本研究では、磁力によって発生する引力を用いて、「引っ張られるような感覚」被牽引感を提示することで、対話相手の存在感を向上させる。

## 3 被牽引感提示によるテレプレゼンス向上システム

### 3.1 設計方針

図 1 に提案手法のコンセプトを示す。本システムでは、遠隔地にいる対話相手が枠を介して、自身と相手の空間を行き来しながら、対話することができる。また、磁力を用いて、「引っ張られる」というような感覚を再現することで、擬似的な身体的接触を実現している。この空間を繋げる枠を本研究ではポータルと呼ぶ。ポータ

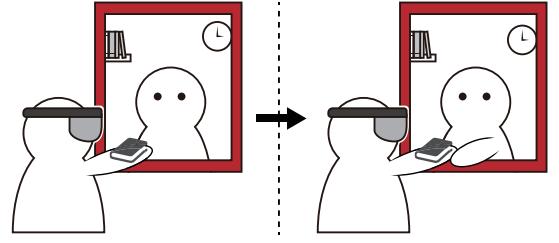


図 1 コンセプトイメージ

ルは遠隔地との境界となり、ポータルの向こう側には遠隔空間が立体的に存在して見える。ポータルを超えて遠隔の空間に侵入する映像によって、対話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し、さらに磁力によって「引っ張られる」という感覚「被牽引感」を提示することで、テレプレゼンスの向上と 2 つの空間が繋がっている感覚の向上を目指す。

### 3.2 システム構成

図 2 に空間接続表現部の構成、図 3 に力触覚提示部の構成を示す。開発したシステムは空間接続表現部と力触覚提示部に分けられ、以下に説明をまとめる。

#### 1. 空間接続表現部

本システムでは、自身の空間へと侵入される「被侵入側」と相手の空間へと侵入する「侵入側」の 2 種類のユーザに分けられる。HoloLens を装着する被侵入側（図 2RoomA）とポータルを介して遠隔地に侵入する侵入側（図 2RoomB）との間で双方に向かって通信を行う。本システムでは、他人の部屋に侵入するために使用する「窓」をメタファとした。被侵入側ユーザは、自身の空間に存在する実物のポータルを HoloLens を通じて見ることで、実物のポータル越しに侵入側ユーザの存在する空間の映像が重畳表示される。これにより、被侵入側の空間（図 2RoomA）と侵入側の空間（図 2RoomB）が実物のポータルを介して繋がっているような映像表現を実現している。RoomB 側の Kinect から得られた色情報と深度情報、骨格情報を RoomA 側に UDP 通信を用いて、転送している。HoloLens には、Holographic Remoting 機能を用いて、点群映像を転送している。

#### 2. 力触覚提示部

本システムでは、侵入側（図 2RoomB）の実ポータルを越えた身体の部位の長さ（以下、侵入領域と呼ぶ。）に同期して、リニアアクチュエータが作動する。リニアアクチュエータ自体は Arduino Uno で制御している。リニアアクチュエータの先に永久磁

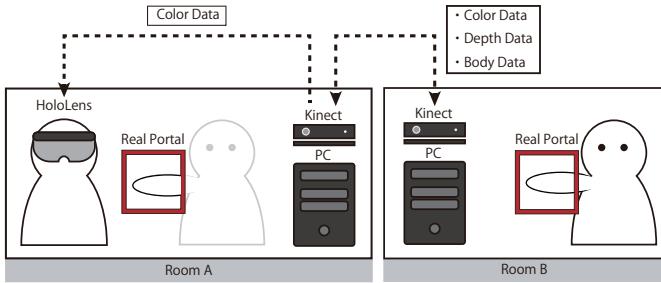


図 2 映像表現部のシステム構成

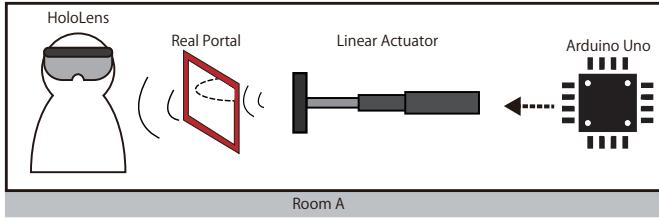


図 3 力覚提示部のシステム構成

石を取り付け、移動制御を行うことで、磁力を制御している。

### 3.3 三次元点群データの送受信

対話相手にユーザ自身の映像とユーザのいる空間の映像を転送するため、三次元点群データを作成する。被侵入側では、Kinect から色情報、深度情報を取得する。カラー画像の解像度は  $1920 \times 1080$ 、深度画像の解像度は  $320 \times 288$  である。カラー画像と深度画像は撮影範囲が異なるため、深度画像を基準に対応づけを行い、三次元点群データを作成している。この作成した点群データを UDP 通信を用いて、侵入側、被侵入側の両方の空間情報転送することで、お互いの空間を共有している。

### 3.4 空間同士の接続表現

図 4 に本システムで実装した実ポータルを介した空間接続表現を示す。本システムでは、侵入側と被侵入側の実物ポータルの座標合わせを行うことで、二つの空間接続表現を実現している。HoloLens アプリケーションは、用いる座標系によって大きく 2 種類に分類することができる。一つはアプリケーションを起動した時の HoloLens の角度や位置を基準にするもので、もう一つは、HoloLens によって周囲を空間認識して、その空間を基準にするものである。本システムでは、この両方の方法を実装している。現実空間座標と HoloLens 座標を合わせることで、実ポータルの向こう側に対話相手の空間が広がっているかのような表現を実現している。

### 3.5 実ポータルと侵入領域の認識

ユーザに境界として、はっきりと認識されやすくするため、実ポータルには、見た目が分かりやすい赤色を

使用している。本システムでは、Kinect から得られた RGB の色情報に対して、HSV 変換を行い、赤色領域を抽出している。また、侵入側の侵入領域の認識は、抽出した赤色領域の座標より、奥行き座標が小さい肌色領域を侵入側の手・腕として扱うことで、実現している。このとき、抽出した侵入領域の座標の平均を算出することで、どのくらい侵入してきているかを認識している。これにより、侵入側と被侵入側との接触判定が可能になる。

### 3.6 遠隔地間における物の受け渡し表現

図 5 に、本システムで実装した遠隔地間における仮想的な物の受け渡し表現を示す。本システムでは、物を渡す行為の中でも、特に日常的に自然に行われている「ティッシュを渡す」という行為に着目し、シチュエーション設定を行った。「ティッシュ箱からティッシュを取りても、その場に次のティッシュが残っているという仕組み」を活用し、あらかじめティッシュ箱に紙の仮想オブジェクトを配置し、あたかもティッシュ箱からティッシュが取られるような表現を実現した。実ポータルを境界として、対話相手の空間と繋がっているような表現（図 5(1)）に加え、対話相手が侵入してくるような表現を実現している。また、対話相手が侵入時に被牽引感提示を行う対象物体に近づいて、掴み動作を行うことで、対話相手の手に紙の仮想オブジェクトが追従する。これにより、あたかも遠隔地間で物を受け渡しているかのような表現を実現している。

### 3.7 被牽引感提示

本システムでは、抽出した侵入領域に同期したリニアアクチュエータの移動制御を行っている。リニアアクチュエータの先に、永久磁石を連結し、距離による磁力の制御を実現している。また本システムでは、被牽引感の提示を行う対象物にも、永久磁石を取り付けている。これにより、永久磁石同士の引力により、「引っ張られた感覚」被牽引感を提示することが可能である。本システムでは、対話相手が実ポータルを越え、対象物に対して、掴み動作を行ったタイミング（図 5(3)）で、リニアアクチュエータを作動させ、「被牽引感」を提示する。本システムで使用するリニアアクチュエータは、Servo ライブライアリで制御することができる。以前の実験結果から、Servo 値 : 120 の時、約 310g の力が発生することが分かっているので、Servo 値範囲を【100-140】の範囲で可動させ、300g 以上の力が対象物に対して、発生するように調整を行った。リニアアクチュエータは可動してから、約 3 秒かけて、連続して振幅運動を行う。

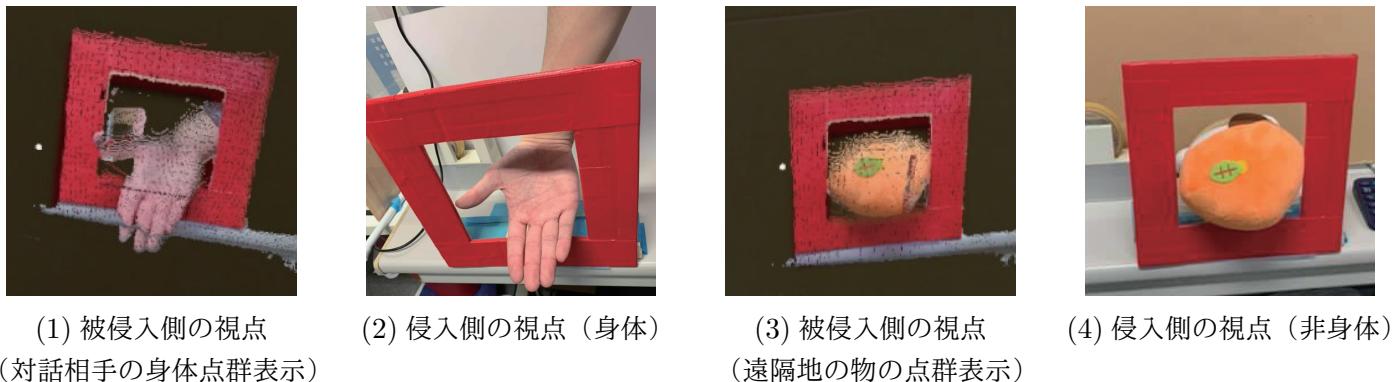


図 4 実ポータルを介した空間接続表現

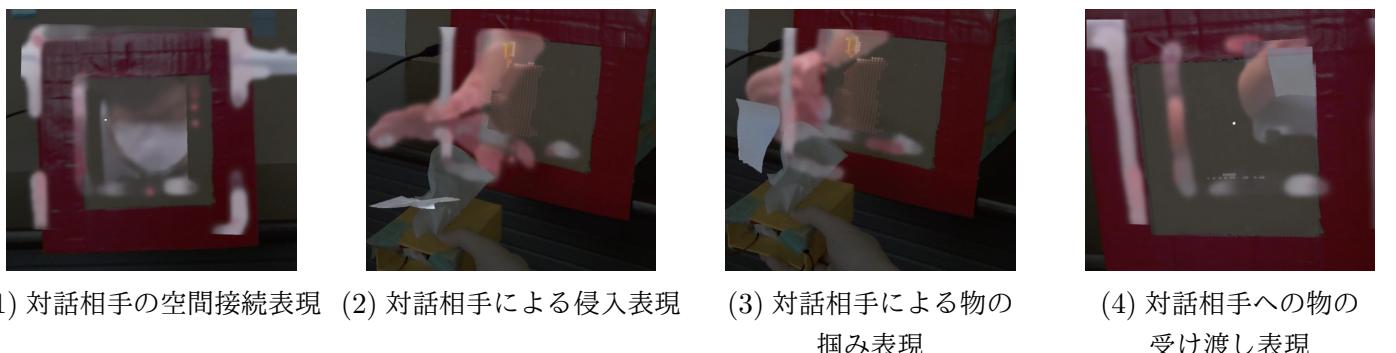


図 5 遠隔地間における物の受け渡し表現

## 4 被牽引感提示による対話相手のテレプレゼンスへの影響の検証

### 4.1 実験の概要

被牽引感提示が対話相手のテレプレゼンスに与える影響の検証を行った。また、被牽引感提示による効果を検証するため、比較実験を実施し、比較対象として、「視覚映像+被牽引感提示」「視覚映像+振動提示」「視覚映像のみ」の3つのパターンを用意した。実験協力者は和歌山大学の21歳～24歳までの学生10名（男性：6名、女性：4名）である。順序効果を考慮し、手法の実施順序は実験協力者ごとに異なる。本実験では、以下の仮説を立てて、実験を行った。

- 被牽引感提示が他の比較条件に比べて、対話相手のテレプレゼンスを向上させる。
- 被牽引感提示では、他の比較条件に比べて、対話相手に「物が取られた感覚」を向上させる。
- 被牽引感提示によって、「空間同士が繋がっている感覚」空間接続感が向上する。

### 4.2 実験手順

本実験の流れを以下に示す。

#### 1. 本システムの体験

実験協力者に本システムを利用してもらい、「視覚映像+被牽引感提示」「視覚映像+振動提示」「視覚映像のみ」の3つの比較条件を体験してもらう。

#### 2. アンケートに回答

実験協力者に比較条件ごとにアンケートを実施し、このアンケートには5段階のリッカート尺度による評価と記述式を用いた。評価項目は以下の通りである。

- 対話相手の存在感
- 被侵入側の空間にある物が取られた感覚
- 空間同士が繋がっている感覚

最後に、体験してもらった3つの条件に対して、対話相手の「存在感」「空間接続感」「物の受け渡しの臨場感」に関する順位付けアンケートを実施した。順位付けアンケートは3つの条件の順位付けと自由記述を用いた。合計点は実験協力者による順位付けを1位：3点、2位：2点、3位：1点として換算した合計である。実験協力者は10名のため、合計点数の最高得点は30点、最低得点は10点である。合計得点を比較して点数の高い条件から順位をつけている。

表1 存在感・臨場感に関するアンケート結果

	質問項目	比較条件	評価の分布					中央値	最頻値	有意確率
			1	2	3	4	5			
(1)	枠の向こう側に、あたかも対話相手の空間があるような感じがした	視覚のみ	0	1	3	4	2	4	4	0.083
		振動提示	0	1	3	6	0	4	4	0.059
		被牽引感提示	0	0	4	2	4	4	3,5	
(2)	持っていた物が対話相手に掴まれた感じがした	視覚のみ	2	5	2	0	1	2	2	0.0057*
		振動提示	0	6	1	2	1	2	2	0.117
		被牽引感提示	0	1	1	7	1	4	4	
(3)	持っていた物が対話相手に取られた感じがした	視覚のみ	2	5	1	0	2	2	2	0.013*
		振動提示	1	3	3	1	2	3	2,3	0.143
		被牽引感提示	0	0	5	3	2	3.5	3	
(4)	枠を越えてきた対話相手の身体が自身の部屋にあるように感じた	視覚のみ	0	3	1	4	2	4	4	0.414
		振動提示	0	2	2	5	1	4	4	0.157
		被牽引感提示	0	1	2	6	1	4	4	

- ・評価項目： 1：強く同意しない， 2：同意しない， 3：どちらともいえない， 4：同意する， 5：強く同意する
- ・有意確率の計算には、 ウィルコクソンの符号順位和検定を使用し、 検定は被牽引感提示条件と各条件の間で行った。
- ・\*: 有意差あり p<0.05

表2 対話相手の存在感・空間接続感・物の受け渡しの臨場感に関する順位付けアンケート結果

	質問項目	比較条件	合計点*
(5)	空間接続感	視覚のみ	14点
		振動提示	18点
		被牽引感提示	28点
(6)	物の受け渡しの臨場感	視覚のみ	11点
		振動提示	21点
		被牽引感提示	28点
(7)	対話相手の存在感	視覚のみ	12点
		振動提示	23点
		被牽引感提示	25点

順位は実験協力者の順位付けの結果である。3つの表示方法を1位から3位まで順位付けしている。

\*: 合計点は実験協力者による順位付けを1位:3点, 2位:2点, 3位:1点として換算した合計得点である。

## 5 実験結果と考察

表1にアンケート結果を示す。また、表2に順位付けアンケート結果を示す。

### 5.1 空間接続感の検証

対話相手の空間とあたかも繋がっている感覚について質問した結果(表1(1))、「被牽引感提示条件」は、他の手法と同じようにスコアが高く、有意差がみられなかつた(視覚のみ:p=0.083, 振動条件:p=0.059)。順位付けアンケート結果(表2(5))では、1位は「被牽引感提示条件」であり、合計点数が28点で10人中8人が最

も対話相手の空間と繋がっているような感覚を感じる手法と回答した。2位は「振動提示条件」で18点、3位は「視覚のみ条件」で14点であった。結果として、どの条件においても実験協力者に対話相手との空間と繋がっていると感じさせているが、特に「被牽引感提示条件」が他の手法に比べて、「空間接続感」を向上させていることがわかった。

### 5.2 物の受け渡しの臨場感の検証

対話相手との物の受け渡しの臨場感について質問した結果(表1(2)(3))、「持っていた物が対話相手に掴まれた感じがした」という質問項目では、「被牽引感提示条件」

は、他の手法に比べてスコアが高かったが、「視覚のみ条件」のみ有意差がみられた（視覚のみ： $p=0.0057 < 0.05$ ，振動条件： $p=0.143$ ）。「持っていた物が対話相手に取られた感じがした」という質問項目では、「被牽引感提示条件」は、「視覚のみ条件」に比べて、スコアが高く、有意差がみられた（ $p=0.013 < 0.05$ ）が、「振動提示条件」と比べると、スコアは同じくらいで、有意差がみられなかった（ $p=0.143$ ）。また、順位付けアンケート結果（表2(6)）では、1位は「被牽引感提示条件」であり、合計点数が28点で10人中8人が最も対話相手との物の受け渡しの臨場感を感じる手法と回答した。2位は「振動提示条件」で21点、3位は「視覚のみ条件」で11点であった。結果として、「視覚のみ条件」よりも、力触覚提示条件の場合の方が「対話相手との物の受け渡しの臨場感」を向上させているが、特に「被牽引感提示条件」が他の手法に比べて、「物の受け渡しの臨場感」を向上させていることがわかった。

### 5.3 存在感の検証

対話相手の存在感についての質問した結果（表1(4)），「枠を越えてきた対話相手の身体があたかも自身の部屋の中にあるかのように感じた」という質問項目では、どの条件においてもスコア高く、有意差はみられなかった（視覚のみ： $p=0.414$ ，振動提示条件： $p=0.157$ ）。また、順位付けアンケート結果（表2(7)）では、1位は「被牽引感提示条件」であり、合計点数が25点で10人中5人が最も対話相手との物の受け渡しの臨場感を感じる手法と回答した。2位は「振動提示条件」で23点、3位は「視覚のみ条件」で11点であった。結果として、「視覚のみ条件」よりも、力触覚提示条件の場合の方が「対話相手の存在感」を向上させているが、「被牽引感提示条件」と「振動提示条件」との間で、「対話相手の存在感」への影響に差異がみられなかった。このような結果になった要因として、リニアアクチュエータの速度制限により、力覚提示に遅延が発生し、実験協力者に違和感を与えていた可能性が考えられる。

## 6 おわりに

本研究では、実ポータル介した空間接続表現に加え、磁力による被牽引感提示を行うで、対話相手との接触表現が可能なプロトタイプシステムを開発した。実験では、「視覚映像+被牽引感提示」「視覚映像+振動提示」「視覚映像のみ」の3条件で比較実験を行い、被牽引感提示が対話相手の存在感に与える影響を検証し、以下を明らかにした。

- 「被牽引感提示条件」が他の条件に比べて、「対話相手の空間と繋がっているような感覚」を向上させていることがわかった。
- 「被牽引感提示条件」が他の手法に比べて、「対話相手との物の受け渡しの臨場感」を向上させていることがわかった。
- 「対話相手の存在感」の検証の結果、「被牽引感提示条件」と「振動提示条件」の間に差はなく、「力触覚提示条件」が「視覚のみ条件」に比べて対話相手の存在感を向上させていることが分かった。現状では、「被牽引感提示条件」において、リニアアクチュエータの速度制限により、対話相手との映像に対して、被牽引感提示の同期が十分に取れていなかつたことが要因であると考えている。

今後、「対話相手の空間点群データとの通信」と「リニアアクチュエータ」の同期制御の改善を行っていく必要があると考えている。

### 謝辞

研究室同期の本信敏学氏には、実験システムの開発および実験実施に関して、多大なご協力を頂きました。心より感謝いたします。

### 参考文献

- 総務省：令和元年版情報通信白書, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintoeki/whitepaper/ja/r02/pdf/02honpen.pdf> (2020).
- 青木孝文, 三武裕玄, 浅野一行, 栗山貴嗣, 遠山喬, 長谷川晶一, 佐藤誠：実世界で存在感を持つバーチャルクリーチャーの実現, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.313–321 (2006).
- 森友己, 高井昌彰, 飯田勝吉：実世界へ干渉可能な仮想キャラクタとのインタラクションを実現する AR システム, 情報処理学会第 82 回全国大会講演論文集, Vol.2020, No.1, pp.563–564 (2020).
- 鵜重誠, ロシャン・ペイリス, 南澤孝太：永久磁石の貼り付けによる振動触覚提示システムの検討, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3A-04, pp.1–2 (2019).
- 木村真治, 壱井雅史, 堀越力：モバイル向け力覚提示 3D ディスプレイシステムの開発, 情報処理学会, Vol.55, No.4, pp.1325–1333 (2014).
- 大西裕也, 田中一晶, 中西英之：身体映像の部分的実体化によるソーシャルテレプレゼンスの強化, 情報処理学会論文誌 57(1), pp.228–235(2016).
- 野村 和裕, 中西 英之：物体移動再現と身体動作提示による遠隔地間物体共有, 第 30 回人工知能学会全国大会, 1G3-5in1, pp.1–4(2016).
- 濱上 宏樹, 吉野 孝：ドアコム AR: ポータルを用いた空間接続表現手法による対話相手の存在感の強化, 情報処理学会, インタラクション 2018, pp.72–80(2018).