

推薦論文

# 遠隔握手：ビデオ会議と触覚提示デバイスの一体化による ソーシャルテレプレゼンスの強化

田中 一晶<sup>1,2,a)</sup> 和田 侑也<sup>1</sup> 中西 英之<sup>1</sup>

受付日 2014年6月17日, 採録日 2015年1月7日

**概要：**離れた場所にいる人同士の身体接触を再現する触覚提示デバイスが多くの先行研究で提案されており、そのようなデバイスを介した遠隔接触によって相手が近くにいる感覚、つまりソーシャルテレプレゼンスが得られることが示唆されている。しかし、映像と音声でのコミュニケーションが可能なビデオ会議において遠隔接触が有効に働くかどうかは明らかにされていない。本研究では、リアルな接触感覚を再現する握手用ロボットハンドを開発し、ビデオ会議端末に取り付けて遠隔握手の分析を行った。触覚とユーザの映像を両方提示するインタフェースを検討するうえで、ユーザとデバイスとの接触動作を映像で提示する必要があるか、遠隔接触を双方向で行う必要があるかという疑問が生じる。これらの疑問を実験的に検証した結果、接触動作を提示する必要性は示されなかったが、双方向性はソーシャルテレプレゼンスを強化することが分かった。さらに、最も効果的であった遠隔握手のインタフェースと通常のビデオ会議を比較した結果、遠隔握手はソーシャルテレプレゼンスを強化し、相手に親近感を与えることが分かった。

**キーワード：**触覚提示デバイス、ヒューマノイドロボット、身体接触、ソーシャルテレプレゼンス、ビデオ会議

## Remote Handshaking: Integration of a Haptic Device and Videoconferencing to Enhance Social Telepresence

KAZUAKI TANAKA<sup>1,2,a)</sup> YUYA WADA<sup>1</sup> HIDEYUKI NAKANISHI<sup>1</sup>

Received: June 17, 2014, Accepted: January 7, 2015

**Abstract:** A lot of haptic devices that reproduce touch between remote people are proposed in previous studies. Some studies suggested that mediated social touch via such devices produce the feeling of being close to a conversation partner, i.e. social telepresence. However, in videoconferencing in which users communicate with video and audio, it has not been clarified whether social touch still works effectively. In this study, we developed a robot hand which moves according to user's hand, and attached it to a videoconferencing terminal to analyze remote handshaking. Considering the interface which presents haptic sensation and user's video raises questions as to whether the partner's action of touching a haptic device should be displayed and to whether social touch should be bidirectional. As a result of experiments to confirm these questions, the bidirectional touch enhanced social telepresence but not need to display the touch action. Furthermore, the result of comparing the most effective interface of remote handshaking and a normal videoconferencing showed that remote handshaking enhanced social telepresence and gave the partner a sense of intimacy.

**Keywords:** haptic devices, humanoid robots, social touch, social telepresence, video conferencing

<sup>1</sup> 大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻  
Department of Adaptive Machine Systems, Graduate School  
of Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871,  
Japan

<sup>2</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
CREST, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda,  
Tokyo 102-0076, Japan

a) tanaka@ams.eng.osaka-u.ac.jp

### 1. はじめに

ソーシャルテレプレゼンスとは、離れた場所にいる人同士があたかも対面しているように感じることである。対面

本論文の内容は2014年2月のインタラクシオン2014にて報告され、同プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

会議を遠隔会議で代替するうえで、その欠如がボトルネックとなるため、この感覚を強化または生み出す様々な方法が研究されてきた。ビデオ会議はこの感覚を生み出す最も基本的な方法であり [10], [14], アイコンタクトが成立するようにカメラとディスプレイを設置する方法 [4], [21], 対話相手を等身大や立体映像で表示する方法 [24] が効果的であることが分かっている。また、近年の研究では、ユーザの視点の移動に応じた遠隔地のカメラの移動によって表現された運動視差 [12] が有効であることが報告されている [17], [18]。さらに、対話相手の上半身の映像は頭部のみの映像よりも高いソーシャルテレプレゼンスを生み出すこと [22], 上半身の映像を写したディスプレイの物理的な移動がそれを強化すること [19] も報告されている。ビデオ会議におけるこれらの技術は映像にまつわるものであり、他のコミュニケーションチャンネルを追加するものではない。対面会議とビデオ会議との本質的な違いは、対話相手との接触をとまなうコミュニケーションチャンネルの有無である。

遠隔地間で接触感覚を伝達する遠隔接触の研究は多く行われてきたが [13], ソーシャルテレプレゼンスに着目したものは一部である。いくつかの先行研究は、全種類の身体接触を単一のデバイスで再現することはほぼ不可能であることから、特定の接触感覚を伝達する触覚提示デバイスの開発に注力している [5], [11], [16], [31]。また、遠隔接触では文字や音声のような明示的情報を伝達することができないため、感情状態のような非言語情報のコミュニケーションチャンネルとして遠隔接触を用いる研究も行われてきた [1], [6], [8], [23], [29]。遠隔接触による様々な効果を調査した研究もあるが、ソーシャルテレプレゼンスへの影響は明らかになっていない [26]。その一方で、遠隔接触がソーシャルテレプレゼンスを強化することを報告した研究がある [3]。しかし、この研究では、被験者同士の対話に音声や映像のような他のコミュニケーションチャンネルが用いられていなかったため、遠隔接触の効果が明白であったと思われる。近年では、接触チャンネルを付加した音声対話が音声のみの対話よりも高いソーシャルテレプレゼンスを生み出すことが報告されたが [32]、依然として、接触チャンネルの付加がビデオ会議において有効であるかどうかは明らかになっていない。

我々はビデオ会議に接触チャンネルを組み合わせたシステム\*1を開発した [20]。本研究では、このシステムを用いて、ユーザが音声および映像のチャンネルがともに利用できる環境において接触チャンネルがソーシャルテレプレゼンスを強化することを観察した。接触感覚を伝達する機能を有したビデオチャットが通常のビデオチャットよりも高いソーシャルテレプレゼンスを生み出すことを示した先行

研究も存在するが [27]、この研究における調査は十分ではないと思われる。具体的には、この研究における被験者は通常のビデオチャットと触覚提示デバイスを備えたビデオチャットを両方体験した後にそれらを比較評価しているが、このような比較は提案システムである後者を高く評価されやすいという問題があった可能性がある。さらに、この研究では対話相手の頭部のみの映像を小型ディスプレイに表示しているが、そのようなソーシャルテレプレゼンスが低い環境 [22], [24] における実験が、遠隔接触の効果を表れやすくしていた恐れがある。この研究に対し、本研究では、遠隔接触の機能を有したビデオチャットと通常のビデオチャットを別々の被験者グループが体験する被験者間実験において、高いソーシャルテレプレゼンスを生み出すとされる等身大表示のビデオチャットでも遠隔接触の有効性を示すことに成功した。

## 2. 遠隔接触のデザイン

### 2.1 ビデオ会議と遠隔接触の統合

遠隔接触は、各ユーザが、接触動作を取得する入力デバイスと接触感覚を再現する出力デバイスを使用することで行われる。これらのデバイスをビデオ会議に追加する場合、ビデオ映像は、接触動作の伝達に相当する視覚フィードバックおよび接触感覚を補完する視覚情報を提供することができる。また、映像による接触動作の視覚フィードバックは、出力デバイスを遠隔操作するだけの、接触感覚をとまなわない遠隔接触も可能にする。つまり、視覚フィードバック、視覚情報、接触感覚の有無を考慮すると、遠隔接触とビデオ会議を組み合わせたうえで様々なデザインが考えられる。

接触動作を見ながら行われる身体接触として、本研究では握手を採用した。握手を行う際には、自らの接触動作と同時に相手の動作を認識することができ、それら両方の動作を視界にとらえることができる。この理由から、遠隔接触における視覚フィードバック、視覚情報、接触感覚の有無を検証するうえで握手が適切であると考えた。遠隔接触に握手を採用したもう1つの理由は、握手は他人同士で行われる最も自然な身体動作といえるからである。

我々は、握手用ロボットハンドを開発し、図 1 に示す5つのデザインでこのロボットハンドをビデオ会議端末に取り付けた。(a) ユーザはロボットハンドと握手をし、そのロボットハンドが対話相手によって遠隔操作されていると想像する (不可視片方向)。(b) ユーザはロボットハンドと握手をし、対話相手はそのロボットハンドを遠隔操作している様子を見ることができる (可視片方向)。(c) ユーザは遠隔地のロボットハンドを遠隔操作する (非接触片方向)。(d) ユーザはロボットハンドと握手をし、対話相手は遠隔地にあるロボットハンドと握手をしていると想像する (不可視双方向)。(e) ユーザはロボットハンドと握手をし、対

\*1 <http://www.diginfo.tv/v/12-0045-r-en.php>

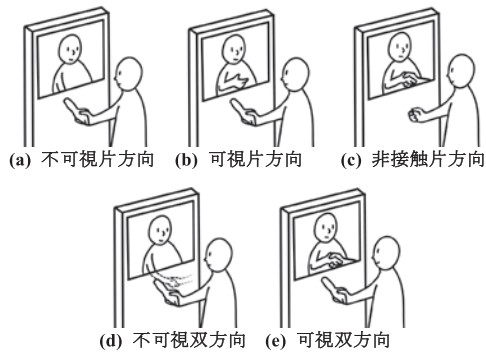


図 1 遠隔握手における 5 つのデザイン

Fig. 1 Five conditions for remote handshaking.



図 2 予備実験で使用したロボットハンド

Fig. 2 Robot hand of a previous study.

話相手が遠隔地のロボットハンドと握手をしている様子を見ることができる（可視双方向）。我々はこれら 5 つの条件を後述の実験で比較した。

これら 5 つの条件の違いは、視覚フィードバック、視覚情報、接触感覚の有無である。非接触片方向および可視双方向は、ユーザが遠隔地のロボットハンドが自身の手の動きに合わせて握ったり開いたりする様子を認識可能にする視覚フィードバックを提供する。また、可視片方向および可視双方向は、ロボットハンドが対話相手の手の動きに合わせて握ったり開いたりする様子を認識可能にする視覚情報を提供する。さらに、非接触片方向を除くすべての条件は接触感覚を提供する。非接触片方向ではユーザは空中で握手の動作を行うため、接触感覚を得ることはできない。我々は視覚フィードバック、視覚情報、接触感覚の提示がソーシャルテレプレゼンスを強化するうえで有効に働くと予想し、上記の 5 つの条件を比較することでその有効性を検証した。

## 2.2 握手用ロボットハンド

本研究の前に、我々はロボットハンドの試作・試験を繰り返し行った。図 2 に示す試作の一例は、木製のマネキンの手を直動位置決め装置に取り付けたものであり、握手における手の上下運動を再現することができたが、握力がなく、冷たく、固かったために有効ではなかった。この予備

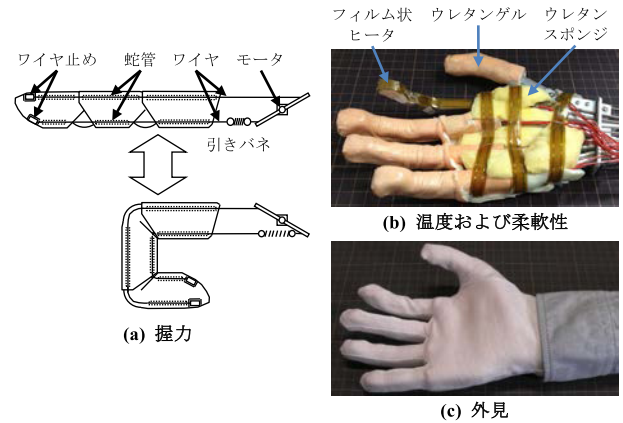


図 3 握手用ロボットハンド

Fig. 3 Robot hand for handshaking.

実験の結果から、我々は後述の 3 つの特徴を持ったロボットハンドを開発した。これらの特徴は人の手を模した既存のロボットハンドと異なる点である。

**握力：**我々のロボットハンドは、人に握られているかのように感じる十分な握力を持つ。人の手を模した既存のロボットハンドのほとんどは、人の手のような動きを表現することを目的として作られており、握手に必要な十分な握力を生み出すことはできない。図 3(a) に我々のロボットハンドの指を動かす仕組みを示す。各指の内側と外側にはワイヤを取り付けており、サーボモータで内側のワイヤを引く、外側のワイヤを緩めることで指が曲がる。反対に、外側のワイヤを引く、内側のワイヤを緩めることで指が伸びる。ワイヤは、その張力を伝達するために摩擦の少ない蛇管の中を通っている。また、サーボモータと内側のワイヤの間には引きバネを挿入しており、このバネの伸びをサーボモータで調整することで一定の握力を生成する。

**温度：**我々のロボットハンドは人の手のような温度を再現することができる。既存のロボットハンドには体温を再現する機能がないために、触れた際の冷たさが機械らしい印象や人の手とは異なるという印象をユーザに与えていた可能性がある。このような印象を与えることはソーシャルテレプレゼンスに悪影響を与えるため、回避すべきである。図 3(b) に示すように、ロボットハンドを温めるためのフィルム状のヒータを各指や手のひら部分に取り付けている。この図はロボットハンドの内部構造を示すものであり、実際の外観は図 3(c) に示すように人の手のような自然な形状である。

**柔軟性：**我々のロボットハンドは人工皮膚で覆われている。人の手を模した既存のロボットハンドにおいて人工皮膚で覆う目的は、人の手のような外見を再現するためである。一方、我々のロボットハンドにおいては、人の手のような柔軟性を再現することが目的である。柔軟性の再現は、ロボットハンドの硬さによる機械らしさを軽減させ、さらに、握手をした際に生じるユーザとロボットハンドの



手の隙間を減少させることができる。図 3(b) に示すように、我々のロボットハンドでは柔軟性を再現するための 2 種類の素材を使用している。ロボットハンドの手のひら部分は握手をした際に変形するようにウレタンスポンジを埋め込んでおり、全体は人肌に近い柔らかさのウレタンゲルで覆っている。

### 3. 実験

#### 3.1 目的

音声と映像のチャンネルをユーザが使用可能な環境であるビデオ会議でも、遠隔握手がソーシャルテレプレゼンスを強化するかどうかを調査することが本研究の目的である。そのためには、ビデオ会議において、会話とともに遠隔握手を行う条件が、会話のみ行うビデオ会議条件よりも良いことを示す必要がある。そのような比較実験においては、被験者が両方の条件を経験した後に評価を行うと、実験意図が明確であるために遠隔握手に恣意的に高い評価がつけられやすくなる恐れがあるため、両方の条件を別々の被験者グループが評価する被験者間実験が適切であると考えられる。しかし、遠隔握手を行う条件は図 1 に示すように 5 つあり、これらとビデオ会議条件とをすべて被験者間実験で比較すると非常に多くの被験者が必要になるという問題がある。そこで、遠隔握手を行う 5 つの条件の中で最も高いソーシャルテレプレゼンスを生み出す条件を最初に明らかにし、その条件とビデオ会議条件を比較することとした。

最初に比較する 5 つの実験条件はすべて遠隔握手を行うため、被験者内実験で行うことが可能である。しかし、片方向の条件と双方向の条件では、被験者に説明するロボットハンドの操作方法にいくつかの差異があるために、これらを別々の実験で評価することとした。図 5 中の可視片方向および非接触片方向の写真に見られるように、片方向の条件では、指に取り付けたセンサで人の手の動きを取得した。このセンサを用いる目的は、ロボットハンドが被験者の手の動きに応じて動いていることを信じさせるためである。一方、双方向の条件では、このセンサがロボットハンドの温度や柔軟性を感じにくくさせる恐れがあったため、センサは使用しなかった。片方向の条件では、ロボットハンドを握る際にセンサを使用することがないために、この問題は起こらない。したがって、片方向の条件の比較と双方向の条件の比較を別々の実験で行った。

実験 1 では、片方向の条件の比較を行った。この実験では、センサによって取得された指の角度に応じてロボットハンドが動くことを被験者に説明した。この実験では、結果として不可視片方向が最も効果的であることが分かったため、次の実験 2 では、不可視片方向と 2 つの双方向条件を比較した。この実験では、人の手の動きに合わせて別の部屋にあるロボットハンドが動作すると説明したが、実際

は、被験者の対話相手である実験者がキーボードでロボットハンドを操作していた。この説明や操作方法は不可視片方向にも適応可能であるため、不可視片方向を実験 2 に組み込むうえで問題はなかった。実験 2 において、不可視双方向が遠隔握手のデザインの中で最も効果的であることが分かったため、実験 3 では、不可視双方向条件とビデオ会議条件を比較した。

#### 3.2 タスク

統制された実験を行うため、被験者の間でディスプレイに向ける注意の度合いやそのディスプレイを介して行う会話に違いがないようにすべきである。この条件を満たすため、我々の研究室のメンバが務めた説明者は、動物のぬいぐるみを被験者に示しながら、その動物について説明と質問を行った。また、全条件において、会話の前後に挨拶を行った。遠隔握手を行う 5 つの条件では、その挨拶の際に次に述べるように握手を行った。開始時の挨拶では、説明者は「こんにちは」といいながら握手をするために手を前に差し出す。被験者がそれに応じて手を出し、握る動作を行うと、説明者は「よろしくお願いします」といいながら握る動作を行う。そして、被験者がその挨拶に返答すると、説明者は手を開く動作を行い、手を下げる。その後、説明者はぬいぐるみについて説明を開始する。終了時の挨拶では、説明者は「お疲れ様でした」といいながら手を前に差し出す。被験者がそれに応じて手を出し、握る動作を行うと、説明者は「ありがとうございました」といいながら握る動作を行う。そして、被験者がその挨拶に返答すると、説明者は手を開く動作を行い、手を下げる。会話はこれで終了である。握手の有無は、遠隔握手を行う 5 条件とビデオ会議条件の間のみであり、挨拶の方法はすべての条件で共通である。また、握手の有無による挨拶の時間への影響はほとんどなく、会話の時間はすべての条件でほぼ一定であった。

#### 3.3 実験環境

実験装置の配置を図 4 に示す。説明者の腕がビデオ会議端末から伸びているように被験者が感じることを期待し、ロボットハンドはディスプレイの下に設置した (図 4(a))。

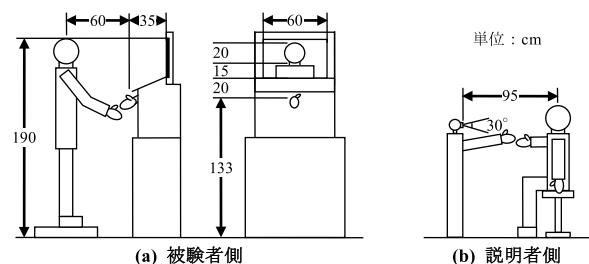


図 4 実験装置の配置

Fig. 4 Setup of the experiments.

この感覚を促すため、ロボットハンドの袖は説明者の服と同じ色に揃えた。図 4(b)に見られるように、説明者は実際には座っていたが、すべての被験者は説明者が立っていると思っていた。説明者の上半身をほぼ等身大で表示するために、28 インチのディスプレイを使用した。垂直画面角は、不可視の条件であっても説明者が手を前に差し出したことが認識できるように 30 度に設定した。また、実験の開始前に、被験者と説明者の視線を合わせるため、被験者の身長に合わせて足場の高さを調整した。

図 4 は可視双方向条件における実験環境を示している。ビデオ会議条件ではロボットハンドはいっさい使用せず、また、非接触片方向条件では説明者の部屋にのみロボットハンドを設置した。また、不可視および可視片方向条件、不可視双方向条件では、被験者の部屋にのみロボットハンドを設置した。したがって、不可視双方向の実験装置は不可視片方向と同じであり、被験者への遠隔握手に関する口頭での説明のみがこれら 2 つの条件の違いであった。不可視双方向条件では、被験者は説明者が別の部屋に設置されたロボットハンドと握手を行うと説明を受けるが、説明者は実際にはロボットハンドには触れておらず、他の不可視の条件と同様に、手を前に差し出す動きを提示するのみであった。この方法により、遠隔握手が双方向であるという被験者の推測がもたらす心理的効果を観察することができた。

### 3.4 アンケート

以下に述べるとおり、アンケートには複数の項目が含まれており、被験者がその項目に同意できる度合いを尋ねた。

握手を行う 2 人は物理的に同じ場所にいなければならないため、我々は遠隔握手がソーシャルテレプレゼンスを強化すると予想した。サルスの脳において、物理的接近性がミラーニューロンの活動を変化させたことが報告されており [7]、サルと対象物との距離が異なると、異なるニューロンが発火することが分かっている。また、距離が離れているときに発火したニューロンは、サルと対象物の間に透明な壁がある場合、距離が近いときにも発火することが分かっている。これは、ビデオ会議においてディスプレイという透明な壁がユーザ同士を隔てている状況と同様であると考えられる。遠隔握手は擬似的な物理的接近性を生み出す可能性があり、その物理的接近性がソーシャルテレプレゼンスに著しい影響を与えるのではないかと考えた。これを確認するため、次の項目を設定した。

- 実際に説明者が同じ部屋の中でそばにいるように感じた。

握手は単なる物理的接触ではなく、社会的なつながりを強める意味があるため、我々は遠隔握手も社会的なつながりを強化するのではないかと考えた。握手とは、挨拶であり、他者との相互作用を開始する儀式であり、第一印象を

決める要素になるものである。具体的には、握手が性格を伝える非言語情報になることや [9], [28], [33], 握手が親近感を与えることが知られている [2]。我々は、遠隔握手も同様の心理的効果を生み出すと予想し、次の項目を設定した。

- 説明者は親しみやすいと感じた。

遠隔握手を行う 2 つの実験では、握手をした感覚のリアリティに関する次の項目にも被験者に回答してもらった。

- 実際に説明者と握手をした感じがした。

握手のリアリティを尋ねるこの項目は、他の項目においても被験者に必要非常に遠隔握手を考慮させてしまう恐れがあったため、別のアンケートに記載した。このアンケートは、最初の 2 つの項目を含む 1 つ目のアンケートに回答してもらった後に被験者に提示した。一方、実験 3 では、握手をした感覚のリアリティを尋ねる必要がなかったため、2 つ目のアンケートは使用しなかった。実験 3 は被験者内計画であり、ビデオ会議のクオリティに関して個人的な感覚の違いが生じているとソーシャルテレプレゼンスや親近感の度合いに影響を与える恐れがあった。

そのような影響がないことを確認するため、この実験では、1 つ目のアンケートにビデオ会議のクオリティに関する次の項目を追加した。

- 映像は十分きれいだと感じた。
- 音声は十分きれいだと感じた。
- 説明は分かりやすかった。

実験 1, 2 では、被験者は 3 つの実験条件を経験した後 2 つのアンケートに回答した。実験条件の順番はカウンターバランスをとるように決定した。実験 1, 2 では、被験者は 3 つの実験条件に対して 7 段階のリッカート尺度で各項目に回答した。1 はまったくあてはまらない、4 はどちらともいえない、7 は非常にあてはまる、に対応させた。実験 1, 2 は 3 つのデザインのうちどれが効果的であるかを明らかにするものであるのに対し、実験 3 は通常のビデオ会議に対して遠隔握手がソーシャルテレプレゼンスをどの程度向上させるのかを確認するものである。そのため、実験 3 では、被験者はより段階数の多い 9 段階のリッカート尺度で各項目に回答した。1 はまったくあてはまらない、3 はあてはまらない、5 はどちらともいえない、7 はあてはまる、9 は非常にあてはまる、に対応させた。さらに、すべての項目には自由記述欄があり、被験者は回答の理由を記入した。

### 3.5 被験者

被験者は 18 から 24 歳までの大学生であった。実験 1 には 12 名 (男性 6 名, 女性 6 名)、実験 2 には 15 名 (男性 6 名, 女性 9 名) の被験者がそれぞれ参加した。また、実験 3 には 26 名の被験者が参加し、2 つの実験条件に対してそれぞれ 13 名 (男性 7 名, 女性 6 名) ずつ割り当てた。したがって、合計 53 名の被験者が本実験に参加した。

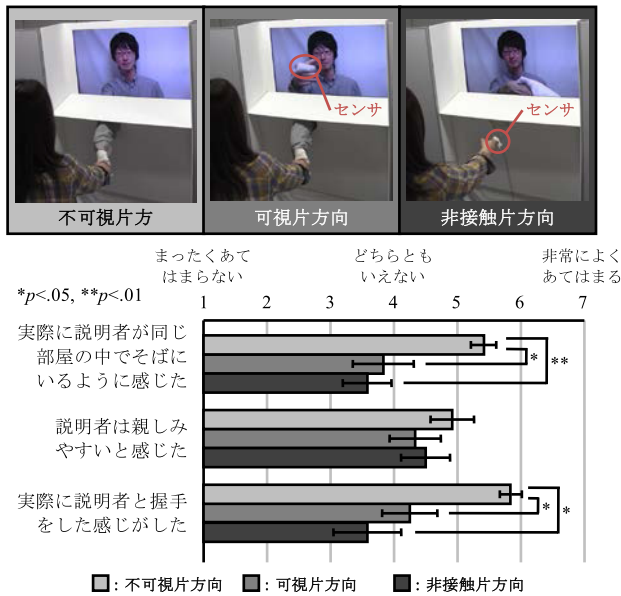


図 5 実験 1 の結果

Fig. 5 Results of the first experiment.

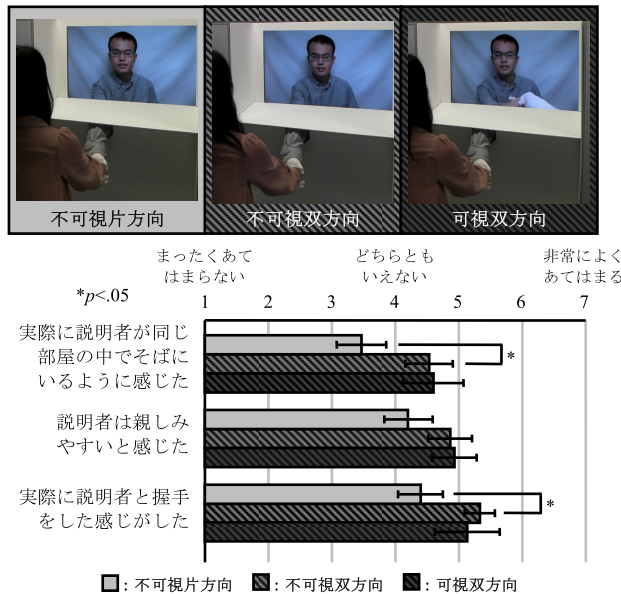


図 6 実験 2 の結果

Fig. 6 Results of the second experiment.

#### 4. 実験結果

3つの実験結果を図5, 図6, 図7にそれぞれ示す. 各グラフは各項目のスコアの平均値を, エラーバーは標準誤差を示している. すべてのスコアが正規分布であることは, コルモゴロフ-スミルノフ検定によって確認した.

図5は, 1要因分散分析(対応あり)およびボンフェローニ法によって, 不可視/可視/非接触片方向条件を比較した結果を示す. 分散分析の結果, 同じ部屋の中で説明者がそばにいる感覚 ( $F(2, 22) = 8.084, p < .01$ ), 説明者と握手をした感覚 ( $F(2, 22) = 7.675, p < .01$ ) において有意差が認められた. 多重比較の結果, そばにいる感覚は可視お

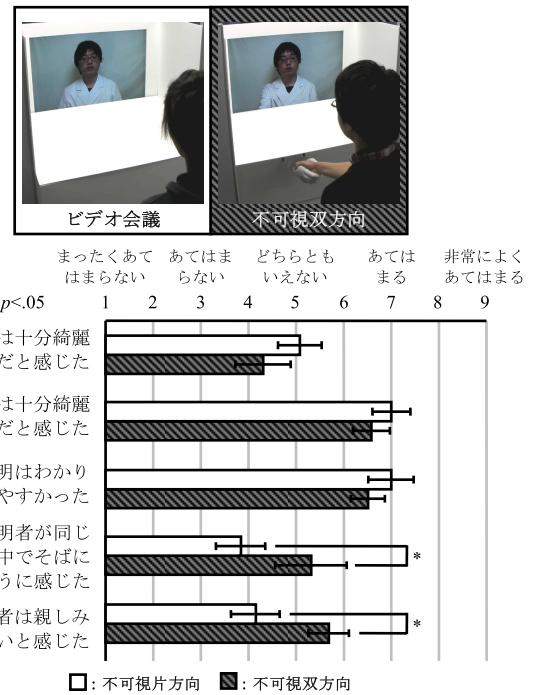


図 7 実験 3 の結果

Fig. 7 Results of the third experiment.

よび非接触片方向条件よりも不可視片方向条件の方が高いこと (それぞれ  $p < .05, p < .01$ ), 握手をした感覚も可視および非接触片方向条件よりも不可視片方向条件の方が高いことが分かった (ともに  $p < .05$ ). 一方, 可視片方向と非接触片方向の間に有意な差は認められなかった. 自由記述欄において, 可視片方向に低いスコアをつけた理由として12名中6名の被験者が, ディスプレイに映った説明者の手と, 説明者の手の代替であるロボットハンドが両方見えていることの違和感について記述していた. さらに, 非接触片方向に低いスコアをつけた理由として9名の被験者が, 接触感覚のない空中での握手は不自然であったと記述していた.

図6は, 1要因分散分析(対応あり)およびボンフェローニ法によって, 不可視片方向, 不可視/可視双方向条件を比較した結果を示す. 分散分析の結果, 同じ部屋の中で説明者がそばにいる感覚 ( $F(2, 28) = 4.191, p < .05$ ), 説明者と握手をした感覚 ( $F(2, 28) = 3.341, p < .05$ ) において有意差が認められた. 多重比較の結果, それらの感覚は不可視片方向条件よりも不可視双方向条件の方が高いことが分かった (ともに  $p < .05$ ). 一方, 可視双方向条件と他の条件の間に有意な差は認められなかった. また, 2つの双方向の条件はほぼ同等の平均値であったが, 不可視双方向条件のみ不可視片方向条件よりも有意に勝っているという結果になった. 自由記述欄では, 説明者がロボットハンドと握手を行う様子が見えることに対して, 15名中7名が肯定的な意見を, 5名が否定的な意見を記述していた. したがって, 二極化したスコアの付け方によって分散が大き



なくなったことが、可視双方向と不可視片方向の間に差が認められなかった原因であると考えられる。

説明者への親近感については、実験1 ( $F(2, 22) = .749$ , n.s.), 実験2 ( $F(2, 28) = 2.127$ , n.s.) ともに有意な差は認められなかった。自由記述欄では、両実験における4名の被験者が、遠隔握手の方法の違いは親近感に大きく影響しないと記述していた。

図7は、片側t検定(対応なし)によって、不可視双方向条件とビデオ会議条件を比較した結果を示す。分析の結果、同じ部屋の中で説明者がそばにいる感覚 ( $t(24) = 1.791$ ,  $p < .05$ ), 説明者への親近感 ( $t(24) = 2.434$ ,  $p < .05$ ) において有意差が認められた。つまり、これらの感覚は、ビデオ会議条件よりも不可視双方向条件の方が高いことが分かった。自由記述欄において、不可視双方向条件を体験した13名中6名の被験者は、握手を行うことによって説明者が近くにいる感覚が向上したと記述していた。さらに、6名中3名はその理由としてロボットハンドの温度に言及していた。したがって、不可視双方向条件とビデオ会議条件の差は、主に体温の再現が起因していた可能性がある。一方、映像および音声のきれいさ、説明の分かりやすさについては有意な差は認められなかった。したがって、ビデオ会議のクオリティは本実験結果には影響していなかったといえる。

## 5. 考察

本研究で行った3つの実験の結果、接触感覚は遠隔接触に不可欠であり、その感覚は遠隔地間のユーザ同士で共有すべきものであること、相互に共有された接触感覚はビデオ会議におけるソーシャルプレゼンスを強化することが分かった。これらの結果はおおむね納得できるものであったが、視覚フィードバック(被験者の握手動作と説明者側のロボットハンドの同期)および、視覚情報(説明者の握手動作と被験者側のロボットハンドの同期)を提示することの有効性は示されなかった。実験1において、説明者の手とロボットハンドの同期を提示する能力が可視片方向条件よりも明らかに劣っている不可視片方向条件が最も効果的であった。また、実験2においても、同期を視覚的に提示する可視双方向条件に対する被験者の評価は、提示しない不可視双方向ほど良くはなかった。さらに、不可視双方向条件より有意に劣っていた不可視片方向と可視双方向の差には有意性が認められなかった。同期を視覚的に提示すること自体は有効に働くかもしれないが、説明者の手とその代替であるロボットハンドが同時に見えたことによってその有効性が打ち消された可能性がある。被験者の記述によると、この問題は、説明者の手とロボットハンドの外見の相違ではなく、同時に見えること自体の違和感が起因していたと思われる。この違和感を生じさせずに同期を明示的に提示する方法を調査することは今後の課題である。

握手という行為には、互いの身体への物理的接触と相手に好意的な姿勢を示す儀式の2つの要素が含まれている。実験3では、儀式の要素が親近感を強めたと思われるが、この要素がソーシャルプレゼンスにも影響を与えた可能性がある。しかし、実験1および2では、握手の儀式はすべての条件で行っており、遠隔握手のデザインの違いがソーシャルプレゼンスに影響を与えていたことから、儀式ではなく物理的接触の要素が遠隔握手においてソーシャルプレゼンスを強化したと考えられる。したがって、これらの実験結果から、物理的接触がソーシャルプレゼンスを強化し、儀式が相手への親近感を強化することが示唆された。遠隔接触の効果を接触と儀式の要素に分けて分析することは今後の課題である。

被験者の自由記述によると、ロボットハンドの人間らしさが、人と対話している感覚のリアリティに寄与していたと思われる。このリアリティは、接触感覚に関する不気味の谷が関係しているかもしれない。図8に示すように、この博覧会では多くの家族連れの来場者が我々のブースで遠隔握手を体験した。その際、来場者がロボットハンドを怖がる様子が観察されたが、それらの反応は大人と子どもで明らかに異なっていた。子どもの来場者はロボットハンドに触れる前に怖がる様子がうかがえた。これは、子どもはロボットハンドに対してリアルな人の手を想像しており、そのような手が人の身体ではなく壁から出ているという状況に恐怖を感じたためだと推測される。そして、ロボットハンドに触れた後には、リアルな人の手とロボットハンドの感触の違いにも怖がる様子がうかがえた。一方、大人の来場者は、ロボットハンドに触れた瞬間に驚く様子がうかがえた。これは、一般的にロボットハンドは硬く冷たいものだという先入観を大人は持っており、我々のロボットハンドが予想外に柔らかく温かかったためだと推測される。

本研究では、我々は人の身体の一部である手を実体化させた。これに対し、ヒューマノイドロボットは遠隔操作者の全身を実体化する、我々の方法とは異なるアプローチである[25]。全身の実体化は、様々な遠隔接触を媒介するうえで部分的な実体化よりも優れていると思われる。しかし、ビデオ映像とは異なり、全身の実体化は操作者の現在の外



図8 博覧会での遠隔握手の展示

Fig. 8 Demonstration of remote handshake in an exhibition.

見を提示できないため、ソーシャルテレプレゼンスを生み出すうえで有効とはいえない側面を持っている [30]。一方、部分的な実体化では、映像と物理的実体を組み合わせて人の身体を提示することが可能である。本研究は、ビデオ映像に対する映像と実体の組合せの優位性を示したが、全身の実体化に対して優位性があるか調査することは今後の課題である。

本研究で我々が使用したシステムはロボットハンドをビデオ会議端末に取り付けたものである。一般的なテレプレゼンスロボットもビデオ会議端末をロボットの台座に取り付けた同様の組合せであるが [15]、そのようなシステムはユーザが遠隔地の空間を動き回ることを可能にしたものであり、我々のシステムのように物理的な接触を可能にするものではない。ビデオ会議にロボットの能力を組み合わせることはまだまだ未開拓の研究分野であり、多くの可能性を秘めている。

## 6. 結論

ビデオ会議に触覚提示デバイスを実装する試みにより、ビデオ会議システムや触覚提示デバイス単体よりも優れたユーザインタフェースを生み出すことができ、さらに、遠隔接触における様々な知見を得ることができた。まず、対話相手の身体の代替であるデバイスとユーザの接触が、対話相手側でも同時に起こる双方向の遠隔接触が高いソーシャルテレプレゼンスを生み出すことが分かった。さらに、デバイスと対話相手との接触を映像で視覚的に提示することは、目の前の物理的な接触と映像内での接触の両方にユーザが従事しているという違和感を生み、ソーシャルテレプレゼンスを生み出すうえで有効ではないことも分かった。映像内での接触と物理的な接触が重複して提示されることによる視覚的な不自然さの問題が解決されない限り、接触感覚をとまなう物理的な接触のみユーザが従事することがソーシャルテレプレゼンスを生み出すうえで効果的といえる。我々は、この研究によってビデオ会議および遠隔接触に関する両研究の融合が促進されることを期待する。

謝辞 本研究は、JST CREST「人の存在を伝達する携帯型遠隔操作アンドロイドの研究開発」、基盤研究 (B)「ソーシャルテレプレゼンスのためのロボットエンハンスドディスプレイ」、SCOPE「遠隔身体インタラクシオンインタフェースの研究開発」、大阪大学と NTT との共同研究「遠隔地間で同じ部屋にいる状態を作り出す次世代コミュニケーション環境の研究」からの支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Bailenson, J.N., Yee, N., Brave, S., Merget, D. and Koslow, D.: Virtual Interpersonal Touch: Expressing and Recognizing Emotions through Haptic Devices, *Human-Computer Interaction*, Vol.22, No.3, pp.325-353 (2007).
- [2] Bardeen, J.P.: Interpersonal Perception through the Tactile, Verbal, and Visual Modes, *International Communication Association Convention* (1971).
- [3] Basdogan, C., Ho, C., Srinivasan, M.A. and Slater, M.: An Experimental Study on the Role of Touch in Shared Virtual Environments, *Human-Computer Interaction*, Vol.7, No.4, pp.443-460 (2000).
- [4] Bondareva, Y. and Bouwhuis, D.: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, *Proc. AVI 2004 Workshop on Environments for Personalized Information Access*, pp.1-9 (2004).
- [5] Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, *Proc. CSCW '98*, pp.169-178 (1998).
- [6] Brown, L.M., Sellen, A., Krishna, R. and Harper, R.: Exploring the Potential of Audio-Tactile Messaging for Remote Interpersonal Communication, *Proc. CHI2009*, pp.1527-1530 (2009).
- [7] Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Thier, P. and Casile, A.: Mirror Neurons Differentially Encode the Peripersonal and Extrapersonal Space of Monkeys, *Science*, Vol.324, No.5925, pp.403-406 (2009).
- [8] Chang, A., O'Modhrain, S., Jacob, R., Gunther, E. and Ishii, H.: ComTouch: Design of a Vibrotactile Communication Device, *Proc. DIS2002*, pp.312-320 (2002).
- [9] Chaplin, W.F., Phillips, J.B., Brown, J.D., Clanton, N.R. and Stein, J.L.: Handshaking, Gender, Personality, and First Impressions, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.79, No.1, pp.110-117 (2000).
- [10] de Greef, P. and IJsselstein, W.: Social Presence in a Home Tele-Application, *Cyberpsychology & Behavior*, Vol.4, No.2, pp.307-315 (2001).
- [11] Fogg, B.J., Cutler, L.D., Arnold, P. and Eisbach, C.: HandJive: A Device for Interpersonal Haptic Entertainment, *Proc. CHI '98*, pp.57-64 (1998).
- [12] Gaver, W.W., Smets, G. and Overbeeke, K.: A Virtual Window on Media Space, *Proc. CHI '95*, pp.257-264 (1995).
- [13] Haans, A. and IJsselstein, W.: Mediated Social Touch: A Review of Current Research and Future Directions, *Virtual Reality*, Vol.9, No.2, pp.149-159 (2006).
- [14] Isaacs, E.A. and Tang, J.C.: What Video Can and Can't Do for Collaboration: A Case Study, *Multimedia Systems*, Vol.2, No.2, pp.63-73 (1994).
- [15] Lee, M.K. and Takayama, L.: "Now, I Have a Body": Uses and Social Norms for Mobile Remote Presence in the Workplace, *Proc. CHI2011*, pp.33-42 (2011).
- [16] Morikawa, O., Hashimoto, S., Munakata, T. and Okunaka, J.: Embrace System for Remote Counseling, *Proc. ICMI2006*, pp.318-325 (2006).
- [17] Nakanishi, H., Murakami, Y., Nogami, D. and Ishiguro, H.: Minimum Movement Matters: Impact of Robot-Mounted Cameras on Social Telepresence, *Proc. CSCW2008*, pp.303-312 (2008).
- [18] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K.: Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces, *Proc. CHI2009*, pp.433-442 (2009).
- [19] Nakanishi, H., Kato, K. and Ishiguro, H.: Zoom Cameras and Movable Displays Enhance Social Telepresence, *Proc. CHI2011*, pp.63-72 (2011).
- [20] Nakanishi, H., Tanaka, K. and Wada, Y.: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, *Proc. CHI2014*, pp.2143-2152 (2014).
- [21] Nguyen, D.T. and Canny, J.: Multiview: Improving Trust in Group Video Conferencing through Spatial



- Faithfulness, *Proc. CHI2007*, pp.1465-1474 (2007).
- [22] Nguyen, D.T. and Canny, J.: More than Face-to-Face: Empathy Effects of Video Framing, *Proc. CHI2009*, pp.423-432 (2009).
- [23] Park, Y.W., Baek, K.M. and Nam, T.J.: The Roles of Touch during Phone Conversations: Long-Distance Couples' Use of POKE in Their Homes, *Proc. CHI2013*, pp.1679-1688 (2013).
- [24] Prussog, A., Muhlbach, L. and Bocker, M.: Telepresence in Videocommunications, *Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society*, pp.25-38 (1994).
- [25] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Android as a Telecommunication Medium with a Human-like Presence, *Proc. HRI2007*, pp.193-200 (2007).
- [26] Sallnas, E.-L., Rassmus-Grohn, K. and Sjostrom, C.: Supporting Presence in Collaborative Environments by Haptic Force Feedback, *Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.7, No.4, pp.461-476 (2000).
- [27] Samani, H.A., Parsani, R., Rodriguez, L.T., Saadatian, E., Dissanayake, K.H. and Cheok, A.D.: Kissenger: Design of a Kiss Transmission Device, *Proc. DIS2012*, pp.48-57 (2012).
- [28] Shippy, E.M. and Freeman, H.R.: Handshake: Its Relation to First Impressions and Measured Personality Traits, *Psi Chi Journal of Undergraduate Research*, Vol.8, No.4, pp.144-148 (2003).
- [29] Smith, J. and MacLean, K.: Communicating Emotion through a Haptic Link: Design Space and Methodology, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.65, No.4, pp.376-387 (2007).
- [30] Tanaka, K., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Comparing Video, Avatar, and Robot Mediated Communication: Pros and Cons of Embodiment, *Proc. CollabTech2014*, CCIS460, pp.96-110 (2014).
- [31] Vetere, F., Gibbs, M.R., Kjeldskov, J., Howard, S., Mueller, F., Pedell, S., Mecoles, K. and Bunyan, M.: Mediating Intimacy: Designing Technologies to Support Strong-Tie Relationships, *Proc. CHI2005*, pp.471-480 (2005).
- [32] Wang, R., Quek, F., Tatar, D., Teh, J.K.S. and Cheok, A.D.: Keep in Touch: Channel, Expectation and Experience, *Proc. CHI2012*, pp.139-148 (2012).
- [33] Wesson, D.A.: The Handshake as Non-verbal Communication in Business, *Marketing Intelligence & Planning*, Vol.10, No.9, pp.41-46 (1992).

#### 推薦文

問題設定と得られた知見が優れているうえに、論文の完成度が高くインタラクション研究論文の手本となる。よって特集号の推薦論文にふさわしい。

(インタラクション 2014 プログラム委員長 水口 充)



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。2008年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。2011年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同年より、大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任助教。人とインタラクションを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。FIT2007論文賞。



和田 侑也

2012年大阪大学工学部応用理工学科卒業。2014年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士前期課程修了。現在、スキューズ株式会社に所属。



中西 英之 (正会員)

1996年京都大学工学部情報工学科卒業。1998年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士課程修了。博士(情報学)。同年同専攻助手。2006年より大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻准教授。2000年スタンフォード大学客員研究員、2005年ジョージア工科大学客員研究員、2010年よりATR 連携研究員を兼務。空間共有や存在感伝達のためのアバターやロボットに興味を持つ。2002年度情報処理学会坂井記念特別賞。2004年度テレコムシステム技術賞。2006年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞。