

# ビデオ通話アプリの相手映像と分離／結合した 身体接触デバイスの効果検証

田中 一品<sup>†1</sup> 黛 礼雄<sup>†1</sup> 高橋 ともみ<sup>†1</sup> 高木 将<sup>†1</sup> 岡 夏樹<sup>†1</sup>

**概要**：等身大表示のビデオ通話に身体接触デバイスとしてロボットハンドを組み合わせて握手を再現することは、相手との空間共有感（同じ空間にいる感覚）や社会的結合（親密な関係を築く絆）を強める上で有効であることが知られている。一方、スマートフォンのような携帯端末でのビデオ通話でも同様の効果が得られるかは明らかになっていない。携帯端末でのビデオ通話では、縮小表示された相手の身体と、相手の手の代替である等身大のロボットハンドの間に寸法的な矛盾が生じる。また、携帯端末とロボットハンドが分離している場合、映像上の相手の手の位置とは異なる場所で身体接触が行われると位置的な矛盾も生じる。本研究では、これらの矛盾が生じて身体接触を再現することが相手との空間共有感や社会的結合を強めるのか調査した。実験では、ロボットハンドを介して実験者と手を握り合いながら行う会話において寸法的矛盾のみ生じる条件と両方の矛盾が生じる条件を設定し、携帯端末での通常のビデオ通話と比較した。その結果、空間共有感はいずれの矛盾があっても強化されたが、社会的結合は寸法的矛盾のみ生じる条件でしか強化されず、位置的矛盾によるマイナスの影響を受けやすい可能性が示唆された。空間共有感の強化には、会話の流れとロボットハンドの動きとの同期が起因している可能性があり、相手がロボットハンドを動かしているという信念が空間共有感を強めたものと考えられる。一方、社会的結合の強化には、相手映像とロボットハンドとの位置的な一貫性が起因している可能性があり、相手の手を握っていると視覚的に感じられることが社会的結合を強化する上で有効であると思われる。

## 1. はじめに

家族、恋人、友人等の親しい間柄を維持・構築するための絆（社会的結合）は離れた場所で暮らしていると弱まるという問題がある。その影響として、単身赴任での孤独感からうつ病を発症することや、会えない寂しさから離婚に発展したり、遠距離恋愛の成功率が低くなったりといった社会問題が起きている。最近では COVID-19 による外出自粛要請によって会えない恋人同士が別れてしまうコロナ破局という言葉も聞かれるようになった。また、外出自粛は新たな人間関係を構築する上でも障害になっている。例えば、オンライン講義で大学に通えない学生は、新しい友人関係を築くことに苦労しており、孤独感を感じているという問題がある。

このような社会問題の解決に向けて、遠隔コミュニケーション分野では、離れた場所にいる人との会話を対面会話に近づける技術が研究されてきた。その基本的なアプローチは、相手の姿や振る舞いを高精細な等身大映像で提示することである[1]。現在は 4K や 8K の大型液晶テレビが普及しており、非常に高精細な映像でのビデオ通話が可能になっている。しかしながら、これ以上高精細化が進んでも人の目では違いを認識しにくくなるため、映像を高精細化するアプローチには限界が来ていると言える。また、どれだけ高精細になったとしてもディスプレイ越しでの対話であることが相手との距離を遠く感じさせている可能性がある。サルのみラーニューロンに関する実験では、サルが実験者の振る舞いを見たときに活性化するのみラーニューロン

は、実験者との距離が近い場合と遠い場合で異なり、透明な板越しに見た場合には、遠い場合と同様のニューロンが活性化することが分かっている[2]。人間の場合でも同様の脳の働きが起こっているならば、ディスプレイ越しであるという認知が相手を身近に感じることを阻害している可能性がある。

そこで、ビデオ通話にテレロボティクスの技術を組み合わせたアプローチが提案されている。その1つとして、ロボットハンドで相手と握手をする効果が検証されており、相手と同じ空間にいる感覚（空間共有感）が強化されることが分かっている[3]。この結果から、相手と疑似的に身体接触が行えることでディスプレイ越しであるという認知が変化した可能性が考えられる。また、ロボットハンドによって再現された握手であっても相手への親しみを与えられることも分かっており、社会的結合を強められる可能性も考えられる。

この先行研究の知見によると、図1に示すように、相手の等身大映像と実空間のロボットハンドとの位置的な一貫性（以下、位置的一貫性と呼ぶ）があるように相手映像の腕の先にロボットハンドを設置することが空間共有感の強化に有効であることが示されている。また、検証は行われていないが、等身大映像と実寸大のロボットハンドを用いていることから寸法的な一貫性（以下、寸法的一貫性）があることも有効である可能性が考えられる。しかしながら、現在ではスマートフォンの普及により、多くのユーザが携帯端末の小型ディスプレイでビデオ通話を行っている。そのような環境では、相手映像と身体接触デバイスとの組み合わせに寸法的一貫性を持たせることは困難であり、位置的一貫性も必ずしも持たせられるとは言えない。本研究で

<sup>†1</sup> 京都工芸繊維大学



図1 等身大のビデオ通話における相手映像とロボットハンドとの位置的・寸法的一貫性

は位置的・寸法的一貫性がないことを位置的・寸法的矛盾と呼ぶ。

図2に示すように、既存の携帯端末とロボットハンド型の身体接触デバイスを組み合わせる形式として、a) 分離形式：携帯端末を右手で操作し左手でデバイスを握る形式と、b) 結合形式：デバイスの手首の位置に携帯端末を取り付けて右手で握る形式が考えられる。分離形式では、デバイスは Bluetooth 等の一般的な無線通信規格で携帯端末と接続すれば良いため、携帯端末の形状に依存せずに身体接触の機能を付与できる。しかしながら、相手映像とは向かい合っているが、デバイスの身体性からは隣にいる相手と手を繋いでいる状態となり位置的矛盾が生じる。一方、結合形式では、相手と向かい合って手を繋いでいる状態に近くなり位置的矛盾は軽減される。しかしながら、デバイスに携帯端末を取り付ける必要があるため、携帯端末の形状に合わせてデバイスを設計する必要がある。また、いずれの形式でも寸法的矛盾は生じてしまう。位置的・寸法的矛盾が生じると、相手と身体接触を行っているというリアリティを低下する恐れがあるが、これらの矛盾が生じてても空間共有感や社会的結合を強化する身体接触の効果を得られる条件が分ければ、スマホ等の携帯端末を拡張する身体接触デバイスの設計指針になることが期待できる。

本研究では、携帯端末でのビデオ通話に身体接触デバイスを組み合わせることで生じる位置的・寸法的矛盾が空間共有感や社会的結合等にどのような影響があるか調査する。再現する身体接触としては、初対面の相手であっても比較的行いやすいと思われる手つなぎとし、ロボットハンド型の身体接触デバイスを製作する(3章)。そして、小型ディスプレイでのビデオ通話において遠隔身体接触を行う場合、寸法的一貫性がないことや位置的一貫性の有無が空間共有感や社会的結合にどのように影響するか被験者実験を通して検証する(4章)。その結果から、携帯端末でのビデオ通話において空間共有感や社会的結合を強化する身体接触デバイスの要件について考察する(5章)。まず、次章では遠

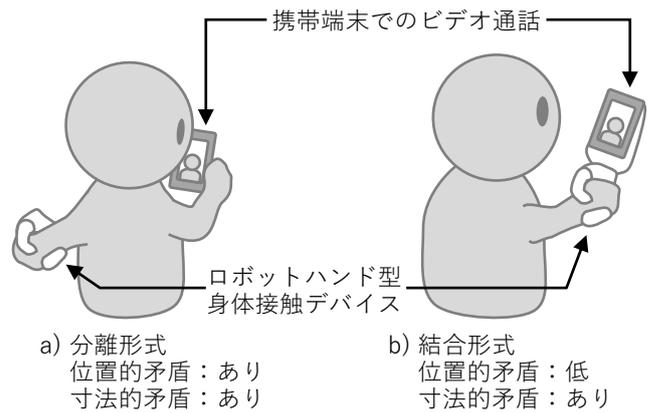


図2 携帯端末でのビデオ通話における相手映像と身体接触デバイスとの位置的・寸法的矛盾

隔身体接触に関する先行研究について述べる。

## 2. 関連研究

遠隔身体接触に関する研究は古くから行われており、既存の遠隔対話のモダリティ(テキスト、音声、映像)に触覚モダリティを加える様々な身体接触デバイスが提案されてきた。身体接触を再現する触覚刺激としてよく用いられているのは振動である[4][5][6]。例えば、携帯端末を握ると相手側の端末が振動するものが挙げられる[4]。その他の刺激としては、ドアノブ型[7]やローラー型[8]のデバイスによる回転の力覚、手首[9]や腕[10]に装着したバンドによる締め付け、空気圧で膨らむシリコン製の風船による頬への接触[11]、ジョイスティックのフォースフィードバック[12]等がある。身体接触は感情伝達的手段として有効であることが知られており[13]、これらの研究のほとんどは、相手の表情や振る舞いが直接見えない音声通話やテキストチャットにおける非言語情報の伝達を触覚モダリティで補強することを目的としている。そのため、触覚刺激としてエンコードされた非言語情報を相手が正しくデコードできるかが重視されており、対面での身体接触をどれだけ忠実にシミュレートするかという身体接触のリアリティにはほとんど注目されていない。

一方、ビデオ通話における遠隔身体接触に関する研究では、相手との親密なインタラクションを支援することを目的とし、身体接触のリアリティを重視している場合が多い。まず、握手を再現した先行研究では[3]、ロボットハンドが相手や自分の手と同期して動いていることをユーザに提示する必要性について検証されている。同期を提示するため、ディスプレイに相手との握手の様子を表示すると、相手の映像上の手とその代替である実空間のロボットハンドが重複して両方の空間に存在していることが明示されてしまう。その身体の重複の認知がリアリティを低下させるため、相手映像において手首から先の部分を画角に含めずにロボットハンドとの位置的一貫性を提示した方が空間共有感の強化に有効であることが分かっている。一方、社会的結合の

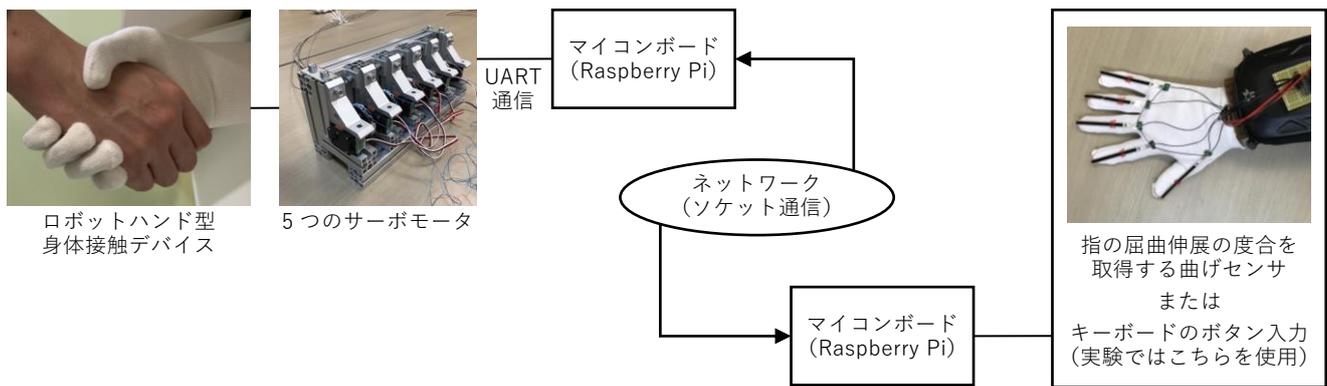


図3 ロボットハンド型身体接触デバイスを用いた遠隔身体接触システムの概略図

強化においては同期の提示の有無に関わらず握手を行うこと自体に効果がある可能性が示されている。

また、バンド型のデバイスにおいて手の締め付けや温度によって握手のような身体接触を再現するものもある[14]。この先行研究では、メディアスペースでの共同作業への遠隔身体接触の効果を調査しているが、空間共有感を強化する効果は有意ではなかった。このデバイスでは、共有スペースの同じ場所に互いのユーザが手を置くと、バンド型デバイスが互いの手を締め付けることで握手を再現する。この方法では身体の重複の問題は生じないが、正面にいる相手の手が机の上に置かれているにも関わらず、自分の手が握られているという位置的矛盾が生じるため、身体接触のリアリティが低下した可能性が考えられる。

握手以外の遠隔身体接触としては、キスやハグが再現されている。キスを再現するデバイスは唇を押し付ける強さや動きを圧力センサで取得し、もう一方のデバイスで複数のサーボモータで再現するものである[15]。しかしながら、このデバイスにおいても通常のビデオ通話と比較して空間共有感を強化する効果は得られていない。また、社会的結合に関しては、通常のビデオ通話と比較してより親密なインタラクションが行えると感じられることは示されているが、被験者が恋人同士であり既にある程度強い社会的結合が築かれた状態であったため、強化する効果は確認されていない。このキス用デバイスは、ビデオ映像と分離しており位置的矛盾の問題が生じていたが、後に携帯端末を取り付けられるようにして位置的矛盾を解決したものも提案されている[16]。しかしながら、その解決によって空間共有感が強化されるかは検証されていない。また、この改良後のデバイスにおいても寸法的矛盾はやはり生じている。

ハグを再現するデバイスは様々な先行研究で提案されており、そのいくつかは衣服型である[17][18][19]。複数の振動子を備えた衣服型のデバイスは、鏡型ビデオ会議と組み合わせて使用する方法が提案されている[18]。これは、相手とハグをしている様子が写った鏡を見ながら会話している状況をシミュレートするものである。振動子を備えた

衣服型のデバイスとビデオ通話を組み合わせる提案は他の先行研究でも行われており、ユーザが相手映像を表示したタッチスクリーンに触れると、相手が着ているジャケットの該当箇所が振動するというものもある[20]。しかしながら、これらの先行研究で評価されているのは、相手とハグをしている感覚が得られるか、相手が触れた位置を正しく認識できるかという点であり、それらの評価が高まることで空間共有感や社会的結合にどのような影響があるかは検証されていない。

ハグを再現する効果を検証した研究では、携帯電話を内蔵した抱き枕をハグしながら行う音声通話が提案されており、通常の音声通話と比較して唾液中のストレスホルモンが減少することが報告されている[21]。相手の顔が見えないハグという身体接触は音声通話と相性が良く、携帯端末でも位置的矛盾や寸法的矛盾について考える必要がない。しかしながら、相手の姿を見ながら対話できるというビデオ通話の利点に対して、抱き枕でのハグに優位性があるかは明らかになっていない。本研究では、ビデオ通話に対して、位置的矛盾や寸法的矛盾が生じて身体接触デバイスを組み合わせることがポジティブな効果をもたらすのか明らかにする。

### 3. ロボットハンド型身体接触デバイスの開発

本章では、リアルな身体接触感覚の創出を目指して開発したロボットハンド型身体接触デバイスの仕組みについて述べる。このデバイスでは指の屈曲伸張動作、体温、肌の柔軟性を再現した。図3に本研究で製作した遠隔身体接触のシステムの概略図を、図4にデバイスの構造を示す。図3の通り、本システムは遠隔地間で非対称である。その理由は後述の被験者実験(4章)を容易にするためであるが、遠隔地間の両方の空間に同じデバイスを用意することで双方向の手つなぎを行うことも可能である。

#### 3.1 指の屈曲伸張

遠隔身体接触として手つなぎを再現する上で必要な動きは、人差指、中指、薬指、小指の先端のDIP関節、中間のPIP関節、親指の先端のIP関節、および5指の根本の

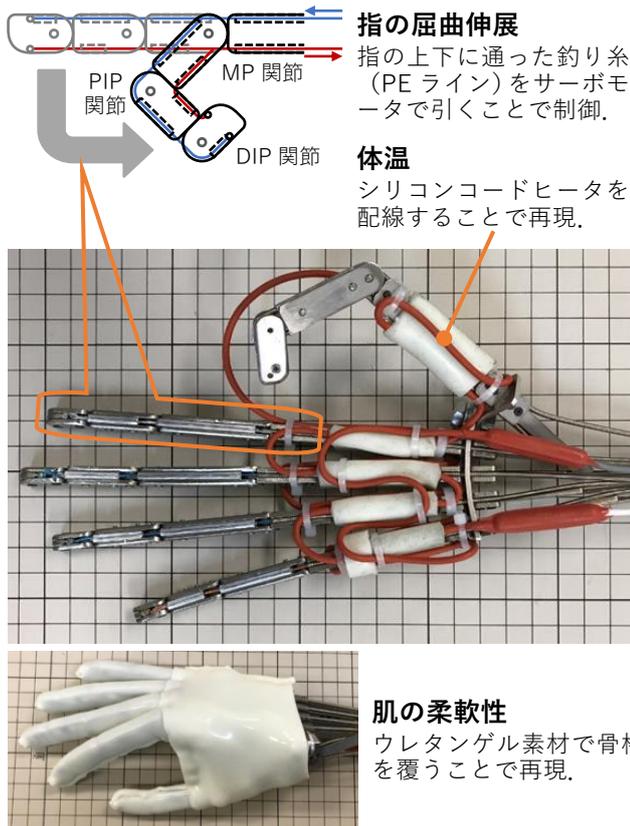


図4 ロボットハンド型身体接触デバイスの構造

MP 関節の屈曲伸展である。手つなぎにおいてはこれらの関節を同時に屈曲させるため、多くの自由度は必要としないが、屈曲させる度合いは各指によって異なる。したがって、1本の指を1つのサーボモーターで制御する5自由度とした。サーボモーターで指を屈曲伸展させる仕組みは図4上段の通りである。指の上下には腱の役割を持つ糸が通っており、サーボモーターの円形のホーンに接続されている。この糸には強度が高く伸度が低い PE ラインと呼ばれる釣り糸を採用した。ホーンを反時計回りの方向に回転させ、手のひら側の糸（赤）を引っ張り、手の甲側の糸（青）を緩めると屈曲し、時計回りに回転させると伸展する。この回転の度合いは手つなぎの握力として自然に感じられるように指ごとに調節した。また、被験者の手を必要以上の力で圧迫しないように、関節の屈曲の物理的な限界が DIP, PIP, IP 関節は 90 度、MP 関節は 45 度になるように設計した。これにより、5 指を完全に屈曲させても指と手のひらの間に十分な空間があり、人が容易に手を放すことが可能であることを確認した。

各指は指先から末節骨、中節骨（親指以外）、基節骨、中手骨で構成されており、中手骨は手首のパーツに固定されている。これらの材質は、指の骨はステンレス (SUS304)、手首のパーツはアルミニウム (A6063) である。後述の実験では、女性の実験者がデバイスを操作するため、デバイスの寸法が日本人女性の平均的な手に近くなるように、日

本人女性の手の寸法データ<sup>1</sup>を参考に設計した。

### 3.2 体温

体温を再現するため、1m のシリコンコードヒータを中手骨の手のひら側に添わせるように配置した（図4中段）。また、温度センサ（K 熱電対）も手のひら側に配置し、市販の温度コントローラ（ON/OFF 制御）によって温度制御する。人が物体に触れた際の温度知覚は皮膚と物体の温度差によって生じるものであり、デバイスと人の手のひらが同程度の温度であると、デバイスが体温を再現していることに気づきにくいことが予想される。そこで、人の手のひらの温度は 33°C 前後であるため[22][23]、デバイスの温度をそれよりも十分に高い 37°C に設定した。

### 3.3 肌の柔軟性

肌の柔軟性を再現する素材として、ウレタン樹脂製のシート<sup>2</sup>（アスカ-C 硬度 0）を使用し、デバイスの各部をできるだけ自然な触感になるように覆った（図4下段）。この素材の柔軟性は人の肌に近いが、その表面は粘着性のあるゴムのような質感であり人の皮膚の質感とは大きく異なる。皮膚の質感の再現は現時点では困難であったため、本研究では薄手の布手袋をデバイスに装着し、手袋をしている手を握っている触感を再現することとした。

## 4. 実験

身体接触デバイスをビデオ通話と組み合わせることによって生じる位置的・寸法的矛盾の影響を調査するため、3章で説明したロボットハンド型身体接触デバイスを用いて被験者実験を行った。本章ではその実験について説明する。実験では、男女が携帯端末でビデオ通話を行う状況を想定し、女性の実験者と男性の被験者が対話した。被験者として本学の学生 12 人（20～23 歳）が参加した。

### 4.1 実験環境・条件

図5に3つの条件の実験環境を示す。各条件については下記の通りである。

**ビデオのみ条件（ベースライン）**：対話相手役の実験者と被験者は別々の部屋に着席しており、スタンドに縦置きにした正面の携帯端末でビデオ通話を行った。ビデオ通話のソフトウェアは Skype<sup>3</sup>を用いた。

**分離手つなぎ条件（位置的・寸法的矛盾あり）**：ビデオのみ条件の状況に加えて左手で身体接触を行う。ロボットハンド型身体接触デバイスは右手を模したものであるため、被験者が左手でデバイスを握ると、横に並んで手つなぎを行っている状況になる。しかしながら、対話相手の映像は正面の携帯端末に表示されているため、位置的矛盾が生じる。また、映像は縮小映像であるのに対し、デバイスは等

1 AIST 日本人の手の寸法データ：

<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/data/list.html>

2 エクシール 超軟質ゲルシート：<http://www.exseal.co.jp/creative/>

3 Microsoft Skype：<https://www.skype.com/ja/>

（最終アクセス日：2020年9月22日）



図5 実験条件と実験環境（各条件は右下の携帯端末および身体接触デバイスの使用形式に対応）

身大の右手を模したものであるため寸法的矛盾も生じる。

**結合手つなぎ条件（寸法的矛盾のみ）**：ビデオのみ条件の状況に加えて右手で身体接触を行う。したがって、相手と向かい合って互いに右手で手つなぎを行っている状況になる。対話相手の映像は正面の携帯端末に表示されているため、位置的矛盾は生じない。しかしながら、寸法的矛盾は生じてしまう。

ビデオのみ条件と分離手つなぎ条件を比較することで位置的矛盾と寸法的矛盾が共に生じた場合の遠隔身体接触の効果を、ビデオのみ条件と結合手つなぎ条件を比較することで寸法的矛盾のみ生じた場合の遠隔身体接触の効果を、分離手つなぎ条件と結合手つなぎ条件を比較することで、位置的矛盾を改善する効果をそれぞれ観察した。

#### 4.2 実験手順

実験は被験者内計画であり、1人の被験者が全ての条件で実験者との通話を体験した。3つの条件を実施する順番は、カウンターバランスを取るため12人全ての被験者で異なった。まず、対話相手役の実験者とは異なる男性の実験者（以下、説明者と呼ぶ）が被験者を座席まで案内し、ビデオのみ条件では、携帯端末を指し示しながら「今回はこちらのスマートフォンを用いて別の部屋にいる人と会話をさせていただきます」、分離手つなぎおよび結合手つなぎ条件では、身体接触デバイスと携帯端末を指し示しながら「今回は別の部屋にいる人とこちらの手を握りながら、こちらのスマートフォンを用いて会話をさせていただきます。会話は手を握ったまま行って下さい」と説明した。

ビデオ通話は被験者が着席する前に接続し、実験者側のカメラをOFFにしておいた。そのため、説明者が上述の条件の説明を行っている間は、被験者側の携帯端末に実験者は表示されていなかった。その後、説明者が「それでは、よろしくお願ひします」と言うと、実験者はカメラをONにして会話を開始した。会話の開始後、説明者は被験者から見えない位置に移動した。

3回の会話の話題は映画館、テーマパーク、動物園でありその順番は固定した。また、実験者の台詞は事前に決めておいた。実験者と被験者の会話の例を表1に示す。相手

と趣味嗜好が合致する度合は、その相手に対して感じる親しみに影響を与える可能性が考えられる。その度合を条件間である程度統一するため、話題となる場所についてよく行くかどうかについては被験者に同意し、実験者が好きなものについては2つの候補から被験者とは異なる方を述べるようにした。

表1 実験者と被験者との会話例

話者	発話
実験者	こんにちは、よろしくお願ひします。
実験者	今回もあなたのことを色々教えていただきたいと思っています。
実験者	あなたは動物園にはよく行きますか？
被験者	はい、たまに行きます。
実験者	そうなんです、私も動物が好きで、よく行きますよ。
実験者	あなたの好きな動物ってなんでしょうか？
被験者	サルが好きです。
実験者	そうなんです、サルのごんごんところが好きなんですか？
被験者	サルは動きが面白いところが好きです。
実験者	あー確かに結構機敏な動きをするイメージありますね。
実験者	私はパンダが好きです。まんまるな体でのんびり笹を食べている姿がとっても可愛いんですよ。
実験者	今回はあなたの好きな動物についておうかがいできて良かったです。それでは、ありがとうございました。

（実験者は網掛部分で「強く握る」操作を行う）

分離／結合手つなぎ条件において、実験者は会話中にキーボードでデバイス进行操作した。その操作は「握る」「強く握る」「開く」の3種類である。まず、会話の開始と同時に「握る」操作を行った。そして、表1の網掛部分で「強く握る」操作を行った。会話の終了時には「開く」操作を行った。「強く握る」操作の回数は全ての条件で同じであり、網掛部分の7回とした。「握る」「開く」動作は図3に示した曲げセンサで実験者の手の動きを記録したものである。また、「強く握る」動作は、握った状態から全てのサーボモータの指令値にランダムな値を加算して僅かに強く握るようにしたものである。

各条件で会話が終了すると、説明者は「○回目の実験お疲れ様でした。それでは次の実験の準備をしますので、こちらに座ってお待ちください」と言って実験環境から離れた待機場所に毎回案内した。3回の条件の終了後には、被験者にアンケートを提示して回答するように指示した。

### 4.3 収集データ

#### 4.3.1 アンケート評価

携帯端末でのビデオ通話における遠隔身体接触の影響を調査するため、アンケートを実施した。被験者は各項目に7段階リッカート尺度（1:全くあてはまらない, 4:どちらともいえない, 7:非常によくあてはまる）で回答した。また、その回答理由について自由記述欄に記述させた。まず、ビデオ通話の品質について被験者が条件間で違いを感じていないことを確認するため、次の項目を設定した。

- ・ 相手の話は聞き取りやすかった。
- ・ 映像は十分きれいだと感じた。

空間共有感の評価について、遠隔身体接触によって空間共有感が強化されることを示した先行研究では「同じ部屋の中で会話している感覚」をたずねており[3]、本研究でも同じ表現を使用して評価した。また、ロボットハンド型身体接触用デバイスの身体性によって、条件間で相手がいると感じられる空間的な位置が異なる可能性が考えられるため、相手が隣または正面にいる感覚についてもたずねた。

- ・ 同じ部屋の中で相手と会話していると感じた。
- ・ 相手が自分の隣にいるように感じた。
- ・ 相手が自分の正面にいるように感じた。

身体接触を通して相手に親しみを与えることは社会的結合を強めることが知られている[24]。そのため、対面での身体接触[25]や遠隔身体接触[3][15]に関する先行研究では相手への親しみの度合いが評価されている。また、相手と会話することは社会的結合を強める上で必要であるため[26]、相手と会話する意欲をたずねることも社会的結合の評価として有効であると考えられる[27]。そこで、社会的結合に関する評価として下記の3つの項目を設定した。

- ・ 相手に親しみを感じた。
- ・ 相手との会話を楽しいと感じた。
- ・ 相手ももっと会話したいと感じた。

分離/結合手つなぎ条件では、デバイスを相手の手であると感じられるほど空間共有感や社会的結合が強まると考えられる。そこで、分離/結合手つなぎ条件についてのみ、次の項目を設定した。これらの項目と、空間共有感および社会的結合の評価値との相関分析を行う。

- ・ 相手の手を握っているように感じた。
- ・ 相手に手を握られているように感じた。

#### 4.3.2 会話内容についての記憶

相手に親しみを感じると、相手の話を真剣に聞き、会話の終了後もその内容をよく覚えていると考えた。そこで、実験者が好きなものとその理由についてどれだけ正しく被

験者が覚えているか記述させた。例えば、話題が動物園の場合、表1の例の通り実験者が好きな動物は「パンダ」であり、その理由は「まんまるな体でのんびり笹を食べている姿がとっても可愛い」からである。この調査は、4.2.1節のアンケートへの回答という負荷を20分間与えた後に、別紙で実施した。

#### 4.3.3 ロボットハンド型身体接触デバイスの要素

本研究で製作したロボットハンド型のデバイスは3章で述べた通り、指の屈曲動作、体温、肌の柔軟性の再現によってリアルな身体接触感覚の創出を目指した。これについて、被験者に肯定的な印象を与えた要素を明らかにするため、デバイスの「動き」「握力」「温度」「柔らかさ」について良いと感じた順位を1~4で記述させた。この調査は4.2.1節および4.2.2節のアンケートの回答後に別紙で行った。

### 4.4 実験結果

#### 4.4.1 アンケート結果

図6にアンケートの結果を示す。棒グラフは評価の平均値であり、エラーバーは標準誤差を示している。3つの条件は対応あり1要因分散分析で比較し、差が有意であった場合にはBonferroni法で多重比較を行った。その結果を図中に示す。まず、ビデオ通話の音質や画質について、いずれの条件間でも有意な差は見られなかった。このことから、ビデオ通話の品質について被験者が特定の条件において異なっているとは感じていなかったことが確認できた。

**【空間共有感】** 同じ部屋で会話している感覚は( $F(2, 22) = 11.142, p < .001$ )、ビデオのみ条件よりも分離/結合手つなぎ条件の方が高いことが分かった(それぞれ $p < .05, p < .01$ )。相手が隣にいる感覚は( $F(2, 22) = 13.953, p < .001$ )、ビデオのみ、結合手つなぎ条件よりも分離手つなぎ条件の方が高いことが分かった(共に $p < .01$ )。相手が正面にいる感覚は( $F(2, 22) = 14.494, p < .001$ )、分離手つなぎ条件よりもビデオのみ、結合手つなぎ条件の方が高く(それぞれ $p < .05, p < .001$ )、ビデオのみ条件よりも結合手つなぎ条件の方が高い傾向が見られた( $p = .081$ )。

**【社会的結合】** 相手への親しみは( $F(2, 22) = 6.937, p < .01$ )、ビデオのみ条件よりも結合手つなぎ条件の方が高いことが分かった( $p < .05$ )。会話の楽しさは( $F(2, 22) = 10.710, p < .001$ )、ビデオのみ条件よりも分離/結合手つなぎ条件の方が高く(共に $p < .05$ )、分離手つなぎ条件よりも結合手つなぎ条件の方が高い傾向が見られた( $p = .078$ )。もっと会話したい感覚も同様であり( $F(2, 22) = 14.330, p < .001$ )、ビデオのみ条件よりも分離/結合手つなぎ条件の方が高く(それぞれ $p < .05, p < .01$ )、分離手つなぎ条件よりも結合手つなぎ条件の方が高い傾向が見られた( $p = .052$ )。

**【デバイスを相手の手であると感じられる度合い】** この評価は分離/結合手つなぎ条件を対象に実施したため、対応ありt検定で比較した。相手の手を握っている感覚は、

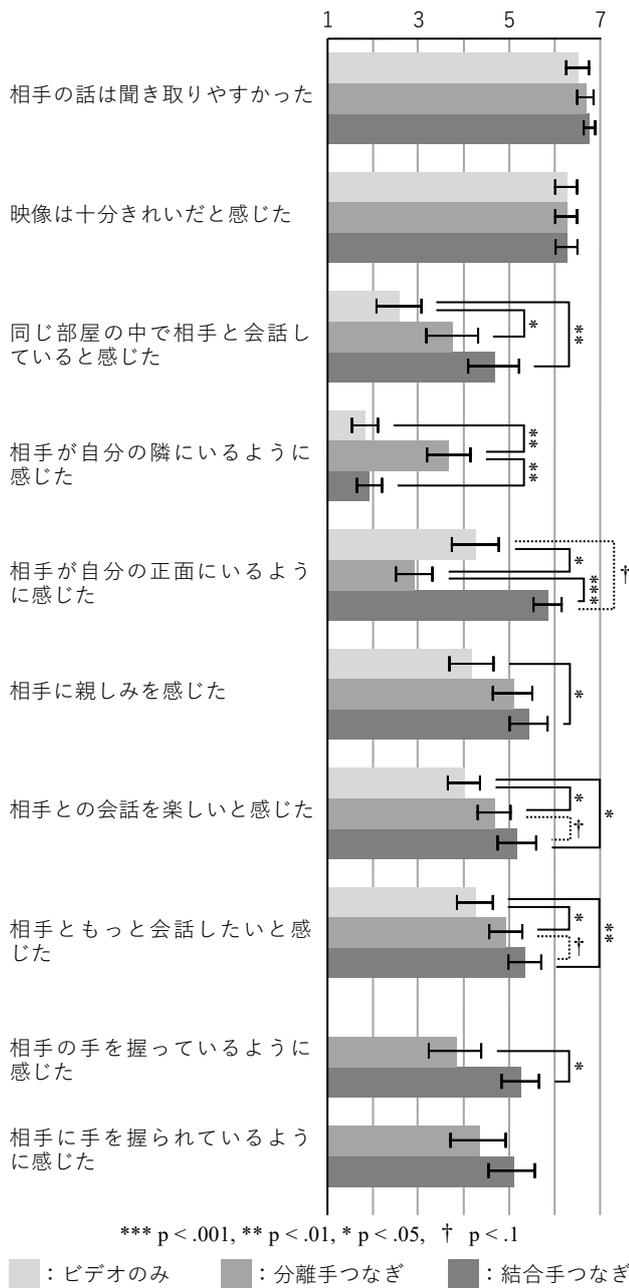


図6 アンケート結果

分離手つなぎ条件よりも結合手つなぎ条件の方が高いことが示された ( $t(11) = 2.837, p < .05$ )。一方、相手に手を握られている感覚は、有意な差は見られなかった。これらの評価値について、上述の空間共有感（同じ部屋で会話している感覚）と社会的結合（相手への親しみ）の評価値との相関分析を行った。その結果を表2に示す。

表2 相関分析結果

	相手の手を握っている感覚	相手に手を握られている感覚
空間共有感	$r = .326, n.s.$	$r = .471, p < .05$
社会的結合	$r = .373, p = .073$	$r = .211, n.s.$

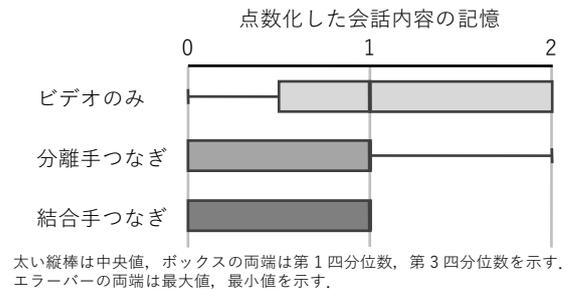
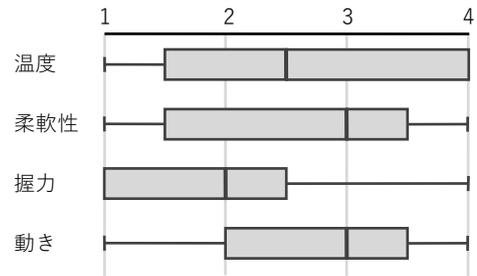


図7 会話内容の記憶の度合

被験者が良いと感じた要素の順位（小さいほど高順位）



太い縦棒は中央値、ボックスの両端は第1四分位数、第3四分位数を示す。エラーバーの両端は最大値、最小値を示す。

図8 デバイスの要素の順位

空間共有感、相手に手を握られている感覚との正の相関が有意であった ( $r = .471, p < .05$ )。また、優位傾向ではあるが、社会的結合は、相手の手を握っている感覚と弱い正の相関が見られた ( $r = .373, p = .073$ )。

#### 4.4.2 会話内容の記憶の度合

実験者が好きなものについて、被験者12人の各条件における正解数は次の通りであり、ほぼ全ての被験者が正しく回答していた。ビデオのみ条件：11、分離手つなぎ：10、結合手つなぎ：11。一方、好きな理由については完全に覚えている人は少数であった。そこで被験者の記憶の度合いを分析するため、理由の記述について、覚えていない場合や誤っている場合は0、部分的に正しい場合は1、正しく詳細な場合には2と点数をつけた。例えば、表1の会話例では、実験者はパンダが好きな理由として「まんまるな体でのんびり笹を食べている姿がとっても可愛いんですよ」と述べており、これについて「まるくてかわいいから」等の部分的な記述であれば1、「まるっこくて、笹を食べている様子がかわいいため」等の正しく詳しい記述であれば2と判定した。その結果を、図7の箱ひげ図に示す。

このデータについてフリードマン検定で比較したところ、条件間の差が有意であったが ( $\chi^2(2) = 6.588, p < .05$ )、Bonferroni法による多重比較では有意な差は見られなかった。箱ひげ図を見ると最頻値はいずれの条件においても1点であるが、点数の分布は、ビデオのみ条件では高い点数に偏っているのに対し、分離/結合手つなぎ条件ではより低い点数に偏っている。フリードマン検定はこの違いを検出したものと考えられる。したがって、4.3.2節で述べた予

想に反して、本研究の実験では遠隔身体接触が会話内容の記憶を妨げた可能性がある。この結果について 5.2 節で考察する。

#### 4.4.3 デバイスの要素の順位

被験者が良いと感じたロボットハンド型身体接触デバイスの要素（動き、握力、温度、柔らかさ）の順位について図 8 の箱ひげ図に示す。この順位をフリードマン検定で比較したところ、条件間の差は有意ではなかった ( $\chi^2(3) = 1.800, p = .615, n.s.$ )。したがって、デバイスの触感について、特定の要素を被験者が良いと感じていたわけではないと思われる。この結果について 5.3 節で考察する。

### 5. 考察

#### 5.1 空間共有感への位置的・寸法的矛盾の影響

実験の結果、ロボットハンド型身体接触デバイスによる手つなぎの再現によって、相手映像とデバイスが分離しているか結合しているかに関わらず携帯端末でのビデオ通話の空間共有感（同じ部屋で会話している感覚）が強化された。したがって、位置的矛盾や寸法的矛盾があっても遠隔身体接触によって携帯端末でのビデオ通話の空間共有感が強化される可能性がある。位置的矛盾がある分離手つなぎ条件では、相手のビデオ映像は正面にあるが、手つなぎの向きによって相手が隣にいる感覚が生じていた。これは相手映像が携帯端末での縮小映像であったため、映像の位置よりもデバイスの身体性が強く影響したものと思われる。したがって、デバイスの身体接触感覚のリアリティをさらに高めることができれば、映像を使用しない音声通話では、相手が隣にいるという想像が促進され、相手映像がなくても結合手つなぎ条件と同等以上の空間共有感が創出できるかもしれない。

分離手つなぎ条件において位置的矛盾があっても空間共有感が強化された理由について、次のように考察する。空間共有感は「相手に手を握られている感覚」との相関が有意であり、空間共有感の強化にはこの感覚が起因した可能性がある。相手に手を握られている感覚は、分離手つなぎ条件と結合手つなぎ条件で有意な差はなく、位置的矛盾の影響が小さかったと思われる。被験者の自由記述によると、デバイスが被験者の手を強く握る動きと会話の流れとの同期によって、相手に手を握られているように感じたようである（12 人中 3 人）。4.2 節で述べた通り、実験者は分離／結合手つなぎ条件のいずれにおいても発話の要所で「強く握る」操作を行っており、この強く握る動きと会話との同期性が、デバイスの動きが相手の動きに依るものであるという信念を強め、分離手つなぎ条件での位置的矛盾のマイナス効果を打ち消したと考えられる。

#### 5.2 社会的結合への位置的・寸法的矛盾の影響

社会的結合（相手への親しみ）は、結合手つなぎ条件においてのみビデオのみ条件に対する優位性が示された。ま

た、相手との会話の楽しさやもっと会話したい感覚は、結合手つなぎ条件だけでなく分離手つなぎ条件でも強化されたが、結合手つなぎ条件の方が分離手つなぎ条件よりも評価値が高い傾向が見られた。これらの結果から、社会的結合は寸法的矛盾があっても手つなぎの再現によって強化されるが、空間共有感とは異なり、位置的矛盾のマイナス効果の影響を受けやすい可能性があると考えられる。

社会的結合は、有意傾向ではあるが「相手の手を握っている感覚」との弱い相関が見られた。したがって、社会的結合の強化にはこの感覚が起因した可能性がある。相手の手を握っている感覚は、結合手つなぎ条件の方が分離手つなぎ条件よりも有意に高く、相手映像とデバイスとが分離しているという位置的矛盾の影響が明白である。したがって、位置的一貫性によってデバイスが相手の身体の代替であると視覚的に感じやすくすることが、社会的結合の強化には必要である可能性が考えられる。

#### 5.3 会話内容の記憶への遠隔身体接触の影響

相手への親しみが高まるほど相手の話を真剣に聞き、会話の内容をよく記憶していると考え、会話内容の記憶の度を調査した。この予想に反し、遠隔身体接触を行った分離／結合手つなぎ条件よりも、むしろビデオのみ条件の方が記憶の度が高い傾向が見られた。その原因として、会話だけでなく、遠隔身体接触にも意識が向いたことで会話内容の記憶が阻害された可能性が考えられる。また、相手の身体動作が実体（ロボット）を伴って伝達されると相手と対面している緊張感を生む可能性が先行研究で示唆されており [28]、ロボットハンド型デバイスが相手の手の動きを伝達したことで同種の緊張感が生じ、それによって会話内容の記憶が阻害された可能性も考えられる。遠隔身体接触による緊張感への影響を生理指標や観察データからより詳細に調査することは今後の課題である。

#### 5.4 身体接触デバイスの要素

本研究で開発したロボットハンド型身体接触デバイスについて被験者が良いと感じた要素（動き、握力、温度、柔らかさ）の順位には有意な差は見られなかった。したがって、手つなぎを再現する身体接触デバイスにはいずれの要素も欠かせないと思われる。有意な差ではないが順位の中央値が最も高かった要素は「握力」であった（12 人中 4 人が 1 位、5 人が 2 位をつけた）。握力に高い順位をつけた被験者のほとんどは、その理由として人が握るような強さだったと述べていたが、2 人の被験者は、会話の流れに合わせて強く握られた際の印象が強く残っていたと述べていた。握手を再現した先行研究 [3] では、握手用デバイスが操作者の手の動きと同期しているという被験者の信念が空間共有感の強化に有効であることが示されている。この先行研究で行われた握手は挨拶に伴って行われる短時間の身体接触であり、この場合はインストラクションのみで同期性を被験者に信じさせることが可能であったと思われる。一

方、本研究で行った手を繋ぎながらの会話では、手を握った状態のままだと会話中に同期性が感じられないため、会話の要所で強く握ることが重要であったと考えられる。

実験では、会話中に行った「強く握る」動作は、多少のランダム性を持たせたが、ほぼ同じ動きをボタン操作で再生していた。そのため、「動き」の順位を低くつけた被験者の1人は動きが一定であったと述べていた。そこで、ボタン操作ではなく、相手の指の動きを常にデバイスで再現するように、図3に示した曲げセンサで相手の指の屈曲伸展の度合を取得し、それに基づいてデバイスの指の動きを制御することで、より強く相手との同期性を感じさせられるかもしれない（人の手とデバイスの動きの同期の様子：<https://youtu.be/PXcVxIJ9TR0>）。この仕組みによってより強い同期性が感じられるか、空間共有感や社会的結合をより強化することができるか調査することは今後の課題である。

握力の次に順位の中央値が高かった要素は「温度」であった（12人中3人が1位、3人が2位をつけた）。被験者の意見によると、デバイスに触れた瞬間に温かいことに気づき、人の手のように感じられたようである。しかしながら、被験者の中には温度に驚いて違和感を覚えた人や、生ぬるくて気持ち悪いというネガティブな印象を持った人もいた（2人）。また、温度には気づいたが人の手よりも冷たいと感じた被験者もいた（1人）。3.2節で述べた通り、温度知覚は人の手との温度差によって生じるものであり、デバイスの温度が被験者の手と近い温度であった場合には体温が再現されていることに気づかない可能性があったため、本研究ではデバイスの温度を高めめに設定した。しかしながら、被験者によって手の温度は異なるため、デバイスを人間の手のように感じられる温度は絶対的に決まるものではない可能性がある。人の手の温度に対して何度高めれば自然に感じられるのかを明らかにすることは今後の課題である。また、人間らしく感じられる温度は、デバイスの他の要素の有無によっても異なる可能性がある。例えば、肌の柔軟性が無かったり動かなかったりすると温度があっても人間らしく感じられないかもしれない。また、本研究で開発したデバイスでは再現できていない皮膚の質感をも再現できれば、人間の手の温度と同等であっても自然に感じられる可能性もある。温度と他の要素との相互作用を検証することも今後の課題である。

本研究では、ロボットハンド型のデバイスを日本人女性の手の寸法データに基づいて設計し（3.1節）、女性の実験者がデバイスを操作した。したがって、男性が操作した場合については検証できていない。デバイスを男性が操作する場合には、デバイスの大きさを男性の手の寸法に合わせてより大きくすることが考えられるが、映像との寸法的矛盾が顕在化する可能性がある。性別の影響やデバイスの適切な寸法について調査することは今後の課題である。

## 6. まとめ

本研究では、離れた場所にいる相手との手つなぎを再現するロボットハンド型身体接触デバイスを開発し、携帯端末でのビデオ通話に身体接触デバイスを組み合わせることによって生じる位置的・寸法的矛盾の影響について調査した。実験の結果、デバイスを介して手つなぎを再現することで、これらの矛盾があっても空間共有感（相手と同じ空間で会話している感覚）が強化されることが分かった。空間共有感の強化には、会話の流れと手を強く握るというデバイスの動きとの同期によって感じられる「相手に手を握られている感覚」が起因している可能性がある。したがって、デバイスの動きが相手の動きに依るものであると感じられるように会話に合わせてデバイスを操作することが、空間共有感の強化に有効であると思われる。

一方、社会的結合は、寸法的矛盾があっても手つなぎの再現によって強化されるが、その効果は位置的矛盾によるマイナスの影響を受けやすい可能性が示唆された。社会的結合の強化には、相手のビデオ映像とデバイスとの位置的一貫性によって感じられる「相手の手を握っている感覚」が起因している可能性がある。したがって、空間共有感だけでなく社会的結合の強化を重視する場合には、視覚的にデバイスが相手の身体であると感じやすいように、相手映像と一体となるようにデバイスをデザインする必要がある。

離れた場所にいる対話相手の身体の代替となる身体接触デバイスには、動きの同期性やビデオ映像との位置的一貫性だけでなく、人間の身体のような柔軟性や体温等の触感を再現することも必要であると考えられる。この内、体温の再現に関しては、人の身体の温度をそのまま再現すると、温度知覚が生じにくく体温の再現に気づかれない場合がある。ユーザに温度を知覚させることと、それを人間らしいと感じさせることとの関係については今後明らかにする必要がある。

家族や恋人等の親しい間柄の相手とのビデオ通話は、気軽に使用できる携帯端末で行われる場合が多くなることが予想される。本研究の知見は携帯端末と組み合わせて使用する身体接触デバイスの設計指針となるものであり、この知見によって身体接触デバイスの開発が促進され、離れた場所に住む家族や恋人を身近に感じられるようになることを期待する。

**謝辞** ロボットハンド型身体接触デバイスの製作にご協力頂いた京都工芸繊維大学ものづくり教育研究センター阪本大夢氏、大阪大学岡田宙士氏、大西裕也氏、一口銀氏に感謝の意を表す。本研究は、JSPS 科研費 JP19K12081の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Angela Prussog, Lothar Muhlbach, Martin Bocker: Telepresence in Videocommunications, Proc. Annual Meeting of Human Factors and Ergonomics Society, Vol.38, No.3, pp.180-184, 1994.  
<https://doi.org/10.1177/154193129403800302>
- [2] Vittorio Caggiano, Leonardo Fogassi, Giacomo Rizzolatti, Peter Thier, Antonino Casile: Mirror Neurons Differentially Encode the Peripersonal and Extrapersonal Space of Monkeys, Science, Vol.324, No.5925, pp.403-406, 2009.  
<https://doi.org/10.1126/science.1166818>
- [3] Hideyuki Nakanishi, Kazuaki Tanaka and Yuya Wada: Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, Proc. CHI2014, pp.2143-2152, 2014.  
<https://doi.org/10.1145/2556288.2557169>
- [4] Angela Chang, Sile O'Modhrain, Rob Jacob, Eric Gunther, Hiroshi Ishii: ComTouch: A Vibrotactile Communication Device, Proc. DIS2002, pp.312-320, 2002.  
<https://doi.org/10.1145/778712.778755>
- [5] Kazi Masudul Alam, Abdulmotaleb El Saddik, Sandro Hardy, Aysha Akther: SMS Text Based Affective Haptic Application, Proc. VRIC2011, 2011.
- [6] Masahiro Furukawa, Hiroyuki Kajimoto, Susumu Tachi: KUSUGURI: A Shared Tactile Interface for Bidirectional Tickling, Proc. AH2012, 2012.  
<https://doi.org/10.1145/2160125.2160134>
- [7] Jocelyn Smith, Karon MacLean: Communicating emotion through a haptic link: Design space and methodology, International Journal of Human-Computer Studies, Vol.65, No.4, pp.376-387, 2007.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.11.006>
- [8] Scott Brave, Hiroshi Ishii, Andrew Dahley: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, Proc.CSCW1998, pp.169-178, 1998.  
<https://doi.org/10.1145/289444.289491>
- [9] Katja Suhonen, Kaisa Vaananen-Vainio-Mattila, Kalle Makela: User Experiences and Expectations of Vibrotactile, Thermal and Squeeze Feedback in Interpersonal Communication, Proc. BCS-HCI2012, pp.205-214, 2012.  
<https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2012.26>
- [10] Rongrong Wang, Francis Quek: Touch & Talk: Contextualizing Remote Touch for Affective Interaction, Proc. TEI2010, pp.13-20, 2010.  
<https://doi.org/10.1145/1709886.1709891>
- [11] Young-Woo Park, Kyoung-Min Baek, Tek-Jin Nam: The Roles of Touch during Phone Conversations: Long-Distance Couples' Use of POKE in Their Homes, Proc. CHI2013, pp.1679-1688, 2013.  
<https://doi.org/10.1145/2470654.2466222>
- [12] Jeremy N. Bailenson, Nick Yee, Scott Brave, Dan Merget, David Koslow: Virtual Interpersonal Touch: Expressing and Recognizing Emotions Through Haptic Devices, Human-Computer Interaction, Vol.22, No.3, pp.325-353, 2007.  
<https://doi.org/10.1080/07370020701493509>
- [13] Matthew J Hertenstein, Rachel Holmes, Margaret McCullough, Dacher Keltner: The Communication of Emotion via Touch, Emotion, Vol.9, No.4, pp.566-573, 2009.  
<https://doi.org/10.1037/a0016108>
- [14] Svetlana Yarosh, Kenya Mejia, Baris Unver, Xizi Wang, Yuan Yao, Akin Campbell, Brad Holschuh: SqueezeBands: Mediated Social Touch Using Shape Memory Alloy Actuation, Proc. ACM on Human-Computer Interaction, 2017.  
<https://doi.org/10.1145/3134751>
- [15] Hooman Aghaebrahimi Samani, Rahul Parsani, Lenis Tejada Rodriguez, Elham Saadatian, Kumudu Harshadeva Dissanayake, Adrian David Cheok: Kissenger: Design of a Kiss Transmission Device, Proc. DIS2012, pp.48-57, 2012.  
<https://doi.org/10.1145/2317956.2317965>
- [16] Adrian David Cheok, Emma Yann Zhang: Electrical machine for remote kissing, and engineering measurement of its remote communication effects, including modified Turing test, Journal of Future Robot Life, Vol.1, No.1, pp.111-134, 2020.  
<https://doi.org/10.3233/FRL-200006>
- [17] Frank Vetere, eMartin R. Gibbs, Jesper Kjeldskov, Steve Howard, Florian 'Floyd' Mueller, Sonja Pedell, Karen Mecoles, Marcus Bunyan: Mediating Intimacy: Designing Technologies to Support Strong-Tie Relationships, Proc. CHI2005, pp.471-480, 2005.  
<https://doi.org/10.1145/1054972.1055038>
- [18] Osamu Morikawa, Sayuri Hashimoto, Tsunetsugu Munakata, Junzo Okunaka: Embrace System for Remote Counseling, Proc. ICM2006, pp.318-325, 2006.  
<https://doi.org/10.1145/1180995.1181055>
- [19] James Keng Soon Teh, Adrian David Cheok, Roshan L. Peiris, Yongsoon Choi, Vuong Thuong, Sha Lai: Huggy Pajama: A Mobile Parent and Child Hugging Communication System, Proc. IDC2008, pp.250-257, 2008.  
<https://doi.org/10.1145/1463689.1463763>
- [20] Longyu Zhang, Jamal Saboune, Abdulmotaleb El Saddik: Development of a haptic video chat system, Multimed Tools Appl 74, pp.5489-5512, 2015.  
<https://doi.org/10.1007/s11042-014-1865-x>
- [21] Hidenobu Sumioka, Aya Nakae, Ryota Kanai, Hiroshi Ishiguro: Huggable communication medium decreases cortisol levels, Scientific Reports, Vol.3, No.1, 2013.  
<https://doi.org/10.1038/srep03034>
- [22] Sara E. Rimm-Kaufman, Jerome Kagan: The Psychological Significance of Changes in Skin Temperature, Motivation and Emotion, Vol.20, pp.63-78, 1996.  
<https://doi.org/10.1007/BF02251007>
- [23] 田村 照子: サーモグラフィによる全身および区分別平均皮膚温の推定, 家政学雑誌, Vol.31, No.6, pp.461-463, 1980.  
<https://doi.org/10.11428/jhej1951.31.461>
- [24] Sari M van Anders, Katherine L Goldey, Patty X Kuo: The Steroid/Peptide Theory of Social Bonds: Integrating Testosterone and Peptide Responses for Classifying Social Behavioral Contexts, Psychoneuroendocrinology, Vol.36, No.9, pp.1265-1275, 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.06.001>
- [25] Valerian J. Derlega, Robin J. Lewis, Scott Harrison, Barbara A. Winstead, Robert Costanza: Gender differences in the initiation and attribution of tactile intimacy, Journal of Nonverbal Behavior, Vol.13, No.2, pp.83-96, 1989.  
<https://doi.org/10.1007/BF00990792>
- [26] James C. McCroskey, J. Elaine Baer: Willingness to Communicate: The Construct and Its Measurement, Proc. the Annual Meeting of the Speech Communication Association, 1985.
- [27] Naoki Koyama, Kazuaki Tanaka, Kohei Ogawa, Hiroshi Ishiguro: Emotional or Social?: How to Enhance Human-Robot Social Bonding, Proc. HAI2017, pp.203-211, 2017.  
<https://doi.org/10.1145/3125739.3125742>
- [28] Kazuaki Tanaka, Hideyuki Nakanishi, Hiroshi Ishiguro: Appearance, Motion, and Embodiment: Unpacking Avatars by Fine-grained Communication Analysis, Concurrency and Computation: Practice and Experience, Vol.27, No.11, pp.2706-2724, 2015.  
<https://doi.org/10.1002/cpe.3442>