



## 手の触感を再現する携帯型遠隔握手デバイスの開発

田中 一品

大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

### Development of a mobile device producing the real touch sensation

Kazuaki Tanaka

Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

#### 1. はじめに

携帯電話の普及により、いつでもどこでも離れた場所にいる人と対話できるようになった。しかし、音声のみで行う対話は存在感（対面で会話している感覚）が希薄であることが知られており、携帯電話では相手の存在を身近に感じられないという問題がある。本研究では、対面環境で相手と触れ合うことで得られる様々な触感を伝達・再現する方法を用いて音声対話の改善を試みる。相手と触れ合っている感覚を携帯電話で擬似的に再現することで、相手の存在を身近に感じながら対話できる可能性がある。本研究の目的は、リアルな接触感覚が生じる要因を明らかにし、対話相手の存在感を強化する携帯型の遠隔接触デバイスを開発することである。

遠隔会議において対話相手の存在感を強化する方法は多くの研究で提案されてきた。大きなディスプレイで相手の映像を等身大で提示する方法や、対話相手との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配置する方法など、視覚効果を利用するものが一般的である。しかし、携帯端末のような小さな画面に対話相手の映像を縮小表示することは、その存在感を低下させることが知られており、携帯環境での視覚効果の利用には限界があると考えられる。そこで、本研究では、遠隔地にいる対話相手との擬似的な接触を携帯端末で再現する方法を用いる。既存研究では、遠隔地間での身体接触を再現する様々な遠隔接触デバイスが提案されてきたが、携帯環境での使用を目的としたものは少ない。

また、それらのデバイスの有効性は、ユーザの感情や肯定・否定といった単純な情報を伝達する用途で示されており、接触感覚のリアリティや存在感伝達への効果はほとんど検証されていない。本研究は、対話相手との接触感覚を生み出す要因を心理実験によって明らかにする。

既存研究で提案された遠隔接触デバイスは、体温の伝達によってハグを再現するものや、握力の伝達によって握手を再現するものなど、そのほとんどが単一のモダリティで接触感覚の再現を試みており、リアルな接触感覚を生み出すに至っていない。また、社会心理学の分野では人と人との接触の効果として相手への親近感が増すことが知られているが、デバイスを介した擬似的な接触において親近感が増すという報告は無かった。これに対し、我々は、様々な触感が再現できるロボットハンドを介した擬似的な握手によって存在感と親近感の強化に成功した。この結果から、複数のモダリティの組み合わせによって生み出されたリアルな接触感覚が存在感を伝達すると仮定し、本研究では、接触感覚を強化するモダリティを明らかにする。また、モダリティの組み合わせだけでなく、デバイスの形状が人の身体に類似している必要があるのかについても検証する。モダリティの組み合わせやデバイスの形状等、接触感覚を生み出す要因を実験的に解明し、実験的根拠に基づいて、接触感覚を再現する携帯型デバイスの効果的なデザインを提案する。

## 2. 携帯型遠隔接触デバイスのデザイン

我々は、等身大で表示した対話相手の映像を見ながら、人の手のような握力・温度・柔らかさを持つリアルな触感のロボットハンドで擬似的に握手を行うと、単に相手の映像を見ながら対話するよりも、存在感や親近感が増すことを明らかにした。本研究で開発する遠隔接触デバイスは、このロボットハンドを携帯デバイスに応用するものである（図 1）[5]。そのデザインに関して検討すべき事柄を以下に示す。次節の実験では、接触感覚のリアリティにおけるこれらの効果を検証した。

### i) 遠隔接触の双方向性

遠隔接触では、片方のユーザのみ遠隔接触デバイスを使用している片方向の状況と双方のユーザが使用している双方向の状況が想定される。人と人との接触では、自分が相手の身体に触れているという感覚だけでなく、自分の身体が相手に触れているという感覚もあるため、遠隔接触の双方向性は接触感覚のリアリティを強化する可能性がある。

### ii) ユーザの身体動作とデバイスの同期の提示

遠隔接触デバイスはユーザの身体動作を再現するが、その身体動作とデバイスの動きを同時に確認する手段が無ければ実際に同期しているか知ることはできない。その手段として、映像でユーザの身体動作を提示する方法が考えられる。デバイスは相手の身体の一部の代替であるため、その動きと相手の身体動作との同期の提示は接触感覚を強化する可能性がある。

### iii) マルチモーダル化

図 2(a)のように、等身大の映像を使用する場合には、相手が手を出した位置にロボットハンドを設置することが可能である。接触デバイスに映像を組み合わせることは相手と接触している感覚を向上させたと思われる。しかし、携帯デバイスでは相手の映像を縮小表示しなければならないため、映像と接触デバイスが繋がって見えるようなデザインにすることは困難である。また、第 1 節で述べたように、相手の映像の縮



図 1 携帯型遠隔接触デバイスのデザイン例

小表示は、存在感伝達に悪影響であることが知られている。携帯可能な小型のディスプレイにおいても、相手の姿の提示が接触感覚のリアリティを強化するのか明らかにする必要がある。

### iv) 接触デバイスの身体性

先行研究で開発された接触デバイスのほとんどは人の身体を模したものではない。これに対し、存在感の強化に成功した我々の握手用ロボットハンドは、人の手を模したものである。したがって、接触デバイスが人間の身体部位を模した身体性を持つことはリアルな接触感覚を生み出す上で寄与していた可能性がある。

まず、実験 1 では、握手用ロボットハンドとの組み合わせで有効性が示されている等身大映像を用いて i) 双方向性と ii) 同期の提示による接触感覚への効果を検証した[1][2][3]。次に、実験 2 では、携帯環境を想定し、小型ディスプレイに表示した縮小表示映像を用いて iii) マルチモーダル化と iv) 身体性の効果を検証した[4]。

## 3. 実験 1

握手用ロボットハンドと等身大映像を組み合わせる上で、i) 双方向性と ii) 同期の提示の観点から図 2 に示す 6 つのインタフェースのデザインが考えられる。

(a)では、相手の映像の腕の部分にロボットハンドを設置し、相手がディスプレイの下から腕を出しているように見せている。このインタフェースでは、ユーザは相手の手が見えないため、



図 2 遠隔握手のインタフェース

握手の動作とロボットハンドとの同期は確認できない。これに対し、(b)は相手が映像上に手を出しているため、握手の動作がロボットハンドと同期している様子が確認できる。

(c)と(d)のインタフェースは、(a)と(b)と反対であり、ユーザは相手側にあるロボットハンドを遠隔操作することができる。しかし、ユーザ側の空間にはロボットハンドが無く、空中で握手の動作を行うため、接触感覚のリアリティは低いことが予想される。

(e)と(f)は、(a)と(b)に(c)と(d)のインタフェースを組み合わせたものであり、ユーザ側と相手側の両方にロボットハンドがある。(e)は、映像による同期の提示が無いため、その見た目は(a)と変わらないが、相手も自分の手の代替であるロボットハンドを握っているという推測によって接触感覚のリアリティが向上することが予想される。さらに、(f)では同期が提示されるため、双方向性がより有効に働く可能性がある。

(a)~(f)のインタフェースを実験条件として被験者実験で比較した。接触感覚のリアリティは

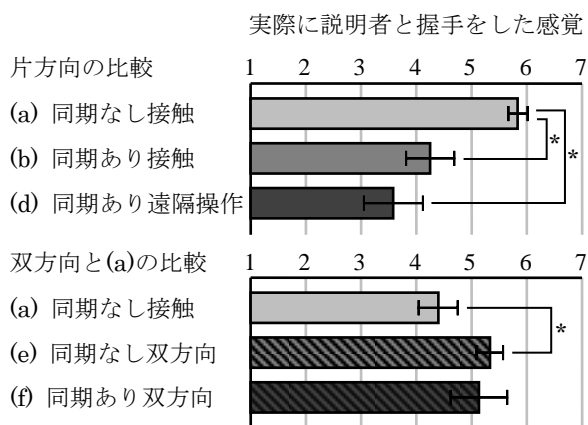


図 3 実験 1 の結果 \* $p < .05$

「実際に説明者と握手をした感じがした」という質問に 7 段階のリッカート尺度で回答するアンケートで計測し、統計的に分析した。被験者の対話相手である説明者は、我々の研究室の大学院生が務めた。

予備実験では、ロボットハンドとの接触も遠隔操作も行われない(c)の評価が明らかに劣っていたため、本実験では削除した。図 3 に実験 1 の結果を示す。まず、(c)を除く片方向の条件を比較した。実験には 12 人の被験者が参加し、(a)(b)(d)全ての条件を経験した後、アンケートに回答した。1 要因分散分析 (対応あり) で 3 つの条件を比較した結果、有意差が認められたため ( $F(2,22) = 7.675, p < .01$ )、ボンフェローニ法によって多重比較を行った。その結果、(a)が(b)と(d)よりも有意に高い評価を得ていた (共に  $p < .05$ )。 (b)では、同期の提示によって接触感覚のリアリティが強化されることを期待していたが、相手の手と、その代替であるロボットハンドが重複して視界に入るため、握手の状況として不自然であることがマイナスに働いた。また、(d)では、ロボットハンドとの接触が無いマイナス効果が遠隔操作によるプラス効果を上回ったため、最も低い評価となった。

次に、片方向の中で最も有効であった(a)と双方向の条件である(e)と(f)を比較した。実験には 15 人の被験者が参加し、(a)(e)(f)全ての条件を経験した後、アンケートに回答した。1 要因分散分析 (対応あり) で 3 つの条件を比較した結果、



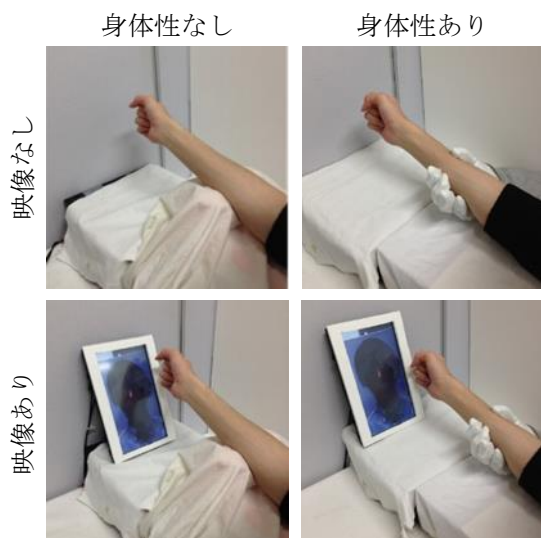


図 4 遠隔マッサージのインタフェース

有意差が認められたため ( $F(2,28)=3.341$ ,  $p<.05$ ), ボンフェローニ法によって多重比較を行った。(e)と(f)は(a)よりも高い評価を得ていたがその差が統計的に有意であったのは(e)のみであった ( $p<.05$ )。 (f)は(b)と同様に、相手の手とロボットハンドが重複して視界に入ることによるマイナス効果が働いたと考えられる。

以上の結果から、接触感覚のリアリティを強化する上で、i)双方向性は有効に働くが、ii)同期の提示は有効ではないことが分かった。しかし、ii)については、相手の手とロボットハンドを重複して提示することが悪影響であり、これを解決することができれば、同期の提示自体は有効に働くかもしれない。

#### 4. 実験 2

実験 1 では、対話相手の等身大映像と接触デバイスの組み合わせにおいて効果的なインタフェースを検討した。この実験では、iii)マルチモーダル化：携帯環境を想定し、小型のディスプレイに表示した対話相手の縮小表示映像と接触デバイスを組み合わせることが有効に働くかを検討する。さらに、iv)身体性：接触デバイスが人の身体を模した形状をしていることによる接触感覚のリアリティへの影響についても検討する。これら 2 つを要因とした実験条件を図 3 に

あたかも人にマッサージをされた感覚

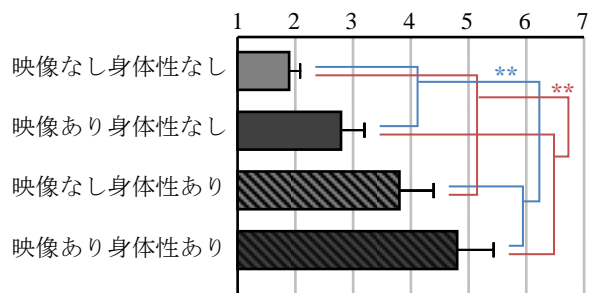


図 5 実験 2 の結果 \*\* $p<.01$

示す。この実験では、接触感覚を被験者に意識させるために、握手よりも接触時間が長いマッサージを採用し、ロボットハンドと既存のマッサージ器を比較した。マッサージ器は離れた場所から操作できるように改造した。

接触感覚のリアリティは「あたかも人にマッサージをされた感じがした」という質問に 7 段階のリッカート尺度で回答するアンケートを用いて計測した。被験者を遠隔マッサージする役割は、我々の研究室の大学院生が務めた。

実験には 10 人の被験者が参加し、4 条件全てを経験した後、アンケートに回答した。マルチモーダル化要因と身体性要因の 2 要因分散分析 (対応あり) を行った結果、両方の要因の主効果が有意であった (それぞれ、 $F(1,9)=11.24$ ,  $p<.01$ ,  $F(1,9)=19.87$ ,  $p<.001$ )。つまり、相手の映像がある条件は、映像が無い条件よりも評価が高く、身体性のあるロボットハンドを用いた条件は、マッサージ器を用いた条件よりも評価が高いことが示された。したがって、iii)縮小表示映像による遠隔接触のマルチモーダル化と、iv)接触デバイスの身体性は接触感覚のリアリティを強化することが分かった。

#### 5. まとめと今後の展望

本研究では、リアルな接触感覚を生み出す携帯型の遠隔接触デバイスのデザインを実験的に検討した。その結果、接触感覚を再現するデバイスには、人間の身体部位を模した身体性のある形状であり、縮小表示であっても対話相手の映像を提示できるデザインが効果的であること

が分かった。また、そのようなデバイスを遠隔地間のユーザが共に使用し、双方向の遠隔接触を行うことが接触感覚のリアリティを向上させることも分かった。これらの結果から、本研究で想定した携帯型遠隔接触デバイスのデザイン（図1）は、対話相手の映像を表示できるディスプレイを備えており、人の手を模した形状のデバイスを介して互いに手を握り合いながら会話できるため、リアルな接触感覚を生み出す上で合理的であると思われる。今後は、この実験結果に基づいた携帯デバイスを実際に製作し、従来の携帯デバイスに対する優位性を検証する予定である。

一方、有効性が示されなかった同期の提示や、携帯デバイスでは困難と思われる映像と接触デバイスが繋がって見えるデザインについては、接触感覚を強化する上で不要であると結論付けることはできない。映像と接触デバイスで身体動作を重複して示すことなく同期を提示する方法や、携帯環境において対話相手と接触デバイスの繋がりを表現する方法を検討し、その有効性を検証することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 田中一品, 和田侑也, 中西英之, 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, 情報処理学会論文誌(推薦論文), Vol. 56, No. 4, pp. 1228-1236, 2015.
- [2] Hideyuki Nakanishi, Kazuaki Tanaka and Yuya Wada, Remote Handshaking: Touch Enhances Video-Mediated Social Telepresence, International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2014), 2014.
- [3] 和田侑也, 田中一品, 中西英之, ビデオ会議に身体接触を付加した遠隔握手によるソーシャルテレプレゼンスの強化, インタラクシオン 2014, 2014.
- [4] 山口隆浩, 田中一品, 中西英之, デバイスの身体性と操作者の存在感が接触感覚のリアリティに与える影響, 第28回人工知能学会全国大会, 3E3-3in, 2014.
- [5] 田中一品, 中西英之. リアルな接触感覚を生み出す携帯型遠隔握手デバイスの開発. 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 第2回レイグジスタンス研究会, Vol. 18, No. TX01-6, pp. 15-16, 2013.