握力・体温・感触を伝える遠隔握手用ロボットハンド

和田　侑也[†]　　田中　一晶[††, †††]　　中西　英之[††]

人と人とが行う「握手」は，相手に親しみやすい印象を与えることが知られている．本研究の目的は，ビデオ会議において，遠隔地の会話相手と疑似的に握手ができるシステムを構築することである．予備実験の結果から，握手用のロボットハンドには，通常のロボットハンドに求められる性能とは異なり，十分な握力，人間の手のような温かさ・柔らかさが必要であることが分かった．本研究では，これらの要件を満たす握手用のロボットハンドを開発した．このロボットハンドをビデオ会議システムに装着し，会話相手と握手をしている感覚になるかを調べる実験を行った．

A Robot Hand Transmits Grip Strengths, Body Temperatures, and Skin Softness in Remote Handshakes

YUYA WADA[†]　　KAZUAKI TANAKA[††, †††]　　HIDEYUKI NAKANISHI[††]

It is known that “handshakes” between humans give a sense of intimacy. The goal of this study is to construct a system in which you can spuriously shake hands with a remote person in videoconferences. Since the results of our past preliminary experiment showed that lacks of a strong grip, warmth, and softness prevent conventional robot hands from imitating human handshakes, we contrived a new kind of robot hand, that is tailored to handshakes. We equipped a videoconferencing system with this robot hand and conducted an experiment to confirm that the participants got the feeling of shaking hands with the remote person.

1.　はじめに

近年，高解像度カメラや，高精細ディスプレイが一般的となってきている．また，高速通信技術が発達し，そのような高精細な映像や音声を通信することが可能になってきており，様々な環境でビデオ会議システムが普及しつつある．しかし，一般的なビデオ会議は，映像や音声のみを利用しており，対面で起こる身体的な接触による触覚の情報を伝達することはできない．

対面した際に行う，身体的な接触を伴う行為の1つに，握手がある．ただ会話をするよりも，人と人が握手を行うことで，相手に親しみやすい印象を与えることが分かっている[2),8)]．さらに，遠隔地にいる会話相手と握手を行うことができれば，相手に親しみやすい印象を与え，ビデオ会議を改善する上で，役に立つ可能性がある．

そこで，本研究では，人と握手をしている感覚を再現できるロボットハンドを開発する．そして，そのロボットハンドをビデオ会議システムに実装することで，遠隔地間において握手を疑似的に再現し，遠隔地にいる会話相手と握手をしている感覚になるかを調べる実験を行った．

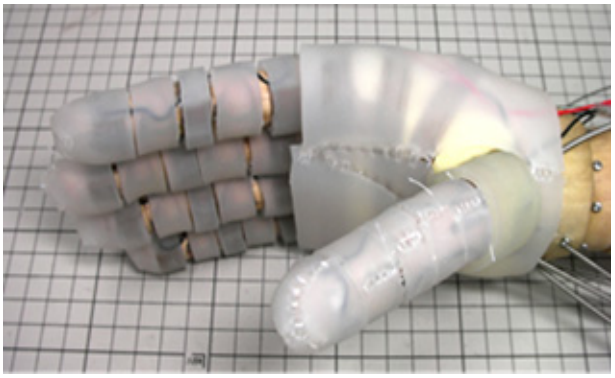


図 1　握手用ロボットハンドの外観

2.　関連研究

遠隔地間において触覚を伝達する研究は多く行われている．人がデバイスを握る強さを振動に変換して伝えることで音声チャンネルを強化する研究[3)]や，触覚デバイスによって遠隔地にいる人に感情を伝える研究[5)]が挙げられる．これらの研究は，伝えたい情報を触覚情報に変換して伝えるものである．これに対し，本

†　大阪大学　工学部　応用理工学科
Division of Mechanical, Materials and Manufacturing Science, Osaka University
††　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, Osaka University
†††　独立行政法人科学技術振興機構, CREST
Japan Science and Technology Agency, CREST

研究では，握手に着目し，会話相手に手を握られた触覚をロボットハンドによって再現することで別の情報に変換することなく伝達することを目指している．

人とロボットの握手の動作に関する先行研究では，神経振動子を用いて人が腕を振るリズムに同期してロボットが腕を振る方法[4]や，ロボットの視線提示によって，ロボットから人間に握手を求めるように手を差し出す握手要求動作を生成する握手要求モデル[6]が提案されている．また，遠隔地間において人と人とが擬似的に握手を行う研究では，フォースフィードバックによって腕振りを相手に伝えている[1]．これらの研究は，腕振りを再現するものや握手要求動作に関するものであり，ロボットの側からもしっかりと人の手を「握る」ことができるロボットハンドはほとんど研究されていない．そこで，本研究では，人と人とが行う握手と同様に，ロボット側から人の手を握る事で，握手を再現するロボットハンドを開発する．

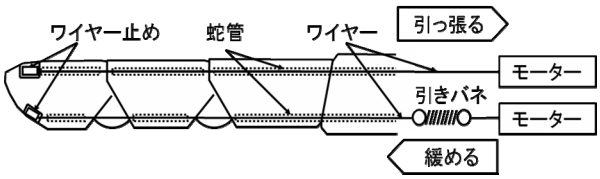
3. 握手用ロボットハンドの開発

3.1 満たすべき要件

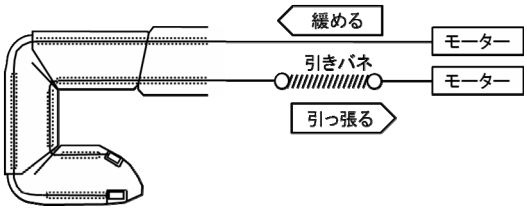
過去に我々が行った予備実験[7]において，ロボットハンドと握手をした被験者のインタビューの結果から，握手用のロボットハンドの要件として，握られていると感じる事ができる十分な握力，人間の肌のような温かさ・柔らかさが必要であることが分かっている．また，ロボットハンドが人の手を握った際，必要以上の力で手を握らないように安全性を考慮した機構にする必要がある．これらの要件を満たすように開発した握手用のロボットハンドの機構を以下に示す．

3.1.1 握力

最初に，指を動かす機構について説明する．図2(a)に示すように，ロボットハンドの各指の上下に，ワイヤー（直径0.81 mm）が一本ずつ通っており，それぞれ指の先端に固定されている．そのワイヤーのもう一端は，モーターに繋がっており，そのモーターで上のワイヤーを引っ張り，下のワイヤーを緩めると指が開き，逆に，上のワイヤー緩め，下のワイヤーを引っ張ると指が閉じる．ワイヤーは，指の各関節の上下に埋め込まれた蛇管（細い引っ張りコイルばね：直径2 mm）の中を通っており，小さい摩擦でスムーズに動く．下側のワイヤーには，モーターとの間に引っ張りコイルばね（ばね定数2.01 N/mm）がある．今回の実験では，下のワイヤーを上のワイヤーより約9 mm だけ長く引っ張ることで，各指にある5つのバネが伸び，

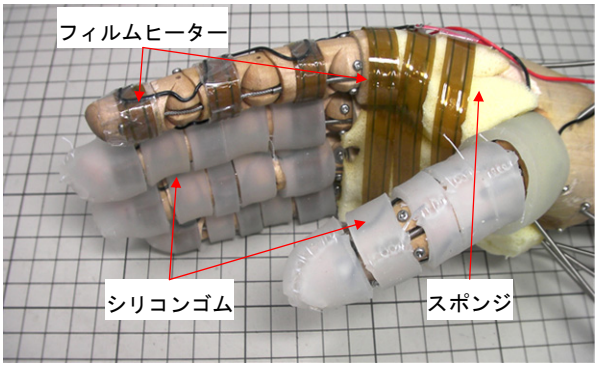


開いた状態



閉じた状態

(a) 指の動作



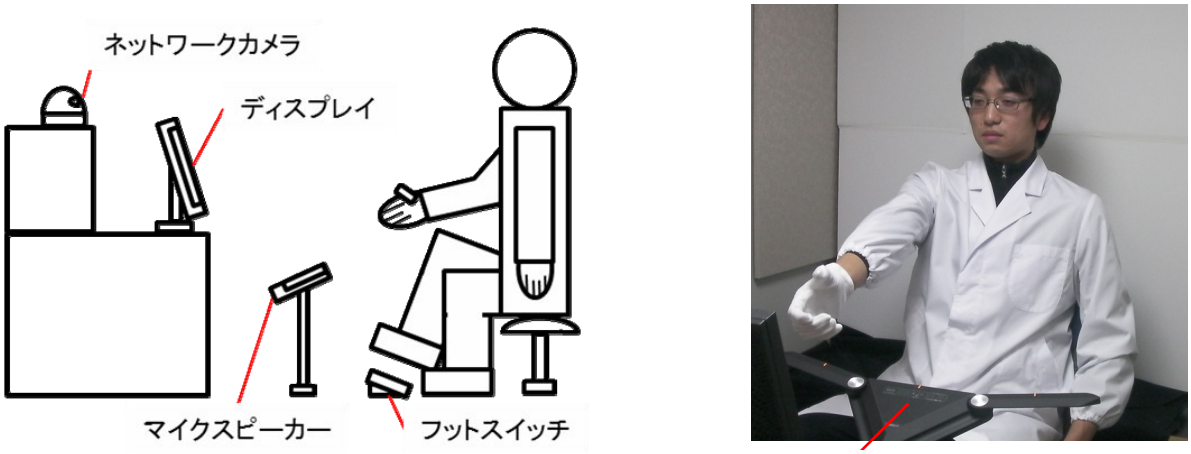
(b) 温度，柔らかさ

図 2 握手用ロボットハンドの機構

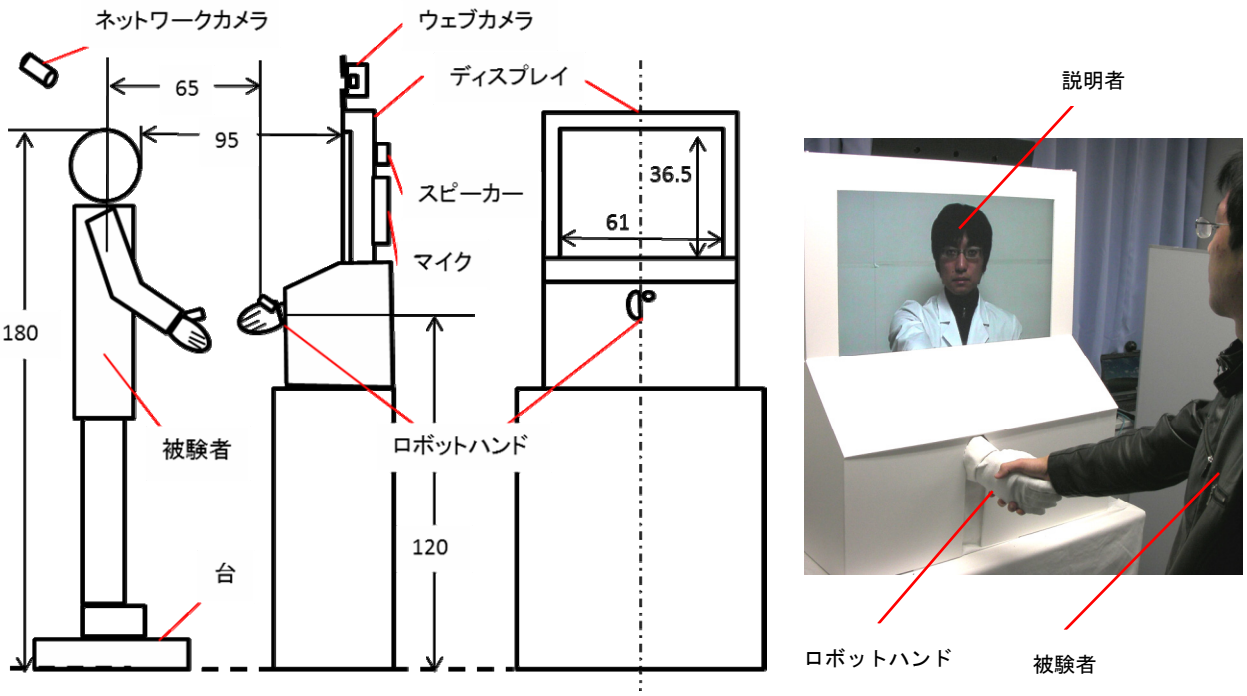
2.01×9×5=90.45 N の力で人の手を握る．

3.1.2 温度

人の手のような温度にするための機構について説明する．図2に示すように，フィルムヒーター（電気容量30 W/m）を，指の各関節に，それぞれ長さ約3 cm ずつ，手のひらには長さ約50 cm 巻きつけた．指はフィルムヒーターの密度が小さく，手のひらよりも温度が低くなるので，手のひらよりも，指に高い電圧がかかるようにした．指と手のひらの温度差の調節は，可変抵抗の抵抗値を変えることで行ことができるようにした．また，これらのフィルムヒーターをつなぐ銅線は，指の動きを阻害しないように，指が曲がっても引っ張られない長さに余裕を持たせた．



(a)　説明者側



(b)　被験者側

図 3　実験環境（単位：cm）

3.1.3　柔らかさ

次に，握手をしたときに，柔らかさを感じさせるための機構について説明する．図2(b)に示すように，人肌に近い柔らかさであるシリコンゴム（ゴム硬度10, 厚さ3 mm）をロボとハンドの全体にかぶせた．ロボットハンドの指を曲げた時に，指の上側のシリコンゴムが引っ張られて，指の動きを阻害しないように，指のシリコンゴムは，５つに分かれている．また，図2(b)に示すように人の手に触れやすい部分には，スポンジを入れ，握手をしたときに人の手としっかり密着するようにした．

4.　実験

製作したロボットハンドをビデオ会議システムに実装し，遠隔地にいる会話相手と握手をしている感覚になるかを調べるための実験を行った．

4.1　実験タスク

被験者がビデオ会議システムを通して説明者から説明を受けるというタスクを設定した．被験者と説明者は，握手をするのが自然であると思われる対話の最初

と最後に，ロボットハンドを用いて疑似的な握手を行う．握手を行う場面では，閉じているロボットハンドを開けることで，被験者に握手を促した．このロボットハンドの動作で，握手をためらった被験者には，「そちらの手を握っていただけますか.」と言葉で握手を促した．

このタスクを大学のキャンパス周辺に住む大学生10人に対して行った．

4.2　実験環境

図3に実験環境を示す．被験者側のディスプレイは，28インチのワイド画面のディスプレイを使用し，解像度は，335×200ピクセルに設定した．図3(a)のネットワークカメラから説明者の胸部から上の映像が送信され，図3(b)のディスプレイに表示される．説明者は握手をするときに手を前に出すと，図3(b)に示すように，被験者からは手は見えないが，腕が前に出ていることは分かるようにした．また，ロボットハンドは説明者の腕の延長上に位置するように設置した．ロボットハンドには，実際の人の手と見た目において違和感がないように手袋をし，手首には，白い布を巻き，白い服を着ているように見えるようにした．説明者は，ロボットハンドの外見と合わせて，白衣と白い手袋を着用した．また，被験者からの説明者の見え方が同一になるようにするために，被験者の目の高さが，説明者の目の高さと同じ高さになるように，被験者の身長に合わせて，足元に台を置くことで高さを調節した．

説明者の足元には，フットスイッチが設置してあり，このフットスイッチを踏むことにより，ロボットハンドの開いた状態と，閉じた状態を切り替える．説明者側のディスプレイには被験者側のウェブカメラによる被験者の上半身の映像と，ネットワークカメラによるロボットハンド付近の映像が表示されている．説明者はこの映像から被験者がロボットハンドを握ることを確認し，ロボットハンドを操作する．

5.　結果及び考察

実験後，被験者10名に「実際に説明者と握手をした感じがした」について9段階リッカート尺度のアンケートに回答してもらった．1，3，5，7，9は，それぞれ「まったくあてはまらない」，「あてはまらない」，「どちらともいえない」，「あてはまる」，「非常にあてはまるに」に対応させた．

その結果，9，8のスコアをつけた被験者がそれぞれ1名，7のスコアをつけた被験者が3名，6のスコアをつけた被験者が1名，5のスコアをつけた被験者が2名，4，1のスコアをつけた被験者がそれぞれ1名であった．

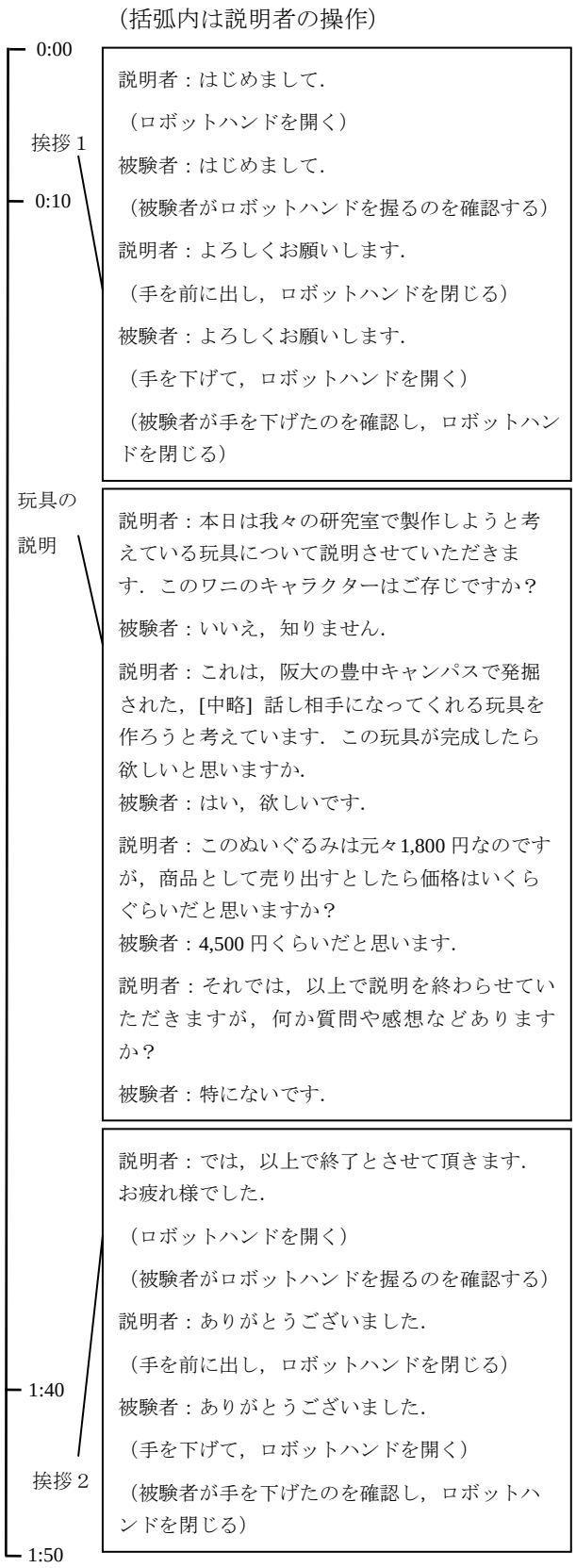


図 4　会話の流れ

高い評価をつけた理由としては，ロボットハンドの位置が説明者の手の位置にあるように感じた，ロボッ

トハンドの動きが人間らしい，ロボットハンドが温かいというものが挙げられる．その中でも，温かいことを理由に挙げた被験者が多かった．

低い評価をつけた理由として，握手のタイミングが遅い，握力が一定で機械のようだ，ロボットハンドが硬いというものが挙げられる．その中でも，硬いことを理由に挙げた被験者が多かった．

また，ロボットハンドの握力，温度，感触について，インタビューを行った．

握力については，丁度良いと答えた被験者が7名，もう少し強くても良いと答えた被験者が2名，少し強いと感じた被験者が1名であった．多くの被験者が丁度良い強さであると答えており，設定した握力（90.45 N）は適切であったと考えられる．

温度に関しては，人肌の温度（約32℃）に設定して実験を行ったが[1]，最初の1名の被験者は，ロボットハンドの温度に気づかなかった．そこで，人肌より温かい温度（約40℃）に設定して実験を行ったところ，8名の被験者が丁度良いと感じ，1名の被験者がもっと暖かい方がよいと答えた．

また，感触に関しては，被験者全員が，柔らかさを感じない，もしくは，人の手よりも硬いと述べた．

ロボットハンドは人肌に近い温度・柔らかさであるが，被験者は温度に気づきにくく，硬いと感じることが分かった．温度に気付かなかった被験者は，ロボットに対して冷たいという先入観があったと述べており，この先入観が温度に気付かなかった原因であると考えられる．同様に，感触が硬いと答えた被験者が多かったことも，ロボットに対する硬いという先入観が影響している可能性がある．人肌よりも高い温度に設定した場合，丁度良いと答える被験者が多かったことから，感触に関しても，十分に柔らかくしておくことで，改善できるかもしれない．

6. まとめ

本研究では，人と握手している感覚に近い握手を再現するため，十分な握力，人の手のような温度・柔らかさを持つロボットハンドを開発した．また，このロボットハンドをビデオ会議システムに実装し，遠隔地にいる会話相手と握手している感覚が得られるかを調べる実験を行った．

実験の結果，ロボットハンドの握力（90.45 N）はほとんどの被験者が丁度良いと感じていた．しかし，会話相手と握手している感覚になった理由として多く挙げられたのは，ロボットハンドの温度であり，人肌よりも高い温度（約40℃）が効果的であることが分かった．この理由は，被験者がロボットハンドに対して冷たいという先入観を持っていたためだと考えられる．また，ロボットハンドには人肌と同じ柔らかさのシリコンゴム（ゴム硬度10）を用いたが多くの被験者が硬いと感じていた．この理由も温度と同様に，ロボットハンドに対する硬いという先入観が影響していたためだと考えられる．したがって，必ずしも実際の温度や感触を伝えることが遠隔地にいる会話相手と握手をしている感覚を向上させる上で効果的であるとは言えない．

今後の展望として，遠隔地にいる会話相手と握手をしている感覚を向上させる上で有効な方法について明らかにする予定である．さらに，ロボットハンドを実装したビデオ会議システムを用いて，遠隔地間での擬似的な接触を再現することで，遠隔地にいる会話相手の存在感が向上するかどうかについても明らかにしていきたい．

謝辞　実験に協力していただいた大嶋悠司氏に感謝する．本研究は妹尾岳氏が行った実験に基づくものである．本研究は，若手研究（A）「テレロボティックメディアによる社会的テレプレゼンスの支援」，基盤研究（S）「遠隔操作アンドロイドによる存在感の研究」，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（研究領域：共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築）」からの支援を受けた．

参　考　文　献

1) Bailenson, J. N., Yee, N., and Brave, S.: Virtual interpersonal touch: expressing and recognizing emotions through haptic devices, Human-Computer Interaction, 22(3), pp.325-353, (2007).
2) Bardeen, J. P.: International perception through the tactile, verbal, and visual modes, Paper presented at the annual meeting of the International Communication Association Convention, Phoenix, (1971).
3) Chang, A., O'Modhrain, S., Jacob, R.J.K., Gunther, E., Ishii, H.: ComTouch: Design of a Vibrotactile Communication Device, Proceedings of the conference on Designing Interactive System, pp.312-320(2002).
4) Kasuga, T., Hashimoto, M.: Human-Robot Handshaking using Neural Oscillators, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3813-3815(2005).

[1] ロボットハンドに被せた手袋の上から測った温度である．

5) Smith, J. and MacLean, K: Communicating emotion through a haptic link: Design space and methodology, International Journal of Human-Computer Studies, 65(4), pp.376-387(2007).
6) 神代 充, 渡辺 富夫, 柴田 論, 山本智規: 視線提示を考慮した握手要求動作モデルの開発, 日本機械学会論文集（C 編）, 77(776), pp.1429-1440(2011).
7) 妹尾 岳, 中西 英之, 石黒 浩: 視覚的な身体接触がテレプレゼンスに及ぼす効果, 第24回人工知能学会全国大会, 1D5-1, (2010).
8) 松尾 香弥子: 親愛感の知覚における視覚・聴覚・触覚の優先関係, 社会心理学研究, 10(1), pp.64-74, (1994).