

# マルチラテラル制御に基づく Hand-to-Hand テレコミュニケーション技術の開発 (151203009) Development of Hand-to-Hand Tele-communication Technology Based on Multilateral Control

## 研究代表者

桂 誠一郎 慶應義塾大学  
Seiichiro Katsura Keio University

## 研究分担者

久保 亮吾 †  
Ryogo Kubo †  
†慶應義塾大学  
†Keio University

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

## 概要

人にやさしいネットワーク構築に向けた基盤技術の開発を目指し、Hand-to-Hand テレコミュニケーション技術の開発を行った。具体的には、多方向ネットワークを構築する際に問題となる通信遅延やそのゆらぎ（ジッタ）を対処する制御法について研究を行い、通信遅延下における力触覚情報のマルチラテラル制御の非干渉実現のための一般化理論の導出に成功した。この制御理論に基づき、通信遅延やジッタを補償し、安定性の高い力触覚・温熱覚の同時呈示を実現した。また、操作者によって行われる動作タスクに応じてネットワーク構造を最適化するアルゴリズムをグラフ理論の可到達性に基づき設計する手法を確立した。最終的に、上記要素技術を組み込んだ Hand-to-Hand インタフェース実証試験機を開発し、高齢者を対象にしたマッサージ動作などの遠隔動作支援における試験を行った。タスク遂行度合いやストレス測定などの観点から評価を行い、Hand-to-Hand テレコミュニケーションによる力触覚・温熱覚伝送により、人間の身体性のネットワーク拡張が物理的、心理的な面から効果があることを確認した。

## 1. まえがき

20 世紀においてオーディオ・ビジュアル技術が飛躍的な発展を遂げ、IT 革命がそれをさらに加速させてきた。このことはまさに人類が空間を自在に越えて視聴覚を持ったことを意味している。今後の超高齢社会における人にやさしい ICT の実現を考えると、より人間の根源的な感覚である触覚伝送に基づいたインフラ整備が必要不可欠であり、緊急に取り組むべき課題となっている。しかしながら、このような将来の社会システム創生まで踏み込んだ取り組みはあまり進んでいない。古くから「見ざる、言わざる、聞かざる」という言葉が象徴しているように、視覚や聴覚は遮断された状態を容易に作り出すことができるが、対して触覚は生まれ持ってから存在し続ける感覚であるため、それが遮断された状態を想像することを困難にしていたためである。これは逆に、触覚が遠隔地に拡張されることでもたらされる潜在的なインパクトは大きいことを示している。

本研究は、マルチメディア技術により進化されてきた Face-to-Face コミュニケーションに力触覚・温熱覚といったハプティック情報を加え、革新的な Hand-to-Hand テレコミュニケーションを実現するという野心的な研究提案である。ハプティック情報は五感の中で唯一、作用反作用のフィードバックを伴う感覚情報であるため、多方向ハプティック通信技術の実現にあたっては、ネットワーク遅延の制御による安定化が不可欠である。本研究では、ネットワーク構造の最適化に加えて安定化技術を開発するとともに、開発技術を組み込んだ遠隔地から動作支援を行うためのアプリケーションを開発することを目的に研究が行われた。

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2. 1. サーモグローブの開発

本研究は、研究代表者の有するマルチラテラル制御ならびに温熱感覚制御の研究基盤を統合し、遠隔地間で力触覚・温熱覚情報を用いた自然で円滑なテレコミュニケーションを実現し、次世代のコミュニケーションプラットフォームの構築を目指して行われた。

特筆すべき成果の一つとして、指と手のひらの温度分布を双方向に伝送する温熱覚呈示インタフェース「サーモグローブ」の開発に世界で初めて成功した。開発した「サーモグローブ」を図 1 に示す。本インタフェースは、これまで実現が困難であった温熱覚インタフェースのウェアラブル化や呈示範囲の拡張を実現するため、手に装着することが可能なグローブ型になっており、2つのグローブ間で「温もり」・「冷たさ」を共有することができる。



図 1 開発した「サーモグローブ」

さらに、手のひらの空間的な温度分布を制御するための熱コンダクタンス制御技術の研究を行った。熱コンダクタンスを自在に変化させることで、インタフェース表面での熱流を自在に制御でき、手のひらでの繊細な温度分布再現が可能になる。このように、Hand-to-Hand テレコミュニケーションにおける温熱覚情報の制御基盤を構築できた。

## 2. 2. Hand-to-Hand テレコミュニケーションの実証試験

Hand-to-Hand テレコミュニケーションの実証試験を行うにあたり、Hand-to-Hand インタフェース実証試験機を開発した。本実証試験機を図2に示す。各実証試験機のアクチュエーション部は双腕型であり、各腕は X・Y・Z 軸方向に動作可能な3自由度を有している。動作部分の下部にディスプレイを有しており、被験者の施術状況を視覚的に確認しながらマッサージやリハビリテーション動作等の支援を行うことができる。また、各実証試験機のエンドエフェクタにはペルチェ素子を取り付けられており、これにより温熱覚の多方向伝送を可能にしている。

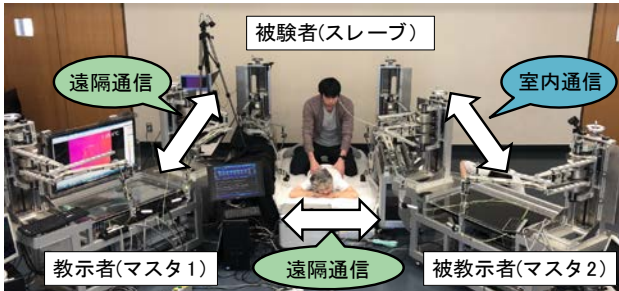


図2 Hand-to-Hand テレコミュニケーション実証実験(マッサージ動作)の風景

サーモグラフィによる体表面の温度変化やストレス評価を行い、被験者・被教者双方において、ロボットを介した遠隔間でのマッサージ動作が直接行う動作と同様の効果が得られていることが確認できた。

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

Hand-to-Hand テレコミュニケーションは、オンラインかつ遠隔での学習教室を実現するものであり、従来までは直接現地まで出向いて学ばなければならなかった動作学習を自宅にいながらにして受講できるサービスの提供につながる技術である。将来的に5Gのブロードバンド無線通信がインフラとして整備されることで、超高齢社会という時代要求に合わせた遠隔医療システムの充実化へも貢献可能である。本技術を応用することで、熟練技能者の動作抽出・データベース化が可能になる。ユビキタスな動作データに基づく遠隔トレーニングは、リハビリテーション等の実用化に資する。例えば、遠隔地にいる熟練技能者がリアルタイムに被施術者の様子をモニタリングし、その動作に応じて現場の訓練者へ教示することが可能になる。したがって訓練者は動作データに倣いつつ、熟練技能者からスキル教示を受けることが可能になる。本研究の最終的な成果イメージを図3に示す。

## 4. むすび

本研究では、Hand-to-Hand テレコミュニケーションを実現するための要素技術からその応用を見据えた実証試験まで全て行っており、研究目標として掲げた項目の完遂のみならず、当初の研究開発目標以上の成果を上げることにつながった。今後、本研究開発で得られた成果をICTによる新たな価値や革新的なサービスの創出につなげるべく、産学協同体制の下で実用化へ向けた研究開発を進めていきたい。

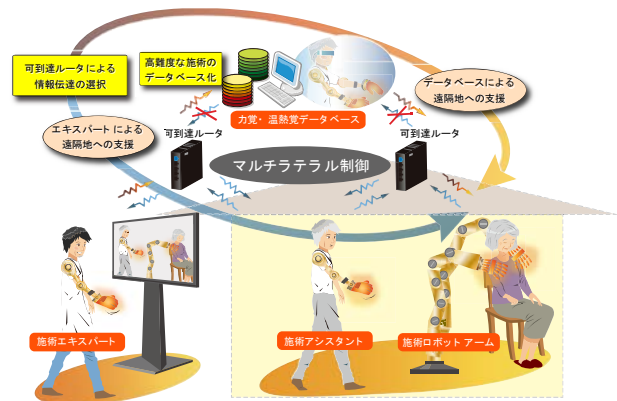


図3 本研究で得られた成果に基づいたICTサービスの創出イメージ

### 【誌上発表リスト】

- [1]Yuki Nagatsu, Seiichiro Katsura, “Decoupling and Performance Enhancement of Hybrid Control for Motion-Copying System,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.64 No.1 pp420-431 (January, 2017)
- [2]Yukiko Osawa, Seiichiro Katsura, “Thermal Propagation Control Using Thermal Diffusion Equation,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.65 No.11 pp8809-8817 (2018)
- [3]Issei Takeuchi, Seiichiro Katsura, “Interpolation of a Clothoid Curve Based on Iterative True-value Prediction Considering Discretization Error,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.14 (2018) (掲載決定済)

### 【申請特許リスト】

- [1]桂 誠一郎、齊藤 英一、“振動制御装置、振動制御方法、振動制御システム及びプログラム”、日本、(2015年8月7日)
- [2]桂 誠一郎、三浦 一将、“アクチュエータ及びアクチュエータの動作制御方法”、日本、(2016年8月22日)

### 【受賞リスト】

- [1]桂 誠一郎、第12回日本学術振興会賞、“実世界ハプティクス研究および運動と知覚の時空間拡張に関する応用技術の開拓”、2016年2月24日
- [2]桂 誠一郎、平成28年度船井情報科学振興財団 船井学術賞、“波動制御に基づく応用抽象化の創成および人間支援ネットワーク応用技術の開拓”、2017年4月22日
- [3]大澤 友紀子、森光 英貴、桂 誠一郎、平成29年電気学会 電気学術振興賞 論文賞、“Control of Thermal Conductance with Detection of Single Contacting Part for Rendering Thermal Sensation,” 2017年6月2日

### 【報道掲載リスト】

- [1]“未来 EYES”、BS ジャパン、2016年5月22日
- [2]“温・冷感を遠隔伝達 慶大 グローブ型装置開発”、日刊工業新聞 8面、2017年10月16日
- [3]“モーニングサテライト”、テレビ東京、2018年4月11日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.katsura.sd.keio.ac.jp/>