

# 意志合意形成に基づくロボットハンド遠隔操作システムの研究開発 (121806001)

## Research on Tele-Operated Robot Hand System Based On Will-Consensus Building

### 研究代表者

川崎 晴久 岐阜大学  
Haruhisa Kawasaki Gifu University

### 研究分担者

毛利哲也<sup>†</sup> 遠藤 孝浩<sup>†</sup> 西本 裕<sup>†</sup> 今田 葉子<sup>†</sup> 上木 諭<sup>††</sup>  
Tetuya Mouri<sup>†</sup> Takahiro Endo<sup>†</sup> Yutaka Nishimoto<sup>††</sup> Youko Imada<sup>††</sup> Satoshi Ueki<sup>†††</sup>  
<sup>†</sup> 岐阜大学 <sup>††</sup> 豊田工業高専  
<sup>†</sup> Gifu University <sup>††</sup> National Institute of Technology, Toyota College

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

## 概要

遠隔操作において、マスターの操作にスレーブが追従することを基本としつつも、スレーブに安全性や最適性に関する複数の部分自律運動機能を持たせ、操作者の動作意図に応じて部分自律機能を働かせる遠隔操作システムの基本方式を確立する。さらに、多指ハプティックインターフェイスを用いた人間型ハンドロボットによる遠隔触診システムにより、その有効性を実証する。このため、操作者とロボットの意志合意形成技術、人体の柔らかさを提示可能なハプティックインターフェイス、人間型ハンドロボットによる遠隔触診システムを研究開発する。

## 1. まえがき

能率よく快適な遠隔触診の実現を目指し、操作者の操作意図とロボットの意志との合意形成に基づいて機能する部分自律遠隔操作システムを研究開発し、多指ハプティックインターフェイスを用いた人間型ハンドロボットによる遠隔触診システムによりその有効性を実証する。画像、音声、及び人間の手指での力覚データの双方向通信による能率よく快適な遠隔操作システムが実現できれば、医療分野での触診を含んだ高度な遠隔診断・手術を可能にし、さらには力覚を利用する通信の普及に大いに貢献できる。

## 2. 研究開発内容及び成果

遠隔操作において、マスターの操作にスレーブが追従することを基本としつつも、スレーブに安全性や最適性に関する複数の部分自律運動機能を持たせ、操作者の動作意図に応じて部分自律機能を働かせる遠隔操作システムの基本を確立した。さらに、多指ハプティックインターフェイスを用いた人間型ハンドロボットによる遠隔触診システムにより、以下に示す技術を開発しその有効性を検証した。

- ①操作者とロボットの意志合意形成技術に関する研究
- ②柔らかさを提示可能なハプティクス技術に関する研究
- ③遠隔触診システムとしての基本技術に関する研究

これらの研究開発目標の達成度を、簡潔に示す。

- ①操作者とロボットの意志合意形成技術に関する研究

【目標】：操作性・安定性・安全性を有する遠隔での物体の把持・操作を実現するため、力触覚をフィードバックした両腕多指による 5 指ロボットハンドの遠隔操作法を開発する。操作者の操作意図を解析し、遠隔地にある人間型ロボットハンドが位置や力のパラメータの一部の制御を補助する。操作者とロボットの安全性も考慮して多種多様な物体の巧緻な把持・操作を実現することを目指す。

### 【成果】

・多指ハプティックインターフェイスをマスター側として用い、ロボットハンドをロボットアームに装着してスレーブ側として遠隔操作するマスタ・スレーブシステムを構築した。図 1 に開発した側面設置型ハプティックインターフェイスを示す。

・図 2 に示す操作者とスレーブロボットとの意志合意形成のコンセプトを提案し、操作者の動作意図解析技術による



図1. 開発した側面設置型多指ハプティックインターフェイス (SFHI)

意志の抽出、ハプティックインターフェイスとロボットとの干渉回避制御による安全性の確保、アームの可操作性最適化制御による操作性の確保、この両者の組み合わせ制御技術による安全性の確保を実現した。これらは遠隔操作の基本技術となる。

・また、操作者の操作意図（心理状況）の観測、操作意図推測の拡充のため、音声での異常検知による緊急停止制御を実現した。これにより、精度良い意思合意形成に基づく遠隔制御法を達成した。

- ②柔らかさを提示可能なハプティクス技術に関する研究

【目標】：体や臓器のような柔軟物に触れた時の感覚を提示することを目指し、柔らかさを提示可能なハプティックインターフェイスを研究開発する。既存のデバイスでは実現が極めて困難な、人間の 5 指に 3 次元の力感覚と皮膚変形を同時に提示する提示法を確立する。

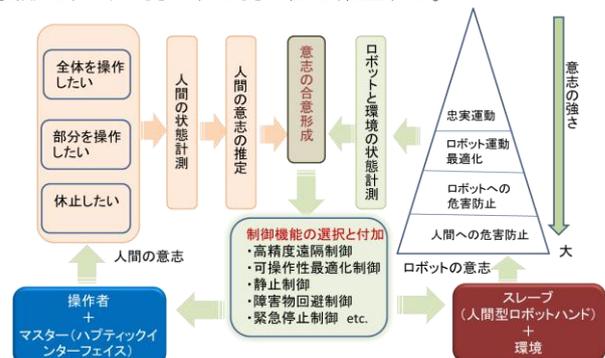


図2 人間とロボットとの意志の合意形成概念と制御

## 【成果】

・多指ハプティックインターフェイスの操作では、操作者は自身の指に指ホルダを装着する。張力を制御可能な柔軟シートを装備し、人間の指先に柔軟物体を触ったときと同じ皮膚変形と反力を提示できる図3に示す指ホルダの開発し、その制御法を開発した。各指で柔軟感の異なる物体を触る実験を行い、指毎で異なる柔軟感提示が可能であることが示された。

・柔らかさ提示システムにおいて、法線方向に加え、接線方向に柔らかさを提示できる自由度を付加することで、システムの高臨場感化を図った。

・指先に3次元の力覚提示をする多指ハプティックインターフェイスと、指腹部に1次元の力覚提示をする指腹部力覚提示デバイスを組み合わせたハンドハプティックインターフェイスを改良開発した。指先のみならず、触診手技に必須な指腹部への触感提示を実現できるハプティックインターフェイスシステムの実現を可能とした。

## ③遠隔触診システムとしての基本技術に関する研究

【目標】：多指ハンドロボットによる遠隔触診システムにより、①、②の開発技術の有効性を検証するとともに、触診を対象とした遠隔触診システムとしての基本技術を確立する。

## 【成果】

・触診に必要な力を出力できる指先力50Nの5指15自由度機構に、圧力センサと高分解能位置センサを組み合わせて分散配置したハンド力覚センサを装着した触診用ロボットハンドを試作した。

・ハンド力覚センサは、各指腹部のブロック単位での圧覚センサと高精度接触位置センサを組み合わせた複合センシングシステムである。これは力覚センサに高い空間分解能を必要としないので、省配線で高信頼度・高精度な接触点と接触力の検出ができる新方式の力覚センシング法である。

・一般に、画像情報による三次元形状計測では、照明や表面の状態によっては精度が落ち、障害物などで不可視部分は本質的に座標情報が得られない。そこで、医師が触診の過程で低精度あるいは不可視部分を漸進的かつ限定的にロボットハンドで触れることにより、可視部分の三次元形状を補完し、全体としてより正確な表面形状を得る図4に触診診断支援情報システムを開発した。

・また、触診診断支援情報システムの技術開発では、ロボットハンドでの触診により得られる接触点、力、及び変位から、触診部位の硬さ、粘性などの生体情報の抽出技術を開発した。また、触診診断支援情報システムとして遠隔地に映像と音声を送受信するための技術開発を行った。

・生体の硬さ推定、心電図、脈波、呼吸波形等の生体情報、遠隔地の動画像等を組み合わせた触診診断支援環境を構成し、音声指示と力覚フィードバックによる意志合意形成システムの基本を構築した。そして試作した触診用人体モデルを用いて、上述したシステムを医師により評価した。

## 【誌上発表リスト】

- [1] H. Kawasaki, T. Endo, T. Mouri, Y. Ishigure, and V. Daniulaitis, "Multi-Fingered Haptic Interface Robot and Its Medical Application Systems", Book title: Multi-Finger Haptic Interaction for Springer Series on Touch and Haptic Systems, Edited by I. Galiana and M. Ferre, Publisher: Springer, pp. 85-107 (2013年5月28日)
- [2] 遠藤孝浩, 川崎晴久, 中川志信, 山下誠治, 土屋陽太郎, 石樽康彦, "側面設置型多指ハプティックインターフ

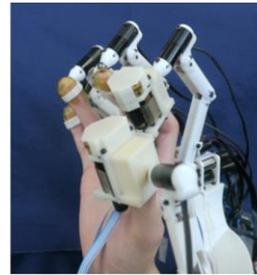


図3. SFHIと柔軟感提示デバイス

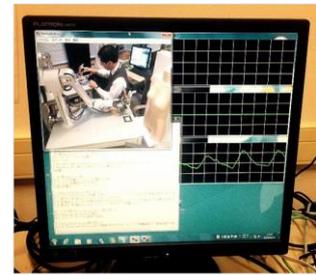


図4 触診診断支援システム

ェイス”、計測自動制御学会論文集, Vol.51, No.4, pp.251-259 (2015年4月)

- [3] S. Ueki, T. Mouri, T. Endo and H. Kawasaki, "Study on stiffness visualization and safety control based on will-consensus building for tele-palpation robot system", Proc. of The 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2015 (AROB 20th 2015), pp.297-300, 2015年1月20日

## 【申請特許リスト】

- [1] 川崎晴久、遠藤孝浩、毛利哲也、青山尚史、側面設置型力覚提示インターフェイス、出願国:米国、EPC, 国際出願日:2011年11月30日
- [2] 川崎晴久、毛利哲也、下村尚之、人間型電動ハンド、出願国:日本、出願番号:特願2012-202456、出願日平成24年9月14日
- [3] 川崎晴久、毛利哲也、原達也、下村尚之、人間型電動ハンド、申請国:日本、米国、EPC, 出願日:平成22年9月24日

## 【登録特許リスト】

- [1] H. Kawasaki, T. Mouri, T. Hara, and H. Shimomura, Humanoid Electric Hand, 米国:出願番号 13/824,825, US-2013-0175816-A1
- [2] 川崎晴久、遠藤孝浩、毛利哲也、青山尚史、側面設置型力覚提示インターフェイス、出願国:日本、出願日:平成22年12月17日、登録日:平成27年4月10日、特許第5725603号

## 【受賞リスト】

- [1] 川崎晴久、第63回岐阜新聞大賞、“学術部門”、2013年2月13日
- [2] S. Ueki, H. Kawasaki, S. Ito, Y. Nishimoto, M. Abe, T. Aoki, Y. Ishigure, T. Ojika, and T. Mouri, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMCH) Best Paper Award for 2013, "Development of a Hand-Assist Robot With Multi-Degrees-of-Freedom for Rehabilitation Therapy, IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol. 17, No.1, pp.136-146,2011", 2013年7月11日
- [3] 遠藤孝浩、2014年度日本機械学会動力エネルギーシステム部門優秀講演表彰、“側面設置型多指ハプティックインターフェイスによる力提示”、2014年11月7日

## 【報道掲載リスト】

- [1] "Touch responsive haptic interface", CLSA Asia-Pacific Markets 2020 innovation report, 2013年1月7日
- [2] "岐阜大、米で最優秀論文賞"、岐阜新聞、2013年7月18日
- [3] "Researchers Develop Robot That Lets Them Feel Softness of Virtual Breasts", IEEE SPECTRUM, 2014年6月3日

## 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www1.gifu-u.ac.jp/~kawalab/index.html>