

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分  
平成28年3月15日現在

力触覚技術による医工融合基盤の革新

Innovation of Unified Platform of Medicine and  
Engineering by Haptic Technology

課題番号：25220903

大西 公平 (OHNISHI KOUHEI)

慶應義塾大学・理工学部・教授



研究の概要

本研究では、人間の行為を数理的に表現・発現し、理論を統合実装した多自由度プラットフォーム HEM<sup>2</sup>の試作開発を行っている。HEM<sup>2</sup>による外科手術での縫合動作などを例に、理論を用いた行為の実現を行い、理論の妥当性と有用性を示す。本研究課題で得られた知見を活かし、医療福祉、産業分野における自動化技術として援用可能となる医工融合基盤の創出を目指す。

研究分野：工学

キーワード：ハプティクス、モーションコントロール、人間支援

1. 研究開始当初の背景

超成熟社会が進む今日の日本において、生活の質(QOL)を向上するための取り組みは、社会の持続的発展のために必要不可欠である。特に、人手や手間暇のかかる身体的行為を人工的に実現、自動化を達成し、生産的な活動に貢献する労働人口を増やす基盤の構築が必要である。しかしながら、現在主流の制御技術は優しく柔らかな運動を達成することができず、身体的行為の人工的な実現には至っていない。特に、QOLが密接に関係する医療福祉、産業分野では優しく柔らかな運動は重要な要素であり、これらの分野の発展のためにも、学術基盤の革新が求められる。

2. 研究の目的

本研究課題はモーションコントロールの設計原理に基づき力触覚機能を人間支援装置に実装することで従来の機械では実現できなかった「柔らかい」運動の達成を目的とする。さらに、工作機械制御に基づく「硬い」運動、および身体機能を表す座標変換をモーションコントロールに組み込むことで、複雑な行為による多機能を実現する。これらにより、人間の身体知に隠されている様々な行為のスキルを抽出、保存、加工、再現し、医療福祉、産業分野で活用可能とする医工融合基盤を創出することを目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では、上述の目的を達成するために、「医学系身体機能研究グループ」、「工学系身体機能研究グループ」、「医工融合推進

研究グループ」の3グループが相互に連携して研究を進めている。まず、医学系身体機能研究グループは、身体機能のインデックス化における基盤技術開発および身体機能の数理的な表現論の確立に取り組んでいる。次に、工学系身体機能研究グループは、身体機能のデータベース化に際し必要となる制御の構造化及び基本性能の向上研究を実施する。最後に、医工融合推進研究グループは、行為支援方法論の確立と医学系身体機能研究グループ、工学系身体機能研究グループの研究成果を統合実装したプラットフォームとなるHEM<sup>2</sup> (Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing)の試作開発に取り組んでいる。

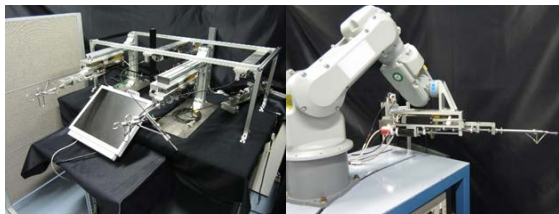
これら3グループの成果統合を円滑におこなうために連携会議を随時おこなう。具体的には、医工融合推進グループと医学系身体機能研究グループ間での連携会議により身体機能インデックス化に関する統合化、そして医工融合推進グループと工学系身体機能研究グループ間での連携会議により身体機能データベースに関する統合化、さらに3グループが参加する医工融合推進会議による開発技術の医工融合をおこなう。また、外部研究評価委員会を設け、これらの活動に対する客観的な評価、および適切な助言を得ながら研究を進め、超成熟社会における高いQOLと持続的発展性の実現を目指す。

4. これまでの成果

本研究課題における現在までの成果のなかで最も革新的なものとして、人間の行為を

構成する単位身体機能が理想力源、理想速度源、および身体機能トポロジーである一般化座標変換の3要素のみで数理的に表現できることを示し、原理実証したことがあげられる。この数理的基礎理論を基に、試作システムを用いて実験をおこない、単位身体機能の発現理論を確立した。さらに、単位身体機能のデータベース化、インデックス化およびこれらの組み合わせで、複雑な行為を実現する行為の設計論を確立した。さらに、確立した設計論を具現化するためのハードウェアプラットフォームとして身体機能支援システム HEM<sup>2</sup>の試作開発を実施し、プロトタイプとしてハプティクス機能を有する 22 自由度 44 軸行為実現システムを開発した。本システムを用いることで縫合動作の自動化を達成し、身体機能「発現」理論の妥当性と行為「実現」理論および行為実現システムの有用性を確認した。今後は、HEM<sup>2</sup>で実現される行為を医工学的に評価するための HEM<sup>2</sup>統合用行為評価システムを製作し、医療及び生産における肌理細やかな動作に対する最終評価実験を開始する予定である。

また、平成 27 年度末に、本研究の核である実世界ハプティクスの原理およびモーションコントロールの設計原理を基軸としたコンソーシアムを設立した。今後は、本コンソーシアムを起点として、特許実施などを含め、生産加工や情報通信など様々な分野における国内企業への技術移転を図り、産業界および社会への研究成果の還元をおこなっていく。



(a) マスタ部 (b) スレーブ部  
図 1 試作開発した HEM<sup>2</sup>



図 2 HEM<sup>2</sup>による自動縫合と自動結紮実験

## 5. 今後の計画

本研究課題は平成 28 年 3 月現在で既に当初の研究計画を大きく上回る進展があり、全体として極めて順調に推移している。今後は、産業応用を視野に入れた実証実験装置を試作し医工融合基盤を産業分野へも推し進め、研究を完遂する。さらに、研究の進捗によっては、成果の社会還元を目指し HEM<sup>2</sup>を実応用に即した、より高度な段階へと昇華させ、より高度な医工融合プラットフォームの構築とその普及活動を加速する。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

### ■発表論文

① 清水就平, 大野嘉紀, 野崎貴裕, 大西公平: “官能評価に基づく機能モードごとの通信遅延補償設計法,” 電気学会論文誌産業応用部門誌, 査読有, Vol. 135, No. 7, pp. 755-764, Jul. 2015.

② E. Sariyildiz and K. Ohnishi: “Stability and Robustness of Disturbance Observer based Motion Control Systems,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 62, No. 1, pp. 414-422, Jan. 2015.

③ T. Nozaki, T. Mizoguchi, and K. Ohnishi: “Motion Expression by Elemental Separation of Haptic Information,” IEEE Transaction on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 61, No. 11, pp. 6192-6201, Nov. 2014.

④ T. Nozaki, T. Mizoguchi, and K. Ohnishi: “Decoupling Strategy for Position and Force Control Based on Modal Space Disturbance Observer,” IEEE Transaction on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 61, No. 2, pp. 1022-1032, Feb. 2014.

⑤ S. Sakaino, T. Sato, and K. Ohnishi: “A Novel Motion Equation for General Task Description and Analysis of Mobile-Hapto,” IEEE Transaction on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 60, No. 7, pp. 2673-2680, Jul. 2013.

原著論文: 全 6 1 件

国際学会: 全 1 0 2 件

### ■受賞

① 国内学会論文賞 2014 年度: 1 件  
(電気学会産業応用部門 部門論文賞)

② 国際学会論文賞 2013 年度: 2 件  
(Best Paper IEEE ICIT)  
(IES Best Conference Paper Award)

③ 国内学会論文発表賞  
2013 年度: 2 件 2014 年度: 4 件

④ 国際学会論文発表賞  
2013 年度: 1 件 2014 年度: 1 件

2015 年度: 1 件

ホームページ等

<http://www-oml.sum.sd.keio.ac.jp/>