

実世界ハプティクスに基づく人間支援理工学基盤技術の開発研究

Research and Development on Platform of Science and
Engineering for Human Support Based on Real-World Haptics

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、実世界ハプティクス基本原理に基づいて個人の身体機能の拡張延伸やスキル抽出、およびそのロボットへの転写を可能とする人間支援理工学基盤技術を有機的な医工連携により構築することを目的とする。さらにこの基盤技術を学術的に体系化することにより、人間本来の感覚に基づいた身体行動支援を実現するための理工学的方法論の確立を目指す。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電力工学・電力変換・電気機器

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

少子高齢化社会における人間支援や、安全安心社会における個人支援を考えると、個人の身体性に基づく人間支援技術の開発が次世代社会における真の豊かさの鍵になることは間違いない。しかしながら、従来の産業技術のように標準モデルによる一元的価値評価に基づく科学技術では、そのような人間支援への貢献が極めて限定的になる。そのため、人間の「知覚」や「行為」に基づいて広く人間活動を支援するための革新的な科学技術を創出する必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題は個人により異なる身体機能の延伸拡張やそれによる日常生活支援、個人のスキル抽出やロボットへのスキル転写などを実現する人間支援理工学基盤技術を、有機的な医工連携研究を通じて構築することを目的としている。そして、構築した基盤技術を学術的に体系化することで、人間本来の感覚に基づいた、知覚ベース、アクションベースによる行動支援を実現するための理工学的方法論を確立することを目指す。

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、「①人間支援理工学研究グループ」、「②複合知覚情報研究グループ」、「③身体性データベース研究グループ」の3グループがそれぞれの専門性を活かしながら相互に連携し

つつ研究を進めている。まず、「①人間支援理工学研究グループ」は、理工学系の研究者で構成されており、多自由度触覚情報結合の変換理論や人間の行為の機能分解に関する理工学的方法論の確立に取り組んでいる。次に「②複合知覚情報研究グループ」は、理工学系の研究者で構成されており、実時間マルチラテラルハプティクス制御理論と複合知覚情報同期理論の確立に取り組んでいる。最後に「③身体性データベース研究グループ」は、医学系の研究者で構成されており、環境情報と身体行為を保存・再現するための身体性辞書（データベース）構築とその索引・抽出原理の確立に取り組んでいる。これら3グループは各々の研究計画を進めるのみならず、共同で多自由度ハプティックシステムの試作や当該システムへの研究成果の実装・検証を行っている。また、すべてのグループメンバーおよび外部の大学や企業の専門家を交えた研究開発ミーティングを年4回以上開催しており、その場でグループ間連携会議や研究推進会議を行うと同時に多方面の専門家から研究開発に関する評価や助言を受けながら研究を進めている。

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中で最も革新的なものの一つが、人間のさまざまな動作の記述およびその任意の実現が、理想位置（速度）制御、理想力制御という二つの独立要素と座標変換のみによって可能で

あることを明らかにしたことである。この発見に基づくことで、人間のモーションの定量的な抽出やその転写が可能になり、少なくとも道具座標系で記述される人間支援システムの設計論として確立できる見通しがたった。これはバイラテラルシステムに基づくハプティクスのみならずモーションコントロール全体の基本原理であると考えられることができる。すでに多自由度システム、異構造システムへの拡張や、スケーリング・位置制限などの高機能性を必要とする場合においても有効であることを実験により確認している。また、この原理に基づいた理論の実装により計算負荷を従来法に比べて削減することが可能となるため、環境情報や人間の動作を保存・再現する身体性辞書(データベース)構築やその索引・抽出アルゴリズムの実現がより少ない計算量で可能となる。一方、多自由度ハプティックシステムの試作も行っており、すでに8自由度16軸ハプティック鉗子システムを製作し、医工連携によりin-vivoないしはin-vitroの実験に成功している。この結果、空間分解能0.1 μ m、力分解能0.01N、時間分解能100kHz以上の性能を得ることに成功し、200Hz以上の世界最高の触覚伝送帯域特性を力検出器なしで実現することができた。また、開発したハプティックシステムを用いた動物実験により、臓器などの特性(環境情報)の記録・解析に成功しているほか、外科手術の動作の保存・解析にも取り組んでおり、人間の動作を抽出・転写するための身体性辞書(データベース)構築に必要な基礎的なデータ収集に成功している。さらに、腱駆動についての研究もすでに進めており、従来の道具座標ではなく個人の身体座標系における人間動作の直接的な支援の実現可能性についても検討を行っている。



図1 8自由度16軸ハプティック鉗子

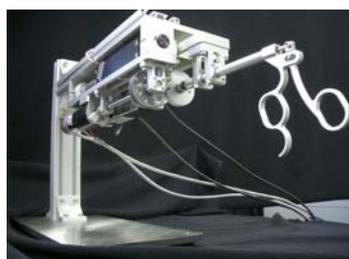


図2 新機構を実装した3自由度鉗子

5. 今後の計画

本研究において新たに明らかにしたモーションコントロールの一般原理に基づき、触覚情報結合の変換理論や人間行為の機能分解、身体性辞書の構築や動作の索引・抽出に関する研究を進める。これらの理論については、すでに試作を開始している16自由度32軸のハプティックシステムに実装し、その有効性について実験的評価・検討を行う。さらに、基本原理を道具座標系における運動記述とそれに基づく支援のみならず、個人の身体座標系における直接的な行為支援においても発展的に応用することを試みる。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

■発表論文

① 笠原佑介, 大西公平, 永瀬一貴, 桂誠一郎: “動作アセンブリシステムによる触覚データベースのための動作情報量の削減法,” 電気学会産業応用部門誌, 査読有, Vol. 130-D, No. 9, pp. 1043-1050, Sep. 2010.

② Koji Atsuta, Soji Ozawa, Naoki Shimojima, Tomoyuki Shiono, Shigeru Susa, Takayoshi Takei, Kouhei Ohnishi, Yasuhide Morikawa: “Newly Developed Haptic Forceps Enables Sensitive, Real-Time Measurements of Organ Elasticity,” Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies, 査読有, Vol. 19, No. 3, pp. 177-183, Jun. 2010.

③ 境野翔, 佐藤智矢, 大西公平: “斜交座標制御を用いた高度なハイブリッド制御の実現,” 電気学会産業応用部門誌, 査読有, Vol. 130-D, No. 3, pp. 300-306, Mar. 2010.

④ Ryogo Kubo, Kouhei Ohnishi: “Mechanical Recognition of Unknown Environment Using Active/Passive Contact Motion,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 56, No. 5, pp. 1364-1374, May 2009.

⑤ Hiroyuki Tanaka, Kouhei Ohnishi, Hiroaki Nishi, Toshikazu Kawai, Yasuhide Morikawa, Soji Ozawa, Toshiharu Furukawa: “Implementation of Bilateral Control System Based on Acceleration Control Using FPGA for Multi-DOF Haptic Endoscopic Surgery Robot,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, 査読有, Vol. 56, No. 3, pp. 618-627, Mar. 2009.

■受賞

①電気学会論文発表賞

2010年度: 6件

2009年度: 5件

2008年度: 4件

②業績賞

大西公平: 電気学会業績賞, 2008年5月

ホームページ等

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