

力触覚移植技術を用いた汎用人工手の開発

- 人に優しいモータ駆動技術の新展開 -

Development of General Purpose Artificial Hand Using Haptic Transplant Technique

- Innovation of Motor Drive Technology for Human Friendly System -

○ 野崎貴裕（慶應義塾大学） 福島聡（慶應義塾大学） 村上俊之（慶應義塾大学）

Takahiro Nozaki, Keio University
Satoshi Fukushima, Keio University
Toshiyuki Murakami, Keio University

Abstract: Humans can handle various tasks flexibly by using their hands with adjusting applied force based on haptic sensation. However, existing human support devices are at risk for breaking contact objects, as those devices cannot perceive the human-like haptic sensation. A bottleneck in development and practical use of human support systems is how to achieve the haptic sensation artificially, which realizes strong, fine, dexterous, and flexible human motions. This paper introduces a novel motor drive technique achieving high adaptability to various objects based on the haptic sensation, and shows its applications.
Key Words: Prosthetic Hand, Sensory Substitution, Haptic Transplant, Life Support Technology

1. 序論

人間は五感によって、この世界を知覚し、日々の生活を送っている。もし、この五感が絶たれてしまえば、我々は自らの存在を把握することすらも困難となる。特に“動作”に限れば、聴覚、視覚、触覚が重要となる。電話による聴覚情報の伝達やテレビによる視覚情報の伝達など、人間の感覚を伝達する技術は歴史が長く、研究開発成果は大きなマーケットを生んできた。しかし、唯一、触覚を伝達する技術は未だ実用化には至っていない。本論文では、視聴覚に次ぐ第三の技術として、触覚伝達技術についてご紹介する。触覚は人間の根幹をなす感覚である。そして、触覚の伝達は感覚技術に残された最後のブルーオーシャンであり、物理的な人間支援を可能にする。

我々は手先の力触覚によって、対象物に加える力加減を調節し、日々の多様な作業を柔軟にこなしている。しかし、従来のロボットはNC工作機械に端を発し発展を遂げてきており、制御剛性の高い位置の制御（高剛性サーボ制御）に基づいている。そのため、硬い対象物に対して接触作業を行うと定格一杯の力を出すこととなり、対象物を壊すかあるいはロボット自体が壊れてしまう。実際、大型の産業用ロボットの運動は危険と見なされ、労働安全上の特別な配慮が求められる。このように現在のロボット技術は生命の安全を預けるに足る柔軟性と多機能性の獲得には至っていない。触覚が実現する力加減と、安全性とは切っても切れない関係なのである。

この問題は産業用ロボットに限った話ではない。義手においても同様である。従来から使用されている義手としては、単に人間の手の外観を模した装飾義手や、他の身体部位の動きをワイヤで伝える能動義手が主流である。これらは力触覚が感じられないため、把持対象物を破壊してしまったり手放してしまったりといった危険性が高い。また、筋電義手も普及しつつあるが、基本的に筋電の強さを二値で判定し、開状態と閉状態の二種類の指令を生成するものである。そのため、義手を閉じたり開いたりすることはできるが、把持力の調整をおこなうことは困難である。筋電測定時のノイズによる影響も問題とされており、今もなお多くの課題が残る。

以上のように、筋電義手のような既存の福祉機器においても、力加減を調整することができないため接触対象物を破壊する危険性がある。実際の人間の動作はそのようなごちなさはなく、力強さとしなやかさを兼ね備えた運動がごく自然に発現される。人間における運動はその力触覚と相即不離の関係にあり、力触覚な

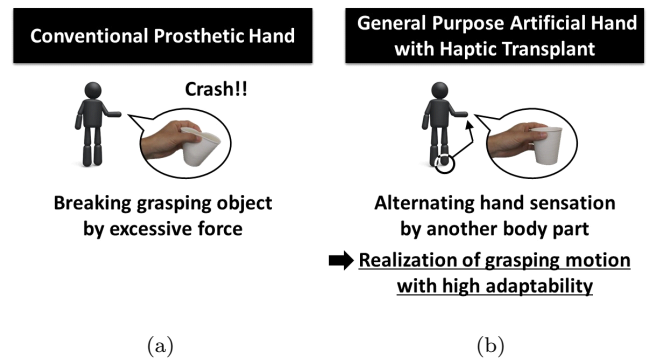


Fig. 1 Conceptual diagram. (a) Conventional artificial hand. (b) General purpose artificial hand with haptic transplant.

しには力強さとしなやかさを兼ね備えた人間の運動は実現されない。ロボットにおいても同様であり、力触覚無しには、しなやかで力強い動作を人工実現することは不可能なのである。

本稿では、力強さとしなやかさを兼ね備えた身体運動を実現する力触覚移植の技術について概説するとともに、本技術を活用し新たに開発した汎用人工手についてご紹介する。

2. 力触覚移植技術

力触覚移植技術とは事故や疾患等により欠損した身体部位に対し、自らの健全な身体部位の身体感覚を人工的に移植する技術であり、これによって繊細な力加減の調整を可能にし、高度な適応性を実現する。図1に力触覚移植技術の概念を示す。

図1(a)に従来の義手等の人工ハンドの様子を示す。前述したように義手を含む従来の電動人工物は位置の制御に基づいており、力加減を調整することができない。したがって、脆性物体や軟性物体に優しく触れることができず、接触対象物を破壊してしまふ。

一方、図1(b)に本技術の概要を示す。本技術では欠損した身体部位と健全な身体部位に構造の異なる2台の装置を装着する。これにより、失った力触覚知覚機能を代替させるとともに抽出された力触覚情報を瞬時に分解・再現することで、電動義手などの自動機械に動作を代行させ、高度な運動機能を人工的に補完する。使用者は、手先の接触感覚を足先等で感じ取ることができるため、対象物に加わる力を正確に調整することが可能となる。

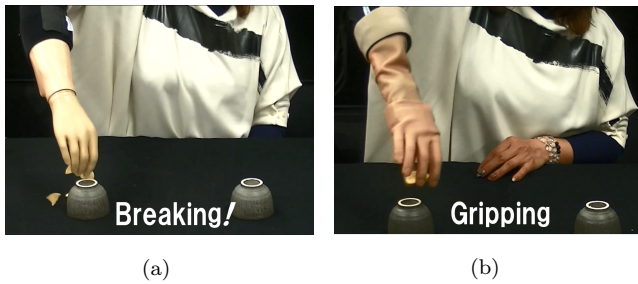


Fig. 2 Grasping of potato chips. (a) Conventional artificial hand. (b) General purpose artificial hand with haptic transplant.



Fig. 3 Grasping of drink box. (a) Conventional artificial hand. (b) General purpose artificial hand with haptic transplant.

3. 汎用人工手

本章では力触覚移植技術を応用し新たに開発した汎用人工手についてご紹介する。なお、詳細については *The 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society* にて発表予定である⁽¹⁾。

脆性物体（ポテトチップス）を把持した際の様子を図 2 に示す。図 2(a) は従来の筋電義手による把持動作の様子である。手先の感覚がないため把持対象物を破壊してしまっていることが確認できる。一方、図 2(b) は汎用人工手による把持動作の様子である。手先の接触感覚があり力加減を調節することができるため、把持対象物を破壊せず、優しくつかむことができる。

次に、飲料入り紙パックを把持した際の様子を図 3 に示す。図 3(a) は従来の筋電義手による把持である。紙パックをつかむこと自体は可能であるが、内部の圧力が高まってしまったため、ストローを刺した途端に内部の液体が噴き出してしまった。一方、図 3(b) は汎用人工手による把持である。手先の力加減を調節し、人間同様に優しく紙パックをつかむことができる。内部の液体が噴き出さないばかりか、ストロー内の液面高さの微妙な調整も可能である。

図 4 に様々な形状をした対象物の Pick and Place 動作の様子を示す。力触覚移植技術により硬さや重さ、摩擦の異なる物体をハンドリングできていることがわかる。また、本汎用人工手には物体形状に対し自動的に適応する可変コンプライアンス制御も実装されており、球体、直方体の箱、小さな立方体、野球ボールといった多様な物体形状の違いに柔軟に対応することが可能である。

4. まとめ

触覚は運動の根幹をなす感覚であり、我々人間にとって必要不可欠な感覚である。触覚を失った状況では、人間あるいはロボットは物体との柔軟な接触を実現することができない。本稿では人工的に触覚を伝達する技術についてご説明し、その応用例として

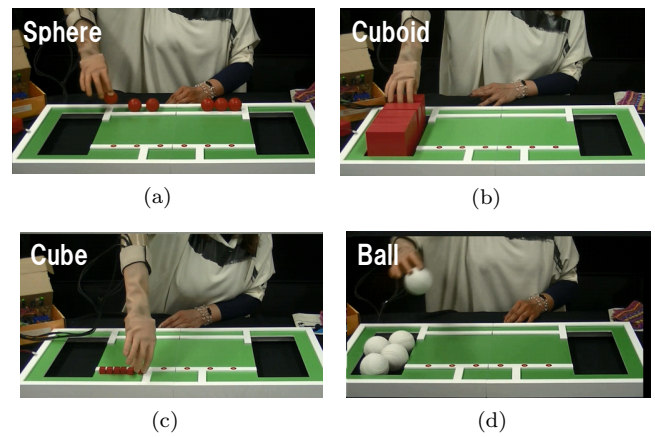


Fig. 4 Manipulation of various objects. (a) Sphere object. (b) Cuboid object. (c) Cube object. (d) Ball.

汎用人工手をご紹介した。本汎用人工手は力センサレス⁽⁴⁾という特徴を備えており、特殊なハードウェアを必要としないように、物体形状への高い適応性を発揮するばかりか、力触覚移植技術により絶妙な力加減の調整を可能にする。

弊学では、2014 年 12 月、先導的・戦略的研究拠点としてハプティクス研究センターを新たに設立した。また、成果の普及・標準化を支援する組織である技術協議会を発足させ、弊学が有する力触覚伝達技術の実用化とその知的財産の管理運用を推し進めている。現在までに、その成果の一部として本技術の小型ワンボードコア化に成功している。大学研究が陥りがちな机上の空論に終始することの無いよう、真に人の役に立つ技術としての実用化を目指す。

参考文献

- (1) S. Fukushima, T. Nozaki, and K. Ohnishi, "Development of haptic prosthetic hand for realization of intuitive operation", in *Proc. Int. Conf. IEEE IECON*, Oct. 2016. (Accepted.)
- (2) W. Iida and K. Ohnishi, "Reproducibility and operability in bilateral teleoperation", in *Proc. 8th IEEE Int. Workshop AMC*, pp. 217–222, Mar. 2004.
- (3) K. Ohnishi, M. Shibata, and T. Murakami, "Motion control for advanced mechatronics", *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 1, no. 1, pp. 56–67, Mar. 1996.
- (4) T. Murakami, F. Yu, and K. Ohnishi, "Torque sensorless control in multidegree-of-freedom manipulator", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 40, no. 2, pp. 259–265, Apr. 1993.
- (5) T. Nozaki, T. Mizoguchi, Y. Saito, D. Yashiro, and K. Ohnishi, "Recognition of grasping motion based on modal space haptic information using DP pattern-matching algorithm", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 9, no. 4, pp. 2043–2051, Nov. 2013.
- (6) T. Nozaki, T. Mizoguchi, and K. Ohnishi, "Decoupling strategy for position and force control based on modal space disturbance observer", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 2, pp. 1022–1032, Feb. 2014.
- (7) T. Nozaki, T. Mizoguchi, and K. Ohnishi, "Motion expression by elemental separation of haptic information", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 11, pp. 6192–6201, Nov. 2014.