

日常生活支援ヒューマノイドのための多指ハンドの開発と 道具操作の実現

○小倉崇 袖山慶直 西野環 浦田順一
中西雄飛 宮寺明彦 神崎秀 水内郁夫 岡田慧 稲葉雅幸 (東京大学)

Tool Operation Using 5-fingered Hand Mounted on Life Support Humanoid Robot

*Takashi OGURA, Yoshinao SODEYAMA, Tamaki NISHINO, Jun'ichi URATA, Yuto NAKANISHI, Akihiko MIYADERA, Shigeru Kanzaki, Ikuo MIZUUCHI, Kei OKADA, Masayuki INABA (The University of Tokyo)

Abstract— This paper shows the tool operation of humanoids that mounts a newly developed 5 fingered hand: controlling IH heater using the fingers, making a hole on a board by electronic drill, using hand mixer, beating a drum. Humanoid robots are expected to be able to deal with tools of human, and it needs complicated dextrous robot hands to realize it. However humanoids often have grippers or specified hands for only one aim because of limitation of weight. We developed a new hand prototype that has less motors and more joints, and evaluated it in daily life environments.

Key Words: Tool Operation, Multi-fingered Hand, Humanoid Robot, Humanoid Hand

1. はじめに

ヒューマノイドロボットのその形態には、外見と機能の2つの意義がある。外見とはすなわち、対話のしやすさを意味し、機能とはすなわち、人と同じことができる可能性を意味する。後者の意味で特に人間の道具をそのまま利用できるというメリットがあり、これまでにヒューマノイドロボットによってバックホーの運転 [1] や、包丁による野菜の切断 [2] などが実現されてきている。ただし、これらの行動は手先の細かな制御が必要なものではなく、ハンドはグリップによる把持のみを行っている。さらに複雑な道具利用のためには器用なハンドが要求される。器用なハンドの研究は盛んに行われている [3, 4, 5] が、ヒューマノイドロボットに搭載するためには、重量やサイズが限定され、モータの搭載も限定される。多指ハンドとしては、金子らによる HRP-3P に搭載された小型ハーモニックを利用したハンド [6] がある。サイズと指先力に注目し設計されているが、具体的な実現されたタスク例は示されていない。山高らによるハンド [7] は茶道具を用いることができている。また、ヒューマノイド Justin [8] に搭載された DLR Hand II [9] ではびんの蓋を開けるなどの作業ができている。また森田らによる爪を持つハンド [10] も包丁を扱うことに成功している。ただしこれらの先駆的なハンドを持ったロボットでも、多種のタスクをこなすような汎用性を示すことができている例は少ない。

本研究では複数のタスクを実現可能な多指ハンドを開発し、Fig.1 に示すようにヒューマノイドに搭載させ、生活空間での複数の道具を用いるタスクを実際に行わせる中でヒューマノイドロボットが道具を用いるためにどのようなハンドが必要であるか探り、試作したハンドによってどのようなタスクが実行可能である

かを確認する。



Fig.1 HRP-2 with “OTL Hand”

2. 多指ハンドの設計

2.1 設計の概要

物体の6自由度の操りのためには9自由度必要であり、指は最小3本あれば指でのハンドリングが可能である。ただし、冗長性を考え4本以上を持つハンドは多い。ヒューマノイドハンドの場合5指であることが多いが、その一番の理由は人間と同じ本数であるということに由来する。本稿で最初に述べたように、ハンドでも同様の2つの意義がある。外見的な意味では指を用いたジェスチャが分かりやすくなる意味が大きい。小指を使った「指きり」や、親指、人差し指を丸めた、オーケーサインなどが直感的に理解しやすい。機能的には道具の利用のために人間と同じ形状をしていることが有利であるが、実際に5指がないと達成不可

能なシチュエーションはかなり限られる。

本稿では日常生活でのヒューノイドロボット利用を前提とし、各指以下の機能を持つことが生活空間での道具利用のために重要であると考えた。

- スイッチ押し動作
- 把持動作
- 道具を介した作用動作

スイッチ押し動作は、親指、人差し指で行う。把持動作は、形状になじんだ把持ができることが望ましい。また、後に示すように把持しながらのスイッチ押し動作が必要になる場合もある。道具による作用動作では、道具をパワーグラスプした際に、手の親指方向に作用部位がくることが多い。例えば包丁や、金槌を用いる場合である。この場合には小指側にもっともモーメントが必要になる。今回は日常生活空間への親和性と道具利用のための機能性、冗長性を考慮し、5指のハンドを製作することとした。指はメンテナンス性を考慮して、親指以外の4指は交換可能なように、同一の指モジュールで構成する。

2.2 自由度配置・駆動システム

モータの数はサイズや重量に直接的に影響するため、できるだけ少ない数に抑えたい。腱駆動とすることでハードウェア的ななじみ、さまざまな対象をつかむことができるようにする。また、少ないモータで駆動させるために、指を曲げる際にはモータにより駆動し、もどす力はバネにより発生させることにした。

2.3 OTL Hand

Fig.2に実際に製作したハンドの概観を示す。Fig.1に示すようにヒューノイドロボットHRP-2に搭載された。自由形状にデザインされた指をRPにより作成した。Fig.4は製作に用いたCADデータとセンサ取り付け位置を示している。把持やつまみ動作の確認が可能のように接触センサを指先に配置した。このハンドは日常生活に用いる道具利用を目的としているため、“OTL Hand” (Operate Tools for daily Life) と名づけた。

Table 1にOTL Handの主な仕様を示す。モータは道具を把持した場合に十分な作用を行うことができるように、各指4.5[W]のモータを搭載した。

Fig.3に関節配置を示す。親指を除く指は各指4軸あるが、ピッチ軸(DIP, PIP, MIP)は1つの腱で曲げ方向に駆動し、戻り方向はうめこまれた板バネの復元力により駆動する。指先にワイヤーを固定し、各関節はプーリを介して駆動させる。各指のひらく方向(中手骨関節)はすべての軸がワイヤで連結され、1つの腱で駆動され、逆方向は各軸にうめこまれた巻きバネにより駆動される。親指軸のうち根元の関節はHRP2のグリップにあたるモータにより駆動され、他の2軸はワイヤーと板バネで駆動する。

Fig.5にOTL Handのハードウェア構成を示す。このハンドの電装系は宮寺らによるUSBバスを利用した通信システムと小型モータドライバ[11]を利用している。このハンドはハンドが交換可能な等身大ヒューノイドHRP2に装着されている。電源はHRP2体内から取り出した5[V]を制御回路に、12[V]をモータ電

源に利用している。このロボットにはミトン型ハンド[12]や、受動関節を利用した握りこみ機構を持つハンド[13]などが取り付けられてきている。いずれも多指ハンドではないが、様々な物体の把持などの動作を行っている。

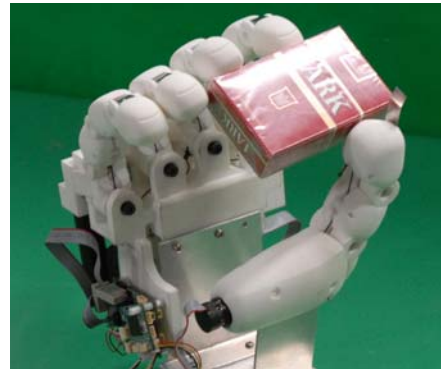


Fig.2 The appearance of the 5-fingered hand prototype “OTL Hand”

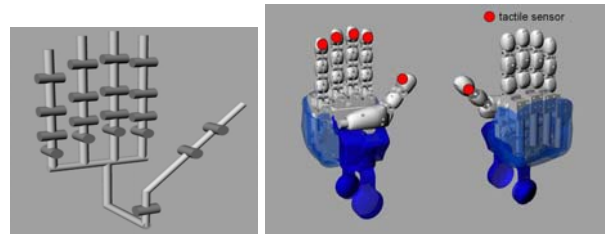


Fig.3 DoF configuration

Fig.4 CAD data of the hand: position of 6 tactile sensors

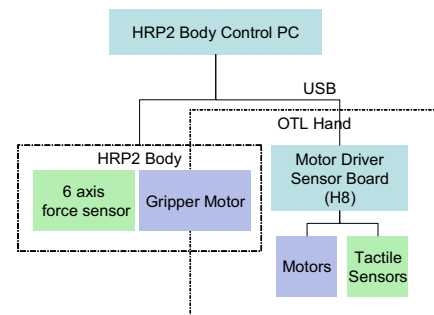


Fig.5 Hardware configuration of OTL Hand

2.4 基礎実験

まずハンド部4指に関して握りこみの基礎実験を行った。指先の接触センサを監視して、各指が把持対象と接触するまでモータを駆動し、対象になじむ動作を行った。

Fig.6にペットボトルを人差し指、中指で握らせた際の様子を、Fig.7に指先に発生した力と駆動ワイヤーの長さの変化を示す。グラフ中len0, f0が人差し指のワイヤ長、接触力を示し、len1, f1が中指、len2, f2が薬指、len3, f3が小指をあらわす。把持開始約2.5sec後

Table 1 Principal Specifications of the 5-fingered hand

Dimensions	Height	250 [mm]
	Width	151 [mm]
	Depth	145 [mm]
Weight		3.1 [kg]
Joints	Total	19
	Thumb	3
	Others	4 Fingers x 4
DOF	Total	7
	Thumb	2
	Others	4 x 1
	Metacarpal	1
Sensors	tactile	6
Power system		DC 12 [V]

に人差し指, 約 3sec に中指の触覚センサがはたらき, 対象になじんだ把持ができている.



Fig.6 Hold pet bottle adaptively

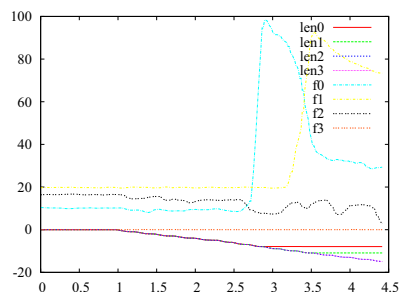


Fig.7 Forces and wire length of the fingers when it is grasping a driver

3. 道具利用行動の実現

OTL Hand を用いたタスク実行例として, IH ヒータを利用した調理タスク, 電動ドリルを用いた穴あけタスク, 電動ハンドミキサーを用いた攪拌タスクを行わせた.

3.1 調理動作

IH ヒータを用いた調理行動を実現するためには指先を器用に用いる必要がある. 調理行動のすべてではないが, 特に指を用いる動作に関して以下のように動作を行わせた. まず, IH ヒータのスイッチを入れるために, 人差し指でスイッチを押す (**Fig.8** 中 1). これによ

り電源が入る. つぎに火力の調節を行う. まず, 押し込まれている調整つまみを引き出す. このつまみは, つまみ自体をさらに押し込むことで引き出すことができる仕組みになっている. 親指を用いて火力調整つまみを適度に押し込み, すばやく腕を引き戻すことでつまみを引き出すことができた (図中 2). 次に火力調整つまみをまわし火力を上げる必要がある. このために親指側面と人差し指を用いてつまみをつまみ, 手首を回転させることで火力調節を行った (図中 3,4). 次に食材である餃子をフライパンに移す動作を行わせた. 今度は親指の腹と人差し指で餃子をつまみ上げ, 腕を動かすことでフライパンまで移し入れた. 次にフライパンを握り込み, 餃子に火がまんべんなく通るようにフライパンをゆする動作を行った. フライパン操作に十分な把持力を発生させることができています. 調理行動に必要な基本動作のうちの一つがこのハンドによって実現可能であることが示された.

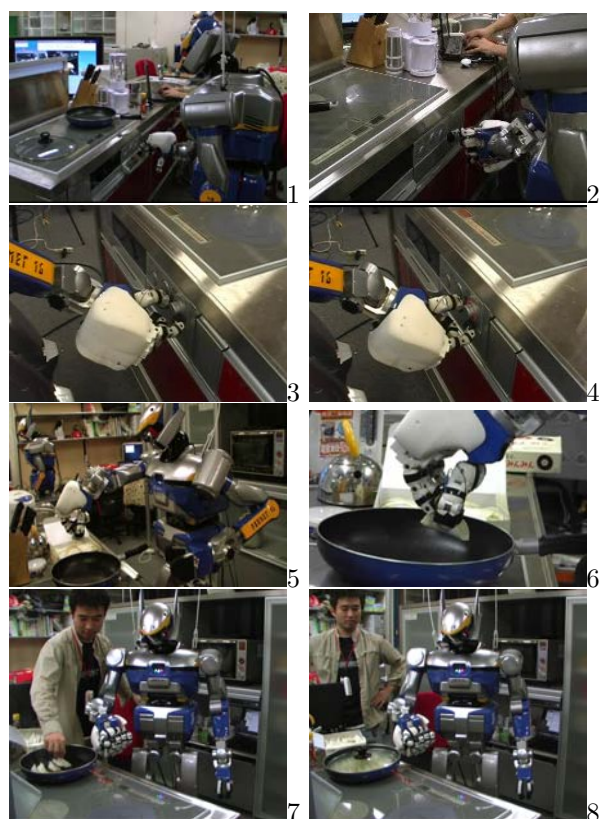


Fig.8 Push a switch of the IH heater using the forefinger, draw the control knob by pushing it using the thumb, rotate it to control the heat by pinching, hold a food (“gyoza”) using thumb finger cushion and move into the fry pan, and grasp the pan to shake it.

3.2 電動ドリル

把持した状態での道具操作が可能であることが示すために, 電動ドリルの操作を行わせた際の様子を **Fig.9** に示す. まず, 中指, 薬指, 小指の 3 指により電動ドリルを把持した (図中 1). 把持を確認後, 人差し指を曲げ, 電動ドリルのスイッチを入れた状態にする (図中

2). この状態を保持し、腕の操作により逆手に保持したプラスチック基板に穴を開けた(図中 3). 腕をもどし、人差し指を伸ばすことで再びスイッチをオフにした。



Fig.9 Use hand drill to make a hole

3.3 電動ハンドミキサー

音声処理とインピーダンス制御を用いた直接教示によって電動ハンドミキサー操作を教示している様子を Fig.10 に示す。まず親指を除く 4 指により把持させ、音声指令により、親指を曲げる動作を行い、ハンドミキサーの動作スイッチをいれた(図中 1)。インピーダンス制御により手先の位置をユーザにより自由に操作できる状態にし、動作を教示する(図中 2)。



Fig.10 Use electric mixer interactively

3.4 太鼓たたき動作

このハンドが十分な把持力を持っていることを示すために、太鼓たたき動作を行った。Fig.11 に親指を除く 4 指により把持した太鼓のばちにより、ゲーム用太鼓インタフェースをたたき様子を示す。ゲームを行うために十分な激力を太鼓インタフェースに加えることができている、ユーザからの入力によって太鼓をたたきことができている。

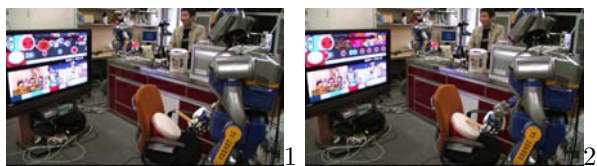


Fig.11 Beating a drum motion

4. おわりに

人間の役に立つ作業を行うことが可能なヒューマノイドハンドを試作し、等身大ヒューマノイドに搭載し、ボタン押し、つまみ、把持、などの場面で有効であることを実際の作業場面での利用によって確認した。試作したハンドは中手骨関節がパッシブであったり、劣駆動システムであるために指先位置が制御できないため、スイッチを押すなど精度が求められる制御に難

があった。一方で腱駆動による指のピッチ軸駆動により、ハードウェア的になじみ動作ができ、多様な対象の把持が簡易に実現できたといえる。精度のある指となじみ性能のある指を使い分けるようなハンドや、その制御ソフトウェアが求められる。

この研究の一部は文部科学省・科学技術振興調整費「少子高齢社会と人を支える IRT 基盤の創出」により行われたものである。

参考文献

- [1] K.Yokoi, K.Nakashima, M.Kobayashi, H.Mihune, H.Hasunuma, Y.Yanagihara, T.Ueno, T.Gokyyu, and K.Endou. A Tele-operated Humanoid Robot Drives a Backhoe in the Open Air. In *2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct.2003.
- [2] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸. "視覚と力覚を利用したヒューマノイドによる野菜切断作業の実現". 第 24 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 1H25, 2006.
- [3] 吉川恒夫. 器用なメカニカルハンド. 日本ロボット学会誌, pp. 763-766, 2000.
- [4] 金子真. 多指ハンド. 日本ロボット学会誌, pp. 889-892, 1998.
- [5] 毛利哲也, 川崎晴久, 吉川桂介, 高井潤, 伊藤聡. 人間型ロボットハンド "Gifu Hand III" とそのリアルタイム制御システム. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, pp. 2P2-F02, 2002.
- [6] Kenji KANEKO, Kensuke HARADA, and Fumio KANEHIRO. Development of Multi-fingered Hand for Life-size Humanoid Robots. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2007)*, pp. 913-920, 2007.
- [7] 山高大乗, 空閑融, 柳瀬正和, 多田野宏之, 古川正信, 大塚英史. 器用な手を持ったロボットの開発. 第 22 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 3L12, 2004.
- [8] Christoph Borst, Christian Ott, ThomasWimböck, Bernhard Brunner, Berthold Bäuml-Franziska Zacharias, Ulrich Hillenbrand, Sami Haddadin, AlinAlbu-Schäffer, Gerd Hirzinger. A humanoid upper body system for two-handed manipulation. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2007)*, pp. 2766-2767, 2007.
- [9] J. Butterfas, M. Grebenstein, H. Liu, and G. Hirzinger. DLR-Hand II: Next Generation of a Dextrous Robot Hand. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2001)*, pp. 109-114, 2001.
- [10] Toshio MORITA, Hiroyasu IWATA, and Shigeki SUGANO. Human Symbiotic Robot Design based on Division and Unification of Functional Requirements. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2000)*, pp. 2229-2234, 2000.
- [11] 宮寺明彦, 水内郁夫, 稲葉雅幸. 超多自由度ヒューマノイドのための感覚動作制御通信システム. 第 23 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 1E35, 2005.
- [12] 岡田慧, 山本邦彦, 佐藤顕治, 藤本純也, 小島光晴, 小倉崇, 林摩梨花, 西野環, 水内郁夫, 稲葉雅幸. "ヒューマノイドプラットフォームにおけるハンドモジュールの発展的構成法". 第 24 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 2H15, 2006.
- [13] 佐藤顕治, 袖山慶直, 岡田慧, 稲葉雅幸. 受動関節と自動握りこみ機構を持ち力覚に基づく把持を行うヒューマノイドハンドの構成. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集, pp. 1A1-A04, 2007.