

# 電気触覚ディスプレイおよび圧力分布センサを用いた 把持型マスタハンドの開発

Development of Grip-Type Master Hand Using Electro-Tactile Display and Pressure Distribution Sensor

武井聖也<sup>1)</sup>, 渡辺亮<sup>1),2)</sup>, 岡崎龍太<sup>1),2)</sup>, 蜂須拓<sup>1),2)</sup>, 佐藤未知<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1),3)</sup>

Seiya TAKEI, Ryo WATANABE, Ryuta OKAZAKI, Taku HACHISU, Michi SATO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {takei, r.watanabe, okazaki, hachisu, michi, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会

3) 科学技術振興機構 さきがけ

**概要:** 我々はこれまで電気触覚ディスプレイと圧力分布センサを併用し、触覚提示と圧力分布計測を同時に行うことが可能なシステムを提案している。本稿ではこのシステムを用いた、実世界のロボットハンドまたは VR 世界のアバタハンド操作を目的とした触覚フィードバックが可能な円筒形状の把持型マスタハンドについて述べる。圧力分布計測を用いて各指からの圧力を取得しロボットハンドの各指の姿勢に反映するとともに、電気触覚ディスプレイを用いてロボットハンドと物体との接触状態をユーザへフィードバックしている。

**キーワード:** 電気触覚ディスプレイ, 圧力分布センサ, マスタハンド

## 1. はじめに

実世界のロボットハンドや VR 世界のアバタハンドを操作して何らかの物体を扱う状況では、人間が手で物体を扱う際に大きな手がかりとなる触覚を操縦者の手掌部に提示することは操作性向上に不可欠であると考えられる。しかし触覚提示が可能なマスタハンド（手掌部用入力装置）は数多く開発されているものの、触覚提示部位が指先に限定されている、装着が必要である、複雑な機構を必要とする等の問題点があった。触覚提示部位が指先のみでは指先のみを使うタスクにしか対応できず、装着、機構の問題は実用化の際に障害になると考えられる。

そこで我々は電気触覚ディスプレイおよび圧力分布センサを用いた把持型のマスタハンドを開発した。本デバイスは円筒を把持して使用するため、指先だけでなく手掌部への触覚提示が可能であり、かつデバイスを装着する必要がない。圧力分布センサによって各指から加えられた力を取得することでロボットハンドまたはアバタハンドを操縦し、電気触覚ディスプレイによってハンドとオブジェクトが接触した際の触覚フィードバックを行う(図 1)。マスタハンドに必要とされる「触覚フィードバック」と「各指による入力」を電気触覚ディスプレイ、圧力分布センサがそれぞれ担っているため、複雑な機構を必要としない。よって従来のマスタハンドに見られた問題点を解決できると考えられる。

本稿では開発したマスタハンドの概要および動作確認実験の結果について述べる。

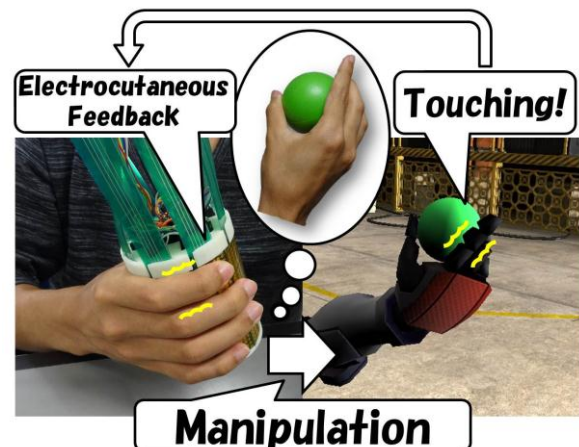


図 1: マスタハンド使用イメージ図

## 2. 関連研究

ユーザの手に装着するマスタハンドはこれまで数多く提案されている。Rutgers Master II[1], HIRO III[2]はユーザの指先に力覚を提示することができる。遭遇型力覚提示デバイスを用いることで指先の装着感を減少させたマスタハンドも開発されており[3], さらに電気触覚ディスプレイによる指先への触覚提示も行われている[4]. こうしたデ

バイスは指の動きに合わせた変形を行う必要性から機構が複雑となる傾向にあり、結果として触力覚提示部位を指先に限定している場合がほとんどである。このため手掌部全体を用いるタスクには不向きであると考えられる。

把持型マスタハンドの先行研究として、MeisterGRIP[5]、HandNavigator[6]、VirtualMitten[7]が挙げられる。MeisterGRIPは円筒形状をとっており、円筒内部の力分布センサにより把持した際の各指からの力を計測する。しかし、MeisterGRIPは力の計測を目的としたデバイスであるため、触覚提示機能を有していない。HandNavigatorは指先で力を加え、それに応じてアバタ指の姿勢を変化させるデバイスである。指先部分の圧力センサのみの非常に簡単な機構で実装されているが、指先の力に限定しているために再現できるアバタハンドの姿勢に限られる。また、MeisterGRIPと同様に触覚を提示する機能は備わっていない。VirtualMittenはカメラベースのモーションキャプチャシステムを用いて手の姿勢を取得し、アバタハンドへ反映するシステムである。ユーザはばねを用いた把持することで変形し、元の形状に戻ろうとするデバイスを手に持っており、把持動作を行うと同時にデバイスが手を押し返す。この受動的な力覚提示に合わせてアバタハンドと仮想物体の接触情報を視覚的に提示するフィードバック手法を用いている。デバイスが持つ力覚フィードバックの機構はばねのみであるため、複雑な機構を用いていない。しかし各指の力を個別に取得することが不可能であるため、再現できるアバタハンドの姿勢は非常に限定的である。

手掌部全体への触覚提示が可能なデバイスとしては、データグローブに振動子を取り付けたもの[8]や、我々の開発した電気触覚ディスプレイを用いた円筒型マスタハンド[9]が挙げられる。電気触覚ディスプレイを用いた円筒型マスタハンドは、装着の必要なく高い解像度での触覚刺激を提示可能であるが、指による入力を計測する機構を備えていなかった。本研究ではこのデバイスの電気触覚ディスプレイの内側へフィルム状圧力分布センサを重ねることで指による入力と触覚フィードバックを同時に行うことを考えた。

### 3. システム構成

#### 3.1 装置

マスタハンドはフィルム状圧力分布センサ、フィルム状電気触覚ディスプレイ、電気刺激装置によって構成されている(図 2)。圧力分布センサの上に電気触覚ディスプレイを重ね合わせることで、ユーザの力入力と触覚提示を同時に行うことが可能となっている。フィルム状圧力分布センサは8つのブロックに分かれており、1ブロックあたり52点(縦13点、横4点)で圧力センシングを行うことができる。計測点の中心間距離は5.2mmである。電気触覚ディスプレイは1枚あたり192点(縦24点、横8点)の電極を持つものを8枚用いている。刺激電極の中心間距離は3mmである。圧力分布センサ1ブロックと電気触覚ディスプレイ1枚は同じサイズであり、これら重ね合わせたものを円筒表

面に貼ることで円筒形状を形成した(図 3)。円筒の直径は61mmとなり、ちょうどビール缶と同じサイズである。この時日本の平均的な成人男性が把持した際に親指と人差し指が重なることがない。

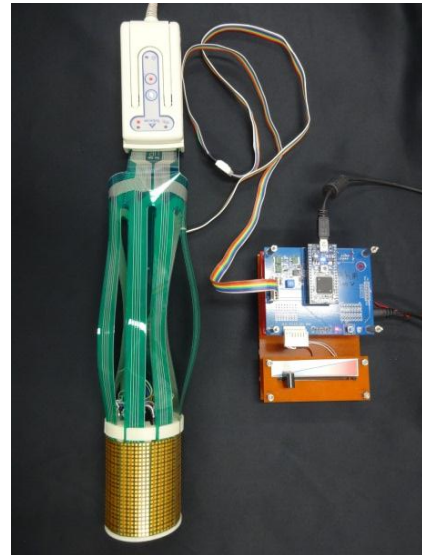


図 2: 装置外観

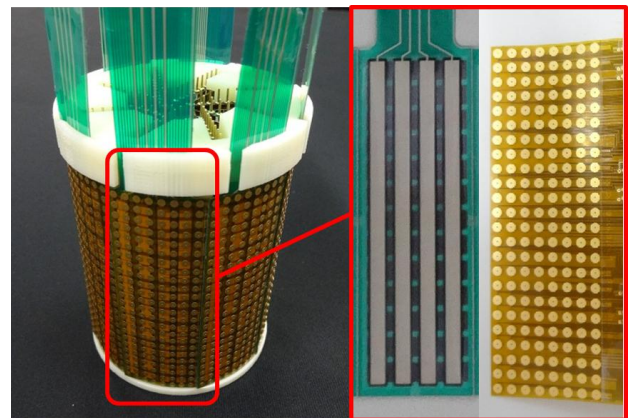


図 3: デバイス拡大図

#### 3.2 アバタハンド操作

本システムにおけるアバタハンドを操作するまでの流れは以下の通りである。

- 1) 電気触覚ディスプレイによる皮膚のインピーダンス計測を行う。
  - 2) 計測結果をもとにマスタハンドを把持する手の部位を判別する。
  - 3) 手の各部位から入力された力を圧力分布センサで取得し、アバタハンドの姿勢に反映する。
- 1)のインピーダンス計測については、電気刺激装置は電気刺激と同時に各電極のインピーダンスを計測することが出来るため[11]、これによって接触分布を判定することが出来る。この様子は

図 4の下部の通りであり、マスタハンドを把持した場合の皮膚の接触分布を意味している。

2)の手の部位識別は計6箇所について行った。

図4の(1)が手掌部, (2)が親指, (3)が人差し指, (4)が中指, (5)が薬指, (6)が小指を示している。

部位識別は(1)~(6)の順番で行った。はじめに接触分布の縦24点×横8点における接触率を

図4の左端から右端までそれぞれ計算し,最も接触率が高い場所を(1)の手掌部とした。次に手掌部から左側へ縦1列ずつ探索を行い,接触率をもとに検出した塊を(2)の親指とした。残りの指は手掌部から右へ探索を行った。(3)の人差し指に関しては縦1列のうちの上部1/4を右へ探索し,接触率をもとに検出した塊とした。その他の指も同様に縦1列のうち1/4ずつ探索して指を検出した。

指に関しては,指先部分とそれ以外の部分を分けて力を入力できるように設定した。親指は指の先端1/2を指先,残り1/2をそれ以外とし,他の指は先端1/3を指先,残り2/3をそれ以外とした。

3)の各部位からの圧力取得は,指の識別結果に基づいて行った。

図4上部に圧力分布センサからの出力が表示されている。これと2)でえられた部位データを重ねあわせることで,指の各部位にユーザが加えた圧力を取得できる。この値を用い,アバタハンドの指姿勢へ反映した。すなわち今回の姿勢提示は力口姿勢変換であるといえる。当然これには他の手法も考えられ,例えば力口速度変換を用いるなら,アバタハンドの姿勢を保持するために定常的に力を加える必要がなくなる。こうした変換手法の選択については今後の課題である。

VR空間の構築については今回はUnityを用いた。触覚フィードバックに関しては,図5のようなアバタハンドをVR空間上に設置し,動作確認を行った。触覚フィードバックは手を全26箇所分割して行った。各指は関節を境目として親指を2分割,他の指を3分割し,手掌部は12分割とした。アバタハンドにオブジェクト接触させ,26箇所全てにおいて触覚刺激がフィードバックされることを確認した。

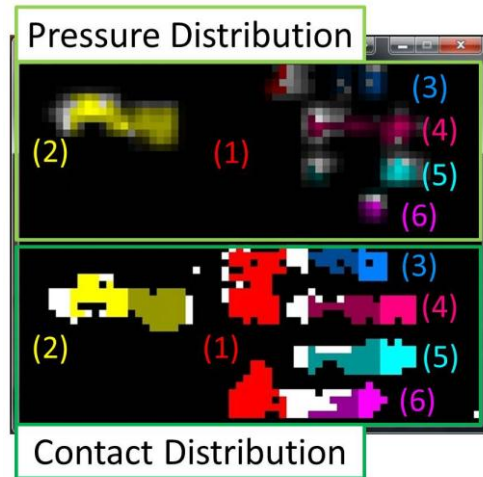


図4: マスタハンドの圧力分布および皮膚の接触状態



図5: 使用したアバタハンド

#### 4. 結論

実世界のロボットハンドまたはVR世界のアバタハンド操作を目的とした触覚フィードバック機能を有する把持型マスタハンドを開発した。触覚提示部分にフィルム状電気触覚ディスプレイ,指姿勢取得部分にフィルム状圧力分布センサを用いることで,簡単な機構での実装を実現した。また,ユーザは円筒を把持する形で使用するため,指先だけでなく手掌部全体への触覚提示を行うことが可能であり,かつデバイスの装着が不必要である。

開発したマスタハンドを用いてVR空間上のアバタハンドを操作するシステムを作成し,動作の確認を行った。アバタハンド操作システムの流れとしては,(1)皮膚インピーダンス計測によるユーザの手とマスタハンド間の接触判定,(2)判定結果に基づく各指の識別,(3)圧力分布に基づく指姿勢の取得およびアバタハンドの指姿勢への適用,を行っている。触覚フィードバックは手全体を合計26箇所分割し,VR空間上に設置したアバタハンドにオブジェクトを接触させることで動作確認を行った。

今後の課題としては,フィードバックする刺激の高解像度化,圧力分布に基づく指姿勢の推定能力の向上,マスタハンドの評価が挙げられる。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 25700020 の助成を受けたものです.

#### 参考文献

- [1] M. Bouzit, G. Burdea, G. Pepescu, R. Boian: The Rutgers Master II – New Design Force-Feedback Glove, Proc. IEEE/ASME Trans. On Mechatronics, vol.7, no.2, pp. 256-263, 2002.
- [2] T. Endo, H. Kawasaki, T. Mouri, Y. Ishigure, H. Shimomura, M. Matsumura, K. Koketsu: Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III, IEEE Trans. Haptics, vol.4, no.1, pp. 14-27, 2011.
- [3] S. Nakagawara, H. Kajimoto, I. Kawabuchi, N. Kawakami, S. Tachi: An Encounter-Type Multi-Fingered Master Hand Using Circuitous Joints, Proc. ICRA 2005, pp. 2667-2672, 2005.
- [4] Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, Naoki Kawakami, Susumu Tachi: Haptic Telexistence, Proc. ACM SIGGRAPH 2007, Article No. 10, 2007.
- [5] K. Sato, S. Komeiji, N. Kawakami, S Tachi: Development of Grip-Type Master Hand “MeiterGRIP”, Proc. ICRA 2009, pp. 3283-3288, 2009.
- [6] P G. Kry, A. Pihuit, A. Bernhardt, M P. Cani: HandNavigator: Hands-on Interaction for Desktop Virtual Reality, VRST 2008, pp. 53-60, 2008.
- [7] M. Achibet, M. Merchal, F. Argelaguet, A. Lecuyer: The Virtual Mitten: A Novel Interaction Paradigm for Visuo-Haptic Manipulation of Objects Using Grip Force, 3DUI 2014, pp. 59-66, 2014.
- [8] 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之: 拡張現実空間における触感覚呈示による仮想キャラクタとのインタラクションシステム, 情報処理学会 インタラクション, 2011.
- [9] H. Kajimoto: Design of Cylindrical Whole-Hand Haptic Interface Using Electrocutaneous Display, EuroHaptics 2012, pp. 67-72, 2012.
- [10] 武井聖也, 渡辺亮, 岡崎龍太, 梶本裕之: フィルム状電気触覚ディスプレイにおける圧力分布計測を用いたフィードバック, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2013.
- [11] H. Kajimoto: Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback, EuroHaptics 2010, pp. 285-291, 2010.