

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870394

研究課題名(和文) 身体に触覚インタフェースを重畳する双方向多重化伝送の実現

研究課題名(英文) Development of A Technique for Superimposing Tactile Interface on Human Body by Bilateral Multiplexing Transmission

研究代表者

吉元 俊輔 (Yoshimoto, Shunsuke)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：00646755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：小型で単純な機構の触覚インタフェースの実現のために皮膚の電気機械特性に着目し、(1)電気インピーダンス計測に基づいて接触情報や手指動作を推定する技術、(2)身体動作や構造を考慮した電気刺激設計により高品質な電気触覚を生成する技術、(3)計測と提示を同一電極で実現する多重化技術を開発し、実対象物の触感の変調や道具操作の教示が可能な触覚拡張現実感システムの構築技術を確立した。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the electromechanical property of the skin to produce an obtrusive tactile interface, we developed the techniques as following: (1) A technique for estimating touch information and hand motion by electrical impedance measurement, (2) A technique for presenting high-quality electrotactile sensation by designing electrical stimulus based on the hand motion and structure, (3) A technique for multiplexing sensor and display signal using common electrodes. As a result, we established a technique for constructing a tactile augmented reality system to modulate the texture sensation of a real material and guide the tool operation.

研究分野：生体医工学

キーワード：触覚ディスプレイ 触覚センサ 電気刺激 多重化 生体電気

### 1. 研究開始当初の背景

人の触覚能力を補綴したり拡張したりすることで、人の動作や対象物の操作を支援する、触覚拡張現実感システムは作業の効率や安全性を向上させる技術として実現が望まれている。特に医療分野や産業分野において、外科手術や質感設計など、触に関わる技を支援する環境の充実が急務であるが、このような分野においては、使用環境を限定しない小型で単純な装置の構造が望まれている。

触覚拡張現実感システムでは、ユーザが対象物に触れた情報を計測し、支援の形態に応じた触覚情報を提示するという、計測と提示技術の統合的な扱いが必要となる。触覚は身体と対象物の機械的な接触による感覚であることから、直接的な計測や提示の手法として機械的な接触が必要となり、小型で単純なシステムを構築することが極めて困難である。このような特徴により、従来の触覚情報の計測や提示手法では機械的な制限が生じることから医療分野や産業分野における実用技術として広く利用されるには至っていなかった。

この問題に対し、研究代表者は、機械的に干渉せず触覚の計測と提示を同時に実現する、つまり身体に触覚インタフェースの機能を重畳するような装置の開発が重要な課題の一つであると考え、要素技術の開発を行ってきた。研究開始当初においては、電気刺激を利用した触覚提示に関する研究を行い、触覚提示装置の装着部位とは全く異なる部位に触覚情報を発生させるための刺激提示手法について詳細に調査することで、指の中節への陰極パルス電流刺激によって指腹部に触覚を生成可能であることを明らかにし、提示における干渉の問題を解決することに成功していた。さらに、対象物と皮膚の間の接触インピーダンスを計測することで対象物に触れた情報を計測する方法について検討し、皮膚と対象物の間にセンサを介在させずに身体の任意の部位から接触力を計測することが可能であることを示していた。これらを踏まえ、次なる段階として、要素技術の高品質化とともに、触覚センサと提示装置を統合し、一つの装置で触覚情報の計測と提示を可能にする双方向多重化伝送により、極めて小型で単純な触覚インタフェースを実現することを課題として抽出していた。

### 2. 研究の目的

本研究では、人の触に関わる動作や操作を記録・推定し、状況に応じて触覚提示を行うことで運動を支援する触覚拡張現実感システムを医療や産業分野で利用可能とするために、使用者に装着感を感じさせないほど小型で単純な機構の触覚インタフェースを実現することを目的としている。その手法として、生体の電気機械特性を利用し、人の触覚を電氣的に計測・提示することで装置の機械的干渉問題を解決する、触覚情報の双方向多

重化伝送という新しい技術を提案・開発し、その効果を明らかにする。期間内には次の三つの段階に分けた個々の技術開発を目指す。

- (1) 計測：触動作の情報を電気インピーダンス計測に基づいて推定する手法の開発
  - 時空間特性：分解能やダイナミックレンジなど、センサの基本性能を明らかにする。
  - 動作認識システム：センサの出力特性を利用して検出可能な触動作を明らかにする。
- (2) 提示：高品質な触覚を重畳提示可能な電気刺激手法の確立
  - 刺激装置の改良：感覚を安定化させるために必要な装置と電極の構成を考案する。
  - 刺激波形の工夫：高品質な感覚を提示可能な電気刺激の制御方法を明らかにする。
- (3) 統合・応用：双方向多重化伝送が可能な触覚インタフェースの実現
  - 多重化手法の検討：共通の電極で計測と提示機能を実現するための手法を考案する。
  - 触覚拡張現実感システム：いくつかの触に関する技能に与える効果を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 計測

対象物と身体や対象物間の電気接触インピーダンスを計測し、接触力の推定を行うとともに、複数の電極により取得された電位と導電体の電位分布モデルによる推定電位から逆問題を解くことで、接触力とその部位を推定する(図1)。また、接触だけでなく手指の動作を推定するために、手首の形状を電氣的に計測するデバイスと多重回帰モデルによる動作推定アルゴリズムを実装し評価を行う。

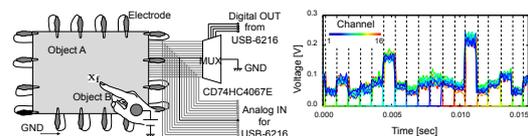


図1 インピーダンス計測による接触位置推定システム

#### (2) 提示

電極と皮膚の接触状態によって、提示可能な感覚が変化する。この問題を解決するために、電極と皮膚の接触状態を安定に保てるような装着型の電極を作製する。また、電気刺激装置の無線小型化に取り組む。電気刺激により生成される感覚を高品質にするために、指先に与えられた実際の機械的な感覚に、電気刺激により生成された感覚を統合することができる刺激パラメータを実験的に明らかにする。

#### (3) 統合・応用

同一の電極で計測と提示の機能を実現するために、通信工学の分野で利用されている多重化伝送の技術を応用する。具体的にはスイッチング回路を導入することで時間分割多重化を行い、センサと提示装置の回路を瞬

時に切り替えながら使用する。実際には、刺激パルスの一つ提示する瞬間に電極をセンサ回路から提示回路に高速につなぎ替えることで多重化を行う(図2)。

基本機能を統合し、道具操作を対象とした触覚拡張現実感システムを構築・評価する。具体的には、基本的な物体操作(押し込み・把持)や医療手技(切開・組織牽引)をタスクとして実験を行い、操作の達成時間や精度からシステムの有効性を検証する(図3)。

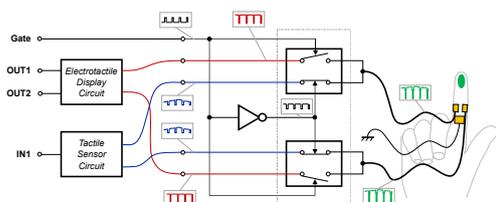


図2 双方向多重化のためのシステム構成

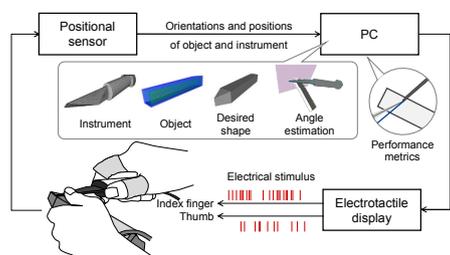


図3 触覚重畳による彫刻作業支援システム

#### 4. 研究成果

##### (1) 計測

生体組織と金属道具の接触状態を計測する、電気接触抵抗の計測システムを提案し、モーショントラッキングシステムを用いた評価を行った。組織の単純な変形操作を行った際の出力と動作の関係を調べたところ両者に相関が認められ、操作状態を計測可能であることが確認された(図4)。

カメラ画像を用いて物体の変形を計測し、指で加えた力を推定する方法を提案し、評価システムとしての利用可能性を調べた。皮膚の変形操作を例に提案システムの出力と較正された力覚センサとの相関を調べたところ、両者の相関が認められ、提案システムの有効性が確認された。

物体における接触力の時空間分布を推定可能な技術を開発し、導電シートと金属の接触を例に評価を行ったところ、接触位置を推定可能であることが確認された(図5)。

手指の姿勢を推定する方法として手首形状の電氣的計測による関節角度推定手法の開発に取り組んだ。予め較正された手指の関節角度を計測可能なデータグローブと提案システムで同時に取得した関節角度のデータを用いて評価を行ったところ、曲げ総量20-33 deg 程度の誤差範囲内で手指動作の推定が可能であることが示唆された(図6)。

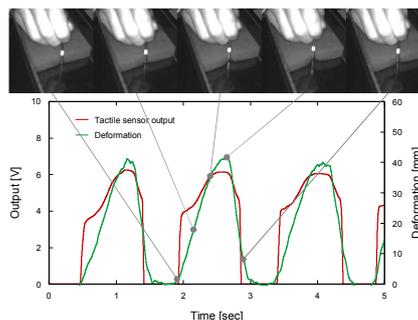


図4 道具と対象物の接触力推定結果

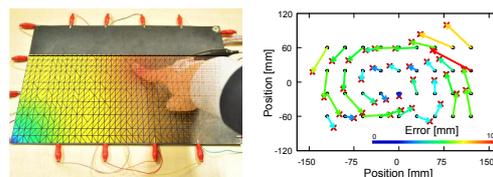


図5 接触位置の推定結果

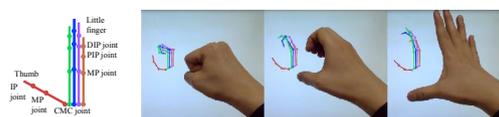


図6 手指動作の推定結果

##### (2) 提示

電気触覚提示装置の小型化、通信の無線化、接触状態の安定した電極の作製に成功した。電極部は弾性率の高い導電性シリコンで生成され、指と密着した状態を保つことで安定した刺激提示を可能とした。

開発した電気触覚提示装置を利用し、電気触覚刺激により指で触れた対象物の質感を電気触覚刺激により変化させることのできるシステムを構築してその知覚特性を評価した。その結果、いくつかの素材の粗さ感覚を電気刺激により制御することが可能であり、実物の触感と電気刺激を組み合わせることで高品質な質感を提示できることが示唆された(図7)。



図7 触覚重畳による質感変調システム

##### (3) 統合・応用

生体電気式触覚センサの計測信号と電気触覚ディスプレイのパルス刺激信号を多重

化するための時分割多重化制御と計測信号の補償方法を提案し、触覚情報の計測と提示が同一の電極で実現されることを確認した。これにより、指中節に取り付けた電極により、指先の触覚を計測すると同時に、人工的な触覚を生成することが可能となり、装置の簡略化が可能となった(図8)。

歯科技工士の歯型彫刻における道具操作支援を具体的応用として選定し、刃物での物体加工時における道具操作を開発した装置を用いた触覚拡張現実感システムにより支援するシステムを構築した。刃物と対象物の相対角度に基づいた指先への触覚フィードバックにより角度教示を行った結果を被験者実験により評価したところ、過剰彫刻を防止し、彫刻の失敗を防止することが可能であることが示唆された(図9)。

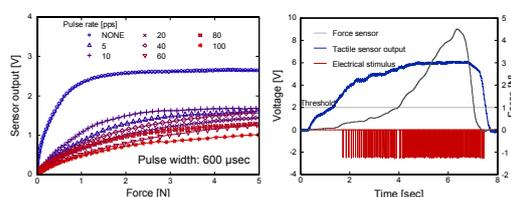


図8 多重化技術の評価結果

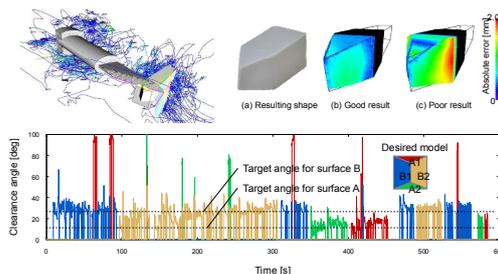


図9 彫刻作業支援の評価結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, O. Oshiro, K. Nozaki, Y. Taga, H. Machi, and H. Tamagawa, "Electrotactile Augmentation for Carving Guidance", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 9, No. 1, pp. 43-53, 2016. (査読有)  
<http://dx.doi.org/10.1109/TOH.2015.2479229>
- ② 川口純輝, 吉元俊輔, 井村誠孝, 大城理, "手首形状に応じた電気接触抵抗からの指角度推定", 電気学会論文誌(論文誌C), Vol. 135, No. 11, pp. 1314-1321, 2015. (査読有)  
<http://doi.org/10.1541/ieejieiss.135.1314>
- ③ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, and O. Oshiro, "Material Roughness

Modulation via Electrotactile Augmentation", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 8, No. 2, pp.199-208, 2015. (査読有)

<http://dx.doi.org/10.1109/TOH.2015.2412942>

- ④ 大野良介, 吉元俊輔, 佐藤宏介, "無装着入力インタフェースのための掌への指先押下の画像センシング", 映像情報メディア学会学会誌, Vol. 68, No. 7, pp. J287-J291, 2014. (査読有)  
<http://doi.org/10.3169/itej.68.J285>

[学会発表] (計10件)

- ① J. Kawaguchi, S. Yoshimoto, Y. Kuroda, and O. Oshiro, "Electromechanical Sensing of Finger Motion Using Wrist Mounted Device", the 12th International Conference on Ubiquitous Healthcare, Osaka, Japan, (2015/11/30).
- ② S. Yoshimoto, J. Kawaguchi, M. Imura, and O. Oshiro, "Finger Motion Capture from Wrist-Electrode Contact Resistance", 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.3185-3188, Milan, Italy, (2015/8/25)
- ③ S. Yoshimoto, M. Imura, and O. Oshiro, "Unobtrusive Tactile Sensing based on Electromechanical Boundary Estimation", 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Milan, Italy, (2015/8/25).
- ④ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, and O. Oshiro, "Texture Modulation of 3D Fabricated Object via Electrotactile Augmentation", Asiahaptics2014, Tukuba, Japan, (2014/11/18).
- ⑤ 吉元俊輔, "指先の触感を変調する小型な電気触覚提示装置", イノベーション・ジャパン—大学見本市, I-37, 東京, (2016/9/11).
- ⑥ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, Y. Uranishi, M. Imura, and O. Oshiro, "Roughness Modulation of Real Materials using Electrotactile Augmentation", Eurohaptics2014, Versailles, France, (2014/6/24).
- ⑦ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, Y. Uranishi, M. Imura, and O. Oshiro, "Tactile Modulator: Roughness Modulation using Electrotactile Augmentation", Eurohaptics2014, Versailles, France, (2014/6/24).
- ⑧ R. Ono, S. Yoshimoto, and K. Sato, "Palm+Act: Operation by Visually Captured 3D Force on Palm", ACM

SIGGRAPH ASIA 2013 Emerging  
Technology 71, HongKong, (2013/11/2).

- ⑨ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, O. Oshiro, and K. Sato, "Smart Sensing of Tool/Tissue Interaction by Resistive Coupling", 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Osaka, Japan, (2013/7/3).
- ⑩ S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, O. Oshiro, and K. Sato, "Electrically Multiplexed Tactile Interface: Fusion of Smart Tactile Sensor and Display", IEEE World Haptics Conference 2013, Daejeon, Korea, (2013/4/25).

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：電極付きゴム手袋とその製造方法、及び手型

発明者：吉元，黒田，大城，丸山，楠田

権利者：大阪大学

種類：特許

番号：特願 2014-201283

出願年月日：2014 年 9 月 30 日

国内外の別：国内

○取得状況 (計 1 件)

名称：空間透明型触覚提示装置および道具操作支援システム

発明者：黒田，吉元，大城

権利者：大阪大学

種類：特許

番号：特許 5549979 号

取得年月日：2014 年 5 月 30 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://oshiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/people/staff/yoshimoto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉元俊輔 (YOSHIMOTO, Shunsuke)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：00646755