

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25700020

研究課題名（和文）実時間身体構造計測を基盤とした超高品位触覚呈示の実現

研究課題名（英文）High definition haptics display based on real-time body measurement

研究代表者

梶本 裕之（Kajimoto, Hiroyuki）

電気通信大学・情報理工学（系）研究科・准教授

研究者番号：80361541

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,800,000円

研究成果の概要（和文）：電気刺激を用いた触力覚の提示に関して次のことを実現した。まず触覚に関して、圧力分布センサを用いて皮膚の押下力分布に応じた電気刺激を与える手法を考案、評価した、また複数の応用用途を開拓した。VR用途への応用、スマートフォン応用、視覚障害者向け視覚触覚変換への応用を行った。力覚に関して、研究者がこれまでに提案してきた腱への電気刺激による力感覚の生起を詳細に検討した結果、確かに力覚を生じること、手首付近への刺激の場合に最大で250g程度の力を感じることが明らかとなった。またこのとき生起する力感覚の方向は、筋刺激で生じる力の方向とは逆方向であり、このことから筋刺激による現象でないことは確認された。

研究成果の概要（英文）：With respect to presenting haptic sensation using electric stimulation, the following has been realized. With regard to tactile sense, we devised and evaluated a method to apply electrical stimulation according to the distribution of pressing force of the skin using pressure distribution sensor. We also pioneered several applications. Application to VR, application to smartphone, and application to visual tactile transformation for visually handicapped person have been developed. With regard to force sense, we conducted detailed investigations of the occurrence of force sensation due to electrical stimulation to the tendon, and confirmed that the sense of force is elicited by the tendon stimulation from skin surface, and it reaches to 250 g. The direction of force sensation occurring at this time is opposite to the direction of force generated by muscle stimulation, which implies that it is not a phenomenon due to muscle stimulation.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ ヒューマンインタフェース 電気刺激 インピーダンス 触覚

1. 研究開始当初の背景

iPhone 等のマルチタッチデバイスが象徴するように、触覚は人類に新たな価値を提供すると期待され、米国電気学会に触覚専門誌が創刊されるなど産学両面で活発化している。その一方でここ 10 年ほどの間、実は触覚呈示の基盤的技術はほとんど進歩していない。触覚は皮膚感覚と力覚（深部感覚）とに分けることができるが、皮膚感覚についてはほとんどの呈示手法で微細化と周波数レンジにトレードオフ関係があり、指先に対応した高い空間解像度と圧覚から振動覚までの幅広い周波数レンジを同時に実現する目処は立っていない。最近ではタッチパネルという爆発的なニーズに押されたテクスチャ感覚呈示の開発事例は数多いものの、呈示できる材質感に限られている。また力覚については大型の機械装置を必要とするという点では 80 年代から原理的な変化は少なく、例えば手掌部への力覚呈示を行なうマスタハンドは、膨大なコストを掛けて指先のみにも力覚を呈示するにとどまっていた。

かかる状況に対して申請者は、古典的な電気刺激による触覚呈示が原理的に最も素性がよく、今こそ再度取り組むべき課題であると考えた。

電気刺激は神経刺激であるため機械的共振に伴う時定数の問題とは無縁であり、小型かつフレキシブルな構成が可能である。皮膚感覚に対しては、皮膚表面電極からの電流によって感覚呈示できることは古くから知られており、申請者自身の研究により圧覚から振動感覚まで幅広く呈示できることが明らかとなっている。力覚に対しても同様に皮膚表面電極からの電流によって筋を駆動できることは古くから知られており、この筋活動を利用した簡便な力覚呈示手法が提案されている。

しかしいずれの手法も、電気刺激にまつわる感覚量の調整の難しさ等の課題によって現実的な触覚呈示手法の地位を確立出来ていなかった。

2. 研究の目的

(1) 電気刺激による皮膚感覚呈示において、刺激と同時に皮膚インピーダンス計測を行い、皮膚の層状構造をリアルタイムに推定する。この情報を用い、発汗のみならず皮膚厚の個人差や押圧の変化に対応した最適刺激を実現する。

(2) 電気刺激による力覚呈示において、刺激と同時にインピーダンス CT を行い、筋骨格の 3 次元構造をリアルタイムに推定する。これにより運動等による筋の変動に対処した最適刺激を実現する。

3. 研究の方法

(1) 電気刺激における感覚量の制御の問題に関しては、インピーダンス推定等に基づく制御手法を高精度化し、従来単電極で実現さ

れていた感覚安定化を数百点程度の多電極で実現する。さらに圧力分布センサも併用して高精度化する。

(2) 電気刺激を用いた力覚の提示に関しては、当初想定とは異なり、身体運動計測用の高精度なセンサが安価に入手可能となったため、インピーダンス CT を用いたリアルタイムフィードバックは行わず、腱電気刺激によって生起する力覚の生起現象の解明に集中した。

(3) さらに当初の計画に追加して、電気刺激を用いたアプリケーションを複数提案、評価した。

4. 研究成果

(1) 多点電極での触覚提示

インピーダンス依存制御

従来から申請者はインピーダンスに依存した電流パルス幅の調整によって感覚安定化できることを見出していたが、同じ手法を従来よりもはるかに刺激点数の多い状況に対して適用し、手掌部全体に対する触覚呈示の安定化を実現した。一方でインピーダンス依存制御だけでは解決しない問題、例えば手掌部の拇指球付近は最も感覚を強く生じ、小指付け根付近の感覚が弱いというばらつきの問題を見出した。

こうした問題に対応するため、2 つの戦略をとった。第一に圧力分布センサを用いて皮膚の押下力分布に応じた電気刺激を与える手法である（図 1）。この手法は指先に対して一部実現されてきたものであるが、手掌部全体に行うことによって感覚の不快感が劇的に軽減されることが確認された。第二の戦略は、手掌部の接触する形状を画像と見立てたパターンマッチングにより手掌部と電極との位置を推定し、強く感覚を生じる傾向のある部分の触覚呈示を抑えるという手法である。この手法では電極マトリクスに接した手掌部の指および関節の位置を特定することに成功した。

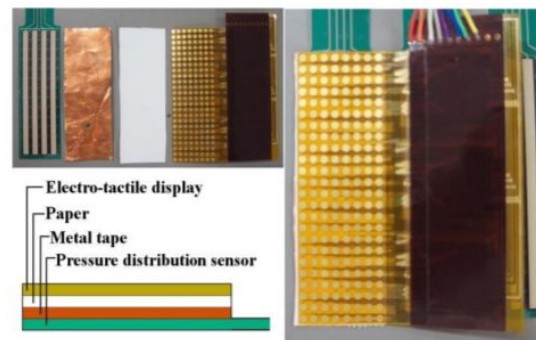


図 1 電気刺激および圧力分布計測

VR 用途への応用

1536 点の円筒形電気刺激装置を力覚提示装置と組み合わせた（図 2）。これによりユーザはバーチャルリアリティ空間中で自由に手を動かし、バーチャルな物体を把持するという基本的な仕組みが構築された。また実験

の結果、押下圧力の変化に応じた電気触覚の提示面積の変化によって柔らかさなどの触覚的特徴を表現可能であることが確認された。

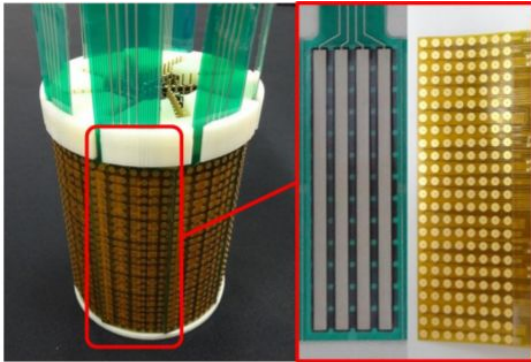


図 2 把持型マスタハンド

タッチパネルへの応用

スマートフォンへの応用を念頭に、画面上の操作する指と異なる指に触覚を提示することで、画面に触覚提示装置を搭載する必要がないシステムを構築した。

実験は、操作指が利き手の指であるか否か、触覚を提示する指が利き手の指か否か、という合計4条件で行い、認識に要する時間と正確性を調べた。この結果、利き手か否かにかかわらず、片手で操作と認識を行うほうが正確性は向上し、作業時間も低減することが示された。これは運動と認識を脳の片側半球に留めるという意味で自然な結果であるといえる。

さらに幾つかの応用システムを作成した。ギターのアニメーションなどを表示するデモシステムを作成するとともに、多点刺激によって指先に文字を一筆書きすることによって文字情報を伝送する手法を考案、検証した。



図 3 スマートフォン裏面への触覚提示

電気刺激と機械刺激との組み合わせ検討マトリクス状の電極の間にマトリクス状の機械振動ピンを配置することによって、電気刺激と機械刺激で合算した高解像度な呈示が可能となることをしめした(図4)。さら

に機械刺激によって静的な圧力感覚、電気刺激によって動的な運動感覚を提示できること、および機械刺激自体によって電気刺激の痛覚閾値を低減できることを示した。

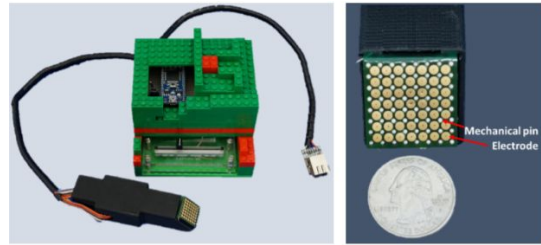


図 4 電気刺激と機械刺激の併用

視覚 - 触覚変換への応用

スマートフォンに搭載されたカメラからの画像を触覚に変換し、主に視覚障害者が周囲環境を把握するシステムを構築した(図5)。

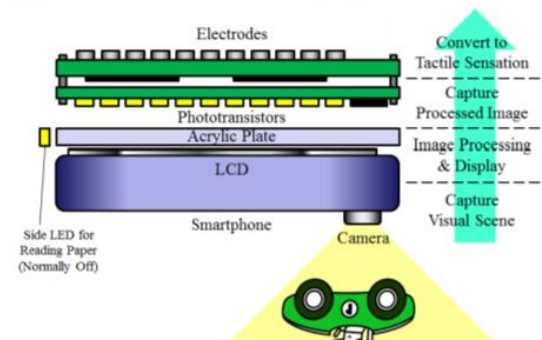


図 5 スマートフォンを用いた視触覚変換

(2)深部刺激による筋刺激

水中電気刺激

電気刺激によって筋刺激を行う手法の一つとして、まずあえて身体を水中に沈めて電気刺激することで電極 - 皮膚間のインピーダンスの時間変化を抑える手法を試みた(図6)。多電極対応の筋電気刺激装置を新たに開発し、前腕周囲に並べた8つの電極と前腕との間に水の存在する状況で触覚呈示が実現可能であることを確認した。

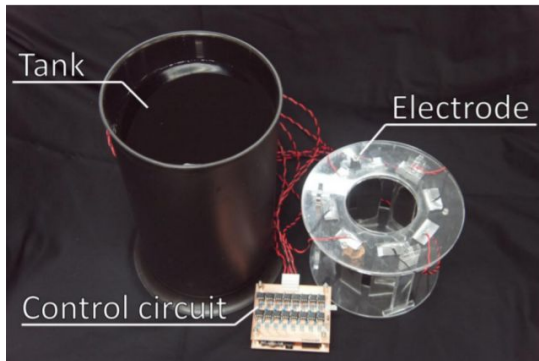


図 6 水中での電気刺激

腱電気刺激

研究者がこれまでに提案してきた腱への電気刺激による力感覚の生起を詳細に検討した。従来の電気刺激による力覚提示は多くの場合筋肉の活動を生じさせることでその筋力自体を感じさせるものであるが、今回はあえて腱の部分を電気刺激することで、腱近傍に存在すると思われる深部受容器を刺激することを狙った(図 7)。実験の結果、確かに力覚を生じること、手首付近への刺激の場合に最大で 250g 程度の力を感じる事が明らかとなった。またこのとき生起する力感覚の方向は、筋刺激で生じる力の方向とは逆方向であり、このことから筋刺激による現象でないことは確認された。

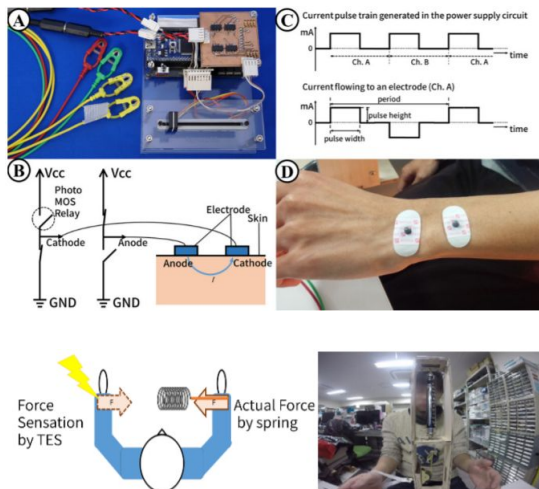


図 7 腱電気刺激による力覚生起

クロスモーダル力覚提示

腱への電気刺激による力感覚の生起を、視覚や触覚と組み合わせた際のリアリズムの評価を行った(図 8)。前腕を VR 空間に配置し、障害物が手に当たる映像を見せると同時に、掌に振動を、腱部に電気刺激による力覚を呈示する。これによってリアリズムが向上するばかりでなく、腱電気刺激単独では成立しなかった早い運動での力覚呈示も実現可能であることが示唆された。

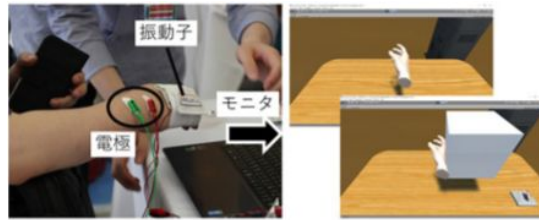


図 8 クロスモーダル力覚提示

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 5 件)

Sugarragchaa Khurelbaatar, Yuriko Nakai, Ryuta Okazaki, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto: Tactile Presentation to the Back of a Smartphone with Simultaneous Screen Operation. Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems 3717-3721 DOI:

10.1145/2858036.2858099 査読有

Seiya Takei, Ryo Watanabe, Ryuta Okazaki, Taku Hachisu, Michi Sato, Hiroyuki Kajimoto: WholeGrip: Grip Type Master Hand with the Whole Hand Tactile Feedback. ACM SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies. DOI:

10.1145/2818466.2818490 査読有

Ryuta Okazaki, Hiroyuki Kajimoto: Perceived Distance from Hitting with a Stick Is Altered by Overlapping Vibration to Holding Hand, CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 1903-1908 DOI:

10.1145/2559206.2581244 査読有

Hiroyuki Kajimoto, Masaki Suzuki, Yonezo Kanno: HamsaTouch: Tactile Vision Substitution with Smartphone and Electro-Tactile

Display, CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 1273-1278 DOI: 10.1145/2559206.2581164 査読有
Taira Nakamura, Manami Katoh, Taku Hachisu, Ryuta Okazaki, Michi Sato, Hiroyuki Kajimoto: Localization Ability and Polarity Effect of Underwater Electro-Tactile Stimulation, EuroHaptics 2014: Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications pp 216-223 DOI: 10.1007/978-3-662-44193-0_28 査読有

〔学会発表〕(計 15 件)

Akifumi Takahashi, Kenta Tanabe, Hiroyuki Kajimoto: Relationship between Force Sensation and Stimulation Parameters in Tendon Electrical Stimulation. AsiaHaptics2016, Nov.29, 2016, 三井ガーデンプレイス(柏の葉 茨城県, 柏市)

Sugarragchaa Khurelbaatar, Hiroyuki Kajimoto: Tactile display combining electrical and mechanical stimulation. EuroHaptics2016 July 4. 2016. London (United Kingdom)

Sugarragchaa Khurelbaatar, Yuriko Nakai, Ryuta Okazaki, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto: Tactile Presentation to the Back of a Smartphone with Simultaneous Screen Operation. EuroHaptics2016 July 4. 2016. London (United Kingdom)

Sugarragchaa Khurelbaatar, Yuriko Nakai, Ryuta Okazaki, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto: Tactile

Presentation to the Back of a Smartphone with Simultaneous Screen Operation. CHI 2016 Interactivity. May.7, 2016. San Jose (United States)

〔図書〕(計 2 件)

H. Kajimoto: Electro-Tactile Display: Principle and Hardware. In Pervasive Haptics, Science, Design, and Application, Springer Japan, pp.79-96, 2016.

H. Kajimoto: Haptic Interfaces that Induce Motion and Emotion. In Pervasive Haptics, Science, Design, and Application, Springer Japan, pp.265-274, 2016.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: タッチパネル操作に対応する触覚提示装置、触覚提示方法、触覚提示用プログラム、および触覚提示装置を搭載した携帯端末
発明者: フレルバータル ソガルラグチャー、中井 優理子、梶本 裕之
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2015-051812
出願年月日: 2015/3/16
国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
<http://kaji-lab.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶本 裕之 (KAJIMOTO Hiroyuki)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
准教授
研究者番号：80361541