

触覚フィードバックを用いた体性感覚の操作

発表者： 総合情報学専攻メディア情報学コース 学生番号 1230033 栗原洋輔
主任指導教員： 梶本 裕之 准教授 指導教員：高玉 圭樹 教授

1. はじめに

人間が自らの肉体に対して持つ興味は大きい。多くの人間は体力的・知能的・美的な面で優れた肉体を欲すると考えられ、また特殊な体を持つ空想上のキャラクターに憧れ人間とは異なる身体に興味を持つ者いるであろう。

しかし身体機能の向上のためには通常長期間の継続した訓練を必要とし、人間とは異なる身体への変身は現状不可能である。科学技術の発展に伴い肉体形状および運動機能への物理的な介入方法 (i.e., 薬物投与, 外骨格スーツ等) が広まりつつあるが、高い身体的リスクと金銭的コスト、複雑な装置を必要とするため誰もが気軽に利用できるものではない。

このような背景から本研究では、人体そのものに介入するのではなく、人体が生成する感覚である体性感覚 (触覚の生理学的呼称) を操作することで人体の特性を主観的に操作することを試みる。主に身体運動に同期させて人体外部から機械的な触覚刺激を与えることで、運動に伴う身体そのものの感覚を操作する。これにより低リスク・低コスト・簡便な機構による人体特性の操作が実現できると考えられる。

2. 本研究の戦略：体性感覚の増強と操作

本研究における体性感覚の操作は、「増強」と「変調」という2つの戦略によって構成される (図 1)。各戦略に基づいた具体的な手法をそれぞれ 2 件ずつ開発・検証し、さらに体性感覚操作を全体的に行うための道具である触覚ディスプレイを開発した。

戦略 1. 体性感覚の増強

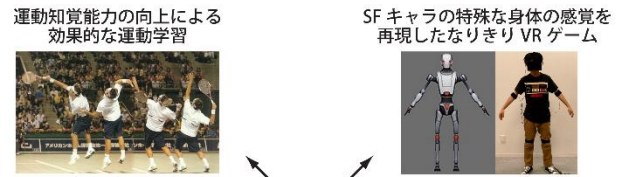
体性感覚の増強とは、身体運動に伴う自己身体からの触覚的の感触をより鮮明に、あるいは詳細にすることで自己姿勢を把握する能力を高めるものである。つまり体性感覚の量的な操作である。

本戦略は主に運動学習に効果的であるとされる。触覚フィードバックを用いた運動教示手法は多数提案されているが [1]、その多くが「触覚刺激に従って運動を行う」という受動的な学習方法であった。この結果訓練者の運動目的が触覚刺激に従うことになってしまい、本来学ぶべきである自ら能動的に身体を動かす能力が身につけにくい状況にあったと考察できる。

一方、本研究で提案する体性感覚の増強は訓練者自身の新たな体性感覚として機能し、自己の運動状態を把握させ、自ら運動を修正させる。これにより訓練者自ら能動的に身体を動かす技術が身につけやすくなると考えられる。

本戦略に基づき 2 つの具体的な手法を提案した。

手法 1-1. 腕立て伏せ時の「カチカチ感」付与による運動感覚の増強：自動車内のエアコン調整ダイヤルのようなロータリスイッチは、回転運動に対する触覚・力覚フィードバック「カチカチ感」をもつ。私はこれを肘屈伸運動に付与し運動感覚を増強することを提案し、正しい腕立て伏せ姿勢 (深い肘屈伸) の教示を試みた。カチカチ感付与により深い肘屈伸が助長されるか検証した結果、予想とは異なり姿勢教示は達成できなかった。しかし、運動後の主観的な達成感を増幅する効果と、繰り返し同じ運動を続けることができる効果の 2 つが新たに示唆された。



目的：人体特性の操作

物理的に操作しなくても本質的には等価 ↑ 低リスク・低コスト・簡便な機構での実現

手法：体性感覚の操作

(人体特性の知覚的な操作)

戦略 1. 体性感覚の増強

量的な操作

- 動きがより鮮明に分かる
- 位置がより鮮明に分かる
- 運動量が増えたように感じる

手法 1-1. 腕立て伏せ時の「カチカチ感」付与による運動感覚の増強



手法 1-2. アクセルペダルへのクリック感付与による操作性向上

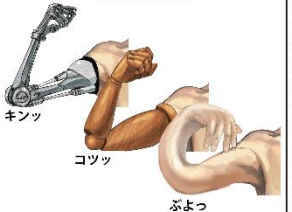


戦略 2. 体性感覚の変調

質的な操作

- 重さ感が変わる
 - 大きさ感が変わる
 - 摩擦感が変わる
- 材質・構成が変わる

手法 2-1. 周期的な衝撃振動フィードバックによる身体材質感の変調



手法 2-2. ロボット振動の記録・モデリング・再生を用いたロボットの体性感覚の再現



触覚ディスプレイ

(体性感覚操作のための道具)

- [全身性]
 - 身体広範囲への対応
- [再現性]
 - 身体部位・ユーザごとにばらつきのない刺激
- [体験容易性]
 - 体験準備に時間・手間がかからない

道具 1. 発泡ビーズの振動伝達を用いた広範囲触覚ディスプレイ



図 1. 本研究の系統図

手法 1-2. アクセルペダルへのクリック感付与による操作性向上：アクセルペダルの踏み込み量を把握するための触覚的の感触として、踏み込み量に同期したクリック感振動を呈示することを提案した。ペダル操作における体性感覚を増強することで操作性と運転技術の向上をねらい、結果としてドライバーに安全運転を促進させることを試みた。ドライビングシミュレータを用いてラップタイムとコースアウト確率の測定実験を行い、クリック感付与によって安全運転が促進されることを明らかにした。

戦略 2. 体性感覚の変調

体性感覚の変調とは、自己身体の硬さや重さといった性質を変化させることであり、結果として身体を構成する材質・構造を主観的に変化させることを意味する。これは体性感覚の質的な操作に相当する。

これまでも物体の触覚的な材質・構造特性を操作する技術は数多く研究されてきた[2][3]。また人間の運動の錯覚や身体保持錯覚（自己の身体感覚が別の対象に帰属される現象）についても報告がある[4]。しかしながら、人体の材質・構造特性を操作する研究は未開拓であるといえる。

本戦略では、物体の材質・構造特性を操作する手法を人体に適用し、さらに身体保持錯覚を応用することで、まるでSFキャラクターのような特殊な材質・構造の人体を再現することを試みる。本戦略を2つの手法で具体化した。

手法 2-1. 周期的な衝撃振動フィードバックによる身体材質感の変調：材質ごとに異なる衝突振動を再現する減衰正弦波モデル[2]を用いて身体材質感の変調を提案した。肘関節の角度が一定値変化する度にゴム・木材・アルミニウムの振動を呈示するシステムを開発し、これを用いて各材質の判別実験を行った。実験の結果、被験者は3つの材質を正しく判別できたことが示され、本手法によって肘関節に各材質の触覚的特性を付与できることが証明された。

手法 2-2. ロボット振動の記録・モデリング・再生を用いたロボットの身体感覚の再現：ロボットキャラクターの身体がもつ金属フレームやモータ・ギヤ構造の感覚を人間に再現する手法を提案した。実際のロボットアーム駆動中に関節に生じる振動を記録・モデリングし[3]、これを人間の関節運動に同期させて再生することで、ロボット駆動に伴う摩擦振動感を自己身体の感覚として知覚させることを試みた。ロボット感評価実験の結果、ロボットの見た目と音に加え振動を呈示することがよりロボットらしい体験に繋がることを示した。

さらに現実感の高いロボット感体験を実現するため、視覚・聴覚・触覚全てにおいてより高品位な刺激を呈示するバーチャリアリティゲーム「Jointonation」を開発した(図 2)。本ゲームでは人間サイズのロボットと巨大ロボットの感覚を異なる振動で再現し、またロボットの運動停止時に見られるような衝撃振動の呈示も行った。国際会議でのデモンストレーション等を通じて、本システムが高い現実感を持つロボットらしい身体感覚を再現していることを示した。

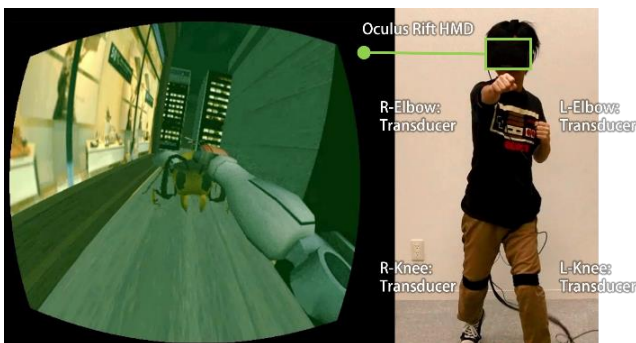


図 2. ロボット感体験 VR ゲーム「Jointonation」

道具 1. 発泡ビーズの振動伝搬を用いた広範囲触覚ディスプレイ：体性感覚の操作を身体広範囲に適用するためには、現在実現されていない3つの要素を満たす触覚ディスプレイが必要であると考えた。第一に身体広範囲に対応する「全身性」、第二に身体部位・ユーザごとにばらつきのない刺激を呈示できる「再現性」、第三に体験の準備に時間・手間がかからない「体験容易性」である。

私はこれらを同時に満たすため発泡ビーズの減圧を用いた振動伝搬機構を設計し、身体広範囲に（全身性）、均等に（再現性）、簡便な機構で（体験容易性）振動刺激を呈示する触覚ディスプレイを開発した。また振動知覚実験を行い本システムが身体広範囲に振動を伝搬させることを確認した。さらに身体広範囲への触覚呈示が身体内部の感覚を生成することを利用して、脚内部で花火が爆発しているような感覚を呈示する装置「からだ花火」を開発した(図 3)。主に子供を対象としたデモンストレーションを行い、広範囲触覚呈示による体内感覚の再現が多くの子供に喜ばれる魅力的なコンテンツとして受け入れられることを確認した。



図 3. 「からだ花火」体験の様子

3. おわりに

本研究の目的は、低リスク・低コストかつ簡便なシステムによる人体特性の操作であった。これを実現するため、身体外部からの触覚刺激を用いた体性感覚の操作を提案し、人体の主観的な特性を変化させることを試みた。体性感覚の量的な操作である「増強」と質的な操作である「変調」という2つの戦略を定義し、合計4つの具体的な手法と新しい広範囲触覚ディスプレイの開発について述べた。

これらの手法は、これまでに人体の直接的操作で用いられてきたような高リスク・高コスト・複雑な装置を要する手法ではない。したがって、本研究の目的を満たした人体特性の操作技術が実現したと考えられる。

一連の研究結果から、体性感覚の操作はユーザの行動にも変化をもたらすことが示唆された。例えば Jointonation システム(手法 2-2)では、運動停止時の衝撃振動に合わせて急に動き出し急に止まるといったロボットダンスのような動きになった。またカチカチ感呈示装置(手法 1-1)を装着したユーザは、カチカチとした触覚に心地よさを感じ何度も肘を屈伸する傾向が見られた。このように感覚だけではなく行動にまで変化が見られたことは特筆すべき興味深い事項であり、今後より詳しい検証が必要であるといえる。

参考文献

- [1] J. B. F. van Erp et al.: Application of tactile displays in sports: where to, how and when to move. Proc. of the Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.90-95, 2006.
- [2] A. M. Okamura et al.: Reality-based models for vibration feedback in virtual environments. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 6(3):245-252, 2001.
- [3] J. M. Romano et al.: Creating realistic virtual textures from contact acceleration data. IEEE Transactions on Haptics, 5, 109-119, 2012.
- [4] M. Botvinick et al.: Rubber hands “feel” touch that eyes see. Nature, 391(6669):756, 1998.