

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	皮膚感覚の拡張と転送を利用した運動機能サポートに関する研究
研究機関・部局・職名	東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
氏名	昆陽 雅司

【研究目的】

本研究の目的は、運動時に皮膚で感じる運動感覚を増幅・拡張、あるいは、他の部位に転送することにより、運動機能をサポートする技術の基礎を確立することである。ヒトの皮膚感覚がもつ役割と機能を見直すことにより、革新的な運動支援技術を提案する。具体的には、研究代表者が取り組んできた、皮膚刺激を用いた疑似運動感覚呈示の技術を、直感的な触覚インタフェースや、歩行等の全身運動のサポートへと発展させ、基礎技術を確立する。研究課題は、以下の理論化フェーズ応用フェーズに分けて設定し、両者を平行して研究開発することで相乗効果を狙っている。

(1) 理論化フェーズ

(I) 接触を伴う皮膚の動的変形のモデリングと疑似運動感覚の生成

動的な皮膚変形の挙動を詳細に計測し、運動時の皮膚変形と触覚受容器活動との関係に基づき慣性感と粘性感を表現する疑似力覚呈示法を考案する。また、複数の隣接する振動刺激を皮膚に加えた際の動的変形をモデリングし、効果的な振動提示法を提案する。

(II) 筋骨格系を考慮した振動伝搬のモデリングと疑似運動感覚の生成

全身運動時に、接触部の衝突による振動が、筋骨格系を介して伝搬する様子を計測し、モデリングする。このモデルに基づき、皮膚刺激の増幅・転送や、身体の複数部位への皮膚刺激による疑似運動感覚の生成などの手法を開発する。

(III) 道具を把持した際の皮膚変形のモデリングと疑似運動感覚の生成

ヒトがペンやナイフなどの道具を把持したときに、道具に加わる外力を知覚できるメカニズムに着目し、複数点の皮膚刺激により道具の疑似運動感覚が生成することを検証する。

(IV) 皮膚刺激による感覚の増幅・拡張が運動生成に及ぼす影響の調査・検証

皮膚刺激によって、歩行運動や上肢の運動に影響を及ぼすことを調査・検証する。とくに、高周波の振動情報が、対象物と衝突する際の身体のインピーダンス調整に影響を与えることを検証する。インピーダンス調整とは複数の拮抗筋の活動によって、環境と接触した際の体の剛性・粘性・慣性などを調整することである。

(2) 応用フェーズ

(I) 高齢者の転倒防止・歩行支援を目的とした運動機能サポート技術の開発

歩行時の振動情報計測および刺激生成が可能な装着型装置を開発し、日常環境の中で、感覚の増幅・転送による歩行支援技術の有効性を検証する。

(II) 疑似運動感覚を利用したリハビリ・トレーニング支援技術の開発

下肢のインピーダンス調整機能を簡易的に評価する手段として、ペダリング運動を用

いた運動調整機能評価装置を開発し、その有効性を検証する。

(III) 疑似運動感覚を利用した直感的な入力インタフェースの開発

携帯情報端末のポインティングスティックやタッチパネルなどを対象に、皮膚刺激による疑似力覚呈示により、高齢者や初心者にも安心して適切に操作できる入力インタフェースを開発する。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

ほぼ当初の計画に従って十分な成果が得られており、特に理論化フェーズにおいて極めて興味深い知見がいくつか得られている点が評価できる。すなわち、理論フェーズ（4項目）と応用フェーズ（3項目）に対して、項目毎の進捗状況はほぼ計画通りに目的が達成された。項目によっては当初計画より発展している。特に、インピーダンス知覚に高周波振動情報が関与している点や歩行運動中に下肢足関節や膝関節に200Hz以上の高周波振動が伝播していることを世界に先駆けて実験的に確認している等、当初予想していなかった結果や発見が出ている点は評価される。今後、実際の運動サポート機器や触覚・力覚インタフェースへの応用について、関係企業との連携を進める等、実用化へ向けての計画を積極的に進めていただきたい。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

本研究課題は、運動時に皮膚で感じる運動感覚を増幅、拡張、あるいは他の部位に転送することにより、運動機能をサポートする技術の確立を目指している。そのために、本研究課題では、以下の2フェーズ、7項目のサブテーマを掲げ、研究を進めてきた。

(1) 理論化フェーズ

(I) 皮膚変形の動的モデリングと疑似運動感覚の生成については、提案したモデリング手法により慣性感と粘性感を疑似的に与えることが示され、また振動刺激を静止した面と同時に触ると感覚感度が向上する現象を発見している。

(II) 筋骨格系を考慮した振動伝搬モデリングと疑似運動感覚の生成については、実際の歩行動作を計測して振動現象の存在を確認するとともに、振動波形の特徴から踵接地、つま先離地のタイミングを識別し、歩行の状態遷移を推定する手法を開発している。

(III) 道具を把持した際の皮膚変形のモデリングと疑似運動感覚の生成については、吸引圧を用いて皮膚接触面内部の触覚受容器の活動分布を制御する手法を確立する

とともに、ペン型疑似力覚インタフェースを開発し、5自由度の力覚呈示が可能であることを示している。

(IV) 皮膚刺激による感覚の増幅・拡張が運動生成に及ぼす影響の調査・検証については、高周波振動刺激によってインピーダンス調整が行われていることを実験的に検証している。

(2) 応用フェーズ

(I) 高齢者の転倒防止・歩行支援を目的とした運動機能サポート技術の開発については、振動情報の計測と刺激生成が可能な装着型装置を開発し、基礎実験を行ったが、高齢者による実験までは展開できなかった。

(II) 疑似運動感覚を利用したリハビリ・トレーニング支援技術の開発については、ペダリング運動を対象とした運動調整能力評価装置を開発し、インピーダンスの検定や剛性、粘性、慣性パラメータの推定などの基礎実験を行っている。

(III) 疑似運動感覚を利用した直感的な入力インタフェースの開発については、慣性・粘性感呈示を利用した形状提示などの技術を開発してきている。

以上のように、基礎研究と応用研究をバランスよく進めてきており、項目によって多少の差はあるもののほぼ当初の計画に沿って順調に進捗し、当初の目的をほぼ達成している。なお、理論化フェーズ(II)の項目について研究期間内に実験が完了せず、限定的なものになった。この理由は、当初の実験装置の不具合によって代替装置の準備に時間を要したためである。疑似運動感覚の生成に個人差の大きい現象があり、現在も刺激条件や被験者を増やして検証を行っている。また、応用フェーズ(I)では、現在は健常者を対象に、振動刺激の影響を調査するための基礎実験で利用しており、活用範囲は限定的である。安全性を確保した上で、高齢者への実験を開始する必要がある。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

運動中の感性や粘性などのインピーダンスの知覚と高周波振動情報との関係、歩行中の下肢足関節、膝関節における 200Hz レベルの高周波振動伝播の発見、吸引圧刺激デバイスによる圧覚提示、レファレンス情報と振動情報の両提示によるハプティクス情報提示の感度向上等、先進的な研究成果をあげている。また、皮膚上の隣接する振動刺激の位相を制御することで局所的なひずみエネルギーの重畳を作り出し、従来の振動刺激では困難とされてきた鮮明なライン形状の提示の実現に成功した点は当初目的の延長線上にあるとはいえ特筆すべきであり、当初計画以上の成果である。

このことは生体機能・機構とシステム論を融合した新たな学際領域を切り開き、皮膚感覚の拡張と運動制御に直接的に応用できるものであり、今後幅広い応用分野に適用できる可能性が高い。

④ 研究成果の効果
・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が (<input checked="" type="checkbox"/> 見込まれる ・ <input type="checkbox"/> 見込まれない)
・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が (<input checked="" type="checkbox"/> 見込まれる ・ <input type="checkbox"/> 見込まれない)
理論面では、新たな知見がいくつか得られており、この分野の活性化をもたらすものと考えられる。同時に応用面でも皮膚感覚を積極的に利用する運動制御やインタフェースの利用は新たな機器開発を促進する可能性がある。高齢者の生活の質を維持するための自立支援はわが国の重要な課題となっており、本研究課題が対象とする運動機能サポートはそのための重要な技術の一つとなり得る。研究成果の応用として、義手、義足、ロボットハンド、スマートフォンへの応用の広がりがあり、かつ、実用性が高いので、世界が直面している高齢化社会へ高い技術貢献が期待できる内容である。

⑤ 研究実施マネジメントの状況
・適切なマネジメントが (<input checked="" type="checkbox"/> 行われた ・ <input type="checkbox"/> 行われなかった)
<p>研究計画について、随時適切な修正を行いながら当初の目的達成に向けて順調に進めてきた。</p> <p>研究実施体制について、人員の確保に少し苦勞したようだが、全体として問題はなかった。</p> <p>研究実施におけるマネジメントについて、進捗状況を適切に管理し、研究方向を適切にコントロールしながら進めることができている。</p> <p>助成金について、有効に利活用されている。</p> <p>指摘事項について、現実的に対応可能な範囲において適切に対応できており、問題なかった。論文発表、会議発表については十分な研究成果の公表が行われている。興味深い成果が数多く得られており、特許出願・取得についても今後さらに積極的に行うべきである。公開講座、オープンキャンパス等で積極的に情報発信している点を評価する。各種展示会等、関連業界との関係を深める機会を今後も積極的に持つことを期待する。</p>