様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　５年　６月１７日現在

機関番号：１２１０２
研究種目：挑戦的研究（萌芽）
研究期間：2021～2022
課題番号：２１Ｋ１９７７８

研究課題名（和文）身体粘弾性への適応による身体調和型ハプティクス

研究課題名（英文）Body-harmonized haptics through adaptation to body viscoelasticity

研究代表者
黒田　嘉宏（Kuroda, Yoshihiro）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：３０４０２８３７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　4,400,000円

研究成果の概要（和文）：競技スポーツやダンスなど、筋の緊張・弛緩により動的に変化する身体の柔軟性に適応し、素早い姿勢変化や運動を高精度に教示することが可能な新たな力触覚提示の形態「身体調和型」の実現を目指し、薄型圧力分布センサおよび吸着型センサ固定部の開発や剪断力提示装置を用いた滑り評価を行った。その結果、厚さ200 μmの薄型センサでの圧力検出（5 N以下）と接触位置推定（誤差10 mm以下）および誘導時における意図しない滑りの抑制が確認され、「身体調和型」の実現に向けた成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
従来、人間情報学分野においてユーザの動作を誘導・教示する身体装着型のハプティクス技術が研究されている。一方、身体が柔軟性を有することから所望の誘導・教示ができないという課題があった。本研究により、筋の緊張・弛緩により動的に変化する身体の柔軟性に適応した誘導・教示の基本となる圧力検出、接触位置推定および滑り抑制の技術が実現し、新たな力触覚提示の形態「身体調和型」の技術および概念が具体化された。本技術および概念は、人の動作を伴う様々な社会的活動において今後活用されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Aiming to realize a new form of haptic presentation, "body-harmonized type," that adapts to the flexibility of the body, which changes dynamically due to muscle tension and relaxation in competitive sports and dance, and can teach quick postural changes and movement with high accuracy, we developed a thin pressure distribution sensor and an adsorption-type sensor fixing part, and conducted slip evaluation using a shear force presentation device. We also evaluated the slip of the sensor using a shear force presentation device.
As a result, pressure detection (less than 5 N), contact position estimation (error less than 10 mm), and suppression of unintentional slippage during guidance were confirmed with a thin sensor of 200 μm thickness, and results for the realization of "body-harmonized" were obtained.

研究分野：バーチャルリアリティ、生体工学システム

キーワード：ハプティクス　動作誘導・教示　非拘束

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

１．研究開始当初の背景

従来、人間情報学分野においてユーザの動作を誘導・教示する身体装着型のハプティクス技術が研究されており、身体が柔軟性を有することから所望の誘導・教示ができないという課題があった。具体的には、従来の身体装着型力触覚提示装置は、腕や脚に装着して皮膚にせん断変形を与えることで身体動作の誘導が可能である。一方、装着部位の軟組織が硬い場合に接触面積が減少し、提示部が皮膚の上で滑るため、運動時の筋緊張により粘弾性特性が動的に変化することで誘導方向の精度が大幅に悪化するという問題があった。

２．研究の目的

本研究では、競技スポーツやダンスなど、筋の緊張・弛緩により動的に変化する身体粘弾性に適応し、急峻な姿勢変化や運動を高精度に教示することが可能な新たな力触覚提示の形態「身体調和型」の実現を目指し、身体の柔軟性や外界からの刺激や身体変化を計測しうる装着型センサの開発、及びせん断力提示におけるエンドエフェクタの曲率半径変化による滑り抑制の検証を目的とする。

３．研究の方法

ユーザの動きを制限することなく身体の柔軟性を計測するため、デバイスを身体に巻き付けるのではなく吸着させる新たな吸着型デバイスを開発した。また、接触抵抗と電気インピーダンストモグラフィを組み合わせた装着型圧力分布センサの薄型化を目的とし、皮膚の導電性を利用して皮膚自体を検出体に組み込む手法を開発した。さらに、せん断力提示装置を用いた滑り評価を行った。

４．研究成果

吸着型センサについては、ポンプで空洞内の空気を吸引しセンサをデバイスごと皮膚に吸着させることで、バンド等で固定した場合に生じる固定の緩みを解消した。このとき、装着部位の素材が硬いと皮膚とデバイスの間に隙間が生じて吸着力が減少してしまうという技術的課題が明らかになった。したがって、本課題では皮膚に接触する部位にゴムライク素材を使用することで課題を解決した。図１が製作した吸着型センサを示す。デバイス内には、力センサ（タッチエンス社ショッカクチップ 6DoF-P18）を配置し、皮膚に対して押し込みが可能なようにモータを配置した。

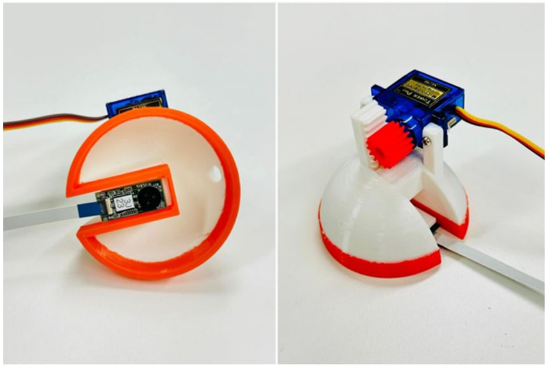

図１：開発した吸着型センサ

図２に示すとおり、ユーザの脹脛に装着し、足首を屈曲させたときの皮膚の弾性を計測した。足首の屈曲により牽引した際の力はフォースゲージで計測した。図 3 は牽引力と身体の弾性の関係を表す。実験の結果、3 mm 以下の押し込み時に RMSE が 0.5 未満で弾性を推定できることが確認された。

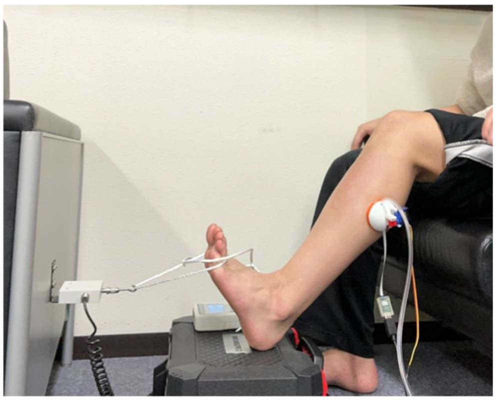

図２：脹脛に吸着型センサを装着し、足首を屈曲させて弾性を計測する様子

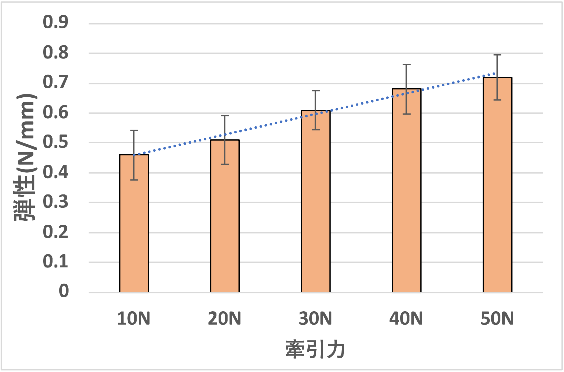

図３：牽引力と弾性の関係

次に、薄型の装着型圧力分布センサについては、厚さ 200 μｍで柔軟性を有する検出材料を実装

し、実験により、5 N までの検知が可能であることを示した。次に、圧力分布計測について、点荷重に対する推定位置の誤差を評価し、40×80 ㎜の計測面において誤差距離 10 ㎜以下で接触位置推定が可能であることを明らかにした。本センサを利用することで、より少ない制約で身体に加わる接触圧力分布の評価が可能になると考えられる。

また、せん断力提示装置を用いた滑り評価については、図 4 のように、足部形状を模した実験ファントムにおいて、腓骨を模擬した部位(PLA 樹脂製)を配置した。3 ヶ所に配置したせん断力提示装置を動作させた際のせん断力の時間変化からエンドエフェクタの滑りを調査した。図 5 は、実験ファントムの腓骨に近いせん断力提示装置（左上の装置）において、それぞれ 40，50，60 ㎜ の曲率半径をもつエンドエフェクタを反時計回りに回転させた際のせん断力の時間変化を示す。曲率半径が大きいときのせん断力の最大値が大きく、滑りの影響も抑えられていることがわかった。一方、図 6 は同様の実験でエンドエフェクタを時計回りに回転させた際のせん断力の時間変化を示す。この結果では、曲率半径が 40 ㎜の場合に最大せん断力が大きくなった。せん断力を与える対象が硬い場合は、曲率半径が大きい場合にモータの出力が不足することにより押し戻され、滑り抑制がうまく機能しない状況が生じうることが示唆された。

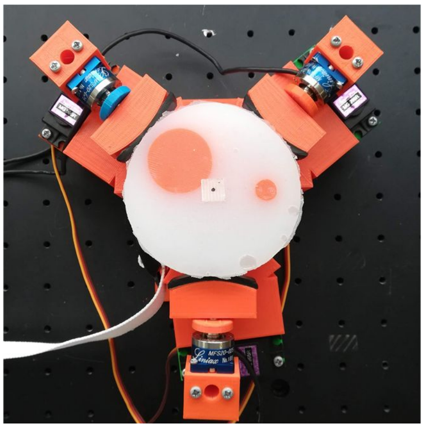

図 4：足部形状を模した実験ファントム。左上に腓骨を模擬した部位を配置。3 ヶ所に装着したせん断力提示装置。

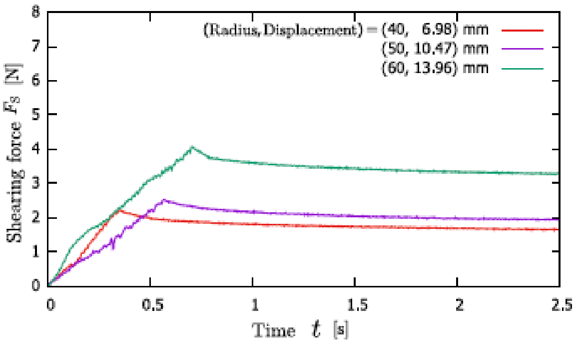

図 5：実験ファントムの腓骨部位に近いせん断力提示装置におけるせん断力の時間変化（反時計回り）。

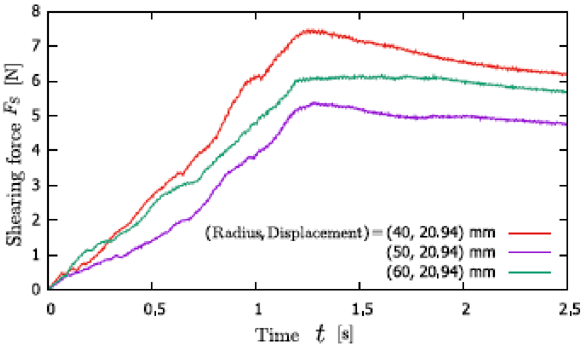

図 6：実験ファントムの腓骨部位に近いせん断力提示装置におけるせん断力の時間変化（時計回り）。

以上のように、身体の柔軟性や外界からの刺激や身体変化を計測しうる装着型センサの開発が行われ、せん断力提示におけるエンドエフェクタの曲率半径変化による滑り抑制の可能性と課題が明らかになった。本課題の遂行により、新たな力触覚提示の形態「身体調和型」の概念が具体化され、今後の当該分野の発展に寄与することが期待される。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計1件（うち査読付論文　1件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　1件）

１．著者名 Photchara Ratsamee, Yusuke Orita, Yoshihiro Kuroda, and Haruo Takemura	４．巻 11
２．論文標題 FlowHaptics: Mid-Air Haptic Representation of Liquid Flow	５．発行年 2021年
３．雑誌名 Applied Sciences	６．最初と最後の頁 Article 8447
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app11188447	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

〔学会発表〕　計11件（うち招待講演　2件／うち国際学会　3件）

１．発表者名 小林 晴希，家永 直人，黒田 嘉宏
２．発表標題 急峻動作時における身体粘弾性の非拘束型計測デバイス
３．学会等名 第198回ヒューマンインタフェース学会研究会
４．発表年 2023年

１．発表者名 Sotaro Hattori, Shunsuke Yoshimoto, Akio Yamamoto
２．発表標題 Wearable Skin Resistance-based Tomographic Sensor for Imaging Contact Pressure Distribution on the Human Body
３．学会等名 The 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'23)（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 小林 晴希，家永 直人，黒田 嘉宏
２．発表標題 急峻動作時における身体粘弾性の非拘束型計測デバイス
３．学会等名 第198回ヒューマンインタフェース学会研究会
４．発表年 2023年

１．発表者名 玉木 聖悟, Jiayi Xu, 家永 直人, 黒田 嘉宏
２．発表標題 独立温湿度刺激による乾燥湿潤VRシステムの開発
３．学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2022
４．発表年 2022年

１．発表者名 Sotaro Hattori, Shunsuke Yoshimoto, Akio Yamamoto
２．発表標題 Wearable Skin Resistance-based Tomographic Sensor for Imaging Contact Pressure Distribution on the Human Body
３．学会等名 The 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 黒田 嘉宏
２．発表標題 非拘束インタフェースと生体物理シミュレーションによる生体インタラクションに関する研究
３．学会等名 日本実験力学会　法医工学分科会・第3回研究会（招待講演）
４．発表年 2023年

１．発表者名 黒田嘉宏
２．発表標題 withコロナ時代におけるハプティクス技術の新展開 ~触れずに触る非拘束ハプティクスと新たな医療・ヘルスケアの可能性~
３．学会等名 第123回日本医学物理学会学術大会（招待講演）
４．発表年 2022年

１．発表者名
Jiayi Xu，清川清，長谷川晶一，家永直人，黒田嘉宏

２．発表標題
非接触温冷刺激による即時的な温度フィードバック体験

３．学会等名
第189回ヒューマンインタフェース学会研究会

４．発表年
2022年

１．発表者名
玉木聖悟，Jiayi Xu，家永直人，黒田嘉宏

２．発表標題
温湿度の独立制御による蒸し暑さ提示デバイスの開発

３．学会等名
第189回ヒューマンインタフェース学会研究会

４．発表年
2022年

１．発表者名
Xu Jiayi，長谷川晶一，黒田嘉宏

２．発表標題
不連続的な温度変化による非接触冷覚の連続性に関する評価

３．学会等名
第26回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集

４．発表年
2021年

１．発表者名
Yuta Mizunuma，Itaru Kitahara，Yoshihiro Kuroda

２．発表標題
ConvLSTM based Estimation Method of Incision Trajectory with Electric Knife by Connecting Restored Thermal Sources

３．学会等名
Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2021（国際学会）

４．発表年
2021年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ライフエンジニアリング研究室 https://www.lelab.jp/

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	吉元　俊輔 (Shunsuke Yoshimoto) (00646755)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師 (12601)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関