

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：32641

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14700

研究課題名（和文）反力支持が不要な装着型力覚インターフェースの開発と運動教示への適用

研究課題名（英文）Development of a Wearable Force Feedback Interface that Requires No Reaction Force Support and Its Application to Motion Teaching

研究代表者

奥井 学 (Okui, Manabu)

中央大学・理工学部・助教

研究者番号：20823488

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：サイバー空間からフィジカル空間への情報伝達には映像と音声为主に使用されているが、力覚も有効なインターフェースとなり得る。しかし、従来の力覚提示デバイスは装着型に応用する際に制限があった。本研究では空気噴出を利用した装着型で反力支持の不要な力覚提示システムを提案・開発した。研究では力覚提示モジュールの開発、力覚の人間への基礎的影響の解明と制御系構築、運動教示システムの開発の3つの研究項目を実施した。研究成果として、手部の並進誘導デバイス、卓球ラケットの姿勢教示、白杖デバイスによる経路誘導の3つの応用例を報告した。これらの成果から提案手法は有望な力覚提示システムであり、実世界での応用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は情報技術と人間のインタラクションにおける新たな力覚インターフェースを提供しました。従来の映像と音声だけでなく、より臨場感のある仮想空間の実現や、効率的な運動教示が可能となります。また、提案システムはさまざまな領域での応用が期待されます。本研究で扱った、手部の並進誘導デバイスや卓球ラケットの姿勢教示、視覚障害者向けの白杖デバイスに加えて、リハビリテーションやトレーニングにおいても効果的な教示や体験の実現が期待されます。さらに、仮想空間での操作性や力覚フィードバックの向上により、製品のデザインや評価、リモート作業の効率化など、産業界やエンターテインメントの分野でも応用が期待できます。

研究成果の概要（英文）：Although video and audio are mainly used to transmit information from cyberspace to physical space, force feedback can also be an effective interface. However, conventional force-feedback devices have limitations when applied to wearable devices. In this study, we developed a force-feedback system that is wearable and does not require reaction force support by using air jets. Three research items were conducted: development of a force-feedback module, elucidation of the basic effects on humans when force is used as an interface and construction of a control system, and development and evaluation of a motion teaching system. As research results, three applications were reported: a hand translation guidance device, posture teaching with a table tennis racket, and path guidance with a white cane device. Based on these results, the proposed method is a promising force presentation system and is expected to be applied in the real world.

研究分野：メカトロニクス，ウェアラブルシステム

キーワード：力覚提示 空気噴出 VR/AR 運動教示

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの普及をはじめとして、情報技術の進歩によりサイバー空間 (Cyber space) が実空間 (Physical space) へ大きな影響を与えている。現在サイバー空間からフィジカル空間への情報伝達インターフェースは、主に映像と音声を用いられている。一方で力覚は、アクチュエータや制御システムが必要となり、装置が複雑化するため利用される例が少ない。しかし力覚は大きさと向きを持つベクトル量であり、効果的なインターフェースとなり得る。これまでも、バーチャルリアリティ (VR) などの分野で力覚提示デバイスの研究が行われ、その有効性が確認されている。しかしその多くは机などに固定する据え置き型であり、使用者は移動を制限される。外骨格型装着デバイスによる力覚提示方法も存在するが、デバイスが環境に固定されていないため提示力覚の反力を身体の別部位で受ける必要がある点や、外骨格構造による装着者の関節駆動域の制限などの問題が避けられなかった。

2. 研究の目的

本申請研究では、背景で述べた力覚提示手法の課題を解決するために、空気噴出を利用した装着型かつ反力支持の不要な力覚提示システムの開発を行った。提案手法は簡易な空気噴出孔を取り付けるだけで力覚提示が可能であり、既存の装着型装置では不可能であった仮想壁のような環境から受ける反力を提示できる。また、力覚提示箇所 1 か所に対し空気噴出箇所を 1 つ設ければよいと、装置の複雑化も抑制できる。

対象としては、力覚による経路誘導、身体姿勢の教示などを想定し、それぞれの場合において実システムを構築し、実験的に評価した。

3. 研究の方法

以下の 3 つの研究項目を立て、研究を実施した。

① 力覚提示モジュールの開発

空気噴出による力覚提示モジュールを設計・試作し特性を明らかにすることで、応用先の拡大や開発の迅速化が図れる。そこで、3D プリンタによるラピッドプロトタイピングで製作可能なモジュールを設計し、必要な周辺装置と合わせて基礎特性実験を行い、提示力と設計パラメータの関係を明らかにする。

② 力覚をインターフェースとした際の人間への基礎的影響の解明と制御系構築

力覚を用いて情報伝達をする際には、力覚がベクトル量であることと、実際の身体運動に影響を及ぼすという 2 点から、基礎的評価が必要である。そこでまず力の大きさと向きに関する官能評価実験を実施し、提案手法の本質的な分解能を明らかにする。次いで、力覚を受けた際の人間の反応の解析を行う。

③ 提案手法による運動教示システムの開発と評価

力覚提示手法のアプリケーションとして、運動教示システムを構築する。VR システムのスポーツ応用が盛んであるが、システム自体がフォーム矯正できるものは存在しない。そこで、提案する力覚提示システムを身体に取り付け、運動の矯正を行う。目標フォームと、モーションキャプチャでリアルタイムに取得した使用者の姿勢を比較し、その差分を補正するように力覚を提示する。すると、あたかも一流コーチにフォーム矯正をされているように身体部位が押され、フォーム矯正が可能となる。

4. 研究成果

研究成果については、以下の 3 つの応用例ごとに報告する。

(1) 手部の並進誘導デバイスに関する研究成果 (引用文献①)

提案する力覚提示手法の身体部位の誘導を行う情報伝達インターフェースとしての応用を行った。手部を対象とした並進 3 自由度方向に力覚を提示可能なデバイス (図 1) を試作し、任意の方向に誘導が可能かを実験的に検証した。実験は発生力確認実験、主観評価実験、誘導実験を行った。誘導実験では水平面上、矢状面上での誘導を行い、開始地点からあらゆる方向の目標地点への手先の誘導が可能であることを確認した。これらの結果から、提案したデバイスは装着型でありながら関節可動域を制限することなく力覚提示可能であり、また手部の誘導に十分な力を発生できることを示した。

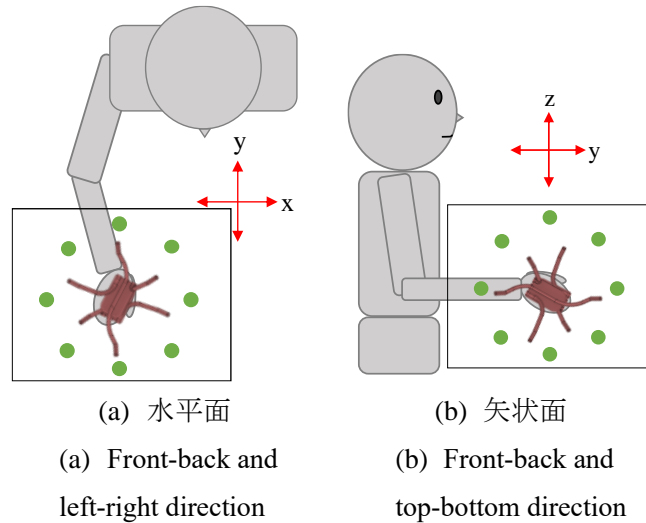


図1 誘導実験の実験環境

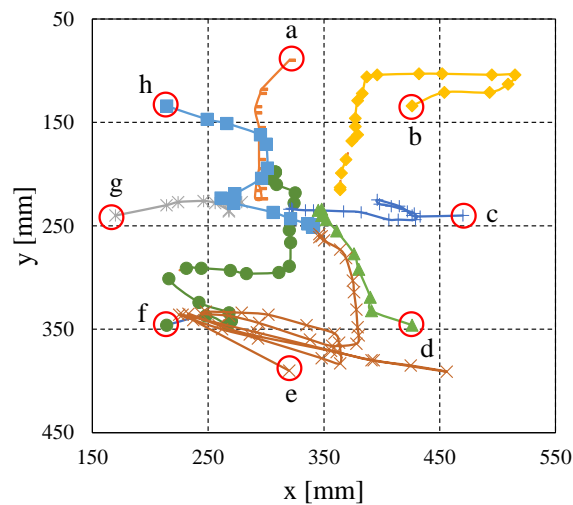


図2 水平面における被験者の手先軌跡

(2) 卓球ラケットの姿勢教示に関する研究成果 (引用文献②)

運動教示の具体的対象として、卓球ラケットの姿勢教示を行った。図3に示すような空気噴射による力覚提示用空気噴射ノズルを備えたラケットデバイスを作成した。これは、空気噴射により回転方向に力覚を発生させることで、ラケット軸周りの回転運動、手首軸周りの回転運動を教示するものである。姿勢教示実験では、2つの回転方向に対して5つの角度(-90°、-45°、0°、45°、90°)を設定し、ランダムに5つの角度の中からランダムに初期角度および目標提示角度を設定し、初期角度から目標角度までの回転方向の姿勢誘導を行った。実験では、すべての条件において誘導に成功している。実験結果の一例を図4に示す。下段のグラフは空気の噴射状態を示し、シグナルが1の時、右回りに空気を噴出。-1の時、左回りに空気を噴出、シグナル0が入ると空気の噴出を停止する。上段のグラフは、ラケット角度を示し、青色の領域が目標角度±10度を示す。図よりラケットが初期角度から目標角度まで空気を噴出し力覚を提示することによって誘導できていることがわかる。

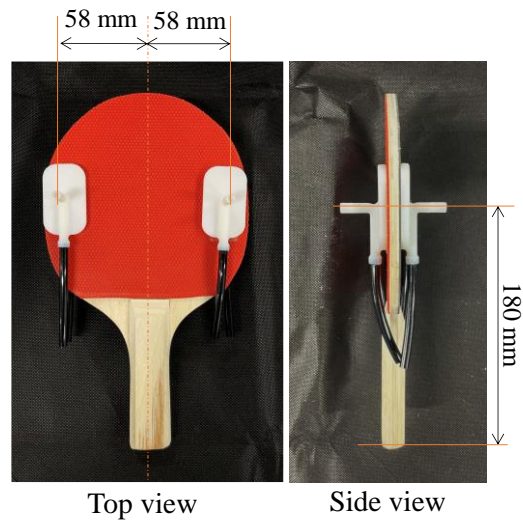


図3 空気噴出ノズルを備えた卓球ラケット

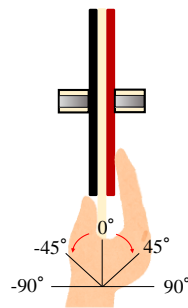


図4 手首周りの回転角度

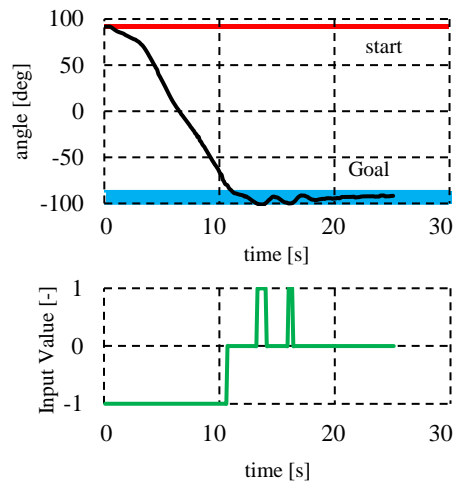


図5 手首周り回転の誘導実験結果

(3) 白杖デバイスによる経路誘導に関する研究成果 (引用文献③)

視覚障害者向けの白杖型力覚提示装置の開発し、装置を用いて方向提示が可能か検証し、誘導実験を行った。製作した装置を図6に示す。空気圧源から、電磁弁の開閉を通して圧縮空気がノズルから噴出される。空気圧源から0.3Mpaの圧縮気体を供給し、杖の先端に0.4N程度の力が生じる。空気噴出の反力により白杖にモーメントが発生し、力覚として伝達することで使用者の誘

導を行う。本装置の重量は0.17kgである。本装置を用いて誘導実験を行った。実験は曲がりと分岐を含む建物内部廊下で行い、壁面などの衝突することなく誘導が可能であった。

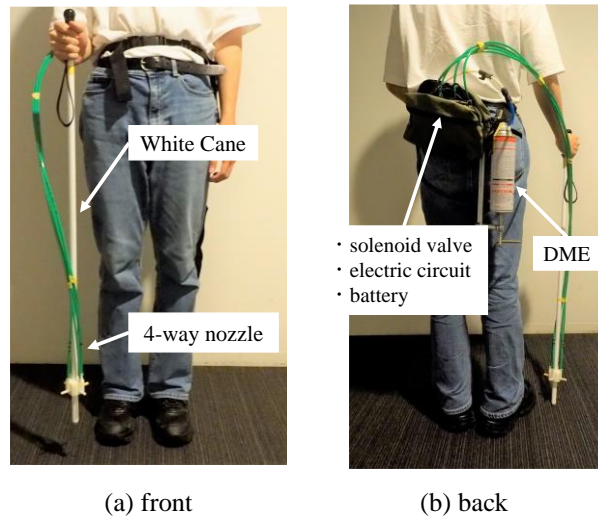


図6 試作した白杖型力覚提示装置

<引用文献>

- ① 澤橋龍之介, 保井拓巳, 西濱里英, 奥井学, 中村太郎, “空気噴出を利用した力覚提示装置による身体誘導”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 3 pp.264-273, 2022. 9
- ② R. Suzuki, R. Sawahashi, M. Okui, R. Nishihama, T. Nakamura, “Proposal of posture guidance method using air jetting with table tennis racket type device”, IECON 2022 - 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2022, Brussels, Belgium, SS30-1
- ③ H. Oshima., R. Sawahashi, M.Okui, R. Nishihama , T. Nakamura, “Experimental evaluation of the white cane device with forcefeedback function using air jets”, SII 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Atlanta, USA, (2023. 1)

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 0件）

1. 著者名 澤橋龍之介, 保井拓巳, 西濱里英, 奥井学, 中村太郎	4. 巻 Vol. 27, No.3
2. 論文標題 空気噴出を利用した力覚提示装置による身体誘導	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 264-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.27.3_264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 H. Oshima., R. Sawahashi, M.Okui, R. Nishihama, T. Nakamura
2. 発表標題 Experimental evaluation of the white cane device with forcefeedback function using air jet
3. 学会等名 SII 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Atlanta, USA, (2023.1) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Suzuki, R. Sawahashi, M. Okui, R. Nishihama, T. Nakamura
2. 発表標題 Proposal of posture guidance method using air jetting with table tennis racket type device
3. 学会等名 IECON 2022 - 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2022, Brussels, Belgium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木麟, 澤橋龍之介, 西濱里英, 奥井学, 中村太郎
2. 発表標題 空気噴出による運動教示デバイス
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤橋龍之介, 保井拓巳, 奥井学, 中村太郎
2. 発表標題 空気噴出を利用した装着型力覚提示装置の開発と発生力評価
3. 学会等名 2022年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥井学, 保井拓己, 西濱里英, 中村太郎
2. 発表標題 空気噴出を利用した力覚提示装置の手先位置誘導への応用
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保井拓巳, 奥井学, 中村太郎
2. 発表標題 空気噴出を利用した力覚による情報伝達インターフェースの開発-ノズル基礎特性の評価-
3. 学会等名 2020年秋季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>奥井学の研究者個人ホームページ https://manu252.wixsite.com/website 奥井学の研究者個人ホームページ https://manu252.wixsite.com/website</p>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------