JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	動作学習支援のための可動磁石式力覚提示グローブの開発
Author(s)	謝, 浩然; 楠木, 幹也; 吉田, 匠吾
Citation	
Issue Date	2022-06-09
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/18076
Rights	社団法人　情報処理学会, 謝浩然,楠木幹也,吉田匠吾, 情報処理学会研究報告,HCI,ヒューマンコンピューターインタラクション, 2022-HCI-198, 2022, pp1-5.　ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2022-HCI-198 No.10
Vol.2022-EC-64 No.10
2022/6/16

動作学習支援のための可動磁石式力覚提示グローブの開発

楠木幹也 [1,a)]　吉田匠吾 [1]　謝浩然 [1]

概要：近年,触覚グローブの研究が盛んに行われており,それらの用途のひとつに動作学習支援がある.従来のデバイスを用いた場合,形状記憶合金駆動方式では応答性が低いため速く指を動かす必要がある場合に対応できないといった課題や,空気圧方式では制御バルブが必要となるため手軽ではないという課題がある.また,サーボモータ方式では安全性に欠けており,ワイヤ駆動方式では指の屈曲の際に手の平や指の腹部分にまでシステムが及ぶことがあり邪魔になる場合がある,といった課題もある.これらの課題に対し本研究では,リニアモータを用いた可動磁石式力覚提示グローブを開発した.提案デバイスにより,高応答性や手軽さ,安全性をもつ,手の甲側で完結したコンパクトなシステムを構築することができた.また,提案デバイスはコイルに流す電流の大きさにより出力を自在に変化させることができるため,装着者の使用意志を尊重し,装着者の学習レベルに合わせた柔軟な支援を提供することが可能である.

キーワード：可動磁石式,　力覚提示,　触覚グローブ

Development of Haptic Glove with Movable Magnetic Force for Manipulation Learning

MIKIYA KUSUNOKI[1,a)]　SHOGO YOSHIDA[1]　HAORAN XIE[1]

Abstract: Recently, haptic gloves have been studied extensively, for various applications such as manipulation learning. Shape memory alloy driven system has low responsiveness and cannot respond to the need for fast finger movement, while the pneumatic system may require a control valve and is not easy to use. The servo motor system lacks safety, and the wire-driven system may interfere with the palm of the hand or the belly of the fingers when the fingers are bent. In this study, we propose a novel haptic glove with movable magnet, which is a linear motor to solve these issues. The proposed device enables to construct a compact system with high responsiveness, ease of use, and good safety, which is wear on the back of the hand. The proposed device can be adaptive with the modification of the magnitude of the current flowing through the coil, so that the device can achieve finger motion with the wearer's use intention and provide flexible support tailored to the wearer's learning level.

Keywords: movable magnet, manipulation learning, haptic glove

1. はじめに

近年,人間拡張といった人の能力や感覚を拡張する研究が多く行われている.感覚拡張のためのウェアラブルデバイスとしては,空気圧を用いて触覚を提示するNaviChoker[1]や衣服を着用者の身体状況によって変形させるSmart Clothes[2]が存在する.他にも,ユーザの身体に対する情報提示として振動[3]や温度[4]などの方法が存在する.提案デバイスでは,力覚による情報提示をすることで感覚拡張を行う.本研究では糸で指を引っ張るという力覚を提示することで動かす指をユーザに知らせる方法を採用している.力覚提示の動作学習支援は,力が加わっているのをユーザが感じ取り,それを動作に反映させる手法である.提案手法では,アクチュエータに取り付けられた糸で指を引っ張ることで,ユーザに対する力覚提示を実現している.本デバイスを用いて力覚提示をすることで,ユーザは動かすべき指を把握することができる.また,指に力を加える時間を 2 通りに設定し,あらかじめその時間をユーザに伝えることで,ユーザは指の伸展と屈曲の動作を区別して行うことができる.

本研究は,可動磁石式力覚提示グローブを提案する.提案の力覚提示グローブでは,アクチュエータ部分は,コイルと磁石で構成されており,非常にシンプルな構造になっている.加えて,独立した構成であるため,本デバイスを用いた動作学習をする際にはケーブル等を気にする必要がない.力覚提示グローブを用いたユーザの身体に対する情報提示は,エンターテインメントや教育などの様々な分野に活用されており,提案デバイスは指文字や楽器の演奏の練習に活用することを想定している.

2. 関連研究

様々なアクチュエータを利用したロボティックグローブを挙げる.形状記憶合金駆動[5]を用いた手法では,応答性が低いために速く指を動かす必要がある場合に対応することができない.空気圧[6]を用いた手法では,制御バルブが必要となるため手軽に用いることができない.サーボモータを用いた手法では安全性に欠けている.ケーブル駆動[7]を用いた方法では,指の屈曲の際に手の平や指の腹部分にまでシステムが及ぶことがあり,動作支援として活用する

1 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology
1) s2210058@jaist.ac.jp

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

Vol.2022-HCI-198 No.10
Vol.2022-EC-64 No.10
2022/6/16

場合には邪魔になる可能性がある．そこで本研究では，可動磁石式のリニアモータを用いた方法を提案する．この提案手法により，高応答性でありながら，手軽で安全，さらに手の甲側で完結しているシステムを構築した．さらに，既存研究のロボティックグローブは，リハビリテーションを目的としているものが多いため，ユーザが力を加えなくても指を曲げることができる．そこで本研究ではリハビリテーション用途に限定せず，ユーザが自らの意志で指を動かすような，健常者の教育用途として利用できる手法を提案した．

3. 提案手法

本提案デバイスである可動磁石式力覚提示グローブを図 1 に示し，ダイアグラムを図 2 に示す．アクチュエータはリニアモータの原理を利用している．コイルには，線径 0.4mm，長さ 20m のエナメル線を利用していて，このエナメル線を 3D プリンター(PLA 樹脂)で製作した直径 15mm，高さ 32mm の筒に巻いている．磁石部分では直径 13mm，厚さ 2mm，磁束密度 240mT のネオジム磁石を 2 つ重ねたものを 2 つ用意し，3D プリンター(PLA 樹脂)で製作した直径 13mm，高さ 5mm の円柱の上端と下端にそれぞれ両面テープを用いて固定する．固定する際，円柱の両端にある磁石は同じ極が向かい合うように固定する(図 3)．アクチュエータのサイズは，25mm×25mm×32m である．

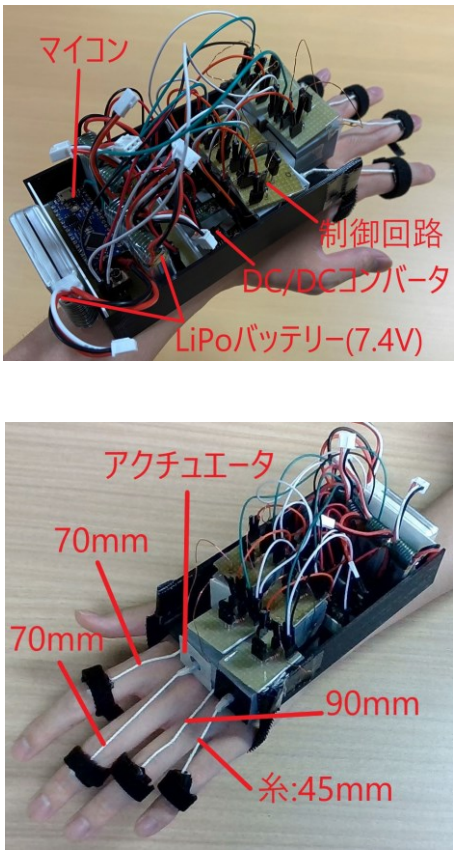

図 1　提案デバイス

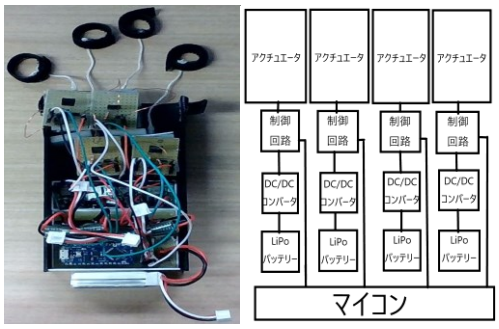

図 2　提案デバイスのダイアグラム

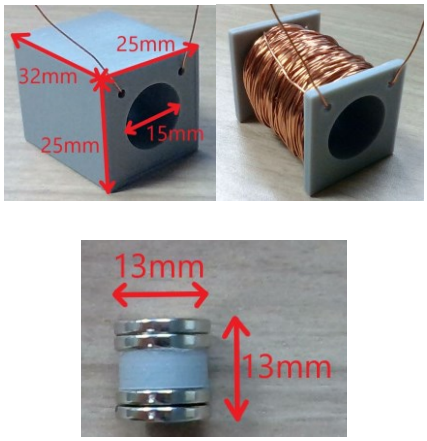

図 3　アクチュエータ寸法

提案デバイスに用いたアクチュエータの駆動原理は，コイルの内側に磁石を入れ，コイルに電流を流すことで，ローレンツ力による推力が発生し，磁石が直進運動をするという仕組みである(図 4)．

製作したアクチュエータを手の甲側に固定し，磁石にたこ糸を取り付ける．また，たこ糸の先にマジックテープを取り付け指に固定する．アクチュエータが直進運動を開始すると，指が引っ張られるという仕組みである(図 5)．

各コイルには 2A の電流を流し，アクチュエータを作動させている．また，マイコン(Arduino nano every)，トランジスタ(2SC3422)，300Ω 抵抗，汎用整流ダイオード(1N4007G)を用いて，アクチュエータを電気的に制御している(図 6)．

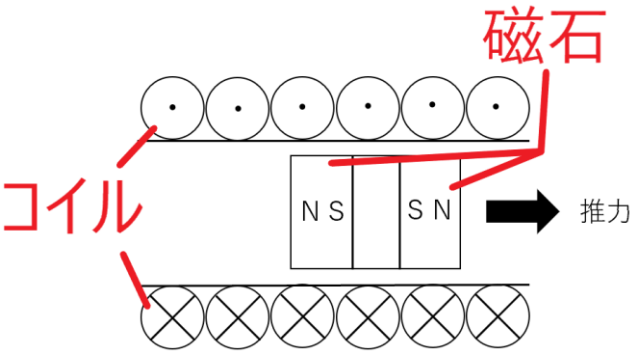

図 4　駆動原理

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

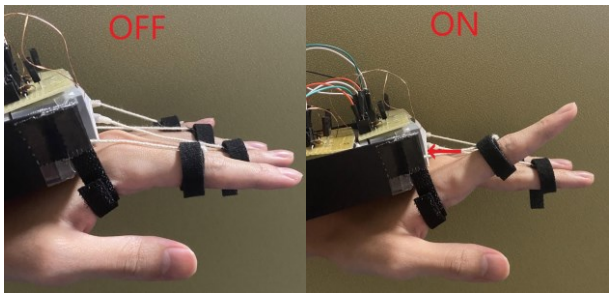

図 5　アクチュエータの ON/OFF 比較

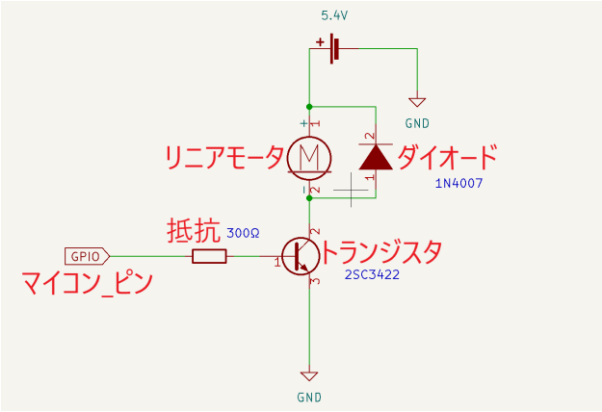

図 6　アクチュエータの制御回路図

4.　評価実験

提案デバイスの有用性を確かめるため，提案システムの評価実験を行った．実験に参加したのは，所属大学の学生 22～26 歳の男性 5 名である．またアンケートでは，質問文に対する被験者の意見を詳細に表すことができるリッカート尺度を使用する．5 段階で評価し，5 を「とてもそう思う」，1 を「全くそう思わない」と設定し被験者にアンケートを実施した．

4.1　力覚提示された指の判別実験

この実験では，どのアクチュエータが動作するかを被験者には伝えず，判別させる．提案デバイスを被験者の左手に装着し，どの指に力が加わったかをメモしてもらう．なお，どの指に力が加わるかはあらかじめプログラムで決まっている．システムを作動させると自動的にアクチュエータが動作し，指を引っ張る力が加わる．力を加える指は，人差し指，中指，薬指，小指の 4 本の内のいずれかである．力を加える指は1本だけではなく，最大で3本同時に指に力を加える．指に力が加わっている時間は３秒間である．１度指に力が加わり，再び指に力が加わるまでには５秒の間隔があり，その時間でどの指に力が加わったかをメモしてもらう．この手順を５回繰り返す．なお実験中は被験者に対し，左手のデバイスは見ないように伝えている．実験の様子を図 7 に示し，実際どの指に力が加わっているかを図 8 に示す．

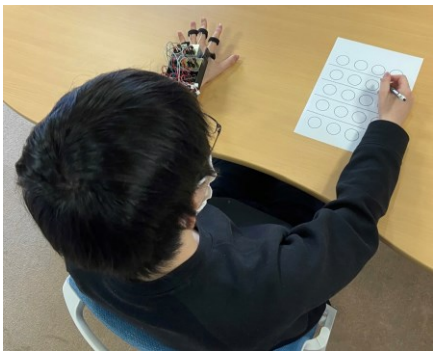

図 7　評価実験の様子

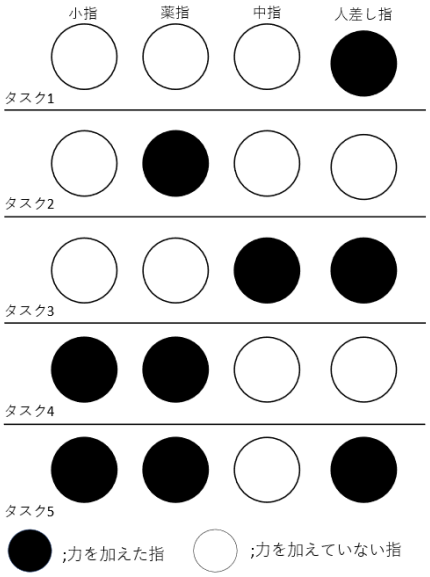

図 8　力が加わっている指

4.2　力を入れる時間を変える実験

この実験では，あらかじめ被験者に 0.3 秒または３秒の時間，力が加わることを伝える．ユーザには 0.3 秒間力が加わったと感じればその指を屈曲させ，3 秒間力が加わったと感じればその指を伸展させる．人差し指，中指，薬指，小指それぞれに対して 0.3 秒か 3 秒のどちらかの力を加える．なお，どの順番で指に力が加わるのかは，被験者には伝えていない．１度指に力が加わり，再び指に力が加わるまでには 3 秒の間隔がある．この実験においてもどの指にどのくらいの時間力が加わるかはあらかじめプログラムで決めている．実際の実験では，人差し指に 3 秒，中指に 0.3 秒，薬指に 3 秒，小指に 0.3 秒の順番で実施した．

5.　実験結果と考察

評価実験およびアンケート調査やユーザの様子から，提案デバイスの有用性や課題点を確かめることができた．

5.1　力覚提示された指の判別実験の結果

実験結果を図 9 に示す．力を加える指が 1 つの場合の

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

タスク 1 とタスク 2 は５人全員が判別することができた．しかし，力を加える指が２つになるタスク３とタスク４ではと５人中３人と５人中４人しか判別することができず，力を加える指が３つになるタスク５では５人中１人しか判別できなかった．力を加える指の本数が多くなるほど，どの指に力が加わっているのかが認識できなくなっていく傾向にあることが分かった．

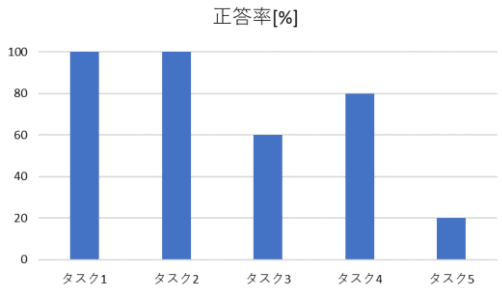

図 9　指の判別実験結果図

5.2　力を入れる時間を変える実験の結果

結果として，５人中４人が指の伸展/屈曲を正確にこなすことができた．一方で，被験者のうち１名が伸展/屈曲を間違えた．これは，力が加わっている時間を区別できなかったのではなく，指に加わる力が弱かったため，そもそも認識できなかったからである．提案デバイスでは，全ての指に同じアクチュエータを適用しており，加わる力の大きさもほぼ一定である．そのため，人差し指のみ認識できなかった要因は，デバイスの装着の仕方が問題であると考えられる．糸がある程度伸びきった状態でデバイスを装着しなければ力を認識することが難しい．人によって指の長さは異なるが，糸の長さは固定されている．そのため，指の長さや糸の固定場所によってはデバイスが有効ではなくなる場合がある．

アンケートの質問は以下の 1～6 である．

a)　指を動かしやすかったか
b)　システムを短時間で理解できた
c)　装着のしやすさ
d)　指に力が入っているのが把握しやすかったかどうか
e)　動作学習に役立つか
f)　支援に満足しているか

アンケートの調査結果を図 10 に示す．

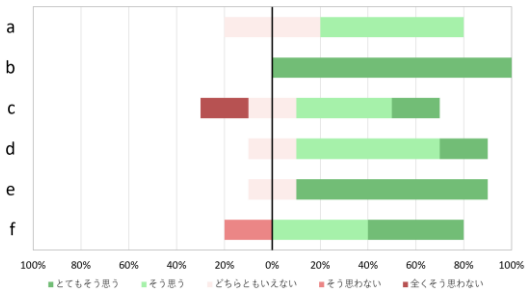

図 10　評価実験結果

質問 a)では，指を動かしやすいと感じた人とどちらともいえないと感じた人がいた．これは，指を屈曲する際に糸が引っかかってしまう場合があるためである．糸の長さは同じなので，指が動かしやすいかは，被験者の指の長さや装着のしかたに依存していると考えられる．質問 b)では，被験者である５人全員が５の評価をつけた．よって，提案したデバイスのシステム自体には問題がないことが明らかになった．一方で質問 c)の装着のしやすさには被験者によって異なる感想を持っていることが分かった．理由としては，デバイスが大きすぎるため片手が使えない状態で装着するには時間がかかるというものである．また，指に糸を固定するためのマジックテープが他の指のマジックテープとくっつき，装着しにくかったのも要因のひとつである．質問 d)においても指に力が入っているのが把握しやすかった人とそうでない人に分かれている．指にかかる力は一定であったので，これも個人差があることが分かった．

5.3　期待できる応用例

期待できる応用例としては，VR や AR における力覚の提示が考えられる．仮想物体に触れようとした際にアクチュエータを作動させ，抗力を生み出すことでユーザに対して力覚を提示することができる．他にも，本研究では指の動作学習支援として指の伸展と屈曲を目的としているが，力を加える指やその指に力がかかる時間を変えることで，ナビゲーションのようなガイダンスに利用することも考えられる．

6.　まとめ

本研究では，可動磁石式の力覚提示グローブを提案し，プロトタイプを製作した．また，提案デバイスの有用性についての評価実験を行ったことで，提案手法の有用性や欠点を確かめることができた．被験者は，部分的にはこのデバイスによる力覚提示を知覚することができたが，条件が複雑になると知覚することができない場合があることが明らかになった．よって，単純な動作支援の場合はこのデバイスの有用性が示されたといえるが，複雑な動作支援に対応するには，改善していく必要があることが明らかになった．

今後の課題として，より複雑な制御にすることが考えられる．今回の実験においても，同じ力でも知覚できた被験者と知覚できなかった被験者がいたように，提案デバイスを使用するユーザによって，知覚できる力の大きさはそれぞれ異なり，ユーザの指によっても異なる．よって，利用者にまずいくつかのタスクを完成させ，知覚のレベルを取得し，得られた結果によって利用者ごとに力を設定することが必要になる．また，動作支援の段階によってアクチュエータに流す電流の値を変えることで，指に加わる力の大きさを調整するといった支援の仕方も考えられる．例えば，楽器の

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

演奏を学習する際に, 初心者に対しては指に加わる力を大きくすることで知覚しやすくし, 上級者に対しては指に加わる力を小さくすることで知覚しにくくする, といった具合である. また, デバイスの小型化も今後の課題のひとつである. 本デバイスで用いたネオジム磁石より, 磁束密度が高く小さいネオジム磁石を用いることで, アクチュエータを小さくするといった改善策が考えられる. これによって, 提案デバイスを装着するユーザが長時間利用しても疲労しないように負担を軽減することができる.

参考文献

[1] 吉田匠吾, 謝浩然, 宮田一乗. 空気圧アクチュエータを用いた全周囲圧力提示システム NaviChoker の開発.情報処理学会インタラクション,2021, 1B19
[2] 松崎広夢, 石川清皐, 佐々木仁大, 鳥居拓馬, 謝浩然. Smart Clothes : 開閉型機構を用いた衣服内気候調整服. 情報処理学会 インタラクション,2020, 3B-37
[3] 鈴木隆裕, 池田篤俊, 高松淳, 小笠原司. 把持型触覚提示デバイスを用いた振動による柔らかさ提示. 日本ロボット学会誌,2012. Vol. 30 No. 7, p.718-726.
[4] 山本聖也, 伊藤淳子, 吉野孝. VR 空間に配置した仮想物体の把持行為に対する熱刺激提示. 2021 年度情報処理学会関西支部 支部大会, G-14
[5] Takuro Nakao, Kai Kunze, Megumi Isogai, Shinya Shimizu, Yun Suen Pai. FingerFlex: Shape Memory Alloy-based Actuation on Fingers for Kinesthetic Haptic Feedback. MUM 2020: 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia p 240–244
[6] Panagiotis Polygerinos, Kevin C. Galloway, Emily Savage, Maxwell Herman, Kathleen O' Donnell and Conor J. Walsh .IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2015 p2913-2919
[7] Sangheui Cheon , Daekyum Kim , Sudeok Kim, Brian Byunghyun Kang , Jongeun Lee , HyunSik Gong, Sungho Jo ,Kyu-Jin Cho , and Jooeun Ahn . Single EMG Sensor-Driven Robotic Glove Control for Reliable Augmentation of Power Grasping. IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL ROBOTICS AND BIONICS, 2021.Vol. 3, No. 1, p179-189

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan