

令和元年6月14日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00288

研究課題名(和文) 指先振動刺激による筋活動の誘発と力覚様感覚を提示するインタフェースの開発

研究課題名(英文) Finger muscle activities induced by vibration and the development of a human interface using force-like sensation

研究代表者

久米 祐一郎 (KUME, Yuichiro)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：20161713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：バーチャル環境において操作性向上のために、力情報を提示する装置の開発が行われてきたが、大掛かりなものが多かった。本研究では指先を振動刺激したときに指に力が加わったような感覚が生じる現象、力覚様感覚に注目した。この感覚は簡単な振動子で生起するため、力情報を提示する簡易なインタフェースデバイスの実現可能性がある。そのため、感覚特性、機序を解明し、デバイスへの応用指針を得ることを目的とした。結果として示指において押下力相当の力情報の提示が可能であること、振動により筋活動が変化すること、押下型デバイスにおいて振動により反力変化に相当する力覚様感覚を提示する効果が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

指先振動刺激により生起する指先に力が加わったような感覚、力覚様感覚によって提示可能な力情報を定量的に明らかにし、この現象が筋活動に変化を伴っていると、振動によって押下時の反力の変化を提示できることを明らかにした。これらの成果により、押下型デバイスにおいて簡単な振動子のみで複雑に変化する反力と同等の感覚を操作者へ与えることができ、簡易な構造の力情報を提示するインタフェースデバイスの開発の指針となり、新たな応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Force feedback is required to handle objects under virtual environments. A number of force displays have been developed, but most of them are featured with large dimension and complicated mechanism. In this study, force-like sensation, which is elicited by vibration onto fingertips, was employed to develop simple force displays only with simple vibrators. The purposes of this study are to clarify the sensory characteristics and mechanism of the force-like sensation, and to establish a design guideline for human interface devices. It was found that finger muscle activities are affected by the vibration onto fingertips, and that the magnitude of the sensation is equivalent to that of reactive force with push button interfaces. A push button interface, of which reaction was generated by vibration was prototyped and evaluated to confirm the vibration efficiency.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：ヒューマンインタフェース 力覚様感覚 振動刺激 指の筋群 誘発筋電 H-反射 押下 力覚提示

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物体を手で把持したり移動させたり操作する場合には手や指の触感覚や力加減が必要であり、操作者の手指に対して力覚情報を提示することは重要である。そのためバーチャリアリティや遠隔操作システムにおいては、ディスプレイに表示された物体を操作するための力覚提示システムの研究開発や商品化が行われてきた。しかしながら、それらの装置の多くは装置自体が大きく、構造も複雑であり、操作する場合の動作範囲に限られる等の問題があり、小型で簡便な力を提示する装置の開発が望まれていた。また実際に物理的な力を人間に提示する方法とは別に、振動などによって擬似的に力覚を提示する方法も検討されてきた。

一方、図1に示すように指先へ振動刺激を与えることによって、指先に力が加わった様な感覚が生じることが知られていた。我々はこの感覚を「力覚様感覚」と称して着目し、インタフェースへの応用を検討してきた。これを用いれば、指先に小さな振動刺激素子のみを装着して力情報を提示することが可能となり、人体にとっても制約無く、自由に運動できるようになることが期待された。

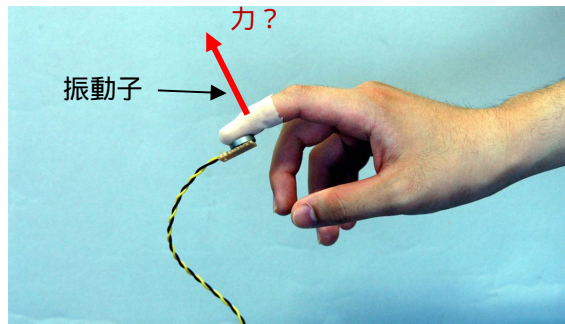


図1 指先振動刺激による力覚様感覚

2. 研究の目的

力覚様感覚については実際のヒューマンインタフェースを開発するために必要なデータは不十分であり、多くの研究が行われているとは言い難い状況にあった。そのため感覚の特性やメカニズムを明らかにする必要があった。またこの現象を応用したインタフェースデバイスの基本機構についても検討する必要があった。

これらの背景から本研究では指先に振動刺激を与えたときに生じる力覚様感覚について、以下の3項目を目的とした。

- (1) インタフェースデバイス開発に必要な力覚様感覚の特性を明らかにすること。特に振動を指先に与えたときに生じる力覚様感覚の大きさが実際に加わった力と比較して、どの程度の大きさの力として感じるか心理物理的に明らかにすること。
- (2) 振動によって力覚様感覚が生じるメカニズムを解明すること。力覚様感覚を感じたときに、振動によって指の筋群および神経系がどのような活動をしているか客観的に明らかにすること。
- (3) 得られた力覚様感覚の特性を利用してどのようなインタフェースが実現できるか、基本構成を考案すること。

3. 研究の方法

(1) 力覚様感覚の主観的な強度

力覚様感覚は振動を与えて実際に力が加わっていないにもかかわらず、力が加わったように感じる現象である。インタフェースに応用する場合に、力覚様感覚の大きさが実際の力の大きさに対する感覚に相当するか明らかにする必要があった。

力覚様感覚の大きさを次に述べる心理物理的方法で測定した。左右の指先に振動素子を取り付けて、一方を10秒間振動させたときに、その指で感じた力覚様感覚の大きさに主観的な等しいと感じる実際の力を、もう一方の指で力センサーに与えて、そのときの力の大きさ測定した。3秒の休止時間を挟み、これを左右交互に行って実際の力に相当する力覚様感覚の大きさを求めた。またこの力の大きさの振動刺激の強度への依存性についても調べた。

(2) 指先に振動を与えたときの指の筋群の活動

力覚様感覚を用いて力情報を提示するインタフェースデバイスへ応用する場合に、振動による筋活動の変化や感覚のメカニズムを明らかにする必要がある。すでに本研究に先行して、振動によって指の筋群の活動が変化することが筋電測定により明らかにされている。

これより振動刺激が前腕筋群の脊髄運動神経細胞の興奮に影響を及ぼしていると推測された。そのため振動刺激を与えて力覚様感覚が生じているときの橈側手根屈筋において、誘発筋電を測定してH波とM波の変化から、振動刺激の有無による脊髄運動神経細胞の興奮性を推定した。

(3) 押下型インタフェースへの応用

指先への加わる力の変化を利用するデバイスとして、ボタンスイッチのような押下型インタフェースが考えられた。押下型ボタンスイッチは操作性や感触を向上させるために、押下量に応じてバネによって機械的に反力に変化をつけているものが多い。

本研究では押下型デバイスにおいて、振動によりバネの反力変化に相当する効果の実現について検討した。

そのために図2に示す実験装置を試作した。空気圧によって押下量によらず一定の反力を提示するストローク 20mm の押下ボタン、指先を刺激する振動素子、押下量を計測する位置センサー、それらを制御する PC から成る。この装置を用いて押下量によらず反力が一定のときに、押下量が 20/3mm から 40/3mm の間で振動刺激を指先へ与えて、押下運動の時間変化からその効果を測定した。

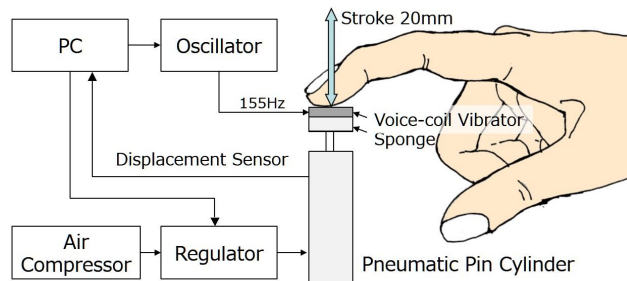


図2 押下型デバイス実験装置

4. 研究成果

(1) 力覚様感覚の主観的な強度

図3に被験者9名の平均値と標準偏差を結果として示す。横軸は振動素子の指に装着していないとき(無負荷時)の振動強度、縦軸は主観的に感じた力の大きさである。

この結果から力覚様感覚によって提示できる力の大きさは 0.2 ~ 0.35kgf 相当であること、振動強度に対応して増加することが明らかになった。

この力覚様感覚の大きさは水平面に設置された押しボタンスイッチを押下する場合の力、0.012 ~ 6.538kgf の範囲であり、実際に用いられる押下型のデバイスへの応用が可能であることが明らかになった。

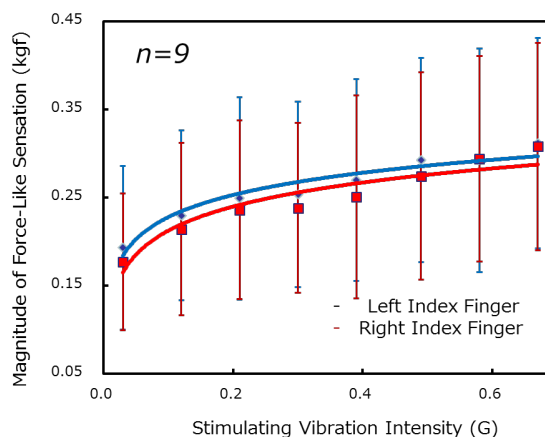


図3 振動強度に対する力覚様感覚の大きさ

(2) 指先に振動を与えたときの指の筋群の活動

指先の振動刺激がOFFになったとき、OFFになったときの橈側手根屈筋のH波とM波の比(H/M比)の変化を被験者7名について図4に示す。

3名の被験者がOFF時にH/M比に大きな変化(有意差 $p < 0.01$)を示す一方、他の被験者については有意差が見られなかった。この結果から、個人差は大きいものの振動刺激が前腕筋群の筋紡錘に作用し、脊髄運動神経細胞の興奮性に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

(3) 押下型インタフェースへの応用

20mmを押下したときの押下変位の時間変化を、2名の被験者について図5に示す。反力は0.6N一定とし、押下変位が20/3 ~ 40/3mmの間で振動を提示した。凡例の数値は20mmを押下するために要した時間である。

左に示した被験者Aについては20mmを押下する時間が長くなると押下軌跡に変化が現れて振動の影響が観察された。しかし被験者Bについては、振動刺激を提示したものの、ほぼ一定の早さで押下した。

実験は9名の被験者で行ったが、被験者Aのように、振動の影響とみられる押下軌跡の変化を示した者は3名であり、他の被験者は図5の被験者と同様に一定の速さで押下しており、個人差が大きいことが明らかになった。

一方、全ての被験者から振動によって押下に抵抗が感じられるとの内省報告があった。これらの結果より個人差は大きいものの、押下型デバイスにおいて振動を用いて反力変化に相当する変化を指に与えることが可能と思われた。

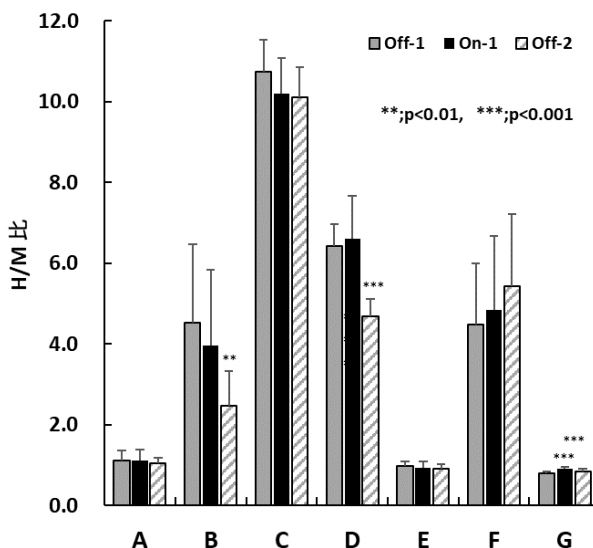


図4 指先振動刺激の有無による各被験者の H/M

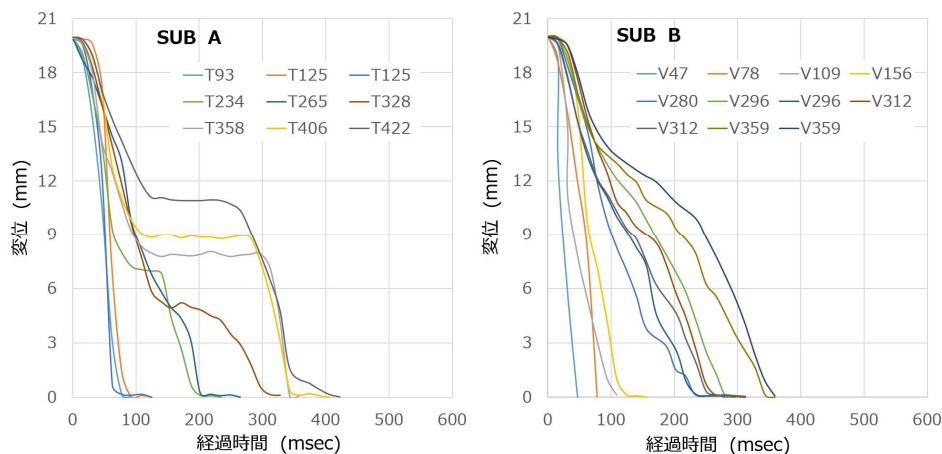


図5 押下時の押下変位の時間変化

<引用文献>

館暲、佐藤誠、廣瀬通孝（監修）日本バーチャルリアリティ学会（編）、「バーチャルリアリティ学」、工業調査会、2010
 黒田嘉宏、仲谷正史、長谷川晶一、藤田欣也：“物理的刺激に基づく擬似力覚の提示と計算に関する研究動向”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，16 巻，3 号，2011、379-390
 栗林英範、飯嶋かおり、久米祐一郎：“振動触覚刺激によって誘発される力覚”，日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集，2008、150-151
 水野統太、佐藤充晃、木村瑞生、久米祐一郎：“振動刺激により指に誘発される力覚様感覚の特性”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，15 巻，4 号，2010、595-601
 (独)製品評価技術基盤機構：“人間特性データベース”，
<http://www.tech.nite.go.jp/human/jp/contents/cindex/database.html>、2019

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

水野統太、桐ヶ谷大輔、木村瑞生、久米祐一郎：指先への振動刺激によって誘発される力覚様感覚の大きさ、電気学会論文誌 C、査読有、139 巻、5 号、pp.658-661、2019。
 DOI:10.1541.ieejieiss.139.658

[学会発表](計 8 件)

水野統太、木村瑞生、久米祐一郎：指先振動刺激による力覚様感覚とその押下型インタフェースへの応用、映像情報メディア学会技術報告、43 巻、8 号、pp.1-4、2019。
 水野統太、木村瑞生、久米祐一郎：ボタンスイッチ押下時の振動刺激の有無が指の押下軌道に及ぼす影響、第23回日本バーチャルリアリティ学会大会、12A-5、2018。
 久米祐一郎、大柳卓也：空気噴流を用いた遠隔触覚刺激により仮現運動、第22回日本バーチャルリアリティ学会大会、3D1-03、2017。
 久米祐一郎、木村瑞生、水野統太：指先振動刺激によりボタン押下時の指の運動と反力提示、第22回日本バーチャルリアリティ学会大会、2D2-01、2017。
 久米祐一郎、水野統太：画像情報との対話のための体性感覚インタフェース、計測自動制御学会第32回生体・生理工学シンポジウム、2017。(招待講演)
 Yuichiro Kume, Tota Mizuno: "Somatic Interfaces to Interact with Image Information", International Display Workshops/Asian Display 2016, Fukuoka, Japan, Proceedings of the International Display Workshops, vol.23, pp.1446-1448, 2016.(Invited)
 水野統太、木村瑞生、久米祐一郎、古河哲哉：指先振動刺激による脊髄運動神経細胞の興奮性変化、第21回日本バーチャルリアリティ学会大会、31A-05、2016。
 久米祐一郎、松田裕太、森 健太：空気噴流の遠隔触覚刺激により二点弁別特性、第21回日本バーチャルリアリティ学会大会、31A-01、2016。

[その他]

ホームページ等
<http://laplace.mega.t-kougei.ac.jp/index.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：水野 統太

ローマ字氏名：(MIZUNO, tota)

所属研究機関名：電気通信大学

部局名：大学院情報理工学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁): 00337875

(2)研究協力者

研究協力者氏名：木村 瑞生

ローマ字氏名：(KIMURA, mizuo)

研究協力者氏名：古河 哲哉

ローマ字氏名：(KOGAWA, tetsuya)

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、研究者個人に帰属されます。