

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03270

研究課題名（和文）磁場を用いたワイヤレスハプティックインタフェースの開発とその応用

研究課題名（英文）Development and application of wireless haptic interface using magnetics

研究代表者

梶 修一郎（HASHI, SHUICHIRO）

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：90324285

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：3次元磁場ベクトル印加システムと赤外線式モーションセンサとを連携させ、小型磁石を貼付した指の動きに応じて磁場ベクトルの周波数、磁場強度をフィードバック制御可能なワイヤレスハプティックシステムを構築した。また、本システムにより表面粗さ感を提示することを目的として、指がある表面をなぞった際の指表面の変位を磁石振動にて再現することで粗さ感の提示を行った。指の速度を検出し、それをフィードバックすることでそれに比例した周波数の磁場を出力し、仮想的に一定の粗さ感を持った表面を再現した。その結果、出力磁場が20～50 Hzとなるように指を動かすと表面粗さ感を感じることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の手指の繊細な動きには、人間の五感の内、触覚および視覚によるフィードバックが大きな役割を果たしている。例えば、物体の硬さ（柔らかさ）を判断するとき、触（力）覚による判断に加え、視覚による物体の形状変化の確認により、物体（を把持する際など）にかかる力加減を調整する。この力加減は、個々人の経験や勘など感覚に依存した指標のため曖昧さが含まれ、他者への正確な伝達は困難である。したがって、真に有用な触力覚を兼ね備えたモーション計測技術の実現により、感覚的な指標を数値化し他者に正確に伝達できれば、技能伝達・修練のみならず、人間活動のありとあらゆる分野・場面で活用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：By combining the 3D magnetic field vector control system and the infrared motion sensor, we constructed a wireless haptic system that can feedback-control the frequency and magnetic field strength of the magnetic field vector according to the movement of the finger attached with a small magnet. In addition, for purpose of presenting the surface roughness feeling by the system, the roughness feeling was presented by reproducing the displacement of the finger surface when the finger traces a certain surface by the magnet vibration. By detecting the speed of the finger and feeding it back, a magnetic field with a frequency proportional to it was output, and a surface with a virtually constant roughness was reproduced. As a result, when the finger was moved so that the output magnetic field was 20 to 50 Hz, a feeling of surface roughness could be felt.

研究分野：磁気応用工学

キーワード：ハプティック 触覚 力覚 磁場ベクトル 磁気トルク ヘルムホルツコイル モーションキャプチャ 位置検出

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

近年、伝統工芸や製造現場での熟練技能の伝承や記録、また医療分野では高度な手術や診断技能の効率的な伝達・修練など、細かい手作業を伴い且つ気軽に行えない特殊で高度な技術訓練へのVR (Virtual Reality : 仮想現実) やAR (Augmented Reality : 拡張現実) 技術活用の期待が高まっている。このような現実空間とサイバー空間とのインタラクションにおいては、手や指の動きの高精度なトレース技術に加え、手指に力覚を提示する触力覚機能を併せ持ったインタフェースが必要となり、それを目指した様々なデバイスが開発されている。例えば、空中に浮かせた手指に対する触覚提示手法として、有線のアクチュエータなどの装置を指に装着する手法¹⁾、また拘束のない超音波放射圧を手指に与える手法²⁾などが提案されているが、前者では拘束性が高く手指の動きが阻害されやすく、後者では超音波放射圧の発生源と手指の間に遮蔽物が存在する場面では触覚提示ができないなど、ワイヤレスであることと遮蔽の影響を受けないことがトレードオフの関係となる。よってこれらの課題を解決可能な妥当な触覚提示デバイスは未だ開発されていない。

2. 研究の目的

本研究では、小型の永久磁石と磁場ベクトルの利用により手指に触力覚をリアルタイムで提示可能な、非拘束・非接触型の新たなハプティックインタフェースを開発することを目的とする。具体的には、手指の動きの計測には、赤外線式のモーションセンサを用い、その計測情報のフィードバックにより、手指に貼付された小型の磁石または磁性エラストマー材に対し、3軸のヘルムホルツコイル型電磁石により印加する直流または交流磁場ベクトルの方向や磁場勾配の制御により、非拘束・非接触で力覚の提示ができることを実証する。

3. 研究の方法

永久磁石は磁場勾配下に置かれると、それぞれの極で発生する力の大きさが異なるためある方向に力が発生する。また、永久磁石の磁化方向と異なる方向の磁場下に置かれると磁場の方向に磁石磁化が揃おうとする磁気トルクが発生する。よって、これらの性質を用いることで永久磁石を付けた指に力を与えることや交流の磁場を用いることで磁気トルクを変化させ振動を与えることができると考えられる。磁場ベクトルを3次的に制御可能な3軸のヘルムホルツコイル型電磁石を用いることで、コイル内部の任意の位置に任意の磁場を発生可能となるため、永久磁石を付けた指をコイルに入れることで、任意の触覚を提示することが可能であると期待される。

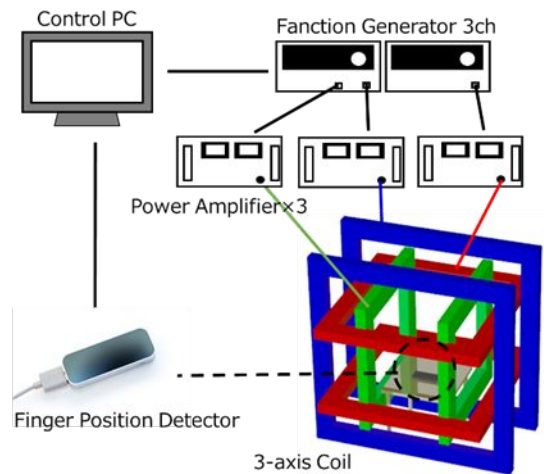


図1 触覚提示システムの模式図

図1に本研究における触覚提示システムの模式図を示す。本システムは制御用PC、信号発生器3ch、増幅用バイポーラ電源3ch、3軸コイル、手指の位置検出のためのモーションセンサ、永久磁石で構築されている。3軸コイルはX、Y、Zの各軸で2つのコイルが平行に204 mmの間隔で配置されており、コイル内で手を自由に動かし、触覚を付与できる範囲は1辺が204 mmの立方体の範囲内である。

指が触覚を感じる手順を以下に示す。まず、永久磁石を装着した指を3軸コイル内に挿入する。指の位置検出装置によりコイル内の指の位置座標を取得する。指の位置と任意の磁場よりコイルに流すべき電流を計算し、信号発生器により必要な波形信号を出力する。その波形信号が増幅されコイルに所望の電流が流れることで磁場が発生し、指が触覚を得られる。

4. 研究成果

(1)生成される力の計算と振動の評価

実際に構築したシステムにて指が触覚を得られるか判断するために定量的な評価を行った。まず、磁場勾配による力を理論的に計算した。計算には、1辺の長さが370 mm、巻き数が100ターンのz軸コイル、また直径10 mm、厚さ3 mm (厚み方向着磁、 $J = 1.45 \text{ T}$)のネオジウム磁石を用いた。対になっているコイルに逆向きに電流を流し、コイル内部での磁場を打ち消すように発生させ磁場勾配を最大にした。電流を1 Aとした時、コイル中心面に生成される磁場勾配を図2に示す。最大でコイル近傍 $(x, y, z) = (100, 100, 0)$ の位置座標では、約 0.434 Oe/cm 、

また最小でコイル中心(x, y, z) = (0, 0, 0)では約 0.260 Oe/cm となった。本研究で用いた電源の定格電流は 20 A であるため、ネオジム磁石にはコイル中心に最大で約 1.4 gf の力が生成できる。指が圧覚を感じる最小の閾値は 80 mg であり³⁾、磁石の自重は 1.72 g である。そのため、指に力を与えるためには 1.8 gf 以上の力を生成する必要があり、現状のシステムの電源の仕様では力を指に与えることはできないが、コイル形状の最適化や定格電流の大きな電源を用意することで、実際に指に力を与えることは可能である。

次に、磁気トルクによる磁石振動の閾値測定を行うため、実際に厚みの異なる 4 種類のネオジム磁石(10×1, 2, 3, 4 mm, 厚み方向磁化 J = 1.45 T)を人差し指に装着し 3 軸コイルの中央に指を挿入した。また、着磁方向に直交する磁場を出力するよう、今回は x 軸コイルを用いた。振動を感じる十分な磁場から強度を下げていき、振動を得られなくなる磁場強度を閾値磁場として記録した。測定結果を図 3 に示す。240 Hz において最小の閾値となり 0.12 Oe の磁場で振動触覚を得られた。また、磁石の厚さが 3 mm 以上では ICNIRP (国際非電離放射線防護委員会) のガイドライン⁴⁾の基準値をすべての周波数で下回り、人体に安全に触覚を与えられることが明らかとなった。

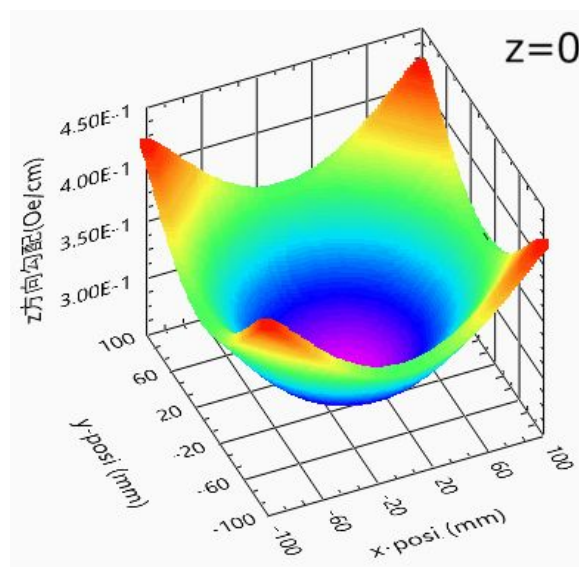


図 2 磁場勾配の計算結果

(2)表面粗さ感の提示

実際のデバイスとして用いる際には具体的に何かを触った感覚が求められる。そこで表面粗さ感を提示することを目的として、指がある表面をなぞった際の指表面の変位を磁石振動にて再現することで粗さ感を提示することを検討した。まず、物体をなぞるような動きをさせた指の速度を検出し、それをフィードバックすることでその速度に比例した周波数の磁場を出力し、仮想的に一定の粗さ感を持った表面を再現する。また、表面粗さを知覚するとされている指の皮下のマイスナー小体について、その感度が高いとされている 10~40 Hz 付近の磁場を出力するとき表面粗さ感を感じることが期待される。検討の結果、出力磁場が 20~50 Hz となるように指を動かすと、表面粗さ感を疑似的に感じられることが判った。これに対し、指をさらに早く動かして出力される磁場の周波数が 50 Hz 以上になると、粗さ感を感じずにただ振動しているという感覚のみであった。以上のことから、触覚受容器の適切な選択と指の変位を磁石振動で再現することで、より具体的な触覚が再現できるものと思われる。

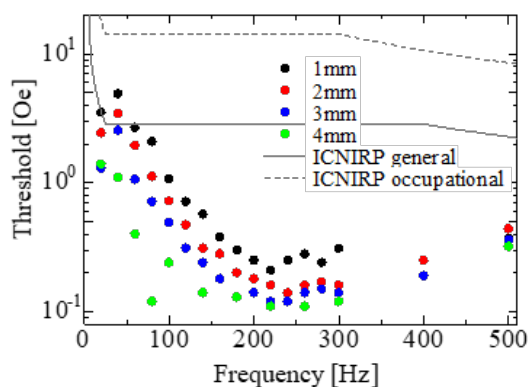


図 3 振動触覚の閾値磁場測定結果

< 引用文献 >

- 1) G. Yang, K. Kyung, M. A. Srinivasan, and D. Kwon, IEEE Int. Conf. Robot., (2006).
- 2) T. Hoshi, M. Takahashi, T. Iwamoto, and H. Shinoda, IEEE Trans. Haptics, 3 (2010).
- 3) S. Weinstein, The Skin Senses, (1968).
- 4) ICNIRP, Health Physics, 99 (2010).

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 Shuichiro Hashi, Daisuke Sora, Kazush, Ishiyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Strain and Vibration Sensor Based on Inverse Magnetostriction of Amorphous Magnetostrictive Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE MAGNETICS LETTERS	6. 最初と最後の頁 8110604
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LMAG.2019.2957247	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐野友輝, 柮修一郎, 藪上信, 金高弘恭, 石山和志
2. 発表標題 鉄系アモルファスリボンをを用いた薄型磁気マーカによる位置検出精度向上に関する検討
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野友輝, 柮修一郎, 石山和志
2. 発表標題 3次元磁場ベクトルと永久磁石を用いたワイヤレス触覚提示手法に関する検討
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐野友輝, 柮修一郎, 石山和志
2. 発表標題 磁気トルクによる磁石振動を用いた触覚提示手法の検討
3. 学会等名 第44回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	石山 和志 (ISHIYAMA KAZUSHI) (20203036)	東北大学・電気通信研究所・教授 (11301)	

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