

磁氣的干渉の少ない多指力覚提示装置の提案

内山 貴雄^{†1,a)} 赤羽 克仁^{†1} 佐藤 誠^{†1} 広田 光一^{†2}

概要：本研究が開発した力覚提示装置 SPIDAR は金属フレームにより構成されている。そのため、磁気センサから取得される情報を基に手形状推定し、SPIDAR を用いて VR 空間にて力覚提示を伴う把持操作はフレームの磁氣的干渉の問題から可能ではなかった。本研究は、この問題を磁氣的干渉の少ない多指力覚提示装置により解決することを提案する。また、この装置は片麻痺上肢に対するリハビリテーション手法である BMI 療法などの、磁気を遮蔽する必要がある環境下でも使用可能である。

A Proposal of Non-Magnetic Interference Multi-Finger Haptic Interface

TAKAO UCHIYAMA^{†1a)} KATSUHITO AKAHANE^{†1}
MAKOTO SATO^{†1} KOICHI HIROTA^{†2}

Abstract: Haptic devices “SPIDAR” that this laboratory has developed is composed of a metal frame. Therefore, it can’t be used because of magnetic interference of the frame, when hand shape is estimated based on the information from the magnetic sensor, and the gripping operation with haptic by SPIDAR on virtual world. This study proposes that the non-magnetic interference multi-finger haptic interface to solve this problem. In addition, SPIDAR5-U can also be used in environments where there is a need to shield the magnetic, such as BMI therapy is a rehabilitation technique for hemiplegic upper limbs.

1. 研究背景

1.1 磁気センサを用いた手形状推定

近年、実空間においての手の情報を磁気センサにより取得し、それを基に手形状推定を行うことで、VR 空間での手を用いたインタラクシオンが可能なシステムが注目されている。なぜなら、これらは工業製品の組み立てシミュレーションや、手術シミュレーションに応用されることが期待されているからである。例えば、広田らは手形状推定を磁気センサ(Liberty240 8-8)[1]から取得した情報を基に行い、変形可能な手モデルを有限要素法により計算させることで VR 空間にて現実感の高い把持操作を可能にした[2]。

また、三宅らは、力覚提示装置 SPIDAR-10[3][4]から取得した指先の位置情報と、磁気センサ(Hydra[5])から取得した手の甲の位置姿勢情報から手形状推定し、VR 空間での把持操作とその力覚提示を SPIDAR10 により可能にした[6]。だが、SPIDAR-10 を構成する金属フレームによる磁氣的干渉により手形状推定が不安定である問題が残された。

この様に、磁気センサによる安定な手形状推定と、VR 空間にて力覚提示を伴った現実感の高い把持操作を実現するためには、磁氣的干渉の少ない力覚提示装置が必要であると言える。

1.2 磁氣的干渉の少ない力覚提示装置の使用例

圓道らは、手指が麻痺した患者のリハビリテーションにおいて力覚提示装置 SPIDAR を用いた[7]。そこでは、SPIDAR を用いることで、実空間では危険を伴う作業を安全に VR 空間にて再現でき、各種のパラメーター操作により多様な状況を構築することが容易であることを示されている。

また、近年新たなリハビリテーション手法の一つとして BMI(Blain Machine Interface)療法[8]が注目されている。この療法は、訓練者が麻痺側の手指を伸ばそうとした際に発生する脳波の変化を、脳磁図(MEG:Magneto Encephalography:図 1(a))で記録し、解析結果を視覚的にフィードバックすると共に、麻痺側手指に装着した装置により指を動かす手法である[9]。ただし、MEG は非常に小さい磁場変化を感知する超伝導量子干渉計 (SQUIDS)を用いるために、MSR(Magnetically Shielded Room:図 1(b))という部屋により磁場を遮蔽することが必要である。そこで、この様な条件下でも使用可能な磁氣的干渉の少ない SPIDAR を、その療法において採用できるならば、より安全かつ容易に多様な作業を再現できると期待できる。

^{†1} 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

^{†2} 電気通信大学
University of Electoro Communications

a) uchiyama.t.ap@m.titech.ac.jp

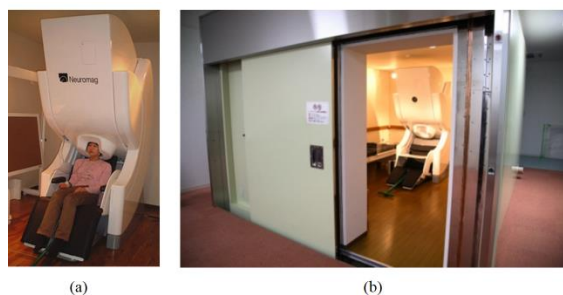


図 1 脳磁図(MEG)と MSR

Figure 1 MEG(Magneto Encephalography) and MSR

2. 研究目的

磁氣的干渉の少ない力覚提示装置を提案することにより、磁気センサによる手形状推定と力覚提示を伴った把持操作を実現するのみならず、BMI 療法などの磁気を遮蔽する必要がある環境下でも SPIDAR を使用可能にすることが、本研究の目的である。

3. 磁気干渉の少ない力覚提示装置

3.1 概要

今回提案する磁気干渉の少ない力覚提示装置は、操作者の右手5本の指先の3自由度の位置情報取得と3自由度の力覚提示を可能にする装置である。張力に基づく力覚提示において、提示自由度+1次元[10]の糸が必要であるため、操作者の各指に各4本計20本の糸を張る。

また、本装置には主に以下の様な長所がある。

(1) 磁氣的干渉が少ない

前述の通りなので省略する。

(2) 作業領域から離れた位置にモーターを配置可能

糸をモーターから指に接続する際、プーリーを経由することにより磁気干渉が問題となる作業領域から離れた場所にモーターを置くことを可能にした。

(3) 糸の出し口を集約

(2)より、糸の出し口付近にモーター配置のためのスペースを確保する必要がなくなり、糸の出し口を集約することが可能になった。それにより、フレームの構造の簡易化や糸の干渉の軽減することができる。

3.2 材質

本装置のフレームを構成する磁氣的干渉のない材質の候補として、木材・アクリル・カーボンが挙げられた。本装置の材質としての要素として、糸の張力に対する曲げ強度が重要であると考えた。表 1 は、各材質とその曲げ強度を比較したものである。

表 1 各材質における曲げ強度

Table1 Flexural strength of material

材質	曲げ強度[N/mm ²]
木材	82-107[11]
アクリル	73-131[12]
カーボン	1079-1177[13]

表 1 から、曲げ強度のみに注目すると、カーボンの曲げ強度は他の材質の約 10 倍であり、フレームの材質として適していると考えられる。しかし、カーボンの価格は他の材質と比較しかなり高い上に、加工に特殊な技術が必要でありその費用を踏まえて考え、本研究の材質として採用しない。

表 1 より、木材とアクリルを比較すると、曲げ強度にて大差はない。一方で、アクリルを用いフレームを構成する場合、固定のための金具やネジが必要である。しかし、木材の場合はホゾ組み加工により、接着剤のみでフレームを構成可能である。

これらの考察から、価格や組み立てた際の構成の簡易さにおいて木材が優れており、本装置の材質としてこれを採用する。

3.3 フレーム設計

本装置を構成する木製フレームの概形図を図 2 に示す。フレームの構造は、一般的な木製の 4 本足の椅子を倒した状態をモデルとしており、任意の方向の力に対し剛性があるものとした。フレームの組み立てには、ホゾ穴という溝が彫られた部品とそれに対応した凸状の部品を組み合わせたホゾ組みを採用し、固定にネジや釘を必要としないシンプルな構成を実現した。また、横たわる 4 本の角材を支える柱は、はめる場所をずらして組み合わせることにより、部品に彫るホゾ穴を深くし、より剛性のある構造となった。

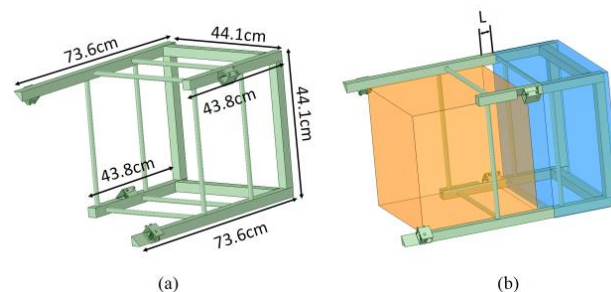


図 2 本装置の概形図

Figure2 Overview of this device

次に、図 2(b)を用いて、このフレームが青色のモーター搭載領域と橙色の作業領域により構成されることを説明する。

まず、モーター搭載領域とは、名前の通りモーターを配置する領域である他に、金属製のモーターなど磁気干渉を生ずる可能性があるものの配置を許可する領域とする。また、作業領域とは、操作者がインタラクション可能な領域であり、磁気非干渉なもののみ配置を許可する領域とする。

そのようにする定義することにより、本装置を仮に MSR にて使用する場合、作業領域とモーター搭載領域の間(図 2(b)での L)を引き伸ばすことにより、磁気非干渉な作業領域のみを MSR 内に配置することを可能にできる。図 3 は、その様に、改良を加えた場合のイメージ図である。



図3 本装置の改良例

Figure3 Improved example of this device

3.4 モーター配置と糸の取り付け

20本の糸をモーターから操作者の各指に接続するために、糸の出し口が5個集合している部位をフレームに4ヶ所設置した。その部位を以下プリーマウントと呼び、それらの配置と番号を示した図3(a)を載せる。プリーマウントは前章にて説明した40cm立方の作業領域の頂点に設置する。それにより、任意の方向にて偏りがない力覚提示を可能にする。

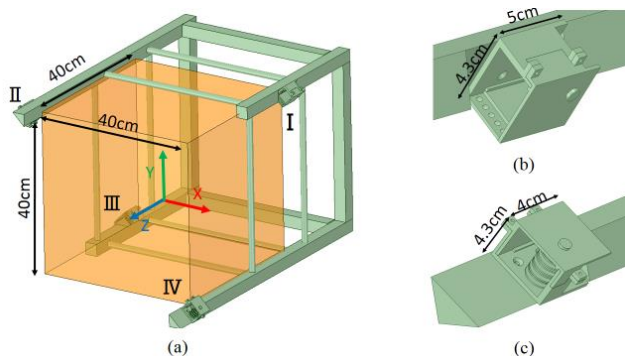


図4 プリーマウントと座標系

Figure4 Pulley mount and Coordinate system

図4(b),(c)はプリーマウントI, IVの拡大図である。プリーマウントは外径20mm(内径10mm)のプリーを5個搭載し、角材の45°の斜面にsunco社製ポリカーボネートネジを用い設置される。

また、実際に糸を取り付けた際の、プリーマウントI, IVの様子を示したものを図5(a),(b)として、プリーマウントI, IVそれぞれに接続するモーターまでの様子を示したものを図6(a),(b)として載せる。図5の様に、モーターから接続された5本の糸は、先程のプリーを経由させ、5mm間隔に空けられた3mm径の糸の出口を通し操作者の指に接続される。各プリーマウントに接続される5個のモーターは、図6のように角材の面に水平に約8mm間隔で設置される。このとき、モーターマウントの固定にステンレス製木ネジを用いているが、モーター搭載領域内であるためこれを許可する。

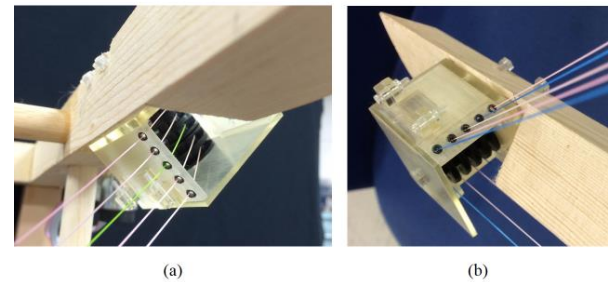


図5 糸が張られたプリーマウントI, IV
Figure5 Pulley mount I, IV stretching the thread

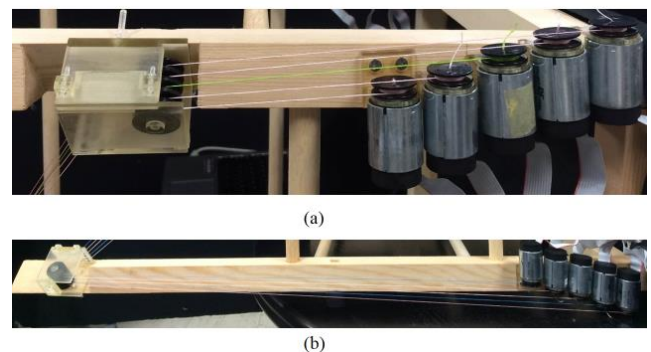


図6 プリーマウントI, IVとそれに接続するモーター
Figure6 Pulley mount and motors

20個のモーターの制御は本研究室の赤羽らが開発した制御基盤(AHSコントローラー)を用いる。その基盤では、8個のモーターを制御可能であるので、本装置ではそれを3枚用いる。

3.5 全体図

図7に以上の説明を踏まえ作成した本装置の全体図を載せる。図7(a)は、20本全ての糸を張った状態の本装置であり、図7(b)は操作者が右手をエンドエフェクターに嵌めた状態を示す。

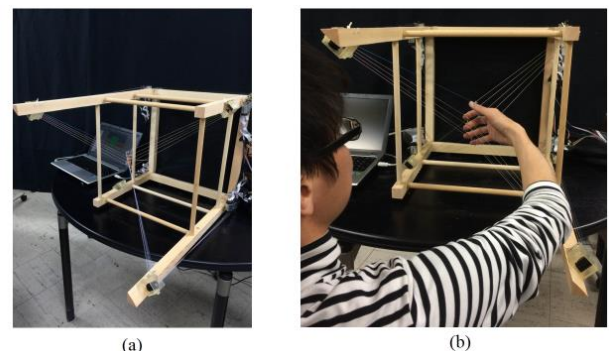


図7 SPIDAR5-Uの全体図
Figure7 Overview of this device

4. まとめ

4.1 今後の課題

本装置のフレームの組み立てにおいてホゾ組みを採用した。その手法にて、部品同士が剛性良く組み合わさるためには、部品に彫る溝と凸状の部品の作成時に熟練した技術が必要であった。これは、前述した様なリハビリテーションなどの多様な現場にて本装置が使用されることを想定し大量生産する際に弊害となると考えられる。

そのために、プーリーマウントとモーターが搭載される角材を支える柱を、全て組み合わせ加工が比較簡易な円柱にするなどの工夫が必要である。

また、糸の出し口の集約を本装置の長所としたため、手の指の中で他と比較し特殊な挙動をする親指に接続する糸の干渉が課題となっている。その問題解消のために、親指に接続する糸の出し口のみ他の指のそれを若干離れた位置にすることを検討するべきと考えられる。

4.2 今後の展望

本装置は、温度や湿度で歪み箇所により剛性も偏りがあると予想された木材を使用している。しかし、組み立て後実際に糸に張りこの装置を動作してみると、予想された様な歪みや偏りは主観的には確認されなかった。本稿を執筆後、その歪みや剛性の偏りを、最大提示力を測定後、木材の剛性定数から数学的に算出し分析したいと考える。

また、磁気センサを用いた手形状推定に本装置を使用し、従来の装置と比較することで、精度の安定性・磁気干渉性を評価していく。

参考文献

- 1) Liberty240 8-8
<http://polhemus.com/motion-tracking/wireless/liberty-latus>
- 2) 広田光一, 田川和義:変形可能な手モデルによる把持操作, 第 20 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.487-488, 2015.
- 3) 周東正高, 赤羽克仁, 脇田航, 田中弘美, 佐藤誠:技巧的操作かが可能なハプティックインタフェースの提案, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.143-146, 2012.
- 4) 丸山 直紀, 劉蘭海, 田上想馬, 赤羽克仁, 佐藤誠:フレーム可動型両手多指力覚提示装置のフレーム制御に関する提案, インタラクシオン 2014 論文集, p112~120, 2014.
- 5) Hydra: <http://www.razerzone.com>
- 6) 三宅慧, 小金山洋, 赤羽克仁, 佐藤誠:両手 10 本の 指先位置情報を基にした 3D 手モデルによる VR 操作 システムの構築, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文抄録集, pp.604-607, 2014.
- 7) 圓道知博, 渡邊義教, 佐藤誠:PC ベースの VR システムとそのリハビリへの応用, 映像情報メディア学会技術報告, vol.21, No.29, pp1-6, 1997
- 8) 里宇明元:片麻痺上肢に対する新たなリハビリテーション手法の開発, 臨床神経 52, pp1178-1181, 2012
- 9) Buch E, Weber C, Cohen IG, et al:Think to move: neuro- magnetic brain-computer interface (BCI) system for chronic stroke. Stroke 2008, 39, pp910-917, 2008
- 10) Kawamura S., Ito K.:A New Type of Master Robot for Teleoperation Using A Radial Wire Drive System, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 55-60, 1993
- 11) 日本建築学会:建築材料用教材, pp9, 1990
- 12) KDA Corporation, PMMA アクリル樹脂 (物性表 1), http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pmma2.htm
- 13) 三協製作所, CFRP 性能比較データ集 I, <http://www.sankyo-ss.co.jp/about-cfrp/performance.html>