

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21746

研究課題名（和文）新しいニューロリハビリテーションを可能にするMEG対応ハプティック技術の創成

研究課題名（英文）Design of MEG-Compatible Haptic Technology for Novel Neurorehabilitation

研究代表者

原 正之（Hara, Masayuki）

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00596497

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、新しいニューロリハビリテーションの創出を目指して脳磁図（MEG）計測環境下で定量的な触力覚操作を可能にするハプティックデバイスの開発を試みた。具体的には、強磁性体で作製した筐体による磁気シールド効果の検証から始め、電磁モータや超音波モータ、ペルチェ素子などの駆動源およびエンコーダや熱電対などのセンサ類のMEG対応性について調査した。またペルチェ素子と強磁性体シールドボックスを用いた温感提示装置の設計・開発を行い、限定的ではあるがMEG計測環境内において定量的な温感提示やサーマルグリル錯覚の惹起が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「MEG計測環境にはアーティファクトとなり得る金属部材や電気機器を持ち込むことができない」という通説に逆らって、MEG計測環境下で使用可能なハプティックデバイスの開発を行うことは挑戦的であり、学術的意義が高いものと言える。いくつかのメカトロニクス要素技術において、限定的ではあるがMEG環境下で使用できることを確認したことにより前述の通説を打ち破ることができ、脳科学研究や理学療法学研究にブレークスルーをもたらすことができたものと考えられる。また本研究で試作したMEG対応ハプティックデバイスは、触力覚操作を伴う新たなニューロリハビリテーションの創出に貢献するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In the present research project, we have challenged to launch haptic devices that allow to quantitatively manipulate human haptic sensation during magnetoencephalography (MEG) measurement. First, we verified that the boxes made of ferromagnet has a significant shielding effect for the MEG measurement. And then, we investigated the MEG compatibility for several actuators (e.g., electromagnetic motor, ultrasonic motor, Peltier element) and sensors (e.g., rotary encoder, thermal couples). Additionally, thermal displays were prototyped using Peltier elements with various sizes and ferromagnetic shield box with several layers and were tested how the driving affects the MEG measurement. The results demonstrated that quantitative thermal display and induction of thermal grill illusion are feasible under the MEG measurement environment although there are some restrictions in the application.

研究分野：コグネティクス

キーワード：コグネティクス 脳磁図 ハプティクス ロボティクス ニューロリハビリテーション

### 1. 研究開始当初の背景

近年の理学療法では患者の身体に対する作業のみならず、ヒトの身体認知の知見を取り入れて心身ともに運動機能を改善させる試みや、神経科学や脳科学などに立脚したアプローチに基づく治療、すなわちニューロリハビリテーション (McDowell, 1994) などでも試みられている。新しいニューロリハビリテーション創出を目指して、基礎理学療法学などの分野では各作業や刺激が脳に与える影響を明らかにするために、脳波 (EEG) や機能的磁気共鳴画像 (fMRI)、脳磁図 (MEG) などを用いた研究も盛んに行われている。これらの脳機能計測では研究参加者や患者に刺激提示や運動操作を与えることがあり、様々な触刺激や物理的インタラクションを制御できる触力覚提示装置 (ハプティックデバイス) が各種脳機能計測環境でも使用可能になれば、基礎研究を飛躍的に促進させ、また臨床研究の発展にも貢献できるものと考えられる。

ここで近年理学療法学などの分野で使用が増えており、また対応機器に関しての情報・研究報告が極めて少ない MEG に着目する。MEG とは、大脳皮質における電気活動により誘起される微弱な磁場を計測して視覚化したものであり、条件によっては EEG よりも空間的分解能に優れ、fMRI よりも時間的分解能に優れるという特徴があるため、非侵襲 (生体を傷つけない) 脳機能計測において有効な手段になりつつある (Zamrini, et al., 2011)。しかしながら、脳が発する微弱な磁場を計測する際に超高感度の磁気センサを用いるため、アーティファクト (信号の歪み) となり得る金属部材や電気機器を MEG 計測環境に持ち込めないという制約がある。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、「MEG 計測環境にはアーティファクトとなり得る金属部材や電気機器を持ち込むことができない」という通説を打ち破り、MEG 計測環境下で使用可能なハプティックデバイス実現のための基盤技術の創出に挑戦する。MEG を用いた脳機能研究は黎明期にあり、MEG 対応デバイス開発の報告例がほとんどない中で本研究課題を推進することで、MEG を用いた定量的な触力覚操作あるいは運動制御可能な新しいニューロリハビリテーションの創出に貢献することを目指す。さらに基礎理学療法学や脳科学などを専門とする研究者と本研究課題を推進することで、工学との間の新たな学際的リンクを開拓する。

### 3. 研究の方法

本研究課題では工学を専門とする研究代表者を中心として、基礎理学療法学や脳科学を専門とする研究者との分担・連携により、以下の3つの研究を学際的に推進する。

#### (1) 課題1: メカトロニクス要素技術の MEG 対応性の検証とその評価方法の確立

既存のメカトロニクス要素技術が MEG 計測に与える影響を明らかにするために、まず初めに各種アクチュエータやセンサを実際に MEG 計測環境下で駆動して、MEG に対するノイズレベルなどを調査する (図1)。また電磁シールド技術なども取り入れて、MEG 計測に対するシールド効果などについても検証する。これらの研究・実験を通して得られる知見を基礎として、MEG 対応性の試験方法および評価方法を確立する。

#### (2) 課題2: MEG 対応ハプティックデバイスの試作およびその特性評価

課題1で得られる知見を基礎として、実際に MEG 対応ハプティックデバイスの開発に挑戦する。具体的には、MEG 対応性が示唆されたメカトロニクス要素技術を用いて、触刺激、力刺激、温度刺激などを制御・管理できるハプティックデバイスを設計・試作し、その基本性能を定量的に評価する。

#### (3) 課題3: 試作機を用いた MEG 計測環境下における行動実験

課題2で試作するハプティックデバイスを用いて、実環境および MEG 計測環境下でヒトを対象とした行動実験を実施し、試作機のニューロリハビリテーション研究に対する有用性を示す。

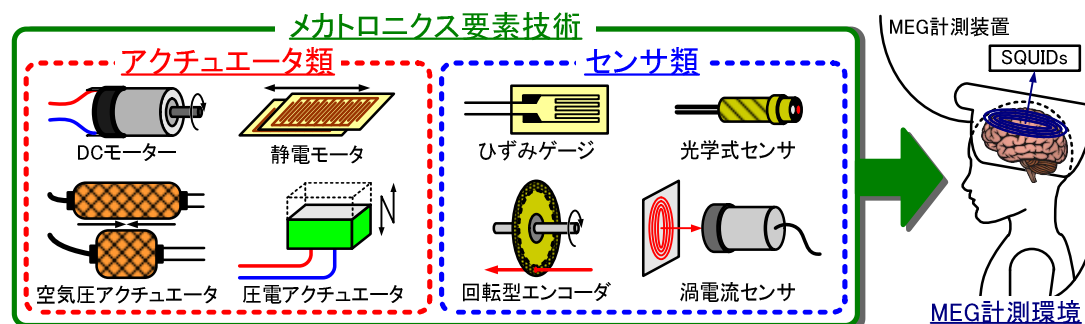


図1. メカトロニクス要素技術の MEG 対応性検証

#### 4. 研究成果

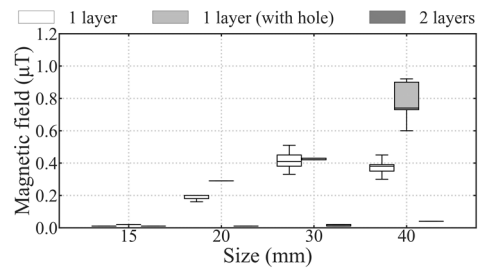
(1) 予備実験として、まずは電磁モータや超音波モータ、ペルチェ素子などのアクチュエータとエンコーダや熱電対などのセンサ類を、実際に MEG 計測環境下で駆動した際の MEG 計測に対する影響を確認した。磁場を発生させることがなく、またセンシング時に金属部の動作がないセンサに関しては、MEG 計測に顕著な影響を与えないことを確認した。これにより、MEG 対応機器開発においては電気的ノイズよりも磁氣的ノイズに気を配る必要があることを明らかにした。

(2) 強磁性体材料（鉄）を用いた磁気シールドの構成（厚みや大きさ、層数など）について検討し、いくつか強磁性体シールドボックスを試作した。またガウスメータを用いて、シールドボックス内で駆動するアクチュエータが発する磁場の影響を実環境において調査した（図 2）。

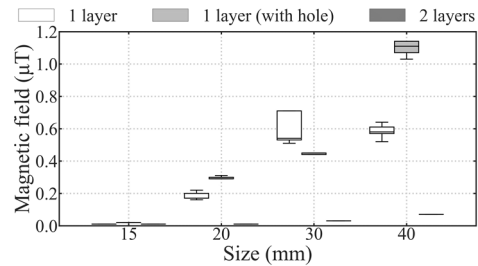
(3) fMRI 対応ロボットシステムを開発した際の実験プロトコル (Hara et al., 2014) を参考に、MEG 対応試験の実験プロトコルや実験条件の策定を行った。

(4) (1)と(2)の知見を基礎として、強磁性体シールドボックス内に各種アクチュエータを組み込んだ MEG 対応アクチュエーションシステムを試作し、(3)で策定した実験プロトコルを用いてその MEG 対応性について調査を行った（図 3）。MEG 対応試験の結果、超音波モータに関しては MEG 対応性が認められたが、電磁モータについては強磁性体シールドボックスの有無にかかわらず無視できないレベルのノイズが MEG データに現れた。また、ペルチェ素子については、素子のサイズやアンプの種類などによっては MEG 対応性を持つことが確認できた。

(5) 応用研究として、サーマルグリル錯覚 (Bach et al., 2011) の実験的誘起を可能にする MEG 対応温感提示装置をいくつか試作した（図 4）。実環境における心理学行動実験により、研究参加者にサーマルグリル錯覚を体験させることが可能であることを確認し、温感操作や心理的痛みを利用した新しいニューロリハビリテーションの可能性について示唆した。



(a) 10 に制御した場合



(b) 40 に制御した場合

図 2. シールドボックス内でのペルチェ素子駆動時の磁場計測結果



図 3. 磁気シールドを用いたアクチュエーションシステムの MEG 対応試験

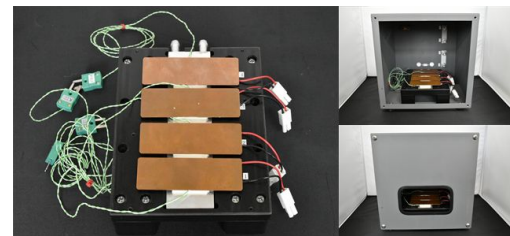


図 4. サーマルグリル錯覚を惹起する MEG 対応温感提示装置の試作 1 号機

#### < 引用文献 >

- F. H. McDowell, "Neurorehabilitation," *Western Journal of Medicine*, Vol. 161, No. 3, pp. 323-327, 1994.
- E. Zamrini, F. Maestu, E. Pekkonen, M. Funke, J. Makela, M. Riley, B. Bajo, G. Sudre, A. Fernandez, N. Castellanos, F. del Pozo, C. J. Stam, B. W. van Dijk, A. Bagic, and J. T. Becker, "Magnetoencephalography as a putative biomarker for Alzheimer's disease," *International Journal of Alzheimer's Disease*, pp. 1-10 (article ID 280289), 2011.
- M. Hara, R. Salomon, W. van der Zwaag, T. Kober, G. Rognini, H. Nabae, A. Yamamoto, O. Blanke, and T. Higuchi, "A novel manipulation method of human body ownership using an fMRI-compatible master-slave system," *Journal of Neuroscience Methods*, Vol. 235, pp. 25-34, 2014.
- P. Bach, S. Becker, D. Kleinböhl, and R. Hölzl, "The thermal grill illusion and what is painful about it," *Neuroscience Letters*, Vol. 505, No. 1, pp. 31-35, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 原正之	4. 巻 45
2. 論文標題 認知神経科学研究にブレークスルーを与えるMRI対応デバイスの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 37-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3951/sobim.45.1_37	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Harada, M. Hara, K. Matsushita, K. Kawakami, K. Kawakami, M. Anan, and H. Sugata	4. 巻 10
2. 論文標題 Off line effects of alpha frequency transcranial alternating current stimulation on a visuomotor learning task	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Brain and Behavior	6. 最初と最後の頁 e01754
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/brb3.1754	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 H. Sugata, K. Yagi, S. Yazawa, Y. Nagase, K. Tsuruta, T. Ikeda, I. Nojima, M. Hara, K. Matsushita, K. Kawakami, and K. Kawakami	4. 巻 210
2. 論文標題 Role of beta-band resting-state functional connectivity as a predictor of motor learning ability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 116562
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neuroimage.2020.116562	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 祖父江祐太, 大鶴直史, 菅田陽怜, 三木将仁, 大西秀明, 原正之
2. 発表標題 サーマルグリル錯覚の惹起が可能なMEG対応温感提示装置の開発
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 祖父江祐太, 大鶴直史, 菅田陽怜, 三木将仁, 大西秀明, 原正之
2. 発表標題 MEG環境下で使用可能なハプティックデバイスの開発
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浦川芽依, 金山範明, 三木将仁, 原正之
2. 発表標題 レーザードップラ振動計を用いた皮膚上振動伝播の計測
3. 学会等名 第17回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田代尚千恵, 三木将仁, 高崎正也, 原正之
2. 発表標題 レーザー変位計を用いた嚙下運動の定量的計測に関する研究
3. 学会等名 第17回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹尾雄飛, 原正之, 白川優奈, 菅田陽怜
2. 発表標題 実環境から仮想環境への運動学習の転移
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大城和博, 菅田陽怜, 大鶴直史, 三木将仁, 原正之
2. 発表標題 ハプティクス・VR 技術を用いたリハビリ実習システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹尾雄飛, 原正之, 白川優奈, 菅田陽怜
2. 発表標題 実環境での運動学習が仮想環境での運動学習に与える影響
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅田陽怜, 八木和広, 矢澤省吾, 長瀬泰範, 鶴田和仁, 池田尊司, 野嶋一平, 松下光次郎, 原 正之
2. 発表標題 安静時脳機能結合のcross-network interactionを用いた運動学習能力の予測
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹尾雄飛, 原正之, 白川優菜, 菅田陽怜
2. 発表標題 仮想環境における運動学習と実環境における運動学習との関連
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅田陽怜, 八木和広, 矢澤省吾, 長瀬泰範, 鶴田和仁, 池田尊司, 原正之, 松下光次郎, 野嶌一平
2. 発表標題 運動学習能力に関連する安静時脳機能結合の抽出
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会学術大会
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	菅田 陽怜 (Sugata Hisato) (30721500)	大分大学・福祉健康科学部・准教授  (17501)	
研究分担者	大鶴 直史 (Otsuru Naofumi) (50586542)	新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授  (33111)	
研究分担者	大西 秀明 (Onishi Hideaki) (90339953)	新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授  (33111)	

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