

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12044

研究課題名（和文）ウェアラブル生体磁気センサに関する基礎技術の開発

研究課題名（英文）Development of basic technologies for wearable biomagnetic measurement

研究代表者

足立 善昭（Adachi, Yoshiaki）

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号：80308585

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：近年、室温磁気センサの性能が向上しており、これを適用したウェアラブル生体磁気計測の実現を目指す上で必要な要素技術の開発を行った。具体的には、室温磁気センサアレイの感度位置校正と感度領域の複数感度点モデルによるセンサ近傍に磁場源がある場合の磁場源解析の改良、センサと被験者の相対位置を動的に検知する三角形マーカーコイルの開発、適応基線補正による揺動ノイズの低減法の提案、ゲルクッションで体表面に固定した室温磁気センサアレイとSQUIDによる筋磁場の同時測定に成功するなどした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体磁気計測は、体外に配置した磁気センサで体内の電気的活動に伴う微弱な磁場を検出し、無侵襲で神経や筋肉の活動を観察するものである。近年、フラックスゲートや磁気抵抗効果を利用した室温で動作する磁気センサの性能が向上し、それらのセンサを適用したウェアラブルな生体磁気計測の提案がなされている。ウェアラブル生体磁気計測が実現すれば、運動中の筋肉活動の観測も無侵襲で可能となり、スポーツ科学などへの応用が期待できる。

本研究ではウェアラブル生体磁気計測が直面する課題、すなわち磁気センサ自体の物理的な揺れに伴う揺動ノイズの低減と、磁気センサと体表面の相対位置の動的検知という2つの課題の解決に取り組んだ。

研究成果の概要（英文）：Recently, the performance of room-temperature (RT) magnetic flux sensors has improved, and we have developed the necessary elemental technologies for realizing wearable biomagnetic measurement using these sensors. Specifically, we established a calibration method for the position, orientation, and sensitivity of the RT magnetic flux sensors, and improved the magnetic field source analysis for scenarios where the magnetic field source is in the vicinity of the sensor, using a multiple-sensitivity point model of the sensitivity region of the RT magnetic flux sensor. We also developed a triangular marker coil that dynamically reveals the relative position between the sensors and the subject. We proposed a method to reduce subject-movement noise through adaptive baseline correction. Furthermore, we successfully performed simultaneous measurement of muscle magnetic fields with a RT magnetic flux sensor array fixed on the body surface with a gel cushion as well as a SQUID sensor array.

研究分野：計測工学

キーワード：磁気センサ 生体磁気

### 1. 研究開始当初の背景

生体磁気計測は、体表面に配置した高感度な磁気センサで、体内の電氣的活動に伴う微弱な磁場を検出し、無侵襲で神経や筋肉の活動の観測を行うものである。針電極やカテーテル電極のような苦痛を伴わず、感染のリスクがない。また、表面電位測定と異なり、体内の電気伝導度分布に依存せず、比較的高い空間分解能で体内の電氣的活動の情報を得られるという利点がある。

生体磁場信号の強度は極小であり、そのため従来は数  $\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}$  の磁場分解能を有する SQUID (超電導量子干渉素子) 磁束計が用いられてきた。しかしながら、近年では室温で動作する磁気センサの高度化が進んでおり、フラックスゲートや光磁気ポンピング磁束計、磁気抵抗効果を用いた磁気センサなどが開発されている。これらのセンサは SQUID 磁束計に比べると磁場分解能には劣るものの、センサを磁場源に近接できるという利点がある。

これらの室温動作の磁気センサは、SQUID と異なり、超伝導状態を保つための極低温容器内に実装する必要がないため、センサ配置の自由度が高い。被験者の任意の体表面に沿って密着するようなフレキシブルなセンサアレイを構成することが可能であり、被験者が自由に動いても測定ができるようなウェアラブルな測定システムの提案もなされている。

しかしながら、ウェアラブルな生体磁気計測を可能にするためには、センサ自体の高度化だけではなく、いくつかの大きな課題を解決する必要がある。一つ目は、生体磁気測定に影響を与える揺動ノイズである。センサが地磁気中で揺れるとその揺れがそのまま揺動ノイズとなり、生体信号よりも大きな地磁気が測定に影響を及ぼす可能性がある。二つ目の課題は、磁気センサと被験者の間の相対位置検出である。生体磁気計測のデータから体内の電流を推定する磁場源解析では、各磁気センサの位置、向きが正確に把握されていることが重要である。しかし、ウェアラブル生体磁気計測の場合は、センサアレイの形状がフレキシブルに変化し、被験者の体表面にセンサを装着した後に各磁気センサの身体に対する相対位置、向きを明らかにする必要がある。特にセンサが関節などの身体の可動部に装着された場合は、時々刻々変化するセンサの位置を動的に検知するのが理想的である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、前節で述べた室温磁気センサによるウェアラブル生体磁気計測が直面する 2 つの課題である揺動ノイズの低減と磁気センサ位置の動的検知に取り組み、その解決を図るための基礎技術を確立することである。測定対象としては、信号強度の比較的大きな骨格筋の活動による磁場 (筋磁場) とした。筋磁場を測定するためのウェアラブルな磁気センサアレイを試作し、シールドルーム内外での信号検出を試みる。また、筋磁場は SQUID 磁束計では容易に検出できるため、脊磁計と呼ばれる既開発の SQUID 生体磁場計測装置であらかじめ特定の筋磁場を測定し、その結果を既知のものとして、室温磁気センサによるウェアラブル生体磁気計測の結果と比較、評価する。

地磁気による揺動ノイズを想定すると、その大きさは最大で約  $100 \mu\text{T}_{\text{pp}}$  となる。一方、測定対象となる筋磁信号の強度は数  $\text{pT}$  ~ 数  $10\text{pT}$  である。デジタルデータ収録後にソフトウェアの処理によるノイズ低減を適用する場合には、ダイナミックレンジの確保と十分な磁場分解能の両立が前提条件となる。このために、従来多用されている 16 ビット分解能ではなく、24 ビットの分解能で筋磁場信号をデジタル収録できるようにする。また、揺動ノイズを低減する信号処理アルゴリズムを新たに開発する。

磁気センサは一般に位置  $(x, y, z)$ 、向き  $(\theta, \varphi)$ 、感度  $(G)$  の 6 つのパラメータで定義される。測定した生体磁気信号から、磁場源であるものとの電流の位置や大きさを推定するためには、あらかじめ各磁気センサの 6 つのパラメータを正確に知る必要がある。また、各センサ間の信号の相関から、信号処理で揺動ノイズを低減する場合にもセンサの位置、向きの情報は必須である。しかし、ウェアラブル生体磁気計測ではセンサアレイの形状がフレキシブルなため、センサアレイを身体に装着した後に 6 つのパラメータを決定しなければならない。本研究では、従来の SQUID による生体磁気計測システム同様に、センサアレイ近傍に配置した位置、向きが既知の複数のコイルから基準磁場を発生させ、各磁気センサで検出した磁場信号から 6 つのパラメータを推定する手法を確立する。また、リアルタイムで位置が検出できるように位置検出方法を改良する。

### 3. 研究の方法

研究開始当初は、上記の目的に即して、16 個のアモルファス磁性体ワイヤコアを用いた直交型フラックスゲート磁気センサを作成し、多チャンネルのウェアラブルセンサアレイを構築する予定であった。そのために、ポリイミドの極細チューブにワイヤコアを貫通させ、超音波半田による接合を導入するなど、プローブの製造方法を工夫して、フラックスゲート磁気センサを効率よく作成できるようにした。しかし、研究期間中に生じた新型コロナ感染拡大防止措置により、研究活動に支障が生じ、大幅な遅れが生じた。また、世界的な電子部品の供給不足により、研究期間内の多チャンネルの電子回路の作成が困難になったため、研究内容を一部変更し、研究開始当初予定していたカスタムメイドのフラックスゲートではなく、市販の磁気抵抗素子磁気センサ (TDK Nivio xMR) を適用してセンサアレイを構成することにした。

まず、磁気抵抗素子磁気センサ (MR センサ) を用いて従来の SQUID ベースの生体磁気計測シ

システムと同様の心磁信号や脳磁信号を検出するセンサアレイを構成し、センサの感度位置校正が SQUID と同様に適用可能であることを確認した。その際、心磁信号や脳磁信号の検出を試み、加算平均による雑音低減を適用すれば、磁場分解能に劣る MR センサでもそれらの信号が検出可能であることを実証した。

3~7 個のセンサを短冊状の樹脂製のセンサホルダに並列に実装して一つのモジュールとし、このモジュールを観測対象の体表面を鱗状に覆うように配置してセンサアレイを構成する設計とした。これによりセンサの位置を個別に求めるのではなく、モジュール間の相対位置を把握することで、個々のセンサの位置情報を得ることができる。

一方、研究開始当初は揺動ノイズを低減するために、SQUID 磁束計用に開発された DOLPHIN(direct open loop in-phase component input)法と呼ばれるセンサ個別のアクティブノイズキャンセル法をフラックスゲートに最適化し評価する計画だった。しかし、市販のセンサを適用するように方針変更したため、代わりにデータ収録後の信号処理による揺動ノイズ低減法に注力することにした。

#### 4. 研究成果

新型コロナ感染拡大防止措置とその後の世界的な電子部品の供給不足により、研究活動に支障が生じ、研究開始当初の予定を一部変更せざるを得なかったが、ウェアラブルな生体磁気計測を可能にするための課題解決に向けた種々の要素技術を確認、実証することができた。下記は本研究で得られた主な成果である。

##### (1) 室温磁気センサアレイの感度位置校正と感度領域の複数感度点モデルの提案

室温磁気センサの感度にはばらつきがあり、精度の高い測定や磁場源解析のためには個々のセンサの校正が重要である。従来の SQUID 生体磁気計測では、極低温に保った状態で、センサアレイの位置、向き、感度の校正を行う手法が確立している。位置、向きが明らかな複数のコイルからなるコイルアレイに電流を印加し、それぞれのコイルから独立に基準磁場を発生させ、センサで検出した信号からコイルアレイに対する相対位置、向きと感度を推定するという手法である。本研究では同様の手法で室温磁気センサも校正が可能であることを実証した[1]。この手法はセンサアレイの形状に応じて、複数のコイルの配置を工夫することにより、任意の形状のセンサアレイの校正が短時間で可能になる。

ウェアラブル生体磁気計測では、センサが体表面に密着した状態で測定するため、従来の SQUID 磁束計による生体磁気計測よりも、磁場源までの距離が近い。したがって、より大きな信号の検出が期待できるが、センサ位置での磁場勾配も大きくなるため、より高い精度で位置、向きを知ることが求められる。さらに、磁場源が近傍にある場合は、センサの感度領域内における磁場の一様性が仮定できず、従来のように感度領域が一点に集中しているモデルは適用できない。そのような場合、センサ出力はセンサ位置での磁束密度ベクトルと感度方向ベクトルの内積を用いて表すことができない。そこで、図 1(a)(b)に示すような複数のソレノイドコイルを放射状に配置した治具を作成し、磁場源が近傍にある場合の MR センサの感度の角度依存性がコサインカーブではなく、図 1(c)のようなベル型になることがわかった[2]。

この感度角度依存性を説明するために感度領域に複数の感度点を配置するモデルを提案した。これにより磁場源がセンサ近傍にある場合の磁場源解析の精度向上が期待できる。

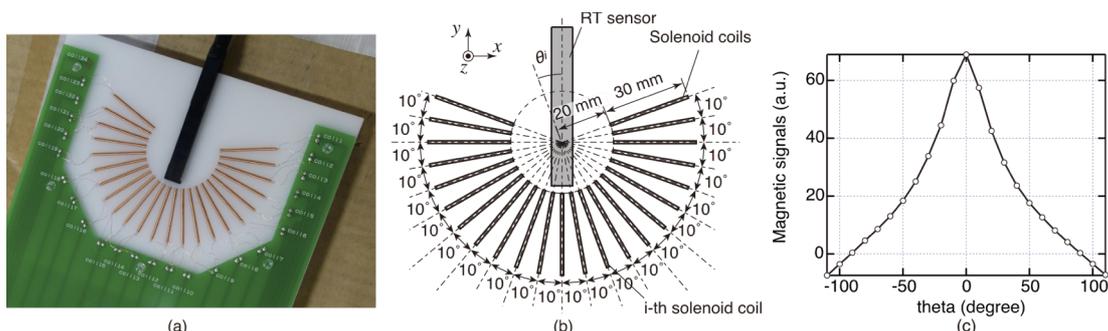


図 1(a)(b) 感度の角度依存性確認治具 (c) MR センサの感度の角度依存性

##### (2) 多角形マーカーコイルによる生体位置検知

生体磁気計測では、被験者と磁気センサアレイの相対位置を得るために、マーカーコイルと呼ばれる小さなコイルが用いられる。体表面の既定の位置にマーカーコイルを装着して電流を印加し、磁気センサアレイで得られたコイルからの磁場分布をもとに、磁場源解析で推定されたマーカーコイルの位置を介してセンサアレイに対する被験者の相対位置や向きを得るという仕組みである。

従来のマーカーコイルによる位置同定では、図 2(a)のように最低 3 つのマーカーコイルの位置を推定し、それらで張られる三角形の法線ベクトルと重心から、被験者の位置、向きを決定する。この場合、それぞれのマーカーコイルを特定の周波数で時系列的に順番に励振するか、あるいはそれぞれのコイルに異なる周波数の電流を印加して同時に励振する必要がある。時系列的に順

番に励振する場合は、すべてのマーカーコイルからの磁場分布を得るのに時間がかかる。一方、複数の周波数で同時に励振すれば、マーカーコイルの位置決めにかかる時間を短縮でき、リアルタイム位置推定も可能になるが、それぞれのコイルに独立した発振器を用意する必要がある。また、いずれの場合もコイルを複数装着する必要があるので、例えば小児を対象とした脳磁図計測の場合など、被験者に煩わしさを感じさせるケースが少なくない。

そこで、複数のマーカーコイルを用いる代わりに、図 2(b)に示すような単一の三角形のマーカーコイルを用いて被験者の位置決めを試みた[3]。この三角形マーカーコイルを短冊状センサモジュールに組み込むことによって、センサアレイ間の相対位置を短時間で把握することができるようになる。図 2(c)は試作した三角形マーカーコイルを示したものである。厚さ 0.15 mm の両面プリント基板に、線幅および線間ともに 0.1 mm で、回転対称でない三角形として三辺の長さがそれぞれ 30、40、50 mm の直角三角形がパターニングされている。三角形マーカーコイルと共通の重心を持つ、相似の三角形を仮定し、その頂点と重心に穴が空いており、従来のマーカーコイルを図 2(d)のように固定できる。従来のマーカーコイルは磁気ダイポールとして位置推定を行うが、三角形マーカーコイルは線分電流として位置推定を行う。

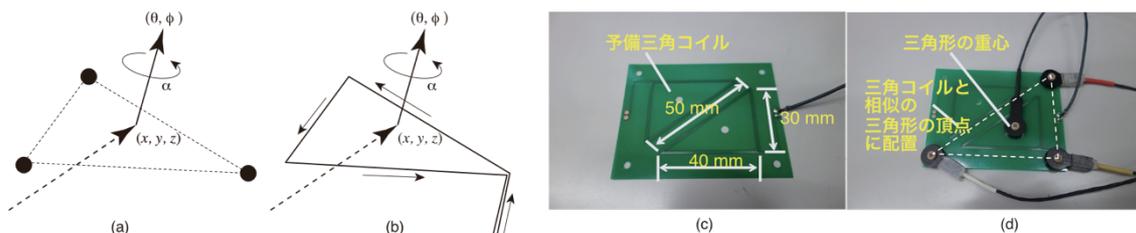


図 2(a)従来の 3 つのマーカーコイルによる位置決めと (b) 三角形マーカーコイルによる位置決め (c) 試作した三角形マーカーコイル (d) 従来マーカーコイルとの比較実験時の様子

試作した三角形マーカーコイルを全頭型脳磁計のヘルメット状センサアレイ内に配置し、位置推定を行った結果が図 3 である。青丸で示した従来マーカーコイルと同様に、三角形マーカーコイルでも、センサアレイに対する相対的な位置、向きが得られることが実証できた。

三角形マーカーコイルは単一のコイルを単一の周波数で励振して位置と向きが得られるので、位置決めにかかる時間が短縮でき、リアルタイムの位置推定に適している。図 4 はその実証実験の例である。三角形マーカーコイルを特定の周波数で励振しながら、ヘルメット状センサアレイ内で図 4(a)のように往復運動させたとき、磁場分布の変化から三角形コイルの頂点 A、B、C の軌跡は図 4(b)(c)のように推定された。推定された軌跡はヘルメット内での三角形マーカーコイルの動きをよく反映しており、連続的な動きに対しても位置推定が可能であることが示された。この三角形マーカーコイルを先に述べた短冊状センサアレイモジュールに実装することにより、モジュール間の相対位置のリアルタイム検知が可能になると考えられる。本成果は研究期間中に特許申請し、特許査定となった。

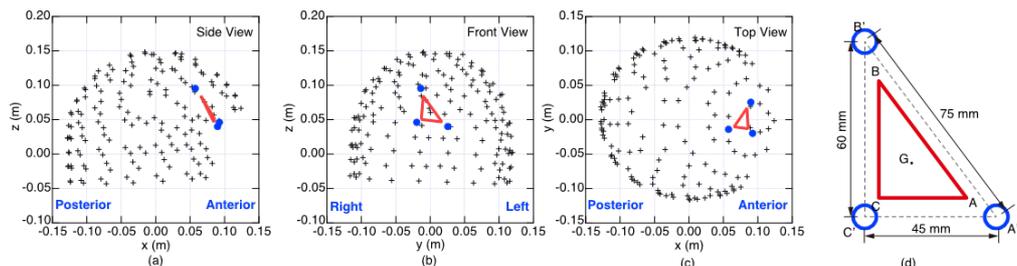


図 3(a)-(c) マーカーコイル位置推定結果の例 (d) 検証用の従来マーカーコイルの位置

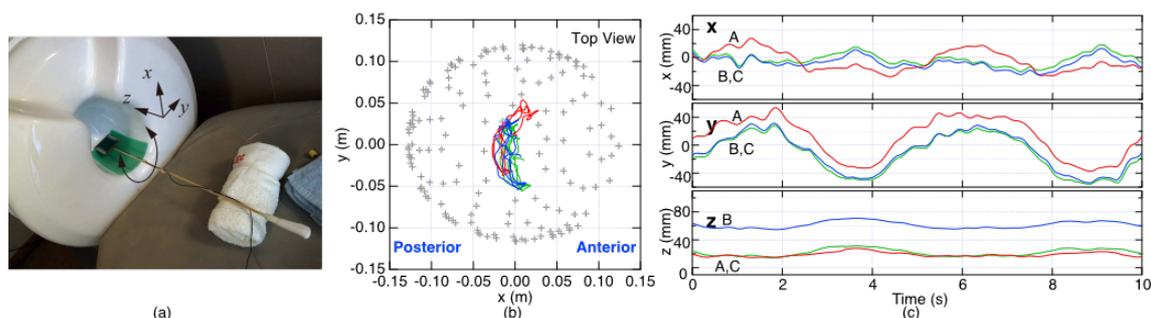


図 4(a) 三角形マーカーコイルの軌跡検出実証実験の様子 (b) 三角形マーカーコイルの各頂点の軌跡 (c) 三角形マーカーコイルの頂点の位置遷移

### (3) 適応基線補正による揺動ノイズの低減

誘発筋磁場信号を測定する際は、刺激に反応して筋肉が収縮することにより発生する揺動ノ

イズの対策が必須となる。そこで、揺動ノイズをデータ収録後の後処理で低減する方法として、刺激のアーチファクトと生体信号が含まれる時間領域以外を揺動ノイズのみ現れる領域とみなし、この部分の変動を元の信号から除去する適応基線補正(Adaptive Baseline Correction: ABC)と呼ばれる方法を提案した。

#### (4) 室温磁気センサアレイと SQUID 脊磁計による筋磁場の同時測定

アクリル製の平板に3個のMRセンサを40mm間隔で並列に固定し、これをセンサアレイモジュールとした。センサアレイモジュールの5箇所から従来マーカーコイルを装着した。測定対象は前脛骨筋(TA; Tibialis Anterior muscles)、短母指外転筋(APB; Abductor Pollicis Brevis muscles)の誘発磁場信号とした。既設のSQUID生体磁場計測装置(脊磁計)の観測部位に測定部位を密着させ、その上からMRセンサアレイを配置し、ゲルクッションで抑えて固定した。マーカーコイルからの磁場信号を脊磁計で検出し、位置推定することによって、センサアレイ間の相対位置を得た。測定の様子と得られたマーカーコイルの相対位置を図5に示す。

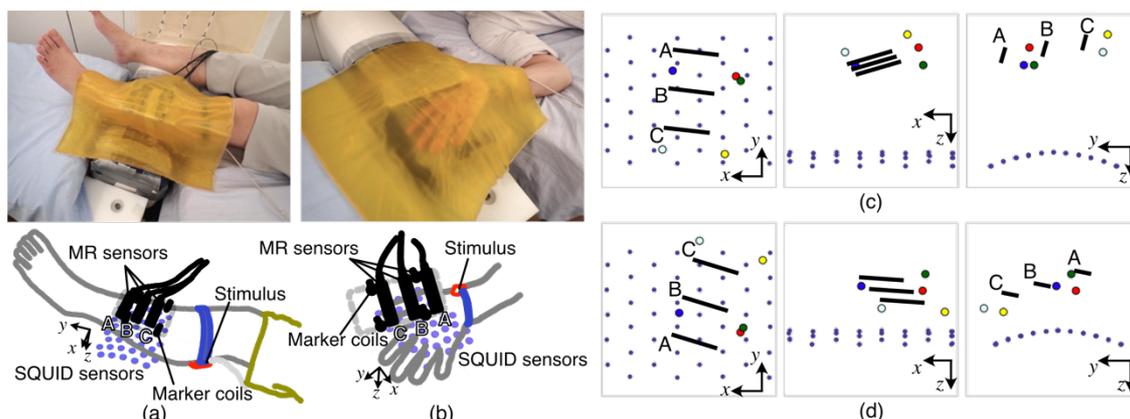


図5(a) TA誘発磁場測定 (b) APB誘発磁場測定 (c) TA誘発磁場測定時のSQUID脊磁計センサアレイとMRセンサアレイの相対位置 (d) APB誘発磁場測定時のSQUID脊磁計センサアレイとMRセンサアレイの相対位置

TA誘発磁場測定では膝裏部の腓骨神経を、APB誘発磁場測定では手首の正中神経を電気刺激した。刺激強度はそれぞれ18mA、8mAで、刺激頻度はいずれの場合も1Hzで、20回の加算平均にて得られた測定結果を図6に示す。TA誘発磁場測定、APB誘発磁場測定では、それぞれ潜時10.2ms、7.6msに特徴的な磁場パターンを脊磁計のSQUIDセンサアレイで捉えることができた。同潜時にMRセンサからの出力波形にも明瞭なピークを確認した。ウェアラブル生体磁気計測を企図して、ゲルクッションで抑えて固定したMRセンサアレイでも、筋磁信号を検出できることがわかった[4]。

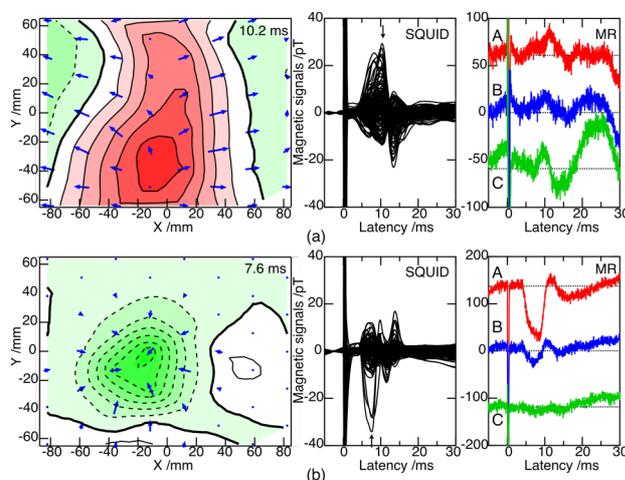


図6(a) TA誘発磁場測定結果 (b) APB誘発磁場測定結果 いずれの図も左からSQUIDセンサアレイで検出された誘発磁場分布、SQUIDの時系列波形、MRセンサで検出した時系列波形

#### <引用文献>

- ① Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Shigenori Kawabata et al, Calibration of Room Temperature Magnetic Sensor Array for Biomagnetic Measurement, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 55, no. 7, 5000506, 2019.
- ② Yoshiaki Adachi, Yuki Mizuhara, Yasushi Terazono, Evaluation of Directional Dependence of Sensitivity for Room-Temperature Magnetic Flux Sensors with Wide Sensitivity Region, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 57, no. 2, 4000105, 2021.
- ③ Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Gen Uehara, Single Triangular Coil Used to Identify the Position and Orientation of a Subject for Biomagnetic Measurement, IEEE Magnetics Letters, vol. 10, 3106505, 2019.
- ④ Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata, Simultaneous recording of biomagnetic signals using SQUIDs and relocatable room-temperature flux sensors, Journal of Japan Biomagnetism and Bioelectromagnetics Society, vol. 36, no. 1, pp. 166-167, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata	4. 巻 36
2. 論文標題 Simultaneous recording of biomagnetic signals using SQUIDs and relocatable room-temperature flux sensors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本生体磁気学会誌	6. 最初と最後の頁 166-167
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Masanori Higuchi, Gen Uehara	4. 巻 72
2. 論文標題 A Spherical Coil Array for the Calibration of Whole-Head Magnetoencephalograph Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 4004210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIM.2023.3265750	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 足立善昭	4. 巻 49
2. 論文標題 神経磁場計測システムの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 臨床神経生理学	6. 最初と最後の頁 482-489
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11422/jscn.49.482	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 Adachi Yoshiaki, Mizuhara Yuki, Terazono Yasushi	4. 巻 57
2. 論文標題 Evaluation of Directional Dependence of Sensitivity for Room-Temperature Magnetic Flux Sensors With Wide Sensitivity Region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 4000105
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2020.3008912	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 Adachi Yoshiaki, Kawabata Shigenori, Hashimoto Jun, Okada Yoshinori, Naijo Yoshihisa, Watanabe Taishi, Miyano Yuki, Uehara Gen	4. 巻 31
2. 論文標題 Multichannel SQUID Magnetoneurograph System for Functional Imaging of Spinal Cords and Peripheral Nerves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1600405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2021.3056492	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 Adachi Yoshiaki, Oyama Daisuke, Uehara Gen	4. 巻 10
2. 論文標題 Single Triangular Coil Used to Identify the Position and Orientation of a Subject for Biomagnetic Measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Magnetism Letters	6. 最初と最後の頁 3106505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMAG.2019.2943128	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 -

1. 著者名 Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Yasushi Terazono, Tatsuya Hayashi, Tomohiko Shibuya, Shigenori Kawabata	4. 巻 55
2. 論文標題 Calibration of room temperature magnetic sensor array for biomagnetic measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 5000506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2019.2895355	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23件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi
2. 発表標題 Development of the Biomagnetometer System for Magnetospinography / Magnetoneurography (MSG/MNG)
3. 学会等名 ACNS(American Clinical Neurophysiology Society) Annual Meeting & Courses (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Jun Kawai, Hiroshi Deguchi, Yoshihisa Naijo, Yoshinori Okada, Taishi Watanabe, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 Optimization of SQUID sensor arrays for magnetoneurography in terms of pick-up coil diameter
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Biomagnetism (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata, Jun Hashimoto, Taishi Watanabe, Kensuke Sekihara, Gen Uehara
2. 発表標題 A SQUID biomagnetic measurement system for magnetospinography and magnetoneurography and its clinical applications
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Biomagnetism (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 A SQUID biomagnetic measurement system for magnetospinography and magnetoneurography
3. 学会等名 35th International Symposium on Superconductivity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立善昭
2. 発表標題 神経磁場計測システム
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 足立善昭
2. 発表標題 SQUIDによる神経磁場計測と応用
3. 学会等名 電気学会フォーラム / 低温工学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立善昭
2. 発表標題 SQUIDによる生体磁気検出 - MEG, MSG -
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立善昭, 川端茂徳
2. 発表標題 SQUID磁気神経イメージング装置の開発
3. 学会等名 応用物理学会超電導分科会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立善昭, 川端茂徳
2. 発表標題 SQUID磁気神経イメージングとその応用
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata, Jun Hashimoto, Yoshinori Okada, Yoshihisa Naijo, Taishi Watanabe, Yuki Miyano, Gen Uehara
2. 発表標題 Multichannel SQUID Magnetoneurogram System for Functional Imaging of Spinal Cords and Peripheral Nerves
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立善昭, 川端茂徳
2. 発表標題 神経磁場計測システムの開発
3. 学会等名 第50回日本臨床神経生理学会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立善昭, 川端茂徳
2. 発表標題 神経磁場計測システムとその臨床応用
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 Detection of Biomagnetic Signals from Magnetic Sources adjacent to Flux Sensors
3. 学会等名 The 4th International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (IWMBS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Gen Uehara
2. 発表標題 A method to identify the position and orientation of the subject using only one coil for biomagnetic measurement - an approach using a triangular marker coil
3. 学会等名 Magnetic Frontiers 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuta Ushio, Shigenori Kawabata, Toru Sasaki, Satoshi Sumiya, Taishi Watanabe, Kensuke Sekihara, Yuki Hasegawa, Yoshiaki Adachi, Atsushi Okawa
2. 発表標題 Visualization of muscle electrical activity after electrical stimulation of the ulnar nerve using superconducting quantum interference device sensors
3. 学会等名 The 21st International Conference on Biomagnetism (Biomag2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 Investigation of optimal sensor intervals for a magnetoneurogram system with a vector-type gradiometer array
3. 学会等名 The 21st International Conference on Biomagnetism (Biomag2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 A SQUID Biomagnetic Measurement System and Its Clinical Applications
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (IWBS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Yasushi Terazono, Tetsuo Hayashi, Tomohiko Shibuya, Shigenori Kawabata
2. 発表標題 Calibration of Room-Temperature Magnetic Sensor Arrays for Biomagnetic Measurement
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Adachi, Daisuke Oyama, Gen Uehara
2. 発表標題 A method to identify the position and orientation of the subject using only one coil for biomagnetic measurement: An approach using a triangular marker coil
3. 学会等名 Magnetic Frontiers 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yoshiaki Adachi, Shigenori Kawabata, Tetsuo Tatsuoka, Yasushi Terazono	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 14
3. 書名 Emerging MR sensors for biomagnetic measurements: in Flexible High Performance Magnetic Field Sensors: On-Scalp Magnetoencephalography and Other Applications	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 マーカーコイル及び磁気計測装置	発明者 足立善昭	権利者 金沢工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、7227609	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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	川端 茂徳  (Kawabata Shigenori)  (50396975)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・ジョイントリサーチ講座教授     (12602)	

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