

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H01813

研究課題名(和文) 高感度原子磁気センサモジュールをコアとする超低磁場マルチモダリティMRIの実現

研究課題名(英文) Realization of an ultra-low field multimodal MRI using a highly sensitive atomic magnetometer as a core technology

研究代表者

小林 哲生 (Kobayashi, Tetsuo)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：40175336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、脳機能の解明や精神神経疾患の診断支援に寄与することを目指して超高感度の光ポンピング原子磁気センサ(OPAM)の多チャンネル化・モジュール化、ならびにOPAMモジュールを用いた超低磁場マルチモダリティMRIシステムの開発を行った。その結果、K-Rbハイブリッド型により脳磁図の高密度多チャンネル同時計測を達成した。また、磁気共鳴周波数5kHzという低周波数において世界ではじめてOPAMによる磁気共鳴信号ならびにMRIの撮像に成功した。さらに、磁超常磁性酸化鉄ナノ粒子気信号の検出にも成功し、マルチモダリティ計測が可能であることを示して研究を完結した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したOPAMモジュールは、その感度の高さからニューロイメージング分野に留まらず磁気計測に関連する様々な分野にイノベーションやパラダイムシフトを起こす大きな可能性を有している。また、脳科学という面から見ると、このOPAMモジュールを共通のセンサとするMRIとMEGなどを融合一体化したマルチモーダルな新たなULF-MRIシステムの実現は、多くの謎に包まれているヒトの高次脳機能のメカニズム解明と臨床応用に繋がるものである。

研究成果の概要(英文)：The applicability of innovative medical/neuro imaging systems would provide important advancements in cognitive brain research, and improve clinical diagnosis and management of neurological and psychiatric disorders. The goal of this study was to develop super-sensitive compact optically pumped atomic magnetometer (OPAM) module as well as a prototype type of innovative multimodal ultra-low field MRI (ULF-MRI) systems with OPAM. We developed a new K-Rb hybrid-type OPAM and demonstrate that the hybrid OPAM enabling simultaneous multi-location measurements of neuromagnetic fields. Meanwhile, we succeeded to image the first MRI obtained at the magnetic resonance frequency of 5 kHz by using a prototype of OPAM-based ULF-MRI. This study also demonstrates the possibility of remotely detecting magnetic fields generated from superparamagnetic iron oxide nanoparticles using the same ULF-MRI system.

研究分野：生体医工学

キーワード：原子磁気センサ 光ポンピング 超低磁場 MRI MEG MPI

1. 研究開始当初の背景

従来の MRI 装置は、MR 信号の検出に RF 誘導コイル (ピックアップコイル) を用いているため、磁気共鳴周波数が高いほど信号が大きくなる。この磁気共鳴周波数は撮像対象となる生体に印加する静磁場強度に比例するため、ピックアップコイルを検出に用いる限り信号強度を大きくするには印加する静磁場強度を大きくする必要である。このため現在、臨床に用いられている MRI 装置は超伝導磁石による 1.5T、3T といった強磁場を印加する。しかし、超伝導磁石を用いる装置はコストや維持費が高く、また、静磁場強度の増大に伴い勾配磁場も大きくなり、その変動に伴い人体に誘導される電流の健康への影響が懸念される。

このような背景のもと、近年、超低磁場 MRI (以下 ULF-MRI) に期待が寄せられている。この ULF-MRI に関しては、米国の UC バークレー、Los Alamos National Lab、EU の 9 つの大学と研究所の共同プロジェクトにより超伝導量子干渉素子 (SQUID) を磁気共鳴信号の検出に用いた開発を開始されていた。

一方、申請者は 2006 年から、SQUID を凌ぐ超高感度な磁気センサとして期待されている光ポンピング原子磁気センサ (Optically pumped atomic magnetometer: OPAM) の開発を開始し、この原子磁気センサを用いた ULF-MRI の開発を行ってきた。2010-2011 年度には挑戦的萌芽研究「超低磁場マルチモダリティ磁気共鳴画像システムの開発」の助成を受けてセンサの感度向上を図り、世界に先駆けて K 原子と Rb 原子という 2 種類のアルカリ金属を混合したハイブリッド型センサを提案した。さらに、2012-2014 年度には基盤研究(A)「高感度原子磁気センサを用いた超低磁場マルチモダリティ MRI の開発」の助成を受けて、OPAM を用いた NMR 信号計測と心磁図、脳磁図の計測を日本で初めて成功させた。

2. 研究の目的

近年、静磁場強度が約 10mT 以下の ULF-MRI に関心が高まり、欧米を中心に超伝導量子干渉素子 (SQUID) をセンサとするシステム開発が進められている。しかし、SQUID は液体ヘリウムによって冷却する必要があるため、装置の小型、低価格化が困難である。本研究では、小型・ポータブルかつ超高感度なマルチチャンネルの OPAM モジュールを ULF-MRI のコア技術となるセンサとして用いることで、冷媒なしに脳磁図や脳波などの他のモダリティと融合可能な超低磁場マルチモダリティ MRI システムを、これまでの基礎技術開発のフェーズから実用化のフェーズに進めることを目的とする。

3. 研究の方法

初年度は、OPAM の高感度化を図るため差動計測に関する検討を進めた。OPAM による差動計測の試みとして、複数の磁場測定領域におけるバイアス静磁場を等しく揃えたときには、遠方からの磁場ノイズの影響を抑えて磁気計測のノイズレベルを低減できることが示されている。そこで、低周波帯に共鳴周波数を有する OPAM において、バイアス静磁場に依存する伝達関数を計測で推定し、この伝達関数で各計測点からの出力を補償したのち差動演算を行った。この方法を Compensated Differential Measurement (CDM) と名付け、バイアス静磁場に差を与えた条件下で差動計測を行い、CDM を用いることにより磁場ノイズ低減の範囲を拡大できることを明らかにした。

また、K 原子を使用したポンプ・プローブ方式の小型の OPAM モジュールを新たに開発し、これにより健康成人を対象として、左右の視野に独立に呈示されるチェッカーボード刺激による視覚誘発脳磁界 (Visual evoked field: VEF) 計測を試みた。その結果、新たな OPAM モジュールにより視覚誘発応答を複数チャンネルで同時計測することに成功した。

さらに、OPAM による超低磁場 MRI の実現に向けて超偏極 Xe を対象とした画像化を試みた。Xe は拡散が早く、強い勾配磁場を用いると信号減衰が著しい。そこで、小さな勾配磁場を用いて核種の励起と位置情報の取得を同時に行う sweep imaging with Fourier transformation (SWIFT) 法を用いた MR 信号計測について検討し、 T_2 緩和の影響及びピクセル間帯域幅の値が再構成画像のエイリアシングに寄与することを明らかにした。

次年度は、OPAM のさらなる高感度化に向けて K と Rb 原子のハイブリッド型における原子密度比の最適化に関する理論並びに実験的検討を進めた。その結果、K 原子と Rb 原子の密度比が約 400 の時に最適条件となり原子を封入するガラスセル内の空間的均一性を向上できることを明らかにした。

この K と Rb 原子のハイブリッド型 OPAM の計測原理の模式図を図 1 に示す。ガラスのセルに封入された気体の状態にあるポンプ原子の D1 遷移共鳴波長に調整した円偏光のポンプ光を z 軸方向から照射すると、

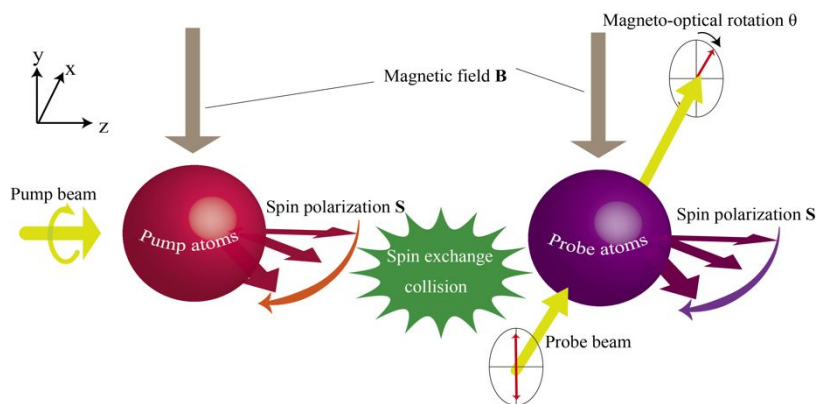


図 1 ハイブリッド OPAM の原理

ポンプ原子が光ポンピングされ、 z 軸方向にスピン偏極 S が生じる。同時に、スピン交換衝突により、ハイブリッド OPAM ではポンプ原子のスピン偏極がプローブ原子に移行する。さらに、 y 軸方向に計測対象磁場 B を印加すると、スピン偏極 S がトルクを受け z - x 平面上で歳差運動することにより x 軸方向成分が生じる。この状態で、プローブ原子の DI 遷移共鳴波長から少し離調した直線偏光のプローブ光を x 軸方向から照射すると、磁気光学回転によりプローブ光の偏光面が回転する。この回転角 θ が十分小さいときスピン偏極 S の x 軸方向成分に比例しているため、偏光ビームスプリッタと 2 つのフォトディテクタ、差動増幅器からなるポラリメータ型のプローブ光検出器により回転角 θ を検出することで、 y 軸方向に印加された磁場 B を間接的に計測することができる。

また次年度には、小型の OPAM モジュールを MR 信号の受信に用いる ULF-MRI に関して、プロトンの磁気共鳴信号をフラクストランスフォーマと OPAM モジュールを組み合わせて遠隔計測するシステムを新たに設計・試作した。合わせて、この ULF-MRI システム用のパルスシーケンスの開発を行った。本研究では、MR 信号を遠隔計測するために用いるフラクストランスフォーマの入力コイルを 2 次微分型とすることにより S/N を向上させ、さらに独自の水冷のプリポーラライズ磁場コイルを製作し、ラーモア周波数が 5kHz という低周波数において世界ではじめて OPAM による磁気共鳴信号ならびに MRI の撮像に成功した。

さらに、OPAM を用いた、心磁図、脳磁図、脊磁図といった多様な疾患の機能診断につながる生体磁気信号計測を行う際に必要となる多チャンネル同時計測法に関する検討を行った。まず、2 本の強度変調されたポンプ光を、ハイブリッドセルに入射することで、2 点同時計測の実証を行った。実証を行うにあたり、まず強度変調されたポンプ光を 1 本入射させ、変調周波数を変化させることによる磁場応答信号強度への影響を確認した。同様に、ポンプ光強度を変化させ、磁場応答信号強度の変化を観察した。続いて 2 点同時計測を行い、ループコイルから発生する磁場分布を計測することで、ポンプ光強度変調を用いたプローブ光方向の複数点同時計測法の有用性を示した。

3 年目は、アルカリ金属蒸気を封入する大型ガラスセル (5cmx5cmx5cm) を用いた OPAM の多チャンネル化に重点をおいて研究を進めた。高感度の多点同時計測を行うためには、OPAM の感度を高い状態に維持したままプローブ光受光部を小型・集積化する必要がある。そこで本研究では、センサ密度を増すため小型のフォトダイオードを用いた 20ch のプローブ光検出器 (センサ密度 2.5 個/cm) と信号増幅器を作製し、その性能を評価することにより有用性を示した。まず、感度計測を行い、10~20 fT/Hz^{1/2} で高感度の多点同時計測を実現した。次に、ループコイルから発生する信号の磁場分布計測を行い、解析値との比較により、多点計測において妥当な結果が得られることが分かった。さらに、軸型と平面型グラジオメータを構成し、差動計測による SNR の向上を確認した。

加えて、多様な疾患の機能診断につながるイメージングに向けた検討を行うため、OPAM モジュールを用いて正中電気刺激により誘発される求心性の末梢神経軸索を伝搬する活動電位に伴って発生する磁場の検出を試み、微弱な磁場を捉えることに成功した。さらに、上記の 20ch-OPAM を用いた脳磁図計測についても、健康成人を対象として開眼・閉眼に伴う 8~13Hz の自発律動の変動を捉えることに成功した。

OPAM を用いた超低磁場 MRI に関しては、本年度は超偏極 Xe を対象として MR 信号をフラクストランスフォーマと組み合わせた遠隔計測に関する検討を中心に研究を進め、プリポーラライズ磁場を印加しない状態で NMR 信号の検出に成功した。

さらに、超低磁場 MRI との融合を目指したモダリティとして磁気粒子イメージング(MPI)にも着手し、原子磁気センサモジュールを用いて磁性ナノ粒子であるリゾビストから発生する磁場の計測にも成功した。

4 年目は、OPAM モジュールに関して、高感度を保持したまま小型化を図ることを目的として新たな小型ガラスセルの開発を行った。さらに、この小型ガラスセルを組み込んだコンパクトな光ポンピング原子磁気センサモジュールの設計を行い、そのプロトタイプを試作を行った。一方、大型ガラスセル (5cmx5cmx5cm) を用いた多チャンネル生体磁気計測に関しては、ヒトの開眼・閉眼に伴って後頭葉の視覚野近傍において 8~13Hz 帯の自発脳磁界律動である (α 波) のパワーが変動する事象関連脱同期の 8 チャンル同時計測に成功しその多チャンネル計測の実証とその有効性を示す事ができた。

また、生体磁気計測に向けた K 原子と Rb 原子を混合してガラスセルに封入する我々のオリジナル技術であるハイブリッド型光ポンピング原子磁気センサについては、両アルカリ金属原子の密度ならびに密度比に伴って感度や帯域幅といったセンサ特性が如何に変化するのかについて、実験ならびにシミュレーションにより詳細に検討し、セルサイズやセル温度に応じた最適な密度比を決定することによりさらなる高感度化が達成できることを世界に先駆けて報告した。

OPAM モジュールを用いた超低磁場 MRI に関しては、まずシミュレーションによってフラクストランスフォーマを用いた遠隔計測と誘導コイルを用いた撮像に対する詳細な比較・検討を行った後、超低磁場における超偏極 Xe の MRI 撮像のためのパルスシーケンスの開発を進めた。その後、実際に円筒形の容器に超偏極 Xe を封入しその MRI 撮像を行い、遠隔計測した NMR 信号から画像再構成に成功した。

最終年度は、小型ガラスセルを組み込んだ 1 チャンルのコンパクトな OPAM モジュールのさらなる高感度化を目的として、一軸のプローブビームレーザをこの小型ガラスセル内の空間的に異なる 2 箇所を逆向きに通過させることによって環境磁気ノイズを相殺する光学的グラジオメータ型 OPAM を開発し、実験により感度の向上を実証した。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

一方、5cm 立方の大型ガラスセルを用いた OPAM に関しては、計測チャンネル数を 40 チャンネルに増加させ、理論的・実験的にノイズの低減効果を検証した。実験においては、計測点から約 5 cm 離れたループコイルから 100 Hz、48 pT の磁場を発生させ、各チャンネルに均一白色ガウス雑音を磁気ノイズとして加えた。このときループコイル直下のチャンネルで信号対雑音比 (SNR) が 3.71 であった。計測データに主成分分析 (PCA) 及び独立成分分析 (ICA) を適用した結果、チャンネル数を 5 倍に増やすことで約 3 倍ノイズが低減され、SNR が向上することを確認でき、シミュレーション結果とも良く一致した。加えて、この OPAM を用いてヒトの聴覚誘発脳磁界の計測と、数 Hz ~ 100Hz で観測される複数の自発律動に基づく事象関連同期・脱同期に多チャンネル計測にも成功し、その有用性を示すことができた。

最後に、OPAM モジュールをコアとする超低磁場マルチモダリティ MRI の実現に向けて、プロトン並びに超偏極 Xe の遠隔磁気共鳴信号検出ならびに MRI の実現に加え、同一の OPAM モジュールを用いた超常磁性酸化鉄ナノ粒子を対象とした微弱磁気信号の遠隔計測を試み、0.01 μmol の磁気粒子 (Resovist) からの磁気信号の検出に成功した。これにより MRI、脳磁図、磁気粒子イメージング (MPI) の同時計測が可能であることを示して研究を完結した。

4. 研究成果

本研究では、その成果を次章の主な発表論文等に記載の通り多くの原著論文などにより公表済みである。詳細については個別の論文を参照頂きたい。ここでは、その中の主要な研究成果の概要を述べる。

4.1 K-Rb ハイブリッド型 OPAM の多チャンネル化と脳磁図計測

OPAM による脳機能計測においては多チャンネル化が必要であり、その実現には 2 つの異なるアプローチが考えられる。一つは、小さなセルを 1 チャンネルとしてそれをアレイ化する方法、他は、大きなセル内に複数のビーム交差点を作り、各交差点を 1 チャンネルとして複数点同時計測を図る 2 つの方法がある。多チャンネルで MEG 計測を行な際に、OPAM の特性はセンサ内のアルカリ金属原子の密度やバッファガス密度等に大きく依存するため、特性の揃った単チャンネルセンサを複数用意することは困難である。そこで我々は、1 つのセンサセル内に 20 チャンネルを有するセンサを開発し、これによって MEG 計測が可能かどうか検証した。

図 2 (a) に多チャンネル OPAM の概略を示す。ポンプ-プローブ型の OPAM に複数本のプローブ光を入射させ、複数チャンネルを有する検出器で受けることにより、多チャンネルを構成する。このとき、通常の OPAM では、ポンプ光の減衰

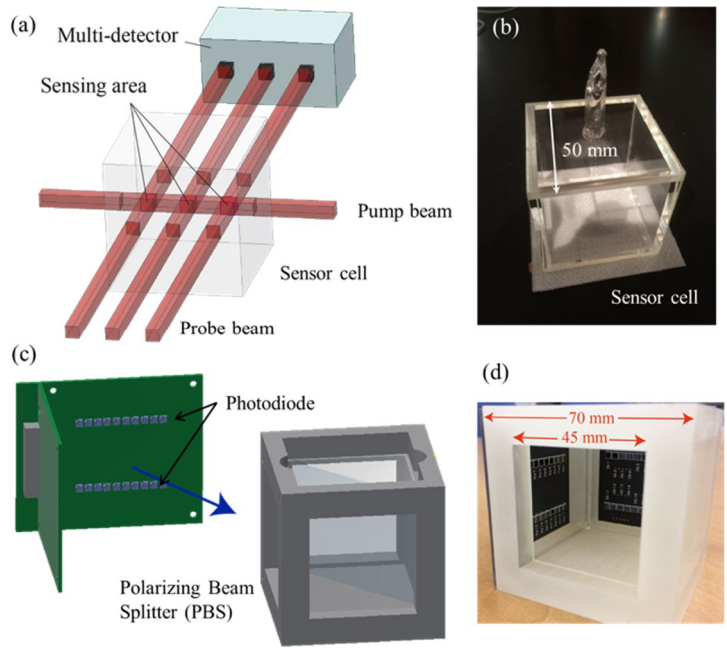


図 2 OPAM 構成およびプローブ光検出器. (a) OPAM の概略, (b) センサセル, (c) プローブ光検出器の模式図と (d) その外観.

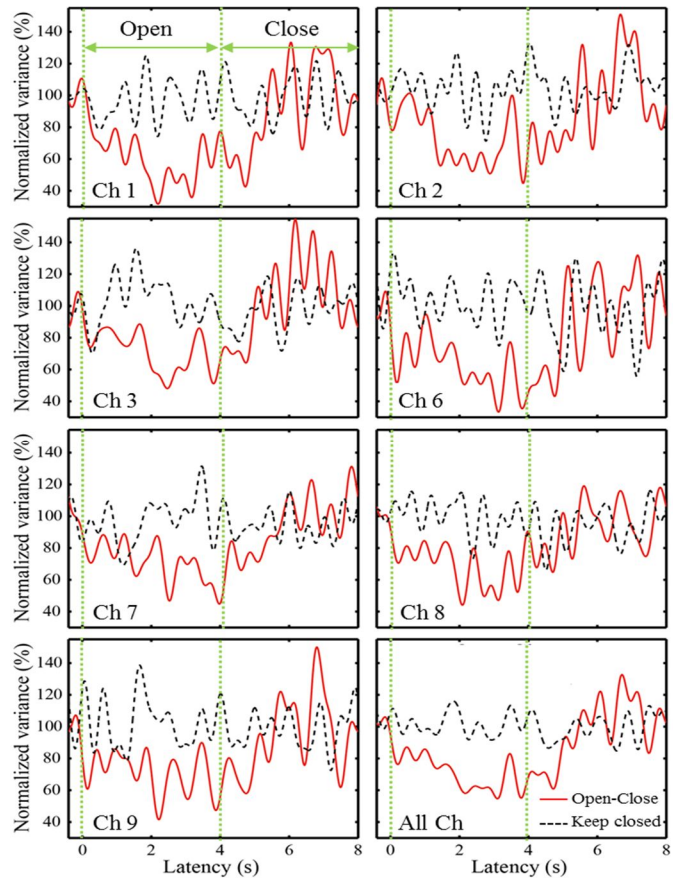


図 3 各チャンネル α 波の ERD 信号および全チャンネルの ERD 信号の平均

により、セル内でセンサ特性の分布が生じてしまうため、センサセルに K-Rb ハイブリッドセルを用いてセンサセル内での特性の均一化を図った。図 2 (b) に示すようにセルの内寸は $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ であり、内部には K と Rb のほかにバッファガスとして He と N_2 を 10:1 の比で常温にて 150 kPa となるように封入した。このセンサセルを 180 °C に昇温すると、K と Rb の密度はそれぞれ $1.6 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、 $1.0 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ となった。

センサセル内に複数のチャンネルを生成するため、図 2 (c) に示すように、1 列あたり 10 チャンネルのフォトダイオード ($3 \times 3 \text{ mm}^2$) を 2 列配置したものを 2 枚用意し、偏光ビームスプリッタ (Polarizing Beam Splitter: PBS) によりそれぞれが S 偏光と P 偏光を受光するようにした。このプローブ光検出器の外観を図 2 (d) に示す。このとき、1 列のフォトダイオード間の間隔は 1 mm であり、センサ密度は 2.5 個/cm である。計測対象磁場として、センサ位置の上方 60 mm に固定した直径 10 mm のループコイルに 0.4 mA、10 Hz の正弦波を印加した。各チャンネルの感度は 10 Hz においてチャンネル単体で 10-20 fT/Hz^{1/2} であった。ループコイル位置をマニュアルで変化させた際の位置ずれなどが原因で x 軸方向については歪みが見られるものの、4 mm 間隔という高密度で磁場分布が計測できることが実証できた。

続いて本研究では、上述した多チャンネル OPAM を用いて MEG 計測を試みた。MEG 計測は、10 Hz におけるシールドファクタが 10^4 の 3 層磁気シールド内で行なった。被験者の眼前のスクリーンは常時点灯させた。被験者は 24 歳の健康男性であり、4 s ごとに鳴るピープ音で開眼・閉眼を繰り返し、視覚野における 波の事象関連脱同期 (ERD) を被験者の視覚野近傍に配置した OPAM で観測した。ERD 計測の結果を図 3 に示す。全 10 チャンネルのうち、3 チャンネルはノイズの影響が大きかったため、7 チャンネルの結果及び全チャンネルの平均を図示する。計測できた全てのチャンネルにおいて、開眼時に 波が 30% 以上減衰していることが観測された。このことから、開発した OPAM が MEG 計測に有用であると考えられる。

4.2 OPAM を用いた ULF-MRI のプロトタイプ試作と MRI 撮像の実現

小型の OPAM モジュールを MR 信号の受信に用いる超低磁場 MRI に関して、プロトンの磁気共鳴信号をフラクストランスフォーマと OPAM モジュールを組み合わせる遠隔計測するシステムに関して、本研究ではプロトタイプを設計・試作し (図 4 a) 合わせてこの MRI システム用のパルスシーケンスの開発を行った。本研究では、フラクストランスフォーマ (図 4 b) の入力コイルを 2 次微分型とすることにより S/N を向上させ、さらに独自の水冷のプリポーラライズ磁場コイルを製作し、ラーモア周波数が 5 kHz という低周波数において世界ではじめて OPAM による磁気共鳴信号ならびに MRI の撮像に成功した (図 4 c)。

さらに、本研究ではこの MRI 撮像に用いたものと同じの OPAM モジュールを用いた超常磁性酸化鉄ナノ粒子を対象とした微弱磁気信号の遠隔計測を試み、0.01 μmol の磁気粒子 (Resovist) からの磁気信号の検出にも成功した。

最後に、本研究で行った OPAM の開発とその生体磁気科学への応用に関する研究に対して、2018 年 8 月に国際医用生体工学連合 (IFMBE) および国際生体磁気学会 (Biomag2018) から、James Zimmerman Prize を授与され、国際的に高い評価を頂いたことを付記する。

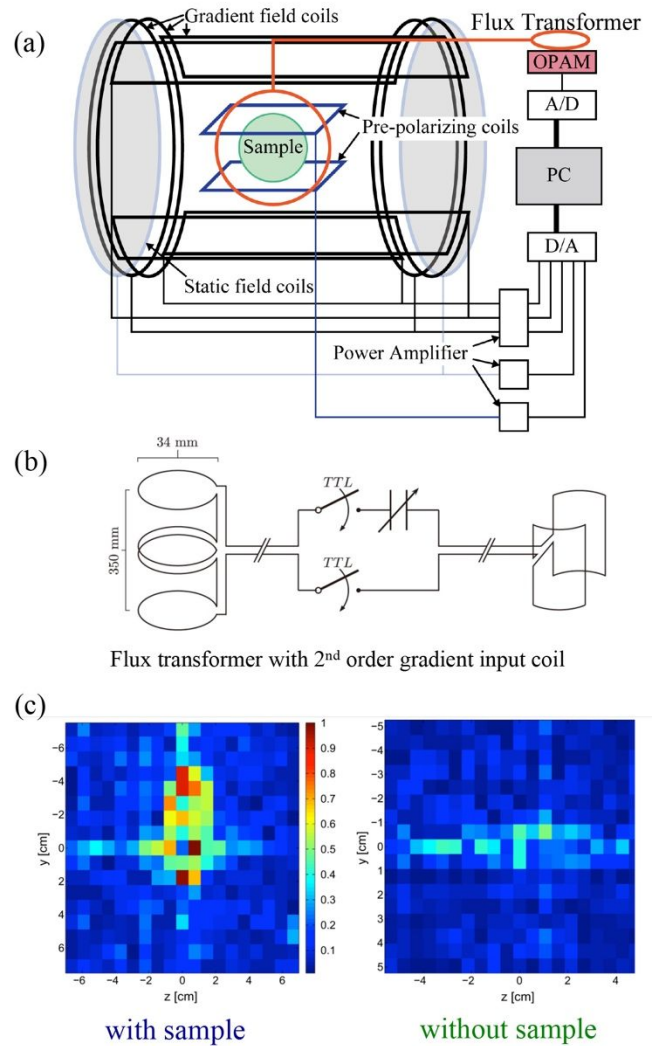


図 4 マルチモダリティ ULF-MRI のプロトタイプ。(a) 設計・試作したプロトタイプのハードウェア構成。(b) MR 信号の遠隔計測用の 2 次微分型入力コイルを含むフラクストランスフォーマ。(c) 磁気共鳴周波数 5 kHz で遠隔計測された MR 画像。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計50件（うち査読付論文 15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 Ito Yosuke, Ueno Masahito, Kobayashi Tetsuo	4. 巻 10
2. 論文標題 Neural magnetic field dependent fMRI toward direct functional connectivity measurements: A phantom study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41598-020-62277-4	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 Tekenori Oida, Kentaro Kato, Yosuke Ito, Tetsuo Kobayash	4. 巻 5
2. 論文標題 Remote detection of magnetic signals with a compact atomic magnetometer for use in MRI-MPI hybrid systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal on Magnetic Particle Imaging	6. 最初と最後の頁 196001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18416/ijmpi.2019.1906001	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 Naoya Furuhashi, Shiho Okuhata, Tetsuo Kobayashi	4. 巻 19
2. 論文標題 A robust and accurate segmentation method of subcortical brain using deep learning: Crossdataset evaluation of generalization performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 in press
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 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 小林哲生	4. 巻 64
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサと次世代の脳機能イメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第64回光波センシング技術研究会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 153-158
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 Ueda Hiroyuki, Seki Hiroaki, Ito Yosuke, Oida Takenori, Taniguchi Yo, Kobayashi Tetsuo	4. 巻 295
2. 論文標題 Dynamics of magnetization under stimulus-induced rotary saturation sequence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 38 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jmr.2018.07.004	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 Sho Ito, Yosuke Ito, Tetsuo Kobayashi	4. 巻 27
2. 論文標題 Temperature characteristics of K-Rb hybrid optically pumped magnetometers with different density ratios	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optic Express	6. 最初と最後の頁 8037 ~ 8047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OE.27.008055	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 小林哲生	4. 巻 13(3)
2. 論文標題 初等連載講座 (第 5 回) SQUID & 光ポンピング原子磁気センサ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本磁気学会誌まぐね	6. 最初と最後の頁 135-143
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 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 伊藤 笙, 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 118(321)
2. 論文標題 ハイブリッド型光ポンピング原子磁気センサの原子密度における原子密度に応じた出力信号特性の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 9-14
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 森口 司, 笈田武範, 小林哲生	4. 巻 118(321)
2. 論文標題 原子磁気センサとフラックストランスフォーマを用いた遠隔超低磁場NMR信号計測の感度向上	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 15-20
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 長谷川直樹, 笈田武範, 小林哲生	4. 巻 118(321)
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサを用いた超低磁場MRIにおける超偏極Xe画像化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 21-24
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 喜多謙仁, 笈田武範, 長谷川直樹, 小林哲生	4. 巻 118(321)
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサを用いた超低磁場MRIにおける超偏極Xe画像化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 25-29
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 Nishi Kazumasa, Ito Yosuke, Kobayashi Tetsuo	4. 巻 26
2. 論文標題 High-sensitivity multi-channel probe beam detector towards MEG measurements of small animals with an optically pumped K-Rb hybrid magnetometer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 1988 ~ 1988
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OE.26.001988	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 西 和将, 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 MAG-17-211
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサによる小動物の脳磁図計測に向けたの高感度マルチチャネルプローブ光検出器	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 1-6
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 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 MAG-17-224
2. 論文標題 ラプラス変換を用いた光ポンピング原子磁気センサの過渡応答に関する検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 57-62
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 關祐亮, 上田博之, 伊藤陽介, 笈田武範, 谷口 陽, 小林哲生	4. 巻 117(360)
2. 論文標題 0.3T 低磁場MRIを用いた機能的結合の直接計測に向けたスピンロック撮像法: 信号源における振動磁場の位相差が及ぼす影響の検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 55-60
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 加藤健太郎, 笈田武範, 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 117(360)
2. 論文標題 小型磁気センサモジュールを用いた遠隔磁気粒子イメージング: 励磁磁場強度最適化の検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 61-66
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 小林哲生	4. 巻 74
2. 論文標題 医用工学と放射線技術科学との融合：期待される新技術-光ポンピング原子磁気センサと超低磁場MRI	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本放射線技術学会雑誌	6. 最初と最後の頁 179-182
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 小林哲生	4. 巻 13
2. 論文標題 SQUID & 光ポンピング原子磁気センサ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本磁気学会誌	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Ingo Hilschensch, Hiroaki Natsukawa, Yosuke Ito, Takenori Oida, Tetsuya Yamamoto and Tetsuo Kobayashi	4. 巻 274
2. 論文標題 Remote detected low-field MRI using an optically pumped atomic magnetometer combined with a liquid cooled pre-polarization coil	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 89-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.jmr.2016.11.006	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 Yosuke Ito, Daichi Sato, Keigo Kamada and Tetsuo Kobayashi	4. 巻 24(14)
2. 論文標題 Optimal densities of alkali metal atoms in an optically pumped K-Rb hybrid atomic magnetometer considering spatial distribution of spin polarization	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 15391-15402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1364/OE.24.015391	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 Yuki Mamishin, Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi	4. 巻 53(5)
2. 論文標題 A novel method to accomplish simultaneous multilocation magnetic field measurements based on pump beam modulation of an atomic magnetometer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2017.2659649	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 關 祐亮、伊藤 陽介、小林哲生	4. 巻 116(58)
2. 論文標題 低磁場MRIによる脳神経磁場計測実現に向けた基礎的検討	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 13-18
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 小島史嵩, 伊藤 陽介, 小林哲生	4. 巻 116(342)
2. 論文標題 脳磁図計測に向けた原子磁気センサにおけるグラジオメータ構成法に応じたノイズ低減効果の検討	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 47-52
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 馬見新友輝、伊藤陽介、小林哲生	4. 巻 MAG-16-236
2. 論文標題 ポンプ光変調による原子磁気センサを用いた複数点同時計測法：電気光学変調方式による2点同時計測に関する研究	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 81-86
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 加藤健太郎、笈田武範、伊藤陽介、小林哲生	4. 巻 116(520)
2. 論文標題 光ポンピング磁気センサを用いた磁気粒子イメージングに向けた磁気信号の遠隔計測	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 65-70
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 Hiroaki Natsukawa and Tetsuo Kobayash	4. 巻 36
2. 論文標題 Cortical activations associated with determination of depth order in motion transparency depth rivalry: A normalized integrative fMRI-MEG study	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Human Brain Mapping	6. 最初と最後の頁 3922-3934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hbm.22887	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 Sunao Ichihara, Natsuhiko Mizutani, Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi	4. 巻 52(8)
2. 論文標題 Differential measurement using equalized response of optically pumped atomic magnetometers	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 EEE Trans. on Magnetics	6. 最初と最後の頁 4002709(9pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2016.2547364	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 小林哲生	4. 巻 136
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサ	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 26-29
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 加賀裕人, 笈田武範, 小林哲生	4. 巻 115(116)
2. 論文標題 超低磁場MRIにおける超偏極XeのSWIFTおよびNUFFT法を用いた画像化: シミュレーションによる検討	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 7-12
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 山本哲也, 笈田武範, 小林哲生	4. 巻 115(147)
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサを用いた超低磁場MRIの実現に向けた受信系の最適化	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 7-12
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 馬見新友樹, 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 MAG-15-96
2. 論文標題 生体磁気計測に向けた光ポンピングハイブリッド原子磁気センサのポンプ光変調による複数点同時計測	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 17-22
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 小島史崇, 伊藤陽介, 小林哲生	4. 巻 MAG-15-97
2. 論文標題 光ポンピングK-Rbハイブリッド原子磁気センサにおける差動計測と心磁図への応用	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 23-28
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 夏川浩明、山本哲也、小林哲生	4. 巻 115(317)
2. 論文標題 モジュール型4ch光ポンピング原子磁気センサによる視覚誘発脳磁界計測	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 29-32
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 笈田武範, 民輪一博, 小林哲生	4. 巻 115(383)
2. 論文標題 超低磁場MRI計測の高速化を目指した圧縮センシングを用いた読み出しサンプリング戦略の検討	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 89-94
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 民輪一博, 笈田武範, 小林哲生	4. 巻 115(383)
2. 論文標題 超低磁場MRIにおける圧縮センシングを用いたT1強調画像の撮像戦略に関する検討	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 95-100
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 加賀裕人, 笈田武範, 山本哲也、小林哲生	4. 巻 115(383)
2. 論文標題 超低磁場における超偏極XeのSWIFT法によるMR信号計測 ~ 原子磁気センサを用いた検討 ~	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 101-106
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 笈田武範, 加賀裕人, 山本哲也, 小林哲生	4. 巻 115(513)
2. 論文標題 光ポンピング原子磁気センサ用バイアス磁場制御コイルに起因する磁気ノイズの低減	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 73-76
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 -

[学会発表] 計96件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 49件)

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Development of ultra-sensitive optically pumped magnetometer towards next generation brain imaging
3. 学会等名 The 11th Asian Pacific Conference on Medical and Biological Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 K-Rbスピン交換衝突型ハイブリッド光ポンピング磁気センサ
3. 学会等名 第34回日本生体磁気学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Towards innovative multimodal neuroimaging using K-Rb spin-exchange hybrid OPMS
3. 学会等名 7th Workshop on Optically Pumped Magnetometer 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Ultra-sensitive OPMs towards innovative non-invasive brain imaging
3. 学会等名 UK-Japan Quantum Sensing and Metrology Research Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 OPMを用いた超低磁場MRIと超偏極Xeイメージングの試み
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会「超偏極による他核MRSIの高感度計測」スタディーグループ公開討論会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 光ポンピング原子磁気センサと次世代の脳機能イメージング
3. 学会等名 応用物理学会光波センシング技術研究会講演会「材料科学がもたらす光センシングの新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Innovative neuromagnetic imaging with ultra-sensitive optically pumped magnetometers
3. 学会等名 The 18th conference of peace through Mind/Brain Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi, Takenori Oida, Yosuke Ito and Kentaro Kato
2. 発表標題 Detection of Magnetic Nanoparticle Signals with a Compact OPM towards Next Generation Neuroimaging
3. 学会等名 Organization of Human Brain Mapping (OHBM)2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke Ito, Kazumasa Nishi and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Multichannel optically pumped magnetometers with a K-Rb hybrid cell for high-resolution magnetoencephalography
3. 学会等名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Magnetoencephalograms with a multi-channel OPM using a K-Rb hybrid cell
3. 学会等名 7th Workshop on Optically Pumped Magnetometer 2019 (WOPM-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Norihisa Kato, Masaki Yamada, Yosuke Ito, Motohiro Suyama and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Development of a compact OPM module with one-beam optical gradiometer configuration for magnetic noise reduction
3. 学会等名 Development of a compact OPM module with one-beam optical gradiometer configuration for magnetic noise reduction (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜多謹仁, 笈田武範, 長谷川直樹, 森口 司, 小林哲生
2. 発表標題 原子磁気センサを用いた超低磁場MRIの開発: 超偏極Xeの画像化
3. 学会等名 第35回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤陽介, 伊藤 笙, 小林哲生
2. 発表標題 K-Rbハイブリッド型OPMのセンサ特性に及ぼす密度比およびセル温度の影響
3. 学会等名 第35回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜多謹仁, 笈田武範, 長谷川直樹, 森口 司, 小林哲生
2. 発表標題 超低磁場MRIにおける超偏極XeのMR信号取得に関する検討: 勾配エコー法とSWIFT法の比較
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笈田武範, 森口 司, 長谷川直樹, 喜多謹仁, 小林哲生
2. 発表標題 光ポンピング磁気センサを用いた超低磁場MRIにおけるフラックストランスフォーマの最適化
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi, Tekenori Oida, Yosuke, Ito and Kentaro Kato
2. 発表標題 Measurements of magnetic signals from nanoparticles with an OPM towards next generation neuroimaging
3. 学会等名 第15回日本・ポーランド生体物理学会会議 (MiCoNS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Towards Next Generation Biomagnetic Imaging: Development of Ultra-sensitive Optically Pumped Magnetometer
3. 学会等名 Biomag2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Optically pumped atomic magnetometers: Perspectives for new optical biomagnetic imaging systems
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会Symposium " Perspective of ultra-high-sensitive magnetic sensors ", (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 超高感度光ポンピング原子磁気センサと次世代の脳機能イメージング
3. 学会等名 豊田工業大学第1回スマート光・物質研究センターシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Kato, Tekenori Oida, Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Measurements of magnetic nanoparticle signals with a compact OPM towards MRI-MPI hybrid systems
3. 学会等名 6th Workshop on Optically Pumped Magnetometer 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yosuke Ito, Kazumasa Nishi and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 A 20-channel probe-beam detector for optically pumped K-Rb hybrid magnetometers and MEG measurements
3. 学会等名 Biomag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Norihisa Kato, Yosuke Ito, Motohiro Suyama and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Fabrication of a novel glass cell for compact and portable optically pumped magnetometers towards biomagnetic applications
3. 学会等名 Biomag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yosuke Ito, Kazumasa Nishi and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Biomagnetic-field measurements with optically pumped magnetometers using K-Rb hybrid cells
3. 学会等名 The 12th International Conference on Complex Medical Engineering CME2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Optically pumped atomic magnetometer
3. 学会等名 Satellite Symposium in Biomagnetic Sendai 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Compact atomic magnetometer modules and their biomagnetic applications
3. 学会等名 Biomagnetic Sendai 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Developments and perspectives of innovative neuroimaging technologies with optically pumped atomic magnetometers
3. 学会等名 Basic and Clinical Multimodal Imaging: BaCI2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tekenori Oida, Kazuhiro Tamiwa, Hiroyuki Ueda and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Rapid scan using compressed sensing in ultra-low field MRI with optically pumped atomic magnetomete
3. 学会等名 The 11th International Conference on Complex Medical Engineering CME2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi, Shiho Okuhata, Hodaka Miki, Satoki Yoda, Ryusuke Nakai, Takenori Oida and Kazuki Ida:
2. 発表標題 Quantitative evaluation methods of MR-diffusion information along white mater nerve bundles towards identification of neural circuits associated with neuropsychiatric disorders
3. 学会等名 The 11th International Conference on Complex Medical Engineering CME2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 光ポンピング原子磁気センサと超低磁場MRI
3. 学会等名 日本放射線技術学会第73回総合学術大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takenori Oida, Yuki Kaga, Tetsuya Yamamoto and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 SWIFT imaging for hyperpolarized xenon in ultra-low field MRI
3. 学会等名 ISMRM 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yosuke Ito, Yuki Mamishin and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 A simultaneous multi-location measurement method based on pump-beam modulation of atomic magnetometers by electro-optic modulation
3. 学会等名 5th Workshop on Optically Pumped Magnetometer 2017 (WOPM-2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Advancements of Atomic Magnetometers and Optical Biomagnetic Imaging Systems
3. 学会等名 Workshop on ultra-low-field MRI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Advancements of Atomic Magnetometers and Optical Biomagnetic Imaging Systems
3. 学会等名 CiNet Seminar (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Development of compact OPMs towards innovative biomagnetic imaging systems
3. 学会等名 Biomag2016 Satellite Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Atomic magnetometer: Advancements and Perspectives for Optical Biomagnetic Imaging Systems
3. 学会等名 International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Optically pumped atomic magnetometer and its application to neuroimaging
3. 学会等名 International Symposium on Applied Brain Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tekenori Oida, Kazuhiro Tamiwa, Tetsuya Yamamoto and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Rapid imaging of hyperpolarized xenon with compressed sensing in ultra-low field MRI with an optically pumped atomic magnetometer: A simulation study
3. 学会等名 The XXVIIth International Conference on Magnetic Resonance in Biological Systems (ICMRBS) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yosuke Ito, Yuki Mamishin and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Multi-channel optically pumped atomic magnetometers with modulated pump beams
3. 学会等名 International Workshop on Magnetic Bio-sensing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Kato, Takenori Oida, Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Remote detection of magnetic signals with compact atomic magnetometer modules towards a MRI-MPI hybrid system
3. 学会等名 International Workshop on Magnetic Particle Imaging (IWMPi) 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuya Yamamoto, Takenori Oida, Hiroaki Natsukawa, Ingo Hilschensch, Yosuke Ito and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Ultra-Low Field MRI with Optically Pumped Atomic Magnetometer: Hyperpolarized Xe Imaging
3. 学会等名 第44回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Optically pumped atomic magnetometer: Advancements and perspectives for biomagnetic imaging
3. 学会等名 CME2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Towards optical biomagnetic imaging systems
3. 学会等名 The 3rd Workshop on Optically Pumped Magnetometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 小林哲生
2. 発表標題 光学的生体磁気イメージングシステムの開発と展望
3. 学会等名 第30回日本生体磁気学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Ingo Hilschenz, Hiroaki Natsukawa, Tekenori Oida, Yosuke Ito, Tetsuya Yamamoto and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Remote detection of NMR Signals using a Portable Atomic Magnetometer Module combining with a Gradiometer-type Flux Transformer
3. 学会等名 CME2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hiroaki Natsukawa, Keigo Kamada, Tetsuya Yamamoto and Tetsuo Kobayashi
2. 発表標題 Measurements of human visual evoked fields using a compact atomic magnetometer module
3. 学会等名 HBM2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 光励起磁気センサ用セル	発明者 小林哲生, 加藤統久, 須山本比呂	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-0848	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光励起磁気センサ	発明者 小林哲生, 加藤統久, 山田将来、須山本比呂	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-0849	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>京都大学大学院工学研究科電気工学専攻生体機能工学分野 http://bfe.kuee.kyoto-u.ac.jp/publications.html</p>
--

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
連携研究者	笈田 武範 (Oida Takenori) (70447910)	京都大学・工学研究科・助教 (14301)	
連携研究者	伊藤 陽介 (Ito Yosuke) (20589189)	京都大学・工学研究科・講師 (14301)	