

京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書

2025 年 5 月 20 日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 大学院工学研究科 電気工学専攻

職 名 准教授

氏 名 伊藤 陽介

助 成 の 種 類	令和6年度 ・ 研究活動推進助成		
申請時の科研費 研究 課 題 名	生体磁気とMRIのシールドレスマルチモーダルシステムの開発		
上記以外で助成金 を 充 当 し た 研 究 内 容			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名)		
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 第39回日本生体磁気学会大会, WOPM2024, BIOMAG2024, 電気学会マグネティックス/マイクロ マシン・センサシステム/バイオ・マイクロシステム合同研究会		
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、 添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)		
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,500,000 円	
	使用した助成金額	1,500,000 円	
	返納すべき助成金額	0 円	
	助成金の使途内訳	費 目	金 額
		消耗品	1,012,610
		備品	415,910
		旅費	71,480
当財団の助成に つ い て	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) サポートいただけて大変助かりました。ありがとうございました。		

成果の概要 / 伊藤陽介

脳神経系や心臓, 筋肉などは神経細胞の賦活によって生じる電気信号により活動しているため, その電気信号(生体信号)を知ることで生体现象を理解, 利用することができる. この生体信号を計測する手法として, 計測部位に電極を設置して基準電極との電位差を計測する手法がある. この手法は計測対象とする部位によって, 脳波や心電図, 筋電などと呼ばれる. これに対して, 電気活動に伴う磁界を計測する手法として, 生体磁気計測がある. 生体磁気計測は, 必ずしもセンサを接触させる必要はないため, 発汗や水分量による影響は受けない. また人体の透磁率が部位に寄らずほぼ一定であり, 逆計算による信号源の推定が容易で生体の活動を正確に捉えられると期待されている. 一方, 従来の生体磁気計測では, 数千から数十万もの神経細胞が同期して発火するものが計測される程度であり, 脳表脳波計測などの侵襲的計測と比べると計測感度は低い. また, 計測には磁気シールドが必要であり, レアメタルを利用することから高額となる.

本研究課題では, 生体情報を含む生体磁気の計測と, 生体の形態情報が取得可能な磁気共鳴画像(MRI)を撮像可能なシールドレスマルチモーダルシステムの実現を目指した. 計測対象の磁場強度をアルカリ金属原子のラーモア歳差運動の周波数に載せてレーザ光により検出するスカラ型光ポンピング磁気センサ(Optically pumped magnetometer: OPM)の動作温度やレーザ光強度などの最適条件を探索し, 磁気シールドのない環境下でも動作する高感度な磁気センサを実現することができた. これを生体磁気の検出に用い, 常伝導の誘導コイルにより MRI を撮像可能なシステムを作製し, 簡易な磁気シールドのみで動作することが確認できた.

また, 完全にシールドを使わない状態でより高精度に計測を実現するために, MRI の撮像シーケンスをスカラ型 OPM に組み込んだ計測方法を提案した. まず, 環境の磁場不均一性に起因するスピニコヒーレンスの散逸に対して, スピンエコー法を導入することで再収束させて計測した. 原理図および実験結果を図1に示す. 通常のスカラ型 OPM では自由誘導減衰(Free Induction Decay: FID)により磁場を推定するが, FID は RF 磁界の影響を受けやすく, また磁場の空間不均一性によりスピニコヒーレント時間が短くなり, 計測精度が低下するという問題点があった. そこで, RF 磁界の後に再収束パルスを印加し, スピンエコーを発生させてエコー信号で磁場を推定することを提案し, 実験的に検証した.

次にスピンロック法についても導入を検討した. スピンロック法では RF 磁界により生成した横磁化と同期して回転する磁場を印加することで, スピン偏極を補償して計測時間の伸長を狙った. 実験的に検証すると, スピニコヒーレンス時間自体を約 2 倍に伸長することができた. この結果を第39回日本生体磁気学会大会で発表した指導学生がU35 奨励賞を受賞した. また同学生は国際会議 BIOMAG204 でも発表を行い, それによって日本生体磁気学会若手研究者奨励賞を受賞した.

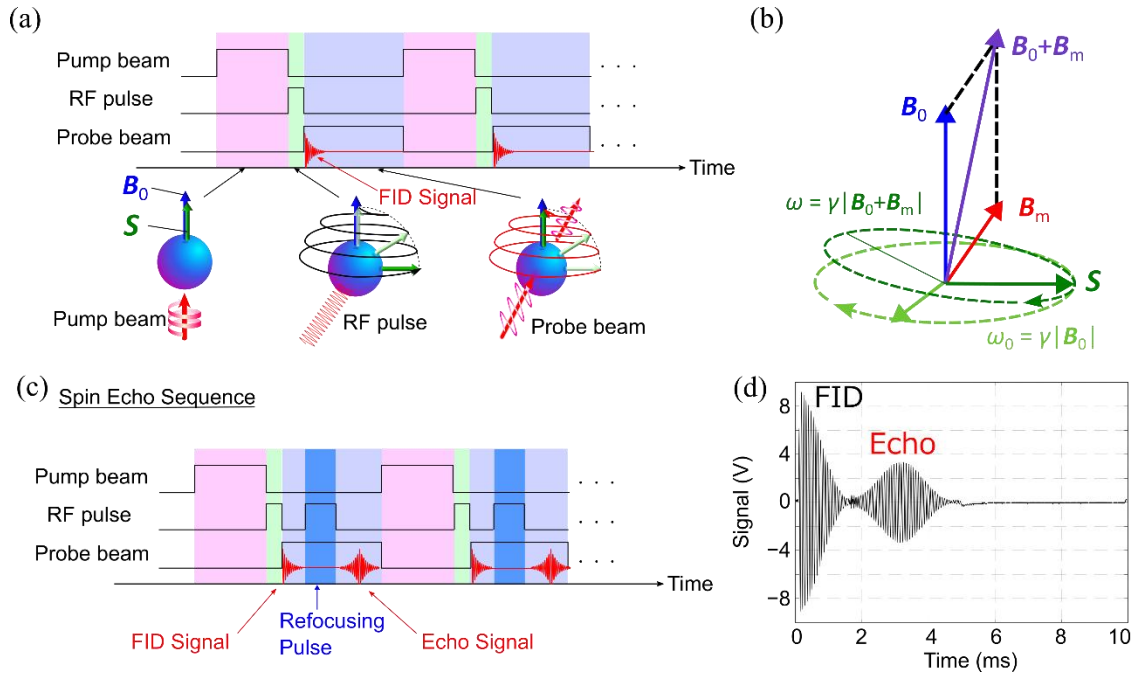


図 1: スカラ型 OPM の原理図とスピネコーシーケンスの導入。(a) スカラ型 OPM のシーケンス図. まず, ポンプ光により, 静磁場 B_0 と同じ方向にスピン偏極を生成する. その後, RF 磁界によりスピン偏極を倒し, 旋回半径を大きくする. スピン偏極は RF 磁界を切ると, 歳差運動しながら静磁界方向に戻っていくので, プローブ光により $S_{\parallel}$ を検出すると, 歳差運動周波数で振動しながら減衰する FID が観測される. (b) 静磁界 B_0 に加えて計測対象の磁界が任意の方向に存在する場合, その合成磁界に対して共鳴角周波数が決定される. (c) スピネコーシーケンスの導入. 再収束パルスを印加することでスピネコーを発生させる. (d) 実験によりエコーの発生を確認した結果