

研究成果報告書

研 究 題 目		光を用いた低周波電磁波計測システムの構築とモジュール化	実 施 年 度
			2015 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学大学院自然科学研究科	
	氏 名	田上 周路	印
1. 研究の目的・背景 電磁波の人体に及ぼす影響について 100 kHz までの低周波領域の影響が国際的に認められており、この領域における正確な電磁界検出が求められている。本研究では、レーザ光によって電子スピン偏極されたアルカリ金属原子による、新規電磁波センサの開発を目的とし、モジュール化による小型化へ向けた検討を行う。本手法を用いた電磁波の測定にはアルカリ金属原子の電子スピンの磁気共鳴現象による交流磁界測定の利用しており、低周波電磁波領域の微小磁界成分を測定対象としている。電磁波の交流磁界成分を光の強度信号に変換できることから、従来のコイル式センサで必要であったインピーダンス整合が不要となり、大入力に対しても焼損の心配が無い。これにより、従来のコイル式の測定プローブに代わるだけでなく後段の回路群も大幅に省略されたシンプルな構成で高機能なシステムとなる。このシンプルな構成によってモジュール化が可能となり、ロバストなセンサプローブや多チャンネル化による画像化システムを構築できる。構築したシステムは、環境や機器の電磁波計測のみならず、分析分野や医学分野における NMR や MRI のセンサヘッドへの適用が可能である。また、本センサの周波数感度帯域を周波数フィルタとして用いることで、周波数可変フィルタとしての機能を測定時に付加できることを実証する。帯域の可変領域に関しては、アルカリ金属と同時に封入するバッファガスの種類や圧力によって変動することを突き止め、希ガスであるヘリウムの圧力に対する帯域の可変領域に関して実験と理論の両方から検証を行う。センサの特性は、アンテナから発生させた既知の信号を検出することで、感度や帯域を測定し評価する。また、持ち運び可能な計測システムによってその場計測を実現するため、センサ部分のモジュール化へ向けた検討を行う。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

アルカリ金属として ^{133}Cs を用いて、数十 kHz の低周波磁界を光学検出できる光学式交流磁界検出システムを構築した（図 1 参照）。構築したシステムはアルカリ金属原子の密度や、同時にセル内に封入するバッファガスおよびクエンチングガスの種類や圧力、センサ起動に用いる光の波長や強度、印加静磁界の向きや強度など、多くの動作条件を変化させ、センサとして重要な特性である帯域と感度について理論的、実験的な検証を行った。検証結果より、動作条件によってセンサの応答が変化し、測定対象交流磁界と垂直に、光軸と約 45° の角度で静磁界を印加した際にセンサ出力が最大となった。申請時の計画にあった、感度周波数の可変に関して、理論と実験の比較を行った。実験結果と計算結果を図 2 に示す。印加する静磁界強度に応じて共鳴周波数が線形に推移する結果が得られた。これにより、高感度となる周波数帯域を印加静磁界強度によって自由に調整する事ができる。また、構築したセンサは $3\text{ }\mu\text{T}$ までの交流磁界強度に対して線形な応答が得られた。共鳴周波数 10 kHz として動作条件の最適化を行い、ノイズレベルの評価を行った。得られた感度スペクトルを図 3 に示す。入力される $3\text{ }\mu\text{T}$ の信号に対するノイズレベルは約 20 nT となり、従来のコイル式よりも高感度となる感度が得られた。

申請時の計画に対して、周波数帯域の調整に関しては実証できたが、実際にモジュール化を実施するには至らなかった。今回の検討において、静磁界の印加角度や強度が感度に大きく影響することが判明した。コイルをモジュール内に組み込むためには、小型で均一な磁界を発生させるコイルの設計が必要である。

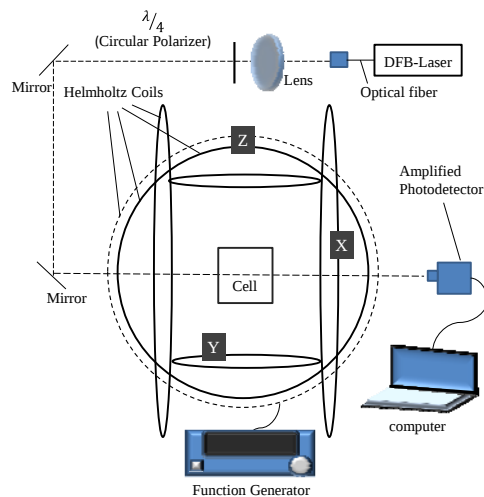


図 1. 構築した実験光学系

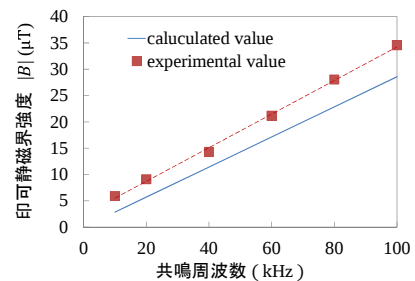


図 2. 印可静磁界強度による共鳴周波数の変化

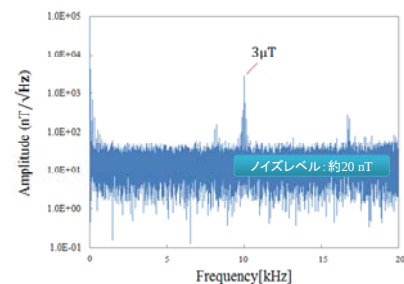


図 3. 実験によって得られた感度スペクトル

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

設備備品費として、申請時の計画通り「真空排気システム」を購入し、高感度なセンサヘッドとして必要不可欠なセルの封入に使用した。また、申請時の計画にあった「高出力狭帯域DFBレーザ」に関しては別予算での購入が可能となったため、そのレーザの安定動作のために、設備備品として「半導体レーザドライバ」の購入に切り替えた。

消耗品費として、申請時の計画にあった「ガラスセル」や「光学部品」の購入を行い、高精度な測定系の構築が可能となった。申請時の計画に加えて、高速データ取得に使用する電子部品や、作製した磁界の印加強度を構成するためのガウスメータの購入を行った。

旅費として東京への一泊二日を2度予定していたが、1度に変更し、研究会へ参加することで当該研究における情報収集および意見交換を行った。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究によって、原理検証実験やパラメータの最適化および特性評価実験は完了しており、可搬型モジュールの作製および実機を用いた計測の実施へ向けた検討を行っている。現在、静磁界の印加に永久磁石を用いた小型モジュールの提案を行っており、実現すればメタルフリーの小型測定モジュールを用いた正確で非侵襲な計測が可能となる。さらに、金属を使用しない測定モジュールは、原理的に過大入力に対しても損傷を起こさず、強度ダイナミックレンジの広い測定も可能である。

これらの特徴を活かした応用計測に向けて現在も継続して取り組んでおり、市販の磁界テスタを用いた感度校正によって、出力信号の線形性や高感度を実証している。さらに、永久磁石を用いた際の問題点に関しても検討しており、さらなる高感度化に関するアイデアについても試作実験を行い、その結果についても公表予定である。

上記の最適化されたパラメータとアイデアを組み込んだモジュールの設計は完了しており、現在製作段階である。このモジュールが完成次第、実証実験の実施および従来手法との比較を行うことで、実用化へ向けた検討を行う。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- 田上周路, 篠原 優, 豊田啓孝, 藤森和博, 深野秀樹, 「アルカリ金属を用いた交流磁界の光学検出 ～市販の磁界テストとの比較と永久磁石を用いたプローブ化の検討～」電子情報通信学会 IoT 時代の電磁環境を支える EMC 技術特集論文（和文論文誌 B）（2016.06.15 投稿済）
- 長岡孝幸, 田上周路, 豊田啓孝, 藤森和博, 深野秀樹, 「アルカリ金属のスピン偏極を用いた低周波電磁波計測の検討」, IEICE Technical Report, EMCJ2015-15, pp. 43-48, 2015.
- Shuji Taue, Masaru Shinohara, Takayuki Nagaoka, Yoshitaka Toyota, Kazuhiro Fujimori, and Hideki Fukano, "Optically Pumped Alkali-Metal Atomic Magnetometer using Permanent Magnets for AC Magnetic Field Detection," Eighth 2015 Korea-Japan Joint Conference on EMT/EMC/BE(KJJC-2015), P-15 [Sendai, Japan 11/23-24, 2015].
- 篠原 優, 田上周路, 豊田啓孝, 藤森和博, 深野秀樹「永久磁石の静磁界を利用した光ポンピング原子磁気センサの交流磁界検出における測定条件の最適化」IEEE 広島支部学生シンポジウム（岡山大学）B-30, 2015.11.21-22