

光ポンピングK-Rbハイブリッド原子磁気 センサを用いた差動計測の基礎的検討

Fundamental studies on differential measurements with an optically pumped K-Rb hybrid atomic magnetometer

小島史嵩⁽¹⁾, 伊藤陽介⁽¹⁾, 小林哲生⁽¹⁾

(1)京都大学大学院工学研究科

Fumitaka Kojima (1), Yosuke Ito (1), and Tetsuo Kobayashi (1)

(1) Graduate School of Engineering, Kyoto University

Abstract To reduce the ambient field noise and achieve high-sensitive biomagnetic measurements with optically pumped atomic magnetometers, we studied effectiveness of a first-order differential magnetometer using a hybrid cell of K and Rb atoms. First, we confirmed that the field noise was reduced and then the signal to noise ratio improved sixfold when ambient field noise was spatially homogeneous. Secondly, we carried out human MCG measurements and could observe typical waveforms such as R and T waves by differential measurements. These results demonstrate that differential measurements using a hybrid cell are effective and useful for biomagnetic measurements.

1. はじめに

近年、光ポンピング原子磁気センサが超伝導量子干渉素子(SQUID)に代わる新たな磁気センサとして注目されている。光ポンピング原子磁気センサは、理論上、SQUIDを凌ぐ高い感度を有し^[1]、液体Heなどの冷却装置を必要としないため、装置の小型化、低コスト化が可能であり、生体磁気計測への応用が期待されている。我々は、従来の単一のアルカリ金属原子ではなく、2種類のアルカリ金属原子をガラスセル内に封入したハイブリッド型のセンサの開発を進めている^[2]。ハイブリッド型のセンサでは、ポンプ原子とプローブ原子が異なるため、ポンプ光の減衰が抑えられ、センサ全体にスピン偏極が生じ、セル内でのセンサ特性の均一性が高いという利点を持つことから、単一原子を使用するセルよりも高感度な磁気センサの実現が可能である。この光ポンピング原子磁気セ

ンサを用いて高感度な生体磁気計測を行うためには、センサ自体のノイズを低減することに加え、環境磁場ノイズの低減が重要となる。本研究では、ハイブリッドセルを用いた一次微分型グラジオメータを構成し、環境磁場ノイズの低減を図り、生体磁気計測への応用可能性を検証した。

2. 方法

光ポンピング原子磁気センサの構成を図1に示す。本研究では、ガラスセル内にKとRbを封入したK-Rbハイブリッドセルを用いて、ポンプ原子をRb、プローブ原子をKとした。一次微分型グラジオメータの構成を図2に示す。ポンプ光、プローブ光ともに2本のパスを作り、セルに照射した。ポンプ光とプローブ光の交差点を、磁場信号源である半径5mmのループコイルに近い方からUpper, Lowerとして、その差分を取ることで、差動計測を行った。はじめに、差動計測の効果を検討するため、周波数10Hzの正弦波をループコイルに印加したときの磁場を計測した。そして、生体磁気計測への応用可能性を検証するため、被験者の胸部直下にセンサを配置し、ヒト心磁計測を行った。ポンプ光は30mm×10mmに成形して照射した。ループコイルとUpperの距離は33mm、UpperとLowerの距離は30mmとした。計測は、空間的に均一なホワイトガウシアンノイズから成る疑似的なノイズを印加した状態で行った。

3. 結果と検討

ループコイルに周波数10Hzの正弦波を印加したときのUpper, Lowerにおける磁場と、それらの差動出力の振幅スペクトル密度を図3に示す。Upper, Lowerのノイズレベルと比較して、差動出力ではノイズレベルが小さくなっていることが見

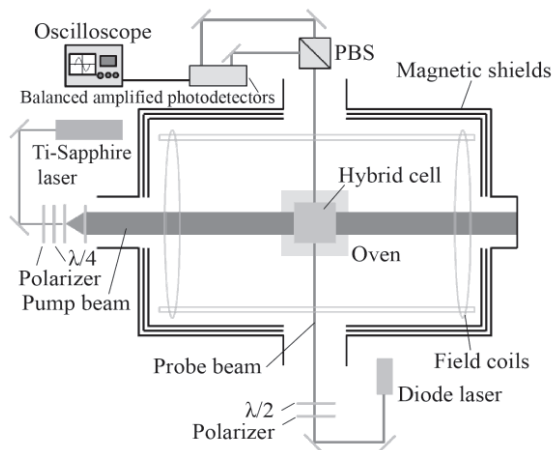


図1. 光ポンピング原子磁気センサの構成

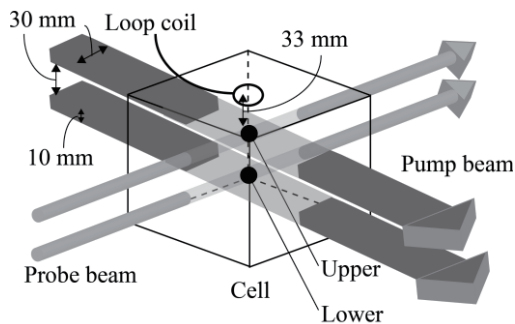


図2. 一次微分型グラジオメータの構成

て取れる. Upperと比較して, 差動により信号は20%程度減少しているが, ノイズは90%程度減少している. SN比で比較すると, Upperでは9.5であったのに対して, 差動計測では227.0となっており, 6倍程度大きくなった.

ヒト心磁計測において, 計測時間10 sで得られた波形の加算平均を図4に示す. (a)がUpper, (b)が差動出力を表す. 差動計測により磁場ノイズの低減を図ることで, Upperでは確認できなかったQRS波, T波を確認できた. しかし, これらの実験において, 印加した疑似的なノイズを完全には除くことができなかった. これは, Upper, Lowerにおけるセンサ特性の違いによるものと考えられる.

4. まとめ

本研究では, 環境磁場ノイズが空間的に均一な環境において, 光ポンピングK-Rbハイブリッド原子磁気センサを用いた差動計測の効果を検証し, ヒト心磁計測を行うことで生体磁気計測への応用可能性を示した. 心磁よりも小さい脳磁や脊磁を

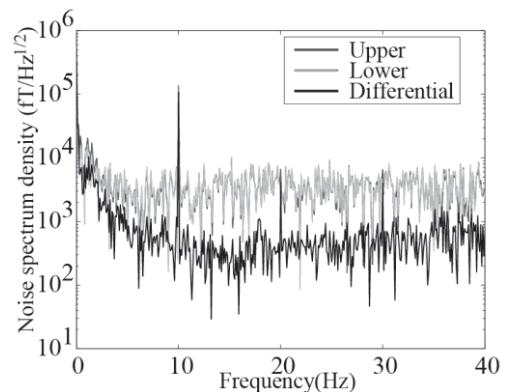


図3. 周波数10 Hzの正弦波を印加したときの振幅スペクトル密度

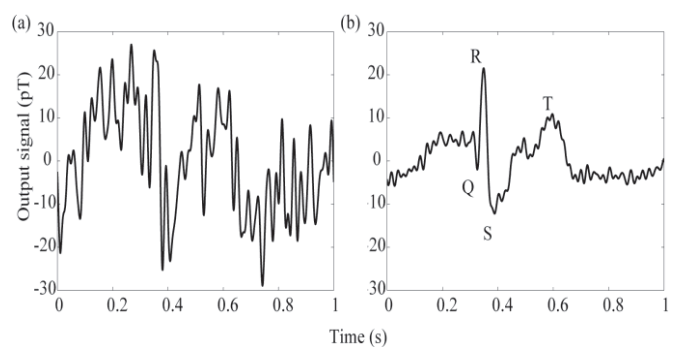


図4. ヒト心磁波形. (a)Upperでの波形. (b)差動計測

計測するためにはさらなる感度の向上が必要となる. 今後は, 計測位置でのセンサ特性を一致させると共に, 二次微分型グラジオメータを構成する, モジュール型の光ポンピング原子磁気センサを使用しセンサ自体のノイズを小さくするなどの工夫を施し, 高感度な生体磁気計測を目指す.

謝辞

本研究の一部は文科省科研費(2650466, 15H01813)ならびに先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム「高次生体イメージング先端テクノハブ」プロジェクトの補助を受けた. 付記して謝意を表す.

参考文献

- [1] J.C. Allred *et al.*, 2002. High-sensitivity atomic magnetometer unaffected by spin-exchange relaxation. *Phys. Rev. Lett.* 89(13):130801.
- [2] Y. Ito *et al.*, 2012. Development of an optically pumped atomic magnetometer using a K-Rb hybrid cell and its application to magnetocardiography. *AIP advances.* 2(3):032127.