

光学式磁界センサを用いた変動磁場の計測

1220179 横田 佳澄 (光工学研究室)

(指導教員 田上 周路 准教授)

1. 目的

研究室で取り扱っている光学式磁界センサは画像化することのセンサの動作に必要な印加静磁場が一定であることが測定の精度において重要である。しかし、研究室内では地磁気の変動やその他の機器からの電磁波は必ず存在しており、測定に影響を及ぼす可能性がある。よって変動磁場を測定し、画像化するデータの補正につながる変動磁場センサを作製することを目的とする。

2. 原理

光学式磁界センサ(OPAM)は光ポンピングの原理を利用したセンサである。光ポンピングによってスピン偏極したCs電子に静磁場 B_0 が印加されるとラーモア歳差運動する。この時、式(1)よりラーモア周波数が求められる。(f=周波数, $\frac{\gamma}{2\pi}$ =磁気回転比, B_0 =外部磁場)

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} B_0 \quad (1)$$

このラーモア周波数に一致する周波数を持つ交流信号を印加することで、磁気共鳴が起こる。この時、周波数の変化でCsセルを透過する光の位相が変化する特性があるため、静磁場が変動するとラーモア周波数も変動し、位相の値が変化する。[1] よって、この位相の変動を計測することで変動磁場を計測することができる。

3. ヘルムホルツコイルの作製と評価

一辺3cmのCsガラスセルを用いたセンサを作製する。センサ領域における静磁場 B_0 として地磁気の水平方向のみを取り扱うために、中心に垂直方向に均一な磁場を印加することができるヘルムホルツコイルを作製した。

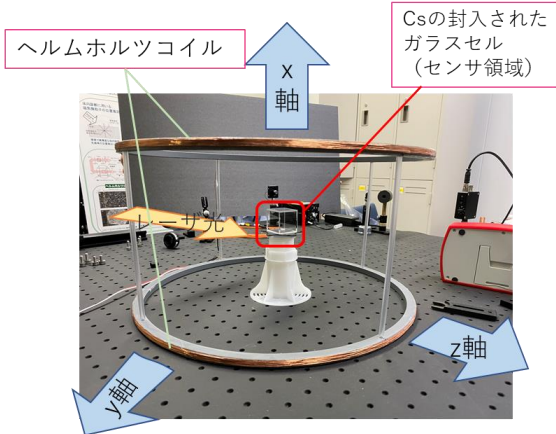


図1. 作製したヘルムホルツコイル

ヘルムホルツコイルの中心軸上の磁場は式(2)で求められる。 B =磁場[T]、 μ_0 = 真空の透磁率 = $4\pi \times 10^{-7} [T \cdot \frac{m}{A}]$ 、 n = 巻き数、 I = 電流[A]、 R = 半径[m]とする。

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (2)$$

センサ領域にかかる地磁気の垂直成分は $35\mu T$ であり、式(2)より、 $0.41A$ の電流を流すことで打ち消すことができると求められる。実際に、このヘルムホルツコイルに $0.39A$ の電流を流し、センサ領域にかかる地磁気の垂直成分を打ち消すことができた。

4. 実験系の作製

4.1 光学系の作製

図2に作製した実験系の概略を示す。

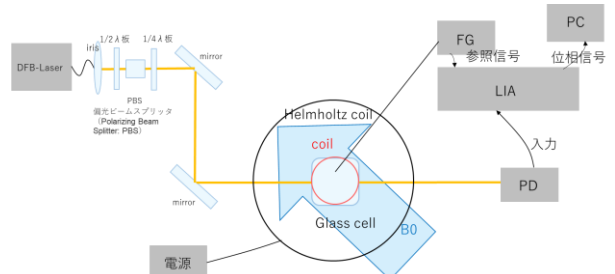


図2. OPAM 実験系

センサ領域にかかる静磁場 B_0 に対応する共鳴周波数の信号をFGで与えることでCsは磁気共鳴する。このCsセルの透過光をPDで受光し、LIAによってFGの信号を参照信号とした、信号強度と位相を得る。

4.2 周波数-位相特性

作製したOPAMで、FGによって与える信号の周波数と位相の間の特性を測定した結果を図3に示す。

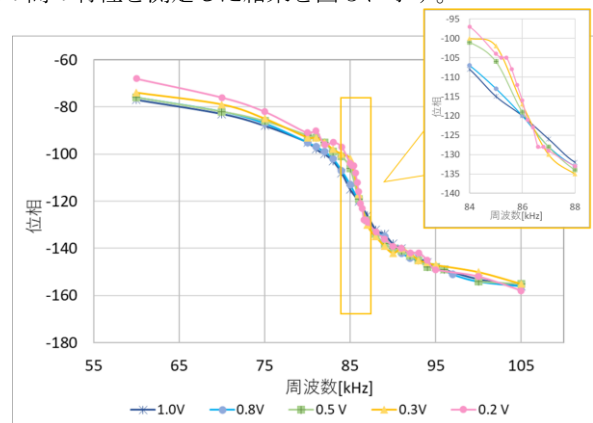


図3. FGの振幅ごとの周波数-位相特性

周波数の変化により位相が変動するという結果を得ることができた。式(1)の静磁場 B_0 とラーモア周波数の関係より、静磁場 B_0 が変化したときに位相が変動する。つまり位相の変動を観測することにより静磁場 B_0 の変動を観測できる。

また、FGにより印加する交流信号の振幅が小さいほど位相の変化の傾きが大きいことが分かった。位相変化の傾きが大きいほど周波数の変動に対して位相が大きく変動することになるため、センサとしての感度が高くなると考えられる。

6. まとめ

OPAM のために均一磁界を生じさせるヘルムホルツコイルを作製することができた。また、作製したOPAM実験系では、周波数位相特性を確認することができた。

参考文献

[1] N.Castagna・G.Bison・G.Di Domenico・A.Hofer・P.Knowles・C.Macchione・H.Saudan・A.Weis, "A large sample study of spin relaxation and magnetometric sensitivity of paraffin-coated Cs vapor cells", Applied Physics B(2009) p766