

単一画素計測による光学式磁界イメージング

Optical measurement of magnetic field distribution with single pixel imaging

1245057 田中 拓充 (光計測工学研究室)

(指導教員 田上 周路 准教授)

1. 背景・目的

近年、車など様々な機器に数十 kHz 帯の電磁波を用いた無線給電が導入されており、給電効率の向上には電磁界の空間的な分布の把握や 2 次コイル側の共振周波数の設定が重要となる。空間的な磁界の測定には金属プローブによる走査がよく用いられるが、金属を用いているために電磁誘導による磁界の歪みが生じる。

そこで本研究では、センサ部分にアルカリ金属であるセシウム(Cs)を使用した光学式磁界センサによって、コイルに生じる電磁誘導による磁界を非侵襲に測定する。また、ミラーアレイデバイス (DMD) との組み合わせによる磁界の強度分布を用いて空間的な評価を行うことを目的とする。

2. 光学式磁界センサの原理と DMD を用いた測定系

アルカリ金属は、円偏光にした吸収波長レーザーによって基底状態のゼーマン準位間に原子数の大きな差を作ることが出来る (光ポンピング)。この原子数差によって電子スピンは偏極され、静磁場 B_0 によって歳差運動をはじめめる。その周波数 (f : ラーモア周波数) は静磁場 B_0 の強度に比例し、次の (1) 式で表される。

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

$\gamma/2\pi$ は磁気回転比であり、固有値である (Cs は 3.5 Hz/nT)。測定対象となる交流磁界の周波数とラーモア周波数が一致する場合、磁気共鳴によって感度方向の強度変調が最大となる。[1]

ガラスセルに封入したアルカリ金属との磁気共鳴によって強度変調されたガラスセル透過光は、画像化のために DMD のミラーアレイに結像され、空間的に分解を行ったのちにフォトディテクタ (PD) に受光する。(図 1) PD での受光信号はロックインアンプを用いて参照信号との位相検波を行い、磁界強度の分布として画像化した。

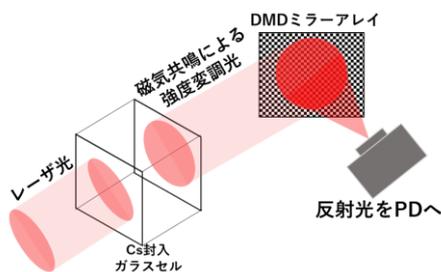


図 1. DMD を用いた透過光の空間分解のイメージ

3. コイルを用いた電磁誘導の可視化

本実験では、光を照射している測定領域において強度が均一になるような交流磁界(70 kHz, 4nT)をヘルムホルツコイルから印加し、図 2 のように測定領域上側に積層コイル(平均直径 8 mm, 200 回巻)を設置した際の電磁誘導によって生じる磁界の強度分布変化を測定した。式(1)より、センサの動作に必要な静磁場 B_0 は 3 軸ヘルムホルツコイルによって 20 μ T に設定した。磁界強度分布の画像化はミラーアレイの走査(15 \times 15 画素)を適用し、測定領域(8 \times 8 mm²)において空間分解した。

測定では、積層コイルの線の両端を解放状態にした場合と、70 kHz が共振周波数となるようなコンデンサを接続した場合それぞれの磁界強度分布を出力した。

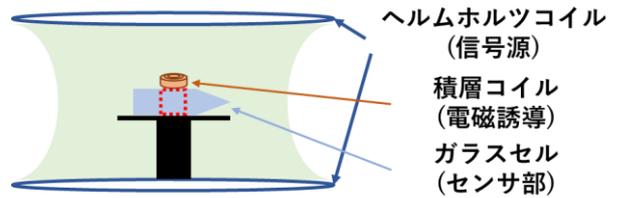
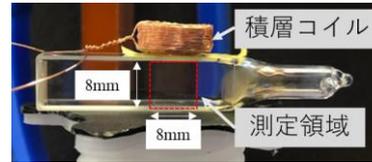


図 2. (上)センサ部における概略図
(下)センサ部となる Cs 封入ガラスセルとその上に配置した積層コイル

4. 測定結果

図 3 より、点線の内側が光を照射している領域であり、感度を持つ。図 3(左)より、積層コイルが解放状態の時は誘導電流が積層コイルに流れない。そのため、測定領域においてヘルムホルツコイルから印加された均一な磁界の強度分布が得られた。

一方、図 3(右)より積層コイルを 70 kHz に共振させた際、積層コイル設置位置である画像上側の強度が強い分布が得られた。これは、積層コイルから生じる電磁誘導による磁界を示し、また、共振による効果で出力が積層コイル近くでおよそ 3.3 倍となっていることも確認できた。

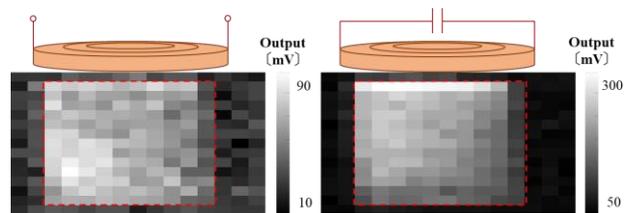


図 3. 積層コイルを解放した場合(左)と共振回路を接続した場合(右)の磁界分布の測定結果

5. まとめ

本研究では、光学式磁界センサと DMD の組み合わせることによって、電磁誘導で生じる磁界の強度分布の画像化を行った。結果より、共振周波数における電磁誘導によって、2 次コイルの役割をなす積層コイルから生じる磁界の様子を強度分布の画像として可視化することができた。

参考文献

[1] E. B. Alexandrov and A. K. Vershovskiy, "Mx and Mz magnetometer," in Optical Magnetometry, D. Budker and D. F. J. Kimball, Eds. Cambridge University Press, New York, pp. 60-84, 2013.