

光学式磁界センサを用いた磁気微粒子検出に関する検討

1230162 満井 照葉 (光計測工学研究室)

(指導教員 田上 周路 准教授)

1. 背景・目的

体内の悪性腫瘍に結合する性質を持つ磁気微粒子を体内に注入して、磁氣的に疾患部位の診断を行う方法が注目されている。これにはコイルなどの磁気検出デバイス複数個設置するなどして磁界分布を得る高周波測定や磁気緩和測定が提案されており、mT 単位の強い励起交流磁場を利用している。これらの手法は、強い励起磁界による粒子の発熱や、コイルなどのデバイス自身による測定対象磁界への影響、信号線へのノイズの影響などを考慮する必要がある。

本研究では印加磁界に対する磁気ヒステリシス特性を持つ磁気微粒子を用いて、nT 単位の微弱な交流磁界に対する磁気応答の、光学式磁界センサを用いての検出を検討した。

2. 光学式磁界センサの原理

アルカリ金属に、共鳴波長のレーザ光を円偏光にして照射することで電子占拠数の差を作る (光ポンピング)。これによってスピン偏極され、印加静磁場によってラーモア歳差運動する。ラーモア歳差運動の歳差運動周波数をラーモア周波数といい、次の式(1)で示される。

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

f は周波数、 B_0 は印加静磁場、 γ は磁気回転比であり原子ごとに固有の値を持つ。Cs の磁気回転比は $\frac{\gamma}{2\pi} = 3.5$ [Hz/nT] である。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とき、磁気共鳴により透過光の強度変調が最大となる。

3. 磁気ヒステリシスの利用

磁気微粒子は弱い磁界において磁気ヒステリシスが起こる。磁気微粒子に nT 単位の微弱な交流磁界を印加することにより、磁界の強さが磁気ヒステリシスの範囲内に収まるため、磁気ヒステリシスの磁場の変化に遅れて反応する性質を利用し、粒子周辺磁界の位相変化を測定することで磁気微粒子を検出する方法を検討した。

実験にはリゾビストを使用した。原液をリゾビスト濃度 100 %、純水を 0 % とし、数種類の濃度の溶液を作りプラスチック容器に 150 μ l ずつ封入した。

リゾビスト濃度 2.4 % で、局在診断時に悪性腫瘍に結合した時のリゾビストの濃度に近くなるため、この濃度での検出を目標としている。

4. 実験方法

センサ部にかかる地場を印加磁場 B_0 のみにするため、図 2 のヘルムホルツコイルでセンサ部にかかる地磁気を相殺した。図 1 はヘルムホルツコイルの中心に設置した Cs 封入ガラスセルと、その上部に設置した磁気微粒子の入ったプラスチック容器である。赤色で示している範囲がセンサとして感度を持つ部分となる。

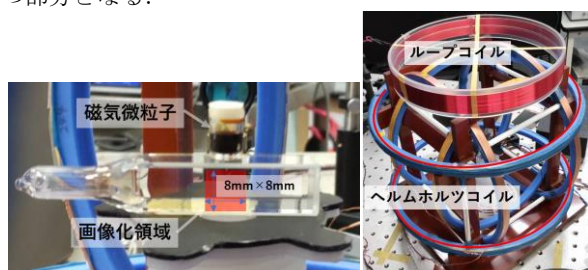


図 1 ガラスセル



図 2 測定に用いたコイル

5. 測定結果

図 2 に示すセンサ上部に設置したループコイルからの信号 (300 nT) とヘルムホルツコイルからの信号 (57 nT) を用いて、信号磁界を測定した結果のグラフを図 3 に示す。磁気微粒子の濃度が上がるにつれて位相遅れが大きくなるという結果が得られた。リゾビスト濃度 100 % では 2 度測ったが、値が大きくずれることは無かった。リゾビスト濃度 2.4 % では、位相遅れを確認することが出来なかった。

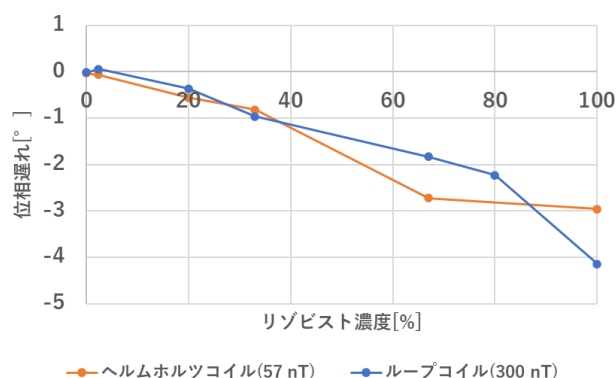


図 3 リゾビスト濃度による位相遅れ

また、ヘルムホルツコイルについて、直交成分と同相成分の測定を行った結果を図 4、図 5 に示す。濃度が上がるにつれて直交成分が増加していることがわかる。

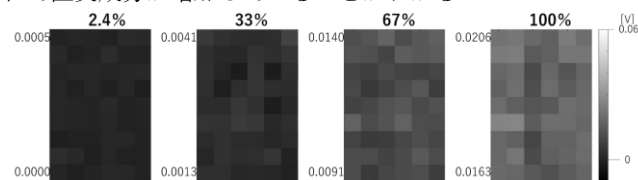


図 4 2.4 %, 33 %, 67 %, 100 % の同相成分

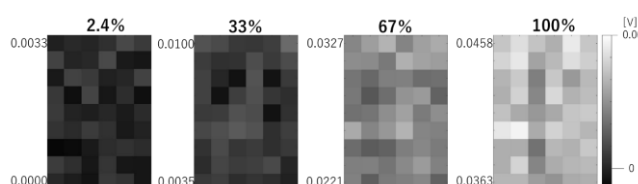


図 5 2.4 %, 33 %, 67 %, 100 % の直交成分

6. まとめ

光学式磁界センサによって、nT 単位の微弱な交流磁界に対する磁気応答の検出を検討した。磁気ヒステリシスの磁場の変化に遅れて反応する性質を利用し、粒子周辺磁界の位相変化を測定することで磁気微粒子を検出する方法を検討した。センサ部となる Cs 封入ガラスセルの測定範囲領域上部に磁気微粒子の入ったプラスチック容器を乗せ、印加磁界の強度を変えて、光学式磁界センサにより印加磁界に対する信号磁界の位相差を測定しグラフ化し、画像化した。

磁気微粒子の濃度が高いほど大きい位相遅れが確認できた。リゾビスト濃度 2.4 % の位相遅れは確認できなかったが、nT 単位の印加磁界に対する磁気微粒子の応答を確認できた。