

光ポンピング磁気センサを用いた磁気微粒子からの磁場分布測定

1240090 滝沢 優太 (光計測工学研究室)

(指導教員 田上 周路 准教授)

1. 研究背景・目的

近年、医療の分野において、人体中を流れる微弱な電流により発生する極微弱な磁場を測定するために高感度な磁気センサが用いられている。高感度磁気センサには従来、超伝導量子干渉素子(SQUID: Superconducting Quantum Interference Device)が用いられてきたが、SQUID は液体ヘリウムを用いた超低温状態で動作させる必要があるため、動作、維持するためのコストが大きかった。

そこで、SQUID に並ぶ高感度な磁気センサとして、光ポンピングにより生成したアルカリ金属のスピンの偏極を用いて磁場を測定する光ポンピング(原子)磁気センサ(OPAM: Optical Pumped Atomic Magnetometer)が注目されている。OPAM は室温での動作が可能であり、超低温状態を必要しないため、動作、維持のコストは小さい。感度の面でも条件によって SQUID を凌ぐ感度を達成できると言われている。

そして、高感度の磁気センサを応用して、人体内に注入した磁気微粒子(MNP: Magnetic Nano-Particles)の検出への応用が注目されている。磁気微粒子の表面に、がんなどの腫瘍に吸着するよう加工を施した上で体内に注入し磁場を印加すると、腫瘍に吸着した磁気微粒子から微弱な磁気応答信号が得られ、腫瘍を発見できるという手法である。

本研究の目的は、医療用としても用いられる磁気微粒子に、磁場を印加した際に発生する微弱な磁気応答信号を、OPAM を用いて測定し、その磁場分布情報を画像として視覚的に得ることである。これが実現されると、乳がんなどの腫瘍を非侵襲な方法で発見でき、その位置情報を画像で視覚的に理解できるようになる。

2. 実験方法

本研究では、アルカリ金属として室温でも十分な蒸気圧で利用できるセシウム(Cs)の蒸気を、クエンチガスとバッファガスとともにガラスセルに封入して使用した。光ポンピングを発生させるため、レーザは Cs の吸収波長(約 852 nm)に設定し、円偏光にしてガラスセルに照射した。ガラスセルには 3 種類のコイルを用いて 200 kHz の交流磁場を印加した。

磁気微粒子は医療用としても用いられる「リゾビスト」を使用し、濃度 100%(原液)、67%、33%、2.4%、0%(純水)となるように薄めたものを 150 μ L のプラスチック容器に封入した。これをガラスセルの光通過領域上に置き、磁気微粒子周辺の透過光強度変調を観測した。

測定磁場を画像化する方法には、デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)に走査パターンを 16×16 で表示させ、反射光をフォトダイオード(PD)で受光する方法を用いた。受光した光を交流磁場に同調させたロックインアンプ(LIA)で同期検波した。LIA の各画素の値を行列として保存し、MATLAB を用いて画像化を行った。

3. 結果の評価方法

腫瘍に吸着した際の濃度に近い磁気微粒子濃度 2.4%の磁気応答信号を得るため、実験で得られた画像を差分画像、絶対値、位相差の 3 つの観点から評価を行った。

差分画像は磁気微粒子を置いたときの画像から、磁気微粒子を置かなかった時の画像を引いて算出し、評価を行った。

絶対値は同相成分、直交成分それぞれの差分画像における各画素値の 2 乗和の平方で算出し、評価を行った。

位相差は各画素値の逆正接関数を用いて算出し、評価を行った。

4. 実験結果

4.1 差分画像

図 1 にループコイルで最大磁場(641 nT)を励起した時の直交成分の差分画像を示す。濃度 67%、100%の画像(図 1 (d),(e))において、黒く出力が低くなっている部分が見られ、この部分が磁気微粒子からの磁気応答信号を検出している部分である。しかし、濃度 33%では黒い部分は灰色になり、濃度 2.4%では全体が白い画像となり、磁気微粒子からの信号が検出できていない。

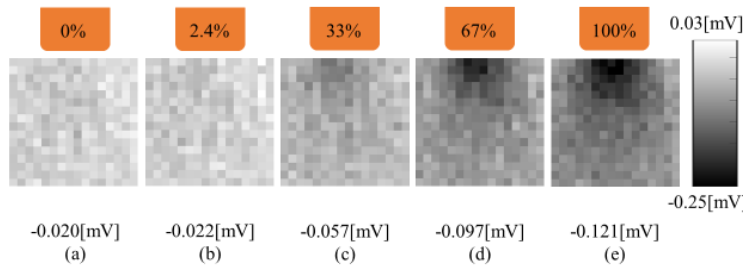


図 1 ループコイル最大磁場励起時の差分画像と平均値

4.2 絶対値

図 2 にループコイルで最大磁場を励起した時における絶対値行列の画像を示す。濃度 67%、100%の画像(図 2 (d),(e))に白く出力の高い部分が見られ、濃度 33%以下では見られない。絶対値を用いても濃度 2.4%の検出はできていないと言える。

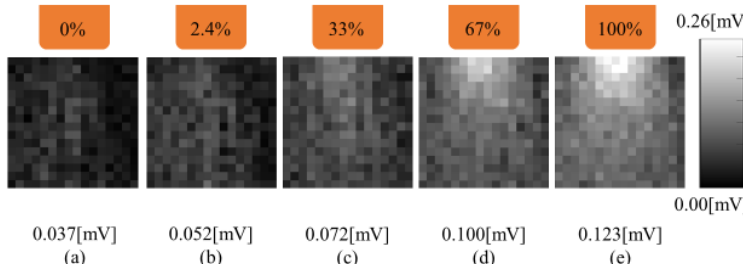


図 2 ループコイル最大磁場励起時の絶対値行列と平均値

4.3 位相差

図 3 にループコイルで最大磁場を励起した時における位相差行列の画像を示す。濃度 67%、100%の画像に黒く出力が低くなっている部分が見られ、濃度 33%以下では見られない。位相差を用いても濃度 2.4%の検出はできていないと言える。

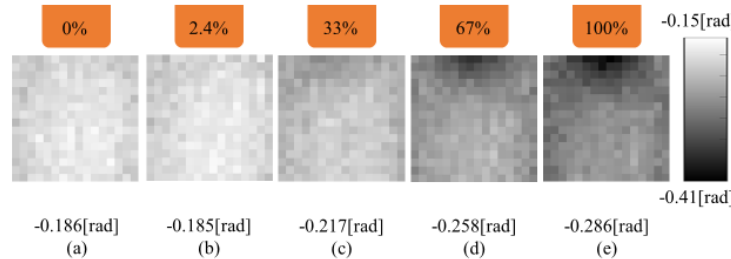


図 3 ループコイル最大磁場励起時の位相差行列と平均値

5. まとめ

本研究の目標である磁気微粒子濃度 2.4%の磁気応答信号を検出することはできなかったが、濃度 67%以上の磁気微粒子を検出し、磁場分布画像を得ることができた。