

基本波型直交フラックスゲートグラディオメータを用いた磁気微粒子検出

加呂光, 笹田一郎
(九州大学)

Magnetic nanoparticle detection system by using fundamental mode orthogonal fluxgate gradiometer

H. Karo, I. Sasada
(Kyushu Univ.)

1 はじめに

センチネルリンパ節の検出のために MRI の造影剤として用いられる磁気微粒子分散液を乳がん近くに注射して、その集積場所を調べるためのセンサが検討されている¹⁾。磁気微粒子の発する微弱な磁界を測定する為には、高感度で空間分解能の高い磁界センサが必要である。本研究では、マグネトメータを組み込んだ低雑音な基本波型直交フラックスゲート (FM-OFG) グラディオメータ²⁾³⁾ に交流励磁コイルを組み合わせた磁気微粒子検出器を試作し、これの性能評価をおこなった。

2 検出器の構成

試作した磁気微粒子検出器の構成を Fig. 1 に示す。FM-OFG は磁性ワイヤコアとコアの周囲に巻かれた検出コイルで構成したセンサヘッドおよび、駆動回路からなる。磁性コアの励磁には、交流電流とこれの振幅より大きな直流バイアス電流を通電する。検出コイルに現れる誘起電圧は、増幅、同期検波後に誤差増幅器に入り、入力磁界を打ち消すように帰還抵抗を介して検出コイルに負帰還電流を流す。センサの感度はコイルの巻線密度と帰還抵抗の比により決まる。1つの磁性コアに2つの検出コイルを施したセンサヘッドを2つ用意し、1組の検出コイルのペアを差動接続にすることでグラディオメータを構成した。また、残った検出コイルのペアを順接続にしマグネトメータを構成した。マグネトメータは磁性微粒子の信号測定に用いないが、磁性コアに重ねて巻かれたマグネトメータ用検出コイルに負帰還電流を流す事で、励磁磁界でコアが飽和しないようにしている。直径 30 mm、長さ 7 mm の円形励磁コイルに $6A \cdot \text{ターン}$ の正弦波電流 (100 Hz) を通電することで、対象微粒子を磁化し、微粒子が発する磁界をベースライン 12 mm のマグネトメータを組み込んだグラディオメータで測定する。ここで、コイルの作る磁界はコイル中心で $250 \mu\text{T}$ 、中心から 15 mm 離れた軸上で $88 \mu\text{T}$ である。グラディオメータ出力は励磁電流と同じ周波数で同期検波する。ここで平滑用のローパスフィルタのカットオフ周波数は 1 Hz とした。グラディオメータには非平衡性があるので、そのままではキャンセルしきれない励磁の 100 Hz 成分の影響が大きく、増幅率を高くできないが、励磁コイルの調整によりこれを大幅に改善する事ができる。無調整時と調整時で不平衡誘起電圧は 1/28 まで抑制できる。本実験では最適な調整条件にて磁性微粒子の検出実験をおこなった。

3 実験方法・結果

測定対象の磁性微粒子のサンプルとして $5 \mu\text{L}$ のレゾビスト® を用いて、試作した磁気微粒子検出用プローブの振幅距離特性を評価した。グラディオメータに用いた片側のセンサヘッド先端から任意距離だけ離れたセンサ軸延長線上にサンプルを置き、他方のセンサヘッド軸上間とを往復させることで、磁化した磁性微粒子の信号を測定した。Fig. 2 に 10 mm および、14 mm の位置にサンプルを置き測定した出力波形を示す。地磁気の 3 倍以下という小さな励磁磁界で磁化した磁気微粒子が発生する磁界を検出できている。

謝辞

レゾビスト® サンプルを提供頂きました東京大学 関野正樹准教授およびバドクの子金子美樹さんに謝意を表します。

References

- 1) 大橋開智他, 電気学会研究会資料, MAG-16-12, (2016).
- 2) I. Sasada, *J. Appl. Phys.*, **91**, No.10, p.7789, (2002).
- 3) I. Sasada and S. Harada, *IEEE Trans. Magn.*, **50**, No.11, (2014).

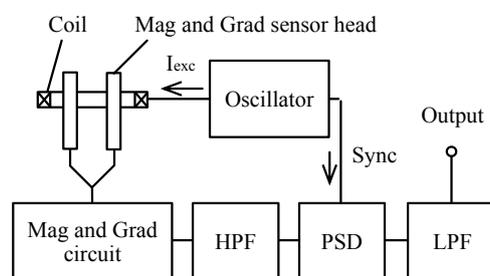


Fig. 1 Block diagram of the magnetic nanoparticle detection system.

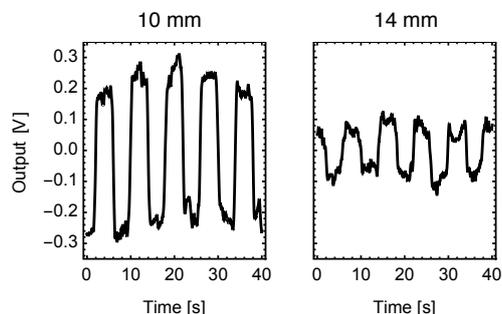


Fig. 2 Waveforms showing the detection capability. The sample is $5 \mu\text{L}$ Resovist®. The distance from the top of the sensor heads are 10 mm (left) and 14 mm (right).