

微弱磁界計測のための能動的磁気遮蔽方法 (磁気アクティブシールド) の開発

1. はじめに

磁界がもたらす情報は羅針盤、磁気記録、非破壊検査などに代表されるさまざまな分野で重要な要素となっている。医用分野では画像診断に用いられるMRIは有名であるが、近年では、心臓から発生する心臓磁界(MCG: Magneto cardio gram)や脳から発生する脳磁界(MEG: Magneto encephalo graphy)の有用性も報告されている。MCG等の極微弱な生体磁気を精密に計測するには高感度な磁気計測用センサが必要となり、一般には超伝導量子干渉素子(SQUID: Superconducting Quantum Interference Device)が用いられる。MCG信号やMEG信号は地磁気(約 $50\mu\text{T}$)の $1/10^6\sim 1/10^8$ と非常に微弱であることから、さまざまな電気機器から発生する磁界や車、電車、エレベータなどの鉄塊が移動することによって生じる変動磁界などの環境磁界がノイズとなる。そのため、生体磁気のような微弱磁界計測は強磁性体壁が複数層で構成された磁気シールドルーム(MSR: Magnetically Shielded Room)内で計測が行われる。しかしながら、重厚長大なMSRは施工コストが大幅にかかりかつ、近年、MSRの原材料となる強磁性体材価格の高騰などから、軽量で簡便な磁気ノイズ遮蔽方法が切望されている。

本稿では、計測空間の磁気ノイズを検出し逆向きの磁界(補償磁界)を生成し、磁気ノイズ低減を行う磁気アクティブシールドについて紹介する。

2. 原理

図1に磁気アクティブシールドの原理図を示す。計測空間の磁気ノイズを磁気ノイズ検出器で検出後、増幅器、フィルタ回路などから構成される補償磁界回路で信号処理を行った後、補償コイルによって計測空間に補償磁界を作用させる。磁気ノイズ検出器は、計測空間のノイズ特性と時間相関が高い位置に配置され、必要となる低磁界空間のレベルに応じて検出センサにSQUID、フラックスゲート磁束計、誘導コイルなどを用いる。補償コイルは、必要となる低磁界空間のサイズに応じて設計する必要がある。

補償磁界を制御する方法には、補償磁界が検出センサに作用するフィードバック方式⁽¹⁾と補償磁界が検出センサに作用しないフィードフォワード方

式⁽²⁾がある。フィードバック方式は検出センサの出力を0にするように機能するため遮蔽効果はループゲインに依存し、安定した動作が期待できる。高い遮蔽率を実現するには高いループゲインが必要となり、周波数特性を加味した補償磁界回路の設計が重要になる。いっぽう、フィードフォワード方式は、補償磁界の動的な調整が必要となるが、低磁界空間を任意の場所に生成できる利点がある。

3. 適応事例

図2にフィードバック型磁気アクティブシールドの概略を示す。本システムは磁気ノイズを検出する検出センサ、補償コイル、電子回路から構成され、それぞれ角型ソレノイドコイル(1m角, 100回巻)、角型ヘルムホルツコイル(1m角, 30回巻)、補償磁界制御用コントローラとなっている。遮蔽率を測定するため、検出コイルの中央部にフラックスゲート磁束計を配置し、その出力変化によって遮蔽効果を確認した。フラックスゲート磁束計はBartington社製のMag-03MS70を使用した。フラックスゲート磁束計の出力から地磁気に伴う直流成分と励振磁界による影響を取り除くため、バンドパスフィルタ(0.1Hz, 1kHz)を用いて時間波形の観測を行った。また、同時にスペクトルアナライザを用いたスペクトル観測を行った。磁気遮蔽を行わない場合のフラックスゲート磁束計の出力は図3(a)に示すように商用電源ノイズ(50Hz)が主な成分で約 70nT_{pp} 程度の振幅を示した。この状態に補償磁界を作用させることで $1\sim 2\text{nT}_{\text{pp}}$ と補償前に比べて約30dBノイズが低減した[図3(b)]。また、同時に商用電源周波数の高調波成分(150, 250Hz)のノイズについても15~20dBの低減効果を得ることができた。さらに、建物の振動に伴う10~40Hzの磁気ノイズは5~20dB程度低減することができた。

4. おわりに

磁気アクティブシールドは、検出センサ、補償磁界調整回路と補償コイルからなる簡便なシステムで、強磁性体で構成されるMSRに比べ価格面、施工性で大きな利点を有する。また、MSRと組み合わせて使用することにより、MSRの遮蔽特性を改善することができる⁽³⁾。

(原稿受付 2008年3月21日)

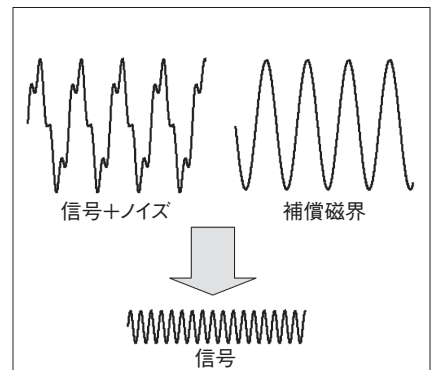


図1 磁気アクティブシールド原理図

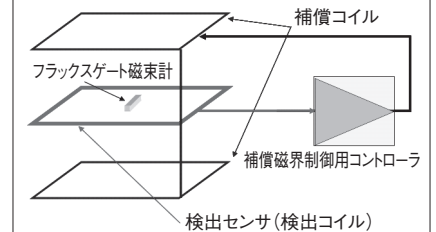
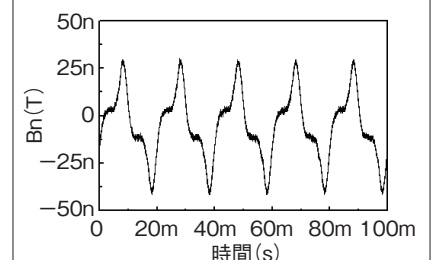
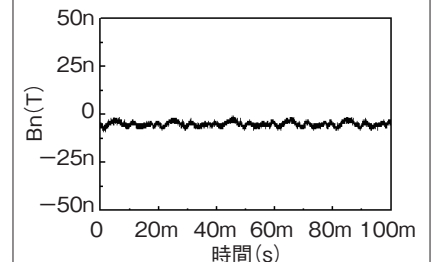


図2 フィードバック型磁気アクティブシールドの概略図



(a) 磁気アクティブシールド前



(b) 磁気アクティブシールド後

図3 環境磁界ノイズの変化(フラックスゲート磁束計出力)

[林 周 (株) フォレストック]

●文献

- (1) 林 周, 栗城真也, 誘導コイルを用いた磁気遮蔽方法, 特開 2005-003503, (2005).
- (2) Hayashi, A., ほか, コイル型磁気遮蔽と電子差分を組み合わせた磁気ノイズ低減方法の提案, 日本応用磁気学会誌, 29-4 (2005), 477-481.
- (3) Kuriki, S., ほか, Active compensation in combination with weak passive shielding for magnetocardiographic measurements, Rev.Sci.Instrum, 73 (2002), 440-445.