

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12296 号
------	---------------

氏 名 滝谷 貴史

### 論文題目

アクティブ磁気シールドによるMIグラジオメータの高性能化  
(Improve Performance of MI Gradiometer with Active Magnetic Shielding)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	内山 剛
委員	名古屋大学	教授	岩田 聡
委員	名古屋大学	教授	中里 和郎
委員	兵庫県立大学	准教授	山口 明啓

## 論文審査の結果の要旨

滝谷貴史君提出の論文「アクティブ磁気シールドによるMIグラジオメータの高性能化」は、一次グラジオメータによるMIセンサの高感度化および、アクティブ磁気シールドによる外乱磁界に対するロバスト性の改善効果を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、昨今の高感度磁気センサにおける開発動向を交えながら、アモルファス磁性ワイヤの巨大磁気インピーダンス効果とこの現象を動作原理としたパルス励磁型CMOS-MIセンサの特徴を述べている。従来、生体磁気レベルの微小磁気の検出には超伝導量子干渉素子 (Superconducting QUantum Interference Devise: SQUID) 磁気センサが用いられてきた。SQUID磁気センサは、磁界に対してフェムトテスラ: fT ( $10^{-15}$  T) オーダと超高感度であるものの、超伝導素子冷却のために液体ヘリウムによって極低温状態にして動作させる必要がある。また、外乱磁界による影響を除くために磁気シールドルーム内での測定に限定されることから、ランニングコストと装置価格の高騰が短所とされている。このような背景から、SQUID磁気センサに代わる新たな高感度磁気センサの開発が盛んに行われている。アモルファス磁性ワイヤの巨大磁気インピーダンス効果を利用したCMOS-MIセンサの特徴としては、高出力、高速応答かつマイクロ寸法性を有することが挙げられ、既に携帯電話やスマートフォン等の電子磁気コンパスとして製品化されている。しかし、CMOS-MIセンサ単体で生体磁気のような地磁気未満の微小磁気信号を明確に検知することは難しく、目標のシグナルをそのままに、ノイズのみを減衰可能な高SN比を実現するセンシングデバイスを開発する必要があることを述べている。

第2章では、開発したMIグラジオメータの構成と環境磁界中における微小磁気信号の検出能力を実験と理論の両面から検証している。60 nTから1 nT程度の微小磁気を実験室の環境磁界中で正確に測定できることを示しすると同時に、1 nT以下の微小磁気を検知するためには、地磁気のような背景磁界だけでなく、MIグラジオメータが出力するノイズ成分を減衰させる必要性を見出している。

第3章では、MIグラジオメータが出力するノイズ成分を素子、回路、計測空間内の磁気ノイズの3点から考察・比較し、最も影響の大きい計測空間内の磁気ノイズの低減を目的としたアクティブ磁気シールドを開発し、その効果と有用性を検証している。MIグラジオメータ用アクティブ磁気シールドは参照MI素子の出力をセンサヘッドに装着したソレノイドコイルに負帰還させ、ヘッド長手方向の環境磁界を相殺する効果を有する。このアクティブ磁気シールドを適用したMIグラジオメータの環境磁界のシールド率は60 Hzの電源ノイズにおいて40 dBに達し、このシステムの伝達関数から見積もった理論値とほぼ一致する知見を得ている。

第4章は、MIグラジオメータによるMCG計測の試みとして、座った状態の成人男性被験者のMCGを実験室の環境磁界下で測定している。ECGと同期計測した結果、鳩尾から左に25 mmの体表面垂直方向のMCGには、Rピークを基準にした一周分分のECG波形のサンプリング間隔で50回の加算平均処理を施すことでRピークに対応した約100 pTの負の磁気ピークが確認でき、この磁気ピークの大きさと極性がSQUID磁気センサやフラックスゲートセンサによる先行研究の結果と一致する知見を得ている。

第5章は本研究の総括と今後の課題についてまとめている。

以上のように、本論文では、従来のMIグラジオメータでは完全に取り除くことが難しかった電源等の環境磁気ノイズの影響を、センサヘッドと一体化したアクティブ磁気シールドによって、パーマロイ製パッシブ磁気シールド内のノイズレベルにまで減衰できることを明らかにしている。これらのMIグラジオメータの設計方法並びに得られた結果は、MIセンサ等の高感度磁気センサを医療診断装置への応用するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である滝谷貴史君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。