

審査の結果の要旨

氏名 禹 泰城

本論文は、「Radiofrequency pulse design for mitigating signal inhomogeneity induced by conductive implants in magnetic resonance imaging (導体を含む測定対象の磁気共鳴画像法における信号均一化のためのラジオ周波数パルスの設計) 」と題し、金属等の導体インプラントを有する測定対象の磁気共鳴画像取得時に発生する RF 磁場の不均一について、空間選択的な励起を可能にする RF パルスの波形を設計し、信号強度の不均一を改善する効果をシミュレーションと実験で検証を行ったものであり、全文 8 章よりなり、英語で書かれている。MRI 撮像時に導体表面に流れる渦電流に由来する RF 磁場の不均一な分布を、均一化パルスを使うことによって改善出来るということが、初めて示された。埋め込み金属製医療機器に由来する信号消失に固有の課題である狭い範囲に大きな信号不均一が現れる現象を、均一化パルスを用いて改善し、その効果について空間分解能と回復可能な信号低下量の評価を初めて行った。さらに、下大静脈フィルタを模擬したサンプルの MRI 撮像時に均一化パルスを印可することによって、従来の RF パルスでは観測できなかったフィルタ内部の血栓を観測出来た結果は、金属製インプラントの MRI 撮像に関連する重要な結果である。

第 1 章は「Introduction (序論) 」であり、導体を含む測定対象の MRI 撮像時に発生する信号消失や信号強度の低下のメカニズムと、その現象を解決するための代表的な先行研究について述べられている。その上で、本論文の目的として強磁場 MRI 装置を用いて、埋め込まれた金属の近傍も含めて画像化する技術を開発することが示されている。

第 2 章は「Mapping of radiofrequency field inhomogeneity arising from conductive implants (導体由来する RF 磁場不均一のマッピング) 」と題し、本論文で用いた RF 磁場マッピングを行う手法について説明と、その手法を用いて導電性インプラントを挿入したファントムの RF 磁場のマッピングを行い、サンプルの導電率の差による RF 磁場不均一の関連性について記述されている。

第 3 章は「Principle and parameter optimization of RF pulse design (RF パルス設計の原理とパラメータの最適化) 」と題し、空間選択的な励起を可能にする RF パルスの設計法と、その設計に関するパラメータの最適化についてシミュレーションと実験が行われ、その結果について記述されている。

第 4 章は「Performance evaluation of 2D pulse using numerical simulations (設計した RF パルスの均一化効果のシミュレーションによる評価) 」と題し、RF 磁場が不均一に分布するシミュレーションモデルに対してその不均一を均一化する RF パルスの設計が行われ、その効果を空間分解能と回復できる信号強度の低下量について数値解析が行われ評価されている。

第 5 章は「MRI experiments of phantoms containing conductive implants (導体を含むファントムを用いた MRI 撮像) 」と題し、均一化パルスを印可して導体が挿入されたサンプルの MRI 撮像を行った結果について論じられている。サンプルの導電率によって MRI 信号強度の低下量が異なる場合において、均一化パルス印可することによって得られた MRI 画像を用いてその均一化効果と回復効果について実験的に評価された。

第 6 章は「MRI experiments using samples including metallic implants (金属製インプラントを挿入したサンプルの MRI 撮像) 」と題し、異なる厚さの非磁性金属である銅板を含むファントムを用いて MRI 撮像が行われ、信号強度の低下量が異なるサンプルに対して均一化パルスを印加した際の信号強度回復の効果が実験的に評価されている。

第 7 章は「Applications of 2D pulses to metallic implants (均一化パルスの金属製インプラントへの応用) 」と題し、金属製インプラント医療機器 (下大静脈フィルタ、脳深部電気刺激用電極) が含まれたサンプルや動物に関して、MRI 撮像時に信号消失が発生するメカニズムについて電磁気学的に述べられ、そのようなモデルに対して均一化パルスを用いて金属製インプラント型医療機器の MRI 撮像が行われた。従来技術で得られた MRI 画像では観測できなかった金属近傍が均一化パルスを印可し得られた MRI 画像では観測可能になった結果が得られた。

第 8 章は「Conclusion (結論) 」であり、本論文で得られた結論がまとめられている。

以上を要するに、導体を含む測定対象の MRI 撮像において、導体近傍の RF 磁場分布の不均一を改善するための空間選択的な励起を可能にする均一化 RF パルスを設計し、これを印加することによって導体近傍において減弱した MRI 信号強度の回復効果を定量的に評価し、更に従来技術では観測できなかった金属製インプラント医療機器の近傍を MRI 画像で観測可能にしたことから、電気電子工学および生体医工学への貢献が少なくない。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。