

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	NMRおよびMRI用RFコイルの統一評価指標と性能向上に関する研究
Title(English)	A Study on Unified Evaluation Metric and Performance Improvement of RF Coils for NMR and MRI
著者(和文)	トリトラカ-ンテシット
Author(English)	Techit Tritrakarn
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12759号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡村 哲至,奥野 喜裕,末包 哲也,伏信 一慶,笹部 崇
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12759号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		TRITRAKARN TECHIT	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	岡村 哲至		教授	審査員	笹部 崇	准教授
	審査員	奥野 喜裕		教授			
		末包 哲也		教授			
		伏信 一慶		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、“NMR および MRI 用 RF コイルの統一評価指標と性能向上に関する研究”と題し、NMR（Nuclear Magnetic Resonance）およびMRI（Magnetic Resonance Imaging）の測定感度の向上を目指して、提案した統一評価指標を基に、RF（Radio Frequency）コイル形状の最適化設計および高温超電導（High-Temperature Superconductors：HTS）を受信コイルに適用した場合の NMR プローブの性能について述べており、以下の 5 章から構成されている。 第 1 章“序論”では、NMR 技術の社会的位置付け、NMR 測定の原理と NMR 装置の概要を述べるとともに、NMR/MRI 用 RF コイルの測定感度を統一的に評価できる指標が存在しないこと、NMR 測定は原理的に感度が低いことを指摘している。これらを踏まえ、NMR/MRI 用 RF コイルの性能を統一的に評価できる指標の提案の必要性、および HTS を受信コイルに適用することで NMR プローブの性能向上が期待できることを示し、本論文の意義と目的を述べている。 第 2 章“信号対最適ソレノイド信号比”では、被測定試料の量と測定周波数に依存しない測定感度評価指標である信号対最適ソレノイド信号比（Signal-to-optimal-Solenoid-Signal Ratio：3SR）を提案している。現在使用されている一般的な NMR/MRI 用 RF コイルの評価指標は、信号対雑音比（Signal-to-Noise Ratio：SNR）であるが、評価指標の値が試料の量に依存するため、様々な RF コイルの測定感度を統一的に評価できないという課題があった。3SR は最適ソレノイドコイルの信号電圧に対する対象 RF コイルの信号電圧の比であり、通常は 0～1 の値になる。最適ソレノイドコイルとは、対象となる測定試料に対して最大の信号電圧を得ることができるコイルである。最適ソレノイドコイルの形状は文献によって異なり、標準形状が確立されていない。そのため、本研究で開発した 3 次元電磁界シミュレーション、実験、推定法および解析法によって、最適ソレノイドコイル形状を検討している。任意の試料量に対して最大の信号強度を出す最適ソレノイドコイル形状を決定するためには、試料とコイル長さが同じであることやギャップ対試料直径比が一定などの前提条件が必要であることを指摘し、それらの前提条件を基に解析法を用いて、任意の試料量と測定周波数に対して信号強度を最大化するソレノイドコイル形状を標準化している。3SR は仕様が異なる RF コイル間の性能比較ができるため、たとえば異なる被測定物質やメーカーの NMR や MRI 装置に組み込まれるプローブの性能評価の標準指標となる可能性があることを述べている。 第 3 章“遺伝的アルゴリズム（GA）による基板 RF コイルの設計”では、様々な用途の測定に対応できる NMR/MRI 用 RF コイル形状を最適化するために、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：GA）を適用した新しいシミュレーション手法を開発している。NMR 測定は本質的に測定感度が低く、その原因の一つは RF コイルの形状に関連している。本シミュレーションでは RF コイル形状を線電流の組み合わせと考え、その中から効率良く最適解を探索するアルゴリズムである GA を取り入れ、NMR プローブに高温超電導を適用することを念頭において、任意の直径を持つ円筒形試料に応じて信号強度を最大にする、静磁場に対して表面が直行する基板 RF コイル形状を最適化設計している。これにより、通常の基板コイルに対して最適化した基板コイルの感度が約 1.1 倍向上することを示している。 第 4 章“高温超電導（HTS）基板受信 RF コイルによる性能向上”では、NMR プローブに HTS を適用することによる測定感度の向上について検討している。論理的には RF コイルの材質として通常用いられている銅から HTS にすることで高周波抵抗が約 1/100 になり、測定感度は約 10 倍、測定時間としては約 1/100 になる。しかし、一般的な RF コイルは送受信コイルが一体化されており、送受信コイルともに HTS とすると、送信時の大電力で HTS コイルが焼損するリスクがある。そこで送受信コイルを分離し、送信コイルは銅、受信コイルは HTS にするプローブ構造を考案している。高性能な HTS を使ってソレノイドのように湾曲した RF コイルを仕上げるのが現状の技術では困難なため、HTS 受信コイルは基板型としている。また、基板 HTS 受信コイルから得られる信号強度を大きくするため、

測定試料を受信コイルの両側に配置する構造とし、受信コイルと測定試料の配置に対してより大きな信号強度を得ることができる送信コイル形状を GA で最適化設計している。設計された HTS コイルと同形状の銅受信コイルを用いて、送受信分離コイルの性能をシミュレーションおよび実験によって確認している。得られた結果から、HTS 受信コイルを用いた場合、NMR 測定に使用される一般的な Houtt ソレノイドコイルに比べて約 7 倍の測定感度が得られる可能性があることを示している。

第 5 章“結論”では、本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに本論文は、NMR および MRI 用 RF コイルの統一評価指標を提案し、RF コイル形状最適化ツールを開発するとともに、高温超電導を適用することにより NMR プローブの性能が向上することを示しており、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。