

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械エネルギー コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （工学）
学生氏名： Student's Name	TRITRAKARN TECHIT	審査員主査： Chief Examiner	岡村哲至

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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) 測定感度の向上を目指して、提案した RF (Radio Frequency) コイルを含む測定部のプローブの統一評価指標を基に、RF 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 および MRI 装置に組み込まれるプローブ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 および MRI 用プローブの測定感度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 および 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、様々なプローブ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プローブ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得ることができる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であることなどの前提条件が必要なことを指摘し、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 は仕様が異なるプローブ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 および 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 および 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 の測定感度が低い原因の一つは、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基板型 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型コイルの感度が約 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。ソレノイドのように湾曲した RF コイルを高性能な HTS を使って仕上げるのが現状の技術では困難なため、HTS 受信コイルを基板型としている。基板型 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 Hault 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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械系 エネルギー	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （工学）
学生氏名： Student's Name	TRITRAKARN TECHIT		審査員主査： Chief Examiner	岡村哲至

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary (approx.300 English Words)

The dissertation, titled "A Study on Unified Evaluation Metric and Performance Improvement of RF Coils for NMR and MRI," aims to improve the sensitivity of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) measurements based on proposed a unified evaluation metric for probes, including Radio Frequency (RF) coils. The study involves simulating optimized RF coil geometry to maximize signal intensity and examining the performance improvement achieved by applying high-temperature superconductors (HTS) to the receiving coil.

The first chapter provides background on NMR and underscores the need for a standardized metric to evaluate NMR and MRI probes and sets the stage for proposing a unified evaluation metric. It also highlights the potential benefits of integrating HTS into the receiving coil.

The second chapter introduces a unified evaluation metric, the Signal-to-Optimal-Solenoid Signal Ratio (3SR). This metric offers a consistent way to measure sensitivity, regardless of sample size or frequency. Through developed 3D electromagnetic simulations, experiments, estimations, and analytical methods, this study identifies optimal solenoid coil geometry. The 3SR emerges as a potential benchmark for comparing performance across various NMR and MRI probes.

The third chapter employs genetic algorithms (GA) to optimize the geometry of radio frequency (RF) coil for maximizing signal intensity in NMR/MRI applications. The optimization of a substrate coil with a surface perpendicular to a static field was demonstrated while considering various cylindrical sample diameters. Results demonstrate a 1.1-fold improvement over traditional coil designs.

The fourth chapter examines the potential of using HTS into NMR probes. Although HTS holds the promise of a tenfold sensitivity increase and reduced measurement time, challenges arise due to the risk of HTS coil burnout during high-power transmission. To address this, we suggest a design featuring separate transmitting and receiving coils, with the HTS receiving coil. Simulations and experiments indicate that utilizing an HTS receiving coil could potentially result in a sevenfold increase in measurement sensitivity compared to traditional solenoid coils.

The fifth chapter summarizes the key findings and outlines future challenges.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).