T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	磁性ナノ粒子を用いた磁気バイオセンシングのための交流磁化の周波数スペクトル解析に関する研究
Title(English)	Study on analysis of frequency spectrum in alternating current magnetization of magnetic nanoparticles for magnetic biosensing
著者(和文)	CHENYE
Author(English)	Ye Chen
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12628号, 授与年月日:2023年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:北本 仁孝,曽根 正人,SLAVAKIS KONSTANTINO,林 智広,藤枝 俊宣,CHANG TSO-FU
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12628号, Conferred date:2023/12/31, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（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		CHEN YE	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	北本　仁孝	教　授	審査員	藤枝　俊宣	准教授
	審査員	曽根　正人	教　授		CHANG Mark	准教授
		SLAVAKIS Konstantinos	教　授			
		林　智広	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、”Study on analysis of frequency spectrum in alternating current magnetization of magnetic nanoparticles for magnetic biosensing（磁性ナノ粒子を用いた磁気バイオセンシングのための交流磁化の周波数スペクトル解析に関する研究）”と題し、英文で書かれ、7 章から構成されている。

Chapter 1 “General introduction”では、本研究の背景となるポストコロナ時代における磁気バイオセンシングの必要性、特徴とともに本研究の目的を述べている。本研究で対象となっている交流磁場下での液中に存在する磁性ナノ粒子のブラウン緩和に基づく磁気バイオセンシングに焦点を当て、巨大磁気抵抗センサや磁気共鳴緩和に基づいたセンサなどの手法と比較しながら、ブラウン緩和を用いた磁気センシング法の利点、その実現のための課題を説明した上で、磁性ナノ粒子の交流磁化の周波数スペクトルを解析する新しい手法の必要性とともに、本研究の意義および独自性を述べている。

Chapter 2 “Theoretical background and methodology”では、交流磁場下での磁性ナノ粒子の磁気的な振舞を述べた上で、磁性ナノ粒子のブラウン緩和現象において緩和時間分布が存在する場合の交流磁化スペクトル解析法について述べている。その中で、デバイ緩和モデル等の理論的な振舞に従わない、磁性ナノ粒子間の磁気的双極子相互作用を考慮すべき場合のスペクトルにおける緩和時間分布解析については、実験データに基づいたスペクトルモデルを創出し、そのモデルを用いて導出した緩和時間分布から磁性ナノ粒子のクラスタ分布を解析する新しい手法について提案している。

Chapter 3 “Analysis of simulation data”では、前章で提案した手法の有用性を理論モデルから算出した交流磁化スペクトルを用いて検証している。提案した手法を用いることで、理論モデルによって算出した交流磁化スペクトルから、磁性ナノ粒子の流体力学的寸法の分布、および異なる寸法を有する磁性ナノ粒子クラスタのそれぞれの濃度を推定できることを明らかにしている。

Chapter 4 “Analysis of AC magnetization spectra of pH-sensitive ferrogel”では、磁性ナノ粒子が内包されたハイドロゲル（フェロゲル）を用いて、粒子間の磁気的双極子相互作用を無視できる状況において、提案した手法の有用性を検証するための実証実験を行った結果を述べている。pH が 8-10 の範囲で、顕著な膨潤率および交流磁化の周波数特性の変化を示した pH 応答性フェロゲルを合成している。その特性を利用して、塩基性を示すアンモニアガスの検出実験を行い、提案した手法を用いて磁場に応答する磁性ナノ粒子の質量濃度を推定し、アンモニアガス濃度に強い線形的な関係性があることを実験的に明らかにし、皮膚ガスであるアンモニアの検出により健康状態を知るセンシングシステムに適用できる可能性を示している。

Chapter 5 “Analysis of AC magnetization spectra of biomolecule detection”では、ビオチンとストレプトアビジン（SA）の相互作用を利用した実験を行い、本論文で提案する実験データに基づいた交流磁化の周波数スペクトルモデルから磁性ナノ粒子のクラスタ分布を解析して SA 分子の量を計測し、本手法の有効性を示している。ビオチン修飾された磁性ナノ粒子（BioMNP）と SA の混合液の交流磁化スペクトルから、BioMNP-SA クラスタの流体力学的寸法分布を推定し、その結果から SA 濃度の推定値を算出している。算出した SA 濃度の推定値は真の SA 濃度との整合性は決定係数 R2 で確認しており、従来の緩和周波数の平均値に基づいて算出する S 手法よりも、広い濃度範囲において高精度で分子濃度を推定できることを明らかにしている。

Chapter 6 “Analysis of AC magnetization spectra with fewer frequency points”では、高速な情報収集を目的としてデータ点数を間引いた交流磁化スペクトルからも、提案した手法に基づいてスペクトル解析により生体分子濃度等の情報が得られることを実験結果に基づいて確認したことを述べている。さらに、提案した手法を用いて復元した交流磁化スペクトルはフィッティングによって復元した交流磁化スペクトルより高い正確性を持つことを確認していると述べている。

Chapter 7 “General conclusions”では、本研究で得られた知見をまとめ、本論文の結論とともに今後の研究の展望を述べている。

以上を要するに本論文では、磁性ナノ粒子を用いた生体分子の磁気バイオセンシングにおいて、極微少量分析を可能にする交流磁化の周波数スペクトル解析手法を提案し、バイオセンシングのデモンストレーション実験を用いたことで、提案した手法の有用性および優位性を明らかにし、新しいバイオセンシングに対し有益な知見を提供しており、工学上及び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。