

2023 年度年次報告書
AI 活用で挑む学問の革新と創成
2022 年度採択研究代表者

山崎 貴大

東京理科大学 研究推進機構
嘱託助教

多元磁気雑音解析によるナノコンポジット磁歪材料の鉄損モデル構築

研究成果の概要

本研究では、パワーエレクトロニクス用軟磁性体のエネルギー損失を低減するために、磁性物理学とデータ科学を基礎に、磁気雑音に着目した新しい解析手法を提案することを目的としている。この手法を用いて、エネルギー損失の改善を阻害する複雑な磁化過程と渦電流発生との相互作用を明らかにし、新たな低エネルギー損失軟磁性材料の開発を目指している。2023 年度には、数値計算による軟磁性体の磁区構造および渦電流分布の可視化に成功し、その大規模なデータセットを利用した機械学習モデルを構築した。さらには、改良された低ノイズ測定システムによる磁気雑音の高精度計測に取り組んだ。具体的な研究成果を以下に示す。

まずは、電磁鋼板の単結晶をモデル物質とし、Maxwell-Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 連成方程式に基づくマルチスケールシミュレーションを実施した。このシミュレーションにより、ミクロスケールの磁気エネルギーに基づくマクロスケールな電磁気現象、特に渦電流を扱うことが可能となった。さらに、励磁周波数や欠陥サイズが渦電流に及ぼす影響を解析し、機械学習を活用した損失解析ワークフローを構築した。これにより、軟磁性体の構造因子と渦電流損失の相関関係の可視化に成功した。今後は、機械学習モデルを利用した渦電流発生メカニズムの解明と構造-機能関係の構築を目指す。

さらに、ナノ結晶アモルファス合金薄帯を対象に、微小な磁束変化(磁気雑音)を高時間分解能かつ低ノイズで計測可能な測定システムを構築した。この計測システムにより、単一波形の磁気雑音を高い S/N 比での計測し、その検出ピークの減衰過程から得られる時定数の算出とその統計的分布の可視化に成功した。今後の研究では、計算結果に基づく予測モデルを利用して、統計的に発生する磁気雑音現象の減衰過程や物理量を推定する機械学習ワークフローを構築する。これらの計算モデルと実験結果に基づき、軟磁性体のエネルギー損失の発生メカニズム解明へと繋げていく。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Sano, T. Yamazaki, C. Oka, J. Sakurai, S. Hata, Soft Magnetostrictive Materials: Enhanced Magnetostriction of Fe-Based Nanocrystalline Alloys via Ga Doping, *Scripta Materialia*, **242** (2024), 115956.
- 2) A.L. Foggiatto, Y. Mizutori, T. Yamazaki, S. Sato, K. Masuzawa, R. Nagaoka, M. Taniwaki, S. Fujieda, S. Suzuki, K. Ishiyama, T. Fukuda, Y. Igarashi, C. Mitsumata and M. Kotsugi, Visualization of the Magnetostriction Mechanism in Fe-Ga alloy Single Crystal Using Dimensionality Reduction Techniques, *IEEE Transactions on Magnetics*, **59**, 11 (2023).
- 3) K. Omae, T. Yamazaki, C. Oka, J. Sakurai, S. Hata, Strain measurement based on Magnetic Barkhausen noise for thin films, *Microelectronic Engineering*, **279** (2023) 112057.