

# 中性子小角散乱によるパワーエレクトロニクス用軟磁性材料の磁気構造解析

## Magnetic structural analyses of soft magnets using small angle neutron scatterings

間宮 広明<sup>1)</sup>      大場 洋次郎<sup>2)</sup>      大久保 忠勝<sup>1)</sup>  
Hiroaki MAMIYA      Yojiro OBA      Tadakatsu OHKUBO

<sup>1)</sup>物質・材料研究機構      <sup>2)</sup>豊橋技術科学大学

### (概要)

2050年までの二酸化炭素ネット排出量ゼロ（カーボンニュートラル）を実現するには、パワーエレクトロニクス開発のボトルネックでとまっているインダクタの飛躍的性能向上が望まれている。我が国で開発された FeCuSiB 系のナノ結晶軟磁性材料のメソスケールにおける磁気構造を明らかとするため、2022年度の原子力機構施設供用利用制度を利用して、研究用原子炉 JRR-3 に設置された集光型偏極中性子超小角散乱装置 SANS-J-2 を用いて強磁場中での中性子小角散乱実験を行った。その結果、この材料では、熱処理によって現れる磁気散乱成分の変化が数テスラまで続くことがわかった。これは、このナノ結晶軟磁性材料が単純な強磁性ではなく、メソスケールで磁気構造を持ちそれが強磁場までの残留する特質を持っていることを示している。

**キーワード**：ナノ結晶軟磁性材料、中性子小角散乱、パワーエレクトロニクス

### 1. 目的

現在、パワーエレクトロニクスの分野では電気自動車やスマートシティの社会実装を目指して効率的な電力変換を実現すべく、トランス/インダクタの高周波発熱の低減が喫緊の課題となっている。そこで、内部のナノ構造を調整して高周波化に対応することが大きな課題となっており、いくつかの革新的なナノ結晶軟磁性材料が開発されてきた。それらの中性子小角散乱を計測してみると特異な散乱強度成分が得られ、いずれも当初期待されたような「全ての磁気モーメントの向きが揃った単純な強磁性ではなく、メソスケールでの磁気構造揺らぎを持っている」ことがわかってきた。こうした成果をもとに、欧州を中心に新たな磁気特性制御に向けた研究が進んでいる。そこで、本課題では、我が国で開発された FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料について、こうしたメソスケールでの磁気構造揺らぎの特質を明らかとし、その知見から新たな特性向上の手掛かりを得るために、強磁場中での中性子小角散乱の計測を行った。

### 2. 方法

測定試料には、(株)東北マグネットインスティテュートから提供された FeCuSiBP 系のナノ結晶軟磁性材料 NANOMET®の急冷薄帯を、そのままの状態及び 375℃及び 400℃で 5 分間熱処理した薄帯を用いた。X 線回折からは、急冷薄帯はアモルファス構造であるのに対して、375℃で鉄のナノ結晶化が始まり、400℃では結晶化が進んでいることがわかった。これらの試料を概ね 20 枚束ね、研究用原子炉 JRR-3 に設置された集光型偏極中性子超小角散乱装置 SANS-J-2 で中性子小角散乱を測定した。測定は室温で実施し、超伝導磁石を用いて零磁場から 10 テスラまでの磁場中でその変化を観察した。

### 3. 結果及び考察

SANS-J-2 の 2 次元検出器で捉えられた 375℃及び 400℃で熱処理したナノ結晶軟磁性薄帯の小角散乱強度は磁場を増していくにつれ変化し、おおよそ 7 テスラを超えると一定となることがわかった。核散乱成分の起源であるナノ結晶構造は磁場で変化しないと考えられるため、これらの変化は磁気散乱によるものと考えられた。この結果は、このナノ結晶軟磁性材料が単純な強磁性ではなく、メソスケールで磁気構造を持ちそれが強磁場までの残留する特質を持っていることを示している。こうした特質の解明を進めれば、ナノ結晶軟磁性材料の特性制御に関する知見が明らかとなり、その性能向上の指針につながると考えられる。