

産学共創基礎基盤研究プログラム 平成30年度事後評価結果

1. 研究課題名：磁石破断面の3次元磁場イメージングが可能な高分解能・交番磁気力顕微鏡の開発による保磁力機構の解明

2. 研究代表者：齊藤 準（秋田大学 大学院理工学研究科 数理・電気電子情報学専攻 教授）

3. 研究概要

磁石破断面の3次元磁場イメージングが可能な高分解能交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) の開発を通じて、磁石の断面方向の磁区構造を明らかにし、その保磁力発生機構に迫る研究である。具体的には、以下の4項目を研究期間終了時の達成目標としている。

- (a) 結晶粒径 $10\mu\text{m}$ までの磁石の破断面の磁区観察手法の確立
- (b) 磁化反転箇所の解析を目的とした、交流磁場を印加したときの可逆／不可逆磁化の同時計測手法の確立
- (c) 磁石の断面方向での磁気情報の解析を目的とした、3次元磁場計測法の確立
- (d) 上記の手法の適用による磁石の保磁力機構の解明

さらに、目標 (a) に対しては

- (1) 破断面観察用 A-MFM の開発
- (2) 先鋭・超常磁性探針の開発

目標 (b) に対しては

- (3) 可逆／不可逆磁化の同時計測手法の確立
- (4) 可逆／不可逆磁化の同時計測手法の適用

目標 (c) に対しては

- (5) 3次元磁場計測手法の確立
- (6) 3次元磁場計測手法の適用

のマイルストーンを設定して研究が進められた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果

広範囲でスキャン可能であり交番磁場下で動作する交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) を導入するとともに、 Co-GdO_x 超常磁性磁性探針を開発することにより、結晶粒径 $10\mu\text{m}$ までの Nd-Fe-B 焼結磁石の破断面の磁区観察に成功しており、目標 (a) を達成している。また、Nd-Fe-B 焼結磁石を対象に、直流磁場に重畳させた交番磁場の大きさを変化させることにより、可逆的に大きさが変化する磁区を特定し、可逆／不可逆磁化変化の同時計測に成功しており、目標 (b) も達成されている。

さらに、開発した A-MFM を用いて、研究対象の磁石がその外部に発生する磁場を3次元で測定し、測定結果から

(1) ニューラルネットワークを用いた機械学習

(2) 探針試料間距離と量子化間隔の調整による行列演算

により、磁石内の磁化方向分布の推定にアプローチしている。現在、 $5 \times 5 \times 5$ の正方要素に分割した磁石において、それぞれの手法で磁化方向分布を推定できるかをシミュレーションしている段階であるが、推定の精度に課題が残されている。また、今後、推定の大規模化（要素の微細化）が必要とされているものの、目標(c)に掲げた実用磁石断面方向での磁気情報（磁化方向分布）の情報を得るには至っていない。

目標 (a)、(b) の達成を通じて、磁化過程の明確化に寄与する磁石表面からの情報を得ることには成功しているが、目標(c) に掲げた、実用磁石断面方向での磁気情報（磁化方向分布）の情報を得るには至っておらず、保磁力機構の議論には至っていない。

以上の様に、次世代磁石の開発に寄与する、希土類系磁石の破断面観察手法、交流磁場を印加時の可逆／不可逆磁化の同時計測手法が開発されている。一方、磁石外の磁場分布から磁石の断面方向の磁化方向分布を推定する方法については、開発が完了しておらず、保磁力機構の議論には至っていない。

4-2. 今後の研究に向けての期待

目標(c)に掲げる実用磁石断面方向での磁気情報（磁化方向分布、磁区構造）の取得は磁石研究に於いて極めて重要であり、磁石開発に携わる多くの研究者が是非知りたいと考えている情報である。したがって、これを取得する技術の開発は革新的次世代磁石開発を加速する重要な技術であり、本研究課題の最も重要なターゲットである。使用する装置上の制限と逆問題の取扱いの困難さから、研究期間中に実磁石に適用できるほどの大規模データの取得が困難であったが、まずは、提案の手法の有効性とそのポテンシャルを示して頂き、今後の進展に繋げて頂きたい。

その際、知的財産の確保も積極的に進めて頂きたい。

4-3. 総合評価

総合評価 B

超常磁性短針を開発し、広範囲でスキャン可能であり交番磁場下で動作する磁気力顕微鏡と組み合わせることにより、結晶粒径 $10 \mu\text{m}$ までのNd-Fe-B焼結磁石の破断面の磁区観察に成功している。また、直流磁場に重畳させた交番磁場の大きさを変化させることにより、可逆的に変化する磁壁、強くピンされた磁壁を同時に観察することに成功している。これらの技術は、対象磁石の磁化反転過程を解析する上で有用な情報を提供すると評価される。一方で、磁石外の磁場分布から磁石の断面方向の磁化方向分布を推定する方法については、小規模のモデルでの推定法の検討に留まっており、開発が完了していない。

磁石断面方向での磁気情報の推定法確立は高い目標ではあるが、本研究の重要な目標の一つが未完成であることから、目標通りだが一部期待を下回った、と評価する。

以上