

産学共創「次世代磁石」事後評価結果

1. 研究課題名：3次元磁区構造観察装置を用いた、永久磁石の微構造と磁区構造の相互作用の研究

2. 研究代表者：小林 久理眞（静岡理工科大学 理工学部 物質生命科学科 教授）

3. 研究概要

本研究では、磁気力顕微鏡(MFM)、磁気光学カー効果顕微鏡(MOKE)、走査型ホール素子顕微鏡(SHPM)を用いたNd-Fe-B系焼結磁石における磁区観察技術を確立する。さらに、開発した技術を用いて、多磁区化した結晶粒子（群）の発生と周囲の結晶粒子（群）への伝搬過程を観察し、その過程を磁区の3次元的な連結性に注目しつつ、磁気測定結果と対応させて解析する。また、磁石の微構造の観察結果と合わせて磁壁と粒界相の相互作用を明らかにし、以て、保磁力向上の指針を得る。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

研究開始から平成25年度中期までの研究においては、表面酸化を抑制した150~300 μ mサイズの微小焼結磁石調整、希土類元素による表面被覆・反応拡散による保磁力の回復技術を確立すると共に、これらの試料に対する磁気特性評価、MOKE及びMFMによる磁区観察技術を確立した。

平成26年1月からの最後の15ヶ月では、産学共創の場でのアドバイス等により、mmサイズの保磁力の異なる3種の試料に集中し、磁石内の微構造と磁区挙動の関係を複数の手法を用いて多面的に観察し、保磁力の違いによる磁化挙動と磁区状態の違いを明らかにした。さらに、配向不良粒子が磁化反転に影響することや消磁状態における磁区構造と着磁後の減磁状態の磁区構造が異なることなどを明らかにした。一方で、SHPMを利用した磁区観察、集団的連結性の境界が何で決まっているか、配向不良粒子が他の要因を凌駕するほどの磁化反転決定要因になっているのか、など不明な点も残された。

4-2. 今後の研究に向けて

本課題を通じて、「磁区観察」に対する産業界の関心は高まったものと考えられる。また、本課題で開発した磁区観察技術は産業界でも利用できると考えられるので、産業界への磁区観察技術のリリースも、是非、継続して頂きたい。

基礎的・学術的には、着磁挙動と減磁挙動を観察でき、消磁状態と減磁状態の磁区構造が異なること、配向不良の粒子が周辺の正常粒子の多磁区化を促進すること、あるいは磁区変化においては粒子が集団的に振る舞うことなど興味深い事実が得られている。一方で、集団的連結性の境界を決定する要因など不明な点も残されている。これらの課題の解決は、産業界に極めて有用な知見を与えるので、今後の研究継続による新たな成果に期待したい。

4-3. 総合評価

本研究は、磁区観察を通じて、Nd-Fe-B 焼結磁石の磁化反転過程を解析し、保磁力向上の指針を得るとの困難な問題にチャレンジしたものである。

磁区観察技術の開発については、SHPM を除いてほぼ目標を達成することができた。開発技術を用いた磁区観察については mm サイズの保磁力の異なる 3 種の試料に集中し、磁石内の微構造と磁区挙動の関係を複数の手法を用いて多面的に観察し、保磁力の違いによる磁化挙動と磁区状態の違いを明らかにしている。さらに、配向不良粒子が磁化反転に影響することや消磁状態における磁区構造と着磁後の減磁状態の磁区構造が異なることなどを明らかにしている。これらの諸点は高く評価できる。

一方で、SHPM による磁区観察技術に関する課題が残った。また、磁壁と結晶粒界の相互作用を議論するステージには到達できなかったため、高保磁力化に関しては「結晶粒子の微細化と磁氣的独立性」が必要との結論に至り、従来の指針の枠を大きく越えることはできなかった。これらの点は、今後に向けた課題としていただきたい。

以上