

産学共創基礎基盤研究プログラム 令和2年度事後評価結果

1. 研究課題名：永久磁石の微細組織とその局所磁気特性の解析による高保磁力化の指針構築

2. 研究代表者：中村 哲也（高輝度光科学研究センター 研究プロジェクト推進室
客員主席研究員）

3. 研究概要

高性能永久磁石の保磁力発現機構解明に向け、Nd-Fe-B系磁石、Sm-Co系磁石及びM型Srフェライト磁石を対象として放射光解析技術の利活用による評価を行い、微細組織と局所磁気特性の相関に関する理解を深化することを目標とした研究である。そのために、電子線後方散乱回折法 (EBSD) に比べて表面状態の影響を受けにくく方位角度分解能が高い特徴を有する走査型ラウエ顕微鏡を開発すると共に、配向度の異なる数種類のNd-Fe-B系焼結磁石及びM型Srフェライト焼結磁石、SmCo₅系及びSm₂Co₁₇系焼結磁石の磁化反転過程の解析を進め、保磁力発現機構への理解を進化させる。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果

走査型ラウエ顕微鏡の開発については、蛍光X線計測（元素濃度分布解析）とラウエX線計測（結晶方位分布解析）の同時計測により結晶方位が異なる結晶粒を簡易的に区別して計測と同時進行でカラーマッピングする技術の開発及び磁区観察を行った任意の領域や結晶粒に対してラウエX線回折による結晶方位解析を行う技術の開発を経て、最終的に走査型ラウエ顕微鏡を開発し、FIB加工により剥片化(1 μm厚)した等方性Nd-Fe-B磁石試料の結晶方位分布を明らかにした。

これと並行して、放射光を利用した磁化反転過程の解析も進めている。

Nd-Fe-B系焼結磁石については、保磁力の配向度依存性と角度依存性の間の相関を見だし、走査型軟X線MCD顕微鏡による磁区観察結果と併せて、配向磁石及び等方性磁石での磁化反転過程を明らかにしている。また、この手法をM型Srフェライト磁石にも適用し、この磁石における保磁力発現機構が、従来提唱されてきた単磁区結晶粒の一斉回転モデルではなく、Nd-Fe-B焼結磁石と同様の磁壁移動モデルであることを示唆している。

SmCo₅及びSm₂Co₁₇焼結磁石にも走査型軟X線MCD顕微鏡による磁区観察技術を適用し、SmCo₅では核発生型の磁化反転過程を観察している。またSm₂Co₁₇では、走査型ラウエ顕微鏡による結晶粒界の決定技術も利用して、磁化反転核は結晶粒界上やSm酸化物相隣傍に特異的に分布しており、粒界の磁化が完全に反転した後、粒界上や非磁性相隣傍の一部を起点に粒内へ磁化反転領域が侵入・拡大していく様子を観察し、従来考えられていた磁化反転過程とは異なる反転モデルを提唱している。

4-2. 今後の研究に向けての期待

放射光を利用した走査型ラウエ顕微鏡は、既開発の蛍光X線計測による元素濃度解析技術及び走査型軟X線 MCD 顕微鏡による磁区観察技術と組み合わせることにより、磁石材料の磁化反転過程の研究を大きく進歩させると期待される。現時点では、厚さ方向に複数の結晶が存在するときの取扱いや結晶方位決定に要する計算時間の短縮の課題が残っているが、早急にこれらの問題が解決され、この装置が広く普及することを期待する。

M型 Sr フェライト焼結磁石及び Nd-Fe-B 焼結磁石においては、保磁力の結晶の配向度及び印加磁界方向依存性が研究され、結晶方位が磁化反転過程に及ぼす巨視的影響が明らかにされている。Sm₂Co₁₇ 焼結磁石においては、走査型軟X線 MCD 顕微鏡を用いて、磁化反転核の形成過程が明らかにされている。今後、開発した走査型ラウエ顕微鏡を利用した結晶方位解析をこれらの研究と融合することにより、微視的磁化反転過程の研究が進み、当該磁石の保磁力発現機構のさらなる解明を通じて、保磁力の飛躍的改善が達成されることを期待する。

4-3. 総合評価

総合評価 S

Nd-Fe-B 焼結磁石については、保磁力の配向度依存性と角度依存性の間の相関を見いだし、走査型軟X線 MCD 顕微鏡による磁区観察結果と併せて、高配向磁石で保磁力が低下する原因を明らかにしている。また、M型 Sr フェライト磁石においては、この磁石における保磁力発現機構は、従来信じられてきた単磁区結晶粒の一斉回転モデルではなく、Nd-Fe-B 焼結磁石と同様の磁壁移動モデルであることを示唆している。Sm₂Co₁₇ 焼結磁石においても、磁化反転核は結晶粒界上や Sm 酸化物相近傍に特異的に分布しており、粒界の磁化が完全に反転した後、粒界上や非磁性相近傍の一部を起点に粒内へ磁化反転領域が侵入・拡大していく磁化反転過程を明らかにしている。これらの結果について、当該磁石の保磁力改善に繋がる成果と評価する。

研究の中心となる走査型ラウエ顕微鏡の開発においては、FIB 加工により剥片化(1 μm 厚)した等方性 Nd-Fe-B 磁石試料の結晶方位分布を明らかにしている。この装置による個別結晶方位解析技術を、従来技術である放射光を利用した蛍光X線計測による元素濃度解析技術及び軟X線 MCD 顕微鏡による磁区観察技術と融合利用することにより、各種磁石の保磁力発現機構解明が一層進むことが期待され、当該装置の開発は放射光を利用した新解析手法の開発として高く評価する。

以上を総合して、総合評価 S と評価する。

以上