

## 産学共創基礎基盤研究プログラム 平成 30 年度中間評価結果

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 利用研究促進部門 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 系磁石及び Sm-Co 系磁石等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ている。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している、走査型ラウエ顕微鏡の開発を進めると共に、配向度の異なる数種類の Nd-Fe-B 焼結磁石試料、SmCo<sub>5</sub> 系及び Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 系焼結磁石の磁化反転過程の解析を進めている。

### 4. 中間評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

配向度の異なる数種類の Nd-Fe-B 焼結磁石試料について、EBSD による研磨面の結晶方位解析、保磁力の配向度依存性の測定及び走査型軟 X 線 MCD 顕微鏡観察を組み合わせ、磁化反転過程を検討し、保磁力の配向度依存性と保磁力の印加磁界方向依存性の関係を反転角の概念を導入することにより説明しようとしている。

Sm-Co 系磁石の磁化反転機構については、SmCo<sub>5</sub> 系及び Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 系焼結磁石に対して走査型軟 X 線 MCD 顕微鏡による磁区構造観察を行い、反転磁区の発生とその成長過程を明らかにしている。

本研究課題の中心となる走査型ラウエ顕微鏡の開発においては、主要ハードウェアの整備と測定ソフトの基本機能の開発が終了しており、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を開発している。この結果と共焦点顕微鏡による Nd-Fe-B 焼結磁石試料の破断面観察像を比較することで、特定粒子からのラウエ回折像の取得に成功している。さらに、研究加速予算により導入した高速蛍光 X 線検出器システムを用い、元素濃度分布解析（蛍光 X 線計測）と結晶方位分布解析（ラウエ X 線計測）を同時実施する基本技術が開発されている。

走査型ラウエ顕微鏡の開発に係る当初の研究計画では、SPring-8 に未整備の準単色 X 線のビーム集光装置の整備の要求を計画していた。しかし、Nd-Fe-B 系、Sm-Co 系、フェライト系等の主要磁石材料における主相結晶の格子定数が大きいことおよびナノ集光により大きな角度発散が生じることから、既設の単色 X 線集光ビームを用いても磁石試料の結晶方位分布解析が十分に可能であることが見いだされた。これにより、施設側の整備計画に依

存することなく技術開発が可能となった点は、今後の研究進展に大きく寄与すると期待する。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

走査型ラウエ顕微鏡の開発において、元素濃度分布解析と結晶方位分布解析の同時計測の基本技術を開発している点で計画を上回って進捗している。今後、磁区観察領域で精度良く結晶方位分布マッピングを得る技術を速やかに確立して頂くことが極めて重要である。その上で、今後の計画にある深さ方向での分解検出等の新しい技術にも挑戦すると共に、産業界からの開発技術の利用を視野に入れて研究を進めて頂きたい。

本研究課題で対象とする Nd-Fe-B 系、Sm-Co 系磁石の磁化反転過程の解析については、それぞれの磁石の解析が独立に行われている。今後、新たにフェライト系の磁石の磁化反転過程の解析も加わる。開発される走査型ラウエ顕微鏡で得られる情報を結実点として、これらの磁石の解析結果を融合利用し、当初の目的である、微細組織と局所磁気特性の相関に関する理解の深化を進めて頂きたい。

なお、知的財産の確保にも配慮頂きたい。

#### 4-3. 総合評価及び研究継続の可否

##### 総合評価 A、研究継続 可

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、マイルストーンとして設定した主要ハードウェアの整備と測定ソフトの基本機能の開発が終了し、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を開発している。この結果と共焦点顕微鏡による Nd-Fe-B 焼結磁石試料の破断面観察像を比較することで、特定粒子からのラウエ回折像の取得に成功している。さらに、元素濃度分布解析と結晶方位分布解析を同時実施する基本技術が開発されている点については、計画を上回って研究が進捗していると評価するが、開発技術を用いて局所磁気特性の解析を高度化するまでには至っていない。

Sm-Co 系磁石の微細組織と局所磁気特性の解析については、走査型軟 X 線 MCD 顕微鏡による磁区構造観察を行い、反転磁区の発生とその成長過程を明らかにしており、予定通りに研究が進行している。一方で、追加で実施している異なる配向度の Nd-Fe-B 焼結磁石の特性解析との融合までには至っていない。

以上を総合して、研究は計画通りに進捗しており、継続可と評価する。

以上