

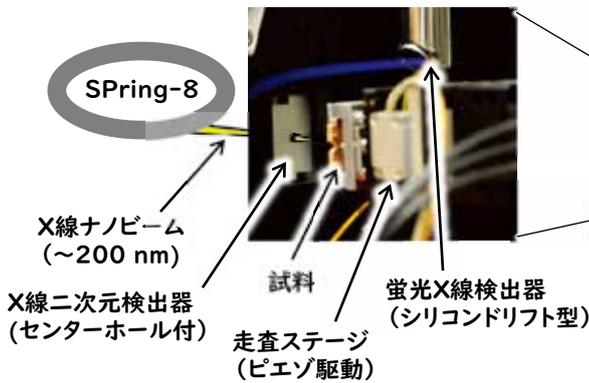
研究代表者	中村 哲也（高輝度光科学研究センター 研究プロジェクト推進室 客員主席研究員）
研究開発担当者	松浦 裕（応用科学研究所 特別研究員） 田村 隆治（東京理科大学 基礎工学部 教授） 梶原 堅太郎（高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 主幹研究員） 隅谷 和嗣（高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 研究員） 石上 啓介（高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 博士研究員） 中村 哲也（東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授）
課題名	永久磁石の微細組織とその局所磁気特性の解析による高保磁力化の指針構築
研究概要	Nd-Fe-B磁石やSm-Co磁石をはじめとする高性能永久磁石では、磁石内部の微小な磁石粒子の粒径や結晶方位が不均一に分布しており、この不均一組織が保磁力性能に影響すると考えられている。本研究では、大型放射光施設（SPring-8）を活用して粒子毎の結晶方位と磁気特性を詳細に解析することで、高保磁力化の指針を構築する。

研究目標・成果

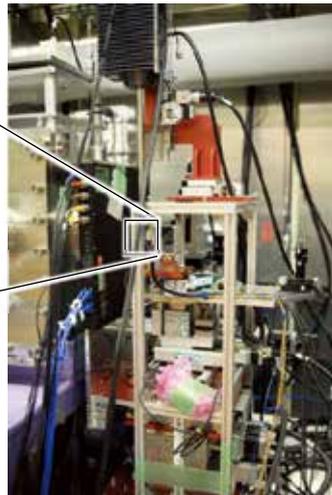
新計測技術：放射光走査型X線後方散乱回折(XBSD)顕微法の開発

XBSD: X-ray Back Scattering Diffraction

計測システムの開発



XBSD像と蛍光X線の走査同時計測を実現



SPring-8 BL39XUにおける装置セットアップの様子

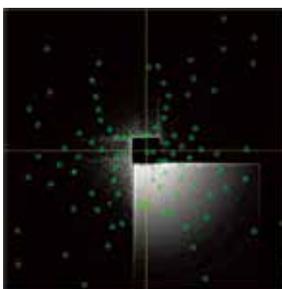
計測手法の特徴

電子線を用いた既存の結晶方位分布解析法である電子線後方散乱回折法 (EBSD)と比較して、XBSDは以下の特徴を有する。

- ① 検出深度が大きい (>1 μm)
- ② 凹凸のある表面にも適用可能 (材料の破断面や非研磨面等)
- ③ 原理的に角度分解能が高い
- ④ 多様なオペランド計測が可能 (加熱, 冷却, 磁場, 湿潤, ガス)

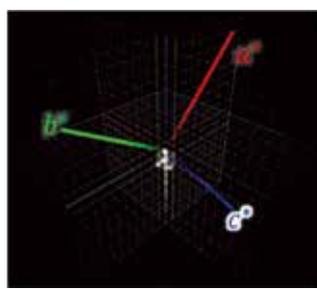
特に本課題では、②の特徴を活かし、永久磁石の破断面に対する磁区観察と同じ試料を同じ観察領域で解析するために開発。

永久磁石試料への適用



Nd₂Fe₁₄B単結晶からのX線回折像の例

結晶方位解析



左のXBSDから求めた結晶方位

結晶方位解析

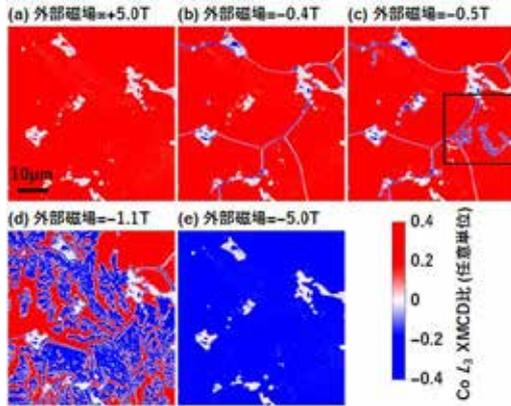
X線回折原理に基づき、XBSD像から結晶方位を決定。多結晶試料に対する走査型マッピングでは、多数のXBSD像に対して同様の解析を行うため、スパコン等の利用も想定される。

- ・ 蛍光X線強度とXBSD像の走査同時計測システムを開発。
- ・ XBSD像から結晶方位を導出する解析アルゴリズムを開発。

放射光磁区観察によりSm₂Co₁₇系磁石の保磁力向上指針を提示

Appl. Phys. Lett. 117, 022409 (2020)

放射光軟X線による磁区観察

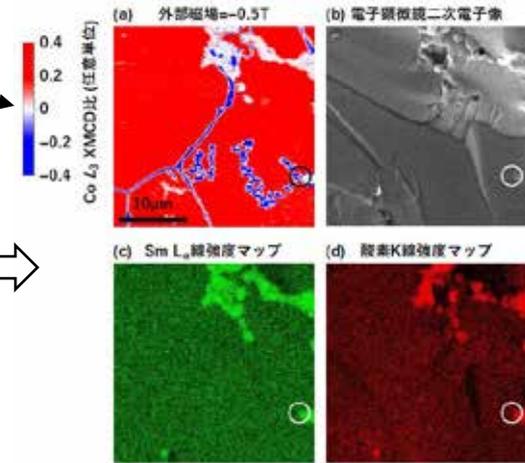


文部科学省・元素戦略プロジェクト・磁性材料研究拠点により開発された磁区観察技術を利用

異方性(Sm, Ce)₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇磁石の破断面に対して放射光軟X線を用いて観察した磁区像。(a)~(e)は、それぞれ、(a)+5.0 T (b)-0.4 T, (c) -0.5 T, (d) -1.1 T, (e)-5.0 Tの磁場下での測定。

観察結果より、まず結晶粒界から磁化反転が起こることを確認した。また(c)においては、非磁性領域(図で白い部分)の周辺からも逆磁区が発生して結晶粒内に侵入していく様子を捉えた。

拡大



SPring-8プレスリリース(2020年7月13日)より転載
http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2020/200713/

保磁力の低下要因を特定

外部磁場-0.5 Tにおける(a)磁区像。(b)~(d)は走査型電子顕微鏡による観察結果であり、(b)磁区像に対応する領域の電子顕微鏡の二次電子像、(c)Sm L α 線強度マップ、(d)酸素K線強度マップ。非磁性領域は、SmとOを多く含む希土類酸化物相であると判明。

磁化反転しやすい結晶粒界の磁性を改質するとともに、希土類酸化物の析出を抑えることで、保磁力の向上が可能と予測される。

- ・ 結晶粒界相と希土類酸化物粒の周囲で逆磁区が発生しやすいことが分かった。
- ・ 粒界相の磁性を改質し、希土類酸化物を低減することで保磁力向上が可能であることを提示。

想定する分野・用途

- 産学の材料・素材分野
- 材料科学の基礎となる物質科学分野

最終目標

- XBSD顕微鏡法による結晶方位分布解析技術の確立
- 永久磁石材料の結晶方位分布と磁区の相関解明による保磁力向上の指針獲得

産業界への要望

- 本課題で開発したXBSD顕微鏡法のニーズ提案と利活用
- 永久磁石開発領域における放射光解析と産学連携研究の提案

お問合せ 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1 E-mail : naka@spring8.or.jp