

放射光 XMCD による

磁石表面と内部の磁石反転挙動解析と今後

08

Magnetization reversal analysis for surface and interior of permanent magnets using synchrotron XMCD technique and its perspective

中村 哲也 naka@spring8.or.jp, tetsuya.nakamura.b5@tohoku.ac.jp

光科学イノベーションセンター PhoSIC

1. 高性能永久磁石開発の課題

高度な持続可能社会を実現する上で、1983年に佐川博士が発明したNd-Fe-B磁石は、EV/HEV自動車用駆動モーターや風力発電機をはじめとする省エネ・創エネに必須の機能性材料となっている。しかし、特に近年需要が加速している用途では、磁石材料が150°C近い高温下に曝され、室温下と比べて保磁力が大幅に減少した厳しい条件での使用を強いられる。そのため、高温で保磁力が低下しても、なお実用的な保磁力を有するように、室温での保磁力を大幅に向上することが必要である。その際、非磁性元素の添加等による磁化の低下を最小限とすること、および、資源的観点から希少元素使用量をゼロに近づけることが肝要である。

2. 従来の磁区観察技術の課題とその解決

高性能永久磁石に関する保磁力の課題を解決する上で、その開発研究を強力にサポートする先端評価解析技術が不可欠である。Nd-Fe-B磁石における磁化反転の全過程について磁区変化を観察するためには、数テスラ以上の磁場下で磁区観察を行う技術を要する。さらに、Nd-Fe-B焼結磁石の研磨面では保磁力が顕著に低下するため、磁石内部の保磁力が良好に保たれる破断面での磁区観察が必要である。しかし、従来法では、強磁場下かつ破断面の磁区観察が出来ない問題があった。

そこで元素戦略・磁性材料研究拠点は、理研、JASRIと協同で、大型放射光施設SPring-8の軟X線ビームライン(BL25SU)に、磁石材料の磁区を最大8Tの強磁場下、かつ、約100nmの空間分解能で鮮明に可視化する走査型軟X線MCD顕微分光測定装置(図1a)を開発した[1]。ここで、MCDは磁気円二色性(Magnetic Circular Dichroism)の略で、本研究で円偏光を用いて磁化を検出するために採用した磁気光学効果である。本開発により、国内外の他施設における従来・同種技術の最大磁場(約0.5T)と比較して桁違いに高い8Tでの磁区観察が可能になった。

3. Nd-Fe-B焼結磁石における磁化反転の可視化

図1b, 1cにNd-Fe-B焼結磁石試料における磁区観察結果の例を示す[2]。保磁力が低下した研磨面と、磁石内部の保磁力を良好に維持する破断面では磁区像の特徴が大きく異なっていることが分かる。このように、着磁済の永久磁石

の磁化が外部磁場の影響で減磁する様子を磁区変化として観察することで、これまでは通常の磁化測定結果から推測するしかなかった磁化反転の様子を、より直接的に理解する技術が実現した。その結果、磁石の微細組織のどの部分が磁氣的弱点であるかを知ることが可能となり、産学の利用者が高性能永久磁石の開発指針を得ることが期待される。

4. 企業利用者と産学連携の状況

本研究で開発した磁区観察技術は、Nd-Fe-B焼結磁石のみならず、その他の希土類磁石やフェライト磁石等にも適用できる。既に複数以上の企業が利用している他、産学連携による学術成果も得られている[3]。

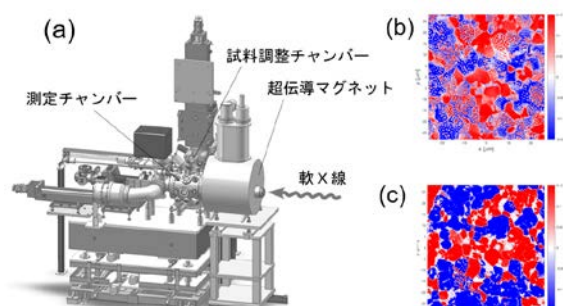


図1 (a) SPring-8 BL25SUで開発した走査型軟X線MCD顕微分光装置の概略図、(b)研磨面と(c)破断面に対して同装置を用いてFe L₃吸収端のXMCD強度マップとして得た磁区像の例。

【共著者(所属)】

小谷佳範(JASRI)・豊木研太郎(JASRI/ESICMM-NIMS, 現大阪大学)・David Billington(JASRI/ESICM-NIMS, 現Cardiff大学)・鈴木基寛(JASRI)・広沢哲(ESICMM-NIMS)

【謝辞】

本研究で用いたNd-Fe-B焼結磁石試料は、日立金属(株)の西内武司様の御厚意により提供いただきました。

【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>磁性材料拠点

【参考文献】

- [1] Y. Kotani *et al.*, J. Synchrotron Rad. **25**, 1444 (2018).
 [2] D. Billington *et al.*, Phys. Rev. Mater. **2**, 104413 (2018).
 [3] S. Okamoto *et al.*, Acta Materialia **178**, 90 (2019).