

# First-Order-Reversal-Curve 測定による Nd-Fe-B 磁石の特性評価

井波暢人<sup>1</sup>、上野哲朗<sup>2</sup>、塚原宙<sup>1</sup>、橋本愛<sup>1</sup>、斉藤耕太郎<sup>1</sup>、小野寛太<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>高エネルギー加速器研究機構、<sup>2</sup>物質・材料研究機構)

First-Order-Reversal-Curve Measurements of Nd-Fe-B Magnets

Nobuhito Inami<sup>1</sup>, Tetsuro Ueno<sup>2</sup>, Hiroshi Tsukahara<sup>1</sup>, Ai Hashimoto<sup>1</sup>, Kanta Ono<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>High Energy Accelerator Research Organization (KEK), <sup>2</sup>National Institute for Materials Science (NIMS))

## 1. はじめに

磁化曲線の測定は、飽和磁化や保磁力など磁性材料の磁気特性を知る基本的なツールの一つである。磁化曲線からは磁性材料の全体の特性が求められるが、粒間の相互作用や保磁力分布などの磁気特性を調べることは難しい。Nd-Fe-B のような磁石材料では、主相自体の磁気特性に加え、主相間の相互作用などを知ることが重要である。われわれは、磁石の主相間での磁氣的相互作用を明らかにし、保磁力機構を解明するため、中性子小角散乱(SANS)、大規模マイクロ磁気シミュレーションなどの手法を総合的に利用した研究を行っている。First-Order-Reversal-Curve(FORC)は、結晶粒サイズの分布や磁石内部での磁気双極子相互作用、交換相互作用に関する情報を得ることができる<sup>1)</sup>。現実の磁石材料の FORC 解析ではマイクロ磁気シミュレーションとの比較が不可欠であるとわれわれは考えている。本研究では、FORC 測定による Nd-Fe-B 磁石の特性評価を行うとともに、マイクロ磁気シミュレーションおよび SANS との比較を行った。

## 2. FORC 測定とシミュレーション

FORC 測定は、LakeShore 製 7410 VSM (最大印加磁場は室温 3 T、高温では 2.4T) を使用した。FORC 測定では試料を飽和磁場  $H_{\text{sat}}$  で着磁し、磁場を反転磁場  $H_a$  まで下げた後、 $H_{\text{sat}}$  までの磁化曲線  $M(H_b)$  を測定する。これを FORC 曲線の 1 ループとし、反転磁場  $H_a$  を変更して複数の FORC 曲線を測定することにより  $M(H_a, H_b)$  分布が得られる。FORC ダイアグラム  $\rho(H_a, H_b)$  は  $\rho(H_a, H_b) = -\frac{\partial^2 M(H_a, H_b)}{\partial H_a \partial H_b}$  を用いて計算することにより得られる。実験とあわせて、マイクロ磁気シミュレーション<sup>2)</sup>を用いた FORC のシミュレーションも行った。シミュレーションでは結晶粒径変化および双極子相互作用の有無と FORC ダイアグラムの関連について調べた。

講演では FORC 測定の詳細と、マイクロ磁気シミュレーション、SANS 実験結果との比較について報告する。これらの実験およびシミュレーション結果を総合的に解析することで、磁石材料の磁化反転過程を詳細に調べることが可能となり、今後の磁石開発に役立つことが期待される。

本研究の一部は、(独)科学技術振興機構(JST)による産学共創基礎基盤研究「革新的次世代高性能磁石」の支援を受けて行われたものである。スーパーコンピュータシミュレーションは、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の大型シミュレーション研究(課題番号 13/14-08)により行われた。

## 参考文献

- 1) T. Schrefl, T. Shoji, M. Winklhofer, H. Oezelt, M. Yano, and G. Zimanyi: *J. Appl. Phys.*, **111**, 07A728 (2012).
- 2) N. Inami, Y. Takeichi, C. Mitsumata, K. Iwano, T. Ishikawa, S.-J. Lee, H. Yanagihara, E. Kita, and K. Ono, *IEEE Trans. Magn.*, **50**, 140304 (2014).