

# 大規模マイクロマグネティクス計算による Nd-Fe-B 焼結磁石の磁化反転シミュレーション

O18

Magnetization reversal simulation of Nd-Fe-B sintered magnet by the large-scale micromagnetic calculation

藤崎 淳 fujisaki.jun@fujitsu.com

富士通株式会社 プロセッサシステム事業本部 アプリケーション技術部

## 1. 永久磁石におけるマイクロマグネティクス計算

Nd-Fe-B 焼結磁石は永久磁石の中でも特に高い保磁力と最大エネルギー積を有する優れた磁石であり、モータや発電機、ハードディスク等のデバイスに広く使用されている。近年、レアアースの価格変動や供給問題への懸念から、ジスプロシウムなどの重レアアースを含めたレアアース使用量の削減を目指した取り組みへの期待が高まっているが、その際に留意すべき点は保磁力の低下であり、そのため Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力値そのものを高めることが必要と考えられている。Nd-Fe-B 焼結磁石はもともと高い磁気異方性磁界を有しているものの、実際に測定される保磁力値はその 10 分の 1 程度である。その原因の一つとして、磁気異方性磁界よりも遥かに低い磁界印加時に引き起こされる逆磁区発生が挙げられる。特に、減磁過程において外部磁界がゼロの近傍で磁石表面に逆磁区が発生する現象が Kerr 顕微鏡を用いた実験で確認されており、この逆磁区発生のメカニズムを探ることが保磁力増加の鍵の一つになることが予想される。

一方、近年コンピュータの性能上昇と相まって、マイクロマグネティクスを用いた永久磁石シミュレーションが発達し、Nd-Fe-B 焼結磁石の逆磁区発生のメカニズムを解析するための有効な手段の一つになりつつある。マイクロマグネティクスとは、磁性体を小さな磁化ベクトルの集合体として扱い、個々の磁化ベクトルについての方程式を解くことにより、磁性体全体の磁化状態を求める手法である。磁化ベクトルの方程式として、一般的には Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式が知られている。マイクロマグネティクスと有限要素法を連成し、また、複数個の CPU コアを用いて並列処理させることにより、大規模な任意形状の磁性体を高速に計算することが可能になる。

## 2. マイクロマグネティクスによる磁化反転シミュレーション

大きさが縦 1.2 $\mu\text{m}$  × 横 1.2 $\mu\text{m}$  × 高さ 0.6 $\mu\text{m}$  のモデルを用いて Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 焼結磁石の減磁過程を計算した。平均結晶粒径は 300nm、粒界相の平均幅は 2nm とし、総メッシュ数は約 3 億となった。また磁石表面は機械研磨により劣化していると仮定し、磁石表面から 50nm の深さまでの磁気異方性定数をバルク部分の 1/10 に設定した。計算の結果、図 1 のように外部磁界がゼロの付近で磁石表面に逆磁区が発生し、そこから磁壁のピンニングが外れ、逆磁区が拡大していくような磁化反転過程が見られた。これは実験で観測されるような

複雑な磁区形成および磁化反転と類似しており、よりリアルな磁化反転解析が可能になったことを示唆している。

## 3. 今後の課題

今回用いたモデルは一辺のサイズがミクロンオーダーであるが、実際の Nd-Fe-B 焼結磁石では 1 つの結晶粒のサイズがミクロンオーダーであり、計算結果と実測の直接比較をするためには現状の 1000 倍以上のメッシュ数のモデルを用意する必要がある。そのような膨大なモデルの計算をそのまま実行することは現実的ではないため、計算精度を保ちつつメッシュ数を削減するなどの工夫が必要と思われる。

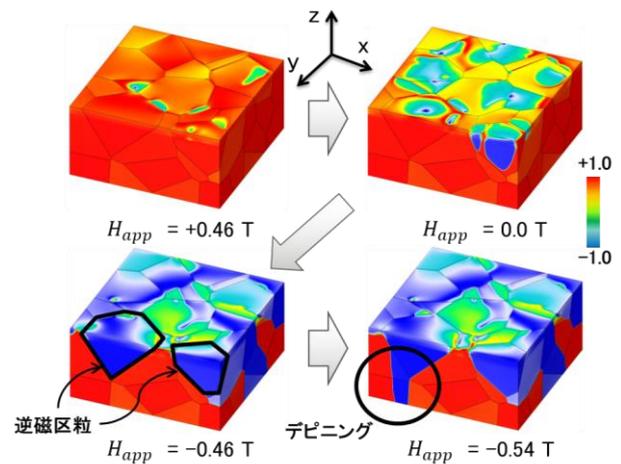


図 1. Nd-Fe-B 焼結磁石の磁化反転の様子。着磁状態から多磁区形成を経て、磁壁移動を伴いながら反転の様子が見られる。

### [共著者(所属)]

古屋 篤史(富士通)・上原 裕二(磁気デバイス研)

### [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] M. Sagawa, S. Fujimura, M. Togawa, H. Yamamoto and Y. Matsuura, J. Appl. Phys. 55 (1984) 2083
- [2] M. Suzuki, et al., Acta Mat, 106(2016), 155-161
- [3] T. Schrefl and J. Fidler, IEEE Trans. Magn, 35(1999), 3223

### [関連 WEB]

- [1]<https://www.fujitsu.com/jp/solutions/industry/manufacturing/m-onozukuri-total-support/products/plm-software/simulation/examag/>