

ナノ結晶のランダム磁気異方性のシミュレーション

李昇珍、井波暢人*、石川 正*、岩野 薫*、三俣千春**、小野寛太*、柳原英人、喜多英治
(筑波大学、*高エネルギー加速器研究機構、**物質・材料研究機構)

Micromagnetics simulation of random magnetic anisotropy in magnetic nanocrystals

S.-J. Lee, N. Inami*, T. Ishikawa*, K. Iwano*, C. Mitsumata**, K. Ono*, H. Yanagihara, E. Kita
(University of Tsukuba, *KEK, *NIMS)

はじめに

ナノ結晶磁性材料に発現する軟磁性特性は、Herzer によって提唱されたランダム磁気異方性(Random Anisotropy Model)で解釈され、保磁力が粒径の 6 乗に比例する関係が示されている¹⁾。ナノ結晶の粒径によって変化する交換結合長と磁化の実空間分布との関係を明らかにするために、シングルスピモデルによる Landau-Lifshitz-Gilbert(LLG)方程式を用いてシミュレーションを行なっている²⁾。粒径と保磁力の関係を調べるため計算セルサイズ(N)を 10~80 に対してシミュレーションを行なったところ、保磁力は D の 4~5 乗に比例し、N が大きくなるとその指数は小さくなる傾向が見られた³⁾。さらに N を 128 まで増やして計算しても、保磁力は D⁴に近い関係に従い 6 乗則には近づかなかった。そこでシングルスピモデルで用いた粒子間交換相互作用 $E_{int} \sim D^{-(1+\delta)}$ ($\delta=0$)において δ の値を修正して保磁力が D⁶乗則に従う場合の粒子間相互作用を議論することとした。

シミュレーション手法と結果

一辺 D の立方体形状の磁性粒子を N×N×N の格子点に配置し、各粒子にはランダムな一軸磁気異方性と、粒子間強磁性交換相互作用を与えて、式(1)の LLG 方程式により磁化曲線のシミュレーションを行なった。計算セルサイズ(N)を 16,32,64,128 に設定しスーパーコンピュータ (SR16000/M1)を用いた。

$$\frac{d\vec{m}_i}{dt} = -\gamma [\vec{m}_i \times \vec{H}_{eff}] - \frac{\alpha}{m} [\vec{m}_i \times [\vec{m}_i \times \vec{H}_{eff}]] \quad (1)$$

粒径を 5nm~30nm とし、保磁力と磁化過程での磁化分布を求めた。Fig.1 に保磁力の粒径依存性を示す。シングルスピモデルで粒子間交換相互作用 E_{int} は $D^{-(1+\delta)}$ に比例すると仮定した。 δ が 0 の場合 H_c は D の 4.76 乗に比例し、6 乗に比例するためには $\delta=0.29$ になる(Fig.2)。 δ は計算サイズ N により変化する結果がえられ、N=16 のときは $\delta=0.1$ 、N=32 のとき $\delta=0.29$ になった。さらに N を増やして δ の値を求め、物理的な意義を議論する予定である。

謝辞

本研究は、(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」の支援を受けて行なわれたものである。

参考文献

- 1) G. Herzer, *J. Magn. Magn. Mater.*, 294 (2005) 99., G. Herzer, *Handbook of Magnetic Materials*, vol. 10, Elsevier, Amsterdam 1997, p.415.
- 2) S.-J. Lee, *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.* 323 (2011) 28.
- 3) S.-J. Lee, *et al.*, *J. Kor. Phys. Soc.* 63 (2013) 768-772

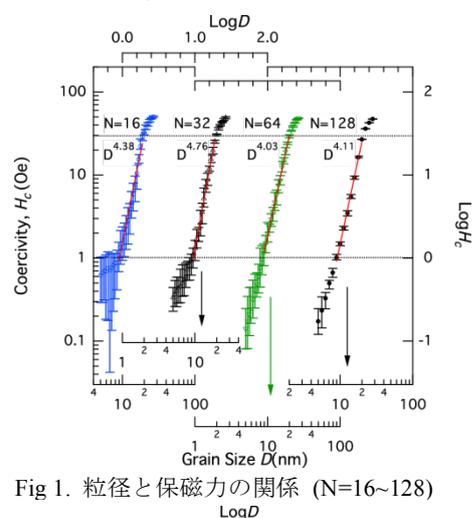


Fig. 1. 粒径と保磁力の関係 (N=16~128)

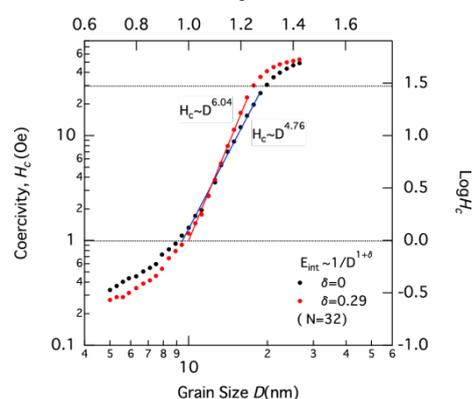


Fig. 2. 粒子間交換相互作用による粒径と保磁力の関係(N=32)

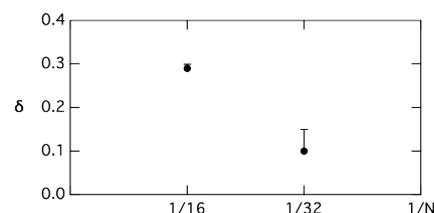


Fig. 3. δ の計算サイズ N 依存性
粒子間交換相互作用: $E_{int} \sim D^{-(1+\delta)}$