

磁化容易軸を配向させた磁性ナノ粒子の交流磁化特性評価

竹田遼二¹ 大多哲史² 山田努¹ 竹村泰司¹

(¹横浜国立大学、²静岡大学)

Dynamic hysteresis measurement of magnetic nanoparticles with alignment of magnetic easy-axis

Ryoji Takeda¹, Satoshi Ota², Tsutomu Yamada¹, Yasushi Takemura¹

(¹Yokohama National University, ²Shizuoka University)

はじめに

ナノサイズの磁性体である磁性ナノ粒子はがん温熱治療や磁気粒子イメージング(MPI)などのバイオ医療応用に向けて注目されている¹⁾。それらの実用化に向けて、磁性ナノ粒子の磁化の振舞いの解明は重要な課題である。本研究では容易軸を配向させた磁性ナノ粒子の交流磁化特性を測定することにより、磁性ナノ粒子内の磁化の磁化容易軸方向および磁化困難軸方向の振舞いを評価した。

実験方法・結果

本研究では測定粒子としてコア粒径が 4 nm、液中粒径が 38 nm のカルボキシメチル - ジエチルアミノエチルデキストラン修飾のマグヘマイト粒子を用いた。磁性ナノ粒子を純水中に分散させた試料と、エポキシ樹脂により無磁場中で固定した試料と、575 kA/m の磁場中でエポキシ樹脂により固定することにより磁化容易軸が配向された試料を作製した。それぞれの作製試料に対して周波数 1-100 kHz の条件で交流磁化測定を行い、磁化容易軸が配向された試料については磁化容易軸に対して平行方向と垂直方向に励磁することで磁性ナノ粒子の磁化容易軸と磁化困難軸の磁化特性を評価した。

Fig. 1 に 4 kA/m, 100 kHz における各試料の磁化曲線を示す。液中試料と無配向固定試料に比べて、磁化と保磁力は、それぞれ容易軸方向が大きく、困難軸方向では小さいことが確認されている²⁻⁴⁾。

Fig. 2 に(a)容易軸方向と(b)困難軸方向の 4 kA/m, 1-100 kHz における交流磁化曲線を示す。容易軸方向では、周波数の増加に伴い保磁力が大きく増加しており、印加磁場に対して磁化の大きな遅れが確認されたのに対し、困難軸方向では保磁力が無く、磁化が印加磁場に追従していることが確認された。

謝辞：

本研究の一部は、科研費 15H05764、17H03275 により実施した。

参考文献

- 1) Q. A. Pankhurst: *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 36, pp. R198 (2003).
- 2) T. Yoshida, et al.: *J. Magn. Mag. Mater.*, 427, 162, (2017).
- 3) 松本優樹, 吉田敬, 笹山瑛由, 圓福敬二: マグネティックス研究会, MAG-16-126, 横浜, 2016 年 9 月.
- 4) R. Takeda, et al.: 11th International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers, Vancouver, 2016.

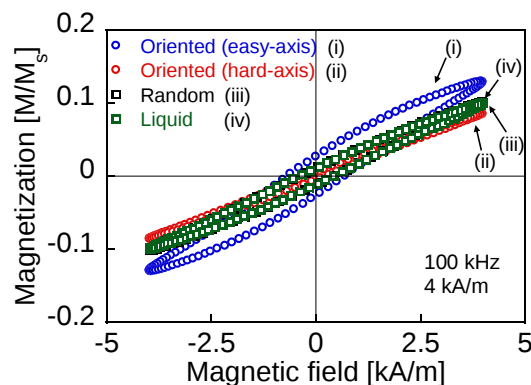


Fig. 1 Hysteresis loops of two solid and one liquid samples at 100 kHz.

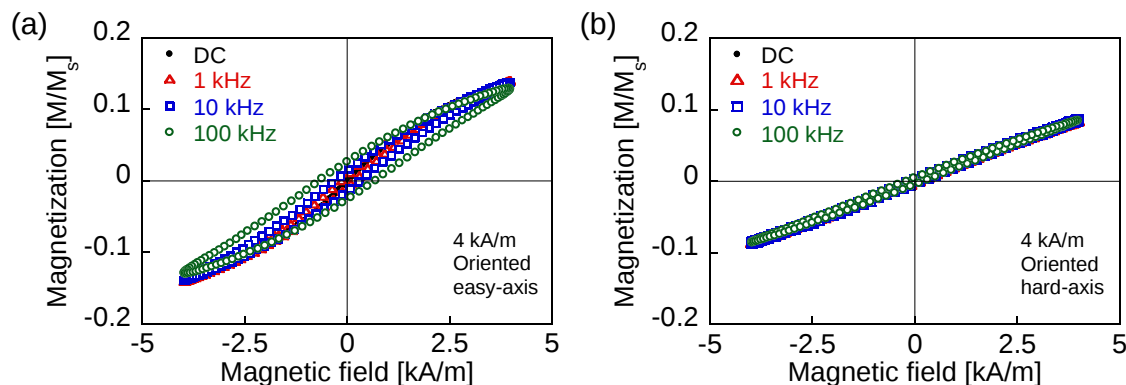


Fig. 2 Hysteresis loops of the solid sample with oriented MNPs along (a) easy-axis (b) hard-axis.