

磁性ナノ粒子の構造に依存した磁気緩和の評価

大多哲史¹, 宮澤良真¹, 永田大貴², 二川雅登¹, 竹村泰司²

(¹静岡大学, ²横浜国立大学)

Evaluation of magnetic relaxations of magnetic nanoparticles depended on particle structure

S. Ota¹, R. Mayazawa¹, D. Nagata², M. Futagawa¹, and Y. Takemura²

(¹Shizuoka University, ²Yokohama National University)

はじめに

磁性ナノ粒子のがん温熱治療や磁気粒子イメージング(Magnetic particle imaging: MPI)といった医療応用を考える際に、磁気緩和の評価は必要不可欠である。著者らは、シングルコア、マルチコア、鎖状構造の磁性ナノ粒子について、交流磁化計測を実施し、双極子相互作用の影響で磁気異方性がマルチコア構造では低下、鎖状構造では実行的に増加することを示した¹⁾。また、高速で応答するパルス磁場を印加することで、磁化の緩和過程を実験的に観測し、ネール緩和の後にブラウン緩和が生じる二段階の緩和現象を観測した²⁾。本研究では、超常磁性的なシングルコア (S1)、マルチコア (S2)、ナノフラワー (S3)、強磁性的なシングルコア (S4)、立方構造 (S5) という異なる5つの構造の粒子について、磁気緩和特性を評価した。

実験方法・結果

粒子の物理的回転を生じないよう樹脂で固定した固体試料と、純水中に分散した液体試料を各粒子に関して用意した。超常磁性的なシングルコア構造 (CMEADM-004)、マルチコア構造 (Ferucarbotran) 構造の粒子は名糖産業株式会社から提供いただいた。ナノフラワー構造 (synomag[®]-D)、立方構造 (BNF-starch) の粒子は Micromod 社から、強磁性的なシングルコア構造 (M-300) はシグマハイケミカル社から購入した。講演で載せる磁性ナノ粒子の透過型電子顕微鏡像は、横浜国立大学機器分析センターに測定いただいた。

Fig. 1 に振動試料型磁力計 (VSM) で測定した直流磁化曲線を示した。直流磁化曲線に関して、固体試料では、S1, S2, S3 では保磁力が確認されないが、S4, S5 について保磁力が確認された。これは S4, S5 が強磁性的であることを示している。液体試料では、粒子回転が生じるため、構造に関係なく超常磁性的であった。さらに超常磁性的な構造の中でも S2, S3 に対して S1 は、固体試料と液体試料の磁化曲線が酷似していた。これはマルチコア構造やナノフラワー構造において、集合することで磁気異方性が低下する一方で、実効的にコア粒径が増加している影響^{1,3,4)}で、異方性エネルギーが増加するためである。講演では、交流磁化曲線から解析した磁気緩和に関する計測結果について詳細に述べる。

謝辞

本研究の一部は、科研費 20H00238、20H02163 の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) S. Ota, Y. Matsugi, T. Nakamura, R. Takeda, Y. Takemura, I. Kato, S. Nohara, T. Sasayama, T. Yoshida, K. Enpuku, *J. Magn. Magn. Mater.*, **474**, 311–318 (2019).
- 2) S. Ota, and Y. Takemura, *J. Phys. Chem. C*, **123**, 28859–28866 (2019).
- 3) T. Yoshida, N. B. Othman, K. Enpuku, *J. Appl. Phys.*, **114**, 173908 (2013).
- 4) P. Bender, J. Fock, C. Frandsen, M. F. Hansen, C. Balceris, F. Ludwig, O. Posth, E. Wetterskog, L. K. Bogart, P. Southern, W. Szczerba, L. Zeng, K. Witte, C. Grüttner, F. Westphal, D. Honecker, D. González-Alonso, L. F. Barquin, C. Johansson, *J. Phys. Chem. C*, **122**, 3068–3077 (2018).

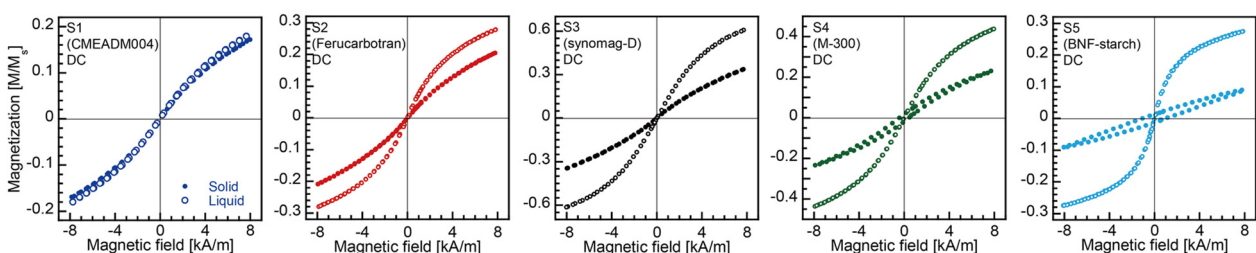


Fig. 1 Magnetization curves of measured magnetic nanoparticles in solid and liquid under DC magnetic field.