

磁性ナノ粒子分散体の交流磁化過程と発熱

大田浩司, 関淳史, 井坂大智, 堀内あかり, 岸本幹雄, 柳原英人, 喜多英治, 間宮広明^A
(筑波大学, NIMS)

Dynamic hysteresis loops and heat generation of magnetic nanoparticles for hyperthermia
K. Ota, A. Seki, D. Isaka, A. Horiuchi, M. Kishimoto, H. Yanagihara, E. Kita, and H. Mamiya^A
(Univ. Tsukuba, NIMS^A)

はじめに

近年、癌の治療法の一つとして、腫瘍に集積させた磁性ナノ粒子に高周波磁場を印加して発熱させる磁気温熱治療法が検討されている。液体中に分散した磁性ナノ粒子の発熱機構には、磁気ヒステリシス損失と超常磁性緩和（ネール緩和）、粒子の回転運動による摩擦（ブラウン緩和）が考えられるが、これらの発熱への寄与は、ナノ粒子と分散媒の性質により磁場の周波数と振幅に対して異なる。本研究では、より効率良くナノ粒子を発熱させることを目的として、広帯域磁場発生装置を作製し、交流磁場中での磁性流体の昇温特性と磁化過程を測定してその周波数・磁場振幅依存性から発熱機構を議論する。

実験方法

高周波磁場発生には LC 共振回路を用い、磁場発生部にはリッツ線を 100 回巻いたソレノイドコイル（内径 14mm 長さ 30mm）を用いた。磁化検出にはパルス強磁場下の磁化測定で利用される 8 の字型ピックアップコイル[1]を用いた。試料により検出コイルに誘起された電圧をデジタルオシロスコープにより積分し、磁化曲線を再構成した。印加可能な磁場振幅(H_0)は 400 kHz 以下では 600 Oe、1 MHz 以下では 300 Oe である。測定試料には超常磁性流体の Resovist[®]と楕円平板型強磁性ナノ粒子(DINP) [2]の分散体を用いた。

実験結果

図 1 に Resovist の $H_0=200$ Oe での交流磁化曲線を示す。Resovist は直流測定(DC)では超常磁性を示すが、高周波ではループが開き、飽和傾向の見られる磁化過程を示した。この結果は緩和時間より短時間での観測であることを示唆する。また、図 2 に粒径約 70 nm の強磁性ナノ粒子分散体の $H_0=600$ Oe での交流磁化曲線を示す。保磁力と角型比が乾燥状態での測定(DC)に比べて増加し、周波数依存性が小さく高磁場印加時において顕著に現れている。この結果はランダムな磁化容易軸の分布では解釈が困難なことを示唆する。

謝辞：この研究は科学研究費（23300185）の支援により行った。

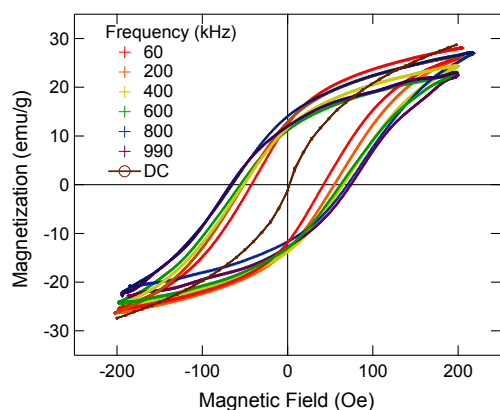


図 1 Resovist[®]の交流磁化過程

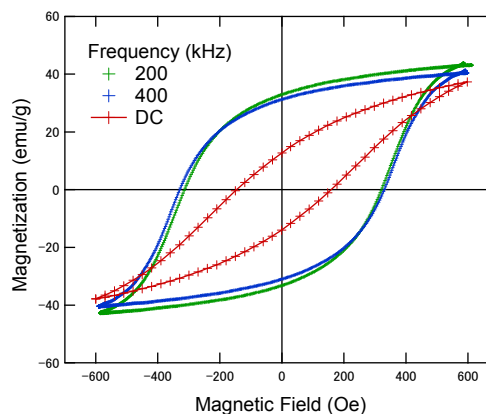


図 2 強磁性ナノ粒子[2]の交流磁化過程

[1] 松尾晶：私信

[2] M. Kishimoto, *et al.*, IEEE Trans. Magn., 49 (2013) 4756