

振動磁場下における液中コバルトフェライトナノ粒子の回転運動

Physical rotation of cobalt ferrite nanoparticle in liquid under oscillatory magnetic field

阪大院理¹, °諏訪 雅頼¹, 東條 友紀¹, 塚原 聡¹Osaka Univ.¹, °Masayori Suwa¹, Yuki Tojo¹, Satoshi Tsukahara¹

E-mail: msuwa@chem.sci.osaka-u.ac.jp

【緒言】交流磁場下における液中磁性ナノ粒子 (MNP) の回転運動は、磁場の周波数や振幅, MNP のサイズや異方性定数, 媒体の粘性率などに依存し, Magnetic モードと Viscous モードの二つの様式に分類できる[1]。Magnetic モードでは, 粒子内の磁気モーメントの回転で磁化反転し, MNP 自体はある程度配向を保ちつつ小さく振動する。一方, Viscous モードでは, MNP 自体の回転により磁化反転する。これらのモードに明確な閾は無く, 磁場の周波数や振幅, 溶媒の粘性, MNP の異方性定数や粒子径に依存して徐々に変化すると予想されている。

我々は, 広く用いられる酸化鉄 MNP (IO-MNP) の回転運動を磁気直線二色性 (MLD) により直接観測し, 30 kHz–80 kHz の範囲では Magnetic モードが支配的であり, 粒径の増加に伴って Viscous モードが現れることを実験的に確認した[2]。本研究では, IO-MNP に比べて異方性定数が約 10 倍大きいコバルトフェライト (CoFe₂O₄) MNP (CF-MNP) の回転運動を観測した。特に, 局所粘弾性測定用の微小力学プローブとしての応用を目指し, 媒体粘性率依存性を調査した。

【実験】Dai らの方法[3]に従い, 熱分解により CF-MNP を合成し (平均粒径: 13.6 nm), ヘキサンに分散させた。さらに, 表面をポリアクリル酸でコートし, 水に分散させた。また, グリセロールを添加により粘性率を変えた。磁気直線二色性 (MLD) は以前報告の報告[2]と同じく, 減衰振動磁場 (初期振幅: ~0.4 T, 周波数: 43.8 kHz) を用いた装置で測定した。

【結果と考察】減衰振動磁場下における IO-MNP および CF-MNP 分散液の MLD 波形を Fig.1 に示す。MLD は MNP の配向により生じるため, この波形は回転運動を示す。磁気異方性の小さい IO-MNP では Magnetic モードが支配的で, 振動磁場中で配向を保つため, 磁場のゼロクロス点でも MLD は消失しなかった。一方, 磁気異方性の大きい CF-MNP は磁場のゼロクロス点付近で MLD が消失した。即ち, 磁場の反転に伴い粒子自体が回転する Viscous モードでの磁化反転を観測できた。また, グリセロールの添加により MLD 波形は大きく変化した。特に, 振幅の大きい時間範囲で Magnetic モードが観測された。この傾向は Usov らの数値計算による予想[1]と一致する。

【参考文献】 [1] N. A. Usov, B. Ya Liubimov, *J. Appl. Phys.* **112**, 023901 (2012) [2] M. Suwa, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **116**, 262403 (2020) [3] Q. Dai, et al. *Langmuir*, **26**, 17546 (2010)

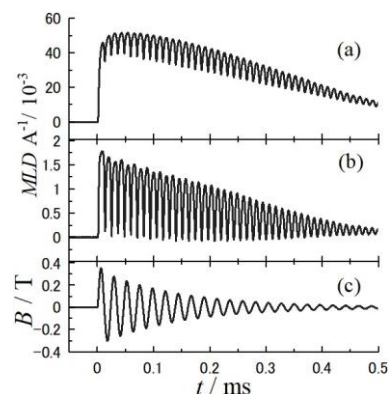


Fig. 1 (a)IO-MNP と (b)CF-MNP の MLD 変化と (c)印加磁場の波形。MLD は吸光度で規格化した。