

液中における酸化鉄ナノ粒子の交流磁界に対する振舞の解析

生田歩夢、北本仁孝
(東京工業大学)

Analytical relaxation behavior of iron oxide nanoparticles in fluids under AC magnetic field

A. Ikuta, Y. Kitamoto
(Tokyo Institute of Technology)

はじめに

超常磁性を有する酸化鉄ナノ粒子は外部磁場に対する迅速な応答と生体適合性を示すことからバイオセンシングのマーカーへの応用が期待されている。特に交流磁界を用いた磁気センシングは磁気による非接触での測定や緩和現象の評価を応用した迅速な検査システムへの応用が見込まれる。液中における磁性ナノ粒子の交流磁界に対する振舞はブラウン緩和とネール緩和で説明され、粒子径と流体力学径に大きく依存する。しかしながら実際の磁性流体内では磁性粒子は多分散の粒子径を持ち、また多くの場合に二次粒子を形成することから緩和メカニズムを精密に議論することは困難である。本研究では粒子径および分散状態が制御可能なクエン酸修飾酸化鉄ナノ粒子分散流体を作製し、交流磁界に対する緩和現象を評価することで磁性ナノ粒子の磁界応答を粒子径の多分散性、二次粒子形成の影響を考慮した集団的な振舞として実験的に評価することを検討する。今回はブラウン緩和とネール緩和の緩和周波数の交流磁場強度の依存性を報告する。

実験方法

エチレングリコールに塩化第二鉄、エチレンジアミン、酢酸ナトリウム、水を混合した反応溶液を作製し、耐圧容器内で 180°C、8 時間反応させて酸化鉄ナノ粒子を合成した。クエン酸ナトリウム水溶液内で 70°C、2 時間超音波照射することでクエン酸修飾を行った。磁気特性の測定において印加する交流磁場は磁場強度が 10~100Oe で、周波数を 200~10kHz の範囲で走査した。

実験結果

Fig.1 に合成したクエン酸修飾酸化鉄ナノ粒子の特性を示す。TEM 画像から一次粒子径が 20~30nm の分布を持っており、DLS の結果から純水中で 40~50nm の流体力学径を持つことがわかる。クエン酸由来のカルボキシ基による静電反発で水中での高分散が達成された。XRD で得られた回折ピークは Fe_3O_4 と一致し、結晶子径が 19.8nm であることから、ほぼ単一結晶の酸化鉄ナノ粒子であることがわかる。Fig.2 は印加する交流磁場の強度を 10、50、100Oe と変えて磁化率の周波数依存性を測定したうちの虚数部の結果を示す。左は懸濁液、右は乾燥した粉末を ABS 樹脂で固めたサンプルに対する測定結果である。液中では粒子自体の回転によるブラウン緩和、粉末では粒子内の磁気モーメントに起因するネール緩和による応答が観測される。ブラウン緩和は 1kHz 以下の低周波数で、ネール緩和は 20kHz 以上の高周波数で観測された。液中サンプルでは磁場強度が強いほど緩和周波数が高周波側にシフトし、粉末サンプルでは低周波側にシフトしている。これは印加磁場が大きいほど液体サンプルでは応答する粒子の流体力学径の減少、粉末サンプルでは応答する二次粒子群内の異方性エネルギーの増大の影響と考えられる。

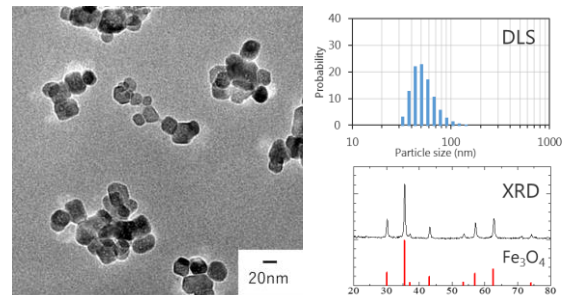


Fig.1 Characteristics of iron oxide nanoparticles synthesized by TEM, DLS, XRD measurement.

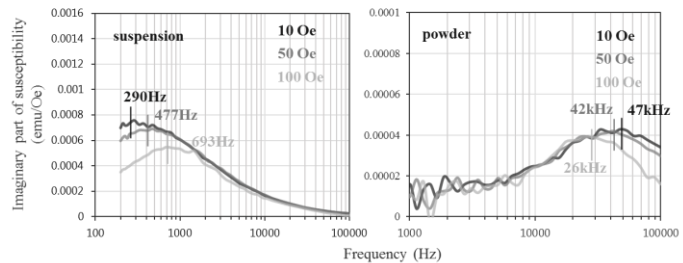


Fig.2 Dependence on AC magnetic field strength of imaginary part of magnetic susceptibility in suspension and powder samples.