

# 磁化測定による磁性ナノ粒子の磁気粒径分布と 交流磁場中での発熱特性の評価

中川貴、渡邊和真、清野智史、山本孝夫  
(大阪大学)

Evaluation of magnetization distribution of magnetic nanoparticles by magnetization measurement and estimation of heating ability of them under alternating magnetic fields

Takashi Nakagawa, Kazuma Watanabe, Satoshi Seino, Takao A. Yamamoto  
(Osaka University)

## 緒言

超常磁性の磁性ナノ粒子は、交流磁場印加下でネール緩和またはブラウン緩和により発熱する。この特性は、磁気ハイパーサーミアや磁場による生活性物質の機能性制御への応用が検討されている。超常磁性の磁性ナノ粒子の発熱特性の評価には Rosensweig の提唱する式<sup>1)</sup>がよく用いられる。この式は磁性ナノ粒子の粒子径を変数として導入しており、粒子径に依存した発熱量を評価することができる。しかし、Rosenweig の式から得られる発熱量は単位粒子質量当たりの値で、粒子径が定まれば磁性ナノ粒子の濃度に依存しないとされている。ところが、実験的に検証すると、磁性ナノ粒子の発熱特性は濃度によって変化することが多い。本研究では、MRI の造影剤として利用されている Resovist® の交流磁場中での発熱特性を、濃度の異なる溶液で測定し、磁化分布を評価した上で、実験値と計算値の乖離の原因を考察した。

## 実験

Resovist® の原液 (27.9 mg-Fe/mL)、10 倍希釈 (2.79 mg-Fe/mL)、100 倍希釈 (0.279 mg-Fe/mL) 溶液を準備し、断熱状態で、1MHz、50 Oe-rms の交流磁場を印加して、温度上昇を測定し、温度上昇のデータをもとに Specific Absorption rate (SAR [W/g]) を算出した。また、これらの溶液の磁化を VSM で測定した。VSM で得られた磁場-磁化曲線を Langevin 関数で fitting することで、磁気粒子径分布を算出した。磁化測定から得られた磁気粒子径分布を考慮した Rosensweig の式から得られる SAR と実測した SAR を比較した。

## 結果と考察

図 1 に交流磁場印加時の温度上昇から算出した Resovist® の SAR の濃度依存性を示す。原液と 10 倍希釈液ではほぼ同等の SAR 値となっているが、100 倍に希釈すると SAR が大幅に上昇することが分かる。濃度変化によって、Resovist® の質量磁化や磁気異方性定数、粘度が SAR 値をこれぐらい変化させるほど変わるとは考え難い。磁化測定結果から得られた磁気粒子径分布は図 2 に示すように原液と 10 倍希釈ではほとんど変わらず 5 と 27 nm 付近に二つのピークを有する。しかし、100 倍希釈液では、13nm 付近にも大きなピークが現れ、磁気粒子径分布が変化することがわかる。これらの磁気粒子径分布を Rosensweig の式に導入し SAR を計算した結果も図 1 に示す。実測した SAR とは絶対値がおおよそ 3 倍程度異なるが、発熱量の相対的な傾向は説明できることがわかった。

## 参考文献

- 1) R. E. Rosensweig, *J. Magn. Magn. Mater.* 252 (2002) 370.

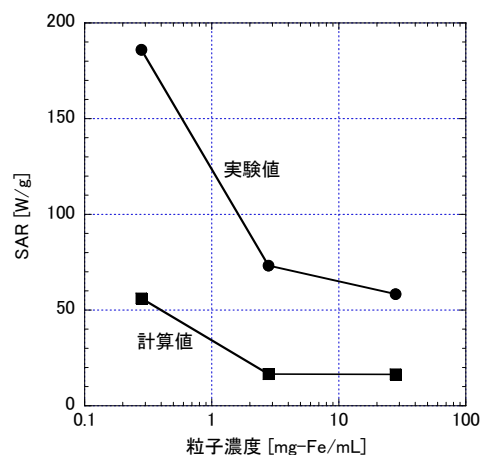


図 1 Resovist の SAR の濃度依存性

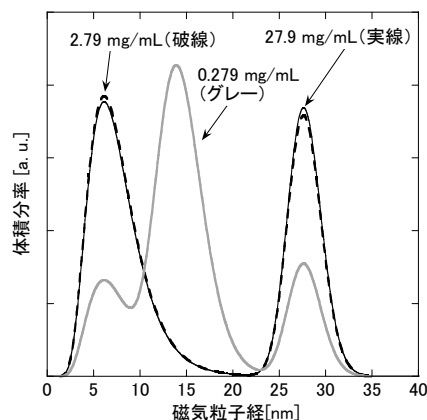


図 2 磁化測定から算出した磁気粒径分布