

MnFe₂O₄ ナノ微粒子の磁気特性に及ぼす Gd³⁺ 置換の影響と 磁気ハイパーサーミア応用

Effect of substitution of Gd³⁺ on magnetic properties of MnFe₂O₄ nanoparticles and
magnetic hyperthermia application

横国大院環情¹, 横国大院理工², 横国大理工³, 阪大院理⁴

○青木孝太¹, 児玉慶太², 梨本健太郎², 濱田颯太², 沖増光彦³, 小原健太郎³,
中澤健太³, Nurul Adibah Saadon³, 一柳優子^{2,3,4}

Grad. Sch. of Env. and Inf. and Sci., Yokohama Nat. Univ.¹, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Yokohama
Nat. Univ.², Fac. of Sci. and Eng., Yokohama Nat. Univ.³, Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ.⁴

○Kota Aoki¹, Keita Kodama², Kentaro Nashimoto², Sota Hamada², Mitsuhiro Okimasu³,
Kentaro Ohara³, Kenta Nakazawa³, Nurul Adibah Saadon³, Yuko Ichiyanagi^{2,3,4}

E-mail: aoki-kota-ms@ynu.jp

超常磁性ナノ微粒子や多機能磁気ナノ微粒子は、高感度、高磁化率、毒性が低い、などの特徴から、磁気共鳴イメージング (MRI) や磁気ハイパーサーミア (MHT) など、造影剤や発熱媒体として期待されている。また、希土類元素である Gd は 4f 軌道に 7 つの対電子を持つため、磁気ナノ微粒子に Gd をドーピングした際に、磁気モーメントの増大が期待できる。さらに MRI の造影剤として高い T₁ 緩和能を持つことが知られている。そこで本研究では、MnFe₂O₄ ナノ微粒子に、Gd をドーピングした MnGd_xFe_{2-x}O₄ を作製し、発熱効果が高く、将来的に MRI の造影剤としても応用が可能な磁気ナノ微粒子の作製を目指す。

MnGd_xFe_{2-x}O₄ ナノ微粒子 ($x = 0, 0.05, 0.10$) は湿式混合法により作製し、焼成温度を変えることで粒径を 18 nm に制御した。粉末 X 線回折から全ての試料について単層のスピネル構造を持つことを同定した。次に、各イオンの価数を求めるために、KEK-PF において行った XAFS 測定で得られた XANES スペクトルの解析を行った。その結果、Mn は 2 価、Fe は 2 価と 3 価の両方が存在することが分かった (Fig.1)。したがって、Gd³⁺ は Fe³⁺ と置換されていると考えられる。さらに EXAFS 振動 $k^3\chi(k)$ をフーリエ変換したスペクトルより、Mn は A-site、Fe は A-site、B-site の両方に配位していることを明らかにした。磁化測定の結果、Gd をドーピングすることで最大磁化が増加し、保磁力は減少することが確認できた (Fig.2)。つまり、磁化応答が速いことを意味する。交流磁化率の周波数依存性では、周波数 $f = 15$ kHz で交流磁化率虚数部 χ'' がピークを持ち、温度依存性では体温付近である 310 K で超常磁性的ふるまいであった。これらの結果より、交流磁場中でネール緩和による熱散逸効果が期待できる。そこで、交流磁場を印加した時の粒子の昇温を測定したところ、Gd をドーピングした粒子は 150 Oe で 10 K 程度の昇温効果が得られ、MnFe₂O₄ と比べ 4 K 以上の発熱効果が得られた。このことから、Gd ドーピング MnFe₂O₄ ナノ微粒子はハイパーサーミア用発熱媒体として期待できる。

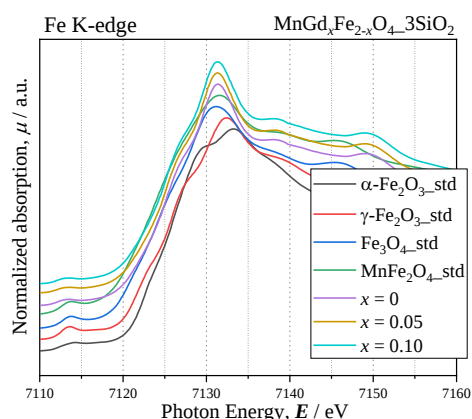


Fig.1 MnGd_xFe_{2-x}O₄ ナノ微粒子の Fe K-edge 吸収端 XANES スペクトル

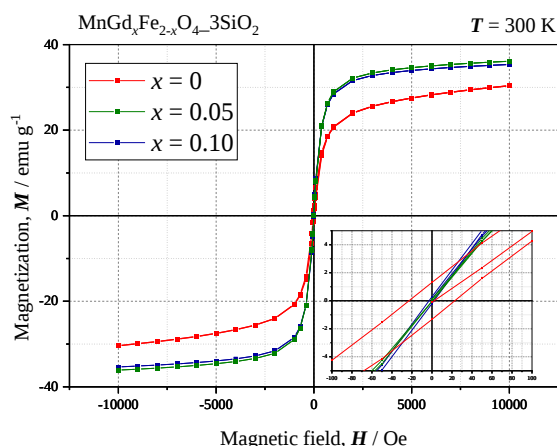


Fig.2 Gd ドーピング量別の磁化曲線 ($T = 300$ K)