

# MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子の合成と交流磁場下での発熱による ヒト乳がん細胞の死滅誘導

金津真帆, 松田翔風, 中西卓也, 柏俣佑果, 門間聰之, 逢坂哲彌  
(早稲田大学)

Synthesis of magnesium ferrite nanoparticles and their induction of cell death in human breast cancer cells at elevated temperature under alternating magnetic field

M. Kanazu, S. Matsuda, T. Nakanishi, Y. Kashimata, T. Momma, T. Osaka  
(Waseda Univ.)

## はじめに

MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> は、粉体において他のフェライトより高い発熱効率が報告され<sup>1,2)</sup>、生体に対し安全性の高い元素のみで構成されているため、磁気ハイパーサーミアの発熱体として期待できる。MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子の合成にはゾル-ゲル法や燃焼合成法等による報告例が数多く存在し、磁気ハイパーサーミアへの応用も検討されているが、MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子ががん細胞に及ぼす影響を議論している報告は少ない。本検討では、MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子を合成し、ヒト乳がん細胞を用いて磁気ハイパーサーミアの発熱体としての可能性を評価した。

## 実験方法

モル比 1:2 で混合した MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O と FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O を含む水溶液を NaOH と反応させて得られた前駆体を、大気雰囲気下で熱処理 (800 °C, 保持時間 10 分) することで MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子を作製した。熱処理は、昇温速度約 20 °C/min・降温速度約 6 °C/min の条件と急速加熱 (約 260 °C/min)・急速冷却 (約 140 °C/min) 条件で行った。得られた粒子を添加した培地でヒト乳がん細胞 MCF-7 を 24 時間培養した後、粒子添加に伴う死滅率と粒子を取り込んだ細胞の割合を、フローサイトメトリーによりそれぞれ評価した。また、1 細胞あたりの粒子取り込み量を鉄錯イオンの吸光度測定により評価した。粒子発熱の効果の評価は、粒子を取り込んだ細胞のみを磁気分離し、交流磁場 (磁場強度約 500 Oe, 周波数 325 kHz) を 20 分間印加した際の細胞懸濁液の温度変化および細胞死滅率を測定した。

## 実験結果

XRD パターンおよび TEM 像よりいずれの熱処理条件でも一次粒径が約 40 nm である MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子の生成が示されたが、急熱急冷処理で得た粒子のほうが 70 kOe における磁化が高く (Fig. 1)、粒子分散溶液の交流磁場下での到達温度も高くなった。これは急冷により A サイトに占める Mg<sup>2+</sup>の割合が上昇したため<sup>3)</sup>だと考えられる。この急熱急冷粒子を用いて細胞実験を行ったところ、粒子添加 (磁場印加なし) に伴う MCF-7 の細胞死滅率は、添加量の増加に伴い若干増加する傾向にあるものの 10 % 未満であった。また、粒子 5 mg 添加時には、1 細胞あたり 3 ng の粒子が取り込まれ、交流磁場下での粒子発熱に伴う 53 °C までの温度上昇により約 90 % の細胞死滅率が得られた (Fig. 2)。以上より、急熱急冷処理による発熱効率の高い MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子合成と、それらを取り込んだ MCF-7 への交流磁場印加による効率的な細胞死滅の誘導が示された。

## 参考文献

- 1) T. Maehara et al., *J. Mater. Sci.* 40 (2005) 135-138.
- 2) M. Jeun et al., *Appl. Phys. Lett.*, 95 (2009) 082501.
- 3) Y. Ichiyanagi et al., *J. Magn. Magn. Mater.* 310 (2007) 2378-2380.

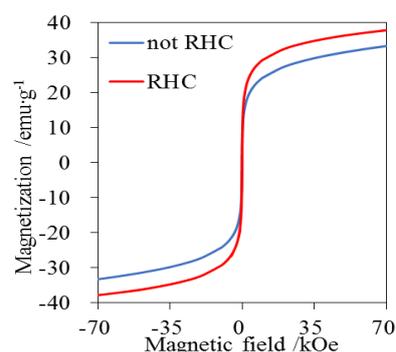


Fig. 1 Magnetization curve of synthesized MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. RHC: Rapid heating and cooling.

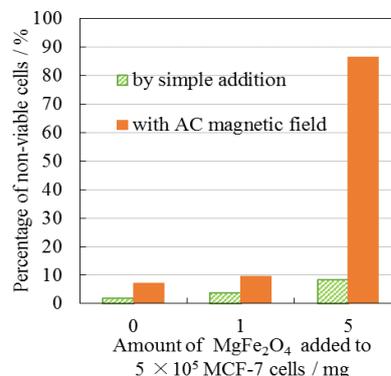


Fig. 2 Percentage of non-viable MCF-7 cells at various doses of RHC MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles before (shaded) and after (filled) AC magnetic field application.