

## Resovist の磁化容易軸配向による SLP 向上

史冠男<sup>1</sup>, 竹田遼二<sup>1</sup>, 西本築<sup>1</sup>, トリスナント・スコバグース<sup>1</sup>, 山田努<sup>1</sup>, 大多哲史<sup>2</sup>, 竹村泰司<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>横浜国立大学, <sup>2</sup>静岡大学)

Specific loss power of Resovist enhanced by aligning its magnetic easy axes

G. Shi<sup>1</sup>, R. Takeda<sup>1</sup>, K. Nishimoto<sup>1</sup>, S. B. Trisnanto<sup>1</sup>, T. Yamada<sup>1</sup>, S. Ota<sup>2</sup>, Y. Takemura<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Yokohama National University, <sup>2</sup>Shizuoka University)

### はじめに

磁性ナノ粒子を用いたハイパーサーミアにおいて人体サイズで励磁可能な磁場強度・周波数下で十分な発熱を得ることが課題である。我々は交流磁場を印加した際の磁性ナノ粒子の温度測定ではなく、交流ヒステリシス測定から発熱特性、Specific loss power (SLP) を計算する手法を報告している<sup>1)</sup>。磁性ナノ粒子の磁化容易軸を配向させることにより、SLP が向上することを見いだしたので報告する。

### 実験方法・結果

Resovist<sup>®</sup> (コア粒径: 5–10 nm) を希釈した液中分散試料に加え、エポキシ樹脂で固定した試料を作製した。全ての試料において鉄濃度を 2 mg/ml になるように調整を行った。固定試料については、磁性ナノ粒子を無磁場下で固定した無配向固定試料と、エポキシ樹脂が固化する過程で直流磁場 (575 kA/m) を印加させて粒子の磁化容易軸を揃えた配向固定試料<sup>2,3)</sup>の 2 種類を作製した。この直流磁場下では Resovist<sup>®</sup> の磁化は飽和磁化の 85% 以上となる。これらの試料の直流磁化特性および交流磁化特性 (磁場強度 4、16 kA/m、周波数 1–100 kHz) の測定を行い、SLP を計算した。

Fig. 1 に磁化容易軸を配向させた固定試料の直流および交流ヒステリシス曲線を示す<sup>4)</sup>。配向と垂直方向に励磁した場合にはヒステリシス面積が生じないことがわかる。平行方向の励磁下ではネール緩和の位相遅れに起因するヒステリシスが顕著になっている。これらの傾向は磁気異方性エネルギーにより説明でき、シミュレーション結果<sup>3)</sup>と一致した。Fig. 2 に SLP を示す。ブラウン緩和の位相遅れも重畳する液中試料において SLP が大きくなることと一般的に理解されるが、磁化容易軸に平行励磁した配向固定試料の SLP は液中試料の 2.5 倍以上となった。これらの結果に加え、 $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4 nm) や Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (20–30 nm) の SLP との比較なども当日報告する。

### 謝辞

本研究の一部は、科研費 15H05764、17H03275、17K14693 の助成を受けて実施した。

### 参考文献

- 1) K. Nakamura, K. Ueda, A. Tomitaka, T. Yamada, Y. Takemura: *IEEE Trans. Magn.* **49**, 240 (2013).
- 2) T. Yoshida, Y. Matsugi, N. Tsujimura, T. Sasayama, K. Enpuku, T. Viereck, M. Schilling, and F. Ludwig: *J. Magn. Mater.*, **427**, 162 (2017).
- 3) R. Takeda, S. Ota, T. Yamada, Y. Takemura: *J. Mag. Soc. Jpn.*, **42**, 55 (2018).
- 4) G. Shi, R. Takeda, K. Nishimoto, S.B. Trisnanto, T. Yamada, S. Ota, Y. Takemura: *12th International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers*, PI-32, Copenhagen, Denmark, May 23, 2018.

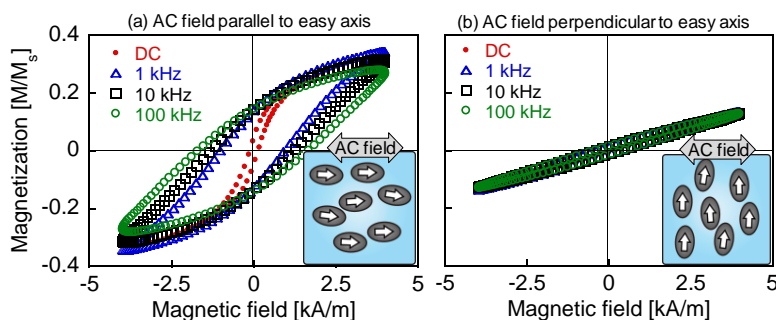


Fig. 1 DC and AC hysteresis curves of solid Resovist<sup>®</sup>. Magnetic field was applied (a) parallel or (b) perpendicular to nanoparticle orientation.

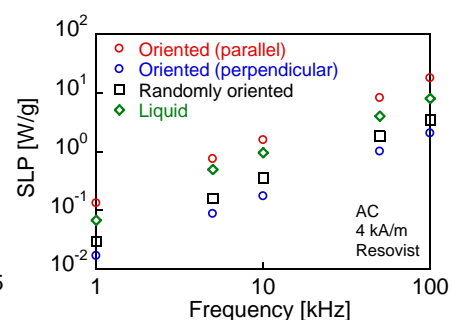


Fig. 2 Frequency dependence of SLP of Resovist<sup>®</sup>.