

# 磁性ナノ粒子の発熱と線形・非線形応答の交流磁化率

山南豪<sup>1</sup>, Suko Bagus Trisnanto<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)

Heat dissipation of magnetic nanoparticles and the AC susceptibility of their linear and nonlinear responses  
 Tsuyoshi Yamaminami<sup>1</sup>, Suko Bagus Trisnanto<sup>1</sup>, Tsutomu Yamada<sup>1</sup>, Satoshi Ota<sup>2</sup>, Yasushi 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磁気温熱治療<sup>1)</sup>において、磁性ナノ粒子の発熱特性を正確に理解する必要がある。本研究では磁性ナノ粒子の特性を示す指標として交流磁化率に着目した。交流磁化率の虚部は磁気損失の指標であり、発熱量 Specific loss power (SLP) と相関がある<sup>2)</sup>。発熱量の算出に磁化特性が線形領域にある磁化率虚部を用いられることがあるが、実際の温熱治療で用いられる磁場強度・周波数の条件下では磁性ナノ粒子の磁化は非線形応答をする。本研究では磁性ナノ粒子の交流磁化測定をすることにより、試料の非線形性を考慮した磁化率虚部および発熱量との相関を検討した。

## 実験方法・結果

磁化率虚部の2通りの計算方法を Figure 1 に示す。第1の方法(Case1)は、従来の線形理論に基づく印加磁場と磁化の位相差から求める方法である。まず元の交流磁化曲線の印加磁場と磁化の振幅を用いて磁化率の絶対値を求める。次に求めた磁化率の絶対値に印加磁場と磁化の位相差の正弦を乗算することで磁化率虚部 $\chi''_{c1}$ が求まる。さらにこれらの値から線形な交流磁化曲線が導出され、発熱量が得られる。第2の方法(Case2)は、非線形性を考慮するため交流磁化曲線の面積から求める方法である。まず交流磁化曲線の面積を計算することで発熱量が得られる。次に発熱量の式<sup>2)</sup>に代入することにより、磁化率虚部 $\chi''_{c2}$ を求めることができる。

2通りの方法で求めた異なる磁場強度における磁化率虚部の結果において、低磁場下では試料の磁化が線形応答となるため、計算方法による差がほぼなかったが、高磁場下では計算方法による差が確認できた。これは試料の磁化が高磁場下では非線形応答することに起因する。詳細なデータは当日発表する。

## 参考文献

- 1) A. Jordan, et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **201**, pp.413 (1999).
- 2) R.E. Rosensweig et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **252**, pp.370 (2002).

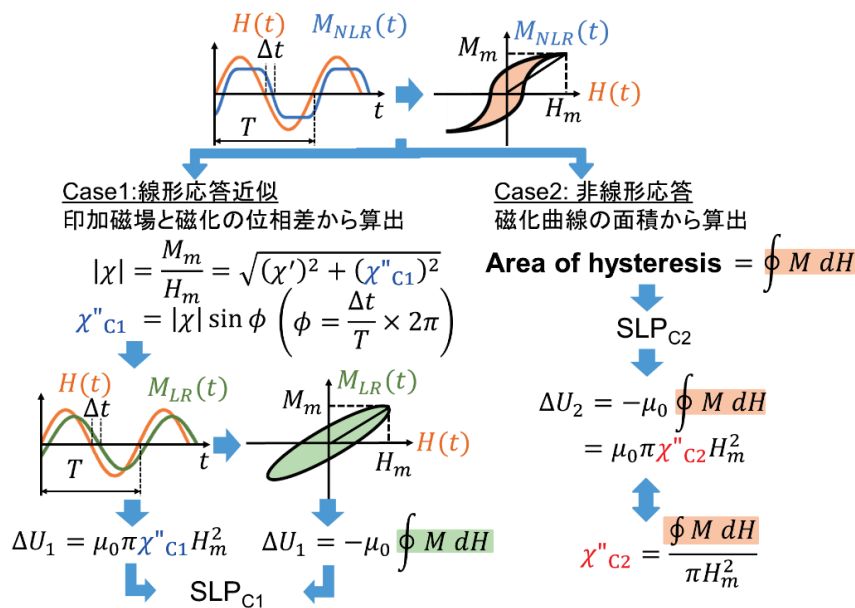


Figure 1 Imaginary part of the AC susceptibility  $\chi''$  calculated from the measured AC magnetization curve by linear response approximation (Case1) and nonlinear response (Case2).