

磁性ナノ粒子分散体の交流磁化過程と発熱機構の解明

黒岩拓也,大田浩司,ハワアリマ,岸本幹雄,柳原英人,喜多英治,間宮広明^A
(筑波大学,NIMS^A)

Dynamic hysteresis loops and explication of heat generation mechanism
T.Kuroiwa,K.Ota,A.Hawa,M.Kishimoto,H.Yanagihara,E.Kita,H.Mamiya^A
(Univ.Tsukuba,NIMS^A)

はじめに

近年がんの治療法の一つとして、がんを選択的に加温する磁気温熱療法が注目されている。磁気温熱療法とは磁性ナノ粒子分散体をがんを集積させ、外部磁界の印加により発熱させ、がんを死滅させるというものである。しかし人体に印加可能な磁界の振幅には制限があるため、磁気温熱療法を実現するためには高効率に発熱するナノ粒子分散体を開発する必要がある。

液体中に分散した磁性ナノ粒子に交流磁界を印加した際の発熱機構には「磁気ヒステリシス損失」、超常磁性にみられる「ネール緩和」、粒子の回転運動による「ブラウン緩和」が考えられる。これらの発熱への寄与は印加磁界の振幅と周波数に依存する。そこで磁性ナノ粒子分散体として強磁性ナノ粒子を用い、高効率に発熱するための要員を解明する。ここでは開発した高周波磁界発生装置により計測した2種類の強磁性ナノ粒子の交流磁化過程について緩和の発熱に対する影響について議論する。

実験装置

本研究で開発した高周波磁界発生装置では、LC共振回路を用い、変圧器による入力インピーダンスの低減、また高周波装置であるためリッツ線（配線用）による導線抵抗の低減を行った。磁界発生部にはリッツ線を用いた巻数100のソレノイドコイル（径14mm,長さ30mm）を用いた。磁化検出には巻数25の8の字ピックアップコイルを用いた。検出された磁化信号をデジタルオシロスコープにより積分しMH曲線を再構築した。印加可能な磁界振幅は400kHz以下で600Oe、1MHz以下では300Oeである。¹⁾

実験結果

2種類の強磁性ナノ粒子として磁気異方性の起源の異なる、板状マグヘマイト粒子（DINP²⁾）、球状マグネタイト粒子（SCF3³⁾）のTEM写真を図1、図2に示す。板状マグヘマイト粒子は比較的粒径が大きく（30~50nm）異方的形状による磁気異方性があり、交流磁化は直流磁気ヒステリシスの影響が大きいと考えられる。一方、球状Co添加マグネタイト粒子は比較的粒径が小さく（22nm）、結晶磁気異方性が優勢で、発熱機構には緩和機構が影響していると判断される交流磁化過程を観測した。SCF2試料の高周波磁化過程の時間応答を変化させ、直流磁界でのMH曲線と比較すると、周波数による位相の遅れが影響していることが示唆された（図3）。二種の強磁性分散体の差を明らかにして、磁気緩和とブラウン緩和の寄与について議論する。

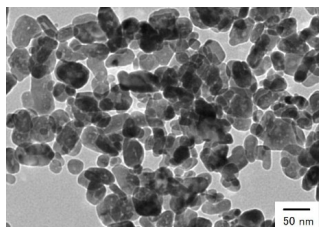


図1 楕円板状強磁性Fe₃O₄ナノ粒子 (DINP)

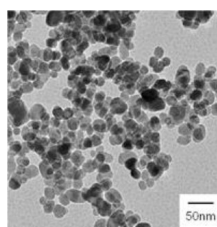


図2. 球状Co添加Fe₃O₄強磁性粒子 (.SCF3)

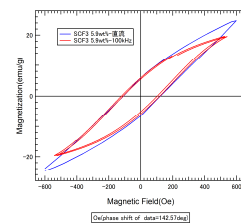


図3.SCF3(100kHz)の位相をずらしたMH曲線とDCでのMH曲線

参考文献

1)大田他 第38回磁気学会(2014)4aF-12、2) M. Kishimoto *et al.*, IEEE Mag.49 (2013)4756、3) E. Kita *et al.*, J. Phys. :D.43 (2010) 474011