

磁性ナノ粒子集合体における磁気秩序の発現に関する研究

平成 25 年度

廣井 孝介

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	廣井 孝介
主 論 文 題 目： 磁性ナノ粒子集合体における磁気秩序の発現に関する研究			
(内容の要旨)			
<p>磁性ナノ粒子集合体の磁氣的性質は磁性ナノ粒子の応用上大きな意味を持つが、高密度なナノ粒子集合体の磁気挙動は粒子間相互作用に由来する協力現象の複雑さから未だ十分に理解されていない。その様な協力現象の解釈として、ナノ粒子の磁気モーメントが粒子間相互作用により配列しスーパースピングラスと呼ばれる磁気秩序が起きていると考えられている。本研究ではγ-Fe₂O₃とFeの2種類のナノ粒子を用いて、粒子間隔を系統的に変化させた試料を作製し、粒子間相互作用の強さと粒子集合体中に現れる磁気秩序の関係を詳細に調べた。</p> <p>第1章では現在考えられている磁性ナノ粒子の応用を説明し、従来の研究で明らかとなっていない問題点と本研究の目的を記した。</p> <p>第2章では、ナノ粒子の磁性や粒子間相互作用による磁氣的協力現象などに関する基礎的な知識および近年の報告について本研究に直接関係が深いものを選び記した。</p> <p>第3章ではγ-Fe₂O₃/SiO₂ コアシェルナノ粒子を用いて、γ-Fe₂O₃ ナノ粒子間の距離が均一に制御されたナノ粒子集合体を作製し、スーパースピングラスの発現に必要な粒子間双極子相互作用の大きさを見積もった。粒子間距離18 nm以下の試料では超常磁性とは異なる磁気挙動が観測され、低温の磁化緩和を詳細に調べた結果、粒子間距離14 nm以下の試料ではスーパースピングラス特有のエイジング現象が観測されたのに対し、18 nmの試料ではそれが観測されなかった。このことからスーパースピングラスの発現に必要な双極子相互作用の大きさは粒子自体の異方性エネルギーに対して7~12%程度であると見積もられた。</p> <p>第4章ではFe/Au 共凝集ナノ粒子集合体を作製し、集合体中のFe ナノ粒子密度によりFe ナノ粒子間の相互作用を系統的に変化させたときの集合体の磁気挙動の変化を調べた。Fe/Au ナノ粒子集合体ではFe ナノ粒子密度が約5 vol%を超えるとスピングラス的磁気挙動が現れはじめ、Fe ナノ粒子間にスーパースピングラスが生じるには粒子自体の異方性エネルギーに対して12%以上の粒子間相互作用エネルギーが必要であると見積もられた。これはγ-Fe₂O₃/SiO₂ ナノ粒子集合体の場合とほぼ同様の結果であり、スーパースピングラスの発現条件が粒子の種類にほぼ依存していない事が分かった。また、最も粒子間相互作用の強いFe ナノ粒子のみで構成された試料では、転移点以下でスピングラス的挙動が観測されたが転移点が測定周波数に依存せず、高温で強磁性転移した後低温でスピングラス転移が起こるリエントラントスピングラスと同様の特徴を持っている事が分かった。</p> <p>第5章ではFe ナノ粒子集合体中で起こった磁気転移をより詳細に特徴付けるため、交流非線形磁化率を測定し磁気転移の臨界指数を見積もった。試料の非線形波磁化率には臨界挙動と考えられる特徴的なピークが観測され、線形磁化率と非線形磁化率それぞれの臨界指数は強磁性転移で報告された値と非常に近い値が得られた。このことからFe ナノ粒子集合体の高温側で起こる磁気転移が強磁性転移である事が確認された。</p> <p>第6章では本研究で得られた知見を総括し、今後の展望を記した。</p>			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, First name HIROI, Kosuke
Title <p style="text-align: center;">A Study on Magnetic Ordered States in Magnetic Nanoparticle Assembly</p>		
Abstract <p>Magnetic dynamics of magnetic nanoparticle (NP) assembly is important for application of magnetic NPs. However, magnetic properties of dense NP assembly are not clearly understood because of the complexity of collective phenomena induced by interparticle interactions. It is suggested that a magnetic ordered state, which is called "superspin glass (SSG)", appears in concentrated NP assemblies due to strong interparticle dipolar interactions, but the magnetic behavior has not been clarified in the limit of strong interaction. In this study, interacting NP assemblies whose interparticle distance is systematically controlled were prepared and the relation between the strength of interparticle interaction and the appearance of magnetic ordering in NP assemblies is investigated.</p> <p>Chapter 1 describes the purpose and the background of this study.</p> <p>Chapter 2 summarizes basic theories and previous reports concerning magnetic NPs and their collective behavior induced by interparticle interactions.</p> <p>In Chapter 3, γ-Fe₂O₃/SiO₂ core-shell NP assemblies, in which the interparticle distance of γ-Fe₂O₃ NPs is controlled by the silica thickness, are prepared and the critical strength of interparticle dipolar interaction necessary for inducing SSG is estimated. Aging phenomenon in magnetization relaxation, which is typical in SSG, is found in a strongly interacting sample with an interparticle distance $L \leq 14$ nm but is scarcely observed in a sample with the $L = 18$ nm. Therefore, the critical interparticle interaction for appearance of SSG transition is estimated to be 6 ~ 12% of the magnetic anisotropy energy of γ-Fe₂O₃ NP.</p> <p>In Chapter 4, Fe/Au NP assemblies, which have various dipolar interactions among Fe NPs depending on the volume density of the Fe NP, are prepared. When Fe NP density becomes higher than ~5%, the magnetic dynamics of NP assembly changes to that resembles to SSG. This suggests that the spin glass transition occurs when the interparticle dipolar interaction energy is larger than 12% of anisotropy energy of the Fe NP. This ratio is almost consistent with that of γ-Fe₂O₃/SiO₂ NP assembly. In the sample with highest Fe density, reentrant-spin-glass-like two-step magnetic transition from a paramagnetic to a ferromagnetic and to a spin-glass phase is observed.</p> <p>In Chapter 5, nonlinear AC susceptibilities of Fe NP assembly were measured to investigate the critical behavior in detail. The nonlinear susceptibility exhibits the critical behavior which is similar to that observed in ferromagnetic transition. The critical exponents, obtained from linear susceptibility and nonlinear one, were very close to that reported for the ferromagnetic transition. This strongly suggests that the ferromagnetic transition occurs in the strongly interacting Fe NP assembly.</p> <p>Chapter 6 summarizes the main findings of this thesis and concluded this study.</p>		