

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870999

研究課題名(和文) マルチフェロイック物質ナノ粒子の電気磁気サイズ効果とナノ粒子内包薄膜の創製

研究課題名(英文) Electro-magnetic size effects in nanoparticles of multiferroic materials and creation of nanoparticles-containing thin film

研究代表者

田尻 恭之 (TAJIRI, Takayuki)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：90441740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：マルチフェロイック物質RMnO<sub>3</sub> (R = Eu, Gd, Tb, Dy)とDyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の粒子サイズ約7～30 nmのナノ粒子を合成し、結晶構造と物性の研究を行った。各物質のナノ粒子の結晶構造と磁性は特異なサイズ依存性を示すことを明らかにした。ナノ粒子の格子定数はバルク結晶と異なり、サイズ減少に伴いその差異が顕著になり、磁性は結晶構造と相関があることを示し、一般的なサイズ効果とは逆の振る舞いを示す特異なサイズ依存性を示した。Si基板上に作製したメソ多孔体薄膜を用いることでサイズ制御したRMnO<sub>3</sub>ナノ粒子の内包薄膜を作製する手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：The nanoparticles of multiferroic materials, RMnO<sub>3</sub> (R = Eu, Gd, Tb, Dy) and DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with particle size of about 7-30 nm in the mesoporous silica were synthesized and were investigated the crystal structure and magnetic properties. These nanoparticles exhibited the unique size dependences of the crystal structure and the magnetic properties. For all materials, the lattice constants for nanoparticles differ from those for bulk crystals and the variations in lattice constants increased with decreasing particle size. The magnetic properties of these nanoparticles were correlated with the crystal structure, and the size dependences of magnetic parameters were in contrast to those of the usual magnetic size effects.

I successfully established the procedure of fabrication of the RMnO<sub>3</sub> nanoparticles-containing thin film on Si substrate using mesoporous silica thin film which was used as template for the nanoparticles.

研究分野：ナノ構造物性

キーワード：ナノ粒子 マルチフェロイック物質 強相関電子系物質 結晶構造 磁性 誘電性 メソ多孔体 薄膜

## 1. 研究開始当初の背景

TbMnO<sub>3</sub>における巨大電気磁気効果、磁性-誘電性の交差相関の発見 (T. Kimura et al., Nature vol. 426 (2003) pp. 55) を契機に、近年 (反) 強磁性、強誘電性、強弾性のフェロイック特性を複数併せ持つマルチフェロイック物質が注目を浴び、多くの研究により相次いで発見された。RMnO<sub>3</sub> (R: 希土類元素) をはじめとする多くのマルチフェロイック物質は、磁場による電気分極の制御や電場による磁化の制御が可能であることから、磁性と誘電性が共存した磁場 (電場) - 誘電性 (磁性) を組み合わせた興味深い振る舞いについて基礎研究のみでなく高性能デバイス化等に向けた応用研究も活発に行われている。スピントロニクス分野においても大きな期待を秘めた物質である。

薄膜やナノメートルサイズの微粒子を対象とした多くの研究が行われ、ナノ粒子や薄膜の電子状態や結晶構造、物性等はバルク結晶と異なり、興味深い物性やサイズ効果が報告されている。特に、本研究の対象物質も含まれる強相関電子系物質は電子相関が強く結晶構造と物性の相関が強いため、表面効果などナノメートルサイズへの微細化の影響による電子状態や結晶構造の変化がより顕著に現れ、興味深い新奇なサイズ効果が発現することが期待される。また、本研究の対象物質 RMnO<sub>3</sub> は近年活発に研究が進められているが、バルク結晶や薄膜試料を対象としたものであり、ナノメートルサイズの微粒子を対象とした研究は研究代表者の知る限り報告例がない。

研究代表者は数ナノメートルサイズの微粒子で発現する特有な物性やサイズ効果の研究を進めており、特に、強相関電子系物質では新奇なサイズ効果の発現が期待されることから、RMnO<sub>3</sub> (R= La, Nd, Bi) や銅酸化物高温超伝導体などの 10 nm 程度の粒子サイズのナノ粒子を合成し、結晶構造と磁性の特異なサイズ効果を発見してきた。これらの研究成果を踏まえ、マルチフェロイック物質 RMnO<sub>3</sub> で発現する電気磁気効果や磁性と誘電性の交差相関におけるサイズ効果の研究という着想に至った。

一方、上述のような電気磁気効果を持つマルチフェロイック物質は新規なメモリデバイス等への応用の面でも期待されている。基板上に数ナノメートルの粒子を規則正しく配列させ、各粒子への情報の蓄積・読み出しが可能になれば高集積化により多くの記憶容量を得ることが可能となると考えられる。本研究で合成するナノ粒子は、規則的に周期配列した細孔をもつメソ多孔体の細孔中で合成されるため、ナノ粒子の配列・分散を可能にする。研究代表者は細孔サイズを制御したメソ多孔体薄膜を Si および石英基板上に作製し、その細孔中に TiO<sub>2</sub> ナノ粒子を合成することに成功している。マルチフェロイック物質ナノ粒子を内包した薄膜を作製するこ

とが出来れば、より集積度の高い新規デバイス開発へ発展させることが出来るのではないかと考え本研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

強相関電子系物質では、電子状態や結晶構造、物性の中で強い相関が存在するため、この物質系のナノ粒子では特異なサイズ効果の出現が期待される。また、マルチフェロイック物質は、外場による1つのフェロイック特性の双安定性や応答よりも複数のフェロイック特性の強い交差相関が特徴であり、その特徴を用いたデバイス等への応用が期待されている。本研究は、マルチフェロイック物質のナノメートルサイズの微粒子における結晶構造と物性および交差相関のサイズ効果を明らかにすることを目的として研究を行った。本研究の第一の目的は、マルチフェロイック物質 RMnO<sub>3</sub> のサイズ効果を調査するために、これまでに報告例のない RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子の合成手法の確立である。そして、そのナノ粒子の物性および結晶構造を解明することである。

第二に、前述のように、マルチフェロイック物質は高性能デバイス等への応用が期待されるため、基板上にサイズ制御したマルチフェロイック物質 RMnO<sub>3</sub> のナノ粒子を内包・分散した薄膜の作製技術の確立、およびそのナノ粒子内包薄膜の構造と物性を解明することを目的として研究を行った。

## 3. 研究の方法

(1) マルチフェロイック物質の合成とサイズ効果の解明。

マルチフェロイック物質 RMnO<sub>3</sub> (R=Eu, Gd, Tb, Dy) と DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> における結晶構造と磁性と誘電性のサイズ効果を明らかにするために、まず 10nm 程度の RMnO<sub>3</sub> (R=Eu, Gd, Tb, Dy) ナノ粒子の合成条件の最適化と確立を進めた。様々な条件下でナノ粒子を合成し、合成条件の最適化を行った。確立後に詳細なサイズ効果の研究を行うため、約 5~30 nm の範囲で粒子サイズの異なるナノ粒子の合成および結晶構造と物性の解明を行う計画で研究を進めた。本研究では、ナノ粒子の合成を図1に示すような数ナノメートルサイズの細孔を持つメソ多孔体の細孔中で行うという特徴的な手法を用いている。ナノ粒子の鑄型として使用するメソ多孔体 SBA-15 は一次元細孔が規則的に周期配列した構造をもち、合成条件により細孔径を約 5~30 nm の範囲で制御することが可能である (D. Zhao et al., Science vol. 279 (1998) pp. 548) ため、粒子サイズを制御してナノ粒子を合成することが可能である。この各細孔は骨格である数ナノメートルのシリカ壁で隔てられているため粒子の凝集や粒子間相互作用を無視し独立系として取り扱うことができる。よって、各粒子による振舞いを観測することができるために詳細なサイズ効果の解明が可能に

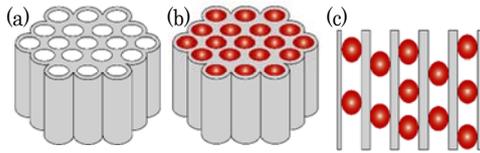


図1 ナノ粒子の合成手法. (a) メソ多孔体 SBA-15, (b) ナノ粒子を内包した SBA-15, (c) その断面図.

なる. 各物質のナノ粒子は, 化学量論比で混合・合成した前駆体溶液に SBA-15 を浸漬させ, 細孔中に前駆体溶液を浸透させる. その後, SBA-15 を回収し, 表面洗浄, 乾燥・焼成の工程を経ることでナノ粒子の合成を行った.

ナノ粒子の結晶構造解析を行う上で, ナノ粒子からの回折 X 線強度が微弱なため放射光を用いる必要があり, 合成した  $\text{RMnO}_3$  ( $\text{R}=\text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$ ) と  $\text{DyMn}_2\text{O}_5$  ナノ粒子の結晶構造解析は, 放射光施設 SPring-8, 高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーで粉末 X 線回折実験を行った. 磁気測定と電子スピン共鳴 (ESR) 測定により物性評価を行った. 透過型電子顕微鏡を用いてナノ粒子の電子顕微鏡観察を行った.

#### (2) マルチフェロイック物質ナノ粒子内包薄膜の創製

上記の最適化したナノ粒子合成条件を用いて, Si 基板上に作製した SBA-15 薄膜の細孔中に  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子を内包した薄膜を作製した. X 線反射率測定, 紫外可視近赤外分光測定と電気測定を行い, 作製した  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子内包薄膜の構造と物性の評価を行った.

#### 4. 研究成果

本研究の主要な成果として第一に, これまでに報告例のなかった数ナノメートルの粒子サイズを持つマルチフェロイック物質  $\text{RMnO}_3$  ( $\text{R}=\text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$ ) のナノ粒子の合成に成功したことである. それらナノ粒子の結晶構造と磁性のサイズ依存性の研究を進め, 系統的な実験によりサイズ効果を明らかにした. その結晶構造と磁性は通常サイズの効果と異なる振る舞いであった. 各ナノ粒子は希土類元素 R の違いにより多少異なるサイズ依存性を示したが, それはバルク結晶で見られる希土類元素の違いによる変化に起因していると考えられる. 第二に, メソ多孔体薄膜を用いることで, 粒子サイズを制御した  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子を内包・分散した薄膜を基板上に作製する技術を確認したことである. 作製したナノ粒子内包薄膜の構造解析と光学および電気測定を行った. 構造解析と物性測定の結果は,  $\text{DyMnO}_3$  ナノ粒子内包薄膜の作製に成功したことを示唆するものであった. これまでに  $\text{RMnO}_3$  薄膜の報告例はあるが,  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子を内包した薄膜の報告例はない.

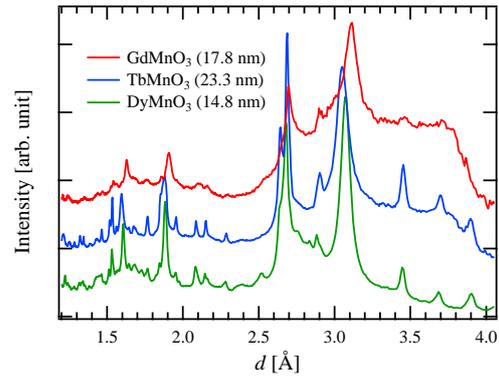


図2 各ナノ粒子の X 線回折パターン

#### (1) $\text{RMnO}_3$ ナノ粒子のサイズ効果の解明.

$\text{RMnO}_3$  ナノ粒子は, 直径約 8 nm の一次元細孔をもつメソ多孔体 SBA-15 の細孔中で合成した. 合成したナノ粒子の結晶構造を調べるために, 放射光を用いた X 線結晶構造解析を行った. 図 2 に  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子の粉末 X 線回折パターンを示す. 合成した各ナノ粒子の X 線回折パターンは, バルク結晶と同様に斜方晶ひずみを持つペロブスカイト型結晶構造である. この結果より合成した各ナノ粒子の粒子サイズをシェラーの式を用いて算出した. その結果は, 約 7~30 nm の粒子サイズを持つ  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子の合成に成功したことを示唆した. 各ナノ粒子はバルク結晶と同じ結晶構造である.  $\text{RMnO}_3$  ナノ粒子の格子定数は希土類元素 R の違いに依らず, 約 15 nm 以上ではバルク結晶の値とほぼ同様な値である. しかし, それ以下ではバルク結晶の値から変化し, かつ結晶軸方向によって増減が異なり, 結晶構造 (単位胞) の異方的なひずみが発現することを明らかにした. その格子定数は粒子サイズの減少にともない連続的に変化し, 異方的なひずみは連続的に増大する.  $\text{RMnO}_3$  はペロブスカイト型結晶構造であり,  $\text{MnO}_6$  八面体を有しヤーン・テラーひずみが存在する. そのヤーン・テラーひずみは磁性に大きく関与していることから, 各ナノ粒子のヤーン・テラーひずみの評価を行った. ヤーン・テラーひずみは格子定数比  $b/a$  で評価される. 粒子サイズの減少に伴いヤーン・テラーひずみは格子定数と同様に約 15 nm 以下で急激に変化し始め連続的に変化する. 興味深いことに,  $\text{EuMnO}_3$ ,  $\text{GdMnO}_3$ ,  $\text{TbMnO}_3$  は同様な格子定数とヤーン・テラーひずみのサイズ依存性を示すが,  $\text{DyMnO}_3$  はそれらと異なるサイズ依存性を示し, 格子定数の増減する結晶軸が異なる. ヤーン・テラーひずみは粒子サイズの減少とともに  $\text{EuMnO}_3$ ,  $\text{GdMnO}_3$ ,  $\text{TbMnO}_3$  は大きくなり,  $\text{DyMnO}_3$  は逆に小さくなる振る舞いを示した.

合成した各物質のナノ粒子の磁気測定を行い磁気サイズ効果について研究を進めた.  $\text{DyMnO}_3$  ナノ粒子 (9.3 nm) の外部磁場 100 Oe における直流磁化率の温度測定を図 3 に示す. 磁場中冷却 (FC) 磁化率とゼロ磁場中冷却 (ZFC) 磁化率は約 40 K 以下で分岐し, ヒス

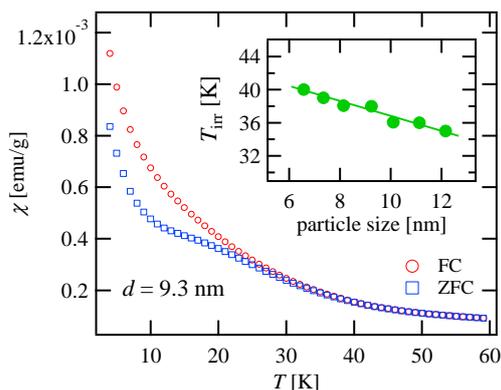


図 3 DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子の直流磁化率の温度依存性. 挿入図は分岐温度  $T_{irr}$  のサイズ依存性.

テリシスを示す. これは, 磁性体ナノ粒子で出現する超常磁性の特徴的な振る舞いの一つであるブロッキング現象に起因したものである. FC 磁化率と ZFC 磁化率の分岐温度を  $T_{irr}$  とすると, その  $T_{irr}$  は図 3 の挿入図に示すように粒子サイズの減少に伴い上昇しているが, これは通常の磁気サイズ効果とは逆の振る舞いである.  $T_{irr}$  の値は異なるが, 希土類元素 R の違いに依らずこの振る舞いは合成したすべての物質のナノ粒子で観測された.

交流磁化率の温度依存性の測定を複数の周波数で行った. 交流磁化率  $\chi'$  と  $\chi''$  成分にピークが観測され, 交流磁場の周波数増加に伴いそのピークが高温側へシフトするといった周波数依存性を示し, 各ナノ粒子において緩和現象が観測された. この緩和現象は超常磁性に起因したものであり, 交流磁化率の測定結果から得られたブロッキング温度は粒子サイズの減少に伴い上昇した. 程度の差はあるが, 希土類元素 R の違いに依らず合成した全物質のナノ粒子は同様な傾向を示した. ここで, ブロッキング温度は磁気異方性定数とサイズの関数として記述することができ, 磁気異方性定数が一定の場合, 粒子サイズの減少に伴いそのブロッキング温度は低下する. 得られた実験結果は, RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子は通常サイズの効果とは逆の振る舞いを示す特異なサイズ効果であり, 粒子サイズの減少に伴い磁気異方性定数の増大を示唆するものである.

合成したナノ粒子の磁化過程の測定を行った. 各ナノ粒子の磁化過程はブロッキング温度以下でヒステリシスループを示した. これは前述の磁化率の温度依存性の測定結果と同様に, 各物質のナノ粒子が磁性体ナノ粒子の特徴的振る舞いの一つである超常磁性の振る舞いをしていることを意味する. この超常磁性のブロッキング現象に起因した磁化ヒステリシスループの保磁場  $H_c$  は粒子サイズの減少に伴い増加する傾向を示した. この傾向は希土類元素 R の違いに依らず合成した全 RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子で観測された. 保磁場は前述のブロッキング温度と同様に磁気異方

性定数と体積の関数として記述でき, 磁気異方性定数が一定の場合は粒子サイズの減少に伴い  $H_c$  は低下する. しかし, 合成した全 RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子はそれとは逆の振る舞いであり, 特異なサイズ効果を示した. 一方, 各物質のナノ粒子は希土類元素 R の違いにより異なる磁化過程を示した. これは, 希土類元素 R の違いによりバルク結晶の磁気秩序が変化するが, ナノ粒子の磁気秩序もバルク結晶と同様に希土類元素 R の違いにより変化していることを示唆する結果である.

以上のように, 合成した RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子は通常磁気サイズ効果と異なる特異なサイズ効果を示した. これらの結果より, 各ナノ粒子の磁気異方性定数が粒子サイズの減少に伴い増大していると考えられる. 一方, 結晶構造は粒子サイズの減少に伴い結晶構造(単位胞)の異方的なひずみが誘起され, サイズ減少に伴いそのひずみは大きくなることを明らかにした. また, 磁性に大きな影響を及ぼすヤーン・テラーひずみも粒子サイズとともに変化することを明らかにした. これらの結果より, 各ナノ粒子は磁性と結晶構造の間に強い相関をもち, 結晶構造の変化が磁気相互作用や磁気異方性の大きさを変化させ, 通常とは異なる磁気サイズ効果を誘起したと考えられる. また, 希土類元素 R の違いによってサイズ効果が異なったが, R 元素の違いによる電子状態や結晶構造の違いがサイズ効果の現れ方に変化をもたらしたと考えられる.

## (2) RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の創製と構造および物性の解明.

RMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜は Si 基板上に形成したメソ多孔体 SBA-15 薄膜の細孔中にナノ粒子を合成する手法を用いて作製した. 初めに 5 nm 程度の細孔サイズを持つメソ多孔体 SBA-15 薄膜の塗布溶液を合成し, その後スピコート法を用いて Si 基板上に SBA-15 薄膜を作製した. その SBA-15 薄膜を化学量論比で混合・合成した DyMnO<sub>3</sub> 前駆体溶液に浸漬し, その後表面洗浄, 乾燥, 焼成を経て DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜を作製した.

SBA-15 薄膜, ナノ粒子内包薄膜の構造解析を X 線回折測定および X 線反射率測定により行った. ナノ粒子内包薄膜の全反射臨界角はナノ粒子を含まない SBA-15 薄膜のものより高角度側へシフトしており, ナノ粒子内包薄膜の膜密度が増大していることを示している. これは DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子が SBA-15 薄膜の細孔中に存在していることによる膜密度の増大を示唆している.

紫外可視近赤外分光測定を行いナノ粒子内包薄膜の光学特性を調べた. 紫外線領域において, DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の反射率が SBA-15 薄膜の反射率より低下していることが観測された. これは, 薄膜中に存在するナノ粒子による光学吸収が起こったことに起因していると考えられる.

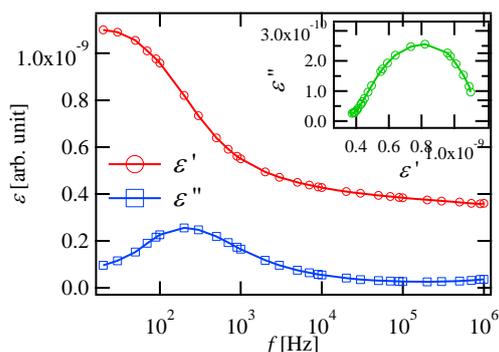


図 4 DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の誘電率の周波数依存性. 挿入図は Cole-Cole プロット.

DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の誘電特性を調べた. SBA-15 薄膜および DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の表面と Si 基板の裏面に金電極を真空蒸着により形成した. これらの静電容量-電圧特性と誘電率測定を行った. DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜はナノ粒子を含まない SBA-15 薄膜と異なる静電容量-電圧特性を示し, Si 基板側からナノ粒子へ電子注入が生じていると考えられる結果が得られた. 図 4 に DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜の室温における誘電率の周波数依存性および Cole-Cole プロットを示す. DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子内包薄膜は SBA-15 薄膜と異なり誘電緩和特性を示した. これは薄膜中に存在する誘電体である DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子に起因したものであると考えられ, DyMnO<sub>3</sub> ナノ粒子が誘電性を示すことを示唆する結果である.

本研究課題では上記 RMnO<sub>3</sub> 以外のマルチフェロイック物質 DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の粒子サイズ約 7~20 nm のナノ粒子の合成に成功し, その結晶構造と磁性のサイズ依存性を明らかにした. その DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ナノ粒子も結晶構造と磁性が強く相関しており, 上記の RMnO<sub>3</sub> とは異なる特有なサイズ効果を示すことを明らかにした. 強相関電子系物質である反強磁性体 NiO や銅酸化物高温超伝導体 (La, Sr)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> のナノ粒子の結晶構造と磁性のサイズ効果も通常のサイズ効果とは異なり各々物質特有のサイズ効果を示すことを明らかにした. 強相関電子系物質は電子状態, 物性, 結晶構造などの間に強い相関が存在するため, この系のナノ粒子では特異な振る舞いの出現が期待され, 本研究では物質固有の特異な振る舞いを明らかにした. 今後, ナノ粒子の応用利用がより多くなると推測されることから, ナノ粒子を対象とした研究は合成や測定技術の発展も相まってより活発に行われ, 詳細な結晶構造と物性および応用利用の研究が報告されていくと期待される. 強相関電子系物質の多くは本研究対象物質も含まれるマルチフェロイック物質や超伝導体などの機能性材料物質であり, 本研究成果が今後の他物質のナノ粒子研究と関連し, 新たな応用研究に繋がることを期待している. 本研究課題において, 合成

したナノ粒子の極低温・磁場中における電気磁気効果および誘電特性の評価を行うため, 研究代表者所有の電気測定システムと研究協力者の所属する大学所有の装置を組み合わせることで, 極低温磁場下での誘電率測定システムの構築を行った. 今後, 本研究で得られた結果を基に粒子サイズの異なる RMnO<sub>3</sub> や機能性材料物質のナノ粒子を合成し, 構築した測定システムの使用を交えながら詳細に結晶構造と物性のサイズ効果を調査する計画である.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① T. Tajiri, Y. Ando, H. Deguchi, M. Mito, A. Kohno, Magnetic Properties and Crystal Structure of DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Nanoparticles Embedded in Mesoporous Silica, Physics Procedia, 査読有, Vol. 75, 2015, 1181-1186, DOI: 10.1016/j.phpro.2015.12.117
- ② T. Tajiri, S. Saisho, M. Mito, H. Deguchi, K. Konishi, A. Kohno, Size Dependence of Crystal Structure and Magnetic Properties of NiO Nanoparticles in Mesoporous Silica, The Journal of Physical Chemistry C, 査読有, Vol. 119, 2015, 1194-1200, DOI: 10.1021/jp5112372
- ③ T. Tajiri, N. Terashita, K. Hamamoto, H. Deguchi, M. Mito, Y. Morimoto, K. Konishi, A. Kohno, Size dependences of crystal structure and magnetic properties of DyMnO<sub>3</sub> nanoparticles, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 査読有, Vol. 345, 2013, 288-293, DOI: 10.1016/j.jmmm.2013.06.055
- ④ T. Tajiri, K. Hamamoto, Y. Ando, H. Deguchi, M. Mito, A. Kohno, Synthesis and Magnetic Property of DyMnO<sub>3</sub> Nanoparticles in Mesoporous Silica, Journal of the Korean Physical Society, 査読有, Vol. 63, 2013, 826-829, DOI: 10.3938/jkps.63.826

[学会発表] (計 15 件)

- ① H. Deguchi, T. Tajiri, T. Niino, M. Mito, A. Kohno, Novel Magnetic Size Effects of La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> Nanoparticles in Mesoporous Silica, The 25th annual meeting of MRS-J, 2015 年 12 月 8-10 日, 横浜
- ② A. Kohno, T. Tajiri, Formation and Characteristics of BaTiO<sub>3</sub> Nanoparticles in the Pores of

Mesoporous Silica Thin Films, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2015年11月10-13日, 富山

- ③ 田尻恭之, 出口博之, 美藤正樹, 竹田翔一, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 香野淳, 希土類マンガン酸化物  $\text{RMnO}_3$  (R=Gd, Eu, Tb) ナノ粒子の磁性と結晶構造, 日本物理学会, 2015年09月16-19日, 関西大学
- ④ T. Tajiri, Y. Ando, H. Deguchi, M. Mito, A. Kohno, Magnetic Properties and Crystal Structure of  $\text{DyMn}_2\text{O}_5$  Nanoparticles Embedded in Mesoporous Silica, 20th International Conference on Magnetism, 2015年07月06-11日, バルセロナ
- ⑤ 田尻恭之, 新納健, 出口博之, 美藤正樹, 香野淳,  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  ナノ粒子における特異な磁気サイズ効果の出現, 日本物理学会, 2015年03月21-24日, 早稲田大学
- ⑥ 田尻恭之, 関将吾, 古賀玲奈, 香野淳, 高压水蒸気熱処理によるメソ多孔体薄膜の膜質改善, 応用物理学会, 2015年03月11-14日, 東海大学
- ⑦ T. Tajiri, Size Effects of Crystal Structure and Magnetic Properties on Perovskite Manganite  $\text{RMnO}_3$  (R = La, Dy) Nanoparticles, The 15th IUMRS International Conference in Asia, 2014年08月24-30日, 福岡
- ⑧ T. Niino, Y. Ando, T. Tajiri, H. Deguchi, M. Mito, M. Naito, A. Kohno, Magnetic Properties and Crystal Structure of  $\text{DyMn}_2\text{O}_5$  Nanoparticles in Mesoporous Silica, The 15th IUMRS International Conference in Asia, 2014年08月24-30日, 福岡
- ⑨ 田尻恭之, 安藤祐規, 出口博之, 美藤正樹, 香野淳, メソ多孔体細孔中に合成した  $\text{DyMn}_2\text{O}_5$  ナノ粒子の磁性と結晶構造, 日本物理学会, 2013年09月25-28日, 徳島大学
- ⑩ 美藤正樹, 田尻恭之, 香野淳, 中村和磨, 出口博之, NiO ナノ結晶の高压力下構造解析, 日本物理学会, 2013年09月25-28日, 徳島大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.sp.fukuoka-u.ac.jp/section/c>

[rystal/kohno/kohnohome.html](http://www.sp.fukuoka-u.ac.jp/section/c/crystal/kohno/kohnohome.html)

<http://resweb2.jhk.adm.fukuoka-u.ac.jp/FukuokaUnivHtml/info/4251/R107J.html?P=Fri%20Jan%2030%2016:32:28%20UTC+0900%202009>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田尻 恭之 (TAJIRI, Takayuki)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：90441740