

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540365

研究課題名(和文) 超強磁場磁化過程によるLaCoO<sub>3</sub>中のスピン相分離の研究研究課題名(英文) Investigation of the Spin-Phase Separation in LaCoO<sub>3</sub> by High-field Magnetization

研究代表者

浅井 吉蔵 (Asai, Kichizo)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：00109795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は元素置換をしたLaCoO<sub>3</sub>の強磁場中磁化過程より、当該物質の温度誘起スピン転移の機構を以下のように明らかにした。最低温度において非磁性の低スピン(LS)状態にあるCo<sup>3+</sup>は温度上昇と共に30 K程度で高スピン(HS)状態への熱的励起が始まる。しかし、HS状態間の強い反発力のために、HS状態に励起するCo<sup>3+</sup>イオンの数は15%程度に留まる。さらに温度が上昇すると、100 K程度で残りのCo<sup>3+</sup>イオンは中間スピン(IS)状態へ熱的に励起する。本研究は100 K以上でHSとISが共存するというモデルにより磁歪等の当該物質の諸物性が統一的に理解できることを示した。

研究成果の概要(英文)：The present study reveals the mechanism of the temperature-induced spin-state transition of LaCoO<sub>3</sub> by investigating the high-field magnetization process of the doped LaCoO<sub>3</sub> specimens. The Co<sup>3+</sup> ions, which are in the low-spin (LS) state in the lowest temperature, are thermally excited to the high-spin (HS) state above about 30 K. However, the number of the Co<sup>3+</sup> ions in the HS state is limited to about 15 % due to a large repulsive interaction among HS Co<sup>3+</sup> ions. With further increase of the temperature, the remaining LS Co<sup>3+</sup> ions are thermally excited to the intermediate-spin (IS) state around 100 K. It is suggested that other physical properties, such as magnetostriction, of LaCoO<sub>3</sub> can be understood in accordance with the present model where HS and IS states coexist above 100 K.

研究分野：物性物理(磁性)

キーワード：スピン転移 スピン相分離 Co酸化物 強磁場磁化過程 強磁場磁歪 強磁場物性 強相関電子系 ペロブスカイト

1. 研究開始当初の背景

LaCoO<sub>3</sub>は500K近傍で電気伝導に異常を示す他、100K、500Kの2つの温度領域で帯磁率に異常を示すことから、Co<sup>3+</sup> 3d電子が局在-非局在転移、及びスピン転移を起こす物質として古くから注目されてきた/1/. 1990年頃より、中性子常磁性散乱/2/, NMR/3/, 格子の異常熱膨張/2/, 転移の圧力効果/4/, XPS, XAS等のX線分光実験/5/, 及び理論的研究/6/が多数行われた。スピン転移が生じているのは100Kと500Kのどちらであるのかという初期の論争に対し、申請者等は100K領域で低スピン(LS: S=0)から中間スピン(IS: S=1)へ転移し、500K領域で、ISからISと高スピン(HS: S=2)が混成した金属状態へ移行するというモデルを提唱したが/7/, 100K領域で出現する磁性スピン状態について未だ論争が続いている。

精密構造解析/8/, ラマン散乱/9/, 超音波測定/10/, 中性子フォノン散乱/11/等の格子からスピン状態を調べる研究はいずれも100K以上で出現する磁性状態がJahn-TellerイオンであるIS状態であることを支持する。一方、野口等は100K以上で出現する磁性Co<sup>3+</sup>のESR信号の巨大g因子(g=3.3)から、磁性状態はISではなくHSから分岐した3重項であるという提案をした/12/. 近年観測された励起エネルギー0.6meVの中性子磁気散乱の磁場応答もg≈3を支持する/13/. しかし、ESRのエネルギーダイアグラム(g=3.3, Δ=140K)を基に計算した磁化率は実測値の3倍にもなる。この様にISモデル, HSモデルとも全ての実験事実を矛盾無く説明することはできていない。

申請者等は強磁場磁化測定で、非磁性基底状態と磁性3重項のクロスオーバーによる磁化の飛びを60Tに観測した/14/. この転移磁場はESRのエネルギーダイアグラムからの予測と一致する。しかしながら転移に関与するCo<sup>3+</sup>(以後Co<sub>I</sub>)の数は全Coイオンの14%にすぎないこと、及び残りのCo<sup>3+</sup>(g≈2, Δ=250K:以後Co<sub>II</sub>)も温度上昇によりスピン転移をすることを明らかにした。しかしながら、結晶学的に等価なCo<sup>3+</sup>イオンが2種の異なる磁性Coスピン状態をとる理由は不明であった。

2. 研究の目的

- (1) LaCoO<sub>3</sub>に実現すると考えているCo<sub>I</sub>とCo<sub>II</sub>の磁性スピン状態を明らかにし、LaCoO<sub>3</sub>で2種類のCo<sup>3+</sup>が共存するというスピン相分離の機構を明らかにする。
- (2) 元素置換により、Co<sub>I</sub>とCo<sub>II</sub>の磁性スピン状態の安定性を決める要因、及び、置換元素導入により新たに生ずる可能性があるスピン相とスピン相分離を明らかにする。
- (3) (1), (2)により、既知の実験結果を矛盾無く説明することを含めて、LaCoO<sub>3</sub>のスピン状態と転移を総合的に理解する。

3. 研究の方法

- (1) LaサイトとCoサイトを種々の元素で置換したLaCoO<sub>3</sub>の多結晶・単結晶試料を製作する。置換元素は、Coスピン状態に対する、①化学的圧力、②電荷導入、③Co-3dと異種遷移金属元素のd軌道混成、の効果が明らかになるように選定する。
- (2) SQUID・PPMSによる磁化測定でLaCoO<sub>3</sub>の磁性に対する元素置換の平均の効果を明らかにする。
- (3) Co<sub>I</sub>の磁場誘起スピントラフが生じる臨界磁場以上の強磁場中で磁化測定を行い、Co<sub>I</sub>とCo<sub>II</sub>、及び置換元素導入により生じるスピン相の磁化を分離する。
- (4) (3)で得られたモデルに基づき、強磁場磁歪等のLaCoO<sub>3</sub>諸物性の再評価を行う。

4. 研究成果

- (1) LaCo<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (M = Al, Ga, Rh, and Ir)の低温における強磁場磁化過程、及び磁化の温度変化から以下の事柄を明らかにした。実験結果の概要と結果の考察を述べる。

① M=Al, Ga

低温における強磁場磁化過程では、pureなLaCoO<sub>3</sub>と同様に磁場誘起のスピン転移が観測された。転移磁場はM=Alの場合はxと共に若干増大し(図1)、M=Gaの場合殆ど変化が見られなかった(図2)。

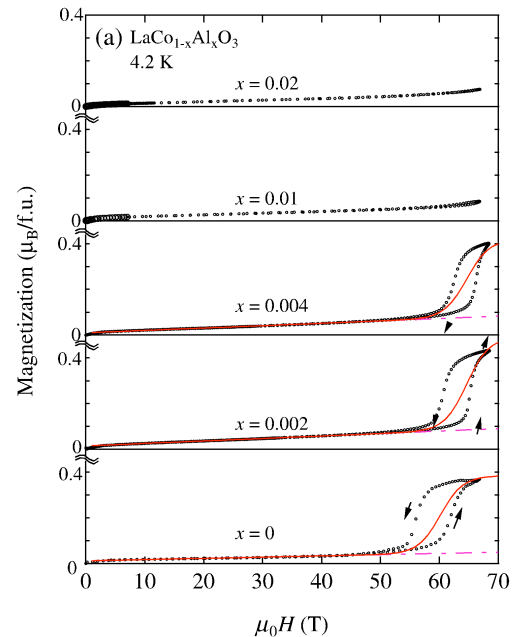


図1 4.2KでのLaCo<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>O<sub>3</sub>の強磁場磁化

この磁場誘起のスピン転移及び磁化の温度変化はCo<sub>I</sub>とCo<sub>II</sub>の2種類のCo<sup>3+</sup>を仮定することで説明できた。ここで、低温で磁場誘起のスピン転移に寄与するのがCo<sub>I</sub>で、本研究の測定磁場範囲では磁場誘起のスピン転移をしないが、温度により非磁性から磁性状態にスピン転移をするのがCo<sub>II</sub>

であり、この点は pure な  $\text{LaCoO}_3$  と同じである。  
 解析の結果、(i)  $\text{Co}_I$  と  $\text{Co}_{II}$  の割合は  $x$  に依存しない、(ii)  $\text{Co}_I$  の磁性状態への励起エネルギー  $\Delta_I$  は  $M=\text{Al}$  の場合は  $x$  と共に若干増大するが  $M=\text{Ga}$  の場合は殆ど変化しない、(iii)  $\text{Co}_{II}$  の磁性状態への励起エネルギー  $\Delta_{II}$  は  $M=\text{Al}$ ,  $\text{Ga}$  両者とも殆ど変化しない、ことが明らかになった。

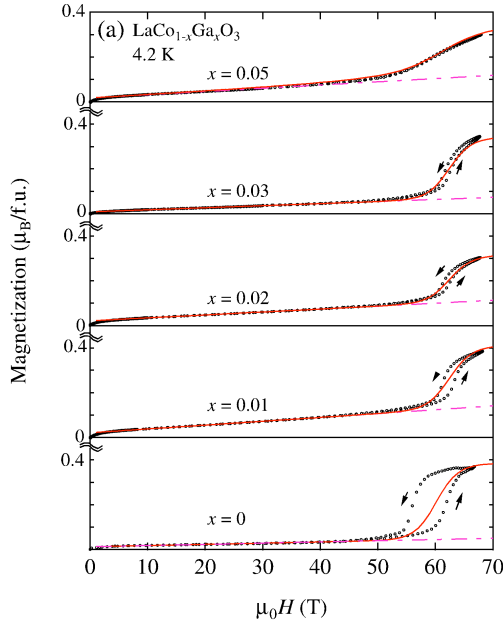


図2 4.2Kでの  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$  の強磁場磁化

### ② M=Rh, Ir

低温における強磁場磁化過程では、転移磁場は大きく低磁場側へシフトし、且つ著しい分布をもつこと、及び転移磁場以下でも磁性をもつ  $\text{Co}$  イオンの出現することが明らかになった(図3、図4)。この強磁場磁化過程及び磁化の温度変化は pure な  $\text{LaCoO}_3$  で仮定した  $\text{Co}_I$  と  $\text{Co}_{II}$  の他に、磁性スピン状態を基底状態とする  $\text{Co}^{3+}$  (以後  $\text{Co}_{III}$ ) の存在を仮定することにより説明できた。

解析の結果、 $\text{Co}_I$  と  $\text{Co}_{II}$  については、(i)  $\text{Co}_I$  の磁性状態への励起エネルギー  $\Delta_I$  は  $x$  と共に著しく減少し、かつ大きな分布をもつ、(ii)  $\text{Co}_{II}$  の磁性状態への励起エネルギー  $\Delta_{II}$  は殆ど変化しない、ことが明らかになった。 $\text{Co}_{III}$  については、(i) 置換による出現個数が、 $x$  が小さい領域で  $\approx 2/\text{Rh}$ ,  $\approx 12/\text{Ir}$  と  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  で現れる磁性イオンの個数  $\approx 30/\text{Sr}$  に比べて少ない、(ii)  $\text{Co}_{III}$  間の平均の磁氣的相互作用は負(反強磁性的)であり、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  中磁性イオン間の平均が正の磁氣的相互作用とは異なる、ことがわかった。これらの事柄は、 $M=\text{Ir}$ ,  $\text{Rh}$  で出現する磁性スピン状態  $\text{Co}_{III}$  の出現機構と電子状態は、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  で出現する磁性スピン状態とは異なっていることを示している。

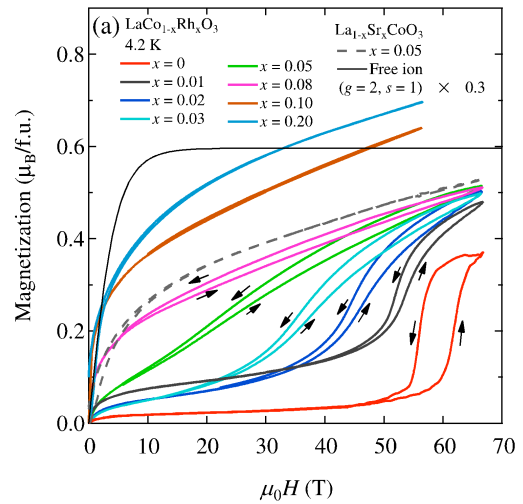


図3 4.2Kでの  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$  の強磁場磁化

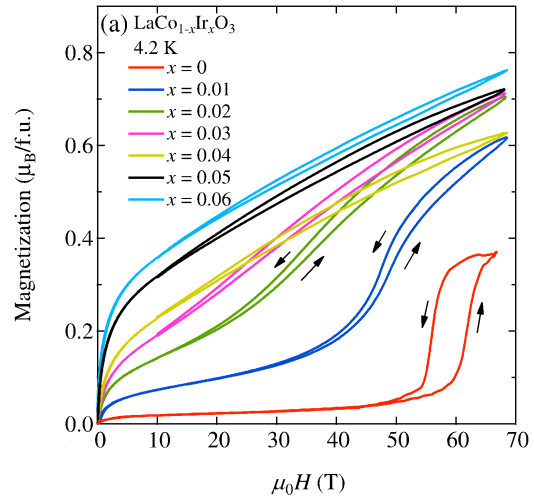


図4 4.2Kでの  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Ir}_x\text{O}_3$  の強磁場磁化

### ③ $\text{Co}_I$ , $\text{Co}_{II}$ の磁性スピン状態と励起エネルギー

$\text{Co}_I$ ,  $\text{Co}_{II}$  の基底状態は共に非磁性の低スピン状態( $\text{LS}$ ;  $S=0$ )である。 $g$  因子の値から、 $\text{Co}_I$  の励起磁性状態は野口等の提案のように高スピン状態( $\text{HS}$ ;  $S=2$ )から結晶場とスピン軌道相互作用で派生した3重項、 $\text{Co}_{II}$  の励起磁性状態は Jahn-Teller 活性の中間スピン状態( $\text{IS}$ ;  $S=1$ )であると同等した。

$\text{Co}_I$ ,  $\text{Co}_{II}$  の磁性スピン状態への励起エネルギー  $\Delta_I$ ,  $\Delta_{II}$  の格子体積依存性を図5に示す。 $\Delta_I$  は格子体積増大に伴って減少するが、 $\Delta_{II}$  は格子体積に依らずほぼ一定である。この事柄は次のように解釈できる。 $\text{Co}_I$  の場合、基底状態である  $\text{LS}$  と励起状態である  $\text{HS}$  の相対的安定性は原子内交換相互作用と結晶場分裂の大きさの兼ね合いで決まる<sup>15)</sup>。一般に格子体積が増大すると結晶場の大きさが減少して  $\text{HS}$  が安定化する。その結果、 $\text{LS}$  から  $\text{HS}$  への

励起 $\Delta_I$ は減少する。一方、 $\text{Co}_{II}$ の場合、既に $\text{Co}_I$ がHSへ励起された環境の中でLSからISに励起される。その励起エネルギー $\Delta_{II}$ には、1つの $\text{CoO}_6$ 内の相互作用(交換相互作用と結晶場)のみではなく、周囲のHSに励起された $\text{Co}_I\text{O}_6$ との相互作用が含まれる。この $\text{CoO}_6$ 間の相互作用が $\text{CoO}_6$ 内の相互作用を凌駕し、且つそれが格子体積に殆ど依存しないことを示していると考えられる。

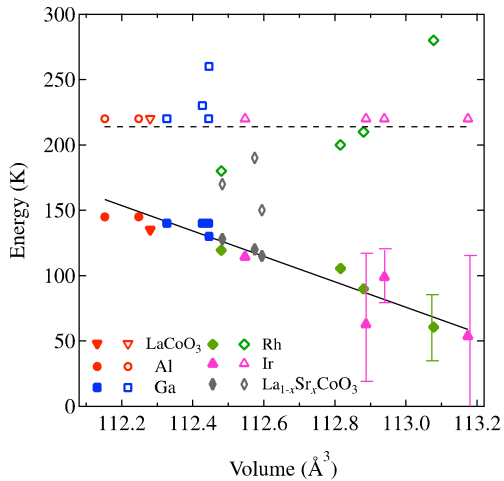


図5  $\Delta_I$  (full symbols),  $\Delta_{II}$  (open symbols) の格子体積依存性

## (2) $\text{LaCoO}_3$ のスピントラnsfer

(1)の結果に基づき、 $\text{LaCoO}_3$ の温度誘起スピントラnsferについて以下の描像を得た。最低温度において、 $\text{Co}^{3+}$ イオンはすべて低スピン(LS)状態にある。30K程度に温度が上昇すると $\text{Co}^{3+}$ のLS状態から高スピン(HS)状態への熱的励起が始まる。しかしながら、HS状態間には強い反発力があるために、HS状態への励起は互いに距離が離れた $\text{Co}^{3+}$ イオンに限られる。その結果、高スピン状態に励起する $\text{Co}^{3+}$ イオンの数は15%程度に留まる。さらに100K程度に温度が上昇すると、LS状態にとどまっていた残りの $\text{Co}^{3+}$ イオンはHSではなく中間スピン(IS)状態へと熱的に励起する。100K以上の温度領域でHSとISの共存という非一様なスピン状態が実現するのはHS状態間の強い反発力に依ると考えられる。

(3) 強磁場磁歪の再解析と磁場誘起の強弾性  
 $\text{LaCoO}_3$ の体積磁歪は基底状態の非磁性スピン状態と磁性励起状態の最適格子体積が異なることに起因する。1種類の $\text{Co}^{3+}$ を仮定すると、磁歪の観測結果は磁化、音速等の他の諸物性と矛盾なく説明することができなかった<sup>16)</sup>。本研究では、2種類の $\text{Co}^{3+}$ ( $\text{Co}_I$ と $\text{Co}_{II}$ )を含む模型に基づき強磁場磁歪の再解析を行った。その結果、他の諸物性と矛盾なく理解できることが判明した。さらに、100K以上の高温で観測される縦磁

歪の磁場に対する遅れた応答やヒステリシスから、磁場により結晶ドメイン配向が変化することを明らかにした。この成果は、本研究が磁場による双晶制御とそれによる強弾性という工学的展開に繋がる可能性を示している。

## (4) 関連する研究

①  $\text{LaCoO}_3$ のコンプトン散乱による研究  
 コンプトン散乱は、運動量空間での電子密度を実験的に求める手法の1つである。Spring8において $\text{LaCoO}_3$ 単結晶によるコンプトン散乱実験を行い、100Kスピントラnsferに伴い電子密度の対称性が $d_x$ 軌道から $d_y$ 軌道に変化することを明らかにした。これはスピントラnsferがCo-3d電子の $d_x$ 軌道から $d_y$ 軌道への遷移に依ることを直接的に示すものである。又、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ を対象に磁気コンプトン散乱実験を行い、磁気モーメントのスピン成分と軌道成分の分離に関する予備的解析が進行した。

## ② $\text{Pr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_3$ の磁性

$\text{PrCoO}_3$ では、 $\text{Pr}^{3+}$ は非磁性状態を基底状態とするVan Vleck常磁性を示すが、Yの導入とともにCurie-Weiss常磁性を示すことを明らかにした。この変化は、 $x=0$ で基底状態が非磁性の $(4f)^2$ 電子配置であった $\text{Pr}^{3+}$ が、Y導入に伴い、Co-O分子軌道からホールを受け取り磁性状態である $(4f)^1$ になることで説明できる。このホール移動は、 $\text{Pr-4f}$ と $\text{Co-3d}$ が酸素を介して強く混成していることを示唆する。このようにY導入により4f電子の磁性が変化するのは、Aサイトの希土類元素がPrでBサイトがCoの場合のみである。なお、この系において $\text{Co}^{3+}$ はLS状態である。

## ③ $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$ (M = Ca, Sr, and Ba)の電荷整列に伴う磁気異常

申請者等は、本研究の開始以前に $\text{LaFeO}_3$ にholeを導入した時に100K近傍で磁気異常が生じることを発見していたが、その機構は不明であった。本研究の研究期間中に単結晶作成に成功した。磁化測定の結果、この磁気異常は $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$  (M = Ca, Sr, and Ba)の100K以下で起こる電荷整列に伴う現象であるという提案をした。本研究の対象である $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ でのholeの振る舞いとその磁性への関与との比較に於いて興味のある現象である。

## References

- /1/ Heikes et al., Physica **30** (1964) 1600.
- /2/ Asai et al., PRB **40** (1989) 10982; Asai et al., ibid. **50** (1994) 3025.
- /3/ Itoh et al., JPSJ **64** (1995) 3967.
- /4/ Asai et al., JPSJ **66** (1997) 967.
- /5/ Abbate et al., PRB **47** (1993) 16124 他.
- /6/ Korotin et al., PRB **54** (1996) 5309 他.



- /7/ Asai et al., JPSJ **67** (1998) 290.  
 /8/ Maris et al., PRB **67** (2003) 224423.  
 /9/ Ishikawa et al., PRL **93** (2004) 136401.  
 /10/ Naing et al., JPSJ **75** (2006) 08460.  
 /11/ Kobayashi et al., PRB **72** (2005) 174405.  
 /12/ Noguchi et al., PRB **66** (2002) 094404.  
 /13/ Podlesnyak et al., PRL **97** (2006) 247208.  
 /14/ Sato et al., JPSJ **89** (2009) 093702; Sato et al. *ibid.* **80** (2011) 104702.  
 /15/ Tanabe and Sugano, JPSJ **9** (1954) 766.  
 /16/ Sato et al., JPSJ **77** (2008) 024601.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① K. Sato, A. Matsuo, K. Kindo, Y. Hara, K. Nakaoka, Y. Kobayashi, and K. Asai, Field-Induced Spin-State Transition in  $\text{LaCo}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_3$  ( $\text{M} = \text{Al, Ga, Rh, and Ir}$ ), J. Phys. Soc. Jpn., vol. 83, 2014, 114712-1 ~ -10. 査読有  
 DOI: 10.7566/JPSJ.83.114712
- ② Y. Kobayashi, Y. Terakado, and K. Asai, Change in Pr-4f Ground State in  $\text{Pr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_3$ , J. Phys. Soc. Jpn., vol. 83, 2014, 104704-1 ~ -5. 査読有  
 DOI: 10.7566/JPSJ.83.104704
- ③ Y. Nakamae, S. Ishida, W. Takemura, M. Ohno, A. Okada, T. Mitsui, Y. Kobayashi, J. Nakamura, and K. Asai, Magnetic Anomaly of  $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$  ( $\text{M} = \text{Ca, Sr, and Ba}$ ) around 100 K, J. Phys. Soc. Jpn., vol. 83, 2014, 063701-1 ~ -4. 査読有  
 DOI: 10.7566/JPSJ.83.063701

[学会発表] (計 21 件)

- ① 皆川桂太, 中村麻紀, 佐藤桂輔, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 小林義彦, 浅井吉蔵, 単結晶  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  ( $x = 0.2$ ) の磁歪の結晶方位依存, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月24日, 早稲田大学早稲田キャンパス (東京)
- ② 大橋優貴, 佐藤桂輔, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 小林義彦, 浅井吉蔵, 多結晶  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  の磁歪, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月24日, 早稲田大学早稲田キャンパス (東京)
- ③ 小林義彦, 櫻井吉晴, 伊藤真義, 佐藤桂輔, 浅井吉蔵, コンプトン散乱による  $\text{LaCoO}_3$  のスピン転移の研究II, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学早稲田キャンパス (東京)
- ④ 浅井吉蔵, スピנקロスオーバー現象の歴史と現状, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月9日, 中部大学春日井キャンパス (春日井市)

- ⑤ 市川拓, 佐藤桂輔, 松尾晶, 金道浩一, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 小林義彦, 浅井吉蔵,  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Te}_x\text{O}_3$  における強磁場誘起スピン転移, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月9日, 中部大学春日井キャンパス (春日井市)
- ⑥ 岡田陸, 田路智也, 大川万里生, 達大樹, 吉田鉄平, 小林義彦, 寺門悠樹, 浅井吉蔵, Xeniya Kozina, 池永英司, 大橋治彦, 山崎裕史, 崎泰久, 坂井延寿, 組頭広志, 浜田典昭, 齋藤智彦,  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$  の電子構造: HX-PES とバンド計算の比較, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月7日, 中部大学春日井キャンパス (春日井市)
- ⑦ 皆川桂太, 佐藤桂輔, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 浅井吉蔵, 小林義彦, 単結晶  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  ( $x=0.2$ ) の応力歪み特性の結晶方位依存, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月7日, 中部大学春日井キャンパス (春日井市)
- ⑧ 大橋優貴, 佐藤桂輔, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 浅井吉蔵, 小林義彦, ナノサイズ多結晶  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  ( $x=0.2$ ) の磁気特性, 日本物理学会2014年秋季大会, 2014年9月7日, 中部大学春日井キャンパス (春日井市)
- ⑨ 岡田陸, 田路智也, 大川万里生, 和達大樹, 吉田鉄平, 小林義彦, 寺門悠樹, 浅井吉蔵, Xeniya Kozina, 池永英司, 坂井延寿, 組頭広志, 仲武昌史, 生天目博文, 谷口雅樹, 齋藤智彦,  $\text{LaCo}_{1-x}\text{Rh}_x\text{O}_3$  の光電子分光, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学湘南キャンパス (平塚市)
- ⑩ 中前雄貴, 岡田晃正, 大野正敏, 小林義彦, 中村仁, 浅井吉蔵,  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  の100K 付近の磁気異常の単結晶試料による研究, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学湘南キャンパス (平塚市)
- ⑪ 竹村航, 石田周, 大野正敏, 三井俊宏, 小林義彦, 中村仁, 浅井吉蔵,  $\text{RE}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$  ( $\text{RE}=\text{La, Pr}$ ;  $\text{M}=\text{Sr, Ca, Ba}$ ) の100K 近傍での磁気異常, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学湘南キャンパス (平塚市)
- ⑫ 佐藤健, 礪本航, 岩澤貴司, 小林利章, 小林義彦, 中村仁, 浅井吉蔵, 磁化及び超音波測定によるペロブスカイト系Co酸化物のスピン転移の研究, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月28日, 東海大学湘南キャンパス (平塚市)
- ⑬ 小林義彦, 佐藤桂輔, 櫻井吉晴, 伊藤真義, 浅井吉蔵,  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  の磁気コンプトン散乱, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月27日, 東海大学湘南キャンパス (平塚市)
- ⑭ 佐藤桂輔, 松尾晶, 金道浩一, 佐藤健, 小林義彦, 浅井吉蔵, 希薄不純物置換  $\text{LaCoO}_3$  系の磁場誘起スピン転移, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学東広島キャンパス (東広島市)

- ⑮ 小林義彦, 櫻井吉晴, 伊藤真義, 浅井吉蔵, コンプトン散乱による $\text{LaCoO}_3$ のスピン転移の研究, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学東広島キャンパス (東広島市)
- ⑯ 寺門悠樹, 小薄雅也, 小林義彦, 浅井吉蔵,  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_3$ の磁性と電気伝導II, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学東広島キャンパス (東広島市)
- ⑰ 中村麻紀, 佐藤桂輔, 原嘉昭, 中岡鑑一郎, 岩澤貴司, 木原工, 小林義彦, 徳永将史, 浅井吉蔵,  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ の磁気形状記憶効果, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月27日, 広島大学東広島キャンパス (東広島市)
- ⑱ 高澤大輔, 大澤明弘, 宮田全展, 中村仁, 溝口森二, 浅井吉蔵,  $\text{Y}_3\text{Fe}_{5-x}\text{R}_x\text{O}_{12}$  ( $\text{R} = \text{Al}, \text{Si}, \text{Ga}, \text{Ge}$ )中の $^{57}\text{Fe}$ -NMR, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月26日, 広島大学東広島キャンパス (東広島市)
- ⑲ Y. Terakado, Y. Kobayashi, and K. Asai, Magnetic and electric properties of  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_3$ , The 2nd International Conference of AUMS/ The Asian Union of Magnetic Societies, 2012年10月4日, Nara Prefectural New Public Hall (奈良市)
- ⑳ N. Arai, S. Enoshita, S. Ishida, Y. Kobayashi, K. Abe, J. Nakamura, and K. Asai, The 2nd International Conference of AUMS/ The Asian Union of Magnetic Societies, 2012年10月4日, Nara Prefectural New Public Hall (奈良市)
- ㉑ 寺門悠樹, 小林義彦, 浅井吉蔵,  $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_3$ の磁性と電気伝導, 日本物理学会2012年秋季大会, 2012年9月21日, 横浜国立大学常盤台キャンパス (横浜市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

[その他]  
(解説)

- ①浅井吉蔵, 小林義彦, 佐藤桂輔, ペロブスカイト型  $\text{Co}$  酸化物のスピンクロスオーバー現象: その歴史と現状, 日本物理学会誌, 査読有, vol. 70, no. 1, 2015, 6 - 13.

(博士学位論文)

- ① 佐藤桂輔,  $\text{LaCoO}_3$ における  $\text{Co}^{3+}$ スピン状態の強磁場物性による研究 (2015年3月) 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 先進理工学専攻

(修士学位論文)

- ① 竹村航, 単結晶試料による  $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ の磁性研究 (2015年3月) 電気通信大学大学院 情報理工学研究科 先進理工学専攻

- ② 岡田晃正,  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ の単結晶作製及び磁性研究 (2015年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ③ 磯本航, 超音波測定による  $\text{RECoO}_3$ のスピン状態の研究 ( $\text{RE} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ) (2014年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ④ 中前雄貴, 単結晶試料による  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$ の磁性の研究(2014年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ⑤ 大野正敏,  $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$  ( $\text{M} = \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba}$ )の磁性と電気伝導(2014年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ⑥ 佐藤健, 磁化及び超音波測定による  $\text{LaCo}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_3$  ( $\text{M} = \text{Al}, \text{Ga}$ )のスピン転移の研究 (2014年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ⑦ 大澤明弘, 元素置換したイトリウム鉄ガーネットの NMR による研究 (2013年3月) 同大学院 同研究科 同専攻
- ⑧ 石田周,  $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{FeO}_3$  ( $\text{M} = \text{Sr}, \text{Ca}$ )の磁性 (2013年3月) 同大学院 同研究科 同専攻

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅井 吉蔵 (ASAI, Kichizo)  
電気通信大学・情報理工学 (系) 研究科・教授  
研究者番号: 00109795

### (2) 研究分担者

佐藤 桂輔 (SATO, Keisuke)  
茨城工業高等専門学校・その他部局等・講師  
研究者番号: 10418212

小林 義彦 (KOBAYASHI, Yoshihiko)  
東京医科大学・医学部・講師  
研究者番号: 60293122

中村 仁 (NAKAMURA, Jin)  
電気通信大学・情報理工学 (系) 研究科・准教授  
研究者番号: 50313416

### (3) 連携研究者

金道 浩一 (KINDO, Koichi)  
東京大学・物性研究所・教授  
研究者番号: 20205058