

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20540332

研究課題名（和文）

イットリウム鉄ガーネットにおける異常な電気磁気効果出現機構のNMRによる研究

研究課題名（英文）

Study on the Anomalous Magnetoelectric Effect of Yttrium Iron Garnet by ^{57}Fe NMR

研究代表者

浅井 吉蔵 (ASAI KICHIZO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00109795

研究成果の概要（和文）：

本研究は、イットリウム鉄ガーネット(YIG)に於ける特異な電気磁気効果の解明を目的とした。YIGの300 K以下で観測されるDebye型の磁気緩和・誘電緩和は共に酸素欠損に伴う Fe^{2+} により生じること、16aサイトでは4 Kに於いても電子移動による Fe^{2+} と Fe^{3+} の交換のあることが判明した。本研究の結果は、YIGの特異な電気磁気効果が、16aサイトを占める Fe^{2+} による磁気異方性と電気分極の相関に起因することを示唆する。

研究成果の概要（英文）：

The present study aims to elucidate the anomalous magneto-electric effect in yttrium iron garnet (YIG). The Debye-type magnetic and electric relaxations observed below 300 K both arise from Fe^{2+} accompanied by oxygen vacancies in YIG. It has been found that the charge transfer among 16a sites persists down to 4 K resulting in the valence fluctuation between Fe^{2+} and Fe^{3+} . A correlation between the magnetic anisotropy and the electric polarization arising from Fe^{2+} in 16a sites is suggested to be the origin of the anomalous magneto-electric effect in YIG.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：物性物理（磁性）

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：(1) 磁気緩和、(2) 誘電緩和、(3) デバイ緩和、(4) 酸素欠損、(5) 磁気余効、
(6) ^{57}Fe NMR、(7) 電気磁気効果、(8) マルチフェロイック

1. 研究開始当初の背景

(1) 磁気秩序と強誘電性の共存する強磁性・強誘電体は、複数の強制的秩序が発現する機構の探索という理学的興味と、電気磁気効果を介して電場により磁化を制御(もしくは磁場により電気分極を制御)するというデバイス応用への可能性から近年盛ん

に研究されている。磁性と誘電性の相互作用である電気磁気効果(ME効果)は、古くから興味をもたれており(P. Curie: 1894)、1960年代以降、磁気点群を調べる手法として研究されてきた。しかしながら、電子状態にまで立ち入った立場で、磁気秩序と強誘電性が共

存する条件、ならびに ME 効果の機構の解明を行った研究は多くはない。

- (2) 申請者は、強磁性・強誘電性共存(マルチフェロイック)の可能性を求めて、複合ペロブスカイト酸化物 (La-Bi)Mn_{0.5}Ni_{0.5}O₃ の研究を行ったが、研究の過程で、磁氣的転移温度がより高かつ単結晶試料作成が可能な系の研究が有望であると考え、その候補としてガーネットに着目した。
- (3) 近・白鳥・喜多らは、磁気秩序温度が 560 K の collinear なフェリ磁性体であるイットリウム鉄ガーネット (YIG) において、130 K 以下で 1 次の ME 効果を観測した。[Ogawa *et al.*, JPSJ **56** (1987) 452] 1 次の ME 効果の発現には、時間反転対称性と空間反転対称性が同時に破れる必要があることから、著者等は 130 K 付近での cubic から triclinic への構造相転移を提案した。しかし、構造解析、メスバウア分光、誘電率測定では 130 K 付近で何らの構造相転移を示唆する異常が観測されなかった。更に、ME 効果には試料依存性があり、ME 効果の大きさと電気抵抗の大きさに相関のあることが判明し、著者は、130 K 以下の 1 次の ME 効果は、結晶の不純物 (主として酸素欠陥) に由来するという結論に至った。[Hirakawa *et al.*, JPSJ **60** (1991) 294, J. Magn. & Magn. Mater. **104-107** (1992) 449, Takano *et al.* Ferroelectrics. **161** (1994) 73]
- (4) YIG における 1 次の ME 効果の原因が酸素欠陥とすることに決定的な実験的根拠が乏しく、又、酸素欠陥が原因であるにせよ、どのような機構でマクロな電気分極を発生させているのかは明らかでない。

2. 研究の目的

当初の本研究の目的は、(1) YIG に 1 次の ME 効果を発現させる原因が不純物 (原子の anti-site 占有や vacancy を含む) であるかどうか、(2) 原因となる不純物の同定と不純物がマクロな電気分極を発生する機構、(3) Bi 等の元素置換がこの物質の誘電特性と ME 効果に及ぼす効果を磁気緩和、誘電緩和の測定に加え、⁵⁷Fe NMR を行うことにより微視的な観点から明らかにすることであった。

3. 研究の方法

当初、酸素欠陥量を制御した単結晶での磁気・誘電緩和と ⁵⁷Fe NMR 測定を計画したが、YIG に導入可能な酸素欠陥量が極めて少量であること、単結晶では再現性のある酸素量の制御が困難であることが判明したので、多結晶試料を用いた研究が主となった。

(1) 試料作製

固相反応法による純粋、又は元素置換をした YIG 多結晶の作製、赤外線集中加熱炉による単結晶試料の作製を行った。

(2) 磁気緩和、誘電緩和の測定

焼成時の雰囲気制御、及び Ca²⁺添加により、酸素欠損量と Fe の価数を制御した試料につき以下の測定を行った。

① 誘電緩和

LCR メータにより誘電率と誘電損失を 80~300K の温度範囲で測定した。測定周波数は 3kHz~1MHz。

② 磁気緩和

PPMS により複素交流磁化を 4~300K の温度範囲で測定した。測定周波数は 10 Hz~10 kHz。

(3) ⁵⁷Fe NMR

純粋、又は元素置換した YIG について ⁵⁷Fe NMR 測定を行った。Al³⁺、Ce³⁺、Pr³⁺、Nd³⁺置換では ⁵⁷Fe 超微細磁場 (H_{hf}) に対する元素置換効果から YIG 中の磁氣的相互作用に関する知見を得ること、Si⁴⁺置換では、磁気緩和や誘電緩和に関係すると考えられる Fe²⁺の振る舞いを核磁気緩和から評価することを目的とした。

4. 研究成果

(1) YIG 多結晶、単結晶試料の作製と評価

① 元素置換をした YIG の作製

固相反応法により、Al, Ce, Pr, Nd, Si で置換した多結晶試料を作製し、X 線回折、EPMA、磁化測定により、目的とする単相の試料を得たことを確認した。

② 酸素欠陥量最大量の決定

固相反応法で得た YIG 結晶と還元材としての Fe 粉末を石英管に真空封入し、還元処理を行った。その結果、酸素欠陥量は Y₃Fe₅O_{12-δ}としてδの最大が 0.01 程度であること、さらに還元を試みると YIG は YFeO₃ と FeO_x に分解することを明らかにした。

③ YIG 単結晶試料の作製

赤外線集中加熱炉により行った。YIG は分解溶融型 (incongruent melt) であるので Fe : Y = 15:85 (モル比) の融帯を用意し、Traveling Solvent Floating Zone (TSFZ) 法を行った。当初、安定な液相浮遊帯の維持が困難であったが、原料多結晶 YIG の高密度化、融帯と固相界面近傍における熱勾配の急峻化等、融帯が拡散するのを防ぐための措置を行い、単結晶の育成に成功した。

LAUE 像、TOPO 像 (KEK 放射光施設) で、純良な単結晶であることを確認した。

(2) 誘電緩和・磁気緩和

① 単結晶 YIG による研究

交流磁化率・誘電率には、共に Debye 型の緩和が見られた(図 1). 両緩和の大きさには試料依存性があり、磁気損失の大きい試料(#S3)では誘電損失も大きいという結果、即ち、両緩和の原因が共通であることを示唆する結果が得られた.

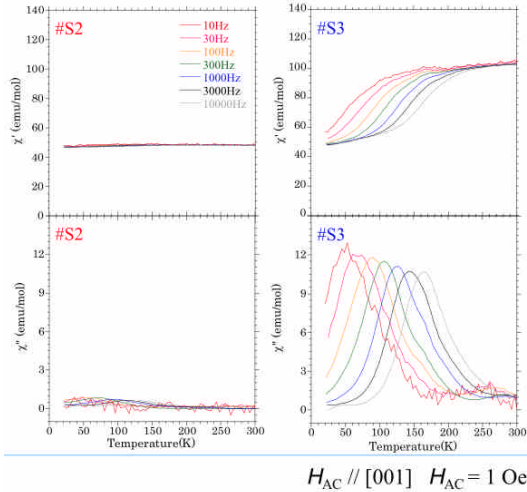


図 1 YIG 単結晶の交流磁化率

交流磁化率について、拡張した Debye モデル[(1)式]による解析を行った.

$$\chi^* = \chi_\infty + \frac{\chi_0 - \chi_\infty}{1 + (i\omega\tau_0)^\beta} \quad (1)$$

実部 χ' と虚部 χ'' は Cole-Cole plot の円弧にのり(図 2), 緩和時間 τ_0 とその分布巾(の逆数) β を求めた.

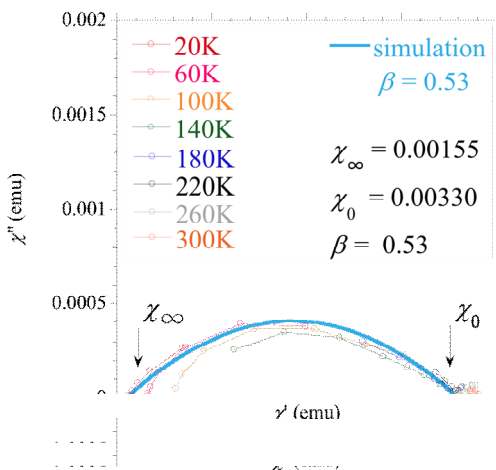


図 2 交流磁化率の Cole-Cole plot

緩和時間は 100 K 以上では熱活性型であったが、低温では温度変化が小さくなった.(図 3) この温度変化の概略は本研究進行中に出された他グループによる結果 [Y. Kohara *et al.* Phys. Rev. B **82** 104419

(2010)] と一致する.

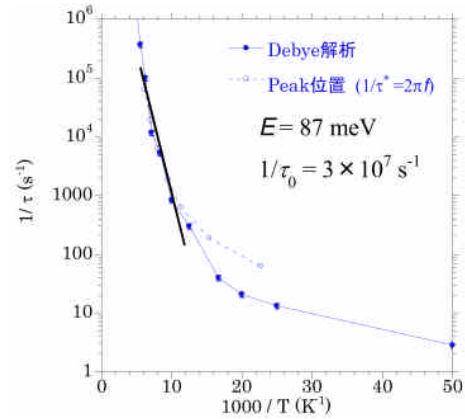


図 3 緩和率の Arrhenius plot

誘電率・交流磁化率の両緩和と酸素欠損の関係を明らかにするために単結晶試料を O_2 ガス中, N_2 ガス中 $1300^\circ C$ 48 時間の熱処理を数回行ったが、単結晶試料では再現性のある効果を認めることが出来なかった.

② 多結晶 YIG による研究

多結晶 YIG では, N_2 中で熱処理 ($1300^\circ C$ 48 時間) を行った試料では、磁気緩和、誘電緩和共に損失が増大し、単結晶 #S3 と同様の振る舞い(図 1)を示した. 又、 N_2 ガス中で熱処理した試料に対し、再度 O_2 ガス中で熱処理を施すと損失が減少した. 従って、酸素欠損、又はそれに伴う Fe^{2+} が磁気緩和、誘電緩和の原因であることが明らかになった.

③ 多結晶 $Y_{1-x}Ca_xFe_5O_{12}$ による研究

磁気・誘電両緩和の原因が、酸素欠損そのものであるか、欠損に伴う Fe^{2+} であるのかを明らかにすることを目的に Y^{3+} を Ca^{2+} に置換した $Y_{3-x}Ca_xFe_5O_{12}$ ($0.005 \leq x \leq 0.1$) の磁気緩和と誘電緩和を調べた.(図 4)

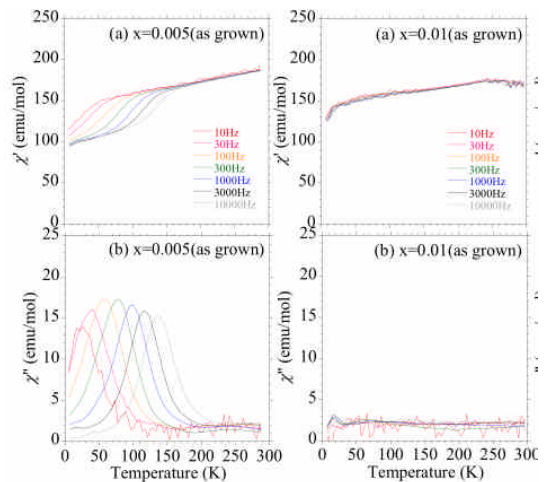


図 4 (a) $Y_{3-x}Ca_xFe_5O_{12}$ の磁気緩和

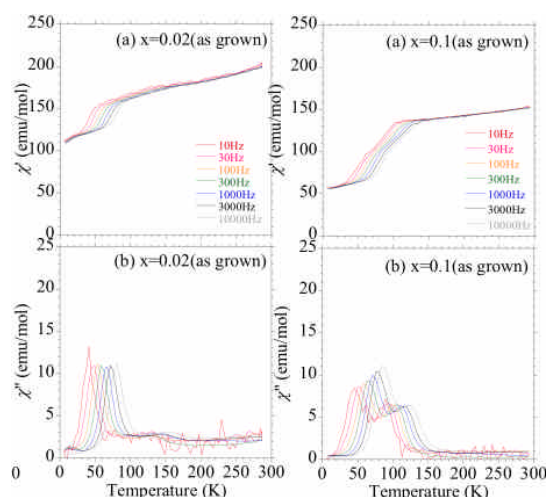


図 4 (b) $Y_{3-x}Ca_xFe_5O_{12}$ の磁気緩和

$x=0.005$ では置換の無い YIG に類似した磁気緩和を観測したが、 $x=0.01$ では緩和は無くなり [図 4(a)], $x=0.02$ 以上では 60 K に磁気損失が現れるという $x \leq 0.01$ とは全く異なる緩和を観測した [図 4(b)]. 又、 $x=0.02$ 試料に N_2 雰囲気熱処理を施すと YIG 型の緩和に戻った。

これらの結果から Ca^{2+} 置換 YIG では、 $x=0.01$ 程度で酸素欠損による Fe^{2+} が補償され、 $x=0.02$ では Fe^{4+} が導入されたと考えられる。又、 $x=0.02$ 試料の N_2 雰囲気熱処理では、酸素欠損の増大により Fe^{4+} が Fe^{2+} にまで還元されたと理解できる。誘電緩和でも磁気緩和と同様の結果が得られた。なお、 $x > 0.02$ では N_2 雰囲気熱処理の効果は認められなかった。

以上、本研究により、YIG の誘電・磁気緩和 (損失) の起源は酸素欠損に伴う Fe^{2+} であることが明らかになった。本研究の結果は、YIG の特異な電気磁気効果が、16a サイトを占める Fe^{2+} による磁気異方性と電気分極の相関に起因することを示唆するものと考えられる。

(3) ^{57}Fe NMR (図 5)

① 元素置換のない YIG

64.96 MHz [図 5(a)], 及び 75.12 MHz と 76.13 MHz とその中間領域 [図 5(b)] に ^{57}Fe NMR 信号を観測した。前者の超微細磁場 (H_{hf}) の大きさは 47.1 T で 4 面体位置を占める Fe^{3+} 中 ^{57}Fe に典型的な値であり、24d サイト ^{57}Fe に由来する信号と同定した。一方、後者の H_{hf} の大きさは 55.0 T (平均) で 8 面体位置を占める Fe^{3+} 中 ^{57}Fe に典型的な値であり、16a サイト ^{57}Fe に由来する信号と同定した。なお、外部磁場印加により前者は -47.1 T, 後者は +55.0 T と符号を決め、(YIG の net の磁化の方向を正とした) 上記の同定が正しいことを確認した。YIG の磁化容易軸は $\langle 111 \rangle$ であり、16a サイトの主軸は $\langle 111 \rangle$ の 1 つで 4 方向がある。

従って、16a サイトでは主軸が磁化方向と一致するサイトとそうではないサイトで NMR スペクトルは分裂する。観測された分裂巾 (~ 1 MHz) は隣接する 24d サイト Fe^{3+} からの dipole field によるものとして説明できた。なお、16a サイトの主軸 $\langle 100 \rangle$ は磁化方向に対して等価であるのでスペクトルに分裂は無い。

② Al 置換した YIG

Al^{3+} は 24d サイトの Fe^{3+} を置換する。16a サイト NMR スペクトル [図 5(b)] では、置換前に 75.12 MHz と 76.13 MHz にあった 2 つのピークは共に 0.13 MHz 程度 ($|\Delta H_{hf}| = 0.09$ T に相当) 低周波数側にシフトし、更に低周波数側に顕著な裾が現れた。このピークシフト及び低周波数側の裾は、Al 置換により 24d サイト Fe^{3+} からの dipole field の一部が消失したことでは説明できない。一般に局在電子系酸化物磁性体では、隣接する磁性イオンから酸素を通した supertransferred hyperfine magnetic field (H_{sthf}) がある。YIG の場合、16a サイトを占める原子核には 6 個の最隣接 24d サイトの Fe^{3+} から + 方向の H_{sthf} があり、Al 置換によりそれが無くなると 16a サイトの H_{hf} の値が減少することが考えられる。実験結果は共鳴周波数が減少するという意味でこの考察結果と一致するが、24d サイトのランダムな置換から期待されるスペクトル形状とは異なる。

24d サイトの NMR スペクトルは [図 5(a)], 置換前に 64.96 MHz にあったピーク周波数は殆ど変わらずに低周波数側に裾をひく。この振る舞いも、置換された Fe^{3+} からの dipole field, あるいは H_{sthf} の消失によるものとして説明できない。16a サイト, 24d サイト共, Al 置換による H_{hf} の変化を理解するには至らなかった。最近接を超えた超微細相互作用を取り込むことが必要であろう。

③ Si 置換した YIG

Si^{4+} は Al^{3+} と同様に 24d サイトの Fe^{3+} を置換するが、価数を補償するために Fe^{2+} が生じる。その影響を調べるために、 ^{57}Fe NMR 信号の横緩和時間の測定を行った。その結果、置換のない場合に 24d サイトでは 8.8 ms, 16a サイトでは 14 ms であった横緩和時間が、Si 置換 ($x=0.1$) した試料では、各々 3.4 ms, 1.6 ms となった。特に 16a サイトにおける横緩和時間の減少が著しい。この事柄は、 Fe^{2+} が 16a

サイトに生じ、NMRを観測している ^{57}Fe の属する Fe^{3+} との間に電子の交換があることを示唆する。即ち、本実験結果はNMRを観測している4Kに於いても16aサイトで Fe^{3+} 、 Fe^{2+} の交換が起こっていること、即ち、低温における Fe^{2+} 過剰電子が量子トンネリングで16aサイト間を移動していること[Y. Yamasaki *et al.* Phys. Rev. B **80** 140412 (2008); Y. Kohara *et al.* *ibid.* B **82** 104419 (2010)]を支持する。Si置換に依る H_{hf} の変化は置換濃度が低い($x=0.1$)のために定かではない。

④ Ce, Pr, Nd置換したYIG

Y^{3+} (24c) を置換する希土類元素イオン Ce^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Nd^{3+} はそれぞれ、 $2.54\mu_B$ 、 $3.58\mu_B$ 、 $3.62\mu_B$ の磁気モーメントを持ちそれらは低温ではYIGのnetの磁化に平行であると考えられている[Z. Cheng *et al.* J. Mater. Sci: Mater Electron (2008) 19:442-447]。16aサイト ^{57}Fe の H_{hf} に対する置換効果を見ると、(a) Ce ($x=0.3$)の場合、共鳴周波数のピークが約0.05 MHz減少する。(b) Pr ($x=0.5$)の場合、ピーク周波数は変わらずに高周波数側に裾をもつ。(c) Nd ($x=0.5$)の場合、殆ど変わらないという結果を得た。 Ce^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Nd^{3+} の磁化が共通して16aサイトの磁化に反平行であるにも拘らず、16aサイト ^{57}Fe の H_{hf} に及ぼす影響が異なる理由は不明である。なお、24dサイト ^{57}Fe の H_{hf} に対する置換効果は小さい。

以上、YIGに於ける ^{57}Fe NMRでは、 H_{hf} に対する元素置換効果から、YIG中の磁気的相互作用の知見を得るということは出来なかった。しかしながら、 Si^{4+} の置換により Fe^{2+} が出現し、4.2 Kに於いても16aサイトで Fe^{3+} 、 Fe^{2+} の交換が起こっているというYIGの誘電緩和と磁気緩和の機構に関する知見が得られた。

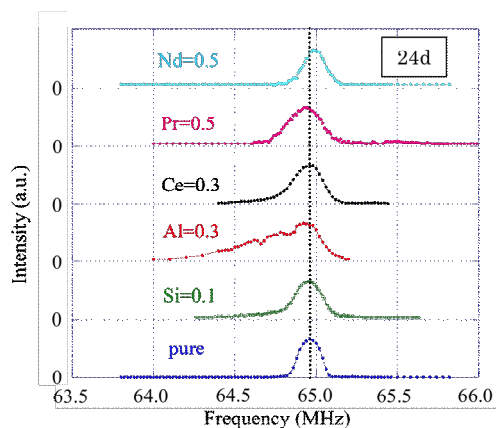


図5 (a) YIGの24dサイトの ^{57}Fe NMR

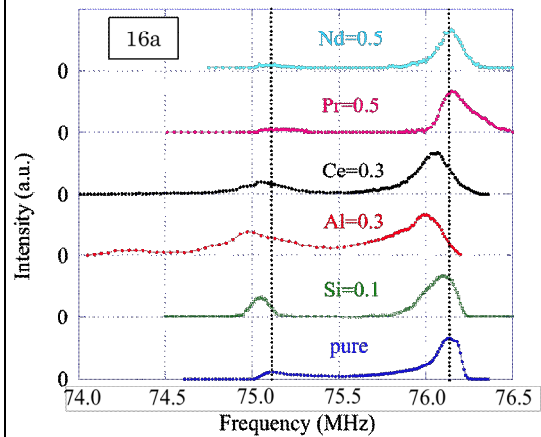


図5 (b) YIGの16aサイトの ^{57}Fe NMR

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Y. Kobayashi, M. Kamogawa, Y. Terakado, and K. Asai, “Magnetic Properties of the Double Perovskites ($\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x$) $_2\text{CoMo}_6$ with $M = \text{Sb, Nb, and Ta}$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) in press 査読あり.
- ② K. Sato, A. Matsuo, K. Kindo, Y. Kobayashi, and K. Asai, “Spin State of Co Ions in Lightly Doped Strontium LaCoO_3 : Via Study of High-Field Induced Spin State Transition”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 104702-1~6 (2011) 査読あり.
- ③ Y. Kobayashi, M. Iwata, T. Kaneko, K. Sato, K. Asai, and H. Ohsumi, “Extraordinary Hall effect in $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{RuO}_3$ films”, Phys. Rev. B **82**, 174430-1~6 (2010) 査読あり.
- ④ K. Asai, T. Kawakami, S. Enoshita, M. Shiozawa, and Y. Kobayashi, “ ^{55}Mn NMR in Ferromagnetic Double Perovskites $\text{La}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Mn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_3$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 114710-1~5 (2009) 査読あり.
- ⑤ K. Sato, A. Matsuo, K. Kindo, Y. Kobayashi, and K. Asai, “Field Induced Spin-State Transition in LaCoO_3 ”, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 093702-1~4 (2009) 査読あり.
- ⑥ Y. Kobayashi, T. Ohishi, T. Kaneko, M. Iwata, and K. Asai, “Crystal Structure of Six-Layer $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{RuO}_3$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 094601-1~5 (2009) 査読あり.
- ⑦ T. Horigane, T. Kobayashi, M.

Suzuki, K. Abe, K. Asai, and J. Akimitsu, "Significant softening of C_{66} and hidden order parameter in the magnetic ordered state of $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_4$ ($0.4 \leq x \leq 0.7$)", Phys. Rev. B **78**, 144108-1~6 (2008) 査読あり.

- ⑧ T. Kawakami, S. Enoshita, M. Komagawa, Y. Kobayashi, and K. Asai, "Hyperfine Magnetic Field at ^{55}Mn in Ferromagnetic Perovskites $\text{RE}\text{Mn}_{0.5}(\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x)_{0.5}\text{O}_3$ with RE = La, Pr, Nd, and Eu: RE Dependence of the Supertransferred Hyperfine Interaction", J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 094714-1~7 (2008) 査読あり.
- ⑨ Y. Kobayashi, M. Shiozawa, K. Sato, K. Abe, and K. Asai, "Crystal Structure, Magnetism, and Dielectric Properties of $\text{La}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ ", J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 084701-1~8 (2008) 査読あり.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 小林義彦, 寺門悠樹, 浅井吉蔵, 「 $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_3$ の磁性」, 日本物理学会2011年秋期大会, 富山大学, 2011年9月22日.
- ② 新井伸英, 小林義彦, 阿部浩二, 中村仁, 浅井吉蔵, 「イットリウム鉄ガーネットの誘電緩和と磁気緩和の試料依存性Ⅲ」, 日本物理学会第66回年次大会, 震災のためWebで公開 https://www.gakkai-web.net/gakkai/jps/jps_66program/index.html, 2011年3月.
- ③ 新井伸英, 原口数正, 榎下俊平, 小林義彦, 阿部浩二, 中村仁, 浅井吉蔵, 「イットリウム鉄ガーネットの誘電緩和と磁気緩和の試料依存性Ⅱ」, 日本物理学会2010年秋期大会, 大阪府立大学, 2010年9月25日.
- ④ 内田雅大, 小林義彦, 佐藤博彦, 大石克嘉, 増渕伸一, 浅井吉蔵, 風間重雄, 「 $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{CoO}_3$ ($x = 0 \sim 1.0$) の結晶構造と磁性」, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月20日.
- ⑤ 新井伸英, 榎下俊平, 小林義彦, 阿部浩二, 中村仁, 浅井吉蔵, 「イットリウム鉄ガーネットの誘電緩和と磁気緩和の試料依存性」, 日本物理学会2009年秋期大会, 熊本大学, 2009年9月27日.
- ⑥ 佐藤桂輔, 松尾晶, 金道浩一, 小林義彦, 浅井吉蔵, 「 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ における強磁場誘起スピン転移」, 日本物理学会2009年秋期大会, 熊本大学, 2009年9月27日.
- ⑦ 小林義彦, 新井伸英, 金子徹也, 浅井吉蔵, 「六層構造 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{RuO}_3$ の構造相転移」, 日本物理学会 2009 年秋期大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
- ⑧ 浅井吉蔵, 川上貴史, 榎下峻平, 鴨川征史, 塩沢正規, 小林義彦, 「 $\text{La}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Mn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_3$ の ^{55}Mn NMR」, 日本物理学会第 64 回年次大

会, 立教大学, 2009年3月28日.

- ⑨ 佐藤桂輔, 松尾晶, 金道浩一, 小林義彦, 浅井吉蔵, 「 LaCoO_3 における強磁場誘起スピン転移」, 日本物理学会第64回年次大会, 立教大学, 2009年3月27日.
- ⑩ 浅井吉蔵, 小林義彦, 川上貴史, 塩沢正規, 佐藤桂輔, 阿部浩二, 「ダブルペロブスカイト型強磁性体 $\text{La}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Mn}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_3$ の電気磁気効果と ^{55}Mn NMR」, 京都大学原子炉実験所専門研究会「短寿命核および放射線を用いた物性研究」, 京都大学原子炉実験所, 2008年11月20日.
- ⑪ 佐藤桂輔, 松尾晶, 徳永将史, 金道浩一, 小林義彦, 浅井吉蔵, 「 LaCoO_3 の強磁場物性」, 日本物理学会 2008 年秋期大会, 岩手大学, 2008 年 9 月 21 日.
- ⑫ 堀金和正, 小林利章, 鈴木勝, 阿部浩二, 浅井吉蔵, 秋光純, 「層状 Co 酸化物 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_4$ の超音波測定」, 日本物理学会 2008 年秋期大会, 岩手大学, 2008 年 9 月 20 日.

[その他] (計 3 件)

電気通信大学大学院 修士学位論文

- ① 大澤明弘
「元素置換したイットリウム鉄ガーネットの NMR による研究」(2012 年 3 月)
- ② 新井伸英
「イットリウム鉄ガーネットの誘電緩和と磁気緩和」(2011 年 3 月)
- ③ 榎下峻平
「イットリウム鉄ガーネット ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) の単結晶作製と電気磁気効果」(2009 年 3 月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 吉蔵 (ASAI KICHIZO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 00109795

(2) 研究分担者

阿部 浩二 (ABE KOUJI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 20183139

中村 仁 (NAKAMURA JIN)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号: 50313416

小林 義彦 (KOBAYASHI YOSHIHIKO)

東京医科大学・医学部・講師

研究者番号: 60293122