

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540383

研究課題名(和文)局所不均一性を導入した臨界点近傍の秩序相における相分離と外場制御

研究課題名(英文)Phase-separation and phase-control of the ordered state near the critical point by introducing the local inhomogeneity

研究代表者

桑原 英樹 (Kawahara, Hideki)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：90306986

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)： $3d_{x^2-y^2}$ 型軌道整列反強磁性相を持つNd $_{1-x}$ Sr $_x$ MnO $_3$ ($x=0.55$)単結晶試料を母物質として、そのMnサイトにZn,Cr,Fe,Ruなどの(非)磁性不純物を導入し、その軌道整列反強磁性非金属相と強磁性金属相の二相共存・分離状態について調べた。その結果、Cr不純物が強磁性金属相を安定化することを明らかにし、軌道整列反強磁性非金属相から強磁性金属相への相転移臨界磁場を劇的に減少させることに成功した。さらにFe不純物をドーブしたマルチフェロイック物質CaBa(Co $_{1-x}$ Fe $_x$) $_{407}$ 試料について、1.56(%)以上のFeドーブによってフェリ磁性及び電気分極が失われることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the Mn-site substitution effect in Nd $_{0.45}$ Sr $_{0.55}$ MnO $_3$ crystal, which has an A-type layered antiferromagnetic (A-AFM) phase with the $3d_{x^2-y^2}$ -type orbital-order. Substitution of Fe or Ga for Mn-site suppresses both the A-AFM order and competing ferromagnetic (FM) correlation, whereas Cr substitution suppresses only the A-AFM order but reactivates the underlying FM correlation via double-exchange mechanism. In Nd $_{0.45}$ Sr $_{0.55}$ Mn $_{0.95}$ Cr $_{0.05}$ O $_3$, the A-AFM state with the orbital-order is changed into the orbital-disordered three-dimensional FM metallic state by applying magnetic field of 12 T, which is much smaller than that of the parent compound. In addition, We have studied impurity-doping effect in multiferroic CaBa(Co $_{1-x}$ Fe $_x$) $_{407}$ with $0 < x < 0.25$. The magnetization curve shows that the magnetic moment sharply rises at 64K for $x = 0$ and 54K for $x = 0.005$, while it does not change for $0.0156 < x$. This result indicates that the ferrimagnetic state disappears above 0.0156.

研究分野：物質科学

キーワード：不純物置換 磁性 誘電性 結晶 酸化物 相転移 マルチフェロイック 磁場

1. 研究開始当初の背景

近年、高温超伝導体や重い電子系において、磁性と超伝導の共存または相分離が観測され、また擬二次元有機導体では電荷秩序と超伝導の共存が、さらに超巨大磁気抵抗(CMR)効果を示す Mn 酸化物においては電荷・軌道整列絶縁体相と強磁性金属相の共存がみられ、単なる格子の乱れの影響では無く、普遍的な性質としての「相分離・相共存」の問題の重要性がクローズアップされ、理論および実験の両面から精力的に研究が進められ、従来の均質系の物理から不均質系の物理への再構築が期待されている。

この相分離・相共存を誘起する不純物置換実験の本研究に関連する先行研究例として、CMR 効果を示す Mn 酸化物の Mn サイトを Cr で置換し、電荷整列相と強磁性相の二相共存状態を実現し、磁性と伝導特性に緩和現象を観測し、これら物性を外部磁場で制御することに成功した報告がある。しかしながら、母物質の電子軌道および磁気秩序状態に不純物を導入することによって局所的な電荷不均一、スピン状態の不均一、格子歪みを導入するだけでは、秩序相への相転移温度の低下や機能性・特性の劣化が見られるだけで、相分離・相共存に起因する新しい機能性を積極的に発現させることは困難であり、その成功例は多くない。

本研究の特長は、不純物置換によって局所不均一性を導入する前に、まず母物質のキャリア数およびバンド幅を精密に制御することによって、競合する異なる二つの秩序相境界(臨界点)近傍に物質系をチューニングした後、局所不均一性を導入する点にある。母物質を軌道整列(OO)相と強磁性金属(FM)相の相境界に制御し、その母物質に不純物置換することで二相分離・共存状態とその外場制御を研究することが可能となる。この点に関して、我々研究グループは、母物質として選んだペロブスカイト型 Mn 酸化物、“秩序型”Mn 酸化物、マルチフェロイック酸化物に関して研究実績があり、種々の興味ある相境界近傍に物質系を精密にチューニングする結晶試料作製技術を有している。

本研究はこのように従来得られている物質電子相図を最大限に活用し、さらに高次の物質設計、すなわち特定の結晶学的サイトを選択的に種々の役割を持たせた各種不純物で置換し、局所的な不均一性を導入することによって、その相分離・相共存を評価するだけにとどまらず、相分離・相共存に起因する機能性の発現と秩序相間の外場(磁場、電場、圧力)による制御に挑戦しようとする新しい試みである。

2. 研究の目的

本研究では、秩序相境界(臨界点)近傍の物質系の特定の結晶学的サイトを選択的に不純物置換し、局所的な不均一性(電荷、スピン状態、格子歪み)を導入することによって、

母物質の秩序相と競合する第二の秩序相を内包する物質系を合成し、その相分離・相共存に関連した外場下での新規物性の開拓、特にそのリラクサー的挙動を明らかにすることを目的とする。具体例の一つとして、Mn 酸化物の $3dx^2-y^2$ 型軌道整列反強磁性相における Mn サイトへの不純物置換実験があげられ、軌道整列反強磁性相と競合する強磁性金属相への磁場制御およびそのダイナミクスの検討を行う。

3. 研究の方法

- (1) $3dx^2-y^2$ 型軌道整列反強磁性相を持つ $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3(x=0.55)$ 単結晶試料を母物質として、その Mn サイトに Ga, Cr, Fe, Ru などの(非)磁性不純物を導入し、その軌道整列反強磁性非金属相と強磁性金属相の二相共存・分離状態および磁気リラクサー的挙動について検証する。
- (2) “秩序型”ペロブスカイト RBaMn_2O_6 (R は希土類)酸化物の R, Ba および Mn サイトのみを選択的に不純物置換し、電荷不均一、スピン状態不均一、局所格子歪みを導入し、“秩序化”で安定化された上記とは異なるタイプの電荷・軌道整列絶縁体相への不純物効果を調べる。
- (3) 新規マルチフェロイック物質 $\text{A}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$ (A =アルカリ土類)結晶およびその誘導体を母物質として、Co サイトに不純物を導入した系での誘電リラクサーの振る舞いを明らかにする。

4. 研究成果

まず最初に、基底状態に A 型反強磁性・ $3dx^2-y^2$ 軌道秩序相を持つ $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.55$) 結晶における Mn サイト不純物置換効果を検討し、以下の結果が得られた。概要に記述した Cr 以外の不純物として Ru を選択しその置換量を増加させると、A 型反強磁性・ $3dx^2-y^2$ 軌道秩序相を不安定化すると同時に、強磁性相関の発達が見られた。Ru を 10% 置換することにより全温度域で強磁性金属的振る舞いを示すことが分かった。さらに同結晶の Mn サイトを Ru で 5% だけ置換することによって、X 線構造解析の温度変化から A 型反強磁性・ $3dx^2-y^2$ 軌道秩序相と強磁性・軌道無秩序相の 2 相共存状態(2 相とも長距離秩序)が実現することが確認された。この 2 相共存の臨界状態を利用することにより 150K の比較的高い温度において、磁場印加によって約 80% 電気抵抗率が減少する巨大磁気抵抗効果(CMR 効果)の発現が見られた。

また、擬 2 次元の結晶構造(Ruddlesden-Popper 相)を持つ Mn 酸化物の Mn サイトに対しても Ru 置換効果を検討した。その結果、327 型(Mn2 重層)、214 型(Mn1 重層)の結晶構造を持つ物質に対しても Ru を置換することで強磁性相関の発達が見られた。その際、低温域におけるスピングラス相の増大が見られた。214 型構造においては、

反強磁性・ $3x^2-r^2/3y^2-r^2$ 軌道秩序相を乱す効果が観測された。

巨大磁気抵抗効果を示す Mn 酸化物から対象物質をさらに新規物質へと発展・展開すべく、過去に我々の研究室で発見した磁気誘起電気分極を示すマルチフェロイック物質である $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ に着目した。これまでの研究から、 $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ 結晶における磁気誘起電気分極は、二つの独立したメカニズムである *p-d hybridization* モデルと *spin current* モデルで説明できると考えられているが詳細はまだ明らかでない。そこで、本研究では $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ に不純物置換した各種単結晶試料を作製し、その磁気誘電特性の変化を調べて、 $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ におけるマルチフェロイック特性向上を目指した。

具体的には $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ 結晶試料の Co サイトへの Fe 置換、Ca 及び Ba サイトへの Sr 置換を行い、磁気特性・誘電特性の変化を調べた。これら系統的な実験の結果、以下の知見が得られた。

○ $\text{CaBa}(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0.25$) 結晶試料において、 $x = 0.50$ (%) でのフェリ磁性相転移温度、フェリ磁性と結合した誘電相転移温度の低下を観測した。また、 1.56 (%) $\leq x$ において、これら磁気・誘電相転移の消失が確認された。

○ $(\text{Ca}_{0.99}\text{Sr}_{0.01})\text{BaCo}_4\text{O}_7$ 結晶試料のマグネトキャパシタンスは最大 51(%) を観測し、母物質をわずかながら上回ることに成功した。同様に、 $\text{Ca}(\text{Ba}_{0.98}\text{Sr}_{0.02})\text{Co}_4\text{O}_7$ 結晶試料においてもマグネトキャパシタンスの向上を観測した。

○ $(\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x)\text{BaCo}_4\text{O}_7$ 結晶試料において、Y の置換量 x の増加とともにフェリ磁性転移温度が低温側にシフトし、それに伴って誘電率の変曲点と電気分極が立ち上がる温度も同様に低温側にシフトすることを見出した。 $x = 0.10$ 以上においては、磁化の立ち上がりが観測されなかったことから、フェリ磁性が失われたことが分かった。

さらに、典型的な強磁性金属相を持つ Mn 酸化物に関しては、酸化・還元雰囲気中でアニール処理し、酸素の局所不均一性を導入して、その磁氣的・電氣的特性の変化を調べた。その結果、還元処理により酸素欠損を導入すると、予想通りホール・キャリア濃度が減少し、二重交換相互作用による金属相が不安定となるため強磁性相転移温度 T_C が低くなるという結果が得られた。一方、酸化処理を行うとホール・キャリア濃度が増加し T_C が増大すると予想していたが、予想に反して過剰に導入された酸素が局所構造歪み、あるいは組成揺らぎをもたらし、 T_C が減少することを見出した。

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 17 件) 全て査読有り

1. "Magnetic control of transverse electric polarization in BiFeO_3 " M. Tokunaga, M. Akaki (2), T. Ito, S. Miyahara, A. Miyake, H. Kuwahara (6), 他 5 : Nat. Commun. **6**, 5878 (5pages) (2015). doi:10.1038/ncomms6878
2. "Effects of Mn substitution on the thermoelectric properties of the electron-doped perovskite $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ " H. Kuwahara (5), 他 6 : J. Phys.: Conf. Ser. **568**, 022035 (5pages) (2014). doi:10.1088/1742-6596/568/2/022035
3. "Interplay between Ferroelectric and Antiferromagnetic Phase Transitions in RbCoBr_3 " M. Akaki (5), H. Kuwahara (6), 他 6 : J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 114708 (8pages) (2014). doi:10.7566/JPSJ.83.114708
4. "Successive Magnetic Transitions of $\text{Ca}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$ in High Magnetic Fields" M. Akaki (1), H. Kuwahara (2), 他 3 : J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 093704 (4pages) (2014). doi:10.7566/JPSJ.83.093704
5. "Preparation of red-emitting Eu^{2+} -doped barium calcium silicon oxynitride by solid-state reaction and its luminescence properties" H. Morishita, A. C. A. Delsing, H. T. Hintzen, H. Kuwahara (4), 他 4 : Key Eng. Mat **617**, 149-152 (2014). doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.617.149
6. "Muon Spin Spectroscopy in Multiferroic $(\text{Cu,Zn})_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ " H. Kuroe, K. Aoki, T. Sato, R. Kino, H. Kuwahara (5), 他 13 : JPS Conf. Proc. **2**, 010206 (8pages) (2014). doi:10.7566/JPSCP.2.010206
7. "A Self-Emissivity-Controlling Radiator for Spacecrafts by Making Use of a Metal-Insulator Transition in Magnetoresistive Manganites" H. Kuwahara (3), 他 4: JPS Conf. Proc. **1**, 012005 (4pages) (2014). doi:10.7566/JPSCP.1.012005

8. "Reduction of critical field for magnetic and orbital-ordering phase transition in impurity-substituted $\text{Nd}_{0.45}\text{Sr}_{0.55}\text{MnO}_3$ crystal" Y. Izuchi, M. Akaki (2), D. Akahoshi (3), and H. Kuwahara (4) : APL Materials **2**, 022106 (7pages) (2014). doi:10.1063/1.4866050
 9. "Fabrication of transparent sintered $\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glass body by pressureless firing and hot isostatic pressing" H. Kuwahara (4), 他 4 : IOP Conf. Ser.: Mater. Science and Engineering **47**, 012024 (4pages) (2013). doi:10.1088/1757-899X/47/1/012024
 10. "Thermal, dielectric, and magnetic properties in multiferroic $\text{Cu}_{2.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Mo}_2\text{O}_9$ " H. Kuroe, K. Aoki, R. Itoh, T. Hosaka, T. Hasegawa, S. Hachiuma, M. Akaki (7), H. Kuwahara (8), 他 11 : J. Korean Phys. Soc. **63**, 542-545 (2013). doi:10.3938/jkps.63.542
 11. "Control of coexisting ferroelectric phases in RMnO_3 crystals with fine tuning of 4f moment" H. Kuwahara (5), and M. Akaki (6), 他 4 : J. Korean Phys. Soc. **63**, 504-507 (2013). doi:10.3938/jkps.63.504
 12. "Low-temperature thermoelectric properties of the electron-doped perovskites $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_{1-y}\text{Nb}_y\text{O}_3$ " M. Akaki (4), H. Kuwahara (5), 他 3 : J. Korean Phys. Soc. **63**, 428-432 (2013). doi:10.3938/jkps.63.428
 13. "Anisotropic magnetic properties in Åkermanite $\text{Sr}_2\text{MSi}_2\text{O}_7$ ($M=\text{Co}, \text{Mn}$) crystals" M. Akaki (1), H. Kuwahara (3), 他 3 : J. Korean Phys. Soc. **62**, 1812-1814 (2013). doi:10.3938/jkps.62.1812
 14. "High Magnetic Field Dependence of Magnetodielectric Properties in $\text{Sr}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$ Crystal" M. Akaki (1), H. Kuwahara (5), 他 3 : J. Low Temp. Phys. **170**, 291-295(2013). doi:10.1007/s10909-012-0796-z
 15. "Anisotropic magneto-transport properties of layered perovskite $\text{Sr}_3\text{Fe}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_{7-d}$ crystals" R. Nakamura, J. Tozawa, M. Akaki (3), D. Akahoshi (4), K. Itatani, and H. Kuwahara (6), 他 3 : J. Phys. Conf. Ser. **400**, 032060 (4pages) (2012). doi:10.1088/1742-6596/400/3/032060
 16. "Magnetolectric property in 3d transition metal oxide with tetrahedral structure" M. Akaki (3), H. Kuwahara (4), 他 2 : J. Phys. Conf. Ser. **400**, 032031 (4pages) (2012). doi:10.1088/1742-6596/400/3/032031
 17. "Multiferroic properties of an Åkermanite $\text{Sr}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$ single crystal in high magnetic fields" M. Akaki (1), H. Kuwahara (5), 他 3 : Phys. Rev. **B 86**, 060413(R) (4pages) (2012). doi:10.1103/PhysRevB.86.060413
- [学会発表] (計 28 件)
- 1." ABaM_4O_7 ($A=(\text{Ca}, \text{Y}), M=(\text{Co}, \text{Fe})$)単結晶における電気磁気特性"、2015年3月24日、梶原凌, 仁科康佑, 小田涼佑, 赤木暢, 桑原英樹、日本物理学会第70回年次大会、早稲田大学(東京都新宿区)
 - 2." $\text{Ba}_2\text{Ti}_{13}\text{O}_{22}$ の電子相転移とバナジウムドーピング"、2015年3月23日、小西孝彦, 桑原英樹, 仁科康佑, 勝藤拓郎、日本物理学会第70回年次大会、早稲田大学(東京都新宿区)
 - 3."一次元磁性体 $\text{BaCo}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の強磁場磁化過程"、2015年3月21日、赤木暢, 奥谷顕, 吉澤大智, 桑原英樹, 萩原政幸、日本物理学会第70回年次大会、早稲田大学(東京都新宿区)
 - 4."熱制御用マンガン酸化物結晶のバンド・フィリング制御"、2015年3月12日、村上良明, 太刀川純孝, 齋藤智彦, 桑原英樹、第62回応用物理学会春季学術講演会、東海大学(神奈川県平塚市)
 - 5."一次元磁性体 $\text{BaCo}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の強磁場物性"、2014年12月4日、赤木暢, 奥谷顕, 吉澤大智, 桑原英樹, 萩原政幸、強磁場科学研究会「強磁場が切り拓く物質科学のフロンティア」、大阪大学(大阪府豊中市)

- 6."CaBaCo₄O₇ 単結晶における電気磁気特性の不純物置換効果"、2014年9月9日、仁科康佑、梶原凌、村上良明、加野直明、赤木暢、桑原英樹、日本物理学会2014年秋季大会、中部大学（愛知県春日井市）
- 7."軌道/電荷整列系 Ba_{1-x}Sr_xV₁₃O₁₈ 単結晶の物性"、2014年9月8日、掛巢佑、神崎達也、小西孝彦、桑原英樹、勝藤拓郎、日本物理学会2014年秋季大会、中部大学（愛知県春日井市）
- 8."Impurity-doping effects on magnetic and dielectric properties of CaBaCo₄O₇ crystals "、August 12, 2014、K. Nishina, K. Kano, R. Kajihara, Y. Murakami, M. Akaki, and H. Kuwahara、27th International Conference on Low Temperature Physics、Palais Rouge, Buenos Aires, (Argentina)
- 9."Nonmagnetic impurity substitution effects on multiferroic properties in distorted tetrahedral spin system "、August 12, 2014、H. Kuroe, Y. Hirata, K. Aoki, R. Kino, T. Sato, H. Kuwahara, T. Sekine, M. Hase, K. Oka, T. Ito, and H. Eisaki、27th International Conference on Low Temperature Physics、Palais Rouge, Buenos Aires, (Argentina)
- 10."Ca₂CoSi₂O₇ 結晶の強磁場磁化過程と電気磁気特性"、2014年3月27日、赤木暢、小濱芳允、桑原英樹、松尾晶、金道浩一、徳永将史、日本物理学会第69回年次大会、東海大学（神奈川県平塚市）
- 11."Mn 酸化物を用いた宇宙機用放射率可変素子(SRD)の開発(2)"、2013年9月26日、田中洸輔、太刀川純孝、桑原英樹、大川万里生、斉藤智彦、日本物理学会2013年秋季大会、徳島大学（徳島県徳島市）
- 12."CaBaCo₄O₇ 単結晶における電気磁気応答の異方性測定II"、2013年9月25日、加野直明、赤木暢、桑原英樹、日本物理学会2013年秋季大会、徳島大学（徳島県徳島市）
- 13."(Cu,Zn)₃(Mo,W)₂O₉ の誘電的性質"、2013年9月25日、木野亮、佐藤輔、青木謙人、黒江晴彦、関根智幸、桑原英樹、長谷正司、岡邦彦、伊藤利充、永崎洋、日本物理学会2013年秋季大会、徳島大学（徳島県徳島市）
- 14."Muon spin spectroscopy in multiferroic (Cu,Zn)₃Mo₂O₉"、Aug 9 - 12, 2013、H. Kuroe, K. Aoki, T. Sato, R. Kino, H. Kuwahara, T. Sekine, M. Hase, I. Kawasaki, T. Kawamata, T. Suzuki, I. Watanabe, K. Oka, T. Ito, and H. Eisaki、Science Explored by Ultra Muon、Matsue, (Japan)
- 15."A self-emissivity-controlling radiator for spacecrafts by making use of a metal-insulator transition in magnetoresistive manganites"、July 14 - 19, 2013、K. Tanaka, S. Tachikawa, H. Kuwahara, M. Okawa, and T. Saitoh、12th Asia Pacific Physics Conference、Chiba, (Japan)
- 16."Preparation of Eu²⁺-doped Barium Calcium Silicon Oxynitride and Luminescence Properties"、June 23 - 27, 2013、H. Morishita, S. Sumioka, H. T. Hintzen, Anne C. A. Delsing, H. Kuwahara, and K. Itatani、13th International Conference of the European Ceramic Society、Limoges, (France)
- 17."希土類付活酸窒化ケイ素カルシウムバリウムの調整と蛍光特性"、2013年6月7日、森下大也、住岡慎一郎、桑原英樹、H. T. Hintzen, A. C. A. Delsing, 板谷清司、無機マテリアル学会第126回学術講演会、船橋市民文化創造館（千葉県船橋市）
- 18."Ca₂CoSi₂O₇ 結晶における2次の電気磁気効果"、2013年3月27日、赤木暢、徳永将史、桑原英樹、日本物理学会第68回年次大会、広島大学（広島県東広島市）
- 19."Improving the Smart Radiation Device with perovskite Mn oxides"、November 8, 2012、K.Tanaka, S.Tachikawa, H.Kuwahara, and

- T.Saitoh, Hayama Aerospace workshop 2012, Ube Industries Hayama, Hayama (Japan)
20. "Fabrication of Transparent Sintered ZnO-B₂O₃-Bi₂O₃ Glass Body by Pressureless Firing and Hot Isostatic Pressing", October 8 - 12, 2012, K. Abe, H. Kuwahara, and K. Itatani, 2nd International Conference on Competitive Materials and Technology Processes, Miskolc-Lillafured, (Hungary)
21. "Mn 酸化物を用いた宇宙機用放射率可変素子(SRD)の開発", 2012年9月20日、田中洸輔, 太刀川純孝, 桑原英樹, 大川万里生, 斉藤智彦、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
22. "Fe₂Mo₃O₈ の Fe サイト置換による磁気特性変化", 2012年9月18日、渡邊拓郎, 赤木暢, 赤星大介, 桑原英樹、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
23. "Low-Temperature Thermoelectric Properties of the Electron-Doped Perovskites Sr_{1-x}Ca_xTi_{1-y}Nb_yO₃", July 13, 2012, T. Okuda, J. Fukuyado, K. Narikiyo, M. Akaki, and H. Kuwahara, The 19th International Conference on Magnetism, Bexco, Busan, (Korea)
24. "Studies on Bi_{1-x}La_xFeO₃ crystals in pulsed high magnetic fields", July 12, 2012, M. Tokunaga, M. Akaki, H. Kuwahara, K. Oka, and T. Kihara, The 19th International Conference on Magnetism, Bexco, Busan, (Korea)
25. "Zn-substitution effects in multiferroic Cu₃Mo₂O₉", July 10, 2012, H. Kuroe, K. Aoki, R. Itoh, T. Hosaka, T. Hasegawa, S. Hachiuma, M. Akaki, H. Kuwahara, and T. Sekine, The 19th International Conference on Magnetism, Bexco, Busan, (Korea)
26. "Control of coexisting ferroelectric phases in RMnO₃ crystals with fine tuning of 4f moment", July 9, 2012, T. Tadokoro, M. Akaki, N. Kano, H. Kuroe, T. Sekine, and H. Kuwahara, The 19th International Conference on Magnetism, Bexco, Busan, (Korea)
27. "Spin-driven electric polarization in akermanite Sr₂MSi₂O₇", July 9, 2012, M. Akaki, T. Tadokoro, T. Kihara, M. Tokunaga, and H. Kuwahara, The 19th International Conference on Magnetism, Bexco, Busan, (Korea)
28. "High Magnetic Field Dependence of Magnetodielectric Properties in Sr₂CoSi₂O₇ Crystal", July 3-6, 2012, M. Akaki, T. Tadokoro, T. Kihara, M. Tokunaga, and H. Kuwahara, The 10th International Conference on Research in High Magnetic Fields, Wuhan, (China)

[その他]
ホームページ等

<http://www.ph.sophia.ac.jp/~kuwa-ken/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

桑原 英樹 (KUWAHARA, Hideki)
上智大学・理工学部・教授
研究者番号：90306986

(2)連携研究者

赤星 大介 (AKAHOSHI, Daisuke)
東邦大学・理学部・准教授
研究者番号：90407354

赤木 暢 (AKAKI, Mitsuru)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：60610904