

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05184

研究課題名(和文) スピン誘起マルチフェロイック物質群における回転磁場による電気分極ドメイン制御

研究課題名(英文) Control of electric domains in spin-driven multiferroic materials by means of rotating magnetic fields

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：高い強誘電転移温度を持つBiFeO₃に着目し、高品質BiFeO₃単結晶試料に対して外部磁場印加方向を精密に制御し、電気分極ドメイン変化を調べた。その結果、Y方向の電気分極PYが回転磁場によって制御されることを実証した。つまりPYは $\cos^2 q$ (qは[100]からの印加磁場角度)に比例し、PYの依存性はqの周期性を持つ、すなわち磁場印加方向の反転でPYが変化しないことを明らかにした。さらにCaBaM₄O₇ (M = Co, Fe) 単結晶の非相反応すなわち電気磁気テンソルの極性依存性を調べた。その結果、 $M_b = 32E_c$ と定義した電気磁気係数 32は結晶極性によって異なる符号を有することが分かった。

研究成果の概要(英文)：We have investigated change of electric domains in high-quality BiFeO₃ single crystal grown by the laser-diode floating-zone method, as a function of applied magnetic-field (H) direction. We have demonstrated that electric polarization along the Y direction (PY) has been controlled by means of rotating H. Namely, PY was proportional to $\cos^2 q$, where q is the angle of applied H direction against [100]. q dependence of PY has a π -periodicity, which means that PY remains unchanged by reversal of applied H direction. Furthermore, we have studied nonreciprocal DC magnetoelectric response, i.e., crystalline (polar) direction dependence of magnetoelectric susceptibilities for CaBaM₄O₇ (M=Co,Fe) single crystals. Especially, we focused on the electric-field (E_c)-induced magnetization (M_b, M_c) in CaBaM₄O₇, which had almost not yet been performed. We have found that the obtained magnetoelectric susceptibility 32 defined as $M_b = 32E_c$ has a different sign depending on the polar direction.

研究分野：物質科学

キーワード：マルチフェロイック物質 誘電体 スピン 電気分極ドメイン 酸化物 相転移 磁場 電気磁気効果

1. 研究開始当初の背景

近年、基礎学理および素子応用の観点から磁気秩序と強誘電性を有するマルチフェロイック物質が注目を集め、その特異なスピン構造に起因する電気分極発現機構が明らかになってきた。しかしながら、らせん磁性のような特異なスピン構造は多くの場合、スピン・フラストレーションに起因しており低温でのみ磁気秩序が形成され、それ故動作温度が低いという問題点がマルチフェロイック物質の実用化を阻んできた。六方晶フェライト等による室温動作を目指した先行研究があるものの、実用化には至っていないのが現状である。本研究対象とした BiFeO_3 は、室温を超える高温からマルチフェロイックであるほぼ唯一の物質であり多くの研究が行われてきた。しかし BiFeO_3 には結晶学的な多分域が存在し (8 方向あるペロブスカイト擬立方晶の $\langle 111 \rangle$ 方向がバラバラに六方晶の c 軸を構成)、電気磁気効果の詳細な理解が進んでいないのが現状である。最近、我々の共同研究によって、大型の結晶学的に単分域の単結晶作製に成功し、従来考えられてきた c 軸方向の電気分極の他に、 c 軸に垂直な XY 平面にもスピン由来の電気分極 (図 1 の P_T) が存在することが明らかになってきた。この電気分極の XY 平面成分は単純な逆 DM 効果では理解できないが、結晶の低対称性を考慮し、より一般化した逆 DM 効果の理論研究により、スピン回転平面に垂直な方向にも大きな電気分極を持ち得ることが最近になって分かってきた。以上を模式化してまとめると、 $c(Z)$ 軸方向から見ると図 1(i) に示したように、実際には 3 つの等価なスピン伝播ベクトル Q_1, Q_2, Q_3 とそれに垂直に電気分極ドメイン (P_T) が存在する。

そこで本研究では、 XY 平面内で磁場印加方向 (図 1 () の回転角 θ) を精密に設定し、この新しく見出した電気分極ドメインを、その印加磁場方位で制御しようと試みるものである。具体的には外部磁場はスピン回転平面に垂直な方向を安定化するので、磁場を Y 方向に印加し Y 方向の電気分極 P_Y を測定した場合 (図 1 ())、 Q_2 のドメインを安定化し $+P_T$ が観測されることが期待され、磁場を X 方向に印加し同様に P_Y を測定した場合 (図 1 ())、 Q_1, Q_3 のドメインが安定化され、電気分極ベクトルの合計は $-P_T/2$ と予想される。多くの実験では、このように結晶主軸とそれに垂直方向に対して実験するのみで、結晶軸に対して有限の角度方向へ磁場を印加し電気分極変化を測定することが殆ど無いのが現状である。しかしながら、結晶格子 (逆格子) の電子構造の全容を知るためには、結晶方位に関して精密な磁場角度依存性測定を行うことは言うまでも無く重要である。本系においても、磁場を XY 平面で回転させることにより電気分極の符号の反転が $\theta=60^\circ$ 付近で見られると予想され、磁場角度依存性を測定することが非常に重要となる。

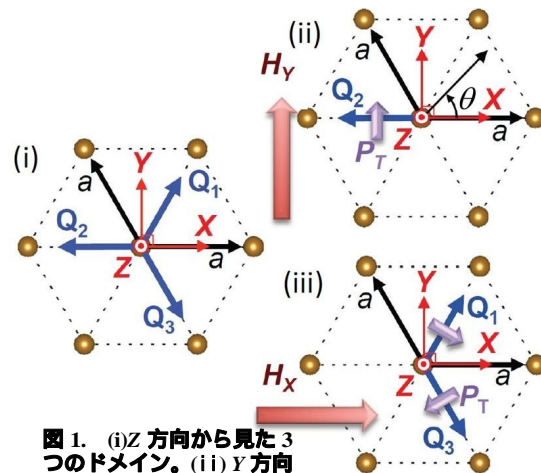


図 1. (i)Z 方向から見た 3 つのドメイン。(ii)Y 方向 (iii) X 方向の磁場印加で安定化されるドメイン。

2. 研究の目的

本研究では、特徴的な結晶・スピン構造を有する磁気誘起マルチフェロイック物質群を研究対象とし、その結晶・スピン方位に対して精密に角度制御された外部磁場を印加し、スピン構造変化に伴う電気分極の磁場角度依存性を検討することによって、その電気分極発現機構およびそのドメイン構造を明らかにすることを目的とした。さらにスピン容易面内で高速に磁場を回転させ、スピン構造を制御 (変調) することによって、スピン由来の電気分極の制御 (変調) を試みた。具体的目標の一つとして、マルチフェロイック物質 BiFeO_3 の c 軸に垂直な面内での磁場角度依存性測定および高速回転磁場印加実験があげられ、室温において、電気分極ドメイン構造を回転磁場によって制御できる可能性があり、検討を行った。

3. 研究の方法

後述する新規マルチフェロイック・コバルト酸化物系への展開を平行して試みながら、主な目的とした BiFeO_3 単結晶の印加磁場角度依存性測定の実験を行った。試料の合成は共同研究により、近年開発されたレーザー・ダイオードで加熱するフローティング・ゾーン法 (LD-FZ 法) によって良質の単結晶を作製した。前述したように XY 面内に存在する 3 つの電気分極ドメインは印加磁場方位によって安定化されるドメインが異なるため (図 1(ii),(iii))、顕著な変化が期待される電気分極の Y 方向成分 P_Y を、 XY 平面内で磁場の角度を精密に固定しながら磁場掃引し、変位電流をピコアンメーターで測定することによって決定した。つまり印加磁場角度 θ をパラメーターとして細かく固定し、各角度 θ での P_Y の磁場依存性測定を行った。これにより予想される P_Y の符号反転が観測されるか検証を行った。実験装置として、磁場発生は 8T 超伝導マグネットを使用し、磁場中での試料精密回転機構はステッピング・モーターを使用し、傘歯車などの可動部分を工夫したインサートを数種類作製して実験を進めた。

4. 研究成果

実験では Q2 ドメインを安定化する[100]方向を 0° と定義し、印加磁場角度 (θ) を $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で 10° 毎に変化させ、 Y 軸方向の電気分極 P_Y を精密に観測した。強誘電相転移及び反強磁性相転移温度が室温以上であることより、電気分極および磁気ドメインを完全に初期化(リセット)できないため、各印加磁場角度依存性測定の間リセット印加磁場角として 90° の測定を挟むことで、Q2 ドメインを安定化させてから各印加磁場角度における P_Y 測定を行った。

図 2 に BiFeO_3 の $5\text{K}, \theta=0$ における電気分極変化 ΔP_Y の磁場依存性と挿入図に ΔP_Y の最大値の磁場角度依存性を示す。磁場を印加した際の ΔP_Y は最初の 0T から $+8\text{T}$ の増磁過程でそれ以降と大きく異なる値を示すヒステリシス特性が観測された。また図 2 挿入図に示したように、印加磁場角度 θ を変化させることで、 P_Y を周期的に制御することに成功した。 P_Y は $\cos 2\theta$ に比例し 180° 周期の印加磁場角度依存性を示した。しかし、 P_Y の絶対値は負の最大値を示すと予想された 90° 付近で予想した値より小さな変化しか示さなかった。その理由として、毎回 90° でリセットを行っていたため Q2 ドメインが安定化し、 90° からの小さな角度変化では Q2 ドメインが他の Q1, Q3 ドメインへと変化することがなかったためと考えられる。

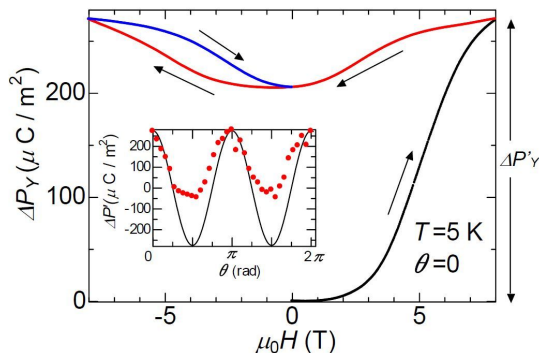


図 2. $5\text{K}, \theta=0$ における BiFeO_3 単結晶の ΔP_Y の磁場依存性。挿入図は ΔP_Y の磁場印加角度依存性。

上記の室温マルチフェロイック物質 BiFeO_3 結晶の電気分極の磁場角度依存性測定結果を基に、さらに他の物質系へと展開を試みた。具体的には層状コバルト・マルチフェロイック物質 $A_2\text{CoM}_2\text{O}_7$ ($A=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, M=\text{Si}, \text{Ge}$) 結晶および新規マルチフェロイック物質 $\text{CaBaM}'_4\text{O}_7$ ($M'=\text{Co}, \text{Fe}$) 結晶に関して回転磁場による電気分極ドメイン測定の前段階としてこれら物質群の基礎データを測定した。

BiFeO_3 結晶では回転磁場によって電気分極ドメインの制御に成功したが、残念ながら新規物質群に関しては電気分極の詳細な磁場角度依存性測定までは至らなかった。しか

し $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ 結晶の電気磁気効果の極性依存性、すなわち c 軸方向に自発電気分極を持つ本極性結晶(空間群 $Pbn2_1$) の $\pm c$ 軸の 2 方向での非相反電気磁気応答を詳細に調べ、以下の重要な知見を得ることができた。

$\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ 単結晶の磁化容易軸である磁場 H_b 及び、電場 E_c を印加した下で、その電場・磁場配置は同じとし、結晶極性(結晶 c 軸方向)のみを変化させた時の磁化 M_b の電場 E_c 依存性を測定した。その結果、結晶極性の違いによって磁化の電場依存性が異なる傾きを持つことが明らかとなった(図 3 参照)。つまり室温以上で結晶が既に持っている電気分極の方向(結晶極性)を反映して線形の電気磁気効果における電気磁気感受率テンソルの成分 α_{32} ($H_b = \alpha_{32} E_c$) の符号が反転する結果が得られた。今後は層状コバルト・マルチフェロイック物質 $A_2\text{CoM}_2\text{O}_7$ ($A=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, M=\text{Si}, \text{Ge}$) 結晶に関しても同様の実験を行い本研究をさらに展開していく。

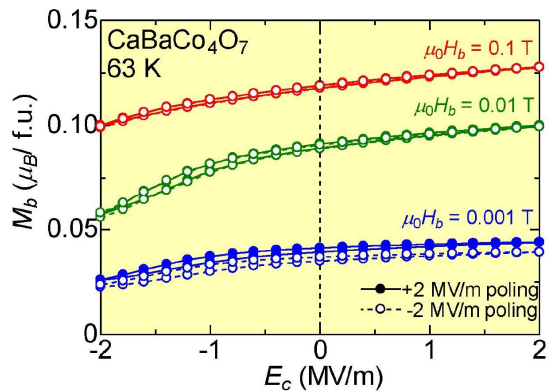


図 3. フェリ磁性相転移温度直下の 63K における $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ 単結晶の磁化 (M_b) の電場 (E_c) 依存性測定結果。図中に示したようにマークはそれぞれ正負のポーリング電場測定を表す。

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 13 件) 全て査読有り

1. "Reduction Effects on the Cu-Spin Correlation in the Electron-Doped T' -Cuprate $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ ($x=0.10$)"
T. Sumura, T. Ishimoto, H. Kuwahara, K. Kurashima, Y. Koike, I. Watanabe, M. Miyazaki, A. Koda, R. Kadono, and T. Adachi:
JPS Conf. Proc. **21**, 011027 (5pages) (2018).

2. "Trimerization and orbital ordering in $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{V}_{13}\text{O}_{18}$ "
T. Kajita, Y. Obata, Y. Kakesu, Y. Imai, Y. Shmizu, M. Itoh, H. Kuwahara, and T. Katsufuji:
Physical Review **B 96**, 245126 (7pages) (2017).

3. "Magnetic phase diagram for the mixed-valence Eu oxide $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$)"
D. Akaoshi, S. Koshikawa, T. Nagase, E. Wada,

- K. Nishina, R. Kajihara, H. Kuwahara, and T. Saito:
Physical Review **B 96**, 184419 (5pages) (2017).
4. "NMR study on the quasi-one dimensional antiferromagnet $\text{BaCo}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ "
R. Uesugi, M. Akaki, M. Hagiwara, H. Kuwahara, and T. Goto:
Journal of Physics: Conference Series **828**, 012015 (4pages) (2017).
5. "Low Temperature Specific Heat in Lightly Mn-Substituted Electron-Doped SrTiO_3 "
T. Okuda, H. Hata, T. Eto, S. Sobaru, R. Oda, M. Noda, and H. Kuwahara:
Journal of the Physical Society of Japan **86**, 084601 (5pages) (2017).
6. "Effects of Mn Substitution on the Thermoelectric Properties and Thermal Excitations of the Electron-doped Perovskite $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ "
T. Okuda, H. Hata, T. Eto, S. Sobaru, R. Oda, H. Kaji, K. Nishina, H. Kuwahara, M. Nakamura, and R. Kajimoto:
Journal of the Physical Society of Japan **85**, 094717 (6pages) (2016).
7. "NMR study on the quasi one-dimensional quantum spin magnet with ladder structure"
S. Kobori, K. Matsui, H. Kuwahara, T. Goto, X. Zhang, Y. Nakano, S. Nishihara, K. Inoue, T. Sasaki:
Hyperfine Interactions **237**, 116 (7pages) (2016).
8. "Orbital Glass State of the Nearly Metallic Spinel Cobalt Vanadate"
R. Koborinai, S. E. Dissanayake, M. Reehuis, M. Matsuda, T. Kajita, H. Kuwahara, S.-H. Lee, and T. Katsufuji:
Physical Review Letters **116**, 037201 (5pages) (2016).
9. "Rapid formation of hydroxyapatite layer on polyetheretherketone by vacuum ultraviolet irradiation and microwave heating techniques"
N. Suzuki, T. Umeda, T. Sumi, S. Horikoshi, H. Kuwahara, T. Toyama, Y. Musha and K. Itatani:
Journal of the Ceramic Society of Japan **124**, 49-54 (2016).
10. "Impurity Substitution Effect on Magnetolectric Properties of $\text{CaBaCo}_4\text{O}_7$ Crystals"
Ryosuke Oda, Ryo Kajihara, Kosuke Nishina, Mitsuru Akaki, Haruhiko Kuroe, and Hideki Kuwahara :
Physics Procedia **75**, 303-308 (2015).
11. "Muon-Spin Rotation in Multiferroic $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ under Electric Fields"
Haruhiko Kuroe, Hideki Kuwahara, Tomoyuki Sekine, Isao Watanabe, Andrea-Raeto Raselli, Matthias Elender, Pabitra Kumar Biswas, Masashi Hase, Kunihiko Oka, Toshimitsu Ito, and Hiroshi Eisaki :
Physics Procedia **75**, 221-229 (2015).
12. "Multiferroic properties of $\text{Cu}_3(\text{Mo,W})_2\text{O}_9$ "
Yoshinori Hirata, Shuma Nishikawa, Kento Aoki, Ryo Kino, Haruhiko Kuroe, Hideki Kuwahara, Tomoyuki Sekine, Masashi Hase, Kunihiko Oka, Toshimitsu Ito, and Hiroshi Eisaki :
Physics Procedia **75**, 134-141 (2015).
13. "High field studies on BiFeO_3 single crystals grown by the laser-diode heating floating zone method"
M. Tokunaga, M. Akaki, A. Miyake, T. Ito, and H. Kuwahara :
Journal of Magnetism and Magnetic Materials **383**, 259-261 (2015).
- 〔学会発表〕(計 26 件)
1. " CaBaM_4O_7 ($M=\text{Co,Fe}$)単結晶の磁場(電場)誘起電気分極(磁化)の極性依存性",
野田正亮, 小田涼佑, 赤木暢, 黒江晴彦, 桑原英樹, 日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月 22 日、東京理科大学野田キャンパス
2. " $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ における磁性不純物置換効果",
黒江晴彦, 江袋佑太, 野田正亮, 桑原英樹, 長谷正司, 岡邦彦, 伊藤利充, 永崎洋, 日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月 22 日、東京理科大学野田キャンパス
3. "ペロブスカイト型 Eu 酸化物 $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ における電気磁気特性 II",
越川修人, 原祐貴, 野田正亮, 桑原英樹, 和田詠史, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月 23 日、東京理科大学野田キャンパス
4. " $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ における、磁性及び非磁性不純物置換効果",
江袋佑太, 野田正亮, 桑原英樹, 黒江晴彦, 長谷正司, 岡邦彦, 伊藤利充, 永崎洋, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 21 日, 岩手大学上田キャンパス
5. "ペロブスカイト型 Eu 酸化物 $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($0 < x < 1$)の単結晶育成と物性",
越川修人, 野田正亮, 桑原英樹, 和田詠史, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 23 日, 岩手大学上田キャンパス

6. "La₅Mo₄O₁₆の磁気緩和とメモリー効果", 向後颯太, 長谷川貴俊, 野田正亮, 桑原英樹, 勝藤拓郎, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 23 日, 岩手大学上田キャンパス
7. "Electric(magnetic)-field control of magnetization(electric polarization) in CaBaM₄O₇(M=(Co,Fe)) single crystals" H. KUWAHARA, R. ODA, M. NODA, Y. EBUKURO, M. AKAKI, and H. KUROE, 28th International Conference on Low Temperature Physics, 9-16 August 2017, Gothenburg, Sweden
8. "Magnetic and nonmagnetic impurity substitution effects on Cu₃Mo₂O₉" Y. EBUKURO, M. NODA, H. KUWAHARA, H. KUROE, M. HASE, K. OKA, T. ITO, and H. EISAKI, 28th International Conference on Low Temperature Physics, 9-16 August 2017, Gothenburg, Sweden
9. "Changes in the magnetoelectric properties of CaBaM₄O₇(M=(Co,Fe)) single crystals induced by magnetic phase transition" M. NODA, R. ODA, Y. EBUKURO, M. AKAKI, H. KUROE, and H. KUWAHARA, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2017, 17-21 July 2017, Prague, Czech
10. "Nonmagnetic impurity effects on distorted tetrahedral spin-chain systems Cu₃(Mo,W)₂O₉" H. KUROE, Y. EBUKURO, Y. HIRATA, M. NODA, R. ODA, H. KUWAHARA, M. HASE, K. OKA, T. ITO, and H. EISAKI, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2017, 17-21 July 2017, Prague, Czech
11. "CaBaM₄O₇(M=(Co,Fe))単結晶の磁気相転移に伴う電気磁気特性変化" 小田涼佑, 野田正亮, 江袋佑太, 野田泰輝, 赤木暢, 黒江晴彦, 桑原英樹, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス
12. "Cu₃(Mo,W)₂O₉の磁化測定" 江袋佑太, 阿部太亮, 小田涼佑, 桑原英樹, 黒江晴彦, 長谷正司, 岡邦彦, 伊藤利充, 永崎洋, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス
13. "擬一次元反強磁性体 BaCo₂Si₂O₇における ²⁹Si/⁵⁹Co-NMR III" 上杉涼, 赤木暢, 萩原政幸, 桑原英樹, 後藤貴行, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス
14. "ペロブスカイト型 Eu 酸化物 EuTi_{1-x}Al_xO₃(0 < x < 1)の単結晶育成" 越川修人, 長瀬拓朗, 和田詠史, 小田涼佑, 野田正亮, 仁科康介, 梶原凌, 桑原英樹, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス
15. "RBaMn₂O₆(R = Pr, Nd, Sm)の酸素欠損が物性に与える効果" 谷川統久, 高田寛己, 保利美幸, 和田詠史, 小田涼佑, 野田正亮, 桑原英樹, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 18 日, 大阪大学豊中キャンパス
16. "Mn 置換した電子ドーピング SrTiO₃ のショットキー比熱" 奥田哲治, 江藤貴弘, 畑博人, 草原彰吾, 小田涼佑, 野田正亮, 桑原英樹, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 20 日, 大阪大学豊中キャンパス
17. "CaBaM₄O₇(M=(Co,Fe))単結晶の磁気相転移に伴う電気磁気特性変化" 小田涼佑, 梶創輝, 野田正亮, 赤木暢, 黒江晴彦, 桑原英樹, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 13 日, 金沢大学角間キャンパス
18. "強磁場下における Ba₂CuGe₂O₇ の電気磁気効果" 徳永将史, 佐藤由昌, 赤木暢, 三宅厚志, 萩原政幸, 桑原英樹, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 14 日, 金沢大学角間キャンパス
19. "ペロブスカイト型 Eu 酸化物 EuTi_{1-x}Al_xO₃ (0 < x < 1)における電気磁気特性" 越川修人, 長瀬拓朗, 和田詠史, 仁科康佑, 梶原凌, 桑原英樹, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 14 日, 金沢大学角間キャンパス
20. "秩序型 RBaMn₂O₆ (R = 希土類)の A サイトのわずかな乱れが物性に与える効果" 谷川統久, 高田寛己, 保利美幸, 和田詠史, 小田涼, 桑原英樹, 赤星大介, 齊藤敏明, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 15 日, 金沢大学角間キャンパス
21. "擬一次元反強磁性体 BaCo₂Si₂O₇における ²⁹Si/⁵⁹Co-NMR II" 上杉涼, 赤木暢, 萩原政幸, 桑原英樹, 後藤貴行, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 15 日, 金沢大学角間キャンパス
22. "ABaM₄O₇(A=(Ca,Y), M=(Co,Fe))単結晶における電気磁気特性" 小田涼佑, 梶原凌, 仁科康佑, 赤木暢, 黒江晴彦, 桑原英樹, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学

23. "擬一次元反強磁性体 BaCo₂Si₂O₇における²⁹Si/⁵⁹Co-NMR"

上杉涼, 赤木暢, 萩原政幸, 桑原英樹, 後藤貴行, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学

24. "A₂MSi₂O₇(A=(Sr, Eu), M=(Co, Mn))単結晶における電場による磁気ドメイン制御"

仁科康佑, 梶原凌, 小田涼佑, 赤木暢, 黒江晴彦, 板谷清司, 桑原英樹, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 19 日, 関西大学千里山キャンパス

25. "ABaM₄O₇(A=(Ca, Y), M=(Co, Fe))単結晶における電気磁気特性 II"

梶原凌, 仁科康佑, 小田涼佑, 赤木暢, 黒江晴彦, 桑原英樹, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 19 日, 関西大学千里山キャンパス

26. "Magnetic- and electric-field control of magnetoelectric properties of CaBaCo₄O₇"

R. Oda, R. Kajihara, K. Nishina, M. Akaki, H. Kuroe, and H. Kuwahara, International Conference on Magnetism 2015 (ICM 2015) July 5-10, Barcelona, Spain

〔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：9 0 3 0 6 9 8 6

(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：9 0 4 0 7 3 5 4

赤木 暢 (AKAKI, Mitsuru)

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：6 0 6 1 0 9 0 4