

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05019

研究課題名（和文）遷移金属酸化物における強相関電子制御と革新的熱電材料の創発

研究課題名（英文）Development of innovative thermoelectric materials based on the strongly-correlated electron system in transition-metal oxides

研究代表者

加藤 将樹 (Kato, Masaki)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：90271006

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では導電体・絶縁体境界において量子臨界現象を示す、パイロクロア型遷移金属酸化物、さらには、関連する遷移金属酸化物を対象とし、新規置換型固溶体を合成することにより量子臨界現象を応用した新規熱電材料開発への展開を目的とした。ルテニウムを含むパイロクロア型酸化物にCo, Cu, Mnなどを元素置換新規置換型固溶体において、熱電特性の発現を確認した。無次元性能指数 $ZT (= S^2T / \rho \kappa)$ （ S はゼーベック係数、 ρ は電気抵抗率、 κ は熱伝導率、 T は絶対温度を表す）はそれほど高くはなかったが、量子臨界点付近の状態に適切なキャリアドーピングを行えば、熱電変換特性が発現することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遷移金属を含む酸化物セラミックスにおいて、元素置換などにより、結晶構造や遷移金属元素の電子状態を変化させることができる。それによって物質の電気伝導性や磁気特性を制御することができ、特に本研究ではいわゆる強相関電子状態にある遷移金属酸化物において熱電変換特性を発現できることが明らかになった。熱電変換特性のさらなる向上につながる物質開発指針のひとつを明らかにできたことが本研究の意義である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we apply the quantum critical phenomenon by synthesizing a novel substitution type solid solution for pyrochlore-type transition metal oxides and related transition-metal oxides, which show quantum critical phenomena at the boundary between conductors and insulators. The purpose was to develop new thermoelectric materials. It was confirmed that the thermoelectric properties were exhibited in a novel substitution type solid solution in which Co, Cu, Mn, etc. were substituted with a pyrochlore-type oxide containing ruthenium. Although the dimensionless figure of merit $ZT (= S^2T / \rho \kappa)$ (S is the Seebeck coefficient, ρ is the electrical resistivity, κ is the thermal conductivity, and T is the absolute temperature) was not found to be high enough, it was clarified that the thermoelectric conversion characteristics are exhibited by performing appropriate carrier doping to the electronic state near the quantum critical point.

研究分野：固体化学、物性化学

キーワード：パイロクロア 遷移金属酸化物 熱電変換特性 化学的圧力効果

1. 研究開始当初の背景

遷移金属化合物における強い電子相関(強相関)に由来する現象には理論・実験両面から興味もたれ、多くの研究がなされてきた。特に、電子の局在性(絶縁性)と遍歴性(金属性)が拮抗している状態は、量子臨界状態と呼ばれ、超伝導、金属-絶縁体転移、巨大磁気抵抗効果等の顕著な物性発現の舞台となる。例えば、層状コバルト酸化物 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ における超伝導や Na_xCoO_2 における良好な熱電変換特性があげられる。前者では、三角格子を形成する CoO_2 層のキャリアー濃度および層間相互作用を化学的に制御して得られた量子臨界状態により、超伝導が発現したと考えられている。また、後者や同様の層状 CoO_2 構造をもつ Bi-Ca-Co-O 系において、熱電変換材料としての無次元性能指数 $ZT (= S^2T/\rho\kappa)$, S はゼーベック係数, ρ は電気抵抗率, κ は熱伝導率, T は絶対温度を表す)が約 0.8 ~ 1 と非常に高い値が報告されている。

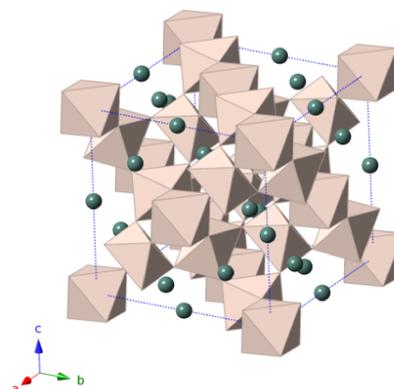


Fig.1 Schematic view of pyrochlore-type structure. Sphere and octahedra show A atom and BO_6 octahedra.

しかしながら、 CoO_2 三角格子における特異な磁性、すなわち後述するスピンプラストレーションによる高いゼーベック係数 S (約 $100 \mu\text{V}/\text{K}$) が高熱電特性に寄与すると考えられているが、詳細な発現機構の解明には至っていない。さらに、Co を含む 3d 遷移金属酸化物での材料開発は精力的に進められているが、同様の結晶構造や磁性を有する物質への新たな展開を図ることが喫緊の課題であると考えられた。

2. 研究の目的

層状コバルト酸化物など同様の量子臨界状態やスピンプラストレーションを利用した高熱電特性を実現する系として、パイロクロア型酸化物に着目した。Ru, Re, Ir など 4d, 5d 遷移金属を含む酸化物は、酸素との結合ネットワークにより高い電気伝導性を有する化合物が多く、中でも組成式 $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ で表されるパイロクロア型酸化物が注目される。遷移金属元素サイトである B サイトは、正四面体的なネットワークを形成する (Fig. 1)。その物性は A サイト (希土類元素や Bi, Pb など), B サイト (主に 4d, 5d 遷移金属) の組合せにより多様に変化する。さらにこれらのいずれか一方または両方が磁性元素であり、かつ最近接スピ間相互作用が反強磁性的な場合、スピンは秩序状態をとることができない。この幾何学的な原子配列によってスピン秩序が妨げられた状態はスピンプラストレーションとよばれ、スピン揺らぎに伴って超伝導や巨大磁気抵抗効果などの特異な物性が現れる。特に、B サイトが Ru や Ir であるパイロクロア型酸化物は、A サイトが希土類元素の場合は絶縁体、A サイトが Bi や Pb の場合は金属的導電性を示す。したがって、A サイトにおいて (希土類-Pb) などの元素が入った置換型固溶体を作成すると、金属-絶縁体クロスオーバーが観測される。本研究では導電体・絶縁体境界において量子臨界現象を示す、パイロクロア型遷移金属酸化物、さらには、関連する遷移金属酸化物を対象とし、新規置換型固溶体を合成することにより系統的な物性制御を行う。さらに得られた試料の電氣的・磁気的および熱的特性を詳細に評価することにより、量子臨界現象を応用した新規熱電材料開発への展開を目的とする。

3. 研究の方法

固相反応法により良質な試料の合成を行う。合成した物質は多岐にわたるので、典型的な例として $\text{Pb}_2\text{Ru}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_{6.5}$ 試料について述べる。出発原料として PbO (99.99%), RuO_2 (99.9%), Co_3O_4 (99.9%) を所定比に秤量し、混合した。混合粉を金型で一軸加圧成形した後、大気中において 850°C で 12 h 仮焼した。その後再び粉砕混合および一軸加圧成形 (100 MPa) し、大気中において、 900°C で 24 h 本焼した。また熱間等方圧プレス (Hot Isostatic Pressing) や超高压発生装置を用いて、高圧力下における合成を行い、数百 MPa ~ 1 GPa 程度の領域において、新たな物質探索を行った。詳細については検討中であるが、層状コバルト酸化物において高酸素圧 (約 400 MPa) 下において、結晶内のコバルト価数の増大が、磁化率測定などから示された。得られた試料について、粉末 X 線回折 (XRD) による相同定、構造解析を行った。さらに、熱電特性評価装置により電気伝導率 (σ), ゼーベック係数 (S) の測定を、レーザーフラッシュ法により熱伝導率 (κ) の測定を行った。また、超伝導量子干渉磁束計 (SQUID) によって磁化率を測定した。以上のプロセスにより新物質開発を行い、得られた試料についてマクロな熱電特性と微視的なスピンドイナミクスとの関連を整理し、置換型固溶体の新たな物質設計を模索して試料合成にフィードバックを行った。

4. 研究成果

典型的なルテニウムを含むパイロクロア型酸化物である $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_{6.5}$ の Ru サイトに Co 元素を置換した $\text{Pb}_2\text{Ru}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_{6.5}$ を合成し、構造および磁氣的、電氣的性質を詳細に検討した。Fig. 2 に $\text{Pb}_2\text{Ru}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_{6.5}$ の XRD 測定結果を示す。Co 組成が $0.0 \leq x \leq 0.7$ の組成では不純物ピークは見られず単一相が得られた。格子定数は、置換量 x に伴い Vegard 則にしたがって減少した。これらの結果から、全ての組成において、置換型固溶体が得られたことが確認される。無次元性能指数 ZT は置換量 $x = 0.60$ で最大 (822 K において 5.14×10^{-3}) となった。

さらに Ru サイトに Mn や Cu を置換した、新規置換型固溶体 $\text{Pb}_{1.2}\text{Eu}_{0.8}\text{Ru}_{2-y}\text{Mn}_y\text{O}_{7.8}$ ($M = \text{Cu}, \text{Mn}$) を合成した。代表例として $M = \text{Mn}$ である $\text{Pb}_{1.2}\text{Eu}_{0.8}\text{Ru}_{2-y}\text{Mn}_y\text{O}_{7.8}$ について述べる。XRD 測定結果から $0 \leq y \leq 0.3$ において単一相が得られたことが分かった。格子定数はほぼ一定であり、 Ru^{4+} と Mn^{4+} のイオン半径が近いためであると考えられる。次に Fig. 3 にて、 $0 \leq y \leq 0.25$ の試料の σ , S , および κ の測定結果から求めた ZT の温度依存性を示す。Fig. 3 から、 $y = 0.25$ の組成比において、 970 K で最大値 0.012 が得られた。 ZT の絶対値はそれほど高くないが、本パイロクロア系において、QCP 付近の状態に適切なキャリアドーピングを行えば、熱電変換特性を発現できることが明らかになった。この点が本事業における大きな成果であると考えられる。

またパイロクロア型酸化物以外の遷移金属酸化物についても同様に物質探索を行なった。結晶構造において Co イオンが三角格子構造を形成し、 CoO_2 層の間に Na が挿入された積層構造をとる $\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$ に着目した。この CoO_2 層内では Co 磁性イオンがスピンフラストレーション(SF)を示し、この SF による磁気ゆらぎが、熱電特性の向上をもたらすと考えられている。したがって、元素置換により層内の磁性や電導性を制御することにより、さらなる熱電特性の向上が期待される。 $\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$ の Na イオンサイトに Ca イオンを置換した新規固溶体 $\text{Na}_{0.7-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_2$ (以下 NaCaCoO 相) を合成し、層状構造および Co 価数の変化と物性との関連を種々の物性評価により詳細に検討した。 NaCaCoO 相の XRD 測定の結果、Ca 置換量 x が $0.0 \sim 0.25$ で単一相が得られた。精密化した格子定数より、Ca 置換量 x の増加に伴って a 軸長は Vegard 則に従い増加し、 c 軸長は減少することが分かった。磁化率測定の結果、Ca 置換量 x の増加に伴って磁化率の絶対値が減少した。また、非磁性イオン Co^{3+} の存在比の増加が確認され、Co 間の電子相関が弱まったと考えられる。熱電特性測定の結果、Ca 置換により電気伝導率、Seebeck 係数は増加、熱伝導率はほぼ一定だった。また緻密化により電気伝導率は約 3 倍増加した。Ca 置換量増加に伴い、無次元性能指数 ZT は増加し、PECPS 処理した NaCaCoO 相は $x = 0.16$ で最大値 (約 1100 K で $ZT = 0.64$) を示した。これらの結果から、Ca を置換することで結晶構造、磁氣的特性が変化し電気伝導率の向上につながったと考えられる。

また、デラフォサイト型酸化物 (一般式 ABO_2 ($A = \text{Cu}^+, \text{Ag}^+$, B は 3 価のカチオン)、六方晶構造) にも着目した。この化合物は、O-A-O のダンベル構造と稜共有した BO_6 八面体からなる層状構造を持ち A , B サイトともに三角格子を形成する。したがってスピンフラストレーション(SF) による磁気ゆらぎが、熱電特性の向上をもたらすと考えられている。 A サイトに Cu, B サイトに Fe が入る CuFeO_2 化合物は、 p 型熱電材料として期待されている。しかし、 CuFeO_2 の熱電特性のメカニズムについては明らかにされていない。そこで本研究では、 CuFeO_2 の磁気特性や熱電特性に関して、Fe サイトへの他元素置換効果を調べるため、 $\text{CuFe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_2$ ($M = \text{Cr}, \text{Al}$) 試料を合成し、どのように影響を及ぼすのかを詳細に検討した。

以下、 $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ ($x = 0.0 \sim 1.0$) について述べる。すべての組成で単一相が得られ、全率固溶が確認された。 a 軸長、 c 軸長ともに置換量が増加するにつれて減少した。 $x = 0.0 \sim 1.0$ において、置換量 x の増加に伴って磁化率の絶対値の減少が観察された。また、 $x = 0.0, 1.0$ では反強磁性

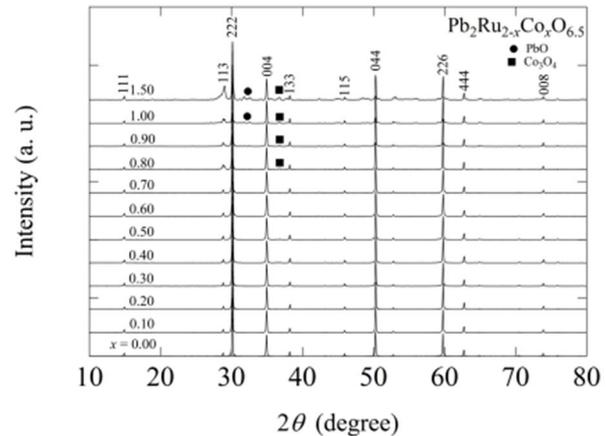


Fig.2 XRD patterns of $\text{Pb}_2\text{Ru}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_{6.5}$ samples.

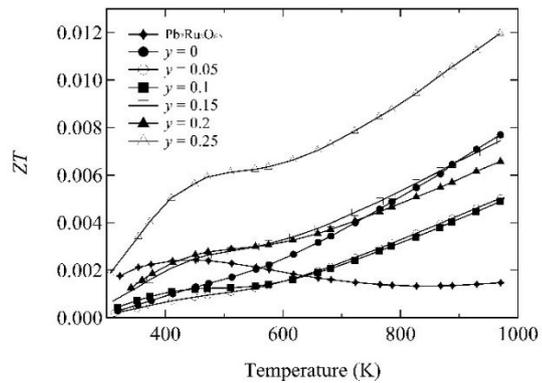


Fig. 3 Dimensionless figure of merit (ZT) of $\text{Pb}_{1.2}\text{Eu}_{0.8}\text{Ru}_{2-y}\text{Mn}_y\text{O}_{7.8}$ samples.

転移があり、磁気的な短距離秩序が確認された。熱電特性測定の結果、Cr 置換により電気伝導率は $x=0.01$ で最大値を示し、置換量の増加に伴って低下、ゼーベック係数は置換量の増加に伴って増加した。また、熱伝導率は $x=0.6$ で最小値をとり、両端の組成付近で向上した。性能指数 ZT は、 $x=0.05$ 、840 K において最大値 2.23×10^{-2} を示した。

さらに電気伝導性銅酸化物である $\text{La}_5\text{SrCu}_6\text{O}_{15-\delta}$ (La516)相の元素置換効果と熱電特性の発現について研究を行った。La516 相は酸化物としては高い電気伝導度を有しており、元素置換によるフォノン状態の変化、キャリアー量の調整、および化学的圧力効果などにより、無次元熱電変換性能指数 ZT が高い新規熱電変換材料が得られる可能性がある。そこで La516 相の Cu^{2+} サイトにイオン半径、磁性の異なる Fe^{2+} 、 Sr^{2+} サイトに Cu および Fe の形式価数の制御、加えて格子に局所的な歪みをもたせることを目的に、 Nd^{3+} を置換した新しい置換型固溶体 $\text{La}_5\text{Sr}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{Cu}_{6-x}\text{Fe}_x\text{O}_{15-\delta}$ を合成し、得られた試料の磁気的性質および熱電特性の評価を行うことを目的とした。XRD 測定の結果、置換型固溶体の単一相が得られたことが明らかとなった。 $\text{La}_5\text{Sr}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{Cu}_{6-x}\text{Fe}_x\text{O}_{15-\delta}$ の磁化率測定の結果、約 50 K 以上ではほとんど温度依存性がなく、Pauli 常磁性的な挙動を示した。Fe 置換化合物であるにもかかわらず、Fe に由来する局在モーメントが消失していることを示唆する。熱電特性については、Fe 置換量 x の増加に伴って ZT が増加し、 $x=0.6$ 、1030 K において最大値 $ZT=3.86 \times 10^{-2}$ を示した。 σ は減少したが、 S の増大と κ の減少が大きく影響していると考えられる。 $x=0.7$ では、 σ の減少、 S が $x=0.6$ からほとんど増加しなかったため、 ZT は $x=0.6$ 時と比べ、減少した。3 次元的 Cu-O ネットワーク構造をもつ La516 相において、新規 Fe 置換型固溶体を合成し、元素置換によるフォノン状態の変化、キャリアー量の調整、および化学的圧力効果による電子相関の増強により、 ZT 向上の可能性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Adachi Yoshinobu, Hatada Naoyuki, Kato Masaki, Hirota Ken, Uda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental validation of high electrical conductivity in Ni-rich LaNi _{1-x} FexO ₃ solid solutions (x = 0.4) in high-temperature oxidizing atmospheres	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00983K	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Le Tung Duy, Hirota Ken, Kato Masaki, Miyamoto Hiroyuki, Yuasa Motohiro, Nishimura Toshiyuki	4. 巻 46
2. 論文標題 Fabrication of dense ZrB ₂ /B ₄ C composites using pulsed electric current pressure sintering and evaluation of their high-temperature bending strength	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 18478 ~ 18486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2020.04.153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 YOSHIDA Minori, HIROTA Ken, KATO Masaki, ZINNO Kazuhito, HAYASHI Takayuki, KIMURA Hideo	4. 巻 67
2. 論文標題 Fabrication of Dense ZrO ₂ -Al ₂ O ₃ Ceramics by Pressure-less Sintering Using Neutralization Co-Precipitated Powders with Cellulose Nano-Fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 381 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.381	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 HIROTA Ken, NAKAMURA Ibuki, WATANABE Kazumasa, TANIGUCHI Tomoki, KATO Masaki, UESUGI Naoki, KIMURA Hideo, NAKATA Akiyuki	4. 巻 67
2. 論文標題 Additive Manufacturing of Ceramics Using a Fused Deposition Modeling (FDM)-Type 3D Printer and Their Microwave Sintering and HIP Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 431 ~ 440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Forslund Ola Kenji, Ohta Hiroto, Kamazawa Kazuya, Stubbs Scott L., Ofer Oren, M?nsson Martin, Michioka Chishiro, Yoshimura Kazuyoshi, Hitti Bassam, Arseneau Donald, Morris Gerald D., Ansaldo Eduardo J., Brewer Jess H., Sugiyama Jun	4. 巻 102
2. 論文標題 Revisiting the A-type antiferromagnet NaNiO2 with muon spin rotation measurements and density functional theory calculations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 18442-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.184412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Adachi Yoshinobu, Hatada Naoyuki, Hirota Ken, Kato Masaki, Uda Tetsuya	4. 巻 102
2. 論文標題 Preparation of Pure and Fully Dense Lanthanum Nickelates $\text{La}_{n+1}\text{Ni}_n\text{O}_{3n+1}$ ($n = 2, 3, \dots$) by Post-Sintering Oxidation Process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 7077 ~ 7088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.16611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 NGUYEN Thi Minh Phuong, HIROTA Ken, KATO Masaki, TSUKAGOSHI Kazuhiko, YAMADA Hirohisa, TERABE Atsuki, MIZUTANI Hideto	4. 巻 66
2. 論文標題 Dependence of Antibacterial Activity of ZnO Powders on Their Physico-chemical Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 434 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.66.434	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shirakami Ryu, Ueda Hiroaki, Jeschke Harald O., Nakano Hiroki, Kobayashi Shintaro, Matsuo Akira, Sakai T?ru, Katayama Naoyuki, Sawa Hiroshi, Kindo Koichi, Michioka Chishiro, Yoshimura Kazuyoshi	4. 巻 100
2. 論文標題 Two magnetization plateaus in the kagome fluoride $\text{Cs}_2\text{LiTi}_3\text{F}_{12}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174401-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.174401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Shintaro, Katayama Naoyuki, Manjo Taishun, Ueda Hiroaki, Michioka Chishiro, Sugiyama Jun, Sassa Yasmine, Forslund Ola Kenji, Mansson Martin, Yoshimura Kazuyoshi, Sawa Hiroshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Linear Trimer Formation with Antiferromagnetic Ordering in 1T-CrSe ₂ Originating from Peierls-like Instabilities and Interlayer Se-Se Interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 14304 ~ 14315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b00186	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Haraguchi Yuya, Nawa Kazuhiro, Michioka Chishiro, Ueda Hiroaki, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Avdeev Maxim, Sato Taku J., Yoshimura Kazuyoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Frustrated magnetism in the J1-J2 honeycomb lattice compounds MgMnO ₃ and ZnMnO ₃ synthesized via a metathesis reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 124406-1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.124406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 乾格史郎, 加藤将樹, 廣田健
2. 発表標題 三角格子構造を有するデラフォサイト型酸化物の元素置換効果と物性評価
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2020年度秋季大会 (第126回講演大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林陽太郎, 加藤将樹, 廣田健
2. 発表標題 特異な構造を有するバナジウム酸化物の元素置換効果と物性評価
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2020年度秋季大会 (第126回講演大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中俊介, 道岡千城, 植田浩明, 吉村一良
2. 発表標題 山中俊介, 道岡千城, 植田浩明, 吉村一良
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奈良建佑, 森山広大, 村川謙一, 道岡千城, 植田浩明, 太田寛人, 香取浩子, 吉村一良
2. 発表標題 (Ca _{1-x} Mg _x) ₂ Co ₁₂ P ₇ の遍歴電子磁性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小菅優太, 廣田健, 加藤将樹, 石井顕人), 岡村克己
2. 発表標題 HIPによる高密度c-BN/[ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)-Al ₂ O ₃]系コンポジットの作製
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会 (第123回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤将樹
2. 発表標題 パイロクロア型遷移金属酸化物の物性化学
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会 (第123回講演大会) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 浩, 加藤 将樹, 廣田 健
2. 発表標題 熱電特性を有する三角格子構造Na _{0.7} CoO ₂ の元素置換効果による物性評価
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会 (第123回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tung Duy Le, Ken Hirota, Masaki Kato, Hiroyuki Miyamoto
2. 発表標題 Fabrication of dense ZrB ₂ /B ₄ C composites using pulsed electric-current pressure sintering
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会 (第123回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤将樹, 稲垣 浩, 廣田 健
2. 発表標題 熱電変換特性を示す層状コバルト酸化物の固体化学的展開
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会JASMAC-31
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良建佑, 森山広大, 村川譲一, 道岡千城, 植田浩明, 太田寛人, 香取浩子, 吉村一良
2. 発表標題 遍歴磁性体 (Ca _{1-x} Mg _x) ₂ Co ₁₂ P ₇ の単結晶を用いた磁性研究
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tung Duy LE, Ken HIROTA, Masaki KATO, Motohiro YUASA, Hiroyuki MIYAMOTO, Toshiyuki NISHIMURA
2. 発表標題 Fabrication and High-temperature Bending Strength of Fully Dense ZrB ₂ /50vol%B ₄ C Composites
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Thi Minh Phuong NGUYEN, Masaki KATO, Ken HIROTA, Kazuhiko TSUKAGOSHI, Atsuki TERABE, Hideto MIZUTANI
2. 発表標題 Preparation of anatase-type titanium dioxide having strong antibacterial activity under dark conditions
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田 健, 中村維吹, 渡辺一匡, 谷口智紀, 加藤 将樹
2. 発表標題 熱熔融堆積法 3D プリンターによるセラミックスの造形体作製とそのマイクロ波焼結および HIP 処理
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度秋季大会 (第124回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 実憲, 廣田 健, 加藤 将樹
2. 発表標題 セルロースナノファイバーを用いたZrO ₂ -Al ₂ O ₃ 系中和共沈粉体の無加圧焼結による高密度セラミックスの作製
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度秋季大会 (第124回講演大会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉村一良、加藤将樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 内田老鶴園	5. 総ページ数 284
3. 書名 無機固体化学 構造論・物性論	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 熱電材料及びその製造方法	発明者 加藤将樹, 廣田健, 福原雅博	権利者 同志社大学
産業財産権の種類、番号 特許、2021-018176	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	廣田 健 (Hirota Ken) (30238414)	同志社大学・理工学部・教授 (34310)	
研究分担者	道岡 千城 (Michioka Chishiro) (70378595)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------