

令和 2 年 5 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02266

研究課題名(和文) カチオン配列制御・酸素配位構造制御による新規機能性遷移金属酸化物の創製

研究課題名(英文) Exploring novel functional transition-metal oxides by controlling cation arrangements and oxygen coordination

研究代表者

島川 祐一 (Shimakawa, Yuichi)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：20372550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：遷移金属酸化物に焦点をあて、高圧合成、原子層薄膜作製、さらには低温トポタクティック物質変換などのユニークな固体化学的合成手法を駆使して、興味深い物性変化を示す幾つかの新物質を見出すことに成功した。特に、異常高原子価と呼ばれる高い価数状態のFeやCoイオンを含んだ酸化物では、カチオン秩序配列と酸素配位構造の制御により、磁性、電気伝導性、酸素イオン拡散特性などが制御でき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

異常原子価状態を含めた広範な原子価制御の確立とともに、価数変化に応じた構造変化と物性変化から遷移金属酸化物の固体化学を構築する基礎データを得ることができた。また見出された物性変化は、機能特性として応用できるものもあり、電子デバイスのみならず、資源・エネルギー・環境問題の解決に資する新しい機能材料の開発にも繋がるものである。

研究成果の概要(英文)：We found several novel transition-metal oxides with new functional properties by high-pressure synthesis, epitaxial thin film growth, and topochemical reactions. In a few oxides containing unusually high valence Fe and Co cations, properties such as magnetism, electrical conductivity, and oxide-ion diffusion, were controlled by modifying their cation arrangements and oxygen coordination.

研究分野：固体化学

キーワード：遷移金属酸化物 原子価制御 配位構造制御 高圧合成 薄膜作製

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

持続可能な社会の構築に向けて、資源・エネルギー・環境問題の解決に向けた新しい機能特性を示す材料の開発が将来の産業発展を目指す上で必要となっている。将来の社会基盤をなすような新奇な機能を有する物質・材料の創製は、社会的にも大きな期待が寄せられている非常に重要な研究分野である。また、新物質における新奇な物性の発見は、固体の化学と物理における新たな学際研究分野を生み出す可能性があり、基礎科学発展のうえからも重要な意味を持つ。

研究代表者を中心とする研究チームは、一貫してこのような学術的・社会的な要請に応えることを目標にした物質・材料基礎研究を行ってきており、これまでに幾つかの非常に興味深い新物質と新現象を発見してきた。得られた成果を基に発展させることで、更に新たな新物質を発見し、新奇な機能特性を見出す研究ができると思った。

2. 研究の目的

本研究では、遷移金属酸化物に焦点をあて、通常では得ることのできない非平衡準安定な物質までを含めた人工酸化物を、カチオン配列制御と酸素配位構造制御という 2 つの観点から創製することを目的とした。特に、高圧合成、原子層薄膜作製、さらには低温トポタクティック物質変換を加えたユニークな固体化学的合成手法を駆使して、新物質の探索と合成を展開する。新物質では、遷移金属イオンの異常原子価状態や特異な酸素配位構造が安定化され、電子状態や遷移金属イオン間の相互作用が変化することでこれまでにはない新奇な機能特性発現の可能性があり。ユニークな手法で合成された物質での構造・物性相関から新奇機能特性を探求し、デザインされた遷移金属酸化物の物質創製を行う新しい固体化学研究の確立を目指す。

3. 研究の方法

本課題は 4 年間の研究期間の中で、カチオン秩序配列と酸素配位構造を制御した新物質の創製を原子レベルの構造評価と組み合わせで行ってきた。特に、研究前半では高圧合成とエピタキシャル原子層薄膜積層による物質合成に注力し、後半ではさらに低温トポタクティック物質変換を加えることで、通常の合成反応では得ることができない非平衡準安定な物質までを創製した。合成した新物質の評価から酸化物中の遷移金属イオンの原子価状態、酸素配位構造などの基礎的な構造・物性データの構築を行い、さらに、磁性、電気伝導性、などの物性に注目しながら、新奇な機能特性の探求とその原理解明を行った。

4. 研究成果

(1) トポタクティック物質変換と高圧合成を用いて、異常高原子価 Fe イオンを含んだ $\text{LaCa}_2\text{Fe}_3\text{O}_9$ と $(\text{La}_{1/3}\text{Ca}_{2/3})\text{FeO}_3$ を合成した。安定な Fe^{3+} を含む酸素欠損ペロブスカイト $\text{LaCa}_2\text{Fe}_3\text{O}_8$ を前駆体として、比較的低い温度 (500°C) でトポタクティックな酸化反応を施すと、A サイトの $\text{La}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ が層状の秩序配列を維持したまま $\text{LaCa}_2\text{Fe}_3\text{O}_9$ を合成することができる。一方、同じ前駆体を 1500°C で高圧酸化処理をすると、同じ化学組成でありながら A サイトのカチオンが無秩序の $(\text{La}_{1/3}\text{Ca}_{2/3})\text{FeO}_3$ を得ることができる。この両物質は化学組成が全く同じであり、共に異常原子価 $\text{Fe}^{3.67+}$ イオンを含んでいる。これらの物性測定から、A サイトイオンの配列の違いにより、全く異なる電荷転移パターンが現れることが明らかとなった。異常原子価イオン $\text{Fe}^{3.67+}$ はその電子的な不安定性を解消するために低温で 2 : 1 の Fe^{3+} と Fe^{5+} に電荷不均化 ($\text{Fe}^{3.67+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2\text{Fe}^{5+}$) を起こす。この時に、 $\text{LaCa}_2\text{Fe}_3\text{O}_9$ では、初めに電荷不均化した Fe^{3+} と Fe^{5+} がペロブスカイト基本格子の $\langle 010 \rangle$ の方向に 2 次元的に層状配列し、さらに低温にすると基本格子の $\langle 111 \rangle$ 方向に 3 次元的に配列する。一方の $(\text{La}_{1/3}\text{Ca}_{2/3})\text{FeO}_3$ は、2 次元的な電荷不均化配列は示さず、1 回の転移で $\langle 111 \rangle$ 方向に沿った 3 次元的配列パターンへと変化する。これは、層状/無秩序に配列した A サイトイオンによる電荷ポテンシャルの違いが電荷不均化したイオンの配列に影響を与えたものである。一連の結果は、カチオン秩序配列が電荷転移とその配列パターンを制御するキーパラメータであることを示している。

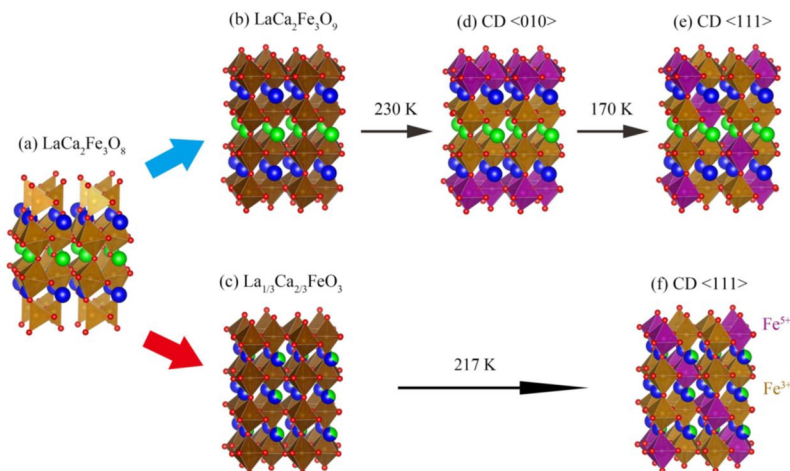
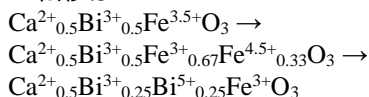


図 1: 異常高原子価 Fe イオンを含んだ A サイト層状秩序 $\text{LaCa}_2\text{Fe}_3\text{O}_9$ と無秩序 $(\text{La}_{1/3}\text{Ca}_{2/3})\text{FeO}_3$ の電荷不均化配列パターンの変化

(2) 高酸化雰囲気下での高圧法を用い、高温からクエンチすることで A サイトの Ca と Bi で無秩序に配列し、B サイトの Fe イオンが異常高原子価 ($\text{Fe}^{3.5+}$) であるペロブスカイト構造 $\text{Ca}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ の合成に初めて成功した。この物質は 250 K と 200 K で構造相転移を起こすがこの転移が



で表される電荷不均化とサイト間電

荷移動の逐次的電荷転移であることを明らかにした。このように単一の物質中で 2 回の電荷転移が起こることが確認されたのは初めてである。さらに、電荷不均化した状態においては異常高原子価にある $\text{Fe}^{4.5+}$ イオンのスピンの隣接する Fe^{3+} スピンの反強磁性配列に起因する幾何学的磁気フラストレーションによりアイドル状態となることを中性子磁気構造解析から明らかにした。

一方、同様に高圧法で合成した $\text{Sr}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ では、異常高原子価 $\text{Fe}^{3.5+}$ イオンが結晶の $\langle 111 \rangle$ 方向に沿って 3:1 の Fe^{3+} と Fe^{5+} に秩序配列する単一の電荷不均化転移を示すことも明らかとなった。これは、 $\text{Ca}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ での逐次相転移とは大きく異なる様式で異常高原子価状態の電子的な不安定性を解消していることを示している。

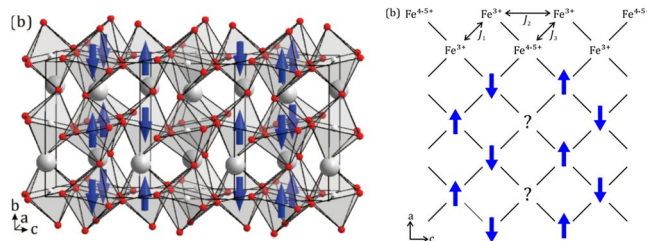


図 2: $\text{Ca}^{2+}_{0.5}\text{Bi}^{3+}_{0.5}\text{Fe}^{3+}_{0.67}\text{Fe}^{4.5+}_{0.33}\text{O}_3$ の磁気構造と幾何学的フレストレーションによるアイドルスピン状態

(3) A サイトのカチオンが秩序配列した YBaCo_2O_5 をオゾンを用いて低温でトポクティックに酸化することで、異常原子価状態 $\text{Co}^{3.5+}$ イオンを含んだ YBaCo_2O_6 を合成することに成功した。 YBaCo_2O_5 中では $\text{Co}^{2.5+}$ イオンは酸素が 5 配位したピラミッド構造であったが、トポクティックな酸化により酸素 6 配位八面体構造の $\text{Co}^{3.5+}$ へと変化した。この物質ではスピン系と格子系との強い相互作用により、140 K において結晶構造の歪みを伴い $\text{Co}^{3.5+}$ が中間スピン状態の強磁性となる。さらに興味深い点は、比較的電子相関が強いにも関わらず低温まで金属的な電気伝導を示すことである。このような中間スピン状態を有する Co の強磁性金属酸化物は非常に珍しい。酸化物材料の中で Co を含んだ化合物は、Co イオンのスピンと軌道の自由度と、さらにはそれらが格子とも強く結合することによりさまざまな物性が現れるが、本研究の成果は高原子価状態を用いることで物性発現の可能性をさらに大きく拡げることが可能となることを示している。

(4) オゾンによる強酸化雰囲気下でトポクティックに合成して得られた B サイトのカチオンが秩序配列した $\text{Ca}_2\text{FeMnO}_6$ を用いて、異常高原子価状態の還元に伴う酸素の脱離過程を明らかにした。B サイトの Fe^{4+} と Mn^{4+} の高原子価状態は Fe^{4+} の還元が優先的に起こり、その結果、層状秩序配列に応じた層選択的な酸素の脱離とそれに伴う結晶構造の変化が起こる。さらに、酸素脱離の過程では、酸素空孔の秩序配列により $\text{Fe}^{3.5+}$ の中間混合原子価状態が安定化されることも明らかとなった。一方で、B サイトが無秩序に配列した $\text{CaFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ では、同じ化学組成でありながら、 $\text{Fe}^{3.5+}$ は安定化されず、 Fe^{4+} と Fe^{3+} の還元が一気に起こる。一連の結果は、B サイトのカチオン秩序配列を制御することで、酸素の配位構造変化を通じた酸素イオンの脱離を制御できることを示している。このような酸素脱離過程の制御は、酸素貯蔵材料や酸化物イオン伝導材料の開発に向けた基礎的なデータとなるものである。

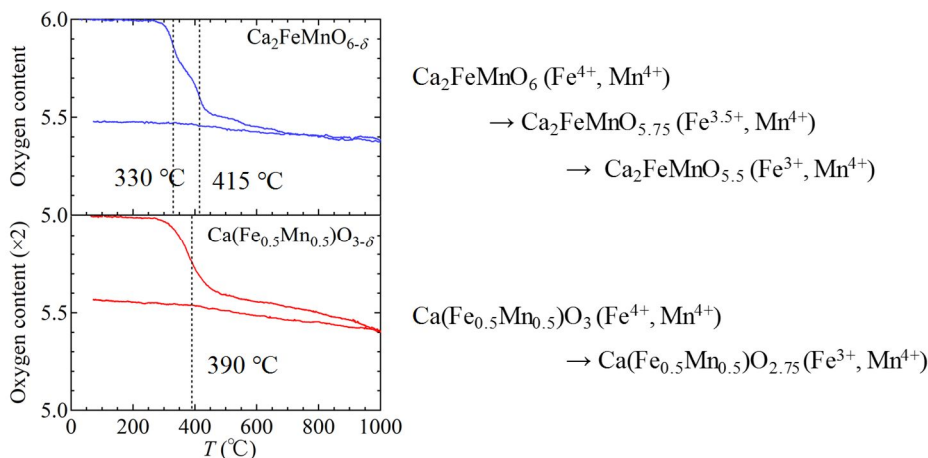


図 3: $\text{Ca}_2\text{FeMnO}_6$ と $\text{CaFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ の酸素脱離過程と原子価変化

(5) 原子層単位で成長を制御したエピタキシャル薄膜では、そのヘテロ構造界面において基板材料との格子ミスマッチによる構造変化に起因する物性変化が現れる。遍歴強磁性体である SrRuO₃ はフェルミ準位付近での特異なバンド構造を反映した磁気輸送特性が現れるが、最近では、界面での反転対称性の破れに起因するトポロジカルホール効果や磁気スキルミオンが発現するという指摘もあり注目を集めている。本研究ではパルスレーザー蒸着法を用いてエピタキシャル SrRuO₃ 薄膜を作製し、電界印加下での輸送特性に注目した。HfO₂ ゲート絶縁層を通して SrRuO₃ 層へゲート電圧 (V_G) を印加して異常ホール効果 (ρ_{AHE}) の測定したところ、 ρ_{AHE} の符号が反転する温度近傍 (76.6 K) でトポロジカルホール効果と報告されたものに似た複数のピーク形状を示す変化が観測された。しかしながら、 V_G の印加によって ρ_{AHE} の符号だけでなくこのピーク構造も変調されることなどから、観測されたピーク構造やその変調は、薄膜中に正と負の異常ホール効果を示す領域が共存するモデルでも説明可能であることを提案した。

さらに、この薄膜の熱電特性の評価を行ったところ、電子物性と相関した熱的な特性にも特徴的な振る舞いが現れることも初めて明らかにした。

(6) 高い電子移動度を示す La ドープ BaSnO₃ ペロブスカイト構造酸化物の高品質なエピタキシャル薄膜の作成条件を検討した。薄膜成長過程において、カチオンの不定比性、特に薄膜中の Sn イオンの過不足が蒸着時のレーザーの出力に大きく依存することがわかり、その結果、結晶構造と電子移動度が大きく影響を受けることが明らかになった。また、高い電子移動度は定比に近い非常に狭い組成領域にのみ現れることも明らかになった。

(7) 原子層単位で成長を制御したエピタキシャル薄膜を用いて、遷移金属酸化物中の酸素イオンの拡散挙動を明らかにした。対象としたのは、酸素欠損ペロブスカイト構造酸化物である SrFeO_{2.5+ δ} である。酸素欠損が規則配列したブラウンミレライト構造 SrFeO_{2.5} ($\delta = 0$) は Fe³⁺ を含む絶縁体であるが、これを空气中でアニールすると酸素が取り込まれ SrFeO_{2.5+ δ} となり、Fe が混合原子価状態となるために電気伝導性を示すようになる。原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、薄膜表面における電気伝導特性を観察したところ、酸素イオンの取り込みによる電気伝導性が、原子レベルで平坦な薄膜テラス構造のステップ端でのみで観察された。この結果は、酸素イオンが薄膜テラス構造のステップ端から取り込まれ、その後に薄膜内部へと拡散していくことを示している。このような酸素イオンの拡散挙動をナノスケールレベルで解明したのは初めての例である。

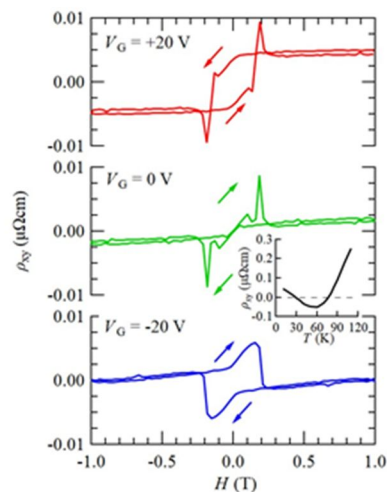


図 4: SrRuO₃/NdGaO₃ ヘテロ構造における異常ホール抵抗率 ρ_{AHE} の外部磁場依存性

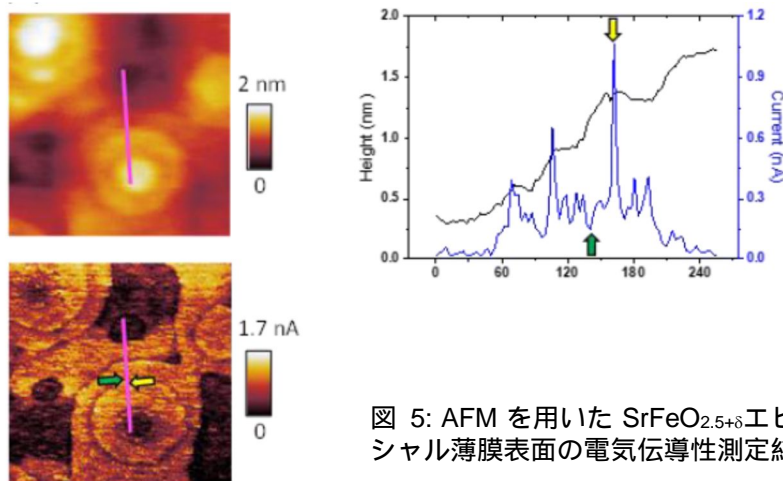


図 5: AFM を用いた SrFeO_{2.5+ δ} エピタキシャル薄膜表面の電気伝導性測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計38件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Denis Romero Fabio, Amano Patino Midori, Haruta Mitsutaka, Kurata Hiroki, Attfield J. Paul, Shimakawa Yuichi	4. 巻 59
2. 論文標題 Conversion of a Defect Pyrochlore into a Double Perovskite via High-Pressure, High-Temperature Reduction of Te6+	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 343 ~ 349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b02472	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 該当する
1. 著者名 A. Koedtrud, M. Goto, M. Amano Patino, Z. Tan, H. Guo, T. Nakamura, T. Handa, W. -T. Chen, Y. -C. Chuang, H. -S. Sheu, T. Saito, D. Kan, Y. Kanemitsu, A. Wakamiya, and Y. Shimakawa	4. 巻 7
2. 論文標題 Structure-property relations in Ag-Bi-I compounds: potential Pb-free absorbers in solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. A	6. 最初と最後の頁 5583-5588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TA11227D	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 該当する
1. 著者名 D. Kan, T. Moriyama, K. Kobayashi, and Y. Shimakawa	4. 巻 98
2. 論文標題 Alternative to the topological interpretation of the transverse resistivity anomalies in SrRuO3	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B (Rapid)	6. 最初と最後の頁 180408(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.180408	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 M. Goto, T. Saito, and Y. Shimakawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Unusual Ferromagnetic Metal: A-Site-Layer-Ordered Double Perovskite YBaCo206 with Unusually High Valence Co3.5+	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 8702-8706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.8b04203	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 Y. Heo, D. Kan, and Y. Shimakawa	4. 巻 113
2. 論文標題 Nanoscale oxygen ion dynamics in SrFeO _{3-d} epitaxial thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 221904/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5046749	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 Y. Shimakawa, M. Lufaso, and P. M. Woodward	4. 巻 6
2. 論文標題 Negative and positive thermal expansion-like volume changes due to intermetallic charge transfer based on an ionic crystal model of transition-metal oxides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 86106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5042510	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 該当する

1. 著者名 P. Xiong, F. D. Romero, Y. Hosaka, H. Guo, T. Saito, W. -T. Chen, Y. -C. Chuang, H. -S. Sheu, G. McNally, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa	4. 巻 57
2. 論文標題 Charge Disproportionation in Sr _{0.5} Bi _{0.5} FeO ₃ Containing Unusually High Valence Fe ^{3.5+}	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 843-848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.7b02785	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 該当する

1. 著者名 F. D. Romero, Y. Hosaka, N. Ichikawa, T. Saito, G. McNally, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa	4. 巻 96
2. 論文標題 Charge and spin order in Ca _{0.5} Bi _{0.5} FeO ₃ : Idle spins in the charge disproportionated state	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 64434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.064434	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 該当する

1. 著者名 Y. Hosaka, F. D. Romero, N. Ichikawa, T. Saito, and Y. Shimakawa	4. 巻 56
2. 論文標題 Successive Charge Transitions of Unusually High-Valence Fe ^{3.5+} : Charge Disproportionation and Intermetallic Charge Transfer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 4243-4246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201700881	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 H. Guo, Y. Hosaka, F. D. Romero, T. Saito, N. Ichikawa, and Y. Shimakawa	4. 巻 56
2. 論文標題 Two Charge Ordering Patterns in the Topochemically Synthesized Layer-Structured Perovskite LaCa ₂ Fe ₃ O ₉ with Unusually High Valence Fe ^{3.67+}	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 3695-3701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.7b00104	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 T Saito, S. Zhang, D. Khalyavin, P. Manuel, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa	4. 巻 95
2. 論文標題 G-type antiferromagnetic order in the metallic oxide LaCu ₃ Cr ₄ O ₁₂	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B (Rapid)	6. 最初と最後の頁 41109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.041109	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 該当する

1. 著者名 H. Hosaka, N. Ichikawa, T. Saito, J. P. Attfield, and Y. Shimakawa	4. 巻 94
2. 論文標題 "Charge and spin order in the perovskite CaFe _{0.5} Mn _{0.5} O ₃ : Charge disproportionation behavior of randomly arranged Fe ⁴⁺	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev., B	6. 最初と最後の頁 104429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.104429	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 該当する

〔学会発表〕 計36件（うち招待講演 32件 / うち国際学会 32件）

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Oxygen incorporation and release behaviors in topotactic changes of cation-ordered perovskite-structure oxides
3. 学会等名 10th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Oxygen incorporation and release behaviors in perovskite-structure oxides
3. 学会等名 Sustainable Industrial Processing Summit & Exhibition (SIPS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Crystal and magnetic structures of perovskite-structure oxides containing unusual high valence Fe
3. 学会等名 3rd Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering (AOCNS 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Control of valence states and oxygen coordinations in transition-metal oxide thin films
3. 学会等名 Solid State Chemistry International Workshop -Functional Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Charge and spin transitions in perovskite-structure oxides containing unusually high-valence Fe
3. 学会等名 International Workshop on Complex Oxides (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Magnetic structures of ordered perovskites
3. 学会等名 International Symposium on Solid State Chemistry of Transition Metal Oxides (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Charge and spin order in perovskite-structure oxides
3. 学会等名 International Winter School -2018 Frontiers in Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Control of Oxygen Coordination Environment in Transition-Metal Oxides
3. 学会等名 International Workshop on Oxide Electronics (WOE24) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Control of physical properties by cation order in perovskite-structure transition-metal oxides
3. 学会等名 4th Workshop on Complex Oxides (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Novel transition-metal oxides with unusual valence cations
3. 学会等名 Symposium on Quantum Materials Synthesis: Grand Challenges and Opportunities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 High pressure in transition-metal oxides research: Materials synthesis and property control
3. 学会等名 E-MRS Fall meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Shimakawa
2. 発表標題 Charge order in perovskite-structure Fe oxides
3. 学会等名 International Symposium on Solid State Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学化学研究所、先端無機固体化学（島川）研究室
<http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~shimakgr/index.html>

Shimakawa group, ICR, Kyoto University
<http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~shimakgr/indexE.html>

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	菅 大介 (Kan Daisuke) (40378881)	京都大学・化学研究所・准教授 (14301)	
研究分担者	齊藤 高志 (Saito Takashi) (40378857)	京都大学・化学研究所・助教 (14301)	平成30年度より雇用形態の変更により分担者から外れた。