

令和元年6月19日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02291

研究課題名(和文) 結合原子価エネルギーによるイオン伝導性新構造ファミリーの探索

研究課題名(英文) Exploration of the New Structure Families Exhibiting Ion Conduction through Bond-Valence-based Energy

研究代表者

八島 正知 (Yashima, Masatomo)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：00239740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,900,000円

研究成果の概要(和文)：数百種類の化合物について結合原子価法でイオン伝導体としてのスクリーニングを行った。候補材料とその固溶体，84組成の単相試料を合成した。そのうち電気伝導度の温度依存性を調べた組成が70，新イオン伝導体28を発見した。例えば，LaSr₂Ga₁₁O₂₀が新構造型のイオン伝導体であることを見出し特許を取得した。新構造型酸化物イオン伝導体Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆とSrYbInO₄を発見，YSZより酸化物イオン伝導度が高い新材料も発見し，特許を申請した。パイロクロア型酸化物イオン伝導体におけるイオン伝導経路を初めて実験で可視化した。アパタイト型酸化物イオン伝導体に格子間酸素が無い事を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数百種類の化合物について結合原子価に基づいた理論的方法と様々な実験を組み合わせた効率的な手法を駆使することにより，新構造型のイオン伝導体のスクリーニングを実行して論文と特許にまとめたことは学術的および社会的に意義深い。実際，新構造型イオン伝導体を28も発見したのは大きな成果であり，エネルギー問題と環境問題を解決する一助になると期待され，社会的にも意義深い。また世界で初めてパイロクロア型イオン伝導体のイオン拡散経路の可視化に成功した事は歴史的な仕事で学術的に意義深い。アパタイト型酸化物イオン伝導体に格子間酸素が存在しないことを実証して常識を覆したことは画期的な成果であり，学術的に意義深い。

研究成果の概要(英文)：To explore new structural-type ion conductors, we have screened several hundred compounds. Single-phase samples of 84 compositions of candidate materials and their solid solutions were synthesized. We investigated their structural and electrical properties. In this project, we discovered 28 new structural-type ion conductors. LaSr₂Ga₁₁O₂₀ was found to be a new structural-type ion conductor and a patent was obtained. We also discovered new structural-type oxide-ion conductors Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆ and SrYbInO₄. New structural-type oxide-ion conductors exhibiting electrical conductivities higher than those of YSZ were also discovered in this project. We have experimentally visualized the oxide-ion diffusion pathways of pyrochlore-type oxides for the first time by high-temperature neutron diffraction and maximum-entropy method. Surprisingly, we have also found no interstitial oxygen atoms in the apatite-type oxide-ion conductors by the single-crystal neutron and X-ray diffraction analyses.

研究分野：無機材料物性

キーワード：イオン伝導体 結晶構造 新構造ファミリー 中性子回折 放射光X線回折 電気伝導性 燃料電池 センサー

1. 研究開始当初の背景

酸化物イオン伝導体は、固体酸化物形燃料電池、センサー、環境触媒、酸素透過膜など幅広く応用できる。エネルギー・環境分野の技術革新には優れた酸化物イオン伝導体を開発することが重要である。高い酸化物イオン伝導度は、蛍石型構造やペロブスカイト型構造など特定の構造ファミリー(結晶構造型)で発現する。したがって、無機材料科学と工学および固体イオニクスの発展のためには、新しい構造ファミリーのイオン伝導体の探索と発見が必要である。

2. 研究の目的

本課題ではイオン伝導体として過去に検討されてこなかった構造ファミリーの物質群について、結晶格子中をイオンが移動できる経路が存在するか否かを、結合原子価の総和(BVS)あるいは結合原子価に基づいた酸化物イオンのエネルギー図(BVEL)により検討してスクリーニングを行い、合成した候補化合物の結晶構造と電気的性質を実験で調べることによって新構造型の酸化物イオン伝導体を探索することを目的としている。

3. 研究の方法

凝縮体中の任意のイオン A_i に近接する対イオン X_j との結合原子価 v_{ij} は結合距離 d_{ij} の関数、 $v_{ij} = \exp[(R_{ij}-d_{ij})/b]$ で表される。ここで結合原子価パラメーター、 R_{ij} と $b (= 0.37 \text{ \AA})$ は経験パラメーターである。凝縮体中の任意のイオン A_i に近接するすべての対イオン X_j との結合原子価の総和(BVS) は $v_i = \sum_j v_{ij} = \sum_j \exp[(R_{ij}-d_{ij})/b]$ で計算される。任意の位置 x に、ある一つのテストイオン (O^{2-}) を置き、それが近接する対イオンとの結合についての結合原子価の総和 BVS(x) がテストイオンの形式酸化数の絶対値 z との差「差結合原子価の総和」 $DBVS \equiv BVS(x) - z$ の空間分布あるいは等値面(例えば $DBVS = \pm 0.1 \text{ vu}$) を調べることでテストイオンの拡散経路を研究し、新型イオン伝導体を探索した。また、BVSに基づいてテストイオンのエネルギー(BVE: Bond Valence-based Energy)を近似的に見積もり、イオンが格子をまたいで移動するときのエネルギー障壁 E_b を調べることで新型酸化物イオン伝導体を探索した。さらにエネルギー障壁 E_b が比較的低い候補化合物を実際に合成し、その結晶構造と電気的性質を実験的に研究した。すなわち結合原子価法と実験を組み合わせた新しい手法を提案し、新物質のスクリーニングを行った。本研究課題により、文献リストに示す約 300 の化合物に加え、数百種類の化合物についてスクリーニングを行った。実際に 200 組成以上のサンプルの合成を試み、ほぼ単相の試料の電気伝導度の温度および酸素分圧依存性を調べた。合成した試料の結晶構造を放射光 X 線回折と中性子回折により研究し、電気伝導度の温度・酸素分圧依存性を調べた。

4. 研究成果

候補材料とその固溶体、84 組成について、ほぼ単一相の試料の合成に成功した。そのうち電気伝導度の温度依存性を調べた組成が 70、新イオン伝導体 28 を発見した。以下にいくつか詳述する。

①新型酸化物イオン伝導体 $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ とその固溶体の発見: La_2O_3 - SrO - Ga_2O_3 系における様々な化合物の DBVS 図を計算した。DBVS 図(図 1a)においてイオン拡散経路を形成する化合物 $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ を見出した[産業財産権 (4)]。結合原子価法により酸化物イオン伝導体を探索して見出した候補物質の一つ $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ を合成し、結晶相と酸化物イオン伝導を実験により研究した。図 1b に示すように、合成した $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ は $Pb_3GeAl_{10}O_{20}$ 型構造を有する。図 1c に示すように、合成した $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ の電気伝導度は酸素分圧に依らず一定であることから、酸化物イオンが支配的な伝導種であることが強く示唆される。このように、 $Pb_3GeAl_{10}O_{20}$ 型 $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ が、酸化物イオン伝導性を示す新しい構造ファミリーであることが実験で示された。

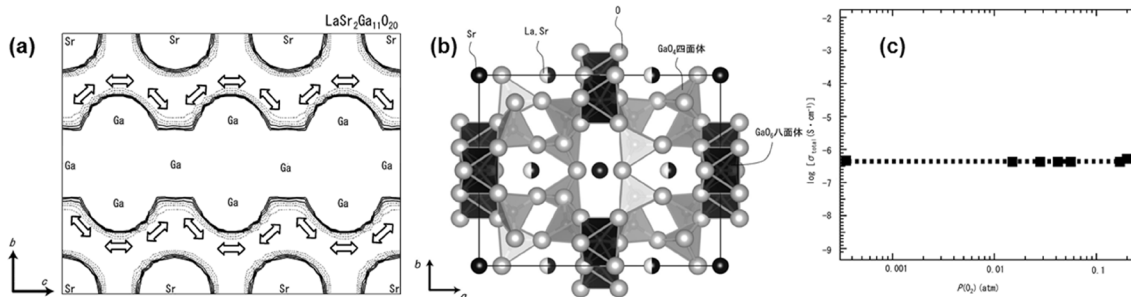


図 1: $LaSr_2Ga_{11}O_{20}$ の(a)DBVS 図, (b)精密化した結晶構造, (c)電気伝導度の酸素分圧依存性[産業財産権 (4)]。⇔はイオン伝導経路の可能性を示す。イオン伝導は(b)の GaO_6 八面体の稜に沿って生じると考えられる。

②新型酸化物イオン伝導体 $Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O_6$ の発見: 結合原子価法によるスクリーニングと実験を組み合わせた手法により、新構造型酸化物イオン伝導体 $Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O_6$ を発見した[雑誌論文(12)]。Sn を含む 147 種類の組成に対して結合原子価に基づく酸化物イオン移動のエネルギー障壁 E_b を計算した(図 2a)。比較的低いエネルギー障壁が低い $Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O_6$ を合成した。300 K と 1273 K で測定した放射光 X 線回折データのリートベルト解析により、

Mg₃TeO₆ 型構造を持つ単一の三方相であることがわかった。Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆ の電気伝導度は酸素分圧に依存しないことから(図 2b,c), Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆ が新構造型の酸化物イオン伝導体であることが強く示唆された。1273 K の構造から得た BVE 図(図 2d)は 3 次元のイオン伝導を示唆した。

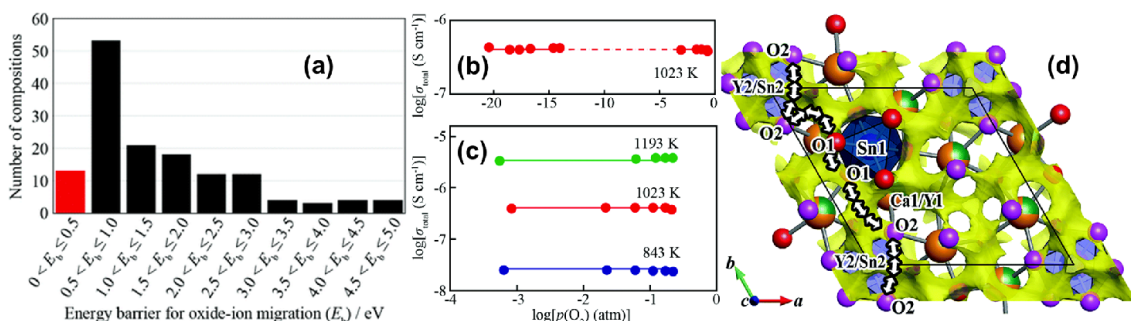


図 2: (a) 147 種類の Sn 含有酸化物のエネルギー障壁 E_b のヒストグラム, (b,c) Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆ の電気伝導度の酸素分圧依存性, (d) Ca_{0.8}Y_{2.4}Sn_{0.8}O₆ の構造と BVE 図(1273 K) [雑誌論文(12)] ©RSC.

③ **新型イオン伝導体 SrYbInO₄ の発見**: 固相反応法により合成した SrYbInO₄ は、直方単相であった。SrYbInO₄ の結晶構造は CaFe₂O₄ 型であり、二重八面体 B₂O₁₀ と C₂O₁₀ および Sr 陽イオンから成ることがわかった(図 3a)。ここで B は Yb_{0.574(2)}In_{0.426(2)}, C は In_{0.574(2)}Yb_{0.426(2)} であり、部分的な Yb/In 占有不規則性(occupational disordering)を示す。SrYbInO₄ の電気伝導度は、酸素分圧に依存せず(図 3b), イオンが支配的なキャリアであることが示唆された。よって SrYbInO₄ は CaFe₂O₄ 型構造を有する初めての純イオン伝導体であると考えられる [雑誌論文(6)].

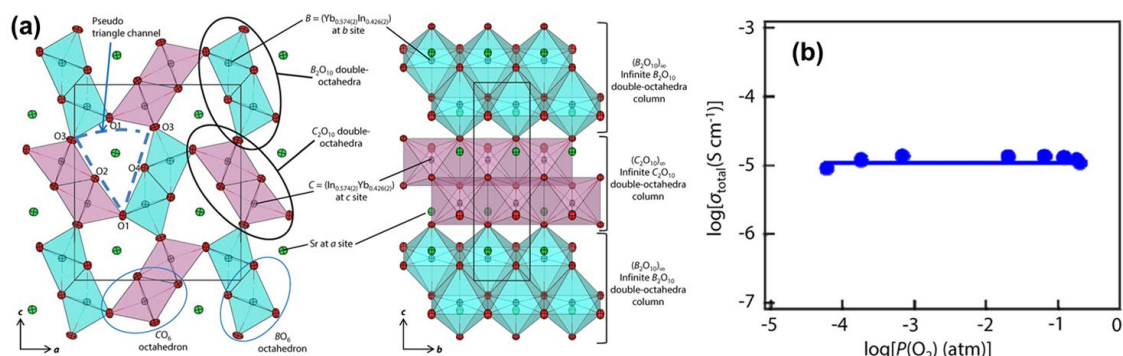


図 3: SrYbInO₄ の結晶構造(a)と電気伝導度の酸素分圧依存性(b) [雑誌論文(6)] ©ACS.

④ **新型イオン伝導体の発見およびイオン伝導体の結晶構造とイオン伝導経路の研究**: 本課題により 28 組成の多くの新型イオン伝導体を発見できた。その中には特許等の関係でまだ公開できないが、現在幅広く使われている YSZ よりも高いイオン伝導度を示す物質も含まれている [産業財産権 (1)]. すなわち結合原子価法と実験を組み合わせた新しい手法が、新型イオン伝導体の探索において有効であることが本研究課題により実証された。また、本課題では Yb₂Ti₂O₇ のイオン伝導経路を MEM で明らかにした [雑誌論文(11)]. これはパイロクロア型酸化物イオン伝導体では初となるイオン伝導経路の可視化という優れた研究成果である。また、アパタイト型酸化物イオン伝導体の構造を単結晶中性子回折法で詳しく調べ、従来の定説である「格子間酸素」は存在しないという画期的な成果を挙げることもできた [雑誌論文(13)].

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 22 件)

- (1) K. Fujii, M. Yashima, “Discovery and development of BaNdInO₄ —A brief review—”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, **126**(10), 2018, 852-859.
DOI:10.2109/jcersj2.18110
- (2) W. Zhang, M. Shiraiwa, N. Wang, T. Ma, K. Fujii, E. Niwa, M. Yashima, “Pr/Ba cation-disordered perovskite Pr_{2/3}Ba_{1/3}CoO_{3-δ} as a new bifunctional electrocatalyst for oxygen reduction and oxygen evolution reactions”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, **126** (10), 2018, 814-819.
DOI:10.2109/jcersj2.18076
- (3) M. Yashima, T. Tsujiguchi, K. Fujii, E. Niwa, S. Nishioka, J. R. Hester, K. Maeda, “Direct evidence for two-dimensional oxide-ion diffusion in the hexagonal perovskite-related oxide Ba₃MoNbO_{8.5-δ}”, *J. Mater. Chem. A*, 査読有, **7**, 2018, 13910-13916.

DOI:10.1039/C9TA03588E

- (4). 八島正知, 藤井孝太郎, 「報告 会議名 日本セラミックス協会年会サテライト: 第1回新材料の開発を目指した構造科学研究会: 中性子回折法を活かした構造科学の現状と未来」, 日本中性子科学会誌「波紋」, 査読有, **29**, 2019, 109-110.
- (5). E. Niwa, M. Yashima, “Discovery of Oxide-Ion Conductors with a New Crystal Structure, $\text{BaSc}_{2-x}\text{A}_x\text{Si}_3\text{O}_{10-x/2}$ (A: Mg, Ca) by Screening Sc-Containing Oxides through the Bond-Valence Method and Experiments, *ACS Appl. Energy Mater.*, 査読有, **1** (8), 2018, 4009–4015.
DOI: 10.1021/acsaem.8b00701
- (6). A. Fujimoto, M. Yashima, K. Fujii, J. R. Hester, “New Oxide-Ion Conductor SrYbInO_4 with Partially Cation-Disordered CaFe_2O_4 -Type Structure”, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, **121**(39), 2017, 21272-21280.
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b07911
- (7). K. Fujii, K. Shimada, M. Yashima, “Crystal-structure and electron-density analyses of the perovskite-type oxynitrides BaNbO_2N and SrNbO_2N through synchrotron X-ray powder diffraction”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, **125**(11), 2017, 808-810.
DOI: 10.2109/jcersj2.17177
- (8). M. Shiraiwa, K. Fujii, Y. Esaki, S. J. Kim, S. Lee, M. Yashima, “Crystal Structure and Oxide-Ion Conductivity of $\text{Ba}_{1+x}\text{Nd}_{1-x}\text{InO}_{4-x/2}$ ”, *J. Electrochem. Soc.*, 査読有, **164**(13), 2017, F1392-F1399.
DOI:10.1149/2.0411713jes
- (9). K. Hibino, M. Yashima, T. Oshima, K. Fujii, K. Maeda, “Structures, electron density and characterization of novel photocatalysts, $(\text{BaTaO}_2\text{N})_{1-x}(\text{SrWO}_2\text{N})_x$ solid solutions”, *Dalton Trans.*, 査読有, **46**(43), 2017, 14947-14956.
DOI:10.1039/C7DT02873C
- (10). K. Nakamura, K. Fujii, E. Niwa, M. Yashima, “Crystal structure and electrical conductivity of BaR_2ZnO_5 (R = Sm, Gd, Dy, Ho, and Er) – A new structure family of oxide-ion conductors”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, **126**(5), 2018, 292-299.
DOI:10.2109/jcersj2.17252
- (11). W. Uno, K. Fujii, E. Niwa, S. Torii, P. Miao, T. Kamiyama, M. Yashima, “Experimental visualization of oxide-ion diffusion paths in pyrochlore-type $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 査読有, **126**(5), 2018, 341-345.
DOI:10.2109/jcersj2.17253
- (12). R. Inoue, K. Fujii, M. Shiraiwa, E. Niwa, M. Yashima, “A new structure family of oxide-ion conductor $\text{Ca}_{0.8}\text{Y}_{2.4}\text{Sn}_{0.8}\text{O}_6$ discovered by a combined technique of the bond-valence method and experiments”, *Dalton Trans.*, 査読有, **47**(22), 2018, 7515-7521.
DOI: 10.1039/C8DT01024B
- (13). K. Fujii, M. Yashima, K. Hibino, M. Shiraiwa, K. Fukuda, S. Nakayama, N. Ishizawa, T. Hanashima, T. Ohhara, “High oxide-ion conductivity by the overbonded channel oxygens in Si-deficient $\text{La}_{9.565}(\text{Si}_{5.826}\square_{0.174})\text{O}_{26}$ apatite without interstitial oxygens”, *J. Mater. Chem. A*, 査読有, **6**(23), 2018, 10835-10846.
DOI:10.1039/C8TA02237B
- (14). J. Wu, K. Fujii, M. Yashima, A. Staykov, T. Akbay, T. Ishihara, J. A. Kilner, “A Systematic Evaluation of the Role of the Lanthanide Elements in Complex Functional Oxides; Implications for Energy Conversion Devices”, *J. Mater. Chem. A*, 査読有, **6**(25), 2018, 11819-11829.
DOI: 10.1039/C8TA01191E
- (15). M. Yashima, “Precise Structure Analysis of Inorganic Materials for Clean Energy by Maximum-Entropy Method: Neutron and Synchrotron X-Ray Powder Diffraction Studies”, *Structural Characterization Techniques: Advances and Applications in Clean Energy*, 査読なし, **1**, 2016, 223-244.
DOI:10.1201/9781315364865-9
- (16). M. Yashima, “Invited Review: Some recent developments in the atomic-scale characterization of structural and transport properties of ceria-based catalysts and ionic conductors”, *Catal. Today*, 査読有, **253**, 2015, 3-19.
DOI: 10.1016/j.cattod.2015.03.034
- (17). K. Fujii, M. Shiraiwa, Y. Esaki, M. Yashima, S. J. Kim, S. Lee, “Improved oxide-ion conductivity of NdBaInO_4 by Sr doping”, *J. Mater. Chem. A*, 査読有, **3**, 2015, 11985-11990.
DOI: 10.1039/C5TA01336D
- (18). K. Kawamura, M. Yashima, K. Fujii, K. Omoto, K. Hibino, S. Yamada, J. R. Hester, M. Avdeev, P. Miao, S. Torii, T. Kamiyama, “Structural Origin of the Anisotropic and Isotropic Thermal Expansion of K_2NiF_4 -Type LaSrAlO_4 and Sr_2TiO_4 ”, *Inorg. Chem.*, 査読有, **54**(8), 2015, 3896–3904.
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b00102
- (19). M. Yashima, “Chapter 3. Crystal Structure, Structural Disorder and Oxide-Ion Diffusional Pathway of Fluorite-Type Oxides and Fluorite-Related Phases”, *New Research Trends of Fluorite-Based Oxide Materials: From Basic Chemistry and Materials Science to Engineering Applications*, 査読

有, **1**, 2015, 59-77.

- (20). 八島正知, 川村圭司, 尾本和樹, 藤井孝太郎, 日比野圭佑, 「 K_2NiF_4 型酸化物の異方性熱膨張の構造的要因」, 燃料電池誌, 査読なし, **15**(1), 2015, 21-27.
- (21). 八島正知, 藤井孝太郎, 「クリーンエネルギーのためのセラミック材料の結晶構造解析とデザイン」, *FC Report*, 査読なし, **33**(3), 2015, 88-93.
- (22). 八島正知, 藤井孝太郎, 「エネルギー・環境材料の精密構造解析と新物質探索」, 希土類, 査読なし, **67**, 2015, 25-44.

〔学会発表〕(計 13 件)

- (1). M. Yashima, (招待講演) “Crystal Structure of Oxides and Mixed-Anion Compounds”, 9th International Petra School of Physics, 2018.
- (2). M. Yashima, K. Fujii, E. Niwa, (基調講演(Plenary)) “Ion-Diffusion Mechanism and Exploration of New Structure-Type Ion Conductors”, 19th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (IUMRS-ICA), 2018.
- (3). 八島正知, (招待講演・アウトリーチ活動) 「化学および材料科学への招待 基礎科学から産業と社会に貢献」, 川越初雁会(埼玉県立川越高等学校同窓会)平成29年度春の講演, 2018.
- (4). 八島正知, (アウトリーチ活動) 「化学および固体化学への招待 基礎科学から産業と社会に貢献」, 横浜サイエンスフロンティア高校出張講義, 2017.
- (5). M. Yashima, K. Fujii, E. Niwa, M. Shiraiwa, K. Hibino, (招待講演) “Precise Structure Analysis of Advanced Ceramic Materials through Powder Diffraction”, 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2017), 2017.
- (6). 八島正知, 藤井孝太郎, 丹羽栄貴, (招待講演・アウトリーチ活動) 「イオン伝導体, 排ガス浄化触媒, 強誘電体の構造物性およびジルコニアセラミックスの状態図と相変態」, 信越化学工業株式会社講演会, 2017.
- (7). M. Yashima, K. Fujii, E. Niwa, (招待講演) “Precise Structure Analysis of Advanced Ceramic Materials through Powder Diffraction”, 9th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites / Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development, 2016.
- (8). M. Yashima, K. Fujii, E. Niwa, (招待講演) “Atomic-scale characterization of ceria catalysts and ceramic ion conductors”, Fundamentals and Applications of Cerium Dioxide in Catalysis (FACC-2016 Beijing), 2016.
- (9). M. Yashima, K. Fujii, M. Shiraiwa, Y. Esaki, K. Hibino, E. Niwa, (招待講演) “Ion-diffusion Visualization and New Ionic Conductor Exploration Through Nuclear- and Electron-Density Studies”, The 2016 E-MRS Fall Meeting, Warsaw University of Technology, 2016.
- (10). M. Yashima, K. Fujii, E. Niwa, M. Shiraiwa, K. Hibino, K. Saito, (招待講演) “Precise Structure Analysis of Oxide Materials through Neutron and Synchrotron Powder Diffractometry up to 1830 K”, STRUCTURE and THERMODYNAMICS of OXIDES at HIGH TEMPERATURE (STOHT2016), 2016.
- (11). M. Yashima, K. Fujii, M. Shiraiwa, K. Hibino, E. Niwa, (基調講演) “Structure, diffusion path and design of novel oxide-ion conductors”, 14th International Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA 2016), 2016.
- (12). M. Yashima, K. Fujii, M. Shiraiwa, Y. Esaki, (招待講演) “Discovery of a New Structure Family of Oxide-Ion Conductor $BaNdInO_4$ ”, 11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (11th CMCEE), 2015.
- (13). M. Yashima, K. Fujii, (招待講演) “Ion Diffusion Pathway, Chemical Bonding and Crystal Structure of Ceramic Materials through Neutron and Synchrotron X-ray Powder Diffraction”, Neutron Diffraction Workshop, 2015.

〔図書〕(計 2 件)

- (1). 八島正知, 株式会社シーエムシー出版, 熱膨張制御材料の開発と応用 12, 2018, 205.
- (2). 八島正知, 化学同人, 理工系学生のための基礎化学 無機化学 2019年度版, 2019, 58.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1 件)

- (1). 名称: 固体電解質, 電解質層および電池
発明者: 八島正知, 辻口峰史, 藤井孝太郎, 丹羽栄貴, 作田祐一
権利者: 国立大学法人東京工業大学
種類: 特許
番号: 特願 2019-010280
出願年: 2019 年
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 3 件)

(2). 名称：ペロブスカイト関連化合物

発明者：八島正知，藤井孝太郎，尾本和樹，江崎勇一，齋藤千紘
権利者：国立大学法人東京工業大学，第一稀元素化学工業株式会社
種類：特許
番号：第 6384945 号
取得年：2015 年
国内外の別：国内

(3). 名称：ペロブスカイト関連化合物

発明者：八島正知，藤井孝太郎，尾本和樹，江崎勇一，齋藤千紘
権利者：国立大学法人東京工業大学，第一稀元素化学工業株式会社
種類：特許
番号：US Patent US9656878 B2
取得年：2015 年
国内外の別：国外

(4). 名称：電気伝導体

発明者：八島正知，藤井孝太郎，尾本和樹，上田孝志朗，山田駿太郎，白岩大裕，
齋藤圭汰，藤本絢香
権利者：国立大学法人東京工業大学，第一稀元素化学工業株式会社
種類：特許
番号：第 6448020 号
取得年：2018 年
国内外の別：国内

[その他]

研究代表者のホームページ

<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~yashima/>

研究成果をリリースしたホームページ

アパタイト型酸化物イオン伝導体における高イオン伝導度の要因を解明

<https://www.titech.ac.jp/news/2018/041396.html>

新型の酸化物イオン伝導体である新物質 SrYbInO₄ を発見 —燃料電池や酸素分離膜等の開発を加速—

<https://www.titech.ac.jp/news/2017/039606.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：石原 達己
ローマ字氏名：Ishihara Tatsumi
所属研究機関名：九州大学
部局名：工学研究院
職名：教授
研究者番号 (8 桁)：80184555

研究分担者氏名：萩原 英久
ローマ字氏名：Hagiwara Hidehisa
所属研究機関名：九州大学
部局名：工学研究院
職名：助教
研究者番号 (8 桁)：30574793

研究分担者氏名：猪石 篤
ローマ字氏名：Inoishi Atsushi
所属研究機関名：九州大学
部局名：工学研究院
職名：助教
研究者番号 (8 桁)：10713448

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：藤井 孝太郎 (Kotaro Fujii)，丹羽 栄貴 (Eiki Niwa)