

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246107

研究課題名(和文)d10金属酸化物新イオン伝導体の構造デザイン

研究課題名(英文)Structure design of ion conducting d10 metal oxides

研究代表者

八島 正知(Yashima, Masatomo)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00239740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々の研究プロジェクト「d10金属酸化物新イオン伝導体の構造デザイン」の概要を記す。Pr₂(Ni,Cu,Ga)O₄イオン伝導性材料ではNi^{2.5+}に比べて高い価数を持つGa³⁺を添加することで格子間酸素量(キャリア濃度)が増加して酸素透過率が向上すること見いだされた。新物質探索の結果、新しい構造ファミリーNdBaInO₄を発見した。SrをNdBaInO₄に添加すると酸化物イオン伝導度が向上することも見出した。Pr₂(Ni,Cu,Ga)O₄, PrBaCo₂O_{5.5+δ}, Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂の酸化物イオンの拡散経路を研究した。K₂NiF₄型A₂B₄酸化物の異方性熱膨張を研究した。

研究成果の概要(英文)：Summary of our research project entitled, "Structure design of ion conducting d10 metal oxides", is described here. The role of d10 Ga in Pr₂(Ni,Cu,Ga)O₄ oxide-ion conducting material was investigated. We found that the interstitial oxygen amounts (carrier concentration) are increased by doping the higher valence of Ga³⁺ compared with Ni^{2.5+}. We have explored new structure family of oxide-ion conducting materials with AA'B₄O₄ compositions and we discovered a new structure family NdBaInO₄. Sr doping into NdBaInO₄ improved oxide-ion conductivity. Oxide-ion diffusion pathway was visualized for Pr₂(Ni,Cu,Ga)O₄, PrBaCo₂O_{5.5+δ} and Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂. In Pr₂(Ni,Cu,Ga)O₄ and PrBaCo₂O_{5.5+δ}, two-dimensional diffusion pathway was observed. The thermal expansion anisotropy of K₂NiF₄-type A₂B₄ oxides was also investigated at an atomic scale. The anisotropic thermal expansion is attributable to anisotropic B-O bonding, from view points of interatomic distance, electron density and bond valence.

研究分野：無機固体化学 材料科学 結晶構造解析

キーワード：イオン伝導 結晶構造解析 新物質探索 イオン拡散経路 ペロブスカイト

1. 研究開始当初の背景

エネルギーおよび環境分野において、優れた酸化物イオン伝導性セラミックスの開発がキーになっている。酸化物イオン伝導性セラミックスでは酸化物イオンが伝導する。酸化物イオン伝導性セラミックスには酸化物イオンだけが伝導するキャリアとみなせる純酸化物イオン伝導体および酸化物イオンと電子（または電子のホール）が両方伝導する酸化物イオン-電子混合伝導体がある。我々は K_2NiF_4 型構造を有する Pr_2NiO_4 系酸化物イオン-電子混合伝導体の研究を行ってきた。この Pr_2NiO_4 に Cu および電子配置が d^{10} の Ga を添加すると酸化物イオン伝導度が大幅に高くなるが、そのメカニズムはわかっていなかった。また、酸化物イオンが拡散するセリア-ジルコニアナノ結晶の触媒や Co を含む層状ペロブスカイトにける酸化物イオン拡散機構もよくわかっていなかった。

イオン伝導機構は結晶構造に強く依存するので、新しい構造ファミリーのイオン伝導体を発見することは重要な課題である。しかしながら、殆どの研究は、既存のイオン伝導体にドーピングを行ったり薄膜化してイオン伝導度を高くするものであり、新しい構造ファミリーの探索が望まれていた。

2. 研究の目的

本課題の目的は、 d^{10} などの金属元素を含む酸化物における酸化物イオン伝導の発現機構、特に構造的要因を解明すること、 d^{10} 元素を含む新しい構造型のイオン伝導体を探索することである。申請代表者が発展させてきた高温における構造解析法を、種々のイオン伝導性セラミック材料や酸化物イオン拡散が重要な排ガス浄化触媒に応用し、酸素イオンの拡散経路を回折実験と理論計算を組み合わせることを第一の目的としている。さらに結晶構造に基づいて新しい物質系をデザインして、新構造ファミリーの酸化物イオン伝導性セラミック材料を探索することを第二の目的としている。発見した新物質の結晶構造とイオンの拡散経路を調べ、それに基づいたイオン伝導度の向上を目指した組成設計を行う。また、 d^{10} 元素等を含む K_2NiF_4 型酸化物の熱膨張の異方性の構造的要因も研究することも本課題の目的である。

3. 研究の方法

d^{10} Ga を添加した Pr_2NiO_4 固溶体などの酸化物イオン伝導体の結晶構造と酸化物イオン拡散経路を高温中性子回折、放射光 X 線回折、熱重量分析、密度汎関数理論計算等により研究した。また、 Pr_2NiO_4 の一般式は A_2BO_4 であるが、A 席に 2 種類の陽イオン A と A' を規則配置させた新しい $AA'BO_4$ 化合物の探索を行った。発見された新構造ファミリーの化合物について電気伝導度の温度と酸素分圧依存性、結晶構造ならびに熱膨張を調べた。本研究で中性子回折を活用した理由は、酸素原子

の位置を正確に決めることが、イオン伝導機構を考察するにあたり必要不可欠であるからである。

4. 研究成果

(1) d^{10} Ga を添加した Pr_2NiO_4 固溶体における高い酸素透過能の構造的要因(発表雑誌論文 1): d^{10} Ga と Cu を添加した Pr_2NiO_4 固溶体が高い酸素透過率を示すことを確認した。また、高温中性子回折データから求めた中性子散乱長密度分布から、 $Pr_2(Ni,Cu,Ga)O_{4+\delta}$ 固溶体の高い酸素透過率は、頂点酸素と格子間酸素を介した酸化物イオン拡散が原因であり、酸素過剰量(格子間酸素量) δ と共に酸素透過率が増大することを見出した。すなわち格子間酸素濃度がキャリア濃度とみなせる $A_2BO_{4+\delta}$ における B 席の平均価数が +2.5 であること、相対的に高い価数(+3)を持つ d^{10} Ga を添加することにより格子間酸素量 δ (キャリア濃度)が増大するために酸素透過率および酸化物イオン伝導度が増加することがわかった。また、 d^{10} Ga は配位状態が 6 や 7 に変わり得るので、格子間酸素を安定化することができる。Cu 添加は Jahn-Teller 効果により頂点酸素と B 陽イオン間距離が長くなり結合が弱くなって頂点酸素のシフトを容易にすることで格子間酸素を安定化するのに寄与すると考えられる。

(2) 種々の化合物におけるイオン拡散経路の研究(発表雑誌論文 3, 5, 7, 11 等): 中性子散乱長密度分布あるいは結合原子価法により、種々の化合物におけるイオン拡散経路を研究した。一例として図 1 に層状ペロブスカイト型 $PrBaCo_2O_{5+\delta}$ における中性子散乱長密度分布を示す。図の矢印に示すように、 $PrBaCo_2O_{5+\delta}$ は Ba-O 絶縁層と Pr-Co-O 酸化物イオン伝導層が交互に積層した構造を有することがわかった。陽イオンが不規則に混合した方がイオン伝導度が高いとする従来の考え方ではなく、Pr と Ba を交互に規則化することによって酸化物イオンの高速拡散経路を形成するという新しい考え方を実証した。そこで次の研究(3)では従来に無い積層構造を持ち、 d^{10} In を含む新型のイオン伝導体を探索した。関連する研究として水酸アパタイトにおけるプロトン拡散経路およびセリ

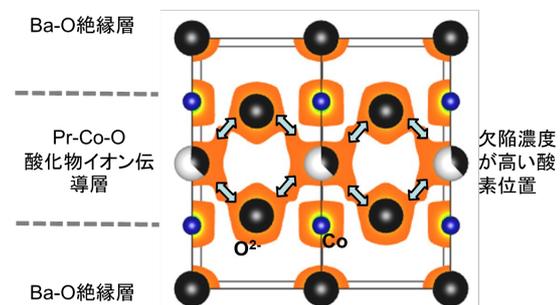


図 1: $PrBaCo_2O_{5+\delta}$ の結晶構造と中性子散乱長密度分布(1000 °C)。Pr-Co-O 層内に酸化物イオンの移動経路が観察された。

ア - ジルコニア触媒など蛍石型材料におけるイオン拡散経路も明らかにした。

(3) d^{10} In を含む新構造ファミリーのイオン伝導体の発見とイオン伝導度向上 (発表雑誌論文 14, 16, 17, 19): d^{10} 元素である $C = \text{Al, Ga, In}$ などを含む ABCO_4 組成の化合物を探索し、新構造型の化合物 NdBaInO_4 を発見した。A 元素に Nd、B 元素に Ba を選択したのは A と B の規則化を狙うためである。また、C に In を選択したのは Ba とペロブスカイトユニットを形成すると期待されるからである。 NdBaInO_4 は固相反応法により合成できることがわかった。また、X 線および中性子粉末回折実験および第一原理計算により、結晶構造を決定した(図 2)。電気伝導度測定により、 NdBaInO_4 は酸化物イオン伝導を示すことがわかった。したがって、本研究課題で新しい構造ファミリーのイオン伝導体を発見したことになる。本課題の標題の目的である d^{10} 金属酸化物新イオン伝導体の構造デザインに成功したといえる。 NdBaInO_4 の結晶構造では a 軸に沿って $\text{Nd}_{2/8}\text{Ba}_{6/8}\text{InO}_3$ ユニットと Nd-O ユニットが交互に積層している。結合原子価によって、酸化物イオンの拡散経路は Nd-O ユニット内に二次元のネットワークを形成すると考えられる (図 2 の矢印)。すなわち Ba と Nd の層状構造を作製することにより、Nd-O 層がイオン伝導層になった。さらに NdBaInO_4 において Nd の一部を価数が小さく、サイズが大きい Sr に置換すると、酸化物イオン伝導度が 20 倍程度高くなることを見出した。このイオン伝導度の向上は、主として 3 価の Nd を 2 価の Sr で置換することで酸化物イオン空孔量が増えたこと、すなわちキャリア濃度が増加したことによると考えられる。なおイオン伝導の活性化エネルギーが Sr 置換により少し下がるが、これは Nd をサイズが大きな Sr に置換することによって、ボトルネックサイズが大きくなるためであると考察した。

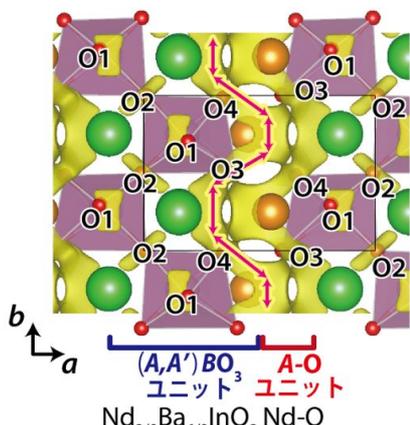


図 2 : NdBaInO_4 の結晶構造と結合原子価の総和の等値面 (黄色) (1000 °C)。矢印に沿って酸化物イオンが移動すると考えられる。

(4) d^{10} 元素 Al を含む K_2NiF_4 型酸化物の熱

膨張の異方性の構造的要因 (発表雑誌論文 8, 9, 13): 熱膨張とその異方性は、イオン伝導体を固体酸化物形燃料電池、薄膜、基板として用いる際に重要な熱物性である。 d^{10} 元素を含む K_2NiF_4 型酸化物の新組成を探索する過程で、既知の基本物質 CaYAlO_4 , CaErAlO_4 および LaSrAlO_4 の熱膨張の異方性の構造的要因を研究した。比較のため、熱膨張が等方である Sr_2TiO_4 も研究した。その結果、Al-O 結合の異方性が熱膨張の異方性の原因である一方、Ti-O 結合が等方であるため Sr_2TiO_4 の熱膨張は等方である事がわかった(図 3)。

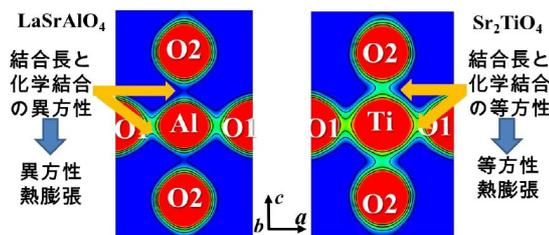


図 3 LaSrAlO_4 と Sr_2TiO_4 における Al 周りと Ti 周りの電子密度分布。化学結合の異方性と等方性が、それぞれ熱膨張の異方性と等方性の原因である。

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 27 件(下記リスト他 8 件))

1. 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] 3896-3904 (2015).
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b00102
2. 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**, 11985-11990 (2015).
DOI: 10.1039/C5TA01336D
3. 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**, 3-19 (2015).
DOI: 10.1016/j.cattod.2015.03.034
4. 八島正知、藤井孝太郎、「新しい層状構造を有する酸化物イオン伝導体の発見」、*パリティ*、査読無, **30**, [1] 19-21 (2015).
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020306750>

5. 八島正知, 「中性子と X 線回折法を含む多面的アプローチによるセラミック材料の結晶構造, 電子密度分布とイオン拡散経路の研究」, 結晶学会誌、査読有、**57**, [1] 13-19 (2015).
DOI:doi.org/10.5940/jcrsj.57.13
 6. K. Omoto, M. Yashima, J. R. Hester, “Structural Origin of the Anisotropic Thermal Expansion of a K_2NiF_4 -Type Oxide $CaErAlO_4$ through Interatomic Distances”, *Chem. Lett.*, 査読有、**43**, [4] 515 - 517(2014).
DOI:10.1246/cl.131164
 7. K. Omoto, M. Yashima, "Origin of the Anisotropic Thermal Expansion in $CaYAlO_4$ ", *Appl. Phys. Express*, 査読有、**7**, [3] 037301,1-4 (2014).
DOI:10.7567/APEX.7.037301
 8. 八島正知, 「セラミックスの酸化物イオン拡散経路と伝導機構 - 高いイオン伝導度と触媒活性の構造的要因を探る」, *FC Report*, 査読無、**32**, [1] 22-27 (2014).
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019953995>
 9. M. Yashima, N. Kubo, K. Omoto, H. Fujimori, K. Fujii, K. Ohoyama, "Diffusion Path and Conduction Mechanism of Protons in Hydroxyapatite", *J. Phys. Chem. C*, 査読有、**118**, [10] 5180-5187 (2014).
DOI: 10.1021/jp412771f
 10. K. Fujii, Y. Esaki, K. Omoto, M. Yashima, A. Hoshikawa, T. Ishigaki, H. R. Hester, "A New Perovskite-Related Structure Family of Oxide-Ion Conducting Materials $NdBaInO_4$ ", *Chem. Mater.*, 査読有、**26**, [8] 2488-2491 (2014).
DOI: 10.1021/cm500776x
 11. 藤井孝太郎, 八島正知, 「酸化物イオン伝導体の新構造ファミリー $NdBaInO_4$ を発見」, *パリテイ*, 査読無、**29**, [9] 35-37 (2014).
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020163323>
 12. 藤井孝太郎, 八島正知, 「新構造ファミリーの酸化物イオン伝導性材料を発見」, *セラミックス*, 査読無、**49**, [7], 615 (2014).
<http://www.ceramic.or.jp/ihensyub/topics/topics2014.7.pdf>
 13. M. Yashima, T. Sekikawa, D. Sato, H. Nakano, K. Omoto, “Crystal Structure and Oxide-Ion Diffusion of Nano-Crystalline, Compositionally Homogeneous Ceria-Zirconia $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ up to 1176 K”, *Cryst. Growth Des.*, 査読有、**13**, [2] 829-837 (2013).
DOI: 10.1021/cg301530t
 14. K. Fujii, H. Kato, K. Omoto, M. Yashima, J.-C. Chen, X. Xing, “Experimental visualization of the Bi-O covalency in ferroelectric bismuth ferrite ($BiFeO_3$) by synchrotron X-ray powder diffraction analysis”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有、**15**, [18] 6779-6782 (2013).
DOI:10.1039/C3CP50236H
 15. Y.-C. Chen, M. Yashima, J. Peña-Martínez, J. A. Kilner, “Experimental Visualization of the Diffusional Pathway of Oxide Ions in a Layered Perovskite-type Cobaltite $PrBaCo_2O_{5+\delta}$ ”, *Chem. Mater.*, 査読有、**25**, [13] 2638-2641 (2013).
DOI: 10.1021/cm4010618
 16. M. Yashima, U. Fumi, H. Nakano, K. Omoto and J. R. Hester, "Crystal Structure, Optical Properties and Electronic Structure of Calcium Strontium Tungsten Oxynitrides $Ca_xSr_{1-x}WO_2N$ ", *J. Phys. Chem. C*, 査読有、**117**, [36] 18529-18539 (2013).
DOI: 10.1021/jp405597x
 17. 八島正知, 「SOFC 材料の結晶構造解析とイオン伝導機構」, *燃料電池誌*, 査読無、**13** [2] 58-64 (2013).
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019848955/>
 18. M. Yashima, H. Yamada, S. Nuansaeng, T. Ishihara, “Role of Ga^{3+} and Cu^{2+} in the High Interstitial Oxide-Ion Diffusivity of Pr_2NiO_4 -based Oxides: Design Concept of Interstitial Ion Conductors through the Higher-Valence d^{10} Dopant and Jahn-Teller Effect”, *Chem. Mater.*, 査読有、**24**, [21] 4100-4113 (2012). DOI:10.1021/cm3021287
 19. M. Yashima, S. Matsuyama, “Origin of the Ferrielectricity and Visible-Light Photocatalytic Activity of Silver Niobate $AgNbO_3$ ”, *J. Phys. Chem. C*, 査読有、**116**, [47] 24902-24906 (2012).
DOI:10.1021/jp310589e
- 〔学会発表〕(計 121 件(下記その他 102 件))
1. 八島正知, 藤井孝太郎, 「第 1 回構造科学と新物質探索研究会「アパタイト型酸化物の結晶構造と酸化物イオン伝導とその機構: -現状、問題点と展望-」(基調講演)、日本セラミックス協会 2015 年年会、平成 27 年 3 月 18 - 20 日、岡山大学「岡山市(岡山県)」.

2. 八島正知、藤井孝太郎、(招待講演)「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」、日本ファインセラミックス協会(JFCA) テクノフェスタ、2015年1月26日、メルパルク東京「港区(東京都)」。
3. M. Yashima, K. Fujii、(招待講演)“Precise Structure Analysis of Ceramic Materials by Neutron Powder Diffraction”, KIM-JIM symposium, KANGWON LAND CONVENTION HOTEL, Jeongseon-gun (South Korea), October 23, 2014.
4. M. Yashima、(招待講演)"Crystal Structure, Electronic Structure, Oxygen Diffusion, Phase Transformation, and Phase Diagram of Ceria-Zirconia and Ceria-Based Materials", Fundamentals and Applications of Cerium Dioxide in Catalysis, Palazzo Garzolini-University of Udine, Udine (Italy), July 11-14, 2014.
5. M. Yashima、(招待講演)"Precise Crystal-Structure Analysis of Ceramic Materials", Seminar of the School of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing (China), 29 April, 2014.
6. 八島正知、上田孝志朗、山田駿太郎、尾本和樹、藤井孝太郎、「酸化物イオン伝導体の新構造ファミリーの設計 (1): 結合原子価の総和 (BVS) 法による $\text{LaSr}_2\text{Ga}_{11}\text{O}_{20}$ 系酸化物イオン伝導体の発見」、日本セラミックス協会年会(トピックス(注目)講演)、2014年3月17-19日、慶応義塾大学(神奈川県・横浜市)。
7. 藤井孝太郎、江崎勇一、齋藤千紘、八島正知、尾本和樹、「酸化物イオン伝導体の新構造ファミリーの設計(2): 新規構造型 RBaInO_4 (R: 希土類)酸化物イオン伝導性材料の発見」、日本セラミックス協会年会(トピックス(注目)講演)、2014年3月17-19日、慶応義塾大学(神奈川県・横浜市)。
8. 八島正知、藤井孝太郎、尾本和樹、史宇飛、兼子直人、原武大樹、上田孝志朗、江崎勇一、日比野圭佑、山田駿太郎、「海外施設を利用した、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の研究」、物性研究所短期研究会(依頼講演)、2014年1月29-30日、東京大学柏キャンパス(千葉県・柏市)。
9. M. Yashima, K. Fujii、"Precise Crystal-Structure Analysis of Ion-Conducting Ceramic Materials and Oxynitride Photocatalysts by Neutron Powder Diffraction", Australia-Japan Sharing Science with Neutrons (依頼講演), The Australian Nuclear Science and Technology Organisation Australia(Lucas Heights・オーストラリア), November 5-6, 2013.
10. M. Yashima、"Precise structure analysis of green ceramic materials up to 1850 K", Light and Particle Beams in Materials Science(招待講演), つくば国際会議場(茨城県・つくば市), August 29-30, 2013.
11. 八島正知、「イオン伝導性セラミックス、強誘電体および光触媒の結晶構造と機能」、第3回新機能無機物質探索研究センターシンポジウム(招待講演)、2013年8月19日、東北大学片平キャンパス(宮城県・仙台市)。
12. M. Yashima、"Precise Structure Analysis of Ceramic Materials: Structure-Property Correlation through the Chemical Bonding and Ion-Diffusion Pathway", Collaborative Conference on 3D & Materials Research(招待講演), Ramada Hotel, Jeju (South Korea), June24-28 2013.
13. M. Yashima, H. Yamada, S. Nuansaeng, T. Ishihara、"Design Concept of Interstitial Ion Conductors through the Higher-Valence d^{10} Dopant and Jahn-Teller Effect", The 19th International Conference on Solid State Ionics(招待講演), 国立京都国際会館(京都府・京都市) June 2-7, 2013.
14. 八島正知、「中性子回折とは～中性子回折の利点～実際の解析例まで」2013年新春電子顕微鏡解析技術フォーラム(招待講演)、2013年1月25日、日本電子株式会社大手町事務所(東京都・千代田区)。
15. 八島正知、山田裕樹、Nuansaeng Sirikanda、石原達己、「 Pr_2NiO_4 系酸化物の高い格子間酸化物イオン拡散における Ga と Cu の役割：高い価数の d^{10} ドーパントとヤーンテラー効果による格子間イオン伝導体のデザインコンセプト」、第51回セラミックス基礎科学討論会(招待講演)、2013年1月9-10日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)。
16. 八島正知、「RIETAN-FP と PRIMA の使い方とコツ」、情報機構セミナー(依頼講演)、2012年12月5日、川崎市産業振興会館(神奈川県・川崎市)。
17. M. Yashima、"Visualization of the Diffusional Pathway of Mobile Ions in Ionic Conducting Ceramics through Diffraction Experiments", International Conference - School "Molecular aspects of solid state and interfacial electrochemistry (MoIE) (招待講演)", Dubna, Russia, August 26-31, 2012.
18. 八島正知、「セラミックスの精密構造物性」、ソフトプロセス研究会(招待講演)、2012年7月28日、東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)。

19. 八島正知, 「リートベルト法の基礎と結晶構造・材料解析のポイント」, 情報機構 講習会(依頼講演), 2012年4月11日、きゅりあん(東京都・品川区).

〔図書〕(計 11 件 下記のリスト他 3 件)

1. 八島正知, 藤井孝太郎, 尾本和樹, 史宇飛, 兼子直人, 原武大樹, 上田孝志朗, 江崎勇一, 日比野圭佑, 山田駿太郎, 東京大学物性研究所附属中性子化学研究施設、NSL News Letter, 2014 年 139(12-18).
2. 上田孝志朗, 尾本和樹, 藤井孝太郎, 八島正知, 石垣徹, S. J. Kim, S. Lee, 東京大学物性研究所附属中性子化学研究施設、NSL News Letter, 2014 年、139(123).
3. 江崎勇一, 藤井孝太郎, 尾本和樹, 八島正知, 石垣徹, 星川晃範, James R. Hester, 東京大学物性研究所附属中性子化学研究施設、NSL News Letter, 2014 年、139(124).
4. M. Yashima, Nova Science Publisher (New York), New Research Trends of Fluorite-Based Oxide Materials: From Basic Chemistry and Materials Science to Engineering Applications, 2014, 315(59-78).
5. 八島正知, 日本結晶学会、日本の結晶学(□), 2014 年、485 (140-141) .
6. M. Yashima, Imperial College Press (London), Catalytic Science Series Vol. 12, 2013, 908(1-45)
7. 八島正知, トコトンやさしいイオン交換の本 (今日からモノ知りシリーズ), 日刊工業新聞社, 2013 年、160 (134)
8. 八島正知, シーエムシー出版、次世代燃料電池開発の最前線、2013 年 220(155-163).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 結晶性無機化合物

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: 特願 2014-172914

出願年月日: 2014 年 8 月 27 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 3 件)

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: US2015/0060743A1

出願年月日: 2014 年 7 月 9 日

取得年月日: 2015 年 3 月 5 日

国内外の別: 国外

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: 10-2015-0024761

出願年月日: 2014 年 3 月 5 日

取得年月日: 2015 年 3 月 9 日

国内外の別: 国外

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: 特開 2015-063438

出願年月日: 2014 年 1 月 21 日

取得年月日: 2015 年 4 月 9 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

研究代表者のホームページ

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

研究成果をリリースしたホームページ

プラセオジウム・ニッケル酸化物の高い酸素透過率の原因を解明

<http://www.titech.ac.jp/news/2012/025602.html>

新構造の酸化物イオン伝導体を発見 中性子と放射光で構造決定・イオンの流れを可視化

<http://www.titech.ac.jp/news/2014/027583.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

八島 正知 (Yashima, Masatomo)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 00239740

(2)研究分担者

石原 達己 (Ishihara, Tatsumi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 80184555

(3)連携研究者

藤井 孝太郎 (Fujii, Kotaro)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 30635123