

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02287

研究課題名(和文)プロトントラップに基づくプロトン伝導性酸化物の新たな材料科学と材料開発

研究課題名(英文)Development of proton-conducting oxides based on proton trapping

研究代表者

山崎 仁丈 (Yamazaki, Yoshihiro)

九州大学・稲盛フロンティア研究センター・教授

研究者番号：30292246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：20at% Sc, In, Lu, Er, Gdで置換したジルコン酸バリウム ($\text{BaZr}_{0.8}\text{M}_{0.2}\text{O}_{3-x}$, M: Sc, In, Lu, Er, Gd)を対象に、第一原理計算や電気化学測定や熱重量測定など駆使してプロトントラップ(会合)挙動、局所構造および水和反応熱力学パラメータを評価し、プロトン伝導度の向上に不可欠な材料設計指針を熱力学と速度論の両面から理解した。プロトン拡散係数のアレニウスプロットはすべての置換元素において下方への折れ曲がりを示し、いずれの置換元素の場合においてもプロトントラップが起こり、Luで会合エネルギーが最小の-0.26 eVになることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We combine ab initio calculations with H₂O/D₂O isotope exchange, AC impedance spectroscopy and thermogravimetric measurements of Sc-, In-, Lu-, Er-, Y- and Gd-doped barium zirconates to probe such effects. The measured Arrhenius curves for proton diffusivity increase in slope at lower temperatures in all cases as a result of proton trapping, with Lu displaying the smallest association energy of -0.26 eV. Although the proton-dopant association energy has showed raise and fall relationship against the ionic radius of dopant in the literature and in this study, monotonic correlation is found between the association and the hydrogen bond angle formed between the hydroxyl ion and acceptor oxygen in its lowest energy configuration. The hydrogen bond angle provides a consistent quantitative descriptor of macroscopic proton transport in the barium zirconates.

研究分野：材料科学

キーワード：プロトン伝導性酸化物

1. 研究開始当初の背景

本研究では、代表者が見いだしたプロトントラップ現象を基盤として、代表者のシーズ技術である最先端プロトン計測技術と高精度第一原理計算を組み合わせ、プロトン伝導性固体酸化物形燃料電池電解質におけるプロトン伝導発現の起源を明確にし、高速プロトン伝導のための材料設計指針を打ち出す。

固体酸化物形燃料電池は水素やメタンなどの燃料から電気を高効率に発電できるデバイスである。太陽光から製造されるソーラー燃料を利用することで持続可能なエネルギー循環システムが構築可能である。また太陽電池で発電した電気から高効率に水素を製造する水分解デバイスとしても注目されている。固体酸化物形燃料電池はエネファームとして商品化されているものの依然として高価であり、材料コスト低減を目的とした中温動作実現のための研究が世界の主流となっている。これを達成するには、まず固体電解質のイオン伝導度が動作温度において 0.01 Scm^{-1} 以上であることが第一条件であり、カソード電極反応抵抗も十分低い必要がある。現在、 350°C 付近においてこの条件を満たす安定な電解質材料は実在せず、ブレイクスルーが必要とされている。

代表者は固体酸化物形燃料電池電解質としてイットリウム添加ジルコン酸バリウムに着目し、 450°C にて 0.01 Scm^{-1} の伝導度を達成することに世界で初めて成功した (*Chem. Mater.* 2009)。また、プロトン伝導度決定因子の一つであるプロトン拡散係数について、代表者は精密電気化学測定、熱重量分析および世界ではほぼ唯一の高温 *In-Situ* 核磁気共鳴 (NMR) を組み合わせることによりプロトン拡散機構を解明し、固体酸化物形燃料電池を低温 (350°C) で動かす新たな機構を発見した (*Nature Materials*, 2013、JST プレスリリース 952 号)。1981年にプロトン伝導性酸化物が岩原らによって発見されて以来、未解明のままであったプロトン拡散機構を世界で初めて解明したものである。会合エネルギーの最小化やプロトントラップからの離脱による高性能プロトン伝導性酸化物の設計指針を示したパラダイムシフトというべき成果である。

2. 研究の目的

本研究では、代表者が見いだしたプロトントラップ現象を基盤として、代表者のシーズ技術である最先端プロトン計測技術と高精度第一原理計算を組み合わせ、プロトン伝導性固体酸化物形燃料電池電解質におけるプロトン伝導発現の起源を明確にし、高速プロトン伝導のための材料設計指針を打ち出すことを目的とした。

3. 研究の方法

代表者が既に世界最高峰の合成技術を有するアクセプター元素添加ジルコン酸バリ

ウムを対象に、プロトントラップ (会合) 挙動、局所構造および水和反応熱力学パラメータを電気化学測定や熱重量測定、第一原理計算などの最先端技術を駆使して評価し、プロトン伝導度の向上に不可欠な材料設計指針を熱力学と速度論の両面から理解する。特に、会合エネルギーや水和エネルギーをドーパント種やその局所構造と関連づける。

具体的には、 $20\text{at}\%$ Sc, In, Lu, Er, Gd で置換したジルコン酸バリウム ($\text{BaZr}_{0.8}\text{M}_{0.2}\text{O}_{3.6}$, M: Sc, In, Lu, Er, Gd) を化学溶液法で合成し、 1600°C で焼結することで円盤状ペレットを作製した。各ペレットにおけるプロトン濃度およびプロトン伝導度は、熱重量分析および交流インピーダンス法を用いて計測し、それらの値からプロトン拡散係数を決定した。またプロトンが単一伝導キャリアでない高温の場合には、重水と軽水を用いた抵抗緩和実験からプロトン-デューテリウムの相互拡散係数を決定した。

置換元素 (Sc, In, Lu, Y, Er, Gd, Eu) とプロトンの会合エネルギーおよび水和エネルギーの第一原理計算には、VASP code を用いており、点欠陥の計算では $5 \times 5 \times 5$ のスーパーセルを構造モデルに採用した。

4. 研究成果

プロトンが置換元素から第1~16 隣接位置を占有するときの会合エネルギーをそれぞれ計算し、置換元素のイオン半径に対してプロットした。会合エネルギーの絶対値が最も大きなものを選んでイオン半径に対してプロットすると火山型を示し、会合エネルギーの絶対値はイオン半径が 0.89 \AA (Er, Lu および Y) 付近で最小を示すことがわかった。Y 置換ジルコン酸バリウムは最も高いプロトン伝導度を示すものと知られているが、この結果は、Er または Lu 置換によってプロトン伝導度がさらに高くなる可能性を示すものである。

また、すべてのサイトにおける会合エネルギーを水素結合の強さを表す O-H...O 角度に対してプロットした所、この角度が大きくなるほど会合エネルギーが一意的に大きくなることを見出した。これは、水素結合の強さが会合エネルギーを規定していることを示しており、プロトントラップの決定因子が水素結合にあることが示唆された。

プロトン伝導度を決定するもう一つの重要なパラメータとして知られるのが水和エネルギーである。ここでは、プロトンが置換元素 (Sc, In, Lu, Y, Er, Gd, Eu) から第1または第2 隣接位置を占有する際において第一原理計算を行い、水和エネルギーを求めた。Er, Y, Eu および Sc 置換元素に対して求めた水和エネルギーを x 軸に、会合エネルギーを y 軸にプロットしたところ、水和エネルギーが負に大きくなるほど会合エネルギーが負に大きくなる傾向が得られた。これは、高温におけるプロトン濃度が高くなるほど会合

エネルギーが大きくなり、プロトンが動きにくくなるということを意味している。高性能プロトン伝導性酸化物は、大きな負の水和エネルギーと小さな負の会合エネルギーを合わせ持つ材料であるため、上記の得られた傾向から逸脱する材料が必要であることを示している。

一方、Lu ドーパントについては上記直線関係から右上に位置し、従来酸化物よりも高性能プロトン伝導体である可能性が示唆された。このため、これら酸化物を合成し、会合エネルギーを決定すると共に、プロトン伝導度を比較してみた。

熱重量測定および交流インピーダンス法から決定したプロトン濃度および伝導度を用いてプロトン拡散係数を実験的に決定したところ、そのアレニウスプロットはすべての置換元素において下方への折れ曲がりを示し、いずれの置換元素の場合においてもプロトントラップが起きていることがわかった。この曲がりから会合エネルギーを決定し、イオン半径に対してプロットした所、計算で求めたように火山型を示し、計算を極めてよく再現する結果が得られた。

プロトン伝導度の温度依存性を Sc, In, Lu, Y, Er, Gd ドーパントについて決定したところ、Lu 置換において最も高いプロトン伝導度が得られ、その値は従来最も高いプロトン伝導度で知られている Y 置換に比べて2-3 倍高いものであった。

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2件)

1. 山崎仁丈, “プロトン伝導性金属酸化物 BaZrO₃における置換元素 Y の役割と Ba 欠損の影響”, までりあ, 54(2015) 343-346.
2. 山崎仁丈, “プロトントラッピング~固体酸化物形燃料電池, 低温動作の鍵となる金属酸化物中におけるプロトンの拡散~”, までりあ, 54(2015) 242-249.

[学会発表] (計54件)

1. 田仁裕也, 兵頭潤次, 山崎仁丈, "固体酸化物型燃料電池における電解質材料の酸素イオン伝導挙動と相転移", 九州大学エネルギーウィーク 2018, 2018.1.30, 福岡 (ポスター発表).
2. 石橋健太郎, 星野健太, 兵頭潤次, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "マグネシウム置換ガリウム酸ランタンにおける相変態と局所構造変化", 九州大学エネルギーウィーク 2018, 2018.1.30, 福岡 (ポスター発表, **優秀賞受賞**).
3. 兵頭潤次, Hazim Kamal, 前田拓也, 金子賢治, 山崎仁丈, "イオン・電子ビームを用いた固体酸化物型燃料電池カソード材

料表面におけるストロンチウム濃化現象の観測", 九州大学エネルギーウィーク 2018, 2018.1.30, 福岡 (ポスター発表).

4. J. Hyodo, H. Kamal, T. Maeda, H. Nakata, K. Kaneko, Y. Yamazaki, "Sr enrichment on La_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃ surface observed by Low Energy Ion Scattering (LEIS) and Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM)", 第43回固体イオニクス討論会, 2017.12.4-6, 天童.
5. 兵頭潤次, 西岡駿太, J. J. M. Vequizo, 熊谷啓, 山方啓, 前田和彦, 山崎仁丈, "酸素空孔濃度および電子濃度を制御した SrTiO₃ における光触媒特性-欠陥化学と光化学反応-", 第43回固体イオニクス討論会, 2017.12.4-6, 天童.
6. 田仁裕也, 兵頭潤次, 山崎仁丈, "マグネシウム置換ガリウム酸ランタンにおける酸素イオン拡散係数と二次相転移", 第43回固体イオニクス討論会, 2017.12.4-6, 天童.
7. 石橋健太郎, 星野健太, 兵頭潤次, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "in situ XAS を用いたマグネシウム置換ガリウム酸ランタンの局所構造観察", 第43回固体イオニクス討論会, 2017.12.4-6, 天童.
8. 山崎仁丈, "酸素空孔濃度と電子濃度を制御したチタン酸ストロンチウムの光触媒特性", 第15回さきがけ領域会議, 2017.11.10-12, 佐渡.
9. 山崎仁丈, "電気化学計測と第一原理計算の融合によるプロトン伝導性酸化物の理解と設計", 日本セラミックス協会第30回秋季大会, 2017.9.19-21, 神戸, **招待講演**.
10. 西岡駿太, 兵頭潤次, 山方啓, 山崎仁丈, 前田和彦, “電子ドーピング不定比 SrTiO_{3-δ} の水素/酸素生成光触媒活性”, 第120回触媒討論会, 2017.9.12, 松山.
11. 田仁裕也, 石橋健太郎, 星野健太, 兵頭潤次, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "Mg 置換ガリウム酸ランタンにおける二次相転移と局所構造", 第13回固体イオニクスセミナー, 2017.9.12-14, 宮崎 (ポスター発表, **優秀ポスター賞受賞**).
12. 兵頭潤次, 星野健太, 山本健太郎, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 桑原彰秀, 山崎仁丈, "プロトン伝導性酸化物 BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} の水和反応とドーパント配置- in situ XAS および第一原理計算による局所構造観察-", 日本金属学会第161回講演大会, 2017.9.6-8, 札幌.
13. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 桑原彰秀, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "in situ XAS を用いた Sc 置換ジルコン酸バリウムにおけるプロトン導入酸素空孔サイトの解明", 第54回化学関連支部合同九州大会, 2017.7.1, 北九州 (ポスター発表, **優秀研究発表賞受賞**).
14. 石橋健太郎, 星野健太, 兵頭潤次, 瀬戸

- 山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "in situ XAS を用いた Mg 置換ガリウム酸ランタンの局所構造観察", 第 54 回化学関連支部合同九州大会, 2017.7.1, 北九州 (ポスター発表).
15. 田仁裕也, 兵頭潤次, 山崎仁丈, "マグネシウム置換ガリウム酸ランタンにおける二次相転移", 第 54 回化学関連支部合同九州大会, 2017.7.1, 北九州 (ポスター発表).
 16. J. Hyodo, K. Yamamoto, K.Hoshino, H. Setoyama, T. Okajima, Y. Yamazaki, "Thermochemical CO₂ Reduction Reaction and Operando Analysis of Electronic Structure for La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-δ}", The 21st international conference on Solid-State Ionics, 2017. 6.18~23, Padua, Italy.
 17. K. Hoshino, K. Yamamoto, J. Hyodo, H. Setoyama, T. Okajima, Y. Yamazaki, "Probing Oxygen Vacancies Responsible for BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} Hydration by In-situ X-ray Absorption Spectroscopy", The 21st international conference on Solid-State Ionics, 2017. 6.18~23, Padua, Italy. (Poster)
 18. 兵頭潤次, 山崎仁丈, "ストロンチウム添加マンガン酸ランタンを用いた熱化学二酸化炭素還元: 反応速度解析", H29 年度合同学術講演会, 2017.6.10, 熊本.
 19. 石橋健太郎, 兵頭潤次, 山崎仁丈, "XAFS 解析によるマグネシウム添加ガリウム酸ランタンの局所構造評価". H29 年度合同学術講演会, 2017.6.10, 熊本. (ポスター発表)
 20. 田仁裕也, 兵頭潤次, 山崎仁丈, "マグネシウム置換ガリウム酸ランタンにおける二次相転移: 酸素イオン伝導に及ぼす影響", H29 年度合同学術講演会, 2017.6.10, 熊本. (ポスター発表)
 21. S. Nishioka, J. Hyodo, A. Yamakata, Y. Yamazaki, K. Maeda, "Photocatalytic Activity of Oxygen Deficient SrTiO_{3-δ} Prepared by Reduced Atmosphere Calcination", The 16th Korea - Japan Symposium on Catalysis, 2017. 5.15, Sapporo, Japan.
 22. 山崎仁丈, 兵頭潤次, 桑原彰秀, "ジルコン酸バリウム薄膜におけるナノ構造制御とプロトン輸送", 第 4 回「ナノ構造情報」新学術領域公開シンポジウム, 2017.3.24, 京都 (ポスター発表)
 23. 西岡駿太, 兵頭潤次, 山崎仁丈, 前田和彦, "酸化半導体に導入した酸素欠陥の光触媒活性への影響", 第 119 回触媒討論会, 2017.3.21~22, 八王子 (ポスター発表)
 24. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "プロトン伝導性酸化物 BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} の水和反応と局所構造変化-in situ XAS による直接観察-", 日本金属学会第 160 回講演大会, 2017.3.15~17, 八王子(ポスター発表, **優秀ポスター賞受賞**).
 25. H. Kamal, J. Hyodo, Y. Yamazaki, "Low Energy Ion Scattering (LEIS): Surface segregation of Sr-doped Lanthanum Manganite under oxygen partial pressure and gas species variations" 九州大学エネルギーウィーク 2017, 2017.1.31,福岡(ポスター発表).
 26. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} における水和反応とプロトン伝導発現の起源" 九州大学エネルギーウィーク 2017,2017.1.31,福岡 (ポスター発表, **優秀賞受賞**)
 27. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} における水和反応に寄与する酸素空孔サイト-in situ XAS からのアプローチ-", 第 42 回イオニクス討論会, 2016.12.5~7,名古屋.
 28. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "in situ XAS を用いた BaZr_{0.8}Sc_{0.2}O_{3-δ} における酸素空孔形成挙動の解明", 第 12 回固体イオニクスセミナー, 2016.9.27~29,指宿 (ポスター発表) .
 29. 西岡駿太, 兵頭潤次, 山方啓, 山崎仁丈, 前田和彦, "酸素欠損型不定比 SrTiO_{3-δ} の水分解光触媒活性", 第 118 回触媒討論会, 2016.9.21, 盛岡.
 30. H. Kamal, J. Hyodo, Y. Yamazaki, "Outermost surface composition of La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3±δ} studied by Low Energy Ion Scattering (LEIS) : oxygen partial pressure and gas species variation" 第 53 回化学関連支部合同九州大会,2016.7.2, 北九州(ポスター発表, **優秀研究発表賞受賞**) .
 31. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 山崎仁丈, "その場 X 線吸収分光法を用いた水和反応に伴う Y,Sc 置換 BaZrO₃ における局所構造変化の観察" 第 53 回化学関連支部合同九州大会,2016.7.2,北九州 (ポスター発表).
 32. Y. Yamazaki, "Theoretical guide to develop high-performance proton-conducting oxides", 2nd Solid-state Chemistry and Ionics workshop, 2016.12.20, Fukuoka, Japan.
 33. Y. Yamazaki, "Solar-driven thermochemical CO₂ reduction using nonstoichiometric perovskite", Nonstoichiometric Compounds VI, 2016.9.4~8, Santa Fe, USA, 招待講演.
 34. A. Kuwabara, CAJ. Fisher, Y. Okuyama, Y. Yamazaki, "First principles calculations of defect clustering in acceptor-doped BaZrO₃", Nonstoichiometric Compounds VI, 2016.9. 4~8, Santa Fe, USA, 招待講演.

35. **Y. Yamazaki, A. Kuwabara, Y. Okuyama,** C. A. J. Fisher, S. M. Haile, "Hydrogen Bond: a Parameter Defining Proton-Dopant Association Energy and Proton Diffusivity in Doped Barium Zirconates", The 18th international conference on solid state protonic conductors (SSPC-18), 2016.9.18~23, Oslo, Norway
36. **Y. Yamazaki,** "Proton conduction and thermochemical fuel production in perovskite oxides", Colorado School of Mines, 2016.9.2, Golden, USA, 招待講演.
37. **山崎仁丈,** "エネルギー機能の発現 ~ペロブスカイト型金属酸化物を例として~" 茨城大学, 2016.7.26, 茨城, 招待講演.
38. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山 寛之, 岡島敏浩, **山崎仁丈,** "その場 X 線吸収分光法を用いた水和反応に伴う Y,Sc 置換 BaZrO₃ における局所構造変化の観察" 第 53 回化学関連支部合同九州大会, 2016.7.2, 北九州 (ポスター発表).
39. 星野健太, 山本健太郎, 兵頭潤次, 瀬戸山 寛之, 岡島敏浩, **山崎仁丈,** "Y,Sc 置換 BaZrO₃ におけるプロトン伝導発現の起源: その場 X 線吸収分光法からのアプローチ", 金属鉄鋼合同学術講演会, 2016.6.11, 福岡(ポスター発表).
40. **山崎仁丈,** 山本健太郎, 兵頭潤次, 星野健太, 瀬戸山 寛之, 岡島敏浩, "その場 X 線吸収分光法を用いた熱化学二酸化炭素還元反応の観察", 金属鉄鋼合同学術講演会, 2016.6.11, 福岡.
41. Hazim Kamal, Junji Hyodo, **Yoshihiro Yamazaki,** "Low Energy Ion Scattering(LEIS): Outermost surface composition of La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3±δ} under oxygen partial pressure and gas species variations", 金属鉄鋼合同学術講演会, 2016.6.11, 福岡(ポスター発表).
42. 西岡駿太, 兵頭潤次, 山方啓, **山崎仁丈,** 前田和彦, "酸素欠陥濃度を制御した不定比 SrTiO_{3-δ} の水分解光触媒活性", 第 35 回光がかかわる触媒化学シンポジウム, 2016.6.10, 東京 (ポスター発表).
43. **奥山勇治,** 酒井孝明, **山崎仁丈,** "Y をドーブした BaZrO₃ のプロトン輸率と分極時のポテンシャル分布解析", 日本金属学会 2016 年春期(第 158 回)大会, 2016.3.24, 東京.
44. 兵頭潤次, **山崎仁丈,** "格子ひずみを制御した BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ} エピタキシャル薄膜の作製と電気化学測定", 日本金属学会 2016 年春期(第 158 回)大会, 2016.3.24, 東京.
45. 星野健太, 山本健太郎, 瀬戸山 寛之, 岡島敏浩, **山崎仁丈,** "その場 X 線吸収分光法を用いた BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ} における水和反応の直接観察", 日本金属学会 2016 年春期(第 158 回)大会, 2016.3.24, 東京.
46. MD. Hazim, J. Hyodo, and **Y. Yamazaki,** "Low-Energy Ion Scattering: Analysis of Outmost Surface for La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-d}", 日本金属学会 2016 年春期(第 158 回)大会, 2016.3.24, 東京.
47. MD. Hazim, J. Hyodo, **Y. Yamazaki,** "Outmost Surface Composition of La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-d} Studied by Low-Energy Ion Scattering (LEIS)", 基盤 A 研究会, 2016.2.26, 福岡.
48. 星野健太, 山本健太郎, 瀬戸山 寛之, 岡島敏浩, **山崎仁丈,** "水和反応に伴う BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ} の局所歪み緩和", 基盤 A 研究会, 2016.2.26, 福岡.
49. **山崎仁丈, 桑原彰秀, 奥山勇治,** 山本健太郎, Craing Fisher, Sossina M. Haile, "水素結合で規定されるプロトン拡散: 電気化学実験および第一原理計算", 第 41 回固体イオニクス討論会, 2015.11.25, 札幌.
50. 兵頭潤次, **山崎仁丈,** "PLD 法による BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ} エピタキシャル薄膜の作製と電気化学測定", 第 41 回固体イオニクス討論会, 2015.11.25, 札幌.
51. **奥山勇治,** 山本健太郎, **桑原彰秀, 山崎仁丈,** "ランタノイド置換ジルコン酸バリウムにおける会合エネルギーの決定: 電気化学, 熱重量測定および第一原理計算" 2015 年第 157 回秋期講演大会, 2015.9.16, 福岡.
52. 兵頭潤次, **山崎仁丈,** "BaZr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ} エピタキシャル薄膜の作製とプロトン伝導", 第 11 回固体イオニクスセミナー, 2015.8.30, 伊豆. (ポスター発表)
53. **Y. Yamazaki,** "Proton trapping: a key to design proton-conducting electrolyte for solid oxide fuel cells", 4th International Symposium on Energy Challenges and Mechanics - working on small scales, 2015. 8. 11~13, Aberdeen, Scotland, UK. 基調講演.
54. **Y. Yamazaki, Y. Okuyama,** J. Potticarry, K. Yamamoto, S.M. Haile, "Proton trapping: a key to control proton transport in oxides", The 20th International Conference on Solid State Ionics (SSI-20), 2015. 6. 14~19, Keystone, USA. (poster presentation)

[その他]

ホームページ等

九州大学稲盛フロンティア研究センター先進機能性無機材料研究部門ホームページ:
<http://www.inamori-frontier.kyushu-u.ac.jp/materials/index.html>

九州大学研究者情報:

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/KO05563/index.html>

6. 研究組織
(1)研究代表者

山崎 仁丈 (YAMAZAKI, Yoshihiro)
九州大学・エネルギー研究教育機構・教授
九州大学・稲盛フロンティア研究センター・教授
研究者番号：30292246

(2)研究分担者

桑原 彰秀 (KUWABARA, Akihide)
一般財団法人ファインセラミックスセンター・ナノ構造研究所 ナノシミュレーショングループ・主任研究員
研究者番号：30378799

奥山 勇治 (OKUYAMA, Yuji)
宮崎大学・工学部 環境ロボティクス学科・准教授
研究者番号：80613281