

研究報告書

「太陽光と新規酸素吸収酸化物を用いた燃料生成」

研究タイプ: 大挑戦型

研究期間: 平成22年10月～平成28年3月

研究者: 山崎 仁丈

1. 研究のねらい

持続可能なエネルギー社会の実現に向けた鍵は、無尽蔵だが断続的にしか利用できない太陽光をいかに有効に貯蔵し、変換利用するかにある。例えば、太陽光と水や二酸化炭素から水素、一酸化炭素および合成ガスなどを製造することで太陽光エネルギーを貯蔵し、その燃料を高効率に変換利用することが考えられる。太陽光燃料の利用において最も効率が高い燃料電池を使用した場合、そこから排出される水や二酸化炭素は太陽光燃料の原料としてリサイクルできるため、水と二酸化炭素を媒体とした持続可能なエネルギーシステムを組むことが可能である。これらはすでに実証されているが、その効率やコストはまだ不十分といえる。本研究では太陽光エネルギー貯蔵・変換機能を有する金属酸化物の開発および発現機構の解明に主眼をおき、太陽光熱化学燃料製造およびプロトン伝導の機能発現に関する研究を行った。

太陽光熱化学燃料製造法は集光太陽光から作りだした熱サイクルを用いて、水や二酸化炭素から水素、一酸化炭素および合成ガスを製造する技術である。太陽光の全波長を利用できるのみならず、システムとしての配線が不要なためスケールアップが容易なエネルギー変換貯蔵システムである。第一ステップとして、集光太陽光により高温状態を作り、酸素吸収金属酸化物を部分的に還元する。その後太陽光の遮断により温度を下げ水蒸気や二酸化炭素を導入することで、酸化物は水分子や二酸化炭素から酸素を吸収し水素や一酸化炭素および合成ガスが生成される。非化学両論組成の金属酸化物を用いた太陽光熱化学水分解水素製造は、従来、ホタル石型構造を有するセリアにおいてのみ報告されていた。動作温度は最高1650°Cであり、この高温反応が反応容器設計を困難にするとともに、燃料変換効率を低減する原因となっていた。この問題を克服するため、本研究ではセリアと同等の5モルパーセントの水素製造量を1500°Cより低い動作温度で達成することを中間目標に掲げた。研究指針として、これまでに太陽光熱化学水分解水素製造の報告例が全くないペロブスカイト型金属酸化物に着目し、ドーパントによる機能発現・制御を試みた。また、二酸化炭素還元や合成ガス製造についても挑戦した。さらに、同様の手法を用いることで固体酸化物燃料電池の電解質機能も発現・制御しようとした。本研究は、金属酸化物を反応場として利用することで思い通りの物質・エネルギー変換機能を達成しようとする挑戦的な研究と位置づけられる。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では持続可能なエネルギー社会の実現を目指すにあたり極めて重要な太陽光熱化学水分解・二酸化炭素還元および合成ガス製造機能やプロトン伝導機能に焦点を当て、これらの機能を思いのままに発現・制御することを目標に研究を行った。

ペロブスカイト型金属酸化物であるマンガン酸ランタンに2価のストロンチウムを置換することにより、太陽光熱化学水分解機能を誘起することに成功した[5.3 参照]。動作温度の低減およびその温度における水素製造量は中間目標として掲げた1500度以下、5モルパーセントを大幅に上回る成果(1400-800°C、9モルパーセント)が得られ、水素製造量は酸化物の還元反応エネルギーによって定量的に規定されることを見いだした。また同ペロブスカイト酸化物を用いた二酸化炭素還元にも成功した。二酸化炭素還元反応時(800°C)におけるマンガン K 吸収端近傍構造をその場観察した所、二酸化炭素が還元(一酸化炭素が生成)されるに伴い、マンガンの平均価数が 3.12 から 3.41 に上昇(酸化)し、マンガン酸素(MnO₆)八面体のマンガン-酸素距離も収縮した。ストロンチウム置換マンガン酸ランタン(ペロブスカイト酸化物)を用いた熱化学二酸化炭素還元能を制御するには、マンガン酸素八面体におけるマンガンの価数や結合状態が鍵となることが明らかになった。さらに、二酸化炭素、水蒸気および同ペロブスカイト酸化物を用いることで、熱化学合成ガス製造の実証に成功した。

ペロブスカイト型金属酸化物であるジルコン酸バリウムに3価のイットリウムを添加するとプロトン伝導が発現するが、そのプロトン伝導機構はプロトン伝導性酸化物の発見(1981年)以来、結論づけられていなかった。電気化学スペクトロスコピーおよび熱重量測定を用いることで、金属酸化物におけるプロトン伝導機構が「プロトントラッピング」によることを世界で初めて明らかにした[5.4 参照]。プロトントラッピングとは、添加元素がプロトンを引きつける現象であり、添加元素とプロトンの束縛エネルギーの大小によってプロトン伝導度が決定されることが示された。これは、プロトン束縛エネルギーが小さな添加元素を選択することによって中温度域におけるプロトン伝導を大幅に向上させるという新たな電解質設計指針を示すものである。

(2) 詳細

本研究では持続可能なエネルギー社会の実現を目指すにおいて極めて重要な A) 太陽光熱化学燃料製造能および B) プロトン伝導能に焦点を当て、これらの機能を思いのままに発現・制御する試みとして行った。

研究テーマ A「ペロブスカイト型金属酸化物における太陽光熱化学水分解水素製造機能の発現」

非化学両論組成の金属酸化物を用いた太陽光熱化学水分解水素製造は、従来、ホタル石型構造を有するセリアにおいてのみ報告されている。必要な温度は最高1650°Cであり、この高温反応が反応容器設計を困難にするとともに、燃料変換効率を低減していた。本研究ではセリアと同等の5モルパーセントの水素製造量を1500°Cより低い動作温度で達成

することを中間目標に掲げた。研究指針として、これまでに太陽光熱化学水分解水素製造の報告例が全くなかったペロブスカイト型金属酸化物に着目した。ペロブスカイト型金属酸化物(図1)における最大酸素吸収能は25モルパーセントとセリアを大幅に上回るものである。

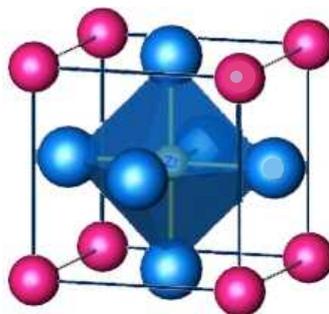


図1 ペロブスカイト構造の模式図

また、酸素イオン伝導度が高速であることも知られており、迅速な水素製造が期待できる。しかし、太陽光熱化学水分解水素製造が報告されている非化学両論酸化物はセリア系に限られており、ペロブスカイト型金属酸化物を用いた報告は全くなされていなかった。このような背景のもと、ペロブスカイト型金属酸化物であるマンガン酸ランタン(LaMnO_3)のランタンサイトに2価のストロンチウム(Sr^{2+})を置換し太陽光熱化学水分解水素製造に挑戦したところ、太陽光熱化学水分解機能を誘起し多量の水素を製造することに成功した [5.3 参照]。水素生成量と酸素生成量の比はほぼ2であり、水分解していることを示している。

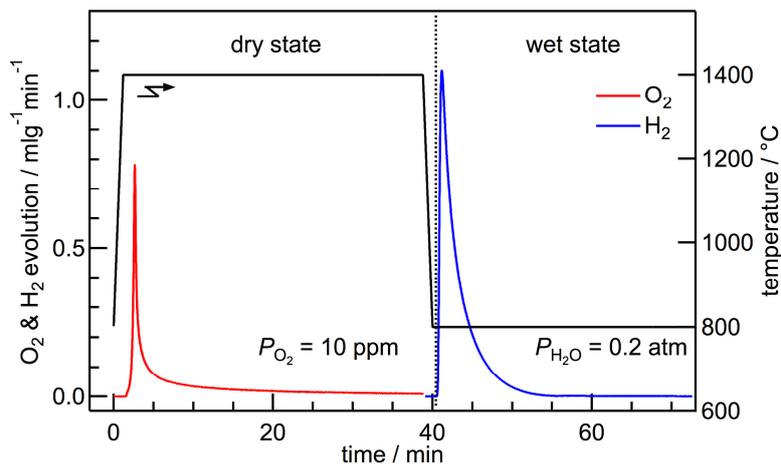


図2 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ を用いた熱化学水分解の一例(熱サイクル:1400–800°C)

また $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ において熱サイクルを21回行った所、良好な繰り返し特性が確認できた(図3)。

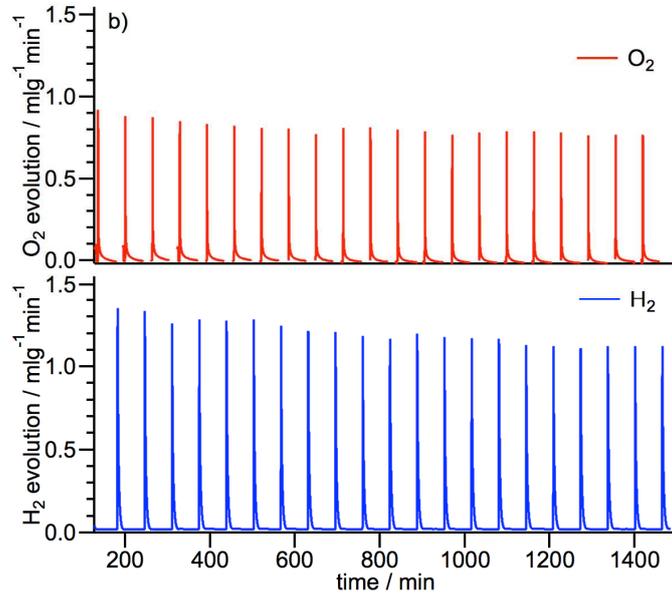


図3 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-d}$ を用いた熱化学水分解のサイクル特性

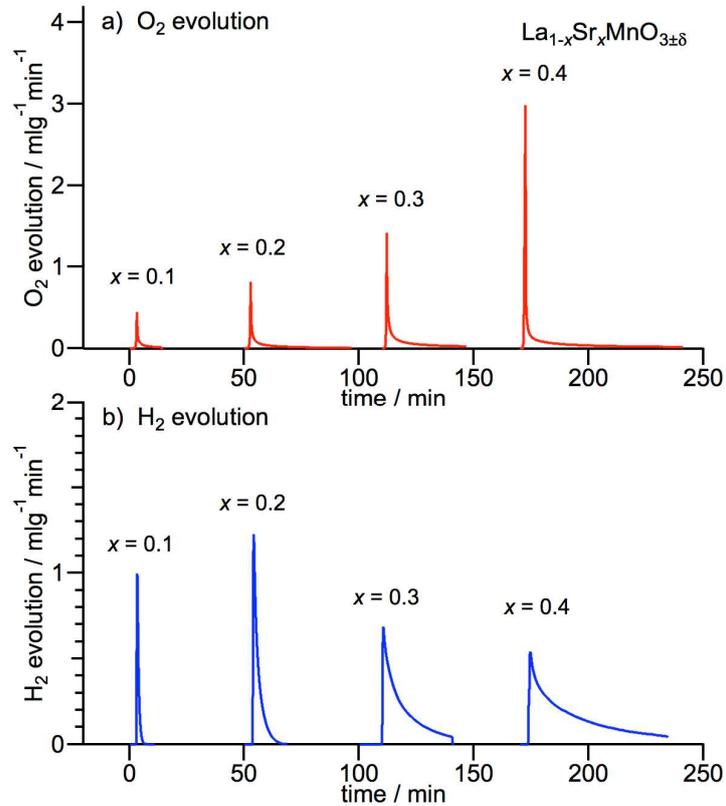


図4. ストロンチウム添加 LaMnO_3 の熱化学水分解水素製造能

従来に比べて低い 1400–800°C の熱サイクルにおける水素生成量はストロンチウム添加量 0.4 において 9 モルパーセントであった。これは同条件においてセリアを用いた場合の約 4 倍であり、さがけ大挑戦中間目標 (5 モルパーセント) を大幅に超える値である。実験的に決定した酸素生成量を熱力学的理論値と比較した結果、それらはほぼ一致した (図 5)。これは本熱サイクルで生成した酸素空孔がほぼすべて水分解反応に利用されたことを示している。

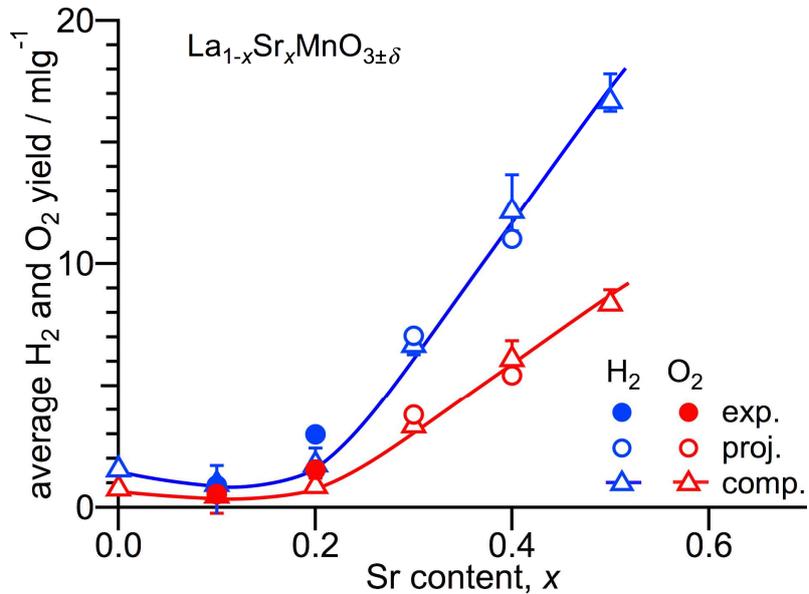


図 5. ストロンチウム添加 LaMnO_3 の熱化学水分解水素製造能のストロンチウム濃度依存性

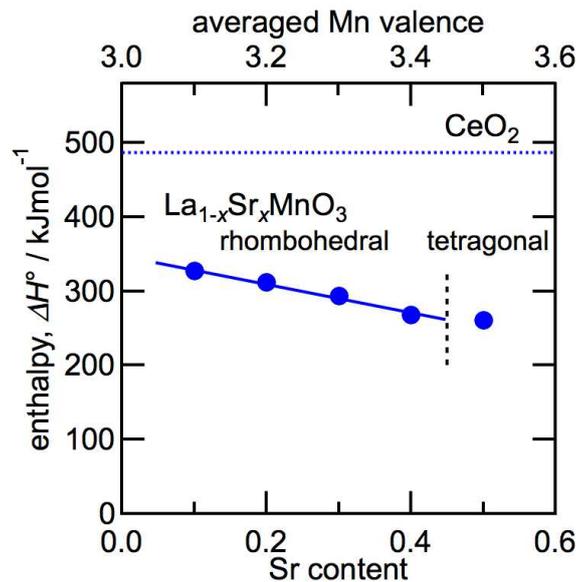


図 6. ストロンチウム添加 LaMnO_3 における酸化還元エンタルピーのストロンチウム濃度依存性

ストロンチウム置換に伴って酸素放出量および水素生成量が増える理由は、還元エンタルピーが低減することに起因する(図6)。

本研究に関して5件の特許を日本、米国および台湾で出願し、国内については特許第5594800号として認定された。

また、本ペロブスカイト酸化物を用いた太陽光熱化学二酸化炭素還元の実証についても挑戦した。光触媒による二酸化炭素還元は水分解よりも熱力学的に困難であるが、熱化学法を用いた場合、水分解反応と二酸化炭素還元反応の駆動力は同程度であるため、申請者が実証した熱化学水分解と同様、多量の二酸化炭素を還元できる可能性を秘めている。

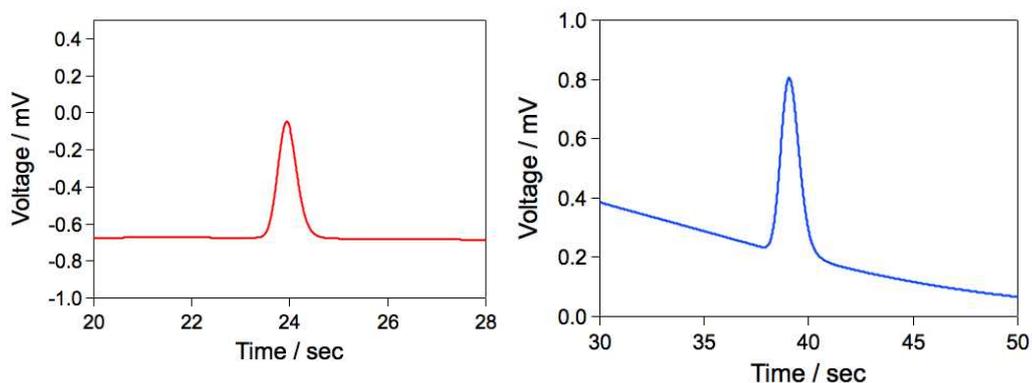


図7 $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_{3-\delta}$ による O_2 および CO 生成時のクロマトグラム

熱化学水分解を実証済である 40 at%ストロンチウム置換マンガン酸ランタン ($\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_{3-\delta}$)を用いて $1400\text{--}800^\circ\text{C}$ の熱サイクルにおいて二酸化炭素還元実験を行った。一酸化炭素を検出には、マイクロガスクロマトグラフを用いた。まず 1400°C 、 10^{-5} atm の酸素分圧条件において酸素が放出されることをクロマトグラフにて確認した(図7左)。次に 800°C 、 0.3 atm の二酸化炭素分圧に変えることで、熱化学的に二酸化炭素を一酸化炭素に還元することに成功した(図7右)。約 38 秒に見られるピークが一酸化炭素由来であることは、 0.4% CO/Ar 標準ガスを用いて確認している。

二酸化炭素還元実験の前後における試料の写真を図8に示す。 $0.1\text{--}1\text{ atm}$ の二酸化炭素ガスを流した後も、ペロブスカイト試料は崩壊していない。また、二酸化炭素還元後における試料の X 線回折の結果から、二酸化炭素還元実験後も元の結晶構造(空間群： $R\text{-}3c$)を保っていることが確認された。

$1400\text{--}800^\circ\text{C}$ の熱サイクルにおいてガスクロマトグラフで検知した酸素と一酸化炭素のピーク面積を時間に対してプロットした結果を図9に示す。酸素、一酸化炭素生成量はまず最大値を示し、その後、時間とともに減少している。今回6サイクルまで繰り返し二酸化炭素を還元、一酸化炭素が生成可能であることを実証した。

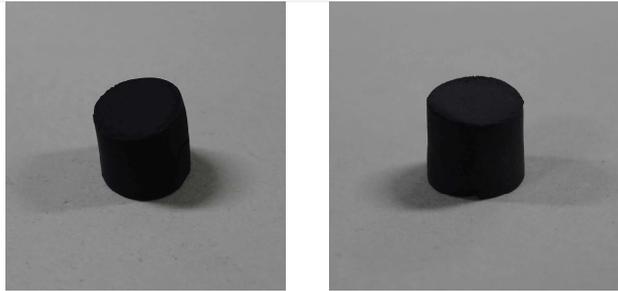


図8 二酸化炭素還元実験 8 サイクル前(左)および後(右)における $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_{3-\delta}$ 試料の形状

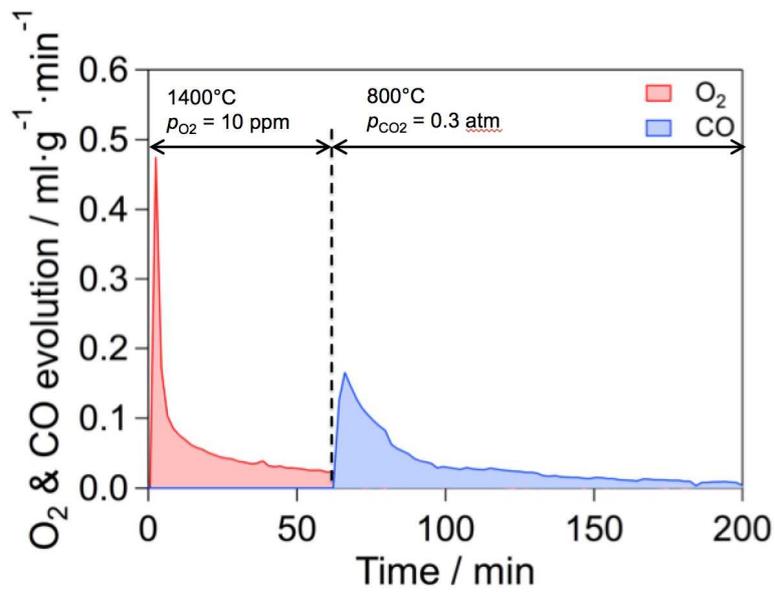


図9. $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ を用いた熱化学二酸化炭素還元

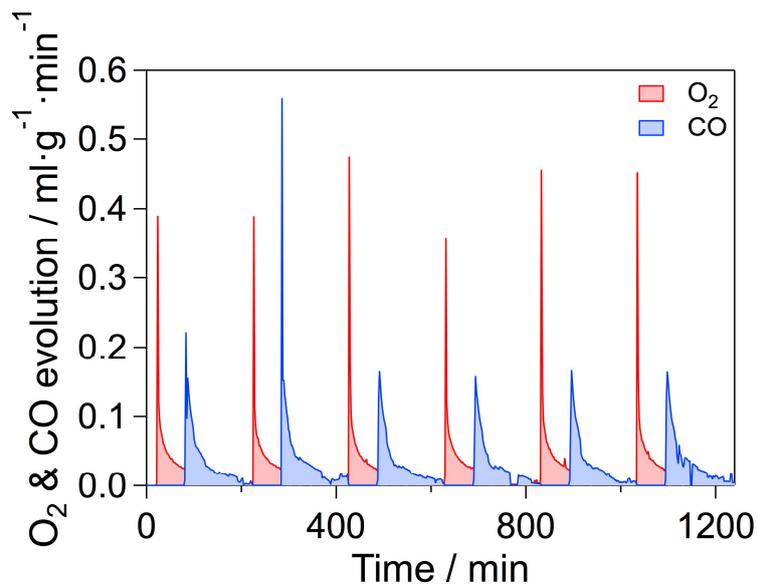


図10. $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ の熱化学二酸化炭素還元能のサイクル特性
研究テーマ B「ペロブスカイト型金属酸化物におけるプロトン伝導の発現」

BaZrO₃ ペロブスカイト型金属酸化物(図1)の立方中心に位置するジルコニウムサイト(Zr⁴⁺、黄色いサイト)に3価のイットリウム(Y³⁺)を添加し水蒸気に暴露すると、水蒸気をヒドロキシ基として吸収しプロトン伝導が発現する。このプロトン伝導性酸化物はプロトンが伝導するユニークな酸化物であり、従来よりも低い温度で動作する固体酸化物型燃料電池の電解質として期待されている。3価イオンの添加によりプロトン伝導が誘起されるため、添加元素がプロトン伝導に極めて大きな役割を果たすことが推測され、プロトン伝導機構についてはプロトン伝導性酸化物が1981年に発見されて以来活発に議論されてきた。しかし、その結論は出ておらず、何がプロトン伝導の大小を決定しているのかこれまで分かっていなかった。

本研究では、電気化学スペクトロスコピー、熱重量測定および高温その場固体核磁気共鳴法(NMR)を組み合わせることにより、金属酸化物におけるプロトン伝導機構が「プロントラッピング」によることを世界で初めて明らかにした[5.4 参照]。プロントラッピングとは、添加元素がプロトンを引きつける現象であり、添加元素とプロトンの束縛エネルギーの大きさによってプロトン伝導度が決定されることが示された。

プロトンを含んだイットリウム添加ジルコン酸バリウムには、イットリウムに束縛されたプロトンと脱出したプロトンが存在する。低温ではほとんどのプロトンがイットリウムの周りに拘束されており(図11-1)、NMR を用いると拘束されたプロトンのみが観測される(図12上)。この拘束から逃れるのに大きな熱エネルギーが必要なため、低温における拡散の活性化エネルギーは大きい(図13)。

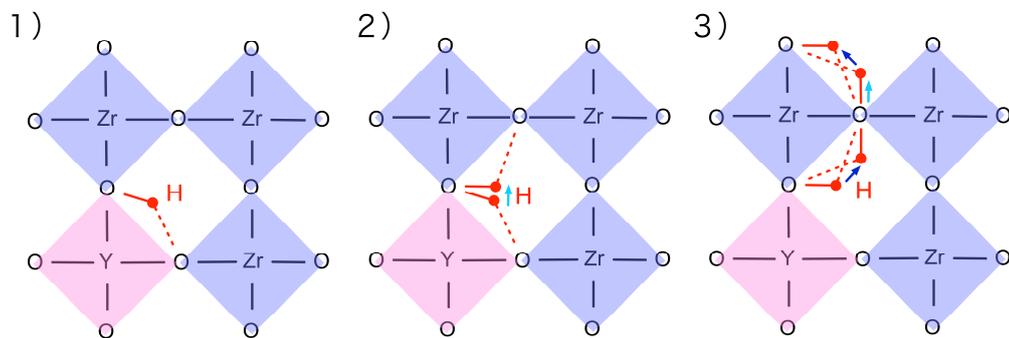


図11 イットリウム(Y)置換したジルコン酸バリウムのプロトン伝導機構の模式図

1) イットリウム(Y)の周りに束縛されたプロトン(H). 2) イットリウム(Y)の束縛から脱出するプロトン(H). 3) イットリウム(Y)の束縛から脱出し高速移動するプロトン(H).

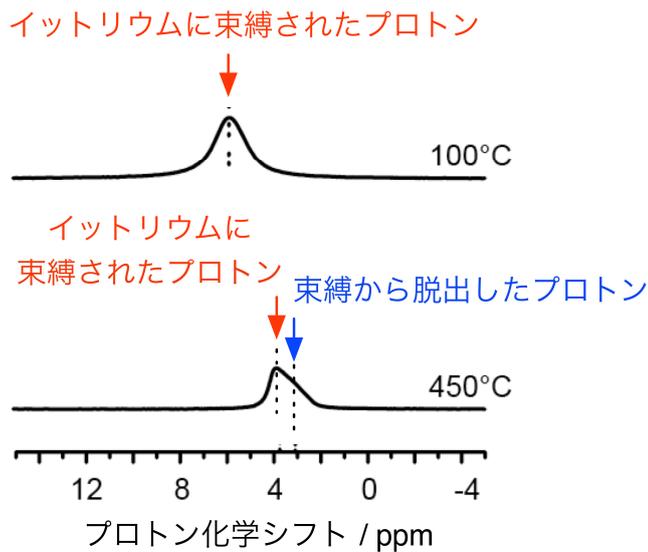


図12 高温プロトン NMR によって同定された2種類のプロトン

高温になるにつれてプロトンはイットリウムの周りから脱出し(図11-2)、高速に伝導できるようになる(図11-3)。実際、450°Cにおいては束縛されたプロトンと脱出したプロトンがほぼ同程度存在することがNMRにおいて観測された(図12下)。実際、2種類のプロトンの存在については、ダイナミック核磁気分極 NMR と第一原理計算からも観測されている[5.2 参照]。高温ではイットリウムから離れて高速に伝導するプロトンが多数存在するため、プロトン拡散係数の温度依存性は小さくなる。結果として、湾曲したプロトン拡散係数の温度依存性が得られる(図13)。この湾曲したプロトン拡散係数の温度依存性は、プロントラッピングによってプロトン伝導度が規定される事実を示す決定的証拠であり、本研究により初めて実験的に確認された。

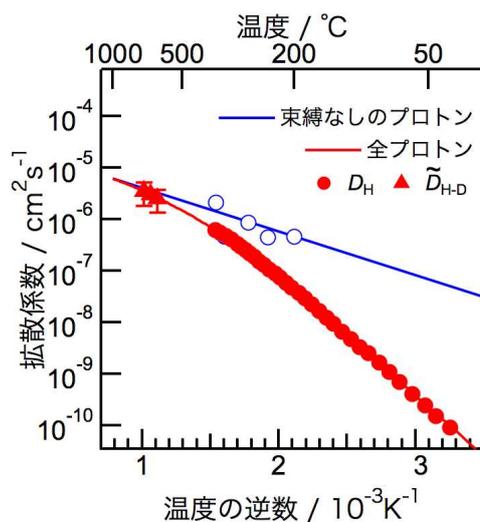


図13 湾曲したプロトン拡散係数の温度依存性

これらの実験結果を基にプロトン束縛エネルギーからプロトン拡散係数を一意的に決定するモデルを世界で初めて作り、束縛エネルギーと燃料電池の動作温度の関係を定量的に導いた。例えば、プロトンの束縛エネルギーがイットリウムに比べて9kJ/mol低い元素を添加したジルコン酸バリウムでは、燃料電池の動作に必要なプロトン伝導度は350°Cという低温でも得られることが示唆された(図14)。これは、プロトン束縛エネルギーが小さな添加元素を選択することによって中温度域におけるプロトン伝導を大幅に向上させるという新たな電解質設計指針を示すものである。

また、本金属酸化物の水和反応およびその速度論に関する知見も得られた[5.5 および 5.1 参照]。

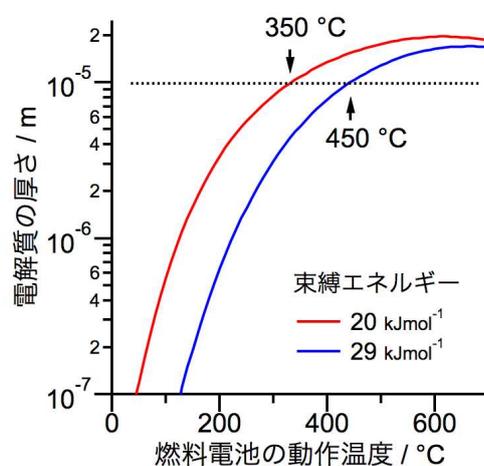


図14 プロトントラッピングモデルに基づいて計算した、燃料電池の動作に必要なプロトン伝導が得られる温度と電解質の厚さの関係

3. 今後の展開

本研究期間において新規太陽光熱化学水分解金属酸化物の開発に成功し、水素製造量に関して中間目標を大幅に上回る成果を達成した。また、本金属酸化物を用いた二酸化炭素還元や合成ガス製造にも成功した。今後は、二酸化炭素還元および合成ガス製造の高効率化へ挑戦するとともに、動作温度を劇的に低下できる金属酸化物やプロセスの開発を行っていきたい。一方、プロトン伝導機能の発現に関してはドーパント選択によって束縛エネルギーを制御できることが示唆されたので、この方針に基づいて特性の飛躍的向上を探るべく研究を推進してゆく。

4. 評価

(1) 自己評価

持続可能なエネルギー社会の実現を目指すにあたり極めて重要な太陽光熱化学燃料製造能およびプロトン伝導能の発現・制御に焦点を当て、挑戦的な研究を行った。この間、新た

な太陽光熱化学燃料製造金属酸化物の開発に成功し、中間目標を大幅に上回る成果が得られた。またペロブスカイト酸化物を用いた熱化学二酸化炭素還元および合成ガス製造の実証に成功した。さらに、同様の手法でプロトン伝導を誘起した金属酸化物において世界で初めてプロトン伝導機構を解明し、Nature Materials 紙に発表した。本研究に関してプレスリリースを行い、複数の新聞で紹介され、1件の受賞を受けた。これらの研究成果をもとに、国際特許4件、国内特許1件、国際会議における基調講演や招待講演7件、海外大学における招待講演7件、国内招待講演14件等を行うとともに、不定比化合物に関する国際会議 VI の議長に選出され、2016年9月に米国で国際会議を主催する予定となっている。これらの研究が高く評価されたことを受け、2014年8月には九州大学稲盛フロンティア研究センター教授に着任した。アウトリーチ活動として2015年8月にはサイエンスカフェを行い、80名の高校生に太陽光熱化学水分解のデモ実験を披露した。論文発表に関しては緩慢であるが、大挑戦にふさわしいインパクトの大きな成果が着実に出てきていると考えている。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

山崎仁文博士は、太陽光エネルギーを物質の電子励起状態を経由する光化学反応ではなく基底状態の熱化学反応を誘起するエネルギーとして利用する物質変換反応に関する極めて意欲的な研究提案が大挑戦プログラムとして評価され採択された。研究開始後の具体的な研究推進では熱化学反応による水の分解、水素生成に関してそれまでほぼ唯一の例として知られていたセリアによる水の熱化学分解反応にとどまることなく、金属酸化物に異元素を添加することによる発生する非化学量論性が化学反応性に大きく影響することを予測し、新規にペロブスカイト型金属酸化物がセリアを大きく凌駕する水の熱分解反応性を見出した。またその熱化学サイクルの最適化にも挑み具体的に、研究目標設定を大きく上回る水素生成を達成している。単なる事例探索ではなく熱力学的考察による予測と解析に加えて動的視点による反応速度解析、予測により極めて説得性のある研究推進方法をとっていると評価できる。特に、金属酸化物を化学反応場として捉え、その非化学量論性と化学反応性に着目して研究推進している点は独創性の高い視点として高く評価される。事実、水の熱分解反応にとどまることなく、燃料電池領域での Hot subjects の一つである固体金属酸化物中におけるプロトン伝導機構について「プロントラッピング」を初めて実証した業績は当該分野への大きい波及効果が予測されるものである。研究開始当初はその研究展開に若干の誘導期間側面がみられたが、金属酸化物の非化学量論性への集中的な視点が大きい研究展開に繋がっていると判断される。

九州大学に異動後は、さきがけ研究前半までの金属酸化物を化学反応場とする研究実績を基礎にペロブスカイト型金属酸化物の非化学非量論性に着目した反応性制御の視点による先見的な研究戦略をさらに精査充実させていっそうの積極的研究展開を図っている。例えば、水の分解による水素生成に加えて、期待通り二酸化炭素が2電子還元により一酸化炭素に転換されることを新たに見出すなど、二酸化炭素の還元固定化、有効利用への社会実装課題に果敢に挑戦している。さきがけ研究提案時には、果たして熱化学プロセスによる水の分解による水素発生新材料が開発できるのか、また、二酸化炭素の還元固定が本当に実現できるのかなど必ずしも明瞭には見通し可能ではなかったが、山崎博士の先見的、独創的な研究指針と研

究努力により大きい展開が可能になったと言える。さきがけ大挑戦プログラムの良い典型例であろう。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表: 5件

1. E. Kim, Y. Yamazaki, S.M. Haile, H.-I. Yoo, Effect of NiO sintering-aid on hydration kinetics and defect-chemical parameters of $\text{BaZr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ *Solid State Ionics*, 275(2015), 23–28.
2. F.Blank, L.Sperrin,D.Lee, R. Derisoglu, Y. Yamazaki, S.M. Haile, G.D. Paepe, C.P. Grey, Dynamic Nuclear Polarization NMR of Low- γ Nuclei: Structural Insights into Hydrated Yttrium-Doped BaZrO_3 , *J. Phys. Chem. Lett.* 5 (2014), 2431–2436.
3. C.K. Yang, Y. Yamazaki*, A. Aydin, and S.M. Haile*, Thermodynamic and kinetic assessments of strontium-doped lanthanum manganites for thermochemical water splitting, *J. Mater. Chem. A*, 2(2014),13612–13623. *Corresponding Author.
4. Y. Yamazaki*, F. Blanc, Y. Okuyama, L. Buannic, J.C. Lucio-Vega, C.P. Grey, and S.M. Haile, Proton trapping in yttrium-doped barium zirconate, *Nature Materials*, 12 (2013), 647–651. *Corresponding Author.
5. Y. Yamazaki, C.K. Yang and S.M. Haile, Unraveling the defect chemistry and proton uptake of yttrium-doped barium zirconate, *Scripta Materialia*, 65(2011), 102–107. Viewpoint Set: Solid Oxide Fuel Cells. **Invited**.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 5 件(国際特許 4 件および国内特許 1 件、1 件の仮特許を含む)

1.

発明者: 山崎 仁丈、ハイレ ソシナ、ヤン チカイ

発明の名称: 熱化学燃料製造用触媒及び熱化学燃料製造方法(日本)

出願人: 科学技術振興機構、カリフォルニア工科大学

出願日: 2013/3/22

出願番号: 特許第 5594800 号 (2014), 日本

2.

発明者: 山崎 仁丈、ハイレ ソシナ、ヤン チカイ

発明の名称: 熱化学燃料製造用触媒及び熱化学燃料製造方法(台湾)

出願人: 科学技術振興機構、カリフォルニア工科大学

出願日: 2013/3/22

出願番号: 102110240

3.

発明者: Yoshihiro Yamazaki, Sossina M. Haile, Chih-Kai Yang

発明の名称: Catalysts for thermochemical fuel production and method of producing fuel using thermochemical fuel production (USA)

出願人: Japan Science and Technology Agency、California Institute of Technology
出願日: 2012/8/31
出願番号: 13/600,948

5.

発明者: Yoshihiro Yamazaki, Sossina M. Haile, Chih-Kai Yang
発明の名称: Catalysts for thermochemical fuel production and method of producing fuel
using thermochemical fuel production (USA)
出願人: Japan Science and Technology Agency、California Institute of Technology
出願日: 2012/3/23
出願番号: 61615122 (provisional)

(2) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

主要な学会発表

国際学会における基調講演および招待講演: 6件 *代表著者

- 1 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, Aug. 11–13, 2015, Aberdeen, Scotland, UK. 基調講演.
- 2 Y. Yamazaki, “Proton diffusion in solid oxide fuel cell electrolytes”, International Conference on Diffusion in Materials, Aug. 17–22, 2014, Münster, Germany. 基調講演.
- 3 Y. Yamazaki, “Proton trapping in proton-conducting oxide”, 17th International Conference on Solid State Protonic Conductors, Sep. 14–19, 2014, Seoul, Korea. 招待講演.
- 4 Y. Yamazaki*, F. Blanc, Y. Okuyama, L. Buannic, C.P. Grey, and S.M. Haile, “Proton trapping: a guide for proton conducting oxide electrolyte development”, International Workshop on Protonic Ceramic Fuel Cells Status & Prospects (PPC2013 – Prospects Protonic Ceramic Cells), July 10, 2013, Montpellier, France. 基調講演.
- 5 Y. Yamazaki*, “Novel perovskite catalysts for thermochemical water splitting”, The 19th International Conference on Solid State Ionics, Jun. 4, 2013, Kyoto, Japan. 招待講演.
- 6 Y. Yamazaki*, “Defect manipulation towards a sustainable energy future”, The 9th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences, Nov. 3, 2012, Fukuoka, Japan. 招待講演.

海外の大学における招待講演: 7件

- 7 Y. Yamazaki, “Thermochemical solar fuel production using perovskite oxides”, MIT, Aug. 6, 2015, Boston, USA. 招待講演.
- 8 Y. Yamazaki, “How to activate energy functions in oxides? ~ thermochemical solar fuels and solid oxide fuel cells”, KAIST, Sep. 12, 2014, Taejeon, Korea. 招待講演.
- 9 Y. Yamazaki, “How to activate perovskite oxide functions for sustainable energy?”, Aug. 15, 2014, Leibniz Institute for Surface Modification, Leipzig, Germany. 招待講演.
- 10 Y. Yamazaki, “Atmosphere-controlled thermogravimetry: quantitative detection of proton in oxides”, Netzsch User Meeting, California Institute of Technology, Mar 12–13, 2014, Pasadena, USA.
- 11 Y. Yamazaki*, “Activating energy functions in perovskites: water splitting and proton conduction”, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, July 8, 2013, Cambridge, UK.
- 12 Y. Yamazaki*, “Energy functions in perovskites: water splitting and proton conduction”, Grey group seminar, Department of Chemistry, University of Cambridge, July 3, 2013,

Cambridge, UK.

- 13 Y. Yamazaki*, L. Buannic, Y. Okuyama, J.C. Lucio-Vega, F. Blanc, C.P. Grey, and S.M. Haile, “a proton-conducting oxide electrolyte for fuel cells: electrochemistry and NMR”, Stony Brook University and University of Cambridge on video conference, June 8, 2011, Stony Brook, USA.

国内の大学および研究機関における招待および依頼講演： 14件

- 14 山崎仁文, 無機材料における革新的エネルギー機能の発現を目指して ～熱化学水分解とプロトン伝導～, 京都大学, 2014年10月3日, 京都.
- 15 Y. Yamazaki, “Overview of researches in Advanced Functional Inorganic Materials Research Division”, Kyocera Professor Meeting, Kyocera, Sep. 11, 2014, Kagoshima, Japan.
- 16 Y. Yamazaki, “Materials design towards sustainable energy society: solar-driven thermochemical fuel production”, Miyazaki University, Apr. 7, 2014, Miyazaki, Japan. (in Japanese)
- 17 Y. Yamazaki, “Activation of energy function in perovskite oxides: solar fuels and fuel cells”, KEK Photon Factory, May 26, 2014, Tsukuba, Japan. (in Japanese)
- 18 Y. Yamazaki*, “Novel materials design based on electrochemical understandings”, Seminar, Tohoku University, Aug. 2, 2013, Sendai, Japan. (in Japanese).
- 19 Y. Yamazaki*, “Towards physical chemical understanding in thermochemical fuel production”, Applied Chemistry Department Seminar, Tokyo University of Science, July 26, 2013, Tokyo, Japan. (in Japanese).
- 20 Y. Yamazaki*, “Activating energy functions in perovskites: thermochemical water splitting and proton conduction”, I²CNER seminar, Kyushu University, Jun. 10, 2013, Fukuoka, Japan.
- 21 Y. Yamazaki*, “Design energy materials ~ from artificial photosynthesis to solid oxide fuel cells”, Seminar, Tokyo University of Science, May 16, 2013, Tokyo, Japan. (in Japanese).
- 22 Y. Yamazaki*, “Defect control in perovskite for energy applications”, Seminar, Kyoto University, Nov. 13, 2012, Kyoto, Japan.
- 23 Y. Yamazaki*, “Energy materials design: materials science approach”, Seminar in Research Center, Tokyo Institute of Technology, Nov. 12, 2012, Kanagawa, Japan. (in Japanese).
- 24 Y. Yamazaki*, “Towards a sustainable energy society: materials science approach”, Inamori Research Seminar, Inamori Frontier Research Center, Kyushu University, Nov. 6, 2012, Fukuoka, Japan. (in Japanese).
- 25 Y. Yamazaki*, “Solar thermochemical fuel production and solid oxide fuel cells”, Fuel Cell Division Meeting, World Premier International Research Center, Kyushu University, Nov. 5, 2012, Fukuoka, Japan.

- 26 Y. Yamazaki*, “Proton-conducting oxides”, Kyushu University, May 7, 2012, Fukuoka, Japan. (in Japanese).
- 27 Y. Yamazaki*, “Catalytic oxides for Thermochemical water splitting: Thermodynamic consideration”, The University of Tokyo, March 24, 2012, Tokyo, Japan. (in Japanese).

国際学会における口頭発表(招待講演を除く): 28件(詳細略)

国内学会における口頭発表(招待講演を除く): 21件(詳細略)

受賞: 1件

- 1 第18回固体イオニクス国際学会ベストポスター賞受賞, ポーランド, 2011年. L. Buannic, F. Blanc, Y. Yamazaki, L. Sperrin, D.S. Middlemiss, R. Dervisoglu, Z. Gan, S.M. Haile and C.P. Grey

著作物: 3件

- 1 山崎仁丈, “プロトン伝導性金属酸化物 $BaZrO_3$ における置換元素 Y の役割と Ba 欠損の影響”, まてりあ, 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~”, まてりあ, 54(2015) 242-249.
- 3 山崎仁丈*, “太陽光と新規酸素吸収酸化物を用いた燃料生成”, 化学経済, 11 (2011).

プレスリリースおよび新聞発表: 5件

- 1 科学技術振興機構報 第952号「固体酸化物形燃料電池を低温で動かす新たな機構を発見」, 2013年5月13日.
- 2 日経産業新聞, 「燃料電池の材料特性発見」, 2013年5月14日.
- 3 電気新聞, 「SOFC、低温駆動へ道」, 2013年5月14日.
- 4 マイナビニュース「JST, 固体酸化物形燃料電池を低温で動かす新たな機構を発見」, 2013年5月13日.
- 5 日経電子版「JST, 固体酸化物形燃料電池を低温で動かす新たな機構を発見」, 2013年5月13日.

国際的に顕著な貢献: 3件

- 1 不定比化合物に関する国際学会 VI の議長に任命された, 2014年11月7日.
- 2 世界セラミックアカデミー国際セラミックス賞の推薦者に任命され、推薦したハイレ博士が国際セラミックス賞を受賞した, 2011年2月15日.

アウトリーチ活動: 1件

- 1 サイエンスカフェ、太陽光熱化学水分解デモ実験、九州大学稲盛フロンティア研究センター, 参加者 80 名, 2015年8月2日.