

	研究代表者	京都大学・工学研究科・教授 陰山 洋（かげやま ひろし）	研究者番号:40302640
	研究課題 情報	課題番号：22H04914 キーワード：水素イオン、セラミックス、複合アニオン化合物、水素社会	研究期間：2022年度～2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

本研究課題が提唱する「水素イオンセラミックス」とは、安定なセラミックスを舞台にプロトン (H^+) やヒドリド (H^-) といった水素のイオンが活躍する学術分野である（図1）。この研究は、水素を基盤とする“ものづくり”を推進することで、水素社会の実現を加速する。化石燃料を基盤とする社会から脱却するためには、水素社会の実現が急務であることは、明らかである。現在、水素エネルギーに関する技術開発は世界中で活発に行われているが、化石燃料に代わって、水素が主役となる社会を想定したときに、圧倒的に足りない技術がある。それが、水素を基盤とする材料創製、すなわち、“ものづくり”である。

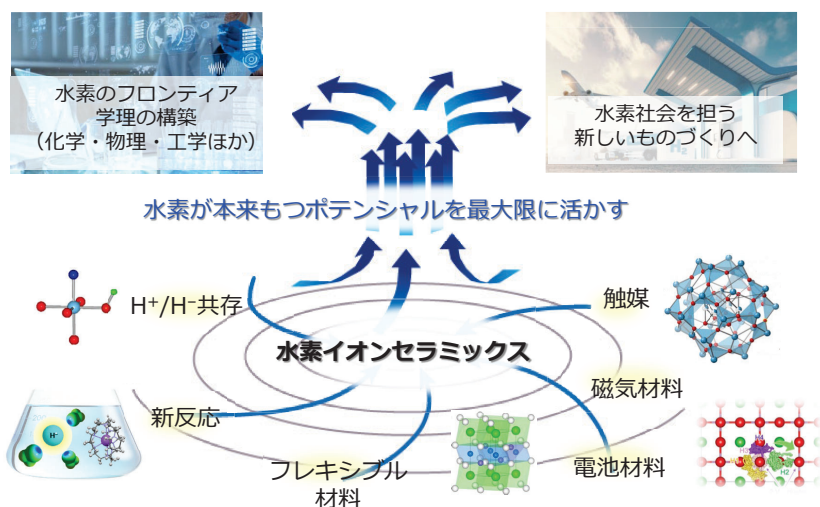


図1 水素イオンセラミックスの概念図

しかしながら、セラミックスの水素科学には3つの課題がある。まず、プロトンに関しては材料、機能ともに飽和する傾向がある。一方で、生体内や有機化学では、プロトンが非常に多彩な反応や機能を担っている。セラミックスのプロトン材料にはまだ飛躍の余地がある。次にヒドリドに関しては、まだ報告数が少ない。この大きな要因として、合成法が固相反応に限定されていることがある。この固相反応に頼る限り、酸化物のようなナノ粒子化や、結晶面の制御、つまり、モルフォロジーの制御がでない。最後に、プロトンとヒドリドの共存系の機能開発は、酸化物では未開拓だ。一方、有機化学では H^+ と H^- が共存する分子が開発され触媒分野でも大きく貢献している。ここにも水素イオンセラミックスの未踏領域が存在している。

研究代表者の陰山は、「複合アニオン化合物」研究の世界の第一人者であり、これまで新規性の高い複合アニオン化合物の創製、合成法の開拓、革新的な機能の開発をおこなっている（教科書「複合アニオン化合物の科学」（丸善）を2021年に出版）。なかでも図2に示す低温合成法によって得られた酸水素化合物（Nat. Mater. 2012）が示す革新的触媒機能は、安定なだけを取り柄の酸化物に、ヒドリドを入れることで安定性を保ちながら活性を付与できることを意味している。また、近年では電気化学的に酸化物をプロトン化したのちに脱水するという酸化物の新たな強力還元法を見出す（J. Am. Chem. Soc. 2021）など、停滞気味であった酸化物のプロトン研究に新しい展開をもたらす発見をしている。

これらの背景を踏まえ、本研究は、古くから材料として使われてきたセラミックスに水素イオンという新風を吹き込むことで、水素社会に不可欠な新材料や物質変換技術を創り出す。

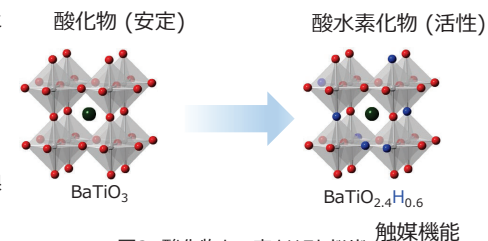


図2 酸化物を一変させるヒドリド触媒機能

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本研究では、図1に示した現状を踏まえ、水素のポテンシャルを最大限に引き出すために、主に①「プロトンの限界を打破」、②「ヒドリドの未踏領域探索」、③「プロトン・ヒドリドの融合」の3つのテーマに取り組む。まず、①に関しては、正電荷クラスターを舞台とした触媒開発（図3）とオリジナルの還元反応（図4）を舞台とする新物質開発を行う。②に関しては、ヒドリド材料の合成法の開拓、ヒドリドの高い分極率を活かした機能開拓、③に関しては、プロトンとヒドリドが共存した新しいセラミックス材料を作り出し、有機物とは異なる機能展開を目指す。また、図5に示すような非熱活性型の水素イオンの伝導が可能なか検証することなどを目的としている。これらの研究を通じて、これまでバラバラであったプロトンとヒドリドの科学を融合させた新たな学理を構築する。

以下の異分野の研究者9名からなる学際的なグループを組織し、水素イオンセラミックスの材料創製と機能開拓に取り組む。陰山 洋：固体化学、高津 浩：固体物理、Cedric Tassel：構造化学、加藤 大地：複合アニオン化学（京大）、藤井 進：計算物理（阪大）、高村 仁：固体イオニクス（東北大）、猪熊 泰英：有機合成（北大）、内田 さやか：触媒化学（東大）、小林 俊介：電子顕微鏡（JFCC）。

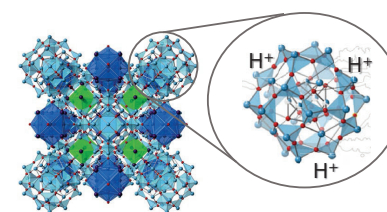


図3 正電荷をもつクラスター化合物

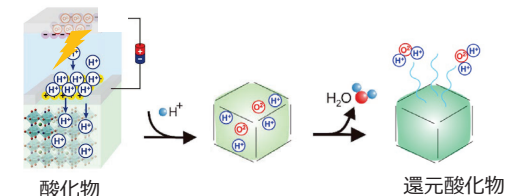


図4 プロトン化を経由した強力還元反応

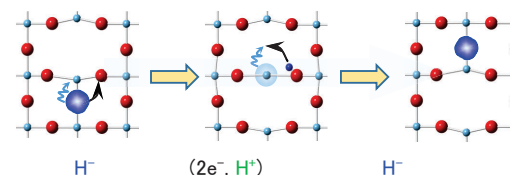


図5 非自明な水素イオン伝導