

補助事業番号 2023M-416

補助事業名 2023年度 低湿度空気からの水電解を可能とする高性能触媒
・電解質の開発補助事業

補助事業者名 鳥取大学・准教授・辻悦司

1 研究の概要

本研究では、(1)相対湿度30%以下の空気から水蒸気を吸収・液化可能な中性の有機電解質の開発、(2)中性での酸素発生反応に対して高活性なカルシウム鉄コバルト酸化物触媒の開発、を達成した。これらを用いて(3)相対湿度40%程度の低湿度の空気に含まれる水蒸気を吸収・液化し、電解する直接空気電解システムを開発した。

2 研究の目的と背景

地球温暖化は現在人類が直面している最大の課題の一つであり、日本でも2050年までに二酸化炭素の排出実質ゼロを掲げている。これを達成するには太陽光に代表される再生可能エネルギーの利用が必要不可欠であるが、その出力は天候や気候に大きく左右される。そのため、例えば、日照時間の長い砂漠地帯で太陽光発電し、隣国には送電、遠方国にはこの電力を用いた水電解により生成した水素を輸送するようなエネルギー社会が構想されている。しかし、砂漠地帯は水資源に乏しく水電解に必要な大量の水を如何にして確保するかが大きな課題である。そこで本研究では、大気中の水分を利用することで液体の水を必要としない水電解システムの構築を目指した。砂漠地帯でも年間の平均湿度は20~30%程度であり、大気中の水分を集めると大きな量となる。低湿度空気中の水分から直接水素を製造可能な水電解システムの確立を目指した。

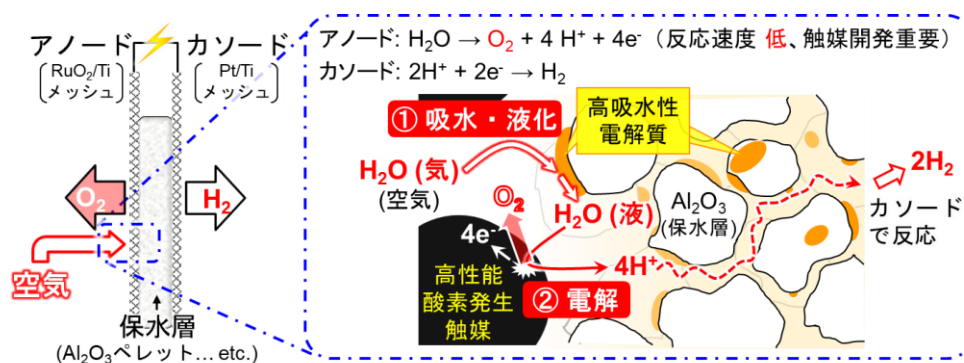


Figure 1 空気を利用した水電解システムの概略図

Figure 1に本研究で提案する空気を利用した水電解システムの概略図を示す。砂漠地帯で空気中の水分を直接水電解するには、低湿度空気から水分を吸収・液化し、安全性の高い中性の電解液となり得る電解質が必要となる。また水電解では目的反応である水素生成反応の対反応である酸素発生反応の反応効率が低く、これが全体の反応効率を支配しているため中性での酸

素発生反応に対して触媒活性が高く、安価な遷移金属酸化物のみから成る触媒の開発が必要となる。そこで大きく分けて以下の3つのテーマを検討した。

- (1) 高吸水性イオン液体電解質の開発
- (2) 中性で機能する高活性酸素発生触媒の開発
- (3) 低湿度空気からの水電解システムの構築

3 研究内容 <http://katalab.org/tsuji/>

(1) 高吸水性イオン液体電解質の開発

中性の無機塩である過塩素酸ナトリウムでは、原理的に相対湿度43%以上の空気からの水蒸気の吸収が可能であるが、吸水性の中性塩1価と2価のイオン液体を合成した。その結果、相対湿度35~20%程度の低湿度空気から吸水可能なイオン液体の合成を達成した。またこれらは-0.5~2.5 V vs. RHEの範囲で電圧をかけても分解せず、安定であることを明らかにした。またカチオンの炭素数では小さいほど水素発生反応および酸素発生反応に対する活性が高い傾向が見られた。

(2) 中性で機能する高活性酸素発生触媒の開発

中性での水電解においてボトルネックとなる酸素発生反応について、安価な遷移金属元素からなる高活性触媒を開発した。我々が見出した塩基性での酸素発生反応に対して高い活性を示すブラウンミラーライト型カルシウム鉄コバルト酸化物について、中性条件下での酸素発生反応に対する活性評価を行ったところ、既存の遷移金属元素からなる触媒群と比べ優れた触媒活性を示すことを見出した。またこの優れた活性は結晶構造の違いによるものであると推察され、また600°Cといった比較的低温で合成すると粒子径が小さくなり、これにより有効票面積が増大し、大きな電流が得られることを明らかにした。

(3) 低湿度空気からの水電解システムの構築

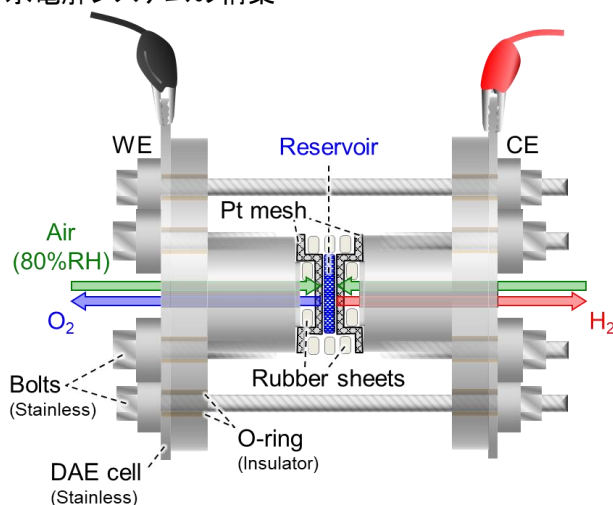


Figure 2 設計した空気電解セルの模式図

Figure 2のような直接空気電解セルを設計し、この保水層に(1)で開発した吸水性イオン液体を、酸素発生反応が起こる白金メッシュ電極の代わりに、ニッケルメッシュ上に(2)で開発したブラウンミラーライト型カルシウム鉄コバルト酸化物触媒を導入し、低湿度空気からの水電解を行った。30°Cで相対湿度40%の低湿度空気中に20時間後水電解を行うと水電解が進行し、低湿度空気からの水素生成が可能であることを明らかにした。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

現状、水電解ではアルカリ水電解やプロトン交換膜形水電解では、液体の水を原料とするのが一般的であるが、本研究より液体の水を用いない空気からの水電解を可能とする可能性を示した。これにより、水が得にくい地域でも相対湿度40%程度の空気さえあれば水素製造ができることが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者はこれまで酸素発生反応に対して活性、耐久性の優れた触媒開発、特に安価な遷移金属元素からなる複合酸化物触媒の開発を中心に進めてきた。酸素発生反応は、水電解や金属-空気二次電池、メッキ技術などさまざまな工業技術に利用されているが、本研究ではこれまでにない空気中に含まれている水蒸気から水素を製造するまったく新しい水素製造システムの開発を行った。今後はこのシステムにこれまで培ってきた触媒に関する知見を応用し、より高効率で水素製造が可能なシステムの開発を進めていく予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【論文】

1. H. Okada, R. Adachi, E. Tsuji*, R. Nanbu, K. Okumura, S. Kitano, H. Habazaki, S. Suganuma and N. Katada, Brownmillerite-Type $\text{Ca}_2\text{FeCoO}_5$ Ultrathin Layers as Anodic Catalysts for Water Electrolysis. *ACS Appl. Nano Mater.* **2025**, *8*, 223–232.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnm.4c05466>

2. E. Tsuji*, M. Watanabe, W. Ikuta, Y. Fujita, H. Okada, S. Suganuma and N. Katada, Influence of Oxide Reservoirs on Performance of Direct Air Electrolysis Using NaClO_4 as a Deliquescent Neutral Electrolyte Salt. *ACS Appl. Energy Mater.* **2025**, *8*, 2537–2542.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsaem.4c03167>

【特許】

出願番号: 特願2024-123625

出願日: 2024年7月30日

発明者: 辻悦司、野上敏材、渡部未悠、岡田拓之、佐々木紀彦、片田直伸、伊藤敏幸

発明の名称: 電解セル

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの
該当なし。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
該当なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 鳥取大学

(トットリダイガク)

住 所： 〒680-8552

鳥取市湖山町南4丁目101番地

担 当 者： 准教授 辻悦司

(ツジエツシ)

担 当 部 署： 工学部

(コウガクブ)

E - m a i l: e-tsuji@tottori-u.ac.jp

U R L: <http://katalab.org/tsuji/>