

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20479

研究課題名（和文）AEM型水電解反応場の物質移動設計による革新的水電解槽の創出

研究課題名（英文）Development of AEM water electrolysis under non-extreme pH condition

研究代表者

内藤 剛大（Naito, Takahiro）

名古屋大学・未来社会創造機構・特任助教

研究者番号：80963991

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：再生可能エネルギーの利活用に向け、次世代型水電解システムと考えられているAEM型水電解への中性pH電解質の適用を検討した。電解質特性の検討を通じ、AEM型水電解の性能向上に向けた電解質条件を選定した。また、電解セルの構築とそれを用いた水電解性能の評価を実施した。その結果、中性pH電解質として炭酸カリウム水溶液を用いた系を適用することで、AEM型水電解の課題の一つである安定性に関して高い性能を示すことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脱炭素社会実現のための再生可能エネルギー大量導入の実現には水素の活用が必須である。中核を担う水電解装置には年間数百GWの稼働量が求められるが、現状では数十MWにとどまる。この差を埋めるには電解槽設置数の増加に加え、電解槽の低コスト化と水素製造速度の向上が不可欠であるが、現状では低コストと水素製造速度向上の両立は困難である。本研究で対象とした、AEM型水電解への中性pH条件の適用は、上記課題を解決する方策である。本研究では中性pHのAEM型水電解への高い適用可能性を示したものであり、今回の成果は再生可能エネルギー由来のクリーンな水素導入を推進するものである。

研究成果の概要（英文）：The AEM water electrolyzer is considered as a next-generation water electrolysis system for the utilization of renewable energy. The application of non-extreme pH electrolyte to AEM water electrolysis has a potential to solve disadvantages of the conventional AEM water electrolyzer such as poor stability. Electrolyte properties were carefully tuned to improve the performance of the AEM-type water electrolysis system. An electrolysis cell was designed and used to water electrolysis testing. The developed AEM water electrolysis system using potassium carbonate buffer solution exhibited high stability, demonstrating the potential of non-extreme pH AEM-type water electrolysis.

研究分野：触媒化学

キーワード：電気化学 水電解 電極触媒 アニオン交換膜形水電解 溶液化学 中性pH

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脱炭素社会実現のための再生可能エネルギー大量導入の実現には水素の活用が必須である。中核を担う水電解装置には年間数百 GW の稼働量が求められるが、現状では数十 MW にとどまる。この差を埋めるには電解槽設置数の増加に加え、電解槽の低コスト化と水素製造速度 (= 電流密度) の向上が不可欠であるが、現状では低コストと水素製造速度向上の両立は困難である。

既に実用化されている水電解槽としては、酸性 pH 環境で駆動しガス分離にカチオン交換膜 (CEM) を用いる CEM 型水電解槽と、アルカリ性 pH 環境で多孔質膜を用いるアルカリ水電解槽 (AWE) とがある。CEM 型と AWE 型はいずれも、水素製造速度と水電解槽コストとの両立が課題となっている。一方、未実用のアニオン交換膜 (AEM) 型水電解では、AWE 同様に水電解槽コストを比較的抑えつつも、AWE の課題である高電流密度域での操業を可能とするため次世代型水電解槽として注目されている。しかし、AEM 型水電解では、強いアルカリ環境がもつ高い反応性に起因して AEM の膜劣化や、耐食性材料の利用に起因する更なる低コスト化の困難性、あるいは取扱時の人体への危険性といった課題がある。AEM 型水電解では検討例が無いものの、中性 pH 水電解は穏やかな反応性から AEM の安定利用や安価材料の適用による低コスト化が期待できるため本研究では中性 pH の有効活用を目指す。

2. 研究の目的

本研究の目的は、中性 pH の AEM 型水電解に対して電解質特性が与える影響を定量評価し、この結果から実験室規模で高性能な中性 pH AEM 型水電解槽を構築することである。

3. 研究の方法

水電解セルとして、水電解用の実験セルを使用した。セルは締め付け板、集電板、セパレータ、膜電極接合体からなる。このセルにはヒータの取り付けにより温度制御が可能であり、また、チューブ式送液ポンプを利用して電解質溶液を流通することができるものを用意した。モデル電極として陽極陰極ともに Ni メッシュ (日工テクノ) を使用した。本研究の対象である中性 pH 電解質溶液としては pH 10.5 に調整した炭酸カリウム水溶液を使用した。また、AEM として PiperION (Versogen) を使用した。AEM を使用する際には pH 10.5 に調整した炭酸カリウム水溶液に 1 h 以上浸漬したのちに使用した。

電気化学試験はポテンショスタット (VMP-300, Biologic Science Instruments) を用いて実施した。AEM を含むシリーズ抵抗は電気化学インピーダンス法によって評価した。この際には、Pt メッシュをイオン交換膜の両端に設置し接合した膜接合体を作製し、その抵抗値により評価した。水電解性能試験は $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の Ni メッシュを陽極、陰極の電極とする 2 電極法にて実施した。流通する電解質溶液を入れた溶液ボトルには反応前に加え反応中も Ar ガスをバブリングし雰囲気制御を行った。また、水電解セルは AEM 水電解の主流な作動温度である $60\text{ }^\circ\text{C}$ に保温した。

4. 研究成果

まず、中性 pH 電解質として炭酸カリウム水溶液の様々な濃度におけるシリーズ抵抗の違いを比較した。中性 pH 電解質について、これまでにアルカリ水電解型のシステムで報告した際 (T. Naito, et al., ChemSusChem, 2020, 13, 5921.) と同様に、AEM 型の水電解システムにおいても中性 pH 電解質の濃度によってシリーズ抵抗に差があることを確認した。これらの結果からシリーズ抵抗を低減する上で最適な電解質組成を決定した。

続けて、上記電解質条件を適用する電解セルを構築した。一般に AEM 型水電解セルは電解質溶液の流通機構をもち、また、電極と AEM が接合された MEA が採用されている。CEM 型では、電極触媒材料と膜をホットプレスすることで密着性を向上できるが、AEM 型では材料の耐熱性からホットプレスが困難とされている。そこで、MEA の構成手法について種々の検討を実施した。検討の結果、非貴金属である Ni メッシュをモデル電極触媒として陽極と陰極のいずれにも採用した。また AEM 膜としては高い導電率を持つことで知られる PiperION を用い MEA を形成した。

その後、水電解セルを用いて水電解試験を実施した。AEM が実際に使用される高電流条件として 1 A cm^{-2} を採用し、中性 pH 電解質を用いた AEM 型水電解システムの安定性を評価した。長時間の安定性試験は図 1 に示すように実際の操業での運転-停止を模擬し、 1 A cm^{-2} の電流密度 (on) と開回路 (off) の操作を繰り返す on-off 試験により行った。図 1 に示すように、試験開始時からおよそ 6 h 後に定常状態となり、以降は

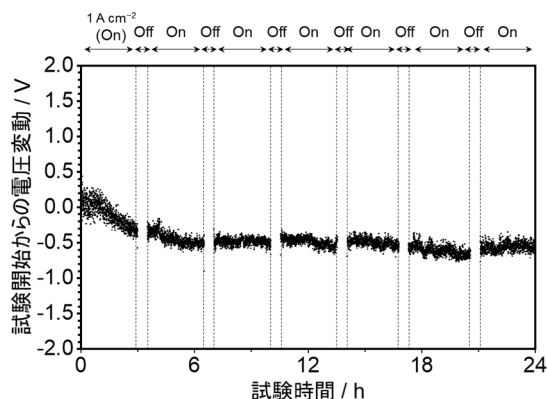


図 1. 開発した中性 pH AEM 型水電解システムの 1 A cm^{-2} での長時間安定性試験

安定した電圧値を示し続けた。このことから今回開発した中性 pH の AEM 型水電解システムは実操業条件となる 1 A cm^{-2} の高電流域においても安定性を持つことが確認された。また、長時間試験前後のインピーダンス測定の結果も変動は確認されず、本安定試験後の AEM 膜の健全性が示唆された。以上の安定性に関する結果は、当初研究計画に記したように中性 pH を活用することで AEM の安定性向上につながるという予見を支持するものとなった。また、今回のシステムは非貴金属である Ni の適用が可能であった。電極触媒の開発は本研究の対象外であったが、今後システムの安価化に重要となる、中性 pH AEM 型水電解に適した非貴金属系触媒材料の開発可能性が見出された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Li Tianqi, 内藤剛大, 佐藤勝俊, 永岡勝俊
2. 発表標題 NiとMoを基軸とした水電解用非貴金属系水素発生触媒の開発
3. 学会等名 第33回キャラクターゼーション講習会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北村昂也, 内藤剛大, 佐藤勝俊, 永岡勝俊
2. 発表標題 非貴金属複合ニリン酸塩を用いたアルカリ水電解における酸素発生反応
3. 学会等名 第33回キャラクターゼーション講習会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李天麒, 内藤剛大, 山田博史, 佐藤勝俊, 永岡勝俊
2. 発表標題 NiMo系水電解用水素発生触媒への第三元素添加効果
3. 学会等名 第133回触媒討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 北村昂也, 内藤剛大, 佐藤勝俊, 永岡勝俊
2. 発表標題 非貴金属ニリン酸塩をベースとした水電解用酸素発生触媒の開発
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------