



Tokyo Tech

2021年3月24日

報道機関各位

東京工業大学

アニオン交換膜を利用した水電解による 高性能、高耐久、低コストの水素製造システム

ー水素社会の実現へ大きく前進ー

【要点】

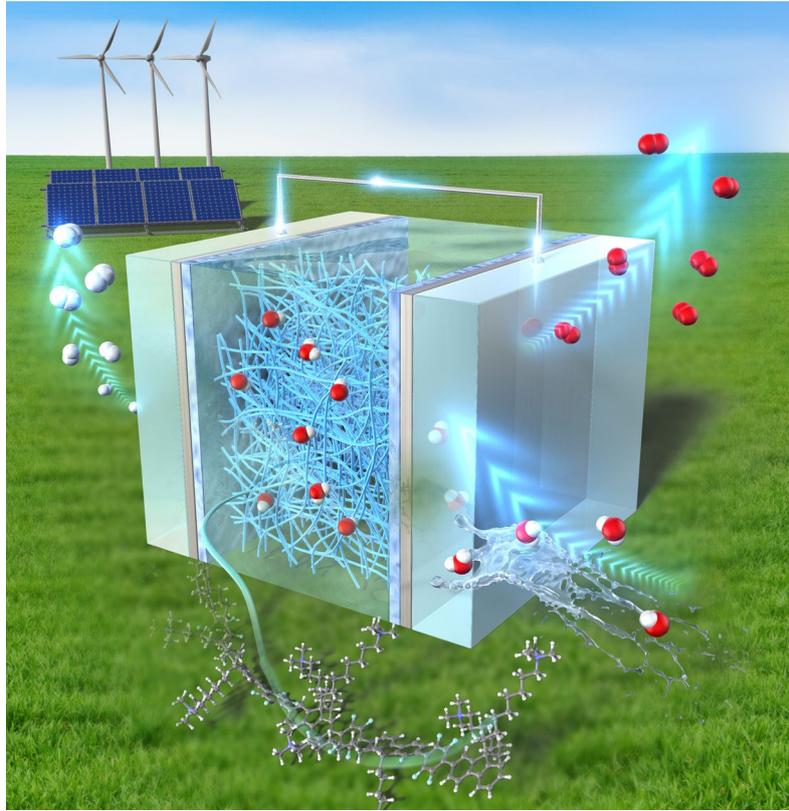
- アルカリ中での水電解で高耐久性を示すアニオン交換膜を開発
- 白金などの貴金属を使わない、純水供給のみによる低コスト水電解システム
- 高変換効率と高耐久性を両立した水電解を実現し、水素社会実現への貢献に期待

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所の山口猛央教授と宮西将史特任助教および KISTEC の黒木秀記サブリーダーらの研究グループは、高性能、高耐久性、低コストの純水型**水電解**（用語 1）システムを実現する、新たなアニオン交換膜の開発に成功した。

出力変動が大きい自然エネルギーからの水素製造では、膜型水電解が主流になりつつある。しかし、 H^+ イオンを伝導する膜では酸性環境になるため、大量の白金が必要だった。一方、 OH^- イオンを伝導するアニオン交換膜ではアルカリ性環境になるため、貴金属は必要ないが、アニオン交換膜が分解してしまう。研究グループはその分解機構を詳細に解析し、アルカリ中で分解しないアニオン交換膜を開発した。さらに、純水を使った水電解試験でも、高い変換効率での水素製造に成功した。この水電解システムは $80^{\circ}C$ で 100 時間を超える試験でも安定であり、低コスト、高性能、高耐久性をそなえた水素製造を実現する成果である。

本研究成果は、2021年2月22日（現地時間）に米国化学会誌「*ACS Applied Energy Materials*」に掲載され、掲載号のカバーピクチャに採用された。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素利用等先導研究開発事業」に関する研究成果である。



掲載誌のカバーピクチャに採用（2021年2月22日公開）

●背景

地球温暖化問題の解決のため、二酸化炭素排出を実質ゼロにするエネルギー社会の実現が求められている。そのためには、クリーンなエネルギー源として風力・太陽光などの再生可能エネルギーを大規模に利用するしくみが不可欠である。具体的には、水の電気分解（水電解）によって自然エネルギーを水素に変換して、貯蔵・輸送し、必要な場所・時間に燃料電池により電気を供給する技術が必要になる。この水電解技術は、地球に無尽蔵に存在する水を使用しており、二酸化炭素を排出しない水素製造方法として近年注目を集めている。ただしこの技術を広く実用化するには、水電解の低コスト化および高効率化を実現しなければならない。

●研究の経緯

従来の水電解では、アルカリ水溶液を用いる水電解が主流であったが、気まぐれな天気によって左右される太陽電池や風力発電の出力変動に対応できなかった。この問題は薄い高分子膜を用いれば解決できるが、燃料電池と異なり、水電解装置のセパレータや集電体（用語2）にはカーボン材料を使用できない。H⁺イオンを伝導する市販の膜を用いる場合、環境が酸性になるため、カーボンの代わりに大量

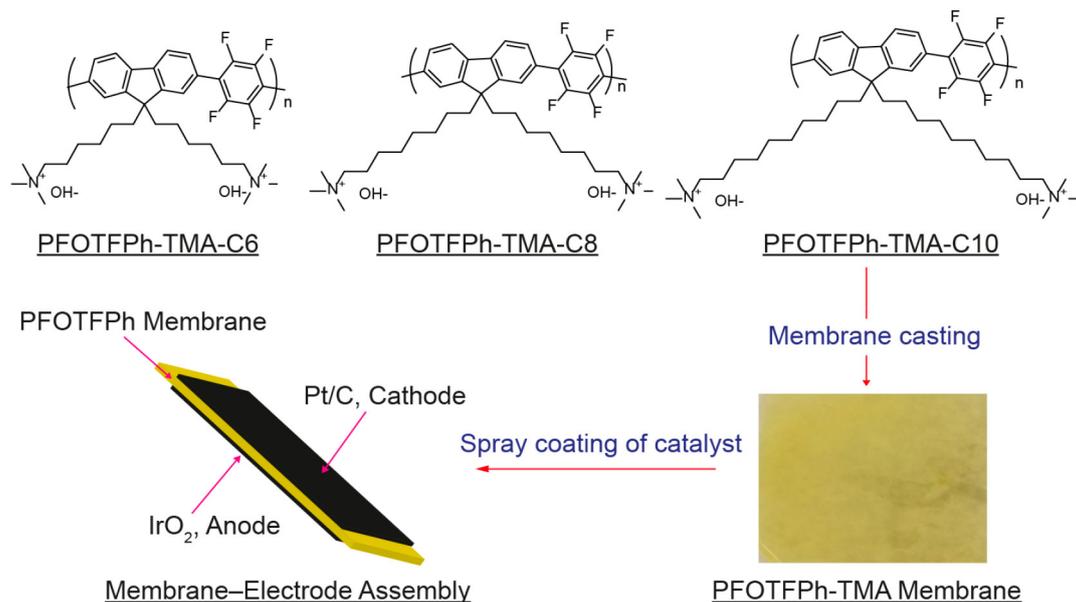


図 2. 本研究で合成したアニオン交換膜 (PFOTFPh-Cx) と作製した膜電極接合体 (MEA-Cx)

この膜電極接合体について、アルカリ (1 M KOH) 水溶液を用いた 80°C での水電解性能 (電流電圧曲線、用語 7) を測定した (図 3a)。その結果、いずれの膜電極接合体でも 1.0 A/cm² の高い電流値において約 1.8 V の電圧値 (エネルギー変換効率 80~83%) が得られ、電気から水素への高い変換効率を実現した。さらに、温度が 80°C、運転時間が 100 時間を超える水電解試験でも電圧変化がほとんど観察されず (図 3b)、この膜電極接合体が高温・アルカリ環境での水電解において高い耐久性を持つことが示された。

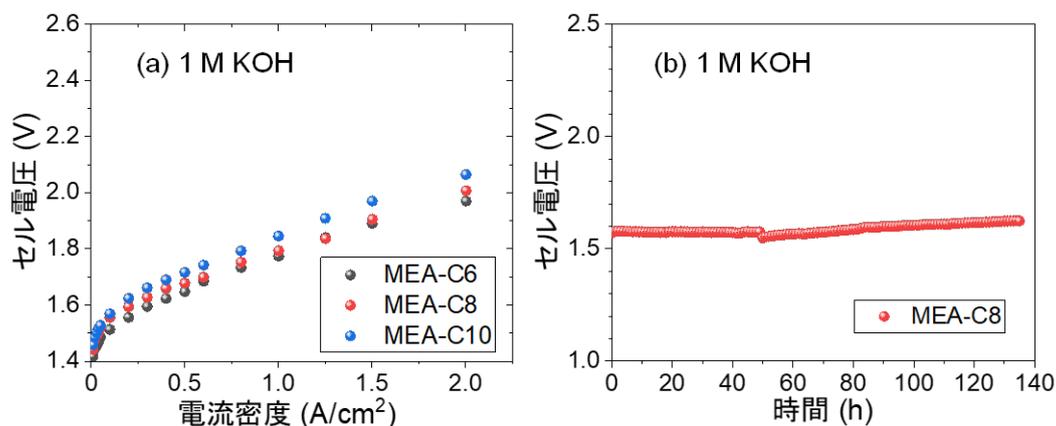


図 3. 1 M KOH 水溶液を供給した場合の PFOTFPh-Cx を用いた膜電極接合体 (MEA-Cx) の 80°C での水電解性能 (a)、一定電流密度運転での耐久性 (b)

さらに水電解システムの簡便化を目指して、アルカリ水溶液の代わりに純水を使った水電解試験も実施した（図 4a）。その結果、純水を供給した場合でも、 1.0 A/cm^2 の高い電流値で 69～76% の高い水電解効率を実現し、純水による水電解にも成功した。これは、今回開発したアニオン交換ポリマーの OH^- イオン伝導性が高く、 KOH 水溶液を用いなくても触媒層中で OH^- イオンが高速に伝導したためである。また、PFOTFPh-C10 膜を用いた MEA-C10 は、温度が 80°C 、運転時間が 100 時間を超える水電解試験でも安定であり、高い耐久性を示すことが確認された（図 4b）。

純水とアニオン交換膜を用いた固体アルカリ水電解システムにおいて、高い水電解性能と耐久性を同時に実現したのは、本研究成果が初めてである。安全で、地球上に豊富に存在する水のみを使用し、貴金属を必要としないシステムでそうした特徴を実現したことは、水素製造全体の低コスト化、高性能化、耐久性の向上につながる成果だといえる。

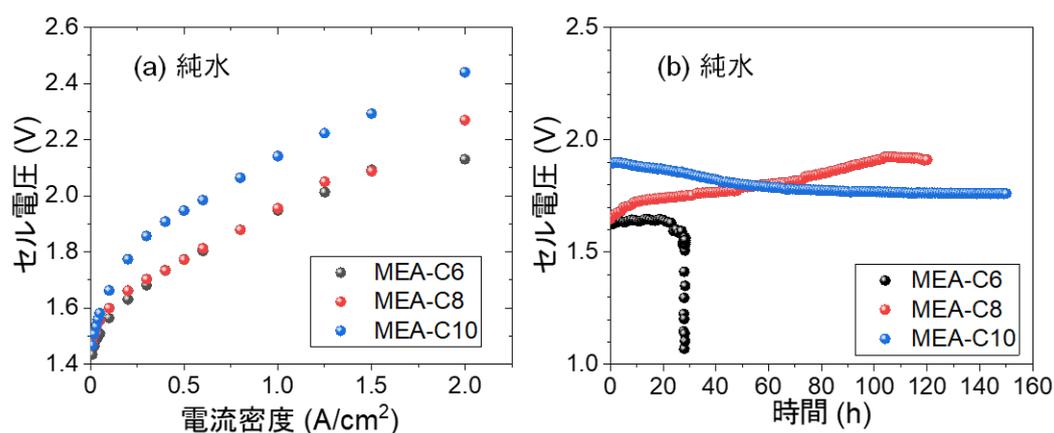


図 4. 純水を供給した場合の PFOTFPh-Cx を用いた膜電極接合体 (MEA-Cx) の 80°C での水電解性能 (a) と一定電流密度運転での耐久性 (b)

●今後の展開

本研究で開発したアニオン交換膜とニッケル等の非貴金属触媒を組み合わせれば、さらなる低コスト化が実現できる。今後は、この水電解システムの実用化も視野に入れ、実際の出力変動条件での試験や、さらなる高耐久化、高効率化を進める。

今回開発に成功した固体アルカリ水電解システムは、再生可能エネルギーから水素を製造する手法の中でも大幅な低コスト化が望める技術であり、カーボンニュートラルを目指す我が国のエネルギー問題の解決に大きく貢献できることから、社会的意義の大きな成果だといえる。

【付記】

この成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素利用等先導研究開発事業／水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発」の委託業務の一環として実施された。

【用語説明】

- (1) **水電解**：水に電気エネルギーを加えて水素と酸素に分離する反応過程。
- (2) **セパレータや集電体**：電解質膜や電極（触媒層）の外側に設置する、電解質膜や触媒層を固定し水や電気を供給する部材。
- (3) **膜電極接合体**：電解質膜とそれに接合された電極（触媒層）が一体化した、水電解システムの中核部。
- (4) **全芳香族**：ベンゼン環などの芳香族環同士の結合で形成される高分子構造。
- (5) **C-H 活性化重合**：通常芳香族高分子を得るには、芳香族ハライドをモノマーとして用いた重合により合成を行うが、ハロゲンを含まないモノマーから直接重合を行う手法。
- (6) **アイオノマー**：触媒層において、触媒担持粒子同士を結着させるバインダーとなる電解質材料のことで、反応時に必要となるイオンを反応サイトに供給する役割も担う。
- (7) **電流電圧曲線**：電流（横軸）は反応量、つまり水素の製造量、セル電圧（縦軸）は水電解反応を起こすのに必要なエネルギーに相当する。

【参考文献】

- [1] S. Miyanishi and T. Yamaguchi, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 18, 12009–12023 (2016)
- [2] S. Miyanishi and T. Yamaguchi, *New J. Chem.*, 41(16), 8036–8044 (2017)
- [3] H. P. R. Graha, S. Ando, S. Miyanishi, and T. Yamaguchi, *Chem. Commun.*, 54, 10820–10823 (2018)
- [4] S. Miyanishi and T. Yamaguchi, *J. Mater. Chem. A*, 7(5), 2219–2224 (2019)
- [5] H. Kuroki, S. Miyanishi, A. Sakakibara, Y. Oshiba, and T. Yamaguchi, *J. Power Sources*, 438(31), 226997 (2019)
- [6] S. Miyanishi and T. Yamaguchi, *Polym. Chem.*, 11, 3812–3820 (2020)

【論文情報】

掲載誌：ACS Applied Energy Materials

論文タイトル：Pure Water Solid Alkaline Water Electrolyzer Using Fully Aromatic and High-Molecular-Weight Poly(fluorene-*alt*-tetrafluorophenylene)-trimethyl Ammonium Anion Exchange Membranes and Ionomers

(全芳香族で高分子量のポリ(フルオレン-*alt*-テトラフルオロフェニレン)-トリメチルアンモニウムアニオン交換膜およびアイオノマーを用いた純水型固体アルカリ水電解)

著者：Roby Soni, Shoji Miyanishi, Hidenori Kuroki, and Takeo Yamaguchi*

DOI：10.1021/acsaem.0c01938

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所 教授

山口猛央

Email: yamag@res.titech.ac.jp

TEL: 045-924-5254 FAX: 045-924-5253

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661