

令和 3年 8月19日

各報道機関 御中

国立大学法人山梨大学

### 燃料電池の高温低湿度作動を可能とするイオン性薄膜の開発に成功

山梨大学クリーンエネルギー研究センターの宮武健治教授、同大学大学院元博士院生（現在は、早稲田大学アルカリエネルギーデバイス研究所の次席研究員）の Zhi Long 博士の研究グループは、燃料電池をこれまでより高温・低湿度で作動させるための高性能なイオン性薄膜の開発に成功しました。現在、電気自動車や家庭用の電源として用いられている燃料電池は 90℃以上で運転すると性能が低下してしまうことが課題となっていますが、新規開発のイオン性薄膜を用いれば、温度 120℃、湿度 20%でも高性能な燃料電池の発電が可能です。本イオン性薄膜を用いた燃料電池は、耐久性にも優れていることが確認されています。

この成果は、米国 Cell Press 社が発行するオンラインジャーナル iScience に 8 月 17 日（火）（日本時間 8 月 18 日（水））に掲載されました。

論文題目: ePTFE reinforced, sulfonated aromatic polymer membranes enable durable, high-temperature operable PEMFCs

（日本語訳：ePTFE で補強したスルホン酸化芳香族高分子膜が、高耐久で高温運転可能な燃料電池を可能に）

研究のポイント：

- スルホン酸化芳香族高分子とフッ素系多孔材からなるイオン性薄膜の開発に成功した。
- このイオン性薄膜は高温でも高いイオン導電率を示し、機械的な強度も優れている。
- 燃料電池の発電試験において、温度 120℃、湿度 20%でも安定に長時間、高性能を示すことを実証した。

## 【研究の背景】

燃料電池は水素と酸素を電気化学的に反応させて電気エネルギーを産み出す発電装置であり、発電効率が高いこと、二酸化炭素などの温室ガスを排出しないことから、内燃機関に替わるエネルギー変換法として注目を集めています。特に、水素イオン（プロトン）が伝導するイオン性薄膜を用いた燃料電池（固体高分子形燃料電池）は近年技術進展が目覚ましく、電気自動車や家庭用などの電源として世界中で普及が進められています。

固体高分子形燃料電池に最も汎用的に用いられているイオン性薄膜は、プロトン導電率が高い、耐久性に優れるなどの点からフッ素系高分子を主成分としており、10 ミクロン以下の薄膜にしても強度を保つために延伸ポリテトラフルオロエチレン（ePTFE）で補強されていることが特徴です。他方、90°C以上では様々な性質が低下してしまうことが指摘されており、燃料電池の作動温度を広げるためには高温でも安定に機能するイオン性薄膜の開発が望まれています。

宮武教授らのグループはベンゼン環を主な構成成分とする芳香族高分子を用いたイオン性薄膜の研究を行っており、これまで様々な新材料の開発に成功してきました。例えば、2017年にはポリフェニレンという芳香族高分子を用いて、耐熱性と化学的安定性を向上させたイオン性薄膜の開発に成功しました（Sci. Adv., 3, eaao0476, 2017）。芳香族系のイオン性薄膜も補強により強度を上げることができまますが（ACS Mater. Au 1, in press, 2021）、上述のフッ素系イオン性薄膜で実績があるePTFEとは親和性が悪く、十分な補強効果を得ることが困難でした。

## 【研究の概要】

本研究では、ePTFEとの親和性を高めた芳香族高分子を新たに設計し、これにより得られたイオン性薄膜が120°Cでも高いプロトン導電率を保持することを明らかにしました。図1に示すようにポリフェニレン系のイオン性薄膜の構造の一部にフッ素を導入するとePTFEとの親和性が著しく改善し、均一で強靱な補強膜を得ることができるようになりました。補強膜（SPP-TP-f5.1/DPTFE）には縦と横の異方性を無くすために、90°回転させた2枚のePTFEが含まれています。図1の棒グラフで示したように、温度100~120°C、相対湿度30%RHのいずれの条件においても、市販のフッ素系電解質膜（Perfluorosulfonic acid）を上回るプロトン導電率を達成しました。

補強膜（SPP-TP-f5.1/DPTFE）を用いた燃料電池発電性能の詳細を、図2(A)~(H)に纏めました。プロトン導電率の結果と同様に、高温、低湿度で優れた電流/電圧特性が得られることが分かりました。耐久性は開回路（電流密度が0）の状態での乾燥と加湿を繰り返す方法（図2(I)）や一定電流密度で発電を継続する方法（図2(J)）で評価し、ePTFEによる補強の効果を確認しています。

このように芳香族高分子の耐熱性とePTFEの強靱さを併せ持つイオン性薄膜の優れた特性を、膜物性解析と燃料電池発電の両面から実証することができました。

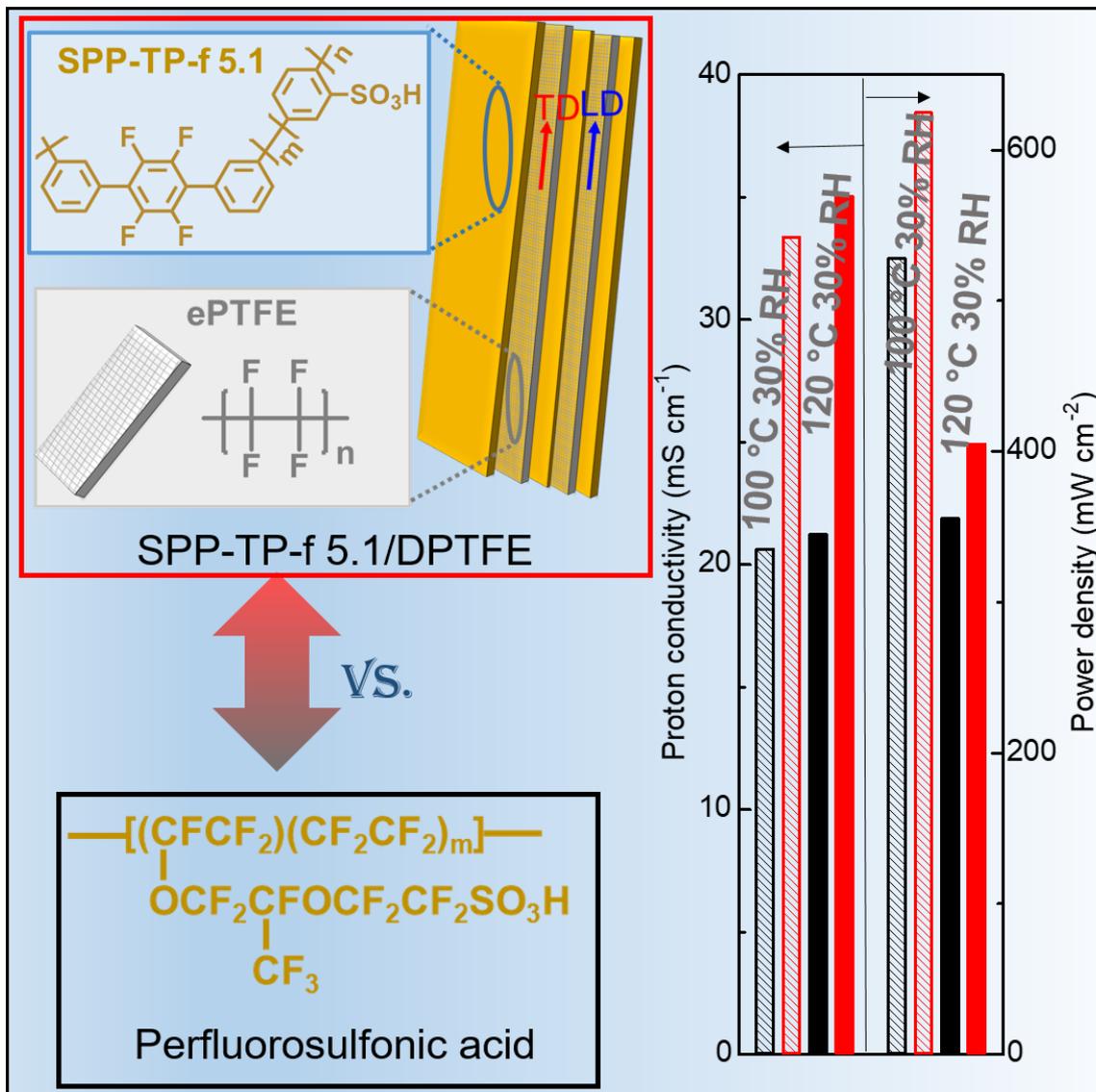


図1 本研究で開発したイオン性薄膜(SPP-TP-f5.1/DPTFE)の構成(左上)、市販のフッ素系イオン性薄膜(Perfluorosulfonic acid)の構造(左下)、およびそれらのプロトン導電率と燃料電池発電性能の比較(右)

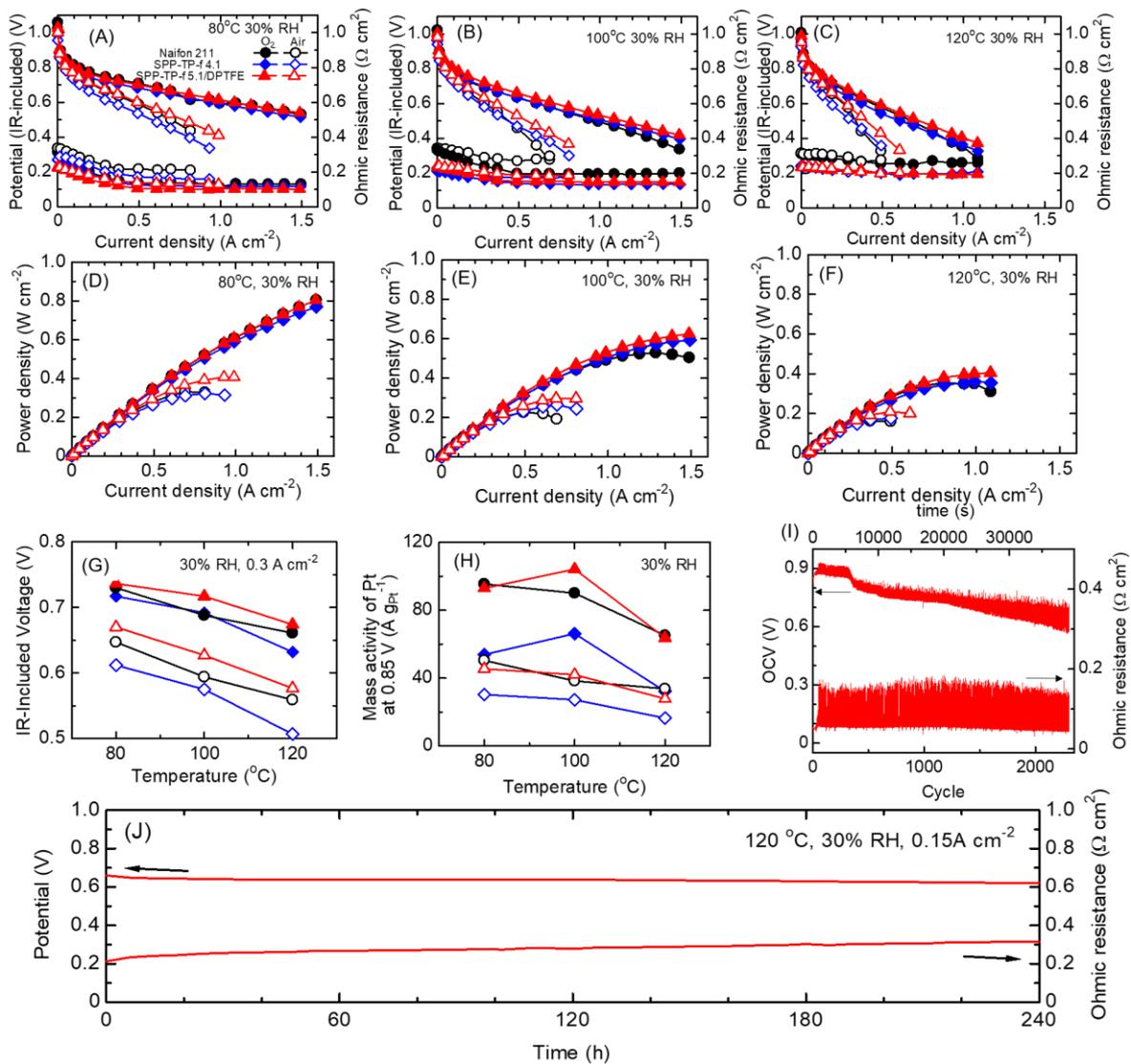


図2 (A)～(H) 本研究で開発したイオン性薄膜 (SPP-TP-f5.1/DPTFE) と市販のフッ素系イオン性薄膜の燃料電池発電性能の比較、および (I)～(J) イオン性薄膜 (SPP-TP-f5.1/DPTFE) の耐久性試験結果

### 【今後の展望】

さらに様々な方法・条件で評価を重ねて、補強膜（SPP-TP-f5.1/DPTFE）の優れた特性を確認する必要があります。また、本研究で開発した部分フッ素化の手法は他の高分子系にも適用が可能であるため、今回開発した複合膜に限らず他の多孔性補強材との組み合わせに展開できる可能性があります。それにより固体高分子形燃料電池の高温低湿度作動を確実にするだけでなく、イオン性薄膜の各種物性を司るための分子設計指針の提案を目指したいと思います。

### 【発表論文】

題名 : ePTFE reinforced, sulfonated aromatic polymer membranes enable durable, high-temperature operable PEMFCs

(ePTFE で補強したスルホン酸化芳香族高分子膜が、高耐久で高温運転可能な燃料電池を可能に)

著者名 : Zhi Long, Kenji Miyatake

掲載誌 : iScience

巻 : 24

号 : 9

ページ : 102962

DOI:10.1016/j.isci.2021.102962

〈研究についての問い合わせ先〉

山梨大学 クリーンエネルギー研究センター

教授 宮武 健治

TEL: 055-220-8707

E-mail: miyatake@yamanashi.ac.jp

〈広報についての問い合わせ先〉

山梨大学 総務部総務課広報企画室

TEL: 055-220-8005, 8006 FAX: 055-220-8799

E-mail: koho@yamanashi.ac.jp