

団体名：学校法人 上智学院
発表日：2026年7月22日

■事業の目的・目標

本研究グループが見出した発電時に移動のない有機系または高分子系ラジカルクエンチャーの研究成果を軸に、革新的なラジカルクエンチ能の向上とFCV・HDVの高耐久性化を図る。また、PFAS問題を回避するために、炭化水素系電解質材料の分解とクエンチ機構を解明し、炭化水素系電解質材料に適したラジカルクエンチャーを創出する。さらに、炭化水素系電解質材料の欠点を克服するために、薄膜化と柔軟性の付与と、高温、低加湿下でのプロトン伝導性の向上を目指す。高次構造制御した高配向性ブロック共重合体と極性基の超高密度化でこれらの課題を解決する。

・中間目標（2027年9月頃）

耐久性：OCV保持時間2000時間以上(前事業の約4倍)
プロトン伝導性：0.041S/cm@100℃、40%RH

・最終目標（2030年度末）

耐久性：耐久性50,000時間に相当とするOCV保持時間(事業中に時間を見出す)
プロトン伝導性：0.135S/cm@80℃、80%RH、0.057 S/cm @100℃、40%RH、0.05S/cm@120℃、30%RH

■2025年の主な成果

① 高ラジカルクエンチ能を有する化学構造の決定

図1に示した迅速スクリーニング法とOCV耐久性試験を用いて、有機化合物系ラジカルクエンチャーとラジカルクエンチャー高分子の最適構造を検討した。その結果、有機化合物系ラジカルクエンチャーでは、フェノール系有機分子のクエンチ能が高いことが分かった。フェノール部位の量とクエンチ効果には明確な相関が見られず、むしろ有機化合物系ラジカルクエンチャーの分散性がクエンチ能に影響を与えることが示唆された。

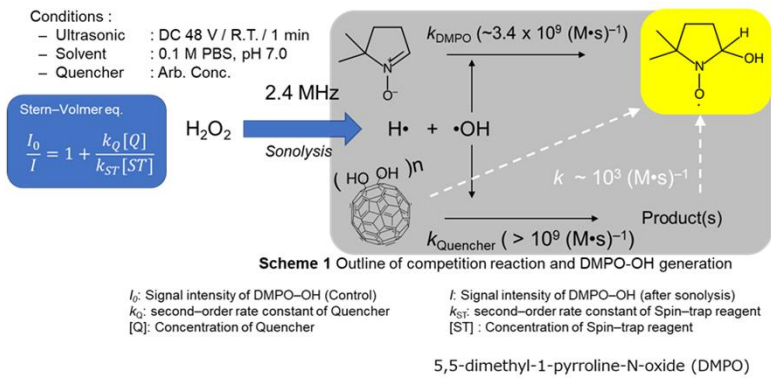


図1 用いたラジカルクエンチャーの迅速スクリーニング法

② ラジカルクエンチャーの膜導入方法の検討

本研究においてはラジカルクエンチャーの電解質膜への導入を試みた。電解質材料に有機化合物系ラジカルクエンチャー、またはラジカルクエンチャー高分子を直接複合化した系では、Nafion溶液と炭化水素系電解質材料ともクエンチャー材料に対して高い相溶性を示した。一方、両材料とも膜が硬く、大面積の膜を得るのが困難であった。

ポリフッ化ビニリデン（PVDF）の溶液に有機化合物系ラジカルクエンチャー、またはラジカルクエンチャー高分子を溶解させ、この溶液からエレクトロスピニング法を用いて微多孔膜薄膜を形成し、これにNafion溶液を含浸させることでハイブリッド電解質膜を形成した。図2に得られたPVDF-クエンチャー微多孔膜の電子顕微鏡観察結果とハイブリッド電解質膜の画像を示す。

PVDFにクエンチャー I を添加したN,N-ジメチルアセトアミド/アセトン（DMAc : Acetone = 2 : 8 wt.ratio）溶液を各濃度で作成し、

エレクトロスピニング法による紡糸検討を行った。図2（左図）のように、直径が1μm以下の微多孔膜が得られることが分かった。可変式アプリケーションケーターを用いて、得られた微多孔膜にNafion溶液を含浸させ、微多孔膜による補強効果が期待できる厚さ33μm程度のNafionハイブリッド電解質膜（右図）が得られた。

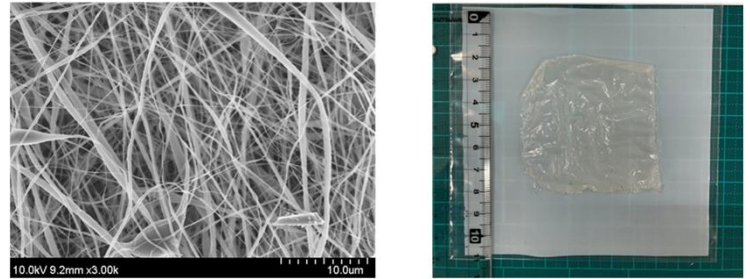


図2 PVDF-クエンチャー微多孔膜の電子顕微鏡観察結果（左図）とNafionハイブリッド電解質膜（右図）

得られた電解質膜の初期発電特性を比較するとNafionハイブリッド電解質膜 ≥ Nafion > Nafion-PVDF微多孔膜（クエンチャー I 無添加）の順となり、クエンチャー I を添加したNafionハイブリッド電解質膜は、プロトン伝導性を有していないにも関わらず、クエンチャー I 無添加のNafion膜と同等またはそれ以上の発電特性を示した。特に、図3（左図）のように高電流密度域ではNafion膜より高い発電特性が示された。一方、Nafionハイブリッド電解質膜のセル抵抗はNafion膜より高く（図3（右図））、Nafionハイブリッド電解質膜全体のプロトン伝導性はNafion膜より低いことが分かった。

化学的安定性を調べるために、開回路電圧（OCV）耐久試験を90℃、30%RHの環境下で行った。クエンチャー I を添加していない電解質膜では、試験開始から68時間後に急激な開回路電圧の低下が見られ、電解質膜（Nafion）の劣化が観察された。一方、同じくクエンチャーを添加していないNafion-PVDF微多孔膜では、若干耐久性の向上が見られた（117時間）。これより、PVDF微多孔膜は、機械的に耐久性の向上に寄与しているものと考えられる。一方、クエンチャー I を添加したNafionハイブリッド電解質膜は、前者2つの膜より数倍高い耐久性を示した（674時間）。これより、クエンチャー I は耐久試験中に発生したOHラジカルをクエンチすることで、電解質膜の劣化を抑制したと考えられる。

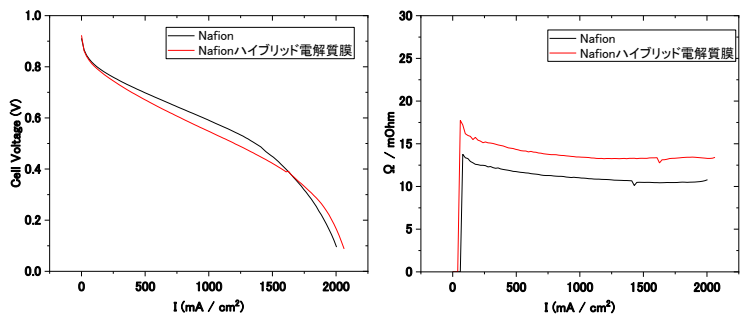


図3 Nafionハイブリッド電解質膜とNafion膜の発電特性（左）とセル抵抗（右）

■課題と今後の取組

炭化水素系ハイブリッド電解質材料の大量合成法の確立と成膜技術の向上が必要とされる。

■実用化・事業化の見通し

セリウム系、有機低分子系、高分子系と、各種クエンチャー材料を提供できる段階に来ている。ご興味がある方は下記まで連絡下さい。