

機能性ナノファイバーフレームワークからなる高伝導性・高耐久性複合電解質超薄膜の開発を開始

1. 概要

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）より、航続距離・稼働時間の長さや搭載性・重量等の観点から燃料電池適用の期待が大きい大型・商用モビリティ（HDV：Heavy Duty Vehicle）をターゲットとした、2035年頃に達成すべき燃料電池ロードマップが新たに設定された（2025年3月）。この目標を達成するためNEDOは「水素用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業（※1）」の公募を行い（契約事業期間 2025-2027年度（事業全体 2025-2029年度））、東京都立大学が本事業の委託先として以下のとおり採択された（2025年5月30日決定）。本事業では、電解質膜で要求される2035年度燃料電池ロードマップ目標を達成するための電解質膜開発に加え、東京都立大学が本事業における電解質膜と成膜プロセスの拠点地にも選ばれ、日本の燃料電池用電解質膜開発の中心的役割を担うこととなった。特にロードマップ目標の達成に向けては研究開発の大幅な加速化が必須であり、DX技術を活用した自動自立実験により電解質膜の開発スピードを格段に上げて燃料電池技術に革新的な成果（大幅な性能・耐久性向上、コスト削減）を導き出すことを目的としている。

研究課題名	機能性ナノファイバーフレームワークからなる高伝導性・高耐久性複合電解質超薄膜の開発
契約事業期間（事業全体）	2025年度から2027年度（2025年度から2029年度）
契約事業総額	約6.2億円（3ケ年契約分）
研究代表者名	東京都立大学 都市環境科学研究科 教授 川上 浩良
研究開発責任者（東京都立大学内）	東京都立大学 都市環境科学研究科 准教授 山登 正文
再委託先	岩手大学、秋田大学

2. ポイント

本事業では、電解質膜で要求される2035年度燃料電池ロードマップ目標値を達成するため、東京都立大学で独自に開発されたプロトン伝導性（※2）をアシストし、ガスバリア性機能（※3）を向上させ（化学的安定性に寄与）、さらに5 μ m膜厚以下の超薄膜でも機械的安定性を有する機能性ナノファイバーフレーム（NfF）（※4）を用いた革新的なNfF含有複合電解質膜（※5）を開発する。加えて、マトリックスとなる新規非フッ素系高分子材料（※6）と新規クエンチ剤（※7）の開発も進め、これら3つの要素技術を組み込んだ5 μ m膜厚以下の複合電解質超薄膜を作製できる成膜技術を確立する。

さらに、電解質膜開発の拠点化で求められる成膜技術の自動化は複数台のロボットを導入することで達成し、加えて膜性能評価装置と連動することで自動自律実験装置を開発、開発速度を100倍以上加速させる。本装置はNEDOに採択された他事業者とも共有し、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）解析（※8）、プロセス・イン

フォマティクス (PI) 解析 (※9) を用いながら最適な材料開発と最適な成膜プロセス開発を行い、他国を圧倒するダイナミックな成果を出していく。

3. 研究の背景

NEDOが定める燃料電池技術開発ロードマップ目標値を大型商用車（電車、農機、建機、船舶も含まれる）で達成するには、電池の高性能化、特に幅広い温度、湿度範囲で高いプロトン伝導性を達成し、同時に高耐久化と電解質膜の超薄膜化を実現しなければならない(表1)。しかし、それぞれの項目毎（高プロトン伝導性、高耐久化、超薄膜化）で目標が達成できても、

- (1) 高プロトン伝導性 vs 高耐久化
- (2) 高耐久化 vs 超薄膜化
- (3) コスト vs 高プロトン伝導性

の間にはTrade-offの関係が成り立つため、最終的に全ての目標値を同時に満たすことは極めて困難である。

表1 2035年、2040年に求められる電解質膜の目標値

	項目		目標値		実測値	
			物性値	仕様・物性値	第二世代 MIRAI※10	一般材料 (Nafion™ NR211)
2035年	膜厚 (μm)			5.0	8.5	25
	H ⁺ 伝導率 (S/cm)	at 120°C, 20%RH	0.028			
		at 120°C, 30%RH	0.050		0.018	0.016
		at 100°C, 40%RH	0.057		0.027	0.024
		at 80°C, 80%RH	0.135		0.106	0.086
		at -30°C, 0%RH	今後設定			
2040年	膜厚 (μm)			1.0	8.5	25
	H ⁺ 伝導率 (S/cm)	at 120°C, 12%RH	0.15			

＊電解質膜は、現状の実測値（第二世代MIRAI、一般材料）に対し、2035年、2040年に特に赤字部分の膜厚、プロトン伝導率（H⁺伝導率（S/cm））の達成が求められている。

従って、材料設計のコンセプトからこれら課題を克服するための電解質膜設計を行う必要がある。我々はこれら課題解決のため、「プロトン伝導性ナノファイバーフレームワーク」を基本骨格とする高分子電解質膜の研究を進めてきた。本研究では、次の①～③の要素をコンセプトとして掲げ、それぞれに成功した。① 単独膜では成し得ない高いプロトン伝導性をナノファイバーのアシストにより実現、② ナノファイバーの効果によりガスバリア性機能を高め化学的安定性を向上させ、さらに補強層として薄膜でも耐えうる機械的安定性も増加、③ ナノファイバー含有複合膜の成膜条件のPI解析等を用いて条件の最適化を行うことで、新規複合電解質膜の成膜方法を開発し超薄膜作製に繋げる。

その結果、以下を達成した。

- ＊ 高分子膜単独では達成が困難な2030年度燃料電池ロードマップ目標のプロトン伝導性をナノファイバーフレームワーク含有複合電解質膜で実現した。
- ＊ 複合電解質膜はTrade-offの関係にあるプロトン伝導性とガスバリア性の相関を打破し、単独膜に比べガスバリア性を3倍以上向上させることに成功した。それにより膜内のラジカル発生を抑制し、電解質複合膜の

化学的安定性を向上させた。さらに10 μ m膜厚の複合電解質超薄膜において、50,000時間に資する可能性がある機械的安定性も概ね達成した。

＊ 新規複合電解質膜の成膜方法を開発し、8 μ m膜厚程度の複合電解質超薄膜を作製した。

4. 研究の意義と波及効果

水素利用の鍵となる燃料電池において、我が国では世界に先駆けて家庭用燃料電池（エネファーム）やFCVを商用化してきた。現時点では特許数も世界一であるなど、我が国が長い歴史の中で蓄積した燃料電池技術の競争力は、諸外国に比べて高い。本事業では、航続距離・稼働時間の長さや搭載性・重量等の観点から燃料電池適用の期待が大きい大型・商用モビリティ（HDV：Heavy Duty Vehicle）をターゲットとして、2035年頃に達成すべき燃料電池の目標を新たに設定し、この目標を達成するために取り組むべき技術開発課題に取り組むものである。大型商用車等（電車、農機、建機、船舶も含まれる）の製品ニーズへの適合化を図りコスト低減を目指すには、より一層の高性能化、高耐久化、低コスト化が求められ、従来の研究スピードを大幅に向上させる必要がある。本事業ではDX技術を最大限活用し、燃料電池分野の研究を格段に加速させることで本分野の競争力強化を図り、ビジネスにおいても燃料電池分野での勝ち筋を構築するものである。

5. 関係HP、用語説明

関係HP

◇ 採択課題：https://www.nedo.go.jp/koubo/SE3_100001_00107.html

◇ 水素用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業：

https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100336.html

◇ 川上研究室：<https://kawakami-labn.fpark.tmu.ac.jp/>

用語説明

※1 水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業

大型商用車（HDV）の製品ニーズへの適合および水素製造コストの低減に向けては、より一層の高性能化、高耐久化、低コスト化が求められ、従来の研究スピードを大幅に向上させる必要があることから創設されました。当該事業は、水素の本格的な普及拡大および我が国の産業競争力強化を目的に、DX技術を最大限活用しながら、燃料電池・水電解分野の研究に貢献する共通基盤を構築するとともに革新的な要素技術開発を連動させる技術開発を実施するものです。

※2 プロトン伝導性

水素イオン（H⁺、プロトン）が物質中をどれだけ効率よく移動できるかを示す性質です。燃料電池中では、電解質膜がこのプロトンを電極間で運ぶ役割を担っており、プロトン伝導性が高いほど、電池の発電効率が向上します。

※3 ガスバリア性機能

酸素や水素などのガスが膜を通り抜けにくくする性質です。燃料電池の安全性や耐久性に関わる指標として用いられます。

※4 ナノファイバーフレームワーク（NfF）

ナノメートルサイズの繊維構造体で、膜の強度や機能性を高めるために用いられています。本研究においても NfF を採用しています。

※5 複合電解質膜

複数の材料を組み合わせで作られた電解質膜です。単一材料よりも性能や耐久性が向上する性質があります。

※6 非フッ素系高分子材料

フッ素は、①分解されにくく環境中に残留しやすい、②有害なフッ素ガスが発生する可能性があり製造時に特殊な取扱が必要、③製造コストが高い、④強度やガスバリア性に課題がある、といった問題から、非フッ素系の高分子系材料の開発を行います。

※7 クエンチ剤

材料の物理的・化学的性質を制御するための添加剤。電解質膜では稼働時に膜の分解を促すラジカルが発生するため、それを消去するクエンチ剤を加え膜の耐久性を向上させます

※8 マテリアルズ・インフォマティクス (MI) 解析

機械学習や AI、ビッグデータ解析などの情報科学による技術を活用し、最適材料やその組成・構造・製造条件を探索・設計する手法です。材料開発において用いられます。

※9 プロセス・インフォマティクス (PI) 解析

製造プロセスの最適化を目的としたデータ解析手法です。成膜条件の最適化などに用いられます。

※10 次世代 MIRAI

トヨタ自動車 が 2020 年に発売した次世代型の燃料電池自動車 (FCV) です。

6. 問合せ先

(研究に関すること)

東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 教授 川上浩良

TEL : 042-677-1111 (内) 4972 E-mail : kawakami-hiroyoshi@tmu.ac.jp

東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 准教授 山登正文

TEL : 042-677-1111 (内) 4837 E-mail : yamato-masafumi@tmu.ac.jp

(大学に関すること)

東京都立大学法人

東京都立大学管理部 企画広報課 広報係

TEL : 042-677-1806 E-mail : info@jmj.tmu.ac.jp