安全保障技術研究推進制度　令和５年度採択大規模研究課題　中間評価結果

1.　評価対象研究課題

（１）研究課題名：層状無機固体の精密構造制御に基づく新規プロトン伝導体の創製

（２）研究代表者：熊本大学　伊田　進太郎

（３）研究期間　：令和５年度～令和９年度（予定）

2.　中間評価の実施概要

日時　　：令和７年１０月２７日

場所　　：ＴＫＰ新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所　理事長、上席研究員

東京大学　名誉教授

平澤　泠（委員長）

東京科学大学　工学院　電気電子系　教授

梶川　浩太郎

慶應義塾大学　名誉教授

神成　文彦

大阪大学　大学院工学研究科　教授

近藤　正彦

東京農工大学　名誉教授

佐藤　勝昭

国立健康危機管理研究機構　国立感染症研究所　客員研究員

防衛医科大学校　名誉教授

四ノ宮　成祥

豊橋技術科学大学　シニア研究員、名誉教授

長岡技術科学大学　学長アドバイザ

中野　裕美

量子科学技術研究開発機構　高崎量子技術基盤研究所　先端機能材料研究部長

八巻　徹也

情報通信研究機構　電磁波研究所　総括研究員

山本　真之

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3.　研究の進捗状況

研究の概要

固体高分子型燃料電池では、性能向上としてフッ素フリーかつ動作温度の更なる高温化が求められている。一方、固体酸化物型燃料電池の場合は動作温度の更なる低温化が求められている。両者とも、従来材料の延長ではこの課題の解決は難しいと考えられており、材料や開発コンセプトを大きく変えるなどの抜本的な研究展開が必要である。本研究では、このような課題を解決する材料として無機ナノシート材料に注目する。無機ナノシート積層膜は、イオン伝導、インターカレーション反応および、分子拡散を担うゲスト層と構造の骨格を担うホスト層とを分離して設計できるため、バルク材料から創製される従来の薄膜にはない新しい機能を創出できる可能性がある。本研究では、無機ナノシートから構築された固体電解質が燃料電池の電解質として機能するかの原理検証と基盤技術を構築するとともに、無機ナノシート積層膜の新しい機能を探索・創出する。

進捗状況

無機ナノシートの合成とプロトン伝導性評価の中間目標に関しては以下の数値目標を設定し、燃料電池試験で最も高い燃料電池出力を示した粘土系のモンモリロナノシート合成で、中間目標値を超える 96%の剥離率を達成した。プロトン伝導度に関しては、粘土系のバーミュキュライトナノシートで中間目標値を超える 0.021 S/cm（80℃）、0.016 S/cm（100℃）を達成した。また、H-$Sr_2Nb_3O_{10}$ナノシートでも中間目標値を超える 0.025 S/cm（80℃）、0.012 S/cm（100℃）を達成した。

目標値：合成したナノシートの剥離率：95%以上
（3 nm 以下、AFM 像により評価）※MOF ナノシートの場合は 10nm 以下
目標値：プロトン伝導度：
0.02 S/cm（80℃（湿度 100%））以上、0.01 S/cm（100℃（湿度 100%））以上

プロトン伝導の起源解明に関しては、以下の実施項目を中間目標として設定し、すべて達成することができた。

目標実施項目：層状無機固体の自立膜の層間距離とプロトン伝導性の相関式の導出を試みる。
（層間距離が導出できる層状無機固体に限る）
目標実施項目：プロトンチャネルとして機能するサイトの同定を試みる。
（最もプロトン伝導性が高い材料に絞って電解質中のどこをプロトンが移動しているか原子レベル及びマクロレベルの手法で同定）
目標実施項目：開発した電解質のプロトン伝導機構の決定を試みる。

ナノシートプロトン電解質を用いた水素燃料電池の作製と発電試験に関しては、

以下の数値目標を設定し、モンモリロナノシート積層膜ですべての中間目標に掲げた数値目標を達成した。具体的には、水素ガスバリア性に関しては、水素透過係数 5.9 $\times 10^{-17}$ mol・m/m^2・s・Pa、電解質の大きさに関しては 10cm×10cm×50μm、燃料電池出力に関しては、264 mW/cm^2 (90℃)、電極界面特性に関しては、80℃で 1.5 Ω/cm^2 の電解質／電極界面抵抗を達成した。

目標値：水素ガスバリア性：Nafion™ 212（膜厚 50μm）よりも高い水素ガスバリア性（水素透過係数：50×10^{-16}[mol・m/m^2・s・Pa]以下）
目標値：電解質の大きさ： 10cm×10cm×50μm 以上
目標値：燃料電池出力： 200mW/cm^2（80℃～100℃）
目標値：電極界面特性： 2.0Ω/cm^2 以下の電解質／電極界面抵抗（アノード、カソードを含む）

4. 中間評価の評点

A 進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。

5. 総合コメント

中間評価までの目標はほぼ達成している。さらにイオン伝導機構解明などの基礎研究にも力を入れてほしい。また、特許について申請可能性のあるものを検討するとともに、新たな分野としての学術的価値創出に努めていただきたい。

6. 主な個別コメント

- 層状ナノシートに着目したことは、電極反応という２次元的な反応構造体にとっては妥当な着想である。地道な努力とともにチャレンジングな発想を期待する。
- 新規材料創製のためのシステマチックなデータの蓄積、探査アルゴリズム、機械学習、プラスアルファでの表面処理の有効性をまとめることを期待する。
- 最終目標の達成には基礎科学の開拓から技術開発までの多くの課題を乗り越える必要がある。是非、国内外との連携の幅を広げて、検討を深化・加速していただきたい。
- ヒアリングにおいて目標達成に向けたアイデアがあることを確認できた。今後も地道な検討を進めることで、目標を達成することを期待する。
- アカデミア寄りの研究成果であるが、今後は、発展性、波及効果を見据えた副次的成果も期待する。最終的には、実用化に適した材料で良い物性を出していただきたい。