

事業の背景・目的：セパレータの低コスト化に向けて

燃料電池全体においてコストでは**30%**、重量では、**70%**を占める^{[6][7]}。
加えて、燃料電池や水電解内部は**強烈な酸性状態**^{[8][9]}

✓セパレータ

導電性・耐食性・低コスト 軽量化が要求される

セパレータ材料：**ステンレス (SUS)**

メリット ① 低コスト ② 加工が容易 → 量産向き^[5]
デメリット 表面酸化膜の形成や腐食による導電性、耐食性の低下

解決策：ステンレスへの表面コーティング

酸化物材料に着目
SnO₂、ITO (In₂O₃+SnO₂)

✓低コスト成膜 (ミストCVD法)

耐食性 ✓高耐食性
導電性 ✓高導電性

触媒電極 ガス拡散層 固体高分子電解質膜 燃料電池の模式図

[5] T. Sato, Kobe Steel Engineering Report, Vol.71, No.2, pp.70-76 (2022)
[6] S. T. Thompson et al., J. Power Sources, 399, No.2, pp.304-313 (2018)
[7] K. Kaneko et al., J. Soc. Mater. Sci. Jpn., Vol. 66, No. 9, pp. 639-643 (2022)
[8] N. Yoshinaga et al., TOSHIBA Review, Vol. 73, No. 3, pp. 9-12 (2018)

実験方法・目標

成膜手法：ミストCVD

希釈ガス キャリアガス 反応炉

原料溶液

- ・SnCl₄濃度
- ・溶媒種類：水、メタノール
- ・添加剤：水、HCl濃度

ドーパント

- ・SbCl₅濃度
- ・NH₄F濃度
- ・Nb濃度

ガス

- ・キャリアガス流量
- ・希釈ガス流量
- ・ガス種：酸素、窒素

基板温度

- ・基板温度

超音波振動子

評価

- ・シート抵抗測定(渦電流)
- ・膜厚測定(エリプソメトリー)
- ⇒ 比抵抗の最小値を探索

電気特性や結晶性に起因するパラメータが多いため、ベイズ最適化の手法を取り入れ開発を行う

ベイズ最適化 (Bayesian Optimization)

初期実験データ 約10個

最適解候補の予測

再実験

修正

最適解候補の予測

再実験

Update

ベイズ最適化処理

ベイズ最適化の大まかなフロー：

1. ガウス過程によって、目的関数（Black-Box関数）の平均関数と共分散関数を算出。
2. 獲得関数（目的関数の代理関数）を計算。
3. 獲得関数が最大となる点を探索（実験を実施）。
4. 最適点が得られるまで1.から3.を繰り返す。

評価項目

- 抵抗値、溶出試験、X線回折結果、分極試験

目的の評価項目が最大（最小）となる条件を少ない実験回数で探索可能

プロセス条件

- 成膜温度、ガス流量、ドーパント種類、濃度等

Multi-Sigma

本実験のガウス過程帰帰モデルはAIZOTH Inc.のMulti-Sigma（バージョン2.2.4.2）を用いて実行した。

中間目標

①初期特性(BOL)でセパ/GDLの接触抵抗率3mΩcm²、劣化後(EOL)でセパ/GDLの接触抵抗率5mΩcm²を達成

②PEFCセル評価解析プロトコル基準で、Fe溶出量1×10⁻⁹mol/cm²/h以下、Sn溶出量1×10⁻⁹mol/cm²/h以下

2025年度の主な成果

ベイズ最適化によるSnO₂膜の抵抗率の低減

抵抗率 (mΩ・cm)

基板温度 (°C)

- ・原料溶液の組成を変えながらベイズ最適化処理を8回行う。
- ・試行回数を増やすことで変動を繰り返しながら、全体的に抵抗率が低下した。
- ・7回目の結果で、比抵抗0.15mΩ・cmを達成
- ・半導体としては限界に近い抵抗率
- ・高温条件で比較的低抵抗膜が得られる

接触抵抗測定

接触抵抗測定装置の立ち上げ完了
測定圧力 1MPa
電極面積 1cm角、2cm角

Ru/SUS基板 SnO₂/Ti基板 SnO₂/SUS基板

1.8mΩ/cm² 8.2mΩ/cm² 11.5mΩ/cm²

Fe溶出速度 FC-Cubicにて測定

Sn溶出速度

■ アノード ■ カソード

- ・Feの溶出速度は過酷な条件であるカソード試験においても最終目標値をすでに達成している。
- ・Snの溶出速度もFeよりも少なく、SnO₂膜への物理的なダメージはほぼ発生しないと考えられる。電気特性の劣化対策を今後の重点とする。

ミスト装置の熱流体シミュレーション

固体モデル

熱流体計算結果

サンプルの温度分布 ガス流量依存

- ・ミストCVDの装置をモデルとして熱流体解析を行った。
- ・ミストCVDでは、ミストの流れにより膜厚分布、電気特性が大きく依存するため、シミュレーションにより現象解明を進める。
- ・ガス流量を増加させると、ガスによる冷却効果が大きくなり基板の温度分布が変化することが分かった。

課題と今後の取り組み

今後の取り組み内容

SnO₂

界面層

SUS

薬品耐性の強い膜の成膜条件探索

- ・酸濃度を上げて成膜。強酸雰囲気でも成膜すれば、酸化雰囲気でも強い膜になる
- ・一部耐薬品性の強いRuなどを添加
- ・条件を変えた積層構造にし、界面抵抗と膜の耐薬品性の両立を目指す

SnO₂/SUS界面の抵抗低減

- ・成膜前のSUS表面処理の検討。フォーミングガス、アンモニアミスト等の還元性プロセスの適用
- ・熱拡散を起こしやすい材料の適用

実用化・事業化の見通し

事業化の3形態

①SnO₂コートの上受託成膜およびセパレータ販売

②燃料電池・水電解装置

③再生可能エネルギーと組み合わせた自律分散型グリーン水素システム販売

事業化の役割

立命館大学：成膜の原理解明、材料開発

アイテック(株)：セパレータへの成膜事業

岩崎電気(株)：ミストCVD装置開発

燃料電池・水電解装置開発

自律分散型システム開発

Mistic

ミスティック Mist CVD

本事業で開発した成膜条件、および装置により事業化予定
現状予定通りに開発が進んでいる

自社開発にてPTL等他の部材も開発中であり、本事業のセパレータをセルに組み込んだ評価を今後実施予定

太陽光発電、蓄電池、コンバータ、水電解装置、燃料電池を組み込んだシステム設計を実施中

立命館大学 金子 健太郎、高橋 勲
連絡先： ken0710@fc.ritsumei.ac.jp
isa-taka@fc.ritsumei.ac.jp
077-561-4838

アイテック株式会社 田中 孝
連絡先： takashi_tanaka@eyetec.co.jp
0778-52-8647

岩崎電気株式会社 松尾 浩一
連絡先： matsuo-kouichi@eye.co.jp
048-554-2234