

発表No. A2-9

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業／共通課題解決型基盤技術開発／高耐食性・低接触抵抗性を発現するPEFCステンレスセパレータコーティング技術の研究開発

星 芳直

国立大学法人名古屋工業大学

学校法人東京理科大学

国立研究開発法人物質・材料研究機構

7月19日(金)

連絡先:

名古屋工業大学 大学院工学研究科 星 芳直

E-mail: hoshi.yoshinao@nitech.ac.jp

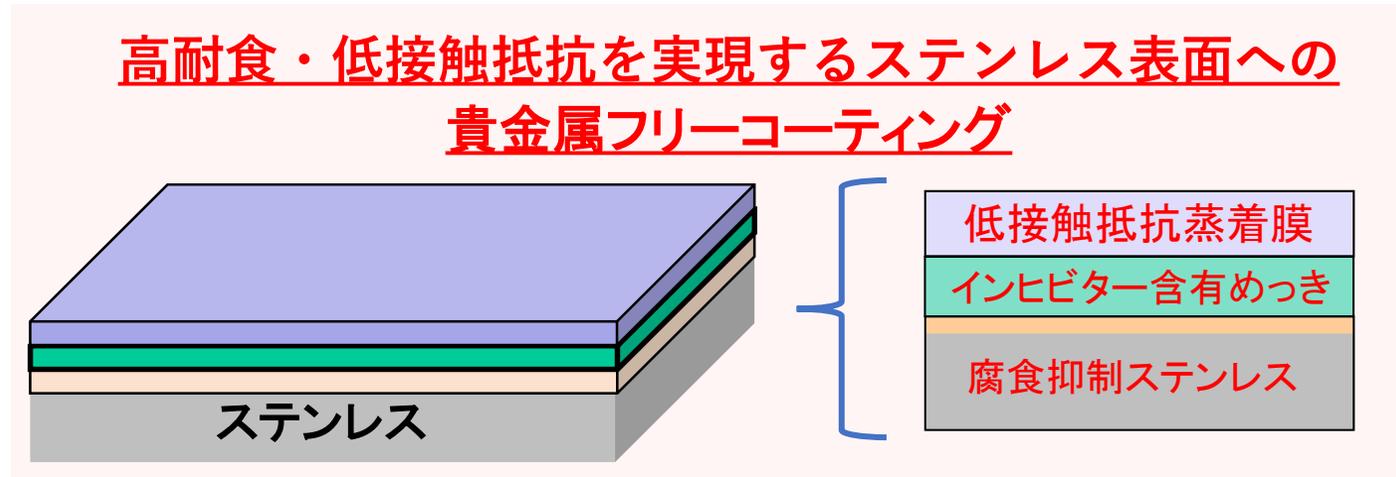
1. 期間

開始 : (西暦)2021年6月

終了(予定): (西暦)2025年3月

2. 最終目標

本研究開発では貴金属コーティングを使用しない高耐食性・低接触抵抗性を発現するPEFCステンレスセパレータのコーティング技術の研究開発を行うことを最終目標とする。この技術開発により、PEFCの低コスト化と高性能・高耐久の両立を実現する。



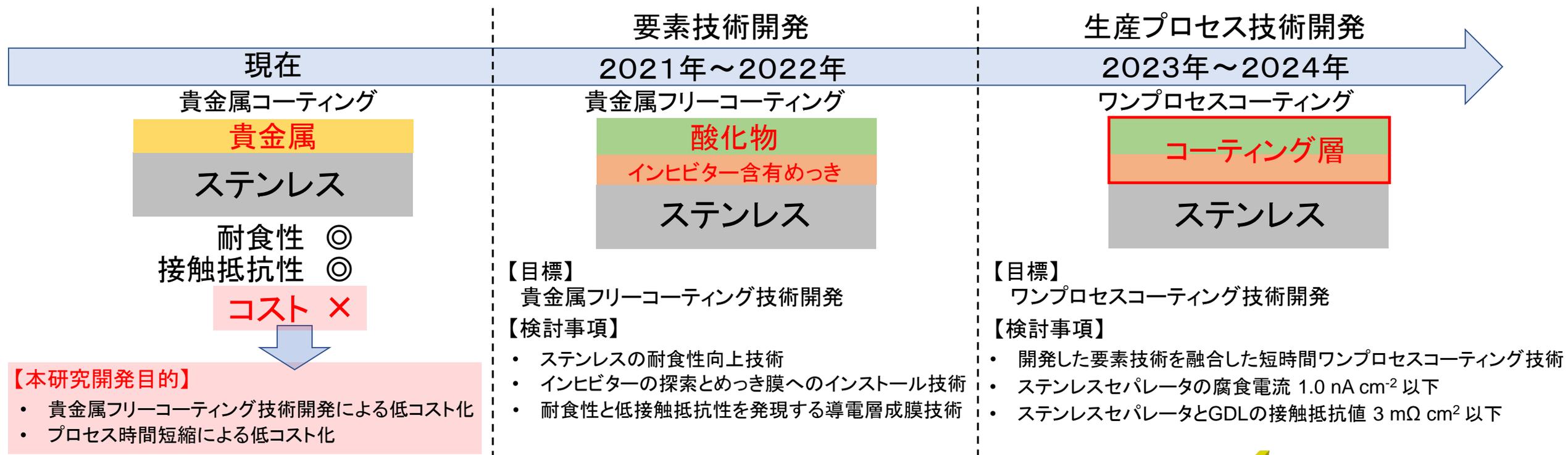
3. 成果・進捗概要

2021～2022年度は、以下の要素技術を確立した。

- ① PEFC模擬環境下におけるステンレスの腐食発生因子の検出・定量化と高耐食化に向けた指針提案。
- ② 電気化学的手法とインヒビター効果によるステンレス腐食発生サイトの抑制手法の開発。
- ③ 蒸着層を利用したステンレス/GDLの低接触抵抗発現技術の開発。
- ④ PEFC模擬環境下において高耐食性を維持する蒸着層を用いたステンレスコーティング技術の開発。

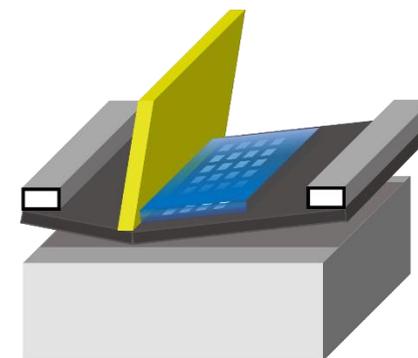
2023年度～2024年度は、①～④の要素技術を融合したワンプロセスコーティング技術を開発中。

1. 事業の位置付け・必要性



【2021～2022年度】

- 開発した酸化物層を有するステンレスシートにおける腐食電流 1.0 nA cm^{-2} オーダーを達成。
- 開発した酸化物層を有するステンレスシートとGDLの接触抵抗値 $3 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ 以下を達成。



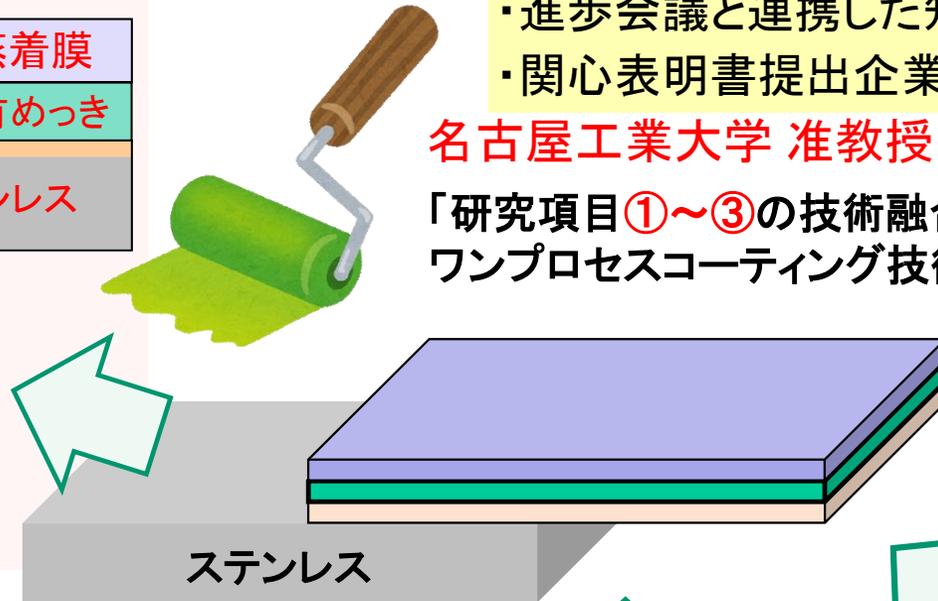
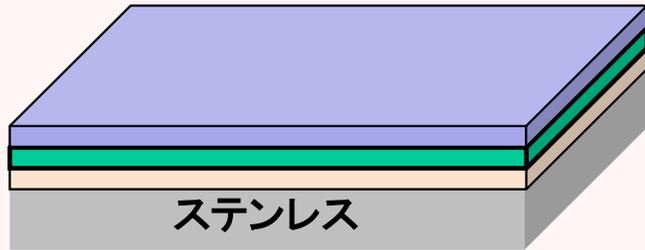
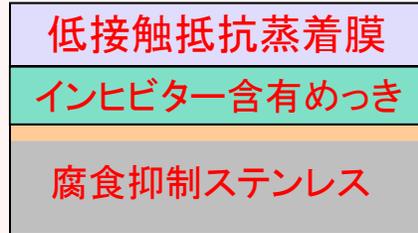
2030年目標 移動体用: 0.5 秒/セル
セルの生産速度 定置用: 1-2 秒/セル

2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制とマネジメント

【研究開発の概要】

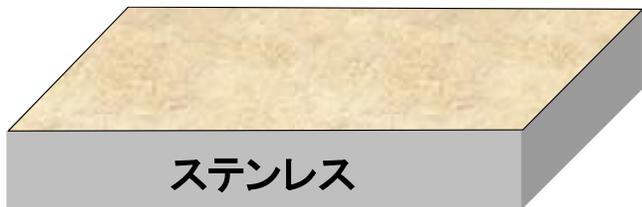
「高耐食・低接触抵抗
貴金属フリーコーティング」



名古屋工業大学 准教授 星 芳直

「研究項目①～③の技術融合による
ワンプロセスコーティング技術の開発」担当

① 物質・材料研究機構
主席研究員 堤 祐介、
研究員 門脇 万里子



「組成制御による局所的な腐食を抑制
するステンレスセパレータの開発」担当

② 東京理科大学
教授 板垣 昌幸、助教 渡辺 日香里



「腐食発生サイトを自己修復する
インヒビター含有めっきの創成」担当

③ 名古屋工業大学
准教授 加藤 慎也



「低接触抵抗性発現する蒸着膜の
開発」担当

- ・研究開発メンバーによる全体の進捗会議(Web, 対面)
- ・各研究機関との技術会議(Web, 対面)
- ・進捗会議と連携した知的財産委員会の開催
- ・関心表明書提出企業との研究開発に関する議論

3. 研究開発成果について

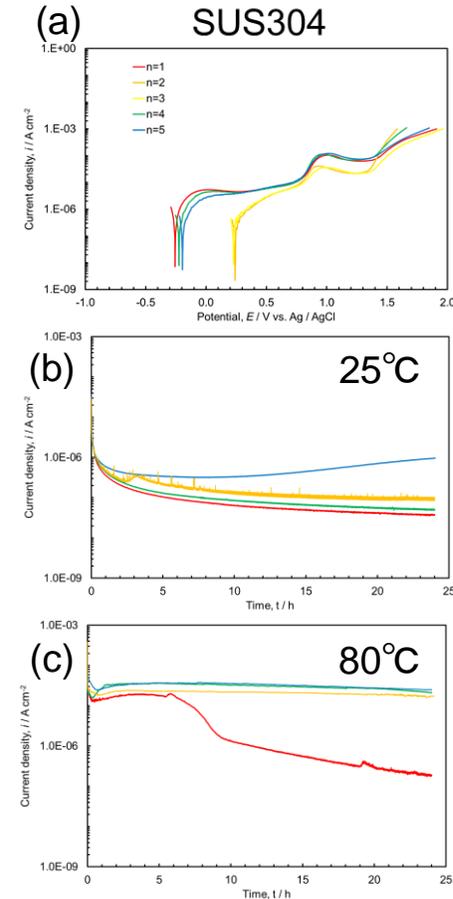
① 局部腐食および過不動態溶解を抑制するステンレスセパレータの開発 (物質材料研究機構 堤 祐介, 門脇 万里子)

燃料電池環境中のステンレス鋼の腐食挙動の解明により、腐食発生原因や腐食抑制に影響する成分を検討する

- 耐食性評価法: 動電位分極試験, 定電位分極試験, 促進試験
- 評価材料: 組成・組織の異なる5鋼種
- 試験条件: 常温(25°C)/80°C 0.7V_{SHE}/0.9V_{SHE}

上記の組み合わせで網羅的な評価を実施(のべ100試験超)

	Cr	Ni	Mo	N	Si	Mn	C	P	S	Co	Fe
SUS 430	16.18 (16-18)	0.17 (<0.6)			0.15 (<0.75)	0.83 (<1)	0.02 (<0.12)	0.034 (<0.04)	0.004 (<0.03)		Bal.
SUS 304	18.07 (18-20)	8.11 (8-10.5)			0.53 (<1)	0.91 (<2)	0.05 (<0.08)	0.031 (<0.045)	0.002 (<0.03)	0.19	Bal.
SUS 316L	17.52 (16-18)	12.18 (12-15)	2.06 (2-3)		0.61 (<1)	1.07 (<2)	0.014 (<0.03)	0.033 (<0.045)	0.006 (<0.03)	0.28	Bal.
SUS 310S	25.06 (24-26)	19.17 (19-22)			0.73 (<1.5)	0.82 (<2)	0.02 (<0.08)	0.021 (<0.045)	0.000 (<0.03)	0.08	Bal.
SUS 836L	22.95 (22-24)	24.30 (24-26)	5.45 (5-6)	0.21 (0.17-0.22)	0.11 (<1)	0.37 (<1)	0.016 (<0.03)	0.020 (<0.03)	0.000 (<0.01)	0.11	Bal.



(a)動電位試験および(b)(c)定電位試験結果の一例(SUS304)

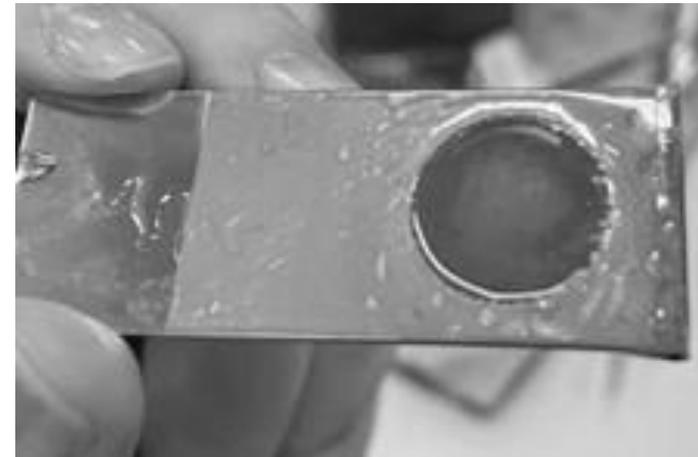
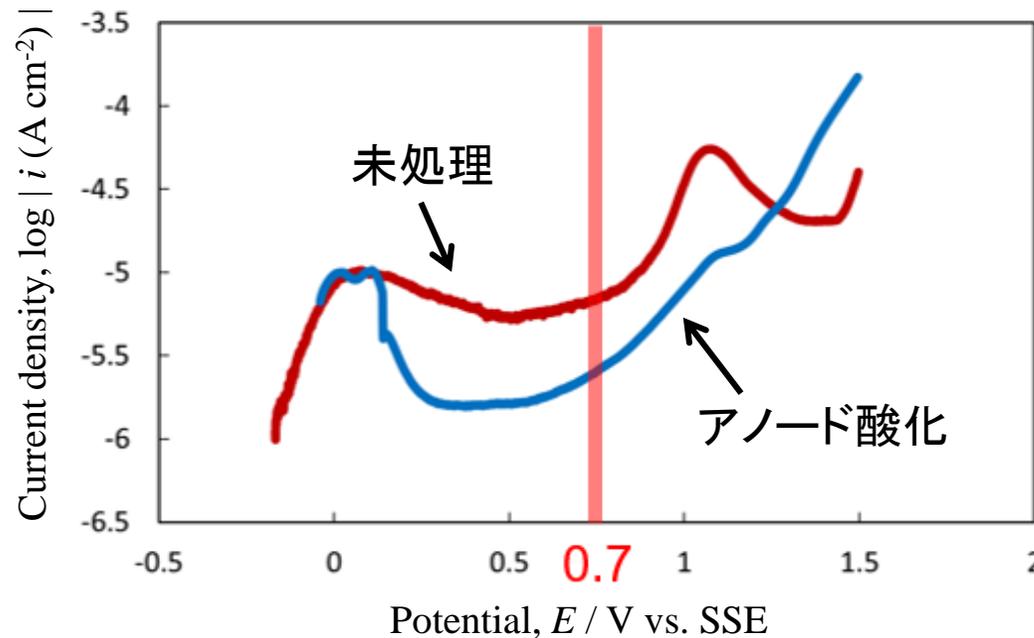
腐食モードは局部腐食型から過不動態型に遷移すること、前者は高級鋼種ほど抑制可能である一方、後者は不動態皮膜中のCrが支配的であり、Ni, Mo, Nなどの寄与は小さいことを解明

◎適切な表面処理により、安価な鋼種でも十分な耐食性が得られることが期待される。

3. 研究開発成果について

② 局所的腐食発生サイトを自己修復するインヒビター含有めっきの創成 (東京理科大学 板垣昌幸, 渡辺 日香里)

PEFC模擬溶液中での未処理と
アノード酸化処理したSUS304の分極曲線



0.7 V vs. SSE (0.9 V vs. SHE) でアノード電流の急激な減少(腐食抑制)を確認。アノード酸化した電極表面の被膜中にインヒビター含まれることを確認。

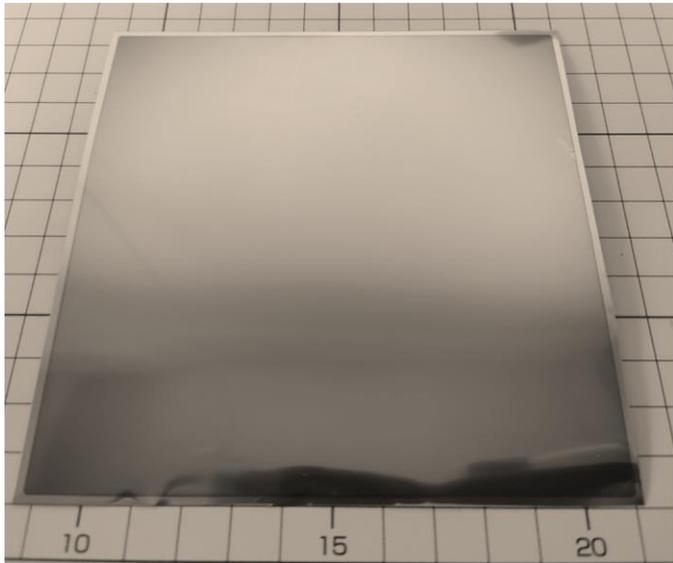
◎印刷工程(ペースト開発)にインヒビターが適用可能。

3. 研究開発成果について

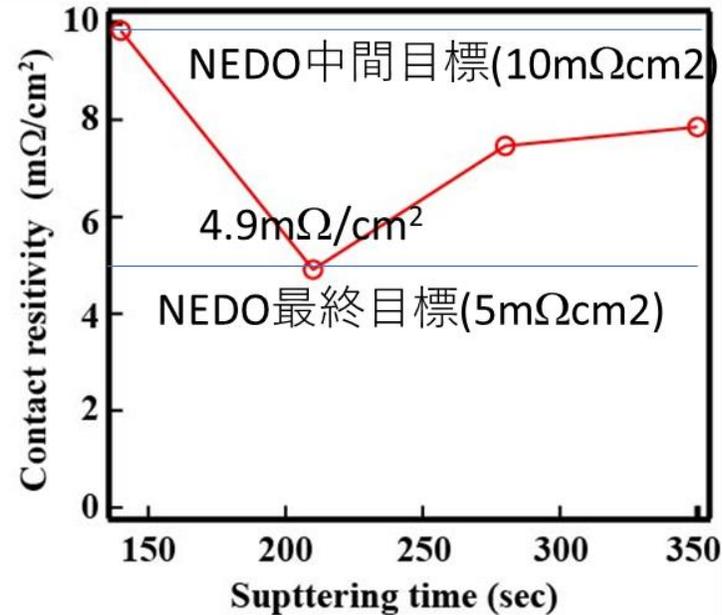
③ 電子伝導性と半導体的特性を複合化させた超低接触抵抗性を発現する蒸着膜の開発 (名古屋工業大学 加藤慎也)

低接触抵抗を実現するため低い抵抗率の膜を開発する

酸化物を蒸着した12.5 cm角
ステンレスシート



接触抵抗値 @ 1 MPa
@ 1 MPa



目標値の5 mΩcm²以下を達成 ※ 現在までに3 mΩ cm² 以下を達成

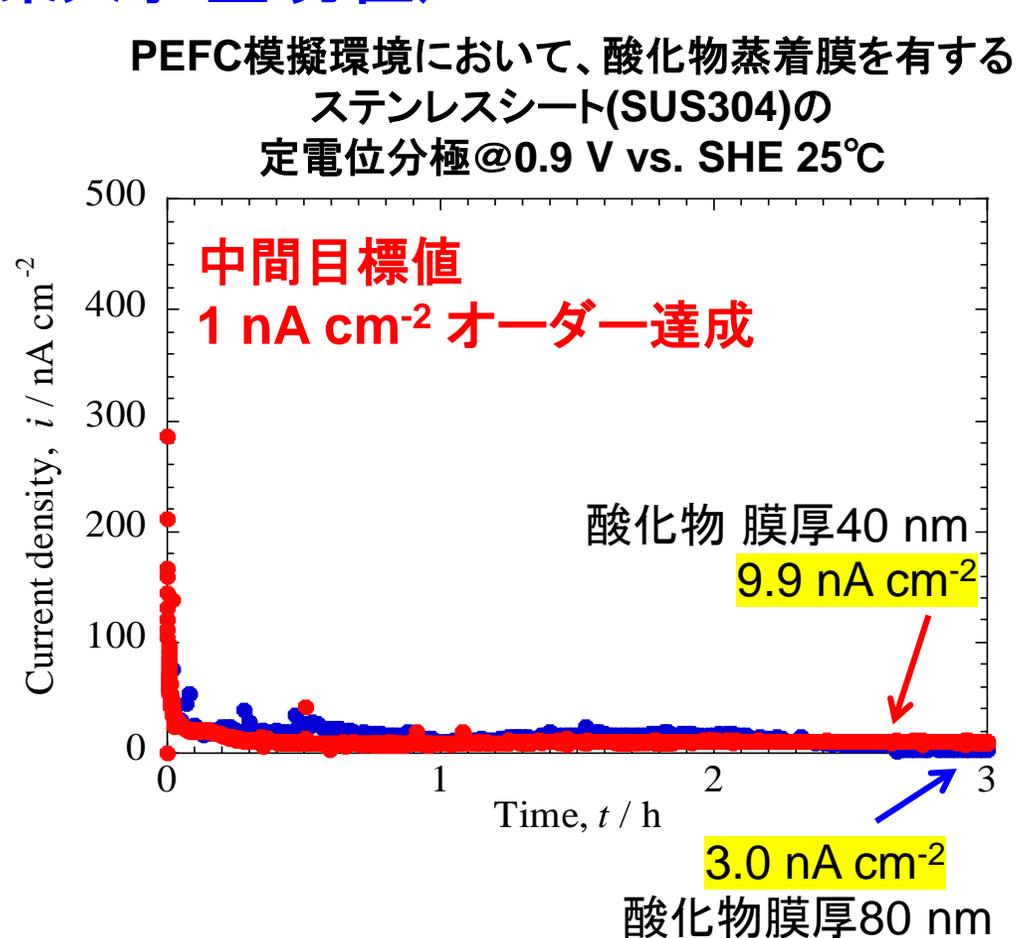
◎印刷工程(ペースト開発)に酸化物粒子が候補材料となる。

◎酸化物粒子と下地ステンレスの密着性がワンプロセスコーティング技術開発の課題と予想。

3. 研究開発成果について

①～③の開発技術融合

電気化学計測によるコーティング膜の最適化とワンプロセスコーティング技術開発 (名古屋工業大学 星 芳直)

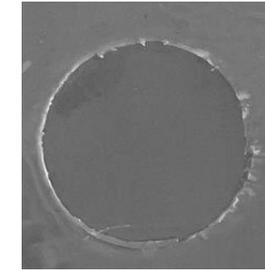
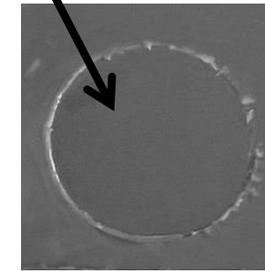


ステンレスシートに酸化物を蒸着(試験面)

酸化物膜厚 40 nm

試験前

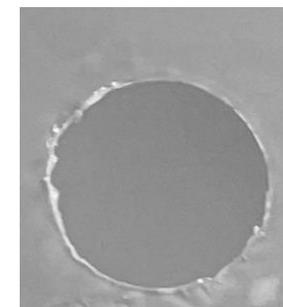
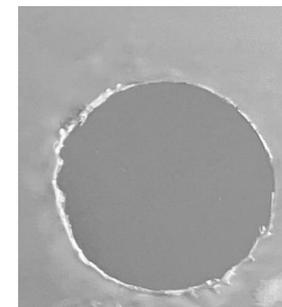
試験後



酸化物膜厚 80 nm

試験前

試験後



試験後の電極表面が健全な状態を維持

◎高耐食性と低接触性を発現する蒸着膜の開発に成功。

3. 研究開発成果について

4つの研究機関連携による貴金属フリー印刷コーティング技術開発

名古屋工業大学(星)

導電助剤・インヒビターインストールペーストによる
スクリーン印刷を用いたステンレスセパレータの
貴金属フリーコーティング技術開発



ステンレス

東京理科大学(板垣, 渡辺)

インヒビターをインストールした印刷ペーストの開発

名古屋工業大学(加藤)

導電助材をインストールした印刷ペーストの開発

物質・材料研究機構(堤, 門脇)

電気化学クリーニングによるステンレスの超高耐食性化と低接触抵抗化手法の開発

3. 研究開発成果について

- **研究開発の目標及び進捗状況、目標達成に向けたアプローチ**

2021～2022年度に開発した要素技術をベースとして、2023～2024年度は印刷技術によるワンプロセスコーティングの開発を進めている。この手法の鍵となる印刷ペーストの開発は、専門的な知見を有する企業と連携して開発を進めている。現在までに**密着性などを含めた課題の抽出はLOI企業との活発なディスカッションを通して完了**しており、印刷したサンプルを用いた接触抵抗性および耐食性の評価を進めている。界面の構造解析はFC-Cubicに依頼し、取得データと最大限に生かした解析を実施している。

- **研究開発の成果と意義**

耐食性と接触抵抗性はトレードオフの関係にあり、これらの特性を最大限に引き出すコーティング技術開発は極めてチャレンジングなテーマである。この技術開発実現は実用化・事業化においてコスト削減に直結し、NEDOロードマップに貢献することになる。また、**PEFC表面処理に関連した本プロジェクトにおいて、本プロジェクトは唯一腐食の専門家により構成**されているため、FC-Cubicと連携したPEFCセパレータの耐食性/接触抵抗性の評価プロトコルの検討・アップデートに貢献している。本プロジェクトで得られる腐食関連のデータは、PEFC使用環境を反映した極めて精度が高いものであり、解釈も専門的知見に基づくものであるため、標準化に寄与するものとなる。学術的には、PEFCステンレスセパレータの腐食劣化に着目した研究が極めて少なく、腐食反応モデルに基づく「ものづくり」はPEFC分野を牽引するものとなる。

- **実用化・事業化のイメージ(成果がどのように使われるか)**

実用企業(トヨタ自動車株式会社・本田技研工業株式会社)が本研究開発技術をベースとした生産工程へ展開することが期待される。本技術で開発される印刷技術は部材接合の高耐食化にも応用可能と考える。

4. 今後の見通しについて

• 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

本プロジェクトのポイントは「材料開発」と「生産プロセス開発」の2点であり、LOI企業と連携し、タクトタイムを意識した印刷技術開発を進めている。本プロジェクトでは実際の生産工程における印刷を想定したものづくりを実施し、LOI企業と密に連携することで製品化を意識した技術開発を実施する。

• 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み(計画や戦略等)

実用化・事業化に向けたコーティング技術改良にともない使用するめっき液、インク、インヒビター、成膜技術において新たな知財が発生した場合は、本プロジェクトが実用化企業と連携し、知的財産を具体化する。日本、中国、欧米、欧州を出願国候補として特許取得を実施し、PCT出願を検討する。

• 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み

特許: 3件出願済み(その他、2件準備中)

- ・名古屋工業大学(1件)
- ・東京理科大学(1件)
- ・物質材料研究機構(1件)

知財を伴わない科学的成果:

- ・投稿論文準備中
- ・国内・国外学会において成果発表

加えて、国内・国際学会におけるシンポジウム企画や大学HP(プレスリリース)を通して研究開発成果を発信する。

• その他、顕著な経済・技術・社会的な効果、人材育成の取り組み等

FC-Cubicと連携したPEFCセパレータの耐食性/接触抵抗の評価プロトコルのアップデートに貢献する。