

第16回FC-Cubicオープンシンポジウム -電気化学グループの進捗と成果-



2025年3月07日

内容

電気化学グループの実施体制

研究開発成果

最終目標の達成状況

トピックス：NEDO革新FC MEA評価

技術展開

NEDO共通課題解決型基盤技術開発 ／ 課題横断型技術開発／ PEFC評価解析プラットフォーム



A) 材料改良方針
D) 革新材料創生

B) 現象の可視化
C) 現象の予測
D) 革新材料創生

WP1:

データ駆動材料設計

WP3:

評価共通化

WP2:

モデル駆動材料設計

機械学習
(材料改良指針)

材料改良
指針提示

マネジメントGr

評価プロトコル
/ ハードウェア
共通化

物理モデル化・
シミュレーションGr

性能・寿命予測
高度現象解析

シミュレーションバリデーション

FC-Cubic

電気化学的計測
バリデーション

電気化学的
特性測定Gr

新規開発材料の特性評価・解析

山梨県・FC-Cubic

精密分析
(材料物性・構造)

材料分析/解析Gr

電気化学計測
(材料性能・耐久)

電気化学的
特性測定Gr

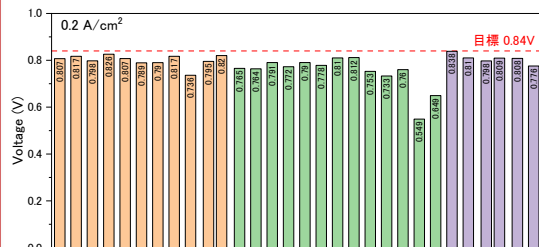
高度現象解析
(オペランド測定等)

材料分析/解析Gr

燃料電池材料特性評価プロトコル、評価セルの開発と共通化
FC-Cubic

①新規開発材料の特性評価・解析 山梨県・FC-Cubic

- ・新規材料に対応したMEA試作・評価
- ・改訂プロトコルによる材料評価
- 2025年3月目標：〇見込み**
- ・新旧プロトコルを用いて新規開発材料の特徴を明らかにする。とともにプロトコルの課題を抽出
- ・実用化のための課題および材料技術の方向性を提示する。



Air@50kPaGでの性能比較(0.2A/cm²)

- ・1000以上のMEAを作製し、標準的な発電評価だけでなく、発電性能の加圧・湿度依存、触媒インク組成の影響、負荷応答耐久・長期OCV耐久試験を材料開発者の要望に応じて実施。

評価状況：28機関375仕様の特性計測

2024年度は12月末時点で164仕様

- ・新規開発材料に対し、高温MEA評価、GDL評価、BPP腐食試験、触媒のRDE評価、電解質膜等の材料特性評価を実施。材料開発指針の提示、SG判断への貢献。
- ・エージング過程の諸要因と発電特性を紐付けた。



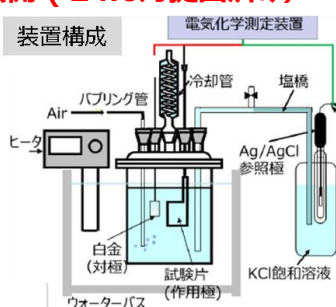
③燃料電池材料特性評価プロトコル、評価セルの開発と共通化 FC-Cubic

- ・新たな産業界ニーズに基づく新規材料評価へ対応する評価プロトコル開発

2025年3月目標：〇見込み

- ・用途展開/運転領域拡大を反映させた評価プロトコルのマニュアル追加（2024年度版）を作成して公開している。
- ・高温評価（100℃以上 Max150℃）用の評価プロトコルのマニュアル（2024年版）を作成・公開し、新規材料評価への適用を開始している。

・「NEDO PEFCセル評価プロトコル2024年版」公開（'24.6月提出済み）



BPP腐食試験方法



NEDO 評価プロトコル改訂版

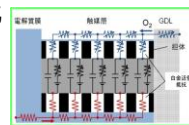
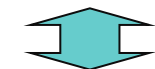
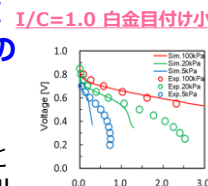
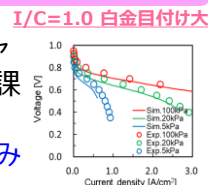
②シミュレーションバリデーション FC-Cubic

- ・担体構造、ラジカルクエンチャー等の新たな要素についての課題への対応

2025年3月目標：〇見込み

- ・実験データとマルチスケール・性能設計シミュレータの計算結果との整合を確認し一連のシミュレータの高性能 MEA 設計への有効性を示す。

- ・シミュレーションと実測データとの乖離の要因を考察し、モデル改良のための検証データを SimGrへ提供。
- ・実車耐久後のMEAの特性低下、材料物性変化を詳細に解析した。今後のセル劣化モデルへ反映。



・FC-Cubic小型燃料電池セル 図面、使用法の展開



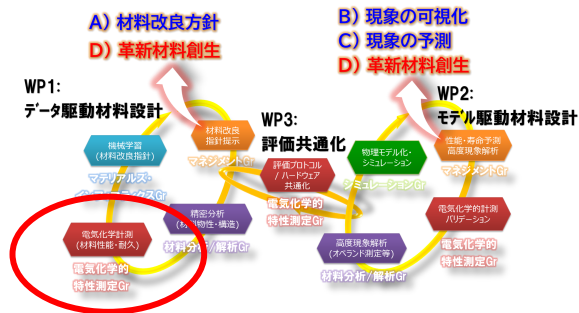
FC-Cubic小型燃料電池セル

**照会：64機関66件
内) 図面提供：59件
2024年6月時点**



①-1新規開発材料の特性評価・解析：山梨県

関係者外秘



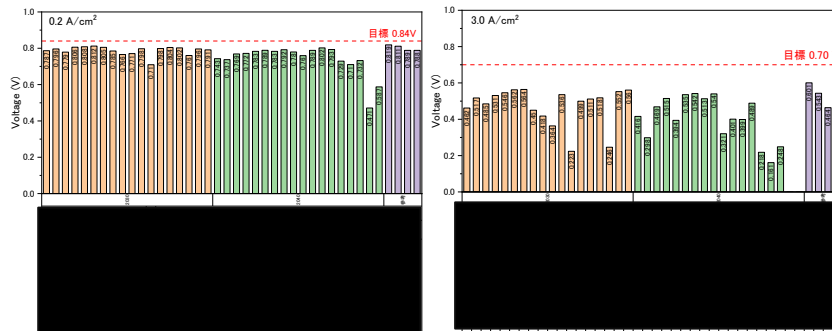
Challenge	- 新規材料に対応したMEA試作・評価 - 改訂プロトコルによる材料評価
Goal	- 新規開発材料の特徴を明らかにする。 - 実用化のための課題および材料技術の方向性を提示する。
最終目標に対する進捗	- 評価解析PF標準材料を用いた開発材料評価を実施。 - PF標準MEAや市販材料・MIRAIなどの多様な比較データ取得。 - 新規材料評価の標準メニューとして、追加プロトコル（EISによる触媒層プロトン輸送抵抗・触媒層の酸素拡散抵抗、加圧OCV試験）による評価を実施し、材料の改良の課題・指針を提示。 - MIへの電気化学データ提供

材料評価状況（事業開始～2025/1/6まで）

25機関173材料

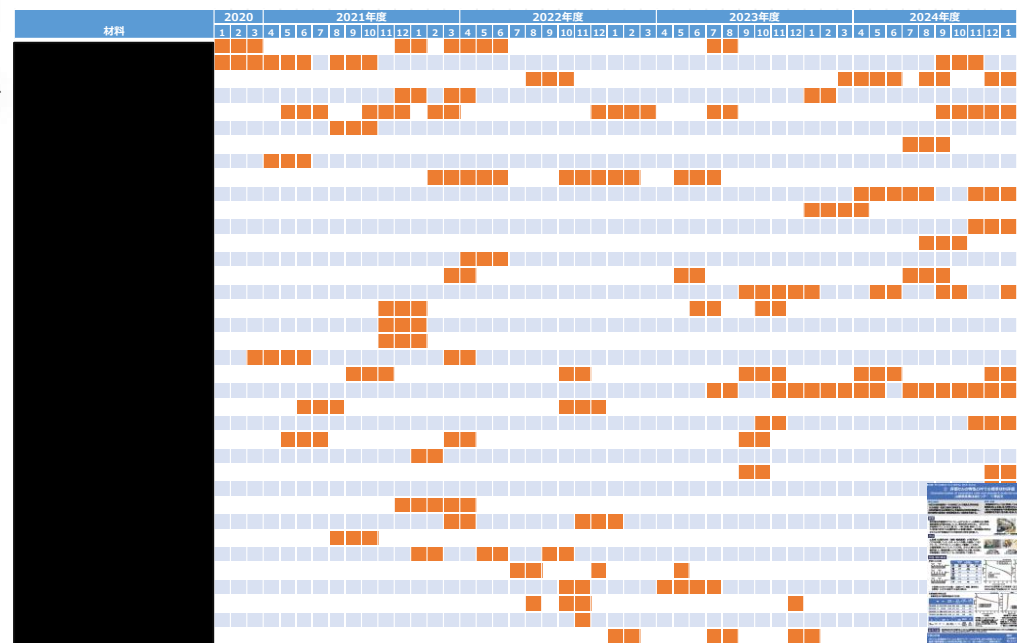
・850以上のMEAを作製し、標準的な発電評価だけでなく、発電性能の加圧・湿度依存、触媒インク組成の影響、負荷応答耐久・長期OCV耐久試験を材料開発者の要望に応じて実施し、課題や開発の方向性を提示して材料開発を支援した。

PF評価条件での各材料の性能比較
目標 0.84V@0.2A/cm² 0.70V@3A/cm²



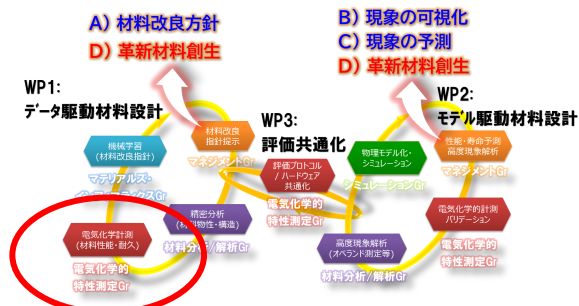
※ 1cm²パラレル流路セル、80℃、75%RH、Air 50PaG
開発者によって目標担持量が異なるので、PGM 0.1 mg/cm²に換算
CACは PtCo/C 0.1 mg/cm²相当の触媒層厚さとして換算

主な材料と評価状況



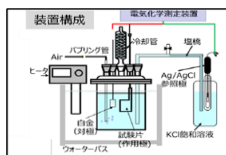
①-2 新規・検討プロトコルによる特性評価・解析研究機関：FC-Cubic

関係者外秘

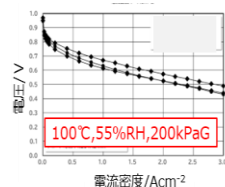


従来の評価手法、プロトコルではカバーできていなかった評価手法を確立

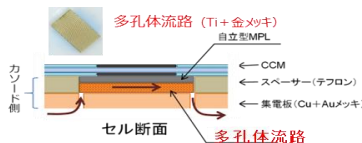
新規・検討プロトコルによる新規材料評価
(’24年度 17機関87仕様 評価中を含む)



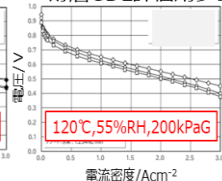
BPP腐食試験セル



新規開発電極触媒の高温MEA評価



薄層GDL評価用多孔体流路セル



- ・高温評価、BPP、GDL、RDE、電解質材料の評価
- ・目標達成状況と残課題、指針を提示

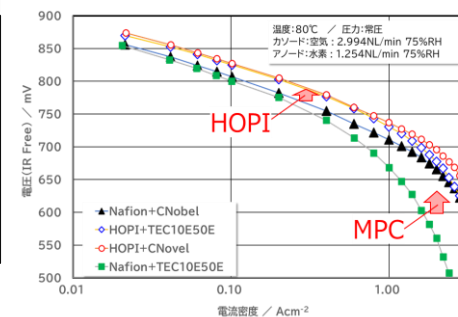


Challenge	・検討中のプロトコルを適用した新開発材料の評価（MEA特性、耐久特性、材料特性）
Goal	・新規開発材料の特徴を深堀するための非標準的特性評価手法を駆使して技術課題を明らかにし、MEA特性評価結果とあわせて技術開発の方向性を提示す。
最終目標に対する進捗	・MEAを用いた高温評価、GDL評価、BPP腐食試験、触媒のRDE評価、電解質膜等の材料特性評価について、新規開発材料の評価を実施。目標達成状況と残課題、材料開発指針を提示。次期プロ提案へ貢献。 ・「革新FC」proj.の技術成果を集約したMEAの構成案を定め、MEAを試作。特性評価を実施中。目標との差異と要因を精査、提示する。

NEDO革新FC-MEAの策定と評価

項目	仕様	備考
セル	1×3寸一極セル	材料特性解析用
電圧	1x10セル	分布の影響
C流路	3.0mmまたは隣接流路	
測定項目・条件	備考	
初期特性	80℃75% 250kPaabs	カソードGDL
EIS	高温特性 (105℃40%)	カソード触媒
LSV	湿度依存性	カソード保持量
CV	80℃75% 250と150kPaabs	カソード保持量
1D (分極解析)	80℃75% 250と150kPaabs	カソード保持量
カソード触媒層構造	粗度 構造	カソード保持量
負荷変動	80℃ 0.6~0.95	カソード保持量
起動停止	80℃ 1.0~1.5	カソード保持量
OCV	90℃ 30% FER計測	カソード保持量

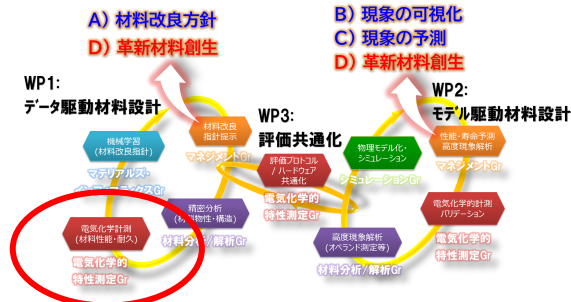
MEA構成の検討



特性評価例

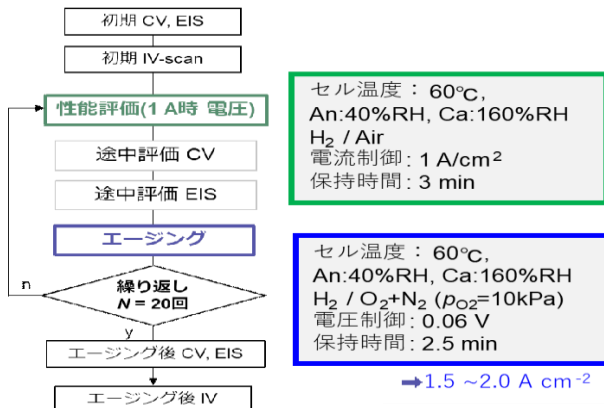
- ・プロジェクト成果を集約したMEA構成の策定と試作
- ・特性評価とギャップ解析により、課題、指針の提示

①-3 エーシング過程における直流および交流を用いた精密電気化学計測：FC-Cubic

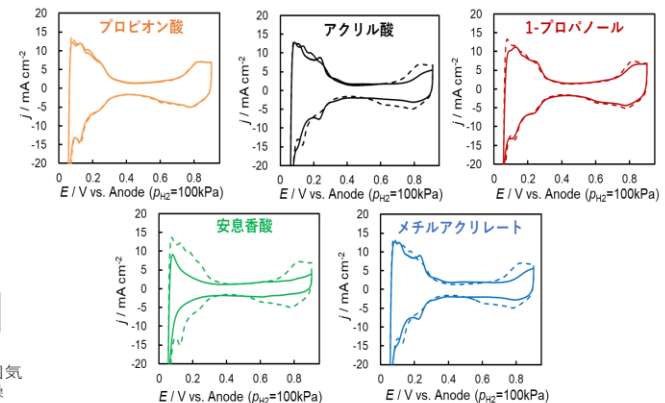
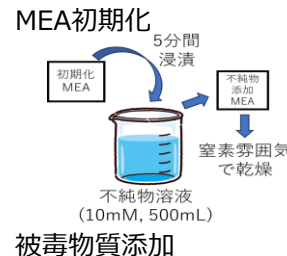
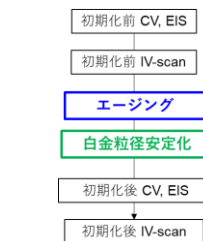


新規テーマ（生産技術）にも対応する体制を構築。エーシング過程の電気化学挙動を詳細解析。

エーシング過程における過電圧要因の分離解析手法確立



エーシング条件例

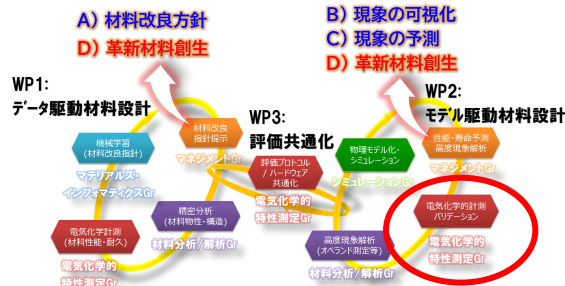


被毒候補物質添加による影響

- ・エーシング条件、被毒物質の設定。（w/産業界）
- ・被毒物質添加条件の設定。
- ・エーシング過程を電気化学解析

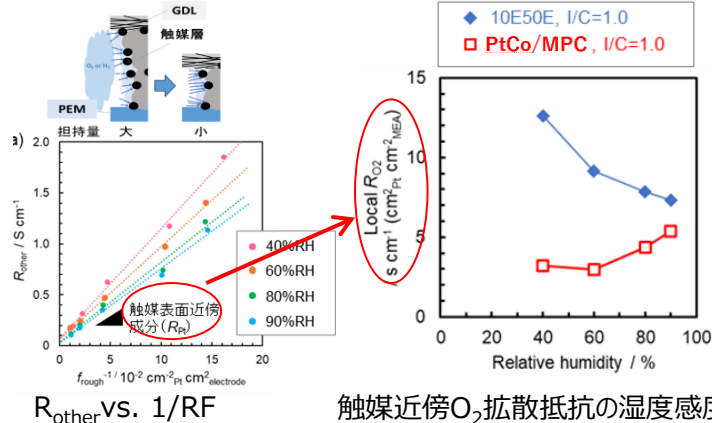
②シミュレーションバリデーション：FC-Cubic

関係者外秘

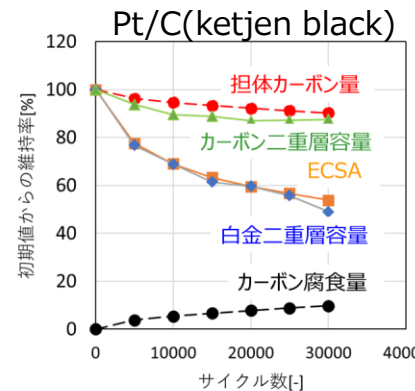


MEA性能シミュレーション

拡散抵抗の担持量依存を測定

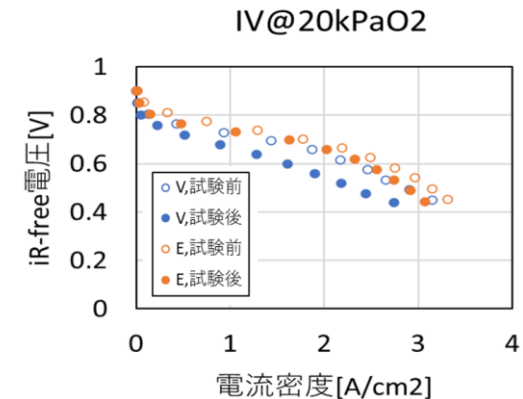


・担体細孔スケールの物質移動特性（ガス、イオン）を分離評価する方法を確立し、データ取得。



1.0⇔0.2V矩形波（2秒/サイクル）繰り返し時の触媒劣化の進行

・1V以下で進行するカーボン腐食を定量化し、過電圧因子の変化と紐づけ。



③燃料電池材料特性評価プロトコル、評価セルの開発と共通化 (FC-Cubic)

関係者外秘



Challenge	・新たな産業界ニーズに基づく新規材料評価へ対応する評価プロトコル
Goal	・材料の特性を適切に評価するためのFCCJプロトコルをアップデートし展開する。
最終目標に対する進捗	・120℃以上の高温評価、耐久方法をプロトコル検討しマニュアル化しNEDO に提出済、HP公開に向け準備中 ・2024度実施内容（高温連続耐久、高温負荷耐久結果追加、GDL電気抵抗測定等）をまとめ、マニュアル化しNEDO提出予定 ・共通セルの情報開示継続中、40機関以上に情報提供

評価プロトコル開発

2024年版マニュアル作成・NEDO提出済

触媒層 ー高温評価（セル温度150℃まで）

負荷応答サイクル耐久

(セル温度150℃まで)

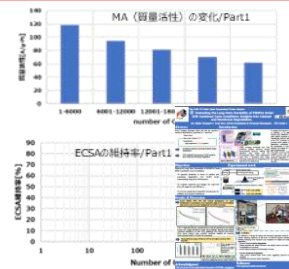
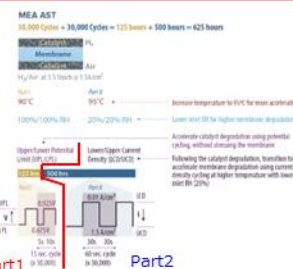
セルの仕様による性能比較データ追加
エージング条件、実測データ追加



DOEのHDV向けプロトコルの検討

DOEが提案しているHDV向けの耐久プロトコル
での標準的なMEAでの性能変化を検討中

- ・Part1部分まで終了、Part2実施中
- ・Part1時点の劣化はNEDOの負担
応答サイクルの終了目安（ECSA維持率50%）より劣化は進んだ状態



多用途向けの耐久・評価条件の検討

●高温連続運転耐久評価の検討

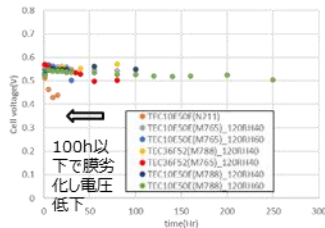
- ・高温(120℃)で発電した状態で連続運転し性能変化を測定し劣化状態把握

運転条件：120℃で加湿40%,60%RH

H2-Air 301kPa-abs

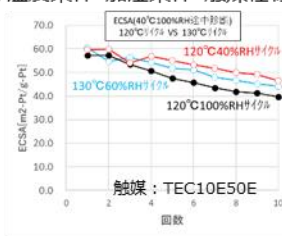
2A/cm²で連続運転

IV@2.0A 推移

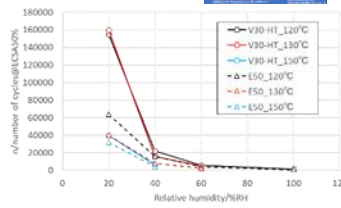


●高温評価（120℃以上）・耐久のプロトコル検討

- ・120℃以上での高温評価手法の検討実施中
- ・120℃以上での高温での負荷応答サイクル耐久の検討中
/温度条件・加湿条件・触媒仕様の影響把握



130℃繰り返し評価の
ECSA(@40℃)変化



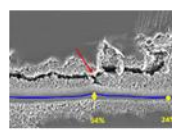
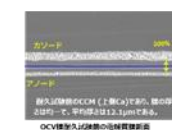
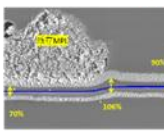
ECSA維持率50%での
負荷応答サイクル数

●膜のAST試験後の膜劣化状態の解析

- ・AST耐久試験後のMEAの劣化状態解析

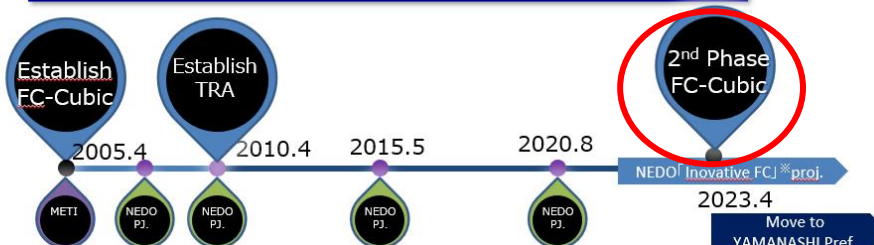
耐久後のMEAの分析

- ・リフの部分に膜表面にシワが発生
- ・耐久前に比べ膜が変形
- ・耐久後に膜厚の減少がみられるが、白色化した部分でより膜厚が薄くなっている





From the inception of FC-Cubic to the present

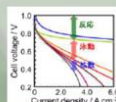


セル・MEA

評価セル



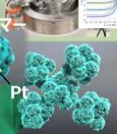
過電圧解析



発電評価

電極触媒材料

特性を見る



物性を見る

電解質材料

構造を見る

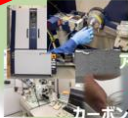


特性を見る

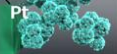


物性を見る

構造を見る



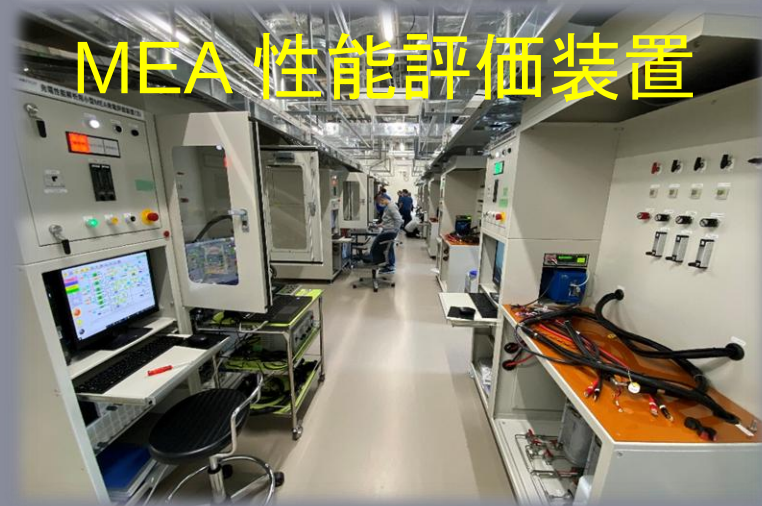
アイソマー
カーボン

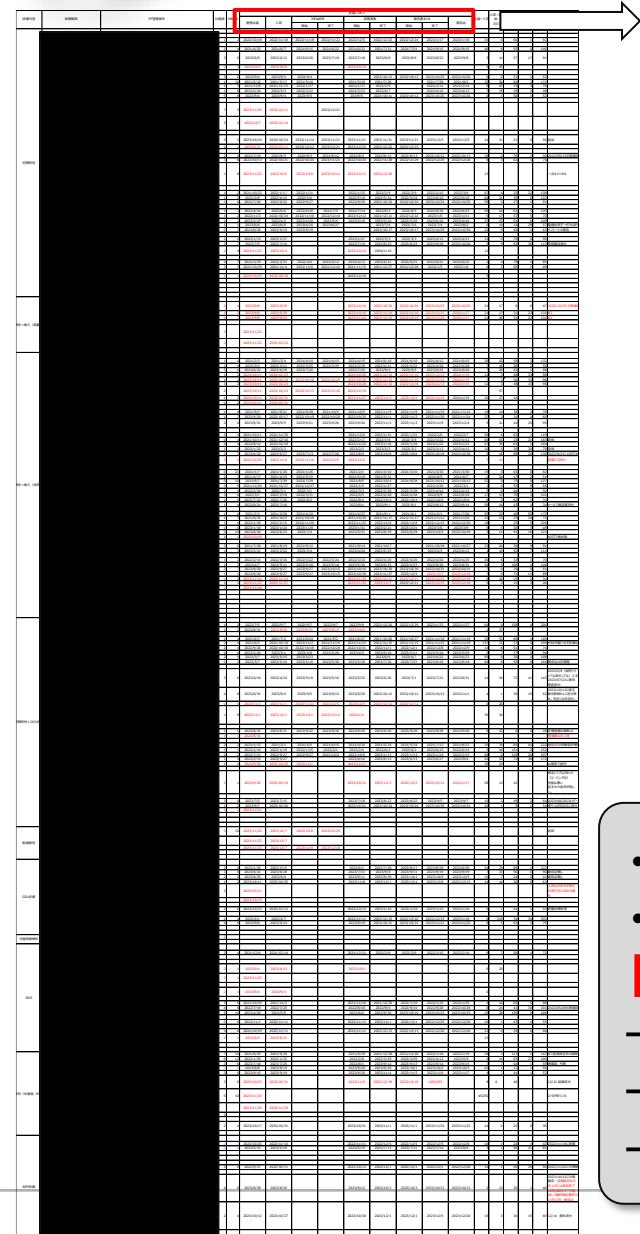


耐久評価装置



MEA 性能評価装置





評価プロセス								
連携会議	入荷	MEA試作		評価実施		報告書まとめ		報告会
		開始	終了	開始	終了	開始	終了	

期間	2020-2022	FY2023	FY2024
会議－入荷	26	20	8
入荷－開始	23	18	7
開始－まとめ	54	50	19
まとめ－報告	8	10	12
総期間	111	95	46
平均評価案件数 (年換算)	24	112	164

大幅な納期短縮・大幅な評価仕様数の拡大を実現

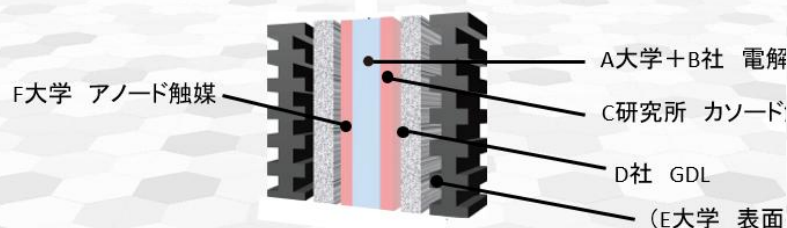
- ・依頼者との**密なコミュニケーション**（依頼集約、内容把握）
- ・中間報告含め**報告内容・方法・スケジューリング**をマネジメントグループ、材料解析グループと連携&共有
 - 材料提供スケジュールと状況把握
 - 評価の意図、レベルの確認
 - 実施実験内容の詳細確認

NEDO革新FC MEA評価

目的：本プロジェクトにおける開発技術のポテンシャルを確認する

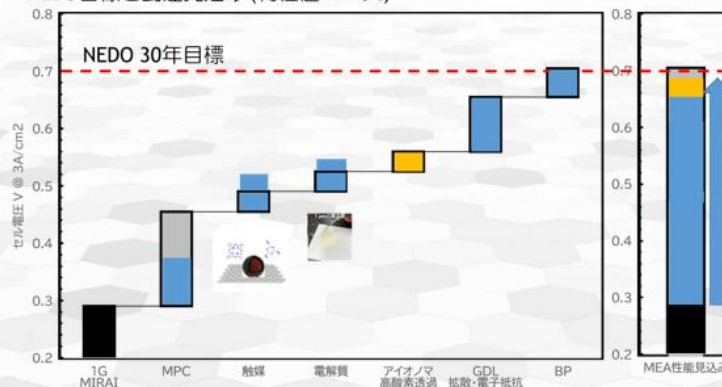
- ・新規開発材料・技術を用いたMEAを試作、発電特性、耐久性の性能評価を実施
- ・性能がNEDO目標と乖離ある場合は、その要因について検討、提示する。

プロジェクト全体の成果技術を組み合わせたMEA(セル)
⇒MEAとしての到達点を実証したい。



革新FCプロジェクトとしての到達点と残課題を示すための評価解析

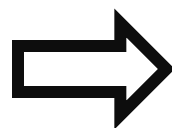
NEDO目標と到達見込み (物性値ベース)



評価の狙い:

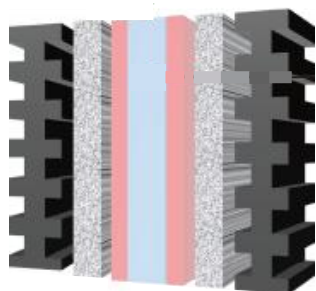
- ・革新FCの到達点の確認と残課題の抽出と対策案の提示

NEDO、マネージメントGr
と協議



候補材料選定
試作プロセス (IC比、溶媒、塗工等) 検討
測定内容を設定

関係者外秘



セル	備考
均一場セル 1x1 1x3cm ²	材料特性解析
1x10 セル	分布の影響
C流路	3 DFMまたは 微細流路

測定項目・解析

備考

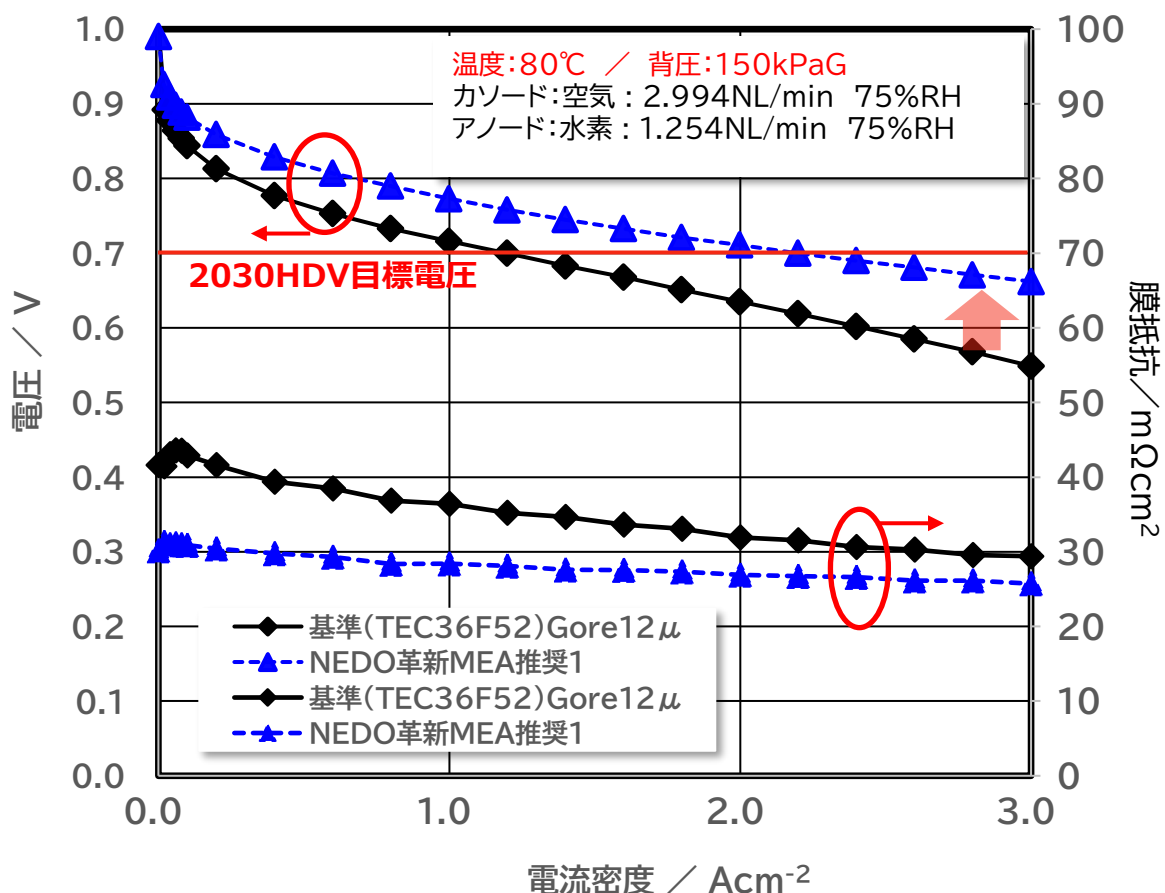
初期特性	I-V	80 °C 75% 250kPaabs 高温特性：105°C 40% 280kPaabs
	EIS	湿度依存性
	LSV	
	限界電流	
	CV	湿度依存性
	1D (分極解析)	80 °C75% 250 と150kPaabs
	カソード触媒層構造	組成 構造
耐久	負荷変動	80°C 0.6 – 0.95
	起動停止	80°C 1.0 – 1.5
	OCV	90°C 30% FER計測

部位	仕様	バリエーション
カソードGDL	薄層MPL/GDL	東レ
カソード触媒	Pt/M P C	Pt合金/M P C
カソードアイオノマ	HOPI	
I/C比	1.2	
カソード担持量	0.2mg/cm2	
塗布プロセス	転写	転写
電解質膜	8μm補強膜	
アノード触媒	PtCo / C	
アノードアイオノマ	DE2020	
I/C比	1水準	
アノード担持量	0.05mg/cm2	
塗布プロセス	転写	
アノードGDL	東レ	

関係者外秘

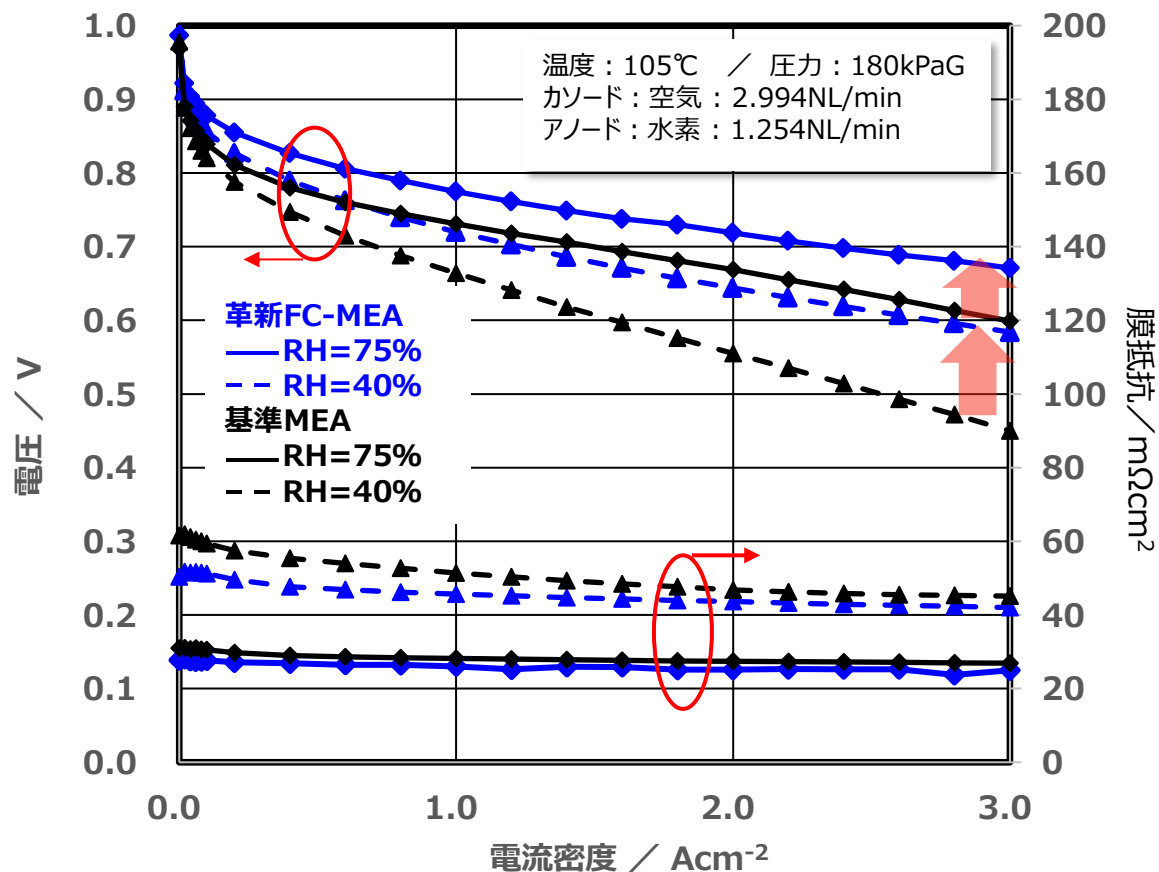
NEDO革新FC MEAテスト品の現状の特性

部位	本番仕様	テスト品	基準
カソードGDL	薄層 MPL/GDL	東レ	東レ
カソード触媒	Pt/M P C	Pt/M P C	TEC36F52
カソードアイオノ マ	高酸素透過 アイオノマ	高酸素透過 アイオノマ	Nafion
I/C比	1.2	1.2	1.0
カソード担持 量	0.2mg/cm ²	0.2mg ₂ /cm	0.2mg/cm ²
塗布プロセス	転写	転写	転写
電解質膜	8μm補強膜	8μm補強膜	12μm補強膜
アノード触媒	PtCo/ C	PtCo/ C	TEC10EA50 E
アノードアイオノ マ	DE2020	DE2020	DE2020
I/C比	1.0	1.0	1.0
アノード担持量	0.05mg/cm ₂	0.05mg/c m ²	0.1mg/cm ²
塗布プロセス	転写	転写	転写
アノードGDL	東レ	東レ	東レ



105℃/180kPaGでのIV

部位	本番仕様	テスト品	基準
カソードGDL	薄層 MPL/GDL	東レ	東レ
カソード触媒	Pt/M P C	Pt/M P C	TEC36F52
カソードアイオノ マ	高酸素透過 アイオノマ	高酸素透過 アイオノマ	Nafion
I/C比	1.2	1.2	1.0
カソード担持 量	0.2mg/cm ²	0.2mg/cm ²	0.2mg/cm ²
塗布プロセス	転写	転写	転写
電解質膜	8μm補強膜	8μm補強膜	12μm補強膜
アノード触媒	PtCo/ C	PtCo/ C	TEC10EA50 E
アノードアイオノ マ	DE2020	DE2020	DE2020
I/C比	1.0	1.0	1.0
アノード担持量	0.05mg/cm ²	0.05mg/cm ²	0.1mg/cm ²
塗布プロセス	転写	転写	転写
アノードGDL	東レ	東レ	東レ

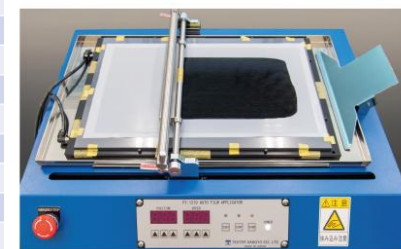


評価法、プロトコルの展開： 学会発表、講演会での技術紹介 16件（2022以降）

機関	内容	場所	時期
FC-Cubic	H D V 向け P E F C 用電解質膜の耐久性目標・加速耐久法と課題	第59回伝熱シンポジウム	2022/5/18
FC-Cubic	PEFC燃料電池セルの評価プロトコル概要と高温評価での検討例	第29回燃料電池シンポジウム	2022/5/27
FC-Cubic	PEFC高温初期評価の課題と評価プロトコルの検討	第63回電池討論会	2022年11月8日
FC-Cubic	加速OCV試験によるアノード触媒評価方法の検討	第63回電池討論会	2022年11月8日
山梨県	NEDO PEFC 評価解析プラットフォームでの発電評価プロトコルと市販触媒評価	第64回電池討論会 大阪府国際会議場	11月28日（火）
山梨県	市販メタロースカーボンに担持した Pt 触媒の発電性能に対する触媒インク組成の影響	第64回電池討論会 大阪府国際会議場	11月28日（火）
FC-Cubic	OCV耐久の耐久条件が劣化特性に与える影響の検討	第64回電池討論会 大阪府国際会議場	11月28日（火）
FC-Cubic	PEFCの単セル評価における高温運転条件の影響	第64回電池討論会 大阪府国際会議場	11月28日（火）
山梨県	燃料電池用Pt系触媒の電池特性評価-セル評価を通して-	第14回 新電極触媒シンポジウム&演習セミナー	2023/10/28
山梨県	NEDO PEFC評価解析プラットフォームでの発電評価プロトコルと市販触媒評価	燃料電池・FC研究会 第290回定例会（学会トピックス）	2024/3/25
FC-Cubic	MEA製作プロセス・MEA評価方法	FC-Cubic人材育成講座	2023/12/14
FC-Cubic	H D V への展開に向けたPEFC用セル評価解析プロトコルの検討	日本MRS 水素科学技術連携研究会 2024年度前期研究会	2024/6/27
FC-Cubic	固体高分子形燃料電池の小型セル試験による発電損失要因の解析手法	電気化学会関東支部 第60回学際領域セミナー	2024/8/26
FC-Cubic	PEFC 発電時の触媒層内ポテンシャル移動抵抗に起因する過電圧の評価法	第65回電池討論会	2024/11/21
FC-Cubic	加速劣化試験におけるPEFCの耐久性に影響を与える電解質劣化現象の検討	第65回電池討論会	2024/11/22
FC-Cubic	PEFCの単セル評価における高温運転条件の影響（第2報：MEA仕様違いによる影響）	第65回電池討論会	2024/11/22

実習、コンサルティング： 個別相談等22件（2022以降）

対象機関	内容	時期
	RDE評価	2022年6月
	RDE、MEA評価	2022年6月
	GDE作製実習	2022年8月
	ガス透過法測定	2022年9月
	電解質材料特性評価	2022年8月
	セル・MEA評価	2022年9月
	RDE評価 MEA評価法	2022年10月
	MEA試作	2022年11月
	RDE評価	2023年6月
	MEA試作	
	MEA試作	
	RDE評価	
	BPP評価方法	
	GDL評価	
	RDE評価	
	BPP接触抵抗	
	BPP接触抵抗	
	CCM加工、触媒評価	
	MEA評価	2024年11月
	電解質材料特性評価	2024年11月
	MEA試作	2025年1月
	MEA試作	2025年3月



その他施設見学：152件（2023以降）



ご清聴ありがとうございました。

FC-Cubicでは各種お問い合わせに対応いたします。

