

発表No. A2-6

燃料電池等の利用の飛躍的拡大に向けた
共通課題解決型産官学連携研究開発事業
/共通課題解決型基盤技術開発
/燃料電池のプロセスインフォマティクス共通基盤の構築



長藤圭介（東京大学）

東京大学・金沢大学・九州大学・堀場製作所

2024/7/19

連絡先：
東京大学 長藤圭介
nagato@hnl.t.u-tokyo.ac.jp

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年6月

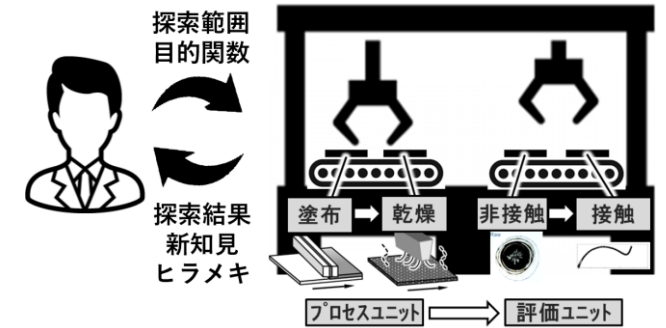
終了 (予定) : 2025年3月

2. 最終目標

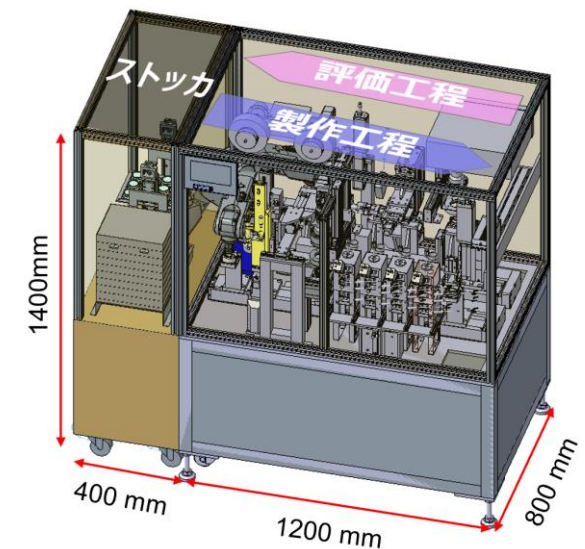
- ・ 触媒層塗布乾燥プロセスに関する“FC-ROPES”の基盤確立。
- ・ **自動実験**による**実験速度10倍**。
- ・ **自律探索**による**探索速度10倍**。

3. 成果・進捗概要

	中間(1年目)	最終(2年目)
①最適化システム(東大)	標準プロセス開発	最適化システム組み込み
②標準インク(金沢大)	標準インク試作	標準インク確定
③評価解析(九大)	評価法開発	サンプル評価実証
④実験/探索装置(堀場)	要素開発	プロトで実証



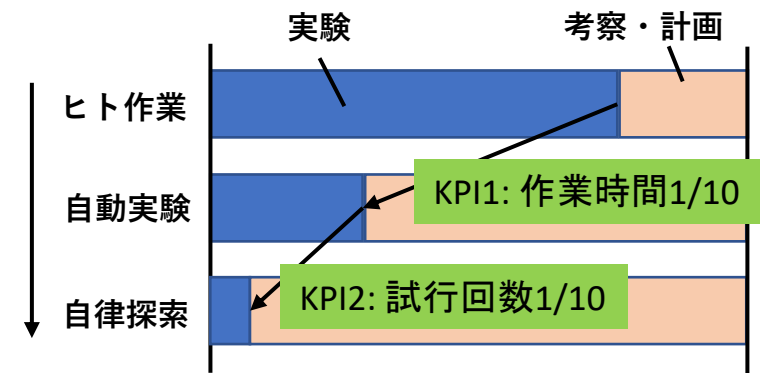
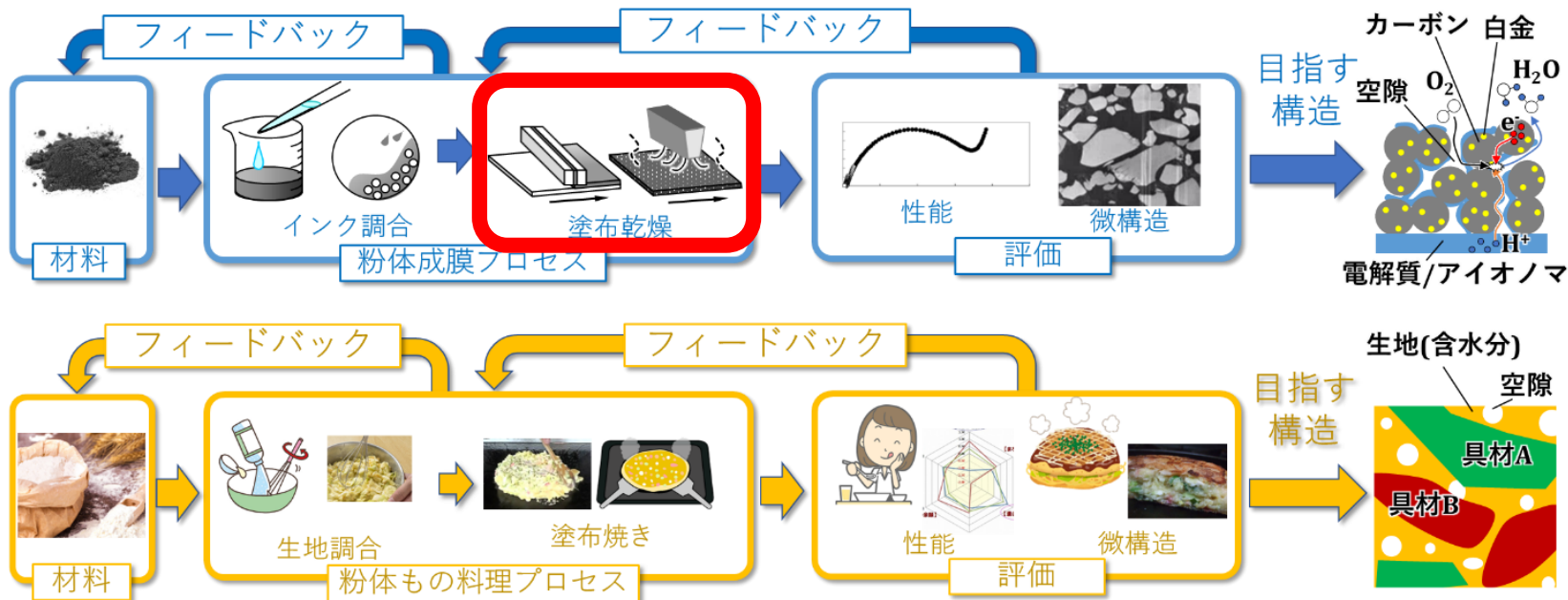
Robotic Objective Process Exploration System



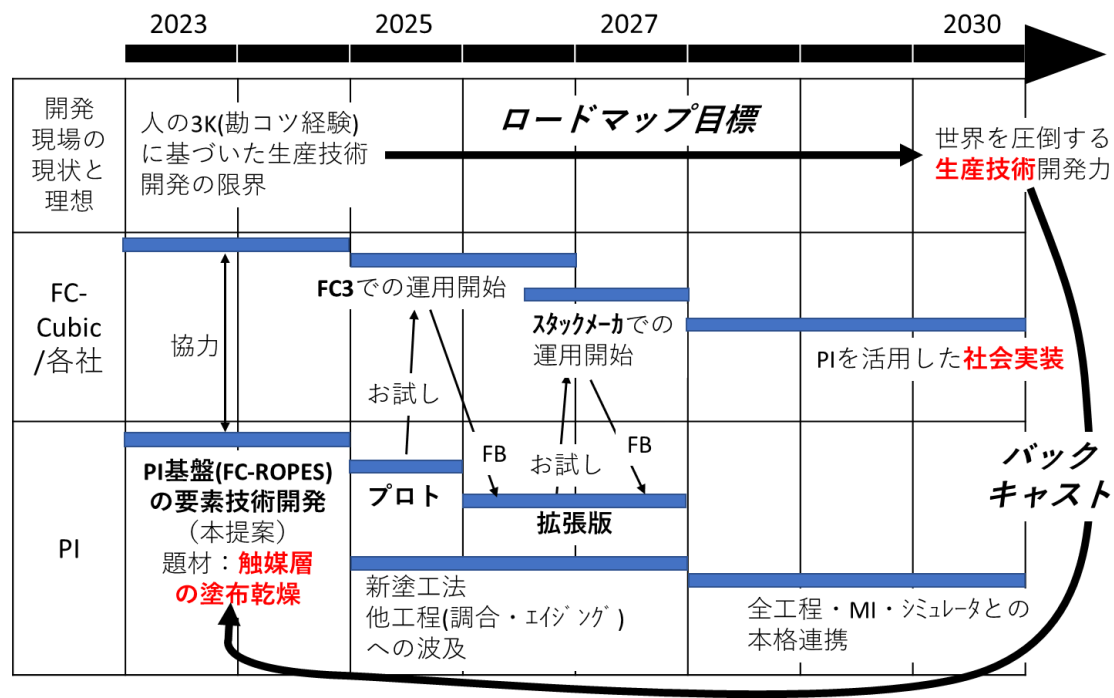
1. 事業の位置付け・必要性

【背景・問題】PEFCの性能と生産性のカギとなる生産プロセスは、膨大なプロセスパラメータからなり、従来ヒト作業を基軸とした開発手法ではスループットに限界がある。

【目的】自動実験/自律探索システムを基軸としたプロセスインフォマティクスの基盤を構築する。まずは、触媒層の塗布乾燥プロセスを題材に。



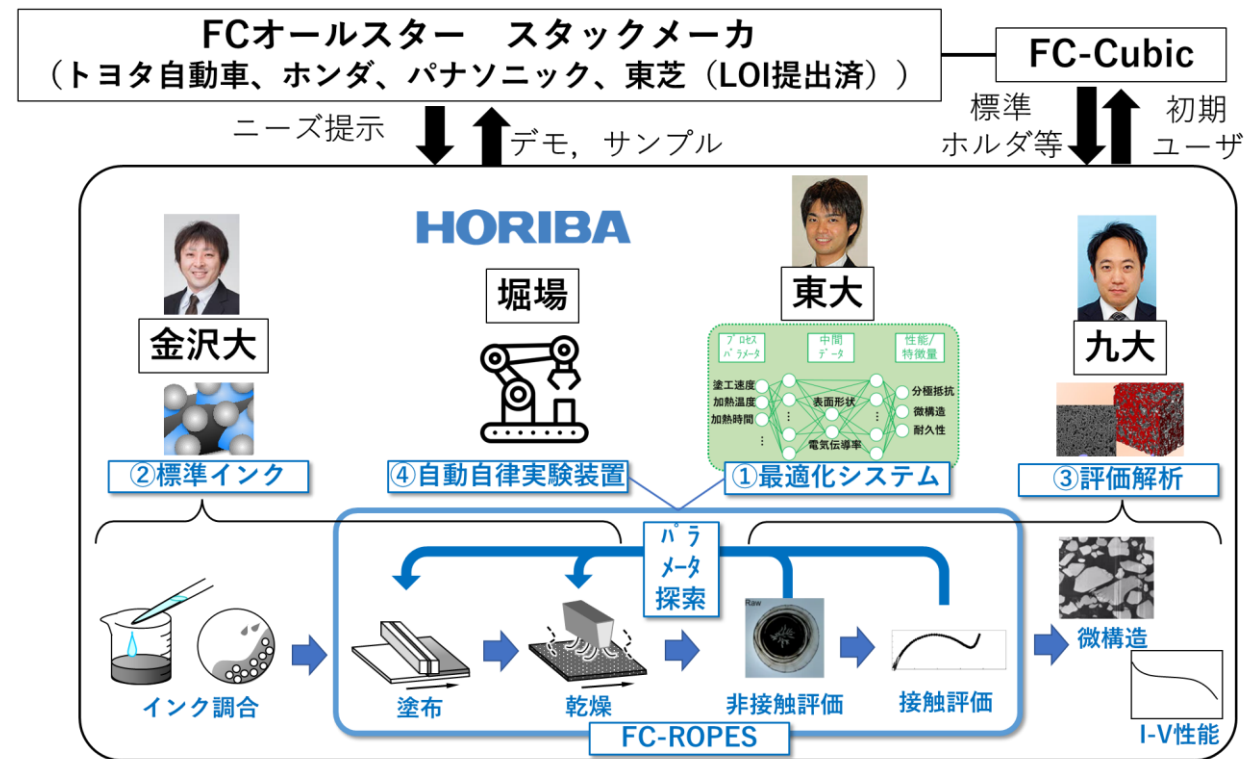
2. 研究開発マネジメントについて



- 【目標】 2年で触媒層ROPESプロト完成
- 【根拠】 2030年にDX活用技術を実装(in RM)

【その他】

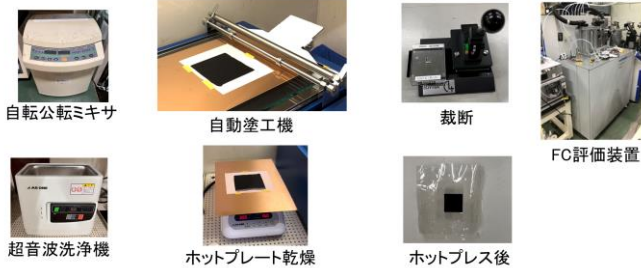
- ・ FC-Cubic, AFCとの密な連絡.
- ・ ユーザ検証を最初から年頭に入れて開発.



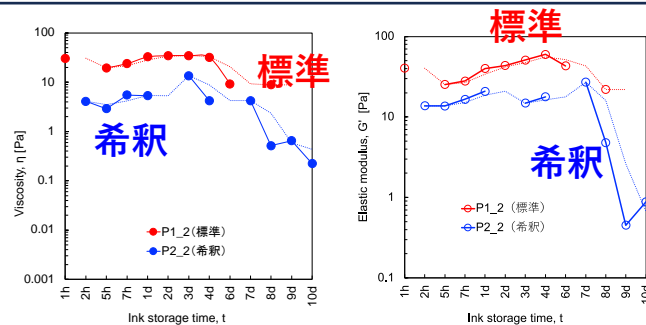
- 【実施体制】 JST-MIRAI実績3大学 × 自動粉体計測システム実績企業

3. 研究開発成果について

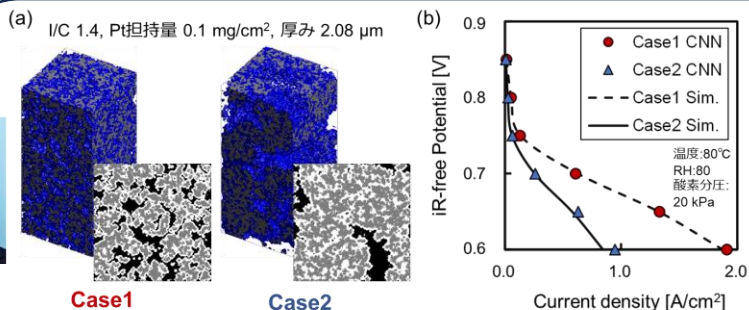
(a)インク調整・分散 → (b)塗布・乾燥 → (c)MEA化 → (d)評価



①標準プロセス開発 (東大)

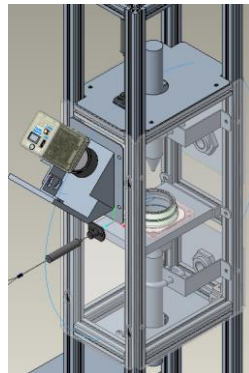


②標準インク試作 (金沢大)



③評価法開発 (九大)

乾燥工程評価機モデル



塗布工程評価機

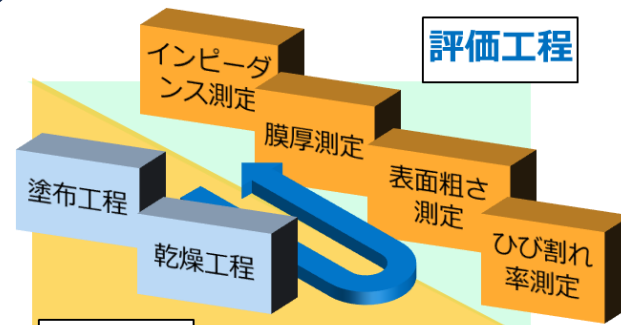


評価中サンプル

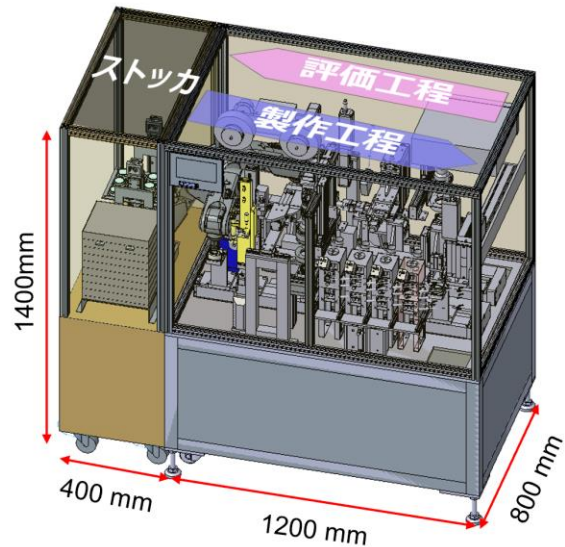


④要素開発(堀場)

HORIBA



製作工程

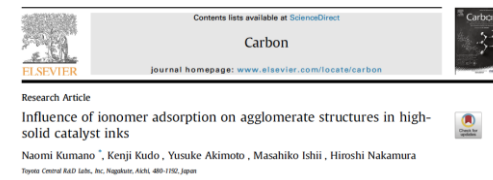


2024年度末：
FC-ROPESプロト！
KPI実証

3. 研究開発成果について (標準インク, 金沢大)

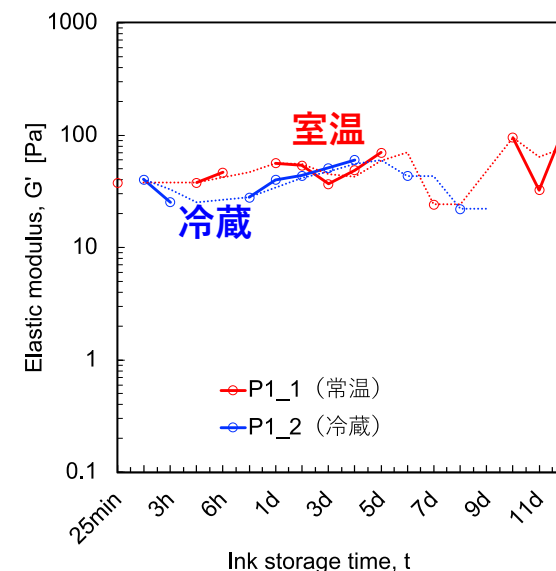
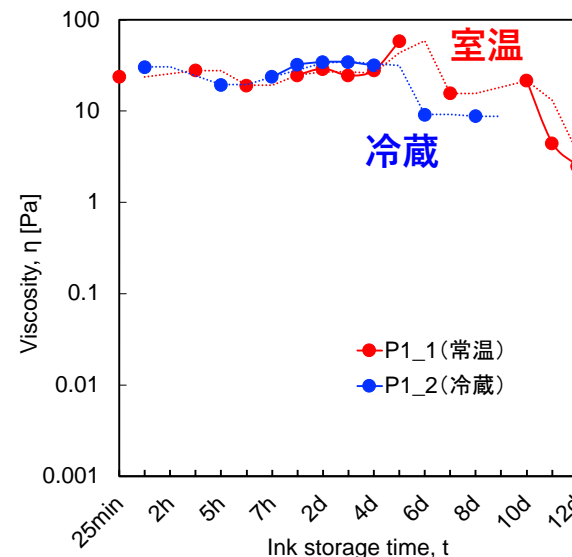
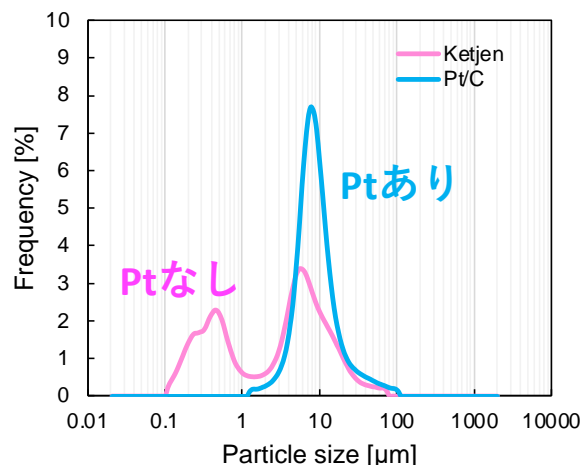
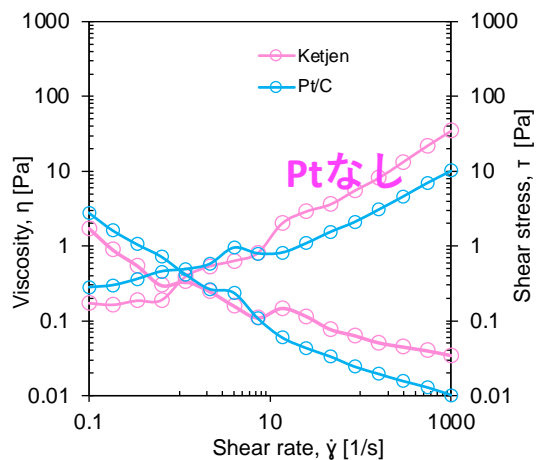
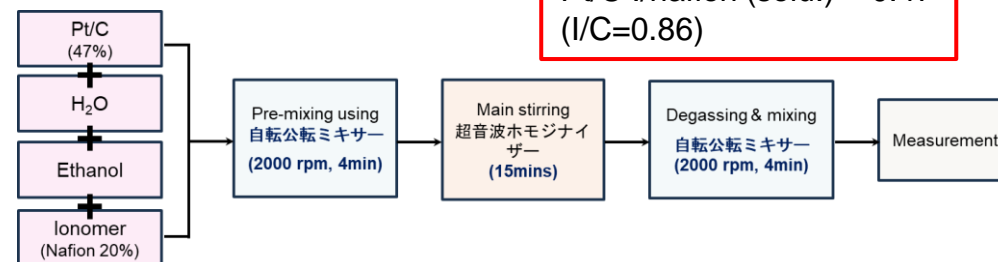


- レオメータ導入
- インクの基本調合条件の影響
 - 評価手法と実験手順の確立
 - 調合からの時間の影響
 - インク濃度 (希釈) の影響
 - 保管条件 (冷蔵庫保管) の影響
 - 調合量の影響
- 分散プロセスとインク組成の影響 (検討中)
- Ptの有無の影響



水とエタノールの割合と触媒とNafionの割合固定

Solvent /H2O = 1.08
 Pt/C :/nafion (solu.) = 0.47
 (I/C=0.86)



常温保管と冷蔵保管で8日までは同じ挙動

3. 研究開発成果について (評価法, 九大)



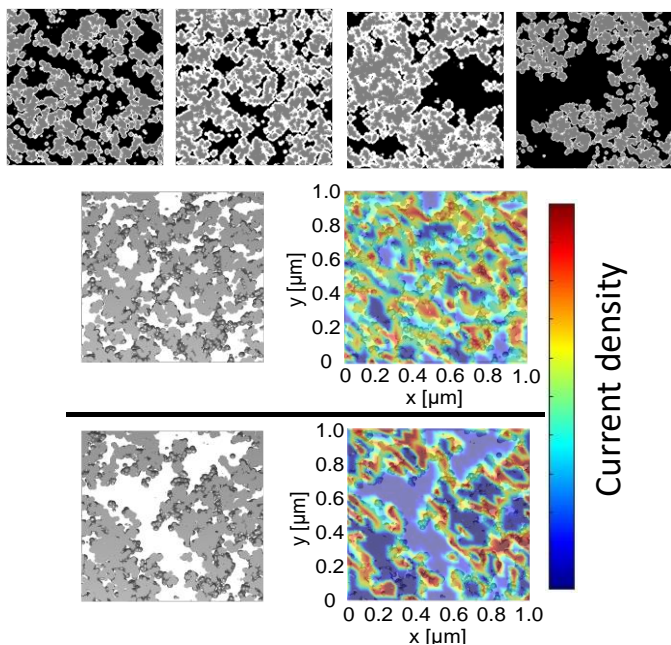
自動自律実験と最適化システムによる、
触媒層高品質プロセス条件の探索

評価方法の確立

材料⇒プロセス⇒(構造)⇒性能の
予測支援技術の構築

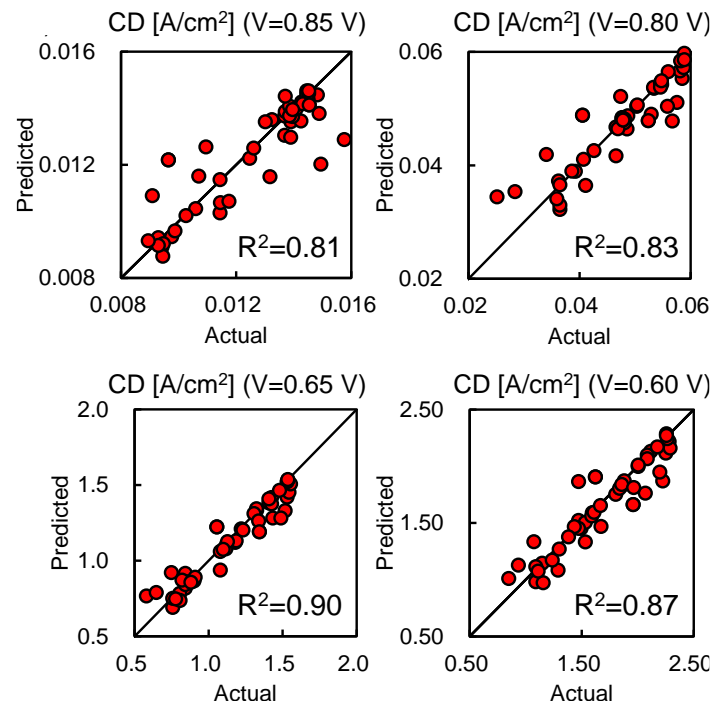
- ① 前工程取得のマクロ特性(表面観察・抵抗計測)とミクロ構造の相関把握
- ② **ミクロ構造と発電特性の相関把握 (機械学習による推定モデル構築)**
- ③ プロセス条件と発電特性の相関把握 (機械学習による自動探索モデル構築)

←下記記載



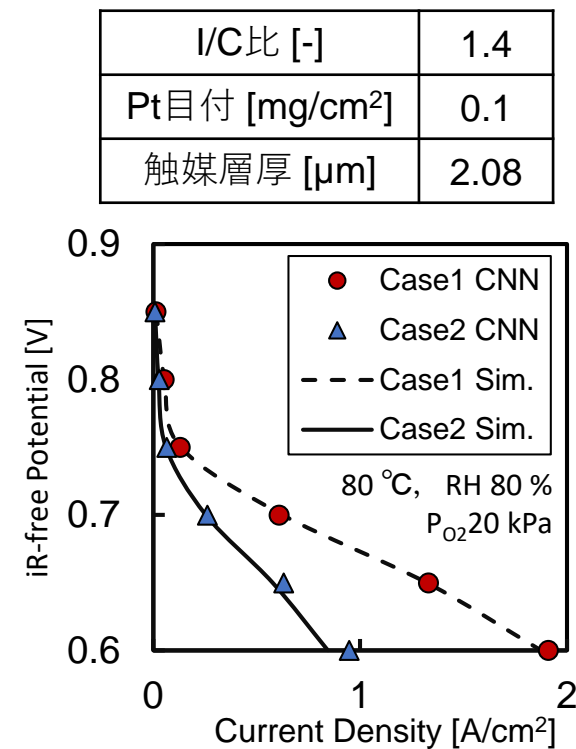
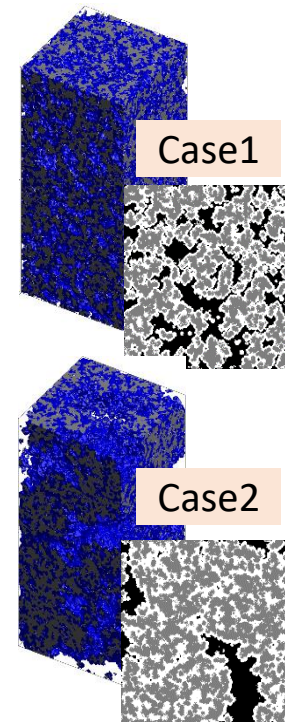
前工程のプロセス条件で想定される
クラック、凝集塊を模擬構造で再現
その構造を対象に反応分布計算

学習モデルの取得



訓練数:240, 検証数:80, テスト数:79
最適化法: Adam 損失関数: RMSE

予測モデルの構築



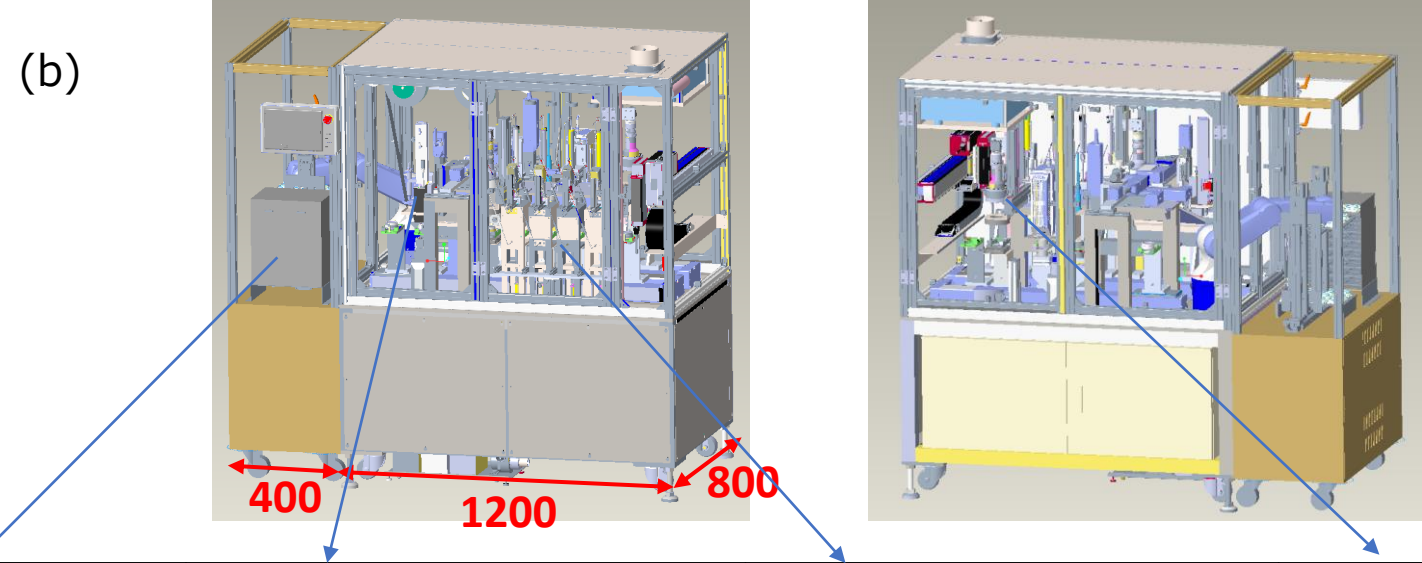
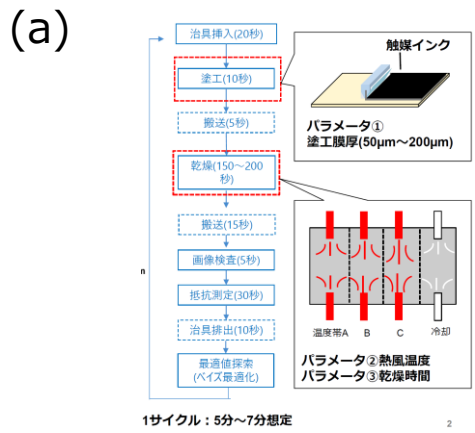
特性高速推定 (サロゲートモデル)

3. 研究開発成果について (要素開発, 堀場製作所) **HORIBA** (標準プロセス, 東大)



- ・ 装置構成, シート固定・塗布・乾燥・測定 of 要素技術開発中.
- ・ 塗布ノズル先端の乾燥が課題


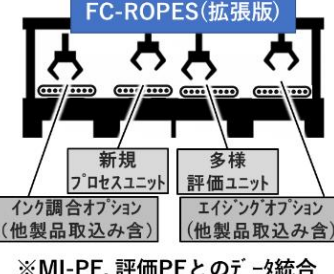
- ・ 探索範囲検討中
- ・ 最適化システム導入中



項目	①シートホルダ	②塗布機構	③乾燥機構	④測定
イメージ				
設計ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・ R to RよりもTP保管容易なホダ形式 ・ シート材質: PTFE 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 膜厚制御 (50 μm~200 μm) ・ デイスン方式 ・ 塗布直後の膜厚測定 ・ 平行出し、捨打機構 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複数温度帯での乾燥機構 ・ 温度モニタ 炉内 (熱電対) サンプル (放射温度計) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非接触: 画像・表面粗さ ・ 接触: 電気伝導率

4. 今後の見通しについて



	実績 JST-MIRAI(2019-2020)	本提案 NEDO(2023-2024)	システム化(2025)後 拡張ユニット例(2027)	～ 2030
システム イメージ	 <p>PIデモ</p> <p>ロボットとAIを組み合わせて燃料電池などの電極の開発を効率化する (東京大学の長藤圭介准教授提供)</p>	 <p>FC-ROPES(プロト)</p> <p>塗布 → 乾燥 → 非接触 → 接触</p> <p>プロセスユニット → 評価ユニット</p>	 <p>FC-ROPES(拡張版)</p> <p>新規プロセスユニット / 多様評価ユニット</p> <p>インク調合オプション (他製品取込み含) / エイジングオプション (他製品取込み含)</p> <p>※MI-PF, 評価PFとのデータ統合</p>	<p>FC-ROPESを用いた高スループット探索で開発された</p> <p>新プロセスの実用への活用</p> <p>および</p> <p>実製品の社会実装</p>
塗布方法 【塗布パラメータ】	ピペッティング 【滴下量】	ダイコータ 【膜厚, 速度】	高速スプレーコータ (新手法) 【距離, 流速, 流量】	
乾燥方法 【乾燥パラメータ①】	ホットプレート 【温度, 時間】	ホットプレート (下) 【温度, 時間】	→	
乾燥方法 【乾燥パラメータ②】	—	熱風 (上) 【温度, 風量, 時間】	赤外加熱, 誘電加熱 【出力, 時間】	
非接触/広範囲 評価方法 【目的関数①】	カメラ 【ひび割れ率】	カメラ, レーザ顕微鏡 【ひび割れ率, ダマ, 凹凸】	+ 赤外カメラ, + X線 【アイオノマ分布, + 内部欠陥】	高性能 高生産性 FC開発 ループ が浸透
接触/局所 評価方法 【目的関数②】	—	接触端子 【電気伝導率】	+ 加湿水素雰囲気, + 接触子 【発電インピ, + 嵩密度】	および
ロボット	3軸ハンド×2 (ピペッティング, カメラ)	開発項目	→	FC-Cubic を中心とした オープン イノベーション への パラダイム シフトが浸透
基板	ガラス, シリコン	電解質, PTFE, GDL FC-Cubic標準ホルダ	→	
拡張性	低い	評価方法はモジュール化し 選択・追加可能	→	
運用方法	デモどまり	要素技術 確立	FC-Cubic試運用 (2025) → 本格運用 (～2027) 各社導入検討 (～2027)	

- 実用化・事業化のイメージ : FC-Cubic、AFCでの活用、成果が実電池に活用 (～2030)
- 今後の課題と対応方針 : 混合プロセス, 評価プロセスとの連携
→ 次期事業、サンプル標準化の検討