

1. 事業概要（事業期間：2022年7月～2025年3月）

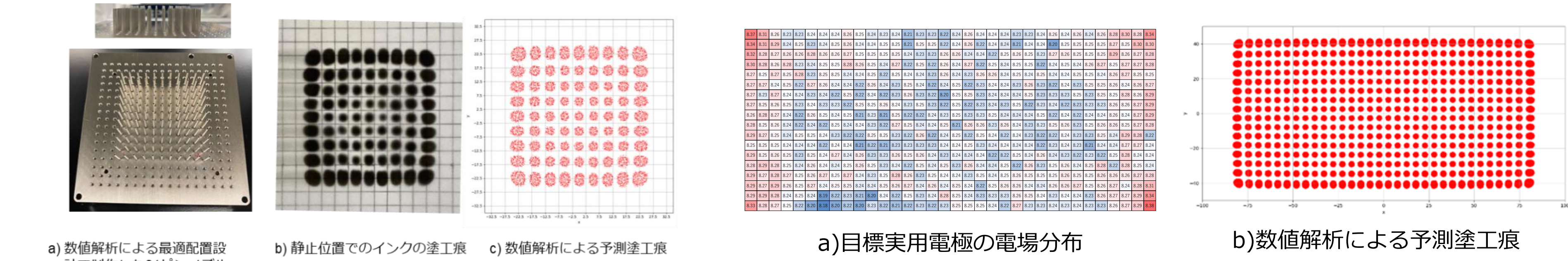
事業目標：研究開発用生産プロセス規模の「Ptの有効性を倍増可能な精密塗工と乾燥工程フリーを実現する業界初のマルチノズル式静電スプレー(ES)法」を、将来的に大量生産が可能な革新的プロセスへと進化させる。小規模装置から本格量産性のある装置への進化のマイルストーンとして、触媒有効性を50%・触媒層性能20%を向上させ、ダイ塗工比で乾燥炉長比50%減相当の乾燥負荷を低減する、500ピン規模のノズルデバイス塗工を、実生産ラインに重要と考えられる1000ノズル規模も見据えながら実現する。

背景：ES法はポーラスでアイオノマー被覆率の高い触媒層を形成可能なことから、MEA性能向上の手段として非常に有用である。また塗工プロセス中に触媒インクが微細液滴として飛散することにより急速に乾燥するため、別途の乾燥工程を必要とせず省エネルギーな塗工プロセスを実現し、カーボンニュートラルへも高く貢献する。課題として塗工速度の低さと、塗工の安定性が作業者の経験や技量に依存することが挙げられている。我々は既にシングルピンノズルを72ピンまで多連化することによって塗工速度の改善に一定の成功を収めている。本報告ではノズルの更なる多連化と、塗工プロセスの安定化条件の定量化に向けた取り組みを示す。各種発電性能検証と計算科学アプローチによる多角的解析を実施、メカニズム解明を通してマルチノズル設計コンセプトを構築し、関連する各種プロセス技術をアジャイル開発で効率的に推進した。

2. 研究成果

① ES 法プロセスの要素技術原理解明 (山梨大学、大阪大学)

◆ 電場分布偏差を低減する実用サイズの数値解析を利用したノズル構造の最適化



静電場解析に基づき最適化された構造を持つ81マルチノズル(a)による塗工痕(b)と、荷電粒子の軌跡解析により予測した着弾地点(C)とは非常に高い類似性が見られ、数値解析の優位性が実証された。

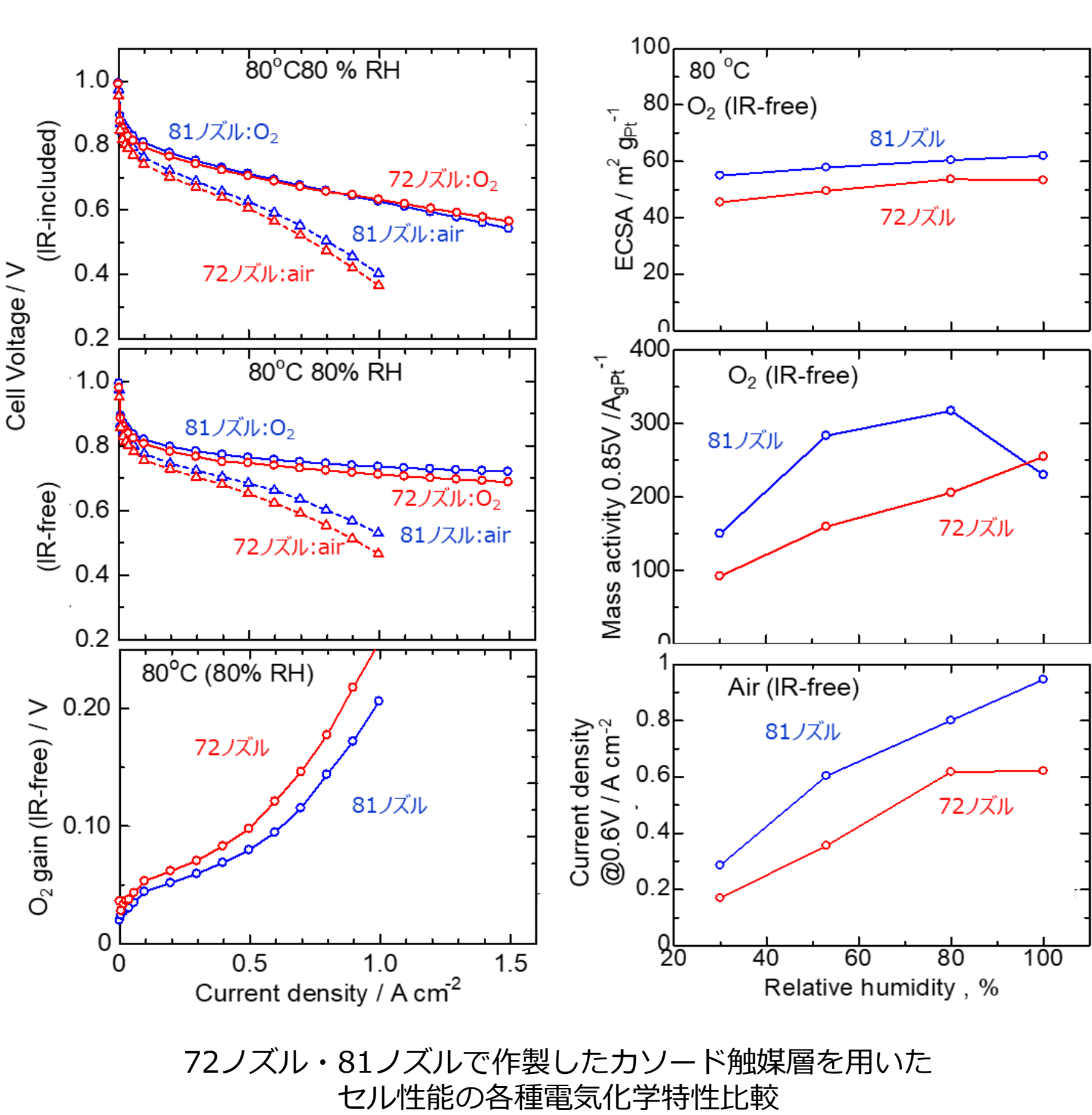
◆ 高時空間分解能可視化と計算科学によるESプロセス電極の材料から性能に至るデジタルエンジニアリングの確立



安定化吐出条件はインク組成に依存し、粘性、誘電率、界面張力、印加電圧、印可圧力等がパラメータとなる。これら諸特性を考慮した気液二相ミュレーション手法を構築し、吐出後のES挙動を解析した。このモデルは液滴群の蒸発および液滴に作用するクーロン力を考慮している。

② ES 法プロセスを用いた触媒層の性能の検証 (山梨大学)

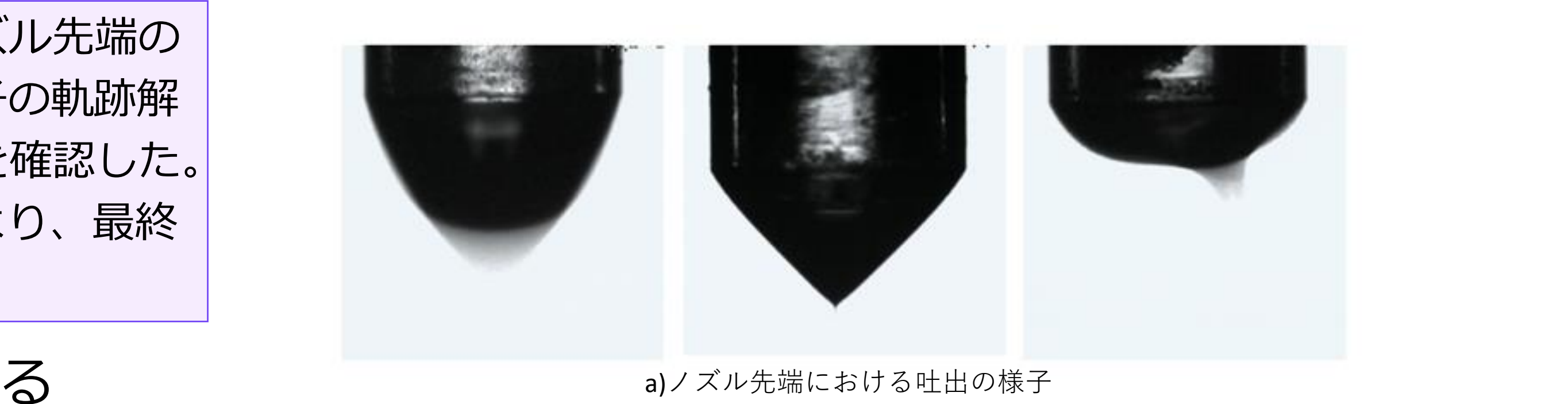
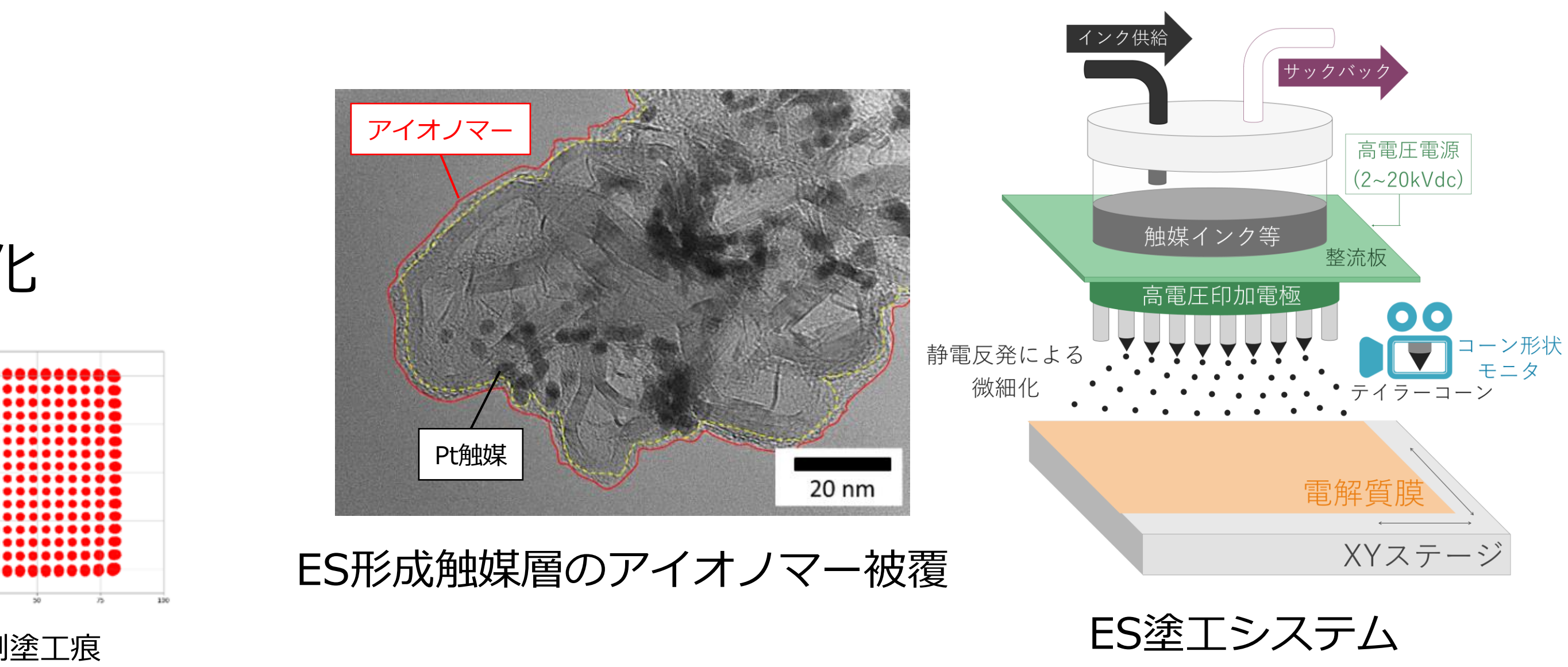
◆ 81マルチノズルと既存の72マルチノズルとのセル性能の比較



72ノズル・81ノズルで作製したカソード触媒層を用いたセル性能の各種電気化学特性比較

	カソード	アノード
Pt/C触媒	TEC10E50E	
触媒インク	アイオノマー	I:DS21, I/C=0.7
触媒量 (mg/cm ²)	約0.1	約0.2
塗工法	ES法	PSS法
塗工対象	Nafion膜 (NRE212, 50 μm)	ガス拡散層 (SGL, 228B)
ガス拡散層		SGL, 228B
触媒層面積		25 cm ²
評価セル	JARI標準セル	
評価セルパラメータ		

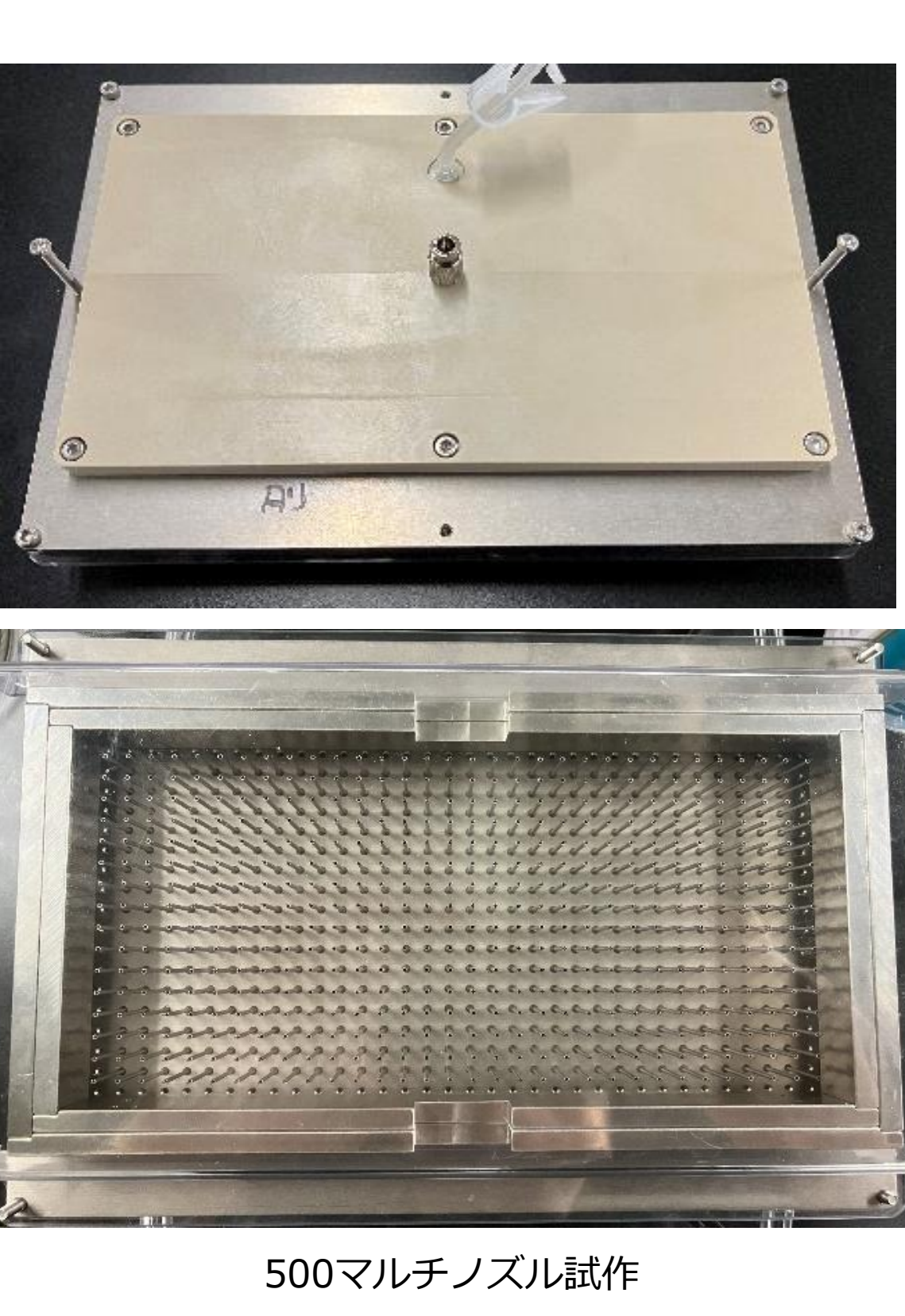
IR有無のIV特性、電気化学反応比表面積(ECSA)、重量比活性(MA)、O₂gain(O₂ vs. air性能比)、0.6Vでの電流密度の各種電気化学特性等すべての項目において、81マルチノズルでは性能の向上が見られ、数値解析シミュレーション技術も駆使したノズル構造改善の効果が実証された。今後、触媒層の均一性の詳細解析も進める。



ノズル近傍の吐出挙動を連続撮像できるシステムを構築し、混合溶液(H₂O, NPA, EtOH)・インクを対象に実験を実施した。吐出条件に依存して異なる吐出モードが発現することが示され、ノズル先端に形成されるメニスカスの頭頂角は従来のテイラーコーン角度とは必ずしも一致しないことを明らかにした(a)。メニスカス形状を支配する要因として溶液の界面張力に着目し、懸滴法による測定を行った(b)。

③ ES 法マルチノズルデバイスモジュール設計・制御技術開発 (メイコー)

◆ 500マルチノズルの設計・製作



500マルチノズル試作

81ノズルの検証結果をもとに、500ノズルデバイスを設計・製作した。500ノズルは81ノズルの6倍以上の塗工ピンの施工が必要であり、組み立て作業の難易度も格段に上がる。そのため、非接触測定器(キーエンス)を活用し、組立容易性を確保しつつノズルユニット全体での各ピンの高さ・位置の精度を向上させる手法の構築も図った。最外周は電場制御用ピンの構成に代わり、静電場制御プレートを脱着できる構造を採用した。今後、本ノズルを用いてES吐出実験を行い、静電場分布の偏差低減の効果検証および課題抽出を行い、改良を進める。