

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A2-3

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/
水素利用等高度化先端技術開発/
**高分子形と酸化物形の技術融合による
電極一体型次世代PEFCの創製**

発表者名 佐々木一成（代理：野田志云）

団体名 国立大学法人九州大学

発表日 2025年7月16日

連絡先：
国立大学法人九州大学
主幹教授（副学長）佐々木一成
(sasaki@mech.Kyushu-u.ac.jp)

事業概要

1. 期間

開始：2020年9月

終了：2025年3月

2. 最終目標

高耐久性・高ロバスト性（6万回の起動停止サイクル耐久性など）を示せる電極一体型PEFCのプロトタイプセルを試作・開発し、2030年頃の産業界FCCJ目標である電流密度0.2A/cm²の定常走行でセル電圧0.84Vと、電流密度3A/cm²での加速走行でセル電圧0.7Vの出力の実現に資する革新技术コンセプトを構築するとともに、非カーボン系とカーボン系の材料・セルについて最終目標達成に向けて残された本質的な技術課題をメカニズムの理解を含めたサイエンスとして体系化して、更なる技術開発への指針を示す。

3. 成果概要

- PtTaCo三元触媒を開発し、性能と耐久性向上実現
- 0.2A/cm²の0.84V目標達成（IRフリーで0.8603V）
- 3A/cm²の0.70V目標達成（IRフリーで0.7365V）
- 触媒からガス拡散層までの知財群構築、量産可

【最終達成目標】電極触媒層、マイクロポーラス層、ガス拡散層に分かれているPEFC電極開発を一体で進め、非カーボン系やカーボン系の革新材料を駆使して

- 電流密度0.2A/cm²の定常走行でセル電圧**0.84V**達成
- 電流密度3A/cm²での加速走行でセル電圧**0.7V**達成
- 起動停止サイクル**6万回**耐久性達成
- 負荷変動サイクル**40万回**耐久性達成

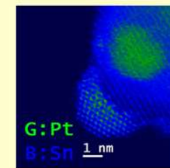
新規・代替材料を用いた電極一体型セル(例)

- Pt系触媒/Nb-SnO₂担体/メソポーラスカーボンファイバー/最適MPL・GDL
- Pt系触媒/メソポーラスカーボンファイバー(担体兼GDL)
- Pt系触媒/Nb-SnO₂担体/撥水MPL・GDL
- Pt系触媒/金属GDL(MPL)

革
新
要
素
技
術

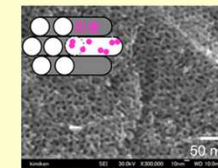
技術統合

非カーボン材料
(Nb-SnO₂担体、
Sn金属担体など)
【佐々木ほか】



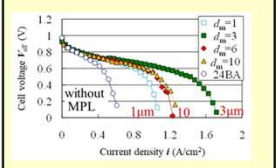
技術統合

カーボン材料
(メソポーラスカーボン
ファイバーなど)
【林ほか】

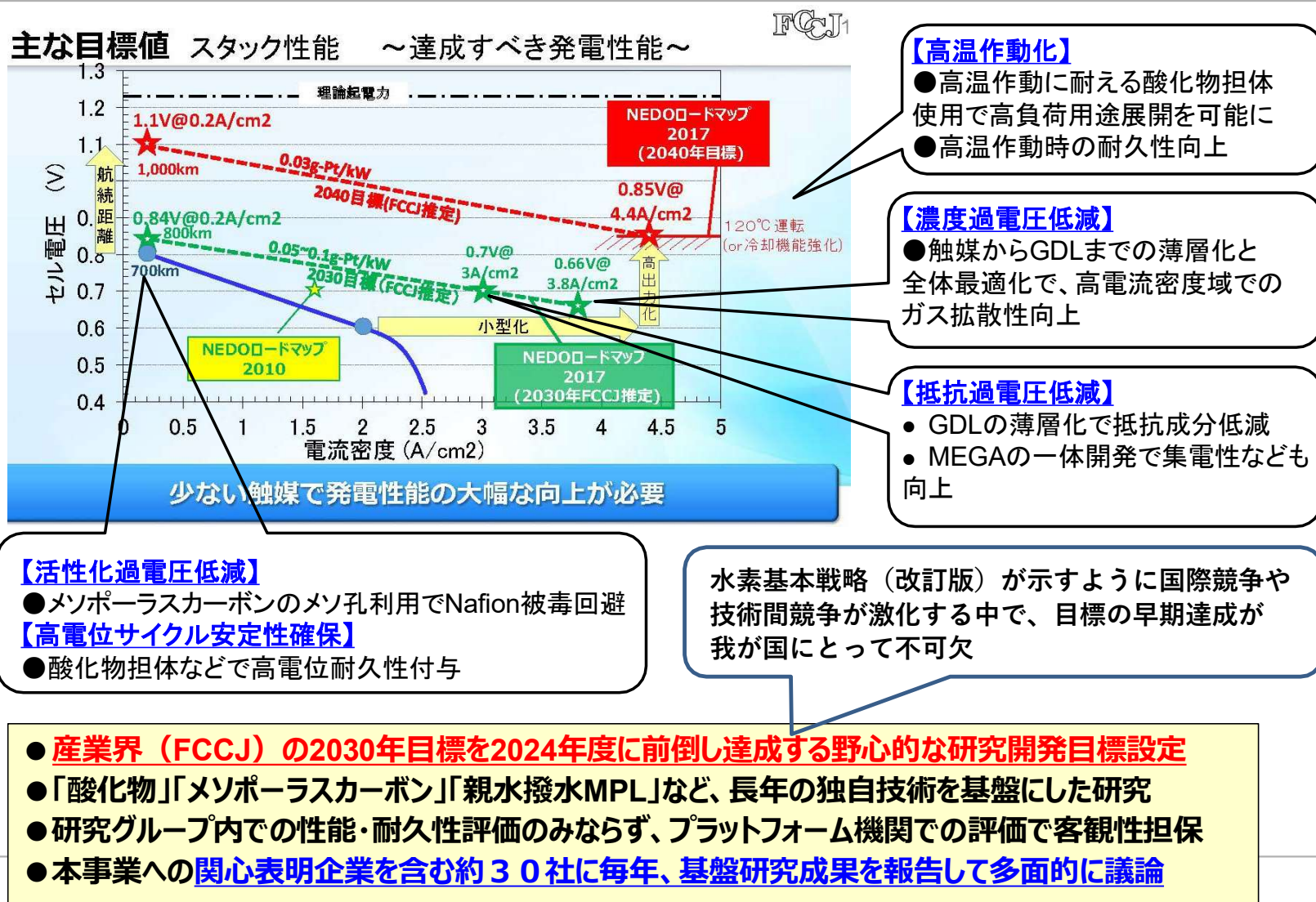


技術統合

GDL/MPL材料
(撥水親水MPL/GDL、
金属GDLなど)
【北原、佐々木ほか】



1. 事業の位置付け・必要性



2. 研究開発マネジメントについて

【研究開発の目標と目標設定の考え方（根拠）】

- 2030年目標（性能、耐久性）を2024年度中に達成（九大とプラットフォーム機関の両方で検証）

【研究開発のスケジュール】

- 中間評価までに低電流密度域（ $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ ）での性能目標の達成、事業終了までに高電流密度域（ $3\text{A}/\text{cm}^2$ ）までの性能目標や耐久性目標を見通す。

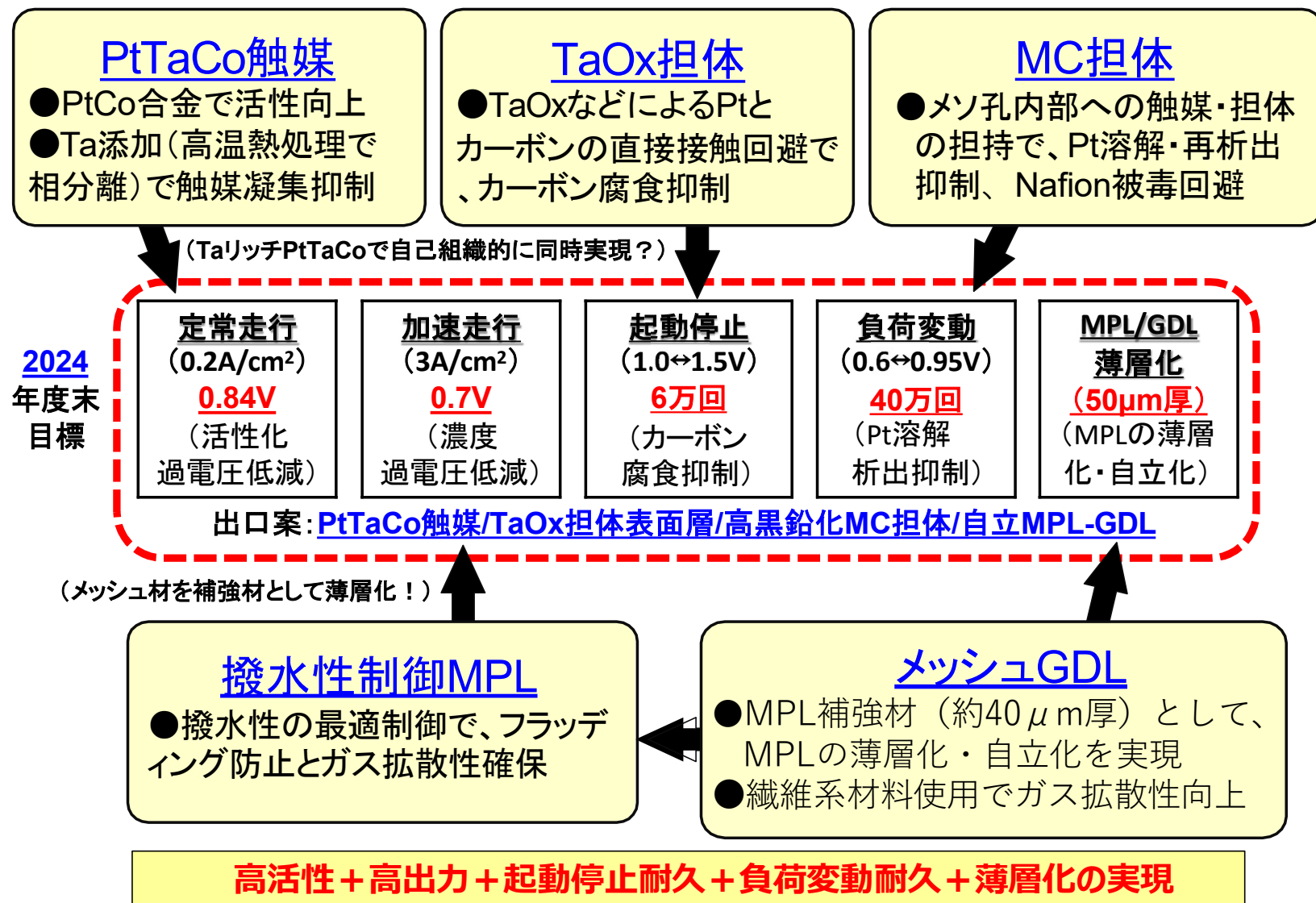
【研究開発の実施体制】

- 九州大学で集中的に研究開発を進め、プラットフォーム機関で目標達成状況を客観的に評価して、開発研究にフィードバック（九大からの提出サンプルは20種超）

【研究開発の進捗管理（マネジメント）や知的財産戦略に関する独自の取組】

- 九州大学内に「水素燃料電池知財特区」（委員長：佐々木）を作り、研究者主導で特許出願対応（九州大学からの単独特許出願20件に結実）

3. 研究開発成果について：研究開発の概要

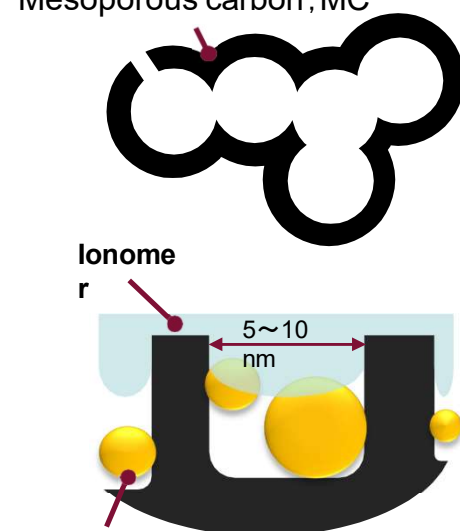


3. 研究開発成果について：主コンセプト（MC + **酸化物** + 合金触媒）

高耐久化・高活性化へ向けて

メソポーラスカーボン^[1]

Mesoporous carbon; MC

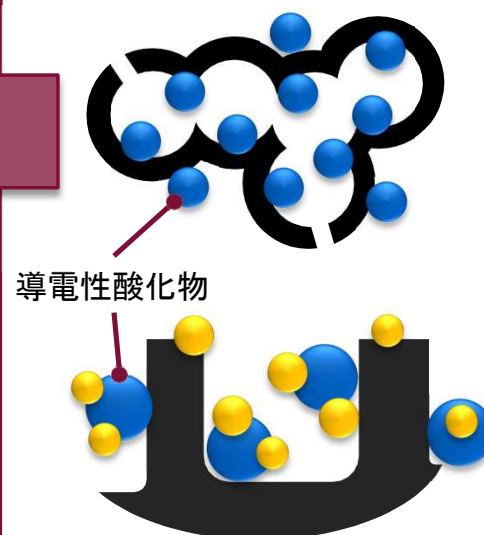


○アイオノマ被毒の抑制
⇒ **ORR活性**の向上

○ Pt凝集の抑制
⇒ **負荷変動耐久性**向上

[1] A. Hayashi *et al.*, *Electrochem. Acta.*, **53**, 6117 (2008).

酸化物担体^[2,3]



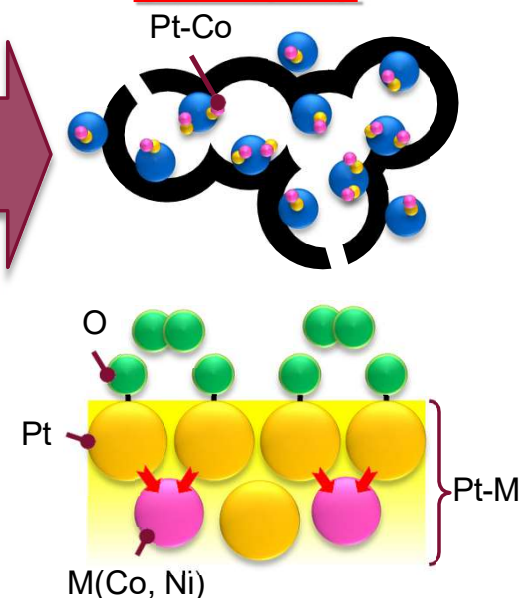
○PtとCの直接接触なし
⇒ **酸化腐食**の抑制

◎**Sn系担体**^[2]または
Ta系担体^[3]で**耐久性**向上。
相分離で自己組織的形成

2 S. Matsumoto *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, **165** (14), F1164 (2018).

3 K. Sanami *et al.*, *ECS Trans.*, **114** (5) 85 (2024).

合金触媒^[4,5]



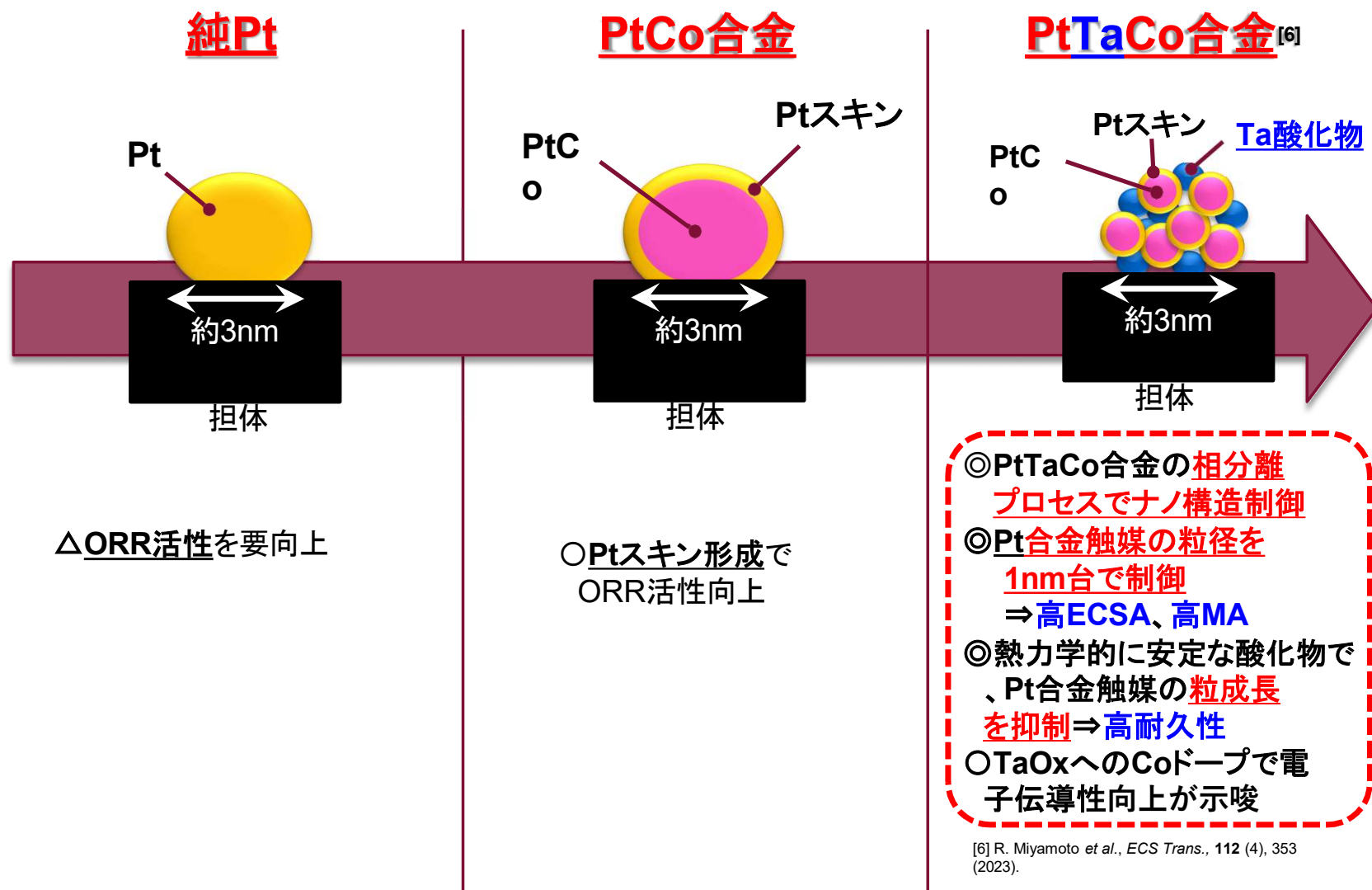
○Pt-Pt間距離の最適化
(粒子内部に合金元素)

◎**ORR活性**向上
(**PtTaCo**など)

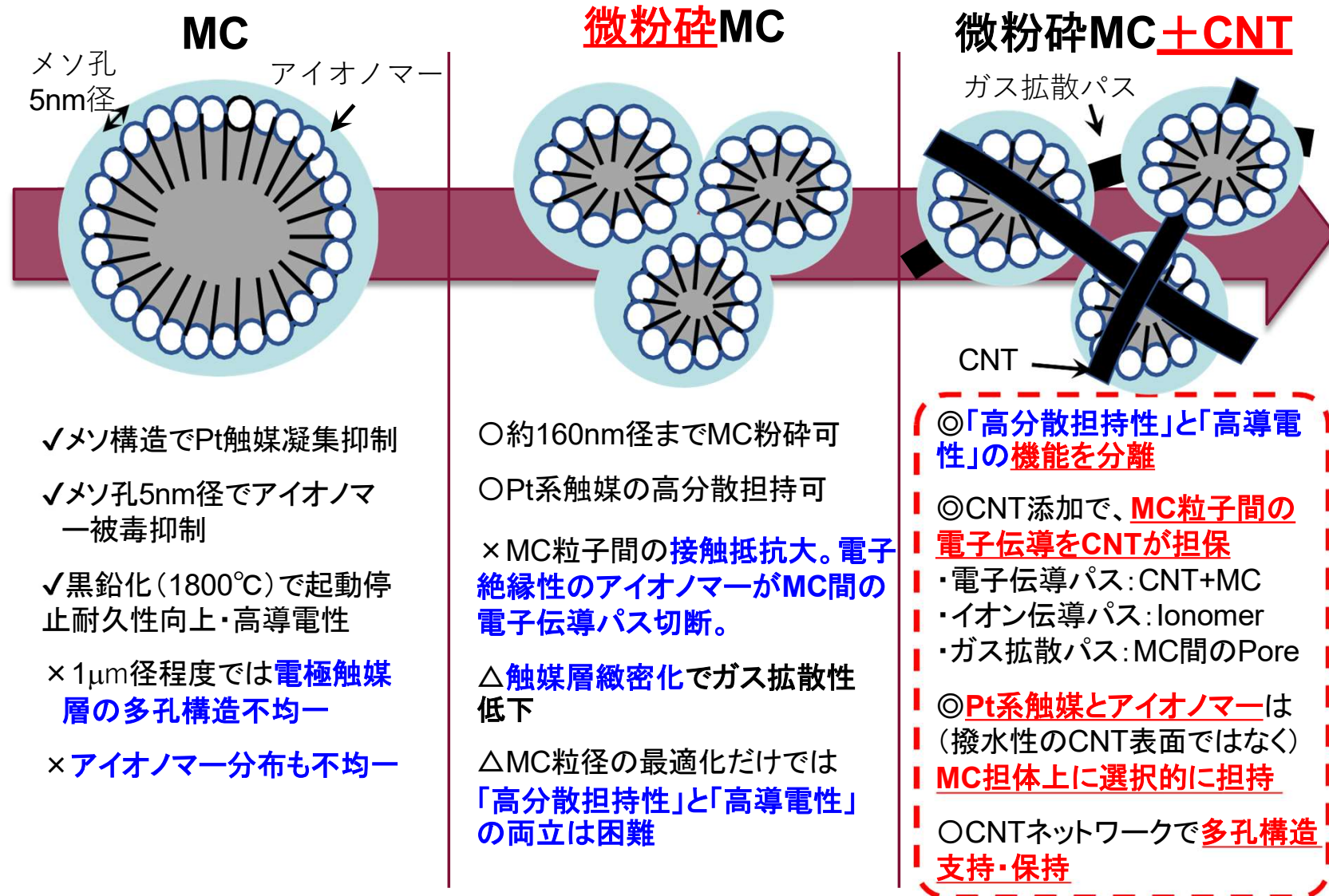
4 M. Oezaslan *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, **159**, B394 (2012).

5 M. Asano *et al.*, *ECS Trans.*, **75**, 809 (2016).

3. 研究開発成果について：設計指針：三元触媒（触媒微細化＋酸化物担体）



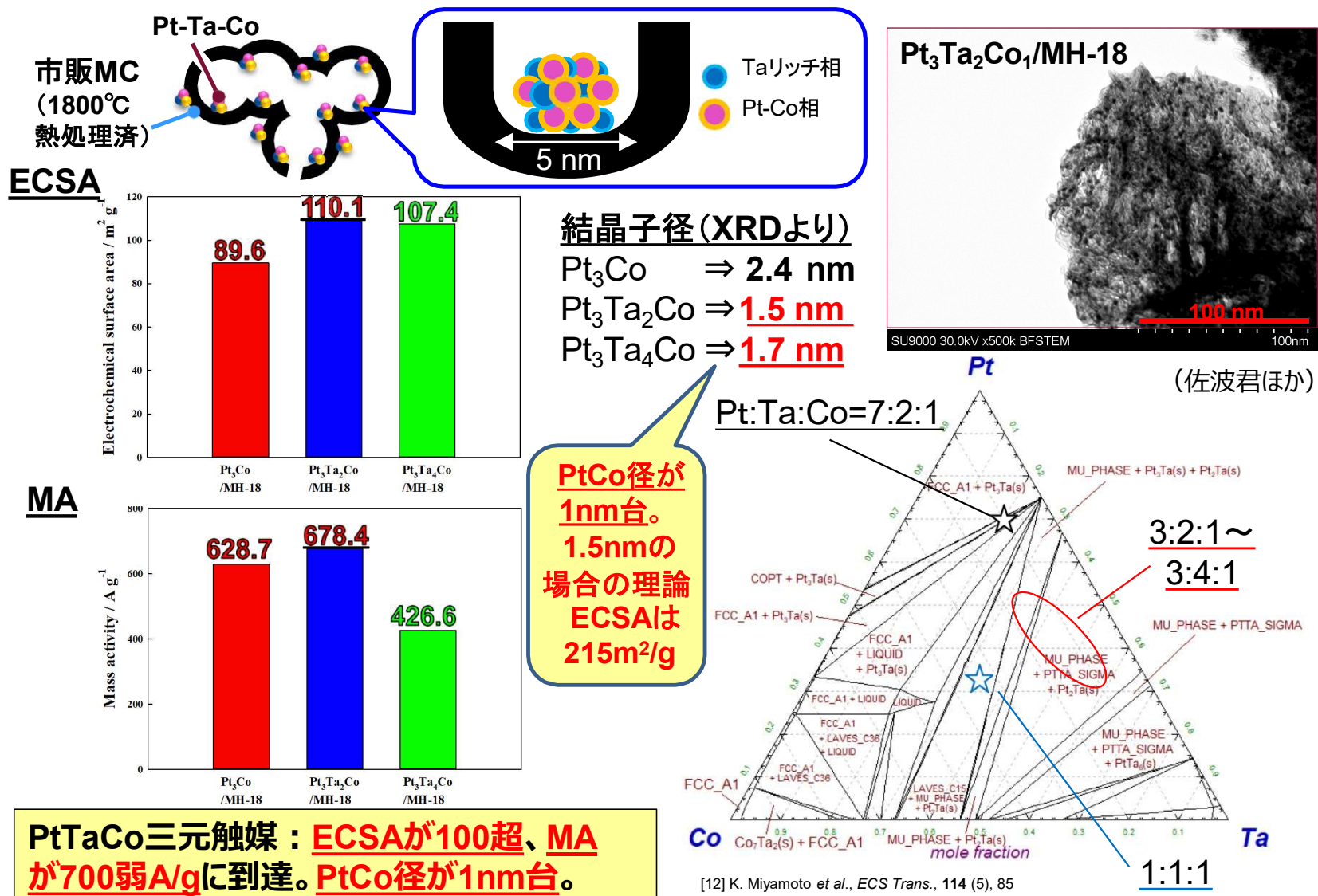
3. 研究開発成果について：設計指針：MC + CNT担体（高分散担持性 + 高導電性）



3. 研究開発成果について：設計指針：自立型薄層MPL/GDL（ガス拡散抵抗低減）

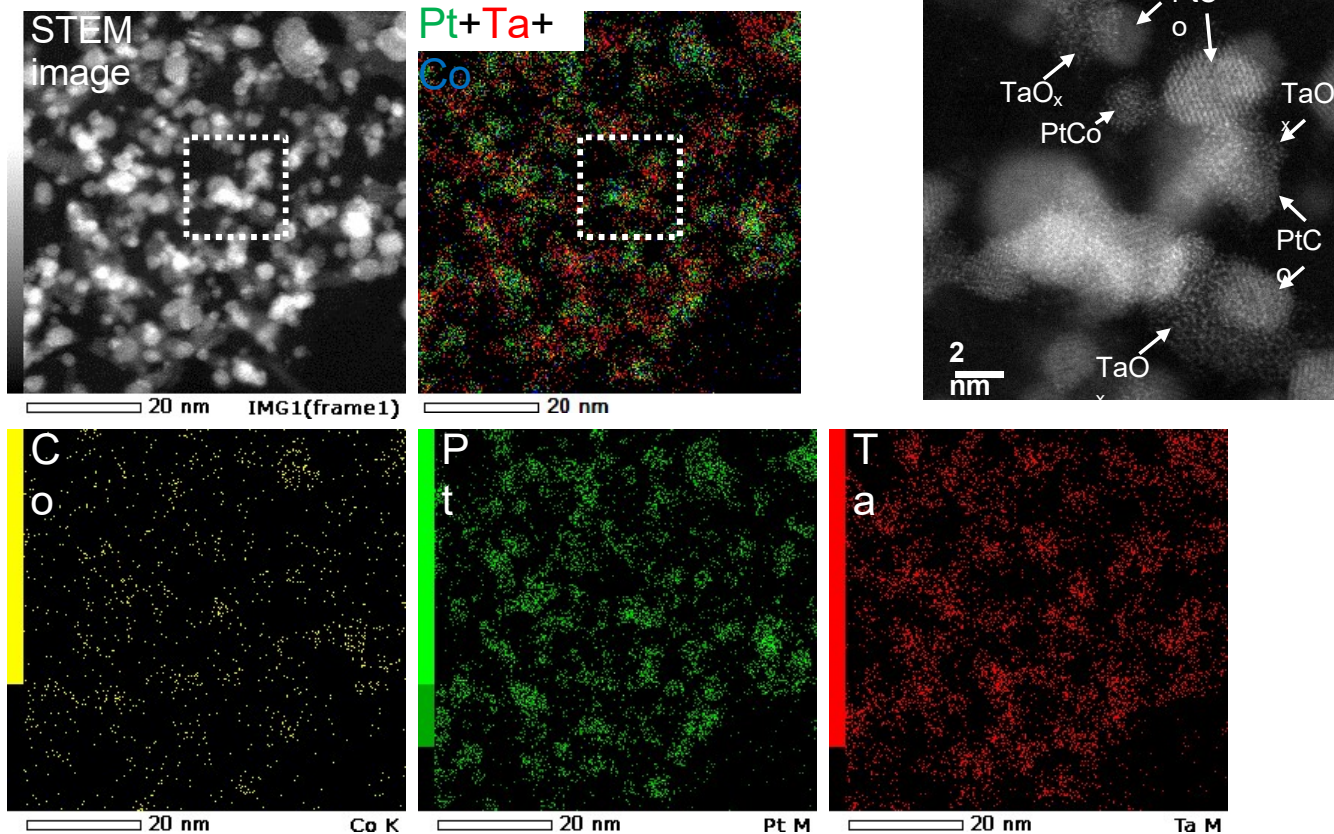


3. 研究開発成果について：触媒開発（MC担体利用）



3. 研究開発成果について：触媒ナノ構造制御（触媒②⑩）

Pt₃Ta₂Co₁/(MC+CNT(9:1)) 酸処理（水系調製、MC400nm径、Pt担持率35%）
STEM-EDS元素分布図

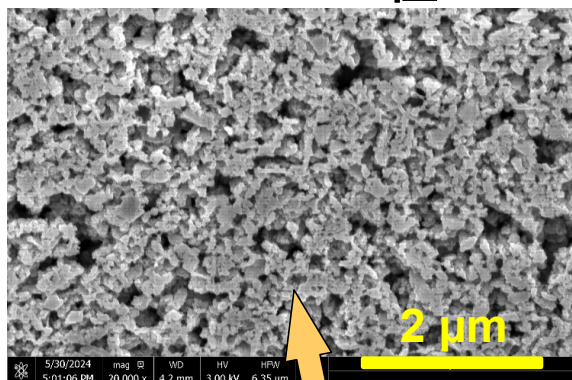


- 同時担持でない分PtCo触媒径が3nm強と少し大きめだが、**ナノコンポジット構造形成**
- **既存のPtCo触媒のMCへの担持プロセスの前にTaO_x含侵を追加するだけで、すぐに量産可**

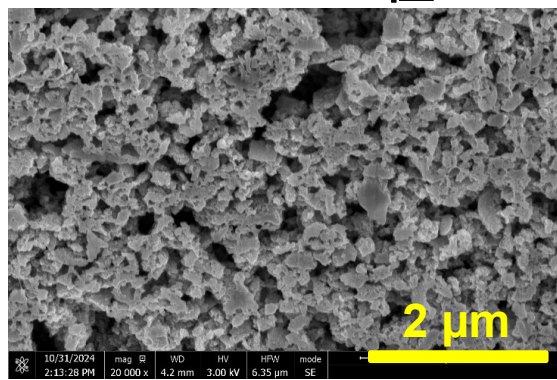
3. 研究開発成果について：電極触媒層の設計・制御

【電極触媒層断面：Pt7Ta2Co1/MC(CNT無し)】

MC160nm径

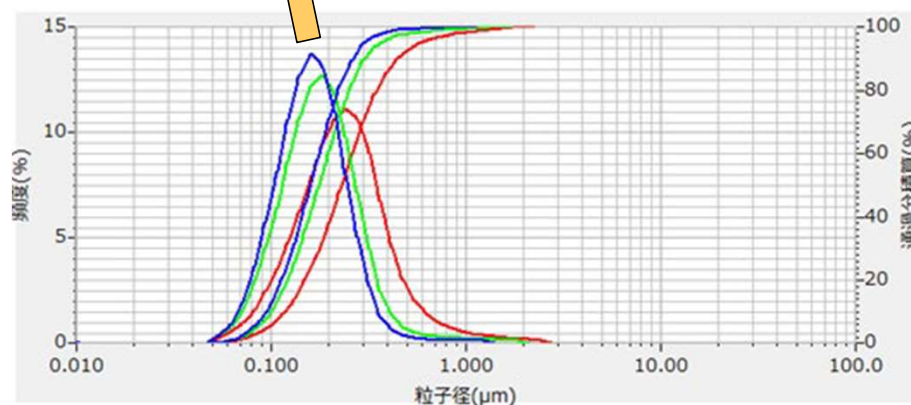
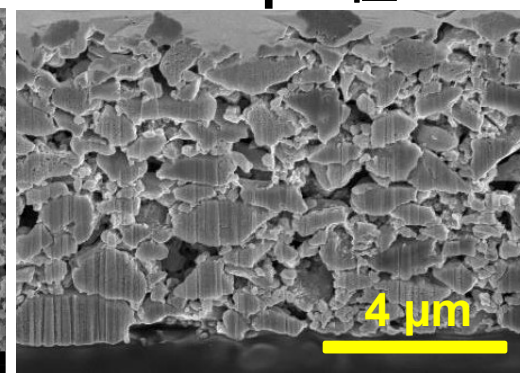


MC400nm径



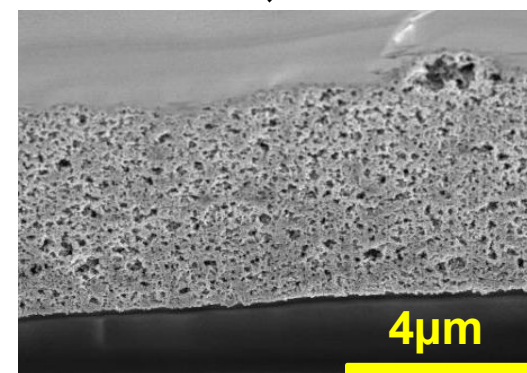
(鈴木君ほか)

MC1μm径



- 粉碎によって、より均一な多孔構造へ
- 大きなMC粒子では、アイオノマーネットワークも粗く
- 細かいMC粒子では、MC粒子間の接触抵抗増大

比較:KB担体での断面
(TEC10E50E)



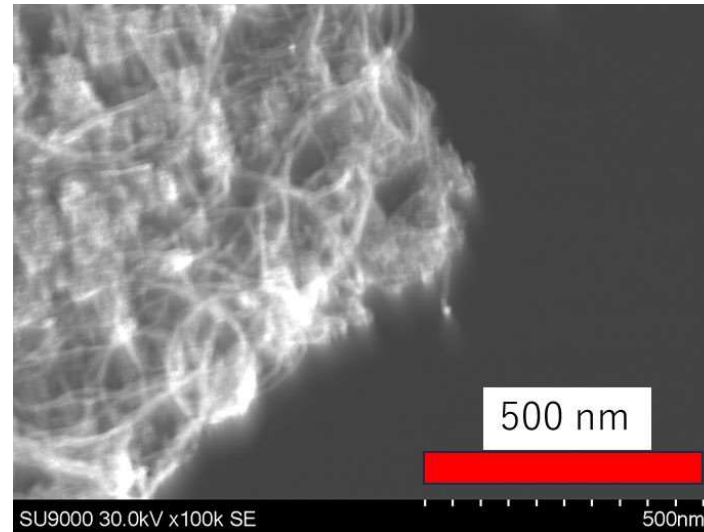
[13] T. Suzuki et al., ECS Trans., 114 (5), 287 (2024).

3. 研究開発成果について：MCとCNTの均一混合・複合化

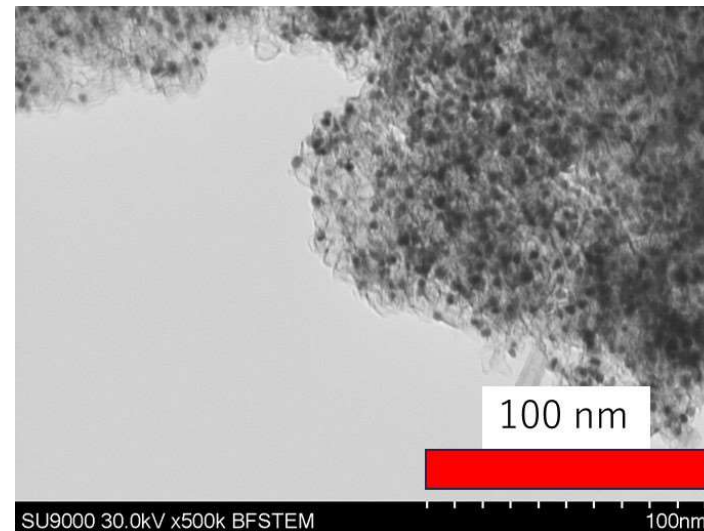
【MC+CNT担体】

Pt/MC+CNT(MC:CNT=9:1)

- MC粉碎とCNT混合を同時に行うことで均一複合化
- Pt触媒はMC上に選択的に担持
- MC粒子間の導電パス付与
 - ・接触抵抗低減
- CNTでナノレベルの多孔性付与
(CNT表面上へのアイオノマーコート少)



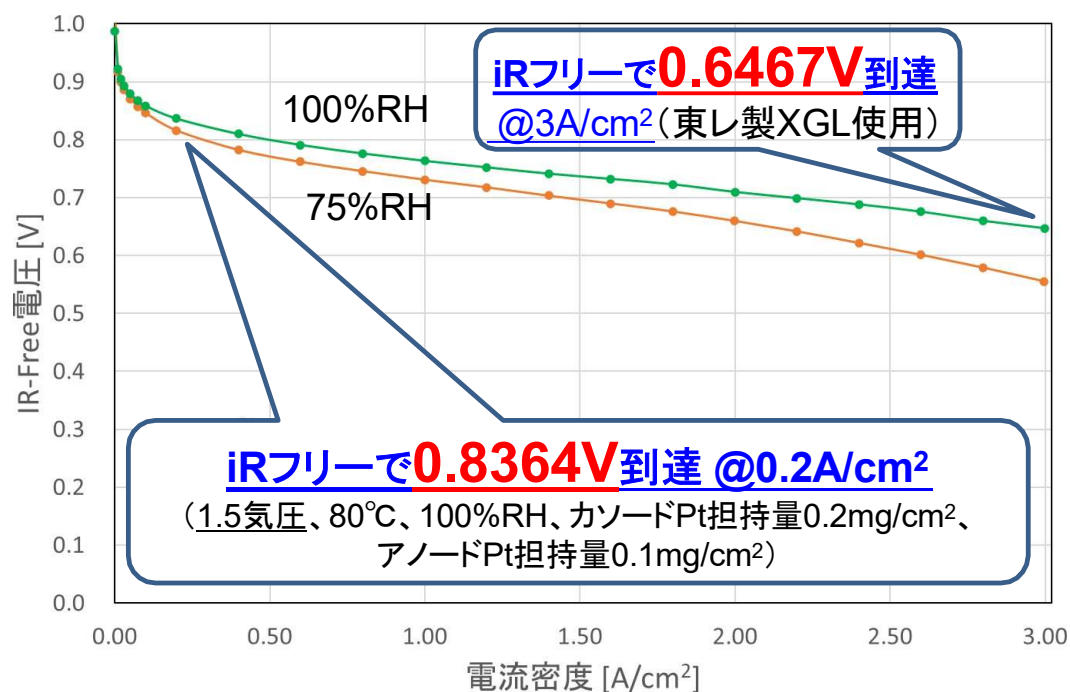
(鈴木君ほか)



3. 研究開発成果について：KB担体で0.84V目標をほぼ達成（触媒①）

（九大でacac法で触媒調製）

0.8364V=中間目標**0.84V** at 0.2A/cm²**ほぼ達成**
0.6467V=最終目標**0.70V** at 3A/cm²**達成目前**



アノード 電極触媒	Pt/C (TEC10E50E)
カソード 電極触媒	Pt₇Ta₂Co₁/KB
電解質膜	Nafion212
電極面積	1 cm ²
アノード 白金担持量	0.1 ±0.01 mg/cm ²
カソード 白金担持量	0.2 ±0.01 mg/cm ²
圧力	50kPaG (1.5気圧)

九州大学（佐々木研）開発中の高活性触媒適用などで、産業界2030年目標の具現化へ

3. 研究開発成果について：セル性能目標到達（Nafionイオノマー＋触媒②③/MC＋CNT）

PFご報告「触媒②③」（2025年1月31日）

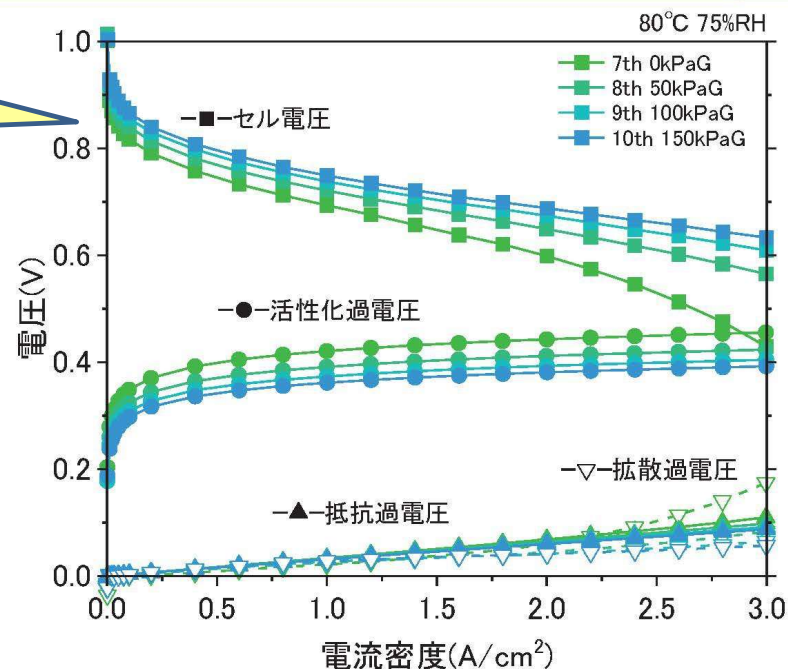
（触媒メーカーが水系調製）

75%RH 0-50-100-150kPaG

FC・Platform

山梨県産業技術センター

150kPaGでは
0.2A/cm²で
0.84V到達



150kPaGでは3A/cm²
で約0.7Vに接近
（高酸素透過性イ
オノマー使用で更なる
向上を期待）

加圧により性能は大きく向上

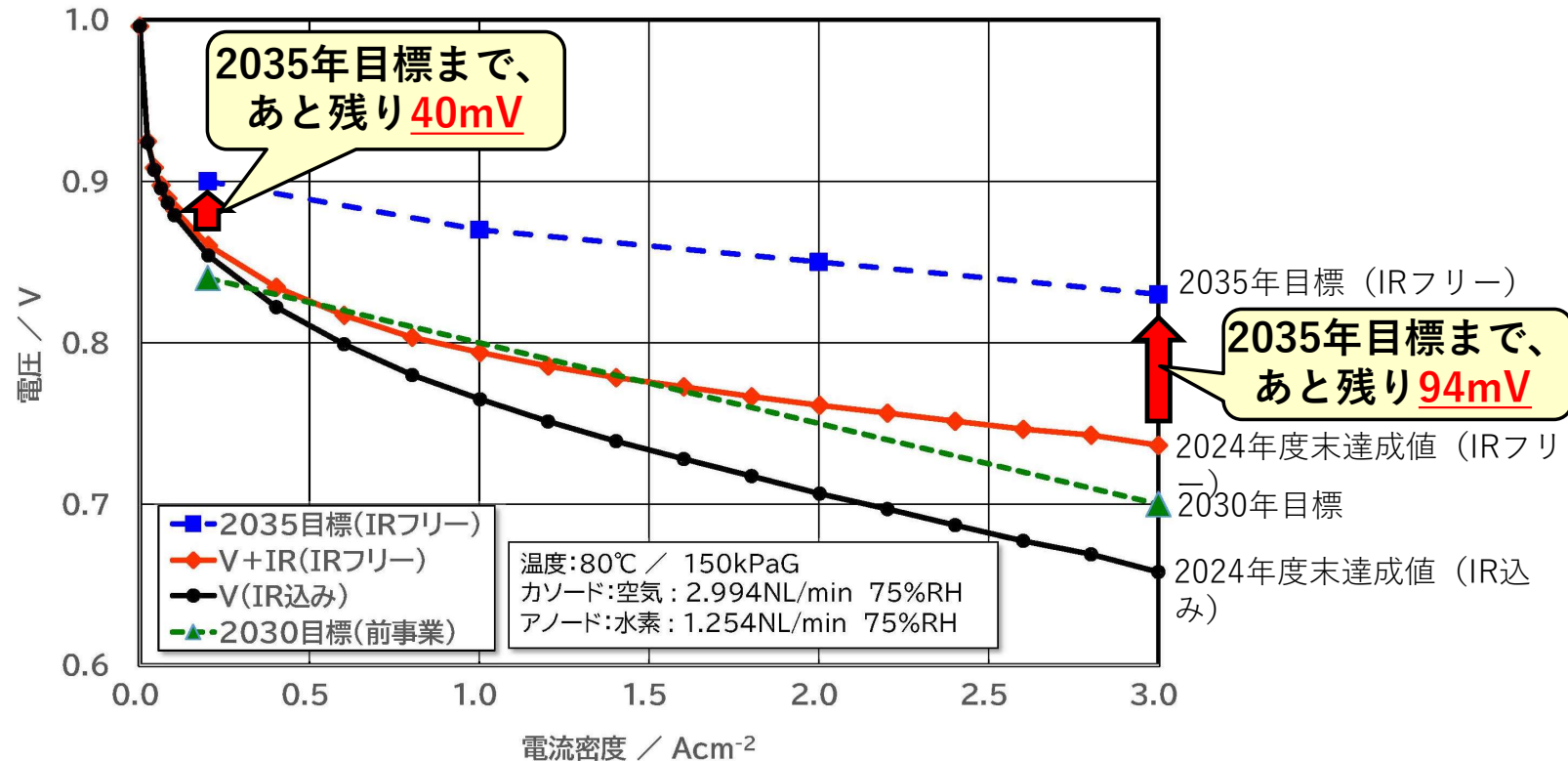
10th 150kPaG : 0.840 V @0.2 A/cm²、0.633V@3 A/cm² (IR-Free: 0.721V)

- 150kPaGで性能目標0.840V@0.2A/cm²（IR込み）をPF機関で確認
（IRフリーで0.8466V@0.2A/cm²）
- 150kPaGで性能目標0.721V@3A/cm²（IRフリー）をPF機関で確認

3. 研究開発成果について：セル性能目標到達（HOPIイオノマー＋触媒②③／MC＋CNT）

PFご報告「触媒②③」（2025年3月31日）

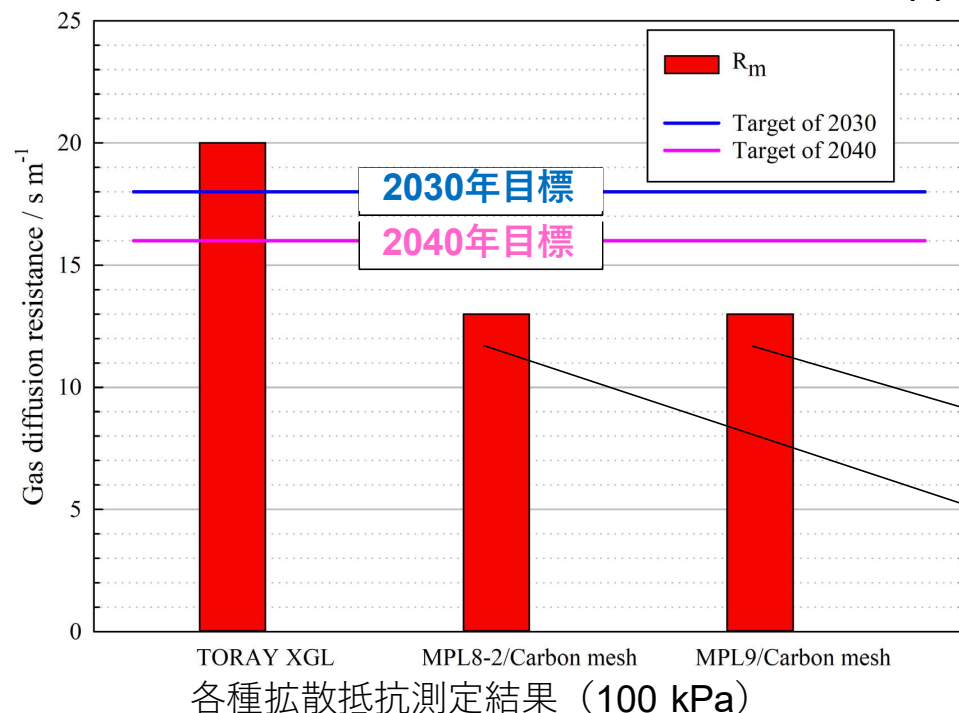
（触媒メーカーが水系調製）



NEDO2035年目標（IRフリー）0.2A/cm²で0.90V、3A/cm²で0.83V
に対して、「触媒23」においてIRフリーで
●0.2A/cm²で0.8603V達成（2035年目標達成へあと残り40mV）
●3A/cm²で0.7365V達成（2035年目標達成へあと残り94mV）
（PF機関2025年3月31日ご報告）

3. 研究開発成果について：自立型薄層MPL/GDL：分子拡散抵抗低減（13 s/mまで）

PFご報告「MPL/GDL⑨⑩」（2024年11月7日）



・ MPLやGDLに由来する分子拡散抵抗： R_m

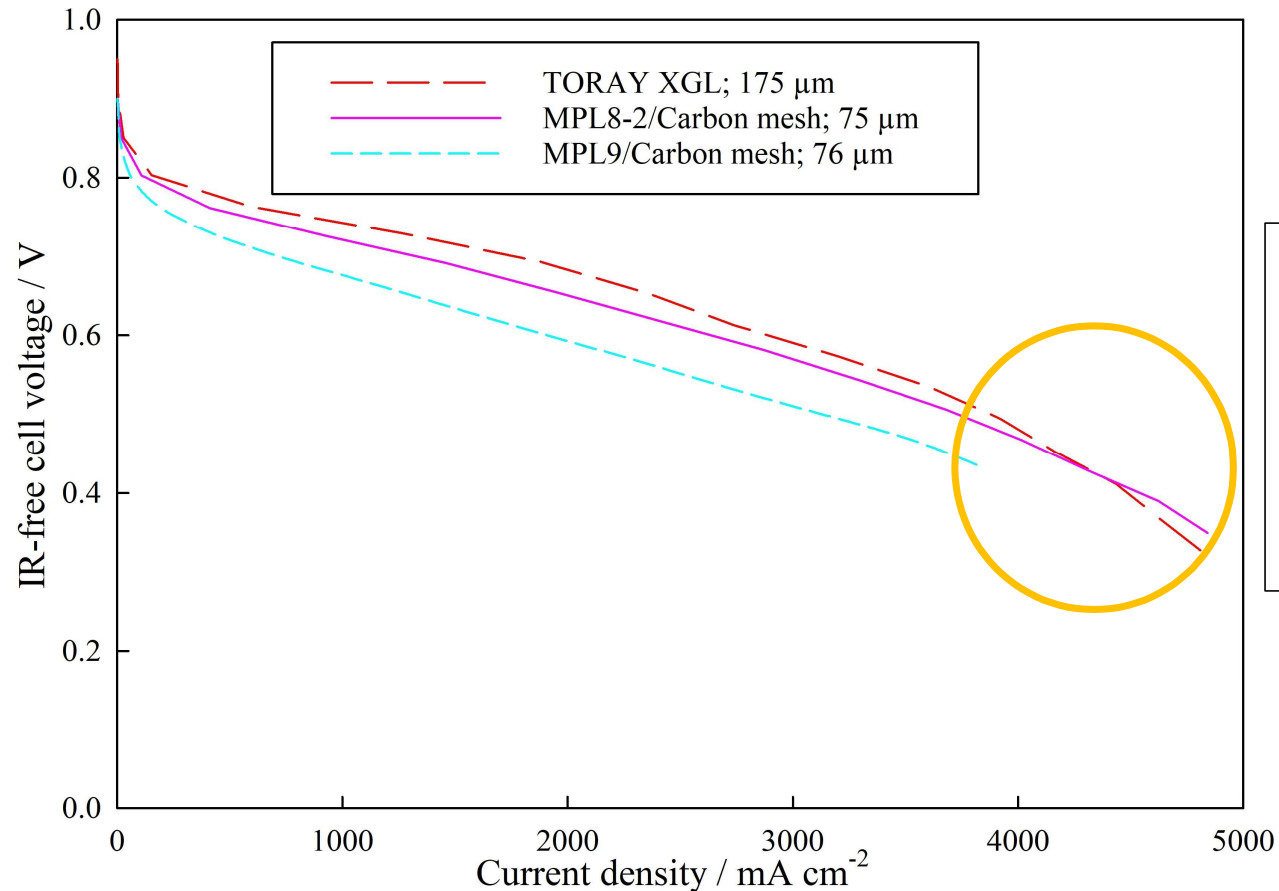
いずれの自作MPL/GDLの分子拡散抵抗において、**NEDOロードマップの2030年目標だけでなく2040年目標を達成[1]**

- ・ いずれの自作MPL/GDLも R_m はかなり低く、薄層化の影響が顕著に表れている。
 - ・ 分子拡散抵抗の低減には、MPL中に撥水/親水のチャンネルそれぞれを混在させることが重要[2]。CNTと、ABまたはCBの混合により、MPL中に親水/疎水チャンネルがそれぞれ作製できたことが一因か。
- FIB-SEMで断面観察を行い、多孔性などに関して詳細な研究を実施予定。

[10] M. Yoshikawa *et al.*, *ECS Trans.*, **114** (5), 391 (2024).

[2] P. Wang, H. Nakajima, and T. Kitahara, *J. Electrochem. Soc.*, **171**, 014501 (2024).

3. 研究開発成果について：自立型薄層MPL/GDL：薄層化でセル性能向上



PFご報告
「MPL/GDL⑨⑩」
(2024年11月7日)

測定条件

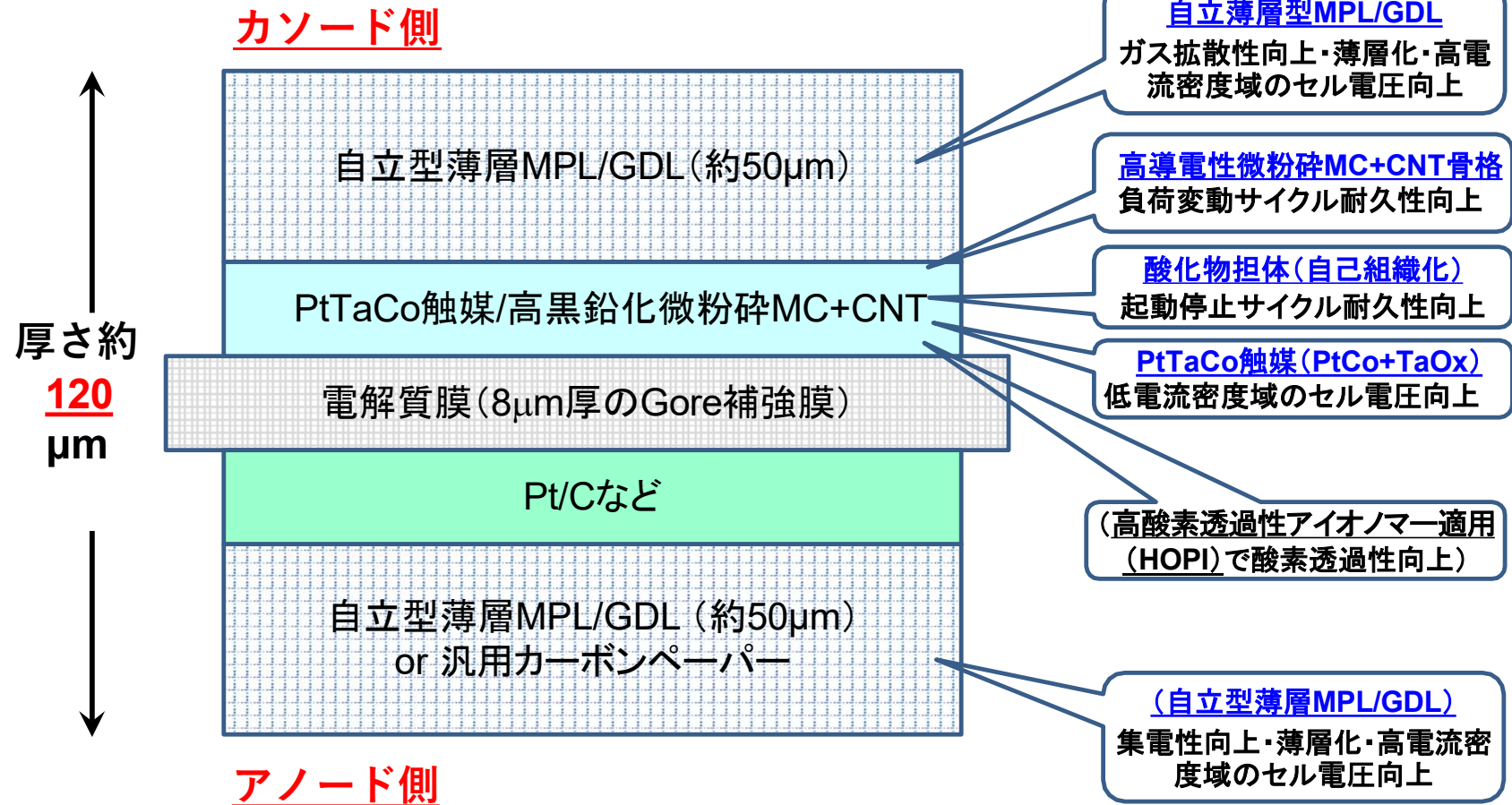
セル温度：80℃
加湿度：100%RH
電解質膜：5 μm
触媒担持量
：アノード 0.10 mg/cm²
カソード 0.20 mg/cm²

MPL/GDLを使用したセルのIV特性（PF機関による評価）

高電流密度域では東レ製XGLと同等かそれ以上のセル性能

3. 研究開発成果について：プロトタイプセル

プロトタイプ開発へ挑戦（プロトタイプ例）



3. 研究開発成果について：研究発表・講演、文献、特許等の状況

【研究発表・講演、文献、特許等】

- 学会発表・講演 48件
- 論文 31報（すべて英文）
- 特許出願 20件（すべて単独）
- 受賞 17件
- 広報・イベント 3件（FC-Cubicオープンシンポジウム開催など）

【第16回FC-Cubicオープンシンポジウム in 九州大学伊都キャンパス】 （2025年3月7日開催）



3. 研究開発成果について：まとめと今後の展望

【新材料・セル】

- PtTaCo三元触媒（コンセプト、組成）
- 微粉碎メソポーラスカーボン担体（最適粒径、作製法）
- 自立型薄層MPL/GDL（コンセプト、プロトタイプ）
- 九大プロトタイプセル（コンセプト、プロトタイプMEGA）

【知的価値】

- 材料設計コンセプト・指針（触媒からMEGAまで）
- 知財群（特許性がある研究成果は全て特許出願済（国内・PCT・主要国））
- 材料（特許出願済）から製造プロセス（ノウハウ）までのパッケージ開発
- 触媒メーカー量産性（利活用希望企業へ量合成サンプル提供可）
- 九大発「製品カタログ」：触媒①～②③、MPL/GDL①～⑪
(PF機関・九大測定データ付、特許出願済、ライセンシング可、触媒量産可)

【2035年ロードマップ目標（BOL）】⇒九大触媒のPF測定値（80℃）

NEDO2035年目標（IRフリー） 0.2A/cm²で0.90V、3A/cm²で0.83Vに対して、
「触媒23」においてIRフリーで（PF機関2025年3月31日ご報告）

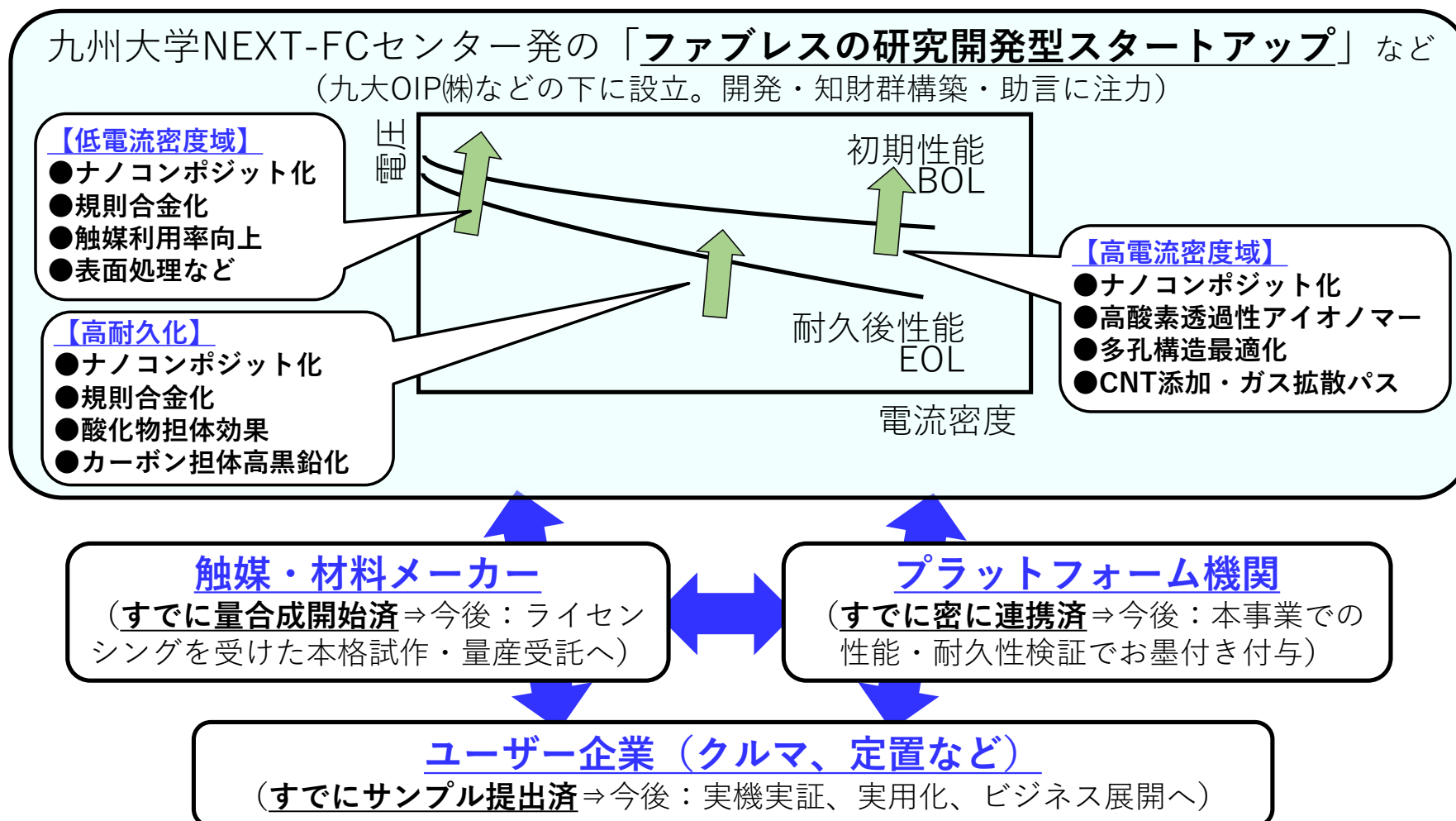
● 0.2A/cm²で0.8603V達成（2035年目標達成へあと残り40mV）

● 3A/cm²で0.7365V達成（2035年目標達成へあと残り94mV）

今後：現事業での「ゼロからイチの材料探索(試行錯誤)」から、「各種依存性・構造を定量的に把握しながらの原子・ナノ・ミクロレベルの階層的な材料設計」へ系統的に展開

【謝辞】本研究はNEDO「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（JPNP20003）」の支援を受けて実施されました。また、セル性能の一部はプラットフォーム機関の技術研究組合FC-Cubicにおいて行われました。関係各位に感謝します。

4. 今後の見通しについて：将来展望



「九州大学開発NEDO-MEA触媒」を発展⇒アカデミア発の水素イノベーションの成功モデルへ