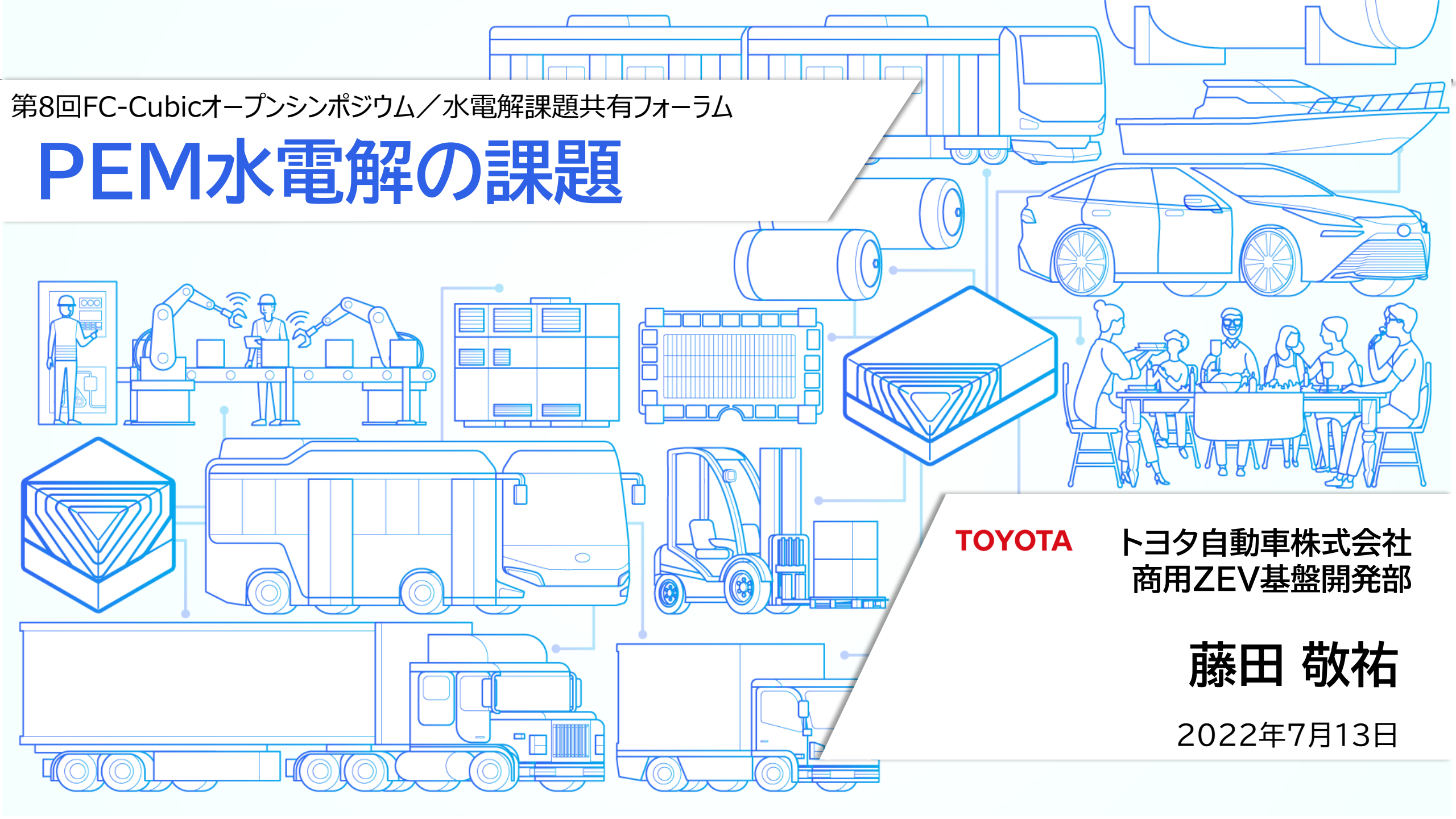


第8回FC-Cubicオープンシンポジウム／水電解課題共有フォーラム

PEM水電解の課題



TOYOTA

トヨタ自動車株式会社
商用ZEV基盤開発部

藤田 敬祐

2022年7月13日

1. FCEVにおける水素の利用実績
2. FC→PEM水電解への挑戦
3. PEM水電解の技術課題(日立造船様と共用)
4. 技術課題トピックス
 1. 電解質膜(H⁺抵抗とガス遮断の両立)
 2. 気液2相流解析(気泡滞留・水移動阻害)
 3. Ir触媒(資源リスク)
 4. 長期劣化の解析技術(寿命予測の短時間化)
5. まとめ

総走行距離 **533,289,388** km
Total Mileage

2021年11月時点当社調べ



Thank you

世界のお客様にMIRAIをご愛用いただき、その総走行距離はすでに地球から太陽までの約3倍に到達。水素タンクの使用実績も4万3千本を突破。今日もその実績を伸ばし続けていただいています。

水素一回充填 走行距離チャレンジ

Mileage Challenge



Thank you

世界の仲間が水素無補給で一般道1000km走行にチャレンジ。フランスでは1003km、日本では1040kmを記録し、アメリカでは1360kmというギネス記録が生まれました！ 今後更なる記録が生まれるかもしれません！

水素タンク使用本数 **43,389** 本
Number of Hydrogen Tanks

*2014年～2021年までの70Mpa Type4タンクの合計



MIRAIには水素タンクを2本もしくは3本搭載 2022年1月時点当社調べ



Next
Challenge



USA

1,360 km



Japan

1,040 km



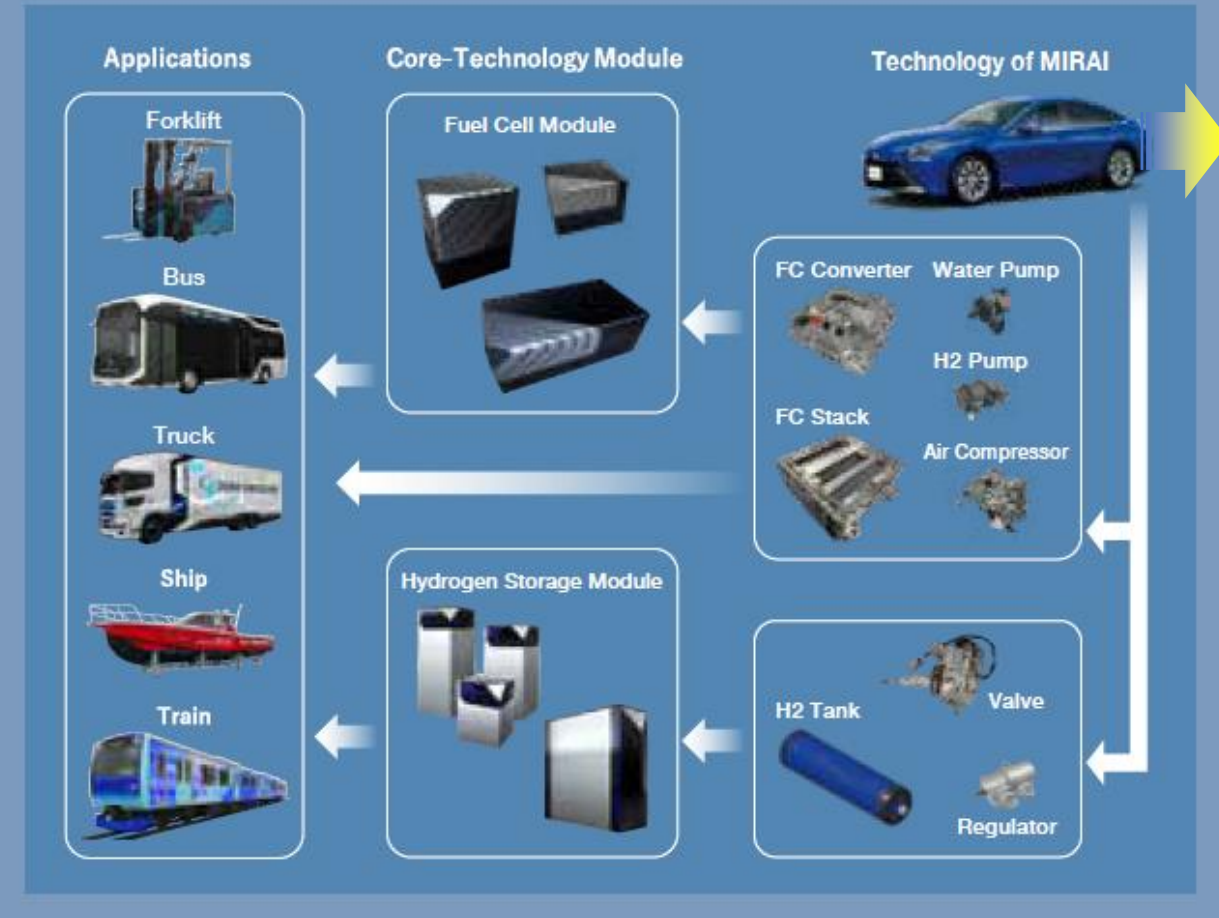
France

1,003 km

*MIRAIカタログ燃費より推計

推計*3,900+超の水素をご利用いただいています

《多用途への展開》 Wide Adaptation

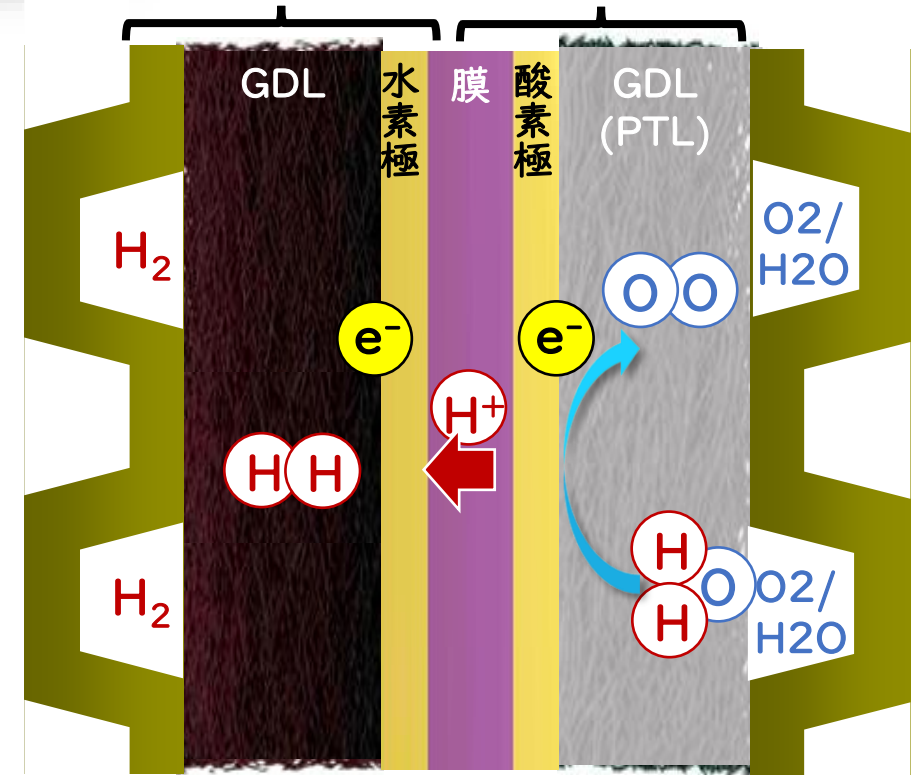


水素を”つくる”への挑戦



FC→PEM水電解セル断面図

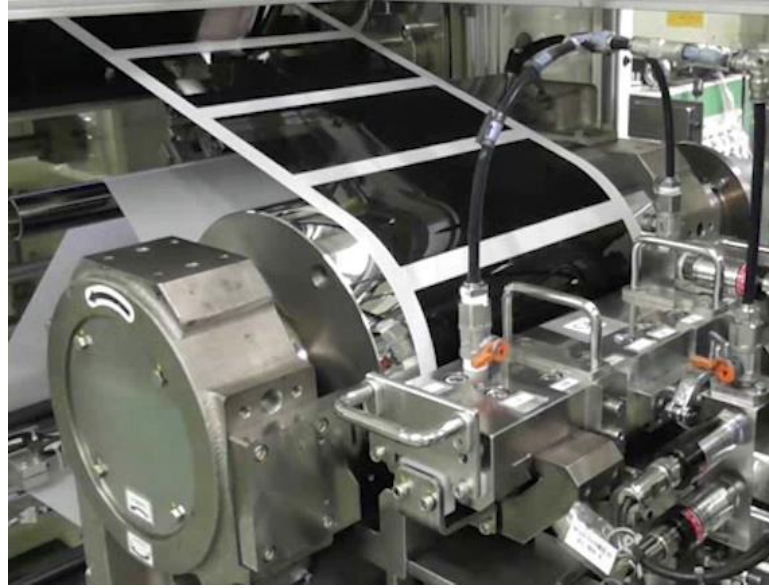
FC流用 改良部分



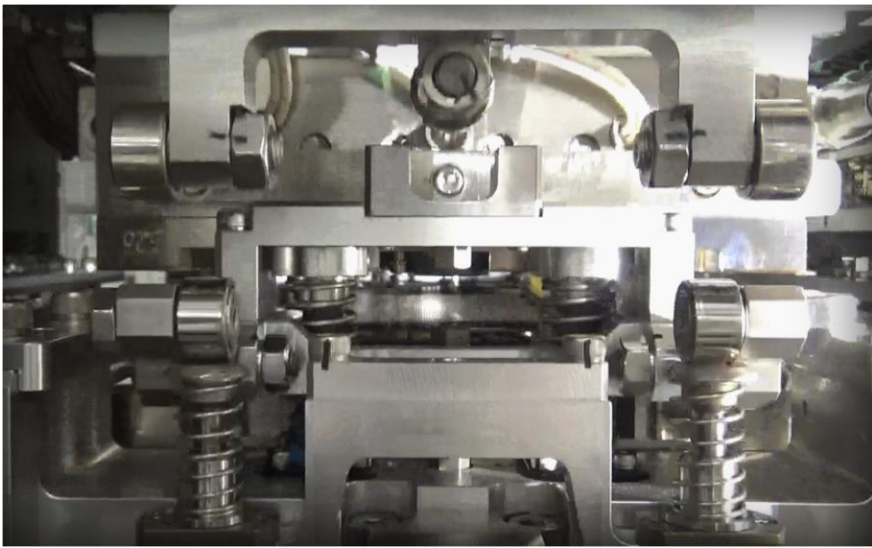
FC技術の多用途展開の1つとして、PEM水電解への挑戦を始めています

FC量産設備の流用の可能性

FC触媒塗工工程

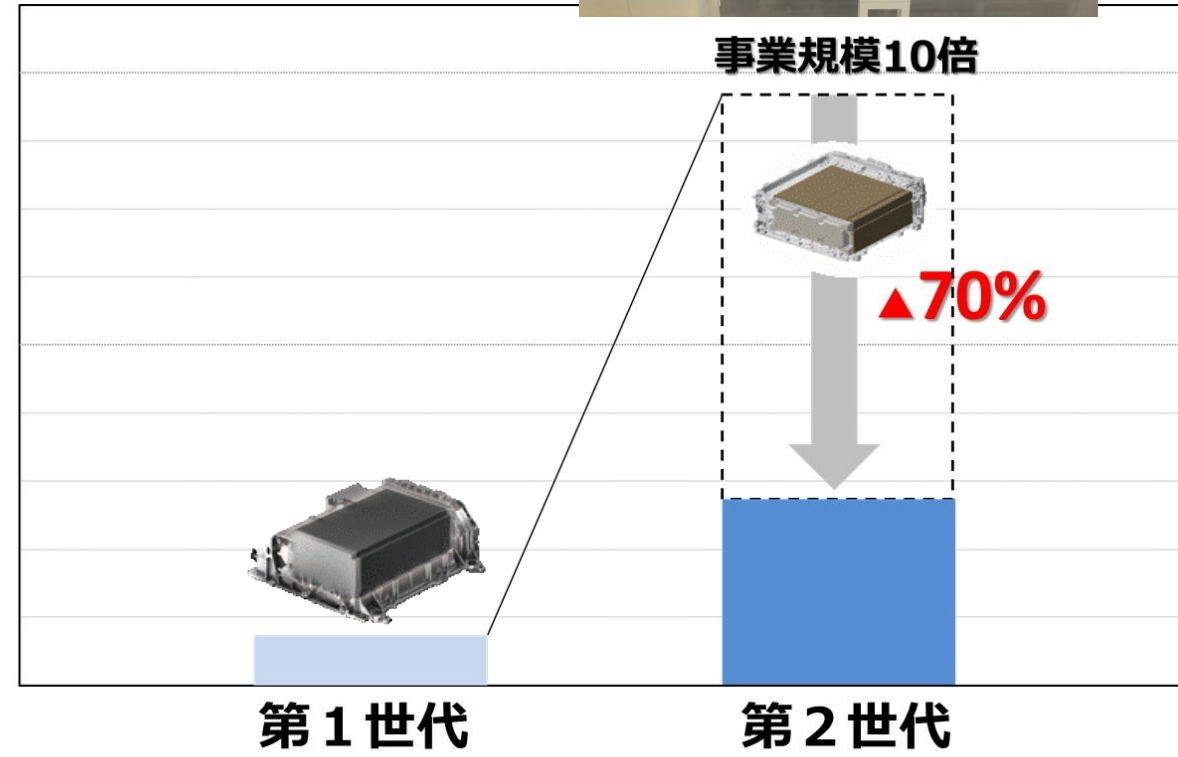


FC量産工程の
設備投資削減



FCセル化工程

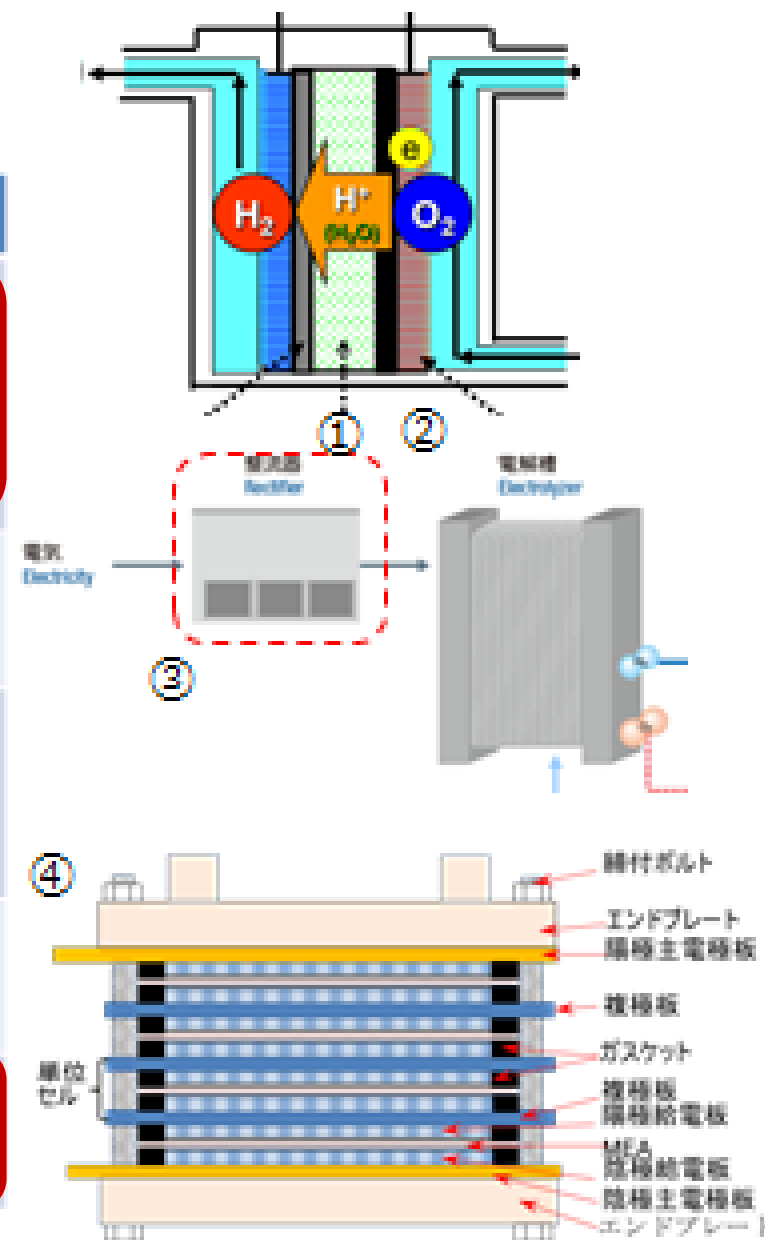
内製設備投資額



FCの量産設備の多くを、水電解へ流用できる可能性があります

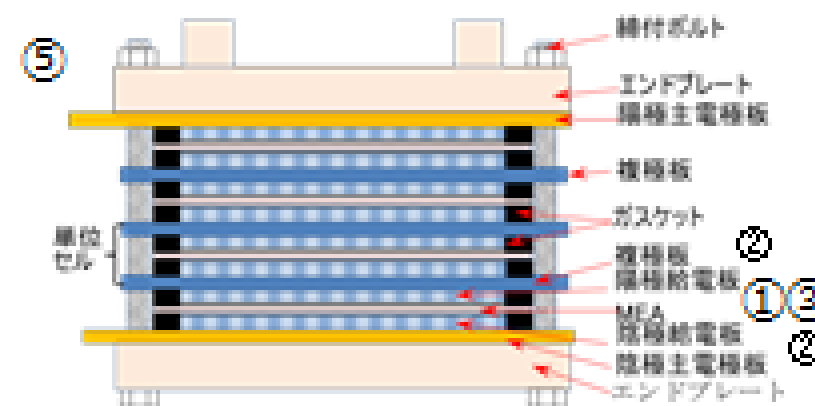
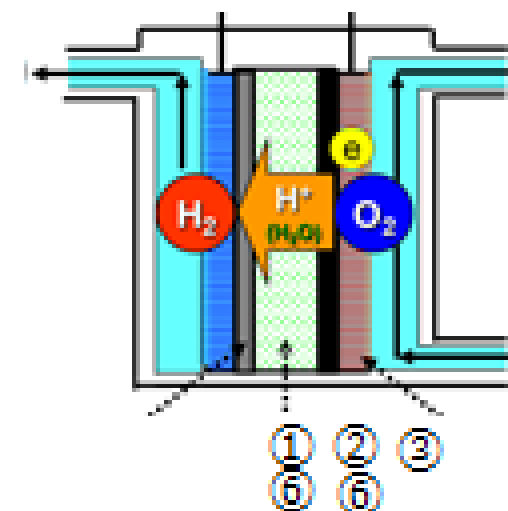
電解効率向上

課題	課題	特記事項
①電解質膜	抵抗低減 (イオン電導性向上)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスバリア性 (酸素-水素のクロスリーク抑制) ・アノード電位での化学的耐性 (特に薄膜化時)
②電極触媒	活性向上 (アノード)	<ul style="list-style-type: none"> ・化学的耐性を有すること (FCに比べ高いアノード電位)
③整流器	交直変換効率	<ul style="list-style-type: none"> ・電解効率向上に寄与。可能な限り100%に近づけたい。 ・力率改善は高調波抑制に必要
④電解槽	部材間の接触抵抗低減	<ul style="list-style-type: none"> ・大面積ほどセル面内の面圧均等化が課題
⑤流体解析	セル内流体の可視化	気液二相流解析等



コスト低減/耐久性向上

要素	課題	特記事項
①膜	フッ素系膜代替	・低抵抗・高耐性・高ガスバリア性
②集電体/複極板	耐溶出材料 (アノード) 水素化耐性 (カソード) 表面改質方法	・表面改質：密着性・量産性も必要
③電極触媒	貴金属低減→フリー化	・活性/耐久性は維持
④計測・制御機器	各機器コストダウン	・酸素濃度計、水素濃度計、流量計、調整弁等
⑤量産化	電解槽・システム (整流器含) モジュール化・標準化 バッチ製造から連続製造	・上記①～④含む ・本格市場形成/仕様標準化必要
⑥劣化評価	短時間での長期劣化予測	・1/10～1/20に短縮

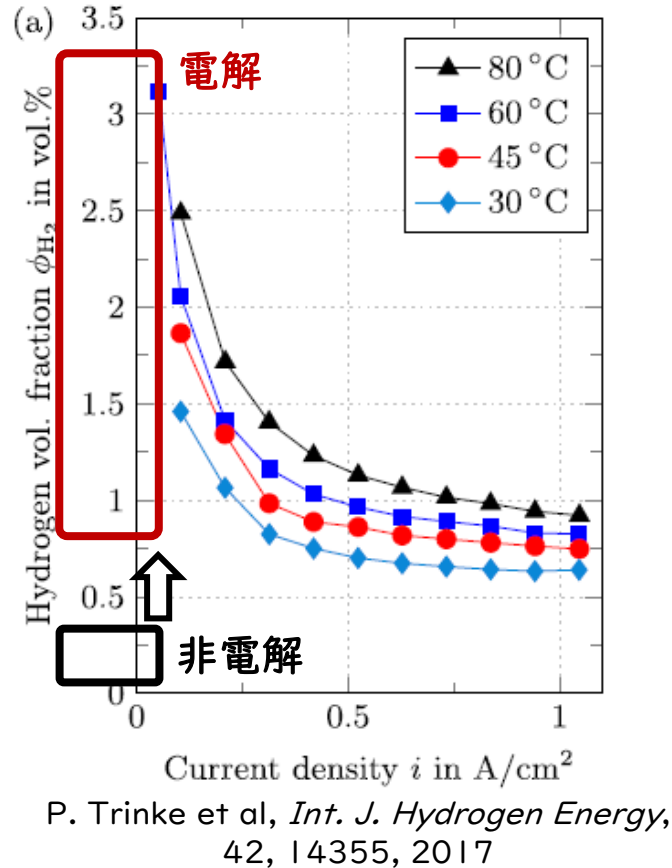
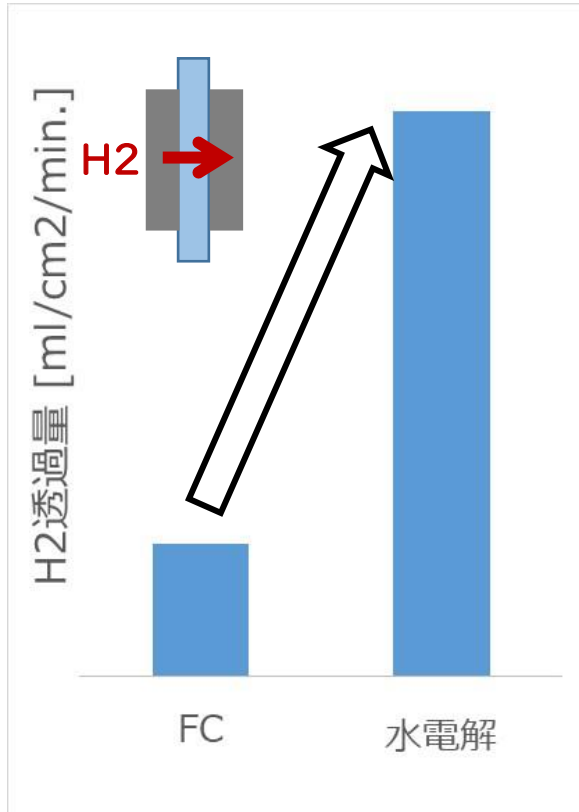


課題① 膜抵抗・ガス遮断の両立

電解条件で急増するH2透過

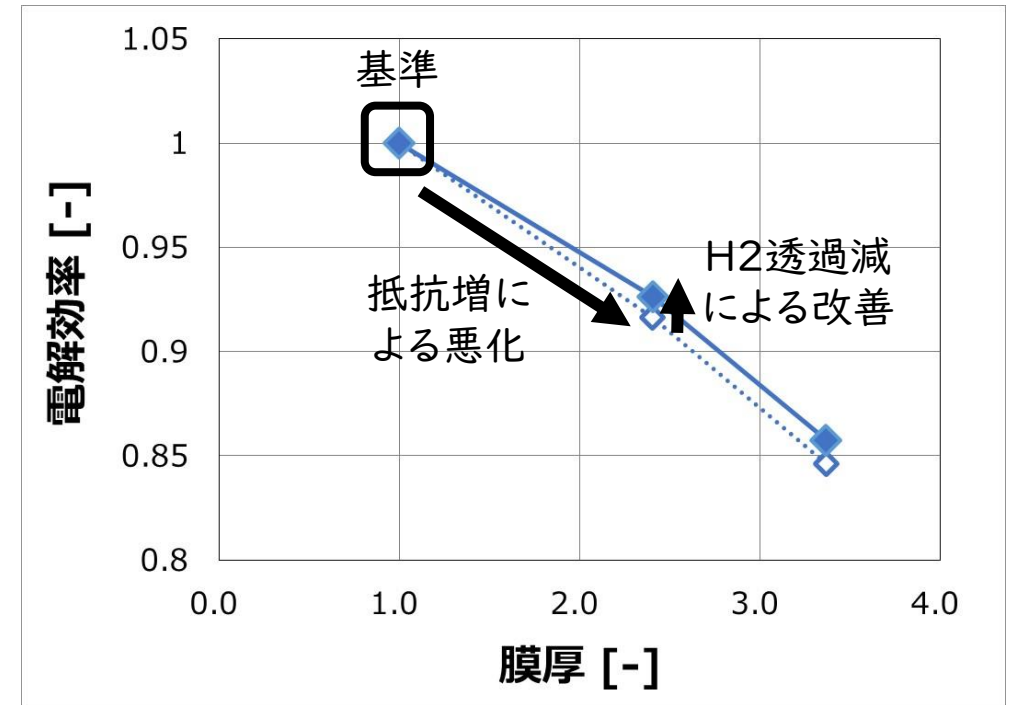
FC→電解による
H2増加(~10 μm)

水電解のH2濃度1~3%
(>100 μm)



厚膜化による効率低下

厚膜化でガス遮断すると、H+抵抗大
→ 電解効率への背反大



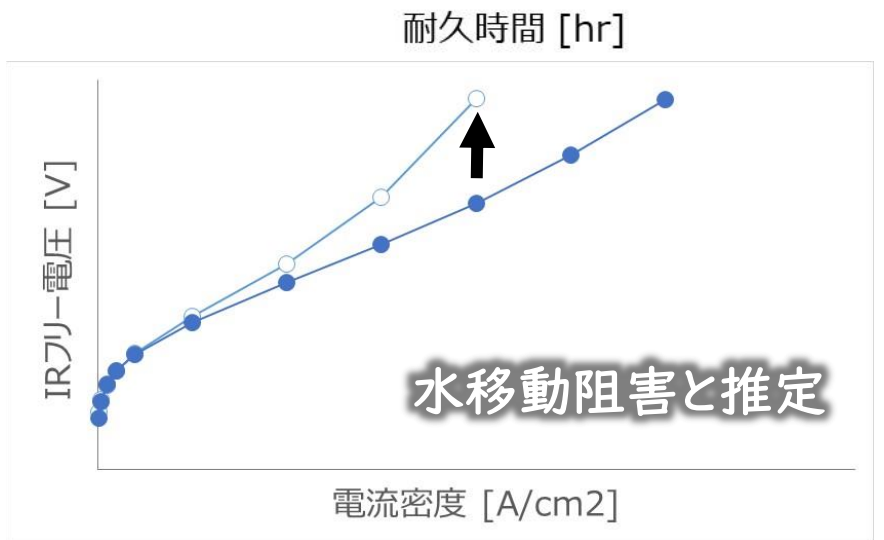
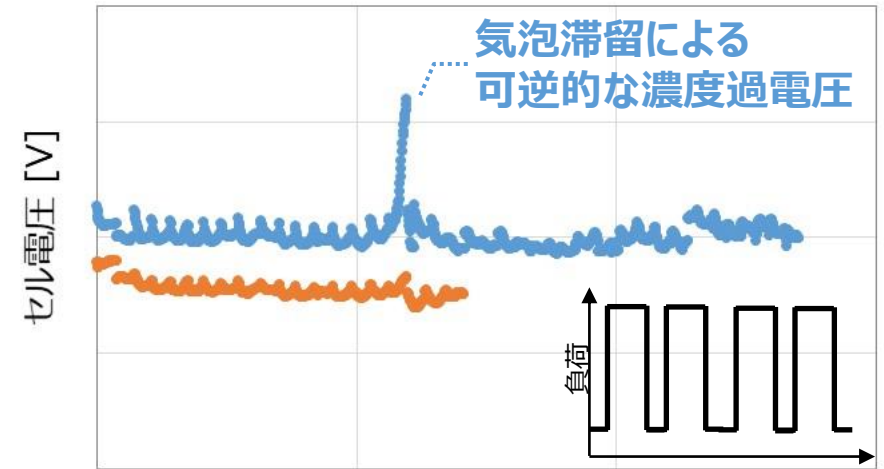
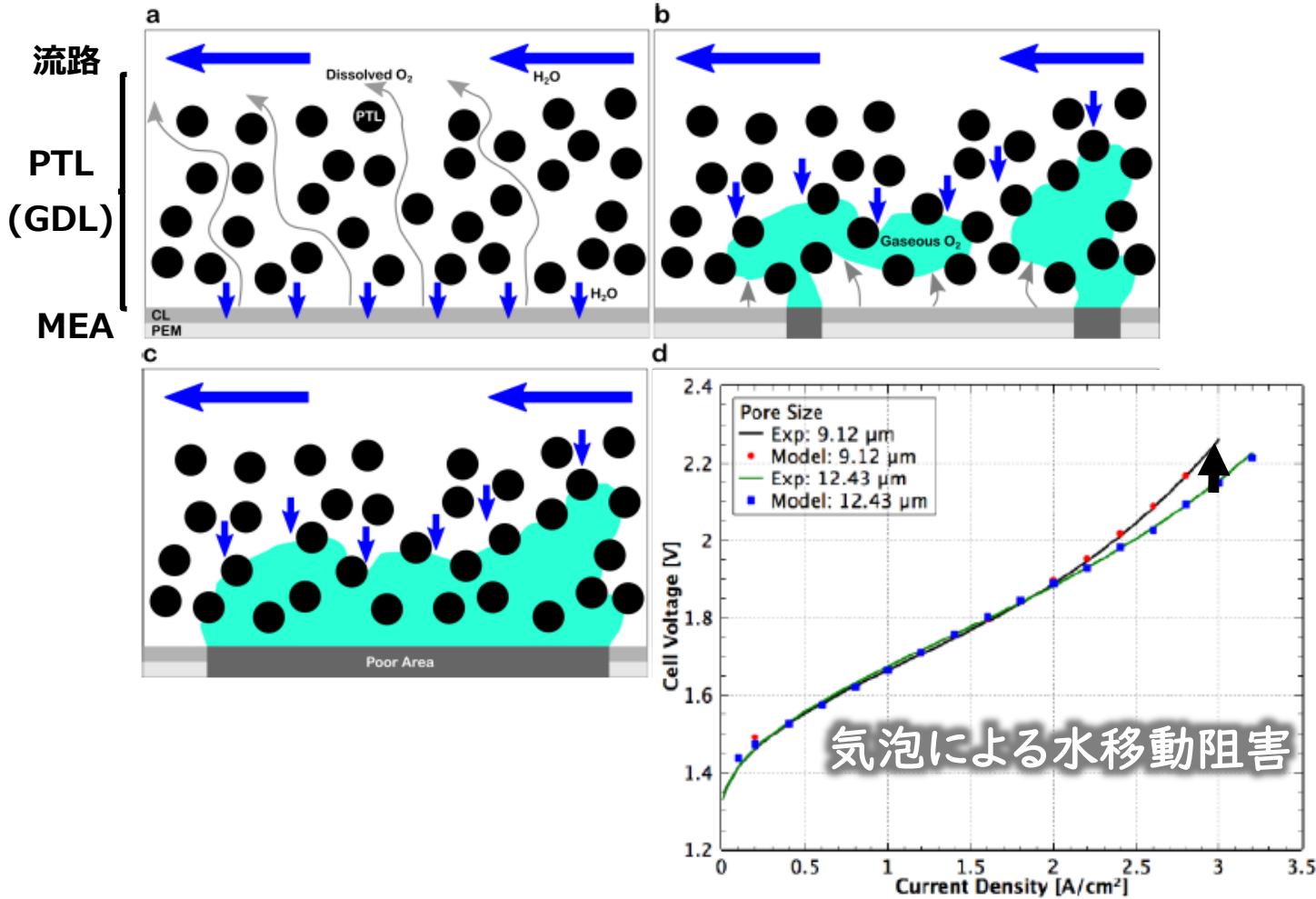
*各膜厚のNafion物性から試算

$$\varepsilon_{hhv} = \frac{\Delta G + T\Delta S}{nFE} N_{H2}^{cross} = D_{H2} \frac{\Delta c_{H2}}{\delta}$$

過飽和によるH2透過増と、厚膜化による電解効率低下のトレードオフ

生成ガスによる純水の移動阻害

C. Lee et al., *Proceedings of the ASME*, 2016



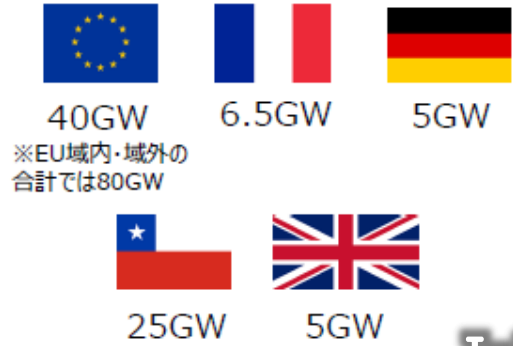
耐久時間 [hr]

生成ガス滞留による水移動阻害の解明には、気液2相流の解析技術が重要

課題③ 貴金属(Ir)低減

Ir生産量(Ir需要実績からの予測)

各国等の導入目標(2030年時点)



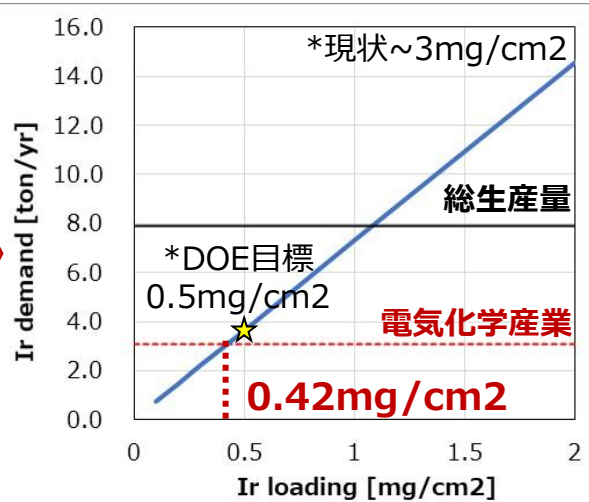
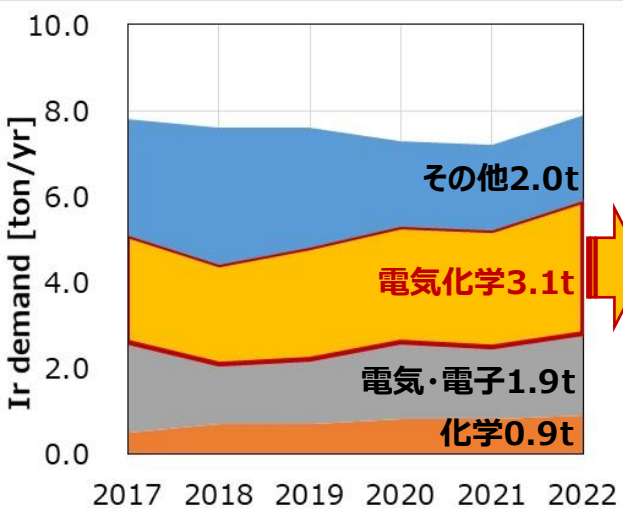
>121.5GW@'30

40%PEM, 40%ALK, 20%SO

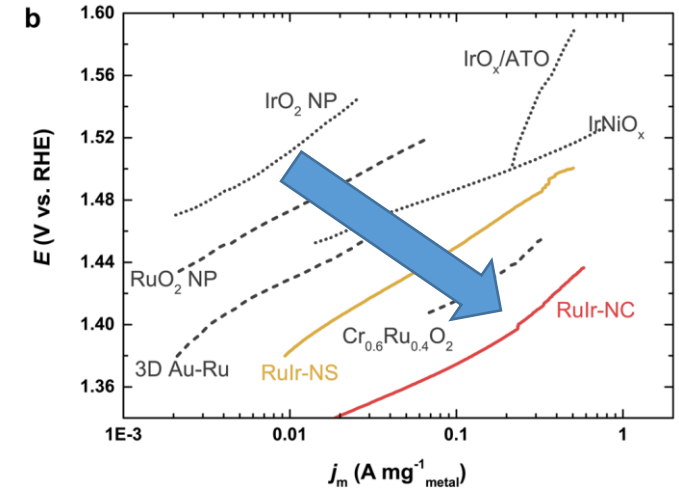
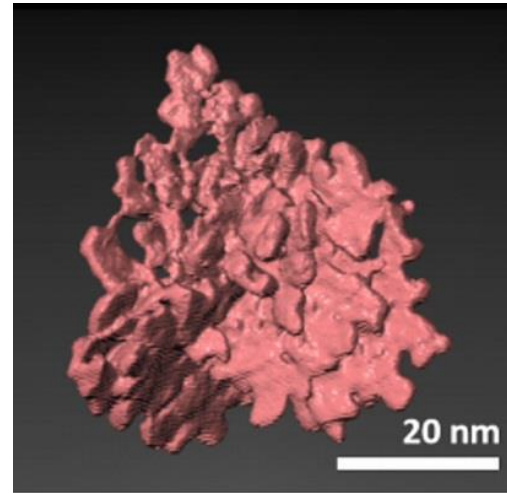
第25回 水素燃料電池戦略協議会(21/3/22)
C. Minke et al., *Int. J. Hydrogen Energy*, 46(6)23581, 2021

Ir目付の目安

*DOE_AMR'22



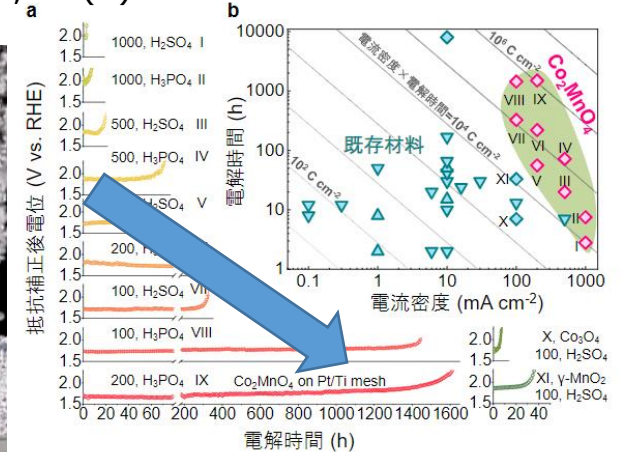
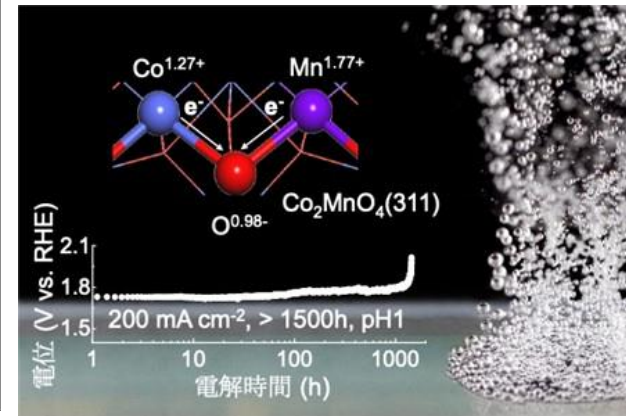
低Ir化



<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-02-17>

D. Wu et al., *Nature Comm.*, 12(1)2021

非Ir化



https://www.riken.jp/press/2022/20220215_1/index.html

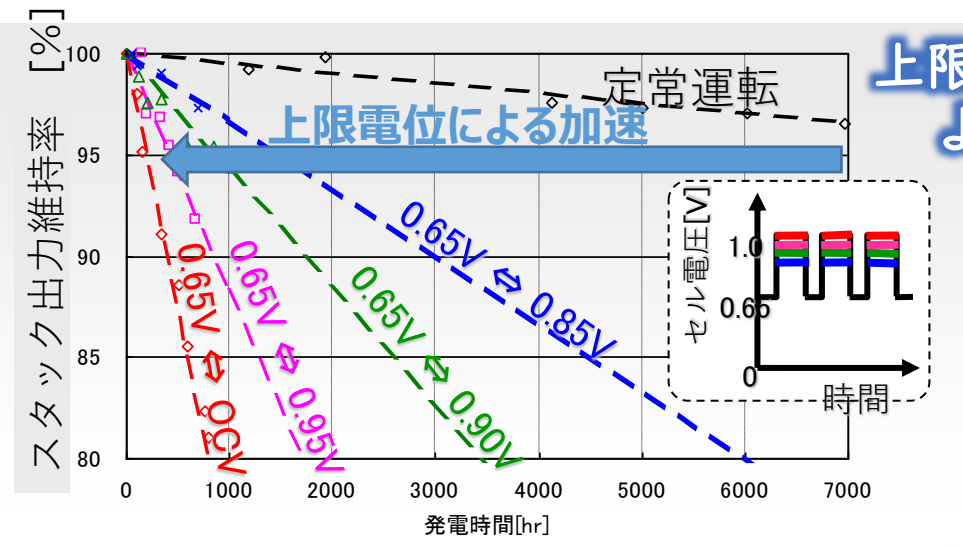
L. Ailong et al., *Nature Catal.*, 5(2)2022

Irの大幅低減が必要 ⇒ 低Ir化・非Ir化が喫緊の課題

Johnson Matthey, *PGM market report*, May, 2022

※前提0.3g/kW

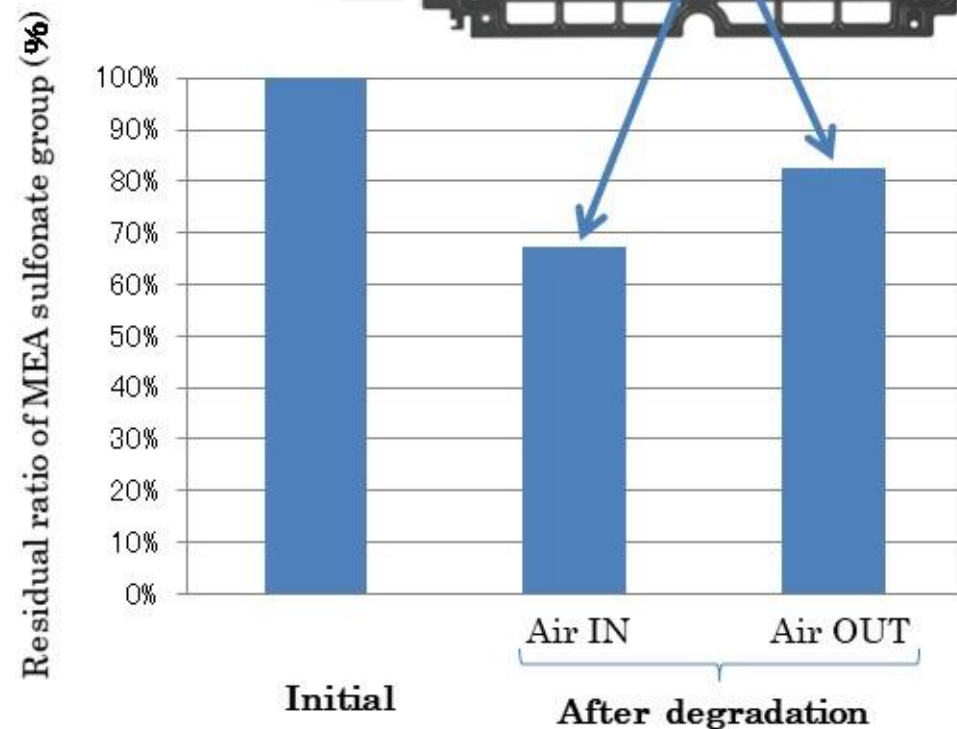
FCにおける劣化試験



膜劣化の要因調査 - impedance distribution



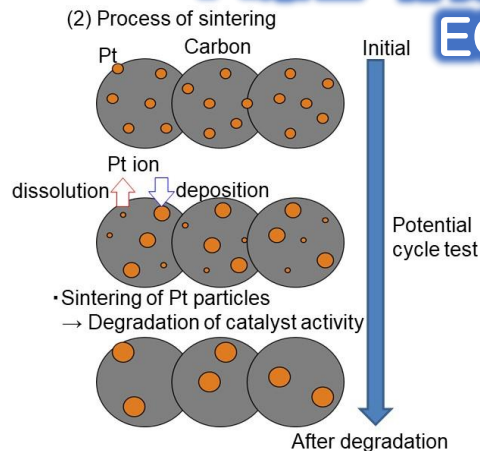
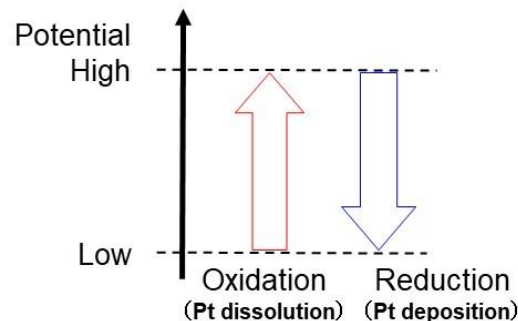
Dry環境における
SO3H脱離



Pt溶出・再析出による ECSA低下

Load change and degradation

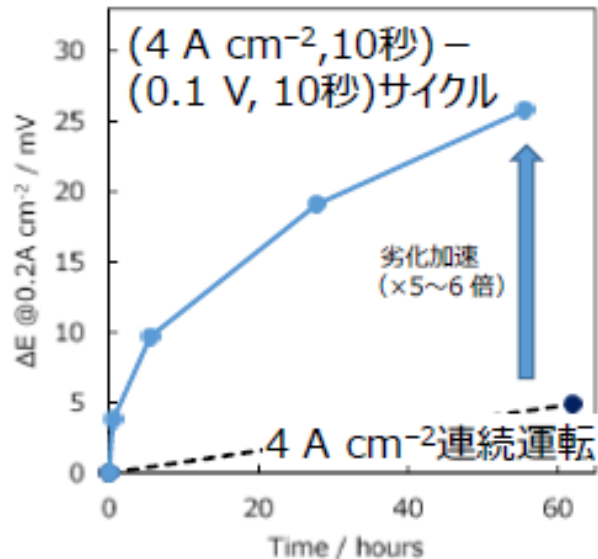
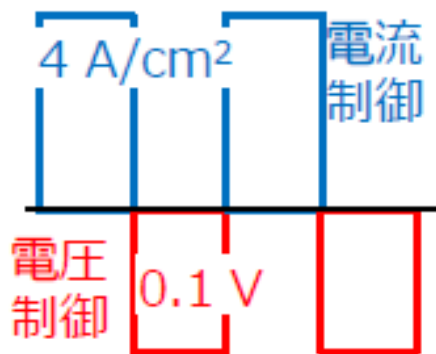
(1) Potential change and behavior of Pt



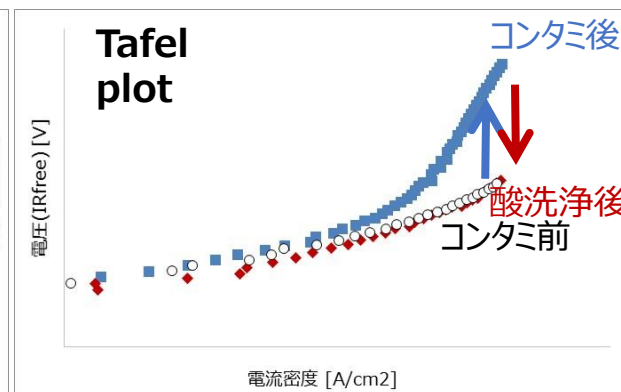
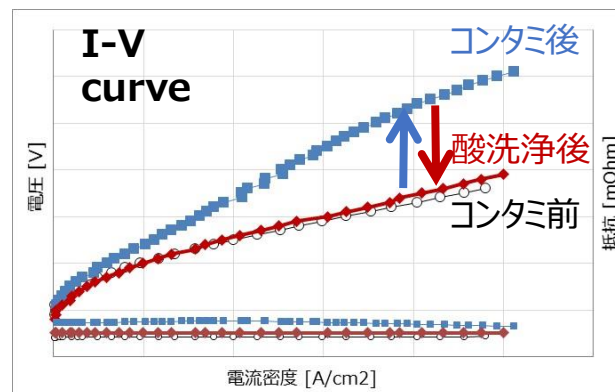
FCの劣化解析技術の多くを、水電解に活かせると期待しています

NEDO水素・燃料電池プロジェクトレビュー('21/9)

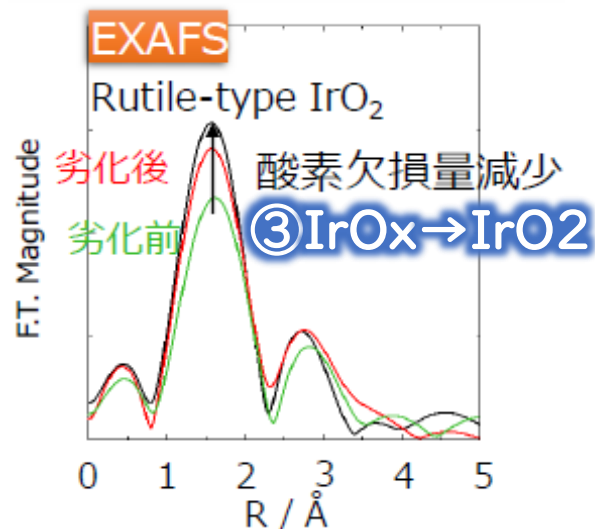
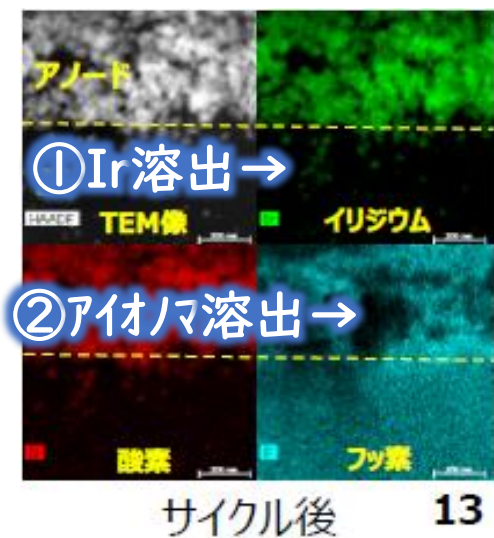
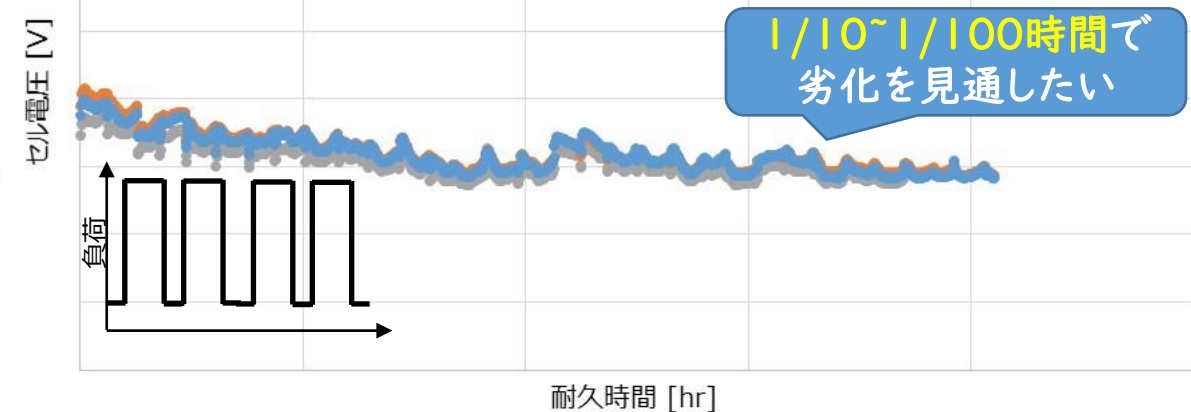
水電解における劣化解析



④カチオンコンタミによる抵抗増加



⑤劣化加速パターンの検討



*DOE、CHP、METI等目標値

1/10~1/100の時間で80,000hr*を見通せる劣化解析技術が必要

水素を”つくる”技術に、FCの技術流用で貢献することに挑戦を始めましたが、FCとは曝される環境・現象が異なり、**新たな材料開発・解析技術**の必要性を痛感しています

<主な技術課題>

1. 膜抵抗とガス遮断の両立
H+抵抗とガスバリア性を両立できる膜設計
2. 気液2相流解析
セル最適設計のための、**純水と生成ガスのセル内2相流**可視化・解析技術
3. Ir資源リスク
低Ir化・非Ir化が実現可能な新規OER触媒の創出
4. 長寿命予測
1/10~1/100の時間で80,000hrを見通せる**劣化解析技術**が必要

ご清聴ありがとうございました