
課題共有フォーラム 2020

2020年9月4日

トヨタ自動車株式会社 第2材料技術部 竹内 仙光
株式会社本田技術研究所 先進パワーユニットエネルギー研究所 田中 慎太郎
パナソニック株式会社 アプライアンス社 スマートエネルギーシステム事業部 菅原 靖

FC-Cubic 課題共有

本日の内容

1. はじめに
2. FCの普及に向けた課題
 - 2-1. GDL開発課題
 - 2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題
 - 2-3. シール開発課題
 - 2-4. 電解質膜開発課題
 - 2-5. 水素品質対応
3. まとめ

FC-Cubic 課題共有

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

2-3. シール開発課題

2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

3. まとめ

FCVの普及に必要な対策課題

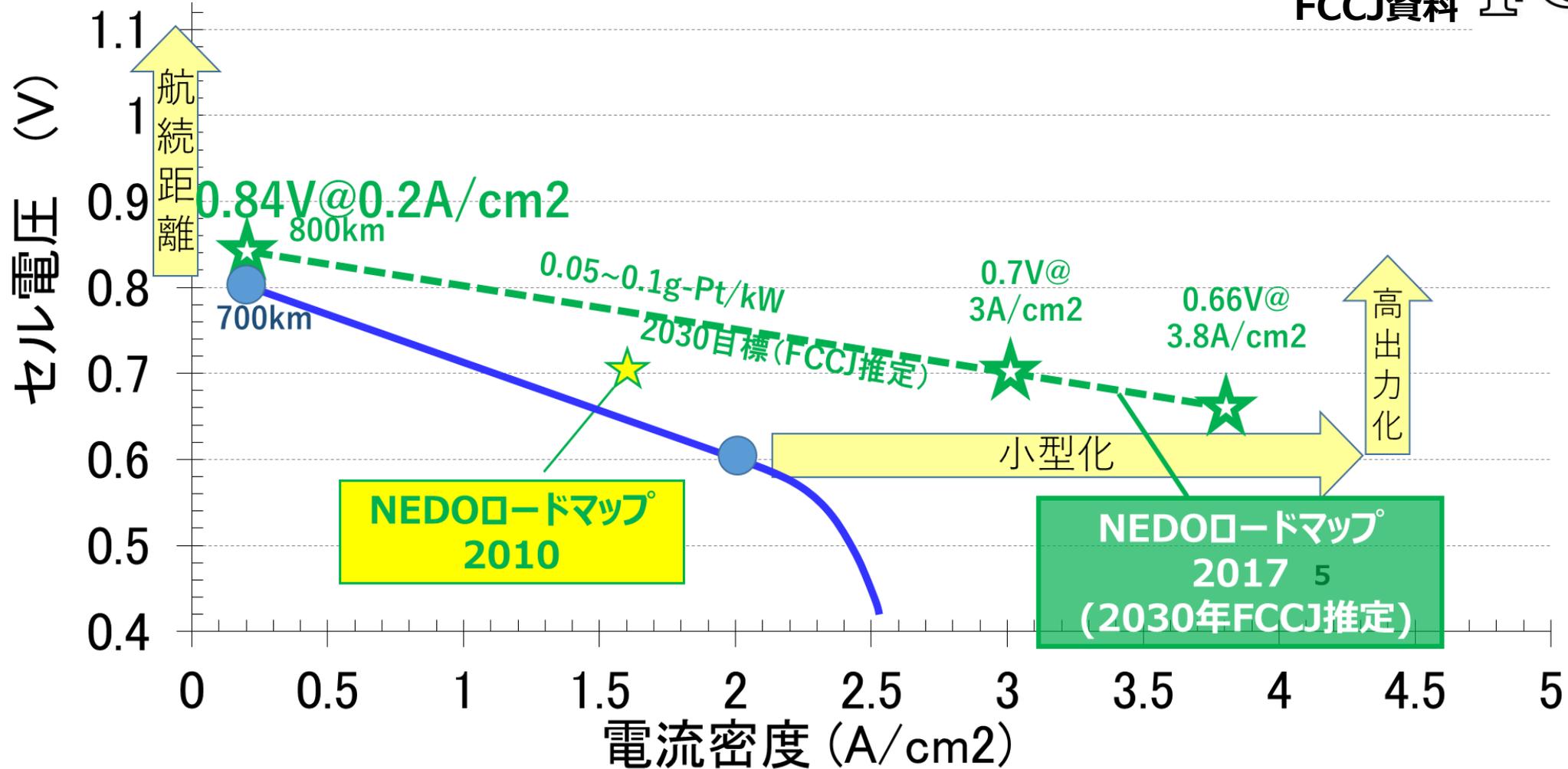
スタック		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 生産性の向上 <ul style="list-style-type: none"> ・電解質膜 : 合成プロセスの開発 ・電極触媒 : 大量生産技術 ・MEA : CCM Roll to roll, GDL一体成型 ・セパレータ : 低コストセパレータの生産性向上 ・ガasket : 高速成型 ➤ 触媒貴金属量 (Pt) の低減 ➤ 電流密度アップによる構成部材の使用量低減
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 水素バリア性の向上 (電解質膜) ➤ 不純物耐性の向上 (電解質/触媒) ➤ ラジカル生成を抑制するアノード触媒技術 ➤ 金属セパレータの耐食性 (表面処理) と電気伝導性の両立
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 高温低加湿作動化 (電解質) ➤ プロトン伝導性の向上 (電解質) ➤ 触媒活性・利用率の向上 (触媒担体・触媒) ➤ 酸素輸送性の向上 (GDL・電極アイオノマー)
タンク		<ul style="list-style-type: none"> ➤ CF、ライナー材の低コスト化 ➤ 低コスト高速硬化樹脂の開発
周辺機器		<ul style="list-style-type: none"> ➤ エアコンプレッサ、W/Pの低コスト化 ➤ スタック高温作動化に伴う冷却システムの簡素化 ➤ 加湿器の高温化
基盤規格		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 国際標準化 (ISO) ➤ 評価プロトコル ➤ 計測/解析技術

スタックの低コスト化には部材コスト低減と高性能・高耐久化による材料使用料低減が必要

高性能化：FCスタック機能目標 (FCCJ)

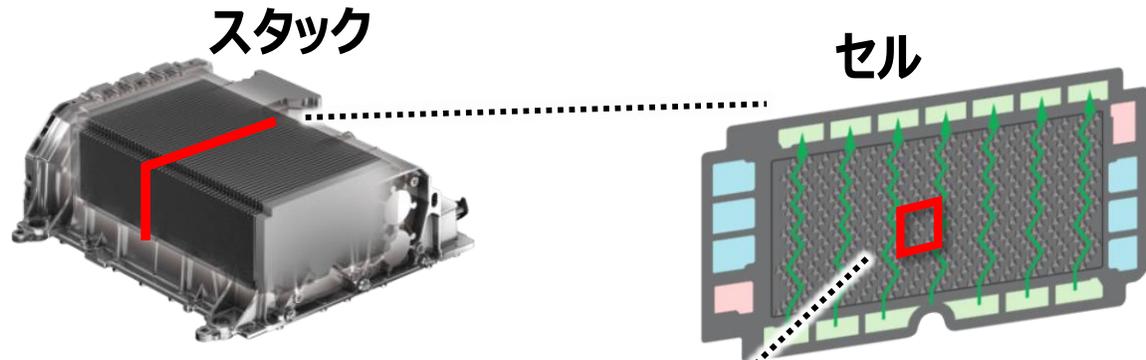
2030のFC発電目標

FCCJ資料 



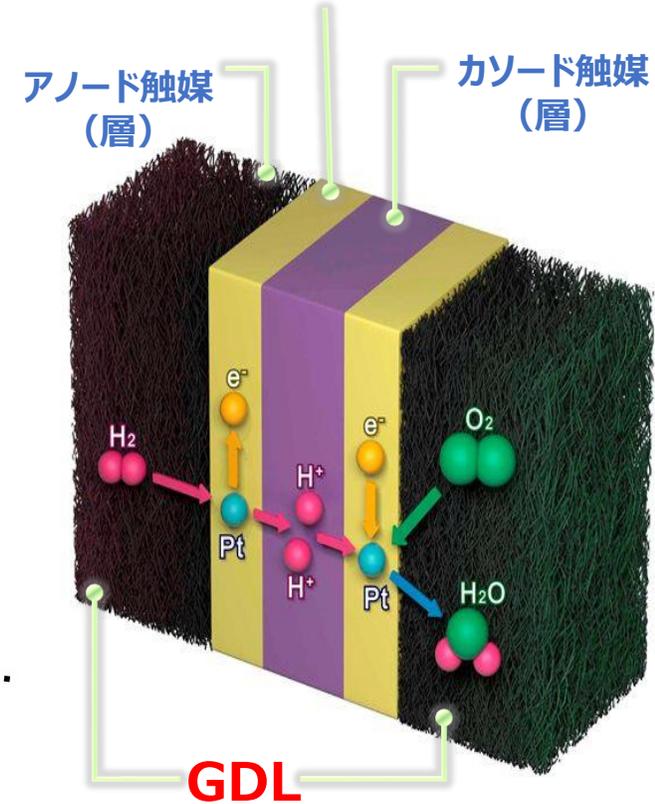
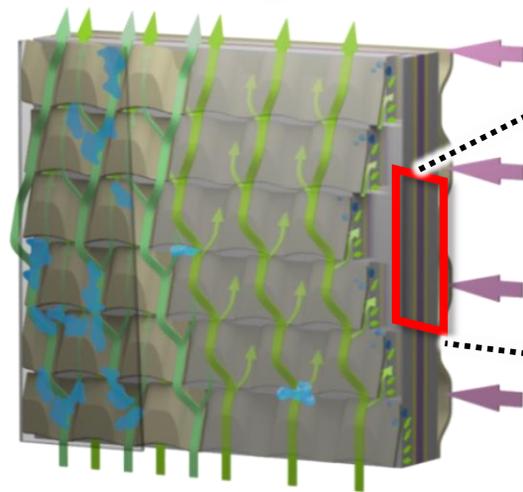
2030年には高電流密度化(~3.8A/cm²)が必要

FCスタック構成部材



MEA ;
Membrane-Electrode Assembly
高分子電解質膜

セパレータ・シール



水素と空気を反応させて発電する

FC-Cubic 課題共有

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

2-3. シール開発課題

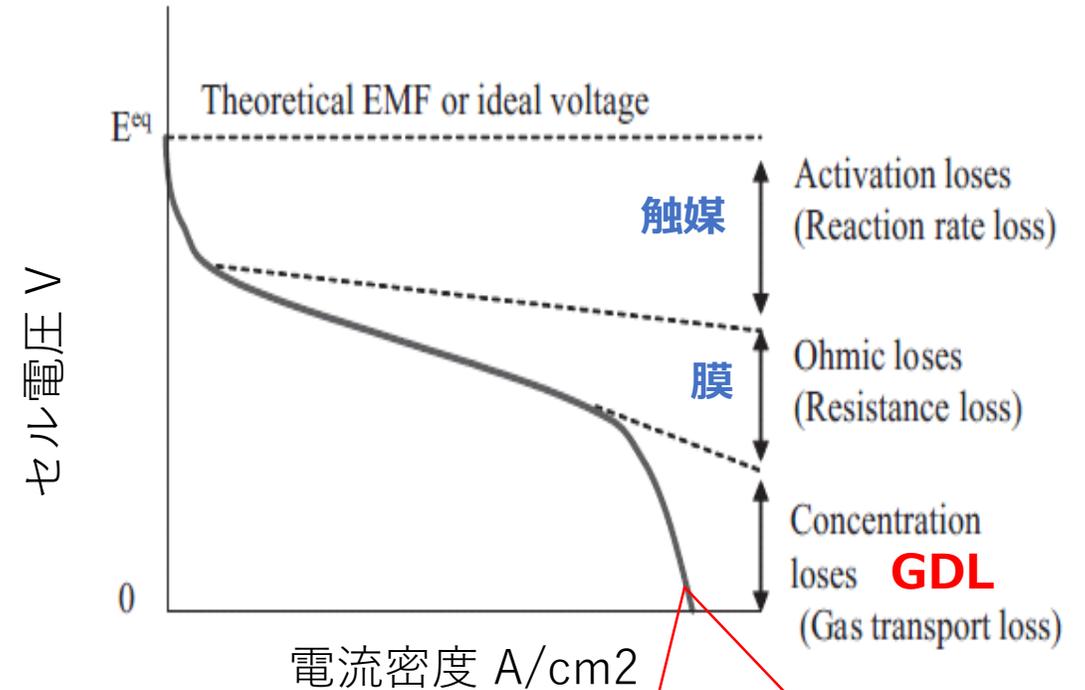
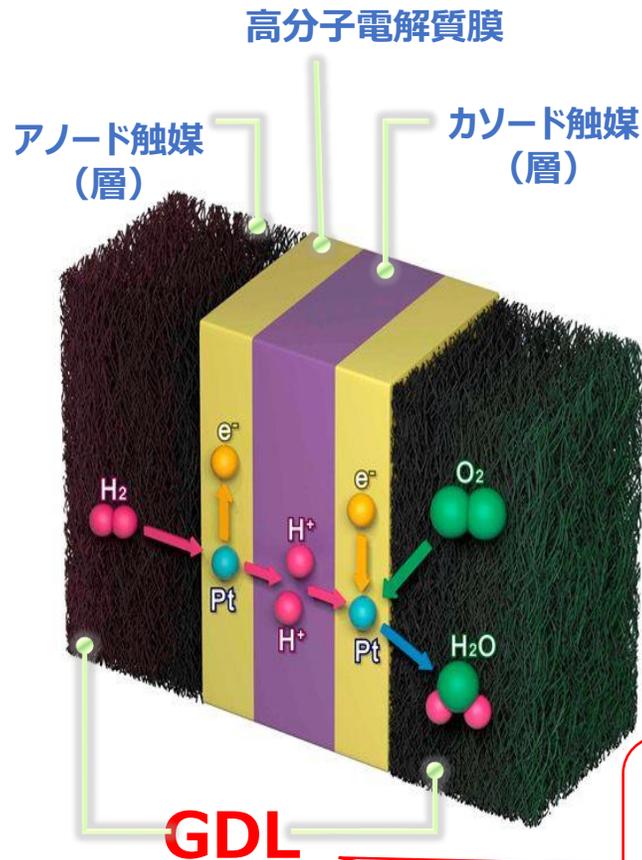
2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

3. まとめ

FCスタック構成と発電機能

MEA ; Membrane-Electrode Assembly

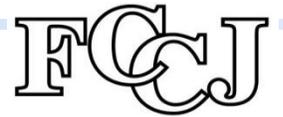


ガスを触媒層に送り込む
生成水を触媒層から排出する
セパレータと電子の受け取りをする

電極へのガス供給不足での
電圧の落ち込み

GDLのガス透過性を向上が高電流密度化の実現には必要

FCCJ目標物性値(GDL)



■PEFCの主要要素の目標値と評価法 (FCCJ推奨、案)

令和2年3月

要素	項目	条件等	単位	現状	目標値		評価法		備考
					2030 (Early Stage)	2040 (Logically Max.)	ツール	手法	
触媒 (層)	活性 @0.9V [A/cm ²] (MEA)		A/cm ²	0.003 (300A/g相当)	0.02~0.04 (600~1200A/g相当)	24.1 (72x10 ⁴ A/g相当)	RDE	Ⅲ-2 触媒活性・耐久性評価方法(ハーフセル) Ⅲ-2-1 ORR活性評価方法	
	酸素拡散抵抗		sec/m	10~20	2.7	2.7	↑	限界電流密度法	FCCJにて議論中の案あり。 今後検証し、評価法を決めて行く。
	プロトン輸送抵抗 (追加)			-	-	-	↑	EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)	↑
	耐久性	起動停止		TBD (~1000@)	TBD	TBD	RDE等	Ⅲ-2-2 電位サイクル試験方法 1/2	Final Target として60000サイクル (ECSA低下率が50%以下)

耐久層		耐久層	Dry/Wet	現状	2030目標	2040目標	↑
ガス拡散抵抗	アノード(水素) カソード(酸素)	sec/m	3	0.875	0.875	セル	↑
ばね特性 (参考値)	アノード カソード	Gpa/m	140~175	-	-	GDL単体	↑
			112~175	-	-		
電気抵抗 (貫層方向)		mΩ cm ²	5~10	1.5~2.5	1.5~2.5	↑	
熱抵抗 (貫層方向)		K cm ² /W	5~6	0.5~1.5	0.5~1.5	↑	

拡散層	項目	単位	現状	2030目標	2040目標	備考	
							ガス拡散抵抗
ばね特性 (参考値)	アノード カソード	Gpa/m	112~175	-	-	GDL単体 地方並測定	
			5~10	1.5~2.5	1.5~2.5		↑
電気抵抗 (貫層方向)		mΩ cm ²	5~10	1.5~2.5	1.5~2.5	↑	例. ISO 22007-2ホットディスク式 熱伝導度測定法
熱抵抗 (貫層方向)		K cm ² /W	5~6	0.5~1.5	0.5~1.5	↑	

注：1. 備考に示す通り、現在FCCJにて議論中
2. 各要素の目標値は同時に達成すること
3. 内は、固体高分子形

出力目標達成にはガス拡散性を3倍向上が必要

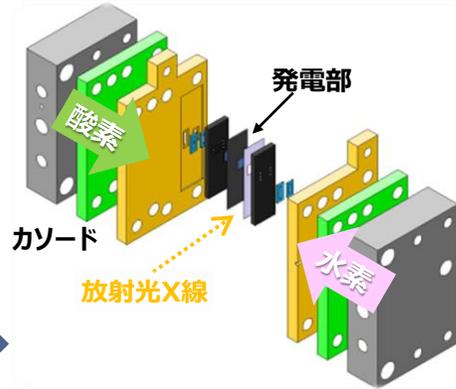
ガス拡散性向上の検討

発電中の水分布挙動 (二次元)

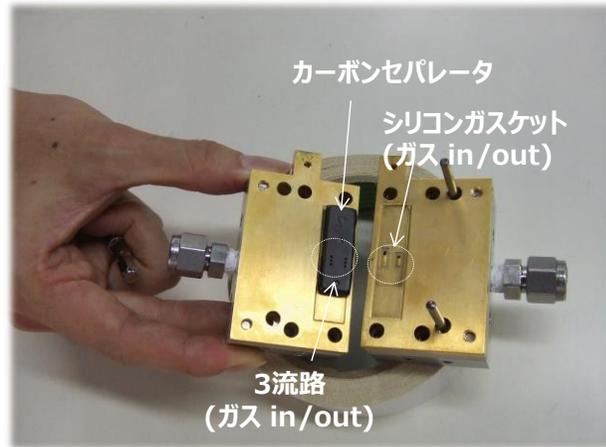
二次元可視化治具



放射光X線



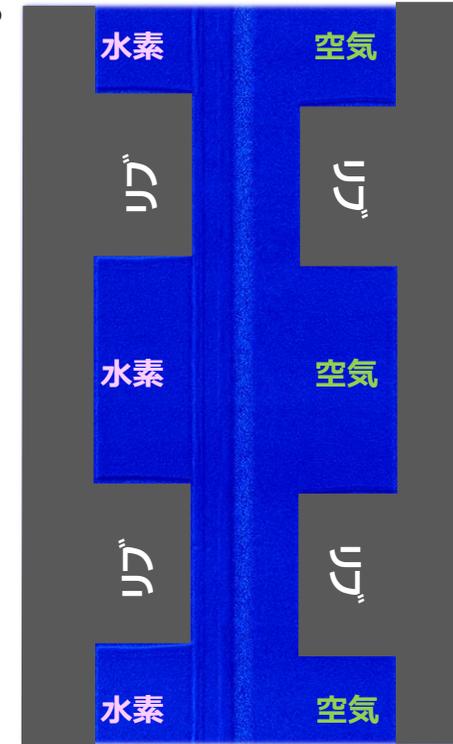
検出器



繰り返し再生
アノード カソード
GDL

可視化レベル
3 μm

100%
水分割合
0%



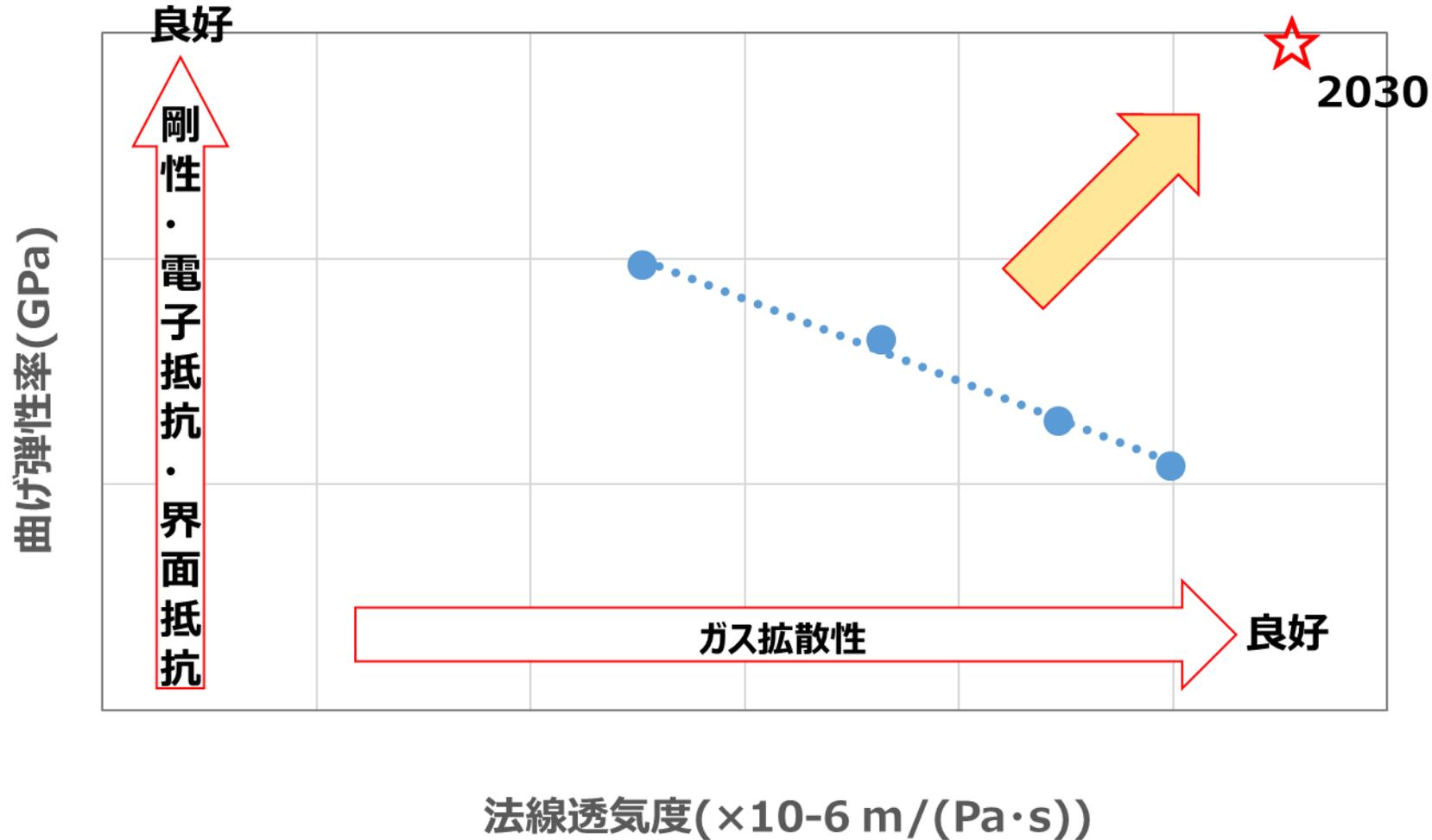
500 μm

リブ下ガス拡散層に水 → 酸素の拡散を阻害

参考 : D. Hayashi et al., SAE Technical Paper, 2017-01-1188(2017)

ガス供給を阻害する生成水の速やかな除去が必要

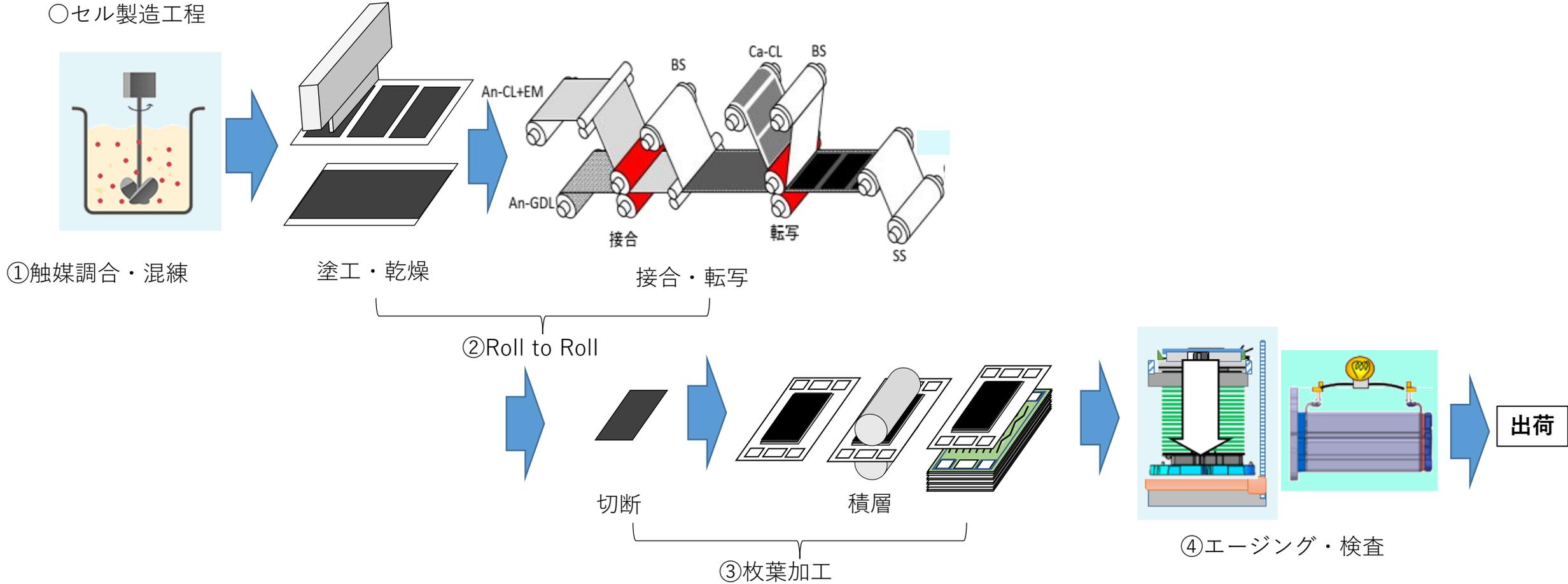
ガス拡散性と機械物性のジレンマ



ガス拡散性と機械物性(剛性・電子/熱抵抗・セパレータ間界面抵抗)は背反の関係
2030年目標に向けて、両立とさらなる改善が必要

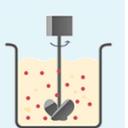
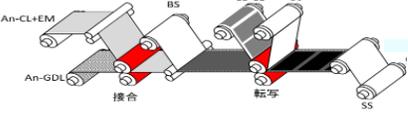
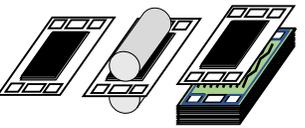
量産性向上

○セル製造工程



1セル当りの生産性向上(1sec/cell@2030)が必要→高速加工技術開発

量産性向上：生産技術ロードマップ

工程 年代	①触媒調合・混練 	②Roll to Roll 	③枚葉加工 	④エージング・検査 
～'20	連続生産 160g/Hr	触媒：5～9m/min GDL：6.5m/min	セル接着・硬化・搬送 各工程 4sec/cell	エージング 40min インライン全数検査
～'25	連続生産 240g/Hr	触媒：10m/min GDL:15m/min	セル接着・硬化・搬送 各工程 2sec/cell	エージング 20min インライン全数検査 検査項目1/2
～'30	連続生産 360g/Hr	触媒：20m/min GDL:25m/min	セル接着・硬化・搬送 各工程 1sec/cell	エージング 10min インライン全数検査 検査項目1/4
～'35	連続生産 480g/Hr	触媒：50m/min GDL:50m/min	セル接着・硬化・搬送 各工程 0.5sec/cell	エージング 0min インライン検査レス

大量生産に向けてRoll to Rollで高速生産に対応したGDLが必要

GDLの課題と開発の要望

- ・**ガス透過性向上**

大電流密度化のためには速やかな排水による

ガス透過性の向上できるGDLが必要

ガス透過性と剛性・電子/熱抵抗・界面抵抗の機能の両立が必要

- ・**量産性の向上**

Roll to Rollで高速生産に対応したGDLが必要

FC-Cubic 課題共有

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

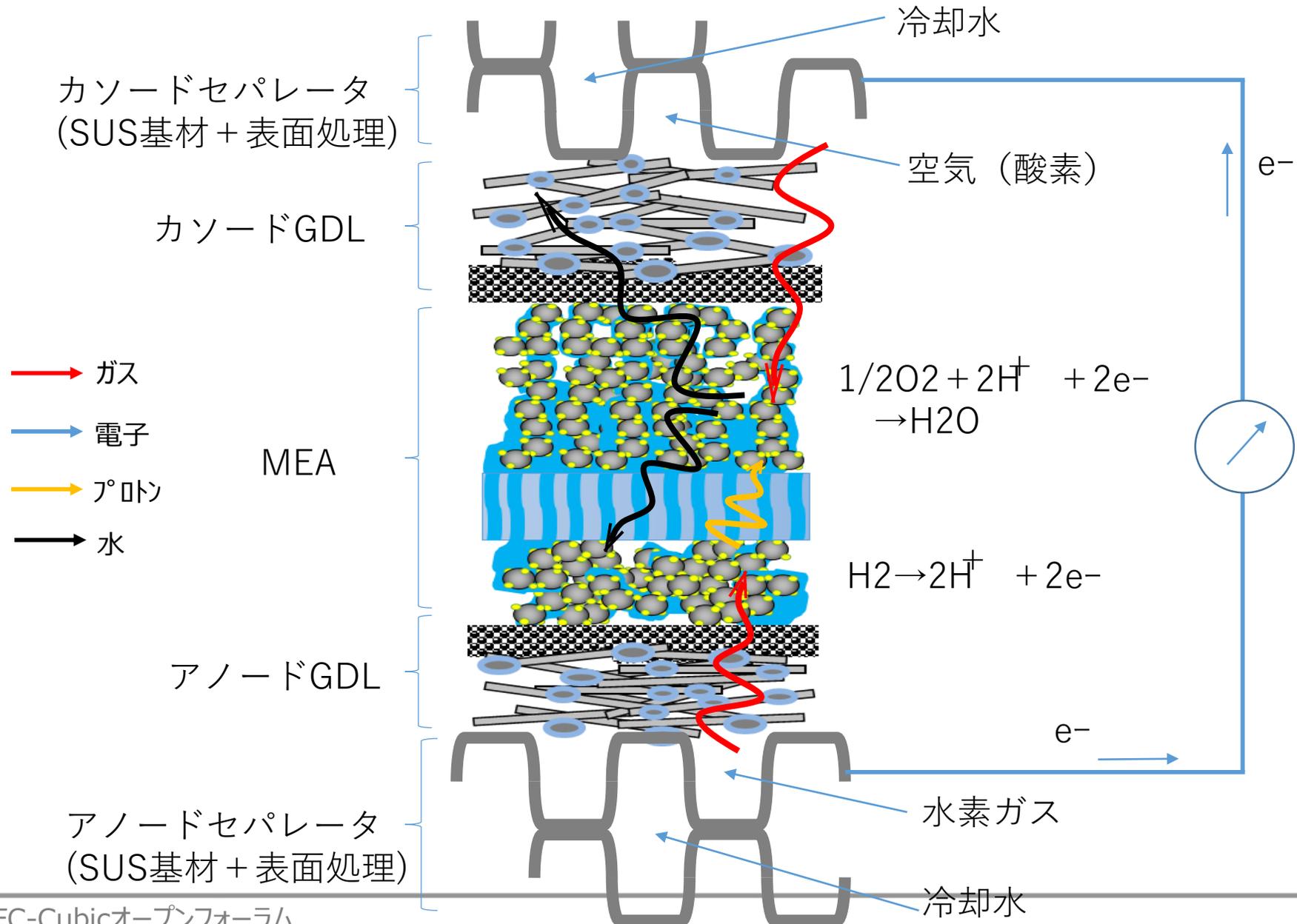
2-3. シール開発課題

2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

3. まとめ

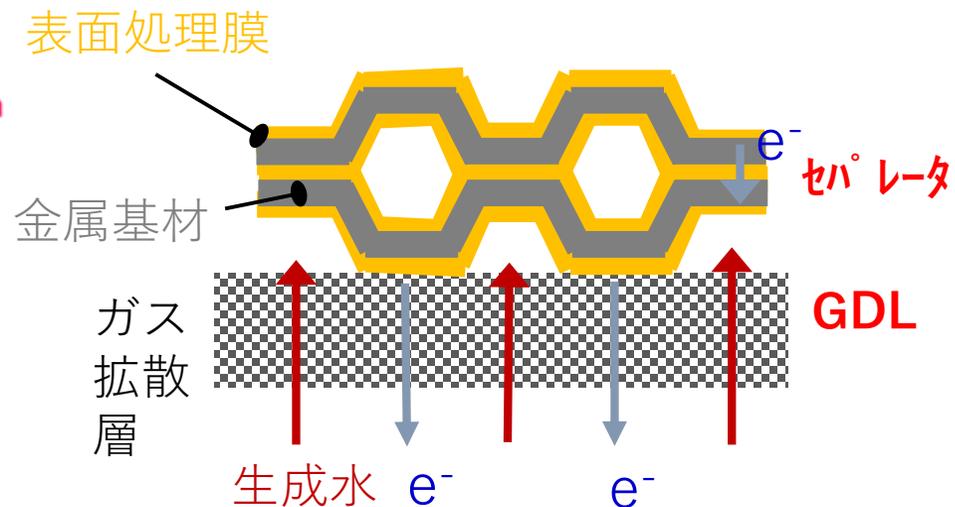
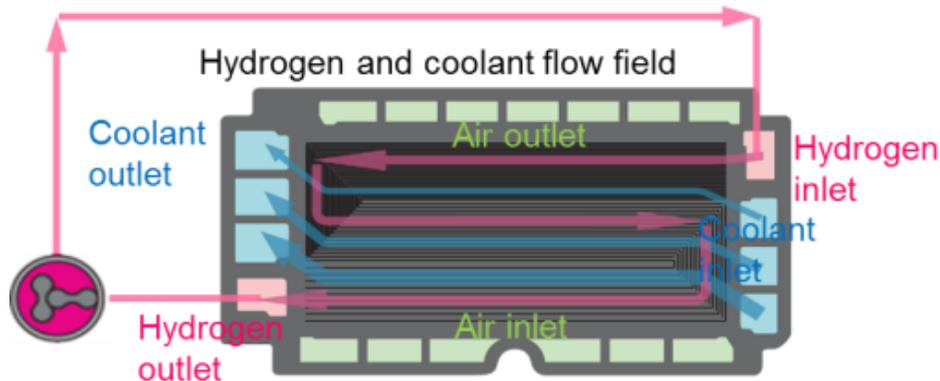
セパレータ、GDL、MEA構成



セパレータ×GDL界面部要求機能

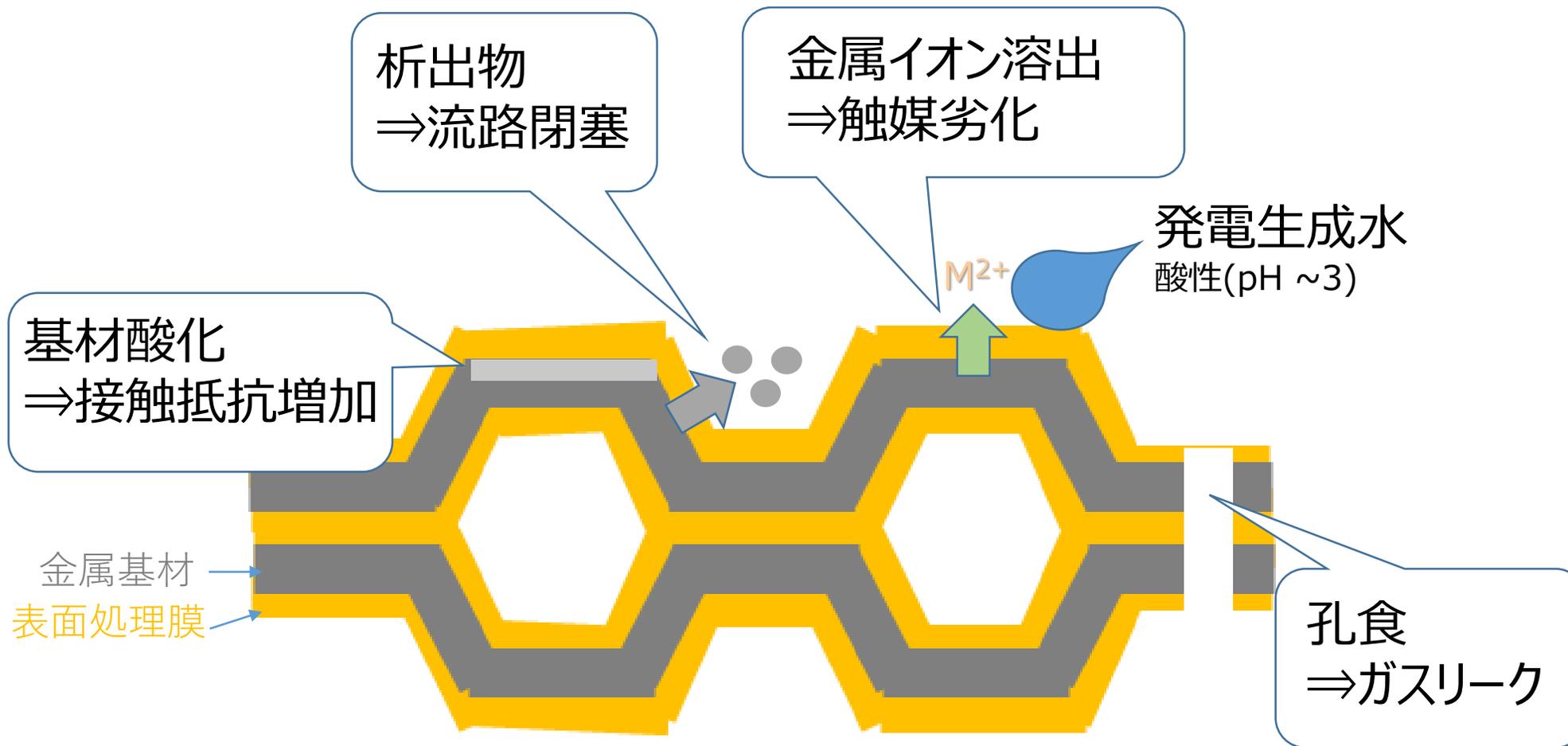
- ☆ 水素・酸素ガス分配
- ☆ 冷却水分配
- ☆ 生成水の排水

- ☆ セル間の電気接続
- ☆ セル内の集電
- ☆ 長期化学安定性
(耐食性)



解決したい課題

①耐腐食性確保

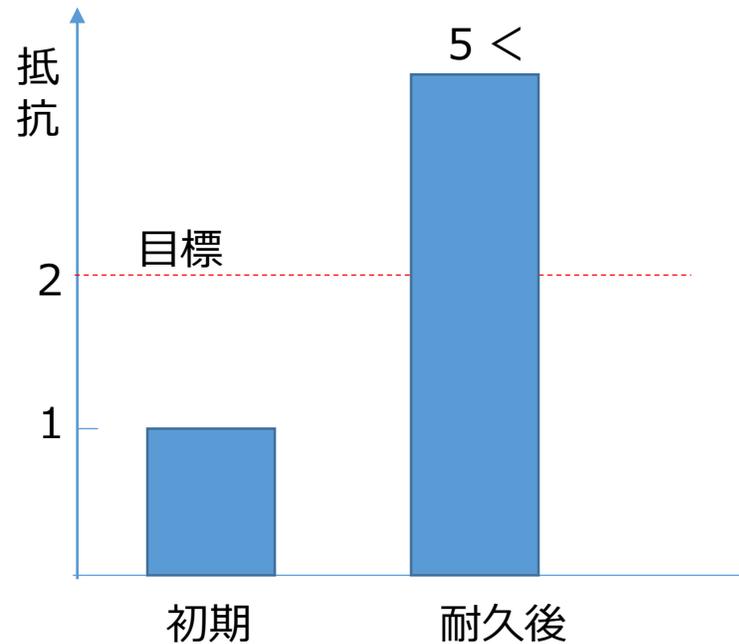


安価な基材を用いても表面处理膜で耐食性担保が必要
(DryやWet工法の表面处理でも基材保護性がポイント)

表面処理膜による耐食性向上の取組み

1) 耐食性評価

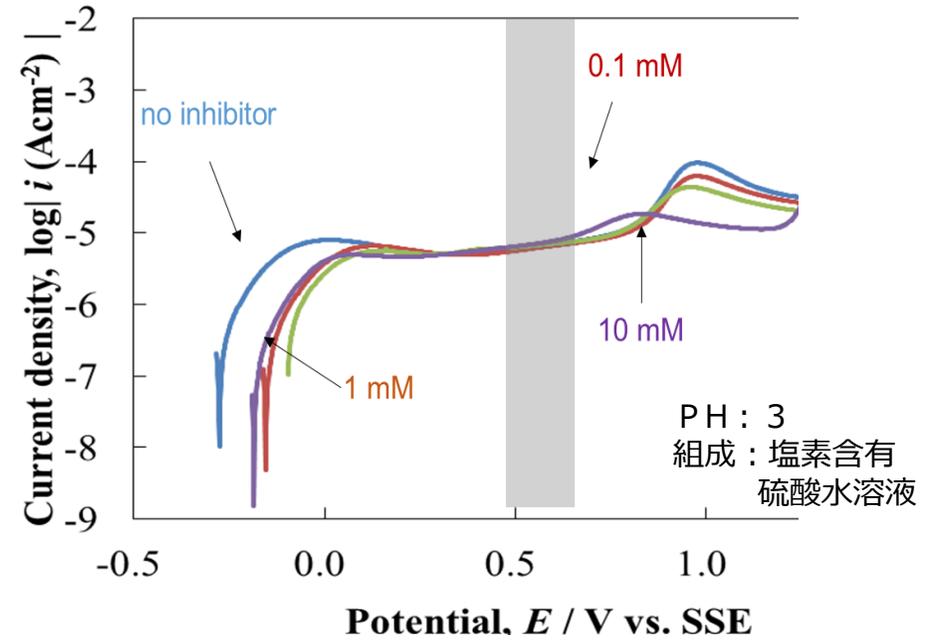
- 走行想定パターン評価
- 表面処理有けレタ単体の貫通抵抗初期を1で規格化



表面処理膜、基材腐食により抵抗増

2) インヒビター探索

Na₂MoO₄水溶液濃度と耐食効果



M. Ueyama, et al.; 232nd ECS meeting Abstract, 697 (2017).

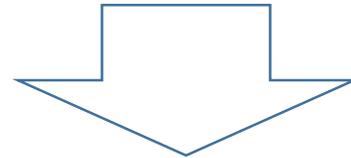
10mMで耐食効果確認
施工、仕込み方が課題

表面処理膜による耐食性向上の取組み

従来の方策

- ✓ 厚膜化
- ✓ 多層化
- ✓ 貴金属系材料の利用

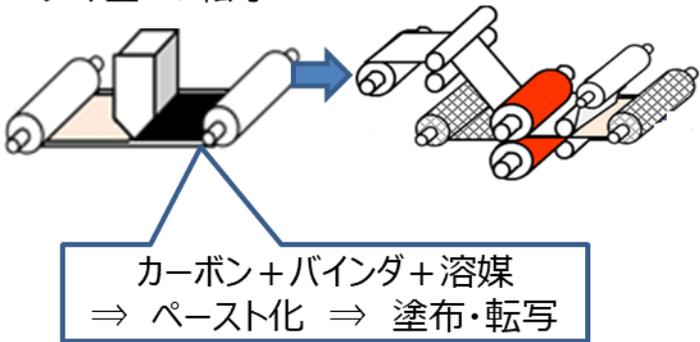
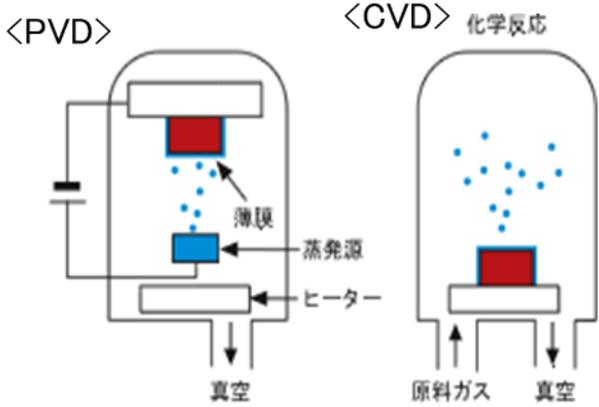
性能、コストとのトレードオフ
となる対策がほとんど



今後の対応（期待したい部分）

- ✓ 新規防食シーズ探索(新規インヒビター等)の継続
- ✓ 安価で欠陥保証可能な表面処理研究の期待

解決したい課題 ②表面処理工法

項目	ウェット処理	ドライ処理
代表プロセス	<p><ダイ塗工/転写></p>  <p>カーボン+バインダ+溶媒 ⇒ ペースト化 ⇒ 塗布・転写</p>	<p><PVD> <CVD> 化学反応</p>  <p>薄膜 蒸発源 ヒーター 真空</p> <p>原料ガス 真空</p>
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用塗工設備活用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・高品質膜が得意（高緻密、高導電性） ・材料選択幅が広い（金属・無機・有機）
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・緻密性低い→厚膜化必要 ・バインダ樹脂→導電性低下 	<ul style="list-style-type: none"> ・高コスト装置構成（高真空ポンプ、高圧電源） ・成膜材料歩留まり低い ・異常放電

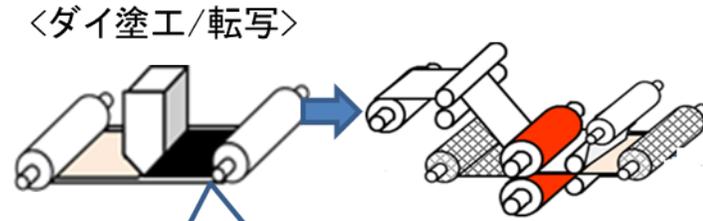
[課題] 高導電性ペースト材料開発
(導電性バインダ樹脂など)

[課題]
 ・安価な部品から構成される成膜装置開発
 ・材料を効率的消費し、かつ安定成膜可能な成膜加工技術開発

両工法とも一長一短があり、ブレイクスルー技術が必要

解決したい課題 ③コーティング特性

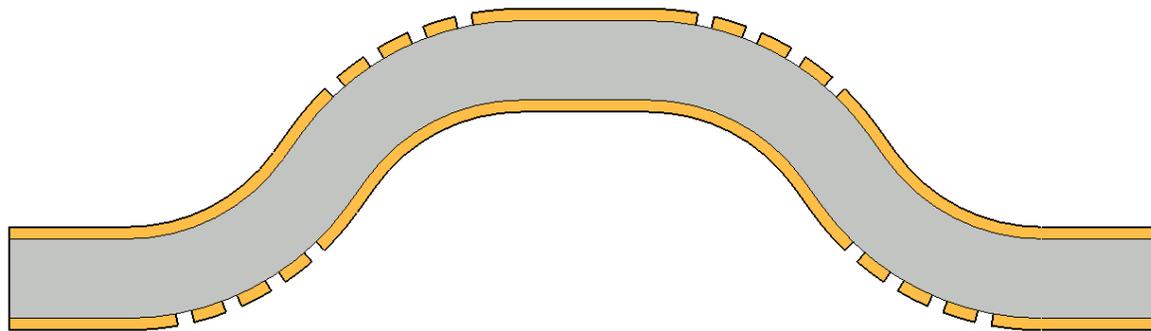
ロール材でのコーティングは連続処理により安価な加工費が期待できるが、プレス成形によりクラック発生が課題



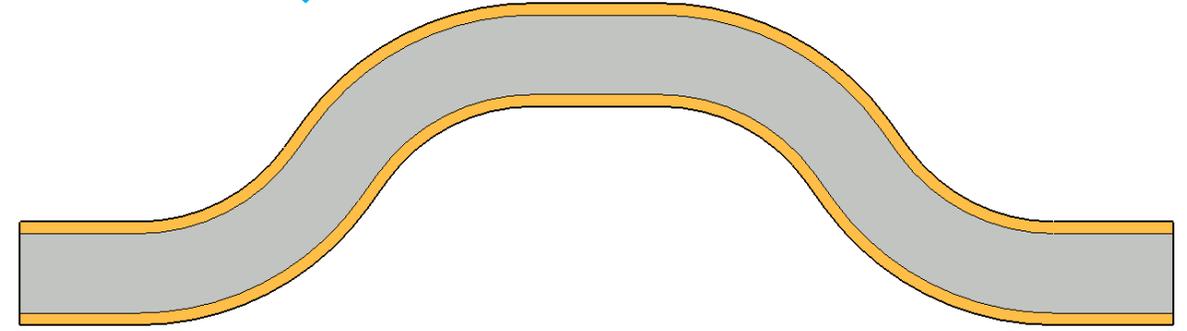
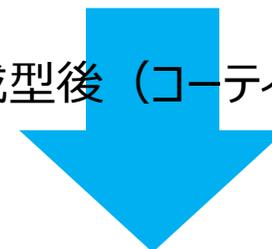
プレス成形前



プレス成形後（コーティング割れ発生）



プレス成型後（コーティング割れなし）



プレス成形によるクラック発生しない材料伸びに追従できるコーティング特性が望ましい。

まとめ

セパレータ×GDL界面部分の解決したい課題・・・

①セパレータ基材 (SUS)の防食効果の高い表面処理技術
または防食技術の獲得

②工法における課題

- ・ウェット処理: 薄膜化→耐食性要素(腐食因子バリア、ピンホール抑制)
厚膜化→低抵抗材
- ・ドライ処理 : 高真空、高電圧対応装置でない新規工法開発
処理材料歩留まり向上要素開発

③コーティング特性

プレス成形によるクラック発生しない材料伸びに追従できるコーティング特性

FC-Cubic 課題共有

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

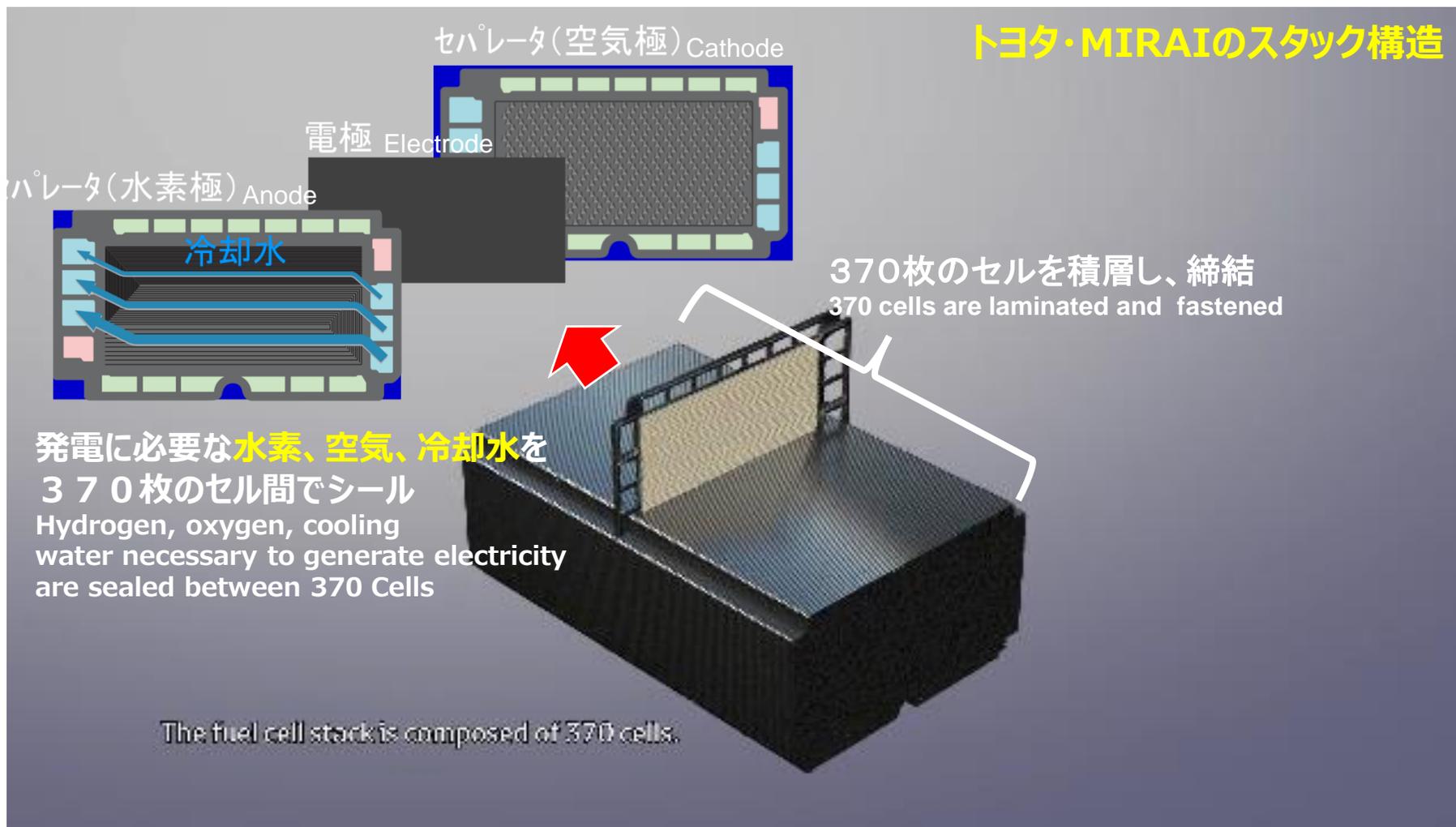
2-3. シール開発課題

2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

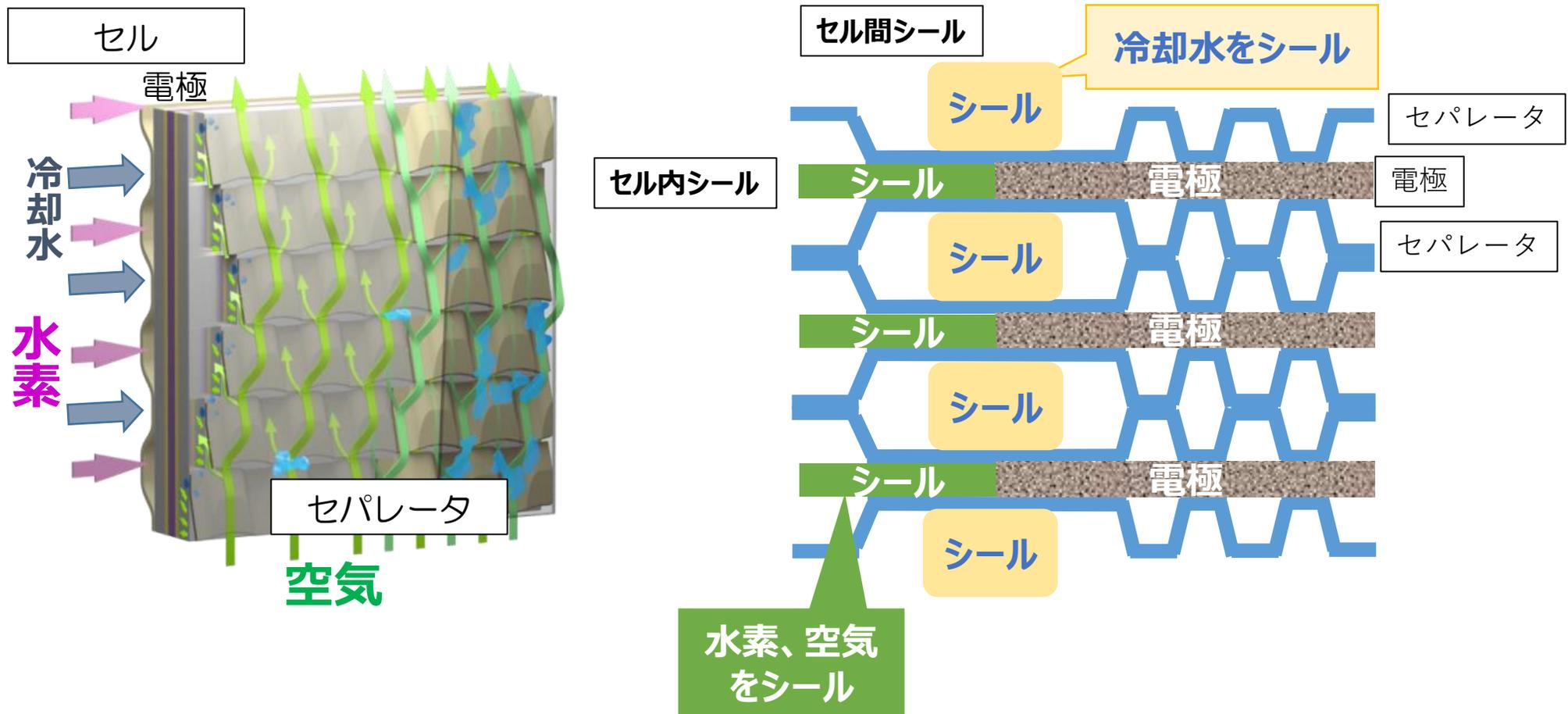
3. まとめ

FCスタック積層構造



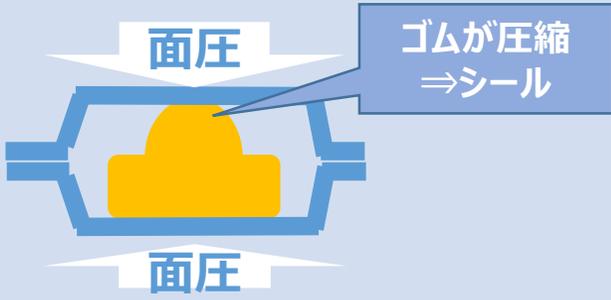
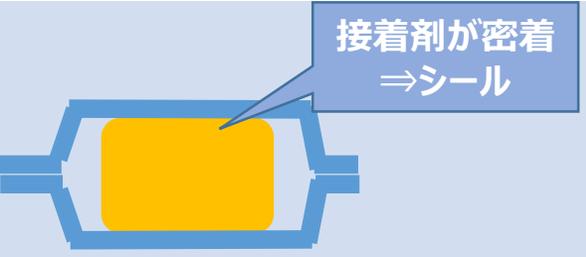
FCスタックは水素・空気・冷却水の流路がある
⇒ それぞれシールが必要

セル・電極 構造・機能 (シール)



FCセル・スタックはガス（水素・空気）と液体（冷却水）が流れる
うえに圧力がかかるため、それらをシールする構造が必要
→ **セパレータシール構造・材料（ガスケット、接着剤）が重要**

シール方式と特徴・要求機能

シール方式	圧縮（面圧）シール	接着シール
シール原理		
特徴	<p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・面圧とゴム弾性設計でシール機能保証可能 <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ゴムの硬化時間が長い = 高コスト 	<p>(メリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・面圧に依存しないシールが可能 <p>(デメリット)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接着面の品質管理が煩雑 ・FC環境で使用可能な接着剤は材料が高価
要求機能 (方式別)	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮永久ひずみ ばね弾性/ストローク 	<ul style="list-style-type: none"> ・接着強度
要求機能 (共通)	<ul style="list-style-type: none"> ・耐加水分解性 (セル内シール / Ca生成水、セル間シール / 冷却水) ・触媒被毒レス (セル内シール) ・膜脆化レス (セル内シール) 	

既存材料の課題

×：特に懸念される弱点

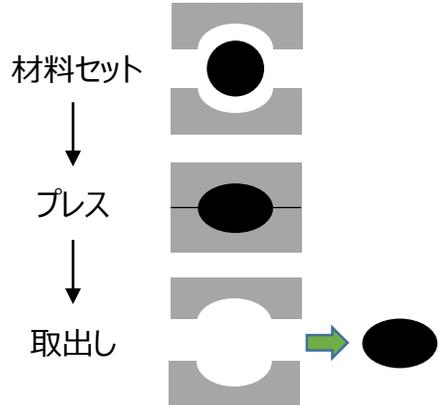
	耐加水分解性	耐酸劣化	膜脆化レス	触媒被毒レス	圧縮永久ひずみ	硬化速度
EPDM						×
Si系ゴム		×	×			×
アクリルゴム	×	×		×		×
Si系接着剤		×	×			
アクリル接着剤	×	×		×		
熱可塑性 エラストマー (ポリオレフィン)					×	

各種既存材料について、それぞれに技術課題が存在
FC環境下では溶出物等による発電性能、耐久性への影響もあり

ゴム成型の生産性課題

成形方法

コンプレッション



サイクルタイム

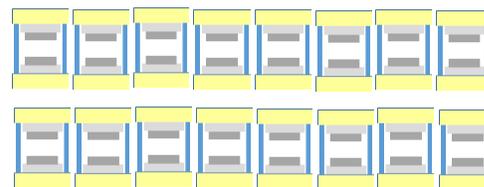
分オーダー

※長いものでは10分以上必要となるものもある。

設備台数

仮にサイクルタイムを5分/枚とした場合

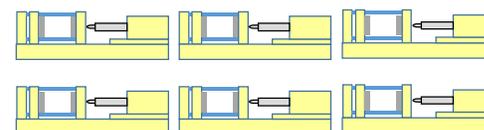
約1,000台



⋮

仮にサイクルタイムを30秒/枚とした場合

約100台



⋮

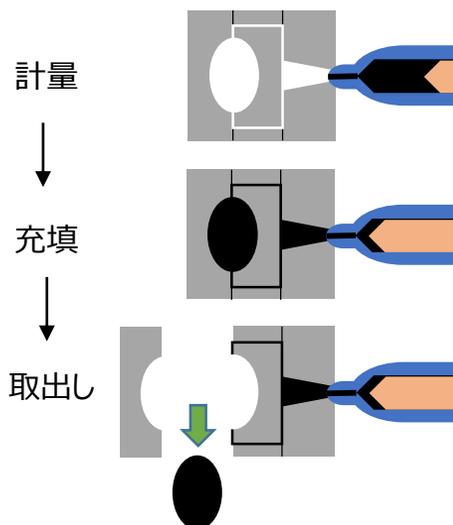
目標

※ストック生産数を10万台/年とした場合の試算

**サイクルタイム
1桁秒**

仮にサイクルタイムを
5秒/枚とした場合
約17台

インジェクション



2桁秒

※長いものでは60秒以上必要となるものもある。

高速生産に向けては成型技術と材料開発の両方が必須

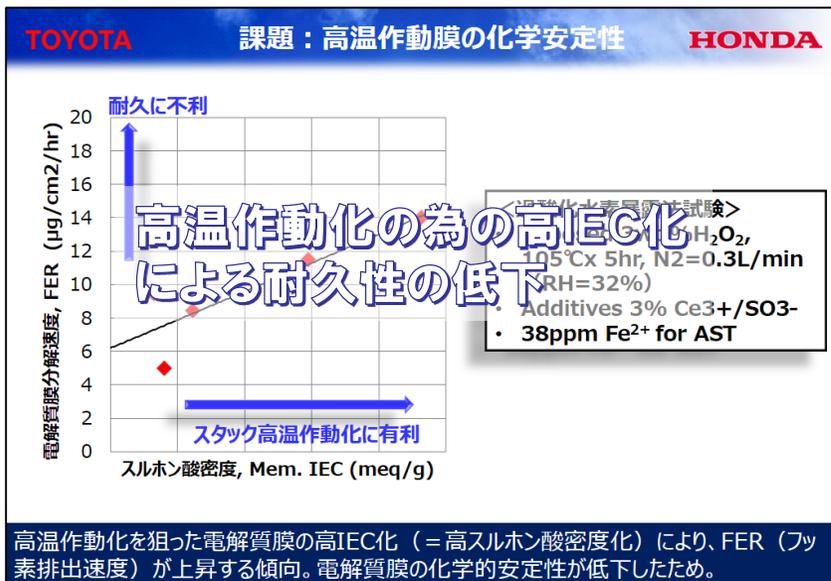
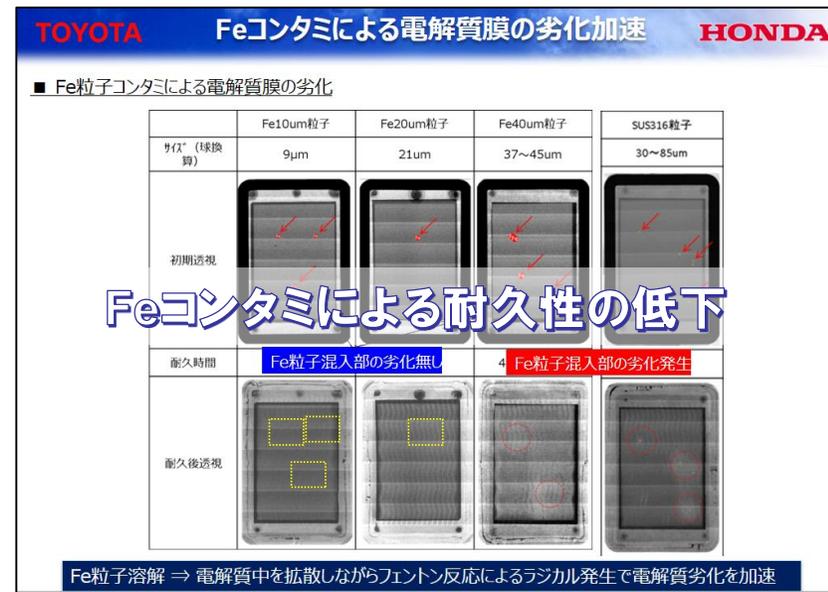
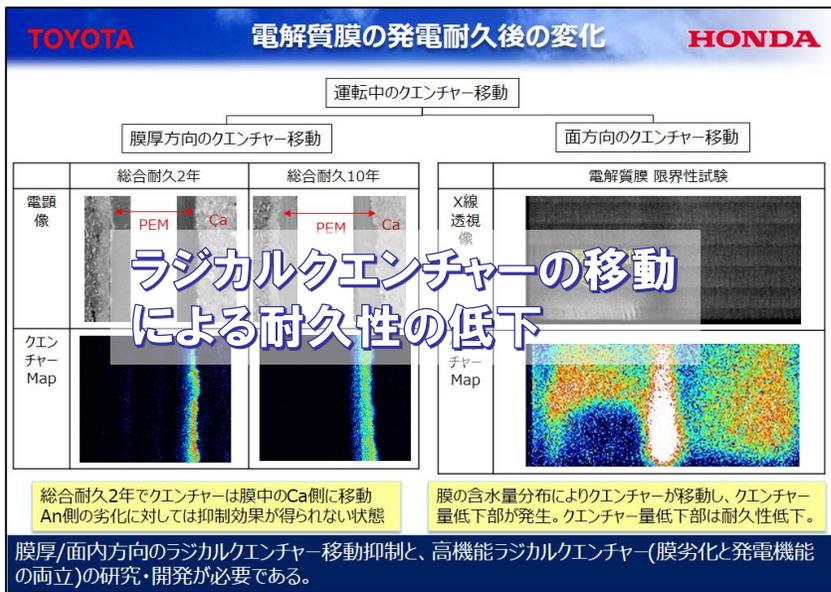
セルシール課題

- ・**圧縮(面圧)シール**
ゴムの硬化時間を短縮可能な、成型技術と材料が必要
- ・**接着シール**
FC環境でも耐えられる低コスト素材の探索
- ・**材料**
FC環境下で発電性能、耐久性へ影響を及ぼさない低コスト材料の探索

本日の内容

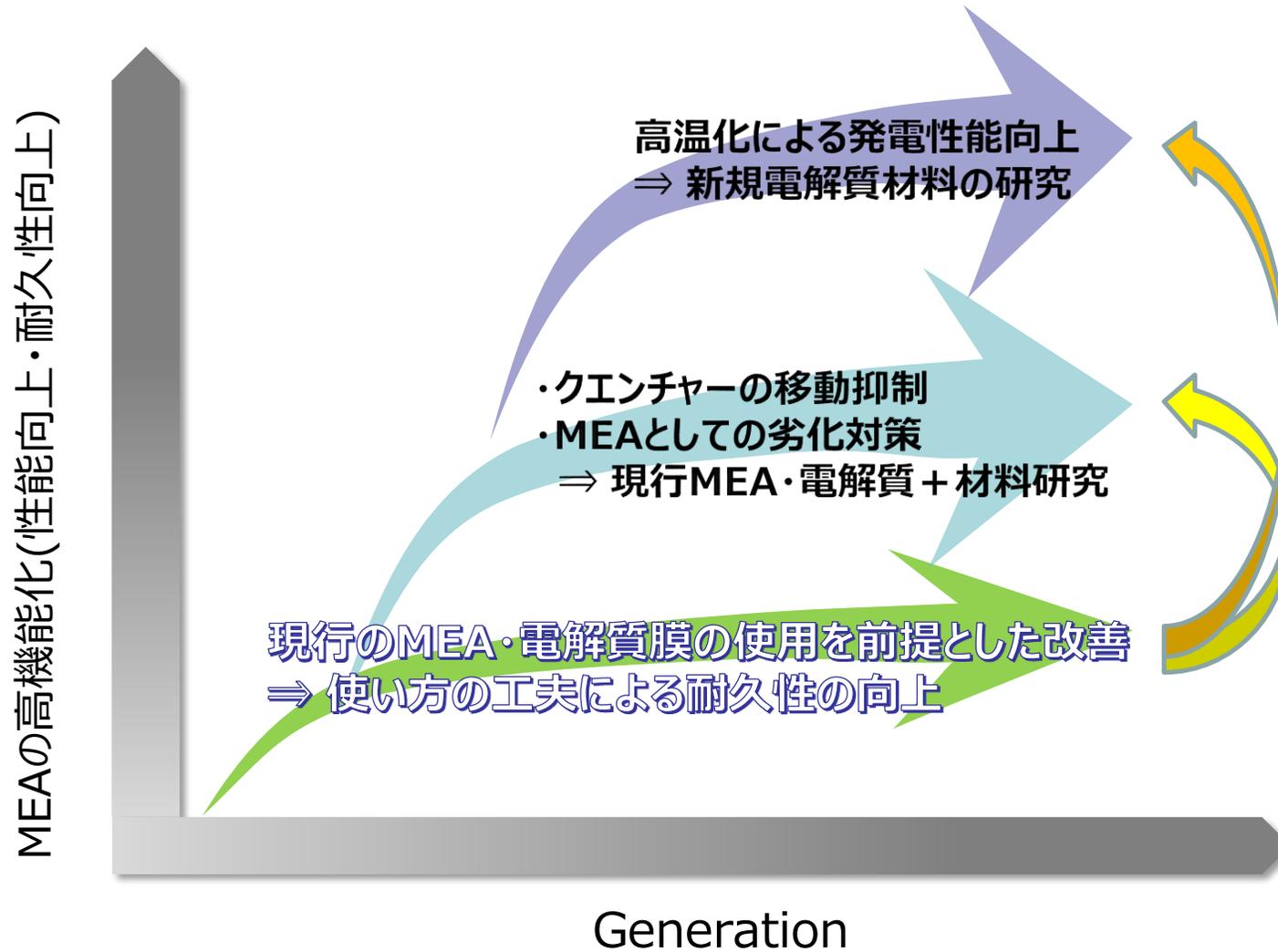
1. はじめに
2. FCの普及に向けた課題
 - 2-1. GDL開発課題
 - 2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題
 - 2-3. シール開発課題
 - 2-4. 電解質膜開発課題**
 - 2-5. 水素品質対応
3. まとめ

2019.1.22 課題共有フォーラム振り返り



- ・現行のMEA・電解質膜における課題
⇒ ラジカルクエンチャーの移動、Feコンタミによる耐久性の低下
- ・将来の電解質膜開発方向性の一つである高温化における課題
⇒ 高IEC化による耐久性の低下

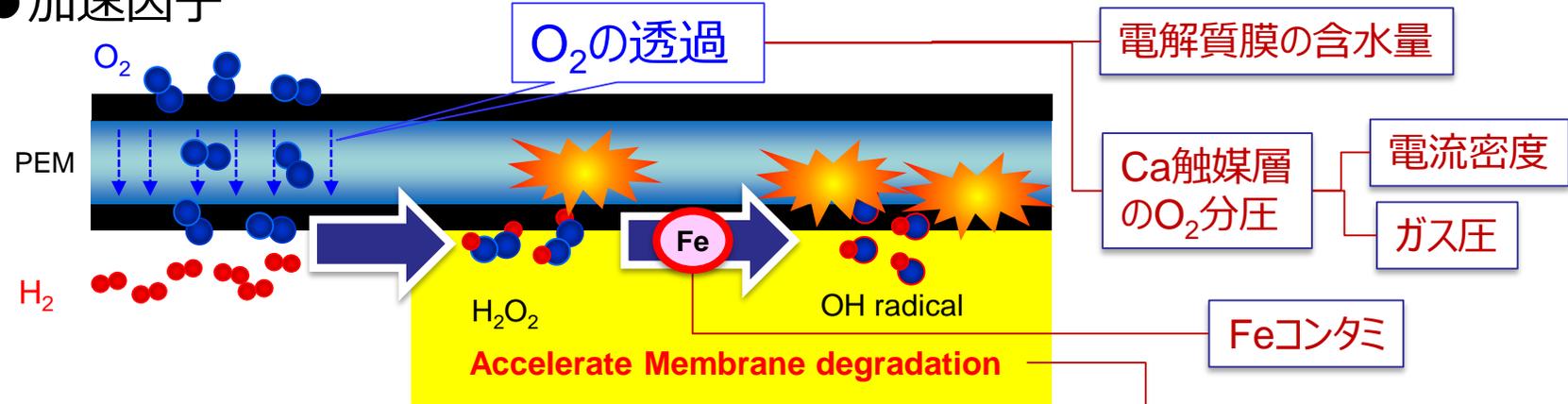
電解質膜・MEA進化の方向性



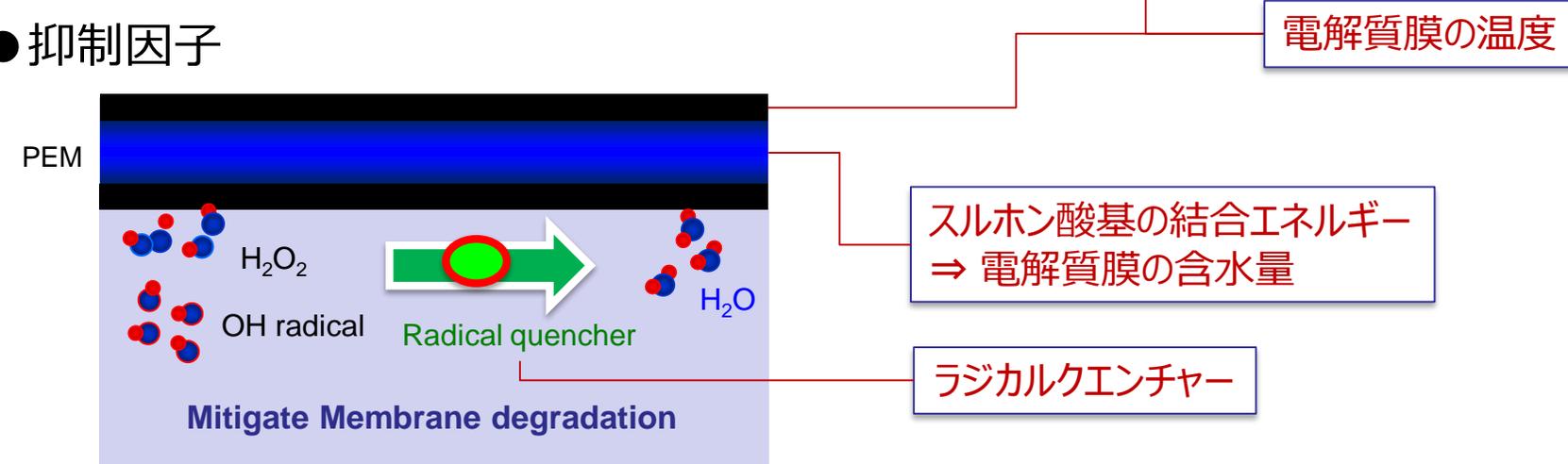
- ・現行のMEA・電解質膜の劣化メカニズムをより理解し、使い方を改善することで更なる耐久性の向上
- ・新規電解質や現行MEAをベースとした材料研究の加速と耐久向上効果の最大化

電解質膜の劣化メカニズム

● 加速因子



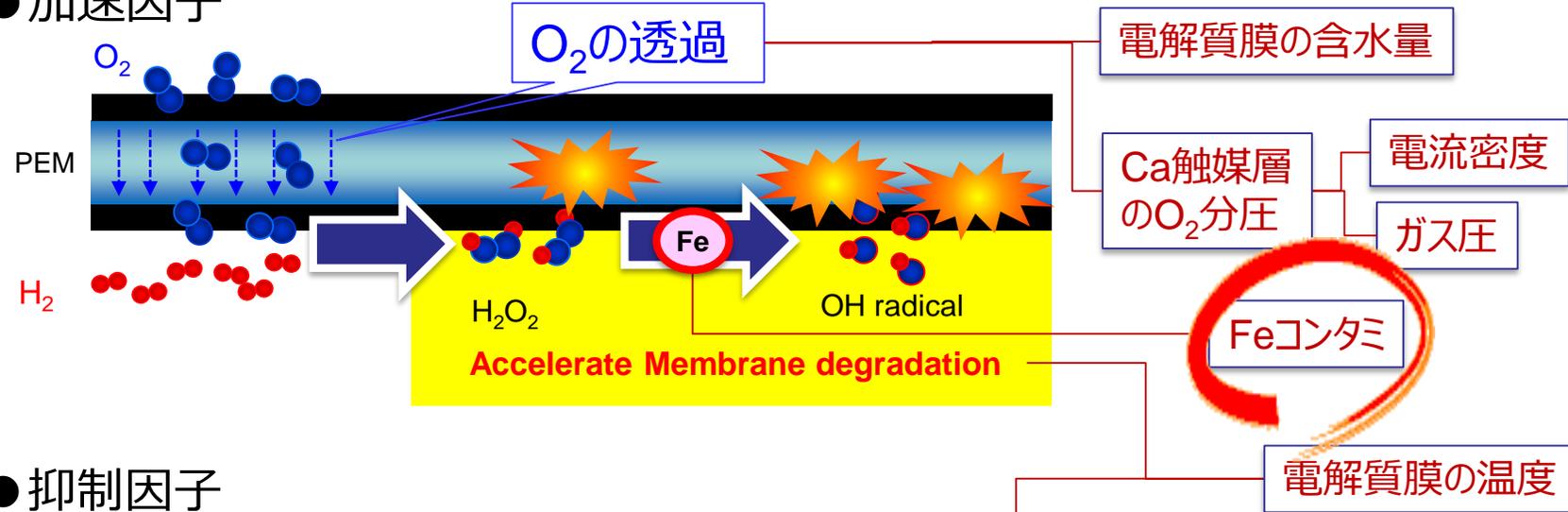
● 抑制因子



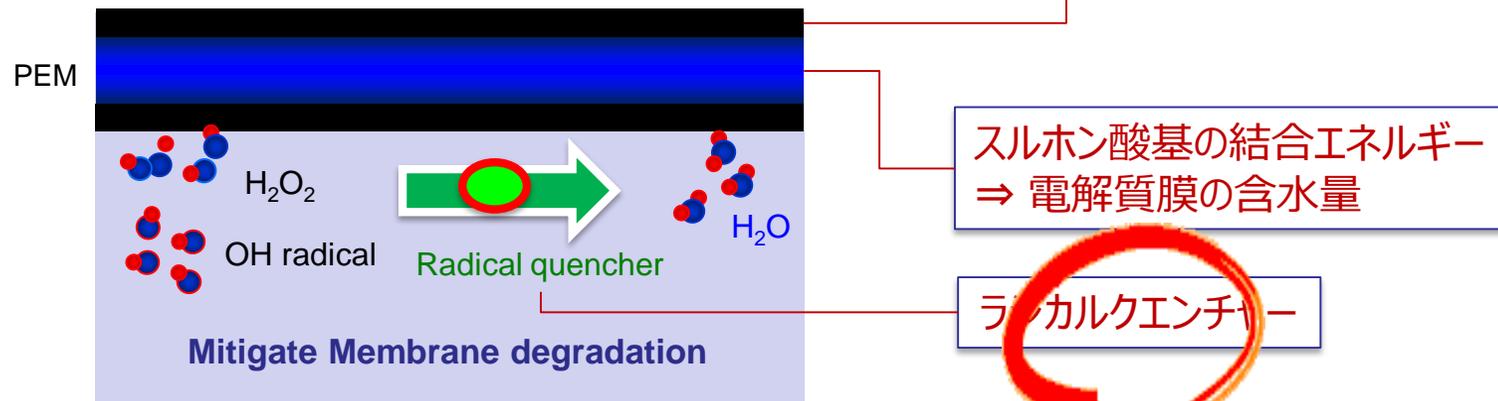
- ・電解質膜の劣化には電池内環境や電解質膜の状態など、様々な因子が関係している
- ・劣化速度をより正確に把握する為には各単独因子の影響度だけでなく因子間の交互作用も重要

電解質膜の劣化メカニズム

● 加速因子



● 抑制因子



- ・電解質膜の劣化には電池内環境や電解質膜の状態など、様々な因子が関係している
- ・劣化速度をより正確に把握する為には各単独因子の影響度だけでなく因子間の交互作用も重要

Feコンタミとラジカルエンチャーの交互作用

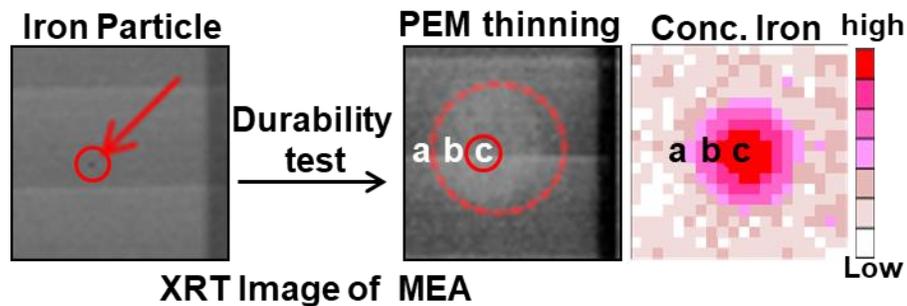
■ Feによるラジカル生成加速

TABLE I. Reactions considered in the simulation (6). The rate constants are values at room temperature and low pH.

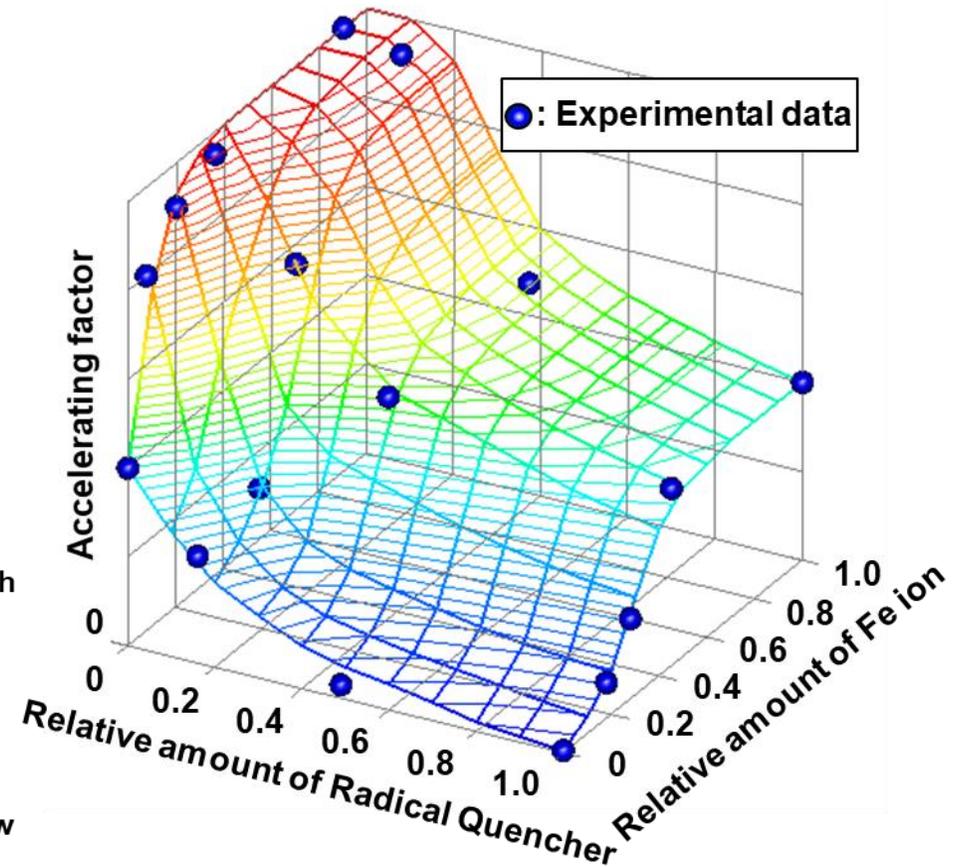
#	Reaction	Rate constant
1	$\text{HO}^\bullet + \text{R}_f\text{CF}_2\text{COOH} \rightarrow \text{products}$	$< 10^6 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
2	$\text{HO}^\bullet + \text{PSSA} \rightarrow \text{products}$	$4 \cdot 10^8 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
3	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HO}^\bullet$	$1.2 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
4	$\text{HO}^\bullet + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HOO}^\bullet + \text{H}_2\text{O}$	$2.7 \cdot 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
5	$\text{HOO}^\bullet + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HO}^\bullet + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	$1^a \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
6	$\text{HO}^\bullet + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}^\bullet + \text{H}_2\text{O}$	$4.3 \cdot 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
7	$\text{H}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow \text{HOO}^\bullet$	$1.2 \cdot 10^{10} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
8	$2 \text{HOO}^\bullet \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	$8.6 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
9	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}^\bullet + \text{H}_2\text{O}$	$63 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
10	$\text{Fe}^{2+} + \text{HO}^\bullet + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	$2.3 \cdot 10^8 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
11	$\text{Fe}^{2+} + \text{HOO}^\bullet + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2$	$1.2 \cdot 10^6 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
12	$\text{Fe}^{3+} + \text{HOO}^\bullet \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}^+$	$2 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$
13	$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{HOO}^\bullet + \text{H}^+$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$

L. Gublera et al., ECS Transactions, 41, 1431(2011).

■ Fe粒子コンタミによる電解質膜の劣化



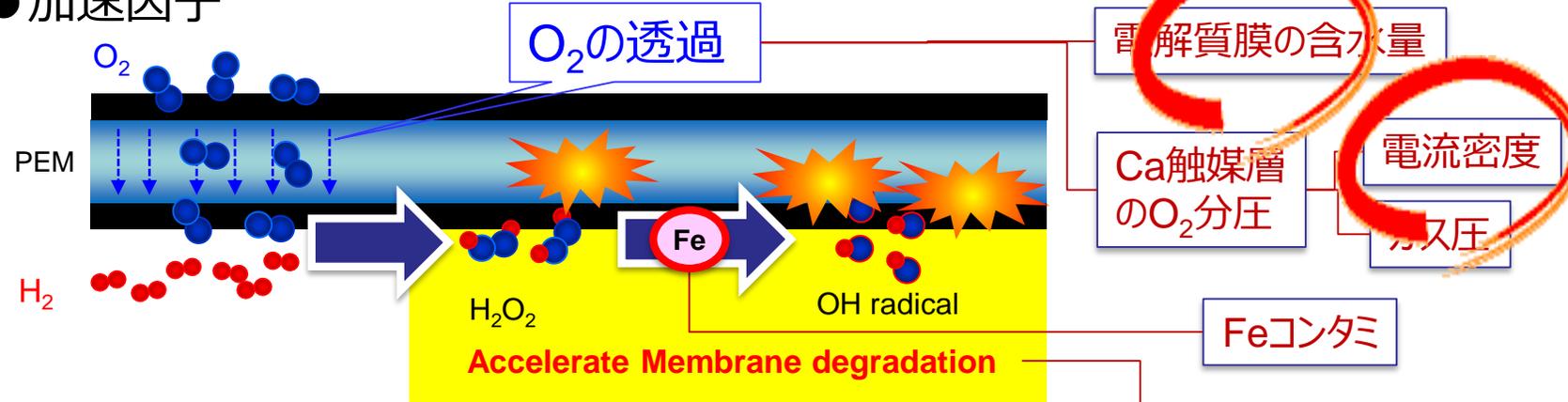
■ Feとラジカルエンチャーの交互作用



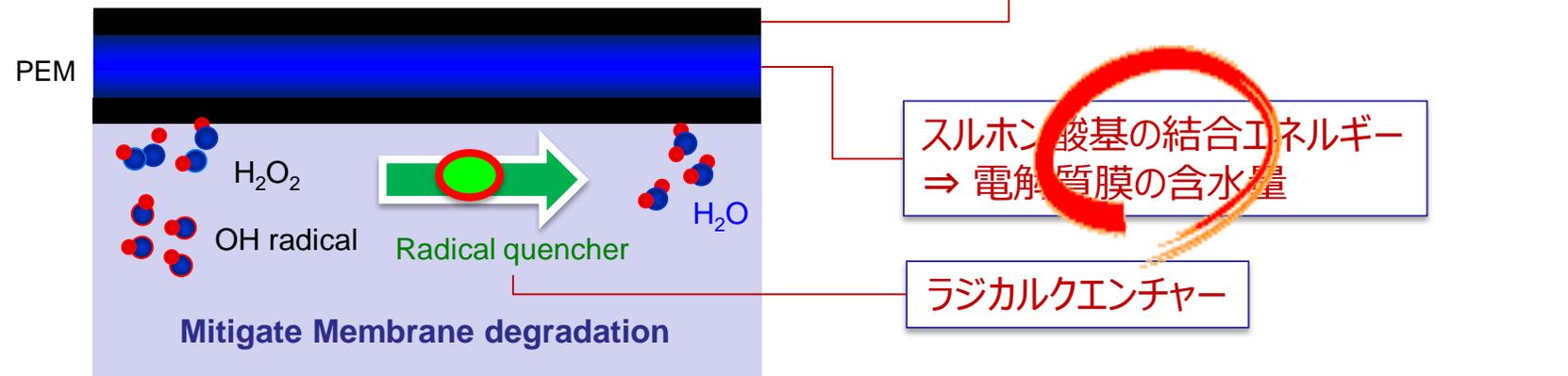
Feコンタミによる劣化加速とクエンチャー量低下による劣化加速は単純な積とならない⇒因子間相互作用を考慮する必要あり

電解質膜の劣化メカニズム

● 加速因子



● 抑制因子

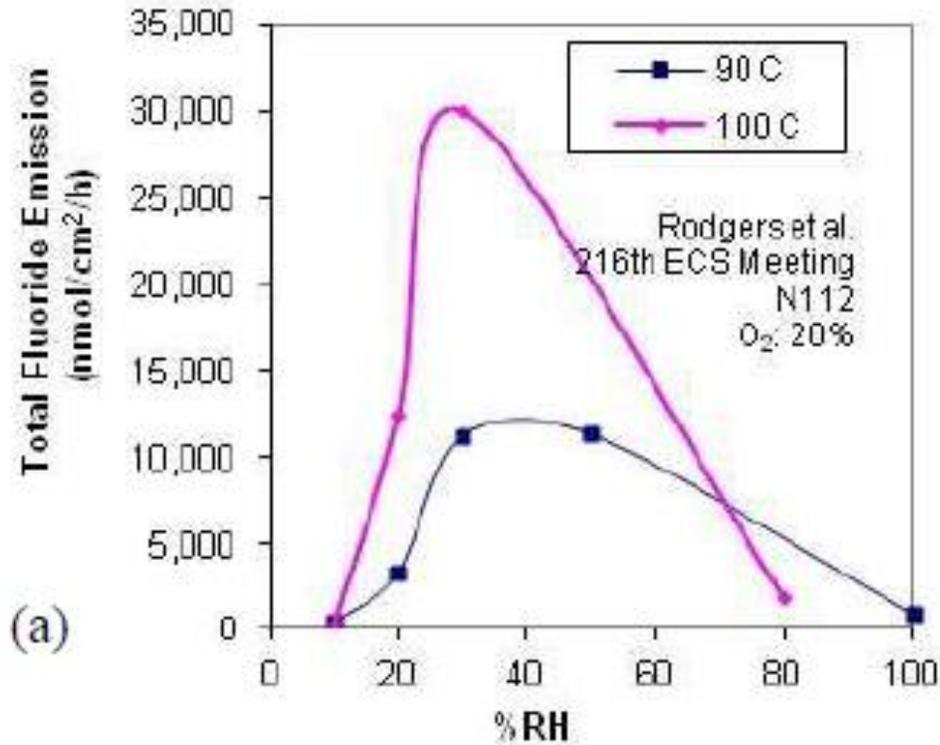


- ・電解質膜の劣化には電池内環境や電解質膜の状態など、様々な因子が関係している
- ・劣化速度をより正確に把握する為には各単独因子の影響度だけでなく因子間の交互作用も重要

電解質膜の含水量と電流密度の交互作用

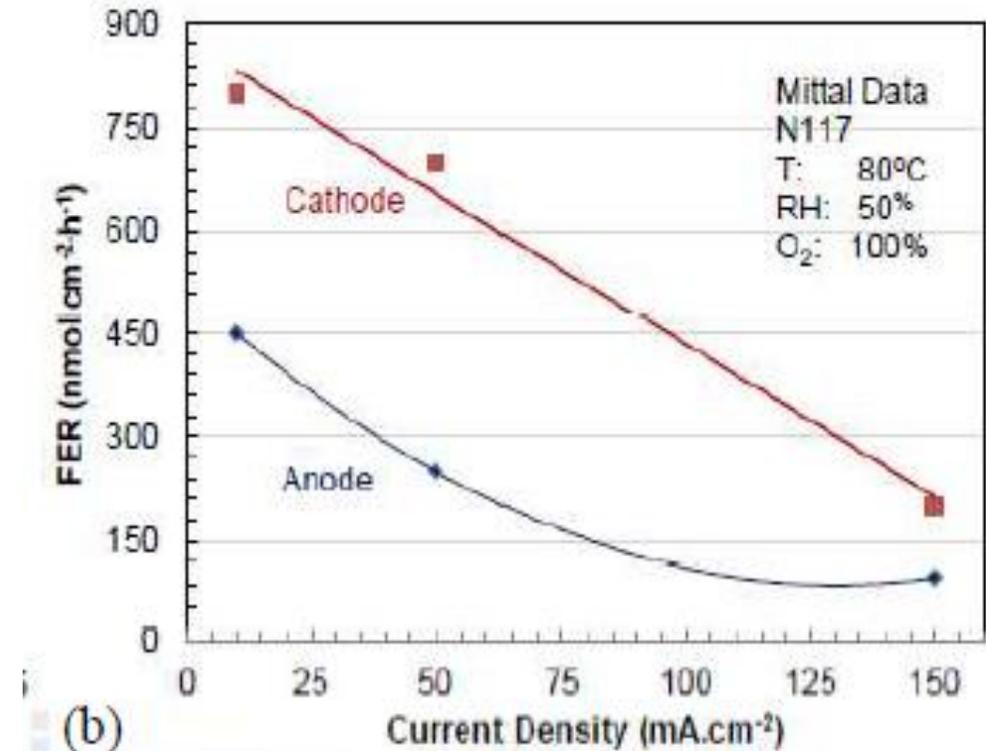
Marianne P. Rodgers et al 2013 ECS Trans. 58 129

● 電解質膜の含水量の違いによる劣化速度の変化



電解質膜劣化速度は含水量に対してピークをもつ

● 電流密度の違いによる劣化速度の変化

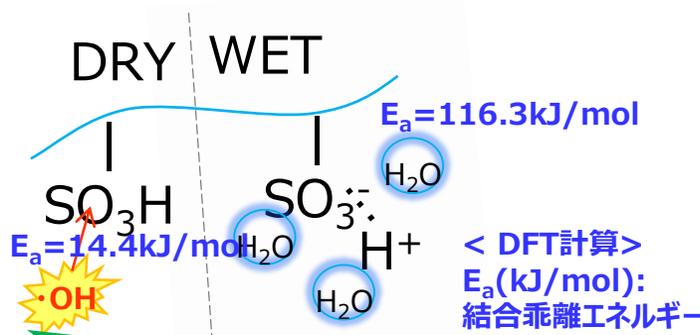


電解質膜劣化速度は電流密度が増加すると減少する

電解質膜劣化の含水量依存性

Zhao, Y. et. Al., *J. Phys. Chem. C* **2018**, 122, 20135-20143.

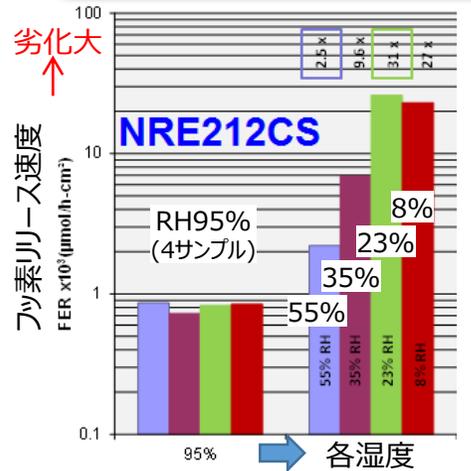
<プロトンの結合状態(DryとWetの違い)>



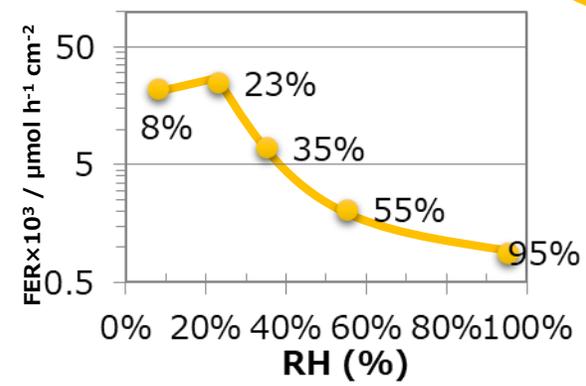
Dry環境にてプロトンが結合したスルホン酸基は簡単にラジカル化しやすく、膜劣化のきっかけとなる

電解質膜自体の劣化特性

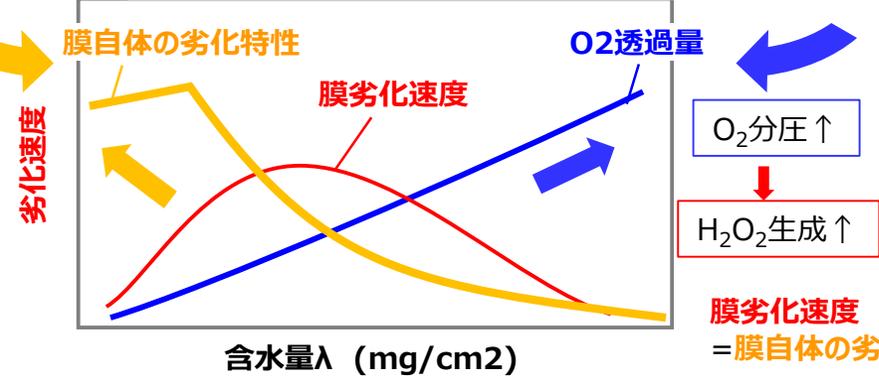
湿度違いの過酸化水素暴露試験



2014 ECS and SMEQ GM発表資料より

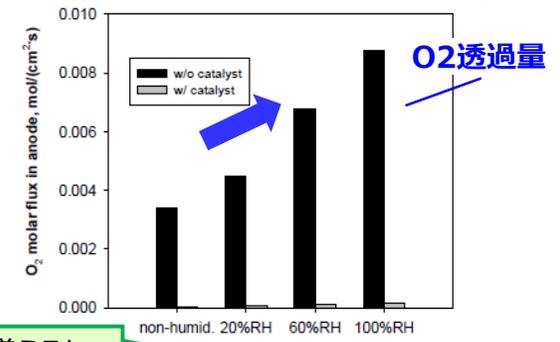


膜劣化速度と含水量の関係



O₂透過量

膜単体のガス透過性-含水量依存性-



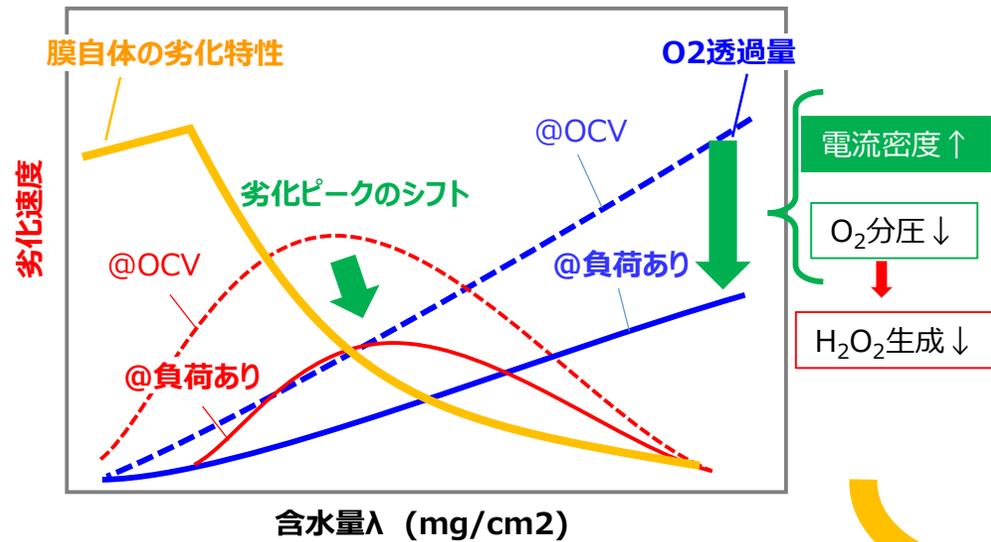
H. Xu et al., *ECS Transactions*, 6(13)51-62(2007)

膜の含水量が増えると、O₂透過量は増加

含水量増加で膜自体の劣化耐性は上がるがO₂透過量が増えるため、含水量に対して劣化速度はピーク形状になると考えられる

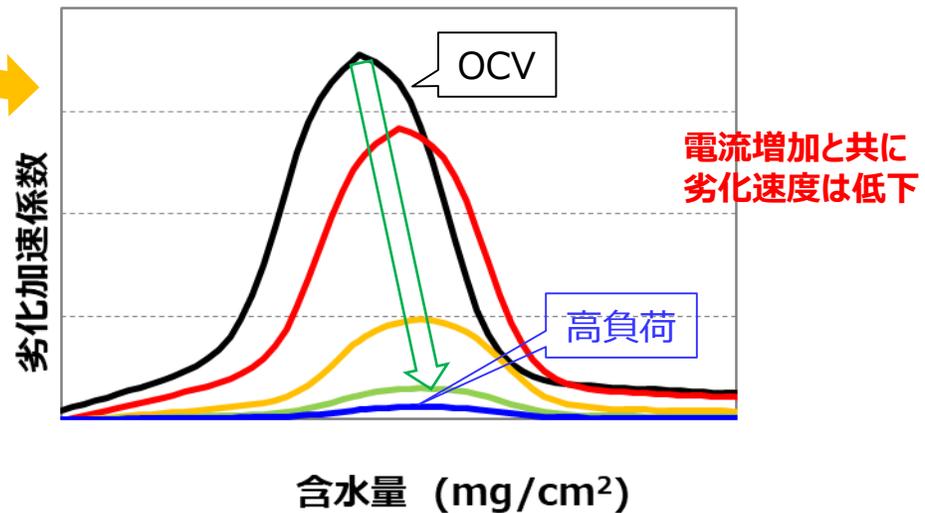
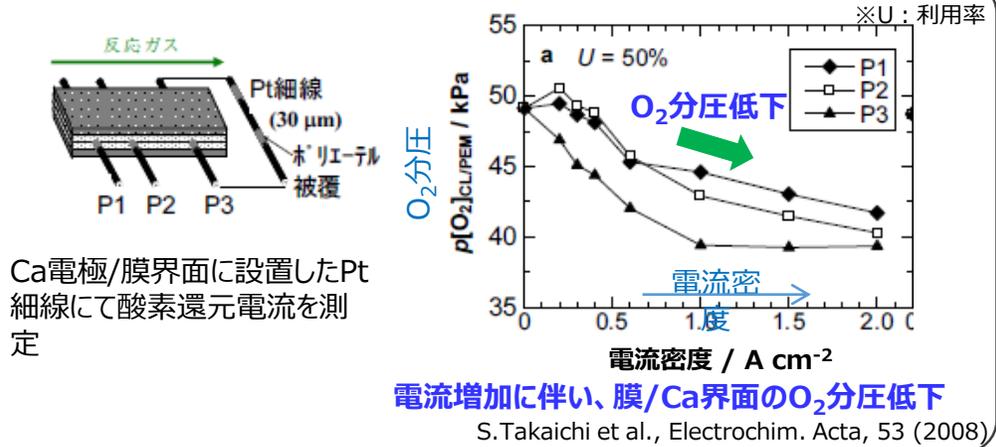
電解質膜の含水量と電流密度の交互作用

負荷をかけた時の膜劣化速度と含水量の関係



電流増加により、Ca電極で酸素が消費される(右上図参照)
 ⇒Caから膜を透過してAn電極に到達するO₂量が低下
 ⇒An電極上で生成するH₂O₂量が低下
 ⇒膜劣化速度のピークがシフトして低下

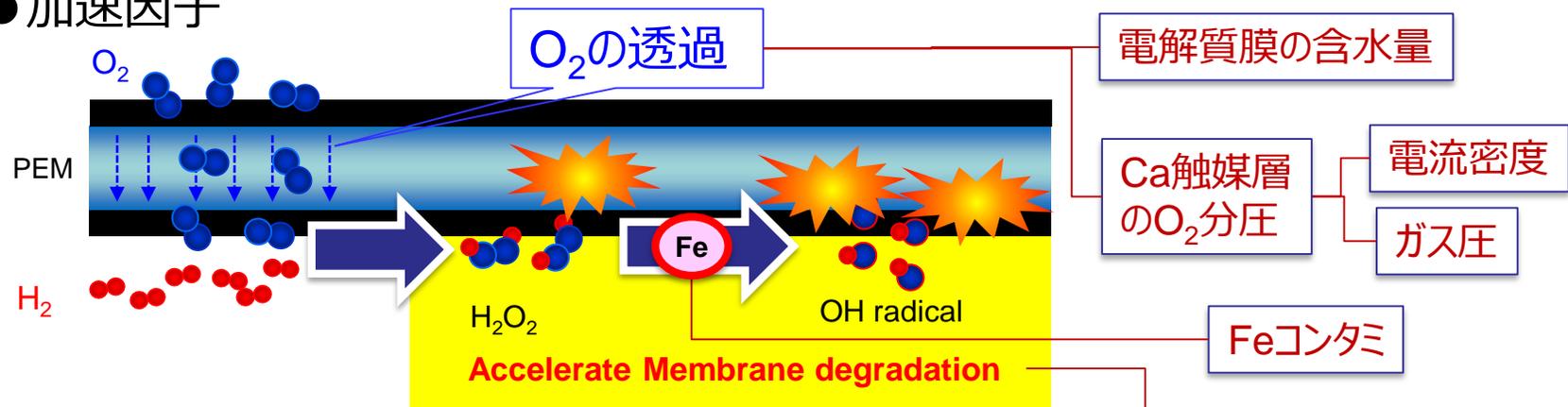
膜と電極界面のO₂分圧実測試験(文献より)



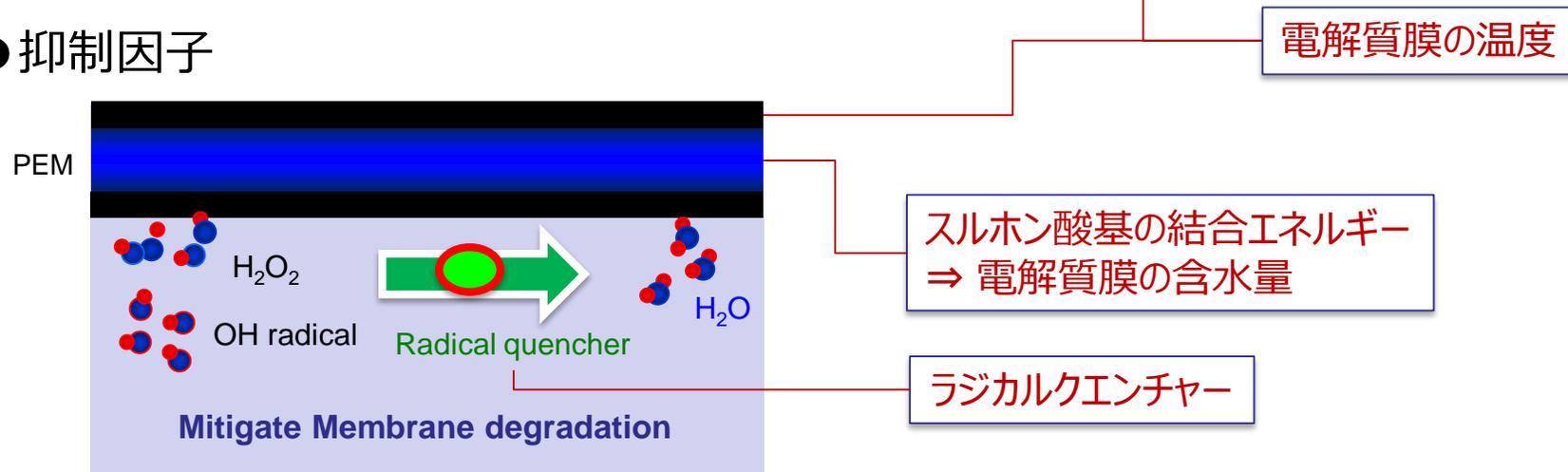
負荷増加によりO₂透過量が減少。劣化速度は含水量に対してピーク形状を保持した形で負荷の増加に伴い低減する。

電解質膜の劣化メカニズム

● 加速因子

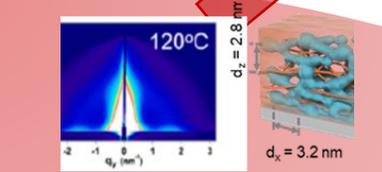
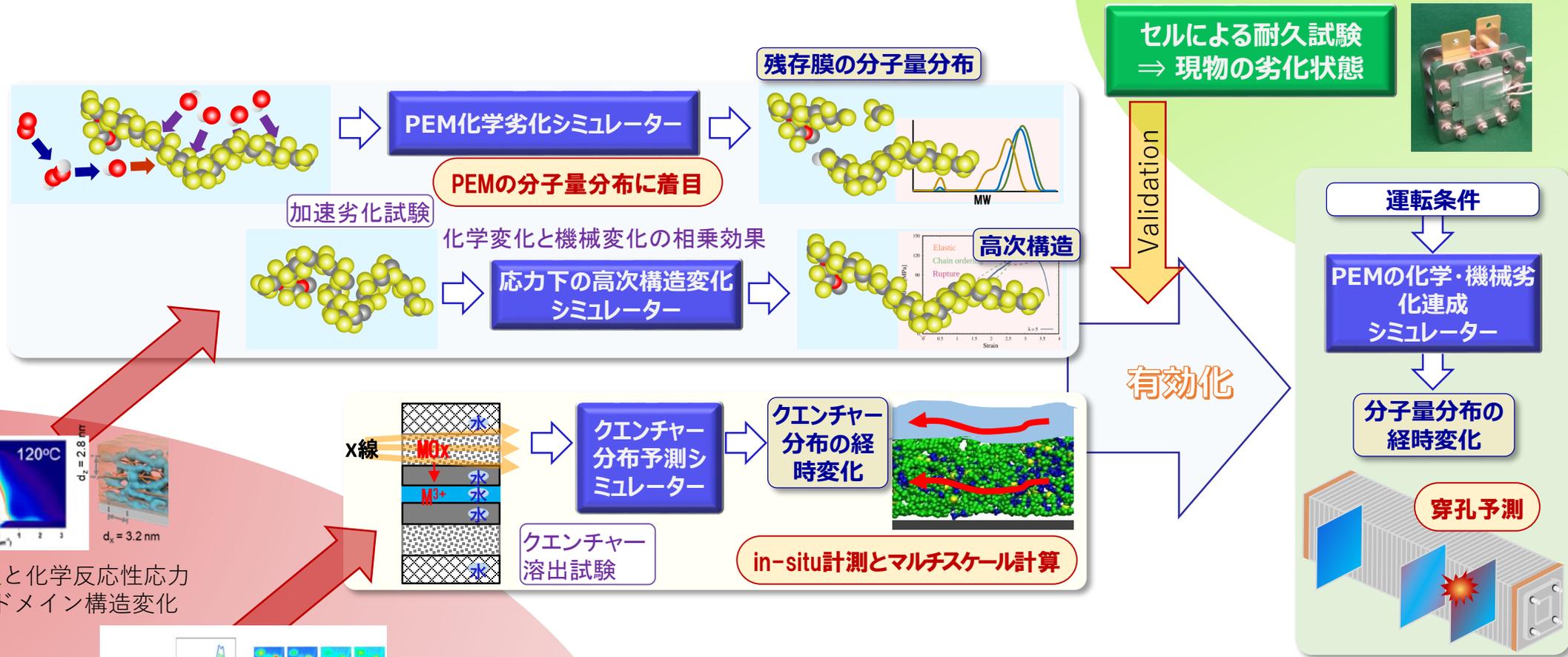


● 抑制因子

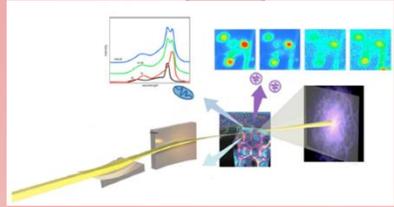


- ・劣化速度：ある環境・状態での電解質膜の結合エネルギーとラジカル生成量(=分子量変化)
- ・上記因子での相互作用を効率良く把握する為には、Simをベースとした劣化モデルの構築が必要

シミュレーションをベースとした劣化モデルの構築



高次構造と化学反応性応力によるドメイン構造変化



大面積セルでのPEM厚さ方向と面内のクエンチャー分布オペランド計測

材料解析・分析

Simulator、材料解析・分析、耐久試験が連携した劣化モデルの構築が必要

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

2-3. シール開発課題

2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

3. まとめ

水素中硫黄成分について

Specification in ISO 14687-2

Characteristics		ISO14687-2: 2012
		Type 1, Grade D
Hydrogen Fuel Index		99.97 %
Impurities	Total hydrocarbons (C ₁ basis)	2 ppm
	Water (H ₂ O)	5 ppm
	Oxygen (O ₂)	5 ppm
	He	300 ppm
	N ₂ , Ar	100 ppm
	Carbon dioxide (CO ₂)	2 ppm
	Carbon monoxide (CO)	0.2 ppm
	Total sulfur compounds	0.004 ppm
	Formaldehyde	0.01 ppm
	Formic acid	0.2 ppm
	Ammonia	0.1 ppm
Total halogenated compounds	0.05 ppm	

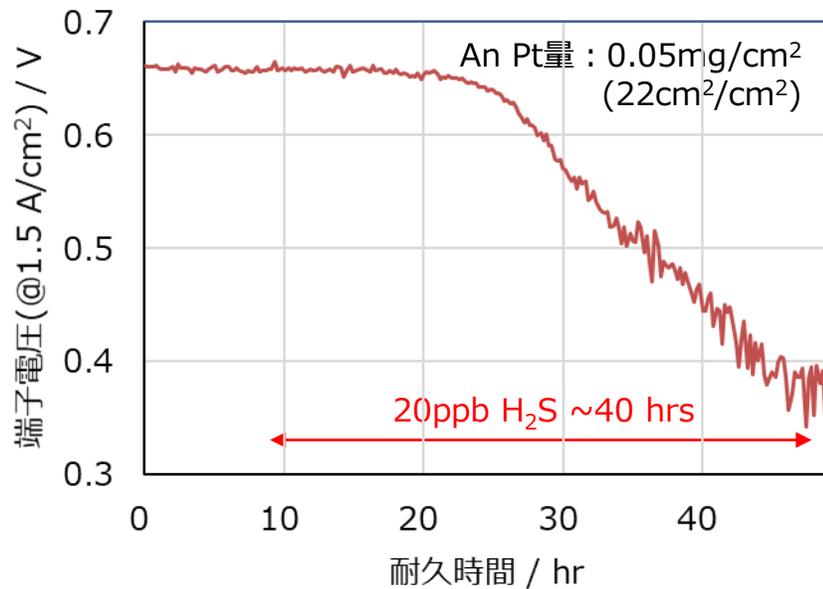
硫黄系コンタミによる性能低下が発生する為、基準を設定し運用されている

水素中硫黄成分について

H₂S コンタミによる性能劣化について

■ H₂Sコンタミ試験結果

1.5 A/cm²連続耐久のH₂ガスに20ppbのH₂Sをコンタミ

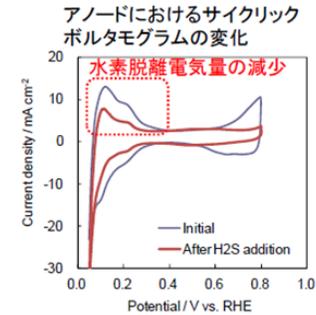


H₂Sコンタミで性能低下、純H₂に戻しても初期性能まで復帰せず

将来の触媒量低減やFCV以外の用途展開を考慮するとAn側でも電極・触媒のコンタミ耐性向上、車載上で適用できる効率的な性能回復処理方法の研究が必要。

H₂S被毒による白金表面積の低下

JARI(2010年)



H₂S添加前後における水素脱離電気量の変化

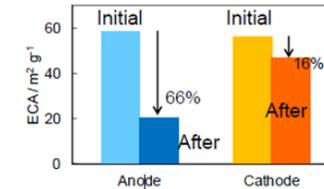
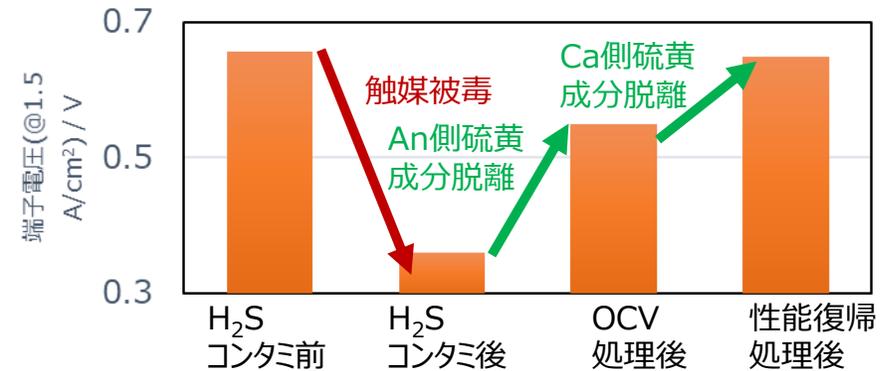


Fig. Change of the electrochemically active surface area (ECA) before and after the H₂S (0.85 ppm, 25 h) test.

H₂SコンタミでAn、Ca両方の触媒が被毒



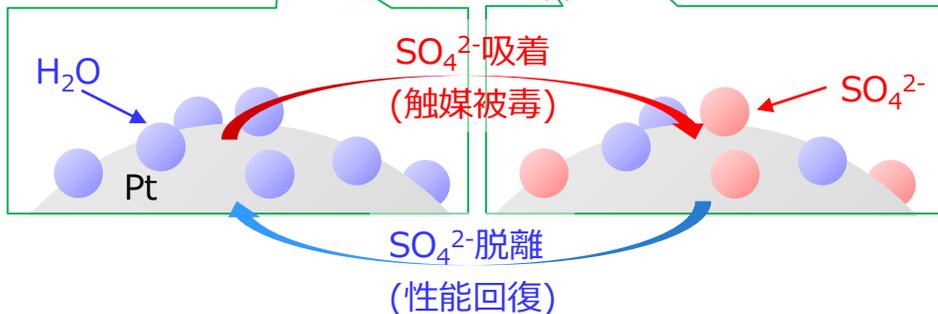
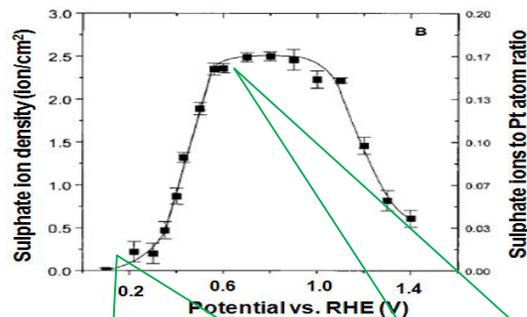
• OCV処理(30 min)により劣化回復を確認
⇒ 性能復帰処理(WET + Ca低電位)で完全回復

性能回復処理について

● 硫黄系コンタミによる触媒被毒

～ 硫酸イオンのPt表面への吸着特性 ～

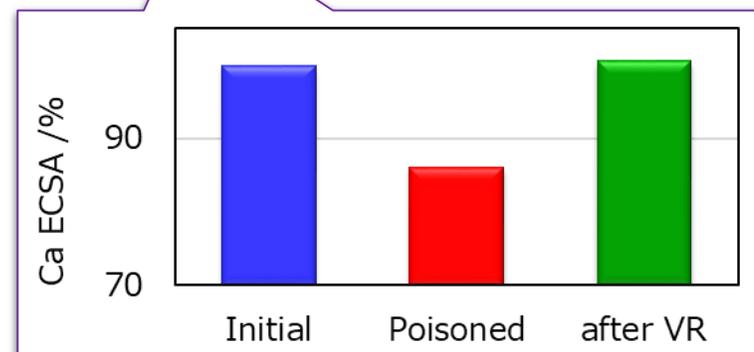
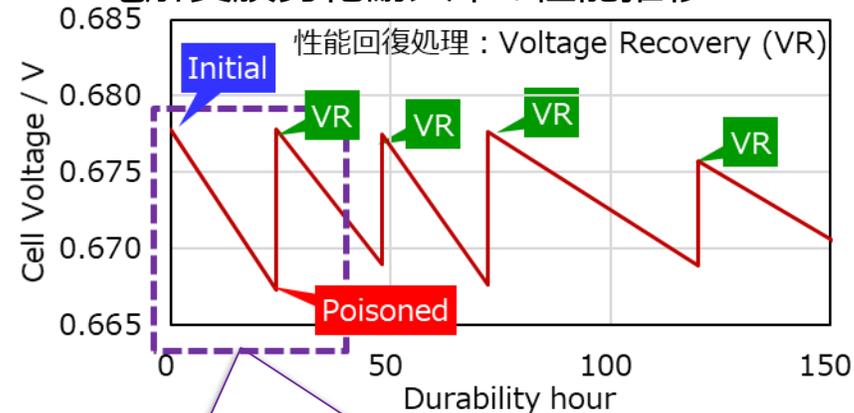
A. Kolics and A. Wieckowski, *J. Phys. Chem. B*, 105, 2588 (2001)



- ・650mV以上でSO₄²⁻がPt上に吸着
- ・吸着SO₄²⁻を脱離させるためには低電位にする必要がある

● 電解質分解物(硫黄系)による性能劣化

～ 電解質膜劣化耐久中の性能推移 ～



VRによりコンタミにより性能(Ca ECSA)が回復

硫黄系コンタミによる性能低下課題を解決するため、電極・触媒のコンタミ耐性向上に加え、車載上で適用できる効率的な性能回復処理方法の研究が求められる。

-
- 水素規格の見直しによる水素の低価格化
 - Passenger Car以外の用途展開を視野に入れた更なる耐久性の向上
 - 触媒量の低減によるスタックコストの低価格化

これらの課題を解決し、FCの普及を促進する為、水素中のコンタミ成分による被毒影響(発電機能の低下)を解決する取り組みが必要です。

① MEA、触媒のコンタミ耐性向上に関する研究

② コンタミによる性能劣化を効率的に回復可能な運転方法に関する研究

本日の内容

1. はじめに

2. FCの普及に向けた課題

2-1. GDL開発課題

2-2. セパレータ X GDL界面の機能課題

2-3. シール開発課題

2-4. 電解質膜開発課題

2-5. 水素品質対応

3. まとめ

まとめ

GDL課題

- ・ガス拡散性と機械特性の両立
- ・Roll to Roll での高速生産に適したGDL

セパレータ・表面処理課題

- ・防食効果の高い表面処理技術または防食技術の獲得
- ・ウェット処理、ドライ処理における工法改善

シール課題

- ・速く硬化しFC機能(発電・耐久性)に影響を及ぼさない低コスト材料探索

電解質膜開発課題

- ・現行材料(電解質膜・MEA)を前提とした使い方の改善による長寿命化
- ・Simulationをベースとし、材料解析・分析、セル耐久試験が連携した劣化モデルの構築

水素品質対応

- ・コンタミ成分による被毒タフネスの向上
- ・コンタミによる性能劣化を効率的に回復可能な運転方法

まとめ

スタック	<p>低コスト化</p> <p>↑ ↑</p> <p>高耐久化</p> <p>↓</p> <p>高性能化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 生産性の向上 <ul style="list-style-type: none"> ・電解質膜 : 合成プロセスの開発 ・電極触媒 : 大量生産技術 ・MEA : CCM Roll to roll, GDL一体成型 ・セパレータ : 低コストセパレータの生産性向上 ・ガスケット・シール : 高速成型 ➤ 触媒貴金属量 (Pt) の低減 ➤ 電流密度アップによる構成部材の使用量低減
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 不純物耐性の向上 (電解質/触媒) ➤ ラジカル生成を抑制するアノード触媒技術 ➤ 金属セパレータの耐食性 (表面処理) と電気伝導性の両立
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 高温低加湿作動化 (電解質) ➤ プロトン伝導性の向上 (電解質) ➤ 触媒活性・利用率の向上 (触媒担体・触媒) ➤ 酸素輸送性の向上 (電極アイオノマー・GDL)
	水素貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> ➤ CF、ライナー材の低コスト化 ➤ 低コスト高速硬化樹脂の開発
	周辺機器	<ul style="list-style-type: none"> ➤ エアコンプレッサ、W/Pの低コスト化 ➤ スタック高温作動化に伴う冷却システムの簡素化 ➤ 加湿器の高温化
	基盤規格	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 国際標準化 (ISO) ➤ 評価プロトコル、計測/解析技術

今回はFCスタックに関する課題について説明をさせていただきました。次回は水素貯蔵にフォーカスした課題共有を予定しております。