燃料電池シール技術課題と展開

FC-cubic	霜鳥 宗一郎
東芝ESS	菊池 勇
本田技術研究所	田中 之人
パナソニック	吉本 規寿★
トヨタ自動車	柴田 和則★
みずほR&T	高山 務★

★：発表者

目次

シール産官学連携　20分
1）産官学連携の背景・目的
2）これまでのシールPJにおける取り組み
3）接着シールの開発課題
移動体用シール課題
定置用シール課題
4）プロジェクト概要

質疑　5分

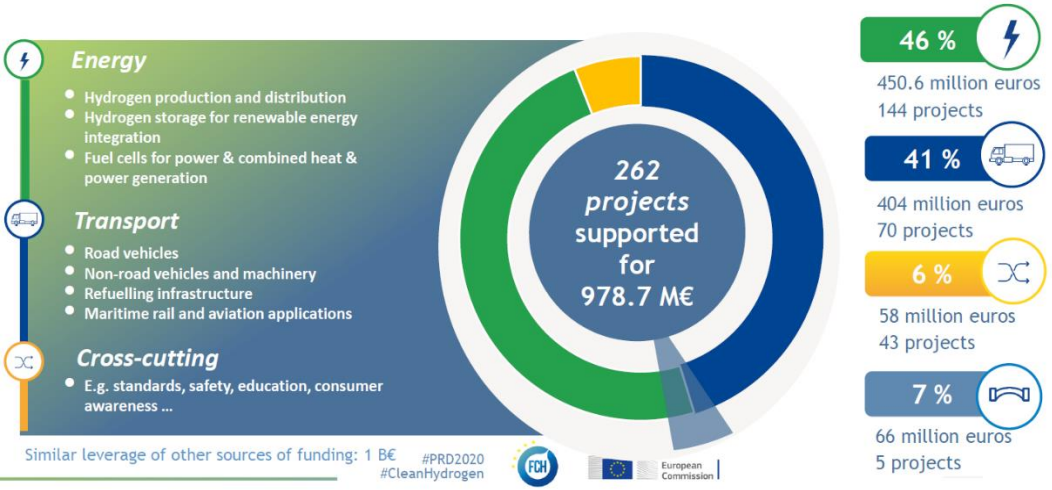
産官学連携の背景・目的

1. 世界の動き
2. 燃料電池シールの機能と要求性能
3. オールジャパンで取り組む意義
4. 経産省との議論の抜粋

これまでのシールPJにおける取り組み

1．スタックメーカー4社の技術課題共有
2．各社現行仕様のまとめ
3．共通プラットフォームとしてのセルシール構造（X構造）

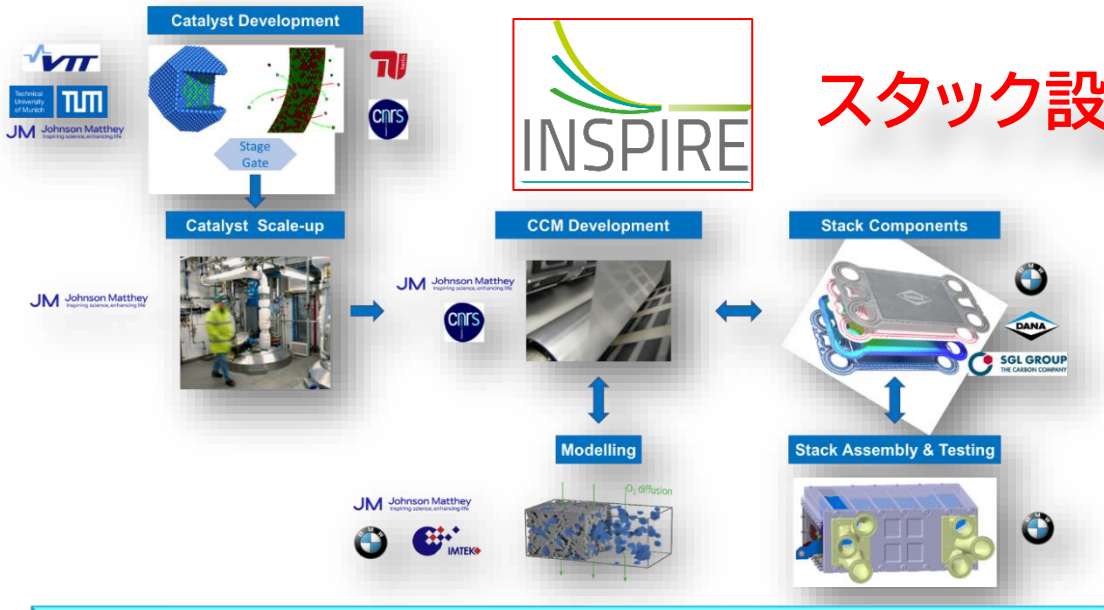
1. 世界の動き



autostack industrie

スタック量産

POWERED BY POWERCELL + BOSCH



INSPIRE

スタック設計

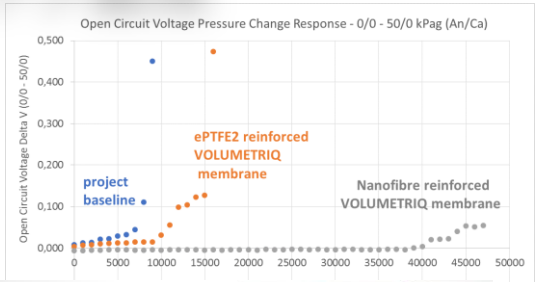
VOLUMETRIQ

スタック量産

ErlingKlinger

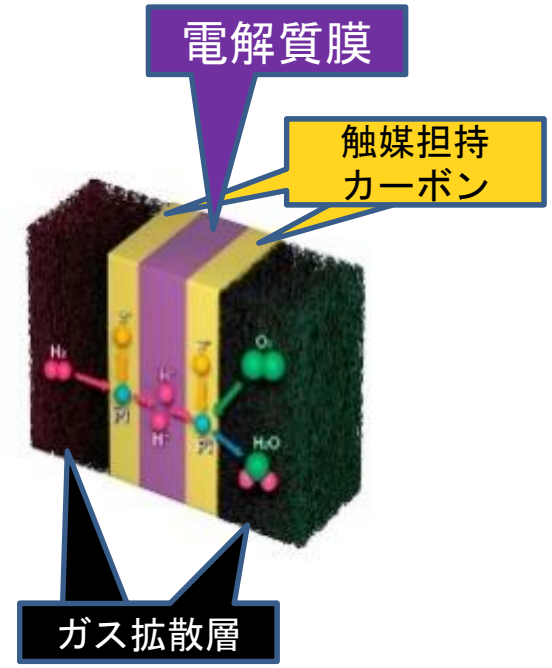
世界トップ出力密度

Johnson Matthey
DAIMLER
elringklinger
CNRS
SOLVAY
BMW
PRETEXO

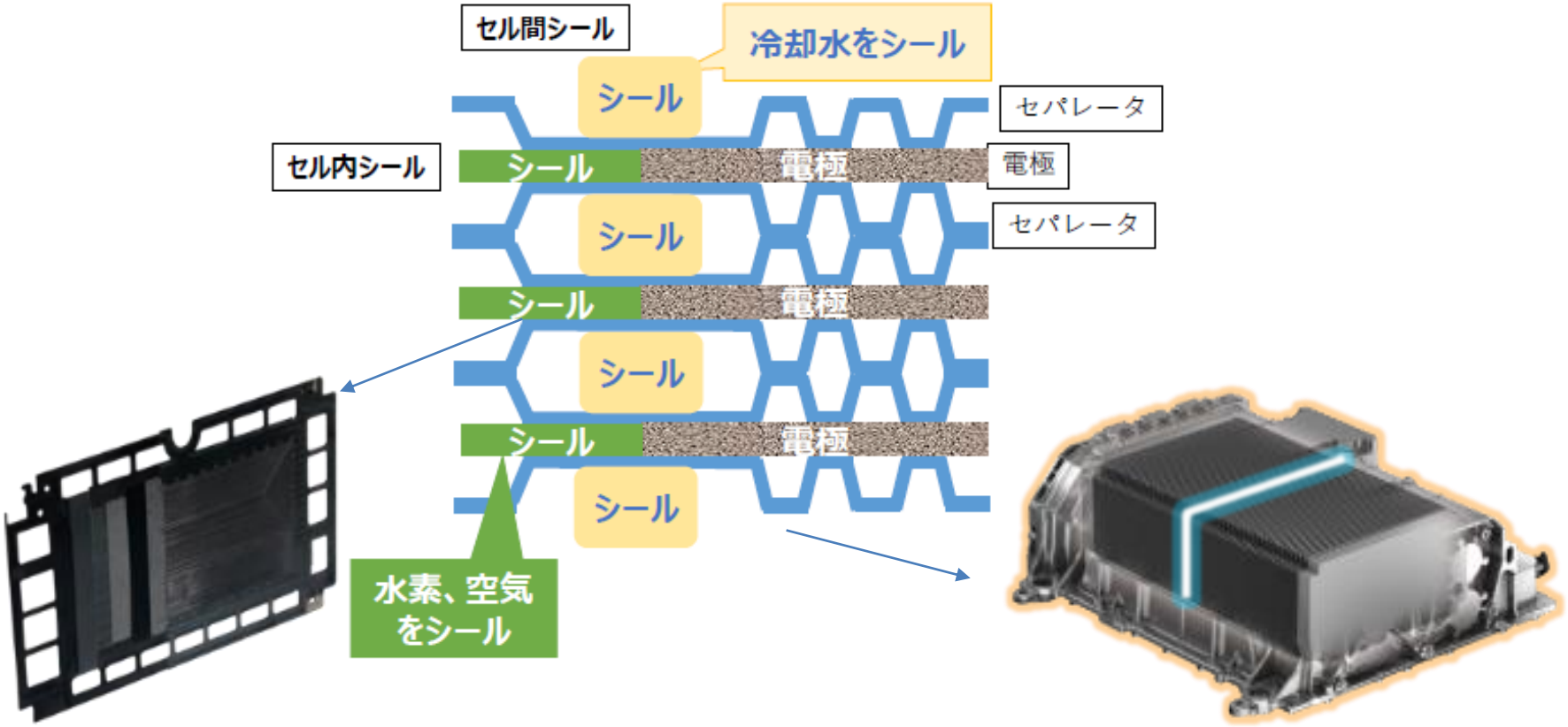


欧州（米国）は燃料電池の普及のために戦略的に研究テーマを創出し産官学の開発を推進
日本の燃料電池技術をキャッチUP

2. シール機能と要求性能



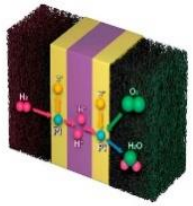
MEGA



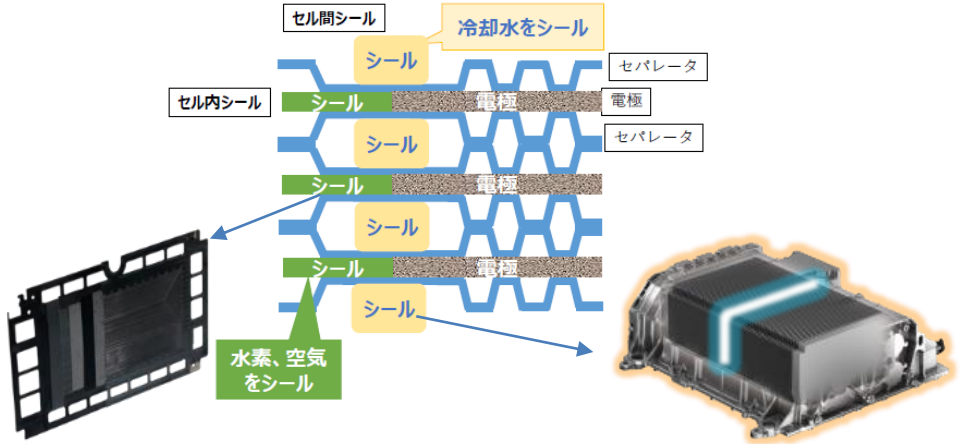
セル化

スタック化

2. シール機能と要求性能



MEGA



セル化

スタック化

■シール機能
自然界で最も透過性の高い水素のシール
しかも１スタック＝数十～数百枚のセルで
シール

■耐環境
様々な環境要件下でコンパクトに機能を実現
乾湿サイクル　差圧変動　低高温サイクル
腐食・電食環境　耐衝撃　耐振動　生産性
公差吸収

セル・スタック生産速度のボトルネック

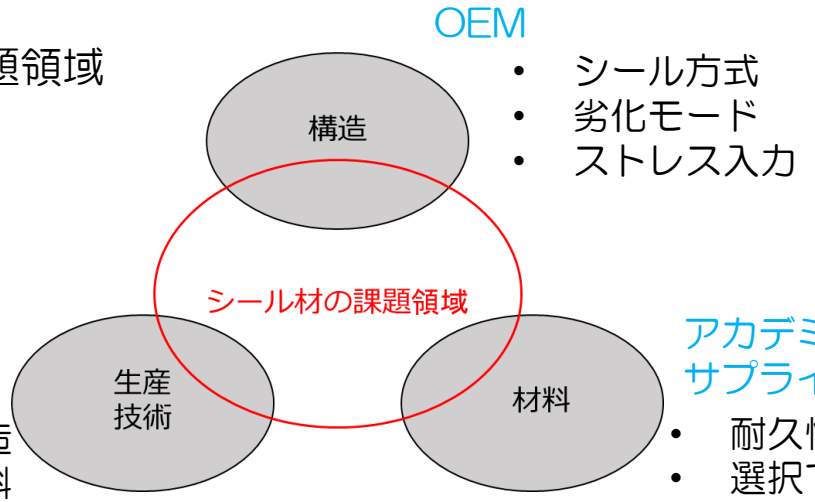
- お客様へのバリュー（性能・燃費・・・）との結びつきが強い発電部（ＭＥＡ）開発と比較し
  セル化やスタック化におけるシールの開発は高い信頼性が求められる基盤の技術開発で開発負担も
  大きい
- 今後、多様用途展開において高耐久や高温化、拡散層薄層化など技術ハードルは格段に高まる
- 産業競争力を確保するため、生産性に対する要求もさらに高度化（高速生産、低コスト）

3. オールジャパンで取り組む意義

① シール材の課題領域の広さと連携の必要性

- 「構造」×「材料」×「生産技術」
  → コスト、生産性、機能に影響
- 各課題領域を総合的に研究開発する必要あり

▼シール材の課題領域



OEM
- シール方式
- 劣化モード
- ストレス入力

OEM
サプライヤ
- 生産性の高い構造
- 生産性の高い材料

アカデミア・
サプライヤ
- 耐久性
- 選択できる構造や生産方式

② 個社ごとの開発に対する危機感

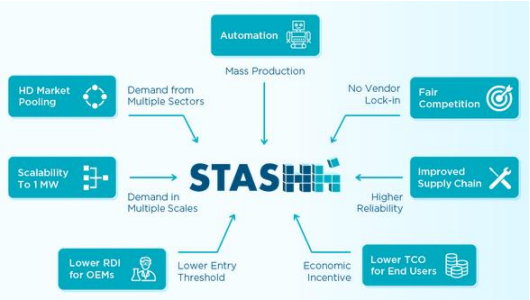
- 各社各様のシールコンセプト
- 技術の成熟が十分でなく、開発負担が膨大
- 統一的な知見が得られていない
- 欧州等での産官学連携やアライアンスによる産業競争力獲得の動き
  → 標準化への警戒

▼欧州での産官学連携プロジェクトの例

- Fraunhofer National Action plan

https://www.rokhy.de/de/cluster.htn..

- StasHH



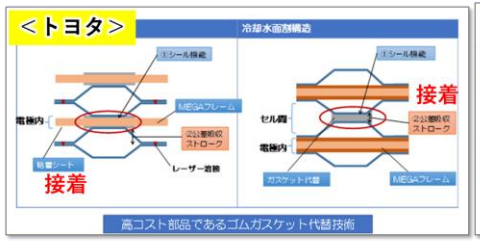
- 生産や研究開発のボトルネックとなるシール材について、協調領域として研究開発を進める
- 広い課題領域に対し、個社ではなくオールジャパンの体制で総合的な開発を行う
- 欧州等での産官学連携や標準化の動きに対抗

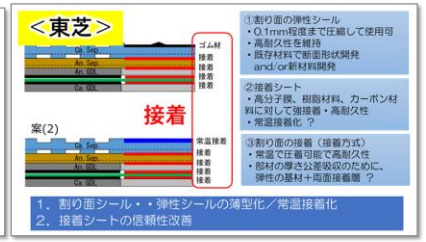
1．スタックメーカー4社の技術課題共有

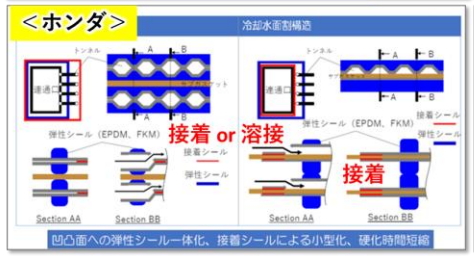
●これまでの活動内容の概要

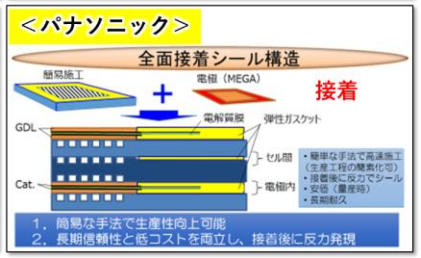
4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
★★	★	★★	★★	★★	★	★	★	★	★	★	

基本的なセル設計の共有と理想（X構造）の検討 ←→ 各社ニーズの抽出と目標の設定 ←→ 実施項目の検討



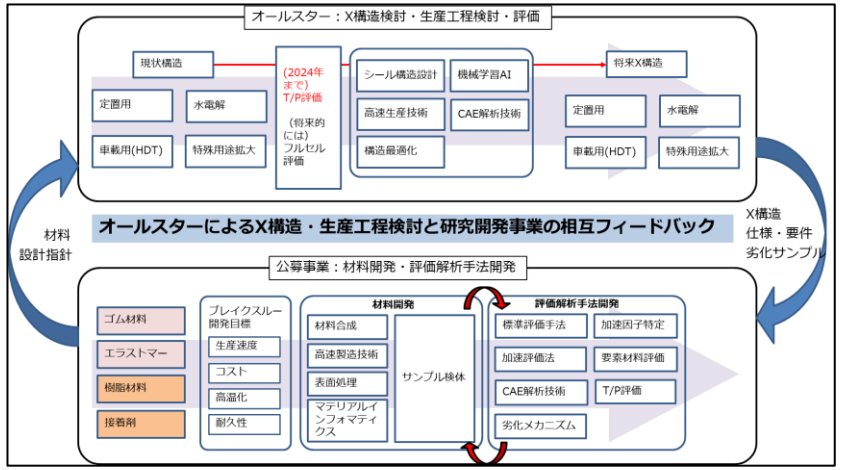






大項目	分類	目標	トヨタ	ホンダ	パナソニック	東芝
材料開発	接着剤	高温化対応	○	○		△*2
		常温接着	○	○		○
		層状・シート状加工	○	○		
		高速加工	○	○		
		塗工性（塗工技術）	○	○	○*1	
		プライマレス	○	○		
		UV接着	○	○		
		公差吸収・反力保持				○*3
	ゴム	高温化対応	○	○		△*2*3
		成形技術（薄型化）				○*3
		成形技術（凹凸面）	○	○		
		UV硬化	○	○		

大項目	分類	目標	トヨタ	ホンダ	パナソニック	東芝
材料開発	接着剤	高温化対応	○	○		△*2
		常温接着	○	○		○
		層状・シート状加工	○	○		
		高速加工	○	○		
		塗工性（塗工技術）	○	○	○*1	
		プライマレス	○	○		
		UV接着	○	○		
		公差吸収・反力保持				○*3
	ゴム	高温化対応	○	○		△*2*3
		成形技術（薄型化）				○*3
		成形技術（凹凸面）	○	○		
		UV硬化	○	○		



トヨタ自動車　　東芝

パナソニック　本田技術研究所

NEDO
FC-Cubic

優先すべき課題として、以下を抽出

- 材料開発
  - 耐久性：高温・液水環境等
  - 生産性：高速生産、低コスト
- 評価解析：耐久劣化解析、加速評価手法

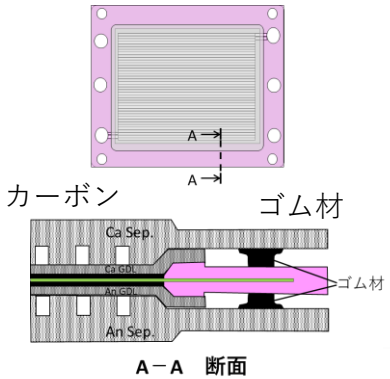
2. 各社現行仕様のまとめ

●各社のシール設計に関する考え方の共有

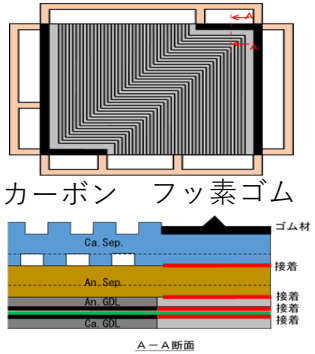
全般		ｾﾙ外形
		ｾﾙﾋﾟｯﾁ、枚数
		質量
		ﾏﾆﾎｰﾙﾄﾞ配置
		積層基準
		耐用年数
		運転温度
		耐G性能（通常/衝突）
		液体圧力(通常時)
		圧力（異常時）
		締結荷重
発電部		電極面積
		電極利用率
非発電部	セル内シール	ｺｱ材料
		ｺｱ材厚さ
		接着層材料
		接着層厚さ
		ｾﾙ間ｼｰﾙとｾﾙ内ｼｰﾙの位置関係
		ｼｰﾙ保証幅
	セル間シール	ｶﾞｽｹｯﾄ種類
		材料
		形状
		ｶﾞｽｹｯﾄﾗｲﾝ
		ｶﾞｽｹｯﾄ幅
	MEGA端シール	接着剤
		MEGA端構造
		MEGA端部隙間
		触媒位置
		ｾﾙ化型構造
		接着剤厚さ

＜シール仕様の共有フォーマット＞

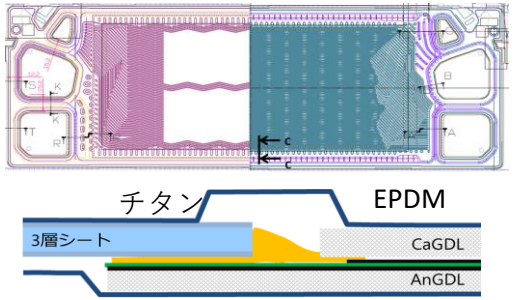
各社の現行仕様セルの基本仕様と設計思想の共有を実施



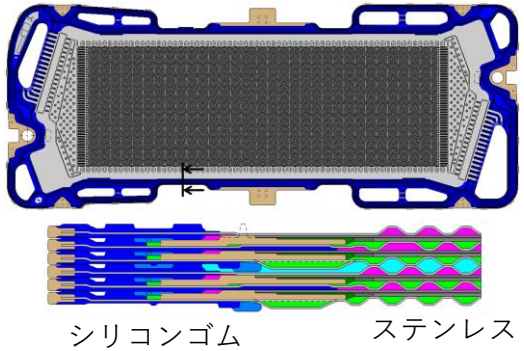
パナソニック



東芝



トヨタ



ホンダ

セル外形　作動温度域　MEGA外周ガスケット材料　MEGA端部構造　作動圧力　シール材料　セル断面形状　接着剤　耐G性能　シール断面形状

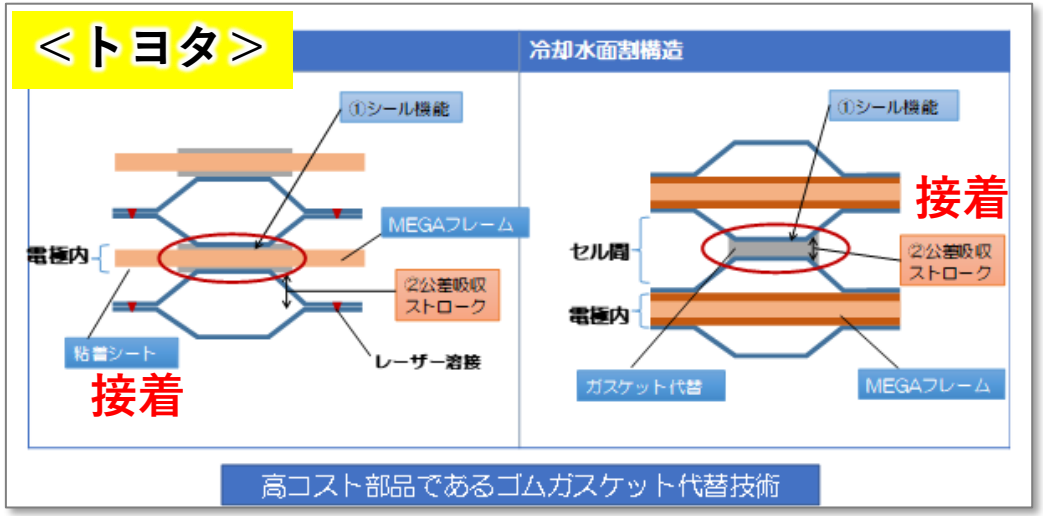
- 自社と他社の考え方の共通性と差異を認識
- 開発中に発生した技術課題と解決アプローチを共有
- 質疑の中で設計思想の領域まで踏み込んだ議論を実施

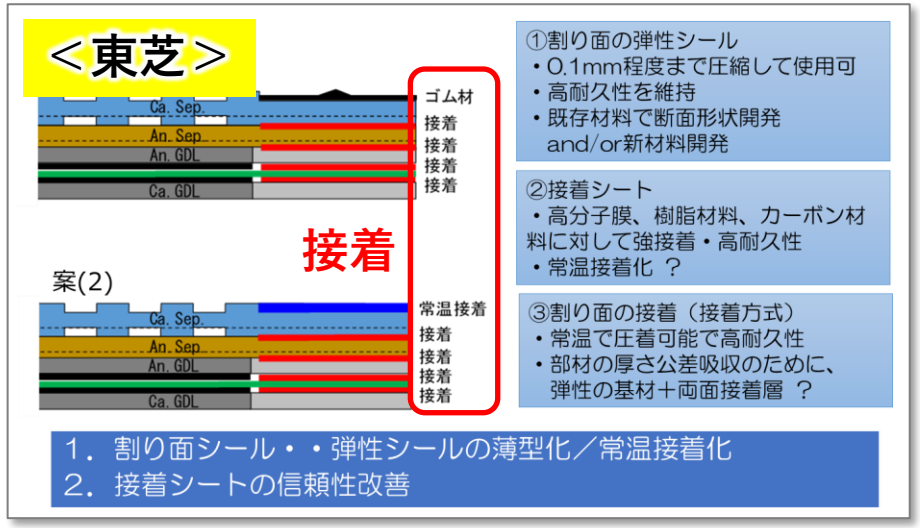
各社共通の課題を抽出し、技術進化のアイテムを選定

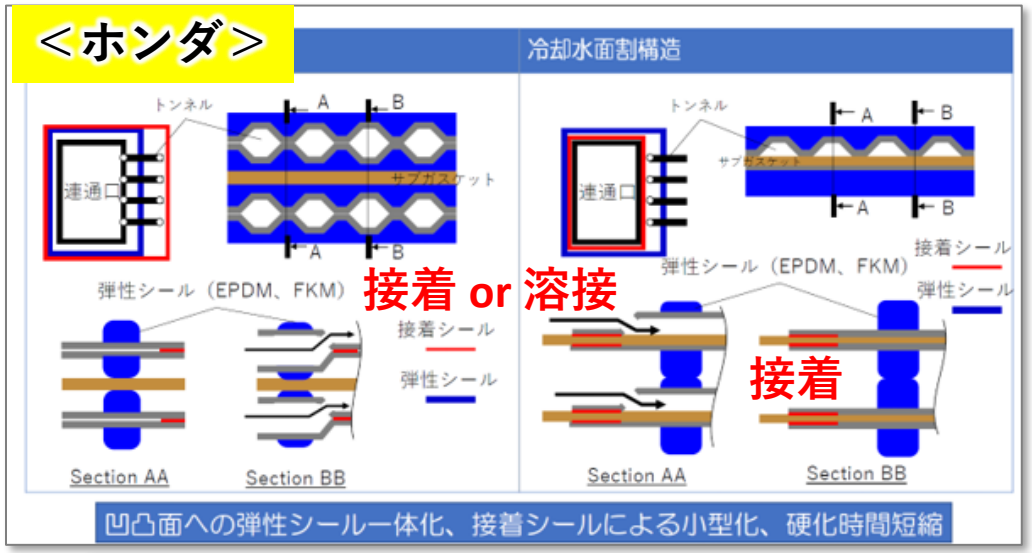
現行モデルをベースに、各社のシール設計思想の共有化からスタート

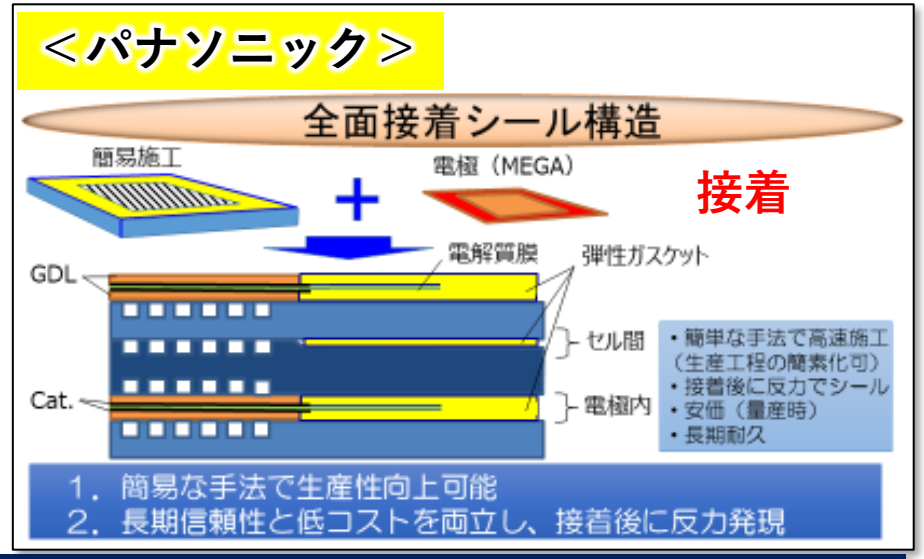
3．共通プラットフォームとしてのセルシール構造（X構造）

●共通プラットフォームとしてのシール構造（X構造）　セルの究極構造の案を各社から提案







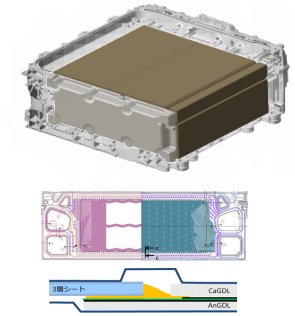
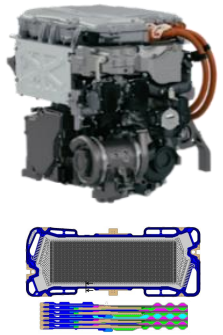
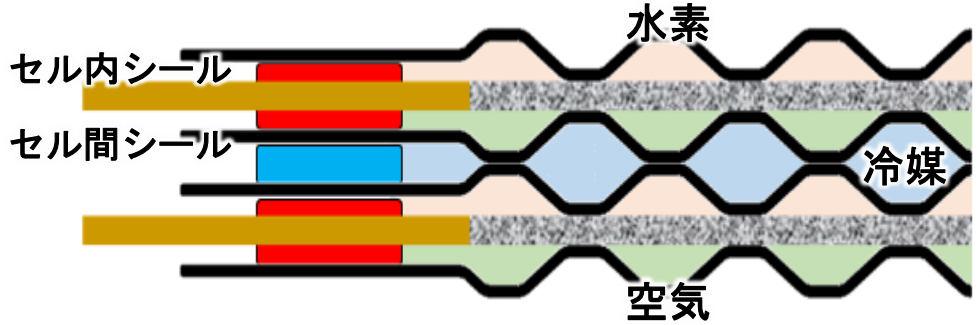
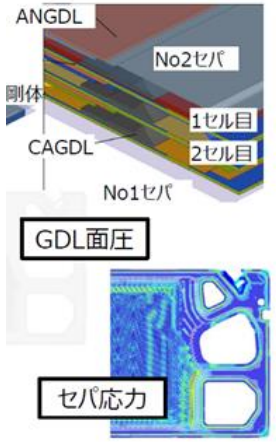
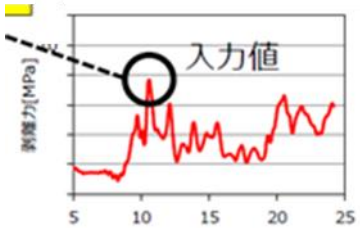


将来必要な技術の共通アイテムとして「接着シール」が抽出された
⇒セルの小型化・低コスト化につながる

接着シールの開発課題

1．移動体用シール
　（1）主な仕様と想定される課題
　（2）課題の詳細項目
2．定置用シール
　（1）主な仕様と想定される課題
　（2）X仕様について
　（3）期待事例
3．接着シール課題まとめ

1. 移動体用セルシール　（1）主な仕様と想定される課題

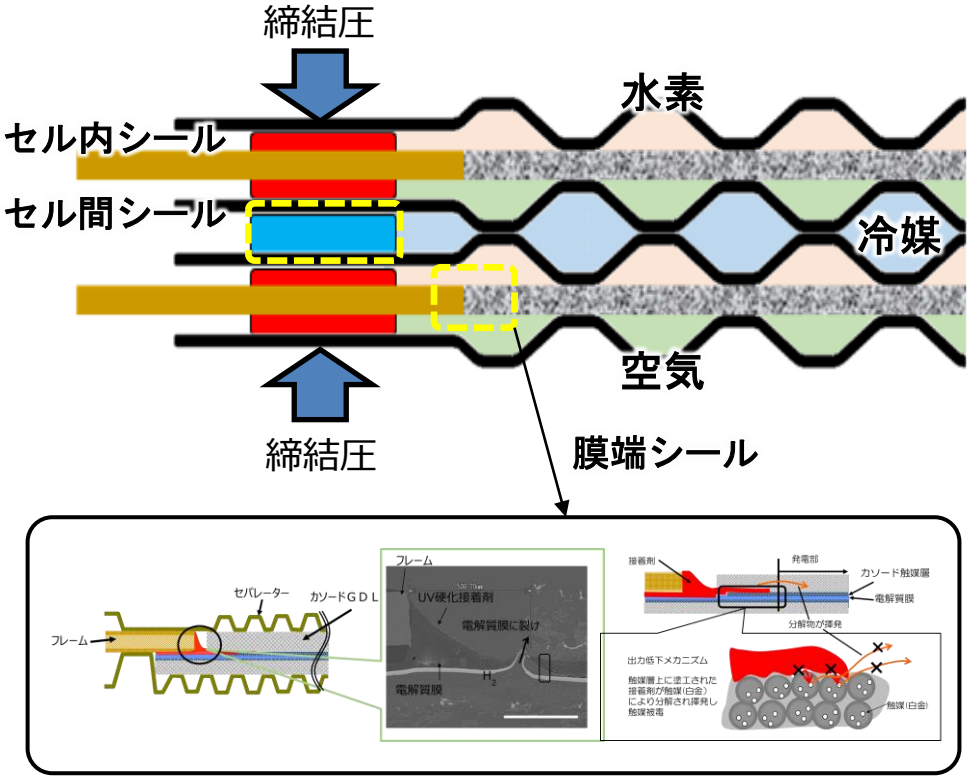
製品 (商用車含む)		
移動体接着シールでの主な仕様	• セパレータ材料　：　金属（ステンレス/Ti＋表面コーティング） • 運転条件　：　内圧変動1気圧～3気圧、湿度変動0%～100%、液水環境下 • 運転温度　：　冷温停止時-30℃～運転時105℃ 将来的にはさらに高温化（2030年以降の実用化目標で120℃） • 接着シール　：　シール接着接合強度と弾性による面圧の担保	
課題	• 複雑な構造と変動する入力を考慮した耐久性の向上 低コスト化と生産性向上、加速耐久試験法の開発   	

長期耐久性を有し、低コストかつ生産性の高い接着シールをX仕様構造と想定。

1．移動体用セルシール　（2）課題の詳細項目①

分類		技術課題
耐久性	①	長期使用によるクリープへたり抑制
	②	冷却水への溶出成分（導電率悪化）抑制
	③	MEA端部の電解質膜避けクロスリーク抑制
	④	接着材によるＭＥＡ被毒（エージング処理時間大）抑制
生産性	⑤	枚葉生産、接着反応時間による低生産性の改善
	⑥	セル積層体での同時接合可能な接着剤 ・入熱/加圧/冷却の均一性　→　均一な接着力発現 ・MEGAへの入熱許容値　→　できる限り常温域で硬化
	⑦	固体状で形状が安定している接着剤（予備硬化含む）
評価・解析	⑧	接着力の品質管理手法
	⑨	熱入力、液水侵入、差圧入力での接着界面劣化メカニズム解明
	⑩	高温、長期使用に向けた耐久性向上と加速評価法の開発

■ セル内シール・セル間シール、膜端シールの各部位が存在

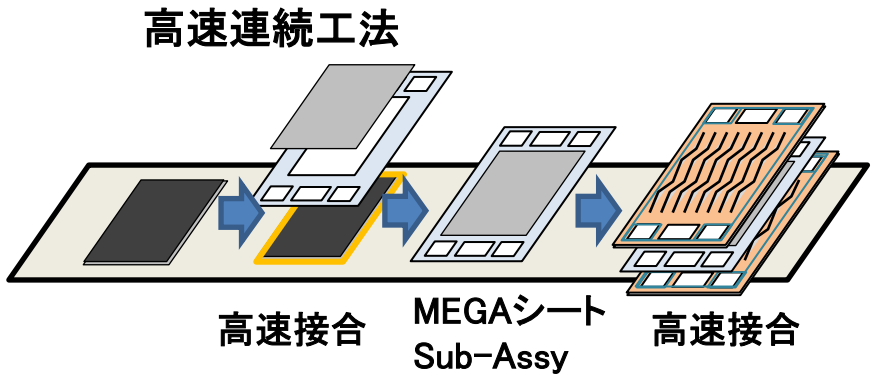


・今後の高温化、高耐久化に向けて、もう一段の耐久性向上が必要となる。

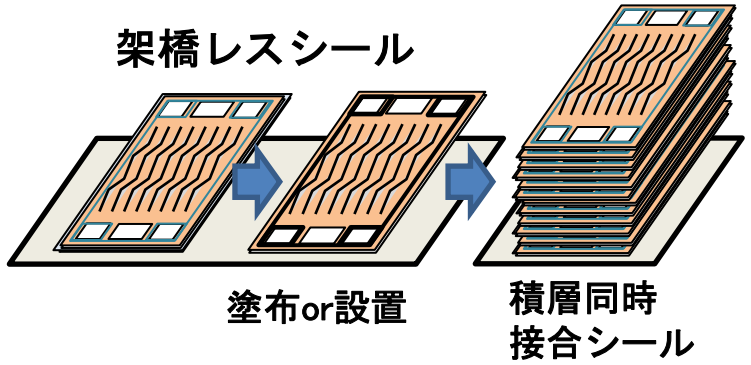
1．移動体用セルシール　（2）課題の詳細項目②

分類		技術課題
耐久性	①	長期使用によるクリープへたり抑制
	②	冷却水への溶出成分（導電率悪化）抑制
	③	MEGA端部の電解質膜避けクロスリーク抑制
	④	接着剤によるＭＥＧＡ被毒（エージング処理時間大）抑制
生産性	⑤	枚葉生産、接着反応時間による低生産性の改善
	⑥	セル積層体での同時接合可能な接着材 ・入熱/加圧/冷却の均一性　→　均一な接着力発現 ・MEGAへの入熱許容値　→　できる限り常温域で硬化
	⑦	固体状で形状が安定した接着材（予備硬化含む）
評価・解析	⑧	接着力の品質管理手法
	⑨	熱入力、液水侵入、差圧入力での接着界面劣化メカニズム解明
	⑩	高温、長期使用に向けた耐久性向上と加速評価法の開発

【各セル生産】



【セルのスタック化】



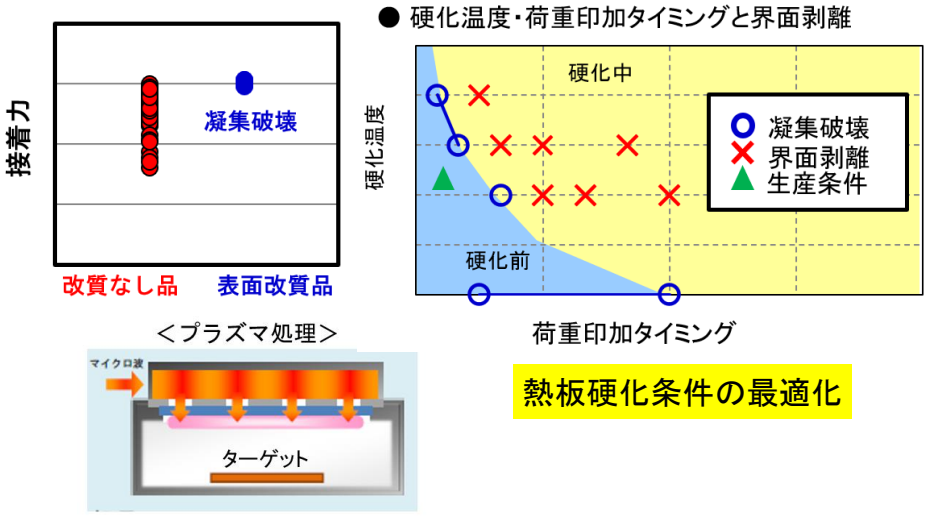
- セル1枚当たり1秒以下の高速生産できる接着技術が期待される。
- スタック化においても接着材が重要な役割を果たす。

1．移動体用セルシール　（2）課題の詳細項目③

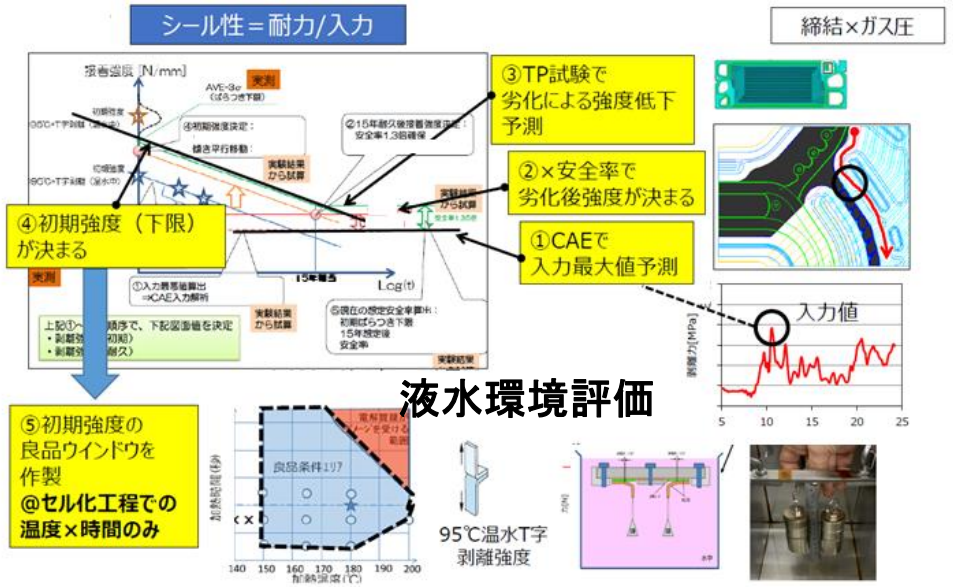
分類		技術課題
耐久性	①	長期使用によるクリープへたり抑制
	②	冷却水への溶出成分（導電率悪化）抑制
	③	MEGA端部の電解質膜避けクロスリーク抑制
	④	接着剤によるＭＥＧＡ被毒（エージング処理時間大）抑制
生産性	⑤	枚葉生産、接着反応時間による低生産性の改善
	⑥	セル積層体での同時接合可能な接着剤 ・入熱/加圧/冷却の均一性　→　均一な接着力発現 ・MEGAへの入熱許容値　→　できる限り常温域で硬化
	⑦	固体状で形状が安定している接着剤（予備硬化含む）
評価・解析	⑧	接着力の品質管理手法
	⑨	高温、長期使用に向けた耐久性向上と加速評価法の開発
	⑩	熱＆差圧入力、液水侵入での接着界面劣化メカニズム解明

- 生産時の接着力管理手法、運転環境での入力ストレス予測と軽減が必要。
- 耐久劣化解析、加速耐久試験法の開発が求められる。

表面改質、工程条件による最適化



高温＆耐久性向上と加速評価

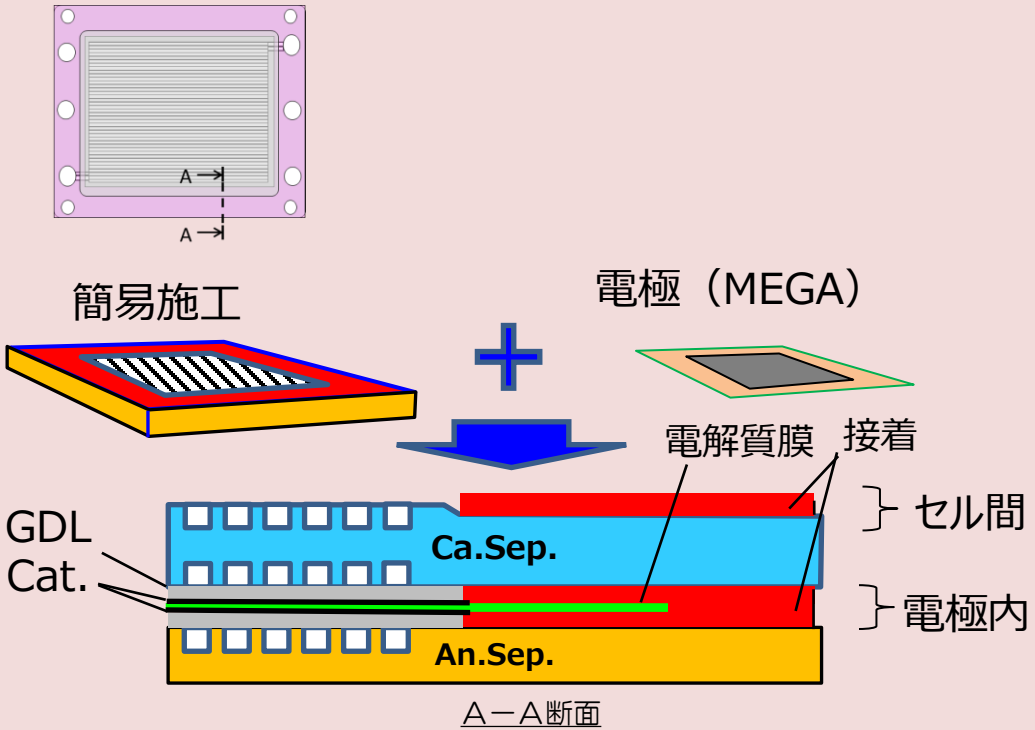
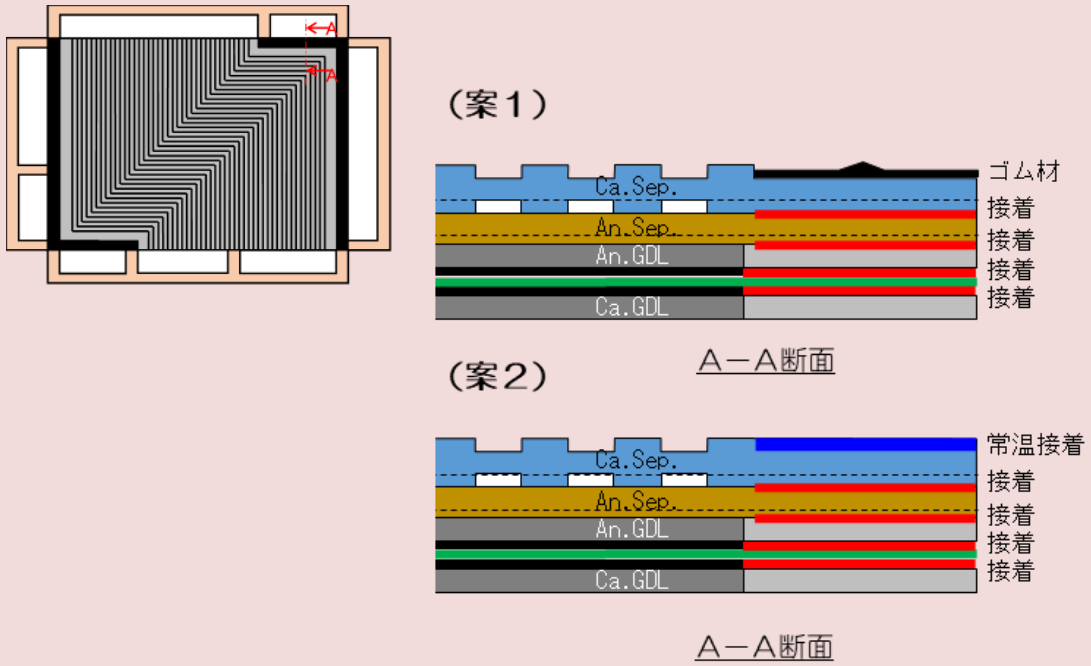


3．定置用セルシール　（1）主な仕様と想定される課題

	パナソニック	東芝エネルギーシステムズ
定置用接着シールでの主な仕様	• セパレータ材料　：　カーボンBPP • 運転条件　：　常圧運転 • 運転温度　：　約-15℃～最高温度80℃程度 • 弾性シール　：　高耐久性ゴム材料（例：フッ素ゴム等） • 接着シール　：　耐加水分解性接着剤	
課題	シール材料	（1）シール材高耐久・低コスト： ＞15年耐久　（r.t.⇔80℃、100%RH、pH≒2、機能：水素、酸素、水を封止、絶縁性） （2）押込み量制御でシール反力（1～3N/mm）発現する、シール材料。 （3）溶剤レスのシール材料。
	施工プロセス	（4）高速施工に適した材料。 （5）アッセンブリで隙間（MEGA端等）に浸透し、硬化可能なシール材料。
	その他	（6）塗布厚みが薄く、コンパクト

長期耐久性と反力性を有する低コスト接着シール材を用いたX仕様構造を想定。

3．定置用セルシール　（2）X仕様について

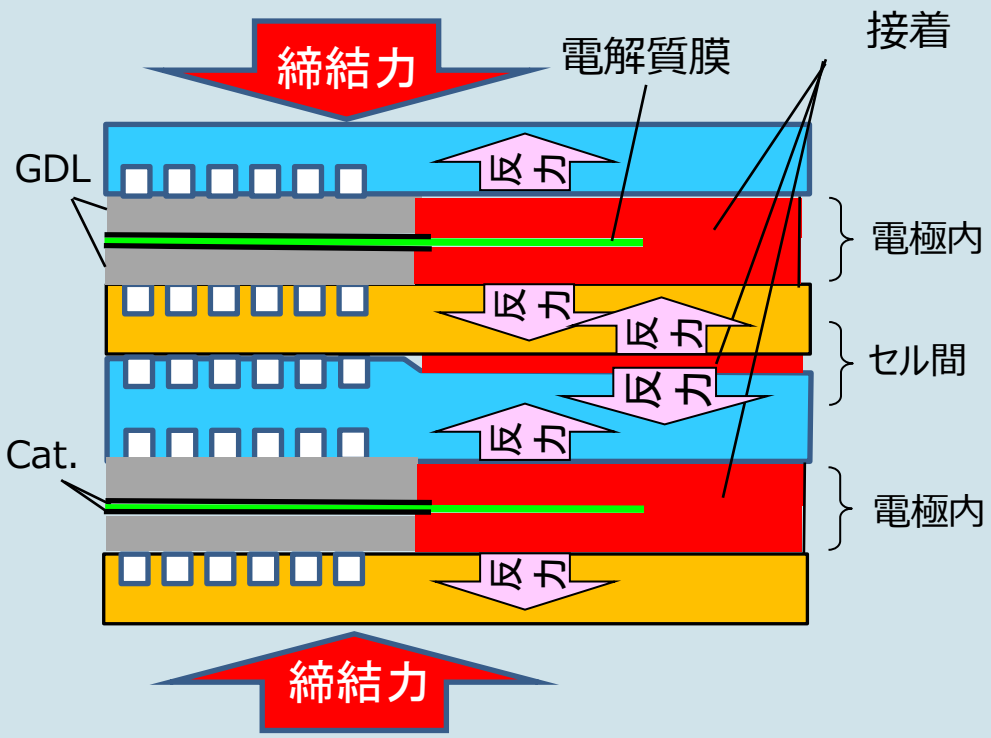
	パナソニック	東芝エネルギーシステムズ
X仕様（案）		
期待項目	• 易工程で高タクト期待：～１０秒/セル　（上記　X仕様の形態　参照） • 接着後に弾性を有し、反力を期待。部材の厚み公差の吸収 • 割り面（セル分割面）：締結時の薄さを期待（弾性　or 接着） • 常温接着。また望ましくはシート状シール材を期待 • ボイド発生原因となる発生ガスや、溶剤レスのシール材料	

接着後に反力シールとして寿命予測を容易とし、またボイドレス・溶剤レスを期待

3．定置用セルシール　（3）期待事例

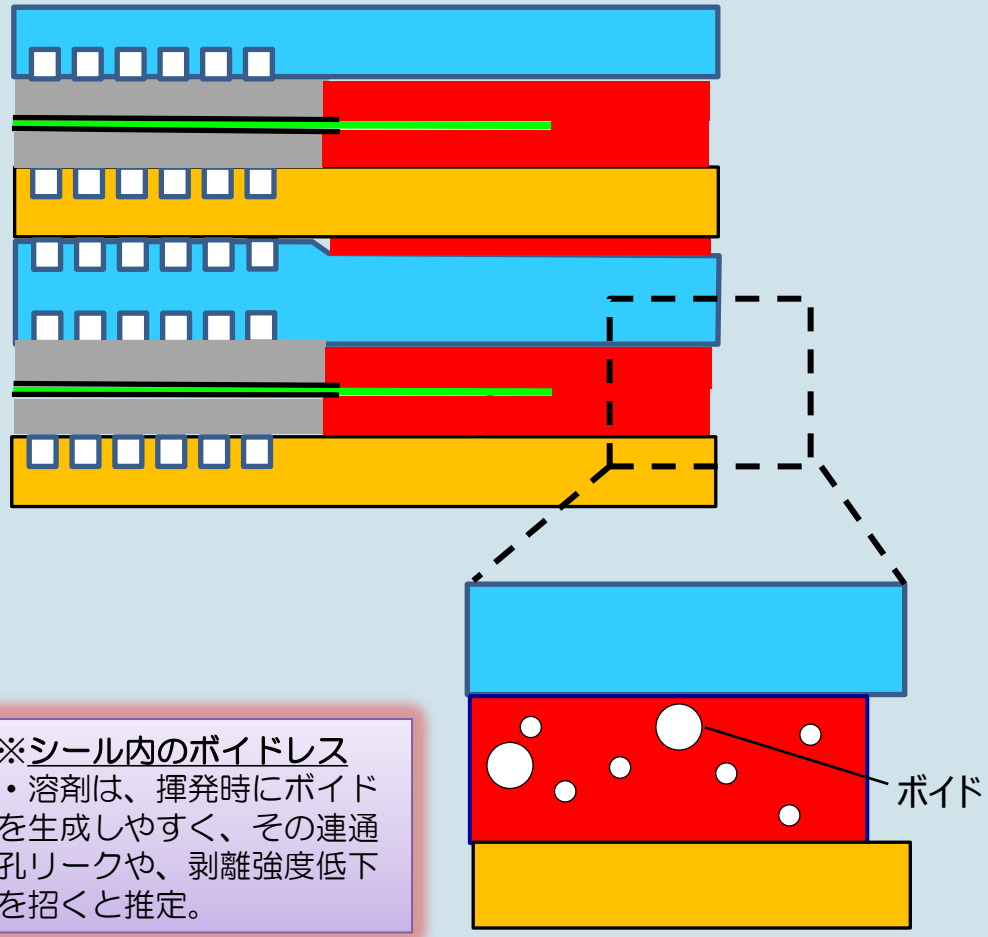
X仕様シール期待事例

接着後に弾性を有し、反力を期待



※<u>接着剤の反力シール</u>
・圧縮永久歪みの寿命予測となり、長期耐久を予測しやすいと推定。

発生ガスや、溶剤レスのシール材料



※<u>シール内のボイドレス</u>
・溶剤は、揮発時にボイドを生成しやすく、その連通孔リークや、剥離強度低下を招くと推定。

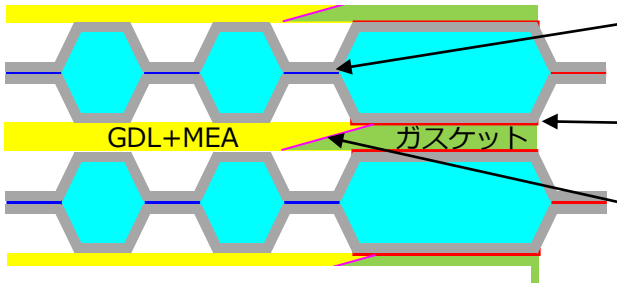
X仕様としての接着シール：低コスト化・高タクトと共に長期安定性・耐久保証。

4. 接着セルシール課題まとめ

項目	共通	移動体用	定置用
材料開発／耐久性	・高温、高加湿環境下 ・酸性環境下 ・溶出物による影響の抑制 ・3つのシール部位各々の特徴を考慮	・将来的な高温化への対応 ・変動する差圧や温度・湿度への対応	・長期耐久への対応 ・反力発現によるシール性保持
材料開発／生産性	・生産速度の向上 （常温接着や予備硬化、シート状加工等） ・低コスト化 ・コンパクト化	・生産速度及び低コスト化への要求は非常に高い	・ボイド抑制のため、発生ガスレス・溶剤レス等 ・常温接着
評価・解析手法	・耐久性を予測するための加速劣化試験手法等の開発や理論的裏付け ・設計手法の開発	・複雑な構造や変動する差圧や温度・湿度など考慮した手法	・15年以上の長期耐久を予測することが可能な手法

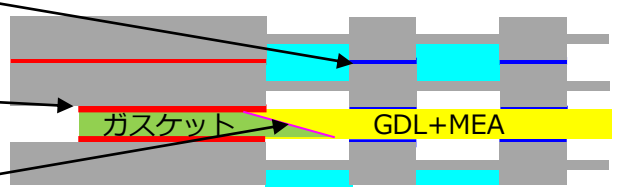
■ 各セルシール構造（概要）

◆ 移動体用（金属）



➢ セル間シール
・セパレータ/セパレータ界面
・外気と冷却水をシール
➢ セル内シール
・セパレータ/ガスケット界面
・外気と各極ガスをシール
➢ 膜端シール
・MEAをガスケットに保持

◆ 定置用（カーボン）



プロジェクト概要

1. プロジェクト開発目標
2. プロジェクト体制
3. 実施項目：T/P試験による材料の評価
4. 研究開発事業に対する期待

1．プロジェクト開発目標

➢ PJの目標

項目／目標時期:	事業残り3年(2024年度までの技術開発)		10年（2027年頃までの技術開発）	
	移動体用	定置用	移動体用	定置用
セル生産速度	1-3秒/セル	10-20秒/セル	0.5-0.8秒/セル	10-15秒/セル
シール材コスト(全シール部位)	¥200-250/セル	¥400-500/セル	¥150-200/セル	¥300-400/セル
温度 *1	局所温度120℃	局所温度90℃	局所温度120℃	局所温度90℃
耐久時間 *1	50,000時間	10-15年	50,000時間	15年～
評価解析手法	長期間の耐久性予測手法を開発		シール構造の設計指針を確立	

*1 RMに準ずるものとし、RMが改訂された場合はその内容に従う。

➢ 想定するセル及びスタックの構成（シールすべき面積や構造の指標）
- 移動体用：セル発電部面積250-300cm2、スタック枚数300-350枚
- 定置用：セル発電部面積100-300cm2、スタック枚数10-70枚

- 燃料電池が他のデバイスに対して有利となるコスト目標と、2030年頃の世界各国の生産目標に対抗できる生産速度を確保。
- 多用途展開が可能でトータルコストに優れた燃料電池システムを提供。
- 2030年以降のさらなる高度化に向けた基盤を整備するため、RM目標に先行。

2. プロジェクト体制

目標
・生産速度
・コスト
・温度
・耐久時間

オールスター：X構造検討・生産工程検討・評価

現状構造
- 定置用
- 水電解
- 車載用(HDT)
- 特殊用途拡大

(2024年まで)
T/P評価

（将来的には）
フルセル評価

- シール構造設計
- 機械学習AI
- 高速生産技術
- CAE解析技術
- 構造最適化

将来X構造
- 定置用
- 水電解
- 車載用(HDT)
- 特殊用途拡大

ゴムガスケットの成果も含め、総合的に優れるシール方式を検討し、仕様としてフィードバック

材料
設計指針

オールスターによるX構造・生産工程検討と研究開発事業の相互フィードバック

X構造
仕様・要件
劣化サンプル

公募事業：材料開発・評価解析手法開発

- ゴム材料
- エラストマー
- 樹脂材料
- 接着剤

ブレイクスルー開発目標
- 生産速度
- コスト
- 高温化
- 耐久性

材料開発
- 材料合成
- 高速製造技術
- 表面処理
- マテリアルインフォマティクス

サンプル検体

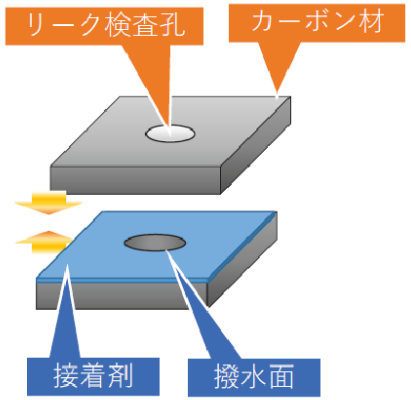
評価解析手法開発
- 標準評価手法
- 加速因子特定
- 加速評価法
- 要素材料評価
- CAE解析技術
- T/P評価
- 劣化メカニズム

3．実施項目：T/P試験による材料の評価

2022 2023 2024 2030

初年度から実施

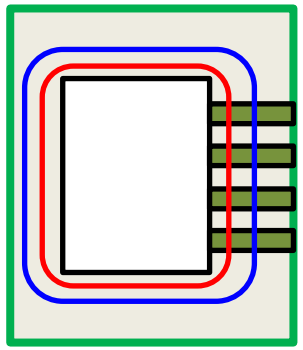
材料スクリーニング用T/P



- 材料レベルでのスクリーニング要件をシステムメーカーのニーズに基づいて提示
- 複数の材料について、広範な条件で共通の評価を実施
- 材料レベルでの加速劣化手法開発におけるベースを提示

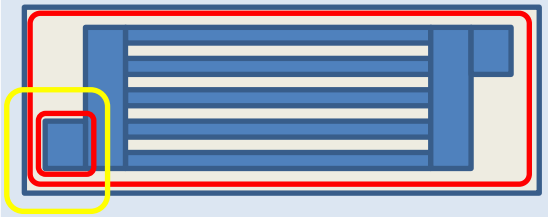
2~3年目

構造を考慮したT/P



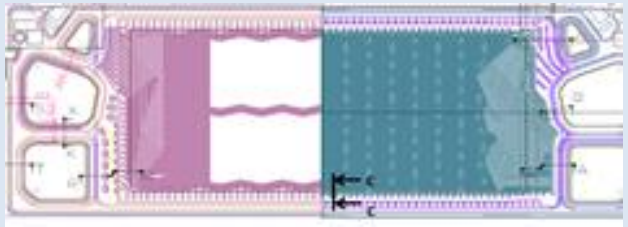
- クリティカルな構造に注目し、構造に由来する入力や生産に対する制約条件等を考慮
- 評価基準を示すことで材料開発における留意点を例示（劣化に対する入力や生産性の課題）
- 加速劣化手法開発において実形状による影響を考慮。

小セル＋X構造



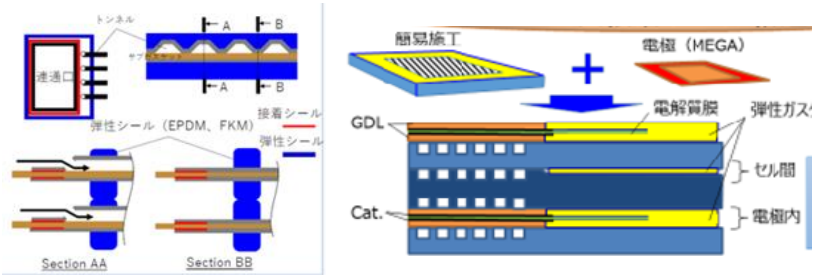
- X構造を考慮し小セルを構成して試験
- 材料の耐久性および生産性について見込みを評価
- 発電試験による総合評価

実機セル＋X構造



- 材料および構造、生産技術に関する実証試験
- 耐久性および生産性における優位性をアピール

X構造コンセプト



セルシール課題　まとめ

- 接着剤シール課題
  - ✓ 高温・高湿な環境下において、用途や運転条件を考慮した長期耐久性の実現。
  - ✓ 生産速度およびコストの両面での生産性の向上。
  - ✓ シール性喪失に至る劣化メカニズムの解明と評価・解析手法の開発。

- 「材料」「構造」「生産技術」各領域を統合した技術力向上を目指すため、産学官での連携を加速。

ご清聴ありがとうございました