

第6回FC-Cubicオープンシンポジウム

課題共有フォーラム2021 『燃料電池生産技術の課題と未来』

2021年 12月10日

トヨタ自動車株式会社

岡 憲俊

パナソニック アプライアンス社

菅原 靖

東芝エネルギーシステムズ株式会社

鈴木 直俊

本田技研工業株式会社

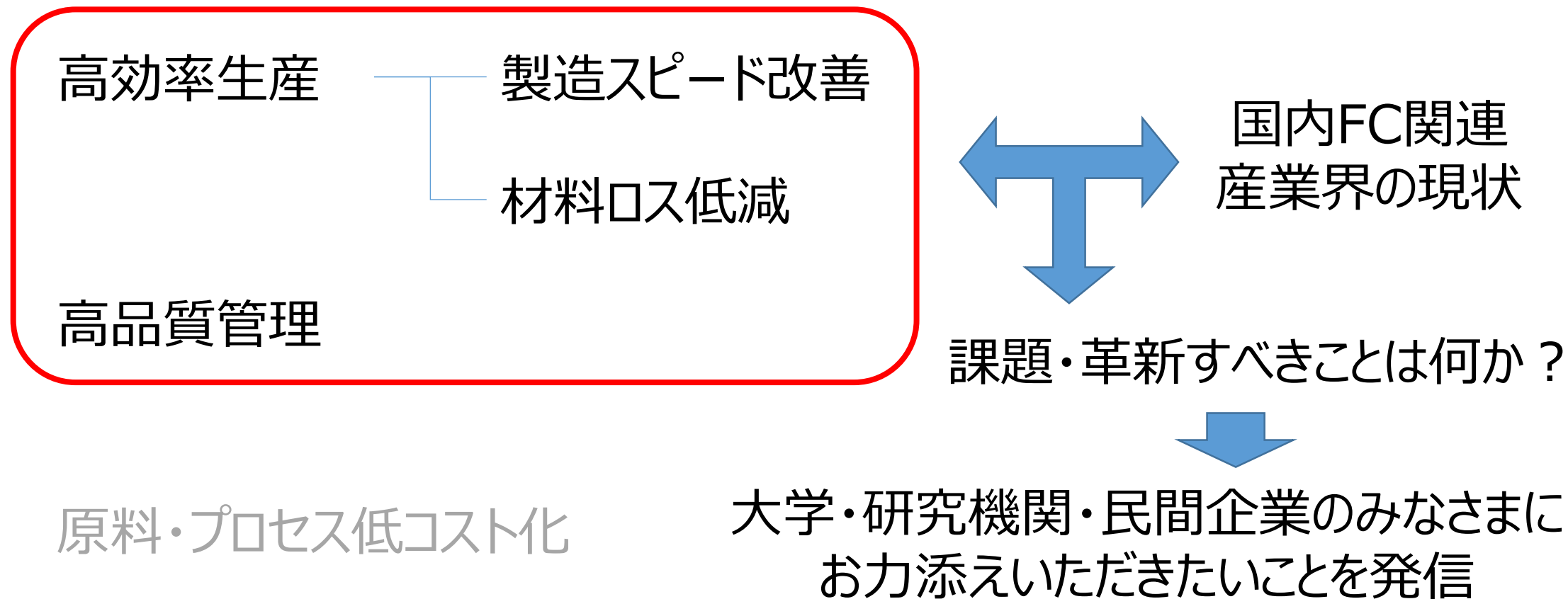
石井 徳朗

株式会社本田技術研究所

田中 之人

燃料電池生産技術 課題共有フォーラムの狙い

世界動向分析から読み取る燃料電池生産技術トレンド



『高効率生産』『高品質管理』を追求するうえでの
課題・お力添えいただきたいことを発信

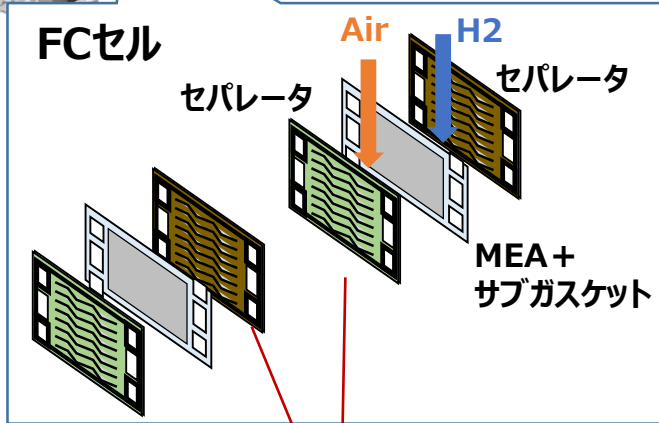
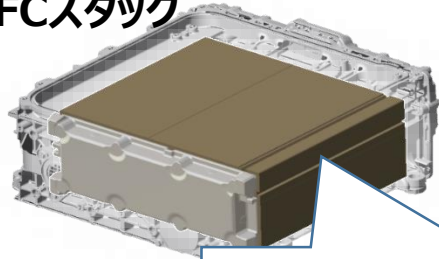
本日のご説明内容

- (1) 産業界として実現したい姿
- (2) 各工程の課題・革新ポイント
 - ① CCM および GDL工程
 - ②MEA および サブガasket貼付工程
 - ③バイポーラプレート工程 (カーボン および 金属)
 - ④スタック工程
- (3) まとめ

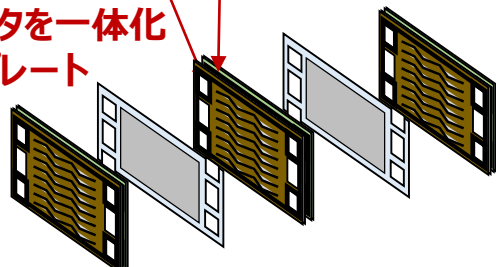
(1) 産業界として実現したい姿

燃料電池スタック・セル サイズおよび厚み

FCスタック

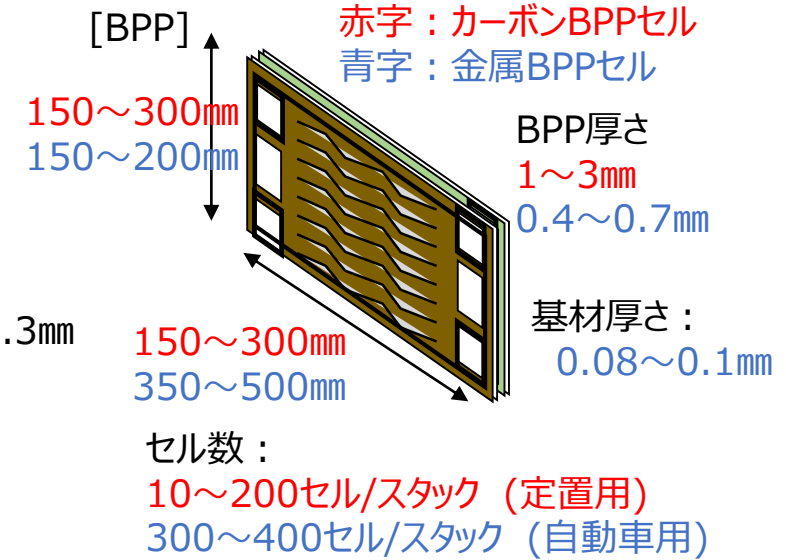
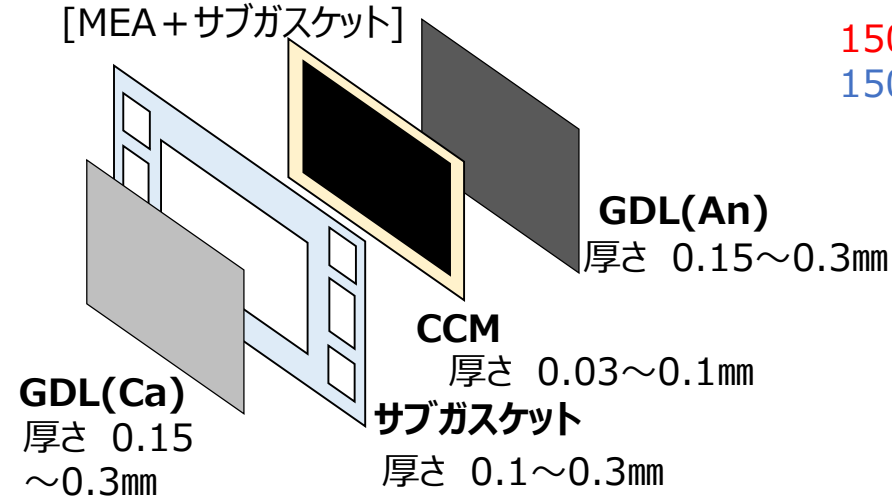


2枚のセパレータを一体化
=バイポーラプレート
(BPP)



BPPとサブガスケット付MEAの
交互配置が一般的

セル構成部材寸法・厚み



構成ワーク厚みは食品用ラップ材からボール紙程度
セル外形：A4~B4相当のサイズ⇒200~400セル積層

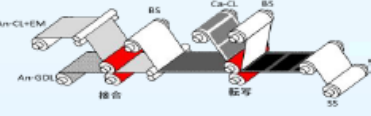
BPP種類と特徴

種類	材料構成例	セルピッチ	特徴
カーボン	グラファイト+樹脂	2~3mm	耐久性に優れる (> 8万時間)
金属	基材：SUS, Ti 表面：カーボン、金	0.9~ 1.3mm	接触抵抗低い (< 10mΩ/cm ²) 出力密度高くコンパクト化で有利

BPPは用途によりカーボンまたは金属のいずれかを選択

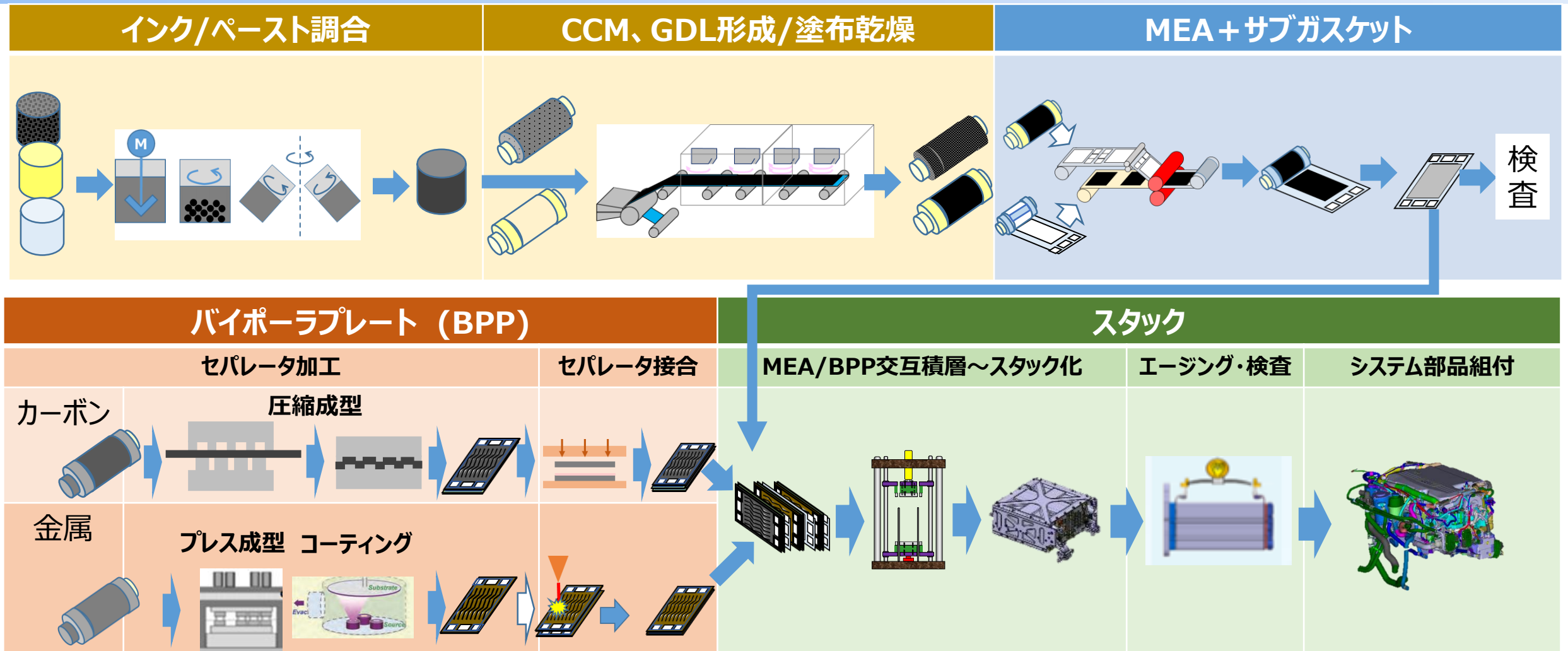
(ご参考) 生産技術ロードマップ (2019年6月 FCCJ)

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

**Roll to Roll : > 30m/min、枚葉加工 : 0.5sec/cell、
エージング : < 5分/台 と設定**

燃料電池スタック生産工程 概略



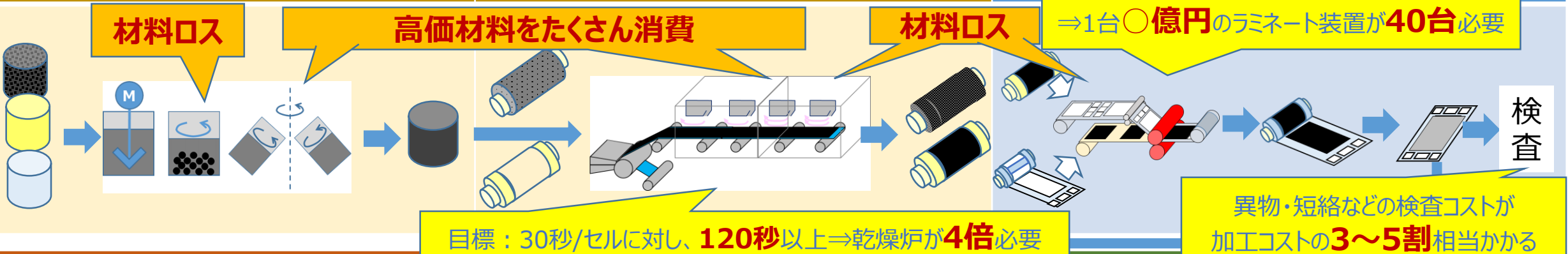
サブガasket付MEAとバイポーラプレートを作成・交互積層しスタック化

燃料電池スタック生産工程 現状と課題

インク/ペースト調合

CCM、GDL形成/塗布乾燥

目標：0.5秒/セルに対し、**20秒以上**
⇒1台〇億円のラミネート装置が**40台**必要



バイポーラプレート (BPP)

スタック

セパレータ加工

セパレータ接合

MEA/BPP交互積層～スタック化

エージング・検査

システム部品組付

目標：0.5秒/枚に対し、1秒以上
⇒1台〇〇億円のプレス装置が**2台**必要

目標：0.5秒/枚に対し、**20秒以上**
⇒1台〇億円のPVD装置が**40台**必要



- ・必要最小限の材料で十分な機能を有する理想構造を作れていない
- ・従来の生産速度や品質保証法では膨大な設備投資とスペースが必要

燃料電池スタック工程 産業界として実現したい姿

インク/ペースト調合

CCM、GDL形成/塗布乾燥

MEA+サブガasket

少ない高価材料で高機能化

乾燥短時間化(<5秒/セル)

高速化(0.5秒/セル)

検査レス・低減

材料ロス低減

材料ロス低減

検査

高速化
(0.5秒/セル)

バイポーラプレート (BPP)

スタック

短時間化(5分/基)

加工精度・高機能維持と高速化両立

カーボン

セパレータ接合

MEA/BPP交互積層～スタック化

エージング・検査

システム部品組付

カーボン

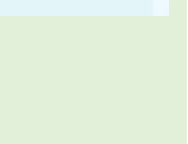
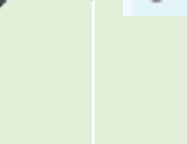
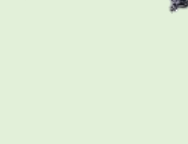
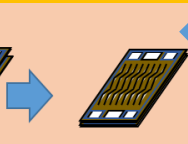
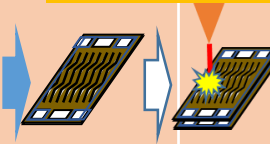
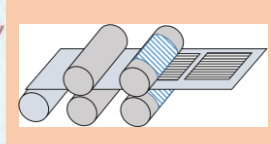
ローラエンボス成型

ローラエンボス成型

耐久性向上

金属

RtoR
PVDコート

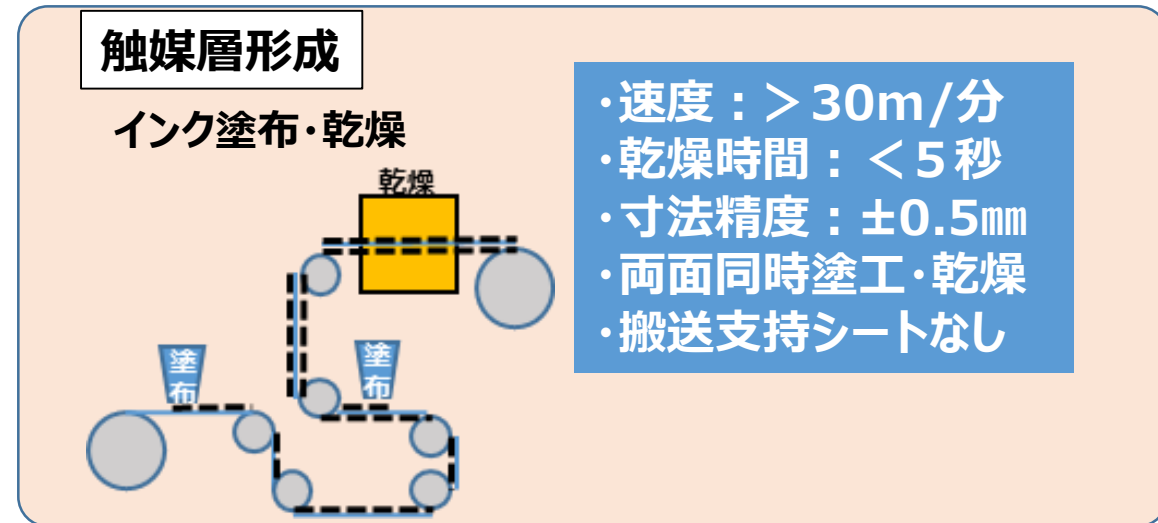
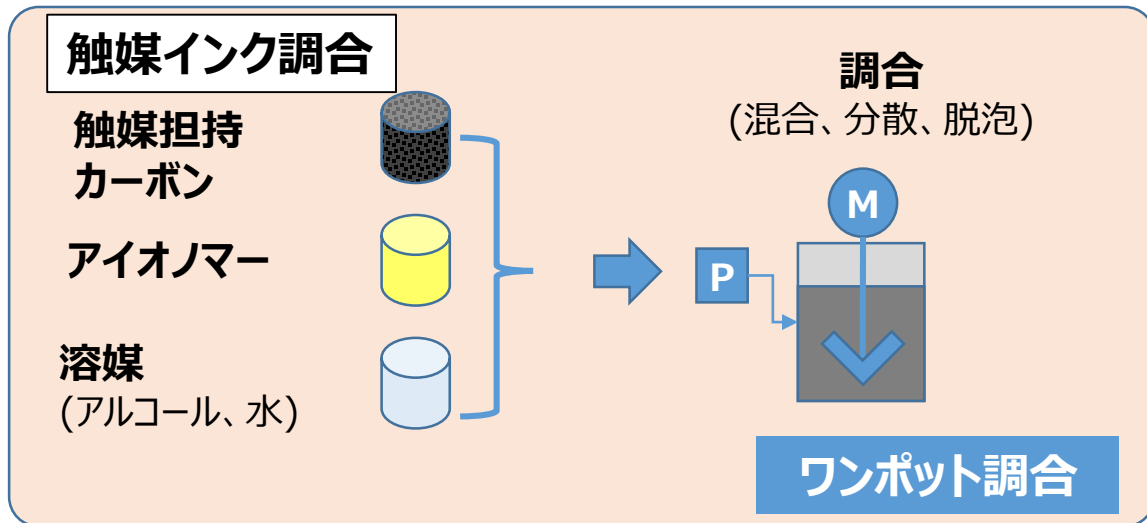


- 全工程で高速化を追求(CT=0.5秒/セル、5分/スタック)
- MEA、BPPは効率的に高機能化可能な工法を実現したい

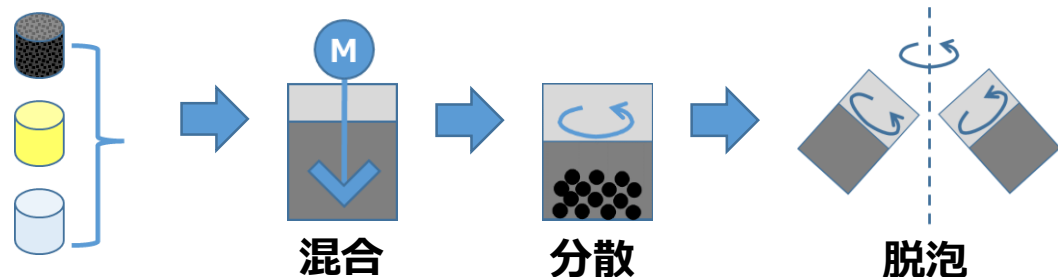
(2) 各工程の課題・革新ポイント

CCM・GDL工程（材料ロス・C/T低減）

ありたい工程の姿

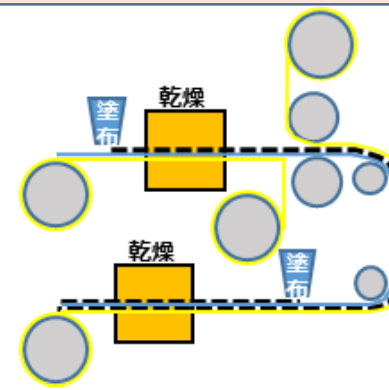


現状とのギャップ、課題



・複数装置を使用し
工程多い

材料ロス
5~10%



・電解質膜搬送を
支持シートが必要
・乾燥工程が長い

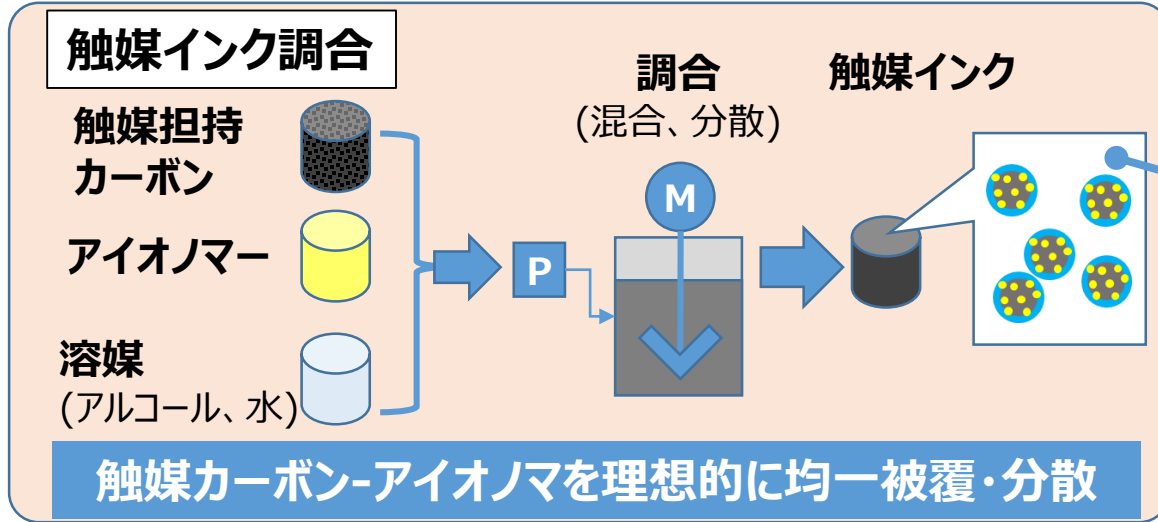
設備投資・C/T大

触媒インク調合：複数プロセスをまたぎ、**工数・材料ロス**発生

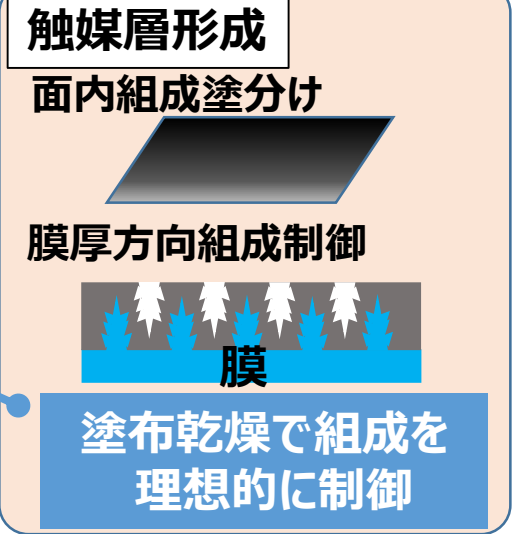
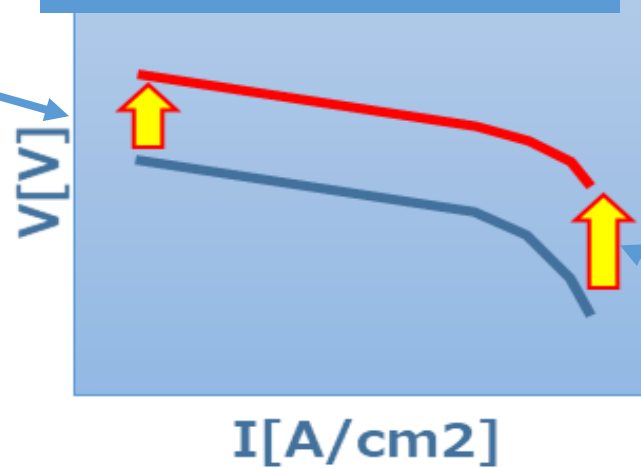
触媒層形成（インク塗布・乾燥）：**副資材コスト**発生、**設備投資・C/T**大

CCM・GDL工程（触媒層構造制御）

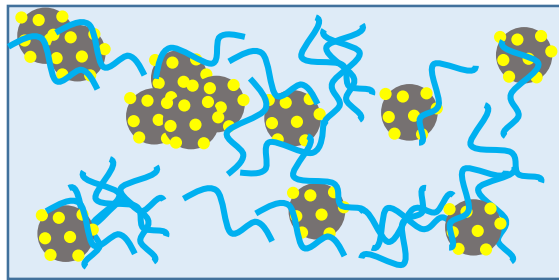
ありたい工程の姿



理想構造による性能向上



現状とのギャップ、課題



理想構造の触媒インク調合に必要な制御原理・要件が十分把握できていない

制御できていない

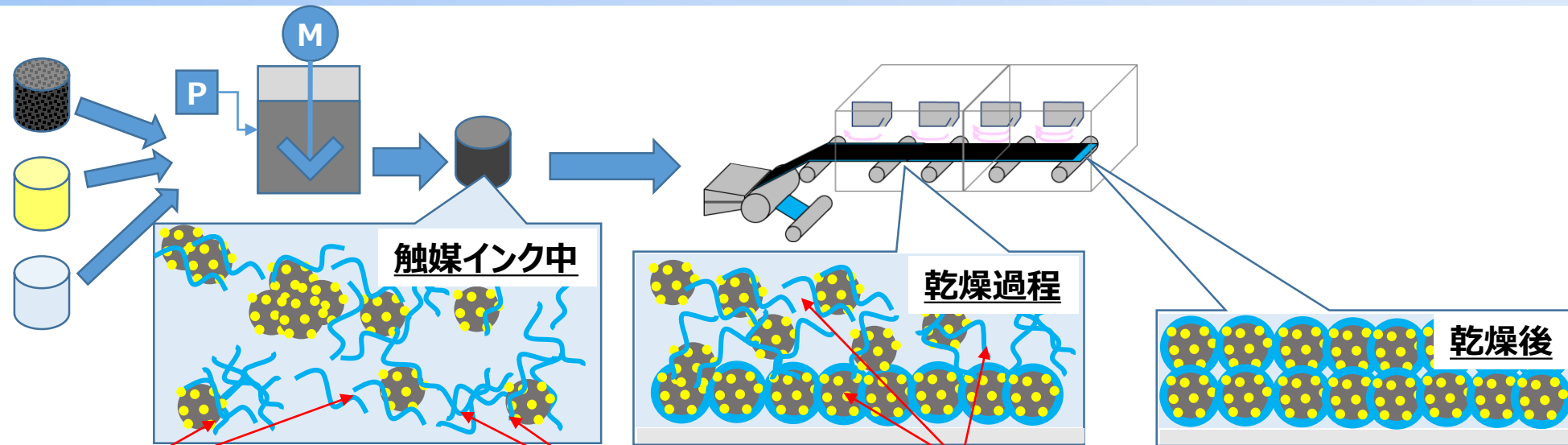


面内塗分け不可

膜厚方向は成り行き

アイオノマーの触媒カーボンへの被覆 ⇒ 制御する基盤原理に不明点多い
触媒層形成 ⇒ 触媒層構造の制御が自由にできない

CCM・GDL工程（触媒層構造制御）



触媒カーボンの凝集・分散
⇔カーボン上のアイオノマ被覆

カーボン上のアイオノマ被覆
⇔溶媒中のアイオノマ分散

乾燥／溶媒揮発の進み方 ⇔
触媒カーボン・アイオノマの沈降・層形成、
カーボン上へのさらなるアイオノマ吸着現象、
カーボン・アイオノマの膜厚方向組成・高次構造

どう影響しているか？
定量的に把握できないか？

【材料パラメータ】

- ・カーボン：粒径、表面形、親水性・・・
- ・アイオノマ：分子構造・IEC、・・・
- ・溶媒：水／有機溶媒比、溶解度パラメータ
- ・全体：固形分濃度、I/C、インク粘度・・・

【工程パラメータ】

- ・調合：分散にかけたエネルギー、
- ・塗布：ウェット膜厚、液表面積、・・・
- ・乾燥：温度、風量、時間

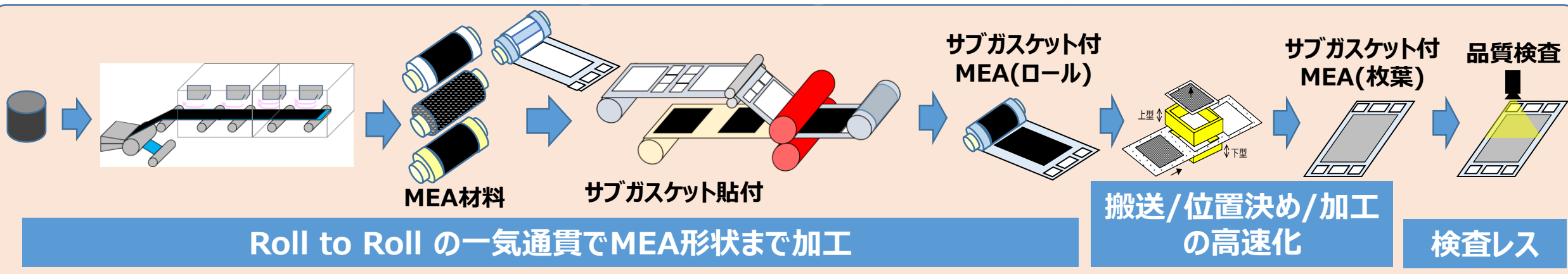
材料・工程パラメータと触媒層構造の関係を原理現象に基づき定量把握したい

MEA+サブガスケット貼付工程

ありたい工程の姿

■ 目標C/T : 0.5sec/セル

■ 現状C/T : 20sec/セル



現状とのギャップ、課題

現在の技術でもRoll to Rollの加工は可能だが、高速化に向けさらなる革新技術必要

接合 熱圧による一体化

加熱硬化に時間かかる

プレス時間

現状 20sec

目標 0.5sec

1/40

非加熱接着剤など高速接合方案

搬送/位置決め 搬送ハンド+カメラ活用

高速化⇒吸脱着不良

位置決めエラー

高速ハンドリング時のワーク保持機構ロバスト性向上

枚葉化 型・刃による最終形状へのカット

材料ロス⇒歩留低下

異物噛込の可能性

材料ロス分 5-10%

パターン造形など材料ロス0方案

品質検査 X線検査、短絡検査、異物検査など

設備投資額大

設備投資割合

検査 : 30~50%

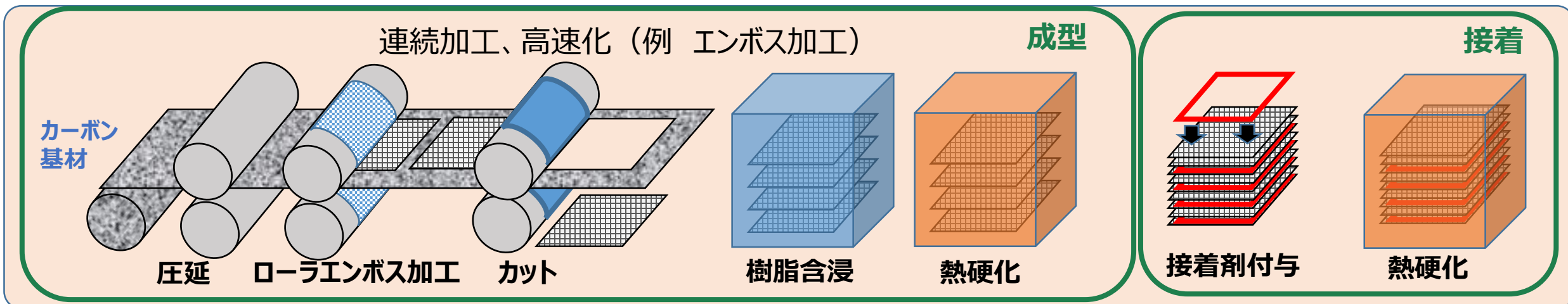
検査レス含む代替検査法案

高速化・材料ロス・検査低減に向けた材料・設備・品質保証の技術革新が必要

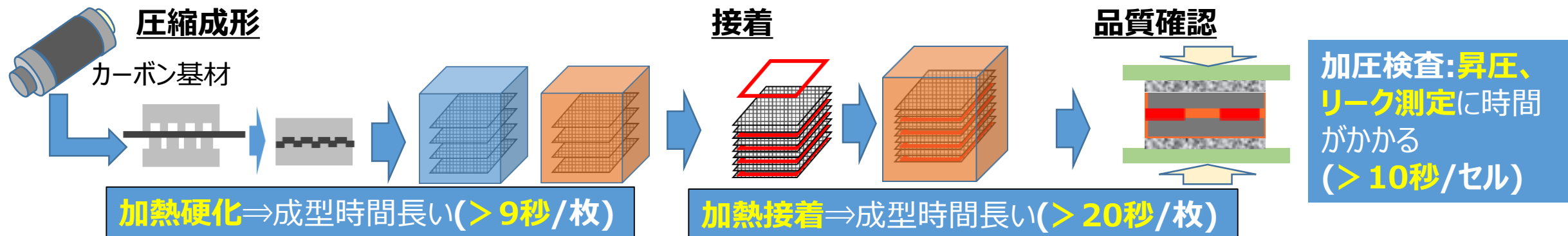
バイポーラプレート（カーボンベース）

ありたい工程の姿

高速成型プロセス：サイクルタイム 0.5s/枚



現状とのギャップ、課題

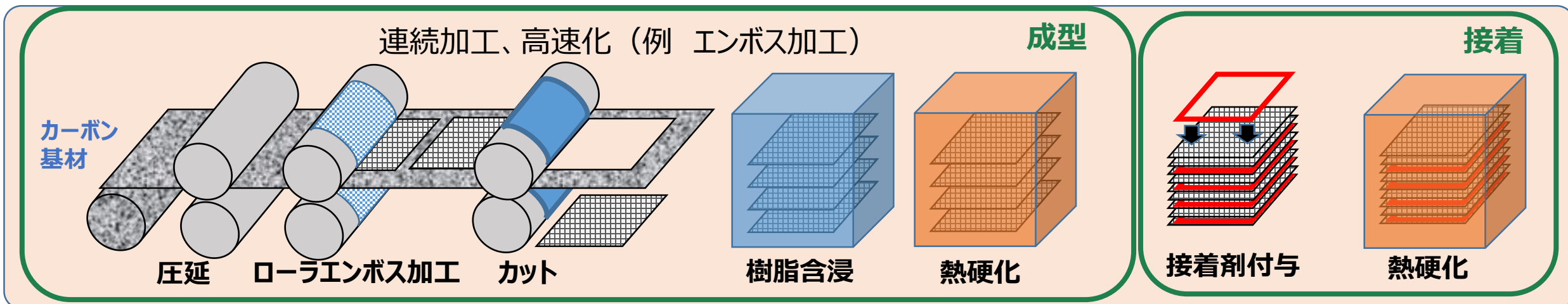


圧縮成型、接着：加熱硬化の必要のない材料開発が必要
検査：加圧検査に変わる接着後の品質確認方法の開発が必要

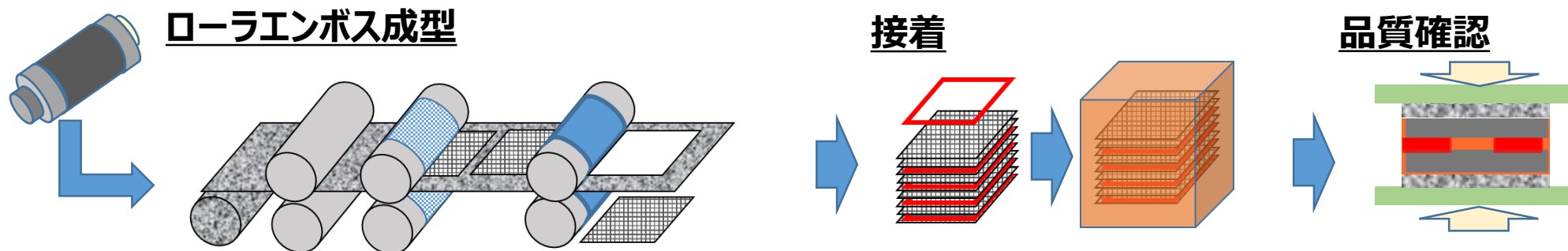
バイポーラプレート（カーボンベース）

ありたい工程の姿

高速成型プロセス：サイクルタイム 0.5s/枚



現状とのギャップ、課題



ローラエンボス成型：
前項の課題をクリアしたうえで成型高速化と寸法精度の両立が必要

バイポーラプレート (金属ベース)

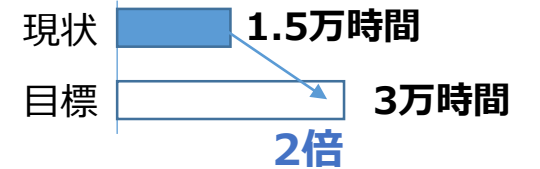
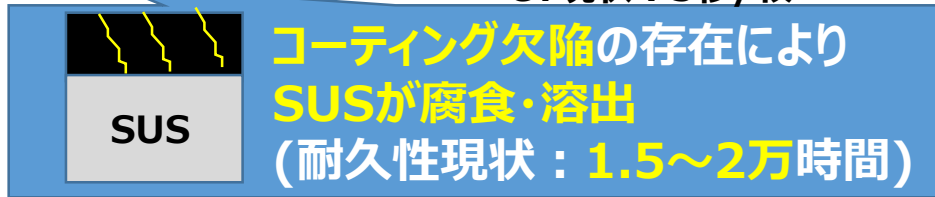
ありたい工程の姿

*コーティングとプレス順番はどちらが先でもよい



現状とのギャップ、課題

プレス加工前後搬送・PVD・溶接前後動作・検査に時間かかる



- ・耐久信頼性のあるコーティング材質 (自己修復機能含む) の開発
- ・プレス+搬送、連続搬送コーティング、接合~検査の高速化 が必要

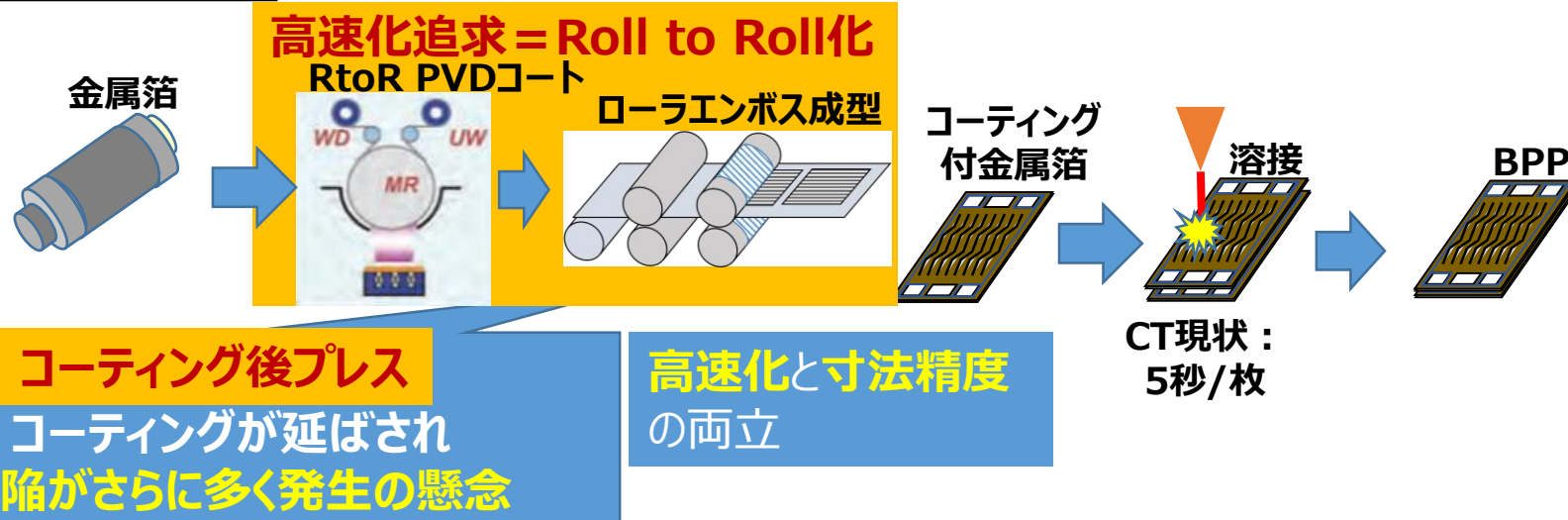
バイポーラプレート（金属ベース）

ありたい工程の姿

*コーティングとプレス順番はどちらが先でもよい



現状とのギャップ、課題

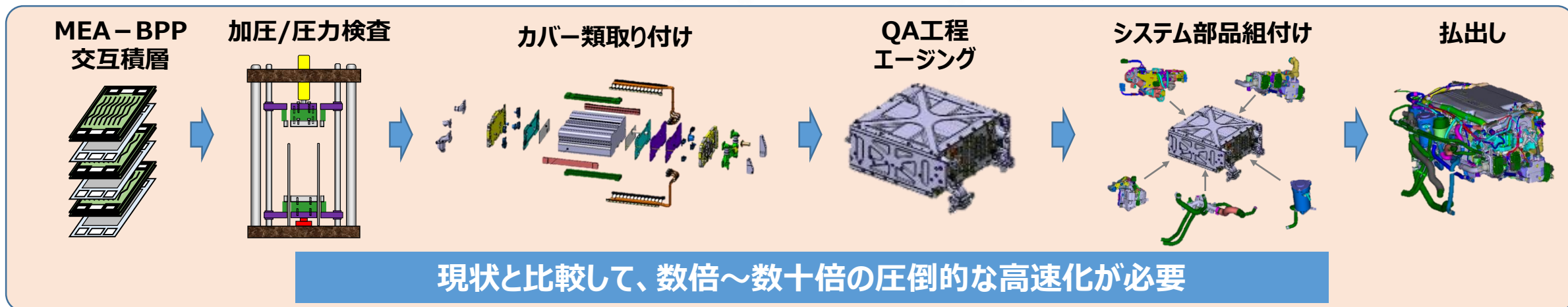


- ・コーティング後プレスの場合、プレスに耐えうる延びのあるコーティング技術必要
- ・ローラエンボス成型では高速化と寸法精度の両立が求められる

スタック化

ありたい工程の姿

■ 目標C/T : 5min/スタック



現状とのギャップ、課題

積層

セル生産で積層、加圧及び圧検を実施している

- ・部品点数が多い
- ・組付け間違いの可能性あり
- ・異物混入の可能性あり

部品点数削減と高速積層方案の検討

エージング 発電ベンチで『慣らし運転』

エージング時間

・エージングの理解が不足

・高速化への攻め所が不明

>120min

5min

現状 目標

高速化に向けたエージングメカニズム解明

システム組立 セル生産によるシステム部品組付

- ・部品点数が多い
- ・人の能力に左右される

部品点数削減と自動化検討

スタック化工程の高速化に向けて、特にエージングのメカニズム解明が必要

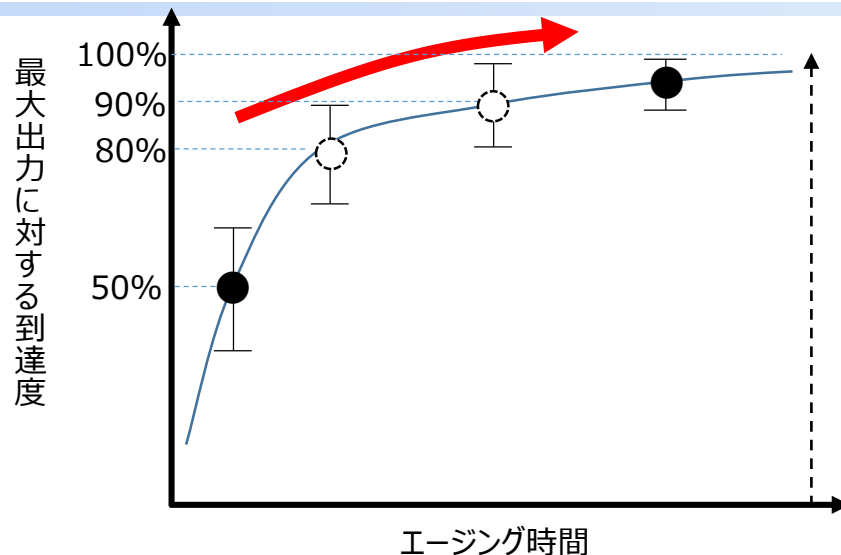
エージング

◆エージングの目的

製造直後のセル・スタック出力は本来出力よりも大幅に低く、そのまま出荷して運転しても十分な出力が得られない

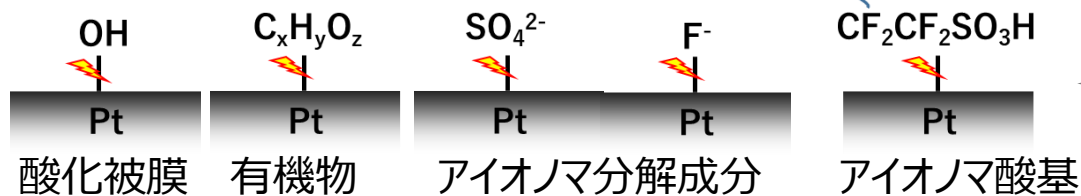


出荷後運転により**最大出力が発現可能な状態にするために、最低限の活性化処理(=エージング)が必要**



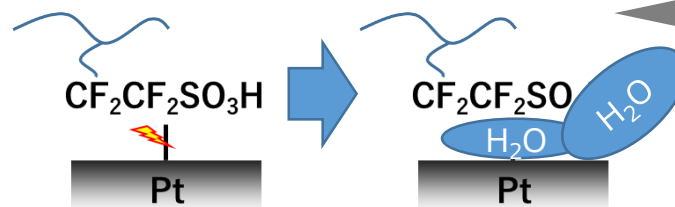
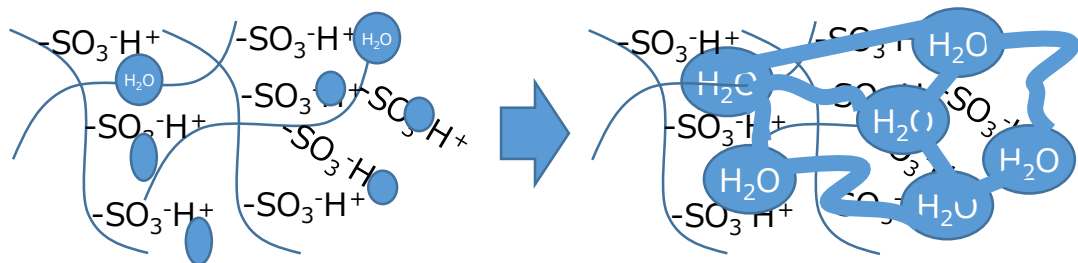
◆エージングに求められる機能要件

1) Pt触媒表面のクリーニング、付着物除去



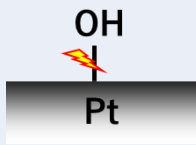
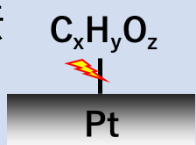
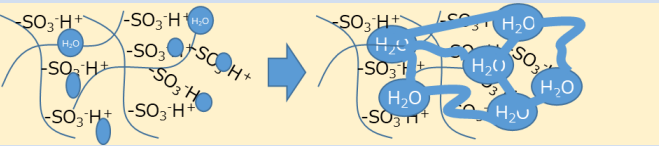

■ 不明点
・付着物の詳細
・Ptとの結合方法
(何故電位変動で除去できるのか)

2) 電解質膜・触媒層イオノマの湿潤、Pt触媒表面までのプロトンパス形成



■ 不明点
・最適な湿潤状態
・湿潤によるプロトンパスの固定メカニズム

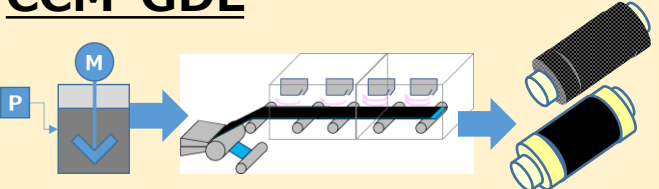
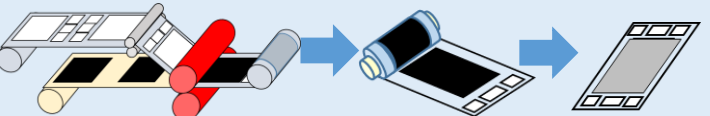
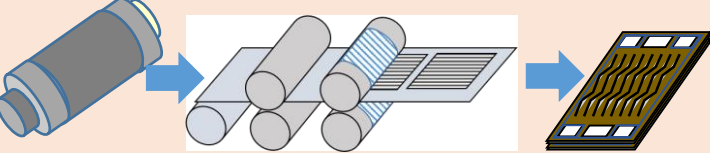
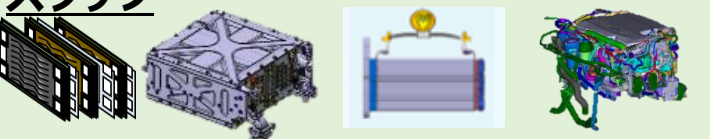
エージング

エージング要件	有効な手段	課題
触媒活性向上		
Pt表面酸化被膜除去 	電位変動発電	
Pt表面コンタミ物質除去 	<ul style="list-style-type: none"> • F-、SO3-除去 ⇒ 低電位化 • 有機物 ⇒ 電位変動発電 • 製造工程での混入回避 	<ul style="list-style-type: none"> • 各種有機物の構造×混入量と必要エージング条件定量把握 • 材料・製造工程における混入回避具体策
プロトンパス形成		
膜・アイオノマ湿潤 	発電による湿潤	<ul style="list-style-type: none"> • 湿潤過程の把握、最低要件明確化 • In-situ追跡手段
アイオノマ-Pt間水クラスタ、プロトンパス形成 	電位変動発電	<ul style="list-style-type: none"> • Pt-アイオノマ間のプロトンパス形成過程の把握、最低要件明確化 • In-situ追跡手段

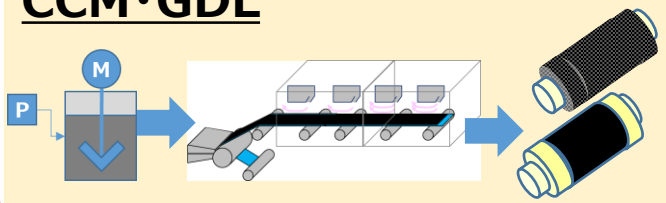



Pt被毒成分の影響の定量化、プロトンパス形成過程と最低要件の把握が課題

(3) まとめ


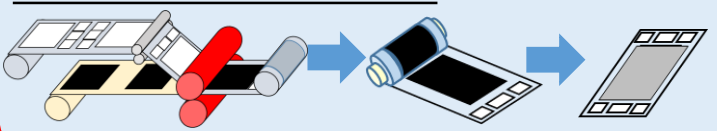


燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと		
			現象把握	工法革新	材料革新
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減	○	○	
		乾燥高速化	○	○	○
	高機能・品質	触媒被覆理想構造制御	○	○	
		触媒層形成理想構造制御	○	○	
サブガasket付MEA 	高速・高効率	接合高速化	○		○
		高速吸脱着機構		○	
高機能・品質	検査低減・検査レス		○		
	バイポーラプレート 	高速・高効率	成型高速化	○	○
コーティング高速化				○	
接合高速化		○		○	
高機能・品質		コーティング耐久性向上	○	○	○
スタック 	高速・高効率	積層高速化		○	
		エージング短時間化	○	○ (各工程)	○ (各部品)



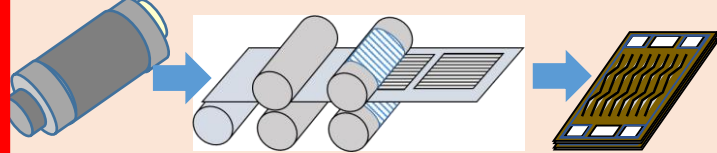

燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと		
			現象把握	工法革新	材料革新
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減	○	○	
		乾燥高速化	○	○	○
	高機能・品質	触媒被覆理想構造制御	○	○	
		触媒層形成理想構造制御	○	○	
MEA + サブガスケット 	調合・塗布・乾燥の各過程での構造形成のメカニズム理解 ～理想的に制御する理屈				
バイポーラプレート 	ダイ塗工や熱風乾燥での制御		○	○	○
	斬新な手段を用いた制御		○	○	○
	高機能・品質	コーティング耐久性向上	○	○	○
スタック 	高速・高効率	積層高速化		○	
		エージング短時間化	○	○ (各工程)	○ (各部品)

燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと		
			現象把握	工法革新	材料革新
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減	○	○	
		乾燥高速化	○	○	○
	高機能・品質	触媒被覆理想構造制御	○	○	
		触媒層形成理想構造制御	○	○	
サブガasket付MEA 	高速・高効率	接合高速化	○		○
		高速吸脱着機構		○	
	高機能・品質	検査低減・検査レス		○	
バイポーラプレート 	非加熱型の接着材料開発			○	○
	高速化でロバストなワーク吸脱着機構			○	
	検査設備の低減 ⇒ 装置革新			○	○
		エージング短時間化	○	○	○
スタック 				○	○
				(各工程)	(各部品)

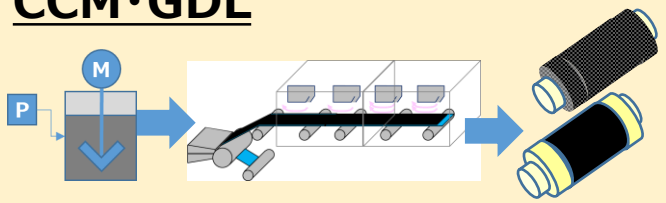
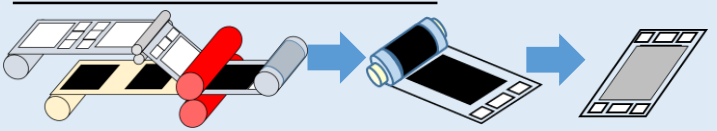
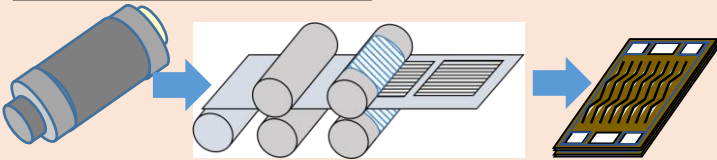
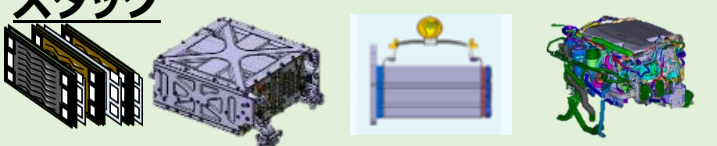
燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと		
			現象把握	工法革新	材料革新
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減 高速成型・接合 ⇒ 高速硬化材料、装置革新、現象理解～加工精度との両立	○	○	○
MEA+サブガスケット 	高速・高効率	触媒層形成理想構造制御 金属BPP：高耐久性と高速生産の両立 ⇒ コーティング材形成原理、装置革新	○	○	○
バイポーラプレート 	高速・高効率	成型高速化 コーティング高速化 接合高速化	○	○	○
	高機能・品質	コーティング耐久性向上	○	○	○
スタック 	高速・高効率	積層高速化		○	
		エージング短時間化	○	○ (各工程)	○ (各部品)

燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと			
			現象把握	工法革新	材料革新	
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減	○	○		
		乾燥高速化	○	○	○	
	高機能・品質	触媒被覆理想構造制御	○	○		
		触媒層形成理想構造制御	○	○		
MEA+サブガasket 	高速・高効率	接合高速化	○		○	
		高速吸脱着機構		○		
高機能・品質	検査低減・検査レス			○		
	バイポーラプレート 	高速・高効率	成型高速化	○	○	○
エージング過程メカニズム理解				○		
前工程、使用材料革新				○	○	
					○	○
スタック 	高速・高効率	積層高速化		○		
		エージング短時間化	○	○ (各工程)	○ (各部品)	

燃料電池生産 課題まとめ

工程	実現したいこと	課題	お力添えいただきたいこと		
			現象把握	工法革新	材料革新
CCM・GDL 	高速・高効率	インクロス低減	○	○	
		乾燥高速化	○	○	○
	高機能・品質	触媒被覆理想構造制御	○	○	
		触媒層形成理想構造制御	○	○	
サブガasket付MEA 	高速・高効率	接合高速化	○		○
		高速吸脱着機構		○	
高機能・品質	検査低減・検査レス			○	
	バイポーラプレート 	高速・高効率	成型高速化	○	○
コーティング高速化				○	
接合高速化		○		○	
高機能・品質		コーティング耐久性向上	○	○	○
スタック 	高速・高効率	積層高速化		○	
		エージング短時間化	○	○	○
				(各工程)	(各部品)

各工程課題に対し**現象把握・装置工法革新・材料革新**のお力添えいただきたい