

Meet up Chubu vol.8

FC生産技術課題②

バイポーラプレート/セパレータプロセス

2022年 12月22日

技術研究組合 FC-Cubic

パナソニック アプライアンス社

東芝エネルギーシステムズ株式会社

本田技研工業株式会社

株式会社本田技術研究所

トヨタ自動車株式会社

佐藤 克己

菅原 靖、吉本 規寿

鈴木 直俊

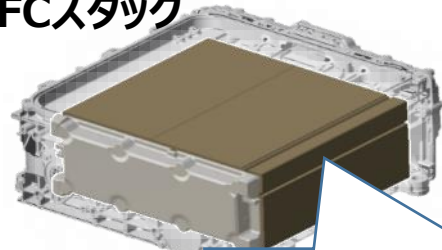
○小林 洋平

田中 之人

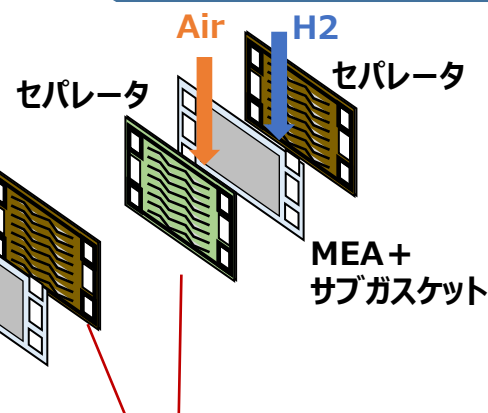
岡 憲俊、秋田 靖浩

燃料電池スタック・セル サイズおよび厚み

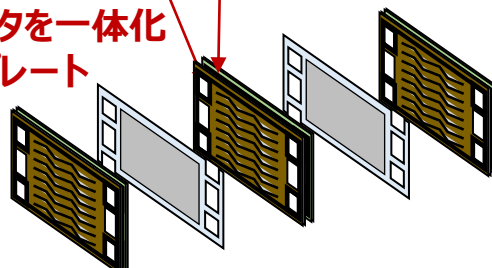
FCスタック



FCセル

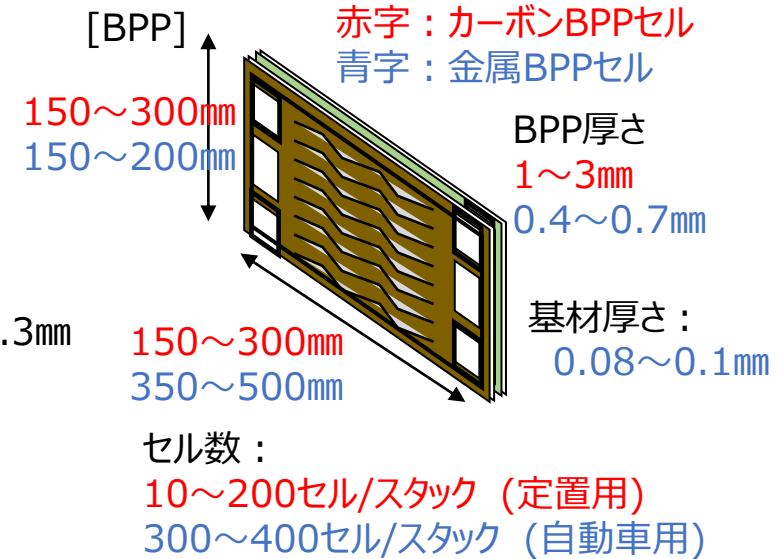
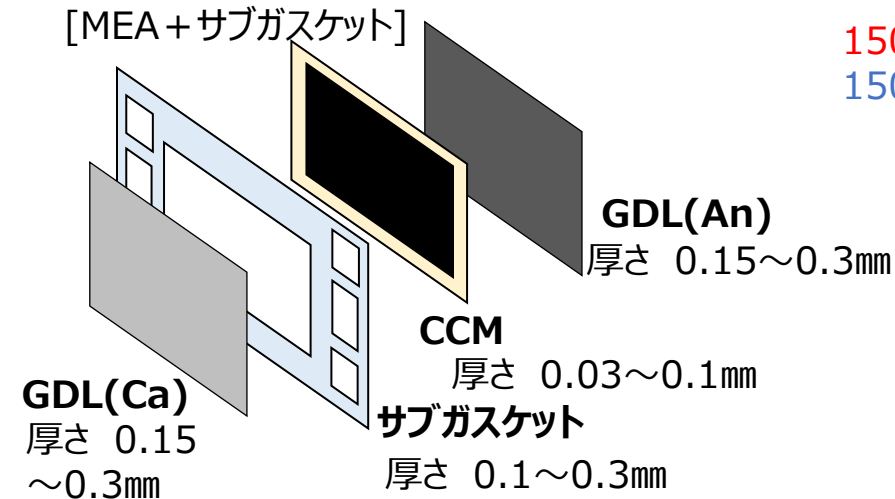


2枚のセパレータを一体化
=バイポーラプレート
(BPP)



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

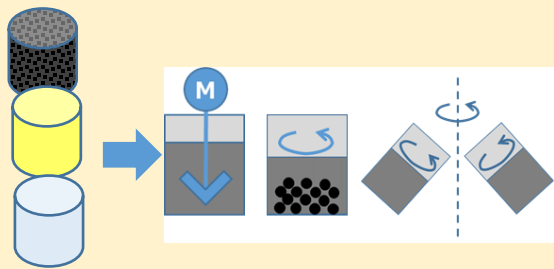
BPP種類と特徴

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

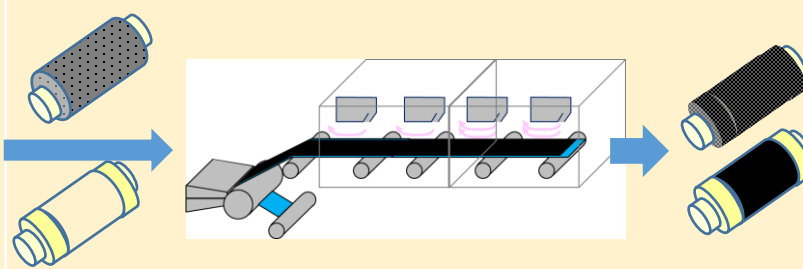
BPPは用途によりカーボンまたは金属のいずれかを選択

バイポーラ/セパレータ プロセスフロー概略

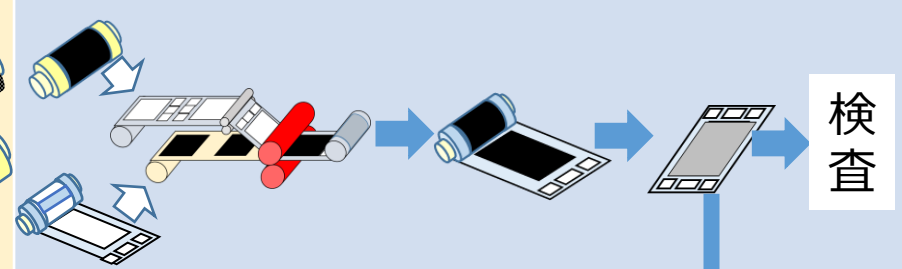
インク/ペースト調合



CCM、GDL形成/塗布乾燥



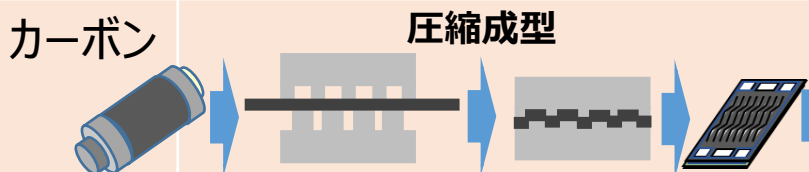
MEA+サブガasket



バイポーラプレート (BPP)

セパレータ加工

圧縮成型

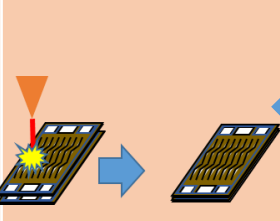
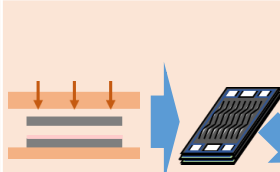


金属

プレス成型 表面処理

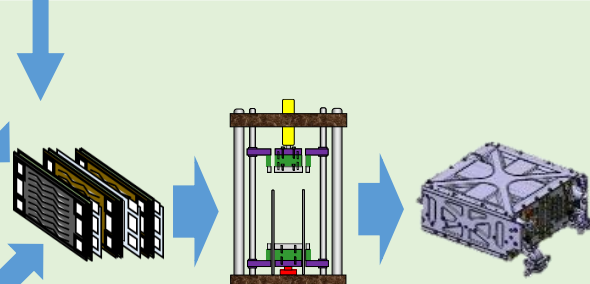


セパレータ接合

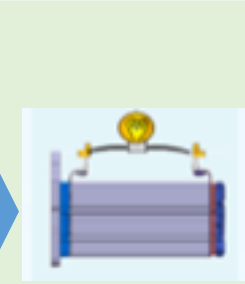


スタック

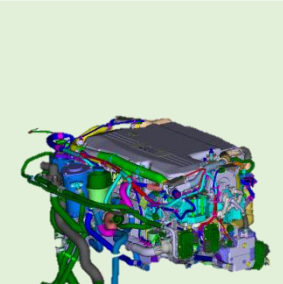
MEA/BPP交互積層～スタック化



エージング・検査



システム部品組付



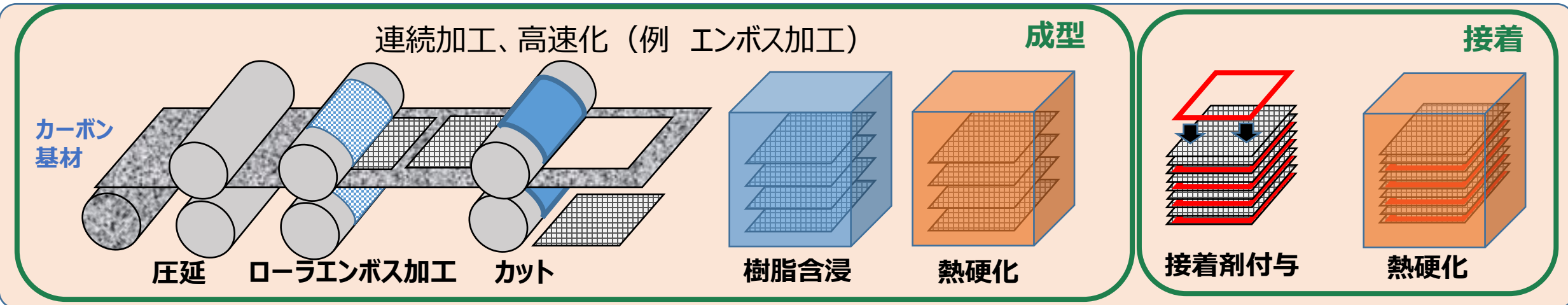
主要プロセスフローとして、**プレス成型**、**表面処理**、**シール形成**、**リーク検査**がある

-
- **カーボンベースの課題**
 - 金属ベースの課題

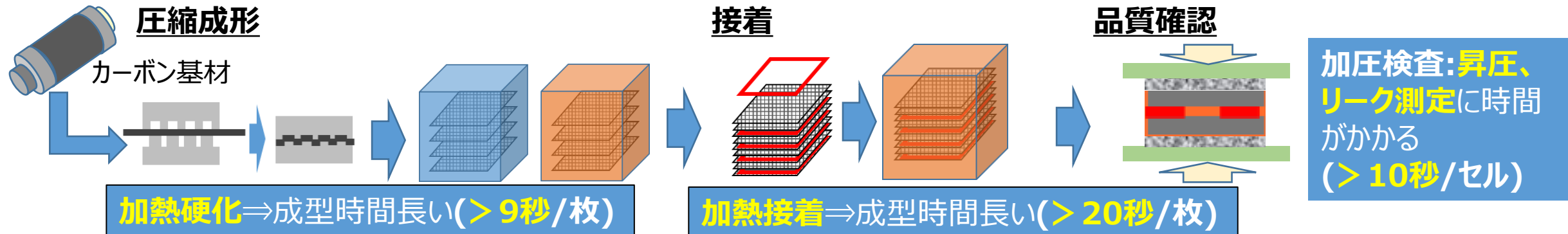
①カーボンベースの課題

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

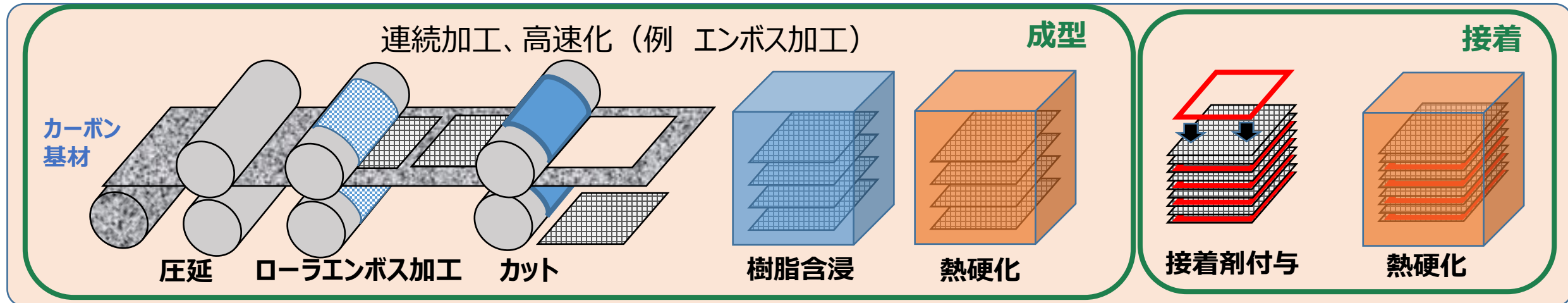


圧縮成型、接着：加熱硬化の必要のない材料開発が必要
検査：加圧検査に変わる接着後の品質確認方法の開発が必要

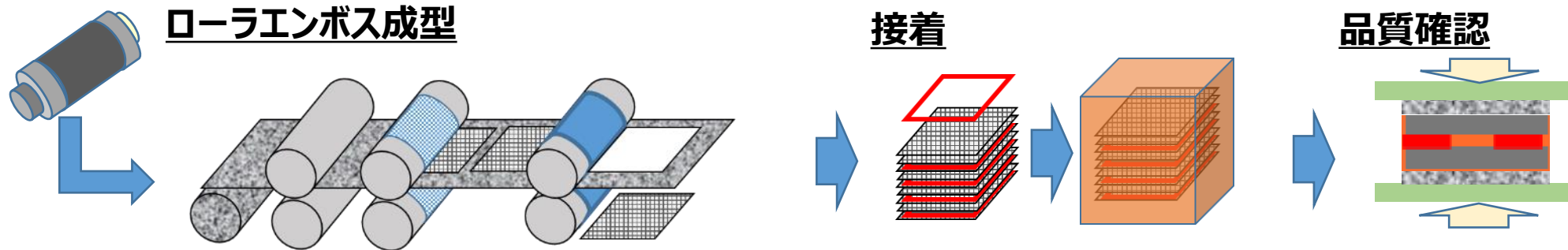
②カーボンベースの課題

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

③カーボンベースの課題（リーク検査）

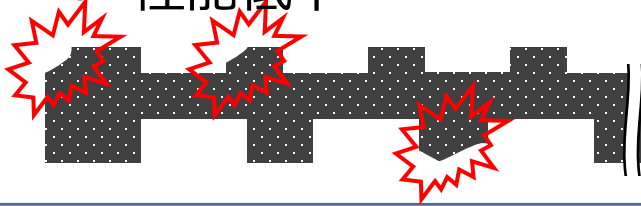
バイポーラプレート断面概略図



カーボンベース課題

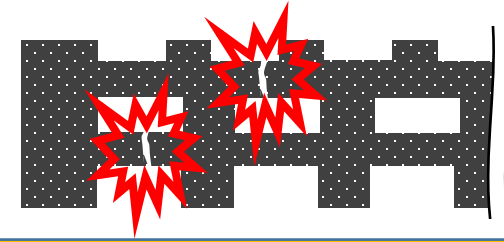
セパレータ/バイポーラプレートのハンドリング・成型時に**欠け・クラック**が発生するリスクあり

欠け：流体の面内バイパス・締め付けの不均一
リーク → 性能低下



検査：目視で確認可能、画像等自動化容易

クラック：流体間でのバイパス、リーク → 性能低下



検査：加圧によるリーク検査、各流路で検査必要

成型目標サイクルタイム(0.5s/枚)と比較して、**加圧、リーク量測定に時間がかかる**
→ リーク検査代替となる短時間で**カーボンのクラックを検出できる検査方法の開発必要**

-
- カーボンベースの課題
 - **金属ベースの課題**

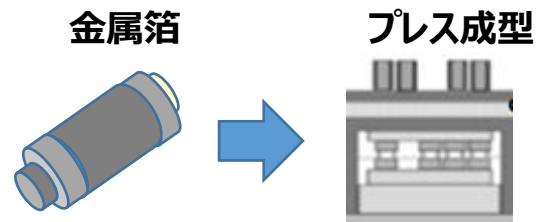
プレス成型工程の課題

ありたい工程の姿

*コーティングとプレスの順番はどちらが先でもよい



■現状とのギャップ、課題



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

■成型品質

- 断面形状 : ピッチ1mm程度
- 流路深さ : 0.3~0.5mm程度
- プレス厚み公差 : ±0.015mm程度
- 抜き角40~60°程度

■生産性速度

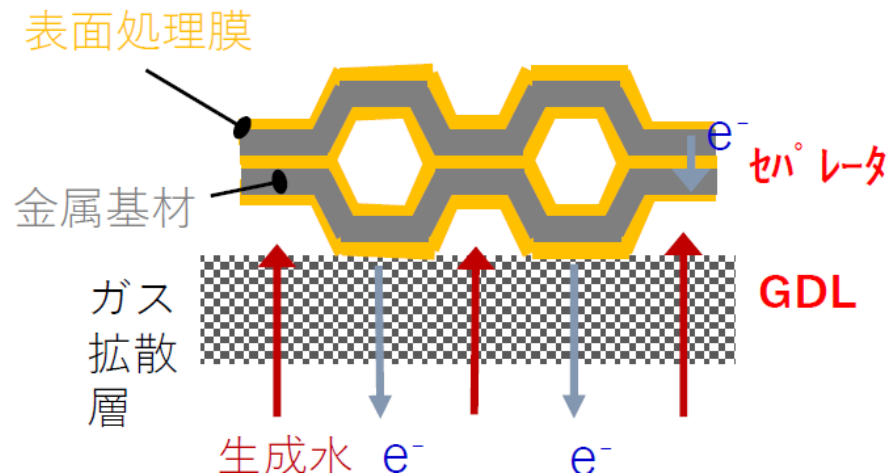
- 順送プレス成型方式 : ~60spmが今の見込み

プレス成型においては、**成型品質と両立を図りながら生産性を高めることが課題**

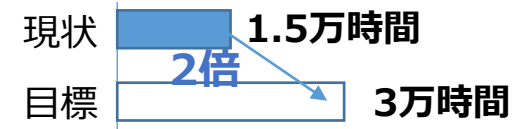
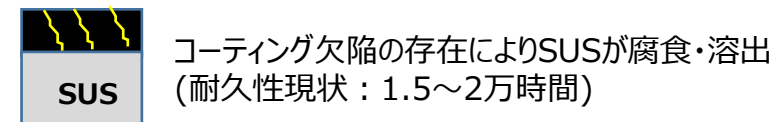
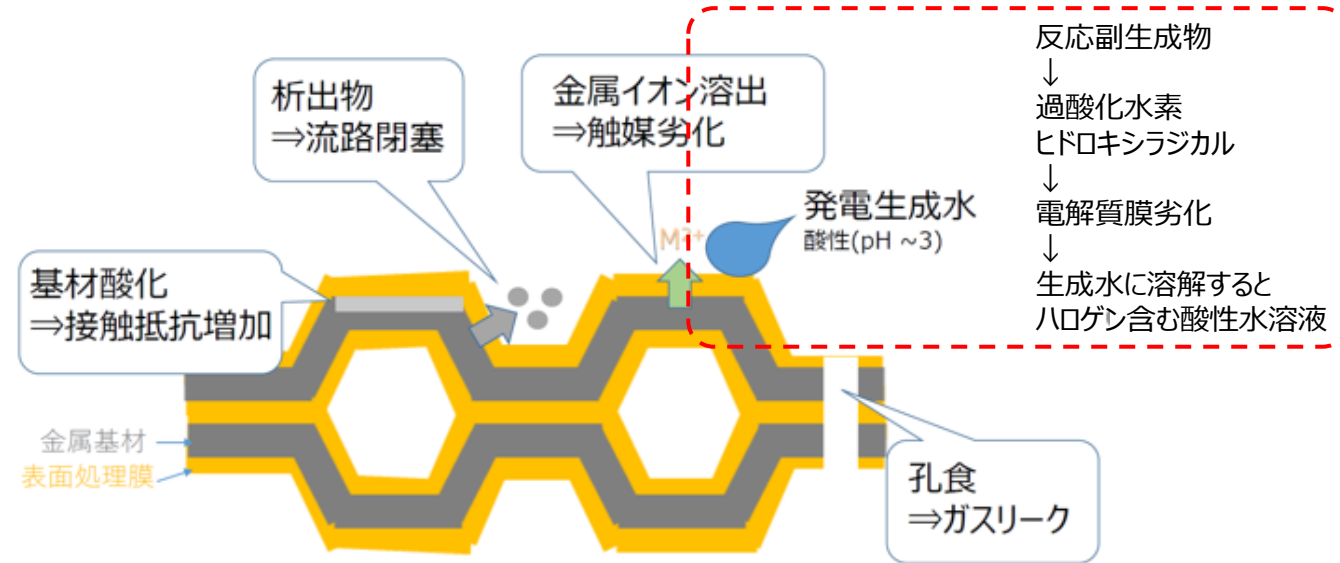
金属の表面処理工程について

■セパレータの必要機能

- ☆ 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）



低接触抵抗と耐食性が必要



酸性水溶液に対する耐食性が求められる

金属表面に、GDL界面における高導電性と、耐食性を付与することが必要である。

表面処理の公知情報

■ Fraunhofer 他

Table 5
Selected coating materials used for metallic BPPs of PEMFCs based on [35,81].

Coating material	Base plate materials (Substrate)		Deposition method	Ref.
	Stainless steels	Titanium and Titanium alloys		
Amorphous carbon (A-C)	●	(●)*	CFUMSID	[82]
Carbon	●	(●)*	PVD	[83]
Carbon with Nickel Layer	●	—	CVD	[84]
Carbon films	●	(●)*	CFUBMSIP	[85]
Carbon/PTFE/TiN composites	—	(●)*	Two-step hydrothermal and impregnation process PBAIP [87,88] ICP (530–650 K) [89, 90] PVD [91,92] Magnetron sputtering [93]	[86] [87–93]
CrN	●	—	PVD [91,92] Magnetron sputtering [93]	[87–93]
CrN-carbon film	●	—	CFUBMSIP	[94]
Gold	●	●	Electrodeposition	[95,96]
Gold-titanium	●	—	Electron-beam PVD	[97]
Gold-nickel	●	—	Electron-beam PVD	[97]
Nickel, Ni–Cr–P	●	—	Ion implantation	[78,98]
Platinum	(●)*	●	Electron-beam PVD	[97]
TiN	●	●	PVD [99], MIP [100]	[99, 100]

Legend for abbreviations for coating processes and chemical compounds:

CFUBMSIP = Closed field unbalanced magnetron sputter ion plating.

CFUMSID = Closed field unbalanced magnetron sputter ion deposition.

CVD = Chemical vapour deposition.

ICP = Inductively coupled plasma.

MIP = Multi-arc ion plating.

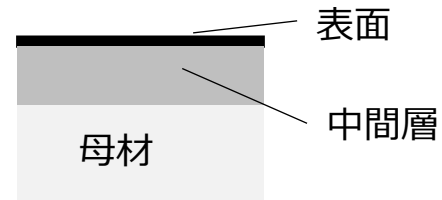
PBAIP = Pulsed bias arc ion plating.

PVD = Physical vapour deposition.

TiN = Titanium nitride.

CrN = Chromium nitride.

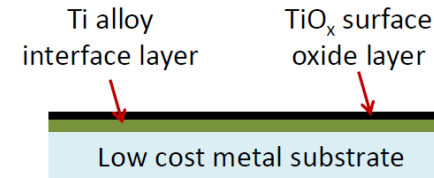
(●)* = is considered as possible, but no reference source is found.



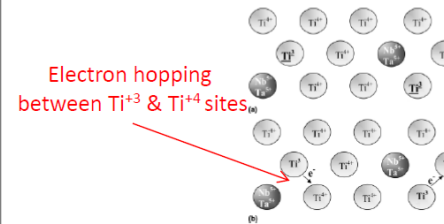
- 母材
SUS、Ti etc
- コーティング層
Au/CrN/Ti/C etc
- 工法
PVD、CVD etc

■ DOE Hydrogen Program

Coating Structure



Doping TiO_2 with +5 valence elements enforce the formation of Ti^{+3} in TiO_2 lattice structure, and result in the higher electronic conductivities.



Challenges to use doped TiO_x coating:

1. Doped TiO_x is semi-conductive. The electrical conductivity is not high enough.
2. The weak bonding of doped TiO_x to metal substrate surface.

TreadStone's approach:

- Coat metal substrate with Ti-Nb or Ti-Ta alloy. Then, grow the doped TiO_x surface layer on the Ti alloy coating layer.
1. The doped TiO_x on Ti alloy surface is thin and reliable.
 2. Investigate the TiO_x electrical conducting mechanism to guide the coating structure development.
 3. Develop AST protocol for rapid evaluation of metal BPs long term durability.

Conghua "CH" Wang TreadStone Technologies, Inc.

DOE Hydrogen Program

2022 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting

Project ID# : FC345

S. Porstmann, T. Wannemacher, W.-G. Drossel

A comprehensive comparison of state-of-the-art manufacturing methods for fuel cell bipolar plates including anticipated future industry trends

Journal of Manufacturing Processes 60 (2020) 366–383

母材へのバリア性を確保する緻密な層形成が可能な工法が好まれている

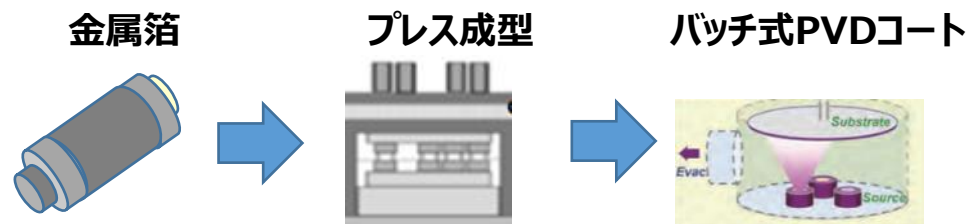
表面処理工程の課題1/2

ありたい工程の姿

*コーティングとプレスの順番はどちらが先でもよい

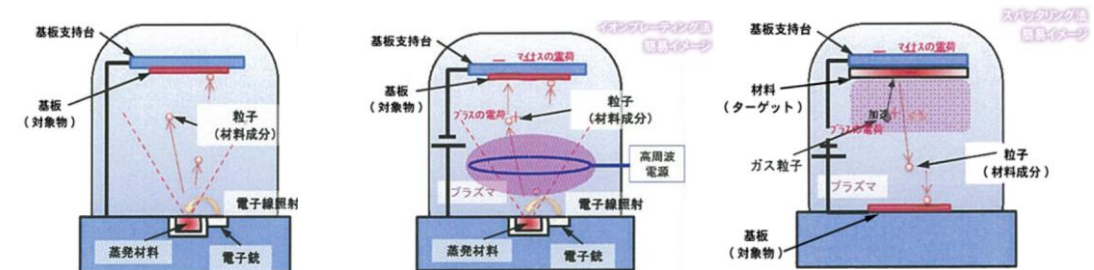


■現状とのギャップ、課題



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

■従来のPVD・CVD表面処理の課題



※プレス後の枚葉状態でドライコーティング

<低生産性・高価設備>

- ・ 不導体被膜除去/下持層付与/導電層付与
- ・ 以上を真空バッチ炉を分ける必要があるため、長大な装置が必要
- ・ バッチ当たり20～30枚程度の処理能力しか確保できない
- ・ 高真空/電源

高速・廉価となる表面処理手法の確立が課題

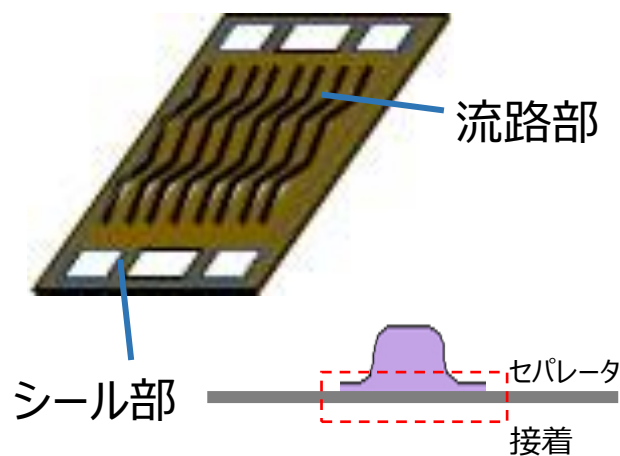
表面処理工程の課題2/2

ありたい工程の姿

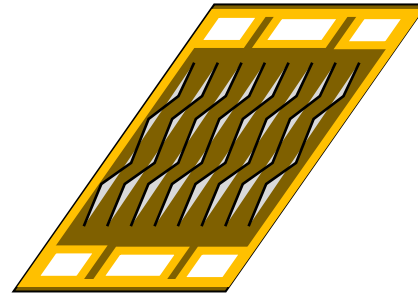
*コーティングとプレスの順番はどちらが先でもよい



■現状とのギャップ、課題



シール特性確保のために、
表面に異種材の接合が必要



シールライン(オレンジ太線部)を避けるようにコーティングしたい

通常は非コーティング箇所をマスキングするが、マスキング材や専用治具の活用、およびその洗浄も含めたマスキング工程の追加によりコストアップが懸念される

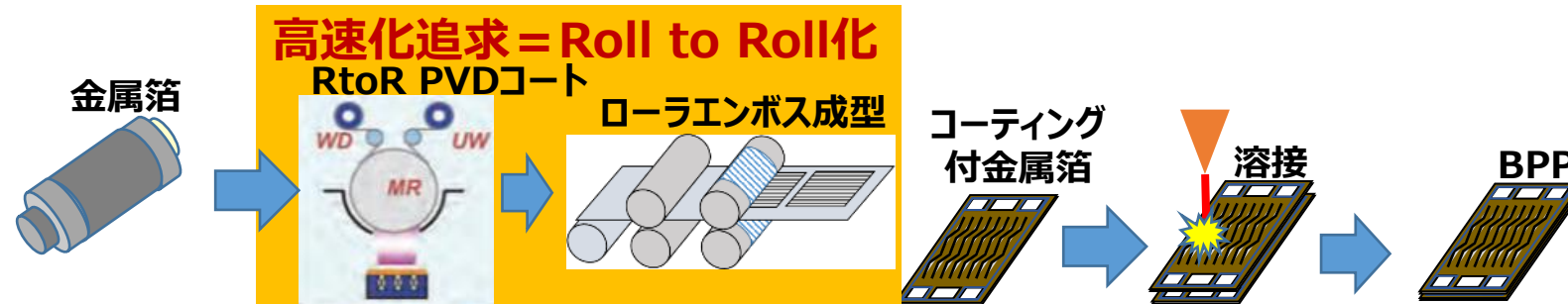
必要箇所だけコーティングすることができないか？

発電部位、シール部位への選択的表面処理手法も求められる

金属ベースの高速化追求の課題

ありたい工程の姿

* コーティングとプレスの順番はどちらが先でもよい



コーティング後プレス



コーティングが延ばされ
欠陥がさらに多く発生の懸念

高速化と寸法精度の両立

- 耐久信頼性のあるコーティング材質 (自己修復機能含む)
- 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
- ローラエンボス成型では高速化と寸法精度の両立
- プレス + 搬送、連続搬送コーティング、接合～検査の高速化

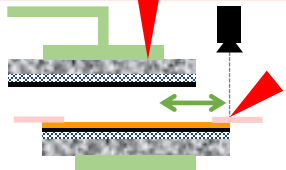
高効率生産体質を追求していく上で、**材料・工法の進化・革新**が課題となってくる

つかむ・はこぶ

つかむ・はこぶ 効率を高め、生産スピードを大幅にアップしたい

搬送/位置決め 搬送ハンド+
カメラ活用

高速化⇒吸脱着不良



高速ハンドリング時のワーク
保持機構ロバスト性向上

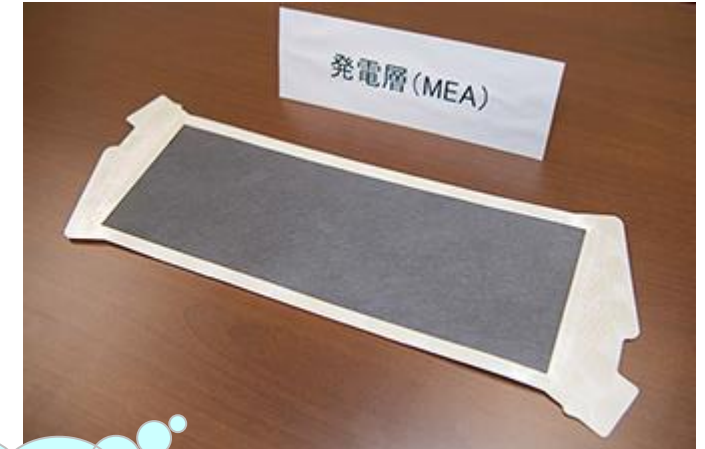


ラップフィルムのような腰
のないシートをシワなく
運び、精確に配置



薄氷のように割れやす
く、和紙のようにスカス
カのシートをはこび、
精確に配置したい

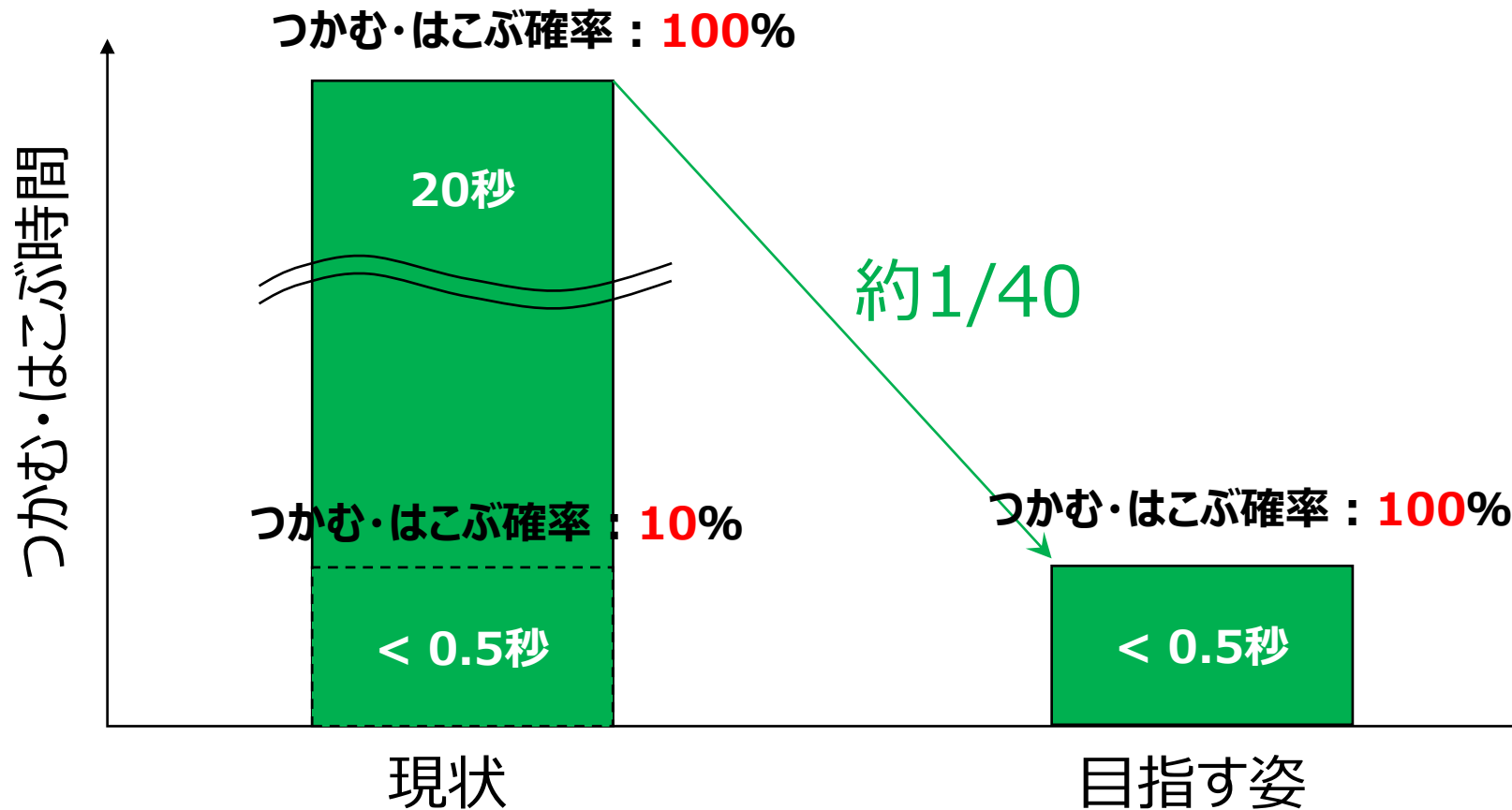
凹凸、反りのある板
状・弾性材を数十～
数百段、精確に運び、
積層したい



スピードアップで、つかむ・はこぶ信頼性低下

つかむ・はこぶ

薄く壊れやすいものを**つかむ・はこぶ**信頼性を高め、生産スピードを大幅にアップしたい**理由**



つかむ・はこぶの律速は**時間**

つかむ・はこぶ

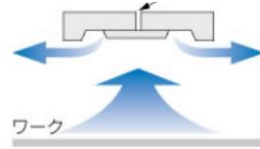
薄く壊れやすいもの**つかむ・はこぶ**信の信頼性を高め、生産スピードを大幅にアップするための**課題**



真空式



静電式

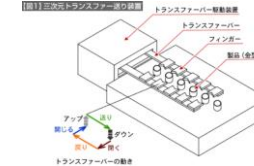


ベルヌーイ

つかむ工法例



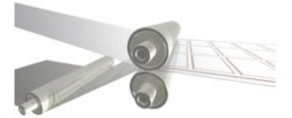
ロボット



トランスファー



リニアコンベア



ロールtoロール

はこぶ工法例

工程 \ 課題	把持力	位置決め精度	ワーク形状	搬送	停止
つかむ・はこぶ	- 高速搬送に対して、破損なく、落下しない必要十分な把持力 - カーボン粉などによる把持力低下	±0.5mm精度の高速把持・開放制御性	- 高速搬送に対して、破損なく、落下なく把持可能な形状 - 高ガス透過性、割れやすい、薄くてこしが無い、反りがある等に対応可能な把持形状	- 高速搬送時の搬送物の破損、落下がない - 高速搬送安定性	- カメラなどでの位置検知の際、誤検知がない - 停止時慣性による搬送物の破損、落下がない

フレモノシートを**破損せず**、**精確に高速**で把持・搬送できる方法が必要

バイポーラプレート/セパレータプロセスの課題まとめ

- **カーボンベースの課題**

- 圧縮成型、接着 : 加熱硬化の必要のない材料
- 検査 : 加圧検査に変わる接着後の品質確認方法
- 成型 : 上記課題をクリアしたうえでの、高速化と寸法精度の両立

- **金属ベースの課題**

流路形成、表面処理、シール成型、を個別最適工程設計し、経験的に進化させてきた。

- さらなる高速化と、廉価基材材料を使いこなす低コストな表面処理技術
- 精確に高速で、把持・搬送できる方法

- **飛躍的拡大に向けて期待すること**

- 上記3工程を見渡した、更なる合理的な工法構築