

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ成果報告会

# NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ (FCV・HDV 用燃料電池技術開発) FC生産技術

プレゼンター:小宮山敬介(みずほリサーチ&テクノロジーズ)

NEDO 水素・アンモニア部  
(委託先)みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

## 今年度活動内容

- **目標と各課題の解決の関係性を明確化する。**
  - コスト項目を細分化等により、コスト目標達成(コスト低減)と各開発課題の関連性を整理する。

## 解説書の目次

2.7 FC生産技術 .....	}	目標
2.7.1 生産能力の推移予測とライン原単位の考え方 .....		
2.7.2 生産速度の目標とタクトタイムの考え方 .....		
2.7.3 スタックコスト目標 材料コストと加工費 .....		
2.7.4 優先開発工程と工程進化・革新方針 .....		
2.7.5 生産技術課題 .....	}	課題

変更箇所を色付けして表示

## 各節の概要

### 2.7.1~2.7.3(昨年度から変更なし)

- 前提となる生産技術目標値(コスト目標等)

### 2.7.4(今年度追加)

- コスト分析等から優先開発工程を抽出
- OEMとのディスカッション等を踏まえ、工程の進化・革新方針を整理

### 2.7.5(昨年度から変更なし)

- 優先開発工程の生産技術課題

## 解説書の追加項目の一部

- 2.7.4 優先開発工程と工程改善方針
  - 本ロードマップにおけるFC生産技術においては、今後技術開発を進める必要性の高い工程を優先開発工程とし、優先開発工程の開発の方向性を工程改善方針として定める。工程改善方針は具体的な開発目標は置かず、方向性を共有することを目的とする。優先開発課題と工程改善方針を参考とし、技術開発者がそれぞれの目標を設定することを想定する。
  - 優先開発工程を抽出するにあたり、前提となる目標値と目標仕様を表2.7.4-1にまとめた。コスト目標の達成のためコストを低減することが目標であり、KPIとしては加工費、材料費の低減目標が設定される。また、コスト目標と同時に達成すべき製造に関する目標値として、目標仕様(製造)を設定した。加工精度として、触媒層塗工±0.5mm、張り合わせ位置精度±0.5mmを設定したが、これは現状として達成できているレベルと同等かそれ以上の精度である。

表 2.7.4-1 コスト目標値と目標仕様(製造)

	2030年	2035年
コスト目標値	HDV システム 0.9 万円/kW HDV スタック 0.45 万円/kW	HDV システム 更なるコスト低減 HDV スタック 更なるコスト低減
(KPI)	FCV システム 0.4 万円/kW FCV スタック 0.2 万円/kW (加工費 ▲70%) (材料費 ▲70%)	FCV システム 更なるコスト低減 FCV スタック 更なるコスト低減 (加工費 ▲72%) (材料費 ▲72%)
目標仕様(製造)	製造量:国内で約 20 万台、1拠点当たりの製造量は約 7 万台/year 製造速度:1拠点当たりのタクトタイム は枚業工程 0.5 秒/cell、ロール工程 15m/分 加工精度:触媒層塗工 ± 0.5mm、張り合わせ位置精度 ± 0.5mm	製造量:国内で約 20 万台、1拠点当たりの製造量は約 7 万台/year 製造速度:1拠点当たりのタクトタイム は枚業工程 0.5 秒/cell、ロール工程 15m/分 加工精度:触媒層塗工 ± 0.5mm、張り合わせ位置精度 ± 0.5mm

コスト低減に取り組むべき工程を確認するため、米国 Strategic Analysis 社の FC スタックコ

# 生産技術ロードマップ構成

- 生産技術ロードマップでは燃料電池コスト目標値を達成するための開発の方向性を共有することを目的とし、以下の表のような構成要素を持つものとする。
- 今後技術開発を進める必要性の高い工程を優先開発工程とし、優先開発工程の開発の方向性を工程進化・革新方針として定める。工程進化・革新方針は具体的な開発目標は置かず、方向性を共有することを目的とする。優先開発課題と工程進化・革新方針を参考とし、技術開発者がそれぞれの目標を設定することを想定する

項目	説明	解説書等の記載
1. コスト目標値	将来のコスト目標値(戦略WG等で製品要求や海外目標値との比較から設定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.7.1～2.7.3節に目標設定の考え方を記載。昨年度から変更なし</li> <li>ロードマップ上部に記載</li> <li>2.7.4節では各目標の関係性を整理。</li> </ul>
2. 目標仕様(製造)	コスト目標と同時に達成すべき製造に関する目標値。(これらの項目はコストとも密接に関係のある製造仕様なので、将来の目標仕様として設定する) <ul style="list-style-type: none"> <li>製造量: 将来の燃料電池普及シナリオに基づく</li> <li>製造速度(タクトタイム): 製造量と拠点規模を想定して算出</li> <li>加工精度: 製品品質要求に基づく</li> </ul>	
3. KPI	コスト目標達成度を測る指標(加工費〇〇%削減、材料費〇〇%削減を設定)	
4. 優先開発工程	KPI達成に効果的な工程(コスト分析などから選定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.7.4節に記載。目標と課題の関係性を示す</li> </ul>
5. 工程進化・革新方針	優先開発工程の改善手段と期待効果(定性的評価) 例: 工程Aの自動化 → 作業時間の大幅な短縮と人件費削減が見込まれる	
6. 技術開発項目	工程進化・革新方針を実現するための具体的な技術開発項目 例: 高速・高精度ロボットの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.7.5節に記載。昨年度から変更なし</li> <li>ロードマップ下部に記載</li> </ul>

# 1~3. コスト目標値、目標仕様(製造)、KPI

- コスト目標と目標仕様(製造)として、それぞれの関係性を整理。
- 仕様の数値は現状と同等かそれ以上の数値であり、目標としての値を設定している。

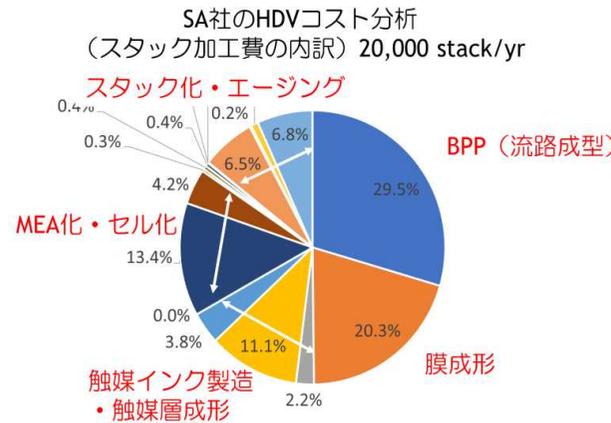
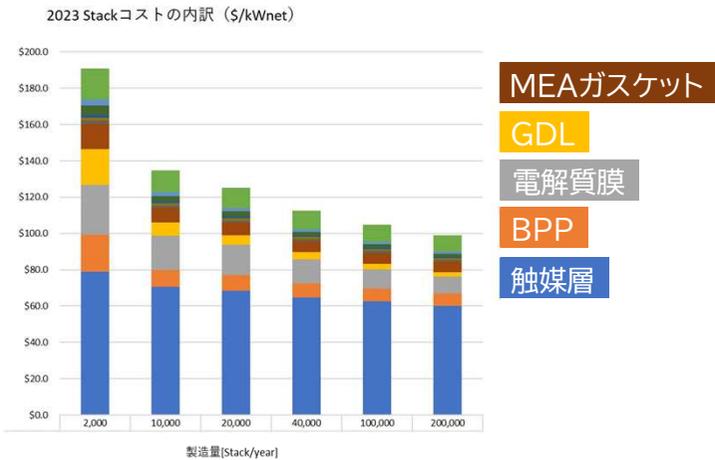
	2030年	2035年
コスト目標値	HDV システム0.9万円/kW HDV スタック 0.45万円/kW FCV システム0.4万円/kW FCV スタック 0.2万円/kW	HDV システム 更なるコスト低減 HDV スタック 更なるコスト低減 FCV システム 更なるコスト低減 FCV スタック 更なるコスト低減
(KPI)	(加工費 ▲70%) (材料費 ▲70%)	(加工費 ▲72%) (材料費 ▲72%)
目標仕様(製造)	製造量 :国内で約20万台、 1拠点当たりの製造量は約7万台/year 製造速度 :1拠点当たりのタクトタイム 枚葉工程0.5秒/cell、ロール工程15m/分 加工精度 :触媒層塗工±0.5mm 張り合わせ位置精度±0.5mm	製造量 :国内で約34万台 1拠点当たりの製造量は約8万台/year 製造速度 :1拠点当たりのタクトタイム 枚葉工程0.4秒/cell、ロール工程19m/分 加工精度 :触媒層塗工±0.5mm 張り合わせ位置精度±0.5mm

	現在	2030年頃	2035年頃	2040年頃
普及シナリオ (HDV)		【燃料電池HDVの初期導入段階】 ・国内バス、フォーカスト等数百台 ・トラック、鉄道、船舶で試験運転・技術実証	【HDV初期導入開始段階】 ・燃料電池HDVトラック、船舶等への本格普及開始 ・欧州10万台 国内数万台	【HDV領域のCN実現】 ・FC HDVトラックローバル 1,500万台*2
HDVコスト目標		FCシステム FCスタック 0.9万円/kW*1 0.45万円/kW	更なるコスト低減	コバ*相当(数値検討中)
普及シナリオ (FCV)		【FCV初期導入開始段階】 ・国内7,500台程度	【FCV本格普及開始段階】 ・国内普及目標FCV80万台相当*3	【FCV領域CN達成時期】 ・FCV 300-600万台*4
FCVコスト目標		FCシステム FCスタック 0.4万円/kW*1 0.2万円/kW	更なるコスト低減	コバ*相当(数値検討中)
製造能力目標 HDV+FCV※	3万台/年 (公表値)	→7万台/年→21万台/年 *FC HDVとFCV混流	21万台/年	→ 50万~120万台/年
ライン原単位 (想定規模)	2,500台/月ライン	6,000台/月 1か所→3か所程度	6,000台/月 3か所程度	7,000台/月 4か所程度
生産速度 (タクトタイム)	枚葉工程 1.3秒/cell*6 連続工程 6m/分*7	0.5秒/cell*6 15m/分*7	0.4秒/cell*6 19m/分*7	→ 0.33秒/cell*6 → 25m/分*7
加工費低減目標	100%	▲70%*5	▲72%*5	▲74%*5
材料費低減目標	100%	▲70%	▲72%	▲74%
工場エネルギーグリーン化	50%程度	80%		→ 100%達成



# 4. 優先開発工程

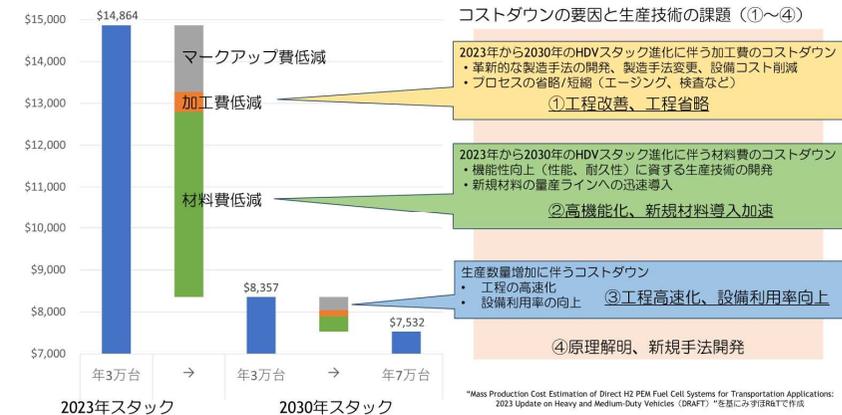
- KPI(加工費削減、材料費削減)を達成するために取り組むべき優先工程を選出
  - 主要部材(触媒層、BPP、電解質膜、GDL、MEAガスケット)の材料費・加工費低減や主要な加工工程(MEA化・セル化、エージングなど)の加工費低減に資する生産技術が優先課題。これらを含む主要な工程を抽出。
  - 材料製造工程を除く、部材製造工程以降の工程についてロードマップでは検討対象とする。



- BPP 29.5%(カーボンセパレーター)
- 膜成形 20.3%(Gore Membrane)
- MEA化・セル化 17.6%(MEA Assembly, Gasketing, Seal)
- 触媒合成 13.3%(合成、アニーリング)
- エージング 6.8%(Stack Conditioning and Testing)
- スタック化 6.5%(Stack Assembly)
- 触媒層形成 3.8% (インク製造(混錬等)、Catalyst Application (Slot die))

## ● 優先開発工程

工程	ターゲット
触媒調合・触媒塗布乾燥・MPL塗布乾燥	材料費、加工費
MEA化・セル化・スタック化	主に加工費
流路形成・表面処理	材料費、加工費
エージング	加工費
品質検査	加工費



\*Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2023 Update on Heavy and Medium-Duty Vehicles (DRAFT) \*在基にみずほR&Dで作成

- 高コストな材料製造工程(膜成形、触媒合成、GDL製造)

## 5. 工程進化・革新方針

- 工程の進化・革新方針として考えられる方向性を以下の表に示した。優先開発工程において、どのような工程の進化・革新の方向性が考えられるか、次ページ以降でまとめる。

製造原価構成			工程進化・革新の方向性の例	
材料費	直接材料費	素材費、購入部品費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩留りを向上する、機能を向上する</li> <li>材料を変える、材料を減らす</li> <li>部品を安くする、部品をなくす、部品を統合する</li> </ul>	
	間接材料費	補助材料費、消耗性工具費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>補助材料を減らす、補助材料をなくす</li> <li>消耗性工具の寿命を延ばす</li> </ul>	
加工費	労務費	直接労務費	製造ライン労務費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>人員を削減する(工程の自動化など)</li> </ul>
		間接労務費	管理部門等労務費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>人員を削減する</li> </ul>
	経費	直接経費	外注加工費、特殊検査費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>外注加工、特殊検査などを削減する</li> </ul>
		間接経費	減価償却費、エネルギー費、修繕費 など	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工時間を短くする、加工の前後時間を短くする</li> <li>工程を少なくする、工程をなくす</li> <li>設備を安くする、特殊建屋空間を減らす</li> <li>エネルギーを削減する</li> </ul>

## 5. 工程進化・革新方針

- 各工程には特有の課題(コスト低減のボトルネック)があり、これを解決することが今後の開発の方向性となる。
- 各優先開発工程のボトルネックを有識者へのヒアリング等から整理し、ボトルネックを解消する方向性を工程進化・革新方針として整理した。

### ● 触媒調合・触媒塗布乾燥・MPL塗布乾燥

工程改善により期待する効果 ※括弧内は目標年	手段 ※括弧内は目標値(参考値)
<b>加工費削減</b>	
乾燥工程のエネルギー費削減、減価償却費削減(2030年)	触媒インク・GDL+MPLペーストの乾燥工程高速化、工程時間短縮、乾燥条件の最適化(目標値:乾燥エネルギー▲70%)
脱泡混練工程のエネルギー費削減、減価償却費削減(2030年)	インク製造の連続処理化、工程時間短縮 脱泡混練時間の短縮(目標値:従来法比▲70%)
抜き取り検査工程の労務費削減(2030年)	抜き取り検査レス化(検査のインライン化)
乾燥工程のエネルギー費、減価償却費の大幅な削減(2035年)	革新的なドライ塗工工法(静電スプレー塗工等)の導入(目標値:乾燥エネルギー▲90%)、工程時間短縮
<b>材料費削減</b>	
触媒層高性能化による素材費、購入部品費削減(2030年) ※高性能化により単位出力当たりの必要な材料が減少	最適化マイクロ構造触媒層を実現する混練/塗工方法の導入
歩留り向上による素材費、購入部品費削減(2030年)	塗工におけるPt歩留り向上(目標値:Pt歩留 > 98%) 混練におけるPt歩留り向上(目標値:Pt歩留 > 99.9%)
低コスト・高性能材料の使用による素材費、購入部品費削減(2035年)	革新的な触媒インクの迅速導入(工程の原理解明、加工条件の自動最適化) 極薄電解質膜の導入(目標値5 $\mu$ m) 低コスト・高性能材料を適用できる混練/塗工方法の導入
補足:ドライ工程化には、材料改良と乾燥高速化の両面のアプローチが必要。ドライ化のため触媒インクの固形分濃度を増やしても、効率良く混ぜ、塗工時の乾燥プロセス(レーザーや熱風)によらず早く乾燥することが求められる。また、レーザーによる高速乾燥は装置コスト増加の可能性があるため、全体としての低コスト化を検討する必要がある。	

※個別の目標値(参考値)は開発の方向性を示すもので、コスト目標からブレイクダウンしたものではない

## 5. 工程進化・革新方針

- 各工程には特有の課題(コスト低減のボトルネック)があり、これを解決することが今後の開発の方向性となる。
- 各優先開発工程のボトルネックを有識者へのヒアリング等から整理し、ボトルネックを解消する方向性を工程進化・革新方針として整理した。

### ● MEA化・セル化・スタック化

工程改善により期待する効果 ※括弧内は目標年	手段 ※括弧内は目標値(参考値)
加工費削減	
接着工程の減価償却費削減(2030年)	高速硬化接着剤の使用による接着時間の短縮 ※耐久性とのトレードオフがあるため、高耐久かつ接着時間の短縮が必要 高速塗布工法の開発による工程の高速化 工程の間接動作時間の短縮
把持・搬送・裁断の減価償却費削減(2030年)	把持・搬送・位置決め・裁断の高精度高速化、工程時間の短縮(目標値:位置精度±0.5mm@50m/分、搬送加工費・裁断加工費従来法比▲70%) ※但し、位置精度は一般的な工程の数値。裁断や積層の順序など組み立て設計の仕様により必要な精度は異なる。
補助材料費の削減(2030年)	MEA材料の保護フィルム削減・レス化 裁断時余剰材料の最小化、再利用
接着工程の減価償却費の大幅な削減(2035年)	接着剤のシート化など革新的な接着工法による工程の更なる高速化、工程時間短縮
検査設備の減価償却費の削減(2035年)	カメラなど検査設備の簡素化、代替手法の開発、工程時間短縮

※個別の目標値(参考値)は開発の方向性を示すもので、コスト目標からブレイクダウンしたものではない

## 5. 工程進化・革新方針

- 各工程には特有の課題(コスト低減のボトルネック)があり、これを解決することが今後の開発の方向性となる。
- 各優先開発工程のボトルネックを有識者へのヒアリング等から整理し、ボトルネックを解消する方向性を工程進化・革新方針として整理した。

### ● 流路形成・表面処理

工程改善により期待する効果 ※括弧内は目標年	手段 ※括弧内は目標値(参考値)
<b>加工費削減</b>	
プレス加工の減価償却費削減(2030年)	型(消耗性工具)の高耐久化、低荷重プレス化(目標値:型費用従来法比▲70%) 多段成形から一発成形へ変更
流路形成設備の減価償却費の更なる削減(2035年)	プレス加工から印刷・3Dプリンター等への置き換え
表面処理のエネルギー費削減、減価償却費削減(2030年)	表面処理工程の高速化による時間短縮(目標値:10秒/枚) 表面処理の低真空化(電力消費量従来法比▲80%)、表面処理の連続化
表面処理の更なるエネルギー費削減、減価償却費削減(2035年)	表面処理工程の更なる高速化による時間短縮(目標値:8秒/枚) 表面処理の非真空化(電力消費量従来法比▲85%)、表面処理の連続化
<b>材料費削減</b>	
高性能化・高耐久化によるセパレータの素材費削減(2030年)	ファインピッチ化可能なプレス加工手法の導入 高性能・高耐久性のための表面処理技術手法の導入
更なる高性能化によるセパレータの素材費削減(2035年)	ファインピッチ化可能な印刷・3Dプリント手法の導入
低コスト材料の使用によるセパレータの素材費削減(2035年)	低コスト材料+表面処理による材料代替 低コスト材料の導入加速

補足:表面処理は実施せず、表面処理レスによるコスト低減も考えられる。一方で、表面処理を品質良く欠陥レスで実施することが可能であれば、被膜を薄くし、検査も不要とすることでコスト低減が可能となる。セパレータ材料と表面処理の組み合わせから、コストを最小にする検討が必要である。

※個別の目標値(参考値)は開発の方向性を示すもので、コスト目標からブレイクダウンしたものではない

## 5. 工程進化・革新方針

- 各工程には特有の課題(コスト低減のボトルネック)があり、これを解決することが今後の開発の方向性となる。
- 各優先開発工程のボトルネックを有識者へのヒアリング等から整理し、ボトルネックを解消する方向性を工程進化・革新方針として整理した。

### ● エージング

工程改善により期待する効果 ※括弧内は目標年	手段 ※括弧内は目標値(参考値)
加工費削減	
エージング設備の減価償却費、補助剤費削減(2030年)	エージング時間短縮(目標値:5分以内) 水素使用量削減(目標値:従来法比▲80%)
エージング工程のレス化により更なる減価償却費、補助剤費削減(2035年)	オンボードエージングの実現(目標値:エージング0分) ※初回起動時の運転モードの開発が必要

※個別の目標値(参考値)は開発の方向性を示すもので、コスト目標からブレイクダウンしたものではない

### ● 品質検査

工程改善により期待する効果 ※括弧内は目標年	手段 ※括弧内は目標値(参考値)
加工費削減	
検査設備の減価償却費削減(2030年)	検査項目の削減(目標値:検査項目従来法比▲70%) 検査の連続化による検査時間の削減(リーク検査時間従来法比▲70%) 検査の高速化による検査時間の削減(金属異物検査など) 検査の手法の変更による低コスト設備化(X線検査の振動・音波検査代替など) 検査設備の高寿命化(X線シンチレータなど)

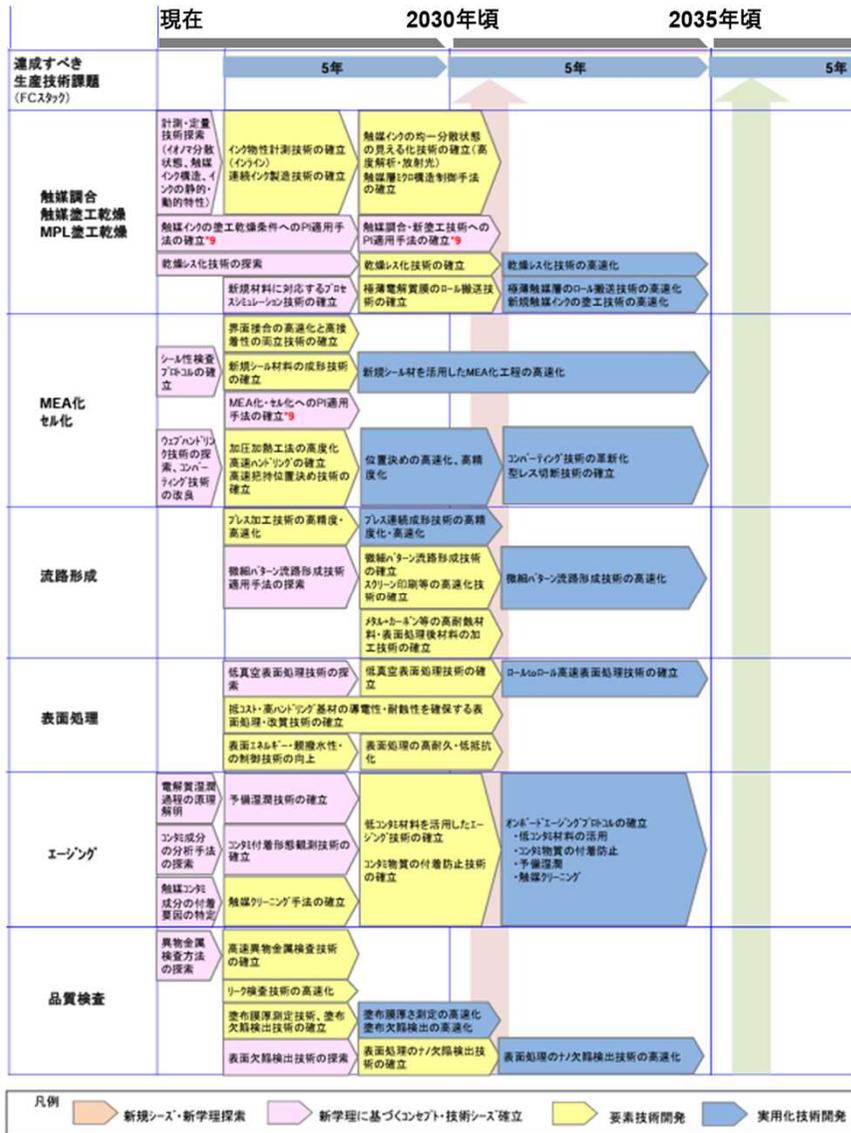
補足:検査技術の進化、加工のモニター化技術の進化の両面のアプローチが重要。加工技術のモニター化により、リアルタイムで製造プロセスを監視・制御し、欠陥を未然に防ぎ、結果として品質検査の負担を軽減する。それにより非効率な検査工程を簡略することも可能となる。センサ技術の高度化やAIによるデータ解析と異常予測、フィードバック制御などが必要である。また、その際、検査データの大容量化が考えられ、圧縮保存や通信技術の高度化も必要である。

※個別の目標値(参考値)は開発の方向性を示すもので、コスト目標からブレイクダウンしたものではない

- 材料製造工程において特にコストの高い電解質膜について、コスト低減に対する課題を整理。
  - コスト低減には特にイオン交換樹脂の材料費を下げるのが効果的
    - 性能向上等による材料使用量の削減、低コスト材料の使用などの手段
  - 加工費の低減には設備開発よりも製造条件の影響が大きい
    - コスト低減には製造量の拡大が効果的。日本国内の需要だけでなく海外も含めたグローバルマーケットなどを視野に入れる必要がある。燃料電池市場の見通しの難しさから、設備投資のタイミングや金額などが課題。成膜工程はロールtoロールの連続工程であることから、大規模化や高速化に対する課題は枚葉工程に比べて少ない。検査の最適化や工程の自動化などの工程改良は継続。
    - 仕様の統一(標準化)によりロールの幅などの仕様が統一されることにより、歩留りや設備コストなどの点からコスト低減につながる。

電解質膜成形のコスト低減のターゲット	コスト低減の手段
減価償却費、労務費等の加工費削減	検査の最適化、工程の自動化などの工程改良 需要量の拡大、仕様の統一(標準化)などによる設備投資コストの低下
材料使用量減少による材料費削減	薄膜化による性能向上 薄膜化による材料使用量の削減
低コスト材料の使用による材料費削減	イオン交換樹脂などの材料の低コスト化 低コスト材料への材料代替

# 6. 技術開発項目



前ページまでの「5. 工程進化・革新方針」のもと、達成すべき生産技術課題をロードマップに記載(昨年度から変更なし)。

凡例  
▶ 新規シーズ・新学理探索  
▶ 新学理に基づくコンセプト・技術シーズ確立  
▶ 要素技術開発  
▶ 実用化技術開発