

「関西水素サプライチェーン構想実現プラットフォーム」ダイアログ
(モビリティ以外の水素利活用)

水素製造・燃料電池の 技術動向について

令和3年（2021年）3月15日（月）

山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター 客員教授

田島収技術士事務所

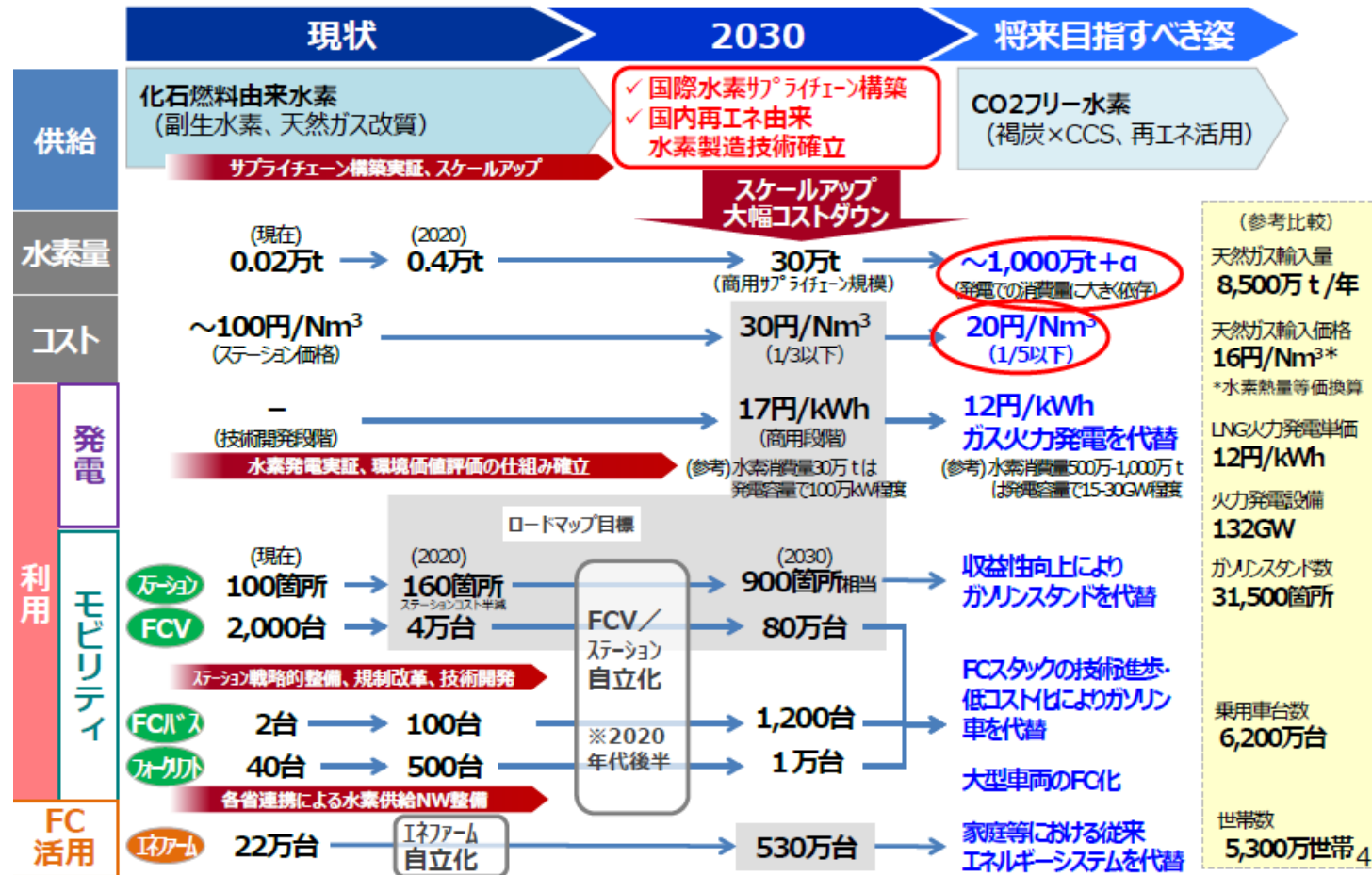
田島 収

目 次

1. 水素基本戦略のシナリオ及び水素サプライチェーン
2. 水素製造コスト
3. 定置用燃料電池の現状と将来コスト
4. 定置用燃料電池の水素供給・輸送に関する提案
5. 定置用燃料電池の開発状況の概要
6. まとめ

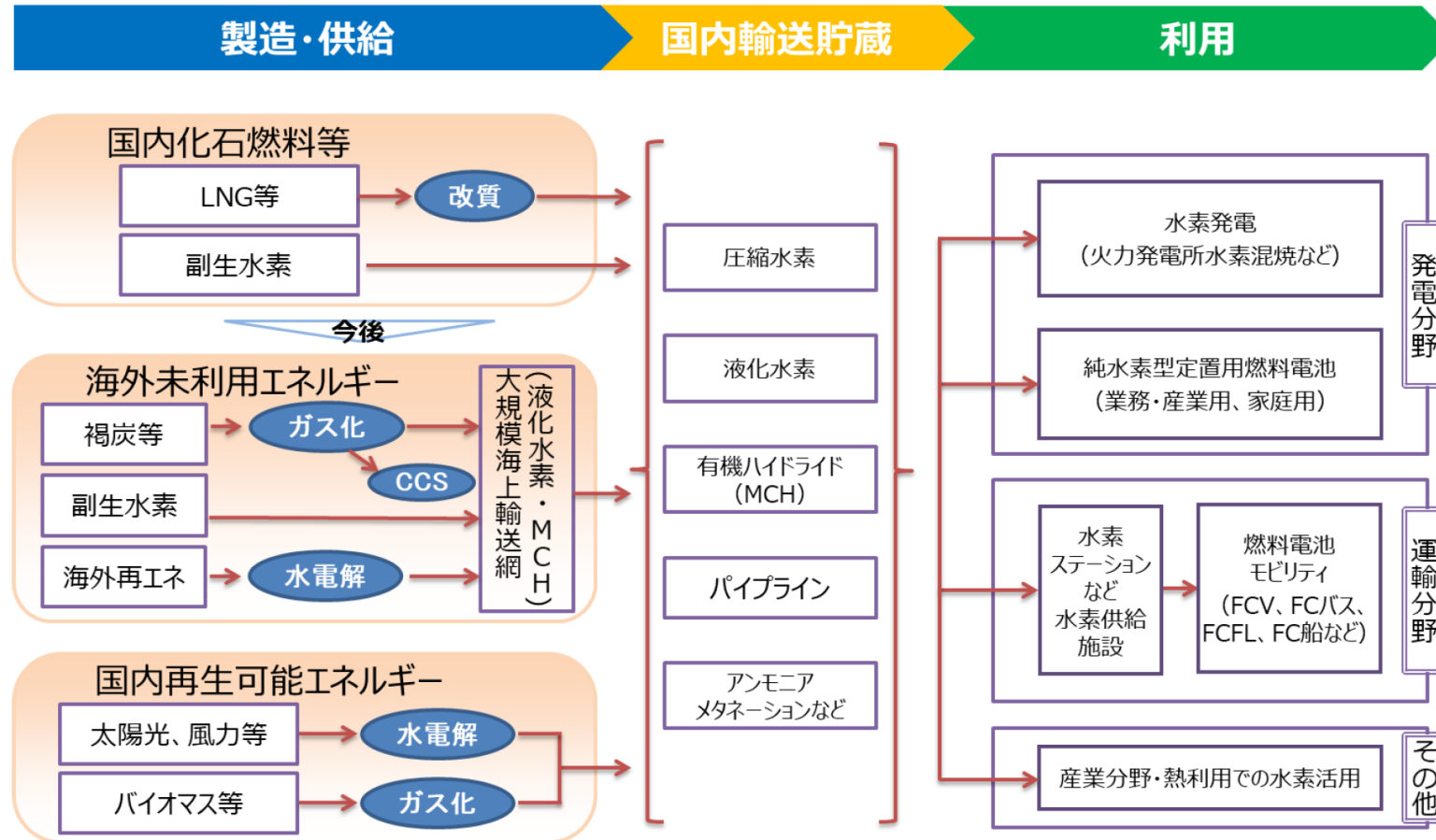
1. 水素基本戦略のシナリオ

水素基本戦略のシナリオ



出典：水素基本戦略（概要）

1-1. 水素サプライチェーンのイメージ



出典：「将来における関西圏の水素サプライチェーン構想」令和2年3月 関西広域連合エネルギー検討会

2. 水素製造コスト

アクションプランのポイント② <水素サプライチェーン>

赤字は新規目標等

将来の水素大量消費社会に向けた技術の確立のため、研究開発・技術実証を加速化

目指すべき水素供給社会

- 2030年頃に30円/Nm³、将来的に20円/Nm³を目指す
- LNG価格の推移を考慮して従来エネルギーと遜色ない水準まで低減
(LNG価格10\$/MMBtuの熱量等価での水素コストは13.3円/Nm³ (環境価値含まない))



- 資源国等との政府間レベルでの関係構築による水素供給網の拡大
- 水素コスト低減に向け、製造、貯蔵、輸送まで一貫通貫の基盤技術の開発

目指すべきターゲット

ターゲット達成に向けた取組

水素サプライチェーン

化石燃料+CCS

再生水素

- 2030年頃の水素供給コスト30円/Nm³の実現に向け、日豪褐炭水素プロジェクトの成果を踏まえ、2020年代前半に達成すべき基盤技術の目標を設定

<製造>

- ✓ 褐炭ガス化による水素製造コストの低減
(褐炭水素PJでの製造コスト数百円/Nm³→12円/Nm³)

<貯蔵・輸送>

- ✓ 水素液化効率の向上
(褐炭水素PJでの液化原単位13.6kWh/kg→6kWh/kg)
- ✓ 液化水素タンクの大規模化
(褐炭水素PJでのタンク容量数千m³→5万m³)

<CCS>

- ✓ CO₂分離回収コスト低減
(日本でのコスト4,200円/t-CO₂→2,000円/t-CO₂)

- 褐炭ガス化炉の大規模化・高効率化に向けた技術開発
- 高効率な水素液化を可能とする革新的な液化機構造（非接触軸受）の開発
- 高い断熱性を備えたLNG並の大規模タンクが製造可能となる技術の開発
- 低コストなCO₂回収技術（物理吸収法等）の開発

- 世界最高水準の再生水素製造技術の確立
(水電解装置コスト: 20万円/kW→2030年5万円/kW
エネルギー消費量: 5kWh/Nm³→2030年4.3kWh/Nm³)

- 福島浪江での実証成果を活かした、社会実装に向けたモデル地域実証の展開
- 水電解装置の高効率化、耐久性向上に向けた技術開発
- 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室

2-1.水素コスト

水素コスト（プラント引渡しコスト）

	現在 (ステーション 販売価格)	2030年	将来的	LNG価格10ドル／ MMBtuの熱量等価 換算	備考
水素コスト	100円／Nm ³	30円／Nm ³	20円／Nm ³	13.3円／Nm ³	
発電単価	52円／kWh	17円／kWh	12円／kWh	8.7円／kWh	環境価値を 含まない

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室より抜粋

2-2. 水素コスト（液化水素）

液化水素（褐炭のガス化）

	現在	2022年度頃	備考
水素コスト	数百円／Nm3	12円／Nm3	ガス化炉の効率化による

水素液化原単位

	現状	2022年度頃
水素液化原単位	13.6kWh/kg	6.0kWh/kg
地上用液化水素 タンク容量	2,500m3	50,000m3

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室より抜粋

2-3. アルカリ形水電解装置の現状と目標値

■ ロードマップ達成に向けた対応状況

福島県浪江町で2020年3月に開所した世界最大級(10MW)の再エネ由来水素製造施設「福島水素エネルギー研究フィールド」(FH2R)での実証(NEDO事業)において、触媒でのコバルト使用量の目標達成、エネルギー消費量・電流密度も幅はあるが一定の条件下での目標達成を確認。本施設による実証の中で、装置の高効率化・高耐久化に向けた技術開発、低コスト化に向けた運転最適化を進める。

(表1 アルカリ形水電解装置の現状と目標値)

項目		単位	現状値（2019年度末）※1		ロードマップの目標値		海外の現状
			メーカー想定値※2	実証値	2020年	2030年	
システム	エネルギー消費量※3	kWh/Nm3	4.3 (0.15A/cm2時) – 5.0 (1.0A/cm2時)	4.3 (0.15A/cm2時) – 5.0 (1.0A/cm2時)	4.5	4.3	4.6
	設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	60 (12)	72 (14.4)	34.8 (7.8)	22.3 (5.2)	- (5.5-15.4)
	メンテナンスコスト	円/(Nm3/h)/年	24,000	29,000	7,200	4,500	8,900
スタック	劣化率	%/1000時間	評価中	評価中	0.12	0.10	0.13
	電流密度	A/cm2	0.15 – 1.0	0.15 – 1.0	0.7	0.8	0.5
	触媒でのコバルト使用量	mg/W	0.7以下	0.7以下	3.4	0.7	7.3

2030年
目標達成

2030年
目標達成*
目標達成

※1 前提条件: 水素純度99.9%、水素圧力0.05MPa ※2 水素製造量100,000 - 200,000 Nm3/hの場合の水電解装置メーカーによる試算値 ※3 劣化前

1. 解決すべき課題

①水電解装置の高効率化・高耐久化に向けた隔膜・電極等の技術開発。②電解槽部材のメンテナンス最適化によるコスト削減。

2. 海外の現状 (②はアルカリ形・PEM形の両者について記載。)

①水電解装置システムコストは5.5-15.4万円/kW。その他のスペックの現状値は表1の通り。

②ドイツでは10MWの装置が建設中、オーストリアでは6MWの装置が稼働中のほか、豪州でも大規模な実証を検討中。

13

出典: 水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日

資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室、一部追記

田島収技術士事務所

2-4. PEM形水電解装置の現状と目標値

■ ロードマップ達成に向けた対応状況

水電解装置メーカーのカタログ値・試算値において、触媒貴金属量・ホットスタート・コールドスタート・設置面積は目標達成。山梨県で2020年度内を目途に開始予定の1.5MW水電解装置による製造から利用までの一貫実証(NEDO事業)の中で、装置の高効率化・高耐久化に向けた技術開発、セルスタックの複層化と運転性能の両立に向けた技術実証を進める。

(表1 PEM形水電解装置の現状と目標値)

項目		単位	現状値(2019年度末)		ロードマップの目標値		海外の現状
			メーカー想定値※1	実証値(見込み)※2	2020年	2030年	
システム	エネルギー消費量	kWh/Nm3	5.0	4.6－4.8	4.9	4.5	5.2
	設備コスト	万円/Nm3/h (万円/kW)	125 (25)	182 (37.9)	57.5 (11.7)	29.0 (6.5)	－ (12.1-19.8)
	メンテナンスコスト	円/(Nm3/h)/年	2020年目標未達見込	12,000	11,400	5,900	16,200
スタック	劣化率	%/1000時間	2020年目標未達見込	－	0.19	0.12	0.25
	電流密度	A/cm2	1.0－2.0	2.2以上(最大性能)	2.2	2.5	2.0
	触媒貴金属量(PGM)	mg/W	0.5－1.5	2.7以下	2.7	0.4	5.0
	触媒貴金属量(白金)	mg/W	0.2－0.5	0.7以下	0.7	0.1	1.0
その他	ホットスタート	秒	1－2	0.1以下	2	1	10
	コールドスタート	秒	ホットスタートと同様(1-2)	－	30	10	120
	設置面積	m2/MW	30	91	100	45	48

※1 水電解装置メーカーのカタログ値・試算値 ※2 本格的な実証開始前であるが、これまでの検証結果から達成見込みの値。

目標達成 2020

目標達成 2020

目標達成 2020

目標達成 2020

目標達成 2020

目標達成 2020

目標達成 2030

目標達成 2030

目標達成 2020

1. 解決すべき課題

①水電解装置の高効率化・高耐久化に向けた膜・触媒等の技術開発。②セルスタックの複層化と運転性能の両立に向けた技術実証。

2. 海外の現状

①水電解装置システムコストは12.1-19.8万円/kW。その他のスペックの現状値は表1の通り。

14

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室

3. 定置用燃料電池の現状と将来コスト

アクションプランのポイント③ <その他水素利用・グローバルな水素社会実現>

赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り／グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

		目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
水素利用	発電	● 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立 ✓ 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化 ✓ 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%) ※1MW級ガスタービン	● 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施 ● 高効率な燃焼器等の開発
	産業	● 将来的なCO2フリー水素の活用 ● 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討	● 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施 ● カーボンサイクル技術の実用化に向けた検討
	定置用燃料電池	エネファーム ● 2020年頃の自立化、2030年までに530万台 ● 2020年頃までにPEFC型80万円、SOFC型100万円を実現 ● 2030年頃までに投資回収年数を5年とする 業務・産業用燃料電池 ● 2025年頃に排熱利用も含めたグリッドパリティの実現 〔低圧：機器50万円/kW、発電コスト25円/kWh〕 〔高圧：機器30万円/kW、発電コスト17円/kWh〕 ● 発電効率、耐久性の向上 〔2025年頃に55%超→将来的には65%超〕 〔9万時間→2025年頃に13万時間〕	● 既築・集合住宅などの市場の開拓 ● 電気工事の簡素化に向けた規程整備の検討 ● セルスタックの高効率化・高出力密度化等の技術開発 ● セルスタック等の劣化原因の解消に向けた技術開発
	国際連携等	● 水素閣僚会議で発表した東京宣言の実現を図る ✓ 基準や規制の標準化やハーモナイゼーションの促進 ✓ 国際的な共同研究開発の推進 ✓ 水素利用のポテンシャル調査 ✓ 水素受容性向上のための教育・広報活動の推進	● 米・独・仏等との規制の比較、事故情報の共有 ● 日本のサプライチェーン実証の成果共有による資源国の巻き込み ● 2020年オリパラ、2025年大阪万博等のあらゆる機会を捉え、最先端水素技術を発信 ● 革新的な技術開発の実施

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室

3-1. 家庭用燃料電池の現状・将来コスト

家庭用燃料電池

		2020年3月末	2024年	2030年頃	課題
PEFC 700W	イニシャルコスト	約90万円	80万円		①機器コスト低減：部品点数削減、量産効果など ②工事費低減：小型軽量化、設置性向上、100V2線接続
	機器コスト	約72万円			
	工事費	約18万円			
	投資回収年	約7.9年		5年	
SOFC 700W	イニシャルコスト	約111万円	95万円		①機器コスト低減：部品点数削減、量産効果など ②工事費低減：試運転を含む施工時間短縮、100V2線接続
	機器コスト	約94万円			
	工事費	約16万円			
	投資回収年	約9.5年		5年	
SOFC 400W	イニシャルコスト	約87万円			
	機器コスト	約69万円			
	工事費	約18万円			
	投資回収年	約8.7年			

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室より抜粋

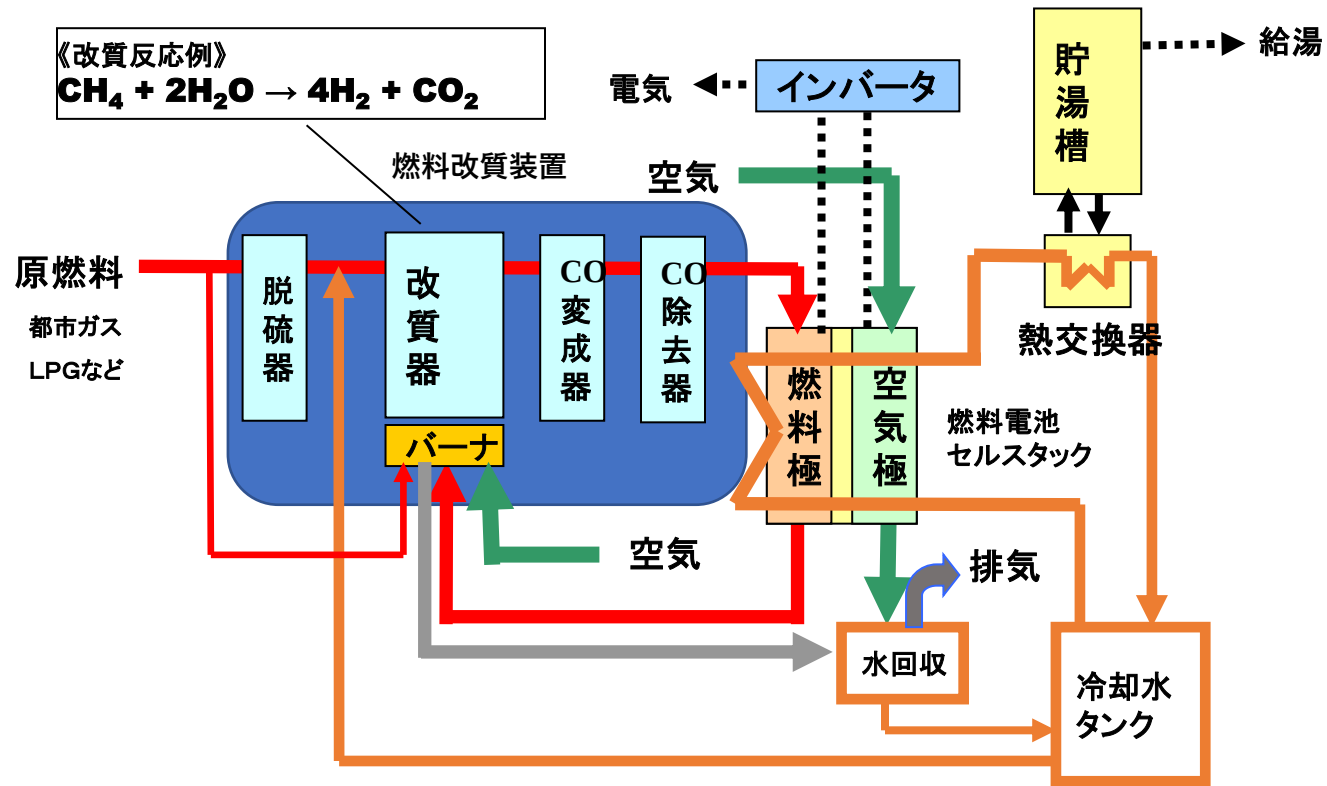
3-2. 業務・産業用燃料電池の現状・将来コスト

業務・産業用燃料電池

		2020年3月末	2025年	課題
低圧向け	システム価格	約170万円／kW	50万円／kW	①機器コスト低減：システムの小型化、スタック効率・耐久性向上 ②工事費低減：小型化、試運転工程の短縮 ③補機コスト低減：標準化、部品点数・加工費の削減 ④システムコスト低減：量産効果 ⑤SOFC発電効率65%以上の実現
	工事費	約43万円込み		
	発電コスト	50円／kWh	25円／kWh	
	発電効率 (送電端、LHV)	50-52%	55%超 将来的65%超	
	耐久性	9万時間程度	13万時間程度	
高圧向け	システム価格 (工事費込み)	約170万円／kW	30万円／kW	①機器コスト低減：スタック出力・性能向上 ②補機コスト低減：系統や機器の簡素化、構成仕様の見直し、量産効果 ③発電効率2025年頃までに57%を目指す ④SOFC発電効率65%以上の実現
	発電コスト	40円／kWh	17円／kWh	
	発電効率 (送電端、LHV)	53-55%	55%超 将来的65%超	
	耐久性	9万時間程度	13万時間程度	

出典：水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況 2020年6月8日
 資源エネルギー庁水素・燃料電池戦略室より抜粋

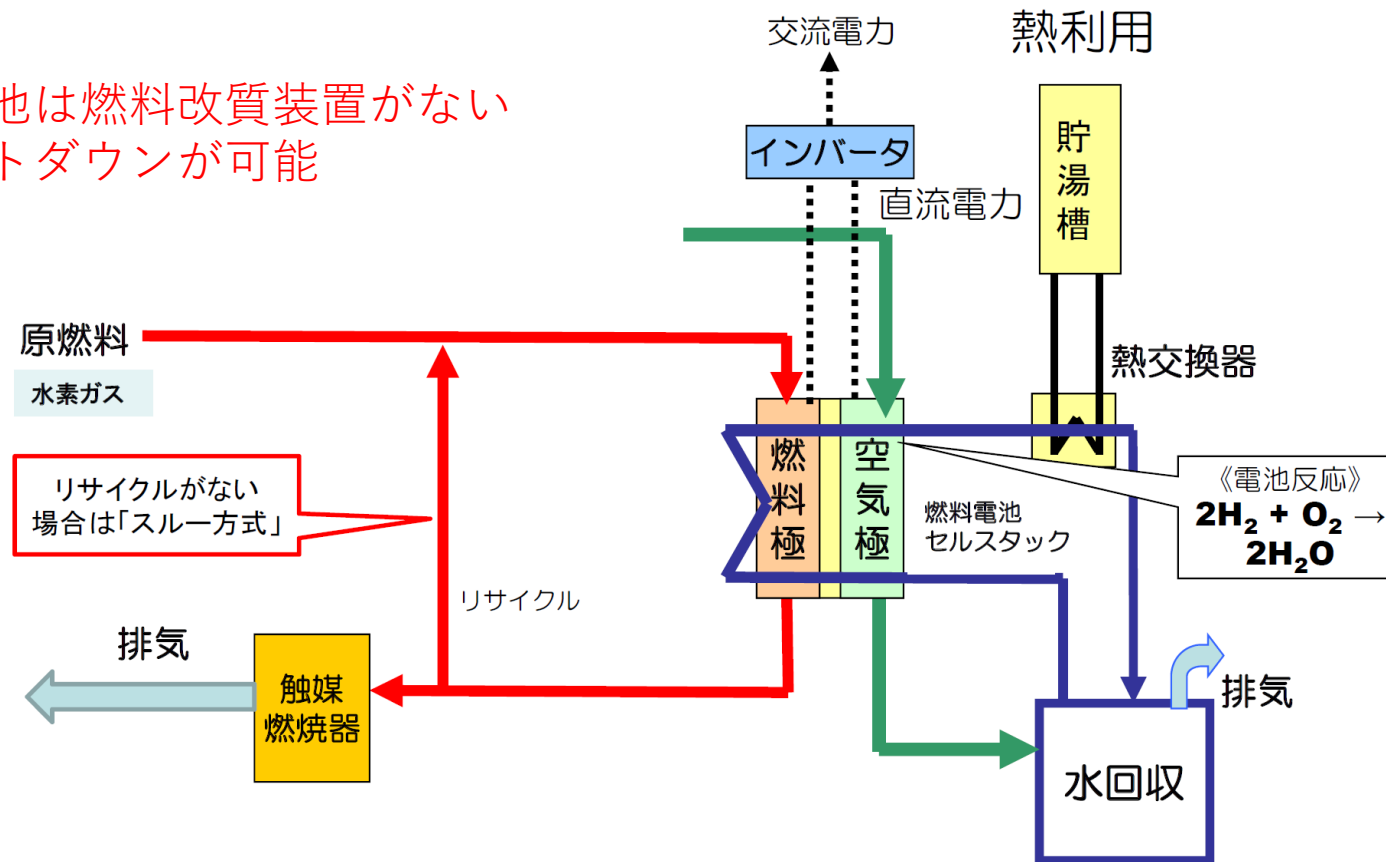
3-3. 都市ガスPEFCシステムのフロー概略図



出典: 2006年日本電機工業会(JEMA)新エネルギー講演会資料より

3-4. 水素PEFCシステムフロー概略図

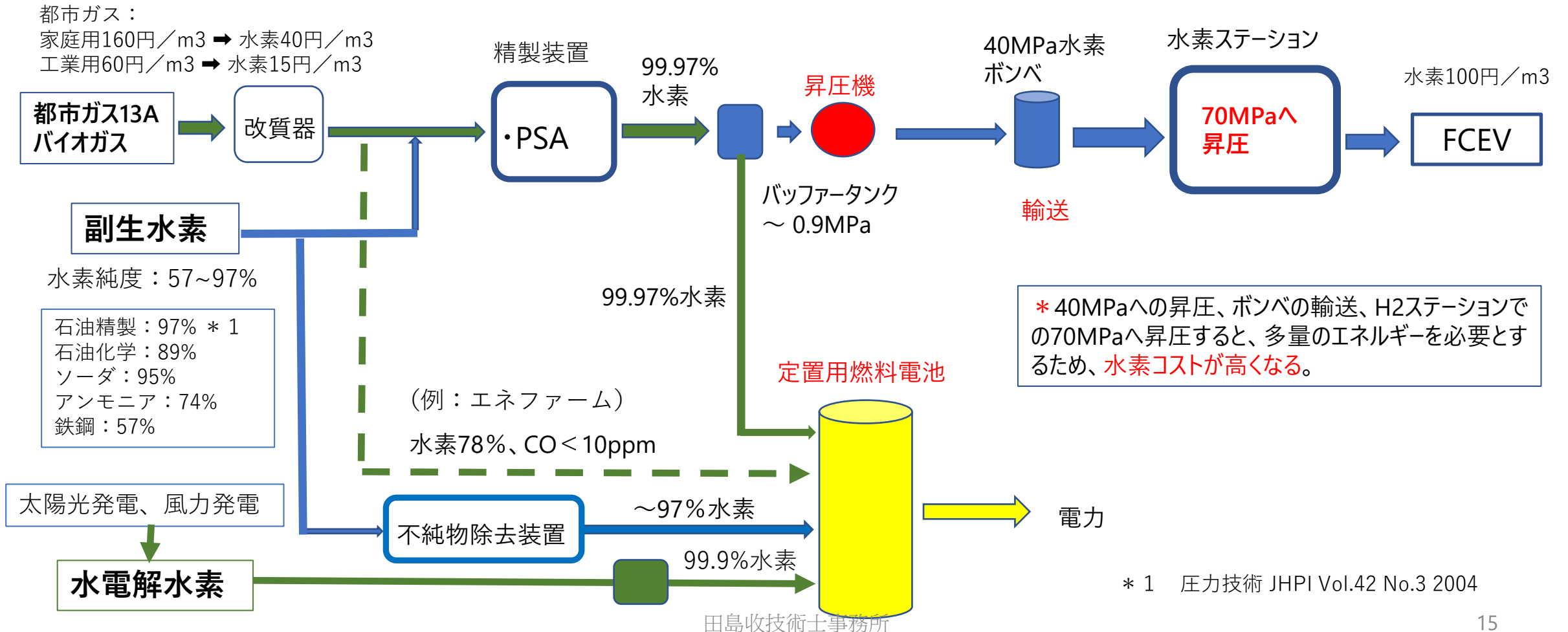
* 水素燃料電池は燃料改質装置がない
ので、コストダウンが可能



出典: 2006年日本電機工業会(JEMA)新エネルギー講演会資料より修正・追記

4. 案1：定置用燃料電池に低圧力水素を供給

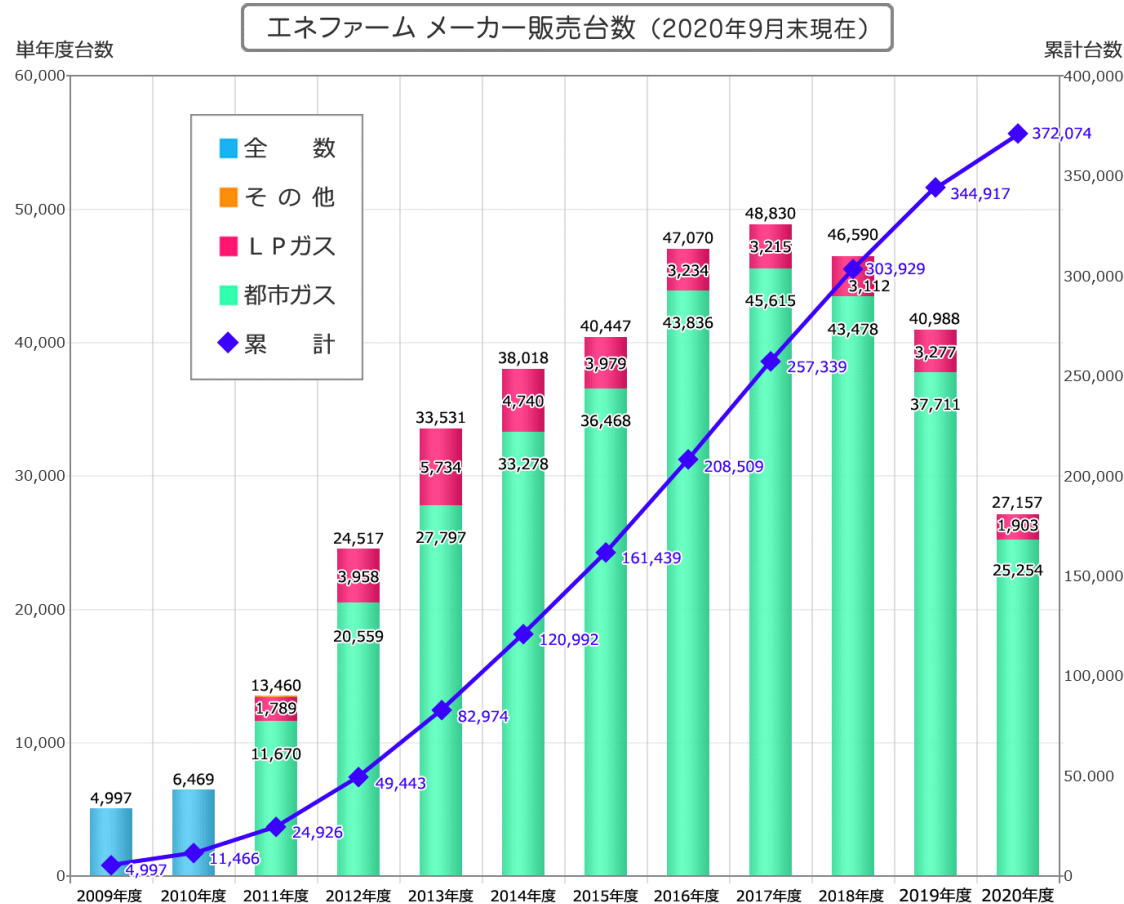
* 昇圧しない水素は、昇圧された水素ステーションの水素価格より安価（地産地消）



* 1 圧力技術 JHPI Vol.42 No.3 2004

5. 定置用燃料電池の開発状況

* エネファームのメーカー設置台数(単年度ごと)と導入目標



累計:372,074台
(2020年9月末現在)

導入目標
2020年度:140万台
2030年度:530万台

PEFC:2019年までに80万円
SOFC:2021年までに100万円
2020年頃に自立的普及

出典:コージェネ財団ホームページより

5-1. 家庭用燃料電池・エネファームの現状

【パナソニック（株）】

0.2～0.7kW, PEFC
定格発電効率：40.0% (LHV)
定格総合効率：97.0% (LHV)



戸建て向け

出典：東京ガスホームページ



マンション向け

出典：パナソニックホームページ

【アイシン精機（株）】

0.05～0.7kW, SOFC
定格発電効率：55% (LHV)
定格総合効率：87% (LHV)



出典：大阪ガスホームページ

【京セラ（株）】

0.4kW, SOFC
定格発電効率：47% (LHV)
定格総合効率：80% (LHV)



出典：東京ガスホームページ

5-2. 業務用・産業用燃料電池システム（SOFC）の例

【京セラ】

3kW SOFC 都市ガス



出典：京セラホームページ

【三浦工業】

4.2kW SOFC 都市ガス



出典：三浦工業ホームページ

【日立造船】 20kW級 SOFC 都市ガス



出典：日立造船ホームページ

【富士電機】 50kW SOFC 都市ガス



出典：富士電機ホームページ

【三菱パワー】 250kW SOFC 都市ガス



出典：三菱パワーホームページ

5-3. 純水素燃料電池(PEFC)の例

【ブラザー工業】

700W, (MH合金),
PEFC



DC380V
最大4.4kW



出典：ブラザー工業ホームページ

【東芝】

700W, 3.5kW, 100kW

700W
3.5kW



100kW



出典：東芝ニュースリリース

【パナソニック】

基本5kW, ~50kW

業務用水素燃料電池
・基本ユニット(5kW)



複数台連携による
大出力化(~50kW)
・複数台連携で必要負
荷に応じた出力に対応



出典：パナソニックホームページ

6-1. まとめ

1. 定置用・可搬用水素燃料電池の実装を実現するポイント

(1) 機器コストの低減：

- ・水素燃料のため部品点数が少なく、燃料電池の小型・軽量化、低コスト化が可能

(2) 低価格水素（ランニングコストの低減）：

- ・高純度水素でなくても燃料電池は発電できるため、有害な不純物を取り除いただけの精製前の安価な水素も利用可能（地産地消）

(3) 水素供給インフラの整備：

- ・パイプライン、MH容器*・低圧ボンベ（20MPa未満）・小容量液化水素ボンベ等の配送システムの整備・実現

(4) FCアプリケーション機器・装置の拡大：

- ・電池メーカーよりセルスタックを購入し、様々な装置に組込んで停電しない安定した電力源を有する機器・装置を開発し、機器又は電力の販売、保守等の実現

* MH容器：水素吸蔵合金容器

6-2. まとめ

2. 開発課題及び水素・燃料電池分野への参入分野

(1) 触媒

- ・電極白金触媒量の低減、脱硫触媒、CO燃焼触媒（燃焼排ガス中のCO除去）

(2) SOFC電池本体：

- ・断熱材（人体に有害な物質の排出無し）
- ・溶接部（600℃以上での溶接部の耐久性向上）
- ・高温絶縁シール材（700℃～800℃の絶縁シート材又はシート化技術）
- ・金属セパレータの表面処理技術、耐久性向上

(3) 純水電導度センサー、流量計（高精度の燃料流量計，空気流量計）

(4) 据付工事、電気配線工事、メンテナンス分野

(5) 水素ボンベ、MH合金容器等の水素配送、管理分野

(6) 燃料電池を組込んだ機器・装置・システム等のアプリケーション分野

ご清聴ありがとうございました