

水素エネルギー利活用に関する 最新動向

2018年11月6日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
次世代電池・水素部
主任研究員 原 大周



1. 水素エネルギーに関する政策動向

2. 諸外国の動向

3. 主な国家プロジェクト紹介（N E D O事業）

✓ **燃料電池の着実な普及**

✓ **水素エネルギー利活用**

組織概要

- NEDOは、「エネルギー・地球環境問題の解決」及び「産業技術力の強化」を目指した技術開発を推進することで経済産業行政の一翼を担う、日本最大級の公的機関。
- 産学官が有する技術力及び研究力を最適に組み合わせることでリスクが高い革新的な技術開発、実証を推進してイノベーションを社会実装することで社会課題の解決や市場創出を目指す。

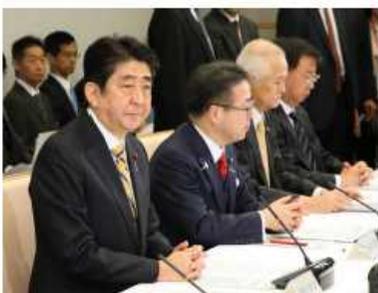
役割



水素エネルギーに関する政策の動き

- 2014.4 エネルギー基本計画
⇒将来の有望な二次エネルギー、「水素社会」に言及
- 2014.6 経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」策定
⇒具体的な政策の方向性提示
- 2015.12 気候変動枠組条約第21回締約国会合(COP21)
⇒「パリ協定」の成立
- 2016.3 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」改訂
⇒FCV台数、水素ステーション設置数目標設定
- 2017.12 水素基本戦略
⇒府省横断的な、世界で初めての水素「戦略」
- 2018.7 エネルギー基本計画
- 2018.10 水素閣僚会議

水素基本戦略の策定に向けて



再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議（第1回）での総理指示

「日本は、世界に先駆けて水素社会を実現させていきます。関係大臣は、政府一体となって取り組むための基本戦略を年内に策定してください。

特に、2020年に4万台規模で燃料電池自動車を普及させるため、水素ステーションの整備を加速させる仕組みを作るとともに、水素ステーションに関する規制を合理化するため、海外の規制や国内のガソリンスタンドとの比較も念頭に置いて、総点検をしてください。

生産から輸送、消費に至る国際的な水素サプライチェーンの構築を牽引するのは、大量かつ安定的な水素需要を生む水素発電です。サプライチェーンの構築と水素発電の本格導入に向けて、多様な関係者の連携の基礎となる共通シナリオを策定してください。」

＜水素基本戦略策定等に係るスケジュールイメージ＞



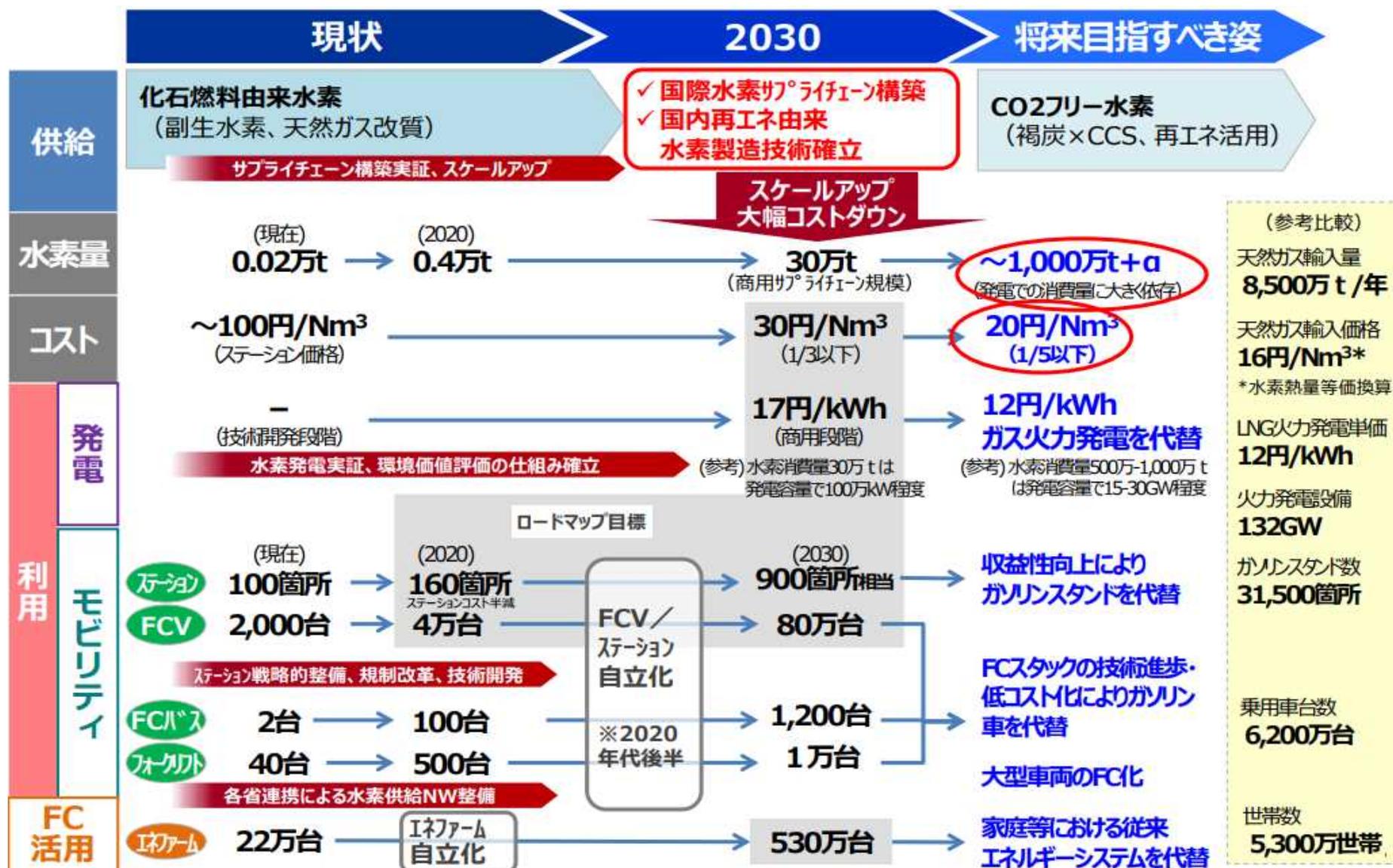
経済産業省 第4回燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議より

- ✓ 2050年を視野にいれた将来目指すべきビジョンと、その実現に向けた2030年までの行動計画
- ✓ 水素を再生可能エネルギー（再エネ）と並ぶ、新しいエネルギーの選択肢へ
- ✓ 水素のコストをガソリンやLNGなど従来エネルギーと同じ程度のコストに



2017年12月26日、「第2回 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」(出典: 経済産業省HP)

水素基本戦略のシナリオ



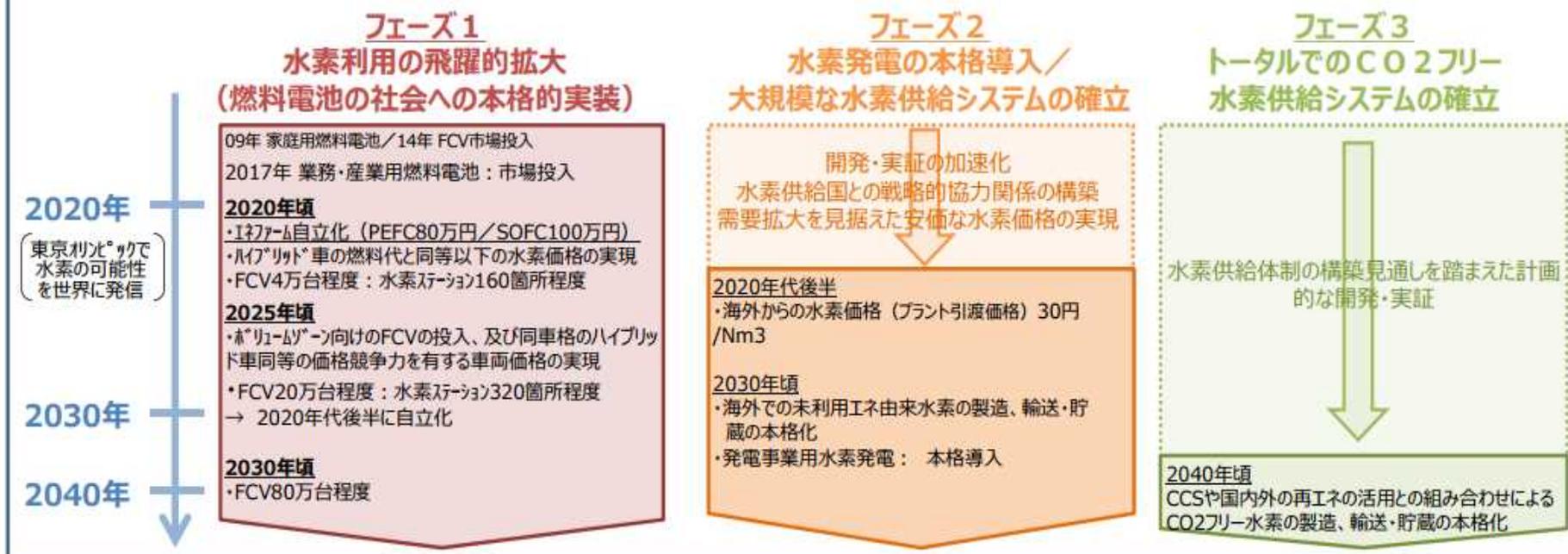
水素基本戦略(経済産業省Websiteより)

水素・燃料電池戦略ロードマップ



水素社会実現に向けた対応の方向性

- 水素社会の実現に向け、水素の需要側と供給側の双方の事業者の立場の違いを乗り越えつつ、産学官が協力してステップバイステップで取組を進める。
 - ・ **フェーズ1（水素利用の飛躍的拡大）**： 足元で実現しつつある、定置用燃料電池や燃料電池自動車（FCV）の活用を大きく広げ、我が国が世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場を獲得する。
 - ・ **フェーズ2（水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立）**： 水素需要を更に拡大しつつ、水素源を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな二次エネルギー構造を確立する。
 - ・ **フェーズ3（トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立）**： 水素製造にCCSを組み合わせ、又は再エネ由来水素を活用し、トータルでのCO2フリー水素供給システムを確立する。





諸外国の動向

- パリ協定(2016年11月発効)を契機に、水素への期待や実現に向けた取り組みが加速
- 各国政府における具体的な政策が策定されるとともに、企業ベースでも検討が本格化

パリ協定における各国の目標例

国名	温室効果ガスの排出抑制目標	
日本	2030年までに2013年比で	-26.0%
米国	2025年までに2005年比で	-18~21%
EU	2030年までに1990年比で	-40%
中国	2030年までに2005年比でGDP当たりで	-60~65%
韓国	2030年までに、対策を講じなかった場合の2030年比で	-37%

米国:カリフォルニアを中心に展開

- カリフォルニアZEV本格適用
 - ⇒ 2018からZEVをFCV、BEVのみを対象とする
- FCV:カリフォルニアを中心に、約5,000台導入
 - ⇒ 約30箇所の水素STが開所、今後北東部に展開
- 燃料電池フォークリフトの導入が進む
 - ⇒ 電動フォークリフト(電池)の代替として、約20,000台
- エネルギーシステムの中で水素を利活用するための検討開始
 - ⇒ H2@scaleプログラム開始

欧州：再エネ大量導入を背景に、水素利活用検討が進む
*Sector Coupling*がキーワード

【ドイツ】

- 再エネを活用した水素製造・利用実証展開(40箇所以上)
- 燃料電池電車実証(アルストム製)、ディーゼル代替

【フランス】

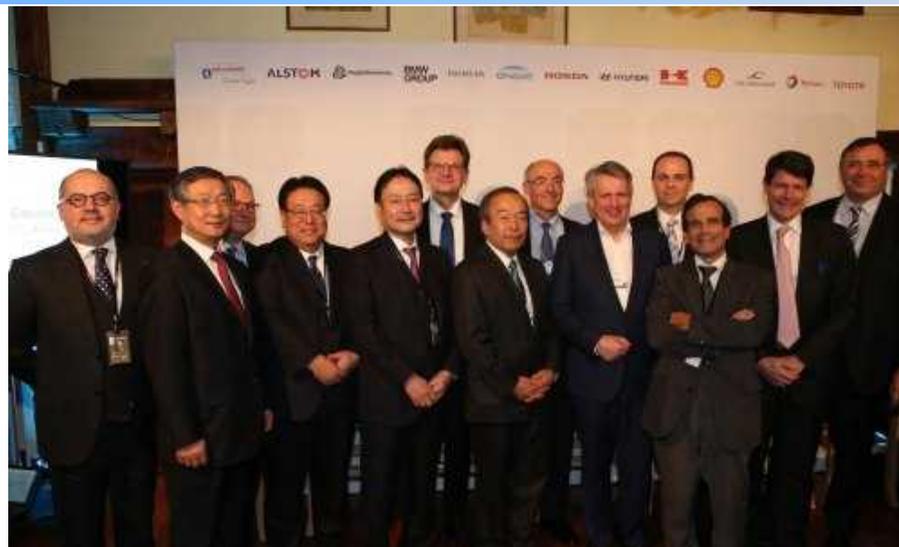
- 原発依存度を低下(50%に)、再エネ拡大の中で水素に着目
- 水素に関する政策策定
- EV+FC(レンジエクステンダー)、約200台導入

【欧州】

- 燃料電池・水素プログラム(FCH-JU)積極展開
- ⇒ 再エネ水素実証本格化、産業用水素源としても利活用
- ⇒ 低炭素水素の認証プログラム

- 中国：近時本格的に参画も、積極的な動きがみられる
- 燃料電池自動車ロードマップの策定・公表（2016年10月）
⇒ 2030年にFCV100万台、水素ステーション1,000箇所
 - 外国企業の積極的誘致
⇒ バラード(加)の燃料電池スタック工場建設
 - 脱内燃機関の動き
⇒ 加州ZEV法に類似した規制策定
⇒ 燃料電池バスの導入拡大(約200台)
- 韓国：FCVを中心に新たな動き
- 年内を目処に水素に関する政策策定
 - 韓国版H2Mobility設立の方向

民間ベースの国際的枠組 (Hydrogen Council)



出典:Hydrogen Council ホームページ(January 17, 2017 リリース)

- ✓ 2017年、本田技研工業、川崎重工業、トヨタ自動車を含むエネルギー／運輸／製造業等の世界的企業13社で構成するHydrogen Council(水素協議会)が発足。
- ✓ Hydrogen Councilは、水素を利用した新エネルギー移行に向けた共同のビジョンと長期的な目標を提唱するグローバル・イニシアチブ(活動体)。
- ✓ 2018年11月時点で53の企業が参画。
- ✓ 2018 Global Action Summitでは2030年までに輸送分野において利用する水素を100%カーボンフリーにすることを合意した。今後、世界的な水素開発ロードマップの作成を推進するとともに経済性の議論を深化させる予定である。



- 世界で初めて閣僚レベルが水素社会の実現をメインテーマとして議論を交わす「水素閣僚会議」が開催。
- 世界21の国・地域・機関の関係者が結集、その成果がTokyo Statement (東京宣言)。

～Tokyo Statement (東京宣言)の4項目～

1. 水素供給コスト及びFCV等の製品価格の低減加速化に向けた技術のコラボレーション、基準や規制の標準化やハーモナイゼーションの必要性
2. 水素ステーションや水素貯蔵に関する水素の安全性の確保や、様々な地域特性に応じたサプライチェーンの構築など、水素利活用の増大に向けて、各国が連携して取り組んで行くべき研究開発の推進
3. 水素社会実現に向けた認識の醸成・共有に資する水素ポテンシャル、経済効果及びCO2削減効果に関する調査・評価の意義
4. 水素ビジネスの投資拡大等につながる社会受容性向上のための教育や広報活動の重要性



NEDOの取り組み

燃料電池の着実な普及(フェーズ1)

燃料電池:

- ・ 固体高分子型燃料電池:FCV 2020年代後半自立化
 - 耐久性、効率、生産性の向上
 - ⇒ 基盤的な研究開発に注力
- ・ 固体酸化物形燃料電池:主に定置用
 - 性能評価解析から結果のフィードバックサイクルを確立
 - モノジェネ高効率化を目指した取り組み(新規)

水素ステーション: (新規)

- 設置・運用コストの削減:2025年の水素ステーションの自立化、2030年以降の水素ステーション事業自立化
- 国内の規制適正化
 - 水素ステーションのコスト低減(システム面で)
 - 国際基準調和

水素エネルギー利活用の拡大(フェーズ2&3)

水素発電 / 水素サプライチェーン:

- 燃焼器開発(NO_x排出抑制, 逆火対応等燃焼制御)
- 酸素・水素燃焼発電技術
- 長距離・大量水素輸送

再エネ+水素システム(Power to Gas):

- 水電解(大型化、効率、耐久、応答性)
⇒反応メカニズム解析等基盤技術
- システム構築、最適化、オペレーション



燃料電池の着実な普及

移動体(自動車等)用のPEFCの開発。主に低コスト化。

I. 普及拡大化基盤技術開発(委託)

(1) PEFC設計支援基盤技術開発

燃料電池の劣化や性能向上等(電気化学実験)と、材料の構造変化等(放射光実験)を関連づけて、MEAの評価手法と設計指針を確立する。

(2) セルスタックに関する材料コンセプト創出

新規材料の設計指針を確立する。

II. プロセス実用化技術開発(助成)

生産性を向上させるための実証を行う。

I. 普及拡大化基盤技術開発

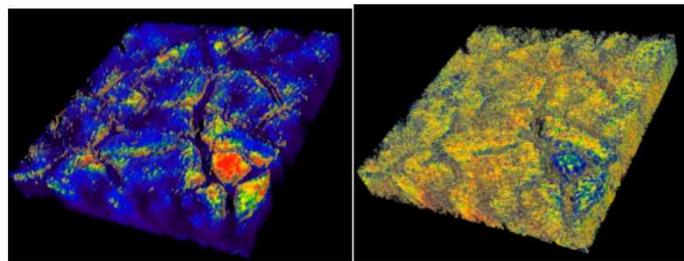
「出力密度 × 耐久時間 × 1/(単位出力あたりの貴金属使用量)」が現行の10倍以上を実現する要素技術の確立が目標。単位出力あたりの貴金属使用量を減らす、耐久時間を延ばす、出力密度を上げる。これらはいずれもコスト低減に直結するもの。

II. プロセス実用化技術開発

2020年度以降の市場導入拡大を見据えた生産性の向上(10倍)が目標。燃料電池車の生産台数を飛躍的に増加させる際に律速要因となる燃料電池スタックの生産性を大幅に向上させる。

高効率・高耐久等を実現する材料開発のための基盤技術

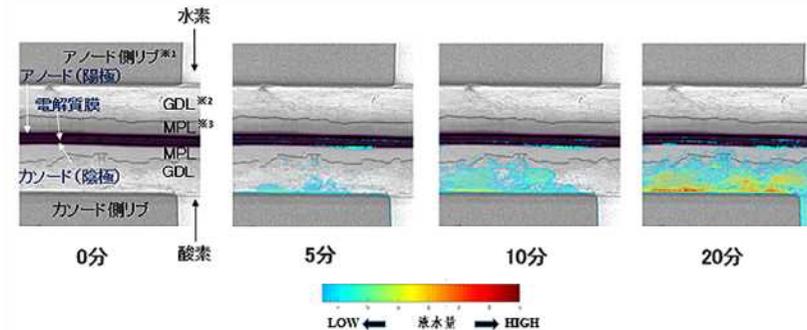
反応解析技術



Pt触媒の3次元分布

Pt触媒の酸化状態分布

常圧化での3次元可視化



水生成・移動プロセス可視化

性能評価技術



材料コンセプト



Catalyst



Membrane

プロセス実用化技術開発（主なトピックス）



低コスト化にも繋がる燃料電池の性能向上、生産能力の大幅な向上、適用車種を乗用車から商用車へと拡大するための耐久性の向上といった技術的な課題に対し、大量生産技術について検査技術を含めた研究開発を助成。

平成30年度採択案件

テーマ名	実施者
コアシェル触媒の検査技術開発	石福金属興業株式会社
カーボンセパレータの製造プロセス及び当該品質管理プロセスに関する実用化技術開発	日清紡ホールディングス株式会社
高生産性、信頼性を有するMEA連続生産装置の開発	株式会社SCREENファインテックソリューションズ 株式会社SCREENラミナテック
高品質・高信頼性炭化水素系電解質膜のプロセス実用化技術開発	東レ株式会社

固体酸化物燃料電池事業



事業用(数kW～数百kW)の定置用SOFCの開発事業(注)。

(注)家庭用の定置用燃料電池(エネファーム)はPEFC/SOFCともに700W。

(a) 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究(委託)

産業技術総合研究所、電力中央研究所、九州大学、京都大学、東京大学、東北大学

(委託外の協力企業:京セラ、日本特殊陶業、日本ガイシ、デンソー、東京ガス、大阪ガス)

- 10年(9万時間)という長期耐久性を短期間で評価するための加速評価試験方法を検討。
⇒開発コスト低減。
- 発電効率の高効率化(65%以上)を実現するための指針を検討。⇒開発迅速化。

(b) 固体酸化物形燃料電池を用いた業務用システムの実用化技術実証(1/2助成)

「燃料リサイクル機構を用いた高効率固体酸化物形燃料電池実用化技術開発」

株式会社デンソー

- 実使用を見据えた高効率(60%)の実証運転事業。⇒市場導入加速。

(c) 調査研究(H30～31年度)(委託)

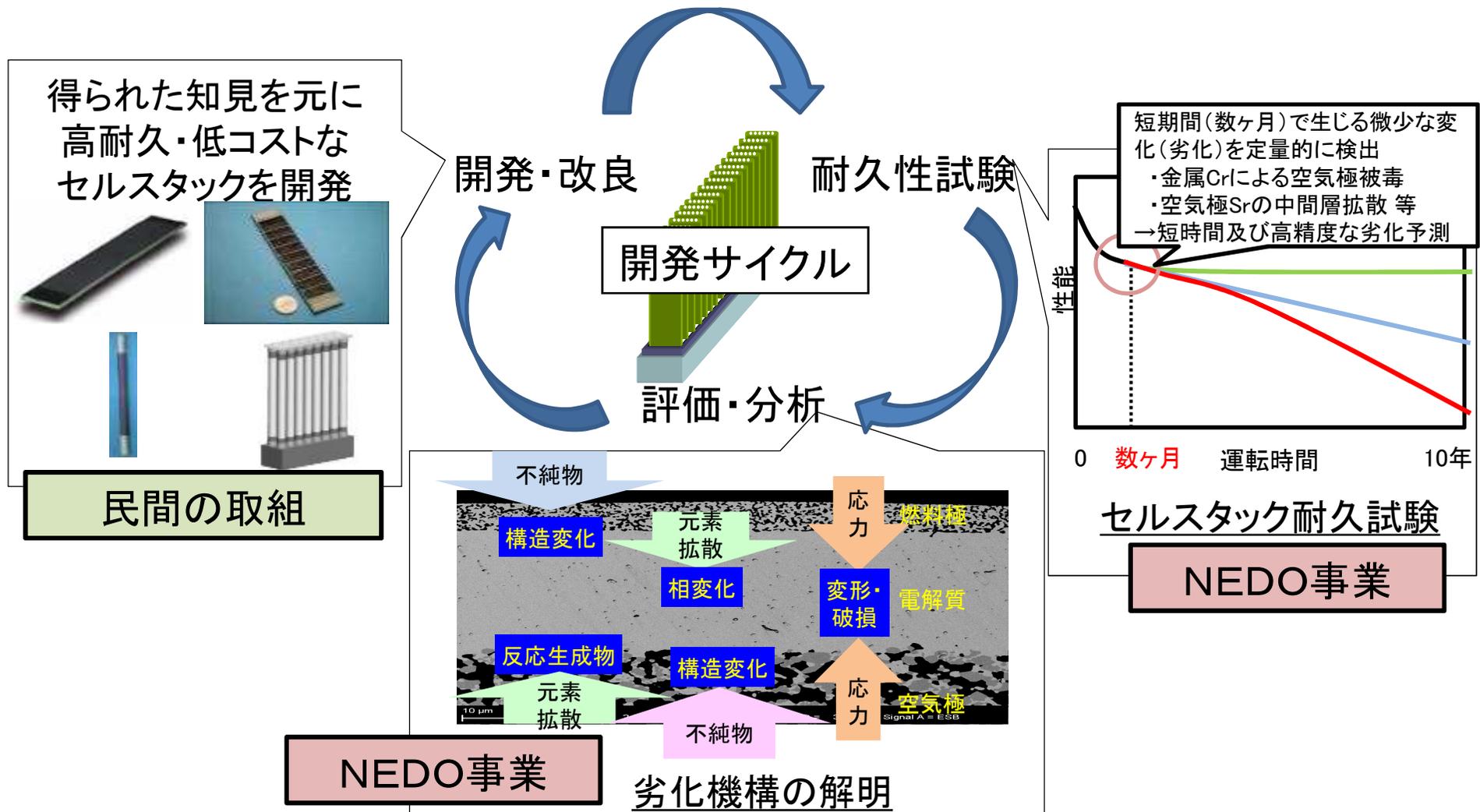
「SOFCの系統中における価値調査」

東京大学、(株)E-konzal

- 今後、高発電効率モノジェネレーション方式のSOFCが電力系統に並列した場合の様々な指標における市場価値をシミュレーション。⇒最適な出口市場を探り、仕様へ反映。

基礎研究概要

- 民間が提供する様々なセルスタックを、NEDO事業として公的機関(産総研が中心)が耐久性を試験し、評価、分析した結果を、民間へフィードバックするモデルを実現。

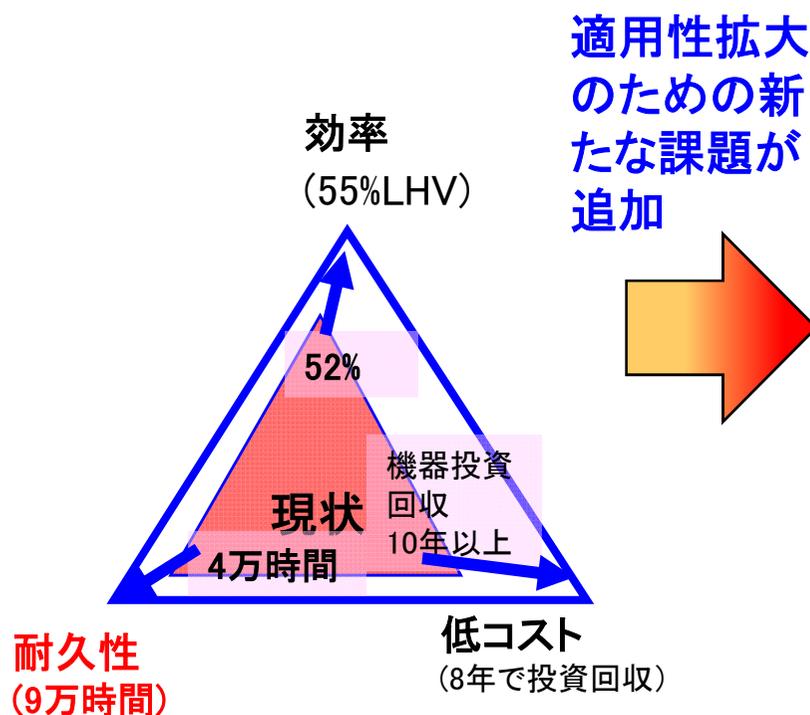


基礎研究の方針

- ◆ 発電効率65%を達成可能なSOFCの開発方針を確立する。
- ◆ 点検時等の起動/停止時間の短縮化のため、強靱化の技術課題を追加する。

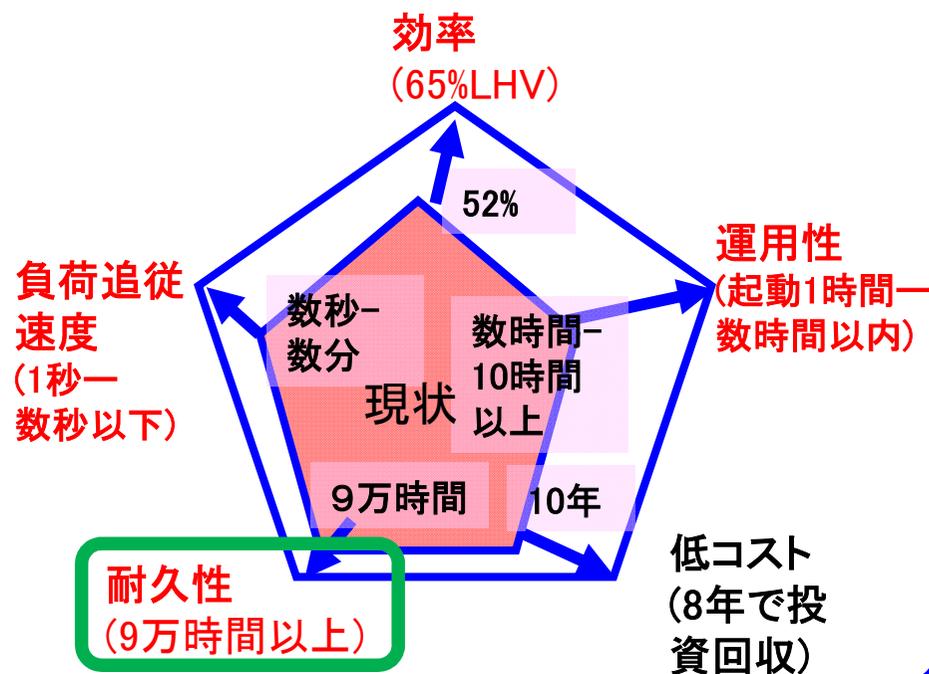
過去の取組

静的な条件での技術課題
(2013-2017年)



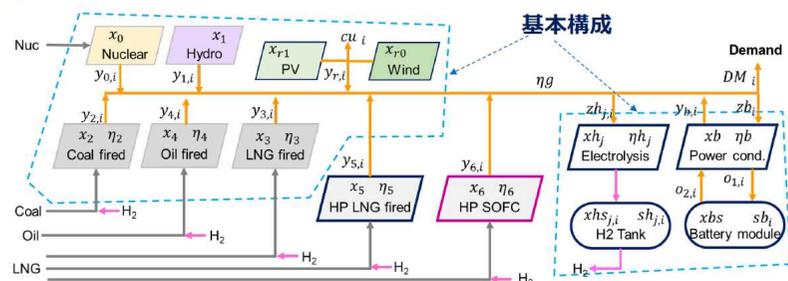
高効率セルスタック実現のための
動的な技術課題を追加
(2018年以降)

(赤字:NEDOプロジェクトで取り組む課題)



2030年頃 再エネが20%超導入された時点で系統電力向けにSOFCが競争力を持つためにどのような仕様(コスト、寿命、効率)が必要かをシミュレーションにより評価。

エネルギーモデル

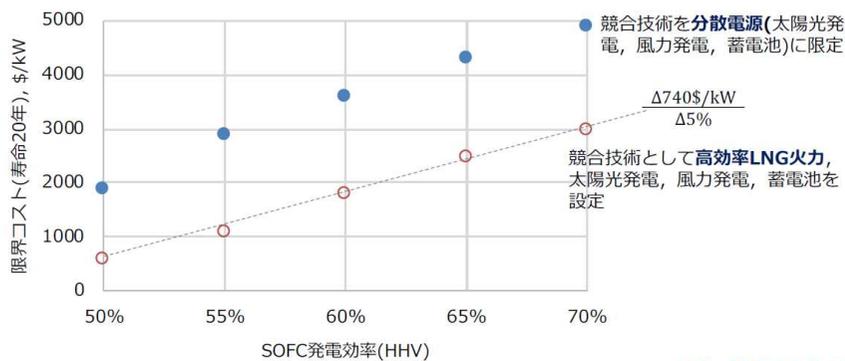


平成29年度に適用した0次モデル
モデルにはそれぞれの発電システムが1つだけ並列された簡易モデル

2030年に想定される環境において競争力を持つためのSOFCの設備コストと発電効率との関係

2030年想定

電力のCO₂排出原単位370から350gCO₂/kWhへの削減において、エネルギーシステム全体のコストが最小となる機器構成にSOFCが選択されるための発電効率と限界コスト



370→350gCO₂/kWh

競争技術に高効率化火力を含む

発電効率 HHV	設備 寿命 年	限界 コスト \$/kW	設備 コスト \$/kW	導入ポテン シャル *1 万kW	市場ポテン シャル *2 兆円	起動停止 回数 回/年	年間 稼働率
50%	10	402	335	211	0.07	416	53.5%
	15	517	431				
	20	600	500				
55%	10	738	670	1088	0.73	321	93.2%
	15	948	862				
	20	1100	1000				
60%	10	1207	1140	893	1.02	27	98.2%
	15	1551	1465				
	20	1800	1700				
65%	10	1676	1542	824	1.27	26	98.3%
	15	2154	1982				
	20	2500	2300				
70%	10	2011	1877	772	1.45	24	98.3%
	15	2585	2413				
	20	3000	2800				

競争技術を分散型電源に限定

発電効率 HHV	設備 寿命 年	限界 コスト \$/kW	設備 コスト \$/kW	導入ポテン シャル *1 万kW	市場ポテン シャル *2 兆円	起動停止 回数 回/年	年間 稼働率
50%	10	1274	1207	238	0.29	412	79.2%
	15	1637	1551				
	20	1900	1800				
55%	10	1944	1810	247	0.45	74	96.5%
	15	2499	2326				
	20	2900	2700				
60%	10	2414	2280	358	0.82	48	97.3%
	15	3102	2930				
	20	3600	3400				
65%	10	2883	2682	390	1.05	48	97.5%
	15	3705	3446				
	20	4300	4000				
70%	10	3285	3017	420	1.27	48	97.8%
	15	4222	3877				
	20	4900	4500				

2030年環境下でSOFCが競争力を持つためには、
高効率火力に対しては、効率60%、1800\$/kW
分散型電源に対しては、効率55%、2900\$/kW

水素ステーションの整備に向けて

- 水素・燃料電池戦略ロードマップ目標達成の2025年320箇所、2030年900箇所程度の水素ステーション設置を実現するため水素ステーションの整備費、運営費等のコスト低減が必要。
- しかし、世界に先駆け商用水素ステーションの設置を進めてきたことで、**整備当初とは異なる新たな課題**が明確になりつつあり、規制の見直しについても見直しに係る検討が進められているところ。
- 2025年以降の水素ステーションFCVの本格的普及、を実現する為に、国内の規制適正化、水素ステーションのコスト低減、国際基準調和に取り組む。

前事業の成果：耐久性の高いホースの開発

- ✓ 新型の82MPa対応高耐久ホースを開発するとともに、ホースの使用回数を決定するための評価方法を開発。
- ✓ 交換回数も約6倍に延長

100回充填で交換



6倍

650回充填で交換



実環境下での使用を踏まえた評価方法へ昇華

- ✓ 82MPaホース開発で得た知見を元に、国際標準の87.5MPaホースを開発。
- ✓ 試験室での評価方法に、実環境下での試験を加え、より正確な使用回数設定方法を開発。使用回数を大幅に延長させる。

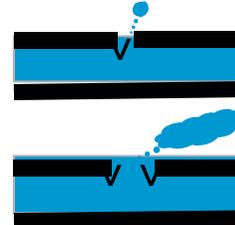
これを踏まえ

前事業の成果：水素脆化のメカニズムの解明

- ✓ 高圧低温下の水素環境で引き起こされる、金属の強度の低下(水素脆化)について、延性破壊と特定。

【研究後】

水素脆化による漏洩の際には、必ず事前に微小漏洩が生じるので、これを対処する。



これを踏まえ

水素脆化 = 使用不可からの脱却

- ✓ 水素脆化が延性破壊であることから、疲労き裂の進展速度を踏まえ、寿命を設定することで、水素脆化を起こす材料を使う方法の可能性がある。
- ✓ 研究開発を進め、寿命設定を行う事で使用できる材料と使用できない材料の判断基準を確立させる。

①国内規制適正化に関わる技術開発

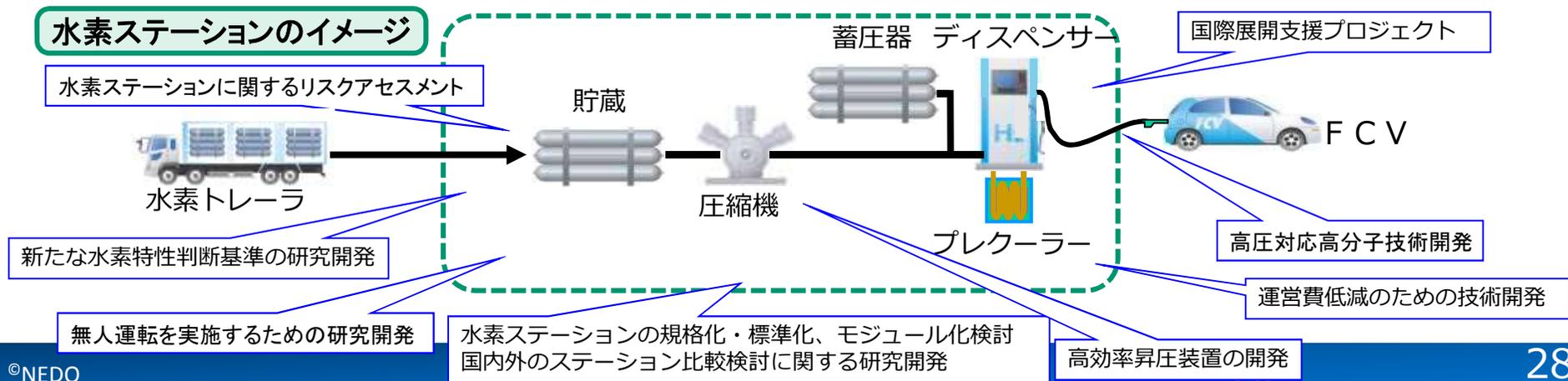
省人/無人運転の法的/技術的課題対応、汎用材の適用範囲の拡大を目指した水素特性判断基準検討(使用条件での材料疲労把握等)、規制改革実施計画の項目に関する検討等。

②水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発

水素ステーションのモジュール化/規格化、構成機器の寿命延長の安全性評価方法検討、高圧対応高分子技術(ディスペンサーのホースや継手/シール部材)の開発等。

③国際展開、国際標準化に関する研究開発

世界のステーション関連市場を開拓、拡大していくため、ISO等の標準化や、HFCV-GTR(水素やFCVの世界統一基準)の課題検討への対応等。





水素発電とサプライチェーン

水素利用量の拡大に向けて



水素需要量の比較(試算)

(※)一定の仮定を置いた場合の試算値

	年間水素使用量		備考
水素発電 (事業用100万kW・専焼)	23.7億Nm ³	—	LNG火力発電の燃料を水素に熱量換算して試算 ○出力:100万kW ○熱効率想定:51%('コスト等検証委員会'より) ○稼働率想定:49%('電力需給の概要'2010年度実績)

各用途が約24億Nm³を使用するための数

水素発電 (自家発10万kW・専焼)	3.5億Nm ³ /基	6.8基	自家発(燃料種不定)の燃料を水素に熱量換算して試算 ○出力:10万kW ○熱効率想定:41%('総合エネルギー統計'より) ○稼働率想定:58%('電力調査統計'より) (※効率と稼働率は自家発平均)
燃料電池自動車	1,060Nm ³ /台	223万台	燃料電池自動車の試算前提 ○燃費:8.9km/Nm ³ (100km/kg-H ₂) (JHFCプロジェクトより) ○年間走行距離:9,500km (JHFCプロジェクトより)
燃料電池バス (路線バス)	52,000Nm ³ /台	4.5万台	燃料電池バスの試算前提 ○燃費:0.99km/Nm ³ (JHFCプロジェクトより) ○年間走行距離:51,684km (日本バス協会「日本のバス事業」をもとに推計)
家庭用 純水素形燃料電池 (0.7kW)	2,260Nm ³ /台	105万台	家庭用純水素型燃料電池の試算前提 ○家庭用燃料電池の年間発電電力量:3,301kWh (「パナソニックHP」より推計) ○純水素形の発電効率想定:49% (家庭用燃料電池の発電効率39%(LHV)、改質器効率80%から算出)

➡ 水素発電は、大規模かつ恒常的な水素需要の創出と拡大が期待できる

LNG : Liquefied Natural Gas(液化天然ガス)

HHV : Higher Heating Value(高位発熱量)

LHV : Lower Heating Value(低位発熱量)

出典 : 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会資料

水素サプライチェーンの全体概要



海外から大量に水素を輸送する

- *1 低品位炭（高水分、低発熱量の若い石炭）
- *2 製鉄所、化学工場等からの副産物
- *3 原油等の生産に伴って同時に生産されるガス



神戸空港島の荷役基地（実証試験イメージ）

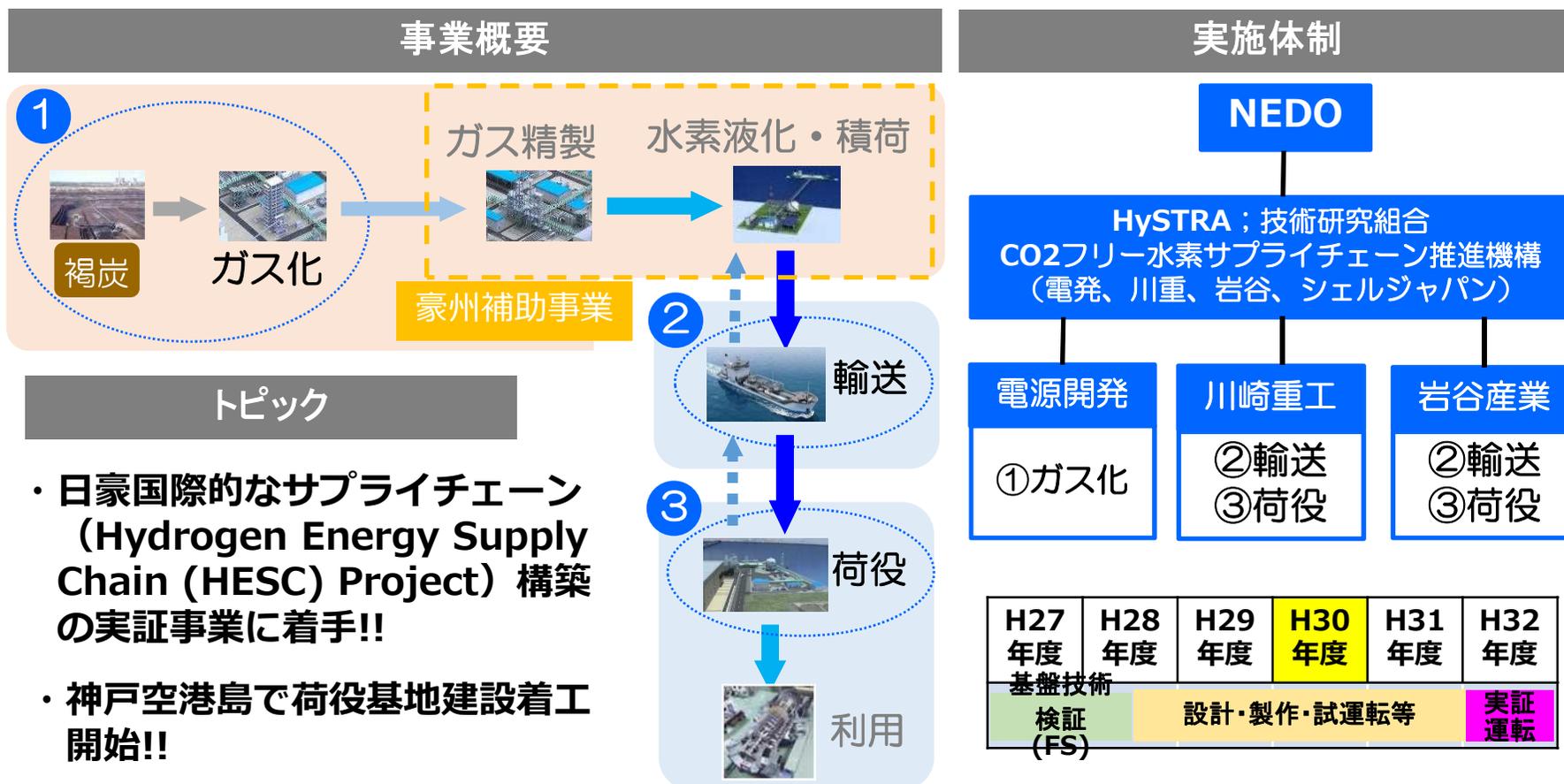


川崎市臨海部の脱水素プラント（実証試験イメージ）

液化水素を利用した大規模サプライチェーン実証 (未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証)



- 豪州の未利用エネルギーである褐炭を用いて水素を製造し、貯蔵・輸送・利用までが一体となった液化水素サプライチェーン構築を目指す。
- 本事業では「①褐炭ガス化技術」「②液化水素の長距離大量輸送技術」「③液化水素荷役技術」を開発する。

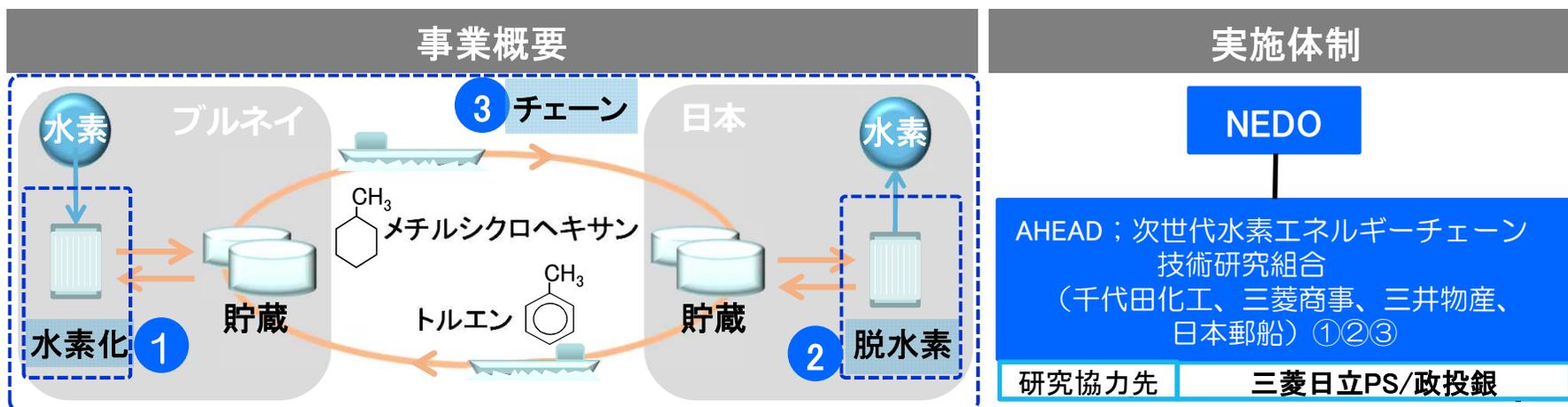


有機ケミカルハイドライドを利用した大規模サプライチェーン実証



(有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証)

- 未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライド法により消費地まで輸送し、需要家へ水素を供給するサプライチェーン構築を目指す。
- 本事業では、前半で水素サプライチェーン運用に必要な基盤技術の検証（スケールアップ検討、触媒の耐久性検討、総合運用の検討等）を、後半で実証チェーンの構築と長期に実運用する。



トピック

**ブルネイで水素化プラント
建設着工開始!!**



ブルネイの水素製造・水素化プラント（完成イメージ）

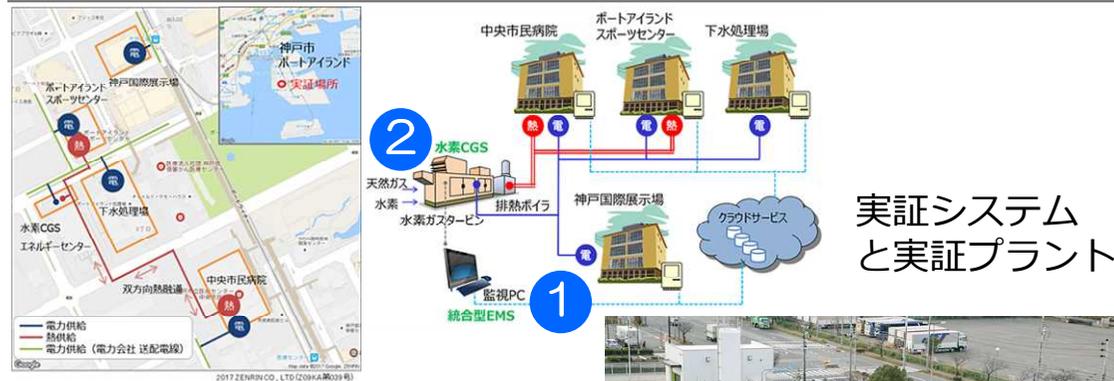
H27 年度	H28 年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度
基盤技 術検証	設計・製作・試運転等			実証 運転	

水素燃料によるガスタービン発電実証 (CGS活用スマートコミュニティ技術開発実証)

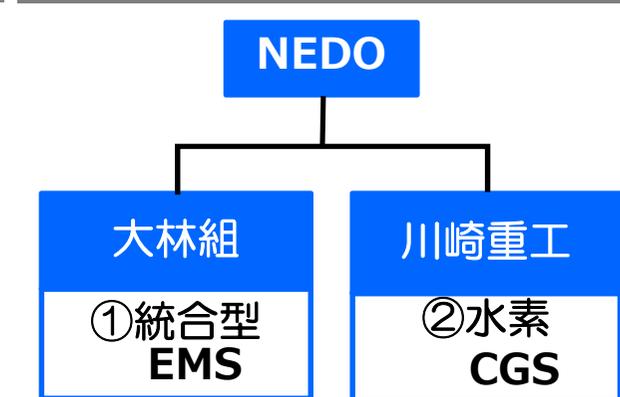


- 水素を燃料とする1MW級ガスタービンの発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム（統合型EMS）を開発して実証運転する。
- 水素・天然ガス混焼ガスタービンの燃焼安定性の検証、双方向蒸気融通技術の確立、統合型EMSの経済的運用モデルを確立する。

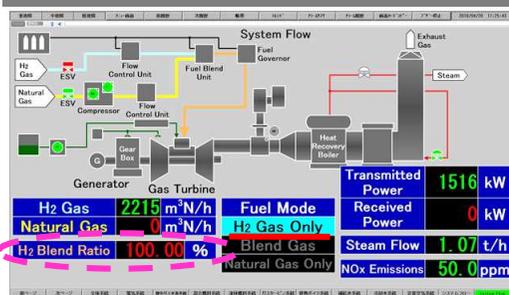
事業概要



実施体制とスケジュール



トピック



世界初、市街地で
水素100%による
熱電供給を達成!!

H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
設計	製作	現地実証	

CGS : Co-Generation System、熱電供給システム
EMS : Energy Management System、エネルギー最適制御システム



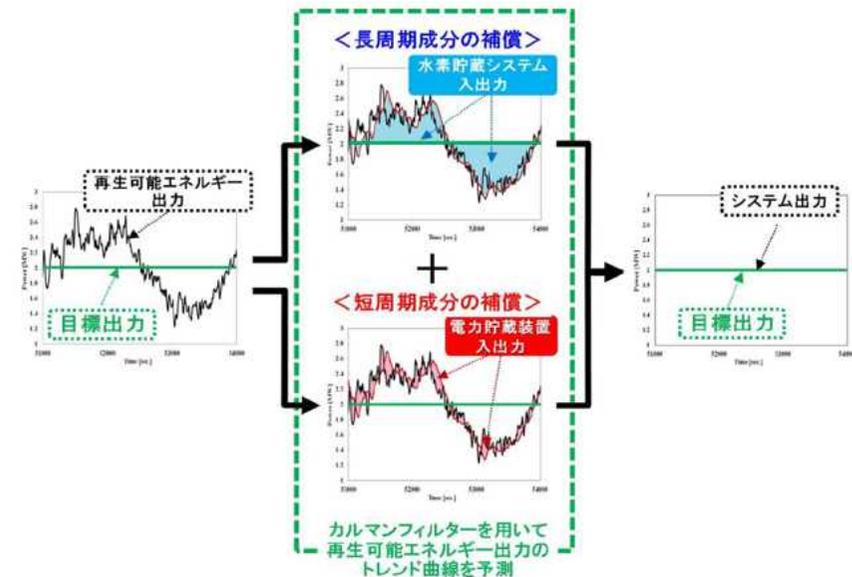
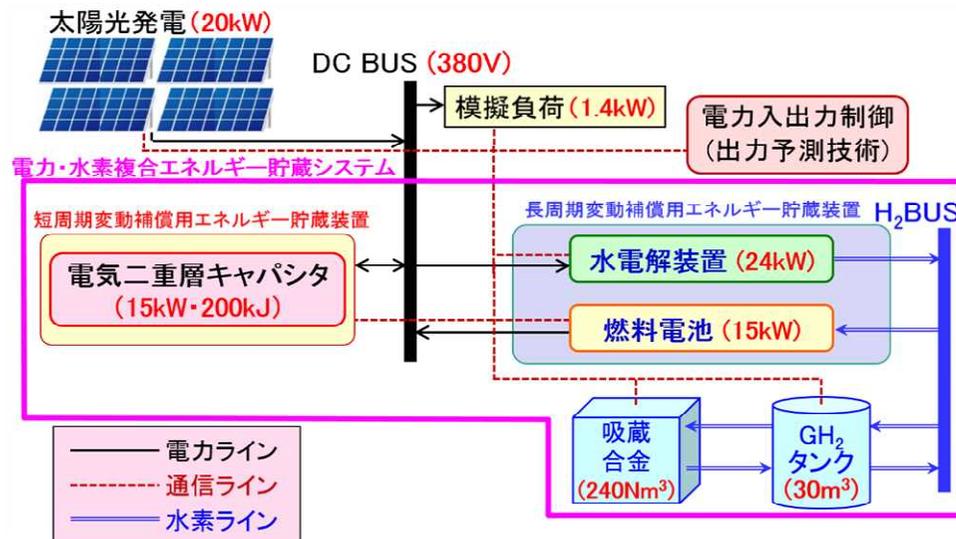
Power to Gas

PtG実証 (PV利用率最大化 + 非常時電源)



PV最大活用 + 非常用電源@仙台市

オフグリッドで、平時はPV有効利用に活用しつつ、非常用に長期電力貯蔵を可能とするシステム

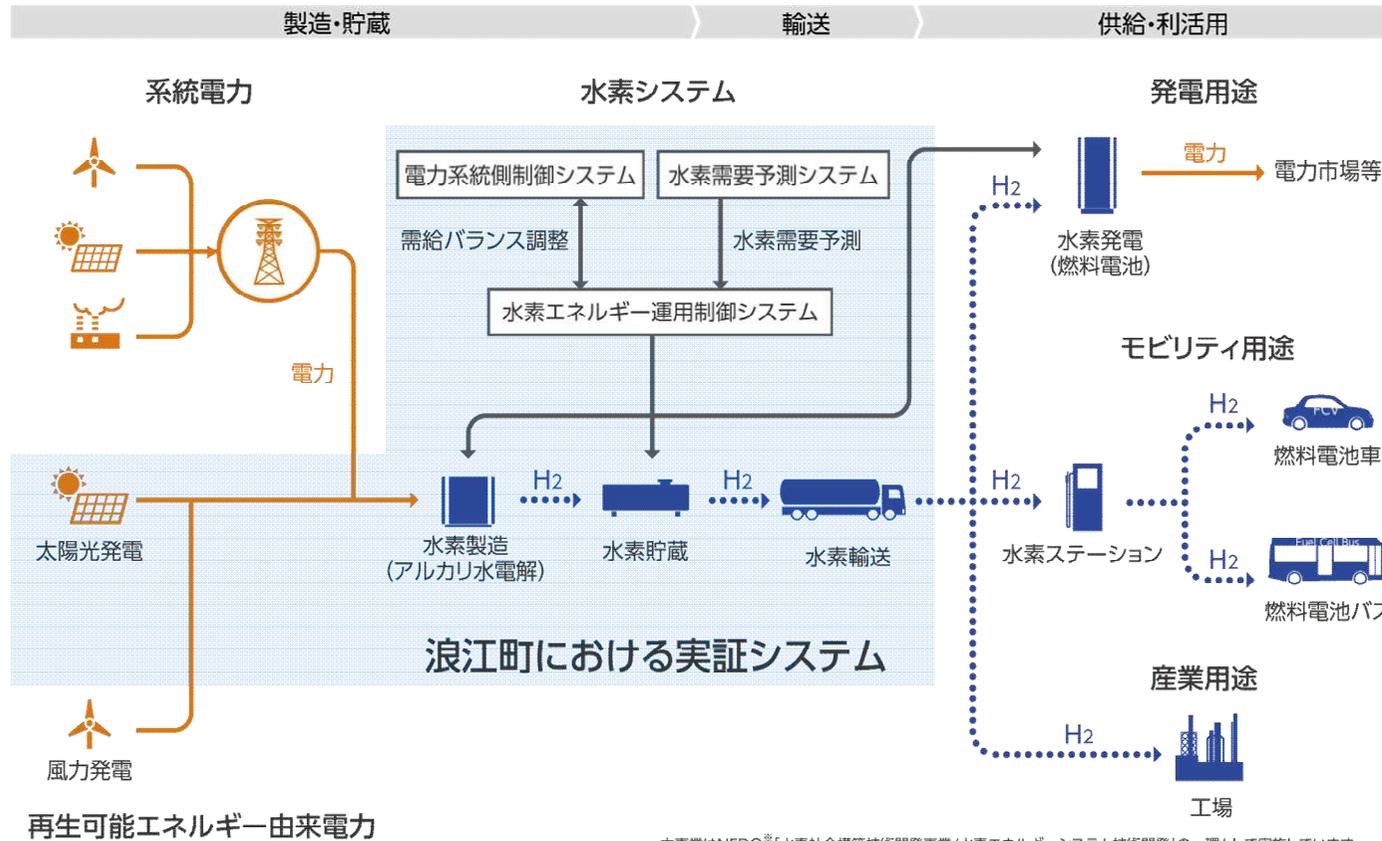


PtG実証（大規模福島水素実証）



福島県にて、再エネを大量導入した際の水素活用に向けたシステム実証開始

事業期間：2016年9月～2020年度



実証内容：

- 再エネの利用拡大を見据えた電力系統の需給バランス調整のための水素活用/販売事業モデルの確立
- 大規模再エネ水素エネルギーマネジメントシステムの開発/実用化

本事業はNEDO[®]「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」の一環として実施しています。
 (※) NEDO:国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

資料：東芝、東北電力、岩谷産業



まとめ

- 日本政府は、水素社会の実現に向けた政策上の位置付けを明確化。
- 燃料電池の市場投入進展。海外でも水素に関する取り組みが拡大。
- 水素はエネルギーシステムに柔軟性を持たせるカギ（空間、時間）。再エネ等、他のエネルギー源と連携することで新たな価値を創出。



<http://www.nedo.go.jp/>