

水素関連プロジェクトの 研究開発・社会実装の方向性

2021年4月

資源エネルギー庁

目次

□カーボンニュートラル時代の水素の位置づけと社会実装モデルの創出の意義

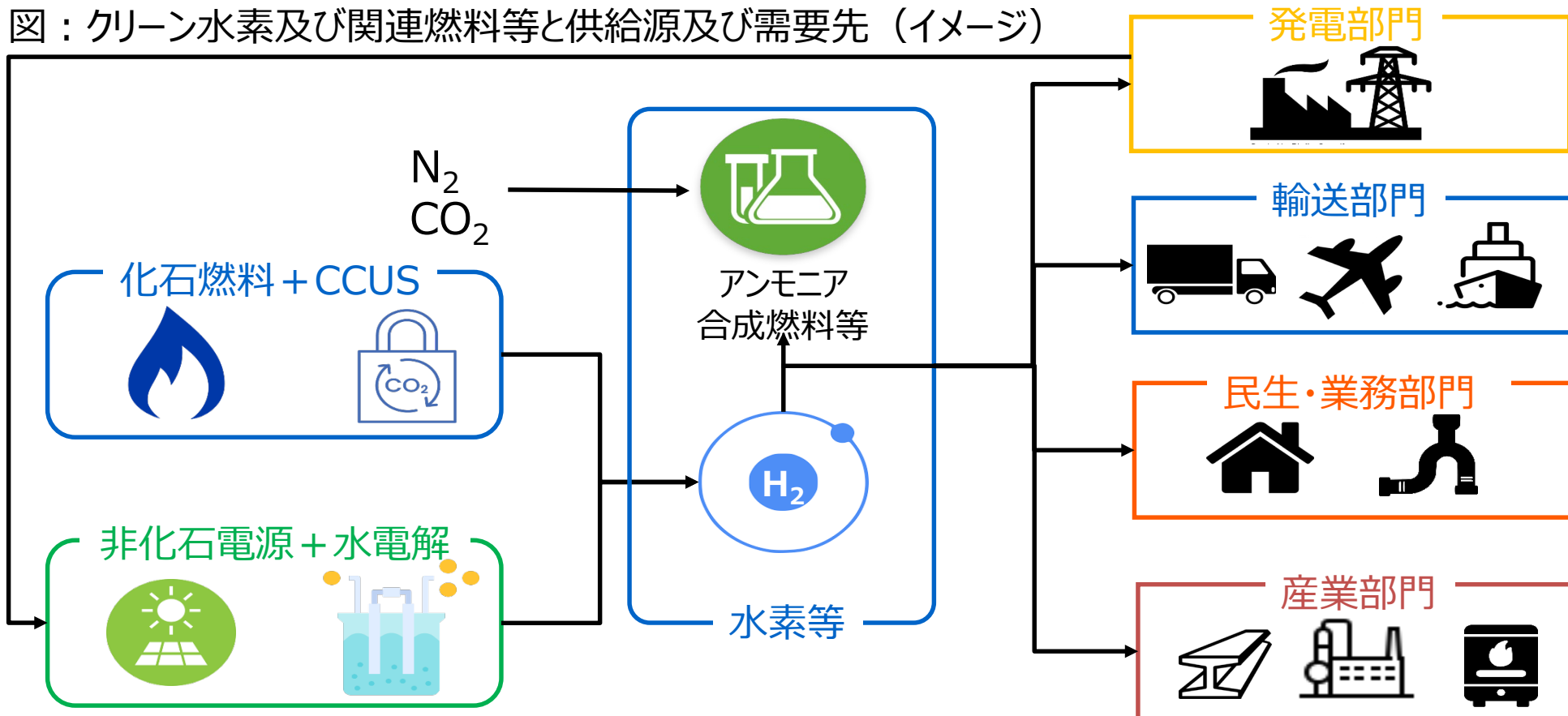
□プロジェクト①：大規模水素サプライチェーンの構築

□プロジェクト②：再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造

カーボンニュートラルに必要な不可欠な水素

- 水素は直接的に電力分野の脱炭素化に貢献するだけでなく、余剰電力を水素に変換し、貯蔵・利用することで、再エネ等のゼロエミ電源のポテンシャルを最大限活用することも可能とする。
- 加えて、電化による脱炭素化が困難な産業部門(原料利用、熱需要)等の脱炭素化にも貢献。
- また、化石燃料をクリーンな型で有効活用することも可能する。
- なお、水素から製造されるアンモニアや合成燃料等も、その特性に合わせた活用が見込まれる。

図：グリーン水素及び関連燃料等と供給源及び需要先（イメージ）



カーボンニュートラル時代の水素輸入国

- 日本は再エネ含む資源賦存量が国内需要に比べ小さく、長期的にも海外水素を輸入することになる見込み。そのため、エネルギー安全保障上の観点から、資源外交が引き続き不可欠。

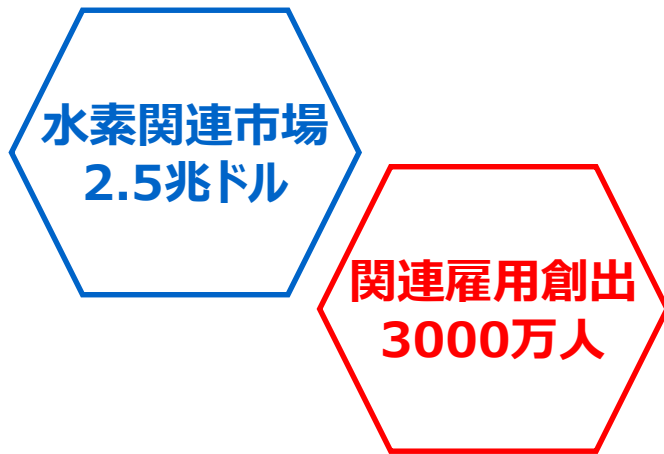


産業競争力強化を通じた拡大する水素関連市場の獲得

- 現在、日本企業は水素分野で優れた技術・製品を有するが、今後、各国がエネルギー転換・脱炭素化を推し進めることになれば、世界的に水素関連製品の市場が拡大する見込み。
- こうした中で、日本の技術・製品を国内外の市場で普及させることは、**我が国の経済成長・雇用維持に繋げつつも、世界の脱炭素化にも貢献**することに繋がる。
- そのため、技術開発や社会実装のための制度整備など、あらゆる政策を総動員し、**日本企業の産業競争力を一層強化**することは、産業政策的な観点から極めて重要。

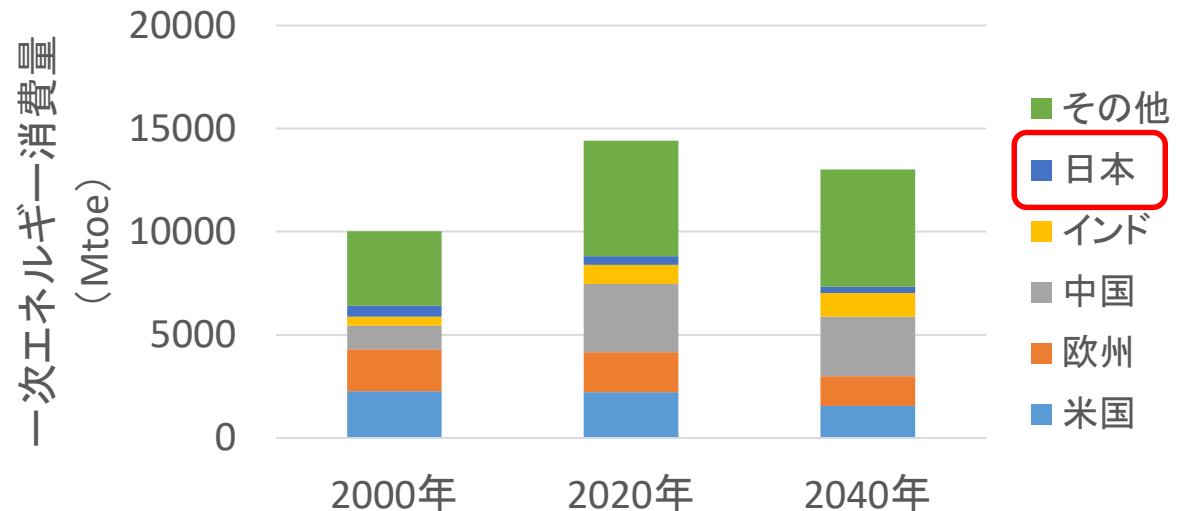
2050年の世界展望

*Hydrogen Councilの試算



日本のエネルギー需要のシェア推移(WE02020 SDS)

日本のシェアは2000年の5.1%から2040年には2.3%まで低下見込み



規模の経済を最大限に生かすためにも、世界市場の取り込みが今後はより重要に

水素分野における戦略等の策定状況について

- 日本は世界で初めての水素基本戦略を2017年12月に策定。近年は、水素を脱炭素化に必要な不可欠なエネルギー源と位置づけ、多くの国・地域が水素関連の取組を強化。日本がこの分野を今後もリードするためには、より一層取組を強化する必要。
- 昨年10月の菅総理のCN宣言を受け、昨年末策定したグリーン成長戦略でも重点分野の一つに位置づけ。需給一体での取組により、導入量の拡大と供給コストの低減を目指す。

国内外の情勢変化、戦略策定の状況

2017年12月
水素基本戦略策定

2019～2020年
各国水素戦略策定
及び、経済対策で
水素に注力

2020年10月
菅総理による
2050年CN宣言

2020年12月
グリーン成長戦略策定
(水素の位置付)

2021年～
次期エネ基、水素基本
戦略見直し等を見据
えた検討（継続中）

グリーン成長戦略における量及びコストの目標

□ 年間導入量*：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在（約200万t） → 2030年（最大300万t） → 2050年（2000万t程度）

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量（水素換算）も含む数字。

□ コスト：長期的には化石燃料と同等程度の実現

現在（100円/Nm³） → 2030年（30円/Nm³） → 2050年（20円/Nm³以下）

(参考) 水素に係る海外動向

- EUやドイツやオランダ、豪州など多くの国で水素の国家戦略が策定されるなど、世界中で取組が本格化。
- 脱炭素化が困難な商用車や産業分野での水素利用や、水素発電の導入、水素輸入に向けたサプライチェーンの検討等の動きが進展。

ドイツ

- 2020年6月に国家水素戦略を策定。
- 国内再エネ水素製造能力の目標を設定（2030年5GW、2040年10GW）。水電解による水素製造設備に対して、再エネ賦課金を免除。
- 中・長期的な大規模水素輸入に向けたサプライチェーン実証プロジェクトを実施予定。
- 連立与党が2020年6月3日に採択した経済対策において、国内の水素技術の市場創出に70億ユーロ、国際パートナーシップ構築に20億ユーロの助成を予定。
- 大型FCTラック向けの水素充填インフラ構築を支援。

米国

- 新車販売の一定割合をZEVとする規制の下、カリフォルニア中心にFCVの導入が進展（8000台超）。2024年からは商用車もZEV規制適用開始。
- ユタ州のIPPが大型水素発電プロジェクトを計画。2025年に水素混焼率30%、2045年に100%専焼運転を目指す。（MHPSがガスタービン設備を受注）
- ロサンゼルス港のゼロエミッション化に向けた構想の一環で、大型輸送セクターでの水素利用の検討が進む。
- DOEは大型FCTラックの開発を支援。

EU

- 2020年7月に水素戦略を発表。
- 2030年までに電解水素の製造能力を40GWを目指す。
- 暫定的に、低炭素水素（化石＋CCUS）も活用。水素の製造、輸送・貯蔵、利用に向けて取り組む。
- 官民連携によるクリーン水素アライアンスを立ち上げ。
- 輸送分野では、商用車での水素利用を重視。

フランス

- 2020年9月に水素戦略を改訂。
- 2030年までに電解装置6.5GWの設置、年間60万トンのグリーン水素生産を目標として設定。
- グリーン水素の生産に使用する電力としては、再生可能エネルギーおよび原子力発電由来の電力を想定。
- 産業の脱炭素化に加え、大型FCTラックの開発が優先項目に。

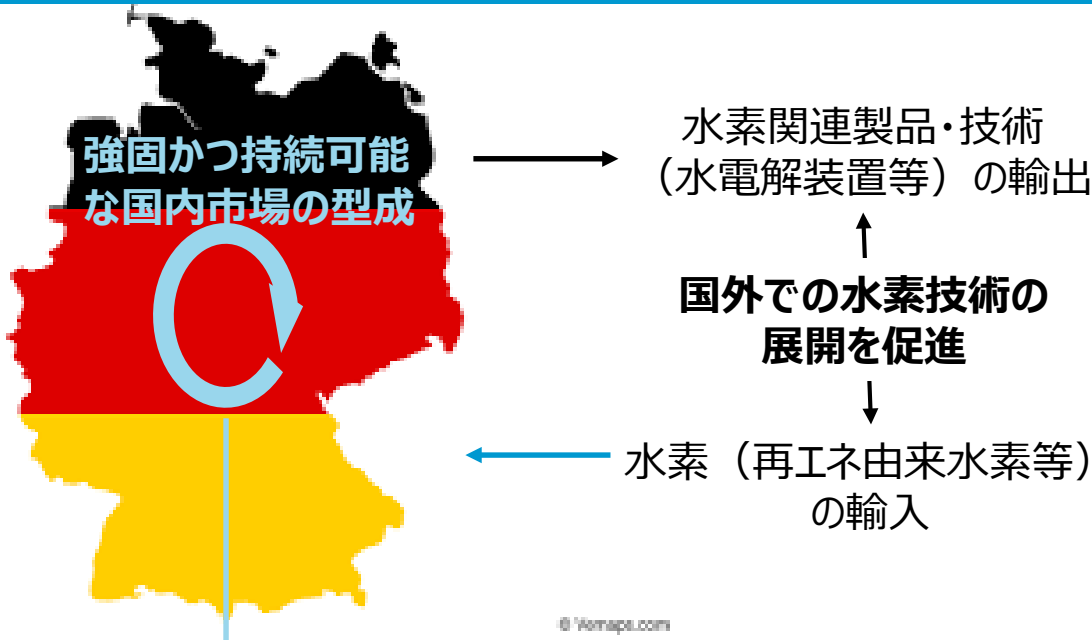
中国

- 2016年省エネ・新エネ車の技術ロードマップにおいてFCVの普及目標を策定。現在は商用車中心に普及が進む。
- 2020年4月にFCV産業のサプライチェーン構築への助成を発表。水素関連技術の競争力確立を目的とし、モデル都市を選定し、FCVや水素ステーションの技術開発・普及に奨励金を与える。

(参考) ドイツの国家水素戦略の基本的な考え方

- ドイツの国家水素戦略では、①世界的に水素の社会実装を進めるための**国内市場の重要性**が強調され、②**独産業を強化し、国際市場獲得を目指す**という産業政策的な観点も策定の目標・意義として示された。
- 国際協力については、経済、外交、経済開発の政策としても使うことが鮮明に打ち出され、**経済対策の中で20億€を国際関係構築のために使用**することを決定。

国内外市場の関係（イメージ）



製造：再エネ＋水電解装置（2030年までに5GW）
利用：商用車、船舶、航空等の輸送部門（燃料利用）
鉄鋼、化学等の産業部門（原料利用）
※ 社会実装のための制度整備と併せて措置（詳細今後検討）

（出典）BMW, The national Hydrogen Strategy

国際協力例（モロッコとのパートナーシップ）



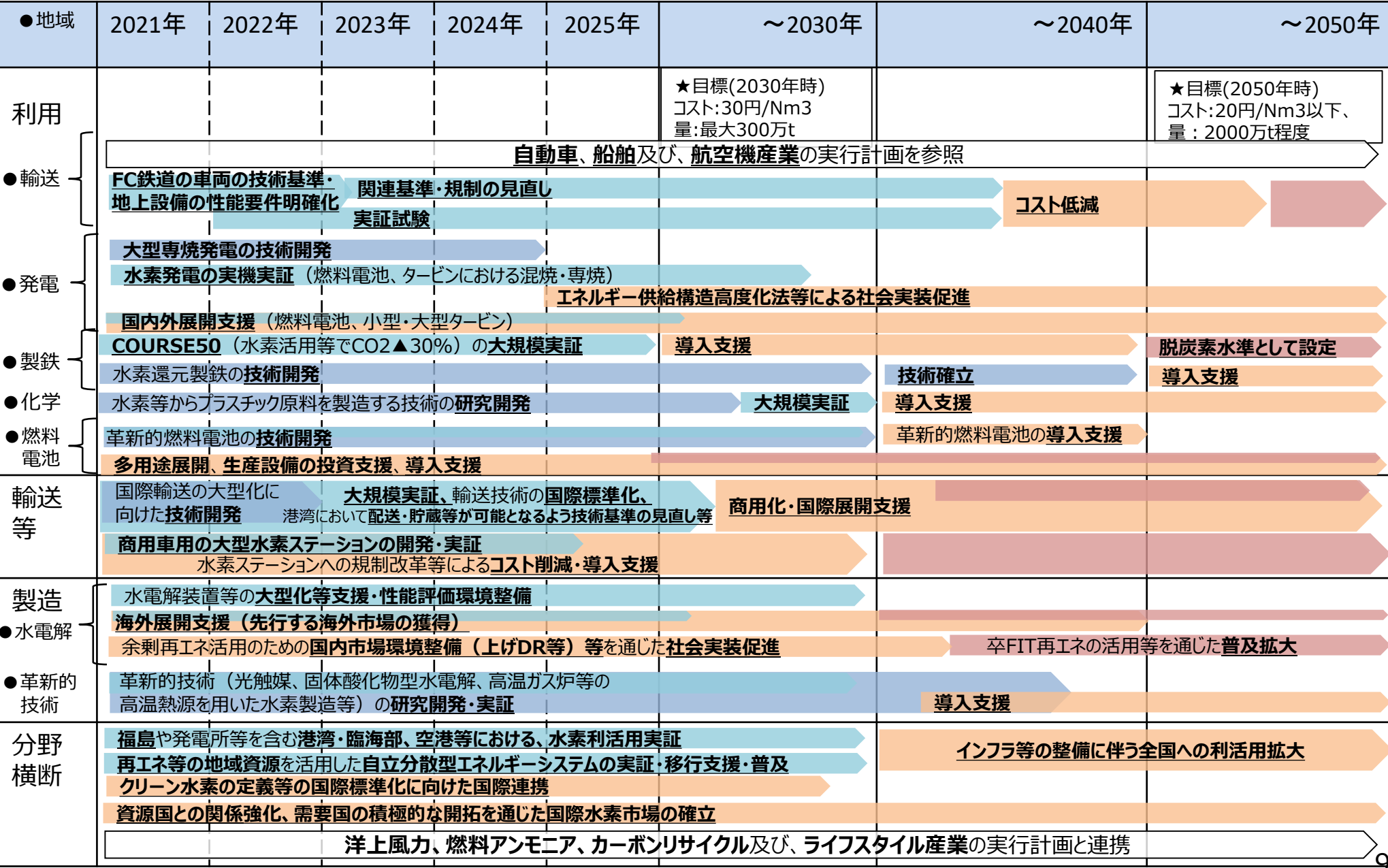
ドイツ連邦政府とモロッコ王国政府は、アフリカにおける最初のグリーン水素製造プラントの建設（100MW級）に向けた協定に署名（2020年6月、ベルリン）。

- ◆ 水素は、発電・産業・運輸など幅広く活用されるカーボンニュートラルのキーテクノロジー。日本が先行し、欧州・韓国も戦略等を策定し、追従。今後は新たな資源と位置付けて、自動車用途だけでなく、幅広いプレーヤーを巻き込む。
 - ◆ 目標：導入量拡大を通じて、水素発電コストをガス火力以下に低減(水素コスト:20円/Nm3程度以下)。2050年に化石燃料に対して十分な競争力を有する水準を目指す。導入量は2030年に最大300万トン、2050年に2,000万トン程度を目指す。
- ※ うち、グリーン水素(化石燃料+CCUS、再エネなどから製造された水素)の供給量は2030年の独の再エネ由来水素供給量(約42万トン/年)を超える水準を目指す。

	現状と課題	今後の取組
利用 ①水素発電タービン ②FCトラック ③水素還元製鉄	①水素発電タービン:実機での実証がまだ完了しておらず、商用化が課題 ・日本企業が発電タービンの燃焼技術(燃えやすい水素の燃焼をタービンの中で制御する技術)で世界的に先行。 ・潜在国内水素需要:約500~1,000万トン/年 ②FCトラック:実機実証中。商用化が課題 ・日本企業が企業間連合を組み、世界に先駆けて乗用車を商用化した知見も生かしつつ、開発中。海外企業も開発を加速。 ・潜在国内水素需要:約600万トン/年 ③水素還元製鉄:技術未確立、大量かつ安価な水素の調達が課題 ・欧州の鉄鋼業界も含めて、各国企業が技術開発を実施中 ・潜在国内水素需要:約700万トン/年	①水素発電タービン:先行して市場を立ち上げ、アジア等に輸出 ・世界市場展望:2050年時点で累積容量は最大約3億kW(タービン市場は最大約23兆円) ・ 実機での安定燃焼性の実証を支援 し、商用化を加速 ・電力会社への カーボンフリー電力の調達義務化 と、 取引市場の活用 。再エネ、原子力と並んで、 カーボンフリー電源としての水素を評価 し、水素を活用すればインセンティブを受け取れる電力市場を整備 ②FCトラック:世界と同時に国内市場を立ち上げ、各国にも輸出 ・世界市場展望:2050年時点でストックで最大1,500万台(約300兆円) ・ FCトラックの実証 による商用化の加速、電動化の推進を行う一環での 導入支援策 の検討 ・ 水素ステーション開発・整備支援、規制改革(水素タンクの昇圧) によるコスト削減の検討 ③水素還元製鉄:世界に先駆けて技術を確立 ・世界市場展望(ゼロエミ鉄):2050年時点で最大約5億トン/年(約40兆円/年) ・水素還元製鉄の 技術開発支援 ・ トップランナー制度 による導入促進 ・国際競争力の観点から、内外一体の産業政策として 国境調整措置 を検討
供給 ④液化水素運搬船等	④水素運搬船等:技術開発・実証を通じた大型化が課題 ・ドイツ等が水素の輸入に関心。今後の国際市場の立ち上がり期待される。 ・日本は当初から輸入水素の活用を見越し、複数の海上輸送技術・インフラの技術開発・実証を支援。その結果、世界ではじめて液化水素運搬船を建造するなど、世界をリード。	④水素運搬船等:世界に先駆け商用化し、機器・技術等を輸出 ・世界市場展望(国際水素取引):2050年時点で約5.5兆円/年(取引量:最大5,500万t/年) ・更なる水素コスト低減に資する 大型化を実証や需要創出で支援 し、2030年までに商用化(2030年30円/Nm3の供給コスト目標達成) ・関連機器(液化水素運搬船から受入基地に水素を移すローディングアームなど)の 国際標準化 ・海外での積出港の整備に対する出資の検討並びに国内港湾における技術基準の見直し等の検討
製造 ⑤水電解装置	⑤水電解装置:欧州企業が大型化技術などで先行 ・日本企業は世界最大級の水電解装置を建設するとともに、要素技術でも世界最高水準の技術を保有。 ・しかし、更なる大型化を目指すための技術開発では、欧州等、他国企業が先行。	⑤水電解装置:再エネが安い海外市場に輸出し、その後国内導入 ・国際市場展望:2050年までに毎年平均88GW分(約4.4兆円/年)の導入が最大見込まれる。 ・大型化や要素技術の製品実装を通じた コスト低減 による国際競争力強化 ・海外市場への参入障壁を低下させるべく、欧州等と同じ環境下における 水電解装置の性能評価を国内で実施 (欧州は日本よりも装置内の水素を高圧化) ・一時的な需要拡大(上げデマンドレスポンス)を適切に評価し、余剰再エネなどの 安価な電力活用促進

水素産業の成長戦略「工程表」

(令和2年12月25日第6回成長戦略会議配布資料より)



水素・燃料電池戦略協議会の概要と中間整理

- ❑ 趣旨：水素利活用の意義や水素の「製造」、「輸送・貯蔵」、「利用」に関する議論等することを目的として、有識者や関係省庁（国交省、文科省、環境省等）、民間企業をメンバーとし、2015年12月に設立。
- ❑ 直近の動き：菅総理のカーボンニュートラル宣言を受けて、2020年11月に、産業部門（鉄鋼、化学等）や乗用車以外のモビリティ（トラック、船舶等）など幅広い業種を巻き込みメンバーを拡充して議論を実施。
- ❑ 有識者：柏木孝夫（座長、東京工業大学 特命教授）、崎田裕子（ジャーナリスト・環境カウンセラー）、竹内純子（NPO法人 国際環境研究所 理事・主席研究員）
- ❑ 民間企業メンバー：日産、千代田化工、**JERA**、**日本製鉄**、**三井住友銀行**、**日本郵船**、**丸紅**、**東芝エネルギーシステムズ**、**神戸製鋼**、**旭化成**、**三菱ケミカル**、**東レ**、**トヨタ**、**日野**、**川崎重工**、**東京ガス**、**大阪ガス**、**本田技研**、**ENEOS**、**パナソニック**、**日立造船**、**三菱パワー**、**岩谷産業** ※**太字**：新規メンバー

＜中間整理のポイント＞

1. 水素の位置づけ：水素は、電力部門と非電力部門の両方を脱炭素化することを可能とするだけでなく、余剰再エネ等を水素に変換し、貯蔵・利用ことや、化石燃料をクリーンな形で有効利用することを可能とするエネルギーキャリア。
2. 供給：今後、エネルギー安全保障も考慮しつつ、海外産の安価な水素を活用と国内水素製造基盤の両立を目指す。また海外市場の拡大も期待されることから、水素運搬船を含む輸送設備、水素製造設備である水電解装置に対する技術開発等を支援し、競争力を強化する。
3. 利用：水素は、輸送分野はトラック等の商用車や船舶等への拡大、発電分野は混焼、専焼による大規模需要創出、産業分野は熱源、原料としての利用など、多様な用途が想定。各分野での水素の社会実装促進や日本企業の競争力強化を技術開発や制度整備を通じて支援。
4. GI基金も用いて、個別の取組を統合した社会実装モデルの構築を支援することを目指す。

エネルギー安全保障も考慮した、脱炭素時代の水素供給の道筋

- 水素は多様なエネルギー源から製造可能であるが、日本は国内の資源ポテンシャルが限定的であるため、大規模な社会実装に向けては、**価格競争力のある海外水素の活用が必要**。
- しかしながら、エネルギー安全保障向上の観点から、その調達源の多様化、調達先の多角化を推進するだけでなく、余剰再エネ等を活用した**国内水素製造基盤を有することも重要**。
- 更に、水素の大規模輸入が実現するまでは、**副生水素など、既存の水素供給源を最大限活用**することが必要不可欠。

	短期（～2025年頃）	中期（～2030年頃）	長期（～2050年）
実績・目標量	約200万トン	最大300万トン	2000万トン程度
既存供給源 （副生水素等）	主要な水素供給源として 最大限活用	供給源のグリーン化（CCUSの活用等）	
輸入水素	実証・準商用化等を通じた 知見蓄積、コスト低減	商用ベースの大規模国際水 素サプライチェーンの構築	調達源多様化・調達先多 角化を通じた規模拡大
新たな国内供給源 （電解水素等）	実証を通じた知見蓄積、コ スト低減	余剰再エネ等を活用した 水電解の立ち上がり	電解水素の規模拡大・ 新たな製造技術の台頭

カーボンニュートラルまでの水素需要先拡大の道筋

- 現在、需要はFCVやFCバスなどの輸送部門と、原油の脱硫用途などの産業部門などに水素の直接利用は限定され、いずれもグレー水素が活用されている。
- 今後は、**FCトラックなどの商用車、水素船**などが順次市場投入され、2030年頃に国際水素サプライチェーンが商用化されるタイミングで、**発電部門（タービン混焼、専焼）**などで地域的に実装されることを見込む。
- また、技術的課題の解決に加え、サプライチェーンの大型化等を通じた水素供給コスト削減、インフラ整備に伴い、鉄鋼や化学、航空等の**脱炭素化が困難な分野(Hard-to-Abate Sector)**でも水素利用が拡大。
- なお、各地に分散する家庭・業務部門も含む熱需要については、**既存ガス管を含む供給インフラの脱炭素化**や、**水電解装置と再エネ導入の更なる進展、純水素燃料電池の導入**等により段階的に脱炭素化。

	短期（～2025年頃）	中期（～2030年頃）	長期（～2050年）
部門・目標量	約200万トン	最大300万トン	2000万トン程度
輸送部門	FCV、FCバスに加え、FCトラック等への拡大	船舶（FC船等）等の市場投入	航空機等への水素等（合成燃料等）の利用
発電部門	定置用燃料電池、小型タービンを中心に地域的に展開	大規模水素発電タービンの商用化（SCと一体）	電力の脱炭素化を支える調整力等として機能
産業部門 （工業用原料）	原油の脱硫工程で利用する水素のグリーン化、製鉄、化学分野の製造プロセス実証等の実施		水素還元製鉄、グリーンケミカル（MTO等）等
産業・業務・家庭部門 の熱需要	水電解装置の導入や、既存ガス管を含む供給インフラの脱炭素化等に伴い化石燃料を代替等する		インフラ整備や水素コスト低減を通じた供給拡大

社会実装モデル創出の意義

- 長期の水素需要に不確実性が伴うなどし、大規模なインフラ投資に踏み出しにくい中でも水素供給を拡大するには、**既存インフラを最大限活用しつつ供給拡大が可能で、極力、需要と供給が隣接する地域等をモデル**とし、水素利用をまず促していくことが望ましい。
- 蓄えた知見を生かしながら、モデルを横展開し、更に各地でのインフラ整備も戦略的に進めることで、**水素の社会実装が効率的に促進**することが期待されるため、こうしたモデルの構築を国も積極的に支援していく。

【水素の社会実装モデルのコンセプトとモデル例】



モデル例①:臨海部等での大規模活用

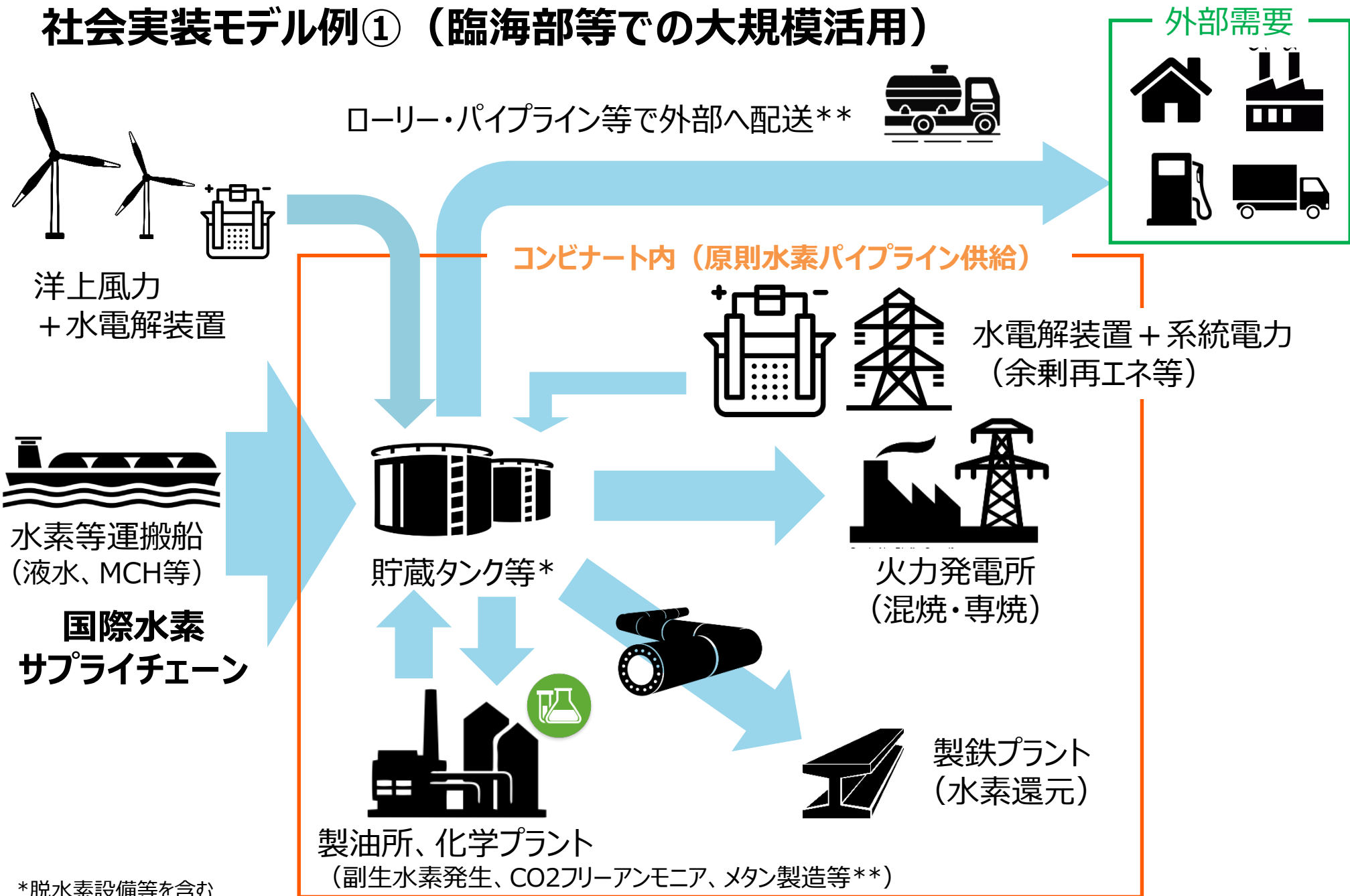
- 輸入水素等の大規模な水素供給を発電や産業部門を含むコンビナートで集中的に利活用

モデル例②:水電解装置等を用いた自家消費、周辺利活用

- 余剰再生エネなどを用い、水電解装置で製造した水素等を、工場の熱需要等用に自家消費もしくは近隣で利活用

需要と供給を最小限の追加投資で結びつけ、コスト低減、知見蓄積を効率良く推進

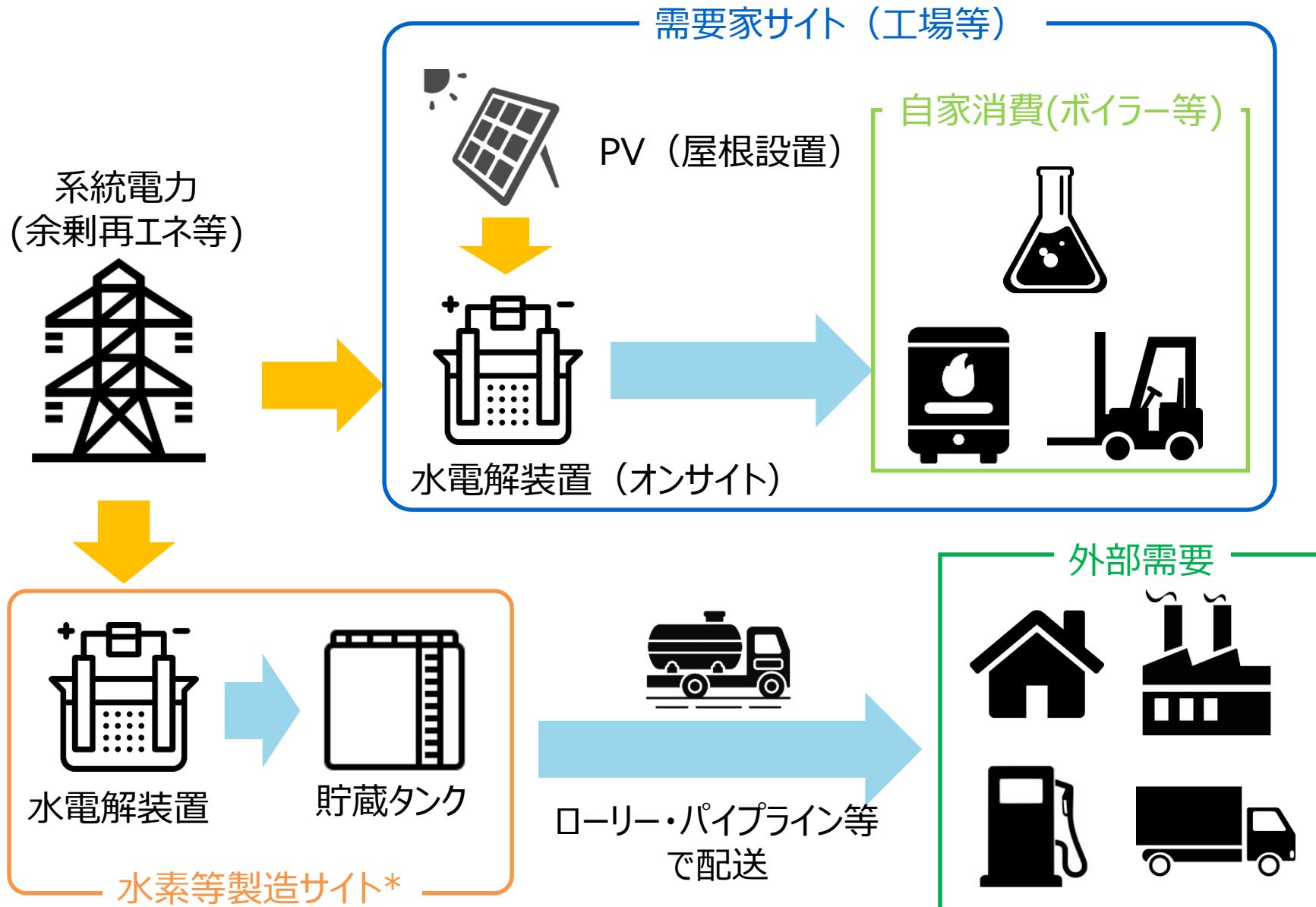
社会実装モデル例①（臨海部等での大規模活用）



*脱水素設備等を含む

**製造されたCO2フリーアンモニア、メタン等が配送される場合有

社会実装モデル例②（水電解装置等を用いた自家消費、周辺利活用）



*アンモニア、メタン等の基礎化学品が水素から製造・配送される場合有

目次

□カーボンニュートラル時代の水素の位置づけと社会実装モデルの創出の意義

□プロジェクト①：大規模水素サプライチェーンの構築

□プロジェクト②：再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造

国際水素サプライチェーン構築の現状①：液化水素

- 液化水素による国際輸送実証を実施中（実施主体：技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構“HySTRA”）。
- 2019年12月11日に液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」の命名・進水式を開催。
- 褐炭ガス化炉(豪州)、液化積荷基地（豪州）、荷役基地（神戸）が竣工し、実証運転を開始している。「すいそ ふろんていあ」は、本年秋頃にも、世界初の液化水素の大規模海上輸送による褐炭水素日本に輸送する予定。

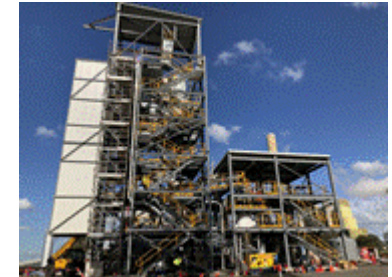
液化水素運搬船 命名・進水式の様子



2019年12月11日 川崎重工 神戸工場
・一般参加者を含め約4000人規模の式典

その他の施設の進捗

① 褐炭ガス化
施設の完成
2020.10



② 豪州液化基地
の完成
2020.6



③ 神戸荷役基地
の完成
2020.6

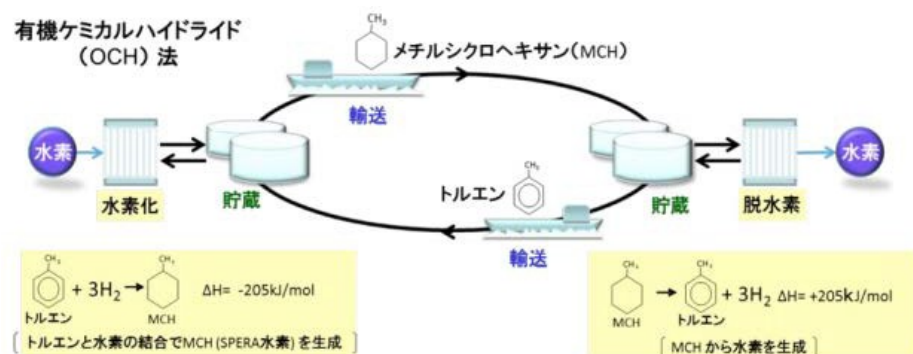


国際水素サプライチェーン構築の現状②：メチルシクロヘキサン（MCH）

- MCHによる国際実証事業を昨年度まで実施（実施主体：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合“AHEAD”）。
- 2019年11月にブルネイの水素化プラントが開所。2020年4月、川崎の脱水素プラントが竣工し、同年5月に**世界初となる国際サプライチェーンの実証運転が開始**。
- また、シンガポールやマレーシアなどにおいてMCHを用いた水素の輸送・貯蔵、利活用の検討が行われている。



水素化プラントにおいて水素とトルエンを化学反応によりMCHに変換。MCHは海上輸送により日本に送られ、川崎の脱水素プラントにおいて、再び水素とトルエンに変換される。



（シンガポール）2020年3月、三菱商事、千代田化工建設、シンガポールの民間5社（City Gas社、Jurong Port社、PSA Corporation Limited社、Sembcorp Industries社、Singapore LNG Corporation社）との間で、シンガポール共和国の持続可能な水素経済の実現に向けた相互協力について覚書を締結。



（マレーシア）2020年10月ENEOS、SEDC Energy Sdn Bhd、住友商事との間で、再生可能エネルギーを活用したCO₂フリー水素サプライチェーン構築に向けた協業検討に関する覚書を締結。

水素キャリアの選定と今後の支援方針

- 水素キャリアの選定は、水素社会の在り方を決める重要な論点であるが、それぞれ異なる課題を抱えており、**長期的にどれが総じて優位となるか現時点で見極めることは不可能**。
- 加えて、化学的な特性や既存インフラ等の活用可否により、用途等の棲み分けも長期的に行われると考えられるため、**現時点でキャリアを絞り込まず、競争を促しつつも各々の技術的課題克服等を支援**。
- また、キャリアの評価に当たっては、水素化、脱水素化のコストに加えて、輸送（国際輸送）、配送（国内配送）のコストなども加味し、**総合的に評価**することが重要。

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、毒性	-253℃、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性無
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可（石炭火力混焼等）	可（都市ガス代替）
高純度化のための追加設備	不要		必要（脱水素時）	
特性変化等のエネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在：-32%
既存インフラ活用、活用可否	国際輸送は不可（要新設）。国内配送は可	可（ケミカルタンカー等）	可（ケミカルタンカー等）	可（LNGタンカー、都市ガス管等）
技術的課題等	大型海上輸送技術（大型液化器、運搬船等）の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO2供給が不可欠

(参考) 国際輸送と国内配送の一体的なインフラ整備の必要性 (一例)

積荷地

揚荷地

需要地

Transportation

Distribution

海外水素（石炭、天然ガス、再エネから製造）

水素需要（輸送、産業、発電等）

液化機で
液化水素に

液化水素運搬船

液化水素
受入基地

液化水素をローリーで運搬

トルエン+水素
→ MCH

既存タンカー

MCH
受入基地

既存タンカー

MCH →
トルエン+水素

トルエン

MCH →
トルエン+水素

圧縮水素をローリーで運搬

窒素+水素
→ アンモニア

既存タンカー

アンモニア
受入基地

既存タンカーで運搬+直接利用

アンモニア
→ 窒素+水素

既存タンカー

アンモニア
→ 窒素+水素

圧縮水素をローリーで運搬

CO2 + 水素
→ メタン

既存タンカー

CO2フリー
メタン受入基地

既存パイプライン等で運搬

水電解装置等
で水素製造

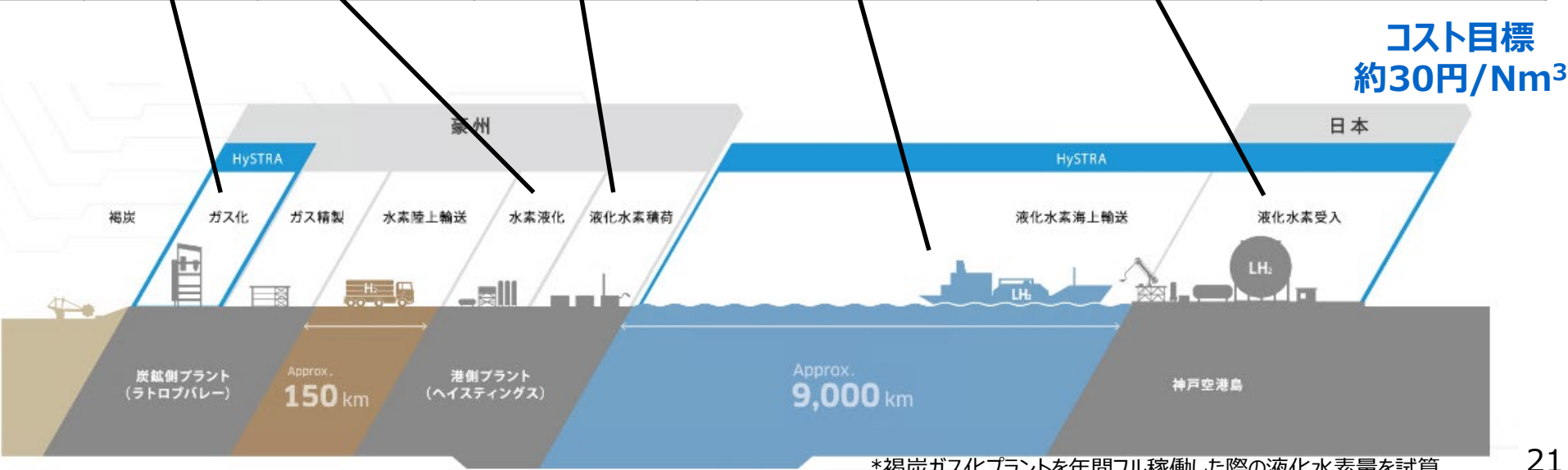
青：液化水素、橙：MCH、緑：アンモニア、紫：メタネーション、赤枠：物性・状態変化

大型化の意義とその際の課題

- 輸入水素のコストを下げるためには、関連機器の大型化を通じ、規模の経済を最大限利用することが必要不可欠であるが、大型化のためには技術的な課題の克服に加えて、その規模に応じた需要を一体的に創出する必要。

液化水素サプライチェーンの大型化の例

	水素製造	水素液化	積荷基地	水素運搬船	揚荷基地	年間供給量
機器	製造装置	液化機	タンク	運搬船	タンク	—
日本の既存技術	0.1t/d	5t/d	2500m3	2500m3/隻 (1250m3×2基)	2500m3	約36t/年*
商用化スケール	770t/d	1000t/d (50t/d×20基)	20万m3 (5万m3×4基)	32万m3 ((4万m3×4基)×2隻)	20万m3 (5万m3×4基)	約22.5 万t/年



*褐炭ガス化プラントを年間フル稼働した際の液化水素量を試算

水素発電の現状

- ①大規模火力発電（500MW級）②地域における熱電供給のコジェネ発電（1MW級）のそれぞれの分野で、燃焼器の技術開発、実機での実証（小型のみ）を実施。
- 既に日本企業が米国やオランダなどで、大型水素発電の具体的なプロジェクトを受注。

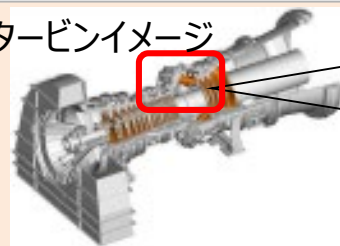
①大規模火力発電（500MW級）のR&Dの流れ

既存大規模火力発電所における水素混焼のための技術開発を実施。**2018年に水素混焼率30%を達成。**

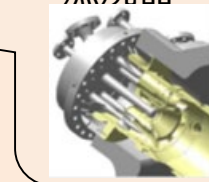


2020年より、水素**専焼**発電の技術開発を実施中。

ガスタービンイメージ



燃焼器



②地域における熱電供給のコジェネ発電(1MW級)のR&Dの流れ

水素を天然ガスに0～100%まで自在に混焼可能な技術を開発。**2018年には水素専焼による市街地への熱電供給を世界で初めて達成。**



昨年度まで、高効率な水素**専焼**発電の技術開発を実施。



神戸市のポートアイランドに整備された水素発電施設（水素CGS）

③世界の水素発電の主な動き



三菱パワーがオランダのマグナム発電所（天然ガス焚き）を水素焚きに転換するプロジェクトに参画(出力44万kW)。**2025年頃に世界初となる大型水素専焼発電の商用運転**を計画。



三菱パワーが米国ユタ州において計画される**大型水素発電プロジェクト**で、GTを受注（出力:84万kW）。**2025年に水素混焼率30%で運転を開始し、2045年に100%専焼運転**を目指す。

水素発電の規模感（参考値）

- 2017年12月に再エネ・水素等関係閣僚会議で決定した水素基本戦略では、必要な調達量として、2030年には30万トン/年、将来的には500～1000万トン/年という規模の水素調達量が、コスト低減のためには必要とされた。
- この数字をもとに、昨年末のグリーン成長戦略等では、水素・アンモニアが2050年の発電電力量の約1割を賄う可能性があることが参考値として示された。

水素基本戦略における記載ぶり（発電分野）

水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに 2030 年頃の商用化を実現し、その段階で 17 円/kWh のコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間 30 万 t 程度を目安とする**（発電容量で 1 GW 程度に相当）。更に、将来的には環境価値も含め、既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間 500 万～1,000 万 t 程度を目安とする**（発電容量で 15～30GW 程度に相当）。

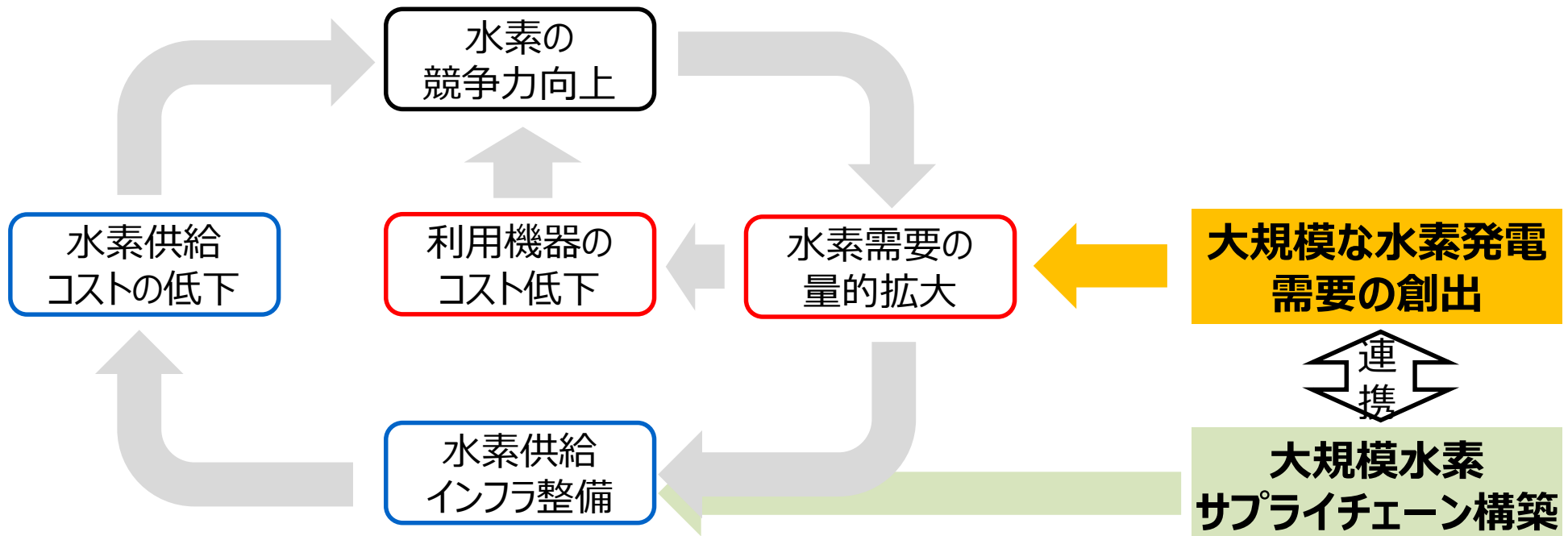
水素発電の発電電力量試算(全量水素と仮定)

- A 水素調達量：30万トン（2030年）、500～1,000万トン（将来的）
- B 発熱量（HHV）：142MJ/kg
- C 発電効率：57%
（発電コスト検証WGの2030年ガス火力の値を使用）
- D 総発電量 = $A \times B \times C$ = **67億kWh(2030年)**
= **1,124億kWh～2,248億kWh(将来的)**

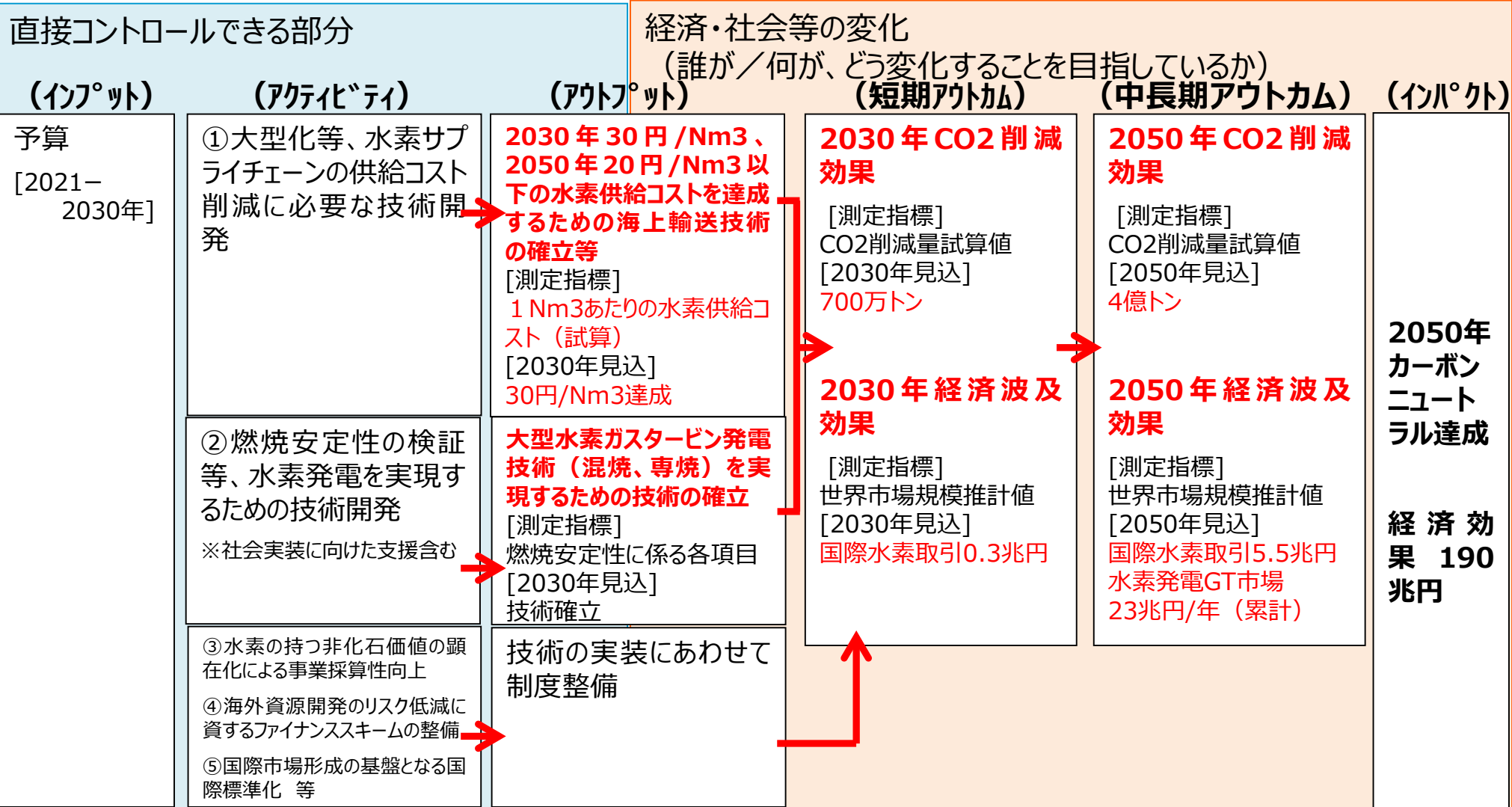
備考：戦略中では、発電分野での需要創出を通じた供給力拡大に伴い、水素供給コストは2030年に**30円/Nm³**（発電コスト17円/kWh）、将来的には**20円/Nm³**（発電コスト12円/kWh）程度の実現を目指している。

大規模発電需要を契機とした水素の社会実装に向けた好循環の創出

- 他エネルギー源に対する水素の競争力を強化し、水素の社会実装に向けた好循環を作り出すべく、民間の取組を後押しする各種政策を一体的に講ずることが重要。
- 現在の水素需要は、一部を除き、FCVや燃料電池など小規模なものに留まるが、2030年までに発電で大規模需要を創出することが出来れば、商用水素サプライチェーンの構築を促進し、好循環創出を通じた自立的な水素普及を促すことが可能。
- また、2050年時点で水素発電が電力システムの中で主要な供給力、調整力の一つとしての役割を果たすためには、2030年前後に水素発電の商用化を果たすことが重要。



国際水素サプライチェーン大型化のための実証事業



アウトカム (世界市場規模推計) 試算の考え方

- 水素国際取引量：グリーン成長戦略における導入目標2030年300万tのうち、引き続き国内の供給源から現在と同程度（200万t）供給され、差分の100万トンが海外から供給されたと仮定した。日本以外の国が海上輸送を伴う水素取引は考慮していない。2050年についてはHydrogen Council, "Hydrogen scaling up"(2017.11)の2050年の水素需要量（5.5億t/年）のうち、10%が国際取引されると仮定(5,500万t)。
- 水素ガスタービン市場：IEA Energy Technology Perspectives 2020 Sustainable Development Scenario等を基に2050年時点の最大導入容量（約2.9億kW）を推計し、タービン価格を約8万円/kWと仮定。

本事業の目標等と関連する研究開発内容について

- 本事業では国際水素サプライチェーンの大型化等による水素供給コストの低減と、水素ガスタービン発電技術の確立を通じた、液化水素及びMCHを用いた海上輸送設備や水素発電分野の競争力を強化すること等を目的として以下の目標、研究開発内容を設定。
- 協調領域である液化水素に係る部材評価基盤の確立、商用化までに10年以上かかる革新的な液化技術、MCH製造技術の開発は委託事業で実施することを想定。

研究開発目標とその考え方等

- 目標①：2030年30円、2050年20円/Nm³以下の水素供給コスト実現のための海上輸送技術確立等
→ 現在の約1/6*までコストを引き下げる必要があり、大型化にも新たな技術開発が必要でハードルが高い。
- 目標②：大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼、専焼）を実現するための技術の確立
→ 混焼、専焼はカーボンニュートラル実現までの長い期間で併存しうるため、両方とも開発。

*液化水素の場合

目標①

内容①:水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証(補助)

内容②:液化水素関連材料評価基盤の整備 (委託)

内容③:革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発 (委託)

目標②

内容①:水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証（補助）

水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証（液化水素）

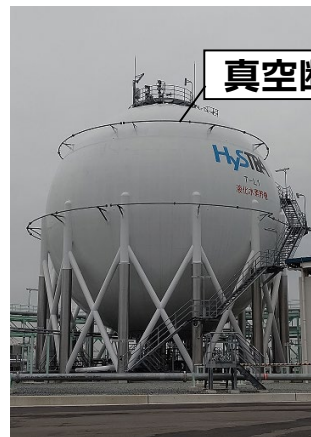
- 液化水素の場合、30円/Nm³の供給コストを実現するためには、現行実証スケールよりも最大32倍、各種設備を大型化する必要がある。しかしながら、極低温や脆化といった過酷な条件に対応できる限られた材料しか活用できないため、技術的なハードルは高い。
- 例えば、-253℃の液化水素を適切に貯蔵等するための各種タンクは、現行実証における断熱構造（真空断熱）や形状（球状）では対応できないため、断熱材の活用や平底円筒型への再設計を行う必要があります、更なる技術開発及び実証を通じた検証を実施。

大型化の必要がある設備と技術的な課題（例：液化水素タンク）

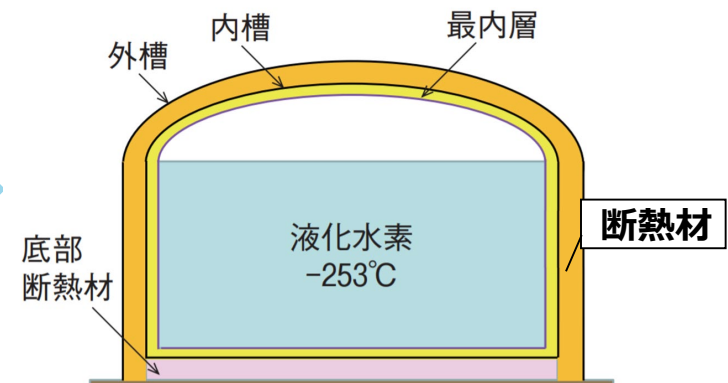
	現行サイズ		商用スケール
水素運搬船搭載タンク	1,250m ³	32倍	4万m ³
陸上タンク	2,500m ³	20倍	5万m ³

技術開発要素

- ① 真空断熱＋断熱材の最適組合せの追求
- ② 自重に耐えられる新構造（球型 → 平底円筒型）



大型化

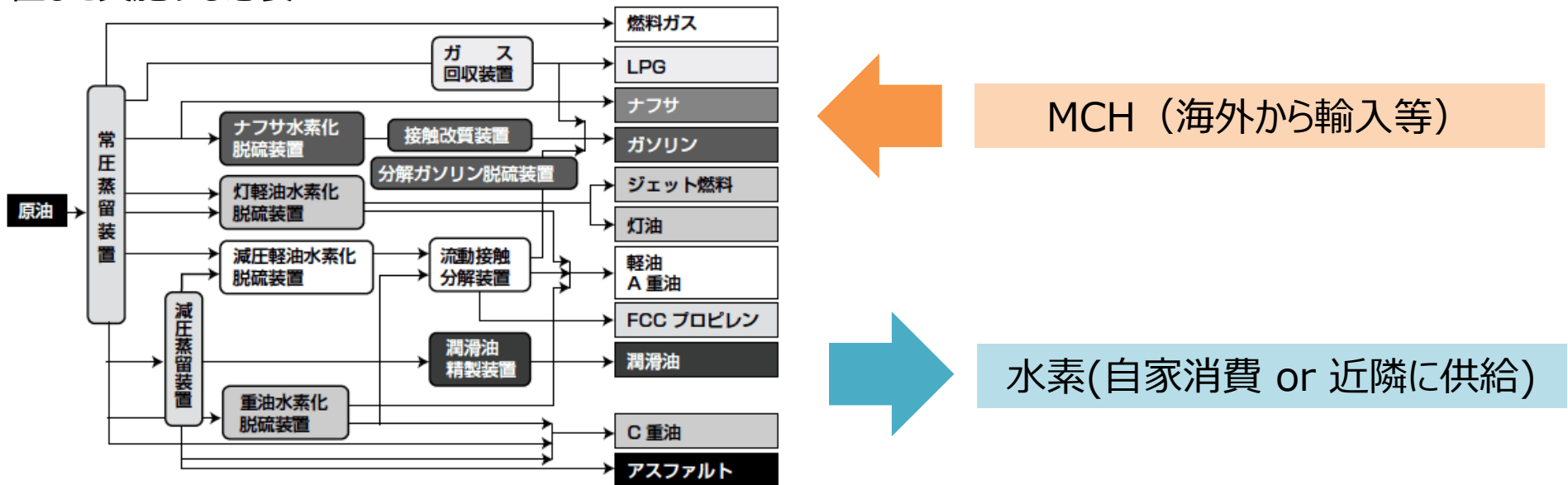


水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証（MCH）

- MCHの場合、製油所の既存設備を活用することで、クリーン水素から製造した大量のMCHの海外からの受入、脱水素（MCHを水素とトルエンに分解）、原油の脱硫プロセスへの水素利用、及び近隣での利活用のための供給等を一気に通貫で出来る可能性がある。
- そのため、製油所はカーボンニュートラル時代において、水素供給拠点に生まれ変わる可能性を秘めているが、輸送部門の電動化等による需要の減退の状況を踏まえながら、現在の原油の精製プロセスとの最適な併存方法を模索するための技術開発を実施。

【原油精製プロセス】

- 原油精製に最適化されたプロセスをMCH受入やガソリン需要の変動に対応するための設備の改造や、運転見直しを実施する必要



(出典) TOCOM

既存の大規模設備の最大限の活用を通じた大規模化、コスト削減の実現

液化水素関連材料評価基盤の整備

- 極低温や脆化といった過酷な条件に対応できる材料は限定的であるが、2030年及び2050年のコスト目標を達成するための材料開発基盤を国内に留め置くためには、その評価手法を国内で確立することは重要
- そのため、先行して国内に評価基盤を整備することで、液化水素に関連する機器全般に対する参入障壁を下げることによる新規参入の活性化や、技術開発の方向性明確化を通じた、継続した開発力の強化に繋げる。

必要とされる評価基盤

液化水素の製造、輸送・貯蔵、利用段階における多様なニーズに対応できる適切な材料を選択する観点から、利用出来る材料の特性を統一的に評価出来る基盤

材料の種類

金属材料、樹脂等非金属材料、複合材料 等

統一的に測定することを目指す評価特性（例）

機械特性（強度、破壊靱性、疲労等）
熱特性（線膨張、熱伝導、比熱等）

各種製品・機器への実装

新材料が搭載されうる製品機器

製品・機器

海上輸送用大規模液化水素貯蔵タンク

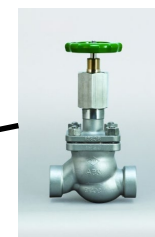
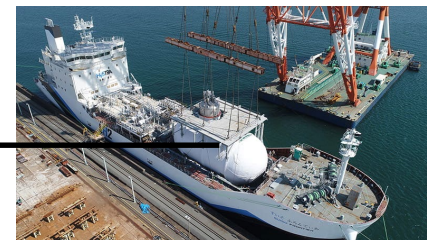
陸上用大規模液化水素貯蔵タンク

ローディングアーム

液化水素昇圧ポンプ

低温水素ガス圧縮機

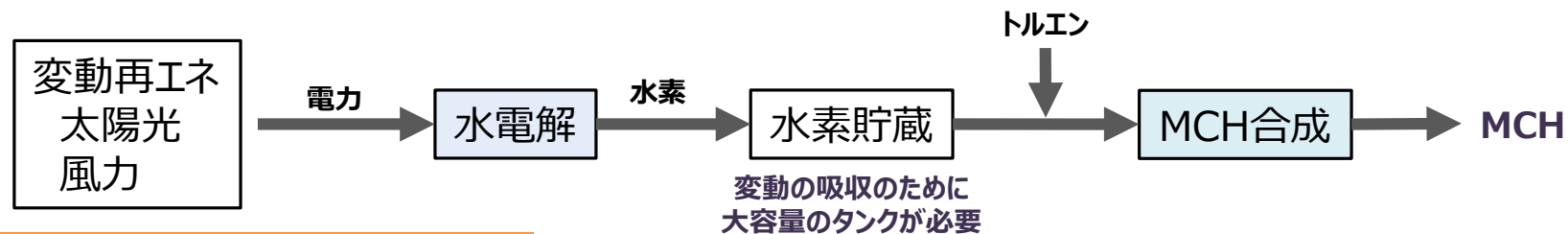
バルブ



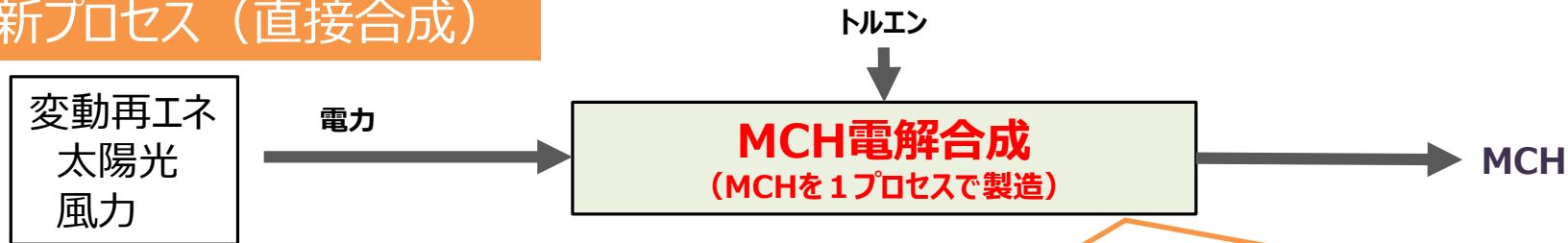
革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発

- 2050年のコスト目標を実現するためには、各種設備の大型化に加えて、**液化プロセスやMCH製造プロセス等**における更なる高効率化等の技術革新が必要不可欠である。
- 例えば、電気分解により水素を経ずに直接MCHを合成する技術は、トルエンと水素を合成する設備を減らすことで、設備コストを大幅に下げることが見込まれる。
- こうした合成技術で製造されるMCHは現在ごく少量に留まっているが、大規模製造を行うためには、電解槽の大型化や触媒の高効率化等の技術を長期的な視野で開発する。

従来プロセス



新プロセス（直接合成）



技術開発
要素

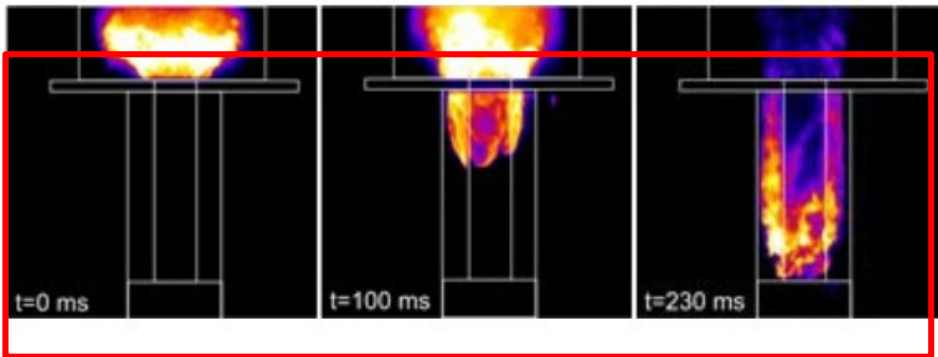
- ① 大型化に必要な電極の面積拡大と高電流密度を両立する新たな水及びトルエンの流路等の構造開発
- ② 陰極触媒の開発による更なる高効率化

水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証

- 水素は天然ガスと比して燃えやすい等の特性を有しているため、ガスタービンに供給すると、逆火や燃焼振動、NOx値の上昇を引き起こすが、こうした課題に対する対策を行いつつ、天然ガス焚きと同等の発電効率を実現する必要がある。
- そのため、既存の燃焼器開発事業と連携しつつ、混焼及び専焼用の燃焼器等をガス火力発電所に実装し、実機実証を通じて燃焼安定性を検証するとともに、発電プラントの負荷追従運転を行う上での水素供給についての技術開発を行う。

逆火の仕組み

ガス火炎を使用中に火炎が火口からガスの供給側へ戻る現象。
燃焼器等の機器を破損させる可能性がある。



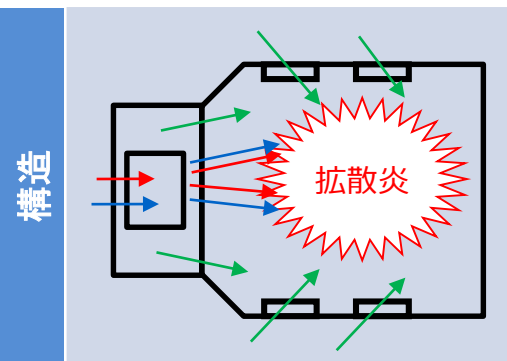
出典：University of Michigan at the 2014 University Turbine Systems Research Workshop

赤枠内：燃焼器内部

専焼用燃焼器の方式

開発中の燃焼器は空気と燃料を予め適切に混ぜる等の措置を講ずることで、逆火対策をしつつ、燃焼温度を高めることで発電効率を既存の天然ガス並に高めることが可能。

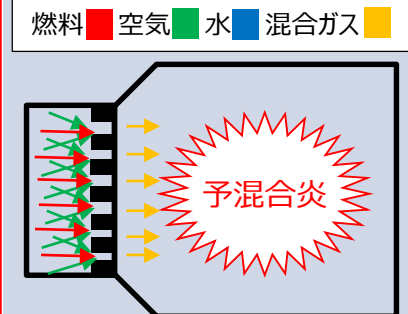
拡散方式（既存技術）



効果

水噴射を行うため、温度低下（＝効率低下）

マルチクラスタ方式



効率低下なし

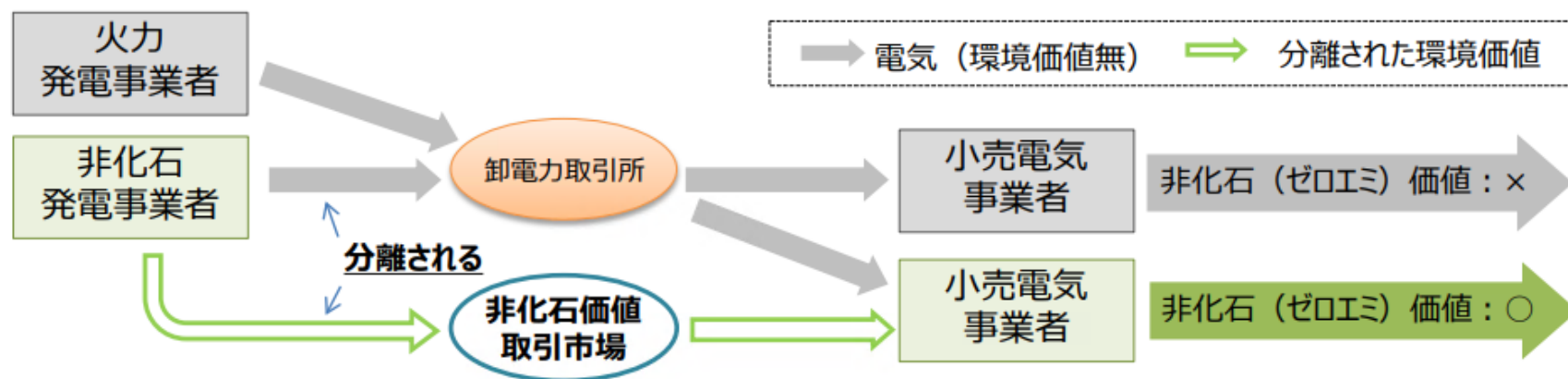
開発中

(参考) 発電分野における社会実装に向けた制度整備状況

- 水素・アンモニアの導入・拡大に当たっては、既存燃料等との価格差縮小等が重要であるが、現在はエネルギー供給構造高度化法等において、非化石エネルギー源として定義されていない。
- そのため、今後の制度整備を通じて、法制上、水素等のカーボンフリー価値が適切に評価がされるよう対応していく予定。

【制度整備の例：非化石価値取引市場】

- 概要：小売電気事業者による高度化法の目標達成を促すため、非化石電源（再エネ等）に由来する電気の非化石価値を証書化し取引するための市場。非化石価値は1.3円/kWhで市場取引(2020年第一四半期)。



【グリーン成長戦略（2020.12.25）における記載ぶり（抜粋）】

水素発電タービンについては・・・（中略）・・・。また、再エネや原子力と並んで、**カーボンフリー電源として水素を評価し、水素を活用すればインセンティブを受け取れる電力市場を整備**する。これにより、**発電分野における大規模需要の創出を通じた国内水素市場の本格的な立ち上がり**を下支えする。

水素の国際市場形成の基盤となる国際標準化の動き（水素の定義）

- CO2フリーや低炭素といった定義付けを国際的に適切に行うことは、水素に包含される環境価値を共通の指標で適切に評価することを可能とし、流動性・透明性を高めることで国際水素市場の形成に寄与することから、**国際的な標準化を図ることは極めて重要**。
- こうした検討は各国、並びに多国間の枠組みで個別に実施されており、現時点では国際的なコンセンサスが得られていない状況であるが、日本の国内制度との整合性を確保するとともに、日本の将来の選択肢を狭めないような標準化を実現すべく、**関係国と連携することが重要**。

CertifHyにおける検討

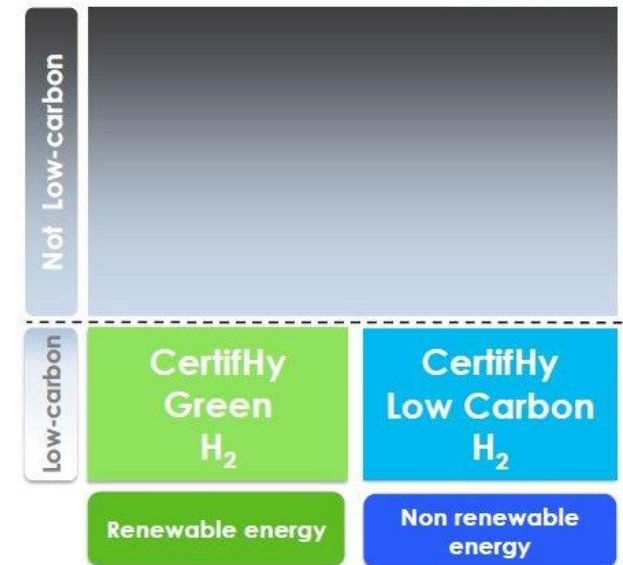
- ・ 欧州FCH-JUは再エネ由来水素・低炭素水素の定義の決定、及びその価値の証書化と取引スキーム「Guarantee of Origin(GO)」の構築に向けたCertifHyプロジェクトを2015年から実施。
- ・ 低炭素水素は天然ガス由来水素と比して60%CO₂が削減されたものと規定しているが、そこから更に再エネ由来水素をグリーン水素と定義。
- ・ 今後は、本実証での成果を域内の制度検討に活用。加えて定義の範囲をWell to TankからWell to Wheelのスコープ拡大する検討を実施予定。

多国間の枠組みにおける検討（例：IPHE*）

※IPHE(International Partnerships for hydrogen and fuel cells in the economy)

- ・ 2020年3月、グリーン水素を定義する前段階として、各種製造方法（石炭+CCUS、水電解、ガス+CCUS、バイオマス、副生水素）のCO₂の算出方法を検討する5つのTFが設置。政府関係者や専門家等により構成。
- ・ EC、米、豪、仏、独、韓等我が国を含む13か国が有志で参加。今後議論を取りまとめた報告書が発出予定。

CertifHyにおける各種水素の定義



(参考) 副生水素の排出係数についての考え方

- 工業プロセスの中で副産物として発生する水素のCO₂排出係数の算出方法については、様々な方法があり、日本国内においても現在複数の案が議論されている。

配分方法の考え方（例：ソーダ電解）

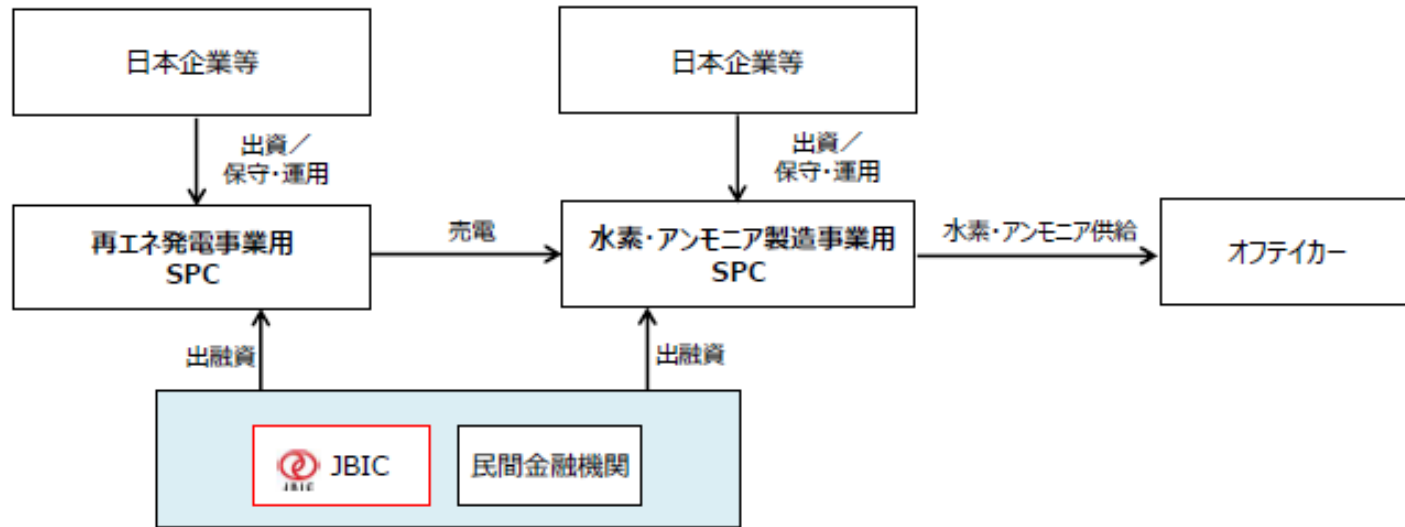
基準とする配分方法		配分係数	考え方の整理
物理的配分	重量配分	1%	塩電解プロセスにおける生成物のうち、水素の質量は極めて小さい（1%程度）ことから、水素に対して配分される負荷が極端に小さくなる。
	熱量配分	53%	- 欧州の再生可能エネルギー指令にて採用されている。 - 水素以外の共製品はエネルギーを有しているわけではないことから、水素に対して過剰な負荷配分がなされることになる。
	物質質量 (モル比)配分	25%	- 化学反応プロセスのI/Oを配分する方法としては、妥当性が高いと思われる。 - CertifHyでも検討の俎上に上がっており、国際的にも通用する可能性はある。 - LCAにおけるこれまでの配分方法の中では採用例がほぼ無い。
経済価値を基準 とした配分		11%	- CertifHyで採用されている方法。経済性にて配分されていることから、製造目的を反映した配分と考えられる。 - 製品ごとの経済価値により配分係数が変動してしまう欠点あり。

国際的な標準化を実施する場合、国としてそのメリットデメリットを多様な関係者の利害を踏まえて、調整していく必要があり、その際の民間企業等との連携が重要

公的機関における海外資源開発に際してのファイナンス供与

- これまでもJBICやNEXI、JOGMECといった公的金融機関が、民間投資を促す観点から、海外資源開発のリスクを一部負担する形で出資や融資を実施。
- 水素やアンモニアといったCN時代の海外資源開発を行うに際しても、こうした公的機関が具体的にどのような役割を担うことができるのか、という点についての検討を行うことが重要。

【JBICによるグリーン水素・アンモニア製造事業に対するファイナンス（イメージ）】



燃料アンモニア導入官民協議会中間とりまとめ（2021年2月 一部抜粋）

燃料アンモニアの市場形成にあたっては、金融機関等による役割も重要となる。そこで、**JOGMEC においては、石油ガス開発で培った地下技術や施設技術のノウハウを活用した支援策の強化を進めていく。**具体的には、**アンモニア事業実施に当たっての技術的支援や、CO2 削減措置を実施する際の事前調査（CCS 実施の際の貯留層評価など含む）を始め、支援策の強化を幅広く検討する。**

(参考) 多様化する「資源国」の定義

- 再エネ水素のコスト下落も見据え、豊富な化石燃料を持つ国とだけでなく、再エネ資源を豊富に持つ国との資源外交も今後重要になる。
- 加えて、世界的な脱炭素化を実現し、日本の製品・技術の輸出を促進するためには、需要国との協力を通じた水素の社会実装促進に向けた取組（外－外取引含む）も重要。

【国際協力プロジェクトの類型と日本勢の関与方法】

○：NEDO実証、☆：国支援FS、－：民間等の取組

①従来資源国との協力

- 化石燃料由来の水素の製造・輸送の支援

○日豪褐炭プロジェクト（HySTRA）
○日ブルネイプロジェクト（AHEAD）
☆日豪アンモニアサプライチェーンFS（丸紅、JERA）
－日サウジアモニアサプライチェーンFS（IEEJ）
－ノルウェーにおける水素サプライチェーンFS（Hyperプロジェクト）

②再エネ資源国との協力

- 再エネ由来水素の製造・輸送の支援

☆UAEにおける再エネ水素FS（川重）
－マレーシアサラワク州での余剰水力発電からの水素製造FS（住商、ENEOS）
－NZにおけるグリーンアンモニアプロジェクト（三井物産）
－NZにおける地熱水素製造プロジェクト（大林組）
－米国ユタ州の再エネ水素製造・貯蔵プロジェクト（三菱パワー）

③水素需要国との協力

- 水素化のためのサプライチェーン、インフラ整備

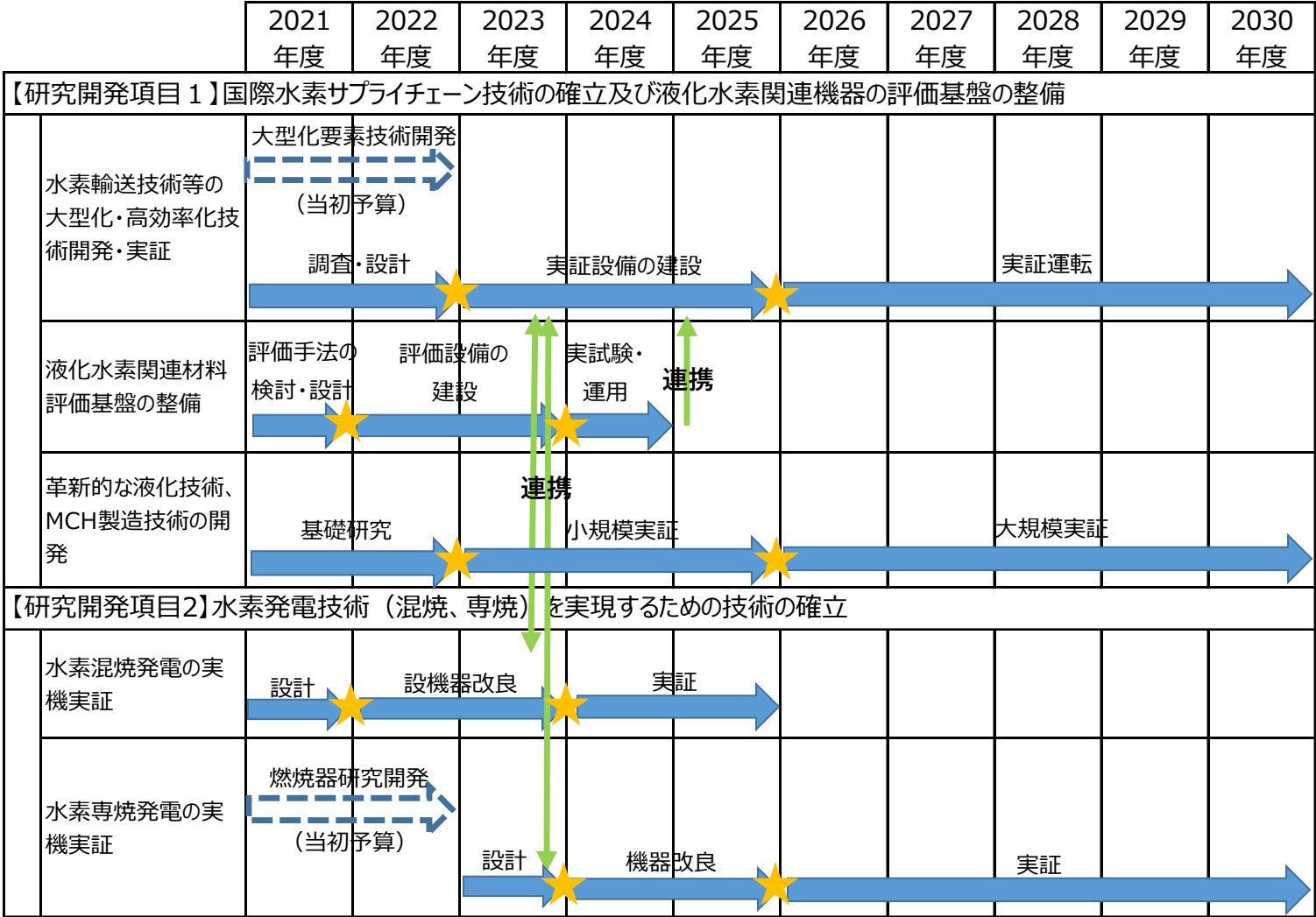
☆ロサンゼルス港における水素利用FS（豊田通商）
－シンガポールでの需要開拓FS（千代田）
－米・蘭・シンガポールにおける水素発電プロジェクト（三菱パワー）
－カリフォルニア水素ST事業への出資（JBIC、三井物産）

水素の外－外取引の可能性

実施スケジュール（一例）

- 具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。また、ステージゲートを設定し、事業進捗を見て、継続可否を判断。

★：ステージゲート



目次

□カーボンニュートラル時代の水素の位置づけと社会実装モデルの創出の意義

□プロジェクト①：大規模水素サプライチェーンの構築

□プロジェクト②：再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造

水電解装置に関する国内外の動向

- 我が国は世界最大級の水電解装置を福島に有するなど、**世界最先端の研究開発**を実施。
- しかしながら、欧州などは高い導入目標を掲げるなど、再エネと両輪で水電解装置の早期導入に前向きな姿勢。今後の再エネコストの下落に伴い、グリーン水素のコスト競争力が向上すれば、**世界的に大きな市場(約4.4兆円/年)が形成される**ことが見込まれる。
- そのため、先行する**海外市場獲得**や、今後導入される**国内再エネポテンシャルを最大限活用**すべく、**水電解装置の競争力強化や国内市場形成に資する取組を強化**する必要。

福島水素研究フィールド(FH2R)における実証



外観

(出典) 東芝エネルギーシステムズ(株)



10MWの水電解装置

(出典) 旭化成(株)

各国等の導入目標(2030年時点)



40GW

※EU域内・域外の
合計では80GW



6.5GW



5GW



25GW



5GW

**IEA SDS*シナリオにおける2070年時点
での導入容量は約3,300GWの見込み**

*Sustainable Development Scenario

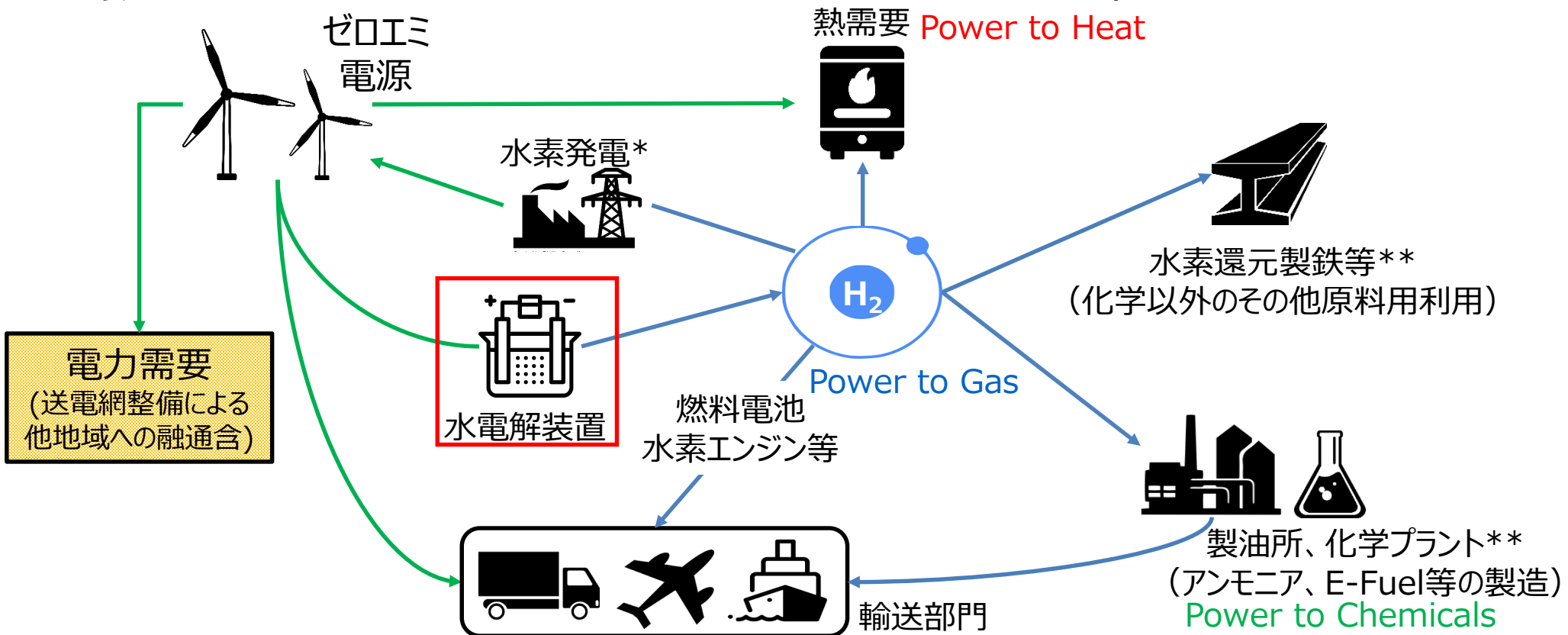
【実証内容】

- 商用化に向けた**水素製造効率の向上**
- **低コスト化**に向けた研究開発
- 電力、水素の需給に対応する**運用システムの確立**

再エネポテンシャルの最大限の利活用を可能とする水電解装置

- 水電解装置は余剰電力が発生した際、水素製造により需要を機動的に創出させ、再エネを含むゼロエミ電源の出力抑制を回避することを可能とする。
- そのため、電力需要が十分無く、送電線の整備が十分でない地域においても、再エネ等を余すことなく活用し、非電力部門も含めた脱炭素化の推進（セクターカップリング）も可能とする。

【直接電化とセクターカップリングによるゼロエミ電気の需要拡大等（イメージ）】



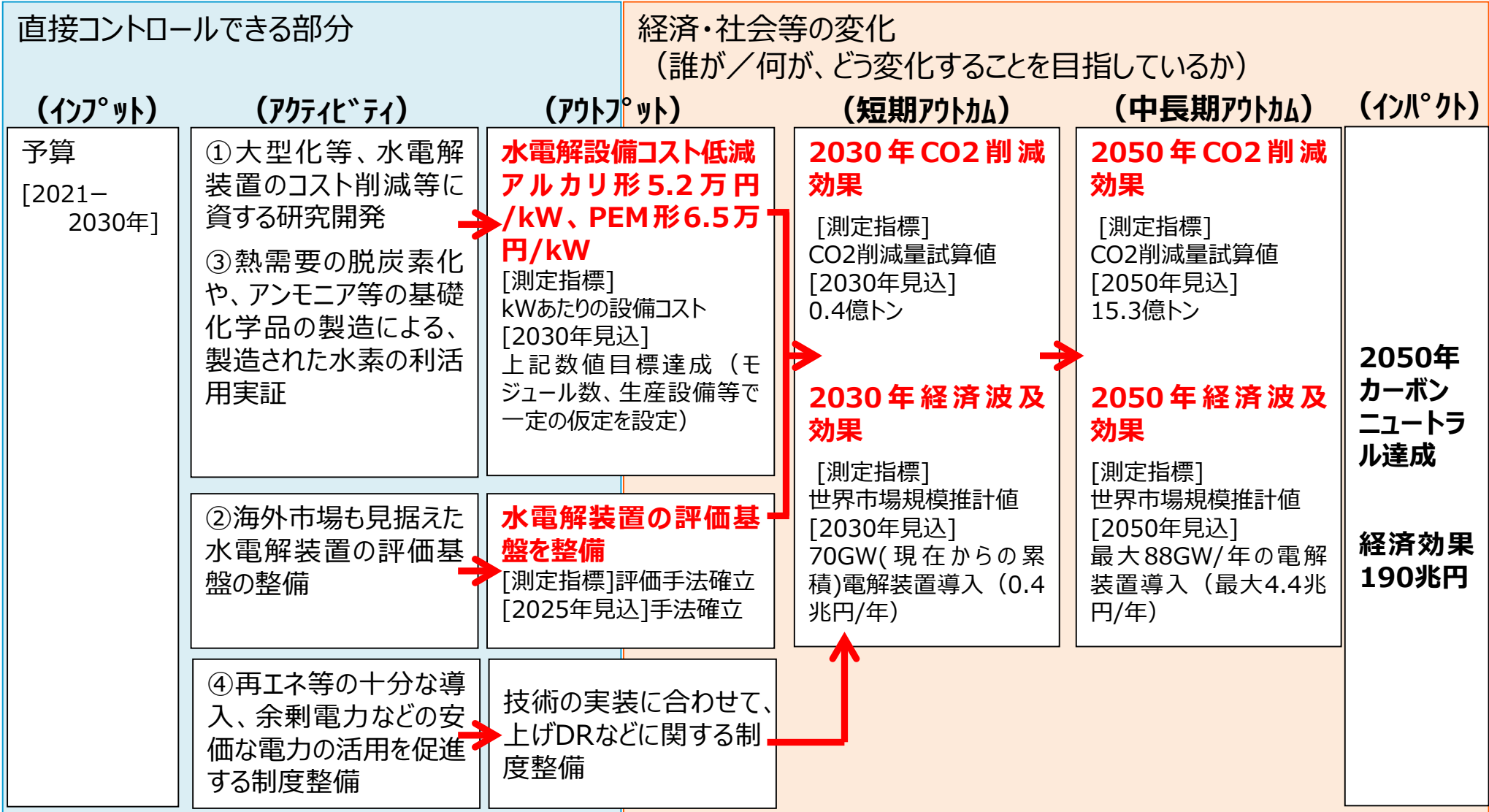
*水素等を長期で貯蔵し、季節性の調整力等として利用、**産業用途等で活用する場合は、供給量を安定的かつ十分確保する必要がある点には留意。
(出典) シーメンス等より資源エネルギー庁作成

(参考) 水電解装置の種類と主な特徴 (アルカリ型・PEM型)

- 現在実用化されているのはアルカリ型とPEM型の2種類。前者は低コストで大型化が容易という特徴があり、後者は小型化しやすく、負荷追従性が高いため、調整力として活用が期待。

	アルカリ型	PEM型
主要製造企業	旭化成、Hydrogenics (加)、Thyssenkrupp(独)、Nel(ノルウェー)	日立造船、東レ (電解膜のみ)、ITM (英)、Hydrogenics (加)、Siemens (独)、Nel(ノルウェー)
NEDO実証の規模 (参画企業)	10MW@福島 (東芝エネルギーシステムズ、東北電力、東北電力ネットワーク、岩谷産業、旭化成)	2.3MW@山梨 (山梨県企業局、東レ、東京電力ホールディングス、東光高岳)
電解効率 (LHV, %)	63-70	56-60
資本コスト (USD/kW)	500-1400	1100-1800 (使用する貴金属が高価)
製品寿命 (時間)	60000-90000	30000-90000
電流密度(A/cm ²)	-0.6	-2 (セルスタックの小型化に寄与)
圧力 (bar)	1-30	30-80 (追加圧縮コスト低減可)
負荷追従性 (調整力としての活用)	負荷変動範囲が狭い	負荷変動範囲が広い

再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造



アウトカム（国際水電解装置市場の規模推計）試算の考え方

- 2030年までの10年間に世界で70GW（主要国等の導入目標の合算値）の水電解装置が導入された場合に、平均設備単価が5.85万円/kW（アルカリ型とPEM型の2030年時点のコスト目標の平均値）として仮定して推計した累積値
- IEA Energy Technology Perspectives 2020 Faster Innovation Caseに基づき、2050年までの30年間に世界で88GW/年の水電解装置が導入された場合に、平均設備単価が5万円/kWとして推計（グリーン成長戦略と同一の仮定を設定）

本事業の目標等と関連する研究開発内容について

- 本事業では水素製造装置の更なるコスト削減を通じた、その装置及び部素材の競争力を強化するとともに、海外市場への参入障壁を下げることを目的として以下の目標、研究開発内容を設定。
- 水電解装置の性能評価基盤の確立は協調領域であるため委託事業で実施することを想定。

研究開発目標とその考え方等

- 目標①：アルカリ型の設備コスト**5.2万円/kW**、PEM型の設備コスト**6.5万円/kW**を見通せる技術の実現
 - 欧州公的機関（FCH-JU）の目標を参考に設定した、海外と遜色無い数値目標
 - 現状はアルカリ型（14.4万円/kW）、PEM型（37.9万円/kW）とも大きく上回っている状況
- 目標②：**2025年までに**欧州等と同じ環境で水電解装置の性能を評価する手法を整備
 - 国内で開発を行いつつ、先行する海外市場等への参入障壁を早期に下げる観点から年限を設定

目標①

内容①:水電解装置の大型化・モジュール化技術開発（補助）

内容②:優れた新材の装置への実装技術開発（補助）

内容③:熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証（補助）

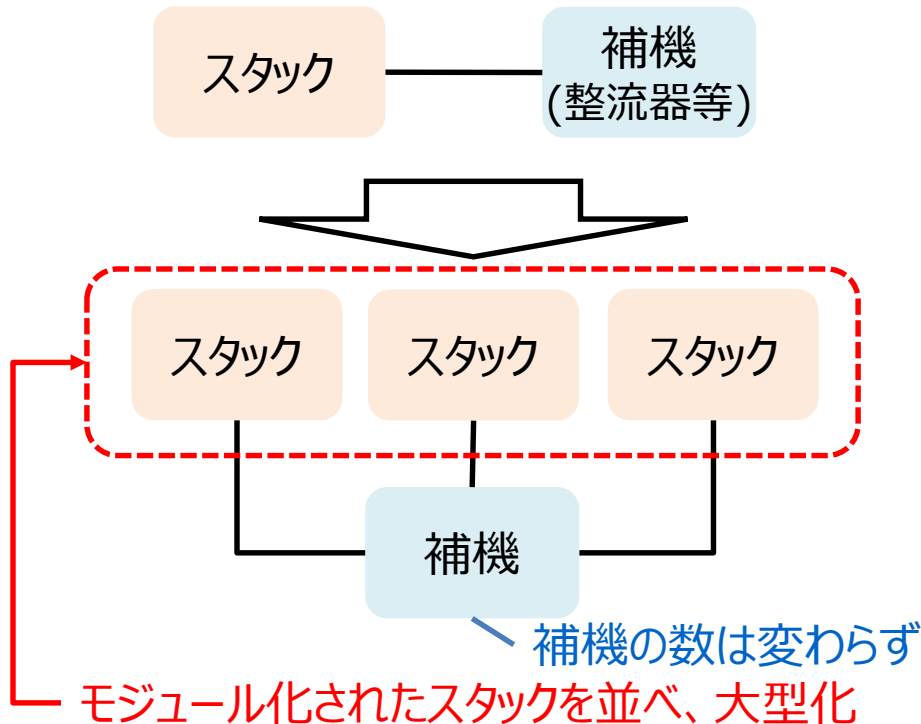
目標②

内容①:水電解装置の性能評価技術の確立（委託）

水電解装置の大型化・モジュール化技術開発

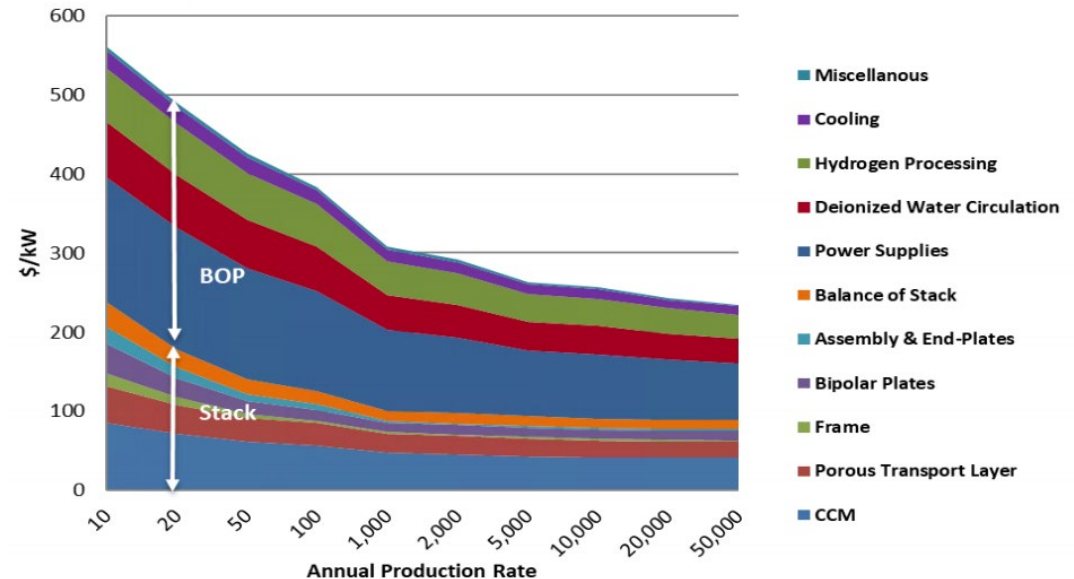
- 先行する欧州等のプレイヤーは、複数のモジュール化されたスタックを並べ大型化するとともに、システムに必要な補機（整流器等）の数を増やさないことで、①組み立て工程の簡素化や、②単位容量あたりに必要な設備量の減少を通じて、装置コストを削減。
- 更に長期的には大量生産を通じ、更なる装置コストの低減が見込まれるため、量産効果を高める観点からも、今後の需要増大も見越し、日本の水電解装置メーカーの大型化・モジュール化の取組を支援することは重要。

装置の大型化・モジュール化（イメージ）



PEM型電解装置の生産量とシステムコストの関係

※ 1 MWのシステムのコストを仮定、BOP：補機、2015年USD換算



機器毎に量産効果の程度が異なる

優れた新材の装置への実装技術開発

- 膜や触媒などの要素技術の改良は、電解効率向上等を通じたコスト削減などにも寄与。
- そのため、日本の部素材メーカー等の要素技術の基礎研究だけでなく、水電解装置への実装に向けたすり合わせも含めた技術開発から実証等までを支援していくことが重要。

要素技術開発の例（PEM型の場合）

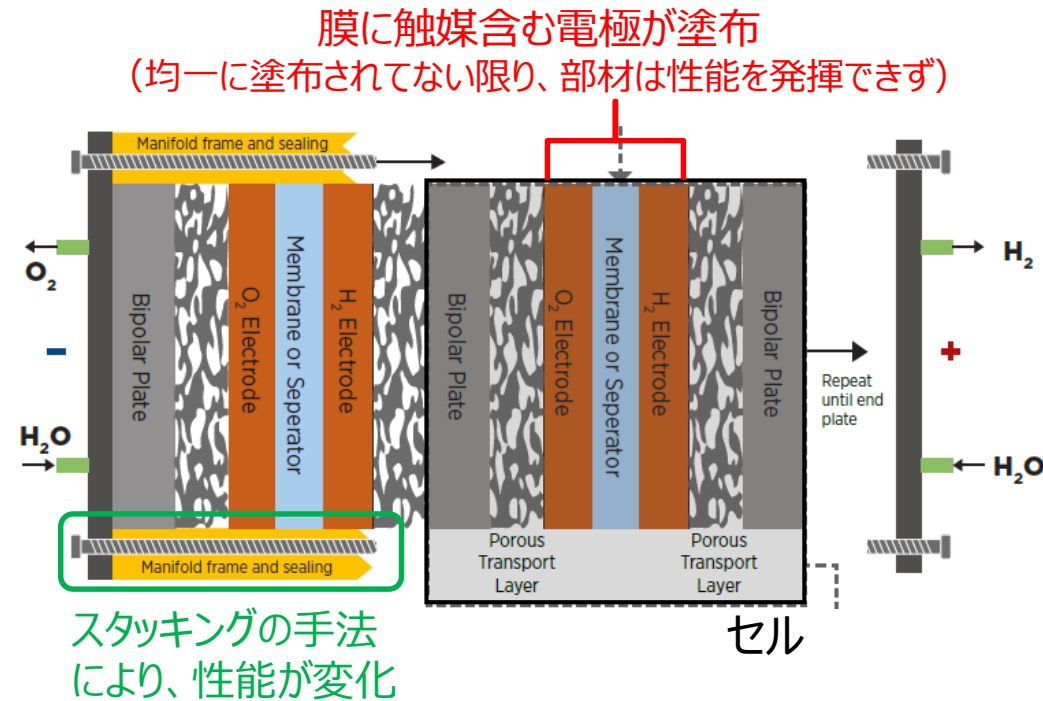
□ 電極等における触媒量の低減

→ 電極等で触媒等として使われる希少金属（Pt, Ir等）の使用量を電解効率等を維持して低減できれば、装置コスト削減に繋がる

□ 膜の薄膜化

→ 耐久性やガス透過性を維持しつつ、膜を薄くすることができれば、抵抗を少なくすることで、高電流密度を効率良く実現することができる。結果、必要な設備量の減少を通じ、装置コスト削減に繋がる

PEM型スタックの構造と擦り合わせの例

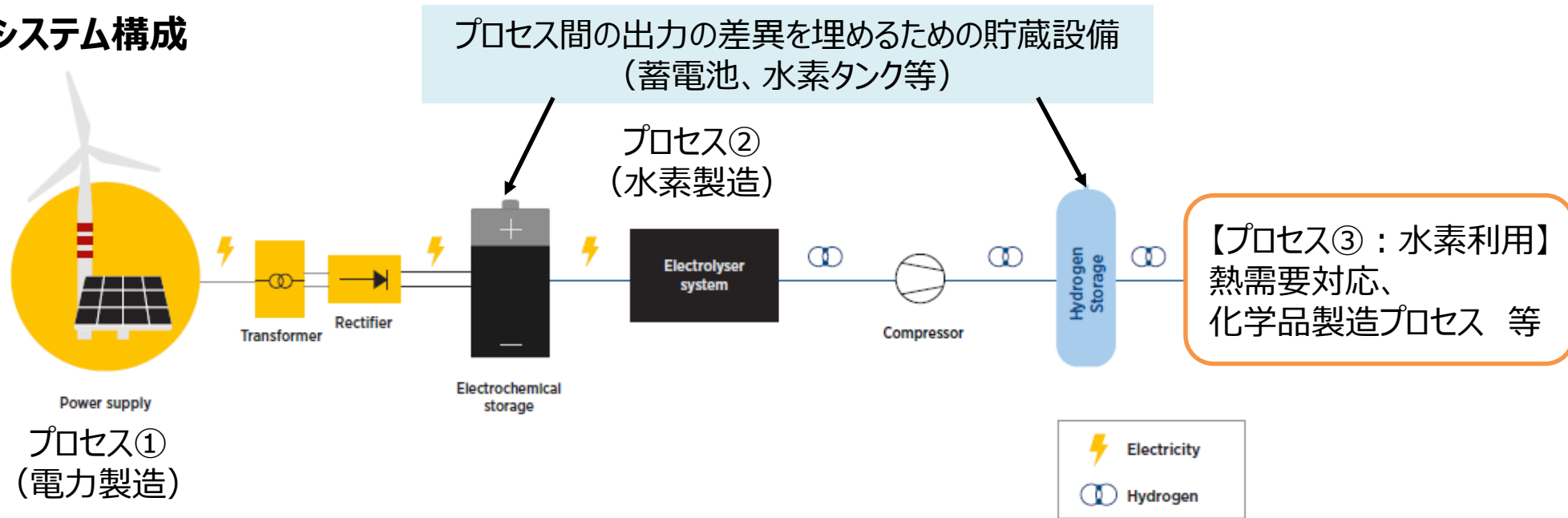


どれだけ優れた要素技術でも単一では効果を発揮することができず、
各種部材等との擦り合わせを通じて、はじめてシステムの中でその性能を発揮することが可能

熱需要や産業プロセス等の脱炭素化実証

- 電化が困難な熱需要や、基礎化学品の製造を含む化学分野等では、燃料・原料として水素の利活用が見込まれる。
- しかしながら、再エネ等の変動電源と水電解装置を組み合わせる場合、その後工程も含めた全体システムの最適な運用方法については、検討すべき技術課題が残っている。
- このため、本プロジェクトでは、水電解装置を用いた、産業プロセス等における化石燃料・原料等を水素で代替する最も効率的なシステム設計及び、運用方法を確立する。

システム構成

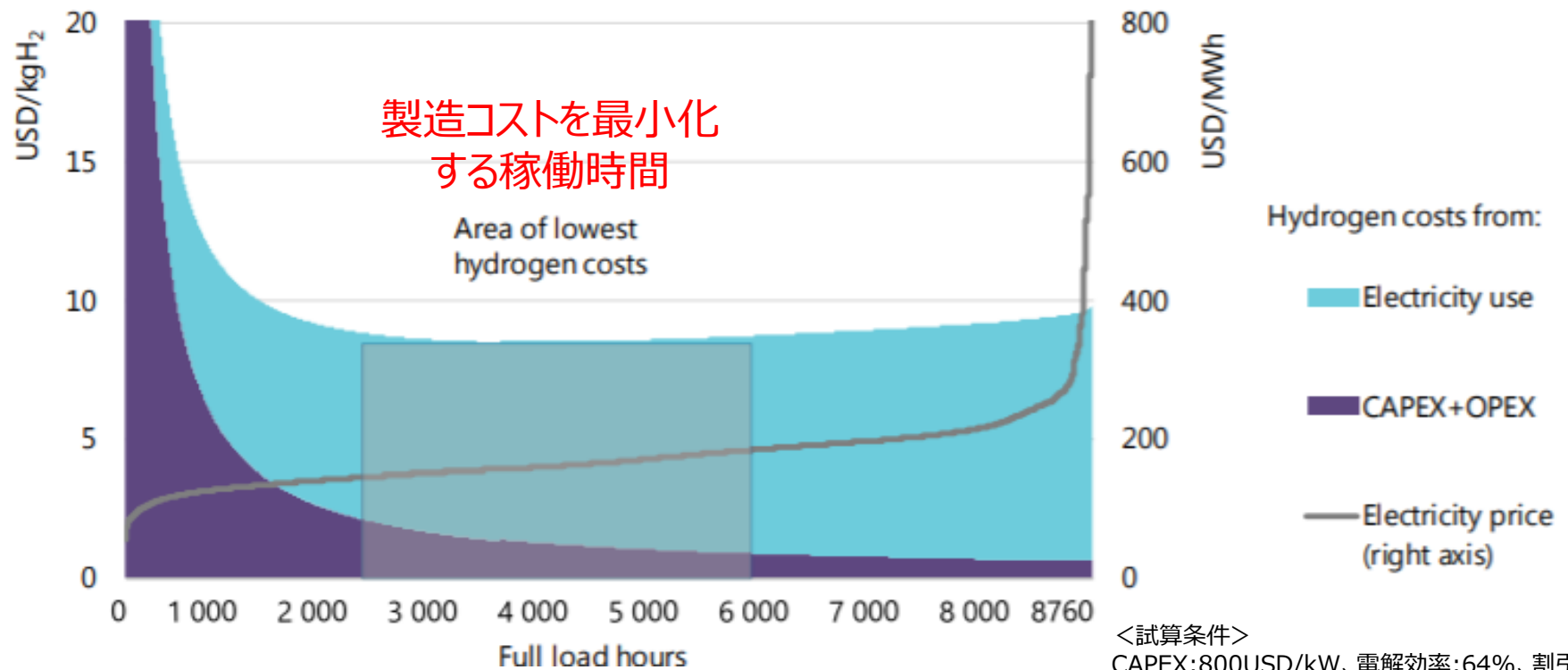


バッファを最小化することによる設備コストの低下、出力変動に合わせた最適運転による運用コストの低下を実現するためには、各プロセスを予測し、制御する技術開発が重要

(参考) 水電解装置の柔軟な運用の重要性

- 水電解装置の稼働率を高めるほど、水素製造量当たりの装置コストは低減するが、運転コストは出来るだけ安価な電力を調達することで低減される。そのため、このトレードオフを見極めた最適運転を行うことで、水素製造コストの最小化を行うことが肝要。
- 加えて、柔軟な運転技術を生かし、系統に調整力等を提供することが出来れば、水電解装置が電力市場からの追加収入を見込むことができ、水素製造コストの更なる低減にも寄与する。

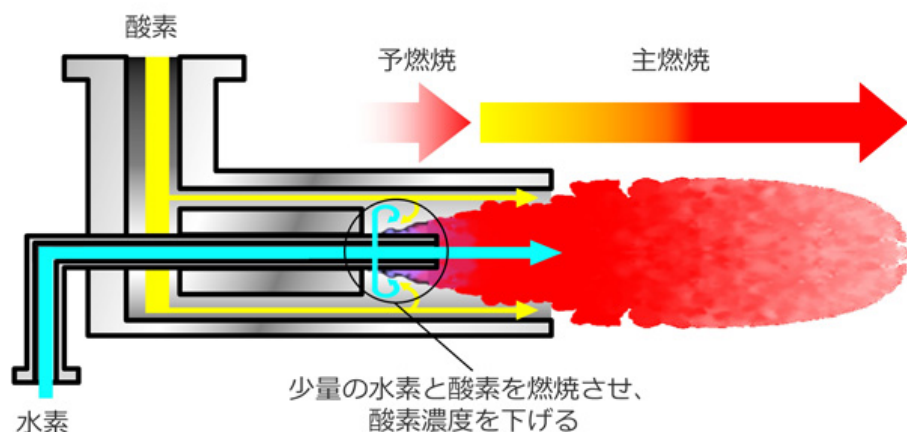
電力価格、稼働時間、水素製造コストの関係（左軸：製造コスト、右軸：電力価格）



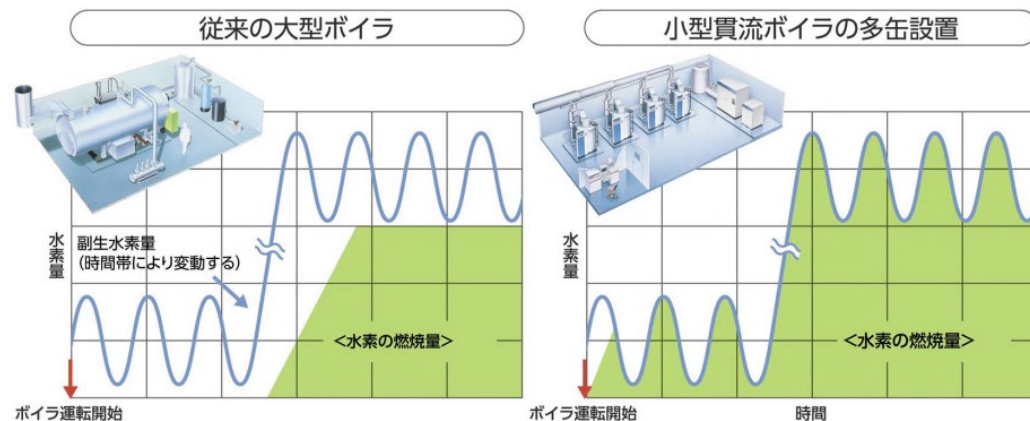
(参考) 熱需要の脱炭素化を行うための需要側機器開発の状況について

- 水素は天然ガスよりも燃焼速度が速く、燃焼温度が高いが故に急速燃焼によりNO_xが発生するといった課題があるため、**需要側機器を水素等の特性等に合わせ開発**を行う必要がある。
- バーナーやボイラー等の熱需要関連機器については、日系企業による開発を通じて上記課題は克服されつつあるが、**産業用の大規模な装置などの水素化には、新たな技術開発を行う必要**。

汎用水素バーナーの事例



水素焚きボイラーの事例

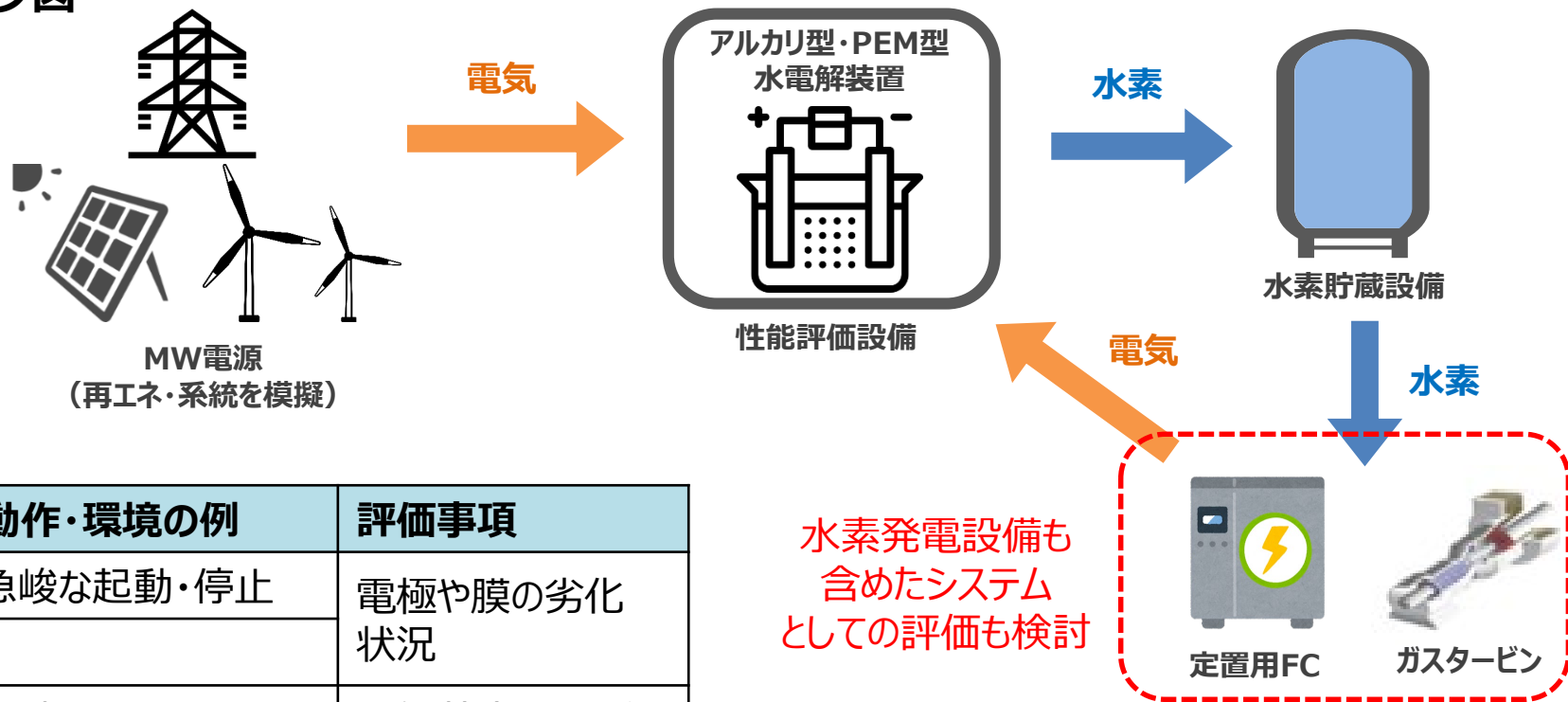


- トヨタ自動車は中外炉工業の協力を得て、水素と酸素が完全に混合することを防ぐ構造を持つ汎用バーナーを開発。
- これにより急速燃焼を抑え、燃焼位置を適正に保ちつつ、NO_x排出量も低減させることが可能に。
- 三浦工業は水素燃料の貫流ボイラーを開発し、副生水素源の近くに設置することで同水素の有効利用を促進。
- また、出力が不安定な副生水素等が無駄なく燃焼させるための高速連続制御も行う技術開発も実施。

海外市場も見据えた水電解装置の評価手法の確立

- 欧州では日本と異なる運転条件で水電解装置を運用しており、海外の機関等とも必要に応じて連携しつつ、こうした環境の違いにも対応した、**統一的な性能評価を実現することで、開発の方向性を明確化し、日本企業の開発力強化に繋がる**ことが期待される。
- また、成長が見込まれる海外市場への進出も見越し、国内での評価基盤を整備することで、本分野への**日本企業の新規参入を促す**ことが期待される。

評価設備のイメージ図



水電解装置の運転動作・環境の例	評価事項
再エネ出力を模した急峻な起動・停止	電極や膜の劣化 状況
スタック内の高圧化	
異なる周波数帯での運転	電解効率への影響
低負荷運転	ガスの純度

安価な電力へのアクセスを可能とする制度整備

- 電気代は水素製造コストの相当程度のシェアを占めるため、安価な電力を調達することは水素製造コストの低減を行う上で非常に重要。
- よって、国内水素製造基盤を確立するためには、水電解装置が系統内の余剰再エネ等の安価な電力へのアクセスを可能とする、上げDR等の制度整備が重要。
- ただし、水電解に利用する電力コスト低減のために、FIT賦課金減免等の措置を取るドイツのような国も存在するが、そうした制度上の措置は、各国の置かれた状況に加えて、負担者と受益者の公平性の観点から慎重な検討が必要な点には留意。

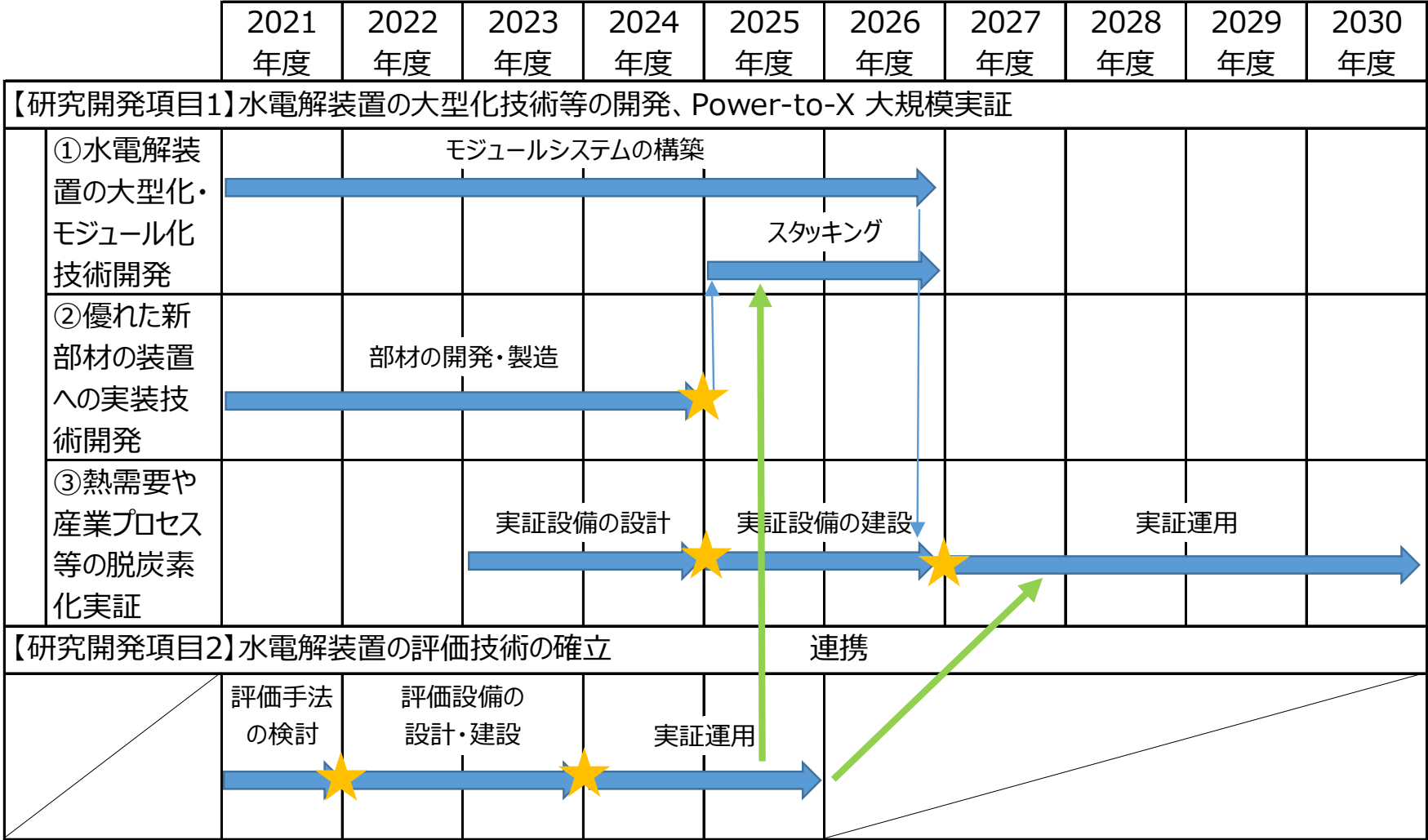
電力調達先とその特徴について

	自社保有電源	系統電力（卸価格連動小売料金の場合）
調達電力 価格構成	・ 電源等の発電コスト ※自己託送を用いる場合は託送料金も上乗せ	・ 電力卸価格＋託送料金＋FIT賦課金等 ※JEPX等から調達した電気を非化石由来とするには非化石証書の購入が必要
電解装置 の稼働率	・ 電源等により決定 ※ 事業用太陽光は直近の調達価格等算定委員会の意見では設備利用率17.2%と想定 ※ 自己託送を用いる場合は送電ロスあり	・ 柔軟に変更可能 ※ ただし、稼働率を高めるほど、卸価格が上昇するため調達コストは上昇

実施スケジュール（一例）

- 具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。また、ステージゲートを設定し、事業進捗を見て、継続可否を判断。

★：ステージゲート

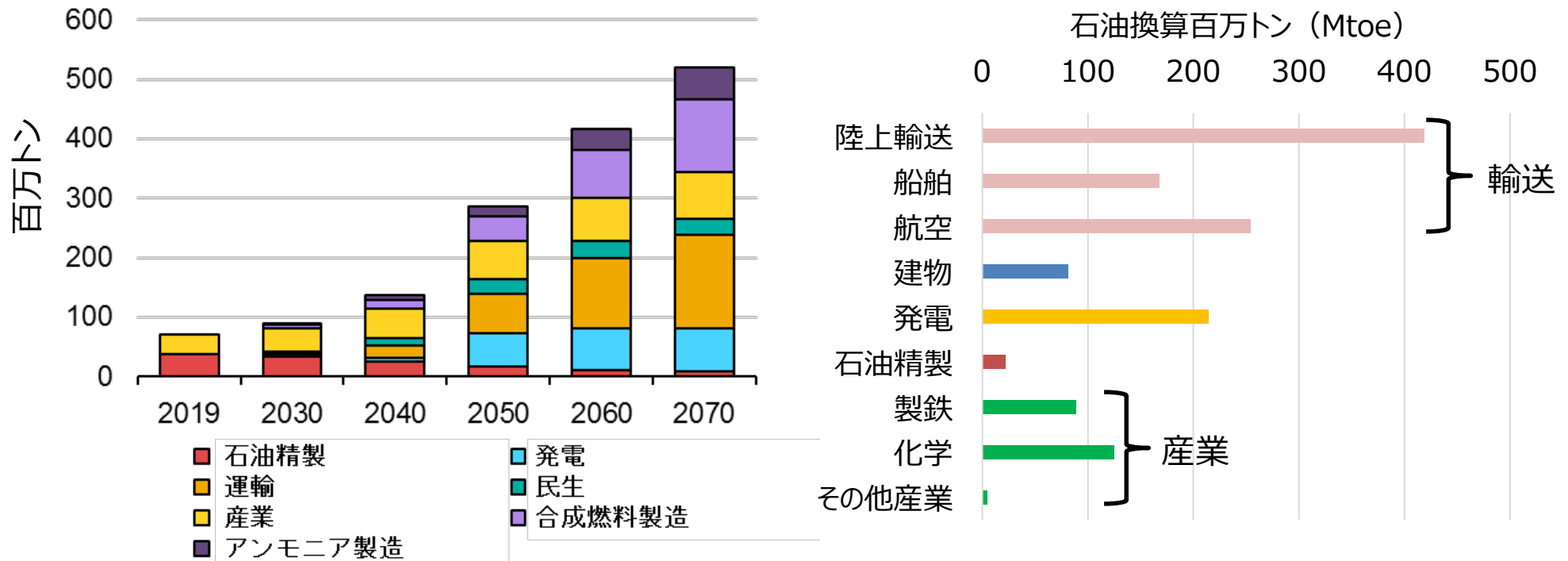


參考資料

IEAの世界水素需給予測（需要側）

- IEAはパリ協定を遵守等するシナリオ（SDSシナリオ）においては、**2070年にカーボンニュートラルを達成する必要があり、その際の世界の水素需要は約5.2億トン**（最終エネルギー消費に占める水素関連シェア:約13%）を見込む。
- 特に、電化等による脱炭素化が困難な輸送部門や産業部門に加え、発電部門での水素の大規模実装が重要と考えられている。

IEAによる水素需要の推移と2070年の各部門における水素関連*需要（SDSシナリオ）

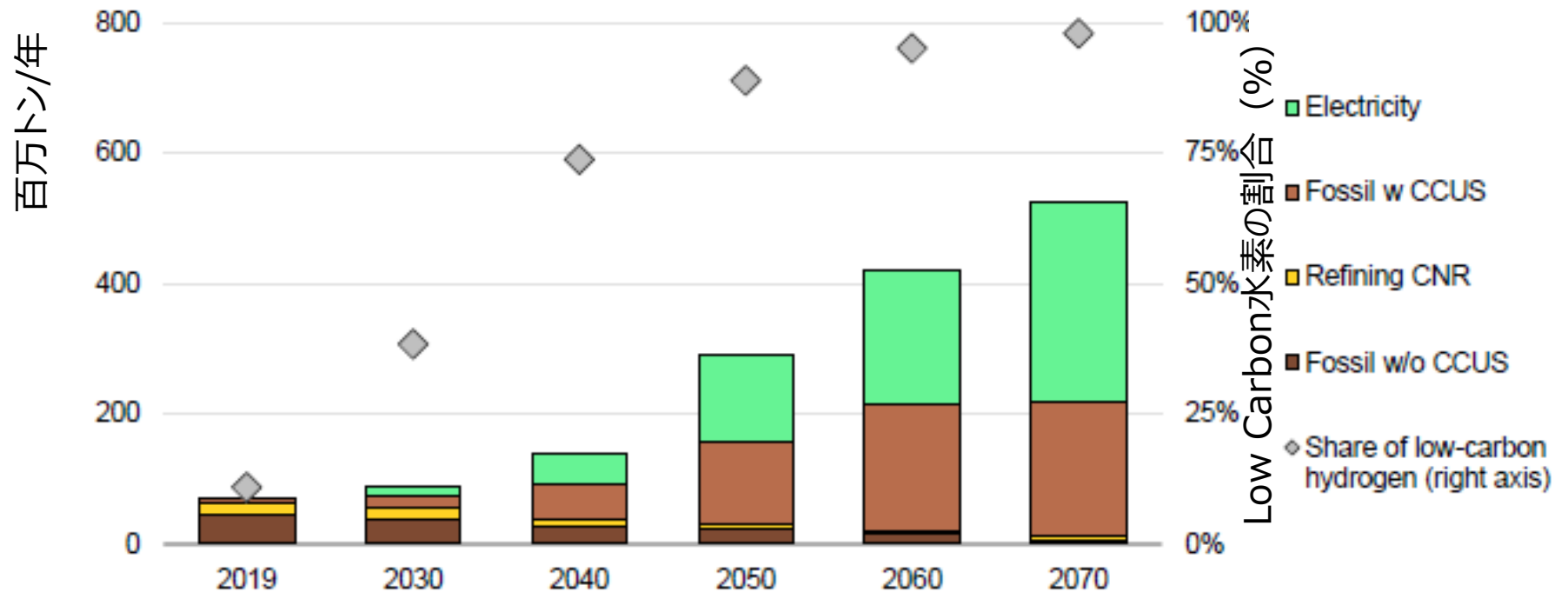


*水素関連：アンモニア、メタネーション等を通じた合成燃料を含む

IEAの世界水素需給予測（供給側）

- IEAのSDSシナリオの予測では、2070年時点では、再エネ由来水素が約6割、化石燃料由来水素が約4割となる見込み。2070年時点の水電解装置の総容量は3300GWを見込む。
- また、当面（少なくとも今後10年は）はCCUSを実装しないグレー水素等が供給の大きな割合を占めることが予想される。

製造源別の水素製造量の推移（IEAのSDSシナリオ）



IEA 2020. All rights reserved.

Note: CNR = hydrogen as by-product from catalytic naphtha reforming in refineries.

(参考) 世界の水素製造コストに関するIEA予測

- 再エネ電源がコスト競争力を有するにつれ、2050年には一部地域において化石燃料+CCUSで製造されるCO₂フリー水素に対して、電解(再エネ等由来)水素がコスト競争力を有する見込み。

エネルギー源別の水素製造コスト比較 (2019年 vs 2050年)

