

水素社会実現に向けた大規模水素 サプライチェーンの構築について

2022年1月

資源エネルギー庁

目次

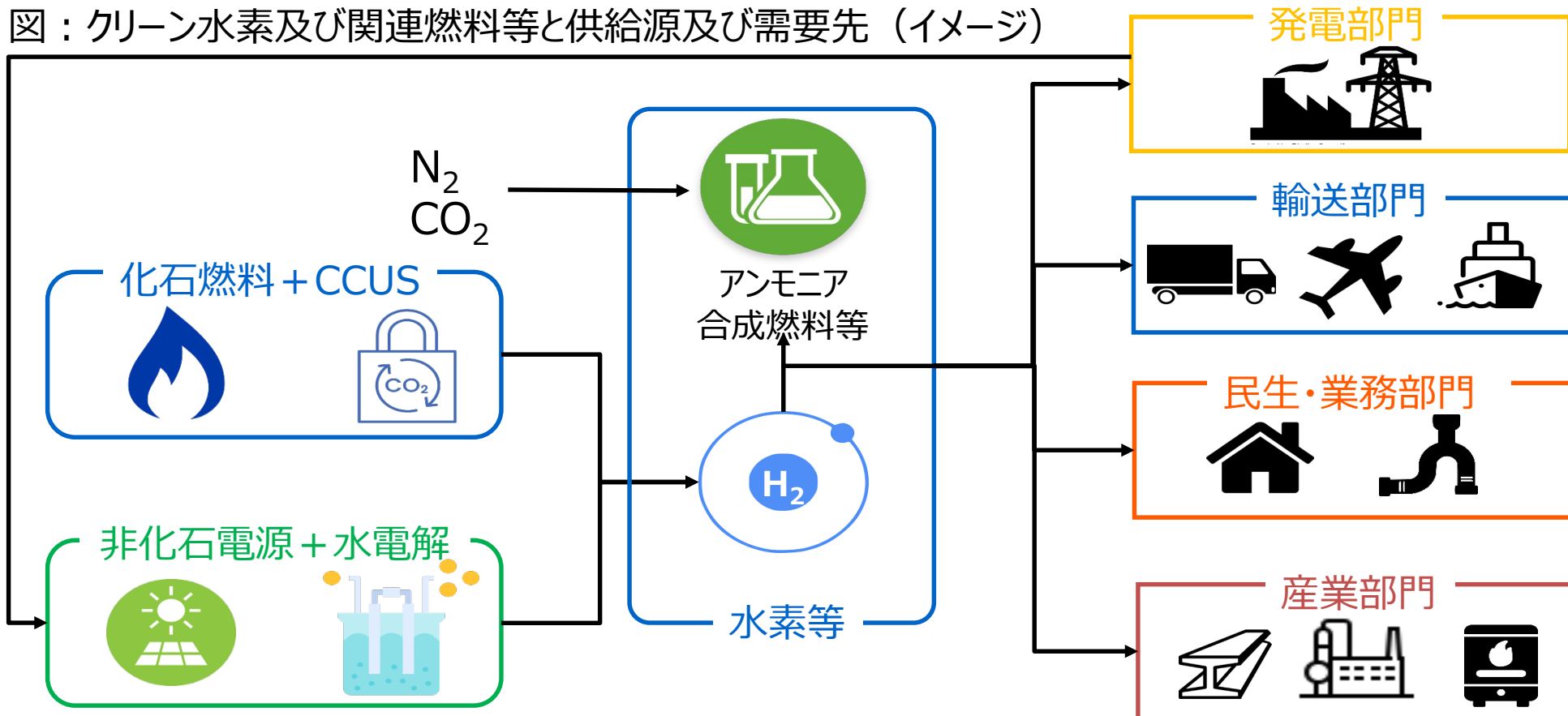
□カーボンニュートラル時代の水素の位置づけと社会実装モデルの創出の意義

□GI基金事業：大規模水素サプライチェーンの構築

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。

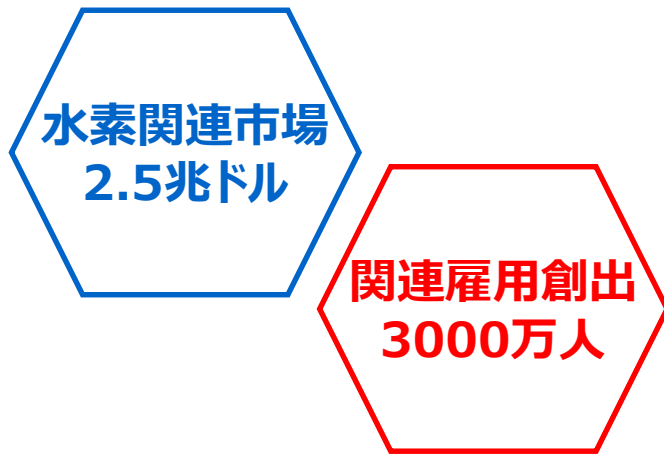


産業競争力強化を通じた拡大する水素関連市場の獲得

- 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。

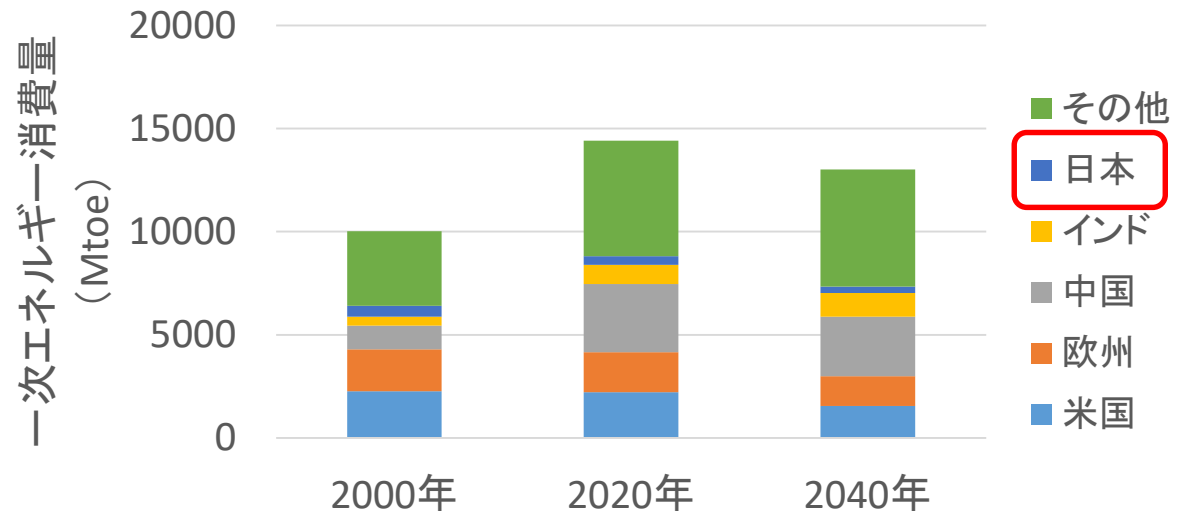
2050年の世界展望

*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FCト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FCト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FCト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。

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

水素の社会実装に向けた検討の視座

- 水素の社会実装に向けては、①技術的課題、②インフラ整備、③コストの3つの課題を克服する必要。研究開発が進展し、社会実装が近づくに連れ、②及び③に対処すべき課題がシフト。
- また、分野・地域毎に置かれた状況、課題の大きさが異なるため、現状と理想のギャップを正しく分析した上で、そのギャップを2050年までに埋めるべく、需給一体での取組に加え、課題解決を後押しするための最適な政策の組み合わせを個別に検討する必要がある。

水素独自の特性(例: 燃焼速度)やプロセス変更等により、技術開発が必要

水素及び関連機器と既存燃料・機器等とのコスト差が大きいほど、導入は進展せず

技術的課題



インフラ整備



コスト



課題が克服できた
分野・地域から
順次社会実装進展

供給量が多いほど、また供給先が多様であるほどより大規模なインフラ整備が必要。既存インフラの活用可否も重要

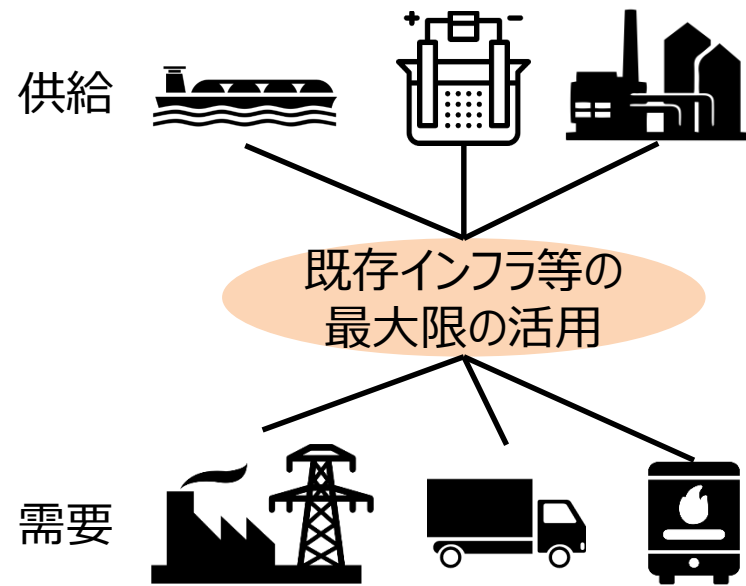


政策措置をタイムリーに講ずることによる課題解決の後押し
(研究開発支援、制度整備、標準化、規制改革、公的金融 等)

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

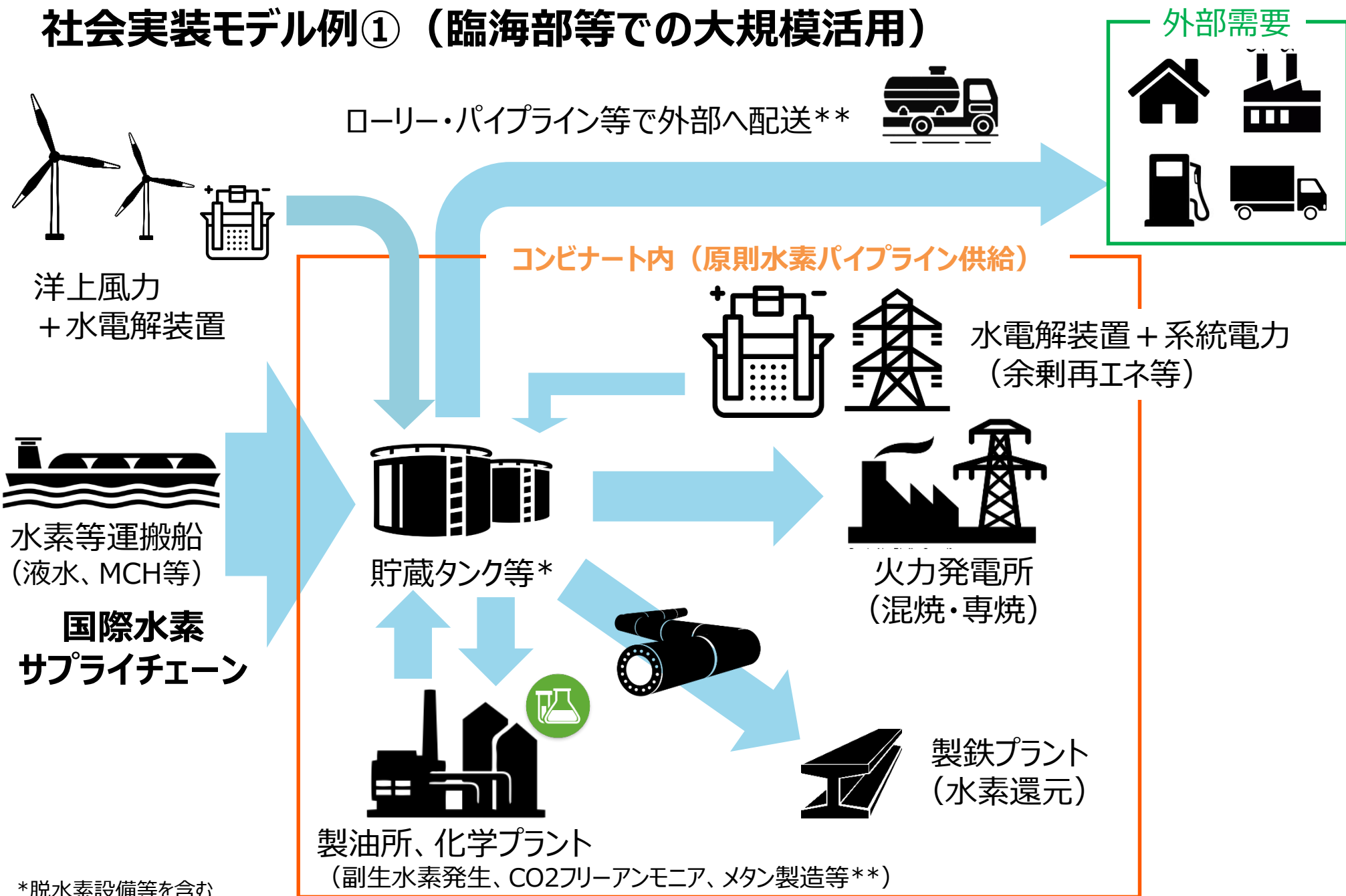
- 輸入水素等の大規模な水素供給を発電や産業部門を含むコンビナートで集中的に利活用

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

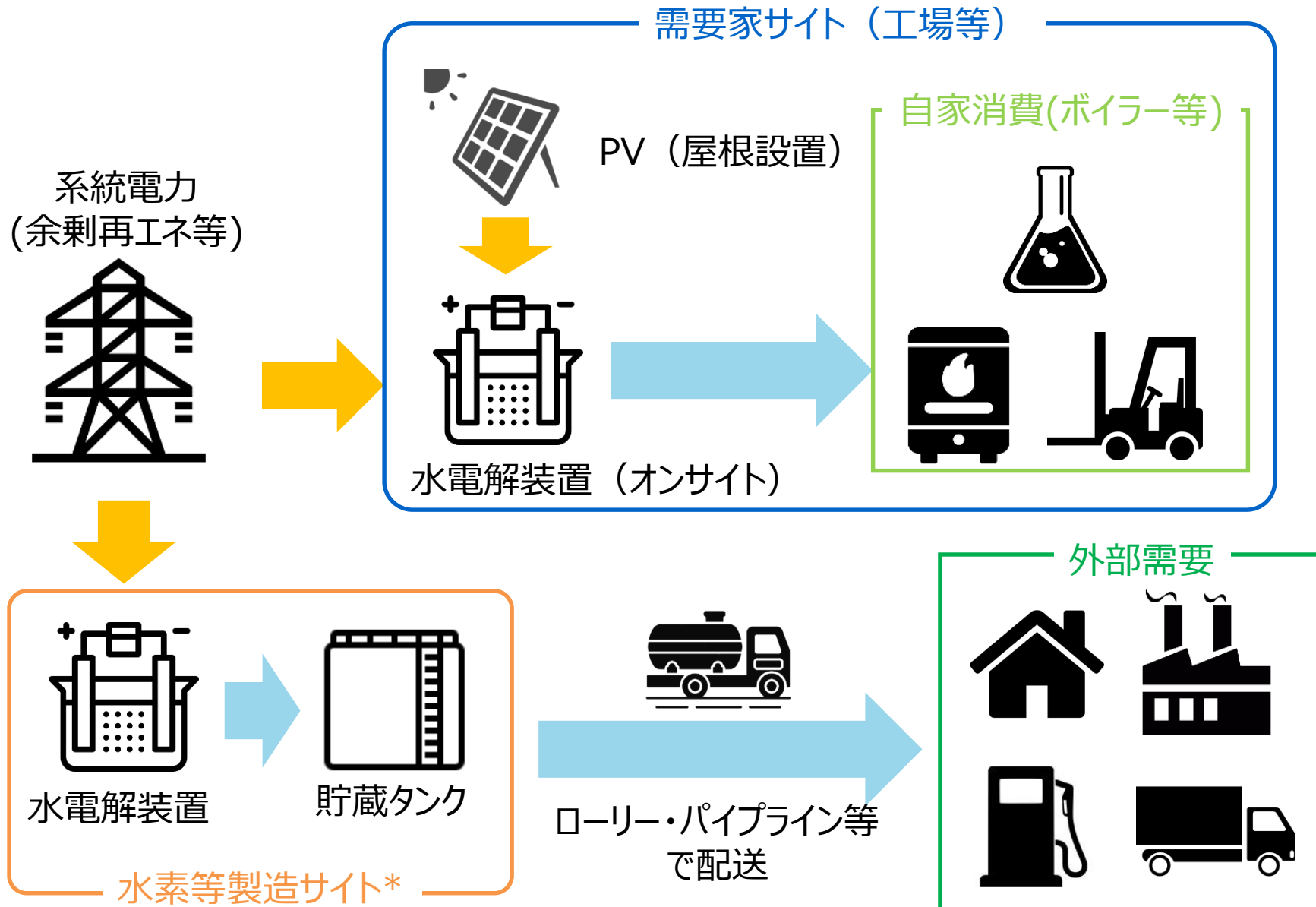
社会実装モデル例①（臨海部等での大規模活用）



*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
- GI基金事業：大規模水素サプライチェーンの構築

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。今後、「すいそ ふろんていあ」は、世界初の液化水素の大規模海上輸送による褐炭水素を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

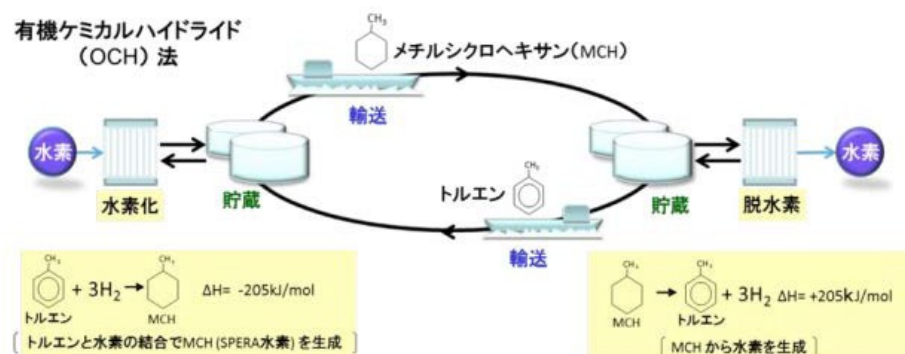


国際水素サプライチェーン構築の現状②：メチルシクロヘキサン（MCH）

- 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。

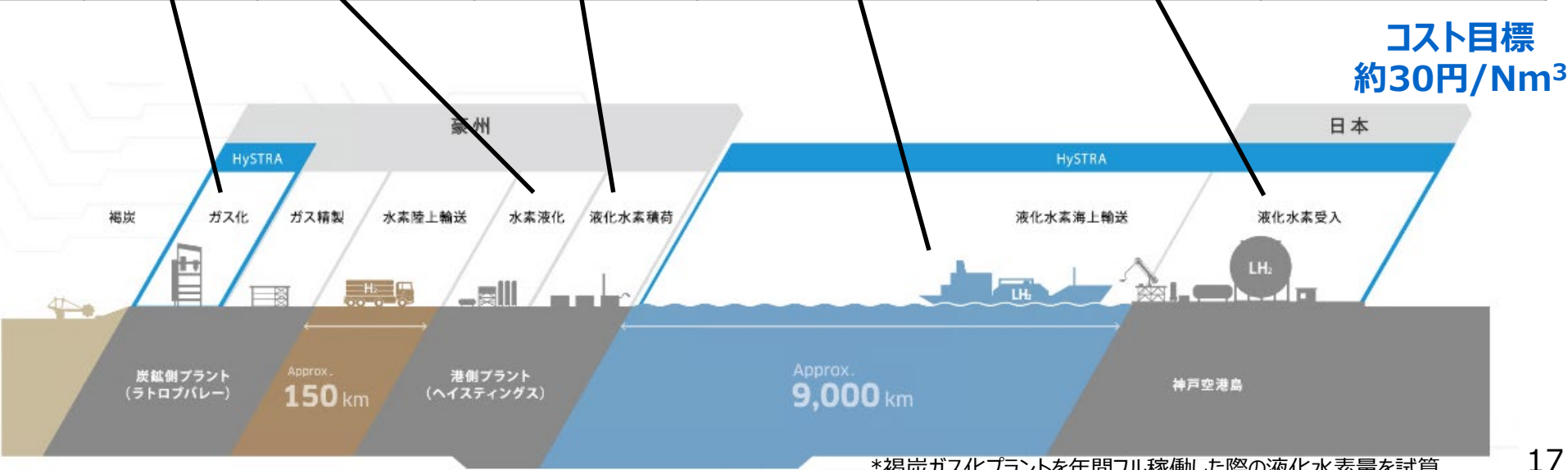
キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積(対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件、 毒性	-253℃、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性無
直接利用の可否	N.A.(化学特性変化無)	現状不可	可（石炭火力混焼等）	可（都市ガス代替）
高純度化のための 追加設備	不要		必要（脱水素時）	
特性変化等の エネルギーロス	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在：-32%
既存インフラ活用、 活用可否	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

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。

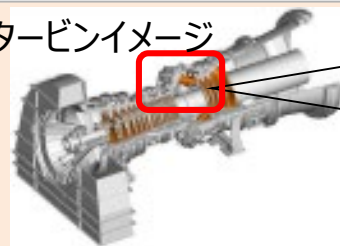
①大規模火力発電（500MW級）のR&Dの流れ

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。**

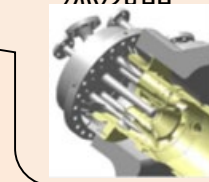


2020年より、水素**専焼**発電の技術開発を実施中。

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、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）。

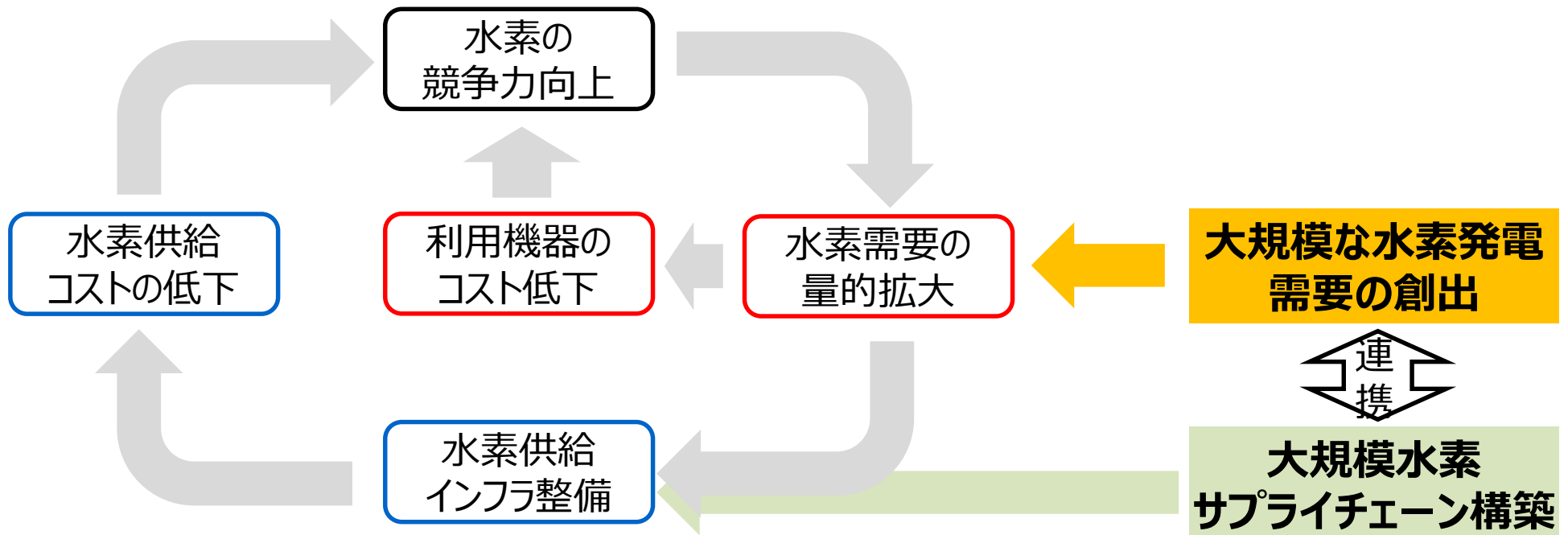
水素発電の発電電力量試算(全量水素と仮定)

- 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

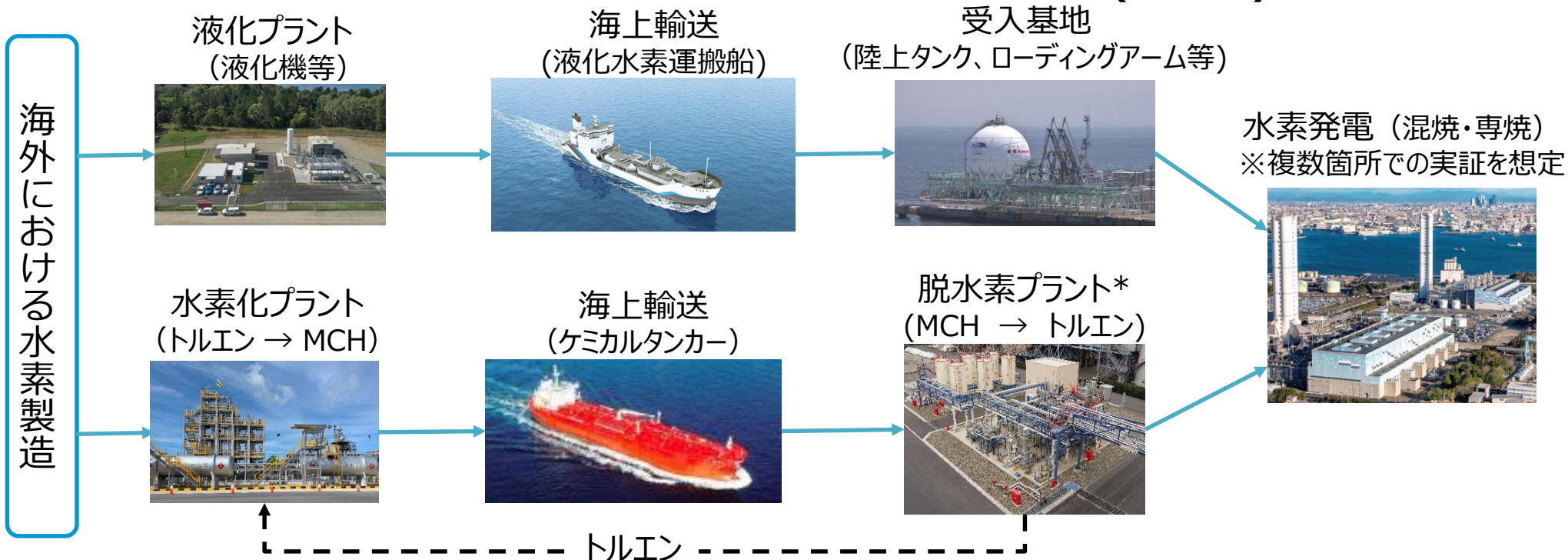
- 他エネルギー源に対する水素の競争力を強化し、水素の社会実装に向けた好循環を作り出すべく、民間の取組を後押しする各種政策を一体的に講ずることが重要。
- 現在の水素需要は、一部を除き、FCVや燃料電池など小規模なものに留まるが、2030年までに発電で大規模需要を創出することが出来れば、商用水素サプライチェーンの構築を促進し、好循環創出を通じた自立的な水素普及を促すことが可能。
- また、2050年時点で水素発電が電力システムの中で主要な供給力、調整力の一つとしての役割を果たすためには、2030年前後に水素発電の商用化を果たすことが重要。



大規模水素サプライチェーンの構築（国費負担額：上限3,000億円）

- 水素社会の実現に向け、大規模水素サプライチェーン構築と需要創出を一体的に進めることが必要。
- 将来的な国際水素市場の立ち上がりが期待される中、日本は世界に先駆けて液化水素運搬船を建造するなど、技術で世界をリード。大規模需要の見込める水素発電技術についても我が国が先行。
- そのため、複数の水素キャリア（液化水素、MCH）で①輸送設備の大型化等の技術開発・大規模水素輸送実証を支援することに加え、②水素発電における実機での水素の燃焼安定性に関する実証を一体で進めるなどし、水素の大規模需要の創出と供給コスト低減の好循環の構築を推進し、供給コストを2030年に30円/Nm3、2050年に20円/Nm3以下（化石燃料と同等程度）とすることを旨とする。

液化水素、メチルシクロヘキサン（MCH）の大規模水素サプライチェーン(イメージ)



*製油所等、既存設備を最大限活用することを想定

出典：HySTRA、AHEAD、各社HPより資源エネルギー庁作成

水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証

事業の目的・概要

- 大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼（体積混焼比率:30%）、専焼）を2030年までに商用化するべく、複数事業者が既存事業*等で開発された燃烧器等を実際の発電所に実装し、異なる実証運転を行うことで、燃烧安定性等を検証する。その際、各種国際サプライチェーン実証事業と緊密に連携する。 *未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業

実施体制（実証内容）

※太字：幹事企業

- ① **株式会社JERA**（大型ガスタービンによる水素混焼）
- ② **関西電力株式会社**（中型ガスタービンによる水素混焼・専焼）
- ③ **ENEOS株式会社**（大型ガスタービンによる水素専焼）

事業期間

- ① 2021年度～25年度（5年間）、② 2021年度～26年度（6年間）、③ 2021年度～30年度（10年間）

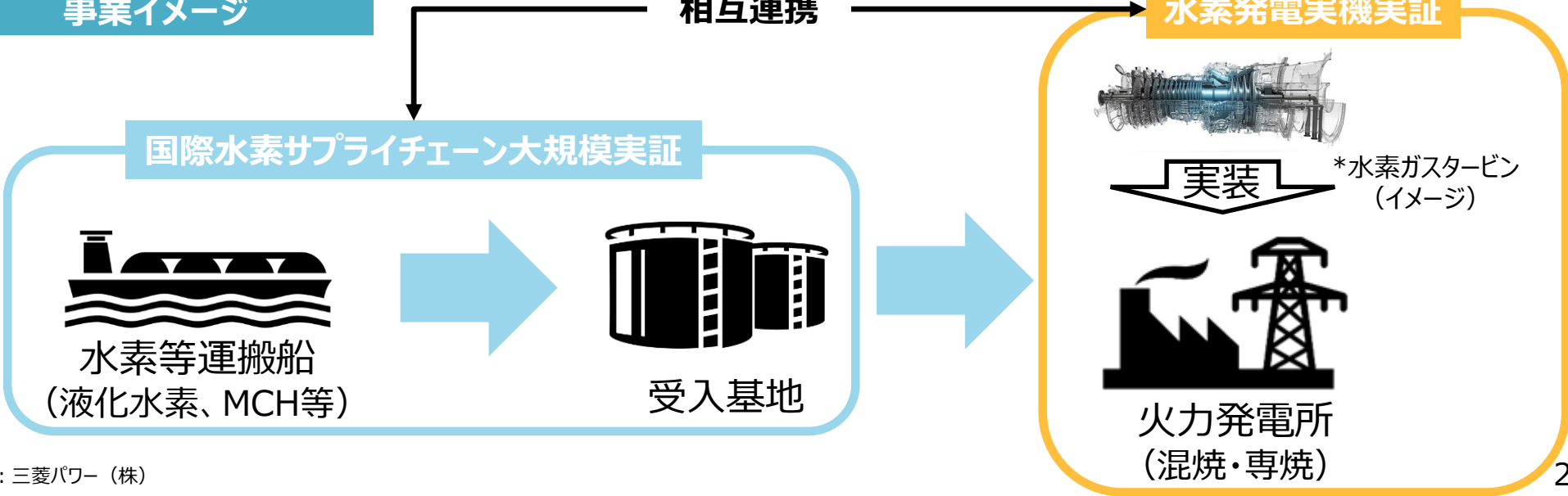
事業規模等

- 事業規模
①：約110億円、②：約160億円、③：約240億円
- 支援規模*
①：約70億円、②：約100億円、③：約140億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み
- 補助率等
①～③：1/2（インセンティブ率は10%）

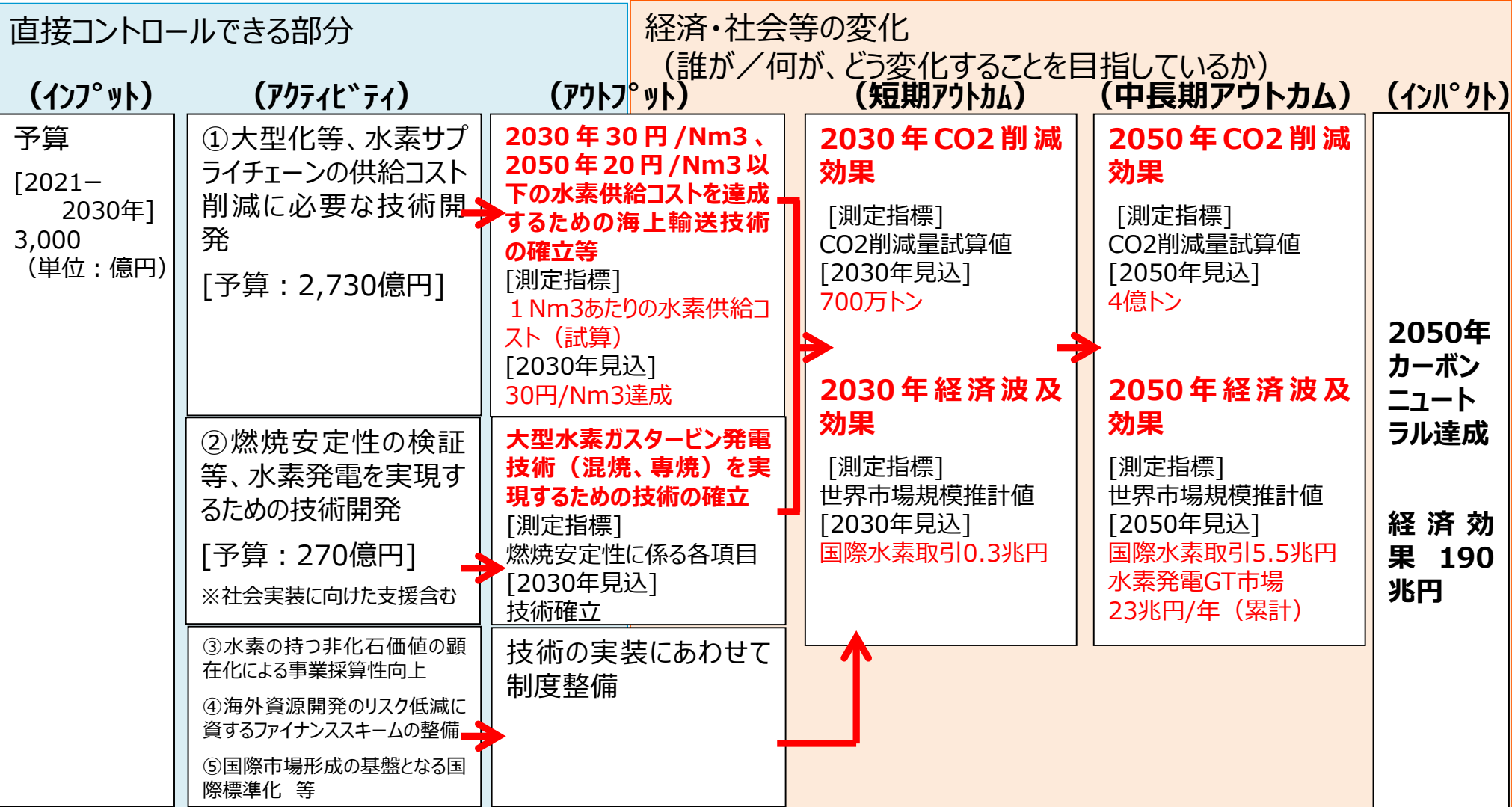
事業イメージ

相互連携

水素発電実機実証



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

予算上限

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)

2,550億円

内容②:液化水素関連材料評価基盤の整備（委託）

30億円

内容③:革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発（委託）

150億円

目標②

内容①:水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証（補助）

260億円

*別途社会実装に向けた支援で10億円確保予定

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）

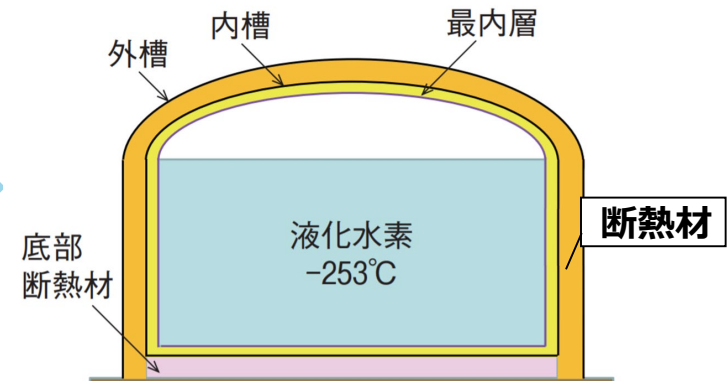
	現行サイズ		商用スケール
水素運搬船搭載タンク	1,250m ³	32倍	4万m ³
陸上タンク	2,500m ³	20倍	5万m ³

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

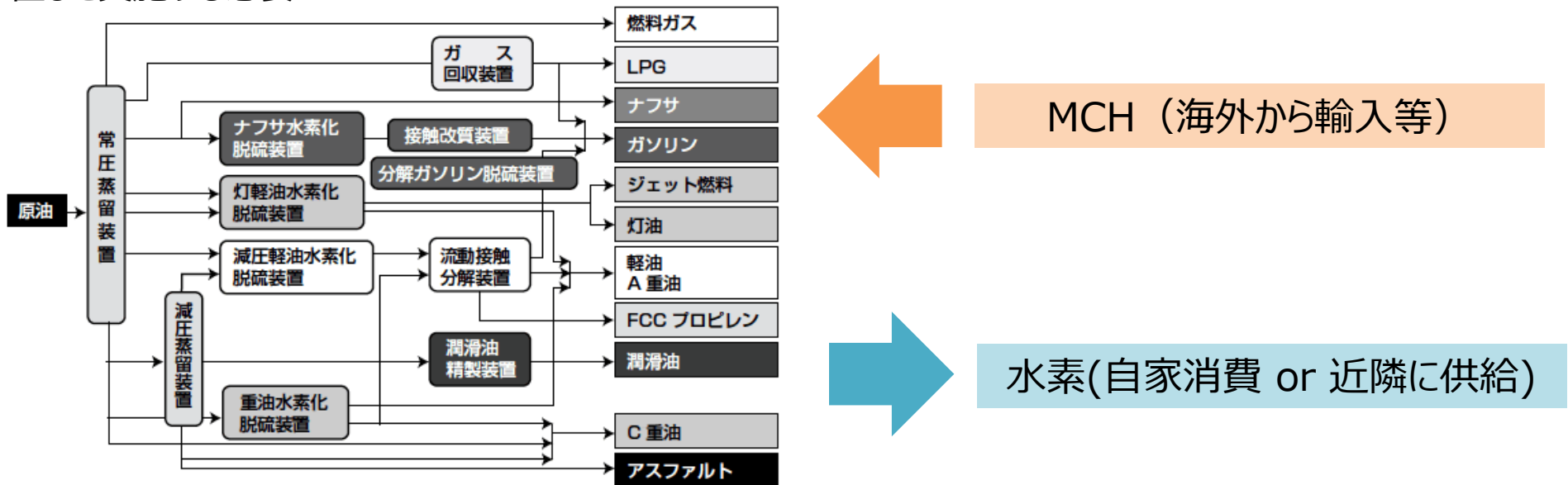


水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証（MCH）

- 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



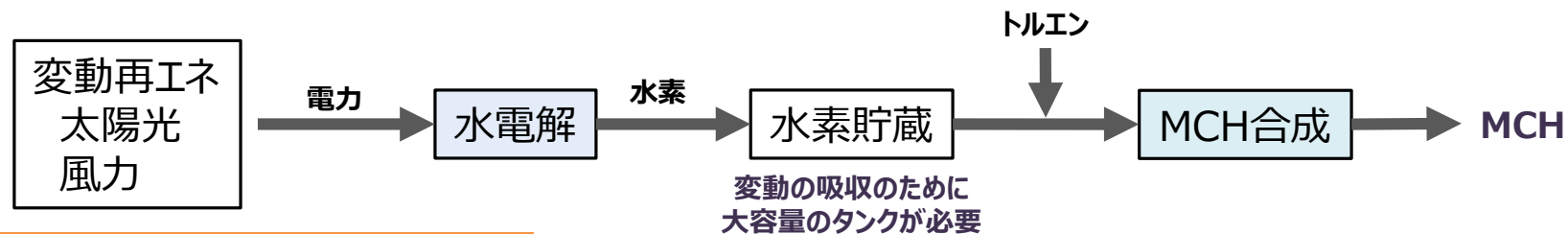
(出典) TOCOM

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

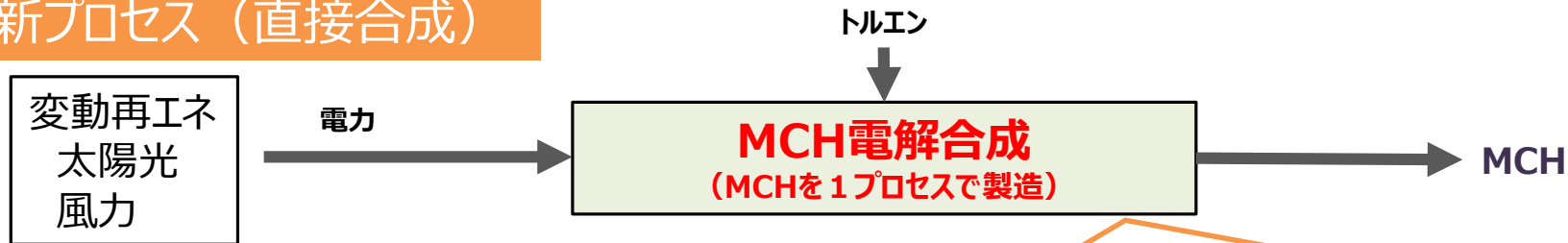
革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発

- 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は現在の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

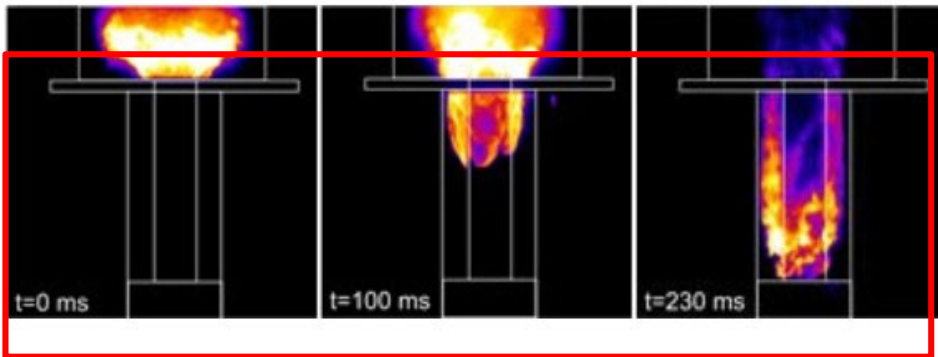
- ① 大型化に必要な電極の面積拡大と高電流密度を両立する新たな水及びトルエンの流路等の構造開発
- ② 陰極触媒の開発による更なる高効率化

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。



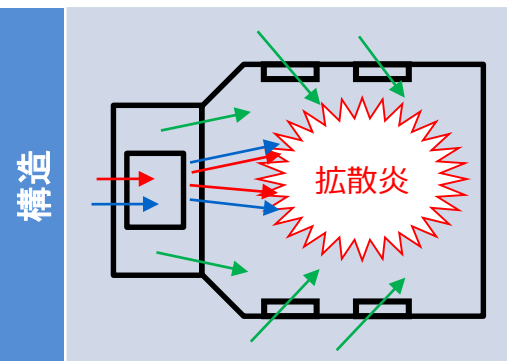
出典：University of Michigan at the 2014 University Turbine Systems Research Workshop

赤枠内：燃焼器内部

専焼用燃焼器の方式

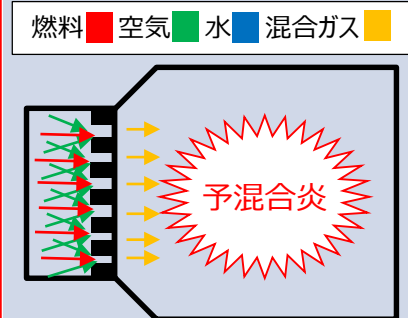
開発中の燃焼器は空気と燃料を予め適切に混ぜる等の措置を講ずることで、逆火対策をしつつ、燃焼温度を高めることで発電効率を既存の天然ガス並に高めることが可能。

拡散方式（既存技術）



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



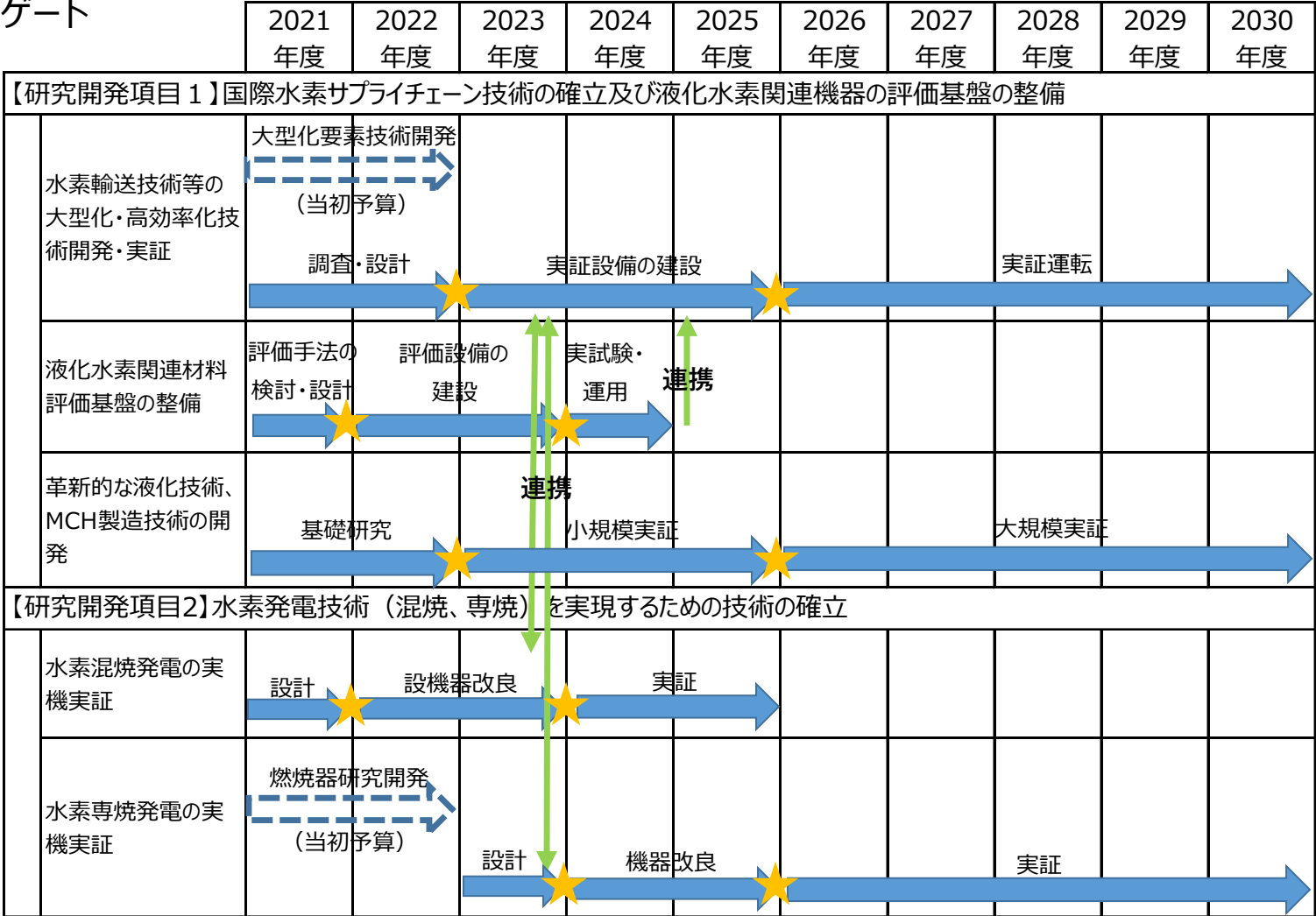
効率低下なし

開発中

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。
- 判断を行う際、双方の合意に基づき事業内容及び目標の柔軟な見直しを行うことも検討する。

★：ステージゲート



(参考) 国際水素サプライチェーンの商用化に向けた措置例 (イメージ)

緑：技術開発、赤：規制整備・合理化、青：制度整備、黄色：公的金融、紫：国際標準化

グリーン水素の定義付
(国際標準化)

供給設備等の大型化等*に関する技術開発・実証

実機実証を通じた
燃焼安定性の検証

液化プラント
(液化機等)



海上輸送
(液化水素運搬船)



受入基地
(陸上タンク等)



水素発電 (混焼・専焼)
※複数箇所での実証を想定



水素化プラント
(トルエン → MCH)



海上輸送
(ケミカルタンカー)



脱水素プラント*
(MCH → トルエン)



国内規制等の整備・合理化

高度化法等による
非化石価値顕在化

JOGMEC等による資源開発のリスク低減に
資するファイナンススキームの整備

海外における水素製造

トルエン

*液化水素の場合、現行実証の最大32倍の大型化のための技術開発が必要

(参考) LNG火力 (水素混焼・専焼発電) 発電コストの内訳

水素混焼火力コスト (2030年)

11.6円/kWh

(政策経費を除いた場合: 11.5円/kWh)

水素専焼火力コスト (2030年)

21.4円/kWh

(政策経費を除いた場合: 21.3円/kWh)

CO2対策費用 (1.7円/kWh)

火力発電 (LNG燃焼分) からのCO2
排出量に相当する排出権を購入するとし
た場合の費用
・**総額1,979億円** (1基、40年分)

燃料費 (7.3円/kWh)

LNG (エネルギーベースで90%)、水素
(エネルギーベースで10%) の調達費用
・**総額8,594億円** (1基、40年分)

運転維持費 (1.2円/kWh)

人件費、修繕費、諸費、一般管理費
・**総額1,416億円** (1基、40年分)

資本費 (1.3円/kWh)

・建設費、固定資産税1.4%、設備廃棄
費用 (建設費の5%)
・**総額1,503億円** (1基分)

・上記諸元の総額をモデルプラント※1
1基40年あたりの総発電電力量
約1,177億kWhで割って単価を算出



※1 モデルプラント想定値
設備容量85万kW
設備利用率 70%
稼働年数40年
CO2対策費用及び燃料費はIEA
「World Energy Outlook 2020」の
「公表政策シナリオ」(STEPS) 想定。

燃料費 (18.9円/kWh)

水素の調達費用
・**総額22,190億円** (1基、40年分)

運転維持費 (1.2円/kWh)

人件費、修繕費、諸費、一般管理費
・**総額1,416億円** (1基、40年分)

資本費 (1.3円/kWh)

・建設費、固定資産税1.4%、設備廃棄
費用 (建設費の5%)
・**総額1,503億円** (1基分)

・上記諸元の総額をモデルプラント※1
1基40年あたりの総発電電力量
約1,177億kWhで割って単価を算出

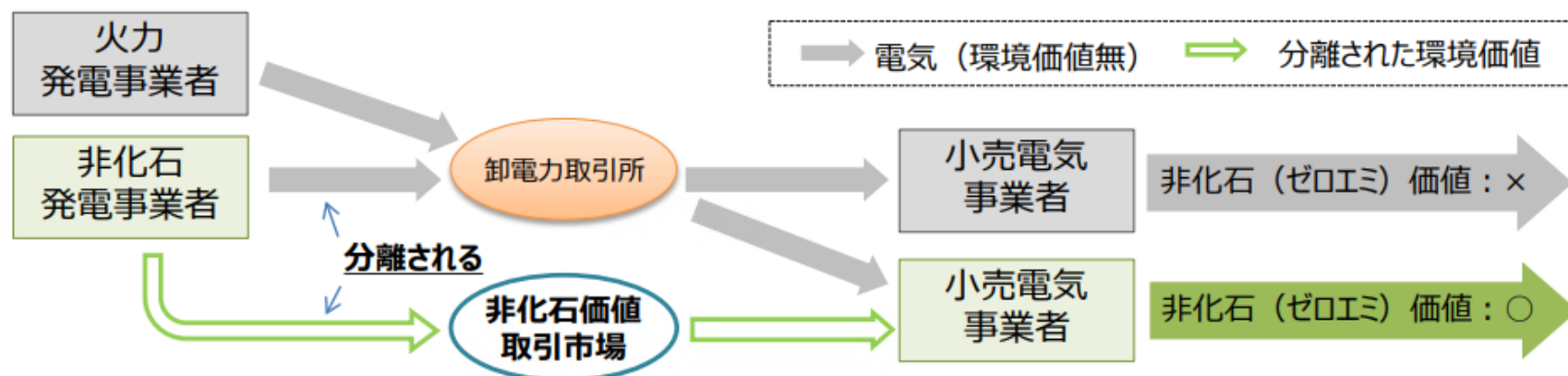


(参考) 発電分野における社会実装に向けた制度整備状況

- 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。

水素に関する規制見直しの今後の展開について

- 規制改革実施計画等に基づき、これまでは、燃料電池自動車・水素ステーションの導入や低コスト化等を目的とした項目を中心に、規制改革を推進してきたところ。
- CNを達成するに当たっては、菅総理が所信表明演説において「**規制改革などの政策を総動員し、グリーン投資の更なる普及を進める**」と述べられているとおり、開発が進められる新たな水素モビリティや水電解装置、海外から輸入される水素の受入基地に関してなど、**水素市場の広がりに伴って対象とする分野を必要に応じて拡大しつつ、安全の確保を前提に、GI基金も活用しながら引き続き規制改革を推進していく。**

水素モビリティ

<燃料電池トラック>



※出典：トヨタ自動車、日野自動車

- ✓ トヨタ・日野により、大型FCトラックの開発が進められている。
- ✓ 2022年から、拠点間輸送の実証を開始する予定

<燃料電池鉄道車両>



※出典：JR東日本

- ✓ JR東日本により、2021年度から、鶴見線・南武線での実証試験が予定されている。

課題例：現行規制（重量、高さ、長さ）ではFC化によりトラックの積載量が減少

水電解装置



- ✓ 水を電気分解することにより、水素を製造する装置。
- ✓ 再エネを活用することにより、クリーンな水素を製造可能。

<福島水素エネルギー研究フィールド>



※出典：東芝エネルギーシステムズ

- ✓ 福島県浪江町に整備された当該実証施設は、世界最大級となる10MWの水電解装置を備えている。

課題例：コンテナにパッケージ化された、システムでも設置申請が必要（蓄電池は不要）

水素の受入基地



<海外>

- ✓ 安価な資源を活用して水素製造
- ✓ 液化水素等の水素キャリアに転換



<海上輸送>

- ✓ 一度に大量の水素を輸送



<日本>

- ✓ **受入基地**において、水素を荷揚。
- ✓ 大型のタンクによる貯蔵。

※出典：HySTRA

課題例：液化水素タンクの設置には、離隔距離がLNGタンクの約3倍必要

參考資料

水素供給システム確立

水素利用飛躍的拡大

水素供給チェーンの構築 地域水素社会モデル構築

燃料電池自動車の普及拡大

未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業 47.6億円（141.2億円）

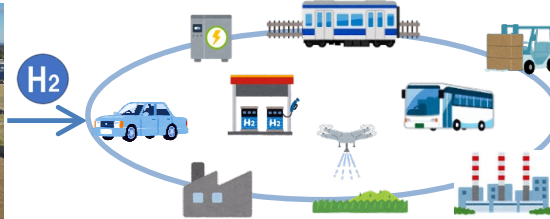
産業活動などの抜本的な脱炭素化に向けた水素社会モデル構築実証事業 73.1億円（新規）

燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金 110.0億円（120.0億円）

海外の褐炭等の未利用エネルギーから水素を製造し、液化水素の形態で水素を輸送するとともに、水素発電に係る実証を実施。将来の液化水素船の商用化に必要な大型化に向けた技術開発を実施。

再エネ由来水素の製造の技術実証を実施。福島県産再エネ由来水素を利用し、水素社会の先駆けとなるモデル地域を構築する。他地域においても港湾や産業分野における幅広い水素利活用技術開発等を行う。

水素ステーション整備の補助は支援対象エリアを全国に拡大。新規需要創出等に係る活動費用の一部を補助。



クリーンエネルギー自動車導入事業費補助金 155.0億円（130.0億円）



水素の製造、輸送・貯蔵技術の開発

燃料電池等の研究開発

水素エネルギー製造・貯蔵・利用等に関する先進的技術開発事業 15.0億円（15.0億円）

水素社会実現に向けた革新的燃料電池技術等の活用のための研究開発事業 66.7億円（52.5億円）

超高压水素技術等を活用した低コスト水素供給インフラ構築に向けた研究開発事業 32.0億円（30.0億円）

低コストで大量の水素製造を実現するCO₂フリーな水素製造技術や、再生可能エネルギーを用いた水の電気分解による水素製造方法の高度化に向けた基盤技術など、CO₂フリー水素供給システム実現に貢献する技術開発を実施。

燃料電池の高性能化、低コスト化に向け、触媒・電解質等に関する基盤技術開発や実用化技術開発、発電効率65%超の燃料電池実現に向けた技術開発を実施。

水素ステーション等の低コスト化に向けた技術開発、大型商用車向けの充填プロトコルの開発、規制改革実施計画等に基づく規制、耐久性・メンテナンス性向上に資する技術開発等を実施。



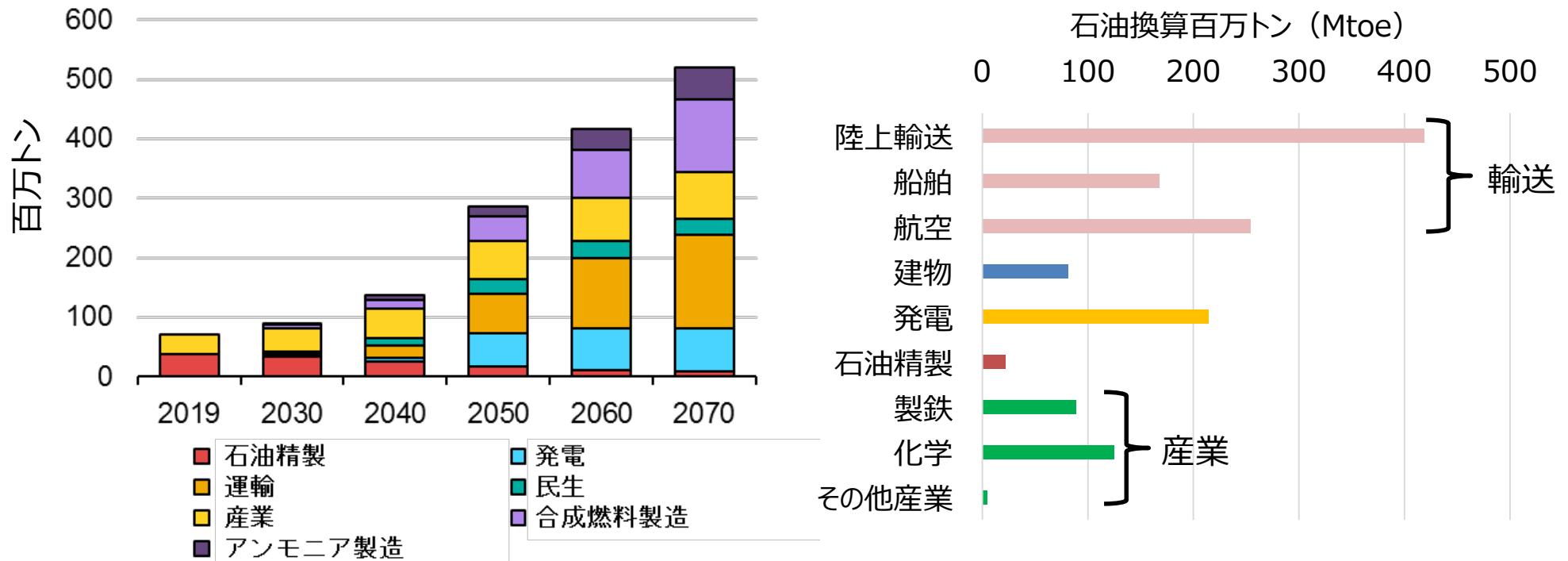
2050年までのカーボンニュートラル達成に向けた革新的な技術開発に対する継続的な支援（基金、2兆円）

エネルギー分野の変革や製造業等の構造転換を実現するため、電化や電力のグリーン化、**水素**、CO₂固定・再利用等の重点分野における、野心的な研究開発を10年間にわたり支援 61

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）

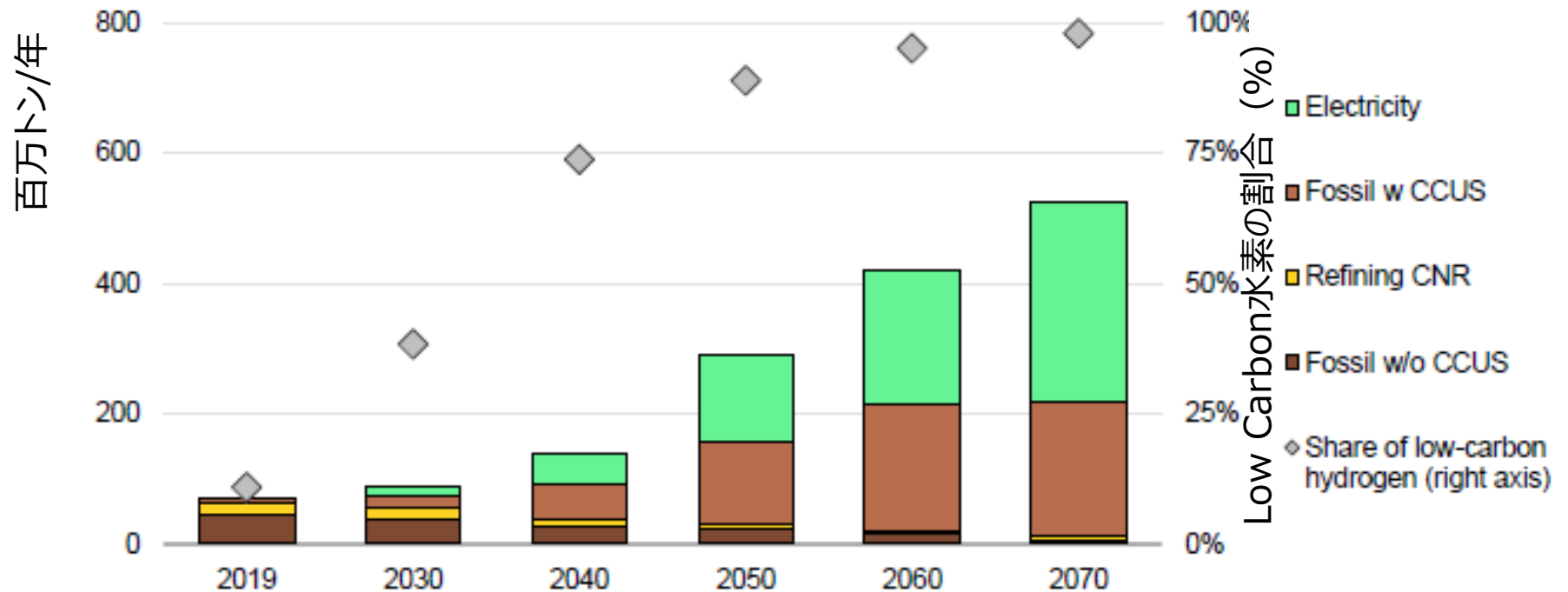


*水素関連：アンモニア、メタネーション等を通じた合成燃料を含む

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）



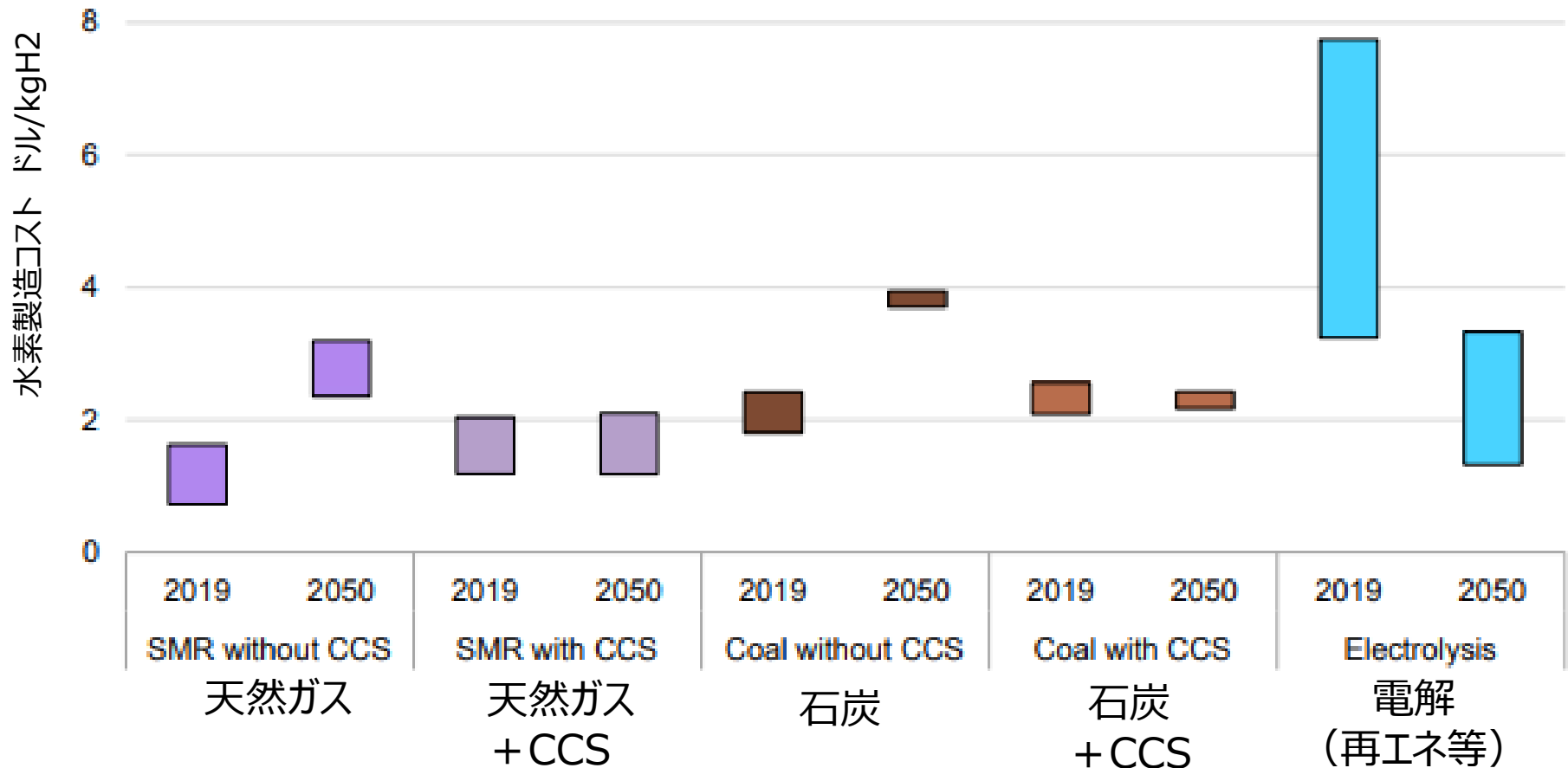
IEA 2020. All rights reserved.

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)



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

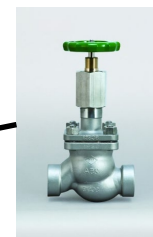
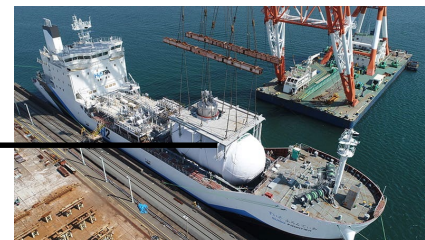
陸上用大規模液化水素貯蔵タンク

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

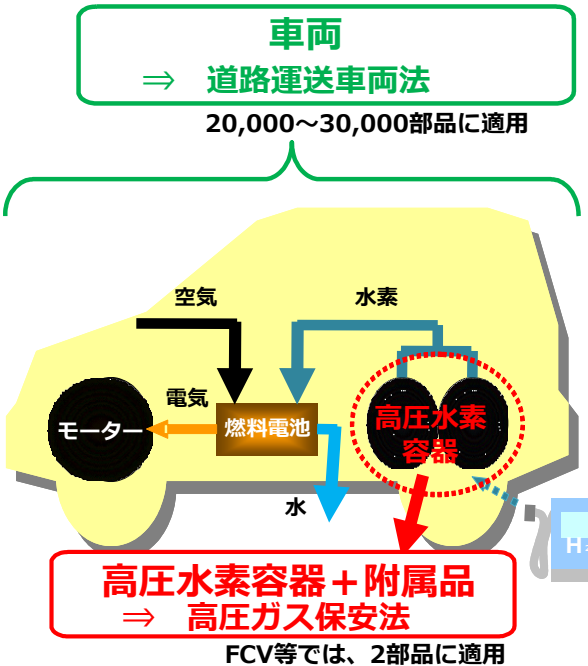
バルブ



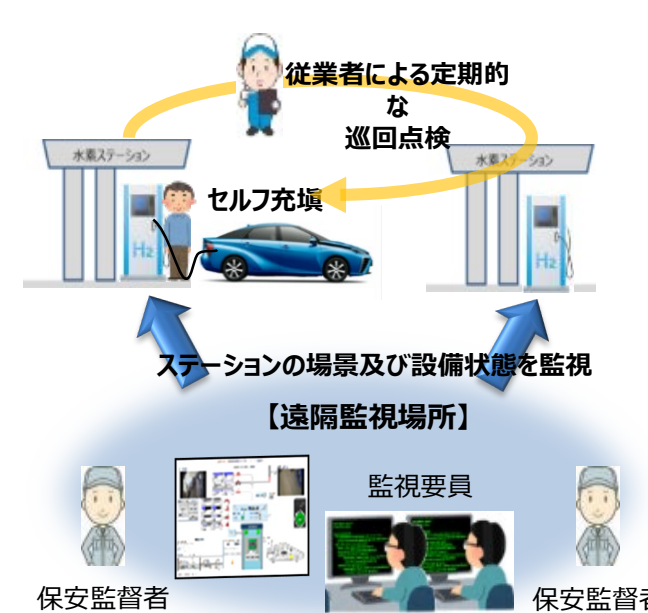
水素分野における規制見直しの状況について

- 規制改革実施計画（平成29年7月閣議決定）に盛り込まれた37項目のうち、28項目が措置済み（令和3年4月現在）。
- 積み残し課題となっていた燃料電池自動車に関する事務手続きの合理化については、CNの動き、二法令の規制の適用による追加的コストが発生していること等を踏まえ、事業者及び消費者の負担軽減の観点から、規制の一元化も視野に、燃料電池自動車等の規制の在り方検討会を立ち上げ、検討を本格化。
- 遠隔監視による水素ステーション運転の無人化については、2020年8月に関係省令等の改正を措置済み。また、これとは別途、日本エア・リキードが2020年10月に新事業特例制度に基づき、国内初となる遠隔監視による運営の実証を開始。
- さらに、2020年7月に閣議決定された規制改革実施計画では、水素ステーション設備の常用圧力の上限値の見直し等、新たに4つの項目が盛り込まれたところであり、引き続き規制見直しを推進していく。

燃料電池自動車等の規制の在り方検討



遠隔監視による水素ステーション運転無人化



常用圧力の上限値の見直しについて

