

○水素関連基礎情報資料



目次

0. 水素活用の意義	3
<hr/>	
1. 水素の製造技術	8
<hr/>	
2. 水素の貯蔵・輸送技術	12
<hr/>	
3. 水素の供給技術	19
<hr/>	
4. 水素の利用技術	22
<hr/>	

0. 水素活用の意義

水素の役割

① エネルギー消費量の削減・省エネルギー



水素と酸素を反応させて電気を取り出す燃料電池は、化石燃料を燃焼させる火力発電や自動車の内燃機関よりエネルギーを無駄なく活用できるため、エネルギー消費量を削減することができる



③ 再生可能エネルギーの導入の促進

水素は電力から容易に製造可能であり、また水素は長期貯蔵できるため、天候などによって発電量が大きく変動する再生可能エネルギーを活用・調整する仕組みとして期待できる（セクターカップリング）



② 電化困難領域の脱炭素化



産業部門の高温熱利用や船舶・飛行機の輸送燃料等、電化では脱炭素化が困難な領域において、燃料として水素の活用が可能である。さらに水素からの基礎化学品製造や水素還元製鉄もできるため、素材として水素の活用が可能である。水素の利用時にCO₂を排出しないため、燃料の脱炭素化が期待できる



④ その他役割・効果

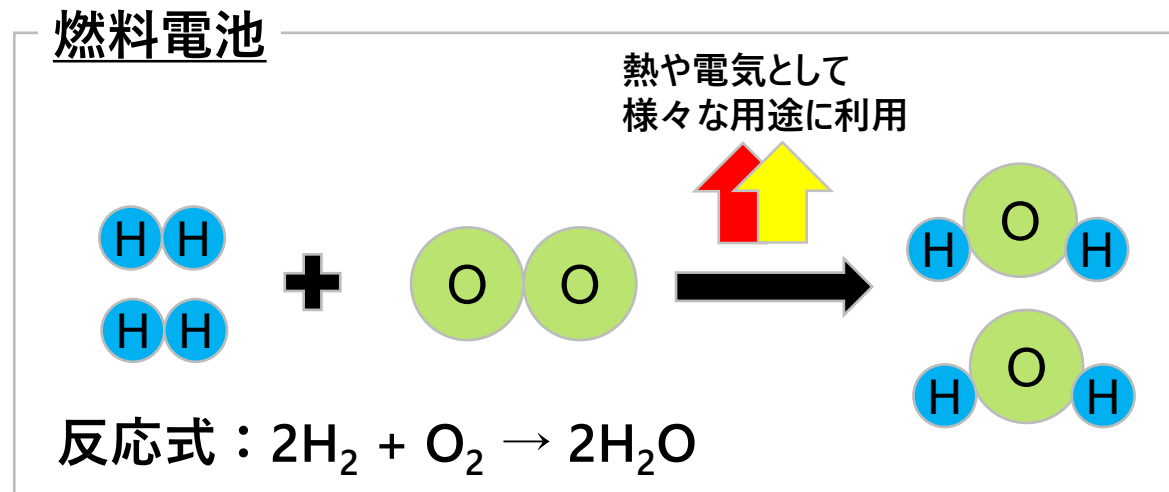
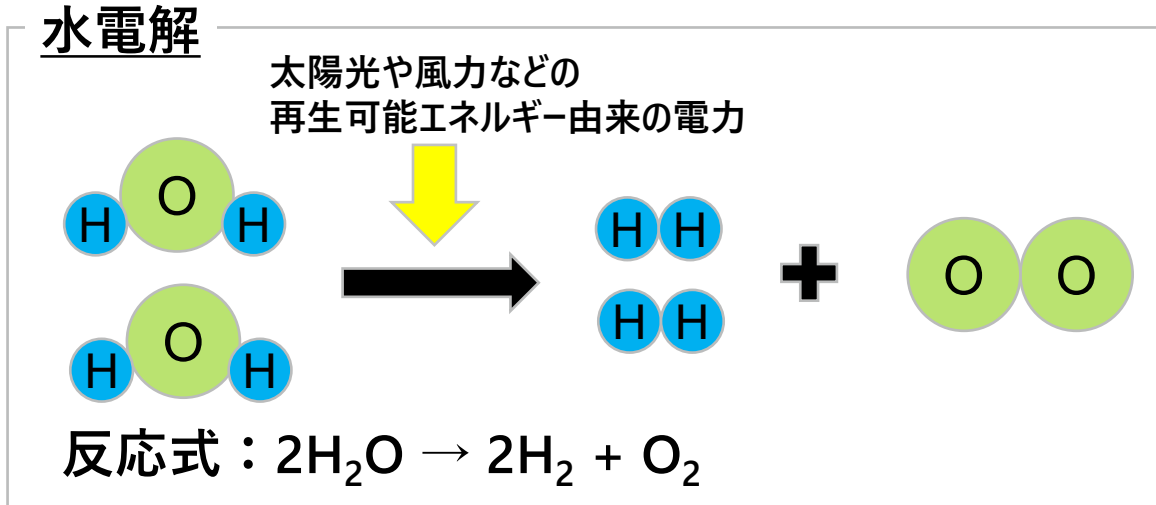
エネルギー供給源の多様化、技術輸出を含めた経済への波及効果、脱炭素エネルギーの備蓄による災害対策、停電時におけるFCV・FCバスの非常用電源としての活用、自動車の静音化など、その他効果が期待できる（マルチベネフィット）



【水素活用意義_脱炭素化】

水素にC（炭素）が含まれていないため、水素を利用する際にはCO₂が排出されない
 また水電解に再生エネルギー由来の電力を用いれば、水素製造時においてもCO₂が排出されない

水電解と燃料電池の反応原理



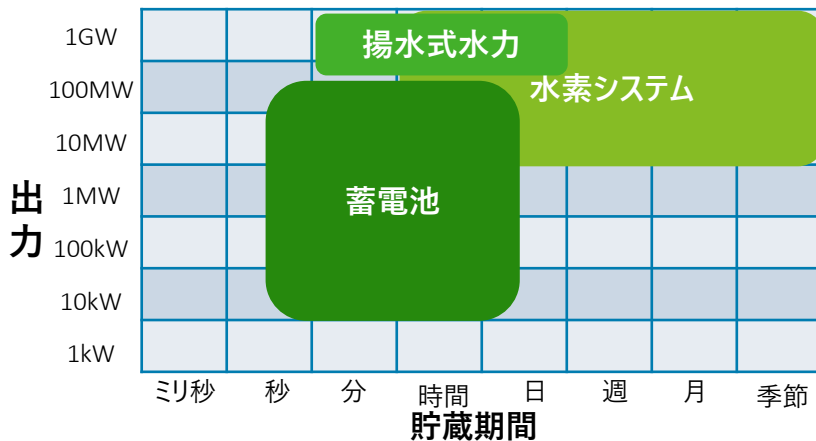
【水素活用意義_再生可能エネルギーの導入の促進】

水素は大容量かつ長期間の貯蔵が可能のため、再エネ大量導入時の需要変動対応や余剰電力対応に活用可能である

電力貯蔵技術の比較

方式	エネルギー密度 [Wh/L]*1	変換効率 [%]*2	設備コスト				需給調整時間幅				
			水電解 [万円/kW]	蓄電部*3		発電部*4 [万円/kW]	総コスト [万円/kW]	分	時	日	月
				容量 [万円/kWh]	6時間率/1週間率 [万円/kW]						
水素システム (水電解、貯蔵タンク、燃料電池)	600*5	22-50	45	0.7	4.2	40	89.2	●	●	●	
					117.6						202.6
蓄電池	20-400	75-95	-	5	30	-	30	●	●	●	
					840		840				
揚水式水力 (調整池、発電機)	0.1-0.2	50-85	-	2.3	13.8	14	27.8	●	●	●	
					386.4		400.4				

電力貯蔵技術の貯蔵期間と出力の適正



- メリット1**
大容量貯蔵可能
- デメリット**
変換効率が悪い
- メリット2**
長期間の貯蔵可能









水素製造や貯蔵の変換効率向上のための取組が産官学連携で行われている

*1: 1Lあたりに蓄電可能な電力量 *2: 電力を貯蔵形態に変換し、再び電力として取り出す場合に得られるエネルギーの割合 *3: kWあたりのコストを6時間率、1週間率それぞれで計算 *4: 1.2MW程度のコスト *5: 20,000,000Paの圧縮水素の場合 出所: 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター、HyGrid研究会「水素を活用したハイブリッドグリッド (HyGrid) の展開の可能性」(2014年4月)などを参考に作成

【水素活用意義_非常時の対応】

災害時の非常用電源として、燃料電池車両を活用できる

主要施設の非常時に必要な電力量のFCバス・FCV換算

	病院	コンビニ	避難所（学校）	ガソリンスタンド
非常時に必要な電力量	963kWh/日 (緊急医療が行える設備のみ) 平常時 (9,628kWh/日) の 10%が必要	235kWh/日 47% (冷蔵機器のみ) 平常時 (500kWh/日) の 47%が必要	100kWh/日 (照明、給湯 200人分)	16kWh/日 19% (給油機器のみ) 平常時 (82kWh/日) の 19%が必要
非常時1日間維持に必要なFCバス (455kWh/台) ※外部給電する場合電事法 上出力10kW未満の制約あり	2台 	0.5台 	0.22台 	0.03台 
非常時1日間維持に必要なFCV (120kWh/台)	8台 	2台 	0.83台 	0.15台 

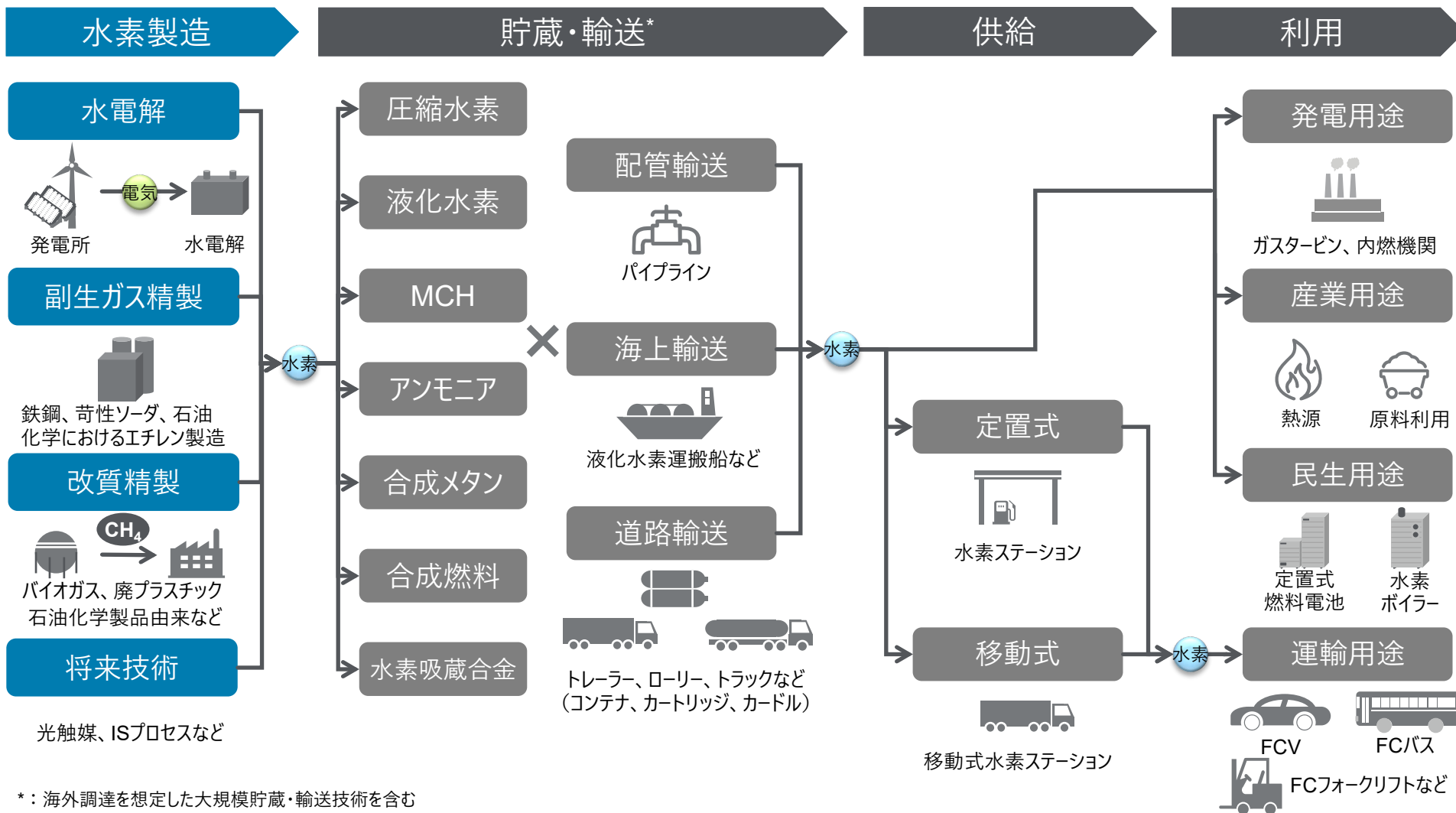
出所：資源エネルギー庁 燃料電池推進室 「燃料電池自動車について」（平成26年3月）を参考に作成

1. 水素の製造技術

【水素製造技術の位置づけ】

水素の製造には将来技術を除くと主に3種類の方法があり、様々なエネルギー源から製造できる

脱炭素化に向けた水素サプライチェーン



*: 海外調達を想定した大規模貯蔵・輸送技術を含む

【水素製造技術】

既存の水素製造技術は主に3種類の方法があり、特に脱炭素化に向けては、水電解への期待が高い

水素製造技術の種類

	水電解 詳細後述	副生ガス生成	改質生成
イメージ	<p>水の電気分解のしくみ</p> <p>出所：経済産業省, ケミカルワンダータウン, “地球温暖化問題を解決する?! 燃料電池” (2023/7/10閲覧)URLより引用</p>	<p>出所：株式会社トクヤマ</p>	
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水を原料とし水電解装置より電気分解することで、水素と酸素に分離し水素を製造 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既存の製鉄所などの製造プロセスにおいて発生する副生成物を精製することで水素を製造 	<ul style="list-style-type: none"> ■ バイオガスや都市ガスに水蒸気や熱、圧力などを加えることで水素を製造
CO2排出量*1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1.78kg/Nm3(系統電力の場合) ■ 0kg/Nm3(再エネの場合) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0.89～1.28kg/Nm3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0.95kg/Nm3(都市ガスの場合)
製造コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 76～136円/Nm3*2 (電解効率が70%の場合) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 製鉄：24～32円/Nm3 ■ 石油精製：23～37円/Nm3 ■ 苛性ソーダ：20円/Nm3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 31～58円/Nm3*2 (改質効率が70%の場合)
成熟度	<ul style="list-style-type: none"> ■ 数MW以下：商用段階 ■ 数十MW程度：実証段階 ■ 数百MW程度：技術開発段階 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 商用段階 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 商用段階 (脱炭素化のためのCO2回収は実証段階)
普及に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 大型化、モジュール化によるコスト低減 ■ 脱炭素化のためには再エネ由来電源が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 供給量は製品の生産量に依存 (約193.2万トン/年製造されていると推計) ■ 脱炭素化する場合はCO2回収が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 脱炭素化する場合はCO2回収が必要
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 神戸製鋼 ■ 旭化成 ■ 日立造船など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ トクヤマ ■ 岩谷産業 ■ ENEOSなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 三菱化工機 ■ 東洋エンジニアリングなど

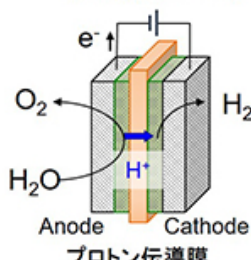
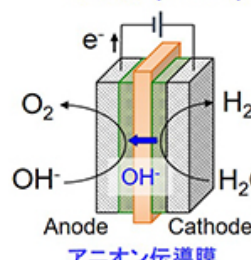
*1：ライフサイクルCO2は未考慮 *2：ランニングコストのみ

出所：資源エネルギー庁 燃料電池推進室「水素の製造、輸送・貯蔵について」第5回水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ（2014年4月14日）

【水素製造技術_水電解装置】

実用化されている水電解装置は2種類あり、アルカリ型は高効率で低コストである一方、固体高分子型は小型化しやすく、負荷追従性が高いため調整力として活用が期待される

水電解装置の種類

	固体高分子 (PEM) 型		アルカリ型
	小規模	大規模	大規模
イメージ	 <p>出所：東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所HP “純水供給固体アルカリ 水電解のための 高性能・高耐久 膜電極接合体の開発” (2023/7/10閲覧)(URL)より引用</p>		 <p>出所：東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所HP “純水供給固体アルカリ 水電解のための 高性能・高耐久 膜電極接合体の開発” (2023/7/10閲覧) (URL)より引用</p>
電解質	■ 固体高分子膜		■ アルカリイオン水溶液
電解効率	■ 56～60%		■ 63～70%
出力	■ 0.005～0.2MW	■ 1.5MW	■ 10MW
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ 再エネ由来等による負荷変動範囲が広い ■ 電流密度が高いためコンパクト化が容易 ■ イオン交換膜に貴金属を使用するため高コスト 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 負荷変動範囲が狭い ■ PEM型に比べ高効率 ■ 製品寿命が長い
導入コスト	■ 37.9万円/kw程度 (2030年 6.5万円/kw目標)		■ 14.4万円/kw程度 (2030年 5.2万円/kw目標)
プロジェクト事例	【環境省実証事業*】 <ul style="list-style-type: none"> ■ 富谷市PJ、室蘭市PJ、北九州市PJ、白糖町PJ、北九州市PJ 	【NEDO事業】 <ul style="list-style-type: none"> ■ H2-YES (山梨県甲府市) ➢ 実証期間：2016～2020年 	【NEDO事業】 <ul style="list-style-type: none"> ■ FH2R (福島県浪江町) ➢ 実証期間：2016～2020年
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 神鋼環境ソリューション ■ 東芝エネルギーシステム ■ 三菱化工機など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 日立造船 ■ 東レ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 旭化成 ■ 東芝エネルギーシステム

*：環境省「地域実証・低炭素水素技術実証事業」

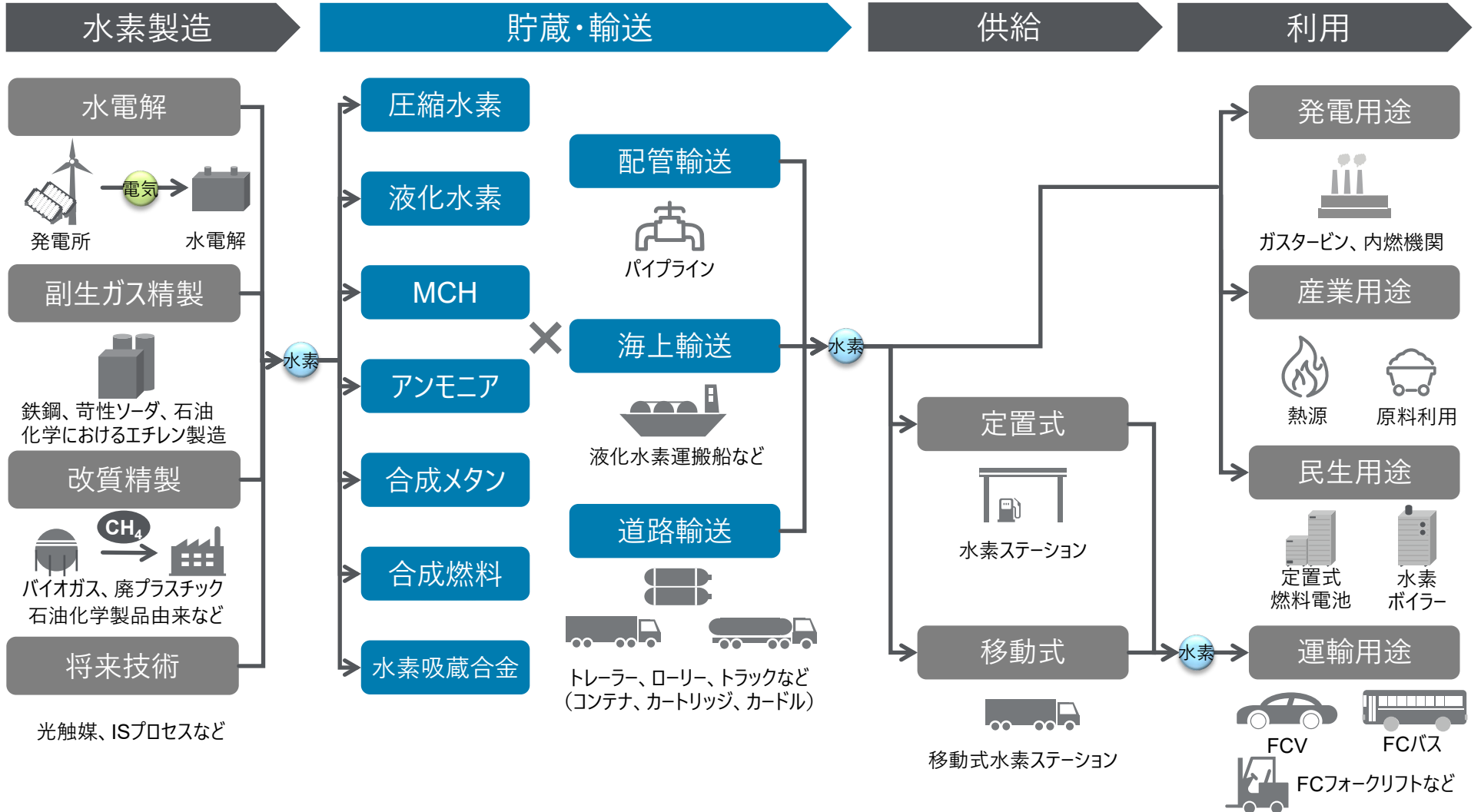
出所：資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」（2020年6月）、東芝エネルギーシステムHP、アイシンHP、パナソニックHP、京セラHP、三菱重工HP、日立造船HPなどを参考に作成

2. 水素の貯蔵・輸送技術

【水素貯蔵・輸送技術の位置づけ】

水素の貯蔵・輸送には多数の方法があり、輸送距離や輸送量に応じて、最適な方法を選択する必要がある

脱炭素化に向けた水素サプライチェーン



【水素貯蔵技術】

現状としてどのキャリアが優位となるか判断することは難しく、実用化に向けて様々なキャリアの技術開発が進められている

水素貯蔵技術の種類

詳細後述

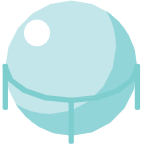

	圧縮水素	液化水素	MCH	アンモニア	合成メタン	合成燃料	水素吸蔵合金
輸送効率	■ 約1/200 (常温、20MPaG 気体)	■ 約1/800 (-253°C常圧で 液体)	■ 約1/500 (常温常圧で液 体)	■ 約1/1,300 (-33°C、常圧で 液体)	■ 約1/600 (-162°C 常圧で 液体)	■ 常温常圧で液 体	■ 体積当たりの 効率は高い ■ 質量当たりの 効率は低い
毒性	■ なし	■ なし	■ トルエンは毒性 あり	■ 毒性、腐食性 あり	■ 毒性なし	■ 毒性なし	■ 材料に依存
主要な エネルギー ロス	■ 圧縮エネルギー が必要	■ 液化時 (25~35%)	■ 脱水素時 (35~40%)	■ 脱水素時 (20%以下)	■ CO2合成時 (32%程度)	■ CO2合成時	■ 脱水素時に熱 エネルギーが必要
直接利用 可否	■ 可能	■ 可能	■ 不可 (脱水素+精製 要)	■ 不可 (脱水素+精製 要) ■ NH3として直 接利用可能	■ 都市ガスとして 直接利用可能	■ 燃料として直 接利用可能	■ 可能
既存インフラ 活用可否	■ 水素用の新規 インフラが必要	■ 水素用の新規 インフラが必要	■ ガソリンインフラ の利用が可能	■ LPGと同様のイン フラ技術が利用 可能	■ 既存LNGインフ ラが利用可能	■ 既存石油インフ ラが利用可能	■ 水素用の新規 インフラが必要
実用化に 向けた課題	■ 実用化済	■ <u>極低温に起因 する設備の技術 開発や大型 化によるコスト 低減が必要</u>	■ <u>エネルギーロス の更なる削減 が必要</u>	■ <u>直接利用先 大のための技 術開発、脱水 素設備の技術 開発が必要</u>	■ <u>高効率や大型 化に向けた技 術開発、製造 地における再工 ネ由来水素の 供給が必要</u>	■ <u>高効率化や低 コストに向けて 研究開発</u>	■ <u>低コストかつ重 量密度の向上 に向けた合金 の開発</u>

出所：資源エネルギー庁「水素政策小委員会アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議中間整理」（令和5年1月）などを参考に作成

【水素貯蔵技術_水素吸蔵合金】

水素吸蔵合金タンクは用途に合わせた設計が可能のため様々な目的で使用できる

水素吸蔵合金タンクの種類

	定置型大型タンク	円筒型タンク
イメージ		 提供：室蘭ガス
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 低圧力(1MPa未満)で水素を貯蔵・供給することが可能 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 高圧ガス保安法による規制を受けない ■ 用途やスペースに合わせた設計が可能 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 片手で持ち運べる小型容器 ➢ 大容量・長期間貯蔵用の定置型タンク ➢ 配送目的としての車載型タンクなど 	
水素吸蔵量	■ 10～170Nm ³ /基程度	■ 65、224、468、881NL程度
重量	■ 約7.2トン (1,000Nm ³ の場合)	■ 約5kg (468NLの場合)
プロジェクト事例	【NEDO事業】 ■ 仙台市茂庭浄水場	【環境省実証事業*】 ■ 北海道室蘭市PJ、宮城県富谷市PJ
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 日本製鋼所M&E ■ 那須電機鉄工 ■ 日本重化学工業 ■ 新日本電工など 	

*：環境省「地域実証・低炭素水素技術実証事業」

出所：日本製鋼所M&Eホームページ、日本経済新聞「脱炭素で稼ぐ、水素サプライチェーン300社」（2022年7月公開）、日本製鋼所M&E HPなどを参考に作成

【水素輸送技術_配管輸送】

配管輸送は今後、継続的に大きな需要が見込める地域などで適用される見込みがある

水素輸送技術（配管輸送）の種類

	水素ガス	液化水素	合成メタン
イメージ	<p>出所：東京都都市整備局「選手村地区エネルギー整備計画」(2023/7/25閲覧)(URL)より引用</p>	<p>出所：資源エネルギー庁燃料電池推進室「水素の製造、輸送・貯蔵について」(2014/4/14)(URL)より引用</p>	<p>出所：資源エネルギー庁燃料電池推進室「水素の製造、輸送・貯蔵について」(2014/4/14)(URL)より引用</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 短距離から長距離まで安定的かつ連続的に大量供給できるため、基幹エネルギーとしての導入用途を想定 ■ 圧縮機や貯蔵タンク、減圧弁などの設備を運用・管理する必要がある ■ 日本ガス協会（JGA）の関与のもと配管や部材の適用性などの技術基準の確認済である 		
導入コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 小口径、短距離の場合はコスト低 ■ 大口径、長距離の場合は埋設によりコスト高 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 真空二重構造の配管によりコスト高 ■ 極低温仕様の設備によりコスト高 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既存インフラを活用できるためコスト低
既存インフラの活用可否	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新規インフラが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新規インフラが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既存の都市ガスインフラが利用可能
プロジェクト事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ 山口県周南市、福岡県北九州市で実証 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 導入事例なし（プラント内配管における輸送のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 導入事例なし（ただしINPEXと大阪ガスはメタネーションの実証設備を建設中）
普及に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期運用を見据えた品質管理、安全性、O&M方法などの検討が必要 ■ 安定的な需要の創出および既存天然ガスパイプラインに水素を混合させるなどの段階的な検討が必要（環境省：秋田県能代市PJにて実証*） 		<ul style="list-style-type: none"> ■ 実用化済
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 岩谷産業 ■ ENEOSなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 岩谷産業など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 大阪ガス ■ 東京ガスなど

*：環境省「地域実証・低炭素水素技術実証事業」

出所：水素の辞典（新装版）水素エネルギー協会著 朝倉書店、資源エネルギー庁「合成メタンに関する最近の取組と今後の方向性」（2022/4）などを参考に作成

【水素輸送技術_海上輸送】

海上輸送は主に海外調達されたキャリアを大量に長距離輸送する際に適用される

水素輸送技術（海上輸送）の種類




	液化水素運搬船	ケミカルタンカー
イメージ	 <p>出所：川崎重工業株式会社HP, “液化水素運搬船「すいそふろんていあ」 が「シップ・オブ・ザ・イヤー2021」を受賞” (2023/7/3閲覧) (URL)より引用</p>	 <p>出所：日本郵船株式会社HP, “メタノールを燃料とする ケミカルタンカーが竣工” (2023/7/3閲覧) (URL)より引用</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ -253℃まで冷却し、体積が気体の800分の1となった液化水素を安全かつ大量に長距離海上輸送する ■ 海外から調達された水素を想定 ■ 真空二重殻の配管や貯蔵タンクを保有 	<ul style="list-style-type: none"> ■ MCH、合成メタン、合成燃料などを安全かつ大量に長距離海上輸送する ■ 海外から調達されたキャリアを想定 ■ 液化水素運搬船と異なり、既存技術の船舶
容量	<ul style="list-style-type: none"> ■ 貯蔵タンク：1,250m³（実証済） 160,000m³（開発中） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 積載量：5,000～40,000トン程度
プロジェクト事例	<p>【NEDO事業】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 1,250m³型 液化水素運搬船（すいそふろんていあ） <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実証期間：2015～2022年度（サプライチェーン全体） <p>【GI基金】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 160,000m³型 液化水素運搬船 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実証期間：2021～2029年度 	<p>【NEDO事業】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 10,000トンクラスMCH運搬船（CRANE URANUS号） <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実証期間：2015～2022年度（サプライチェーン全体）
実用化に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸送コスト低減に向けた貯蔵タンクを含む船舶の大型化 ■ 液化水素を荷役するための陸上設備の大型化 ■ 液化水素を燃料とする船舶用推進機関の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実用化済
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENEOS、シエルジャパン、川崎汽船、岩谷産業、川崎重工など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENEOS、日本郵船、千代田化工建設など

出所：川崎重工業プレスリリース（2021年8月）、千代田化工建設プレスリリース（2022年2月）などを参考に作成

【水素輸送技術_道路輸送】

道路輸送は需要に応じて配管が敷設されていない地域への供給に適用される

水素輸送技術（道路輸送）の種類

	圧縮水素	液化水素	MCH/NH3/合成メタン/合成燃料
イメージ	 <p>出所： 川崎重工業株式会社 “圧縮水素トレーラー”， (2023/7/28閲覧) (URL)より引用</p>		
適用	<p>■ 配管が敷設されていない地域や水素ステーションなどのサテライト基地への供給に適用される</p>		
輸送種別	<ul style="list-style-type: none"> ■ GH2トレーラー ■ トラック（ボンベカードル、シリンダー） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LH2ローリー ■ LH2コンテナ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ケミカルローリー ■ ケミカルコンテナ
充填量	<ul style="list-style-type: none"> ■ シリンダー：7～17.7m³ ■ カードル：100～300m³ ■ トレーラー：1,100～3,100m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ローリー：～23m³ (GH2トレーラー約12倍の輸送効率) ■ コンテナ：～40m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ケミカルローリー：～30m³
導入コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ ボンベカードル：数百万～数千万円 ■ GH2トレーラー：数千万～1億円 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LH2ローリー：数千万～1億円 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ケミカルローリー：数千万円
導入事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素ステーション等への供給 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 種子島宇宙センターへの供給 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 製油所、ガソリンスタンドへの供給など
実用化状況	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実用化済 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実用化済 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実用化済
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 岩谷産業 ■ ENEOSなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 岩谷産業など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 千代田化工建設 ■ ENEOSなど

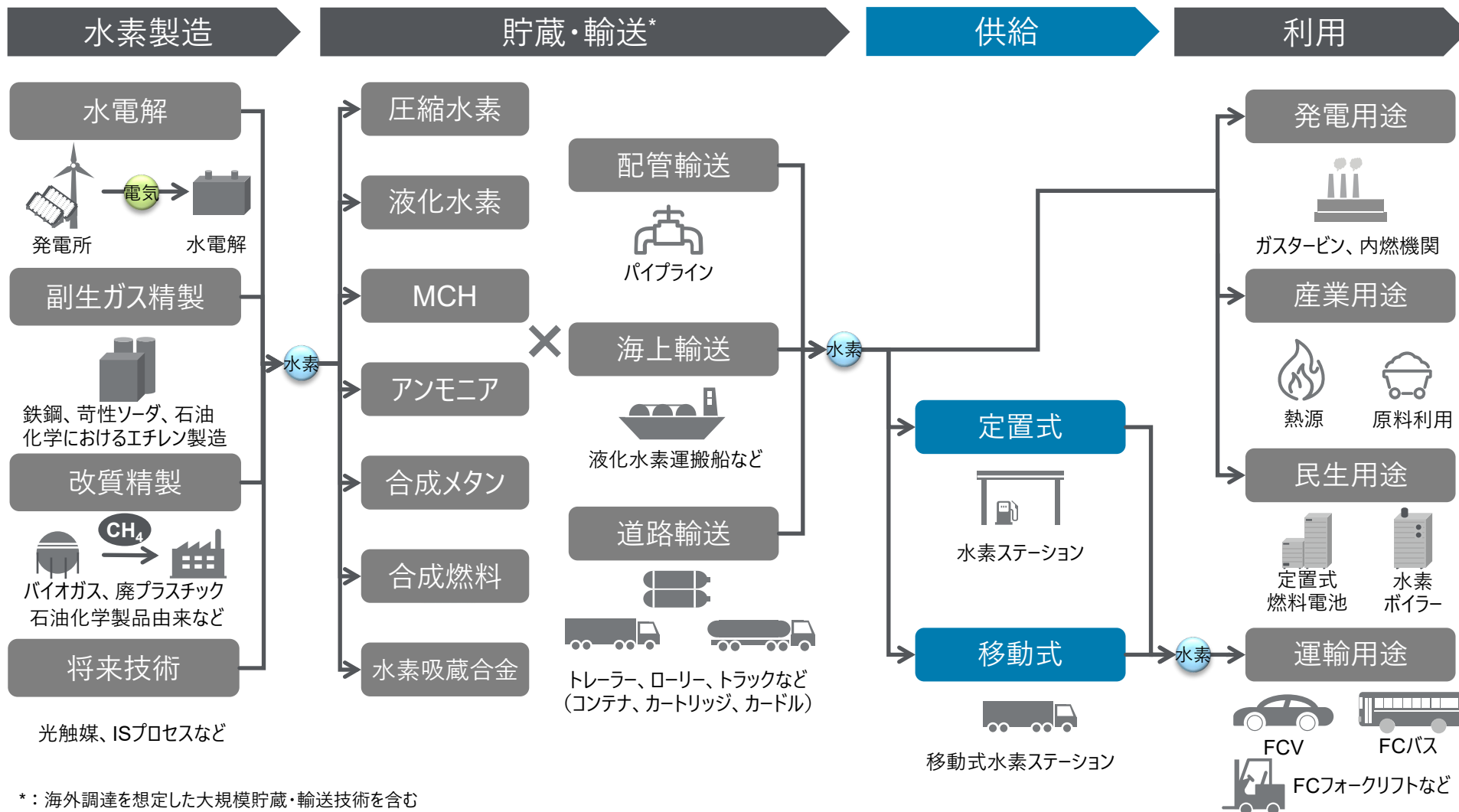
出所：岩谷産業HP、極東開発工業株式会社HPなどを参考に作成

3. 水素の供給技術

【水素供給技術の位置づけ】

水素供給としては、主にモビリティに向けてステーションが設置されており、種類は大きく定置式と移動式に分けられる

脱炭素化に向けた水素サプライチェーン



*: 海外調達を想定した大規模貯蔵・輸送技術を含む

水素ステーションの種類

	定置式水素ステーション	移動式水素ステーション
イメージ	 <p>出所：ENEOS株式会社HP, “ENEOSの水素ステーション 単独型・東京大井 水素ステーション” (2023/7/3閲覧) URLより引用</p>	 <p>出所：ENEOS株式会社HP, “ENEOSの水素ステーション 移動式・横浜大さん橋 水素ステーション” (2023/7/3閲覧) URLより引用</p>
概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乗用車（FCV）への水素供給に加えて、パイプラインを用いて近隣への水素供給が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 移動可能なトラックの荷台に水素充填装置を積んでおり、小スペースで比較的簡単に設置可能
導入コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 約3.3億円/基 (2025年までに2.0億円目標) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2～3億円/台
普及度/ 将来性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 全国100か所以上運用中 (2030年度までに約1,000か所設置目標) ■ FCVの普及拡大に応じて、基数が増えていく見込み 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 東京都、札幌市、室蘭市などで商用営業あり
普及に向けた 課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 安全確保を前提とした更なるコスト低減やユーザーの利便性向上 	
国内 プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENEOS ■ 東京ガス ■ 岩谷産業 ■ 日本エア・リキードなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENEOS ■ 豊田通商 ■ 岩谷産業 ■ 大陽日酸など

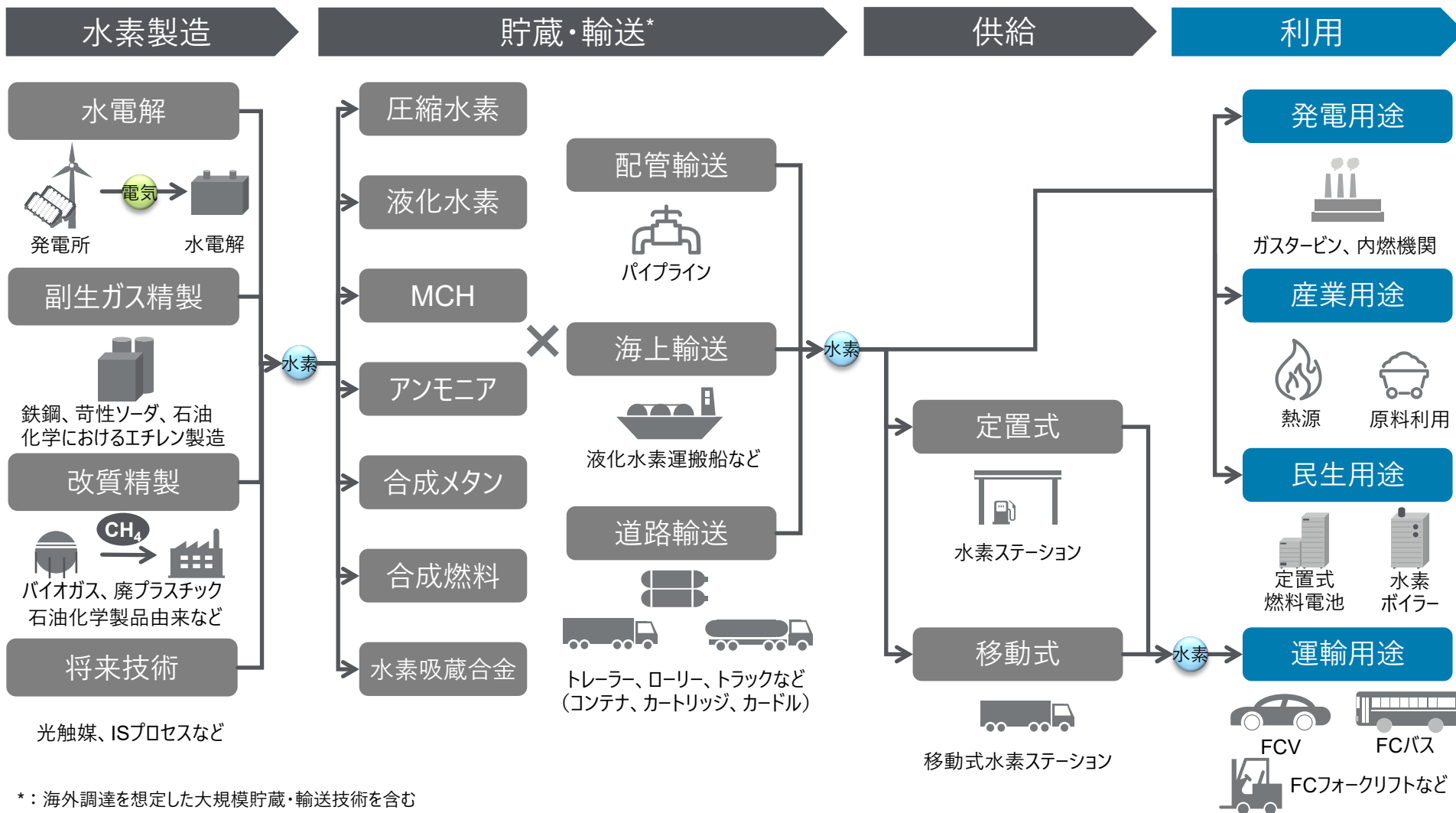
出所：資源エネルギー庁「燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金について」（令和3年5月）などを参考に作成

4. 水素の利用技術

【水素利用技術の位置づけ】

水素の利用は、目的別に「運輸」、「民生」、「産業」、「発電」の4つに分類される

脱炭素化に向けた水素サプライチェーン



*: 海外調達を想定した大規模貯蔵・輸送技術を含む

【水素利用技術_発電用途】

発電用途は既存発電設備の規模を想定して混焼率の向上や専焼化に向けた燃焼技術の開発が進められている

水素利用技術（発電用途）の種類

	ガスタービン発電	汽力発電	エンジン発電
イメージ	<p>出所：デロイト作成</p>	<p>出所：デロイト作成</p>	<p>出所： 株式会社クボタHP、 “デンヨー株式会社、 CO2排出ゼロの 発電機の開発に着手” (2023/7/3閲覧) URLより引用</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ ガスタービンにて燃焼させ回転させ、発電機を駆動 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ボイラより生じる熱を用いて、高温・高圧の蒸気をつくり、蒸気タービンを回転させて発電機を駆動 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 気体が燃焼する際の膨張力を用いてピストンを動かし発電機を駆動
燃料	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素 ■ アンモニア 	<ul style="list-style-type: none"> ■ アンモニア 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素
出力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1～30MW程度（混焼や実証予定含む） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 専焼～50%混焼（実証予定含む） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1～5MW程度（混焼や実証予定含む）
開発状況	<p>【水素】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 小型（専焼）：実証済 ■ 中型（混焼・専焼）：実証（～2026） ■ 大型（混焼）：実証（～2025） ■ 大型（専焼）：実証（～2030） <p>【アンモニア】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 小型（専焼）：実証（～2027） 	<p>【アンモニア】</p> <p>石炭火力発電所におけるアンモニア利用に向けて、高混焼微粉炭バーナおよび専焼バーナを開発・実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 20%混焼：実証（～2024） ■ 50%混焼：実証（～2028） 	<p>【水素】</p> <p>各社、ディーゼルやガスエンジンをベースに水素エンジンの開発と実用化を開始</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 小型（専焼）：燃焼試験（2021） ■ 大型（混焼）：実証（～2025）
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ ENEOS、川崎重工、関西電力 ■ 三菱重工 ■ IHIなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ JERA ■ 三菱重工 ■ IHIなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 三菱重工 ■ 川崎重工など

出所：資源エネルギー庁「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理（案）」（2021年3月）、NEDO「水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証」（2021年8月）、NEDO「ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発・実証」、「石炭ボイラにおけるアンモニア高混焼技術（専焼技術含む）の開発・実証」（2022年1月）、三菱重工プレスリリース（2021年1月）、川崎重工プレスリリース（2022年3月）などを参考に作成

【水素利用技術_産業用途】

工業炉において、原料や熱源利用を想定した技術開発が進められており、特に電化による代替が難しい熱源の脱炭素化に水素の利用が期待されている

水素利用技術（産業用途）の種類



	原料用途	熱源利用
イメージ	<p>出所：NEDO「グリーンイノベーション基金事業 高炉を用いた水素還元技術の開発 (1) 所内水素を活用した水素還元技術等の開発」</p>	<p>出所：資源エネルギー庁 「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理（案）」</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 製鉄プロセスにおいて使用する還元剤に既存の炭素ではなく水素を用いることでCO2排出量を削減 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素燃料をノズルから噴出、空気と混合の上、燃焼させる ■ 電化による代替が難しい工業炉やバーナーの熱源として利用
開発状況	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2030年まで水素還元技術などで10%以上、CO2分離回収技術で20%以上の計30%以上削減を目指し開発が進行中 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 各社、開発・商品化を進めており、販売が開始されつつある（最高使用温度：～950℃程度）
課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱補填の仕組みや高炉内の通気・反応促進等に関する技術開発が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ より高温域での使用用途に対応することが必要 ■ 水素の物性に起因する機器側の技術開発が必要
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 日本製鉄 ■ JFEスチール ■ 神戸製鋼など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 東京ガス ■ 東邦ガス ■ 中外炉工など

出所：NEDO「高炉を用いた水素還元技術の開発」（2022年1月）、資源エネルギー庁「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理（案）」（2021年3月）、各種公開情報を参考に作成

【水素利用技術_民生用途】

民生用途として家庭・業務用の定置型燃料電池やボイラが実用化されており、容量の拡大に向けて研究開発や実証が進められている

水素利用技術（民生用途）の種類





	定置型燃料電池 詳細後述	水素燃料ボイラ
イメージ	 <p>出所：Panasonic HP, 純水素型燃料電池（5kWタイプ） (2023/7/3閲覧) URLより引用</p>	 <p>出所：三浦工業株式会社HP, 水素燃料ボイラ (2023/7/3閲覧) URLより引用</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水の電気分解の逆反応で、水素と酸素の化学反応により電気を発生させる装置であり、反応後は水が排出される。 ■ 使用する電解質の種類によって発電効率や運転温度等が異なるため、用途に合わせて選定する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素を燃料として、水を加熱、蒸気や温水を取り出す装置であり、燃焼時の生成物は水のみである。 ■ 燃焼時にCO2が排出されないが、NOxが排出される
出力	■ 数百W（家庭用）～1MW（業務・産業用）	■ 換算蒸気量：250kg～2,000kg程度
導入コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家庭用：200万円程度 ■ 業務・産業用：170万円/kW程度 (2025年頃 30～50万円/kW程度目標) 	(公開情報なし)
事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家庭用として広く普及 ■ コンビニの電源や災害時の非常用電源を想定した導入事例あり 	■ 工場で生成された副生水素を利用するための用途が主
将来性	■ 電力システムの調整力として導入拡大する見込み	■ 今後はCO2フリーの熱源として、再エネ水素を燃料とした需要が拡大する見込み
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 大型化、低コスト化のための材料開発が必要 ■ 幅広い環境下での耐久性や動作性の向上 	■ 更なる低NOxや高効率、安定性向上のための開発が必要
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ パナソニック ■ 日立造船 ■ 京セラなど 	■ 三浦工業など

出所：資源エネルギー庁「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）、B&Tブックス日刊工業新聞社「燃料電池の本」、三浦工業カタログ「水素燃料ボイラ」などを参考に作成

【水素利用技術_民生用途_燃料電池】

民生用途として実用化している燃料電池は2種類あり、固体酸化物形のほうが発電効率に優れているが、熱回収を含めた総合効率では固体高分子形のほうが優れている

燃料電池の種類






	固体高分子形 (PEFC)		固体酸化物形 (SOFC)	
	家庭用	業務用	家庭用	業務用
イメージ	 <p>出所： Panasonic HP, 家庭用燃料電池 「エネファーム」 (2023/7/3閲覧) (URL)より引用</p>	 <p>出所：東芝エネルギーシステムズHP, 水素をつかう：製品・技術サービス (2023/7/3閲覧)(URL)より引用</p>	 <p>出所：株式会社アイシンHP, 製品情報エネファームtype S (2023/7/3閲覧)(URL)より引用</p>	
電解質	■ 固体高分子膜		■ 固体酸化物膜	
作動温度	■ 70～90℃		■ 700～1,000℃	
出力	■ 700W以下	■ 5kW、100kWなど	■ 700W以下	■ 20kW、250kWなど (1MW級は実証中)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>熱利用を含めた総合効率が高い</u> (総合効率：95%程度) ■ 低温作動可能で、取扱が容易 ■ 起動停止が容易 		<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>PEFCに比べて総合効率が低い</u>が、<u>発電効率が高い</u> (総合効率：90%程度) ■ 燃料改質器が簡素であり、小型化や薄型化が容易 ■ 廃熱温度が高いためガスタービンなどで二次的発電が可能 	
導入事例	■ 家庭用燃料電池エネファーム	■ 市場、温水プール、ホテルなどの施設で導入	■ 家庭用エネファーム	■ ビルの分散型電源として実証導入
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ パナソニック ■ 東芝エネルギーシステムズなど 		<ul style="list-style-type: none"> ■ アイシン ■ 京セラなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 三菱重工 ■ 日立造船など

出所：東芝エネルギーシステムズHP、アイシンHP、パナソニックHP、京セラHP、三菱重工HP、日立造船HPなどを参考に作成

【水素利用技術_運輸用途】

運輸用途として実用化されているアプリケーションはFCV、FCバス、FCフォークリフトの3種類であり、その他の産業機械、鉄道、船舶、航空機は実証・開発段階である

水素利用技術（運輸用途）の種類




	モビリティ 詳細後述	産業機械	鉄道	船舶 詳細後述	航空機
イメージ		 出所：トヨタL&F、“燃料電池フォークリフト”(2023/7/3閲覧)(URL)より引用	 出所：JR東日本等ニュースリリース(2020年10月6日)、“水素をエネルギー源としたハイブリッド車両（燃料電池）試験車両の開発”(URL)より引用	 出所：ジャパンハイドロHP,(2021/7/12)(URL)より引用	 出所：川崎重工工業株式会社(URL)より引用
アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乗用車 ■ トラック ■ バス 	<ul style="list-style-type: none"> ■ フォークリフト ■ 建設機械 ■ 農業機械 ■ トーイングトラクター 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 鉄道車両（主にディーゼル車） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 観光船 ■ 運搬船 	<ul style="list-style-type: none"> ■ リージョナル機 ■ 中小型機
動力源	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃料電池 ■ 水素エンジン 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃料電池 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃料電池 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃料電池 ■ 水素エンジン 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素ガスタービン
航続距離/駆動時間	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航続距離：200～800km前後（燃料電池） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 駆動時間：8時間程度 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航続距離：140km前後 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (公開情報なし) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航続距離：2,000～3,000km
販売・PJ事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ MIRAI、SORAなどがトヨタより販売 	<ul style="list-style-type: none"> ■ トヨタL&Fより販売 	<ul style="list-style-type: none"> ■ HYBARI（試験車両） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ NEDO事業、GI基金で採択 	<ul style="list-style-type: none"> ■ GI基金にて採択
実用化	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>商用化済</u>（FCV、FCバス） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>商用化済</u>（FCフォークリフト） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実証段階 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実証段階 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術開発段階
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ トヨタ ■ ホンダなど 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 豊田自動織機など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ JR東日本など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ヤンマー ■ 岩谷産業など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ JAXA ■ 川崎重工など

出所：「水素・燃料電池ロードマップ（改訂版）」（経産省）、「水素エネルギー-白書」（NEDO）、NEDO「水素航空機向けコア技術開発」（2021年11月）、その他各種公開情報を参考に作成

【水素利用技術_運輸用途_モビリティ】

モビリティとして水素が利用されているアプリケーションの内、重点領域とされているものは、FCV、FCバス、FCトラックの3種類である

運輸用途（モビリティ）の種類

	燃料電池自動車（FCV）	FCバス	FCトラック
イメージ			
概要	<ul style="list-style-type: none"> 燃料となる水素と酸素を反応させ、得られた電力でモーターを駆動 静音性や加速性に優れる 	<ul style="list-style-type: none"> FCVと同様の特徴 路線バスの場合は安定確保可能な非常用電源として活用可能 	<ul style="list-style-type: none"> FCVと同様の特徴 電気自動車（BEV）では対応しづらい長距離搬送や高稼働車両としての需要を想定
航続距離	<ul style="list-style-type: none"> 800km前後 	<ul style="list-style-type: none"> 200km前後 	<ul style="list-style-type: none"> 【小型トラック】約260km*4（2022年～実証） 【大型トラック】約600km（2022年～実証）
ランニングコスト	<ul style="list-style-type: none"> 9円/km程度*1（燃費:135km/kg*2） 	<ul style="list-style-type: none"> 100円/km程度*1（燃費:12km/kg*3） 	<ul style="list-style-type: none"> 【小型トラック】（目標燃費:26km/kg*4）
販売価格	<ul style="list-style-type: none"> 7百万円以上 	<ul style="list-style-type: none"> 1億円以上 	<ul style="list-style-type: none"> （未定）
普及度/将来性	<ul style="list-style-type: none"> 累計7,000台程度（2023年1月時点） 2030年までに80万台程度目標 	<ul style="list-style-type: none"> 累計120台程度（2023年1月時点） 2025年以降200台/年目標 	<ul style="list-style-type: none"> 【小型トラック】 2030年までに1.2～2.2万台目標 【大型トラック】 2030年までに5,000台目標
量産開始時期	<ul style="list-style-type: none"> 販売済 	<ul style="list-style-type: none"> 販売済 	<ul style="list-style-type: none"> 【小型トラック】 2025年度以降 【大型トラック】 2020年代後半以降
普及に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> 水素タンク設置による積載量減少・貨物部の容積減少 水素ステーションのインフラ整備が脆弱 車両コストや燃料コストが高い 		
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> トヨタ自動車、本田技研工業など 	<ul style="list-style-type: none"> トヨタ自動車 	<ul style="list-style-type: none"> トヨタ自動車、日野自動車、いすゞ自動車

*1：水素価格として1kgあたり1200円で計算、*2：MIRAI ZシリーズWLTCモードカタログ値、*3：大阪府FCバス研究会資料、*4：ファミリーマートプレスリリース（2022年1月）
 出所：経済産業省「モビリティ水素官民協議会 説明資料」（2022年12月）、その他各種公開情報を参考に作成

【水素利用技術_運輸用途_船舶】

船舶の動力源としては2種類あり、燃料電池船は小型・近距離向け、水素エンジン船は大型・遠距離向けとして、技術開発や実証が進められている

運輸用途（船舶）の種類

	燃料電池船	水素エンジン船
イメージ		 <p>出所：ジャパンハイドロHP, (2021/7/12) (URL)より引用</p>
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航行時にCO₂や環境負荷物質を排出しない ■ 匂い、騒音、振動がなく、快適性に優れている ■ ボートや観光船など<small>小型かつ近距離</small>を想定している 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 専焼エンジンの場合、航行時にCO₂を排出しない ■ 運搬船など<small>大型かつ遠距離</small>を想定している
出力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 250kW（「FCプロト艇*1」の場合） 	<p>【混焼】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 441kW（「ハイドロびんご*2」の場合） <p>【専焼（実証段階）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 800kW、1,400kW、2,000～3,000kW、5,000kW超
プロジェクト事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ 船用燃料電池システムの実証試験（FCプロト艇） <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2021年～実証開始 ■ 水素燃料電池船と船舶用ステーションの開発 <ul style="list-style-type: none"> ➢ NEDO事業：2021～2025年度 	<p>【混焼】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 水素燃料フェリー（ハイドロびんご） <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2023年～運航開始 <p>【専焼】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 船用水素エンジンおよびMHFSの開発 <ul style="list-style-type: none"> ➢ GI基金：2021～2030年度
実用化に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 船体構造やエネルギーマネジメントシステムの開発 ■ 船舶用供給インフラの整備 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水素燃焼の最適化 ■ 船用水素燃料タンクおよび燃料供給システムの開発
国内プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ■ ヤンマー ■ 岩谷産業、名村造船所など 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 商船三井、川崎重工、ヤンマー、ジャパンエンジンなど

*1：ヤンマーが開発した実証試験艇 *2：ツネシクラフト&ファシリティーズが開発した国内初の水素を燃料とする旅客船

出所：ヤンマープレスリリース（2021年3月）、岩谷産業プレスリリース（2021年7月）、NEDO「船用水素エンジン及びMHFSの開発」（2021年10月）などを参考に作成



掲載元：環境省「脱炭素化にむけた水素サプライチェーン・プラットフォーム」
URL：https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/index.html