

みずほ産業調査 Vol. 65

「日本産業が世界に存在感を示すためのトランスフォーメーション
～コロナ後の長期的な目指す姿の実現に向けて～」

水素 ～脱炭素化に向けた新たなエネルギー源と日本企業の事業機会～

みずほフィナンシャルグループ
リサーチ&コンサルティングユニット

みずほ銀行 産業調査部

サマリー

- 水素は、低炭素化・脱炭素化の実現と、それに向けた諸課題への対応の選択肢として、今後利用の拡大が予想されるエネルギー源である。ただし、多様な産業において水素利用の拡大による低炭素化・脱炭素化が実現するためには、コスト低下等の課題解決が必要となる。
- 事業者にとって、コスト低減のためには、規模の拡大によるスケールメリットの実現がポイントとなる。供給側の事業者には、モデルプロジェクトで水素輸送や水電解等のキーとなる技術の早期確立を図りつつ、将来的なコスト低減・収益確保に向けて、幅広い市場への水素供給が期待される。より利用側に近い機器メーカー等の事業者にとっては、市場シェアの獲得・維持によるシステムコストの低減が鍵になる。
- 海外に目を転じると、欧州委員会が2020年7月に水素戦略を公表して、官民一体となって水素産業を育成する動きを開始している。欧州系の石油メジャーやガス会社といった、従前は化石燃料事業を主力としてきた事業者も、徐々に水素事業への取り組みを強化している。
- 日本の事業者が水素産業において存在感を発揮するためには、一部の分野で先行していると考えられる技術力を活かしつつ、上流から下流まで水素バリューチェーン全体を事業機会として収益を獲得していくことが必要である。そのためには、水素製造における中核的事業者の創出、過渡期における適切な政策サポートの活用や、インフラ構築のための供給側／利用側の垣根を超えた事業者間連携等も重要になる。

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

水素利用の拡大が、低炭素化・脱炭素化に向けた課題解決の選択肢に

- 水素は、燃焼時にCO₂を排出しない、環境負荷の小さいエネルギー源である
- 再エネ導入量拡大等のエネルギーに関わる諸課題への対応の選択肢として、今後、水素利用が拡大する見通し
 - ― 中長期的に、再エネ電力エネルギーの貯蔵や水素発電での利用拡大、産業の低炭素化の手段としての水素利用等が、水素社会実現に向けた原動力になるものと思料
 - ― 環境価値を含めると化石燃料とも競争可能となるような供給コスト低減が、水素利用拡大の前提

水素に注目が集まる背景と利用拡大に向けた課題

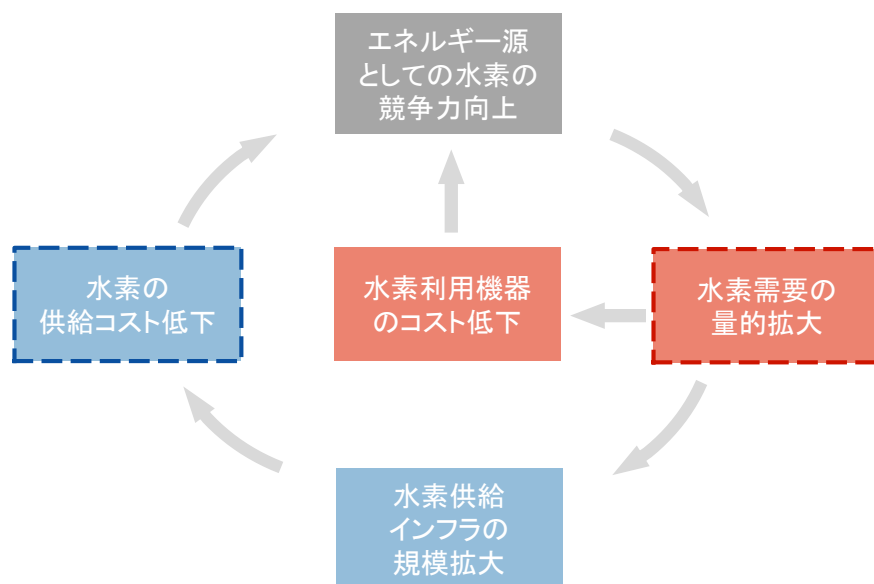
再生可能エネルギー 導入量の拡大	・ 電力由来の水素製造、及び水素発電による、電力エネルギーの貯蔵手段の拡充 ・ 再エネ発電から生じる電力の時間的・地理的な需給ギャップへの対応により、再エネ利用を最大化
電化が難しい 産業の低炭素化	・ 非乗用車中心の輸送(トラック、船舶、鉄道等)、石油精製・化学、鉄鋼等の電化が難しい産業について、CO₂フリー水素利用による低炭素化・脱炭素化の実現
ガス導管インフラの 有効活用と低炭素化	・ 既存のガス導管インフラへのCO₂フリー水素の混合等によるガスエネルギーの低炭素化 ・ 過度な電力依存度増加の回避と多様なエネルギー供給源の確保による低炭素エネルギーの安定供給
	
水素利用拡大に 向けた課題	・ 環境価値を含めると、化石燃料等の既存のエネルギー源とも競争可能となる製造コスト低減 ・ 需要地に十分な量の水素を供給するための、サプライチェーンインフラの拡充 ・ 水素の輸送・利用等に関わる技術的な安全性確保と適切な規制 ・ 低炭素化・脱炭素化に貢献するCO₂フリー水素の供給量拡大

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

水素利用拡大に向けた、供給側・利用側の事業者求められる取り組み

- 水素利用拡大のためには、供給側のコスト低減と利用側の需要拡大の好循環がポイント
 - 供給側の装置・インフラ等の規模拡大がコスト低減の手段
 - 利用側の機器等についても、需要増加は生産規模拡大を通じてコスト低減に繋がり得る
 - 水素産業の自立化までの期間、政策支援・制度整備の両面で、政府が果たし得る役割も大きい
- 好循環の実現により、供給側・利用側の双方が水素関連産業として成長する余地大

水素利用拡大に向けた好循環



好循環の実現により供給側・利用側双方が産業として成長

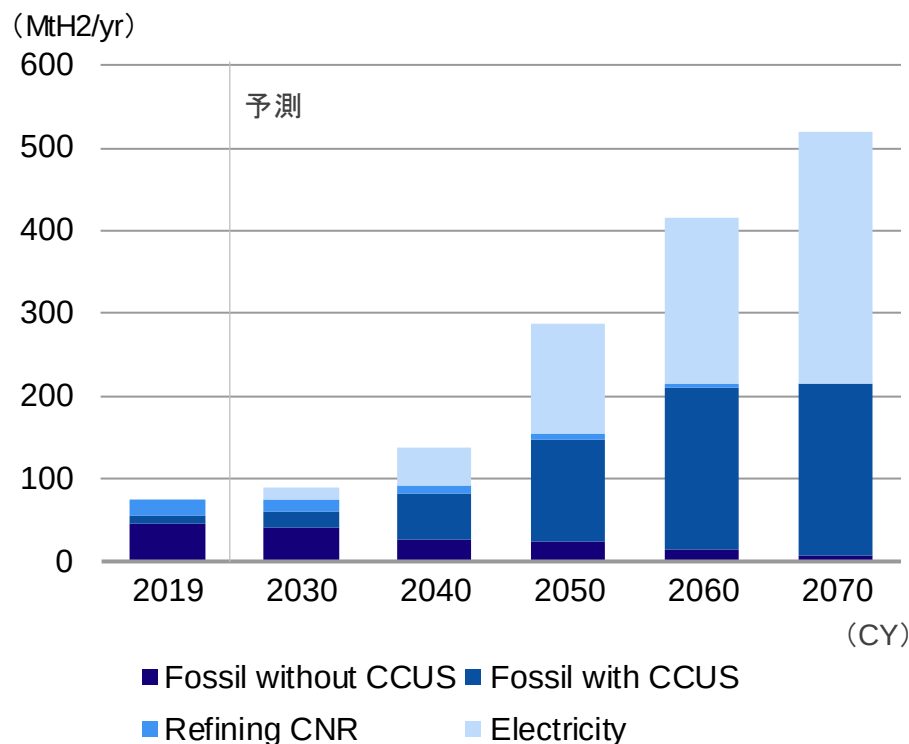
供給側・利用側等に求められる取り組み

供給側	- 環境価値を含めると既存エネルギーと競争可能な水準までのコスト引き下げ - 水素供給のためのサプライチェーンインフラの拡充
利用側	- 水素アプリケーションの多様化 - 個々の水素利用機器等の生産規模拡大による単位当たりの製造コスト引き下げ
(参考) 政府等	- 補助金・実証実験等による普及過渡期の政策支援 - CO2フリー水素の認証等による環境価値の顕在化 - 水素利用に関わる安全性確保と規制緩和

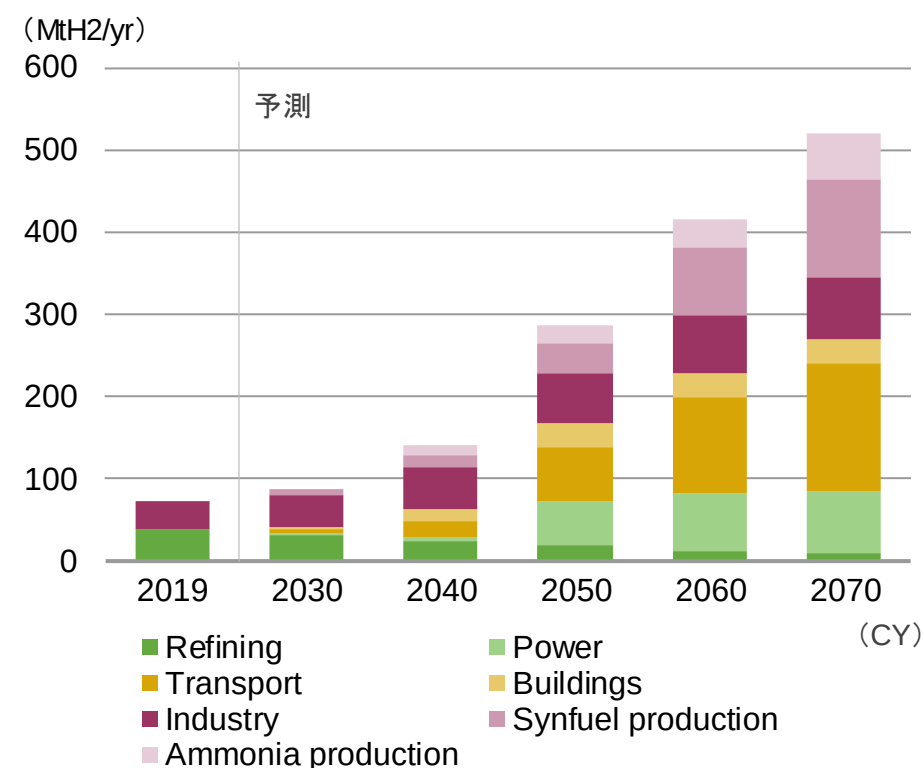
世界の水素市場：2030年以降、水素消費の拡大が顕著となる可能性

- 低炭素化の進展を前提とするシナリオでは、2030年以降、水素供給量の拡大が顕著となる見通し
 - 中期的にはブルー水素(Fossil with CCUS^(注))、長期的には水電解由来の水素(Electricity)が主流となる予測
- (注)化石燃料改質／ガス化による水素製造と発生するCO2を固定化するCCUS(CO2の回収・有効利用・貯留)の組み合わせ
- 水素需要は、輸送部門・産業部門・発電部門における増加に加えて、水素とCO2を反応させて製造する合成燃料の原料としても、増加が見込まれる

製造方法別・世界の水素供給量見通し(IEA)



用途別・世界の水素需要量見通し(IEA)



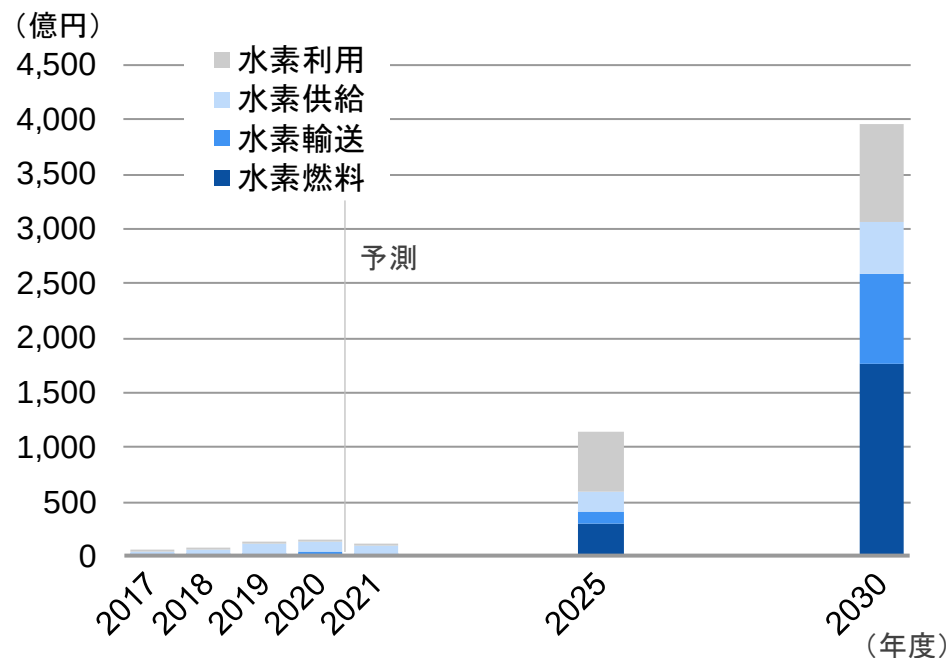
(注)パリ協定における2℃目標達成等を前提とする、“Sustainable Development Scenario”における見通し

(出所)IEA, Energy Technology Perspectives 2020より、みずほ銀行産業調査部作成

日本の水素・燃料電池関連市場：長期的には市場が飛躍的に拡大する見通し

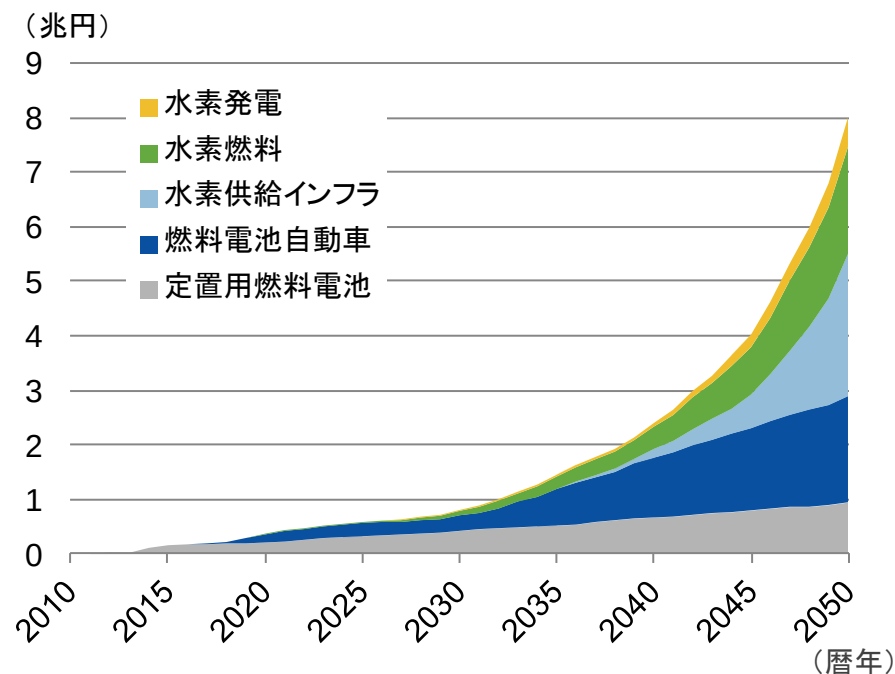
- 定置用燃料電池の導入から始まり、燃料電池自動車、水素発電と利用用途の拡大に合わせ、関連インフラの市場が形成されれば、日本の水素市場は大きく拡大する見込み
 - 富士経済は、2030年度の日本の水素燃料関連市場規模を約4,000億円と予測
 - 日本エネルギー経済研究所(IEEJ)の予測に拠れば、将来的には水素・燃料電池関連市場は8兆円市場に成長する可能性も

日本の水素燃料関連市場見通し(富士経済)



(注)2020年度は見込値
(出所)富士経済「2020年版 水素利用市場の将来展望」より、みずほ銀行産業調査部作成

日本の水素・燃料電池関連市場見通し(IEEJ)



(注)水素・燃料電池ロードマップに記載のIEEJによる見通し
(出所)資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップ」より、みずほ銀行産業調査部作成

(参考) 日本政府の水素基本戦略

- 日本政府は、2017年12月に「水素基本戦略」を閣議決定

日本政府の水素基本戦略のシナリオ

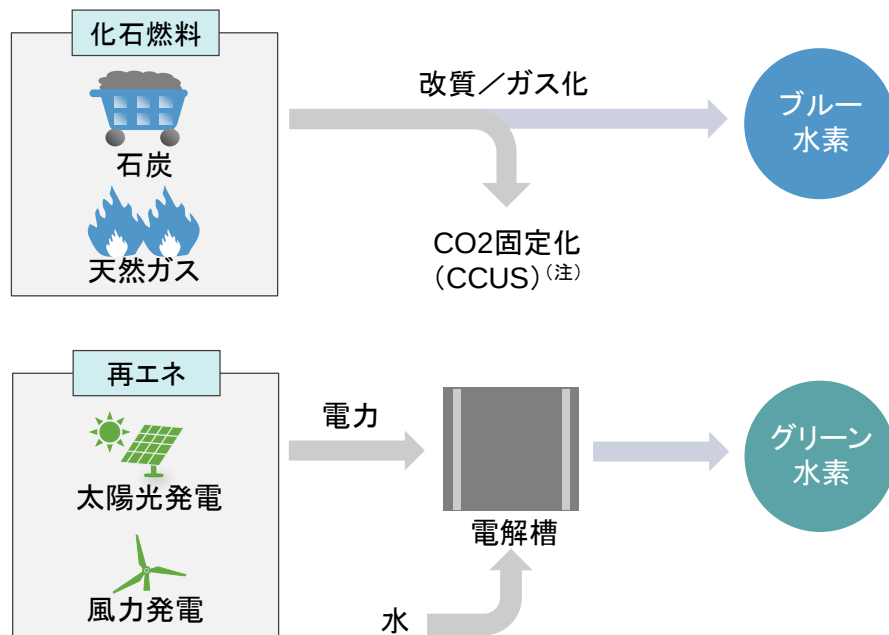
	現状	2030年	将来目指すべき姿
供給	化石燃料由来水素 (副生水素、天然ガス改質) サプライチェーン構築実証、スケールアップ	- 国際水素サプライチェーン構築 - 国内再エネ由来水素製造技術確立 スケールアップ 大幅コストダウン	CO2フリー水素 (褐炭×CCS、再エネ活用)
水素量	- 現状: 200t 2020年: 4,000t	300,000t(商用サプライチェーン規模)	10,000,000t+α (発電での消費量に大きく依存)
コスト	~100円/Nm³ (ステーション価格)	ロードマップ目標 30円/Nm³(現状の1/3程度)	20円/Nm³(現状の1/5程度)
水素利用 (発電)	技術開発段階 水素発電実証・環境価値評価の仕組み確立	17円/kWh(商用段階) 100万kW≒水素消費量30万トン	12円/kWh(ガス火力発電を代替) 15-30GW≒水素消費量5-10百万トン
水素利用 (モビリティ)	- ステーション: 100力所 - FCV: 2,000台 - FCバス: 40台 - フォークリフト: 40台 各省連携による水素供給ネットワーク整備	- ステーション: 900力所 - FCV: 80万台 - FCバス: 1,200台 - フォークリフト: 10,000台 FCVステーション自立化(2020年代後半)	- ステーション: 収益性向上によりガソリンスタンドを代替 - FCV: FCスタックの技術進歩・低コスト化によりガソリン車を代替
燃料電池活用	エネファーム: 22万台 エネファーム自立化	エネファーム: 530万台	家庭等における従来エネルギーシステムを代替

(出所) 資源エネルギー庁「水素基本戦略」より、みずほ銀行産業調査部作成

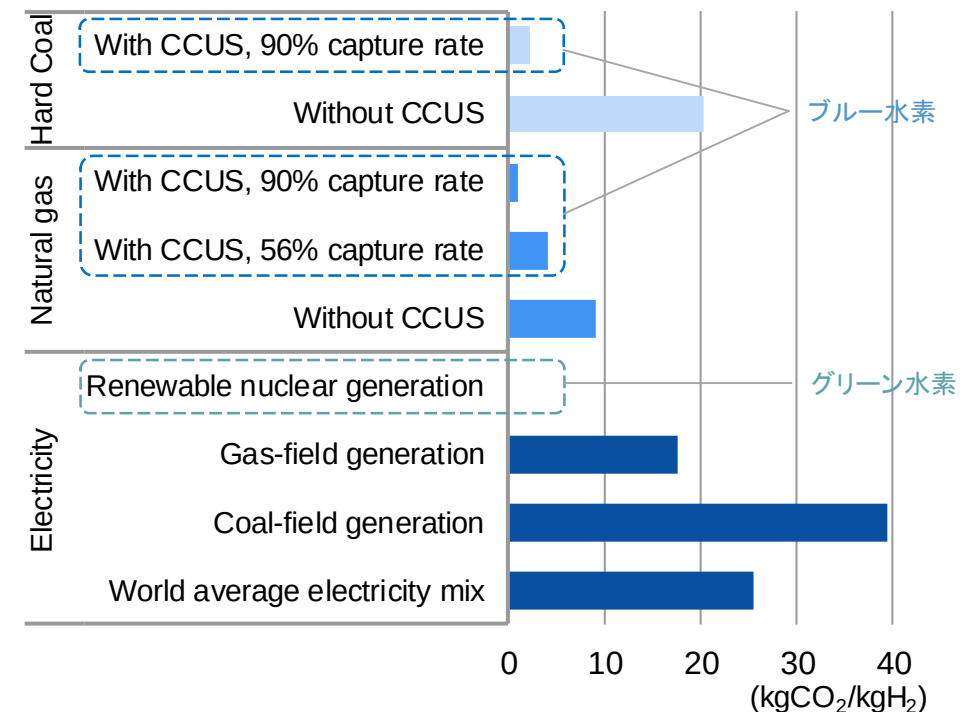
水素供給:CCUSや再エネ電力との組み合わせにより、CO2フリー水素を製造

- CO2フリー水素の製造方法には複数の選択肢が存在
 - ① 化石燃料改質／ガス化による水素製造と発生するCO2を固定化するCCUSの組み合わせ(=ブルー水素)
 - ② 再エネ由来の電力を利用した水の電気分解(=グリーン水素)
- 水素は、製造方法により製造過程でのCO2排出量に違いがある
 - より排出量の少ないCO2フリー水素を供給・利用することによる環境価値発揮が重要

CO2フリー水素の製造方法



水素の製造方法別のCO2排出係数



(注) CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

(注) CO2回収率56%は原料由来の排出のみ、90%は燃料由来を含む
(出所) IEA, *The Future of Hydrogen*より、みずほ銀行産業調査部作成

水素輸送：液化して輸送効率を高めることで、大規模サプライチェーンを構築

- 水素の輸送手段として、①液化水素、②有機ハイドライド、③アンモニア等が選択肢
 - 水素は、常温常圧ではエネルギー密度が低い気体であり、液化して輸送効率を高めることが重要
 - 各輸送手段は、輸送効率や取り扱いの難度の観点で長所・短所を有する
 - 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、民間への委託事業を実施して各輸送手段について実証

水素輸送手段の比較

分類	液化条件	水素密度	長所	短所
液化水素 (LH_2)	-253℃	70kg- H_2/m^3	✓ 工業用の水素輸送方法として既に普及 ✓ 体積水素密度が高く、効率的な輸送が可能 ✓ 高純度のため精製不要	✓ 冷却の際に一定のエネルギーが必要 ✓ -253℃まで冷却が必要であり、取り扱いが難しい ✓ 輸送・貯蔵時のボイルオフが課題
有機ハイドライド (メチルシクロヘキサン: MCH)	常温常圧	47kg- H_2/m^3	✓ 常温常圧で安定的に貯蔵可能 ✓ ケミカルタンカー等の既存の輸送・貯蔵インフラが利用可能	✓ メチルシクロヘキサンから水素に戻す工程で、一定のエネルギーが必要 ✓ 用途に応じてトルエン等除去のため精製が必要
アンモニア (NH_3)	-33℃(常圧) または 8.5気圧(20℃)	121kg- H_2/m^3	✓ 体積水素密度が極めて高く、効率的な輸送が可能 ✓ 一部、既存の輸送・貯蔵インフラが活用可能 ✓ 発電等で脱水素化せずに直接利用も可能	✓ 水素化に一定のエネルギーが必要 ✓ 強アルカリ性で人体に影響を及ぼす毒性を有する ✓ 用途に応じて脱水素／精製が必要
圧縮水素 (20Mpa)	-	14kg- H_2/m^3	✓ 外販用の水素輸送方法として普及済み ✓ 精製不要	✓ 圧縮に一定のエネルギーが必要 ✓ 高圧ガス保安法等の法規への対応が必要 ✓ 水素密度が低く、遠隔地への輸送が非効率

(出所)資源エネルギー庁「第5回CO2フリー水素WG事務局提出資料」等より、みずほ銀行産業調査部作成

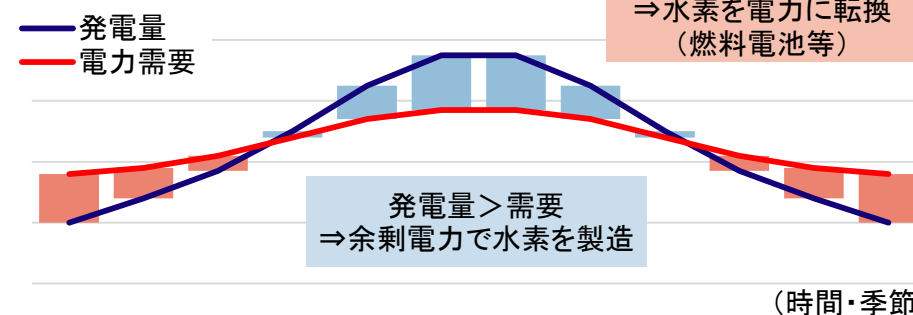
水素によるエネルギー貯蔵：水素が再エネ電力由来のエネルギーの貯蔵手段に

- 貯蔵が困難な電力を水素に転換することにより、時間・季節を越えてエネルギーを貯蔵し、必要に応じて他の地域に輸送して利用することが可能に
 - 変動電源である再エネの余剰電力を活用した水電解により水素を製造
 - 製造された水素は、電力に再転換することに加えて、燃料として直接利用することも選択肢

再生可能エネルギーに対する水素活用の可能性

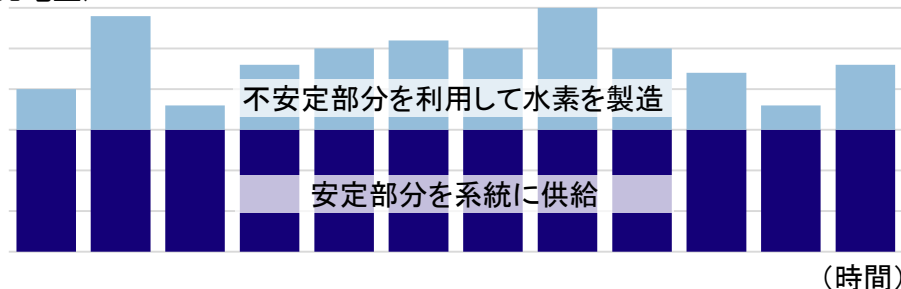
【時間・季節を越えた再生可能エネルギーの出力変動吸収】

(発電量・電力需要)



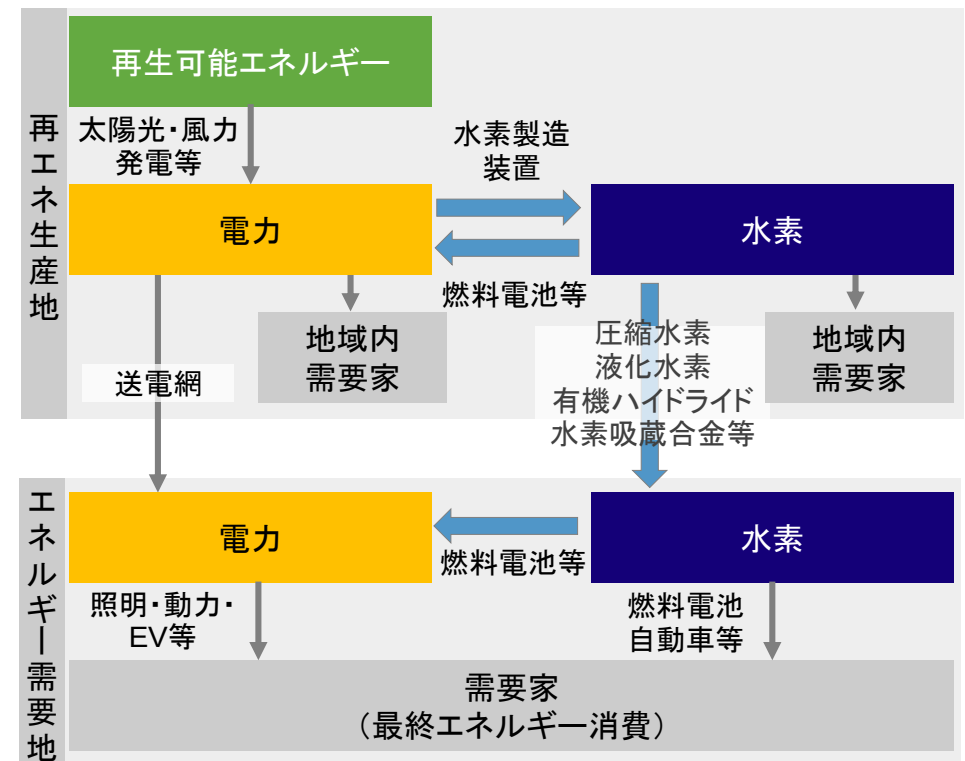
【再生可能エネルギー由来発電量の不安定部分を活用した水素製造】

(発電量)



(出所) 資源エネルギー庁「CO2フリー水素WG資料」より、みずほ銀行産業調査部作成

再生可能エネルギー由来水素サプライチェーンのイメージ

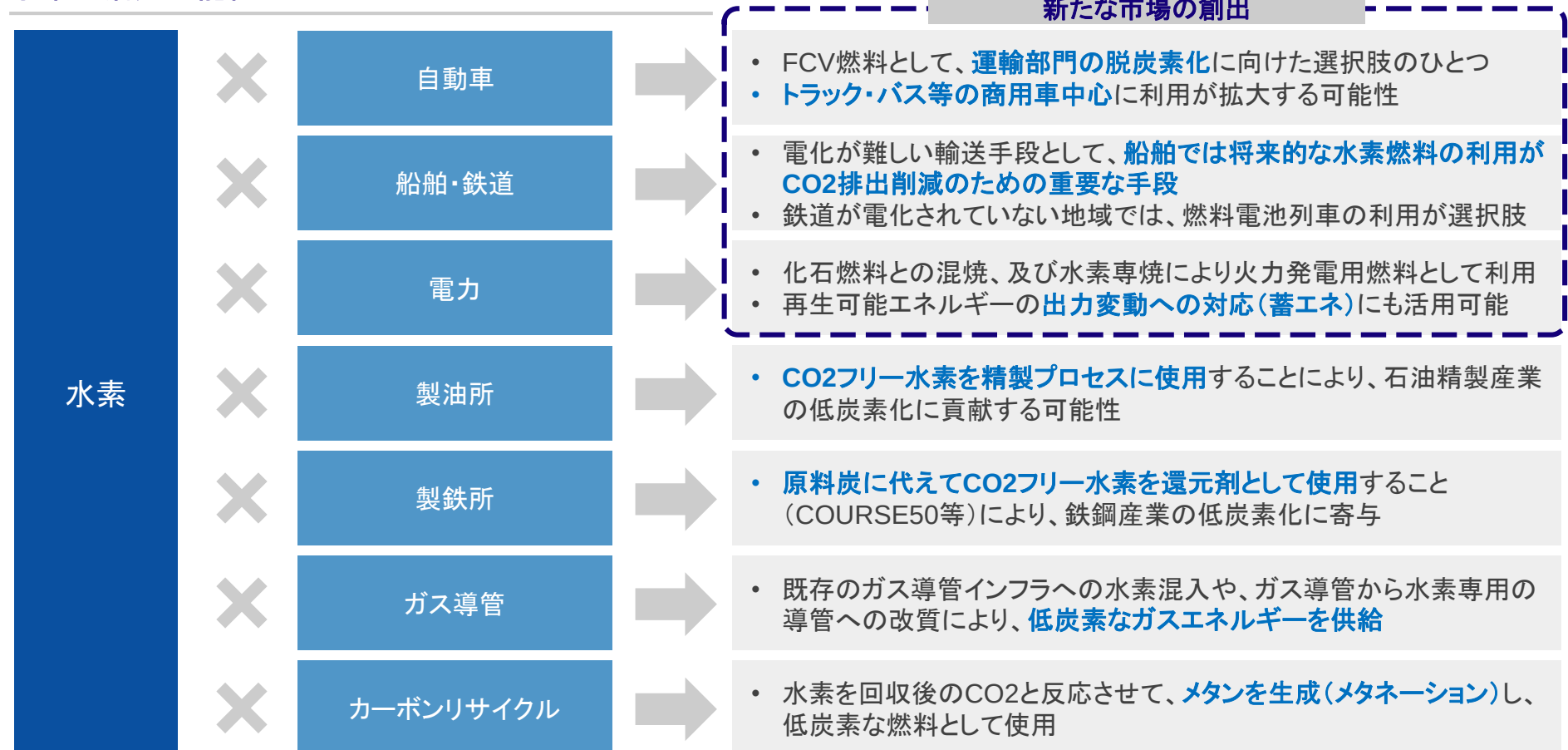


(出所) みずほ銀行産業調査部作成

水素利用：多様な産業において水素活用による低炭素化が選択肢に

- 燃焼時にCO₂を排出しないエネルギー源である水素の活用は、輸送・発電・産業等の低炭素化に貢献
- 水素の活用が拡大した場合、輸送・発電部門での水素利用関連機器等の新たな市場が創出されて、日本企業にとっての事業機会となる見通し

水素の活用可能性



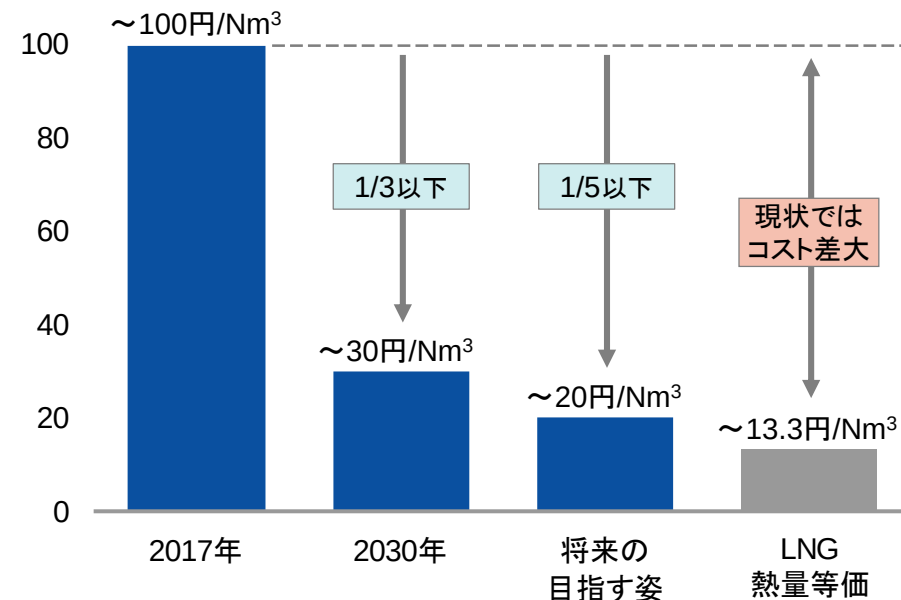
(出所)みずほ銀行産業調査部作成

水素普及の課題：既存のエネルギー源とも競争可能となる供給コスト低減が必要

- 水素は、現状では既存の化石燃料と比較して供給コストの高いエネルギー源
 - コスト高が普及のボトルネック
- 水素利用が拡大すると、スケールメリットにより供給コストの低減が実現する可能性
 - 利用拡大までの市場立ち上げ期には、政府のサポートも重要な役割を果たすものと推察

日本の水素基本戦略における供給コスト目標

(円/Nm³)



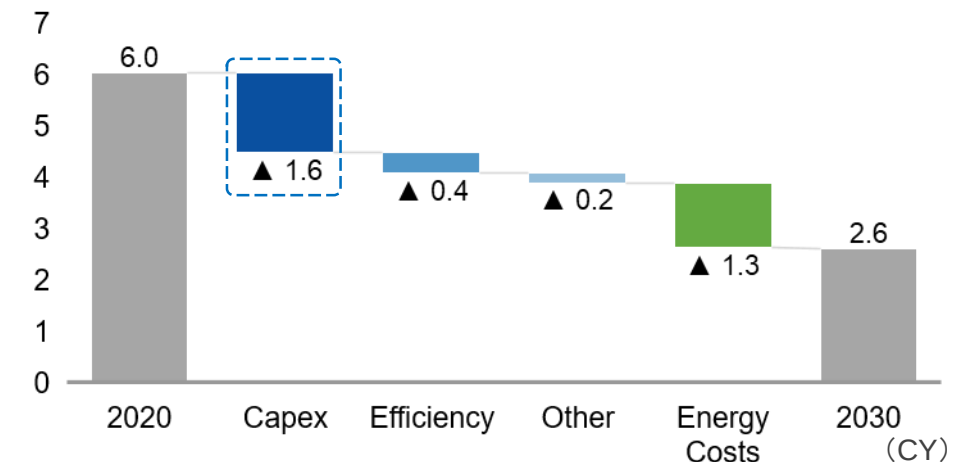
(注1) 2017年時点の供給コストはステーション価格

(注2) LNG熱量等価は、LNG輸入価格\$10/mmbtuを前提に試算

(出所) 資源エネルギー庁「水素基本戦略」「水素・燃料電池ロードマップ」より、みずほ銀行産業調査部作成

水素供給コストの見通し(欧州グリーン水素の事例)

(USD/kg-H₂)



- Capex: 電解槽の規模拡大(～2MW ⇒ ～90MW)等により、▲60%コスト削減
- Efficiency: 効率改善により、▲65～70%程度のコスト削減
- Other: 操業実績の蓄積等により、O&Mコスト等が下落
- Energy costs: 洋上風力発電のコスト下落(LOCE \$57/MWh ⇒ \$33/MWh)

(注) 電解槽はPEM(固体高分子)型、電力は洋上風力発電の前提

(出所) Hydrogen Council, *Path to hydrogen competitiveness ~A cost perspective~*より、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】日本企業による水素供給事業の展開案(輸送・電解槽)

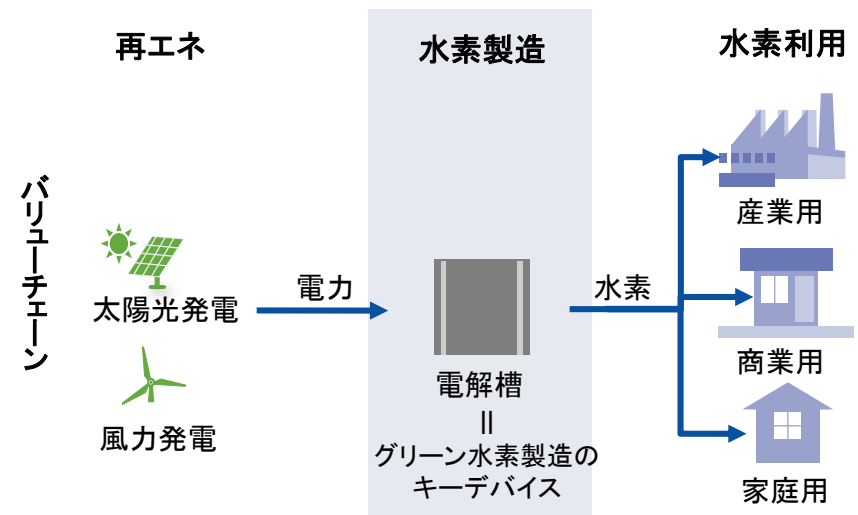
- 日本国内への水素供給は、相対的にコストの低い海外化石燃料由来の水素が先行する見通し
 - 日本企業は、水素の海上輸送サプライチェーン構築技術で先行することで、将来的には海外の化石燃料・再エネ由来の水素を日本以外の市場にも輸送する事業機会を捕捉できる可能性
- 再エネ由来水素は、足下で低コストの再エネ電力を調達可能な欧州等で、供給量が増加する見通し
 - 日本企業にとって、キーデバイスである電解槽等の事業について、参画余地あり

水素輸送事業と各市場の位置付け

日本	✓ 先行する海上輸送サプライチェーン実証で技術確立 ✓ 資源・インフラ面の制約等により、市場拡大は遅れる可能性
欧州	✓ 政策サポート等を背景に、輸入水素を含め市場が大きく成長する見通し ✓ 水素輸送先の市場として有力な選択肢
その他	✓ 中国や米国一部州が水素市場拡大に注力も、当面は域内生産が中心か？ ✓ 将来の成長市場として、アジアへの供給も選択肢に

水素輸送事業の確立は市場を問わず有力な選択肢

電解槽事業の拡大・新規参入

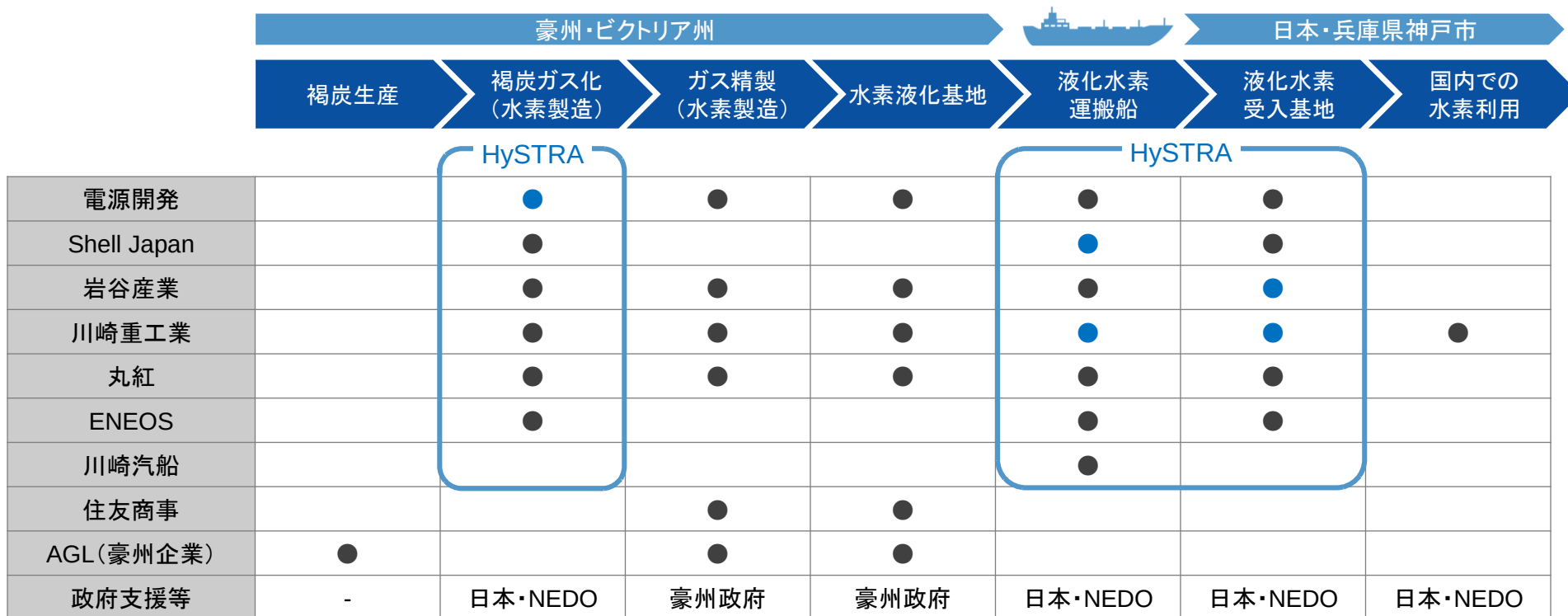


電解槽事業の立ち上げや既存事業者への投資の余地

【供給】大規模水素サプライチェーン構築実証実験①(豪州・液化水素)

- 電源開発・岩谷産業・川崎重工業等を中心に、日豪両政府の支援の下、豪州の褐炭から水素を製造し、液化水素として日本に輸送する実証実験を実施中
 - 褐炭ガス化の際に発生するCO₂をCCSにより回収・貯蔵することで、CO₂フリー水素の製造が可能
 - 2020年度中に輸送の技術実証を開始予定。将来的に、より大規模な商用実証を展望

豪州からの液化水素による水素サプライチェーン構築実証実験

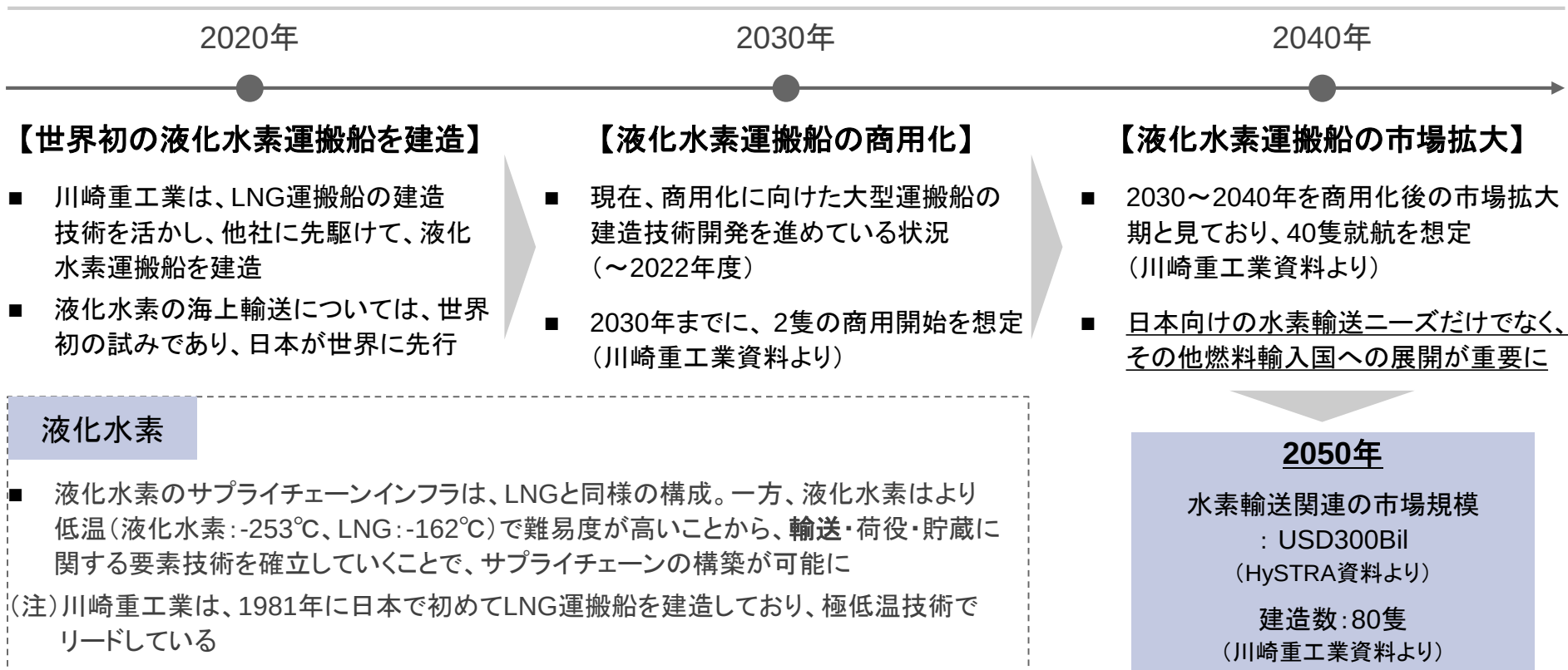


(注1) HySTRA: 技術研究組合CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構 (注2) 青丸: HySTRA内で主導的な役割を果たすと考えられる企業
(出所) 各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】液化水素運搬船：早いタイミングでの商用化、他エリアへの展開がキーに

- 水素サプライチェーン構築実証において、液化水素の輸送手段として、川崎重工業が液化水素運搬船を建造
— 液化水素の海上輸送は世界初の試みであり、日本がグローバルで先行している
- 日本の造船技術力の高さを活かすことのできる分野であり、今後の商用化、グローバル市場への展開が期待される

川崎重工業：世界初の液化水素運搬船を建造

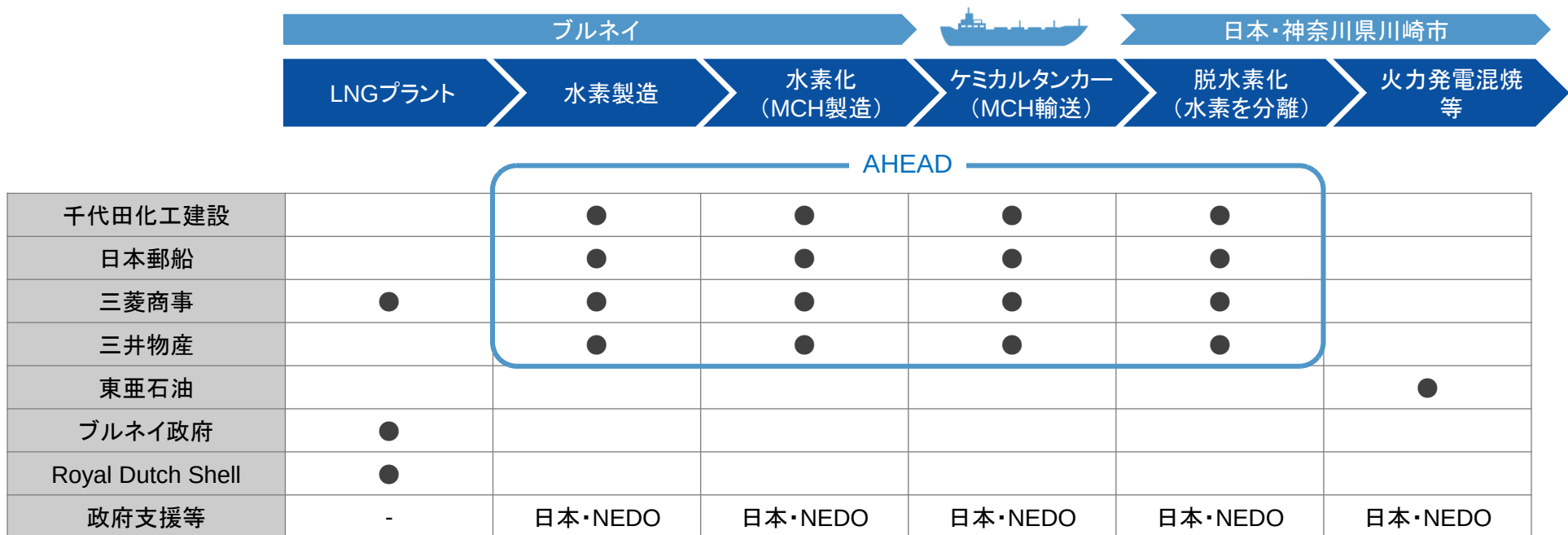


（出所）川崎重工業IR資料、HySTRA、公開情報等より、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】大規模水素サプライチェーン構築実証実験②(ブルネイ・有機ハイドライド)

- 千代田化工が中心となり、ブルネイから有機ハイドライドにより天然ガス由来の水素を日本に輸送する実証実験を実施中
 - 有機ハイドライド(メチルシクロヘキサン:MCH)の輸送には、通常のケミカルタンカーを使用可能
 - 日本では、MCHから水素を分離し、東亜石油・京浜製油所内のガス火力発電所に混焼して水素を利用
 - 2019年12月に、世界初の国際間水素輸送を達成。2020年5月に、ガス火力発電所向けの水素供給を開始

ブルネイからの有機ハイドライドによる水素サプライチェーン構築実証実験

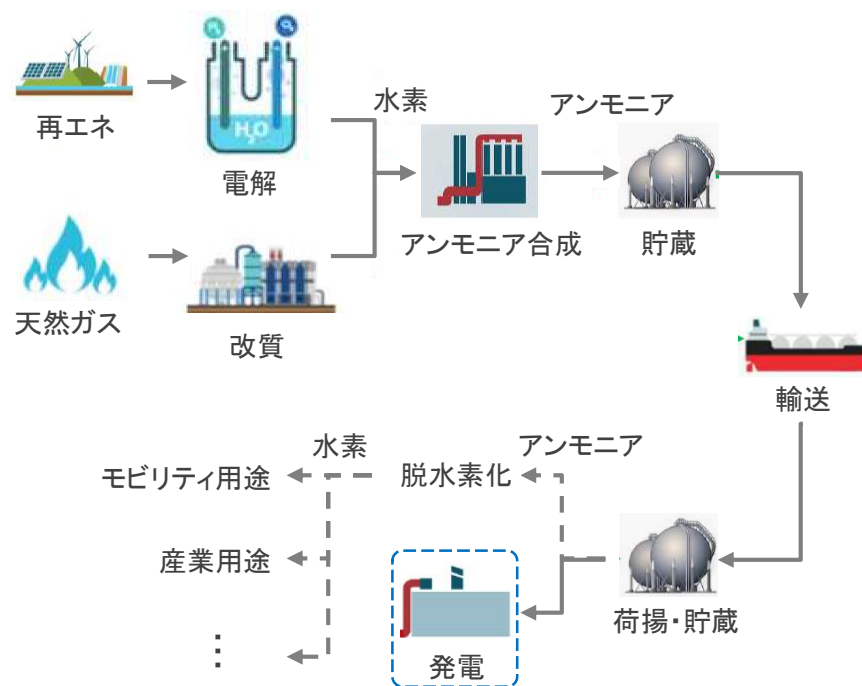


(出所)各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】アンモニアサプライチェーン構築事業のフィージビリティスタディ

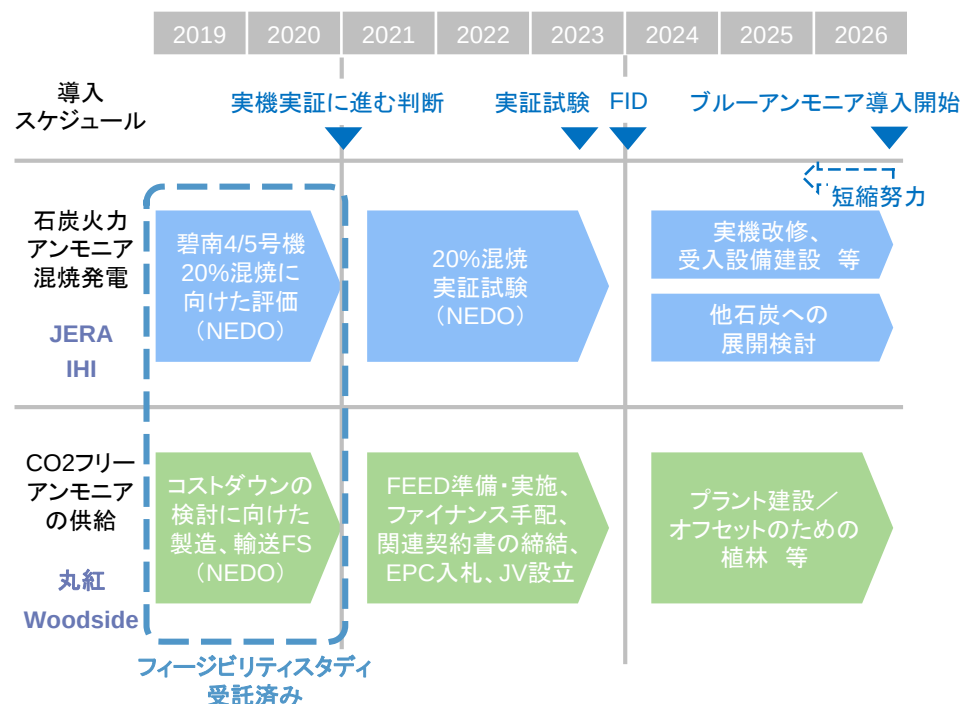
- アンモニアは、水素輸送手段の1つであると同時に、発電用燃料として直接燃焼が可能
 - 直接燃焼時は脱水素プロセスが不要となるため、コスト抑制が期待できる
- JERA・IHI・丸紅は、豪・Woodsideとともに、アンモニアサプライチェーン構築、及びアンモニア混焼火力発電の実現に向けたフィージビリティスタディをNEDOより受託
 - 今後、JERAの碧南石炭火力発電所での混焼実証やブルー水素由来のアンモニアサプライチェーンの構築を展望

CO2フリーアンモニアの製造から発電までのフロー



(出所) JERAプレスリリース等より、みずほ銀行産業調査部作成

アンモニア混焼発電の実現に向けた取り組み



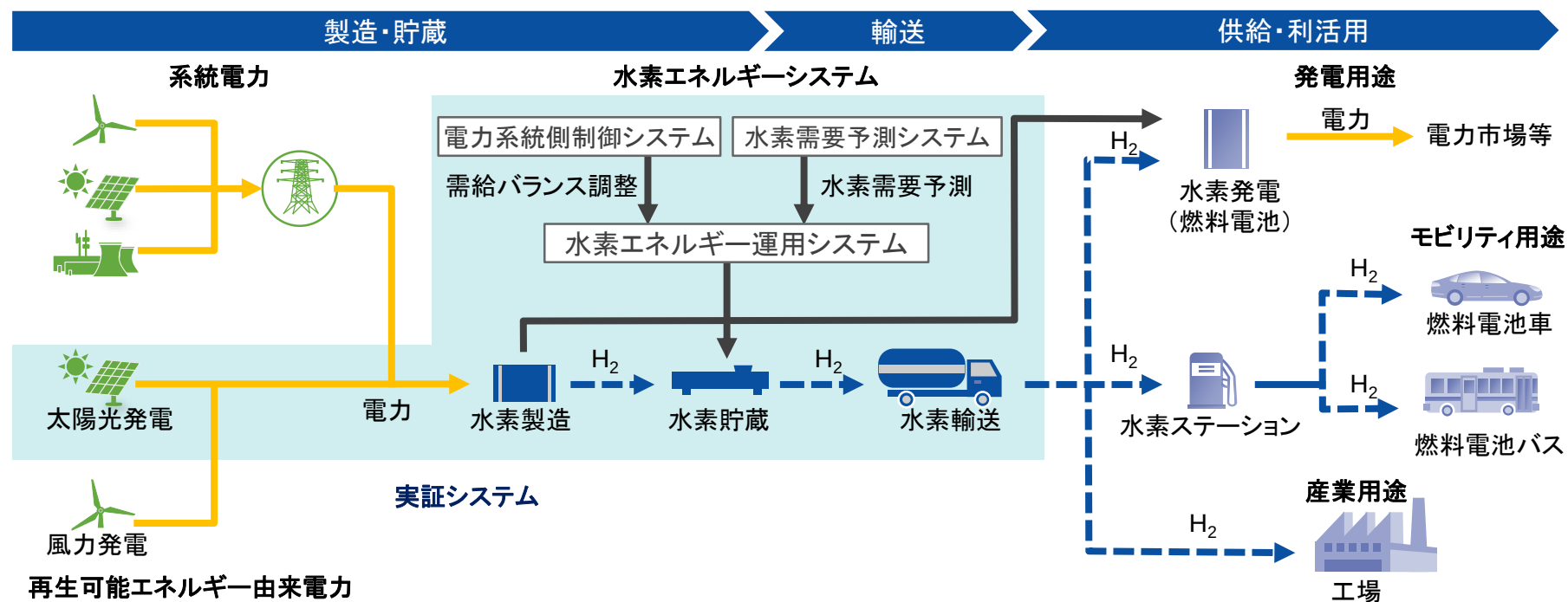
(出所) JERA公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】福島県浪江町の「福島水素エネルギー研究フィールド」概要

- 東北電力、東芝エネルギーシステムズ、岩谷産業は、NEDOと共同で、福島県浪江町において、電力系統の需給バランス調整のための水素活用事業モデルおよび水素販売事業モデルの確立を目指した技術開発プロジェクトに参画
— 2020年9月に、2022年度までの実証の延長、及び東北電力ネットワーク、旭化成の新規参加を公表

福島県浪江町の「福島水素エネルギー研究フィールド」概要

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



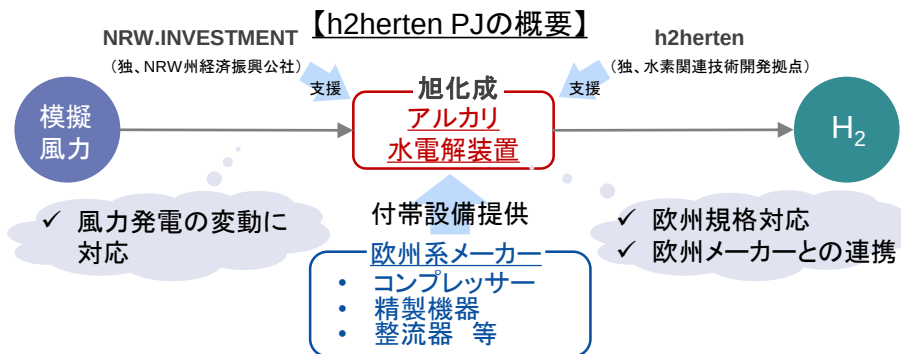
(出所) プレスリリースより、みずほ銀行産業調査部作成

【供給】水素製造装置：欧州等の海外市場での事業展開も重要に

- 旭化成は、自社の食塩電解技術をベースにしたアルカリ水電解水素製造システムを製造・販売
 - 日本国内だけでなく、欧州でも実証実験に参加しており、グリーン水素製造のための電解槽事業を展開する方針
- 東芝エネルギーシステムズは、自立型水素エネルギー供給システム「H2One」を開発・製造
 - 国内で複数の導入事例。アジア地域でも政府・企業と連携して普及を目指す

旭化成：アルカリ水電解水素製造システム

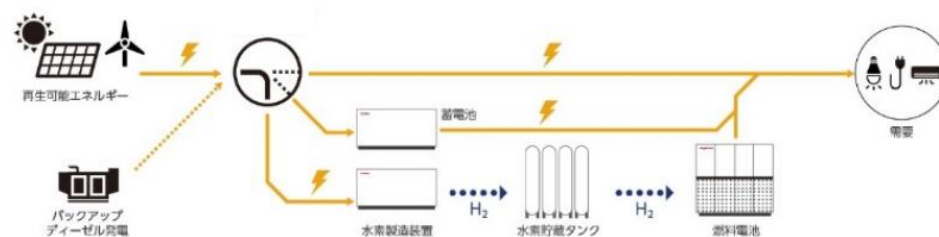
項目	具体的な取組内容
FH2R (福島県・浪江町)	✓ 東芝ESSより、FH2R(福島水素エネルギー研究フィールド)の水電解システムを受注。最大電解電力：10MW
そうまIHI (福島県・相馬市)	✓ IHIと相馬市が開所した「そうまIHIグリーンエネルギー研究センター」にてグリーン水素製造装置を運転
h2herten PJ (独・NRW州)	✓ Herten市の水素関連技術開発拠点で実証PJに参加 ✓ 風力模擬電源を使ったアルカリ水電解により水素製造
ALIGN-CCUS PJ (欧州全域)	✓ CCUSに関するEUの研究プログラムに参画 ✓ 参加するのは水素製造等に重点におく部会(WP4)



(出所)旭化成公表資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

東芝ESS：自立型エネルギー供給システム

【H2Oneのシステムイメージ】



- ✓ 水電解による水素電力貯蔵とリチウムイオン電池の組み合わせで、不安定な再エネ電力のエネルギーを貯蔵し、燃料電池で熱電供給
- ✓ 自治体等やオフィスビル等のコミュニティのエネルギー自立を支援。災害等の非常時にもバックアップとして活用可

【H2Oneのアジア展開事例】



(出所)東芝エネルギーシステムズ公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【利用】自動車(1/2):トヨタはFCV開発で先行するもFC商用展開の迅速化が必要

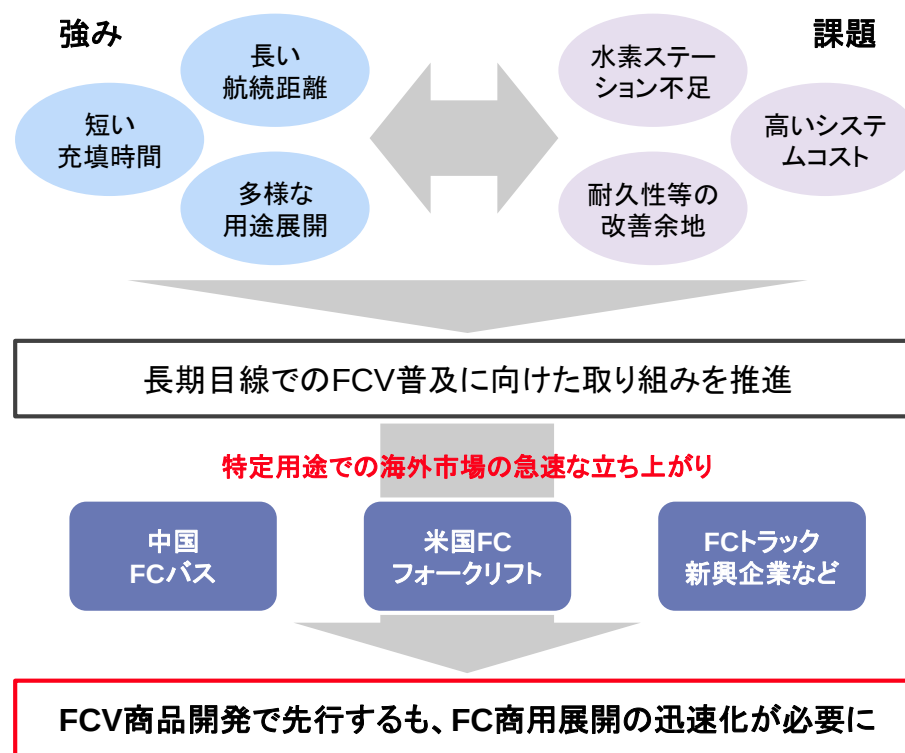
- トヨタはFCVの開発開始こそDaimlerに遅れるも、2002年のリース販売開始、2014年の一般販売開始で世界をリード
 - 開発初期から燃料電池スタックの内製にこだわり、「究極のエコカー」と位置づけるFCVの開発に注力
- FCVの普及に向けコスト低減やインフラ拡充に取り組む中、FCの商用展開では海外市場への迅速な対応が必要に
 - 中国のFCバス、米国のFCフォークリフト等、特定用途で急速な立ち上がりを見せる市場が散見されている

自動車メーカーによるFCVの開発状況

	トヨタ・BMW	ホンダ・GM	Daimler・Ford ・ルノー日産	現代・Audi/VW
2000年以前	1992: トヨタが本格的な開発を開始	—	1989: Daimlerが加Ballardとの共同開発を開始 1997: DaimlerとFordがBallardに資本参加	—
2000年代	2002: トヨタが世界初となるリース限定販売を開始	2002: ホンダがトヨタと同日にリース限定販売を開始	2008: Daimler・Ford・Ballardが合弁(AFCC)設立	—
2010年代	2013: BMWがトヨタとの共同開発で提携 2014: トヨタが世界初となるセダン型の一般販売を開始	2013: GMがホンダとの共同開発で提携(2017年に合併設立)	2013: ルノー日産がDaimler・Fordとの共同開発で提携 2018: ルノー日産がDaimler・Fordとの共同開発を凍結、DaimlerとFordが合併解消 2018: Daimlerが市販を開始	2013: 現代が世界初となる量産車販売(SUV)を開始 2018: Audiが現代との共同開発で提携
現行市販車	MIRAI (トヨタ)	Clarity Fuel Cell (ホンダ)	GLC F-Cell (Daimler)	NEXO (現代)

(出所) 各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

FCV普及とFC商用展開との時間軸のギャップ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【利用】自動車(2/2):トヨタはFCスタック外販強化によるシステムコスト低減を企図

- FCスタック等の基幹部品やFCユニットの外販を強化し、用途や地域によって柔軟に立ち位置を変える戦略にシフト
 - 2015年に条件付きで特許を開放するなど、FC普及への仲間づくりを標榜するも、限定的な効果にとどまっていた
- 外販を通じた燃料電池の生産規模拡大によりシステムコストを低減し、FCVの普及にもつなげる狙い
 - 汎用化されたユニット供給により標準化の主導権を握れば、より効率的な開発と生産が可能に

FCスタックの外販強化

2015年1月 特許開放	燃料電池関連の特許約5,680件の実施権を無償提供 ✓ 一部を除き2020年末までに限定、かつトヨタとの契約締結要
FC 用途開発	トヨタグループ内でのアプリケーション開発を展開 ✓ FCバス(日野)、FCフォークリフト(織機)、発電機(アイシン)等

「水素利用拡大の仲間づくり」を標榜するも、限定的な効果にとどまる

基幹部品や制御システムの外販を強化する姿勢へとシフト

- ✓ より多くのグループ外企業と協調する方針に切り替え
- ✓ 商品化の技術支援や、部品・システムの供給を強化
- ✓ 特許の開放期限も2030年末へと延長

地域ごとの主な取り組みとアプローチの違い

国・地域	用途	提携先	提携内容	立ち位置	公表時期
日本	トラック・発電機	セブンイレブン	トヨタが開発したFC小型トラックやFC発電機を物流や店舗に活用	完成品供給	2018年6月
日本	乗用車・バス・鉄道	JR東日本	鉄道へのFC導入を含む、水素活用による鉄道と自動車のモビリティ連携	完成品供給・知見提供	2018年9月
日本	船舶	ヤンマー	トヨタのFCユニットと高圧水素タンクを使用した船舶用FCシステム開発	ユニット供給	2020年5月
米国	トラック	Kenworth	トヨタのFCシステムを搭載したFC大型トラックを共同開発	共同開発	2019年1月
中国	バス	福田汽車	北京億華通科技のシステムを通じて燃料電池部品を供給	部品供給	2019年4月
中国	バス	第一汽車	上海重慶能源科技のシステムを通じて燃料電池部品を供給	部品供給	2019年7月
中国	バス	金龍汽車	上海重慶能源科技のシステムを通じて燃料電池部品を供給	部品供給	2019年7月
中国	商用車	6社連合	一汽、東風、広汽、北汽、億華通と商用車用のFCシステムの開発合弁を設立	共同開発	2020年6月
欧州	バス	Caetano	FCスタックや高圧水素タンクなどを含むFCシステムを供給	システム供給	2018年9月
欧州	船舶	—	エナジー・オブザーバー号にトヨタの船舶用FCシステムを供給	システム供給	2020年2月

外販を通じたFCの生産規模拡大によりシステムコスト低減を図る

汎用化された効率的なユニット供給により、標準化の主導権を握れるか

国や地域の市場動向に合わせて自社の立ち位置を柔軟に変更
場合によってはTier 2(システムインテグレーターへの部品納入)のポジションも

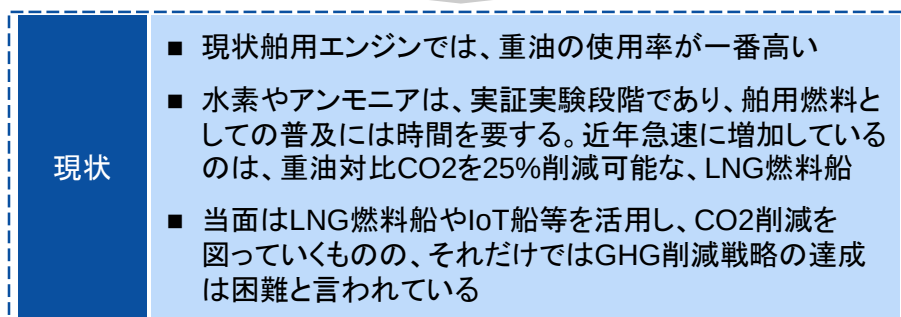
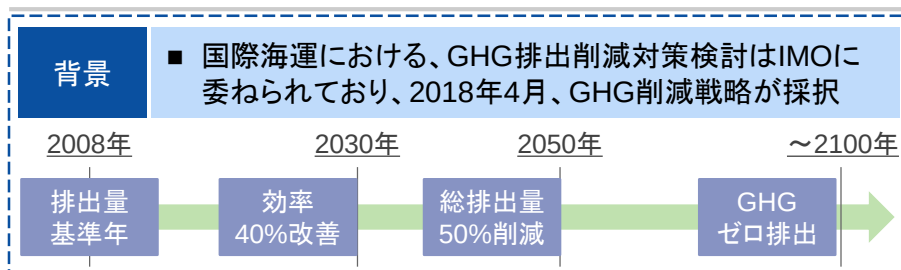
(出所)トヨタ自動車公表資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

(出所)トヨタ自動車公表資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

(参考)【利用】船舶:GHG排出抑制目標に向けて、水素等の燃料が選択肢

- 脱炭素化の機運の高まりに伴い、海運業界でもGHG(温室効果ガス)削減への取り組みが進展。IMO(国際海事機関)によるGHG削減戦略に基づき、2030年までに効率の40%(2008年比)改善や、2050年までに総量の50%(同)削減、21世紀中の早期でのゼロエミッション実現が目標に
- 達成に向けたゼロエミッション船の開発が期待されており、燃料として水素、アンモニアへの注目が高まっている
 - 船齢20年の場合、2050年に使用される船舶は2030年頃から建造された船となるため、早期開発が求められる

船舶における水素(・アンモニア)の必要性



水素やアンモニアを活用したゼロエミッション船開発等、一層の対応策が必要となる

(出所)国土交通省資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

日系造船プレイヤーの水素・アンモニア船への取り組み

プレイヤー	提携先	コンセプト	公表時期
常石造船	CMB (ベルギー海運大手)	水素燃料による内航フェリーの共同開発および建造を発表(2021年竣工予定)	2019年9月
今治造船	MANほか	アンモニアを主燃料とする主機関を搭載する船舶の共同開発(早ければ2024年に商用化予定)	2020年4月

日系海運プレイヤーの水素・アンモニア船への取り組み

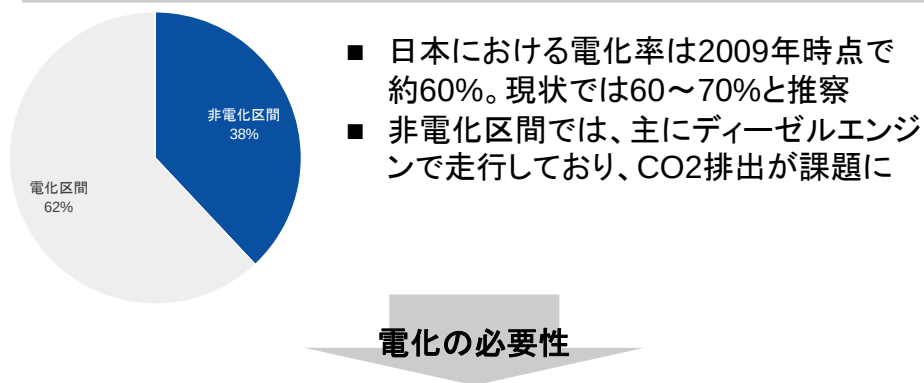
プレイヤー	コンセプト	公表時期
日本郵船	■ 「NYK SUPER ECO SHIP 2050」 — 現中計の取り組みの一環として、船舶の脱炭素化に向けたコンセプトを考案 — エンジンには水素(燃料電池)を想定	2018年9月
商船三井	■ E5社と水素燃料電池システムと大容量バッテリー搭載のハイブリッド自動車運搬船について共同検討を発表	2019年12月
川崎汽船	■ 水素サプライチェーン構築実証実験「HySTRA」に参画	2019年12月

(出所) 各社プレスリリース、HP等より、みずほ銀行産業調査部作成

(参考)【利用】鉄道：非電化区間を中心に、燃料電池列車を開発中

- 日本における非電化区間は約30～40%。コスト負担の大きさから、電化が進まない地域も多いのが現状であるが、燃料電池列車は非電化区間でも導入でき、鉄道輸送からのCO2排出量を大幅に削減することが可能であることから開発が進められている状況
- JR東日本は、2020年5月に「ゼロカーボン・チャレンジ2050」を発表し、2050年度の鉄道事業におけるCO2排出ゼロを目指す旨公表

鉄道における水素の必要性



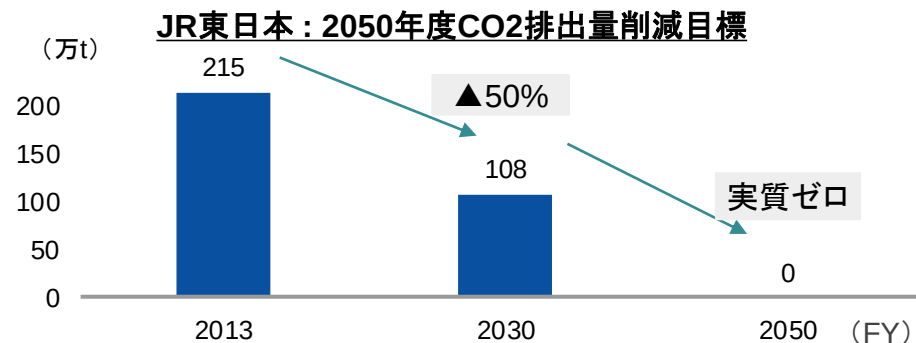
<電化の課題>

- 電化に向けたインフラ整備負担(架線、変電所等の設備とその建設費)

**非電化区間でもゼロエミッションを実現でき、電化区間でもCO2排出量を削減できる鉄道として、燃料電池列車の開発が進められている状況
(欧州では既に運行中)**

(出所) 日本マリンエンジニアリング学会資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

JR東日本による、「ゼロカーボン・チャレンジ2050」



- 具体的な1つの取り組みとして、2018年9月に締結した、トヨタとの水素を活用した鉄道と自動車のモビリティ連携を軸とした業務提携が含まれる
 - 当面の具体的な取り組みとして、以下に取り組むと発表
 1. 水素ステーション整備・拡充など水素エネルギーの普及促進
 2. 鉄道車両へのFC技術の導入
- その他、2019年6月に、水素を燃料とする燃料電池と蓄電池を電源とするハイブリッドシステムを搭載した試験車両製作と実証試験実施を発表

(出所) 東日本旅客鉄道公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【利用】発電：水素ガスタービン開発を進め、水素転換をビジネス機会に

- 日本企業は積極的に水素ガスタービンの技術開発を進めており、海外企業に勝るとも劣らない受注状況である
- しかしながら、既設ガス火力のタービンインストール数は海外大手に劣後することから、他社の既設ガス火力を対象に水素混焼に対応する燃焼器を拡販し、水素専焼への布石を打つ
- なお、水素混焼はガスタービンの燃焼器交換によって対応可能ではあるが、水素専焼は技術開発の途上である

メーカーによる水素ガスタービンの受注状況(含む実証)

	三菱パワー	川崎重工業	Siemens Energy	GE
対象	大型	小型	小型～大型	小型～大型
日本	—	2017年：神戸市水素発電施設(実証兼供給)GT供給	—	—
欧州	2018年：Nuon Magnum(蘭)440MWのガス火力の水素専焼(2023年運転開始予定)計画参画	—	2020年：既設自家発電(仏)12MWの水素専焼(2022年混焼、2023年専焼)転換PJ受注予定	2010年：伊Enelの水素専焼設備にGT供給 2020年：UniperとGE製GTの水素転換に向け合意
米国	2020年：米IPP事業者から水素混焼GT受注(2045年専焼転換)	—	—	—

(出所)各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

日本企業のビジネス機会

《日本企業の強み》

- ・ガスタービン製造技術
- ・水素を含む副生ガスの燃焼経験
- ・世界初の市街地水素専焼熱電供給実現(小型実証)

《日本企業の課題》

- ・水素ガスタービンのラインナップ(同業他社は小型～大型まで混焼可能と宣伝)
- ・ガスタービンのインストール数

《日本企業の今後の方向性》

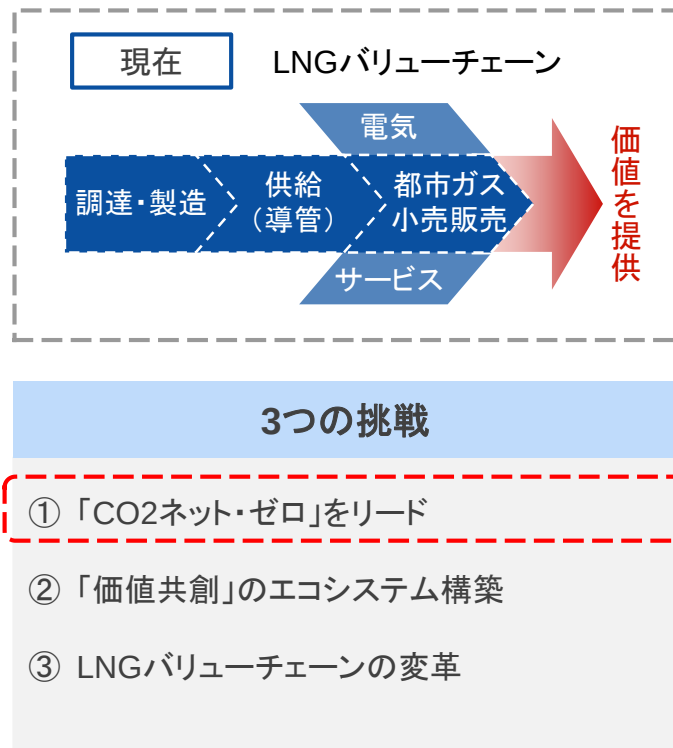
- ・他社製ガスタービンを使用するガス火力発電事業者に対し、水素混焼に対応する燃焼器を拡販し、受注実績を積み上げる
- ・上記により、将来の水素専焼に向けた布石を打つ

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

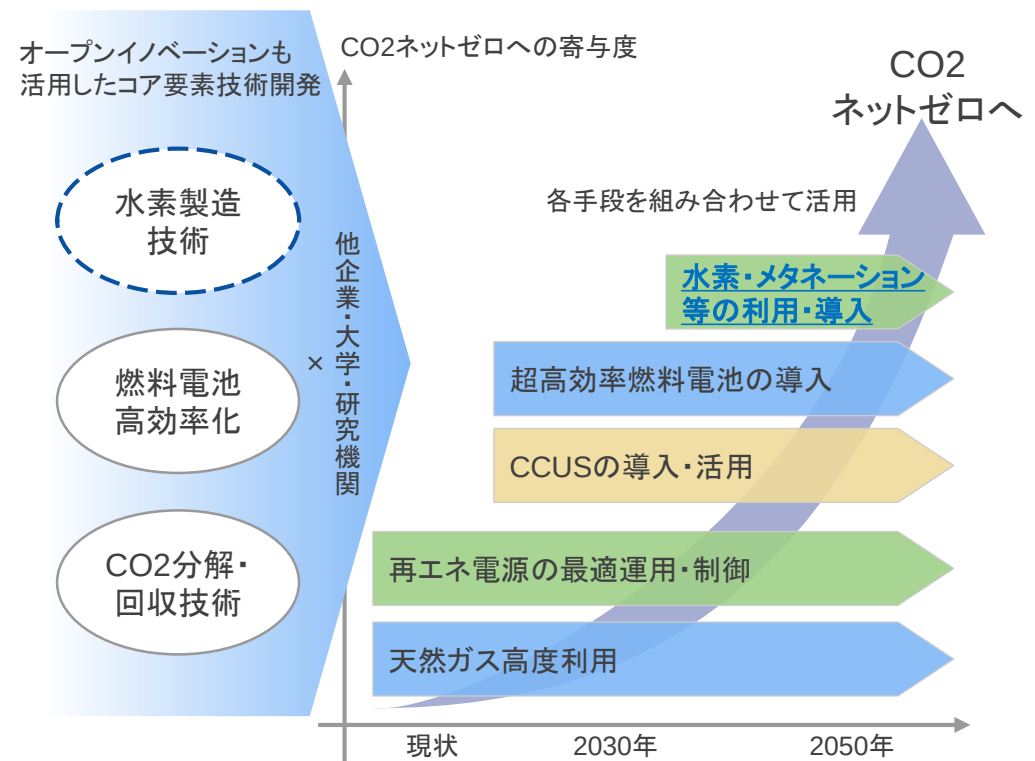
(参考)【利用】都市ガス:東京ガスは水素を活用してCO2ネット・ゼロに取り組み

- 東京ガスは、2019年11月に経営ビジョン「Compass2030」を公表
 - ビジョンにおける3つの挑戦のうちの1つとして、自社のエネルギー販売先を含めたCO2排出のネット・ゼロ化に挑戦する方針
 - 水素等の技術も活用して脱炭素化に貢献することが長期的な選択肢

東京ガスの経営ビジョンにおける3つの挑戦



東京ガスのCO2ネット・ゼロに向けたロードマップ



(出所) 東京ガスIR資料より、みずほ銀行産業調査部作成

欧州における政府・事業者の水素への取り組み

- 欧州の政策当局は、相次いで水素戦略を策定して、カーボンニュートラル達成と水素産業の育成に取り組む
 - 投資支援等の政策サポートにより、グリーン水素等の供給量拡大を目指す
- 欧州の水素事業者は、水素事業に一層注力している状況
 - 既存の化石燃料事業者も水素関連事業の拡大を目指す

欧州政策当局の水素への取り組み

時期	内容
2019年1月	✓ 欧州委員会が水素ロードマップを策定 ✓ 官民パートナーシップであるFCH-JUが取りまとめ
2019年12月	✓ 欧州委員会が「欧州グリーンディール」を発表 ✓ グリーン産業への10年間で1兆円の投資支援を予定
2020年4月	✓ オランダが国家水素戦略を策定 ✓ グリーン水素、ブルー水素への政府支援 等
2020年6月	✓ ドイツが国家水素戦略を策定 ✓ グリーン水素中心にサポートして水素技術を輸出産業に
2020年7月	✓ 欧州委員会が水素戦略を公表 ✓ 2030年までの水電解装置規模拡大 等
2020年9月	✓ フランス政府が国家水素戦略を策定 ✓ カーボンフリー水素製造の設備能力拡大 等

エネルギー・環境政策だけでなく、産業振興の観点からも
水素産業を政策的にサポートする方針

欧州事業者の水素への取り組み事例

1

水素バリューチェーン全体に関与する取り組み
(具体例)

- Shell等の欧州系石油メジャーによる洋上風力から水素製造・利用までの一体開発

2

既存のガス導管を有効活用した水素供給網構築
(具体例)

- 域内のガス導管事業者による水素パイプライン整備計画
- ガスユーティリティ企業による水素販売

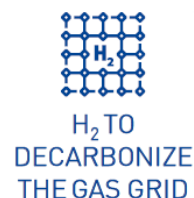
中核的プレイヤーの存在や供給インフラの整備進展により、
欧州の水素供給量は拡大する見通し

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

欧州の水素ロードマップ

- 欧州委員会は、2019年1月に水素ロードマップを策定
 - 産業界と共同で設立した官民パートナーシップ「欧州燃料電池水素協働実施機構(FCH-JU)」が取りまとめ
- 欧州の水素ロードマップにおいては、水素をCO2排出の大幅削減に不可欠なエネルギー源と位置付け
 - 想定される水素用途として、①ガス導管への混合、②長距離・大型輸送用の燃料、③鉄鋼業等の産業用途等を列挙
 - 水素需要が大きく拡大するシナリオでは、2050年の欧州の最終エネルギー需要の24%を水素が占める予想

欧州の水素ロードマップにおける主要な水素用途



① ガス導管への混合

- ・熱利用の全てを電化することは非現実的
- ・ガス導管へのグリーン水素供給が選択肢



② 長距離・大型輸送用の燃料

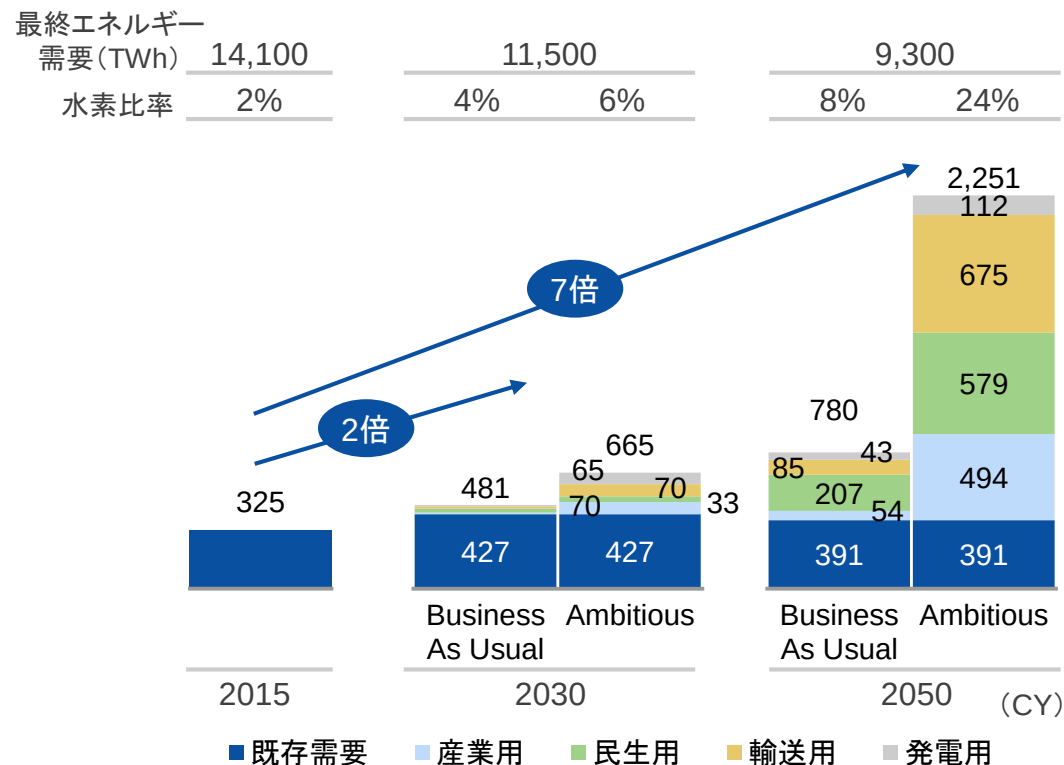
- ・大型トラックについて、コストや充電時間等の面でFCVがEV対比で競争力を有する



③ 鉄鋼業等の産業用途

- ・高温が必要な鉄鋼業等への熱供給では、グリーン水素が低炭素化の選択肢

欧州の水素ロードマップにおける需要見通し



(出所) FCH-JU, Hydrogen Roadmap Europeより、みずほ銀行産業調査部作成

欧州水素戦略の概要:グリーン水素の供給能力拡大を目指す

■ 2020年7月、欧州委員会が水素戦略を公表

- EUの気候中立目標に整合的であるとして、2050年に向け、グリーン水素の開発を優先課題に設定
- ブルー水素は、既存のCCUSが付帯しない化石燃料由来の水素からの切り替えによりCO₂排出を削減し、グリーン水素の拡大をサポートするために、短中期的に不可欠との整理

欧州水素戦略の概要

		2020～2024年	2025～2030年	2030～2050年	想定投資額 (～2030年)
供給	水電解装置の規模	6Gw	40Gw	グリーン水素 関連産業が 成熟	24～42Bn€
	グリーン水素生産量	1Mnt	10Mnt		
	再エネの生産能力		80～120Gw (水素生産に特化した大規模な風力・太陽光発電開発)		220-340Bn€
需要	モビリティ	バス・タクシー	トラック、鉄道 内陸・近海輸送	航空・海洋 (合成燃料を想定)	
	製造業等	大規模な精製所・製鉄所・ 化学コンビナート (炭素集約型水素・アンモニア生産・メ タノール生産の代替、製鉄の化石燃 料代替)	鉄鋼製造 (炭素ゼロの製鋼プロセスへの 活用)	産業用・商業用建築物	
インフラ (輸送・流通・貯蔵・ 水素ステーション)		局所的な水素 ステーションの整備	欧州全体での インフラの整備		65Bn€

- ✓ European Clean Hydrogen Allianceを2020年夏に結成し、具体的な投資プロジェクトを2020年中をめどに固める
- ✓ 財源は、EU基金・EIB等の仕組みを最大限活用
- ✓ 加えて、IPCEIの対象とし、各国からの補助金も積極的に活用

【左記以外に公表された想定投資額】

- (既存の半分の)発電所の脱炭素化(CCSの導入): 11Bn€
- 400基の水素ステーション整備: 850-1000Mn€

- 水素生産の想定コスト(EU): グレー水素: 約1.5€/kg、ブルー水素: 約2€/kg、グリーン水素: 2.5-5.5€/kg
- 電解槽のコスト(IEA、IRENAおよびBNEFのコスト評価): 2020年 900ユーロ/kW、2030年以降 450ユーロ/kW以下、2040年以降 180ユーロ/kW

(出所)欧州委員会資料より、みずほ銀行産業調査部作成

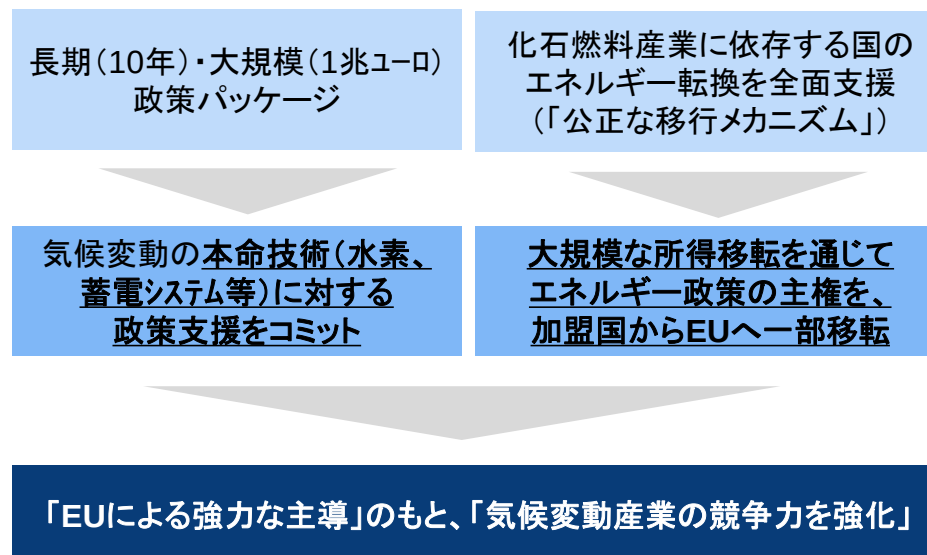
(参考) 欧州グリーンディール投資計画: EUの新たな成長戦略に位置付け

- 欧州委員会は2019年12月「欧州グリーンディール」を発表
 - 2020年3月に、2050年の気候中立を盛り込んだ「欧州気候法」を提案
 - 気候中立社会への移行と経済成長の同時実現を目指すEUの新たな成長戦略の位置づけ

欧州グリーンディールの概要

分野	主な政策
欧州グリーンディール投資計画	▪ <u>持続可能な欧州グリーンディール投資計画(10年間で1兆ユーロの投資支援)</u> ▪ 欧州投資銀行(EIB)の一部を「気候銀行(Climate Bank)」に改組
カーボン・プライシング	▪ 排出権取引制度(ETS)の海運・交通・建設部門への拡大等 ▪ <u>炭素国境調整メカニズム(Carbon Border Adjustment Mechanism)</u>導入による炭素リーケージ防止と公平な競争環境創出
公正な移行	▪ 公正な移行基金を通じ、<u>低炭素社会への移行により大きな影響を受ける地域・産業への支援</u>(炭素集約型産業から低炭素産業への転職を想定した職能訓練プログラム等)
2030年目標	▪ <u>2030年のCO2排出削減目標を1990年比50～55%に引き上げ</u>(従来は40%削減)

【弊行仮説】欧州グリーンディール投資計画の狙い



(出所) 欧州委員会資料より、みずほ銀行産業調査部作成

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

欧州系石油メジャー: 水素バリューチェーン全体に関する取り組み

- 水素は、Shell等の欧州系石油メジャーが事業ポートフォリオの低炭素化を図る上で、注力領域のひとつ
- Shellは、具体的な取り組みとして、オランダにおけるグリーン水素製造で水素バリューチェーン全体に関与
 - Enecoとのコンソーシアムである“Cross Wind”を通じてオランダの大規模洋上風力PJを落札
 - 合わせて、電解槽を建設予定。再エネとグリーン水素製造の一体開発、及び自社製油所での活用を計画中

Shellの“New Energies”事業戦略

①電力事業

- ・ 再エネ等の低炭素発電や蓄電、トレーディング・販売等、電力サプライチェーンに沿った事業展開を企図
- ・ 西欧・米国・豪州等がコア市場
- ・ 電力事業での収益性目標: 8~12%

②新燃料事業

- ・ バイオ燃料や水素、EV急速充電に関する取り組みを強化
- ・ 新燃料販売事業での収益性目標: 15%以上

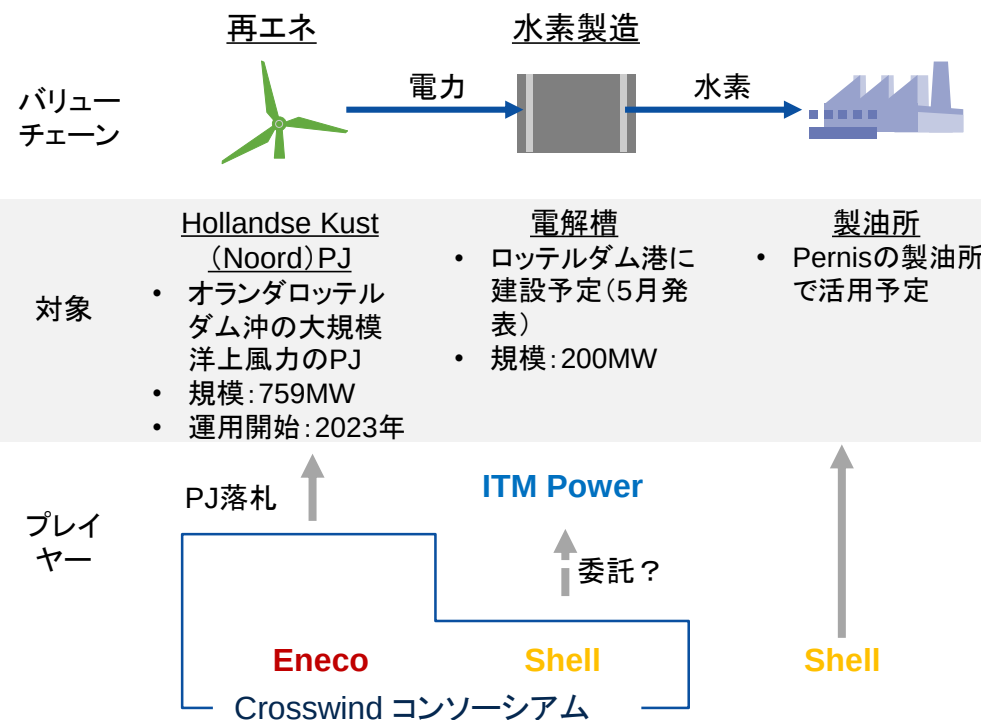
バイオ燃料

- ・ 第1世代バイオ燃料(トウモロコシ、サトウキビ等由来)の立ち上げ
- ・ 第2世代バイオ燃料(藻類、バイオマス、廃棄物等由来)に関わる積極的な研究開発

水素

- ・ 各国公的機関や、機器メーカー等とのパートナーシップ

Shellによるグリーン水素製造関連の取り組み



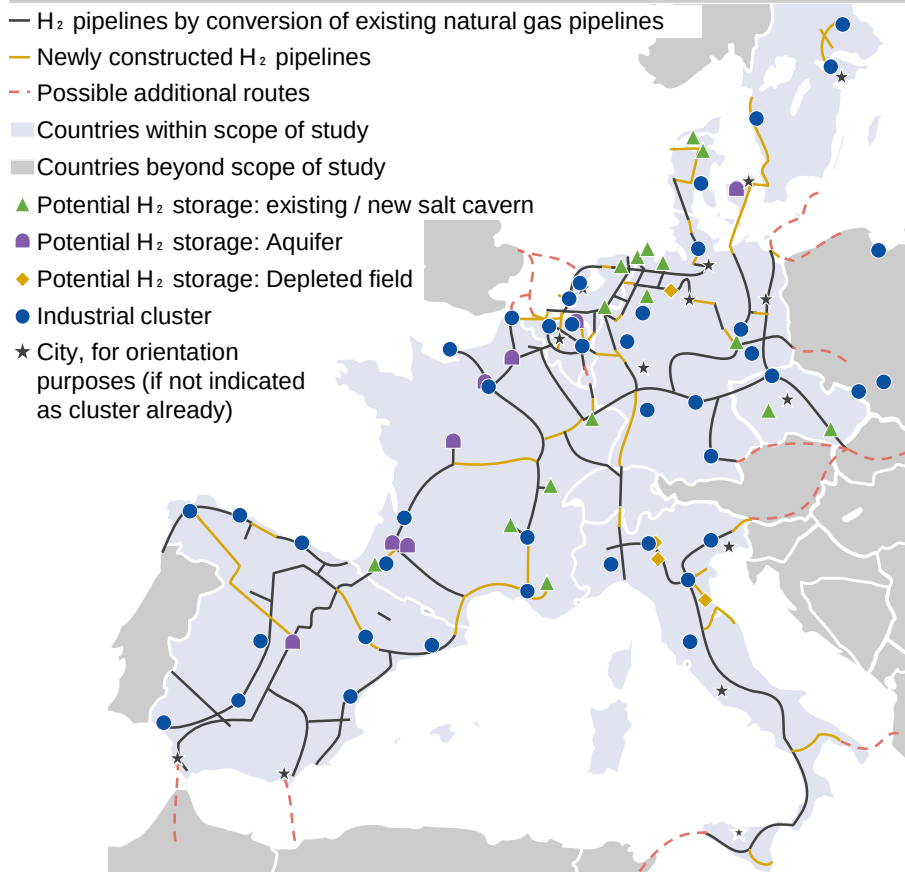
(出所)IR資料より、みずほ銀行産業調査部作成

(出所)各種報道等より、みずほ銀行産業調査部作成

欧州ガス事業者：水素導管インフラ構築、及び水素供給に取り組み

- 欧州のガス導管オペレーターは、2020年7月に、11社共同で水素パイプラインの整備計画を公表
- 仏・Engieは、自社が供給するエネルギーの脱炭素化を推進するため、再エネに加えて、CO2フリー水素を含む再生可能ガスを活用する方針

欧州における水素パイプライン計画



(出所) European Hydrogen Backboneより、みずほ銀行産業調査部作成

仏・Engieの再生可能ガスに関わる取組事例

【エネルギー供給の低炭素化に関わるEngieの目標】

2030年	ネットワークに供給されるガスの 10% を再生可能ガスに
2050年	フランス国内で供給されるガスの 100% を再生可能ガスに

【再生可能ガス供給に関わるEngieの取り組み】

家庭向け “Mon Gaz Vert” (≡ My Green Gas) プラン	“Mon Gaz Vert”プランに申し込んだ消費者のガス消費量の10%のバイオメタンを導管に供給 - 消費者は、ガス消費量の10%を間接的にバイオメタンに切り替え - 天然ガス価格が高騰した場合でも1年間値上げなし
法人向け バイオメタン供給	- Monoprix, Carrefour等のスーパーマーケット等にバイオメタンを供給 - 配送用トラックの燃料等として利用

(出所) IR資料より、みずほ銀行産業調査部作成

水素事業拡大のための時間軸毎の打ち手

- 水素事業拡大のためには、供給側・利用側ともに時間軸に沿った戦略が重要
 - 供給側の事業者にとって、既存の技術を活用して、水素サプライチェーン構築の技術確立・コスト低下を実現した上で、サプライチェーン技術の海外展開により事業を拡大することが選択肢
 - 利用側は、市場立ち上げ期からグローバル市場でシェアを獲得・維持してシステムコスト低減を図ることが重要

時間軸(目安)

水素供給事業者の打ち手(例)

水素利用事業者の打ち手(例)

~2030年

技術確立

- 商用化実証等の活用による、サプライチェーン技術確立
- 欧州の水素需要拡大を見据えた、海外市場での水素供給事業展開の準備

シェア獲得

- 市場の立ち上げ期における、世界の各市場でのシェア獲得
- 水素アプリケーション技術の標準化

~2040年

コスト低減

- 輸送用・発電用・産業用等の幅広い需要家への供給によりスケールメリットを実現してコスト低減

コスト低減

- グローバル市場におけるシェア確保、及び市場拡大によるシステムコスト低減

~2050年

海外展開等

- サプライチェーン技術を活用しつつ、再エネ水素に展開
- 水素サプライチェーン技術の海外展開

水素化進展

- 一部のアプリケーションにおいて、水素を利用するプロダクトを製品ラインナップの主力に

技術力とコストを抑えた水素供給により、
グローバルな水素市場で存在感を発揮



早期にグローバル市場でシェアを確保し、
水素関連事業のコスト抑制と収益化を図る

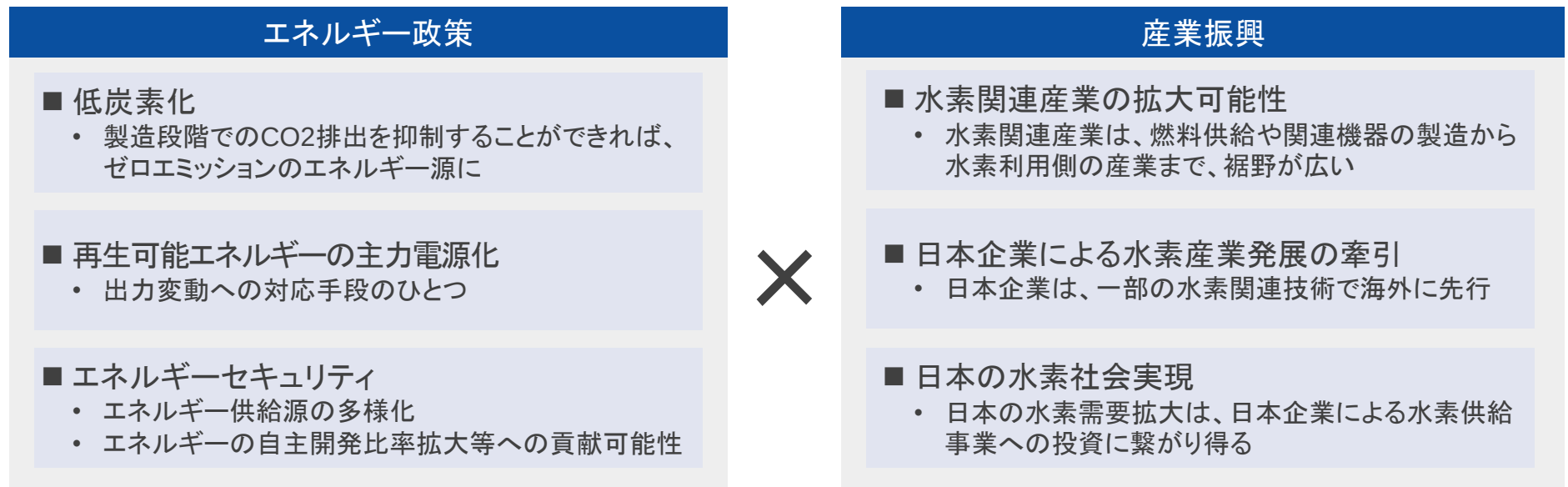
2040年頃に期待される供給側・利用側双方のコスト低減が、
水素産業拡大と水素社会実現に向けた好循環を生む可能性

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

日本の水素社会実現の意義

- 日本における水素社会の実現は、エネルギー政策・産業振興の両面で重要
 - エネルギー政策の観点で、水素利用拡大は低炭素化実現やエネルギーセキュリティ確保に資する
- マザーマーケットである日本で水素社会が実現することは、日本企業の水素ビジネス拡大にも貢献する見通し
 - 特に供給側の事業者にとって、日本の水素需要拡大、及びその実現に向けた政策サポートの活用可能性が、水素事業への投資拡大のための重要な検討項目となる可能性

日本の水素社会実現の意義

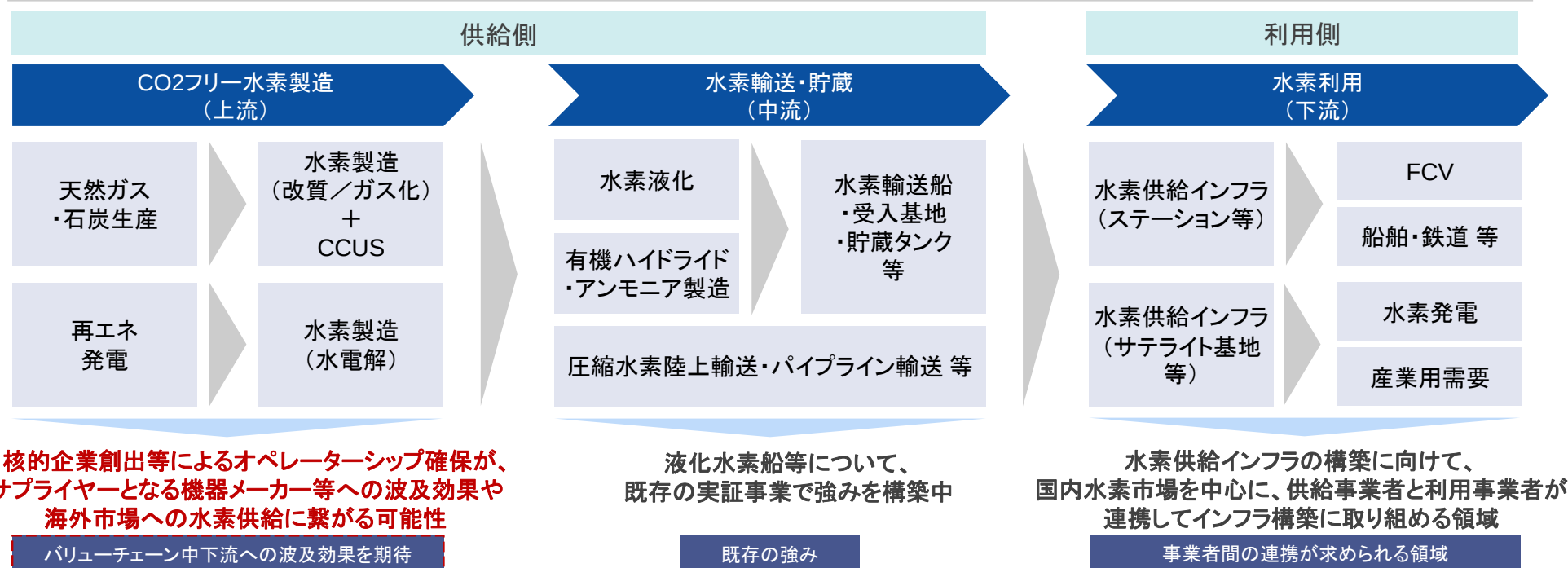


エネルギー政策・産業振興の両面での利点を踏まえ、日本の水素社会実現を政策的にサポートすることも必要

【弊行仮説】水素産業において日本の事業者が取るべき戦略

- 日本の水素関連事業者にとって、上流から下流まで水素バリューチェーン全体が事業機会になり得る
- 特に上流領域において、日本企業がグローバルに水素製造プロジェクトのオペレーターシップを確保していくことで、バリューチェーン各領域で競争力のある要素技術を有する日本の事業者が有利になる可能性
 - エネルギー企業等を軸とした水素製造に関わる中核的企業の創出や官民連携による水素共同事業体の設立、個別の水素製造プロジェクトに対する政策的サポート等が選択肢に
 - 下流の水素供給インフラ構築のためには、供給側・利用側の垣根を超えた事業者間連携が有効な場合も

水素バリューチェーンと日本の事業者が取るべき戦略



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

産業調査部

資源エネルギーチーム

自動車・機械チーム

自動車・機械チーム

自動車・機械チーム

欧州調査チーム

松村 諒

田村 多恵

安藤 裕之

松尾 大樹

長谷川 諒

ryou.matsumura@mizuho-bk.co.jp

みずほ産業調査／65 2020 No.2

2020年10月6日発行

© 2020 株式会社みずほ銀行

本資料は金融ソリューションに関する情報提供のみを目的として作成されたものであり、特定の取引の勧誘・取次ぎ等を強制するものではありません。また、本資料はみずほフィナンシャルグループ各社との取引を前提とするものではありません。

本資料は、当行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の著作権は当行に属し、本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他の如何なる手段において複製すること、②当行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

編集／発行 みずほ銀行産業調査部

東京都千代田区大手町1-5-5 ird.info@mizuho-bk.co.jp