

水素の利用拡大に向けて ～カーボンニュートラル対応を成長の好機に～

産業調査ソリューション室 梅津 譜、福井 美悠

要旨

- ・カーボンニュートラル実現やエネルギーセキュリティ強化の観点から、水素に対する期待が高まっている。
- ・自国でのグリーン水素製造に限界がある日本では、権益確保や海上輸送、貯蔵インフラ整備など上流～中流にあたる供給、調達面の手当てと、下流の需要拡大に向けた手当てを両輪で進める必要がある。
- ・今後に向けては、各事業者の取り組みに加えて、事業者間の連携、政策的支援、ファイナンススキームなども重要となろう。
- ・視点を変えると、世界的な水素の利用拡大は日本企業にとって新たな事業機会を生む。カーボンニュートラルに向けた対応を成長の好機とすべく、官民一体となった積極的な取り組みに期待したい。

昨今、カーボンニュートラル(以下、CN)実現やエネルギーセキュリティ強化の観点から、水素に対する期待が高まっている。本稿では、最新の動向を反映し、サプライチェーンの課題を改めて整理したうえで、制度設計の在り方や日本企業にとっての事業機会について述べる。

1.水素に対する期待

1-1.期待が高まる背景

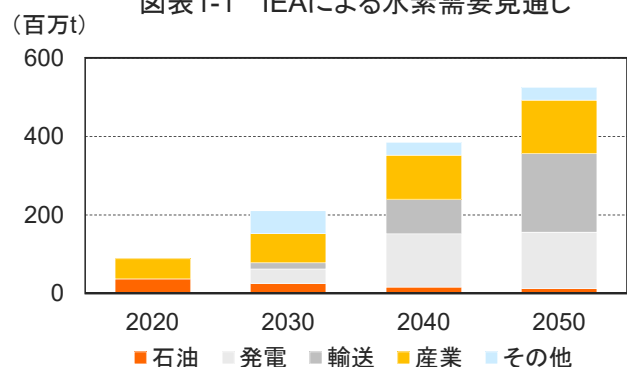
水素は、燃焼時にCO₂を排出しないことから、化石資源に替わるクリーンなエネルギー源として、長年にわたって有望視されてきた。ただし、技術やコスト面の課題の多さから本格的な社会実装には至っておらず、実用性に懐疑的な見方も少なかった。

しかし、昨今、こうした状況から、利用拡大に向けた取り組みの加速へと、潮目が大きく変化している。要因としては、事業者や研究機関の取り組みによって技術開発やコスト削減が進んだことに加え、CN実現に対する緊迫度が増してきたことが大きい。依然として課題は残るものの、CN実現に向けて、現時点で水素利用に優る打ち手が存在しないのだ。国際エネルギー機関(IEA)も、2050年に世界全体の排出量正味ゼロを実現するには、2050年時点で2020年比約6倍弱の水素活用が必要との見通しを示している(図表1-1)。

特に、日本は、脱炭素社会における重要リソースである再エネに関して、地理特性や自然条件の面で不利な立場にある。太陽光発電については、FIT制度によって大幅に導入が拡大したものの、設置に適した平野部が少ないうえ、豊かな四季のある気候が日照時間の安定性を損なう。風力発電についても、陸上・洋上ともに適地は限定的であり、風況面も欧州などに劣る。よって、引き続き国内における最大限の再エネ導入を目指しつつも、並行して水素の利用拡大を検討していく必要性が高い。

また、エネルギーセキュリティ強化の観点でも、水素利用の意義は大きい。ウクライナ危機を通じて、特定のエネルギー源、特定の調達元に依存するリスクが改めて浮き彫りになった。水素の利用拡大は、これらのリスクを低減させる有効な打ち手となり得る。

図表1-1 IEAによる水素需要見通し



(備考) 1. IEAにより日本政策投資銀行作成

2. 発電は燃料アンモニア、輸送は合成燃料を含む

1-2.各国の水素戦略

水素の可能性への期待が強まる中、日本の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2014年)を皮切りに、主要国で戦略策定の動きが相次いでいる。各国の戦略は、水素製造のコストによって、輸入型、地産地消型、輸出型に大別される。再エネ導入に限界がある日本は水素も輸入調達が必要となる一方、豪州などは再エネポテンシャルを活かして海外輸出戦略をとる。また、利用分野としては、各国の産業構造やエネルギー政策を反映して、電力、輸送、産業(鉄鋼や化学)などが中核に据えられる(図表1-2)。

図表1-2 各国の水素戦略

		日本	EU	米国	中国	豪州	
類型		輸入型		地産地消型			輸出型
量的目標(t)	'30年	[供給] 300万	[輸入] 1,000万	[生産] 1,000万	[生産] '25年 10-20万		
	'50年	[供給] 2,000万				[輸出] '40年 1,000億豪ドル	
主用途	電力	✓		✓			
	輸送	✓	✓	✓	✓	✓	
	産業	✓	✓	✓	✓	✓	

(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

2.水素サプライチェーンの概観と課題

水素サプライチェーンの特徴として、製造方法(上流)や輸送・貯蔵方法(中流)に幅広い選択肢が存在すること、利用先(下流)が多岐にわたることが挙げられる(図表2-1)。各領域において、依然として開発・実証段階の技術が多く、実装に向けた課題も山積している。

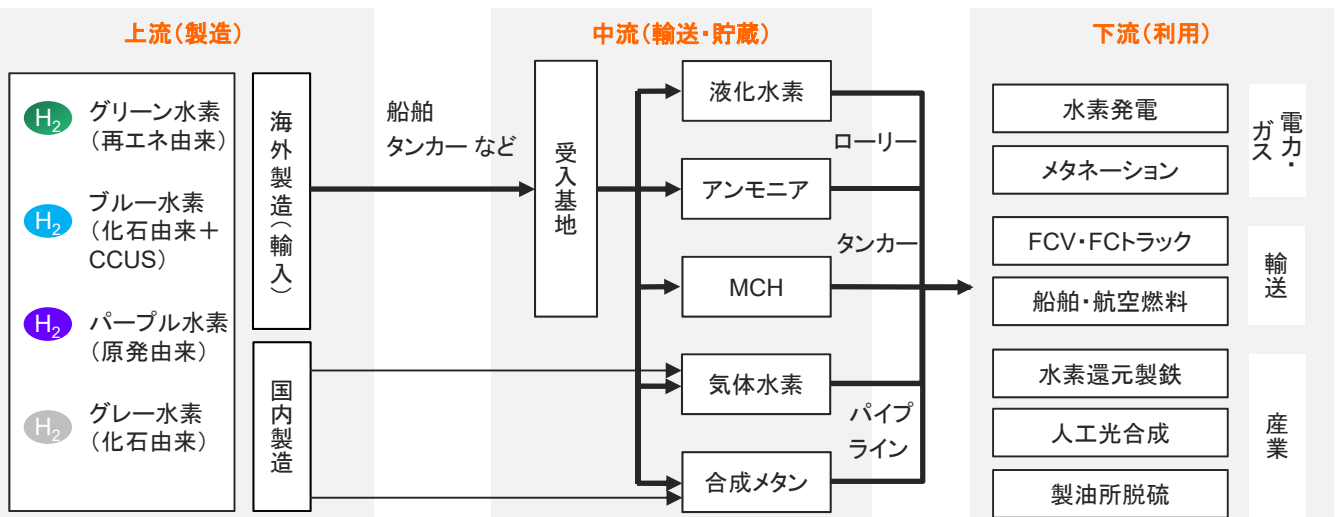
自国でのグリーン水素製造に限界がある日本では、権益確保や海上輸送、貯蔵インフラ整備など、上流～中流にあたる供給、調達面の手当てと、下流の需要拡大に向けた手当てを両輪で進める必要がある。

2-1.上流:製造

水素は、原料や製造時のエネルギー源の違いから、グリーン、ブルー、グレーなどに分けられる。現在は、化石資源や、工業プロセスの副産物を活用するグレー水素が主流ながら、今後は、ライフサイクル全体での排出を減らす観点から、製造時にCO₂が発生しないグリーン水素の活用が望まれる。

グリーン水素にも、電解方式の違いなどによって、複数の種類が存在する。足元では、大型化が可能なアルカリ水電解や、出力変動に優れる固体高分子型水電解などが中心であるが、電解効率の良い高温水蒸気電解や、電力供給が不要な光分解についても開発が進められている(図表2-2)。

図表2-1 水素サプライチェーンの全体像



(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

2021年10月時点において、世界全体で、稼働容量の50倍超にあたる規模の水素製造プロジェクトが計画されている。なかでも、再エネ適地である欧州やオセアニア(豪州)などにおいては、大規模プロジェクトが多数存在する(図表2-3)。

再エネ適地の不足から、自国でのグリーン水素製造に限界がある日本としては、これら地域から、

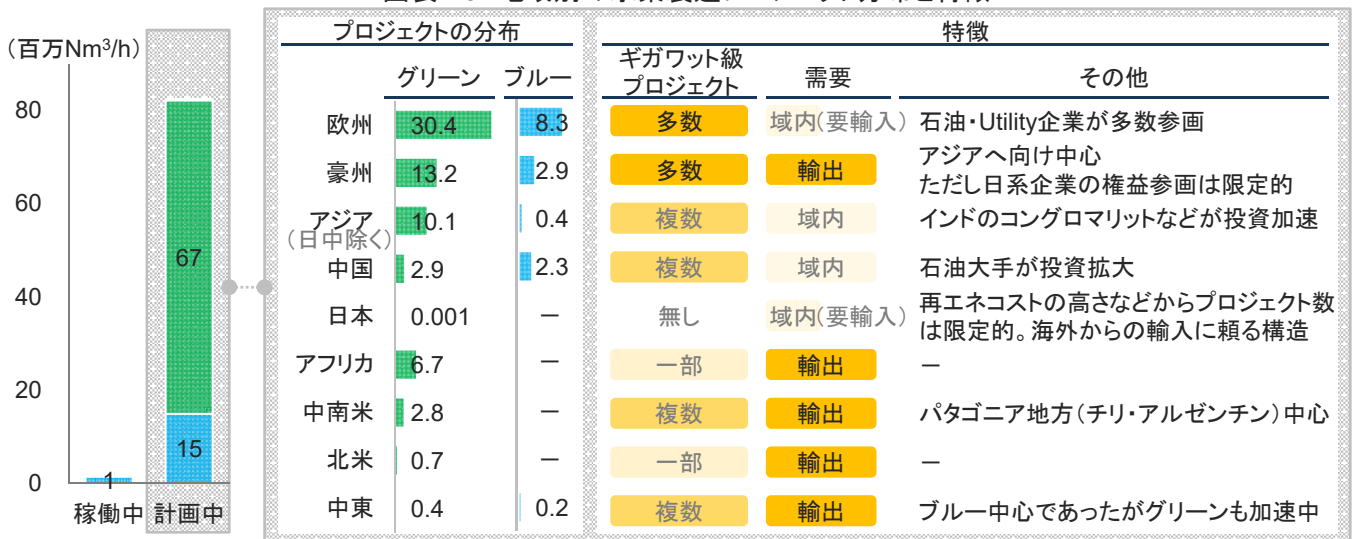
水素を安価かつ安定的に調達することが重要となる。すでに商社や重工業、エネルギー事業者が、欧州・豪州などにおけるプロジェクトへの参画などに動いているものの、各プロジェクトの規模は限定的である(図表2-4)。中長期的な調達量確保のためには、追加の権益獲得など、今後一層の取り組みが求められよう。

図表2-2 グリーン水素の種類

分類	技術名	成熟度	製造方法	メリット	デメリット
電解型	アルカリ水電解(AEC)	現行技術	水酸化カリウムを溶かした強アルカリ水溶液を電解質に利用	低コスト、高効率、大規模に水素製造が可能(電解効率:70-80%)	強アルカリにより80℃以上で腐食性が大きい
	固体高分子型水電解(PEM)	現行技術	イオン交換膜の両面に触媒電極を接合し、純水を電解	小型化、出力変動対応、純水を利用可能(電解効率:90%)	電極触媒や高分子イオン交換膜のコストが高い
	高温水蒸気電解(SOEC)	技術開発中(25年~)	800-1,000℃の高温で、水蒸気をセラミックス系固体電解質を用いて電解	高い電解効率(電解効率:95%)	高温廃熱原がないと高効率化のメリットが得られない
光分解	人工光合成	技術開発中(40年~)	水中で光触媒に太陽光を照射し、触媒上で水を水素と酸素に分解	電力供給が不要のため発電装置が不要	現段階では、変換効率が低い

(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

図表2-3 地域別の水素製造プロジェクト分布と特徴



(備考)IEA(2021), "Hydrogen Projects Database"により日本政策投資銀行作成

図表2-4 日本企業が参画する主要プロジェクトの概要

地域	サラワク(マレーシア)	モーアブルク(ドイツ)	クイーンズランド(豪州)	クイーンズランド(豪州)
公表時期	2020.10	2021.1	2021.8	2021.9
製造量	数万t/年	N.A.	N.A.	100t/日(2026) 800t/日(2031)
投資コスト	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
参画事業者	住友商事、ENEOS、SEDCエネルギー	三菱重工、Vattenfall、Shell、Hamburg熱供給公社	伊藤忠商事、DBI、NQB、Brookfield	岩谷産業、川崎重工、丸紅、関西電力、Stanwell、APA
スケジュール	2021 FS開始	2021 政府補助申請 2025 稼働開始	2021 FS開始	N.A.
備考	MCHとして輸入			液化水素として輸入

(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

2-2. 中流：輸送・貯蔵

水素は、常態では気体であり、体積当たりのエネルギー密度が天然ガスの1/3程度と低いため、大陸間の国際輸送においては輸送・貯蔵が容易な物質(=水素キャリア)に変換する必要がある。

現在、水素キャリアとしては液化水素、MCH、アンモニア、メタンなどが検討されているが、輸送効率、エネルギー効率、取扱容易性、既存インフラ利用可能性などの観点で、それぞれメリット・デメリットが存在する(図表2-5)。

足元、日本では、各キャリアに関する実証が並行して進んでいる(図表2-6)。政府としても、現時点ではキャリアを絞り込まず、競争を促して個々の技術課題克服を支援する方針であり、当面は各キャリアに対する複数の取り組みが併存すると想定される。

国際的な議論の中では、肥料用途などで各種インフラが整備されているアンモニアを中心としつつ、一部では他のキャリアが利用されるとの見方もある(図表2-7)。

図表2-5 主な水素キャリア

	液化水素	MCH	アンモニア	メタン
輸送効率 (常圧水素に対する体積)	約1/800	約1/500	約1/1,300	約1/600
取扱容易性(輸送/貯蔵性) ・安全性	-253℃、常圧、 長期保存は難、無毒	常温常圧で取扱容易 トルエンは毒性有	-33℃、常圧、 腐食性有、毒性有	-162℃、常圧、 無毒
脱水素・高純度化の必要性	不要	必要	必要	必要
既存インフラ・技術の 利用可能性	国際輸送は要新設、 国内配送は可	可(ケミカルタンカーなど) ※ただし大量では要新設	可(ケミカルタンカーなど) ※ただし大量では要新設	可(LNGタンカー、 都市ガス管など)
実装開始時期(予定)	2030年～	2025年～	2025年～	2030年～
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 脱水素・改質不要 高純度 	<ul style="list-style-type: none"> 長期間貯蔵可能 既存のインフラが使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 高いエネルギー密度 既存のインフラが使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 既存のインフラが使用可能
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 沸点・安全性などに起因する高い運搬コスト 体積当たりエネルギー密度の低さ 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却しても体積圧縮ができず輸送可能量に制限 脱水素に大量の熱が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 水素への改質コスト 純度レベル 毒性の高さ 	<ul style="list-style-type: none"> 燃やすとCO₂を排出

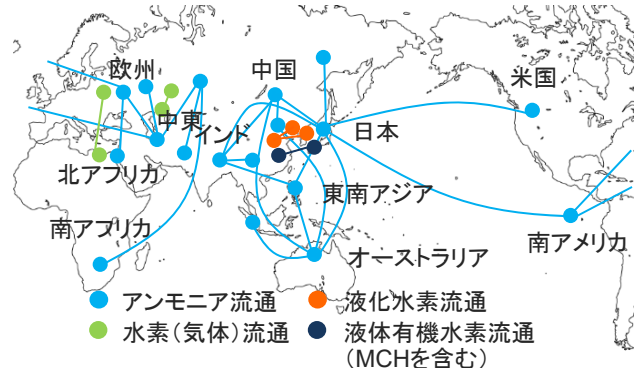
(備考) 1.各種資料により日本政策投資銀行作成
 2.○は他のキャリアと比較して優位であることを示す
 3.脱水素・高純度化が不要であると、水素エネルギーのロスが少なく、本プロセスのための設備投資が不要

図表2-6 水素サプライチェーン実証案件(日本)

事業名	事業者	概要
①液化水素 褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証	川崎重工業 岩谷産業 電源開発	褐炭のガス化、液化水素の海上輸送および荷役に係る技術実証(日-豪間)
②MCH 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証	千代田化工建設	水素化/脱水素化プラントの大型化、トルエンとMCHの循環チェーンの最適化運用に係る実証(日-ブルネイ間)

(備考) 資源エネルギー庁資料、報道により日本政策投資銀行作成

図表2-7 水素のグローバル流通予測(2050年)



(備考) IRENA(2022), "World Energy Transitions Outlook" により日本政策投資銀行作成

2-3. 下流：利用

水素は、従前より様々な分野で化学原料として利用されてきたが、近年ではCN実現の観点から、CO₂多排出分野である電力、輸送、産業(鉄鋼・化学)などにおける利用増加が期待される(図表2-8)。

電力分野では、火力発電の現実的な脱炭素手段として、水素・アンモニア発電が有望視される。日本において、水素・アンモニア発電は、2030年頃の商用化に向けて現在実証が進められており、広く導入が進めば、安定的かつ大規模な水素需要を生むこととなる。

輸送分野では、遠距離走行の大型商用車(トラック、バス)を中心として、燃料電池自動車における水素利用が想定される。燃料電池は、自動車以外に、船舶、鉄道車両、航空機への導入に向けた技術開発も進む。

また、海運・空運では、国際的なCO₂削減ルールが整備されており、業界全体として水素の燃料利用に拍車がかかる。

産業分野では、鉄鋼・化学を中心に水素活用に向けた技術開発が進むが、抜本的なプロセス転換が必要であるうえ、既存の原燃料を使用した際とコスト負担が同等となる水素価格(パリティ水準)は非常に低いなど、超えるべき課題は多い。

水素価格について、日本政府は2030年に30円/Nm³、2050年に20円/Nm³という目標を掲げているが、現在価格(約100円/Nm³)からの大幅低減は容易ではない。さらに、この目標値も、主要分野におけるパリティ水準を踏まえれば、必ずしも十分に安価な水準とは言えない(図表2-9)。価格低減に向けては、様々な重要因子が複雑に絡む中、次節で述べるような制度設計のアプローチも必要となろう(図表2-10)。

図表2-8 水素用途

従来の中核用途			今後の有望用途			
ガラス・光ファイバー	石油精製・石油化学	製鉄所	電力・ガス	水素・アンモニア発電	40%	化石燃料の燃焼
アンモニア製造	半導体	太陽光パネル		メタネーション		
金属冶金	ロケット燃料	電子部品	輸送	FCV・FCTトラック	17%	化石燃料の燃焼
				合成燃料		
			産業	鉄鋼：水素還元製鉄	24%	還元剤(石炭)の燃焼
				化学：人工光合成		

(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

図表2-9 セクター別パリティ水準

セクター	水素のパリティ価格 (円/Nm ³)	
エネルギー	熱	—
	発電	14.3円
交通	トラック	50.0円
	内航船	23.3円
産業	鉄鋼	8.0円
	化学	8.0円

(備考)経済産業省、各種資料により日本政策投資銀行作成

図表2-10 水素コスト目標と重要因子

	現在	2030年	2050年
政府目標 (円/Nm ³)	100円程度	30円	20円
グリーン水素価格に影響する因子	再エネ価格、水電解設備コストなど		
ブルー水素価格に影響する因子	炭素価格、CO ₂ 回収・貯蔵コスト、在来資源価格など		
上記以外の重要因子	海上輸送コスト、貯蔵インフラコスト、キャリア変換コストなど		

(備考)経済産業省、各種資料により日本政策投資銀行作成

3.今後の展望

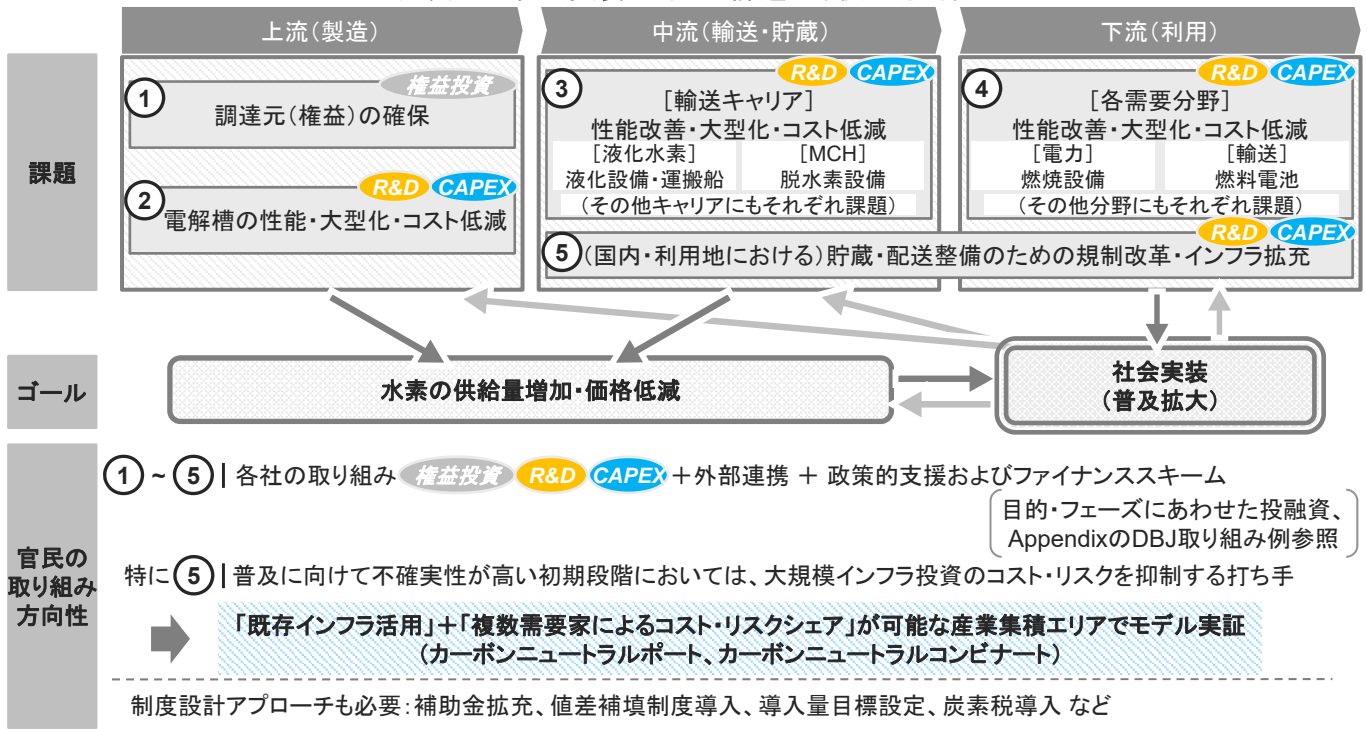
前節で述べたとおり、水素は幅広い用途における有望な燃料・原料になり得るものの、依然として、上流・中流・下流の各段階に多くの課題が存在する。今後に向けては、各事業者の取り組みに加えて、事業者間の連携、政策的支援、ファイナンススキームなどが重要となろう(図表3-1)。

特に、不確実性が高い初期段階において、大規模なインフラ投資のコストとリスクを抑制しつつ、実証・実装を進めるには、産業集積エリアにおける企業を跨いだ取り組みが有効と考えられる。具体的に

はカーボンニュートラルポートやカーボンニュートラルコンビナートと呼ばれる、港湾やコンビナート地帯を核とする検討が各地で進む。

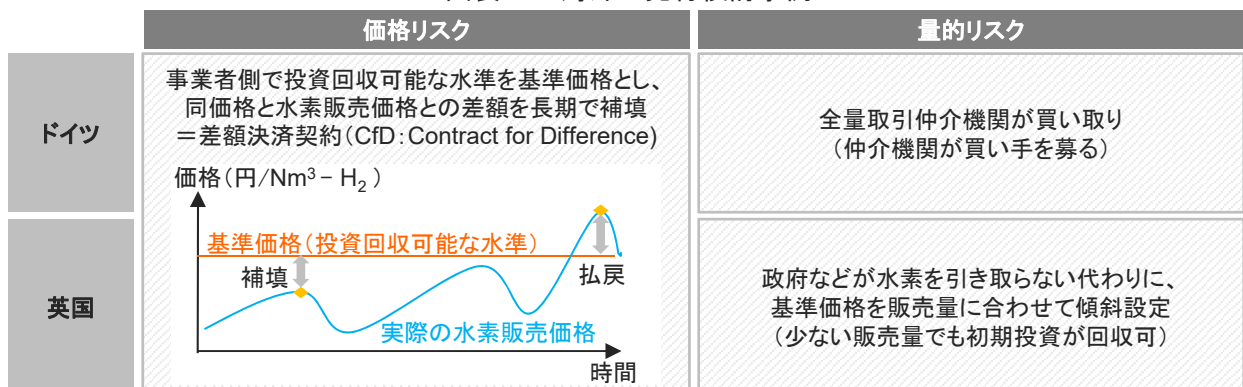
また、事業の長期的な予見可能性・安定性を確保するための制度設計も重要となる。先行するドイツや英国では、多額の初期投資の回収を可能とする価格補填の仕組みや、取引仲介機関の設置、価格の傾斜設定など、価格および量的リスクの緩和策が検討されている(図表3-2)。日本においても、経済産業省の水素政策小委員会にてドイツや英国を参考とした最適な制度設計について議論が進む。

図表3-1 社会実装に向けた課題と今後の方向性



(備考)日本政策投資銀行作成

図表3-2 海外の先行検討事例



(備考)経済産業省資料により日本政策投資銀行作成

4. 日本企業の事業機会

視点を変わると、世界的な水素の利用拡大は日本企業にとって新たな事業機会を生むことになる(図表4-1)。

水素の普及に向けては、上流、中流、下流の各領域において、様々な設備に対する投資やその運用・保守が必要となる。具体的には、上流における電解装置、中流におけるキャリア転換設備や輸送・貯蔵設備、下流における発電設備や産業プラント設備などが挙げられ、それぞれにつき、日本企業が輸出も視野に開発・実証を進めている(図表4-2)。

例えば、水素・アンモニア発電について、日本の重工各社や電力会社は設備の製造および運用・保守において世界的に先行しており、日本同様に

短期的な再エネ移行が容易ではない地域への輸出が期待される。

従来日本企業が開発・製造してきた幅広い製品およびその運用・保守において、コモディティ化が進み、先進国大手企業および新興国企業との競争が一層激化する状況下、日本の産業競争力を維持・向上するためにも、水素にかかる期待は大きい。

日本企業の強みである優れた技術力やものづくり力を、世界市場におけるシェア確保に着実に繋げていくためには、国際標準化の主導、ユーザーニーズに基づいた製品システム全体の最適設計、コスト競争力の追及などを強く意識する必要がある。競合、他業種も含めた国内外の企業間連携や、有望市場に対する戦略的な政策支援が求められよう。

図表4-1 2050年時点における世界の年間設備投資ポテンシャル (10億USドル)

製造 60~65	輸送・貯蔵 25~30	水素変換 35~40	輸送分野 80~90	産業分野
50~60 水電解装置	5~7 貯蔵設備	21~25 アンモニア	21~25 燃料電池	16~20 高炉水素還元および 水素直接還元
	5~7 圧縮設備		11~15 オンボード型貯蔵	
	2~5 パイプライン	16~20 メタノール、 合成燃料、 液体有機水素	8~10 燃焼機関	11~15 オレフィン製造 (人工光合成)
5~7 CCUS技術	11~15 その他輸送設備		3~6 給油所	8~10 コージェネレーション

(備考) Boston Consulting Group資料により日本政策投資銀行作成

図表4-2 水素サプライチェーンを構成する主要な新技術に関わる動向

	上流	中流	下流
	電解装置	運搬船(液化水素)	水素・アンモニア発電設備
開発状況	実証・導入拡大・ コスト低減フェーズ	実証・導入拡大・ コスト低減フェーズ	技術開発・実証フェーズ
競争状況	欧州勢が高シェア 日本勢も存在感 中国勢も台頭	日韓勢がそれぞれ取り組み	日米欧既存大手の競争の中 日本勢が存在感
日本企業	旭化成 東レ 日立造船 東芝エネルギーシステムズ 神鋼環境ソリューション	川崎重工業	川崎重工業 三菱パワー IHI JERA(運用)
海外企業	Hydrogenics (加) Thyssenkrupp (独) Nel (ノルウェー) ITM Power (英) 中国船舶重工(中)	現代重工業(韓)	GE (米) Siemens Energy (独)

(備考) 各種資料により日本政策投資銀行作成

5.おわりに

自国での再エネ生産に限界がある日本にとって、水素の利用拡大を含めて、CNの実現に向けた取り組みは決して容易な道のりではない。日本政策投資銀行2022年度設備投資計画調査における企業アンケートでも、CNの潮流が事業へもたらす影響としては、「設備入れ替えの契機」や「長期的な移行戦略の策定・開示」といった回答が多い一方、「事業拡大の契機」や「ビジネスモデルの転換」は限定的であるなど、取り組みは依然として途上段階であり、受動的な姿勢が強い実態が見受けられた。

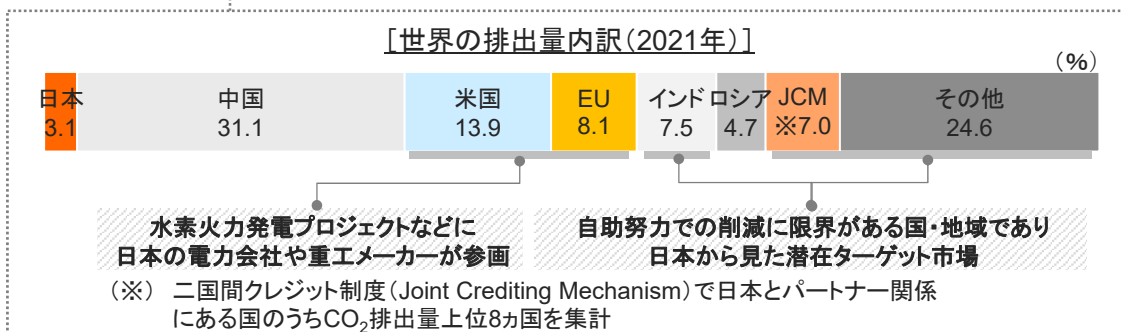
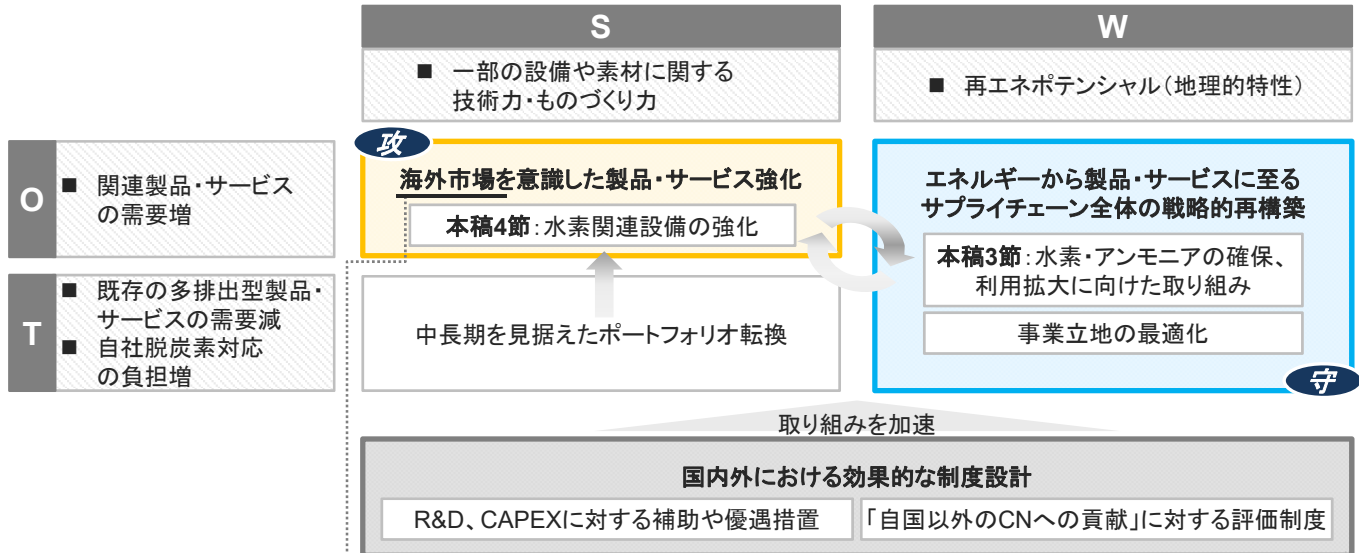
ただし、CNの実現はもはや避けることのできない地球規模の目標であることに鑑みれば、日本の弱みを可能な限り克服する守りの取り組み(本稿3節)は着実に進めつつも、こうした社会全体の変化に伴う新たな需要の創出を成長の機会と捉えて、強みを活かした攻めの取り組み(本稿4節)を他国に

遅れることなく強化することが重要であろう(図表5)。

また、国内外における効果的な制度設計も必須となる。設備投資計画調査における脱炭素実現に必要な支援に関する問いには、「補助金」、「税優遇」などの資金面の対応や、「基準策定」などが挙げられた。2021年11月に開催されたCOP26では、排出削減量の国家間クレジット取引に関する取り組み方針が合意されるなど、日本の海外貢献を適切に評価する土壌ができつつあるが、今後も補助、優遇制度の拡充などで効果的な政策支援の制度設計を進めるとともに、国際的なルール形成に日本企業の利害を踏まえながら取り組む必要がある。併せて、スムーズな社会実装に向けて合理的なリスク管理体制の構築などを進めるためには、国民全体の適切な理解を醸成することも求められよう。

CNに向けた対応を成長の好機とすべく、官民一体となった積極的な取り組みに期待したい。

図表5 世界的な水素の利用拡大に向けた日本のSWOT分析



(備考) 1.BP p.l.c.データ、各種資料により日本政策投資銀行作成

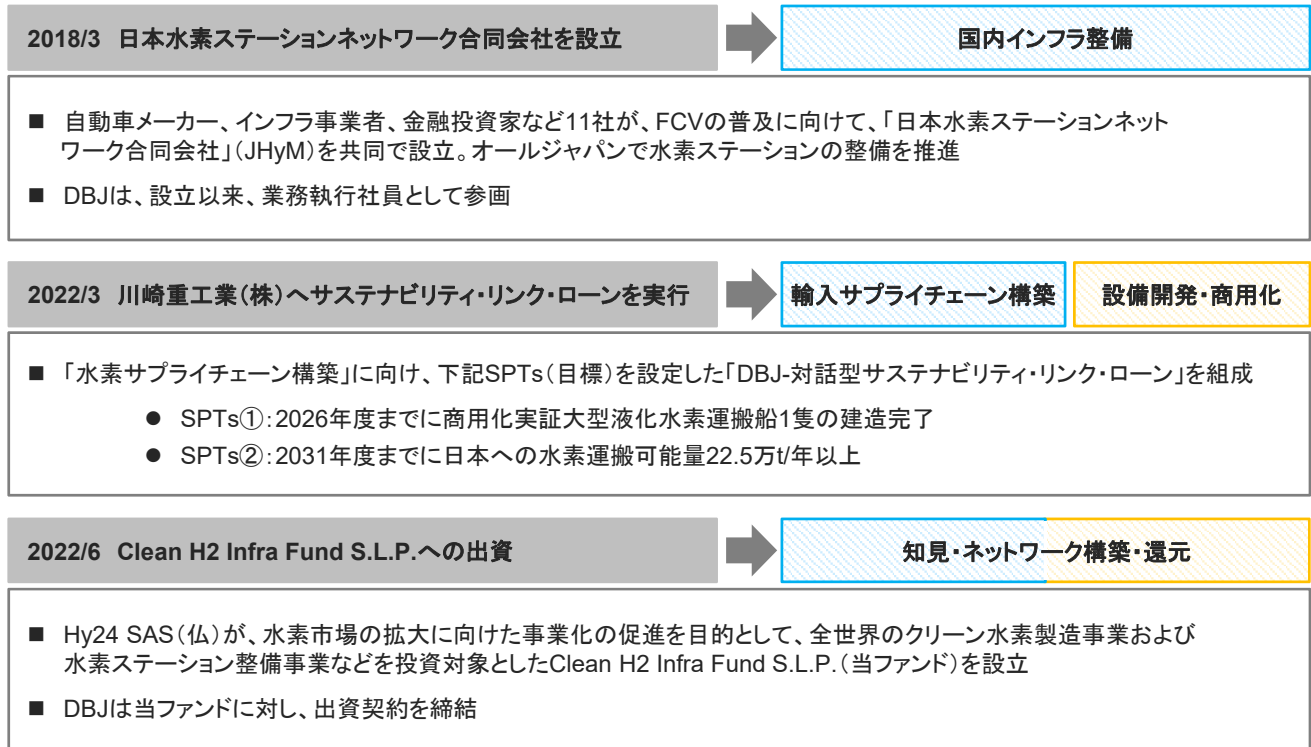
2.S: Strengths(強み)、W: Weaknesses(弱み)、O: Opportunities(機会)、T: Threats(脅威)

Appendix.DBJにおける水素関連の取り組み

「金融力で未来をデザインします」を企業理念に掲げるDBJグループは、日本における水素の利用拡大に貢献すべく、守り・攻めの両面に繋がる支援に取り組んでいる。

具体的には、国内水素供給インフラの整備・水素輸入サプライチェーンの構築における座組みづくりやリスクマネー供給、海外ファンドへの出資を通じた先進的知見の獲得・国内還元などが挙げられる。

DBJの取り組み



(備考)日本政策投資銀行作成

©Development Bank of Japan Inc.2022

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引などを勧誘するものではありません。本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、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ましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複製する際は、著作権者の許諾が必要ですので、当行までご連絡下さい。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず、『出所：日本政策投資銀行』と明記して下さい。

お問い合わせ先 株式会社日本政策投資銀行 産業調査部

Tel: 03-3244-1840

e-mail(産業調査部): report@dbj.jp