

水電解装置における日本企業の競争力強化に向けて

産業調査ソリューション室 福井 美悠、梅津 譜

要旨

- ・カーボンニュートラルの実現に向けて、水素の利用拡大、さらには水素の製造に用いられるキーコンポーネントとして水電解装置に対する期待が高まっている。
- ・水電解装置市場では、欧州・米国・日本企業が先行してきたが、足元では巨大な自国市場をよりどころにして中国企業が規模を拡大するなど、各国企業が実証・実装においてしのぎを削る。
- ・日本企業がグローバルシェアを獲得するには、性能面の継続的な改善に加え、コスト低減や大容量化にも一層取り組む必要がある。その上で、国内外の顧客へ積極的にアプローチし、オペレーション・メンテナンスまでを含めた顧客ニーズに能動的に対応するビジネスモデルの強化が求められる。さらには、日本企業の思い切った事業判断および健全な収益確保を支えるべく、事業の予見性向上につながる値差支援などの適切な制度設計や、量産技術開発に向けた資金支援の充実など、政策支援も欠かせない。

昨今、カーボンニュートラルの実現に向けて、水素の利用拡大、さらには水素の製造に用いられるキーコンポーネントとして水電解装置に対する期待が高まっている。水電解装置は、産業競争力の観点でも、日本にとって非常に重要な製品であり、2023年6月に改訂された水素基本戦略においても、2030年時点で日本関連企業の導入目標を15GW（世界シェア10%程度）に設定するなど、グローバルシェアの獲得がうたわれた。本稿は、国内外の政策および企業の取り組み動向を整理するとともに、日本の水電解装置メーカーの戦略の方向性について考察する。

1. 水電解装置の市場環境

水電解装置とは、その名の通り、水を電気分解することで水素を製造する装置である。水素の製造方法には、工業プロセスからの副次的な発生、化石燃料の改質、そして水の電気分解などがあるが、ライフサイクル全体でのCO₂排出を抑える観点では、再生可能エネルギーを用いた電気分解が最も望ましい。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Net-Zero Emissions（以下、NZE）シナリオでは、2050年に世界で使用される水素のうち約60%は水電解にて製造される必要があると試算している。

水電解装置システムは、電解質、膜、電極、触媒などからなる「セル」を複数積層した「スタック」と、整流器や水素気液分離器などの「補器」によって構成される。スタックには主に4つの技術タイプがあり、アルカリ形と固体高分子形（以下、PEM形）は現在商用段階に、固体酸化物形（以下、SOEC形）とアニオン交換膜形（以下、AEM形）は技術開発段階にある（図表1-1）。従来は、コスト、設備容量、負荷追従性などの特徴に応じて、大規模プロジェクトにはアルカリ形、中小規模で余剰再生可能エネルギーへの負荷追従が求められる地産地消プロジェクトにはPEM形といった緩やかなすみ分けが想定されてきた。足元から今後にかけては、その其他方式も含めた技術開発や量産化の進展に伴い、こうしたすみ分けの想定が変化する可能性があるが、いずれにせよ、当面はアルカリ形、PEM形が中心となって市場を形成していく見込みであることから、本稿では、両タイプを中心に扱う。

水電解装置の導入拡大に向けては、各国政府が2030年をめどとした自地域内外への導入目標を設定しており、その規模は世界全体で約145～190GW程度に達する。また、IEAの集計によれば、2022年10月時点で、欧州やオーストラリアを中心に合計134GW規模（2030年断面）の水電解装置の導入計画が公表されている上、今後は米国や中

国などでも一層増加すると想定される。ただし、IEAのNZEシナリオの達成をゴールとすれば、2030年時点では720GW程度の水電解装置の導入が必要と試算されることから、依然としてさらなる積み上げが必要な状況にある(図表1-2)。

こうした需要の顕在化を見込んで、各国の水電解装置メーカーが生産能力の増強計画を発表しており、2030年の製造能力は年間65GW程度に達する可能性がある(図表1-3)。仮に全ての計画が実現し、工場稼働率が9割程度となれば、2030年までの水電解装置の累積生産量は約270GWとなる見込みだが、NZEシナリオの達成に必要な720GW分の水電解装置を確保するには、一層の生産能力拡張が求められる。

2. 国内外の政策動向

足元、欧米を中心として、水素の供給・利用拡大および水電解装置の技術開発・商用化に向け、支援政策・産業政策の発表や強化が相次いでいる。

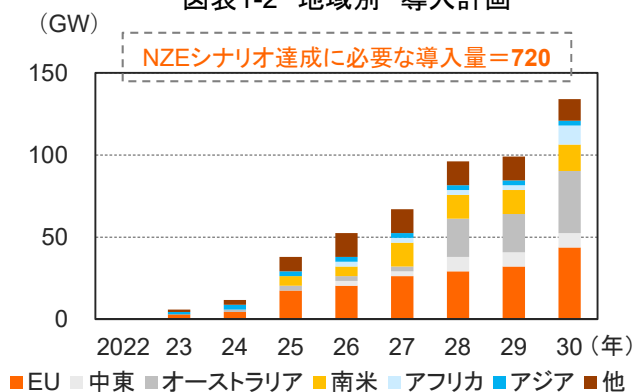
米国では、2021年11月に成立したインフラ投資雇用法や、2022年8月に成立したインフレ抑制法を通じて、自国内の水素製造や関連産業育成を強力に後押ししている。具体的には、クリーン水素(注1)の加工・輸送・貯蔵・利用を一体的に実証する「水素地域ハブ」構築に向けて80億ドルの援助を行う上、大規模な税額控除によって、世界的にみても極めて安価な水素製造が可能となる公算が高い。水電解装置メーカーからみると、大規模な需要の立ち上がりが想定され、非常に有望な市場となる。

図表1-1 水電解装置の技術方式別の特徴

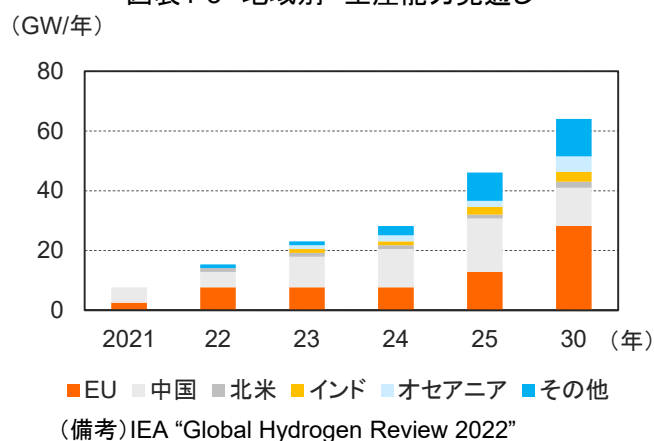
技術方式	ALK(アルカリ形)	PEM(固体高分子形)	SOEC(固体酸化物形)	AEM(固体高分子形)
電解質	水酸化カリウム/ 水酸化ナトリウム	固体高分子の イオン交換膜	固体酸化物の イオン交換膜	固体高分子の イオン交換膜
特徴	大規模製造可・低コスト - 装置コストが比較的安価 - 大規模・安定運用 - ただし、再エネの出力変動が苦手	出力変動対応可 - ALKより高効率 - 再エネの出力変動を吸収 - 製造水素の純度が高い - ただし、高コスト	高効率・排熱利用可 - 高効率 - 排熱の有効活用が可能で 原子力と親和性が高い - ただし、耐久性に難	低コスト・出力変動対応 - 安価な部材を利用可能 - 貴金属利用量が少ない - 高効率 - ただし、大型化に難
成熟度	社会実装	社会実装	技術開発	技術開発

(備考)各種資料により日本政策投資銀行作成

図表1-2 地域別 導入計画



図表1-3 地域別 生産能力見通し



注1: 二酸化炭素の排出量を基準とする「炭素集約度」に基づき定義されるものであり、米国では生産量1kg当たり、生産地で発生する二酸化炭素換算で2kg以下の水素のこと

ただし、水素ハブ構築においては、支援の要件として、鉄鋼・建材・工業製品に関して米国内での生産を一定比率求める条項が含まれ、工業製品については使用される部材コスト55%以上が米国内で採掘・生産される必要がある点は、水電解装置メーカーとしても留意が必要である。

また、水素の利用拡大において世界をリードしてきた欧州においても、米国の動きに対抗する格好で、2023年3月に「ネットゼロ産業法案」を発表した。同規則案では、域内における水素関連産業や雇用の育成・拡大を強化していく姿勢を示し、水電解を含むネットゼロ関連技術について、40%を域内で製造する努力目標を掲げている。現在EU並びに各国で検討されている水素調達に関する支援においても、こうした関連機器について、域内企業製品の採用が実態的な要件となる可能性を指摘する声もある。

日本では、2023年6月に、水素基本戦略が約6年ぶりに改定された。本改定においては、新たに2040年時点の水素導入目標量が設定され、その実現に向けた値差支援・拠点整備支援などの方向性が記されたことに加えて、関連する機器・サービスの国際競争力向上を狙った産業戦略も新たに書き加えられた(基本戦略の概要はAppendix1参照)。特に、水電解装置については、2030年時点で日本

関連企業の導入目標を15GW(世界シェア10%程度)に設定するなど、日本企業が部素材を含めて競争力を発揮し得る分野として高い期待が示された。

3.国内外の水電解装置メーカーの取り組み動向

水電解装置市場では、欧州・米国・日本企業が先行してきたが、足元では巨大な自国市場をよりどころにして中国企業が規模を拡大するなど、各国企業が実証・実装においてしのぎを削る(図表3-1)。日本企業では、膜・触媒などの要素部材を主業とする化学メーカーや、産業機械メーカーなどが、一部の要素部材もしくはシステム全体を手掛けている。

水電解装置における主な競争力評価のポイントは、①性能(水素生産効率、耐久性)、②コスト(補器なども含めたシステム全体コスト、メンテナンスコスト)、③設備容量であり、これら要素の強化に向けて、膜・触媒などの要素技術開発や、装置のモジュール化、大型化、量産化などの製造技術開発が求められる。また、装置の実用化フェーズにおいては、要素技術および製造技術などの性能改善に加え、④設置時のプラントマネジメントや、オペレーション支援、メンテナンスなどのアフターサービスも含めた、顧客ニーズへの総合的な対応力が必要となる(図表3-2)。

図表3-1 主要な水電解装置メーカー

企業	国籍	種類	技術方式			企業	国籍	種類	技術方式		
			ALK	PEM	SOEC				ALK	PEM	SOEC
Thyssenkrupp nucera	ドイツ	システム				旭化成	日本	システム			
Siemens Energy		システム				トクヤマ		システム			
Sunfire		システム				AGC		膜			
ITM Power	英国	システム				パナソニック		電極			
De Nora	イタリア	電極				日本触媒		膜			
Nel	ノルウェー	システム				トヨタ		システム			
Topsoe	デンマーク	システム				日立造船		システム			
Plug Power	米国	システム				神鋼環境ソリューション		システム			
Chemours		膜				東レ		膜			
LONGi	中国	システム				東芝		システム			
PERIC		システム				三菱重工業		システム			
(備考)各種報道											

図表3-2 水電解装置の競争力強化のポイント

①性能 水素生産効率、耐久性など	②コスト スタック・BOP・メンテナンスコスト	③設備容量	④顧客ニーズへの対応力 O&M含む
---------------------	----------------------------	-------	----------------------

(備考)日本政策投資銀行作成

この中で、日本企業は、膜・触媒などの要素部材の強みを武器に、①性能面で優位性を誇る。例えば、旭化成は、食塩電解で培った技術を転用してアルカリ形の水電解装置を開発し、2020年より、FH2R(注2)において10MW級の大型システムを3年間にわたって安定稼働させている。相応規模の水電解システムの安定稼働は世界的にも事例が限られている中、同社は当該システムからみえてきた課題をさらなる開発につなげることで競争力を高めている。東レは、従来のフッ素系膜と比較して高効率、高耐熱性・高耐圧性、低コストを実現する炭化水素系電解質膜を開発し、Siemens Energy(独)をはじめとして海外企業にも多く採用されている。足元では、2023年1月にEU化学品庁に提出された有機フッ素化合物(PFAS)の製造・上市・使用(輸入を含む)を全廃する規制案の影響が各業界において注目されるが、同社製品にとっては追い風となる可能性が高い。また、三菱重工業は、兵庫県の高砂製作所内の「高砂水素パーク」において、AEM・SOECなど幅広いタイプの技術開発・実証を行うほか、トクヤマ、AGC、パナソニック、日本触媒、トヨタ、日立造船、神鋼環境ソリューション、東芝など、多くの企業の取り組みが注目される。

図表3-3は、LexisNexis PatentSightを用いて水電解技術の特許の競争力(Patent Asset Index(注3))を示したものである。特許庁が「グリーン・トランスフォーメーション技術区分表(注4)」にて公開す

る「水素の製造」にかかる検索式を基に分析したところ、上位10位までに日本企業が4社登場するなど、欧州企業と並んで高い技術力を有することがわかる(図表3-3、3-4)。

一方で、②コスト低減および③大容量化に向けては、海外企業による積極的な対外アピールが目立つ。例えば、Nel Hydrogen(ノルウェー)は、KUKA(独)などの産業用ロボットを用いた量産化によって、生産拡大と効率化を進めることでシステムコストを4割以上削減する計画を発表している。また、Thyssenkrupp Nucera(独)は、標準化された複数のスタックから構成されるモジュールを組み合わせ、数百MWの大型システムを開発するとともに、補器を簡略化しシステム全体のコスト削減を図っている。そのほか、Siemens Energyも、17.5MWの水電解装置を基本単位としたモジュール設計により、最大GW容量までの大型プラントの設計を可能としている。同社は、エネルギー関連産業における実績を生かして、プラントのエンジニアリング技術やアフターサービスまでを含めた包括的なサービス提供を強みとしている。

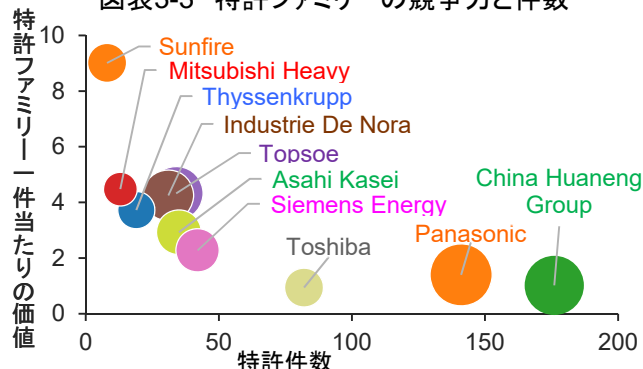
ただし、海外企業のこうした取り組みも、まだ端緒についたばかりであり、日本企業でも旭化成が工場の自動化や10MWモジュールベースの大容量化を検討するなど、依然として競争フェーズにある。今後は、大型化・モジュール化・量産化に対応した製造技術開発が問われることとなる。

注2: 福島水素エネルギー研究フィールドのことであり、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)、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、旭化成を主体に建設された実証施設

注3: LexisNexis PatentSightは、各国特許庁のデータベースで公開される情報から特許ファミリー1件当たりの価値(Competitive Impact)を算出し、各特許価値の総和をPatent Asset Indexと定義して技術力を定量化している。詳細はAppendix2を参照

注4: 2022年6月に特許庁が作成した技術区分表で、各技術区分に含まれる特許文献を検索するための特許検索式も併せて公開

図表3-3 特許ファミリーの競争力と件数



(備考3-3、3-4) LexisNexis PatentSight資料により日本政策投資銀行作成

図表3-4 水電解技術の特許価値の上位10社

企業名		備考
日本	Panasonic	アルカリ、AEM
	Asahi Kasei	アルカリ
	Toshiba	SOEC、アルカリ、PEM
	Mitsubishi Heavy	SOEC、AEM
	Siemens Energy	PEM
独	Thyssenkrupp Nucera	アルカリ
	Sunfire	アルカリ、SOEC
伊	Industrie De Nora	アルカリ
デンマーク	Topsoe	SOEC
中国	China Huaneng Group	国営エネルギー会社

4. グローバルシェア獲得に向けた今後の方向性

前節までの議論を踏まえ、今後、日本企業が水電解装置市場におけるグローバルシェアを獲得する道筋として、大きく二つの方向が考えられる(図表4)。

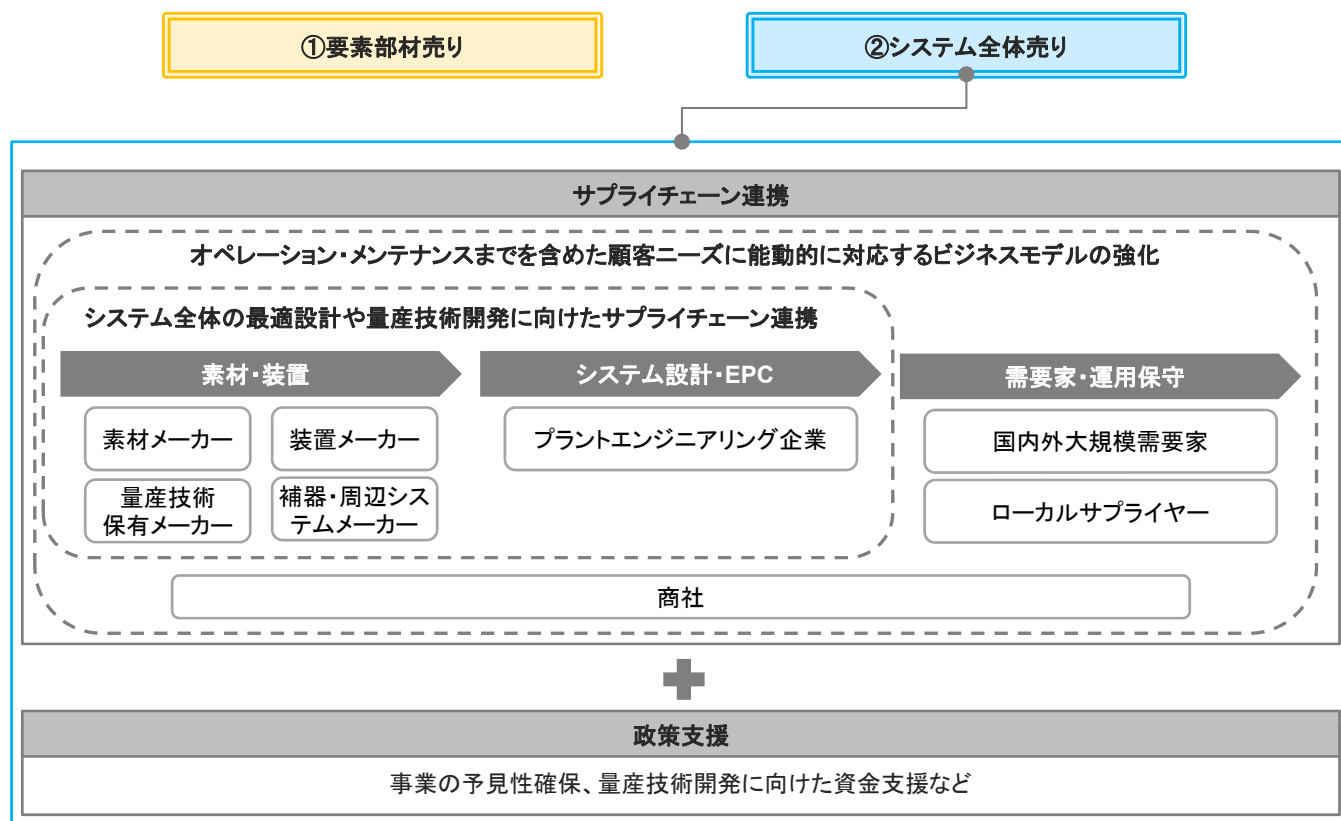
一つは、既存の強みを生かして膜や触媒などの外販を一層拡大していくことである。前述した東レの事例のように、競争力のある要素部材は海外企業からのニーズも強く、水電解装置の需要拡大につれて日本企業のプレゼンスが一層向上すると期待される。東レは顧客の要望にあわせて、膜単体のみならず触媒を付けた状態での外販を行っており、こうした取り組みは顧客基盤の拡大において有効であろう。

一方で、産業競争力強化やエネルギー安全保障の観点から踏まえれば、部材のシェア拡大のみならず、水電解装置のシステム全体でシェアを獲得していくことも意義が大きい。前述の通り、水素基本戦略においても、水電解装置は産業戦略の重要

分野として特に具体的に記載されており、日本の強みを生かし得る製品としての期待は非常に高い。また、カーボンニュートラルの実現に向けて、日本企業が国内外でグリーン水素製造プロジェクトを進める上で、仮にキーコンポーネントである水電解装置を海外企業に依存することになれば、プロジェクト推進上のネックになり得る。現在、すでに水電解装置の供給不足が世界的に指摘されており、短期・中長期の両視点において、日本企業が安定的なサプライチェーンを築くことは極めて重要となっている。

そのためには、性能面の継続的な改善に加え、コスト低減や大容量化にも一層取り組む必要がある。具体的には、補器も含めたシステム全体の最適設計や、量産技術の開発のため、素材メーカー、システムメーカー、補器メーカー、量産技術を有するメーカーなどが、サプライチェーン全体で課題を共有し、その解決に向けた取り組みを深めていくことが肝要となる。

図表4 グローバルシェア拡大に向けた戦略の方向性



(備考) 日本政策投資銀行作成

さらに、国内外の顧客(ユーザー)へ積極的にアプローチし、機器の販売のみにとどまらず、オペレーション・メンテナンスまでを含めた顧客ニーズに能動的に対応するビジネスモデルの強化が求められる。その際には、各メーカーのみならず、国内外のエネルギー関連プロジェクトに豊富な実績を有するプラントエンジニアリング企業や商社のケイパビリティを生かすべく、連携を強化することも重要な打ち手と考えられる。

こうした連携を強力に推し進め、実証から商用化にスムーズにつなげていく上では、技術研究組合の枠組みの活用や、各社の関連事業部門の切り出し・統合など、単なる連携から一步踏み込んだ実体をもった組織体の構築も選択肢と考えられる。

さらには、日本企業の思い切った事業判断や、健全な収益確保を支える政策支援の整備も欠かせない。足元では、国内における水素の本格導入に向けて、値差支援や拠点整備支援の議論が進んでいるが、こうした中で、直接の支援対象のみならずその背後にあるサプライチェーン全体に確実に支援が行き渡るよう、適切な制度設計とする必要がある。また、水電解装置メーカーに対する直接的な支援として、従来のGI基金による技術開発フェー

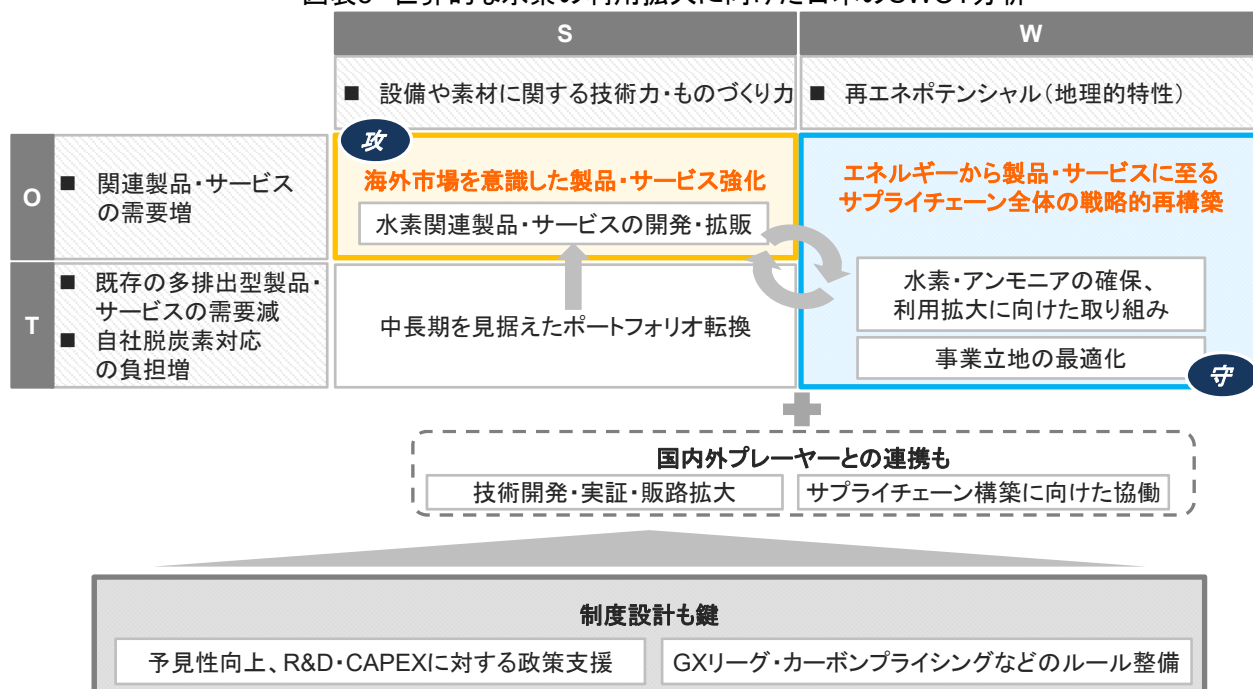
ズの支援に加えて、今後は製造能力拡大に対する支援を充実させるとともにインセンティブ設計が肝要となろう。

欧米と比べ、自国での再エネを活用したグリーン水素製造に限界がある日本の電解装置メーカーが市場シェアを拡大するには、海外市場の開拓が必要となる。それだけに、企業・政府ともに海外に見劣りしない上記のような対応が必要であるほか、積極的な対外アピールも重要となろう。

5.おわりに

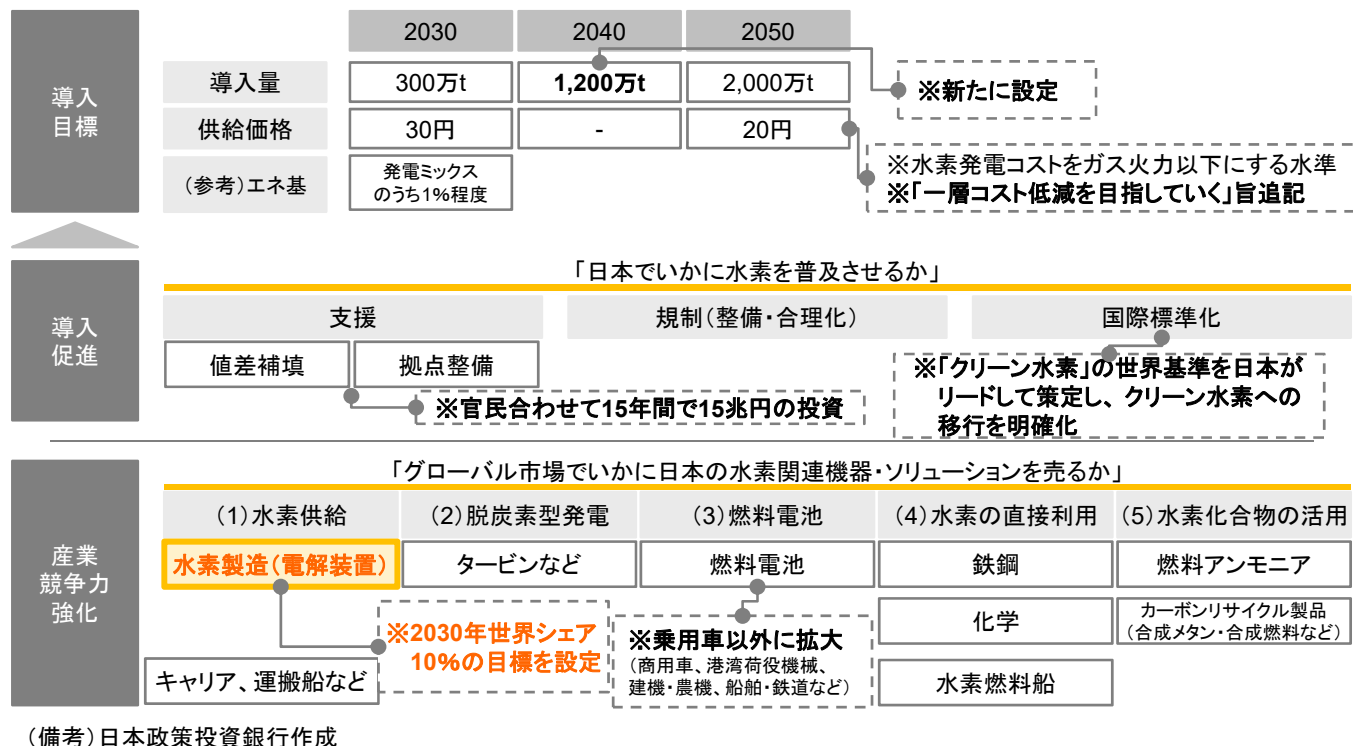
弊行は、DBJ Research No.379『水素の利用拡大に向けて～カーボンニュートラル対応を成長の好機に～』(2022年9月)において、世界的な水素の利用拡大を成長の機会と捉え、強みを生かした攻めの取り組みを他国に遅れることなく強化すべきと論じた(図表5)。水電解装置においては各社競争フェーズにあり日本企業が競争力を発揮しうる分野である。今回、水素基本戦略に書き込まれた「技術で勝ってビジネスでも勝つ」を実現できるよう、官民が一体となって、踏み込んだ取り組みを進めていくことに期待したい。

図表5 世界的な水素の利用拡大に向けた日本のSWOT分析



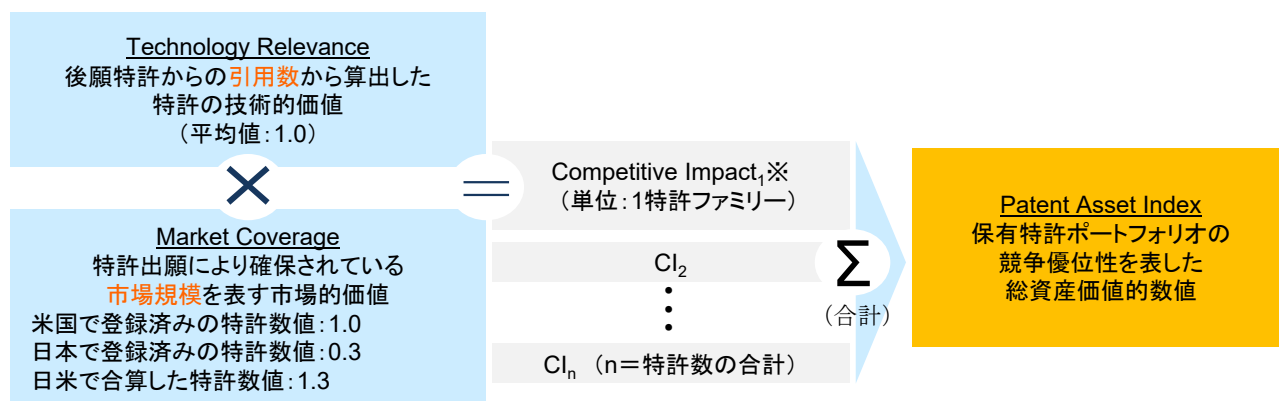
(備考)日本政策投資銀行作成

Appendix1.水素基本戦略の概要



(備考)日本政策投資銀行作成

Appendix2.Patent Asset Index



(備考)LexisNexis PatentSight資料により日本政策投資銀行作成

※Competitive Impact(CI)は(1)対象特許がほかの特許からどの程度引用されているかの相対的指数、(2)対象特許の出願国の市場規模を示す指数の二つを基に、平均値を1として正規化された数値である。詳細については以下を参照
Ernst, H., Omland, N. (2011): The Patent Asset Index – A New Approach to Benchmark Patent Portfolios. World Patent Information 33, pp. 34–41. An overview can be found in the document “Introduction to the Patent Asset Index” available from PatentSight

©Development Bank of Japan Inc.2023

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。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