

水素エネルギーのリアリティ

著者：瓜生田 義貴

近年日本で燃料電池車（FCV）販売の動きや、東京オリンピックでの水素バスや水素発電の計画などにより「水素社会」の実現に向けた機運が高まっている。一方当然ながらその定着のためには既存のエネルギーに対する経済合理性や技術的・社会的受容性がクリアされることが条件となる。実際に水素はこれまでも10年に一回程度「夢のクリーンエネルギー」としてブームが発生してはコストがネックで尻すぼみで消えるということを繰り返している。水素はプレミアム価格を許容する一部の需要家や、対既存エネルギーに対し割安となるニッチな市場／地域に限定した用途にとどまるのだろうか。今回の動きがこれまでと何が違うのか、また定着するとしたらどのような将来像・シナリオが起き得るかを考えてみたい。

需要と供給をどのようにマッチングするか？

日本にとって水素は、エネルギーの安全保障上の調達先多様化や、使用時のCO₂ゼロに寄与する環境性能の高さの点から以前から注目されてきた。水素は石油・ガス・石炭・太陽光・風力など多様な一次エネルギーから生成可能な二次エネルギーであり、一つの原料に頼らない。使用先としても発電・運輸燃料・化学原料・エネルギー貯蔵媒体等の複数の使い道を有し、使用端ではCO₂を出さない。さらに、既存の電力・ガスインフラとの親和性も高く、うまく活用すれば大きな新規投資なしに使用することができる。

しかし自然・人工を問わず水素がそのままの形で存在するケースはほとんどなく、何らかの資源を基に意図的に生産する必要がある。また原料である電力→水素（またはその逆工程）の変換で形を変える都度3割程度のエネルギーロスが生じるため、水素は割高なエネルギーとなる宿命を持つ。「天然ガスや、一度作った電力をわざわざ水素に変換する手間をかける理由は何か」という問いに答えられるだけの価値を提供できるビジネスモデル

（供給・輸送・需要をつなぐ水素チェーン）はこれまで実現されてこなかった。

しかしながら、今回特に日本で改めて水素が着目されているのは大きく2つの理由がある。第一に気候変動枠組条約締約国会議（COP）での議論が進む世界的な温室効果ガス排出削減に伴う炭素規制強化の動きや、国内の電力を取り巻く環境の変化（原発政策や電力システム改革）が水素供給チェーンの経済的合理的な実現の追い風と考えられる点である。特に排出削減のグローバルの枠組み合意に伴い日本の運輸・発電部門は低炭素の道を模索せざるを得なくなり、新規原発に頼りづらい中で水素は幾つかの取り得る選択肢の一つとなる。第二に近年の水素輸送における技術的進展（液化・メチル化輸送技術）やFCVの実用化という点である。これによって水素の供給と需要のマッチングの組み合わせや、ビジネスをくみ上げる際の自由度が増している。

以下では需要と供給の状況を概観し、そのマッチングについて考えてみたい（図表1参照）。

供給側の事情：

国内でも一定の水素は供給可能だが、海外が大ボリューム

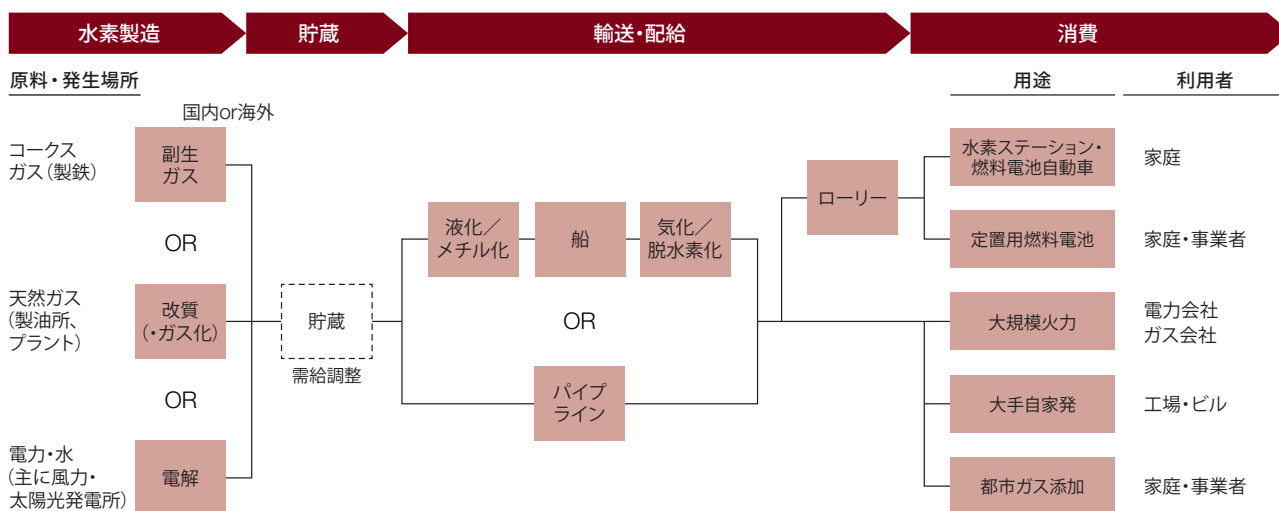
水素の代表的な供給方法としては、①工場からの副生（鉄鋼や天然ガス田）、②天然ガス等の改質、③水の電気分解（再生可能由来が主想定）の3つが主に存在する。日本においては、①の副生は主に鉄鋼生産において発生するコークスガス由来の水素で、現在は鉄鋼プラント内において回収され燃料として消費されている。②の改質については、製油所やアンモニアプラントの操業の一環で生産されているものを、本業のプラントの稼働と関係なく稼働・増産することで所外へ供給することが考えられる。また③の電気分解に基づく水素の大規模な供給は、今後再生可能エネルギー

瓜生田 義貴 (うりうだ・よしとか)

yoshitaka.uriuda@strategyand.jp.pwc.com

Strategy& 東京オフィスのマネージャー。
エネルギー・製造業を中心とした幅広いクライアントに対する海外進出戦略、中期経営計画策定などの戦略策定および実行支援のプロジェクトを手掛ける。

図表1：水素のサプライチェーン



出所：各種資料よりStrategy&分析

由来の電力で水を電気分解することが考えられている。これらを合計することで国内での現状の水素供給可能量としては、幾つかの推計方法の違いはあれ、およそ100億m³は供給可能との見方が多い。なお水素が炭素を出さないクリーンなエネルギーというのは需要時の話であり、②においては二酸化炭素貯留(CCS)などで地中固定する方法以外は水素生産のために炭素が排出される。

一方、海外ではより大規模な水素供給が、より安価に行える可能性を秘めている。パタゴニアやゴビ砂漠等で年を通して吹いている風のエネルギーは地球の全電力需要の7倍にも達する。また、褐炭というそのままでは発電に利用することができない低品位の石炭も、水素に形を変えることで発電に使用することが可能である。石油掘削とともに産出され、かつては「無価値」として捨てられていた天然ガスを日本が液化輸入し有効活用を

始めたように、現在世界の未利用のエネルギー源を有効活用する手段として水素は重要な輸送媒体の候補となり得る。まさにLNGと同様に、海外で生産した水素を液体の状態に日本に輸入する動きも千代田化工や川崎重工などによって提案されており、川崎市においては2017年を目途に小規模な輸入実証試験の実施が予定されている。

**需要側の事情:
当面のFCVや中長期的なFCV
いずれに向けても供給コスト低減が必要**

需要側の事情で言えば、「水素でなければならない」エネルギー関連のアプリケーションは実はそう多くない。大半のものはほかのエネルギー源を既に経済合理性を持って使用しており、水素

の重量エネルギー密度の高さという特徴を最大限有効活用できるアプリケーションは、重量がシビアに問われるロケットの上段エンジン程度である。

よって、既存のエネルギーを代替できるかは、必要となるインフラ整備や機器改修コストも含め水素価格がいくらなら需要家がスイッチし得るかにかかっている。以下では各アプリケーション毎にそのスイッチ価格及び必要水素量がどの程度かを見て行きたい。前提としてCO₂削減効果による水素へのプラス効果や補助金はなく、港の水揚CIF30円(現時点で海外水素輸入各社が中期的な目標とする値)を前提としたい。

自動車

昨今最も注目されている当面のアプリケーションだが、ハイブリッド自動車のガソリンと同等の競争力となるには、水素1Nm³あたり数十円程度低下し1Nm³あたり110円程度とすることが必要である。既に水素ステーションの一般向け水素販売価格は事業者負担の下この数字を達成済であるが、持続的な事業活動とするには調達コストダウンが必要となる。その際、水素の原料コストに加え、国内でのエネルギー輸送コストが重要となる。一方ボリュームの面では2025年のFCV200万台という政府目標が達成されても、水素のボリュームの面では小さい上、車両価格、燃料価格、充填インフラの整備の点で既存のガソリン自動車やPHEV、EVに比べFCVがハンデを有する。また、そもそものFCV販売台数の目標達成も容易ではなく、FCV事業は自立して立ち上がっていない(参考までに車両価格がFCVの半分で既存のガソリンステーションが使用可能なハイブリッド自動車とさえも200万台の普及には10年以上の年月を要した)。

都市ガス混入

都市ガスに水素を混ぜて家庭での燃焼に使用する用途も考えられる。現在の都市ガスへと移行する前の家庭用ガスには水素が含まれていたことを考えても既存インフラへも5%程度であれば

技術上も制度上も実施可能であるが、体積当たりの熱量が水素の混入により低下し熱量調整が必要になるという短所がある。ドイツでは、実際に余剰電力を水素化し、ガス管網へ貯蔵の一手段として混入するエネルギー会社も存在するが、日本においては現状電力とガスの間をまたいで経済的インセンティブを見出す活動は実施しづらい。

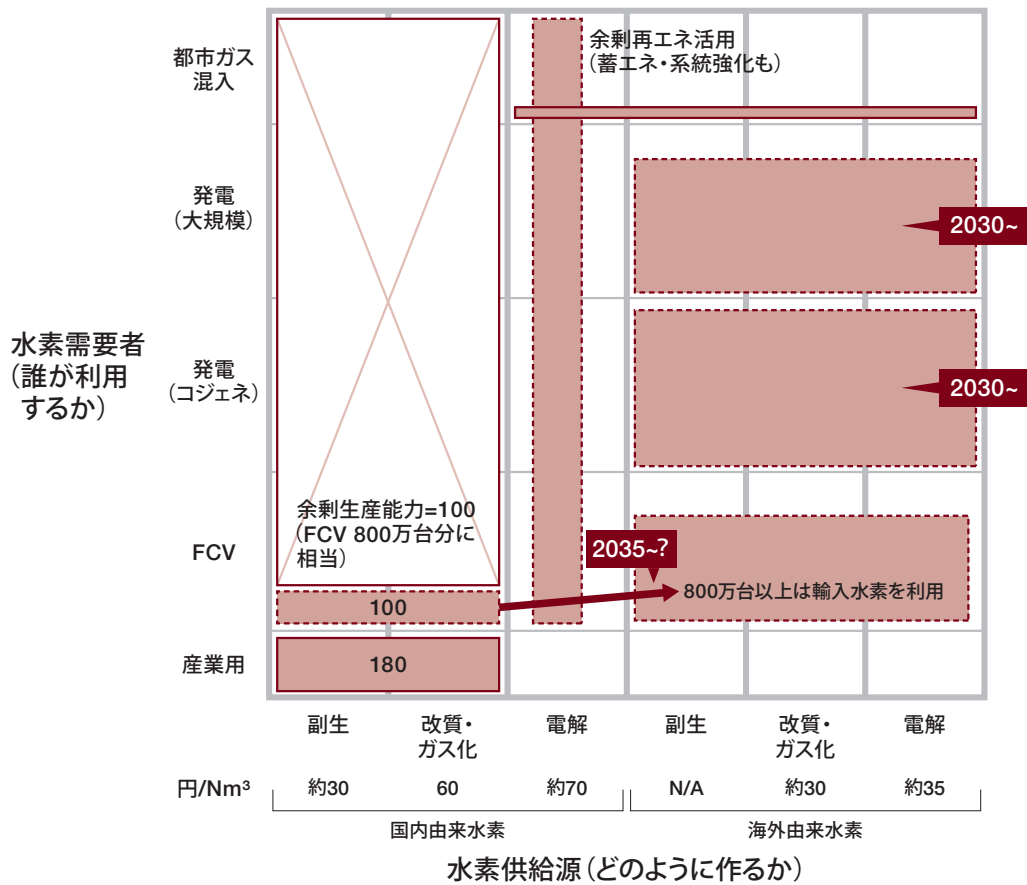
発電

まず産業用ガスエンジンや発電用ガスタービンは、実現すれば水素の大量消費を実現するアプリケーションである。たとえば東京湾岸の天然ガス発電所に5~10%程度混焼させることで、FCV自動車と同等以上の需要が見込まれる。熱量等価で言えば、石油との等価は現在既に視野に入るものの、天然ガスや石炭と等価になるには大幅なCIFコストの低下が必要なため、採算性がシビアに問われるようになった電力会社からすると、既存設備を改修または新設するだけの経済的インセンティブをなかなか持ちにくい。天然ガスと価格競争力を持たせるためには、スケール効果を利用するための輸入ボリュームの大型化や炭素税の導入、加えてCCSなどの技術開発が条件となるだろう。さらに、本格的な実現を検討する際には電源構成(ベース・ミドル・ピーク比率)とその中でのエネルギー源の選択(発電方式)の双方がかかわり、10年以上の単位で前もって計画する必要がある。

次に電力を水素の形で貯蔵するという手段も存在する。現在太陽光発電や風力発電と合わせて、送電網が吸収困難な再生可能エネルギーの出力変動など送配電網をバッファーするために電池をシステムに組み入れることが想定されている。そこで電池の代わりに水素を利用すれば大規模かつ長期の電力保存が可能となる(※前章「電力貯蔵による電力システムの柔軟性確保」参照)。

以上各種用途および、本稿外の各種分析・推計を踏まえると、自動車→貯蔵→発電→都市ガス混入の順に受け入れがしやすいのではないかと考えられる。ただし水素のコストダウンに向けて

図表2：2050年の水素需給@CIF30円/Nm³の想定(単位:億Nm³)



出所：各種資料よりStrategy&分析

できる努力は海外からの大規模輸入がメインであり、それ以外はいずれも炭素税などの排出削減に関する何らかのペナルティが存在しないと経済的には手放しで水素利用の普及が進む状態にはないと考えられる。

どのようなマッチングが想定されるか？ あり得る今後の展開シナリオ

上記の国内外の各製造法による供給量、および各アプリケーション毎での需要量・受入可能価格を考えると、日本において将来的にあり得る供給・需要マッチングは図表2のようになると想定

される。図表の縦軸に用途、横軸には国内外での製造法が対応しており、長方形の面積は一定の仮定を置いた際のおおよその水素需要量の大きさ(単位:億Nm³)を示している。

既に走り出しているFCVは数百万台程度までは国内産の水素によって賄うことができるが、それ以上の自動車への利用や発電用途の水素利用はボリューム面からも需要家の受入れ可能な価格面からも海外から輸入される水素を利用する必要が生じることがわかる。この海外水素導入へのジャンプが実現できるかが、水素が持続的に使用できるかの今後の大きな分かれ目となる。

導入の順序はどのようになるだろうか？ 一つの理想的なシナリオとしては、短期的に見るとFCVでの水素利用が徐々に進み、一部で水素による電力貯蔵の利用(送電線敷設の代替)など、別の用途も生じさせることである。中長期的に見ると海外から大規模輸入により安価かつ大量の水素がまず沿岸部の大需要家(発電、石油精製、鉄鋼等)に向けて導入され、それを核に内陸部でも各アプリケーションでの水素導入を実現させ、加えてFCV向け利用もさらに進む、ということである。

ただしこのシナリオは日本全体で均一に起きるわけではなく、段階的に地域(場所・地形)を選ぶ形で進展すると考えられる。例えば、水素利用需要家の多い沿岸部の工業地帯周辺がエリア限定での水素化に有望であろうし、内陸部でのFCV用のステーションもまた需要密度の高い都市部や高速・主要幹線道路中心に整備が進む可能性が高い。また貯蔵との兼ね合いで言えば再生可能エネルギーの余剰を多く有する北海道や東北、九州地方等が導入先として有望と考えられる。

これは世界においても共通であり、水素事業が向く国・地域、向かない国・地域が存在する。状況は国により異なるが共通して必要なのは下記であろう。

(1) エネルギー・環境面で何らかの厳しい制約が存在する

- 制度上の制約：原発の制限・停止、強力なCO₂削減目標など
- 自然条件上での制約：国内資源が限定的、パイプラインや

送電線の建設が困難など

(2) 水素が既存エネルギーに対し価格優位を持ち得る環境がある

- 安価な水素源へのアクセスが存在する(安価な褐炭、太陽光、風力、地熱)
- 既存のエネルギー価格が割高、又は炭素税等で今後さらに割高となり得る

(3) そのほかのプレミアム価格を払う用意が需要家にある(環境価値、調達分散、等)

この条件に当てはまるのは原発停止・抑制中の日本・ドイツや、世界一厳しい環境規制を有するカリフォルニアが筆頭に挙げられ、おそらく局所的にはほかの国・地域もあると思われる。いずれにせよ、水素エネルギーが成立するためには「場所・用途・タイミングを選ぶ」ことが重要である。

不確定なシナリオを考える意義： 企業・自治体・国への示唆

国内産水素を利用したFCV(自動車・バス)の需要量は当面小さく、それだけでは水素利用の拡大は遅い可能性が高い。水素が日本のエネルギー業界の中で一定の規模を占めることができるようになるためには、発電への導入および炭素税等の後押しも含めた海外からの大規模輸入による安価な水素入手を実現することが必要となる。最後に企業・自治体・国にとっての示唆をまとめた。

- 企業：大きな新規事業機会が創出される。海外からの輸入チェーンの確立にむけて商社、金融機関、エンジニアリング会社は上流・中流・下流において長期の輸入事業の恩恵を享受し得るし、メーカーも燃料電池自動車(とそのコンポーネント)、水素ステーション、水素発電ガスタービン、配管等の水素対応

機器・部材・素材などの新たな需要が増加する。発電会社にとってみても更新時期にある老朽化力の代替候補として水素混焼も低炭素実現の検討の候補となり得る。

- 自治体:産業育成の観点で水素を活用できる可能性も存在する。豊富な自然エネルギーが存在する自治体においては、そのポテンシャルをフルに活用すべく水素による電力貯蔵と組み合わせながら風力・太陽光発電を導入し、大規模な売電を可能にする。
- 国:グローバルでの排出規制合意を達成するための一つの大きな要素として水素を利用し得る上、新たな産業創造の選択肢になる。またエネルギーの安全保障上からも調達先の分散へと寄与する。

本稿で提示したシナリオが実現するかはまだ不確定要素が大きい。しかしシナリオプランニングの分野においてはまさに、不確定であるが、実際に起きた場合にインパクトが高い事象を通常特に重点的に検討する必要がある。企業・自治体・国等の関係者はシナリオが現実味を帯びた段階でどのように自分たちが事業機会を有効活用すべきか、個別に又は共同であらかじめ検討することが重要であると考えられる。