

脱炭素 エネルギーの大転換

洋上風力・原子力・水素利用が鍵

(後編)

小西 誠一 陸士60

7. 水素

水素は、脱炭素社会のエネルギーで、大きな役割を持つ。水素は一次エネルギー(発電)から二次エネルギー(エネルギー消費)にわたり、多くの部門で役割を果たす。

発電部門では、変動型の再生エネルギーを導入する際、太陽光・風力の余剰電力で水を分解して水素をつくり、その水素の発電で変動を補うことで太陽光・風力発電を大量に導入できる(3章の終りにふれた)。

また二次エネルギーでは、産業、運輸、家庭など各部門で、水素を従来の化石エネルギーの代わりに利用する。現在は二次エネルギーは電力、ガス、石油製品、石炭・コークスであるが、水素がガス、石油製品、石炭・コークスに代わり使用される。

二次エネルギーでは、化石エネルギーは水素とともに電力にも代わる。運輸では自動車でもEVが普及するし、家庭などで電化が進む。

2020年12月、政府は2050

年脱炭素化に向け重点分野で数値目標をあげた。水素について発電、鉄道車両、自動車、製鉄などのエネルギーとして活用を目指し、2030年に消費量最大30万トンにする。水素の製造コストは現在の5分の1以下に引き下げ、発電に用いる際のコストはLNGと同等にする。

水素のコスト(水電解法による水素)は高く、現在1立方メートルあたり100円で、2050年1立方メートルあたり20円(発電コスト1kWh当り12円)以下とする。天然ガスは1立方メートルあたり16円である。

水素の製造は、現在は化石燃料の水蒸気改質法によっていて、コストは安い。二酸化炭素の発生を伴う。二酸化炭素の発生がない水素の製造法としてコストは高いが水電解法がある。

水電解法は、電力を多く使うのでコストが高く商業化されていない。水電解法には、アルカリ水電解法と、固体高分子形水電解法がある。

アルカリ水電解法は、水に電流をとおすと陰極に水素が、陽極に酸素が発生する。純粋な水は電気をとおしにくい。そのためアルカリ水溶液(水酸化カリなど)を電解液に使う。

固体高分子形水電解法は電解槽に高分子電解膜を用いる。小型な電解槽に限られ、大型の電解槽はアルカリ水電解法が用いられる。

一方、化石燃料の改質で水素を製造する場合も、その過程で発生した二酸化炭素を回収して貯留すれば二酸化炭素を大気中に放出しない水素の製造法になる。

二酸化炭素回収貯留技術CCS(カーボンダイオキサイド・カプチャー・アンド・ストレージ)は火力発電や工場などから排出する二酸化炭素を分離・回収して、上部に水やガスを通さない不透水層が存在する地中の帯水層に貯留する技術である。

世界で10数件の実証プロジェクトが実施されている。日本では北海道苫小牧市の製油所から排出される年間10万トンの二酸化炭素を苫小牧市沖の2つの貯留層に圧入するプロジェクトが2016年より開始している。

化石燃料の水蒸気改質+CCSは二酸化炭素の放出がない水素の製造法の一つであり、今後実施される可能性がある。しかし二酸化炭素の貯留に適した帯水層はあまりない。

現在は、水素は二酸化炭素の発生

を伴うが化石燃料の水蒸気改質で作られコストは安く、エネルギー以外の用途に使われている。エネルギーへの利用としては燃料電池がある(後述)。

水素のエネルギーには多くの課題がある。水素は天然ガスと比べると、発熱量は3分の1以下であるのでガス流量を増加するため配管などを工夫する。燃焼速度は7倍速いので逆火による燃焼器の損傷防止が必要である。火炎温度が10%程度高いので窒素酸化物発生を低減が必要である。水素の燃焼特性に合わせた燃焼器の開発が進められている。

水素による発電はガスタービンを用いた水素発電になる。水素発電の技術開発が進みつつある。

水素のエンジンの燃料への利用は、水素の自然着火温度が高いので火花点火式(ガソリンエンジンと同じ)になり、発熱量が小さいので出力はガソリンエンジンと比べ6割程度に落ちる。トヨタが水素エンジンの開発を進めている。

産業部門では、鉄鋼生産の高炉でコークスによる還元法に代わる水素還元法の開発が進められている。日本製鉄の君津製鉄所で実験が行われている。セメント、ガラス、製紙な

どの産業が重油、石炭などを大量に使用しているが、これを水素に代える。

家庭部門では石油ストーブ、ガスストーブは水素ストーブになり、調理の熱源が水素になる。

以上のように産業、運輸、家庭の各部門で発電、動力、熱源として水素のエネ利用が広がることが見込まれる。

現在、水電解法による水素はコストが高く商業化できないが、政府、自治体などが、実証事業として二酸化炭素を排出しない水素をアピールする目的で、再エネによる水電解法水素を小規模に行っている。その例をみる。

2016年、政府は「福島新エネ社会構想」を立ち上げ再エネと水素を二本柱に福島県を未来の新エネ社会のモデル拠点とすることを目指した。2017年浪江町で2万kWの太陽光発電の電力を用いた水の電気分解を始めた。水素をつくり燃料電池自動車(後述)に利用する。

北海道稚内は風が強く風力発電の導入が進んでいる。2016年より風力発電の電力を用い水の電気分解の実証実験を始めている。北海道電

力、日立製作所などによる。

京浜臨海部「低炭素・水素活用実証プロジェクト」が横浜市、川崎市、民間6社(トヨタ、東芝など)により2017年より開始した。環境省の委託を受けた水素サプライチェーンを構築する実証プロジェクトである。横浜市所有の風力発電1980kWで水の電気分解を行い水素を製造・貯蔵・圧縮するシステムを検討するものである。圧縮水素は青果市場などで燃料電池フォークリフトで使用する。

燃料電池は発電装置で、水の電気分解(水素と酸素に分解)の逆で水素と酸素を反応させ電気をつくる。電解質の中の燃料極に水素を供給すると水素は水素イオンと電子に分かれ電子は外部回路を通って空気極へ電流として流れる。その電流を電源として利用する。水素イオンは電解質を通って空気極へ移動し外部回路から流れてきた電子で水素になり空気中の酸素と結びついて水になる。電解質の違いにより4種類あつて運転温度などと異なる。

個体高分子形(運転温度70~90℃)、りん酸水溶液形(180~200℃)、熔融炭酸塩形(600~700℃)、

個体酸化物形(700~1000℃)

個体高分子形が運転温度が低いことから家庭用、自動車用に普及し、その他は余り普及していない。

家庭用燃料電池は、エネファームと呼ばれていて、東京ガスなど都市ガス4社などが2011年に商用化した。

都市ガスやLPGガスを改質して水素をつくり燃料電池で電気をつくる。改質器と燃料電池をセットして、改質と燃料電池で発生する熱を回収して暖房と給湯に利用する。コストは2016年120~140万円である。

燃料電池車FCV(フューエルセル・ビークル)は、2014年トヨタが「ミライ」を発売し、2016年ホンダが「クラリティ」を発売した。

ミライは760万円程度で、同価格のクラウンハイブリッド500万円程度より高価で価格差が大きい。燃料電池114kWでモーター駆動である。700気圧の高圧水素タンク2本を搭載し航続距離は650kmである。FCVはゼロエミッション車(二酸化炭素を排出しない)として登場

したが普及は余り進まず、遅れて登場した電気自動車EVは普及段階に入っている。FCVは価格がEVより70万円程度高い。国内保有台数は2019年FCVは約3000台、EVは約10万6000台である。脱炭素社会の車はEVが主役になりそうである。

EVの弱点は、1回の充填で走行できる距離が短いこと、充填時間が長いことである。EVは車両サイズが小さく走行距離が短い領域の利用に向いている。

FCVは、車両サイズが大きく走行距離の長い領域の利用に強い。FCV用の水素ステーションは2020年132カ所あり、約700気圧に昇圧してFCVに供給する。EVのほうは充填スポットは1万8000カ所ある。

水素は輸送、貯蔵に厄介な問題がありコストがかかる。水素は最も軽い気体で常温常圧では体積当たりのエネルギーが小さいので200気圧程度の高圧ガスとして用いる。天然ガスのように液化(LNG)して扱うのが良いが、水素の沸点はマイナス253℃で天然ガス(メタン)のマイナス161.5℃よりはるかに低い。

液化水素の製造は大変高価になる。

一般には高圧ガスとして扱う。

窒素と反応させてアンモニアにすれば沸点はマイナス33℃になるのでLPガス（プロパン、ブタン）と同じように扱える。アンモニアとして利用することも考えられている。アンモニアは燃焼させて燃料として利用できる。

電力業界で火力発電の燃料をアンモニアに置き換える検討がある。また海運業界で次世代燃料としてアンモニアへの期待がある。日本郵船は船舶用燃料としてアンモニアの導入を2029年としてアンモニアを燃料とする船舶の開発を進めている。川崎汽船は2021年6月、造船会社などとともにアンモニアの船舶燃料としての利用にむけた協議会を設立した。

8 脱炭素の実現

世界の主要国は、2050年脱炭素に向けて進んでいる。

脱炭素社会の一次エネ（エネ供給）は再エネと原子力で、再エネが主力になる。このほかCCSを伴う化石エネの利用も少しは残る。

二次エネ（消費）は電力と水素利

用になる。

一次エネでは火力（化石エネ）がゼロになるので、一次から二次への変換ロスが無くなり、一次エネと二次エネはエネ量がほぼ同じになる。

日本の2018年の二次エネは、電力に換算すると3・67兆kwhになるが、2050年には二次エネは人口減少、省エネ進展で現在よりかなり減少していると考えられる。

再エネは、ポテンシャル一杯導入されるとすると3章で述べたとおり発電量は次のとおりになる。

太陽光・・・158兆kwh
陸上風力・・・491兆kwh
洋上風力・・・4・205兆kwh
2050年の二次エネは3兆kwh程度に減少しているとすると太陽光＋風力（発電量0・648兆kwh）は3兆kwhに対し22%に過ぎない。

再エネには、ほかに風力洋上、水力、バイオマス、地熱がある。すべての再エネについて発電量kwhの2019年の実績と2030年の試算を表に示す。2030年の試算は経産省が2021年7月に発表したものである。

2030年の試算では、太陽光発

kwh	2019年実績		2030年試算	
	1850億	%	3120億	%
合計	1850億	%	3120億	%
太陽光	690億	37	1241億	40
風力	76億	4	409億	13
陸上	(76億)		(302億)	
洋上			(107億)	
水力	796億	43	934億	30
バイオ	261億	14	471億	15
地熱	28億	2	68億	2

電の導入はポテンシャルの上限の8割近くに達するが、風力の導入は日本では非常に遅れていてポテンシャルの1割にも達しないことになっている。

2019年の実績では太陽光と水力で8割を占めている。水力は再エネの中で唯一古くから利用されてきて、先進国では適地はほぼ開発済みである。そのほかの再エネの本格的利用は1990年代頃からで、再エネ利用の2050年に向けた拡大の中心は太陽光と風力になる。

2050年脱炭素の実現では、日本のエネ供給について、次の様なことが考えられる。

洋上風力を除く再エネが約3分の

1（太陽光、陸上風力、水力、バイオなどがポテンシャル一杯近く導入される）で、あとの3分の2は洋上風力と原発の利用になる。

洋上風力には発電コストがかなり高い問題があり、原発には国民に反対が多い問題がある。2050年の脱炭素社会の動向となると現時点では推測が難しいが、洋上風力と原発がほぼエネ供給の3分の1ずつ利用される選択が考えられる。

原発でエネの3分の1を供給するには、1基100万kw、設備利用率80%とすると、143基もの原発が必要になると計算される。

二次エネ（消費）は電力と水素になるが、日本は、現在、電化率（エネ消費における電力の比率）が高く約28%である。世界の平均は19%である。2050年には電力の比率が各消費部門で増える。運輸部門では自動車のEV化が進み、家庭部門では電化が進む。エネ消費の半分以上は電力利用になる。電気は水素利用より安くしかも使いやすい。

政府が、現在改定予定の「エネ基本計画」では、2030年の電源構成は再エネを36〜38%に引き上げる（従来の目標は22〜24%）、原子

力は従来どおり20〜22%を維持するとしていて、太陽光発電の大量導入を進めるとしている。政府は国民に原発反対が多いなか原発の新設は先送りしてきている。

2021年6月30日、経産省は脱炭素実現に向け電源構成のあり方について専門家団体6団体から意見を聴取した。5団体が原発の活用を想定した。日本は再エネに不向きな土地が多く原発なしには脱炭素は困難とし、発電コストは廃炉費用を含めでも割安としている。

2020年4月12日、自民党に、原子力発電の新增設を推進する有志による議員連盟「脱炭素社会実現と国力維持・向上のための最新鋭原子力リプレイス推進議連」が設立された。設立趣意書に「今こそ原発の新増設について逃げることなく検討し明確に推進する方向を打ち出していくべき」と記している。

専門家の間では原発活用が大勢を占め、国民の間では原発反対が大勢を占めている。国民に受け入れられなければ原発の新設は進まない。国民の信頼回復が大きな課題である。脱炭素の実現は大変厳しい。