

2019年8月7日

再生可能エネルギー100%への道 (中)

水素、供給者論理だけでは普及に限界も一日中の挑戦例から

特任研究員 小林光 (東大大学院総合文化研究科客員教授・工学博士、元環境事務次官)

前稿では、一次エネルギー全般に占める再生可能エネルギーの比率を100%に高める努力を続ける福島県と米国ハワイ州について、グリッドレベルでの工夫を見た。今回は、その上流、一次エネルギーとしての太陽光発電電力を電力利用するだけでなく、水素に変換することもして、化石燃料の代替を含めた一層幅広い役割を再エネに担わせよう、という動きをレポートしよう。結論から言えば、ここでも、ユーザーは放置され、供給サイドの思惑が先行していた。大昔の経済学上の法則、「セーの法則」、すなわち、供給は需要を自ずと見つける、という考えに期待するわけにはいかない。すばらしい製造技術に加え、すばらしい需要創出努力も要るのではないかと痛感された。

1. 製造価格低下を狙う、浪江(福島)での水素大量製造研究事業

論者は、去る6月、日本経済研究センターの研究員らと新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)水素エネルギー研究フィールドを訪問した。このフィールドは、浪江駅から北東の海岸近くにある棚塩産業団地の一角約22haを占めている。試験稼働がこの2019年10月、実証のための通常運転入りが2020年7月に予定されていて、建設工事も仕上げの段階に差し掛かかち、プラントのイメージも目視できるようになっていた。

プラントの構成は、一番海寄りの東側に4haの水素製造に関連するプラントが置かれ、その北、南及び西側には18haを占める太陽光発電パネルが置かれている。水素製造関連プランをさらに細かく見ると、電力を受け入れる受変電設備、水を電気分解する水素製造装置、そして製造された水素を貯蔵したり、需要者に充填したりする設備(貯蔵・供給設備)となっている。ここで注目すべきは、水素の充填はトレーラーに対して直接行うことが基本となっていることである。トレーラーが来ていない場合や、来ているトレーラーがすべて充填済みになっている場合には、一時貯蔵タンクは設けられてはいるものの、その貯蔵能力は、いわば最低限であって、5400N m³(標準気圧・温度での体積)程度しかない(写真。高い尖塔状になっているのが、その一時貯蔵タンク)。つまり、水素の製造量は、水素の吐き出しのスピードで律速されてしまう可能性があるのである。なお、仮に次から次へと空トレーラーが来るとすれば、ここの充填施設にはトレーラー(容量約2700N m³)が12台同時接続可能であり、圧縮機の能力から、1時間当たり最大1200N m³のスピードで充填を続けることができる計算になる。



写真 1：浪江の研究フィールドの施設群（筆者撮影）

この事業によって克服を実証しなければならない技術課題としては、変動著しい太陽光電力を使っていかに安定的に水を電気分解するかももちろんあるが、それだけでなく、太陽光発電予測や系統の需給の緩急の予測、ひいては系統から仕入れる電力需要量を決定すること、それに加えて水素需要も予測し、これら投入産出全体のダイナミックな事前把握に基づいて貯蔵や製造プロセスの全体をうまく制御することがある。

この研究事業では、そうした技術的な問題の克服実証に加え、水素を実用的なエネルギーにするために、製造原価を削減することも大きな課題となっている。太陽光発電電力と系統電力を共に使い、水素を極力安価に製造するとともに、自前の太陽光の発電や系統の余剰をうまく使い、系統安定化に役立てようというのが本事業の大きな狙いでもある。言い換えれば、同所に併設される 20MW（2 万 kW）もの太陽光発電の生む地産電力を余すことなく全部水素に変えよう、すなわち、完全カーボンフリーの水素を所内で完結する形で作ろうということを目ざしているわけではない。

ただし、本事業においては、系統から購入する電力について、クレジットやグリーン電力証書などを付帯させたカーボンフリーなものとすることも可能な取り決めが既になされており、全量をカーボンフリー水素として生産することは不可能ではない。なお、地産電力を出来るだけ無駄なく使うための予測・制御技術を開発しているとのことであり、水素需要と太陽光発電電力を仮定したシミュレーション上では、現時点において有効に使えない電力を全体の 25%にとどめる計画で、この値を実プラントで検証することも本研究事業の実施内容の 1 つになっている。

なぜ電源を多様化させるのか。それは、水素製造の単価を引き下げるためである。系統に電力が溢れるときに、安い電力を使い、さらには系統のどこかで過剰な発電がある場合には、上げ需要生成（上げデマンド・スポンズ〈DR〉）をして系統安定化に寄与するビジネスを営んで製造コストを引き下げる。この施設は、最小 1.5MW（1500kW）から最大 10MW（1 万 kW）までの電力消費幅を持つので、大規模な調節能力がある。

太陽光発電の単価は現在では相当下がったが、それでも電力市場では時間帯に応じてもっと安い電力もある。他所で発電した電力を吸い上げてあげれば、支払いを受けられる可能性すらある。こうしたことのため、年間 900 トン（1 千万 N m^3 /年）に及ぶ水素製造量のうち、現時点での推計では、投入される電力のおよそ約 22%が所内の自

前太陽光起源になって、年間 200 トンの水素を生み、系統電力は 700 トンの水素を製造することとなるようである。

このように、再エネ水素を極力多く製造することを犠牲にして、目的を製造単価引き下げに置いて努力しているが、それでも、例えば減価償却が終わったような大規模水力発電所から供給される安価で安定した電力を使って製造する水素よりは割高になることは否めない。価格引き下げは、研究課題であり、まだ実証レベルの規模の装置であるから、価格を今問うのは酷であるが、論者が勝手に想像するところ、一桁は高くなりそうであった。

他にも心配がある。既述のとおり、貯蔵装置が貧弱であることは見逃せない。再エネ水素は、末端価格としては、政策的に化石燃料に負けない安値にされているとはいえ、需要は貧弱であり、また需要地から遠い浪江ではパイプラインなどの仕組みも欠いている。東京 2020 で象徴的に使われるにせよ、微々たるもので、それ以降の需要先が見通せるわけでもない。頼みの綱は、水素の充填先となる専用トレーラーのきちんとした来所、そしてトレーラー台数の増加である。先に述べたように、水素の吐き出しが滞ると、生産自体が滞る。

浪江の事例は再エネの最上流の実証実験であり、懸念は「鶏と卵の関係」ではあるが、制御の高度化による製造価格の引き下げと、それでも高い価格であろう「再エネリッチな水素」を、その環境価値に着目してどう需要してもらうか、にある。リアルタイムで相当量製造される水素の需要者をどう作っていくのか、まさに問われている。

2. 水素で電力の変動を吸収する米倉山（やまなし）モデル

福島・浪江は、太陽光発電の使いやすい部分を含めた安くて使いやすい電力を使って水素を製造しようとするものと言えば、山梨県企業局が米倉山太陽光発電所で目指しているのは真逆の発想と言えよう。

この発電所は、東京電力と山梨県が共同で営むもので、全体規模が約 15ha、事業用実験用を合わせた発電能力が約 11MW (1 万 1000kW)、基本は、東京電力の事業用自社電源。しかし、そのうち 1MW 強は、山梨県企業局が自前の研究事業に使っている。そのうち最も歴史があるものが、各種の蓄電設備を加えて系統を安定化させながら逆流させる研究であるが、最近では、太陽光発電電力からの水素製造に力を入れている。米倉山での水素製造の考えは、浪江町の方針とは異なり、太陽光発電電力のうち、良質な電力は、水素製造には使わず、系統に売って電力として使い、残りの、今の状況では使えない、朝夕の発電立ち上がりや立下り部分、そして捨てられかねない変動著しい昼間の高電圧部分を水素製造で吸収しよう、というものである。論者らは、米倉山を含め、山梨の各地を 5 月連休明けに訪問させていただいた。

米倉山太陽光発電所の経緯は、2010 年に遡り、同県北杜市（2006 年から整備開始）などと同様に我が国におけるメガソーラーの嚆矢となる取り組みであった。山梨県は、これら実用規模の太陽光発電に早くから取り組むことに加え、将来の県の発展の牽引車の有望株として水素利用に狙いを定め、数々の事業も同時期から手掛けてきている。例えば、2008 年から運営が始まった国立山梨大学の燃料電池ナノ材料研究センターである。論者らはここも訪れたが、ここでは、優れた燃料電池となるための要素技術を研ぎ澄ますことが行われ、そうした開発を支える技術として、水素の酸化から電子を

得る触媒を原子レベルかつリアルタイムで直接に観察できる極めて高性能な電子顕微鏡を複数台持っている。

これまでの成果としては、貴金属触媒を少量でかつ長持ちさせるようにして、燃料電池の原価を引き下げるとともに、その寿命をはるかに長くすることに成功している。山梨県の産業技術センターは、日本各地で開発した燃料電池の性能を比較可能な形で客観的に評価する試験設備を有し、日本中の燃料電池技術の向上を下支えしている。さらに、米倉山には、車両等への水素充填の次世代技術の実証を行う施設、水素技術センター（一般社団法人・水素利用技術協会）も立地している。こうした施設が集中することで、山梨は、シリコンバレーならぬ、日本の燃料電池バレーと言える場所になっている（九州にも、そうした集積が認められるので、機会があれば、訪問の上でレポートしたい。）。

米倉山に戻ろう。米倉山の水素製造設備は、既述のような考え方なので、浪江と違って、大規模でないことこそが身上である。現在の実験的な設備は 35kW 太陽光発電パネルからの売り物になりにくい不安定な電流電圧の電力を投入して平均 5N m³/h の水素を製造するものであるが、2020 年 12 月には、実規模設備となる、投入電力 1.5MW、合計の水素製造能力 340N m³/h（最終目標は 370N m³/h）の電気分解装置が稼働を始める。電気分解に使う電力は、電力としての売り物にしにくい変動の激しいものであるが、ここでは、変動に強く、オーバーロードも可能、という固体高分子型水電解装置の特性を最大限活かせるように、エネルギーマネジメント装置によって制御を行い、安定的な水素製造に既に成功している由である。前述の実規模装置への投入電力量は、配電網との間の電力のやり取りが、全国どこであれ 2MW 以下であれば技術的に容易であることを考えて、決定した由であって、あくまで、分散型の水素製造のモデルになることを意図しているのである。



写真 2：米倉山の水素製造設備（筆者撮影）

製造された水素については、現在では、水素吸蔵合金に蓄えられ（容量は 52N m³、5 時間製造分）、ここをバッファーにして、将来的には昇圧し、近隣の需要家には、パイプライン、少し離れた場所の需要家（例えば現在は LPG を利用している方々）にはカ

ードル容器に詰めて輸送する計画である。幸い、米倉山には、前述のとおり、水素充填ステーションがあり、その段階へ進むインフラはある。

山梨の発想は、浪江とは、逆とも言え、太陽光発電電力を無駄なく水素に替えるが、量的には少ない不安定電力部分を元にする上、規模が小さい水電解装置なので、おそらく、水素の単価は比較的高くならざるを得ないであろう。ここでもその需要をどう作るのか、そして地産地消と言えるような足元で作っていくことが、大きな課題となっている。

3. 中国での水素利用政策に学ぶ需要の創出

水素の燃焼では、汚染物質を生じないが、水素をわざわざ石炭火力発電電力による水電気分解で作ったのでは、発電段階で汚染物質を生じるので社会全体のCO₂などは減らない。水素が環境保全の手段になるとすれば、現在は捨てられている副生水素を利用するか、再生可能エネルギーで製造したカーボンフリーのもの、あるいは、水素製造時の不要炭素分を分離貯蔵して水素をカーボンフリー化したものを利用することにある。また、水素は、エネルギー貯蔵の手段として見ると、リチウムイオン電池などと比べて、最終利用するエネルギーへの変換効率に劣るところがあり、既存の形のエネルギー消費がさらに効率性に劣るような場合に水素によってそれを代替させるといったことが、その賢い使い方となる。したがって、水素の出自、そして、水素の使い方を見ることが重要になる。

これらの点をうまく克服しながら水素利用を拡大しているのが中国である。ここで、中国の水素利用の状況を簡単に報告しよう。今年5月に日本を訪問し、関係の産学官と交流した鐘俊浩氏・上海市金山区経済情報化委員会副主任（全国工商連の新エネルギー会議所副会長も務める。）並びに同氏の日本訪問をアレンジした上海緑青蛙社（気能泡泡）の裘氏の話の聞き書きである。

中国では、李克強首相の2018年の日本訪問のころを契機として、中国政府は水素利用に強い政策サポートを与えるようになった。一説には、トヨタ自動車でもミライを見て、元々水素を狙っていたところへ背中を押された格好になった、ということである。既に2015年には、中央政府は、新エネ自動車普及を応援するための2016から20年までの財政政策を定めており、2017年には上海市により「燃料電池自動車発展計画」が策定されるなどしていたが、本2019年には、中国初の地域間連携の取り組みとして、「長江デルタ水素回廊建設計画」が決められるなど、水素利用にはいよいよ本腰が入ってきている。こうした政策の下で、実際に拡大を見せている水素の用途は、物流であって、純水素の燃料電池で駆動するトラックやバスが爆発的に増えている。軽油代替ということで、エネルギー効率をあげるだけでなく、CO₂減らしの不可欠の一手となっている。

中国水素連盟が刊行する「中国水素エネルギー・燃料電池産業白書」に詳しい情報が公表されているが、中心地は京津冀地域（北京、天津、河北）と長江デルタなどであって、本年までに合計3千台以上の都市バス、路線トラックが純水素燃料電池駆動のものになっている。今後については、2025年までに年産5万台、2035年までには年産130万台といったペースで大型の水素自動車が生産されていくと見込まれている。



写真3：中国（上海周辺）の水素トラック軍団（出典：Baidu）

この増加は、ディマンド起源である。トラック等の購入時の強力な補助金によって支えられていて、運輸業者の負担額は、通常のディーゼルトラックよりむしろ安くなるそうである。もっとも、初期投資が安くても、運用が大変では、トラックへの需要は起きない。燃料としての水素は、主に、フロン製造などに力を入れる化学産業、巨化グループの苛性ソーダや石炭原料のアンモニア製造時の副産品であって、従来は大気中に捨てられていたので、安く大量に供給できる。その末端価格は、輸送に係る横持ち費用に大きく左右される。そこで、水素の発生元に近い充填スタンド、例えば上海市化学産業園区に置かれた水素ステーション（駅藍水素ステーション。充填量は2万トン/日で世界最大規模）にはパイプラインで、また、トラックの行く先に近い、比較的遠隔の土地には、カードルに収めて配送する仕組みが公費で整えられている。さらに、最も遠隔のスタンドでもトラックの経済的な燃費が軽油の場合に比べ悪化しないように、一部の地方では、価格は補助金で補われている。

水素活用の社会インフラとしては、今後は、高速道路沿いに水素パイプラインを引き、それをネットワーク化して、水素充填がどこでも行えるような計画が立てられている（前述の長江デルタ水素回廊建設計画による）。

このような社会的な仕組みで、爆発的な勢いで水素利用が進んでいるが、その背景には、ユーザー側での技術的な割切りもある。中国製の燃料電池トラックは、デバイス一つにまで難しい革新が迫られる700気圧級の水素を使うのではなく、350気圧級の既存技術でハンドルできる水素が使われているし、燃料電池自体も極めて先進的なものではなく、比較的廉価なものであって、量産がしやすいものである。それらの結果、発電能力が限られ、航続距離が短くなるが、中国のトラックでは、中国が技術的な優位を持つ、強力なリチウムイオン電池を搭載し、力不足から生じる不安を軽減している点も見逃せない。

翻って日本を見よう。優れた水素製造技術や電力への変換技術が生まれつつある。しかし、サプライサイドばかりに陽を当ててはいないだろうか。

浪江の水素製造装置では大規模な水素需要の創出が問われており、米倉山のモデルでは、小規模・多数の地場の水素需要の創出が期待されている。天然ガス・パイプラインへの水素取り込みと水素混焼発電タービンから水素吸蔵合金を燃料タンクにするスクーターまで、極めて広い範囲の需要が探索されなければならない。しかし、需要

面の開拓自体は両地の取り組みの焦点にはなっていない。需要面の開拓にエネルギー特別会計などの支援をもっと潤沢に投じるべきであろう。民間では、700気圧の水素を使いこなす需要側の高度な技術の開発に力が入れているが、中国のように既に手の届く技術を社会実装することも一つの作戦ではないだろうか。その点、25万台超と世界に冠たる普及台数を誇るエネファーム、すなわち、天然ガス改質型小型燃料電池コージェネレーション設備には再注目すべきではないか。純水素燃料を使うものにとさらに改善し、自動車搭載を含め、一層の普及を図るといった作戦などもありそうである。

サプライサイドの偏重は「環境汚染の社会的費用を内部化することへの拒否に根差しているのではないか」と論者には思われてならない。「環境を汚す燃料と同じ値段にならないと環境を汚さない燃料は使わないぞ」という含意が隠されているからである。日本でのディマンドサイドの軽視、貧困なイマジネーションが続くようなら、そろそろ、本格的な炭素税の導入を図って、水素を需要する側の創意工夫、創業者精神を刺激すべきではないだろうか。そもそもすべてのエネルギーを電力には代えられまい。燃料として使わなければならない化石燃料が残ると最終的な脱炭素は果たせない。水素の燃料利用には脱炭素のための最終兵器としての期待がかかる。

本稿の問い合わせは、研究本部（TEL：03-6256-7730）まで

※本稿の無断転載を禁じます。詳細は総務・事業本部までご照会ください。

公益社団法人 日本経済研究センター

〒100-8066 東京都千代田区大手町1-3-7 日本経済新聞社東京本社ビル11階
TEL:03-6256-7710 / FAX:03-6256-7924