

丸紅欧州会社  
国際調査チーム 松原 弘行

## グリーン水素 ～大量生産を目指すのは本当に「今」なのか<sup>1</sup>

丸紅欧州会社調査時報 227 号<sup>2</sup>「欧州 Green 政策の見通し～『やるしかない』」でも述べたように、一昨年までと比べて今は欧州での水素の盛り上がりをもものすごく感じている。2018 年に「再エネと水素でわが国がエネルギー大国になる日～国民の総意を結集した「カイゼン」に活路～」という論考<sup>3</sup>をまとめた身としては嬉しくもあるのだが、最近はグリーン水素（再エネ電力由来水素）への期待が膨らむばかりで、むしろ加熱し過ぎたバブルが残す将来の傷跡の大きさを筆者は懸念している。グリーン水素の大量生産を目指すのは本当に「今でしょ！」なのだろうか？

### 1. 水素への期待

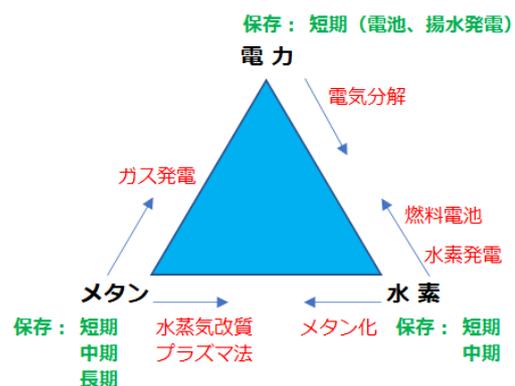
2020 年 6 月～7 月に EU（欧州連合）主催のセミナーに集中的に参加した印象では、前年は「足下の解決策は EV（電気自動車）・Li（リチウムイオン）電池。その先は水素でなくてはダメだが、水素のコストを下げる方法は全くわかっていない」という絶望感が主な論調だったのに対し、2020 年は水素について「熱源としては天然ガスはもう許されないし、電気を貯めるようにする必要もあるので、水素しかない。そのために水素の電解コストを下げる技術開発が必要」という不退転の決意に変わっていた。この電解コストのコストダウンは「電極・電解液の開発よりも、スケールメリットの実現に尽きる。難しいことではない」という発言もあった。EU はイベリア半島沖やデンマーク等で洋上風力発電量を 20 倍に拡大するとしており、鍵となる技術は浮体式発電だと発表していた。デンマークでは、そうして洋上風力を増やしても電力需要がないのもっぱらグリーン水素の生産に使う予定だと言っていたし、7 月 8 日に EU が水素戦略を発表するのを祭りのように喜ぶ雰囲気もあった。

水素がない場合は、変動電源である再エネを余剰時に貯めるには揚水発電・各種蓄電池・デマンドレスポンス等に頼ることになるが、水素を活用することにより、

- 時間・季節を越える保存・利用
- 空間を超える融通（例：豪州→欧州）

が可能になる。

また、右図はエネルギーの備蓄の点でなぜ水素が重要な役割を果たすのかを三角形で簡潔に示している。電力とメタンがそれぞれ電力・熱の分野で主役を務めているものの、メタン→電力への変換は一方通行。水素を介することで初めて、電力とメタンとを双方向に変換可能になるから、水素の役割が大きいのだ、という説明である。



（出所：丸紅欧州会社作成）

<sup>1</sup> 本稿は筆者が参加したセミナー等で聴取した内容を基に論述しているが、全ての裏付けを取ったわけではないので、間違った内容、言い間違い・聞き間違い等が含まれる可能性があるが、ご容赦いただきたい。

<sup>2</sup> 2020 年 8 月 17 日。

[https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo227\\_17AUG2020\\_Rev2.pdf](https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo227_17AUG2020_Rev2.pdf)

<sup>3</sup> 2018 年 3 月 20 日。

[https://www.marubeni.com/jp/research/report/industry/japan/data/20180320\\_MANEKKUSU189\\_MATSUBARA\\_WEB.pdf](https://www.marubeni.com/jp/research/report/industry/japan/data/20180320_MANEKKUSU189_MATSUBARA_WEB.pdf)

EUだけでなく、英国政府の「10ポイント計画」でも、水素とCCUS（CO2回収・貯留・利用技術）への期待が大きい。

しばらく前に英・オランダ系石油大手ロイヤル・ダッチ・シェルがスポンサーになっている産業界の脱炭素化ロードマップのセミナーに参加した際、最初に基調講演をした同社役員が、「シェルとしては、水素・バイオ燃料・再エネ電力といった商品の割合を高めることで、平均してのCarbon Intensity（炭素排出係数）を下げて行くつもり。」と話をしていた。そして「移動体は電気に任せたら？」という参加者からの質問には「確かに移動体はEVでよいのだから、供給不足のバイオ燃料は航空業界に回すべき。」と回答していた。なお水素について、このシェル役員は「需要さえあれば水素の供給は任せてくれ。政策で需要を作り出してほしい。」と言っていた<sup>4</sup>。

## 2. EU政策上の位置づけとグリーン以外の水素、誘導体

① 本年1月のセミナーでは、欧州委員会の筆頭副委員長が欧州 Green Deal と Green 復興とに関して、次のように語っていた：

- 過去の水素ブームとの違いは大きなコスト要因である再エネ電力価格が減少していることと、関連技術が進歩したこと。産業界では、水素の活用やCCUSへの投資をして、脱石炭だけでなく、脱天然ガス・脱石油の動きを進めて欲しい。
- 石炭を代替する既存資産の範囲内で天然ガスの活用を拡大することには意義があるが、今から天然ガスのインフラに投資することは私は認めない。ただし、天然ガス・インフラの7割はそのまま水素輸送に転用可能と言われており、全体としても「20%の追加投資だけで来たるべき水素社会のインフラに流用できる」という面を見越した投資には可能性がある。
- 今ゾンビ業界（例：5年後に消える業界）を助けて、将来の改革にまた金を使うのは無駄。一石二鳥の方法があるのだから、今からいっぺんにEUの長期戦略に沿った方針で資金を投じるべき。例えば、航空業界を助けるのは、CO2排出削減努力をすることが条件。産業界も長期的に考えて、国策・EUの戦略に合わせて投資して協力すべき。
- 苦痛なことだが、やるコスト・痛みより、やらないコスト・痛みの方が高つく。今「変わらない」（自力で生き残れない）企業は、将来も「変わらない」。選択できる余力がある内に選択すべき。諦めろ。
- アフリカ（例：サハラ砂漠で太陽発電）は将来は水素を自給できるようになるはず。

また、EUの水素業界団体の基調講演に登壇したフォンデアライエン委員長は、リップサービスだろうが、「グリーン水素はPerfect」と絶賛していた。

欧州委員会もトップはこのように一足飛びにグリーン水素の夢物語を語ることが多いものの、現場ではやはりグリーン水素の大量供給はまだ先の話で、現実にはまずは化石燃料由来の水素を活用することで、水素用の社会インフラの整備を進めておき、グリーン水素が安価に供給されるようになる日に備えることになるだろう、との意見である。欧州のガス配送関係者らによる「グリーン・ガス」のセミナーに参加した折、欧州委員会幹部が水素戦略に関して「水素の起源については制限しない＝グレーであろうが、イエローであろうが妨げるものではない。ただし、タクソミーの観点から望ましい案件、というものはある。」と説明していた。起源（製造方法）による水素の分類の主なものは次のとおりである：

<sup>4</sup>5月末にオランダ・ハーグの裁判所がロイヤル・ダッチ・シェルの現行の温暖化ガス削減目標は十分でないとする判決を言い渡したことに伴い、同社は今月に入って低炭素化戦略の見直しを表明したところであるが、上述のような方針も大きく転じるのだろうか。

- グリーン水素：再エネ電力を使って水を電気分解
- グレー水素：メタンを水蒸気改質して製造（CO<sub>2</sub>が発生する）
- ブラウン水素：褐炭を水蒸気改質して製造（CO<sub>2</sub>が発生する）
- ブルー水素：グレー水素やブラウン水素の製造で発生する CO<sub>2</sub> を CCUS で処理
- ターコイズ水素：メタンを超高温（プラズマ）熱分解して製造。副産物は固体炭素

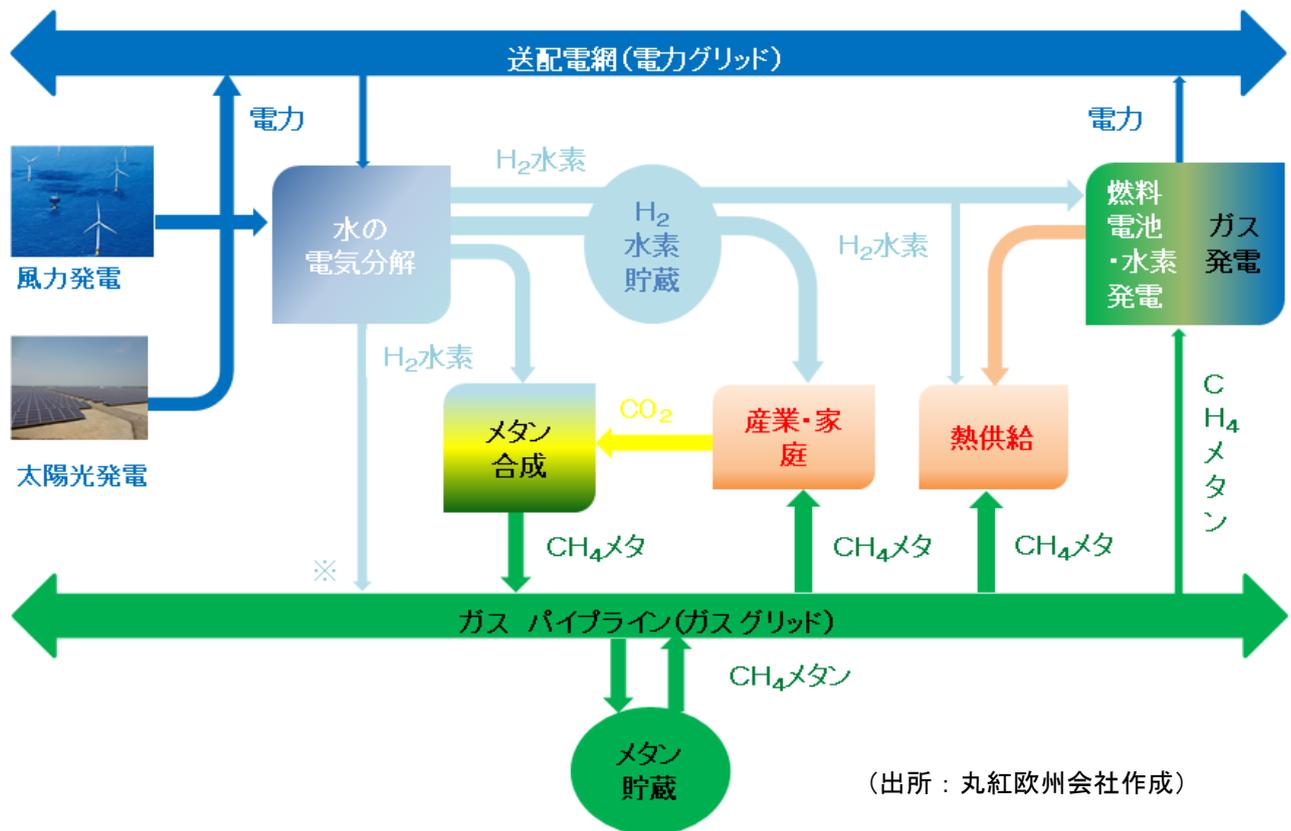
電解水素製造における稼働率確保の点についても、グリーン（再エネ）電力に拘ってグリッド電力を使わずに稼働率を落とすより、グリッド電力も使って電解装置を常時稼働させ、グリーンでない電力の分は EU-ETS で排出権を購入し、水素を販売する際には「みなし 100%グリーン（CO<sub>2</sub>フリー）水素」と称することになるだろう、との具体的な意見が聞こえる。しかし、当面は化石燃料由来のグレー／ブラウン水素であってもよく、まずは需要を作り、社会インフラの整備を進めておくべきだと関係者は口を揃えている。もちろんグレー／ブラウン水素では CO<sub>2</sub> 削減効果はないが、CCS（CO<sub>2</sub> 回収・貯留技術）も現時点では採算に合わないところ、将来的に ETS での炭素の値段がトン当たり 45~75 ユーロになり CCS の採算に合うようになったところでブルー水素にシフトし、グリーン水素はさらにその先で良い、という見解だった。欧州委員会トップの場合はそういう現実的、ロードマップ的なことを言わずに、いきなりグリーン水素を礼賛するので、シンクタンク専門家にも産業界にも真剣度・現実味が浸透していないのを感じる。

「鶏と卵」の側面はあるにしても、水素もそれを造るためのグリーンで安い電力も既に全然足りないので、このようにグリッド電力や排出権をうまく活用して補完して行き、まずは水素の需給を立ち上げようというのが日本との違いだ。これに対し、EU 側との共同セミナーで日本側の関係者が「まずは水素発電等で大量需要を創り、その後それに見合う水素供給を立ち上げる」という戦略を強調していたが、それでは欧州の現実主義（Pragmatism）的な動きについて行けなくなってしまうと危惧される。

② 水素は、誘導体に変えて活用することも可能で、その代表例がグリーン水素を活用した グリーン・アンモニア である。他にもメタノールや日本企業が開発した有機ケミカルハイドライド等の誘導体が活用方法として挙げられている。このうちメタノールは化学工業の原料にもなるし、生産時に CO<sub>2</sub> も取り込めるので本来は優等生なのだが、使用時に CO<sub>2</sub> が出てしまうので、印象の点で損をしている。また、既にさまざまな場面で使われているので補助金のつけ方が難しいと言われている。

さらには、大気中の CO<sub>2</sub> と水素とを反応させてメタンを生産する取組みも行われている<sup>5</sup>。もともとメタンから水素を製造しようとしているのに、水素からメタンを製造する必要があるのかと思われるかもしれないが、そうした相方向性こそが水素利用への期待につながっているのは最初の三角形で述べたとおりである。また、水素からメタンを製造する場合には、大気中の CO<sub>2</sub> をいったんメタンガスに固定できる（大気中の CO<sub>2</sub> を直接減らせる）点で、非常に有意義だとされている。特に家畜糞尿や植物を原料としたバイオ・メタン生産の副産物である CO<sub>2</sub> と水素とを反応させてメタンに変えれば、メタンの販売量が大幅に増やせるため、バイオ・メタン生産者（農家）の関心も高いと言われている。

<sup>5</sup> 「余剰電力はガスとして活用し、自然エネ導入を加速する EU の挑戦」（2013 年 8 月 29 日）  
<https://www.marubeni.com/jp/research/report/industry/global/data/monex70th.pdf>



たださえグリーン水素のコストが高くて全く採算が見込めないのに、さらにコストをかけて誘導体に変換するのはいっそう非現実的、という印象は確かにある。水素業界を欧州でリードするエアリキードの登壇者は、水素社会実現に向けた課題として、大切な順番に

- 安全・安心（な輸送・保管・利用）
- コスト
- 関連して必要になってしまう CCS のような大型プロジェクト
- ルール（良い意味での規制。国際標準規格）作りと補助金

だと挙げていた。もしこの中の「安全・安心」が別格で最重要だとすれば、アンモニアに変えるコストを度外視しても「まずはアンモニアに変えて確実に流通<sup>6</sup>させ、利用を広げる」というのがむしろ現実的という判断なのかもしれない。

### 3. 期待が大きすぎる問題

しかしここまで急に、猫も杓子も「神様・仏様・水素様」と期待してしまうと大きな課題があり、むしろ逆効果になるかもしれないと筆者は懸念している。EUの水素戦略では、水素の製造方法については区別しておらず、上に挙げた水素への期待の大半は、（グリーン水素に限らない）一般的な水素に対するものである。EUはむしろ、当面は（グリーン水素はおろか）ブルー水素である必要すらなく、グレー／ブラウン水素であってもよいという立場を明確にしているが、水素や水素社会の効用が語られる際には、いつの間にかグリーン水素という狭い範囲にすり替わっている点を危惧している。

<sup>6</sup> 常圧で水素の液化温度は約マイナス 253 度 C なのに対し、アンモニアは約マイナス 33 度 C で液化し、輸送・保管コストの点ではアンモニアに変える方がかなり有利。メタノールは常温常圧で液体。

ブリュッセルのシンクタンクのエネルギー専門家達と水素について意見交換した折、我々が「できないんじゃないか」と思っていることの大半は、EU の現場にいるシンクタンクの専門家も「できないだろう」と思っているようだった。例えば、仮にグリーン水素が（必要なら補助金を使って）手の届くコストになったとしても、わざわざ水素を生産するために再エネ電力を回すほどの供給余力がない点だ。冒頭で述べた 2020 年の EU のセミナーに参加した折にも「もし熱源までグリーン水素にするなら、ただでさえ野心的な EU の再エネ導入量を現行計画の 2 倍にする必要があるが、それは不可能だ。」との冷静な問題提起もあったところだ。

そもそもグリーン復興は、オバマ元大統領の Green New Deal もほとんどの補助金が失敗に終わったと総括されている。EU も 2008 年の金融危機後にグリーンな復興を掲げたが、口先だけで終わっている中、今回は本気なのかどうか<sup>7</sup>まだ不透明だと有識者達も考えているようだ。

### ① 再エネ電力供給量が抜本的に不足する

「猫も杓子もグリーン水素を叫んでいるが、それを製造するための再エネ電力が抜本的に足りないのだから、夢物語」というのが、セミナー等でのこちらの有識者達の見解である。しかも、再エネ電力が圧倒的に足りない中で無理に貴重な再エネ電力を水素製造に回してしまうと、グリッド電力や EV 用の電力のグリーン度が低下するだけなので社会全体としてのグリーン化にはつながらない。そうした再エネ電力の奪い合いを避けるには、グリッド電力が 100%グリーンになるまで待つか、「この再エネ電力は絶対に水素製造にしか使わない（使えない）」という専用再エネ電力設備を併設する<sup>8</sup>しかない。あるセミナーの演者は「大手日系企業も『再エネ電力と水素は、余剰の牛乳が出た時にチーズを造るのと同じ』と言っている」と紹介していた（ただしこの情報の再確認はできていない）。

本年 2 月に日独両政府が Web 共催したフォーラム<sup>9</sup>に参加した折、私が「欧州では、全てをグリーン水素に変えるには、（ただでさえ野心的な）EU の再エネ導入目標を 2 倍に引き上げねばならないと言われている。ドイツは石炭火力も他の主要電源も止め、へたをすると Nordstream2 によるロシアからの天然ガス購入計画がとん挫しかねないのに、大丈夫なのか？」と質問したところ、ドイツ側幹事から次のような自信満々の回答があった：

By diversification: a) local H2 production; b) imports through H2 pipeline, c) ammonia by ship, d) liquid power fuels from overseas by ship

このセッションでは「EU では再エネ電力が不足するとしても、他のゼロエミッション電源も活用しつつ、水素を輸入する（輸入方法は主にアンモニア化して海上輸送）」との結論だった。

イタリアの公共政策系大学のセミナーでは、「当面はグリーン水素のみに拘泥するのではなく、水素及びその誘導體（アンモニア等）を発生源・エネルギー源に応じて 4 分類に差別化<sup>9</sup>して

<sup>7</sup> 丸紅欧州会社調査時報 227 号（2020 年 8 月 17 日）「欧州 Green 政策の見通し～『できるのか？』ではなく『やるしかない！』」

[https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo227\\_17AUG2020\\_Rev2.pdf](https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo227_17AUG2020_Rev2.pdf)

<sup>8</sup> 第 11 回日独エネルギー・環境フォーラム（2021 年 2 月 16 日～18 日）

<https://gj-eedf.org/ja/%E3%83%97%E3%83%AD%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%A0>

このセミナーに登壇された東大有馬教授（元経産省、元 JETRO ロンドン所長）が「（そもそも）日本で全てのエネルギー消費を電化するだけでも総電力需要が 3 割上昇してしまう」と説明されている。

<sup>9</sup> 具体的には次の 4 分類：

- Renewable Hydrogen: Produced by a reaction powered by energy from renewable sources
- Low-carbon Hydrogen: Where the life-cycle emissions are compatible with a threshold to be set in the EU Directive
- Zero-carbon Hydrogen: Produced in such a way that it is certified to emit no net GHG on a life-cycle basis
- Negative Carbon Hydrogen: Produced using any energy sources, were the net GHG emissions are less than zero

現実的な活用を進めるべきで、対応した Guarantee of Origin を発行する必要がある。」とのことだった。「ただし、分類すると言ってもタクソミーをそのまま流用しては基準が厳しすぎて現実的・妥協的な展開につながらない。現実にはグリーン度 9 割で良しとする線引きでないと、投資は進まない。Dynamic but Gradual で行こう」と提言していた。

水素社会を立ち上げるためには「鶏と卵」の側面はあるにしても、水素もそれを造るためのグリーンで安い電力も既に全然足りないという現実即した議論が EU では行われている。

## ② 製造コストが高くて将来にわたり採算が取れそうにない

確かに、大きなコスト要因である再エネ価格が大きく低下したことで、（余剰電力を使うのでなくても）グリーン水素の製造コストも低下している。しかし、それでも現在の（まだ 100% グリーンではなく、比較的安価な）グリッド電力を使った場合でも、水素をわざわざ製造した場合は他の燃料に比べてかなりの高コストになる。いわんや、割高な再エネ電力 100% を原料とした場合は、当分採算が採れる見込みがないと言われている。

採算が採れない分は補助金が期待されるが、5 月に参加したドイツ政府のセミナーでは「先日、憲法裁判所が、政府の地球温暖化対策の取組みは生温い、と違憲判決を下したことで、ドイツのグリーンの取組みがさらに加速することが現実になった。」と説明した上で「現実には、補助金を増やして行くべきだろうが、次のような 2 つの大きな壁がある」と吐露していた：

- 各国政府が企業に補助金を出すことを EU が競争政策上厳しく禁じている。
- 補助金の出し方として、OPEX（ランニングコスト）への補助は難しい。

フランス政府の補助金の場合も、水素電解槽の CAPEX（設備投資）に対して立上げ時に 1 度だけ出す以外では、燃料電池車の OPEX（例：水素購入費用）に対して支給することになる、との説明を聞いたことがある。

さらには、欧州のガス配送関係者らによる「グリーン・ガス」のセミナーに参加した折には「現状の製造コストの高さも問題だが、国・地域別の規制の違いへの対応で無駄なコストをかけている余裕はない。」との指摘もあった。天然ガス・パイプラインに水素を注入して流通させようというときに、パイプの出口のガスに関する規制が EU 各国でマチマチだと、気軽に水素を注入することができなくなってしまい、いっそうのコストがかかるとのことだ。

## ③ 厳しすぎるタクソミーがかえって水素普及の脚を引っ張る

完全な水素社会が実現した暁には、家庭用や発電用の天然ガス需要は水素に取って代わられる。そんなガス業界はこの水素ブームに関して、次のような主張をしている：

- 脱石炭の受け皿として、天然ガスは今後 10～15 年はさらに利用を拡大すべきである。
- 天然ガスを原料にすれば、安価に水素を造ることができる。
- 天然ガスのパイプラインは、水素の輸送のためにも有効活用できる（天然ガスへの水素の混入や水素専用パイプラインへの転用）。
- だから、今はまだ天然ガスをよろしく。

丸紅欧州会社調査時報 234 号「非財務情報開示～特に EU の狙いと、それへの対応策」<sup>10</sup>で報告した EU タクソミーでは水素への投資は奨励しているが、輸送方法としてはパイプライン（専用または天然ガスへの混入）のみを対象としている。

しかし上のように、欧州委員会にしてもガス業界にしても、いきなりグリーン水素を大量に製

<sup>10</sup> 2021 年 4 月 15 日。

[https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo234\\_15APR2021.pdf](https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/MarubeniOushuuGaishaJihoo234_15APR2021.pdf)

造して流通させることは考えていないし、流通させる場合でもいきなり水素専用のパイプラインを敷設しようとは考えていない。ところが、タクソミーを厳しく運用し過ぎると、望ましい案件から天然ガスが外れるので、将来は水素インフラとしても活用できるポテンシャルのある天然ガス・パイプラインに対する投資が敬遠されてしまい、水素パイプライン網の整備にもマイナスという大きな課題がある、と欧州のガス配送関係者らによる「グリーン・ガス」のセミナー等で繰り返し指摘されている。

さらに、天然ガス・パイプライン網（のメタン純度）に関する規制が国単位のままだと、水素の輸送に活用しにくい。また、天然ガス・パイプラインの70%は水素専用パイプラインとして転用可能だが、天然ガスの輸入ポイントと水素の供給ポイントは異なる。水素需給のEU内の分布の画を早く決めて、水素パイプラインが必要なのはどこかを定めることも重要だとの問題提起もあった。

#### ④ エネルギー安全保障に資する管理が困難になる

イタリアの公共政策系大学でのセミナーで「エネルギーを貯める手段が多様化すると、どういう形状でどれだけのエネルギーが備蓄されているかが把握できなくなり、規制できなくなる」という主旨で討論が行われた。要は、日本で考えれば、化石燃料ならば石油は●●日分、天然ガスは●●日分がタンクや流通在庫として備蓄されていることを政府は把握できているので、備蓄強化や放出を命じることもできるが、これが電池になり、水素になり、さらにメタンやメタノールやアンモニアといった誘導体が入り乱れることになると、いざという時、どこにどれだけのエネルギーがどんな形状で備蓄されているのかが把握できなくなることを危惧する問題提起が行われていた。有事を考えれば、妥当な懸念だと思われる。

#### ⑤ 炭素国境調整メカニズムが瓦解するとブルー水素活用さえも画餅に

欧州 Green Deal や Green 復興には、欧州委員会による自画自賛とブラフ、「欧州緑の党グループ」や環境 NGO（非政府組織）等による称賛・期待が多いと考えられる一方で、現場（例：産業界）は口には出せなくても「無理」と感じている。

欧州委員会やグリーン派の人々の処方箋は、いかにもパッチワーク的な対症療法で、かつ、それぞれの「療法」に細かい問題が山積していると筆者は考えている。具体的には、

- 再エネの Volatility（変動性）を解消するには蓄電池がいいと思っていた。でもちょっと無理かな。
- そうだ、再エネの Volatility を解消するには水素が【必要】だ。
- でもグリーン水素は価格も供給量も非現実的だ。  
→ だったら、当面は CCS を活用して CO2 を処理することにして、天然ガスから造るブルー水素でやればいい。
- でも CCS は EU-ETS 排出権の炭素価格が 45~75 ユーロ以上でないと採算が取れない。  
→ だったら、そういう炭素価格にすればいい。
- でも炭素価格を上げると EU 企業の競争力が失われ、炭素 Leakage も起きてしまう。  
→ だったら、炭素国境調整メカニズム（CBAM）を導入すればいい。  
そして「税込」を欧州委員会の予算にできれば一石二鳥。

というロジックの流れのはずであり、炭素国境調整メカニズムがうまく導入できなければ、EU-ETS での炭素価格を高値圏に維持できなくなり、その場合は CCS の採算が採れないので、天然ガスからの水素製造（発生する CO2 を CCS 処理）に頼ることもできなくなる。

先日のセミナーでは「グリーン電力を使ったグリーン水素の生産体制の欧州での拡充は、これからの 2~3 年が勝負。日本・中国・米国との競争になるから。」との発言もあったが、そうし

た短期間では何かのマイルストーンを達成するのは難しいと筆者は感じている。しよせん各国の「2050年カーボンニュートラル」目標を足し合わせたところでパリ協定の1.5度目標には全く届かないこともわかっている（目標が見直されることは必至）ので、有権者対策用の政治家の発言を別とすれば、各国政府も民間企業も実際の一步がなかなか踏み出せない状況であるように感じる。

#### 4. 各業界等の具体的なチャレンジ

##### ① 水素活用方法の住み分け

IRENA（国際再生可能エネルギー機関）等の水素、特に輸送分野に関するセミナーに集中的に参加して得た情報を集約すると、2030年には次のような住み分けに収れんするそうだ：

- 船舶燃料： 水素由来アンモニア
- 航空燃料： バイオ燃料
- 家庭暖房： 水素または水素由来メタン
- モビリティ： 短距離・低稼働率車両はLi電池。長距離または高稼働率車両は水素

これは「船舶燃料にはアンモニアが向いている」という話ではなく、「船舶ならアンモニアでも大丈夫」という全体最適の話だった。水素だけでなくバイオ燃料の原料となる森林資源の供給にも大きな制約があるのが理由である。飛行機は電池やアンモニアでは飛ばせず、貴重なバイオ燃料は飛行機に回すべきだ。その他、家庭調理・暖房の燃料にはアンモニアというわけには行かない。自動車は既にFCV（燃料電池車）の技術が確立しているから、水素をそのまま使うなら自動車に、という全体最適での供給割当ての話だった。

この会議にはICAO（国際民間航空機関）やIMO（国際海事機関）や欧州の船会社からも登壇して討議していたので業界間である程度の下合意があるようにも見えた。こうした無謀にも見える住み分けが検討される背景は、研究開発を絞り込まないと時間やカネが無駄になるとの危機感であった。例えば、上の住み分けを受け入れるのなら、船舶用の水素エンジンの開発は中止して、アンモニアエンジンの開発に絞って加速すべき、ということだった。

##### ② 海運業界

IRENAの水素をテーマにしたセミナーでは「船舶の燃料にはアンモニア、次点はメタノール」と明言することが多い。ただし最終的に言いたいのは、アンモニアやメタノールが水素やバイオ燃料よりも現実的かどうかということに主眼があるのではなく、「カーボンニュートラル」に向けた各国・各業界・各団体の動き（努力）がパッチワーク的になっていてまずい。このままでは研究開発リソースの無駄遣い。早く誰かが指揮をとって、この課題にはこの解決策で、といった交通整理をしないと、あっという間に2050年が来てしまう」と警鐘を鳴らすことのようにだ。IRENAとしての船舶への提言は来年早々に発表されるとのことだった。

また、海運業界の登壇者は具体的には次のように言っていた：

- 海運業界にとっては、CO2削減の課題は技術問題ではなく、コスト問題に尽きる。コストが上がるなら、それを海上運賃として荷主に転嫁できるかがポイントとなる。それが無理なら補助金をもらうか、逆に、化石燃料に現在出されている補助金をやめてもらうことで業界で足並みを揃えた値上げを行うしかない。
- アンモニアエンジン船の開発メドは2024年で、当然ながらアンモニア輸送船になる予定。造船に5~7年かかるのでギリギリ2030年に間に合う。
- 市場経済で問題解決を図るのなら、炭素価格を最低でも\$30~40/トンにしないと無理。その場合、LCA（製品やサービスのライフサイクルを通じた環境への影響を評価する手法）ベースでの評価が必要。

- 今年 11 月の COP26（英国グラスゴーで開催）でも輸送体からの CO2 排出にメスが入るのはわかっているが、あまり厳しいことを言われると世界の海上貿易量が減少することになり、世界経済に大きなマイナス影響を及ぼす。
- バイオ燃料 100%で走行する船も開発されたが、当分は少しずつバイオ燃料のブレンド比率を高めて行ってしのぐことになるはず。もし今すぐ全部バイオ燃料に替えろと言われたら、世界のバイオディーゼルの生産キャパを 2 倍に、アンモニアなら 3 倍にしてもらう必要がある。

先日筆者が参加した Hydrogen Europe のセミナーでも「船舶のグリーン燃料はアンモニアで決まり」という主旨だった。筆者の理解では、アンモニアは全体的には可もなく不可もなくというところだが（そのせいで船主にはアンモニアの重要性が理解しづらくもなっている）、上述のとおり「既に物流・保管インフラができあがっている」という圧倒的な強みが傑出している上、「使う時には CO2 が出ない」という意味で政府・環境団体のウケが抜群にいい、というのが理由のようだ（インフラの点ではメタノールでも同様だが、メタノールは使用時に CO2 が出る）。なお、セミナーでの解説では、世界のバンカーオイルの補給拠点の数に比べて、アンモニアの保管施設の数が圧倒的に多く、もちろん燃料としての水素保管施設はまだ存在せず、グリーン・アンモニアを船舶燃料とするのは、現状のオイルよりもハードルが低いそうである。

### ③ 航空業界

水素を直接燃料とする航空機を開発中の欧州航空・防衛最大手エアバスの講演等によれば「足下ではバイオ燃料しかない。バイオでも化石燃料由来でも炭化水素であれば技術的課題はない。ただし現実には、バイオ燃料用の原料（森林資源）が全然足りない。」とのことである。エアバスは「将来（2035 年に実機 1 号機完成が目標）は中距離（200 人乗り）までは直接水素を燃料とし、長距離の機体には e-fuel（グリーン水素から製造した液体燃料）になる。水素については、生産・輸送・貯蔵体制（エコシステム）の整備も必要。宇宙ロケットや FCV 用のエコシステムを航空業界向けにカスタマイズしたい。」と抱負を語っていたが、最近の報道によれば「航空機に水素燃料が一般的に使用されるようになるのは 2050 年以降」との見解を欧州委員会への報告書で示していたとのことである。

### ④ トラック業界

ゼロエミッションのモビリティが水素によって現実のものになって来た。EV 化にあたり、Li 電池のみ（狭義の EV）で済むのか水素タンクと燃料電池も積む（FCV）のかについては、市内走行（比較的短距離の走行を何度も繰り返し、そのインターバルで充電が可能）に関しては Li 電池のみが手軽で短期的な普及が進むが、長距離や大型車両は水素を使わないとほぼ無理と言われる。市内走行に関しても、四六時中走行する高稼働率の車両の場合は充電する時間がないので、水素を使わないと苦しいと見られている。狭義の EV にしろ FCV にしろ、既に技術課題はないので、政策によって需要を創出することで、サプライチェーン（エコシステム）を整備してもらいたい、というのが業界の意見だ：

- 電池の充電ステーションを高速道路沿いに整備するというのは、口で言うほど簡単な話ではない。例えば、米国の大陸横断 Freeway の場合、人家もまばらな砂漠の中に充電ステーション（10MW 級の電力供給が必要）を作るとしたら、どうやってそこまで電力を供給するのか？高速道路沿いにずっと送電線を引くのか？こうしたことは 10 年計画で考える必要がある、とのことだった。
- 欧州でも水素ステーションが増えつつあると言っても大型貨物車が立ち寄れるステーションはまだ 1 つもないので（水素バスはミラノ、パリ、ロンドン等で実績があるが）、まずは北欧～南欧の物流の大動脈沿いに 220 か所の水素ステーションを整備すべきということだった。同じ幹線道路沿いに天然ガスのステーションを 300 か所作った実績があるのだから、水素ステーションだってできるはず、とのことだった。

## ⑤ 製鉄業界

CO2 大量排出産業として、タクソノミーでも EU-ETS でもとにかくスケープゴートにされやすい製鉄業界では、「水素製鉄」の実証試験が進んでいる。ドイツの製鉄メーカーThyssenKrupp はセミナーで「メタンを還元剤に使うプロセスは確立されているので、それを水素にすることに大きな技術的課題はない」と言っていた。また日本の製鉄会社の登壇者はセミナーで「技術的にはできるが、コークス利用が発熱反応なのに対し水素利用は吸熱反応になるので、別途エネルギーが必要になる。それは本当にグリーンと言えるのか？」という話をされていた。

## ⑥ ハイブリッド・ヒートポンプ

日本企業も強いヒートポンプは投入するエネルギー（電力）の 7 倍の熱エネルギーを外気・地熱から汲み上げられる省エネの優等生とされ、EU としても普及に期待している。しかし欧州、特に英国においては設置スペースがないことと、作れるお湯の温度は約 60 度が限界とされるため欧州の一般的な温水需要（70 度超）には対応できないことから普及が難しいとされている。

あるセミナーでは、欧州ではそうした弱点のあるヒートポンプに関し、そもそもグリーン度がまだ 100%ではない電力だけでヒートポンプを稼働させようとするのではなく、必要に応じて天然ガスも使うハイブリッド・ヒートポンプ（ヒートポンプとガスボイラーとが合体）の導入（Replace）なら現実的に進めやすいと強調していた。理由は、ヒートポンプのお湯をガスで加温できるから、ということよりも、2030 年頃には電力と家庭用ガス（グリーン水素混入）とでどちらのグリーン度の方が優秀になっているかがわからない（地域によっては、100%グリーン電力の前に、100%グリーン水素ガスとなっている可能性すらある）ので、ヒートポンプ加温・ガス加温の両方に対応できるメリットが大きいから、とのことだった。

## ⑦ 政策決定者への要望＝EU の現行政策の課題

あるセミナーでは、各業界、IRENA や WEF（世界経済フォーラム）のような国際組織からの登壇者が、結論として政策決定者に次の 5 点を要望していた：

- ブレない長期目標。また口先だけに終わらせないためのマイルストーンの明示。
- 何はさておき、再エネ供給力の大幅アップ（現在の目標の 2 倍に）。
- どの業界で何をすべきかのグランドデザインを初期段階でしっかり検討し、無駄なく実践。
- インフラとエコシステムの整備は公的資金で。
- 業界側も努力するが、失敗することもある。期限には猶予を、そしてサポートをお願いしたい。

また、「水素にしる誘導体にしろ、生産時にグリッド電力に期待するのなら（再エネ設備と相対でつなぐのでないのなら）、今使う電力が果たしてどの程度グリーンかを、誰がどのように証明するのかの問題がある」と、ここでも指摘されていた。

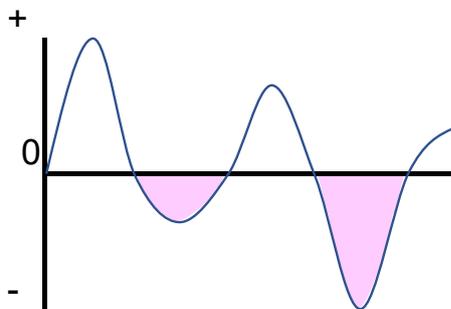
## 5. 再エネ電力の余剰分を利用したグリーン水素の可能性

条件に恵まれていれば太陽光・風力発電の価格は天然ガス火力を既に下回っている。太陽光・風力の発電量は天候に左右されて「不安定」だとされるが、そこまで値段が下がれば、望ましくない天候による発電量低下を織り込んで予め多めの容量を設置しておいても採算が採れるはずだ。再エネ電力設備を大量に設置することによる分散効果は、気象予測精度やデジタル・グリッド技術の向上と相まって、再エネ以外のバックアップ電源のニーズを低く抑えるので、再エネの導入に向けたドライブがさらに強まる。この流れは欧州では特に顕著であり、再エネ適地がある限り、流れは続くと思われる。

多めの容量を設置するので発電量が電力需要を超えることも多くなるが、（一定の売電価格が見込めるのであれば）その時に仮に系統への送電・売電を止めたとしてもまだ利益が出るほど再エネ発電設備の値段が下がっている。しかももちろん、発電量を抑えたり、送電・売電を止めたりするのではもったいない。余剰電力はその時にグリーン水素に変えて利用すればよい。もったいない時にしか製造されないそうした気紛れなグリーン水素を個別に輸送・販売してはコストに見合わないはずだが、既に需要のある用途に相乗りすれば「小遣い稼ぎ」ができる。具体的には、産業用・家庭用の天然ガスに混入したり、近場の水素充填ステーション等に提供したりすれば、既存インフラのままでも販売できるだろう。再エネの設備容量が電力需要を上回るのが当然となった先の将来は、余剰電力分を最初から当て込んだグリーン水素需要が立ち上がり、再エネ電力由来のグリーン水素による水素社会がいよいよ到来するという流れが期待される。

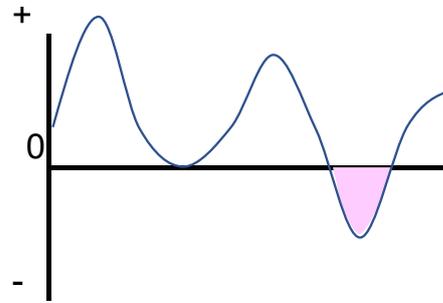
### 「過剰」設備によって不安定さを解決し、もったいない余剰電力を販売

太陽光+風力に期待される総発電量と  
実際の発電量との乖離（イメージ）



太陽光・風力の発電量が低下した際に補うバックアップ電源による発電が相当量（▼）必要とされ、不足が発生する頻度も多い。

太陽光+風力の総発電量を余らせる  
前提で設備を大量・分散導入した場合



大量導入により、発電量が低下しても、需要を下回る。

不足量・頻度ともに圧倒的に少なくなる。

太陽光と風力との補完効果に加え、数の増加による分散効果によって「不安定」さも改善している。

余剰電力がほぼ常に発生することになるので、グリーン水素に変換して有効利用する。

（出所：丸紅欧州会社作成）

## 6. 現実的な目線が必要

筆者は日本のバイオブームの浮き沈みの波によって、大学の研究者やベンチャー企業がほんろうされる様子を目の当たりにしてきた。ブームの時にマスコミやベンチャーキャピタルにおだてられ、起業を勧められてベンチャーを立ち上げたものの、ブームが去ると手のひらを反した態度に悩まされ、私財さえ奪われた方がおられた。その先に待ち受けるのは「あつものに懲りてなますを吹く」風潮であり、本当に有望な研究やベンチャーにも資金が回らなくなっていた。グリーン水素ブームは大丈夫なのだろうか？

各業界等関係者のチャレンジは続いているにしても、上述のとおりグリーン水素にはまだあまりにも多くの、そして困難な課題が山積している。課題の中でも「グリッド電力が100%グリーン化される等しない限り、グリーン水素を製造したところで社会全体のグリーン化には資するものではない」というのは致命的であろう。グリーン化に資さないプロジェクトにいつまで

も、ないし、十分な補助金が出されるはずはないので、はしごを外される可能性がある。あまりに先行した取組みや投資を行うと失敗に終わる可能性が高いと言わざるを得ない、つまり、グリーン水素は一時的なバブル状態だと考えている。

逆に、実は身近にあり過ぎて見過ごされているが、昔は日本でも家庭用都市ガスに水素が高い割合で含まれていたように水素のちょっとした需要は既にいくらかもある。そして、ちゃんと耳を傾けてみれば、EUも「必要な量の水素はブルーでも、いや最悪はグレーでもいいから造ればいい、まずは小規模でよいので市場を創ろう」と言っている。幾多の困難の中でも、グリッド電力に排出権をうまく活用・補完してまずは市場を育てることで、EUは小規模に造られたグリーン水素の活用拡大を全く諦めるわけでもないのが恐らく日本との違いだ。EU側との共同セミナーで日本側の関係者が「まずは水素発電等の大量需要を創り、その後にそれに見合う生産を立ち上げる」という戦略を強調していたのには違和感があった。本稿で繰り返したように、再エネ電力に絶望的な供給制約がある中では水素の常時多量消費ニーズは当分やって来ないことは確定的で、ひょっとすると発電用の大量需要は永久に求められないままになるかもしれない。水素の発電への活用は、捨ててしまっただけは「もったいない」再エネ余剰電力から製造したグリーン水素を、天然ガス発電所の原料に混入する程度で当面は必要十分である。

筆者は2018年に政府の専門家会議で「競争的研究資金制度の弊害の影響で研究開発をわざと難しくして時間とカネをかけるより、まずは水素は天然ガスに混ぜたりアンモニアにしたりして身近な需要を創出し、「鶏と卵」状況を打破して好循環に持ち込むべき」と提言した<sup>11</sup>。欧州ガス配送関係者らによる「グリーン・ガス」のセミナーに参加した折にも、家庭のガスボイラーやガス調理器具に関しては、「水素混入率2割までは、今のままの器具で全く問題がない。「鶏と卵」の議論にしてしまうことなく、遠慮なくパイプラインに水素を注入してもらいたい。」との発言があったところだ。

余剰電力を捨てるのでは「もったいない」ので、水素にすれば少なくとも燃料の一部になる、副生水素は自社か近隣の工場で燃料や原料として使わないと「もったない」というのが現状の身の丈であり、そのもったいなさに気づいた仲間を増やして行くべき段階だと思われる。家庭菜園で採れた野菜がたまたまオーガニックだったので嬉しいというのが実態で、大量生産によるオーガニック野菜ビジネスではない。同じアクアリウムでも、水槽と水族館とは別物であるように、偶発的な余剰電力で生産する水素は水槽レベルであって、企業としての水族館には相当しない。水槽の管理技法の知見は水族館にも役に立つが、水族館の経営はそれとは全く別物であるように、グリーンな水素の気紛れな生産と、グリーン水素ビジネスとは全く別物だと認識すべきだろう。

グリーン水素に関する期待感を身の丈に合わせることで、禍根を残すことなく、真に持続的な水素ビジネスの発展を支えることが肝要なはずだ。

(国際調査チーム)

Email: [Matsubara-Hiro@marubeni.com](mailto:Matsubara-Hiro@marubeni.com)

Tel: +44(0)20 7826 8756

(本稿は所属組織の見解ではありません)

- ・ 本資料は公開情報に基づいて作成されていますが、当社はその正確性、相当性、完全性を保証するものではありません。
- ・ 本資料に従って決断した行為に起因する利害得失はその行為者自身に帰するもので、当社は何らの責任を負うものではありません。
- ・ 本資料に掲載している内容は予告なしに変更することがあります。

<sup>11</sup> 2018年2月28日、政策討議（総合科学技術・イノベーション会議有識者議員懇談会）「環境エネルギー・水素戦略（第2回）」。<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20180228-2.html>

- ・ 本資料に掲載している個々の文章、写真、イラストなど（以下「情報」といいます）は、当社の著作物であり、日本の著作権法及びベルヌ条約などの国際条約により、著作権の保護を受けています。個人の私的使用及び引用など、著作権法により認められている場合を除き、本資料に掲載している情報を、著作権者に無断で、複製、頒布、改変、翻訳、翻案、公衆送信、送信可能化などすることは著作権法違反となります。

-----  
Marubeni Europe plc  
Registered in England and Wales: No. 1885084  
Registered Office: 95 Gresham Street, London, EC2V 7AB, England  
Website: [www.europe.marubeni.com](http://www.europe.marubeni.com)