

水素で切り拓く低炭素社会

亀山 寛達

東京ガス株式会社 技術研究所

〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-7

1. はじめに

水素は電気と同様、使用時にCO₂を発生しない2次エネルギーである。2050年までに世界全体のCO₂排出量を半減させ、日本のような先進国においてはCO₂排出量80%削減を目指すならば、エネルギー最終消費段階でのCO₂発生がない水素は低炭素社会実現のための有力なツールに成り得る。

一方、水素は電気と異なり現時点でのエネルギー供給インフラがほとんどない。水素をこよなく愛する本誌の読者以外の多くの方々から「本当に水素エネルギー社会って来るのですか?」と真顔で聞かれてしまうのは、主として現実感のある水素供給インフラが想像できないことにその理由がある。そういった方々には、最新型のFCVを見せてもほとんど効果がない。「自動車が作れても、水素が入らなくてはただの箱ではないですか」と心の中で思っているからである。

では、本当に現実感のある水素供給インフラ構築は無理なのだろうか? 私はそうは思わない。現実感のある水素供給インフラとするための最大のポイントは、既存のエネルギーインフラを最大限活用することである。ガソリンスタンドで給油できるのは、海外からオイルタンカーで運ばれた原油が製油所でガソリンになり、オイルローリーでガソリンスタンドまで運ばれているからである。ガス栓をひねって都市ガスが出るのは、LNGタンカーによって運ばれた天然ガスが、都市ガスパイプラインによってガス栓まで届いているからである。未来の水素供給インフラを、誰もが知っている現在のオイル&ガス供給インフラの延長線で設計することは、現実感のある水素エネルギー社会像を示していく上で極めて重要である。水素ステーションに孤独感を漂わせることなく、その背後をタンカー・ローリー・パイプラインといったエネルギーインフラがしっかり支えているのだと思える状態が望まれる。

2. CO₂回収・処理インフラと水素CO₂排出原単位の削減

2050年に日本のCO₂排出量を80%削減させるならば、石炭・石油・天然ガスといった化石燃料の消費には、いずれCCSの適用が避けて通れなくなる。現在、CCSは2020年頃から石炭火力発電所・製鉄所・製油所などといった大規模CO₂排出源から適用が始まると予想されている。東京ガスは化石燃料利用時のCCS適用が一般化する時代を見据え、オンサイト都市ガス改質による水素製造技術の開発を進める上で、水素製造に伴って発生するCO₂を液化回収する技術の開発にも取り組んでいる。図1と表1に2009年3月に発表した水素分離型リフォーマによるオンサイト都市ガス改質水素製造+CO₂液化回収実証試験の様子とその試験データを示す。

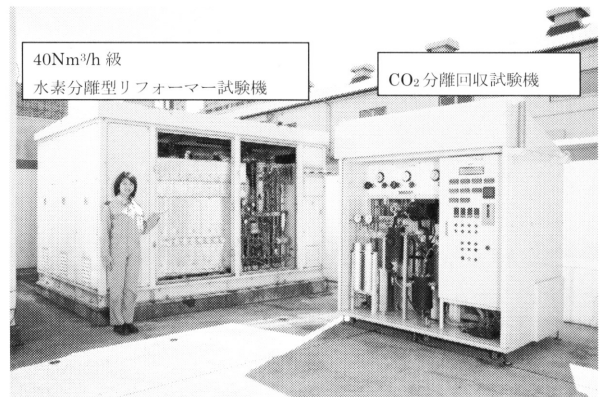


図1. オンサイト都市ガス改質水素製造+CO₂液化回収

表1. 実証試験の試験データ

	通常運転	CO ₂ 回収運転
水素製造量	30.6 Nm ³ /h	30.6 Nm ³ /h
総合効率	81.7%	78.6%
CO ₂ 排出量	25.1 kg/h	12.6 kg/h

この実証試験により、水素分離型リフォーマによるオンサイト都市ガス改質水素製造ではわずか3ポイントのエネ

ルギーロスで約50%のCO₂が回収できることを確認した。オンサイト水素製造に伴って回収されるCO₂は、CO₂地中貯留サイトへの貯留もしくは工業原料として有効利用しつつ固定化することを想定している。

図2に都市ガス供給の静脈的存在として構築されるCO₂回収・処理インフラのイメージを示す。燃料電池による分散型発電や水素分離型リフォーマによる都市ガス改質水素製造はプロセスそのものがCO₂分離機能を有するため、大規模発電や大規模水素製造よりも省コスト・省エネルギーなCO₂分離回収が可能である。また、工業炉を酸素燃焼化することで排気損失を低減させる技術は、CO₂回収と極めて親和性の高い技術である。図2で示した低炭素社会における都市ガス供給のCO₂回収・処理インフラを構築することが出来れば、都市ガス需要のような分散型CO₂排出源から回収するCO₂の輸送・処理が可能となり、都市ガス供給に高効率化・燃料転換に加えてCCSによる低炭素社会への貢献を期待することが可能となる。

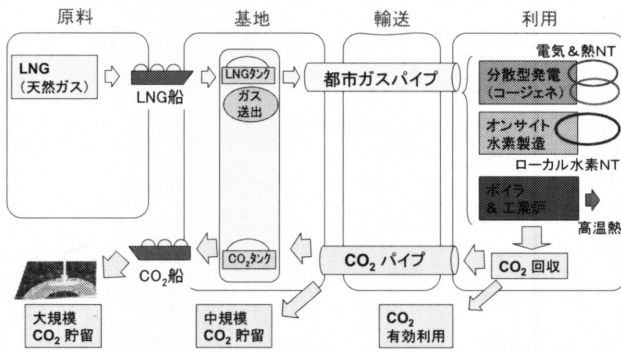


図2. 都市ガス供給におけるCO₂回収・処理インフラ

また、CO₂液化では大量の冷熱が必要となるため、東京湾外にCO₂を運び出す必要がある場合には、LNG基地に隣接してCO₂液化基地を建設し、CO₂タンカーにて運び出すことが考えられる。東京湾の湾岸エリアに存在する発電所・製鉄所・製油所にてCCSを実施する場合には東京湾近郊ではCO₂貯留サイトが不足する事態も想定すべきであり、LNG基地を利用した大規模CO₂液化&CO₂船舶輸送システムの構築は、東京湾内の湾岸エリアに存在する大規模CO₂排出源にとって有用な静脈インフラと成り得る。そのようなインフラが構築された場合には、都市ガス需要のような分散型CO₂排出源から回収されたCO₂も一緒に液化され、湾外の適当なCO₂貯留サイトまで船舶輸送され、大規模CO₂排出源から回収されたCO₂と一緒に処理されることとなる。

前述したように、オンサイト都市ガス改質水素製造は少ないエネルギーロスでCO₂回収することが可能である。図2で示したCO₂回収・処理インフラが構築される時代には、オンサイト都市ガス改質水素ステーションから供給する水素のCO₂排出原単位は半減しているであろう。オンサイト水素製造ばかりでなく、オフサイトでナフサもしくは天然ガスを原料とした大規模水蒸気改質によって製造される水素も、このCO₂回収・処理インフラを利用することで出荷する水素のCO₂排出原単位を削減することが可能となる。

図3にCO₂回収型ガス機器と都市ガス・電気・熱・水素といったエネルギー供給インフラおよびCO₂の回収・輸送・処理インフラが整備された未来都市のイメージを示す。スマートエネルギーネットワークをさらに発展させたこのエネルギーシステムでは、水素ステーションや分散型発電を最大限に利用し、発生するCO₂を回収・処理することで、エリア内からのCO₂排出量を大幅に削減することが可能となる。



図3. CO₂回収型ガス機器を利用する未来都市

3. 海外水素の輸送インフラ

低炭素社会実現のためにもっとも理想的なエネルギー供給は、再生可能エネルギーによる供給シェアをできるだけ上げていくことである。しかし、国土が狭くて急峻であり、ほとんどの地域が偏西風帯から外れている日本では、太陽・風力エネルギーのポテンシャルは限られている。日本国内だけを再生可能エネルギーの供給源として考えている限り、日本の一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギー比率を大きく高めることは困難であろう。一方、海外にはほぼ無限の再生可能エネルギーが存在する。サンベルト地帯の太陽エネルギーも魅力的だが、コスト的な観

点から最も魅力的なのは偏西風帯にありながらエネルギー需要がほとんどなく、大量の風力エネルギーが使われるあてもなく存在しているパタゴニアのような地域であろう。このような地域において風力発電+水電解によって製造される水素はCO₂排出源単位が0の水素である。また、全設備が地上に存在するために権益確保も比較的容易である。このような地域で再生可能エネルギーから水素を製造し、リーズナブルな価格で輸入する手段が確立できれば、日本にとって低炭素社会における極めて有望なエネルギー資源となるであろう。

図4は図2に示した未来の都市ガス供給インフラが構築された状態で、海外からの水素輸入が実現できた場合のイメージである。

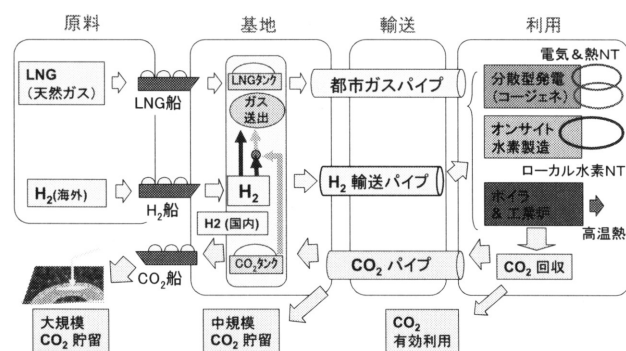


図4. 海外水素輸入+未来の都市ガス供給インフラ

海外から輸入された水素がLNG基地に陸揚げされる場合には、海外水素は水素輸送パイプラインで需要家に直接供給することに加えて、都市ガス原料としての利用が可能となる。都市ガス原料として水素を直接利用する場合には都市ガスの熱量を下げってしまうため、一定量までしか利用できない。しかし、図2で示したCO₂回収・処理インフラが構築されて都市ガス利用に伴って回収されたCO₂が大量にLNG基地に戻ってきている場合には、回収CO₂と海外水素からカーボンリサイクルメタン(炭素分を大気放散せずリサイクルしながらエネルギー供給するメタン)を製造し、都市ガス原料とすることが可能となる。この方式は、都市ガスの熱量を下げってしまう効果が激減するため、水素直接利用方式よりも大量の海外水素を都市ガス原料として利用することを可能とする。図4で示すような様々な方式で海外水素を活用する都市ガス供給インフラは、低炭素社会において従来以上の存在感を発揮するものと期待される。

4. 海外水素とオンサイト都市ガス改質水素製造

「海外からCO₂フリー水素が入ってくる時代には、オンサイト都市ガス改質水素製造の出番はなくなるのではないか?」という声を聞くことがある。しかし、図4のような都市ガス供給インフラに支えられたオンサイト都市ガス改質水素製造は、海外水素が本格的に利用される時代においてむしろ存在感を増す。海外水素が輸入される時代までに図2で示したように都市ガス供給インフラにCO₂回収・処理インフラを付加し、水素ステーションを核とするローカル水素ネットワークを構築しておくことができれば、オンサイト都市ガス改質水素製造によって供給される水素は間接的に海外水素を原料として製造されていることになる。

海外水素の供給手法としては、水素パイプラインによる直接供給が最も良い。だが、海外水素が利用可能な状況が日本に訪れた途端に、全てのエリアで水素輸送パイプラインによる海外水素利用が可能となるだろうか? コンビナートエリアであれば水素輸送パイプラインの存在は当たり前であり、すぐに実現するであろう。また、エリア限定のローカル水素ネットワークは既に実証試験が始まっているように、想定範囲内だと言える。しかし、都心部に水素輸送パイプラインを張り巡らせるには多大な年月が必要であろう。図4のインフラは、都心部への水素輸送パイプラインが存在しなくても都市部における海外水素利用を間接的に可能とするため、海外水素輸入の黎明期に適した水素供給インフラを包含したエネルギー供給インフラだと言える。

水素はガス体で唯一のCO₂フリーエネルギーである。ガス事業に身を置く私としては、電力供給とは一味違った形で低炭素社会を切り拓いていきたいと希望し、水素こそがそのキープクターだと考えている。今後も、関係各位の皆様との意見交換を通じ、一人でも多くの方が「水素エネルギー社会って本当に来そうですね!」とっていただけるような研究に取り組んでいきたい。

【文中の省略英語・記号】

FCV :

Fuel Cell Vehicle

CCS :

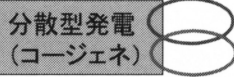
Carbon dioxide Capture and Sequestration

CCTS :

Carbon dioxide Capture, Transportation and Sequestration

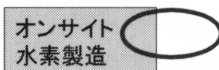
*CO₂輸送をCO₂回収・処理と同レベルで意識する際に用いられる用語

電気・熱NT :



分散型発電 (コージェネレーション) から発生する電力・熱を有効活用するためのネットワーク (NT)。電力ネットワークとしては、系統電力と分散型電源 (コージェネレーション、太陽光発電、風力発電) が親和性を保ちながら運用されるような配電網を想定している。熱ネットワークとしては、清掃工場などからの廃熱蒸気や地域冷暖房施設からの蒸気が親和性を保ちながら運用されるような蒸気パイプライン網を想定している。このネットワークがIT技術によって進化するとスマートエネルギーネットワークとなる。

ローカル水素NT :



水素ステーションから供給される水素をエリア限定で最大限利用するためのネットワーク (NT)。都市ガス供給における地区ガバナ (製圧器) 下流の低圧パイプライン網に相当する水素供給圧力1MPa未満で運用される水素パイプライン網を想定している。主な水素需要としては、FCV向け簡易型水素ステーションや家庭用・業務用の純水素燃料電池が期待される。

サンベルト地帯 :

世界の中で、太陽光が年間を通して豊富に降り注いでいる地域。緯度30度付近が相当し、サハラ砂漠、カラハリ砂漠、オーストラリアの砂漠地帯などが該当する。太陽光・熱利用に適した地域だと言える。

偏西風帯 :

偏西風とは、地球が自転している関係で中緯度 (北緯45~60度、南緯35~50度程度) において、ほとんど常時吹いている西寄りの風のこと。偏西風帯は常時7m/s以上の安定した風が期待できるとともに、台風などの20m/sを超える暴風が吹く可能性は極めて低く、風力発電に適した地域である。