

水素社会と都市ガス事業

田畑 健

社団法人 日本ガス協会

〒105-0003 東京都港区西新橋1-1-3 東京桜田ビル

1. はじめに

低炭素社会におけるエネルギーキャリアとして、水素への注目度が増してきており、2010年6月に閣議決定されたエネルギー基本計画にも、消費段階でCO₂を出さない水素は、「中長期的な観点から開発・利用に向けた取り組みを進めていく」と明記されている。しかし、水素社会のコンセプトは、WE-NETプロジェクトよりも前、少なくとも、私が学生であった約30年近く前からあった。その頃の目的は、もちろんCO₂問題ではなく、クリーンで水しか出来ないこと、電気との高効率での変換・双方向性などの観点であったが、基本的な構成は今も何も変わっていないように思う。当時の構想の中での課題は、水素をどうハンドリングするかという以前に、利用機器の核となる燃料電池が宇宙用途を除くと実用化されていなかったことで、水素社会は「お話」の域を出なかった。

ところが、2009年、エネファームが発売され、定置用燃料電池は家庭の中に既に入り始めたし、燃料電池自動車も、いよいよ2015年には一般販売が開始される見込みであり、水素社会の大きな課題であった利用側のハードルは一つクリアされたと思われる。さらに、ここ数年での急激なCO₂問題の高まりもあり、従来は「お話」であった水素社会の具体的なあり姿とその課題についても、まじめに検討を始める時期に来ていると思われる。

水素を都市の生活空間に導入することを想定する場合、現在の都市ガスパイプラインを活用できないかと考えることは、都市ガス事業者ならずとも自然な発想である。ここでは、純水素を都市ガスのパイプラインで供給することについて、ガス事業者の観点から、その可能性と課題の整理を試みた。なお、本稿は論文ではないので、筆者の個人的見解も含めた大雑把な議論になっていることはご容赦いただきたい。

2. パイプラインによるガス供給の特徴

もともと、パイプラインによるガス供給は、ガス燈への供給が始まりだったとされているが、本格的に普及したのは、家庭用の熱需要に使われ始めてからである。ガス燈はほどなく電燈に置き換わったが、その後も都市ガスインフラが建設され続けたのは、安定供給やクリーンさ、利便性のほかに、熱量当たりの輸送コストの安さが大きな要因であったと思われる。パイプラインの埋設には初期投資が必要であるが、圧送などに必要な比例費は非常に小さいため、一定の需要密度を超えると輸送コストは他のエネルギーに比べて安くなる。そして、この事情は今も変わっていないのである。

一方、燃焼しやすいというガスの性質は、誤った使い方をするると危険な事故にもつながりやすいということで、都市ガス事業の歴史は保安の確保の歴史であったともいえる。製造、供給、消費の各段階での安全対策を進めた結果、2009年度（2009年4月～2010年3月）は死亡事故ゼロを達成した。これは、日本の人口の1/3以上が都市ガスユーザーであることを考えれば、他業界を見渡しても、画期的な記録であるといえる。

ガスは危険というイメージがある方には意外かもしれないが、パイプラインによるガス供給は、本質的に安全な面もある。気体であるがゆえに、体積当たりのエネルギー密度が小さく、パイプラインの中に存在しているガスのエネルギーは非常に小さいことである。たとえば、戸建て住宅のガスメーターから各ガス栓までのガス管に充填している天然ガスの熱量は、もちろんガス管の長さによって異なるが、100kJのオーダーであり、携帯電話の電池で言うと10個分、灯油だと4cc分のエネルギーしか保有していないことになる。すなわち、遮断できさえすれば本質的な害は防げるので、いかに異常を検知して遮断するかがポイントとなる。現在、家庭に設置されているガスメーターはマイコンメーターになっており、大

きな地震以外に、一般のガス機器ではありえない過大な流量が流れたり、微少だが長期間継続して止まらない流量を検知したりすると遮断する機構が搭載されている。また、震災などの大規模災害時には、区域ごとにパイプラインを遮断するシステムも導入されており、これらの、止めることで安全を担保できる、パイプラインによるガス供給の特徴を生かした対策を推進してきたことが、死亡事故ゼロ達成の大きな要因の一つになっているのである。

3. 純水素のパイプライン供給に関する誤解

上記のことは、ガスの成分が純水素になっても基本的に同じである。水素の需要が密集している水素社会においては、水素を何から造るかは別にして、パイプラインで輸送するのが最も安価で合理的であると考えられるのだが、都市ガス業界内でさえも、いくつかの誤解があって、純水素をパイプライン供給することは困難であると何となく思っている人が多い。ここでは、まず、その誤解を解いておきたい。

誤解1) 現在埋設されている都市ガスのパイプラインは純水素には使えない

鋼管では水素脆化の恐れがあるし、高分子では水素は透過するので、現在の都市ガス配管では原理的に純水素を供給することはできないと考えている人がいるようである。しかし、本誌の読者であれば、1MPa未満でほぼ常温で使われる中低圧の都市ガスパイプラインでは水素脆化などは全く心配に及ばないことはご存知であ

ろうし、水素の拡散が速いと言っても、所詮天然ガスの3倍程度であるので、燃料電池の高分子膜のクロスリークの議論ならばともかく、mmオーダーのポリエチレン管で問題になるはずはないのである。

実は、日本ガス協会では、平成17年～平成19年に経済産業省の委託を受けて、「水素供給システム安全性技術調査」を実施し、この中で、現在新設配管で用いられているパイプライン材料、継手、バルブ等について、純水素を流した時に安全性が担保されるかどうかを調査している。この結果、1MPa未満の中低圧の範囲においては、長期耐久性は確認できていないものの、問題なく使用できることが検証された。また、高圧については亀裂進展への水素の影響の可能性が排除できないという結果であったが、高圧パイプラインといっても10MPa未満で常温であり、70MPa対応の材料の研究をされている方からは、研究対象にもならないレベルの懸念である。

もちろん、古い配管や耐久性への影響等確認すべき事項はあるが、基本的には現在の都市ガスパイプラインを純水素供給に利用することは可能である。

誤解2) 純水素にするとパイプラインの輸送能力が大幅に低下してしまう

天然ガスの主成分であるメタンと水素の主な物性の比較を表1にまとめた。水素の体積当たりの高位発熱量は、メタンの約3分の1であるため、パイプラインの輸送可能流量は、熱量ベースでは天然ガスの3～4分の1になってしまうと誤解している人がいる。パイプラインの輸送能力は、乱流域での圧力損失で決まるが、管壁との摩擦損失は大まかには気体の運動エネルギーに比例する

表1 メタンと水素の主な物性比較

項目	単位	水素	メタン
分子量	-	2.0158	16.043
密度(常圧、20°C)	kg/m ³	0.0838	0.651
粘度(常圧、20°C)	μPa·s	8.8	10.8
拡散係数(常圧、20°C、空気中)	m ² /s	0.61 × 10 ⁻⁴	0.16 × 10 ⁻⁴
高位発熱量	MJ/Nm ³	12.8	40.0
低位発熱量	MJ/Nm ³	10.8	35.9
燃焼範囲	vol%	4～75	5～15
最小着火エネルギー	mJ	0.02	0.28
燃焼速度	m/s	2.65	0.40
断熱火炎温度	°C	2105	1942

ので、軽い水素はより高速で流れてもその損失は少なくなる。圧損を一定としてきちんと計算すると、水素はメタンの2.5倍の流量を流せるので、高位発熱量ベースでは、メタンの80%までは理論上流すことができる。将来需要が局所的に伸びることもありえるだろうが、純水素型燃料電池の普及による効率向上、建物や設備の省エネの進展による需要減等を考慮すると、一般には需要を満足できる十分な輸送能力は確保されるものと考えられることができる。

誤解3) 純水素では高温熱は得られない

水素社会では水素を燃料電池で利用するから燃焼用途に使うことなど考えなくてよいのではないかと思われるかもしれないが、将来も高温熱需要は存在するし、汎用エネルギーとして水素が流通している水素社会では、その需要に水素が応えられる必要がある。ただ、水素は熱量が低いので高温の熱が得られないと勘違いしている人がいるようである。水素の低位発熱量はメタンの約30%であるが、燃焼に必要な空気量は25%であり、余分に加熱される窒素が減るので、断熱火炎温度はむしろ高くなる。また、燃焼範囲が広く、排ガスによる燃焼阻害を受けにくいと、本質的な燃焼の自由度は大きい。ただ、燃焼速度が速いため、通常のバーナーでは炎口が高温になりすぎ融けてしまうので、適切な制御が必要となる。また、炭素を含まないので、放射伝熱に有効な輝炎ができないこともあるが、いずれも、既存の炉形状にあわせた温度分布の実現の問題であり、高温熱が得られないわけではない。

4. 水素をパイプライン供給する際の課題

上記のように、現状の都市ガスインフラを利用して都市ガス事業として水素を供給することは、技術的には可能である。そもそも、天然ガス転換を行う前は水素を主成分とするガスを供給していたので、純水素とは物性が異なるが、安全面では大きな問題はないはずである。しかし、当然のことであるが、パイプライン輸送の経済性を享受するためには、天然ガスと水素を別々に顧客の要望に合わせて供給し分けることはできず、地域全体で天然ガスを水素に転換する必要が生じる。このようなガス種の転換はこれまで都市ガス事業は幾度となく経験してきており、方法論は確立している。最も新しい天然ガ

スへの転換では、量の多い家庭用ガス機器について、基本的にノズル交換だけで様々なガス種で燃焼できるユニバーサルバーナーを開発して普及させ、その上で地域毎に、3日間で各顧客先の機器の調整と配管内のガスの入れ替えを行うことで、比較的燃焼速度の速い水素主成分ガスから、熱量的には2.5倍ほどあるが燃焼速度の遅い天然ガスに転換したのである。容易に想像できることだが、一軒一軒顧客先をまわって調整するので、非常に長い時間と膨大なコストがかかる。にもかかわらず、これまで都市ガス事業者が天然ガス転換してきたのは、脱石油という国策、COを含まないガスを供給することで安全性を高めること、増大する需要に対して安定供給の責任を果たすことなどの公共の利益と共に、新たな投資なしにインフラの設備利用効率を高められることに経済合理性があったからである。

しかし、単に現状のガス事業の事業性から判断すると、水素に転換することは、不完全燃焼によるCO中毒が原理的になくなるものの、これまでの設備利用効率の向上のような明確な経済メリットがないという課題がある。また、純水素の場合、バーナーそのものを交換する必要があるなど、転換コストも天然ガス転換より高くなることが予想される。一方、水素パイプラインになると、電力との双方向での変換が容易であり、かつ電力よりは需給バランスの変動に耐えられることから、再生可能エネルギーの大量導入時に膨大なコストがかかることとされている系統安定化の社会コストの低減に寄与できるなど、新たな社会価値が生まれるかもしれない。また、そもそもCO₂削減と言う社会的要請に応えるためには当然相応のコストがかかるわけで、水素社会への転換が選択肢となる2050年CO₂80%削減の世界において、水素転換コストを含めた水素コストが経済合理性のある範囲に収まるのかどうかの評価のポイントとなろう。

もう一つ別の大きな課題は、漏洩検知である。前述のように、止めることでガスのパイプライン供給は安全を担保できるが、異常を検知する手段、即ち、生ガスの漏洩をいかにして低コストで検知できるかが重要になる。一戸の家庭であれば、使用機器ごとのガス消費パターンは決まっているのでマイコンメーターで正常・異常を流量パターンで判断できるが、複数の需要が重なる市中のパイプライン上では流量パターンで漏洩を検知することはできない。万一どこかで漏洩したとしても、人的被害を最小限に抑えられる低コストの漏洩検知手段は、い

まのところ、付臭以外にはない。水素の付臭剤としては、平成18年～20年に経済産業省から日本ガス協会が受託した「水素漏洩検知技術調査」において、シクロヘキセンが土中に吸収されず、確実な検知ができる非硫黄系付臭剤として有効であることがわかっており、PEFCへの影響も少ないことが報告されている。しかし、完全に酸化せずに大気に放散させると誤検知の原因となるし、70MPa以上の高圧となる自動車用途では供給系内での吸着・凝縮・化学変化など、予期せぬ影響を及ぼす可能性があるため、結局、いずれかの段階で除去しなくてはならない。除去装置を設けることはその分コストアップとなるだけでなく、定置用では、純水素型PEFCの特徴である優れた負荷追従性や高燃料利用率などが損なわれる可能性があり、これらの課題を解決していく必要がある。

5. 終わりに

以上、大雑把ではあるが、水素を都市ガス事業としてパイプライン供給することの技術的可能性と課題を概観した。水素は、最近の数十年の天然ガス時代を除くと、ずっと都市ガスの主成分であったし、現在も、燃料電池用改質プロセスや水素製造装置など天然ガスから水素を製造することは都市ガス事業者の得意とする技術であり、その技術を利用した事業を現に行っている。このような経験と技術をベースとして、都市ガス業界は将来の水素社会の実現に向け、低コストの水素を安全に製造・供給・使用できるよう、地道に技術基準の整備や利用機器の開発等に取り組んでいく方針である。