

水素漏洩時の影響度を考慮した 水素スタンドの安全管理上のポイント

小森雅浩

一般財団法人 石油エネルギー技術センター、自動車・新燃料部
〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-3-9

The key issues to secure the safety of hydrogen stations with regard to the consequence of hydrogen release

Masahiro Komori

Japan Petroleum Energy Center, Auto Oil and New Fuels Dept.
4-3-9 Toranomon, Minato-ku, Tokyo

Abstract: In order to achieve the public acceptance of hydrogen stations as social infrastructure in the early commercialization stage of fuel cell vehicles, it is quite important never to bring about severe accident which leads to casualties or property damage outside of the hydrogen station. In this paper the analysis of accident scenarios of hydrogen station which focuses the consequence of hydrogen release is performed, and safety measures for the risk reduction of severe accidents are discussed.

Keywords: Hydrogen, Hydrogen Fuelling Station, Safety

1. 緒言

エネルギーセキュリティや世界的な広がりを見せている温室効果ガス排出削減の動きの中で、燃料電池自動車（FCV）が注目を集めている。

こうした状況の中、一般財団法人石油エネルギー技術センターでは、FCVの普及に対応する水素スタンドの導入・普及を図るため、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）委託事業として、「水素安全利用等基盤技術開発 - 水素インフラに関する安全技術研究」（平成15年度～16年度）及び「水素社会構築共通基盤整備 - 水素インフラに関する安全技術研究」（平成17年度～21年度）に参画し、水素スタンドの安全性検証を行ってきた。なお、上記NEDOプロジェクトには当センターの他に、三菱重工業(株)、(株)日本製鋼所、(株)タツノ・メカトロニクス、(社)日本産業・医療ガス協会、出光興産(株)、(財)エンジニアリング振興協会、住金機工(株)、高圧昭和ボンベ(株)の8団体が参加した。

安全とは“許容できないリスクが存在しない状態”と定

義され、リスクとは“危害の発生する確率と危害のひどさの組合せ”と定義される[1]。したがって、安全を議論する場合、事故・トラブルの発生可能性と共に、事故時の影響の大きさを考慮することが不可欠であり、水素スタンドもその例外ではない。

水素スタンドは高圧の可燃性ガスである水素を相当量取り扱う設備であるが、今後これが広く社会的に受入れられるためには、そのリスクを十分に小さいものとする必要がある。その際、事故・トラブル時の影響度の大小を問わずそれらの発生可能性の低減が必要であることは言を俟たないが、特に、死亡事故や隣接家屋への被害が及ぶような重大災害については、十分な対策が必要である。また、2015年のFCV本格普及開始に向けた離陸段階にある今、万一このような事故が発生すると、水素社会構築の取組みそのものを頓挫させてしまう事態となりかねない。

そこで、本稿では前記NEDOプロジェクトにより得られた知見を基に、水素スタンドで想定される漏洩水素の着火・爆発・火炎形成の事故時の影響度の大きさに着目

した上で、水素スタンドの安全管理上のポイントについて述べる。

2. 水素スタンド設備の特徴

水素スタンドとはFCVに燃料水素を供給する設備であるが、国内では十数カ所、海外では主に北米・欧州において数十ヶ所の水素スタンドが建設・運用されている。水素スタンドは発展途上の新しい設備であるといえ、いくつかのタイプ・設備構成のスタンドが考えられるが、最も典型的水素スタンドとしてオンサイト型差圧充てん式水素スタンドの設備構成の例を図1.に示す。

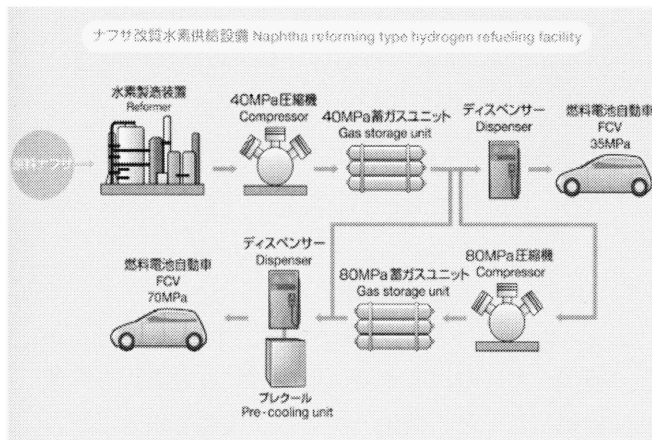


図1. 水素スタンドの設備構成の例

(出典：JHFCホームページ)

<http://www.jhfc.jp/station/kanto/asahi.html>

図1.に示すように水素スタンドは、圧縮機、蓄圧器ユニット、ディスペンサー、プレクール設備、水素製造装置、連絡配管の各設備により構成される。

水素スタンド系内で最大の水素インベントリを持つのは蓄圧器ユニットである。個々の水素スタンドの仕様によって異なるが、蓄圧器1本当たり30~200Nm³程度の水素が貯蔵される。また、スタンド全体では複数本の蓄圧器を持つことにより、将来的な水素スタンドにおいては全体で数千Nm³の貯蔵が必要になると見込まれている。

これに対し、水素スタンドで使用される高圧水素配管は内径6mm程度の小径配管であり、連絡配管、ディスペンサー、プレクール設備、圧縮機の系内に存在する高圧水素量は極限られている。例えば、配管内径を6mm、ディスペンサーやプレクール設備を含めた水素スタン

ドの配管総延長を200mと想定すると、配管内幾何容積は0.0057m³である。そして、系内圧力を80MPaとした場合、配管系内水素インベントリは3.0Nm³であり、蓄圧器ユニット内インベントリと比較すると極めて少ない水素量である。

このように、水素スタンドに存在する最大のハザードは蓄圧器ユニット内高圧水素であり、水素スタンドの安全確保上、蓄圧器の水素を系外に漏洩させないことがキーであるといえる。

また、水素スタンドの設備レイアウト・使用条件に着目すると、以下の点が言える。水素スタンドの水素製造装置、圧縮機、蓄圧器等の設備は、防火壁等で区画され部外者の立ち入ることができない設備エリアに設置される。しかし、ディスペンサーに関しては、FCVへの給ガスという設備の性格上、顧客であるドライバーやスタンド従業員から設備を隔離することができない。したがって、比較的小規模の漏洩であっても、その影響が周辺の人々に及ぶ可能性がある。

3. 開口部の大きさによる想定事故シナリオの分類

表1. 開口のパターン

開口パターン	代表開口径	説明
(1) 極めて大きな開口	—	容器の破壊により生じた開口。大量の水素ガスが瞬時に放出され、着火すると爆発することが懸念される。
(2) 大きな開口	10mm φ	配管、ホースの破断により生じた開口。開口直後に大量の水素ガスが放出され、系内水素の圧力が低下するに従って放出速度も低下する。着火した場合には爆発又は噴出火炎が生じることが懸念される。
(3) 小さな開口	1mm φ	各種のトリガー現象により生じるクラック状の開口部。ネジ部の緩み、シール劣化により生じる開口部もこのパターンに分類される。定常的な漏洩と考えることができ、着火した場合には爆発又は噴出火炎が生じることが懸念される。
(4) 微小な開口	—	グラウンド漏れ、充填ホースからの水素透過のような極少量の漏洩を発生させる微小な開口。

水素の漏洩と着火・爆発・火炎形成の影響度を評価する上で、「系内圧力」、「系内水素インベントリー」、「開口部の大きさ」の3つが、影響度の大きさを左右する重要なファクターである。

当センターでは、前記NEDOプロジェクトにおいて水素スタンドのリスク評価検討を行ったが、その中で、将来的に普及が想定される水素スタンドに対する想定事故シナリオの抽出を行った。その結果、水素スタンド設備が何らかの原因で開口し水素が漏洩する場合、その開口部は以下のような4種類に分類できることが明らかになった。(なお、ここでは万一想定事故が発生した場合に生じる現象に着目してこれを分類しているのであり、その発生可能性や防止対策は考慮していない。)

(1) 極めて大きな開口【蓄圧器の破壊】

蓄圧器の不安定破壊により生じる蓄圧器本体の開口を「極めて大きな開口」と位置付けた。この場合、蓄圧器に貯蔵されている高圧水素が瞬時に全量外部に放出される。蓄圧器破壊に至る事故要因として、水素脆化した材料の疲労き裂進展による不安定破壊等が考えられる。

(2) 大きな開口【配管、ホースの破断】

配管や充てんホースの破断による開口を「大きな開口」と位置付けた。この場合、破断開口部から配管内水素が瞬時に系外に放出される。また、開口部と蓄圧器が遮断されていない場合、開口部から蓄圧器内水素が大量に継続的に水素が放出される。

事故要因として、配管材料の水素脆化による不安定破壊、外力(地震、車両の配管への衝突等)の作用が考えられる。また、このケースの場合、配管や充てんホースの内径が起こりえる最大の開口径となる。当センターが実施したリスク評価検討では安全サイドを見て開口部サイズ(配管内径)を10mmと想定して評価した。(なお、実際に建設されている水素スタンドにおいては、前述のように配管内径は6mm程度である。)

(3) 小さな開口【ねじ込み継手の緩み、シール材劣化等】
ねじ込み継手の緩み、Oリング等のシール材劣化、疲労による配管き裂等の要因による開口をグループ化し「小さな開口」と位置付けた。これらは種々の要因から生じる開口部であり、開口部形状は不規則であり一定していない。また、漏洩初期においては微少な開口部が劣化の進展と共に徐々に拡大していくと考えられ、いずれの時点の開口サイズを影響度評価上の前提とするかという

悩ましい問題がある。

漏洩時の影響度評価のためには開口サイズを設定することが不可欠であるが、前記のような困難さがある中で、φ1.0mmの円形ピンホールで代表させた。

(4) 微少な開口

バルブのグランド漏れ等の、水素検知器を漏洩部に近づけた場合に検知できる程度の微少な漏洩における開口部を「微少な開口」と位置付けた。

4. 影響度評価

水素スタンド設備における水素外部漏洩時に懸念される事象として、火炎の形成と爆発の2種類が考えられる。その水素漏洩時の拡散・爆発・噴出火炎の挙動を定量的に確認するために、三菱重工業(株)にて実験・シミュレーションを行った[2][3]。そこで得られたデータを基に、当センターにて爆発・噴出火炎による水素スタンド内外への影響度評価を行った。以下にその結果の概要を示す。

4.1. 火炎

圧力、漏洩口径の条件を変化させ、円形ピンホールからの噴出水素に着火した時に形成される火炎長を実験的に確認した。その結果、チョーク条件を超えた圧力 $>0.3\text{MPa}$ で、漏洩口径 $0.3\text{mm}\sim 10\text{mm}$ の条件で、火炎長 L_f は口径 d に比例し、圧力 P のほぼ0.5乗に比例することが確かめられた。結果を図2に示す。実験式を下に示す。

$$L_f/d = 411.2P^{0.455} \quad \dots (1)$$

ここで、 P : 圧力 [MPa]、 L_f : 火炎長、 d : 開口

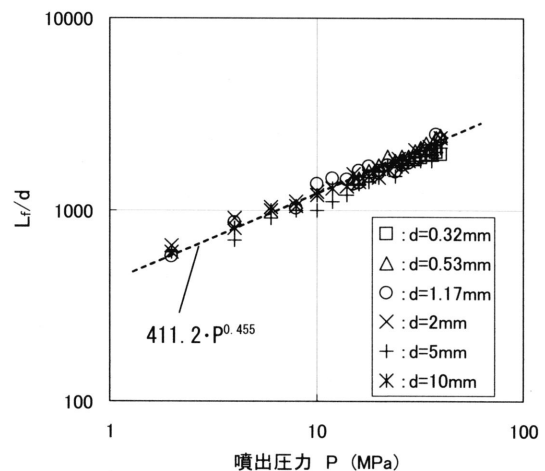


図2. 水素噴出圧力と無次元火炎長の関係

上記(1)の実験式を用いて得られる開口径と圧力毎の火炎長を表2.に示す。

表2. 開口径と圧力ごとの噴出火炎長

開口径 【mm】	圧力 【MPa】			
	10	20	40	80
10	11.7	16.1	22.0	30.2
2	2.3	3.2	4.4	6.0
1	1.2	1.6	2.2	3.0
0.2	0.2	0.3	0.4	0.6

単位：m

4.2. 爆発

圧力、漏洩口径の条件を変化させ、円形ピンホールからの噴出水素が着火・爆発した場合の爆風圧(最大加圧)を実験的に確認した。圧力を40~80MPa、漏洩口径を0.2~4mmで変化させた場合の実験結果を図3.に示す。

また、配管破断を想定した圧力40MPa、開口径10mmの条件における大規模漏洩実験では、着火点から10m以内で爆風圧は100kPa以上となる結果が得られている。

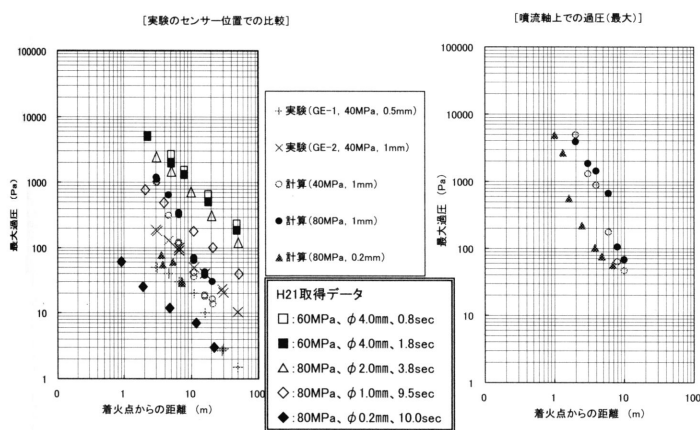


図3. 最大加圧と距離の関係

4.3. 影響度評価のまとめ

前項4.1、4.2に示した実験結果を用い、3.で示した開口パターンごとの事故の災害想定を行う。

(1) 極めて大きな開口【蓄圧器の破壊】

蓄圧器の破壊時の漏洩水素の着火・爆発影響については、実験的な確認は行っていない。しかし、次項(2)の「大

きな開口」よりも厳しい条件であり、(2)のケース以上の影響度となることが想定される。

(2) 大きな開口【配管、ホースの破断】

配管、充てんホースが破断した場合、破断開口部と蓄圧器が遮断されていないケースでは、開口部破断面から蓄圧器に貯蔵されている水素ガスが継続的に噴出する。開口径(配管内径)を10mmと想定すると、表2に示したように、内圧80MPaの場合噴出火炎長は30m、内圧40MPaの場合22mとなる。噴出方向にヒトが存在しその火炎を浴びた場合には死亡災害に到ると考えられる。これは最悪ケースであるが、配管内径6mm、配管の圧力損失などを考慮して噴出圧力を20MPaと現実的なケースを想定しても、火炎長は10mと依然として大きい。

また、爆発が発生した場合には、前述のように圧力40MPa、開口径10mmの場合は、爆風圧は100kPa以上となることが実験的に確認されている。80MPaにおいては、実験による確認は行っていないものの、これを上回る規模となると考えられる。表3.に爆風圧による建築物への影響を、表4.に爆風圧による人体への影響を示す[4]。表3.に照らして建築物への爆風圧影響を評価すると、当該水素スタンド周辺の民家等は破壊され、それに伴う死者・負傷者が出ることが予測される。また、表4に照らして人体そのものに対する爆風圧影響を評価すると、可能性は大きく無いものの肺出血による死者がでることが懸念される。

このように、配管破断時に蓄圧器貯蔵水素が連続的に放出された場合の影響は、噴出火炎と爆発のいずれのケースでも、その影響は極めて大きく水素スタンド敷地外に及ぶ。

表3. 爆風圧による建築物への影響

建物への影響	爆風圧 (kPa)
歪みのある窓ガラスが壊れる	0.2~0.7
一般的に窓ガラスが破損する圧力。	1.03
構造上の小被害が限定的に発生する。	2.7
家屋の一部が破壊され、居住に不相当となる。	6.9
鉄筋の入っていないコンクリートや軽量ブロックの壁が壊れる。	13.8~20.7
家屋がほぼ完全に崩壊する。	34.5~48.2
建造物の完全破壊もありうる。	68.9

表4. 爆風圧による人体への影響

圧死による死亡率 (%)	ピーク過圧 (kPa)
1	241~310
50	310~379
99	379~448

肺出血による死亡率 (%)	ピーク過圧 (kPa)
1	100
10	120
50	140
90	175
99	200

(3) 小さな開口【ねじ込み継手の緩み、シール材劣化等】

ねじ込み継手の緩み、シール材劣化損傷等の場合の評価として、 $\phi 1\text{mm}$ ピンホールに相当する開口を想定した場合、漏洩・着火時の影響度は以下のように評価される。

圧力80MPaの水素が $\phi 1\text{mm}$ ピンホールから漏洩し爆発に到った場合、爆風圧は6m地点で数百Pa程度である。設備や人体への影響は軽微であり、爆発という事象の影響度は小さい。(なお、これは開放空間での水素漏洩時の評価である。閉鎖空間に漏洩水素が滞留する恐れのある場合は、小規模漏洩であっても大きな影響を及ぼす可能性があるため注意が必要である)

一方、火災が形成された場合、表2に示したように、その火炎長は3.0mとなる。噴出方向にたまたまヒトが存在し火災を浴びた場合には死亡災害に到ると考えられる。

上記は $\phi 1\text{mm}$ ピンホールに相当する開口を想定した最悪ケースであるが、開口の経時的進展状況を考慮して、現実的な状況を整理すると以下ようになる。

継手の緩み、シール材劣化損傷等の「小さな開口」の場合、 $\phi 1\text{mm}$ ピンホールに相当する開口が瞬時に生じることが考えられない。漏洩初期における微小な開口部が劣化損傷の進展と共に徐々に拡大していくと想定することが妥当である。したがって、開口が $\phi 1\text{mm}$ ピンホールに相当するサイズに進展する前に着火する(あるいは、漏洩が検知され運転が停止される)と考えられ、着火時の影響はより限定的である。着火時の開口サイズを0.2mmとすると、火炎長は0.6mであり、たまたま噴出方向にヒトが存在しその火災を浴びた場合には火傷に

到ると考えられる。

以上のように、「小さな開口」が生じた場合、その影響は水素スタンド内に留まり、当該スタンド外のヒトや建築物への影響は無い。ただし、当該スタンド内の漏洩箇所近傍にヒトが存在する場合、噴出火炎により火傷を負うことが考えられる。最悪の場合、死亡災害に至る可能性を否定はできないものの、その可能性は極めて小さい。爆発時の爆風圧の影響は軽微である。

(4) 微小な開口

微小な漏洩であり、漏洩水素には着火しないか、着火したとしてもその影響は極めて小さい。なお、これが(3)の「小さな開口」に発展しないように早期の検知と対処が必要であることは言うまでもない。

5. 安全管理上のポイント

本稿4.で述べたように、水素漏洩時の影響は、開口部の大きさにより、その様相が大きく異なる。

「極めて大きな開口」や「大きな開口」のように、開口部が大きく高圧水素ガスが大量に噴出した場合、着火時の影響は甚大で当該水素スタンド外にまでその被害は及ぶ。一方で、大部分のトラブル・故障時の漏洩モードである「小さな開口」の場合、着火時の影響は限定的で当該水素スタンド外に影響を及ぼすことは無い。

以下では、このような水素漏洩・着火時の影響度を踏まえた上で、水素スタンドの安全管理上のポイントについて述べる。

5.1. 鋼製蓄圧器の不安定破壊に対する対策

鋼製蓄圧器には低合金鋼(クロムモリブデン鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼)が使用される。水素スタンドの使用環境(純水素環境)では、一般の圧力容器で想定されるような蓄圧器内面の腐食、劣化等は考えられない。しかし、水素スタンドの常温・高圧の水素環境下では、金属の機械的性質が変化する水素脆化と呼ばれる現象が知られている。

前述のように系内で最大の水素インベントリを持つ蓄圧器の健全性を確保することは、水素スタンドの安全管理上のキーポイントと言え、水素脆化の影響を考慮した適切な材料選択・設計・製作が必要である。特に、設計圧力に応じたSCM345鋼、SNCM439鋼(強度低減材)等の適切な材料選択が、蓄圧器の信頼性を確保する上で重要と考えられる。

水素脆性を考慮した鋼製蓄圧器の材料選択・設計・製作については、(株)日本製鋼所、住金機工(株)、高圧昭和ポンベ(株)により、多くの実験データが積み重ねられており、SNCM439鋼(強度低減材)を用いた設計圧90MPa蓄圧器の実証製作を行い、その安全性を確認している[5]。

5.2. 配管破断に対する対策

配管破断につながるような事故を防止するためには、配管についても蓄圧器と同様に、水素脆化を考慮した材料選択が重要である。配管材料としては、SUS316L鋼については、材料評価試験により耐水素劣化特性が良好であることが把握されている。なお、産業界のニーズに対応して、SUS316L以外の材料の評価検討が、高圧ガス保安協会、水素材料先端科学研究センター(Hydrogenius)及び石油エネルギー技術センターにより、NEDO委託事業として鋭意進められているところである。

その他配管破断の要因として、配管への異常な外力の作用が考えられる。具体的には、車両の配管への衝突、地震等である。これらについては、「車両衝突防止措置」、「地震による蓄圧器等の転倒時の破損防止措置」を講じることが必要であり、一般高圧ガス保安規則にもその旨規定されている。〔一般則7条の3第2項第9号、第2項第13号〕

上記のような対策を講じることにより、配管破断という事象が発生する可能性は非常に小さくなる。しかし、上述の配管破断時のカストロフィックな影響を考慮すると、蓄圧器出口配管への過流防止弁設置が必要と考えられる。〔一般則7条の3第2項第12号〕

過流防止弁とは、水素流量が通常想定される量より大きく増加した場合、自動的に流路を閉止する機能を持った弁である。バネ式過流防止弁の構造を図4に示す。通常時はバネによりポペットが保持され、流路が形成されている。配管破断等のトラブルにより流量が増加した場合は、圧力によりポペットが押し込まれ流路が閉止する。このように単純な機械的機構により作動する機器である。

水素スタンドの純粋水素環境では、他のプロセス装置で懸念される腐食、固着、異物噛み込み等の故障モードが考えられない。故障モードとして内部バネの折損が考えられるが、バネ折損は安全側の故障(流路閉止)であり、これが事故に発展することはない。したがって、過流防止弁の動作信頼性は極めて高いと評価でき、万一の

配管破断等のトラブル時には、確実に漏洩を遮断することが期待できる。

なお、過流防止弁については、80MPaの高圧水素ガスを用いた作動確認試験を実施しているが、配管破断後1ミリ秒以下で瞬時に動作し流路遮断することが実験的に確認されている。

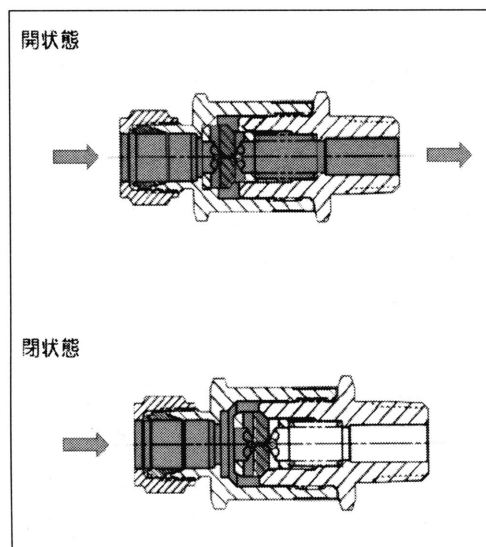


図4. 過流防止弁

5.3. 小さな開口に対する対策

(1) ディスペンサー、充電ノズルについて

ディスペンサーは各種計器(圧力計、流量計、温度計)、弁類(流量調節弁、遮断弁、手動弁)、安全弁、等とそれらを接続する配管及び継手類から構成されている。これらはディスペンサー筐体の中に收容されており、万一漏洩が発生した場合でも筐体内に設置する漏洩検知機により漏洩初期段階で検知することが可能である。〔一般則例示基準23〕

一方、充填ホースとそれに付随する緊急離脱カブラ、充電ノズルについては、筐体外に設置される。充電ホースと緊急離脱カブラ、充電ノズルは、ねじ込み継手で接続されるが、充電に伴う充電ノズルの操作により生じる力によるねじ部緩み発生が考えられる。また、充電の度に着脱を繰り返すノズル・レセプタクル接続部では、シール材の劣化による漏洩が考えられる。このように、機器信頼性確保の観点からは、充電ホース部は水素スタンドの一つの弱点であると言える。

したがって、漏洩の初期段階での確実な検知と遮断が

求められ、充てんホース部については「使用開始前の圧力保持試験」、ノズル・レセプタクル接続部については「ノズル・レセプタクル接続部の水素漏洩検知」が重要である。〔一般則例示基準49、一般則例示基準23〕

また、より本質的な対策として、漏洩を発生させにくい継手構造、シール材等に関する技術開発が望まれるところである。

(2) 水素圧縮機について

水素圧縮機では、振動による配管・ノズルの疲労損傷、ねじ込み継手の緩み、ダイヤフラムの損傷等によるトラブルが考えられる。動機器である水素圧縮機は、静機器である他設備（蓄圧器、ディスペンサー、配管等）に比して、故障頻度が高くなることは避けられない。水素圧縮機の信頼性向上は今後の水素スタンドの課題のひとつといえる。

水素圧縮機は騒音防止のためにケーシング内に収容されるが、ケーシング内に設置した水素漏洩検知器により初期段階での漏洩検知が可能である。〔一般則例示基準23〕一方、併せてケーシング内に漏洩水素を滞留させないことが重要であり、適切な換気装置の設置等が必要であると共に、換気装置が停止した状態での圧縮機運転は避けるべきである。〔一般則例示基準58〕

5.4. 充てん制御について

水素スタンドからFCVに水素を充てんする場合、FCV車載容器内における水素の温度が上昇する。過剰な温度上昇による車載容器（CFRP複合容器）の強度低下を防止するために、水素スタンドにおいて充てん流量、充てん水素温度、充てん圧力等の運転管理パラメータの適切な制御が求められる。

安全な水素充てんに必要なこれら運転管理パラメータの制御条件は充てんプロトコルと呼ばれ、米国SAE（Society of Automotive Engineers）において日本車メーカーを含む国際的な協力の下規格化されている。（SAE TIR J2601 MAR2010）

水素スタンドにおいては、充てんプロトコルに定められた充てん制御に対応した設備設計を行うのは当然であるが、それに加え、供用期間中の充てん制御機器の故障によるリスクに対応した信頼性設計が必要である。車載容器は十分な設計余裕を持っており、充てん制御条件からの逸脱が直ちに車載容器の損傷に繋がるものではないが、容器損傷は本稿3.で述べた「極めて大きな開口」に分類される事象であり、注意が必要である。

なお、制御システムの信頼性設計に関する技術基準としてIEC61508およびIEC61511（安全計装に関する機能安全基準）が知られており、設備設計に当たってはこれらを参考とすることも有益であろう。

6. 水素スタンドのトラブル事例

(1) 国内水素スタンドの不具合・トラブル実績

国内では2002年頃から実証試験を目的とした水素スタンドの建設が始まり、現在では十数か所の水素スタンドが稼働している。これまでに国内水素スタンドにおいて約50件の不具合・トラブル事例が発生しているが、水素の着火事例は無く、水素スタンド内外のヒトや設備に影響を与えるような事例は発生していない。

上記不具合・トラブルのうち、ディスペンサー（充てんホース含む）での発生件数が約50%、水素圧縮機での発生件数が約30%であり、両者で約80%と大部分を占めており、両設備の信頼性向上が水素スタンドの課題であることがこの点からも窺える。これら不具合・トラブル事例の収集・解析を通じ設備の信頼性向上をはかっていくことが重要であると考えられる。

(2) 米国ロチェスターの事故事例

2010年8月に米国ニューヨーク州ロチェスターのオフサイト型水素スタンドにおいて、高圧水素が漏洩、着火し、従業員他合わせて2名が負傷する事故が発生している。これは、これまでに世界の水素スタンドにおいて発生した事故の中で、最大規模の事故である。

YouTube等のウェブサイトでは、監視カメラが偶然捉えた爆発時の状況の動画を閲覧することが出来るが、ここでは高圧水素噴出により生じたと思われる雲（ダストの吹き上がりか？）が形成された後、数秒後に爆発が起こり、その後噴出火炎が形成されていることが確認できる。この状況から判断して、何らかの原因で、接続ホース（又は配管）に本稿3.で述べた「大きな開口」に相当する開口が生じ、水素トレーラの圧縮水素容器に貯蔵された高圧水素が連続的に放出されたことは間違いないと思われる。

当該事故の報告書は公開されておらず、その詳細は明らかになっていない。報道情報によると、水素トレーラと水素スタンド設備をつなぐ接続ホース接続部から漏洩が生じており、水素スタンド側マニフォールドへのホースアセンブリの接続は適正であったが、ホースアセ

ンブリー自体の製作不良（不良品）が原因で水素漏洩を生じさせた、と報じられている。事故後、スタンド運営事業者は、当該ホースと同時期に製造されたすべてのホースの撤去・交換を行ったとのことである。

詳細情報が無いため断定はできないが、本事故は本稿5.2に述べた過流防止弁の装備により防止できた事故ではないかと推測される。

7. 結 言

水素スタンドは、蓄圧器に貯蔵されている高圧水素が万一、大量に漏洩し着火した場合、水素スタンド内外に大きな影響を与えるポテンシャルを持つ設備である。これは水素スタンドに限らず他の危険物や高圧ガスを取り扱う設備すべてに言えることではあるが、新しく世に生まれた水素スタンドに関わる者は改めて認識しておくべきであろう。

しかし、そのことは水素スタンドが社会的に受け入れられないほど危険な設備であることを意味しない。重大事象を引き起こす要因は限定されており、適切な安全対策を講じることによりそのリスクを十分小さいものに低減することは可能である。

また、漏洩着火時の影響度は小さいとはいえ、小漏洩を防止することも重要であり、水素スタンド設備のより一層の信頼性向上が求められている。

参考文献

1. ISO/IEC Guide51 Safety Aspects – Guidelines for their inclusion in standards, Second edition, 1999
2. 武野計二; 高圧水素噴出火炎の特性と対策技術、日本燃焼学会誌52-160、2010、p121-129
3. (財)石油産業活性化センター 他; 水素社会構築共通基盤整備事業 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発 「水素インフラに関する安全技術研究」、NEDO成果報告書、2010
4. 産業安全工学ハンドブック、海文堂、1989、p618-623
5. 和田洋流; 水素ステーション用低合金製蓄圧器の水素環境脆化特性と安全性検証、ペトロテック32-7、2009、p459-464