

水素スタンドにおける充てんノズルの高圧ガス事故の注意事項

高圧ガス保安協会

1. 目的

圧縮水素スタンドは、「水素・燃料電池戦略ロードマップ(平成 26 年 6 月 23 日策定、平成 28 年 3 月 22 日改定)」で 2020 年度までに 160 カ所程度、2025 年度までに 320 カ所程度の設置を目標とされており、その目標を達成するための取組みが進められてきた。また、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」は、水素基本戦略(平成 29 年 12 月)、第 5 次エネルギー基本計画(平成 30 年 7 月)および Tokyo Statement(東京宣言)(平成 30 年 10 月)が策定、公表されたことを踏まえ、その内容の大幅な改訂が行われ、平成 31 年 3 月 31 日には新たな「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が策定され、その目標達成に向けた取組みが加速している。さらに、令和 3 年 6 月 18 日には「成長戦略実行計画」が策定され、燃料電池自動車、燃料電池バスおよび燃料電池トラックの普及を見据え、2030 年までに 1,000 基程度の圧縮水素スタンドについて、人流、物流を考慮しながら最適な配置となるように、事業所専用の充てん設備も含めた整備が推進される。

しかしながら、圧縮水素スタンドは、これまで経験したことのない常用圧力 82MPa の超高圧水素を用い、市街地での設置が進められており、これまで設置されてきた液化石油ガススタンド(常用圧力約 2MPa)および圧縮天然ガススタンド(常用圧力約 25MPa)と比べても圧力が著しく高く、ひとたび災害が発生した場合には、周囲に著しい災害を及ぼす恐れがある。また、水素は、分子が小さく、外部へ噴出・漏えい(以下「漏えい」という)しやすい特徴がある。さらに、水素は、空気中の爆発範囲(4vol%~75vol%)が広く、最小発火エネルギー(0.02mJ 程度)も低いので、他のガスと比較して漏えい後に爆発、火災が発生しやすいことが懸念される。

このために、過去数年間にわたり継続して、圧縮水素スタンドにおける高圧ガス事故の統計と解析の結果を示し、圧縮水素スタンドにおける高圧ガス事故の未然防止に向けて問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめた。本年度は圧縮水素スタンドで使用される充てん用のノズル(以下「充てんノズル」という)の事故に焦点を当て、圧縮水素スタンド(以下「水素スタンド」という)における高圧ガス事故の未然防止に向けて問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめる。

2. 事故の抽出

平成 14 年度から、水素燃料電池実証プロジェクトにより燃料電池自動車(以下「FCV」という)と水素スタンドの実証を開始したことを踏まえ、高圧ガス事故データベースを用いて、平成 14 年から令和 2 年までの 19 年間で発生した喪失、盗難を除いた高圧ガス事故(以下「事故」という)7,423 件のうち、水素スタンドにおける事故 164 件を抽出した。

本資料における水素スタンドの定義を次の①~④に示す。水素スタンドは、商用に限定せず、自家用、研究設備なども含む。

- ① 平成 17 年 3 月 24 日公布(平成 17 年 3 月 31 日施行)の省令で定義された「特定圧縮水素スタンド」
- ② 平成 24 年 11 月 26 日公布、同日施行の省令で定義された「圧縮水素スタンド」
- ③ 平成 28 年 2 月 26 日公布、同日施行の省令で定義された「移動式圧縮水素スタンド」
- ④ 「特定圧縮水素スタンド」または「圧縮水素スタンド」に類似する製造施設

3. 水素スタンドにおける事故の統計

平成 14 年から令和 2 年までの 19 年間の水素スタンドにおける事故件数と設置数を、表 1 に示す。

水素スタンドの設置数は、平成 14 年から平成 25 年までの黎明期を経て、平成 26 年の 50 施設から、平成 29 年の 153 施設までの 3 年間で約 3 倍に増加し、令和 2 年では 208 施設に達した。スタンド設置数の増加に伴い、事故件数も黎明期の突発的な事故を経て、平成 27 年の 12 件から、平成 30 年の 26 件までの 3 年間で約 2 倍に増加しており、スタンド設置数の増加と事故件数の増加は、相関がある。一方で、令和元年(平成 31 年)の事故件数は 18 件、令和 2 年の事故件数は 19 件であり、減少傾向を示している。令和元年以降の事故件数が平成 30 年の事故件数より減少した原因は、高圧ガス・石油コンビナート事故対応要領に規定される事故の定義が、平成 30 年 12 月 21 日に改正(平成 31 年 1 月 1 日から施行)され、漏えい②の部位が締結部の場合に、可燃性ガスの微量の漏えいが、事故の定義から除外されたことによると推察される。

表 1 平成 14 年から令和 2 年までの水素スタンドにおける事故件数と設置数

和暦	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31/ R1	R2
年間事故																			
発生件数	0	0	0	3	2	3	0	0	2	2	6	7	4	12	32	28	26	18	19
i) スタンド																			
設置数 (累計 ii)	5	7	11	11	16	19	19	19	23	28	28	33	50	107	134	153	171	187	208

i) 水素スタンドで 1 年間に発生した事故件数。

ii) 自家用、研究用、第 2 種製造、移動式製造設備も含む。この水素スタンド設置数は、第一種製造者にあつては完成検査を受けた件数、第二種製造者にあつては届出が出された件数を前の年の件数に加算し、廃止の届出を受けた件数を翌年の件数から減算した。

4. 充てんノズルなどの事故の解析

これまでの圧縮水素スタンドでは、スタンドの従業者が FCV に水素を充てんする作業を行ってきたが、現在、一部の水素スタンドでは事業者の適切な保安管理のもとで顧客が自ら FCV に水素を充てんする作業をできるようになっている。今後、こうした圧縮水素スタンドは増えることが見込まれる。

顧客が自ら充てん作業をする水素スタンドの技術上の基準では、充てんノズルと車両側のレセプタクルの適切な接続を顧客が容易に確認できる措置を講じることが求められている(一般高圧ガス保安規則第 7 条の 4 第 1 項第 7 号)。しかし、顧客はスタンドの従業者よりも適切な接続について知識と経験が少ないので、接続に起因する事故が増加する可能性があり、過去の事例を調査する必要がある。

そこで、本年度は水素スタンドの充てん作業に着目し、水素スタンドにおける事故 164 件のうち、事故概要を確認し、充てんノズル(突起部分)、FCV のレセプタクルおよびノズルとレセプタクルのはめ合い部(以下「充てんノズルなど」という)の事故 14 件を抽出し、解析を行った。図 1 に充てんノズルなどの概略を示す。

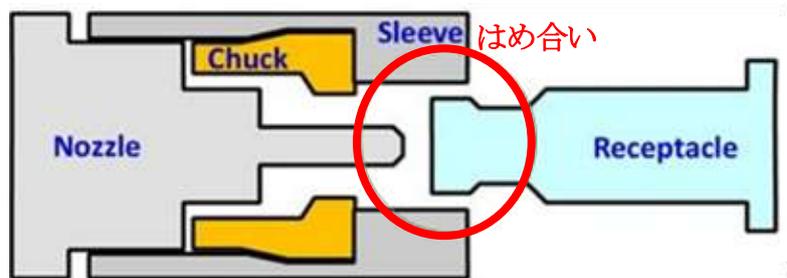


図1 充てんノズルなどの概略

充てんノズルなどの事故 14 件は全て漏えいであり、内訳は、充てんノズル 10 件、レセプタクル 2 件、はめ合い部 2 件であった。充てんノズルなどの事故は、事象の再現が困難で、かつ、原因解明に時間を要するため、高圧ガス事故等調査報告書では、漏えいの分類、事故原因が不明、調査中の分類がある。このため、事故内容について充てんノズルメーカ、FCV メーカにヒアリングを行い、必要に応じて、事故概要、事故分類、事故原因の見直しを行った。充てんノズル、レセプタクルおよびはめ合い部の事故の概要を表 1～表 3 に示す。

充てんノズルなどの事故(14 件)の漏えい事象の内訳は、漏えい②11 件が大半を占め、漏えい①が 3 件であった。漏えい②(11 件)の漏えい部位の内訳は、充てんノズル 7 件、レセプタクル 2 件、はめ合い部 2 件であった。

充てんノズルからの漏えい(7 件)の原因の内訳は、製作不良が 5 件、締結管理不良が 1 件、不明、調査中が 1 件であった。製作不良(5 件)は、いずれも分解整備中に発生しており、O リング、バックアップリングなど部品の組み込み方の誤りが 3 件、組み込み中のシール部の傷発生、見落としが 2 件であった。締結管理不良は、昇圧時のホースのねじれに起因するネジ接合部の緩みである。不明、調査中は、再現試験中にノズルを破損し、調査不可能となったためである。

レセプタクルの漏えい(2 件)の原因は、シール管理不良が 1 件、製作不良が 1 件であった。シール管理不良は、O リングの傷とよじれである。製作不良は、O リングの成型時の金型のズレによるバリ、組み込み時に発生した傷である。

はめ合い部(2 件)の原因は、組織運営不良が 1 件、情報伝達の不備が 1 件である。組織運営不良は、充てんノズルの規格が改正され、シール構造が変更となった情報が組織として共有されていなかったためである。情報伝達の不備は、充てんノズルをレセプタクルに接続した状態で回転させないことを取扱説明書に記載したが、ユーザへの周知と注意喚起が行われていなかったためである。

漏えい①(3 件)の漏えい部位は全て充てんノズルであり、原因は全て O リング、バックアップリングの水素損傷による設計不良である。なお、事故原因の設計不良は、樹脂材料に対する圧力と温度の組合せを考慮した水素の影響が解明されていないことが根本原因である。このため、機器製作メーカだけでなく、O リング、バックアップリングの製造メーカ、水素スタンドの事業者および設計者が共通で解決すべき課題である。

表 1 充てんノズルの高圧ガス事故の概要

No.	事故コード	事故概要	事故分類	事故原因
1	2016-462	移動式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への圧縮水素充てん開始時に、充てんホースに約 30MPa が印加された時点で、充てんノズルより噴出音が発生し、ノズルのガス検知警報装置が発報(8ppm)した。設備を緊急停止し、脱圧したところ、ノズルとホースのねじ接続部が緩んでおり、ねじ接続部から漏えいしたと思われる。ねじ接続部が緩む原因は、緩む方向へ継続的にねじりの力が加わっていたためと推定される。メーカーによれば、ゴムホースはその特性上、圧力を加えるとねじれが発生する可能性がある。	漏えい② (締結部:ねじ込み式継手)	締結管理不良
2	2018-512	移動式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への圧縮水素、充てん終了時に、充てんノズルの吸引式ガス検知器が発報した。充てんノズルメーカーの調査により、Oリングから漏えいしたことが判明した。低温高圧水素環境において Oリングのシール性が低下した結果と推定される。	漏えい① (その他:水素損傷、Oリング)	設計不良
3	2018-664	移動式圧縮水素スタンドにおいて、FCV へ充てん中、充てんノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、充てんが停止した。充てんノズルメーカーの調査により、Oリングから漏えいしたことが判明した。、低温高圧水素環境において Oリングのシール性が低下した結果と推定される。	漏えい① (その他:水素損傷、Oリング)	設計不良
4	2019-483	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV へ充てん中、充てんノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、設備が緊急停止した。事故後に、自動圧力保持試験(82MPa)を開始し、漏えい個所を探索したが、漏えいを検知できなかった。メンテナンス時に交換した部品の圧入方向に間違いがあり、漏えいしたことが判明した。	漏えい② (その他:充てんノズル)	製作不良
5	2019-484	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FC バスへ充てんを開始した。FC バスの充てんでは、燃料タンクと蓄圧器の差圧が大きくなるように、充てんと蓄圧器復圧を交互に行っている。4 回目の繰返し充てん中(充てん開始から 30 分経過)に、充てんノズルに設置されたガス検知器が発報(1,000ppm 超)した。ディスプレイメーカーで再現試験中にノズルを破損し、調査不可能となった。	漏えい② (その他:充てんノズル)	不明、調査中

No.	事故コード	事故概要	事故分類	事故原因
6	2019-644	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充電開始時に、充電ノズルに設置してある吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、設備が緊急停止した。全てのガス検知器が正常であったため、設備を復旧させ、充電を継続した。漏えい発生の 2 日後にも、同様に発報、充電自動停止、復旧、充電継続が行われた。翌日に本社が現地を訪問し、制御系パソコンの警報履歴から漏えいを確認し、県に報告した。メンテナンス時に交換した部品の圧入方向間違いがあり、漏えいしたことが判明した。	漏えい② (その他: 充電ノズル)	製作不良
7	2020-025	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充電中に、充電ノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、設備が緊急停止した。ディスペンサーの水素系統に 10MPa を単位として加圧しながら、携帯型ガス検知器で漏えい個所を探索したが、発見できなかった。充電ノズルメーカーの調査の結果、バックアップリングの搭載位置が悪く、シール性が低下した結果と推定される。	漏えい② (その他: 充電ノズル)	製作不良
8	2020-033	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充電終了時に、充電ノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、設備が緊急停止した。充電ノズルメーカーの調査の結果、耐圧部品のシール部に傷およびバックアップリングの変形が確認された。充電ノズルの分解整備時に、耐圧部品のシール部に傷を見落とし、使用中にバックアップリングが変形し、漏えいに至ったと推定される。	漏えい② (その他: 充電ノズル)	製作不良
9	2020-094	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充電中に、充電ノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(1,000ppm 超)し、設備が緊急停止した。充電ノズルメーカーの調査の結果、バックアップリングの変形が確認された。	漏えい① (その他: 水素損傷、バックアップリング)	設計不良
10	2020-488	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充電中に、充電ノズルに設置された吸引式ガス検知器が発報(500ppm 超)した。充電ノズルメーカーの調査の結果、耐圧部品のシール部に傷およびバックアップリングの摩耗が確認された。充電ノズルの分解整備時に O リングを外し、バルブシールに傷がついたと推定される。	漏えい② (その他: 充電ノズル)	製作不良

表 2 レセプタクルの高圧ガス事故の概要

No.	事故コード	事故概要	事故分類	事故原因
1	2007-574	<p>実証用水素スタンドにおいて、FCV への充てん中、充てんノズルと車両側レセプタクルのはめ合い部付近から LEL (4%) の 10% 以上の水素が漏えいしたため、充てん作業を中止した。設備の充てんノズルを確認したところ、車両側レセプタクルの Oリングに傷がつき、一部がよじれていたため、水素が漏えいしたと推定される。</p>	<p>漏えい② (その他:レセプタクル)</p>	<p>シール管理不良</p>
2	2020-178	<p>定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充てん中に、吸引式ガス検知器が発報した。その後、全ての FCV 充てん時に携帯型ガス検知器で水素漏えい検査を実施しながら、充てんを行っていたところ、携帯型ガス検知器で 5,000ppm の水素を検知し、充てんを手動停止した。漏えい検知は、同じメーカーの FCV において 4 回発生した。その後、公設消防立会いで実施した充てん試験でも、同様の現象が確認された。</p> <p>その後も営業を継続し、同メーカーの FCV への充てん中に、72MPa まで 5.14kg 充てんしたところで、充てんノズルに設置された吸引ガス検知器が発報 (1,000ppm 超) し、設備が非常停止した。充てん中の携帯型ガス検知器の表示は最大 2,000ppm 以下であり、手動停止する 5,000ppm までは上昇していなかったため、手動停止が遅れてしまった。FCV メーカーの調査の結果、車両側レセプタクルの Oリングのバリ、Oリング溝の傷が確認された。Oリングのバリは、成型時の金型のズレにより発生したことが判明した。Oリング溝の傷は、レセプタクルへの Oリングの組込み時に発生したことが判明した。また、レセプタクル以外に、車載容器のバルブ配管継手からの漏えいも確認された。車載容器のバルブ配管継手の漏えいは、バックアップリングの変形により発生したことが判明した。</p>	<p>漏えい② (その他:レセプタクル)</p>	<p>製作不良</p>

表3 はめ合い部の高圧ガス事故の概要

No.	事故コード	事故概要	事故分類	事故原因
1	2015-039	70MPa 水素充てん設備において、FCV への充てん中に、異音が生じたため、充てん停止ボタンを押し、充てんを停止した。5 秒後に充てんノズルに設置された吸引ガス検知器が発報(10,000ppm 超)した。2011 年に設備を導入後、2012 年に設備側の 70MPa 充てんノズルの規格(SAEJ2799)が改正され、シール構造が変更となったが、ノズルを改修していなかった。一方、車両側のレセプタクルは新規規格のノズルに適合した設計となっていた。規格改正によるシール構造の変更については一部の課員のみが知っていたが、作業者には十分周知されていなかった。	漏えい② (その他:はめ合い部)	組織運営不良
2	2017-527	定置式圧縮水素スタンドにおいて、FCV への充てん中に、充てんノズル付近の吸引式ガス検知器が発報し、設備が緊急停止した。分解調査の結果、車両側レセプタクルのバルブコーンに周方向および縦方向の傷があることが判明した。充てんノズルをレセプタクルに接続した状態で、過大な力でノズルを回転させると、バルブコーンに傷がつき、シール性能が低下する。充てんノズルをレセプタクルに接続した状態で回転させないことを取扱い説明書に記載したが、ユーザへの周知と注意喚起が行われていなかった。	漏えい② (その他:はめ合い部)	情報伝達の不備

5. ヒアリング調査

充てんノズルのメーカーおよびユーザの計 3 社に、充てんノズルの事故、トラブルなどに関してヒアリング調査を行った。調査結果を、以下に示す。

- ① 充てんノズル使用后、数週間、数十回で漏えいが発生した事例、1 年以上経過後に漏えいが発生した事例があった。
- ② 事故時に、充てんノズル付近から「シュー」というガス漏えい音を聞いた、充てんノズルはめ合い部付近から水素の吹出しを感知した事例があった。
- ③ 水素の漏えいにより警報(1,000ppm 超)が鳴っても、漏えい箇所の確認、漏えいの報告が行われず営業が継続された事例があった。一方、県に漏えい報告後、漏えい箇所を特定するため、携帯型ガス検知器を併用しながら営業が継続した事例もあった。また、事故後に本社が現地を訪問し、制御系パソコンの警報履歴から漏えいを確認し、県に報告した事例もあった。
- ④ 事故後に、事業所において充てんノズルのメンテナンスの頻度を 3 年毎から 2 年毎に変更した事例があった。しかし、充てんノズルメーカーが推奨するメンテナンス頻度(例えば、1 年または充てん回数 1,500 回)の方が多く、事業所で実施するメンテナンス頻度と乖離している。
- ⑤ 事故後に、漏えい場所を特定するため、ディスペンサーの水素系統に圧張り、FCV、FC バ

スに対する試験充てんを行いながら携帯型ガス検知器にて漏えい箇所を探查したが、特定できなかった事例があった。その後、発報した吸引式ガス検知器吸い込み口に一番近い機器である充てんノズルを取外し、メーカー工場にて気密試験、耐圧試験を実施した。常温の気密試験、耐圧試験では、漏えいは再現できなかったが、エタノールを張った恒温槽に当該ノズルを漬けこみ、 -40°C で気密試験を行い漏えいが再現できた(-39°C までは漏えい確認できなかった)。

6. 注意事項

水素スタンドにおける充てんノズルの高圧ガス事故について、注意事項を次に示す。

- ① 国内の水素スタンドの設置数は200を超えているが、主要な機器の圧縮機、蓄圧器、ディスプレイペンサー、充てんホース、充てんノズル、遮断弁は、すべてが1社または2社の製品が使用されている。1つの水素スタンドで、機器故障に起因する事故が発生した場合には、他の水素スタンドにおいても同様の事故が発生する可能性が高い。水素スタンドの関係者間で迅速な事故の情報共有が重要である。
- ② 水素の漏えいは、締結部、開閉部または可動シール部から漏えいの程度が微量(石けん水等を塗布した場合、気泡が発生する程度)であって、かつ、人的被害のない場合には、事故から除外されている。しかし、充てんノズルにおいてOリング、バックアップリングの水素損傷により水素が漏えいした場合は、漏えいの程度が微量であっても事故から除外されない。充てんノズル近傍からの漏えいは、事故の特定に時間を要するため、漏えい後に遅滞なく自治体へ連絡し、関係者で共有することが必要である。
- ③ 水素スタンドの充てんノズルは、作業者が直接手で操作する。スタンドの従業員の他にも、FCVの運転者、同乗者などの顧客自らが作業者となり充てんノズルを、操作することが想定されている。水素は漏えい後に滞留すれば、人身被害を伴う爆発、火災、破裂に至るため、水素スタンドで漏えいを検知した場合には、営業を中止することが重要である。