

水素スタンドにおける事故の注意事項について

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)及びTokyo Statement(東京宣言)(平成30年10月)が策定、発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。

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の超高压水素を用い、市街地に設置されることが想定されており、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、外部へ漏えい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。平成30年度にとりまとめられた注意事項¹⁾には、平成27年から平成29年までの3年間の圧縮水素スタンドの事故を設備区分で分類すると、ディスペンサーが最も多く、次いで充填ホースが多いとある。また、「蓄圧器、圧縮機等の他の水素スタンドの機器と比較して、ディスペンサーおよびホース回りには従業員、運転者等の人が近づく設備であるため、漏えい等の事故発生を未然に防ぐことが重要である。」との記載がある。そこで、本年度はディスペンサー及び充填ホースに係る事故に焦点を当て、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る。対象とするディスペンサー及び充填ホースを図1に示し、調査の範囲を、図2に示す。

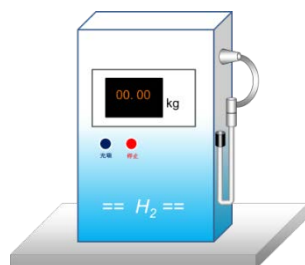


図1 本調査の対象とするディスペンサー

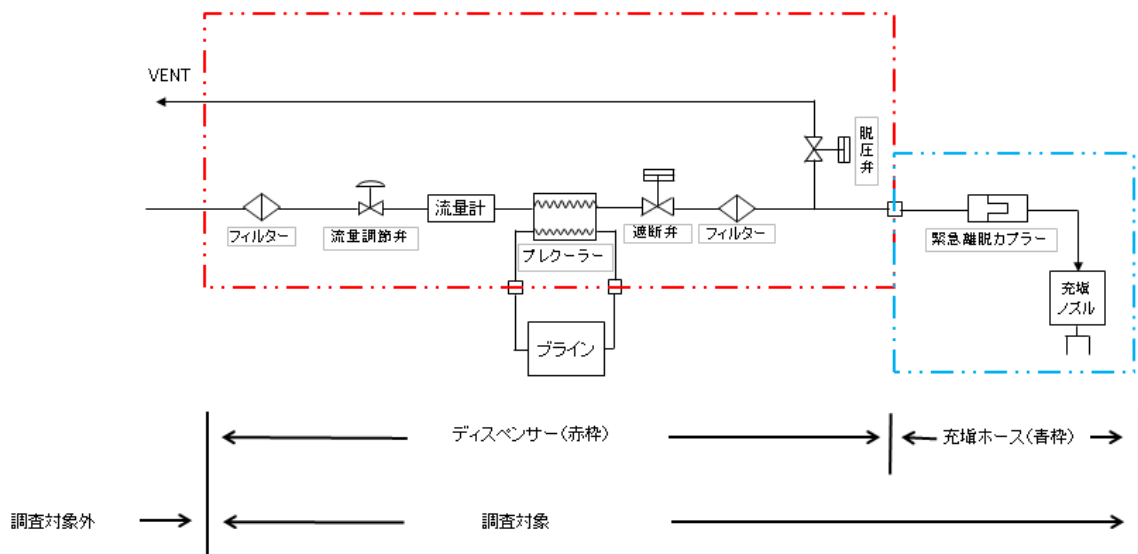


図2 本調査の対象とするディスペンサー及び充填ホースの範囲
(構成機器の詳細は、メーカーやユーザにより仕様が異なる)

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(JHFC)が燃料電池自動車(以下「FCV」という。)と水素ステーション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²⁾を用いて、平成14年から平成30年までの17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。)6,168件のうち、水素スタンドに係る事故115件を抽出した。

ここでいう水素スタンドとは、次のいずれかに該当するものをいい、商用に限定せず、自家用や研究設備等も含む。

- 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」
- 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」
- 「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と解析

水素スタンドにおける事故の統計を、表1に示す(115件)。表1の縦軸の分野は、高圧ガス事故データベースの事故区分の分類である。製造事業所はさらに、一般高圧ガス保安規則適用(以下「一般則」という。)、コンビナート等保安規則適用(以下「コンビ則」という。)に細分化している。

表1には比較のため、水素スタンドの設置数(その年までの増減累積数)及びFCVの登録台数の推移も示す。水素スタンド設置数は、第一種製造者にあつては許可を受けた年の件数、第二種製造者にあつては届出を受けた年の件数を前の年の件数に加算し、廃止の届出を受けた

年の件数を翌年の件数から減算した。なお、FCV の登録台数は、一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT) の統計による。

表 1 から、水素スタンドの設置数の増加と事故件数の増加は、相関性があるといえる。特に、水素スタンドの設置数が 100 (3 桁) に到達した平成 27 年以降は、事故件数も多くなり、毎年 2 桁の事故が発生している。ただし、平成 30 年は、前 2 年 (平成 28 年、平成 29 年) と比して、やや減少した。

また表 1 から、FCV の登録台数も、水素スタンドの設置数と同様に、事故件数の増加と相関性があるといえる。

次に、水素スタンドにおける事故の設備区分別の統計を、表 2 に示す。表 2 の縦軸の設備区分は、本調査で焦点を当てるディスペンサー、充填ホースの 2 つを明確にし、それ以外の設備で発生した事故は、その他にまとめた。

表 2 から、ディスペンサーの事故件数と充填ホースの事故件数のいずれも、全体の事故件数の傾向と同様に、平成 27 年以降に多く発生していることが分かる。ただし、平成 26 年以前を比較すると、ディスペンサーは平成 23 年に東日本大震災で 1 件発生したのみで、ほとんど事故が発生していなかったのに対し、充填ホースは平成 17 年に 2 件発生してから、しばしば事故が発生していたという違いがある。ディスペンサーの事故については 4. で、充填ホースの事故については 5. で、それぞれ詳細に解析を行う。

表 1 水素スタンドにおける事故の統計
(平成 14 年から平成 30 年までの 17 年間)

分野	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
製造事業所 (一般則)				2	1	3			1	1	6	5	4	12	30	27	20	112
製造事業所 (コンビ則)					1				1			1						3
合計(件)	0	0	0	2	2	3	0	0	2	1	6	6	4	12	31	28	21	115
水素スタンドの設置数 (一般則)	5	7	11	11	16	19	19	19	23	28	28	33	50	107	133	151	169	
水素スタンドの設置数 (コンビ則)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
FCVの登録台数															418	1,472	2,321	2,926

表 2 水素スタンドにおける事故の設備区分別の統計
(平成 14 年から平成 30 年までの 17 年間)

設備区分	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
ディスペンサー										1				4	14	8	1	28
充填ホース				2		1			1		1	1	1	2	5	9	4	27
その他					2	2			1		5	5	3	6	11	10	15	60
合計	0	0	0	2	2	3	0	0	2	1	6	6	4	12	30	27	20	115

(設備区分は図 2 による)

4. ディスペンサーにおける事故の解析

4.1 ディスペンサーの常用の圧力

表 2 から、水素スタンドにおける事故のうち、設備区分がディスペンサーの事故が 28 件抽出された。さらに、ディスペンサーを常用の圧力により分類したものを表 3 に示す。表 3 から、常用の圧力が 40MPa 以下であるものが 1 件、82MPa 以下が 26 件、82MPa 超が 1 件であることが分かる。ここから、附属冷凍設備(以下「プレクーラー」という。)が備え付けられている水素スタンドでの事故が多数であるということが分かる。

表 3 事故の常用の圧力による分類

常用の圧力	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
40MPa以下										1								1
82MPa以下														4	14	7	1	26
82MPa超																1		1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	14	8	1	28

4.2 ディスペンサーに附属する機器の分類

表 2 において抽出されたディスペンサーの事故を解析したところ漏えい事故以外の事故が無かったことから、ディスペンサーからの漏えいに特化したものを図 3 及び表 4 に示す。漏えい箇所をディスペンサーのプレクーラー入り口配管までを上流としプレクーラー以降を下流として分け、上流側に①フィルター、②流量調節弁、③流量計、④その他、下流側に⑤プレクーラー、⑥遮断弁、⑦フィルター、⑧脱圧弁、⑨その他に分類した。なお、漏えい箇所は、高圧ガス事故データベースをそのまま転記したのではなく、内容を精査して、必要に応じて見直しを行った。また、プレクーラーがディスペンサーに設置されていないものについては、図 3 において⑤がないものとして扱い遮断弁入り口配管までを上流側とし遮断弁以降を下流側に分けて検討した。

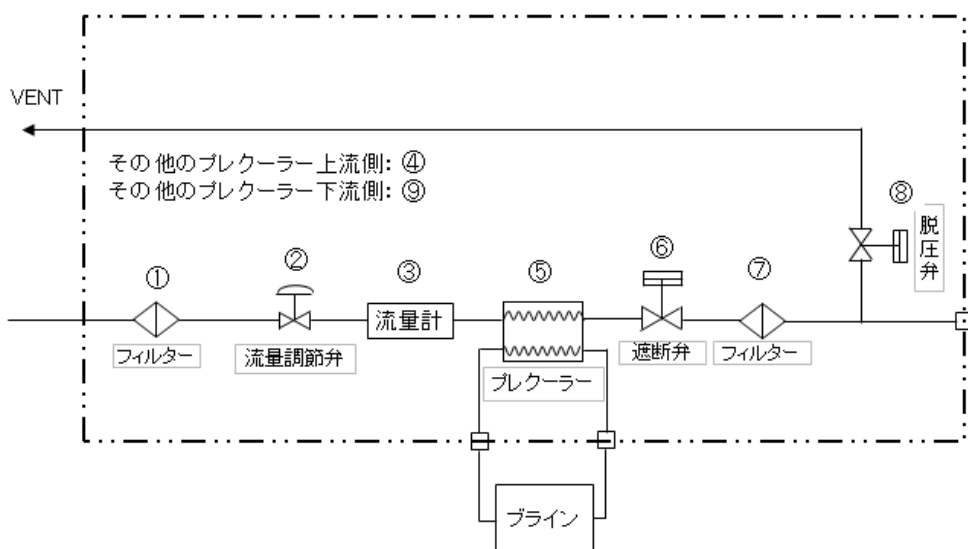


図 3 ディスペンサー部位別分類

表 4 ディスペンサー事故部位別分類

漏えい箇所	No.	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
プレクーラー上流側																
フィルター	①															0
流量調節弁	②													1		1
流量計	③															0
その他	④							1				1	0			2
プレクーラー上流側小計								1				1	0	1		3
プレクーラー下流側																0
プレクーラー	⑤															0
遮断弁	⑥											2	12	4	1	19
フィルター	⑦											1	3			4
脱圧弁	⑧											0	1	1		2
その他	⑨											1	1	2		4
プレクーラー下流側小計												4	17	7	1	29
合計(件)		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	17	8	1	32※ ¹⁾

※¹⁾ 1件の事故報告で複数箇所から漏えいがあるため事故件数より多くなっている。

設備区分がディスペンサーの事故における解析の結果を次に示す。

(1) プレクーラーの上流と下流による解析

表 4 から、プレクーラー上流における事故が 3 件、プレクーラー下流における事故が 29 件(計 32 件※)とプレクーラー下流で発生する事故が大部分を占めていることが分かる。これは、プレクーラー下流側が低温高圧水素環境下(-40℃、82MPa)にあることが原因であることが考えられる。

(2) 漏えいの部位による解析(遮断弁)

表 4 から、プレクーラー下流側の機器の中でも漏えいが多い箇所である遮断弁について注視すると、遮断弁の漏えい件数 19 件のうち平成 28 年が 12 件と最も多くそれ以降は平成 29 年が 4 件、平成 30 年は 1 件と減少したことが分かる。減少の要因としては、次の 2 つが考えられる。①メンテナンスプラグ部分に関し、メンテナンスプラグそのものがない遮断弁に仕様を変更(図 4)したことによるもの。②グランドパッキン部分に関し、グランドパッキンを抑えるネジの締結力を管理したことによるもの。これらの対策を講じたことで漏えい防止が図られたと考えられる。

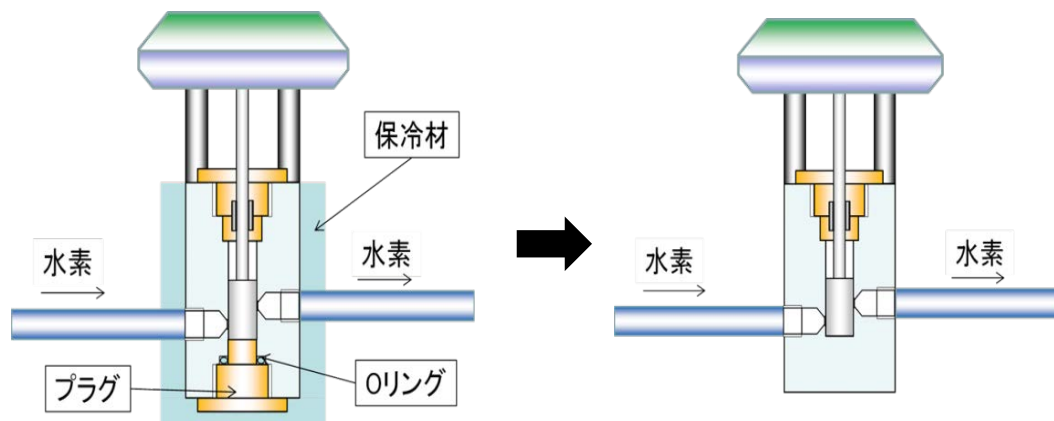


図 4 変更前の遮断弁と変更後の遮断弁

(3) 漏えいの部位による解析(締結部)

漏えいの部位による解析を進めると表5のように示された。開閉部(21件)の次に多い部位が締結部の9件であった。表5から、コーン&スレッド式継手からの漏えいが5件あることが分かる。この5件を精査すると、プレカール無しで発生したものが1件で他の4件にあってはプレカール有りであった。さらに解析を進めるとプレカールの下流側で発生したものが3件であった。これらの原因は、常温と-40℃での繰り返し温度変化に伴い、締め付けトルクが低下したことによるものであると考えられる。

表5 漏えい部位の詳細

漏えいの部位	H23	H27	H28	H29	H30	合計(件)
開閉部		2	13	5	1	21
遮断弁□(Oリング)		1	11	2	1	15
遮断弁□(グラント)		1	1	2		4
流量調節弁(グラント)				1		1
自動放散自動遮断弁グラント			1			1
締結部	1	3	4	1		9
(コーン&スレッド式)	1	2	1	1		5
(ねじ込み式継手) ※ ²⁾		1	3			4
その他				2		2
その他(母材・不明)				2		2
合計(件)	1	5	17	8	1	32

※²⁾ 機器本体へのねじ込み部分を指している

(4) 設備設置後経過年数

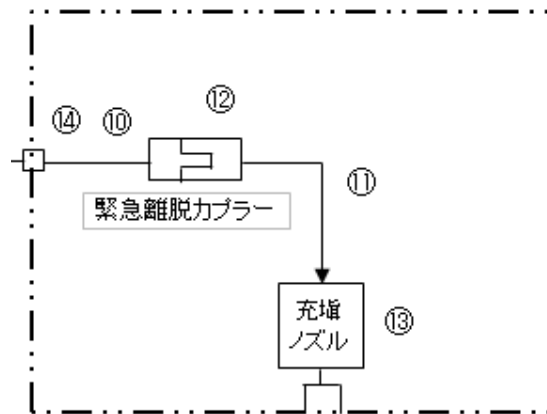
設備設置後の経過年数について解析を進めると表6のように示された。表6から、1年未満が18件、1年以上3年未満が13件、3年以上5年未満が1件であることが分かる。設備の設置初期に事故が多く年数を経ると事故が減少するということは、運転開始から時間が経つことで消耗品の交換期間やトルク等の点検が適切に管理されるようになったからであると考えられる。

表6 設備設置後経過年数

経過年数	H23	H27	H28	H29	H30	合計(件)
1年未満	1	3	12	2		18
1年以上3年未満		2	5	6		13
3年以上5年未満					1	1
合計(件)	1	5	17	8	1	32

5. 充填ホースにおける事故の解析

表 2 において抽出された充填ホースの事故(27 件)を解析したところ漏えい以外の事故が無かったことから、充填ホースからの漏えいに特化したものを図 5 及び表 7 に示す。漏えい箇所を⑩緊急離脱カプラー上流ホース、⑪緊急離脱カプラー下流ホース、⑫緊急離脱カプラー、⑬充填ノズル、⑭ホース継手に分類した。なお、漏えいの箇所は、高圧ガス事故データベースをそのまま転記したのではなく、内容を精査して、必要に応じて見直しを行った。



充填ホース

図 5 ホース部位別分類

表 7 ホース事故部位別分類

漏えい箇所	No.	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
緊急離脱カプラー上流ホース	⑩						1			1	1			1		4
緊急離脱カプラー下流ホース	⑪	1												5		6
緊急離脱カプラー	⑫			1								1	2		2	6
充填ノズル	⑬	1										1	3	2	2	9
ホース継手	⑭								1					1	0	2
合計(件)		2	0	1	0	0	1	0	1	1	1	2	5	9	4	27

設備区分が充填ホースの事故について、解析の結果を次に示す。

(1) 漏えいの部位による解析(ホース:図 5 の⑩、⑪)

表 7 からホースからの漏えいは離脱カプラーの上流と下流合わせて 10 件と多くを占めていることが分かる。さらに、常用の圧力と材質により分類したものを表 8 に示す。表 8 から 40MPa が 1 件、70MPa が 3 件、82MPa が 6 件ということが分かる。ここから、プレクーラーが備え付けられている水素スタンドでの事故が多数を占めていることが分かる。

また、ホースの材質については 40MPa における金属製ホースが 1 件、70MPa における樹脂製ホースが 3 件、82MPa 以下における樹脂製ホースが 6 件であった。ここから、樹脂製のホースからの漏れによる事故が多くを占めていることが分かる。なお、ここでいう樹脂製ホースの構造を図 6 に示す。

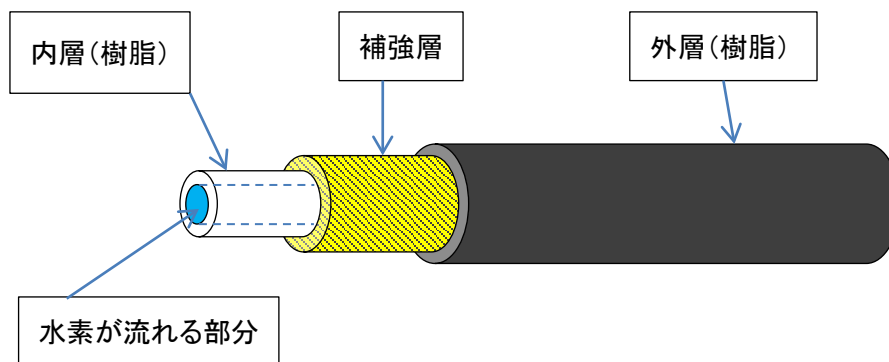


図6 樹脂製ホースの一般的な構造図

表8 常用の圧力による分類

ホース材質及び常用の圧力	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	合計(件)
40MPa以下				1														1
金属製				1														1
82MPa以下									1			1	1			6		9
樹脂製									1			1	1			6		9
82MPa超																		0
樹脂製																		0
合計(件)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	6	0	10

(2) 漏えいの部位による解析(緊急離脱カプラー)

表7から、緊急離脱カプラーからの漏えいは6件発生していることが分かる。平成19年に1件発生して以降平成26年までは0件であったが平成29年を除き平成27年から平成30年まで毎年発生している。これらの事故内容を精査するとOリングの破損や劣化等が5件と多くを占めていることが分かった。これはOリングが水素環境下において損傷を受けていることが考えられる。

(3) 漏えいの部位による解析(充填ノズル)

表7から、充填カプラーからの漏えいは9件発生していることが分かる。平成17年に1件発生して以降平成26年までは0件であったが平成27年から平成30年まで毎年発生している。これらの事故内容を精査すると充填ノズルと車両に接続させた際に生じるストレスやねじれ、またノズルを回転させてしまったことによる傷つき等が5件と充填ノズルの取扱いに問題があることが分かった。

(4) ホース継手部分による解析

表7から、ディスペンサーとホース締結継手からの漏えいは2件発生していることが分かる。これらの事故内容を精査すると1件はOリングの劣化であり、もう1件はホース組み付け時に接続不良であることが分かった。

6. 注意事項

ディスペンサーの事故と充填ホースの事故について、それぞれの注意事項を次に示す。

(1) ディスペンサーの事故

- 遮断弁に起因する事故において、グランドパッキンにあつては、現在ネジの締結力を管理することで漏えい防止を図っている。水素スタンドでは多くの部材が使用されており、その一つ一つをトルク管理することは非常に手間がかかる。したがって低温高圧水素に適した材料でグランドパッキンを製作することが望まれる。
- コーン&スレッド式継手に起因する事故は、今のところ締め付けトルクの管理を徹底することで漏えい防止を図っている。しかし、締め付け作業の際、両端がねじ込み式継手の場合にあつては、一方を締め付けると、逆側の継手の接触面が離れ、漏えいが発生することがあるなど適切な締結管理が求められる。このことから、次の2つが求められる。①コーン&スレッド式継手より管理しやすい継手の開発。②継手に代えて溶接による施工方法を確立し溶接に代えられる部分を増やすことを検討すべきである。

(2) 充填ホースの事故

- 樹脂製ホース本体からの漏えいによる事故は、使用する内層樹脂が(長期間)低温下にさらされていることによる影響を受けている可能性も考えられる。樹脂性ホースメーカーは水素スタンドに適した樹脂を開発中とのことであるが、引き続き材料に起因する事故が発生するのであれば水素スタンドで使用される水素の条件(温度等)の変更も検討すべきである。
- 金属製ホースに起因する事故は、取扱い時に許容曲げ半径以下で使用したことが原因であったことから適切な使用方法であれば損傷を受けない。ただし、現在の金属製ホースでは JPEC-S 0003 (2016) を満足しないことからメーカーにより充填プロトコルに対応した金属製ホースの開発が望まれる。一方で、事故を減少させ安全性を向上させるには業界において充填プロトコルを改正し現在の金属製ホースを使用可能とすることも検討すべきである。
- Oリングに起因する事故についても樹脂製のホース事故と同様に低温高圧水素による損傷を受けていると考えられるがOリングのシール技術は開発途上にあり、今後も漏えい事故が継続して発生すると考えられる。したがって、低温高圧水素に適した材料でのOリングを製作することが早急に望まれる。
- ノズルの取扱いに起因する事故については、従業員の取扱いに注意すれば防げる事故である。したがって、従業員に対する十分な教育が重要である。

参考文献

- 1) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業) 水素スタンドにおける事故の注意事項について(2019/03/12), https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2018/2018_03_suiso.pdf
- 2) 平成30年度高圧ガス事故事例データベース