

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28年3月22日改定)」にて2016年度内に100カ所、2020年度内に160カ所、2025年度内に320カ所の設置を目標としている。

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の超高压水素が市街地に設定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)及び圧縮天然ガススタンド(常用圧力約25MPa)と比べてもその圧力が著しく高く、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。

このため、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。

2. 事故の抽出

2.1 事故の抽出方法

高圧ガス事故データベースを用いて、平成23年から平成27年までの5年間で発生した高圧ガス事故(以下、「事故」という。)(2120件)のうち、圧縮水素スタンド(以下、「水素スタンド」という。)に係る事故を検索、抽出した。水素スタンドの事故の統計を表1に示す。表1には比較のために、水素スタンドの設置数(その年までの増減累積数)の推移も示す(水素スタンドは一般公開されていない研究用設備も含む。)

平成23年から平成26年の4年間では大きな変動はなかったが、平成27年に11件と事故件数が著しく増加している。5年間の合計を対象として、統計と解析の結果を示す。

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」という)、コンビナート等保安規則適用(以下、「コンビ」という)に細分化している。

平成23年から平成26年の4カ年の事故件数の合計が17件(年間平均事故件数4.3件)であったが、平成27年の事故件数が11件と過去4年間の平均件数から約2.6倍の増加となっている。

表1 5年間の水素スタンドの高圧ガス事故の統計(平成23年～平成27年)

分野	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	合計
製造事業所(一般)	1	6	5	4	11	27
製造事業所(コンビ)	0	0	1	0	0	1
合計	1	6	6	4	11	28
水素スタンド設置数 (累積数)	21	20	20	22	50	
水素スタンド1件当たりの事故件数	0.05	0.3	0.3	0.18	0.22	

2.2 事象の内訳

水素スタンドの事故の内訳を、事象と分野で分類して表2に示す。

水素スタンドの事故(28件)のうち、漏えい事象が事故件数の100%を占める。

漏えい事象の内訳は、漏えい②(78%)が大半を占め、漏えい①(11%)と漏えい③(11%)が同数でこれに続く。なお、これらのうち、1次事象が漏えいで、2次事象が火災となったものが1件発生している。

表2 事象と分野で分類した水素スタンドの事故の統計(平成23年～平成27年)

分野	件数	漏えい			火災	破裂・破損	漏えい→爆発	漏えい→火災
		漏えい①	漏えい②	漏えい③				
製造事業所(一般)	27	27	3	22	2	0	0	1
製造事業所(コンビ)	1	1	0	0	1	0	0	0
合計	28	28	3	22	3	0	0	1

2.3 設備区分の内訳

水素スタンドの事故の内訳を、設備区分で分類して表3に示す。

発生した水素スタンドの事故(28件)のうち、ディスペンサー(36%)が最も多く、圧縮機(29%)、蓄圧器(21%)がこれに続く。

表3 設備区分で分類した水素スタンドの高圧ガス事故の統計(平成23年～平成27年)

設備区分	件数	(%)
ディスペンサー(ホース、緊急離脱カプラ、遮断弁、充填ノズルを含む。)	10	36
圧縮機(クーラ、吸入・吐き出し部に係る継手等を含む。)	8	29
蓄圧器(蓄圧器付近の継手等を含む。)	6	21
その他継手	4	14

2.4 漏えいの部位の内訳

水素スタンドの事故は、1次事象がすべて漏えいである。漏えいの内訳を、漏えいの部位で分類して表4に示す。

発生した水素スタンドの事故(28件)のうちで、締結部(64%)が最も多く、可動シール部(11%)、開閉部(7%)、母材(ホース)(7%)がこれに続く。

表4 漏えいの部位で分類した水素スタンドの事故の統計(平成23年～平成27年)

漏えいの部位	件数	(%)
締結部	18	64
可動シール部	3	11
開閉部	2	7
母材(ホース)	2	7
母材(蓄圧器)	1	4
その他	2	7

2.5 燃料電池車保有台数と水素スタンドの事故件数

平成23年から平成27年の5年間について、燃料電池車保有台数の推移を表5に、水素スタンドの事故件数の推移を表6に示す。

燃料電池車については、平成26年12月15日にトヨタ自動車から燃料電池車ミライが世界で初めて一般販売された。表5より平成26年度から、燃料電池車の全国の保有台数が急激に増えていることがわかる。

平成25年度末(平成26年3月31日)現在の燃料電池車の保有台数が47台であったのに対して、平成27年度末(平成28年3月31日)現在では633台と約13.5倍の台数に増加している。事故件数については、表6より平成25年が6件に対して平成27年が11件と、約1.8倍の件数の増加に止まっている。

表5 5年間の燃料電池車保有台数の統計

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
※燃料電池自動車保有台数(累積数)	48	45	47	155	633

出典:九州運輸局ホームページ

表6 5年間の水素スタンドの事故の統計

分野	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	合計
製造事業所(一般)	1	6	5	4	11	27
製造事業所(コンビ)	0	0	1	0	0	1
合計	1	6	6	4	11	28

2.6 スタンド使用開始日と事故発生日の関係

平成23年から平成27年までの5年間に発生した水素スタンドの事故28件について、そのスタンドの使用開始日と事故発生日の関係を調べた。使用開始日については、第一種製造者の場合は都道府県知事等の完成検査を受検するので、その検査実施日を使用開始日とみなし、第二種製造者の場合は完成検査が実施されないため、製造事業届出の届出日の20日後を使用開始の起点日とみなした。表7に一覧を示す。

なお、第二種製造者の製造開始の起点を届出日の20日後とした理由は、高圧ガス保安法第5条第2項第1号の規定により、製造をする20日前までに製造事業届書の提出が必要なためである。

また、表7の一覧に基づき、平成23年から平成27年の水素スタンドの事故の使用開始日から事故発生日までの経過期間ごとに、事故件数及び件数の割合を表8-1にまとめた。

平成27年については、事故件数が11件と平成23年から平成26年までの一年ごとの事故件数に比べて著しく増加している。そこで、平成27年の11件の水素スタンドの事故について、使用開始日から事故発生日までの経過期間ごとに事故件数及び件数の割合を、同様に表8-2にまとめた。

平成23年から平成27年に発生した水素スタンドの事故(28件)のうち、経過期間が10年超(29%)が最も多く、30日以下及び1年超3年以下(それぞれ18%)、30日超90日以下(14%)、

3年超5年以下(11%)がこれに続く。

また、経過期間が365日(1年)以下で累積件数の割合が35%、同3年以下で累積件数が53%と、使用開始日から事故発生日までの期間が3年以下で半数以上の事故が発生している。

同様に、平成27年に発生した水素スタンドの事故(11件)のうち、経過期間が30日以下(37%)が最も多く、30日超90日以下及び3年超5年以下(それぞれ18%)がこれに続く。

また、経過期間が365日(1年)以下で累積件数の割合が64%、同3年以下で累積件数が73%と、使用開始日から事故発生日までの期間が3年以下で4分の3近くの事故が発生している。

表7 水素スタンドの使用開始日、事故発生日などの一覧(平成23年～平成27年)

番号	発生 都道府県名	(a) 事故発生日	(b) 使用開始日	(b)から(a)まで の経過日数	漏えい部位の	
					常用圧力 (MPa)	常用温度 (°C)
1	東京都	H23.3.12	H22.12.14	88	40	不明
2	東京都	H24.4.9	H22.12.14	482	19.6	40
3	大阪府	H24.7.10	H19.3.15	1,944	39.5	30
4	大阪府	H24.7.18	H13.7.27	4,009	40	40
5	東京都	H24.10.17	H22.12.14	673	40	不明
6	東京都	H24.10.30	H22.3.25	950	40	136
7	東京都	H24.11.5	H15.4.18	3,489	70	不明
8	神奈川県	H25.2.6	H15.2.7	3,652	40	40
9	東京都	H25.3.9	H22.3.25	1,080	0.6	-253
10	神奈川県	H25.5.22	H25.3.12	71	82	40
11	東京都	H25.7.31	H15.4.18	3,757	17	不明
12	愛知県	H25.12.3	H14.8.20	4,123	77	-40
13	栃木県	H25.12.12	H25.11.29	13	95	70
14	愛知県	H26.7.3	H14.8.20	4,335	82	不明(圧縮機出口なので100°C～程度と想像されます。)
15	愛知県	H26.7.17	H14.8.20	4,349	77	-40
16	佐賀県	H26.10.24	H23.2.10	1,352	40	40
17	大阪府	H26.12.9	H13.7.27	4,883	40(開放検査中に付き実圧は0)	40
18	東京都	H27.1.21	H22.12.14	1,499	40	180
19	静岡県	H27.2.25	H22.7.23	1,678	77	80
20	千葉県	H27.2.26	H27.1.22	35	45	40
21	東京都	H27.3.3	H15.4.18	4,337	82	40
22	愛知県	H27.6.5	H27.1.30	126	70	-40
23	兵庫県	H27.8.3	H26.6.20	409	70	-40
24	愛知県	H27.10.5	H27.9.25	10	70	-40
25	愛知県	H27.10.6	H27.9.25	11	70	-40
26	東京都	H27.10.23	H27.9.3	50	82	110
27	愛知県	H27.12.21	H27.11.24	27	19.6	40
28	愛知県	H27.12.24	H27.11.24	30	82	150

表 8-1 水素スタンドの事故の使用開始日から事故発生日までの経過期間ごとの統計
(平成 23 年～平成 27 年)

経過期間		30 日超	90 日超	1 年超	3 年超	5 年超	10 年超
	30 日以下	90 日以下	365 日以下	3 年以下	5 年以下	10 年以下	
事故件数	5	4	1	5	3	2	8
件数の割合(%)	18	14	3	18	11	7	29

表 8-2 水素スタンドの事故の使用開始日から事故発生日までの経過期間ごとの統計
(平成 27 年のみ)

経過期間		30 日超	90 日超	1 年超	3 年超	5 年超	10 年超
	30 日以下	90 日以下	365 日以下	3 年以下	5 年以下	10 年以下	
事故件数	4	2	1	1	2	0	1
件数の割合(%)	37	18	9	9	18	0	9

2. 7 漏えい部位の常用の圧力及び常用の温度

平成 23 年から平成 27 年までの 5 年間に発生した水素スタンドの事故 28 件について、漏えい部位の常用の圧力及び常用の温度を調べ、表 7 に一覧を示す。

なお、表 7 中の常用の温度が $-10(^{\circ}\text{C})$ 以上 $40(^{\circ}\text{C})$ 以下は、設備の加熱又は冷却を行うことなく大気温の変化の範囲内で使用していることを表す。また、表 7 中の番号 17 は、開放検査中でその圧力を $0(\text{Pa})$ とした。

表 7 の一覧に基づき、漏えい部位での常用の圧力及び常用の温度の統計について、平成 23 年から平成 27 年までの事故件数を表 9-1 に、平成 27 年のみの事故件数を表 9-2 に示す。

平成 23 年から平成 27 年までに発生した水素スタンドの事故(28 件)のうち、常用の圧力の区分のみで比較すると、常用の圧力 $70(\text{MPa})$ 超が 14 件と最も多く、以下常用の圧力 $20(\text{MPa})$ 超 $40(\text{MPa})$ 以下が 8 件、常用の圧力 $0(\text{Pa})$ 超 $20(\text{MPa})$ 以下が 4 件と続く。平成 27 年に発生した水素スタンドの事故(11 件)については、同様に常用の圧力の区分のみで比較すると、常用の圧力 $70(\text{MPa})$ 超が 8 件と最も多い。

また、常用の温度のみで比較すると、平成 23 年から平成 27 年までに発生した水素スタンドの事故(28 件)は、常用の温度 $-10(^{\circ}\text{C})$ 以上 $40(^{\circ}\text{C})$ 以下が 10 件と最も多く、常用の温度 $-40(^{\circ}\text{C})$ 以上 $-10(^{\circ}\text{C})$ 未満と常用の温度 $40(^{\circ}\text{C})$ 超 $150(^{\circ}\text{C})$ 以下がそれぞれ 6 件でこれに続く。平成 27 年に発生した水素スタンドの事故(11 件)は、常用の温度 $-40(^{\circ}\text{C})$ 以上 $-10(^{\circ}\text{C})$ 未満が 4 件と最も多く、常用の温度 $-10(^{\circ}\text{C})$ 以上 $40(^{\circ}\text{C})$ 以下と常用の温度 $40(^{\circ}\text{C})$ 超 $150(^{\circ}\text{C})$ 以下がそれぞれ 3 件でこれに続く。

最後に、常用の圧力と常用の温度を組み合わせた条件での事故件数をみると、平成 23 年から平成 27 年までに発生した水素スタンドの事故(28 件)は、常用の圧力が $70(\text{MPa})$ 超かつ常用の温度が $-40(^{\circ}\text{C})$ 以上 $-10(^{\circ}\text{C})$ 未満が 6 件で最も多く、常用の圧力が $70(\text{MPa})$ 超かつ常用の温度が $40(^{\circ}\text{C})$ 超 $150(^{\circ}\text{C})$ 以下が 5 件とこれに続く。平成 27 年に発生した水素スタンドの事故(11 件)は、常用の圧力が $70(\text{MPa})$ 超かつ常用の温度が $-40(^{\circ}\text{C})$ 以上 $-10(^{\circ}\text{C})$ 未満が 4 件で最も多く、常用の圧力が $70(\text{MPa})$ 超かつ常用の温度が $40(^{\circ}\text{C})$ 超 $150(^{\circ}\text{C})$ 以下が 3 件とこれに続く。

表 9-1 水素スタンドの事故における漏えい部位の常用の圧力及び常用の温度の統計
(平成 23 年～平成 27 年)

常用の温度: t(°C) 常用の 圧力: P(MPa)	t < -40	-40 ≤ t < -10	-10 ≤ t ≤ 40	40 < t ≤ 150	t > 150	温度 不明	合計
P ≥ 70		6	2	5		1	14
40 < P < 70			1				1
20 < P ≤ 40			4	1	1	2	8
0 < P ≤ 20	1		2			1	4
P = 0			1				1
合計	1	6	10	6	1	4	28

表 9-2 水素スタンドの事故における漏えい部位の常用の圧力及び常用の温度の統計
(平成 27 年のみ)

常用の温度: t(°C) 常用の 圧力: P(MPa)	t < -40	-40 ≤ t < -10	-10 ≤ t ≤ 40	40 < t ≤ 150	t > 150	温度 不明	合計
P ≥ 70		4	1	3			8
40 < P < 70			1				1
20 < P ≤ 40					1		1
0 < P ≤ 20			1				1
P = 0							0
合計	0	4	3	3	1	0	11

2. 8 平成 27 年の水素スタンドの事故概要

平成 23 年から平成 26 年の水素スタンドの事故件数は、1 年当たりで 1 件から 6 件で推移していたが、平成 27 年の 1 年間では 11 件と過去 4 年間の最大件数の約 1.8 倍に増加している。そこで、平成 27 年に発生した 11 件の事故について、概要を表 10 にまとめた。

漏えいの部位については、締結部が 6 件で最も多く、可動シール部が 3 件でこれに続く。これらの二つの部位で 9 件となり、全体の 82% を占める。

設備区分としては、継手が 5 件で最も多いが、充填ノズル、緊急離脱カプラー、ディスペンサー、自動遮断弁(プレクーラ部)などのディスペンサー付近で 4 件発生している。

事故原因では、締結管理不良が 5 件で最も多く、シール管理不良が 2 件でこれに続く。これらの二つの事故原因で 7 件となり、全体の 64% を占める。

表 10 平成 27 年の水素スタンドの事故の概要

番号	発生 都道府県名	事故発生日	漏えい部位の		噴出・漏えい の部位	設備区分	事故原因 (主原因)
			常用 圧力 (MPa)	常用 温度 (°C)			
18	東京都	H27.1.21	40	180	締結部	圧縮機	その他 (機器誤作動)
19	静岡県	H27.2.25	77	80	可動シール 部	充填ノズ ル、車両 レセプタ クル	組織運営不良
20	千葉県	H27.2.26	45	40	その他(遮 断弁の計装 空気接続 口)	遮断弁、 Oリング	設計不良
21	東京都	H27.3.3	82	40	締結部	継手	締結管理不良
22	愛知県	H27.6.5	70	-40	可動シール 部	継手、自 動遮断 弁	締結管理不良
23	兵庫県	H27.8.3	70	-40	締結部	継手	締結管理不良
24	愛知県	H27.10.5	70	-40	可動シール 部	ディス パンサー、 弁	シール管理不 良
25	愛知県	H27.10.6	70	-40	—	緊急離 脱カプラ —	シール管理不 良
26	東京都	H27.10.23	82	110	締結部	弁	締結管理不良
27	愛知県	H27.12.21	19.6	40	締結部	継手	締結管理不良
28	愛知県	H27.12.24	82	150	締結部	継手	施工管理不良

3. 水素スタンドにおける事故防止の注意事項

(1) 締結管理不良及びシール管理不良

水素スタンドにおける事故は、表 2 から漏えい②が 22 件と最も多く(78%)、漏えい①及び漏えい③の各 3 件(各 11%)と比べると圧倒的に多いことがわかる。

また、漏えい②の原因は、締結管理不良(11 件)とシール管理不良(7 件)であり、漏えい②の事故 22 件のうちで、この 2 つの原因が 18 件(82%)を占める。平成 27 年に限定した水素スタンドの事故に関しては表 10 にまとめたが、締結管理不良が 5 件で最も多く、シール管理不良が 2 件でこれに続き、これらの二つの事故原因で 7 件となり、全体の 64%を占めており、平成 23 年から平成 27 年までの統計と同様に、事故原因としては相変わらず高い傾向にある。

締結部からの漏えいは、表 4 の結果からも 28 件中 18 件(64%)と一番多いことがわかる。

締結部では、圧縮機の振動、パッキンとOリングの初期応力緩和、圧力変動、ディスペンサーの温度変動などによって運転中に締結力の低下が想定される。このため、締結力の低下を考慮して初期締結力を設定し、また運転中の締結力を確認することが重要である。特に、水素スタンドにおいては、使用する流体が水素であるため分子の大きさが小さいこと、また使用圧力が高いこと、ディスペンサー廻りについていけば、プレクールにより設備の温度変化が激しいことを考慮すると、締結管理に加えてシール管理についても特段の注意が必要である。

(2)ディスペンサー及び圧縮機

水素スタンドの事故のうち、表3からディスペンサーと圧縮機で28件中18件の事故が発生していることがわかる。この二つの設備の特徴としては、圧力変化と温度変化が激しいことである。特に、ディスペンサーは、充填と脱圧を繰り返すために、圧力が0～70(MPa)超で変動する。また、充填に際しては、プレクール設備を介して水素を充填するために、温度も常温～-40(°C)の範囲の変動を繰り返す。したがって、材料も膨張収縮を繰り返し、締結力が低下しやすくなり、シール性の低下が想定される。水素スタンドにおいて、特に使用環境の厳しいディスペンサー及び圧縮機は、使用開始時のみならず使用中にも、他の設備以上に特段の締結管理とシール管理を行う必要がある。

(3)充填回数の増加

水素スタンドの設置件数の増加に対して、水素スタンドの事故件数も増加傾向にあることは表1の結果からわかる。しかし、水素スタンドの事故件数は、水素スタンドの設置件数と比例関係にはない。平成27年に一気に事故件数が増えた要因として、表5から圧縮水素を充填する燃料電池車の増加、つまり、水素スタンドの稼働率が高まった(充填回数の増加)ことが考えられる。

水素スタンドの稼働率が高まると、ディスペンサー及び圧縮機の稼働率が高くなり、設備の圧力変化、温度変化の頻度が増加することになる。したがって、稼働率の高い水素スタンドにおいては、稼働率の低い事業所と比べて、設備に対して特段の締結管理とシール管理を行う必要がある。

(4)使用開始から経過日数が90日までの水素スタンド

表8-1から、設備の使用開始から経過日数が90日までの水素スタンドにおいて発生した事故は、全体の32%を占める。平成27年の事故に限っていえば、表8-2から設備の使用開始から経過日数が90日までの水素スタンドにおいて発生した事故は、全体の55%を占める。これらのことから、水素スタンドにおいては経年劣化(経年変化)による事故よりも、使用開始日から比較的日の浅い時期の事故が多いことがわかる。そのため、使用開始から約3ヶ月程度の間は、特に特段の締結管理とシール管理を行う必要がある。

(5)溶接継手を使用する対策

水素スタンドの課題の一つとして、高圧水素環境に適合するための使用材料の制限がある。そのために、本来であれば溶接継手が望ましい接合部位であっても、溶接に適した材料が少ないため、大半がねじ込み式継手となっている。高圧水素環境に適合する溶接性のよい材料が開発され、接合部位の多くが溶接継手になっていくようになれば、漏えい②による事故は自然と低下していくことが考えられる。