

水素スタンドの高圧ガス事故の注意事項

特別民間法人高圧ガス保安協会

1. 目的

圧縮水素スタンド(以下「水素スタンド」という)は、平成 26 年 6 月に策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」により、2025 年度までに 320 カ所程度の設置を目標とされ、その目標を達成するための取組みが進められてきた。その後、Tokyo Statement(東京宣言)(平成 30 年 10 月)などが策定、公表されたことを踏まえて、平成 31 年 3 月に新たな「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た。

令和 3 年 6 月 18 日に策定された「成長戦略実行計画」では、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 基程度の水素スタンドを、人流、物流を考慮しながら最適な配置となるように整備すること、また、バス、トラックなどの商用車向けの水素スタンドを、事業所専用の充てん設備を含めて、整備することが示された。

さらに、令和 5 年 6 月に改定された「水素基本戦略」では、2030 年度までに 1,000 基程度の整備目標の確実な実現を目指すこと、また、水素の利用シーンが広がる中で、乗用車のみならず、商用車、港湾、さらには地域の燃料供給拠点など、より多様なニーズに応えるマルチ化を図りながら、需給一体型の最適配置を効果的に進めることなどが示された。

しかしながら、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、高圧の水素は、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。また、着火した場合、火炎を視認することが容易でない。したがって、災害が発生した場合には、周囲に著しい被害を及ぼすおそれがある。

このために、過去数年間にわたり継続して、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、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^{1)~8)}。本年度は、水素スタンドにおける事故の事象分類の変遷に焦点を当て、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⁹⁾を用いて、平成 14 年から令和 4 年までの 21 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)8,801 件のうち、水素スタンドにおける事故 222 件を抽出した。

抽出にあたっては、高圧ガス事故事例データベースの内容をそのまま使用するのではなく、精査して、必要に応じて見直した¹⁰⁾。

本報告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

タンク」

- 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. 事故の統計

(1) 事故件数と設置数

平成 14 年から令和 4 年までの 21 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 3 年間で約 3 倍に増加した。その後も毎年増加を続け、令和 4 年は 237 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 26 年から平成 27 年にかけて施設数が 2 倍以上に急増したことに伴い、平成 27 年と平成 28 年の事故件数も前年の 3 倍に増加した。平成 29 年と平成 30 年は、施設数は増加したが、事故件数は同程度（高止まり）で推移した。平成 31 年（令和元年）と令和 2 年は、施設数は増加したが、事故件数は減少に転じた。これは、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、漏えい箇所が締結部、かつ、可燃性ガスの漏えいが微量の場合、事故の定義から除外された影響と推察される。令和 3 年には事故件数が再び増加に転じ、平成 30 年と同じ事故件数になった。令和 4 年には事故件数がさらに増加し 30 件となり、最高の事故件数であった平成 28 年の 32 件に迫った。なお、令和 4 年の事故であっても報告が遅れ、令和 5 年 4 月以降に高圧ガス事故事例データベースに収録される事故があるので、令和 4 年の事故件数は、平成 28 年を上回る可能性がある。

表 1 平成 14 年から令和 4 年までの水素スタンドにおける事故件数と設置数

年	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25
年間事故発生 件数 ⁱ⁾	0	0	0	3	2	3	0	0	2	2	6	7
スタンド設置数 (累計) ⁱⁱ⁾	5	7	11	11	16	19	19	19	23	28	28	33

年	H26	H27	H28	H29	H30	H31/ R1	R2	R3	R4
年間事故発生 件数 ⁱ⁾	4	12	32	28	26	19	20	26	30
スタンド設置数 (累計) ⁱⁱ⁾	50	107	134	153	171	187	210	219	237

- 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。

(2) 事象分類の統計

水素スタンドにおける事故について、平成14年から令和4年までの21年間の事象分類の統計を、表2に示す。

21年間の合計を見ると、事象分類は漏えいが210件(95%)であり、大半を占める。漏えい以外の事象は、破裂・破損が6件(3%)、爆発、火災が5件(2%)、その他が1件(0%)である。1次事象の後に2次事象のある事故はない。漏えい210件(95%)の内訳は、漏えい①が最も多く100件(45%)、漏えい②が87件(39%)、漏えい③が23件(10%)と続く。不明、調査中の事故はない。

年別の傾向を見ると、漏えいがいずれの年も事故の大半を占める。漏えい以外の事象は、破裂・破損の6件のうち5件が平成29年から令和元年の3年間に、爆発、火災の5件のうち3件が令和3年に集中している。令和4年のその他の1件は、危険な状態である。漏えいの内訳は、平成29年までは漏えい②が最も多く、半数以上を占める。しかし、平成30年以降は漏えい①が最も多い。ただし令和2年は、漏えい①と漏えい②が同数である。また、漏えい③の23件のうち17件が令和2年から令和4年の3年間に集中している。今後も動向に注意する必要がある。

表2 水素スタンドにおける事故(事象分類)の統計
(平成14年から令和4年までの年別と合計)

年	事故 件数	漏えい				爆発、 火災	破裂 ・ 破損	その他	漏えい → 火災 など
		漏えい①	漏えい②	漏えい③	不明、 調査中				
H14~H16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H17	3	2	1	1	0	0	1	0	0
H18	2	2	1	1	0	0	0	0	0
H19	3	3	0	3	0	0	0	0	0
H20、H21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H22	2	2	1	1	0	0	0	0	0
H23	2	2	1	1	0	0	0	0	0
H24	6	6	0	6	0	0	0	0	0
H25	7	6	2	3	1	0	0	1	0
H26	4	3	1	2	0	0	1	0	0
H27	12	12	2	9	1	0	0	0	0
H28	32	32	11	19	2	0	0	0	0
H29	28	26	9	17	0	0	0	2	0
H30	26	24	19	4	1	0	0	2	0
H31(R01)	19	18	13	4	1	0	0	1	0
R02	20	20	7	7	6	0	0	0	0
R03	26	23	11	8	4	0	3	0	0
R04	30	29	21	1	7	0	0	0	1
合計	222	210	100	87	23	0	5	6	1
(%)※	(100%)	(95%)	(45%)	(39%)	(10%)	(0%)	(2%)	(3%)	(0%)

※ パーセントは、小数点第1位の値を四捨五入して、整数表示としている。(以下、同じ。)

(3) 事故原因の統計

水素スタンドにおける事故について、平成14年から令和4年までの21年間の事故原因の統計を、表3に示す。

21年間の合計を見ると、事故原因は設計不良100件(45%)が最も多く、締結管理不良52件(23%)、シール管理不良24件(11%)が続く。この3つの事故原因で、176件(79%)と大半を占める。設計不良は事象分類の漏えい①、締結管理不良とシール管理不良は事象分類の漏えい②に対応しており、件数の傾向も一致する。

年別の傾向を見ると、平成26年までは傾向が定まっていない。平成27年から平成29年の3年間は締結管理不良が最も多く、平成30年から令和4年の5年間は設計不良が最も多い。これも事象分類の傾向と同じである。

表3 水素スタンドにおける事故(事故原因)の統計
(平成14年から令和4年までの年別と合計)

年	事故 件数	設計 不良	製作 不良	施工 管理 不良	腐食 管理 不良	検査 管理 不良	締結 管理 不良	シール 管理 不良	組織 運営 不良	操作 基準等 の不備	情報 伝達 の不備	誤操作 など	自然 災害	その他 (機器 故障)	その他 (不明、 調査中)
H14～H16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H17	3	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
H18	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
H19	3	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
H20、H21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H22	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H23	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
H24	6	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0
H25	7	2	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0
H26	4	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
H27	12	3	0	0	0	0	6	0	1	0	0	1	0	1	0
H28	32	11	0	0	0	0	16	3	1	0	0	1	0	0	0
H29	28	11	0	0	0	0	12	4	0	0	1	0	0	0	0
H30	26	19	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1
H31 (R01)	19	13	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0
R02	20	10	2	1	1	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0
R03	26	8	4	2	0	0	4	3	1	0	0	2	1	0	1
R04	30	16	0	1	4	4	0	0	1	0	0	0	0	2	2
合計	222	100	7	4	8	5	52	24	4	2	1	5	2	4	4
(%)	(100%)	(45%)	(3%)	(2%)	(4%)	(2%)	(23%)	(11%)	(2%)	(1%)	(0%)	(2%)	(1%)	(2%)	(2%)

(4) 設備区分の統計

水素スタンド(定置式)の基本的な設備構成を図1に、水素スタンド(移動式)の基本的な設備構成を図2に示す。図1と図2では、設備に付帯するバルブ、配管、継手などの詳細は、省略する。図1と図2に示すとおり、定置式(オンサイト、オフサイト)、移動式では、水素の製造方法、貯蔵方法は異なるが、圧縮機、蓄圧器、冷凍設備、ディスペンサーという基本的な設備構成は、同じである。

平成14年から令和4年までの21年間の水素スタンドにおける事故の設備区分の統計を、表4に示す。図1、図2と表4の関係は、次のとおりである。

- ・ 表4の貯蔵設備は、図1のトレーラ貯蔵、カードル貯蔵、液化水素貯槽(その蒸発器を含む)と図2のカードル貯蔵をいう。
- ・ 表4の圧縮機は、図1と図2の圧縮機をいう。
- ・ 表4の蓄圧器は、図1と図2の蓄圧器をいう。
- ・ 表4のディスペンサーは、図1のディスペンサーと冷凍設備、図2のディスペンサーと冷凍設備をいう。
- ・ 表4の放出管は、複雑な図にしないため、図1と図2では省略している。水素スタンドには、複数の安全装置、圧力リリーフ弁があり、その安全装置、圧力リリーフ弁ごとに放出管を設けてもよい。しかし、放出管の開口部は、1箇所にとまとめている場合が多い。

21年間の合計を見ると、設備区分はディスペンサー106件(48%)が最も多く、圧縮機69件(31%)と蓄圧器32件(14%)が続く。この3つの設備区分で、207件(93%)と大半を占める。

年別の傾向を見ると、平成26年までは傾向が定まっていない。平成27年から平成29年の3年間はディスペンサーが最も多く、半数以上を占めた。平成30年から令和4年の5年間は、圧縮機またはディスペンサーのいずれかが最も多い。

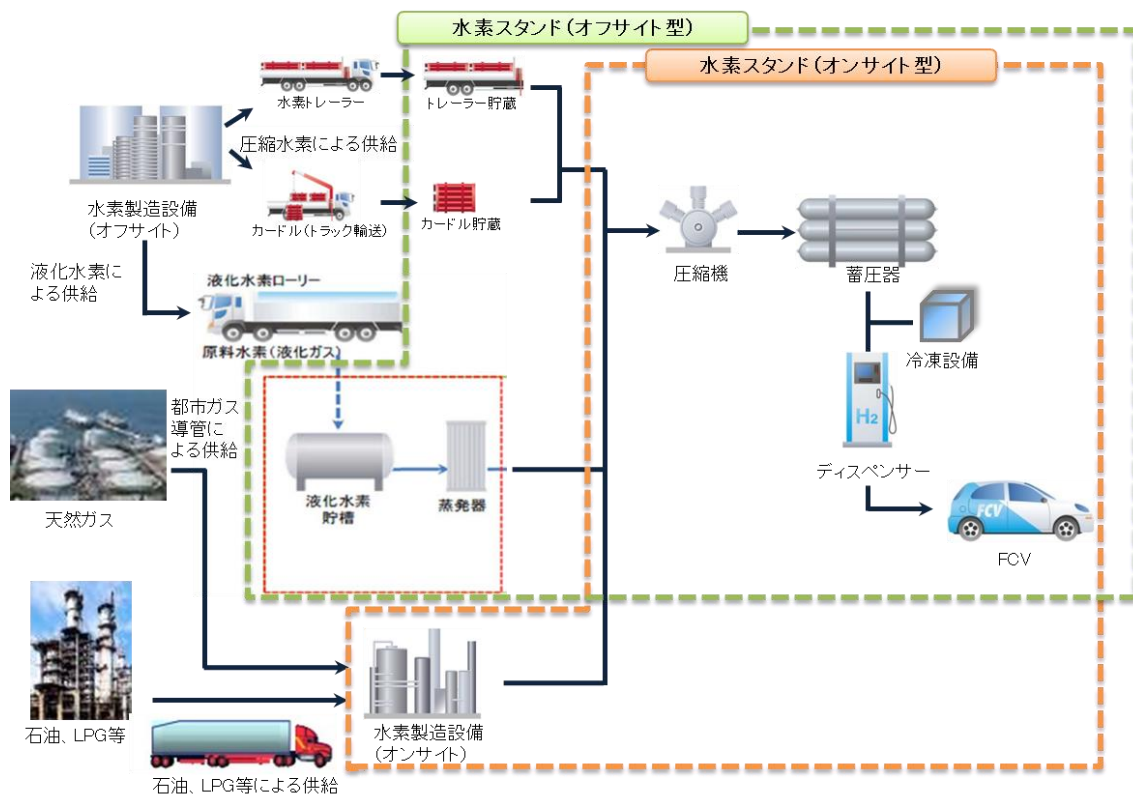


図1 水素スタンド(定置式)の基本的な設備構成

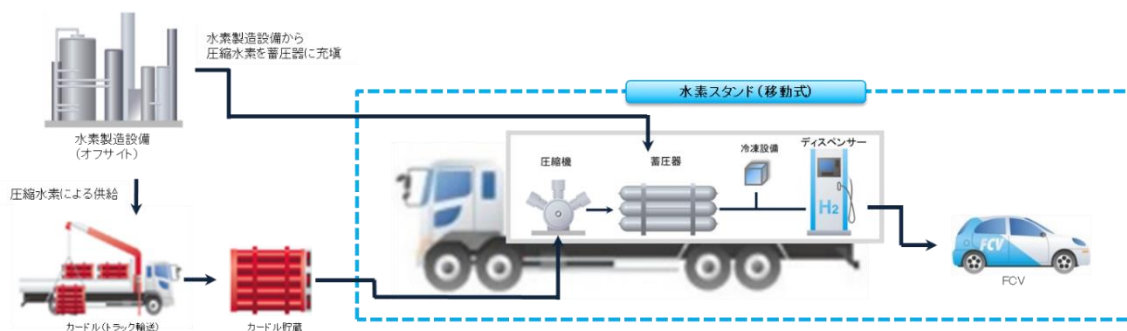


図2 水素スタンド(移動式)の基本的な設備構成

表4 水素スタンドにおける事故(設備区分)の統計
(平成14年から令和4年までの年別と合計)

年	事故 件数	設備区分					
		貯蔵設備	水素製造 装置	圧縮機	蓄圧器	ディスペ ンサー	放出管
H14~H16	0	0	0	0	0	0	0
H17	3	0	1	0	0	2	0
H18	2	0	0	1	1	0	0
H19	3	0	0	0	1	2	0
H20、H21	0	0	0	0	0	0	0
H22	2	0	0	1	0	1	0
H23	2	0	0	0	1	1	0
H24	6	1	0	2	2	1	0
H25	7	2	0	1	3	1	0
H26	4	0	0	2	1	1	0
H27	12	1	0	4	1	6	0
H28	32	1	0	8	3	20	0
H29	28	1	0	4	6	17	0
H30	26	1	0	12	4	9	0
H31(R01)	19	0	0	4	3	12	0
R02	20	1	0	6	2	11	0
R03	26	0	1	10	2	11	2
R04	30	1	2	14	2	11	0
合計 (%)	222 (100%)	9 (4%)	4 (2%)	69 (31%)	32 (14%)	106 (48%)	2 (1%)

4. 事故の詳細解析

(1) 事象分類「漏えい①」の詳細解析

① 事象分類「漏えい①」の損傷メカニズムの分類

平成 14 年から令和 4 年までの 21 年間の事象分類「漏えい①」100 件の損傷メカニズムの分類を、表 5 に示す。損傷メカニズムは、水素スタンドの特徴的な分類である水素損傷 53 件(53%) が最も多く、疲労 32 件(32%)が続く。なお、水素損傷とは、水素環境で O リングが損傷を受け、シール性能を保持できなくなり、適切な締め直しにより漏えいが停止できない事故が多発した。そこで、一般的なガスケットのシール管理不良(事象分類「漏えい②」の事故)と区別するために、設定した損傷メカニズムの分類である¹¹⁾。

表 5 事象分類「漏えい①」の損傷メカニズムの分類

漏えい① 件数	損傷メカニズムの分類						
	腐食	疲労	E/C	SCC	水素損傷	その他	不明、調査中
100 (100%)	8 (8%)	32 (32%)	0 (0%)	0 (0%)	53 (53%)	6 (6%)	1 (1%)

② 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「水素損傷」の設備区分の統計

事象分類「漏えい①」の損傷メカニズムが水素損傷の事故 53 件について、平成 14 年から令和 4 年までの 21 年間の設備区分の統計を、表 6 に示す。

21 年間の合計を見ると、圧縮機 26 件(49%)が最も多く、蓄圧器のバルブとディスペンサーのバルブ(低温)のそれぞれ 8 件(15%)が続く。

年別の傾向を見ると、平成 27 年までは事故件数が少なく、傾向が定まっていない。平成 28 年は、ディスペンサーのバルブ(低温)6 件が最も多く、過半数を占めた。しかし、平成 30 年は圧縮機 7 件が最も多く、蓄圧器のバルブ 4 件が続いた。最近の 3 年間(令和 2 年から令和 4 年まで)は、圧縮機が継続している。

水素損傷は、平成 28 年に低温環境で使用される O リングで 6 件が確認された。その後、常温環境と高温環境で使用される O リングでも確認された。水素スタンドで使用される O リングの設計、製作、試験、検査などに関する規格の整備は、なされていない。したがって、事故原因は設計不良(学識がない(未知))である。水素スタンドで使用される O リングのシール技術は、どの設備区分においても、未だ開発途上にあることを認識し、O リングメーカーだけではなく、広く水素スタンドの関係者が協力して、技術社会に学識をつくる必要がある。

表 6 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「水素損傷」の設備区分の統計
(平成 14 年から令和 4 年までの年別と合計)

年	事故 件数	設備区分						
		圧縮機	蓄圧器		ディスペンサー			
			本体 フランジ	バルブ	バルブ (常温)	バルブ (低温)	緊急 離脱 カップラー	充填 ノズル
H14～H22	0	0	0	0	0	0	0	0
H23	1	0	1	0	0	0	0	0
H24	0	0	0	0	0	0	0	0

年	事故 件数	設備区分						
		圧縮機	蓄圧器		ディスペンサー			
			本体 フランジ	バルブ	バルブ (常温)	バルブ (低温)	緊急 離脱 カップラー	充填 ノズル
H25	1	1	0	0	0	0	0	0
H26	0	0	0	0	0	0	0	0
H27	2	0	0	0	0	1	1	0
H28	11	3	0	1	0	6	1	0
H29	3	2	0	1	0	0	0	0
H30	13	7	0	4	0	1	1	0
H31 (R01)	6	1	0	2	1	0	0	2
R02	1	1	0	0	0	0	0	0
R03	6	4	0	0	0	0	2	0
R04	9	7	0	0	0	0	0	2
合計 (%)	53 (100%)	26 (49%)	1 (2%)	8 (15%)	1 (2%)	8 (15%)	5 (9%)	4 (8%)

③ 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「疲労」の設備区分の統計

事象分類「漏えい①」の損傷メカニズムが疲労の事故 32 件について、平成 14 年から令和 4 年までの 21 年間の設備区分の統計を、表 7 に示す。

21 年間の合計を見ると、ディスペンサーの冷凍設備 12 件(38%)が最も多く、ディスペンサーの充填ホース 8 件(25%)、圧縮機のねじ込み式継手 5 件(16%)、貯蔵設備のカードル 3 件(9%)が続く。ディスペンサーの充填ホース 8 件の材質は、平成 17 年の事故 1 件がフレキシブルチューブ(金属製)であり、それ以外の 7 件はフレキシブルホース(樹脂製)である。貯蔵設備のカードル 3 件は、いずれもカードルに接続したフレキシブルチューブ(金属製)である。

年別の傾向を見ると、平成 28 年までは事故件数が少なく、傾向が定まっていない。事故が増加した平成 29 年は、ディスペンサーの充填ホースが最も多く、過半数を占めた。この充填ホースは、フレキシブルホース(樹脂製)である。最近の 4 年間(平成 31 年(令和元年)から令和 4 年まで)は、冷凍設備の事故が多い。

フレキシブルチューブ(金属製)、冷凍設備、圧縮機などの疲労の事故は、種々の業種、業態で、これまでに数多く経験をしている。そのため、水素スタンドの設置数の増加とともに、疲労の事故が増加することは、予想されていた¹⁾。この結果は、水素スタンドの関係者の疲労の事故に対する対策が不十分であったと言える。金属材料は、必ず疲労する。それ故に、疲労を考慮して設計する。したがって、事故原因は設計不良(学識がない(無知)か、学識が不十分)である。

一方で、フレキシブルホース(樹脂製)の疲労の事故は、圧縮天然ガススタンド、液化石油ガススタンドなどで経験しているが、事故件数は多くない。また、その設計、製作、試験、検査などに関する規格の整備は、なされていない。したがって、事故原因は設計不良(学識がない(未知))である。ホースメーカーだけではなく、広く水素スタンドの関係者が協力し、技術社会に学識をつくる必要がある。

表7 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「疲労」の設備区分の統計
(平成14年から令和4年までの年別と合計)

年	事故 件数	設備区分						
		貯蔵設備	圧縮機			ディスペンサー		
		カードル	熱交換器	配管	ねじ込み 式継手	冷凍 設備	配管	充填 ホース
H14～H16	0	0	0	0	0	0	0	0
H17	1	0	0	0	0	0	0	1
H18	1	0	0	0	1	0	0	0
H19～H21	0	0	0	0	0	0	0	0
H22	1	0	0	0	0	0	0	1
H23～H25	0	0	0	0	0	0	0	0
H26	1	0	0	0	0	0	0	1
H27、H28	0	0	0	0	0	0	0	0
H29	6	1	0	0	0	0	1	4
H30	4	1	0	0	2	1	0	0
H31(R01)	6	0	0	1	1	4	0	0
R02	4	0	1	0	0	2	0	1
R03	2	0	1	0	0	1	0	0
R04	6	1	0	0	1	4	0	0
合計 (%)	32 (100%)	3 (9%)	2 (6%)	1 (3%)	5 (16%)	12 (38%)	1 (3%)	8 (25%)

(2) 事象分類「漏えい②」の詳細解析

① 事象分類「漏えい②」の部位の分類

平成14年から令和4年までの21年間の事象分類「漏えい②」87件の部位の分類を、表8に示す。部位は、締結部60件(69%)が最も多く、開閉部23件(26%)、可動シール部3件(3%)、その他1件(1%)と続く。不明、調査中の事故はない。

表8 事象分類「漏えい②」の部位の分類

漏えい② 件数	部位の分類				
	締結部	開閉部	可動シール部	その他	不明、調査中
87 (100%)	60 (69%)	23 (26%)	3 (3%)	1 (1%)	0 (0%)

② 事象分類「漏えい②」部位「締結部」の詳細分類の統計

事象分類「漏えい②」の部位が「締結部」60件の事故について、平成14年から令和4年までの21年間の詳細分類の統計を、表9に示す。

21年間の合計を見ると、ねじ込み式継手50件(83%)が大半を占める。

年別の傾向を見ると、事故件数が0の場合と平成22年を除く15年間で、ねじ込み式継手が

最も多い。平成 27 年から平成 29 年の 3 年間は、特にねじ込み式継手が多い。その後、平成 31 年からは事故の定義が改正された影響で事故件数の減少が予想されたが、令和 2 年に 5 件、令和 3 年に 6 件とねじ込み式継手が増加している。

水素スタンドでは、溶接継手の使用が難しく、ねじ込み式継手が多く使用されている。ねじ込み式継手は、ねじ以外の接触面で気密が保たれている。両端がねじ込み式継手の場合には、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。漏えいの未然防止には、高圧の水素は外部に漏えいしやすいことを認識したうえで、ねじ込み式継手の適切な締結管理と、気密試験による確実な確認が重要である。

表 9 事象分類「漏えい②」部位「締結部」の詳細分類の統計
(平成 14 年から令和 4 年までの年別と合計)

年	事故 件数	詳細分類				
		フランジ式 継手	ねじ込み式 継手	ホース 継手	フレア式 継手	不明、 調査中
H14～H16	0	0	0	0	0	0
H17	1	0	1	0	0	0
H18	1	0	1	0	0	0
H19	1	0	1	0	0	0
H20、H21	0	0	0	0	0	0
H22	1	1	0	0	0	0
H23	1	0	1	0	0	0
H24	5	1	4	0	0	0
H25	2	0	2	0	0	0
H26	1	0	1	0	0	0
H27	8	0	6	0	0	2
H28	14	0	12	2	0	0
H29	9	1	6	2	0	0
H30	2	0	2	0	0	0
H31 (R01)	2	0	1	0	1	0
R02	5	0	5	0	0	0
R03	6	0	6	0	0	0
R04	1	0	1	0	0	0
合計	60	3	50	4	1	2
(%)	(100%)	(5%)	(83%)	(7%)	(2%)	(3%)

(3) 事象分類「漏えい③」の詳細解析

① 事象分類「漏えい③」の人的行為などの分類

事象分類「漏えい③」23 件の人的行為などの分類を、表 10 に示す。人的行為などは、安全弁作動 11 件(48%)がほぼ半数を占める。

なお、人的行為「破裂など」の 3 件のうちに、圧縮天然ガススタンド、液化石油ガススタンドで多く発生している車両の誤発進による充填ホースの引張り事故は、ない。

表 10 事象分類「漏えい③」の人的行為などの分類

漏えい③ 件数	人的行為などの分類							
	誤開閉	開閉忘れ	破裂など	ドレン 抜きミス	点火ミス など	安全弁 作動	その他	不明、 調査中
23 (100%)	1 (4%)	2 (9%)	3 (13%)	0 (0%)	0 (0%)	11 (48%)	5 (22%)	1 (4%)

② 事象分類「漏えい③」の安全弁作動の設備区分と作動した圧力の統計

事象分類「漏えい③」の安全弁作動の事故 11 件について、平成 14 年から令和 4 年までの 21 年間の設備区分と作動した圧力の統計を、表 11 に示す。

21 年間の合計を見ると、圧縮機の安全弁が設定圧力を超えて作動した事故 9 件(82%)が大
半を占め、ディスペンサーの安全弁が設定圧力未満で作動した事故 2 件(18%)が続く。

年別の傾向を見ると、事故件数が少なく、傾向が定まっていない。ただし、11 件のうち 10 件が
最近の 3 年間(令和 2 年から令和 4 年まで)に集中している。今後もその動向に注意する必要が
ある。

なお、平成 28 年の事故 1 件では、ディスペンサーの安全弁と蓄圧器の安全弁が作動した。
本調査では、先に作動したディスペンサーの安全弁の事故と整理した。

表 11 事象分類「漏えい③」の安全弁作動の設備区分と作動した圧力の統計
(平成 14 年から令和 4 年までの年別と合計)

年	事故 件数	設備区分と作動した圧力			
		圧縮機		ディスペンサー	
		設定圧力 超	設定圧力 未満	設定圧力 超	設定圧力 未満
H14～H27	0	0	0	0	0
H28	1	0	0	0	1
H29～H31(R01)	0	0	0	0	0
R02	2	2	0	0	0
R03	2	2	0	0	0
R04	6	5	0	0	1
合計 (%)	11 (100%)	9 (82%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (18%)

(4) 事象分類「爆発、火災」、「破裂・破損」、「その他」の詳細解析

① 事象分類「爆発、火災」

事象分類「爆発」3 件の設備区分は、水素製造装置 2 件、蓄圧器 1 件である。水素製造装置
の詳細は、平成 17 年が水電解装置、令和 3 年が都市ガスの改質装置である。

事象分類「火災」2 件の設備区分は、放出管 2 件であり、いずれも令和 3 年に発生した。水素
は、着火しやすいが、火炎は見えにくい。したがって、水素スタンドの放出管では、覚知してい

ない燃焼反応が発生している可能性は否定できない。また、水素スタンドは市街地での設置が進められており、近隣住民がいる場合が多い。そのため、近隣住民が、水素スタンドの放出管の火災を覚知し、公設消防へ通報した事例が報告されている。水素スタンドの放出管の火災により周辺住民を不安にさせないように設備、操作などの対策はもちろん、そのリスクコミュニケーションも重要である。

② 事象分類「破裂・破損」

事象分類「破裂・破損」6件の設備区分は、充填ホース5件、圧縮機1件である。充填ホースは、いずれもフレキシブルホース(樹脂製)であり、4件は平成29年から平成31年(令和元年)までの3年間に集中している。フレキシブルホース(樹脂製)の課題は、4.(1)③に記載したとおりである。

なお、事象分類「破裂・破損」の6件のうちに、圧縮天然ガススタンド、液化石油ガススタンドで多く発生している車両の誤発進による充填ホースの引張り事故は、ない。

③ 事象分類「その他」

事象分類「その他」は令和4年の1件で、詳細は危険な状態である。その設備区分は水素製造装置で、詳細は改質装置(原料ガスは、不明)である。計装空気圧縮機の安全弁が制御機器の故障により作動し、水素製造装置が危険な状態になったと判断して、応急措置(緊急停止)を講じた。高圧ガス保安法第36条(危険時の措置及び届出)の規定を遵守した結果である。

5. まとめ

平成14年から令和4年までの21年間で発生した高圧ガス事故のうち、水素スタンドにおける事故を抽出した。その事故の事象分類の変遷に焦点を当てた統計と詳細解析の結果を、まとめて以下に示す。

- ① 水素スタンドにおける事故の事象分類の変遷を見ると、いずれの年も漏えい事象が最も多い。漏えいの内訳(①、②および③)は、一定の傾向がある。また、爆発、火災と破裂・破損(破裂)は、特定の期間に集中し、偶発事象である。
- ② 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「水素損傷」は、最初に低温環境で使用されるOリングで確認されたが、その後、常温環境と高温環境で使用されるOリングでも確認された。したがって、水素スタンドで使用されるOリングのシール技術は、どの設備区分においても、未だ開発途上にある。
- ③ 事象分類「漏えい①」損傷メカニズム「疲労」の事故は、その設備区分を見ると、事故件数が増加した平成29年は、圧縮天然ガススタンド、液化石油ガススタンドなどで経験しているが、事故件数が多くないフレキシブルホース(樹脂製)が多くを占めた。一方で、平成29年から令和4年までは継続して、種々の業種、業態で使用実績のあるフレキシブルチューブ(金属製)、冷凍設備、圧縮機などが多くを占めた。事故原因は、いずれも設計不良である。
- ④ 事象分類「漏えい②」部位「締結部」の事故は、ねじ込み式継手が最も多い。両端がねじ込み式継手の場合には、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。
- ⑤ 事象分類「漏えい③」人的行為など「安全弁作動」の事故は、最近の3年間(令和2年から令和4年まで)に集中している。

6. 注意事項

水素スタンドにおける高圧ガス事故について、注意事項を示す。

- ① 水素スタンドは、これまで経験したことのない超高压の水素を用いており、そこで使用される設備の材料、シール技術、運転管理、保守点検などに関する学識が技術社会になかった(未知)が、広く関係者が協力し、技術社会に学識をつくってきた。それでもなお、技術社会に学識がない(未知)または技術社会に学識があっても水素スタンドの関係者が身に付けていない(無知)ために、事故に至る場合がある。引き続き広く関係者が協力し、技術社会に学識をつくり、それを共有し、活用する必要がある。
- ② 水素スタンドで使用される O リングとフレキシブルホース(樹脂)は、上記①の技術社会に学識がない(未知)の典型的な例と認識する必要がある。
- ③ 水素スタンドにおける疲労の事故の事故原因は、設備区分によらず、設計不良であるが、次の違いを認識する必要がある。
 - ・ フレキシブルホース(樹脂)の場合は、技術社会に学識がない(未知)である。
 - ・ フレキシブルチューブ(金属製)、冷凍設備、圧縮機などの場合は、技術社会に学識があってもスタンドの関係者が身に付けていない(無知)またはその学識が不十分である。なお、水素スタンドの設置数の増加とともに、疲労の事故が増加することは予想されていた。水素スタンドの関係者は、疲労の事故に対する対策が、不十分であったと認識する必要がある。
- ④ 高压の水素は、外部に漏えいしやすいというリスクがある。したがって、水素スタンドでは、ねじ込み式継手の適切な締結管理と気密試験による確実な確認が重要である。
- ⑤ 水素は、着火しやすいが、火炎は見えにくい。したがって、水素スタンドの放出管では、覚知していない燃焼反応が発生している可能性は否定できない。また、水素スタンドは市街地での設置が進められており、近隣住民がいる場合が多い。水素スタンドの放出管の火炎により周辺住民を不安にさせないように設備、操作などの対策はもちろん、そのリスクコミュニケーションも重要である。

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高圧ガス事故の注意事項について(2015/03/31)
<https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/ruikeika/H2standR.pdf>
- 2) 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(2017/03/30)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2016_03_suiso.pdf
- 3) 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(2018/03/30)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2018/2017_03_suiso.pdf
- 4) 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(2019/03/12)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2018/2018_03_suiso.pdf
- 5) 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(2020/03/25)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2019/2019_03-02_suiso.pdf

- 6) 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圧縮機の高圧ガス事故の注意事項(2021/03/05)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2020/2020_suiso.pdf
- 7) 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充てんノズルの高圧ガス事故の注意事項(2022/02/22)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2021/2021_suiso2.pdf
- 8) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業) 水素スタンドの放出管に関連する高圧ガス事故の注意事項(2023/01/24)
https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2022/2022_suiso.pdf
- 9) 令和4年度 高圧ガス事故事例データベース
- 10) 藤井亮、小林英男、山田敏弘、相良尚都、高圧ガス事故の統計と解析(全体)、高圧ガス、Vol.60、No.11、p.905-912(2023)
- 11) 矢吹貴洋、小林英男、藤井亮、西田誠、高圧ガス事故の統計と解析(一般高圧ガス保安規則適用事業所)、高圧ガス、Vol.56、No.11、p.1060-1064(2019)