

1. 目的

圧縮水素スタンド(以下「水素スタンド」という)は、水素を燃料とする自動車に水素を供給することを目的として設置されている。平成 26 年 4 月に閣議決定された第 4 次のエネルギー基本計画には、四大都市圏を中心に平成 27 年以内に 100 箇所程度の水素スタンドを整備することが目標とされている。また、平成 26 年 12 月には、国内において燃料電池自動車の市販が開始された。以上のことから、国内において水素スタンドの増設が要望されている。

水素スタンドは、ディスペンサー、蓄圧器、圧縮機、プレクーラなどの高圧ガス設備を保有しており、高圧ガス保安法の適用を受ける液化石油ガススタンド(以下「LPG スタンド」という)および圧縮天然ガススタンド(以下「CNG スタンド」という)と比較すると、設備の運転条件(圧力、温度)が厳しく、漏えい事故が起こりやすいことが懸念される¹⁾。また、水素は、すべてのガスの中で密度が最も小さく、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(表1参照)。このため、水素スタンドにおける高圧ガス事故の再発防止、未然防止に向け問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめた。

表 1 スタンドで使用されるガスの物性²⁾

分子式	水素	液化石油ガス		天然ガス	
	H ₂	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CH ₄	C ₂ H ₆
密度*(kg/m ³)	0.09	1.97	2.59	0.72	1.34
爆発範囲**(Vol%)	4~75	2.1~9.5	1.8~8.4	5~15	3~12.5
最小発火エネルギー(mJ)	0.02	0.24	0.26	0.28	0.24

* 0°C、0.1013MPa(絶対)

** 空气中

2. スタンドにおける事故統計

(1) 事故件数の推移

平成 25 年度高圧ガス事故事例データベース³⁾から、LPG スタンドにおいては昭和 40 年から平成 25 年までに、水素スタンドおよび CNG スタンドにおいては普及開始から平成 25 年までに、発生した高圧ガス事故件数の推移を図 1~図 3 に示す。図 1~図 3 には比較のために、それぞれのスタンドの設置数(その年までの増減累積数)の推移^{4)~6)}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。)。また、図 2 の LPG スタンドにおいては、負傷者数の推移も示す。なお、水素スタンドおよび CNG スタンドにおいては、平成 25 年までに人的被害は発生していない。以下の①~③に詳細を示す。

① 水素スタンド

図 1 を参照して、水素スタンドは、平成 14 年に大阪で初のスタンドが設置され、設置数は平成 22 年から毎年 20 程度で推移している。事故件数は、スタンド数の増加に伴い増加傾

向を示している。

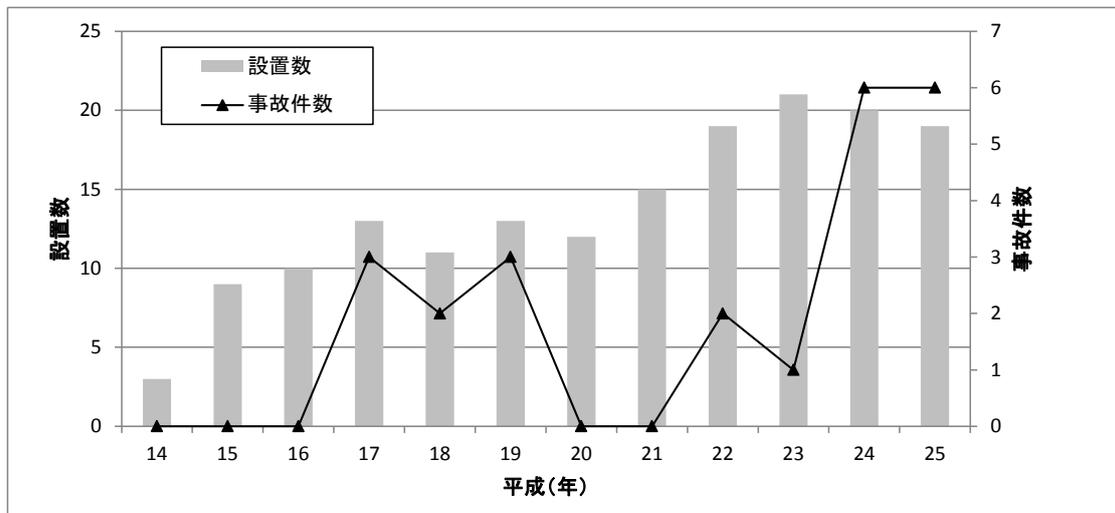


図1 水素スタンドにおける設置数と事故件数の推移

② LPG スタンド

図2を参照して、LPG スタンドは、昭和37年に大阪で初のスタンドが設置され、昭和60年以降、設置数は毎年1,900程度で推移している。事故件数は、スタンド普及当初は多かったが、設置数の増加に伴い一度減少傾向を示した。しかし、平成15年からは、事故件数は再び増加傾向を示している。また、負傷者数はスタンド普及当初に多く、その後は減少したが、突発的に続いている。

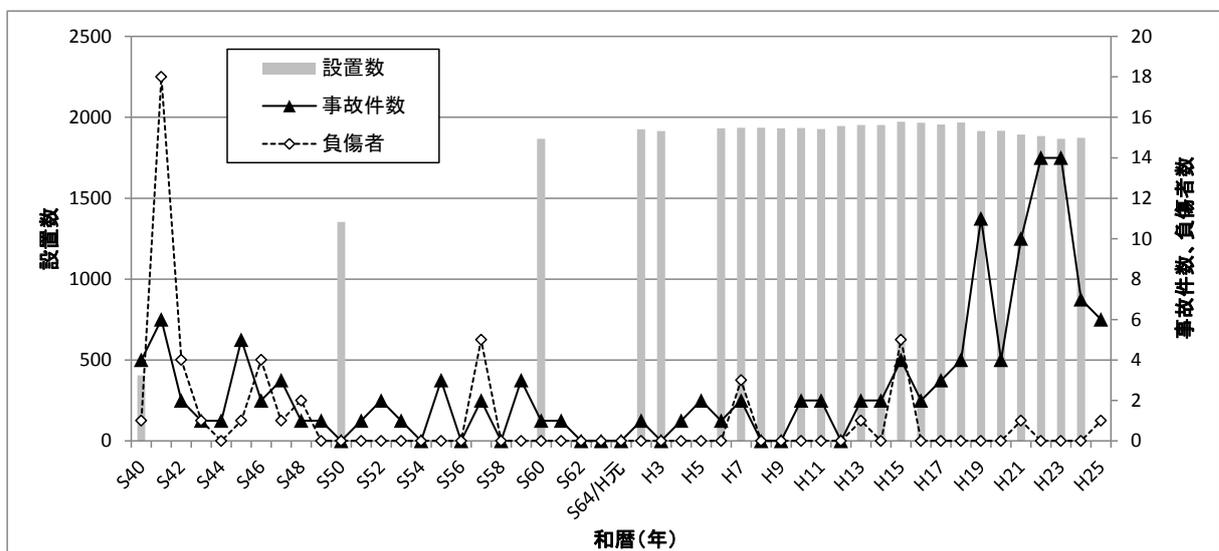


図2 LPGスタンドにおける設置数と事故件数の推移

③ CNG スタンド

図3を参照して、CNG スタンドは、平成2年に千住(東京)で初のスタンドが設置され、平成17年以降、設置数は毎年300程度で推移している。事故はスタンド普及当初には、発生していない。しかし、平成18年から事故件数が増加し、平成22年に35件のピークを示し

た後に減少している。

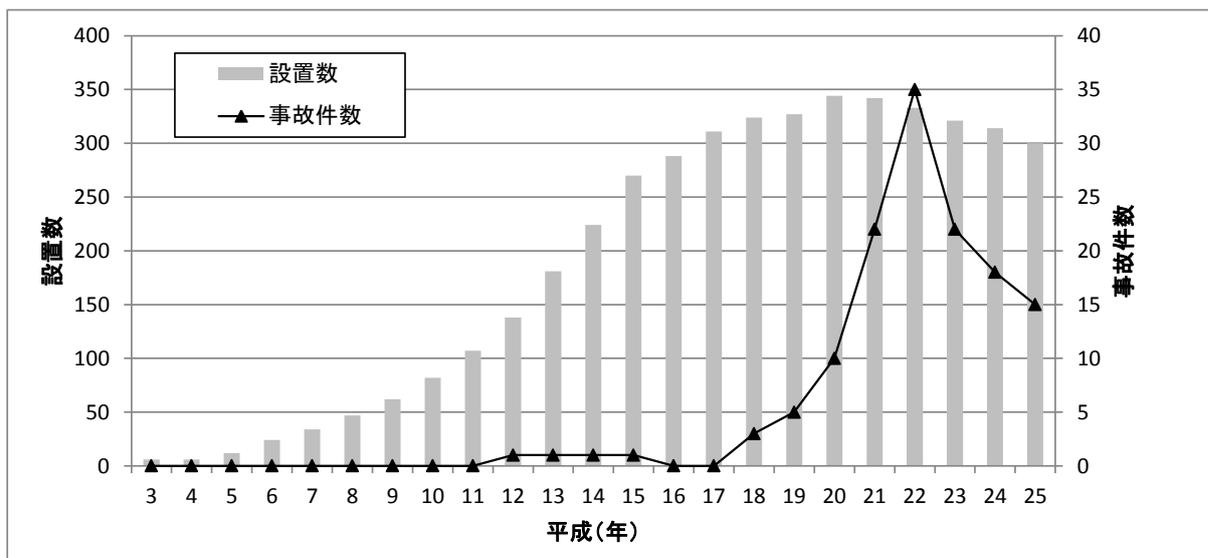


図3 CNGスタンドにおける設置数と事故件数の推移

(2) スタンドの比較

LPG スタンドおよび CNG スタンドにおいては、設置数が増加した後に事故件数が増加している。このため、水素スタンドにおいても、設置数が増加した後に事故件数が増加することが懸念される。

それぞれのスタンドの使用条件、設置数および事故件数をまとめて表 2 に示す。事故件数の合計は、水素スタンドが 23 件、LPG スタンドが 133 件、CNG スタンドが 132 件となっており、LPG スタンドおよび CNG スタンドにおいては、水素スタンドの 5 倍以上の事故件数を経験している。ただし、それぞれのスタンドの設置数は、大幅に異なる。そこで、最近 10 年間のそれぞれのスタンドの設置数に対する事故件数の比率を、図4に示す。水素スタンドにおいては、事故件数の比率が他のスタンドよりも高く、平成 25 年は 30%を超えている。また、CNG スタンドにおける事故件数の比率は、LPG スタンドにおける事故件数の比率と比較して高い。これは、CNG スタンドにおいては、設備の運転条件(圧力、温度)が厳しいためと考えられる。水素スタンドにおいては、LPG スタンドおよび CNG スタンドよりも設備の運転条件(圧力、温度)が厳しいため、今後の事故件数の増加が懸念される。上記の結果から、水素スタンドだけでなく、LPG スタンドおよび CNG スタンドも対象として、事故の再発防止、未然防止に向け問題点を抽出した。

表2 スタンドの使用条件、設置数および事故件数 ^{1),3)~6)}

	水素 スタンド	LPG スタンド	CNG スタンド
圧力(MPa)	82	1.6	25
温度(°C)	180	35	140
スタンド設置数*	19	1874	300
事故件数**(件)	23	133	132

* 水素スタンドは平成 25 年 12 月時点、CNG スタンドは平成 25 年 3 月時点、LPG スタンドは平成 24 年 3 月時点

** 平成 25 年度高圧ガス事事故事例データベースから抽出した累積事故件数

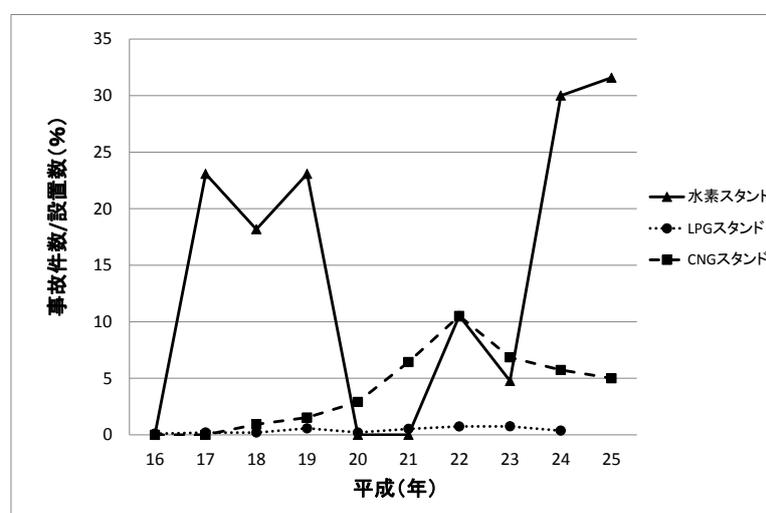


図4 それぞれのスタンドの設置数に対する事故件数の比率

3. スタンドにおける事故の問題点の抽出

(1)水素スタンド

平成 25 年までに発生した水素スタンドにおける事故 23 件について、事象ごとに分類した結果を、図 5 に示す。水素スタンドの事故件数に占める漏えい事象の比率は 91%(21/23)となる。漏えい以外の事象は、爆発、破裂・破損がそれぞれ 1 件となっている。

漏えい事象(100%)の詳細は、漏えい①が 19%(4 件)、漏えい②が 71%(15 件)、漏えい③が 10%(2 件)であり、漏えい②が大半を占める。

漏えい①では、フレキシブルチューブの曲げ疲労、圧縮機の吐出配管継手の振動疲労、充てんホースの内圧変動による疲労があり、4 件中 3 件が疲労であった。いずれも短い使用期間で疲労が発生しており、設計時に曲げ、振動、圧力変動の使用条件の検討が不十分な設計不良が原因である。また、疲労以外の漏えい①では、クロムモリブデン鋼(SNCM439)製の蓄圧器において、製作時の焼き割れの残置が起点となり、水素誘起割れが発生した事故が 1 件ある⁷⁾。

漏えい②では、15 件中 12 件が締結部のねじ込み式継手からの漏えい事象であり、事故原因は締結管理不良が 6 件、シール管理不良が 5 件、製作不良が 1 件となっている。ねじ込み式継手以外の漏えい②では、バルブと自動車側充てん口のシール管理不良が 2 件、

フランジ式継手の製作不良が1件ある。

漏えい③では、地震と誤開閉による締結部からの漏えいが2件ある。

漏えい以外の事象2件は、電解セルの異常反応を発端とする高圧縮水素発生エネルギー装置の爆発と^{8),9)}、低温における曲げ疲労に起因する充てんホースの破裂である。いずれも設計不良が原因である。

なお、水素スタンドにおいては、車両の誤発進による充てんホースの引張り事故(漏えいなし)が発生していないため、LPG スタンドおよび CNG スタンドの事故と比較して漏えい事象の比率が高くなっている。

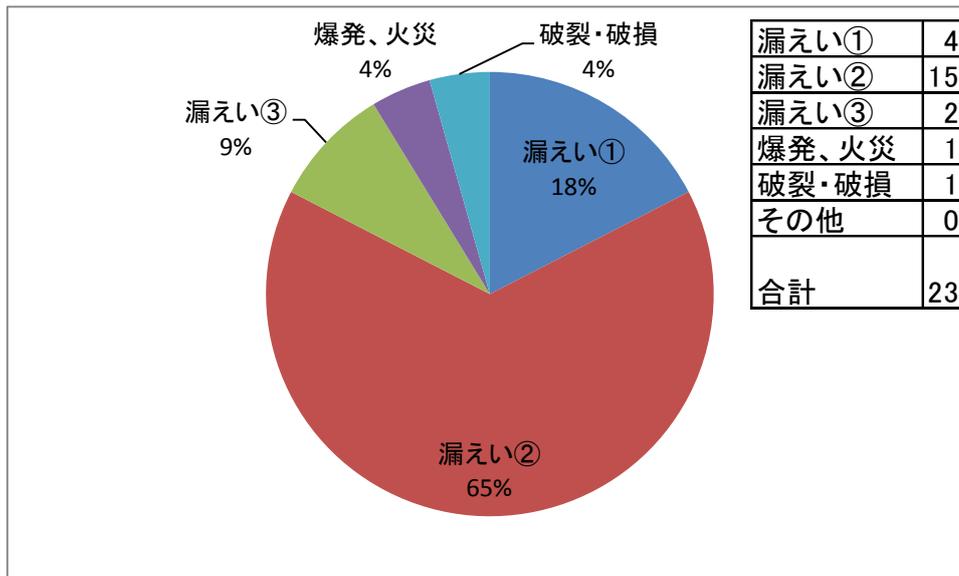


図5 水素スタンドにおける事故(23件)の事象ごとの分類
(平成25年まで)

(2) LPG スタンド

平成20年から平成23年までに発生したLPGスタンドにおける事故42件について、事象ごとに分類した結果を、図6に示す¹⁾。事故件数に占める漏えい事象の比率は、62% (26/42)となる。LPGスタンドにおいては、車両の誤発進による充てんホースの引張り事故(漏えいなし6件)に加え、車両の運転ミスなどに起因するディスペンサーの破損事故(6件)も発生しているため、漏えい事象の比率は最も低くなっている。

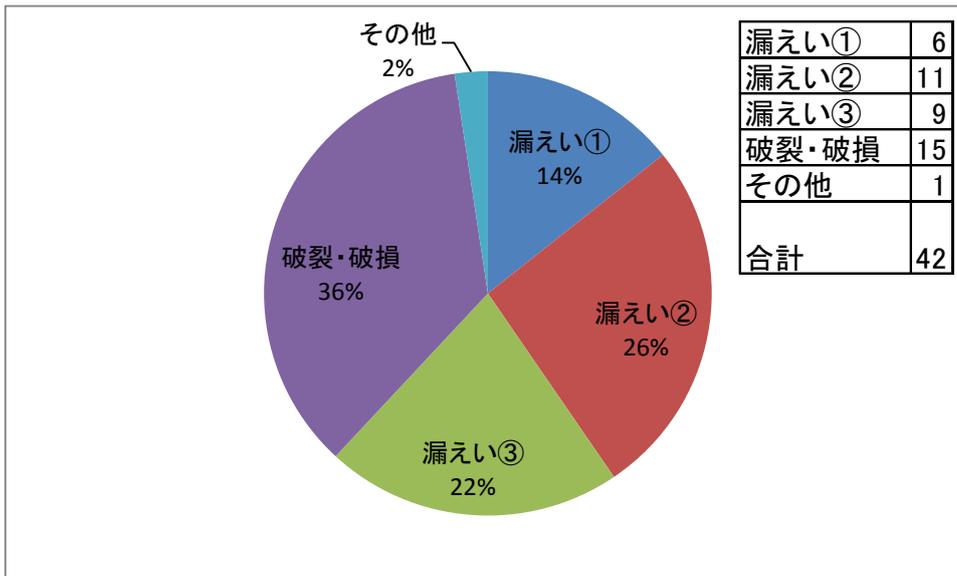


図 6 LPG スタンドにおける事故(42件)の事象ごとの分類
(平成 20 年～平成 23 年まで)

(3)CNG スタンド

平成 20 年から平成 23 年までに発生した CNG スタンドにおける事故 86 件について、事象ごとに分類した結果を、図 7 に示す¹⁾。事故件数に占める漏えい事象の比率は、80% (69/86)となる。CNG スタンドにおいては、車両の誤発進による充てんホースの引張り事故(漏えいなし 5 件)が発生しているため、水素スタンドの事故と比較して漏えい事象の比率は低い。

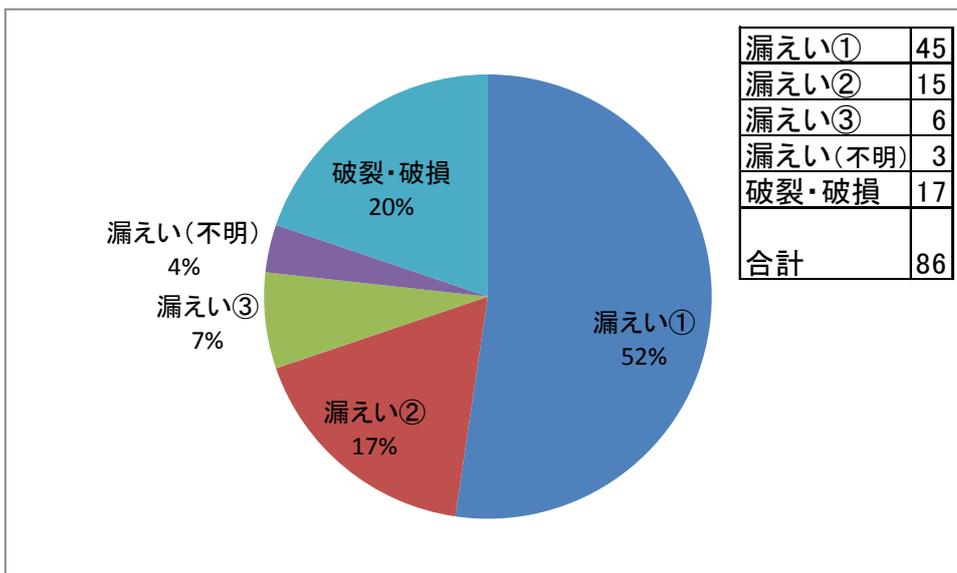


図 7 CNG スタンドにおける事故(86件)の事象ごとの分類
(平成 20 年～平成 23 年まで)

(4) スタンドの比率

平成 20 年から平成 23 年までに発生した LPG スタンドおよび CNG スタンドにおける事故件数から、車両の誤発進および運転ミスに起因する破損事故件数を除くと、ほぼすべてが漏えい事象となる(LPG スタンド 95%(20/21)、CNG スタンド 98%(64/65))。したがって、水素スタンドを含めてスタンドの事故防止には、漏えい事象と、水素スタンドでは発生していないが車両の誤発進および運転ミスへの対策が重要となる。

4. 水素スタンドにおける事故防止の注意事項

(1) 漏えい②

水素スタンドにおける事故は漏えい②が最も多く(15 件)、漏えい②の原因はシール管理不良(7 件)と締結管理不良(6 件)が大半を占める。

① シール管理不良

締結部のパッキン(4 件)と Oリング(3 件)の破損(5 件)、ねじれ(1 件)および取付けミス(1 件)が発生している。原因はシール管理不良である。再発防止対策としては、材質変更、交換周期の見直しおよび点検周期の見直しが挙げられる。

② 締結管理不良

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、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。運転中の締結管理には、合いマークによる緩みの可視化が有効である。水素スタンドにおいては、LPG スタンドおよび CNG スタンドにおける締結管理を参考に、漏えいしやすい水素の特性を踏まえた対応が必要である。

(2) 漏えい①

CNG スタンドと LPG スタンドにおける漏えい事象を比較すると、CNG スタンドでは漏えい①が多く、そのうちでも特に疲労が多くなっている¹⁾。これは、CNG スタンドは LPG スタンドに比較して、運転条件(圧力、温度)が厳しいためと考えられる。疲労が発生する原因は、設計時における運転条件に対する疲労への検討不足、すなわち設計不良である。

水素スタンドでは、CNG スタンドよりも運転条件が厳しくなるため、今後の水素スタンドの増加とともに疲労の事故も増加することが予想される。特に、温度が低くなるプレクーラ設備と設備周りの配管類、および温度が高くなる圧縮機と圧縮機周りの配管類は、水素環境に適合する材料選定が必要である。また、水素環境で使用する設備の製作時には、他のガス設備以上に表面粗さと応力集中の軽減を図ることが必要である。

(3) 車両の誤発進および運転ミス

LPG スタンドおよび CNG スタンドにおいては、スタンド特有の事故として、車両の誤発進および運転ミスに起因する破損事故が発生している。このため、一般高圧ガス保安法規則(以下「一般則」という)で、ガス設備は車両の衝突するおそれがない場所への設置、または車両の衝突を防止する対策が義務付けられている。また、水素スタンドおよび CNG スタンドにおいては、一般高圧ガス保安法規則関係例示基準(以下「一般則例示基準」という)で、車両の誤発進等によるホースの破損を防止するための措置(緊急離脱カプラー)の基

準が定められている。さらに、水素スタンドにおいては、一般則例示基準で、ディスペンサーへの車両衝突防止措置の基準が定められている。

現状では、本格的に燃料電池自動車の普及が進んでいないため、水素スタンドにおいてはこれまで車両の誤発進および運転ミスに起因する破損事故は報告されていない。しかし、今後の本格的普及を踏まえ、車両の誤発進および運転ミスの発生を念頭に置き、規定されている対策および作業手順を徹底することが重要である。

(4) 海外の事故情報と水素スタンド以外の事故情報

平成 24 年 5 月に米国エメリービル市の水素スタンドにおいて、漏えい後の火災事故が発生している¹⁰⁾。この事故は、蓄圧器のリリーフ弁の耐圧部材に水素環境に適さない材料(マルテンサイト系ステンレス鋼 440C)が使用されていたため、リリーフ弁が破損し、放出管に約 300 kgの水素が漏えいした。漏えいした水素が何らかの原因により着火し、放出管出口および隣接する屋根で火災が発生した。

また、国内においては、平成 26 年 10 月、水素スタンドへ水素を輸送するため走行中の水素トレーラ(35MPa 複合容器 20 本積載)が、タイヤから発生した火災により容器が炙られ、溶栓から水素が大気に放出された事故が発生している。

海外の水素スタンドの事故情報だけでなく、水素スタンド以外の水素関連の事故についても注目し、今後の水素スタンドにおける事故防止へ活用することが重要と考える。

参考文献

- 1) 上田洋平、小林英男、赤塚広隆、澁谷忠弘、笠井尚哉、“論文/圧縮天然ガススタンドおよび液化石油ガススタンドにおける事故の解析”、高圧ガス、Vol.50、No.7、pp.413-418 (2013)。
- 2) “高圧ガス保安管理技術(第12次改定)”、高圧ガス保安協会(2015)。
- 3) 平成 25 年度高圧ガス事故事例データベース
(http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/hipregas/detail/jiko_jireidb.html)
- 4) “LPガス資料年報”、株式会社石油化学新聞社
- 5) 一般社団法人 全国LPガス協会ホームページ
- 6) 一般社団法人日本ガス協会ホームページ
- 7) “水素充填設備(水素スタンド)における水素の漏えい事故に係る原因調査結果”、経済産業省ホームページ
- 8) “水素ステーション事故調査報告書(第3報)要約版”、九州大学ホームページ
- 9) 高圧ガス事故概要報告(水素ステーション実証試験設備の爆発事故)
(http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2005-415.pdf)
- 10) Aaron P. Harris and Chris W. San Marchi, “Investigation of the Hydrogen Release Incident at the AC Transit Emeryville Facility (Revised)”, SAND2012-8642 (2012)。