

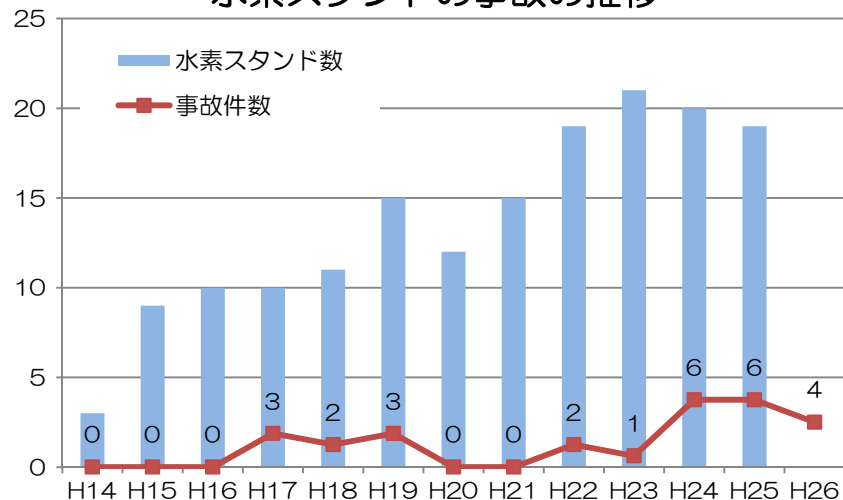
最近の水素スタンドにおける 事故状況について

平成27年3月12日
経済産業省
商務流通保安グループ
高圧ガス保安室

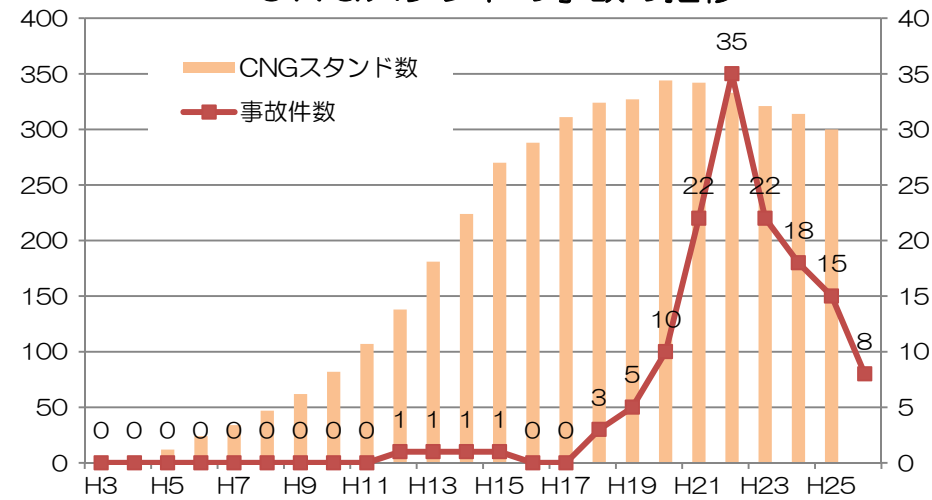
高圧ガスを使用したスタンドの事故の推移について

- 水素スタンドの事故推移は、実証段階ベースであるが、スタンド数に比例して事故が増加傾向にある。
- 天然ガス（CNG）スタンドは、本格普及し始めてから事故数が急増。LPGスタンドでは、スタンド数は昭和60年以降同数程度であるが、平成15年から事故数が急増。
- スタンド数あたりの事故件数割合は、CNGスタンド5～10%、LPGスタンド1%以下に対し、水素スタンドは、直近で30%程度と事故の割合は多い。

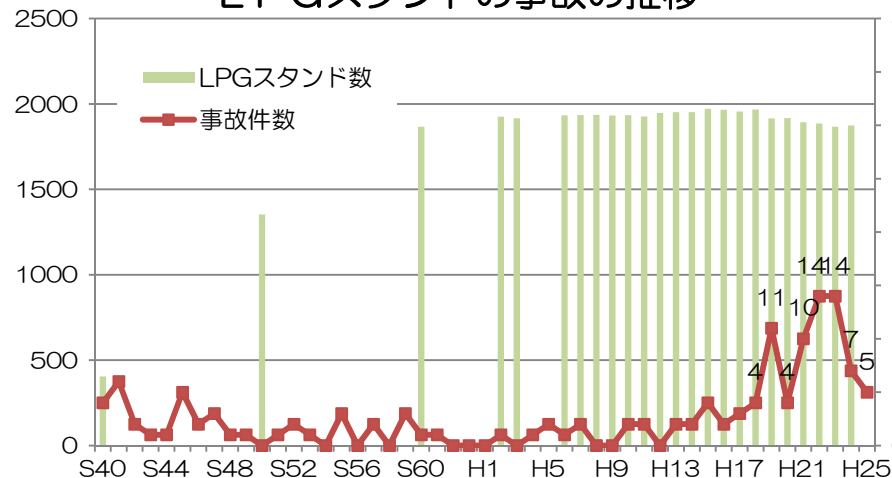
水素スタンドの事故の推移



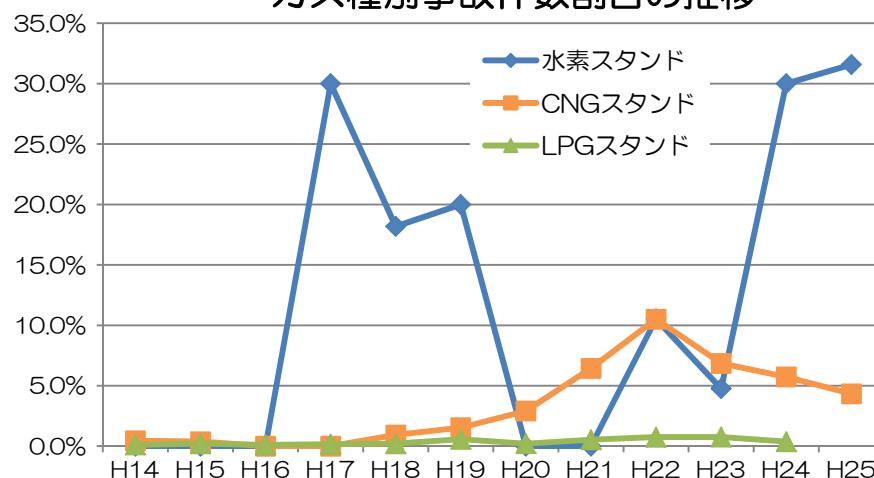
CNGスタンドの事故の推移



LPGスタンドの事故の推移

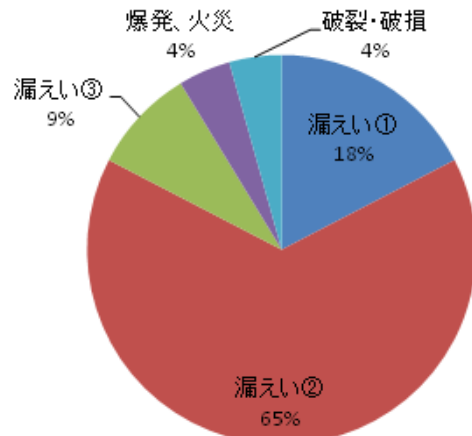


ガス種別事故件数割合の推移



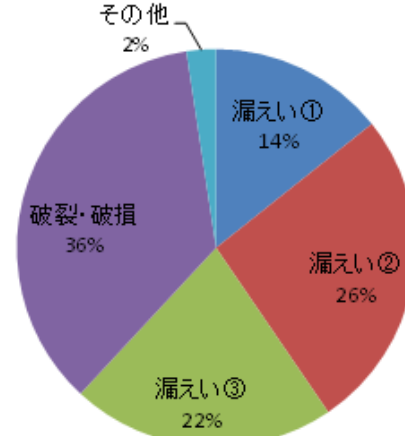
高圧ガスを使用したスタンドの事故の事象について

水素スタンド



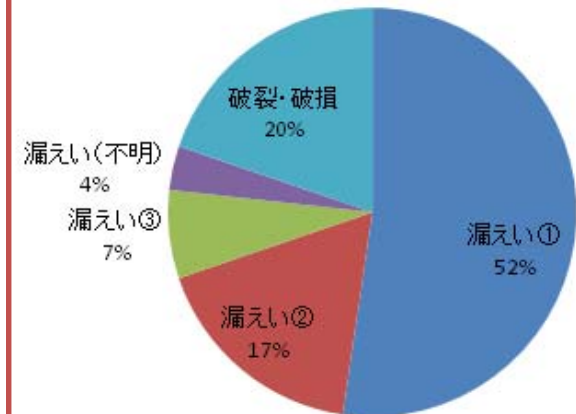
- 対象年度：～平成25年
- 事故件数：23件
- 漏えい比率：91%
→実証段階であったため、車両の誤発進が少なく漏えい事象の比率が高い

LPGスタンド※1



- 対象年度：平成20年～平成23年
- 事故件数：42件
- 漏えい比率：62%
→車両の運転ミスなどによるディスペンサーの破損が多いため漏えい事象の比率が低い。

CNGスタンド※1



- 対象：平成20年～平成23年
- 事故件数：86件
- 漏えい比率：80%
→漏えい以外は、車両の誤発進及び運転ミス

水素スタンドでの事故の具体的な事象について

- 漏えい1※2：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、充填ホースの内圧変動疲労など、短い使用期間で疲労が発生しており、使用条件（設計時に曲げ、振動、圧力変動）の検討が不十分な設計不良が原因。疲労以外の漏えいは、製作時の傷が起点となり水素脆化によるき裂からの漏えい。
- 漏えい2：締結部のねじ込み式継手からの漏えいが多く、原因は締結管理不良、シール管理不良製作不良。それ以外は、バルブと自動車側充填口のシール管理不良、フランジ式継手の製作不良。
- 漏えい3：地震及び誤開閉による締結部からの漏えい
- その他：水電解設備爆発と低温における曲げ疲労に起因する充填ホースの破裂であり、いずれも設計不良が原因。

※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). 出典（そのため、事故件数は、前頁の事故件数とは異なる。）

※2 漏えい1：機器、配管等の本体からの噴出・漏えい。漏えい2：締結部、開閉部又は可動シール部からの噴出・漏えい。

水素スタンドにおける注意事項

- これまでの高圧ガスを使用したスタンドの事故の事象から、スタンドの事故防止には、漏えい事象と車両の誤発及び運転ミスへの対策が重要。
- そのため、水素スタンドでは、漏えいしやすい水素の特徴を踏まえた対応、厳しい運転条件（圧力・温度）による疲労事故の増加への対応、適切な衝突防止対策などが重要となる。

漏えい事象について

- 漏えいの原因として、シール管理不良及び締結管理不良が半数以上を占める。
- 定期自主検査後に再利用したパッキンから漏えいが発生していることから、取り外したOリングやパッキンの再利用は避け、新品に交換することが望ましい。
- 締結部では、圧縮機の振動、Oリング及びパッキンの初期応力緩和、圧力変動、温度変動などにより運転中の締結力低下が想定されることから、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の確認が必要。
- CNGスタンドとLNGスタンドでは、運転条件（圧力、温度）が厳しいCNGスタンドの方が疲労による漏えい事象が多い。水素スタンドは、更に厳しい運転条件であるため、今後水素スタンドの増加とともに疲労の事故が増加することが予測される。
- 特に温度が低くなるプレクーラ設備とその周りの配管類、及び温度が高くなる圧縮機とその周りの配管類は、水素環境に適合する材料の選定が必要。
- 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が必要

車両の誤発進及び運転ミス

- FCVが普及すれば、CNGスタンドやLNGスタンドと同様に、車両の誤発進及び運転ミスによる事故の増加が懸念される。車両の誤発進は、作業手順が守られてないことが原因であることから、手順書だけでなく、誤発進防止対策を導入することが重要。
- LPGスタンドでは、運転ミスなどによるディスペンサーの破損事故が発生しており、水素スタンドにおいても、FCVが普及すれば、運転ミスによる設備の破損事故が懸念される。技術基準では、車両衝突防止措置を求めており、例示基準にて、防護柵の設置について例示している。その他、車の進入経路を予測し、死期内の設備の配置を考慮して、衝突防止措置を講ずることが重要。

平成25年水素スタンドの事故概要（6件）

code	県名	事象	取扱 状態	事故 原因	事故概要
2013-037	神奈川県	漏洩	<停止中>（検査・点検中）	<操作基準の不備>	元弁二次側継手部のトルクチェック実施のため、元弁本体をモンキーレンチで固定し、元弁二次側継手にトルクレンチで力を加えたところ、元弁一次側継手部に応力がかかり、継手部が緩んだため水素が漏えいした。
2013-063	東京都	漏洩	<停止中>（休止中）	<シール管理不良>	液体水素受入下部弁のグランド部から水素が漏えいした。原因は、温度変化によるパッキン材料の収縮、締め付けられたパッキン材が時間の経過と共に起きた応力緩和、軸部摺動による摩耗と推定される。
2013-115	神奈川県	漏洩	<停止中>	<締結管理不良>	蓄ガス器ユニットのバンク2の過流防止弁本体の検知孔から水素が漏えいした。原因は、過流防止弁の弁箱Aと弁箱Bの接合部のOリングが破損したため。また、弁箱Aと弁箱Bの接続部のねじは手で回るほど緩んでおり、この緩みにより生じた隙間に水素ガスの内圧を受けたOリングがはみ出し破損したためと推定される。
2013-343	栃木県	漏洩	<貯蔵中>	<製作不良>	蓄圧器から水素が漏えいた。原因は、製作時に発生した焼き割れが起点となり、水素による遅れ割れが発生したものと推定される。
2013-356	東京都	漏洩	<停止中>	<シール管理不良>	圧縮機吸入弁から水素が漏えいした。当該漏えい箇所は、2008年1月に定期点検時に新規の取付弁（及びOリング）を交換し、再組付けを実施している。原因は、日常運転による経年劣化により、Oリングが破損したものと推定される。
2013-376	愛知県	破裂	<製造中>（定常運転）	<設計不良>	充てん試験中に、破裂音とともにディスペンサー充てんホース上部に穴があき、水素が漏えいした。原因は、充てんホースが屈曲した状態での低温充てん実験の繰り返し実施したため、充てんホース内面層からき裂が発生したものと推定される。

平成26年水素スタンドの事故概要（4件）

code	県名	事象	取扱 状態	事故 原因	事故概要
2014-173	愛知県	漏洩	＜製造中＞ （定常運転）	＜シー ル管理 不良＞	圧縮機吐出遮断弁(PV107)グランド部から水素が確認した。原因は、経年および稼動回数が多いことから、遮断弁グランド部のパッキンの劣化と推定される。
2014-182	愛知県	漏洩	＜製造中＞ （定常運転）	＜設計 不良＞	充てん試験終了後、充てんホースの圧力が急激に低下した。漏えい箇所はディスペンサー充てんホース上部。原因は、ホース内面に発生したき裂が、加圧の繰り返しによって進展し、貫通したものと推定される。き裂が発生した原因は、メーカーにて調査中である。
2014-299	佐賀県	漏洩	＜製造中＞ （定常運転）	＜締結 管理不良＞	圧縮機吐出口付近から水素が漏えいした。原因は、圧縮機ユニットとの接続部において、経年的に圧縮機運転時の振動を受けたことによって緩みが生じたものと推定される。
2014-349	大阪府	漏洩 → 爆発	＜停止中＞ （検査）	＜誤操作・誤 判断など＞	点検のため蓄圧器内部で異物を確認したため、異物採取作業を開始したところ、使用していた掃除機が破裂して、吸引ホースにて作業していた作業員Aが負傷(火傷)した。蓄圧器と同敷地内にある水素製造装置のベントラインが連結されており、本作業を行うために蓄圧器ベントラインに仮設の手動弁を取りつけていた。原因は、置換完了後も仮設弁が開放となっていたため、掃除機にて蓄圧器内のガスを吸引したことにより、水素製造装置からベントガス（水素）が蓄圧器内に流入し、掃除器内で着火が起こったものと推定される。

※なお、平成27年の水素スタンドの事故は、現時点で、3件（速報ベース）発生している。

(参考) スタンドの昇圧後の圧力及び温度

	圧力 (MPa)	温度 (℃)
LPガススタンド*	1.6	35
CNGスタンド	25	140
水素スタンド	82	180

*LPガススタンドは、プロパン100%の状態の数値

参考文献：上田、小林、赤塚、澁谷、笠井、“圧縮天然ガススタンド及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. 31-36、2013

米国での水素スタンド事故について

- 世界で商用化が始まっている水素スタンドは、日本のみであるが、平成24年5月に米国の水素スタンドにて、蓄圧器に設置された放出弁の破損、**水素の全量漏えい、火災**の事故が発生。事故により、近隣住民等の避難命令等が出された。
- 事故の原因としては、**水素脆化**による放出弁の耐圧部材の破損に起因して水素が漏えい、非常時の放出システムの不適切な設計により全量の水素放出及び着火火災に至った。更に事態が深刻化するまで消防へ伝達されず、収束までに時間を要した。
（水素脆化に対する評価が行われた材料を適切に選択・使用することが重要。）
- 我が国の技術基準には、これらの原因への対策は、盛り込み済。

事故の概要について

- ・日 時：平成24年5月4日 午前7時45分（発災）
- ・場 所：米国カルフォルニア州エメリービル市
- ・発生設備：水素スタンド 放出弁（圧力逃し弁）
- ・被害：近隣住民及び中学校へ避難命令、小学校へ待機命令、屋根（燃烧）
- ・事故概要：蓄圧器に設置された放出弁が破損し、**全ての蓄圧器（18本）から全量の水素が放出**された。放出管出口で着火し火災となった。



（出典：高圧ガス保安協会文書）

原料	水、液体水素
製造方式	水改質（太陽光）、液体水素気化
水素製造能力	600kg/日
充填圧力	35MPa, 70MPa
保有水素量	1,800～1,900kg
運営、管理	AC Transit, Linde

米国での水素スタンド事故の原因について

事故原因①：材料選定

→水素供給に適さないマルテンサイト系ステンレス鋼（440C）が放出弁の耐圧部材に使用。

結果：放出弁の設定圧力（54MPa）以下で、安全弁の耐圧部材が水素脆化により破損し、放出弁から大量の水素の漏えい。

我が国の対策：水素脆化に対して安全性が確認された材料から例示基準に追加。

事故原因②：システムの設計

→放出弁のうちどれか1個破損すると18本全ての蓄圧器から水素がする構造。放出管が隣接する屋根に対して十分な高さに設置されていない。

結果：システム内に貯蔵されていた水素の大量放出、スタンドの屋根の塗料及びほこりが燃焼

我が国の対策：大量流出防止措置や放出管の開口部の位置を例示基準にて例示。

事故原因③：情報の伝達

→消防緊急司令官に設備のシステム情報が適切な時に伝達されていない。

結果：事故発生15分後には知ることが出来た貯蔵システムの圧力低下の情報は、事態が深刻化するまで消防緊急司令官には伝達されなかったため、事故収束までに2時間15分かかった。

我が国の対策：水素に関する経験者を保安監督者として選任することを義務化

高圧の水素を充填する設備（蓄圧器）における事故について

- 高圧の水素を充填する設備（蓄圧器（水素を貯蔵する容器）：特定設備）に、**使用開始から8日ほどで貫通するき裂が生じ、水素漏えい**する事故が発生。
- 蓄圧器の肩部（鍛造部）内部に存在していた傷を起点として、高圧の水素（94MPa）により短期間で外面までき裂が進展したことによるものと推定される。
- 水素脆化を含め、使用環境に対する評価が行われた材料を適切に選択・使用することが重要。

事故の概要について

- ・日時：平成25年12月12日 午後0時23分（発災）
- ・場所：栃木県内
- ・発生設備：蓄圧器
- ・事故概要：水素充填設備において、11月29日完成検査後、12月4日より試運転のため94MPa程度まで昇圧し、蓄圧した。12月9日から12日まで水素充填の試運転を実施した。12日、蓄圧を完了し、試運転のための待機中に漏えい検知器で警報を確認した。漏えい量は1 m³。人的被害が無いことを確認し、対象容器から大気圧まで放出した。
- ・事故原因：蓄圧器（設計圧力：99MPa、使用材料：SNCM439（ニッケルクロムモリブデン鋼）、板厚：57.5mm）の肩部（鍛造部）内部に存在していた傷を起点として、外面までき裂が進展したことによるものと推定される。

蓄圧器の解析について

○破面解析

- ・電子顕微鏡により破断した破面の観察を行った
- ・粒界割れ有無を確認→水素による遅れ割れ有無の確認

○腐食部分の解析

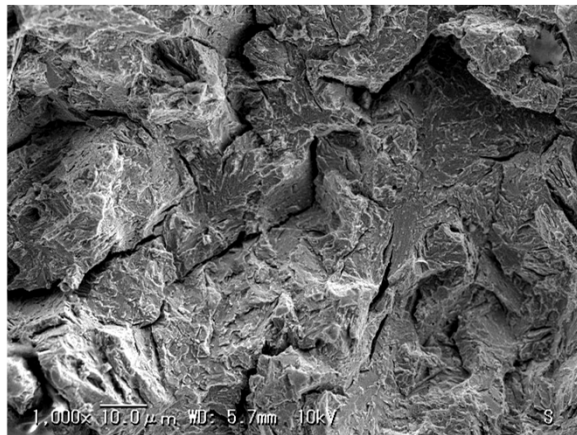
- ・表面の蛍光X線半定量分析（EDX）ならびにX線回折（XRD）により成分分析を行った。
- ・製造工程の、どの時点でき裂が入ったかを推定

○き裂進展解析

- ・初期き裂の大きさから応力拡大係数求め、き裂進展の可能性を計算

電子顕微鏡による破面観察結果

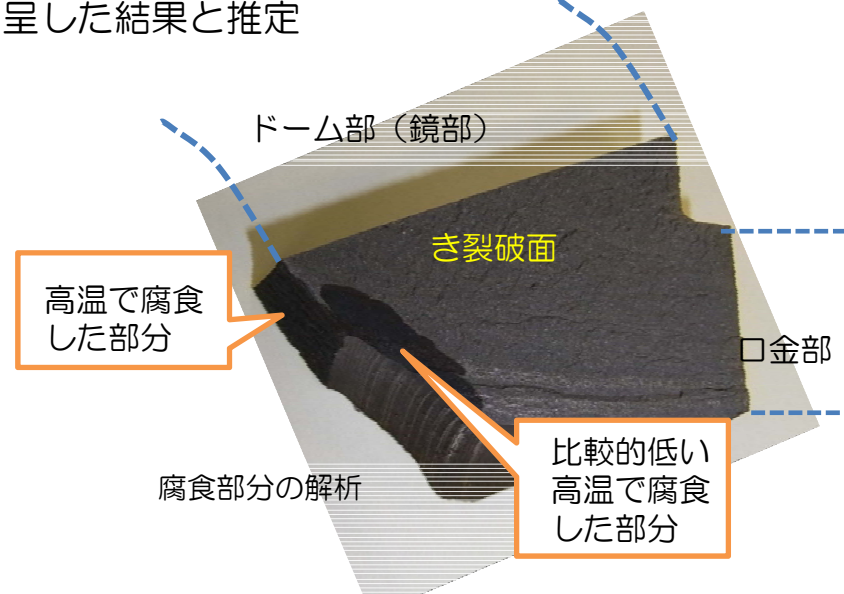
- 破面全体は、粒界破壊であり、水素に起因する鋼の割れの特徴を示している



電子顕微鏡写真 1000倍 粒界割れ破面

腐食部分の解析

- 比較的低い高温状態で腐食された部分（ α -Feが主成分）と高い高温で腐食された部分（FeOが主成分）が存在する
- 比較的低い高温状態で腐食した部分は、焼入れ時に室温近傍で発生した焼割れで、この割れが焼戻し時に酸化され、黒色を呈した結果と推定



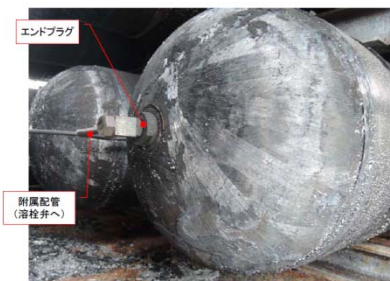
水素トレーラの火災事故について

- 水素ステーションについて、運用実績は少なく、水素関連技術については開発途上段階で成熟したものではないことから、**引き続き、発生する事故については検証が必要**。
- 平成26年10月7日午前5時頃、保土ヶ谷バイパス付近で発生した水素トレーラ(35MPa複合容器×20本搭載)より火災が発生(**実存する水素トレーラ2台のうちの1台**)。容器内水素は溶栓式安全弁が作動し、配管を通じ車外に放出され、容器内の水素は全て放出されていた。(事故車両は実証用設備で溶栓弁等を装備しており、**破裂等の発生は回避することができた**。)
- 今後、当該事故の原因の検証及び対策の検討を実施予定。

事故の状況について

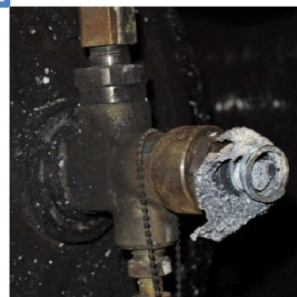


前方からの全体



右後方の容器

(出典：高圧ガス保安協会委員会資料より抜粋)



ハンドルの溶融状況
→熱溶融してることから
600℃以上の環境になった
と推測。



溶栓弁付き元弁の状況
→溶栓は120℃で溶けるので、
作動し水素が放出されたと推測。

事故の概要について

- ・日時：平成26年10月7日
午前5時3分(発災)
- ・場所：神奈川県横浜市
保土ヶ谷バイパス
- ・原因：火災(タイヤバースト)
- ・状況：走行中に車両後方の発煙とバースト音を確認。路肩に停車し車両後方右側後輪タイヤより発火を確認。車載消火器で消火を試みるが消火できず消防に通報。通報後トレーラ上方より2回大きな噴出音を確認。午前8時に鎮火。
- ・被害状況：死傷者なし
- ・容器使用：本数：20本
最大充填圧力：35MPa
被災時充填圧力：25MPa
- ・火元：後方タイヤ4本、
ゴムキャップ8kg×20本
- ・その他：溶栓弁は、右前方下部の蓄圧器の1つの弁以外、全て作動。