

液化水素関連設備の危険要因が給油取扱所に及ぼす影響

給油取扱所に 70MPa の圧縮水素充填設備を設置する場合には、既に技術基準が定められており、固定給油設備等と水素充填設備が相互に影響を与えないよう水素漏洩による火災危険性について検討がなされている。

このことから、給油取扱所に液化水素関連設備が設置された場合の水素漏洩による火災危険性について検討する。

1 液化水素関連設備からの水素漏洩による火災危険性に対する対策の考え方

液化水素の物性等は表 1 のとおり。水素火炎はほとんど視認できず、爆発範囲が非常に広く、最小着火エネルギーが小さいことによる火災危険性や、液化水素は沸点-253℃以下の超低温であることから低温関係に十分注意が必要である。

表 1 水素に係る物性等

外観	無色の超低温液体
臭い	無臭
融点 (大気圧)	-259℃
沸点 (大気圧)	-253℃
臨界点	-239.9℃ 1.3MPa (abs)
液密度 (沸点、大気圧)	70.8 kg/m ³
有害性 (皮膚刺激性) (ガス吸入)	凍傷 単純窒息性
蒸発潜熱 (大気圧)	446.0 kJ/kg (1 kg = 11.1 Nm ³) (参考) 液化酸素 213.0 (= 0.7 Nm ³) 液化窒素 199.1 (= 0.8 Nm ³) 液化ヘリウム 20.3 (= 5.6 Nm ³)
ガス比重 (空気 = 1)	0.0695 (参考: メタンの場合 0.55)
爆発範囲 (空気中)	4.0~75.0 Vol% (参考: メタンの場合 5.0~15.0 Vol%)
拡散係数 (常圧、20℃、空気中)	6.1 × 10 ⁻⁵ m ² /s (参考: メタンの場合 1.6 × 10 ⁻⁵ m ² /s)
最小着火エネルギー	0.02 mJ (参考: メタンの場合 0.28 mJ)

液化水素関連設備からの水素漏洩による火災危険性については「(平成 25 年度 経済産業省委託非化石エネルギー等導入促進対策調査事業) 都市型圧縮水素スタンドに液化水素貯槽を設置する場合の技術基準検討会」(事務局: 高圧ガス保安協会) (以下「都市型圧縮水素スタンド検討会」と言う。) 及び「平成 25、26 年度 液体水素スタンド基準整備検討会」(事務局: 日本産業・医療ガス協会) (以下「液体水素スタンド基準整備検討会」と言う。) において検討がなされている。

これら検討会においては、表 2 のとおり水素の漏洩規模に応じた検討が行われた。

表2 液化水素関連設備からの水素漏洩による火災危険性

内容	事故要因
大量漏洩	飛来物、暴走車両飛び込み、踏みつけ等による配管類の損傷、外部熱入力、操作ミス（バルブの閉等）、送ガス蒸発器の性能不足（下流部の破損）、いたずら、水素脆化 等
少量漏洩	継手、バルブシート等からの漏洩 等
低温影響	上記漏洩による凍結
液化水素タンクローリーからの漏洩	液化水素タンクローリーからの充填中の漏洩 液化水素タンクローリーのスタンド内での事故 等

2 大量漏洩に対する対策の考え方

液化水素関連設備の損傷等の大量漏洩への対策については様々な検討（参考参照）が行われ、既に高圧ガス保安法において表3のとおり基準化されている。

表3 高圧ガス保安法で担保された大量漏洩に対する対策

防止すべき事象	対策
漏洩	遮断弁の設置（法制化） 蒸発器の能力が不足したときに遮断するための措置（法制化）
貯槽の破裂	安全弁の元弁を閉めることができないような2以上の安全装置の設置（法制化）
貯槽の圧力上昇	停電等により機能が失われない圧力リリーフ弁の設置（法制化） 真空断熱を用いた二重殻構造とし、適切な真空度の保持（法制化） 液化水素を放出する場合は気化及び加温した後に放出（法制化）
地震対策	耐震設計実施を規定（自主基準） 液化水素の通る部分は同一の基礎上に設置

【液化水素関連設備からの大量漏洩が給油取扱所に及ぼす影響】

液化水素関連設備からの大量漏洩については、十分な安全対策が高圧ガス保安法により担保されているため、事故の発生が抑制されている。



高圧ガス保安法により安全性が担保されている

3 少量漏洩に対する対策の考え方

継手、バルブシート等からの少量の漏えい事故等への対策については様々な検討（参考参照）が行われ、既に高圧ガス保安法において表4のとおり基準化されている。

8 MPaの高圧ガス設備と異なり、法令で認められている液化水素貯槽は1MPa未満で低圧であるため、離隔距離については実験結果及びシミュレーション結果から現行の8 MPaの高圧ガス設備よりも短い離隔距離が設定された。

表4 高圧ガス保安法で担保された少量漏洩に対する対策

防止すべき事象	対策
漏洩水素への着火	火気取扱い設備までの離隔距離（火気離隔距離） <u>2m</u> （法制化）
爆風圧による第三者への影響 （目安：爆風圧 1kPa の到達距離）	敷地境界までの離隔距離（敷地境界距離） <u>6m</u> （法制化）
噴出火炎による第三者への影響 （目安：火炎長の到達距離）	
輻射熱による第三者への影響 （目安：輻射熱 1.26kW/m ² の到達距離）	
スタンド内の人的被害	貯槽及び送ガス蒸発器とのディスペンサー隔離をはかるため、障壁の設置。ただし、液化水素貯槽にあっては、その操作部分（バルブ類、充填口、計測器類等）を対象。（法制化）

【液化水素関連設備からの少量漏洩が給油取扱所に及ぼす影響】

少量漏洩の危険要因が給油取扱所に及ぼす影響として、給油取扱所内の人的被害が考えられるが、水素ディスペンサーと同様に、貯槽及び送ガス蒸発器と給油取扱所の隔離をはかるための障壁を設置すれば給油取扱所内の人的被害を防止できるものと考えられる。

なお、現行の圧縮水素充てん設備設置給油取扱所では、圧縮機、蓄圧器及び改質装置と給油空地等、簡易タンク及び専用タンク等の注入口との間には障壁が設けることとしており、同様の対応を求めるものである。



貯槽及び送ガス蒸発器と給油関連設備の間に障壁の設置が必要
※現行の圧縮機、蓄圧器及び改質装置と同様の対応

4 低温関係に対する対策の考え方

液化水素の低温関係（低温部の拡散、液滴の飛散）に対する対策については様々な検討（参考参照）が行われ、既に高圧ガス保安法において表5のとおり基準化されている。

表5 高圧ガス保安法で担保された低温関係（低温部の拡散、液滴の飛散）に対する対策

防止すべき事象	対策
液化空気	砂利敷きによる蒸発促進（自主基準）
冷気の影響	防火壁の設置が難しい場合はスタンド間の離隔距離を大きくとる、あるいは防火壁の種類・形の検討（自主基準）
低温部の曝露	簡単に立ち入ることができないよう、フェンスの設置（自主基準）
スタンド内の人的被害	貯槽及び送ガス蒸発器とのディスペンサー隔離をはかるため、障壁の設置。ただし、液化水素貯槽にあっては、その操作部分（バルブ類、充填口、計測器類等）を対象。（法制化）

【液化水素関連設備からの低温関係が給油取扱所に及ぼす影響】

低温関係の危険要因が給油取扱所に及ぼす影響として、給油取扱所内の人的被害が考えられるが、少量漏洩の危険要因への対策と同様、水素ディスプレイと同様に、貯槽及び送ガス蒸発器と給油取扱所の隔離をはかるため、障壁を設置すれば給油取扱所内人的被害を防止できるものと考えられる。



貯槽及び送ガス蒸発器と給油関連設備の間に障壁の設置が必要
※現行の圧縮機、蓄圧器及び改質装置と同様の対応

5 液化水素タンクローリーからの漏洩に対する対策の考え方

液化水素タンクローリーからの漏洩に対する対策については様々な検討（参考参照）が行われ、既に高圧ガス保安法において表6のとおり基準化されている。

表6 高圧ガス保安法で担保された液化水素タンクローリーからの漏洩に対する対策

防止すべき事象	対策
漏洩	払い出し側、受入れ側に遮断弁の設置
充填中の誤発進	誤発進防止措置を設置
誤操作	充填中の移動監視者による監視
地震による倒壊等	遮断措置と移動監視者の監視により対応
液化ガス放出	放出管から気化・加温し放出
敷地内の事故	停止場所は、他の車両と接触事故等を起こすおそれのない場所であつて、土地内のあらかじめ定められた場所。 液化水素貯槽との距離は、充填容量の確認後直ちに供給を適切に停止できる場所。

【液化水素タンクローリーからの漏洩が給油取扱所に及ぼす影響】

液化水素タンクローリーからの漏洩については、十分な安全対策が高圧ガス保安法により担保され、事故の発生が抑制されている。



高圧ガス保安法により安全性が担保されている

6 まとめ

液化水素関連設備からの水素漏洩による火災危険性については既に高圧ガス関連の検討会において検討がなされており、高圧ガス保安法及び業界自主基準により安全性が担保されている。このことから、液化水素関連設備の危険要因が給油取扱所に及ぼす影響についても現行の高圧ガス保安法及び業界自主基準により安全性が担保されていると考えられる。

参考（２ 大量漏洩に対する対策の考え方）

（都市型圧縮水素スタンドに液化水素貯槽を設置する場合の技術基準検討報告書抜粋）

2.4.3 貯槽の遮断弁

現状、圧縮水素の貯槽には、その出入りの配管に２以上の遮断措置を取り付けることになっている（一般則第7条の3第1項第4号、同第2項第7号）。しかし、都市型のCEでは、遮断措置は各1と規定されている。液化ガスの場合、液封は非常に大きな危険であり、遮断措置の不具合により液封の状況が起こりやすい。

液封状態を感知して安全弁から放出させる方法はあるが、放出量により近隣に影響を及ぼす。あるいは、貯槽に戻す方法もあるが、貯槽圧力の上昇を招き、設備運用に支障を来すことも考えられる。

遮断措置は、大量の漏えいが発生した場合、これを阻止するためのものであるが、各1の設置でも十分機能するものと考えられる。また、これらの配管には各2の弁も設置することとなっており、安全上問題はないと考える。

従って、液化水素貯槽の遮断措置は各1でよいとしたい。

2.4.4 貯槽の安全弁

都市型のCEでは、貯槽の破裂事故を防止するため、安全弁の元弁を閉めることができないような工夫がなされている。すなわち、2つ以上の安全弁を取り付けることとしており、かつこれらが接続されている元弁は同時に閉じることができないようになっている。都市型の液化ガスの貯槽には必須の安全対策と考えており、当該規定を追加すべきである。

2.4.5 貯槽の圧力上昇

本件については、都市型CEと同様、圧力リリーフ弁の設置で対応したい。圧縮水素スタンドの蓄圧器にも適用されている。ただし、圧力リリーフ弁からの放出ガスが液体あるいは低温気体である場合には、漏えい拡散での不安定性も考えられることから、気化及び加温の措置をとり、常温で放出させることが必要である。

また、貯槽の真空度劣化もありうるので、真空度測定も必須となる。真空計は不具合を起こしやすいと認識するので、修理・交換が可能なように、貯槽の真空槽から真空弁を介して真空計を取り付けることが大切である。なお、必要な際に測定できればよい。

2.4.6 送ガス蒸発器出口温度低下

送ガス蒸発器が空温式以外の場合、何らかの理由により蒸発器が機能しない場合は想定されるので、その際に圧縮機側の破損を防止するため、温度低下による圧縮機の停止等の安全策を採用すべきである。これは、都市型CEに要求されている。

2.4.7 貯槽の温度上昇防止措置

可燃性ガスの液化ガス貯槽には、近隣火災等による温度上昇防止措置が求められている（一般則第6条第1項第32号準用）。ただし、例示基準により、断熱措置を施している貯槽は適用除外とされている。真空断熱の場合、外槽が過熱されると金属表面からの脱ガスが多くなり、真空度の劣化が進み断熱性能が劣化する。これにより、液化ガスの蒸発が進み貯槽の圧力上昇に繋がる可能性がある。特に真空度が $1.3 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ ($1 \times 10^{-4} \text{ Torr}$) 台以下であれば影響はあると認識している。ただし、液水貯槽のパーライト真空断熱の真空度は 13.3 Pa (0.1 Torr) 程度、スーパーインシュレーションの場合でも 1.33 Pa (10^{-2} Torr) 程度とのことであり、このような状態では、外槽が加熱されたとしても、影響は大きくないと判断する。

従って、現状の真空度程度であれば温度上昇防止策は不要と考える。すなわち、第6条第1項第32号は準用し、例示基準も現行通りでよいと考える。

一方、真空度によっては外槽の加熱により断熱性能への影響が大きい場合もあるので、その旨を自主基準に記載することを期待する。

2.4.8 貯槽の耐震設計

NEDO報告（平成17～21年度762ページ）には、「地震に対する安全対策として、液体水素貯槽を高圧ガス保安法の耐震告示のレベル2で耐震設計を行うことを提案する。」とある。

現行の一般則第7条の3では、同第6条第1項第17号を準用して、耐震設計を要求しているが、適用されるものは液化水素の場合、その質量の関係から、貯蔵能力が約42300kg以上となる。第1回委員会にて示したモデル貯槽は、外径：3.4m、高さ：13.6m、内容積：47000kgであるが、貯蔵能力：2.994t に抑えており、適用から外れることになる。

都市型に設置する貯槽には、より安全性を確保する必要があり、耐震設計は必要と考え、そのようにNEDO報告はなっているものと理解する。背丈の高い構築物が耐震設計を行っていないとなれば、社会に与える影響が大きいことも事実である。

従って、都市型を条件に耐震設計は行うこととしたい。ただし、当該報告で述べられているようなレベル2地震動に限定するのではなく、自主基準で耐震設計実施を規定することを期待する。

ただし、液化水素の通る部分は同一の基礎上に設置し、大事故へのつながりを断つことは必要である。

2.4.9 保安要員関係

NEDO報告によれば、液化水素スタンドの残存リスク対応において、多く述べられているのは、保安係員による対応であり、保安係員がおればリスクの回避は可能との判断である。さらに従業員に対する教育も重視している。スタンドが一般的になっ

た場合でも、液化水素の取り扱いに慣れていない従業員が、単独で液化水素を取り扱うことは避けなければならない、保安係員を任命し、常時在席させることによって、これらの状況を無くし、教育・訓練を充実させ、万一問題が発生した場合にも、素早く対応できる体制を構築することが必要といえる。

一方、現行法令で選任が要求されている「保安を監督する者（保安監督者）」の要件は、保安係員と同レベルであり、第一種製造者である水素スタンドでは、危害予防規定及び保安教育の策定・実行が義務付けられていることから、保安監督者の選任により、保安を担保することは可能と判断する。この場合、常駐が望ましいことは確かであるので、内規もしくは自主基準にて「当該事業所に在籍する者から選任する。」旨を明示することを期待する。さらに事業所の危害予防規程等で、「可能な限り不在時間を減じ、やむを得ず不在の場合でも、迅速な対応が行える措置をとること。」、などと規定することとし、現行の保安監督者の選任としたい。

参考

(都市型圧縮水素スタンドに液化水素貯槽を設置する場合の技術基準検討報告書抜粋)
スーパーインシュレーション（積層真空断熱）

ポリエステル等のフィルムの両面にアルミ蒸着したシートとポリエステル等のネットあるいは不織布を交互に積層し、断熱対象物に巻き付け、これら全体を覆う外槽内を真空排気している。

図7 パーライト真空断熱

(大陽日酸提供)

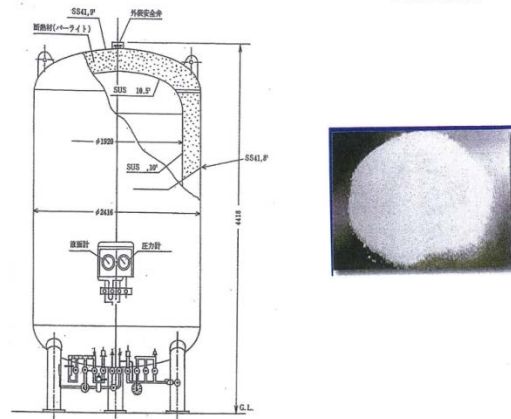


図8 スーパーインシュレーション（積層真空断熱）

低温工学ハンドブック

株式会社アクシスHPより



参考（４ 低温関係に対する対策の考え方）

（都市型圧縮水素スタンドに液化水素貯槽を設置する場合の技術基準検討報告書抜粋）

2.4.2 低温関係について

① 液化空気の発生

送ガス蒸発器等では液化空気の発生があるが、液化空気による離隔距離は圧縮水素スタンドの場合、考慮する必要はないと考えている。すなわち、液化酸素のCEにおける敷地境界までの離隔距離は4mであるが、これは拡散により安全な空気成分となる距離から決定されている。液空といっても酸素成分は純酸素に比較すれば当然少なく、本件によって敷地境界外へ新たな問題点は発生することはないと認識し、特別な措置は不要と考える。

ただし、液化空気の蒸発を促す処置は必要であり、現在も既に実施されているが基礎のベースの上に砂利を20cm程度敷く方法が有効と理解する。この場合基礎（コンクリート）の保護にも役立つと思われるが、定期的な基礎面の検査方法を検討しなければならない。

砂利敷きは法令とはせず、業界の自主基準でよいと考える。

なお、酸素CE関係の自主基準には、「酸素CEの設置場所及び酸素ローリの停車位置は、アスファルト舗装をしないこと。」とあるが、液空発生を考慮し、同様の自主基準を制定すべきと考える。

② 冷気による影響

本件に関しての知見は無いと言ってよい。どのように、どの範囲に霧が発生し、付近に影響を及ぼすかは明確ではない。現在の液化水素関連設備では気にならない程度という意見もあるが、一般ガスのCEでは問題となったことが無いわけではない。霧発生は、蒸発量・連続運転時間及び気候条件の要因が大きく、現状の水素スタンドのように稼働率が低い場合には、問題とならないと考えている。しかし、FCVが一般的になった際には、送ガス蒸発器付近で発生する液空の蒸発と合わせ問題になる可能性もあるが、送ガス蒸発器の処理量が1000m³/H近くになった場合には問題になるとの意見もある。従って、今後決定される液化水素設備の敷地境界までの距離をとれば、当面問題は発生しないと判断している。対象設備は貯槽（加圧蒸発器）、送ガス蒸発器、その他の裸配管である。当然、防火壁は霧の拡散の影響を下げる効果はあると考えられる。

なお、他の種類のスタンドとの併設においては、これらとの間に防火壁の設置が難しい場合も想定され、別途の検討が必要である（スタンド間の離隔距離を大きくとる、あるいは防火壁の種類・形）。

本件については、自主基準する方法でよいと判断する。

③ 低温部の曝露

通常、高圧ガス事業所は関係者以外の入構を制限しているが、スタンドでは高圧ガス設備に近づくことは可能である。特に幼児、子供等に対しては危険が内在している。従って、低温部分が曝露される部分には、簡単に立ち入ることができないよう、フェ

ンスの設置は必要である。

本件も、法令化せず業界の自主基準とする方法でよいと判断する。

④ 貯槽及び送ガス蒸発器とのとディスペンサー隔離

圧縮水素スタンドのディスペンサーは一般の人が立ち入る場所であり、微少漏えいにより人的被害の発生も考えられる。このためこれらの隔離をはかるため、障壁の設置が必要である。ただし、液化水素貯槽にあつては、その操作部分（バルブ類、充填口、計測器類等）を対象とする。

参考（４ 液化水素タンクローリーからの漏洩に対する対策の考え方）

（都市型圧縮水素スタンドに液化水素貯槽を設置する場合の技術基準検討報告書抜粋）

2.4.10 タンクローリーへの要求

1) 遮断措置

容器の大きさにかかわらず、払い出し側配管への遮断弁設置は必要と考える。受け入れ側の配管への遮断措置は、都市型液化酸素CEへ充填するローリに要求されている。都市型液化酸素CE用と同様に払い出し側、受入れ側とも措置すべきである。

2) 誤発進防止措置

液化水素貯槽では、ローリから貯槽への充填ホースをつなげたまま、ローリを発進させるという事故は報告されていない。しかし、一般のCEでは当該事故の防止は長年の課題であり、液化水素タンクローリーが一般的になった場合には、危険性が顕在化することが予想される。よって、当該措置を基準化することとしたい。例示基準についてはCEと同様でよい。

3) 移動監視者による監視の義務付け

NEDO報告ではローリの運転手（充填作業）への教育を重要視している。これはローリによる危険の回避はローリ運転手の技術的・技能的レベルに頼ることが多いと判断しているためと考えられる。都市型の圧縮水素スタンドでの充填は特別な安全対策を求められるべきで、都市型圧縮水素スタンドに設置する液化水素貯槽に充填するローリには移動監視者による監視を義務付けたい。

4) タンクローリーの地震対策

NEDOの報告によれば、タンクローリーが貯槽へ充填中に地震に遭遇した場合に備え、タンクローリーは停車中ワイヤー（４本）にて固定することを提案している。タンクローリーの充填作業は概ね２時間と言われており、その間のためにワイヤーで固定することは無理があるように考える。ローリには遮断措置が施され、移動監視者の監視を義務づければ、地震対策は不要としてよいといえる。津波対策での必要性もいわれているが、これについては他の産業のタンクローリ（ガソリン等）の対応をみて、再検討すればよい。

5) タンクローリーからのガス放出

タンクローリーから液化ガス及び低温圧縮ガスを放出する場合には、当該事業所に措置された放出管を利用しなければならない。また、前述した通り低温ガスの漏えい拡散における不安定性も考えられることから、気化及び加温の措置をとり、常温で放出させることが必要である。