

平成27年度経済産業省委託

高圧ガス保安対策事業  
(事故調査解析)  
高圧ガス事故の類型化調査報告書

平成28年3月

高圧ガス保安協会

## 1. 事業の目的

国から提供された事故の中から、過去数年間にわたり、同様な設備、部位、操作、ガス種等で繰り返し発生している事故や設備が異なるが同じ原因と考えられる事故を抽出・類型化し、その中から高圧ガス関係者に対し注意喚起をすべき事故3件を選択し、各事故ごとに調査・検討を行い報告書を作成する。

## 2. 実施した事業の内容

### 2.1 類型化対象

過去に発生した高圧ガス事故の中から、過去数年間にわたり、同様な設備、部位、操作、ガス種等で繰り返し発生している事故や設備が異なるが同じ原因と考えられる事故を抽出・類型化し、その中から高圧ガス関係者に対し注意喚起をすべき事故3件を選択し、事故ごとに調査・検討を行い報告書を作成した。

選択した3件は以下の通りである。

- (1) 爆発、火災事故の注意事項について
- (2) 溶接、溶断の高圧ガス事故の注意事項について
- (3) 水素の高圧ガス事故の注意事項について

報告書については、別添参照。

### 2.2 情報発信

調査結果については、ウェブサイトに掲載し、高圧ガス事業に従事する関係者宛てに、電子メールによる情報発信(メール配信者:約1,000件)を行い、注意喚起を実施した。

## 3. 高圧ガス保安協会からの提案事項

高圧ガス保安協会からの提案として以下の事項について取り纏めた。

### 1.1 高圧ガス保安法事故措置マニュアルの改正提案について

#### (1)「事故の定義」について

##### ① 国内外の事故定義の比較について

- a) 国際的の規制との比較で、高圧ガス保安法事故措置マニュアルによる事故の定義は対象範囲が広い。(※別紙1 参照)
- b) 国内他法令(石油コンビナート等災害防止法(以下、「石災法」という。)、消防法等)の規制と比較しても、高圧ガス保安法事故措置マニュアルによる事故の定義は対象範囲が広く(※別紙1 参照)、この定義に基づく高圧ガス事故の分類とその統計データ等の公開により、高圧ガス保安法の規制対象設備等は事故が多く、また、事業者の保安管理レベルが低いとの無用な誤解を与えている。
- c) 微量漏えいを前提として設計されている軸封装置(軸封装置は微量漏えいすることを

前提として、漏えい防止機能を維持)等からの微量漏えい、安全装置の正常作動による漏えいについても高圧ガス事故としている。

② 国内他法令(石災法、消防法)との漏えいの定義の整合

別紙1のとおり、国内他法令(石災法、消防法)の規制と比較しても定義が異なっている。

石災法においては、少量(液体の危険物及び可燃性液体にあつては数リットル程度)の漏洩で、漏洩範囲が事業所内に留まり、泡散布、散水等の保安上の措置を必要としないものは事故報告の対象外とする漏えいの裾切り規定があるが、高圧ガス保安法事故においては同様な考え方はない。

高圧ガス保安法事故においても定量的な裾切りの考え方を取り入れていくべきではないか。

③ 高圧ガス事故から除外される微量漏えいの定義について

微量漏えいを前提として設計されている軸封装置等からの微量漏えいについては、高圧ガス保安法事故措置マニュアル(1)② 1)の場合と同様に高圧ガス事故から除外すべきである。

軸封装置の微量漏えいについて定義を明確にし、高圧ガス事故から除外する。

- a) 軸封装置からの可燃性ガス及び毒性ガスの漏えいは、漏えい回収の密閉システムが設置されている場合のシステム内の漏えいは、微量漏えいとみなす。
- b) 軸封装置からの不活性ガスの漏えいは、漏えい放出のシステムが設置されている場合の漏えいは、微量漏えいとみなす。
- c) ダブルメカニカルシール方式等が設置されている場合の内部漏えいは、微量漏えいとみなす。
- d) 予備系統へ早期切り替えを行う場合の少量漏えいは、微量漏えいとみなす。

(2) 「事故の事象」の追加について

反応暴走による事故は、大事故に繋がる危険性が大きく事故発生防止の取り組みは重要であることから事故の事象として「反応暴走」を追加する。また、内容については石災法との整合を図る。

(定義)

製造施設設備に係る温度、圧力、流量等の異常状態で通常の制御装置の作動又は操作によっても制御不能なもの等であつて、「爆発」、「火災」、「噴出・漏えい」及び「破裂・破損等」の事象の発生を防止するために、直ちに緊急の保安上の措置を必要とするもの。

(3) 高圧ガス事故等調査報告書(災害)の様式改正について

分析対象を絞り込み、目的がより明確となる事故分析のため、以下の様式改正を提案する。

- a) 「反応暴走」の定義を追加、反応暴走をチェックする欄を追加する。
- b) 同一メーカーという切り口で分析を実施する場合は、高圧ガス事故等調査報告書の様式を見直し、記載すべき対象メーカーを明確化する。  
(設備製作メーカー名、施工業者名)
- c) 過去1年間以内に該当する事故が発生している場合はその旨を記載する欄を追加し、明確とする。
- d) 事故発生原因の欄の「誤操作、誤判断」を「誤操作、誤判断、認知確認ミス」と修正する  
(「認知確認ミス」を追加修正)。

高圧ガス保安法事故措置マニュアル 別添2 高圧ガス事故等調査報告書(災害)記載要領 24.事故発生原因 ⑬の記載と整合を図る。(平成23年改正の際に「高圧ガス事故等調査報告書(災害)の様式」から削除されている。)

## 1.2 熱交換器で使用する水(冷却水等)の水質管理に係る提案について

熱交換器内部の腐食事象は製造事業所(冷凍)で毎年、多く発生しており腐食事象全体の4割以上を占め、また、製造事業所(冷凍)以外においても毎年数件発生しており、水(冷却水等)による腐食が認識されておらず、水質管理が行われなかったことから事故に至っている。

熱交換器(高圧ガス設備)で使用する水(冷却水等)による腐食に係る留意点及び水質管理について、関係業界と連携して関連する自主基準などの作成状況を確認し、より活用が進むための検討を行うことを提案する。

高圧ガス保安法と他法令の事故の定義の違いについて(漏えい事象)

		高圧ガス保安法	石炭法	消防法	労働安全衛生法	セベソ指令
事故件数		約400件/年 (2013年 392件)	約200件/年 (2013年 228件)	約550件/年(危険物施設) (2013年 564件)	約300件/年(重大災害) (2013年:244件)	約20件/年
事故の定義	規定文	事故措置マニュアルにて最終改正 平成22年9月30日 平成22-09-07原院第4号	異常現象の通知について(通知) 平成24年3月30日 消防特第62号		労働安全衛生規則第96条、第97条	セベソ指令Ⅲ 付属書Ⅵ
	事象	<p><b>噴出・漏えい</b> (設備等において高圧ガスの噴出又は漏えいが生じたものをいう) 1)、2)については該当しない</p> <p><b>少量(液体の危険物及び可燃性液体にあっては数リットル程度)の漏洩で、漏洩範囲が事業所内に留まり、泡散布、散水等の保安上の措置を必要としないものは事故報告の対象外としている。</b></p> <p>1) 可燃性ガス、毒性ガス以外のガスで漏えい部位が締結部又は開閉部であり、漏えいの程度が微量であり、人的被害のないもの</p> <p>2) 完成検査、保安検査若しくは定期自主検査時の耐圧試験、気密試験時の少量の噴出、漏えいであり、人的被害のないもの</p> <p>4) 破裂、破損等(設備等の破裂、破損又は破壊等が生じたもの)</p> <p><b>製造等施設設備の正常な作動又は操作若しくは軽微な緊急措置により直ちに、出火、爆発、漏洩の発生のおそれなくなったものは事故報告の対象外として</b></p> <p>5) 喪失、盗難(高圧ガス又は高圧ガス容器の喪失又は盗難をいう)</p> <p>6) 高圧ガスの製造のための施設、貯蔵所、販売のための施設、特定高圧ガスの消費のための施設又は高圧ガスを充填した容器が危険な状態になったとき</p> <p>7) その他</p> <p><b>高圧ガス保安法では事象のみにより事故に当たるかが判断され、その後影響により区分される。</b></p>	<p><b>漏洩</b> 危険物、可燃性固体類、可燃性液体類、高圧ガス、可燃性ガス、毒物、劇物その他有害な物質の漏洩(ただし、次に掲げる少量(液体の危険物及び可燃性液体にあっては数リットル程度)の漏洩で、漏洩範囲が事業所内に留まり、泡散布、散水等の保安上の措置を必要としないものを除く)</p> <p>1) 施設または設備に係る温度、圧力、流量等の異常な状態に対し、正常状態への復帰のために行う施設等の正常な作動又は操作によるもの</p> <p>2) 発見時に漏洩箇所が特定されたものであって、すでに漏洩が停止しているもの又は施設等の正常な作動若しくは操作若しくはバンド巻き、補修剤等による軽微な応急措置により直ちに停止したものの</p> <p>4) 破損 製造貯蔵、入出荷、用役等の用に供する施設若しくは設備又はこれに附属する設備の破損、破裂、損傷等の破損であって、破損製造貯蔵、入出荷、用役等の機能維持、継続に支障を生じ、出火、爆発、漏洩等を防止するために、直ちに使用停止等緊急の措置を必要とするもの。(ただし、製造等施設設備の正常な作動又は操作若しくは軽微な緊急措置により直ちに、出火、爆発、漏洩の発生のおそれなくなったものを除く。)</p> <p>5) 暴走反応等 製造施設設備に係る温度、圧力、流量等の異常状態で通常の制御装置の作動又は操作によっても制御不能なもの、地盤の液化化等であって、上記①～④に掲げる現象の発生を防止するために、直ちに緊急の保安上の措置を必要とするもの</p>	<p><b>漏洩</b> 危険物の漏えい 漏れ、溢れ、飛散、流出又は噴出等をいう。なお、石油コンビナート等災害防止法(以下「石炭法」という。)に定める特定事業所においては、危険物のほか高圧ガス、指定可燃物、可燃性ガス、毒物又は劇物の漏えいを含む。</p> <p>また、製造所等に配管で接続された少量危険物施設等において、明らかに指定数量以上の危険物が流出し、又は焼失したものと認められる場合には、当該製造所等 事故(流出)として扱う。</p> <p><b>石炭法のように漏洩の掘切り規定があるわけではなく、漏洩に関しては石炭法より範囲が広い。しかし、突発は微量の漏洩に関しては消防かどうかを判断している。</b></p>	<p>③ 小型ボイラー、令第一条第五号の第一種圧力容器及び同条第七号の第二種圧力容器の破裂の事故が発生したとき</p> <p>④ クレーン(クレーン則第二条第一号に掲げるクレーンを除く。)の次の事故が発生したとき イ 逸走、倒壊、落下又はジブの折損 ロ ワイヤロープ又はつりチェーンの切断</p> <p>⑤ 移動式クレーン(クレーン則第二条第一号に掲げる移動式クレーンを除く。)の次の事故が発生したとき イ 転倒、倒壊又はジブの折損 ロ ワイヤロープ又はつりチェーンの切断</p> <p>⑥ デリック(クレーン則第二条第一号に掲げるデリックを除く。)の次の事故が発生したとき イ 倒壊又はブームの折損 ロ ワイヤロープの切断</p> <p>⑦ エレベーター(クレーン則第二条第二号及び第四号に掲げるエレベーターを除く。)の次の事故が発生したとき イ 昇降路等の倒壊又は機器の墜落 ロ ワイヤロープの切断</p> <p>⑧ 建設用リフト(クレーン則第二条第二号及び第三号に掲げる建設用リフトを除く。)の次の事故が発生したとき イ 昇降路等の倒壊又は機器の墜落 ロ ワイヤロープの切断</p> <p>⑨ 令第一条第九号の簡易リフト(クレーン則第二条第二号に掲げる簡易リフトを除く。)の次の事故が発生したとき イ 機器の墜落</p> <p>⑩ ゴンドラの次の事故が発生したとき イ 逸走、転倒、落下又はアームの折損 ロ ワイヤロープの切断</p>	<p><b>危険物質の偶発的な放出</b> 上層施設基準で明記した規定量の5%以上の発生</p> <p><b>付属書Ⅰに示されている上層施設(第3条)となる危険物保有量の規制量</b></p>

## 爆発、火災事故の注意事項について

高圧ガス保安協会

## 1.目的

高圧ガス事故（喪失、盗難を除く災害）の統計と解析の結果、平成 20 年から平成 26 年までの 6 年間に発生した高圧ガス事故(全数 2653 件)のうち、漏えい事象が 91%、漏えいの先行なしの爆発、火災事象が 4%、同じく破裂・破損事象が 4%、その他が 1%であった。また、1 次事象の漏えい後の 2 次事象で発生した爆発、火災事象は 13%であった<sup>1)</sup>。

このように、高圧ガス事故における爆発、火災事象は漏えい事象に比較して発生件数は少ないが、ひとたび爆発、火災事象による高圧ガス事故（以下、「爆発、火災事故」という）が発生すれば、人身被害はもとより、広域被害を伴う大災害となる可能性が高い。すなわち、爆発、火災事故は、発生確率は低い、影響度が大きい、リスクの高い事故である。

最近では、平成 23 年 11 月以降、コンビナートで連続して 4 件の爆発、火災事故が発生し、合わせて死者 8 人、負傷者 70 人の人的被害、および事業所施設に甚大な物的被害が発生するとともに、周辺住民と隣接事業所にも被害が及んでいる。

この資料は、高圧ガス事故のうち、爆発、火災事故について、高圧ガス事故データベースを用いて抽出、解析して、事故防止のための注意事項を示すことを目的とする。

## 2.事故の抽出

高圧ガス事故データベースを用いて、平成 23 年から平成 26 年までの 4 年間で発生した高圧ガス事故（全数 1672 件）のうち、「爆発」、「火災」、「発火」、「着火」、「逆火」をキーワードとして検索し、爆発、火災事故を抽出した。この結果、最近の 4 年間で発生した爆発、火災事故は 251 件で、全数に占める比率は 15%であった。この比率は、冒頭に示した 6 年間の比率(4+13=17%)とほぼ一致している。

## 3.事故の統計と解析

## (1) 年ごとの事故の統計

爆発、火災事故の年ごとの統計を表 1 に示す。

表 1 爆発、火災事故の年ごとの統計 (件)

事故区分	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	合計(%)	
消費	37	49	32	39	157(63)	
移動	7	2	5	5	19(8)	
製造事業所	冷凍	1	0	0	0	1(0.3)
	コンビ	10	8	3	8	29(12)
	一般	8	5	3	7	23(9)
	LP	4	3	1	2	10(4)
その他	2	4	2	4	12(5)	
合計	69	71	46	65	251(100)	

表 1 の縦軸の消費、移動、製造事業所、その他は、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、冷凍保安規則適用（以下、「冷凍」という）、コンビナート等保安規則適用（以下、「コンビ」という）、一般高圧ガス保安規則適用（以下、「一般」という）、および液化石油ガス保安規則適用（以下、「LP」という）に細分化している。

表 1 の概要を下記に示す。

- ① 爆発、火災事故の年ごとの件数は、ほぼ同じで推移している。以下では、4年間の合計を対象とする。
  - ② 爆発、火災事故は、「消費」、「コンビ」で多く、爆発、火災事故（全数 251 件）に占めるこれらの合計（186 件）の比率は 74%である。
- (2) 人身事故と死傷者

爆発、火災事故における人身事故と死傷者の内訳を表 2 に示す。

表 2 人身事故と死傷者の内訳

事故区分	人身事故(件)				死傷者(人)				
	死亡事故	重傷事故 ( )内死亡 事故との 重複	軽傷事故 ( )内重傷 事故との 重複	合計(重 複は含ま ず)	死者	重傷者	軽傷者	合計	
消費	1	12	28	41	2	13	30	45	
移動	0	2	2	4	0	2	2	4	
製造事業所	冷凍	0	0	0	0	0	0	0	
	コンビ	2	3(1)	4(3)	5	2	4	28	34
	一般	0	4	9	13	0	4	11	15
	LP	0	2	4(1)	5	0	4	7	11
その他	1	4(1)	6(1)	9	1	5	10	16	
合計	4	27(2)	53(5)	77	5	32	88	125	

- ① 爆発、火災事故（全数 251 件）のうち、人身事故は 77 件（うち、死亡事故 4 件、重傷事故 27 件、軽傷事故 53 件（重複あり））であり、爆発、火災事故は人身事故となる比率が高い（31%）。死傷者は 125 人（死者

5人、重傷者32人、軽傷者88人)であり、人身事故1件当たりの死傷者は1.6人/件である。

- ② 死亡事故は、消費1件(死者2人)、コンビ2件(同2人)、その他1件(同1人)の事故区分で発生している。
- ③ コンビは、他の事故区分に比較して、人身事故1件当たりの死傷者が最も多い。

(3) 事象の内訳

爆発、火災事故における事象(爆発と火災、1次と2次)の内訳を表3に示す。

表3 事象の内訳 (件)

事故区分	1次事象		2次事象				計		合計
	爆発(a)	火災(A)	漏えい→爆発(b)	漏えい→火災(B)	破裂→爆発(c)	破裂→火災(C)	爆発事象(a+b+c)	火災事象(A+B+C)	
消費	7	47	15	83	1	4	23	134	157
移動	1	10		8			1	18	19
製造事業所	冷凍		1				0	1	1
	コンビ	2	7	3	17		5	24	29
	一般	4	4	5	7		3	14	23
	LP	1	2	3	4		4	6	10
その他	7	2	2	1			9	3	12
合計	22	73	28	120	1	7	51	200	251

- ① 爆発、火災事故(全数251件)に占める火災事象(200件)の比率は80%と高く、爆発事象(51件)の比率20%を大きく上回る。
- ② 爆発、火災事故(全数251件)に占める漏えい後の2次事象(156件)の比率62%は、漏えいの先行なしの1次事象(95件)の比率38%の約1.5倍である。
- ③ 火災事象は、「消費」と「コンビ」で多く、特に火災事象(全数200件)に占める「消費」(134件)の比率は67%に及ぶ。
- ④ 爆発事象は、「消費」、「一般」と「その他」で多く、爆発事象(全数51件)に占める「消費」(23件)の比率は45%である。

(4) ガス名

爆発、火災事故が発生したガス名の内訳を表4に示す。

- ① 爆発、火災事故(全数251件)に占めるLPガス(液化石油ガス、117件)の比率は47%で最も高く、アセチレン32%、酸素6%、水素5%がこれに続く。
- ② 爆発、火災事故(全数251件)に占める「LPガス」、「アセチレン」、「酸素」、「水素」(以下「LPガスなど4種類のガス」という)の合計(225件)の比率は90%である。すなわち、爆発、火災事故の大半(90%)が「LPガスなど4種類のガス」に起因している。
- ③ 「LPガスなど4種類のガス」(全数157件)は、事故区分ごとにも高

い比率を示す。「LP ガスなど 4 種類のガス」のほかは、消費のモノシラン (2 件)、コンビの炭化水素 (8 件) と一般のエチレン (3 件) が目立つが、残りは多種多様なガス名である。

表 4 ガス名の内訳 (件)

事故区分	LPガス (a)	アセチレン(b)	酸素(c)	水素(d)	計 (a+b+c+d)	その他	合計
消費	75	72	6	1	154	3	157
移動	17	1		1	19		19
製造事業所	冷凍				0	1	1
	コンビ	6		2	7	14	29
	一般	5	4	5	3	6	23
	LP	10					10
その他	4	4	2		10	2	12
合計	117	81	15	12	225	26	251

#### (5) 設備

爆発、火災事故が発生した設備の内訳を表 5 に示す。表中の ( ) 内は爆発事故の件数 (内数、残りは火災事故の件数) である。

- ① 事故区分の合計を見れば、爆発、火災事故 (全数 251 件) に占める設備の内訳は、容器 (138 件) の比率が 55% を占める。しかし、事故区分ごとに見れば、容器の比率は大きく異なる。消費、移動、その他の合計 (188 件) では、容器 (127 件) の比率は 68% であり、製造事業所の合計 (63 件) では、容器 (9 件) の比率は 14% にすぎない。
- ② 消費 (157 件) は他の事故区分と比較して特殊であり、容器 (100 件) に加えて、ホース (14 件)、燃焼器など (14 件)、トーチバーナー (10 件) の合計 (138 件) の比率が 88% となる。その他の設備では、圧力調整器 (3 件)、安全弁 (2 件) がある。
- ③ 製造事業所 (冷凍を除く 62 件) では、容器 (9 件) に加えて、ホース (4 件)、燃焼器など (3 件)、配管 (12 件)、バルブ (11 件)、継手 (4 件) の合計 (48 件) の比率が 77% となる。その他の設備では、コンビで重大事故を起こした還流槽 (1 件)、酸化反応器 (1 件)、LP ガス球形貯槽 (1 件) がある。
- ④ 爆発事故 (51 件) のうち、漏えいの先行なしの爆発事象 (1 次事象) は 22 件 (消費 7 件、移動 1 件、コンビ 2 件、一般 4 件、LP 1 件、その他 7 件。表 3 参照) である。22 件の事故を高圧ガス事故データベースで精査した結果、12 件が 1 次事象で、設備は容器、配管などと特定できた。残りの 10 件の爆発事象は、1 次事象ではなく、2 次事象である。

表5 設備の内訳

(件)

( ) 内は爆発事故の件数 (内数)

事故区分	容器	ホース	燃焼器、 加熱炉 など	配管	バルブ	トーチ バーナー	継手	その他	合計
消費	100(3)	14	14(8)	2(1)	1(1)	10(6)	5	11(4)	157(23)
移動	17(1)	2							19(1)
製造 事業 所	冷凍							1	1
	コンビ	2	2(1)	6	4		4	11(4)	29(5)
	一般	5(2)	4(1)	4(1)	5(2)			5(3)	23(9)
	LP	2	1(1)	2	2(1)			3(2)	10(4)
その他	10(8)	1						1(1)	12(9)
合計	136(14)	21(1)	17(10)	14(2)	12(4)	10(6)	9	32(14)	251(51)

## (6) 発火源

爆発、火災事故の発火源の内訳を表6に示す。

表6 発火源の内訳

(件)

事故区分	裸火	火花	その他 (火災)	逆火	静電気	高温熱面	自然発火	断熱圧縮	衝撃火花	その他 (津波の 浮遊物)	反応熱	金属接触 火花など	落雷	放火	調査中・ 不明	合計
消費	56	30	24	18	2	3	3	3	1			1		1	15	157
移動	8	1	2		1					1					6	19
製造 事業 所	冷凍					1										1
	コンビ	2	4	2		8	4	4		1	1	1	1		1	29
	一般		10	2	1		2	1	3		1				3	23
	LP	3	1	1		1	1								3	10
その他	1	4	1						2					4	12	
合計	70	50	32	19	12	11	8	6	3	2	2	2	1	1	32	251

① 「裸火」は、バーナーの炎、燃焼器の種火、着火器具の直火などである。「火花」は、溶接、溶断、グラインダー、電気設備などで発生する火花である。爆発、火災事故(全数251件)に占める「裸火」(70件)、「火花」(50件)の合計(120件)の比率は48%である。火を扱う作業において、発火源の認識がない。

② 「その他(火災)」は、もらい火である。「逆火」は、アセチレンの溶接、溶断に特有の発火源である。「その他(火災)」(32件)と「逆火」(19件)が、「静電気」(12件)などより多いことは、注目に値する。

## 4. 事故の実例と発生メカニズム

## 4.1 事故の実例

高圧ガス事故データベースから、最近の4年間で死者1人以上、重傷者2人以上、または負傷者6人以上の人身被害を出した爆発、火災事故の実例(概略)を事故区分ごとに示す。このうち、コンビの爆発、火災事故は、多数の死傷者(3件の爆発事故の合計で、死者2人、重傷者3人、軽傷者24人)と広域被害を伴う大災害である。ここで、末尾の[ ]内は死傷者、発生した県名、「発生メカニズム」を示す。

なお、KHKホームページの高圧ガス事故概要報告<sup>2)</sup>のうち、爆発、火災事

故の一覧（抜粋）を別紙 1 に示す。

(1) コンビ

- ① 酸化塔内部でパーオキサイド（非高压ガス）の反応暴走が起こり、急激な圧力上昇に伴い、酸化塔が破裂、漏えいし、金属火花、静電気などが発火源となり、爆発、火災が発生した。この爆発で、付属冷凍設備（プロピレン）に火災が発生した。

[死者 1 人、重傷者 2 人、軽傷者 19 人、山口県、「4.2 (4) 反応暴走」]



写真 爆発現場の状況（KHK 撮影）

- ② 還流槽内部で塩化ビニルモノマーの反応暴走が起こり、急激な圧力上昇に伴い、還流槽が破裂、漏えいし、金属火花、静電気などが発火源となり、爆発、火災が発生した。

[死者 1 人、山口県、「4.2 (4) 反応暴走」]

- ③ 満水状態にあった LP ガス球形貯槽 1 基が大地震で倒壊し、直下の LP ガス配管が破断して漏えいし、火災が発生した。その後、多くの LP ガス球形貯槽がもらい火で破裂、爆発した<sup>3)</sup>。

[重傷者 1 人、軽傷者 5 人、千葉県、「4.2 (5) もらい火」]

(2) LP

- 地下埋設の LP ガス横置円筒形貯槽の開放検査を実施中に、残ガス処理の確認が不十分のままマンホールを開放したため、残ガスが漏えいし、発火、爆発した。

[重傷者 3 人、軽傷者 2 人、千葉県、「4.2 (6) 漏えい→爆発」]

(3) 消費

- ① 住宅兼作業場において、LP ガス容器に接続したハンドトーチで作業中、ホースが外れ、LP ガスが漏えいして火災となり、建物が全焼した。

[死者 2 人、大阪府、「4.2 (6) 漏えい→火災」]

- ② 廃液タンクの撤去解体のため、マンホールボルトをアセチレンバーナーで溶断する作業中に、残留していた可燃性ガスがバーナーの火炎により発火し、爆発した。

[重傷者 2 人、福島県、「4.2 (7) タンクの解体」]

(4) その他

- ① 自動車燃料用の圧縮天然ガス容器を電動サンダーで切断解体中に、容器内の残ガスが火花により発火し、爆発した。

[死者 1 人、重傷者 1 人、宮城県、「4.2 (7) 容器のくず化」]

- ② 共同住宅の 1 階の部屋で、原因不明の爆発があった。事故後、部屋から 2 本の LP ガス容器が発見された。2 本の容器は充てん所内から事故当事者が許可なく持ち出した容器であり、うち 1 本の胴部にき裂が発生し、他の 1 本の容器の圧力調整器、2 ロヒューズコック、ゴム管が焼損していた。

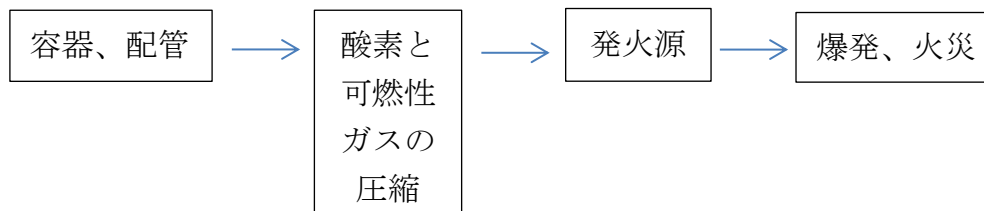
[重傷者 2 人、軽傷者 2 人、神奈川県、「調査中」]

#### 4.2 事象の発生メカニズム

事故の実例を対象として、爆発、火災事象の発生メカニズムを模式的に示す。

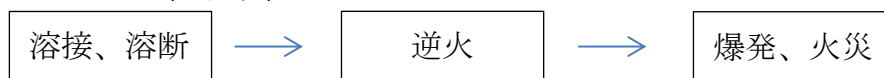
ここで、酸素ガス、窒素ガスなどの高圧ガス容器が腐食により減肉し、内圧に耐えられずに破裂して、内部のガスが一気に放出される事象がある。これは破裂事象であって、爆発事象ではないので、以下では取り上げない。

(1) 圧縮が禁止されている酸素と可燃性ガス



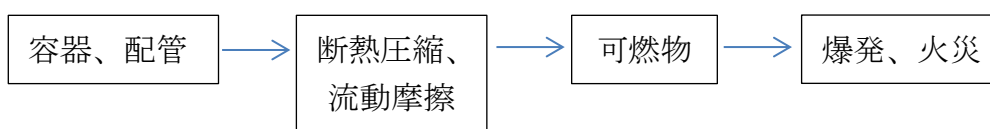
実例：実験用の容器内でエチレン、水素、酸素の混合ガスを窒素で加圧したところ、突然、容器の内圧が上昇し、ふた板のフランジ締結ボルトが破断して作業員にふた板が当たり、重傷を負った。

(2) アセチレン、水素、エチレンなど



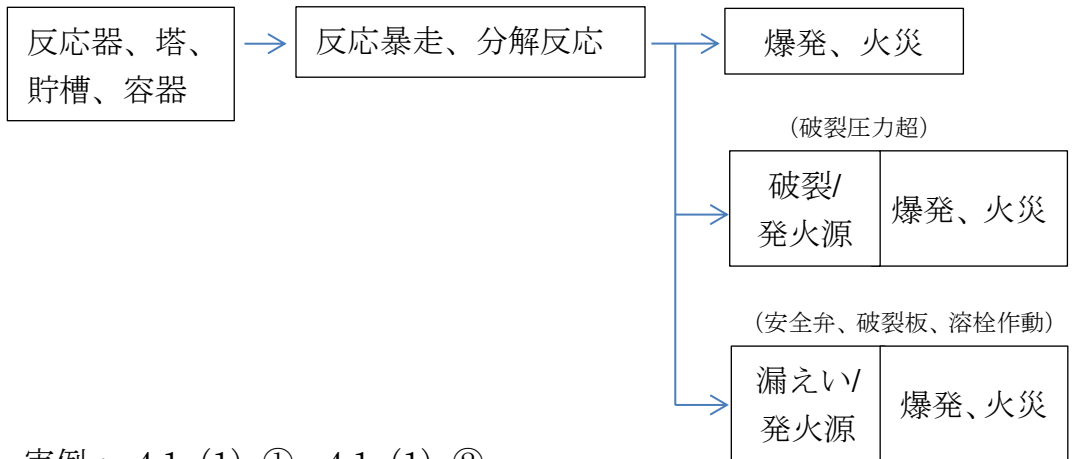
実例：アセチレンの溶断作業中に、酸素残量が少なくなり、圧力バランスが崩れたことにより、逆火が発生し、ホースなどが火災となった<sup>4)</sup>。

(3) 酸素、空気など



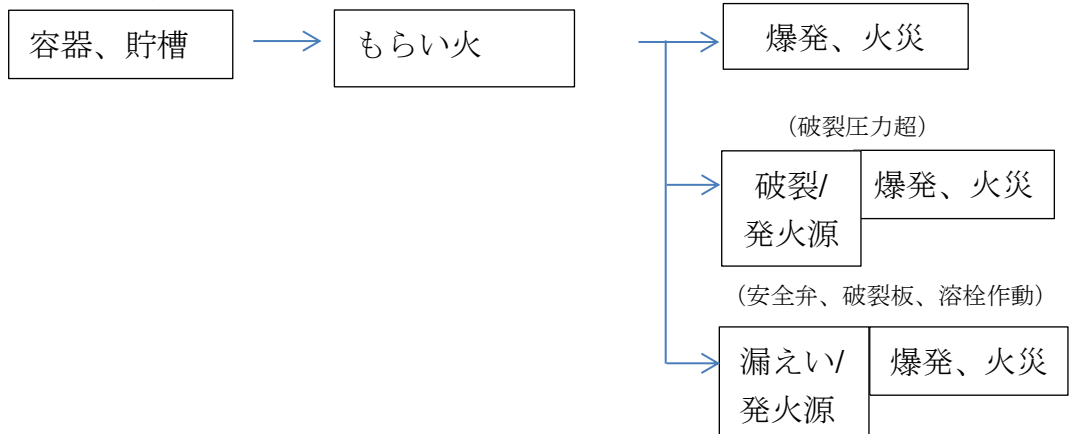
実例：作業者が酸素ガス集合装置の容器元弁を急激に開放したことにより断熱圧縮が起き、連結管に付着していた油分に着火し、容器と連結管の接続部付近から火災が発生した<sup>4)</sup>。

(4) 塩化ビニルモノマー、酸化エチレンなど



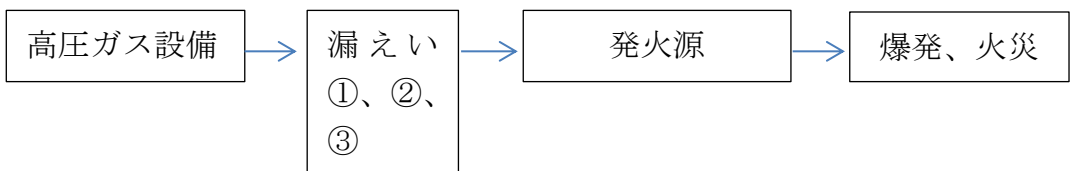
実例：4.1 (1) ①、4.1 (1) ②

(5) LP ガス、アセチレンなど



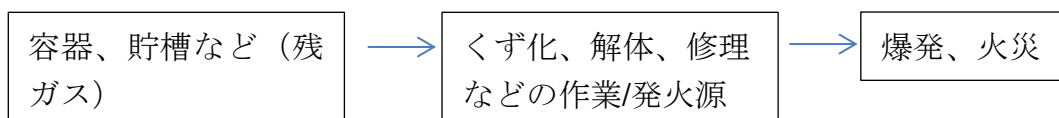
実例：4.1 (1) ③

(6) 可燃性ガス



実例：4.1 (2)

(7) LP ガス、アセチレン、天然ガスなど



実例：4.1 (4) ①

## 5.事故に係る法規、基準

高压ガス保安法では、爆発、火災事故の未然防止、再発防止に関連する法規、基準が設けられている。ここでは、一般高压ガス保安規則（以下「一般則」という）の項目（抜粋）を示す。なお、一般則の条文（抜粋）を「別紙2」に示す。高压ガス保安法、一般則以外の保安規則、例示基準などは省略した。

### (1) 定置式製造設備の技術上の基準（抜粋）

- ①火気制限：一般則第六条1項第3号
- ②防爆構造：同項第26号
- ③静電気防止：同項第38号
- ④圧縮禁止ガス：同条第2項第1号ハ
- ⑤バルブ操作：同号へ
- ⑥酸化エチレンの充てん：同項第二号ホ
- ⑦支燃性ガスの充てん：同号へ
- ⑧製造設備の点検：同項第4号
- ⑨ガス設備の修理：同項第5号ロ
- ⑩ガス設備の開放：同号ニ
- ⑪火気制限：同項第8号ニ
- ⑫充てん容器等の温度制限：同号ホ

### (2) 移動に係る技術上の基準（抜粋）

- ①充てん容器等の温度制限：第五十条第2号
- ②容器の転落、転倒：同条第4号

### (3) 消費に係る技術上の基準（抜粋）

- ①バルブ操作：第六十条第1項第1号
- ②火気制限：同項第10号
- ③溶接、溶断（アセチレン）：同項第13号
- ④溶接、溶断（天然ガス）：同項第14号
- ⑤支燃性ガスの消費：同項第15号
- ⑥消費施設の点検：同項第18号

### (4) 廃棄に係る技術上の基準（抜粋）

- ①容器とともに廃棄の禁止：第六十二条第1号
- ②火気制限：同条第2号
- ③ガス検知：同条第4号
- ④支燃性ガスの廃棄：同条第5号
- ⑤バルブ閉止、損傷防止：同条第6号
- ⑥バルブ操作：同条第7号

## 6. 注意事項

平成23年から平成26年までの4年間で発生した251件の高圧ガスの爆発、火災事故を解析した結果、事故防止のための注意事項を以下に示す。

### (1) 総論

- ① 高圧ガスによる爆発、火災事象の発生には、燃焼の三要素である 1) 可燃性ガス (LP ガス、アセチレン、水素など)、2) 支燃性ガス (酸素、三フッ化窒素など)、3) 発火源 (裸火、火花、もらい火など) が必要である。ただし、空気には酸素が含まれているため、爆発、火災事象の発生防止には、主に可燃性ガスの漏えい防止と発火源の管理が課題となる。
- ② アセチレン、酸化エチレン、ゲルマンなどは、支燃性ガスが存在しなくても、発火源があれば爆発が起きる分解爆発性 (自己分解性) ガスである。また、モノシランなどは、常温でも支燃性ガスと混合すれば、発火源がなくても発火する自然発火性ガスである。分解爆発性ガスおよび自然発火性ガスの取扱いは、ガスの危険性を正しく理解するとともに、定められた基準、要領などを遵守することが重要であり、可燃性ガスよりも厳格な保安管理が求められる。
- ③ 設備内で突然起きる爆発、火災事象 (内部爆発、1 次事象) の典型例として、反応暴走、分解爆発、逆火、酸素の断熱圧縮などによる爆発事象がある。この他、LP ガス容器 (貯槽) が、漏えいガスの火炎、建物火災 (もらい火) など外部から炙られる爆発、火災事象が発生している。これに対して、漏えいまたは破裂が先行する爆発、火災事象 (外部爆発、2 次事象) がある。2 次事象の爆発、火災は、1 次事象の爆発、火災の約 1.5 倍が発生している。
- ④ 設備で爆発、火災事象が突然起きると、高温、高圧のガス (火炎) が広範囲に放出されるため、人的被害、物的被害とともに、周囲への影響が著しく大きい。特に、最近起きている反応暴走は、反応制御に失敗し、急激な温度上昇と圧力上昇が起き、短時間で対処できない事態に至る。爆発、火災事故の未然防止、再発防止の重要性を改めて認識する必要がある。
- ⑤ 爆発、火災事故の未然防止、再発防止のため、取扱うガスと設備の危険性を理解し、適正な保安管理を実行するとともに、リスクアセスメントの実施と見直し、基準、要領などの定期的な見直しなどを図り、技術伝承につなげる必要がある。

## (2) 1次事象としての爆発、火災事故

最近の高圧ガスの主として1次事象としての爆発、火災事故の原因を解析した結果、従来と視点を変えて下記のキーワードを抽出した。

①化学反応、②異物、③反応制御、④被害制御

以下に、詳細を示す。

### ①化学反応

コンビナートで連続発生した反応暴走の事故の未然防止、再発防止には、定常時とともに非定常時のリスクアセスメントの実施が求められている。化学反応は、物質とエネルギーを創造する手段であると同時に、爆発、火災、発火のメカニズムでもある。リスクアセスメントの実施に際して、化学反応に関する最新のデータの採取と情報収集が重要である。

### ②異物

反応暴走の事故は、反応副生成物の付着、堆積、詰まりから、設備内の清掃、除去が不十分で発生する場合がある。腐食生成物も同様であり、これらを異物と総称する。異物は、未知の化学反応の原因ともなる。異物除去の作業管理と異物があることを前提とする運転管理が重要である。

### ③反応制御

反応器、中間タンク、廃液タンクなどの設備では、異常な化学反応が起きないように、化学反応を制御している。化学反応の制御とは、プロセスパラメータの温度を例に取れば、温度計と冷却装置を設置し、これを運転員が監視、操作して、温度を所定の値に維持することである。しかし、特に温度計と冷却装置の設置の不備、および運転員の監視の欠落によって異常な化学反応が起きて、爆発、火災事故に至っている。設備の設計と運転管理の見直しが重要である。

### ④被害制御

東日本大震災において、LPガス球形貯槽の爆発事故とこれに伴う飛散物による隣接事業所の火災事故、津波によるLPガス出荷設備の火災事故などが発生している。地震時などの自然災害に備え、漏えい事故が爆発、火災事故に拡大しないこと、および爆発、火災事故の被害を局限化する被害制御（ダメージコントロール）の技術を積極的に採用することが重要である。

### (3) 2次事象としての爆発事故

ここでは、漏えい事象が先行する2次事象としての爆発事故に特有の注意事項を示す。

- ① 最近の4年間で2次事象としての爆発事故が3件発生している。漏えいの原因は、1) 外部衝撃による配管の折断、2) 反応暴走による還流槽の破裂、3) バルブの内部漏れによるガスの滞留であり、いずれも大量の可燃性ガスが漏えいして発火し、爆発事故が発生している。可燃性ガスが大量に漏えいすれば、必ず爆発事故に至る。
- ② 上記以外の爆発事故の主な原因は、1) 内面腐食、エロージョン/コロージョン、水素侵食などの損傷、2) 外部衝撃、3) バルブの誤操作などで、水素、LPガスなどが大量漏えいして爆発事故が発生している。この場合の発火源は、静電気、高温熱面、火花などである。
- ③ これらの場合にも、リスクアセスメントの実施と見直しが重要である。

### (4) 2次事象としての火災事故

ここでは、漏えい事象が先行する2次事象としての火災事故に特有の注意事項を示す。キーワードとして、①フランジ継手、②行止まり配管、③保温材下腐食を抽出した。以下に、詳細を示す。

- ① フランジ継手  
コンビでは、フランジ継手のガスケット面圧が低下して水素などが漏えいし、静電気、自然発火などで火災事故が発生している。このため、スタートアップ、シャットダウン、運転変更、および周囲の温度環境の変化を踏まえたフランジ継手の適切な締結管理を行うことが重要である。漏えいの早期発見、適切な対処の結果として、フランジ継手からの少量漏えいでは、爆発事故は発生していない。
- ② 行止まり配管  
行止まり配管、安全弁放出管（内部に腐食性流体が滞留し、行止まり配管と同様に管理すべき配管）の内面腐食が開口して、水素、炭化水素などが漏えいし、高温熱面、静電気などで火災事故が発生している。行止まり配管は、管理の目が届きにくく、腐食管理の観点から、腐食堆積物（スケール）、異物などの定期的な除去とともに、不要な行止まり配管、供用していない配管などを計画的に撤去することが重要である。
- ③ 保温材下腐食  
配管の保温材（断熱材、防音材などを含む）下で発生する外面腐食で漏えいし、火災事故が発生している。保温材下腐食の計画的な腐食管

理とともに、保温材などに含まれる塩素成分が関与する外面腐食の事例があるので、保温材の材質確認、不要な保温材の撤去、火傷防止用保温材の施工範囲の見直しなど、計画的な対応が重要である。

#### (5) 工事中、作業中、研究過程の火災事故

##### ① 工事中

工事中、解体中、作業中に工具（グラインダー、インパクトレンチなど）を使用していたところ、漏えいし、滞留していた可燃性ガスに気付かず、火災事故が発生している。このため、工事中の火気の持込み、工具使用の判断基準の作成、漏えいガス、滞留ガスのガス検知器などを使った作業前の安全確認が重要である。

##### ② 縁切り

可燃性ガスのラインは縁切りに注意する。バルブからの内部漏れにより、水素、LP ガスが漏えいし、高温状態で自然発火、グラインダーなどの火花で発火している。このため、バルブは漏れる（内部漏れ、シート漏れ）との認識のもと、可燃性ガスを確実に閉止、縁切りするラインは、単一バルブではなく、バルブの二重化、閉止板の挿入などによる縁切りを行うことが重要である。

##### ③ ドレン抜き作業

可燃性ガスラインのドレン（油、凝縮水など）抜き作業は、可燃性ガスが漏えいして、火災事故となる危険がある。排出するドレン量を液面計などで把握するとともに、ドレン抜き作業の危険性を洗い出し、静電気除去、可燃性ガス漏えい防止を図るなど、常に慎重にドレン抜き作業を行うため、手順は文書化して、現場に掲示するなど、ドレン抜き作業による火災事故を起こさない仕組みと教育、訓練が重要である。

##### ④ 研究、実験、サンプリングの過程

研究、実験、サンプリングの過程で、LP ガス容器の充てん、LP ガスの廃棄、および安全意識の不足により火災事故が発生している。この場合の発火源は静電気である。研究、実験、サンプリングで、保安管理が不徹底となっていた。高圧ガスを取扱う研究所（室）、実験室、サンプリングの場所における保安管理の徹底と保安確保のための教育、訓練が重要である。

#### (6) 火災への対処

##### ① コンビでは、加熱炉などの設備、高温状態の配管が散在しており、発

火源を除去、隔離できないプロセスもあるので、設備、配管などからの漏えい防止に努める。また、施設の点検、検査などにより、異常の早期発見、早期対処を図ることにより、2次事象としての火災を発生させない。万が一火災となっても、局限化する対策をあらかじめ検討しておく。以上の3点が重要である。

- ② 異常時、緊急時は、漏えい、火災などの状況に応じて、緊急対応を行っているが、漏えい時のスチーム、水噴霧などによる拡散、発火防止の現場作業は、爆発、火災事故の危険、および人身に被害が及ぶ危険と隣り合わせである。緊急時に落ち着いた判断と対処ができるように、普段から異常時、緊急時を想定した防災訓練、異常措置訓練などを繰り返し実施することが重要である。
- ③ 主潤滑油ポンプの運転中、突然、補助ポンプが起動した。このため、潤滑油圧力が上昇しタービンから潤滑油が漏えいし、タービンケーシングの高温熱面に接触して、火災事故が発生した。このように、設備が止まるのではなく、ポンプ（主、補）の複数台の同時運転など、予期せぬ運転状態となる危険を想定したリスクアセスメントを実施することも重要である。

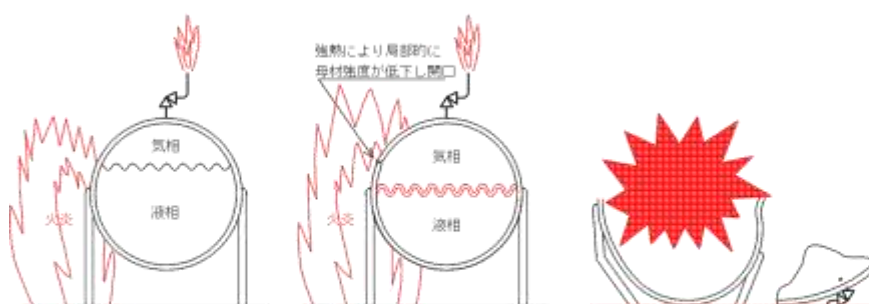
## (7) 容器

3. (5) に示したように消費、移動、その他の事故区分において、爆発、火災事故に占める容器（高圧ガス容器）の比率は、68%である。以下、容器の爆発、火災事故の注意事項を示す。

- ① 容器バルブは静かに開閉するとともに、容器バルブと圧力調整器、配管、ホースなどは確実に締結するなど、高圧ガス容器、圧力調整器、ホース、燃焼器、トーチバーナーなどの設備、器具の取扱い上の注意事項、日常点検、維持管理、使用環境など、高圧ガス周知文書に示す注意事項を遵守することが重要である。
- ② 高圧ガス容器をくず化するための溶断、切断、圧潰、穴開け、容器バルブの取外しなどで、容器内の残ガスにより、爆発、火災事故が発生している。高圧ガス容器をくず化する際は、容器内の残ガスを安全かつ確実に置換するか、または専門業者に依頼するなど、くず化の際の保安確保を徹底することが重要である。
- ③ 高圧ガス容器を移動する場合、積載容器の転落、転倒などによる衝撃、およびバルブの損傷を防止する措置を確実に講じ、容器とともに積載する燃焼器、トーチバーナーなどの種火、裸火は確実に消火する。移動中の火災を想定し、それを防止する意識を持つことが重要である。

## 参考文献

- 1) 山田敏弘、小林英男、永井秀行、赤塚広隆、林 直希、“高压ガス事故の統計と解析（その 1 全体）（平成 26 年までの 7 年間の結果）”、高压ガス, Vol.52, No.11, pp.908-913(2015)
- 2) KHK ホームページ (URL <http://www.khk.or.jp/>) →Top・ナビゲーションバー「事故情報」→高压ガス事故情報→高压ガス事故事例→冷凍保安規則関係事故、コンビナート等保安規則関係事故、一般高压ガス保安規則・液化石油ガス保安規則関係事故、容器保安規則関係事故、その他→「高压ガス事故概要報告」
- 3) 加圧下で貯蔵されている低温液化ガスや高温加熱液体の容器などが破裂により急激に内圧が解放されると、気液平衡がくずれて激しい沸騰が起こり爆発的に蒸発することがあり、これを蒸気爆発という。BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion の略で、ブレビーと発音する) とも呼ばれる。“高压ガス保安技術 中級 第 13 次改訂版”、高压ガス保安協会 (2015)



LPガス貯槽が火炎であぶられると、LPガスが加熱され貯槽の内圧が上昇する。内圧が安全弁の設定圧力に達するまでに安全弁が作動し、放出ガスが発火する。

液面より上部の母材が強熱されると、鋼材は高温となり、材料強度が低下する。さらに加熱が続くと、ついには、内圧に耐えられず局部的に開口（クリーブ破断）する。

開口により、貯槽の内圧が大気圧まで一気に解放される。これにより、貯槽内の気液の平衡状態が破られ、LPガスが突沸して、瞬時に貯槽が破裂し、発火、爆発する。



BLEVEにより大量のLPガスが外部に放出され巨大なファイアボールが形成される。  
(写真：高压ガス製造保安係員講習テキスト 一般高压ガス編 第4次改訂版より引用)

### BLEVE（ブレビー）の概念図（KHK 作成）

- 4) KHK ホームページ (URL <http://www.khk.or.jp/>) →Top・ナビゲーションバー「事故情報」→高压ガス事故情報→高压ガス事故統計資料等→事例ごとの注意事項→「酸素などの断熱圧縮と摩擦熱による高压ガス事故の注意事項について」、「溶接、溶断による高压ガス事故の注意事項について」

## 爆発、火災事故の事故概要報告（抜粋）

## (1) 爆発

- ① レゾルシン製造施設の爆発、火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-106r2.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-106r2.pdf)

- ② 塩化ビニルモノマー製造施設の爆発火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2011-386.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2011-386.pdf)

## (2) 漏えい→爆発

- ① 接触改質装置加熱炉からの LP ガス漏えい、爆発

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2013-152.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2013-152.pdf)

- ② 東日本大震災による水素圧縮機ユニットの漏洩、爆発

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2011-083.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2011-083.pdf)

- ③ LPG 球形貯槽の倒壊による火災及び爆発

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2011-078r1.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2011-078r1.pdf)

## (3) 火災

- ① 高圧ガス容器の混合液廃棄中の火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-350.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-350.pdf)

- ② 合わせ板ガラスを圧着するオートクレーブからの出火

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-027.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-027.pdf)

- ③ 高圧ポリエチレンプラントのドレン抜作業中の火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2011-113r1.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2011-113r1.pdf)

## (4) 漏えい→火災

- ① 接触改質装置のサンプリング配管からのナフサ漏えい、火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2013-282.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2013-282.pdf)

- ② 圧縮機のドレン弁からの水素漏えい→火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-192r1.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-192r1.pdf)

- ③ 灯軽油水添脱硫装置の配管からの炭化水素漏えい→火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-165.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-165.pdf)

(5) 非高圧ガス

- ① 高純度多結晶シリコン製造施設における熱交換器チャンネルカバーの開放作業中の爆発火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2014-000.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2014-000.pdf)

- ② アルキルアルミ建屋内の触媒供給設備の火災

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2013-000.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2013-000.pdf)

- ③ アクリル酸製造施設の爆発、火災事故

[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/2012-000.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-000.pdf)

## 一般高圧ガス保安規則（抜粋）

## (1) 製造設備に係る技術上の基準（抜粋）

- ① 一般高圧ガス保安規則第六条 1 項第 3 号 可燃性ガスの製造設備は、その外面から火気を取り扱う施設に対し 8 メートル以上の距離を有し、又は当該製造設備から漏えいしたガスが当該火気を取り扱う施設に流動することを防止するための措置若しくは可燃性ガスが漏えいしたときに連動装置により直ちに使用中の火気を消すための措置を講ずること。
- ② 同項 26 号 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。
- ③ 同項 38 号 可燃性ガスの製造設備には、当該製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。
- ④ 同条第 2 項第 1 号ハ 次に掲げるガスは、圧縮しないこと。
  - (イ) 可燃性ガス（アセチレン、エチレン及び水素を除く）中の酸素の容量が全容量の 4 パーセント以上のもの
  - (ロ) 酸素中の可燃性ガスの容量が全容量の 4 パーセント以上のもの
  - (ハ) アセチレン、エチレン又は水素中の酸素の容量が全容量の 2 パーセント以上のもの(ニ) 酸素中のアセチレン、エチレン及び水素の容量の合計が全容量の 2 パーセント以上のもの
- ⑤ 同号へ 三フッ化窒素の充填容器等のバルブは、静かに開閉すること。
- ⑥ 同項第二号ホ 酸化エチレンを貯槽又は容器に充填するときは、あらかじめ、当該貯槽又は容器の内部のガスを窒素ガス又は炭酸ガスで置換した後、酸又はアルカリを含まないものにする事
- ⑦ 同号へ 酸素又は三フッ化窒素を容器に充填するときは、あらかじめ、バルブ、容器及び充填料配管とバルブとの接触部に付着した石油類、油脂類又は汚れ等の付着物を除去し、かつ、容器とバルブとの間には、可燃性のパッキンを使用しないこと。
- ⑧ 同項第 4 号 高圧ガスの製造は、製造設備の使用開始時及び使用終了時に当該製造設備の属する製造施設の異常の有無を点検するほか、1 日に 1 回以上製造をする高圧ガスの種類及び製造設備の様態に応じ頻りに製造設備の作動状況について点検し、異常のあるときは、当該設備の補修その他の危険を防止する措置を講じてすること。
- ⑨ 同項第 5 号ロ 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素のガス設備の修理等をするときは、危険を防止するための措置を講ずること。

- ⑩ 同号ニ ガス設備を開放して修理等するときは、当該ガス設備のうち開放する部分に他の部分からガスが漏えいすることを防止するための措置を講ずること。
  - ⑪ 同号第 8 号ニ 容器置場の周囲 2 メートル以内においては、火気の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし以下省略
  - ⑫ 同号ホ 充てん容器等は、常に温度 40℃以下に保つこと。
- (2) 移動に係る技術上の基準（抜粋）
- ① 第五十条第 2 号 充てん容器等は、その温度を常に 40℃以下に保つこと。
  - ② 同条第 4 号 充てん容器等（内容積が五リットル以下のものを除く。）には、転落、転倒等による衝撃及びバルブの損傷を防止する措置を講じ、かつ、粗暴な取扱いをしないこと。
- (3) 消費に係る技術上の基準（抜粋）
- ① 第六十条第 1 項第 1 号 充てん容器等のバルブは、静かに開閉すること。
  - ② 同項第 10 号 可燃性ガス、酸素又は三フッ化窒素の消費に使用する設備から 5 メートル以内においては、喫煙及び火気（当該設備内のものを除く）の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし以下省略。
  - ③ 同項第 13 号 溶接又は熱切断用のアセチレンガスの消費は、当該ガスの逆火、漏えい、爆発等による災害を防止するための措置を講じて行うこと。
  - ④ 同項第 14 号 溶接又は熱切断用の天然ガスの消費は、当該ガスの漏えい、爆発等による災害を防止するための措置を講じて行うこと。
  - ⑤ 同項第 15 号 酸素又は三フッ化窒素の消費は、バルブ及び消費に使用する器具の石油類、油脂類その他可燃性の物を除去した後に行うこと。
  - ⑥ 同項第 18 号 高圧ガスの消費は、消費設備の使用開始時及び使用終了時に消費施設の異常の有無を点検するほか、1 日に 1 回以上消費設備の作動状況について点検し、異常のあるときは、当該設備の補修その他の危険を防止する措置を講じてすること。
- (4) 廃棄に係る技術上の基準（抜粋）
- ① 第六十二条第 1 号 廃棄は、容器とともに行わないこと。
  - ② 同条第 2 号 可燃性ガスの廃棄は、火気を取り扱う場所又は引火性若しくは発火性の物をたい積した場所及びその付近を避け、かつ、大気中に放出して廃棄するときは、通風の良い場所で少量ずつすること。
  - ③ 同条第 4 号 可燃性ガス又は毒性ガスを継続かつ反復して廃棄するときは、当該ガスの滞留を検知するための措置を講じてすること。
  - ④ 同条第 5 号 酸素又は三フッ化窒素の廃棄は、バルブ及び廃棄に使用する

- る器具の石油類、油脂類その他の可燃性の物を除去した後にすること。
- ⑤ 同条第 6 号 廃棄した後は、バルブを閉じ、容器の転倒及びバルブの損傷を防止する措置を講ずること。
  - ⑥ 同条第 7 号 充てん容器等のバルブは、静かに開閉すること。以下省略。

## 溶接、溶断の高圧ガス事故の注意事項について

高圧ガス保安協会

## 1. 目的

高圧ガス事故（喪失、盗難を除く災害）の統計と解析の結果、平成 23 年から平成 26 年までの 4 年間に高圧ガス事故は 1672 件発生している（表 1 参照）。高圧ガス事故のうち、死傷者を伴う高圧ガス事故（以下「人身事故」という。）は 140 件発生しており、計 275 名が負傷している（表 2 参照）。

4 年間で溶接、溶断の高圧ガス事故（以下、「溶接、溶断の事故」という。）は 76 件発生している（表 3 参照）。このうち、人身事故を伴う溶接、溶断の事故は 20 件発生しており、計 23 名が負傷している（表 4 参照）。最近の事故を下記に示す。

平成 27 年 2 月、圧接作業の休憩中、車両の荷台でアセチレンが充満し、発火、爆発を起こし、作業員 4 名の死傷事故が発生した。

平成 27 年 3 月、生コンクリート製造プラントの最上階（4 階）から出火し、設備補修のため溶接作業などを行っていた作業員 3 名の死傷事故が発生した。（高圧ガス事故か不明）

平成 27 年 5 月、作業船のバラストタンク内で、油圧パイプの交換のための溶断作業中、タンク内で作業員 2 名の死亡事故が発生した。（船舶上のため非高圧ガス事故）

溶接、溶断の事故については、平成 7 年 3 月、アセチレン事故解析検討報告書（昭和 60 年から平成 6 年までの 10 年間の事故）（以下、「アセチレンの事故」という。）がまとめられている。この資料は、最近の 4 年間の溶接、溶断の事故を解析し、アセチレンの事故との比較を行い、溶接、溶断の事故の未然防止、再発防止のための注意事項を示すことを目的とする。

表 1 高圧ガス事故（平成 23 年から平成 26 年）

年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	合計
事故 (件)	490	428	392	362	1672

表 2 人身事故及び死傷者

人身事故(件)				死傷者(人)			
死亡事故	重傷事故 (()内は死 亡事故との 重複)	軽傷事故 (()内は死 亡事故、重 傷事故との 重複)	合計(重複は 含まず)	死亡者	重傷者	軽傷者	合計
6	37(2)	106(7)	140	6	42	227	275

表 3 溶接、溶断の事故（平成 23 年から平成 26 年）

年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	合計
事故 (件)	18	26	12	20	76

表 4 溶接、溶断の人身事故および死傷者（平成 23 年から平成 26 年の合計）

分野	人身事故(件)				死傷者(人)			
	死亡事故	重傷事故	軽傷事故	合計	死亡者	重傷者	軽傷者	合計
溶接、溶断	0	5	15	20	0	6	17	23

## 2. 事故の抽出

高圧ガス事故データベースを用いて、平成 23 年から平成 26 年までの 4 年間に発生した高圧ガス事故のうち、「溶接」、「溶断」、「逆火」、「トーチ」、「バーナー」、「火口」、「圧接」、「吹管」、「ろう付け」をキーワードとして検索し、溶接、溶断の事故を抽出した。この結果、表 3 に示すとおり、溶接、溶断の事故は 76 件であった。

溶接、溶断の事故の内訳を表 5 に示す。表 5 の縦軸は、消費、製造事業所（一般）、その他の事故の分野を示している。移動と一般以外の製造事業所の事故はない。同様に、平成 7 年の報告書よりアセチレンの事故の内訳を表 6 に示す。分野は消費、移動、その他で製造事業所はない。

表 5 より 4 年間の溶接、溶断の事故は、消費が 91%、製造事業所（一般）が 8%で、消費と製造事業所（一般）の合計が 99%を占めている。また、溶接、溶断の事故は変動があるが、平均して 19 件／年発生している。

表 6 より 10 年間のアセチレンの事故は、消費が 92%、その他が 6%で、消費とその他の合計が 98%を占めている。アセチレンの事故は、平均して 25 件／年発生している。

以上の結果から、溶接、溶断の事故とアセチレンの事故は、昭和 60 年から平成 26 年まで 20 件程度／年が継続して発生しており、消費の分野が 90%程度を占めていることがわかる。

表 5 溶接、溶断の事故の内訳（平成 23 年から平成 26 年）

分野	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	合計	割合[%]
消費	15	26	12	16	69	91
製造事業所 (一般)	3	0	0	3	6	8
その他	0	0	0	1	1	1
合計	18	26	12	20	76	100

表 6 アセチレンの事故の内訳（昭和 60 年から平成 6 年）

分野	昭和60年	昭和61年	昭和62年	昭和63年	平成元年		
消費	23	19	14	21	24		
移動	0	0	0	0	0		
その他	0	3	2	1	1		
合計	23	22	16	22	25		
分野	平成2年	平成3年	平成4年	平成5年	平成6年	合計	割合[%]
消費	16	36	30	22	25	230	92
移動	1	0	1	1	0	3	1
その他	3	1	2	2	1	16	6
合計	20	37	33	25	26	249	100

### 3. 事故の統計と解析

#### (1) 業種

溶接、溶断の事故とアセチレンの事故を比較して、業種別の割合を表 7 に示す。

溶接、溶断の事故は、建設が 30%、鉄工所が 21%で、建設と鉄鋼所の合計が 51%を占めている。また、アセチレンの事故は、建設が 35%、鉄工所が 33%で、建設と鉄工所の合計が 68%を占めている。

業種の建設と鉄工所は、代表的な消費の分野である。それ以外の業種では、溶接、溶断の事故とアセチレンの事故で、自動車、機械、廃品回収の割合が高い。

以上の結果から、溶接、溶断の事故とアセチレンの事故は、消費の分野で建設と鉄工所が過半数を占め、事故が起きる業種は変化していないことがわかる。

表 7 溶接、溶断の事故、アセチレンの事故と業種

	業種	建設	鉄工所	自動車	機械	廃品回収	一般化学
溶接、溶断 の事故 (平成23年 ～平成26 年)	事故件数	23	16	8	7	4	3
	割合[%]	30	21	11	9	5	4
	業種	紙、パルプ	電気	食品	造船	その他	合計
	事故件数	1	1	1	2	10	76
	割合[%]	1	1	1	3	13	100
アセチレンの 事故 (昭和60年 ～平成6年)	業種	建設	鉄工所	自動車	機械	廃品回収	一般化学
	事故件数	88	82	17	9	15	5
	割合[%]	35	33	7	4	6	2
	業種	紙、パルプ	電気	食品	造船	その他	合計
	事故件数	0	5	0	5	23	249
	割合[%]	0	2	0	2	9	100

(2) 死傷者

溶接、溶断の事故に限定して、人身事故および死傷者の業種別の内訳を表 8 に示す。

人身事故は、4年間で20件発生しており、溶接、溶断の事故全体の26%を占める。高圧ガス事故全体では人身事故の割合は8%であり(表1と表2参照)、溶接、溶断の事故は人身事故の割合が高い。

業種別に見れば、溶接、溶断の事故の割合が高い建設と鉄工所で人身事故は多くなく(3+2=5件)、溶接、溶断の事故の割合が高くない機械と一般化学で人身事故は多い(3+2=5件)。

特に、一般化学と機械で死傷者が多いことは(5+3=8名)、注目に値する。

表 8 溶接、溶断の人身事故および死傷者の内訳

業種	人身事故(件)				死傷者(人)			
	死亡事故	重傷事故	軽傷事故	合計	死亡者	重傷者	軽傷者	合計
建設	0	0	3	3	0	0	3	3
鉄工所	0	1	1	2	0	1	1	2
自動車	0	1	1	2	0	1	1	2
機械	0	1	2	3	0	1	2	3
廃品回収	0	0	1	1	0	0	1	1
一般化学	0	1	1	2	0	2	3	5
紙、パルプ	0	0	0	0	0	0	0	0
電気	0	0	1	1	0	0	1	1
食品	0	0	0	0	0	0	0	0
造船	0	0	2	2	0	0	2	2
その他	0	1	3	4	0	1	3	4
合計	0	5	15	20	0	6	17	23

### (3) 1次事象と2次事象

溶接、溶断の事故（76件）について、1次事象と2次事象の分類を図1に示す。

1次事象が漏えいは44件、火災は28件であり、1次事象全体に漏えいと火災が占める割合は全体の95%となる。1次事象の爆発は少なく（3件）、破裂・破損は稀である（1件）。

1次事象が漏えい（44件）のうち、2次事象が火災となるのは37件であり、1次事象が漏えいの全体に84%の割合を占めている。

火災は、1次事象と2次事象を合わせると66件であり、溶接、溶断の事故の87%で、高い割合を占めている。同様に、爆発も1次事象で3件、2次事象で4件、合計で7件発生しており、割合は9%となる。すなわち、溶接、溶断の事故のうち、火災と爆発は96%と非常に高い割合となっており、溶接、溶断の事故の特徴である。

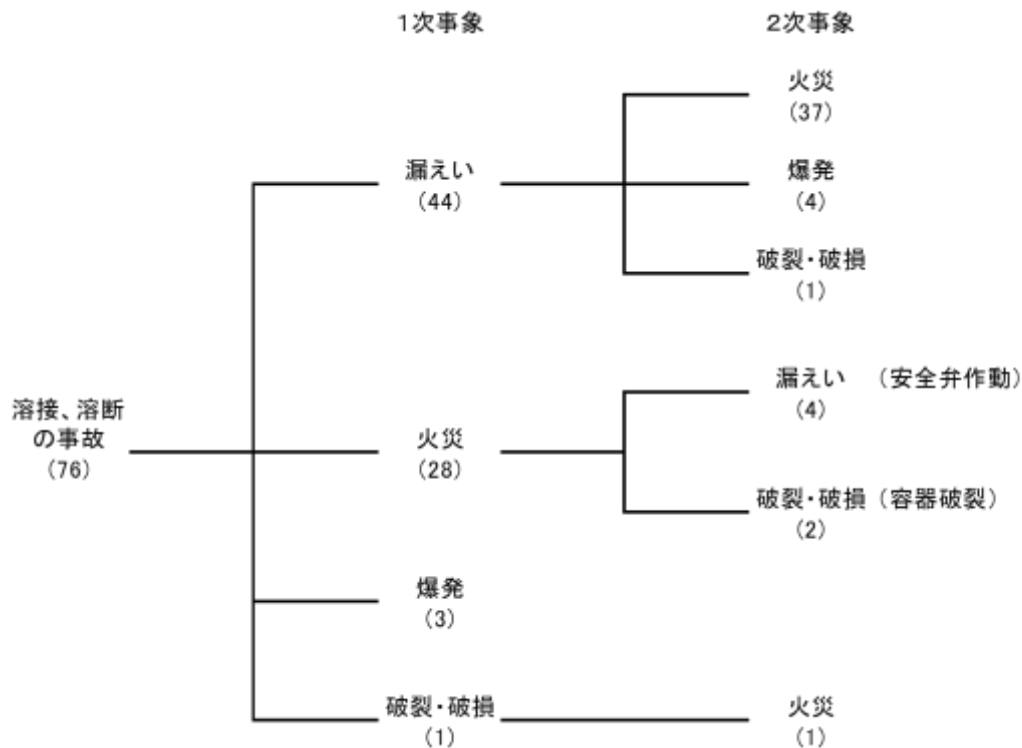


図1 溶接、溶断の事故における1次事象と2次事象の分類

#### (4) 可燃物

1次事象が漏えいで2次事象が火災の場合には、火災は漏えいしたガスの燃焼の結果として、可燃物が燃焼する事象である。また、1次事象が火災の場合には、火災は機器の内部においてガスの燃焼の結果として、可燃物が燃焼する事象である。いずれの場合にも、火災は可燃物の燃焼という災（わざわい）である。可燃物には、金属（機器、配管）が含まれる。可燃物は、被災物と表現してもよい。ただし、燃焼しなくても、被災物となる場合がある。

溶接、溶断の火災事故（66件）について、火災における可燃物を表9に示す（重複あり）。調整器、容器、可溶栓、ホースという溶接、溶断に使用する機器の部品が多く（合計42件）、可燃物全体に54%を占める。調整器はゴム、樹脂などの可燃物を内蔵し、発火位置となることが多い。容器の火災の原因にもらい火（直火）があり、容器が炙られ、1次事象として内部火災になるか、または1次事象として漏えいし、2次事象として火災になる。この場合に、容器の可溶栓が溶け、火災に寄与する。他の可燃物は雑多であり、主として2次事象が火災の場合の可燃物である。

表 9 火災における可燃物

火災による被災物	件数	火災による被災物	件数
調整器	12	解体車両の残燃料	1
容器	10	貨物の荷台	1
可溶栓	9	ゴム製ベルト	1
ホース	7	廃材	1
手	4	ビニルシート	1
顔	2	柱	1
衣服	2	トラック	1
倉庫	2	引火性物質	1
断熱材	2	不明	19
養生シート	1	計	78(重複あり)

(5) ガス名

溶接、溶断の事故（76 件）について、ガス名を表 10 に示す。

溶接、溶断に用いる主なガスは、アセチレンと LP ガスである。アセチレンの事故が 61 件あり、全体の 80% を占める。LP ガスの事故は 10 件あり、全体の 14% を占める。アセチレンと LP ガスの事故を合わせると、全体の 94% を占める。溶接、溶断の事故とアセチレンの事故の比較は、妥当であることがわかる。

表 10 溶接、溶断の事故におけるガス名  
(平成 23 年から平成 26 年)

ガス種	件数	割合[%]
アセチレン	61	80
アセチレン	29	
アセチレン、酸素	32	
LPガス	11	15
LPガス	6	
LPガス、酸素	5	
ブタン	1	1
エチレン、酸素	1	1
不明	2	3
合計	76	100

#### (6) 発火源

溶接、溶断の事故（74 件）について、発火源を表 11-1 に示す。溶接、溶断の事故（全数 76 件）において、漏えい事象のみの事故が 2 件あり、発火源の合計は 74 件である。

発火源は、高圧ガス事故データベースに記載の発火源を基本とし、事故概要内容を検討して分類した。

主な発火源として火花、逆火、裸火が挙げられる。火花の詳細は、溶接、溶断、グラインダー、静電気などである。裸火の詳細は、裸火に加えてバーナーとライターを識別した。

溶接、溶断の事故の発火源（74 件）に占める火花、逆火、裸火はそれぞれ 45%、24%、20%である。火花、逆火、裸火を合わせると、発火源全体の 89%を占める。

その他にも、高温物体、断熱圧縮、摩擦熱が発火源としてある。高温物体とは、溶接、溶断における熔融鉄などである。

アセチレンの事故（249 件）について、発火源を表 11-2 に示す。

発火源は、火花が最も多く、発火源全体の 42%を占める。溶接、溶断の事故とアセチレンの事故を合わせて、火花は従来から火災の最も多い発火源であることがわかる。

一方、逆火の割合は、アセチレンの事故の 34%から、溶接、溶断の事故の 24%に低下しており、逆火は発火源として減少傾向にあることがわかる。

表 11-1 溶接、溶断の事故の発火源（平成 23 年から平成 26 年）

発火源	件数	割合[%]	発火源	件数	割合[%]
火花	33	45	裸火	15	20
溶接	7		裸火	5	
溶断	17		バーナー	9	
グラインダー	4		ライター	1	
静電気	2		高温物体 (溶融鉄、落下物、加熱物)	3	4
金属接触	1				
金属粉	1		断熱圧縮	2	3
電気	1		摩擦熱	1	1
逆火	18	24	不明	2	3
			合計	74	100

表 11-2 アセチレンの事故の発火源（昭和 60 年から平成 6 年）

発火源	件数	割合[%]	発火源	件数	割合[%]
火花	104	42	高温	6	2
逆火	85	34	その他	16	6
裸火	38	15	合計	249	100

(7) 逆火

溶接、溶断の事故（76 件）のうちでアセチレンを用いる場合に（61 件、表 10 参照）、逆火防止設備（以下、「安全器」という。）の設置の有無を表 12-1 に示す。

アセチレンを用いる溶接、溶断は、高圧ガス保安法において逆火に対する措置を講じなければならないことが規定されている。（詳細は 5.1.④に示す。）事故全体のうち、安全器を設置していた事故の割合は 64%を占め、安全器を設置していなかった事故（法令違反）の割合を大きく上回る。

アセチレンの事故（249 件）の安全器の設置の有無を、表 12-2 に示す。事故全体のうち、安全器を設置していた事故の割合は 29%を占め、設置していなかった事故（法令違反）の割合を大きく下回る。

表 12-1 溶接、溶断の事故における安全器の設置の有無（アセチレン消費）  
（平成 23 年から平成 26 年）

安全器	件	割合[%]
有	39	64
無	16	26
不明	6	10
合計	61	100

表 12-2 アセチレンの事故における安全器の有無（アセチレン消費）  
（昭和 60 年から平成 6 年）

安全器	件	割合[%]
有	73	29
無	133	53
不明	43	17
合計	249	100

溶接、溶断の火災、爆発事故（74件）のうち、逆火が発火源の場合は18件である（表11-1参照）。そのうち16件がアセチレンを用い、残りの2件がLPガスを用いていた。

溶接、溶断の火災、爆発事故のうち、アセチレンを用い、逆火が発火源の場合の安全器の設置の有無を表13に示す。

事故16件のうち、安全器を設置していた事故は9件、設置していなかった事故は7件とほぼ同数である。

以上の結果から、昭和60年から平成6年の10年間（アセチレンの事故）に比較して、平成23年から平成26年の4年間（溶接、溶断の事故）は安全器の設置が進行していることがわかる（設置の割合29%→64%）。これは高圧ガス取締法（現高圧ガス保安法）において、平成7年5月15日から安全器の設置が義務付けられたことに起因している。

アセチレンを用い、逆火が発火源となる火災、爆発事故は、安全器の設置の有無にかかわらず、同じ割合で発生している。安全器を設置していても、バーナーなどの燃焼器具の取扱いが不適切であれば、安全器までは逆火が起きる。ただし、安全器が作動して、容器、調整器の被害を防止できる。しかし、過去に逆火で作動した安全器、定期的にメンテナンスしていない安全器は、適正に作動しないことがある。

一方、安全器を設置しなければ、逆火は容器内部に侵入し、容器が爆発する危険性がある。安全器の機能は、逆火の容器内部への侵入を防止することにある。

表13 逆火が発火源の事故における安全器の設置の有無（アセチレン消費）

安全器	件	割合[%]
有	9	56
無	7	44
合計	16	100

#### 4. 事故の実例

##### (1) 事故原因

溶接、溶断の事故（76件）の事故原因を表14に示す。事故原因は、高圧ガス事故データベースに記載の事故原因を基本とし、事故概要の内容を検討して分類した。

事故原因のうち、誤操作などが25%と最も高い。次いで、点検不良が21%、不良行為、締結管理不良がそれぞれ11%、操作基準等の不備が9%となっている。その他に検査管理不良、容器管理不良などがある。

誤操作などには、引火性の液体が残存している解体機を切断し、火災に至った事例、溶接作業中にホースと吹管の接合部を誤って握り、接合部のカップラーが外れて漏えいし、火災に至った事例がある。

点検不良には、安全器の点検を怠り、溶接作業中に逆火が発生したが、作動しなかった事例がある。

不良行為には、LPガスの消費設備の直近(1m程度)に、スプレー缶を放置したまま作業を行い、スプレー缶の温度が急激に上昇して引火した事例がある。

表14 溶接、溶断の事故の事故原因（平成23年から平成26年）

事故原因	誤操作 など	点検不良	不良行為	締結管理 不良	操作基準 等の不備
事故件数	19	16	8	8	7
割合[%]	25	21	11	11	9
事故原因	検査管理 不良	容器管理 不良	設計不良	その他	合計
事故件数	4	4	1	9	76
割合[%]	5	5	1	12	100

上記の事故原因は高圧ガス事故全体を対象としており、溶接、溶断の事故には適合しない。そこで、溶接、溶断の事故（76件）について典型的な事故のシナリオを高圧ガス事故データベースの事故概要の内容から解析し、11例を示した。

11例を溶接、溶断作業の準備、作業、後処理の段階ごとに以下のように区分けをした。

- ・ 準備
  - ①ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい
  - ②ホースの亀裂部からの漏えい
  - ③調整器の経年劣化による漏えい
- ・ 作業
  - ④逆火
  - ⑤溶接、溶断の火花による発火
  - ⑥外部衝撃によるホース、調整器などの損傷、漏えい
  - ⑦熔融鉄などによるホースなどへの発火
  - ⑧急激なバルブ開放による断熱圧縮
- ・ 後処理
  - ⑨バルブの閉め忘れによる漏えい
- ・ その他
  - ⑩原因不明の漏えい
  - ⑪その他

典型例、件数、割合（件数／合計）、人身事故件数および人身事故率を表 15 に示す。

最も多い典型例は「④逆火」であり、事故全体の 24%を占める。次いで「⑤溶接、溶断の火花による発火」が 21%、「①ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい」が 18%を占める。これらの 3 つの典型例が全体の 63%を占める。

なお、溶接、溶断の段階ごとに見れば、作業が 57%と最も高く、次に準備が 26%を占める。

表 15 溶接、溶断の事故の典型例

段階	典型例	件数	割合[%]	人身事故件数	人身事故率[%]
準備	①ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい	14	18	2	14
	②ホースの亀裂部からの漏えい	5	7	3	60
	③調整器の経年劣化による漏えい	1	1	0	0
作業	④逆火	18	24	2	11
	⑤溶接、溶断の火花により発火	16	21	2	13
	⑥外部衝撃によるホース、調整器などの損傷、漏えい	4	5	2	50
	⑦溶融鉄などによるホースなどへの発火	3	4	2	67
	⑧急激なバルブ開放による断熱圧縮	2	3	1	50
後処理	⑨バルブの閉め忘れによる漏えい	2	3	1	50
その他	⑩原因不明の漏えい	5	7	1	20
	⑪その他	6	8	4	67
	合計	76	100	20	26

## (2) 実例

(1) に示した典型例に対応する事故のうちで、人身事故に至った実例を以下に示す。

### ①ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい

減圧弁の取付けが不完全であり、アセチレンが漏えいした。漏えいしたアセチレンガスに金属工具の火花が発火源となり、火災となった(軽傷者1名)。

### ②ホースの亀裂部からの漏えい

アセチレン容器に付帯する安全器出口付近のホースが老朽化でひび割れ、そこから漏えいしたアセチレンに電動切削砥石掛けの火花が発火源となり、火災となった(軽傷者1名)。

### ③逆火

アセチレンのホースを折り曲げようとした際、ホースから火炎が噴出した。ガス溶断機の破損状況およびアセチレンホース内面の煤の付着状況から、逆火と判断した(軽傷者1名)。

### ④溶接、溶断の火花による発火

造船所内でガス溶接作業中、溶接アークの火炎が作業員の衣服へ燃え移り、衣服が燃え上がった(重傷者1名)。

⑤外部衝撃によるホース、調整器などの損傷、漏えい

作業中にホースと吹管の接合部を誤って握ってしまい、接合部のカプラーが外れた。そのため、接合部からガスが漏えいし、発火した（軽傷者1名）。

⑥溶融鉄などによるホースなどへの発火

溶断中に溶融した鉄が落下し、階下のアセチレンガスのホースを溶融し、発火した。その後、アセチレン容器のレギュレーターから火炎が吹き出し、この火炎により酸素容器が炙られ、破裂した（軽傷者1名）。

⑦急激なバルブ開放による断熱圧縮

アセチレン容器、酸素容器の元弁を閉じ、圧力調整器の調整バルブを開放側へ操作し、ホース、吸管よりガスを抜き、調整バルブを閉位置にて待機した。再度、酸素容器の元弁を開放した途端に、圧力調整器が破裂した。破裂後の圧力調整器の一次側圧力計は  $280\text{kg/cm}^2$  (圧力計表示の最高値) を指示していたので、爆発的な圧力上昇があった。酸素容器の急激な元弁の開放に伴い、調整器内部が酸素の断熱圧縮により高温となり、何らかの可燃物が発火し、急激に燃焼した（軽傷者1名）。

⑧その他

高圧ガス容器元弁の開放から消費までに時間を要し、LP ガスが滞留した。トーチバーナーにライターで点火したところ、LP ガスが発火し、爆発した（軽傷者1名）。

## 5.事故に関する法規、基準

高圧ガスを用いた溶接、溶断の作業をする事業者及び作業者に、高圧ガス保安法に係る、許可及び届出の規制はない。ただし、以下に示す「消費に係る技術上の基準」を遵守する義務がある。

### <高圧ガス保安法>

第24の5 前三条に定めるものの外、経済産業省令で定める高圧ガスの消費は、消費の場所、数量その他消費の方法について経済産業省令で定める技術上の基準に従ってしなければならない。

<一般高圧ガス保安規則から抜粋)>

1) 第 60 条 その他消費に係る技術上の基準

第 1 項

- ① 1 号 充てん容器等のバルブは、静かに開閉すること。
- ② 10 号 可燃性ガス、酸素又は三フッ化窒素の消費に使用する設備（家庭用設備を除く。）から五メートル以内においては、喫煙及び火気（当該設備内のものを除く。）の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし、火気等を使用する場所との間に当該設備から漏えいしたガスに係る流動防止措置又は可燃性ガス、酸素若しくは三フッ化窒素が漏えいしたときに連動装置により直ちに使用中の火気を消すための措置を講じた場合は、この限りでない。
- ③ 12 号 可燃性ガス、酸素及び三フッ化窒素の消費施設（在宅酸素療法用のもの及び家庭用設備に係るものを除く。）には、その規模に応じて、適切な消火設備を適切な箇所に設けること。

（一般高圧ガス保安規則関係例示基準）

31. 防消火設備（抜粋）

5. 消火設備の設置

5.3 5.1 にかかわらず第 60 条第 1 項第 12 号に係る消火設備にあっては次に掲げる基準によるものであること。

- (1) 可燃性ガス、酸素又は三フッ化窒素の貯蔵能力が 1t 以上 3t 未満の貯蔵設備を設置している場合にあつては、貯蔵量 1t につき能力単位 B-10 の粉末消火器 1 個相当以上のものを設置すること。
- (2) 可燃性ガス、酸素又は三フッ化窒素の貯蔵能力が 300kg 以上 1t 未満の貯蔵設備を設置している場合にあつては、能力単位 B-10 の粉末消火器 1 個相当のものを設置すること。
- (3) 可燃性ガス、酸素又は三フッ化窒素の貯蔵能力が 300kg 未満の貯蔵設備を設置している場合にあつては、適正な位置に適正なものを設置すること。

- ④ 13 号 溶接又は熱切断用のアセチレンガスの消費は、当該ガスの逆火、漏えい、爆発等による災害を防止するための措置を講じて行うこと。

(一般高圧ガス保安規則関係例示基準)

79. 溶接又は熱切断用のアセチレンガス又は天然ガスの消費

1. 溶接又は熱切断用のアセチレンガスの消費は、次の各号に掲げる基準によるものとする。

1.1 消費設備には逆火防止装置を設けること。

1.2 ホースと減圧設備その他の設備とを接続するときは、その接続部をホースバンドで締め付けること等により確実にを行い、漏えいのないことを確認すること。

1.3 点火は、酸素を供給するためのバルブを閉じた状態で行うこと。

1.4 消火するときは、アセチレンガスを供給するためのバルブを閉じる前に酸素を供給するためのバルブを閉じること。

1.5 火花の飛来するおそれのある場所には、充填容器等を置かないこと。

2. 溶接又は熱切断用の天然ガスの消費は、1. 1.2 及び 1.5 に規定する基準によるものとする。

⑤ 14号 溶接又は熱切断用の天然ガスの消費は、当該ガスの漏えい、爆発等による災害を防止するための措置を講じて行うこと。

(一般高圧ガス保安規則関係例示基準)

79. 溶接又は熱切断用のアセチレンガス又は天然ガスの消費

1. 溶接又は熱切断用のアセチレンガスの消費は、次の各号に掲げる基準によるものとする。

1.1 消費設備には逆火防止装置を設けること。

1.2 ホースと減圧設備その他の設備とを接続するときは、その接続部をホースバンドで締め付けること等により確実にを行い、漏えいのないことを確認すること。

1.3 点火は、酸素を供給するためのバルブを閉じた状態で行うこと。

1.4 消火するときは、アセチレンガスを供給するためのバルブを閉じる前に酸素を供給するためのバルブを閉じること。

1.5 火花の飛来するおそれのある場所には、充填容器等を置かないこと。

2. 溶接又は熱切断用の天然ガスの消費は、1. 1.2 及び 1.5 に規定する基準によるものとする。

- ⑥ 18号 高圧ガスの消費は、消費設備の使用開始時及び使用終了時に消費施設の異常の有無を点検するほか、一日に一回以上消費設備の作動状況について点検し、異常のあるときは、当該設備の補修その他の危険を防止する措置を講じてすること。

<液化石油ガス保安規則（以下、「液石則」）から抜粋）>

1) 第58条 その他消費に係る技術上の基準

- ① 1号 充てん容器等のバルブは、静かに開閉すること。
- ② 7号 貯蔵設備等の周囲五メートル以内においては、火気（当該設備内のものを除く。）の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。ただし、貯蔵設備等と火気又は引火性若しくは発火性の物（以下この号において「火気等」という。）との間に、当該貯槽から漏えいした液化石油ガスに係る流動防止措置又は液化石油ガスが漏えいしたときに連動装置により直ちに使用中の火気を消すための措置を講じた場合は、この限りでない。
- ③ 8号 溶接又は熱切断用の液化石油ガスの消費は、当該ガスの漏えい、爆発等による災害を防止するための措置を講じて行うこと。

（液化石油ガス保安規則関係例示基準）

56. 溶接又は熱切断用の液化石油ガスの消費

溶接又は熱切断用の液化石油ガスの消費は、次に掲げる基準によるものとする。

1. ホースと減圧設備その他の設備とを接続するときは、その接続部をホースバンドで締め付けること等により確実にを行い、漏えいのないことを確認すること。
2. 火花の飛来するおそれのある場所には、充填容器等を置かないこと。

6. 注意事項

(1) 逆火

溶接、溶断の事故の事故原因は4.(1)④に示したとおり、逆火が最も多い。

4.(1)に示した点検不良のために安全器が正常に作動しなかった事例があり、定期的に安全器の点検を行う必要がある。逆火防止対策としては、以下が挙げられる。

- ・安全器を正しく取り付ける。
- ・操作マニュアルを守る。
- ・安全器に煤が付着していないかを確認、メンテナンスを適宜行う。

逆火は、火口の先端で燃えている炎が瞬間的に火口の中へパチンと音をたてて吸込まれる現象です。炎が吸込まれたまま燃焼をつづけ、さらには吹管を通してホース、調整器まで到達、安全器が無いと最悪の場合に容器が爆発することがあります。(参考文献(1))

逆火は以下の条件のとき起こりやすいとされています。

- 燃料ガスの供給量が減少して酸素濃度が高くなり、燃焼速度が速くなったとき。
- 酸素の供給量が過大になったとき。
- 火口の加熱が生じたとき。
- 吹管の火口が酸化物（ノロ）または被加工物によって閉塞されたとき。
- 燃料ガスホース内へ空気や酸素が逆流していたのに気づかずに点火したとき。
- 自動切断機のガス供給機器の吹管、火口デーパー当り部に傷が生じた場合。
- 火口の焼損、カーボンの付着、堆積。
- 逆火事故に遭ったホースを使用している。

逆火防止対策としては以下のようなことに注意してください。

- 吹管に適したガス圧力で作業を行い、このために必ず圧力計でガス圧力を確認する。
- 点火するときは、吹管の酸素バルブは閉めたままで、アセチレンを少量出して点火し、消すときは吹管の酸素バルブを先に閉める。
- 作業の中断、または休憩などのためにガスの使用を一時的に中断する場合は、吹管の弁だけでなく、容器の元弁も閉じておく。
- 作業中に酸素またはアセチレンの容器の一方を交換するときにも、吹管の酸素バルブ、燃料ガスバルブ弁ともに必ず閉める。
- アセチレン容器の圧力調整器の出口またはガス集合装置の主管および分岐管に、逆火炎を消炎し、アセチレンの流出を遮断する機能を有する安全器を取り付ける。

## (2) 溶接、溶断の火花による発火

溶接、溶断の火花は広範囲に飛散しやすく、高さ 2.2m で溶接、溶断を行った際の火花は 5m 以上飛散する（参考文献（2））。溶接、溶断の火花の着火防止対策として、以下が挙げられる。

- ・火花の飛散する場所に容器を置かない。やむをえない場合には、鉄板、スレートなどの不燃物で容器を遮蔽する。
- ・作業場所の周辺を整理し、可燃物は安全な場所へ移動する。
- ・ゴムホースに火花が飛散しないように、適切な位置に配置する。または、養生シート、防火シートなどにより遮蔽する。養生シートに着火した事例もあり、養生シートに油が染みこんでいないかを確認する。

## (3) ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい

ホース、調整器、火口の接続不良による漏えい防止対策として、以下が挙げられる。

- ・溶接、溶断の作業を行う前に接続部の目視点検、漏れ検査で異常のないことを確認する。
- ・圧力調整器などを取り付ける場合には、パッキンが正常であるか、異物の噛込みがないかを確認をする。
- ・接合に適合する締め付け工具を使用する。

## (4) ホースの亀裂部からの漏えい

ゴムホースは、経年劣化によりひび割れが起こり、ひび割れ箇所からガスが漏えいし、着火する事例が多く発生している。ホースの亀裂部からの漏えい防止対策として、以下が挙げられる。

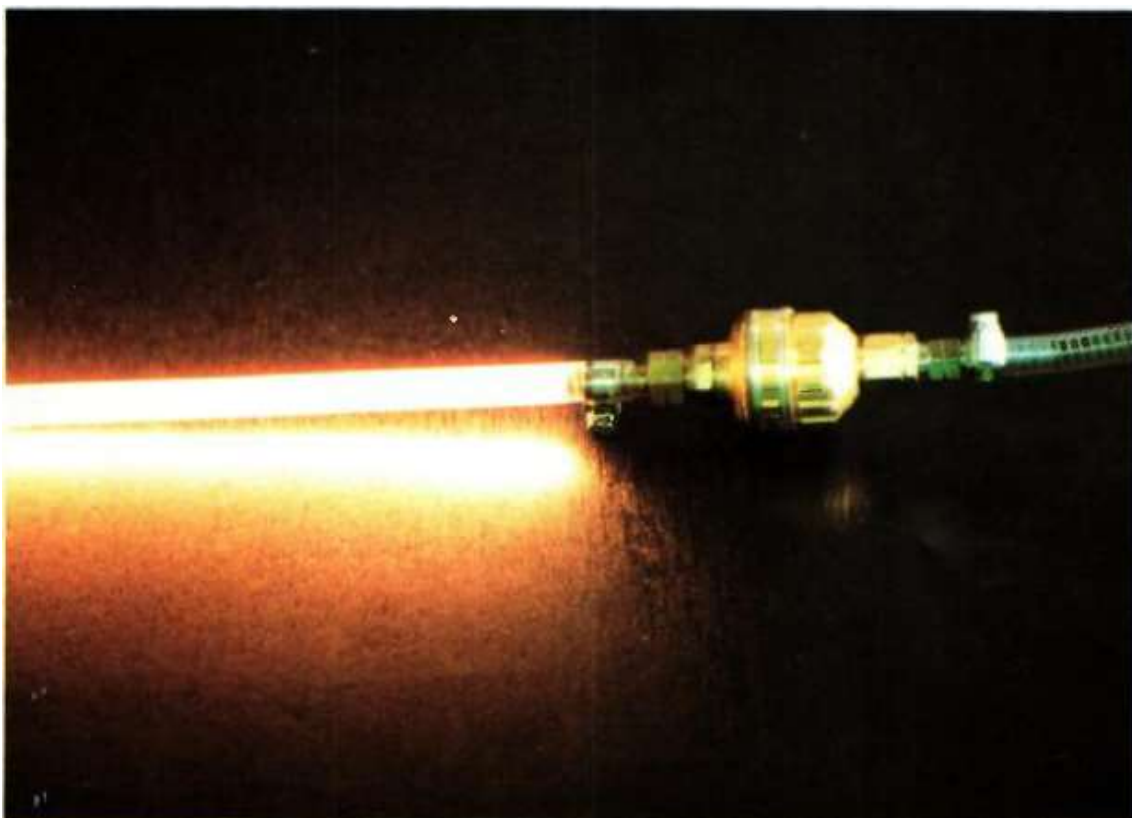
- ・定期的にホースのひび割れの有無を確認するとともに、ガス漏れがないことを確認する。ガス漏れの検出は、ゴムホースを水中に入れるか、ガス漏えい検知液を塗布して行う。

## 参考文献

- (1) 溶解アセチレン容器 取扱説明書／一般社団法人 全国高圧ガス溶材組合連合会／2015
- (2) アセチレン溶接・切断作業向け技術普及用パンフレット／高圧ガス保安協会／1989

## 参考文献

あなたは、次のことを  
守っていますか。



逆火想定実験（ホース内のガス置換が十分でないと、逆火を起こすことがある。）  
（写真は左から逆火が進行してきたが、安全器により進行が停止したことを示す。）

高圧ガス保安協会

# 高温の場所、発火源のそばに容器を置かない。

## ①事故例

トラックにエンジンウェルダ―とアセチレン容器、酸素容器を混載した状態でエンジンウェルダ―を使用したところ、アセチレン容器の溶栓からガスが噴出し、炎上した。

原因は、エンジンウェルダ―排気口からの廃熱のため容器が過熱され、溶栓が溶けたことによりガス漏れ、着火した。

## ②事故後の状況



事故後の状況

## ③取扱い指針

- ・ 容器は、温度 40℃を超える場所には置かない。

# 圧力調整器は、ガスが漏れないよう、 しっかりと取り付ける。

## ①事故例

溶接作業中にゴムホースを引張ったところ、圧力調整器取り付け部からアセチレンガスが漏れ、炎上した。

原因は、圧力調整器の取り付けが不十分であった。

## ②圧力調整器取付部での炎上の状況（想定実験）



## ③取扱い指針

- ・圧力調整器を取り付ける場合には、パッキンが正常であるかどうかの確認をする。  
なお、この場合には、適合する締め付け工具を使用する。

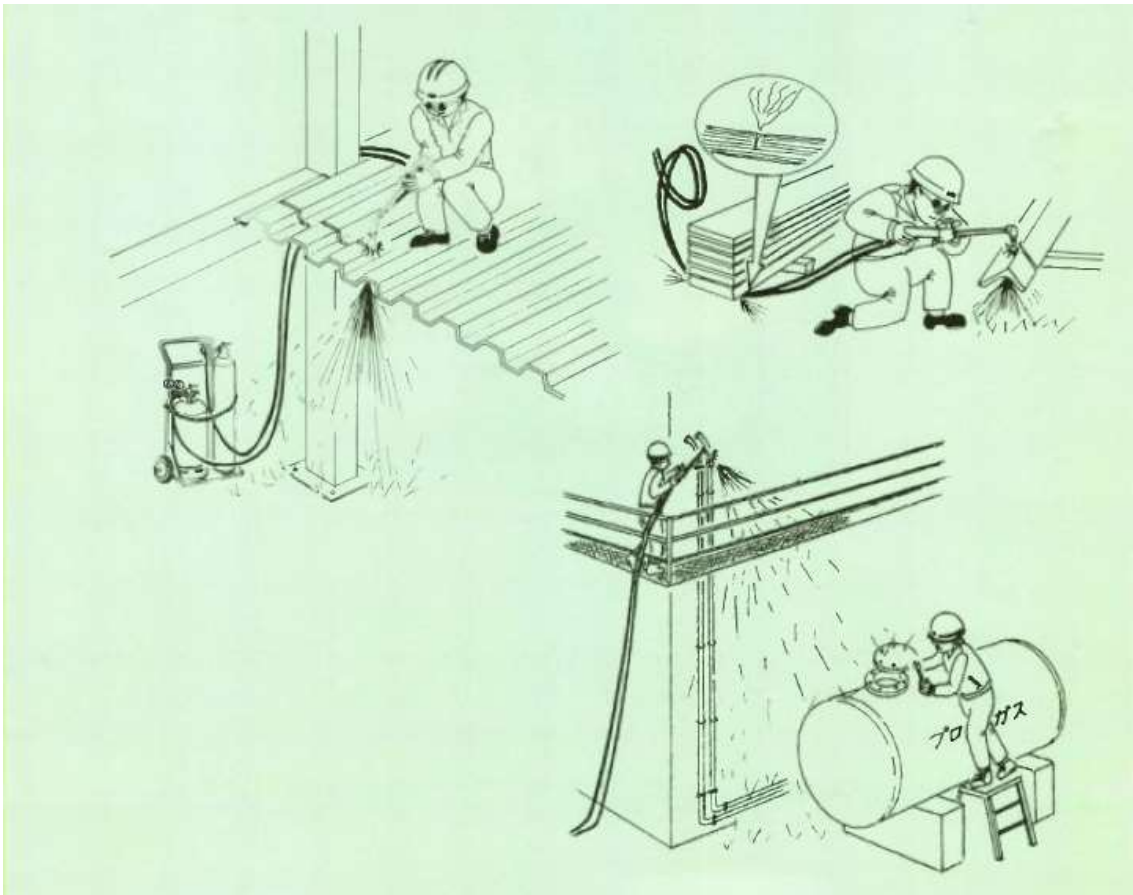
ゴムホースに火花が散らないようにする。また、  
ゴムホースは踏まないようにする。

①事故例

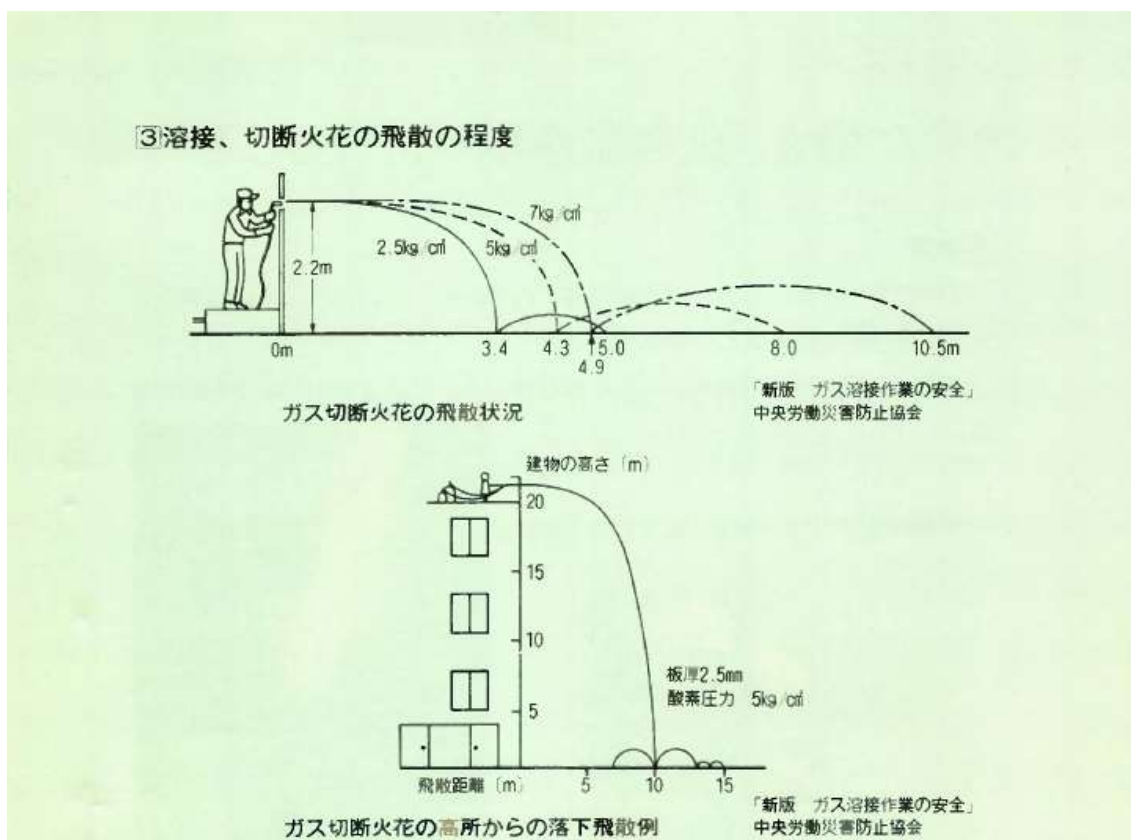
溶接、切断作業中に溶接火花がゴムホースにかかり、ゴムホースが損傷したためガスが漏れ、炎上した。

原因は、溶接、切断作業前の点検及び作業中の火花散逸範囲の確認が不備であった。

②よくない作業の例



### ③溶接、切断火花の飛散の程度



### ④取扱い指針

・火花の飛散する場所に容器を置かない。やむをえない場合には、鉄板、スレートなどの不燃物で容器を遮へいし、容器に火花がかからないことを確認する。特に高所作業の場合には、火花が広範囲に飛散するから、十分確認する。

・溶接、溶断の火花はかなり広範囲に飛散するから、作業場所及びその周辺は整理し、可燃物は安全な場所に移動する。

なお、移動できない場合は、衝立で遮へいするか不燃の布、鉄板などで保護する。

・ゴムホースを通路に横断して設置する場合には、歩行者の安全及びゴムホースの保護のため、保護板を置くなどの適切な措置を講じる。また、高所作業の場合には、作業者にゴムホースの重みがかからないように、適切な位置でゴムホースを架台に固定する。

# 逆火に備え、安全器を取り付ける。

## ①事故例

切断作業を中断した後、作業再開のため再点火したところ、その瞬間に逆火し、圧力調整器が炎につつまれた。

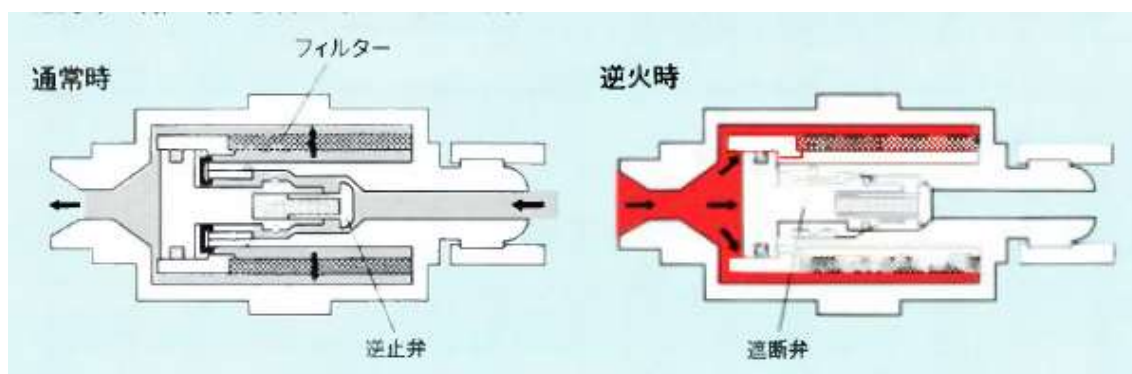
原因は、切断技術の未熟さによる取扱ミスによる逆火である。

## ②安全器を取り付けた状態（鑑識安全器の例）



安全器がない場合の逆火による  
事故想定実験

## ③安全器の構造（乾式安全器の例）



## ④取扱い指針

・逆火による事故を防止するため、吹管ごとに水封式、乾式などの適切な安全器を取り付ける。

・点火時の逆火を防止するため、先にアセチレンのみを点火する。この際、アセチレンホース内を十分にアセチレンで置換した後に行う。

# 作業終了後は、容器弁の閉止を確認する。

## ①事故例

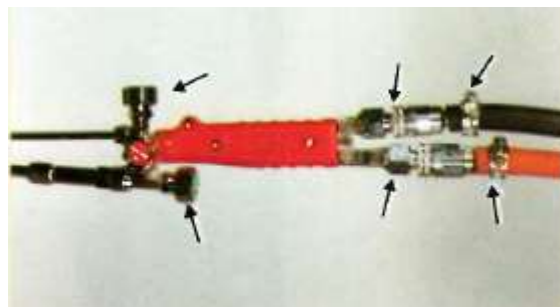
タンク内での切断作業終了後、圧力調整器ゴムホースを取り付け不良状態で容器弁を閉めずに放置していたため、ガスが漏れ、滞留し、何らかの着火源により火災、爆発を起こした。

原因は、作業終了時の点検不良と圧力調整器の取り付け不良と考えられる。

## ②点検状況等



容器周辺の接続部



吹管周辺の接続部

(←は要注意箇所)

## ③取扱い指針

・作業終了後は次の手順による。

吹管の各バルブを閉じる。容器弁を閉じる。器具内の残ガスを放出する。吹管、ゴムホースを外す。圧力調整器の調整ハンドルをゆるめた後、圧力調整器を取り外す。作業終了後、器具を所定の場所に収める。

# ゴムホースのひび割れの点検をする。

## ①事故例

切断作業のため点火したところ、ゴムホースから漏れていたガスに着火し、火災になった。

原因は、点検の不備で、ゴムホースの老化によるひび割れに気づかなかったことによる。

## ②ひび割れの例



## ③点検状況



## ④取扱い指針

・古いゴムホースは老化して割れが発生し、ガス漏れを起こす恐れがあるから、定期的に検査する。ガス漏れの検出には、ゴムホースを水中に入れるか石けん水を塗って行う。この場合、油分を含まない窒素又は空気を用い、酸素を用いない。



製作 高圧ガス保安協会  
発行 港区虎ノ門3-6-2 Tel 03-3436-6103

H. 1. 8. 31

## 水素の高圧ガス事故の注意事項について

高圧ガス保安協会

## 1. 目的

近年、燃料電池自動車の燃料として注目されている水素は、産業ガスとして既に種々の分野で利用されている。しかし、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。

このため、水素に着目し、水素の高圧ガス事故(以下、「水素の高圧ガス事故」という)の統計と解析の結果を示し、水素における高圧ガス事故の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。

## 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26年までの4年間で発生した高圧ガス事故(1672件)のうち、物質名から水素の事故を検索し、水素の高圧ガス事故(喪失、盗難除く)を抽出した。水素の高圧ガス事故の統計を表1に示す。4年間で大きな変動はなく、水素の高圧ガス事故の4年間の合計は69件であった。以下では、4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(製造事業所、移動、消費)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」)、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。

水素の高圧ガス事故(69件)に占める分野の比率は、製造事業所(コンビ)と製造事業所(一般)が大半を占め(57%、33%)、消費(9%)と移動(1%)は少ない。また、4年間で発生した水素の高圧ガス事故(69件)に占める水素スタンドの事故件数の比率は25%となっている。

表1 4年間の水素の高圧ガス事故の統計(平成23年～平成26年)

分野	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	合計
製造事業所 (一般)	7 (1)	14 (6)	13 (5)	5 (4)	39 (16)
製造事業所 (コンビ)	11 (0)	5 (0)	2 (1)	5 (0)	23 (1)
消費	1	3	1	1	6
移動	0	0	0	1	1
合計	19 (1)	22 (6)	16 (6)	12 (4)	69 (17)

( )内は水素スタンドの事故件数

## 2.2 事象の内訳

水素の高圧ガス事故の内訳を、事象と分野で分類して表2に示す。

水素の高圧ガス事故(69件)のうち、漏えい事象が事故件数の97%を占める。漏えいの

先行なしの1次事象としての爆発事象、火災事象、破裂・破損事象(以下、「爆発など」という)が事故件数に占める比率は低い。一方、漏えい後の2次事象としての爆発などは事故件数の9%を占め、1事象の爆発などの3倍となっている。漏えい事象(97%)の内訳は、漏えい②(52%)が大半を占め、漏えい①(35%)がこれに続き、漏えい③(10%)は少ない。

水素の高圧ガス事故(69件)に占める、水素スタンドの事故の比率は25%である。

表2 事象と分野で分類した水素の高圧ガス事故の統計(平成23年～平成26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)	39 (16)	38 (16)	12 (3)	23 (11)	3 (2)	0	1	2 (0)	1 (1)
製造事業所 (コンビ)	23 (1)	22 (1)	12	8	2 (1)	1	0	0	2
消費	6	6	0	5	1	0	0	0	0
移動	1	1	0	0	1	0	0	0	1
合計	69 (17)	67 (17)	24 (3)	36 (11)	7 (3)	1	1	2 (0)	4 (1)

( )内は水素スタンドの事故件数

### 2.3 取扱状態の内訳

水素の高圧ガス事故の内訳を、取扱状態で分類して表3に示す。

発生した水素の高圧ガス事故(69件)のうち、運転中(42%)が最も多く、消費中(13%)、検査・点検(10%)、貯蔵中(10%)がこれに続く。

表3 取扱い状態で分類した水素の高圧ガス事故の統計(平成23年～平成26年)

取扱状態	件数	(%)
運転中	29	42
消費中	9	13
検査・点検中	7	10
貯蔵中	7	10
休止中	5	7
スタートアップ	4	6
容器交換作業中	3	4
工事中	2	3
シャットダウン	1	1
緊急シャットダウン	1	1
移動中	1	1

### 3. 事故の統計と解析

水素の高圧ガス事故の統計と解析の結果を以下に示す。

#### 3.1 漏えい事象

水素の高圧ガス事故では、漏えい事象(67件)が事故全数(69件)の97%を占める。漏えい事象(100%)の詳細は、漏えい①が36%、漏えい②が54%、漏えい③が10%であり、漏えい②が大半を占める。なお、水素スタンドの漏えい事象の事故件数(17件)を除けば、漏えい

い事象(100%)の詳細は、漏えい①が 42%、漏えい②が 50%、漏えい③が 8%となる。一方、水素スタンドの漏えい事象(100%)の詳細は、漏えい①が 18%、漏えい②が 64%、漏えい③が 18%となる。

#### (1)漏えい①

漏えい①の内訳を表4に示す。漏えい①では、腐食(10件)と疲労(5件)が大半を占める。腐食の内訳は、配管(4件)、継手(1件)およびフレキシブルホース(1件)の外面腐食6件と、配管(3件)および熱交換器チューブシート(1件)の内面腐食が4件であった。原因は、腐食への対処が不十分な腐食管理不良である。疲労の内訳は、充てんホースの内圧変動による疲労2件、水素カードルへの取り付け作業に伴う曲げ疲労2件、バルブの開閉作動に伴う振動疲労1件である。いずれも短い使用期間で疲労が発生しており、設計時に圧力変動、曲げ、振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、水素特有の損傷である水素誘起割れ(水素脆化)が、クロムモリブデン鋼(SNCM439)製の蓄圧器とステンレス鋼(SUS630)製の圧力計のダイヤフラムで発生している。水素誘起割れを防止するために、水素環境に適合する材料選定を行うとともに、耐压部の表面粗さ(応力集中)の軽減を図ることが必要である。

表4 漏えい①(24件)の内訳

漏えい①内訳	件数	(%)	事故原因				
			腐食管理不良	設計不良	施工管理不良	製作不良	その他
腐食	10	42	10				
疲労	5	21		5			
応力腐食割れ	2	8	1		1		
その他(水素脆化)	2	8		1		1	
その他(溶接不良)	2	8				2	
エロージョン・コロージョン	1	4	1				
その他(不明)	2	9					2
合計	24	100	12	6	1	3	2

#### (2)漏えい②

漏えい②の内訳を表5に示す。漏えい②では、締結部(26件)とバルブ(10件)からの漏えいがすべてである。締結部(26件)の詳細は、ねじ込み式継手(17件)、フランジ式継手(6件)、その他(3件)であり、事故原因は締結管理不良が17件、シール管理不良が6件、製作不良、検査不良および不明が各1件となっている。バルブ(10件)の事故原因は、シール管理不良が5件、検査管理不良が2件、締結管理不良、点検不良および操作基準等の不備が各1件となっている。

漏えい②全体(36件)の事故原因は、締結管理不良50%とシール管理不良31%が大半を占める。締結管理では、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、温度変動などによる運転中の締結力低下が想定される。このため、締結力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。シール管理では、材質変更、交換周期の見直しおよび点検周期の見直しが重要である。

表5 漏えい②(36件)の内訳

漏えい②内訳	件数	(%)	事故原因						
			締結管理不良	シール管理不良	検査管理不良	製作不良	操作基準等の不備	点検不良	その他
締結部(ねじ込み式継ぎ手)	17	47	11	4	1				1
締結部(フランジ式継ぎ手)	6	17	4	1		1			
締結部(その他)	3	8	2	1					
開閉部(バルブ)	10	28	1	5	2		1	1	
合計	36	100	18	11	3	1	1	1	1

(3)漏えい③

漏えい③の内訳を表6に示す。漏えい③では、誤開閉(締結部およびベント管)が3件、液封、外部衝撃などによる破裂・破損、変形が2件、開閉忘れが1件、火災による安全弁作動が1件である。漏えい③の事故原因は、誤操作など(誤操作、誤判断、認知確認ミス)3件、自然災害(地震)2件、操作基準等の不備およびその他(火災)が各1件となっている。誤操作などを防ぐためには、水素の特性を理解し、明確な操作基準を定め、確実に実施することが重要である。また、水素は漏えい後に爆発、火災が発生しやすいことを考慮し、地震、火災などの災害に際しても、設備から水素を漏えいさせない対策が必要である。なお、放出弁で水素を放出する場合には、二次災害を避けるため、安全装置を設置し、事故対応(被害拡大防止、訓練)も事前に定めることが重要である。

表6 漏えい③(7件)の内訳

漏えい③内訳	件数	(%)	事故原因			
			誤操作、誤判断、 認知確認ミス	操作基準等の不備	地震	火災
誤開閉	3	43	2	1		
液封、外部衝撃等	2	29			2	
開閉忘れ	1	14	1			
安全弁作動	1	14				1
合計	7	100	3	1	2	1

3.2 爆発事象など

漏えいの先行なしの1次事象としては、工事中の火災と運転中の破損が各1件発生している。一方、漏えい後の2次事象としては、爆発が2件、火災が4件発生している。上記の6件のうち4件が、検査・点検の2次事象である。表3を参照して、検査・点検中の漏えい事象(7件)は、爆発、火災に至る可能性が高いことがわかる。

4. 爆発事故などの実例

水素の高圧ガス事故のうちで、爆発事故、火災事故、破裂事故(以下、「爆発事故など」という)の実例を、以下に示す。

(1)漏えいの先行なしの爆発事故など

漏えいの先行なしの1次事象としては、工事中の火災と運転中の破損が各1件発生している。以下に、実例を示す。なお、末尾の( )内は、事故が発生した県名と業種を示す。

- ①熱交換器の開放時に火災が発生した。仕切板を挿入するため熱交換器の出口側配管フランジを開放したところ、配管内のスケール(主成分:硫化鉄)が排出されて自然発火し、水素に引火した。開放前には窒素パージにより系内の可燃性ガス(水素および炭化水素)の排出を行っていたが、閉止していたバルブにシート漏れがあり、系外から水素が流入していた。事故原因は、開放する部分の前後のバルブの閉止が完全に行われていなかった誤操作などである。(北海道、石油精製)
- ②貯槽の真空二重殻断熱層の安全装置である破裂板が作動した。なお、破裂板が作動した原因は特定できていない。(栃木県、自動車)

## (2)漏えい後の爆発事故など

漏えい後の2次事象としては、爆発が2件、火災が4件発生している。上記の6件のうち4件が、検査・点検中の事故である。以下に、実例を示す。なお、末尾の( )内は、事故が発生した県名、業種および事象を示す。

- ①屋上に設置していた水素の圧縮機ユニットの感震装置が地震により作動し、バッファタンクから付近配管までが供給停止した。同時に、圧縮機ユニットのフレキシブル管、出口配管が地震により破損し、水素が漏えいした。圧縮機ユニットは密閉された防音ケース内に置かれており、ケース内に漏えいした水素が滞留し、何らかの原因で着火して爆発した。(栃木県、自動車、漏えい③→爆発)
- ②試験設備に設置されている複数の水素ガスのバルブを閉止し、窒素ガスでパージした後、点火装置の点検を開始した。複数のバルブのうちの最終段のバルブに異物がはさまり、水素が漏えいし、点火装置を作動させたところ、着火し、大音響を発生した。なお、作業員が耳に不調を訴えた。(宮城県、研究所、漏えい②→爆発)
- ③水素圧縮機の配管の補修中に、グラインダーから発生した火花がドレン弁から排出、水素に着火した。他施設のパージを行った際に、パージ配管の縁切りが不十分であり、水素がドレン弁まで逆流したことが原因と推定される。(茨城県、一般化学、漏えい②→火災)
- ④保安検査のために、水素ホルダーから水素の放出を行ったところ、緊急放出管開口部で着火した。緊急放出弁開操作時に開度を上げた状態で緊急放出起動ボタンを押したために、水素が急激に放出したことが原因と推定される。(茨城県、一般化学、漏えい③→火災)
- ⑤圧縮水素容器を運搬中の車両でタイヤバーストによる火災が発生し、容器が炙られたために溶栓弁が作動した。(神奈川県、運送、漏えい③→火災)
- ⑥蓄圧器内の異物を除去するために掃除機で吸引作業を行ったところ、使用していた掃除機が爆発し、作業員1名が軽傷(火傷)を負った。作業前には、窒素置換により蓄圧器内の水素を排出し、検知器で蓄圧器内には水素がないことを確認している。しかし、蓄圧器と水素製造装置にベントラインが連結されており、蓄圧器とベントラインの間の弁が開となっていた。掃除機で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、掃除機内で着火したことが原因と推定される。(大阪府、スタンド、漏えい③→火災)

## 5. 事故に関連する法規、基準

水素の高圧ガス事故(69件)のうち、漏えい後の爆発などに伴う人身事故が2件発生し

ている。いずれの人身事故も、設備の点検を行う際に縁切りを確実に実施していなかったために、他の設備から水素が流入し、滞留した水素に着火して爆発、火災に至っている。

高圧ガス保安法では、第一製造者および第二種製造者は経済産業省に定める技術上の基準に従って高圧ガスの製造をしなければならないと定めている(法第11条第2項、法第12条第2項)。ガス設備の開放についても製造行為に該当するため、経済産業省に定める技術上の基準に従うこととなっている。具体的な経済産業省に定める技術上の基準(一般高圧ガス保安規則)および機能性基準の運用(一般高圧ガス保安規則関係例示基準)を以下に示す。

#### (1) 一般高圧ガス保安規則 第6条第2項第5号

ガス設備の修理又は清掃(以下この号において「修理等」という。)及びその後の製造は、次に掲げる基準によることにより保安上支障のない状態で行うこと。

- イ 修理等をするときは、あらかじめ、修理等の作業計画及び当該作業の責任者を定め、修理等は、当該作業計画に従い、かつ、当該責任者の監視の下に行うこと又は異常があつたときに直ちにその旨を当該責任者に通報するための措置を講じて行うこと。
- ロ 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素のガス設備の修理等をするときは、危険を防止するための措置を講ずること。
- ハ 修理等のため作業員がガス設備を開放し、又はガス設備内に入るときは、危険を防止するための措置を講ずること。
- ニ ガス設備を開放して修理等をするときは、当該ガス設備のうち開放する部分に他の部分からガスが漏えいすることを防止するための措置を講ずること。
- ホ 修理等が終了したときは、当該ガス設備が正常に作動することを確認した後でなければ製造をしないこと。

#### (2) 一般高圧ガス保安規則関係例示基準 50. 設備の修理又は清掃 「別紙」参照。

### 6. 注意事項

#### 6.1 漏えい事象

##### (1) 漏えい①

漏えい①(24件)では、腐食(10件)と疲労(5件)が大半を占める。腐食(10件)の内訳は、外面腐食6件と内面腐食4件であり、いずれも原因は腐食への対処が不十分な腐食管理不良である。疲労(5件)は、いずれも短い使用期間で発生しており、設計時に圧力変動、曲げ、振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、水素特有の損傷である水素誘起割れが2件発生している。水素誘起割れを防止するために、水素環境に適合する材料選定を行うとともに、耐圧部の表面粗(応力集中)の軽減を図ることが必要である。

##### (2) 漏えい②

漏えい②(36件)では、締結部(26件)とバルブ(10件)からの漏えいがすべてである。

漏えい②(36件)の事故原因は、締結管理不良 50%とシール管理不良 31%が大半を占める。締結管理では、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、温度変動などによる運転中の締結力低下が想定される。このため、締結力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。シール管理では、材質変更、交換周期の見直しおよび点検周期の見直しが重要である。

### (3)漏えい③

漏えい③(7件)では、誤操作など(3件)と自然災害(地震)およびその他(火災)(3件)が事故原因の大半を占める。誤操作などを防ぐためには、水素の特性を理解し、明確な操作基準を定め、確実に実施することが重要である。また、水素は漏えい後に爆発、火災が発生しやすいことを考慮し、地震、火災などの災害に際しても、設備から水素を漏えいさせない対策が必要である。

なお、放出弁で水素を放出する場合には、二次災害を避けるため、安全装置を設置し、事故対応(被害拡大防止、訓練)も事前に定めることが重要である。

## 6.2 爆発事象など

水素の爆発事象、火災事象は合計 7 件(爆発 2 件、火災 5 件)発生している。爆発、火災は、1次事象(火災 1 件)よりも、水素の漏えい後の 2 次事象(爆発 2 件、火災 4 件)として多く発生している。水素の最少発火エネルギーが小さいことを考慮すると、水素の爆発事象などの未然防止には、先行する漏えい事象への対処が有効である。可燃性ガスの高圧ガス設備の検査・点検中または工事中に爆発、火災が多数発生している。水素の高圧ガス設備についても、以下の点について注意が必要である。

### (1)検査・点検中または工事中

大半の爆発、火災が検査・点検中または工事中に発生している。不活性ガスによる置換が不十分な場合、他の部分からの漏えいを防止するための措置が適切に実施されていない場合には、高圧ガス設備の開放により水素が漏えいし、点火確認、グライNDERなどの火気の取扱い、または流動摩擦、静電気などが着火源となり、爆発、火災に至る恐れがある。高圧ガス設備を開放し、作業を行う場合には、作業前に検知器により作業場所の水素濃度が 1% (10,000ppm) 以下であることを確認するとともに、開放部分の前後のバルブをダブルブロック(バルブを 2 重に設けて閉止)するか、または配管の継手に仕切り板を挿入することが重要である。

### (2)検知器使用時

水素濃度を測定する検知器には種々の検知原理方式があるので、検知場所の雰囲気想定し、適切な検知器を使用する。例えば、接触燃焼式は空気(酸素)がないと正常燃焼できなくなり、水素濃度が低く検知される場合がある。

### (3)ダブルブロックまたは仕切り板の使用時

高圧ガス設備の内部で発生した異物(反応副生成物、腐食生成物など)がはさまり、バルブまたは仕切り板による閉止を妨げる場合がある。バルブまたは仕切り板も、必

要に応じて自主的に検査し、異物を除去することが必要である。

#### (4)水素火炎の検知

水素が単独で燃焼する場合は、火炎が無色で目視では検知できない。水素火炎には、紫外線を利用する検知装置の設置が有効である。

### 6.3 水素スタンドの普及に向け

水素スタンドではこれまでに腐食による漏えいは報告されていない。これは、設置年数がまだ短いことと保温材がほとんど使用されていないためと推測される。しかし、今後設置年数の経過により腐食の発生が予想されるため、水素スタンドにおいても適切な腐食管理が必要である。

また、今後の水素スタンドの増設に伴い、水素スタンドの点検、検査および工事による火気の持ち込みの増加も予想される。水素スタンドは水素を大量に保有する高圧ガス設備であることから、爆発、火災に配慮した作業が求められる。なお、水素スタンドでは、一般高圧ガス保安規則関係例示基準「59の2. 火炎を検知するための措置」において、紫外線を検知する方法により、常時、水素火炎の発生を監視することが規定されている。

## 一般高圧ガス保安規則関係例示基準 50. 設備の修理又は清掃【抜粋】

2. 可燃性ガス、毒性ガス又は酸素のガス設備等の修理等を行う場合は危険を防止するために、次の各号の基準によりあらかじめ、その内部のガスを窒素ガス又は水等の当該ガスと反応しにくいガス又は液体で置換するものとする。
  - 2.1 可燃性ガスのガス設備等の場合
    - (1) ガス設備等の内部のガスをその圧力がほぼ大気圧近くなるまで他の貯槽等に回収した後、残留したガスを徐々に大気中に安全に放出し、又は燃焼装置に導き燃焼させること等により大気圧になるまで放出すること。
    - (2) (1)の処理をした後、残留ガスを窒素ガス又は水若しくはスチーム等の当該ガスと反応しにくいガス又は液体で徐々に置換すること。この場合、ガスの放出方法は、(1)の方法によること。
    - (3) (1)及び(2)の残留ガスを大気中に放出する場合にあっては、放出したガスの着地濃度が当該可燃性ガスの爆発下限界の1/4以下の値になるよう放出管から徐々に放出させる方法により行うこと。この確認は、ガス検知器その他それぞれのガスに適合するガス分析方法(以下「ガス検知器等」という。)で雰囲気进行分析することにより行うこと。
    - (4) 置換の結果をガス検知器等により測定し、当該可燃性ガスの濃度がそのガスの爆発下限界の1/4以下の値になったことを確認するまで置換を行うこと。
4. ガス設備等を開放して修理等を行う場合、他の部分からのガスの漏えいを防止するための措置は、その作業の内容等に応じ次の4.1又は4.2及び4.3の基準により行うものとする。
  - 4.1 2. の措置(不活性ガスの場合にあっては、これに準じて行う措置。以下4.1において同じ。)が完了した後(当該開放する部分に設けた回収用配管等から直接ガスを回収する場合にあっては、2. の措置を行う前)に、開放する部分の前後のバルブを確実に閉止し、かつ、開放する部分におけるバルブ又は配管の継手に仕切板を挿入すること。ただし、2.4に規定する場合にあっては、仕切板の挿入を省略することができる。
  - 4.2 設備の機能上又は作業上、しばしば開放する必要がある設備に対する作業(2.4に規定する場合のものに限る。)については、4.1の基準又は次の(1)若しくは(2)の基準によるものとする。(1)若しくは(2)の基準による場合は、当該作業の基準を危害予防規程(消費施設にあっては作業基準)に明確に規定しておくこと。
    - (1) 開放する設備に接続する配管の出入口は、バルブをそれぞれ二重に設け、その中間の回収用配管等からガスを回収又は放出できる構造とし、その回収用配管等からガスを回収又は放出(毒性ガスに係る設備にあっては回収に限る。)して、開放する部分にガスの漏えいがないことを確認すること。この場合、大気圧以下のガスは回収又は放出しないことができる。
    - (2) 開放する部分及びその前後の部分の常用の圧力がほぼ大気圧に近い圧力の設備(毒性ガス以外のガスに係るものであって、圧力計を設けた設備に限る。)にあっては、当該設備に接続する配管のバルブを確実に閉止し、当該部分にガスの漏えいがないことを確認すること。

- 4.3 4.1又は4.2の措置を講じたときは、バルブ（操作ボタン等により当該バルブを又はコックを開閉する場合にあっては当該操作ボタン等）の閉止箇所又は仕切板の挿入箇所に操作又は取外しの禁止を明示する標示を施すとともに、施錠、封印又は監視員を配置する等の措置を講ずること。

この場合、計器盤等に設けた操作ボタン及びハンドル等にも同様の措置を講ずること。