

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¹⁾。

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	1(0.3)
	コンビ	10	8	3	29(12)
	一般	8	5	3	23(9)
	LP	4	3	1	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²⁾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³⁾。

[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。

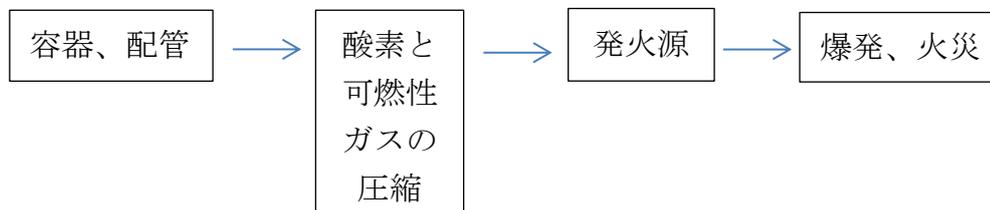
[重傷者 2 人、軽傷者 2 人、神奈川県、「調査中」]

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



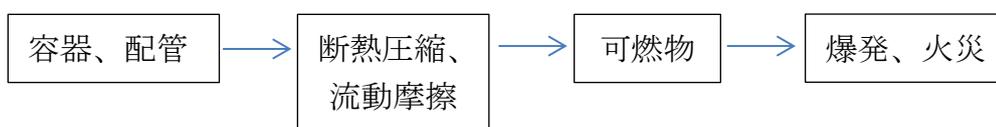
実例：実験用の容器内でエチレン、水素、酸素の混合ガスを窒素で加圧したところ、突然、容器の内圧が上昇し、ふた板のフランジ締結ボルトが破断して作業員にふた板が当たり、重傷を負った。

(2) アセチレン、水素、エチレンなど



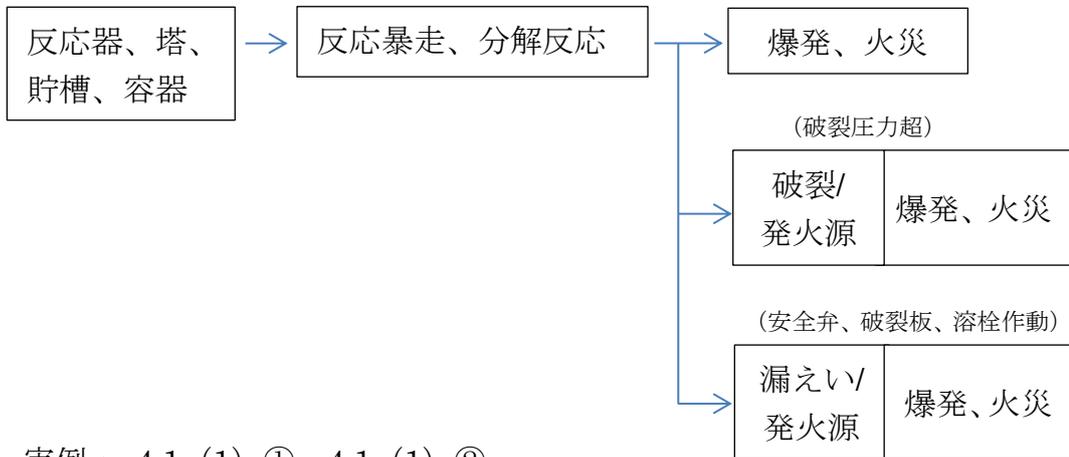
実例：アセチレンの溶断作業中に、酸素残量が少なくなり、圧力バランスが崩れたことにより、逆火が発生し、ホースなどが火災となった⁴⁾。

(3) 酸素、空気など



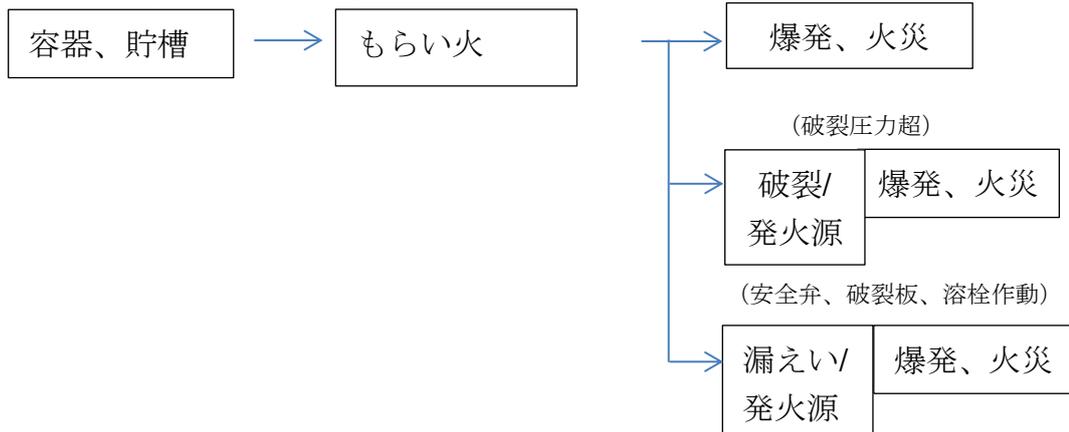
実例：作業者が酸素ガス集合装置の容器元弁を急激に開放したことにより断熱圧縮が起き、連結管に付着していた油分に着火し、容器と連結管の接続部付近から火災が発生した⁴⁾。

(4) 塩化ビニルモノマー、酸化エチレンなど



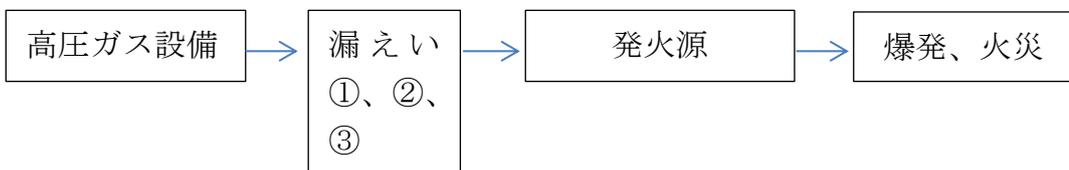
実例：4.1 (1) ①、4.1 (1) ②

(5) LP ガス、アセチレンなど



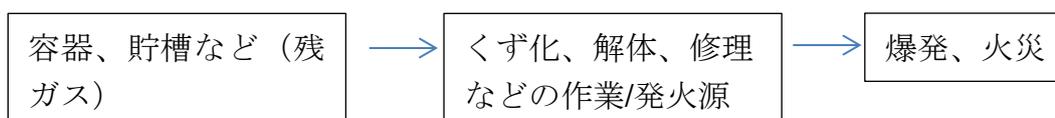
実例：4.1 (1) ③

(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) などで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。

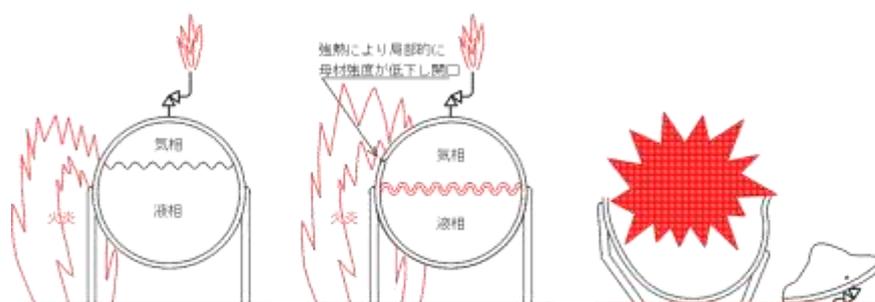
(7) 容器

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（クリープ破断）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
 - 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
- (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
 - 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
 - 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
- (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
 - 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
 - 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
- (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
 - 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
 - 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

(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

- 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

- 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

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。