

冷凍保安規則適用事業所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(災害)件数は年々増加し、平成 28 年は 495 件となっている。

その中で、冷凍保安規則適用事業所の高圧ガス事故(以下、「冷凍則事故」)件数も年々増加し、平成 28 年に 225 件となり、高圧ガス事故(災害)件数の増加の大きな要因となっている。

また最近は、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律(平成 13 年 6 月 22 日法律第 64 号)の改正に伴い、代替フロンから地球温暖化係数のより小さな自然冷媒及び特定不活性ガスを用いた冷媒への転換が進められていることなど社会的な注目も高いことから、冷凍事業所における高圧ガス事故の未然防止に向けて問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項を取りまとめる。

2. 事故件数の推移

最近 9 年間の高圧ガス事故と冷凍則事故の統計を表 1 に示す。高圧ガス事故の発生件数は、平成 11 年まで 100 件前後で推移していたが、平成 12 年から増加に転じ、以後増加し続けており、最近 9 年間も高い水準で推移している。その中で冷凍則事故は、平成 18 年以降増加傾向となり、平成 20 年に 50 件を超えると以降、最近 9 年間も大幅に増加し続けている。

製造事業所ごとに分類を図 1 に示す。他の製造事業所と比較して、冷凍則事故の増加が突出している。

表 1 最近 9 年間の高圧ガス事故と冷凍則事故の統計

平成 年	20	21	22	23	24	25	26	27	28
高圧ガス事故(災害)	350	327	406	490 (404)	428	392	382	452	495
冷凍則事故	53	85	94	180 (128)	124	145	134	184	224

()は、東日本大震災に関連した件数を除いた件数

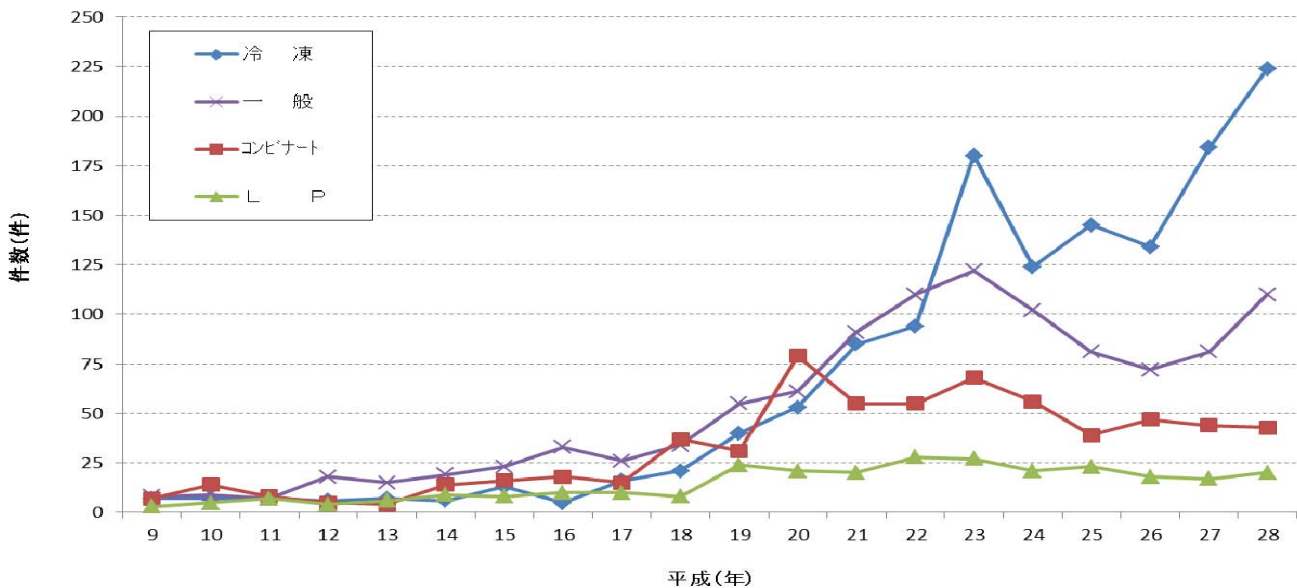


図 1 製造事業所における事故件数の推移(災害(盗難、喪失を除く))

2. 事故の統計と解析

2.1 事象の内訳

最近9年間(平成20年～平成28年)の冷凍則事故の内訳(事象の分類)を表2に示す。冷凍則事故(1227件)のうち、漏えい事象が事故件数の99.8%を占める。漏えい事象(99.8%)の内訳は、漏えい①(58%)が大半を占め、漏えい②(26%)がこれに続き、漏えい③(15%)となっている。平成20年からの推移をみると漏えい①の増加が大きいことが分かる。冷凍則事故では、一次事象の漏えい後に二次事象の爆発、火災に至る場合が皆無であることは特筆に値するが、事故件数及びその増加傾向ともに大きくなっている。

平成 年	事故 件数	漏えい					爆発、 火災	不明
			漏えい①	漏えい②	漏えい③	不明		
20	54	54	29	20	5	0	0	0
21	87	87	44	30	10	3	0	0
22	93	93	52	30	9	2	0	0
23	182	180	82	33	65	0	2	0
24	124	124	79	31	14	0	0	0
25	145	145	90	39	16	0	0	0
26	134	134	81	37	16	0	0	0
27	184	184	128	41	15	0	0	0
28	224	224	129	56	31	8	0	0
合計	1227	1225	714	317	181	13	2	0
(%)	(100)	(99.8)	(58)	(26)	(15)	(1)	(0)	(0)

(1)漏えい①

漏えい①(714件)の内訳(損傷メカニズム)を表3に示す。漏えい①では、腐食が370件(52%)と疲労が209件(29%)で80%以上を占める。最近では疲労と比較して、腐食の件数が大きく増加している。

平成 年	漏えい① 件数	損傷メカニズム					
		腐食	疲労	摩耗	SCC	E/C	その他
20	29	16	11	1	0	0	1
21	44	20	18	4	2	0	0
22	52	25	18	5	0	1	3
23	82	35	24	9	1	0	13
24	79	34	24	8	2	0	11
25	90	46	25	7	1	1	10
26	81	43	20	7	1	0	10
27	128	70	33	9	1	0	15
28	129	81	36	9	0	0	3
合計	714	370	209	59	8	2	66
(%)	(100)	(52)	(29)	(8)	(2)	(0)	(9)

腐食の内訳(部位)を表4に示す。部位は、配管が177件(48%)、熱交換器が169件

(46%)である。推移を見ると配管、熱交換器ともに増加傾向にある。

腐食の原因は、腐食への対処が不十分な腐食管理不良である。熱交換器(蒸発器と凝縮器)の腐食の多くは銅管で発生しており、水質管理不良に起因している。配管の腐食は、保温材下鋼管の外表面腐食が大半を占める。

平成 年	合計	部位		
		配管	熱交換器(銅管含む)	その他
20	16	9	6	1
21	20	12	7	1
22	25	15	9	1
23	35	17	17	1
24	34	8	25	1
25	46	15	26	5
26	43	29	13	1
27	70	31	34	5
28	81	41	32	8
合計	370	177	169	24
(%)	(100)	(48)	(46)	(6)

疲労の内訳(応力要因)を表5に示す。振動に起因する疲労がほとんどを占め176件(84%)、次いで温度変動、圧力変動となっている。振動に起因する疲労は年20件前後継続して発生している。ただし、平成28年は温度変動に起因する疲労が12件と増加しており、今後注意が必要である。冷凍設備の設計において振動、温度変動などの使用条件の検討が不十分な設計不良が原因である。

平成 年	合計	応力要因			
		振動	温度変動	圧力変動	その他
20	11	11	0	0	0
21	18	17	0	1	0
22	18	17	0	1	0
23	24	20	2	0	2
24	24	20	2	2	0
25	25	19	3	0	3
26	21	18	2	0	1
27	32	30	1	1	0
28	36	24	12	0	0
合計	209	176	22	5	6
(%)	(100)	(84)	(11)	(3)	(3)

(2)漏えい②

漏えい②(317件)の内訳(部位)を表6に示す。漏えい②では、フランジなどの締結部

が最も多く157件(50%)、次いでバルブなどの開閉部が93件(29%)、可動シール部60件(19%)である。漏えい②の件数は増加傾向にあり、締結部からの漏えいが増加している。締結部と開閉部の事故原因は締結管理不良とシール管理不良である。

平成 年	漏えい② 件数	部位			
		締結部	開閉部	可動シール部	その他
20	20	9	9	2	0
21	30	14	8	7	1
22	30	13	11	6	0
23	33	15	11	6	1
24	31	11	11	5	4
25	39	23	10	5	1
26	37	22	7	8	0
27	41	20	11	10	0
28	56	30	15	11	0
合計	317	157	93	60	7
(%)	(100)	(50)	(29)	(19)	(2)

(3)漏えい③

漏えい③の内訳(人的行為など)を表7に示す。漏えい③では、外部衝撃などによる破裂などが最も多く114件(63%)、次いで安全弁の作動が21件(12%)、バルブの誤開閉と開閉忘れ18件(10%)である。平成23年は東日本大震災の影響により件数が多くなっているが、それ以外は15件前後で推移している。平成28年は安全弁作動によるものが10件発生し、件数全体も増加している。誤操作、誤判断、認知確認ミスが最も多い事故原因である。

平成 年	漏えい③ 件数	人的行為など				
		誤開閉	開閉忘れ	破裂など	安全弁作動	不明
20	5	2	0	3	0	0
21	10	1	1	5	0	3
22	9	1	0	3	0	5
23	65	0	1	58	2	4
24	14	1	0	7	2	4
25	16	5	1	6	3	1
26	16	2	0	11	0	3
27	15	0	0	11	4	0
28	31	1	2	10	10	8
合計	181	13	5	114	21	28
(%)	(100)	(7)	(3)	(63)	(12)	(15)

4. 事故事例

4.1 漏えい①

(1)腐食

① 熱交換器内のチューブ

(i) (事故発生日 平成 27 年 6 月 11 日)

作業員が日常点検で No.2 サイクルの圧力が通常より低下しているのを発見した。翌日、保守業者による機器点検・漏えい点検を実施し、配管から漏えいがないことを確認し、膨張弁等の不具合も確認できなかったため、その後、冷凍機を停止し液圧力を確認したところ、冷媒漏えいが判明した。冷媒回収および加圧検査を行い、熱交換器内管からの漏えいを確認した。原因は、熱交換器内のチューブの水側からの腐食と推定された。

(ii) (事故発生日 平成 28 年 3 月 1 日)

冷凍機(チラー)から「冷凍機異常」信号が発信され、冷凍機が異常停止したため、直ちに修理業者に対応を依頼し、確認したところ冷媒の漏えいが発生していることを発見した。フルオロカーボン測定器にて、漏えい箇所の特定を試みた結果、冷水の熱交換器部分であると特定し、当該チラーの運転を停止した。漏えい原因は、32 年間の運転により、熱交換器内のチューブに腐食が発生し、チューブに穴があき、冷媒ガス(フルオロカーボン 22)が冷却水を経由して大気中に漏えいしたと推定された。

② 配管

(i) (事故発生日 平成 27 年 6 月 2 日)

『油温』警報が発生し停止中であった冷凍機において、メーカーの点検調査の結果、屋上空気熱交換器からの冷媒液配管から冷媒漏えいが判明した。運転禁止とし、冷凍機と屋上空気熱交換器間の冷媒(液・ガス)配管の止め弁を閉止とした。なお、冷媒ガスの漏えい量は、受液器の目盛りより推定 320kg とと思われる。原因は、屋上空気熱交換器への冷媒液配管断熱材カバー接合部から雨水が浸入し、配管外面が腐食、開孔したためと推定される。

(ii) (事故発生日 平成 28 年 1 月 8 日)

異常停止があり、点検したところ、圧縮機系統の低圧異常を確認したため、直ちに冷凍機の運転を停止した。保守会社が点検したところ、膨張弁均圧管およびガス配管から冷媒ガスが漏えいしていた。冷媒ガス漏えい量は約 64.7kg である。膨張弁均圧管およびガス配管溶接部の腐食により、冷媒ガスが漏えいしたと推定される。

(2) 疲労

① 振動

(i) (事故発生日 平成 27 年 10 月 16 日)

夜間製氷作業中に、2 台ある冷凍機のうち 1 台が吸入圧力異常(低圧カット)で停止した。日中になってから点検したところ、冷凍機設備 2 号機の圧縮機上部に設置されている直径 10mm 程の銅製の配管がバルブの結合部分から脱落し、バルブの結合部分から冷媒ガス(フルオロカーボン 22)および冷凍機油が噴出していた。材料破断面の検査の結果、ストライエーション状模様が見られた。原因は、冷凍機の圧縮機の振動に起因する疲労破壊による折損と推定される。

(ii) (事故発生日 平成 28 年 1 月 8 日)

設備運転中に、1 階観測室にいた作業員が壁に付着している油垂れを確認した。調査した結果、2 階機械室に設置されている冷凍機ユニットの容量制御用電磁弁油配管が破断していることを発見した。直ちに破断配管上流側の手動弁を

閉めて、漏えいを止めるとともに、設備管理課に通報した。冷媒漏えい量は720kg、油漏えい量は280Lである。給油配管の油漏れの原因は、給油配管の長期にわたる振動により、配管継手が疲労破壊に至ったためと推定される。

②温度変動

(i) (事故発生日 平成27年10月29日)

冷凍機を運転中に圧縮機給油温度異常の警報が発生し、冷凍機が自動停止した。故障原因を調査した結果、蒸発器入口の配管継手ろう付け部から冷媒が漏えいし、冷媒約150kgが大気放出された。運転を中止するとともに、残量冷媒の回収作業を行い、冷媒90kgを回収した。原因は、冷凍機の起動・停止に伴う温度変動が繰り返されたことから蒸発器入口配管に繰返し応力が発生し、配管継手(差込継手)のろう付け不良部に疲労亀裂が発生したためと推定される。

(ii) (事故発生日 平成28年5月20日)

巡視点検において、配管下部の床面に油漏れを発見した。配管部を調べて油の滲んでいる箇所があったため、ガス検知器でガス漏れ箇所を特定した上で、漏えい箇所前後弁を閉にして、冷凍機を休止し、後弁を閉じ漏えい防止処置を行った。空気熱交換器は屋外に設置され、温度変動が頻繁に繰り返されたことによる疲労が原因で冷媒漏れが発生したと推定される。

4.2 漏えい②

(1) 締結部: 締結管理不良

① (事故発生日 平成27年6月19日)

日常点検により冷凍機の圧力が下がっていることを確認し、ただちに冷凍設備を停止した。調査により、冷凍設備が設置している室の天井付近にある防熱部が著しく凍っているのを発見した。冷媒漏れと判断し、ただちに電磁弁の前後のバルブを閉じた。リークチェックを行い、漏えい部を確認した。原因は、電磁弁の締め付け不良および振動等による緩みと推定される。

② (事故発生日 平成28年8月27日)

冷凍設備監視盤でアンモニア漏えい警報(200ppm以上)が発報した。20分後、漏えい部を確認し、当該フランジを増し締めした。その後、漏えいのないことを確認した。漏えい時にはアンモニア除外装置が稼働したため、機械室外への漏えいはなかった。原因は、アンモニア配管の冷却、解凍の繰り返し、または運転時の微弱振動によりフランジ部に緩みが発生したためと推定される。漏えいバルブ取付フランジの増し締めを行った。

(2) 開閉部: シール管理不良

① (事故発生日 平成27年3月18日)

停止中の冷凍機のガス漏れ警報器が作動した。圧縮機の冷媒出入口弁を全閉とし、電源を落とした。翌日、冷媒配管のバルブシャフト部分からの漏えいと判明した。バルブシャフトパッキン締め付けナットの増し締めを実施し、漏えいは完全に停止した。原因は、消耗品の定期的な交換を怠っていたため、冷媒配管バルブシャフトパッキンの経年劣化が進み、漏えいに至ったと推定される。今後は、消耗部品の交換プログラムを見直す。

② (事故発生日 平成28年9月6日)

定期点検において試運転を実施したところ、低圧カット異常により、設備が停止

した。9月12日および13日に気密検査を実施したところ、液ライン電磁弁本体接続部(Oリング)からの漏れが確認された。原因は、交換を実施していなかったことにより、Oリングが劣化してシール不良が生じたためと推定される。

(3)可動シール部:シール管理不良

①(事故発生日 平成27年8月3日)

冷凍事業所の工場内において、冷凍機の圧縮機3台のうち1台から煙が発生していることを工場の従事者が確認した。冷媒ガスの漏えいを疑い、保安責任者が冷凍機を停止させた。さらに、漏えい箇所と疑われる圧縮機1台と設備全体との間のバルブを閉止した。装置メーカーの点検により、漏えい箇所は切り離れた圧縮機の可動部のメカニカルシールであることが特定された。原因は、冷凍機駆動軸のメカニカルシールの摩耗により、フルオロカーボン22および圧縮機の油が漏えいしたと推定される。

②(事故発生日 平成28年7月20日)

蓄熱空気熱源ヒートポンプユニット(IRR-01)の定期点検を実施した際、蓄熱量の低下を確認した。日を改め、蓄熱量低下の原因を特定するために機内の冷媒(フルオロカーボン134a)を回収したところ、規定量60kgのところ17kgしか回収できず、43kgの冷媒漏えいを確認した。圧縮機のアンローダー電磁弁プランジャーシャフト部からの気密不良が原因と推定される。当該設備は設置後15年経過しており、経年劣化によると思われる。

4.3 漏えい③

(1)破裂:外部衝撃

①(事故発生日 平成27年2月17日)

冷凍機ファンの点検作業中、外装パネルを外していたところ、外装パネルの角を空気熱交換器の銅配管に接触させたため、配管が破損し、内部の冷媒(フルオロカーボン410A)が漏えいした。原因は、点検業者の作業ミスによると推定される。

②(事故発生日 平成28年4月26日)

製造課の職員がスパイラル冷凍機クーラーの銅配管に霜が付いていたため、ドライバーで落としていたところ、銅配管を損傷させてしまい、冷媒が吹き出てきた。直ちに元バルブを締め、ガスの漏えいを止めた。なお、ガスの漏えい量は推定20kgである。冷媒漏えい後、直ちに冷凍機の低圧側、高圧側のバルブ閉止を実施した。

(2)誤開閉、開閉忘れ

(i)(事故発生日 平成28年6月20日)

冷媒回収作業前の準備中に、チラー下部のサービスチャッキキャップを緩めようとしたところ、誤ってサービスチャッキ本体ごと緩めてしまったため、サービスチャッキ本体が吹き飛び、冷媒が漏えいした。原因は、冷媒回収作業のミスのため、サービスチャッキ本体ごと緩み、冷媒ガスが漏えいしたと推定される。

(ii)(事故発生日 平成28年9月27日)

定期自主検査の際に、低圧レシーバーの圧力計の校正のために圧力計を取り

外した後、圧力計の元弁は閉止したが、圧力計のねじ込み部をプラグ閉止しない状態で1日半放置したため、圧力計元弁の弁座漏えいにより、冷媒が漏えいした。原因は、工事の際に当該冷媒設備の開放する部分に、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じなかったためと推定される(圧力計を外した後の開口部にプラグ栓をしなかった)。

5. 注意事項

5.1 漏えい①

(1) 腐食

① 熱交換器(蒸発器と凝縮器)

熱交換器(凝縮器と凝縮器)のチューブ(銅管)の腐食は、水質の適切な管理がされていないと発生している場合がある。チューブ(銅管)が腐食しないように、pH測定、遊離炭酸濃度、アンモニウムイオン濃度などの水質検査を定期的実施して水質を管理する必要がある。

② 配管

冷凍設備の冷媒配管類は結露しやすいため、保温材下では、保温材と配管外面の空間に結露水などの水分が滞留し、外面腐食を進行させる。そのため、腐食のしやすさ、重要度などから、適切な点検期間を定め、保温材を取り外して点検することが必要である。

(2) 疲労

疲労の多くは、フルオロカーボン冷媒とする冷凍空調設備で発生している。フルオロカーボンの場合は、伝熱性と加工性を考慮して、銅管が用いられることが多いが、銅管は、鋼管と比較すると疲労強度が低いため、疲労が生じやすい。そのため、設備の設計において、疲労に対して、十分考慮することが必要である。

5.2 漏えい②

(1) 締結部: 締結管理不良

フランジ継手は、振動によるボルトの緩み、温度変化による伸縮、無理な接続など、フランジ面圧が不均一となって漏えいしやすい。このため、フランジ締結部の維持管理が重要であり、ボルトの片締め、緩み、ガスケット当たり面の状況など、締結状態の確認と定期的な点検の実施が必要である。

(2) 開閉部: シール管理不良

閉止弁、制御弁などのグランドシール、グランドパッキンは、長時間の使用、温度変化により、摩耗、収縮、劣化などにより漏えいが発生するおそれがある。このため、グランドパッキン、グランドシールの劣化状況を点検し、必要に応じて交換するなどの保守管理に十分な注意が必要である。

(3) 可動シール部

圧縮機の可動部のメカニカルシールは、振動に弱いため、取扱いは慎重に行い、漏れ出したら止めることはできないので、運転管理、設備管理には十分な注意が必要である。

装置に適した周期(直ごと、毎日など)で点検し、早期の漏えい発見が重要である。点検においては、少量漏えい、異常な圧力、異音、発熱、振動、臭気、冷却水の温度、油量、油流などをよく確認することが必要である。また、停止後の漏えいも発生してい

るので、停止後の漏えい防止にも気を配る必要がある。

軸封装置には寿命があるので、交換周期を適正に管理し、交換する。また、機器の特性によっては寿命が短くなることがあるので、状況を把握することも重要である。

5.3 漏えい③

(1) 破裂(外部衝撃(作業中の事故))

作業中、修理中の事故防止は重要であり、作業手順の文書化、情報の共有、危険予知活動などを通じて、工事中、修理中の事故防止を徹底する必要がある。

(2) 誤開閉、開閉忘れ

誤操作、誤判断、認知確認ミスが最も多いことから、運転マニュアルに従った操作を行い、特にバルブなどの重要操作の際には、指差呼称による確認、チェックリストによる確認、操作前に KY(危険予知)の実施など、十分な注意が必要である。

<参考資料>

高圧ガス事故の統計と解析(冷凍保安規則適用事業所)、篠田 康則、小林英男、永井秀行
高圧ガス, Vol.54, No.11, PP.15-18(2017)