

高圧ガス保安法対象の自然冷媒冷凍・冷蔵機器 安全管理の手引き



令和 5 年 3 月

目 次

1 はじめに	1
2 主な自然冷媒について	2
3 設備点検	4
4 事故防止方法と対策	11
5 事故・災害の種類ごとの対応方法	20
6 緊急時連絡体制、連絡先	29
7 安全管理に必要な事項（周知・教育）	31
8 事故事例（参考資料）	36
9 引用文献	55

本書で使用する高圧ガス保安法規の略語

一般則	一般高圧ガス保安規則
冷凍則	冷凍保安規則
液石則	液化石油ガス保安規則

1 はじめに

現在、私たちの生活に欠かせない食品や物を冷やすために使用する冷凍冷蔵機器ですが、その機器に使用する冷媒には、かつてアンモニアや CO₂ など自然界にもともと存在するものが使用されていました。しかし、人体に対する毒性や可燃性、性能などの課題があったことから、日本では 1970～80 年代にかけて、人工のフッ素化合物であるフロンガスへの転換が図られました。

当初使用されていたフロンは、特定フロン(CFC11、HCFC22 等)と呼ばれ幅広い用途に活用されてきましたが、1970 年代半ばにオゾン層を破壊する可能性が指摘され、その後、オゾン層の破壊が世界的な問題として認知されると、オゾン層を破壊することのない代替フロン(HFC134a、HFC32 等)への転換が進みました。しかし、代替フロンは、地球温暖化係数(GWP)が二酸化炭素の数十倍から一万倍超と高いため、地球に強力な温室効果をもたらし、海面上昇、気象災害の頻発、健康被害、生態系の破壊等、環境に様々な悪影響を及ぼしています。

こうした背景のもと日本ではオゾン層保護法とフロン排出抑制法を制定し、フロンの排出抑制に向けた取組を進めています。また、地球温暖化対策の推進に向けて、2020 年 10 月、国は 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすることを宣言し、この実現に向け、地球温暖化対策計画の削減目標を、「2030 年度の温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 46%削減する」という目標に見直しました。

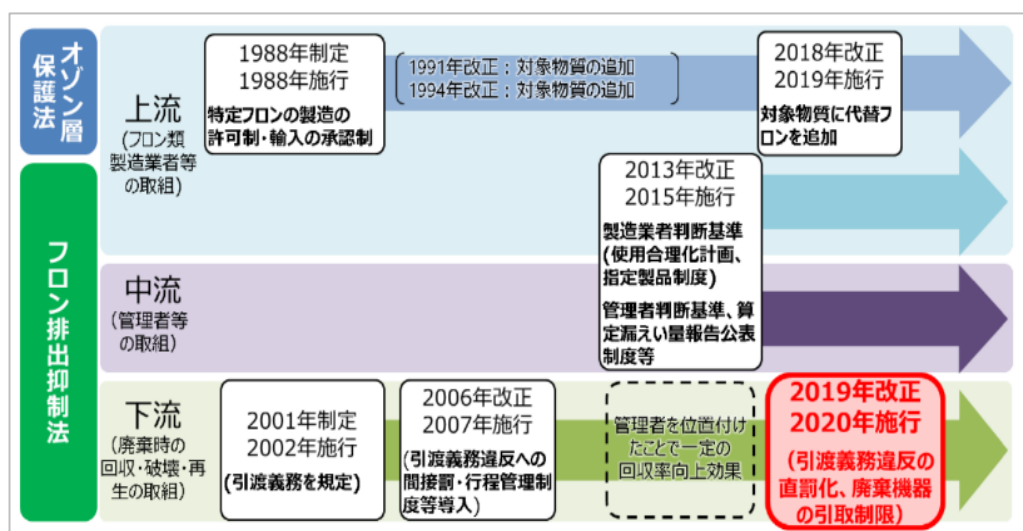


図 1 フロン対策に関する法規制（出典：都道府県向け説明資料[環境省]）

東京都でも、2050 年までに世界の CO₂ 排出量の実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現を掲げ、2021 年 1 月には、2030 年までに温室効果ガス排出量を 50%削減するカーボンハーフを表明し、フロンについても排出量ゼロに向けた取組を推進しています。

その取組のひとつとして、東京都では代替フロンから自然冷媒(グリーン冷媒)への転換を促進しており、都内の事業所においても自然冷媒を用いた冷凍冷蔵設備の導入が進んでいます。

本手引きは、自然冷媒を用いた冷凍冷蔵設備への理解を深め、設備をより安全に運転・維持管理していただくためのものです。ぜひ、ご活用いただき、事業所における安全管理体制の充実・強化に向けた一助となることを祈念致します。

2 主な自然冷媒について

2.1 自然冷媒とは

自然界に存在する物質の中で冷凍や空調の冷媒になりうる物質のことを自然冷媒といい、主なものとして、アンモニア、二酸化炭素(CO₂)、ブタン、イソブタン、プロパンなどがある。

主な自然冷媒の特徴は下表(表 2.1)のとおりであり、地球温暖化係数(GWP)が代替えフロンと違って低く、エネルギー効率がよいという利点がある。反面、可燃性や人体に影響をあたえる有害性(表 2.2)をもつものもあるが近年の技術の進歩により安全に使用できる冷媒として、また、温暖化防止の観点から注目されている。

※引用: 緑のgoo>ビジネス>環境用語集>その他>「自然冷媒」とは><https://www.goo.ne.jp/green/business/word/ecoword/E00417.html>(最終アクセス2023年2月1日)

表 2.1 一般的な自然冷媒の特徴

冷媒種	冷媒番号	化学式	GWP	特徴
アンモニア	R-717	NH ₃	<1	・ガスは無色、強い刺激臭がある ・毒性があり、弱可燃性である ・強酸などと接触すると爆発の可能性がある ・空気より軽い ・フロンと比較して効率がよく少量ですむ
二酸化炭素	R-744	CO ₂	1	・ガスは、無色、無臭、不燃性である ・空気より重い ・個体ではドライアイスと呼ばれる ・消費効率(COP)がよい
ブタン	R-600	C ₄ H ₁₀	15	・無色、不快臭がある ・可燃性がある ・空気より重い
イソブタン	R-600a	CH(CH ₃) ₃	4	・無色のガスで、石油のような臭いがある ・家庭用燃料として使われている ・空気より重い ・二酸化炭素より給湯効率がよい
プロパン	R-290	C ₃ H ₈	3	・毒性はないが、強燃性である ・空気より重い ・二酸化炭素より給湯効率がよい

※引用・参考資料: GWP(地球温暖化係数): 経済産業省第4回産業構造審議会 製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ 参考資料 フロン類使用製品が最終的に目指すべきGWP値について(PDF形式: 229KB)』, 開催2014年5月27日,
特徴: (社)東京都高圧ガス保安協会『高圧ガス等による事故時の応急措置 改訂4版』, 1996, P26・46及び、
<https://www.env.go.jp/content/900448889.pdf>(最終アクセス: 2023年2月1日)
環境省地球環境局環境保全対策課フロン等対策推進室『地球のために、ノンフロンという選択を 自然冷媒冷凍空調機器』, 2008年5月第1版

表 2.2 人体に影響を与える有害性

ガス種	濃 度	症 状
アンモニア	5～20 ppm	臭気を感じる
	200～300 ppm	眼、鼻、のどの粘膜を刺激する
	1,000 ppm 以上 (0.1%)	短時間の吸入によって危険症状を呈する
	5,000～10,000 ppm (0.5～1%)	短時間の吸入で死亡するおそれがある
二酸化炭素	1～2 %	不快感がおこる
	3～4 %	呼吸中枢が刺激されて呼吸数の増加、脈拍、血圧上昇、頭痛、めまい等の症状が現われる
	5～6 %	呼吸困難となる
	7～10 %	数分で意識不明となり、チアノーゼが起こり死亡する

※出典：(社)東京都高圧ガス保安協会『高圧ガス等による事故時の応急措置 改訂4版』,1996,P27・47

2.2 自然冷媒の機器動向

東京都は、自然冷媒を用いた冷凍冷蔵設備の機器動向を確認するため、自然冷媒使用に積極的な主要な機器メーカーに対し、アンケートを実施した。図 2 は冷凍機器における使用冷媒の割合の推移を示したものである。フロン機器が減少する一方で自然冷媒機器が増加しており、徐々にではあるが自然冷媒を使用する機器が普及していることが分かる。

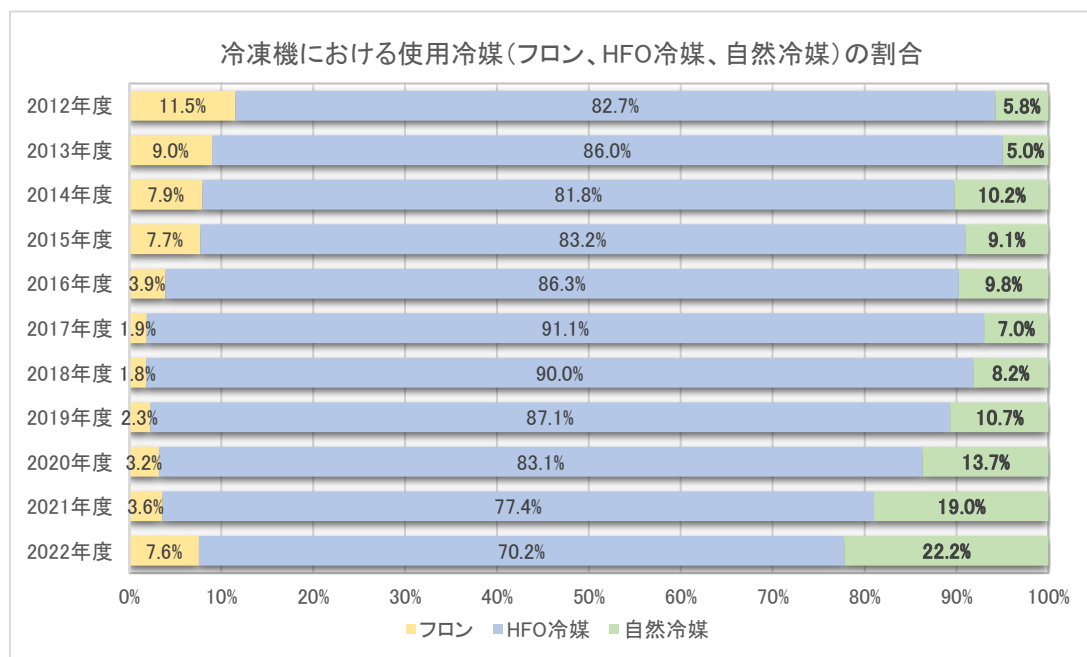


図 2 冷凍機における使用冷媒の割合(2022.10 アンケート)

※高圧ガス保安法の許可・届出対象外機器 ※2022 年度は年度途中のデータ

2.3 安全に使用するために

今後も自然冷媒機器の普及・拡大が期待されるが、自然冷媒の取扱いに注意が必要なことは変わらない。過去には重大な事故も発生しており、自然冷媒の漏えいを防止し、機器を長く安全に使用するためには、日頃から機器の状態をチェックし、定期的なメンテナンスを実施することが重要である。

3 設備点検

事業所の製造施設を安全に使用するためには、定期的に設備点検を行い異常の有無を確認することが重要である。点検結果は必ず記録し、異常を認めた場合は、その状況、異常のあった年月日及びそれに対して講じた措置等についても記録する。

3.1 点検対象となる主な機器

冷凍冷蔵、空調、給湯設備において、主な点検対象となる機器は以下のとおりである。

- a) 熱源機器（冷凍ユニット・コンデンシングユニット・チラーユニット）
- b) 冷却塔
- c) ポンプ類（熱源、冷却水）
- d) 除害設備



写真 3.1 熱源機器



写真 3.2 冷却塔



写真 3.3 ポンプ類



写真 3.4 除害設備

なお、このほかの周辺機器、電気設備、付属設備、配管・弁類、計器類及び保安設備についても、日常または定期的に点検・整備を行うことが大切である。

3.2 点検項目と点検方法(冷凍則三十五条二)

点検にあたっては、実施計画と点検実施要領(チェックリスト等)を作成し、これに基づき実施することが重要である。年間の点検スケジュールを作成することで、整備計画を見据えた維持管理が可能となる。点検実施要領では、点検体制、対象機器、点検方法、頻度、判断基準、記録方法等を定め、日常点検や定期点検を行う際のルールとすることが大切である。

冷凍保安規則では、日常点検は1日1回以上、定期自主検査は年1回以上(規模によって必須)の実施が定められている。このほか、週例・月次などの定期点検を行い、あわせて必要な点検整備を実施する。点検整備を行ったときは、内容を記録に残し、点検実施要領で定めた期間(例えば10年間)保管する。

※ 第一種製造者は、危害予防規程(P31 参照)に点検要領を定めている場合が多い。

3.2.1 日常点検

日々の運転状態や機器の稼働状況を、目視やデータ計測にて点検を行い、運転日誌や点検記録(チェックリスト)に記録する。主な設備の点検時のポイントを以下に示す。

表 3.1 運転日誌及び点検記録(参考)

(別添2)(第13条, 第18条, 第20条, 第29条関係)

運転
時間

自
至

時
時

分
分

時間
分

運 転 日 誌 及 び 巡 視 点 検 記 録

年 月 日 () 天 候

責任者

グループ員

項目 点検時刻	圧 縮 機			凝 縮 器			水冷却器・水熱交換器				空調機・空気熱交換器			外気温湿度		
	圧 力 MPa			電 動 機		冷 却 水 温 度	冷 温 水 温 度		電 流 A	冷 温 水 温 度		ファン 電 流 A	空 気 温 度		外 気 温 度	外 気 湿 度
	高 圧	低 圧	油 圧	電 圧 V	電 流 A		入 口	出 口		入 口	出 口		入 口 (換気) °C	出 口 (送風) °C	温 度 °C	湿 度 %
施設 No.																
圧縮機 No.																
施設 No.																
圧縮機 No.																
巡 視 点 検 記 録	点 検 項 目					結 果			記 事 欄(異常のあった時の処置及び引継事項その他必要事項を記入)							
						開始時	中 間	終了時								
	圧縮機及び電動機に異常音はないか					有 無	有 無	有 無								
	圧縮機及び電動機に異常振動はないか					有 無	有 無	有 無								
	機器及び配管に異常振動はないか					有 無	有 無	有 無								
	冷媒の漏えいはないか					有 無	有 無	有 無								
	冷却水ポンプに異常はないか					有 無	有 無	有 無								
	冷温水ポンプに異常はないか					有 無	有 無	有 無								
	空調機, 空気熱交換器のファンに異常はないか					有 無	有 無	有 無								
	冷却塔のファンに異常はないか					有 無	有 無	有 無								
	冷却塔の水槽, ストレナに汚れはないか					有 無	有 無	有 無								
	機器配管その他に水漏れはないか					有 無	有 無	有 無								

a) 熱源設備(冷凍機)の圧力

制御操作盤や圧力計等で、圧力状態を確認する(高圧・低圧・油圧など)。圧力が上昇していると凝縮器などの汚れが考えられる。また圧力が低いとガス漏れの可能性があるので、機器ごとの標準目安圧力と比較できるとよい。



写真 3.5 圧力計



写真 3.6 操作盤(例)

表 3.2 冷凍機運転圧力基準(参考)

NH3/CO2冷凍機ユニット			
項目	単位	警報値	運転基準
吸入圧力	MPa	-0.07	-0.047~0.018
吐出圧力	MPa	1.60	1.00~1.45
中間圧力	MPa	0.7	0.12~0.46
低段EC圧力	MPa		-0.02~0.12
給油差圧	MPa	0.18	0.45 以上
CO2レシーバ圧力	MPa		0.9~1.60

b) 冷媒、ブライン、冷却水、空気等の状況

制御操作盤や温度計等で、温度状態を確認する(吐出・吸入・油・冷却水出入口・熱交出入口)。温度差が出ているとガス不足や、冷却水・熱交換器の汚れなどが考えられる。



写真 3.7 温度計測器



温度計

c) 圧縮機、凝縮器用の冷却水ポンプ及び送風機等の駆動状況(電圧・電流)

制御操作盤や計測器等で、電圧や電流を測定し、運転状態を確認する。配線の劣化・電動機の断線・過負荷の状態を把握する。感電しないよう保護具を使用し測定する。



写真 3.8 計測器(電流計・電圧計)



写真 3.9 操作盤の電圧・電流計

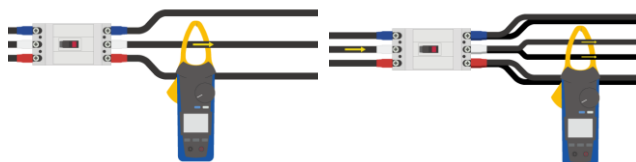


図 3.1 電流測定方法(単線・複線)



写真 3.10 電圧測定方法

d) 異常音及び異常振動の有無

熱源機器や搬送機器(ポンプ・ファン)を運転した状態で、音や揺れに異常がないか確認する。
ベアリング・Vベルトの摩耗、固定ボルトが緩む、芯がずれるなどの際に症状が現れる。



写真 3.11 各種ベアリング



写真 3.12 Vベルト

正しいブーリの アライメント	ミスアライメント		
	①左右の倒れ	②オフセット	③上下の倒れ
			

図 3.2 V ベルト摩耗の原因(芯ずれ)

e) 冷媒漏えいの有無

熱源機器において、計測器や検知器を用いて漏れの有無を確認する。配管や継ぎ手、熱交換器や本体に油の痕などがあるとガス漏れの可能性がある。



写真 3.13 検知器、計測器、泡スプレー

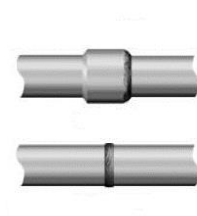
写真 3.14 泡スプレー使用方法



ネジ込み継手



フレンジ継手



溶接継手

図 3.3 配管継手

3.2.2 定期点検

月次点検や年次点検など計画的に定めて実施する。日常点検と同様に点検・整備を記録・保管する。代表的な点検・整備のポイントを以下に示す。

a) 潤滑油の状況

熱源機器の潤滑油の量が適正か油面計などで確認する。
量が少ない場合は、補充する。
ガス漏れの場合も減少するので、周囲にガス漏れがないかを確認する。



写真 3.15 油面計

b) 各種弁の確認

電磁弁や、止め弁などの作動や漏えいなど目視点検する。ガス漏れや水漏れ、動作状態を確認する。電磁弁のコイル部分は、弁体から外して通電すると焼損(断線)するので注意する。



写真 3.16 バルブ・電磁弁等

c) 凝縮器及び蒸発器の伝熱面の汚れ状況

熱交換部分を目視にて判断する。汚れたまま使用すると能力低下や、安全装置が作動する原因となるので、表面の洗浄や分解洗浄を実施する。

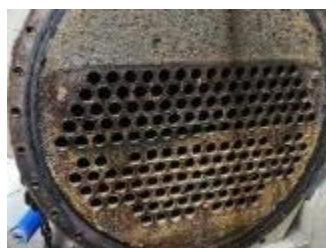


写真 3.17 熱交換器 (左:フィン 中:シェルアンドチューブ 右:プレート)



写真 3.18 熱交換器洗浄例 (左:高圧洗浄 右:チューブブラシ洗浄)

d) 保安設備・保護具の確認

消火器・機械室照明・換気・感震器・緊急遮断装置・保護具(空気マスク・防毒着・凍傷防止手袋・ヘルメット・サーチライト)など作動確認や目視確認を実施する。消火器・ヘルメットなどは使用期限も確認する。サーチライトなどは、定期的に電池交換や充電を実施する。



写真 3.19 保安設備(左から消火器・照明・感震器・空気マスク・手袋・ヘルメット・ライト)

e) 警戒標の確認

外観に不鮮明な文字、破損、その他の異常のないことを目視により確認する。不具合があった場合は、交換する。または、修正する。



高圧ガス製造施設	
ガス名	
許可年月日	年 月 日
許可番号	第 号
保安正	
統括者代	
保安正	
保員代	

図 3.4 各種警戒標

f) 自動制御装置作動状況(ハイカット, ローカット, 断水リレー又はインターロック)

安全装置(高低油圧遮断装置・断水リレー等)の作動試験を実施する。



写真 3.20 制御盤(例)



写真 3.21 断水リレー



写真 3.22 高低圧圧カスイッチ

g) 安全弁及び圧力計のテスト

安全弁へ加圧し、規定圧力で作動を確認する。圧力計は加圧し、値のズレを補正する。

定期検査は、外部委託にて実施するケースが多いが、検査後に元バルブの開状態を必ず確認する。



写真 3.23 安全弁

h) 熱源設備からの冷媒ガスの漏れの有無

日常点検に準じて行う。

i) 電気回路の点検

電源盤のランプや内部のブレーカー・電磁開閉器・電磁接触器等、破損・異音・劣化を確認する。



写真 3.24 左：電源盤内（ブレーカー・電磁開閉器等） 右：制御盤表示ランプ等

j) 防錆塗装の点検及び塗り替え

熱源機器など付帯機器も含めた設備全体の錆を確認する。錆があれば除去後、塗装する。

k) その他、消火設備等保安上必要な事項の確認

- 1) 消火設備は作動テストを行う。
- 2) 日常点検・月次点検の記録が保管してある。
- 3) 緊急時連絡体制表を確認し、最新情報にする（担当変更・修正など）。

4 事故防止方法と対策

高圧ガス保安法では、その目的として災害を防止し、自主保安活動の推進、公共の安全確保が挙げられている。従って、高圧ガスを取り扱う場合には、事故に未然防止に努め高圧ガスの取り扱いに注意しながら「予防措置」を図ることが重要である。

4.1 予防措置

予防措置とは、病気や事件・事故などを防ぐために前もって対策を講じることである。高圧ガスにおいては、個々のガスの性質や対処法、設備機器の取扱いなどを熟知し、事故防止のために日頃から準備しておくことが大切である。

4.1.1 法令の遵守

高圧ガス保安法には、「高圧ガスによる災害を防止する」するために様々なルールが、規定されている。高圧ガスを取り扱う者は、この法律に規定された事項や定められた技術上の基準を遵守しなければならない。

4.1.2 自主保安を積極的促進

高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進するためには「事故を防ぐ」、「事故が発生しても被害を最低限にする」ことを目的に、様々な安全対策を自らの責任で積極的に実施することが重要である。またそのためには、自主保安体制を確立し日常の保安教育・訓練を通じて保安レベルの向上を図る必要がある。

4.1.3 取り組むべき項目

自主保安体制を確立した後に取り組むべき代表的な6項目について次に記す。

- a) 定期点検および自主点検の強化とチェックリストの整備(P5 参照)
- b) 作業を行う場合の作業基準の遵守
- c) ガスの特性の正確な知識と取り扱いの訓練
- d) 設備ごとの経年の変化を織り込んだ設備管理台帳の整備
- e) 保安教育の実施
- f) 緊急連絡体制の整備

＊ ＊ お知らせ ＊ ＊

省エネ型ノンフロン機器普及促進事業
東京都は冷媒にフロンを使用しない
「省エネ型ノンフロン機器」導入に要する費用
の一部を助成している。



助成対象者

中小企業者及び個人の事業者（リースを行う場合も含む）
※冷凍冷蔵倉庫及び食品製造工場を除く。

助成対象機器

省エネ型ノンフロン機器のうち、次に掲げるもの

1. 冷凍冷蔵ショーケース（内蔵型・別置型）
2. 冷凍冷蔵用又は空調用チリングユニット
3. 冷凍冷蔵ユニット（車載用、船舶用又は輸送用を除く）

※ 2.・3. は圧縮機に用いられる原動機の定格出力が 7.5 kW 以上のもの

助成対象経費

助成対象機器の購入費、運搬据付費及び工事費

助成金の額

助成対象経費の 2 分の 1（上限 1,600 万円／台、3,000 万円／事業者）

※国等の補助がある場合は、その額を除く。

条件、期間、予算額、受付については下記の E メールを参照
con-nonfuron@tokyokankyo.jp

4.2 設備機器の維持管理

設備機器の維持管理のための留意すべき事柄の下記2点について記す。

4.2.1 ヒヤリハット事例を使用した保安教育

4.2.2 保安設備の適切な整備

4.2.1 ヒヤリハット事例を使用した保安教育

予防措置として自主保安体制を確立し、実施する取り組みの中でも、特に重要な取組の一つが、保安教育の実施である。保安教育の一環で一般的に行われている「ヒヤリハット事例」について以下に記す。

高圧ガスの現場に限らず様々な現場の作業者は、誰でも「ヒヤリ」や「ハット」した経験を持っている。これらを集めたものが「ヒヤリハット事例」と呼ばれ、保安教育の一つの取り組みとして多くの現場で活用されている。事故や災害に至らない数々の事例を共有することは、保安教育の充実と自主活動の促進につながり、高圧ガスによる災害を防止するためのヒントとなっている。

a) ヒヤリハットの活動のすすめ

ヒヤリハット事例の収集がヒヤリハットの活動の第一歩である。事例の収集に当たっては、次の様な点を考慮した雰囲気作りが重要である。

- 1) 事業所全体で取り組んでいく気運の醸成
 - ・ 上司も部下も一丸となって取り組む機運
 - 2) 事例を提出しやすい環境の形成
 - ・ 事例の提出は匿名も有り。
 - ・ 事例収集用の帳票作成準備(所定のフォーマット)を配布して、参加しやすい土壌を書類面から構築
 - 3) 事例の内容・レベルは不問
 - ・ 経験によって感じ方が違う、受取り方が違うのは当たり前。
 - 4) 過去の個人的なミスは不問
 - ・ ミスの追求や評価でなく、事例を多く提供した従業員を表彰するなどインセンティブを与える制度の策定。
 - 5) 事例を改善策に反映させる体制の整備
 - ・ 事例を公開し、グループ討議などを経て、設備やマニュアルの改善などが必要な場合には、速やかに対応するシステムの構築。
 - 6) 自主保安活動の継続
 - ・ 保安活動に近道や終点はない。地道な改善に対する不断の努力に代表される自主保安活動の充実が、事故や災害を防止し、保安レベルを向上させていく。
- 継続した取り組みが重要である。



<事故事例>

【状況】・不適切な条件による冷凍設備の運転で液バック

【想定される事故】・液圧縮による圧縮機の破損

・圧縮機の異常停止 ・アンモニアの漏えい



4.2.2 保安設備の適切な整備

高圧ガスは、取り扱いを誤ると、火災、爆発、中毒などを起こす恐れがある。これらを防止するためには、機器の通常の運転状態を正常に維持管理することが重要であり、適切な保安のための設備を備えなければならない。

機器を正しく整備し、適切に取り扱うことは安全への第一歩である。高圧ガス消費設備に設けるべき一般的な保安設備の種類と推奨する機器、設置時の注意事項、日常の取り扱い時の留意事項等について、以下に記す。

なお、ガスの種類により異なった仕様もあるため、その場合は都度ガス名も記載する。

a) 計測器

計測器の中で特に重要な計測器として・圧力計・温度計・液面計がある。取り扱い上の注意事項を記す。常に運転状態を把握・管理することが重要となる。

1) 取付位置は、温度変化、振動、衝撃の少ない位置とし、将来の交換、検査のための取り外しも考慮して、元弁を設ける。また日常点検における確認・記録のため正面から見やすい機器レイアウトとする。

2) 検定合格品の使用

圧力計・温度計等すべて計量法に基づく合格品とする。

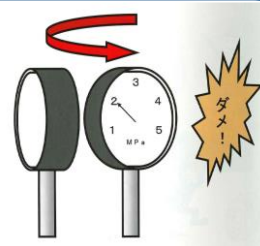
<事故事例>

【状況】

- ・圧力計の取付不良によるねじ込み部からのガスの漏えい
- ・圧力計のピンホールからの漏えい

【想定される事故】

- ・漏えいによる低圧低下で圧縮機の発停繰り返しによる電動機焼損事故



b) 安全装置・バルブ・緊急遮断装置・逆流防止装置

安全装置は、貯槽、配管などの圧力が許容圧力を超えて異常に上昇しようとする場合に作動し、内部のガスを大気中に放出することによって圧力を許容以下に戻し、設備が壊れないようにするためのもので、ばね式安全弁、破裂板逃し弁、自動圧力制御装置がある。

安全弁の設定圧力(吹出圧力)を定めた場合は、以降調整ボルトには触れないようにキャップするなど容易に変更できないようにする。また、破裂板は、作動試験が出来ないので、抜き取り検査で確認したものを使用する。

- 1) バルブの取り扱いについては、例示基準を再確認し、バルブに過大な力を加えない措置や、操作に係る適切な処置に十分に留意する。
- 2) 緊急遮断装置は、法令により可燃性ガス、毒性ガス、または酸素の液化ガスの貯槽であって、内容積が 5,000L 以上のものに設置することになっている。緊急遮断装置は、貯槽に液化ガスを受け入れ、または送り出す配管に漏えいなどの異常や災害が発生したとき、急速に閉止して被害の拡大を阻止するもので、油圧式・空気圧式・ばね式の 3 種類がある。

- 3) 逆流防止装置は、高圧ガスの消費設備において設備内のガスが減圧設備や容器に逆流することを防止する装置で、U字管や自動遮断装置などがあり、逆止弁もその一つである。設置する際は、流れ方向に留意する。

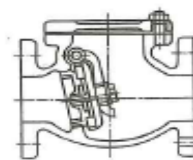
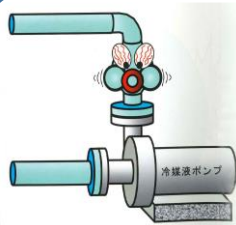


図 4.1 逆止弁



＜事事故事例＞

【状況】・制御システムの不具合による液封鎖で圧力上昇

【想定される事故】

- ・液封鎖による配管や機器の接続部におけるガスの漏えい
- ・液封鎖による配管の亀裂

c) 静電気の除去

静電気が放電するときの火花は、可燃性ガスの発火源となるため、可燃性ガスを取り扱う施設では、静電気が原因による火災・爆発が発生しないよう対策を図らなければならない。

以下にガス設備において静電気が発生する状況を示す。

- ・配管中を流体が流れるとき、その摩擦によって発生する。
- ・液体、ガスが小さな穴から噴出する時に発生する。
- ・空気中に噴出した液体が細かく飛散して小滴になる時に発生する。
- ・器壁などの表面に付着した液体が液滴となって離れるときに発生する。等がある。
- ・貯槽内の液体が振動して発生する。

＜事事故事例＞

【状況】・操作盤表示ランプ交換中に突然生きたまま 24V の制御電源に触れ感電した

【想定される事故】・感電による人身事故



発生した静電気を除去するための措置として「接地」等を行う。

接地やボンディングについては、一般則の例示基準に沿った施工が必要であり、基準の一例を下記に記す。

- ・塔、槽、回転機器等機器はそれぞれ接地する。
- ・接地用の接続線は通常の使用状態では容易に腐食しない材料を使用する機能を維持するために、定期的に接地抵抗値等の機能確認等を確実に行う。

d) ガス漏えい検知警報設備

ガス漏えい検知警報装置は、高圧ガスの消費設備からの漏えいを早期に発見し、防災処置を迅速に行う事により、災害の発生を未然に防止するために設けるものである。

ガス濃度を計測し、これを電気信号に変換して警報を発する機器として、対応ガスの種類、センサー機能等により様々な種類がある。ガスの検知部には、検知素子（検知エレメントまたはセンサーと呼ばれる）と呼ばれる構造体があり、警報設備の主要構成部品になっている。

1) 図 4.2 は、アンモニア設備に対応した代表的な検知警報設備の構成図である。

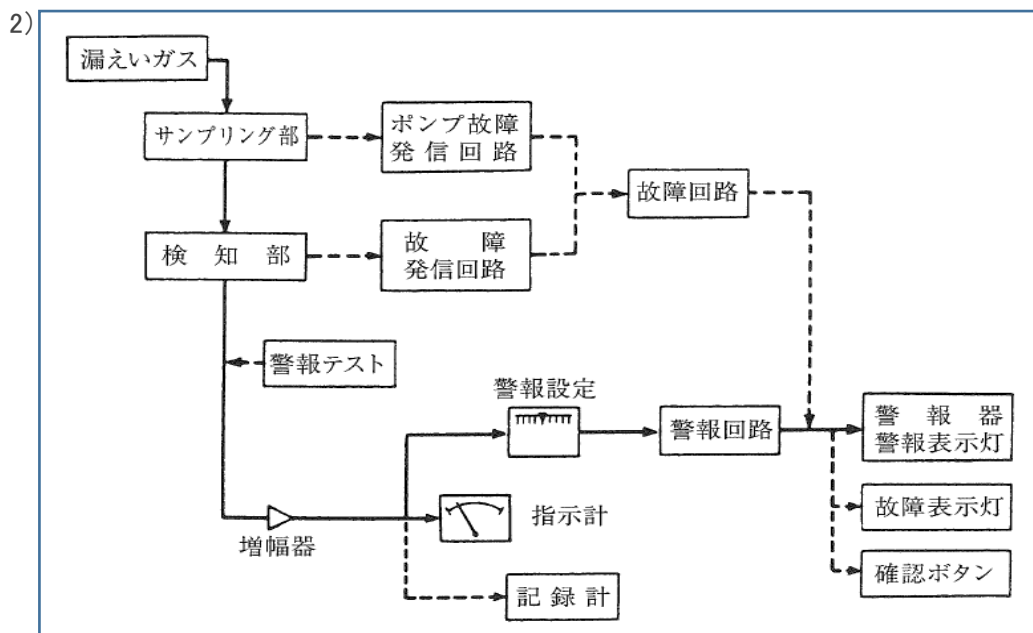


図 4.2 漏洩検知器構成図

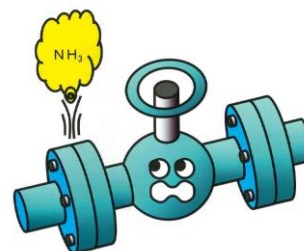
<事事故事例>

【状況】

- ・バルブ交換時、配管内残留ガスが漏えいボルトを緩めたところ、配管内に残留していたガスが漏えいした。

【想定される事故】

- ・アンモニアを吸引した場合には、中毒などの人身事故



3) 検知警報設備の機能と構造について

一般則基準及び例示基準に示されている項目を抜粋し以下に記す。

① 機能と構造の基準

- ・あらかじめ設定されたガス濃度（警報設定値）において自動的に警報を発するものであること。
- ・警報設定値は、任意に設定できるものであり、設置の周囲の雰囲気温度においてガスの種類別に次の値とする。
 - イ) 可燃性ガス：爆発下限界の 1/4 以下の値
 - ロ) 酸素：25%
 - ハ) 毒性ガス：許容値以下の値
- ・警報を発した後は、原則として、雰囲気中のガス濃度が変化しても、警報を発信し続けるものとし、その確認、または対策を講じることにより、警報が停止するものとする（具体的な対応基準は各設備、事業所毎に実務として決めておく）。
- ・検出端部の設置場所、設置個数、高さ、場所等については、例示基準を確認すること。

② 維持管理

検知警報設備は日常点検または、定期点検において保守管理を確実に行之、あらかじめ設定されたガス濃度で自動的に警報が発する様、作動の維持を図ることである(詳細は 3.設備の点検参照)。

e) 防消火設備

防消火設備は、高圧ガス設備(液化塩素に係るものを除く)の防火・消火のために使用する設備であって、対象設備の規模、態様及び周囲の状況に応じて必要とする効果を発揮するために適切な能力を保有するものとしなければならない。

詳細は、一般則例基準、液石則例基準を参照のこと。



図 4.3 防消火設備

1) ガス火災と防消火設備

発生状況により異なるが、元栓を止めれば鎮火出来る場合と火勢の状況で元栓操作が不可の場合は、消火設備で消火→元栓閉とし、それが不可の場合は、防火設備で加熱部に注水で冷却し、破壊に至らぬ様に処置が有効である。

f) 毒性ガスの除害設備・除害措置 (アンモニア設備)

冷媒や化学物質の製造用原料として広く使用されている。アンモニアは、可燃性ガスであると同時に毒性ガスでもある。このため高圧ガス設備から排気されるアンモニアは、周辺環境や安全上の観点から適切に除去・除害されることが重要である。

アンモニアを除害する方法として一般的なものを下記に記す。

1) 除害措置 (アンモニア対応)

除害措置の方法は例示基準に示されている。下記の措置の中から適切なものを1つ又は、2つ以上選んで行う。

- ・ 水または吸収材もしくは中和剤によって吸収または中和する措置
- ・ 吸着剤によって吸着除去する措置
- ・ 貯槽の周囲に設けた誘導溝により、集液溝、ピット等に回収された液化ガスをポンプ等の移送設備により、安全に製造設備に返送する措置
- ・ 燃焼設備(フレアスタック、ボイラなど)で安全に燃焼させる措置

① 除害剤と保有量

アンモニアの除害剤は、例示基準「14.2.2 除害剤の保有量」の項に「大量の水」としてあり、具体的な量の記述はない。東京都の高圧ガス施設安全基準では、例えば冷媒ガス充填量 100kgの冷凍設備では 6 m³以上の水をスプレーノズルで噴霧することとしている。

② 拡散防止方法例「スクラバー」

スクラバーは有害ガスなどを吸着・水洗浄・薬液中和などで処理し、大気に放出出来るようにするための装置で、廃棄処理設備と呼ばれる。排気ガスの濃度は周囲に危険を及ぼす恐れがない、十分に安全な値まで下げるようにする。なお、非常用発電機等により停電時でも作動することが望ましい。

これらの規定は、高圧ガス設備が機械室に設置された場合を想定しているが、屋外置きとしてケーシングで囲った冷凍装置については、安全基準に関して具体的な項目指導があり、以下に代表的なものを記す。

- ・ 漏れのない構造 すなわち常時廃棄装置を作動させてケーシング内を負圧にする。漏れが検知されたときは排気を停止させ、吸気口をシャッター等で閉じ、除害措置を行う。
- ・ ケーシング内に漏れたアンモニアをスクラバーに排出するファンを設け、且つ、アンモニア液全量を収納できるピットを設ける。

g) 保安用具

アンモニアは、激しい刺激性と臭気があるので漏洩している場合には、容易に知ることが出来るが、人が液化アンモニアに触れると急激な冷却効果によって激しい凍傷を起こすとともにガス化したアンモニアによって目の腐食、結膜炎、咽喉炎、皮膚刺激などを生じる。

また吸入した場合は、数時間後に肺水腫を起こし、重態となることがあることから、十分に注意する必要がある。

アンモニアが漏えいした時の除害作業に必要な保護具は、一般例示基準に定められている。以下にその例示基準について記す。

1) 保護具の種類と個数

- ① 空気呼吸器、送気マスクまたは酸素呼吸器(いずれも全面形とする)
- ② 隔離式防毒マスク(アンモニア用全面高濃度形)
- ③ 保護手袋および保護長靴(ゴム製または合成樹脂製)
- ④ 保護衣(ゴム製または合成樹脂製)

常備個数は、緊急作業を行う作業員に予備数を加えた個数または常時作業員 10 人につき、3 個の割合で計算した個数(最低3個)のいずれか多い方の個数を揃える。

なお①を常時作業の作業員数に相当する個数を揃えた場合は、②を備えなくともよい。

2) 保護具の保管および装着訓練

① 保管場所

アンモニアが漏えいする恐れのある場所に近い管理の容易な場所であって、且つ、緊急時にアンモニアガスに接することなく取り出すことが出来る場所とする。

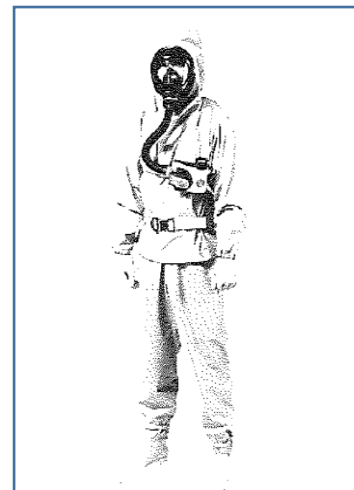


図 4.4 防毒衣

② 保管方法

常に清潔且つ良好な状態に保つとともに、吸収缶などの消耗品は、定期的にまたは使用後に点検し更新、補充を行うこと。

吸収缶中の有効物質は、アンモニアまたは空気にさらされると不活性になるから、吸収缶は、保管時は常に密閉し、清潔にして直ちに使用できるようにしておく。

③ 装着訓練

作業員に対して例えば3ヵ月に一回以上装着訓練を行い、使用方法を習熟させる。

④ 記録の保管

保護具の点検及びこれに伴う更新・補充の実績は記録して保管すること。

3) 呼吸用保護具

空気呼吸器、ろ過式防毒マスクなどの呼吸用保護具は、アンモニアが何らかの原因で漏洩している状況で、作業員の救出や応急処置として現場作業が必要な場合に使用される。

4) 防毒マスク

防毒マスクは作業環境の酸素濃度が18%以上、ガス濃度2%以下で使用可能であり、着用者の肺力によって環境中の空気を吸引し、その中に含まれる有毒ガスを、吸引缶で除去する方式の呼吸用保護具である。これは、酸素欠乏環境では絶対に使用してはならない。アンモニアは毒性が高く、目に刺激がある物質であるので、全面形面体が使用される。

吸収缶は、アンモニアの場合は隔離式が用いられる。



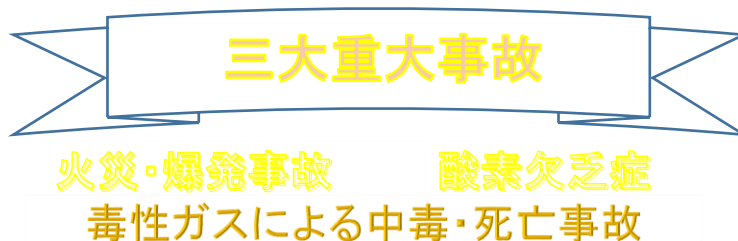
図 4.4 防護具&吸収缶

表 4.1 吸収缶の仕様

用途	質量	塗色	ガス上限濃度	使用時間
アンモニア用	670g	緑色	2%未満	50 分

4.3 想定される重大3大事故

可燃性ガスの高圧ガスを取り扱う事業所などで、想定される事故として挙げられる代表的な3種類の事故を下に記す。



4.3.1 火災・爆発事故

特に爆発は発生する爆風により死傷者数も、損害も大きくなる。爆発の防止は保安上重要な課題であり、高圧ガス設備から漏れいた可燃性ガスが発火して火災を起こすと、付近の設備が加熱され高温となり、また、内部のガス圧力も高くなり、その設備が破壊され、更なる爆発を起こすことがある。

4.3.2 毒性ガスによる中毒事故、死亡事故

特定高圧ガスに指定されているアンモニア、塩素等は毒性ガスに指定されており、このガスが漏えいし人間が吸引することによって引き起こされる障害は、ガスの種類、濃度、暴露される時間によって、障害・症状は千差万別であるが、濃度が高くなると生命に危険が及ぶ。

日本産業衛生学会が毎年、「許容濃度等の勧告」として発表する数値確認し、恒常的な作業環境濃度をキープするなどの各種対応が重要である。

4.3.3 酸素欠乏症

換気不十分の部屋、マンホール、ピットなどの閉ざされた環境で、酸素以外のガスが空気中に多量に漏えいした状態や、酸素が消費され、酸素濃度が 18%未満に低下した状態を酸素欠乏という。近年酸素欠乏（「酸欠」と略称されることもある）による労働災害事故が頻発している。

a) 酸素欠乏事故の原因

刺激性の強いガスでは、少量の漏えいでも、直ちに感知できるので、現場から即座に避難することによって、災害は防止できる。しかし、刺激性がなく、無色、無臭の例えば窒素、アルゴン、などの場合や、臭気の少ないメタン混合空気などの場合は空気中に大量に漏えいしていても気が付くことが遅く、無意識に呼吸してしまうことが多く、事故につながりやすい。

b) 無酸素空気の危険性

酸素欠乏事故の中には、閉鎖空間でなくても、無酸素空気の 1 回の呼吸で死を招く例が少なくない。

例えば可燃性ガスを窒素で置換した後の貯槽内点検において貯槽開口部から噴き出した窒素に巻き込まれて転落死する例もしばしば見られる。

<事故事例>

【状況】

- ・空気呼吸器の予備ボンベの点検不徹底

【想定される事故】

- ・ガス漏洩時における除害作業への支障
- ・除害作業などに空のボンベを使用した場合
- ・窒息などの人身事故



5 事故・災害の種類ごとの対応方法

高圧ガス設備の適切な維持管理を行っていても事故をゼロにはできない。それは、高圧ガスの持つ危険性そのものは、どんな対策をとっても無くなるものではなく、また、予測できない要因や自然災害、ヒューマンエラーによって事故が引き起こされる場合があるからである。

高圧ガスを取り扱うものは、これらを念頭において、万が一事故が発生した場合でも、被害を最小限にするための対応を行い、復旧後には原因究明と再発防止に努める必要がある。

以下に、アンモニア冷媒と二酸化炭素冷媒における、事故・災害が発生した場合の事業所で対応すべき事項及び事故事例を示すが、事業所によってはメーカーに緊急対応を依頼するところもあるので、事故が起きた場合の対応については、事前に確認しておくことが大切である。

なお、高圧ガスに係る事故が発生した場合は、遅滞なく都道府県等の担当部署に報告する必要がある(P29 6 項参照)ため、事故の経緯や原因、その対応などについて、詳細に記録しておくことも重要である。

事故・災害が発生した場合、事業所で対応する事項を示すが、事業所によってはメーカーに緊急対応を依頼するところもある。

5.1 アンモニア冷媒

5.1.1 漏えい時の処置

- a) 機器の運転停止を確認する。
- b) 機器が運転されている場合は緊急停止する。
- c) 付近で火気を使用している。又は火気がある場合は、使用を中止すると共に火気を取り除き、周辺での火気使用禁止措置を行う。
- d) 必要以外の従業員および付近の人を非難させる。
- e) 取り残された人が場合はアンモニア用防毒マスクまたは空気呼吸器、保護衣、保護具等を着用し救助を行う。
- f) 救助は2人以上で行うこと、また、2次災害を防止するために搜索範囲と搜索時間を設定し、後方支援員と連絡を取りながら行う。救助員の監視を行い危険と判断した場合はすぐに退避させる。
- g) 危険区域を定め、立入禁止とする。
- h) 保護具等を着用し、漏えい濃度の確認をする(濃度別対処 表 5.1 アンモニア漏えい時の対処方法を参照)。
- i) 漏えい個所の確認を行うと共にバルブ閉止等の遮断処置を行う。
- j) 拡散防止の除害措置を行う(以下に除害方法を示す)。
 - ① 障壁または局所排気装置などにより周辺へのガスの拡散を防止する措置
 - ② 除害措置を速やかに行うことによってガスの拡散を防止する措置
 - ③ 水溶性があり、漏えいした液化ガスを水などの溶媒によって希釈し、ガスの蒸気圧を低下せしめる措置
 - ④ 漏えいした液化ガスの液面を吸着剤、吸収剤、中和剤(除害剤)または気泡性液体もしくは浮遊小球などによって覆い、液化ガスの蒸発気化をできるだけ少なくする措置
- k) 漏えいガスの排気処置を行う。
- l) 責任者への事故状況の報告を行う。

- m) 原因を究明する。
- n) 再発防止策の検討を行う。

5.1.2 火災発生時の処置

- a) 機器の運転停止を確認する。
- b) 冷媒元バルブを閉止する。
- c) 必要以外の従業員および付近の人を非難させる。
- d) 危険区域を定め、立入禁止とする。
- e) 初期消火活動を行う(消火不能と判断した時点で避難し消防署へ通報)。
 - ① 消火剤は、水を使用する。
 - ② ガスが漏れているときは、漏れている部分に散水するのがよい。
 - ③ 水によく溶けるので噴霧散水により、アンモニアガスを吸収すると同時に、温度を低くして消火を行う。
 - ④ 消火活動には、アンモニア用防毒マスクまたは空気呼吸器、保護衣、保護具等を着用する。
- f) 責任者への事故状況の報告を行う。
- g) 原因を究明する。
- h) 再発防止策の検討を行う。

5.1.3 応急手当

- a) 吸入し中毒した人を、新鮮な空気の所に移し、毛布等で保温して安静にさせる。
- b) 呼吸が止まっていたら、人工呼吸をする。
- c) 呼吸が弱くなっていたら、酸素吸入を行い、医師に診せる。
- d) 意識不明の人には、物を食べさせたり、飲ませたりしてはならない。
- e) アンモニアに触れた衣服は、取り除き、触れた部分を、水で洗う、できればレモン果汁、酢または2%の酢酸水で洗い、再び水で洗う。凍傷になった部分は、患部を水に長時間浸す。
- f) 眼に入った場合は、水で15分以上洗眼し、医師に診せる。
- g) 衣服等が汚染されている場合は、脱がせ、身体の汚染部を水で洗う。

表 5.1 濃度別対処、アンモニア漏えい時の対処方法

50ppm アンモニア漏えい時の対処方法

検知濃度の確認	アンモニア除害によるアンモニア漏えい濃度の変化を確認してください。
漏えい原因の 特定と処置	アンモニア除害によってユニット内漏えい濃度が低下した場合は、漏えい箇所の特定と原因を確認し適正な処置を取る。 漏えい場所の特定には、携帯型アンモニアガス検知器や硫黄を使用して行うこと。 適正な処置例 1) フランジのナットの締め付けを行う。ボルト、ナットの締め付けはガス漏れがないよう、片締めをさけ対角線上に向き合うナットを交互に平均に締めること。 フランジのガスケット、O-リング等は長年使用すると弾性が弱くなり漏れの原因となる場合があるので、フランジを開放した場合は必ず新品と交換すること。 冷・暖を繰り返す配管のフランジパッキンは緩み易いので、よく点検を行い増し締めすること。 2) 止め弁(手動弁・自動弁等含む)止め弁のグランドパッキンは長年の使用や温度変化による収縮などが原因で弾性がなくなり、ガス漏れの原因となるので必要に応じて増し締めや交換の措置を取る。 特に日常、あまり開閉しない止め弁は点検の際、見落とし易いので注意しなければならない。

100ppm アンモニア漏えい時の対処方法

ユニットからの避難	関係者以外はユニットから避難させる。
除害設備の運転	1) 検知器 100ppm 作動 2) 冷凍機停止 3) 換気扇停止 4) スクラバー運転
検知濃度の確認	除害によるアンモニア漏えい濃度の変化を確認すること。
漏えい原因の 特定と処置	除害設備によって漏えい濃度が低下した場合は、漏えい箇所の特定と原因を確認し、適正な処置を取る。 漏えい場所の特定には、携帯型アンモニアガス検知器や硫黄を使用する。 適正な処置例 1) 漏えい箇所へのアンモニア供給を止める。 2) 処置作業を行なう場合には、保護具を着用し 1 人作業は行なわないこと。 3) 関係者へ連絡を行うこと。 4) 被災者がいた場合は応急措置をとること。 5) 避難は風上側を判断し、誘導すること。 6) 漏えい部の修理に当たってはポンプアウト、ドレン抜き等を行い、修理箇所でのアンモニアの漏えいを極力少なくした状態で作業を行うこと。

5.2 二酸化炭素冷媒(CO₂)

5.2.1 漏えい時の処置

- a) 機器の運転停止を確認する。
- b) 機器が運転されている場合は緊急停止する。
- c) 必要以外の従業員および付近の人を非難させる。
- d) 取り残された人が場合は空気マスクを装着し救助を行う。
- e) 救助は2人以上で行うこと、また2次災害を防止するために搜索範囲と搜索時間を設定し、後方支援員と連絡を取りながら行う。救助員の監視を行い危険と判断した場合はすぐに退避させる。
- f) 危険区域を定め、立入禁止とする。
- g) 換気装置による二酸化炭素の排出を行う。
- h) 空気マスク装着し、濃度計を用いて二酸化炭素の濃度の確認を行う。
- i) 濃度が0.5%以上の場合は退避する。

5.2.2 酸素欠乏症と応急手当

- a) 酸素欠乏状態の人を、新鮮な空気の所に移し、毛布等で保温して安静にさせる。
- b) 呼吸が止まっていたら、人工呼吸を行い直ちに医師に診せる。
- c) 呼吸が弱くなっていたら、酸素吸入を行い直ちに医師に診せる。
- d) 自身に頭痛や吐き気などの症状が出たときには直ちに屋外に移動するなど、酸素が十分に確保できる状態にする。

5.3 事故事例から見る対応方法

過去の重大事故及び人的ミスや経年劣化による各部位での腐食損傷など代表的な事故例から事故概要・原因・対策を掲載する(詳細は【参考資料】事故事例を参照)。

※アンダーラインは、特に重要な箇所。

a) 事例1 アンモニア中毒による死亡事故

事故概要

- ・ 朝の出勤者が機械室で被災者が圧縮機の上に仰向けに倒れているのを発見した。
- ・ 作業中に低圧受液器ドレン弁よりアンモニアガスが噴出したことによる死亡事故

原因

- ・ 休日の一人作業
- ・ ピット内の狭く作業性が悪い場所での作業
- ・ 運転マニュアル無し

対策

- ・ 休日、平日を問わず作業は常に二人作業とする。
- ・ オイルドラムの設置による安全性と作業性の改善を図る。
- ・ 作業マニュアルを作成し作業の安全性を図る。

b) 事例 2 アンモニア冷媒噴出による死亡事故

事故概要

- ・ グループ 1 は空調用アンモニアヒートポンプユニットの整備作業でクーラー給液ラインの電磁弁および電子式膨張弁の部品交換を行っていた。
- ・ グループ 1 の作業とは別に作業員 A が扉を開放したユニットケース内部で、電子式膨張弁の上部を取り外し、部品の交換作業を行っていた。
- ・ 別の作業員 B が、ヒートポンプの制御ソフトの点検のため、制御盤とノートパソコンを接続し、回路を確認していた。その後、制御盤のシーケンサ「RUN/OFF」スイッチを OFF にしたところ、ほぼ同時に、電動三方弁が切り替わり、整備中の電子式膨張弁からアンモニアガスが噴出し、ユニットケース内の作業員 1 名が多量のアンモニアを吸い込みその場に倒れた。

原因

- ・ 前日までは電磁弁及び膨張弁の作業完了後に制御盤の作業を行っていた。
- ・ 事故当日は現場管理者の判断で複数の作業を同時平行で行うことに変更した。
- ・ 相互作業の作業状況の確認不足があった。
- ・ 相互作業は行わないことになっていたが、作業手順書で明確に指示がなかった。

対策

- ・ 複数の作業を同時並行で行わない。
- ・ 電磁弁、電子膨張弁のメンテナンスでは、必ず制御電源を切る。
- ・ 作業は必ず 2 人作業とし、1 人は作業指揮者として状況監視を行う。
- ・ 相互作業の禁止を作業手順書に明記し、確実に行うよう指導する。

c) 事例 3 アンモニア冷媒の漏えい(重傷者 1 名)

事故概要

- ・ 圧力発信器の示度確認作業を行うため、作業員が圧力発信器の止め弁を閉止せずに圧力発信器を取り外したところ、冷媒ガスのアンモニアが漏えいし、被災した。

原因

- ・ 職長が、高圧と中圧の圧力発信器の止め弁は閉止したが、低圧の圧力発信器の止め弁は、高所にあるために閉止できなかった。職長は、その旨を作業員に伝え忘れた。
- ・ 作業員は、中圧の圧力発信器の止め弁が閉止していたことから、職長が低圧の圧力発信器の止め弁も閉止したと思い込み、閉止の確認をせず、低圧の圧力発信器を取り外したため、圧力発信器を取り外した箇所から、冷媒ガスのアンモニアが漏えいし、作業員が被災した。
- ・ 止め弁の閉止確認(操作禁止テープの貼付け)が、作業手順書に規定されていなかった。

対策

- ・ 作業計画書及び作業手順書を文書により確認し、作業承認がなければ、請負業者は作業ができないようにした。
- ・ 作業手順書通りに作業を行うことを徹底する。
- ・ 作業手順書が実際の作業に則っているかどうか、定期的に確認・見直しを行う。

d) 事例 4 冷凍設備からのアンモニア冷媒漏えい

事故概要

- ・ 冷凍機は停止中であつたが、アンモニア／炭酸ガス冷凍機であるため、炭酸ガスの圧力上昇を防ぐための間欠運転を自動で行っていた。
- ・ 機械室から冷媒漏れの警報が発報、漏えい検知器の指示値が 100ppm 程度を指示していた。除害装置が稼動していることを同時に確認した。
- ・ 漏えい検知器の指示値が 50ppm まで低下したため、保護具を着用し室内に入り、漏えい箇所の特定作業を開始したところ、冷凍機下にオイル漏れ(冷媒の漏えい)を確認した。
- ・ 圧縮機のメカニカルシール部分からの漏えいと判明した。

原因

- ・ 圧縮機のマニカルシールのベローズ状ゴムパッキンにカーボンのカスが付着していた。
- ・ パッキン面に肌荒れを起こしていた。
- ・ 圧縮機内部の冷媒をシールできず、オイル漏れが生じた。

対策

- ・ 前回のマニカルシール交換から経過が長い機器から交換を実施する。
- ・ 使用状況によってはシール漏れが生じるため、定期的に運転中の潤滑油の滴下量を確認し、漏えいが生じる前に交換する。

e) 事例 5 アンモニア冷凍設備のフランジ継手からの冷媒漏えい

事故概要

- ・ 設備の液戻し装置において、フロートスイッチの下部取付けフランジ式継手からアンモニアが漏えいした。

原因

- ・ フランジ式継手と取付けボルトの腐食および振動による緩みとみられる。
- ・ 設備は昭和 37 年に設置されたが、定期的な維持管理がなされていなかった。

対策

- ・ フランジ式継手の締結部の定期的な点検計画を作成し、計画を基にボルトの片締め、緩み、ガスケット当たり面の状況など、締結状態の確認を行う。

f) 事例 6 アンモニア冷凍設備のバルブ、グランドパッキンからの冷媒漏えい

事故概要

- ・ 蒸発式凝縮器を交換するため、高圧受液器のバルブ (50A) を閉じたところ、冷媒であるアンモニアが少量漏えいした。

原因

- ・ グランドパッキンの経年劣化

対策

- ・ 閉止弁、制御弁などのグランドパッキンは、長期間の使用、温度変化により、摩耗、収縮、劣化などによりアンモニアが漏えいすることがあるため、維持管理計画を検討作成し、確実に取り換えを実行する。

g) 事例 7 アンモニア冷凍設備配管誤切断

事故概要

- ・ アンモニア給液配管の手動弁の取換え工事において、アンモニアの抜取り措置をすでに実施した配管を切断するところを誤って、ヘアピンコイル側のバイパス液配管を電動のこぎりで切断した。

原因

- ・ 作業監督者が切断箇所をマーキングせずに指差し指示により作業員に切断指示を行ったこと、作業員が誤認してバイパス液配管を切断した。

対策

- ・ メンテナンス事業者が工事計画書を作成し、冷凍事業者およびメーカーの承認を得る。

h) 事例 8 アンモニア冷凍設置の配管からの漏えい

事故概要

- ・ 廃止したアンモニア設備の配管からアンモニアが漏えいした。

原因

- ・ 使用停止した設備からアンモニアを抜き取りしたが、閉鎖系部分に留った残油に溶けていたアンモニアが、配管の腐食減肉により漏えいした。

対策

- ・ 休止設備は、休止期間に応じて、アンモニア冷媒を抜き、窒素置換するなど、安全措置を実施する。

i) 事例 9 アンモニア冷凍設備の配管からの漏えい

事故概要

- ・ 地震による地盤沈下で、製氷槽タンク用のブラインクーラー油抜き配管が破断して、アンモニアが漏えいした。

原因

- ・ ブラインクーラーと配管ブラケットが別基礎であったため沈下量が異なり、当該配管とバルブに無理な力が加わり、配管が破断に至ったとみられる。

対策

- ・ 連結する機器が異なる基礎上に設置されていると、地盤沈下による変形で過大な力が生じ、機器が破損する場合があるので、基礎が異なる機器の連結方法に注意する必要がある。

j) 事例 10 アンモニア冷凍設備、エバコンチューブからの漏えい

事故概要

- ・ 工場において、運転員がパトロールを実施していたところ、アンモニア設備のエバコン（散水式）に微量なアンモニア漏えいを発見した。

原因

- ・ チューブの内面腐食はなく、外面腐食によって溶接線近傍にピンホールが発生したことが判明した。

対策

- ・ アンモニア設備の機器、配管、バルブなどは、経年使用で損傷、腐食する。
- ・ 設備の損傷、腐食の早期発見、早期改善に努めることが重要で、定期的な点検、検査を行い、交換部品の適切な管理を行うことが重要である。

k) 事例 11 アンモニア冷凍設の閉止弁からの漏えい

事故概要

- ・ アンモニア設備の冷媒回収作業後、翌日閉止弁が破損しアンモニア漏えいした。

原因

- ・ 冷媒回収時に給液電磁弁の作動不良により、配管に冷媒が残って液封状態となっていた。液封となっていた閉止弁に許容圧力以上の圧力が加わり、閉止弁が破損した。

対策

- ・ 低温の液体アンモニアが封入される恐れのある配管、設備を洗い出し、圧力逃がしラインを設置して、閉じ込め区間をなくし、液封の発生を防止する。

l) 事例 12 除害設備の管理不良によるアンモニアの拡散

事故概要

- ・ 低圧受液器が設定圧力を超え安全弁が作動し、アンモニア冷媒が放出管から除害設備へ流入した。また、減圧されても安全弁が閉止せず、また除害設備内で放出したアンモニアが吸収されず、放出管開口部より周辺大気へアンモニアが拡散した。

原因

- ・ 除害設備内の中和液が不足していた。また、中和液層に十分に水が入っていない状態であった。放出したアンモニアが吸収されず、放出管開口部より周辺大気へアンモニアが拡散した。

対策

- ・ 作業時・休止時にかかわらず常に除害可能状態にすることが重要である。

m) 事例 13 二酸化炭素冷媒漏えい

事故概要

- ・ 安全弁の止め弁を閉止したと勘違いし、閉止せずに安全弁を取り外したため、冷媒ガスの二酸化炭素が漏えいし、二酸化炭素を吸い込んだ責任者が死亡した。

原因

- ・ 責任者は冷凍設備を緊急停止した状態で交換作業を開始し、安全弁交換の前に止め弁のシールキャップを締めたことにより、止め弁を閉止したと誤認してしまった。

対策

- ・ 作業マニュアルを作成し、1 人作業を禁止し、2 人以上での作業を必須とする。
- ・ 作業時には保護具(空気呼吸器)とポータブルの漏えい検知器を常備する。

n) 事例 14 二酸化炭素冷媒漏えい(被害者 1 名)

事故概要

- ・ 食品工場において、NH₃/CO₂二元冷凍設備のスタートアップ作業中、蒸発器の冷媒コイルから漏えいし、真空チャンパ内に滞留していた二酸化炭素が、バルブの開操作により食品の製造エリアに放出された。

原因

- ・ 溶接継手の止端にあった溶接欠陥(オーバラップまたはクレータ)を起点として、温度変動による疲労が発生した。

対策

- ・ 冷凍設備の蒸発器は 2 年に 1 回、気密試験を実施することを規定した。あわせて、年に数回、バルブを開放し携帯型ガス漏えい検知器を用いて二酸化炭素濃度を測定する運用を開始した。

o) 事例 15 二酸化炭素の噴出・漏えいによる死亡事故

事故概要

- ・ ビルの消防設備点検で、地下 1 階駐車場に設置された二酸化炭素消火設備の点検を行っていたところ、何らかの原因により消火剤である二酸化炭素が放出され、点検作業員 2 名と警備員 1 名が救急搬送され、そのうちの点検作業員 2 名が死亡した。

原因

- ・ 二酸化炭素消火設備の点検作業中に何らかの誤操作により容器弁が開になり、容器室内に二酸化炭素が放出されたと推定されている。

対策

- ・ 点検業者の対策として、点検作業フローおよび点検マニュアルを整備した。
- ・ 点検作業者は点検する前に、誤作動または誤操作をしてもガスが放出されないように、閉止弁を閉にするなどの安全対策を講じる。また、点検作業中にガスが放出されることを想定して、退避経路を確保する。

◇ ◇ トピックス ◇ ◇

このグラフは一般社団法人日本冷蔵倉庫協会が行った全国調査の結果から、冷蔵倉庫で使用されている冷媒の種類毎の推移を示したものである。年々、R22 冷媒が減少し、自然冷媒が増加していることが解る。

なお、このデータは冷蔵倉庫所管容積の比率であり、事業所数比率ではない。

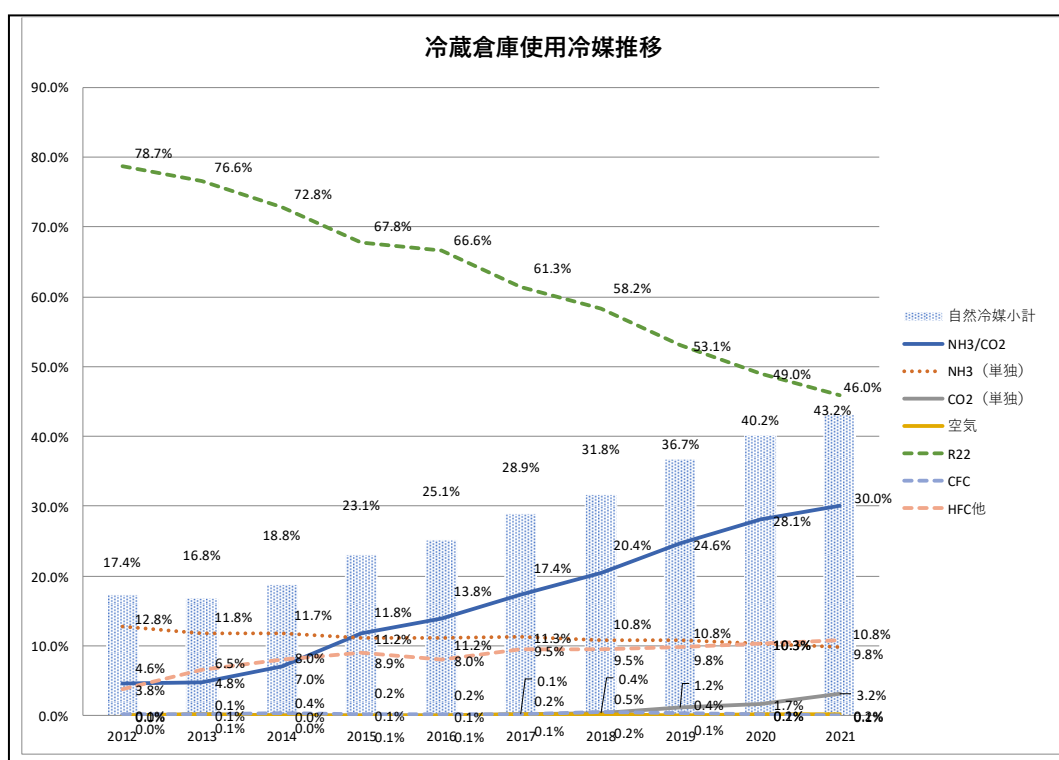


図 5 冷蔵倉庫使用冷媒推移（出典：一般社団法人日本冷蔵倉庫協会）

6 緊急時連絡体制、連絡先

災害や事故が発生した際は、被災者救護や被害拡大防止のため、状況に応じて消防や警察などに緊急連絡を行う必要がある。緊急時の連絡を速やかに行うためには連絡先や連絡体制を事前に定め、それを事務所等に掲示し、作業従事者に周知させておくことが重要である。

高圧ガス保安法にも、都道府県知事や警察への届出について次のように定められている。

高圧ガス保安法 第六十三条一項

第一種製造者、第二種製造者、販売業者、液化石油ガス法第六条の液化石油ガス販売事業者、高圧ガスを貯蔵し、又は消費する者、容器製造業者、容器の輸入をした者その他高圧ガス又は容器を取り扱う者は、次に掲げる場合は、遅滞なく、その旨を都道府県知事又は警察官に届け出なければならない。

- 一 その所有し、又は占有する高圧ガスについて災害が発生したとき。
- 二 その所有し、又は占有する高圧ガス又は容器を喪失し、又は盗まれたとき。

緊急連絡体制の確立のほかにも緊急事態の発生の備えとして、事業所内の自営安全組織および関係官庁、地域防災組織、供給メーカーの工場への通報連絡体制、救護、広報活動、避難誘導体制などを確立しておかなければならない。

特に、消防・警察など関係官庁への通報は、夜間・休日を問わず行う必要があり、以下のような項目等については必ず報告することになるため、掲示する連絡体制図には、必要事項を掲載しておくとい。

- ・災害発生の日時
- ・災害発生の場所および事業所名（電話番号）
- ・高圧ガスの種類および数量
- ・被害の状況
- ・処置の状況

例として図 6.1 に緊急時連絡体制系統図の例を示す。

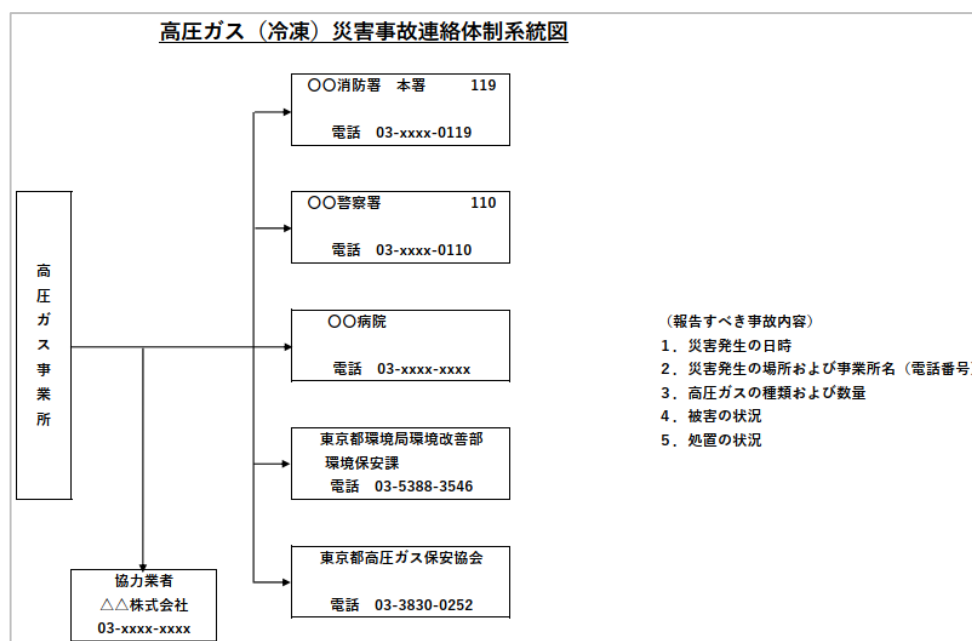


図 6.1 緊急時連絡体制系統図の例

また、緊急時の役割分担や事業所・社内外の連絡フロー・連絡先リストなどを事前に作成しておくことが重要である。また、これを活用して事故対応訓練を行うことで、緊急時に素早く対応することが可能となる。表 6.1 及び図 6.2 にこれらの作成例を示す。

表 6.1 緊急時の役割分担表の例
緊急事態・XXXX対応チームと役割分担

役割	チームメンバー						
	A田	B多	C木	D上	E賀	G山	H田
指揮命令	◎	○	○				
顧客対応窓口	◎	◎	◎	○			○
社内関連部署との連絡	◎	◎	◎		◎		
規制当局との連絡	◎	◎	◎		◎		
現場対応※	◎	○	○		○	○	
事務処理※	◎	○	○	◎			○
記録	◎	○	○	◎	○	○	○

※現場対応：当該貨物の出庫止めおよび別管理、実在庫検数等

※事務処理：当該貨物の出庫先の特定、システム上の在庫数確認、出庫止め、伝票処理等

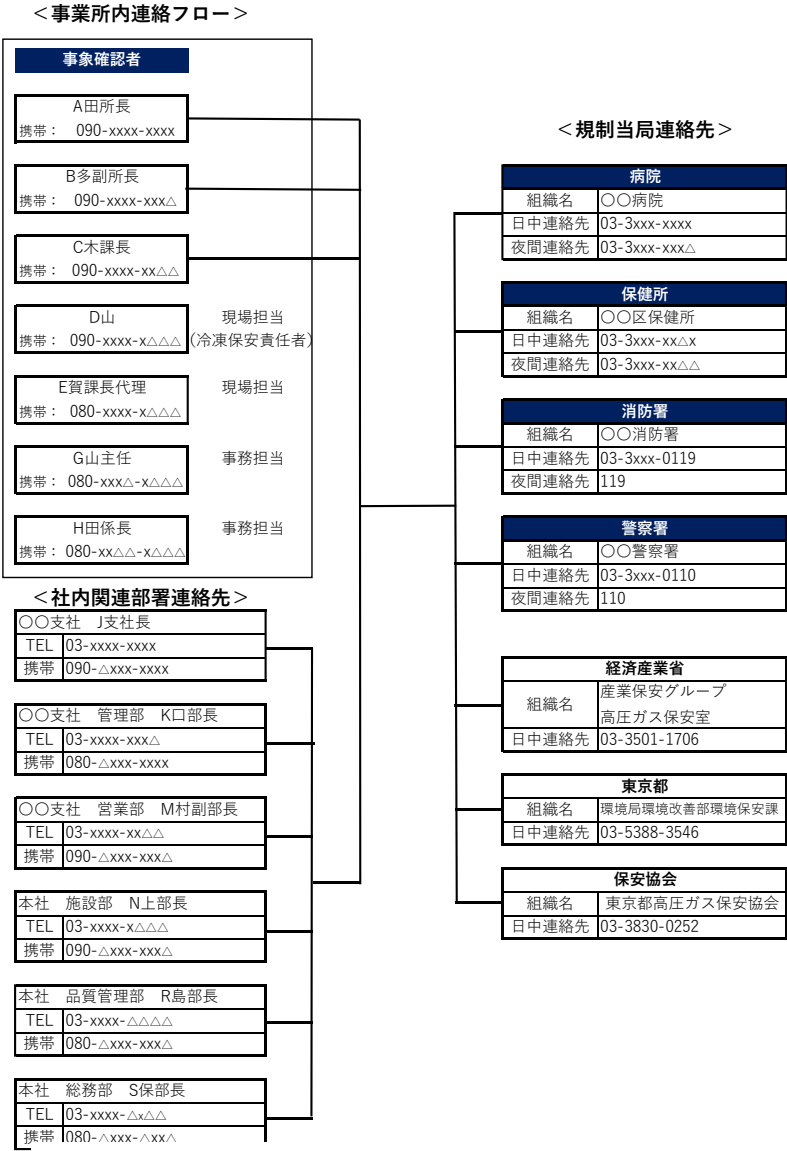


図 6.2 所内連絡フローおよび社内外連絡先リストの例

7 その他、安全管理に必要な事項

7.1 危害予防規程

危害予防規程は、高圧ガス施設の維持及び運転特性等に関する自主基準を定め、高圧ガスによる災害の防止、公共の安全確保を目的として作成する。高圧ガス施設が危険な状況になった際の措置及び保安体制、保安教育、事故対応、設備管理基準などが定められている。

高圧ガス保安法には次のように定められており、第一種製造者は届出義務がある。一方で、第二種製造者は法に定めはないが、自主的な保安管理や事故防止の観点から、危害予防規程に準じた自主保安管理規定を作成し、事業所に応じた保安活動を実施していくことが重要である。

高圧ガス保安法 第二十六条一項

第一種製造者は、経済産業省令で定める事項について記載した危害予防規程を定め、経済産業省令で定めるところにより、都道府県知事に届け出なければならない。これを変更したときも、同様とする。

危害予防規程に記載する内容を以下に示す。図 7.2 に例を示すが、改訂履歴例を本文の前に記載しておく、最新バージョンや変更内容について把握しやすくなる。

様式第32〔第63条関係〕			
危害予防規程届書	一般	〔制定〕 × 整理番号 〔変更〕 × 受 理 年 月 日	年 月 日
名称〔事業所の名称を含む。〕			
事務所〔本社〕所在地			
事業所所在地			
年 月 日			
代表者 氏名 殿			
備考 1 この用紙の大きさは、日本産業規格A4とすること。 2 ×印の項は記載しないこと。			

図 7.1 危害予防規程届書

〔改訂履歴〕

版番号	変更年月日	変更内容	作成	確認	認可
00	2022/1/16	初版届出	A田	B山	C島
01	2023/3/14	全面的に見直し	A田	B山	D居

図 7.2 改訂履歴例

危害予防規程における重要項目は、次のとおりである。

- a) 保安管理
- b) 事業所の長及び取扱責任者の職務
- c) 施設に関する保安管理
- d) 運転、操作等に関する保安管理
- e) 保安教育等

特に、保安管理では、「保安管理体制」として、保安管理組織を定め、危害予防規程を保管する規程・基準類を整備、その管理について明記することが重要である。また、危害予防規程には、「適用範囲」、「用語の定義」、「危害予防規程の目的等」、「異常状態に対する措置」、「大規模な地震に係る防災及び減災対策」、「記録の備えつけ」、「危害予防規程の制定及び変更」、「対象となる事業所が追加で定めなければならない事項」等についても記載する。

以上を踏まえて危害予防規程の各章の項目を作成すると次のようになる。

- 第 1 章 適用範囲
- 第 2 章 用語の定義
- 第 3 章 危害予防規程の目的等
- 第 4 章 保安管理体制
- 第 5 章 事業所の長及び取扱責任者の職務
- 第 6 章 施設に関する保安管理
- 第 7 章 運転、操作等に関する保安管理
- 第 8 章 異常状態に対する措置
- 第 9 章 大規模な地震に係る防災及び減災対策
- 第 10 章 保安教育等・・・7.2 項参照
- 第 11 章 記録の備えつけ
- 第 12 章 危害予防規程の制定及び変更
- 第 13 章 対象となる事業所が追加で定めなければならない事項

二重下線部は必ず記載すべき「重要項目」を示す。

7.2 教育・訓練

設備機器における事故・故障を防止するには、適切な維持管理とともに従業者の資質を向上させ、平素の取扱い、操作を確実に実施できるよう教育を行うことが大切である。また、設備の不備や異常の事態または緊急の事態が発生した場合には、的確に対策措置が行えるよう、その状況に応じた訓練を行うことが重要である。

そのためには「保安教育計画に関する規定」、「保安教育体制」を制定し、これに基づく「保安教育実施計画」、「保安教育実施記録」を作成する。

「保安教育計画に関する規定」の各章の項目を作成すると次のようになる。

- 第 1 章 適用範囲
- 第 2 章 用語の定義
- 第 3 章 保安教育の目的等
- 第 4 章 教育体制
- 第 5 章 教育の資料等
- 第 6 章 教育の方法及び時期
- 第 7 章 高圧ガスの種類ごとの教育
- 第 8 章 対象者別の教育内容
- 第 9 章 協力会社従業者の教育訓練
- 第 10 章 保安教育計画の制定及び変更

また、図 7.3、図 7.4 及び図 7.5 に「保安教育体制」、「保安教育実施計画」のフォーマット、「保安教育実施記録」のフォーマットの参考例をそれぞれ示す。

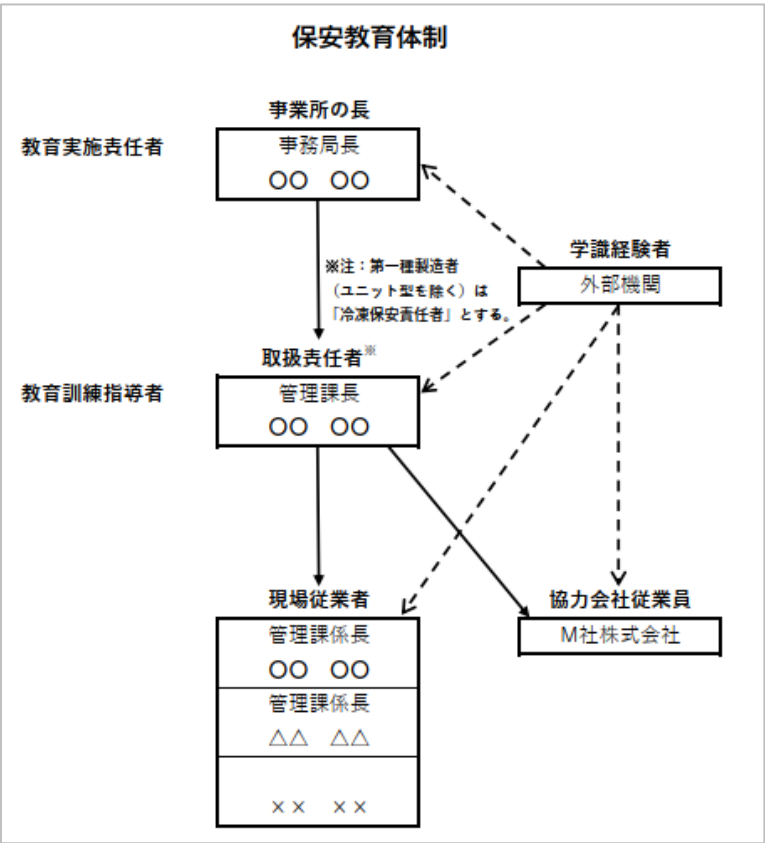


図 7.3 「保安教育体制」例

〇〇年度保安教育実施計画

月	教育内容	教育実施者	対象者
4月	新設備（CO ₂ ／NH ₃ ）についての保安教育	株式会社M社	施設課全員
5月			
6月			
7月			
8月			
9月	消防訓練、避難訓練	消防署	事業所全員
10月			
11月			
12月			
1月	保護具装着訓練	取扱責任者	施設課全員
2月			
3月			

その他

- 1.社内勉強会（第二水曜日）に参加 対象者：施設課全員
- 2.東京都高圧ガス保安協会等の研修会等に積極的に参加
- 3.東京都冷蔵倉庫協会研修会等に積極的に参加

図 7.4 「保安教育実施計画」のフォーマット例

	事業所長	取扱責任者※	担当者

保安教育訓練実施記録

教育方法	
実施年月日	
場所	
講師	
出席者	
題目	
内容	
資料	
備考	

※注：第一種製造者（ユニット型を除く）は「冷凍保安責任者」とする。

図 7.5 「保安教育訓練実施記録」のフォーマット例

7.3 その他

a) 「施設保安管理組織図」の作成

会社や組織が大きく、複雑になると当該事業所だけでなく、本社担当やエリアマネージャー、関連会社など、組織としての保安体制が必要になる場合がある。事業所の保安管理体制とは別に作成する場合は、保安管理体制の一つとして施設や事業所の位置付けや組織の安全上の責任者は誰になるかなど、事業所の職制上の組織を通して保安統括者や保安責任者を中心に一貫した保安体制が機能する組織図として作成することが重要である。

施設保安管理組織図の例を図 7.6 に示す。作成した組織図は事業所の保安管理体制・緊急連絡体制とともに事業所等へ掲示する。

b) 機器メーカー取扱説明書について

冷凍機などの機器には、製造元である機器メーカーが作成した、当該機器用の取扱説明書が竣工図書の一つとして納品されている。取扱説明書は、その製品を安全に使用するための必要事項がユーザーのために明記されており、また、事故や故障時における基本的な対応についても記載されている。事業所の担当者は機器メーカーの取扱説明書から安全についてのインフォメーション、安全に関する基本的な注意事項、設備概要、保守管理マニュアル、警報時の対応等を抜粋して手元に置いておき、必要に応じて参照することも大切である。取扱説明書にはサポート窓口も記載されているため、機器について分からないことを直接問い合わせることも可能となる。紛失・破損などが無いように大切に保管することが重要である。

冷凍施設保安管理組織図

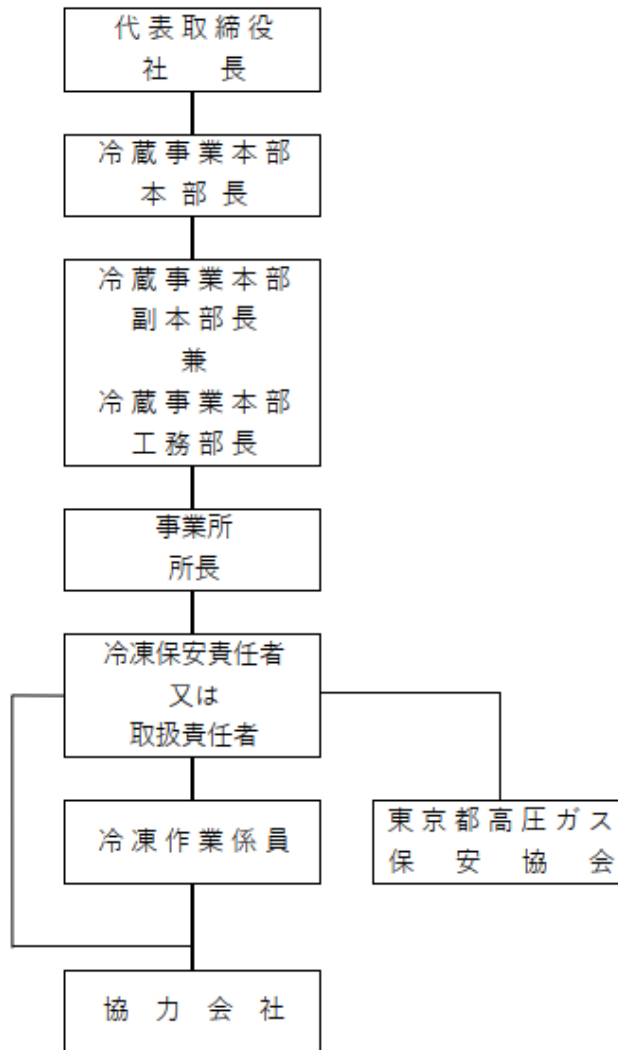


図 7.6 施設保安管理組織図の例

8 事件事例【参考資料】

事件事例 5.3 事件事例から見る対応方法（P23）で紹介した事例についての詳細は、以下のとおり。

これは、過去数年にわたる高圧ガス事故のうちから同様の設備、部位、操作、ガス種などで繰り返し発生しているアンモニア及び二酸化炭素の事故を抽出し、注意すべき事項を加えて参考資料としてとりまとめたものである。

事件事例一覧（目次）

No.	主な内容	頁
事例－1	アンモニア中毒による死亡事故	37
事例－2	アンモニア冷媒噴出による死亡事故	38
事例－3	アンモニア冷媒の漏えい（重傷者 1 名）	40
事例－4	冷凍設備からのアンモニア冷媒漏えい	42
事例－5	アンモニア冷凍設備のフランジ継手からの冷媒漏えい	44
事例－6	アンモニア冷凍設備のバルブ、グランドパッキンからの冷媒漏えい	44
事例－7	アンモニア冷凍設備配管誤切断	45
事例－8	アンモニア冷凍設備の配管からの漏えい	45
事例－9	アンモニア冷凍設備の配管からの漏えい	45
事例－10	アンモニア冷凍設備、エバコンチューブからの漏えい	46
事例－11	アンモニア冷凍設備の閉止弁からの漏えい	46
事例－12	除害設備の管理不良によるアンモニアの拡散	47
事例－13	二酸化炭素冷媒漏えい	47
事例－14	二酸化炭素冷媒漏えい（被害者 1 名）	49
事例－15	二酸化炭素の噴出・漏えいによる死亡事故	51

事故事例

a) 事例番号－1（死亡事故）

事故発生日時 平成 18 年 8 月 6 日 7 時 20 分ごろ

事故発生場所 北海道根室市

事故発生施設 アンモニア冷凍設備 低圧受液器ドレン弁

高圧ガス製造能力 171.2 冷凍トン／日

1) 事故概要

- ① 7 時 20 分、交代勤務者（冷凍保安責任者）が出勤し、機械室に入ったところ、被災者（同代理者）が圧縮機の上に仰向けに倒れているのを発見した。
- ② 被災者を機械室から引き出し救急車で病院に搬送したが、その後、死亡が確認された。
- ③ 現場に到着した根室冷凍技術会の技術者が防毒マスクを装着し、ドレン弁を閉鎖して漏えいを止めた。ドレン弁は 180° 近く開いていた（ドレン弁外面腐食にも注目）（写真 8.1 参照）。
- ④ 当日は日曜日であり、事業所は休日であったため、交代勤務者が出勤するまで被災者以外に出勤者がいなかった。このため、被災者が具体的にどのような作業を行っていたのかは不明であった。



写真 8.1

2) 事故原因

- ① 作業者は、低圧受液器のドレン抜き作業を定期的に行っており、ピットの裏側に回り込んで、ドレン弁を開閉し、ピット内に降りて、ペール缶に泡状の油を受け、機械室の外のドラム缶に排出していた。
- ② 冷凍設備の運転マニュアルは整備されておらず、現場を示す図面も作成されていなかった。低圧受液器は、ピット構造の架台に設置され、背後の狭い位置にドレン弁が設置されている。
- ③ ドレン配管の先端は、ドレン弁から約 1m で切れて、ドレンを直接外部に放出する構造となっていた（写真 8.2 参照）。
- ④ ピット内の作業性が悪い状態で、ドレンの排出作業が行われていた。
- ⑤ 事故当時の詳しい作業状況は不明であるが、ドレン弁が 180° 近く「開」となっていたことから、ドレン排出作業中にアンモニアが突然噴出し、作業者がアンモニア中毒を起こし、被災したと推定される。



写真 8.2

3) 対策

- ① オイルドラムを低圧受液器より低い位置に設置し、ドレン配管を接続することにより、安全性および作業性を改善する。
- ② ガス検知器の整備を行う。

b) 事例番号－2（死亡事故）

事故発生日時 平成 21 年 3 月 9 日 11 時 10 分

事故発生場所 福岡県太宰府市

事故発生施設 アンモニア冷凍施設

事故名称 アンモニア空調設備からの冷媒噴出による死亡事故

高压ガス製造能力 59.45 冷凍トン

機器名 ヒートポンプユニット電子式膨張弁

1) 被害状況

空調用アンモニアヒートポンプユニットの点検作業中、突然、給液用配管にある電動三方弁が開いて整備中の電子式膨張弁から冷媒のアンモニアガスが噴出し、作業員 1 名が死亡、8 名が重軽傷を負った。

2) 事故概要

- ① 事業所には、6 基(1 号機～6 号機)の空調用アンモニアヒートポンプユニットが設置されている。
- ② 平成 21 年 2 月 23 日から、毎週月曜日の休日を利用して、1 日 1 台の予定でアンモニアヒートポンプユニットの点検を実施し、計 6 週間で空調設備の整備、部品交換を予定していた。
- ③ 発災当日、3 基目のユニット(2 号機←5 号機←3 号機)の整備作業を実施していた。
- ④ 作業員 7 名にて作業手順書に則り、定期メンテナンスを実施することとなっていた。
- ⑤ 9:30 危険予知ミーティングを開始したのち、ブラインクーラーの給液ラインにある電磁弁の交換、および電子式膨張弁の部品交換を行うため、9:45 から、ライン配管中のアンモニア冷媒を温水器(E-03)へ回収した。
- ⑥ ライン前後の手動弁を閉止して、開放ライン中の残ガスは、真空ポンプによりガス抜きし、水による除害処理を 3 回繰り返した。
- ⑦ 配管内に残ガスがないことを確認したのち、電磁弁(SOV-01 および SOV-05)を配管から取り外し、ユニットケース外で作業していた。
- ⑧ ⑦とは別の作業員Aが扉を開放したユニットケース内部に入って、電子式膨張弁の上部を取り外し、部品の交換作業を行っていた。
- ⑨ 作業員Bが、ヒートポンプの制御ソフトの点検のため、制御盤とノートパソコンを接続し、回路を確認していた。その後、制御盤のシーケンサ「RUN/OFF」スイッチを OFF にした。
- ⑩ ほぼ同時に、電源三方弁が切り替わり、整備中の電子式膨張弁からアンモニアガスが噴出し、ユニットケース内の作業員 1 名が多量のアンモニアを吸い込みその場に倒れた。
- ⑪ 作業員Bは異常発生に気づき、RUN/OFF スwitchを元に戻した。
- ⑫ 近くで作業していた別の作業員がユニットケース内に入ったが、被災者を救出できずいったん待避して、防毒マスクを装着し救助作業にあたった。



写真 8.3 機器の設置状況



写真 8.4 電磁弁と電子式膨張弁の設置状況



写真 8.5 制御ソフト点検の状況

- ⑬ 倒れた 1 名を救助したが、呼吸停止状態であった(翌日、死亡を確認)。
- ⑭ この他、救出作業に当たった作業員 6 名と管理会社従業員 2 名の計 8 名が被災し、1 名が重傷、7 名が軽傷を負った。

3) 事故原因

- ① 前週にも 5 号機の電子式膨張弁、電磁弁などのメンテナンスを実施して、安全裡に作業が終了していた。
- ② 弁のメンテナンス作業とは別に、空調施設の安定運転を目指して、制御ソフトの点検作業が行われていた。
- ③ この事故までは、制御電源を切って、電磁弁、電子式膨張弁の取り外し、分解整備を行っていた。この作業が終了した後、電源を投入し、制御ソフトの変更、確認作業を行っていた。
- ④ ところが、発災当日、現場監理者の判断で、これらの作業を同時並行で行うことに変更して、電子式膨張弁などの分解整備と制御ソフトの変更、確認作業が同時に行われていた。このとき、制御電源は ON の状態であった。
- ⑤ 制御ソフトの変更作業の過程で、シーケンサの RUN/OFF スwitch を操作したので、連動して電動三方弁が動いて流路が開き、空気熱交換器からの配管に滞留していた液化アンモニアガスが瞬時に、噴出漏えいした。
- ⑥ 白煙があがったので、直ちに異常に気付き、スウィッチを戻して、電動三方弁を元の状態に戻した(この間約 20kg 噴出)。
- ⑦ 電子式膨張弁などのメンテナンスと制御ソフトの変更作業は同時並行で行わないことになっていたが、手順書では明確に示されていなかった。
- ⑧ この施設にはアンモニアが漏れた場合、瞬時に洗浄する安全装置が設置されていたが、保守点検作業のため解除していた。



写真 8.6 電子式膨張弁の外観
(20A フランジ面間 194mm)

4) 再発防止対策

- ① 電磁弁、電子式膨張弁のメンテナンスと制御ソフトの点検作業を同時に行わない。
- ② 電磁弁、電子式膨張弁のメンテナンスは、必ず制御電源を切ってから実施する。
- ③ ユニットケース内で電磁弁、電子式膨張弁の取り外しを行う場合は、残留する冷媒を考慮し、防毒マスク等の防護具を装着して作業にあたる。
- ④ 電磁弁、電子式膨張弁の取り外し後は、閉止フランジを取り付ける。
- ⑤ 弁類の分解整備は、安全を確保するため、ユニットケース外で行う。
- ⑥ 作業は必ず 2 人以上で行い、そのうちの 1 人は作業指揮者として、状況を監視し指示を行う。作業指揮者は直接作業を行わない。
- ⑦ 上記について、作業手順書に明記し、確実に実施するため、関係者へ教育を行う。
- ⑧ ユニットケース内のその他の作業に際しても、上記に準じて安全対策を取る。
- ⑨ 危害予防規定に基づく防災訓練とは別に、ガス漏れを想定した防災訓練を年 1 回定期的に実施する。
- ⑩ 3 ヶ月ごとに空気呼吸器、ガスマスクなどの取り扱いを繰り返し訓練するとともに、外部から救護に向かう際は、屋外機設置場所に入る前に安全装備の装着を行うこととし、装着訓練を実施する。

5) 教訓

- ① 毒性ガス、可燃性ガスの開放工事では、ラインの縁切り(仕切板挿入、作業ラインの孤立化など)、自動バルブの制御電源断、駆動源閉止、閉止弁の施錠など、誤開放、誤放出などを防止するための措置を徹底し、実施状況を確認することが重要である。
- ② 危険性の高い開放工事を実施する際は、危険の及ぶ範囲内の並行作業を禁止する。関係者全員に、作業の危険性について情報を共有すると共に、常に報告、連絡、相談ができるようお互いの意思疎通を図ることが重要である。さらに、緊急時を想定した訓練を継続する必要がある。

- ③ 事故発生前に実施した 3 号機、5 号機の制御ソフトの確認作業では、電磁弁、膨張弁のメンテナンスが終了した後、制御ソフトの点検作業が行われていた。このとき、弁のメンテナンスでは制御電源を切って実施していた。作業内容を変更する場合は、変更後の安全性を検証することが重要である。この場合、個人の判断ではなく、変更内容を検討するための組織、仕組みを作り、総合的に検討して判断を下すべきである。作業変更と共に、作業体制の変更を行う場合でも、安全性を検証したうえ、作業を確実に実施するためには、文書による確認、申し送り、引き継ぎが必要である。
- ④ 作業前の危険源の洗い出し、危険予知活動はトラブル、事故防止の基本である。特に、電子制御機器では、電動弁、電磁弁などのホームポジション、電源 ON-OFF 時の挙動を熟知する必要がある。
- ⑤ この装置は、環境・省エネに配慮して、アンモニアヒートポンプ方式としたものであるが、アンモニアは毒性ガスであり、あらゆる場面で事故防止を図る必要がある。特に非定常作業時の安全確保が重要である。また、フルオロカーボンであっても、狭い空間に大量漏えいすれば、酸欠の危険が伴うので注意しなければならない。
- ⑥ 電磁弁、電子式膨張弁のメンテナンス作業にあたって、制御電源を切ることはマニュアルに明記されていなかった。また電子式膨張弁の整備手順についても明記されたものがなかった。あいまいな手順書、マニュアルはトラブル、事故が顕在化しているので、安全を基本とする手順書、マニュアルを定め、関係者に手順書などを遵守することがいかに大切かを教育し、徹底させることが重要である。
- ⑦ 毒性ガスが噴出する恐れのある場合、防毒面、呼吸器などを常に装着して作業することが決められていても、現場では、作業性が悪いことを理由に守られていないことがある。安全第一で決められたことは、関係者に危険防止のためのノウハウを教育し、徹底させる必要がある。
- ⑧ 過去に発生した事故、たとえば空気作動弁が誤作動して火災となり、4 名が死亡した事故、耐圧試験中に被験体が破裂し、並行作業をしていた作業員が巻き添えとなり 1 名が死亡した事故など、類似の事例に関する事故情報を収集し、教訓を生かして、類似災害の防止に努めるべきである。

c) 事例番号－3（情報伝達の不備）

事故発生日時 平成 31 年 3 月 26 日(火)11 時 45 分

事故発生場所 神奈川県川崎市

事故施設名称 冷蔵倉庫(その他)

事故名称 アンモニア冷媒漏えい

高圧ガス製造能力 132.8 トン／日

機器名 圧力発信器の止め弁

1) 被害状況 人的被害:重傷 1 名 物的被害:なし

2) 事故概要

- ① 事業所は、倉庫内の冷凍設備の定期点検を請負業者に依頼した。
- ② 請負業者の作業員は、圧力発信器の止め弁を閉止せずに圧力発信器を取り外したところ、冷媒ガスのアンモニアが漏えいし、被災した。アンモニアの漏えい量は、推定で 9kg である。
- ③ 事故の概要を時系列で記す。
 - 3 月 25 日(月) 請負業者は、職長を含む 4 人体制で倉庫内の冷凍設備 8 台のうち 2 台の圧力発信器の示度確認作業を実施し、完了した。
 - 3 月 26 日(火)
 - 8 時 30 分頃 請負業者は、昨日と同様に 2 台の圧力発信器の示度確認作業を開始し、事業所の設備担当者に作業開始と作業内容の流れを口頭で連絡した後、危険予知活動を実施した。
 - 8 時 45 分頃 職長は、圧力発信器の止め弁の閉止作業を実施した。高圧と中圧の圧力発信器の止め弁は閉止したが、低圧の圧力発信器の止め弁は、高所にあるために閉止できなかった。職長は、その旨を作業員に伝え忘れた。

- 9 時 40 分頃 作業員は、中圧の圧力発信器の止め弁が閉止していたことから、職長が低圧の圧力発信器の止め弁も閉止したと思い込み、閉止の確認をせず、低圧の圧力発信器を取り外した。
- 9 時 45 分頃 低圧の圧力発信器を取り外した箇所から、冷媒ガスのアンモニアが漏えいし、作業員が被災した。ガス漏れ音により他の作業員が気づき、被災した作業員を救助したが、漏えい防止措置はできず、現場から避難した。
- 10 時 1 分頃 職長が 119 番通報した。
- 10 時 3 分頃 保護具を現場近くに用意していなかったため、サービス車に積載していた保護具を装着し、ガス漏えい箇所の周辺を確認後、低圧の圧力発信器の止め弁を閉止した。
- 10 時 20 分頃 消防車、救急車、警察が到着し、各々が対応した。

3) 事故発生原因の詳細

- ① 作業手順書によると、職長は作業をせず、作業員を監督することになっているにも関わらず、作業員とともに実作業に当たっており、作業の指揮監督が不十分であった。
- ② 被災した作業員は、圧力発信器の取り外し作業を実施してよいかどうかを職長に確認した。職長は、伝え忘れた止め弁の閉止を含め、作業ができると判断し、了承した。
- ③ 被災した作業員は、中圧の圧力発信器の止め弁が閉止していたので、低圧の圧力発信器の止め弁も閉止していると思い込み、止め弁の閉止後に貼付けることになっている操作禁止テープの有無を確認しなかった。
- ④ 請負業者は、作業手順書を現場に持参せず、危険予知活動の日報を当日に確認したのみであった。
- ⑤ 請負業者は、定期点検作業では事故は起こらないと思い込み、保護具(防毒マスク)を準備せず、作業を行っていた。
- ⑥ 請負業者は作業計画書を文書化しておらず、事業所に作業計画を口頭で説明したのみで、事業所は作業内容を十分に把握していなかった。このため、事業所は第3者に作業場所と作業内容の周知ができず、事故後の避難に混乱をきたした。

4) 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 請負業者が作成した作業計画書及び作業手順書を文書により確認し、作業の承認をしなければ、請負業者は作業ができないこととした。
- ② 承認した作業計画書の情報は、事業所内で作業を行う別会社にも共有することとした。
- ③ 事業所の受付に緊急避難経路を掲示し、来訪者にも明示し、有事のときにも早急に避難できるようにした。【請負業者】@職長は、自ら作業するのではなく、作業監督に専念することとした。
- ④ 被災した作業員は入社 1 年目の若手社員であったことを踏まえ、入社 2 年目までの若手社員を対象に安全管理の研修を実施した。
- ⑤ 経験の浅い若手社員に一人での作業を任せず、職長又は経験者の監視のもとに作業に当たらせることとした。
- ⑥ 職長級を対象とし、アンモニアの取扱いに係る講習を実施することとした。
- ⑦ 作業手順書及び保護具は必ず現場に持参するとともに、危険予知活動のチェック表に保護具などを追加した。

5) 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① 事業所は請負業者に全てを任せるのではなく、高圧ガス製造事業所であることをより一層自覚し、保安の確保に努める必要がある。
- ② 事業所は、緊急事態を想定した対応訓練を定期的実施するとともに、緊急事態への準備及び対応について文書化し、必要に応じて見直すことが望まれる。
- ③ 工事中、修理中の漏えい事故防止は特に重要であり、作業手順の文書化、情報の共有、危険予知活動等を通じて、工事中、修理中の漏えい事故防止を徹底する必要がある。
- ④ 請負業者は、定期的な作業であっても作業手順書を現場に持参し、作業手順書通りに作業を行うことを徹底する必要がある。
- ⑤ 止め弁の閉止確認(操作禁止テープの貼付け)が、作業手順書に規定されていなかった。作業手順書が実際の作業に則っているかどうかについて、定期的に見直しを行う必要がある。

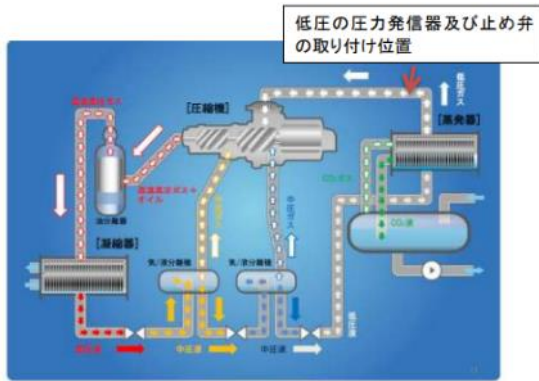


図 8.1 アンモニア冷媒フロー



写真 8.7 機械室内の冷凍設備設置状況



写真 8.8 冷凍設備の全体図



写真 8.9 低圧の圧力発信器及び
操作禁止テープ貼付け前の止め弁



写真 8.10 低圧の圧力発信器取り付け部

d) 事例番号ー4 (シール管理不良)

事故発生日時 平成 28 年 2 月 8 日(月)20 時 36 分

事故発生場所 佐賀県佐賀市

事故施設名称 冷凍設備

事故の呼称 冷凍設備からアンモニア漏えい

高圧ガス製造能力 125.42 冷凍トン／日

機器名 メカニカルシール

1) 被害状況 人的被害なし 物的被害なし

2) 事故の概要

- ① 事故発生時は製造ラインの生産が終了し、当該冷凍機は停止中であつた(アンモニア／炭酸ガス冷凍機であるため、炭酸ガスの圧力上昇を防ぐため間欠運転は自動で行っている)。

- ② 20:36 頃、冷凍機の機械室から冷媒漏れの警報が発報したため、現場を確認し、漏えい検知器の指示値が 100ppm 程度を指示していた。除害装置が稼動していることを同時に確認した。
- ③ 22:00 頃、漏えい検知器の指示値が 50ppm まで低下したため、保護具を着用し室内に入り、漏えい箇所の特定作業を開始したところ、冷凍機下にオイル漏れ(冷媒の漏えい)を確認した。
- ④ 漏えい箇所の調査を実施した結果、圧縮機のカバープレート部分からの漏えいと判明した。漏えいは軽微で、かつ除害装置の作動により周辺への漏えい及び、人的被害はなかった。

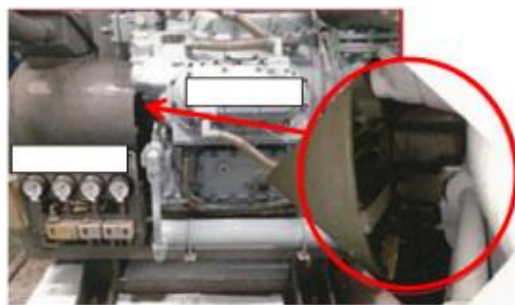


写真 8.11 圧縮機とメカニカルシール部の外観

3) 事故発生原因の詳細

- ① 圧縮機のカバープレートを調査した結果、ベローズ状ゴムパッキンにカーボンのカスが付着していた。また、パッキン面に肌荒れを起こしていた。このため、圧縮機内部の冷媒をシールできず、オイル漏れが生じた。(当該メカニカルシールは前回の交換から、7,155 時間使用。メーカー推奨の交換周期は、15,000 時間で約半分の使用であった。)
- ② 何故カーボンのカスが発生したかについて、冷凍機メーカーからの回答はなかったが、他の冷凍機メーカーからの情報では、冷媒の清浄度が低下した状態で運転を継続した場合、または長期の停止により油膜切れを起こした状態で運転を開始すると、このような事象になる可能性があるとのことであった。



写真 8.12 冷媒の漏えい状況

なお、当該メカニカルシールの他の使用品についても調査をしたところ、シールリングの厚みは 10.95 mm あり、許容範囲内であった(新品は 11.0 mm、使用限度は 10 mm)。カバープレートの摺動面とシールリングの当たり面にキズ、摩耗などは見られなかった。

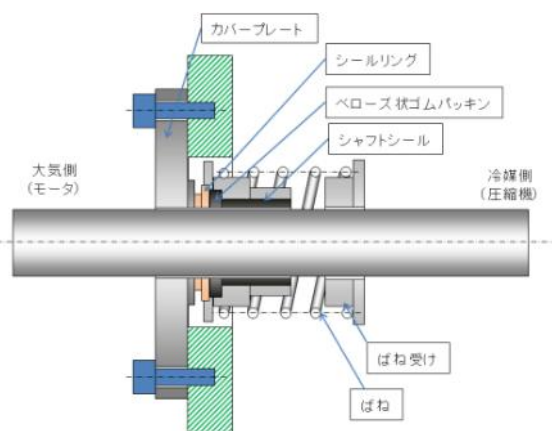


写真 8.13 メカニカルシールの概略図



写真 8.14 ベローズ状ゴムパッキンのあたり面



写真 8.15 シールリング当たり面

写真 8.16 カバープレート当たり面

4) 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 同一冷凍機(8 台)の補修計画を見直し、前回のメカニカルシール交換から経過が長い機器から交換を実施する。
- ② メカニカルシールからのオイルの漏えい状況を確認する(運転中 1 分間に 2～3 滴が適正な状態)。

5) 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① メカニカルシールはメーカー推奨の交換周期以内であっても、停止期間が長い場合、又は潤滑油の清浄度が低下した状態で運転を継続した場合に、使用状況によってはシール漏れが生じる。定期的に運転中の潤滑油の滴下量を確認し、漏えいが生じる前に交換する必要がある。

e) 事例番号－5 (管理不良・劣化)

事故発生日時 平成 18 年 6 月 20 日

業種 食品

事故発生設備 アンモニア冷凍設備 フランジ継手

1) 事故概要

- ① アンモニア設備の液戻し装置において、フロートスイッチの下部取付けフランジ式継手からアンモニアが漏えいした。
- ② 原因は、フランジ式継手と取付けボルトの腐食および振動による緩みとみられる。
- ③ 設備は昭和 37 年に設置されたが、定期的な維持管理がなされていなかった。
- ④ アンモニア設備には、フランジ式継手溶接式継手が多用されている。
フランジ式継手は、ボルトの片締め、振動によるボルトの緩み温度変化による変形などによって、フランジ面圧が不均一となって漏えいしやすい。
フランジ式継手の締結部では、ガスケットの劣化、ボルトの腐食など、複雑で複合的な事象の影響を受けている。

2) 対策

- ① アンモニア設備では、フランジ式継手の締結管理が重要であり、定期的な点検の実施が必要である。
- ② フランジ式継手の締結部の定期的な点検計画の作成と実行しボルトの片締め、緩み、ガスケット当たり面の状況など、締結状態の確認行う。
- ③ ガスケットの劣化の確認と定期的な交換の実施行う。
- ④ フランジ式継手のボルトおよび溶接式継手の腐食の確認行う。
- ⑤ 今後は、日常点検を強化し、腐食、劣化の早期発見に努め、ボルトの交換周期を検討することとした。

f) 事例番号－6 (劣化)

事故事例番号 1

事故発生日時 平成 18 年 11 月 11 日

業種 冷凍、冷蔵

事故発生設備 アンモニア冷凍設置バルブ、グラントパッキン

1) 事故概要

- ① 冷凍設備の蒸発式凝縮器を交換するため、高圧受液器のバルブ(50A)を閉じたところ、冷媒であるアンモニアが少量漏えいした。
- ② 原因は、グラントパッキンの経年劣化によるとみられる。
- ③ 閉止弁、制御弁などのグラントパッキンは、長期間の使用、温度変化により、摩耗、収縮、劣化などによりアンモニアが漏えいする恐れがある。
- ④ グラントの維持管理には十分な注意が必要である。
- ⑤ グラントの維持管理計画を検討作成し、確実に実行行う。
- ⑥ グラントパッキンの劣化状況を点検し、必要に応じて交換する。
- ⑦ 安全弁の元弁など、通常開閉しない閉止弁の点検行う。
- ⑧ 今後は、グラントパッキンが劣化していたバルブ、および同様の劣化が考えられるバルブについて、取換え工事を実施することとした。

g) 事例番号-7 (認知確認ミス)

事故発生日時 平成 15 年 2 月 9 日

業種 冷凍、冷蔵

事故発生設備 アンモニア冷凍設備配管

1) 事故概要

- ① アンモニア給液配管の手動弁の取換え工事において、アンモニアの抜き取り措置をすでに実施した配管を切断するところを誤って、ヘアピンコイル側のバイパス液配管を電動のこぎりで切断した。
このため、アンモニアが漏えいし、通路および冷蔵庫内に充満した。
- ② この事故の原因は工事を行った第 6 系統の配管が、第 1～第 5 系統(異常なく工事終了)の配管構成とは異なっていた。
作業監督者が切断個所をマーキングせずに指差し指示により作業員に切断指示を行ったこと、作業員が誤認(第 1～第 5 系統の配管構成と同じと思い込み)してバイパス液配管を切断したことが重なって発生した。

2) 対策

- ① 工事管理不良で、工事中、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、事故防止を徹底する必要がある。
- ② メンテナンス事業者が工事計画書を作成し、冷凍事業者およびメーカーの承認を得る。
- ③ 冷凍事業者はメーカーおよびメンテナンス事業者を含め、責任範囲、情報の共有、緊急時対応などを明確に定め、工事安全の徹底を図る。
- ④ 工事中、修理中は、バルブ単独の閉止では漏えいの危険があるため、閉止板、仕切り板などで確実に縁切りする。
- ⑤ 気密試験は、安全に配慮して不活性ガスを使用する。
- ⑥ アンモニアは毒性ガスであり、防毒マスクなどを常備し、工事中、修理中の人身事故の防止を図る。

h) 事例番号-8 (劣化・腐食)

事故発生日時 平成 14 年 7 月 15 日

業種 冷凍、冷蔵

事故発生設備 アンモニア冷凍設置配管

1) 事故概要

- ① 廃止したアンモニア設備からアンモニアが漏えいした。
- ② この設備は使用停止したときにアンモニアの抜き取り作業を実施していたが、冷蔵庫内のヘアピンコイル配管の閉鎖系部分に留った冷凍機残油に溶けていたアンモニアが長期間で気化、充満し、配管の腐食減肉により漏えいしかと推定された。

2) 対策

- ① 休止設備の管理不良休止中のアンモニア設備(廃止設備を含む)からの漏えい事故を防止する。
- ② 休止設備は、漏えいの有無を点検する。
- ③ 休止設備は、休止期間に応じて、アンモニア冷媒を抜き、窒素置換するなど、安全措置を実施する。

i) 事例番号-9 (その他・自然災害)

事故発生日時 平成 17 年 3 月 20 日

業種 冷凍、冷蔵

事故発生設備 アンモニア冷凍設備、配管

1) 事故概要

- ① 福岡県西方沖地震のため地盤沈下が発生し、製氷槽のタンク用ブラインクーラーにある油抜き配管のバルブ下部より配管が破断して、冷凍機冷媒のアンモニアが漏えいした。

- ② バルブのフランジ式継手からもアンモニアが漏えいしていた。
- ③ 漏えい量は約 2,000 kg とみられる。
- ④ ブラインクーラーと配管ブラケットが別基礎であったため沈下量が異なり、そのため配管とバルブに無理な力が加わり、配管が破断に至ったとみられる。

2) 対策

東北関東大地震、東海地震、東南海地震、南海地震など、日本列島では活断層、プレート型を問わず巨大地震の危険にさらされている。普段から、いつ起こるかわからない地震による損傷に備えることが重要である。

- ① 冷蔵倉庫内の積み荷の転落、転倒による人的被害および設備の破損を防止するために積み荷を固定する。
- ② 連結する機器が異なる基礎上に設置されていると、地盤沈下による変形で過大な力が生じ、機器が破損する場合がある。
- ③ 基礎が異なる機器の連結方法に注意する必要がある。
- ④ 建物と配管の振動モードが異なるので、壁貫通部は損傷を受けやすく、配管引き回しに注意する。

j) 事例番号-10（劣化・腐食）

事故発生日時 平成 20 年 6 月 16 日

業種 一般化学

事故発生設備 アンモニア冷凍設備、エバコンチューブ

1) 事故概要

- ① 工場において、運転員がパトロールを実施していたところ、アンモニア設備のエバコン（散水式）に微量なアンモニア漏れが発生しているのを発見した。
- ② チューブを確認したところ、内面腐食はなく、外面腐食によって溶接線近傍にピンホールが発生したことが判明した。
- ③ エバコンチューブは、外面に全面腐食が発生する環境であった。
（湿潤個所：30～100℃、乾燥個所：100～150℃）
- ④ チューブに付着していたスケールの下で溶接線近傍が選択的に腐食し、孔食が発生したために漏えいに至ったと推定される。

2) 対策

アンモニア設備の機器、配管、バルブなどは、経年使用で損傷、腐食する。
設備の損傷、腐食の早期発見、早期改善に努めることが重要である。
定期的な点検、検査を行い、交換部品の適切な管理を行うことが重要である。

- ① 定期点検、定期検査の確実な実施
- ② 交換部品の交換基準の作成と適切な交換
- ③ 外面腐食は、乾湿が繰り返される部位、湿潤状態にある部位、壁貫通配管、保温材下配管、支持金具の部位などに注意して管理する。
- ④ エバコン（蒸発式凝縮器）、冷却器などの伝熱管の腐食防止の観点から、循環水の水質を管理する。

k) 事例番号-11（誤作動）

事故発生日時 平成 20 年 9 月 14 日

業種 食品

事故発生設備 アンモニア冷凍設備閉止弁

1) 事故概要

- ① アンモニア設備の冷媒回収作業を 9 月 13 日に行った。
- ② 翌日 13 時ごろ、アンモニア設備からアンモニア漏れが確認された。
- ③ 原因は、冷媒回収時、給液電磁弁の作動不良により、配管に冷媒が残って液封状態となっていた。このため、液封となっていた個所の閉止弁に許容圧力以上の圧力が加わり、閉止弁が破損したと推定した。

2) 対策

機器、配管などの内部に低温の液体アンモニアを閉じ込めてしまうと(液封)、温度が上昇することにより、過大圧力が発生する。このため、弁、配管が破裂する。低温の液体を扱うアンモニア設備では十分に注意しなければならない。

- ① 液ポンプ回り、ヘッダー管、液連結配管などは、バルブ閉止状況によっては、液封が発生しやすいので取扱いに注意する。
- ② アンモニア設備の図面を確認し、低温の液体アンモニアが封入される恐れのある配管、設備を洗い出し、圧力逃がしラインを設置して、閉じ込め区間をなくし、液封の発生を防止する。

l) 事例番号-12 (劣化)

事故発生日時 平成 16 年 8 月 5 日

業種 冷凍, 冷蔵

事故発生設備 アンモニア冷凍設備, 除害設備

1) 事故概要

低圧受液器が設定圧力を超えたため安全弁が作動し、アンモニア冷媒が放出管から除害設備へ流入した。しかし減圧されても安全弁が閉止せず、また除害設備内の中和液も不足していたため、放出したアンモニアが吸収されず、放出管開口部より周辺大気へアンモニアが拡散した。除害設備は適切に設置されていたが、検査時および事故当時は中和液層に十分に水が入っていない状態であった。

2) 対策

操業時、休止時にかかわらず常に除害可能状態にすることが重要である。

m) 事例番号-13 (誤開閉)

事故発生日時 平成元年 11 月 2 日(土)16 時 00 分頃

事故発生場所 佐賀県佐賀市

事故施設名称 冷凍設備(その他)

事故の呼称 二酸化炭素冷媒漏えい

1) 被害状況 人的被害:死亡1名 物的被害:なし

2) 事故の概要

- ① 事業所の冷凍保安責任者(以下「責任者」という)。は、倉庫内の冷凍設備の安全弁の交換作業を実施した。
- ② 責任者は、安全弁の止め弁を閉止せずに安全弁を取り外したため、冷媒ガスの二酸化炭素が漏えいし、二酸化炭素を吸い込んだ責任者が死亡した。
- ③ 二酸化炭素の漏えい量は推定で 800kg である。
- ④ 事故の概要を時系列で記す。
- ⑤ 15 時 30 分頃責任者は、電話にて定期自主検査を委託している請負会社に安全弁交換の方法と取り外す際の注意点を相談し、冷凍設備の安全弁交換のため機械室に向かった。
- ⑥ 15 時 45 分頃責任者は、請負会社に連絡しつつ設備を緊急停止し、安全弁の止め弁を閉止したと勘違いし、交換作業を実施した。
- ⑦ 16 時 00 分頃安全弁を取り外した箇所から、冷媒ガスの二酸化炭素が漏えいし、作業員が被災した。
- ⑧ 17 時 00 分頃責任者と連絡が取れないため、他の所員が事業所内を捜索した。
- ⑨ 19 時 40 分頃事業所内を捜索していた所員が冷凍設備の機械室扉から明かりが漏れていることに気付き、機械室内部に入室したところ、2階部分に責任者が倒れているのを発見した。
- ⑩ 冷凍設備はアンモニアと二酸化炭素の2元冷凍設備であり、毒性ガス(アンモニアガス)の漏えいの恐れがあるために避難して、救急車、消防の到着を待った。
- ⑪ 20 時 40 分頃責任者はレスキューにより救出され、病院へ搬送された。
- ⑫ 22 時 40 分頃搬送先の病院において、責任者の死亡が確認された。

3) 事故発生原因の詳細

- ① 責任者(被災者)は、第三者検査機関の施設検査(法的な検査ではない)に備えて、定期自主検査時に交換した二酸化炭素の受液器(レシーバ)安全弁を、元の安全弁(写真 8.17 参照)に交換するため、機械室(写真 8.18 参照)1 人で向かった。
- ② 交換前の安全弁は、事業所の冷凍設備内温度を変更してから頻繁に作動し、音鳴りがあったため、2019 年 8 月に請負会社に圧力設定値の高い安全弁(同型の安全弁で、請負会社にて圧力を設定)への交換を依頼し、交換作業を実施していた。
- ③ 責任者は冷凍設備を緊急停止した状態で交換作業を開始し、安全弁交換の前に止め弁を閉止したと勘違いしていた。
- ④ 安全弁交換の作業経験のない責任者は、止め弁のシールキャップ(写真 8.19 参照)を締めたことにより、止め弁を閉止したと誤認してしまった。このため、止め弁が全開状態で安全弁を取り外し、安全弁接続部より二酸化炭素が漏れ出した。
- ⑤ 作業場であるコンテナ2階には換気扇、通気口、アンモニアガス検知器が設置してあったが、二酸化炭素ガス検知器の設置はなかった。また、事故当日は、換気扇は回っていたが、通気口は開いていなかった。
- ⑥ 責任者は、保護具(空気呼吸器)とポータブルの漏えい検知器を持たずに、作業を行っていた。
- ⑦ 冷凍設備から二酸化炭素が漏れ出した際の緊急時マニュアルを、作成していなかった。また、空気呼吸器は現場事業所に常備していたが装着訓練は実施しておらず、使用することができなかった。



写真 8.17 安全弁



写真 8.18 機械室全体



写真 8.19 安全弁の止め弁シールキャップ
(有:左図 無:右図)

4) 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 安全弁などの保守作業は、請負会社に依頼し、所員による作業を禁止した。また、冷凍機械取扱マニュアルを作成し、機械室と現場事業所に設置した。
- ② 機械室に出入する場合には、二酸化炭素が検知できる装置(ポータブル)を携帯することとした。
- ③ 冷凍設備に係るリスクアセスメントを実施し、災害の再発防止に向けた取り組みを行い、さらに冷凍機緊急時マニュアルを作成し、事業所内に設置した。
- ④ 安全衛生教育として、3 ヶ月に 1 回の空気呼吸器の装着訓練を実施することとした。

5) 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① 冷凍設備の専門性の高い部品の不具合と補修は、請負会社に任せる。
- ② リスクアセスメントを充実させ、非常時の教育訓練を実施する。

- ③ 作業マニュアルを作成し、1人作業を禁止し、2人以上での作業を必須とする。
 - ④ 安全弁の止め弁にはシールキャップが付けられている場合があり、シールキャップ自体をバルブハンドルとして使用させないように、注意が必要である。
 - ⑤ 事業者、高圧ガス設備の製造者、設置者などの専門知識、経験を有する者は、高圧ガス設備の取扱い経験がない者に、適切な設備の図面、作業手順マニュアルなどの明示と作業方法の教育なしに、高圧ガス設備を取扱う一切の行為をさせてはならない。
- 備考 シールキャップは、止め弁に外部漏れ、損傷などの防止を目的として設置されている場合がある。止め弁の操作は、シールキャップを外し、バルブレンチを使用して行う。

n) 事例番号-14（設計不良）

事故発生日時 令和4年1月5日(水)7時45分

事故発生場所 静岡県島田市

事故施設名称 NH₃/CO₂二元冷凍設備

事故の呼称 二酸化炭素冷媒漏えい

1) 被害状況 人的被害:軽症者1名 物的被害:なし

2) 事故の概要

- ① 食品工場において、NH₃/CO₂二元冷凍設備のスタートアップ作業中、蒸発器の冷媒コイルから漏えいし、真空チャンパ内に滞留していた二酸化炭素が、バルブ(V20)の開操作により食品の製造エリアに放出された(写真 8.20 参照)。

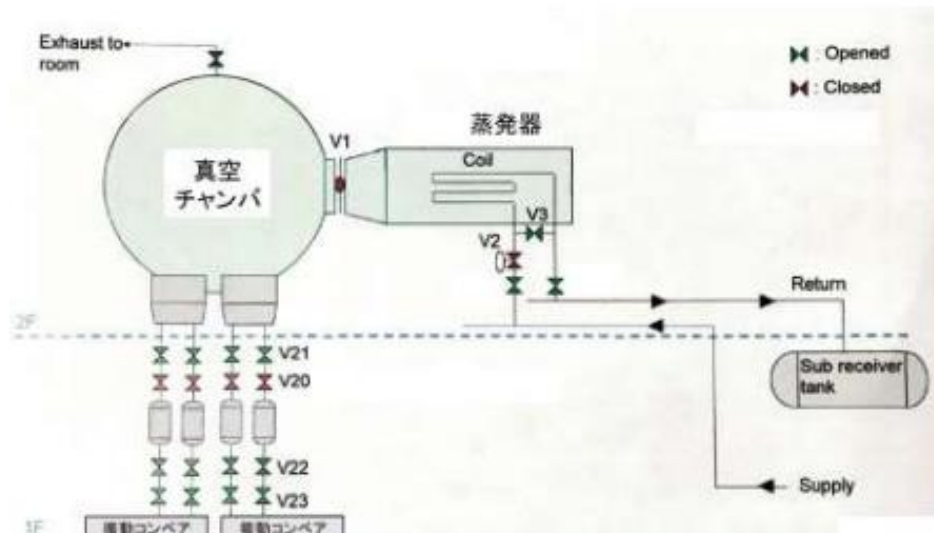


写真 8.20 食品の製造エリアの概要

- ② 食品の製造エリアを巡回点検していた運転員が酸欠で倒れ、病院へ救急搬送された。
- ③ 以下、事故の概要を時系列で記す。

令和3年

11月30日(木) 製造課は、年末休暇のため、食品製造ラインの運転を停止した。

12月7日(火) 製造課は、バルブ(V1)を開放し、携帯型ガス漏えい検知器を用いて、二酸化炭素濃度を測定した。製造課は、蒸発器から冷媒ガスが漏えいしている可能性が高いと判断し、冷凍設備メーカーに検査を依頼した。

12月21日(火) 冷凍設備メーカーは、NH₃/CO₂二元冷凍設備の点検を実施し蒸発器から二酸化炭素が漏えいしていると判断したが、漏えい箇所の特定はできなかった。工務課は、冷凍設備メーカーの報告を受け、後日、改めて詳細な検査を実施する方向性を決めた(実施時期は未定)。

令和4年

1月5日(水)

7時35分

製造課は、食品製造ラインの運転を開始するため、点検作業を開始した製造課は、真空チャンパと振動コンベアを結ぶ配管系(振動コンベア側は開放系)のバルブ(V20)を開操作した。

- 7 時 45 分頃 食品の製造エリアを巡回点検していた運転員 A 食品の製造エリア 1 階で倒れた。
- 8 時 00 分頃 食品の製造エリアの一角にあるオペレータ室(1 階)にいた運転員(3 名)は、息苦しさを感、避難しようとしたとき、運転員 A の姿が見えないことに気付き、食品の製造エリア内を確認したところ、振動コンベア付近に倒れている運転員 A を発見した。
- 8 時 05 分 人事総務課長は、119 番通報した。
- 8 時 20 分 公設消防は、運転員 A を病院へ救急搬送した。
- 8 時 30 分 警察が現場に到着した。

3) 事故発生原因の詳細

① 蒸発器の冷媒コイルからの冷媒(二酸化炭素)漏えい。

事業所は、冷凍設備メーカーに漏えいが発生した原因の調査を依頼した。冷凍設備メーカーは、蒸発器の冷媒コイルの気密試験を実施し、ヘッダーとコイルの溶接継手から漏えいを確認した、また、漏えいを確認した溶接継手について、浸透探傷試験(PT)を実施し、指示模様を確認した(写真 8.21 参照)冷凍設備メーカーは、漏えいに至った原因を、次の 2 つのいずれかと推定した。

- (ア) 溶接継手の止端にあった溶接欠陥(オーバラップまたはクレータ)を起点として、温度変動による疲労が発生した。
- (イ) 溶接継手の止端にあった溶接欠陥(クレータ)周辺の不動態皮膜が脆弱で、溶着金属で粒界腐食が進展した。冷凍設備メーカーは漏えいした蒸発器(1 基)の溶接継手 516 箇所のうち 172 箇所について浸透探傷試験(PT)を実施して、数点のクレータを認めたが、いずれも漏大いに至る可能性は低く、漏えいを確認した溶接継手を溶接補修することで、冷媒コイルを継続して使用できると判断した。



写真 8.21 蒸発器の冷媒コイルの溶接継手(ヘッダーとコイル)の浸透探傷試験結果

② 冷媒コイルは、冷凍設備メーカーの製作品ではなく、事業所指定の海外メーカーからの購買品であった。

(ア) 真空チャンバ内への冷媒(二酸化炭素)帯留

蒸発器の冷媒コイルから漏えいした冷媒(二酸化炭素)は、蒸発器の胴側に滞留した。蒸発器の胴側と真空チャンバの間には、バルブ(V1)を設けていた(写真 8.20 参照)しかし、このバルブのシール性能は、真空度の保持を目的に選定しており、冷媒(二酸化炭素)に対するシール性能は、考慮していなかった。そのため、冷媒がバルブの内漏れにより、蒸発器の胴側から真空チャンバ内に流れ込み、滞留したと推定した。

(イ) 食品の製造エリアへの冷媒(二酸化炭素)漏えい

真空チャンバと振動コンベアを結ぶ配管系(振動コンベア側は、開放系)には、バルブ(V20)を設けていた。食品製造ラインの停止に伴い「閉」としていた。食品製造ツインの運転を開始するため、バルブ(V20)の開操作をしたため、真空チャンバ内に滞留していた冷媒(二酸化炭素)が、配管系(振動コンベア側)の開口部から、食品の製造エリアに漏えいした。

③ 冷媒(二酸化炭素)の漏えい検知

食品の製造エリアの 1 階と 2 階には、それぞれ複数の酸素濃度計と二酸化炭素濃度計が設置されていた。

しかし、酸素濃度計は、作業場所からは警報時のランプの点滅が見えにくい場所に設置されていた。また、一部の二酸化炭素濃度計は、年末の校正作業で不具合を確認していたが、そのまま使用していた。

4) 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 漏えい管理の強化
 - (ア) 冷凍設備の蒸発器は2年に1回、気密試験(圧力の変動がないことの確認)を実施することを規定した。
 - (イ) 併せて、年に数回、バルブ(VI)を開放し、携帯型ガス漏えい検知器を用いて、二酸化炭素濃度を測定する運用を開始した。
- ② 冷凍設備の運転管理の見直し
 - (ア) 年末休暇のように長期間、食品製造ラインの運転を停止する場合の、冷凍設備の運転管理を見直し、万が一、冷媒コイルから漏えいがあっても、大量の冷媒ガスが漏えいしない運転とすることを規定した。
- ③ 水平展開
 - (ア) 工場内にある同型の蒸発器(5基)について、気密試験を実施したところ、2基蒸発器で漏えいを確認した。
 - (イ) ただし漏えい箇所は、冷媒コイルの溶接継手ではなく、温度計の保護管とフランジ継手であった。
- ④ 保安教育
 - (ア) 工場の従業員に対して、今回の事故情報を周知した。
 - (イ) 工場の従業員に対して、ハザードガスに関する教育を行った。
- ⑤ 酸素濃度計と二酸化炭素濃度計の管理強化
 - (ア) 食品の製造エリアの室内と室外(出入口扉付近)に、パトライト、シグナルタワーを増設した。
 - (イ) 食品の製造エリアの1階の振動コンベア付近(運転員Aが倒れていた付近)に二酸化炭素濃度計を増設した。
 - (ウ) 食品の製造エリアの1階に、濃度計と連動する強制換気システムを導入した。
 - (エ) 食品の製造エリアに従業員が入る場合は、携帯用の二酸化炭素濃度計を使用することを規定した。

5) 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① 冷凍設備ユーザーは、冷媒ガスの漏えいが疑われる場合は、速やかな運転停止、冷凍設備メーカーへ調査依頼、補修の検討などの対応を行う必要がある。漏えいしている冷凍設備の運転は、非常に危険である。
- ② 冷凍設備ユーザーは通常の運転では冷媒ガスが流れない設備、配管系であっても、冷媒ガスが漏えいした場合に冷媒ガスが流れてくる可能性がある設備、配管系を特定し、リスクアセスメントの実施とその後の適切なリスク対応が必要である。漏えいしたガスが無色、無臭であれば、漏えいの検知はガス検知器に頼らざるを得ない、ガス検知器の設置場所の検討、定期的な作動検査が重要である。
- ③ 冷凍設備メーカーは、客先支給品、指定品を含めて、設備全体に責任をもって設計し、製作する必要がある。
- ④ 冷凍設備ユーザーとメーカーは、漏えい事故の原因調査をする場合、漏えい箇所の非破壊試験、破面の確認などを行い、正しい事故原因を特定し、有効な再発防止対策を講じる必要がある。
- ⑤ 今回の事故では、オペレータ室にいた他の作業員が息苦しさを感じ退避を決めた際、いない作業員(被災者)を探し、すぐに倒れているところを発見、救出した。異変を感じた際、最善な行動を取るためには、危険時を想定した教育(取扱い物質の情報共有、避難場所の設定、避難訓練など)が非常に有効である。

o) 事例番号-15 (誤操作)

事故発生日時 令和3年1月23日(土)11時00分

事故発生場所東京都港区

事故施設名称 不活性ガス消火設備

事故の呼称 二酸化炭素の噴出・漏えいによる死亡事故

- 1) 被害状況 人的被害:死者2名、重症者1名 物的被害:なし
- 2) 事故発生事象 漏えい
- 3) 事故発生原因 誤操作など 機器一般継目なし容器、附属品

4) 事故の概要

- ① ビルの消防設備点検(法定点検)の実施に当たり、地下 1 階駐車場に設置された二酸化炭素消火設備の点検を行っていたところ、何らかの原因により消火剤である二酸化炭素が放出され、点検作業員 2 名と警備員 1 名が救急搬送され、そのうちの点検作業員 2 名が死亡した。
- ② 事故の概要を時系列で示す。
 - 9 時 00 分頃 ビル全体の点検を委託された業者の作業員のうち、2 名が地下 1 階の機械式駐車場の一区画にある二酸化炭素消火設備の点検作業を開始した。
 - 11 時 00 分頃 作業員 2 名は二酸化炭素消火設備の復旧作業をしていた。5 階で他の作業を終えた別の作業員 1 名が地下 2 階の監視室に戻ったところ、異臭と体の重みを感じ、1 階に避難した(消火設備の二酸化炭素が放出されていたとみられる)。また、地下 1 階で作業をしていた別の作業員 1 名も異常を感じ、他の作業員に連絡して 1 階に避難させた。
警報盤確認のため、作業員 1 名が地下 1 階の警備室内に入り、苦しそうにしている警備員を発見し、他の作業員とともに救出して 1 階に避難させ、119 番通報した。
 - 11 時 20 分頃 消防隊、救急隊が到着し、地下 1 階の二酸化炭素消火設備の点検作業をしていた 2 名の作業員の救助を開始した。救助した作業員 2 名と警備員の計 3 名の作業員を緊急搬送した。
 - 18 時 30 分頃 二酸化炭素消火設備の点検作業をしていた 2 名の作業員の死亡を確認した。

5) 事故発生原因の詳細

① 二酸化炭素消火設備の設置背景

二酸化炭素消火設備は地下 1 階駐車場(機械式駐車場)、ボイラー室およびオイルタンク室に供給するため、ビル竣工時(昭和 48 年)に地下 1 階駐車場の一角に設置された。二酸化炭素消火設備の容器は、その容器弁(容器元バルブ)の点検期限(昭和 48 年設置であれば点検期限は平成 28 年 3 月 31 日までとなる。)に伴い、容器弁交換とともに容器を平成 26 年(2014 年)1 月に入れ替えているが、起動方法および起動原理は設置当時と変わっていない(写真 8.22~8.24 参照)。

二酸化炭素容器は 1 本あたり約 68 リットルの内容積(ガスの質量は 1 本あたり約 45 kg)で、合計 31 本あり、地下 1 階駐車場内の一部の区画(容器室)に設置されている。

これらの容器は配管で接続され、容器室から配管で地下駐車場、ボイラー室、オイルタンク室に供給される(写真 8.24 参照)。

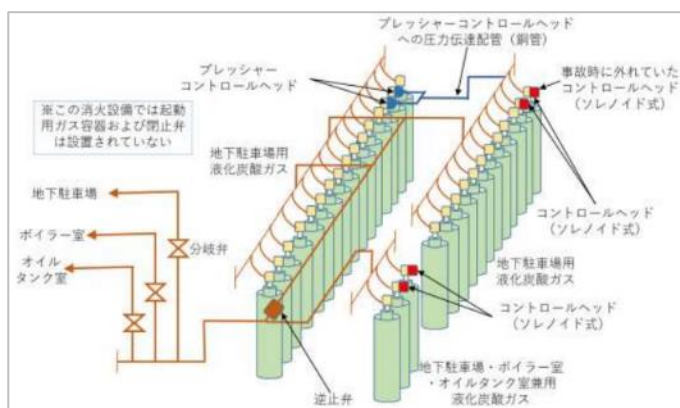


写真 8.22 二酸化炭素消火設備の概要



写真 8.23 二酸化炭素容器室入口



写真 8.24 二酸化炭素容器室内

② 二酸化炭素消火設備の起動システム

この二酸化炭素消火設備は、自動火災報知設備(感知器で煙または熱を感知して警報する設備)によって起動するのではなく、起動ボタンの手動操作のみによって起動する。起動ボタンを操作すると、容器室内の制御盤を通して警報が鳴動し、駐車場では 55 秒後、ボイラー室およびオイルタンク室では 30 秒後に、二酸化炭素容器の容器弁に設置されているコントロールヘッド(ソレノイド式)が起動して、容器弁を開にし、容器内の二酸化炭素が放出される仕組みとなっている(写真 8.25～8.27 参照)。

コントロールヘッド(ソレノイド式)が設置されている容器は 31 本のうちの 4 本で、4 本のうち 2 本は地下駐車場の容器、残りの 2 本はオイルタンク室の容器およびボイラー室の容器である。コントロールヘッドが設置されていない容器は、二酸化炭素の圧力により容器弁が開になり、二酸化炭素が放出される仕組みとなっている(写真 8.28 参照)。なお、この二酸化炭素消火設備は、起動用の高圧ガス容器(起動用ガス容器)および起動用ガス容器に接続するための起動用配管は設置していない。

③ 消火設備の点検

この消火設備の点検は、毎年 2 回(1 月および 7 月)実施しており、1 月に実施する点検では、コントロールヘッドが正常に起動するかどうかの点検(起動試験)と、容器、接続配管などの外観目視点検を行っている。

④ 事故原因の推定

事故後に確認したところ、起動ボタンは操作されていなかった。また、容器室内の容器に設置される 4 つのコントロールヘッドのうちの 3 つが取付け済みで、1 つは外れている状態にあった。そのため、二酸化炭素消火設備の点検作業中に何らかの誤操作により容器弁が開になり、容器室内に二酸化炭素が放出されたと推定されている。

なお、31 本の容器すべてから、二酸化炭素が放出されていた。駐車場入口に設置されている起動ボタンを操作した場合、容器室内から地下駐車場につながる配管途中の弁(分岐弁)が開となるが、この事故では起動ボタンが操作されてないため、分岐弁は閉であった。

そのため、二酸化炭素は、地下駐車場内の放出口から放出されず、外れていた圧力伝達配管(銅管)の開放部分(写真 8.22、8.28 参照)から容器室内に放出されたとみられる。

なお、事故時、容器室入口のドアは閉まっていたため、狭い容器室の空間に大量の二酸化炭素が滞留したと考えられる。



写真 8.25 容器弁(付属品)に設置されたコントロールヘッド(ソレノイド式)



写真 8.26 コントロールヘッド(ソレノイド式)と容器弁(付属品)



写真 8.27 容器弁(付属品)



写真 8.28 二酸化炭素が放出したとみられる圧力伝達配管(銅管)接続部

6) 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 消火設備設置者(建物管理者)の対策
- ② 起動用ガス容器を使用し、起動用配管に点検用の閉止弁があるハロンガス消火設備へ改修した。
- ③ ガス放出区画に監視カメラを設置し、警報発報の際にモニターで確認できるように改修を予定する。
- ④ 消火設備起動を想定した訓練、設備の操作の訓練、避難誘導の訓練などを実施する。
- ⑤ 点検業者の対策・点検作業フローおよび点検マニュアルを整備した。

7) 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① 点検作業者は点検する前に、誤作動または誤操作をしてもガスが放出されないように、閉止弁を閉にするなどの安全対策を講じる。また、点検作業中にガスが放出されることを想定して、退避経路を確保する。
- ② 建物の管理者または点検作業者は、点検する前に、ガス放出区画周囲に立ち入る可能性のある人々に、不活性ガス消火設備を点検することを周知する。
- ③ 点検作業者は点検する前に、点検マニュアルおよび点検作業工程を確認し、点検を熟知している有資格者が、点検を確実に実施する。
- ④ 二酸化炭素消火設備は消防法の規定に基づき設置されるため、設置者および点検作業者は、行政からの通知および通知に基づく指導に配慮し、十分な安全対策を講じる。

8) 備考

「ハロゲン化物消火設備・機器の使用抑制等について(通知)」(消防危第 88 号、消防予第 161 号平成 3 年 8 月 16 日)では、消火設備におけるハロンの使用抑制がなされることにより、代替設備として使用される可能性のある二酸化炭素消火設備について、「第3二酸化炭素消火設備の安全対策について」、「4 点検」および「5 その他」で対策を講じるように通知がなされている。

9 引用文献

- (1) 高圧ガス等による事故時の応急処置／社団法人 東京都高圧ガス保安協会
- (2) 高圧ガス取扱ガイドブック 液化アンモニア編／高圧ガス保安協会
- (3) ヒヤリハットからはじめよう！高圧ガス事業所の自主保安活動／東京都環境局
- (4) リスクアセスメントにおけるハザード／高圧ガス保安協会
- (5) 高圧ガス事故の統計と解析／高圧ガス保安協会
- (6) 冷凍関係法規集／公益社団法人 日本冷凍空調学会

高圧ガス保安法対象の自然冷媒冷凍・冷蔵機器安全管理の手引き

発行 令和 5 年 3 月

東京都環境局環境改善部環境保安課ガス冷凍担当

〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1

TEL 03(5388)3543 (ダイヤルイン)