

ターボ冷凍機 ハンドブック

2025

初版発行 2006年2月
改訂版 2013年4月
改訂2版 2025年12月

まえがき

ターボ冷凍機は、大型ビルのセントラル空調装置や半導体製造工場の恒温・恒湿空調装置などの心臓部である熱源機として、古くから採用されてきました。昨今は環境にやさしいクリーンエネルギー設備として市場のニーズも増加しています。

このような市場ニーズの増加に伴い、ターボ冷凍機をより深く理解しようとされる技術者も増加しているのではないかと考え、これらの方々へ少しでもお応えできる資料として、ターボ冷凍機の基礎的技術情報を中心に、最新動向もまじえた「ハンドブック」として本書を編集したものです。

ターボ冷凍機の歴史的又は学術的なところは、その道の専門書によって頂くものとし、本書ではターボ冷凍機を導入される場合に留意すべき点やターボ冷凍機の特長をより効果的に活用して頂くための技術情報に主眼をおいて編集しています。

2013年の初回改訂版発行より12年を経過したため、今般の環境問題に対応し、JIS改正に伴う原案との整合性を図るとともに、法規制など新規情報に更新しました。

ターボ冷凍機は、それ自体がプラント的性格を持ち、関連する技術も多岐に渡るため理解しにくい製品ではありますが、本書を「ハンドブック」として手軽に利用して頂くことによって、めざす課題の解決糸口になれば幸甚と考えています。

2025年12月

一般社団法人 日本冷凍空調工業会
ターボ冷凍機技術専門委員会

「ターボ冷凍機ハンドブック」改訂委員

荏原冷熱システム株式会社	村 越 将 哉
ダイキン工業株式会社	藤 井 敬 士
日本キヤリア株式会社	猪 股 信 房
トレイン・ジャパン株式会社	佐久間 健太郎
ジョンソンコントロールズ BE ジャパン合同会社	中 村 康 志
三菱重工サーマルシステムズ株式会社	袖 野 丈 晴

ターボ冷凍機 ハンドブック

目次

1章 ターボ冷凍機の基礎	1
1.1 機器構成と能力表示	1
1.2 冷凍サイクル	5
1.3 分類	5
1.4 冷媒	6
2章 設備設計	12
2.1 ターボ冷凍機の特長	12
2.2 機器選定	12
2.3 容量制御方式	15
2.4 システム制御	17
2.5 冷凍能力特性	19
2.6 冷水, 冷却水ポンプの制御方法	21
2.7 冷水・冷却水温度 (冷凍専用形) の使用限界	22
2.8 最小保有水量	23
2.9 水側の使用圧力限界	23
2.10 使用電源	23
2.11 瞬時電圧降下について	24
2.12 始動方式	24
2.13 インバータ制御方式	25
2.14 振動, 騒音	26
2.15 防振設計	27
2.16 メンテナンススペース	28
3章 施工計画	30
3.1 設置における法規上の注意点	30
3.2 漏えいした冷媒ガスの滞留防止策	31
3.3 設備側からのインターロック	35
3.4 運転に必要なユーティリティ	36
3.5 電気工事	36
3.6 保冷工事	37
4章 運転保守編	38
4.1 日常の保守点検	38
4.2 保守点検上の法的規制	38
4.3 定期点検保守	40
4.4 水質管理基準	42

5章 関係法規	45
5.1 適用を受ける法規及びその内容	45
5.2 指定設備	46
5.3 レトロフィットについて	46
6章 参考資料	47

本ハンドブック作成に当たり、引用した出典元が記載されていますが、引用した内容についてのお問い合わせは当委員会では回答出来ませんので、出典元の内容をご確認頂きますようお願い致します。

1章 ターボ冷凍機の基礎

1.1 機器構成と能力表示

(1) 機器構成

ターボ冷凍機の主な機器構成事例は、次のとおりです。

1) 圧縮機

内部には冷媒ガスを圧縮するためのインペラ（羽根車）、容量制御機能及び必要に応じ、駆動装置（增速機、強制給油装置）を備える

2) 電動機

冷凍機用特殊電動機、冷却機構、コイル保護温度スイッチなど内蔵

3) 蒸発器

横型のシェル（円筒胴）・チューブ（伝熱管）、液分離機構を内蔵し、シェル両端には水室を備え、液冷媒が蒸発して冷水やブラインを冷却

4) 凝縮器

横型のシェル（円筒胴）・チューブ（伝熱管）、吐出ガス分流板を内蔵、シェル両端には水室を備え、冷却水によって圧縮ガスを凝縮（液化）

5) 冷媒流量制御装置

オリフィスや膨張弁などの冷媒流量制御装置を備える

6) 制御機器

始動・停止、冷水温度制御、必要に応じ補機類（油ポンプ、油ヒータ、抽気装置など）の運転・停止などの運転制御機能、保安機能・運転監視機能を備える

7) その他

圧縮機駆動用電動機始動盤、油回収装置（給油装置を持つ場合）、抽気装置（低圧冷媒使用機の場合）、冷媒圧力逃し装置、防振装置など

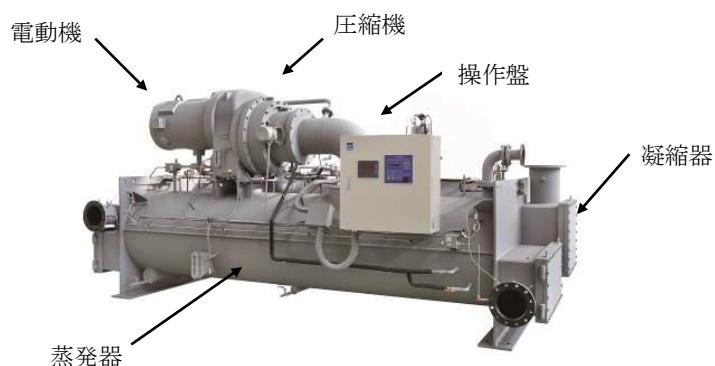


図 1-1 ターボ冷凍機の外観例

(2) 能力（容量）表示

「冷凍」の定義は、「物体を常温（大気温度）以下に連続して冷却する技術」をいいます。この「冷凍」を機械的手段によって行う装置を「冷凍機」と呼びます。

冷凍と加熱を備えた装置も「冷凍機」といいますが、この場合、一般的には「ヒートポンプ」と呼び、本来機能である「冷凍」機能を持った冷凍機応用装置のひとつとして扱われます。

冷凍機の圧縮機にターボ式（別名：遠心式）圧縮機を使用したものをターボ冷凍機と呼んでいます。

冷凍機の規模を表す単位として **JIS B 8621 : 2019 「遠心冷凍機」** では、「冷凍能力」を使用しています。米国においては、**Refrigerating Capacity**：「冷凍容量」が使用されていることから、日本においても「冷凍容量」と表示されることもありますが、本書においては「冷凍能力」を使用します。

冷凍能力の単位として次の2種類のものが使用されています。SI単位では「kW」に統一されます。冷凍トンの表現が長年に渡り使用されていたため、新旧混用されているのが現状です。

1) 米国冷凍トン (Refrigerating Tons : 略して RT 又は USRT と表示) は次のように定義されます。

「0 °Cの水 1 トン (2 000 ポンド=907 kg) が 24 時間で 0 °Cの氷に変化するために必要な熱量」0 °Cの氷の融解熱 144 BTU / Lb (= 80 kcal / kg) として、

$$\begin{aligned} 1 \text{ USRT} &= (2 000 \times 144) / 24 (= 12 000 \text{ BTU / h}) \\ &= (907 \times 80) / 24 = 3 024 \text{ kcal/h} (3 024 / 860 = 3.516 \text{ kW}) \end{aligned}$$

2) 日本冷凍トン (Japan Refrigerating Tons : 略して JRT)

製氷設備などにおいては、日本冷凍トン (JRT) が用いられ、次のように定義されます。

「0 °Cの水 1 トン (1 000 kg) が 24 時間で 0 °Cの氷に変化するために必要な熱量」

0 °Cの氷の融解熱を 79.6 kcal / kg として、

$$\begin{aligned} 1 \text{ JRT} &= (1 000 \times 79.6) / 24 \\ &= 3 320 \text{ kcal / h} (3 320 / 860 = 3.86 \text{ kW}) \end{aligned}$$

(3) 冷凍・加熱能力の求め方

1) 冷凍能力

ターボ冷凍機の一般的用途である冷水製造設備における冷凍能力は、次のように算出されます。

$$\text{冷凍能力 } (Q_c) = \text{冷水流量 } (W_{ch}) \times \text{冷水温度差 } (\Delta t_{ch}) \times \text{冷水比重 } (\gamma_w) \times \text{冷水比熱 } (c_{pw})$$

表 1-1 冷凍能力の算出

項目	ケース A	ケース B
冷水流量 (W_{ch})	L / sec	m ³ / h
冷水温度差 (Δt_{ch})	°C	°C
冷水比重 (γ_w)	1 kg / L	1 000 kg / m ³
比熱 (c_{pw})	0.001 162 8 kW / (kg · °C)	0.001 162 8 kW / (kg · °C)
時間係数	3 600 sec/h	—
冷凍能力 (Q_c)	$Q_c = W_{ch} \times \Delta t_{ch} \times 1$ $0.001 162 8 \times 3 600$ $= W_{ch} \times \Delta t_{ch} \times 4.186 \text{ kW}$	$Q_c = W_{ch} \times \Delta t_{ch} \times 1$ $1 000 \times 0.001 162 8$ $= W_{ch} \times \Delta t_{ch} \times 1.162 8$ $= W_{ch} \times \Delta t_{ch} / 0.86 \text{ kW}$

備考 冷水の比重・比熱は、温度条件によって実際には若干の違いがあります。

2) 排熱量

排熱量 (kW) は凝縮器を通過する冷却水へ排熱する熱量です。

$$\text{排熱量} (H_c) = \text{冷却水流量} (W_c) \times \text{冷却水温度差} (\Delta t_c) \times \text{冷却水比重} (\gamma_w) \times \text{冷却水比熱} (c_{pw})$$

3) ヒートポンプ加熱能力

ヒートポンプ加熱能力は、ヒートポンプ容量、暖房容量などと呼ばれる場合もあります。いずれもターボ冷凍機の排熱能力であり、次の計算式によって算出できます。

$$\text{ヒートポンプ加熱能力} (H_c) = \text{温水流量} (W_c) \times \text{温度差} (\Delta t_c) \times \text{温水比重} (\gamma_w) \times \text{温水比熱} (c_{pw})$$

表 1-2 排熱量（加熱能力）の算出

項目	ケース A	ケース B
冷却水（温水）流量 (W_c)	L / sec	m^3 / h
冷却水（温水）温度差 (Δt_c)	°C	°C
冷却水（温水）比重 (γ_w)	1 kg/L	1 000 kg / m^3
冷却水（温水）比熱 (c_{pw})	0.001 162 8 kW / (kg · °C)	0.001 162 8 kW (kg · °C)
時間係数	3 600 sec/h	—
排熱量 (H_c) 又は (ヒートポンプ加熱能力 (H_c))	$H_c = W_c \times \Delta t_c \times 1$ $0.001 162 8 \times 3 600$ $= W_c \times \Delta t_c \times 4.186 kW$	$H_c = W_c \times \Delta t_c \times 1$ $1 000 \times 0.001 162 8$ $= W_c \times \Delta t_c \times 1.162 8$ $= W_c \times \Delta t_c / 0.86 kW$

備考 冷却水の比重・比熱は、温度条件により実際には若干の違いがあります。

4) ヒートバランス

ターボ冷凍機のヒートバランスは、図 1-2 のようになります。

$$\text{排熱量} (H_c \text{ kW}) = \text{冷凍能力} (Q_c \text{ kW}) + \text{所要入力} (M_i \text{ kW})$$

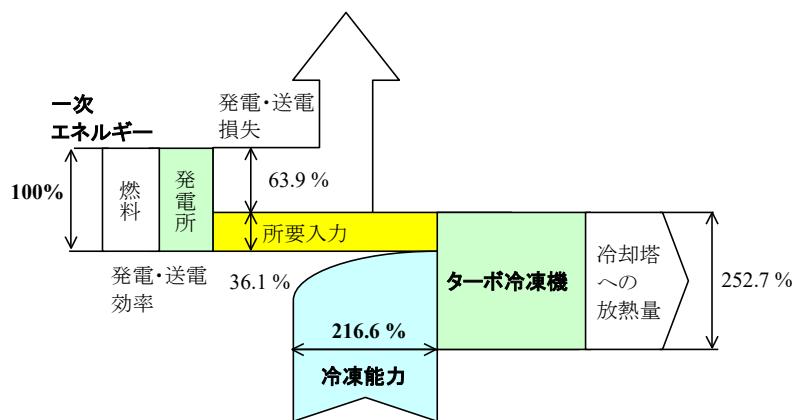


図 1-2 冷凍専用ターボ冷凍機のヒートバランス例 (数値は COP=6 の場合)

(発電・送電効率 = $3 600 \times 100 / 9 970 = 36.1\%$)

(5) 性能 (成績係数 : COP)

冷凍機の性能は冷凍能力 (kW) と所要入力 (kW) の比率によって、成績係数:COP (Coefficient of Performance) で表します。

$$\text{成績係数 COP} = \text{冷凍能力 (kW)} / \text{所要入力 (kW)}$$

図 1-2 の場合のターボ冷凍機 COP は、次のようにになります。

- ターボ冷凍機 COP = $216.6 / 36.1 = 6.0$
- 一次エネルギー換算 COP = $216.6 / 100 = 2.166$

(6) ヒートポンプ加熱における性能

ヒートポンプ加熱における性能は、ヒートポンプ加熱能力 (kW) と所要入力の比として、成績係数 COP で表します。

$$\begin{aligned}\text{成績係数 COP} &= \text{ヒートポンプ加熱能力 (kW)} / \text{所要入力 (kW)} \\ &= \{\text{熱回収冷凍能力 (kW)} + \text{所要入力 (kW)}\} / \text{所要入力 (kW)}\end{aligned}$$

これをヒートバランス図で示すと図 1-3 のようになります。

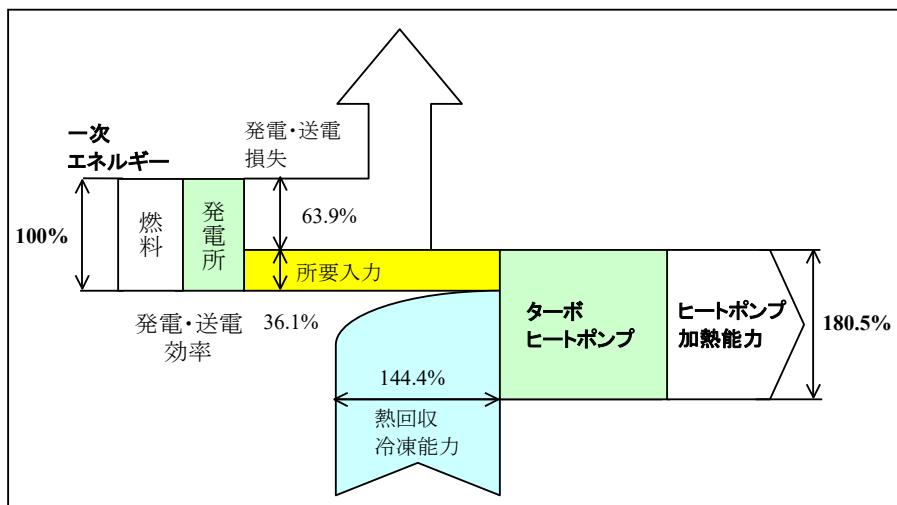


図 1-3 冷凍・ヒートポンプ加熱切換形、同時形、専用形のヒートバランス例

$$\text{ヒートポンプ加熱専用形 COP} = 180.5 / 36.1 = 5.0$$

$$\text{一次エネルギー換算のヒートポンプ COP} = 180.5 / 100 = 1.805$$

1.2 冷凍サイクル

ターボ冷凍機の冷凍サイクルの事例として、膨張段数や圧縮段数によって、次のようなものが挙げられます。凝縮冷媒液を冷却水によって凝縮温度以下に低下させる、過冷却サイクルを取り入れたものも実用化されています。

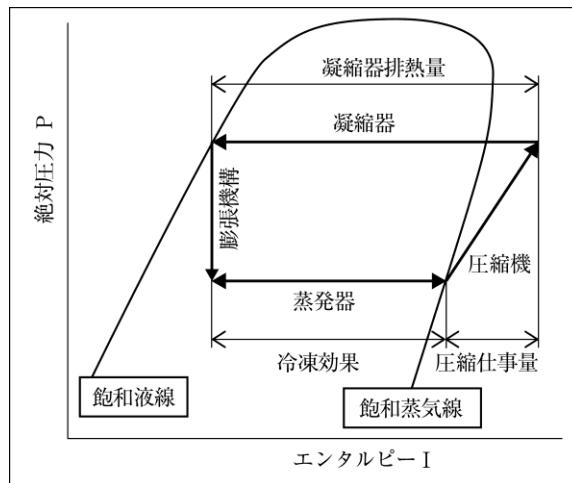


図 1-4 ターボ冷凍機の単段冷凍
サイクル図

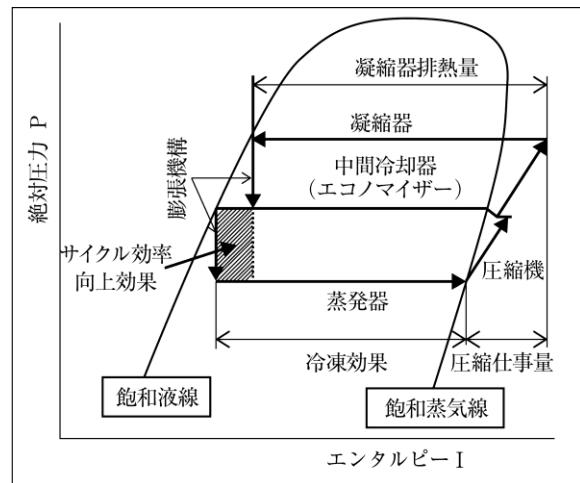


図 1-5 ターボ冷凍機の 2 段冷凍
サイクル図

1.3 分類

JIS B 8621 : 2019 「遠心冷凍機」では、表 1-3 の分類体系になっています。

表 1-3 ターボ冷凍機の分類 (JIS)

分類区分	名称	備考
1. 機能による種類	a. 冷凍専用形	
	b. 冷凍・ヒートポンプ加熱切換形	
	c. 熱回収形	冷凍・ヒートポンプ加熱同時形ともいう
	d. ヒートポンプ加熱専用形	
2. 機器配置	a. 一体形	
	b. 分離形	
3. 圧縮機駆動装置用電動機の速度制御方式	a. 定速形	
	b. 可変速形	インバータ制御方式ともいう
4. 圧縮機構造	a. 密閉形	
	b. 開放形	

JIS に規定されていない、表 1-4 に示す分類例があります。

表 1-4 その他の分類

分類区分	名称	備考
1. 設置場所	a. 屋内形	
	b. 屋外形	
	c. 非防爆形	
	d. 防爆形	
2. 使用冷媒	a. 低圧冷媒形	R11, R123 R245fa R1224yd(Z), R1233zd(E), R514A
	b. 高圧冷媒形	R12, R22 R134a R1234yf, R1234ze(E)
3. 冷凍保安規則上の分類 (フルオロカーボン使用機)	a. 非ユニット型	下記 b, c 以外
	b. ユニット型	
	c. 指定設備	50 トン以上 (法定冷凍トン) ※ 詳細は 5.2 参照
4. 使用供給熱媒体	a. 清水形	
	b. ブライン形	
5. 凝縮器熱交換方式	a. 水冷式	
	b. 空冷式	

1.4 冷媒

(1) ターボ冷凍機用冷媒に望まれる性質

ターボ冷凍機用冷媒に望ましい性質として次の点が挙げられます。

1) 物理的性質

- (a) 運転・停止中における冷媒圧力が適切 (非高真空, 非超高压) であること。
- (b) 臨界圧力が常温より高く, 凝固点が低いこと。
- (c) 蒸発潜熱 (冷凍効果) が大きいこと。

2) 化学的性質

- (a) 性状が安定していて, 使用する材料などへの腐食性がないこと。
- (b) 環境破壊に対し影響が少ないこと。
- (c) 潤滑油との相性がよいこと。
- (d) 人間に対し有害性がなく, 悪臭, 爆発性がないこと。

3) その他

- (a) 市場性があり, 入手が容易で, 安価であること。
- (b) 取扱いが容易であること。

(2) 冷媒種別と関係法規

ターボ冷凍機に利用できる冷媒には, 表 1-5 に示すようなものがあります。

冷媒の種類によって関係する法規が異なります。

表1-5 ターボ冷凍機に使用される主な冷媒と関連法規

項目		特定物質				指定物質				代替物質				ノンフロン冷媒	
冷媒記号	RF呼称	R11	R12	R22	R123	R134a	R245fa	R1233zd(E)	R1234ze(E)	R1234yf	R1224yf	HFO-1234yf	HFO-1224yf	R514A	
成分分子呼称	CFC-11	CFC-12	HFC-122	HFC-123	HFC-134a	HFC-245fa	HFO-1233zd(E)	HFO-1234ze(E)	HFO-1234yf	HFO-1224yf	HFCO-1224yf	HFCO-1224yf	HFCO-1224yf	—	
種類	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	单一	混合
分子式	CCl ₃ F	CCl ₂ F	CHClF ₂	CHCl ₂ CF ₃	CHCl ₂ CHF ₂	CF ₃ CHFCF ₃	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	CF ₃ CH ₂ CHClH	CF ₃ CHClCF ₃	CF ₃ CF=CH ₂	CF ₃ CF ₂ CHCl	CF ₃ CF ₂ CHCl	CF ₃ CF ₂ CHCl	—	
分子量	137.3	120.9	86.48	152.93	102.03	134	130.5	114	114	114	114	114	114	139.6	
沸点(大気圧)℃	23.8	-29.8	-40.8	27.9	-26.2	15.3	18.3	-19	-29.5	14.6	14.6	14.6	14.6	29.1	
蒸気圧力 ¹⁾ MPa	0.049	0.362	0.583	0.0408	0.348	0.067	0.06	0.259	0.373	0.069	0.069	0.069	0.069	0.039	
凝縮圧力 ¹⁾ MPa	0.173	0.959	1.532	0.1546	1.012	0.252	0.216	0.766	1.018	0.245	0.245	0.245	0.245	0.148	
可燃・毒性ランク ^{*2}	A1	A1	B1	A1	B1	A1	B1	A1	A2L	A2L	A1	A1	A1	B1	
ODP(CFC-11=1.0) ^{*3}	1	1	0.055	0.02	0	0	0	0.00034	0	0	0	0	0	0.00006	
GWP(CO ₂ =1.0,100年値) ^{*4}	4750	10900	1810	77	1430	1030	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	
ガスの分類(高压ガス保安法) ^{*6}	—	—	—	—	—	不活性ガス	—	—	—	—	—	—	—	—	
機器製作設置	高圧ガス保安法 ^{*6}	—	○	○	—	○	—	—	○	○	○	○	○	—	
	労働安全衛生法 :ボイラー及び圧力容器安全規則	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	消防法(危険物保安距離)	—	○	○	—	○	—	—	○	—	○	○	○	—	
冷凍機	オゾン層保護法 : 生産停止 ^{*3}	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	
運用	オゾン層保護法 : 排出抑制	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	
	地盤温暖化対策推進法 (地盤温暖化防止行動計画) : 排出抑制	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	
高圧ガス保安法 ^{*6}	—	○	○	—	○	—	—	—	○	—	○	○	○	—	
労働安全衛生法 :ボイラー及び圧力容器安全規則	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
運転資格	ニニット型 ^{*7}	—	不要	—	不要	—	—	—	—	—	不要	—	—	—	
冷凍機	非ニニット型	—	要	—	要	—	—	—	—	—	要	—	—	—	
PRTR法 ^{*5}	—	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	
整備	フロン排出抑制法	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	

*1 蒸発温度 5 °C, 凝縮温度 40 °C の飽和絶対圧力。

*2 ISO / FDIS 817 (冷媒-番号及び安全等級) の分類。

表 1-6 安全性区分 (Safety Group)

高可燃性	A3	B3
低可燃性	A2	B2
微燃性	A2L	B2L
不燃性	A1	B1
毒性	低毒性	高毒性

B1 の高毒性区分である、R123 (R245fa, R514A も同様) は、日本冷凍空調工業会の「遠心冷凍機の施設ガイドライン」(JRA GL-01 : 2023) に沿って適切に設置することで安全に運転できます。

*3 ODP : Ozone Depletion Potential 出典 : 経済産業省ホームページより (ノンフロン冷媒除く)

米国環境局 (EPA) SNAP プログラムより (R1233zd(E), R1234ze(E))

AGC ホームページより (R1224yd(Z), R1234yf)

Chemours ホームページより (R-514A)

*4 GWP : Global Warming Potential 出典 : IPCC 4 次レポート (2007 年) (ノンフロン冷媒除く)

IPCC 5 次レポート (2013 年) (R1233zd(E), R1234ze(E), R1234yf)

AGC ホームページより (R1224yd(Z))

Chemours ホームページより (R-514A)

*5 PRTR : Pollutant Release and Transfer Register 特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善の促進に関する法律 (1999 年公布)

*6 高圧ガス保安法では高圧ガスは次のように定義されています。(第 2 条)

(1) 圧縮ガス : 常用の温度で 1 MPa 以上となるもので、現に 1 MPa 以上のもの。又は温度 35 °C で 1 MPa 以上となるもの。

(2) 液化ガス : 常用の温度で 0.2 MPa 以上となるもので、現に 0.2 MPa 以上のもの。又は温度 35 °C で 0.2 MPa 以上となるもの。

参考) R12, R22, R134a は、いずれも 35 °C 以下で 0.2 MPa 以上の圧力を有しており、高圧ガスの中で液化ガスに該当します。

R11, R123, R245fa, R1233zd(E), R1224yd(Z), R514A は、温度 35 °C において圧力が 0.2 MPa 未満であり、高圧ガス保安法の適用を受けない冷媒です。ただし、ヒートポンプ仕様においては、高圧ガス保安法適用を受ける場合があります。

*7 冷凍保安規則第 36 条第 2 項の要件を満たす、いわゆるユニット型。

(冷凍能力の制限は、(2004 年) 平成 16 年 12 月 17 日省令改正にて削除された)

*8 R1234ze(E), R1234yf は、高圧ガス保安法で特定不活性ガスに分類され、規定された換気能力を有した機械換気 (冷凍機と換気設備とのインターロック機構)、冷媒漏えい検知警報設備の設置が必要です。

(3) オゾン層保護法による冷媒の段階的生産規制

オゾン層保護法（特定物質の規制などによるオゾン層の保護に関する法律：1988公布）によって、オゾン層破壊物質等ごとに規定された削減スケジュールに基づき、その生産量及び消費量（= 生産量+輸入量-輸出量）に基準限度が定められています。削減スケジュールは図1-6のとおりです。

原則として、特定フロン（R11, R12など）、ハロン、及びその他のCFC冷媒などについては、既に生産及び消費ともに全廃されています。現段階で規制されているのは、2019年をもって全廃された指定物質（R22, R123などのHCFC系）と2019年から規制が始まった代替物質（R134a, R245faなど）となっています。

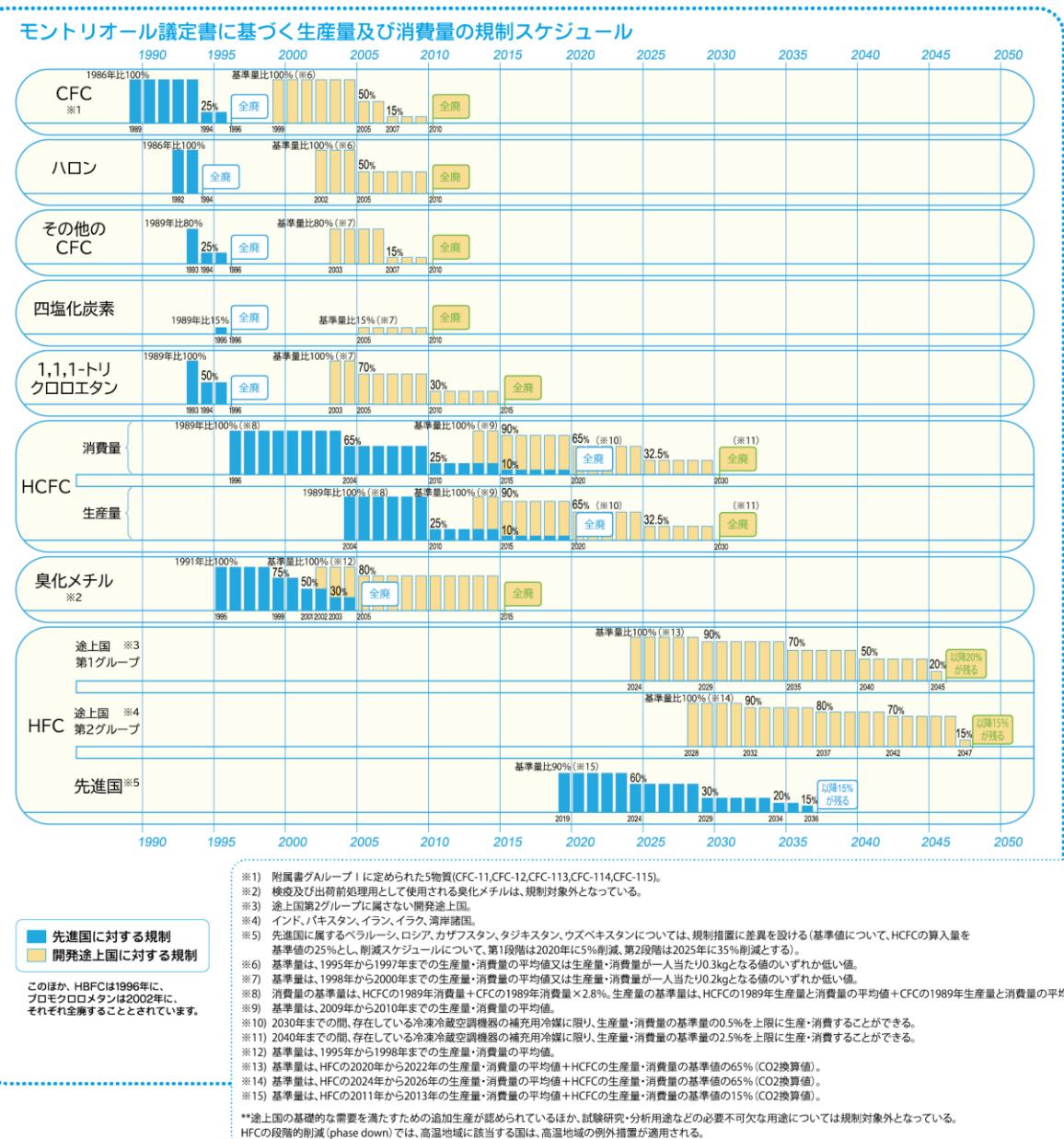


図1-6 オゾン層破壊物質削減スケジュール

出典：環境省ホームページより

(4) 地球温暖化対策推進による冷媒への規制

1) 地球温暖化対策

HFC 冷媒は、オゾン層保護法によって生産停止される特定物質、指定物質に替わる代替冷媒の位置付けにあり、その生産量は現在も増加しています。しかし、HFC は二酸化炭素の 1 000 倍程度の大きな温室効果（GWP）を持つものもあり、削減へ向けた対策が必要です。このような中、2016 年 10 月 10 日～14 日に、ルワンダのキガリで開催された「モントリオール議定書」の第 28 回締約国会議において、HFC の生産及び消費量の段階的削減義務が定められました（キガリ改正）。

また、国内では、2019 年 1 月にフロン排出抑制法のターボ冷凍機指定製品化の環境影響度の目標値（GWP100）、目標年度（2025 年度）が公布されました。環境影響度とは、製造業者ごとに、出荷機に用いる冷媒の GWP を出荷台数で加重平均した値で、2025 年度以降は、HFC 冷媒を用いた冷凍機の出荷台数が制限されます。

表 1-7 HFC 削減スケジュール（モントリオール議定書 キガリ改正（2016 年））

	途上国第 1 グループ*1	途上国第 2 グループ*2	先進国*3
基準年	2020～2022 年	2024～2026 年	2011～2013 年
基準値 (HFC+HCFC)	各国の HFC 生産・消費量の平均 +HCFC の基準値×65 %	各国の HFC 生産・消費量の平均 +HCFC の基準値×65 %	各国の HFC 生産・消費量の平均 +HCFC の基準値×15 %
凍結年	2024 年	2028 年*4	なし
削減 スケジュール*5	2029 年：▲10 % 2035 年：▲30 % 2040 年：▲50 % 2045 年：▲80 %	2032 年：▲10 % 2037 年：▲20 % 2042 年：▲30 % 2047 年：▲85 %	2019 年：▲10 % 2024 年：▲40 % 2029 年：▲70 % 2034 年：▲80 % 2036 年：▲85 %

*1 途上国第 1 グループ：開発途上国であって、第 2 グループに属さない国

*2 途上国第 2 グループ：印、パキスタン、イラン、イラク、湾岸諸国

*3 先進国に属するベラルーシ、露、カザフスタン、タジキスタン、ウズベキスタン、は規制措置に差異を設ける（基準値について、HCFC の参入量を基準値の 25 %とし、削減スケジュールについて、第 1 段階は 2020 年 5 %、第 2 段階は 2025 年に 35 %削減とする）。

*4 途上国第 2 グループについて、凍結年（2028 年）の 4～5 年前に技術評価を行い、凍結年を 2 年間猶予することを検討する。

*5 すべての締結国について、2022 年、及びその後 5 年ごとに技術評価を実施する。

2) 冷凍機における温暖化影響評価手法

冷媒を使用した冷凍空調機器の地球温暖化への影響度を評価する手法として、「TEWI」があります。

「TEWI」は、冷媒ガスの大気排出による直接的温暖化効果とエネルギー消費による間接的温暖化効果を CO_2 排出量に換算して判断する指標で、次式にて算出されます。

$$\text{TEWI}_a = \text{GWP} \times \{ (\text{年間冷媒漏えい量} \times \text{運転年数}) + (\text{冷媒回収損耗量} \times \text{回収頻度}) \}$$

$$\text{TEWI}_b = \text{電力使用量 (kWh / 年)} \times \text{運転年数} \times \text{CO}_2 \text{排出係数 (kg-CO}_2 / \text{kWh})$$

$$\text{TEWI} = \text{TEWI}_a + \text{TEWI}_b$$

TEWI : Total Equivalent Warming Impact

TEWI_a : 冷媒漏えい、損耗などによる直接的温暖化効果

TEWI_b : エネルギー消費による 1 次エネルギーの CO_2 換算量
(発電所などの CO_2 排出相当量)

表 1-8 ターボ冷凍機の「TEWI」計算事例

項目	計算条件及び計算結果
冷凍能力 (RT)	500
使用冷媒	R134a
GWP	1 430
定格消費電力 (kW)	290
冷凍機運転年数 (寿命) (年)	20
年間冷媒漏えい量 (kg)	0
回収時損耗量 (kg / 回)	50
回収頻度	4
年間運転時間 (全負荷換算) (h)	1 000
総電力使用量 (kWh・運転年数)	5 800 000
CO_2 排出係数 (kg-CO ₂ / kWh) *1	0.554
TEWI _a (kg)	286 000 (8.2%)
TEWI _b (kg)	3 213 200 (91.8%)
TEWI (kg)	3 499 200 (100%)

*1 電気事業連合会「電気事業における環境行動計画 2015 年 9 月」2014 年実績

2章 設備設計

2.1 ターボ冷凍機の特長

ターボ冷凍機の主な特長について、同規模の冷水製造用途に使用される直焚吸収冷温水機と比較すると表2-1のようになります。ターボ冷凍機は各種熱源用途に最適です。

表2-1 ターボ冷凍機の特長

No	項目	ターボ冷凍機		直焚吸収冷温水機	
1	使用冷媒	フルオロカーボン類	—	水-臭化リチウム水溶液	—
2	主な駆動源	電動機	—	都市ガス、灯油、重油	—
3	1次エネルギー換算 COP	2.0～2.2	○	1.0～1.4	△
4	冷却塔放熱量	冷凍能力の1.2倍	○	冷凍能力の約1.9倍	△
5	容量変化追従性	約10%/分	○	約10%/10分	△
6	始動時間	約5分(自動再始動時)	○	約20～30分	△
7	停止所要時間	約3分	○	約20～30分(希釈運転)	△
8	騒音	約80～90dB(A)	△	約75～85dB(A)(燃焼音他)	○
9	冷却水入口温度下限	約15～20°C	○	約20～25°C	△
10	温水製造	一般空調の場合ボイラ併設	△	温水機能有り、ボイラ併設不要	○

2.2 機器選定

ターボ冷凍機は、冷水製造仕様の場合、おおよそ100RTから10000RTクラスまでの能力範囲に適用されています。

機種選定に当たって検討すべき項目とその要点は次のとおりです。

(1) 空調負荷の規模

対象となる空調範囲、内部発生負荷、外部入熱負荷及び空調機器容量などの検討・算出を行い、蓄熱槽の有無や負荷変動の裕度を加味した上で、必要とされる冷凍能力の大きさを決めます。

(2) 台数選定

機械室のスペース、操作及び保守性、イニシャルコスト、想定最小負荷、負荷系統区分及び空調の重要性などを考慮し、台数・負荷分割と予備機設置の必要性について検討します。ターボ冷凍機は、一般的に定格能力の約20%負荷まで能力制御が可能です。

(3) 定速形と可变速形

年間の運転時間、運転負荷の変動幅、冷却水入口温度、イニシャルコスト、ランニングコストなどから、定格条件に近い高負荷域で高い効率が得られる定速形、冷凍機圧縮機の回転数を制御するインバータを搭載し、部分負荷かつ低い冷却水入口温度で高い効率(COP)が得られる可变速形の選択や組合せについて検討します。JIS B 8621:2019「遠心冷凍機」の標準性能条件での定速形、可变速形の参考となる部分負荷特性を図2-1に示します。

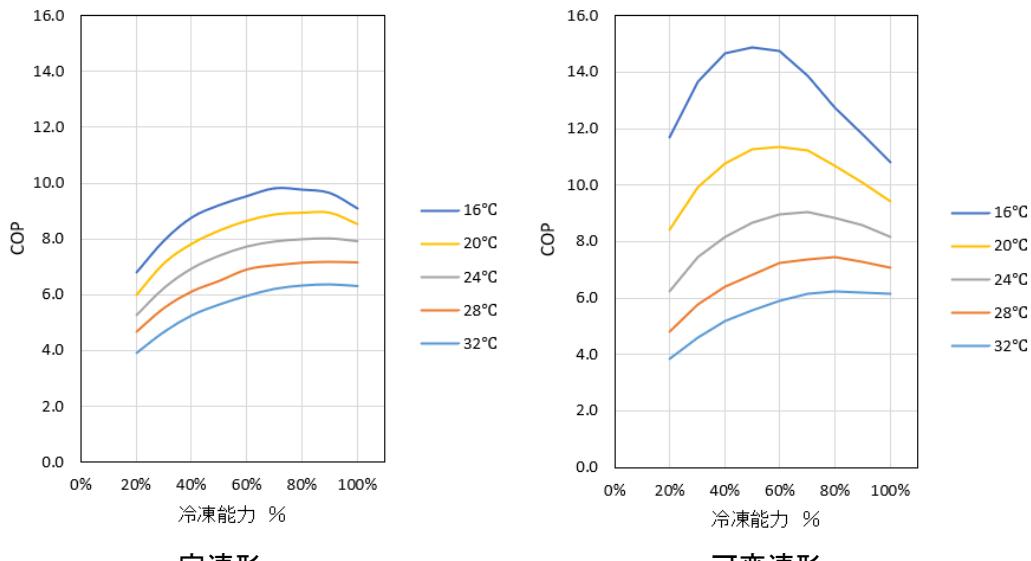


図 2-1 定速形、可变速形の部分負荷特性例（冷却水入口温度条件による）

(4) 蓄熱システム採用可否

蓄熱システムの目的は、夜間の電気使用量が少ない時間帯を有効活用し、蓄熱槽に冷熱を蓄え、日中の高負荷時間帯に放熱することで電力使用の夜間シフトができます。また、日中ピーク時の冷凍能力を低減できるため、冷凍機の設備容量低減にもなります。

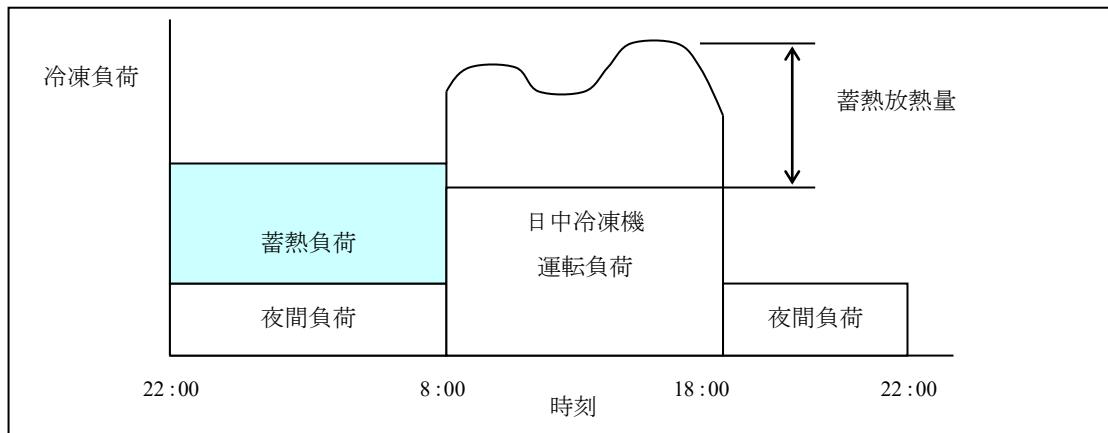


図 2-2 蓄熱システムの運用イメージ

水蓄熱システムにおける蓄熱槽の蓄熱効率事例を表 2-2 に示します。

表 2-2 蓄熱槽効率の事例（出典：建築設備設計基準 令和 6 年版）

No.	蓄熱水槽方式	効率
1	温度成層方式	0.8～0.9
2	連通管方式（10 槽未満）	0.7
3	連通管方式（10～15 槽未満）	0.75
4	連通管方式（15 槽以上）	0.8

(5) 冷水温度条件の最適化

負荷側冷水戻り温度・送り温度と冷凍機の冷水出入口温度の設定は、負荷側空調機の性能(許容露点温度、冷却温度)や蓄熱槽の有無を確認し、冷凍機の冷水温度の設定を行います。

最近では冷水搬送動力の省エネを目的とした「大温度差システム」が多く採用されており、

JIS B 8621 : 2019 「遠心冷凍機」の標準条件では冷水出口 7°C としつつも、冷水入口については様々な設計条件があります。

氷蓄熱用途においてはブラインを使用し、ブライン出口温度は -5°C ないし -6°C が採用されています。

(6) 冷却水温度の最適化

冷却水温度の設定は、冷却塔の能力、設置条件及び運用条件を確認し、冷凍機の冷却水温度の設定を行います。

JIS B 8621 : 2019 「遠心冷凍機」の標準条件は、冷却水入口 32°C、出口 37°C です。

(7) 搬送動力の評価と温度条件の最適化

冷水及び冷却水循環ポンプの搬送動力には、流量が大きく影響します。これまで、冷水及び冷却水の温度差 Δt が 5°C での流量が一般的でしたが、最近では搬送動力の軽減のため Δt を大きく取り、流量を減らした大温度差システムが多く採用されています。冷却水流量を減らした場合、圧縮機の動力が増加しますので、搬送動力の低減と圧縮機動力の増加を比較して最適な運用が必要です。

なお、 Δt を大きくした場合には冷凍機の設計が変わることから、配管レイアウトなどが変わることがあります。

(8) 運転時の冷水・冷却水の変流量

冷凍機が設置される熱源システムにおいて、負荷側で使用される熱負荷に応じて、送水する冷水流量を変化させたり、運転中の冷却水入口温度と冷凍機の特性に応じて、冷却水流量を変化させたり、運転中の冷凍機とポンプの両方で、高効率な運転が行うことができるような最適な制御システムの検討を行います。

それぞれの冷凍機の特性から過度な変流量を実施すると温調に影響を与えることがありますので、最低流量及び流量変化スピードについてはメーカーに問い合わせください。

(9) 電源設備の決定

ターボ冷凍機用電動機容量は、事業所全体の電気設備容量に占める割合が相対的に大きく、基本設計に当たっては電動機容量に十分見合う受電方式、受変電容量を考慮し、協調の取れた電源容量と冷凍機の電圧を決めます。

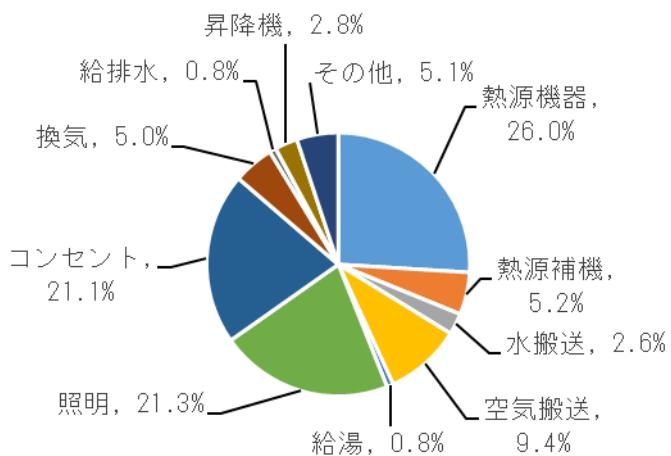


図 2-3 ビル消費エネルギー構成事例

出典：一般財団法人省エネルギーセンター「オフィスビルの省エネルギー」より

(10) 配置計画

ターボ冷凍機を設置する場合は、どんな所に設置するか、操作性・保守性を考慮したスペースが確保されているか、機械室の換気は十分か、ボイラなどの火気との離隔が十分かなどの確認を行います。

(11) 運転・運用上の法規規制

高圧冷媒を使用したターボ冷凍機は、高圧ガス保安法の適用を受け冷凍保安責任者が必要となる場合があります。有資格者の要否、在否などを事前に確認します。また、「フロン類使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」(略称: フロン排出抑制法)でのフロン類(CFC, HCFC, HFC)を使用するターボ冷凍機は「第一種特定指定製品」になり、適切な点検・修理を行い、かつ記録を残す必要があります。(5章参照)

低圧冷媒使用機は高圧ガス保安法、労働安全衛生法の圧力容器基準には適用されません。

2.3 容量制御方式

(1) インレットガイドベーン制御

インレットガイドベーン制御方式は、ターボ冷凍機の代表的容量制御方式で、圧縮機インペラの吸い込み側に、図 2-4 の複数配置された扇形のベーンの回転角度を変化させ、冷媒ガスの量を制御することによって冷凍機の容量制御を行う方法です。

ベーンの開閉は、外部からベーンモータ又は空気アクチュエータによって行うものや、油圧によって行うものがあり、いずれも、蒸発器の冷水出口温度が一定の設定温度になるように、ベーン開度を制御するのが標準仕様です。

なお、圧縮機電動機が定格電流を超えることを防止するためにベーンの開度制限をする制御機能もあります。

ターボ冷凍機運転時の能力制御指標として、ベーン開度を表示する場合があります。

ベーン開度(%)とは、ベーンの全開と全閉に要する回転角、約 90 度を 100 %から 0 %に等分したものです。ベーン開度は、冷凍能力の割合と必ずしも符合するものではなく運転状

態の目安のひとつとして利用されます。運転電流（電動機入力）は、冷凍能力の比率と比較的符合し、運転管理の指標として利用できます。

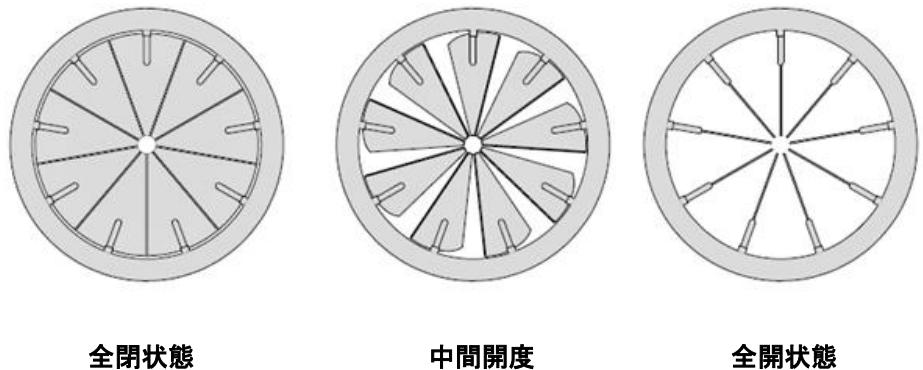


図 2-4 インレットガイドベーンの動作開度

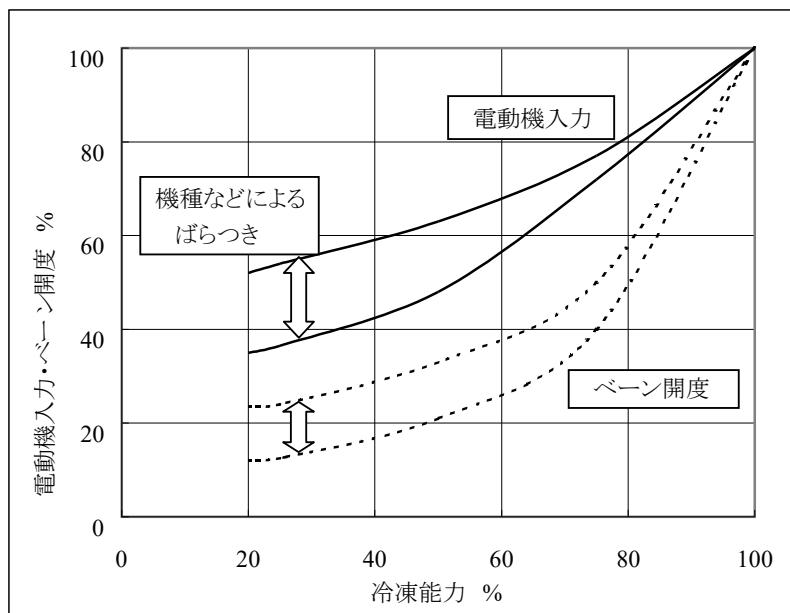


図 2-5 ターボ冷凍機の容量制御特性事例 (JIS 基準条件の場合)

(2) ホットガスバイパス弁制御

インレットガイドベーン制御下限以下における低負荷運転対応のための方法で、圧縮機吐出ガス（凝縮器内ガス）を液化させずに、圧縮機吸入側（蒸発器上部）へ自動弁を経由して流入させるものです。密閉形ターボ冷凍機の場合、電動機冷却用冷媒液確保のため、吐出ガスの一部を必ず液化させることが必要です。そのため能力制御の下限は、ホットガスバイパス弁を設けた場合でも約 10～15 %になります。

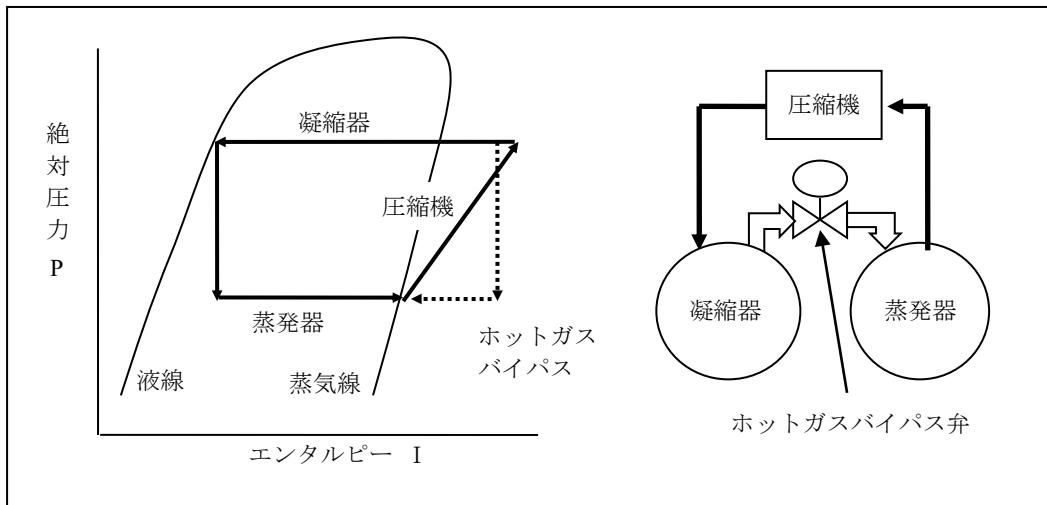


図 2-6 ホットガスバイパス弁システム例

2.4 システム制御

(1) 台数制御

ターボ冷凍機の台数制御事例を図 2-7 に示します。

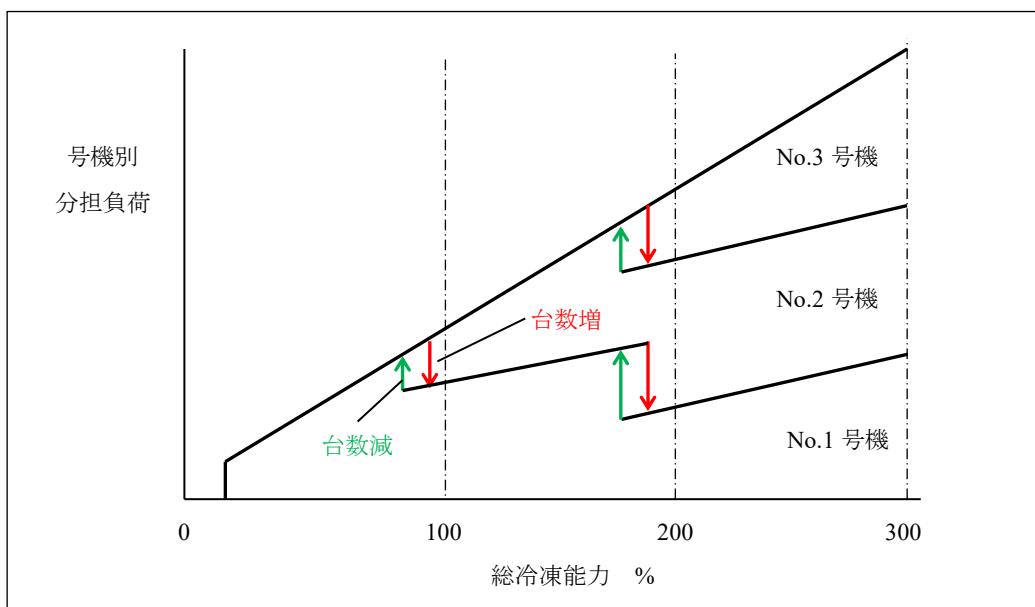


図 2-7 台数制御モデル事例

(2) 冷水変流量制御

- 1) 冷水の変流量制御には、次のケースがあります。
 - (a) 冷水ポンプの台数切替
 - (b) 冷水ポンプモータのポールチェンジ
 - (c) 冷水ポンプモータのインバータ駆動
- 2) いずれの場合にも以下のようない注意が必要です。
 - (a) 流量の変化スピードはメーカ推奨の値を守った上で行う。(冷水出口温度の不安定、サーボング、差圧スイッチの誤作動要因)
 - (b) 流量下限は、おおむね 50 %とする。(制御系の協調、凍結故障防止)
 - (c) 冷水の圧力損失に注意。(機械式保護装置の動作値による: 差圧スイッチなど)
 - (d) 低流量運転時間が長い場合、水質によってスケール障害に注意。
 - (e) 運転継続中のポンプ台数切替は、冷凍機メーカに問い合わせください。(切替予告信号による冷凍機負荷制限運転などの検討)

(3) 冷却水変流量制御

- 1) 冷却水の変流量制御には、次のケースがあります。
 - (a) 冷却水ポンプの台数切替
 - (b) 冷却水ポンプモータのポールチェンジ
 - (c) 冷却水ポンプモータのインバータ駆動
- 2) いずれの場合にも以下のようない注意が必要です。
 - (a) 流量の変化スピードはメーカ推奨の値を守った上で行う。(サーボング、差圧スイッチの誤作動要因)
 - (b) 流量下限は、おおむね 50%とする。(制御系の協調、冷却塔との連係に注意)
 - (c) 冷却水の圧力損失に注意。(機械式保護装置の動作値による: 差圧スイッチなど)
 - (d) 低流量運転時間が長い場合、水質によってスケール障害に注意。
 - (e) 運転継続中のポンプ台数切替は、冷凍機メーカに問い合わせください。(切替予告信号による冷凍機負荷制限運転などの検討)

2.5 冷凍能力特性

(1) 期間成績係数

冷凍機の性能は、冷凍能力の変化及び冷却水温度の季節変動によって変化します。

JIS B 8621 : 2019 「遠心冷凍機」では、年間を通して冷凍機を運転する場合の期間成績係数の求め方の基準を定めています。設計条件だけの性能評価だけでなく、年間を通して効率的な運転をするための目安となります。

表 2-3 期間成績係数の算定条件

負荷率	100 %	75 %	50 %	25 %
冷却水入口温度	32 °C	27.5 °C	23.0 °C	18.5 °C
重み係数	0.01	0.47	0.37	0.15

期間成績係数の計算式は次式による。

$$\text{IPLV} = (\text{負荷率 } 100\% \text{ 時の重み係数} \times \text{成績係数}) + (\text{負荷率 } 75\% \text{ 時の重み係数} \times \text{成績係数}) \\ + (\text{負荷率 } 50\% \text{ 時の重み係数} \times \text{成績係数}) + (\text{負荷率 } 25\% \text{ 時の重み係数} \times \text{成績係数})$$

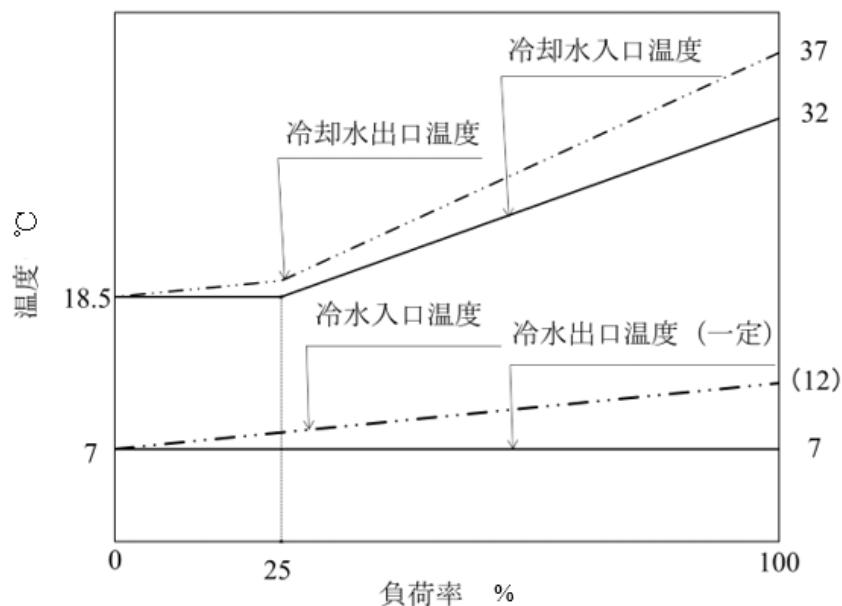


図 2-8 部分負荷条件

(2) 使用条件の変化と冷凍機特性

当初の設計条件と大きく使用条件が変化した時の特性は、機械の種類によって差異がある場合があり、メーかに問い合わせください。

参考として、**図 2-9**、**図 2-10**に、冷却水温度及び冷水温度変化の例を示します。

これらの特性は一般的にはシミュレーションによって算出しますが、部分負荷運転時程、計測上（負荷不安定、計測精度、計測位置など）の影響が大きくなるため、計算値と実機との誤差が大きくなるので注意が必要です。

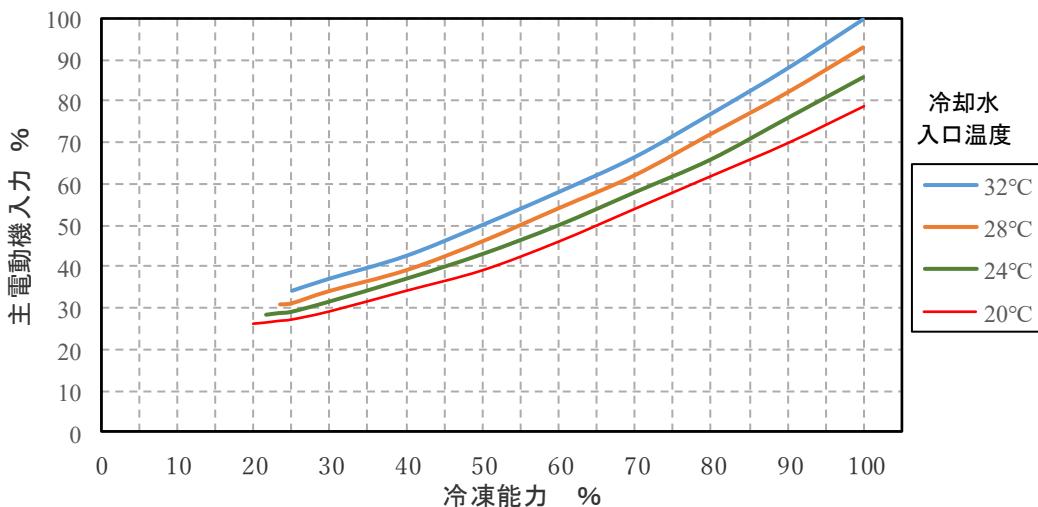


図 2-9 定速形ターボ冷凍機部分負荷特性例

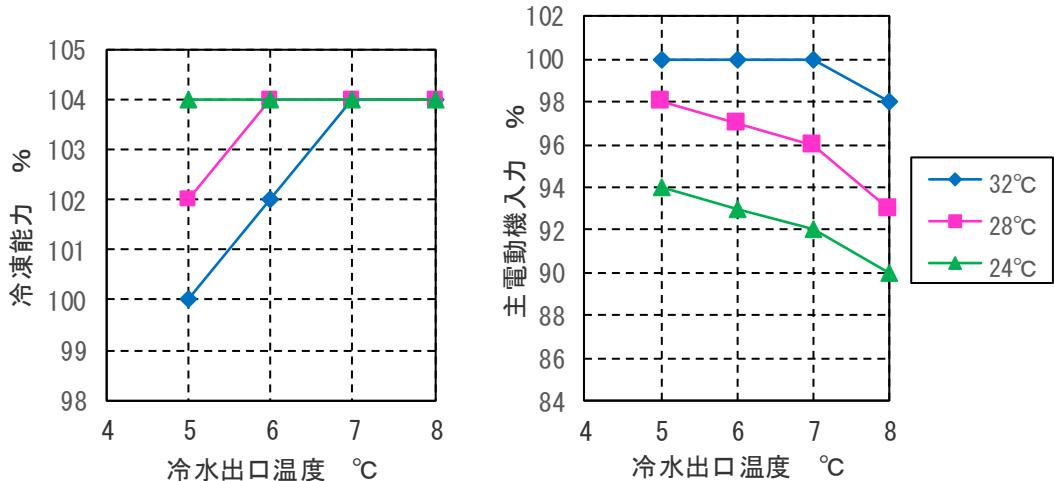


図 2-10 冷水温度変化と特性例

2.6 冷水, 冷却水ポンプの制御方法

冷凍専用形の標準的な制御フローを示します。

(冷凍専用形以外の場合の挙動については、メーカに問い合わせください。)

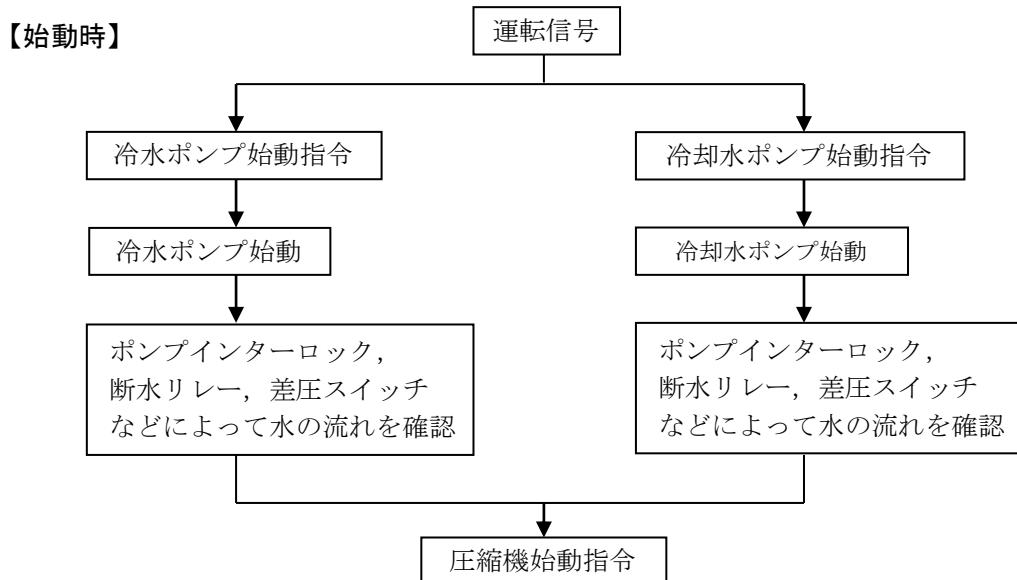


図 2-11 始動制御フロー例

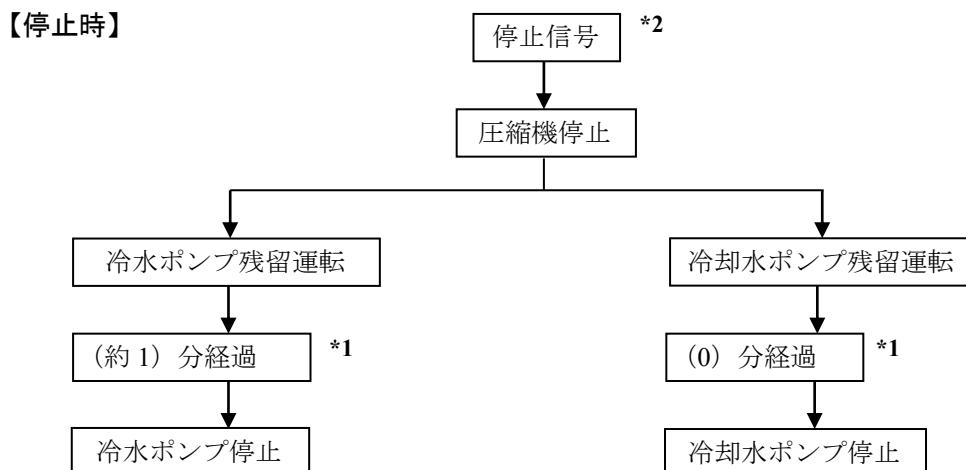


図 2-12 停止制御フロー例

*1 残留運転時間はシステムによって異なりますので、メーカに問い合わせください。

通常、冷却水ポンプは圧縮機停止と同時に停止、冷水ポンプは約 1 分程度運転して停止します。

*2 冷凍機が低負荷による自動停止した時は、冷却水ポンプだけ停止し、冷水ポンプは運転を継続します。

負荷の増減を冷凍機の冷水温度センサーで検知しているためで、冷水温度が上昇すれば冷凍機は自動的に再始動します。

2.7 冷水・冷却水温度（冷凍専用形）の使用限界

（冷凍専用形以外の場合は、メーカーに問い合わせください。）

（1）冷水温度

1) 冷凍機停止中の限界

一般的には、ターボ冷凍機低圧部（蒸発器、圧縮機）の設計圧力が、冷媒温度35～38°C相当の飽和圧力であることから、冷水温度又は機械周囲温度上限は約35°C以下になります。

寒冷地の場合、冬期凍結防止のための保温・加熱・ポンプ空転・落水処置・ブラインの採用などが必要です。

2) 冷凍機始動時の限界

ターボ冷凍機電動機始動トルクの限界より、冷水入口温度は、約25°C以下が望ましく、電動機盤の仕様（減電圧始動型の場合）によって異なります。

3) 冷凍機運転中

冷水入口温度は定格仕様入口温度以下、冷水出口温度は定格仕様出口温度以上となります。

冷凍機運転下限以下の低容量時は、冷水過冷却保護スイッチの設定（一般的には定格出口温度-2°C程度）温度以上でなければなりません。

4) 冷水出口設定温度の下限

設計仕様温度以上でなければなりません。

（2）冷却水温度

1) 冷凍機停止中

一般的にはターボ冷凍機高圧部の設計圧力が、冷媒温度43°C相当の飽和圧力であることから、冷却水温度は、この温度より十分低い温度でなければなりません。

寒冷地の場合、冬期凍結防止のための保温・加熱・ポンプ空転・落水処置・密閉形冷却塔の場合はブラインの採用などが必要です。

2) 冷凍機始動時

ターボ冷凍機始動時は、冷水温度も定格値以上である場合が多く、排熱量が定格よりも増加するため、凝縮器高圧スイッチが作動する場合があり、冷却水入口温度は、定格値（例：32°C）よりも5°C程度低い（例：27°C以下）方が望ましいです。

春、秋、冬の低温時期には、室外配管、冷却塔が冷え、屋内冷水温度と逆転することがあり、冷凍機の自動始動が困難になるため避ける必要があります。このような場合には、冷却水流量を一時的に調整し、冷凍機を手動で始動する方法などがあります。

3) 冷凍機運転中

冷却水入口・出口温度ともに上限は定格仕様温度です。

2.8 最小保有水量

ターボ冷凍機は、一般的に 100~20 %程度まで比例制御できますが、それ以下の負荷ですと、始動・停止制御になります。頻繁な始動・停止制御による圧縮機の寿命低下などを防止するため、最小容量制御時でも 5~10 分間程度の運転継続ができる保有水量をシステム系内に確保できるクッションタンクなどの設置が望ましいです。

2.9 水側の使用圧力限界

冷水、冷却水の設計圧力は、通常 0.7 MPa です。それ以上の圧力にて使用される場合はあらかじめメーカーに問い合わせください。

2.10 使用電源

ターボ冷凍機の電源は、主電動機用電源と制御用電源に大別されます。

主電動機用電源とは、圧縮機電動機の電源のことをいい、標準的なものとして次の種類があります。

表 2-4 主電動機用の電源仕様

項目	50 Hz	60 Hz
400 V 級	400, 415	440
3 000 V 級	3 000, 3 300	3 300
6 000 V 級	6 000, 6 600	6 600

使用電源はメーカーのカタログなどにて確認してください。カタログ記載値以外の場合はメーカーに問い合わせください。

制御用電源とは、潤滑油ポンプ用電動機や潤滑油ヒータ及びターボ冷凍機操作盤の電源のことをいい、次の種類があります。

表 2-5 制御用電源仕様

項目	50 Hz	60 Hz
200 V 級	200	200, 220
100 V 級	100	100, 110

主電動機用電源、制御用電源は、それぞれ、ターボ冷凍機電動機盤・操作盤に供給されます。

主電動機用電源は、始動回路を経由してターボ圧縮機の電動機へ接続されます。

制御用電源は、ターボ冷凍機操作盤内で、油ポンプ用電動機や油ヒータ及びターボ冷凍機本体操作盤用の電源に分配されます。

長時間停電時の潤滑油ヒータ電源の停電を生じないよう、非常用電源などによるバックアップが必要です。

電源電圧、周波数の変動はターボ冷凍機の性能、主電動機の寿命への影響が大きいため、安定供給を図れるよう、電源側の設計検討を十分行ってください。

また、落雷などによる瞬時電圧降下対応については、電源回復後自動的に再始動させる方式が確実です。冷凍機メーカーに問い合わせください。

2.11 瞬時電圧降下について

瞬時電圧降下対策は冷凍機の保護のため、冷凍機はいったん停止しますが、電源供給を含む全ての状態（油温、インレットガイドベーン開閉度、冷水・冷却水ポンプ、電圧など）が正常に戻ると再始動ができる状態が用意されます。なお自動再始動回路及び瞬時電圧降下検出範囲は冷凍機メーカに問い合わせてください。

2.12 始動方式

使用する電源電圧や電源容量によって幾つかの始動方式があります。

突入電流があるので、上位保護装置との協調が必要です。

電動機盤を設備側にて用意される場合はメーカに問い合わせてください。

(1) 直入始動

全電圧始動とも言われ、電動機の巻線に 100 %の電圧を最初から印加する方式です。電動機本来の大きな加速トルクが得られ始動時間が短く、電動機盤が安価という特長があります。反面、始動電流が大きく他設備への電圧降下影響が問題となることがあります、系統協調が重要です。

(2) スターデルタ始動

始動時は固定子巻線をスター回路に接続し始動完了後デルタ回路に切替ます。始動電流・始動トルク共に直入始動の 1/3 になります。主に低圧電動機に適用されます。始動電流による電圧降下を軽減でき、減電圧始動の中で安価という特長があります。

スターからデルタへの切替え時に一次側から開放されるので電気的・機械的衝撃が発生します。この衝撃を防止するため、スターからデルタへの切替えの際、抵抗を挿入して電源開放しないクローズドスターデルタ方式を採用する場合もあります。

(3) リアクトル始動

電動機の一次側にリアクトルを入れ始動時電動機の印加電圧を下げて始動します。タップを切替えることによる始動電流・始動トルクを調整可能で滑らかな始動が可能です。始動電流の割に始動トルクが小さいため、タップ選定が重要です。

(4) コンドルファ始動

始動用変圧器を用いて始動し、次に中性点を開放してリアクトルとし、最後に 100 %の電圧を印加します。減電圧始動の中では始動トルク、始動電流特性に優れています。設備費が高価な欠点があります。

(5) インバータ始動（ソフトスタート）

電動機の電源回路に可変周波数変換装置（インバータ）を組込み、圧縮機の回転数を可変制御します。始動時の圧縮機の回転をゼロから所定の回転数まで滑らかに立ち上げ、始動電流を定格電流前後に抑えられます。

2.13 インバータ制御方式

ターボ冷凍機のインバータ制御は、冷却塔循環水の季節的な温度変化を有効に活用し、ターボ冷凍機の圧縮機回転数を可変制御することによって、冷凍機の部分負荷運転効率を高めることを目的に行うシステムです。

圧縮機回転数制御は、従来スチームタービン駆動、エンジン駆動方式などにおいて採用されていますが、最近、低圧に加え高圧電動機用インバータがはん用化され、ターボ冷凍機にも多く採用されています。

インバータ制御による運転効率向上の決めては、年間運転設備で、特に冬期から中間期にかけて冷却水低温期における運転時間が長く、比較的負荷の小さいことが重要です。日本の場合、秋から春先まで約6ヶ月間もの間、冷却水温度の低温期があり、インバータ採用効果が得られるやすい環境と言えます。

(1) インバータ制御方式のスケルトン事例

商用電源始動との切替えなしの場合を下図に示します。インバータ制御方式は、インバータ、トランスなどの電気損失が3%前後あり、高速回転時には商用電源（リクトル始動など）運転より動力増加になる場合があります。そのため、真夏には商用、それ以外の時期にはインバータ制御へ切替えて運用する場合もあります。設備費、故障時のバックアップなどとの見合いによって選定することが重要です。

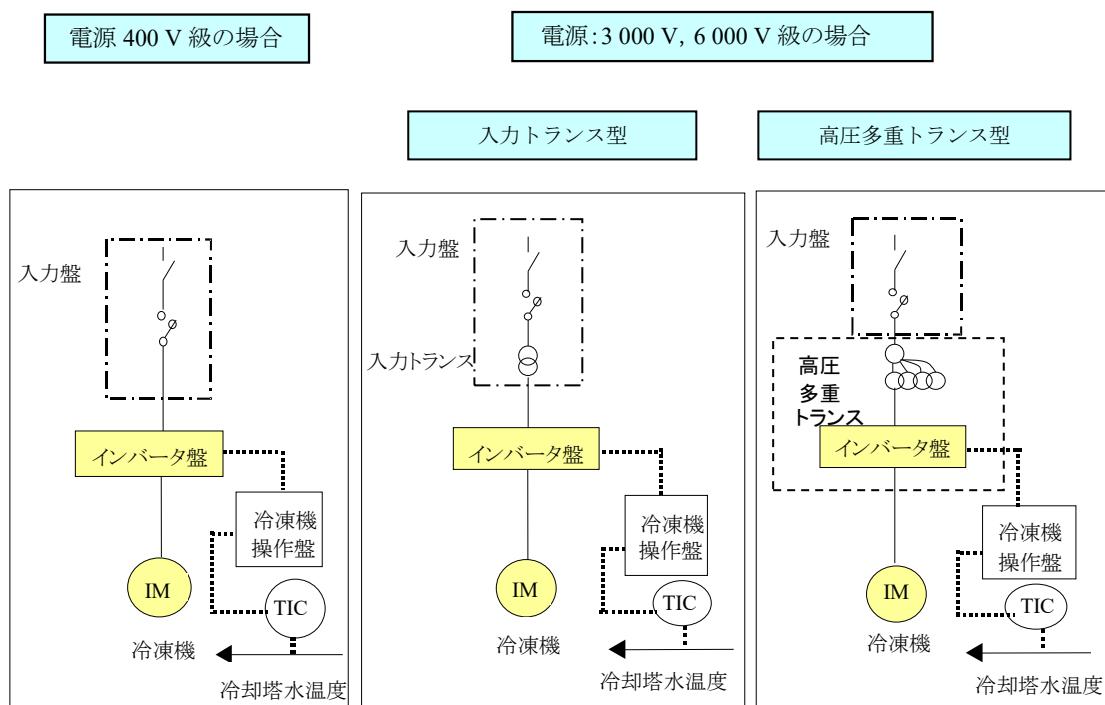


図 2-13 ターボ冷凍機インバータ制御方式のスケルトン例

(2) インバータ制御方式 COP 事例

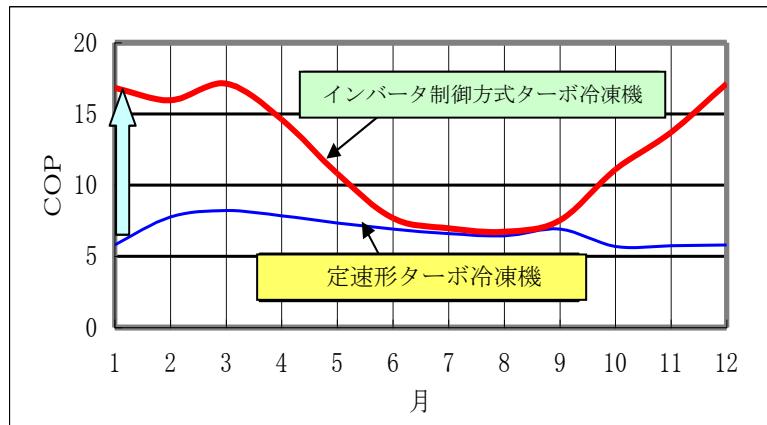


図 2-14 インバータ制御方式の年間冷房 COP のイメージ

(3) インバータ制御方式導入時の主な留意点

1) 電源設備全体としての高調波影響検討

高調波抑制対策ガイドラインに従い、受電系統ごとにターボ冷凍機のインバータ盤だけでなく冷水ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔ファンなどの熱源設備機器のインバータ盤を含めた高調波発生機器の等価容量を算出し、必要に応じ高調波流出電流を上限値以下とすることが必要です。

2) インバータ冷却用換気量の確保

インバータは、内部発熱するため空気で冷却し内部温度の上昇を抑制する必要があります。冷却空気が室内に滞留しないよう十分な換気が必要です。

3) 接地線工事

インバータは、自身から発生するノイズを他設備へ影響させないため、及び周囲機器からのノイズを遮断するため、接地線は独立した接地線を設けることが重要です。

接地線を接地極まで専用布設し、他の接地線に対し 300 mm 以上の離隔を取って配線することが望ましいです。

4) インバータ制御ターボ冷凍機専用冷却塔設置

他機器（吸収式冷凍機など）と兼用の冷却塔を使用した場合、他機器の冷却水温度制御によって低温冷却水効果を利用できないこともあります。ターボ冷凍機自身の都合に応じた冷却水温度が得られるよう、専用冷却塔を設置することが重要です。

2.14 振動、騒音

振動・騒音値は冷凍機メーカの計測環境での実測値に基づいて表示されています。

機器据付場所の環境条件（基礎、壁、周辺の反射物、防熱、防振方法、水配管接続方法など）によって、このメーカの数値は異なってきます。

ターボ冷凍機の運転によって発生する騒音は、流体的要因によるものと、機械的要因によるものとがあり、相乗された騒音となっています。

(1) 流体的要因

1) インペラに起因するもの

騒音周波数は、(羽枚枚数×回転数) 及びその整数倍。

2) サージングに起因するもの

次の理由によって、圧縮比が特性上の限界を超えた時発生。

- ・冷却水流量の減少、冷却水温度の異常上昇、凝縮器チューブの汚れ、不凝縮ガスの機内浸入（低圧冷媒使用機の場合）などによる凝縮圧力の上昇。
- ・冷水の過冷却、冷水流量の減少、冷媒量の不足、膨張弁の故障、蒸発器チューブの汚れ、冷媒中への潤滑油混入量増加などによる蒸発圧力の低下。

3) 冷媒の流れに起因するもの

- ・インレットガイドベーンの動作によります。
- ・ホットガスバイパスの動作によります。

(2) 機械的要因

振動が原因で騒音が発生する場合があります。

1) 圧縮機回転軸の不釣合による振動

この時発生する騒音・振動周波数は、軸の回転周波数に一致。

2) 歯車による振動、騒音

圧縮機及び電動機の周波数の整数倍や分数倍に発生。

3) ミスアライメント（芯ずれ）による振動

圧縮機と駆動装置の結合部のミスアライメント（芯ずれ）によって結合部から発生。

4) 接触による振動

インペラ、回転部品などとケーシングの接触によって発生。

5) 軸受による振動

軸受の経年劣化、組立不具合や潤滑油の劣化、異物混入、油圧不適正などによる軸振れ。

振動、騒音値は、冷凍機メーカ、機種及び冷凍能力によって異なります。

各冷凍機メーカの資料（カタログ、技術資料など）を参照ください。

2.15 防振設計

熱交換器脚部の下に、防振材としてゴムパッド、スプリングパッドなどを使用します。

標準的な防振材として、90 %程度の振動を吸収できるよう厚さ 10 mm 程度のゴムパッドが使用されています。95 %以上の防振効果を期待する場合は、ゴム材の中にスプリングを埋め込んだスプリングパッドがよく使用されています。

防振効果が高い防振材ほど、機器重量の変化による厚さの変位が大きく、冷水・冷却水配管にはフレキシブル継手を使用する必要があります。乾燥重量（設置工事時やオーバホール）と運転時では機器重量は大きく異なります。

なお、冷凍機の圧縮機・電動機の振動伝達防止以外に、設置上の配慮として配管から伝達される流体振動があります。20 Hz 以下の振動周波数が特徴のためこの低周波振動が発生している場合は配管からの振動伝達の可能性があります。配管経由の振動伝播を遮断するようにフレキシブル継手を入れるなどの対策が必要です。

2.16 メンテナンススペース

(1) 一般的計画条件

考え方を図2-15に示します。低圧冷媒使用機の場合は、JRA GL-01:2017及び2023「遠心冷凍機の施設ガイドライン」によります。作業・保守空間距離の規定は各都道府県によって異なる場合がある為、担当窓口への事前相談が重要です。

- 1) チューブ保守空間（据付延長線上の空間、左右いずれか）
- 2) 操作盤前面保守空間
- 3) 水室開放作業空間
- 4) 機器分解作業、つり作業用空間
- 5) 周囲点検、保守部品運搬空間

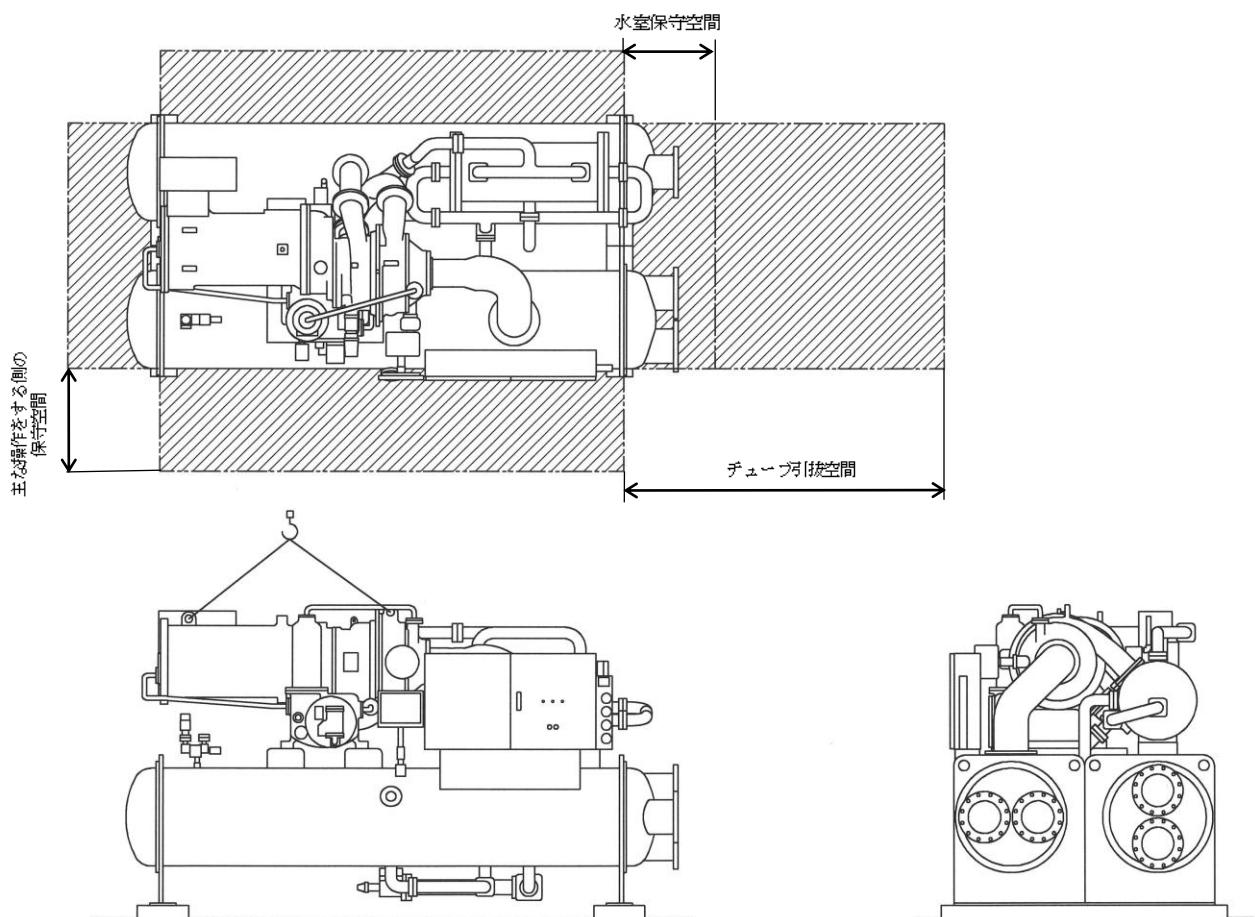


図2-15 メンテナンススペースの計画

上記以外の保守空間として下記などが必要です。

- 1) 圧縮機ユニット、電動機盤、冷媒などの保守時搬出入通路
- 2) 保守工具（チューブ洗浄装置、冷媒移充填工具など）の搬出入、仮置き場所
- 3) 保守部品などの運搬、搬出入通路
- 4) チューブ洗浄時の排水溝
- 5) 電動機盤、インバータ盤の保守空間

(2) 冷凍保安規則による火気設備との離隔距離

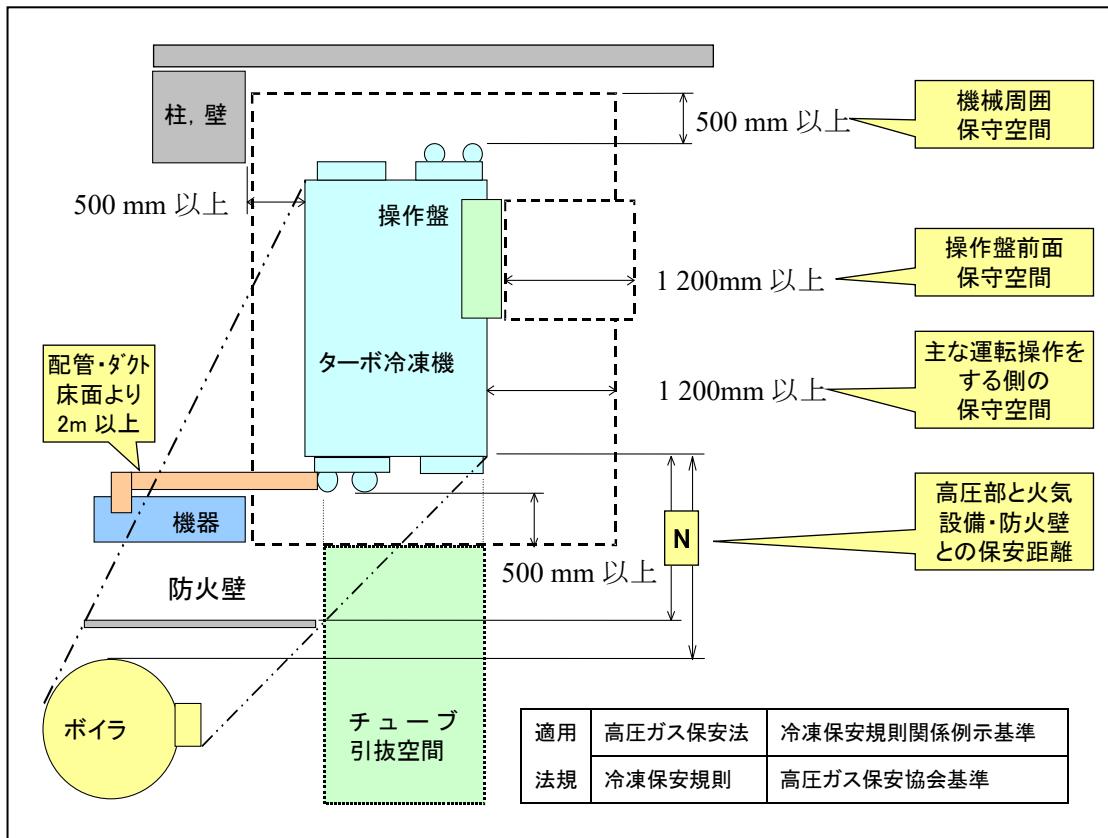


図 2-16 ターボ冷凍機と火気設備などへの離隔距離

表 2-6 火気設備との距離 (冷凍保安規則関係例示基準)

火気設備区分	防火壁 有無	製造者区分と保安距離 (N)	
		第 1 種製造者 (非ユニット型及び ユニット型)	第 2 種製造者 (指定設備)
大型火器設備 (伝熱面積が 14 m ² を超えるボイラ)	無し	5 m	1.5 m
	有り	2 m	0.8 m
中型火器設備 (伝熱面積が 8 m ² を超え 14 m ² 以下のボイラ)	無し	2 m	1 m
	有り	1 m	0.5 m
小型火器設備 (伝熱面積が 8 m ² 以下のボイラ)	—	1 m	制限無し*1

*1 熱影響で許容圧力を超えないこと。

3章 施工計画

3.1 設置における法規上の注意点

R134aなどの高圧冷媒を使用するターボ冷凍機の設置に関しては、高圧ガス保安法の適用を受けますが、ユニット型や認定指定設備は、運転に関する有資格者が不要です。**表3-1**に不活性ガス(R134aなど)を使用したターボ冷凍機、**表3-2**に特定不活性ガス(R1234yf, R1234ze(E)など)を使用したターボ冷凍機の設置などに関する法規制の主な要点を示します。詳細は法規原文を参照すると共に、各都道府県の担当窓口への事前相談が重要です。

表3-1 不活性ガス (R134aなど) ターボ冷凍機の設置などに関する法規制の要点

摘要 段階	項目	ユニット型の場合	非ユニット型の場合	指定設備適用の場合
設置	法定冷凍能力	*1	法定冷凍能力*3 50トン 以上	法定冷凍能力*3 50トン 以上
	有資格者の有無	不要	第一種冷凍機械責任者 が必要	不要
	搬入形態		分割搬入可 (ただし、溶接再組立は不可)	一体組立搬入 (保冷含む)
	設置許可、届出		設置許可申請が必要 第1種製造者	設置届出が必要 第2種製造者
	危害予防規定届		届出必要	届出不要
完成時	官庁検査		据付後の官庁立会 完成検査実施	メーカ工場で認定検査実施、現地官庁完成検査不要
	冷凍機械室の 施設基準		換気、安全弁放出管、火気設備との保安距離 など必要	同左
運用	運転 管理	保安検査	3年ごとに官庁検査	不要
		自主検査	毎年*2	毎年
廃棄時	製造中止		届出必要	同左
	冷媒回収		有資格の専門業者による	同左
	破壊処理		有資格の専門業者による	同左

*1 冷凍保安規則第36条第2項の要件を満たす、いわゆるユニット型。

(冷凍能力の制限は、平成16年(2004年)12月17日省令改正にて削除された)

*2 毎年の自主点検記録を作成し保管が必要です。安全装置(安全弁の検査など)は毎年の検査が必要です。

*3 遠心圧縮機の原動機の定格出力1.2kWをもって法定冷凍能力1トンとします。

表 3-2 特定不活性ガス (R1234yf, R1234ze(E)など) ターボ冷凍機の設置などに関する法規制の要点

摘要 段階	項目	ユニット型の場合	非ユニット型の場合	指定設備適用の場合
設置	法定冷凍能力	*1	法定冷凍能力*3 50トン 以上	法定冷凍能力*3 50トン 以上
	有資格者の有無	不要	第一種冷凍機械責任者 が必要	不要
	搬入形態		分割搬入可 (ただし、溶接再組立は不可)	一体組立搬入 (保冷含む)
	設置許可、届出		設置許可申請が必要 第1種製造者	設置届出が必要 第2種製造者
	危害予防規定届		届出必要	届出不要
完成時	官庁検査		据付後の官庁立会 完成検査実施	メーカ工場で認定検査実施、現地官庁完成検査不要
	冷凍機械室の 施設基準		機械換気 (冷凍機と換気設備とのインターロック機能)、安全弁放出管、冷媒漏えい検知装置、火気設備との保安距離など必要	同左
運用	運転 管理	保安検査	3年ごとに官庁検査	不要
		自主検査	毎年*2	毎年
廃棄時	製造中止		届出必要	同左
	冷媒回収		有資格の専門業者による	同左
	破壊処理		有資格の専門業者による	同左

*1 冷凍保安規則第36条第2項の要件を満たす、いわゆるユニット型。

(冷凍能力の制限は、平成16年(2004年)12月17日省令改正にて削除された)

*2 毎年の自主点検記録を作成し保管が必要です。安全装置(安全弁の検査など)は毎年の検査が必要です。

*3 遠心圧縮機の原動機の定格出力1.2kWをもって法定冷凍能力1トンとします。

また、R1233zd(E)などの低圧冷媒を使用するターボ冷凍機の設置に関しては、**JRA GL-01** : 2017及び2023「遠心冷凍機の施設ガイドライン」を参照してください。他の冷媒を使用するターボ冷凍機の設置に関しては、メーカに問い合わせください。

3.2 漏えいした冷媒ガスの滞留防止策

3.2.1 フルオロカーボン(不活性ガス)の施設

(1) 参照規格

各都道府県の高圧ガス冷凍手続きの要領書及び高圧ガス保安協会発行の「冷凍空調装置の施設基準(フルオロカーボン及び二酸化炭素の施設編) **HKHS 0302-1** (2025)」を参照してください。

(2) 漏えいした冷媒ガスの滞留防止

冷凍装置を設置する区画(機械室など)における漏えいした冷媒ガスの滞留防止策は開口部もしくは機械通風装置を設けることによります。

(3) 開口部の面積及び位置

- 1) 開口部は、直接外気に面した常時開放の開口窓又は扉とします。

開口部の面積は下記の最小面積 A (m²) 以上でなければなりません。

法定冷凍能力 80 トン以下 $A = 0.03 \text{ m}^2 \times \text{法定冷凍能力 (トン)}$

法定冷凍能力 80 トン超え $A = 0.14 \times [\text{法定冷凍能力 (トン)} \times 3.674]^{0.5}$

- 2) 開口面積が法定冷凍能力に対して不足する場合は、機械通風装置の設置が必要です。
- 3) 開口部の面積は、扉、窓の枠の内法寸法又は開口部の有効面積とします。なお、扉上下のすき間、グリル又は打ち抜き加工板はその有効面積とします。
- 4) 冷媒の比重は空気より大きく、漏えいした冷媒ガスは機械室などの床面に滞留するので、床面近くの低い位置で排気に有効な気流が生じ易い位置に開口部を設けることが重要です。
- 5) ターボ冷凍機に付属する安全弁やラプチャーディスクには機械室などから屋外へ冷媒を排出するための配管を接続してください。

(4) 機械通風装置

- 1) 法定冷凍能力に対応する十分な開口部が確保できない場合には、下記に示した通風風量 F (m³/min) 以上の換気能力を有する機械通風装置を設けなければなりません。不足する開口部がある場合であっても、開口を有しないものとみなして下記通風能力としても差し支えありません。

法定冷凍能力 80 トン以下 $F = 0.4 \times \text{法定冷凍能力 (トン)}$

法定冷凍能力 80 トン超え $F = 2 \times [\text{法定冷凍能力 (トン)}]^{0.65}$

- 2) 原則として、外気押込み方式の通風装置とし、外気が室の上部から押込まれ、室内空気と漏えい冷媒ガスの混合気体が室の下部開口部から排気できる方式のものであって、強制的に所定量の通風能力を有する必要があります。なお、外気押込み方式の通風装置が適切でない場合には、室の下部から強制的に所定量の室内空気と漏えい冷媒ガスの混合気体を排気し、室の上部開口部から外気を吸い込める方式の通風装置を設置する必要があります。
- 3) 排気ダクト及び給気ダクトは不燃材料で作られた専用のものとし、内面は通風に障害とならない構造とすることが必要です。また、排気ダクトの吸い込み口は漏えいした冷媒ガスの滞留する床面近くまで下げておくことが必要です。ダクトの最小断面積は、排気量に応じた十分な大きさであることが必要です。
- 4) 機械通風装置は機械室などの内部及び外部のいずれにおいてもから発停できるようにし、発停装置は機械室などへの出入り口付近で見やすく、容易に操作ができる場所に設置が必要です。なお、発停装置を屋外に設ける場合には、当該発停装置は防水構造とし、又は雨水が浸入しないような防護措置を講じ、かつ、関係者以外のものが操作することがないような措置を講じることが必要です。

(5) 冷媒ガス漏えい検知警報設備

- 1) 検知警報設備の検出端部は、圧縮機、凝縮器などの冷凍設備の設備群の周囲の長さ 15 m につき 1 個設けてください。
- 2) 機械室、低圧容器室に検知警報設備の複数個の検出端部を取り付けるときには、少なくとも 1 個はその主要部に近い排気口に付近に取り付けてください。
- 3) 検知警報設備の検出端部を設置する高さは、当該冷媒ガスの空気に対する比重、周囲の状況、冷媒設備の構造などの条件に応じて定めてください。なお、床面から 0.3 m 以下の高さの位置に取り付けてください。
- 4) ランプの点灯又は点滅及び警告音を発する場所は、関係者が常駐する場所であって、警報を発した後、必要な対策を講ずるのに適切な場所としてください。

3.2.2 特定不活性ガスの施設

(1) 参照規格

各都道府県の高圧ガス冷凍手続きの要領書、高圧ガス保安協会発行の **KHKS 0302-5 (2025)** 「冷凍空調装置の施設基準(特定不活性ガスの施設編)」及び **JRA GL-15:2022** 「微燃性 (A2L) 冷媒を使用したチラーの冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン」を参照してください。

(2) 漏えいした冷媒ガスの滞留防止

冷凍装置を設置する区画（機械室など）における漏えいした冷媒ガスの滞留防止策は開口部もしくは機械通風装置を設けることによります。

(3) 開口部の面積及び位置

- 1) 開口部は、直接外気に面した常時開放の開口窓又は扉とします。開口部が常時開放されていない場合には、冷媒ガス漏えい検知警報設備と連動した機械通風装置が必要になります。開口部の面積は下記の最小面積 A (m²) 以上でなければなりません。

$$A = 0.05 \text{ m}^2 \times \text{法定冷凍能力 (トン)}$$

- 2) 開口面積が法定冷凍能力に対して不足する場合は、機械通風装置の設置が必要です。
- 3) 開口部の面積は、扉、窓の枠の内法寸法、又は開口部の有効面積とします。なお、扉上下のすき間グリル又は打ち抜き加工板はその有効面積とします。
- 4) 冷媒の比重は空気より大きいため、漏えいした冷媒ガスは機械室などの床面に滞留するので、床面近くの低い位置で排気に有効な気流が生じ易い位置に開口部を設けることが重要です。
- 5) ターボ冷凍機に付属する安全弁やラプチャーディスクには機械室などから屋外へ冷媒を排出するための配管を接続してください。

(4) 不足した開口面積に応じた機械通風装置 ^{*1}

- 1) 法定冷凍能力に対応する十分な開口部が確保できない場合には、その不足する開口部の面積に応じ、下記に示した通風風量 F (m³/min) 以上の通風能力を有する機械通風装置を設けなければなりません。

$$F = 2 \times \text{法定冷凍能力 (トン)}$$

- 2) 原則として、外気押込み方式の通風装置とし、外気が室の上部から押込まれ、室内空気と漏えい冷媒ガスの混合気体が室の下部開口部から排気できる方式のものであって、強制的に所定量の通風能力を有する必要があります。なお、外気押込み方式の通風装置が適切でない場合には、室の下部から強制的に所定量の室内空気と漏えい冷媒ガスの混合気体を排気し、室の上部開口部から外気を吸い込める方式の通風装置を設置する必要があります。
- 3) 排気ダクト及び給気ダクトは不燃材料で作られた専用のものとし、内面は通風に障害とならない構造とすることが必要です。また、排気ダクトの吸い込み口は漏えいした冷媒ガスの滞留する床面近くまで下げておくことが必要です。ダクトの最小断面積は、排気量に応じた十分な大きさであることが必要です。
- 4) 機械通風装置は機械室などの内部及び外部のいずれからも発停できるようにし、発停装置は機械室などへの出入り口付近で見やすく、容易に操作ができる場所に設置が必要です。なお、発停装置を屋外に設ける場合には、当該発停装置は防水構造とし、又は雨水が浸入しないような防護措置を講じ、かつ、関係者以外のものが操作することができないような措置を講じることが必要です。
- 5) 通風装置の排気ダクトは燃焼装置を有する火気設備の排気ダクトとは別に設けなければなりません。

*1 冷凍設備運転及び停止中に関わらず、機械通風装置を運転してください。また、機械通風装置の通風能力が失われた場合、冷凍設備には運動機能を設けて始動しないようにする必要があります。また、通風装置が故障した場合に備え、2系統以上の通風装置を設置しなければなりません。2系統の通風装置は配線用遮断器を分け、それぞれ別電源とする必要があります。

(5) 機械通風装置 ^{*2}

- 1) 法定冷凍能力に対応する十分な開口部が確保できない場合には、下記に示した通風風量 F (m^3 / min) 以上の通風能力を有する機械通風装置を設けなければなりません。不足する開口部がある場合であっても、開口を有しないものとみなして下記通風能力としても差し支えありません。

$$\text{法定冷凍能力 } 80 \text{ トン以下 } F = 0.4 \times \text{法定冷凍能力 (トン)}$$

$$\text{法定冷凍能力 } 80 \text{ トン超え } F = 2 \times [\text{法定冷凍能力 (トン)}]^{0.65}$$

- 2) 機械室などの上部に給気口を設け、床面近くに排気口を設けることが必要です。
- 3) 機械通風装置は機械室などの内部及び外部のいずれからも発停できるようにし、発停装置は機械室などへの出入り口付近で見やすく、容易に操作ができる場所に設置が必要です。なお、発停装置を屋外に設ける場合には、当該発停装置は防水構造とし、又は雨水が浸入しないような防護措置を講じ、かつ、関係者以外のものが操作することができないような措置を講じることが必要です。
- 4) 排気ダクト及び給気ダクトは不燃材料で作られた専用のものとし、内面は通風に障害とならない構造とすることが必要です。また、排気ダクトの吸い込み口は漏えいした冷媒ガスの滞留する床面近くまで下げておくことが必要です。ダクトの最小断面積は、排気量に応じた十分な大きさであることが必要です。
- 5) 通風装置の排気ダクトは燃焼装置を有する火気設備の排気ダクトとは別に設けなければ

なりません。

*2 冷凍設備運転及び停止中に関わらず、機械通風装置を運転してください。また、機械通風装置の通風能力が失われた場合、冷凍設備には連動機能を設けて始動しないようにする必要があります。また、通風装置が故障した場合に備え、2系統以上の通風装置を設置しなければなりません。2系統の通風装置は配線用遮断器を分け、それぞれ別電源とする必要があります。

(6) 冷媒ガス漏えい検知警報設備

- 1) 検知警報設備の検出端部は、圧縮機、凝縮器などの冷凍設備の設備群の周囲の長さ 10 m につき 1 個設けてください。ただし、機械室内に設置された設備群の周囲を 1 つの長方形で囲ったとき、その面積で当該機械室の床面積（以下「設備群面積」という）を除した値が 1.8 以上である場合には、設備群面積に応じ、下表の最低設置個数とすることができます。

表 3-3 検知警報設備の検出端部の最低設置個数

設備群面積 S (m ²)	0 < S ≤ 30	30 < S ≤ 70	70 < S ≤ 130	130 < S ≤ 200	200 < S ≤ 290
最低設置個数	1	1	1	1	1

- 2) 機械室、低圧容器室に検知警報設備の複数個の検出端部を取り付けるときには、少なくとも 1 個はその主要部に近い排気口に付近に取り付けてください。
- 3) 検知警報設備の検出端部を設置する高さは、当該冷媒ガスの空気に対する比重、周囲の状況、冷媒設備の構造などの条件に応じて定めてください。なお、床面から 0.3 m 以下の高さの位置に取り付けてください。
- 4) ランプの点灯又は点滅及び警告音を発する場所は、関係者が常駐する場所であって、警報を発した後、必要な対策を講ずるのに適切な場所としてください。

(7) 消火設備

粉末消火器は、可搬性のもので能力単位 B-10 以上であって、粉末収納量 6 kg 以上のものでなければなりません。その他の消火器は、同等以上の性能を有し油火災及び電気火災に適応したものでなければなりません。設置個数については、法定冷凍能力 30 トンあたり能力単位 B-10 の粉末消火器 1 個相当以上のものを設置しなければなりません。ただし、150 トン以上は最低 5 個となります。

3.3 設備側からのインターロック

ターボ冷凍機の圧縮機が始動する前には、必ず冷水ポンプや、冷却水ポンプ、機械通風装置が運転されていることを確認する必要があります。万一これらが運転していない状態でターボ冷凍機が冷却を開始すると、チューブ内の冷水の凍結や圧縮機の故障など大きなトラブルになります。したがって、必ずこれら補機とのインターロックを設け、確認して運転する必要があります。一般的には、ターボ冷凍機操作盤に、冷水ポンプ、冷却水ポンプのインターロック接点を接続します。

なお、ポンプインターロックの他、流量計や流量を直接検知する保護装置の接点などをインターロックとしています。

3.4 運転に必要なユーティリティ

(1) 補機・制御用電源

冷凍機内部補機（油ポンプ、油ヒータなど）用及び制御用電源が必要です。電源電圧容量は機種によって異なりますが、5～15 kVA程度になります。

(2) 計装用空気

制御・計装用として空気式を採用する場合には、計装用として空気源が必要となります。供給空気圧力は0.4～0.6 MPaが一般的です。消費量についてはシステムによって異なりますので、メーカに問い合わせください。

3.5 電気工事

(1) 計画

電気工事は関連する電気技術基準に従って計画します。配線ケーブルは、配線布設方式、配線引回し距離、負荷容量、許容電圧降下などに応じ適切なものを選定しなければなりません。

ターボ冷凍機の電源区分によるケーブルの許容電流事例として建築設備設計基準からの抜粋を表3-4に示します。

表3-4 ケーブルの許容電流事例

導体 断面積 (mm ²)	ケーブルラック式				電線管配線			
	600 V EM-CET		6 000 V EM-CET		600 V EM-CET		6 000 V EM-CET	
	許容電流 A	電動機 相当 kW(約)	許容電流 A	電動機 相当 kW(約)	許容電流 A	電動機 相当 kW(約)	許容電流 A	電動機 相当 kW(約)
14	86	45	40	300	63	30	40	300
22	110	55	120	900	82	40	95	700
38	155	80	170	1 300	110	55	130	1 000
60	210	105			150	75		
100	290	150			215	110		
150	380	190			275	140		
200	465	235			340	170		
250	536	270			395	205		
325	635	320			475	245		

備考 接地線：電子回路制御部品が多く使用されるため、ノイズ対応として、冷凍機周りの接地線は、他の接地線と離隔し、専用接地線によることが望ましい。

(2) 耐電圧

ターボ冷凍機用電動機及び電動機盤は、製作工場において耐電圧試験を実施済みです。やむを得ず現地でも実施する場合は、機内圧力を大気圧以上としてください。

試験に際しては、主回路から分岐配線されている低圧制御回路の分離のため、配線取り外しが必要です。状況によって冷凍機メーカや電動機盤メーカなどへ問い合わせください。

インバータ盤の場合はインバータを除外して試験する必要があります。

3.6 保冷工事

(1) 参照規格

JIS A 9501 : 2019 「保温保冷工事施工標準」を参照してください。

(2) 一般事項

- 1) 使用する保冷材の選定に当たっては、安全性及び施工性を考慮し適切なものを選び、保冷材の透湿率が大きい場合には、防湿材などを使用してください。
- 2) 使用温度において、熱収縮によるクラック、継ぎ目部などにすき間を生じにくい材料を選択してください。
- 3) 荷重のかかる箇所へは、材料が荷重に耐えられるものを使用してください。
- 4) 被保冷面は、ごみ・水・氷などの異物の付着がないことを確認してください。
- 5) 保冷材の保管、運搬及び施工中において、雨水などの水ぬれがないよう注意してください。
- 6) 保冷材止め用金具類、サポートなどは、保冷施工前に取り付けてください。

(3) 保冷施工時の保冷厚さ

表面温度を基準とする防露を設計条件とした場合の保冷厚さの代表例を表3-5に示します。ただし、保冷厚さは設計条件によって異なるため、メーカの施工要領に従ってください。

＜設計条件＞

周囲温度 30 °C, 相対湿度 85 %, 露点温度 27.2 °C, 内部温度 3 °C

表3-5 保冷厚さ例

管の場合		平面の場合
125 A 以下	150 A 以上	
30 mm	40 mm	40 mm

4章 運転保守編

4.1 日常の保守点検

日常の点検を正しく行うことによって、冷凍機の所定の機能と性能を維持し、省エネルギーな運転を確保し、冷凍機を長く使用することができます。

一般的な保守管理の考え方には、「事後保全」と「予防保全」がありますが、予防保全上の観点から、メーカ又は専門サービス会社との保守契約を結ばれることが望まれます。

(1) 点検時期

- 1) 冷凍機の日常点検には、下記があります。
 - (a) 毎日の点検
 - (b) 毎年の点検（1シーズン使用後、使用前）
- 2) 長期停止中の点検も重要な要素となります。
- 3) 定期点検（オーバーホール）は、冷凍機の寿命上重要な要素です。
- 4) 冷媒漏えい点検
フロン排出抑制法、JRA GL-14 : 2023「冷凍空調機器の冷媒漏えい防止ガイドライン」に基づく冷媒の漏れ点検を行ってください。冷媒漏えい点検は以下のとおり実施する必要があります。
 - (a) 簡易点検（3か月に1回以上）
 - (b) 専門知識を有する者による定期点検（1年に1回以上）

(2) 点検項目

- 1) 電圧、電流（冷凍機、冷水・冷却水・温水ポンプなどの補機類）
- 2) 温度（外気、冷水出入口、冷却水出入口、温水出入口、冷媒温度、油温度など）
- 3) 圧力（凝縮器圧、蒸発器圧、油圧、冷水出入口圧、冷却水出入口圧、温水出入口圧など）
- 4) 運転音、異常振動の有無
- 5) 冷凍機のベーン開度
- 6) 始動回数、積算運転時間
- 7) 抽気回数、抽気装置のサイトグラスの水分量（低圧冷媒使用機の場合）
- 8) ドライヤー状況（低圧冷媒使用機の場合、モイスチャーアインジケータの色相）
- 9) なお、点検項目の詳細については、メーカの取扱説明書に従ってください。これらの日常点検の記録は、冷凍機の状態変化の傾向把握や、冷凍機の定期点検時に参考となりますので、大切に保管することが重要です。

4.2 保守点検上の法的規制

メンテナンス時にはフロン排出抑制法、オゾン層保護法などによって、冷媒の大気放出が厳しく規制されていることを念頭におき、みだりに漏えいさせないよう、注意深く取り扱うことが必要です。

フロン排出抑制法では、第一種特定製品の管理者の役割として、冷媒漏えいが確認された場合、やむを得ない場合を除き、可能な限り速やかに漏えい箇所の特定・必要な処置を実施しなければなりません。（その他管理者の役割の詳細は「5.1 適用を受ける法規及びその内容（3）フロン排出抑制法」を参照ください）

保守点検への高圧ガス保安法上の規制は、使用する冷媒によって異なります。（P8 *6 項目を参照ください）

(1) 低圧冷媒使用機

高圧ガス保安法の規制はありません。

(2) 高圧冷媒使用機

1) 定期自主検査……1年に1回

冷凍保安責任者が **KHKS 1850-4 (2024)**「定期自主検査指針（冷凍保安規則関係）」に従って実施します。安全装置やインターロックの作動確認などの検査を行い、検査記録を作成します。検査項目としては、状況によって下記などが対象となります。

- ・高圧圧力開閉器の作動確認
- ・油圧開閉器の作動確認
- ・断水開閉器の作動確認
- ・圧力計器・安全弁の校正記録確認
- ・冷凍機機械室、関連施設の環境状況確認、運転管理状況の確認

2) 保安検査……3年以内ごとに1回

都道府県知事検査もしくは高圧ガス保安協会又は指定保安検査機関が検査を実施して都道府県知事に書類提出

前記の定期自主点検と同様の検査項目について、都道府県知事の検査を受ける必要があります。

3) 圧力計・安全弁の校正……1年に1回

詳細は冷凍機メーカ発行のメンテナンスインターバル一覧表、部品交換表などを参照し計画してください。

事業所として高圧ガス保安協会の会員になることで、高圧ガス保安協会の検査・指導を受けられます。

定期自主点検、保安検査とも第一種高圧ガス製造者に定められた義務です。

（定期自主検査においては、指定設備の場合、第二種製造者となります）

4.3 定期点検保守

(1) 定期分解点検の目的

機械内部の劣化現象を点検し、健全な形に復旧させる事を目的に定期分解整備を行うものです。

ターボ冷凍機の劣化現象と主な要因は、表4-1のような項目が挙げられます。

表4-1 劣化現象と劣化要因

劣化現象		劣化主要因							
部位	主要因	冷媒劣化	空気侵入	発停頻度	サーボ運転	浸水故障	油汚れ	電動機過負荷	据付配線環境経年
全体	パッキン・ガスケット劣化			○					○
	保冷損傷				○				○
圧縮機	インペラ腐食・損傷	○	○	○	○				○
	歯車損傷			○	○	○	○	○	○
	軸異常			○	○	○	○	○	○
	軸受損傷			○	○	○	○	○	○
	ベーン制御機構損傷	○	○	○	○	○		○	○
電動機	絶縁劣化・コイル損傷	○		○	○	○		○	○
	短絡損傷	○				○			○
	コイル損傷	○						○	○
給油装置	油クーラ損傷	○	○	○		○	○		○
	油ポンプ損傷			○		○	○		○
	油ストレーナ詰まり	○	○			○	○		○
	潤滑油劣化		○			○	○		○
蒸発器	チューブ損傷	○	○			○			○
	水室内面腐食		○			○			○
	管板腐食		○			○			○
凝縮器	チューブ損傷	○	○			○			○
	水室内面腐食		○			○			○
	管板腐食		○			○			○
配管系	冷媒フィルタ詰まり	○	○			○			○
	継手部損傷、緩み			○	○	○			○
電気計装	接点劣化			○					○
	配線劣化								○
その他	冷媒損耗		○			○			○
	騒音増加		○		○				○
	振動増加		○		○				○

(2) 热交換器チューブの保守

チューブの汚れは冷凍機の性能に大きく影響します。

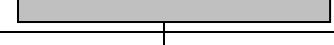
凝縮器は毎年ブラシによる洗浄を行い、状況によっては化学薬品洗浄が必要です。

また、定期的に過流探傷試験の実施を推奨します。

(3) 定期分解整備の所要日数

定期分解整備作業時の主な作業と概略所要日数を次表に示します。圧縮機ユニットを冷凍機製作工場へ返送して実施することもありますが、ここでは現場施工事例を示します。所要日数は、据付場所、作業環境などの条件によって左右されます。

表 4-3 定期分解整備の工程事例

作業項目	日数			
	7	14	21	28
冷媒・潤滑油抽出				
分解作業段取				
圧縮機ユニット分解整備				
給油装置分解整備				
容量制御装置整備				
付属装置整備				
再組立				
気密試験				
潤滑油・冷媒封入				
試運転試験				
保冷塗装補修・後片付け				

備考 定期分解整備は各メーカーに問い合わせください。

4.4 水質管理基準

水質の良否は、熱交換器の腐食・スケール障害に影響します。下記の表を参照し、定期的な水質検査を実施し、万が一、水質が基準を外れている場合は、適切な処置を実施してください。また、水処理薬剤を使用する場合は、「吸収式冷凍機・ターボ冷凍機の水処理ガイドブック 第3版 2023 日本冷凍空調工業会発行」を参照ください。

表 4-4 冷却水・冷水・補給水の水質基準値^(注5)

項目 (注1) (注6)	冷却水系 ^(注4)		冷水系		温水系 ^(注3) 低位中温水系		傾向 (注2)	
	循環式		一過式	循環水 (20 °C 以下)	補給水	循環水 (20 °C超 60 °C 以下)	補給水	腐食
	循環水	補給水	一過水					
基 準 項 目	pH (25 °C)	6.5~8.2	6.0~8.0	6.8~8.0	6.8~8.0	6.8~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0
	電気伝導率 (mS/m) (25 °C) {μS/cm} (25 °C) (注1)	80 以下 {800以下}	30 以下 {300以下}	40 以下 {400以下}	40 以下 {400以下}	30 以下 {300以下}	30 以下 {300以下}	30 以下 {300以下}
	塩化物イオン (mgCl ⁻ /L)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下
	硫酸イオン (mgSO ₄ ²⁻ /L)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下
	酸消費量 (pH4.8) (mgCaCl ₃ /L)	100 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下
	全硬度 (mgCaCl ₃ /L)	200 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下
	カルシウム硬度 (mgCaCl ₃ /L)	150 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下
	イオン状シリカ (mgSiO ₂ /L)	50 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下
参 考 項 目	鉄 (mgFe/L)	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	0.3 以下
	銅 (mgCu/L)	0.3 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	0.1 以下
	硫化物イオン (mgS ₂ ⁻ /L)	検出され ないこと	検出され ないこと	検出され ないこと	検出され ないこと	検出され ないこと	検出され ないこと	検出され ないこと
	アンモニウムイオン (mgNH ₄ ⁺ /L)	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	0.3 以下	0.1 以下
	残留塩素 (mgCl/L)	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.25 以下	0.3 以下
	遊離炭素 (mgCO ₂ /L)	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	0.4 以下	4.0 以下
	安定度指数	6.0~7.0	—	—	—	—	—	—

(注 1) 項目の名称とその用語の定義及び単位は **JIS K 0101** によります。なお, { }内の単位及び数値は, 従来単位によるもので, 参考として付記しました。

(注 2) 欄内の○印は, 腐食又はスケール生成傾向に関係する因子であることを示します。

(注 3) 温度が高い場合 (40 °C以上) には, 一般に腐食性が著しく, 特に鉄鋼材料が何の保護皮膜もなしに水と直接触れる場合は, 防食薬剤の添加, 脱気処理などの有効な防食対策を施すことが望されます。

(注 4) 密閉式冷却塔を使用する冷却水系において, 閉回路循環水及びその補給水は温水系の, 敷水及びその補給水は循環式冷却水系の, それぞれ水質基準によります。

(注 5) 供給・補給される原水は, 水道水(上水), 工業用水及び地下水とし, 純水, 中水, 軟化処理水などは除きます。

(注 6) 上記 15 項目は, 腐食及びスケール障害の代表的な因子を示したものです。

(出典:「冷凍空調機器用水質ガイドライン **JRA GL-02** : 1994」 日本冷凍空調工業会)

参考までに**表 4-5** に各項目の腐食に対する影響を示します。

表 4-5 腐食要因とその影響

No.	項目	腐食に対する影響
1	pH	pH 高はスケール生成傾向, pH 低は腐食傾向
2	電気伝導率	腐食電流が流れやすく, 腐食速度を促進
3	塩化物イオン	水の腐食性に影響
4	硫酸イオン	水の腐食性に影響
5	酸消費量	スケール生成傾向
6	全硬度	スケール生成傾向
7	カルシウム硬度	スケール生成傾向
8	イオン状シリカ	スケール生成傾向
9	鉄分	赤水, 鉄スケール生成傾向
10	銅	亜鉛メッキ鋼管, 鉄管, アルミ製品などの腐食促進因子
11	硫化物イオン	激しい腐食傾向
12	アンモニウムイオン	銅の腐食
13	残留塩素	腐食速度を促進
14	遊離炭酸	鉄, 銅, 亜鉛などの腐食促進, コンクリート溶解
15	安定度指数	水の腐食性, スケール生成傾向

5章 関係法規

5.1 適用を受ける法規及びその内容

(1) 高圧ガスに関する法規

ターボ冷凍機は、使用する冷媒ガスの種類により、冷媒ガスが高圧ガスに相当する場合、下記のような法規体系に区分されます。

表 5-1 ターボ冷凍機の高圧ガスに関する体系

法律	冷凍用途	適用規則		冷凍設備区分	技術基準 (機器製造)	関連規格
		機器製造	設置			
高圧ガス 保安法	専用冷凍	冷凍保安規則	冷凍保安規則	非ユニット型	冷凍保安規則 関係例示基準	KHK 自主基準
				ユニット型		
	附属 冷凍	間接式 冷却	冷凍保安規則	一般高压ガス保安 規則	通常型	冷凍保安規則 関係例示基準
		直接 冷却	一般高压ガス保安 規則 特定設備検査規則	一般高压ガス保安 規則	高压ガス 製造装置	一般高压ガス 保安規則関係 例示基準

(2) 消防法

危険物設備（取扱い所、貯蔵所）と高圧ガス設備（高圧冷媒使用のターボ冷凍機など）の保安距離（20 m）の規定があり、設置場所の状況に応じ、所轄消防署への確認が必要です。

駆動機（ディーゼルエンジン、ガスエンジン）の種類によって、燃料設備、冷凍機設置場所などに対し消防法が適用される場合があります。

ターボ冷凍機の電動機盤として、高圧インバータ盤が採用される際、高圧インバータ盤は動力設備として設計・構造で対応しているため、受電設備で必要となる消火設備は不要となると判断しておりますが、所轄の消防署にて受電設備の取扱いとの指導があった場合は、受電室（電気室）へ設置及び消火設備の対応が必要となる可能性があります。

(3) フロン排出抑制法

2013年（平成25年）6月、「フロン回収破壊法」が改正され、「フロン類使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」（略称：フロン排出抑制法）として2015年（平成27年）4月より全面施行されております。業務用空調・冷凍機器（第一種特定製品）を所有する機器ユーザ（管理者）には以下の役割が義務付けられています。

第一種特定製品の管理者の役割（法第16条（管理者の判断基準））

- 第一種特定製品の損傷などを防止するため、適切な場所への設置・設置する環境の維持保全を実施しなければなりません。
- 全ての第一種特定製品を対象とした簡易点検を実施しなければなりません。また、一定の第一種特定製品について、専門的な知識を有する者による定期点検を実施しなければなりません。
- 冷媒漏えいが確認された場合、やむを得ない場合を除き、可能な限り速やかに漏えいの

箇所の特定・必要な措置を実施しなければなりません。

- ・適切な機器管理を行うため、第一種特定製品の点検・修理、冷媒の充てん・回収などの履歴を記録・保存しなければなりません。
- ・第一種特定製品の整備の際に、整備業者などの求めに応じて当該記録を開示しなければなりません。
- ・第一種特定製品の整備を発注する際、フロン類の回収、再生、破壊などに必要な費用を負担する必要があります。（法第 74 条）

5.2 指定設備

「指定設備」に関しては、高圧ガス保安法第 56 条の 7、政令第 15 条第 2 号を受け、高圧ガス保安法施行令関係告示第 139 号第 6 条第 2 項で次のように規定されています。

「政令第 15 条第 2 号の経済産業大臣が定めるものは、次の各号のいずれにも該当する設備とする。」すなわち、冷凍に係る指定設備は次の要件を満たすものとなります。

- (1) 当該設備は、定置式製造設備であること。
- (2) 当該設備の冷媒ガスがフルオロカーボン（特定不活性、不活性のものに限る。）であること。
- (3) 当該設備の冷媒ガスの充てん量が三千キログラム未満であること。
- (4) 冷凍保安規則第 5 条の規定によって算出した当該設備の一日の冷凍能力が 50 トン以上であること。

また、高圧ガス保安法第 56 条の 7 第 2 項を受け、冷凍保安規則 57 条で「指定設備に係る技術上の基準」が定められており、その 5 号で次のようになっています。

「指定設備の冷媒設備は、事業所において試運転を行い、使用場所に分割されずに搬入されるものであること。」

これらのことから、冷媒にフルオロカーボン（可燃性のものを除く）を使用していれば最大能力に制限なく適用できるようになりますが、冷媒ガスの充填量と、分割されずに搬入されるための輸送、搬入寸法の制限によって、自ずと最大能力が決まってしまいます。

5.3 レトロフィットについて

現状の冷媒ガスを GWP (Global Warming Potential (地球温暖化係数)) の低い冷媒に入れ替える、いわゆるレトロフィットを実施した場合、現行法においては、指定設備では指定設備認定証が無効になり、冷凍保安責任者不要の設備においては冷凍保安責任者が必要になることから、省令・通達の改正案が提案されている状況です。詳細は、高圧ガス保安協会の報告書「経済産業省委託 令和 5 年度新エネルギー等の保安規制高度化事業 低 GWP 冷媒等の冷媒設備への充填に係る課題の整理検討調査報告書」を参照ください。

6章 参考資料

表 6-1 用語の定義

出典	用語	定義
JIS B 8621:2019	定格	あらかじめ定めた冷凍機の製作基準で作動させたときの特性。標準定格と応用定格とがある。
	定格冷凍能力	冷凍機を標準定格条件又は応用定格条件で運転したとき、蒸発器を通過する冷水から除去する熱量。ヒートポンプ加熱専用形の場合は熱源冷凍能力、熱回収形の場合は熱回収冷凍能力という。単位:kW。
	排熱量	凝縮器を通過する冷却水へ排熱する熱量。単位はkWとする。
	最小能力	容量制御機能によって制御できる最小の冷凍能力又はヒートポンプ加熱能力。単位はkWとする。定格能力比(%)で表す場合もある。
	冷水	蒸発器を通過し、冷凍機で冷却される水。
	温水	ヒートポンプ加熱運転時に凝縮器を通過し、冷凍機で加熱される水。
	冷却水	凝縮器を通過し、冷凍機から排熱するための水。
	開放形	圧縮機又は增速機の可動部分をカップリング又は軸封装置を介して外部の電動機と接続する構造。
	密閉形	圧縮機、電動機、增速機などが同一の冷媒雰囲気内で運転できるよう密閉した構造。
	抽気装置	不凝縮ガス、水蒸気などを冷凍機内から除去する装置であって、運転中の機内圧力が大気圧以下となる冷凍機へ附属する装置。
KHKS 0302-1(2025)	汚れ係数	伝熱面の汚れ(水あか、スケール付着などによる。)によって生じる熱抵抗。単位はm ² K/Wとする。
	定格圧力損失	定格流量の水が蒸発器又は凝縮器を通過するとき、入口と出口との間で生じる圧力差。単位はkPaとする。
	冷凍装置	冷凍のための圧縮機、凝縮器、蒸発器、受液器、冷媒ポンプ及び配管などによって冷凍サイクルを構成するシステムであって、圧縮機、冷媒ポンプ及びそれらを駆動する電動機、冷媒(二次冷媒を含む。)を直接的に制御する自動制御機器並びに冷媒を含む冷凍のための装置一式をいい、ヒートポンプ装置を含む。
	冷媒設備	冷凍装置のうち、冷媒ガス又は吸収溶液が通る部分で、冷媒ガスの圧力を受ける部分をいう。なお、冷媒ガスの圧力を受ける潤滑油系統を含む。
	冷媒ガス	冷凍装置の冷媒設備内を循環する冷凍サイクルの作動流体をいう。
KHKS 0302-1(2025)	限界濃度	冷媒ガスが室内に漏えいしたとき、支障なく設備からの漏えい防止対策などの緊急処置がとれる限界の濃度をいう。 なお、限界濃度の単位はkg/m ³ (1m ³ の冷媒ガス混合空気中の冷媒ガス質量kg)とする。
	移動式冷凍装置	地盤面に対して移動する冷凍装置であって、次に掲げるもの又はこれと類似のものをいう。 a) 移設式冷凍装置 稼動期間を限定して使用され、当該期間終了後には他の場所へ移設して使用されるもの 注)設置・稼働に際しては定置式冷凍装置の基準を適用する。 例:工事用地盤凍結冷凍装置及び仮設建築物用冷凍装置 b) その他の移動式冷凍装置 移動区間が限定された装置等に固定され、当該装置の移動中又は停止中に稼動するもの

出典	用語	定義
	定置式冷凍装置	移動式冷凍装置以外のもの。
	機械室	圧縮機, 凝縮器, 受液器, 油分離器など, もっぱら冷媒設備の高圧部を含む機械設備を設置するための区画であって他から独立した室をいい, 当該区画に設置される冷凍施設に関わりのない第三者がみだりに立ち入ることがないよう隔離した室をいう。
	火気	火気とはボイラ, 燃焼装置又は電熱(高周波加熱を含む。)装置付き加熱炉, 油だき又はガスだき温風暖房機等の火気設備, ストーブ, こんろ及びその他の発熱体の燃焼・発熱器具をいい, 火気設備と燃焼・発熱器具に区分する。 なお, 次に掲げるものは, 火気とみなさない。 a) 内燃機関 b) 通常の使用状態における表面温度が 400 °C 未満の発熱体
	冷媒設備の高圧部, 低圧部	高圧部とは, 圧縮機又は発生器の作用による吐出し圧力及び凝縮圧力を受ける部分をいい, 低圧部とは, その他の部分をいう。 なお, この場合, 次に掲げる部分は低圧部とする。 a) 高圧部を内蔵した密閉圧縮機であって, 低圧部の圧力を受ける部分。 b) 自動膨張弁。ただし, 膨張弁の二次側に一次側圧力がかかるもの(ヒートポンプ用など)は, 高圧部とする。 c) ブースターの吐出し圧力を受ける部分。 多元冷凍装置で圧縮機又は発生器の作用による吐出し圧力及び凝縮圧力を受ける部分であって, 凝縮温度が通常の運転状態において -15 °C 以下の部分。
KHKS 0302-5(2025)	連動機構(インターロック, シーケンスなど)	冷凍装置の安全運転のため, 機械相互間の運転順序, 停止順序, 同時発停, 同時遅れなど必要な相互の関連を制御する機械的機構又は電気的機構など, 適切な方法によるものをいう。
	遠隔操作	点検管理が可能な同一敷地又は同一建物内において, 冷媒設備を設置した室から離れた場所から行う冷媒設備の発停操作。
高圧ガス保安法 (冷凍関連)	製造許可設備	設置に際し都道府県知事の許可(完成検査)の対象となる高圧ガス製造設備(許可を受けた者は第1種製造者)。 非ユニット型冷凍設備, ユニット型冷凍設備
	製造届出設備	設置に際し都道府県知事への届出対象となる高圧ガス製造設備(届出した者は第二種製造者)。 指定設備
	保安検査	3 年以内に1回以上行う都道府県による検査。(冷凍則第 40 条第 2 項)
	定期自主検査	1 年に 1 回以上行う事業者自ら行う検査。(冷凍則第 44 条)
	附属冷凍	一般高圧ガス保安規則の適用を受ける高圧ガス製造設備を冷却するための冷凍設備で, 一般高圧ガス保安規則に従って機器製造, 設置, 検査, 運用しなければならない。 ただし, 間接冷却(水, プラインなどを介在した冷却)に限り冷凍設備の製作は, 冷凍保安規則によることができる。



一般社団法人
JRAIA 日本冷凍空調工業会
The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association

ターボ冷凍機技術専門委員会