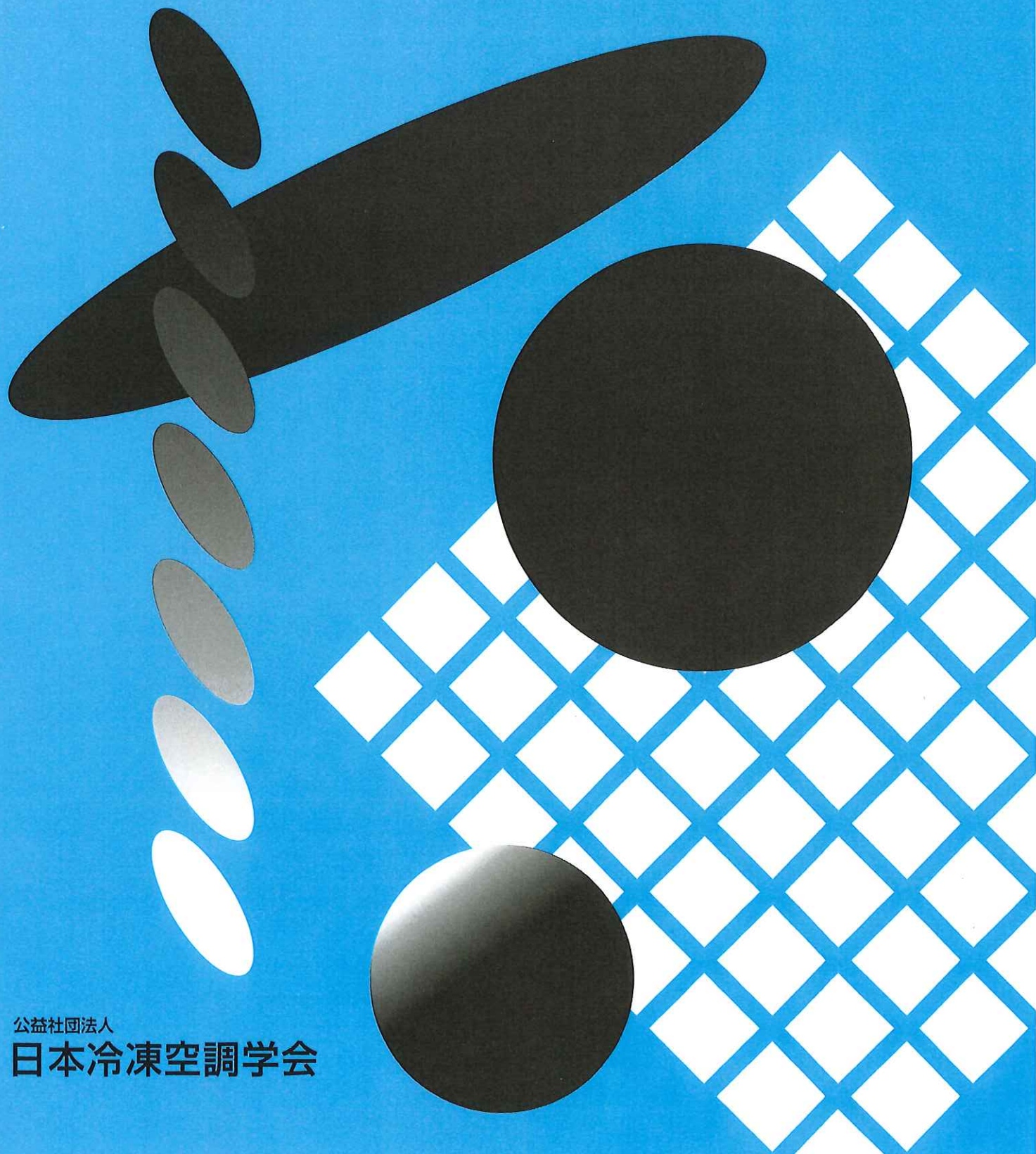


上級 冷凍受験テキスト



公益社団法人

日本冷凍空調学会

上級 冷凍受験テキスト

公益社団法人 日本冷凍空調学会

はじめに

(社)日本冷凍空調学会は、以前の(社)日本冷凍協会のときから今日まで、永年にわたって冷凍技術並びに冷凍施設の保安に関する技術教育を重要な事業の一つとして考え、これに必要な教科書の編纂並びに講習等に努力を重ねてきた。

先に、冷凍保安実務者の入門書として、また、第三種冷凍機械講習検定受験者のための講習会テキストとして「SIによる初級冷凍受験テキスト」を出版し、広く活用されてきた。

本書は、これと同様に、冷凍関係の法令並びに計量法の改正に準拠し、さらに近年の冷凍技術の進展に合わせ、より上級の高度な冷凍技術並びに冷凍施設の保安技術の実務者の座右の書として、また、第一種及び第二種の冷凍機械講習検定受験者の講習会テキストとして書かれた学識及び保安管理技術の教科書である。

冷凍技術のような広範囲にわたる応用技術についての本書をまとめるにあたり、記述内容が適切、かつ、正確であるように、講習会の講師経験者も含め多数の執筆者に参画していただいた。これによって、検定試験の受験者を直接の対象とし、冷凍関係の技術者の冷凍に関する知識を効果的、実践的に整理するための自修書としても役立つように務め、まとめたものである。

本書の内容は、検定試験の受験者のみならず、近年の冷凍・ヒートポンプ装置の応用技術の多様化、省エネルギーや保安の向上、特定フロンのオゾン層破壊並びに温暖化の地球環境問題に関する技術的対応など、冷凍技術者の養成・レベルアップにもこの教科書が活用され、役立つこと念願して止みません。

平成9年8月

冷凍受験テキスト編集委員会委員長

(社)日本冷凍空調学会理事 樋口 金次郎

第9次改訂にあたって

前回の改訂から7年余り経過した。この間、冷凍空調分野では、地球環境保全の要請から、低GWPの新冷媒の開発・実用化、関連機器の省エネルギー化の推進、冷凍保安関連の法規、規格等の改正などがなされた。今回の改訂では、これらのことを本書に反映させ、さらなる内容の充実を図るべく、上級テキスト改訂委員会を設けて内容を全面的に見直した。その際、できるだけ最新の技術的データを採用するため、新たな図・表を追加、修正するとともに、テキスト全編にわたって、本文の記述を簡潔、明確にして理解しやすいように工夫した。さらに、法規・規格に係る記述については、引用した法規・規格の名称、引用箇所をできるだけ具体的に明記して、読者の後学の便を図った。また、先に改訂が行われた初級テキストの内容との整合性にも留意した。

主な改訂点は以下のとおりである。

- ・第1章では、「断熱指数」を「比熱比」に、「完全ガス」を「理想気体」に、「被冷却物」を「被冷却流体」に用語を統一した。
- ・第2章では、管内蒸発方式の満液式蒸発器を「冷媒液自然循環式」と「冷媒液強制循環式」とに分類を明確にし、記述した。
- ・第3章では、最新のデータに基づく図表等を採用・追加した。
- ・第4章では、アンローダ機構を理解しやすいように新たに機構図を追加した。
- ・第5章では、HCFC冷媒（ただしR22は除く）の記載を削除し、HFO冷媒などの新冷媒の掲載を増やす方針の下、巻末の付表・付図を含め、記述内容および図表の改訂を行った。また、特定不活性ガスの定義などについて記述した。さらに、「二次冷媒としての二酸化炭素」の項目を新たに設け追記した。
- ・第6章では、熱伝達率の数値の表を「冷凍・空調装置の熱伝達率の例」として、流体の種類と伝熱様式、冷却管の種類、伝熱面の形状で分類し、本書中の図より引用してまとめた。
- ・第7章では、表7.1「凝縮器の種類と特徴」を最新の技術内容に改訂した。また、フルオロカーボン用の空冷凝縮器に空気側フィンの効果、水冷凝縮器の冷却管の細径化および溝付きの効果を確認するため、最新のデータをもとに関連する図を修正した。さらに、水冷シェルアンドチューブ凝縮器、二重管凝縮器の構造図を最新なものに修正した。
- ・第8章では、蒸発器の種類を、構造、冷媒の蒸発形態、付属機器および主な用途などによって分類し直し、表8.1としてまとめた。また、蒸発器の各種構造や冷却管の図を最新のものに改訂した。さらに、新冷媒の熱伝達特性および冷却管の細径化による効果を図に付け加えた。
- ・第9章では、リキッドフィルタ、サクシヨンストレーナを追記した。受液器の容量の表現を、大容量/小容量に統一した。また、冷媒回収・再充填に関してフロン排出抑制法について言及した。
- ・第10章では、温度自動膨張弁の感温筒液チャージ方式および電子膨張弁に関する記述を追加修正した。
- ・第11章では、冷媒配管の施工上について、具体的な注意点を追記した。
- ・第12章では、圧力容器の設計圧力の求め方について、冷媒を「冷凍保安規則関係例示基準表19.1に記載のある冷媒」と「記載のない冷媒」に区分けし、それぞれの場合について記述し、両者間

の求め方の差異を明確にした。また、「既存（既設）の圧力容器や配管を転用するときの許容圧力」を項目として新たに設けた。

- ・第13章では、容器に取り付ける安全弁の口径計算のための定数C3の計算式の誤記を修正した。また、真空試験における到達真空度の値を日本冷凍空調工業会の値に整合させた。
- ・第14章では、真空乾燥の試験圧力を13章の真空試験の値に合わせた。また、冷媒の取り扱いについて、フルオロカーボン冷媒、アンモニア冷媒および両冷媒に共通な内容をそれぞれ項目に区分けし、記述した。さらに、特定不活性ガスの解説を新たに追記した。
- ・第15章では、圧縮機の運転と保守管理に関する記述を手動の場合に限定した。また、運転保守管理に関する表15.1, 15.2, 15.3, 15.9, を新たに追加し、表15.6中の数値を第8章の図より引用し、見直した。さらに不凝縮ガスの排出方法に関する記述をフロン排出抑制法に基づき修正した。
- ・第16章では、巻末の「非共沸混合冷媒の熱力学表について（等圧線の計算）」を修正の上、「温度基準の飽和表を利用した非共沸混合冷媒の等圧における露点・沸点の計算例」として本章に組み入れた。

令和4年11月

上級冷凍受験テキスト改訂委員会委員長 五島 正雄

冷凍機械講習検定および国家試験の受験に 本書を活用するにあたって

本書は、第一種および第二種冷凍機械講習検定試験および国家試験に合わせて、内容が学識編（第1章～第10章）と保安管理技術編（第11章～第17章）とで構成されており、末尾に冷媒の飽和状態における R 22, R 32, R 134a, R 404A, R 410A, R 1234yf, R 1234ze(E), R 290（プロパン）、R 717（アンモニア）、R 744（二酸化炭素）などの熱力学的性質表と $p-h$ 線図が示されている。

第一種の受験者は、全章にわたって読み、理解するよう努力していただきたい。

また、第二種の受験者は、学識編における次の章、節、項は第一種を対象として記述されているので、説明として記述されている事柄の概要を理解する程度でよく、理論的な記述は理解不十分でも差し支えない。

- 第1章 1.1.2 熱と仕事の基礎的事項
- 1.2 エンタルピーとエントロピー
- 第2章 2.1 理想的な冷凍機の冷凍サイクル
- 2.4 種々の冷凍サイクルと 2.5 満液式蒸発器使用の冷凍装置の冷凍サイクルにおける各種の計算
- 2.6 二段圧縮冷凍サイクル
- 2.7 二元冷凍サイクル
- 2.8 エコノマイザ付き冷凍サイクル
- 第4章 4.2.1 実際の二段圧縮一段膨張冷凍装置の成績係数
- 4.2.2 実際の二段圧縮二段膨張冷凍装置の成績係数
- 4.3 二元冷凍装置の成績係数
- 第6章 6.1.3 放射伝熱
- 第7章 7.4.2 冷却塔の性能

本書は、ページ数の制約から、各章に十分な例題を示すことができなかつたので、演習として過去の試験問題について解答を試み、理解力の確認と実力向上をはかる場合には、(公社)日本冷凍空調学会から刊行されている

「冷凍機械責任者 試験問題と解答例」

を利用していただきたい。

なお、これには過去数年間の第一、第二及び第三種の冷凍機械試験問題（法令も含む）について、解説を含めた解答例が示されている。

目 次

学 識 編

第1章 冷凍装置の基礎……………	1	冷凍サイクル……………	25
1.1 熱量……………	1	2.6 二段圧縮冷凍サイクル……………	27
1.1.1 冷凍装置と熱……………	1	2.6.1 二段圧縮一段膨張冷凍サイクル……………	27
1.1.2 熱と仕事の基礎的事項……………	1	2.6.2 二段圧縮二段膨張冷凍サイクル……………	29
1.2 エンタルピーとエントロピー……………	3	2.7 二元冷凍サイクル……………	30
1.2.1 エンタルピー……………	3	2.8 エコノマイザ付き冷凍サイクル……………	31
1.2.2 エントロピー……………	4	2.9 吸収冷凍装置……………	32
1.3 $p-h$ 線図……………	5	第3章 圧縮機とその性能……………	34
1.3.1 単一成分冷媒および共沸混合冷媒 の $p-h$ 線図……………	5	3.1 圧縮機の種類, 構造および特徴……………	34
1.3.2 非共沸混合冷媒の $p-h$ 線図……………	8	3.1.1 往復圧縮機……………	34
1.4 冷媒の状態変化……………	9	3.1.2 スクリュー圧縮機……………	37
1.4.1 蒸発および凝縮……………	9	3.1.3 ロータリー圧縮機……………	38
1.4.2 断熱圧縮および ポリトロープ圧縮……………	9	3.1.4 スクロール圧縮機……………	40
1.4.2.1 断熱圧縮……………	9	3.1.5 遠心圧縮機……………	40
1.4.2.2 ポリトロープ圧縮……………	11	3.2 圧縮機の性能……………	41
1.4.3 絞り膨張……………	13	3.2.1 圧縮作用と体積効率, 断熱効率, 機械効率……………	41
第2章 理論冷凍サイクル……………	14	3.2.2 圧縮機の冷凍能力……………	43
2.1 理想的な冷凍機の冷凍サイクル……………	14	3.2.3 圧縮機の効率と軸動力……………	44
2.2 単段圧縮理論冷凍サイクル……………	15	第4章 実際の冷凍装置……………	45
2.2.1 単段圧縮理論冷凍サイクル……………	15	4.1 単段圧縮冷凍装置……………	45
2.2.2 冷凍サイクルの作動条件の影響……………	17	4.1.1 実際の冷凍装置の成績係数……………	45
2.3 ヒートポンプサイクル……………	19	4.1.2 実際のヒートポンプ装置の成績係数……………	45
2.4 種々の単段圧縮冷凍サイクル……………	20	4.2 二段圧縮冷凍装置……………	47
2.4.1 液ガス熱交換器付き冷凍サイクル……………	20	4.2.1 実際の二段圧縮一段膨張冷凍 装置の成績係数……………	47
2.4.2 低圧部で状態の異なる冷媒の 混合を伴う冷凍サイクル……………	20	4.2.2 実際の二段圧縮二段膨張冷凍 装置の成績係数……………	48
2.5 満液式蒸発器使用の冷凍装置の 冷凍サイクル……………	24	4.2.3 コンパウンド圧縮機による 二段圧縮冷凍装置……………	48
2.5.1 冷媒液自然循環式蒸発器使用の 冷凍サイクル……………	24	4.3 二元冷凍装置の成績係数……………	50
2.5.2 冷媒液強制循環式冷凍装置の		4.4 実際の冷凍装置の容量制御……………	51
		第5章 冷媒とライン……………	56

5.1 冷媒の歴史	56	6.1.2 熱伝達	75
5.2 冷媒と地球環境	56	6.1.3 放射伝熱	75
5.2.1 オゾン層破壊	56	6.2 平板壁で隔てられた流体間の	
5.2.2 地球温暖化	57	熱交換と熱抵抗	77
5.2.3 地球温暖化評価	58	6.3 伝熱面積が内外で異なる壁面で	
5.3 冷媒の種類と記号	59	隔てられた流体間の熱交換	77
5.3.1 冷媒の種類	59	6.4 平均温度差	79
5.3.2 冷媒の記号	60		
5.4 冷媒に求められる性質	61	第7章 凝縮器	81
5.5 冷媒の熱力学性質とサイクル特性	61	7.1 凝縮負荷とヒートポンプの加熱能力	
5.5.1 蒸気表, $p-h$ 線図	61	および凝縮器の種類	81
5.5.2 飽和圧力	61	7.1.1 凝縮負荷とヒートポンプ装置	
5.5.3 沸点, 臨界点	62	の加熱能力	81
5.5.4 サイクル特性	63	7.1.2 凝縮器の種類	81
5.6 冷媒の用途	65	7.2 空冷凝縮器	82
5.7 冷媒の諸特性	65	7.2.1 構造と伝熱作用	82
5.7.1 化学的安定性	65	7.2.2 空冷凝縮器の性能	84
5.7.2 毒性および燃焼性	65	7.3 水冷凝縮器	86
5.7.3 金属材料への影響	66	7.3.1 構造と伝熱作用	86
5.7.4 溶解性, 膨潤作用	66	7.3.2 シェルアンドチューブ凝縮器	
5.7.5 電氣的性質	66	の伝熱作用	88
5.7.6 水分の影響	67	7.4 冷却塔	91
5.7.7 乾燥剤の選定	67	7.4.1 構造と伝熱作用	91
5.7.8 加工油との溶解性	67	7.4.2 冷却塔の性能	91
5.8 冷凍機油	67	7.4.3 水量と水質管理	92
5.8.1 冷凍機油の使用目的	67	7.5 蒸発式凝縮器	93
5.8.2 冷凍機油の種類	68	7.5.1 蒸発式凝縮器の構造	93
5.8.3 冷凍機油と冷媒の相互溶解性	68	7.5.2 蒸発式凝縮器の伝熱	94
5.8.4 冷媒と冷凍機油の組み合わせ	70	7.5.3 凝縮温度特性	94
5.9 吸収冷凍機の冷媒/吸収剤	70		
5.10 ブライン	71	第8章 蒸発器	95
5.10.1 ブラインの種類	71	8.1 蒸発器と圧縮機の能力最適化	95
5.10.2 無機ブライン	72	8.2 蒸発器の種類と冷媒の蒸発形態	
5.10.3 有機ブライン	72	および主な用途	96
5.10.4 二次冷媒としての二酸化炭素	72	8.3 乾式蒸発器	96
		8.3.1 伝熱作用	96
第6章 熱交換	74	8.3.2 空気冷却用蒸発器	97
6.1 熱の移動	74	8.3.3 液体冷却用蒸発器	99
6.1.1 熱伝導	74	8.3.4 乾式蒸発器の伝熱	100

11.4.4 油戻し管(返油管) ……………	163	13.1.1 高圧遮断装置 ……………	182
11.5 配管の附属品 ……………	164	13.1.2 安全弁 ……………	183
11.5.1 止め弁 ……………	164	13.1.3 溶栓 ……………	185
11.5.2 可とう管 (フレキシブルチューブ) ……	165	13.1.4 破裂板 ……………	185
11.6 配管の支持 ……………	166	13.1.5 圧力逃がし装置 ……………	186
第12章 圧力容器の強度……………	167	13.2 圧力試験 ……………	186
12.1 材料力学の基礎 ……………	167	13.2.1 耐圧試験 ……………	186
12.1.1 応力とひずみ ……………	167	13.2.2 気密試験 (構成機器の組立品) ……	188
12.1.2 応力-ひずみの関係 ……	167	13.2.3 気密試験 (配管を完了した設備) ……	189
12.1.3 許容引張応力 ……………	168	13.2.4 真空試験(真空放置試験) ……	190
12.2 材料の記号 ……………	168	13.3 溶接部の試験 ……………	190
12.3 冷凍装置用材料 ……………	168	13.3.1 溶接部の欠陥 ……………	190
12.3.1 材料一般 ……………	168	13.3.2 機械試験 ……………	190
12.3.2 炭素鋼と低温脆性 ……	169	13.3.3 非破壊試験 ……………	191
12.3.3 材料の使用制限 ……	173	第14章 据付けおよび試運転……………	192
12.4 冷凍装置の設計圧力, 許容圧力 ……	173	14.1 据付け ……………	192
12.4.1 圧力の区分 ……………	173	14.1.1 機器の配置 ……………	192
12.4.2 設計圧力 ……………	174	14.1.2 機器の基礎 ……………	192
12.4.3 許容圧力 ……………	175	14.1.3 防振支持 ……………	193
12.5 薄肉円筒胴容器に発生する応力 ……	176	14.1.4 機器の据付け ……	193
12.5.1 薄肉円筒胴の接線方向 の応力 ……………	176	14.1.5 真空乾燥 ……………	194
12.5.2 薄肉円筒胴の長手方向 の応力 ……………	176	14.1.6 冷媒の取扱い ……	195
12.6 冷凍保安規則関係例示基準による 円筒胴の厚さの計算式 ……	177	14.1.7 特定不活性ガス ……	196
12.7 冷凍保安規則関係例示基準による 管の厚さの計算式 ……………	178	14.2 試運転 ……………	197
12.8 既存(既設)の圧力容器や配管を 転用するときの許容圧力 ……	178	14.2.1 冷凍機油の充填 ……	197
12.9 圧力容器の鏡板の形状 ……………	179	14.2.2 冷媒の充填 ……………	197
12.10 冷凍保安規則関係例示基準による 鏡板の厚さの計算式 ……	179	14.2.3 試運転 ……………	198
12.11 応力集中……………	180	14.3 凍上の防止 ……………	198
第13章 安全装置と試験……………	182	第15章 冷凍装置の合理的運転と保守管理…	200
13.1 安全装置 ……………	182	15.1 圧縮機の運転と保守管理 ……	200
		15.1.1 始動 ……………	200
		15.1.2 過熱運転の原因とその影響, 対応 ……………	203
		15.1.3 湿り運転の原因とその影響, 対応 ……………	204

15.1.4	運転停止	205	16.2.1	水分混入の防止	227
15.1.5	往復圧縮機の吸込み弁、 吐出し弁の漏れおよびピストン リングの摩耗の影響	205	16.2.2	HFC 冷媒への不純物 混入防止	228
15.1.6	油量と油圧の確保	206	16.3	圧縮機吐出しガス温度	229
15.1.7	油ヒータ	207	16.4	伝熱性能	229
15.1.8	密閉圧縮機の運転上必要な 配慮	207	16.5	漏れ検知方法	229
15.1.9	圧縮機の潤滑と冷凍機油の 管理	208	16.6	冷凍機油との関係	229
15.1.10	冷凍装置内の異物	209	16.7	クランクケースヒータの使用	230
15.2	高圧部の保守管理	210	16.8	HFC 混合冷媒の取扱い	230
15.2.1	凝縮器伝熱面積の確保	210	16.9	プラインの使用について	231
15.2.2	不凝縮ガスの影響と保守	211	16.10	温度基準の飽和表を利用した 非共沸混合冷媒の等圧における 露点・沸点の計算例	231
15.2.3	凝縮器の合理的熱通過率の 確保	212	第 17 章	熱交換器の合理的使用	233
15.2.4	水冷凝縮器の適正冷却水量の 確保	214	17.1	熱負荷の増減と蒸発器および 凝縮器での平均温度差	233
15.2.5	空冷凝縮器能力の季節的 変動対策	215	17.1.1	蒸発器の能力と蒸発温度	233
15.2.6	液封防止への配慮	217	17.1.2	水冷凝縮器の能力と凝縮 温度	234
15.3	低圧部の保守管理	219	17.2	水冷凝縮器、満液式水冷却器の 汚れ係数、熱通過率および 平均温度差	235
15.3.1	合理的伝熱面積の蒸発器を 使用	219	17.3	伝熱作用に及ぼす不凝縮ガスの 影響	237
15.3.2	合理的蒸発温度の確保	219	17.4	冷媒の蒸発と凝縮に及ぼす 冷凍機油の影響	238
15.3.3	負荷に見合った冷媒循環量の 確保	221	17.5	フィンコイル蒸発器の性能に 及ぼす過熱部の影響	239
15.3.4	適正な熱通過率の確保	221	付表 1	冷媒の基本性質	241
15.3.5	液戻り時の措置	222	付表 2	冷媒の ODP および GWP	242
15.3.6	シェルアンドチューブ蒸発器 での凍結防止	222	付表 3	R 22 の飽和表	243
15.3.7	膨張弁の選定不良または 取付け不良	223	付表 4	R 32 の飽和表	245
15.4	運転中の冷凍装置の主な点検箇所 と不具合現象	224	付表 5	R 134a の飽和表	246
第 16 章	冷媒の性質による配慮点	226	付表 6	R 404A の飽和表	248
16.1	冷媒の大気排出抑制	226	付表 7	R 410A の飽和表	250
16.2	冷媒系統への不純物混入防止	227	付表 8	R 1234yf の飽和表	251
			付表 9	R 1234ze(E) の飽和表	253

目 次

付表 10 R 290 (プロパン) の飽和表 ……255
付表 11 R 717 (アンモニア) の飽和表 ……257
付表 12 R 744 (二酸化炭素) の飽和表 ……259
付図 1 R 22 の $p-h$ 線図 ……261
付図 2 R 32 の $p-h$ 線図 ……262
付図 3 R 134a の $p-h$ 線図 ……263
付図 4 R 404A の $p-h$ 線図 ……264

付図 5 R 410A の $p-h$ 線図 ……265
付図 6 R 1234yf の $p-h$ 線図 ……266
付図 7 R 1234ze(E) の $p-h$ 線図 ……267
付図 8 R 290 (プロパン) の $p-h$ 線図 ……268
付図 9 R 717 (アンモニア) の $p-h$ 線図 ……269
付図 10 R 744 (二酸化炭素) の $p-h$ 線図 ……270