

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、特定フロン層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7次改訂にあたって

本テキストの実用的観点から、蒸気圧縮式冷凍サイクルのT-s線図および関連する本文を削除した。また、HCFC冷媒からHFC冷媒への転換ならびに炭化水素系冷媒の普及にともない、関連する図、表、本文に新たな冷媒を追加した。さらに例題についても、HFC冷媒に関する問題とした。また、これまでの第4章4.3～4.6項を新たに第5章「実際の冷凍装置」とし、例題を追加するなど、理解しやすい内容とした。さらに、ブレージングプレート熱交換器、スクリーユ圧縮機に関する記述を追加した。

本改訂では、技術的進展にあわせてテキスト全体を見直し、内容を充実させるとともに、本文をより読みやすく、理解しやすいように記述に工夫を加えるなど、大幅な改定を行った。

平成23年11月

目 次

学 識 編

第1章 冷凍装置の基礎	1
1.1 熱量	1
1.1.1 冷凍装置と熱	1
1.1.2 熱と基礎的事項	1
1.2 エンタルピーとエントロピー	3
1.2.1 エンタルピー	3
1.2.2 エントロピー	4
1.3 $p-h$ 線図	5
1.3.1 単成分冷媒及び共沸混合冷媒の $p-h$ 線図	5
1.3.2 非共沸混合冷媒の $p-h$ 線図	7
1.4 冷媒の状態変化	8
1.4.1 蒸発及び凝縮	8
1.4.2 断熱圧縮及びポリトロープ圧縮	8
1.4.2.1 断熱圧縮	9
1.4.2.2 ポリトロープ圧縮	11
1.4.3 絞り膨張	11
第2章 理論冷凍サイクル	13
2.1 理想的な冷凍機の冷凍サイクル	13
2.2 単段圧縮理論冷凍サイクル	14
2.2.1 単段圧縮理論冷凍サイクル	14
2.2.2 冷凍サイクルの作動条件の影響	16
2.3 ヒートポンプサイクル	18
2.4 種々の単段圧縮冷凍サイクル	19
2.4.1 液ガス熱交換器付き冷凍サイクル	19
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	19
2.5 満液式及び冷媒液強制循環式 冷凍サイクル	22
2.5.1 満液式蒸発器使用の 冷凍サイクル	22
2.5.2 冷媒液強制循環式冷凍装置の 冷凍サイクル	23

2.6 二段圧縮冷凍サイクル	25
2.6.1 二段圧縮一段膨張冷凍サイクル	25
2.6.2 二段圧縮二段膨張冷凍サイクル	28
2.7 二元冷凍サイクル	28
2.8 エコノマイザ付き冷凍サイクル	29
2.9 吸収冷凍装置	30
第3章 冷媒とプライン	32
3.1 冷媒の歴史	32
3.2 冷媒地球環境	32
3.2.1 オゾン層破壊	32
3.2.2 地球温暖化	32
3.2.3 地球温暖化評価	34
3.3 冷媒の種類と呼び方	35
3.3.1 冷媒の種類	35
3.3.2 冷媒の記号	36
3.4 冷媒に要求される性質	37
3.5 冷媒の熱力学的性質とサイクル特性	37
3.5.1 冷媒の沸点	37
3.5.2 温度と飽和圧力	38
3.5.3 沸点の影響	39
3.5.4 臨界温度	41
3.5.5 比熱比	41
3.5.6 体積能力	41
3.5.7 理論 COP	42
3.5.8 圧力損失	42
3.5.9 非ふっ素系冷媒のサイクル特性	43
3.6 冷媒の諸特性	43
3.6.1 化学的安定性	43
3.6.2 毒性	44
3.6.3 金属材料への影響	44
3.6.4 溶解性, 膨潤作用	44
3.6.5 電気的性質	44
3.6.6 水分による影響	45
3.6.7 乾燥剤の選定	45
3.7 冷凍機油	45

3.7.1	冷凍機油の使用目的	45	6.1	熱の移動	73
3.7.2	冷凍機油の種類	46	6.1.1	熱伝導	73
3.7.3	冷凍機油と冷媒の関係	46	6.1.2	熱伝達	74
3.8	吸収冷凍機の冷媒と吸収剤	47	6.1.3	放射伝熱	74
3.8.1	水/臭化リチウム系	47	6.2	平板壁で隔てられた流体間の 熱交換と熱抵抗	75
3.8.2	アンモニア/水系	48	6.3	伝熱面積が内外で異なる壁面で 隔てられた流体間の熱交換	76
3.9	無機ブライン	48	6.4	平均温度差	78
3.9.1	塩化カルシウムブライン	49			
3.9.2	塩化ナトリウムブライン	49			
3.10	有機ブライン	49			
第4章	圧縮機とその性能	50	第7章	凝縮器	79
4.1	冷凍用圧縮機の種類と構造, 特徴	50	7.1	凝縮負荷, ヒートポンプの熱出力	79
4.1.1	往復圧縮機	50	7.2	空冷凝縮器	80
4.1.2	スクリュウ圧縮機	53	7.2.1	構造と伝熱作用	80
4.1.3	ロータリー圧縮機	54	7.2.2	空冷凝縮器の性能	81
4.1.4	スクロール圧縮機	55	7.3	水冷凝縮器	84
4.1.5	遠心圧縮機	56	7.3.1	構造と伝熱作用	84
4.2	圧縮機の性能	56	7.3.2	ローフィンチューブの利用	86
4.2.1	圧縮作用と体積効率, 断熱効率, 機械効率	57	7.3.3	パス数と管内水速	86
4.2.2	圧縮機の冷凍能力	59	7.4	冷却塔(クーリングタワー)	88
4.2.3	圧縮機の効率と軸動力	59	7.4.1	構造と伝熱作用	88
第5章	実際の冷凍装置	61	7.4.2	冷却塔の性能	88
5.1	単段圧縮装置	61	7.4.3	水量と水質管理	89
5.1.1	実際の冷凍装置の成績係数	61	7.5	蒸発式凝縮器	89
5.1.2	実際のヒートポンプ装置の成績係数	61	7.5.1	構造と伝熱作用	89
5.2	二段圧縮冷凍装置	63	7.5.2	凝縮温度特性	90
5.2.1	実際の二段圧縮一段膨張冷凍 装置の成績係数	63	7.6	ブレイジングプレート凝縮器	91
5.2.2	実際の二段圧縮二段膨張冷凍 装置の成績係数	64			
5.2.3	コンパウンド圧縮機による 二段圧縮冷凍装置	64	第8章	蒸発器	92
5.3	二元冷凍装置の成績係数	66	8.1	蒸発器と圧縮機の能力適合化	92
5.4	実際の冷凍装置の容量制御	67	8.2	乾式蒸発器	93
第6章	熱交換	73	8.2.1	乾式蒸発器の構造と伝熱作用	93
			8.2.2	熱通過率	94
			8.2.3	熱伝達率及び伝熱促進管	95
			8.2.4	蒸発管群への液均等分配の 必要性	96
			8.2.5	蒸気過熱管長の長短と伝熱作用	97
			8.2.6	強制対流式及び自然対流式の 冷却器	99

8.2.7 乾式シェルアンドチューブ 蒸発器の構造, 伝熱促進法	100	9.9.2 フロースイッチ	127
8.2.8 着霜及びその影響	100	9.10 フロート液面レベル制御	128
8.2.9 除霜方法	101	9.10.1 フロートスイッチ	128
8.3 満液式蒸発器	102	9.10.2 フロート弁	129
8.3.1 構造と伝熱作用	102	9.11 電磁弁	130
8.3.2 液面レベル制御方法と 油戻し方法	103	9.11.1 電磁弁の構造と作動原理	130
8.4 冷媒液強制循環式蒸発器	103	9.11.2 電磁弁の取扱い, 使用上の注意	132
8.4.1 構造と特徴	103	9.12 四方切換弁	132
8.4.2 伝熱作用の特徴と液循環量	103	9.13 圧力スイッチ	132
8.4.3 低圧受液器の液面レベル 制御方法と油戻し方法	104	9.13.1 油圧保護圧力スイッチ	133
8.5 プレージングプレート冷却器	104	9.13.2 低圧圧力及び高圧圧力 スイッチ	134
第9章 自動制御機器	105	9.14 サーモスタット	135
9.1 温度自動膨張弁	105	9.14.1 バイメタル式サーモスタット	135
9.1.1 構造と作動	106	9.14.2 蒸気圧式サーモスタット	136
9.1.2 駆動部の形式	108	9.14.3 電子式サーモスタット	137
9.1.3 感温筒のチャージ方式	108	第10章 圧力容器の強度	138
9.1.4 均圧形式	111	10.1 材料力学の基礎	138
9.1.5 膨張弁の容量	113	10.1.1 応力とひずみ	138
9.1.6 選定と使用上の注意	114	10.1.2 応力-ひずみ線図	138
9.2 定圧膨張弁	116	10.1.3 許容引張応力	139
9.3 電子膨張弁	118	10.2 材料の記号	139
9.3.1 作動原理	118	10.3 冷凍装置用材料	139
9.3.2 構成機器	118	10.3.1 材料一般	139
9.4 キャピラリチューブ	120	10.3.2 炭素鋼と低温脆性	140
9.5 蒸発圧力調整弁	121	10.3.3 材料の使用制限	140
9.5.1 パイロット形蒸発圧力調整弁	122	10.4 設計圧力, 許容圧力	143
9.5.2 直動形蒸発圧力調整弁	123	10.4.1 圧力の区分	143
9.6 吸入圧力調整弁	123	10.4.2 設計圧力	143
9.7 凝縮圧力調整弁	125	10.4.3 許容圧力	146
9.7.1 作動原理と構造	125	10.5 内圧を受ける薄肉円筒胴容器	146
9.7.2 選定と使用上の注意	125	10.5.1 円筒胴の接線方向の応力	146
9.8 冷却水調整弁	126	10.5.2 円筒胴の長手方向の応力	146
9.8.1 構造と作動原理	126	10.6 例示基準による円筒胴の 板厚計算式	147
9.9 断水リレー	127	10.7 例示基準による管の 板厚計算式	148
9.9.1 圧力式断水リレー	127		

10.8 最高使用圧力 ……………149
 10.9 圧力容器の鏡板の形状 ……………149
 10.10 例示基準による鏡板の板厚計算式 …150
 10.11 応力集中 ……………151

保安管理技術編

第11章 冷凍装置の合理的運転と保守管理 …153
 11.1 圧縮機の運転と保守管理 ……………153
 11.1.1 始動 ……………153
 11.1.2 過熱運転の原因とその影響、
 対応 ……………155
 11.1.3 湿り運転の原因とその影響、
 対応 ……………156
 11.1.4 運転停止 ……………157
 11.1.5 往復圧縮機の吸込み弁、
 吐出し弁の漏れ及びピストン
 リングの摩耗の影響 ……………158
 11.1.6 油量と油圧の確保 ……………158
 11.1.7 油ヒータ ……………159
 11.1.8 密閉圧縮機の構造にともなう
 運転上必要な配慮事項 ……………160
 11.2 高圧部の保守管理 ……………160
 11.2.1 凝縮器伝熱面積の確保 ……………160
 11.2.2 不凝縮ガスの影響、保守 ……162
 11.2.3 凝縮器の合理的熱通過率の
 確保 ……………163
 11.2.4 水冷凝縮器の適正冷却水量の
 確保 ……………164
 11.2.5 空凝縮器能力の季節的
 変動対策 ……………165
 11.2.6 液封防止への配慮 ……………167
 11.3 低圧部の保守管理 ……………170
 11.3.1 合理的伝熱面積の蒸発器を
 使用 ……………170
 11.3.2 合理的蒸発温度の確保 ……………171
 11.3.3 負荷に見合った冷媒循環量の
 確保 ……………172
 11.3.4 適正な熱通過率の確保 ……………172

11.3.5 液戻り時の措置 ……………173
 11.3.6 満液式シェルアンドチューブ
 蒸発器での凍結防止 ……………174
 11.3.7 膨張弁の選定不良または
 取付け不良 ……………174

第12章 冷媒の性質による配慮点 ……176
 12.1 冷媒の大気排出抑制 ……………176
 12.2 冷媒系統への不純物混入防止 ……177
 12.2.1 水分混入の防止 ……………177
 12.2.2 HFC系冷媒への不純物
 混入防止 ……………178
 12.3 圧縮機吐出しガス温度との関係 …179
 12.4 伝熱性能 ……………179
 12.5 漏れ検知方法 ……………179
 12.6 冷凍機油との関係 ……………179
 12.7 クランクケースヒータの使用 ……180
 12.8 HFC系混合冷媒の取り扱い ……180
 12.9 ブラインの使用について ……181

第13章 熱交換器の合理的使用 ……182
 13.1 熱負荷の増減と蒸発器及び
 凝縮器での平均温度差 ……………182
 13.1.1 蒸発器の能力と蒸発温度 ……182
 13.1.2 凝縮器の能力と凝縮温度 ……183
 13.2 水冷凝縮器、満液式水冷却器の
 汚れ係数、熱通過率及び
 平均温度差 ……………184
 13.3 伝熱作用に及ぼす不凝縮ガスの
 影響 ……………186
 13.4 冷媒の蒸発と凝縮に及ぼす油の
 影響 ……………187
 13.5 フィンコイル冷却器出口冷媒の
 過熱 ……………188

第14章 附属機器 ……………190
 14.1 附属機器の種類 ……………190
 14.2 油分離器 ……………190
 14.3 受液器 ……………191

14.3.1 高圧受液器	191	16.2.3 気密試験 (配管を完了した設備)	215
14.3.2 低圧受液器	192	16.2.4 真空試験(真空放置試験)	216
14.4 ろ過乾燥器(フィルタドライヤ)	192	16.2.5 溶接部の試験	216
14.5 液ガス熱交換器	193	16.3 据付け及び試運転	217
14.6 液分離器	193	16.3.1 機器の配置	217
14.7 不凝縮ガス分離器	195	16.3.2 機器の基礎	218
14.8 油回収器	196	16.3.3 防振支持	218
14.9 冷媒循環液ポンプ	196	16.3.4 機器の据付け	219
第15章 配管	198	16.3.5 真空乾燥	220
15.1 冷媒配管	198	16.3.6 冷媒の取扱い	220
15.2 配管材料	199	16.3.7 試運転	222
15.3 配管の接続方法	200	16.3.8 凍上の防止	223
15.4 冷媒配管の施工上の注意	201	付表1 冷媒の基本性質	224
15.4.1 吐出し配管	201	付表2 冷媒のODPおよびGWP	225
15.4.2 液配管	202	付表3 R22の熱力学性質表	226
15.4.3 吸込み配管	203	付表4 R134aの熱力学性質表	228
15.4.4 油戻し配管	205	付表5 R404Aの熱力学性質表	230
15.5 配管の附属品	206	付表6 R407Cの熱力学性質表	232
15.5.1 止め弁	206	付表7 R410Aの熱力学性質表	234
15.5.2 可とう管 (フレキシブルチューブ)	207	付表8 R507Aの熱力学性質表	235
15.6 配管の支持	208	付表9 アンモニアの熱力学性質表	237
第16章 保安及び据付け・試運転	209	付表10 イソブタンの熱力学性質表	239
16.1 安全装置	209	付表11 二酸化炭素の熱力学性質表	241
16.1.1 高圧遮断装置	209	付図1 R22のp-h線図	巻尾
16.1.2 安全弁	210	付図2 R134aのp-h線図	巻尾
16.1.3 溶栓	212	付図3 R404Aのp-h線図	巻尾
16.1.4 破裂板	212	付図4 R407Cのp-h線図	巻尾
16.1.5 圧力逃がし装置	212	非共沸混合冷媒の熱力学性質表について	巻尾
16.2 圧力試験と溶接部の試験	212	付図5 R410Aのp-h線図	巻尾
16.2.1 耐圧試験	213	付図6 R717アンモニアのp-h線図	巻尾
16.2.2 気密試験 (構成機器の組立品)	214	付図7 イソブタンのp-h線図	巻尾
		付図8 二酸化炭素のp-h線図	巻尾