

# よくわかる

第3次  
改訂版

# 計算問題の 解き方

第一種冷凍機械及び  
第二種冷凍機械資格  
取得への近道

5 0 2  
6 3 ± 5 + 0  
3 × 4 7 8 4  
0 6 5 ÷ 6

6  
3 2  
0

## 監修のことば

---

冷凍機械に関する高圧ガス製造保安責任者の資格を取得するために受験する国家試験では、法令に対する正しい知識と保安管理技術および学識として冷凍装置の原理と機能についての理解度を確認することが目的である。第一種冷凍機械および第二種冷凍機械の問題には、いわゆる計算問題がかなりの部分を占めるが、選択式であっても正解を見付けるのに計算が必要なものも少なくない。

熱は高温から低温に伝わるという一般の常識に反して、冷凍では低温部の熱を高温部に送ることを目的としているので、それがどのような原理で実現できるのかについて正しく現象を理解することが問題を解く上で最も重要な出発点である。

熱力学では、加熱、冷却における熱の移動量や蒸発、凝縮における潜熱の移動量を定量的に表現する数式が定義されており、計算問題ではそれを如何に上手く応用するかを問うものである。これは、使い方を単に理解しただけでは必ずしも正しく解けるとは限らず、色々な演習問題を多く解くことによって正しい式の使い方を会得することが計算問題を解く鍵なのである。いきなり解答を見るのではなく、自分で解いてみて解答と照合することによって自分の理解度を確認する方法が理解向上には効果的である。

「昔から数学は苦手なのだ」という人は多いが、この計算問題は数学の問題ではなく、冷凍サイクルの能力を定量的にわかりやすく表現するための計算であるとすれば、むしろそれによって冷凍機械に対する定量的な理解を更に深めることができるはずである。

そのような人も計算問題を容易に理解できるようになる手助けを目的として本書は編纂されている。

本書では、過去に出題された問題が収録されているので、これから国家試験を受験される諸氏にとっては出題のポイントを理解する上でも参考になる。しかし、同時に本書は冷凍技術に関する基本的な知識が網羅されているので、受験者に限らず現場の技術者にとってもわかりやすい解説書であるので、日常業務の上でも積極的に利用されることを期待している。

東京工業大学名誉教授  
大 島 榮 次

## はじめに

---

高圧ガス製造保安責任者の資格のうち、第一種冷凍機械については国家試験および講習・検定において従来はすべて記述式の出題形式を採用していたが、平成17年度以降は、国家試験および講習・検定の「保安管理技術」の科目は選択式に変わった。したがって、ハードルが高いのは「学識」の科目の計算問題であると考えている人も多いのではないだろうか。実際、「学識」の80%程度は計算問題に配点されているので、これが合格点(満点の60%)に達しなければ、全体の合格は難しくなることは確かである。

しかしながら、出題されているものは冷凍装置の保安管理を行う上で有用な機械工学の基礎的な学識とその応用力、思考力を問うものが多く、少々努力して工業高校レベルプラスアルファの理解が得られれば、それほど難しいものではない。

一方、第二種冷凍機械については国家試験および講習・検定において従来から選択式の出題形式を採用しているが、「学識」の20~30%程度が計算問題に配点されていて決してその比重は軽くなく、計算問題の理解は合格に必須であるともいえる。

IV 出題内容はもちろん第二種冷凍機械のほうがやさしく基礎的な問題であり、第一種冷凍機械はこの基礎の上に応用および複数の知識の組合せなどにより高度なものになっている。しかし、出題実績からいえば、出題範囲はそれほど大きく違わないので、本書は第一種冷凍機械・第二種冷凍機械を一括して編集してある。

本書は、過去20年位遡って、出題された第一種冷凍機械および第二種冷凍機械の問題を分類、整理し、典型的な解き方、着眼点などをやさしいものからやや高度なものまで順を追って説明したものであり、例題で典型的な問題の解き方を理解し、豊富な演習問題で応用力を高められるようになっている。これから第一種冷凍機械または第二種冷凍機械の資格取得を目指す人、第二種冷凍機械をもっていて第一種冷凍機械に興味をもっている人などに読んでもらい、自信をもって挑戦する人が増え、それによって高圧ガス保安のレベルが少しでも高くなることを期待して書いたものである。

本書で勉強することが、単に計算力をつけるだけでなく、計算結果から法則類の定量的な理解と確認がされ、それが現場の保安管理に活かされていくことも併せて願うものである。

なお、受験者が本書の内容を理解しやすいように、計算式に用いる量記号や、その説明のための冷凍サイクルの機器フロー図、 $p$ - $h$ 線図などについては、社団法人

---

---

日本冷凍空調学会\*の承諾を得て、主に講習会で使用している社団法人 日本冷凍空調学会編集・発行の冷凍受験テキストから引用している。

ここに、社団法人 日本冷凍空調学会の関係者に深く感謝の意を表します。

2011年7月29日

宇野 洋 田中 豊



## 1 収録範囲


本書は計算問題の解き方を解説したものです。第一種冷凍機械の学識の問題には、計算問題以外に文章で記述することを求める問題もあります。また、第二種冷凍機械の学識の問題には、計算問題以外に文章形式の択一式問題が出題されていますので、本書以外に講習テキストなども併せて学習される必要があります。


## 2 例題、演習問題の形式


第二種冷凍機械の実際の問題は択一式で出題されていますが、本書は計算問題の演習書であり、解き方に重点をおいていますので、例題および演習問題は択一式の形式はとっていないものがほとんどです。

## 3 問題の種類の違い

第一種冷凍機械または第二種冷凍機械について、出題頻度の高かった節・項および例題・演習問題の出典を次のように表示してあります。狙う資格または目的に応じて活用してください。

第一種冷凍機械 → 

第二種冷凍機械 → 

なお、実際には出題されていない創作問題については、著者の判断で相当すると思われる資格の種類を () のように括弧書きで示してあります。

## 4 例題の表示

目次には例題の内容がわかるように示してありますので、特に学習したい部分の選択などに活用してください。

## 5 出題された出典の表示

次のように表しています。

なお、出題された問題の分割、簡略化、または表現を変えて使用しているものは「類似」としてあります。

### (1) 国家試験の表示例

令和 2 年度 第一種冷凍機械 → R2 一冷国家試験

平成 20 年度 第二種冷凍機械 → H20 二冷国家試験

### (2) 講習・検定の表示例

平成 15 年度 第一種冷凍機械 → H15 一冷検定

平成 21 年度第 1 回 第二種冷凍機械 → H21-1 二冷検定

## 1章 単位および冷凍の原理

1.1	単位 (一冷) (三冷)	2
1.1.1	SI単位	2
1.1.2	主な単位	3
1.2	冷媒の状態変化 (一冷) (三冷)	4
1.3	冷凍の原理 (一冷) (三冷)	5
例題 1.1	力、圧力の単位 (三冷)	7
例題 1.2	絶対温度・セルシウス温度および絶対圧力・ゲージ圧力 (三冷)	8
例題 1.3	仕事率 (三冷)	9
例題 1.4	乾き度の計算 (三冷)	10

## 2章 冷凍サイクル

2.1	圧縮機の軸動力 (一冷) (三冷)	14
2.1.1	圧縮機の吸込み蒸気量と冷媒循環量	14
2.1.2	圧縮機の軸動力	15
例題 2.1	冷媒循環量、圧縮機の効率を用いて軸動力を求める (三冷)	15
例題 2.2	ピストン押しのけ量を用いて圧縮機の軸動力を求める (三冷)	16
2.2	単段圧縮冷凍サイクル (乾式蒸発器)	18
2.2.1	基本的な単段圧縮冷凍サイクル (一冷) (三冷)	18
	(冷凍サイクル)	
例題 2.3	$(COP)_R$ を用いて圧縮機のピストン押しのけ量を求める (三冷)	21
例題 2.4	$q_{mr}$ 、 $p-h$ 線図を用いて、 $\Phi_o$ 、 $\Phi_{th,k}$ 、 $(COP)_{th,R}$ などを求める (三冷)	22
例題 2.5	冷凍能力、 $p-h$ 線図を用いて圧縮機軸動力を求める (三冷)	23
例題 2.6	圧縮機効率、 $p-h$ 線図を用いて $(COP)_R$ を求める (三冷)	24
例題 2.7	膨張弁後の乾き度を用いて $(COP)_{th,R}$ を求める (三冷)	25
例題 2.8	ポリトロップ圧縮と断熱圧縮の比較 (三冷)	26
例題 2.9	$(COP)_{th,R}$ を用いて凝縮負荷を求める (三冷)	27
例題 2.10	$p-h$ 線図から $(COP)_R$ 、 $q_{mr}$ 、 $\Phi_k$ などを求める (三冷)	28
例題 2.11	冷媒循環量の変化による $(COP)_{th,R}$ の変化などを求める (三冷)	29
例題 2.12	運転条件の変更に伴う $\Phi_o$ 、 $P$ の変化 (一冷)	31
例題 2.13	圧力比から $\eta_v$ を求めて実際と理論サイクルの $\Phi_o$ の比を求める (一冷)	32
	(ヒートポンプサイクル)	
例題 2.14	$p-h$ 線図、 $P_{th}$ から $\Phi_o$ 、 $(COP)_{th,R}$ 、 $(COP)_{th,H}$ を求める (三冷)	39
例題 2.15	ヒートポンプの理論成績係数を求める (三冷)	40
例題 2.16	$(COP)_{th,H}$ から $h_1$ を求める (三冷)	41



2.2.2	液ガス熱交換器付き単段圧縮冷凍サイクル (一冷) (三冷) .....	44
例題 2.17	液ガス熱交換器付きサイクルの理論成績係数を求める (三冷) .....	45
例題 2.18	液ガス熱交換器付きサイクルの冷凍能力と蒸発器出口の乾き度の計算 (一冷) .....	47
例題 2.19	凝縮負荷を用いて液ガス熱交換器付き冷凍サイクルの $(COP)_R$ を求める (一冷) .....	49
例題 2.20	冷凍能力から液ガス熱交換器付き冷凍サイクルの $(COP)_R$ などを求める (一冷) .....	51
2.2.3	2台の蒸発器を1台の圧縮機で運転する単段圧縮冷凍サイクル (一冷) .....	55
例題 2.21	2台の蒸発器のサイクルにおける冷凍能力、成績係数の式 (一冷) .....	57
例題 2.22	2台の蒸発器サイクルの冷媒循環量、圧縮動力、成績係数などを求める (一冷) .....	59
2.2.4	ホットガスバイパス式の容量制御冷凍サイクル (一冷) .....	62
例題 2.23	ホットガスバイパスの割合 $q_p$ と $h$ から $\Phi_o$ 、 $(COP)_{R,D}/(COP)_R$ などを求める (一冷) .....	64
例題 2.24	負荷減少割合と $h$ から $q_p$ および $(COP)_R$ を求める (一冷) .....	66
例題 2.25	凝縮器蒸気バイパス容量制御サイクルの冷凍能力などを求める (一冷) .....	68
例題 2.26	吐出しガスバイパス容量制御サイクルの冷凍能力などを求める (一冷) .....	71
2.2.5	冷媒液噴射式冷凍サイクル (一冷) .....	75
例題 2.27	液噴射サイクルの冷凍能力、成績係数などを求める (一冷) .....	76
例題 2.28	液噴射量および噴射による冷却熱量を求める (一冷) .....	78
2.3	満液式冷凍サイクルおよび冷媒液強制循環式冷凍サイクル .....	82
2.3.1	満液式冷凍サイクル (一冷) .....	82
2.3.2	冷媒液強制循環式冷凍サイクル (一冷) .....	84
例題 2.29	満液式冷凍サイクルの $\Phi_o$ 、 $(COP)_{th,R}$ などを求める (一冷) .....	85
例題 2.30	満液式冷凍サイクルの冷凍能力、蒸発器出口の比エンタルピーなどを求める (一冷) .....	87
例題 2.31	油戻し装置付き冷媒液強制循環式冷凍装置の $\Phi_o$ 、 $(COP)_{th,R}$ などを求める (一冷) .....	88
2.4	二段圧縮冷凍サイクルなど .....	94
2.4.1	二段圧縮一段膨張冷凍サイクル (一冷) .....	94
例題 2.32	二段圧縮一段膨張理論冷凍サイクルの理論圧縮動力、成績係数などの計算 (一冷) .....	97
例題 2.33	実際の冷凍サイクルの冷媒循環量 $q_{mrk}$ 、軸動力 $P$ などを求める (一冷) .....	98
例題 2.34	凝縮負荷を計算して冷媒循環量および $\Phi_o$ を求める (一冷) .....	100

例題 2.35 気筒数比を用いてコンパウンド圧縮機の冷媒循環量と $\Phi_k$ を求める (一冷)	102
例題 2.36 二段圧縮一段膨張冷凍装置のピストン押しのけ量 $V$ 、 $(COP)_R$ を求める (一冷)	104
例題 2.37 気筒数比を用いてコンパウンド圧縮機を用いた二段圧縮一段膨張冷凍装置の $\Phi_k$ 、 $P$ 、 $(COP)_R$ などを求める (一冷)	106
2.4.2 二段圧縮二段膨張および二元冷凍サイクル (一冷)	113
例題 2.38 二段圧縮二段膨張冷凍サイクルの $q_{mro}$ から $q_{mrk}$ 、 $(COP)_R$ などの計算 (一冷)	116
例題 2.39 放熱装置のある二段圧縮二段膨張冷凍サイクルの計算 (一冷)	118
例題 2.40 二元冷凍サイクルにおける冷媒循環量、軸動力および $(COP)_R$ の計算 (一冷)	120

## 3章 伝熱

3.1 熱の伝わり方 (三冷)	126
3.2 熱伝導 (三冷)	127
3.2.1 単層平面壁の熱伝導 (三冷)	127
例題 3.1 防熱壁の熱伝導による伝熱量を求める (三冷)	127
3.2.2 多層平面壁の熱伝導 (三冷)	128
例題 3.2 冷蔵庫内への侵入熱量を求める (三冷)	129
3.2.3 単層円筒壁の熱伝導 (三冷)	130
例題 3.3 保冷材を施した吸込み管への侵入熱量を求める (三冷)	132
3.2.4 多層円筒壁の熱伝導 (三冷)	133
3.3 熱伝達 (三冷)	133
例題 3.4 固体壁から流体への伝熱量を求める (三冷)	134
3.4 熱通過	135
3.4.1 単層平面壁の熱通過 (一冷) (三冷)	135
3.4.2 多層平面壁の熱通過 (一冷) (三冷)	136
例題 3.5 冷蔵庫内への侵入熱量を求める (三冷)	137
例題 3.6 冷蔵室内への侵入熱量、パネル芯材に水分が浸入した場合の侵入熱量などを求める (一冷)	138
例題 3.7 冷蔵庫パネルの外表面温度、芯材の厚さなどを求める (一冷)	140
3.4.3 単層円筒壁の熱通過 (一冷)	143
例題 3.8 外気から冷媒配管への侵入熱量などを求める (一冷)	144
3.4.4 実際のフィン付伝熱管の熱通過 (一冷)	146
3.5 熱交換器 (一冷) (三冷)	148
例題 3.9 伝熱の基礎に関する文章形式の問題を解く (三冷)	149



## 4章 凝縮器の伝熱

4.1	空冷凝縮器 (一冷) (三冷) .....	152
	例題 4.1 空冷凝縮器の伝熱面積を求める (三冷) .....	154
	例題 4.2 空冷凝縮器の算術平均温度差を求める (三冷) .....	155
	例題 4.3 空冷凝縮器の伝熱面積を求める (一冷) .....	156
	例題 4.4 空冷凝縮器の平均熱通過率、出口空気温度および凝縮温度を求める (一冷) .....	157
	例題 4.5 空冷凝縮器の凝縮負荷、平均熱通過率および凝縮温度を求める (一冷) .....	158
4.2	水冷凝縮器 (一冷) (三冷) .....	162
	例題 4.6 水冷凝縮器の伝熱面積を求める (三冷) .....	164
	例題 4.7 水冷凝縮器の算術平均温度差を求める (三冷) .....	165
	例題 4.8 水冷凝縮器の伝熱面積を求める (三冷) .....	166
	例題 4.9 水冷凝縮器の凝縮負荷、汚れ係数などを求める (一冷) .....	167
	例題 4.10 水冷凝縮器の平均熱通過率および汚れ係数を求める (一冷) .....	169
	例題 4.11 水冷凝縮器の凝縮負荷、凝縮温度などを求める (一冷) .....	170

## 5章 蒸発器の伝熱

5.1	フィンコイル乾式蒸発器 (一冷) (三冷) .....	178
	例題 5.1 霜の付着を考慮して裸管式蒸発器の熱通過率を求める (三冷) .....	180
	例題 5.2 空調用フィンコイル蒸発器の空気と冷媒との算術平均温度差を求める (三冷) .....	181
	例題 5.3 冷蔵庫用蒸発器の平均熱通過率、伝熱面積などを求める (一冷) .....	182
	例題 5.4 冷蔵庫用フィンコイル蒸発器の平均熱通過率、伝熱面積などを求める (一冷) .....	183
5.2	シェルアンドチューブ乾式蒸発器 (一冷) (三冷) .....	188
	例題 5.5 水冷却器の平均熱通過率を求める (三冷) .....	190
	例題 5.6 ブライン冷却器(裸管)の平均熱通過率および伝熱面積を求める (三冷) .....	191
5.3	シェルアンドチューブ満液式蒸発器 (一冷) (三冷) .....	193

## 6章 圧力容器

6.1	応力とひずみ (一冷) (三冷) .....	196
	6.1.1 応力 .....	196
	6.1.2 ひずみ .....	196

6.1.3	フックの法則	.....	196
6.1.4	許容応力と安全率	.....	197
6.2	設計圧力と許容圧力 (一冷) (三冷)	.....	197
6.2.1	設計圧力	.....	197
6.2.2	許容圧力	.....	198
6.3	円筒形圧力容器 (薄肉円筒胴) に生じる応力 (一冷) (三冷)	.....	198
例題 6.1	受液器の胴板に生じる最大応力を求める (三冷)	.....	200
6.4	冷凍保安規則関係例示基準による円筒形圧力容器に関する計算 (一冷)	.....	201
6.4.1	円筒形圧力容器の板厚	.....	201
6.4.2	限界圧力	.....	202
例題 6.2	凝縮器の必要厚さおよび胴板に誘起される最大応力を求める (一冷)	.....	203
例題 6.3	胴板の厚さから受液器の使用の可否と耐圧試験時の最大引張応力を求める (一冷)	.....	204
例題 6.4	高圧受液器の限界圧力などを求める (一冷)	.....	205
例題 6.5	最高の基準凝縮温度および設計圧力が作用したときの応力を求める (一冷)	.....	207
例題 6.6	最大の円筒胴内径、円周応力などを求める (一冷)	.....	208
例題 6.7	円周胴の最大外径および半球形鏡板の必要板厚を求める (一冷)	.....	209

## 演習問題の解答

1 章の演習問題の解答	.....	216
2 章の演習問題の解答	.....	219
3 章の演習問題の解答	.....	245
4 章の演習問題の解答	.....	247
5 章の演習問題の解答	.....	254
6 章の演習問題の解答	.....	257

## 付録 よく使われる数学の公式