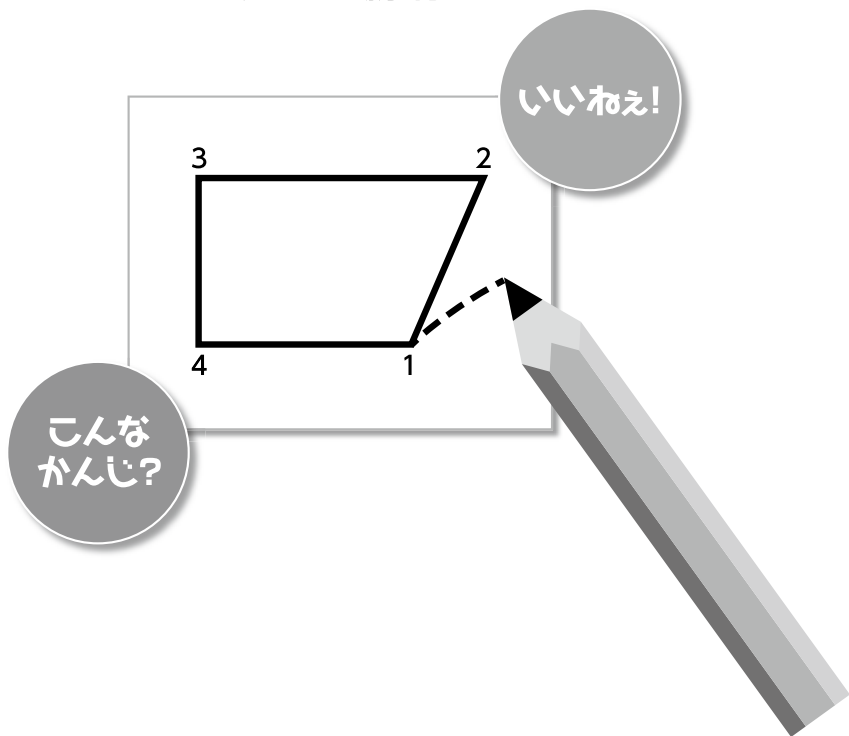


# 図をかいて サクサク解ける 学識の計算問題

～ 第一種・第二種 冷凍機械責任者試験 受験対策～

見上 勝清



## 本書の目的

「上級冷凍受験テキスト」には、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と記されています。そこで本書では十分な練習ができるようにすることを目的として、さらに理解しやすいように扱う順番を整理しました。どうか一人でも多くの方が本書を上手に使うことで試験に合格して欲しいと思います。

## 本書の使い方

一つ一つ定着が図れるように多くの問題を用意しました。しかし、計算が占める割合は試験全体の一部ですから十分に時間が取れない方もいると思いますので、そのときは問題番号の頭に\*のマークがついている間のみやることで対応してください。

また、進め方ですが

- 第二種の人は、最初から第4章の46ページまでが範囲です。最初から順に進めてください。
- 第一種の人は、最初から順にやるか、もしくは、先に第9章と第10章をやってまず40点分を確実にしてから残りの範囲をやるという方法もあります。

過去問題の出題分野分析を208ページに資料として載せましたので、これを参考にして自分に合ったやり方で試験への備えを万全にしてください。

なお、最新の情報や訂正等を、<http://3939tokeru.webcrow.jp/>にて公開していますので、こちらもご覧ください。

## 計算の仕方について

決まったやり方は公表されていないと思うので今までの経験から次のようにすると良いと思います。途中式では有効数字を四捨五入で4～5桁出しておいて、指示がなければ答は最後に四捨五入で3桁にします。しかしその値を次の設問で使うときは四捨五入する前の4～5桁の値を使います。ただし、比エンタルピーは答のところを四捨五入で小数第一位までにするというルールでやると良いでしょう。

## 注意

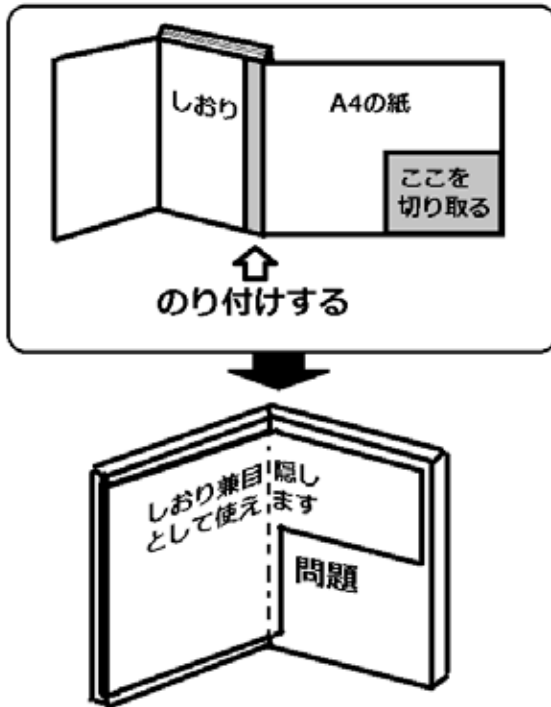
一部の表現や値に、厳密には正しくない部分が含まれていますが、理解をしやすいように用いているということでご容赦願います。また、単位の表記については、他の変数などの文字と区別するために [kg] のように括弧をつけ、書体も含めて実際の試験とは同じにしません。読みやすくしているためですので、みなさんが実際に解答するときの単位の部分の書き方は、無いと駄目ですが括弧については自由にしてください。

なお、本書の内容により生じた結果について一切の責任を筆者は負いませんのでご了承ください。

最後に、許可無く本書の全部および一部について、一切の複製を禁じます。

# しおり

問題はすべて見開きページの右下にありますので、右の斜線部分に  
下のようなA4サイズの紙を1枚用意して貼り付けると、しおり兼  
目隠しとして使えます。良かったらやってみてください。



の  
り  
し  
る



# 目次

0	はじめに	1
1	$p-h$ 線図	1
2	冷凍サイクル	8
3	蒸発器、圧縮機、凝縮器の仕事率と成績係数	13
4	圧縮機と効率	25
5	バイパス	53
	ア 5の過熱度を下げる	54
	イ 4の乾き度を上げる	60
	ウ 蒸発器2台	66
6	熱交換器	73
	ア 液ガス熱交換器	74
	イ 二元冷凍装置	81
7	中間冷却器	85
	ア 二段圧縮一段膨張	86
	イ 二段圧縮二段膨張	108
8	液集中器と低圧受液器	117
	ア 液集中器	117
	イ 低圧受液器	117
	イ' 低圧受液器と油戻し装置	121
9	熱通過率	127
	1 面積比	127
	2 伝熱量と熱通過率	131
	3 平均温度差	143
	4 冷凍能力 $\Phi_0$ と凝縮負荷 $\Phi_k$	146
	5 比熱と冷凍能力 $\Phi_0$ 、凝縮負荷 $\Phi_k$	150
	6 過冷却液、湿り蒸気、過熱蒸気	164
10	圧力容器の強度	173
	1 応力と胴板に必要な厚さ	173
	2 最小必要試験圧力	186
	3 半球形鏡板	194
11	巻末問題（第2種受験用）	198
	(資料) 過去問題の出題分野分析	208
	索引	209
	使用公式一覧	212

## 0. はじめに

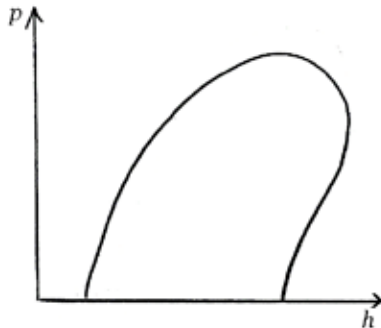
第一種の学識は解答用紙が記述式なので、採点者がわかるように答案を書く必要があります。よって解答用紙の中に正しく図を描くこと、そして相手にわかる文字を使って式を書き、できるだけ正解を導き出しましょう。

第二種の場合は選択肢から選ぶ事になりますが、先のことを考えて自らの手で図や式をかけるようにしておきましょう。それではさっそく図をかく練習からはじめます。

## 1. $p-h$ 線図

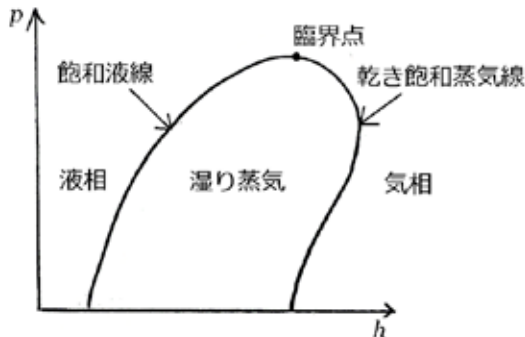
下の図が  $p-h$  線図です。縦軸の  $p$  は圧力のことで単位は  $MPa$  (メガパスカル)、横軸の  $h$  は比エンタロピーのことで単位は  $kJ/kg$  (キロジュール/キログラム)です。上に行くほど圧力が高くなり、右に行くほど熱エネルギーが大きくなります。また、曲線の部分は状態の変化が起こる境界線です。

まずはこの図を何回か描いて形を覚えてください。

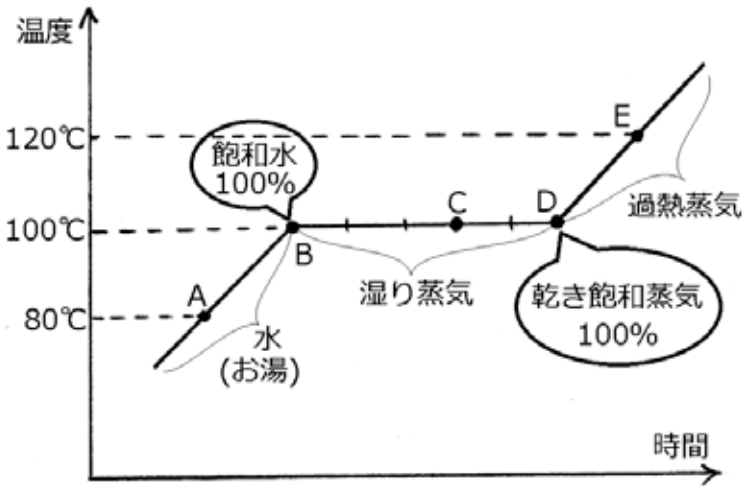


できましたか。

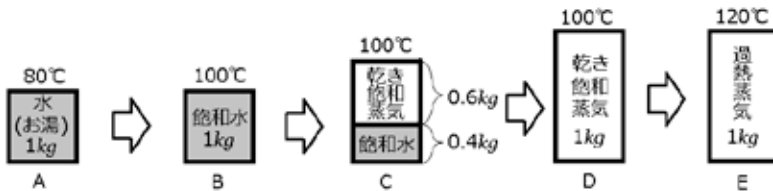
それではこの図の意味を説明します。実は下の図のように曲線には名前がついています。

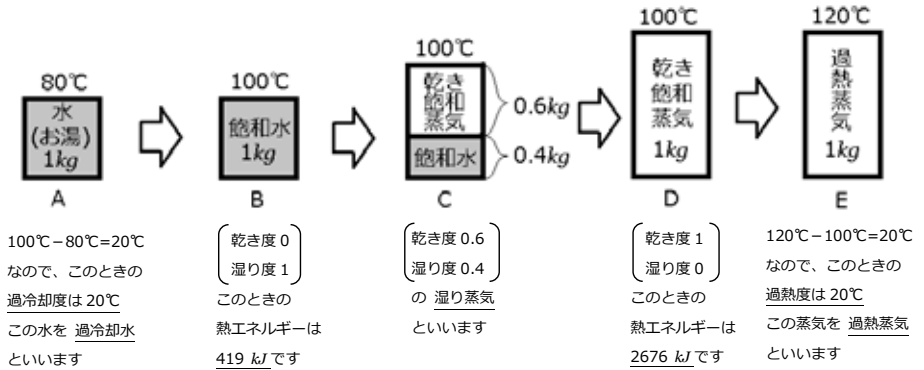


ここからは説明をわかりやすくするため、水の場合で考えます。



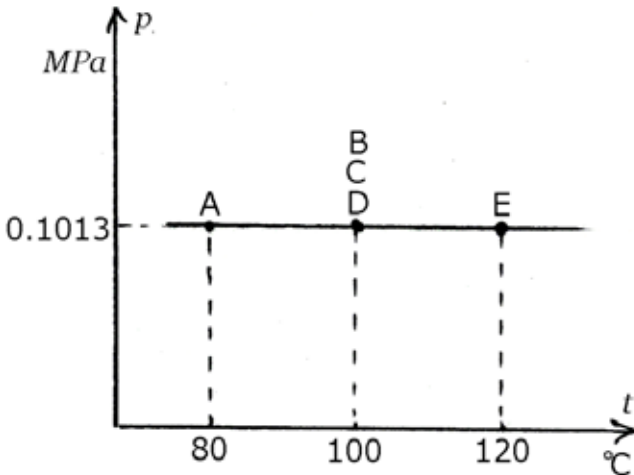
いま、1 [kg] の水をあたためていくことにします。すると、上のグラフのように時間とともに温度が上昇して行き、ちょうど 100 [°C] に達したとき(点B)温度上昇が止まり、ここから水が水蒸気になっていきます。そして、すべてが水蒸気になると(点D)、また温度が上昇して行きます。沸騰している間(B～D)は熱を加えていても温度が 100 [°C] のままで上がっていきません。このときの水や蒸気の状態を 湿り蒸気 といい、水の部分を 飽和水 (冷媒のときは 飽和液)、蒸気部分を 乾き飽和蒸気 といいます。大気圧(0.1013 MPa)でAからEまでの過程を示すと下の図のようになります。実際には水が水蒸気になると、体積が約 1700 倍になるので正確にはかけませんが、とりあえず下の図と上のグラフを対応させて状況を把握してください。



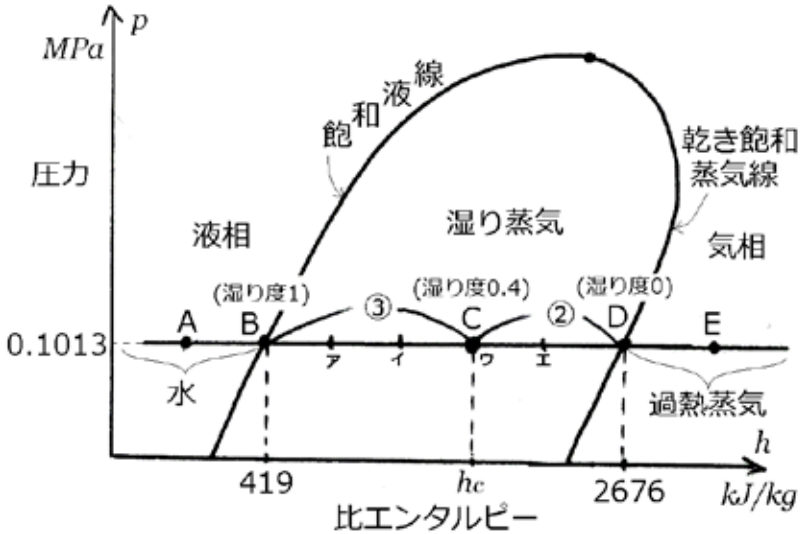


ここで、もしも  $p$ - $h$  線図の横軸が温度だとすると、下のように  $p$ - $t$  線図になります。これを見てわかるように途中の B~D の間は温度が 100 [°C] で止まったままになり重なってしまいます。

これではわかりにくいので  $p$ - $h$  線図の横軸は 1 [kg] あたりのエンタルピー(熱含量とか含熱量と日本語では訳します)つまり 比エンタルピー にしています。これはそのものが持っている熱エネルギーと考えて下さい。そして、「水をあたためる」ということは、「熱エネルギーを水に与えている」と読みかえることができるので 80 [°C] の水は与えられた熱を吸収して A から E まで熱エネルギーが連続的に増加したと言えます。それでは先程の  $p$ - $h$  線図に A~E の過程をあてはめてみると、次のページの図のようになります。今度は B~D の間もエネルギーの増加として上手に表現できていますね。これが  $p$ - $h$  線図の良いところです。







そして、点Bは湿度1 乾き度0の飽和水、点Dは湿度0 乾き度1の乾き飽和蒸気、BD間は湿り蒸気といい、BD間を5等分したとき、点A～Eの湿度と乾き度は次の表の通りです。

	湿度	乾き度
ア	0.8	0.2
イ	0.6	0.4
ウ	0.4	0.6
エ	0.2	0.8

それでは、このグラフからいくつかの値を求めてみましょう。

**(例1) 飽和水 10 [kg] のエンタルピーは？**

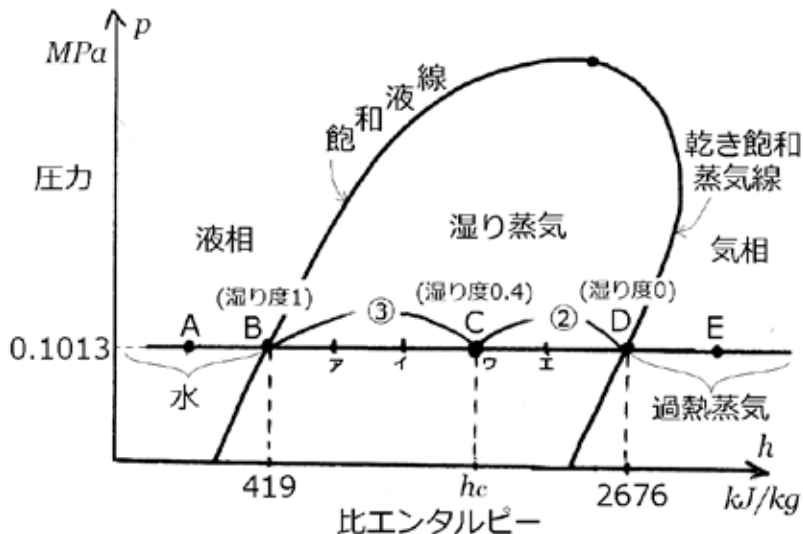
(解) 上のグラフは 1 [kg] のときのグラフなので、飽和水(点B)の比エンタルピーを10倍して

$$419 \text{ [kJ/kg]} \times 10 \text{ [kg]} = \underline{4190 \text{ [kJ]}}$$

**(例2) 乾き飽和蒸気 10 [kg] のエンタルピーは？**

(解) 同様に乾き飽和蒸気(点D)の比エンタルピーを10倍して

$$2676 \text{ [kJ/kg]} \times 10 \text{ [kg]} = \underline{26760 \text{ [kJ]}}$$



(例3) 湿り度 0.4 の湿り蒸気 10 [kg] のエンタルピーは？

(解) 湿り度 0.4 の湿り蒸気(点C) 10 [kg] の中の、  
乾き飽和蒸気と飽和水の量をそれぞれ求めると、  
乾き度が  $1 - 0.4 = 0.6$  なので、右の図より

$$\text{乾き飽和蒸気が } 10 \text{ [kg]} \times 0.6 = 6 \text{ [kg]}$$

$$\text{飽和水が } 10 \text{ [kg]} \times 0.4 = 4 \text{ [kg]}$$

とわかります。よって、それぞれの熱量の和で

$$2676 \text{ [kJ/kg]} \times 6 \text{ [kg]} + 419 \text{ [kJ/kg]} \times 4 \text{ [kg]} = \underline{17732 \text{ [kJ]}}$$



(別解1)

飽和水を  $10 \text{ [kg]} \times 0.4 = 4 \text{ [kg]}$ 、乾き飽和蒸気を  $10 \text{ [kg]} - 4 \text{ [kg]} = 6 \text{ [kg]}$  と求めてから  
でもよい。

(別解2)

まず、点Cの比エンタルピーを求めると、乾き度が  $1 - 0.4 = 0.6$  なので

$$2676 - 419 = 2257$$

$$2257 \times 0.6 = 1354.2$$

$$419 + 1354.2 = 1773.2$$

よって、これが 10 [kg] あるので

$$1773.2 \text{ [kJ/kg]} \times 10 \text{ [kg]} = \underline{17732 \text{ [kJ]}}$$



(別解 3)

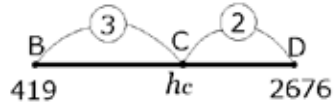
次のようなやり方もあります。下の枠内の公式を使います。

C は BD を 3 : 2 に分ける点なので、C の比エンタルピーを

$$hc = \frac{2 \times 419 + 3 \times 2676}{3 + 2} = \frac{8866}{5} = 1773.2$$

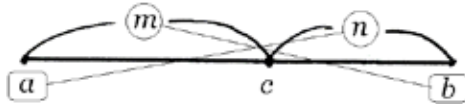
と求めてから、10 [kg] なので

$$1773.2 \text{ [kJ/kg]} \times 10 \text{ [kg]} = \underline{17732 \text{ [kJ]}}$$



右図で、 $a$  と  $b$  を  $m : n$  に分ける点の  $c$  の値は

$$c = \frac{na + mb}{m + n}$$



という公式があります。

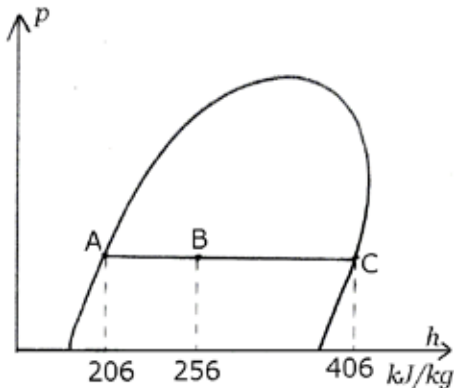
これは大切なのでしっかりと形で覚えてください。

(分母は和で、分子はたすきに掛けて足す)

それでは問題を解いてみましょう。

**\* 1**

- (1) 右図で B の乾き度を求めよ。
- (2) 右図で乾き度が 0.7 のときの比エンタルピーを求めよ。
- (3) 右図で湿り度が 0.65 のときの比エンタルピーを求めよ。

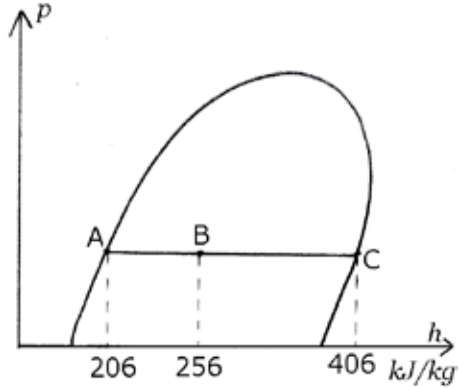


Check!

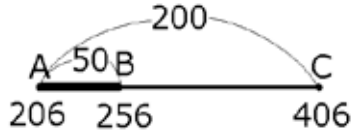
- 
- 
- 
- 
-

**\* 1**

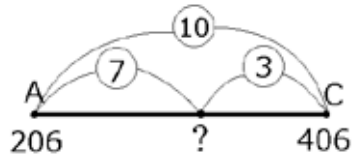
- (1) 右図でBの乾き度を求めよ。
- (2) 右図で乾き度が0.7のときの比エンタルピーを求めよ。
- (3) 右図で湿り度が0.65のときの比エンタルピーを求めよ。



解 (1)  $\frac{256-206}{406-206} = \frac{50}{200} = \frac{1}{4} = 0.25$



(2)  $(406-206) \times 0.7 = 200 \times 0.7 = 140$   
 $206 + 140 = 346 \text{ [kJ/kg]}$

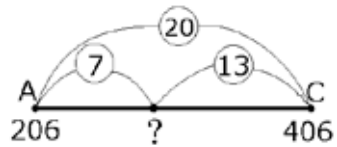


別解

$0.7 = \frac{7}{10}$  より AC を 7 : 3 に分ける場所なので

$\frac{3 \times 206 + 7 \times 406}{7 + 3} = \frac{3460}{10} = 346 \text{ [kJ/kg]}$

(3) 乾き度が  $1 - 0.65 = 0.35$  より  
 $(406-206) \times 0.35 = 200 \times 0.35 = 70$   
 $206 + 70 = 276 \text{ [kJ/kg]}$



別解

$0.35 = \frac{35}{100} = \frac{7}{20}$  より AC を 7 : 13 に分ける場所なので

$\frac{13 \times 206 + 7 \times 406}{7 + 13} = \frac{5520}{20} = 276 \text{ [kJ/kg]}$

$\left[ \text{約分せずに } \frac{65 \times 206 + 35 \times 406}{100} \text{ から求めてもよい} \right]$

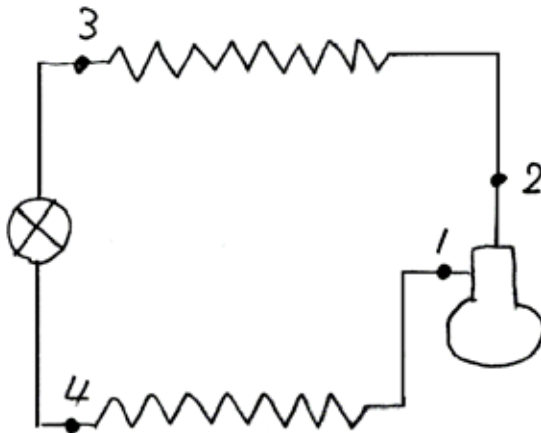
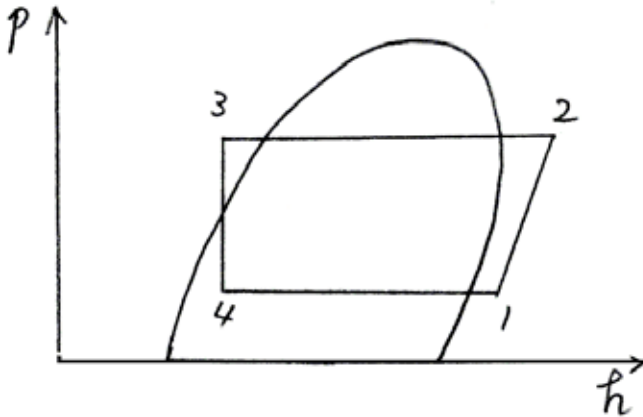
(補足)

水のとくと冷媒のとくと呼び方がちがうのは次の2つだけです。

飽和水 → 飽和液      過冷却水 → 過冷却液

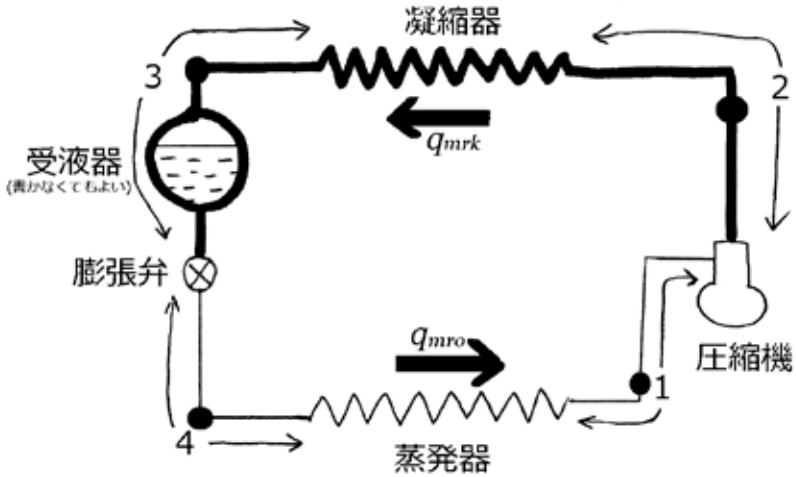
## 2. 冷凍サイクル

下の2つの図をかく練習を何回かして、形を覚えてください。



かけるようになったらこの図の説明をします。

まず下側の図ですが、実際は次のページのように それぞれ名前がついています。



これらの冷凍装置および配管内には、アンモニアやフルオロカーボンという冷媒が入っていて、運転中は太い矢印の方向に流れています。そして、蒸発器や凝縮器の中を 1 秒間に流れる冷媒の質量を、それぞれ次のような 4 文字の変数でかきます。



ここでの単位は 1 秒あたりの重さなので  $kg/s$  です。

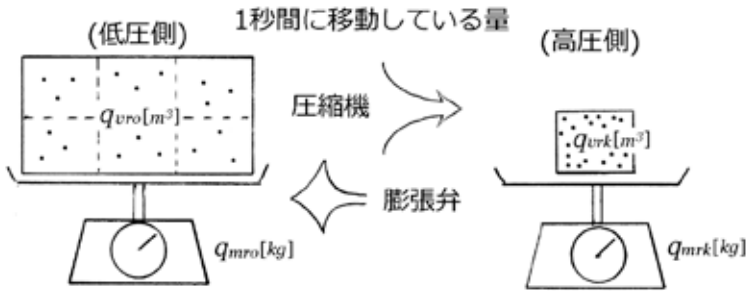
この図では途中で冷媒がどこにも行くルートが無く単純に循環しているので

$$q_{mro} = q_{mrk} \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

が成り立ちます。このように等しいときは、ともに  $q_{mr}$  で表すこともあります。

また、まれにこれらを体積で表現することがありますが、このときは体積を表す  $V$  を使ってそれぞれ  $q_{vro}$  と  $q_{vrk}$  とかいて、単位は  $m^3/s$  となります。

また、**圧縮機** は圧力を上げる機械で、**膨張弁** は圧力を下げる弁(減圧弁)ですから、図の太線部分は圧力が高く(高压側)、膨張弁出口から圧縮機入口までは圧力が低い部分(低压側)となります。例えば、圧縮機で圧力を 6 倍、つまり体積を  $\frac{1}{6}$  倍にして膨張弁でこれを戻しているとする、下の図のようになります。



見てわかるように、移動している質量は ① 式のように変わらなくても、体積については

$$q_{vro} > q_{vrk} \quad \dots\dots ②$$

$$q_{vro} = 6q_{vrk} \quad \dots\dots ③$$

が成り立ちます。なかなかこのような 4 文字の変数を書く習慣がないので書きにくいものです。ここで ①～③ 式を何回か書いて慣れてください。 (ただし、必ずこの文字でなければならぬわけではなく、r は冷媒以外にも冷凍室内の空気を表したりするので、そのときの問題の指示に従い、自分で勝手に使うときは解答の中に説明を書くようにして下さい)

また、前ページの図の数字の 1～4 と点については細い矢印の中ならば圧力とエネルギーがどこでも同じなのでどこに書いてもかまいません。わかりやすいところに書いてください。

それでは、各点での冷媒の比エンタルピーの値を  $h_1 \sim h_4$  で表すこととして、次のページからは熱エネルギーの変化を追ってみましょう。

なお、わかりやすいように身近にある家庭用のエアコンで考えたものが下の図になります。

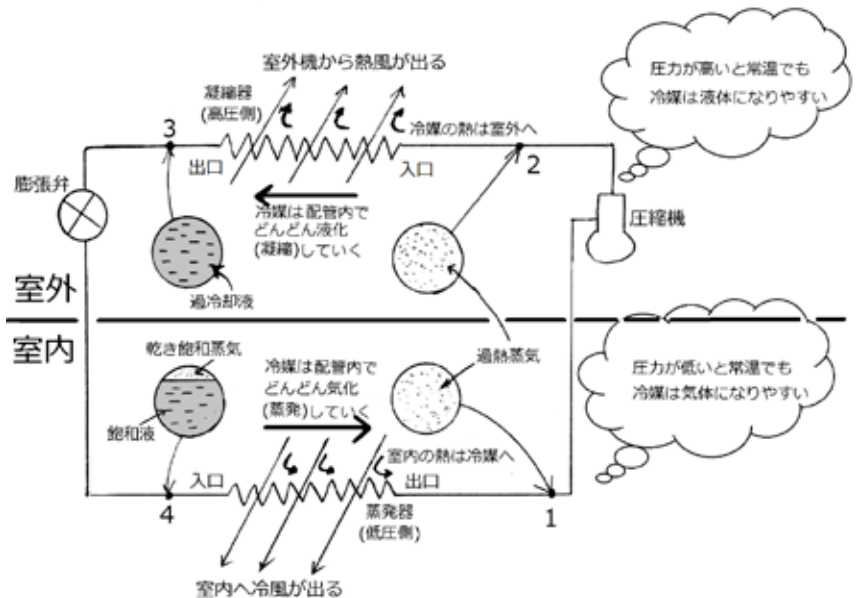
1~4の各点での管の中の冷媒の様子とあわせて以下の説明を読んで下さい。

まず 図中の左上にある **膨張弁** ですが、これは弁の手前の圧力を高く維持するためのものですから、弁はここで圧力を緩めるだけなので、この前後でエネルギーの増減はありません。つまり  $h_3 = h_4$  が成り立ちます。

しかし、図中の右上にある **圧縮機** は圧力を上げるわけですから簡単にはできません。エネルギーが必要になります。ポンプの動力を使って圧力を上げるので、冷媒の熱エネルギーがここで上昇します。つまり  $h_1 < h_2$  となります。

また、図中の下の方にある **蒸発器** の管の中では入口から出口に向かって、どんどんまわりの熱を奪って冷媒が蒸発していきます。これにより冷水や冷風が作られるわけですが、ここで冷媒の熱エネルギーはどんどん増加していきます。

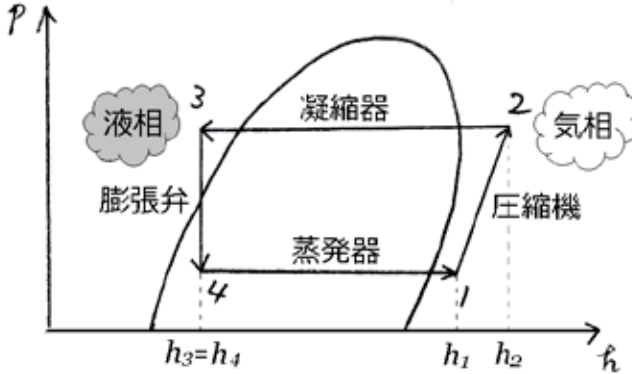
最後に残った **凝縮器** はこの逆で冷却水や室外機の風を使って冷媒を冷やすので、入口から出口に向かってどんどん冷媒は気体から液体になっていきます。つまり、ここで熱を外に放出しているので冷媒の熱エネルギーはどんどん減少していきます。





## 2. 冷凍サイクル

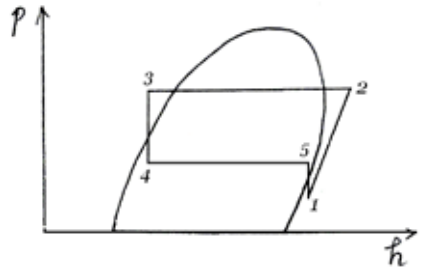
さあ、ここまで理解できたでしょうか。これらのことを踏まえ、1~4の圧力とエネルギーの変化を  $p-h$  線図の中にかくと、下のようになります。



このように、冷媒は冷凍装置内で無限にこの変化をくりかえすことが可能なので、これを 冷凍サイクル といいます。

(補足)

I 圧縮機は気体を圧縮するものです。液体が入ると(液圧縮といいます)壊れますので、1は過熱度が  $5 \sim 10$  [°C] の過熱蒸気になるようにしています。液圧縮にならないようにする方法には、冷凍する負荷の減少にあわせて膨張弁を調整して循環する冷媒の流量を減らす方法や、蒸発器出口で絞り膨張する方法があります。後者のときは右のような冷凍サイクルになります。この形も覚えておきましょう。



II 9 ページの図では、膨張弁の前に受液器がかいてあったとおり、3は過冷却液になります。もしも冷却が不十分で膨張弁内に気体が入ると循環する冷媒の流量が減り、その結果として冷凍能力が下がってしまいます。

III 上の図では4が湿り蒸気としてかいてありますが、実は4が液相の中にあっても(過冷却液のままであっても)蒸発器に支障はありません。