

## 第27回 冷凍機と冷凍サイクル(1/2)

### 1. 主な冷凍サイクル

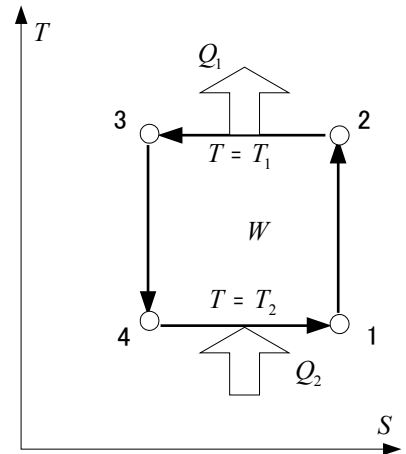
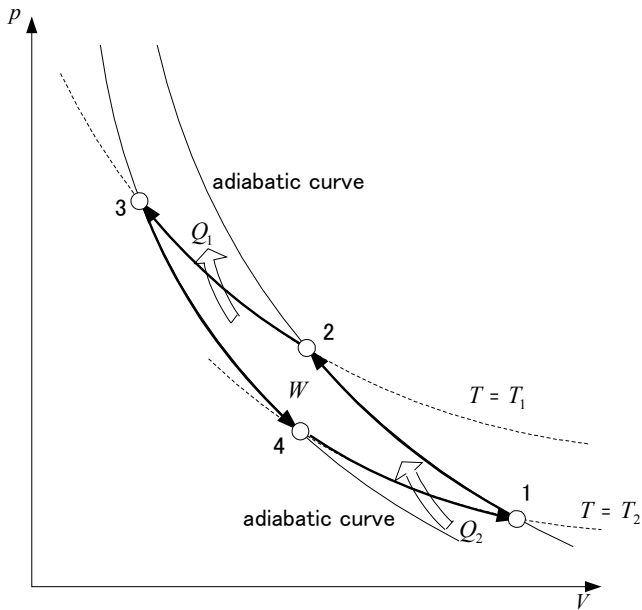
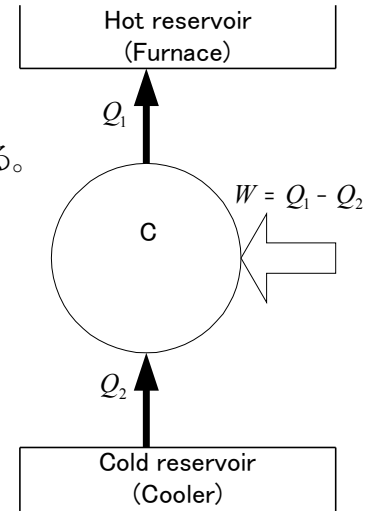
冷凍 サイクル	蒸気冷凍サイクル	圧縮冷凍サイクル	断熱膨張による液体の蒸発を利用
		吸収冷凍サイクル	ガス溶解度の圧力・温度依存性を利用
	ガス冷凍サイクル	:逆ブレイトンサイクルまたはジュール・トムソン効果の利用	

### 2. 逆カルノーサイクル

熱機関のカルノーサイクルを逆に動作させると、冷凍機として動作する。

- 1→2: 断熱圧縮(温度上昇  $T_2 \rightarrow T_1$ )
- 2→3: 等温圧縮(放熱  $Q_1$ )
- 3→4: 断熱膨張(温度降下  $T_1 \rightarrow T_2$ )
- 4→1: 等温膨張(吸熱  $Q_2$ )

$Q_1 - Q_2 = W$  の正味の仕事を要する。  
全て可逆変化



### 3. 性能の表し方

冷凍機としての成績係数(動作係数, COP)

$$\epsilon_r = \frac{\text{低温から取り去った熱}}{\text{要した仕事}} = \frac{Q_2}{W}$$

ヒートポンプとしての成績係数(動作係数, COP)

$$\epsilon_h = \frac{\text{高温へ加えた熱}}{\text{要した仕事}} = \frac{Q_1}{W} = \epsilon_r + 1$$

逆カルノーサイクルでは,  $Q_1/Q_2 = T_1/T_2$  であるため, 次式となる。

$$\epsilon_r = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \quad \epsilon_h = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

- ① 実際の冷凍サイクルの  $\epsilon_r$ 、 $\epsilon_h$  は, 最高最低温度が  $T_1$ 、 $T_2$  となる逆カルノーサイクルの値より小さい。
- ② 冷凍で  $T_1$  (気温) が同じとき,  $T_2$  が低いほど  $\epsilon_r$  は小さくなる。
- ③ 加熱用途で  $T_2$  (気温) が同じとき,  $T_1$  が高いほど  $\epsilon_h$  は小さくなる。

#### 4. 蒸気圧縮冷凍サイクル(一般的な冷凍機のサイクル) 冷凍サイクルを担う作業流体を冷媒という。

蒸気圧縮冷凍機の構成(理想化した状態変化)

1→2: 圧縮機(断熱圧縮)

1 はほぼ飽和蒸気(実際は少し過熱)

2 は過熱蒸気

2→4: 凝縮器(等圧冷却・凝縮)

過熱蒸気を冷却し, 凝縮する。

4 は飽和液(実際は少しサブクール液)

4→5: 膨張弁(断熱絞り; 不可逆変化)

飽和液を絞りで膨張(エンタルピー一定)

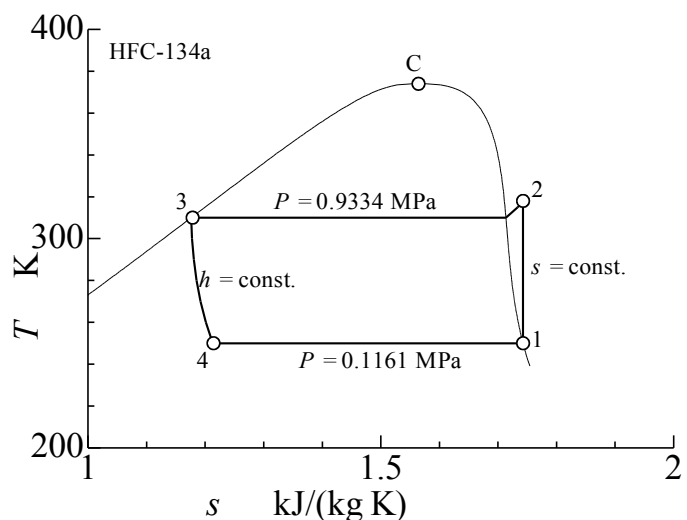
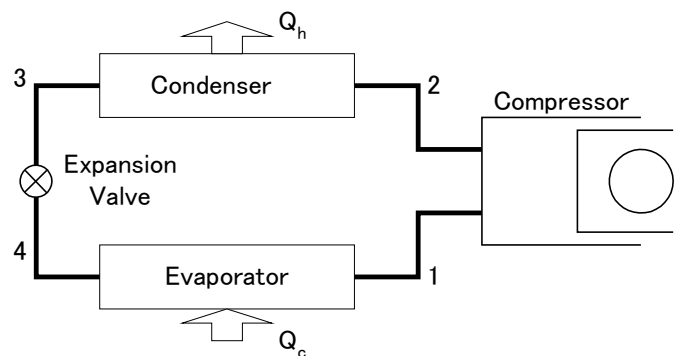
5 は湿り蒸気

5→1: 蒸発器(等圧加熱・蒸発)

周囲より熱を奪って蒸発

1 は飽和蒸気

(実際は少し過熱蒸気)



T-s 線図を右に示す。

4→5 の絞り変化は非可逆変化である。  
ここにタービンまたはピストン式膨張機を用いる場合もあり, この場合は理想的には等エントロピー変化となり, 一部の仕事が回収できる(小型では非実用的)。

p-h 線図(モリエル線図) 実際の計算はp-h線図で行う。

- (1) 蒸発温度(圧力), 凝縮温度(圧力)より, 基本サイクルを描く。
- (2)  $h_1, h_2, h_3 = h_4$  を読み取る。
- (3) 冷媒 1kg 当たりの冷却熱  
冷凍効果  $q_2 = h_1 - h_5$
- (4) 冷媒 1kg 当たり所要動力  
 $w = h_2 - h_1$
- (5) 成績係数

$$\epsilon_r = \frac{q_2}{w} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$

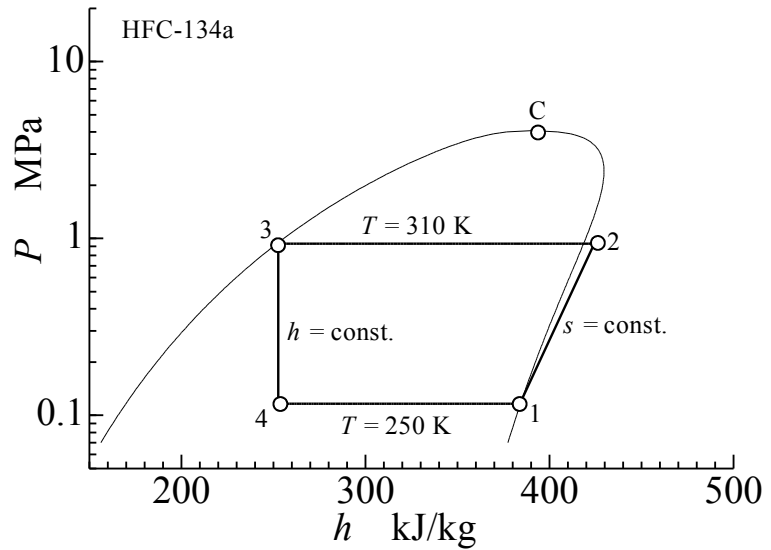
- (6) 冷媒循環量, 所要動力, 冷凍能力

冷媒循環量  $G$  (kg/s), 所要動力

力  $W$  (kJ/s), 冷凍能力  $Q$  (kJ/s) の間に次式の関係あり。

$$W = G w = G (h_2 - h_1)$$

$$Q = G q_2 = G (h_1 - h_5)$$



実際の蒸気圧縮冷凍サイクル

- (1) 圧縮機入口1に過熱が生じる。
- (2) 凝縮器出口に過冷却が生じる。
- (3) 蒸発器, 凝縮器および途中配管で圧損が生じる。
- (4) 圧縮機でエントロピー増がある。

$w, q_1, q_2, \epsilon$  の式はそのまま使える。

