

# カルノーサイクル

## ☆ 熱機関でやりたいこと

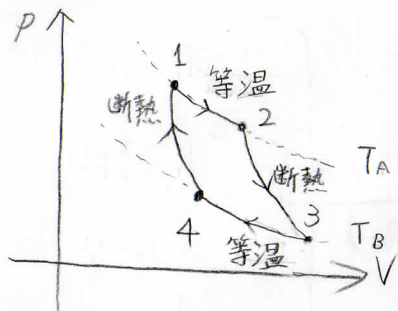
熱 ⇒ 作業物質 ⇒ 外界へ仕事

元の状態に戻し  
もう一度

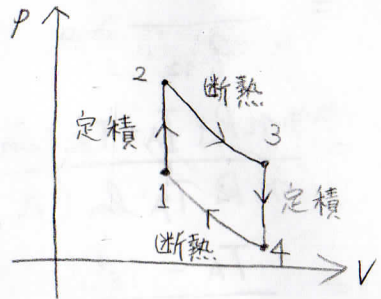
※ 作業物質は理想気体、可逆変化を考える

## ☆ 熱機関の例

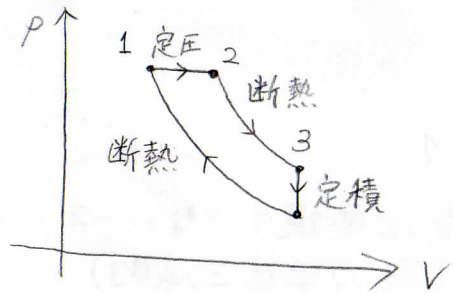
カルノー  
Carnot サイクル



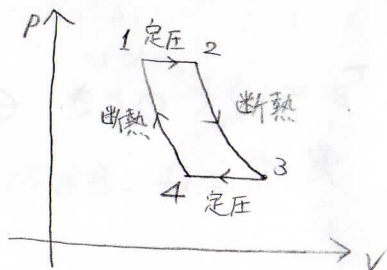
ホット  
Otto サイクル



ディーゼル  
Diesel サイクル



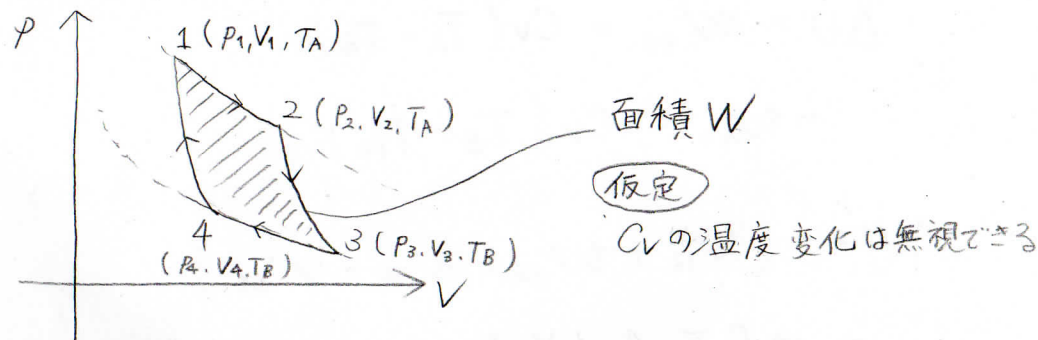
ブライトン  
Brayton サイクル



共通点

- 1周したと元の状態に戻る(囲まれた面積は仕事に等しい)
- 熱を受け取る過程は1つだけ

# ☆ カルノーサイクル



系が外部へした仕事  $-w = W$

$$-w = -\int_1^2 dw - \int_2^3 dw - \int_3^4 dw - \int_4^1 dw$$

$$= -w_{12} - w_{23} - w_{34} - w_{41}$$

1 → 2 等温膨張

$$-w_{12} = nRT_A \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$= nRT_A \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\Delta U = q + w = 0$$

$$q_{12} = -w_{12}$$

$$= nRT_A \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$> 0$$

2 → 3 断熱膨張

$$\Delta U = w_{23} = C_V (T_B - T_A)$$

$$-w_{23} = C_V (T_A - T_B)$$

3 → 4 等温圧縮

$$-w_{34} = nRT_B \int_{V_3}^{V_4} \frac{dV}{V}$$

$$= nRT_B \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

$$q_{34} = -w_{34}$$

$$= nRT_B \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

$$< 0$$

4 → 1 断熱圧縮

$$\Delta U = w_{41} = C_V(T_A - T_B)$$

$$-w_{41} = C_V(T_B - T_A)$$

$$\begin{aligned}
W &= -(w_{12} + w_{23} + w_{34} + w_{41}) \\
&= nRT_A \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + nRT_B \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) \\
&\quad + \underbrace{C_V(T_A - T_B) + C_V(T_B - T_A)}_0
\end{aligned}$$

Poissonの式

$$pV^\gamma = \text{一定}$$

$$\downarrow V = \frac{nRT}{p}$$

$$p^{1-\gamma} T^\gamma = \text{一定}$$

$$\downarrow p T^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \text{一定}$$

$$\begin{cases}
\frac{p_2}{p_3} = \left(\frac{T_B}{T_A}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \\
\frac{p_4}{p_1} = \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}
\end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{p_1}{p_4}, \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_2}{p_1} \text{より}, \quad \frac{V_4}{V_3} = \frac{p_3}{p_4} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\begin{aligned}
W &= nRT_A \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) + nRT_B \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right) \\
&= nR(T_A - T_B) \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)
\end{aligned}$$

★ 熱効率  $e$

$$\begin{aligned}
e &= \frac{\text{系が外部へした仕事}}{\text{系へ与えられた熱量}} \quad 1 \text{に近いと効率が良い} \\
&= \frac{W}{q_{12}} \\
&= \frac{nR(T_A - T_B) \ln(p_1/p_2)}{nRT_A \ln(p_1/p_2)} \\
&= \frac{T_A - T_B}{T_A} \\
&= 1 - \frac{T_B}{T_A}
\end{aligned}$$

•  $T_B = 0\text{K}$  のとき  $e = 1$

実際には、絶対零度は実現できない →  $e < 1$   
(熱力学第三法則)

Kelvinの原理

熱の一部を捨てずに、外界へ仕事させることはできない  
 $q_{34} \neq 0, e < 1$  熱力学第二法則へ