式(26), (29), (7)より

$$C_p = \left(\frac{d'Q}{dT}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + p\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \qquad U = C_V T + W \qquad pV = RT$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{C_p = C_V + R}$$

■ 単原子分子と2原子分子の場合

（単原子分子気体）

（二原子分子気体） (34)

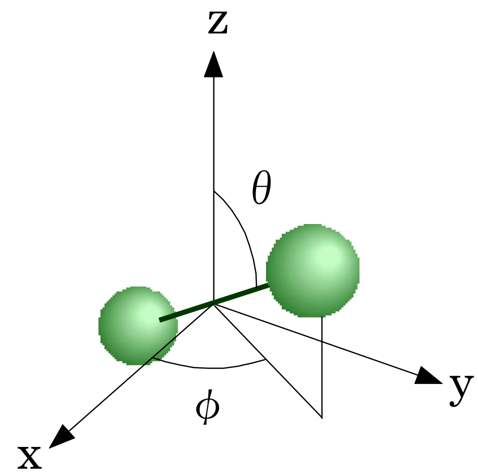
（単原子分子気体）

（二原子分子気体） (35)

(36)

（単原子分子気体）

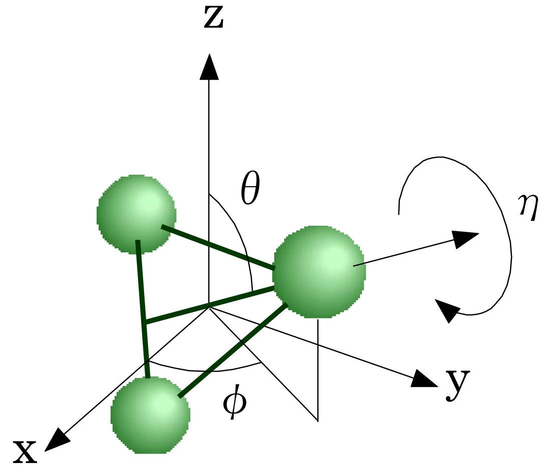
（二原子分子気体） (37)



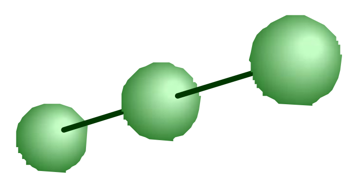
2原子分子の自由度：5

■ 3原子分子以上の場合

運動の自由度：x, y, z, 回転の自由度3



3原子分子の自由度：6



運動の自由度：5

6. 気体の断熱過程

$$C_V dT + p dV = 0 \qquad C_V dT + \frac{RT}{V} dV = 0$$

(38) ← (36)

$$\boxed{pV^{\gamma} = const}$$

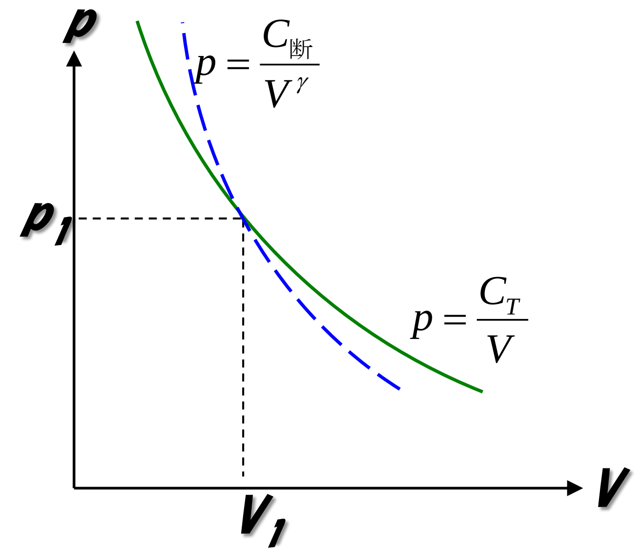
(39) ポアッソンの法則

(40) ←

$pV^{\gamma} = const$（断熱） ⟷ $pV = const$（等温）

■ 交点での*pV* 曲線の傾き

$$pV^{\gamma} = C_{断} \qquad \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_{断熱} = \left(\frac{\partial}{\partial V} C_{断} V^{-\gamma}\right)_{断熱} = -\gamma \frac{C_{断}}{V^{\gamma+1}}$$



⟵ @交点

<u>交点では断熱過程の*pV* 曲線の傾きの絶対値は等温過程の傾きの絶対値より，必ず大きくなる．</u>

■ 断熱膨張の応用ー大気の温度が海面からの高さによって，どのように変わるか？

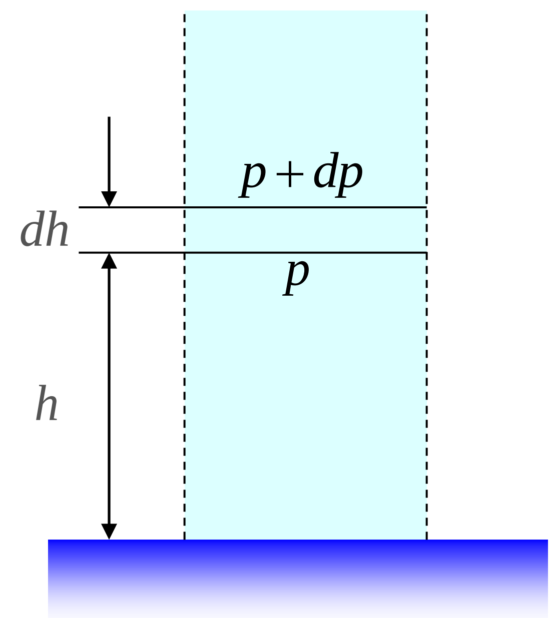
ρ ：空気の密度

g ：重力加速度

空気の受ける上向きの圧力　空気の受ける重力

(41)

(8)



式(40)より

$$\frac{T}{p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}=C$$

(42)

γ =7/5
g=9.807 m/s^2
M=28.88
R=8.315 J/(mol·K)

空気は断熱膨張のため，1km上昇すると9.7℃温度が下がる．

第Ⅲ章　熱力学第二法則

7. 熱力学第Ⅱ法則の表現

熱源：一様な温度 T の熱を供給する物体. 周囲とは熱を交換するが仕事は交換しない. 自身の温度は一定に保たれる. 十分大きな熱容量をもつ物体で近似的に実現される.

第一種永久機関：

第二種永久機関：熱力学第一法則に反しない永久機関.

・仕事 L を全て熱 Q に変換することは可能だが,

↓

■ ケルヴィンの原理：
（トムソンの原理）

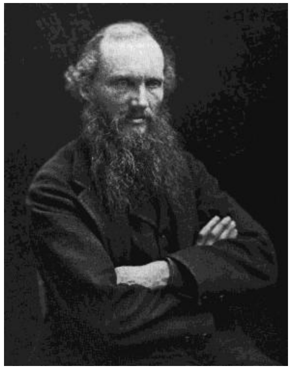
→

■ クラウジウスの原理：

→

■ ケルヴィンの原理とクラウジウスの原理の等価性

→ 後で証明



Lord Kelvin
(1822-1907)

R. J. E. Clausius
(1822-1888)

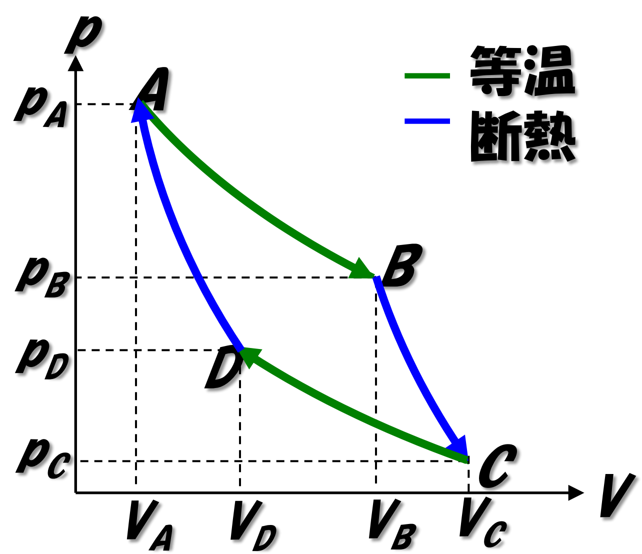
8. カルノーサイクル

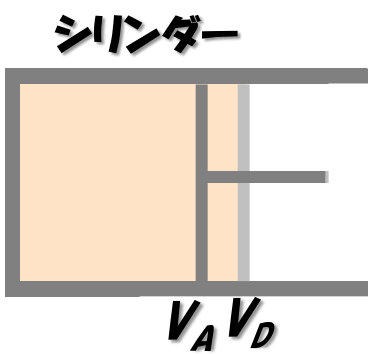
N.L.Sadi Carnot
(1796-1832)

熱機関:

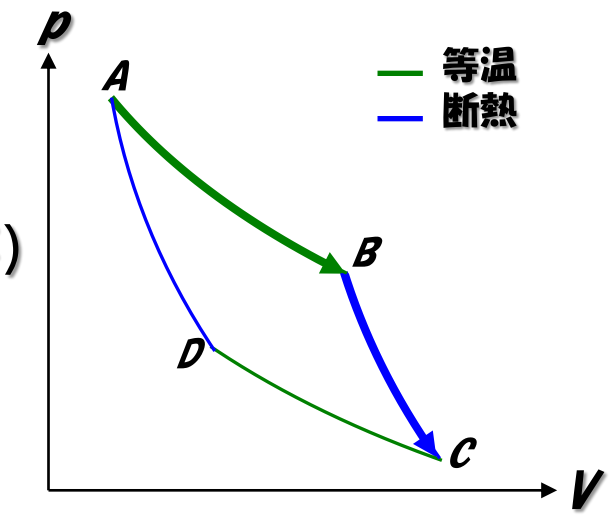
カルノーサイクル:

1. $A\to B$:等温膨張(温度:T_2)　$(V_A, p_A)\to(V_B, p_B)$
2. $B\to C$:断熱膨張 $(V_B, p_B)\to(V_C, p_C)$
3. $C\to D$:等温圧縮(温度:T_1)　$(V_C, p_C)\to(V_D, p_D)$
4. $D\to A$:断熱圧縮 $(V_D, p_D)\to(V_A, p_A)$





1. $A \rightarrow B$:等温膨張(温度:T_2) (V_A, p_A)→(V_B, p_B)



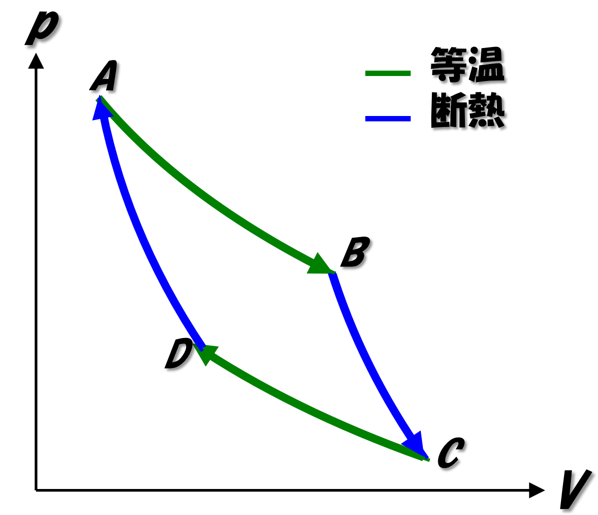
(系のエネルギー変化)

(系のする仕事)

(系に与えられた熱量)

2. $B \rightarrow C$:断熱膨張 (V_B, p_B)→(V_C, p_C), $T_2 \rightarrow T_1$

3. $C \rightarrow D$: 等温圧縮(温度 : T_1) $(V_C, p_C) \rightarrow (V_D, p_D)$



4. $D \rightarrow A$: 断熱圧縮 $(V_D, p_D) \rightarrow (V_A, p_A)$

■　1サイクルで系に与えられる熱量の総量

←　ポアッソンの式を使う

■　1サイクルで系が行う仕事の総量

←　1サイクルの曲線で囲まれた面積に対応

一方，1サイクルに熱力学第一法則を適用すると

(43)

T_2の熱源から吸収する熱量	T_1の熱源へ放出する熱量

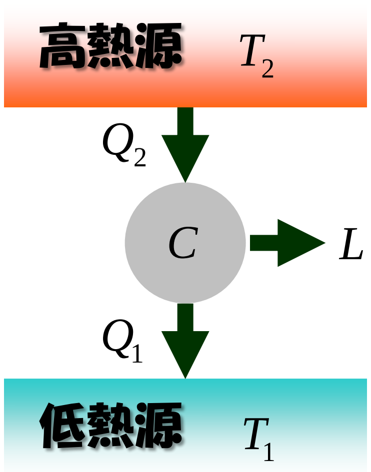
■ カルノーサイクルの効率

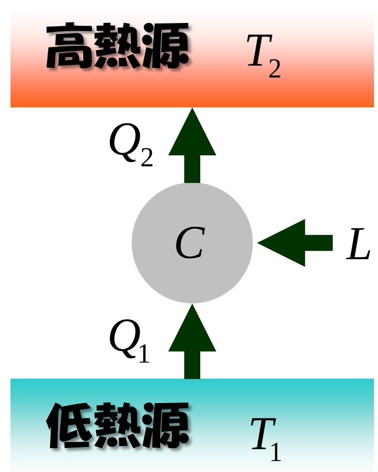
高熱源から吸収する熱量$Q_2(>0)$，外部に対して$L(>0)$の仕事を行うときの熱効率は，

(44)

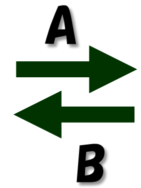
で定義する．

■ カルノーサイクル(可逆過程)の逆操作

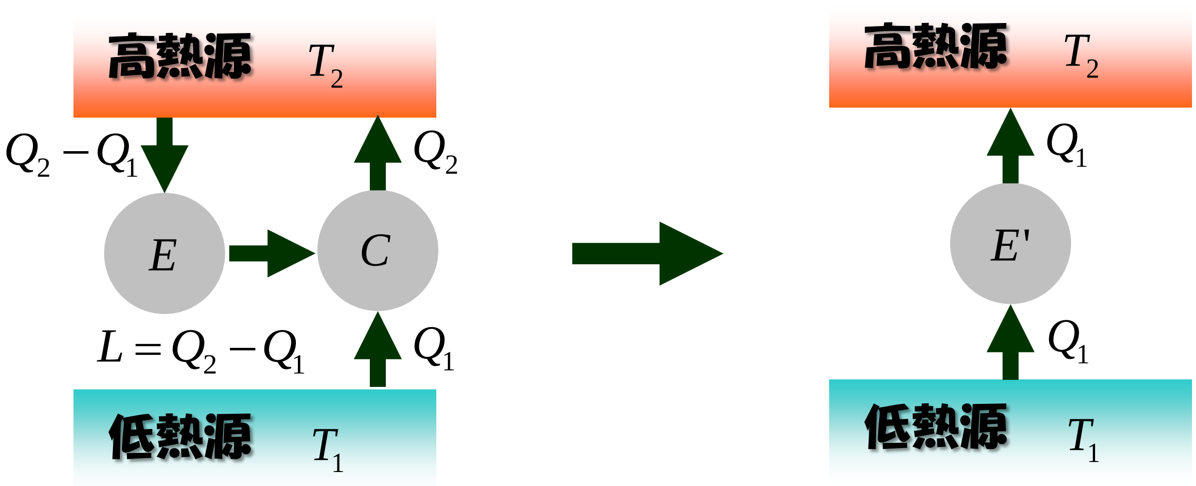




■ ケルヴィンの原理とクラウジウスの原理の等価性



●A



●B