

まとめ 5. 熱力学第二法則：

– 熱機関の効率, Carnot の定理, 熱力学的絶対温度, Clausius の不等式

熱機関の効率：

熱機関の作業物質のサイクルにおける,
外界にする仕事 $W(> 0)$,
高温の熱源から吸収する熱量 $Q_+(\geq 0)$,
低温の熱源に放出する熱量 $Q_-(\geq 0)$, について

$$\eta = \frac{W}{Q_+} = 1 - \frac{Q_-}{Q_+}$$

熱力学第二法則 – トムソンの原理：

『一様な温度をもつ1つの熱源から熱を吸収し、それをすべて仕事に変換するだけで、他に何の変化も残さないような過程は不可能である.』
(仕事が熱に変わる現象は不可逆である)

$$W = Q_{\text{一定温度熱源}} \leq 0 \quad [\text{サイクル: } \Delta U = 0]$$

他の表現：

- 「ある温度の熱源からより高温の熱源に熱を移すのみで、他に何の変化も残さないような過程は不可能である.」 [Clausius の原理]
(熱が高温から低温に移る現象は不可逆である.)
- 「摩擦により熱が発生する現象は不可逆である.」 [Plank の原理]

カルノーの定理：

『温度の一様な、二つの熱源の間にはたらく可逆機関の効率は、すべて等しく、可逆機関の種類によらず、熱源の温度だけで決まり、同じ二つ熱源の間にはたらく一般の熱機関の効率の上限を与える.』

カルノーサイクル

二つの熱源の温度を T_1, T_2 (ただし, $T_1 \leq T_2$) とするとき,

1. 温度 T_2 における準静的等温膨張
2. 準静的断熱膨張
3. 温度 T_1 における準静的等温収縮
4. 準静的断熱収縮

の4つの過程によって構成される準静的サイクル

二つの熱源をもつ可逆機関の効率： (理想気体カルノーサイクルによる計算)

$$\eta_{\text{可逆}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

熱力学的絶対温度： 2つの温度 θ_1, θ_2 ($\theta_1 \leq \theta_2$) の熱源の間に働く可逆機関において

$$\frac{Q_+^{(2)}}{Q_-^{(1)}} = f(\theta_1, \theta_2) = \frac{f(\theta_2, \theta_0)}{f(\theta_1, \theta_0)} \equiv \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad (\Theta: \text{熱力学的絶対温度})$$

$$\eta_{\text{可逆}} = 1 - \frac{\Theta_1}{\Theta_2}$$

気体温度計による絶対温度との関係：

$$T = \Theta \text{ (K)}; \quad (\text{水の3重点 (0.01 } ^\circ\text{C) を } 273.16 \text{ K とする})$$

クラウジウスの不等式

『熱力学的な系が、そのサイクルにおいて、温度 $T_1, T_2, \dots, T_k$ ($k \geq 1$) の熱源から、それぞれ、熱量 $Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ を正味吸収するならば、次の不等式が成り立つ：

$$\sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad (1)$$

サイクルが可逆のときには、等号が成り立つ。』

($k=1$ のときはトムソンの原理そのものを、 $k=2$ のときはカルノーの定理を表す。)

一般の熱機関の効率についての条件 3個以上の熱源の間ではたらく熱機関において、正の熱量を吸収する熱源の最高温度を T_{max} 、正の熱量を放出する熱源の最低温度を T_{min} とすれば、

$$\eta < 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$$