

熱機関において、1サイクルの間に、系が高温熱源(絶対温度 T_H) から得る熱エネルギーを Q_H 、系が低温熱源(絶対温度 T_L) に排出する熱エネルギーを Q_L とする。ここで、 $T_H = 560 \text{ K}$, $Q_H = 480 \text{ kJ}$, $T_L = 290 \text{ K}$, $Q_L = 290 \text{ kJ}$ とする。

1. この熱機関の熱効率 η を計算せよ。
2. カルノー・サイクル(可逆サイクル)の熱効率 η_c を計算せよ。
3. 有効エネルギー(エクセルギー) $W_{\max} \equiv Q_H \cdot \eta_c$ を計算せよ。
4. 原理的に避けられないエネルギー損失の最小値 $Q_{\min} \equiv Q_H(T_L/T_H)$ を計算せよ。
5. 第2法則効率 $\varepsilon \equiv \eta/\eta_c$ を計算せよ。

(解答)

1. 1サイクルの間に系が外界に行う仕事を W とすると、熱力学第一法則より、 $0 = (Q_H - Q_L) - W$ であるから、定義より

$$\begin{aligned}\eta &\equiv \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = \frac{480 - 290}{480} \\ &= 0.396.\end{aligned}\tag{1}$$

2. 定義より

$$\begin{aligned}\eta_c &\equiv \frac{T_H - T_L}{T_H} = \frac{560 - 290}{560} \\ &= 0.482.\end{aligned}\tag{2}$$

3. 題意より

$$\begin{aligned}W_{\max} &\equiv Q_H \cdot \eta_c = 480 \text{ kJ} \times 0.482 \\ &= 231.4 \text{ kJ} (> W = 190 \text{ kJ}).\end{aligned}\tag{3}$$

4. 題意より

$$\begin{aligned}Q_{\min} &\equiv Q_H \times \frac{T_L}{T_H} = 480 \text{ kJ} \times \frac{290}{560} \\ &= 248.6 \text{ kJ} (< Q_L = 290 \text{ kJ}).\end{aligned}\tag{4}$$

5. 題意より

$$\begin{aligned}\varepsilon &\equiv \frac{\eta}{\eta_c} = \frac{0.396}{0.482} \\ &= 0.821 (< 1.000).\end{aligned}\tag{5}$$

(ε の値が1に近く、この熱機関の効率はかなりよいことを示している。)

6. 参考文献：

- (a) 米国物理学会, Efficient Use of Energy, 1975, American Institute of Physics, 特
に、pp.4-8, pp.25-51.
- (b) EFFECTIVENESS-SECOND LAW EFFICIENCIES, Measure of Performance,
<http://faculty.wvu.edu/vawter/PhysicsNet/Topics/ThermLaw2/effectiveness.html>