

ある原子力発電所の原子炉では水蒸気を 285 度 C に熱し、低熱源としての排水口の温度が 40 度 C であるとする。

1. この原子炉の理論的な熱効率  $\eta$  (効率の上限) はいくらか計算せよ。
2. この発電所が 1000 MW ( $1 \text{ MW} \equiv 10^6 \text{ W}$ ) の電力を実際に生産するとき、実際の熱効率 (実効的熱効率)  $\eta_{\text{eff}}$  が 35% であるとする。理想的な場合に比べた仕事率の損失は何 W か。
3. この発電所の低熱源として、平均流量が  $4 \times 10^4 \text{ kg/s}$  の川の水を利用しているとき、水温はいくら上昇することになるか。

(解答例)

1. 理論的な熱効率  $\eta$  はカルノーサイクルの効率であるから、高熱源の温度  $T_H$ 、低熱源の温度  $T_L$  として

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{40 + 273}{285 + 273} = 0.44. \quad (1)$$

2. 一般に、(熱出力)  $\times$  (実効的な熱効率) = (実効的な電気出力) ( $P_{\text{thermal}} \times \eta_{\text{eff}} = P_{\text{eff-electric}}$ ) である。ここでは、まず実効的な電気出力 ( $P_{\text{eff-electric}}$ ) から熱出力  $P_{\text{thermal}}$  を求めると、

$$\begin{aligned} P_{\text{thermal}} \times \eta_{\text{eff}} &= P_{\text{eff-electric}} \\ \rightarrow P_{\text{thermal}} &= \frac{P_{\text{eff-electric}}}{\eta_{\text{eff}}} \\ &= \frac{1000 \text{ MW}}{0.35} = 2857 \text{ MW}. \end{aligned} \quad (2)$$

となる。この結果を用いて、理想的な電気出力  $P_{\text{electric}}$  を計算すると

$$\begin{aligned} P_{\text{electric}} &= P_{\text{thermal}} \times \eta \\ &= 2857 \times 0.44 = 1257 \text{ MW} \end{aligned} \quad (3)$$

となる。したがって仕事率の損失は

$$\begin{aligned} P_{\text{electric}} - P_{\text{eff-electric}} &= 1257 \text{ MW} - 1000 \text{ MW} \\ &= 257 \text{ MW} \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

3. 前問より、排熱は仕事率で考えて、

$$2857 \text{ MW} - 1000 \text{ MW} = 1857 \text{ MW} \quad (5)$$

である。質量  $m$  の温度上昇  $\Delta T$  に対して、必要な熱量  $Q$  は

$$Q = cm\Delta T \quad (6)$$

であるから、時間変化率  $dQ/dt, dm/dt$  を考えると

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right) = c\left(\frac{dm}{dt}\right)\Delta T \quad (7)$$

となる。水の比熱  $c = 4.1816\text{J}/(\text{K} \cdot \text{g}) = 1(\text{cal}/\text{K} \cdot \text{g})$  であるから、したがって温度上昇  $\Delta T$  は

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{\left(\frac{dQ}{dt}\right)}{c\left(\frac{dm}{dt}\right)} = \frac{1857 \times 10^6 \text{Js}^{-1}}{1\text{cal} \cdot \text{K}^{-1}\text{g}^{-1} \times (4 \times 10^4 \times 10^3 \text{gs}^{-1})} \\ &= \frac{1857 \times 10^6 \text{Js}^{-1}}{4.18\text{J} \cdot \text{K}^{-1}\text{g}^{-1} \times (4 \times 10^4 \times 10^3 \text{gs}^{-1})} \\ &= 10.95 \end{aligned} \quad (8)$$

(備考：水の比熱は約  $1 [\text{cal}/\text{K}/\text{g}]$  となり、きりがよく覚えやすいが、これは常圧で  $1 \text{g}$  の水を  $1 \text{K}$  上げるのに必要な熱量を  $1 \text{cal}$  と決めた歴史的経緯による。