

ある原子力発電所の原子炉では水蒸気を 285 度Cに熱し、冷却水の温度が 40 度Cであるとする。

1. この原子炉の理論的な熱効率 η (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) η_{eff} が 35% であるとする。理想的な場合に比し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 η 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_{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_{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 ΔT 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 ΔT 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 1g の水を 1K 上げるのに必要な熱量を 1cal と決めた歴史的経緯による。