

火力発電所において蒸気タービンは温度（絶対温度）が約 700K の過熱水蒸気の断熱膨張によって回転する。作業物質の水を元の状態に戻すための低温熱源としては海水や河水を使う。高温熱源の絶対温度を  $T_H = 700\text{K}$ 、低温熱源の絶対温度を  $T_L = 300\text{K}$  とすると、可逆サイクルの熱効率は  $\eta_C = 0.57$  (57%) と計算される。実際には、熱出力を  $P_{\text{therm}}$ 、電気出力を  $P_{\text{elec}}$ 、実効熱効率  $\eta_{\text{eff}}$  として、 $P_{\text{elec}} = \eta_{\text{eff}} P_{\text{therm}}$  と表したとき、比較的新しい蒸気タービンだけによる発電所では実効熱効率  $\eta_{\text{eff}} = 0.40 \sim 0.47$  (40 ~ 45 %) である。

1. 1 kW を J, s で表わすとどうなるか。
2. 仮に、実効熱効率を  $\eta_{\text{eff}} = 0.40$  として、電気出力 が 10 万 kW の火力発電所で必要とする 熱出力 (=単位時間あたりの熱エネルギー) はいくらか計算せよ。
3. 得られる熱出力のうち、電気出力以外の部分はどれだけで、どうなるのか述べてよ。
4. 家庭で 1 kW の電気ヒーターを使っているときには、発電所ではどれだけの熱出力で海水を温めていることになるか。

(解答)

1.  $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ J/s} = 1000 \text{ J/s}$ 。
2. 題意より、熱出力を  $P_{\text{therm}}$ 、電気出力を  $P_{\text{elec}}$  とすると

$$\begin{aligned} P_{\text{elec}} &= \eta_{\text{eff}} P_{\text{therm}} \\ \rightarrow P_{\text{therm}} &= \frac{P_{\text{elec}}}{\eta_{\text{eff}}} = \frac{10 \times 10^4 \text{ kW}}{0.40} \\ &= 25 \text{ 万 kW}. \end{aligned} \tag{1}$$

3. 電気出力以外の部分は  $25 \text{ 万 kW} - 10 \text{ 万 kW} = 15 \text{ 万 kW}$  である。これらは発電所の周囲の環境に捨てられているのである。これらが発電所から出てくる温排水 (温廃水) である。従って、発電の効率を高くすることができれば、温排水 (温廃水) も相対的に少なくなる。
4. 題意より求めるべき排熱 (出力) は

$$\begin{aligned} P_{\text{ther}} - P_{\text{elec}} &= \left( \frac{1}{\eta_{\text{eff}}} - 1 \right) \times P_{\text{elec}} = \left( \frac{1}{0.40} - 1 \right) \times 1 \text{ kW} \\ &= 1.5 \text{ kW}. \end{aligned} \tag{2}$$

(この費用も、当然、電気代には含まれる。このような物理学の観点から考える限り、電気を熱源に使うことはエネルギーの「贅沢な」使い方であると言える。)

5. 備考 1 : 関連して、原子力発電所の実効熱効率は長い間、約 0.35 に留まっているが、新型の火力発電所 (コンバインドガスサイクル発電) のそれは 0.61 に到達している (2014 年 8 月現在) ことはあまり知られていない。

6. 備考2：この熱エネルギーを重油を燃やして得るとする。重油の単位質量当たりの燃焼熱は約  $4 \times 10^4$  kJ/kg である。1年あたりの重油の消費量を計算すると

$$\begin{aligned} \frac{2.5 \times 10^5 \text{ kJ/s}}{4 \times 10^4 \text{ kJ/kg}} &\approx 6.25 \text{ kg/s} \\ \rightarrow \frac{6 \text{ kg}}{\left(\frac{1 \text{ year}}{365 \times 24 \times 60 \times 60}\right)} &= \frac{6.25 \times (365 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ kg}}{\text{year}} \\ &\approx 1.97 \times 10^8 \text{ kg/year} = 19.7 \text{ 万トン/year.} \end{aligned} \quad (3)$$

本問題作成の参考文献：伊東敏雄「なーるほど！の熱学」学術図書出版社、1995年。特に、pp.58-59.