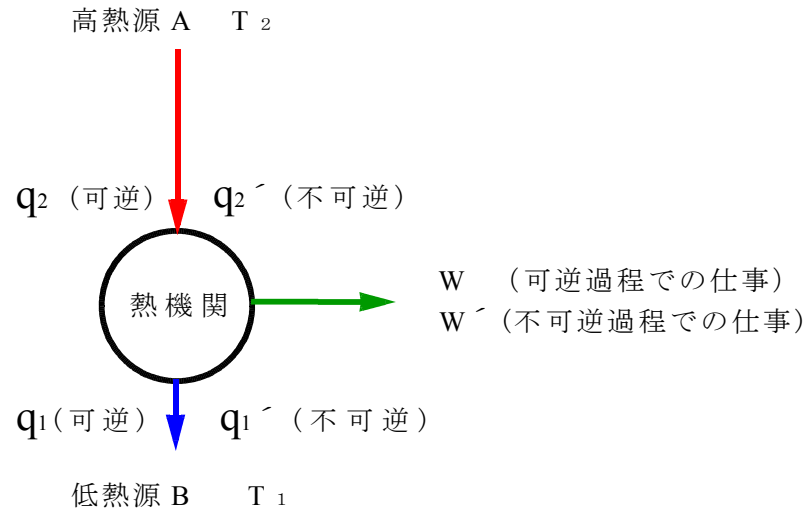


## 効率問題(熱効率)



### 【問題 A】

$T_2 = 500\text{K}$ ,  $q_2 = 1000\text{J}$  とすると,  $T_1 = 300\text{K}$  では, 可逆過程で  $q_1 = 600\text{J}$  となる。

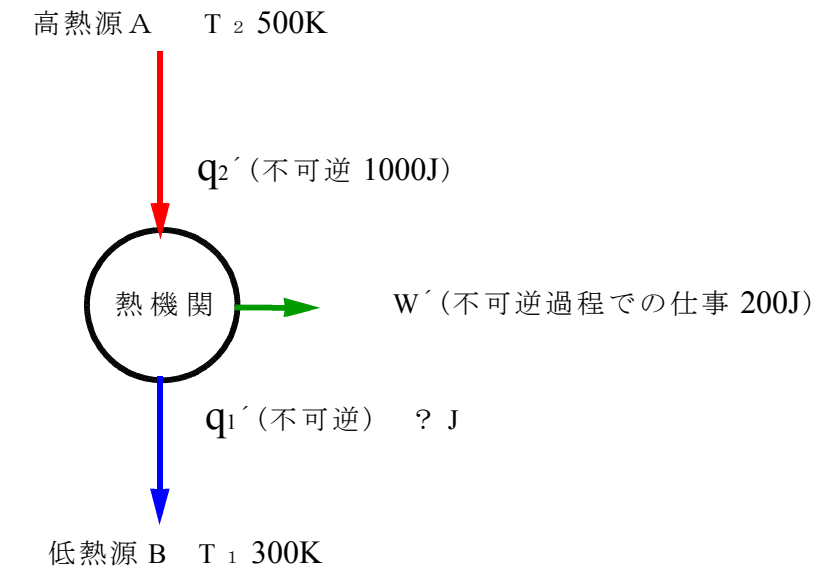
(1) このとき, この熱機関がした仕事は何 J か?

$$\begin{aligned} T_2 &= 500\text{K} & q_2 &= +1000\text{J} \\ T_1 &= 300\text{K} & q_1 &= -600\text{J} \end{aligned}$$

$$\underbrace{1000}_{\text{内部に}} = \underbrace{W + 600}_{\text{外部に}} \quad W = 400\text{J} \quad \text{外部に } 400\text{J} \text{ の仕事をした。}$$

別解  $+1000 - 600 + W = 0$   
 $\therefore W = -400\text{ (J)}$  (+……内部に, -……外部に)

(2) 同様に, 熱源 A ( $T_2 = 500\text{K}$ ) から熱機関が  $q_2' = 1000\text{J}$  をもらい不可逆過程で  $200\text{J}$  の仕事をしたとすると, 熱源 B ( $T_1 = 300\text{K}$ ) へ捨てられた熱  $q_1'$  は何 J か?



$$\begin{aligned} T_2 &= 500\text{K} & q_2' &= 1000\text{J} \\ T_1 &= 300\text{K} & W' &= 200\text{J} \end{aligned}$$

$$1000 = q_1' + 200$$

$$\therefore q_1' = 800\text{ (J)}$$

(3) このとき, 全体のエントロピーはどれだけ増加したか?

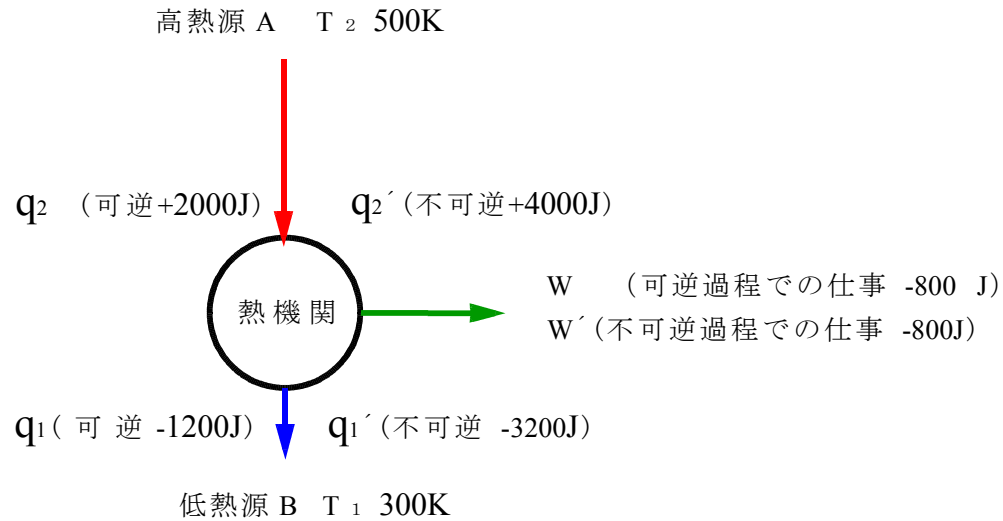
$$S_{T_H} = \frac{|q_2'|}{T_2} = \frac{1000\text{ J}}{500\text{ K}} = 2\text{ J/K} \quad \text{……始めのエントロピー}$$

$$S_{T_L} = \frac{|q_1'|}{T_1} = \frac{800\text{ J}}{300\text{ K}} \doteq 2.7\text{ J/K} \quad \text{……後のエントロピー}$$

よって,  $\Delta S = 2.7 - 2 = 0.7\text{ (J/K)}$  ……  $0.7\text{ (J/K)}$  の増加

【問題 B】

熱機関は、可逆過程では、熱源 A ( $T_2 = 500\text{K}$ ) から熱  $q_2 = 2000\text{J}$  をもらい、熱源 B ( $T_1 = 300\text{K}$ ) へ  $q_1 = 1200\text{J}$  の熱を捨て、 $800\text{J}$  の仕事をする。これと同じだけの仕事を、不可逆過程の熱機関にさせるのには  $q_2' = 4000\text{J}$  の熱が必要であった。



(a) 不可逆過程において、全体のエントロピーはどれだけ増加したか？

$$\begin{aligned} T_2 &= 500\text{K} & q_2' &= 4000\text{J} \\ T_1 &= 300\text{K} & W' &= 800\text{J} \quad (\text{不可逆}) \end{aligned}$$

$$4000 = q_1' + 800 \quad \therefore q_1' = 3200\text{ (J)}$$

$$S_{T_H} = \frac{|q_2'|}{T_2} = \frac{4000\text{ J}}{500\text{ K}} = 8\text{ J/K} \quad \text{……はじめのエントロピー}$$

$$S_{T_L} = \frac{|q_1'|}{T_1} = \frac{3200\text{ J}}{300\text{ K}} \doteq 10.7\text{ J/K} \quad \text{……後のエントロピー}$$

$$\therefore \Delta S = 10.7 - 8 = 2.7\text{ (J/K)} \quad \text{……}2.7\text{ (J/K)}\text{ の増加}$$

(b) また、可逆の場合と不可逆の場合の熱機関の熱効率はそれぞれどれだけか？

可逆過程での熱効率

$$\begin{aligned} T_2 &= 500\text{K} & q_2 &= +2000\text{ J} \\ T_1 &= 300\text{K} & q_1 &= -1200\text{ J} & W &= -800\text{ J} \quad (\text{可逆}) \end{aligned}$$

$$\text{熱効率} = \frac{|W|}{q_2} = \frac{|-800|}{+2000} = 0.4$$

$$\text{別解} \quad 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{500} = 0.4$$

※熱効率は最大の 40% で、エントロピーの増加はない。

$$\begin{aligned} \Delta S &= \frac{|q_1|}{T_1} - \frac{|q_2|}{T_2} \\ &= \frac{1200}{300} - \frac{2000}{500} = 0 \end{aligned}$$

実際には、この熱機関の熱効率が 40% になることはない。40% に究極的に近づくことができるか否かの問題である。

不可逆過程での熱効率

$$\begin{aligned} T_2 &= 500\text{K} & q_2' &= +4000\text{ J} \\ T_1 &= 300\text{K} & q_1' &= -3200\text{ J} & W' &= -800\text{ J} \quad (\text{不可逆}) \end{aligned}$$

$$\text{熱効率} = \frac{|W'|}{q_2'} = \frac{|-800|}{+4000} = 0.2 \quad \text{熱効率は 20\%}$$