

# 熱力学(3)

## 8. 4 熱力学第2法則

# まえおき

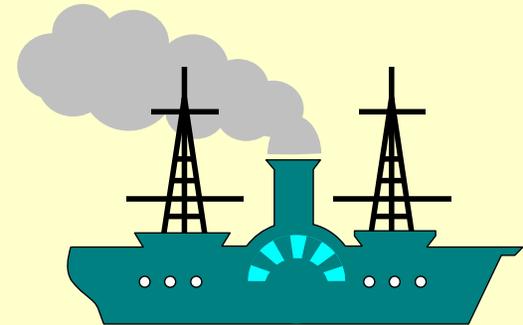
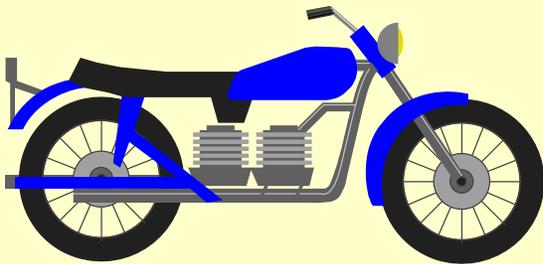
- 熱力学第1法則(前回)  
エネルギーは保存する
- しかし,  
同じエネルギーの状態が複数あるとき, どれが選択されるのか?
- それに答えるのが熱力学第2法則

世界の变化を支配する法則

# 熱機関

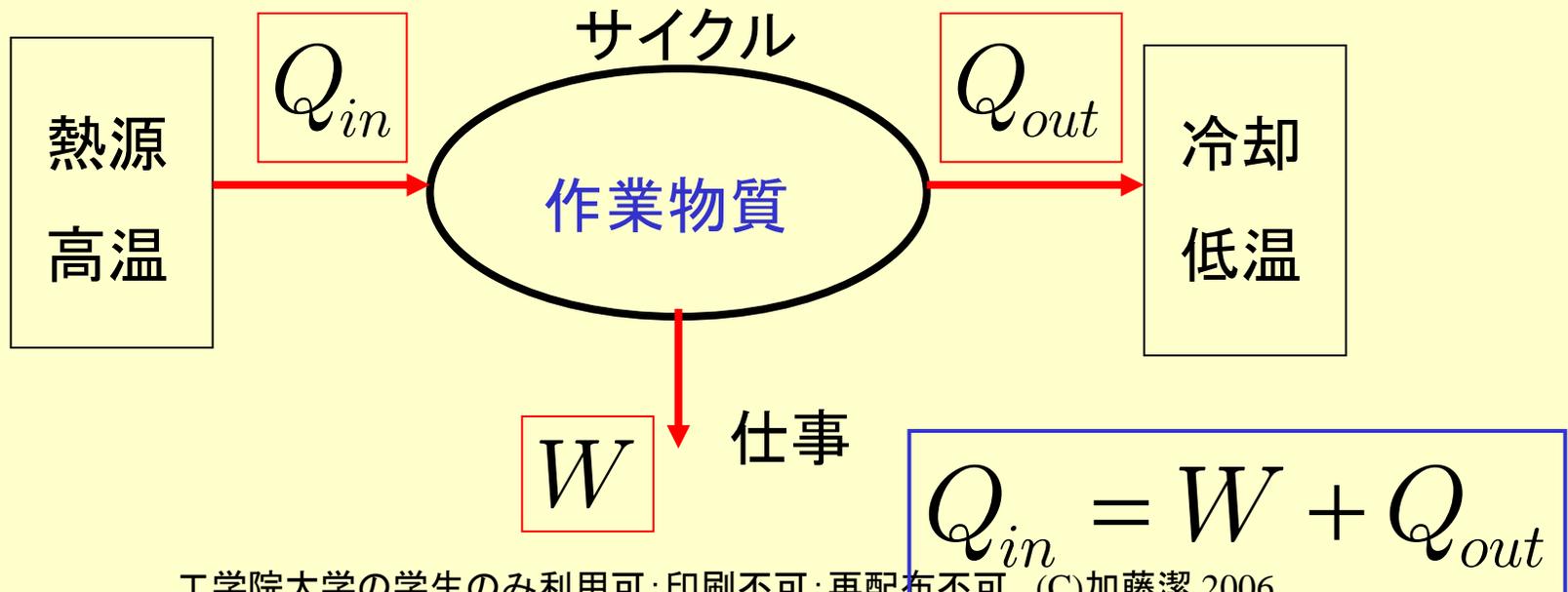
- 熱を仕事に継続的に変換する装置
- 熱サイクル

→ 図 8. 8  
p. 127



# 熱機関：模式図

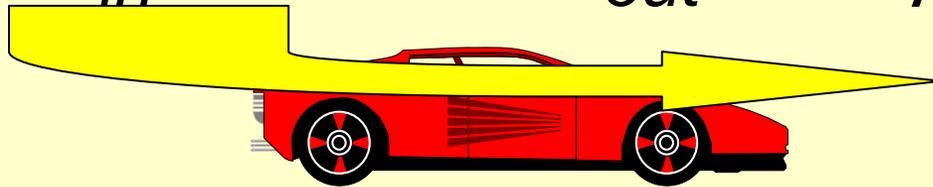
- 1サイクルでもとに戻る。(だからエネルギー収支では「内部」を考えない)



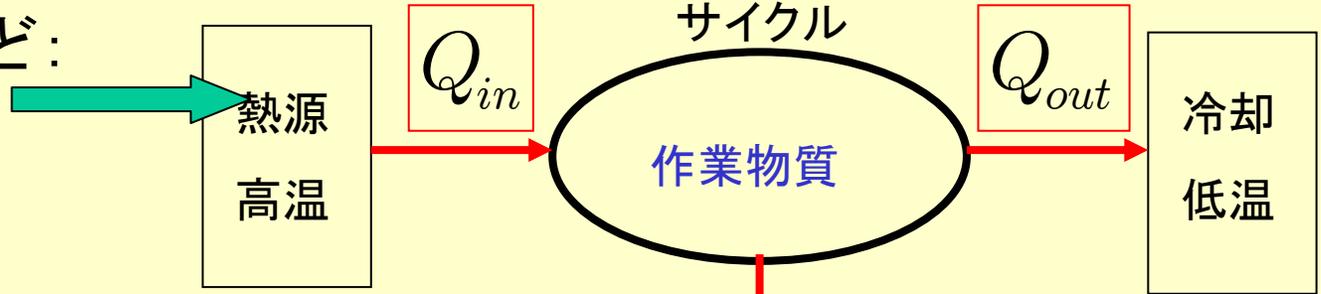
# 熱機関の効率

$$Q_{in} = W + Q_{out}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$



ガソリンなど：  
金を払う



これが目的

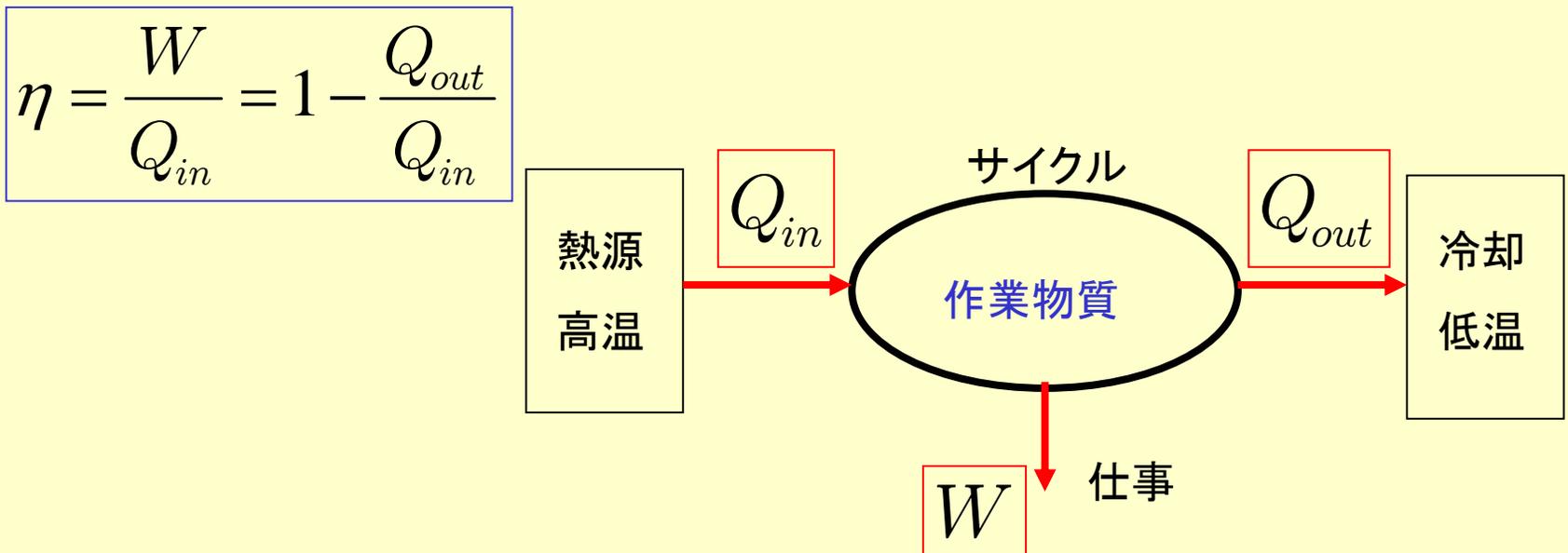


$W$

仕事

# 熱力学第2法則

- (表現その1)  
熱機関の効率は1よりも小さい:  $\eta < 1$



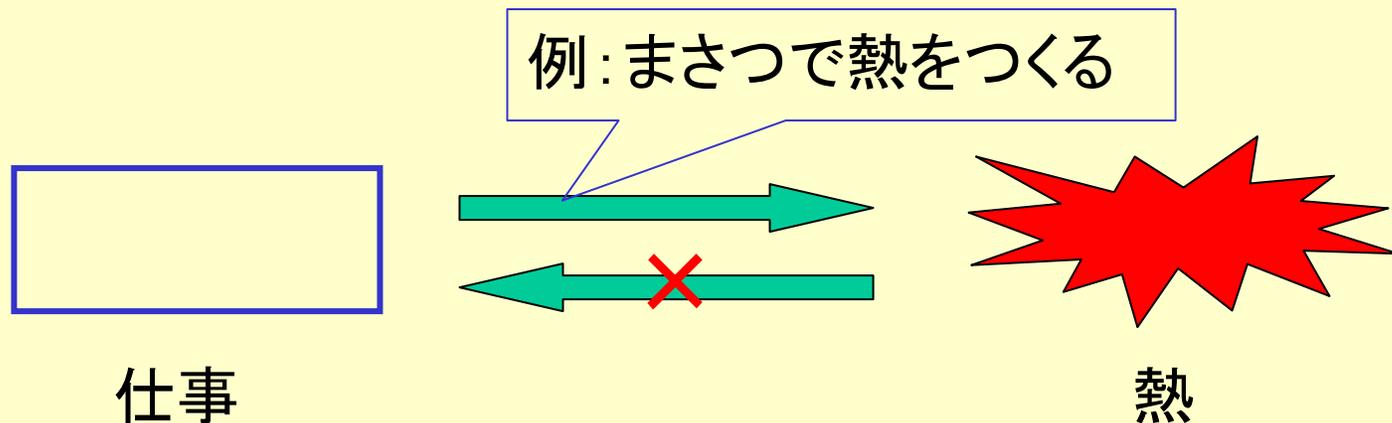
$$\eta = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

# 熱力学第2法則

- (表現その2)  
第2種の永久機関は存在しない
- 第1種永久機関:  $W > Q_{in}$   
→ 第1法則に違反
- 第2種永久機関:  $W = Q_{in}$  ( $\eta = 1$ )  
→ 第1法則には違反しないが...

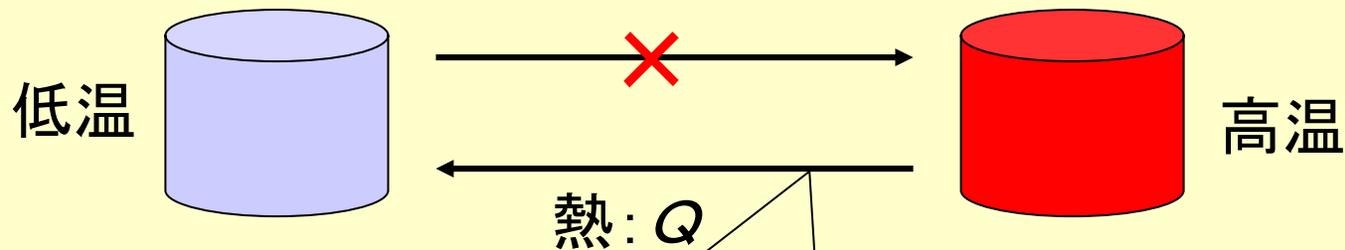
# 熱力学第2法則

- (表現その3:トムソン)  
仕事 $\rightarrow$ 熱に変わり, それ以外に何の変化もないならば, その過程は不可逆



# 熱力学第2法則

- (表現その4:クラウジウス)  
熱を低温から高温に移し, それ以外に何  
の変化もないようにすることは不可能



例: 接触させれば, 熱が移動

- 熱力学第2法則にはさまざまな形がある  
(奥の深い法則)
- 議論の進め方

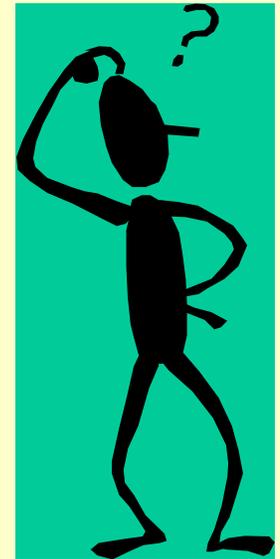
**思考実験**: 状況を仮定して(実際にものを使うのではなく)議論を進展させる。

**背理法**: 「A」を証明したい。

まず, わざと, 「A」を否定してみる。

その前提に立って, 議論を進め  
(思考実験)矛盾を引き出す。

従って, 「A」が正しいと言える。



# 相互の関係(問8. 8): 1と2

- (表現その1)  
熱機関の効率は1よりも小さい:  $\eta < 1$
- (表現その2)  
第2種の永久機関は存在しない

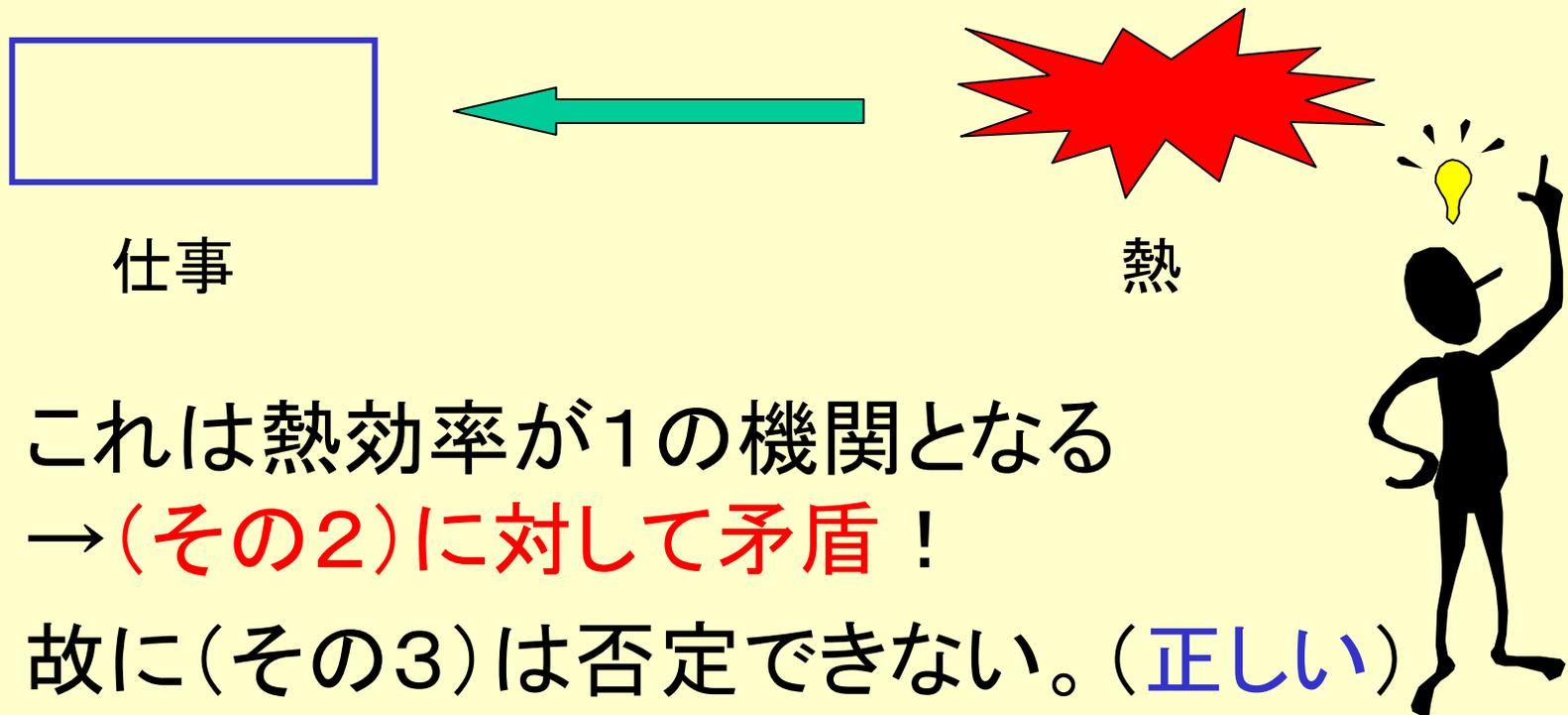
表現を言い換えただけである

# 相互の関係(問8. 8): 2と3

- (表現その2)  
第2種の永久機関は存在しない
- (表現その3: トムソン)  
仕事は熱に変わり, それ以外に何の変化もないならば, その過程は不可逆

背理法と思考実験による論証

- (その3)を否定してみる  
仕事は熱に変わり, それ以外に何の変化もないならば, その過程は**可逆**
- 可逆ならば以下が起きる



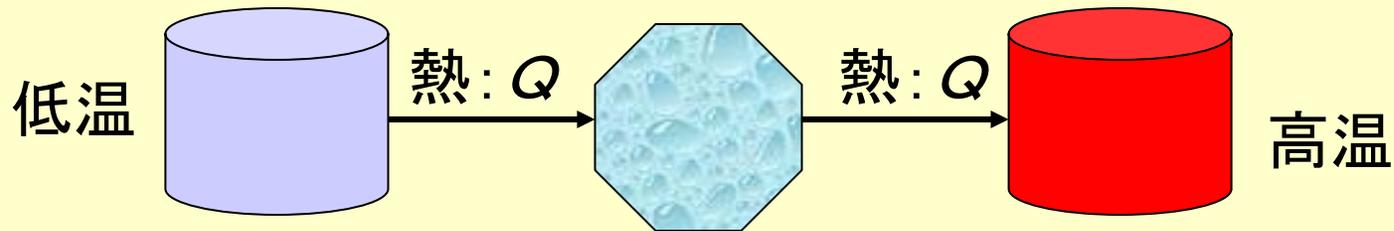
- これは熱効率が1の機関となる  
→ (その2)に対して**矛盾**!
- 故に(その3)は否定できない。(正しい)

# 相互の関係(問8. 8): 2と4

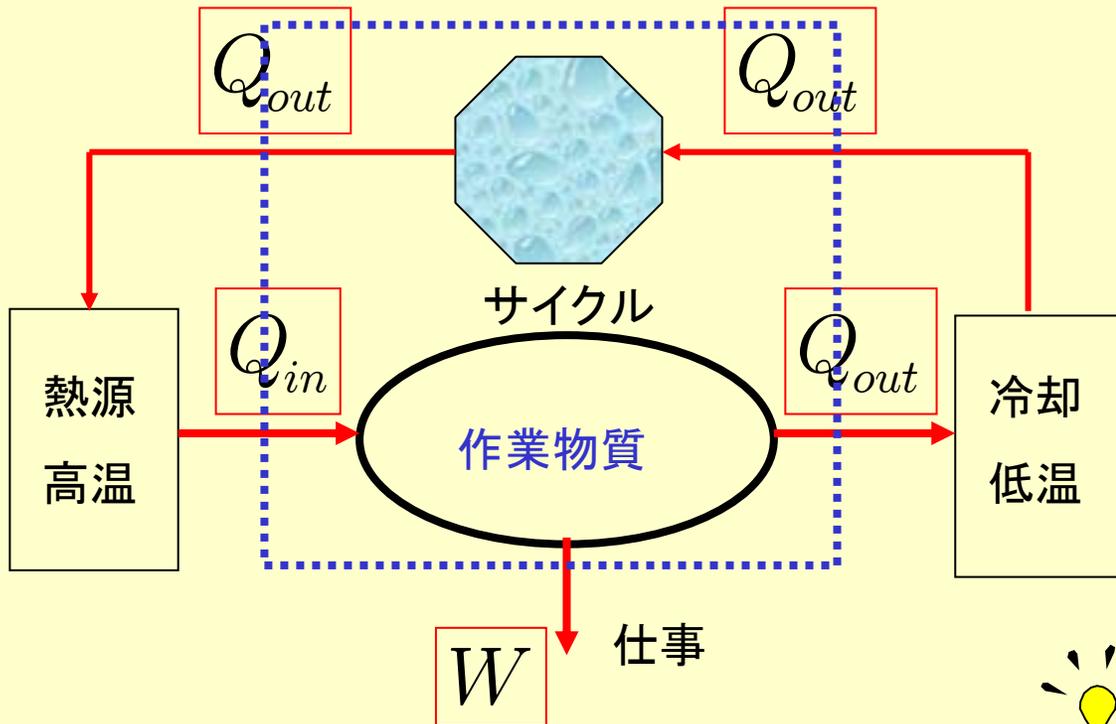
- (表現その2)  
第2種の永久機関は存在しない
- (表現その4: クラウジウス)  
熱を低温から高温に移し, それ以外に何  
の変化もないようにすることは不可能

背理法を使った思考実験による論証

- (その4)を否定してみる  
熱を低温から高温に移し, それ以外に何  
の変化もないようにすることは**可能**
- 可能ならば以下の機能を持つ装置がある

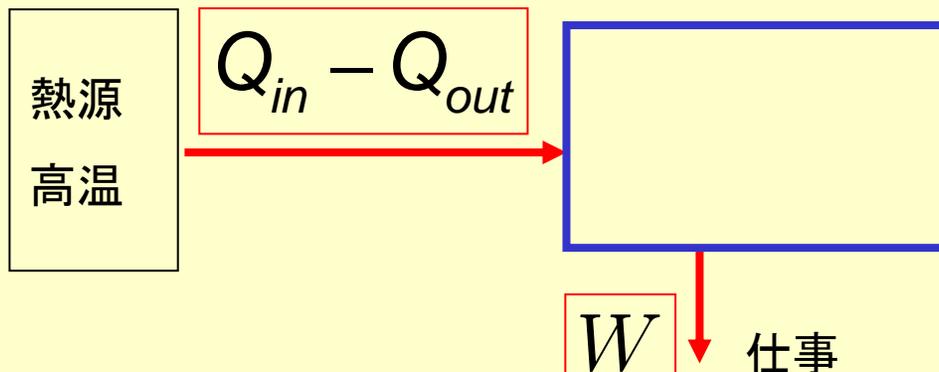


- この装置と普通の熱機関を組み合わせ  
て考える

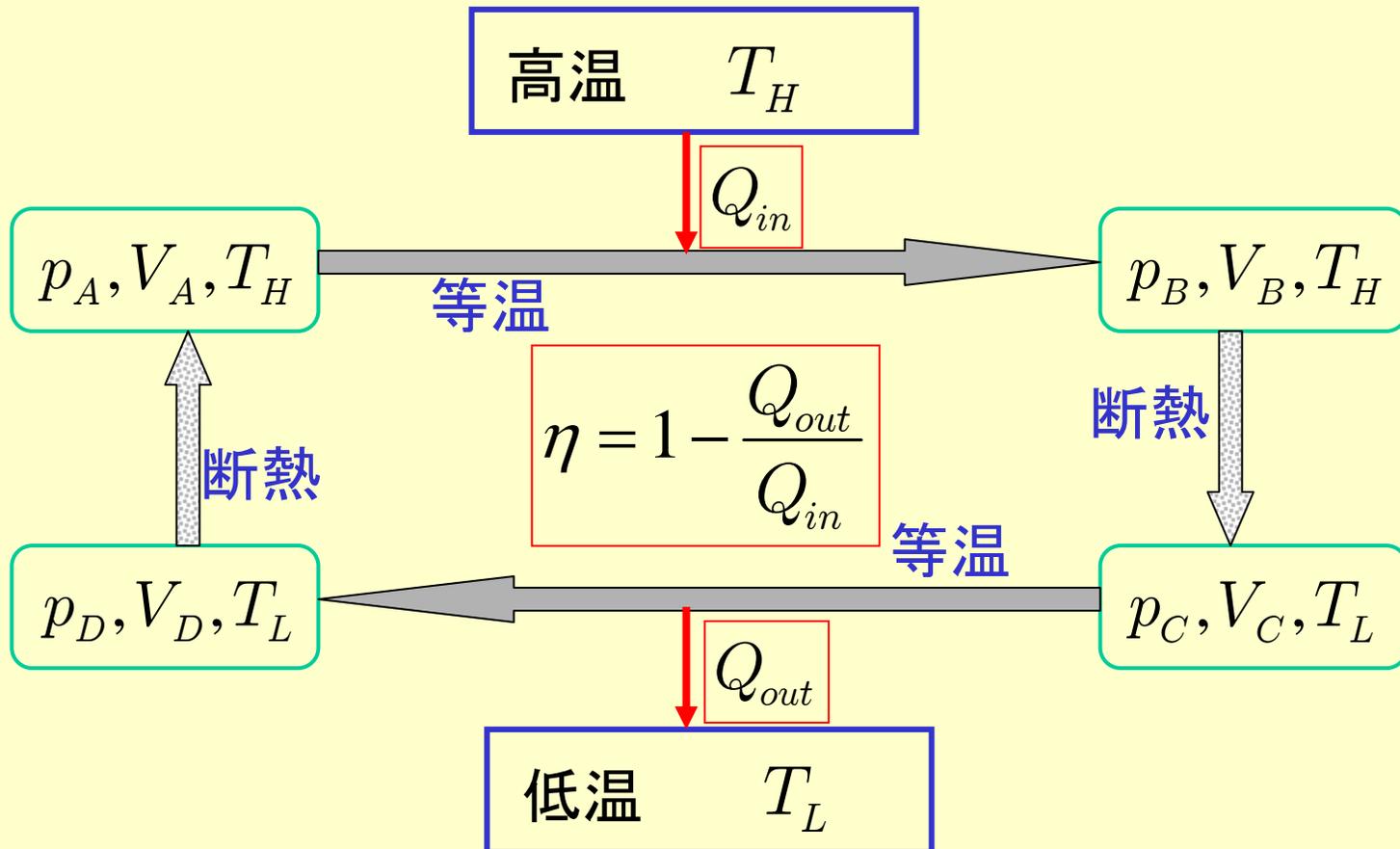


- 熱効率が1の機関  
→ (その2) に対して矛盾!

- 故に(その4)は否定できない。(正しい)



# カルノーサイクル



# カルノーサイクル

- 前回に得た式を使って効率を計算する  
(p.130-131)

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

等温変化の式

$$\begin{cases} Q_{in} = RT_H \log(V_B / V_A) \\ Q_{out} = -RT_L \log(V_D / V_C) \end{cases}$$

断熱変化の式

$$\begin{aligned} T_H V_B^{\gamma-1} &= T_L V_C^{\gamma-1} \\ T_L V_D^{\gamma-1} &= T_H V_A^{\gamma-1} \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

# カルノーサイクル

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

- 高温( $T_H$ )と低温( $T_L$ )が等しいとき,  $\eta = 0$
- 仕事をするには熱があるだけでは駄目で  
温度差が必要
- 実は, この効率は最大効率(→次回)