

# 試験のための 熱力学講習会

総合図書館LSセミナー 授業サポート

総合図書館 ラーニング・サポーター（理学研究科・物理学専攻 M2）

# 目標

熱力学第二法則の異なる2つの表し方  
(クラウジウスの原理とトムソンの原理)

これらの原理が等価であることを理解し、  
論述できるようになること。

物理学科では試験に出がち

# Outline

- これだけは知っておいてほしいこと
- カルノーサイクル
- トムソンの原理
- クラウジウスの原理
- 等価性
- 質疑応答

# これだけは知っておいてほしいこと

熱力学第一法則（エネルギー保存則）

$$dU = d'Q + d'W$$

気体の内部エネルギー変化  
( $\approx$ 気体分子の運動エネルギー変化)

気体が外部から吸収する熱量

気体が外力によってされる仕事

## 状態量

系の状態で定義される量。過程に依存せず状態が決まれば一定の値をとる巨視的な量

例: 圧力 $P$ 、温度 $T$ 、エントロピー $S$ 、etc.  $\leftarrow$ 熱力学関数の値を指定する量

状態量でないもの: 仕事 $W$ 、気体が吸収する熱 $Q$

# カルノーサイクル

- 熱効率をできる限り大きくした理想的なサイクル
- 等温膨張⇒断熱膨張⇒等温圧縮⇒断熱圧縮の過程を「ゆっくりと」繰り返す。
- 等温膨張のときに熱 $Q_2$ を高温熱源から吸収し、等温圧縮のときに熱 $Q_1$ を低温熱源に放出
- 外界にする仕事:  $W = Q_2 - Q_1$
- 熱効率  $\eta = \frac{W}{Q_2} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

**宿題:** 単原子分子理想気体におけるカルノーサイクルの熱効率を導出せよ。

# トムソンの原理

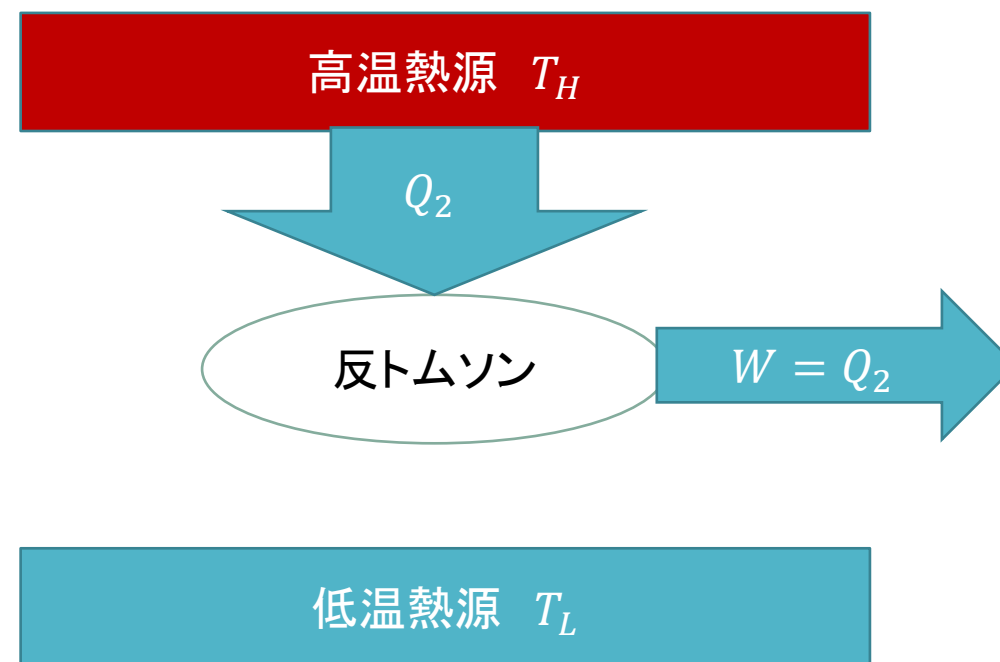
ざっくり言うと...

吸収した熱をすべて仕事にかえることはできない

カルノーサイクルの熱効率

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$\eta = 1$ を実現するためには、 $Q_1 = 0$   
(低温熱源に熱を捨てない)が必要  
⇒最初の状態に戻らないので、  
熱機関として使えない。



こんなサイクルは無い！

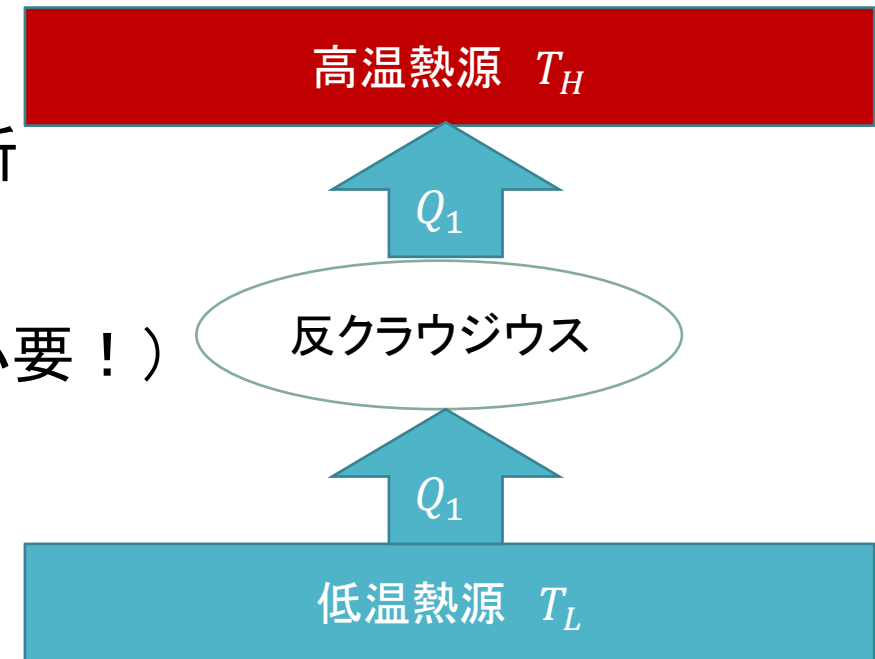
# クラウジウスの原理

外からの仕事なしで熱を低温熱源から高温熱源へ移すことはできない

<もっと直観的な説明>

冷房は低温の場所(室内)にある熱を高温の場所(外)に捨てる装置。

冷房は電気エネルギーで動いている。(仕事が必要！)

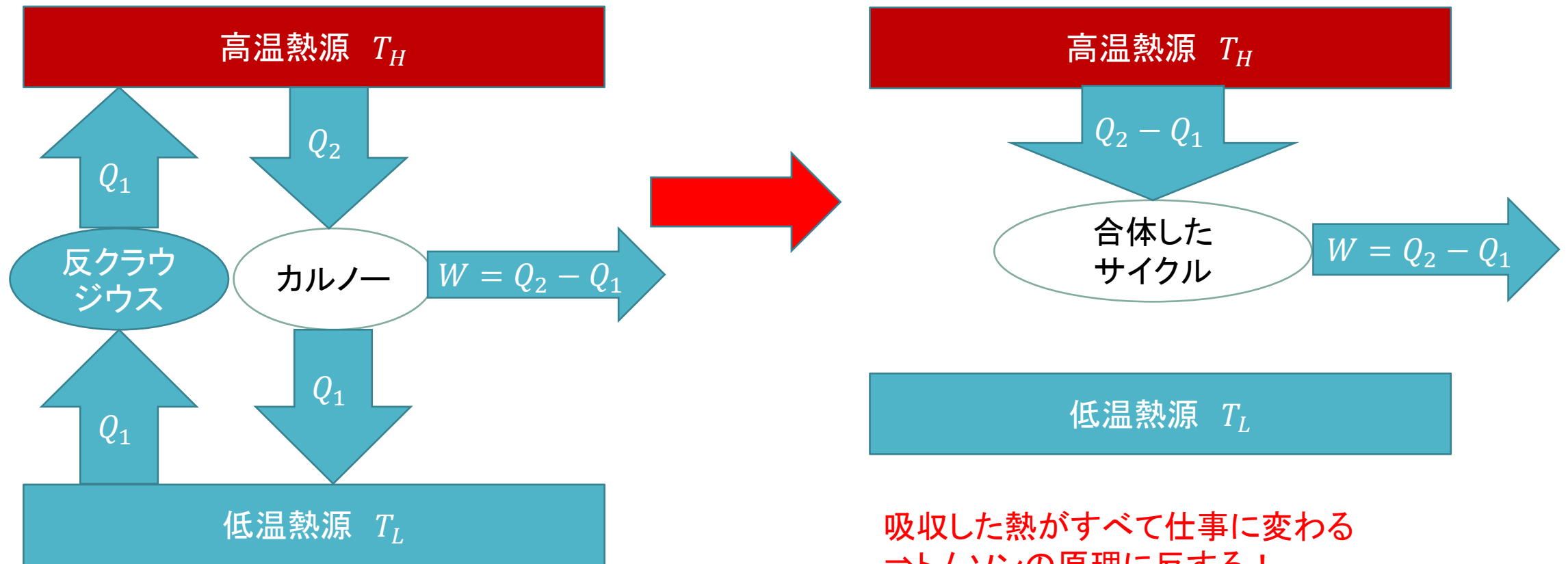


こんなサイクルは無い！

# 等価性①

対偶を考える

クラウジウスの原理が成り立たない $\Rightarrow$ トムソンの原理が成り立たない



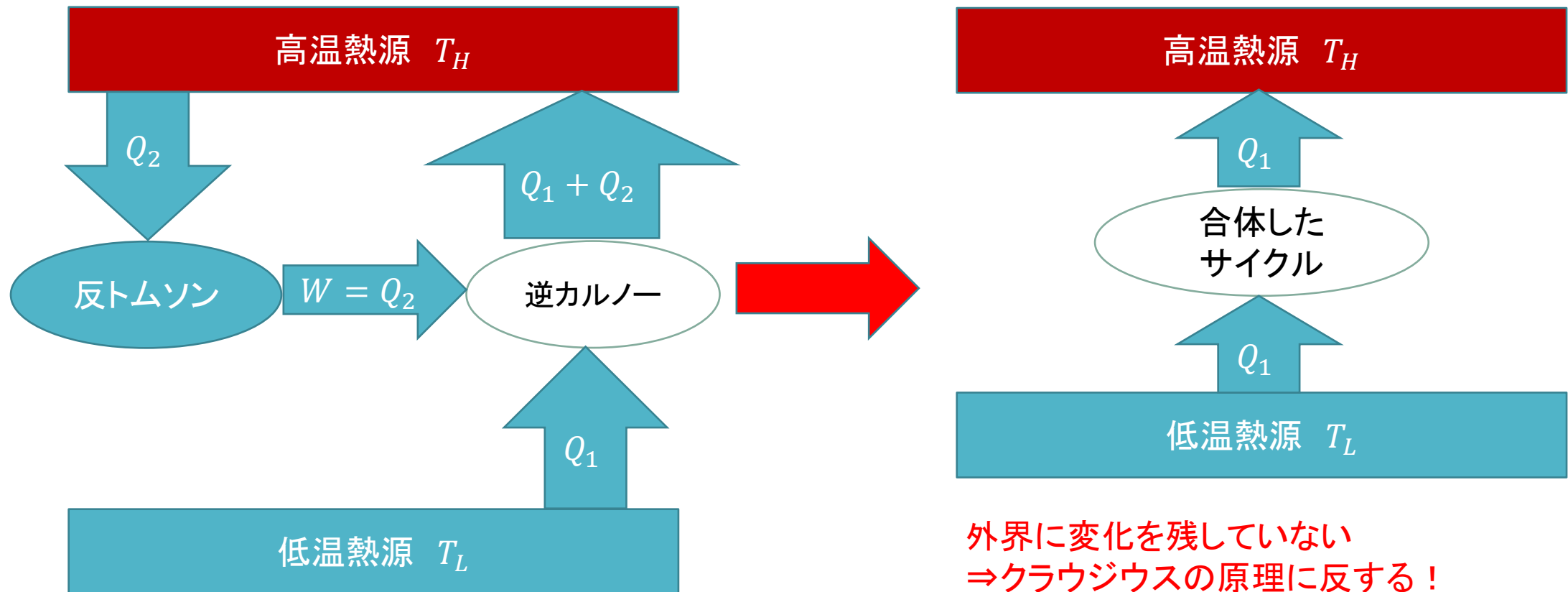
吸収した熱がすべて仕事に変わる  
 $\Rightarrow$ トムソンの原理に反する！



# 等価性②

逆を示すときも対偶を考える

トムソンの原理が成り立たない $\Rightarrow$ クラウジウスの原理が成り立たない



# まとめ

- カルノーサイクルは熱効率をできるだけ大きくした理想的な熱機関。
- トムソンの原理とは、熱効率100%の熱機関を作ることにはできないという原理。
- クラウジウスの原理とは、仕事なしで低温熱源から高温熱源へ熱を移動することはできないという原理。(冷房の例を思い出そう)
- トムソンの原理とクラウジウスの原理の等価性を示す問題は、対偶が正しいことを示せばよい。

(それぞれの原理に反するサイクルの存在を仮定し、(逆)カルノーサイクルと合体させてみる) ←宿題！

# 参考文献(おすすめの教科書)

- 基礎を固めたい方⇒三宅 哲著「熱力学」(裳華房)
- 発展的なことも学びたい方⇒久保 亮伍著「熱学・統計力学」(裳華房)

どちらも総合図書館A棟4階に配架されています！

- 調べ学習をしたい方⇒パスファインダー(ラーニング・コモンズ入口にあります)

# 質疑応答