

熱機関とカルノーサイクルの基本

1 導入

この講義で最重要なのは、熱機関では受け取った熱を全部仕事へ変えられないのは、機械の性能が悪いからではなく、熱を仕事へ変える仕組みそのものに制約があるからだと分かることです。熱機関の問題では、効率の式だけを覚えると混乱しやすくなります。ここではまず第一法則から $W = Q_{in} - Q_{out}$ を出し、そのあと第二法則がなぜ $Q_{out} > 0$ を要求するかを見ます。

2 用語と定義

熱機関とは、高温側から熱を受け取り、その一部を仕事へ変える装置です。

効率Efficiencyは

$$e = \frac{W}{Q_{in}}$$

です。

カルノーサイクルは、可逆的な理想熱機関の循環過程です。

3 方針

まず熱機関を1周期で見て、第一法則から仕事と効率の式を出します。そのあと第二法則によって $e < 1$ なる理由を整理し、最後にカルノーサイクルを理想的な上限として見ます。

→ [講義 熱力学第一法則](#) [lecture](#) [physics](#) [thermodynamics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/thermodynamics/熱力学第一法則-講義/>

→ [講義 熱力学第二法則の入口](#) [lecture](#) [physics](#) [thermodynamics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/thermodynamics/熱力学第二法則の入口-講義/>

4 直感的な説明

熱機関は、高温側と低温側の差を利用して回ります。水が高いところから低いところへ流れる途中で仕事をするのと似ています。高温側から受け取った熱を全部仕事へ変えられたら都合がよいですが、低温側へ捨てた熱がないと循環を閉じられません。

5 厳密な説明

5.1 1. 第一法則から効率を出す

熱機関は1周期のあとで元の状態に戻るなので、作業物質については

$$\Delta U = 0$$

です。したがって第一法則

$$\Delta U = Q - W$$

より

$$0 = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} - W$$

すなわち

$$W = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

です。だから効率は

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

となります。

5.2 2. なぜ $e = 1$ にならないか

もし $e = 1$ なら $Q_{\text{out}} = 0$ です。つまり高温側から受け取った熱を全部仕事へ変えることとなります。しかし第二法則は、それが不可能だと言っています。したがって

$$Q_{\text{out}} > 0$$

であり、

$$e < 1$$

です。

5.3 3. カルノーサイクルをどう見るか

カルノーサイクルは、熱機関が可逆的に働いたらどこまで効率を上げられるかを見るための理想モデルで

す。現実の機械そのものではなく、「第二法則が許す上限」を教える装置として見ます。

可逆カルノーサイクルでは

$$\frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} = \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{in}}}$$

が成り立つので、

$$e = 1 - \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{in}}}$$

です。したがって効率は、作業物質の種類ではなく、高温側と低温側の温度で決まります。

6 別の見方

6.1 第一法則の見方

熱機関は、入った熱がどこへ行ったかを家計簿のように見ると整理しやすいです。

6.2 第二法則の見方

第二法則は、「熱を仕事へ変えるには向きの制約がある」と読むと分かりやすくなります。

7 見分け方

- 熱機関、効率、高温熱源、低温熱源が出たら、まず1周期で $\Delta U = 0$ を使えないか考えます。
- $e = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$ を見たら、次に第二法則で $Q_{\text{out}} > 0$ を確認します。

8 どこまで成り立つか

ここでの効率の議論は、周期運転する熱機関を前提にしています。またカルノーサイクルは可逆的な理想機関なので、現実の機械がそのまま達成できるとは限りません。

9 最終形

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

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{in}}}$$

10 一言でいうと

- 熱機関は、第一法則で収支を読み、第二法則で限界を読むと整理しやすくなります。

11 関連リンク

→ [講義 熱力学第一法則](#) [lecture](#) [physics](#) [thermodynamics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/thermodynamics/熱力学第一法則-講義/>

→ [講義 熱力学第二法則の入口](#) [lecture](#) [physics](#) [thermodynamics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/thermodynamics/熱力学第二法則の入口-講義/>