

## テーマ K14： 熱効率を 100%にできない理由

### 1. 熱効率の式

熱力学の法則によれば、第 2 法則より高熱源から熱量  $Q_1$  を得て、低熱源に熱量  $Q_2$  を捨てるとき、第 1 法則より熱量差  $Q_1 - Q_2$  を仕事に変換できることとなります。このとき、熱効率は

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

となり、すべての熱機関に適用することができます。

参考：カルノーサイクルでは、高熱源の温度  $T_1$  と低熱源に熱量  $T_2$  を用いて

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

と定義することもできます。(カルノーサイクル以外には適用できません。)

### 2. 低熱源の意味

ここで一つの疑問が生じます。それは、なぜ低熱源に熱を捨てるのかということです。熱を捨てなければ ( $Q_2 = 0$ )、熱効率が 1 (=100%) になることは熱効率の式からもわかります。熱を捨てるなんてもったいない。熱を捨てなければ実際の熱機関でも 100%は無理にしても熱効率を高くできるのではないかと、ついつい考えたくなります。では、なぜ低熱源に熱を捨てる必要があるのでしょうか？熱を捨てるのに熱源と呼ぶのも変な話です。

熱を捨てる理由を考える前にまず低熱源とは何かを考えてみます。熱機関を通常は大気中で動作させます。大気には気圧と気温があるため、大気はその圧力と温度に応じたエンタルピーを持っています。大気は存在するだけでエネルギーを蓄えていることとなります。エアコンをはじめとするヒートポンプでは、大気を持つエネルギーをくみ上げてより高温の環境に放出するため、大気は低い温度の熱源であることには違いありません。これらのことから熱を捨てる環境に対しても低熱源という言葉が適用されるのです。低熱源は通常熱機関では大気を指しています。

### 3. 低熱源に熱を捨てる理由

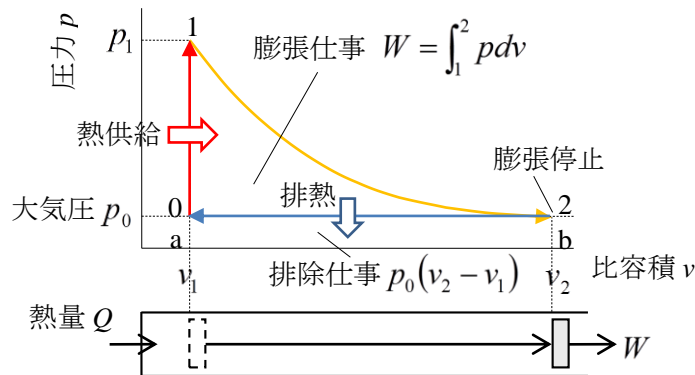
では、次に低熱源に熱を捨てることの意味を考えます。

熱機関の代表例であるシリンダピストンの場合、状態 0 から熱を与えて等圧変化で状態 1 にしたのち断熱膨張をさせると、圧力が大気圧に等しくなる状態 2 までシリンダ内の気体が膨張してピストンは運動を停止します。その後、状態 0 までピストンを戻すと、1 サイクルが実現されます。このサイクルで、気体が断熱膨張する際にピストンが外界に対して行う絶対仕事は

$$W = \int_1^2 p dv$$

となり、これは  $p-v$  線図上で面積 a-0-1-2-b に相当します。状態 2 から状態 1 までピストンを押し戻す際、シリンダ内の気体が熱を奪い低熱源である大気に捨てなければなりません。

奪うべき熱は熱力学第 1 法則より内部エネルギーの変化分と排除仕事分の合計すなわち  $u_2 - u_1 + p_0(v_2 - v_1)$  で、 $p-v$  線図上では面積 a-0-2-b に相当します。このことは、大気圧下で熱機関を動作させる限り、どのような状態変化でサイクルを形成したとしても回避することはできず、低熱源に熱を捨てざるをえないことになります。



#### 4. 熱効率を 100%にできない理由

熱を捨てないためには圧力が 0 (真空) の環境で、気体を真空まで膨張させなければなりません。圧力が 0 の環境とは絶対零度[0K]の環境でもあり、低熱源の温度は絶対零度ということになります。カルノーサイクルで、低熱源の温度  $T_2$  が 0K のとき熱効率が 100% となることと一致します。

完全な真空もしくは絶対零度は地球上には存在せず、熱力学の第 3 法則により強力な真空ポンプや冷凍機を用いても実現することはできません。絶対零度が実現できない以上、排熱を 0 にできず、したがって熱効率を 100%にできないことがわかります。

ところで、実際の熱機関ではシリンダの長さを大きく取れないため、気体を大気圧と平衡するまで膨張させることはなく、膨張の途中でピストンの運動を停止し排気弁を開けています。このことによりシリンダ内の気体はまだ温度が下がりきらないうちに放出されるため、低熱源への放熱量はさらに増えます。また、機械的な摩擦の発生や、高温損傷を防ぐための冷却による損失などもあって、熱効率は、ガソリン機関で 30% 台、ディーゼル機関で 40% から 50% 程度なっています。状態変化が異なりますが、カルノーサイクルの 85% ( $T_1=2000\text{K}$ ,  $T_2=293.15\text{K}$ ) と比べるとかなり小さな値と言えます。

[http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L\\_Support/SupportPDF/ThermalEfficiencyLT100.pdf](http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L_Support/SupportPDF/ThermalEfficiencyLT100.pdf)

Copyright © 2014 小西克享, All Rights Reserved.

個人的な学習の目的以外での使用, 転載, 配布等はできません。

お願い: 本資料は、埼玉工業大学在学生の学習を支援することを目的として公開しています。本資料の内容に関する本学在学以外からのご質問・ご要望にはお応えできません。