

5 台所の物理——山の上でご飯を炊く方法

熱の話を中心に、エネルギー保存則やエコロジカルな生活の仕方について考えます。

5.1 熱, 熱の移動

分子運動の激しさをエネルギーと見立てて熱とよぶ。

■水の状態図

物質の三態は、温度と圧力によって決まる。温度が上昇すると、分子の運動は活発になる。そのため、一般に、温度上昇によって固体 → 液体 → 気体と変化し、気体となると圧力は増加し、体積は膨張しようとする。

図 1 に示したのは、水の状態図 (相図ともいう) である。1 気圧のときでは、 0°C で固体から液体へ、 100°C で液体から気体へと変化していくことは周知のことだが、この図から、気圧が低い山の上では、沸点が 100°C を下回ることや、温度 0.01°C 、圧力 0.006 気圧のところでは、氷・水・水蒸気の 3 状態が共存できる三重点になることがわかる。

状態図・相図
(phase diagram)
三重点 (triple point)

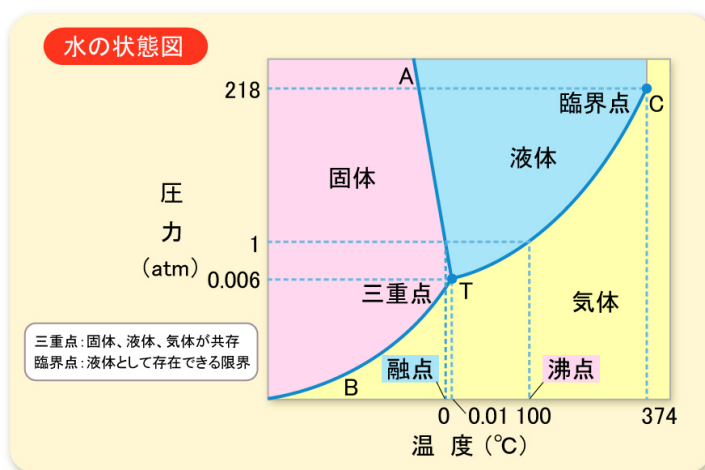


図 1: 水の状態図 (相図ともいう)。

Topic 山の上でご飯を炊く方法

富士山の山頂は、 0.64 気圧程度である。水の状態図を見ると、沸点は 88°C だ。富士山頂でご飯を炊いても半煮えになってしまう。

そこで活躍するのが圧力鍋である。蓋をきっちりと閉じて、中の蒸気を溜め込み、高圧にして調理する圧力鍋の内部は、 1.5 気圧程度ま

圧力鍋
加熱したあとの圧力鍋の蓋をあけるときは要注意。中の圧力が高いので、蓋の押さえをそのまま外すと蓋が飛び上がって危険である。はじめに十分に中の蒸気を抜いて、気圧を下げる必要がある。

で圧力が上がる（それ以上になると安全弁が開いて水蒸気が放出される）。1.5気圧だと、沸点は115°Cになる。

圧力鍋の中は、もちろん地上で使っても同じである。普通の鍋よりも高温で調理することになるので熱分解がはやく進み、調理時間を短縮させる。同じ原理の電気釜もあり、「圧力炊飯」というキーワードで売られているようだ。

■熱、熱の移動

高温の物体と低温の物体が接すると、熱エネルギーの移動が生じ、高温の物体は熱量を失い、低温の物体は熱量を得る。熱の移動が生じたとき、全体としては熱エネルギーは増減せず、保存する。

法則 熱量の保存（熱エネルギーの保存則）

高温の物体 A から低温の物体 B へ熱が移動したとき、

$$\text{物体 A が失った熱量} = \text{物体 B が得た熱量}$$

熱量の保存
(conservation of heat)

熱の移動は、接した物体の温度が等しいところで落ち着く。この状態を熱平衡という。

熱平衡
(thermal equilibrium)

Advanced 熱平衡になる温度

質量 m_A [g], 比熱 c_A [J/(g·K)], 温度 T_A [K] の物体 A と, 質量 m_B [g], 比熱 c_B [J/(g·K)], 温度 T_B [K] の物体 B が接触し, 熱平衡に達して温度が T_E [K] になった, とする. $T_B < T_E < T_A$ とする. このとき,

$$A \text{ が失う熱量} = m_A c_A (T_A - T_E) \quad (1)$$

$$B \text{ が得る熱量} = m_B c_B (T_E - T_B) \quad (2)$$

であるから, 熱量保存則より, $m_A c_A (T_A - T_E) = m_B c_B (T_E - T_B)$. これを T_E について解くと, 熱平衡温度が求められる.

$$T_E = \frac{m_A c_A T_A + m_B c_B T_B}{m_A c_A + m_B c_B} \quad (3)$$

比熱の説明は, 次のページ.

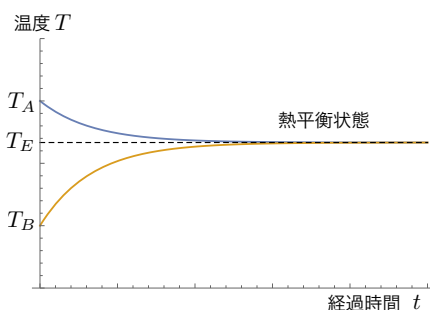


図 2: 温度 T_A の水と温度 T_B の水を 2:1 の量で混合したときの温度変化の様子.

問題と研究
問 5.1 風呂のお湯 100 リットルを沸かし過ぎて 45°C にしてしまった。40 °C にするためには、水を何リットル加えればよいか。水の温度は 15°C である。

■比熱と熱容量

物質ごとに温まり方は異なる。

定義 比熱・熱容量

- 1 g あたりの物質の温度を 1 K だけ上昇させるのに必要な熱量 [J] をその物質の比熱 c という。比熱の単位は [J/(g·K)] になる。
- 物質が m [g] あるとき、物質全体の温度を 1 K だけ上昇させるのに必要な熱量を熱容量 C という。熱容量の単位は [J/K] になる。
- 温度を ΔT [K] 上昇させるときに必要な熱量 Q [J] は、したがって、

$$\begin{aligned} Q &= m c \Delta T & = C \Delta T \\ \text{熱量} &= \text{質量} \times \text{比熱} \times \text{温度差} & = \text{熱容量} \times \text{温度差} \end{aligned} \quad (4)$$

比熱 (specific heat)

表 1: 比熱の比較

物質	比熱 [J/(g·K)]
鉛	0.13
銀	0.24
銅	0.38
鉄	0.45
アルミ	0.90
水	4.19

25°C における比較. cal の単位を使うなら水の比熱は 1 [cal/(g·K)].

コラム

コラム 12 (鍋に適した金属は?)

銅：熱伝導に優れた鍋ならば、銅が一番だが、銅はすぐに変色してしまう。食品衛生法によって、銅の鍋の内側にはスズか銀でメッキをすることになっている。高温にしなくてもいい薄焼き卵などは、熱伝導率が良く全体に熱が伝わりやすい銅製のものがよいとされる。

鉄：強度があり、安価である。強い熱や過酷な使用に耐えられるため、中華料理や焼肉で使われる。ただし手入れをしないと錆びてしまう欠点がある。

アルミニウム：軽くて錆びにくく、安価である。熱伝導は銅に次ぐ良さがあり、調理道具の主力になっている。欠点は油なじみが悪いため焦げ付きやすいこと。磁性がないため電磁調理器での調理もできない。

火の通りが良いという観点からだと、底の薄いアルミ鍋になる。しかし、料理によっては食材に満遍なく火が通るもの、あるいは火から下ろしてもしばらくは料理の温度が保たれる方がよい場合がある。そうならば、底に厚みのあるアルミ鍋、あるいは鉄の鍋を選ぶ方がよい。



図 3: 鍋各種。

5.2 気体の法則

気体を特徴付ける量は、体積、圧力、温度の3つであり、これらの間には「状態方程式」と呼ばれる関係が成り立つ。

■気体を表す基本量

気体には形がないが、分子運動によって容器の形状いっばいに広がる。気体を特徴付ける物理量は、体積 V [m^3], 圧力 P [Pa], 温度 T [K] の3つであり、さらに気体分子の量 (モル数) n [mol] を使うと、気体の状態を記述することができる。

体積 V [m^3]
圧力 P [Pa]
温度 T [K]

■気体に関する基本法則 1:

「山の上に行くとポテトチップスの袋が膨れる」あるいは「山の上で飲んだペットボトルが下山すると潰れている」ことを示すのが、ボイルの法則である。

法則 ボイルの法則

温度を一定にすると、一定量の気体の体積 V は、圧力 P に反比例する。

$$PV = \text{一定} \quad (5)$$

P と V を軸にしたグラフを描くと、図 6(a) のようになる。

Topic 飛行機のなかで袋が膨らむ

飛行機は外気との差をなるべく少なくするため、飛行中は客室を減圧するので山の上と同じ環境である。かつてゴム風船型の胸パットをしていたフライトアテンダントが、飛行機が離陸したときにたいへんな姿になってしまったことがあったそうだ。

■気体に関する基本法則 2:

「お湯が沸くとやかんの蓋が浮き上がる」あるいは「餅が膨らむ」ことを示すのがシャルルの法則である。

法則 シャルルの法則

圧力を一定にすると、一定量の気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定} \quad (6)$$

V と T を軸にしたグラフを描くと、図 6(c) のようになる。

単位

物理法則での温度の単位は絶対温度 [K](ケルビン)、圧力は [Pa](パスカル)。

Boyle の法則
Robert Boyle (1627–91)

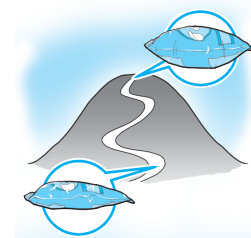


図 4: 山の上でポテトチップスの袋が膨らむ。

Charles の法則
Jacques Alexandre
César Charles
(1746–1823)

Topic 餅が膨らむ

「餅が膨らむ」のは、餅の中の空気が膨らむからだ。餅をきれいに焼くため、表面に切り込みを入れる特許争いがニュースになったが、表面に切り込みを入れておくと、表面がカリカリに焼ける前に中の空気が表に飛び出せることがアイデアのもとだった。

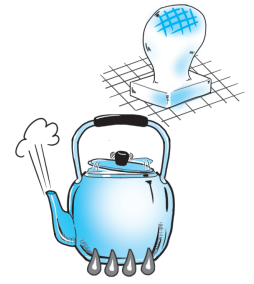


図 5: お湯が沸くとやかんの蓋が浮き上がる。

■気体に関する基本法則 3:

法則 ボイル・シャルルの法則

(5) と (6) をあわせて

$$\frac{PV}{T} = \text{一定} = R \text{ (気体定数)} \quad (7)$$

気体の量が n 倍になると、(7) 右辺の定数を n 倍した、

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{すなわち} \quad PV = nRT \quad (8)$$

の関係が成り立つ。この式を理想気体の状態方程式という。

状態方程式 (equation of state)
理想気体 (ideal gas)

(8) が成り立つ気体を理想気体という。実際の気体は、分子の大きさがあり、分子間力もはたらくので補正が必要になる。

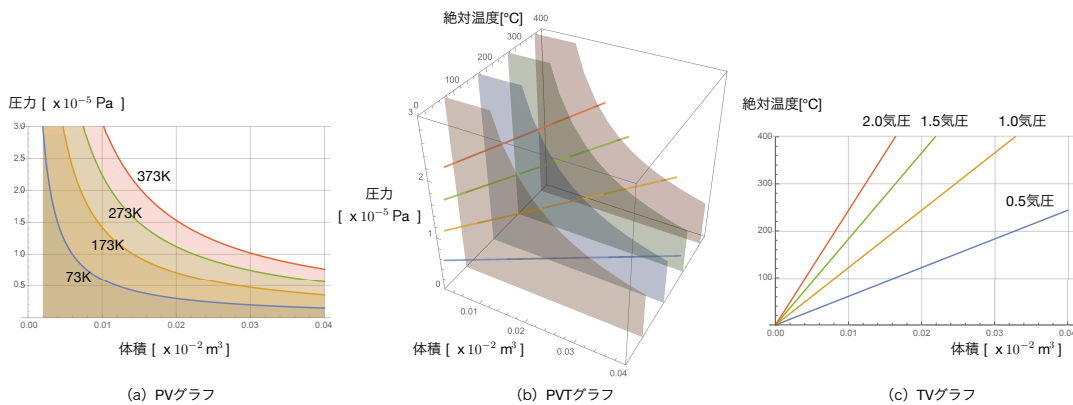


図 6: 1 mol の気体の圧力 P 、体積 V 、温度 T の状態図。中央の 3 次元図が 3 つの変数での振る舞いを示す。この図を手前から見ると (a) の P - V グラフになり、上から見ると (c) の T - V グラフになる。

問題と研究

- 問 5.2 お吸い物のお椀の蓋が、冷めると開かなくなってしまう理由は何か。
- 問 5.3 底が濡れたお椀にお汁をつぐと、お椀が勝手に動き出すことがある。この理由は何か。
- 問 5.4 暖炉の煙突や蒸気機関車から煙がポッポッポッと断続的に出る理由を説明せよ。

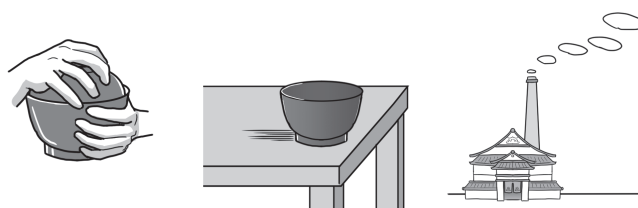


図 7: [左] お椀があかない。[中] お椀が動く。[右] ポッポッポッ。

5.3 熱力学の法則

熱を加えたときのエネルギー保存則を紹介しよう。

5.3.1 ジュールの実験と熱力学の第1法則

19世紀前半に物理学で問題となったのは、「物体の温度は、高温のところに置く以外の方法で上げることができるのだろうか」「摩擦などで発生した熱はどこへいくのだろうか」などの熱に関する疑問だった。

■ジュールの実験

ジュールは、おもりが下降することによる位置エネルギーの差が、水を攪拌する仕事に変わり、水の温度を上昇させることを実験で示した（図9）。これは、「温度の上昇が、エネルギーの増加と同じ」ことを意味していた。

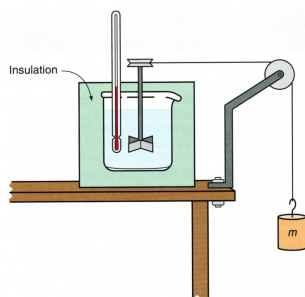


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.

図9: ジュールの実験装置。おもりを下降させて得たエネルギーが熱に変化することを示した。

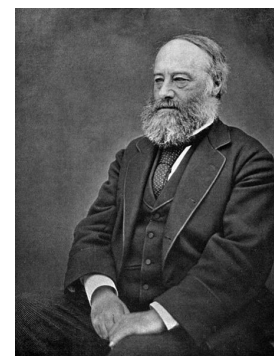


図8: ジュール James Prescott Joule (1818–89)

法則 熱の仕事当量

力学的なエネルギーは熱に変換できる。換算係数は熱の仕事当量と呼ばれ、次の関係になる。

$$1[\text{cal}] = 4.19[\text{J}] \quad (9)$$

- カロリー ([cal]) は、水 1 g を温度 1 °C 上昇させるときに必要なエネルギーを 1 cal とする単位。
- ジュール ([J], ⇒§3.3.1) は、1 N の力で 1 m 物体を動かしたときの仕事 (エネルギー) を 1 J とする単位。

熱の仕事当量

振り回してお湯をつくろう 実験

携帯用魔法瓶に水を少量だけ入れて数分間激しく振ると、温度が上がることを実験してみよう（体温が水温を上げないように、魔法瓶で行う）。力学的な運動を熱に変えるのは、火おこしも同じ。木くずを連続的にこすり合わせることで生じるまさつ熱を利用している。釘を金づちで打つと熱くなるのも同じ原理。

■熱力学の第1法則

熱エネルギーまでを含んだエネルギー保存則を、熱力学の第1法則という。

法則 熱力学の第1法則

熱はエネルギーの一形態である。力学的エネルギーなど、他のエネルギーと交換可能で、エネルギーの総和は一定である。

Topic 内部エネルギーの増加・減少

自転車のタイヤに空気を入れると、空気入れが熱くなる。これは、閉じ込められた気体が、外部から仕事をされて、気体の内部エネルギーを増加させたからである。

スプレー缶を使うと缶の温度が下がってくる。これは缶内の気体が放出することで、外部に仕事をした結果である。

■エネルギーの交換

「力学的エネルギー（運動エネルギー）」が「熱エネルギー」に変換できることがジュールの発見だった。同じように、

- 電気エネルギー、化学エネルギー、光エネルギー、核エネルギー

も含めて相互に変換する。

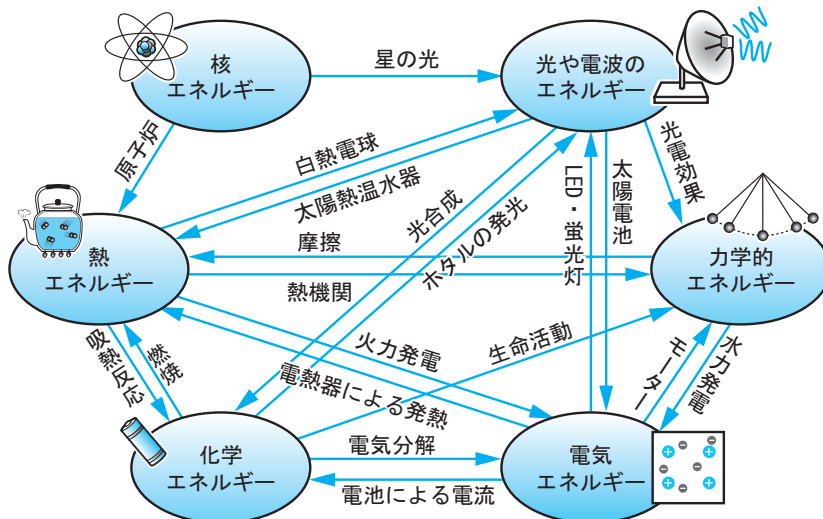


図 11: いろいろな形のエネルギーとその変換。

熱力学の第1法則 (The 1st law of thermodynamics)

力学的エネルギー保存則
⇒37 ページ



タイヤに空気を入れると空気入れが熱くなる (気体にした仕事=正)



スプレーを使うと缶が冷たくなる (気体にした仕事=負)

図 10: 空気入れとスプレー缶。

問題と研究

水の融解熱が 80 cal/g、水の蒸発熱が 540 cal/g であることを既知として、次の問題に答えよ。

- 問 5.5 高さ 100 m の滝の水が落下し、位置エネルギーがすべて熱エネルギーに変わるとすると、温度は何度上昇するだろうか。重力加速度 g を $g = 9.8\text{m/s}^2$ とする。
- 問 5.6 成人女性が 1 日に摂取するエネルギーは、1800 kcal ~ 2200 kcal 前後とされる。2000 kcal すべてを使うと、何 kg の氷を水に変えることができるか。

5.4 熱効率と不可逆変化 永久機関は可能か

我々の生活で、動力を取り出す基本的なしくみである蒸気機関を理解しておこう。いかに効率良く動力を取り出すか、という努力は産業革命以来、現在も続く人類の永遠の課題である。水力発電で得られた電気を使って、水を山の上まで汲み上げる。そうすれば永久に電気が発電できそうだが、残念ながら、そのような永久機関は不可能である。

5.4.1 熱機関

■蒸気機関の発明

産業革命は蒸気機関の発明からはじまった。動力をもつ機械を得て、人間社会が豊かに変わったのだ。熱エネルギーを継続的に仕事に変換する装置を熱機関という。創始者として次の2名が挙げられる。両者ともイギリスの発明家・技術者である。

- ニューコメンは、1712年に鉱山の排水用として蒸気機関を製作した。蒸気に冷水を吹き込んで冷やし、蒸気が水に戻るときに生じる負圧（真空減圧）でピストンを吸引するもので、大気圧を利用する方法だった。
- ワットは、1769年に新方式の蒸気機関を開発。復水器で蒸気を冷やす方法でシリンダーが高温に保たれることとなり効率が増した。往復運動から回転運動への変換などの改良も行った。

熱機関
(heat engine)

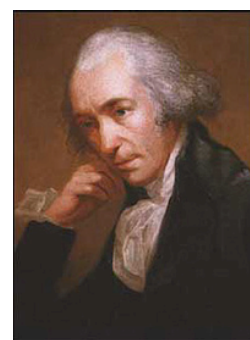


図 12: ニューコメン Thomas Newcomen (1664–1729)

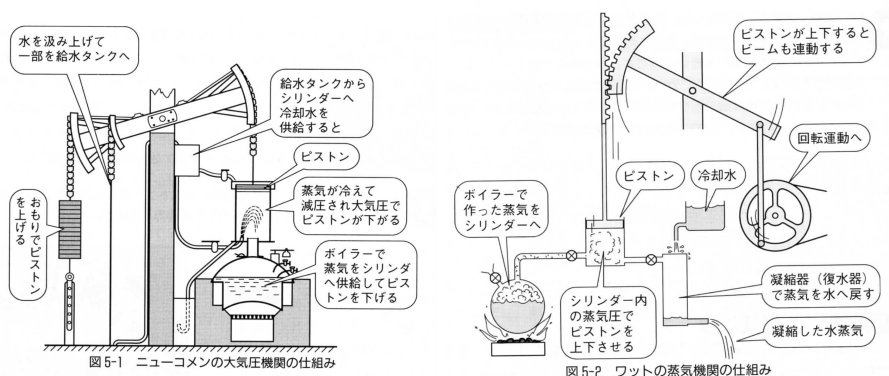


図 14: [左] ニューコメンの蒸気機関。[右] ワットの蒸気機関。

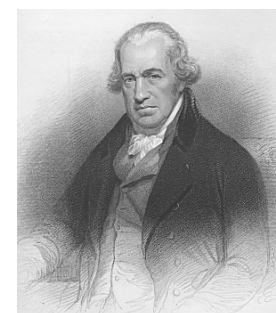


図 13: ワット James Watt (1736–1819)

■熱サイクル

熱機関の原理は、ピストン運動である。気体をシリンダーに密閉し、シリンダーにピストンを接続する。熱を加えてピストンを動かし、仕事を取り出す操作を繰り返す。ピストンを押し下りたり引いたりして元の状態にもどすような作業を熱サイクルという。蒸気機関車は石炭を燃焼させ、自動車はガソリンを燃焼させるがしくみは同じだ。

熱サイクル
(thermodynamic cycle)

圧力-体積グラフ (P-V グラフ) を使って、熱サイクルを見てみよう (図 15).

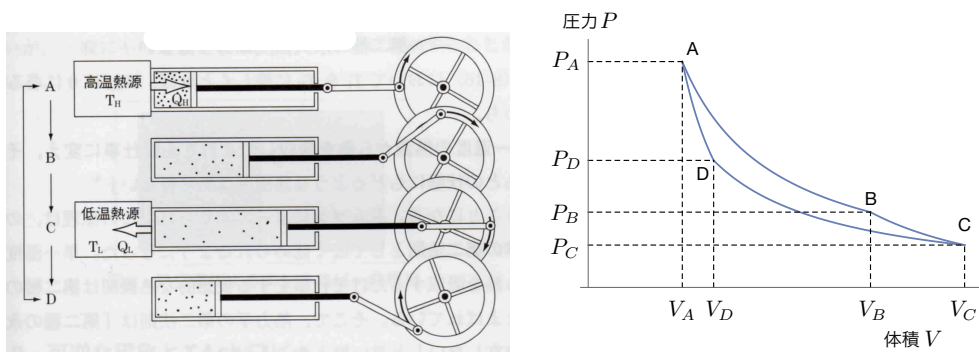


図 15: [左] シリンダー内の気体がピストンを押して仕事をする熱機関. [右] 圧力 P -体積 V グラフ.

A→B ある状態 A (温度 T_H) からシリンダーを高温熱源に接触させる. 熱を受けたシリンダー内の気体は膨張し, ピストンが外に向かって仕事をする. このとき気体の圧力は下がる. (温度を一定に保つならば等温膨張.)

B→C 熱の出入りを絶って, ピストンの運動を慣性でさらに膨張させる (断熱膨張). 外に向かって仕事をするが, シリンダー内の気体の温度は低下する. (温度 T_L とする)

C→D 次にシリンダーを低温熱源に接触させると, シリンダー内の気体は熱エネルギーを放出し, 体積は減少する. (温度を一定に保つならば等温圧縮.) このとき, D 点は次の過程でちょうど A 点にもどれるような状態を選ぶ.

D→A 熱の出入りを絶って, ピストンの運動を慣性でさらに圧縮させる (断熱圧縮). この結果, 気体の温度は上がり, もとの状態に戻る.

このようにして, A→B→C→D→A と 1 周するサイクルを考えると, 気体はグラフで ABCD で囲まれた部分の面積に相当する仕事を外部に向かって行うことになる.

A→B の過程だけであれば, 高温熱源から受けた熱エネルギーをすべて仕事に変えることができるが, サイクルとして元にもどして継続的に動かすことを考えると, 低温熱源に触れさせて熱エネルギーを一部放出させなければならないことがわかる.

「理想的な熱機関」としてカルノーは, 等温膨張, 断熱膨張, 等温圧縮, 断熱圧縮の 4 つの過程で循環する熱機関を考えた. ⇒ 68 ページ.

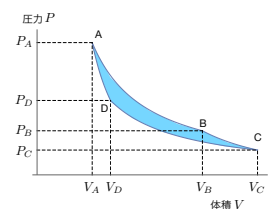


図 16: 1 周するサイクルを考えると, 気体はグラフで ABCD で囲まれた部分の面積に相当する仕事を外部に向かって行う.

■熱効率

熱機関では、熱エネルギー Q_H を加えて、仕事 W をさせるのが目的であるが、前ページで見たように、必ず何割かの熱エネルギー Q_L を捨てて、もとの状態にもどす必要がある。熱機関の1サイクルで、加えた熱に対してどれだけ正味の仕事できたか、の割合を熱効率という。

定義 熱効率

高温熱源から受け取った熱エネルギー Q_H のうち、仕事 W に使われた変換効率を熱効率 η といい、次式で定義する。

$$\text{熱効率 } \eta = \frac{W}{Q_H} \quad \left(= \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \right) \quad (10)$$

右辺で書き直した部分の Q_L は、低温熱源に放出した熱エネルギーである。

熱機関では必ず排熱することが必要となるので、熱効率が **1 (100%)** になることはない。熱効率がよい熱機関を開発していくことが、エネルギー資源を節約していく点からも求められている。かつての蒸気機関車による輸送がディーゼルや電気機関車に変わった理由も熱効率の改善のためである。

■モノを冷やすにはどうしたらよいか

エネルギーを加えて「外部に仕事をする」熱機関（このような熱機関をヒートエンジンという）のしくみは上記で説明したようになっているが、冷蔵庫やエアコンなど、モノを冷やす装置はエネルギーを加えながらも「外部から仕事を奪う」必要がある。冷蔵庫やエアコンは、庫内や室内を冷却するが、それ以上の熱を外部に放出している装置である。どちらも多大なエネルギーが必要である。

Topic 冷蔵庫のしくみ

冷蔵庫の壁はクーラーボックスと同様の断熱パネルでできていて、冷媒といわれる物質がパイプの中を回って庫内と庫外を循環している。

- 1) 冷媒は庫外にあるコンプレッサー（圧縮機）に気体の状態に入る。ここで冷媒は一気に5気圧程度に圧縮され、温度が50–60°Cに上昇する。
- 2) 次に冷媒は放熱器に送られる。放熱器は長く細いパイプで外気と接触しており、冷媒は外気温と同程度に下がり、液体になる。
- 3) 液体になった冷媒はキャピラリーチューブと呼ばれる細い管を通ったあと、広い空間に出て霧状になって飛び散る。このとき冷媒の圧力は一気に0.5気圧程度にまで下がり、再び気体に変化する。この際に冷媒は気化熱として周囲から熱を奪うのでここが冷却装置になる。

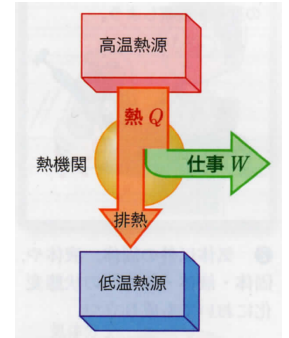


図 17: 熱機関の概念図。

熱効率

(thermal efficiency)

おもな熱機関の熱効率

蒸気	10–20%
ガソリン	20–30%
ディーゼル	30–40%
蒸気タービン	20–40%

冷蔵庫のしくみ

冷媒 (refrigerant)

液体から気体になる沸点は、圧力によって変わる(⇒ §5.1)。圧力が低ければ沸点は下がり、圧力が高ければ沸点は上がる。冷蔵庫で用いられる冷媒(イソブタン)の沸点は、

0.5 気圧	–60°C
1 気圧	–11.7°C
5 気圧	40°C

冷却機は -40°C 程度にまで冷やされ、これが庫内を冷却する。

4) 冷却機を出た冷媒はふたたびコンプレッサーに向かう。

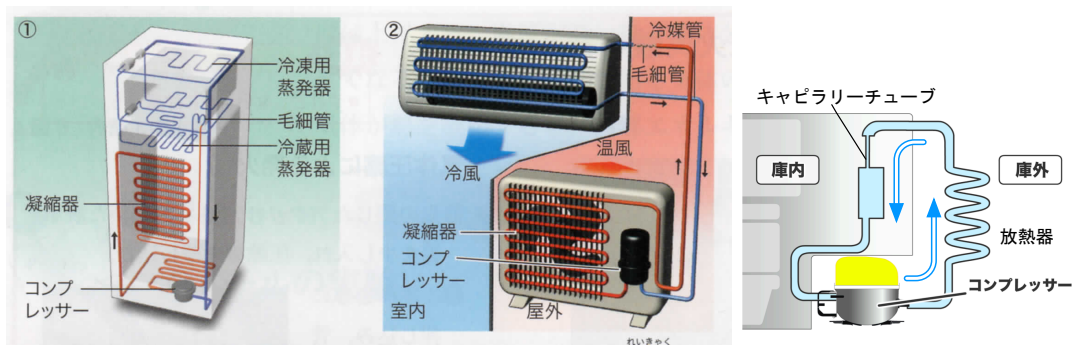


図 18: [左] 冷蔵庫・エアコンのしくみ, [右] 冷蔵庫を循環する冷媒の経路。

エアコンも冷蔵庫と同様のしくみである。室外機のコンプレッサーで圧縮された冷媒を室内に送り、室内では冷媒の蒸発熱で冷房を行う。逆に利用すれば暖房を行うことができる。冷蔵庫やエアコンなど、冷媒を循環させて熱を輸送する装置をヒートポンプという。

モノを冷やすするには、多大なエネルギーが必要である。エアコン・照明・冷蔵庫の 3 つで、家庭の電力消費の半分以上を占める。
⇒ コラム 14

■コジェネレーション

いかにして熱効率を上げるか、を追求した結果、最近では、熱機関から出る排熱を利用して動力・温熱・冷熱を取り出し、エネルギー効率を上げる装置コジェネレーションが普及し始めてきている。

コジェネレーション (co-generation, combined heat and power)

また、給湯装置として大気熱を利用して冷媒を一部加熱するヒートポンプもある。「水への熱 = 大気からの熱 + 圧縮機の消費電力」となるので、エネルギー的に得になる。

ガソリンで走る自動車と電気自動車の間として、エンジンと電気モーターの両方をもつハイブリッド車が燃費の点で人気である。ハイブリッド車は、エンジンの熱を利用して発電したり、ブレーキをかけたときに運動エネルギーを電気エネルギーに変えて蓄電する回生ブレーキを備えている。

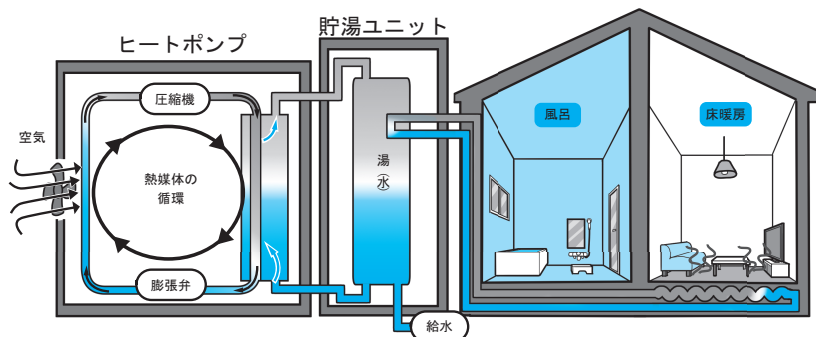


図 19: 大気熱を有効利用して熱媒体を循環させるヒートポンプ。給湯器は冷蔵庫と逆のしくみで、熱媒体を加熱するときに大気熱を利用する。

5.4.2 永久機関は可能か

■永久機関

不老不死・錬金術とならび、永久機関は人類の大きな夢の1つだった。図20のように、ひとたび回転を始めると、その勢いで同時に反対側のおもりを持ち上げ、ずっと回転し続ける装置が考案された。また、水力発電でつくられた電気でモーターを回し、水を汲み上げることにより、永久に水力発電機を回すことができそうにも思われた。このような、外部からのエネルギー供給がないのに仕事をする装置を第1種永久機関という。

熱力学第一法則やエネルギー保存の考え方が確立すると、第1種永久機関は不可能であることが認識される。それならば、「外部からのエネルギーをすべて仕事に変える機関」(第2種永久機関)ならばエネルギー保存則に違反しないので実現可能なのではないかと、とも考えられた。熱効率 $\eta = 100\%$ の機関は可能か、という問いかけである。

■カルノーの理想機関

カルノーは、もっとも熱効率が良くなる熱機関(理想機関)として2つの条件を考えた。

- 理想機関は、(完全にもとに戻ることができる)可逆サイクルであるはずだ。
- (効率がもっとも良い)等温過程を利用するはずだ。

熱サイクル(⇒64ページ)で説明したように、このような装置は、高温熱源 H と低温熱源 L の2つの熱浴が必要で、熱効率 η は、両者の温度差によって

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (11)$$

となることが示された。すなわち、

法則 熱力学の第2法則

熱効率が100%の熱機関は実現できない。

永久機関
(perpetuum mobile)

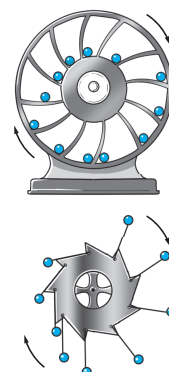


図20: ずっと回転し続ける永久機関の案。



図21: カルノー
Nicolas Léonard Sadi
Carnot(1796–1832)

熱力学の第2法則 (The
2nd law of thermody-
namics)

問題と研究

問5.7 図20に示す永久機関はなぜ永久に動かないのか。

問5.8 暑かったので、冷蔵庫を開け放して部屋を冷やそうと考えた。1時間後、部屋の温度はどうなるか。
(a) 上がる。(b) 下がる。(c) 変わらない。

■エントロピー

熱機関は、高温と低温の2つの熱源を必要とする。熱には必ず流れが必要なのがわかってきた。このことを定量的に示したのが、クラウジウスによるエントロピーである。

$$\text{エントロピー} \quad \Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\text{加熱量}}{\text{温度}} \quad (12)$$

として計算される量で、熱の流れを示し、必ず増大してゆく。

エントロピーは分子や原子の運動の乱雑さと結びついた量である。コーヒーに注いだミルクは拡散していくだけで、再び集まることはない。ブレーキを踏んで発生した熱エネルギーを集めて再び運動エネルギーに変えることはできない。ほとんどすべての物理現象には、摩擦・粘性・拡散などの不可逆な作用が存在するので、エントロピーは増大する。

熱力学第2法則には以下のようなさまざまな表現が存在するが、いずれも同じ内容である。

- 仕事が熱に変わる現象は不可逆である。
- 高温物体から低温物体への熱の流れは不可逆現象である。
- エントロピーは増大する。
- 第2種永久機関を作ることはいできない。

エントロピー (entropy)

Rudolf Julius Emmanuel Clausius
(1822–88)

可逆変化
(reversible process)
不可逆変化
(irreversible process)

ニュートンの物理法則は時間反転に対して不変なのに、物理現象の進む方向は決まってしまう。このことを「時間の矢」と呼ぶ。

コラム

コラム 13 (水飲み鳥は永久機関か?)

コップに入れた水をときどき飲みながら、何時間も振動を続ける「水飲み鳥」の玩具を見たことがあるだろうか。何もエネルギーを供給せずに動き続けるので永久機関と考えてしまいそうだ。実際に鳥は水を飲んでいるわけではなく、水で頭を冷やす一種の熱機関である。サイクルは次のようになっている。

1. 頭部から水が蒸発し、蒸発熱により頭部の温度が下がる
2. 頭部のジクロロメタン蒸気が凝集し気圧が下がる
3. 気圧差により胴体から頭部へ管内の液面が上昇する
4. 液体が頭部に流れ込むことで重心が上がり、前方へ傾く
5. 傾いて胴体部の空気が管内を頭部へ移動できるようになる
6. 鳥はこの瞬間に頭部を水に浸し、頭部と胴体の気圧が平衡になる
7. 液体が胴体へ戻り、重心が下がって、元の直立状態に戻る

したがって、運動のエネルギー源は、頭部から水が蒸発することであり、周囲の環境が熱源である。



図 22: 水飲み鳥

コラム 14 (エコロジカルに暮らすには)

もともと生物学の生態学という意味だった ecology という言葉は、最近では自然環境と人間が共存してゆく思想を表す言葉としても使われる。大量にエネルギーを消費し、自然環境を破壊するような暮らしを続けていけば人類の未来はない。できるだけエコロジカルな生活を行い、持続可能な (sustainable) 未来社会を築いていこう。

各国の経済活動の規模を土地や海洋の表面積に換算するエコロジカル・フットプリント (ecological footprint) を計算すると、日本人は一人あたり 4.3 ha になり、世界的な割り当て値 1.8 ha を大きく上回るという。日本人のような生活を世界中の人々が始めたら、地球が 2.4 個必要になる計算だ。

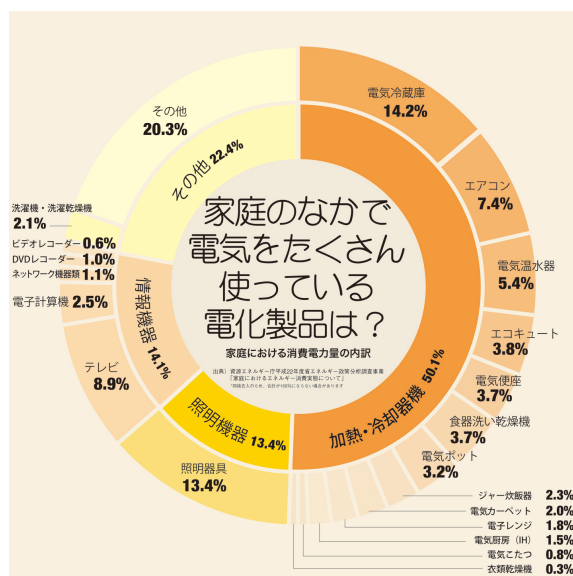


図 23: 家庭における消費電力量の内訳 (JCCCA) [平成 22 年度]

エコロジカルに暮らすためには、一人一人がエネルギー消費をできる限り控えることが求められる。電気・ガス・ガソリンなどの節約を行い、無駄な廃棄物を減らす生活の実践だ。

全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA) によれば、各家庭での消費電力量の内訳は、冷蔵庫・エアコン・給湯器などの加熱・冷却装置で 50% を超えている (左図)。節電のためにも節約のためにも、

- 冷暖房の温度設定に気をつける
- 必要なときにだけ、電気を使う

などの工夫が考えられる。

古い製品を使い続けるよりは、新製品の方が節電になる場合がある。また、最近の電気製品は、使用していないときでも待機電力を消費するものが増えている。必要がないときには、コンセントからプラグを抜いておくことで節電になる。

ガスやガソリンの使用量を減らす方法も一度調べてみるのもよいだろう。

化石燃料の使用と地球温暖化が関連している、という指摘もある (直接の因果関係があるかどうかは異論があるが、相関があるのは事実である)。東日本大震災で原子力発電の安全神話が崩れたいま、原子力発電に代わる発電方法、そして熱機関に頼らないエネルギーの供給方法が、最近注目されている。自然エネルギーあるいは再生可能エネルギーとされるものには、発電・熱の直接利用・燃料化の 3 つの用途があるが、発電に関しては、太陽光発電・風力発電・バイオマス発電・地熱発電・水力発電の 5 つが柱となっている。それぞれの利点・欠点などを調べてみよう。