

生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

第8回 2024/11/11

第4章 熱 (2)

真貝 寿明
Hisaaki Shinkai



<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/mukogawa>

11月12日(火)未明 おうし座北流星群が極大

https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/13732_ph241112

2024年11月12日、おうし座北流星群の活動が極大となる。同時期に活動するおうし座南流星群と合わせて、11月中旬ごろに小規模な出現が見られる。

11月上旬から中旬にかけて、おうし座南・おうし座北流星群の活動が見られる。はっきりとした極大のない流星群だが、南群は11月5日ごろ、北群は11月12日ごろが極大とみられている。両群とも母天体は周期3.3年のエンケ彗星である。

2つの群を合計しても1時間あたり最大で5～10個ほどの小規模な流星群だが、火球の割合が高いため、明るいのを目にできるかもしれない。防寒の準備をして空を見上げてみよう。

天文年鑑による予想では**1時間5個**



今年は満月と重なって、条件が悪い, しし座流星群.

しし座流星群は、母天体であるテンペル・タットル彗星の公転軌道と地球の軌道が近づいている辺りを毎年この時期に地球が通過する際に、彗星が残した塵が地球の大気と衝突し、上空100km前後で発光して見える現象である。1999年や2001年の大出現が有名だが例年の出現数は少ない。次に大規模な出現が見られるのは2030年代と予想されている。

天文年鑑による予想では**1時間15個**



前回のミニッツペーパーから

3. 流体 》 3.3 流体の動き

教科書 p102

3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか

法則 ヘルヌーイの定理

流体の粘性が少なくて流れが定常的な場合、その流れに沿って「単位体積あたりの運動エネルギーと圧力の和」は一定に保たれる。

これはエネルギー保存則の一種だが、数式で示すと次のようになる。

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{一定} \quad (3.5)$$

この式は、流速 v が大きいと流体からの圧力 P が小さくなり、流速が小さいと圧力が大きくなることを示している。

• 速い風
• 低い圧力

揚力

抗力

A

空気の流れ

B

• 遅い風
• 高い圧力

Daniel Bernoulli
(1700-1782)





33

飛行機が飛ぶ仕組みについて知ることができました。

飛行機が飛ぶ理由を飛行機に乗る度に疑問に思っていたので、前より少し理解することができてよかった。



今日の水が移動力する
おまやが おまろやうていどす!

EPR論争の決着へ

量子もつれ (quantum entanglement)

QUANTUM MECHANICS

1

2

Alice

Bob

+

-

+

-

たとえ遠方でも量子状態は絡み合っている。
= 量子もつれ

瞬間移動について聞いて よかったです。
人間も原子でできている。原子は素粒子でできている (ふい?) ので
移動はさせることが できそうだと思います。ぐんぐんにむりえうたいせじ。

いえ、ミクロの世界とマクロの世界では法則が違うので
人間は瞬間移動できません

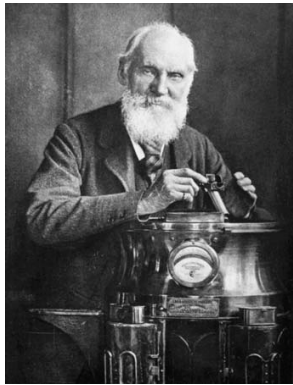
前回のミニッツペーパーから

温度の正体は分子の運動で、 -273°C が分子の運動が完全に止まる
温度と紹介されましたが、それ以下の温度になるとはできないのですか？
また、もしそれ以下の温度になるとしたら、分子がどのような
動きをするのか知りたいです。

マイナス273.15度で、分子運動が止まるので、
エネルギーがゼロとなり、それ以下の温度はありません。
現在、ナノK(10^{-9}K)まで冷やす技術があり、そこで
すべての粒子が同じようにふるまう様子(ボーズ・
アインシュタイン凝縮体)が観察されています。

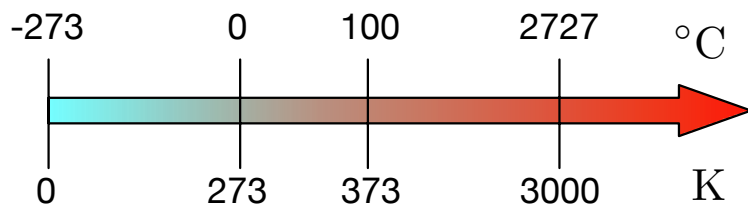
4. 熱と気体 熱エネルギー 教科書 p110

4.1 温度は何で決まるのか



Lord Kelvin
(1824–1907)

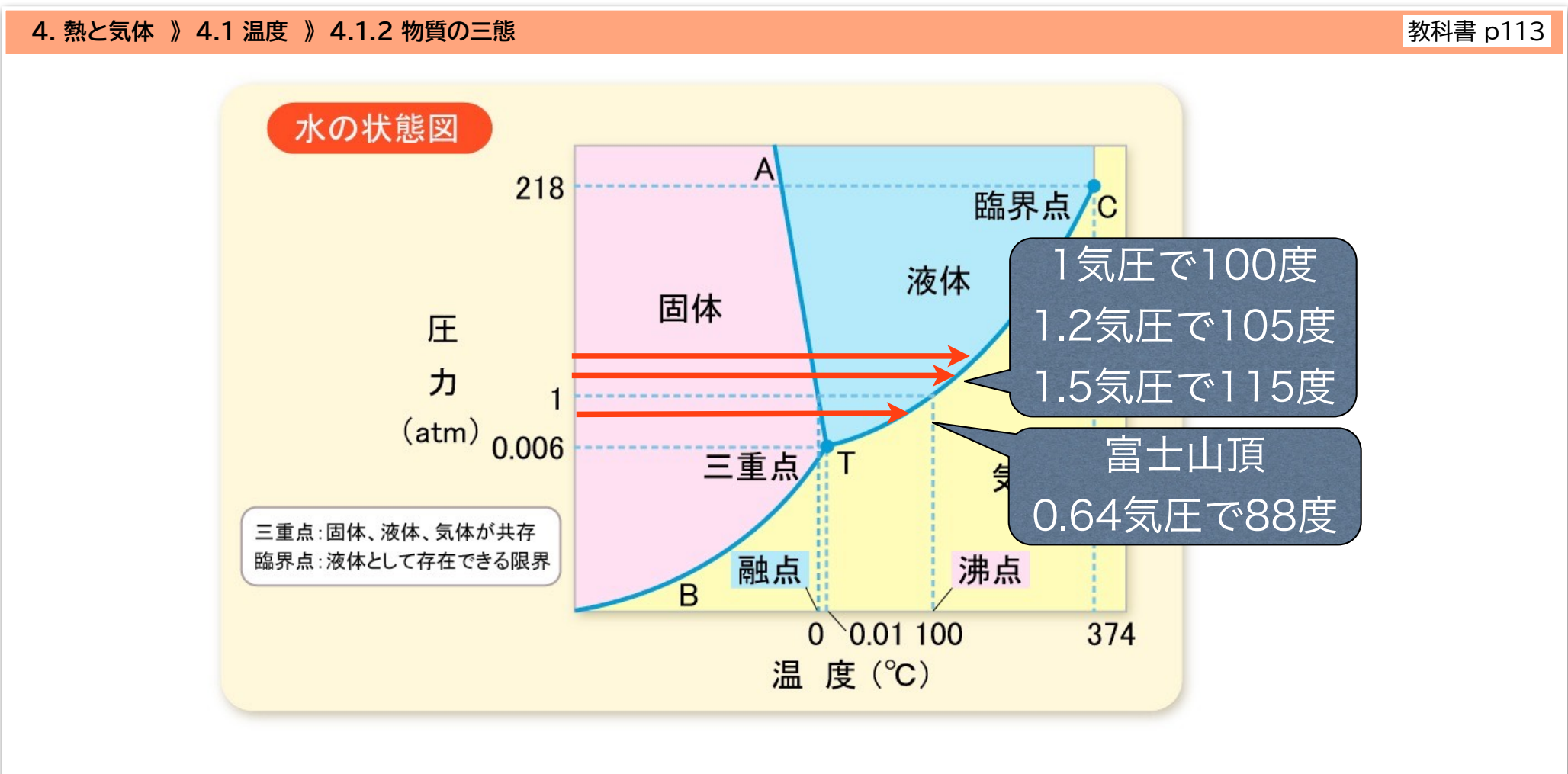
定義 絶対温度
温度は、日常では摂氏温度 $t[^{\circ}\text{C}]$ だが、物理法則では絶対温度 $T[\text{K}]$ (ケルビン) を使う。両者の関係は、次の式のようになる。
$$\text{絶対温度 } T[\text{K}] = \text{摂氏温度 } t[^{\circ}\text{C}] + 273.15 \quad (4.1)$$



43

気圧が"高いほど" 沸点が"上がる"ことが分かった。

よかった、よかった。



タッチパネルのしくみ

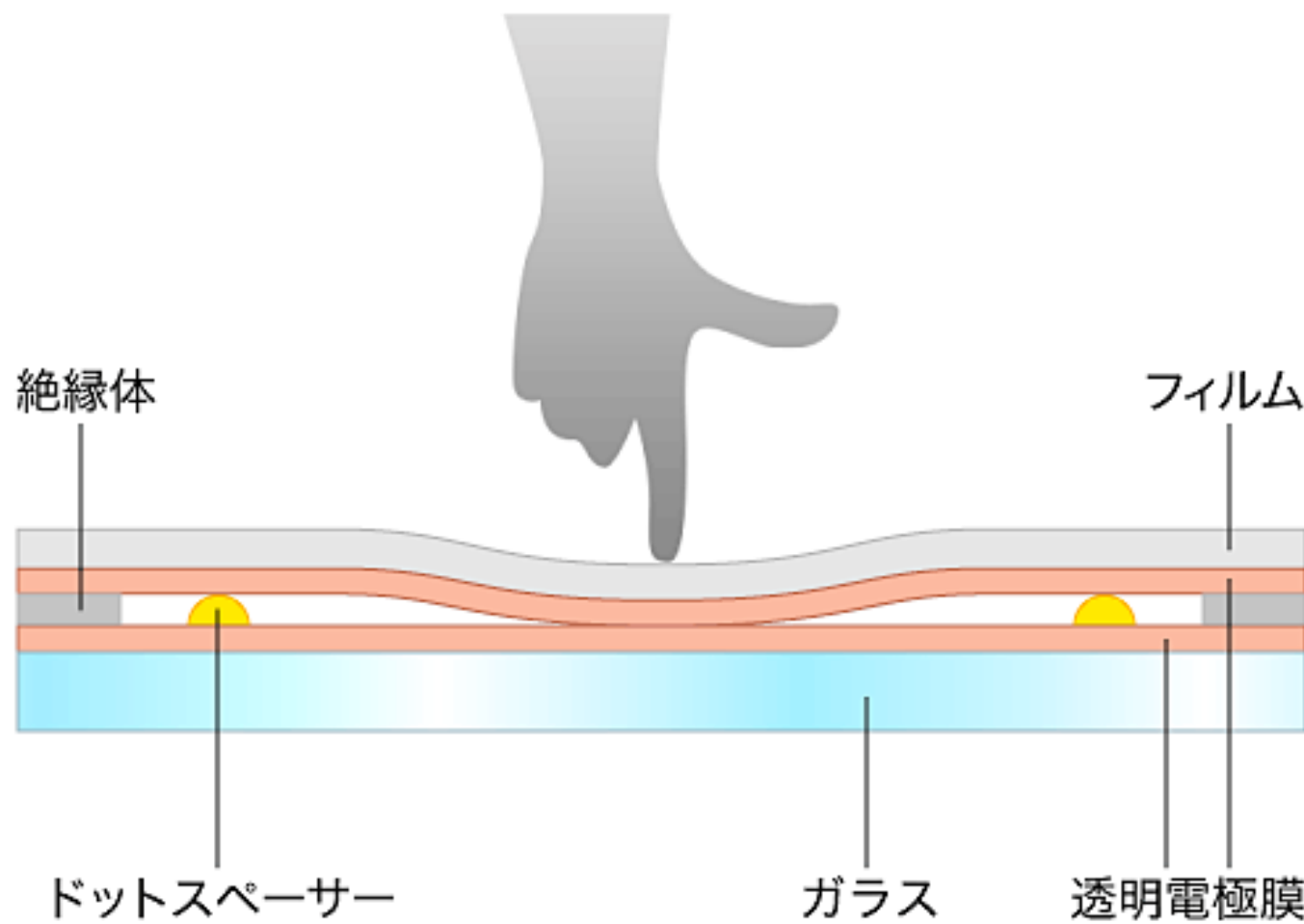
<http://www.itmedia.co.jp/pcuser/articles/1009/27/news004.html>

スマホはどうして触って操作ができるのか。

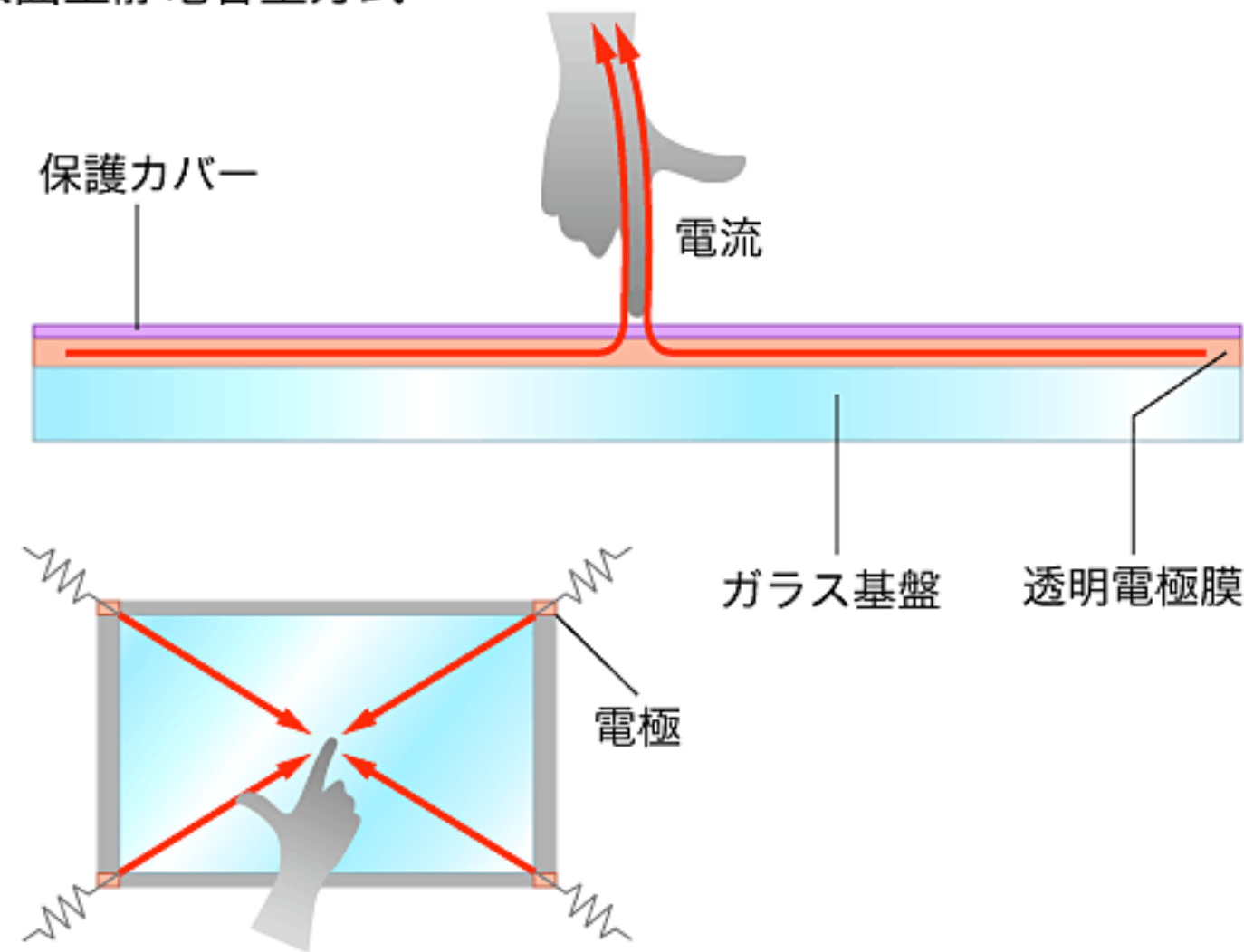
人間はわずかの電流を通します。

最近のタッチパネルはどこに触れたかの感知ができる装置です。

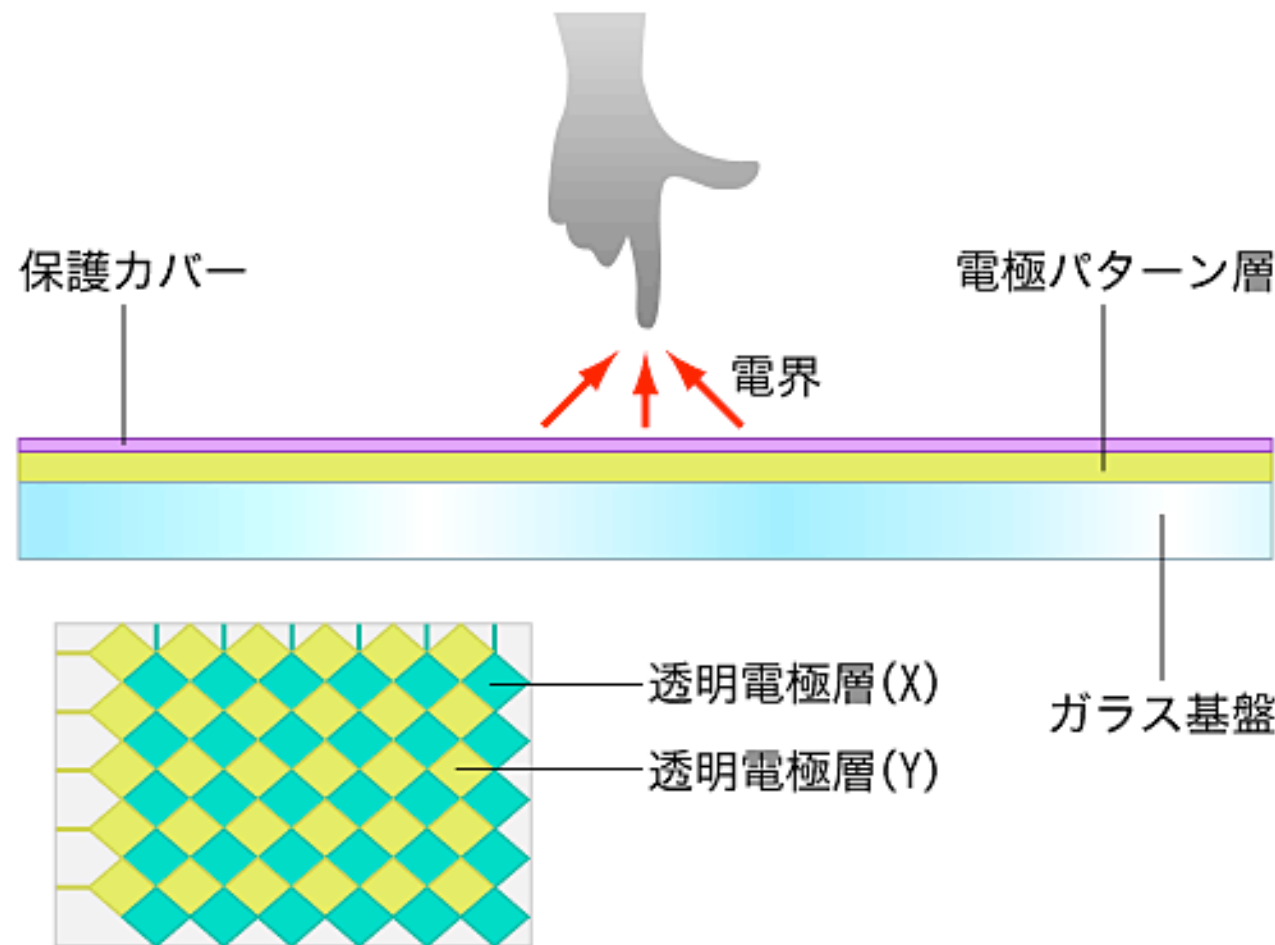
抵抗膜方式



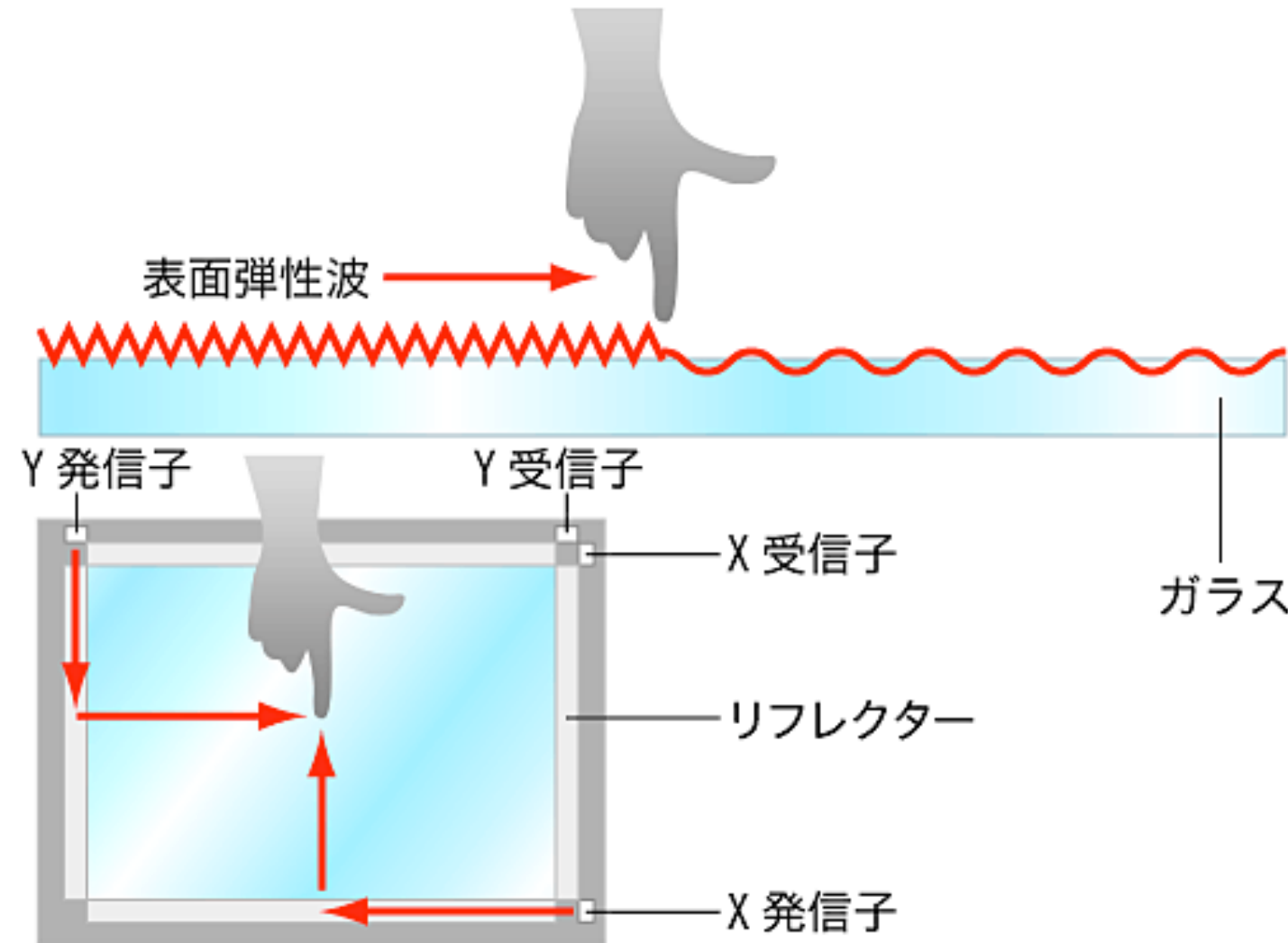
表面型静電容量方式



投影型静電容量方式



超音波表面弾性波(SAW)方式



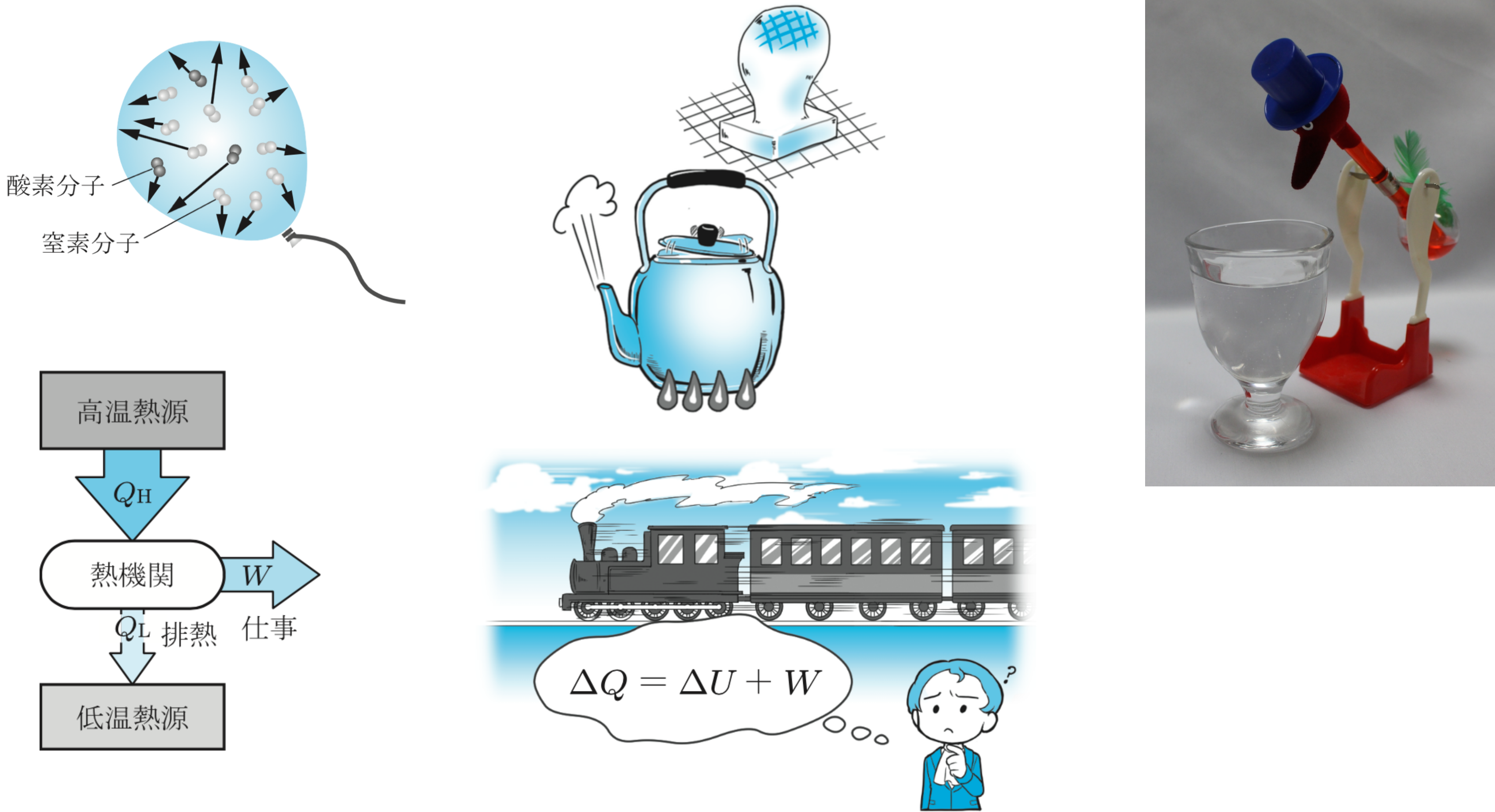
前回のミニッツペーパーから

冷たい水を入れた時と、温かいお湯を入れた時と
出る音の高さが違う理由。



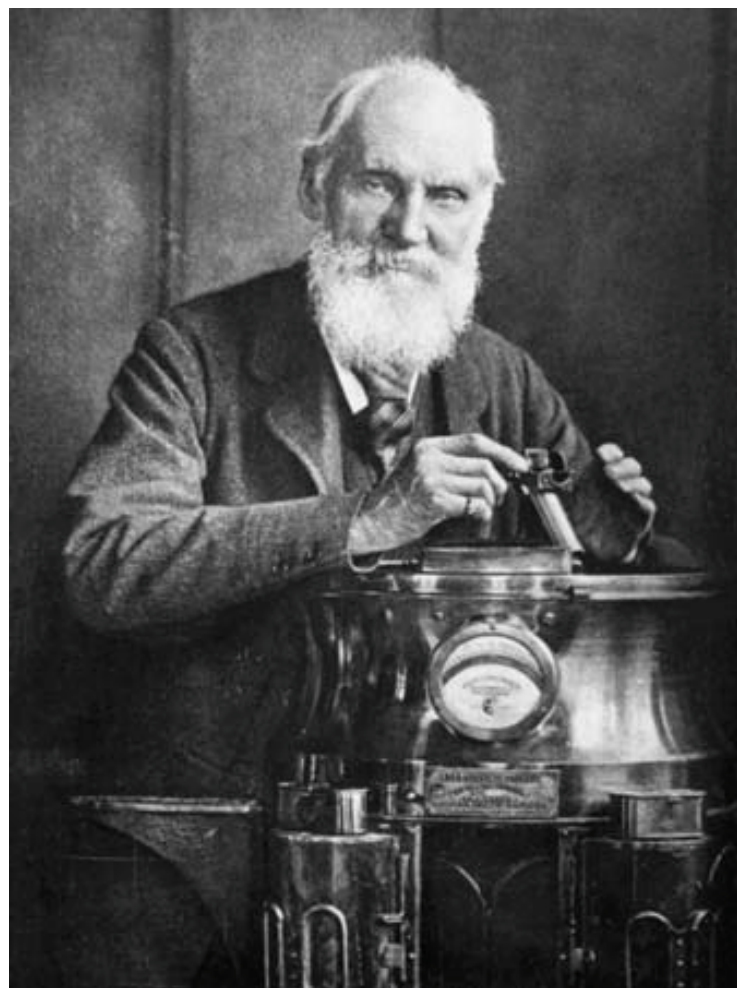
https://www.youtube.com/watch?v=Ri_4dDvcZeM

温度が上がると分子の振動が激しくなり、分子同士の間隔が広がって分子間力が弱まるので、一般に液体の粘度は高温になるほど小さくなる。



●第4章 熱と気体—熱エネルギー—	109
4.1 温度は何で決まるのか—目にみえないが感じられる分子運動	110
4.2 気体の法則・熱力学の法則—エネルギーの移動とうまくつきあう	120
4.3 熱効率と不可逆変化—永久機関はなぜ不可能なのか	128

4.1 温度は何で決まるのか



Lord Kelvin
(1824–1907)

定義 絶対温度

温度は、日常では摂氏温度 $t [^{\circ}\text{C}]$ だが、物理法則では絶対温度 $T [\text{K}]$ (ケルビン) を使う. 両者の関係は、次の式のようになる.

$$\text{絶対温度 } T [\text{K}] = \text{摂氏温度 } t [^{\circ}\text{C}] + 273.15 \quad (4.1)$$

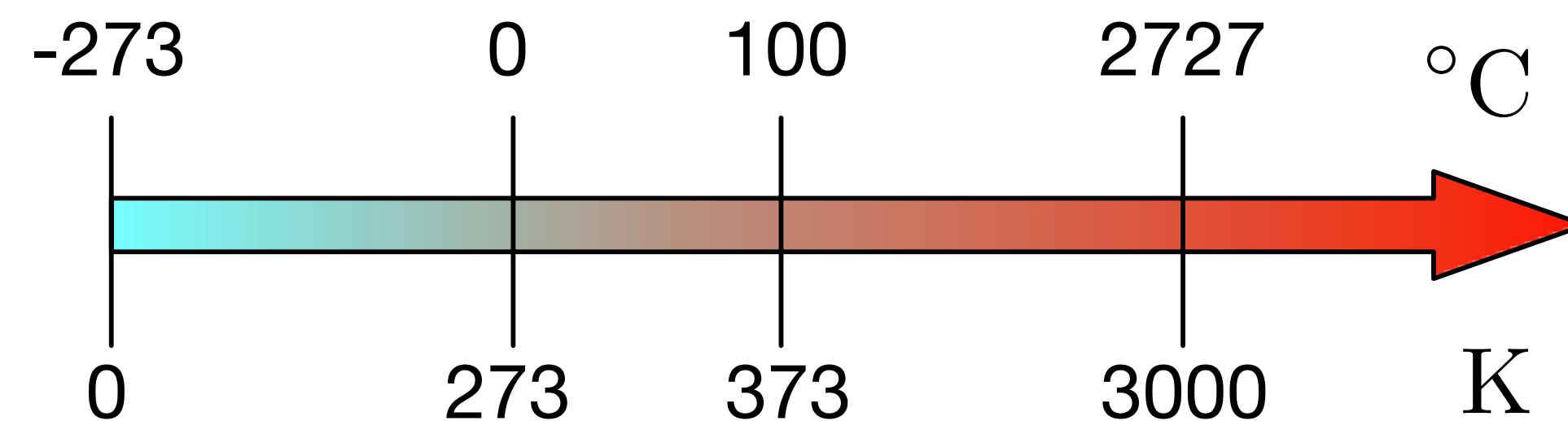
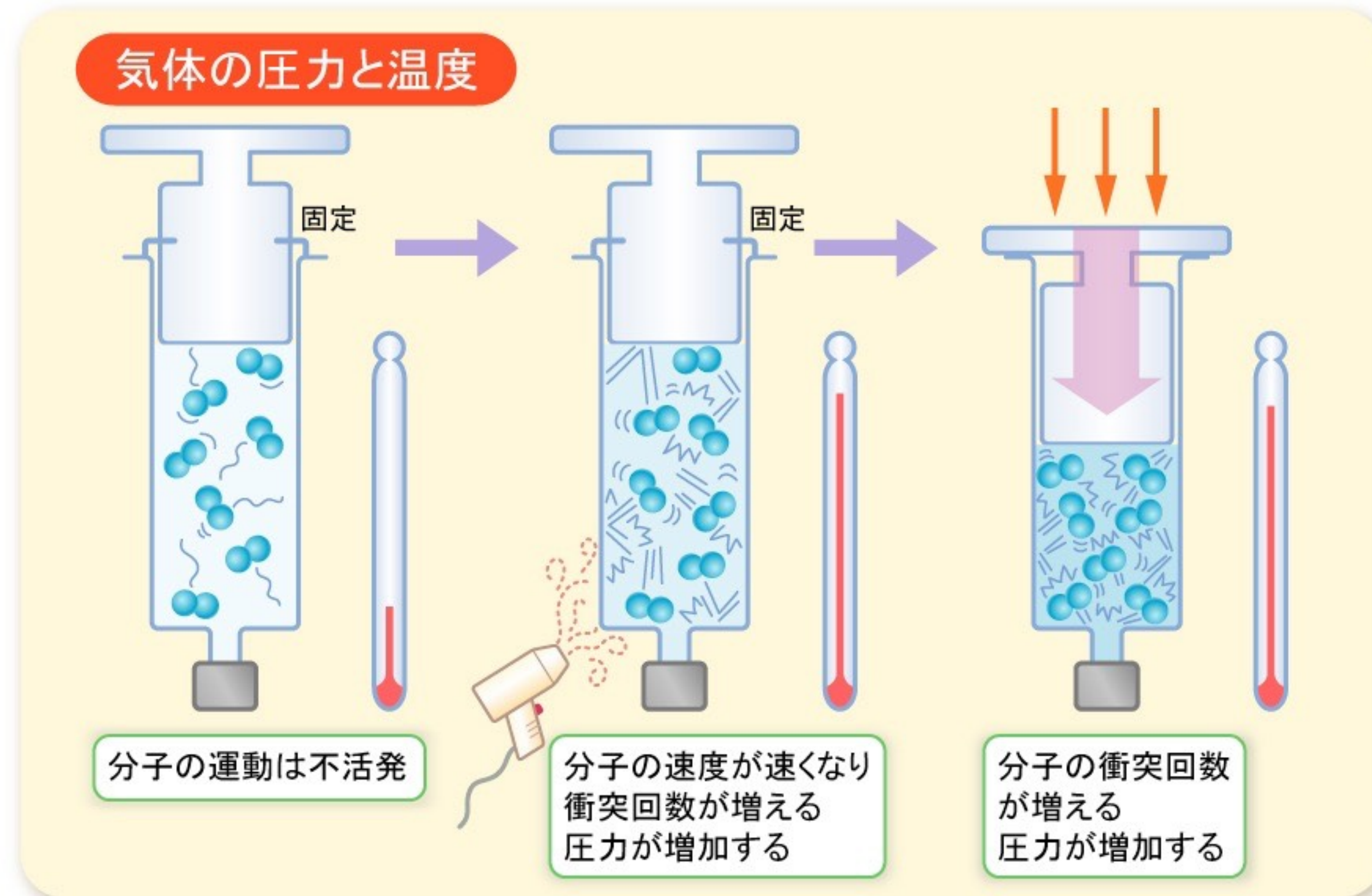


図 4.3 絶対温度は、分子の熱運動がゼロとなる最低温度を 0K としたものの $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{K}$ であり、 $100^{\circ}\text{C} = 373.15\text{K}$ である.

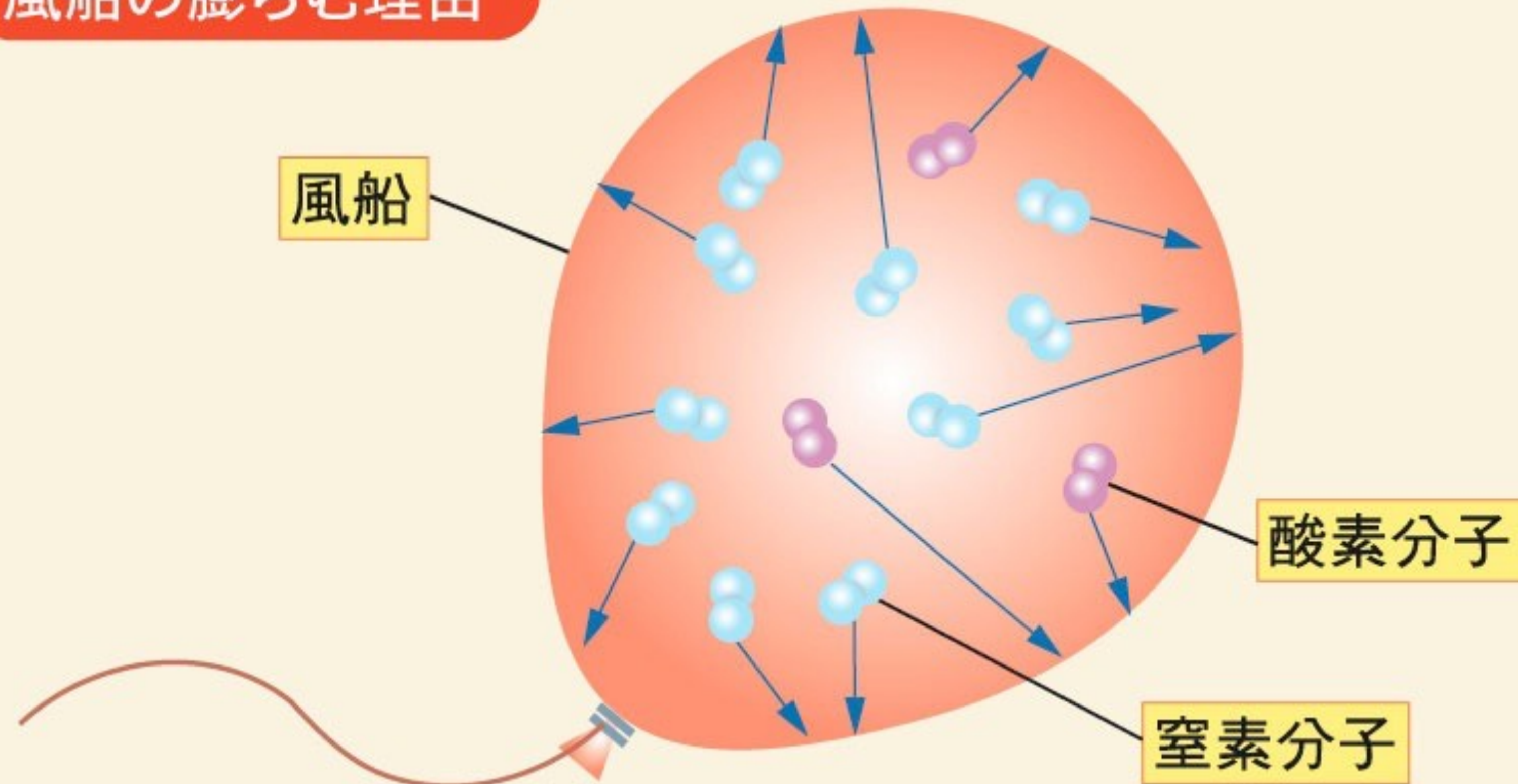
4.1 温度は何で決まるのか



温度 = 分子の運動の激しさ (= 運動エネルギー)

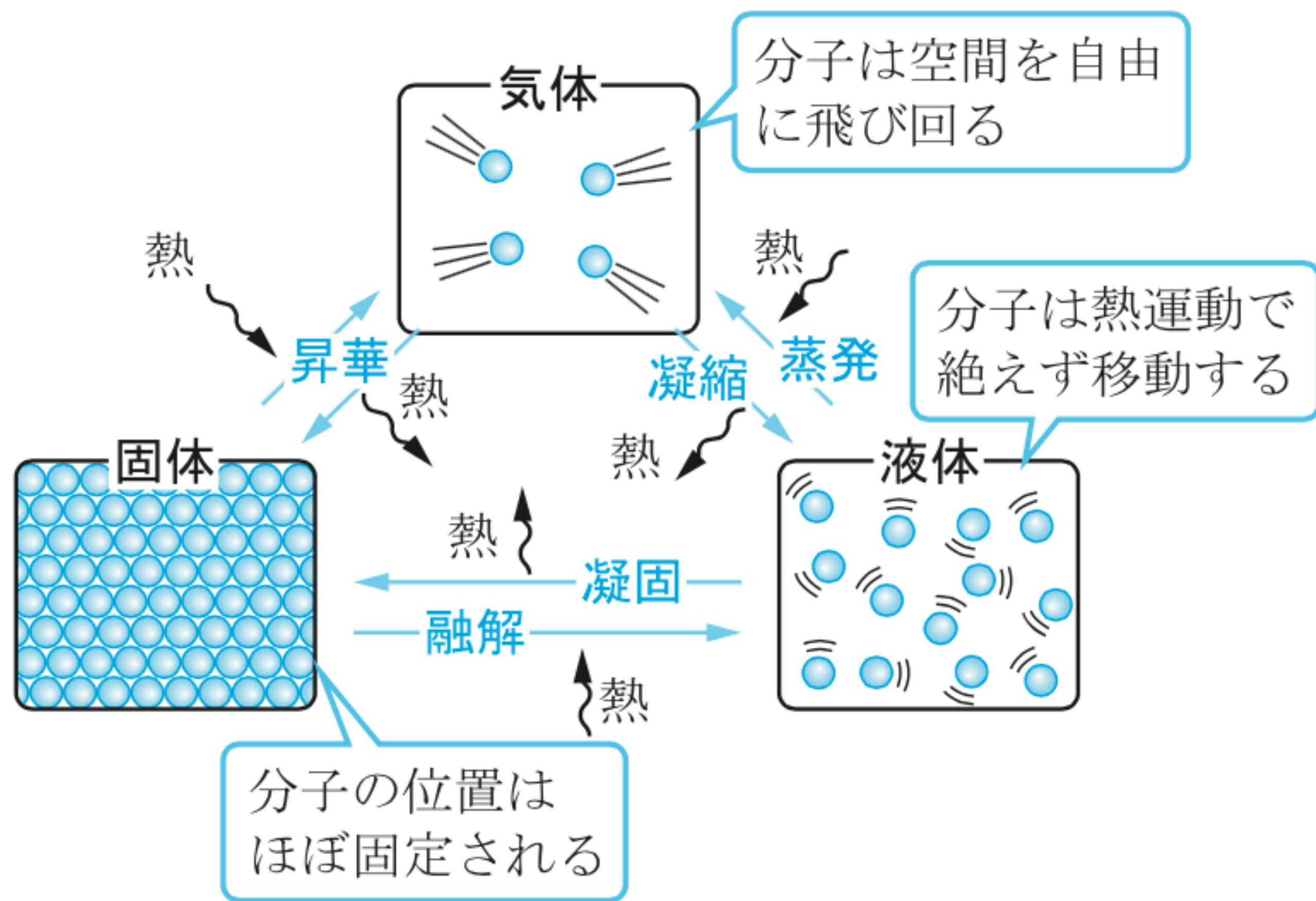
分子運動で説明できる

風船の膨らむ理由

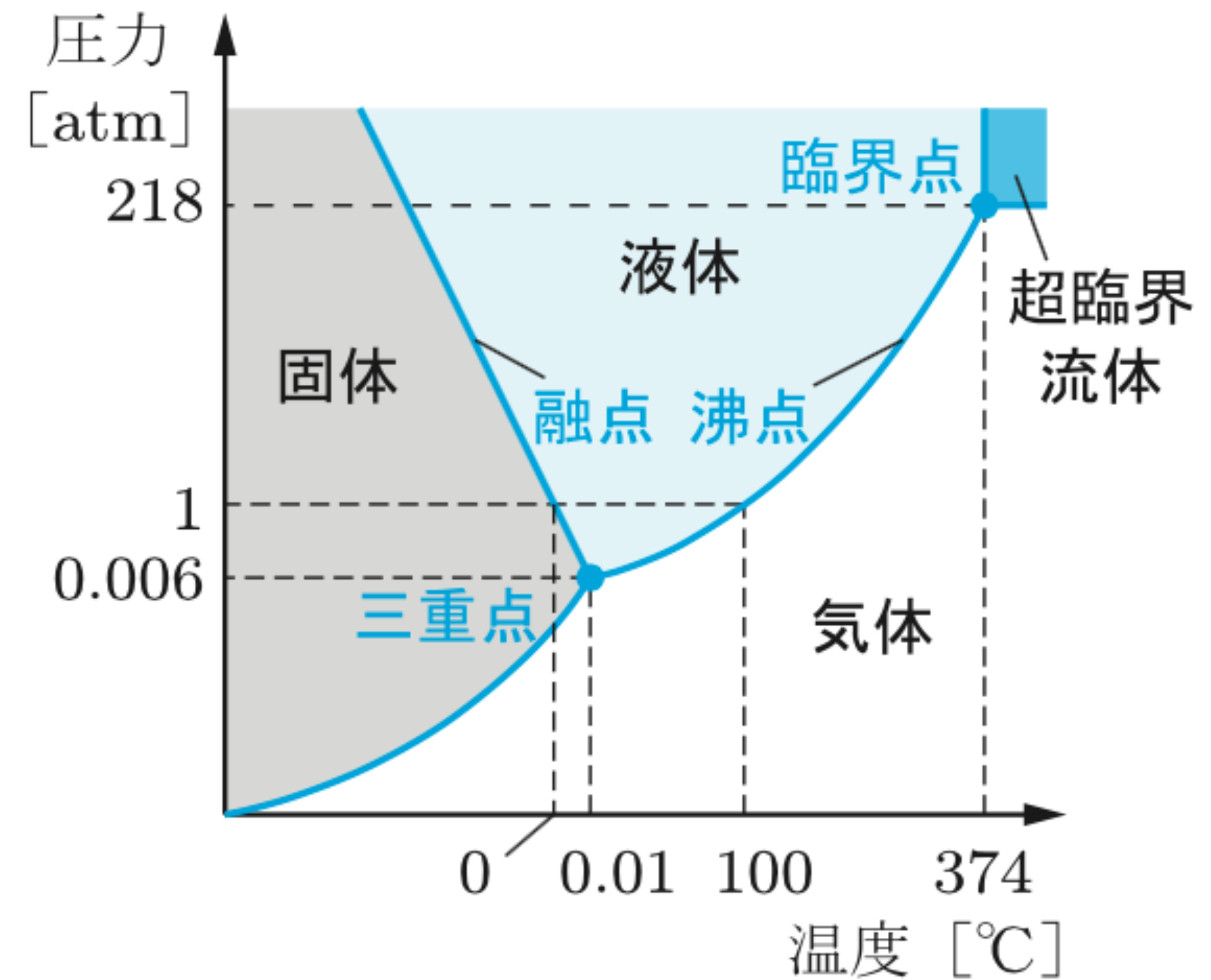


風船の中で気体分子が高速で飛行する
分子が風船内面にぶつかることで風船が膨らむ

物質の三態



(a) 物質の三態



(b) 水の状態図

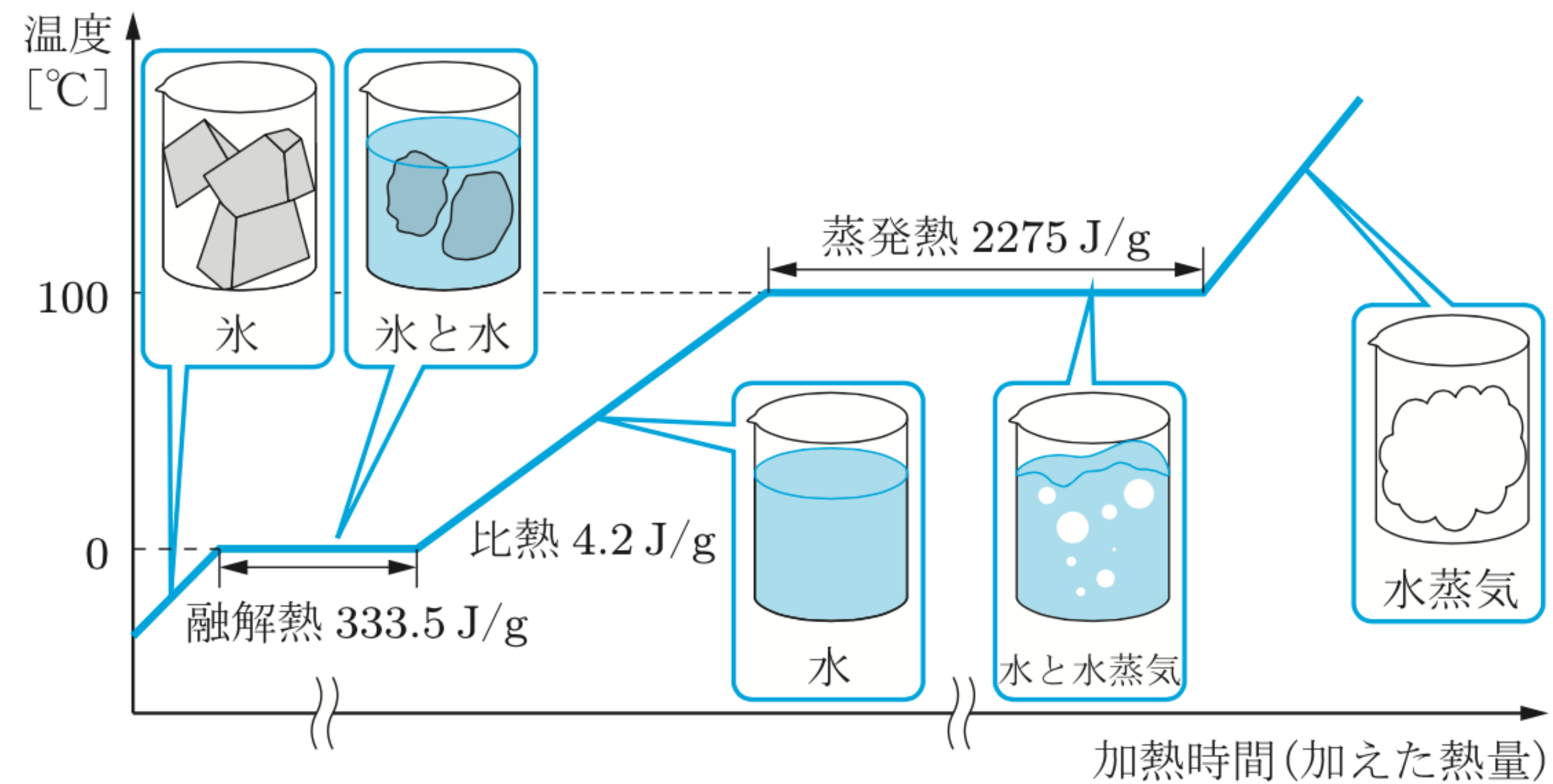
融解熱・気化熱(蒸発熱)

氷の融解熱

1 g あたり,
 $333.5 \text{ J/g} = 80 \text{ cal/g}$
 1 mol あたりでは,
 $6 \text{ kJ/mol} = 1440 \text{ cal/mol}$

水の蒸発熱

1 g あたり,
 $2257 \text{ J/g} = 540 \text{ cal/g}$
 1 mol あたりでは,
 $41 \text{ kJ/mol} = 9720 \text{ cal/mol}$



紙すき鍋は、なぜ燃えないのか？

沸騰している間は、100度。紙の発火点は450度。

火事で水をかけるのは？

100度に下がるから



前回のミニッツペーパーから

次の文の誤りを指摘せよ

「地球の温暖化で北極や南極の氷が融けると海水面が上昇する」

正解 北極の氷は融けても海水面は上昇しない。陸地のある南極の氷がとけた分は海水面を上昇させる。

この文の誤りは北極の氷が融けると海水面が上昇する。実際には北極の氷は海に浮かんでいるため、海水面には影響しない(氷が融けると体積が小さくなる)。南極の氷は陸地にあり、融けると海水面が上昇する。

北極は土地がなくて、海水面が上昇するほどの氷があるのは南極だけ

北極の氷がとけても水面は上がらない。
北極の氷は海に浮いていたものが海に溶けるだけだから。

「北極の氷がとけると海水面が上昇する」の間違い。
水の特徴とは、同じ質量でも液体は固体の体積が小さい。というものが、とけた分はとける前の体積より小さい。特
影響はないと考え。

残念

惜しい

氷が溶けると、海面は上昇にはならない。

海水面は上昇しない

(7-3) 海水面が上昇する。
液体中の物体が受ける浮力は、その物体の重さと同じ大きさである。

「海水面が上昇する」という点が誤り。

氷は水よりも体積があり、氷が溶けても元の水位に戻るだけで、海面上昇にはならない。

地球の温暖化で北極や南極の氷が融けると海水面は下降する。

北極の氷がとけても海水面は上がらない。→海に浮かんでいる氷がとけるから。

「氷がとけると海水面が上昇する」が誤り。
氷が浮いている状態と、その氷が溶けた状態では、海水面は変わらないから。

北極の氷は海水であり、海の上に浮かんでいる氷であるため、浮いている氷がとけても海水面は上昇しない。

地球の温暖化で、南極の氷がとけると、海面が上昇する。

北極が 違う。

北極では海面上昇しない

地球の温暖化で南極の氷が融けると海水面が上昇する。

地球の温暖化で南極の氷がとけると海水面が上昇する。
上昇しない
浮いていたものがとれるから

逆

南極は土地なので、氷がとけても、海水面は上昇しないのでは...?

誤答

北極の氷はとけない。

上昇ではなく膨張する。

前回のミニッツペーパーから

次の文の誤りを指摘せよ

「地球の温暖化で北極や南極の氷が融けると海水面が上昇する」

正解

北極の氷は融けても海水面は上昇しない。 陸地のある南極の氷がとけた分は海水面を上昇させる。

北極の氷が融けても上昇しない。

北極の氷が溶けて海水面が上昇。

残念

「地球の温暖化で北極や南極の氷が溶けると海水面が上昇する」と膨張する？
→ 物と一緒に水もあつて膨張する？

地球の温暖化で海水が膨張し、海面が上昇する。

惜しい

氷が溶けても元の水位に戻すだけなので海面上昇にはつながらない。
→ 氷は氷の時よりも体積が膨張してその結果密度が軽くなり、浮力が生じる。

北極、南極の氷が融けても、海水面は変わらない？ 影響がない

南極の氷が融けても海水面に影響しない(?)

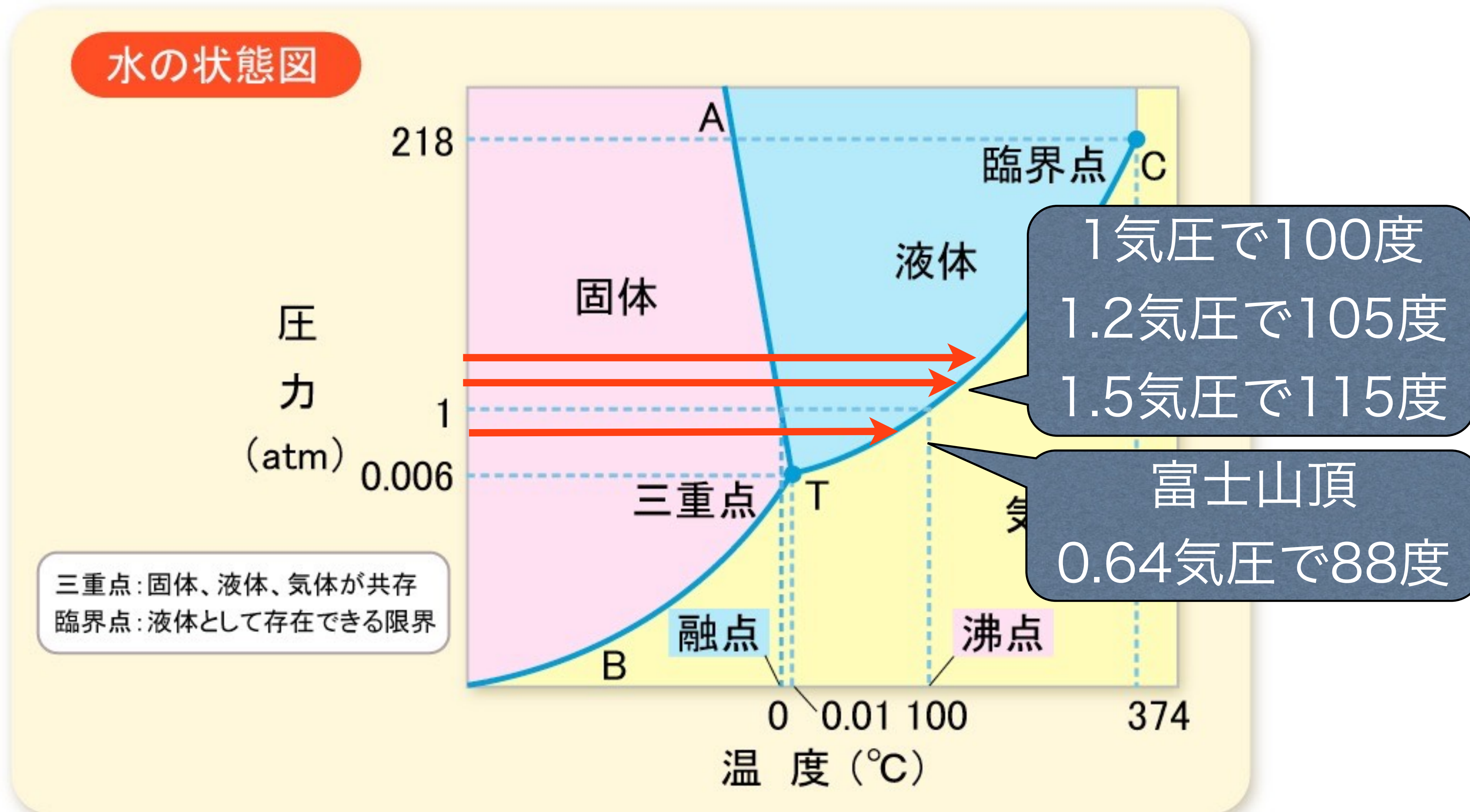
逆

「地球の温暖化で北極の氷が融けると海水面が上昇する」

北極は大陸がなく、氷山のあつたイメージがあるため、融けた分の影響が大きいと考え

上昇 → 変わらない

氷が融ける分と同じ量の海水が蒸発するため、水面は変わらない。



Topic 湖が凍っても魚が生きられる理由

水は、分子構造上、温度 4°C のときに最も体積が小さくなる。つまり、 4°C の水の比重が一番重い。冬に外気の影響で湖が凍っても、湖底には 4°C の水が存在する。厳寒地の魚は 4°C で生き延びられるように進化しているのだ。

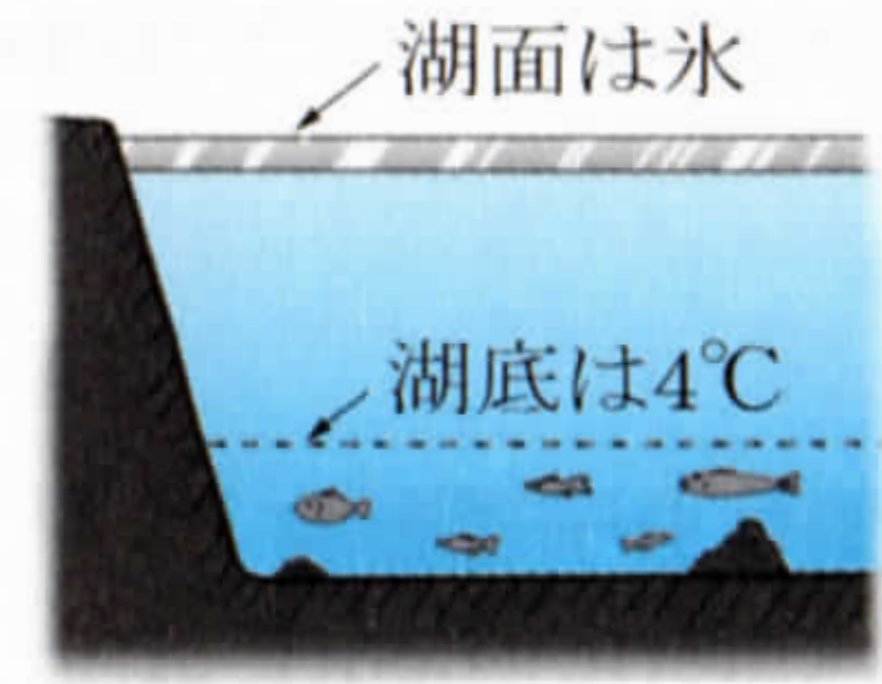


図 4.7 4°C に耐えられれば越冬できる

Topic 過冷却と樹氷

水が凍ったり、沸騰したりするきっかけは、不純物の混入による。精製水をゆっくりと -5°C の冷蔵庫で凍らせようとしても、液体のまま（過冷却状態）であり、外気に触れた瞬間に凍りつくことになる。雪国などでみられる樹氷は、過冷却状態の水滴が木にぶつかって、一瞬で凍ることが一つの理由だという。



図 4.8 ぶつかると凍る過冷却の風

過冷却現象

冷蔵庫にいていたペットボトルの水を出すと、一瞬で凍った。

= 過冷却現象



Topic 過冷却と樹氷

水が凍ったり，沸騰したりするきっかけは，不純物の混入による．精製水をゆっくりと -5°C の冷蔵庫で凍らせようとしても，液体のまま（過冷却状態）であり，外気に触れた瞬間に凍りつくことになる．雪国などでみられる樹氷は，過冷却状態の水滴が木にぶつかって，一瞬で凍ることが一つの理由だという．



図 4.8 ぶつかると凍る過冷却の風

2021/11/13 大普賢岳 (1787m)

前日の雪が霧氷となって木に残っていました。

昼過ぎにはなくなっていました。



熱量の保存

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，

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

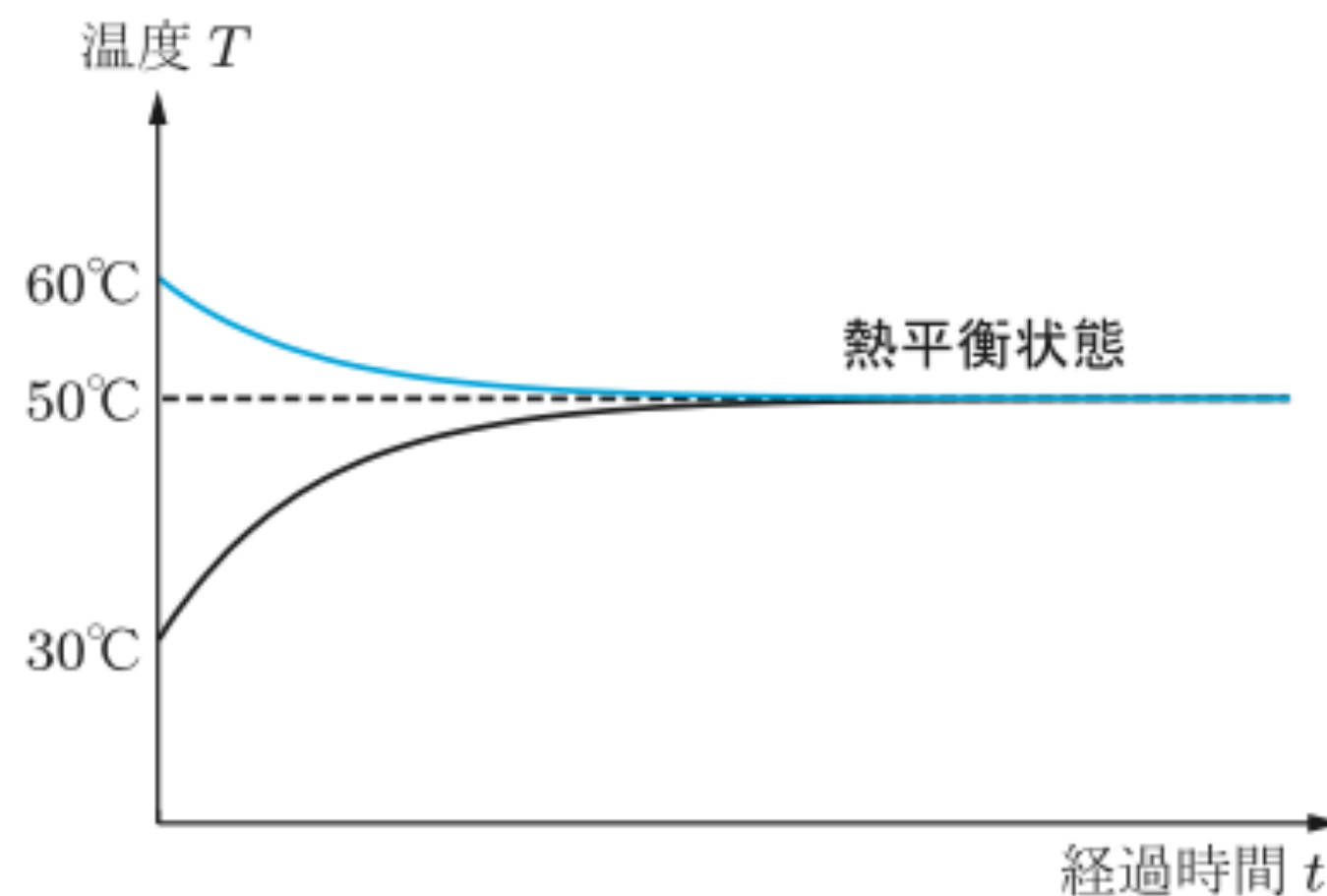
となる．

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．次の法則がある．

法則 熱力学の第 0 法則

物体 A と B が熱平衡，物体 B と C が熱平衡ならば，A と C も熱平衡にある．

熱平衡になる温度



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,

$$A \text{ が失う熱量} = m_A c_A (T_A - T_E) \quad (4.3)$$

$$B \text{ が得る熱量} = m_B c_B (T_E - T_B) \quad (4.4)$$

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

$$T_E = \frac{m_A c_A T_A + m_B c_B T_B}{m_A c_A + m_B c_B} \quad (4.5)$$

比熱と熱容量

比熱 (specific heat)

物質ごとに、温まり方は異なる.

表 4.1 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	4.2

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).

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, 比熱や熱容量の定義から, 次の式のようになる.

$$Q = m \ c \ \Delta T \qquad = C \ \Delta T \qquad (4.2)$$

熱量 = 質量 × 比熱 × 温度差 = 熱容量 × 温度差

コラム 23 鍋に適した金属は？

よく使われる 3 種類の鍋の利点・欠点は、次のようになる。

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。高温にしなくてもよい卵焼きなどは、熱伝導率がよ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。熱伝導は銅につぐよさがあり、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である。磁性がないため電磁調理器での調理もできない。

火の通りがよ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ほうがよい場合がある。そうであるならば、底に厚みのあるアルミ鍋、あるいは鉄の鍋を選ぶほうがよい。料理によって適する鍋は異なってくる。



熱の伝わり方：伝導・対流・放射

★伝導(conduction)

物質の内部で熱が伝わること.

鍋やフライパンを火にかける, 床暖房
金属スプーンがスープで熱くなる
使い捨てカイロ, アイロン, 余熱
風呂の湯が冷たい空気に接して冷める

★対流(convection)

気体や液体が移動することにより熱が伝わること.

湯が沸く, 味噌汁が回転する
風呂の温度が上下で違う
上昇気流／下降気流
冷房, 暖房

★放射(または輻射; radiation)

物体が電磁波の形でエネルギーを放出すること.

太陽光, トースター, こたつ
日焼けサロン, 白熱電球
ストーブやたき火, 石焼きイモ
サーモグラフィーの画像

前回のミニッツペーパーから

熱々のコーヒーを早く冷ます
には どうするのが一番良い
ですか??

息を吹きかける

コーヒーの表面に息を吹きかけ、対流を起こす方法が効率が良いと考える。
対流が起こることによって中が回ると、外気にふれて熱が逃げやすくなる。

コーヒーに冷風を当てる

水面に対して横に息を吹くときいてことがあります。
原理はわかりません。

▲質問者の自己回答

普通のおわんとかに入ってるお茶とかを冷ますときに長くお茶を冷ます方法

まぜる

熱が伝わりやすいコップに入れて入れる

コーヒーをまぜる。

混ぜる

高いところから流す（空気にふれさせる）

平たい容器に

コーヒーを今よりも広いコップ、熱をうけにくいコップ
に移してかきまぜる。その後にはふーとしてさます。
うたかえるとき、ふーとさすときに、対流を促進する。
さすのとさす人持つていくのも、伝導で良いのでは
ないかと考える。

広い器に移して、表面積を増やす
と放射が盛んになって熱が早く逃げる。

氷が溶けるお湯にうつす

どちらかに✓
浅い容器に移し、風を当てる
空気に触れる面積が増える
蒸発も促進されるため

平らな容器にうつす

ふーふーしてあげて
マドラーなどでかきまぜる

冷たいものに接触させる

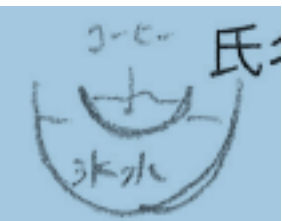
氷を入れる。×9L製のスプーンを入れて熱を取る。

アイスにかきまぜる。濃いめにコーヒーをいれて氷を入れる

熱伝導のよい金属容器に

熱伝導が大きい鉄（鉄のコップ）の中にチキンのお湯を入れて、
お湯につけていく。

金属のボールに入れてかきまぜる



鉄の容器に入れる。

熱伝導率の高いアルミなどのコップ 氏名
に入れる。混ぜる、何回もコップに移し替えることで、
コーヒーを空気に触れさせる。

金属の カップや 小さな容器に移す。

氷を溶かすお湯に氷のボールを入れて、
コーヒーを溶かすお湯、熱を逃がす。

コーヒーの熱を手などで奪う。
コーヒーの中の分子の運動をそれ以外のものに移す。

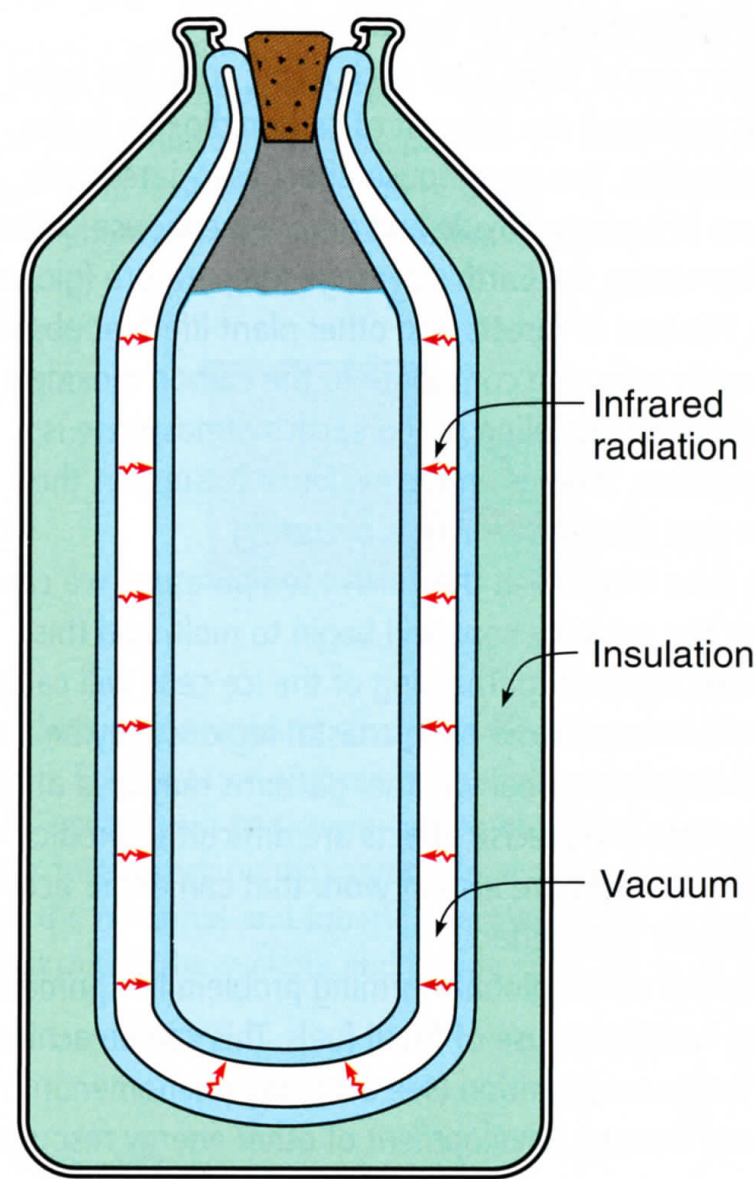
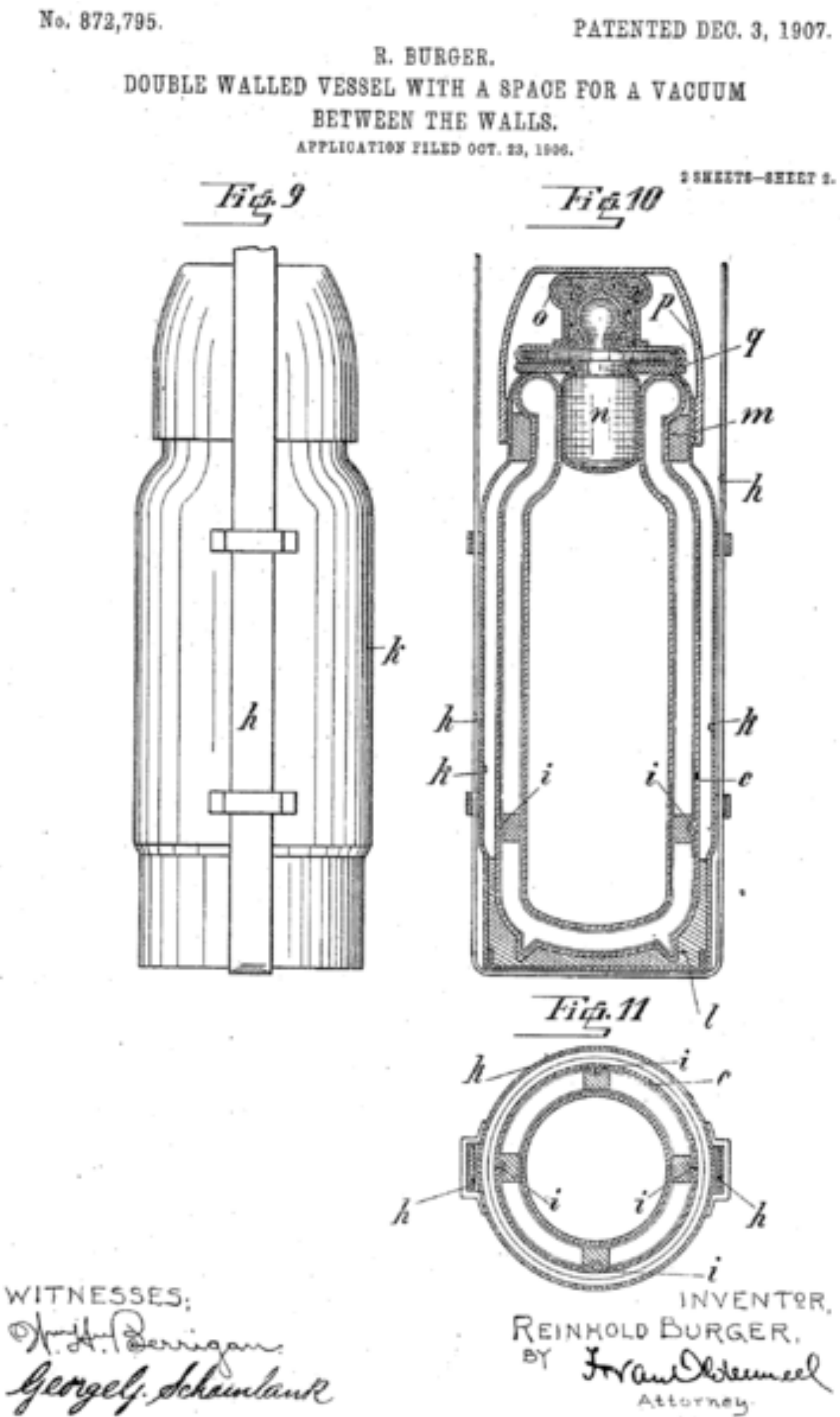
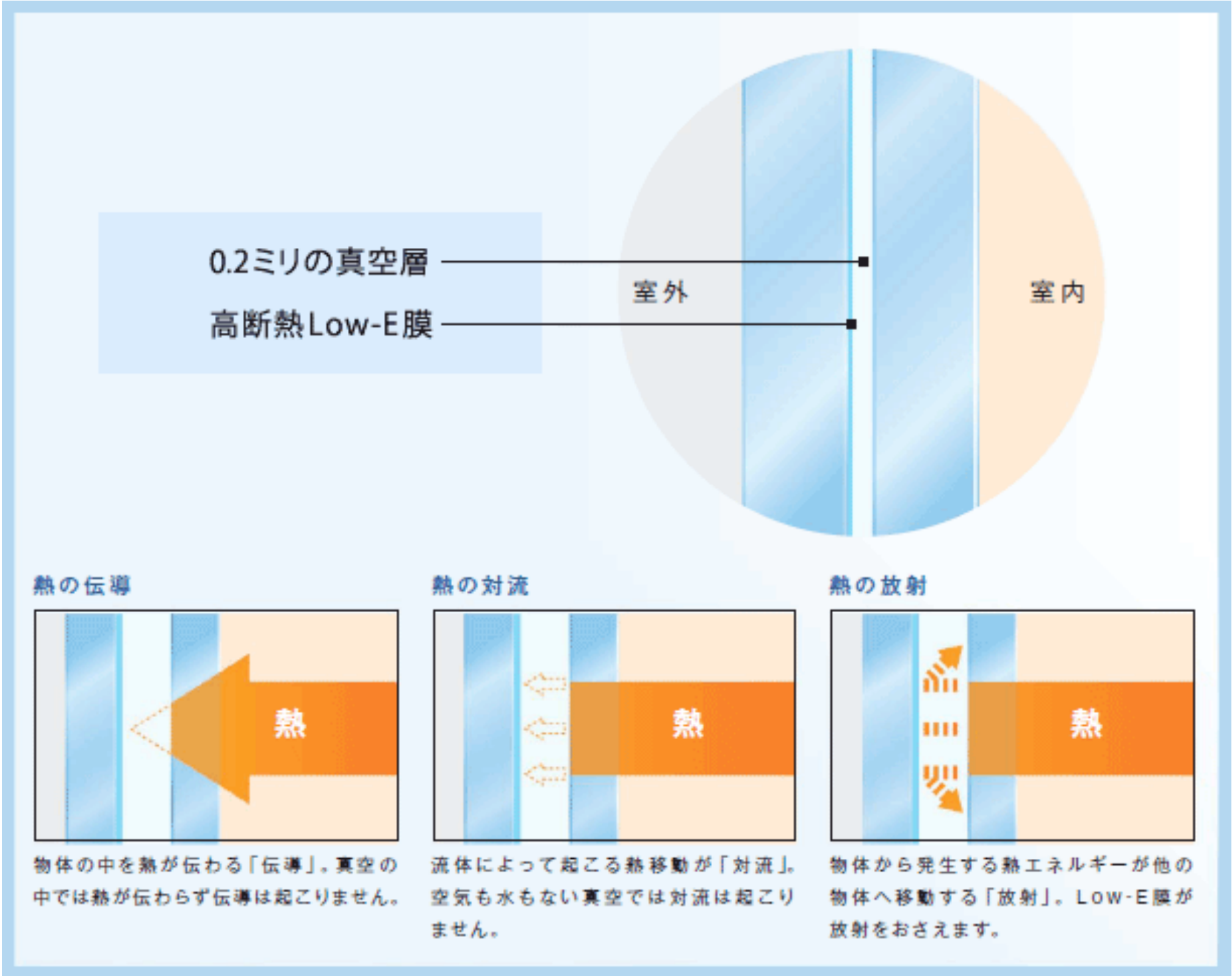


figure 10.21 Radiation is the only mechanism that can carry thermal energy across the evacuated space in a thermos bottle. Silvering the walls reduces the flow of radiation.

熱伝導を防ぐ
熱放射を防ぐ
保温に優れる



2枚のガラスの間には薄い空気（真空）層

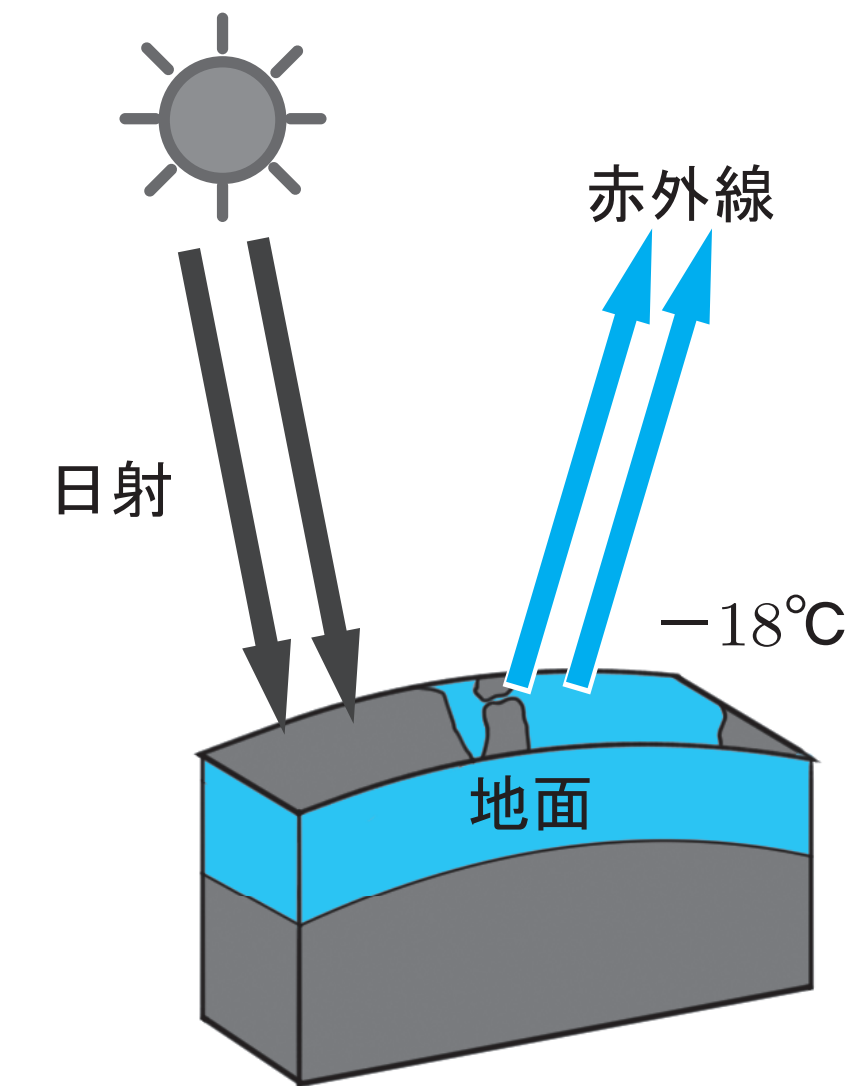


温室効果ガス

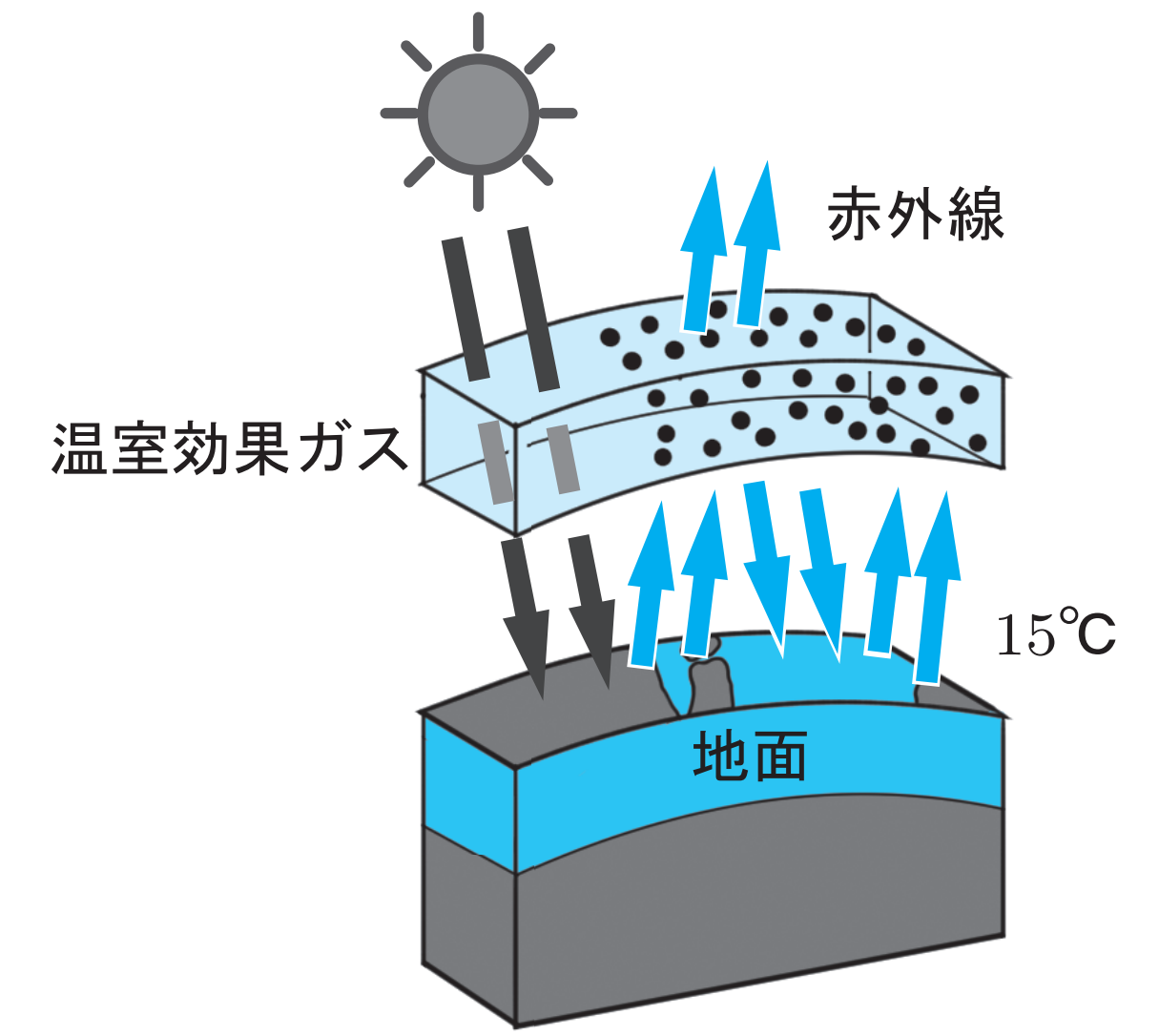
Topic 温室効果ガスの役割

太陽から地球に熱が届くのは、放射による。地面や海面が放射によって暖められ、それが空気や海水を暖める。そして空気や海水が対流を起こして、熱を地球全体に循環させる。もし、地球に空気や水がなかったら、太陽からの熱が当たる部分は灼熱の高温になり、日陰の部分は非常に低い温度になってしまうだろう。

地球の熱も宇宙空間に放射して逃げていく。幸い地球は、温室効果ガスに取り囲まれていて、ある程度の熱は保持される。もし、温室効果ガスがなければ、地表の温度は -18°C になってしまう。



(a) 温室効果ガスがない場合

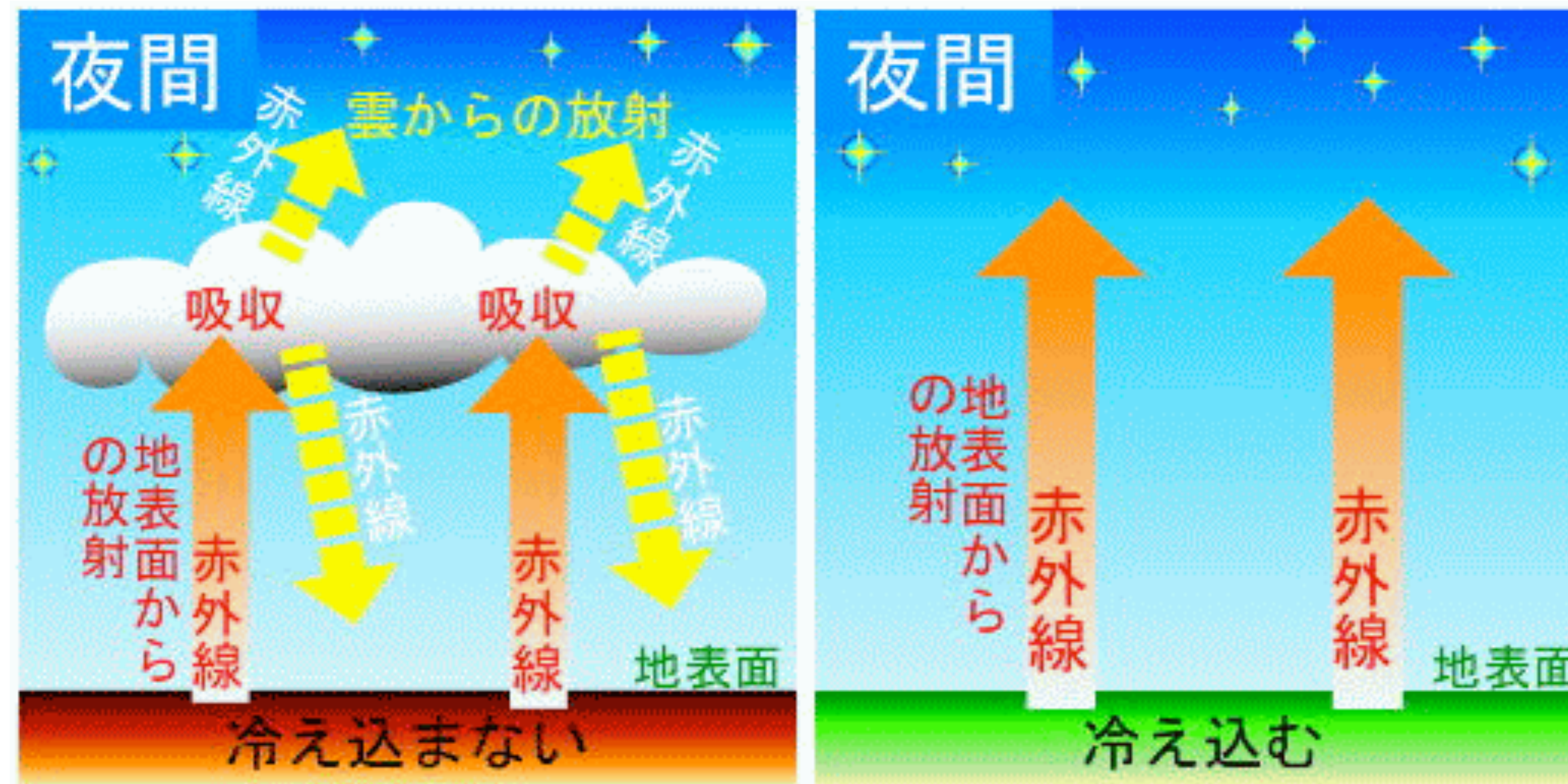


(b) 温室効果ガスがある場合

温室効果ガスがなければ、
地表の温度は、 -18 度

放射冷却

雲がないと夜明けは冷える



前回のミニツツペーパーから

雪だるまにセーターを着せる。融けるのは速くなるか、遅くなるか。

「速くなる」説 4名



速くなる 接している部分の温度が高くなりそうだから。着ることで
外部からの圧力が加わる

接する部分の温度が上がる
着ることで外部から圧力がかかる

速くなる。理由＝着せる時も風が吹いた時などに繊維と雪の間に摩擦が生じ、
熱が少しでも生まれると思うから。

風で摩擦が生じる

速くなる。理由は、セーターを着ることによって体が温められるように、
雪だるまも温められて雪が溶けるのが速くなってしまふから。

あたためられる

雪の温度が上がリ速くなる

前回のミニッツペーパーから

雪だるまにセーターを着せる。融けるのは速くなるか、遅くなるか。



「遅くなる」説 多数

内部の温度が保たれる

遅くなる。熱伝導が少なくなり、溶かす熱から守るから。

セーターが雪だるまの表面を覆うことで、外部の温暖な空気との直接的な接触が減るため、溶けるのは遅くなる。

太陽の光や雨など、雪だるまはとけると思うが、セーターにより守られて、とけるのは遅くなると思う。

遅くなる 理由：セーターの中の低い温度が保たれるから。

セーターが雪だるまのつめたところを外に逃げないようにするから。

遅くなる。

太陽光によって起こる分子の運動を軽減させておくから遅くなる。

とけるのは遅くなると思う。雪だるまに冷たい温度がこもるから。

理由：冷気を保ちやすくなるから。

遅くなると思う。雪の温度が保温される。

遅くなる。寒さが保たれるから。

外気と接触が減る、日光が当たらなくなる

遅くなる 直射日光を避けるから溶けにくくなるのでは？
と思う。

遅くなると思う。

雪だるまに当たる光の面積が減るから。

断熱作用で雪が保温される

遅くなる。セーターは断熱材の役割を果たし、外部の熱が雪だるまの内部に入らないように防ぐため。

遅くなる。セーターにこけた氷が溶けかけているので溶けにくい。

遅くなる 氷を布で包むととけるのが遅い。これは空気にふたになるからである。同様に雪も融けるのが遅くなる。

遅くなる。雪だるまは雨や日差し、風でとけるので、セーターはそれを守っているため。

遅くなる。

セーターを着せることにより、周りの空気とふれる面積が小さくなり、雪だるまの温度が一定に保たれるかと思う。

遅くなる。日光が直接雪に当たらないから。

遅くなる。セーターで風や雨、日差しから守られるため。

遅くなる。日差しや風から守られるから。

雪だるまにセーターを着せる。融けるのは速くなるか、遅くなるか。理由も。

雪が降ったら実験しよう

雪だるま自体には暖かさはないためセーターを着せたところで溶けるのは速くはない。むしろセーターを着ると太陽からの光を直接受ける面積が減るため溶けるのは遅くなる。（ただしマフラーの色によっては溶けるのが速くなってしまう気がします。）



「保冷効果で遅くなる」という意見が多かったが、実際には「太陽からの放射熱を受けなくなるので、遅くなる」と思われます。ただし、黒いセーターでは逆に熱を吸収するので「速い」と思われます。

セーター、マフラー、帽子の中での人間が（着たてたかい）と感じ
つづいてるの防凍具（はてしな）かな？



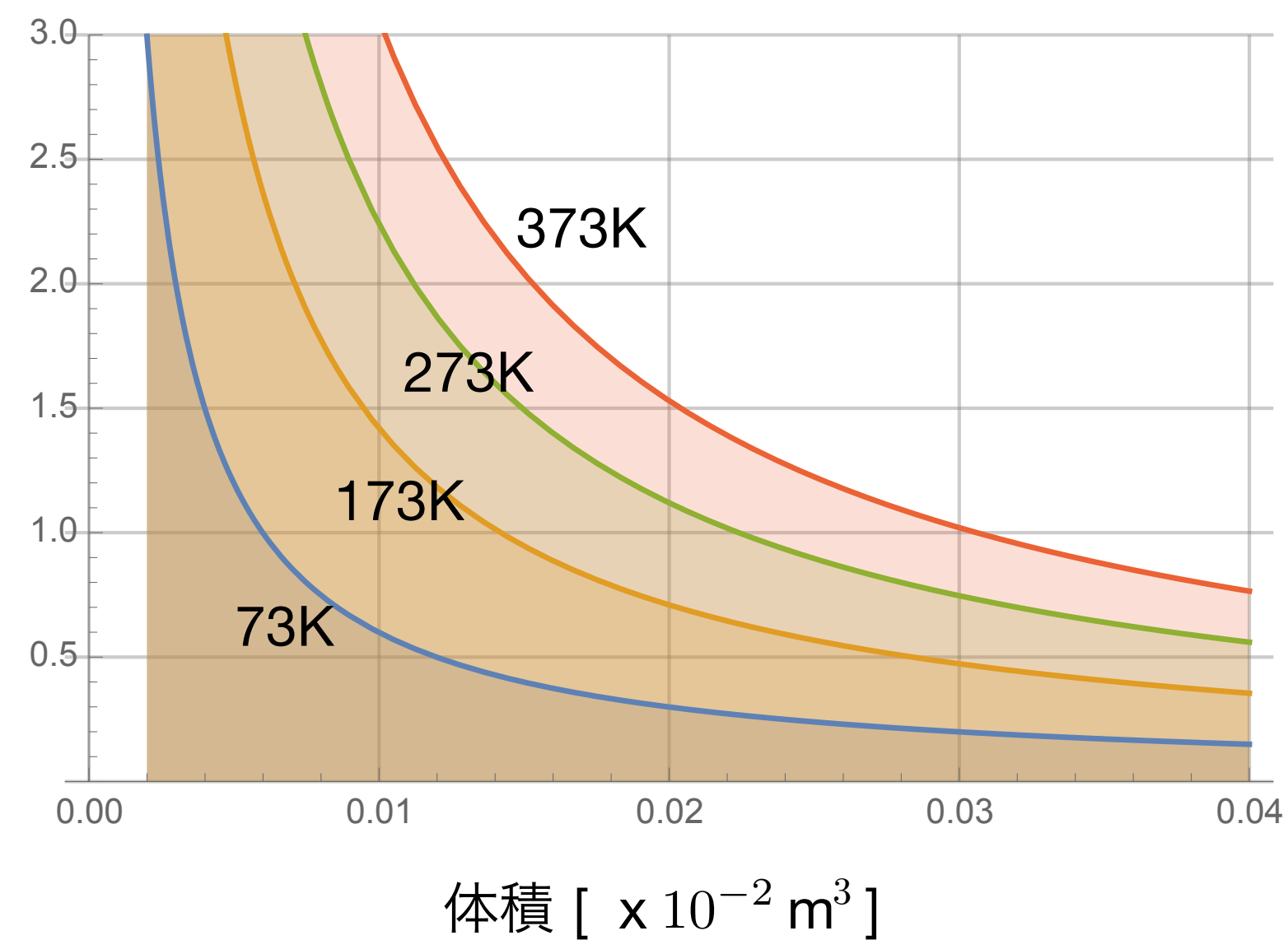
ボイルの法則

- ボイルの法則

温度を一定にすると，気体の体積 V は，圧力 P に反比例する．

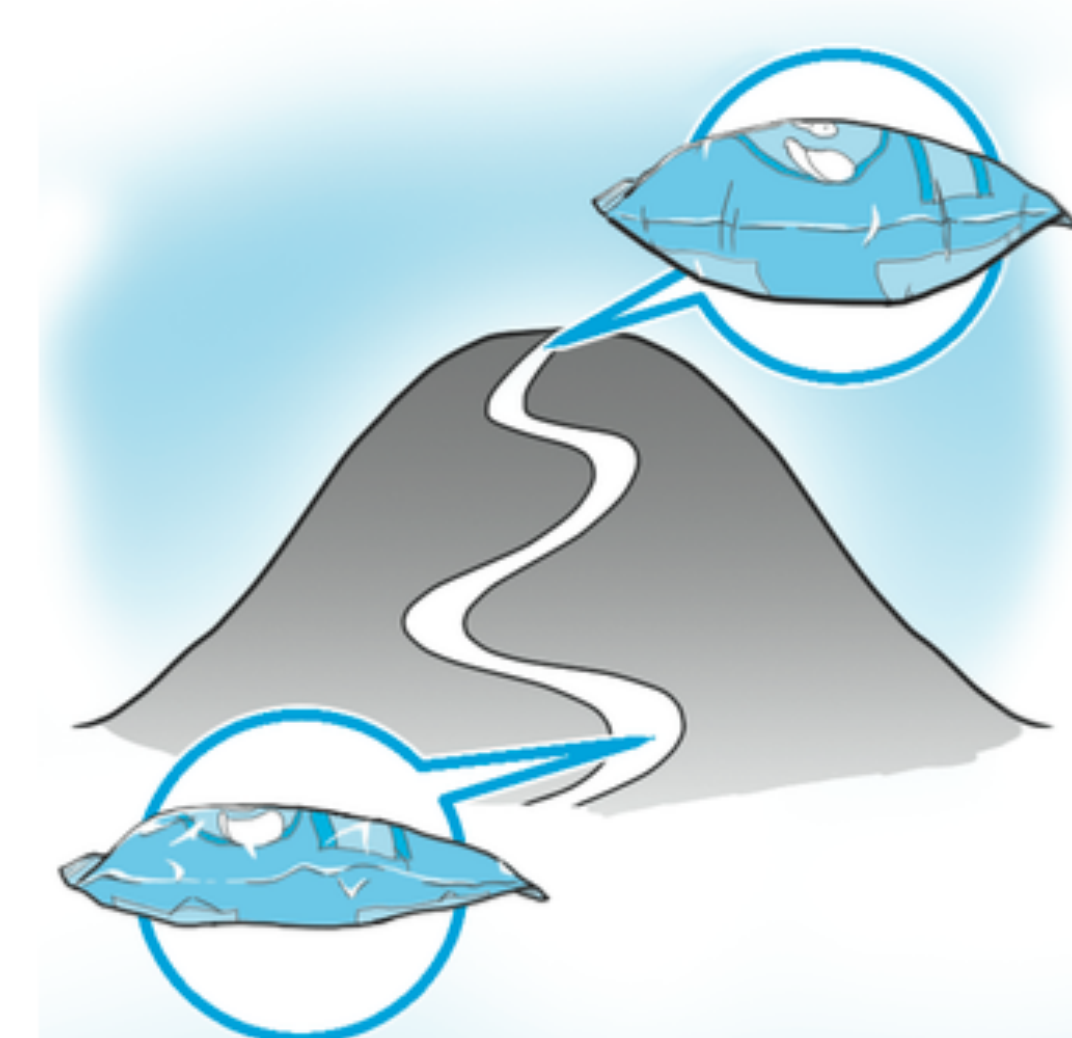
$$PV = \text{一定}$$

圧力 [気圧 ($\times 10^5$ Pa)]



Boyle の法則

山の上でポテトチップスの袋が膨らむ．

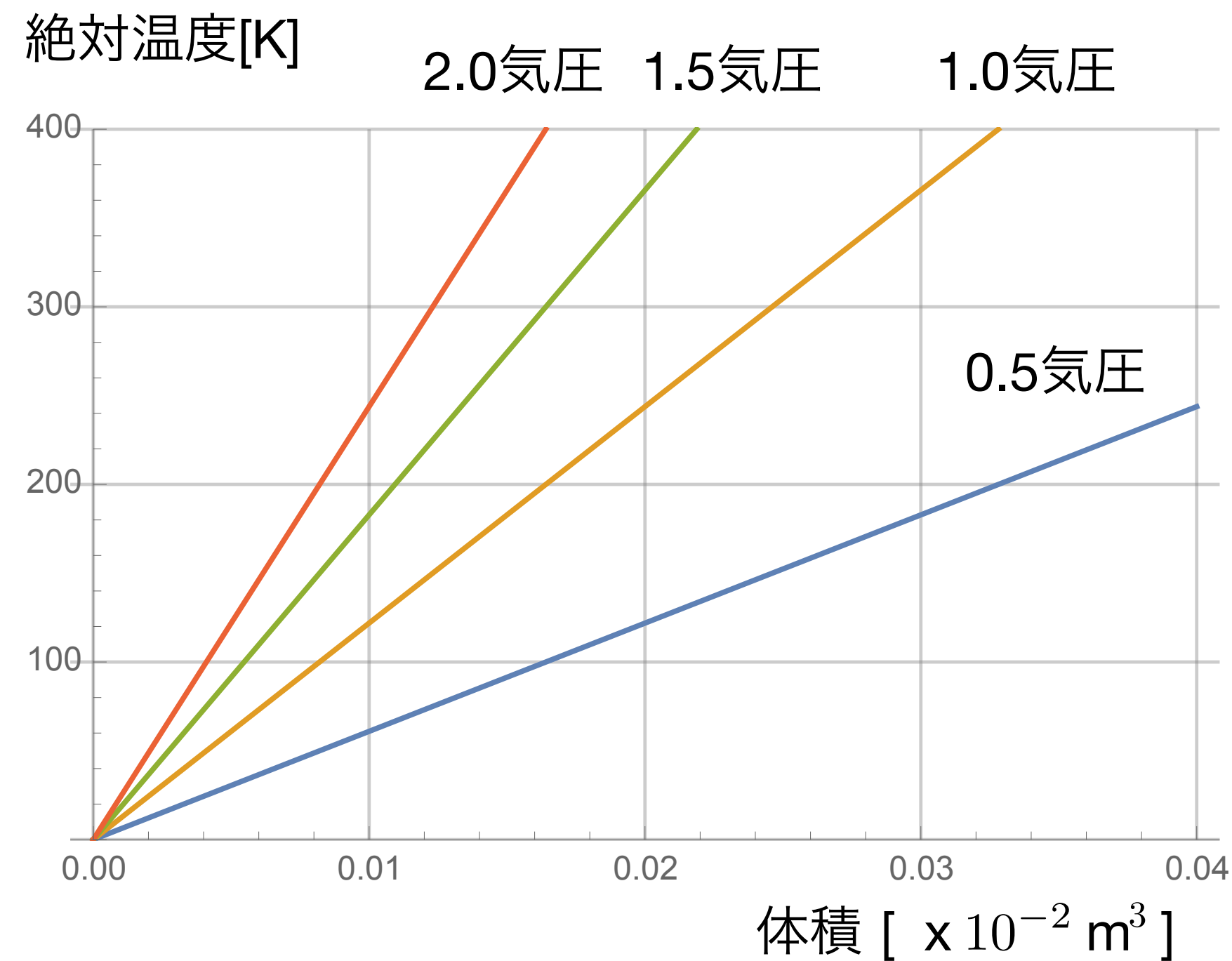


シャルルの法則

- シャルルの法則

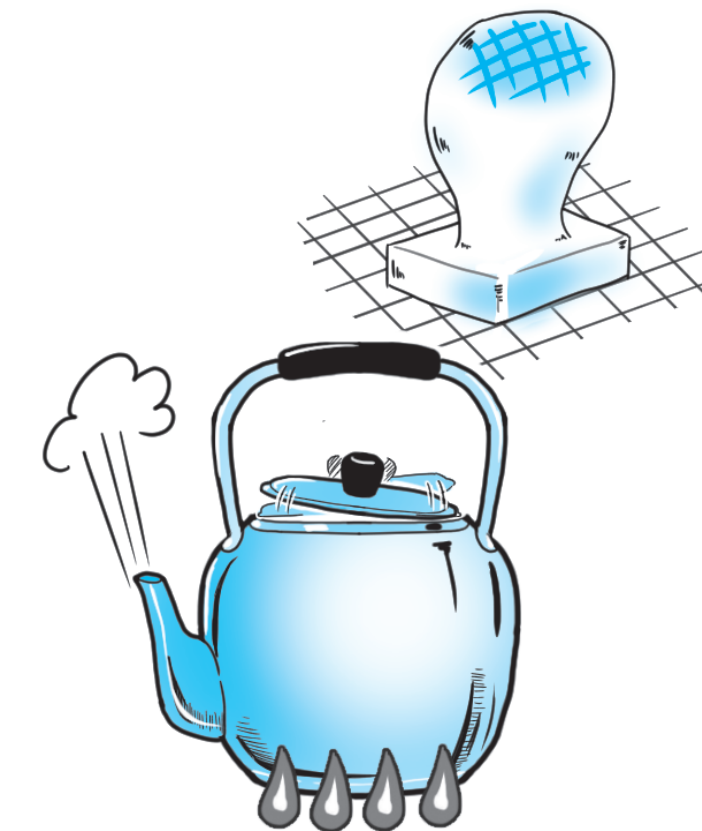
圧力を一定にすると、気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$



Charles の法則

お湯が沸くと鍋の蓋が
浮き上がる。



- **ボイルの法則**

温度を一定にすると、気体の体積 V は、圧力 P に反比例する。

$$PV = \text{一定}$$

- **シャルルの法則**

圧力を一定にすると、気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

- **ボイル・シャルルの法則**

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

気体の量が n 倍になると、

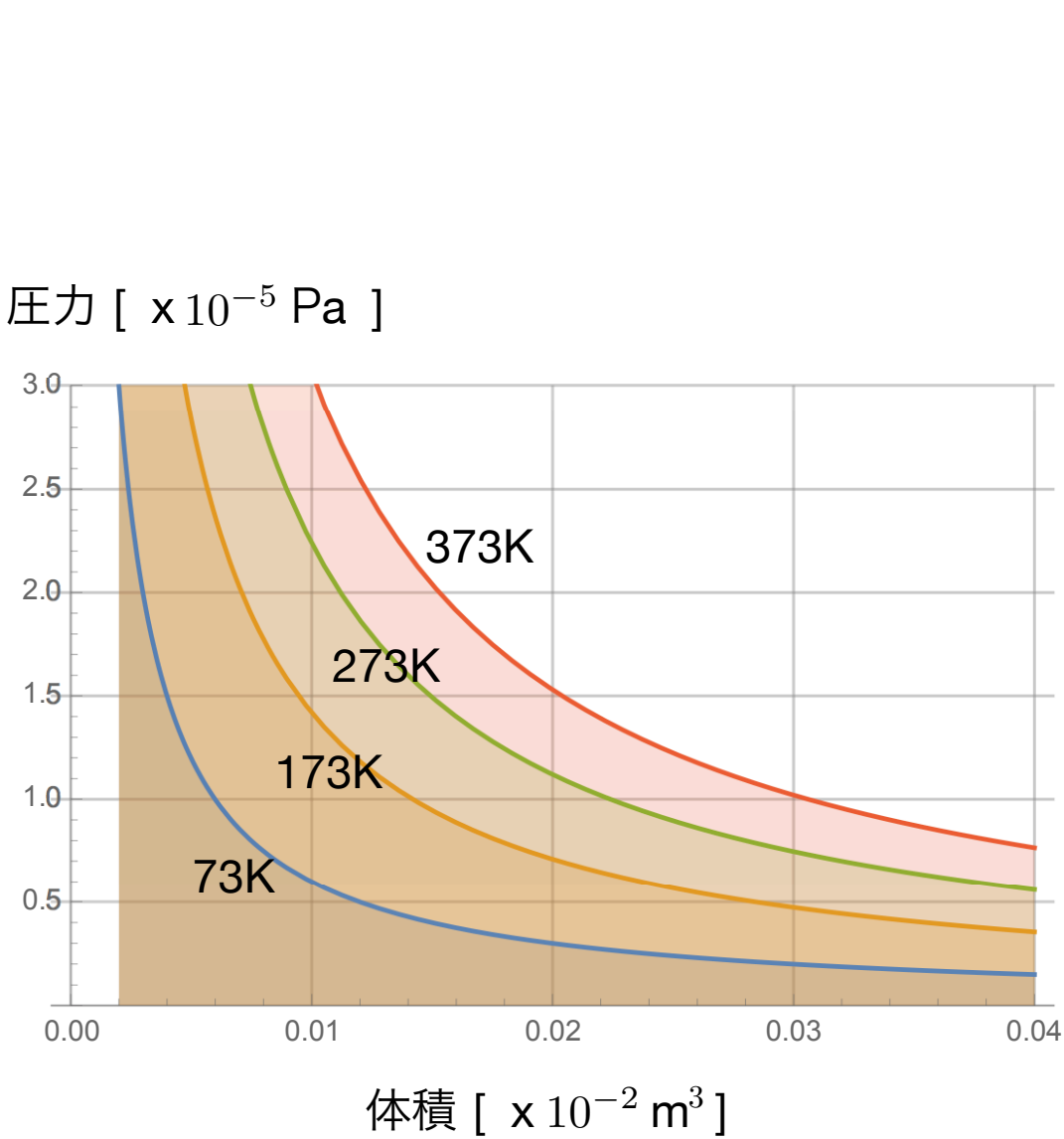
- **理想気体の状態方程式** (equation of state for ideal gas)

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

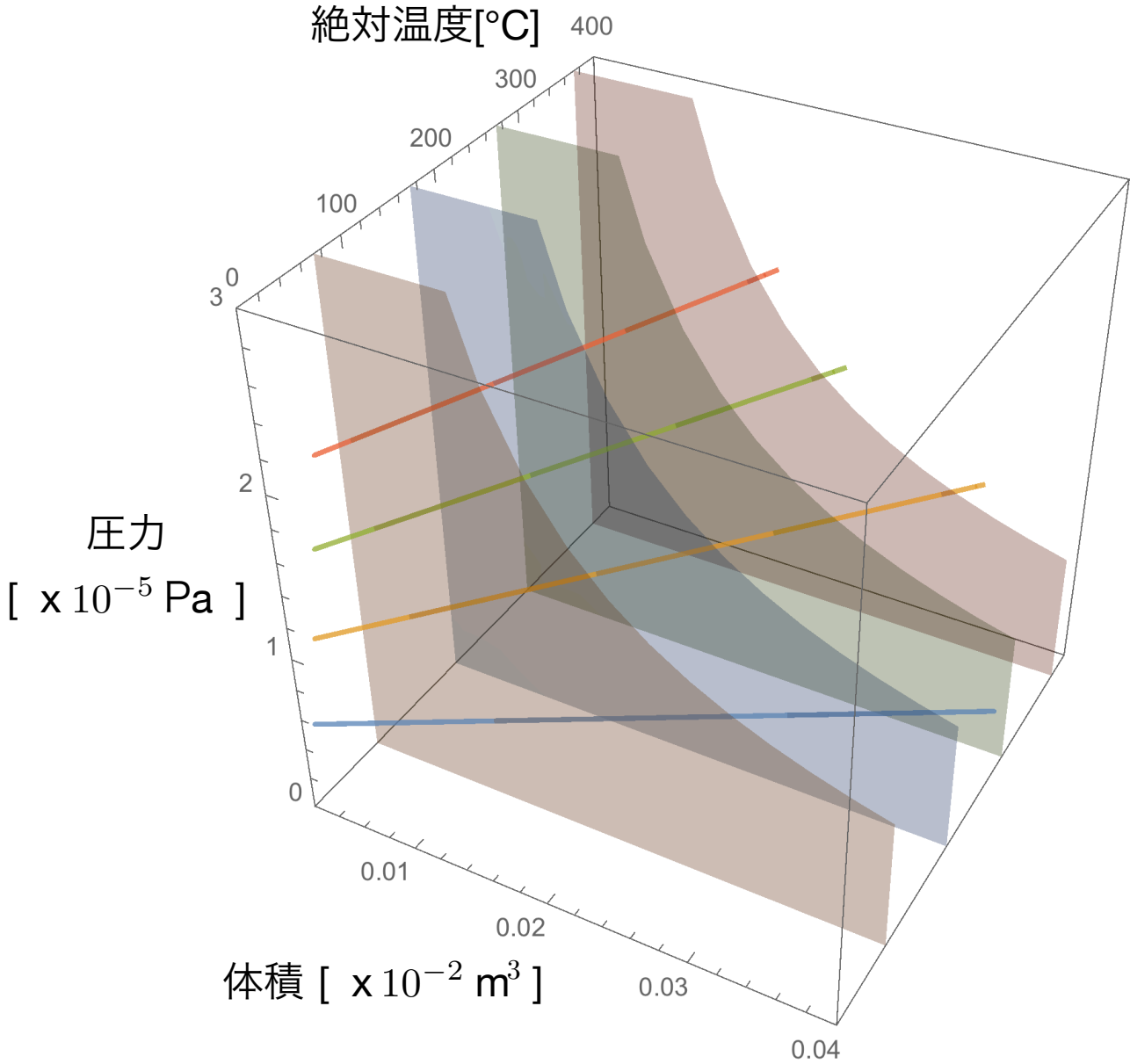
● ボイル・シャルルの法則

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

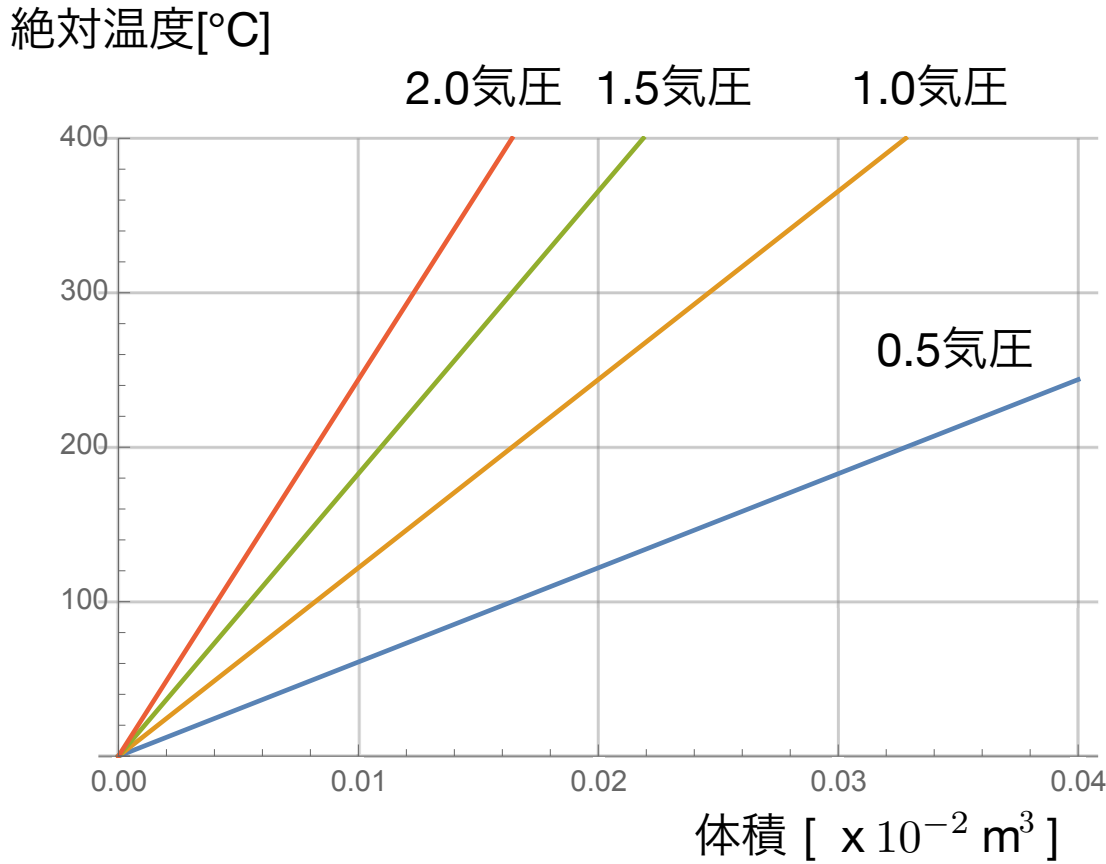
(4.19)



(a) PVグラフ



(b) PVTグラフ



(c) TVグラフ

飽和水蒸気量

飽和水蒸気量＝空気中に溶け込める水蒸気の量

湿度＝水蒸気量/飽和水蒸気量

飽和水蒸気量と温度



ビールジョッキが汗をかく

温度が下がると
空気中に溶け込める
水は少なくなる

取り込み忘れた洗濯物が
夕方、湿っている

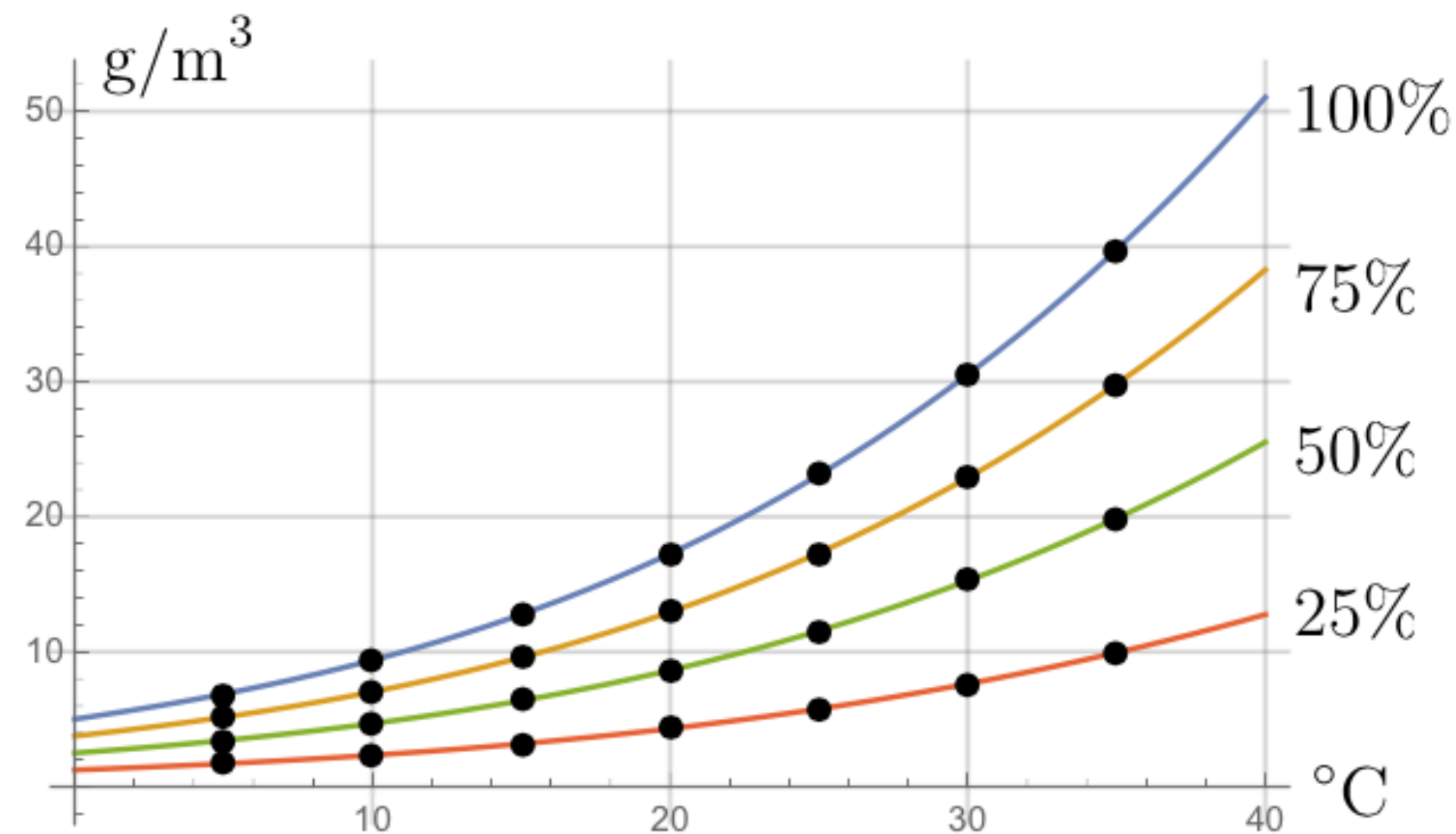


図 4.20 飽和水蒸気量 (図の 100% の線) の温度変化の様子。

実験 15 雲をつくってみよう

ペットボトル内で雲をつくることができる。大きなペットボトルと、フイズキーパーとよばれる炭酸抜けを防止する栓を用意しよう。ペットボトルの中を少し湿らせ（霧吹きでひと吹き）、線香の煙を入れておく（雲の種となる）。フイズキーパーを取り付け、中の空気の圧力を上げる。圧力を上げると、閉じ込められた空気の温度が上がり、ペットボトルの中は透明になるが、そこで一気に栓を開けると、急に圧力が下がり、温度が下がって、露点に達し、雲が発生する。

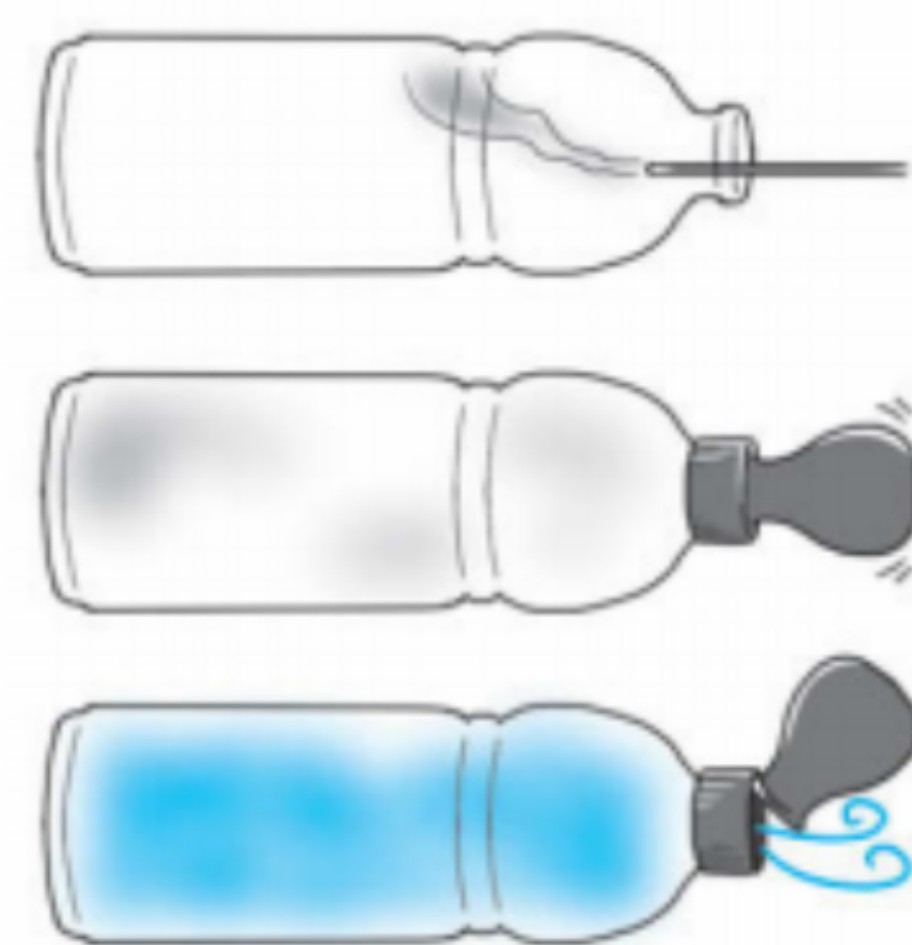


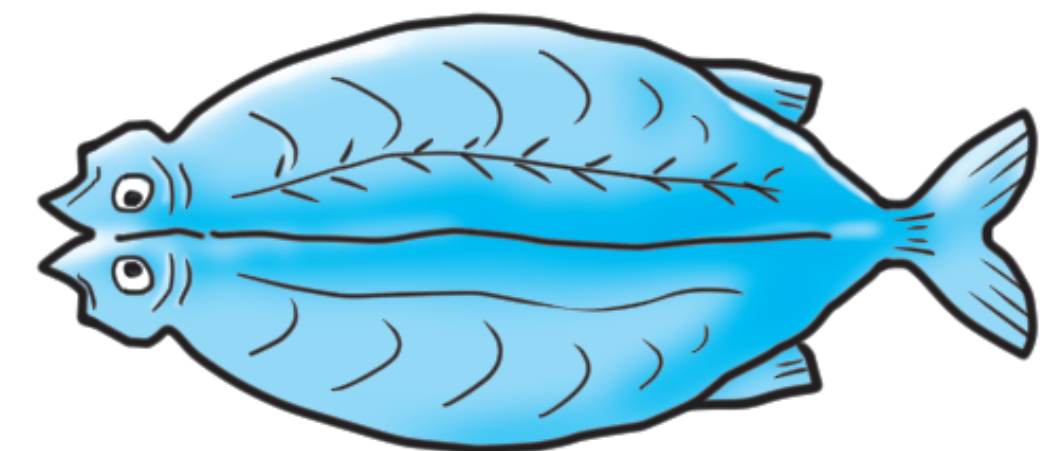
図 4.23 ペットボトルに雲

Topic 冷蔵庫の中はなぜ乾燥するのか

冷蔵庫内は -40°C 程度にまで冷却機で冷やされた空気が循環し、庫内の温度を下げる。冷気は周囲から熱を奪い、自分自身の温度は 0°C 程度にまで上昇する。そうすると飽和水蒸気量は増えるので、冷蔵庫内の食材から水分を奪い取ることになる。最近の冷蔵庫には、密閉することで水分を逃がさない野菜室などがある。



乾燥した野菜



干物になった魚

コラム 24 天気予報で出される「〇〇指数」

夏場になると「不快指数」という言葉を耳にする．アメリカの旅行天気会社が考え出した値といわれるが，気温 T と湿度 H をもとにして，露点温度 T_0 を計算し，

$$\text{不快指数 } D = 0.72(T + T_0) + 40.6 \quad (4.10)$$

として計算する値だという．だが，この値は，風の影響を含めていないので，必ずしも体感と一致するわけではなく，気象庁の統計種目でもない．

最近では天気予報会社が付加価値を出すために「洗濯指数」，「お出かけ指数」，「ビール指数」，「鍋ものの指数」，「のど飴指数」など，さまざまな数値を予報して出している．各社が，気温，湿度，風速，日射量などをもとに独自に計算しているもので，詳細な計算方法はほとんど公開されていない．

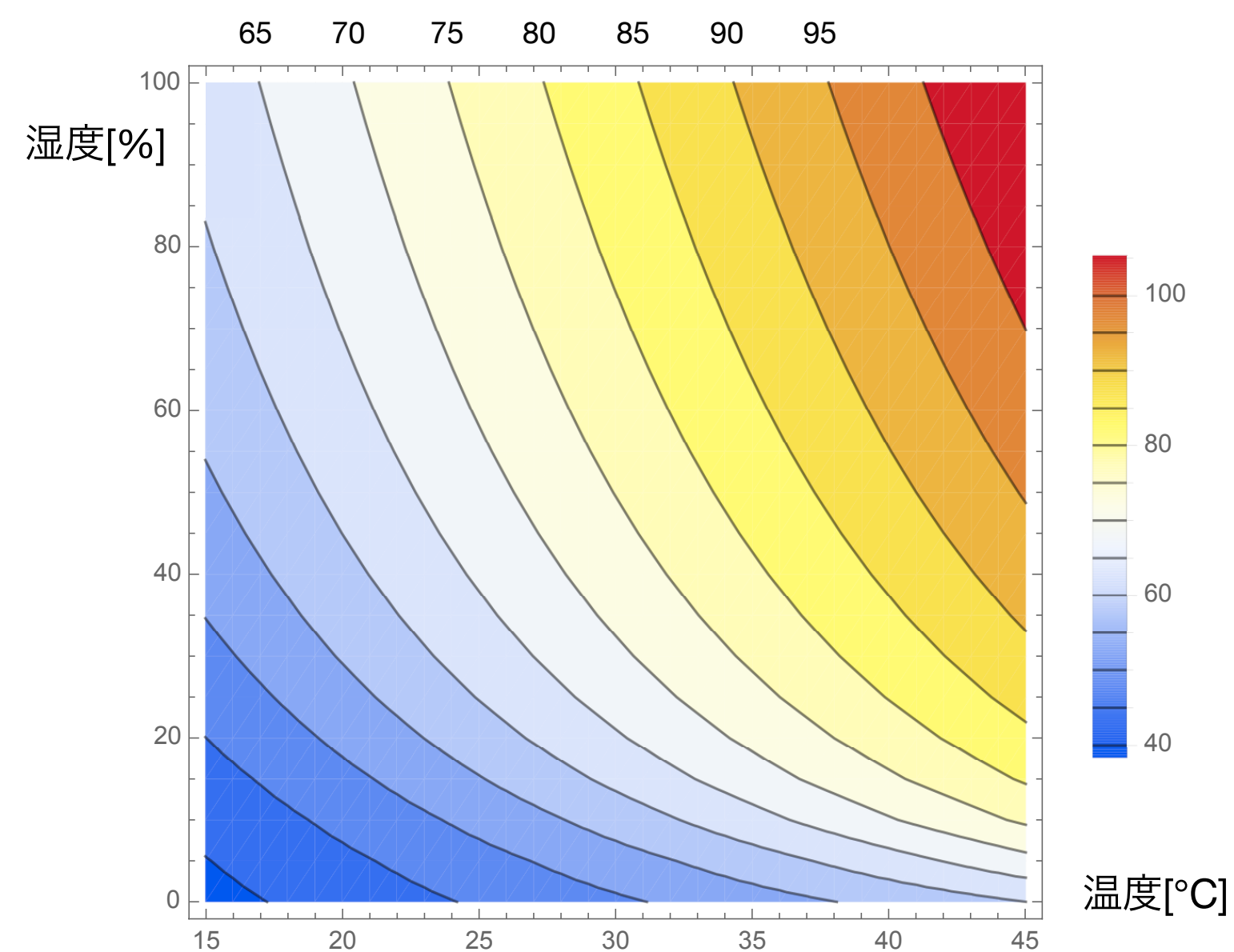


図 4.24 温度と湿度から不快指数を読み取る図 70 以上で一部の人が，75 以上で約半数，80 以上ではほぼ全員が不快と感じ，85 以上で全員が苦痛を感じるという．

I. 冷蔵庫でものが冷える理由

I II III

1. 冷蔵庫の仕組み2. 圧力と状態変化



冷蔵庫の仕組み

⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭

🖨 印刷

I. 冷蔵庫でものが冷える理由

I II III

1. 冷蔵庫の仕組み2. 圧力と状態変化



冷蔵庫の仕組み

⏮

⏪

⏸

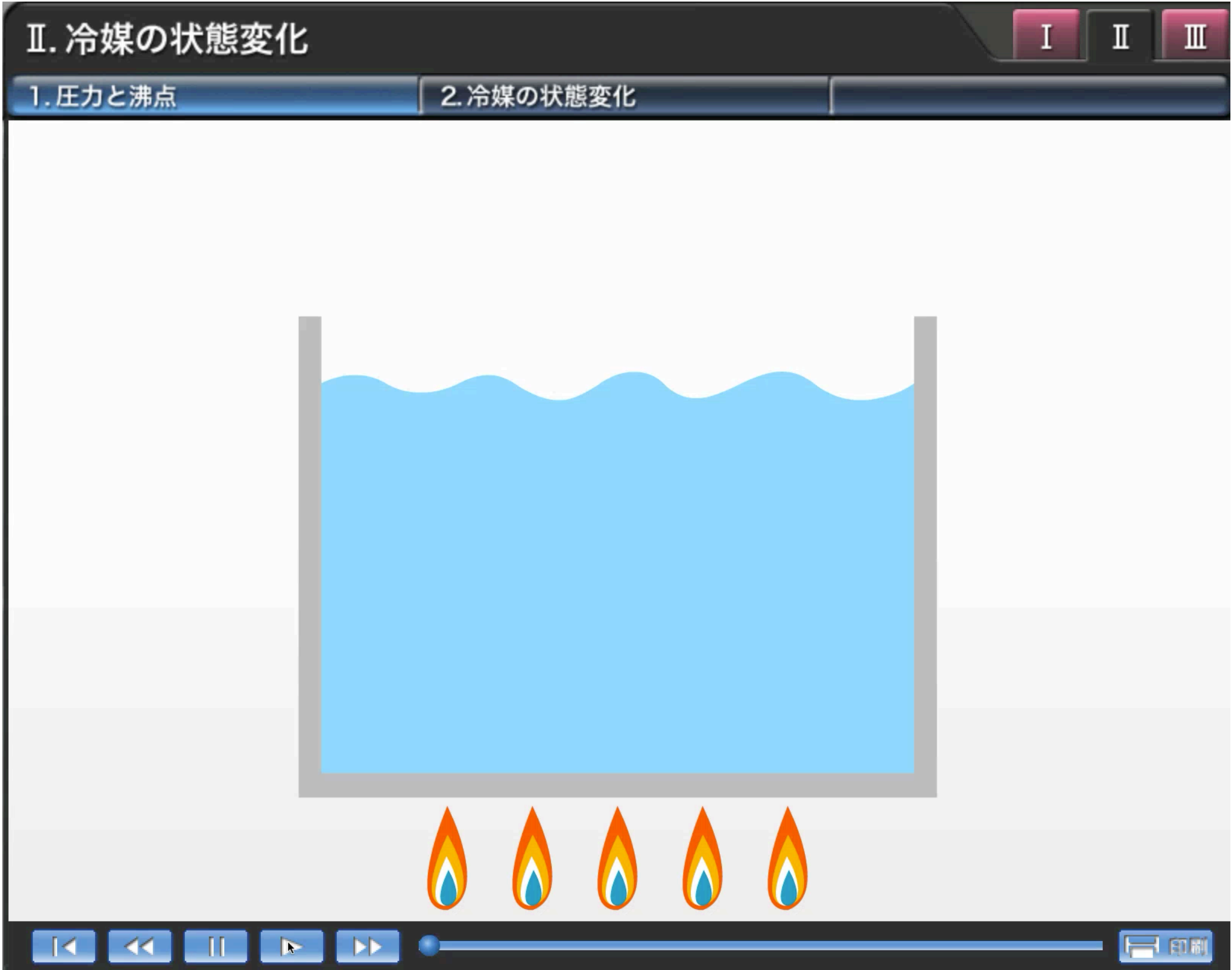
⏩

⏭

🔍

🖨

🖨



Ⅲ. 冷蔵庫の不思議

I II III

1. 冷蔵庫はなぜ乾燥するか

°C

飽和水蒸気量

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

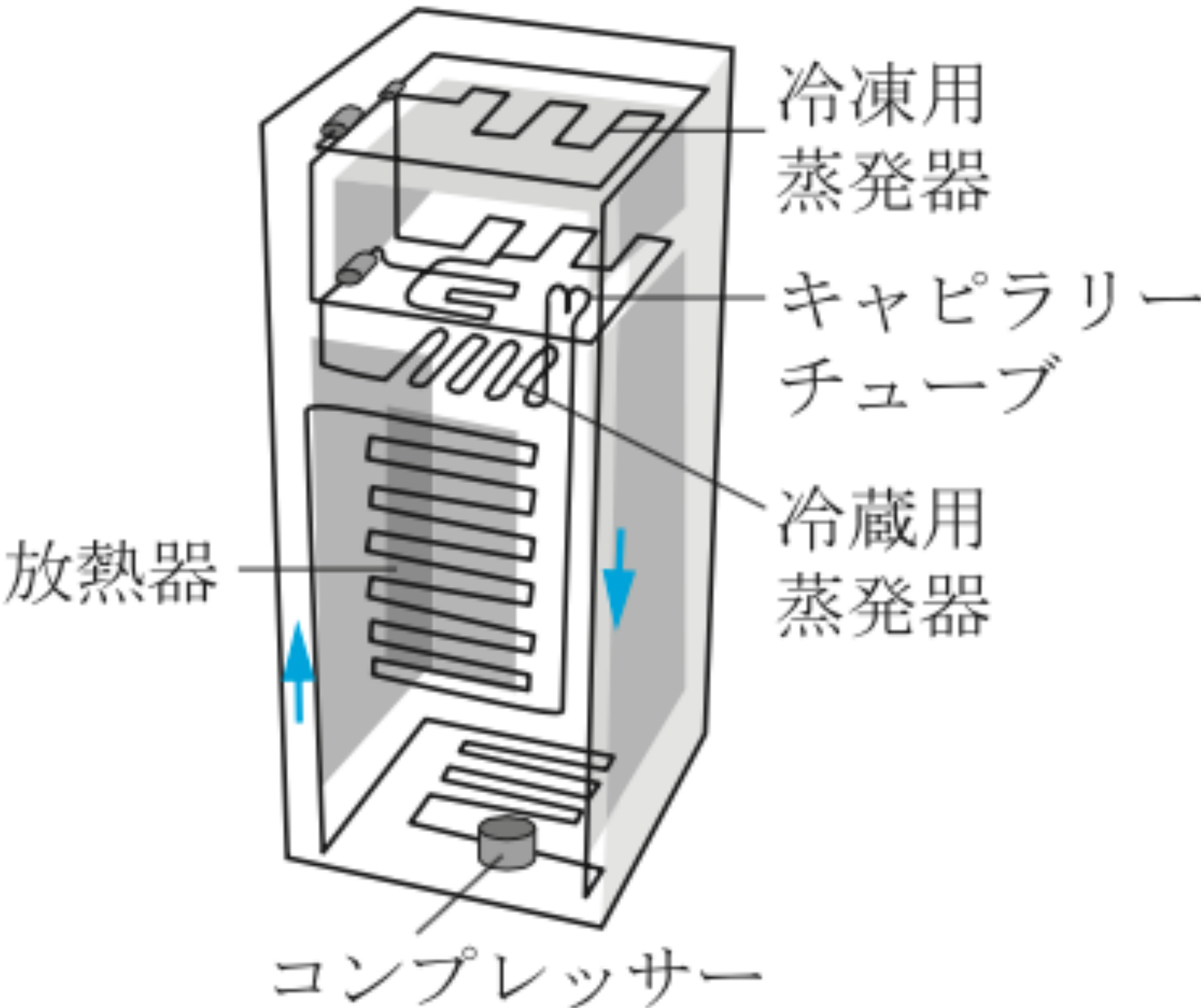
水
気体

水
気体

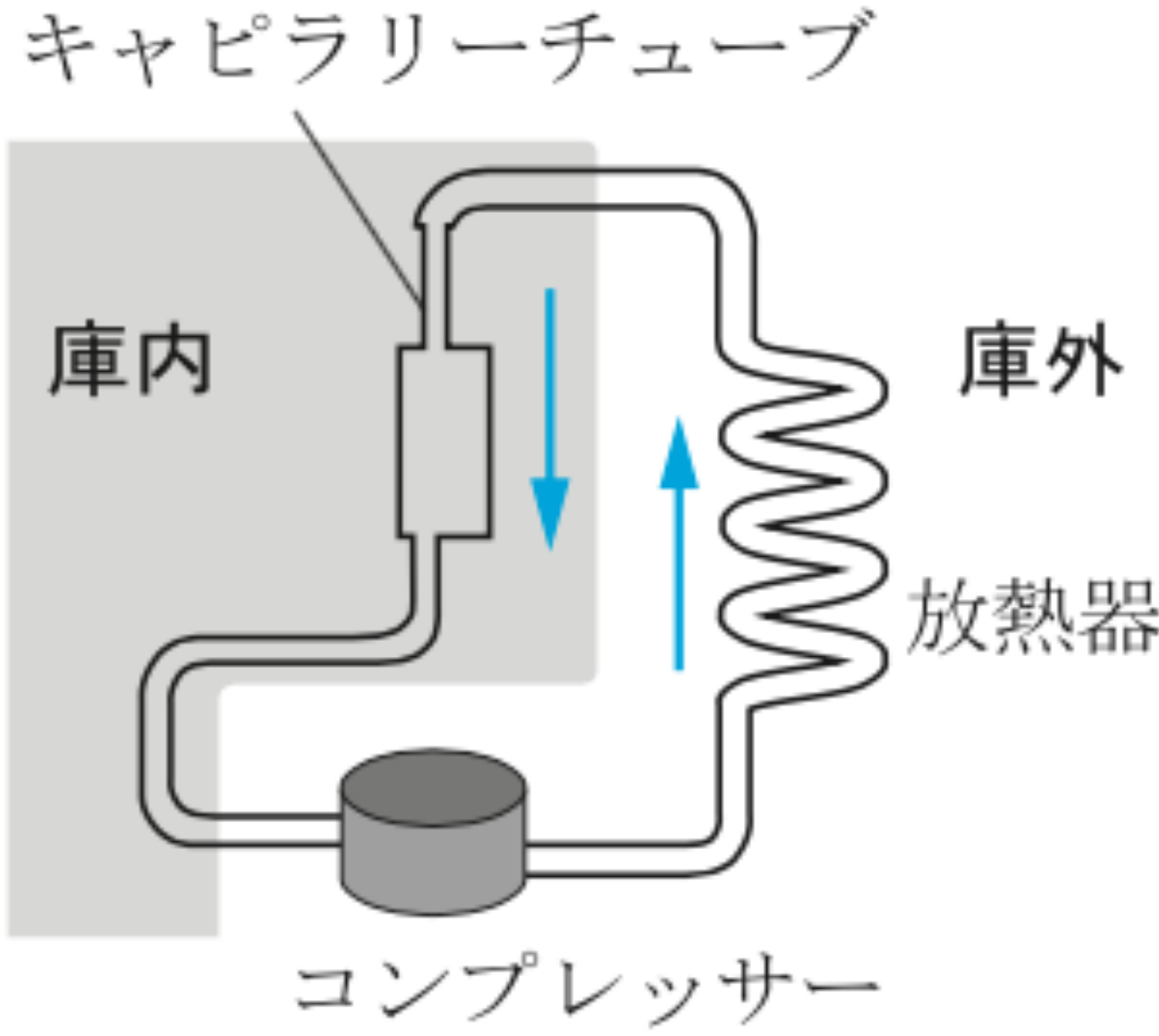
水
気体

⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭

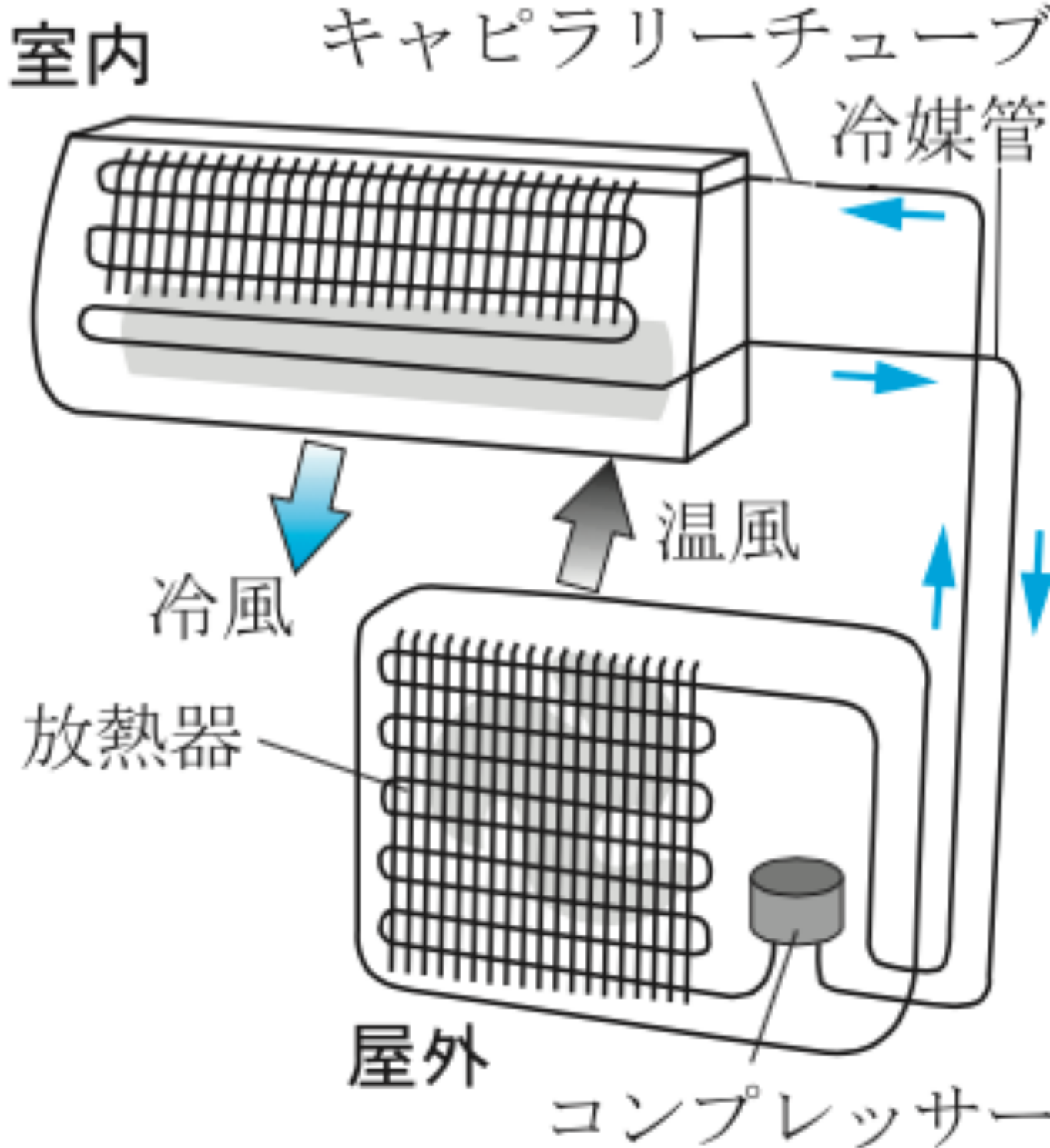
🖨 印刷



(a) 冷蔵庫のしくみ



(b) 冷蔵庫を循環する
冷媒の経路



(c) エアコンのしくみ

ジュールの実験

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。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。

●仕事による熱の発生



回転する木の棒の先端と、下の木の間の摩擦により、木は削れ、摩擦熱が発生する。こげて黒くなった木屑には種火がとる。

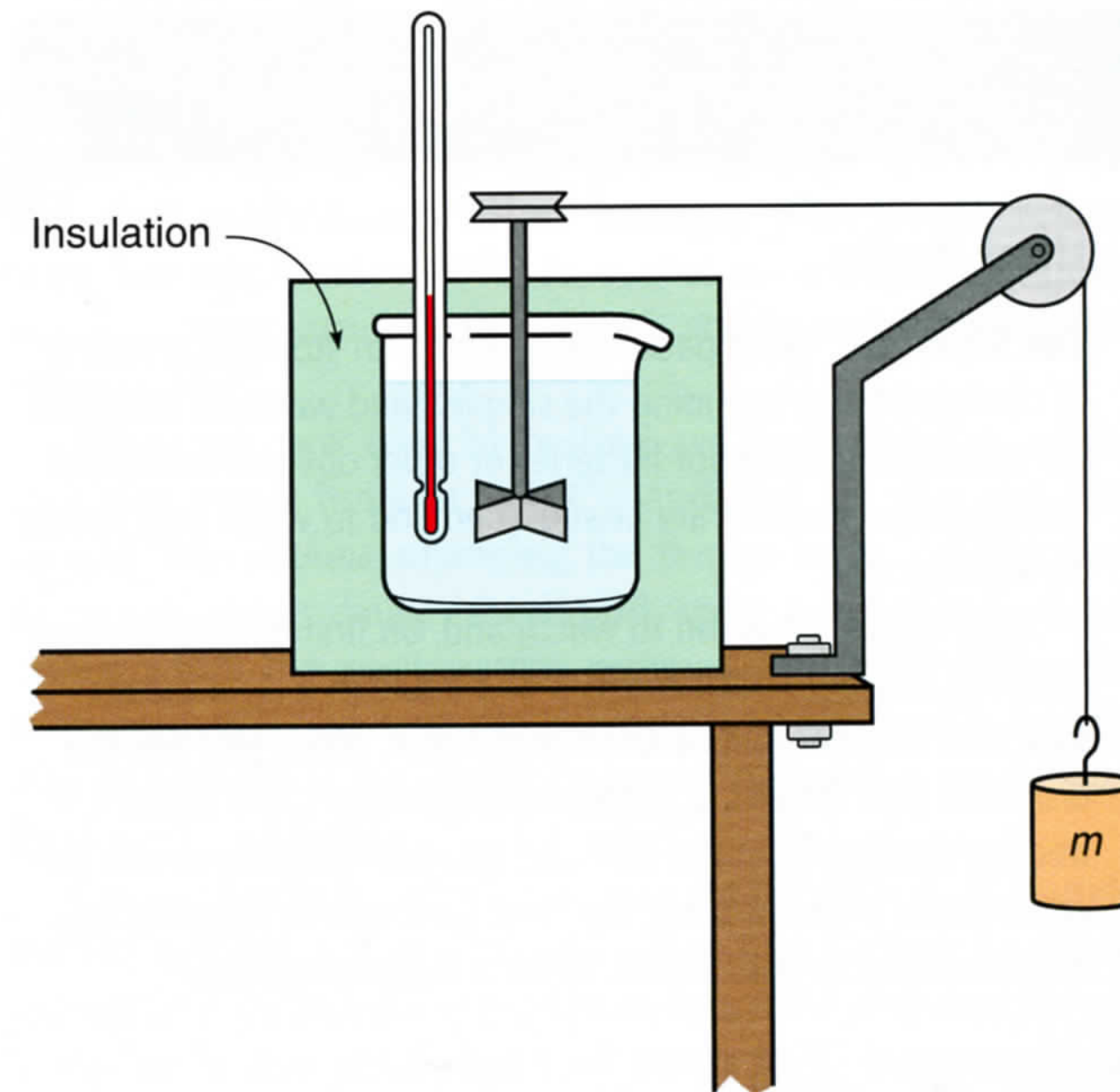
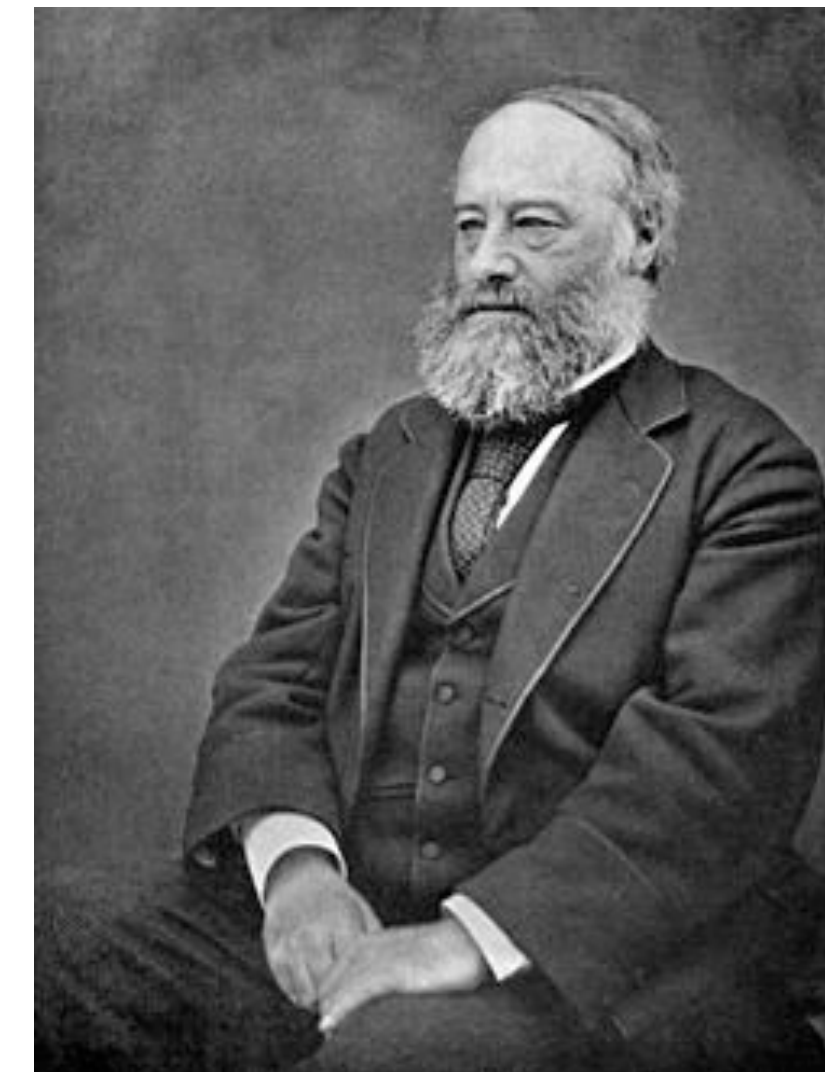


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.



James Prescott Joule
(1818-1889)

1845年、力学的エネルギーが熱に変換されることを示した。

実験 16 振り回してお湯をつくろう

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、火おこしも同じである。木くずを連続的にこすり合わせることで生じる摩擦熱を利用している。釘を金づちで打つと熱くなるのも同じ原理だ。

ずっと以前 のミニッツペーパーから

☆ ジュールの実験で水をかきまぜると温度が上がるって言うんだけど、
あつあつのスープをスプーンでまぜると冷めてくる気がするのよ
なぜですか？ あれは逆効果ですか？

Topic スープを攪拌すると温度が下がる

ジュールは、水を攪拌して温度が上がることを示した。この話を講義でした後で、学生から「スープをスプーンでかきまぜると温度が下がるのですが…」と質問された（汗）。確かに熱いスープを冷ますにはなるべく外気と接するように攪拌するのがよい。ジュールが示したのは、外気で冷めるよりもエネルギーを多量に加えれば、温度が上昇するということだ。

エネルギーの単位 [J] (ジュール)

位置エネルギー mgh

$$mgh = 1[\text{kg}] \cdot 9.8[\text{m/s}^2] \cdot 1[\text{m}] = 9.8[\text{Nm}] = 9.8[\text{J}]$$

1 [g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1 [cal]

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よばれ，次の関係になる．

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J} \tag{4.11}$$

基礎代謝エネルギー

(人間が1日あたり安静にしているでも使うエネルギー)

	18～29歳	30～49歳	50歳以上
男性	24.0kcal	22.3kcal	21.5kcal
女性	22.1kcal	21.7kcal	20.7kcal

日本人の食事摂取基準2010年版より抜粋

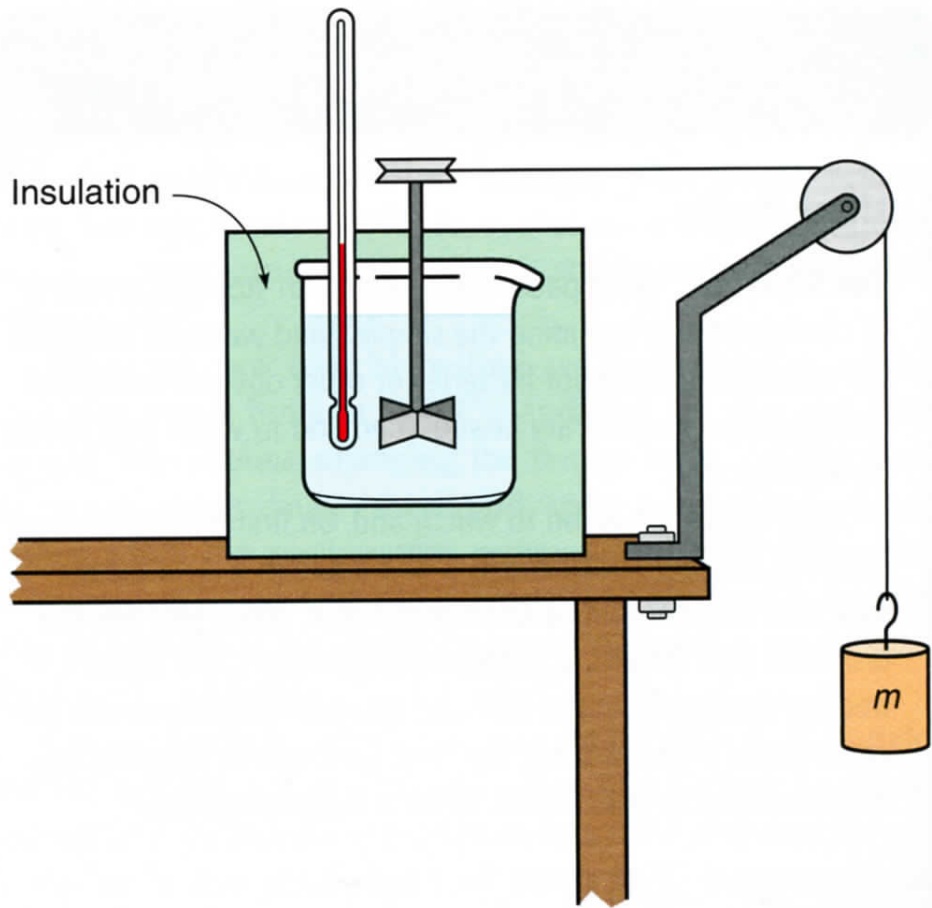


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.

1[g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1[cal]=4.2[J]

1 日あたり必要な摂取カロリー（職業種類別）

女性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
女性20代	1800kcal	2000kcal	2400kcal	2800kcal
女性30代	1750kcal	2000kcal	2350kcal	2750kcal
女性40代	1700kcal	1950kcal	2300kcal	2700kcal
男性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
男性20代	2250kcal	2550kcal	3050kcal	3550kcal
男性30代	2200kcal	2500kcal	3000kcal	3500kcal
男性40代	2150kcal	2400kcal	2900kcal	3400kcal

<http://muuum.com/calorie/1010.html>

- 問題4.15 | 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。
- 問題4.16 | 2000 [kcal] すべてを使うと、何 [kg] の水を水蒸気に変えることができるか。
- 問題4.17 | 2000 [kcal] すべてを使うと、何 [kg] の水を10 [°C] 上昇させることができるか。
- 問題4.18 | 2000 [kcal] は、10[kg] の物体を何 [m] 持ち上げるエネルギーに相当するか。

熱力学第1法則

= 熱まで含めたエネルギー保存則

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，ほか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．

法則 熱力学の第 1 法則（式表現）

気体に熱を加えると，温度上昇と膨張による外部への仕事に変換される．

$$Q = \Delta U + W \quad (4.12)$$

気体に加えた熱 = 内部エネルギーの増加 + 外部にした仕事

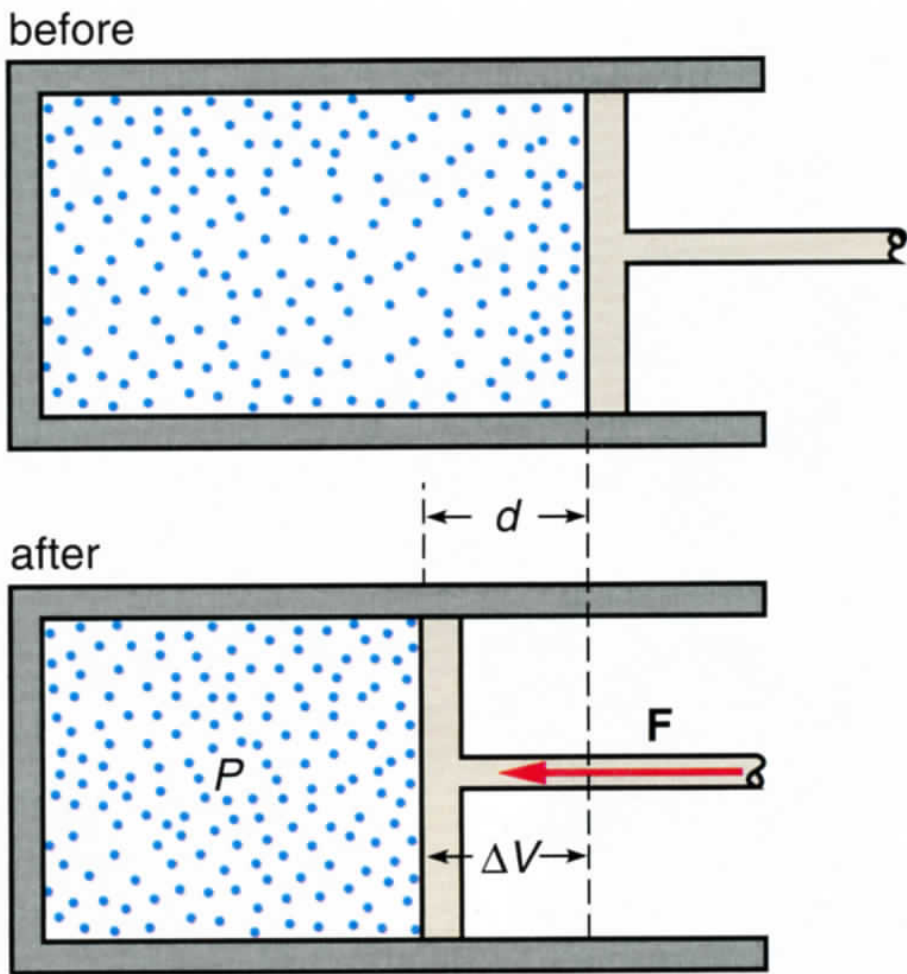
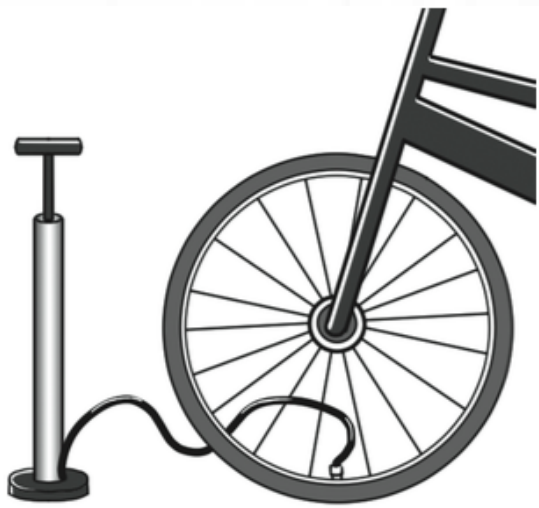


figure 10.15 A movable piston compresses a gas in a cylinder. The magnitude of the work done is $W = Fd = P\Delta V$.

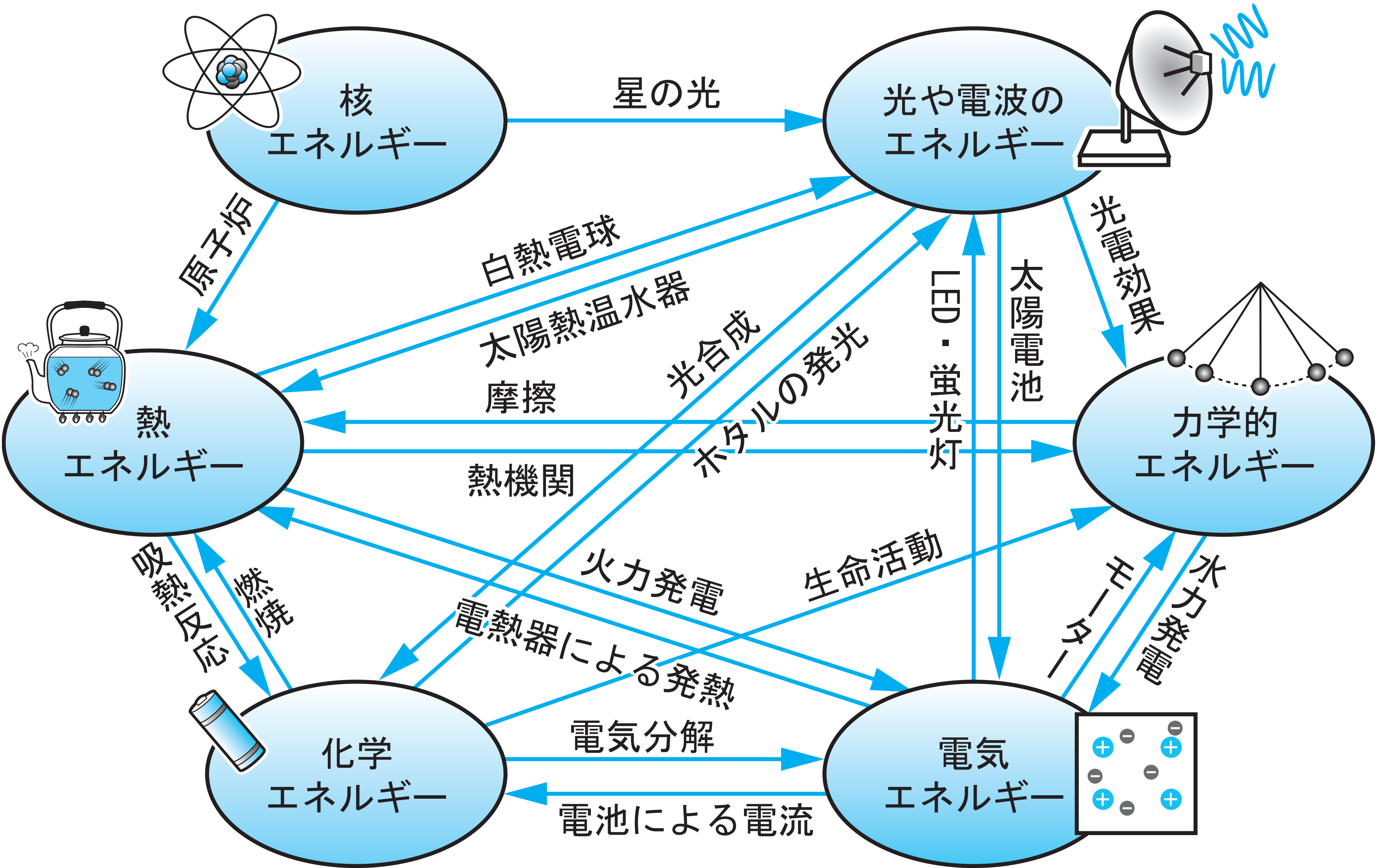


(a) タイヤに空気を入れると空気入れが熱くなる
(気体にした仕事＝正)



(b) スプレーを使うと缶が冷たくなる
(気体にした仕事＝負)

エネルギーは形態を変える

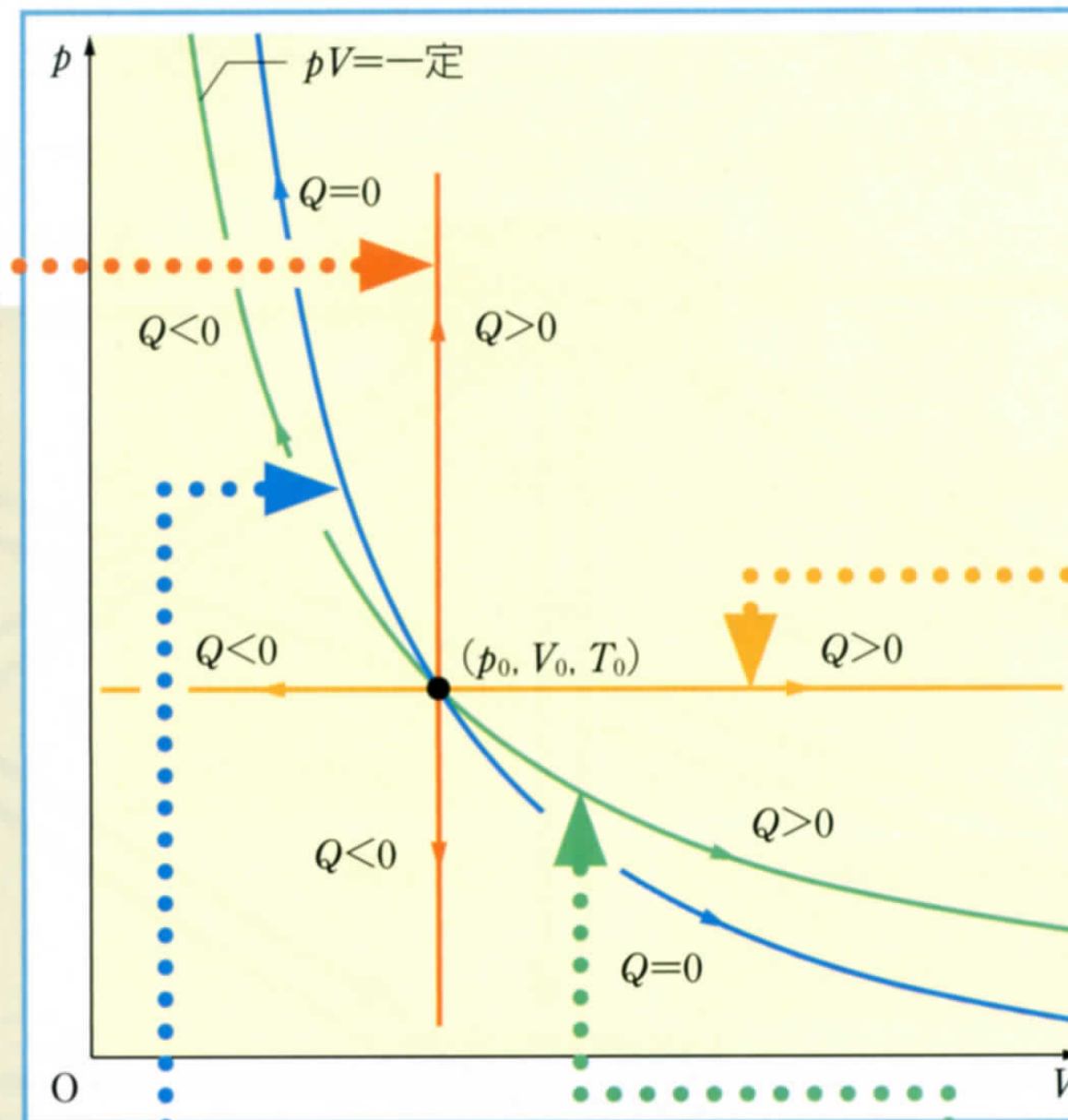


P-V グラフ

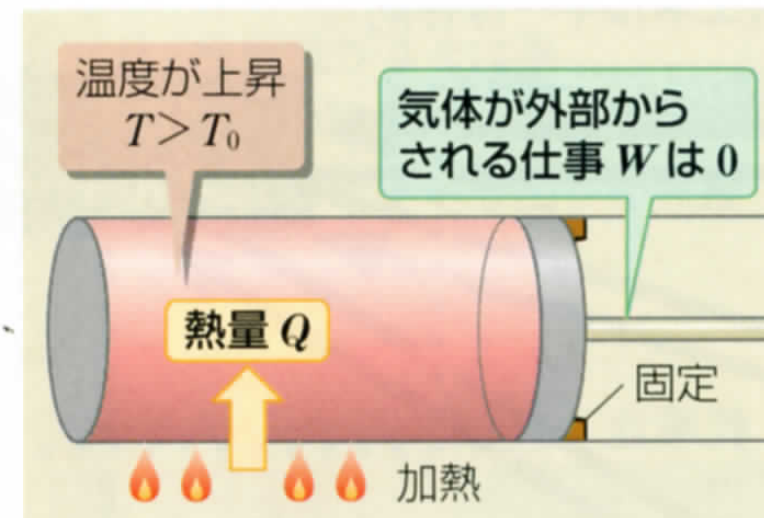
D 気体の状態変化

物 気体は、加熱・冷却や圧縮・膨張を行うと、圧力・体積・温度に変化が現れる。これらの変化は、熱力学第一法則の式($\Delta U = Q + W$)から考えることができる。

理想気体の状態図



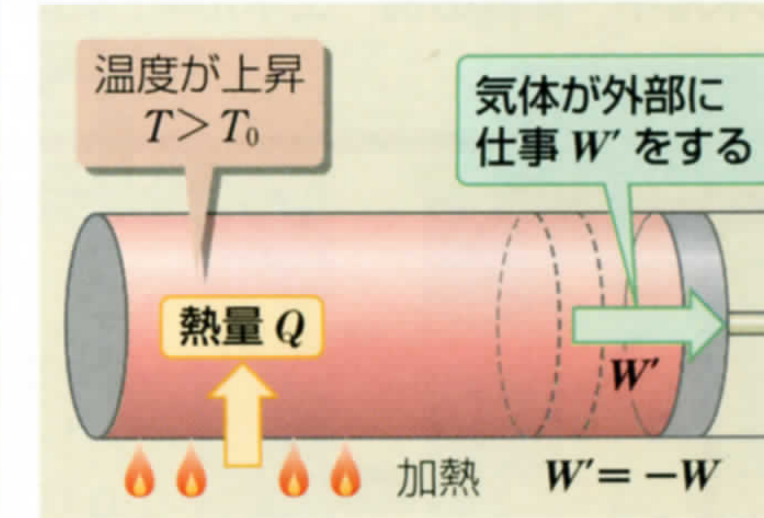
定積変化(等積変化)



体積を一定に保ったまままでの変化。気体は外部から仕事をされないので、与えられた熱量がそのまま内部エネルギーの変化になる。

$$\Delta U = Q \quad (W = 0)$$

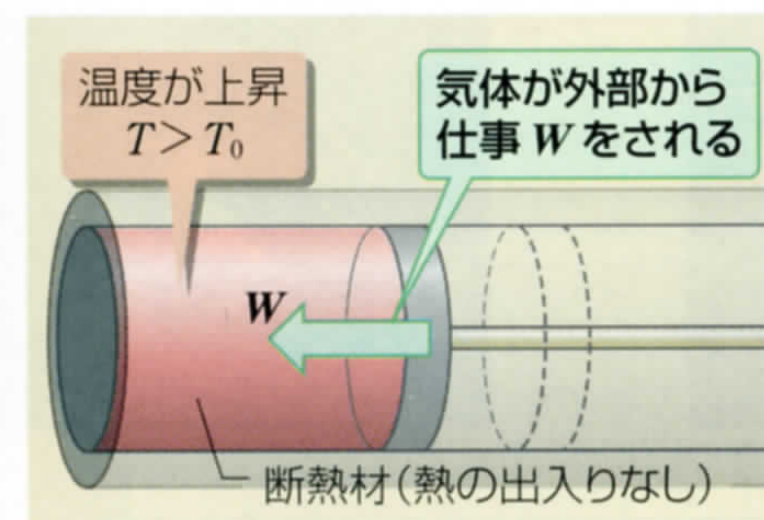
定圧変化(等圧変化)



圧力を一定に保ったまままでの変化。圧力 p のもとで、気体がされた仕事 W は、体積の変化を ΔV とすれば、 $W = -p\Delta V$ と表すことができる。

$$\Delta U = Q - p\Delta V$$

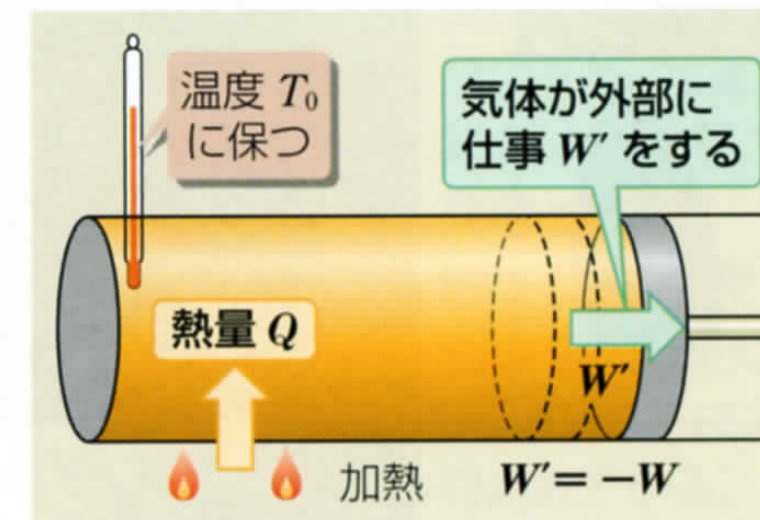
断熱変化



熱の出入りがない状態の変化。気体が外部から仕事をされると、内部エネルギーが変化する。

$$\Delta U = W \quad (Q = 0)$$

等温変化



温度を一定に保ったまままでの変化。内部エネルギーは変化しない。このとき、気体の体積は圧力に反比例する(ボイルの法則)。

$$\Delta U = 0 \quad (Q = -W)$$

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押し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。

C 熱機関

高温物体から熱を吸収し，その熱の一部を仕事に変換する装置を **熱機関** という。吸収した熱量のうち仕事に変換された割合を **熱効率(熱機関の効率)** といい，これは熱機関の性能を示す指標となる。

熱効率

$$e = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

W' [J] : 熱機関がする仕事
 Q_1 [J] : 高温の物体から吸収する熱量
 Q_2 [J] : 低温の物体へ放出する熱量

($Q_2 = Q_1 - W'$)

● 熱機関の原理図

① 定積変化
熱量 Q_{1-1} を吸収

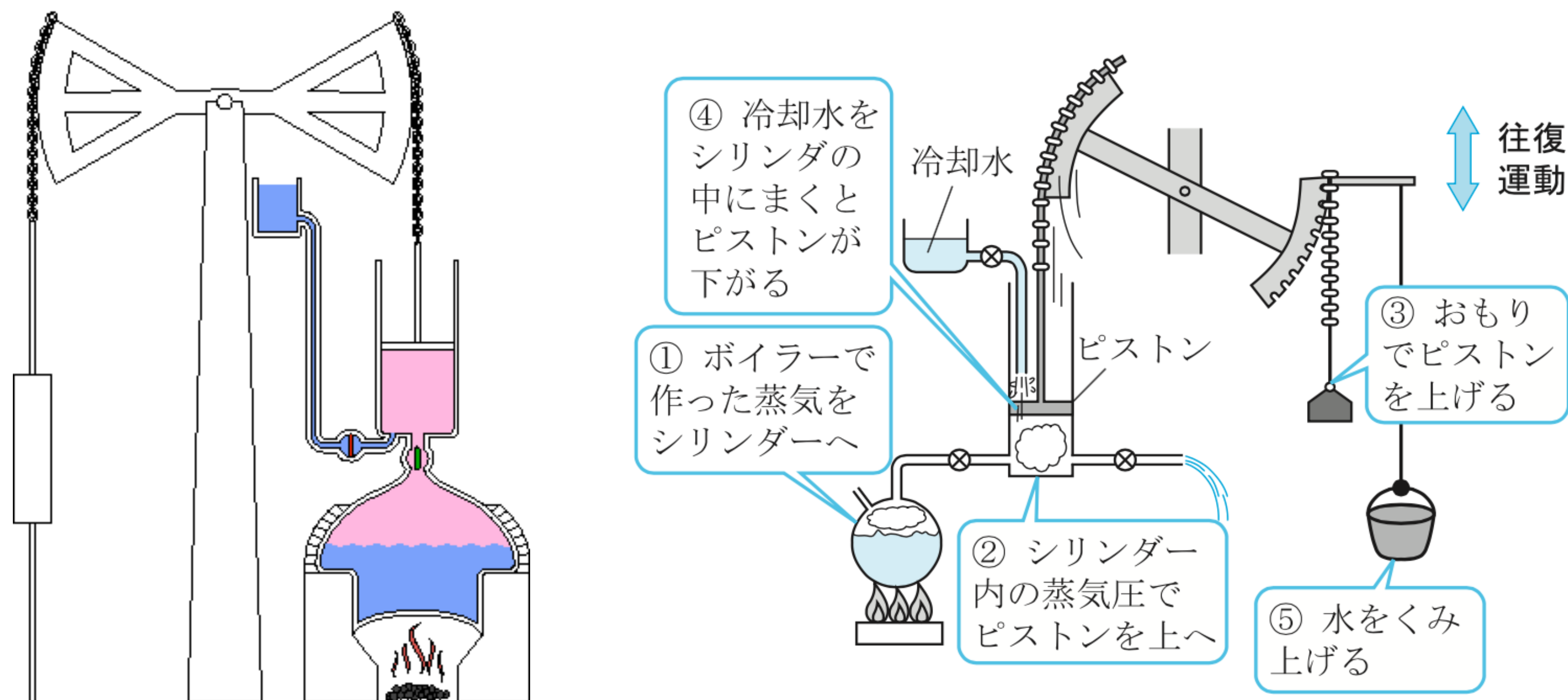
② 定圧変化
熱量 Q_{1-2} を吸収
外部に W_1 の仕事をする

③ 定積変化
熱量 Q_{2-1} を放出

④ 定圧変化
熱量 Q_{2-2} を放出
外部から W_2 の仕事をされる

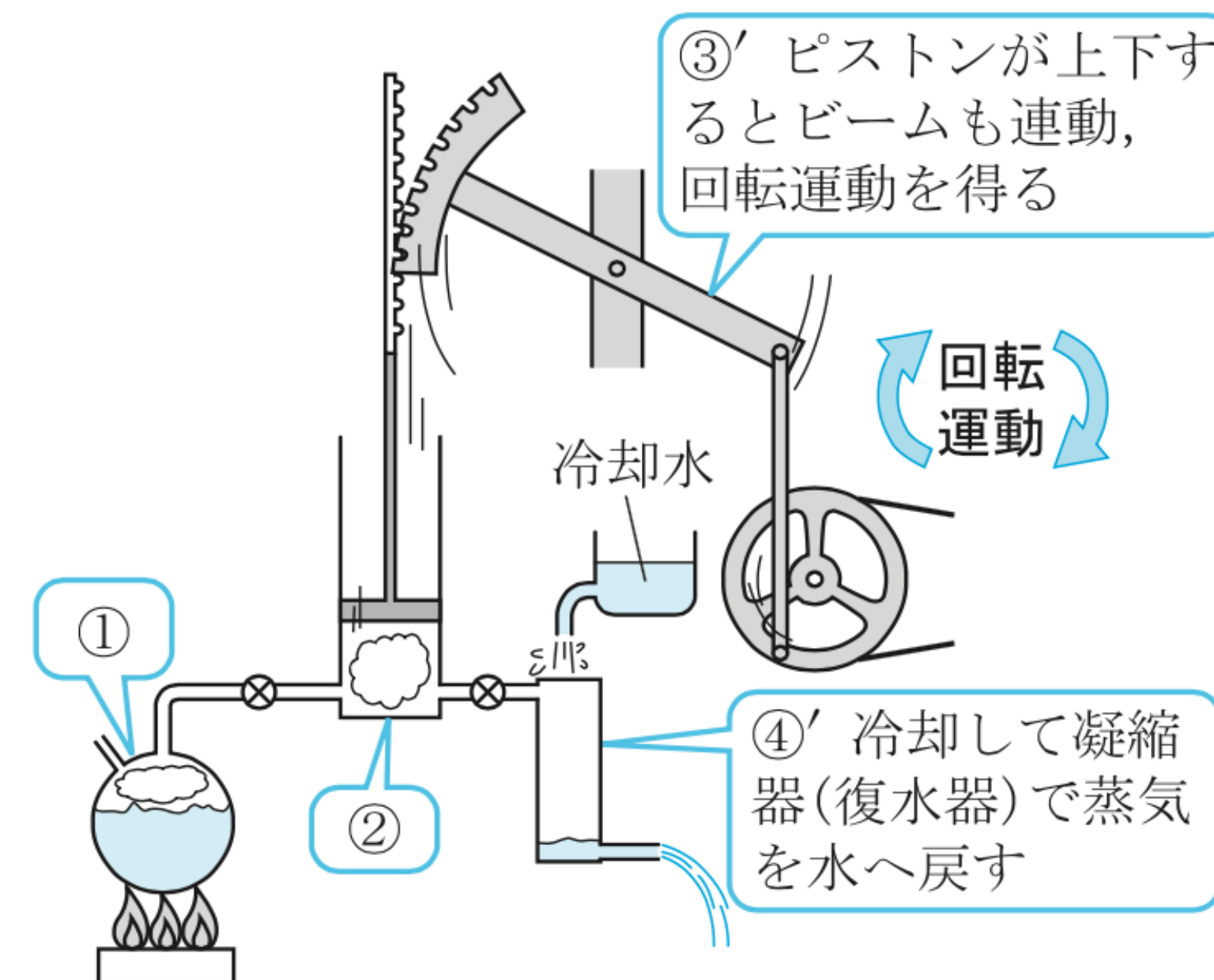
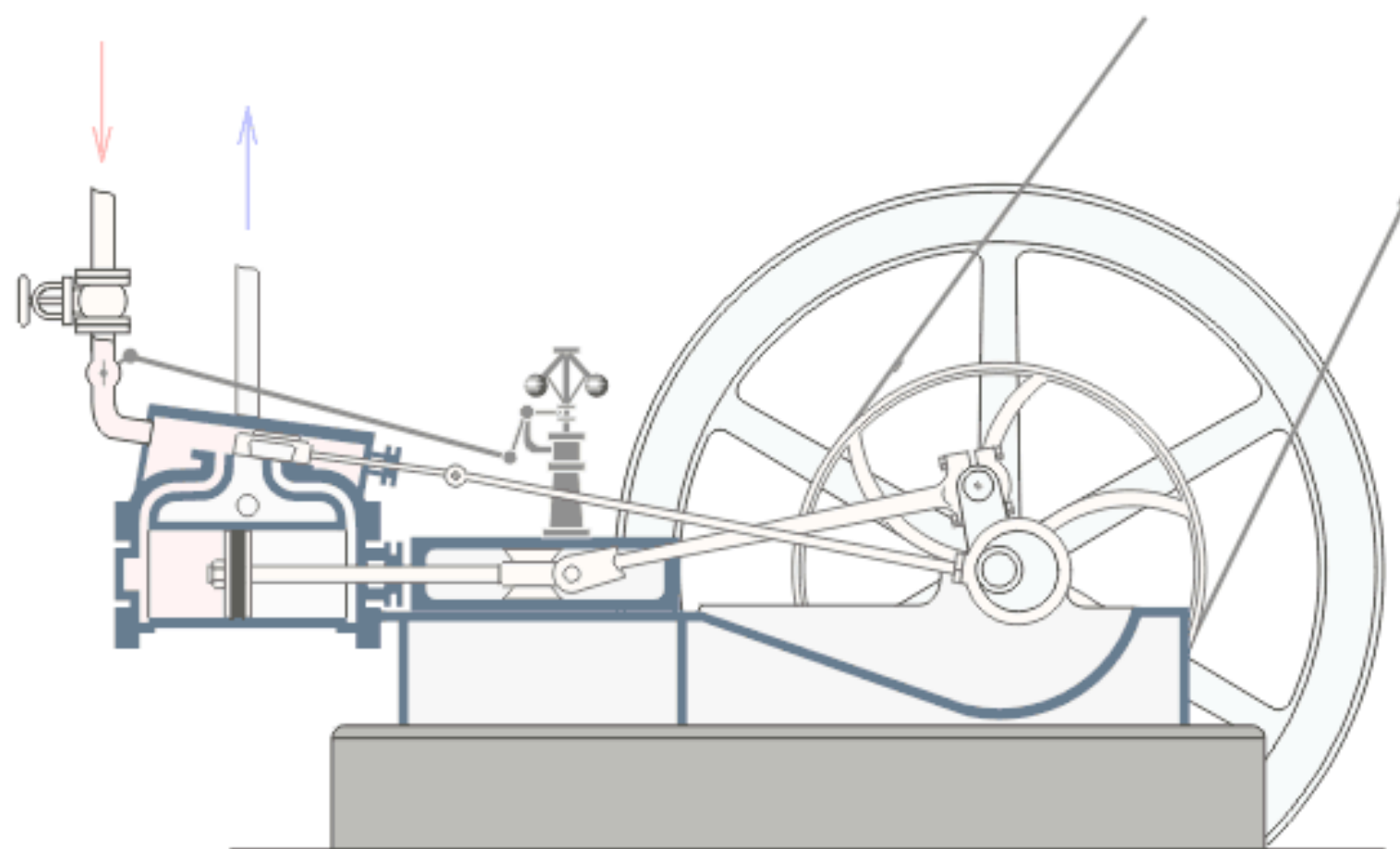
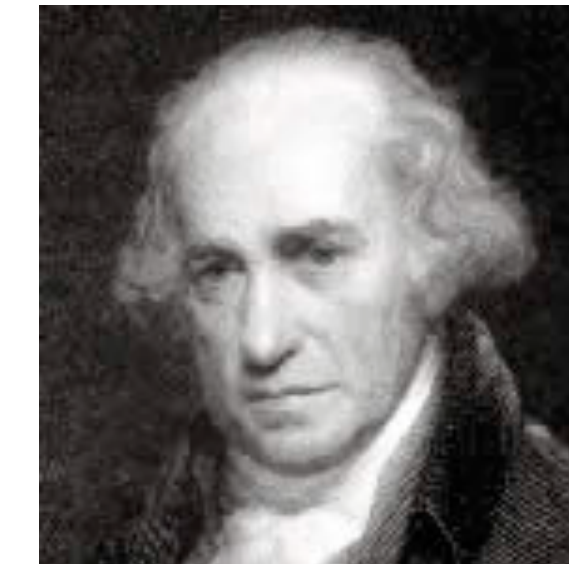
熱機関がする仕事 $W' = W_1 - W_2$
高温物体から吸収する熱量 $Q_1 = Q_{1-1} + Q_{1-2}$
低温物体へ放出する熱量 $Q_2 = Q_{2-1} + Q_{2-2}$

- 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。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。



(a) ニューコメンの大気圧機関のしくみ

- 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。

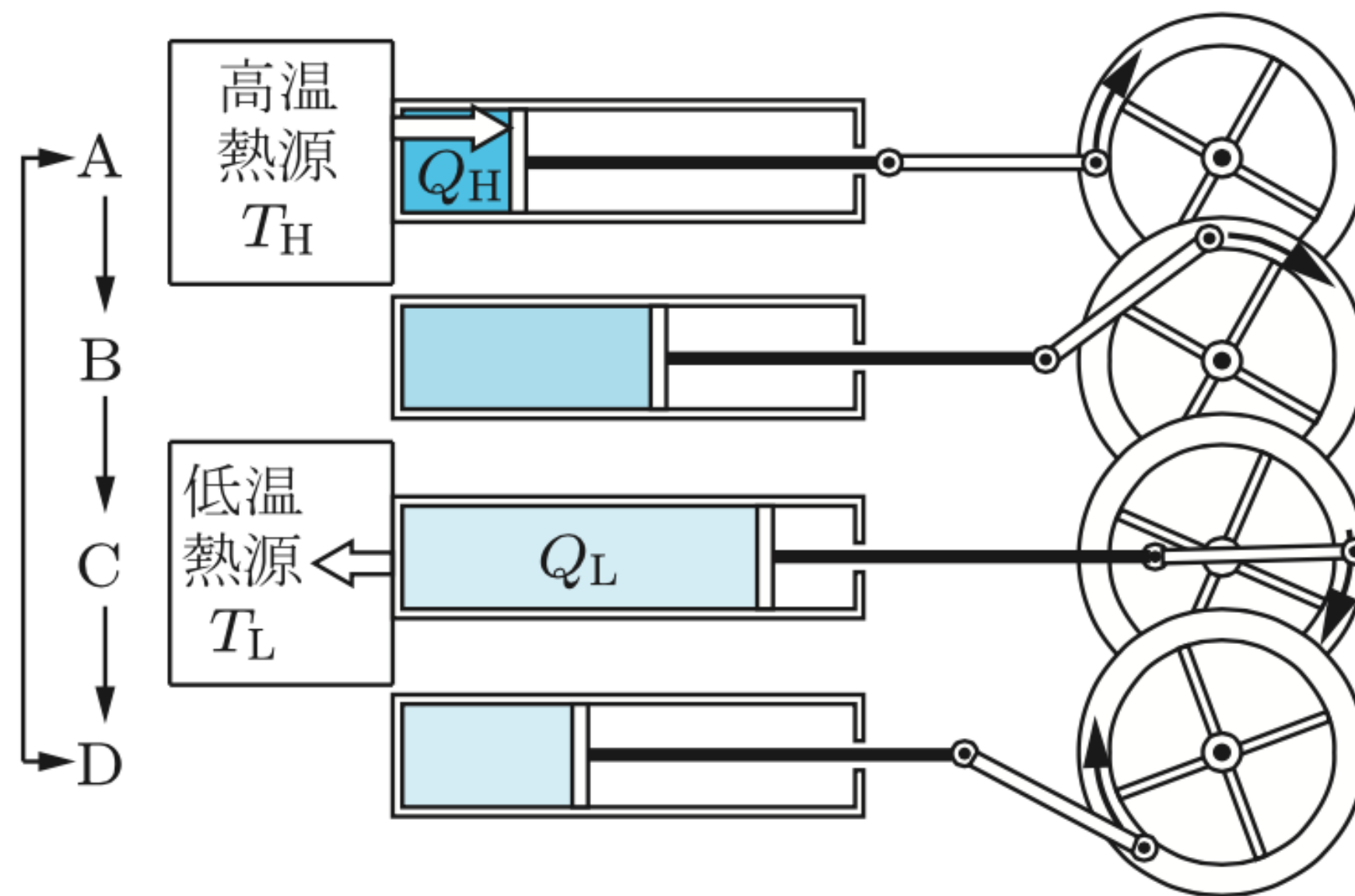


<http://mi.eng.cam.ac.uk/IALego/steam.html>

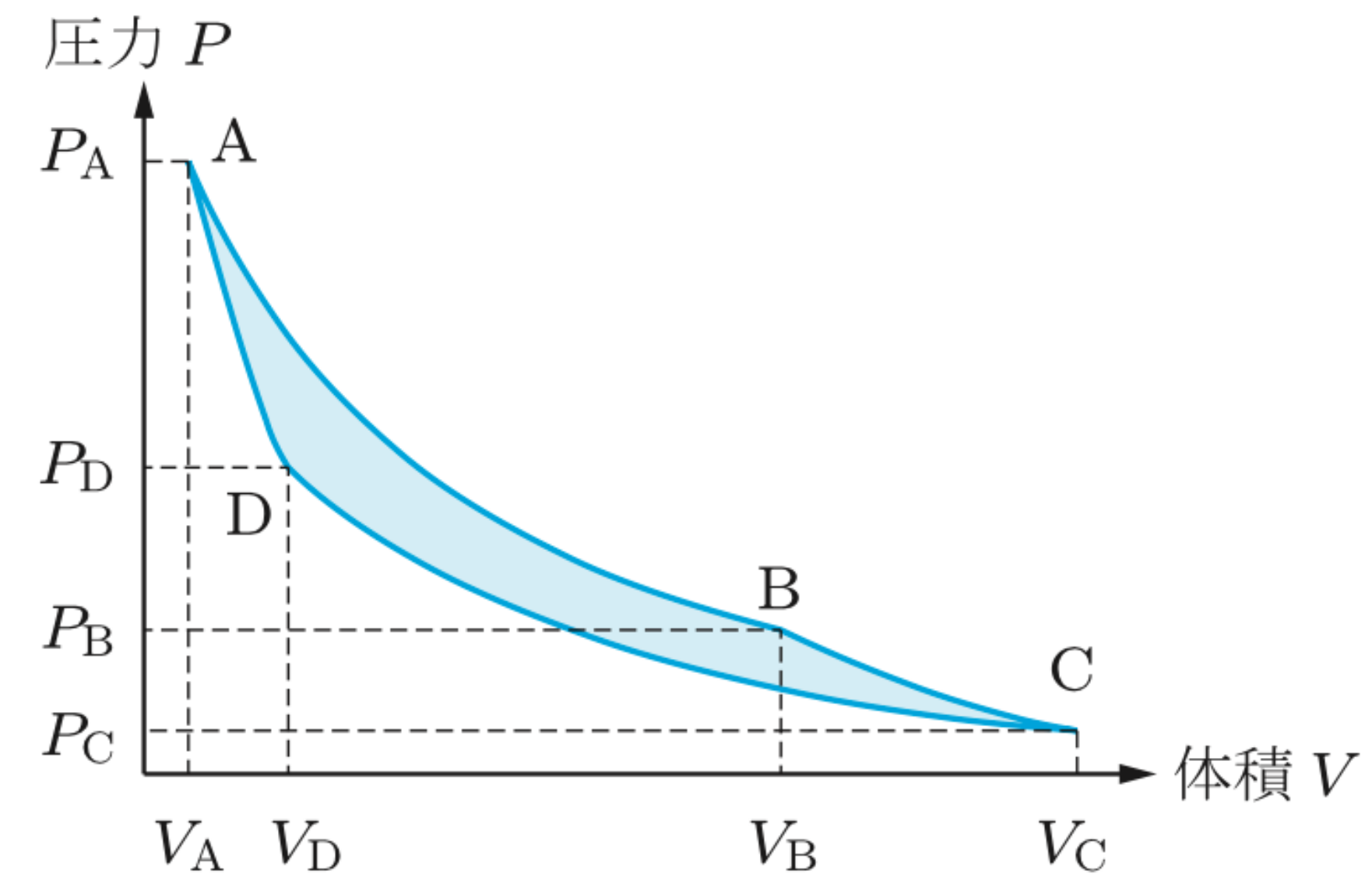
(b) ワットの蒸気機関のしくみ

熱サイクル(2) エンジンとは熱サイクル

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押し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。

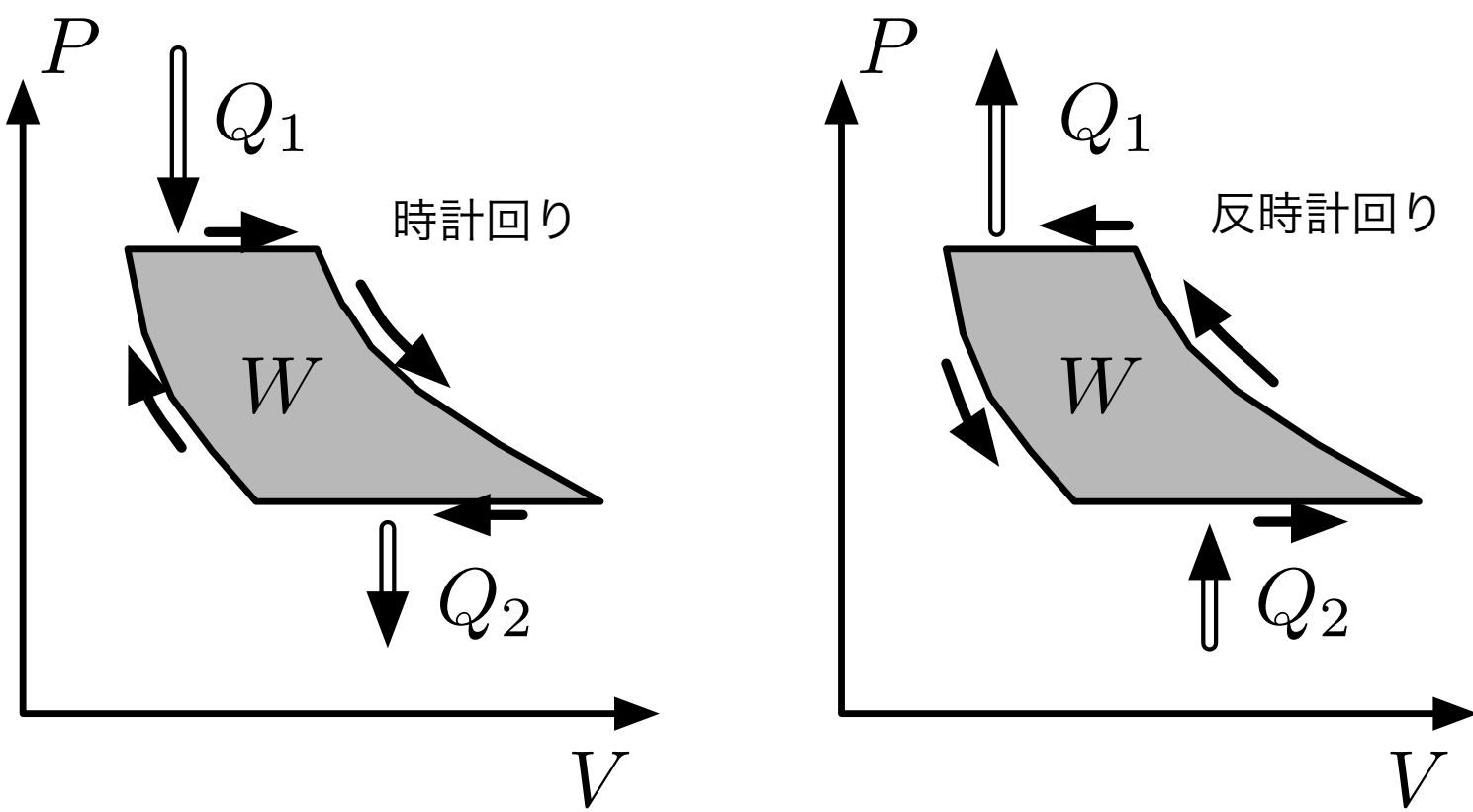
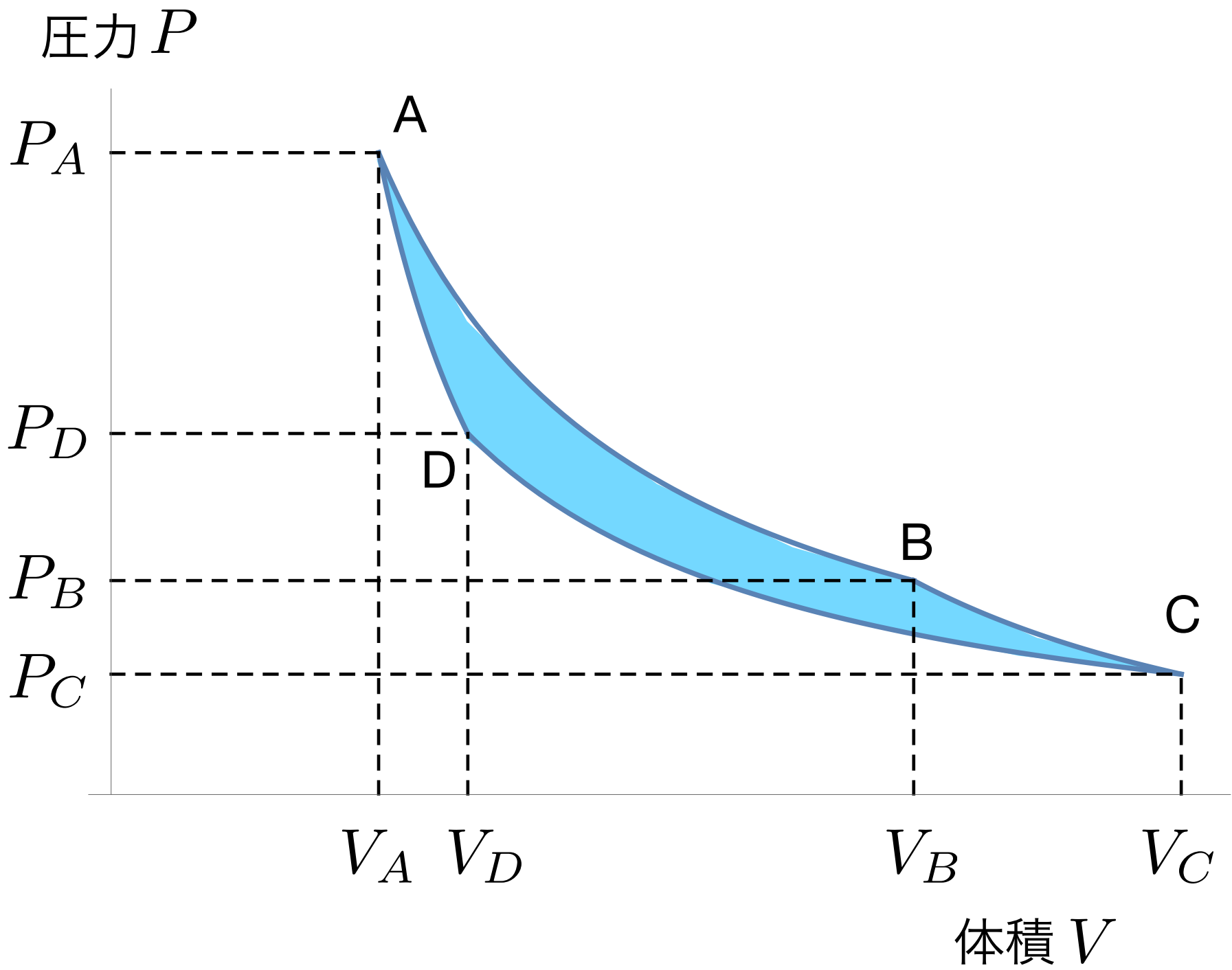
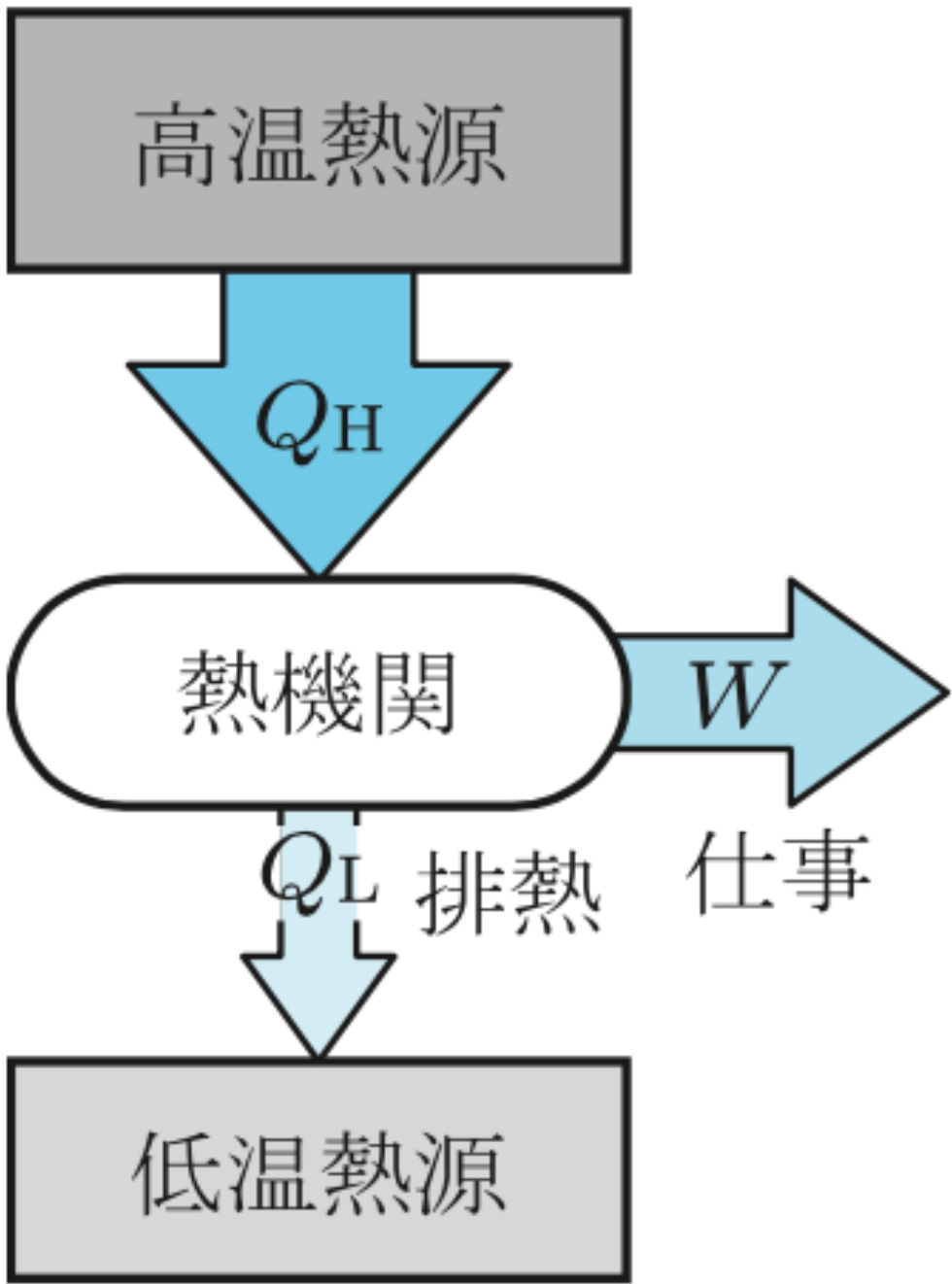


(a) シリンダー内の気体がピストンを
押して仕事をする熱機関



(b) P - V グラフ

PVグラフを右回りか, 左回りか



〔8-1〕(今日の講義から)

高さ100mの滝から水が落下した. 位置エネルギーがすべて熱に変化したとすると, 水の温度は何度上昇するか.

Note: 位置エネルギー $E[\text{J}] = mgh$ $g = 9.8[\text{m/s}^2]$
 熱の仕事等量 $1[\text{cal}] = 4.2[\text{J}]$

〔8-2〕 それぞれについて, 直観で(調べずに), 科学的に正しいと思う/思わない/どちらともいえない を答えてください. できれば理由を添えて.

- ① 血液型性格診断 「Aは几帳面, Bはマイペース, Oはおおざっぱ, ABは天才肌」
- ② マイナスイオンは体によい 「マイナスイオン・ドライヤーで髪がさらさら」
- ③ 携帯の電波は心臓ペースメーカーに危害を加える
 「混雑時あるいは優先席付近では携帯電話の電源をお切りください」
- ④ ゲーム脳 ゲームばかりしていると頭が悪くなる
- ⑤ UFO 宇宙人の乗り物である
- ⑥ 水に優しい言葉をかけて凍らせるときれいな結晶ができる
- ⑦ EM菌 有用微生物群(Effective Microorganisms、EM)

