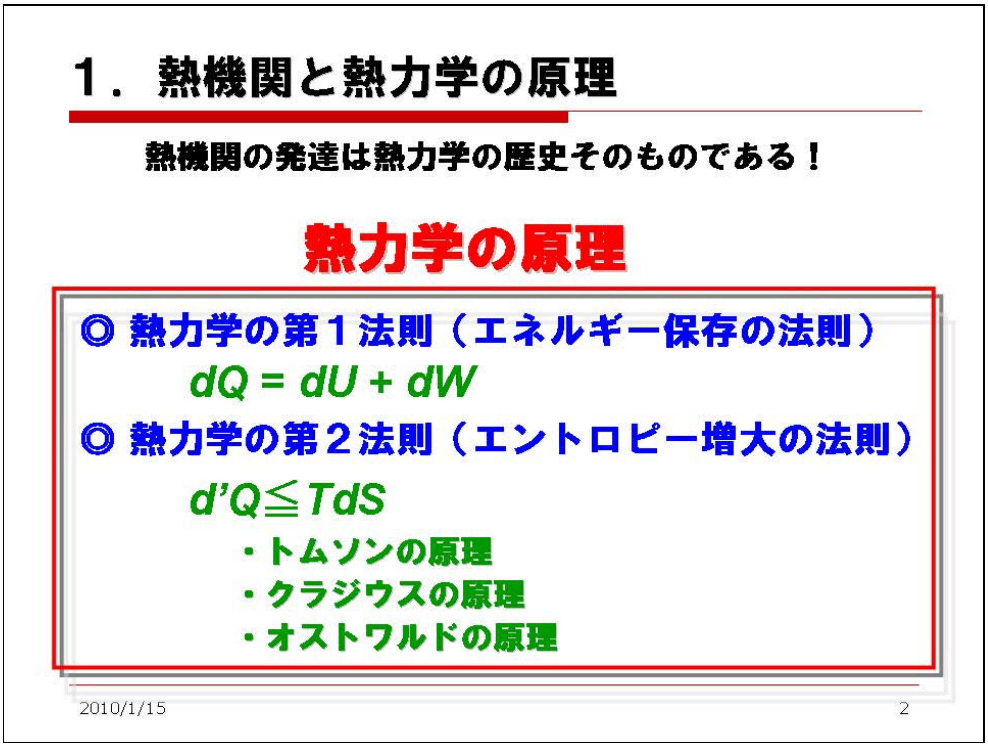
1．熱機関と熱力学の原理



1. これから熱力学の勉強をします.	1. From today, we study thermodynamics.
2. 熱力学は，熱の出入りや仕事への転換などを扱う分野です.	2. Thermodynamics is a field in which heat flow and the conversion from heat to work are studied.
3. 熱力学の法則は，私たちの日常生活に密接している自動車のエンジンの内燃機関やエアコンの熱機関の基礎となっています.	3. The laws of thermodynamics are the basis of the internal-combustion engine used in automobiles and the thermal engine used in air conditioners which are essential to our daily life.
4. 熱力学は主に熱力学の第一法則と熱力学の第二法則にもとづいています.	4. Thermodynamics is governed by the first and second laws of thermodynamics.
5. 熱力学の第一法則は，エネルギー保存則のことであり，熱エネルギーは仕事のエネルギーに変換でき，エネルギーの総量は一定に保たれることを述べています.	5. The first law of thermodynamics describes the principle of conservation of energy, and states that the total energy is kept constant while the heat energy is transferred to work.
6. 熱力学の第二法則では，熱エネルギーのすべてを仕事に変換することはできず，一部のエ	6. The second law of thermodynamics states that all of the thermal energy cannot be transferred

ネルギーは捨てられ，熱エネルギーを利用すると，エネルギーの質は低下する一方であるということを述べています.

into work without a part of energy being wasted. This means that the quality of energy decreases when the thermal energy is used.

7. この二つの法則ついて，次に詳しく説明していきます.

7. We will study these two laws in detail in the following.

キーワード

・内燃機関　・熱機関　・熱力学の第一法則　・エネルギー保存則　・熱力学の第二法則

日本語解説

題「機関」

火力・電力・水力などのエネルギーを利用して機械を動かす装置を「機関」といいます。（例：「蒸気________」「________車」「________銃」）また、個人または団体がその目的を達成する手段として設ける組織を「機関」といいます。（例：「交通________」「執行________」「金融________」）

文２「転換」

物事の性質・傾向・方針などが、それまでと変わること、また、変えることを「転換」といいます。（例：「気分________」「話題を________する」「運命の________期」）

文５「変換」

ある状態・組織などが、体系的に別の状態・組織に変わることを「変換」といいます。（例：「漢字に______する」）

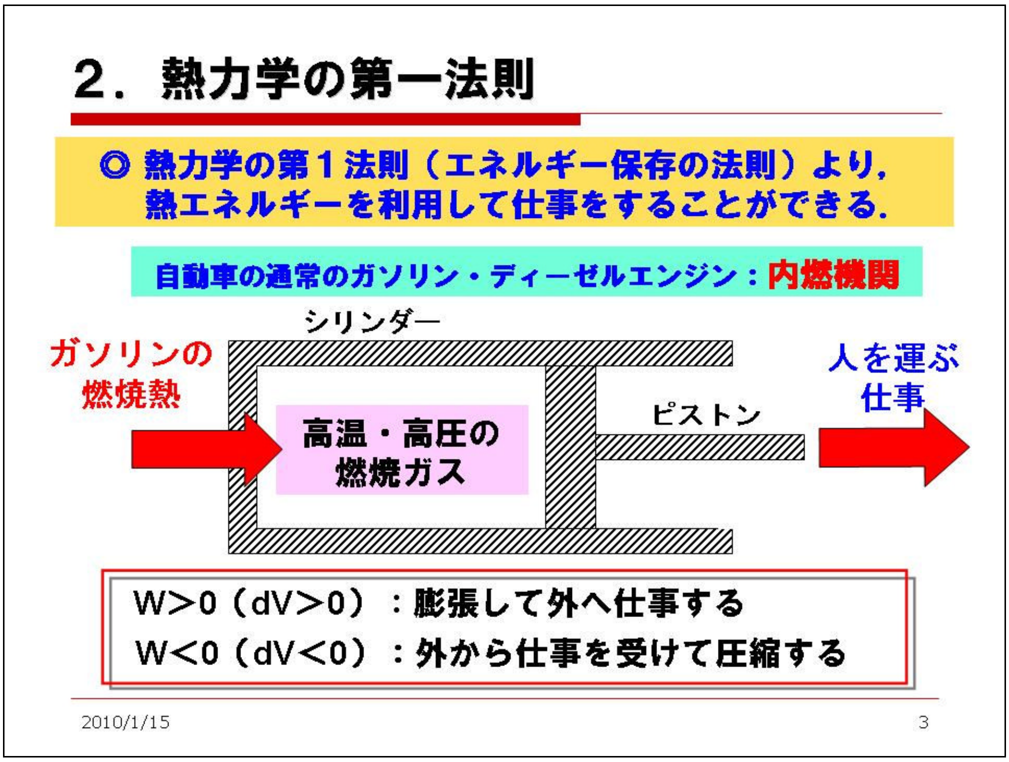
文５「総」

「総」という字が語頭につくと、その次の語のすべて・全体を表します。「総」という漢字は、糸を束ねることを表し、ひとまとめにすることを意味します。（例：「____数」「____選挙」「____会」「____括」）

文５「保たれる」

「保つ」の受身形。同じ状態で続けること、もちこたえること、維持することを「保つ」といいます。（例：「室温を一定に________」「距離を________」「平静を________」）

2. 熱力学の第一法則



1.	熱力学では，考える対象を系と呼び，系は分子や原子などの物質で構成されています．	1.	In thermodynamics the object under consideration is called a system, and the system is composed of molecules and atoms.
2.	閉じた系で気体が膨張すると，系は外に膨らみます．	2.	In a closed system, the system swells towards the outside when gas expands.
3.	この膨らむ力を利用して外部にする仕事を膨張仕事あるいは絶対仕事といいます．	3.	The outward work done by using the force produced by this swelling is called expansion work or absolute work.
4.	ここで，ピストンやシリンダからできているガソリンエンジンを例に考えます．	4.	For example, let's consider a gasoline engine composed of a piston and a cylinder.
5.	最初シリンダ内にはガソリンと空気の混合気が入っています．	5.	At first, a gasoline-air mixture is contained in the cylinder.
6.	この混合気が火花点火によって燃焼し，高温・高圧の燃焼ガスができてピストンを押し，車を動かすという仕事をします．	6.	The mixture gas is ignited and the combustion gas of high temperature and high pressure push the piston doing the work to move a car.
7.	この場合シリンダ内が系です．いま，仕事をW，系の体積をＶとします．	7.	In this case, the inside of the cylinder corresponds to the system.　Let the work be W

W＞０のときは膨張して外へ仕事し、
（ｄＶ＞０）
W＜０：外から仕事を受けて圧縮します.
（ｄＶ＜０）

and the volume of system be V. When W>0, the system expands and work is done to the outside (dV>0). When W<0, the work is done to the system from the outside and the gas is compressed (dV<0).

キーワード

・系　・シリンダ　・ピストン　・混合気　・火花点火　・燃焼ガス　・仕事　・膨張　・圧縮

日本語解説

文２「膨張」

物体が熱で、その体積を増すこと、ふくれることを「膨張」といいます。

文５「混合」

異質なものが混じり合うこと、また、異質なものを混ぜ合わせることを「混合」といいます。「混合」という語を使った言葉に「混合比、混合薬、混合林、混合酒、混合ダブルス」などがあります。

文６「点火」

火をつけること、火をともすことを「点火」といいます。「点」という漢字には、何もないところに姿を現すという意味があります。明りがついたり消えたりすることを「点滅」といいます。

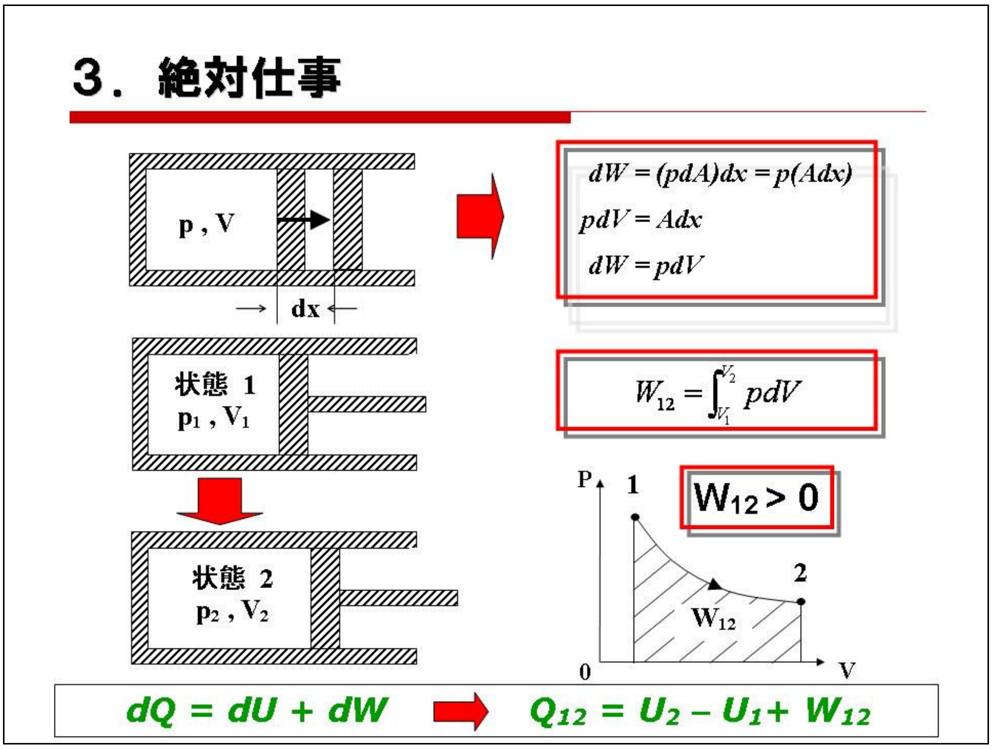
文６「燃焼」

必要な酸素などを得て、燃料が燃えることを「燃焼」といいます。比喩的に、力の限りを尽くして仕事などに打ち込むことを「(完全) 燃焼」といいます。

文７「圧縮」

物質に圧力を加えてその容積を縮小させることを「圧縮」といいます。(例：「_____機」「_____酸素」「_____ポンプ」「画像データの_____」) また、原稿などに手を入れて、分量を少なくしながら趣旨の徹底をはかることを「圧縮」といいます。

3．絶対仕事



1. ここでは，系内の気体が膨張して，断面積A のピストンが dx動いた場合を考えます．
2. 気体の圧力を p とすると，ピストンは pA の力で押されて，dx だけ外に動きます．
3. この間，dx は小さいので圧力p は変化しません．
4. またピストンは摩擦もなく，準静的に動きます．
5. 「仕事＝力×動いた距離」の関係より
   $dW = (pA)dx = p(Adx)$
6. 体積増加は $dV = Adx$ だから
   $dW = pdV$
7. また，状態 1 から状態 2 まで変化したとき，その間，外部にした仕事は
   $W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} pdV$ となります．

1. Let’s think about the case where the gas in the system expands and the piston with area A moves by dx.
2. When the pressure of the gas is p, the piston is pushed by a force of pA and moved by dx towards the outside.
3. During this period, pressure p is assumed to be constant because dx is small.
4. The piston changes quasi statically and there is no friction.
5. From the relationship ‘work=force×distance’, we have $dW = (pA)dx = p(Adx)$
6. Since the volume increase is given by $dV = Adx$, we have $dW = pdV$
7. Moreover, when the system changes from state 1 to state 2, the work done to the outside is given as $W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} pdV$

8. 変化の過程を p と V の関数として与えると，積分ができ，仕事が決まります．

8. We can integrate by giving the relation between p and V during the process and obtain the work.

9. このときの状態変化を，縦軸に圧力p，横軸に体積V を用いた pV線図に示します．

9. The variation of the state during this process is shown by a pV diagram which has a vertical axis of pressure p and a horizontal axis of volume V.

10. pV線図では仕事は面積で表されます．

10. In the pV diagram, the work is shown in area.

11. また，変化の方向を示す矢印が左から右に向いているとき，膨張により系は外に仕事をします．（dV＞0，W_{12}＞0）

11. Moreover, when the arrow indicating the direction of the change points from the left to the right, the system works to the outside by expansion. （dV＞0，W_{12}＞0）

12. 状態変化が起こったとき，pV線図は仕事の出入りが視覚的にわかりやすいためよく用いられます．

12. When the state varies, the pV diagram is often used because the direction of work is visually comprehensible.

13. エネルギーの保存則によると，閉じた系に微小熱量（dQ）が与えられると，そのエネルギーは内部エネルギーの上昇（dU）と体積膨張（dV）による外部への仕事（dW）に使われます．

$$dQ = dU + dW = dU + pdV$$

13. According to law of conservation of energy, when a small amount of heat (dQ) is given to the closed system, it is used both to increase the internal energy (dU) and to produce work (dW) to the outside due to volume expansion as follows $dQ = dU + dW = dU + pdV$

14. これが微分形で書いた場合の閉じた系における熱力学の第一法則です．

14. This is the first law of the thermodynamics expressed by the differential form of the closed system.

15. 状態 1 から状態 2 まで変化した場合には上式を積分して，

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + W_{12}$$

が得られます．

15. When the state changes from state 1 to state 2, the above expression is integrated and we have

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + W_{12}$$

キーワード

・摩擦・準静的変化，　・pV 線図，　・エネルギーの保存則，　・内部エネルギー
・体積膨張，　・閉じた系，
・熱力学の第一法則

日本語解説

文１「断面」

物体の切り口の面を「断面」といいます。また、物事をある観点から見たとき、そこに現れている状態を「断面」といいます。(例 :「社会の________」)

文４「摩擦」

運動する物体が他の物体と接触したときに受ける抵抗を「摩擦」といいます。「摩」という漢字は、麻が表皮をすりつぶして繊維をとるところから、手ですりつぶすことを表し、「擦」という漢字は、そのときの音を表しています。一般には、物と物がすれあって、熱や音を出したり、減ってしまったりすることを意味します。また、相手や周囲の人と意見や感情の食い違いが起こり、事がうまくいかないことを指し、「________が生じる」とか「________を起こす」といいます。

文４「準」

「準」という字を前につけて、主ではないが、その次に位することを「準」(「准」) で表します。例えば、「準決勝、準社員、準会員、准教授」などです。「準」という漢字には、目当てや依りどころとなるもの、また、目当てや依りどころとなるものに比べてそれに合わせること、という意味もあります。この意味の言葉に「基準、標準、準拠、準備」があります。

文 12「視覚」

目で見たときに起こる感覚、物を見る神経の働きを「視覚」といいます。人間が外界の刺激を感じることができる感覚の一つであり、聴覚、味覚、嗅覚、触角と合わせて「五感」といいます。

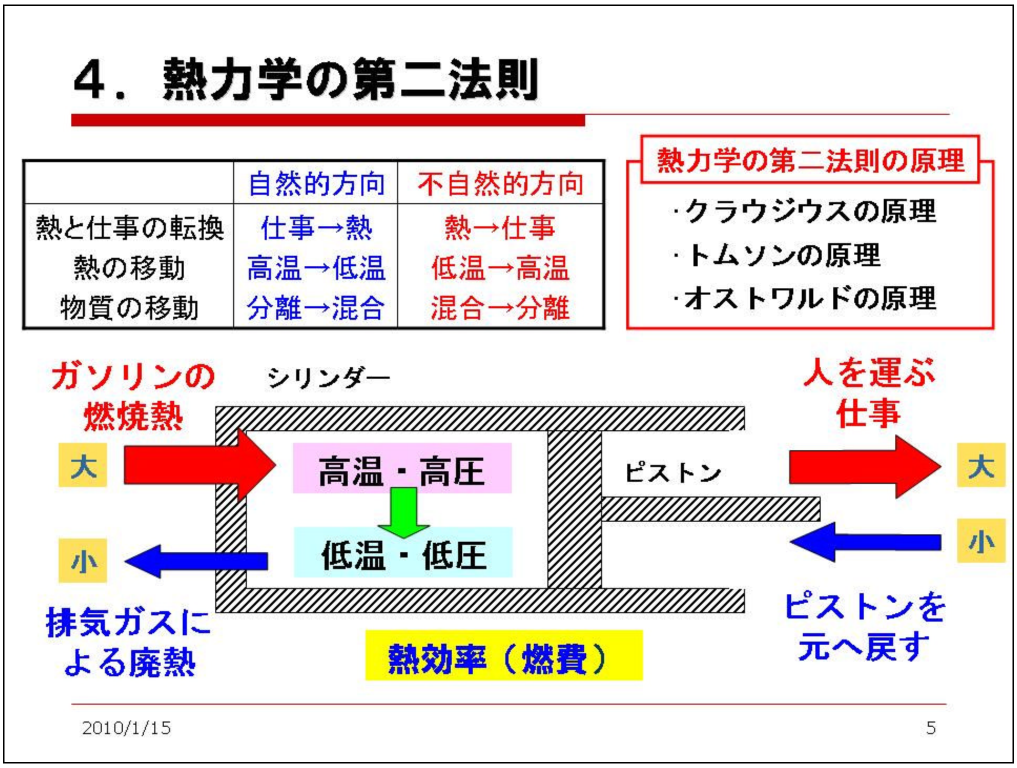
文 13「微小」

きわめて小さいことを「微小」といいます。「微」という字を使った言葉に「微細、微生物、微力、微妙、微笑、隠微、顕微鏡」などがあります。

文 13「上昇」

上にのぼること、あがることを「上昇」といいます。(⇔「下降」「低下」) (例 :「物価が________する」「人気________中」「________気流」)

4．熱力学の第二法則



1. ここでは，熱力学の第二法則について勉強します．
1. In this section we study the second law of thermodynamics.

2. 自然界に起こる変化は必ず熱力学の第一法則に従いますが，逆にこの法則を満たしても決して起こらない変化があります．
2. The changes occurring in nature follow the first law of thermodynamics, however there are changes that never occurs even if it follows the first law.

3. ある変化が熱力学の第一法則を満たすとして，それが自然界に起こることがあるか，決して起こらないか，その区別を与える規準が熱力学の第二法則です．
3. The second law is the criterion to distinguish whether the changes in nature fulfilling the first law occurs or not.

4. 過去の実験によれば，自然界では変化はある一定の方向に向かって起こることがわかっています．
4. From past experiments, it is known that changes occur in a definite direction in the nature.

5. 例えば，電気ヒーターで部屋を暖めることは容易にできても，暖めた部屋で電気を発生することは難しいということからもわかります．
5. For example in real life, you can easily warm your room using an electric heater. However, the opposite way like generating electric power from warm room, is difficult.

6. 自然的方向への変化は何もしないでも起こ
6. The changes in their natural direction can occur

りますが，不自然方向への変化は，なんらかの人的な工夫をしないと生じません.

on its own, but the change in the opposite direction needs our artificial assistance.

7. まとめると，熱力学の第二法則は，変化の過程の難易度を示したもので，熱力学の第一法則が“エネルギーの量”に関係しているのに対して，“エネルギーの質”に関係しています.

7. In summary, the second law of thermodynamics represents the difficulty level of the changing process. The first law is related to the quantity of energy, while the second law is related to the quality of energy.

8. 熱力学の第二法則の表現方法はいろいろありますが，いずれも同等です.

8. There are several expressions to the second law of thermodynamics and they are all equivalent.

9. クラウジウスの原理は，熱が低温物体から高温物体へ自然に移ることはできないこと表 しています.

9. Clausius law means that heat cannot transfer from a low temperature substance to a high temperature substance naturally.

10. トムソンの原理は，一様な温度の熱源から取った熱を，それ以外に何の変化も残さないですべて仕事に変換することはできないということを表 しています.

10. Thomson law means it is impossible to change all the heat obtained from a uniform heat source into work without making any other changes.

11. オストワルドの原理は，熱源から熱を取り，外界に何の変化も与えずに，これを継続的にすべて仕事に変換する機関（第二種の永久機関）は存在しないということを表 しています.

11. Ostwald law says, no such a machine exists that can continuously change the heat extracted from a heat source without inflecting change to the surroundings.　(a perpetual-motion machine) .

12. 次に，このシリンダの図は熱力学の第二法則をわかりやすく表 したものです.

12. Next, this figure of cylinder simply explains the second law of thermodynamics .

13. 継続して正の仕事を取り出すためには，燃焼ガスを排出してシリンダの中を低温･低圧にし，ピストンを小さな力で元に戻し，サイクルとしなくてはなりません.

13. In order to take out a positive work continuously from an engine, we must return the piston with a small force and make a cycle.　This process is realized by exhausting combustion gas and decreasing the temperature and pressure inside of a cylinder.

14. 実際には，この際の正味の仕事量から熱効率が求まり，熱機関としての性能がわかります.

14. Practically, we can get the thermal efficiency from the net work, which gives the performance of the heat engine.

15. また，熱効率に関しては，以降でもう少し詳しく説明します.

15. Thermal efficiency will be explained in the following sections.

キーワード

・熱力学の第二法則　・クラウジウスの原理　・トムソンの原理　・オストワルドの原理　・低温物体
・高温物体　・仕事　・正の仕事　・燃焼ガス　・サイクル　・第二種の永久機関　・正味の仕事量

日本語解説

文２「自然界」

「自然」とは、天体・山川草木・動物など、人間を取りまくすべてのものを指します。「自然界」とは、天地万物が存在する世界を指し、「人間界」（人間同士の世界）に対して、それ以外の世界という意味もあります。

文２「決して～ない」

強く否定したり禁止したりするときに使う文型。(例：「彼は________怒ら____」「彼を________許さ____」「そんなことを________し____でください」)

文６「人的」

人に関することを表す言葉の語頭につきます。（⇔「物的」）（例：「________資源」「________被害」「________交流」）

文７「難易度」

「難」は難しいこと、「易」はたやすいことを表し、「難易度」は難しさの度合いを表します。(例：「この仕事は________が高い」「________に差がある」

文８「同等」

等級・程度が同じであることを「同等」といいます。(例：「________の扱い」)

文 11「永久」

状態・動作などがある時点から無限に続くことを「永久」といいます。(例：「________保存」)

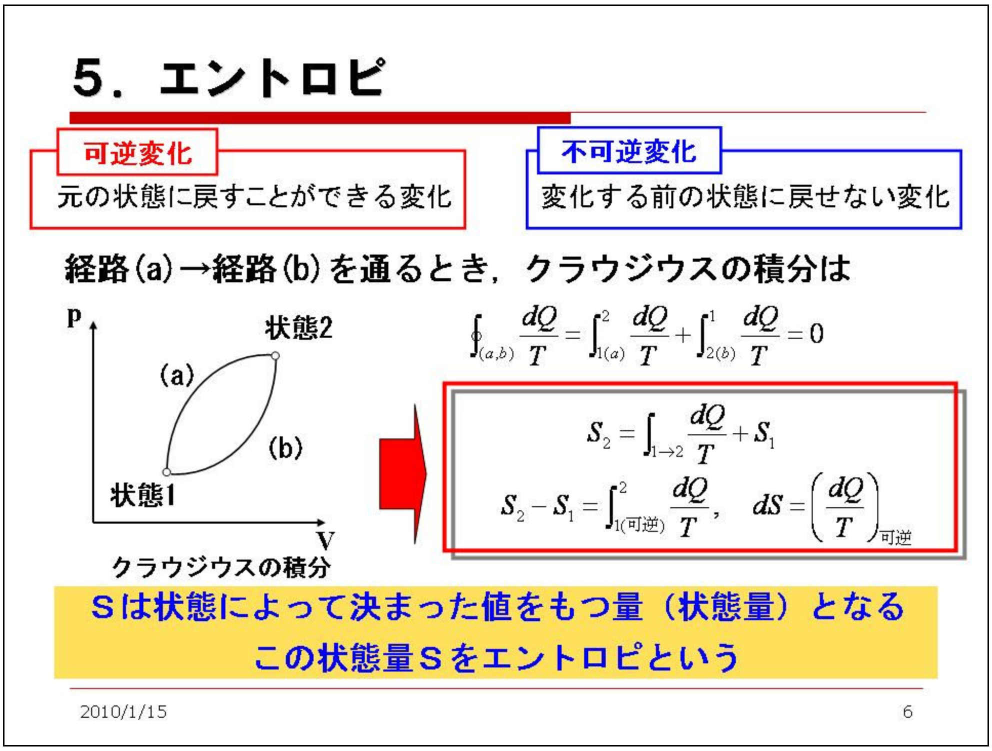
文 14「正味」

外皮や付属部分を取り除いた中身、実質を「正味」といいます。(例：「________8時間働く」)

文 14「求まる」

「求められる」の圧縮形です。「答えが________」のように、数学でよく使います。

5．エントロピ



1. 次に，可逆変化に関して勉強します．
2. ある系が状態変化したとき，その変化に関係した系と周囲のすべてのものを，元の状態に戻すことができるとき，これを可逆変化といいます．
3. 可逆変化では，必ずしも最初の変化を逆にたどって元に戻る必要はなく，どのような方法でも構いません．
4. また，可逆でない変化を不可逆変化といいます．
5. 先程のエンジンのシリンダの例を思い出してください．
6. シリンダとピストンの接触面では速度差がでるため摩擦が生じ，摩擦仕事が熱に変わり周囲に伝わっていきます．

1. Next we study about reversible change.
2. If we can return the system and the surrounding into the original state after the change, it is called the reversible change.
3. In reversible change, it is not necessary to follow the same path as the first changes in the reverse direction to get the original state. Any path can be used.
4. Changes which are not reversible are called irreversible changes.
5. Please remember the cylinder of the engine we talked before.
6. Because there is a relative velocity between the cylinder and the piston, friction will occur and the frictional work changes to heat and escapes to the surrounding.

7. これを，逆に動かしてピストンを押してシリンダ内の気体を圧縮しても，内部の気体は元の状態に戻りますが，周囲へ逃げた摩擦熱が戻ってくるわけではありません．

7. If you move the piston in reverse direction, the gas inside will return to its original state, but the frictional heat which escaped to the surrounding will not return.

8. すなわち，摩擦は不可逆変化です．

8. Hence, the friction causes the irreversible change.

9. 摩擦，熱伝達，物質混合など自然界の変化はすべて不可逆変化で可逆変化は存在しません．

9. In nature, all the phenomena, such as friction, heat transfer, substances intermixing, are all irreversible changes and the reversible change does not exist.

10. しかし，熱力学では解析の容易性などから可逆変化を想定しています．

10. But, in thermodynamics we consider a reversible change for simplicity in analysis.

11. 次に，エントロピという状態量について勉強します．

11. Next we study a state quantity called entropy.

12. ここでも，任意の可逆サイクルについて考えています．

12. Here, we consider an arbitrary reversible cycle.

13. 図中の(a)，(b)という二つの可逆変化からなる逆サイクルにおいて経路(a)を通って１から２へ行き経路 (b)を通って２から１に戻るときクラウジウスの積分は次式となります．

13. In the reversible cycle composed of two reversible changes (a) and (b) as in the figure, when the change occurs from state 1 to state 2 through the path (a) and from state 2 to state 1 through the path (b), the Clausius integral is given by this expression.

14. すなわち，

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

は可逆変化のとき，経路(a)，(b)に関係なく，最初の状態１と最後の状態２が与えられれば決まってしまうので，状態量として扱えます．

14. Namely, since this value $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$ is determined by only the initial state 1 and the final state 2 without relation to the path it follows, we can treat this as a state value.

15. これをエントロピといい，S で表します．

15. This is called entropy and denoted by S.

16. ここで重要な原理が一つあります．

16. Here, I explain an important theorem.

17. 熱，仕事，物質の出入りのない孤立系では，可逆変化が起これば

$$dS = 0$$

となります

17. In an isolated system with no exchange of heat, work or matters, $dS = 0$ holds if a reversible change occurs.

18. しかし，実際の変化は必ず不可逆変化ですから， $$dS > 0$$ となり，エントロピは増大します.	18. However, the real changes are irreversible, hence $dS > 0$ and the entropy increases.
19. 負になることはありません.	19. The entropy never decreases..
20. これをエントロピ増大の原理といいます.	20. This is called the second law of thermodynamics.
21. 前述の自然界の変化の方向とは，自然界を一つの孤立系と考えたときのエントロピが増大する方向となります.	21. The nature always changes to increase the entropy if we consider it as an isolated system.

キーワード

・可逆変化　・不可逆変化　・エンジン　・シリンダ　・ピストン　・摩擦　・摩擦仕事　・摩擦熱
・　エントロピ　・可逆サイクル　・クラウジウスの積分　・エントロピ増大の原理

日本語解説

文 1「可」

できることを「可」といいます。本文の「可逆」とは、逆にもできるという意味になります。この意味で「可」を使った語に「可能、可燃、可動、可溶」などがあります。

文 4「不可」

できないことを「不可」といいます。本文の「不可逆」とは、逆にはできないという意味になります。この意味で「不可」を使った語に「不可欠、不可能、不可侵、不可解」などがあります。

文 10「解析」

複雑なものの仕組みを解明するために、細かく分析することを「解析」といいます。

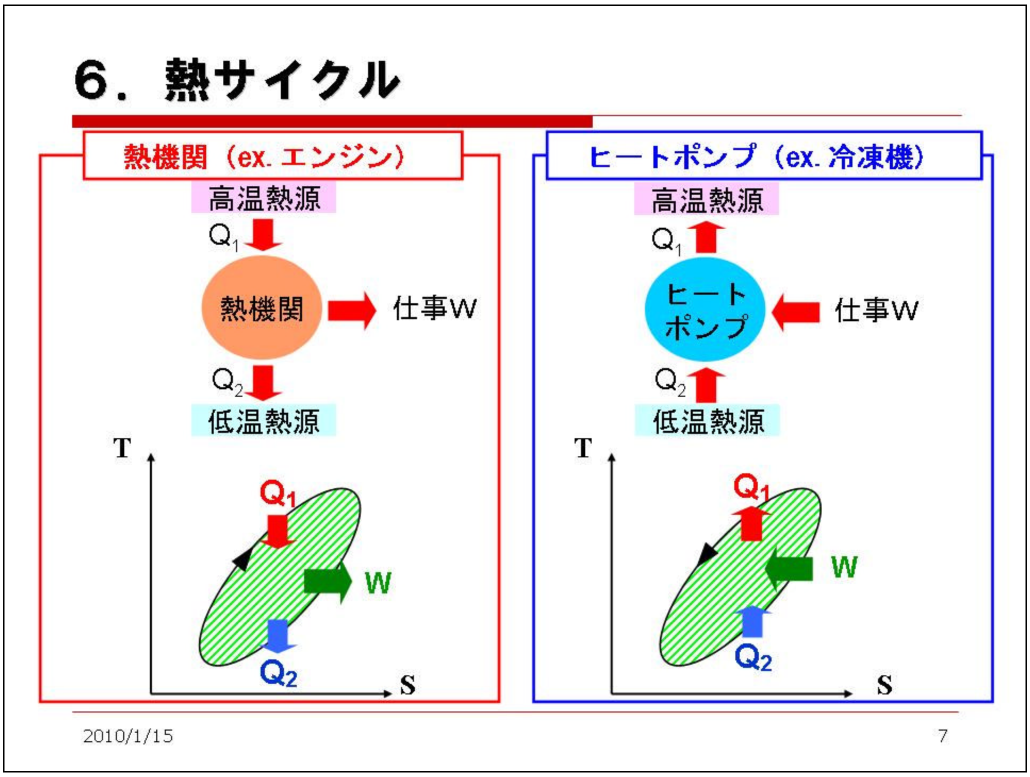
文 10「想定」

ある一定の状況や条件を仮に思い描くことを「想定」といいます。(例 :「事故を＿＿＿＿して訓練する」「＿＿＿＿外の出来事」)

文 17「孤立」

他と離れてそれだけであることを「孤立」といいます。一般に、身のまわりに頼りになるものがない不利な立場を「孤立」といいます。(例 :「仲間から＿＿＿＿する」「＿＿＿＿無援になる」)

６. 熱サイクル



1. ここでは，熱力学でよく用いられる pV 線図と TS 線図について勉強します．
2. 仕事は
$$dW = pdV$$
で示されるから，pV 線図では，仕事は面積で表されます．
3. また，変化の方向を示す矢印が左から右に向いているときは，膨張していますから，系は外に仕事をしています．
4. 逆に，矢印が右から左に向いているときは，圧縮を受ける変化ですから，系は外から仕事をされています．
5. 縦軸に絶対温度，横軸にエントロピを示した図を TS 線図といいます．

1. Here, we study about pV-diagram and TS diagram which we use often in thermodynamics.
2. Since the work is represented by $dW = pdV$, it is described by the area in pV diagram.
3. When an arrow in the figure directs from left to right, the system is expanding and doing work to the surrounding.
4. Oppositely, when the arrow directs from right to left, the system is being compressed and receives work form the surrounding.
5. The diagram with temperature for ordinate and entropy for abscissa is called TS diagram.

6. 熱量は $dQ = TdS$ で示されるため，TS 線図では，面積は出入りする熱量を示しています．

6. Heat quantity is represented by $dQ = TdS$, so it quantity is represented by the area in the TS diagram.

7. また，エントロピが増加する方向なら，系を加熱（吸熱）しています．

逆に，エントロピが減少する方向なら，系から熱が逃げていくこと（放熱）を示しています．

7. If the change occurs in the direction of increasing entropy, it means that the system is heated.

Inversely, if it occurs in the direction of decreasing entropy, it means that the heat escapes from the system.

8. 次に，サイクルを TS線図で考えてみます．

8. Next, we consider the cycle using TS diagram.

9. 左の熱機関の例を見てください．

9. Look at the example of heat engine on the left side.

10. 時計回りでは加熱量が放熱量より大きいので，系が外にする正味の仕事は正となり，このサイクルは熱機関を示します．

10. In clockwise direction, since the heat intake is larger than the heat discharge, net work by the system is positive and this cycle describes a heat engine.

11. 逆に, 反時計回りの場合は放熱量が吸収熱量（加熱量）を上回るので，正味の仕事は負になり，このサイクルはヒートポンプあるいは冷凍機となります．

11. Oppositely, when the cycle is traced in the counterclockwise direction, heat discharge is larger than heat absorption, so work from system is negative and this cycle describe heat pump or refrigerator.

.

キーワード

・pV 線図　・TS 線図　・圧力　・体積　・仕事　・膨張　・圧縮　・状態変化　・エントロピ
・熱量　・サイクル　・熱機関　・ヒートポンプ　・冷凍機

日本語解説

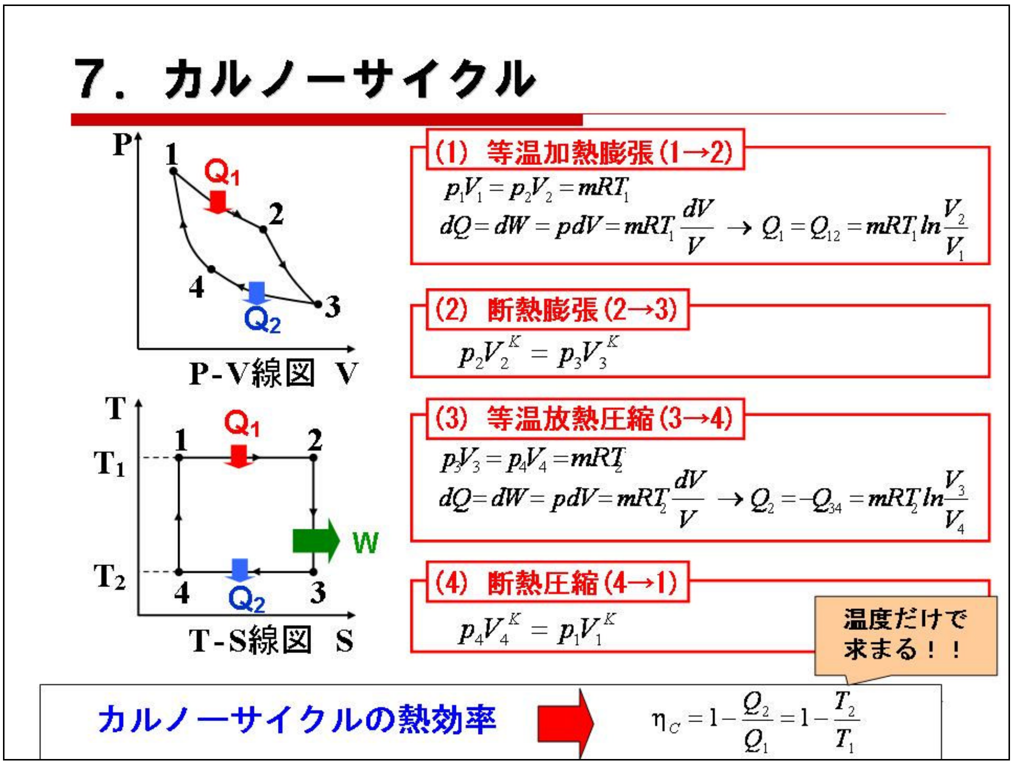
文 11「時計回り」

時計の針がまわる方向にまわることを「時計回り」または「右回り」といいます。(⇔「反時計回り」)

文 11「冷凍」

保存のために食品などを凍らせることを「冷凍」といいます。(⇔「解凍」)

7. カルノーサイクル



1. ここでは，カルノーサイクルについて勉強します．
   Here, we study about Carnot cycle.

2. ここでも，ピストンとシリンダからなる系に一定の量の理想気体を詰めておきます．
   First let’s think about piston and cylinder system with a certain amount of ideal gas.

3. ピストンは完全に熱の移動を遮断する材料でできており，摩擦損失もなく滑らかに動きます．
   The piston is made of heat insulating material and has no friction.

4. シリンダ壁の底以外は断熱壁でできており，底は等温膨張では吸熱，等温圧縮では放熱，それ以外では断熱となっています．
   Cylinder wall is adiabatic except the bottom, which absorbs heat during isothermal expansion, releases heat during isothermal contraction, and else adiabatic.

5. 次のように，4段階の準静的変化をして元に戻るサイクルをカルノーサイクルと呼びます．
   The cycle which returns to the initial stage with the following four steps of quasi static change is called Carnot cycle.

6. 準静的変化では，いつでも熱平衡状態にあると考えられるため，変化は図上の連続曲線
   At quasi static change, we can assume that the system is always in thermal equilibrium. So, the

	で表され, 準静的サイクルは閉曲線となります.		change is described by a continuous curve as in the figure and the quasi static cycle is a closed curve.
7.	はじめに(1)等温加熱膨張について考えましょう.	7.	Let's think about the isothermal expansion step (1).
8.	最初に m モルの理想気体を温度 T_1 の高温熱源と接触させながら準静等温的に膨張させて，体積を V_A から V_B に変化させます.	8.	First, expand m mol of ideal gas quasi statically by contacting it to high temperature heat source T_1, and change volume from V_A to V_B.
9.	このとき気体が外にする仕事は次の式で表されます.	9.	At this time, the work done by the gas to the surrounding is described by the next expression.
10.	この間，温度T が一定であるから理想気体の内部エネルギーU は変化しません. したがって，その仕事と等量の熱量 Q_1 を熱源から受け取ることになります.	10.	In this change, T remains constant and ideal gas's U doesn't change. Hence, the gas receives the same amount of heat from the heat source as the work.
11.	次に(2)断熱膨張について考えます.	11.	Next, think about the adiabatic expansion step (2). At this time, gas is expanded adiabatically.
12.	ここでは，気体を準静断熱的に膨張させます.	12.	In this step, gas is expanded adiabatically.
13.	断熱膨張によって温度が下がるため，低温熱源の温度T_2 に等しくなるまで膨張させます.	13.	Temperature decreases by the adiabatic expansion, and the gas expands until the temperature becomes equal to the low heat source temperature T_2.
14.	体積V_2 と体積V_3 の関係は式のようになります.	14.	The relation between V_2 and V_3 is as follows.
15.	断熱的変化であるから，この変化の間に内部エネルギーは気体が外にした仕事だけ減少します.	15.	Because it is adiabatic change, internal energy will decrease by the same amount as the work done to the surrounding.
16.	次に、(3)等温放熱圧縮について考えます.	16.	Next think about isothermal compression step (3).
17.	今度は，気体を温度T_2 の低温熱源に接触させ，等温で準静的に体積を V_3 から V_4 に圧縮します.	17.	This time, gas contacts to the low heat source T2, and isothermally compressed and the volume changes from V2 to V3.
18.	このとき(1)とは逆に，気体が外から仕事をされ，これと等量の熱を熱源に放出します.	18.	In this case, opposite to the step (1), work is done on the gas by surrounding and release the same amount of heat to the heat sink.

19. 最後に，(4)断熱圧縮を考えます.

19. Finally, think about adiabatic compression step (4).

20. ここでは，準静断熱的に圧縮を行い状態４から状態１に戻ります.

20. Gas returns to the initial state from state 4 to state 1 by compressing quasi statically.

21 このとき気体が外からされる仕事は内部エネルギーの増加量に等しいです.

The work done by the surrounding is same as the internal energy increment.

22 この仕事は(2)の仕事と等しくなります.

This work is same as work at step (2).

23 以上の４段階の過程での，エネルギーの変化をまとめます.

Here we calculate the total energy change during the above 4 steps.

Work that the gas is made the outside is the next expression when a quantity of the energy changes by the above-mentioned process of 4 stages.

$$W = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - mRT_2 \ln\frac{V_3}{V_4}$$

気体が外にした仕事は,

$$W = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - mRT_2 \ln\frac{V_3}{V_4}$$

となります.

The work done by the gas to the surrounding is

$$W = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - mRT_2 \ln\frac{V_3}{V_4}$$

24. 気体から受け取った熱量は

$Q_1 - Q_2$

であり,

$$Q = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - mRT_2 \ln\frac{V_3}{V_4}$$

となり，両者は等しくなります.

21. The heat received by the gas is $Q_1 - Q_2$ and expressed as

$$Q = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} - mRT_2 \ln\frac{V_3}{V_4}$$

. We see that these two expressions are equal.

これは，熱力学の第一法則の結果として当然です.

熱量Q_1のうち，仕事として扱われる割合は,

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

です.

This result is obvious from the first law of thermodynamics.

The ratio of heat Q_1 used as work is

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

また，理想気体のカルノーサイクルで

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}$$

が成り立つため熱効率は,

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

となります.

以上より，熱効率は熱源の温度だけで決定できます.

Moreover, because the next relation

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}$$

holds for a Carnot cycle of the ideal gas, the thermal efficiency becomes

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

This means that the efficiency depends only on the temperature of heat source and heat sink.

キーワード

・ カルノーサイクル　・ピストン　・シリンダ　・理想気体　・摩擦損失　・等温膨張　・吸熱
・等温圧縮　・放熱　・断熱　・準静的変化　・熱平衡状態　・準静的サイクル　・等温加熱膨張
・断熱膨張　・等温放熱圧縮　・断熱圧縮　・熱効率

日本語解説

文２「理想」

考えられる限り、もっとも望ましい状態や完全な状態を「理想」といいます。(⇔「現実」)

文３「遮断」

流れをそこで完全にとめることを「遮断」といいます。「遮」という漢字の「庶」は多くのものが集まることを表し、道を行くとき多くのものがいて、進むのをさえぎることを表しています。

文３「損失」

利益や財産が減ること、なくなることを「損失」といいます。「損」という字を使った語に「損害、損傷、損得、汚損、欠損、破損」などがあります。

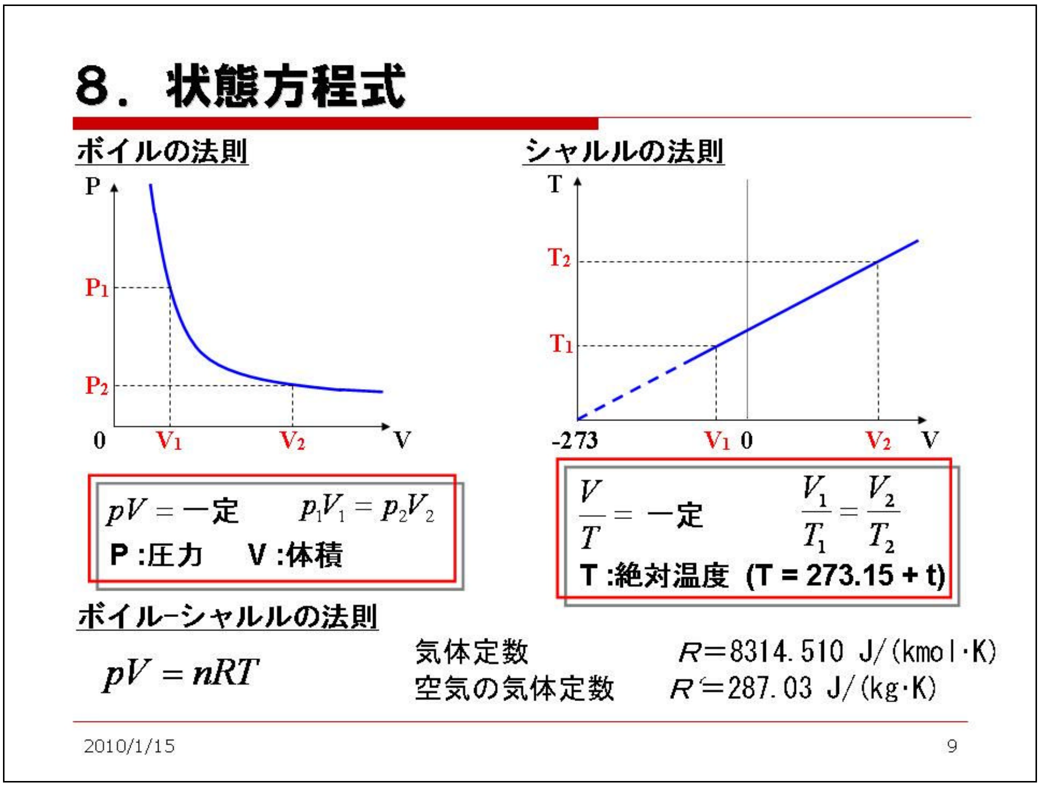
文４「断熱」

熱の出入りを断つことを「断熱」といいます。(例：「________材を使う」「________性にすぐれる」)

文６「平衡」

いくつかの力が同時にある物体に作用して、その物体が静止状態を保つことを「平衡」といいます。「衡」という字は、重さが同じでつりあっていることを表しています。

8．理想気体の状態方程式



1. 一定量の気体では，温度が一定の場合，その圧力p は体積V に反比例して変化します．
2. この関係をボイルの法則といい，つぎのように表されます．$pV = constant$
3. 温度が一定で，状態 1 から状態 2 まで変化したとき

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

が成り立ちます

4. 反比例の関係がどれだけ正確に成り立つかは気体の種類によって違いますが，一般に気体の密度が小さいほど正確です．
5. 圧力が一定の状態で加熱すると，体積は温度が 1℃上昇するごとに 0℃における体積の 1/273.15 ずつ増加します．

1. When the amount of gas is constant, the pressure p changes in inverse proportion to volume V under a constant temperature.
2. This relationship is called Boyle's law and expressed by $pV = constant$.
3. Therefore, when the system changes from state 1 to state 2 under constant temperature, the following relationship holds.

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

4. In general, this inverse relationship holds more accurately as the density of the gas becomes smaller, although it may change depending on the kind of gas.
5. When the system is heated at constant pressure, the volume increases by 1/273.15 of the volume at 0℃ for every temperature increase of 1℃.

6. これは，体積V，温度を t とすると，

$$V = V_0\left(1+\frac{t}{273.15}\right)$$

と表せます.

7. 一定圧力の気体は絶対温度に比例します.

$$\frac{V}{T} = constant$$

8. なぜなら，ここで絶対温度T を用いると，$T = 273.15 + t$ と表せるからです.

9. この関係をシャルルの法則といいます.

10. ボイルの法則とシャルルの法則を合わせると，気体の体積は，圧力に反比例し，絶対温度に比例します.

11. これをボイル-シャルルの法則といいます.

12. 一般に，n モルの気体について，

$$pV = nRT$$ と表せます.

13. ここで定数R を気体定数といい，その値は $R = 8314.510$ J/(Kmol・K)

14. ボイル-シャルルの法則は，実際の気体では密度を小さくした極限で成り立ちますが，この法則がどんな場合でも成り立つような理想的な気体を考えて理想気体と呼びます.

15. 普通の密度の気体の場合に，理想気体の状態方程式からのずれをミクロな観点から定性的に考慮した方程式として，ファン・デル・ワールスの状態方程式があります.

16. 1 モルの気体に対するファン・デル・ワールスの状態方程式は，気体の種類によって異なる定数a，b を用いて，

$$\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT$$

となります.

6. This relation is expressed by

$$V = V_0\left(1+\frac{t}{273.15}\right)$$

where V is the volume and t is the temperature,

7. The volume is proportional to the absolute temperature, as follows.

$$\frac{V}{T} = constant$$

8. This is because the absolute temperature T is expressed as $T = 273.15 + t$.

9. This relationship is called Charles's law.

10. If Boyle's law is combined with Charles's law, it is said that the volume of the gas is in inverse proportion to pressure and proportional to the absolute temperature.

11. We call this relationship Boyle-Charles's law.

12. In general, for a gas of n mole, it is possible to express as follows. $pV = nRT$

13. Where R is the gas constant it is given as $R = 8314.510$ J/(Kmol・K).

14. Strictly speaking, Boyle-Charles's law holds only in the case of an infinitely small density. However, we consider an ideal gas to be one with which this law holds for any density.

15. The equation which qualitatively considers the difference between the real gas with usual density and the ideal gas from a molecular viewpoint is called Van der Waals' state equation.

16. Van der Waals' equation of state for a gas of 1 mole is expressed as follows $\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT$ where the constants a and b depend on the kind of the gas.

キーワード

・ボイルの法則　・シャルルの法則　・絶対温度　・ボイル–シャルルの法則
・気体定数　・密度　・理想気体　・状態方程式　・ファン・デル・ワールスの状態方程式

日本語解説

文１「～に反比例する」
文７、文 10「～に比例する」

一般に、二つのものが一定の関係を持つとき、一方の増減につれて他方も増減することを「比例する」といい、それとは反する結果になったときに「反比例する」を使います。

☞「講義に役立つ日本語」

文 14「極限」

それを越えたら、そのものとして平常な状態が失われる、ぎりぎりのところを「極限」といいます。（例：「＿＿＿＿状況に陥る」「疲労が＿＿＿＿に達する」

文 15「ずれ」

ずれること、位置・時期・考えなどのずれた状態・程度を「ずれ」といいます。（例：「あの人とは感覚に＿＿＿＿がある」「時間の＿＿＿＿を調整する」）

文 15「定性的」

物質の成分を定めることを「定性」といいます。（⇔「定量」）「定性的に」とは、物質の成分に注目して、という意味になります。（⇔「定量的）

文 15「考慮」

判断を誤らないように、よく考えることを「考慮」といいます。「慮」という漢字は、「慮る」とも読み、心をめぐらすことを表します。「慮」の字を使った語に「慮外、遠慮、苦慮、熟慮、配慮」などがあります。