

熱学 I

－ 熱と温度 －

授業スライド PDF・動画・課題資料
Google Classroom (クラスコード: u7sd5qf)

実験 1

氷水 (0℃)、室温の水、風呂の湯 (40℃) を用意する。

左手を氷水、右手を風呂の湯につけて 1分 待つ。

その後、同時に室温の水に入れると、それぞれの手は、どう感じる？

温かい？冷たい？

結果

左手(氷水→室温水): 温かい 冷たい

右手(風呂→室温水): 温かい 冷たい

氷水

室温の水

風呂の湯

問

・熱とは何か？

・温度とは何か？

熱・温度

今の実験結果は、同じ温度の物体でも、温かく感じたり、冷たく感じたりするということを示している。

つまり、我々が日常で温度を使うときの「冷温の度合いを表す値」というのは、科学的な定義としては不正確であるということになる。

また、我々は温度と熱をかなり混同している。

日常で「熱をはかる」と言いつつ、温度を測定している。

「風邪で熱がある」というのも、明らかに温度 (体温) が高いという意味だ。それに、昨日まではなかったのか？凍っていたの？

この単元の目標

- ・「熱」と「温度」を正確に区別する
- ・「熱」や「温度」の考え方をを用いて、身近な熱的現象に対し、自分の言葉で説明を与えられるようになる。
- ・さらに、自身の「熱い」「冷たい」といった感覚にも、熱や温度の考え方から自分の言葉で説明できるようになる。

理論モデル：熱

これらの2つの実験結果から、次のような理論モデルが考えられる

- 1：温度の異なる2物体が接触すると、高温物体から低温物体へと、「何か」が移る。
- 2：この「何か」を「熱」と呼ぶことにする。
- 3：熱を失った方は温度が下がり、熱を得た方は温度が上がる。
- 4：両者が同じ温度になると、もう熱の移動は起こらない。
この状態を、「熱平衡」という。

実験2

我々はすでに今日までの経験で、次の実験結果を知っているだろう。

異なる温度の2物体を接触させると：

- ① 必ず、最終的には全体が偏りなく等温となる。
- ② 必ず、初めの2物体の温度の間の、どこかの温度に落ち着く。

(水と油のように、あるいは固体など、混ざらないものでも必ずこのようになる！) → 演示実験をします。

提出課題

実験1で、どうしてそのような結果になったのか、自分の言葉でまとめてください。

第1回振り返り

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・このネット配信へのコメント、改善点など（任意）

復習：説明せよ。

初めて聞く人に説明するつもりでお願いします！

- (1) 「熱平衡」とは何ですか。
- (2) 「熱」と「温度」という言葉を用いて、熱平衡になるプロセスを説明してください。

物理基礎 2020 (web)

熱学 II

－ 熱と物性 ① －

授業スライド PDF・動画・課題資料
Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

前回の振り返りからピックアップ

【今日の授業で学んだ内容を、自分の言葉でまとめてください。】

- ・異なる高温の物体を接触させるとどんな形で接触していても必ず最終的には全く偏りが無い等温となりどこかの温度に落ち着く。このとき高温物質から低温物質へと熱が移る。高温物質の温度は下がり低温物質の温度は上がる。そしていつかは、同じ温度になり熱の移動が起こらなくなる。この状態を「熱平衡」という。

前回のふり返りからピックアップ

【今日の授業で学んだ内容を、自分の言葉でまとめてください。】

- ・熱と温度の違いがわかった。普段感じる熱い冷たいという感覚も物理によって理論的に説明できることを学んだ。
- ・痛いときに冷やすのは、感覚がちゃんとマヒするため、効果的であること。
- ・自分が生きていく上で熱と温度の違いを気にしていなかったこと

前回のふり返りからピックアップ

【疑問点や感想があれば記入してください。】

- ・外で手の指先が冷たくなった後に、部屋に入って温かくなるのは、手のひらのほうから熱が移動して来るのでしょうか。それとも、周囲の空気から熱が移動して来るのでしょうか。
- ・生き物でも熱平衡は起きるのか。
- ・手は単純に温度の差(熱の量?)を感知して「熱い」「冷たい」と感じているのか。それとも手とは異なる温度の物体との熱の移動を感知して「熱い」「冷たい」を感じているのか。

前回のふり返りからピックアップ

【疑問点や感想があれば記入してください。】

- ・高温物体から低温物体へ熱が移る証拠となる実験について知りたいと思いました。
- ・20度の活性炭と鉄粉と酸素と水が接触すると温度が上がります。すると今日の授業の理論モデルは「温度の異なる2物体は接触しても化学反応を起こさない」前提なののでしょうか。

温度とは何なのかがいまいちピンとこなかったです。暖かさの度合いを示すというだけでは不十分ならば、どう表せばいいのでしょうか。

前回のふり返りからピックアップ

【疑問点や感想があれば記入してください。】

- ・デジタル温度センサーを吊すのではなく固定したのはどうしてか。デジタル温度センサーを近づけているのはなぜか。離れている場所を測らなくてもいいのか。
- ・お風呂とかでも起きる、暖かい水が上にいって冷たい水が下にいく対流は熱平衡じゃなくないですか？

前回のふり返りからピックアップ

【疑問点や感想があれば記入してください。】

- ・普段、予習をする必要はありますか？
- ・PDFの印刷が家でできないので、動画を見ながら、Googleドキュメントにノートを取りました。今はパソコンでノートを取ってもよいですか？もちろんノート提出などのときは印刷します。
- ・魔力や存在の力といったファンタジー的なものに通ずる概念があった。
- ・今日の授業で学んだ内容を試験に持ち込み可というのはどういうことなのか、もう少し詳しく教えていただきたいです。

23

課題 1

冷凍庫から氷を取り出し、ゴム板とアルミ板の上に1つずつ載せる。
どちらの方が先に溶け終わるか？

ゲー) アルミ板 チョキ) 同時 パー) ゴム

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

25

実験 1

机の上に、しばらく放置されていたゴム板とアルミ板がある。
まず、指でちょっと触れてみよう。
(温度が変わってしまわないように、指はすぐに離すこと！！)
どちらの方が冷たかった？

ゴム アルミ

24

結果

結果を自分の言葉で説明せよ。

26

実験2

冷蔵庫の中で一晩冷やした水が2本ある。

片方は缶の容器に入れて冷やし、もう一方はペットボトルに入れて冷やした。どちらの温度が高いだろうか？

Note：熱伝導率と物性

ある断面を通して、1秒あたりにどれだけの熱を伝えられるかという量を、「熱伝導率」という。大きいほど、熱をよく伝える。

金属	Al	Fe	Cu	空気	水	油
熱伝導率 [W/mK]	204	67	386	0.0241	0.6	0.166

熱伝導率の小さな物質で空間を囲むことにより、「断熱」状況を作り出すことができる。実用的にはもちろん、周囲との熱のやりとりがなくなるため、科学的に熱を探っていく上でも非常に重要。

問) 身近に、断熱状況ってどんなものがある？

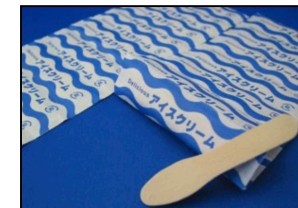
課題

これらの実験結果を踏まえて、実験1の結果がどうしてそのようになったのか説明してみよう。

提出課題

(1) 自動販売機から出てくる缶のジュースが、ペットボトルのジュースよりも冷たく感じるのはどうしてか説明せよ。

(2) 下の2つのアイスクリーム用のスプーンについて、それぞれの利点を説明しなさい。(今日の授業と関連づけて！)



第2回振り返り

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・このネット配信へのコメント、改善点など（任意）

前回の振り返りからピックアップ

【今日の授業で学んだ内容を、自分の言葉でまとめてください。】

・それぞれの物質の熱伝導率によって熱の伝わり方が異なる。同じ温度の物でも、熱伝導率が高いものは熱の移動が起こりやすく、温度が変化しやすい。逆に熱伝導率が低いものは、熱の移動が起こりづらく、温度が変化しにくい。この原理を利用して、アルミニウム製のスプーンでアイスを溶けやすくしたり、窓ガラスの二重構造を利用した断熱などの工夫がされている。

熱学 III

－ 熱と物性② －

授業スライド PDF・動画・課題資料

Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

前回の振り返りからピックアップ

【疑問点や感想があれば記入してください。】

- ・空気は熱伝導率が小さいのにどうしてエアコンをつけた時に涼しい、暖かいとを感じるのか。
- ・熱の伝わるのが方が早いと冷たく感じるのは、人間の感覚の問題ですか？
- ・そもそも、なぜ熱伝導率は物質によって異なっているのか。
- ・油は熱伝導率が低いのに、なぜ揚げ物をする時などものすごい高温になってうまく調理に使えるのか

・言葉にするのが非常に難しく1時間以上かかっているのはダメなのじゃないかと不安になる。考えがまとまらずに書いたり消したりを繰り返しているので、頭の整理を速くしたいと感じた。興味が湧いたのが紙の熱伝導率ってどれくらいなのだろうかということ、よく考えると紙って冷たいとか温かいとか感じたことあまりないのでそもそもあるのか疑問に感じた。

・今回、銅は熱伝導率が高いことを知って気になったことをお聞きしたいと思います。導線は銅線の割合が多いと聞きます。導線に求められるのは、「電気の伝導率」だと思うのですが、電気伝導率と熱伝導率はある程度比例するものなのでしょうか？

復習：隣の人に説明せよ。

初めて聞く人に説明するつもりでお願いします！

(1) 部屋に放置されているゴムとアルミ板の温度を比べてみると、どちらの温度が高いと考えられますか。また、その理由は。

(2) 上のゴム板とアルミ板を触ったとき、アルミ板の方が冷たいのはどうしてですか。

・熱伝導率の表し方のmKってなんですか？ミリケルビンとか？

・実験では体温より低いものを触りましたが、体温より温度が高い、同じ温度で、熱伝導率が違う物体を触ったら、熱伝導率が高い方を熱いとか感じるのでしょうか。

熱と物性②

前回の授業では、熱に関する物性値として「熱伝導率」を扱った。これは、「ものの温まりやすさ」について、時間的な側面に注目した量である。

今回の授業では、「どれくらい温度が変化しやすいか」という物性に注目して考えていこう。

最後には、実験事実を基に、熱を定量化する。

課題 1

常温の水 (18 °C) 100 g と、熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜる。

断熱された環境で熱平衡となると、何 °C になるか。

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

結果

どう考えればよいか？

39

課題 2

常温の水 (18 °C) 200 g と、熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜる。

断熱された環境で状況で熱平衡となると、何 °C になるか。

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

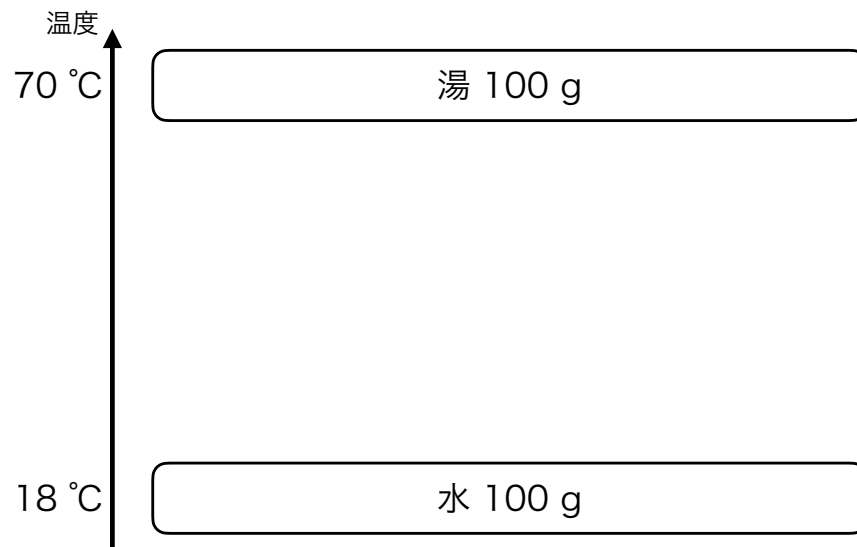
結果

どう考えればよいか？

41

Note : 熱と温度の関係 ①

常温の水 (18 °C) 100 g + 熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜる。



40

Note : 熱と温度の関係 ②

常温の水 (18 °C) 200 g + 熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜる。



42

実験事実から考えられること

この2つの実験事実から、熱と温度について、次の2つのことが考えられる。

- ① 物質の温度上昇と、物質に与えられた熱量は、比例関係にある
- ② 温度上昇のために必要な熱量は、物質の質量に比例する。

この2つの性質に矛盾しないように、熱量を定量化する。

(・・・と、その前に、もう1つ課題をやってみよう)

43

課題

結果

どう考えればよいか？

45

課題3

常温の油 (19 °C) 100 g と、熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜると、温度は？

- ゲー) 常温の水+熱湯 のときよりも高くなる
- チョキ) 常温の水+熱湯 のときと変わらない
- パー) 常温の水+熱湯 のときよりも低くなる

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

44

Note : 熱と温度の関係 ③

常温の油 (19 °C) 100 g + 熱湯 (70 °C) 100 g を混ぜる。



46

実験事実から考えられること

これまでの3つの実験事実から、熱と温度について、次の3つのことが考えられる。

- ① 物質の温度上昇と、物質に与えられた熱量は、比例関係にある
- ② 温度上昇のために必要な熱量は、物質の質量に比例する。
- ③ 温度上昇のために必要な熱量は、物質によって異なる。

これらの3つの性質に矛盾しないように、熱量を定量化する。

比熱

熱に対する温度変化のしやすさは、物質ごとに異なる。

温度が1℃変化するために必要な熱量が、水の何倍か、という量で比較でき、この量を「比熱」と呼ぶ。

比熱

$$c [\text{cal} / \text{g} \cdot ^\circ\text{C}] = \text{その物質 } 1 \text{ g の温度を } 1^\circ\text{C}$$

変化させるのに必要な熱量

物質	Al	Fe	Cu	空気	水	油
比熱 [cal / g °C]	0.21	0.11	0.09	0.24	1	0.4

Note：熱の定量的定義

①～③の性質から、何か基準となる物質について、その物質1gの温度を1℃上昇させるのに必要な熱量を“1”として定量化できる。

基準となる物質は：

単位は：

提出課題 1

先の実験結果から、油の比熱を求めてください。

Google Forms に、単位は (cal / g °C) として、数値のみを入力する。

提出課題 2

「水とお湯を混ぜた時と、油とお湯を混ぜた時に温度が異なる」

「氷をゴムに載せるより、アルミに載せた時の方が速く溶ける」

上記の2つの現象は、どちらも「モノの温まりやすさ／冷えやすさ」に関する現象である。さて、それぞれの現象を議論する際、比熱と熱伝導率のどちらに注目すべきか？

理由とともに答えてください。

熱学 on Zoom I

－ 熱の伝わり方 －

授業スライド PDF・動画・課題資料

Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

提出課題 3

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容 (必須) ← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想 (任意)
- ・このネット配信へのコメント、改善点など (任意)

復習：ブレイクアウト！

お互いに説明してください。

- (1) 自動販売機でコーラを買ったとき、缶の方が、ペットボトルのものより冷たいのは何故ですか。
- (2) 比熱と熱伝導率の違いは？

熱の三形態

温度の異なる2物体は、どのように熱のやり取りをして、熱平衡に達するのだろうか？

1) 熱伝導

物質同士の接触面を通して、熱が伝わる。熱伝導率で考えていたのはコレ。

熱の三形態

温度の異なる2物体は、どのように熱のやり取りをして、熱平衡に達するのだろうか？

1) 熱伝導

物質同士の接触面を通して、熱が伝わる。熱伝導率で考えていたのはコレ。

他には何があるだろうか？

課題1

小さな子どもが、お人形遊びをしている。

「お人形さん、寒そうだから毛布をかけてあげるね」
そう言って子どもは、横にした人形を毛布に包んだ。

この行為に意味はあるか？ないか？熱的に考察せよ。

まず、投票機能で、どちらだと思うか聞きます。
自分の回答を選択してください。

その後、グループに分かれて議論。



熱の三形態

2) 対流

液体や気体といった流動性のあるものは、物体そのものが移動して混ざっていき、熱平衡に達する。



課題 2

「鯛めし」という料理がある。

ざっくりいうと、鯛の炊き込みご飯である。

丸ごと炊き込むのと、切り身にして炊き込むの、一流の料理人なら、どちらを選択するだろうか？



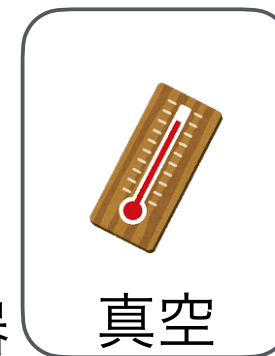
59

問

ある金属容器の中を完全に真空にしたとする。

中には温度計が（何故か）どこにも接触せずに浮いている。

金属容器を外側から加熱したとき、中の温度計の表示値は変わるか？

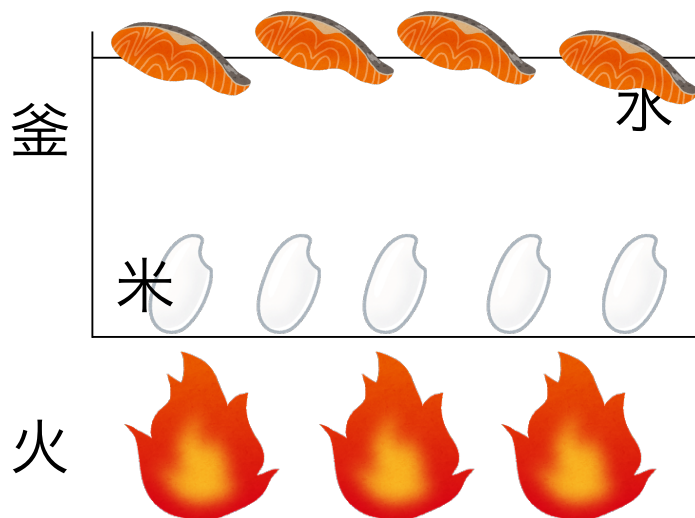


金属容器

真空

61

解説



60

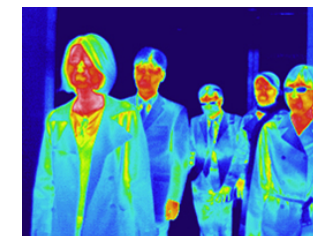
熱の三形態

3) 放射

直接の接触がなくても、電磁波(赤外線など)の放射/吸収によって、エネルギーのやり取りをして熱平衡に達する。電磁波の放射と吸収が釣り合ったところで、（見かけの）平衡となる。

どんな物体でも、常にその温度に対応した電磁波を放出する。

それを利用して、物体の温度を測定することもできる。放射温度計という。



62

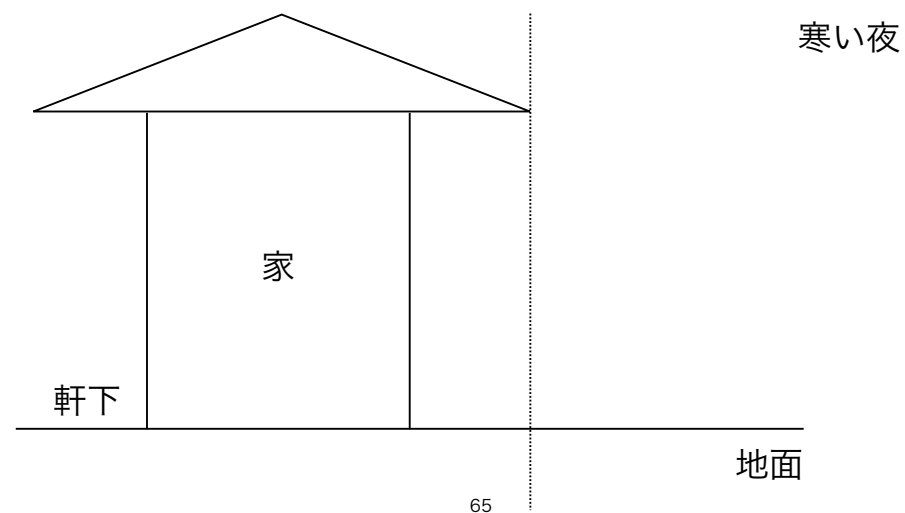
解説：昼と夜の熱放射



63

解説

昔の人は、「霜が空から降ってくる」と考えていた



65

問

冬の朝に、空気中の水分が凍って生じる霜（しも）。

霜が現れることを、「霜が○○○」と言います。

なんというのでしょうか？



64

提出課題 1

昔の人は、軒下には霜ができない様子を見て、「霜は空から降ってくる」と考えていました。

それで、「霜が降りる」という表現が、今でも残っているのです。

さて、今日の授業内容を踏まえて、なぜ軒下には霜が生じないのか、説明してください。

66

提出課題 2

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・この Zoom 授業へのコメント、改善点など（任意）

復習：説明してください

初めて聞く人に説明するつもりで！

(1) 1 cal の熱って、どんな量？

(2) 「比熱」ってどんな量？単位は？

熱学 IV

－ 状態変化における熱と温度 －

授業スライド PDF ・ 動画 ・ 課題資料

Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

前回のふり返りからピックアップ

・熱伝導率の表を見ると、銅は386になっていて水よりも熱伝導率が大きかったが、比熱の表を見ると、銅は0.09となっていて、水よりも比熱が小さくなっている。

・空気は比熱が小さく、少しの熱で温まるのなら、熱伝導率が小さくてもすぐに温まってしまうと思うのですが、空気は温まりやすい、温まりにくい、どちらといえるのですか？

・有効数字

・漫画などで火事現場にはいるときバケツの水を全身に浴びるシーンがよくあるが、そうするとより熱く感じてしまうのではないか。

- ・ 温度上昇のために必要な熱量はなぜ体積ではなく質量に比例するのか。
- ・ 水より油の熱伝導率は低いので、熱湯がはなした熱を油が全部受け取るまでにタイムラグがあると思ったのですが、そのあいだどっちのものでもない熱はどこにあるんですか？
- ・ 水を 0°C から 1°C に上昇させるために必要な熱量と、高温状態で 1°C 上昇させるために必要な熱量が本当に必要なのか気になった。これについては、授業内の実験からではわからないので。
- ・ 今日の授業を自分の言葉でまとめよという課題でプリントを見返しながらまとめているのですが大丈夫ですか？それとも何も見ずに思いだしたことをまとめるようにした方が良いですか？
- ・ 物質の温度は何によって決定されるのか
- ・ 課題の解説

71

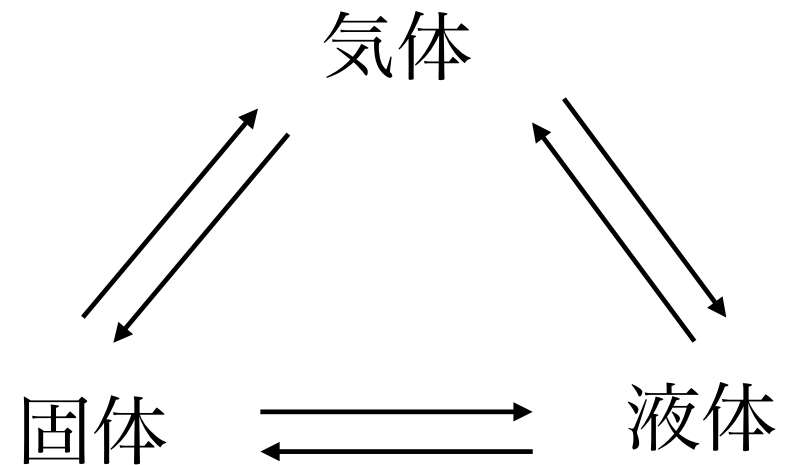
- ・ なぜ熱平衡になった後も物体は熱放射（冷却放射？）を続けるのか？

73

- ・ 電磁波や赤外線で真空容器の中身にも熱を伝えてしまうのなら、サーモスの水筒などはどうして中身の温度を維持できるのだろう。
- ・ 放射熱には伝わりやすさの差はないんですか？
- ・ ご飯を炊くときは水が対流で温まり、水と米の間で熱伝導が起きているという解釈であっていますか？
- ・ なぜカレーは人工的に混ぜないと対流が起こらないのか。
- ・ どんな物質も電磁波を出しているとあったが温度がマイナスのものにもあるのか。

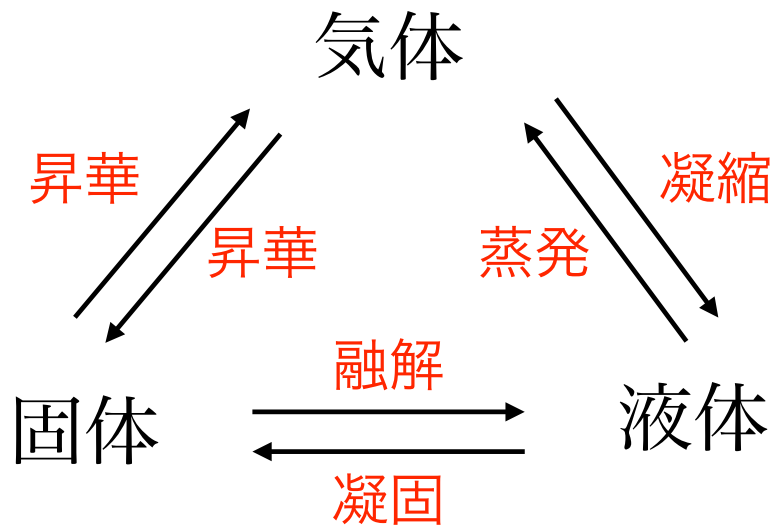
72

復習：物質の三態と状態変化



74

復習：物質の三態と状態変化

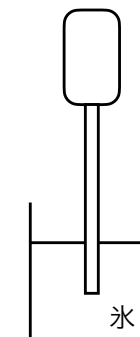


75

氷を水の中に入れて発泡スチロールで密閉してみた



温度センサ



コーヒーの缶

77

状態変化の熱と温度

例えば氷がとけて水になるという現象、科学的に解析するには、大きく2つの立場が考えられる。

- ・氷がどうやって水になるのかを探究する
- ・氷が水になるというのは事実として認めて、その際に何が起きているのかをモデル化する

76

温度測定

温度の測定に1時間以上かかるので、今回は実験データを示すに留める。・・・が、1つだけ実験します。

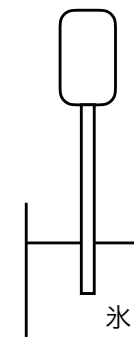
問) 冷凍庫の中の氷って、何℃くらい？

予想

0℃より高い／ほぼ0℃／0℃より低い

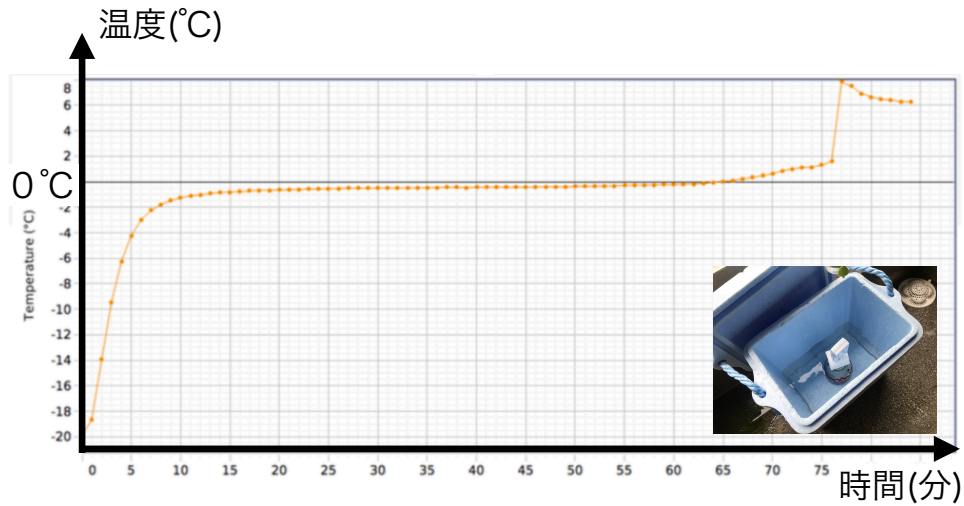
結果

温度センサ



78

結果



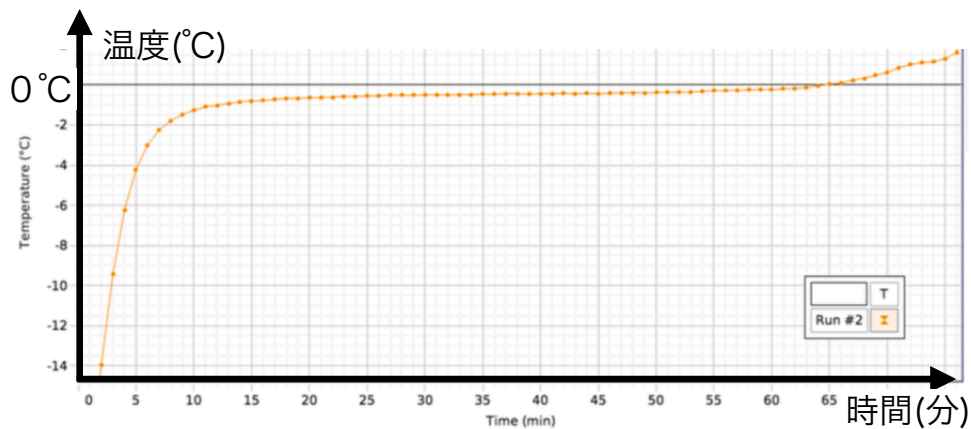
79

モデル化：氷の融解における温度変化



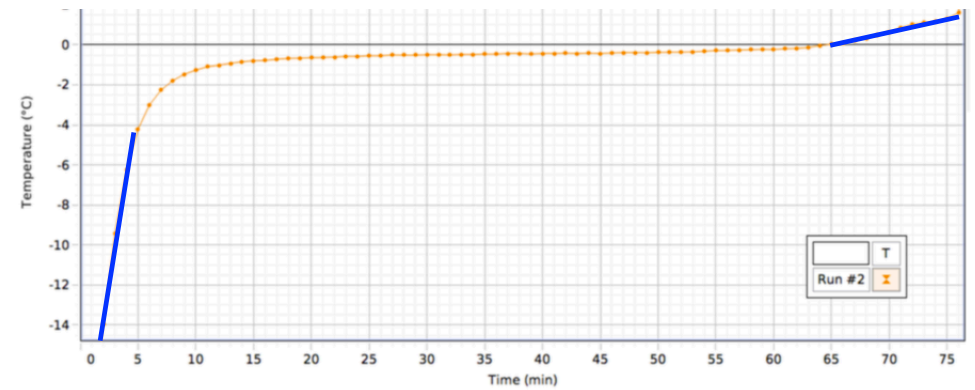
81

モデル化の対象とすべき部分



80

氷と水は物性が異なる



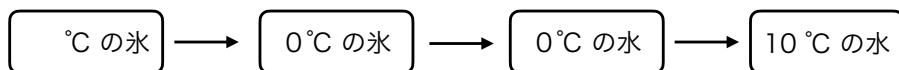
同じ H₂O 分子からできていても、比熱も熱伝導率も異なる。

82

Note：状態変化と潜熱

- 1) 状態変化の最中、温度は変化しない。
- 2) 状態変化に伴い、(温度は変化しないが) 熱の流入／流失が生じる。

流入か流出かは、水をどうしたら氷や水蒸気にできるか考えれば分かるはず。



状態変化の際に出入りする熱を「潜熱」と呼び、
その種類に応じて「融解熱」「蒸発(気化)熱」などと呼び分ける。

83

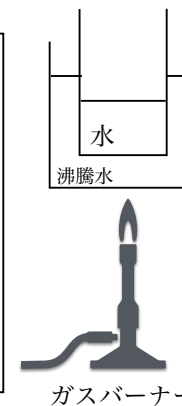
課題

鍋に水を沸騰させ、その中に水を溜めた非断熱容器を入れて“湯せん”にかける。容器の中の水も沸騰するだろうか？ビーカーの底は、鍋に接触していないものとする。

予想： グー) なる パー) ならない

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。



85

参考：物質 1g あたりの潜熱

物質	融解熱 [cal / g]	蒸発熱 [cal / g]
エタノール	26	199.5
窒素	6.2	47.4
水	79.5	537.9

辞書にはこんなことが書いてあるじゃないか：

焼け石に水

[少々水をかけても冷やせないことから]

努力や援助がわずかで効果が上げられないこと。

・・・ん??

84

課題

結果

どう考えればよいか？

86

提出課題 1

(1) 冷凍庫の温度がもしもゼロ°Cに設定されていたとする。

水を入れたカップを冷凍庫に一晩入れると、どうなるか？

(つまり、冷蔵庫のチルド室である。)

(2) レトルトカレーは、どうして直火ではなく、お湯の中で温めるのか。

また、温まった際、カレーの温度は何°Cだと考えられるか。

熱学 V

－ 熱の正体と温度の再定義 －

授業スライド PDF・動画・課題資料
Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

提出課題 2

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容 (必須) ← 試験に持ち込み可!
- ・疑問点や感想 (任意)
- ・この web 授業へのコメント、改善点など (任意)

復習：説明してください。

初めて聞く人に説明するつもりで!

窓側の人：

冷凍庫の中が0度より低いのはどうしてですか。

廊下側の人：

水を湯せんにかけても沸騰しないのはどうしてですか。

前回のふり返りからピックアップ

- ・ 音声途切れることがよくあり、そういう時に限って重要なポイントだったりするのが少し残念。
- ・ 沸騰をし続けると100℃を超え始める時があると思いますが、その時湯煎しているものも熱平衡に近づくため100℃より高くなると思うのですが、それでも沸騰はしないのでしょうか。
- ・ 「昇華」とは一体全体何事なのか。融点と沸点が等しい物質のみ起こるのか。異なる場合、熱するにしても冷やすにしてもその間の温度を必ず経由するはず(液体の状態が一瞬でもあるはず)では？

91

- ・ ドライアイスは、個体から一気に気体に状態変化しているが、この場合も温度は一定なのか。
- ・ レトルトカレーは混合物だと思うんですが、沸点は何度なのか気になります
- ・ 気体である窒素の蒸発熱とはどういうことか

93

- ・ レトルトカレーの中には、電子レンジで温められるものもありますが、その時カレーは直火のときと同じように熱を与えられ続けているわけではないのですか。
- ・ 融解、蒸発の時はほかの高温物体から熱をもらおうとして、凝縮・凝固の時、熱は何かから供給されるのか。それとも物質から生じるのか。
- ・ 水よりも沸点の低いものを湯煎にかけたなら沸騰しますか？
- ・ 実際に家で水を湯煎にかけてみましたが、1時間経っても容器の水は82.4℃までにしかならず、熱平衡に達しませんでした。実験器具の不具合はないはずなのですが、どうして100℃まで達しなかったのか、他に原因は考えられますか。

92

温度とは何か？

温度

熱平衡となる際に、熱がどちらからどちらへ流れるかを示すパラメータ

課題

断熱容器 (THERMOSの真空断熱タンブラー) の中に水を入れて、5分間めっちゃ振る。その前後で水の温度を測定ると、温度は変わるか？

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

94

実験

実際にやってみて決着をつけよう。

ぜひ、自分でやってみてください。

5分間降るのが大変なら、文明の力を使っても構いませんが、
なんとなくこういうのは手作業がイイです。

結果	どう考えればよいか？
----	------------

95

熱と仕事の定量的関係

今日では、物体間のエネルギーの移動形態は、仕事と熱の2種類しかないことが分かっている。これを、熱力学の第1法則という。

Joule (1847) によって、仕事と熱が定量的に結び付けられた。

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

この時点までは、すべての物体は温度に応じた「熱」を持っており、物質として受け渡されると考えられていた。現代に生きる我々は、熱を物質と考える人は少ないが、ついつい「熱を持つ」というような言い回しをしてしまう。相当注意しないと、なかなか抜け出せない。

97

熱の正体

水筒を振るという操作を物理的に表現すると、物体に力を加えて動かした、つまり仕事をしたことになる。

中学校で学習したように、仕事とは、エネルギーの受け渡しである。

熱を加えても、仕事をしても、物体の温度は上がる。この事実から、熱と仕事は本質的に等価であり、物体間のエネルギーの移動であると考えられる。両者の違いはその形態にある。

仕事：力を加えて動かすことによる、力学的なエネルギーの移動形態

熱：高温物体から低温物体への、自然なエネルギーの流れ

96

熱運動

熱や仕事によって、温度が上がる。では、その受け渡されたエネルギーはどこにいたのだろうか？一見すると、0℃でも100℃でも、水に変わりはないように思える。

観察

水に牛乳をほんの数滴だけ混ぜたものを、顕微鏡で観察してみると、牛乳の脂肪の粒の運動が観察できる。

USB 顕微鏡で見る。

結果

<https://www.youtube.com/watch?v=SGOfu24RzIA>

2020. 04. 28. 現在

98

Note : 熱運動

牛乳の脂肪の粒が不規則な運動(振動)をしているのは、水中で運動している原子や分子に、絶え間なく衝突されるからである。この、目に見えないレベルでの原子や分子のミクロな運動を「熱運動」という。

温度が上がると牛乳の脂肪の粒がより激しく運動するようになる。

熱や仕事によって受け渡されたエネルギーは、物質をミクロに構成する原子や分子の、熱運動のエネルギーになったのだと考えられる。

問) この視点に立つと、温度には下限があるはずである。どんな時か？

Note : 絶対温度

	絶対温度 T [K]	セルシウス温度 t [°C]
絶対零度		
水の凝固点 (1atm)		
水の沸点 (1atm)		
一般式		

注：1K の温度幅は、1°C の温度幅と同じに定める。
(1°F の温度幅は違うぞ！)

絶対温度

すべての原子・分子の熱運動が止まるような、もうこれ以上は下がらない温度を「絶対零度」という。

下限の定まっている量を、正負にまたがって定義しておく意味はない。
0 以上の数だけで表せる量に、温度を定義し直そう。

絶対温度は通常、文字は T を用いて表し、単位は [K] ; ケルビンである。
温度は英語で？

提出課題 1

- (1) 水筒を振る実験において、手で振ることによって水がされた仕事は何 J か。
- (2) 今、君が住んでいる地域の気温は何 K か。
- (3) 牛乳の脂肪の粒のように、熱運動する原子や分子に衝突されて起こるランダムな運動を「ブラウン運動」という。
ネットで調べて、牛乳の脂肪の粒以外に、どんなものがあるか、感想とともに述べよ。

提出課題 2

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・この web 授業へのコメント、改善点など（任意）

Zoom 授業のルール

- ・時間になったらすぐに始めます。
- ・録画ファイルを共有します
- ・欠席 or 大幅な遅刻／早退の場合はフォームで事情を知らせてください。機器トラブルを含め、説明できる事情があれば、録画を見て課題に回答することで出席扱いとします。寝坊などは、課題を出せば減点扱いで受理。
- ・ブレイクアートルームの様子
→ 各ブレイクアートルームの様子は、教員には見えません。録画もされません。自由に思ったことを話してください。

物理基礎 2020 (web)

熱学 on Zoom II

－ 熱運動と物性 －

授業スライド PDF・動画・課題資料
Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

- ・機器トラブル、ネットトラブルには対応しません
→ 冷たいようですが、個人のトラブル対応に全体の授業時間を削るわけにいきません。録画を公開するので、お許してください。
- ・講義中のマイク
→ ログイン時は、自動で全員がミュートされています。何も喋らなくても雑音が入るので、講義中はミュートにしてください。
- ・講義中のカメラ
→ 強制はしませんが、なるべくオンにしてください。何も反応が見えないと、授業しづらいのです・・・
- ・ブレイクアウト中のマイクとカメラ
→ 全員 ON にしてください。顔の見えない状態で議論は活性化しません。

復習：班で説明せよ。

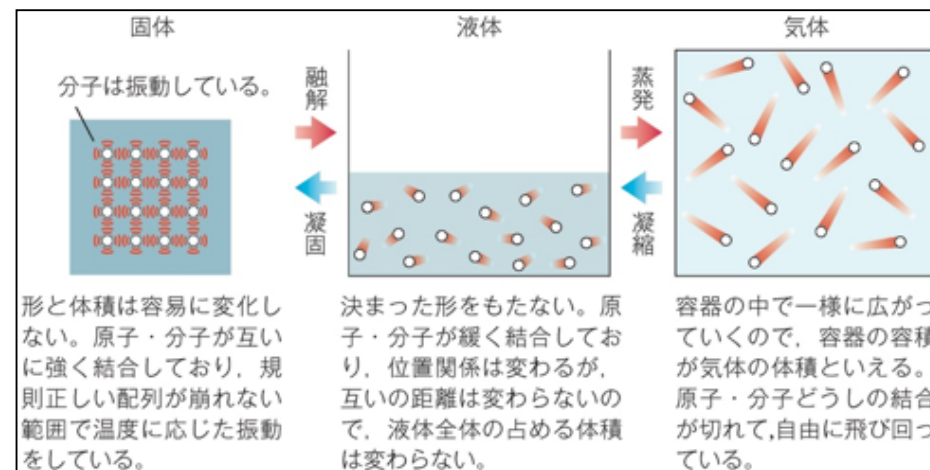
まるで初めて聞くことかのような態度でお願いします。

- ・ 温度とは何か？
- ・ 熱とは何か？
- ・ 熱と仕事の違いは？
- ・ 物体の温度が上昇するとき、熱や仕事によって受け渡されたエネルギーは、何のエネルギーとなったのか。

107

ミクロに見た状態変化

三態をミクロな視点から捉えてみると、原子や分子の結合の仕方に違いがある。この結合の変化のために必要なエネルギーが、潜熱である。



109

熱運動と状態変化

前々回に学んだ状態変化を、前回学んだ熱運動の視点から捉え直す。

・・・とその前に。

問) 原子や分子の視点を持ち出さずに、気体・液体・固体の違いを説明しなさい。

108

課題 1

水が沸騰している。

100℃の液体の水と、100℃の水蒸気に含まれる H₂O 分子の熱運動のエネルギーは、どちらが大きいのか？あるいは、同じか？

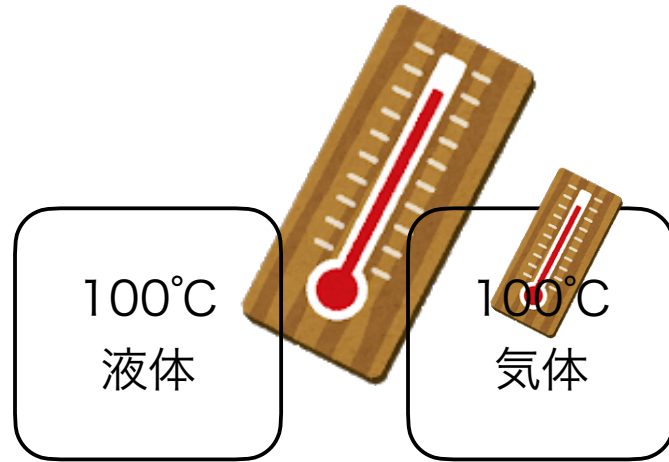
(H₂O 分子の熱運動の激しさを比較。)

自分の予想

予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

110

課題1 解説



潜熱は、原子同士の結合変化に使われる

111

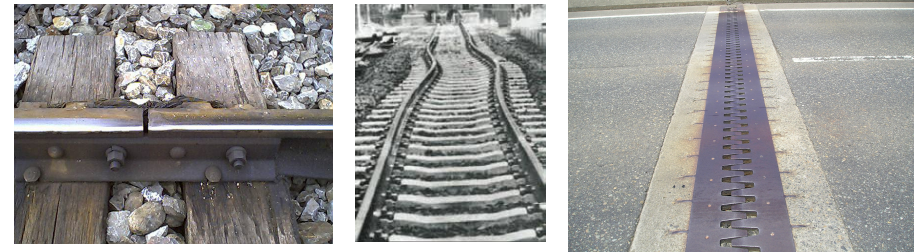
熱膨張の例：電車のガタンゴトン

線路は、夏と冬の気温差を考慮し、熱膨張によって壊れないよう、一定距離ごとに隙間を空けている。

電車1両の長さ：20メートル

線路の定尺：25メートル

当然ながら、隙間の大きな冬は、夏よりも音が大きい。



113

熱と物性③：熱膨張

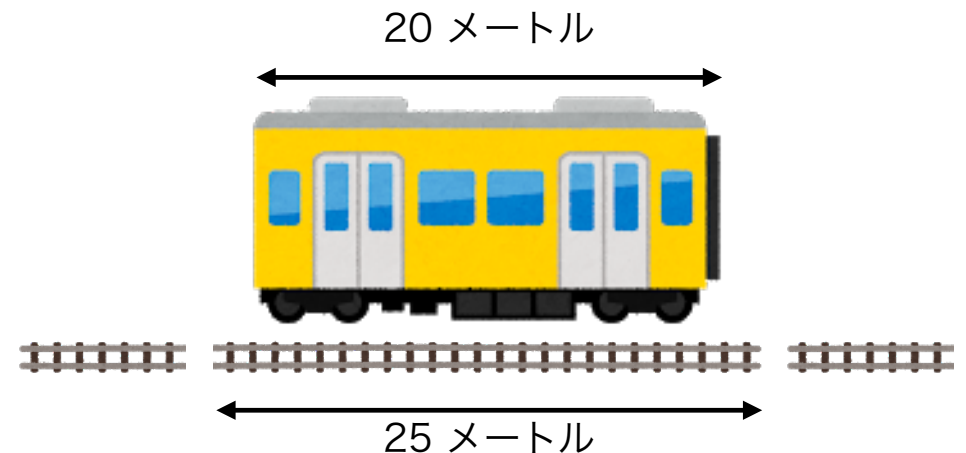
温度による物性変化の理解は、非常に重要である。モノづくりについては言うまでもないが、逆に、温度測定にも利用できる。

熱膨張

物質は通常、温度が上がると膨張する。これは、熱運動が激しくなることで説明がつく。分子間の平均距離が広がるのである。

問) ふつーの（デジタルではない）温度計の、温度を測る仕組みは？

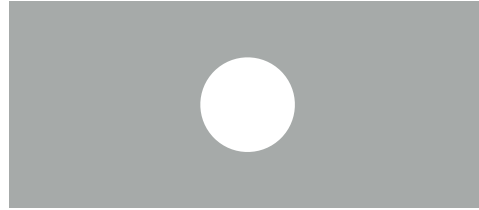
112



114

課題 2

穴の空いた金属板を熱すると、穴は大きくなるか？小さくなるか？



自分の予想

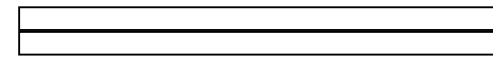
予想の理由を自分の言葉で説明せよ。

115

問：バイメタル

2種の異なる金属板を接合する。熱すると、どうなるだろうか？

なお、熱膨張率(温度変化に対する膨張しやすさ)は、物質ごとに異なる。



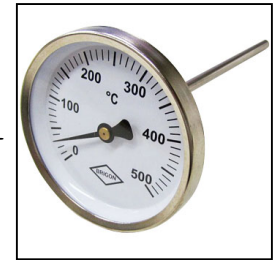
膨張率：大

膨張率：小

なお、熱膨張率(温度変化に対する膨張しやすさ)は、物質ごとに異なる。

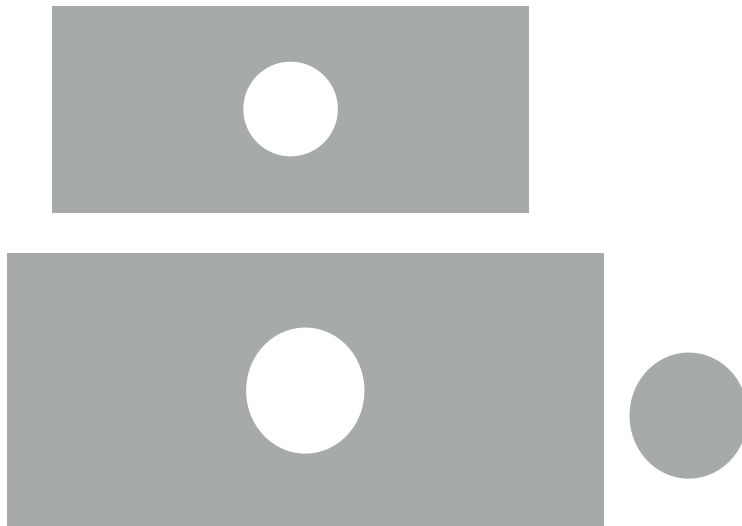
接合面の面積は共通だから：

コタツ・アイロン・ドライヤー、あるいはブレーカーや温度計など、様々なところに利用されている。



117

課題 2 解説



116

回路の内部

118

提出課題 1

- (1) 30℃の鉄と、30℃の水銀とで、原子の熱運動を比較すると、
 どちらの原子の熱運動のエネルギーが大きいだろうか？
 また、どうしてそのように考えられるか？
- (2) バイメタルを利用した身の回りのものを、1つ調べて、どんなものか
 簡単に説明せよ。

熱学 VI

－ 熱の利用と SDGs －

授業スライド PDF・動画・課題資料
 Google Classroom (クラスコード：u7sd5qf)

提出課題 2

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・この Zoom 授業へのコメント、改善点など（任意）

復習：説明してください

初めて聞く人に説明するつもりで！

- ・熱運動の視点から、物質の三態と状態変化を説明してください。

- ・バイメタルの仕組みは？

前回のふり返りからピックアップ

【熱学第5回：熱の正体と温度の再定義】

- ・熱平衡になってから熱運動による温度の上昇はあり得るのか。
- ・ブラウン運動している粒子の中の分子や原子も熱運動をしているのですか？
- ・熱運動の身近な例がブラウン運動という解釈でいいのか。
- ・熱を持つって何で言っちゃダメなのかがわからない
- ・原子や分子の種類によって熱運動が止まる温度に違いはありますか？

123

【Zoom 第2回：熱運動と物性】

- ・潜熱は原子同士の結合変化に使われる。とありますが、分子同士の結合変化ではないのですか？
- ・鉄は水銀の4倍ほどの比熱がありますが、鉄に水銀の4倍の熱を与えても熱運動の激しさが変わらないのは違和感があります。
- ・水と水蒸気の圧力を考えたとき、沸騰を考えて水蒸気が水から飛び出していくということは水よりも運動が激しいのかと考えてしまったが、実際は水蒸気の方が密度が軽くなるからですか？

125

- ・今まで、「熱が移動する」といつてきたのは、「エネルギーが移動する」という意味なのでしょうか？
- ・0ケルビンの物体は存在するのか。
- ・温度が上がるのと、熱運動が激しくなるのはどちらが先ですか？
- ・乳酸菌は普段からウヨウヨしていますが、熱運動はしているのでしょうか？
- ・今まで°CのCは小文字のcだと思っていました。小文字のcではいけないのですか？見た目はあまり変わりませんが、

124

- ・ブレイクアウトルームでのチャットは、全体のグループのチャットに反映されますか？
- ・熱膨張に限界はないのでしょうか。ずっと熱し続ければ、ずっと膨張し続けるのでしょうか。
- ・お子さんの登場回数を増やしてください

126

超ざっくりした人類史における4つの革命

宗教革命

人が集団で暮らせるようになり、社会的分業が可能になった

農業革命

エサの中で暮らし、食料の確保以外に時間を使えるようになった

産業革命

_____以外のエネルギー源を手にし、生産性が爆発的に向上した。

情報技術(IT)革命：グローバル化

ヒト・モノ・カネ・情報が高速に地球規模で移動するようになった。

問) 生産性が向上するにつれ、人類はどうなってきたか？

持続可能社会とエネルギー保存則

エネルギー保存則：

全宇宙のエネルギーは常に一定で、増えたり減ったりしない

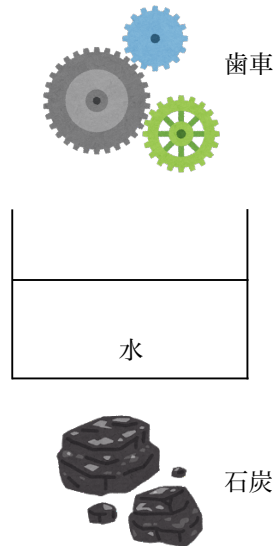
よく言われていること：

エネルギー資源には限りがあるので、持続可能社会に向けた取り組みが必要。

これは矛盾している??

熱を動力として利用することを覚えた人類

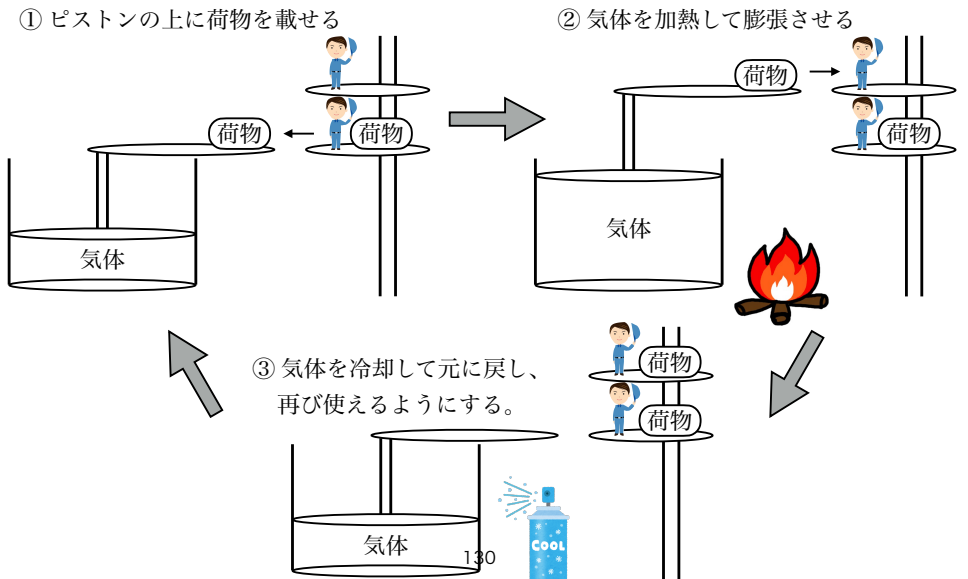
熱を利用して動力を得る、熱機関(engine)の誕生。



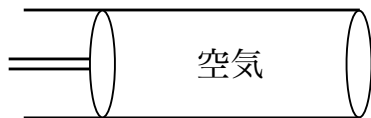
蒸気機関による
動力の確保が
産業革命の本質

仮想的な熱機関

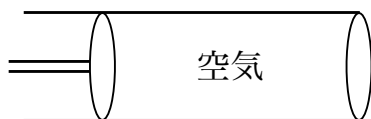
仮想的な熱機関を考えて、重い荷物を持ち上げる仕事をしてみよう。



自然なエネルギーの流れ



高温の物体



低温の物体

131

熱的現象の“不可逆性”

- ・カフェオレはコーヒーと牛乳には戻らない
- ・覆水盆に返らず
- ・冷めた湯が勝手に温まって大気が冷えるなんてことはない

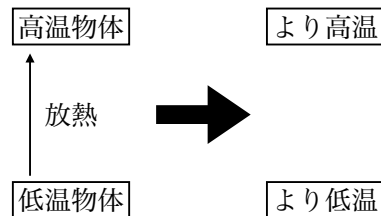
自然界には現象の進む時間的な向きがあり、逆向きには進まない(不可逆性)し、熱は必ず高温の物体から低温の物体へ流れる。

133

不自然なエネルギーの流れ

では、こんな夢みたいなことは起こるだろうか？

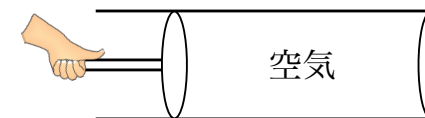
低温物体からひとりで高温物体に熱が流れ、より低温／高温になる。



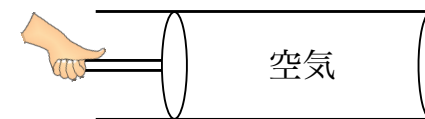
・・・もちろんこんなことは起こらない。

132

自然なエネルギーの流れに抗うには？



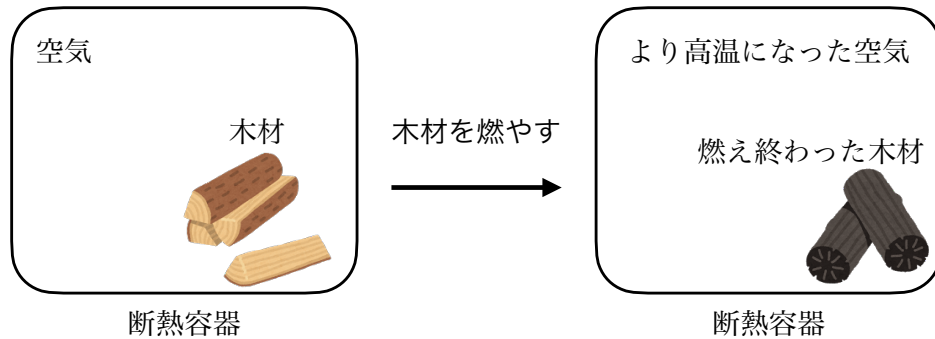
高温の物体



低温の物体

134

本題に戻る：持続可能社会とエネルギー保存則



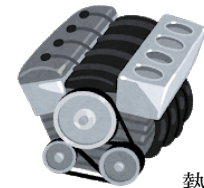
エネルギー保存則によれば、断熱容器内で木材と空気が持つエネルギーの総和は、燃焼の前後で変わらない。

何が失われたのか？

135

生体も広義には熱機関

我々生体も、広義には熱機関であるとみなせる。



熱機関



ヒト



燃料



食物

137

エネルギーの「量」から「質」へ

同じ量のエネルギーでも、「利用可能性」が明らかに変わってしまった。

利用不可能なエネルギーを、利用可能なエネルギーに変換するのは、“不自然な”エネルギーの流れなので、外からエネルギーをつぎ込んで、無理やり実現するしかない。

(猛暑日にクーラーを使えば、さらに暑くなる！使うけど)

環境や資源の問題は、本質的にエネルギーの「量」に注目した議論では意味をなさない。「質」にまで踏み込んで議論できる大人になってくれることを期待する！

このためには、「エネルギー」だけでなく「エントロピー」という量が必要になります。理系の大学生なら必ず学ぶ内容。

136

問：コアラとナマケモノ

コアラとナマケモノを比較すると：

- ・同じくらいの大きさ
- ・1日のほとんどを木の上で寝て過ごす
- ・草食動物
- ・エサの量は数十倍、コアラの方が多



問) 両者の違いは何か？



138

基礎代謝と体温の維持

コアラ：恒温動物、体温は 36 °C に保つ

ナマケモノ：変温動物

基礎代謝は 30 倍

(参考)

ヒトの基礎代謝：

高2男子 27.0 kcal / kg 女子 25.3 kcal / kg

30代男子 22.3 kcal / kg 女子 21.7 kcal / kg

1歳男子 61.0 kcal / kg 女子 59.7 kcal / kg

出典：厚生労働省：日本人の食事摂取基準（2010年版）

139

提出課題 1

全8回の熱学の授業を通して、あなたの考えをまとめてください。

141

放熱も重要

我々は、周囲の環境よりも高温を維持するために、どんどんエネルギーを摂取したり、体内で脂肪を燃やしたりしている。

一方、生命活動を維持する意味では、熱平衡から逃れるために、周囲の環境への放熱も重要である。

ニホンミツバチの「熱殺蜂球」を知っているだろうか？

天敵のオオスズメバチに巣を襲われたとき、ニホンミツバチはどのようにして撃退するのだろうか？

出典：ナショナルジオグラフィック YouTube チャンネル

<https://www.youtube.com/watch?v=TwtdomYYjno>

140

提出課題 2

今日の授業を、自分の言葉でまとめ直そう。

- ・自分の学習状況を自分で確認すること
- ・記憶の定着
- ・皆さんの考えを把握し、疑問点や誤解を共有すること

が目的です。

- ・今日の授業で学んだ内容（必須）← 試験に持ち込み可！
- ・疑問点や感想（任意）
- ・この web 授業へのコメント、改善点など（任意）

142

実験

3本の金属線(Al, Fe, Cu; 直径と長さは揃えてある)がある。この端を指でつまみ、もう一方の端をバーナーの炎で熱する。熱いと感じたら、炎から金属線を取り出す。(我慢しない&机を焦がさないように！)

それぞれの金属線ごとに、何秒で熱いと感じたか記録せよ。時間はスマホなどを使って協力して測定すること。

金属	Al	Fe	Cu
時間 [秒]			

班員のデータを平均したものを、黒板に書きにくる。

Note : 熱伝導と様々な物性

熱伝導の良い固体は、固体内部で原子の振動エネルギーがスムーズに伝わっていく。そのような物質は、内部で電子もスムーズに運動していくため、電気伝導率もよい。

熱伝導と電気伝導は非常によく似た現象であり、(極低温まで冷えない限り)共通した理解を持つことができる。

比熱・音速(振動の伝わる速さ)などとも関係がある。物理の世界は様々な分野を横断した、普遍的なものである。

参考

金属	Al	Fe	Cu	空気	水	油
熱伝導率 [W/mK]	204	67	386	0.0241	0.6	0.166
比熱 [J/gK]	0.9	0.46	0.385	1.01	4.2	1.7
モル比熱 [J/mol K]	24.3	25.8	24.6		75.6	
電気伝導率 [M/Ωm]	37.2	10.3	59	約10 ⁻²⁰	約10 ⁻¹⁰	約10 ⁻¹¹
音速 [m/s]	6320	5890	4660	350	1480	?