



温度で のぞく 材料の 世界

東北大学
金属材料研究所

温度でのぞく 材料の世界

2017年10月 第1版発行
2018年8月 第2版発行

発行：東北大学金属材料研究所
編集：東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班 広報編集委員会

お問い合わせ・見学申込：
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班
E-mail: pro-adm@imr.tohoku.ac.jp

【はじめに】材料ってなあに？

みなさんは「材料」と聞くと、どのようなものを思いうかべますか？

料理の具材？クルマの部品？もしそういうものを想像したら、半分正解で半分はずれ。

材料というのは、

「ある決まった使い道のために作られるもの、

また 将来^{しょうらい}使われること（応用・実用化）が期待されるもの」のことをいいます。

そう、まだわたしたちの身のまわりで使われていないものも「材料」というのです。

では、材料になる前のものはなんというのでしょうか？それは「物質」です。

わたしたちの身のまわりにある、使い道がまだ分からないものもすべてが「物質」です。

今は使われていない「物質」も、研究で新しい「材料」にしてみよう。

金属材料研究所（金研）では、こう考えるたくさんの研究者たちが

新しい「材料」の開発や、今まで分からなかった「物質」の仕組みについて研究しています。

この本は、最先端^{さいせんたん}で物質・材料の研究をしている金研の研究者が、
みなさんに少しでも材料研究に興味^{きょうみ}を持ってもらえるよう作りしました。

「材料研究」といわれてもぴんとこない？

それなら、もくじにある「温度じょうぎ」で

わたしたちの生活と材料の関係を比べてみてはどうでしょう？

水を温めたり冷やしたりすると水蒸気^{すいじょうき}や氷になるように、

物質は温度が変わるとその特徴^{とくちょう}も変わっていきます。

材料づくりでは、温度を一定にしたり、急激^{きゅうげき}に温度を変えたりすることで、
新しい材料を生み出します。

温度は材料の世界でも重要な役割^{やくわり}を持っているのです。

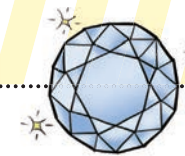
まずは目次を見て、はじめからでも、好きな所からでも、

ぜひ気軽に読んで、材料の世界をのぞいてみてください。



物質 ぶっしつ

わたしたちの身のまわりにあるすべてのもの



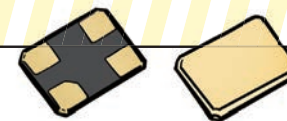
材料 ざいりょう

ある決まった使い道のために作られる物質



素材 そざい

加工された材料



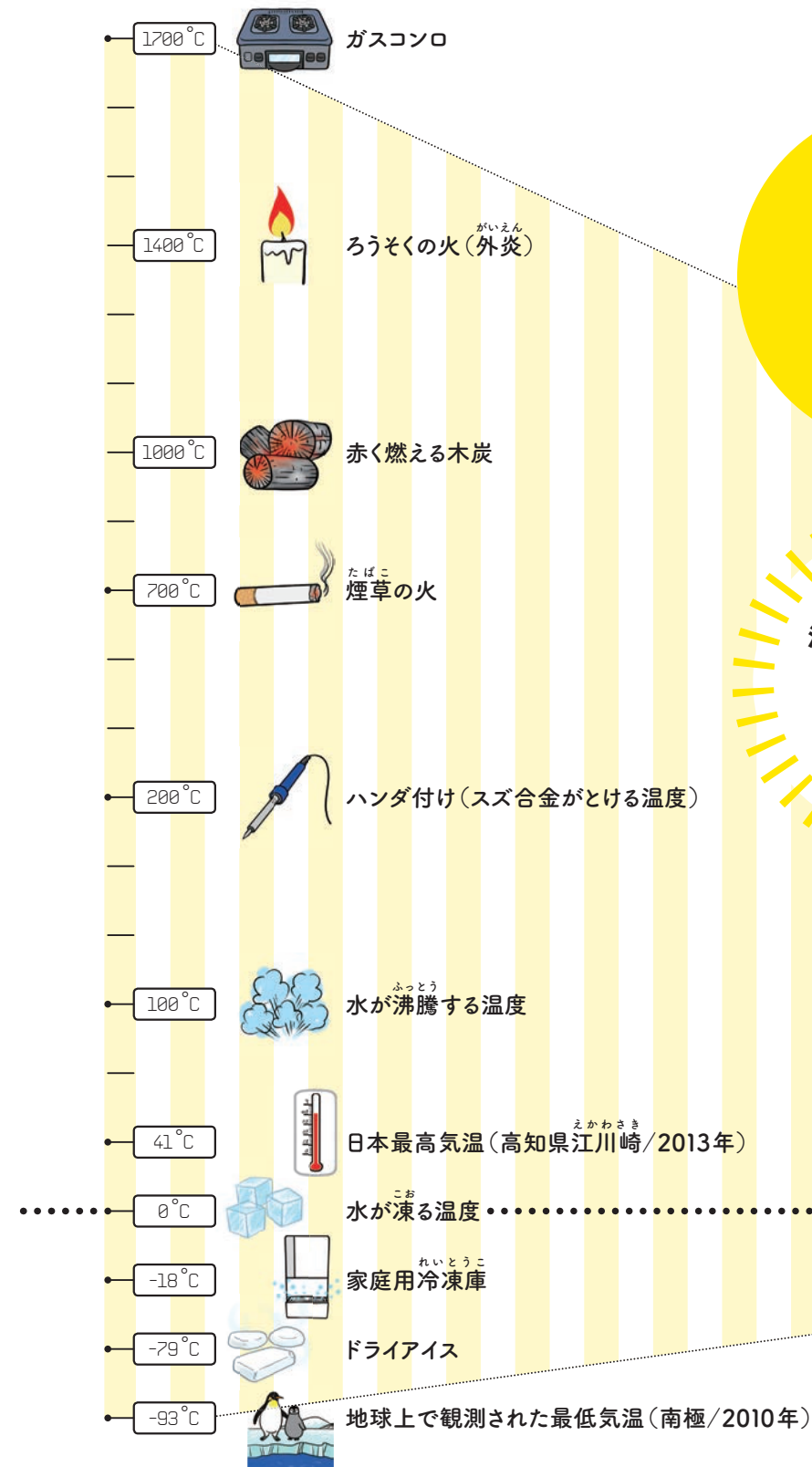
部品 ぶひん

製品に使うために
いろいろな素材が組み合わさったもの

【もくじ】 温度じょうぎ

比べてみよう、
わたしたちと材料の世界

わたしたちの生活にかかわる温度

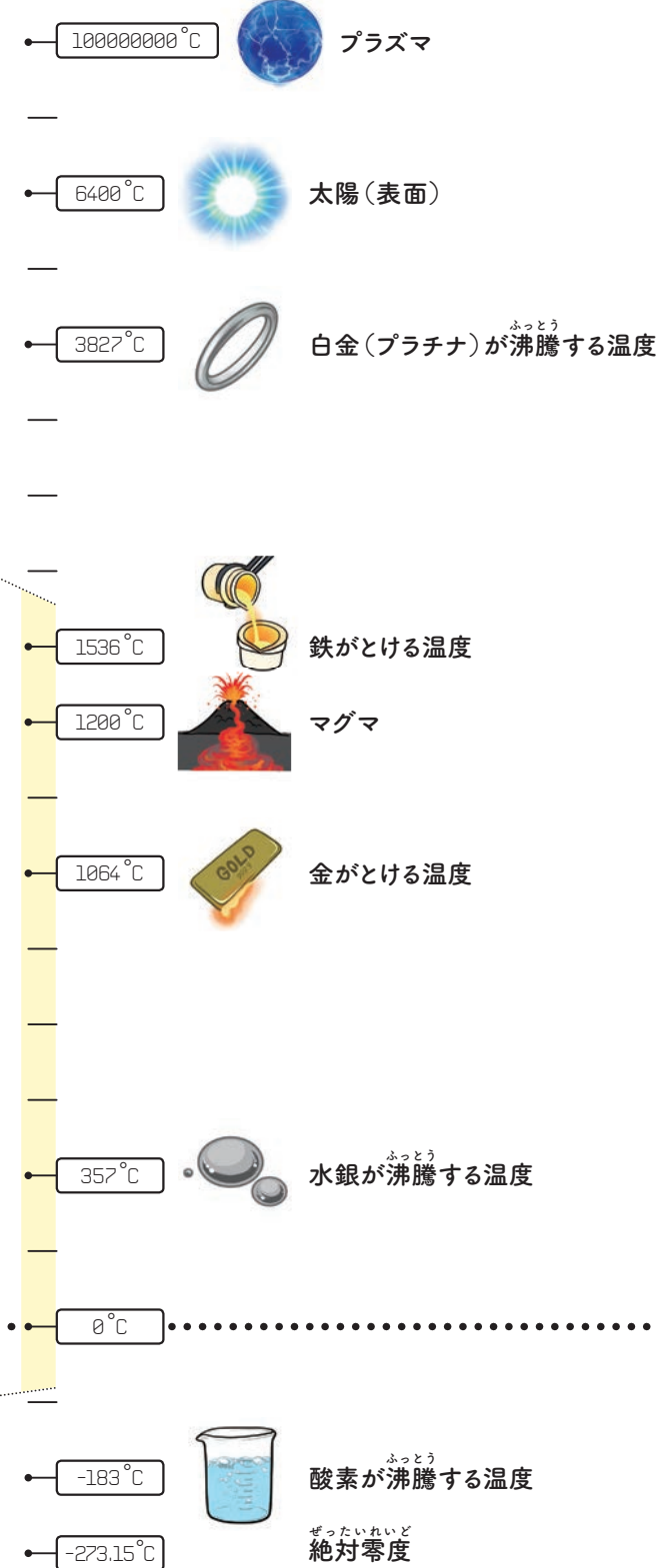


熱い冷たいは
つぶつぶの動き？
温度と原子
P04

空気がないと
温度は伝わらない？

真空
P14

材料世界の温度



きれいのヒミツは
冷やし方？
けっしょう
結 晶
P06

きゅうげき
急激に冷やすと
ガラスに変身？

ガラス・
アモルファス
P08

温めると
じしやく
磁石じゃなくなる？
じせいたい
磁性体
P10

これ以上「絶対」
低い温度はない？
きよくていおん
極 低 温
P12



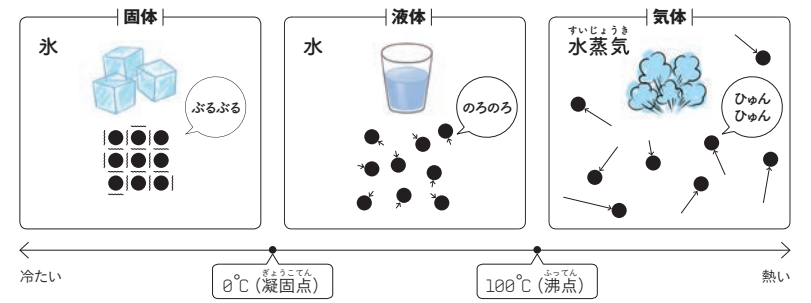
温度と原子

おんどとげんし
Temperature and Atom

温度ってなあに？

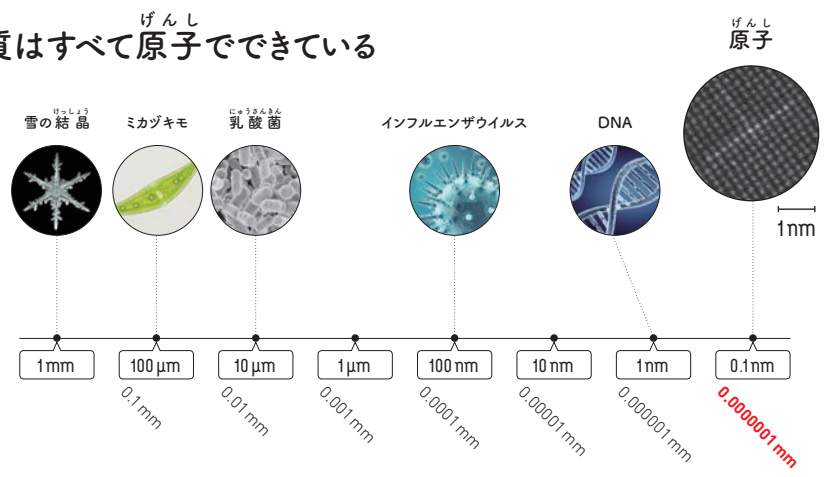
身のまわりのもの(物質)は固体、液体、気体のいずれかの状態で存在しています。それぞれを拡大してみると、実は目に見えないつぶつぶがたくさん動いています。温度が高いほどつぶつぶの動く速さが速くなり、温度が低いほどつぶつぶの動きが遅くなります。つまり、温度の高低がつぶつぶのスピードを決めているのです。

例えば水の場合



つぶつぶの正体は？——物質はすべて原子でできている

つぶつぶの正体は「原子」といいます。地球には100種類以上の原子があり、わたしたちの身のまわりのものはすべて、この小さな原子が組み合わさったりつながったりしてできています。原子は目では見えにくい小さいですが、虫眼鏡よりもっと小さなものが見える電子顕微鏡を使うとびっしり並んだ固体の原子を見ることができます。ちなみに、いくつかの原子がくっついて1つの粒になったものは分子といいます。



橋の ちぢ 橋が伸び縮みする?!

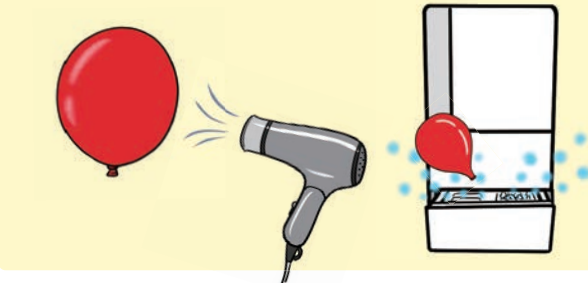
橋は夏になると伸び、冬になると縮むって知っていますか？橋の途中で見かけるぎざぎざのスキマがその証拠。多くの橋は鉄でできています。鉄の原子は温度が高くなるとその場で大きく震えだし、鉄の体積は膨張します。逆に温度が下がると原子のゆれは小さくなるため体積も小さくなります。つまり温度と原子の動きによって、鉄(金属)の大きさが変化するので。橋にスキマがあるのは、気温によって橋が伸び縮みしても壊れないようにするため。小さな原子の動きが橋の伸び縮みにまで影響していると思うと、なんだか不思議ですね。



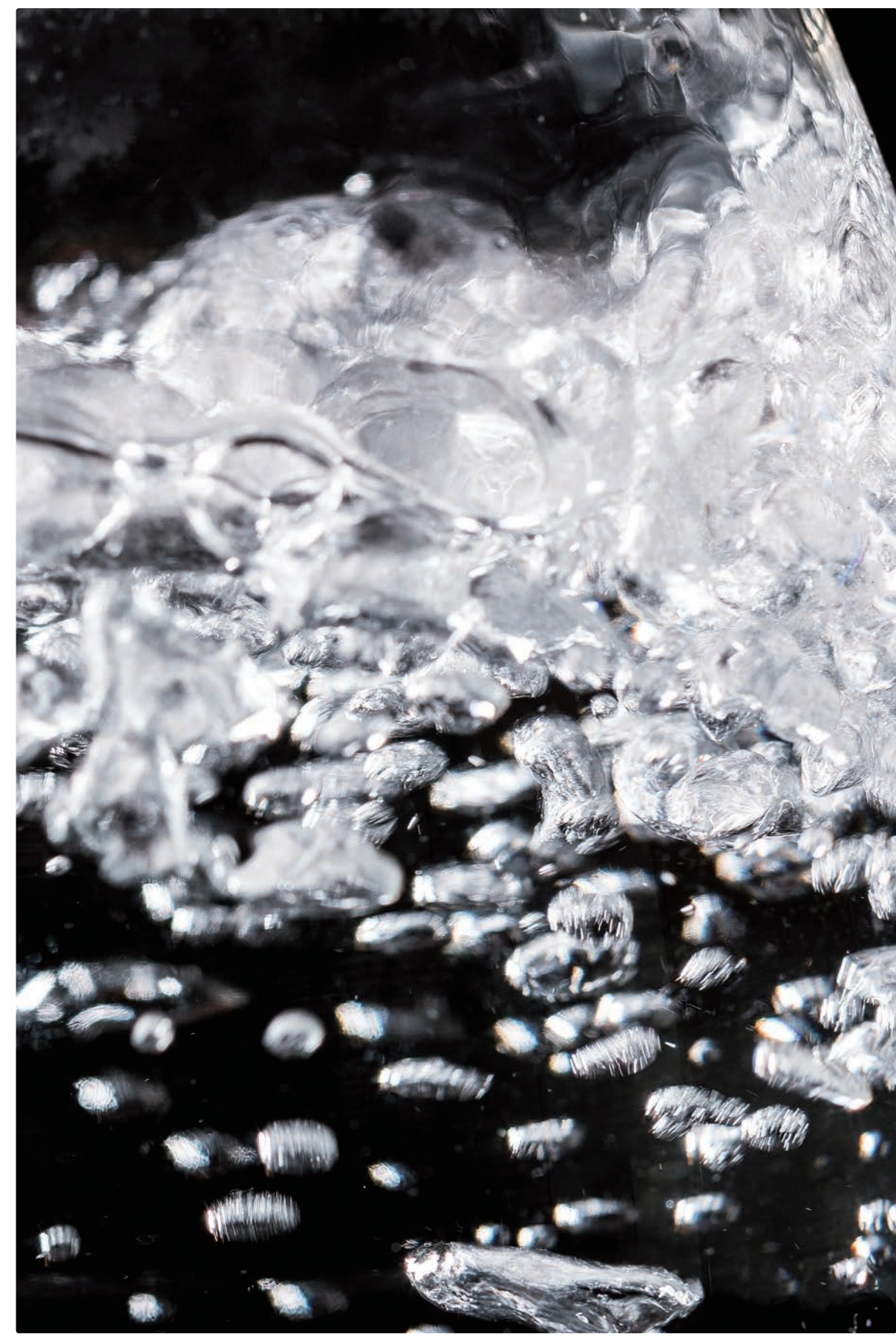
風船を冷やしたり温めたりすると?!! やってみよう!!

膨らませた風船を冷凍庫で冷やしたり、ドライヤーで温めたりしてみよう！風船の大きさはどうなるかな？

- 実験前のお約束**
- 実験は必ずお家の人と一緒にやりましょう。
 - ドライヤーを近づけすぎないようにしましょう(風船がとけてしまいます)。
 - ドライヤーでやけどをしないように気を付けましょう。



※「やってみよう」に関するトラブル等についての責任は負いかねます。注意事項を確認の上、安全に気をつけて実施ください。



水の沸騰

熱い冷たいはつぶつぶの動き?

きれいの
ヒミツは
冷やし方？

結晶

けっしょう
Crystal

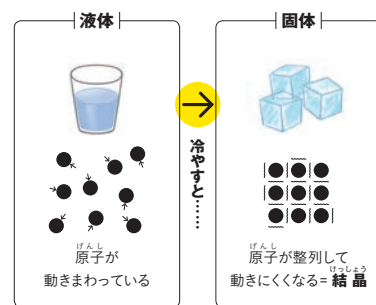
液体から固体(結晶)になる温度



シリコン(ケイ素)	1412℃
アルミニウム	660℃
水(氷)	0℃

けっしょう 結晶ってなあに？

結晶といわれて真っ先に思いうかぶのは雪の結晶かもしれません。では、ダイヤモンドや塩、アルミホイルも結晶だといったら意外に思うでしょうか。結晶とはなにか？それは原子(→P4)が、規則正しく整列した固体のこと。多くの宝石や金属、固体の調味料は結晶です。



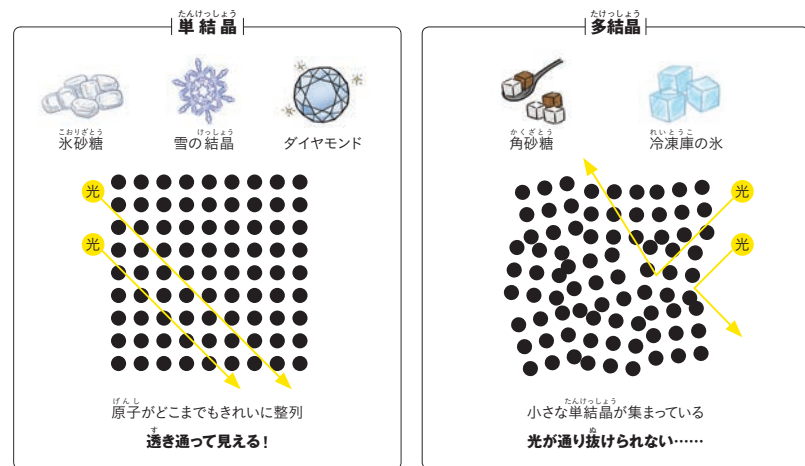
けっしょう 結晶作りは難しい

きんけんの
研究

原子が規則正しく並ぶと、電気をむだなく通したり、熱に強くなったりと、物質が持つ能力を最大限に発揮できます。そのため、パソコンなどの電子機器に使われる半導体には単結晶の材料が使われ、製品の省エネルギー化や高品質化に貢献しています。一方で、単結晶は大きいものほど作るのが難しくなります。液体から固体に変化する時の温度などを厳しくコントロールしないと、簡単に多結晶になってしまうからです。単結晶を作るにはゆっくり冷やしていく必要がありますが、その分作るのに長い時間がかかるため、コストが高くなってしまいます。よいものをたくさん作ることはなかなか大変なことなのです。そのため金研では、きれいな単結晶を作る技術のほか、多結晶でも高い性能を持つ材料の開発もしています。また単結晶を使って、物質本来が持つ性質を調べる研究も行っています。

かき氷屋さんの氷はなぜ透明？

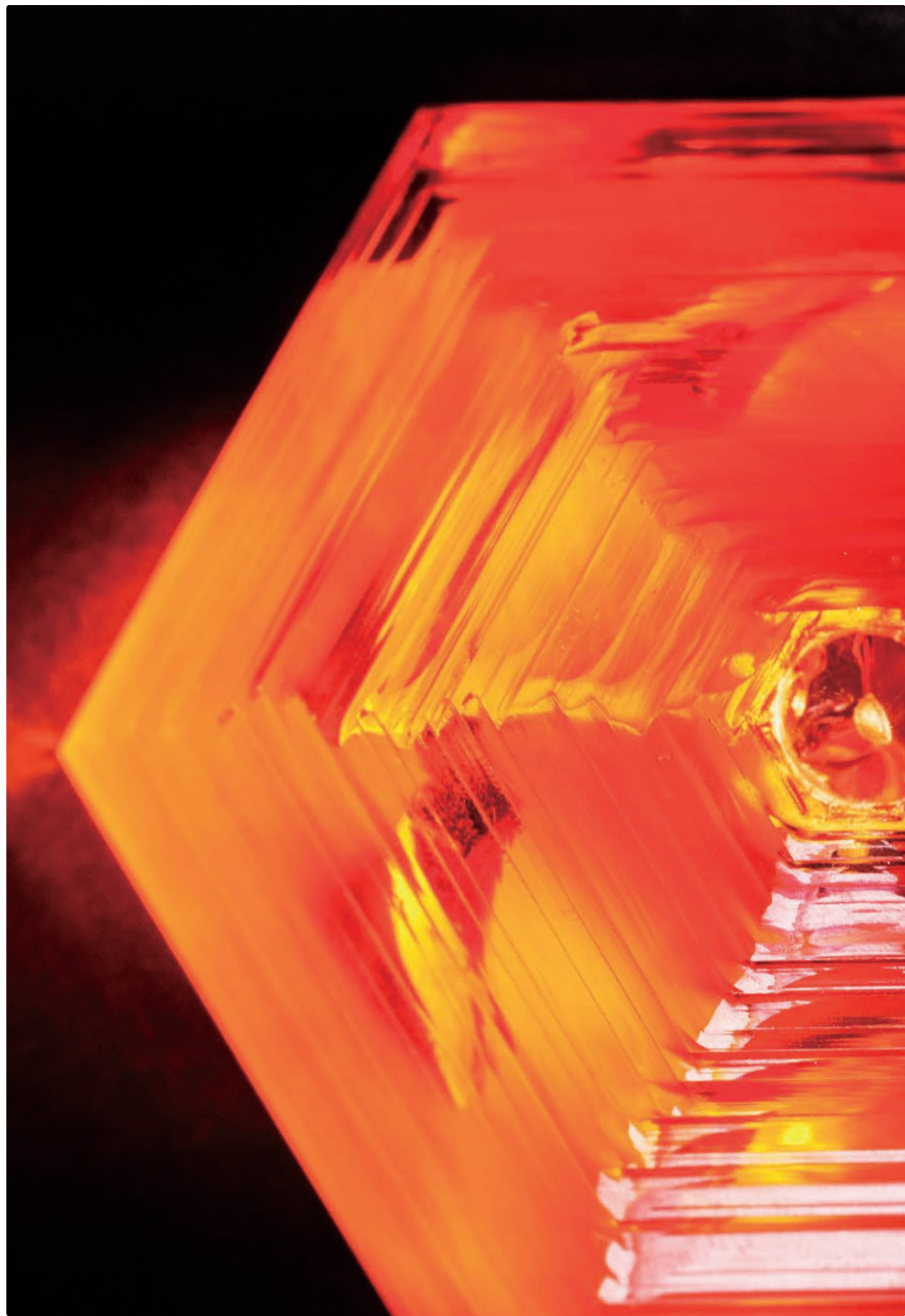
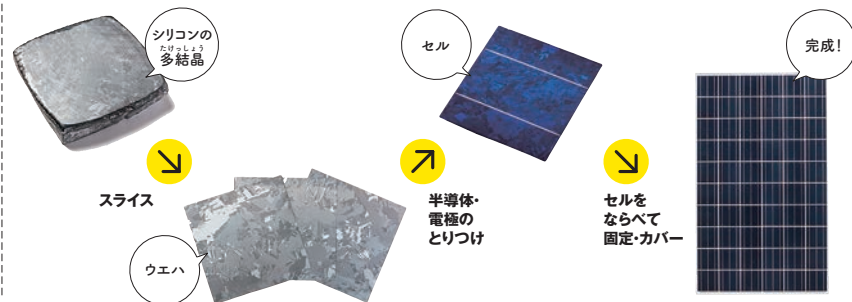
かき氷屋さんの大きな氷は冷凍庫の氷と比べて透明ですよね。これは結晶を作る時の冷やし方が関係しています。結晶の中でも、原子がどこまでも規則正しく整列した固体を「単結晶」とよびます。一方、小さな単結晶がたくさん寄せ集まってできた固体は「多結晶」といいます。例えば、角砂糖と氷砂糖。同じ砂糖でも氷砂糖は透き通って見えます。なぜなら、氷砂糖は単結晶なので、その中を通る光が整列した原子の中をまっすぐ通り抜けることができるからです。単結晶を作るにはゆっくりと冷やしながらか固めることが大切。こうすると原子はきれいに並び、不純物を閉じ込めにくくなります。かき氷屋さんの氷もこうして作られた単結晶なのです。



太陽電池は単結晶？多結晶？

身近な
科学

太陽の光で発電する太陽電池。実は光を電気に変える材料にも、結晶が使われています。それでは問題です。下の太陽電池は単結晶と多結晶、どちらが材料に使われているでしょうか？ヒントはウエハやセルの表面。よく観察してみましょう。よく見ると、まだら模様になっていませんか。同じ色でひと固まりになっているところが1つの単結晶。それがたくさん寄せ集まっているということは、そう！多結晶です。太陽電池にはシリコンという原子でできた多結晶がよく使われています。実はまだら模様がないう太陽電池もあります。それは多結晶？それとも単結晶？ぜひ調べてみてください。



電子回路やセンサーの材料として使われるランガサイトの単結晶

きれいのヒミツは冷やし方？

きゅうげき
急激に
冷やすと
ガラスに変身？

ガラス・アモルファス

がらす・あもるふあす Glass, Amorphous

ガラスがやわらかくなる温度

ソーダガラス*	約 700℃
金属ガラス	約 400℃**
キャラメル	約 -15℃

- * 窓ガラスなどに使用
- ** ジルコニウム合金の場合

ガラスってなあに？

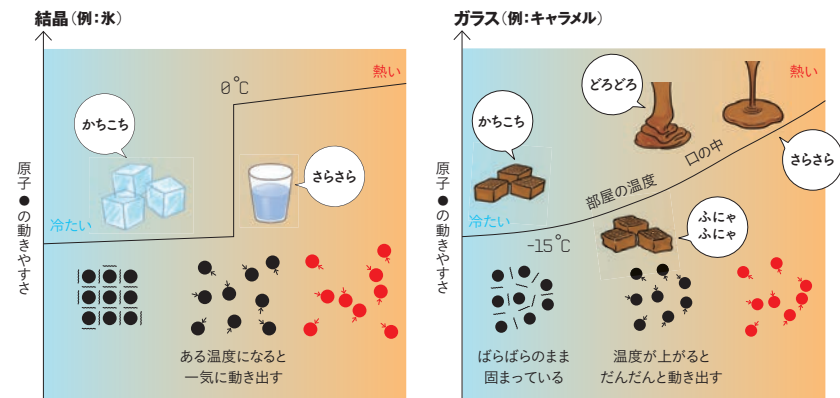
「ガラス」といわれて、コップや窓ガラスを想像したら大正解！ではこのガラス、温めていくとどうなるか知っていますか？
ヒントはキャラメル。キャラメルを口の中に入れた時の様子を思い出してみましょう。

氷は0℃をこえるとすぐに水になりますが、キャラメルは温めるとだんだんやわらかくなってから液体に変わります。この「やわらかくなる」特徴があるものを「ガラス」といいます。綿あめやかťお節なども実はガラスなのです。



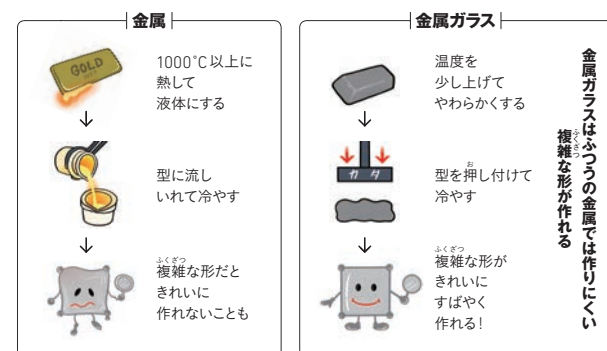
ふにやふにやになるのはスキマのおかげ！

なぜガラスはやわらかくなるのでしょうか？ここに
もまた原子（→P4）が関係しています。
結晶（→P6）になる物質は、液体が冷やされると原子の距離がだんだんと近くなり、固体になる直前（凝固点）で一気に原子が整列します。一方ガラスの原子は、冷やされて固体になっても整列せずばらばらのまま。このため、原子と原子の間には結晶に比べて大きなスキマができます。このスキマのおかげで原子は自由に動くことができ、ふにやふにやとやわらかくなるのです。



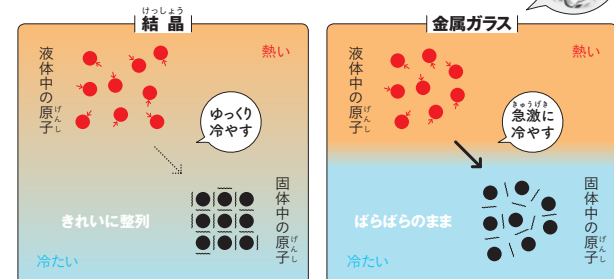
変幻自在な金属ガラス

最近、スマートフォンの部品の材料に「金属ガラス」が注目されています。金属なのにガラス？と思うかもしれませんが、キャラメルと同じく温めると「やわらかくなる」金属です。ふつうの金属は氷と同じ結晶なので、温度を上げてもキャラメルのようにやわらかくなることはありません。一方、金属ガラスは温度を上げていくとだんだんやわらかくなるため、簡単に形を作ることができます。また金属ガラスは衝撃にも強い、優秀な材料なのです。



実は金属ガラスのメッカ

多くの金属ガラスやアモルファス合金^注は、実は金研で発明されました。金属はもともと結晶になりやすいので、ふつうに冷やすだけではガラスになりません。そこで、とかした金属を原子が整列する時間がないくらいのスピードで急激に冷やします。すると原子は液体の時のようにばらばらに並んだまま固まります。こうして作られるのが金属ガラスです。金属ガラスもキャラメル同様、原子同士の距離が大きくなります。このため外から大きな衝撃を受けても、原子が動きやすく、衝撃を吸収するため割れにくくなる。金属ガラスが丈夫なのも、やはり原子のスキマのおかげなのです。



注）温めた時に、ふにやふにやになる前に原子が整列し、結晶に戻ってしまうものをアモルファス合金といい、金属ガラスと区別する場合があります。



急激に冷やすことによって作られる金属ガラスリボン

急激に冷やすとガラスに変身？



磁性体

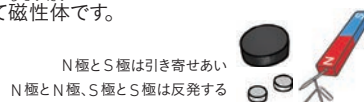
じせいいたい
Magnetic Materials

じしゃく
磁石がくっつかなくなる温度

コバルト	1390℃
鉄	1044℃
ニッケル	631℃

じせいいたい 磁性体ってなあに？

身のまわりのものに磁石を近づけると、クリップや砂鉄のようにくっつくものと、コインやアルミホイルのようにくっつかないものがありますね。磁石に引き寄せられる(または反発する)もの、それらはすべて「磁」石の「性」質を持っているので「(強)磁性体」とよびます。冷蔵庫にくっつく磁石や方位磁針、クリップや釘もすべて磁性体です。



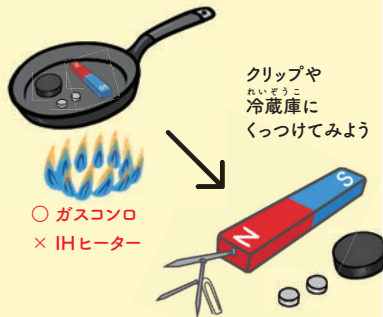
N極とS極は引き寄せあい
N極とN極、S極とS極は反発する

じしゃく 温めると磁石は どうなる？

!!
やってみよう
!!

100円ショップで売っている「フェライト磁石」や「ネオジム磁石」など種類のちがう磁石をフライパンの上に置いて、ガスコンロの火で温めてみよう。温めることで磁石の強さはどうなるかな？

弱火で5分～10分
温めて、

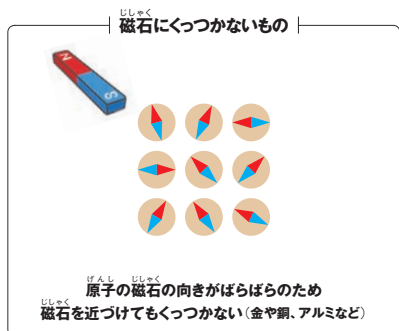


実験前のお約束

- 実験は必ずお家の人と一緒にやりましょう。
- 磁石を温める時はガスコンロを使いましょう。(IHヒーターを使うと磁石の力でIHヒーターが壊れてしまいます。)
- 熱くなった磁石はおはしやピンセットでつまみましょう。(手で直接つかむとやけどをします。)
- ネオジム磁石はとても強力な磁石です。電子機器や磁気カードには近づけないようにしましょう。

右向け右！向きがそろうと ものがくっつく?!

なぜ、磁性体は磁石にくっつい反発したりするのでしょか。それは原子(→P4)が関係しています。実は原子ひとつひとつは小さな磁石になっています。磁石にくっつかないものは原子の磁石の向きがばらばら、一方磁石にくっつく磁性体は原子の磁石の向きがピシッとそろっているのです。



スマートフォンにクリップがくっつくわけ

スマートフォンにクリップを近づけると、ピタッとくっつく場所があります。磁性体であるクリップがくっつくということは、そう!その場所には磁石があるということ。実はスマートフォンのスピーカー、データを保存するハードディスクの部品などには、米粒よりも小さく強力な磁石が使われています。磁石の力が強いほど部品を小さく、そして製品も小さくできるので、小型の電子機器には世界最強の「ネオジム磁石」が使われています。強い磁石はたくさんの磁性体をくっつけるだけでなく、わたしたちの生活も便利にしてくれる優秀な材料なのです。

じせいざいりょう 磁性材料の発明はお家芸

きんけんの
研究

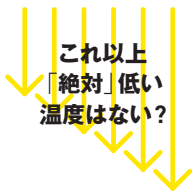
金研では100年以上前から、磁石をはじめとした磁性体の材料(磁性材料)をたくさん発明してきました。金研の創立者、本多光太郎博士は1916年当時世界最強の磁石、KS磁石鋼を発明して戦時中の工業発展に貢献しました。6代目所長の増本量博士は今でもスマートフォンなどの電子機器に使われているソフト磁性体のセンダストを発明しました。現在世界最強のネオジム磁石を発明した佐川真人博士も金研の卒業生です。現在金研では、磁性材料をもっと小さくかつ高性能にするために、原子ひとつひとつが持つ磁石の力をより詳しく調べる研究が行われています。みなさんが大人になるころには、今までなかったような、あっと驚く磁性材料が発明されているかもしれません。

奥:KS磁石鋼
手前:新KS磁石鋼



棒磁石が作る磁場の様子

*「やってみよう」に関するトラブル等についての責任は負いかねます。注意事項を確認の上、安全に気をつけて実施ください。



これ以上
「絶対」低い
温度はない？

極低温

きょくていおん
Low Temperature

気体が液体になる温度



酸素	マイナス 183℃
窒素	マイナス 196℃
ヘリウム	マイナス 269℃

きょくていおん

極低温ってなあに？

みなさんが今までで一番冷たい！寒い！と感じたのはどんな時でしょう？アイスクリームを入れる冷凍庫の中はマイナス 18℃くらい。ドライアイスはマイナス 79℃。地球上で観測された最も低い気温はなんとマイナス 93℃だそうです。想像しただけでも寒そうですが、研究の世界にはそれよりももっともっと低い温度があります。その温度はマイナス 273.15℃。どんなに冷やしても、これ以下の温度にはならないため、絶対零度ともよばれます。極低温とはこの絶対零度に近い温度のことをいいます。

のぞいて見よう、極低温の世界

きょくていおん
極低温といってもどんな世界か想像がつかない？それでは身近なものをマイナス 196℃の液体窒素で冷やすとどうなるか、少しだけお見せしましょう。



マイナス 196℃で沸騰する？

沸騰（ふっとう）というと、火にかけてぐらぐら（わ）沸いているお湯を想像するかもしれませんが、火にかけなくても沸騰（ふっとう）する物質が極低温の世界にはあります。例えば空気の約 4/5 を占める窒素（ちっそ）は、マイナス 196℃まで冷やすと液体になります。それをコップにいれるとぽこぽこ（ふっとう）と沸騰しだし、すぐに蒸発（じょうはつ）してまた気体になります。水の沸点（ふってん）は 100℃ですが窒素（ちっそ）はマイナス 196℃。だから外の空気（ふっとう）に温められただけで沸騰（ふっとう）するのです。一方金属（ふっとう）は 2000℃以上まで温めると気体になるものが多く、例えば金は 2857℃で沸騰（ふっとう）して気体（ふっとう）になります。このように日常生活では気体や固体の形でしか見られないものも、温度が変わると水と同じように液体になったり沸騰（ふっとう）したりするのです。



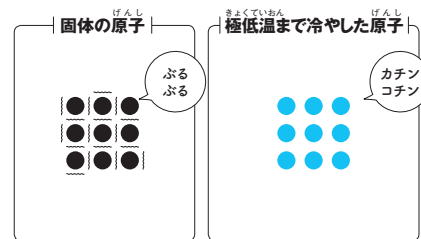
きょくていおん 極低温でしか見られない本当の姿

きんけんの
研究

研究者は物質（とくちよう）の特徴を知りたいときに、極低温まで冷やししながら実験をすることがあります。どうしてでしょうか。

固体中の原子（げんし）はその場で小刻みに震えています（→P4）が、極低温まで冷やすとほとんど動かなくなります。すると、常温や高温では見られない動きのない原子（げんし）の様子を見ることができるようになります。例えるなら、写真を撮ろうと思っても動きが速すぎてうまく写らなかったものが、動きがゆっくりになることではっきり撮（と）れるようになるイメージです。物質や材料には、どうしてそんな性質を示すのか理由が分からない不思議な特徴（とくちよう）がたくさんあります。

金研（きんけん）の研究者（きょくていおん）は極低温（げんし）を使って原子（げんし）の動きに邪魔（じゃま）されない物質（ぶつ）の真（ま）の姿（すがた）にせまろうとしているのです。



げんし
原子がほとんど動かないので、
物質の本当の姿がよく分かる！



じしゃく す
磁石に吸い付けられる青い液体酸素

これ以上「絶対」低い温度はない？



真空

しんくう
Vacuum

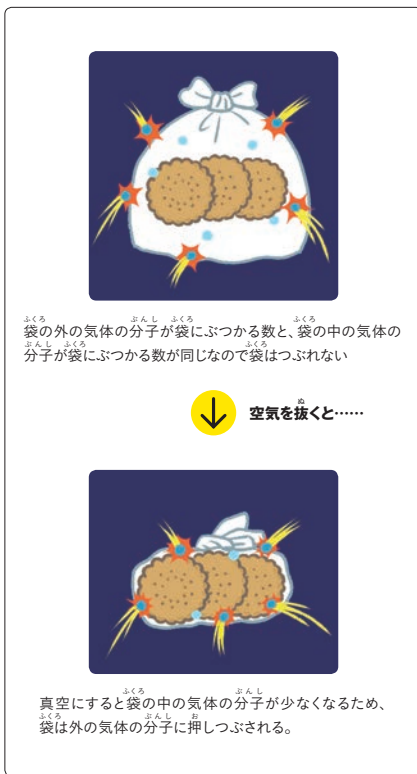
真空ってなあに？

真空といえば、宇宙をイメージする人が多いでしょうか。真空は空気、すなわち気体がない空間のこと。最近では真空パック、真空チルドなど食品などにも活用されていますね。食べ物を真空にして保存するのは、変色などの原因になる酸素をできるだけ少なくし、長持ちさせるためです。

外の空気に押し負けるから ぺちゃんこに?!

空気の重さを感じたことはありますか？空気中には無数の気体の分子がひゅんひゅんと飛び交っています。その数、角砂糖1つくらいの体積(1cm³)に約26900000000000000000個(0℃)! なんとも想像できませんが、わたしたちはこの飛び交う分子に常に押されながら生活をしています。この分子たちの押す力を「大気圧」といい、1m²の平面にはなんと約10tもの重さがかかっています。

布団圧縮器などでは、袋の中の気体を追い出し、大気中よりも分子の数が少ない状態にしています。空気を抜くと袋がぺちゃんこになるのは、袋の外側を飛び交う分子に押しつぶされていくからです。これだけの分子が飛び交う中で、気体分子が1つもいない完全な真空を作るのはとても大変。現在の技術では完全な真空を作り出すことはできませんが、1cm³あたり数千個の分子まで減らすことはできます。



真空は最適な研究環境

きんけんの
研究

金研の研究者にとって、真空装置は大切な実験道具です。研究で使う真空を作るための容器(真空チャンバー)は、布団圧縮器のビニール袋のようにぺちゃんこになるようなやわらかい袋ではありません。真空にしてもつぶれない頑丈な金属でできています。研究者はこの装置の中で新しい材料を作ったり、材料の特徴を調べたりします。ではなぜ真空にする必要があるのでしょうか。

空気中にはたくさんの分子が飛び交っています。その中には、作った材料とくっつくなどして、影響を与えるものがあります。例えば半導体の場合はわずかな不純物が品質を落とす原因になります。また、物質の性質を調べる場合には、見たいもの以外の分子が少しでも混ざり込んでしまうと、本来の姿を見ることができません。そのため、空気をできる限り排除した真空チャンバーの中で実験を行うことで、より質のよい材料を作り出したり、より正確な物質の性質を発見したりすることができるのです。

真空=空気がない空間



温度は伝わりにくい

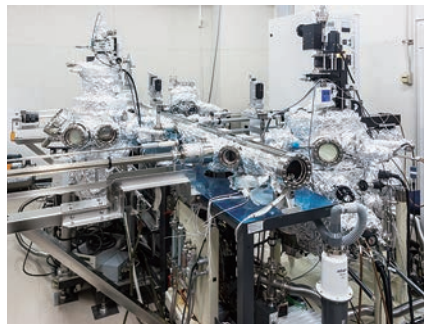
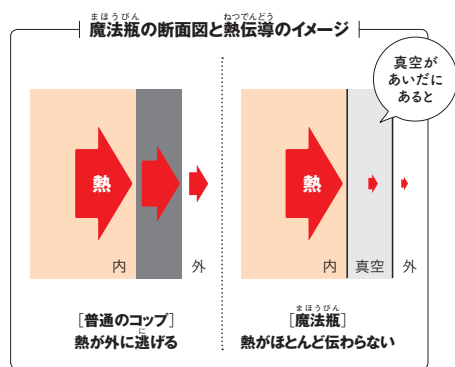
身近な
科学

魔法瓶はなぜ冷めない？

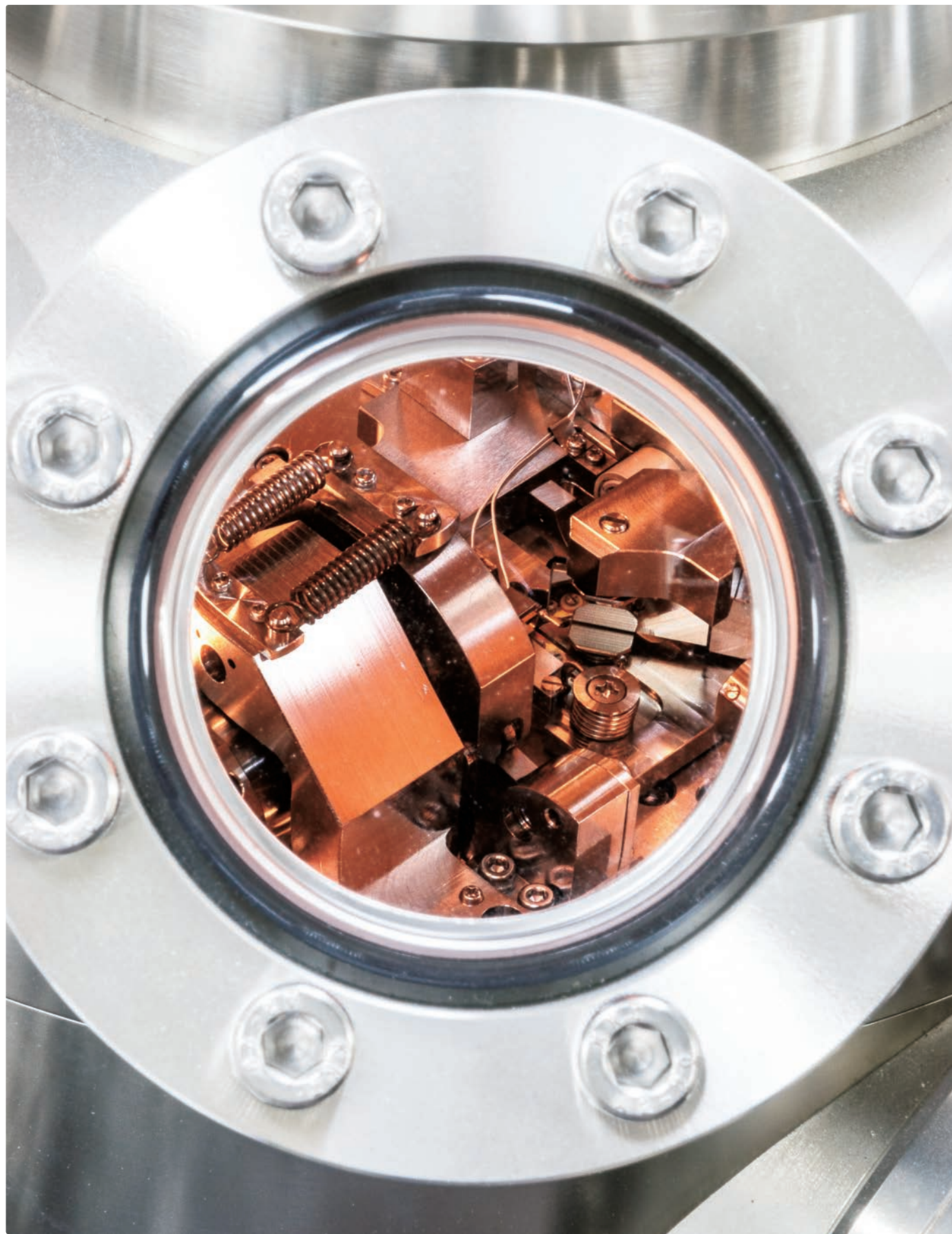
朝いれた温かい飲みものを魔法瓶の水筒にいと、夕方までポカポカしていますね。これも真空が関係しています。

温かいものが冷める理由は、熱が温かい所から冷たい所に伝わるから。では熱はどのように伝わっていくのでしょうか？熱の伝わり方には[1] 温められた原子のゆれ(→P4)などが他の原子に波のように伝わる(熱伝導)、[2] 空気や液体の分子が移動する(対流)、[3] 熱が電磁波によって伝わる(熱放射)、この3つがあります。物が冷めないようにするには、この熱の移動がおきないようにすればよいのです。

魔法瓶の内部には真空の空間があります。真空はお湯の熱を伝える原子・分子がないため、熱伝導はおきません。さらに瓶の内側を鏡のようにすることで熱放射を反射し、熱が逃げないようにしています。だから魔法瓶に入れたお湯はなかなか冷めないのです。



実験室にある真空チャンバー



原子の並び方を観察するための真空装置とその内部

「温度でのぞく 材料の世界」
いかがでしたでしょうか？

材料研究はわたしたちの暮らしを支える縁の下の力持ち、
そして日本が得意とする研究分野です。

しかし残念なことに、材料を直接目にすることが少ないため
わたしたちの暮らしとのかかわりが見えにくい、なにをやっているのか分かりにくい、
という声もよく聞きます。

そこで熱い、冷たい、という誰もが感じたことがある温度を使って、
不思議な物質・材料の世界を紹介してみよう！
そんな思いでこの冊子を作成しました。

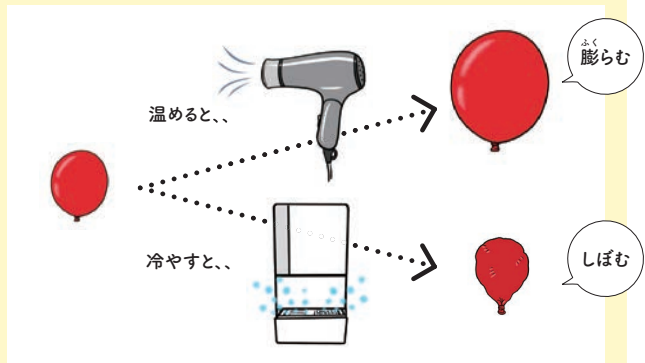
本冊子をお読みいただいたみなさんが、
少しでも材料研究を身近に感じて、
少しでも材料研究に興味を持っていただけたなら
なによりの喜びです。

物質・材料研究の世界にはまだまだ分からないことがたくさんあります。
誰も知らなかった物質を発見したり、
世の中を大きく変えるような材料を作り出すのは、
もしかしたらあなたかもしれません。
そう考えたらなんだかワクワクしませんか？

材料の研究をしたい!と思ったら
ぜひ金研を思い出してください。

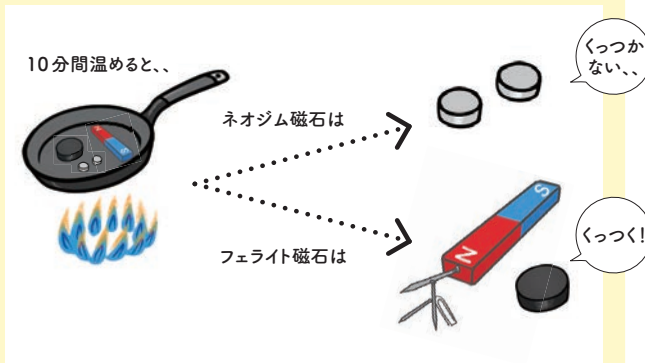
未来の科学者のみなさん、金研で待っています。

風船を冷やしたり温めたりすると？〔P4〕



風船は冷凍庫に入れるとしぼみ、ドライヤーで温めると膨らみます。風船がしぼむのは、冷やされることで風船の中に閉じ込められた気体分子の動きが遅くなり、内側から風船を押す力が弱まるから。逆に温められると分子の動きはどんどん速くなり、内側から風船を押す力が強くなるため風船は膨らみます。

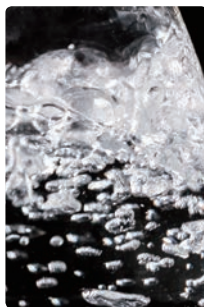
温めると磁石はどうなる？〔P10〕



フェライト磁石はフライパンで10分温めてもくっつく力は変わりません。一方ネオジム磁石は5分も温めるとくっつかなくなります。ネオジム磁石は世界で一番強い磁石ですが、熱に弱いという欠点があります。磁石は組み合わせる原子によってくっつく力や熱への強さなどが様々に変化します。研究者は熱にも強い強力な磁石を作るため、いろいろな原子を組み合わせで新しい磁石を作り出そうとしています。

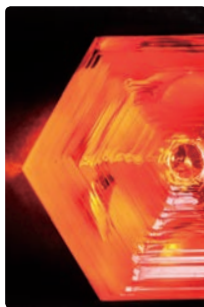
温度と原子〔P5〕

水は100℃以上になると沸騰し、水蒸気になります。沸騰したときにぼこぼこできるたくさんの泡は、底からうかび上がってきた水蒸気です。液体から気体になると体積は1000倍以上になります。



けっしょう 結 晶〔P7〕

写真の結晶には六角形が見えますね。このようなきれいな形が見えたら、単結晶作りの成功です。結晶の種類によって、四角形が見えることもあります。



ガラス・アモルファス〔P9〕

高速で回転する銅ロールに、とけた金属を吹き付けています。とけた金属を一気に冷やし、金属ガラスを作っているのです。写真の銅ロールは1分間に3000回転しています。液体から金属ガラスのリボンが作られていく様子は壮観です。



じせいたい 磁性体〔P11〕

磁石の周囲には、「磁場」が作られています。磁石の周囲に鉄粉を置くと、鉄粉は磁場の影響を受けて写真のように整列します。磁場は目に見えませんが、わたしたちのまわりにいろいろな形で存在し、地球も磁場を作り出しています。



きょくていおん 極低温〔P13〕

磁石のまわりに青色をした液体酸素がまとわりついているのが見えますか？液体酸素の中につけた磁石を引き上げた直後の写真です。液体酸素はサラサラしていますが、磁性体なので磁石に吸い寄せられるのです。



真空〔P15〕

様々な部品が窓越しに見えますね。まるで機械式時計の中のようなです。窓の向こうは真空になっているため、中に手を入れることができません。そのため外から部品を操作して、真空装置の中で新しい材料を作ります。



Staff Supervisor：東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班 広報編集委員会 | Editor/writer：横山美沙(情報企画室広報班 助手)
Designer：松井健太郎(株式会社BLMU) | Photographer：熱海俊一(studio SHUN'S) | Illustrator：橋本さと子 | Printing：今野印刷株式会社

参考資料 国立天文台編(2015)「理科年表 平成28年」丸善出版 | 渡辺正義・米屋勝利(2002)「物質科学入門」化学同人 | 小泉榮一郎ほか編(2011)「冷凍食品技術研究N0.90」冷凍食品技術研究会 鯉沼拓(2012)「宇宙一わかりやすい高校物理(力学・波動)」為近和彦監修、学研教育出版 | 川井清司(2016)「ガラスおよびラバー食品におけるガラス転移温度の役割」低温生物工学会誌 萩原知明(2009)「ガラス転移の食品科学・工学への応用」日本食品工学会誌