

1

ついに金属が
記憶を手にした?

形状記憶合金とは

まっすぐな針金をぐるっと曲げてみましょう。手を離してももちろん曲がったままです。冷やしても、温めてもこのままの形です。しかし、ある種の針金は曲げてもお湯の中に入れて元に戻るものがあります。

左ページに示したのはチタン・ニッケル合金（ニチノールと呼ばれることもある（1章末コラム参照））というチタン原子とニッケル原子が同じくらいの割合で混ぜた合金でできた線材です。まっすぐな線材を手で曲げてから60℃くらいのお湯に入れると、あっという間に元のまっすぐな形に戻ります。つまりこの線材はまっすぐな形状を記憶しているわけです。このような効果を「形状記憶効果」、性質を示す金属を「形状記憶合金」と呼びます。

また、直線以外の形を記憶させることもできます。例えば、ト音記号の形を記憶している線材を伸ばしてまっすぐにし、お湯につけると元のト音記号の形

に戻ります。形状記憶合金にはさまざまな形を覚えさせることができ、形状記憶効果を使うと何か物を動かす仕事をさせることも可能です。

金属以外にも、ある種の高分子材料やセラミックス材料にもこのような性質を示す材料があり、総称して「形状記憶材料」と呼びます。その中で、形状記憶合金は他の材料と比較して特に大きい数%の形状変化を示すとともに、数百MPaもの大きな応力を発生するので、何か機械を駆動することもでき、後で述べるように幅広い分野に使われています。

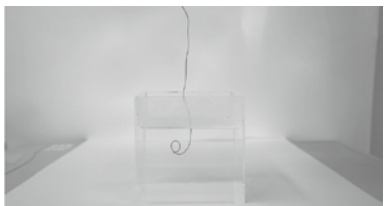
第1章ではどうして金属が形を覚えることができるのか、どうして元の形を思い出すことができるのか、普通の金属とは何が違うのかなど、形状記憶合金のいろいろな性質について説明していきます。

チタン・ニッケル合金の形状記憶効果

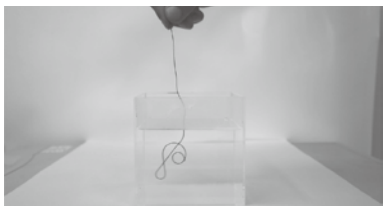
ト音記号を記憶させた線材を伸ばして



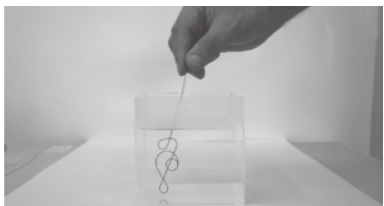
少しずつお湯に入れると



ぐるぐると曲がって



ト音記号に戻る



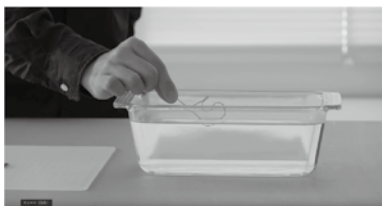
まっすぐな針金を



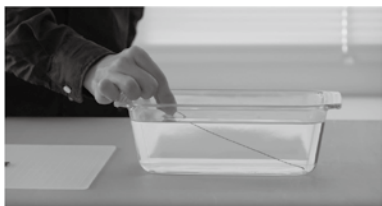
ぐるっと曲げて



お湯に入れると



瞬時にまっすぐに戻る

動画が見られます⇒<http://www.asma-jp.com/dtp/index.htm>要点
BOX

- 温めると元の形に戻る「形状記憶効果」
- 形状記憶効果を持つ金属「形状記憶合金」
- 金属以外の「形状記憶材料」

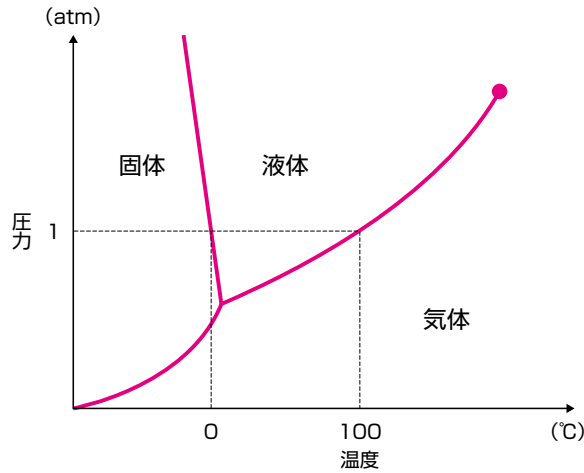
2

相変態が記憶のカギを握る

相変態とは

水分子同士の結合の強さや並び方の変化

水(固体) ← 0℃ → 水(液体) ← 100℃ → 水蒸気(気体)



液体の水を0℃以下に冷やすと固まって水(固体)になり、100℃に加熱すると水蒸気(気体)になるように、物質の状態が変化することを「相変態」といいます。「相」というのは物質のいろいろな状態のことで、固体は「固相」、液体は「液相」、気体は「気相」といったりもします。つまり0℃で氷が溶けるのは固相から液相への相変態です。水の場合には水分子が規則正しく並び、水になり、さらに飛び回るほどでは比較的自由に動ける時は液体になります。相変態は温度や圧力など、物質の環境が変わった時に起こります。スキーやスケートが雪や水の上を滑るのは0℃近くにある水に圧力をかけると融けて水になるためです。

また、物質によっては固相の状態のままでも分子や原子の並び方が変わることもあります。通常の金属は原子が三次元的に規則正しく配列した結晶という

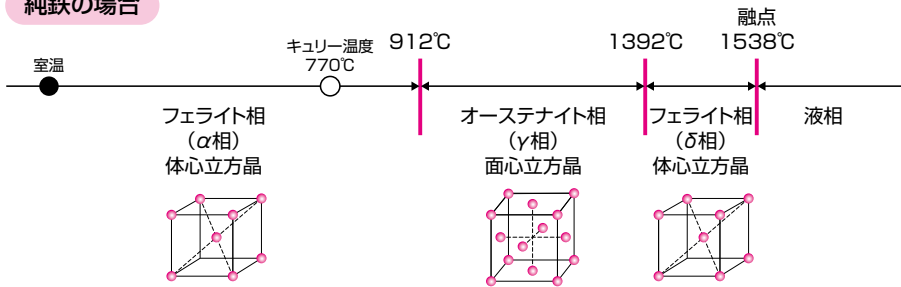
状態になっていますが、その配列の仕方、つまり結晶構造が温度や圧力で変化するのも相変態です。固相の相変態で一番有名な例は、純鉄の相変態です。鉄は図に示したように、室温では体心立方晶(フェライト相)ですが、温度を上げると912℃で面心立方晶(オーステナイト相)へと変態し、さらに温度を上げると1392℃で再び体心立方晶へと変態します。その後、1538℃で融解して液相になります。純チタンは室温では六方晶ですが、880℃で体心立方晶へと変態します。

純鉄に炭素を加えると、オーステナイト相がフェライト相に変態する温度が低下することはよく知られています。このように変態温度は主に合金の成分によって変化します。

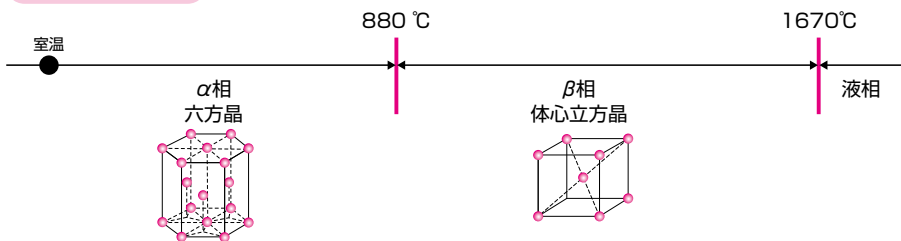
相変態にはいろいろな例があり、さまざまな材料の構造や機能を制御するのに役立っています。形状記憶効果を起こしているのも、この相変態なのです。

固相での原子の並び方(結晶構造)の変化

純鉄の場合



純チタンの場合



要点BOX

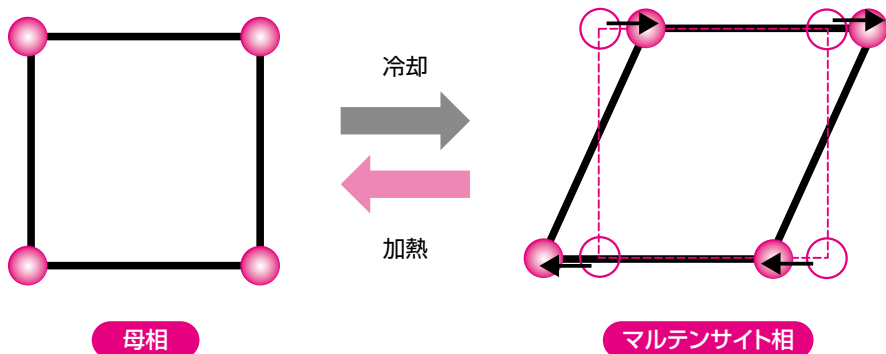
- 相変態は物質の環境が変わると起こる
- 結晶構造が変わることも相変態
- 相変態が形状記憶効果の要

3

原子がつながったまま動く

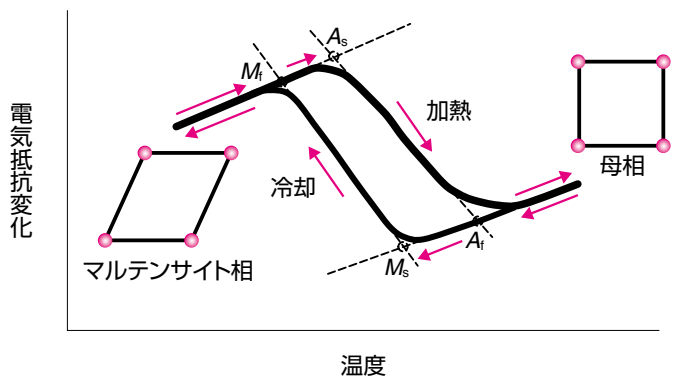
マルテンサイト変態とは

形状記憶合金のマルテンサイト変態



- 原子がせん断変形的に連携移動して結晶構造が変化する
- 変態前後の体積変化が小さい

マルテンサイト変態温度の測定例(電気抵抗の場合)



試料を冷却・加熱しながら電気抵抗の変化を測定すると、マルテンサイト変態の過程で電気抵抗が大きく変化します。

- M_s : 変態開始温度(martensitic transformation start temperature)
- M_f : 変態終了温度(martensitic transformation finish temperature)
- A_s : 逆変態開始温度(reverse transformation start temperature)
- A_f : 逆変態終了温度(reverse transformation finish temperature)

Aは高温相(母相)がオーステナイト(Austenite)相と呼ばれることに由来する

固相同士の間には大きく分けて2つの種類があります。一つは「拡散型相変態」、もう一つは「無拡散変態」(または変位型相変態)です。前者は固体の中の原子が周囲の原子との結合を切り、ばらばらに動き回って別な構造へと変化するもので、通常は高い温度と長い時間が必要です。一方、後者は原子が結合を切らずに少しずつ移動して構造を変えるものです。この場合は低い温度でも非常に短時間で相変態が起きます。1項で紹介した形状記憶効果を起こしているのは、「マルテンサイト変態」といわれる変位型相変態の一種です。

上図は二次元の結晶格子で、マルテンサイト変態の原子の動きを表しています。左側の正方格子の結晶を冷却すると、上の2個の原子と下の2個の原子がそれぞれ逆方向に少し変位し、同じ高さの、つまり同じ面積の平行四辺形の格子になります。このような変形を「せん断変形」といいます。マルテンサイ

ト変態の特徴は、このように原子がせん断変形的に連携移動して結晶構造が変わることです。また、せん断変形的なので、変態の前後で体積の変化が小さいことや、加熱すると再び元の構造に戻り可逆性が良いことも特徴です。

マルテンサイト変態が起きる温度は熱量測定や電気抵抗で測ることができます。これは高温相(母相)と、それがマルテンサイト変態してできる低温相(マルテンサイト相)で熱容量や電気抵抗が違つたためです。冷却してマルテンサイト変態が始まる温度を「マルテンサイト変態開始温度(M_s)」、全体がマルテンサイト相になる温度を「変態終了温度(M_f)」、マルテンサイト相を加熱して母相に逆変態が始まる温度、全体が母相になる温度をそれぞれ「逆変態開始温度(A_s)」、「逆変態終了温度(A_f)」といいます。これらの変態温度は合金の種類や組成、加工組織などの状態によっても変化します。

要点BOX

- マルテンサイト変態は変位型相変態の一種
- 原子がせん断変形的に連携移動するのが特徴
- 合金の種類、組成などで変態温度は異なる