

身近な形状

●シリーズ●

材料の素顔に迫る

身近な金属の
ミクロ組織を読む

第・回
27

1 はじめに

加熱するだけで元の形状にもどり、まるで形を記憶しているかの様に見える合金は、「形状記憶合金」として新聞などにもしばしば取り上げられており、ご存じの方も多いのではないでしょうか。すでに「形状記憶合金」を用いた製品を毎日持ち運んだり、身につけたり、日常生活の中で非常に身近な材料になっています。ホント！と思われる方も多いのではないかと思います。

わたしたちの身の回りでは、表1に示すように浴室や台所で使用されるサーモスタット混合水栓、コーヒーマーカー、携帯電話、眼鏡、歯列矯正ワイヤーなどに使われています。

その一部を図1および写真1に示します。携帯電話は代表例として私が使っているものを示しました。

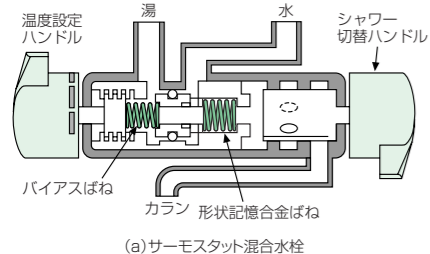


図1●形状記憶合金使用例¹⁾

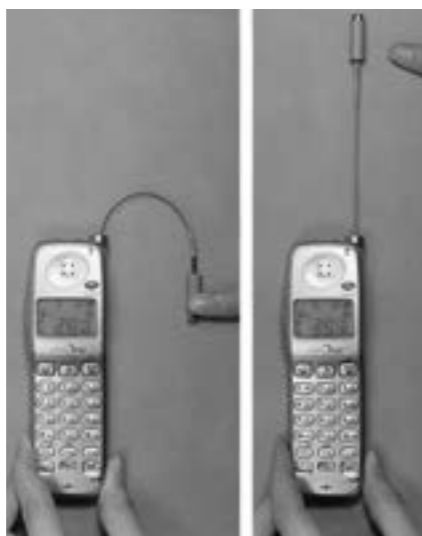


写真1●超弾性効果を示す携帯電話のアンテナエレメント

2 形状記憶合金とはどんな材料

「形状記憶合金」とは一寸変わった名前ですね。この合金は、文字通り、一般の金属材料では到底元に戻らないほどの大きな変形を加えても、お湯に浸けるなどして加熱するだけで元の形状に戻ります。すなわち、加熱するだけで元の形状をあたかも記憶しているかのような挙動を示す合金です。

これに対して、携帯電話のアンテナや眼鏡のテンプルなどは形状記憶効果ではなく超弾性効果を利用しているのです。

実は、形状記憶合金は「形状記憶効果」と「超弾性効果」という二つの機能を持っています。

後ほど説明しますが、超弾性とは別名ゴム弾性ともいわれるように、大きな変形を与え

てもゴムひもの様に元の形状にもどる柔軟な性質のことです。これが、写真1の携帯電話のアンテナなどに見られるものです。

3 形状記憶合金の歴史

合金に形状記憶効果の生じることが見いだされたのは、1951年、米国での金カドミウム合金を用いた研究が最初のものでされています²⁾。現在実用化されているチタンニッケル合金は、1964年頃、米国の海軍兵器研究所でチタンとニッケルの原子比が1:1のものだけに形状記憶効果の発生することを偶然発見したのがその名前の起源とされています²⁾。その後、1970年頃には、銅アルミニウムニッケル合金にも形状記憶効果のあることが発見され、現在では、銅亜鉛アルミニウム合金、ニッケルアルミニウム合金など10種類以上の形状記憶合金が知られています。しかしながら、表1に示した様な身の回りで使用されているほとんどのものはチタンニッケル合金が使われています。

4 形状記憶効果と超弾性効果

形状記憶合金の性質と一般の金属材料の性質との違いを図2に示します。

①形状記憶効果は、いわゆるフックの法則を遙かに越えて、大きなひずみ(約5%)を与えても、数十度加熱することによりひずみが消えて元の形状に戻ることを言います。

このように「熱を受けて元の形状に戻る」性質がサーモスタット混合水栓などに応用されています。

②超弾性効果は、上述の形状記憶効果と同じフックの法則を越える大きな変形ひずみ(約8%)を与えても応力を除くと直ちにひずみが消えて元の形状に戻ることを言います。

このように柔軟な性質は携帯電話のアンテナなどに応用されています。

③通常の金属材料では、弾性領域を越える大きな変形ひずみ(約0.5%以上)を与えると、応力を除いても弾性変形分しかひずみは戻らず永久ひずみが残ります。ただし、弾性領域内の小さなひずみ(約0.5%以下)は、応力を除くと消失します。

なお、形状記憶効果、超弾性効果ともにひずみ量に限界があり、過度のひずみを与えると塑性変形(すべり変形)を起こしてしまいその分だけは元に戻らなくなります。

記憶合金

受託研究事業部●工学博士
仲庭 正義

金属は人類にはかり知れない変革をもたらしてきました。青銅や鉄合金で武器や農耕具を作るようになって以来、産業革命を経て、現代の豊かな生活をあらゆる面で支えている金属。より優れた材料を求める研究によって、**金属の機能性**も飛躍的に向上しました。今回はそうした成果のひとつ、形状記憶合金をご紹介します。

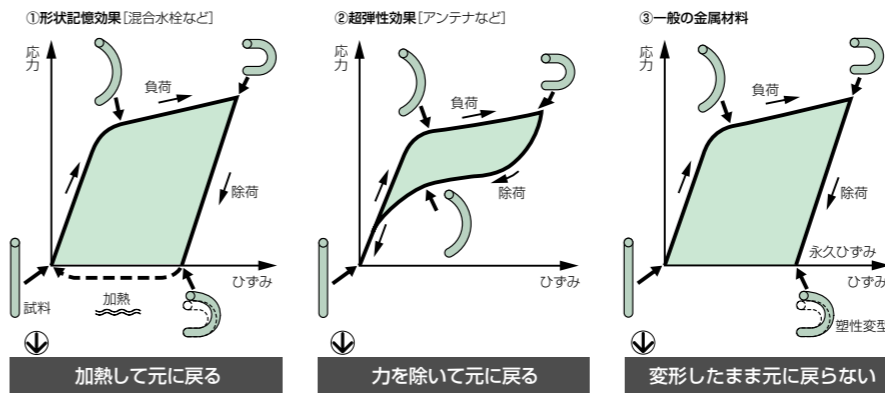


図2●形状記憶合金と一般の金属材料の応力-ひずみ図

5 記憶のメカニズム

形状記憶合金の形状記憶効果と超弾性効果は、マルテンサイト変態*とその逆変態にともなう合金の結晶構造の変化によって起こります。図3は形状記憶効果のメカニズムの概略を説明したものです。黒丸は金属原子を示し微視的な結晶格子を模式的に示しています。

形状記憶効果の生じるメカニズムは次の通りです。図3(b)のマルテンサイトの状態で力を加えて変形を与えます。このときマルテンサイトは、特別な変形により結晶がその向きを順々に変えて巨視的な外形の変形をまかさないまま母相に戻るので、巨視的な形状も元に戻ります。

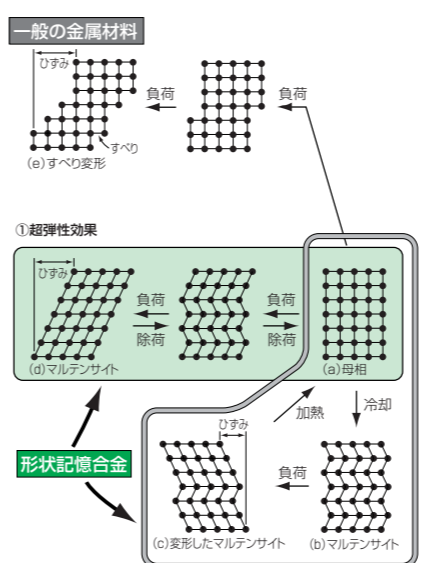


図3●形状記憶のメカニズムを示す説明図

一方、一般の金属材料では、力を加えて変形を与えると結晶間のつながりが断たれるすべりが生じます(図3(e))。すべり面をはさんだ上下で結晶状態のつながりは断たれているので、加熱しても、力を除いても元の形状に戻ることはありません。

さて、このような「形状記憶効果」と「超弾性効果」の二つの機能の関係はどのようなになっているのでしょうか。

図4は、形状記憶効果と超弾性効果の出現条件を応力と温度の関数として模式的に示したものが図4です。これによると、形状記憶効果と超弾性効果は使用温度の違いあるいはマルテンサイト変態温度の違いということになります。すなわち、室温で形状記憶効果を使いたい時には、マルテンサイト変態開始温度(Ms)が室温以上にある合金を選びます、一方室温で

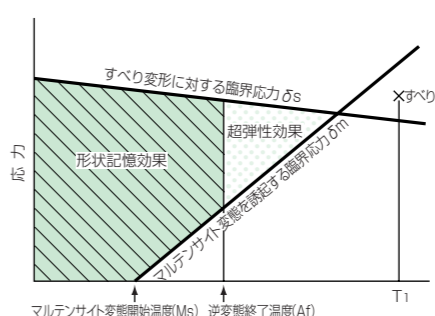


図4●形状記憶効果と超弾性効果の出現する条件の模式図

超弾性効果を使いたい時には、逆変態終了温度(Af)が室温以下にある合金を選びます。MsやAfは、合金成分の調整や熱処理条件で選ぶことができます。

なお、図4のT1のような高温においては、力を加えてひずみを与えてもマルテンサイトが生成する前にすべり変形が生じてしまい、形状記憶合金の特徴である超弾性効果が出ないため注意が必要となります。

携帯電話アンテナの超弾性効果の出現温度範囲を調べた一例では、低温側は約マイナス20°Cで超弾性効果が失われました。北海道内陸部の帯広においても1月の最低気温の平均はマイナス15°C程度³⁾なので実用上問題はありませぬ。より低温側ではまさに形状記憶効果が生じるため変形が生じても室内に戻ったり、ポケットに入れて体温で暖めたりすれば元の形状に戻ります。高温側は100°Cでも超弾性効果が認められ、実用上全く問題のないことがわかりました。

6 おわりに

形状記憶効果の発見から50年近く経ちますが、我々が身に着けたり、直接手に持ったりするものには、もう一方の性質である超弾性効果が多用されています。紙面上なので超弾性効果を体感していただけなかったのですが、本当にゴムの様な性質をしています。これまでは金属といえば、冷たく、硬いものですが、形状記憶合金は、柔軟な性質を持つため、人にやさしい材料とも言えるのではないのでしょうか。

なお、超弾性とはいへ回復可能なひずみ量には限界がありますので、携帯電話や眼鏡などで試される方はくれぐれもご注意ください。

* 正確には「熱弾性型マルテンサイト」という。これに対して、銅を焼入れた時に生成するマルテンサイトは「非熱弾性型マルテンサイト」といい、これには形状記憶効果はない。

【参考文献】
1) 形状記憶合金に関する講習会-予稿集-形状記憶合金協会(ASMA) 平成7年7月
2) 記憶と材料 清水謙一ほか 共立出版 1986年4月
3) 理科年表 国立天文台編 丸善 平成11年11月

ひとこと

弊社では今回ご紹介した形状記憶合金の材料開発、試作及びその評価を行っております。これ以外にも材料の高温特性、長期使用による劣化診断、高温環境における腐食現象の解明、材料の評価等について十分な知識とノウハウを有しておりますので、お気軽にご相談、お問い合わせ下さい。

受託研究事業部 矢野 芳則
TEL : 06-6489-5779

表1●身近な形状記憶合金の一例

特性	利用分野	実用例	利用のメリットなど
形状記憶効果	給湯・水回り	サーモスタット混合水栓	応答時間短縮
		浄水器熱水切替弁	温水からのフィルターの保護
	家電品	コーヒーマーカー圧力調節弁	香りとかく向上
		炊飯ジャー圧力調節弁	かまど感覚の炊きあがり
		エアコン風向フラップ	機構の単純化と小型化(センサーとモータの置き換え)
建築用品	防火ダンパー	メタルヒューズの置き換え(動作温度精度向上、繰返し使用可能)	
	歯科材料	人工歯根(インプラント)	確実な固定
超弾性効果	歯科材料	歯列矯正用アーチワイヤー	ゆるみ防止、交換頻度減少
	携帯電話	アンテナエレメント	曲がり及び折れの防止
	眼鏡	テンプル、わたり、やま	変形防止、掛け心地向上
レンズ下側アイリム		レンズ脱落防止(ナイロンワイヤーの置き換え)	
衣料品	肩パット(学生服、ブラウス)	着用時の変形防止	