OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	形状記憶効果
Author(s)	佐分利, 敏雄
Citation	大阪大学低温センターだより. 1981, 34, p. 1-3
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/8157
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

研究ノート

形状記憶効果

工学部　佐分利　敏　雄（吹田　4441）

普通の金属材料は弾性限以上の大きな変形を与えると，その後加熱しても，冷却しても変形前の形に戻らない。ところがある種の合金では，特定の温度以下で変形したのち，その温度以上に加熱すると変形前の形に戻るという奇妙な現象のあることが，かなり以前から知られており，形状記憶効果と呼ばれている。形状記憶を示す合金としてNi-Ti，Cu-Zn．Cu-Zn-Al，Cu-Zn-Si，Cu-Zn-Ga，Ni-Al，Au-Cd，Ag-Cdなど，現在までに多数のものが見出されており，工学，医学，歯学への応用も進みつつあるが，種々の理由から今のところNi-Ti合金，Cu-Zn-Al合金の二種類のみが実用化されている。

この形状記憶効果については，すでに「低温センターだより」№17に清水教授の研究ノートがある。その後特に新しい記憶合金が出て来たわけではないが，形状記憶の機構についてはよく整理されてきた。ここではその概略についてのべることにする。

形状記憶効果はマルテンサイト型変態に密接に関係していることはよく知られている。マルテンサイト型変態とは，典型的な相転移の一種であり，原子の拡散を伴なわず，原子の協力運動による結晶構造の変化である。高温側の相を母相，低温側の相をマルテンサイト相という。形状記憶とはマルテンサイト状態で変形したもの（附加応力を除いても戻らない）を母相状態まで加熱してやれば，もとの形に戻る現象ということができる。そして形状記憶における記憶可能な変形は，マルテンサイト型変態に伴なう結晶格子の伸び，縮み（形状変化）が源になっている。例えばNi-Al合金の場合には，マルテンサイト変態に伴ない，母相の［001］方向に約13％伸び，それと垂直方向に約6％縮む（図1）。従って母相単結晶からマルテンサイト単結晶が生じれば，上にのべたような変形を生じることになる。ところが普通には母相が単結晶でも生じるマルテンサイトは単結晶にならない。これは母相格子の中にマルテンサイト格子ができる際の対応関係（格子対応）に等価なものがいくつか可能であることによる。この数はマルテンサイトの結晶構造によって異なり，Ni-Alでは3通り，Cu-Al-Ni，Ag-Cdでは

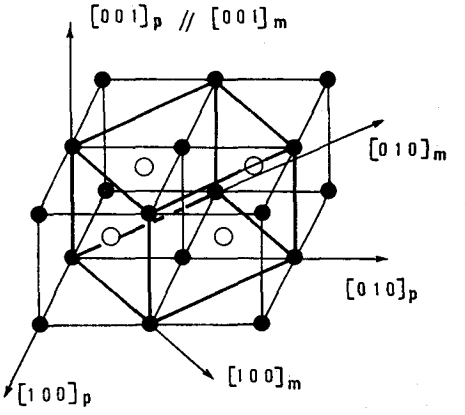

図1．Ni-Al合金における母相(p)とマルテンサイト相(m)の格子関係
細線；母相
太線；マルテンサイト
● ；Ni
○ ；Al
変態に際し［001］p 方向に13％伸び，それと垂直方向に6％縮む。

6通り，Cu-Zn，Cu-Zn-Al，Ni-Ti などで１２通りの格子対応が可能である。

まず冷却に伴ない母相からマルテンサイト相に変態する際には，いくつかの格子対応にもとづくマルテンサイト微細結晶が互に固有の形状変化を平均化して，巨視的には変形が生じないように配列する。即ち“記憶可能状態の形成過程”である。このようにマルテンサイトの微細結晶がモザイク状に配列した状態に外部から応力をかけるとモザイクの再配列が起きる。この再配列は格子対応の異なるマルテンサイト結晶間の変換であるが，一種の双晶変形であり，いわゆるすべりは関与しない。そして応力に対して最も都合のよい格子対応のマルテンサイト結晶となる。例えば先程のNi-Al合金のマルテンサイト状態に引張応力をかけると，引張方向にマルテンサイトの［００１］軸が最も近くなるような格子対応の単結晶になる。この状態は応力を除いてももとに戻らない。即ちマルテンサイト微細結晶の再配列による“変形過程”である。このような変形が起きたあとでも，マルテンサイト結晶は依然として，母相に対する固有の格子対応を保持しているわけであるから，母相の状態を記憶していることになり，温度を上げて母相に逆変態させると，必ずもとの母相方位に戻り原形を回復する。即ち逆変態による“原形回復過程”である。

以上が形状記憶機構の概略であるが，強磁性体の磁化の様子によく似ている。強磁性体の磁区（鉄の場合６種類ある）に相当するのが格子対応の違うマルテンサイト微細結晶（格子対応バリアント）である。消磁状態で自発化が互に打消し合っているように，マルテンサイト微細は互に形状変化を打消し合っている。磁壁の移動により，外部磁場の方向に自発磁化の方向がそろって巨視的な磁化が進行するように，形状記憶合金ではマルテンサイト微細結晶の食い合いにより応力方向に巨視的変形が起きる。

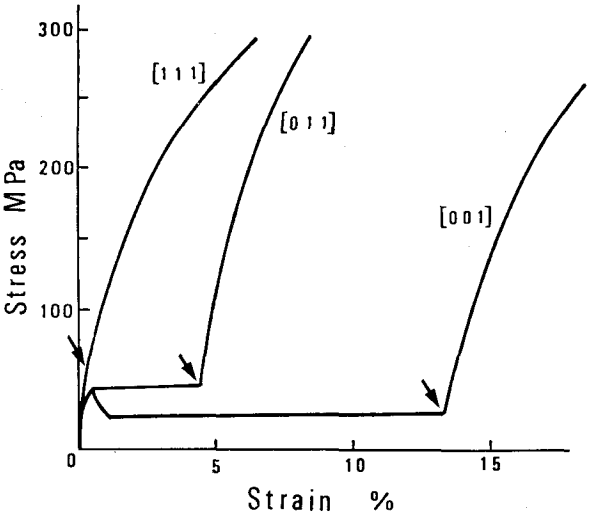

図２．Ni-Alマルテンサイトの応力－歪曲線。
図中の方位は母相格子にもとづく。
（江南，Martynov，富江，Khandros，稔野）

強磁性体単結晶において磁化され易い方向とされ難い方向がある（鉄では〈１００〉が磁化容易方向）ように形状記憶合金の記憶可能な変形の大きさにも方向性があり，それはマルテンサイトの結晶構造によって異なる。例えばNi-Al合金（マルテンサイト状態）に引張応力を加えて得られる，応力－歪み曲線は図２のようになにる。引張方位は便宜上母相の格子にもとづく指数で表わしてある。いずれの方位においても強度が急に上昇し始めるところ（矢印）までは，マルテンサイト微細結晶の食い合いにより変形が生じており，変形は加熱により回復可能であるが，この限度を越えるとすべり変形が起きて回復不可能となる。この限度は［００１］方向が最も大きく１３％，［１１１］方向が最も小さく１％以下である。このような回復可能変形は，母相とマルテンサイト相の格子定数と格子対応から計算で予測されるもの（図１参照）とよく一致している。同様にNi-

Ti合金では[111]方向に最もよく伸び(約10%), Cu-Zn-Al合金では[001]に近い方向に最もよく伸びる(約9%)ことになる。

このように記憶可能変形は母相結晶の方位に依存することがわかったから, 実用合金として用いる場合にこれをうまく利用できるとよい。一つの方法は望みの方向へ大きな記憶変形が得られるような単結晶(母相)にしてしまうことである。しかしこの方法は単結晶育成の手間を考えると実用的でないし, Ni-Ti合金では大きな単結晶を得ることは不可能とされている。そこでもう一つの方法は, 我々が普通実用材として用いる多結晶合金の結晶粒を特定方向にそろえることである。事実, けい素鋼板(変圧器の鉄心などに用いられる軟磁性材)ではこの方法が用いられている。即ち, 圧延, 熱処理法を工夫して, 再結晶組織を制御し, 圧延方向に磁化容易軸[001]がそろうようにしている。この磁化容易軸を最大伸び方法に置き換えれば, 形状記憶合金でも全く同じことがいえる。例えばNi-Ti合金では[111]に近い方位が伸びに対して最も有利であることが結晶学的にわかるから, それを利用するとよい。線の場合, 伸線, 熱処理の方法を工夫して[111]方位に伸線方向がそろうようにしてやれば, 記憶可能な伸び変形を大きくすることができる。ただし10%が限度であることも結晶学的にわかる。又板の場合も[111]方向を圧延方向にそろえることができれば, その方向に大きな記憶変形が得られるであろう。このような考えで加工, 熱処理法を検討した例はないようであるが, 試してみる価値があると考えられる。