

## 第23回青葉工学研究奨励賞



## BCC/HCPマルテンサイト変態を利用した マグネシウム基形状記憶合金の創製

東北大学大学院工学研究科  
知能デバイス材料学専攻  
助教 安藤 大輔

Mg合金はその軽量性からモバイル電子機器の筐体に使われ、今後は自動車や鉄道、航空機など大型部品への応用が期待されている。しかし、Mg合金において強度・延性を改善する手法は、Mgの結晶構造である最密六方晶(HCP)の主相に対して固溶あるいは析出を利用する方法に限定され、HCP固有の変形異方性のため加工性が著しく悪く、構造材料としてAl合金並の特性を得ることは困難である。このように、主相の選択肢としてHCP単相しかないことが、Mg合金の根本的問題であると筆者は考え、Ti合金のように、BCC単相やBCC/HCP二相組織を有し、加工熱処理によって種々の組織を持った高強度・高延性かつ機能性まで有したMg合金の創製を目標に研究を続けてきた。

この観点において、Mg-Li合金は唯一、BCC相を取り入れることで、室温でも延性に優れ、等方変形ができ、200℃で超塑性を発現するなど興味深い結果が得られている<sup>[1]</sup>。これまで、Mg-Li合金は低強度・低耐食性が問題視されてきたが、Mg-11wt%Li-3wt%Al-0.6wt%Y-0.2wt%ZrのBCC単相合金が結晶粒の極微細化により引張強度250MPa、引張伸び25%を有し、かつ高耐食性を示すことが報告<sup>[2]</sup>され、MgにおけるBCC相の利用が近年注目を集め始めている。しかし、Mg-Li合金においてHCP/BCC相の分量はLi添加量でしか制御することが出来ない。その一方、Mg基で唯一、Mg-Sc合金だけがSc添加量だけでなく、同組成において高温相のBCC相と低温相のHCP相を利用した熱処理による組織制御できる合金であることに筆者は注目し、独自に研究を進めてきた。

これまでのMg-Sc合金の報告例は、Mgの沸点よりもScの融点の方が高いこと、Mgの飽和蒸気圧が低いなど、作製しづらいことから少なく、そのほとんどが微量添加(0.5at%程度)の効果に関するものであった。筆者は、主相をBCC相へと変化させるために17at%以上も添加しており、このような研究は過去になかった。

そこで、これまでに報告されている状態図が正しいか検証を行った。その結果、過去の報告よりもさらに高Mg領域でBCC/HCP変態をし得ることが分かった。さらに、様々な加工熱処理組織を作製し、組織と機械的強度の関係性まで明らかにした<sup>[3]</sup>。また、高温相であるBCC相を焼き入れによって、室温で準安定相として得た場合に、150～250℃で長時間熱処理すると、安定相のHCP相が極微細かつ高密度に、Burgersの結晶方位関係で析出され、過去に例のないほど高硬度のMg合金となった。その硬さは230Hvと、通常のMgの5倍、高強度化されたものからみても2倍以上の値であった<sup>[4]</sup>。また、その組織は超弾性・形状記憶能を持つβ型チタンのものと酷似していた。以上の研

究背景のもと、我々の提案するMg-Sc合金は必ず形状記憶合金になりうると考え、詳細な研究を行ってきた。その結果、Mg-20.5at%Sc合金において-150℃という極低温であるが超弾性変形することを見出した。この時、XRDにより結晶構造変化をみると準安定BCC相がOrthorhombic相へと可逆的に応力誘起変態していることが分かった<sup>[5]</sup>。この応力誘起変態はTi合金におけるマルテンサイト変態と同じ現象であり、マグネシウム基において世界で初めてマルテンサイト変態が生じることを示すことが出来た。これまでの専門家の意見ではマグネシウムのように柔らかい金属ではすべり変形の方が優位に生じるためにマルテンサイト変態は生じないとされてきた。その点に関して、この発見は学術的にも大きな意味があると考えている。これまでに報告されている超弾性・形状記憶合金にはニチノール(NiTi)系、銅系、鉄系、コバルト系、チタン系などがあるが、その比重は5-8g/cm<sup>3</sup>と重いことが欠点であった。一方で、このMg-Sc合金は比重が2g/cm<sup>3</sup>と、従来の1/3以下と非常に軽く、現状で世界最軽量の形状記憶合金と言える。今後は衛星の太陽電池パネル展伸フレームや制振部材として航空宇宙材料分野で、またマグネシウムの生体分解性を利用した自己拡張型ステントというような医療材料への応用を目指したいと考えている。

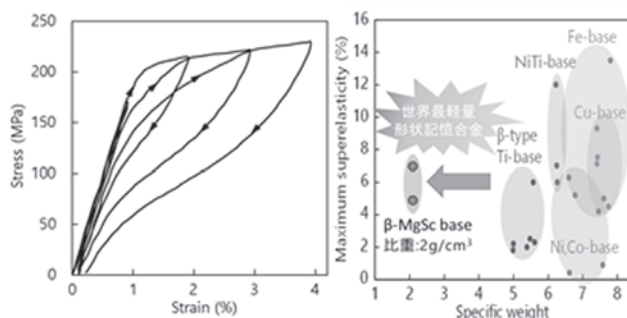


図1 Mg-Sc合金が超弾性変形を示す応力ひずみ曲線 図2 Mg-Sc合金と既存形状記憶合金の比重・超弾性能の比較

### 参考文献

- [1] Y.Kojima et al; J. Japan Inst. Met.54 (1990) 354-355
- [2] W. Xu et al; Nature Materials 14 (2015) 1229-1235
- [3] Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou, K. Yoshimi, J. Koike; Mater. Sci. Eng. A670 (2016), 335-341.
- [4] D. Ando, Y. Ogawa, T. Suzuki, Y. Sutou, J. Koike; Materials Letters 161 (2015), 5-8
- [5] Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou, J. Koike; Science, 353 (2016), 368-370.