

## 1. 筑波大学大学院 数理物質科学研究科 金属材料研究室

教授 宮崎 修一, 講師 金 熙榮

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Professor MIYAZAKI, Shuichi, Lecturer KIM, Hee Young; Institute of Materials Science, University of Tsukuba. E-mail: miyazaki@ims.tsukuba.ac.jp

本研究室の主要な研究対象は、Ti-Ni 系形状記憶合金と生体用 Ni フリー Ti 基形状記憶・超弾性合金である。いずれの合金も、チタンを半量程度含んでおり、マルテンサイト変態 (M 変態) を示すため類似の材料である。しかし、前者の母相は B2 型規則構造で、後者は BCC 不規則構造である。無拡散型相変態で現れる M 相も母相の構造を引継ぎ、前者は規則構造、後者は不規則構造である。これらの合金の研究経過を述べることで研究室紹介としたい。

本研究室のチタンとの関わりは1980年に始まる。当時、Ti-Ni 形状記憶合金が発見されてから約20年が経過していたが、非常に面白いが不明な点が多く謎につつまれた材料であった。暗中模索で始めた研究であるが、常に新たな発見の連続であった。他の形状記憶合金と異なり、加工で入った転位が残留したり第2相が析出する中間温度で熱処理しても、形状記憶効果が現れることを見出した。特性が格段に向上したため、それまで Ti-Ni 合金では認められていなかった超弾性が実現できた。この技術を用いて、日米のメーカーから安定した特性の素材が供給されるようになり、100件以上の応用製品が市場に現れている。応用分野は工業のみならず医療分野にも浸透しており、産業横断的技術である。

内部組織と形状記憶特性の関係が明らかになった後、多くの謎が解明されていくことになった。例えば、M 変態に先立ち現れたり現れなかったりする菱面体相 (R 相) 変態の出現条件を明らかにできた結果、M 変態とは独立の相変態であることが分かったことも、解明された謎の一つである。Ti-Ni 合金が実用材料となった結果、繰返しによる機能劣化、疲労特性などの問題も重要な研究対象になり、他の一般材料にはない、温度に敏感な特性が明らかになった。また、引張試験ができる大きな単結晶作製に成功し、形状記憶効果の過程と形状記憶特性の方位依存性を解明できた。さらに、1990年頃には、マイクロマシンの開発が活発になり、超小型駆動素子の必要性が高まった。強力大変位のマイクロアクチュエータとして期待されたため、スパッタ法で1マイクロン厚さの薄膜を作製し、試作したマイクロアクチュエータが、毎秒100回以上で駆動することを実証した。

一方、100°C以上の変態温度を示す合金は、Ti-Ni に

貴金属、Zr あるいは Hf を添加すれば作製できるが、加工性が悪いため実用化されていなかった。研究室の最近のテーマとして高温形状記憶合金の開発があり、Ti-Ni-Zr (または Hf) 系合金で破断時の圧延率が60%以上を達成できた。使用温度の当面の開発目標を100-200°C に設定しているが、新たな応用分野の拡大に繋がることを期待している。

Ti-Ni 合金の魅力的な用途として医療分野があるが、歯列矯正ワイヤ、ガイドワイヤ、ステントなどとして大量に使用され、Ni の溶出の問題はほとんどなく安全に利用されている。しかし、Ni のアレルギー性や毒性の懸念が医者、患者、厚労省から拭えず、Ni フリーの Ti 基形状記憶・超弾性合金の開発の必要性が高まっている。Ti 基形状記憶合金の研究は単発的には以前からあるが、我々の研究室を中心に日本の研究者が2001年より本格的に研究開発を進めている。今後、医療分野への応用の拡大がより一層期待できる。また、Ti 基形状記憶合金の延長線上にゴムメタルを位置づけ、M 変態をキーワードにゴムメタルの解明にも進んでいる。

以上に紹介した Ti-Ni 系合金と Ti 基合金の種類と主な研究課題は Table 1 に示す。これらの材料研究を、教授と講師の他に、研究員2名、博士課程院生2名、修士課程院生13名、学部学生4名が現在取り組んでいる。

Table 1 Topics on Ti-Ni and Ti base alloys in our Lab.

(A) Ti-Ni 系合金	
合金	Ti-Ni, Ti-Ni-X (X=Cu, Pd, Pt, Au, Zr, Hf, Nb, その他多数), Ti-Ni-Cu-Y (Y=Fe, Co)
課題	加工熱処理技術, M 変態と R 相変態, 形状記憶効果の機構, 機能劣化, 疲労, 集合組織, 急冷凝固リボン, スパッタ薄膜, マイクロアクチュエータ, 単結晶, 高温形状記憶合金
(B) Ti 基合金	
合金	Ti-Nb, Ti-Nb-X (X=Zr, Ta, Mo, Pd, Pt, Au, O, N, B), Ti-Mo, Ti-Mo-Y (Y=Ga, Ge, Al, Ta, Zr, O), Ti-Ta-Z (Z=Al, Sn), Ti-Zr-Nb-A (A=Ta, Sn, O, N, その他), Ti-Nb-Zr-Ta-D (D=O, N)
課題	生体用 Ti 基形状記憶・超弾性合金, 集合組織, $\omega$ 相, $\alpha$ 相, M 変態の結晶学, ゴムメタル