

多成分合金設計手法と組織制御を活用した形状記憶・超弾性・低ヤング率合金の研究

数理物質系 物質工学域 田崎亘

近年、少子高齢化社会における QoL の維持や、エネルギー需要の増加に伴うエネルギー資源の枯渇など多様な社会問題が現れている。様々な機能を有する新素材の開発はこれらの社会問題を解決する上で重要な鍵である。がん等の病巣の早期発見には核磁気共鳴画像法 (MRI) が広く利用されており、非侵襲かつ放射線被ばくの恐れがないといった利点を有しているが、患者がステントやインプラント等を利用している場合、合金と生体組織の磁化率の差に起因してアーティファクトと呼ばれる MRI 画像上の歪みや影が生じ、診断に悪影響を及ぼす。これらの問題を解決するためには、生体適合性や強度・延性、超弾性特性に起因するしなやかさを損なわずに、低磁化率化を成し遂げる必要がある。一方で、インプラントの高いヤング率は応力遮蔽により骨の脆弱化をもたらすことから、インプラント材料においては力学的特性を損なわずに低ヤング率化を目指す必要がある。

これらの問題に対し私達は合金の多成分化と組織制御、相安定性制御により材料特性の改善に取り組んでいる。多成分合金の設計手法は Ti, Fe, Co 等の特定の元素を主成分とする従来の合金設計とは異なり、多成分の元素を主成分とする設計であり、格子が大きく歪み高い強度を示すことが特徴である。磁化率の低減の試みとして、Ti よりも磁化率が低く生体適合性に優れる Zr と Hf に着目した。Ti, Zr, Hf を等原子比で含む (TiZrHf)-Nb-Sn 合金を設計し評価を行った結果、高強度かつ超弾性を示し現行の TiNi 合金よりも磁化率の低い超弾性合金を開発することができた[1]。一方で当合金系は変態ひずみヒステリシスが大きく超弾性回復ひずみが小さい。この大きな変態ひずみヒステリシスの起源を特定するため、特に大きな変態ひずみヒステリシスを示す Zr 基超弾性・形状記憶合金の微細組織を調査し、BCC 型超弾性合金としては初めて針状の BCT 構造が母相内に存在していること、それが大きなヒステリシスの起源となりうることを明らかにした[2]。低ヤング率化に向けた取り組みとして、相変態温度近傍における結晶格子の不安定性を利用し、集合組織制御を行うことによって骨のヤング率と同等のヤング率を示す Ti-Nb-Fe-Sn 合金の開発を行った[3]。また、エネルギー問題に対する取り組みとして、多成分合金の設計手法を軽量で出力の大きいセンサー件アクチュエータとして利用可能な高温形状記憶合金に適用し、室温でも加工可能な高温形状記憶合金の開発を行っている[4]。本セミナーではこれらの取り組みについて紹介を行う。

[1] [Wataru Tasaki](#), Yuzuki Akiyama, Tamotsu Koyano, Shuichi Miyazaki, Hee Young Kim, Martensitic transformation and shape memory effect of TiZrHf-based multicomponent alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 931, 1–11 (2023)

[2] [Wataru Tasaki](#), Fumiya Okabe, Shuichi Miyazaki, Hee Young Kim, Stress induced martensitic transformation behavior of a β -type Zr-Nb-Sn alloy, *Scripta Materialia*, (submitted)

[3] Muhammad Farzik Ijaz, [Wataru Tasaki](#), Hee Young Kim, Shuichi Miyazaki, Achievement of ultra-low elastic modulus through optimization of phase stability and texture in Ti-Nb-Fe-Sn alloys (to be submitted)

[4] [Wataru Tasaki](#), Arai Yuya, Shuichi Miyazaki, Hee Young Kim, Development of Ni-Ti-Zr-Hf-(Nb, Ta) multi-component high-temperature shape memory alloys with high cold workability (to be submitted)