

# 先端材料部門 材料設計研究分野 (稻邑朋也研究室)

Email: inamura.t.aa@m.titech.ac.jp

<http://kenwww.pi.titech.ac.jp/>

## (研究分野)

金属組織学・結晶学的手法による新規形状記憶合金の設計および高性能化

## (研究テーマ)

### 1) 生体用形状記憶合金の力学特性・機能性の制御

(稻邑朋也, 細田秀樹)

Ti-Ni形状記憶合金は、動脈瘤や狭窄血管の治療器具に用いられているが、Niアレルギー発症の危険性が常々懸念されている。そこで当研究分野では $\beta$ チタンや白金族元素を基調とした、Niを含まない生体用形状記憶合金を開発している。本研究室では特に、 $\beta$ チタン形状記憶合金（Ti-Nb, Ti-Cr基等）の形状回復量をTi-Niと同等にするための合金組成最適化法（図1）や、加工熱処理による薄板・ワイヤー材の配向方位制御（図2）など、新合金の力学特性と機能性を高度に制御する為の合金設計・組織制御指針を研究している。

### 2) 高温用形状記憶合金の組織制御（稻邑朋也, 細田秀樹）

Ti-Niは駆動温度の上限が高々100°Cなので、より高温で駆動できる合金の開発が望まれている。当研究分野はTi-Au-Coが100°C以上の温度で形状記憶効果を示すことを発見し、マルテンサイト変態挙動や相変態組織（図3, 4），及び時効処理による構造変化などの解析を基に、特性向上の方法や実用化の為の形状記憶処理法等を研究している。

### 3) 形状記憶合金の低内部摩擦化と長寿命化

(稻邑朋也, 細田秀樹)

形状記憶合金の応用範囲は応答速度や耐久性の向上により一層拡大されるので、内部摩擦と疲労損傷の累積を低減させる材料設計が必要である。

形状記憶合金を駆動させると、マルテンサイト型変態により形成するマルテンサイト相ドメイン（図5）が互いに変換し合い内部摩擦や疲労損傷が発生する。ドメイン界面の整合性は、内部摩擦や疲労挙動に強く影響を及ぼすが、これまで研究されてこなかった。そこで本研究室ではドメイン界面の整合性を理論的に定量評価するために、従来の行列解法にKinematic Compatibilityの評価を組み合わせた解析方法を新たに考案した。さらに極度に配向させた単結晶的試料を使用した内部摩擦評価（図6）や電子顕微鏡観察等の実験的手法も用いて、ドメイン界面の性格と内部摩擦や疲労損傷との関係を明らかにし、材料設計にフィードバックしている。

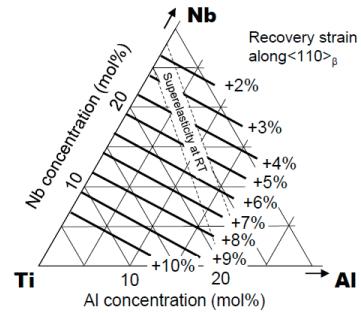


図1 Ti-Nb-Al生体用形状記憶合金における超弾性効果出現領域と形状回復量の組成マップ

Fig.1 Composition map for the shape memory effect and superelasticity in Ti-Nb-Al biomedical shape memory alloy

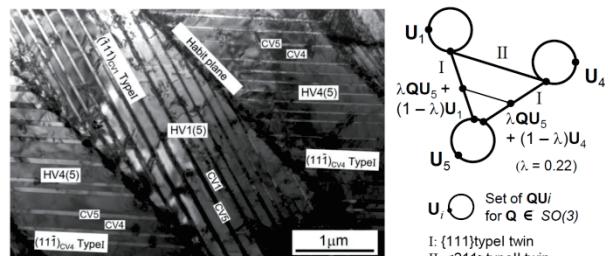


図3 Ti-Au合金に現れるTwin within twin構造

Fig.3 The twin within twin structure in Ti-Au alloy

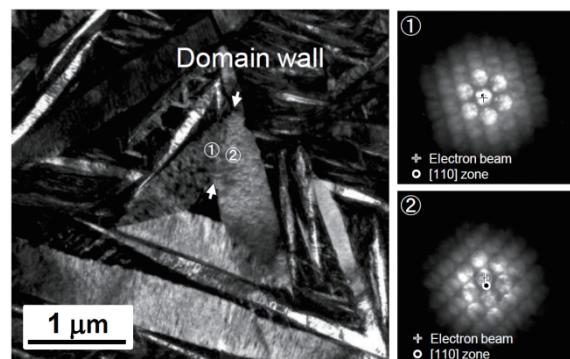


図5 Ti-Nb-Al合金におけるマルテンサイト相ドメイン構造の透過型電子顕微鏡（TEM）像

Fig.5 TEM image of the domain structure of the martensite phase in Ti-Nb-Al alloy

**Advanced Materials Division**  
**Materials Design Section**  
**(Tomonari Inamura Group)**

**(Research Field)**

Design and Improvement of novel shape memory alloys by metallographic and crystallographic approach.

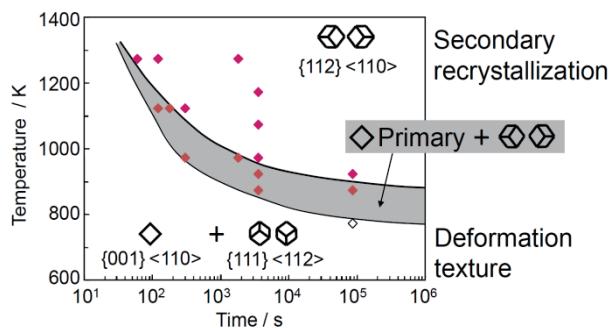


図2 99%冷間圧延したTi-Nb-Al合金の配向組織マップ

Fig.2 The texture map of 99% cold-rolled Ti-Nb-Al alloy

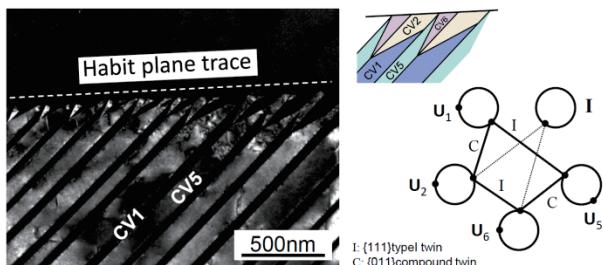


図4 Ti-Au合金のマルテンサイト相に見られる局所歪み緩和機構

Fig.4 The interpolation layer of the martensite in Ti-Au alloy

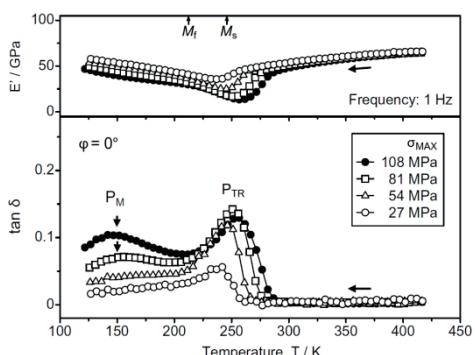


図6 Ti-Nb-Al合金の貯蔵弾性率 ( $E'$ ) と内部摩擦 ( $\tan \delta$ ) の温度・応力振幅依存性 ( $[110]_{\beta}$ 方向)

Fig.6 Temperature and stress amplitude dependence of storage modulus ( $E'$ ) and internal friction ( $\tan \delta$ ) in Ti-Nb-Al alloy ( $[110]_{\beta}$ )

**(Current Topics)**

**1) Control of mechanical and functional properties of biomedical shape memory alloy**

(T. Inamura and H. Hosoda)

Ti-Ni shape memory alloy (SMA) has recently been used as an implant material in medical applications. However, this material might increase the risk of Ni-hypersensitivity in patients. We are investigating alternative SMAs containing hypoallergenic materials:  $\beta$ -titanium and platinum group metal based SMAs. In the  $\beta$ -titanium SMAs, the optimization of the alloy composition (Fig. 1) and the texture control (Fig. 2) are the keys to achieve the recovery strain that is comparable to that of Ti-Ni.

**2) Control of microstructure of high temperature shape memory alloy** (T. Inamura and H. Hosoda)

The shape memory effect is not operative in Ti-Ni above 400K. The development of high temperature SMA is critical for expanding the range of SMA applications. Ti-Au-Co alloy that can operate above 400K has been developed by our group. Based on the analysis of the martensitic transformation (Fig. 3, 4) and aging behavior, we are investigating the guide line of alloy design and the shape memory treatment.

**3) Improvement of speed of response and fatigue strength of shape memory alloy** (T. Inamura and H. Hosoda)

The range of SMA application is expanded by the improvement of the speed of response and the fatigue strength. The suppression of the internal friction and the fatigue damage accumulation is promising for this purpose. The domain switching of the low-symmetry (martensite) phase (Fig. 5) is an elementary step not only in the shape memory effect but also in the internal friction and the fatigue damage accumulation. In addition to the measurement of the internal friction (Fig. 6) and the transmission electron microscopy observation, we firstly developed a theoretical method to analyze the coherency of the domain-wall; the evaluation of the misorientation from the kinematical compatibility condition is combined with the conventional phenomenological theory of martensite crystallography. The guideline to suppress the internal friction and fatigue damage is investigated from the crystallographic point of view.