

# 耐熱合金・生体合金として開発がすすむ 4 族・5 族・6 族元素からなる ハイエントロピー合金の凝固組織

大阪大学超高压電子顕微鏡センター 永瀬 丈嗣 大阪産業技術研究所 水内 潔  
新居浜工業高等専門学校環境材料工学科 當代 光陽 大阪大学大学院工学研究科 中野 貴由

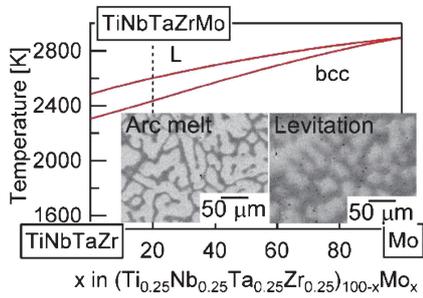


Fig. 1 擬二元系状態図と凝固組織<sup>(3)(4)</sup>.

Table 1 分配係数  $k_e$  の熱力学計算結果.

Alloys	Ti	Nb	Ta	Zr	X
TiNbTaZr	0.63	1.39	1.59	0.38	
TiNbTaZrV	0.65	1.35	1.80	0.38	0.82
TiNbTaZrMo	0.53	1.21	1.61	0.24	1.41
TiNbTaZrW	0.38	1.14	1.36	0.18	1.93

4 族・5 族・6 族元素からなるハイエントロピー合金 (HEA) は、主に高温耐熱合金として開発されてきたが、Ti-Nb-Ta-Zr-Mo 合金は生体合金としても極めて優れた性質を示すことが見いだされ<sup>(1)</sup>、すでにインプラントとしての利用の可能性が検討されている<sup>(2)</sup>。HEA は、その成分の多様性から熱力学計算の適用が極めて困難と考えられるが、Ti-Nb-Ta-Zr-Mo 合金では、液相と晶出する固溶体相のみを仮定した液相線・固相線の熱力学計算だけに注目すれば、その凝固組織は熱力学計算をもとに予測・制御できることが明らかとなってきた<sup>(3)</sup>。本研究では、Ti-Nb-Ta-Zr ミディアムエントロピー合金 (MEA)、Ti-Nb-Ta-Zr-X (X = V, Mo, W) HEA の凝固組織を、熱力学計算との対応の観点から明らかとした成果を報告する。Fig. 1 に、液相線と固相線のみ注目した TiNbTaZr-Mo 擬二元系状態図と凝固組織を示す<sup>(1)</sup>。Ti-Nb-Ta-Zr-Mo 合金は、超多成分系合金であるにも関わらず、液相線・固相線は Mo 濃度に対して極めて単調な変化を示す<sup>(3)</sup>。凝固組織は、凝固プロセスによらず単純な等軸デンドライト組織を示す<sup>(4)</sup>。Table 1 に、BCC 固溶体の晶出を仮定した分配係数  $k_e$  ( $k_e = C_S/C_L$ , 液相線温度における固相組成  $C_S$  と液相組成  $C_L$  の比と定義) の熱力学計算を示す。構成元素のうち、いずれの合金においても、低融点元

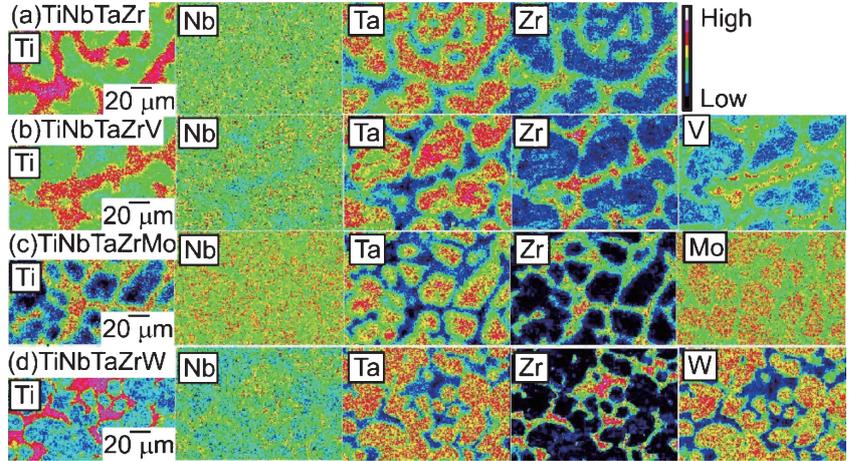


Fig. 2 凝固に伴う構成元素の分配<sup>(1)(3)</sup>.

素である Ti, Zr, V (Ti-Nb-Ta-Zr-V) が液相に濃化し、高融点元素の Ta, W (Ti-Nb-Ta-Zr-W) がデンドライトに濃化することを示している。Fig. 2 に、EPMA-WDS による元素マッピングの結果を示す。デンドライトおよびデンドライト樹間における元素の分配が、熱力学計算とよく一致することが分かる。HEA は、合金系の複雑さと反するように、単純な凝固挙動を示し、凝固により液相から超多成分固溶体が形成される。この特徴的な凝固現象が、HEA において固溶体が形成される最大の要因の一つと考えられている。さらに、その凝固に伴う組成の分配は、熱力学計算によって予測可能である。HEA における「液相線・固相線のみを仮定した熱力学計算」と「顕微鏡法による凝固組織観察」の融合は、HEA の組織制御という観点からでなく、HEA においてなぜ超多成分固溶体が形成されるのかの本質を明らかとする点からも極めて重要である。

## 文 献

- (1) M. Todai, T. Nagase, T. Hori, A. Matsugaki, A. Sekita and T. Nakano: *Scr. Mater.*, **129** (2017), 65–68.
- (2) S.P. Wang and J. Xu: *Mater. Sci. Eng. C*, **73** (2017), 80–89.
- (3) T. Nagase, M. Todai, T. Hori and T. Nakano: *J. Alloy. Comp.*, **753** (2018), 412–421.
- (4) T. Nagase, K. Mizuuchi and T. Nakano: *Reports of the 171th JFS meeting*, (2018), 24.

(2018年 8 月20日受理) [doi:10.2320/materia.58.78]

Solidification Microstructure of High Entropy Alloys Composed With 4 Group (Ti, Zr, Hf), 5 Group (V, Nb, Ta), and 6 Group (Cr, Mo, W) Elements; Takeshi Nagase, Kiyoshi Mizuuchi, Mitsuharu Todai and Takayoshi Nakano

Keywords: *high entropy alloy (HEA), solidification, electron probe micro analyzer, thermodynamic calculation*

SEM specimen preparation: mechanical polishing, colloidal silica finish

SEM, EPMA-WDS utilized: JXA-8800R (20kV)