ミニ特集 ハイエントロピー合金の研究最前線

企画にあたって

乾　晴行* 辻　伸泰*

近年，ハイエントロピー合金に関する研究が世界的に隆盛で，関連した論文の出版数も被引用回数も指数関数的に増大している(**図1**)．いわゆるHigh Impact Journalに多数の論文が掲載されることからも注目度の高さは明らかで，TMS, MRSでの定期的なシンポジウムのほか，多くの国際会議が世界各地で開催されている．ドイツ共和国，大韓民国，台湾などでは，数年間にわたる大型プロジェクトが，最近，緒に就いたばかりである．このようにハイエントロピー合金は，現在，金属系材料科学分野で世界的に最も活発に研究の行われているテーマの1つであり，わが国においても包括的な研究の必要性を感じて，本ミニ特集を企画した．

ハイエントロピー合金という概念は，2004年にYehら[1]によって導入された．多元系高濃度合金のギブスの自由エネルギーにおいては，相分離や化合物形成をもたらすエンタルピー項に比して構成元素の配置のエントロピー項の寄与が大きくなり，不規則固溶体が安定化されるというものであり，5種類以上の構成元素がほぼ等原子分率で混ぜ合わされるとこのハイエントロピー条件が満足されるとしている．ハイエントロピー合金は次の4つの特徴(core effects)を持つと考えられている．(i)高い配置のエントロピーによる固溶体相の安定化，(ii)多種類の構成元素の原子サイズの違いにより不均一に歪んだ結晶格子，(iii)結晶格子中の原子結合の揺らぎに由来した原子空孔のトラップ効果による遅い原子拡散，(iv)多様な構成原子間の非線形相互作用に起因する(単純混合則では表現できない)物性発現をもたらすカクテル効果，である．実際に，こうした特徴に基づいた，従来合金には見られない特異で優れた力学特性を示すハイエントロピー合金が数多く見つかっている．低温で非常に強度が高く，しかも同時に靭性も高いFCC型CrMnFeCoNi合金[2][3]や，高温になっても高強度が殆ど低下しないBCC型VNbMoTaW合金[4]などがその典型例である．一方で，ハイエントロピー合金の概念が，「5種類以上の構成元素から成る等原子分率単相固溶体合金」という狭義の定義から拡大しつつあり，最近では，Compositionally－Complex（CC）AlloyやMulti Principal Element（MPE）Alloyと呼ばれる等原子分率から外れた高濃度固溶体合金や析出物を含む2相合金にまで対象を広げた合金探索の試みも始まっている．いかなる5元素の組合せでも不規則固溶体単相合金が形成されるわけではないことから，「ハイエントロピー合金」という技術用語の妥当性には初期から疑問が投げかけられていたが，すでに市民権を得た技術用語となっているため，CC合金やMPE合金も含めて「ハイエントロピー合金」と呼ばれている．ハイエントロピー合金は，ある1種の特定元素を主要元素として状態図における角隅の化学組成近傍で探索された従来合金(Ni基合金，Al基合金など)とは全く異なり，これまで探索が行なわれなかった未開の多元系状態図の中央近傍領域の化学組成をもつ新規な合金であり，探索を続けることで更に優れた特性を示す未知の合金系が数多く見つかる可能性は高い．

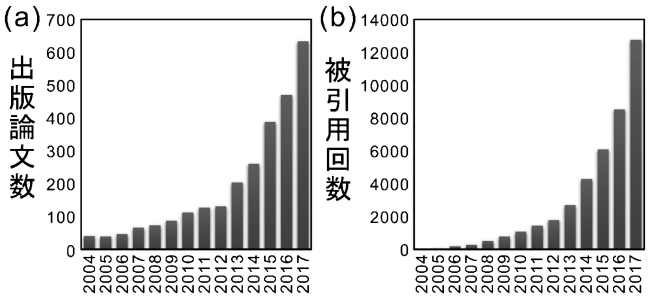

図1　ハイエントロピー合金に関する論文の(a)出版数と(b)被引用回数の年次変化(Web of Science, 2018年2月)．

本ミニ特集では，格子欠陥，力学特性や種々の製造法による組織制御の可能性など，最近のハイエントロピー合金に関する知見を解説いただいた．本会会員の皆様方を始め多くの方々に興味を持っていただく契機となれば幸甚である．最後に，本ミニ特集を企画するにあたり，ご尽力いただいた東北大学 和田武先生はじめ会報編集委員の皆様，執筆を快諾いただいた著者の先生方に心より御礼申し上げます．

文　献

(1) J. W. Yeh, S.-J. Lin and T.-S. Chin, et al.: Metall. Mater. Trans. A, **35**(2004), 2533–2536.
(2) B. Cantor, I. T. H. Chang, P. Knight and A. J. B. Vincent: Mater. Sci. Eng. A, **375–377**(2004), 213–218.
(3) B. Gludovatz, A. Hohenwarter, D. Catoor, E. H.Chang, E. P. George and R. O. Ritchie: Science, **345**(2014), 1153–1158.
(4) O. N. Senkov, G. B. Wilks, J. M. Scott and D. B. Miracke: Intermetallics, **19**(2011), 698–706.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

乾　晴行
1988年　大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了
1988年　アメリカ合衆国ペンシルバニア大学材料科学科 博士研究員
2004年11月－ 現職
専門分野：結晶塑性学，金属間化合物
◎金属間化合物，ハイエントロピー合金をはじめとする金属系構造材料の結晶塑性に関する研究に従事．

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

乾　晴行

辻　伸泰

* 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻；教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
Preface to Special Issue on Recent Advances in the Understanding of Peculiar Properties of High-Entropy Alloys; Haruyuki Inui and Nobuhiro Tsuji(Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto)
Keywords: *high-entropy alloy, CC (Compositionally-Complex) alloy, MPE (Multi Principal Element) alloy, solid solution, configurational entropy, phase stability, strained lattice, trap effect, sluggish diffusion, cocktail effect*
2018年5月10日受理[doi:10.2320/materia.57.311]