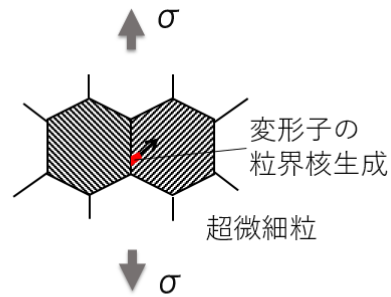


# 「強さ」と「ねばさ」を具備する構造材料の創製 —元素戦略研究拠点 (ESISM) の挑戦—

田中 功、乾 晴行、辻 伸泰：京大院工、ESISM

構造材料では一般に「強さ」と「ねばさ」はトレードオフの関係にある。この固定概念を打破するブレーク・スルーを合金元素の添加に頼るのではなく組織制御によって達成し、そのための学理を最先端の実験と理論計算技法を駆使して開拓することが、本拠点の目指すところである。本拠点では、バルクナノメタルに着目し多くの革新的な成果を上げてきた。バルクナノメタルとは、通常の金属構造材料が 10 から 100 $\mu\text{m}$  程度の結晶粒径を有する多結晶体であるのに対し、結晶粒径を 1 $\mu\text{m}$  以下に低減させたものである。一般にバルクナノメタルは、粗大粒径の多結晶体に比べて高い強度を示すが、引張延性（とくに均一伸び）に乏しい。これは結晶粒微細化に伴って塑性不安定条件が引張変形初期に達成されやすくなり、くびれによる局部変形が進行するためである。これは従来の転位論が予測する結果で、いわば『常識』である。これに対し本拠点では、図に示すように、適切な材料系を選択し変形子の粒界核生成を制御することで、この常識を覆し、大延性をもたらすことが可能であることを見出した[1]。



材料	粒界核生成した変形子
純チタン	非柱面転位
低積層欠陥エネルギーCu合金	変形双晶
準安定オーステナイト鋼	マルテンサイト
高Mn鋼	変形双晶

図 変形子の粒界核生成制御によるバルクナノメタルにおける延性向上機構

これらバルクナノメタルの延性向上機構の詳細を解析するために、実験的には、SEM、SEM/EBSD、TEM などの先端ナノ解析手法に加え、J-PARC や SPring8 を活用した。とくに中性子回折実験は、mm スケールバルク試料内部の加工熱処理その場解析が可能であり、他の手法では得られない重要なデータを提供する。本拠点では、精密制御加工熱処理シミュレーターを J-PARC と京都大学に設置し、実験を進めている。

塑性変形を司る結晶欠陥、欠陥構造およびそれらの特性発現に果たす役割を解明するために、本拠点で独自のマイクロ・ピラー圧縮試験法を開発し有効活用している。多結晶体から nm から  $\mu\text{m}$  サイズの試料を FIB 装置により切り出すことで、変形試験前に試料に含まれる結晶欠陥の密度を極限まで小さくすることができ、塑性変形の素過程に迫ることが可能になった[2]。

これらの実験と並行して、第一原理計算を基軸とした理論計算を進めている。本拠点は、第一原理法によるフォノン計算[3]において世界の中心的な役割を果たしているが、その手法を適用して、これまで不明であった HCP 金属の変形双晶形成過程を系統的に解明したほか、鉄鋼材料の第一原理計算において重要である常磁性状態の取り扱いについても革新的な成果を上げた。

拠点では毎年国際ワークショップを開催して議論を深めているほか、国内では経産省 ISMA と内閣府 SIP との府省連携、NIMS 構造材料拠点 RCSM との協同も進めている。

## 参考文献

[1] Y. Z. Tian, et al; *Sci. Rep.*, 5, 16707 (2015) [2] J. Y. Zhang, K. Kishida and H. Inui; *Int. J. Plasticity* 92 45 (2017) [3] A. Togo, and I. Tanaka; *Scr. Mater.*, 108, 1 (2015) 【被引用数 484】

関連 web <http://esism.kyoto-u.ac.jp/>