

(1) 元素戦略研究拠点紹介
構造材料元素戦略研究拠点の挑戦
—プラストン概念に基づく高強度・高延性化

04

Challenges by ESISM - Managing both high strength and large ductility through the new concept of plaston

田中 功 tanaka@cms.mtl.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院工学研究科, 京都大学構造材料元素戦略拠点

構造材料では、変形への抵抗である「強さ」(強度)と、破壊への抵抗である「ねばさ」(延性)を両立させることが重要である。しかし一般的に、図1に示すように「強さ」と「ねばさ」はトレードオフの関係にあり、強いものは脆く、ねばいものは弱い。この固定概念を打破するブレーク・スルーを、希少元素の添加によるのではなく、電子、原子のスケールからマイクロメートルに及ぶ組織制御によって達成すること。そのために構造材料のフロンティアを、電子論と最先端の計測技法を駆使して開拓することを、本研究拠点では目指し、研究を進めている。

一般的な金属材料における「強さ」と「ねばさ」のトレードオフ関係は転位論に基づいて説明できる。換言すれば、トレードオフ関係は転位論の宿命である。しかし、最近の研究で、粒径 1 μm を下回る超微細粒バルクナノメタルや、金属間化合物、セラミックスなど多様な化学結合と複雑な構造を持つ材料の力学特性は、転位論だけでは説明できないことが知られるようになってきた。本拠点では、転位を含む塑性変形機構の上位概念として、プラストン(変形子 plaston)という概念を提案している[1]。これは図2に模式的に示すように、ある体積素片に存在する原子の協調的な集団運動(集団励起)を指すものである。一般的な材料では、塑性変形の先端や表面・粒界などで塑性変形の核形成に対応している。

本拠点での研究テーマとその成果は、以下の 5 つに纏められる。

1. プラストン概念の構築

上述の作業仮説のもとで力学実験と理論計算を実施し、プラストン概念に基づく力学特性を定量化。

2. プラストン誘起延性材料の設計開発

チタン合金, マグネシウム合金, 銅合金, オーステナイト鋼, 高 Mn 鋼などでプラストン誘起延性材料を開発。

3. 脆性材料におけるプラストン

Fe₃C セメントイトや Fe-Cr 系 σ 相など複雑な結晶構造を有する化合物におけるプラストン機構を解明。

4. プラストンに関する第一原理計算および原子シミュレーション

フォノン解析による原子の集団運動や、応力下での大規模原子シミュレーションを実施し、プラストン過程を理解。

5. プラストン素過程を解析するための新しい実験方法

透過型電子顕微鏡や中性子回折装置において、応力下その場観察を系統的に実施し、プラストン過程を理解。

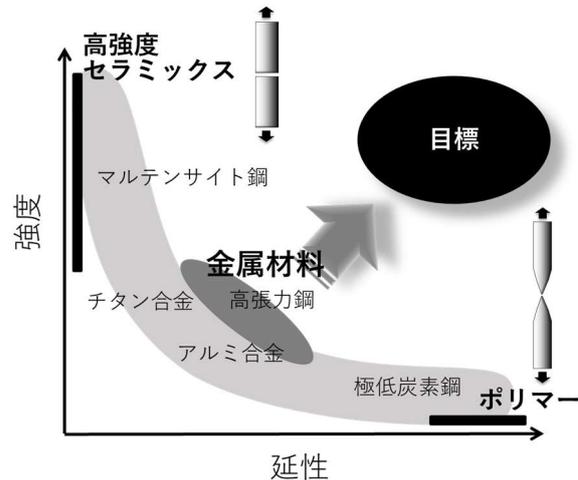


図1 材料の強度と延性に見られる一般的なトレードオフ関係

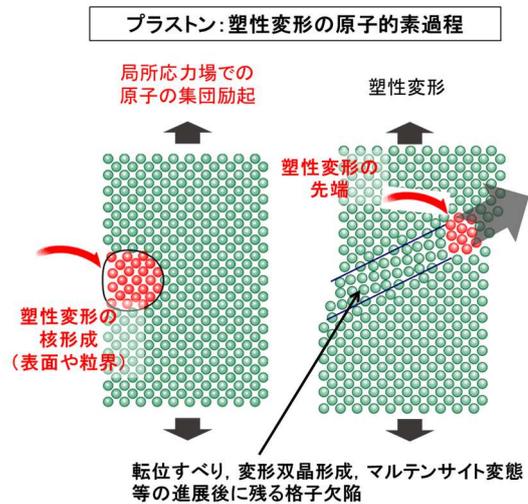


図2 プラストン概念の模式図

[共著者(所属)]

乾 晴行(京大工・京大 ESISM), 辻 伸泰(京大工・京大 ESISM)
 尾方重信(阪大工・京大 ESISM), 幾原雄一(東大工・京大 ESISM)
 津崎兼彰(九大工・京大 ESISM), 大村孝仁(NIMS・京大 ESISM)

[参考文献]

[1] N.Tsujii, S.Ogata, H.Inui, I.Tanaka+, *Scripta Mater.* (2020).

[関連 WEB]

[1] <http://esism.kyoto-u.ac.jp/>