

## 産学共創「ヘテロ構造制御」事後評価結果

1. 研究課題名：調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明

2. 研究代表者：飴山 恵（立命館大学 理工学部 教授）

### 3. 研究概要

研究代表者らは、材料における微視的構造の「不均質・調和・超微細」という発想を基に、超強加工粉末冶金プロセスを応用し、超微細結晶粒（平均数十～数百 nm）と粗大結晶粒（平均数十  $\mu$ m）の両者を調和的に配置した調和組織制御を行うことにより、高強度と高延性が同時に発現する革新的なシーズを見出した。本研究では、本シーズ技術を種々の金属材料における普遍的な調和組織制御方法として確立するとともに、優れた力学特性の発現機構を解明し、最適プロセスを提案することを目標としている。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

純チタン、チタン合金、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、銅など種々の金属材料における普遍的な調和組織制御方法として、高圧ガスミリング法、ショットブラスト法および無電解めっき焼結法などを確立した。また、バルク材料については、純アルミニウムを例に、産業応用が期待される通常の冷間圧延と焼鈍の工程からなる加工熱処理による調和組織制御方法を提案し、革新的な力学特性を発現させることに成功した。

種々の金属を用いて、調和組織が革新的な力学特性を生み出すことを実証した点も高く評価される。また、外部専門家との連携によるマルチスケールFEM解析によって、優れた力学特性の発現機構が解明できたことも特筆される。さらに、強度の特異なひずみ速度依存性や高速変形や高温変形に対する特異性など、調和組織を持つ材料の興味ある変形挙動も見出した。

本コンセプトを汎用化する上で、粉末冶金技術を用いた最適製造プロセスは本研究によって構築できた。その上に、バルク材料に適用できる加工熱処理技術も構築しつつあり、実用化の観点からも本研究成果の意義は大きい。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

本研究成果は、共同研究に発展しており、また問い合わせ企業も多く、今後の実用化に向けた展開が大きく期待できる。研究論文や招待講演数の多さは本研究の存在感の証である。また、特許出願もあるが、基本特許出願の余地は残っており、今後も継続して積極的な活動をお願いしたい。

調和組織材料を身近な実用材料とするためには、用途に応じた調和組織の最適な組織形態や分散状態に関する組織設計学的な研究、さらには様々な負荷環境下での力学応答性の評価研究、およびプロセス研究が継続して必要である。今後も学術の深化をベースにした実用化の推進と産業界との連携強化をお願いしたい。

#### 4-3. 総合評価

構造用金属材料の強度と延性の両立を、従来の均質・超微細組織とは全く異なるコンセプト（調和組織）に基づいて挑戦し、目標を上回る研究成果を挙げた。すなわち、Shell組織（微細、硬質）がCore組織（粗粒、軟質）を連続的に囲むようなネットワーク構造（調和組織）は、強度と延性を両立する指導原理（加工硬化が連続する、変形の局在化が生じ難い）を満足することを、種々の金属材料で実証した。また、調和組織を有する材料創製のプロセス原理も確立した。とくに、表面硬化させた粉末焼結法に加え、冷間圧延・焼鈍プロセス法でも調和組織が達成できる点は、大型部材への適用の意味でも特筆される。

今後の実用化に向けての産業界との共同研究、および興味ある力学特性等を解明する学術的な基礎研究の発展を大いに期待する。