

# 新しい材料加工プロセスの開発 および高性能材料創製への応用



工学部・機械物理系学科  
材料工学研究室

教授 陳 中春  
准教授 音田 哲彦  
助教 衣 立夫

Tel: 0857-31-5707  
E-mail: chen@tottori-u.ac.jp  
URL: <http://www.mech.tottori-u.ac.jp/zaika/>

## 研究概要:

マクロおよびミクロの立場から、高機能・高品質を引き出すための材料加工プロセスの開発およびそれによる先端機能材料・構造材料の創製に関する研究・開発に取り込んでいます。特に、粉体成形や塑性加工における変形、流動、反応および相変態を制御することにより、様々な環境調和型機能材料・構造材料の高性能化を追求しています。

## (1) 高強度鋼やステンレス鋼の3D積層造形

本研究では、レーザ溶融法を用いてマルエージング鋼やステンレス鋼粉末の3D積層造形を行い、造形パラメータと材料の結晶相・微視組織(図1)および機械的性質や耐食性との関係を系統的に検討し、優れた特性を有する3D造形体の安定・安価な作製プロセスを確立することを目指しています。特に、高強度鋼の一つであるマルエージング鋼の積層造形や後続熱処理に関する研究は特筆すべき成果を挙げ、その論文(1)が優れたパーセンタイル値(3.31)を有し、非常に高い注目を集めています。また、カナダのリサーチ会社Advances in Engineeringにより工学的に特に重要度の高い論文として選ばれ、同社のWebサイトにて紹介されました。

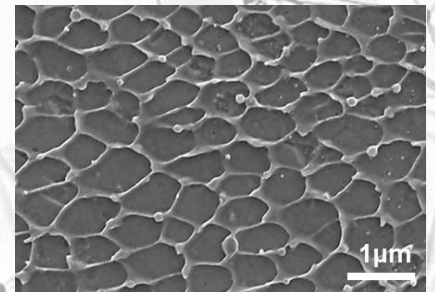


図1 3D造形したマルエージング鋼のセル状組織

## (2) 3Dプリンタを用いた革新的高強度チタン合金および人工股関節用基盤材料の開発

チタンは軽量、高比強度、優れた耐食性と生体適合性を有することから、インプラント等医用分野への応用が拡大しています。人工股関節や骨折固定器具等整形外科の分野では、材料に高強度が要求されるため、現在利用されているのは、純チタンではなく、優れた強度と延性のバランスを有するTi-6Al-4V合金がほとんどです。しかしながら、Vの細胞毒性とAlの神経毒性が懸念され、また、レアメタルであるVの使用による材料コストの増加や生体適合性の低下等が問題視されています。本研究では、人体に毒性のあるVやAlを使用せず、生体適合性に優れた微量化合物を添加し、3D積層造形のワンプロセスのみでTi-6Al-4V合金に匹敵する高強度チタン合金の創製とその強化メカニズムの解明、および次世代人工股関節用多孔質層と緻密体の一体造形プロセスの構築を目指しています。

## (3) 高熱伝導率と低熱膨張係数を有するアルミニウム/炭素系複合材料の開発

近年、CPUをはじめとした半導体素子の高出力化・高集積化・高速化が進み、その熱対策が重要な課題となっています。特にノートパソコン等軽量化・小型化が求められる分野では、冷却用フィンの取り付け等の構造的な対策では限界があり、より優れた放熱特性を有する材料の開発が求められています。本研究では、黒鉛や炭素繊維等炭素系材料をアルミニウム粉末に添加し、熱間押し出し加工によって黒鉛を押し出し方向に配向させ、ミルフィーユ構造のアルミニウム/黒鉛複合材料の作製に成功しました。複合材料は押し出し方向に高い熱伝導率と低い熱膨張係数を有し、また、高い強度を実現しています。

#### (4) 高性能熱電変換材料の創製

本研究では、電子機器の冷却や精密温度制御に利用されている $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 系熱電材料について、メカニカルアロイング(MA)あるいはガスアトマイズによる粉末作製と熱間押しを組み合わせたプロセスを提案し、結晶粒の微細化と配向化を同時に実現し(図2)、熱電性質と機械的性質の両立(論文2)が可能であることを示しました。また、機械学習を用いて加工プロセス-組織-特性の相関の解明や加工パラメータの最適化を効率よく実現でき、高性能熱電材料の創製への新しい手法を構築しています(論文3)。一方、自動車排気熱や産業分野から排出されている廃熱を電力に変換することが可能な $\text{Zn}_4\text{Sb}_3$ や $\text{MnSi}_{1.75}$ 、 $\text{SnSe}$ 等熱電材料の新しい作製プロセスの開発について精力的に研究を行っています。

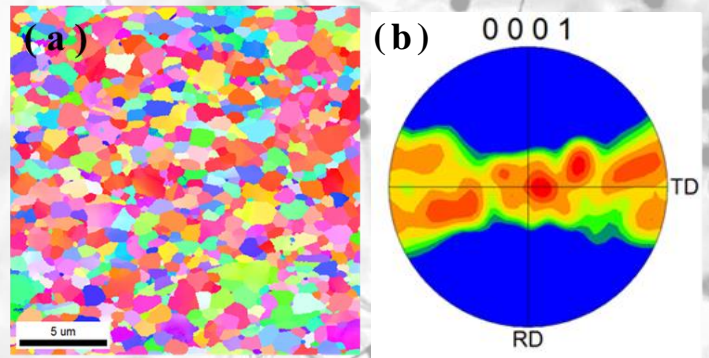


図2 MA-熱間押しにより成形したp型 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 系熱電材料の(a) EBSD像と(b) 極点図

#### (5) 反応焼結/押し出し加工によるアルミニウム基複合材料の作製及び強度・耐摩耗性の向上

本研究は、原料粉末間に生じる自発的反応を利用し、微細なセラミックス粒子をアルミニウムのマトリックスに均一に分散した複合材料の開発を図ったものです。従来の粉末冶金や鋳造法と比べ、粒子のサイズは極めて小さく、粒子の体積率を上げることが簡単です。例えば、Alと $\text{B}_4\text{C}$ 、 $\text{TiO}_2$ の混合粉末を高温にて反応焼結させ、Alマトリックス中に平均粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiB}_2$ およびTiC微細粒子をIn-situ合成しました。さらに、反応焼結により合成した多孔質体を熱間押し出し加工によってほぼ完全に緻密化させ、健全・緻密なセラミックス粒子強化Al基複合材料を作製できました。押し出し試料に微細な $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiB}_2$ 、TiC粒子をAlマトリックスに均一に分散した結果、複合材料の強度、硬さ、耐摩耗性が大幅に向上しました。

#### (6) セラミックス基複合材料のIn-situ合成およびマルチ靱化効果

発電ガスタービン等、高温かつ酸化雰囲気のような過酷な環境で適用可能な高温構造用材料として、酸化雰囲気での耐久性に優れた酸化物セラミックス基複合材料が期待されています。従来、繊維やウイスキーカー等高アスペクト比を有する第二相との複合化は有効な手段と知られていますが、繊維やウイスキーカーはマトリックスとの均一混合上の問題や界面問題、高密度化が困難、高コスト等の問題点が挙げられます。本研究では、セラミックスの破壊靱性を向上する新しいアプローチとして、原料粉末間の反応焼結による高アスペクト比の棒状粒子を生成するIn-situ合成技術を提案し、さらに、ジルコニアのマルテンサイト相変態による靱性向上機構も同時に導入され、アルミナ系酸化物/酸化物複合材料の創製およびマルチ靱化機構の導入・組織制御による高性能化に関する研究を行っています。

#### (7) 新規抗ウイルス粉体材料の創製および耐久性の向上

過去20年間、SARS、MERS、そして新型コロナウイルス感染症(COVID-19)等は世界中で猛威を振るい、甚大な人的・社会的・経済的被害をもたらしています。現在、人類にはウイルスとの共生・共存が求められています。ウイルスの蔓延を防ぐ対策として、ワクチンや治療薬の開発に加えて、新たな抗ウイルス素材とそれを活かしたマスクや防護服等防護具の開発も必要不可欠です。近年、天然鉱物ドロマイトを高温焼成した粉体は、鳥インフルエンザウイルスやヒトインフルエンザウイルスに対して効果を示すことが確認され、すでに一部で実用化されていますが、その抗ウイルス特性の耐久性が問題になっています。本研究では、新しい加工プロセスを提案し、優れた即効性と持続性を有する新規抗ウイルス素材を開発しています。また、プロセスの最適化や耐久性向上のメカニズムを解明するとともに、マスクや空気清浄機等に適用してその抗ウイルス効果を検証しています。

- (1) J. Mutua, S. Nakata, T. Onda and Z. Chen, Optimization of selective laser melting parameters and influence of post heat treatment on microstructure and mechanical properties of maraging steel, *Materials & Design*, 139 (2018), 486-497. (IF: 6.289, パーセンタイル: 3.31, Top10%論文)
- (2) Z. Wang, T. Akao, T. Onda and Z. Chen, Microstructure and thermoelectric properties of Bi-Sb-Te bulk materials fabricated from rapidly solidified powders, *Scripta Materialia*, 136 (2017), 111-114. (IF: 5.079)
- (3) Z. Wang, Y. Yokoyama, T. Onda, Y. Adachi and Z. Chen, Improved thermoelectric properties of hot-extruded Bi-Te-Se bulk materials with Cu doping and property predictions via machine learning, *Advanced Electronic Materials*, 5 (2019), 1900079. (IF: 6.593)