



研究室紹介

# 大阪大学工学研究科 知能・機能創成工学専攻 マテリアル知能工学講座

南 埜 宜 俊\*

Intelligent Materials Area, Department of Adaptive Machine Systems,  
Graduate school of Engineering, Osaka University

Key Words : atomic, jump, control of grain, grain growth nano crystal,  
severe deformation, fine grains

原子ジャンプ, 結晶粒制御, 結晶粒成長, ナノ結晶, 強加工, 微細結晶

## 1. はじめに

知能・機能創成工学専攻の名前は「ものづくり」の基本である材料, 生産, 機械分野にまたがる機能材料から知能機械までの領域を融合することに由来していると解釈しています。当専攻の研究活動は, その融合を目指して講座間の共同研究を積極的に進め文部科学省やNEDO等の外部資金の導入により活発に実施されています。また, 教育活動では, 従来のように機械系・材料系などと区分するのではなく, これらすべてのセンスを兼ね備えた視野の広い創造力豊かな人材を育成することを目指しています。カリキュラムとしては, 従来型の講義の比重を抑え, レポート, 演習とゼミナールを重要視し, 特に, 全国に先駆けて, 企業におけるオン・ザ・ジョブ・トレーニングの産学協同版としての性格を持つ創成工学演習を企業のご協力で実施いたしております。これは, 数人からなるチームにより, 企業のテーマを中心とした開発目標の明確化, 特許調査, 設計, 試作, 評価, プレゼンテーション等を通じて, 創造性開発を目指したものです。この新しい創造型授業形態の実施が, 大学院生の創造性を大きく伸ばし, 異分野統合能力, 自己学習能力, 問題設定能力, リーダーシップ力, コミュニケーション力などの養成に

理想的であるとの評価をいただき日本工学教育賞を平成13年7月に受賞いたしました。また, このような創造性教育の重要性が認識され大阪大学工学部に創造工学センターが設置されますことは嬉しい限りです。

知能・機能創成工学専攻は, マテリアル知能工学講座, マテリアル・デバイス工学講座, 創発ロボット工学講座, 知能創成工学講座, 加工システム創成工学講座, マイクロ動力学講座, 協力講座(産業科学ナノテクノロジーセンター)で構成されています。本稿は, このうち, マテリアル知能工学講座について紹介いたします。なお, 当講座の現在の構成員は, スタッフが私と辻伸泰助教授, 小泉雄一郎助手, 大学院生(博士1名, 修士9名), 原稿作成時の現在では4年生がまだ配属されていませんが毎年3~4名程度です。

## 2. 研究内容と展望

当研究室は, 知能・機能創成工学専攻の講座の中では最も材料分野寄りの研究を行っております。原子配列で構成される結晶の集合体である材料組織変化の基礎となる状態図や原子の動き(ジャンプ)の解明, 材料の機能を最大限発揮させるため材料組織因子と材料特性との関わりを解明するとともに, 材料組織を知的に設計・制御し材料の高性能化・機能化を目指した材料機能自体の創成と改善に関する研究を進めています。最近のテーマとしては, 材料の存在状態を示す状態図, 4元系合金と規則合金中の原子ジャンプ機構の解明, 結晶粒超微細化による高強度・高靱性材料・疲労長寿命材料の開発, 転位・界面強制導入による制振材料の創製, 界面組織制御による高靱性材料と高強度接合プロセスの開発, 規則合金中のナノスケール面欠陥制御による新規機能性

\* Yoritoshi MINAMINO  
1953年5月生  
1978年大阪大学大学院・工学研究科・  
冶金学専攻・修士前期課程修了  
現在, 大阪大学大学院・工学研究科・  
知能・機能創成工学専攻・マテリアル  
知能工学講座, 教授, 工学博士,  
材料組織学  
TEL 06-6879-7411  
FAX 06-6879-7544  
E-Mail minamino@ams.eng.  
osaka-u.ac.jp



材料の開発, ナノ組織粉末の固化等を行っています。それらの中で辻助教, 小泉助手の精力的な努力と協力で成果をあげている粒界・界面の組織制御に関する内容を簡単にご紹介します。

2-1. 結晶粒超微細化による高強度高靱性材料・疲労長寿命材料・防振材料の開発

今までは, 材料の結晶粒の大きさといえば, 数 $\mu\text{m}$ ~数 $\text{mm}$ の大きさであり, それらの大きさをもつ結晶粒で構成される金属材料が機械材料, 建築材, 電気部品材, 家庭器具材等に使用されてきました。もし, 高強度で割れにくい, さらに軽いという理想的な材料があれば, 大きな経済効果に寄与できます。自動車を例にしても, ボディー材料やエンジン材料が高強度・高延性・高靱性・軽量であれば高性能な自動車の設計が可能となるからです。このような理想材料へのブレークスルーとしての研究の方向の1つとしての材料の結晶粒超微細化(数 $10\text{nm}$ から数 $100\text{nm}$ )に取り組んでいます。

構造用金属材料の平均粒径を数 $10\text{nm}$ ~数 $100\text{nm}$ にすると, 材料の力学的性質を飛躍的に向上させることができます。これを実現するためには, 材料内にエネルギーを強制的に注入し, 材料内の結晶粒界の界面エネルギーとして蓄積することが必要です。エネルギーの注入方法として, 当研究室では強ひずみ加工による導入を用いていますが, 特に, 辻助教らの開発した繰返し重ね圧延(ARB)法は, 微細結晶粒で構成される構造材としての板材を作製できる優れた方法であり, 今後, このような微細結晶粒をもった板材が自動車, 建築材等で使用される日が近いと思っております。例としてARB法で作製し

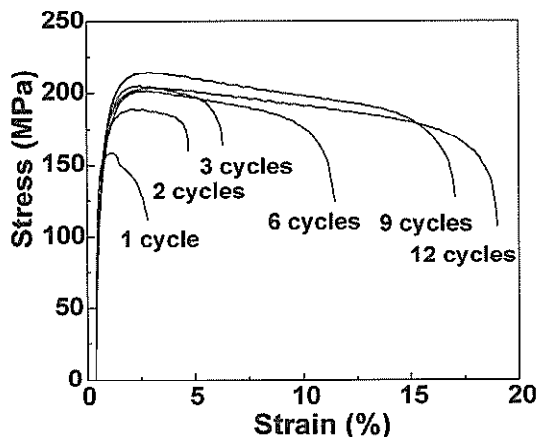


図1 ARB処理したアルミニウム合金板 (Al-0.63%Si-0.72%Fe)の引張り曲線(Kimら)

た微細結晶粒をもったアルミニウム合金板(Al-0.63%Si-0.72%Fe)の応力-伸び曲線を図1に示します。従来の汎用アルミ合金板の強度は $100\text{Mpa}$ 程度ですが, 韓国との共同研究(Kim研究員ら)によるARB処理された板材は $200\text{Mpa}$ と強度が2倍に強化されており, 強度が2倍になったにも関わらず, 伸びも15%程度あり, 高強度かつ高延性をもっている材料であることがわかります(投稿中)。同じ強度で良いとするなら半分の量で済み, 電気の缶詰といわれているアルミニウムの量を減らすことで経済的にも省エネルギー的にも有利であると考えています。

疲労特性を著しく改善した例として, アルミニウムの微細結晶粒材料の疲労特性を図2に示します。微細結晶粒を持つアルミニウムが従来の結晶粒のものより大幅に疲労特性が改善されています。また, 結晶粒超微細化により単純な鋼が液体窒素温度でも低温脆性を示さなくできることを見いだしています(特許出願中)。従来の低温用鋼はAlを添加したり, 高価なNiを多量に合金化することで低温脆性を防いでいましたが, 他の元素を添加や合金化することなく低温脆性を克服できたことは, 経済性やリサイクル(多元系合金はリサイクルに適さない)においても有利といえます。

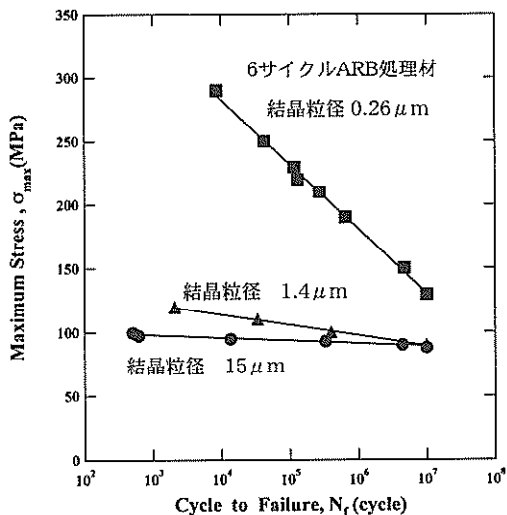


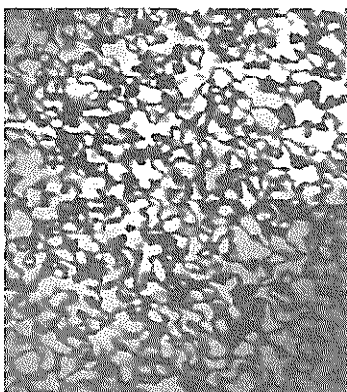
図2 ARB処理したアルミニウム板材の疲労特性

強加工法を制振特性の向上に応用することを試みています。制振機能とは, 外部からの振動エネルギーを熱エネルギーに変換させることで振動を吸収させる機能ですが, 金属材料内部でそのエネルギー変換の役目を果たすのは, 基本的に, 欠陥や転位, 粒界

や界面といった組織因子です。振動の繰り返し応力が材料内部のそれらに作用し応力と歪み間の機械的静履歴を生じ振動を吸収することになります。このため、静履歴の原因となる転位や粒界を積極的に材料内部に導入することで制振特性のよい材料を開発できるとの立場よりARB法を適用し材料を超微細結晶粒としその内部に転位を導入することで画期的な防振材料を作製しようと平成13年度に研究を始めたところです。防振機構の解明がほぼ終了し、今後、プロセス化も念頭において材料種や組成を変えて研究を進める予定にしています。

## 2-2 ナノスケール面欠陥制御

上述のような加工エネルギーを加えることなしに、材料の相変態(例えば、規則-不規則変態等)を上手に利用すると、図3に示すように、材料中に数10ナノ程度の組織を試料全体に導入することができます。この組織は次世代の軽量耐熱材料として期待される $Ti_3Al$ 相中のD019型規則構造の規則配列の位相のずれにより形成された逆位相領域境界(APDP)とAPDBで囲まれた逆位相領域(APD)であり、APDBは超格子部分転位対のグループ運動を抑制することで延性の改善が期待されています。この微細組織をもつ $Ti_3Al$ 相は、耐熱材料として使用中に高温に保持される時、数10ナノサイズのAPDは成長し粗大化することになります。昨年度はその成長挙動を解明しましたので、その成長を抑制することを今後の課題として準備を進めています。



500nm

図3 不規則-規則変態を利用した $Ti_3Al$ 合金の微細組織

## 2-3 界面組織制御材料

上記のように、材料のすべての結晶粒を超微細結晶

粒やナノ結晶粒とはするのではなく、表層のみを超微細化にしたり、または従来の大きな結晶粒の粒界近傍を微細結晶粒で覆うことで、従来の材料がもっている良好な特性に加えて、その界面や粒界の弱点を改良できるという立場から以下に述べる表層超微細化やネックレス粒界構造化を試みています。

### 2-3-1 表層超微細結晶粒材料

材料の表面を気体や液体との界面と考えると、材料の表層のみに超微細粒層を形成することができれば、母材の特性を失うことなく表面特性を向上させることが可能であり、また、リサイクルでの材料の多元素化による弊害を避ける観点で他元素をコーティングすることなく表面改質をできることとなります。図4に示すように、金属材料の表面層の結晶粒を数10ナノから数100ナノに超微細化する「表層超微細結晶粒材料」という新しい概念の材料を提案し、非常に簡単なプロセスで大量に表面改質した板材を創製できることに成功しました(特許出願中)。このような材料は、表面からの損傷破壊に強い材料(疲労特性、耐摩耗性等)、化学反応性に優れた材料(耐食性、耐環境性等)、触媒性能の高い材料、表面機能化(コンデンサー薄膜等)などの性能の向上が見込まれ工業的に応用範囲が広いことから、ベンチャー企業化への可能性も現在検討中です。

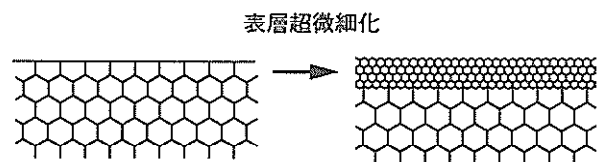


図4 数10ナノから数100ナノに超微細化した「表層超微細結晶粒材料」の概念図

### 2-3-2 結晶粒界制御による高靱性材料および高強度接合プロセスの開発

結晶粒の大きさが数 $10\mu m$ ~数 $mm$ と大きく、その粒界が脆い場合、粒界割れなどで材料が破壊することがしばしば問題となります。材料の粒径を保ったまま、粒界近傍に微細な結晶粒を出現させることができれば粒界の強度・靱性を向上させることができます。図5に示すように、従来の大きな結晶粒の粒界近傍に幾重も重ねた真珠のネックレス状態で微細な結晶粒を出現させることができています。このネックレス状の微細な結晶粒は、粒界の破壊の起点となる3重点の数をきわめて多くすることで破壊を

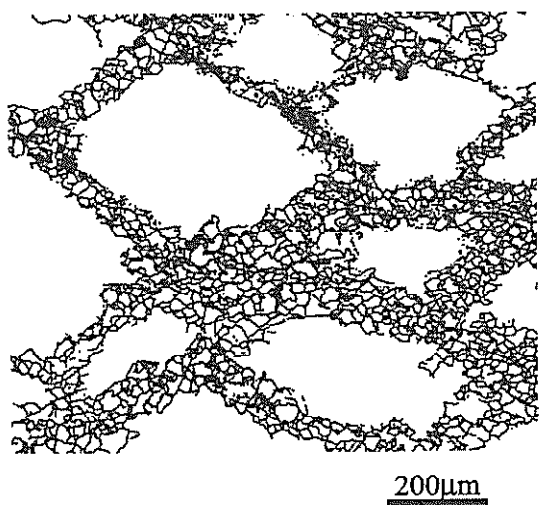


図5 Ni<sub>3</sub>Al相中のネックレス状微細結晶粒

誘起する応力集中を防ぎ、また、破壊が発生した場合、破壊の伝播方向を分散させることができ、材料靱性を向上させることとなります。材料の接合材において、接合面が平坦な場合、その接合強度は低い

ですが、その接合界面にネックレス構造を導入するとその接合界面の破壊を防止でき接合強度を向上させることができますこととなります。実際、接合界面にネックレス構造に近い粒界を導入することで接合強度を大きく向上させることができます(特許取得済み)。

### 3. おわりに

知能・機能工学専攻が創設されて5年が経つが、この短い期間の間に、充実したカリキュラム、大きなプロジェクトから外部資金を導入し最新の研究を遂行できているのは、知能・機能創成工学専攻への応用理工系の各専攻の理解と援助があったことと感謝しています。また、当研究室の創設当初は、狭い研究室、十分な資金や装置がなく立ち上げに苦勞した記憶がありますが、現在は、強力なスタッフも揃い、本年3月に竣工したGSEコモン棟に移転することや設備等の研究環境も大きく改善されました。今後、工学分野において、知能・機能創成工学専攻と当専攻の役割を明確にし貢献できるように努力していきたいと考えています。

