

## 解析・評価技術

### CT解析で 水素ポアの可視化に成功 九州大学 戸田裕之 教授



高強度アルミ合金の開発において、延性や靱性を低下させる水素ポアを制御することは大変重要です。九州大学では大型放射光施設SPring-8の高分解能イメージングビームラインでX線マイクロモグラフィーによる変形・破壊挙動の3D/4Dその場観察を行っています。

図5の破面は水素をチャージした加速試験で見られた水素脆化を示し、亀裂の局所破壊抵抗を実測して、定量的な評価を行っています。材料中の水素は、ポアとなって延性破壊を加速しますが、ポアの存在やその成長を含めた水素脆化の時間発展挙動はこれまで観察できず、詳細な破壊機構解明が望まれていました。

図5cでは、水素脆化による粒内・粒界の脆化亀裂とその周囲の多数の水素ポアの競合による材料損傷が可視化でき、破壊の機構やプロセスが明確になってきています。このような観察や解析から、材料の長期信頼性などにもつながる知見が得られています。

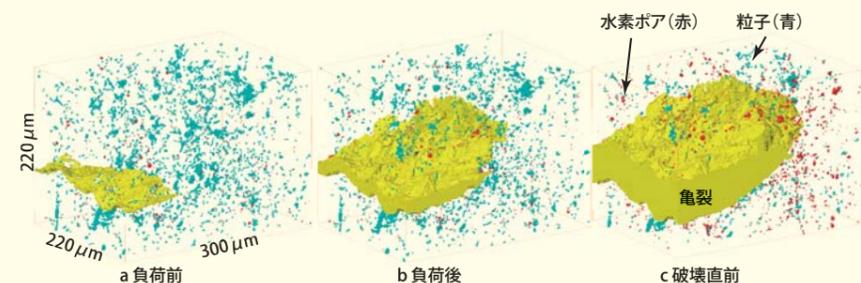


図5 荷重負荷による亀裂近傍の4D画像。水素ポアと化合物粒子が結びついて亀裂の進展する状況が観察される

SPring-8の放射光を用いて水素の存在状態を解析中(九州大学)

## 平成28年度「高強度・高靱性アルミニウム合金の開発」実施体制

本プロジェクトは「合金・プロセス開発」と「解析・評価」で構成されています。千年分室(株式会社UACJ)が取りまとめ役を担い、西神分室(株式会社神戸製鋼所)、名古屋守山分室(国立研究

開発法人産業技術総合研究所)と協力し、山形大学、九州大学、岐阜大学とともに産官学連携による共同研究を進めています。



圧延装置(千年分室)

## 特集 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発 航空機の軽量化に挑む

世界の民間航空機市場は年率約5%で増加する旅客需要を背景に、今後20年で市場規模はほぼ倍増すると予測されています。なかでもアジア太平洋地域の旅客需要の伸びが高く、リージョナルジェットと呼ばれる70～90人乗りの小・中型機の需要が見込まれています。

大型機の機体には軽くて強いCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の採用が、近年増加していますが、リージョナルジェットには価格面で優位性のあるアルミ

ニウム合金が多く採用されています。アルミの比重は鉄の約3分の1と軽く、比強度も大きいので、自動車、鉄道車両、航空機などの輸送機器に長年使用されてきたことが背景にあります。

輸送機器の軽量化に向けた研究開発を一体的に推進するISMAでは、「革新的アルミニウム材の開発」を3つのテーマで実施しています。その中から今回は、「高強度・高靱性アルミニウム合金の開発」をテーマに、航空機の軽量化に挑むプロジェクトを紹介します。

### ISMAの活動についての報道

- 新聞
- 2016年 9月1日 日経産業新聞「マグネシウム 難燃性合金で注目」
- 2016年11月8日 日刊工業新聞「自動車等輸送機器の軽量化に向けた最新材料開発動向」

### 発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

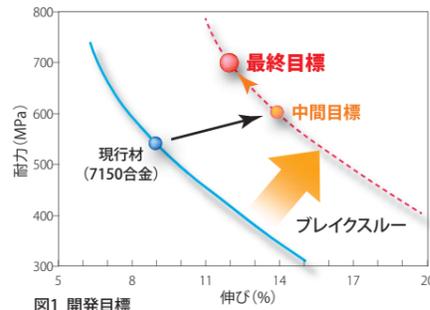
お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部  
〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階  
Tel : 03-6213-5655 Fax : 03-6213-5550  
制作協力: サイテック・コミュニケーションズ  
デザイン: 高田事務所

# 特集 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発 航空機の軽量化に挑む

## プロジェクトリーダーに聞く

### 世界最高強度の 国産アルミ合金開発を目指して

千年分室(株式会社UACJ)  
渡辺良夫氏



## 航空機用アルミ合金開発の背景について 教えてください

UACJの前身である住友金属工業は、1930年代半ばに超々ジュラルミンと呼ばれる当時の世界で最高強度のアルミ合金を開発し、旧日本海軍の零式戦闘機(零戦)に使用された実績を持っています。しかし第二次世界大戦の敗戦により、日本の航空機産業は解体され、航空機用アルミ合金の開発も途絶えてしまいました。

その後、1960年代から70年代にかけてYS-11\*や三菱のMU-2、MU-300などの国産機の開発があるものの経営環境の悪化で撤退せざるを得ませんでした。そのような状況の中、2003年に経済産業省の主導で国産ジェット機の開発が始まり、実を結んだのが昨年11月に初飛行に成功したMRJです。

今後急速な需要が見込める分野です

が、航空機用のアルミ合金に関しては国産材料が1割、大半が輸入材で、海外メーカーの寡占状態にあります。この分野で技術競争力をつけて海外材に対して優位に立ち、国産材料を増やしていくことが目標です。

## 開発合金の目標は

航空機の構造部材に使用されるアルミ合金は、1930年代頃まではアルミに主に銅を添加した2000系が主流でしたが、主に亜鉛を添加した7000系の超々ジュラルミン開発以来、現在まで7000系が多く使用されています。近年海外では、軽量化に優れたリチウムを加えたAl-Li合金の開発が盛んですが、ISMAプロジェクトでは、Al-Li合金より比強度に優れ、低コストで製造可能な7000系の開発を進めています。7000系は比強度では大型機で適用が進むCFRPに劣るものの、コスト面で圧

倒的に有利です。従来材開発の延長線上から頭一つ飛びぬけた世界最高強度の国産アルミ合金を開発し、この革新的構造材で航空機の軽量化、燃費低減に貢献することを目指しています。

## これまでの研究成果は

従来材7150合金(引張強度 $\geq$ 572MPa、耐力 $\geq$ 545MPa、伸び9%)をベンチマークとし、最終目標を引張強度 $\geq$ 750MPa、耐力 $\geq$ 700MPa、伸び12%に設定して、2017年度末までに7150合金に対して25%以上の強度向上を目指しています。その部材を航空機の胴体や、主翼桁材、ストリンガー材、フレーム材などへの適用を図っていきます。

すでに最終目標の750MPaに近い強度もラボレベルで出ており、開発合金を一部の量産設備で生産できることも確認できました。実用化の可能性が高くなってきたこ



開発合金で試作した航空機用部材



図2 アルミ合金の航空機への適用例

とから、研究員の士気も上がっています。

## 技術開発のポイントは

アルミ合金の開発では、強度を上げようとする延性や靱性が低下してしまいます。その原因は casting 時に生成される晶出物や水素ポアにあります。それらの生成を抑制し、微細分散化することによって、延性・靱性の向上が可能です。同時に集合組織や合金元素の固溶・析出状態を適正に制御する必要があります。そのため本プロジェクトでは溶解・鋳造から圧延や押出などの熱間加工、冷間加工、熱処理の各工

程を通じた技術開発を行っています。

その中で千年分室では圧延材の全長、全幅、さらに板厚方向で均一な組織を形成させることを目指して等温熱間圧延技術の開発を進めています。これは世界中のアルミメーカーでは、まだ実用化されていない技術で、実用化されれば材料の強度向上と同時にばらつきの少ない高品質の材料が製造できるようになります。

## 共同研究分野については

本合金開発でポイントとなる晶出物や水

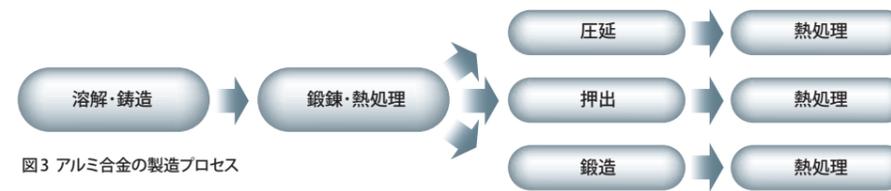


図3 アルミ合金の製造プロセス

## 鍛錬プロセス開発

### 圧縮ねじり加工によって 伸びが飛躍的に向上

山形大学 久米裕二 准教授



圧縮ねじり加工は、円柱状の素材に、上下から圧縮しながら大きなねじり変形を与える加工で、山形大学ではこの加工法で材料組織や特性の改善に取り組んでいます。この加工を非常に脆いアルミ合金鋳造材に用いたところ、鋳造組織中の晶出物の微細分散化に有効であり、引張試験時の伸びが飛躍的に向上することを発見しました。

本プロジェクトでは、7000系アルミ合金の晶出相の微細均一分散化による延性や靱性の向上を目指して、革新的な鍛錬技術開発に圧縮ねじり加工を用いた基礎研究を行っています。

成果として、7000系合金の鋳造組織中に観察される網目状の晶出相を、数ミクロンの粒状に微細・均一分散化させて、初期の網目状が想像できないほどの組織改善に成功しました。この結果、数%であった伸びを20%近くまで向上できました。また、アルミ合金は熱処理を行って最大の強度を得るのですが、圧縮ねじり加工材は、熱処理後も高い伸びを維持できることを見出しています。

今後、なぜ圧縮ねじり加工を施すと延性が向上するかという根本的な原因解明と同時に、シミュレーション技術を活用して最適製造条件の確立を行い、工業化に向けたスケールアップを目指します。



圧縮ねじり加工装置(名古屋大学)

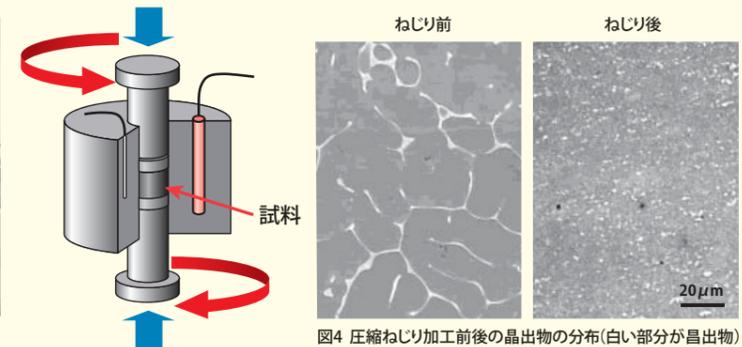


図4 圧縮ねじり加工前後の晶出物の分布(白い部分が晶出物)

素ポアの制御に関する研究は、千年分室が山形大学(昨年度までは名古屋大学)、九州大学と共同で実施しています。

山形大学では、晶出物微細分散化のための画期的な技術として名古屋大学が見出した圧縮ねじり加工技術を引き継いで、実用化に向けた研究を行っています。また、九州大学ではSPring-8の放射光を用いて水素の存在状態を解明し、水素ポアと靱性や疲労強度との関連を明らかにするための研究を進めています。

※日本航空機製造によって製造された戦後初の国産旅客機。