

(解説)

## 航空機用アルミニウム鋳物の動向

### Trends in Aluminum Alloy Casting for Aircraft Parts



中田 守\*  
Mamoru Nakata



北原靖久\*  
Yasuhisa Kitahara



畑口宏之\*  
Hiroyuki Haguchi

For weight reduction and cost reduction of aircraft parts, one-piece aluminum casting parts are essential. Recently, aluminum casting applications have greatly increased. This paper introduces some aluminum casting samples for aircraft parts, explains the 3D-CAE technique, and a newly developed casting technique for large-thin-wall structures. Finally, future plans for casting development at Kobe Steel's Daian Plant are introduced.

まえがき = 鋳造品は、複雑な形状を一体で成形できるため、飛行荷重・地上荷重・与圧加重の伝達を主に受持つ一次構造部材への適用は、軽量化・低コスト化に対して非常に有効である。しかし従来から、鋳造品には欠陥の内在が不可避なため、信頼性が低く適用が進まなかった。しかし、近年の鋳造技術の進歩により、大型薄肉鋳造品の技術が確立され、薄肉・大型部品への鋳造品適用が可能となったこと、また高強度合金 D357.0 (Al-7mass%Si-0.5mass%Mg) 合金が登場したことなどにより、一次構造部材の一体鋳造化が拡大している。

当社大安工場では、航空機用アルミニウム鋳造品の国内トップメーカーとして、1987年から日本航空宇宙工業会の委託を受け、川崎重工業㈱とともに、航空機一次構造部材の鋳造品化に取り組んできた。一方、ボーイング社などにも積極的に働きかけ、1999年には、D357.0合金による鋳造品の製造に関する認証をボーイング社より取得した。また2000年には、D357.0合金を用いた大型薄肉精密鋳造技術の開発を行った。

本稿では、アルミニウム鋳造品の適用を高めた大型薄肉精密鋳造品の開発状況を解説し、当社大安工場での今後の取組みについて紹介する。

#### 1. 海外での研究・開発および適用事例

航空機用鋳造アルミニウム合金の開発については、既に1970年代に米国において、CASTプログラム (Cast Aluminum Structures Technology) によってYC-14前脚取付部耐圧隔壁の試作が行われた<sup>1)</sup>(写真1)。このプログラムでは、大型薄肉鋳造品に適した鋳造方案、砂などの鋳造にかかわる基本特性など、あるいは合金の熱処理条件などが調査された。その後、F18ホーネットの垂直尾翼の骨組みやF15のスピードブレーキなどに鋳造品が適用され、F16ではエンジンの空気取入口に、大きき約

1.3mの大型鋳物が適用された。

さらに近年、民間航空機を中心に一次構造部材の鋳造品が適用されつつあり、これにより一体化設計されることで、大きなコスト削減が実現されている。

米国では、大型一次構造部材やドア鋳物などがすでに量産化されている。例として、B737用ハッチドアにアルミニウム鋳造品を使用し、50%のコスト削減に成功している(写真2)<sup>2)</sup>。またB767のLanding gear doorにお



写真1 CASTプログラム  
Photo 1 CAST program



写真2 B737ハッチドアアルミニウム鋳物  
Photo 2 Hatch door aluminum casting

\*アルミ・銅カンパニー 大安工場



写真3 B767 landing gear door アルミニウム鋳造品  
Photo 3 Aluminum casting for B767 landing gear door

いても、D357.0 合金の一体鋳造品により、大幅なコスト削減を達成している（写真3）<sup>3)</sup>。

## 2. 当社の技術開発状況

### 2.1 大型薄肉精密鋳造品の開発

当社は、15年以上前に航空機用一次構造部材の研究開発に着手した。まず1988年から3年間にわたり、航空機用ドア一次構造部材の一体鋳造品化研究を（財）日本航空宇宙工業会から受託し、実体鋳物を製作して台上試験を行い、静的強度特性・疲労強度特性とも図面要求値を満足することを確認した（写真4、写真5）。また重量および



Material : D357.0-T6 alloy  
Size : 620mm × 600mm × 80mm, 1.5mmt

写真4 A357.0 合金航空機用一体化ドア鋳物  
Photo 4 Integrated structure door casting of A357.0 alloy



写真5 ドア鋳物実体試験状況  
Photo 5 Testing of door casting

コスト試算では、鋳物化することにより従来の板金構造物より、9%以上の重量低減と47%のコストダウンが図れることが確認された<sup>4)</sup>。

1997年には「大型アルミ合金精密鋳造品設計手法研究」を（財）日本航空機開発協会より受託し、水平尾翼前縁構造モデルの試作を行い、高強度合金 D357-T6 の基本的特性、肉厚1.5mmのスキンを含んだ鋳物の鋳造方案、歪について調査した（写真6）。1999~2000年には、（財）日本航空機開発協会が受託した新エネルギー・産業技術総合開発機構研究「革新的軽量構造設計基盤技術開発」の機種構造開発に加わり、コックピットの床構造の鋳造品化に取り組み、世界的に見ても実機での適用がほとんどない<sup>4)</sup>（図1）、最小肉厚2.0mmtで大きさ1850mm × 1550mm × 342mm という薄肉大型一体化構造鋳造品<sup>4)</sup>（写真7）を開発した。

従来の薄板、押出材による板金組立構造と比較して、部品点数低減（170点 → 1点）、10%の軽量化および33%の低コスト化を図れることがわかった。また、本開発にて、樹脂型による模型の高精度化、肉厚2.0mmtの充填を行うための吸引LP鋳造法のトライ、あるいは、熱処理歪と形状との関係などを把握した。



Material : D357.0-T6 alloy  
Size : 600mm × 400mm × 600mm, 2.0mmt

写真6 D357.0 合金航空機用水平尾翼前縁鋳物  
Photo 6 Leading edge casting of D357.0 alloy

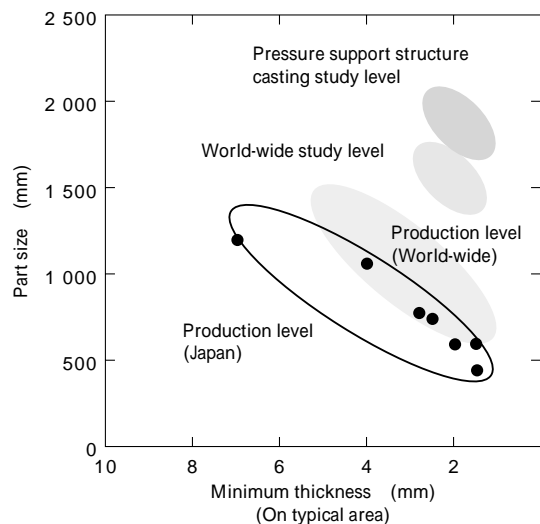
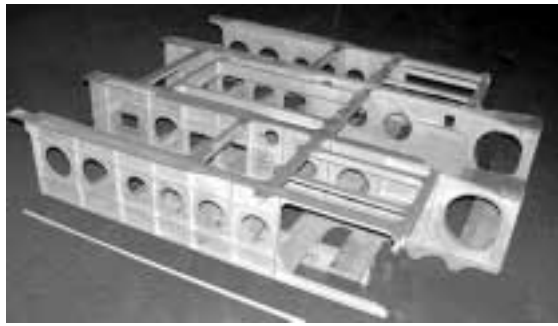


図1 砂型鋳造品の最小肉厚と製品サイズの関係  
Fig. 1 Relationship between casting size and minimum wall thickness



Material : D357.0-T6 alloy  
Size : 1 850mm x 1 550mm x 342mm, 2.0mmt

写真7 耐圧床支持構造鋳造品

Photo 7 Integrated casting for cockpit pressure floor support structure

## 2.2 高品質鋳造品における技術ポイント

「鋳物は、砂と湯と型があればできる」と極論されることもあるが、大きさ1m以上、肉厚2mmの大型薄肉鋳物を製造するためには、模型の高精度化は重要な技術ポイントである。

従来、砂型を製作する際に使用する型には木型を使用していた。木型製作は、木型職人が図面をもとにノミやカンナでの手作りであり、長い工期が必要であるとともに、型精度もラフなものであった。鋳造品の許容寸法公差も250mm長さあたり $\pm 0.8\text{mm}$ であり、1mを超えるような大型鋳物は $\pm 3\text{mm}$ 程度の寸法バラツキを許容していた。

当工場では、1999年に大型ギヤボックス鋳物に初めて3D-CADによる模型を量産に適用するなど、高精度化に取り組んできた。さらに2001年には模型専用の3D-CADを導入するとともに、2003年には5軸NC加工機を導入し、樹脂ブロックからのNC加工による高精度化を図ってきた。3D-CADシステムを用いた型製作のCAE化は、1mを超える鋳造品を $\pm 0.5\text{mm}$ の寸法公差で製作可能とするなど、大型薄肉鋳物の開発に大きく寄与している。

この3D-CAD化により、従来は勘と経験に頼った鋳造方案などが、3D-CADを用いて解析的に立案されるようになってきた。

現在、大型品を中心として、型製作で作成した3Dデータにより3次元の流動解析を行い、その方案の精度を確認しつつ量産に移行している。従来、コンピュータの能力が低く、1mを超えるようなドア鋳物、あるいは複雑なギヤボックス鋳物については、流動解析はできなかったが、最近では、1億メッシュを超えるような大規模モデルについても解析が可能となってきている。特にドア鋳物のような薄肉かつ製品形状が単純な形状では、溶湯の充填において、湯口、湯道系の設計が重要であり、ドアの充填・品質向上において、流動解析を適用し最適方案を立案した。また当社では、量産中の製品にも流動解析を行い、品質向上に努めている(図2)。

また寸法検査において、最近では、CCDカメラによる画像データを3D-CADデータと比較した非接触寸法測定方法(図3)や、CTスキャンによる内面検査にて、従来製品を切断しなければ見ることができなかった部位をパソコンで確認できるような装置も開発されている。

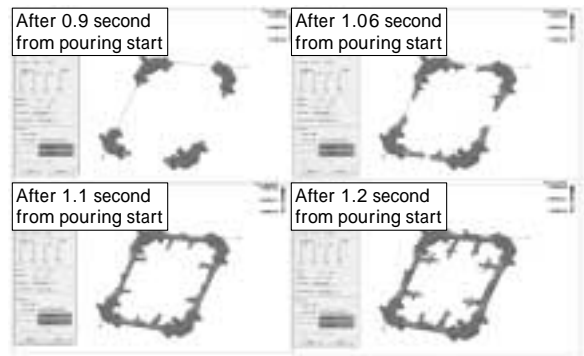


図2 湯道流動解析の結果

Fig. 2 Result of gating system flow analysis

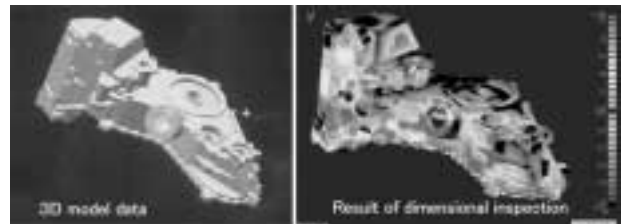


図3 鋳造品と3Dモデルとの直接比較

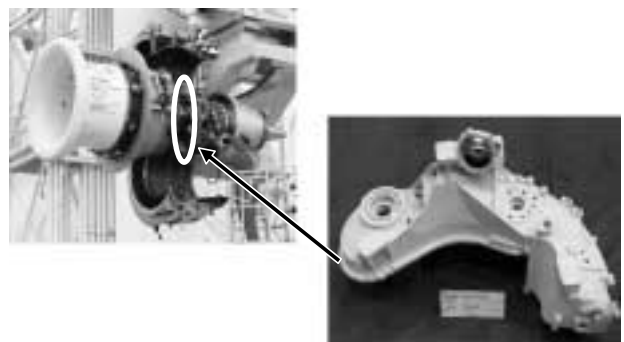
Fig. 3 Direct comparison with casting surface and 3 dimensional model data

このように、鋳造品への3D技術は、単に模型製作だけでなく、鋳造方案の立案、寸法測定などにも利用されるなど、CAE化が進められており、複雑形状を扱う鋳造業界ではますます重要性を増していくものと考えられる。

## 3. 今後の動向

### 3.1 航空機エンジン用大型ギヤボックス鋳造品への大型鋳造技術の適用

リージョナルジェット的需求が見込まれる現在、ジェットエンジン部品においても、コスト・重量低減を目的とした大型鋳造品一体化が行われている。写真8に、現在当工場で量産中のGE社(米国)製CF34-8Cジェットエンジンに使われる大型薄肉ギヤボックスを示す。このギヤボックスは、従来構造では別部品であったギヤボックス、オイルタンクなどを鋳造品で一体化させている。このような大型複雑ギヤボックスは、従来海外鋳造メーカーからの輸入に頼っており、国内鋳造メーカーではこれま



Size: 1 200mm x 550mm x 600mm, 2.5mmt

写真8 CF34-8 エンジン用ギヤボックス鋳物

Photo 8 Gear box casting of jet engine CF34-8

で生産できなかった。前述した模型の高精度化と大型薄肉鑄造技術により、当社は2003年5月に初回品納入を開始し、現在も量産中である。

このように、航空機一次構造部材のみならず、航空機部品はますます高精度化・複雑化・大型化が求められている。市場のニーズに応えられる技術を有した当社にとって、ギヤボックス市場の今後の需要拡大が大いに期待される。

むすび=当社は、3D-CADの適用、流動解析などの解析技術を含む大型薄肉鑄物技術の開発により、高品質で信頼性の高いアルミニウム鑄造品の製造を可能にした。海外調達に頼るしかなかった航空機用大型アルミ高品質鑄造品分野において、当社は国内唯一の地位を築き、国内航空機メーカーから大きな期待を寄せられている。今後、

品質安定化・コスト低減・リードタイム短縮など改善を進めながら、新機種 of 取込み・生産量拡大に向けて取り組んでいきたい。

なお、大型薄肉精密鑄造品の開発にあたり、川崎重工業(株)航空宇宙カンパニーの方々には多大なご協力を頂きました。この場を借りて感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) James W. Fabar : Metallographic Analysis Techniques Used Firing The Cast Aluminum Structures Technology (Cast) Program, Natl Sampe Tech Conf, ( 80 ) p.768.
- 2) Boeing 社ホームページより抜粋 .
- 3) 吉野保明 : (社)日本鑄造工学会東海支部岐阜地区講演会講演資料 (2002)
- 4) 中田 守ほか : R&D 神戸製鋼技報 , Vol.42, No.1(1992) p.53.