

# アルミニウム

No. **165**  
2007 JAN.



## H-IIAロケット製造の現場から

### つぎの打ち上げめざしロケット開発進行中

日本の独自開発による国産主力ロケットH-IIA。現在は2007年以降に打ち上げる機体の製造が進められています。ふだんは公開されないロケット機体の製造現場を訪ねました。



#### アルミ・リチウム合金

アルミ・リチウム合金が、次世代航空機の材料として注目を集めています。

アルミ  
ものづくり

アルミは  
鍛えられて強くなる



日本刀ならカナヅチでたたく。アルミの場合は？

風が吹いた日  
A Epoch-making

有楽町マリオン  
華やく街に登場したアルミカーテンウォール

# 巨大なロケット機体がいま生まれる

## 最先端テクノロジーがあつまる ロケット工場に潜入

工場に横たわったロケット機体は、まるで長いトンネルのよう。こんな大きなものが猛スピードで宇宙へ飛んでいくとは、作業する人が小さく感じられるほど、その大きさに圧倒されます。まだNIPPONと刻印されていない若々しいH- A機体は、宇宙へ飛び立つ日をめざして着々と製造が進められています。

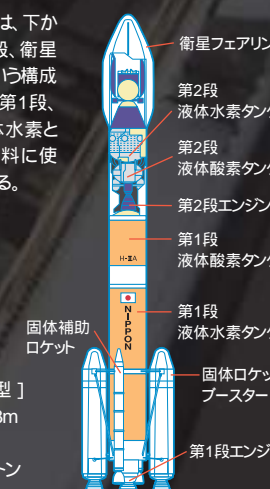
人類初の人工衛星スプートニク号の打ち上げ成功から今年で50年。これまで5000基を超える人工衛星が宇宙へ打ち上げられました。その人工衛星を軌道へ運ぶロケットは最先端技術の結晶。科学技術の粋を集め開発が行われています。日本においては独自開発による国産ロケットH- Aの開発が進められ、数々の打ち上げに成功しています。現在は、2007年以降に打ち上げるH- Aの開発、製造が行われています。

ロケットは過酷な環境にさらされるため、機体には高い信頼性が要求されます。ロケット機体の主材料はアルミニウム。軽量で高強度なアルミニウムは機体のほとんどの構造体に使用され、重要な役割を果たしています。信頼性の高いロケット機体がどのように生まれるのか、今回は特別な許可を得て製造現場取材しました。



手前に長く横たわるのは直径4m、長さ37.2mの第1段ロケット機体

H- Aロケットは、下から第1段、第2段、衛星フェアリングという構成になっている。第1段、第2段とも液体水素と液体酸素を燃料に使用し、推力を得る。



H- A [標準型]  
全長 約53m  
直径 4m  
質量 289トン  
推力  
第1段エンジン約1100kN  
第2段エンジン約137kN

>>>

### 日本のロケット製造の本拠地

現在、H- A機体主要部とエンジンの製造は、三菱重工業(株)名古屋航空宇宙システム製作所で行なわれています。H- Aによる衛星打ち上げ事業は民営化への移行が決まっており、今後は同社が開発から打ち上げまで主導的な役割を担う予定となっています。



多くの最先端テクノロジーがあつたロケット工場。指紋認証をはじめ厳重な管理のもとに取材スタッフは工場内へ入ることができた。



H- Aプロジェクトに携わる同社宇宙機器技術部 主席プロジェクト統括・奈良登喜雄氏(左)、同社宇宙機器技術部 構造設計課課長・松下明宏氏(右)

>>>

### アイソグリッド構造のアルミ製燃料タンク

オレンジ色に見える部位は第1段の燃料タンク。内部、外部からの荷重に耐えられるよう燃料タンクのシリンダー部は三角形のリップが付いたアイソグリッド加工アルミ板材(2000系合金(Al-Cu-Mg系合金))が使用されています(詳細は次ページ)。



燃料タンクには断熱材が吹付けられる。外部は最も高温時に300を超えるが、この熱を遮断し、タンク内部を極低温(液体水素の場合-253)に保つ。



c JAXA



アイソグリッド加工アルミ板

>>>

### アルミストリンガーがはしるつなぎ部

黄緑色に見える二つの部位の、突起はストリンガーと呼ばれるアルミ製の補強材で、アルミ地板にリベット接合されています(7000系合金(Al-Zn-Mg系合金)を使用)。これは航空機の機体と同じ構造様式。外部からの荷重に耐えるようになっています。



エンジン推力受け構造部。この右端にエンジンが設置される。エンジンの推力を受け最も大きな荷重を受けるため、内部にはアルミ製の太いビームが十字に組まれている。



## 超高速、高圧、高温にさらされるロケット機体

ロケット機体は地上の想像を超えた過酷な環境にさらされます。打ち上げ後にとどろく音響は、衝撃波および空気の渦によって160デシベルにも達します。ヘリコプターのそばで110デシベル程度ですから、これをはるかに超えるすさまじさです。速度は秒速約10km、機体を受ける圧力(動圧)は最大で5トン/m<sup>2</sup>、表面温度は最高で300℃を超えます。

超高速でロケットを飛ばすには、まず軽いことが求められるため、機体のほとんどの構造体にアルミニウムが使用されています。アルミニウムは軽量で、機体を受ける荷重に十分に耐える強度、剛性があり、また加工性に優れ、入手しやすいという特長があります。また燃料タンク内は極低温に保たれるため、低温特性に優れていることもアルミニウムの採用理由の一つとなっています。2000系合金(Al-Cu-Mg系合金)や7000系合金(Al-Zn-Mg系合金)などの高強度アルミ合金が採用され、信頼性の高い構造材として活躍しています。

## 大きな荷重に耐えるアルミ製燃料タンク

ロケットの機体は、その大部分を燃料タンクが占め、大小の燃料タンクをつなぎ合わせたような構造となっています。

### 期待が集まるH- Bの開発

現在、2008年の試験機の打ち上げをめざし、H- Bの開発が進められています。H- Bは、H- Aの能力増強型として開発が進められているもので、同社奈良氏によると、現在の開発状況は基本設計から、詳細設計に移行した段階であると言います。H- Bには、数々の新しい技術が採用される予定で、例えば現在、燃料タンクのシリンダー部はアイソグリッド加工アルミ板材がTIG溶接で接合されていますが、ここに信頼性の高い摩擦攪拌接合(FSW)が採用される予定です。また燃料タンクのドームは、アルミ板材をお椀のようにスピニング成形したのですが、今回初めて国内で製作が行われる予定で、開発が進められています。

国内でスピニング成形されるドーム(写真はH- Aのドーム)。



燃料タンクはアルミ製で、シリンダー部はアイソグリッド加工を施した板材が使用されています。これは20mm厚のアルミ板材を削り出し、リブ(補強材)を設けたものです(リブ以外の板厚は2~3mm程度)。リブは三角形を連続的に合わせた形状で、これはロケットの上昇時にかかる圧縮荷重と、タンク内における加圧(エンジンに燃料を供給するため加圧される)の、両荷重に対応した形状となっています。このアイソグリッド加工アルミ板材によって、燃料タンクは軽量で高強度な構造となっています。

この他にも、タンクのドームや、タンク以外のいわゆるつなぎ部(タンク間構造部やエンジン推力受け構造部)にも高強度なアルミ合金が使用されています。さらにアルミ製リング材(鍛造品)なども補強材として用いられています。最近では一部にCFRP(炭素繊維強化プラスチック)が使用されていますが、集中荷重がかかるような部位への適用はまだまだ難しく、現在は部分的な使用に限られています。

2007年以降、数基のH- A打ち上げが予定されています。さらには打ち上げ能力を増強したH- Bの設計も積極的に進められています。軽量で高強度なアルミニウムとともに、つぎに飛び立つロケットのカウントダウンが、ロケット工場ではもうすでに始まっています。



機体の大部分を占める燃料タンクは、ロケットの上昇時にかかる圧縮荷重とタンク内加圧を受けるため、高い強度が要求される。



「CFRPだとタンクや集中荷重を受ける部位に使用するのは技術的に難しく、スチールだと重くなり性能が格段に落ちてしまう。ロケット機体にはアルミが最適です」と松下氏はいう

知ってなるほど  
アルミ用語

# アルミ・リチウム合金

リチウムをわずかに添加すると、剛性が高くなる。ユニークな特徴を持つアルミ・リチウム合金が、次世代航空機の材料として注目を集めています。

## 軽いアルミに、もっと軽いリチウムをプラス

リチウム(Li)は、水素、ヘリウムに次いで軽い金属元素で、リチウム電池や合成ゴムの触媒などの材料として知られています。このリチウムをアルミニウムに添加したのがアルミ・リチウム合金です。

リチウムはきわめて軽量で、密度は0.53。水よりも軽く、アルミニウム(密度2.7)の5分の1以下しかありません。このように軽量なリチウムをアルミニウムに添加すると、実際にはリチウム1%あたり密度が3%小さくなります。このほか、リチウムを添加することによって、たわみにくくなる(剛性にすぐれる)、比強度(単位質量当たりの強度)が高くなるという特徴を持たせることができます。つまり、同じ強さを保ちながら部品を薄くできるので、軽量化を図ることができるのです。

このため、アルミ・リチウム合金は航空機の軽量構造材料として、高い関心を集めてきました。

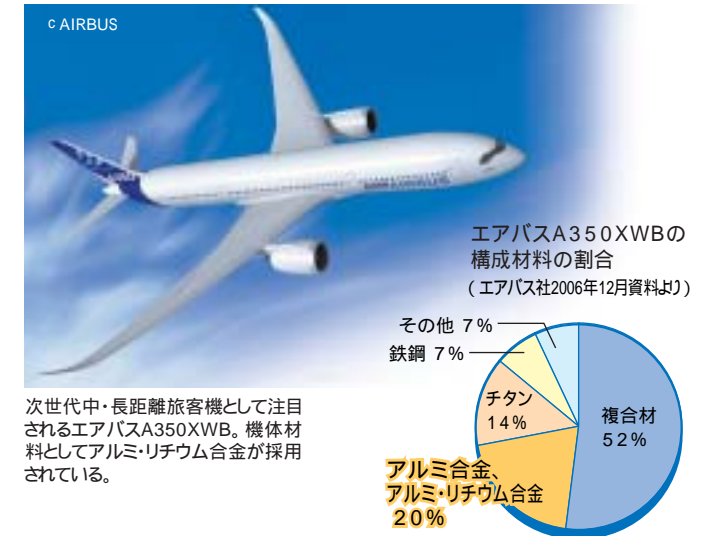
アルミ・リチウム合金の研究の歴史は意外に古く、すでに1920年代にはドイツで研究されていたそうです。本格的な研究が始まったのは1950年代以降のことで、このころアメリカや旧ソ連などで一部の戦闘機に使用されました。1970年代にはオイルショックがあり、航空機の性能向上と機体の軽量化が大きな課題となりました。これに応え、世界のアルミメーカーがアルミ・リチウム合金の開発を進め、旅客機などで試作評価が行われましたが、大量に使用されるまでには至りませんでした。

## 厳しかった実用化への道

アルミ・リチウム合金はすぐれた特徴を持っていながら、採用がなかなか進まなかった理由の一つには、一般のアルミ合金と同じような溶解・鋳造方法では製造が難しいという問題があったことがあります。

リチウムは活性な金属であり、水分や酸素と反応しやすいという特性を持っています。そのため、溶解・鋳造工程では酸素などを遮断した中で製造できるような特殊な技術や設備が必要であり、このため材料コストがどうしても高くなってしまいました。

このような問題を解決するため、今日まで世界の各アルミメーカーが製造技術の開発を進めてきました。日本でも1990年代初頭にアルミメーカー各社が協力して、製造技術、合金技術、評価技術に関する研究開発が行われました。また海外でも、それまで課題とされていた粘り強さ(靱性)や伸び、耐食性などを改善した合金の開発などが進められました。

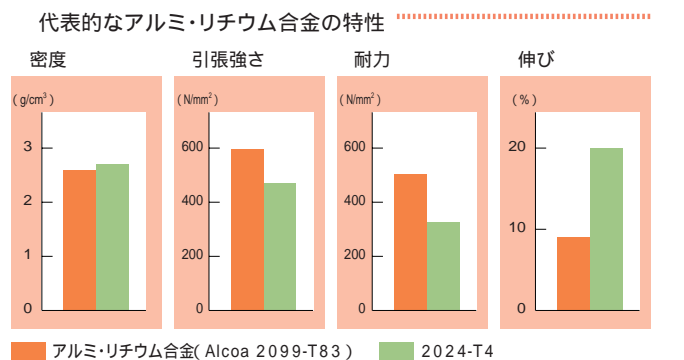


## 新しい軽量構造材としての期待

最近、新型航空機の開発が加速していますが、それに伴い、機体用の材料では新しい軽量材料の採用が盛んになり、アルミ・リチウム合金は有望な材料として期待されています。

たとえば、大型旅客機のエアバスA380では、フロアビームにアルミ・リチウム合金が採用され、重量軽減が図られました。また中・長距離旅客機として先ごろ生産が開始されたエアバスA350XWBでは、機体構造材料全体のうち、新素材(複合材料、アルミ・リチウム合金など)が60%以上を占めています。このアルミ・リチウム合金は、不純物を低く抑えることなどにより従来のアルミ合金に比べ耐疲労特性(繰返し応力に耐える強さ)を高めているそうです。

また、従来のアルミ合金の製造技術を応用して、今後、FSW接合やレーザー接合などの適用も可能になるといわれています。長年の研究開発を経て、ようやく日の目を見たアルミ・リチウム合金。その新しい歴史が、いま始まろうとしています。



アルミ  
ものづくり

Theme 1

鍛造

鍛えられて

アルミは強くなる



## 日本刀ならカナヅチでたたく。 アルミの場合は？

赤く熱した刀をカナヅチでカーンカーンとたたくと、強く  
て粘り強い日本刀ができます。このように金属はたたかれ  
ることによって、外からの力や衝撃に対して強くなります。

鍛造とは、アルミニウムなどの金属に圧力を加えて金属組織  
を強くし、同時に成形を行なう技術のことです。金属に圧力を  
加えると、金属内部にある結晶組織は細かく分解し、ち密で均一  
な組織となり、その結果、強く丈夫な結晶組織ができるのです。

鍛造によって作られるアルミ製品の例としては、航空機  
の部品、自動車の部品、そのほか強度や耐熱性が必要な機  
械部品などがあります。

## だんだんと製品の形ができていく 型鍛造

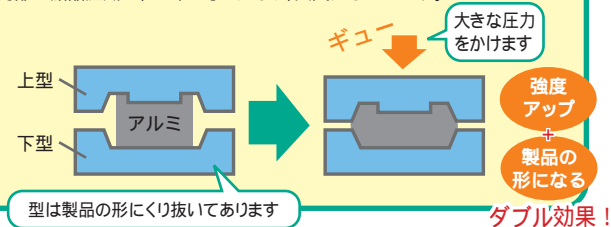
鍛造にもいろいろな方法がありますが、大きく分けると「自  
由鍛造」と「型鍛造」の2つがあります。このうち自由鍛造は、

材料に工具などで圧力を加えて成形する方法で、製品が大型の  
場合や生産量が少ない場合、加工用素材として用いられます。

一方、型鍛造は、製品の形状をくりぬいた金型を使用して、  
アルミニウムに圧力をかけながらだんだんと製品の形に成  
形していきます。最も一般的に行なわれている熱間型鍛造  
では、製品の大まかな形に鍛造する「荒型」から、細かな部  
分まで成形する「仕上げ型」まで、いくつかの金型を使って、  
段階的に成形していきます。この後、形を安定させるために  
熱処理を行ったり、切削などの仕上げ加工を施したりして、  
製品ができあがります。型鍛造は、同じ金型を繰り返し使う  
ことができるため、大量に生産する場合に適しています。

### 精密な形を作る型鍛造

型鍛造では、製品の形をくりぬいた上下の金型でアルミニウムに圧力を  
かけながら、製品の形に成形していきます。こうすることで、アルミニウム  
内部の結晶組織は、ち密で均一になり、丈夫になるのです。



日本最大! 圧力 15,000 トン!

鍛造で作られた  
液晶装置用部品

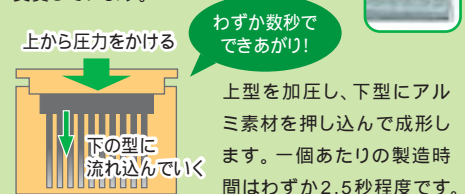


これは日本でいちばん大きいアル  
ミ熱間鍛造プレスで、加圧能力は  
アジア最大級、世界でもトップ10に  
ランクインするものです。このプレス  
では最大重量6トンの大型鍛造品  
が製造でき、航空機やロケット部品、  
半導体製造装置部品などが作られ  
ています。

(取材協力:古河スカイ(株))

超微細!  
最小肉厚なんと 0.23 mmの鍛造品

これはパソコンCPU用ヒートシンク(放熱  
器)に使われる超微細冷間鍛造品で、  
フィン高さ最大60mm、厚  
さ0.23mmという細かな  
成形を「冷間鍛造」で作っ  
ています。この鍛造技  
術は世界でも最も細  
かな製品ができ、  
平成17年度「現  
代の名工」表彰を  
受賞しています。



(取材協力:株)アルファ)

# A1 風が吹いた日 Epoch-making

華やぐ街に登場したアルミカーテンウォール

## 有楽町マリオン

1984年、東京・有楽町数寄屋橋到有楽町マリオンが誕生しました。  
アルミ製マリオンとガラスに覆われた半円塔形のビルは、銀座のいたるところから目に  
とまり、圧倒的な存在感で、瞬く間にこの街のランドマークとなりました。

### 流行、文化はここから花開く

日本のみならず、世界の一流ブランド店  
が軒を連ねる東京・銀座。この華やかな街  
の入口に位置するのが有楽町センタービ  
ル(通称、有楽町マリオン)です。2つの百  
貨店、5つの映画館、ホールなどが入り、さ  
まざまな文化や情報がここから発信されて  
います。



王冠のような形状の旧日劇  
(写真提供:東宝(株))

かつてこの  
地には、日劇 日  
本劇場 と朝日  
新聞社が並ん  
で建っていま  
した。日劇ダン  
シングチーム  
の華麗なレビュー  
を見たり、新着  
の洋画を鑑賞  
したり、あるい

は喫茶店でジャーナリスト達の会話に耳を  
傾けたり、新しい文化を求めて多くの人々  
が訪れました。この地は、戦後、昭和の大  
衆文化の中心的存在だったのです。し  
かしそんな場所も、周辺の高速度路や新  
幹線建設の影響や、建物の老朽化などか  
ら再開発が必要となりました。そこで新た  
に建設されたのが有楽町センタービルです。

### ファサードは 街の表情を映すスクリーン

1984年にオープンした有楽町センター  
ビルは、デザイン性の高い外観で注目をあ  
つめました。壁面はゆるやかにカーブし、こ  
れにアルミニウムの縦のラインが連続的に  
走っています。ゆるやかなカーブは、かつ  
て王冠のような形状をした日劇の外観イメ  
ジを受け継いでいます。そして縦に走るア

ルミニウムは、外装に採用されたアルミ製マ  
リオンです。

有楽町センタービルは、建物の顔となるファ  
サード(前面)を「街の表情を映すスクリーン」  
をイメージし、シャープな輝きを持つ、ガラス  
とアルミニウムが外装材に選ばれました。

建築構造上、荷重を負担しない壁のこと  
をカーテンウォールといいますが、とくにアル  
ミニウムを使用したカーテンウォールは気密性、  
耐食性などの機能性に優れるほか、表面  
処理によって美しい表現が可能のためビル  
外装に多用されています。カーテンウォール  
にはさまざまな工法がありますが、有楽町セ  
ンタービルはマリオン方式を採用しました。  
これはマリオン(方立)と呼ばれる部材を上  
下の床(または梁)の間に取り付けした後、そ  
こにガラスなどをはめ込む方法です。このビ  
ルが「有楽町マリオン」と呼ばれているのは、  
ここからきているのです。

有楽町マリオンには、総数5,540本もの  
マリオンが使用されました。延べ長さは  
25,910m、総重量は389トンにおよびます。  
材料は、長さが4,200mm、または5,600mm  
もある大型中空アルミ材材が使用されました。  
これほど大きな建材を一体成形するため、  
新たに9,500トンプレス大型押出機が使用  
されました。日本では初めてとなる中空大  
型アルミ建材の製造のため、開発時には試  
し押しと金型の修正が繰り返し行われ、所  
定の強度と寸法精度が確保されました。

### 街を彩る 新しいビル建築の幕開け

有楽町マリオンが登場する、1980年代  
半ばまでのビル建築は、強度や機能性を優  
先して設計されてきました。しかし都市開  
発がさかんになるにつれ、機能性だけでな  
く景観性や快適性が求められるようになり



空に向かって伸びるアルミ製マリオン。曲面と  
ラインが織り成す外観が、このビルの特徴である。

ました。有楽町マリオンはそのような流れを  
いち早く取り入れたビルでした。このビルの  
登場以降、1980年代後半～1990年代には、  
都市に Fitzgerald とアルミニウムの素材感を  
生かしたビルがあらわれ、デザイン性の高  
いビルが街を彩るようになりました。

現在、有楽町マリオンは誕生からすで  
に20年以上の年月が経過していますが、その  
印象は少しも古さを感じさせません。ガラ  
スとアルミ製マリオンというシンプルな外装  
は耐久性が高く、またメンテナンスも容易  
です。通常は10年で補修工事等が行なわれ  
ますが、有楽町マリオンは状態が良好だっ  
たため20年経ってから工事が行なわれまし  
た。時代をリードしてきた有楽町マリオン  
は、この街の華やかなにぎわい、時の流れ  
、それらを映しながら、今日も街のシンボ  
ルとして輝き続けています。

[取材協力](株)竹中工務店



有楽町センタービル(有楽町マリオン)

東京千代田区有楽町2-5-1  
施主:(株)朝日新聞社、東宝(株)、松竹(株)  
設計施工:(株)竹中工務店



蔵王温泉の泉質は、酸性含鉄硫黄アルミニウム硫酸塩塩化物温泉(含硫化水素強酸性明礬緑礬泉)。ミョウバンとは、アルミニウム、クロム、鉄などの三価金属の硫酸塩と、カリウム、アンモニウム、ナトリウムなどの一価イオンの硫酸塩とが化合した複塩の総称。硫酸アルミニウムと硫酸カリウムとが化合したもの(AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>・12H<sub>2</sub>O)が一般的。古くから多様な用途に用いられてきた。英名はAlum。アルミニウムの語源はここからきている。

写真提供: 源七露天の湯  
(山形県山形市蔵王温泉  
荒敷862-1)

傷を癒すやさしい湯

みょうばん せん

## 明礬泉

うずたかく雪が降り積もった山あいには白い湯煙がたちこめる

湯に身を浸すところばった身体がほどけていく

頬に落ちる冷たい雪が心地よい

雪景色を眺めながら味わうあたたかい湯

この国が知る極上のひとときである

蔵王温泉は日本の代表的な含アルミニウム泉(明礬泉)の一つである

アルミニウムと硫酸イオンを含む明礬泉は

皮膚の粘膜をひき締める効果があるという

とくにきり傷ややけど、慢性皮膚病に良いことから、

蔵王温泉は「子どもが丈夫に育つ湯」「美肌の湯」として人気が高い

この地で生まれた歌人、斎藤茂吉はこの温泉について歌を残している

酸き湯に身はかなしくも浸りゐて空にかがやく光を見たり(大正二年詠)

身体だけでなく、心の傷も癒そうとしたのだろうか

ひとときわ雪深いこの地に湧く湯は、傷を癒すやさしさに満ちている

はかなく湯に消えた雪のかわりか、湯面には白い湯の花が咲いている