

アルミニウム

No.145

1999.6

日本アルミニウム協会

未知の世界に挑む

国際宇宙ステーション計画

果てしなく広がる宇宙。大いなるロマンとともに、人類はこれまで最先端のテクノロジーを駆使して宇宙開発を進めてきました。人類初の月着陸から今年で30年。現在、国際協力による国際宇宙ステーション計画が進行中です。そして日本の製作する実験モジュール「きぼう」では、アルミニウムが重要な役割を担っています。人とアルミニウムとの未知へのチャレンジ。新世紀の可能性に向けて、秒読みはすでに始まっているのです。



日本初の有人宇宙ステーションを支えるアルミニウム

宇宙開発の一大プロジェクトで日本が担う役割

地球上から約400kmの宇宙空間に、サッカーフィールドほどもある大きな物体が浮かんでいる。こんな光景が、あと数年で現実のものになるとしています。

国際宇宙ステーション。この宇宙開発の一大プロジェクトは世界の各国がそれぞれの持つ最新技術を結集して、国際協力のもと一つの「国境のない場所」を建設するという人類初の試みです。ステーションには、日本、アメリカ、ヨーロッパ、ロシアの実験用モジュール、アメリカの居住用モジュール、ロシアのサービスモジュールなどが結合されます。

日本の実験モジュールは「きぼう」と呼ばれ、与圧部、曝露部、補給部、マニピュレータから構成されています。このうち与圧部は宇宙飛行士が活動できる、日本にとって初めての有人宇宙施設です。ここでは、微小重力、高真空という宇宙の特殊な環境を利用した実験、観測が長期間にわたって行われます。

「きぼう」の開発が始まったのは1990(平成2)年。その後、エンジニアリングモデルの製作・試験を行い、それをもとにフライトモデル(当初の名称はJEM)の製作が開始しています。なかでも、補給部与圧区は2002年10月、与圧部は2003年1月にアメリカのスペースシャトルで宇宙空間に打ち上げられる予定で、現在、主構造の

組み立てがインテグレーターである三菱重工業(株)の飛島工場で行われています。宇宙ステーションがどのように作られているかを見るため、現場を訪れることにしました。

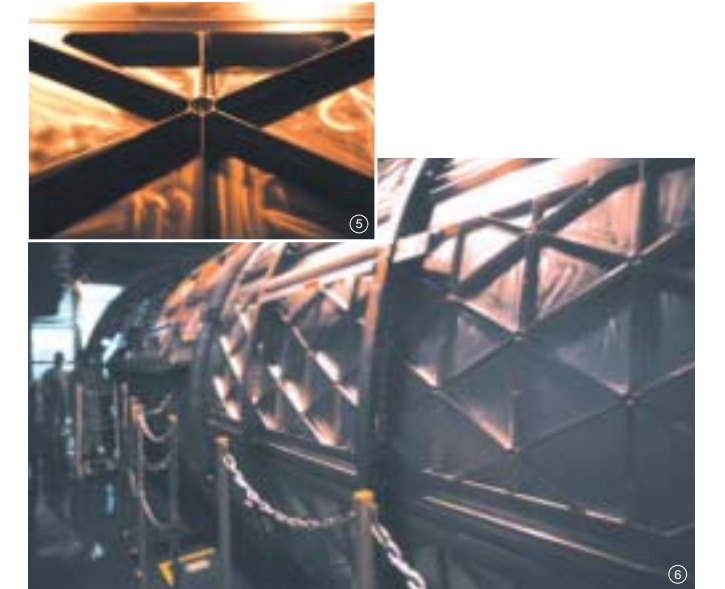
実験モジュールの主構造を構成するアルミニウム

工場の一角にもものしく設えられたクリーンルーム。その中にアルミニウムでできた大きな構造物が横たわっています。これが「きぼう」の中心の構成要素である与圧部です。

与圧部は直径4.2m、長さ11.2mの円筒形をしており、この中に実験装置や、設備の維持に必要なシステム機器が搭載されます。室内は地球上と同様な空気組成、1気圧、温度や湿度に保たれ、通常2名(最大4名)の宇宙飛行士が軽装で作業を行うことができます。

この主構造(外殻構造)はすべてアルミ製。強度が高く、溶接性にすぐれた2219合金が使用されています。強度、剛性を保つため、材料のアルミ板それぞれの表面は、連続した三角形の「アイソグリッド構造」に機械加工され、板金加工後にTIG溶接などで円筒形にされます。軽量化のために削られた部分は、スペースデブリ(宇宙ゴミ)の衝突からできるかぎりの安全性を確保するために、最小で4.8mmの板厚となっています。

円筒の端の部分はコーンと呼ばれ、他の構成要素と与圧部をつないでいます。ここには、宇宙飛行士の通路や、マニピュレータへのバルブ、電気コネクタ、窓などがついています。ここにはアルミ鍛造品が使われていますが、元の厚さ180mmから曲面に削って、最終的にはわずか6mm以下、しかもきわめて高い平面度に仕上げられています。

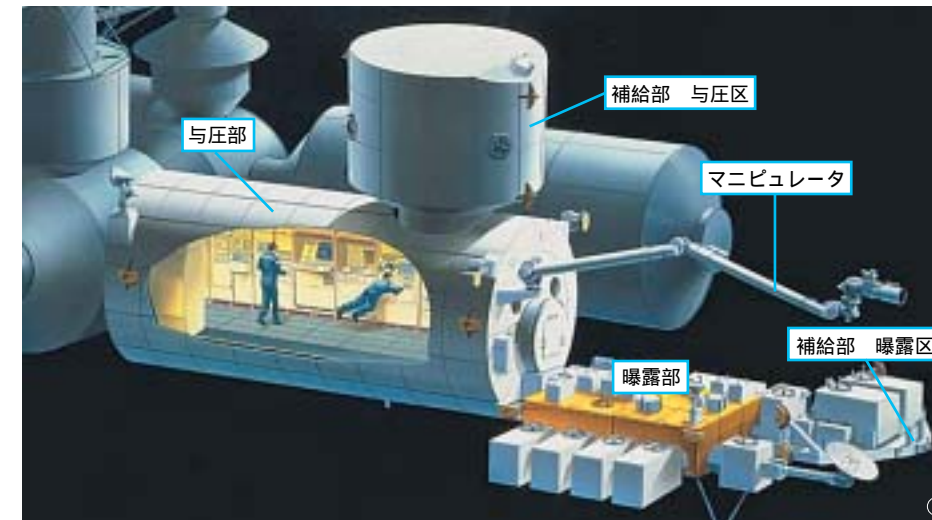


与圧部の組み立て作業は大きなクリーンルームの中で進められている。(三菱重工業(株)飛島工場)



電気コネクタや各種バルブ、ガラス窓などが付けられる後方コーン。直径4mにも及ぶアルミ鍛造品を削り出して作られた。

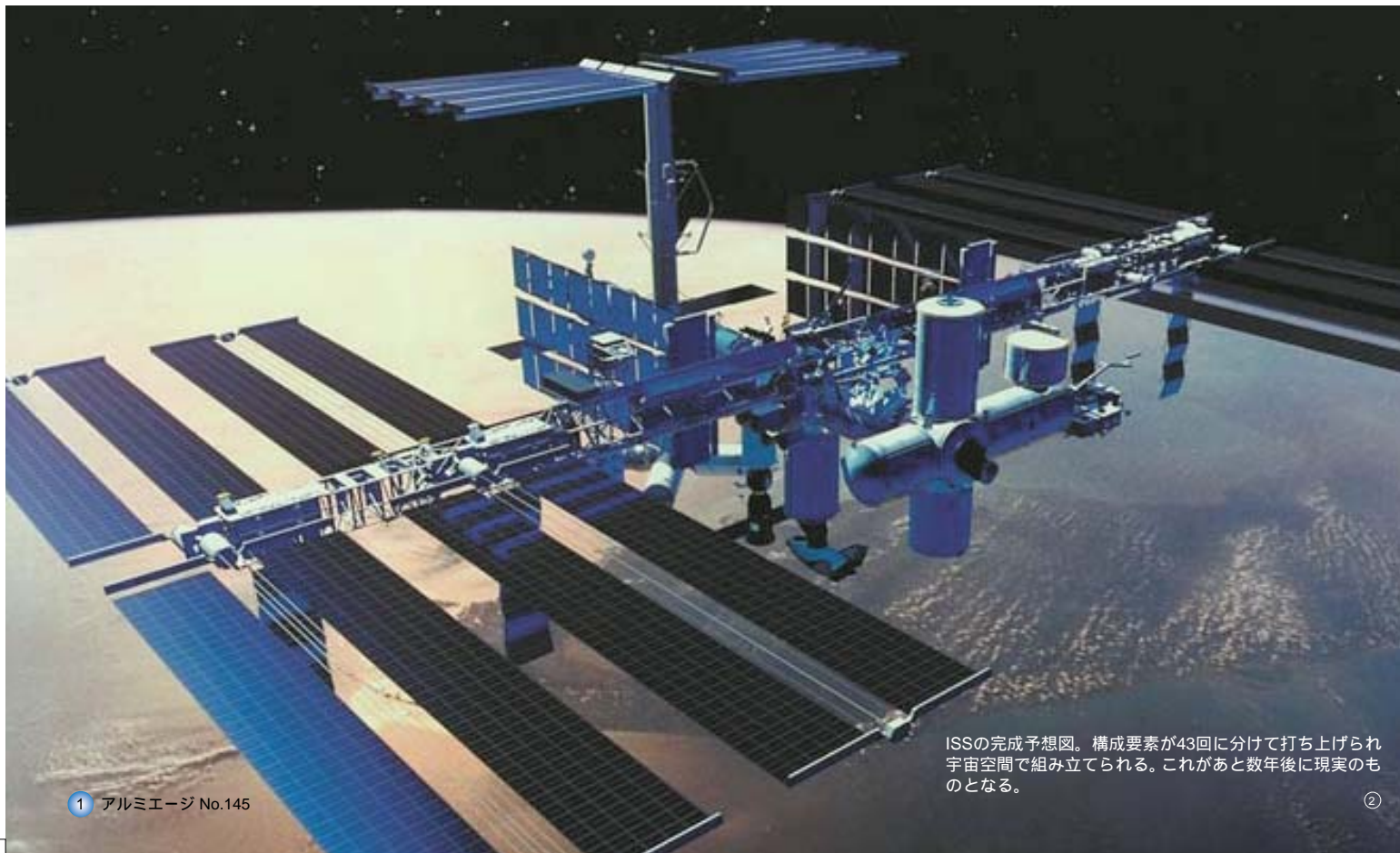
主構造の円筒部は最小板厚4.8mmで、アルミ板の外側表面は三角形が連続する「アイソグリッド構造」となっている。縦方向に付いているのはアルミ押出型材の中間フレーム、横方向はアルミ鍛造棒のロンジェロン。



日本の担当する「きぼう」。いちばん大きいのが与圧部で、人間が活動できる環境にコントロールされる。

アイソグリッド構造

アルミ製の主構造を軽量化し搭載物を多く積むため、アルミ板の表面に、剛性を持つリブ(梁)の部分を残して他を削り取った構造のこと。日本では、昭和40年代からロケット機体に採用され始めた。グリッド(格子)の形状は正三角形が基本である。リブ面はロケットでは通常内側にあるが、「きぼう」では外側であり、これは宇宙飛行士が室内から構造部を容易に検査できるようにするためである。



ISSの完成予想図。構成要素が43回に分けて打ち上げられ宇宙空間で組み立てられる。これがあと数年後に現実のものとなる。

国際宇宙ステーション ISS (International Space Station)

1984年にアメリカのレーガン大統領の提唱によって開始した、宇宙開発の国際プロジェクト。宇宙空間を利用して地球や天体の観測、さまざまな実験や研究を行い、科学や技術の進歩に役立てることを目的としている。アメリカ、日本、カナダ、ヨーロッパ各国、ロシアが協力し、構成要素の製作、打ち上げ、宇宙空間での組み立て、運用を行う。1998年11月、ロシアのザーリヤ(与圧部)が最初に打ち上げられ、これを含め全部で43の構成要素の打ち上げを行い、2004年に宇宙での組み立てが完了する。完成後は10年間以上使用する予定である。

「きぼう」で予定されている実験・観測

- 微小重力利用研究(新材料の開発、生命とのかかわりを調べるライフサイエンス系実験など)
- 有人宇宙技術研究(人の生態機能、精神面の適応性を解明し、宇宙生活の安全性、快適性を追求する研究)
- 理工学研究(宇宙輸送技術、ロボット技術、通信技術、エネルギー、構造物などの研究)

ISSのおもな仕様

寸法	約110m x 約75m
重量	約415トン
与圧モジュール	合計容積1,140m ³ (大型旅客機2機分に相当) 居住モジュール2棟、実験モジュール6棟
常時滞在搭乗員	7名(組み立て期間中は3名)
軌道	円軌道(高度330km~480km、軌道傾斜角51.6°)

「きぼう」のおもな仕様

寸法(m)	与圧部	補給部		曝露部	マニピュレータ
		与圧区	曝露区		
外径 4.4	外径 4.4	幅 4.9	幅 5.0	親アーム長さ 9.9	子アーム長さ 1.7
内径 4.2	内径 4.2	高さ 2.0	高さ 4.0		
長さ 11.2	長さ 3.9	長さ 4.2	長さ 5.2		
重量(トン)	15.9	4.2	1.1	4.0	1.6
搭乗員	通常2名、時間制限付きで最大4名(居住施設は米国モジュールに依存)				



1997年に日本人初の船外活動を行った土井宇宙飛行士。21世紀には、宇宙を舞台に人間が活躍する時代が到来することだろう。

隕石や宇宙ゴミから主構造部を守るアルミバンパー

主構造の外側表面は、宇宙空間での激しい温度変化の影響を防ぐためのMLI(多層断熱材)で覆われます。その外に、宇宙空間の隕石やデブリなどの衝突から主構造部を守るためのアルミ製バンパーパネル(約1m角のアルミ板)が全体に取り付けられます。万一、それらが衝突して損傷しても、その部分のパネルだけを取り替えればよいようになっています。また進行方向のバンパーの内側には、補強材として、メッシュ状のアルミニウムとセラミックス繊維、アラミド繊維を積層したものが取り付けられます。このほか、輸送時にスペースシャトルにつなぐロンジェロン(アルミ鍛造棒)や、中間フレーム(アルミ押出型材)などにもアルミニウムが使われています。

室内は現在、内装作業中であり、10体の実験ラックが取り付けられますが、この構造体や配線類もほとんどがアルミニウムで作られています。ここで、無重力空間に浮かぶ宇宙飛行士が最先端の実験を行うかと思うと、いまから楽しみです。



縦2m、横1mのアルミ製実験ラック。与圧部には合計10体が搭載され、なかには材料実験用温度勾配炉などが設置される。



◀与圧部の内装作業。壁面は実験ラックの据付を考慮しフラットになっている。

日本初の有人宇宙ステーションを完成するために

「きぼう」は、日本では初の有人宇宙ステーションであるため、組み立てにあたってはこれまで以上に慎重に作業が行われています。たとえば主構造は直径4mというきわめて大きなアルミ溶接構造物であり、内部の空気が外に漏れるようなことがないように、溶接部には念入りなX線検査が実施されます。また、表面のアイソグリッド構造の切削作業では、リブ部の鋭利な部分(シャープエッジ)を手作業でなめらかに削っています。これは、宇宙飛行士が船外活動をする際、宇宙服を誤って傷つけたりすることがないようにするためです。また重要な構造部分については、破壊管理と呼ばれる手法を用いて品質管理を行っています。さらに、船体に使われるすべての部品は、製造時から個別にナンバーが付けられ、組み立て後もその履歴がわかるように管理されています。

開発開始から、約10年の月日を経てまもなく打ち上げられようとしている「きぼう」。開発や製作に携わった多くの関係者をはじめ、宇宙開発の可能性を信じる多くの人々に見守られて、「きぼう」は打ち上げの時を待っているように見えました。



主構造の組み立てを終了した補給部と与圧区。アイソグリッド構造の壁面の外側にさらにアルミ製バンパーが付けられる。



人工衛星を守るH-IIAロケットのアルミ製フェアリング

2トンの打ち上げ能力を持つH-IIA

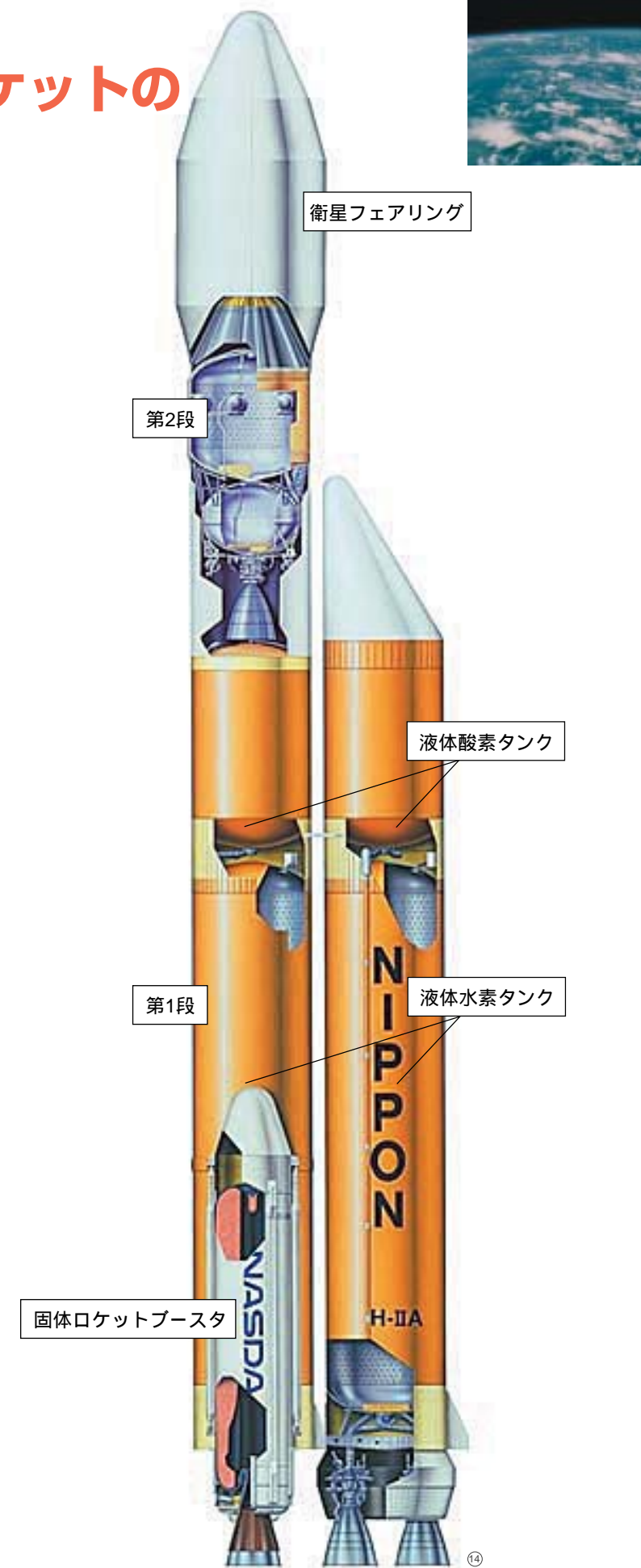
一瞬にして広がる煙の中から、見守る人々の期待を受けて、青空にまっすぐ飛んでいくロケット。地球上から宇宙空間への輸送手段であるロケットは、打ち上げ能力の向上を目指して、各国が独自の開発を進めてきました。日本では、昭和40年代から本格的なロケットの開発が行われ、数々の試みを経て、1994(平成6)年に1号機が打ち上げられたH-IIロケットは初めて純国産技術で作られたものでした。そして、2000(平成12)年2月、これまでの成果を生かし、さらに高い信頼性と低コスト化を目指して、新しく開発されたH-IIAロケットが打ち上げられようとしています。

この機体の主材料がアルミニウムです。中央のロケット本体は下から第1段、第2段、衛星フェアリングという構成になっており、第1段と2段にはエンジン、燃料タンクが一体化されています。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構造となっています。また本体の左右には固体ロケットブースタが付いていますが、さらに打ち上げ能力を向上させるため、必要に応じて液体ロケットブースタなどが取り付けられます。

そして先端部には人工衛星(静止衛星約2トン級)が搭載されますが、これを保護する大切な役割を果たすのが衛星フェアリングで、ちょうど2枚貝のような形状をしています。打ち上げ後にロケットの先端が左右にわかれて分離する場面をご存知の方も多いと思いますが、この部分がアルミハニカムパネルで作られているのです。



H-IIロケットはそれまでの日本のロケット開発技術の粋を集め、純国産ロケット第一号として打ち上げられた。



H-IIA(増強型)の構造。全長53m、重量407トン(人工衛星含まず)、約4トンの静止衛星の打ち上げ能力を持ち、液体ロケットブースタの追加装備により、さらに大型の静止衛星に対応する発展性を持っている。



大振動、高温、圧力。すべてに耐える260秒。

ロケットが打ち上げ後にさらされる環境は、想像以上に過酷なものです。H-ロケットの場合、打ち上げ時の音響は150デシベル、さらに1分もしないうちに速度は約マッハ1に達し、衝撃波及び空気の渦によって音響は160デシベルにも達します。航空機の爆音でさえ130デシベル程度といえますから、これをはるかにしのぐさまじさです。速度はここからさらに上がり最高でマッハ5(極超音速)程度まで達します。また空気抵抗による圧力(動圧)は打ち上げから約55秒後で最大5トン/m²となり、約220秒後には先端(断熱材部分)の表面温度が400℃近くまで上昇します。

この環境から人工衛星を守るフェアリングは、剛性、耐熱性、軽さなどを兼ね備えなければならず、そこに採用されたのがアルミハニカムパネルでした。H-Aロケットでは、厚さ40mmの蜂の巣状のハニカムコアを、厚さ0.4mmのアルミ板2枚ではさんで接着したものが採用されています。これを表面処理した後、アルミ押出型材のフレームを付け、断熱材を塗布します。

パネルの継ぎ目部分には、アルミ製ハウジングに覆われて線状の火薬が納まっており、所定の高度に達すると一瞬のうちに作動し、継ぎ目が分離する仕組みとなっています。打ち上げから分離するまでの所要時間はわずかに約260秒。この短い時間で衛星フェアリングの役割は終わります。

このほかに使われているアルミニウムとしては、ロケット先端部(へら絞り成形品)やパネル継手(アルミ鍛造品)、フェアリング内部の人工衛星搭載アダプター(CFRP+アルミハニカムコアのサンドイッチパネル)などがあります。

日本の先端技術が集結されたH-Aロケットは、今後需要の高まる人工衛星の打ち上げや、国際宇宙ステーションへの補給などの輸送手段として、その活躍が期待されます。



◀フェアリングに使われるハニカムコアは厚さ40mm。上にあるのはドア用のハニカムコア。スキン材との接着部には超音波検査が行われる。



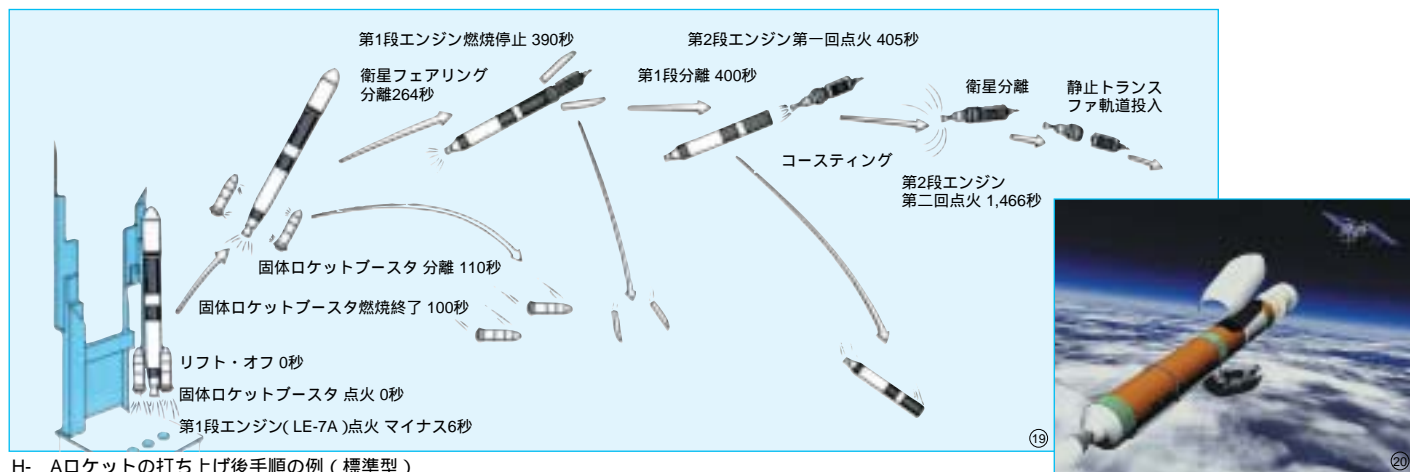
パネル周囲にはアルミ押出型材のフレームが付けられる。



組み立て中のフェアリング。わずか260秒の寿命とはいえ、厳しい品質チェックのもとに作業が進められる。(川崎重工業(株)岐阜工場)。



フェアリングの分離試験のようす。分離時中の人工衛星などを傷つけないように、フェアリングは2つにきれいに割れる必要がある。



H-Aロケットの打ち上げ後手順の例(標準型)

フェアリング分離のようす(イメージ図)

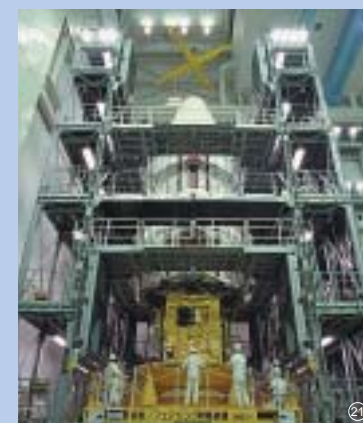
人工衛星の熱対策に役立つアルミ製品

人工衛星は、小さい構体の中に多くのエレクトロニクス機器が搭載されているため、機器からの発熱を効率よく処理する対策が求められています。しかし宇宙空間には空気がなく、地球上のように空気の対流によって熱を逃がすことができないため、機器から直接熱を吸収、移動させ、構体内の温度を均一に保つことが必要です。ここで重要な役割を果たすのが、熱を伝えやすく、軽量で加工が容易なアルミニウムです。

機器を搭載するプラットフォーム(構造体)にはアルミハニカム材が使われていますが、ここにアルミ製のヒートパイプ*を埋め込んで熱を機器の外部に伝えます。また機器の接触面に直接アルミ板を取り付けて、熱を逃がすものもあります。

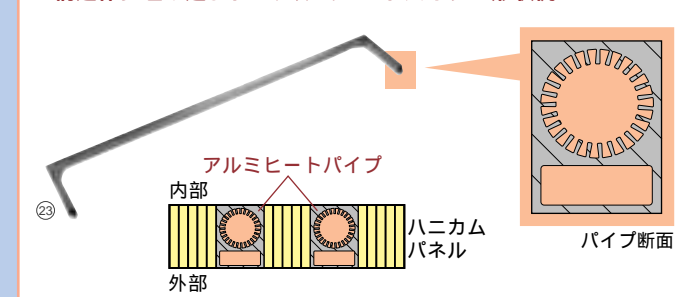
一方、構体と宇宙空間を熱的に遮断するために使われるのがアルミ蒸着フィルムです。これは外側にフィルム層、内側にアルミ層の構造を持つフィルムが何層か積層された構造となっており、アルミ層は内部からの熱を反射し、同時に外からの熱も反射する役割を果たしています。宇宙空間は、太陽光のあたっている部分は120℃、陰はマイナス150℃という極端な温度変化があるため、ここから構体を守るためにも、このフィルムは重要な役割を果たしています。

*ヒートパイプ 密閉した細い管の中にアンモニアなどの作動液を少量真空封入したもの。パイプの一端が加熱されると作動液が蒸発して気体となり、これが別の端に移動して再び液体となるという連続した変化により熱を送る。



アルミ蒸着フィルムが取り付けられた人工衛星「かけはし」。金色に光って見えるのがフィルム部分で、ポリエステルやポリイミドなどが使われる。

構造体に埋め込まれるアルミヒートパイプの形状例



宇宙開発を支える信頼性の高い材料、アルミニウム

ロケットなどでは、アルミニウムはこれまで最も多く使われてきた材料の一つです。これは、地上から宇宙空間への輸送を効率よく行うためにはまず軽量であることが求められるからです。同時に、十分な強度や剛性がある、成形、切削、溶接などがしやすい、入手しやすいなどのメリットから、アルミニウムは信頼性の高い構造材料としてすでに多く使用されています。材質としては、超ジュラルミン(2024合金)、超々ジュラルミン(7075合金)が多く、板材、押出材、鍛造品などがあります。またアルミハニカム材は、日本では昭和30年代のカップロケットの時代から使用されています。

構造材としては他に、アルミ・リチウム合金やCFRP(炭素繊維強化プラスチック)などが使われています。このうちアルミ・リチウム合金は、1998年、アメリカのスペースシャトル「ディスカバリー」の外部タンクに初めて採用され、大幅な軽量化と強度の向上を果たし、今後もロケットのタンク材料などへの採用が期待されます。またCFRPは、サンドイッチパネルのスキン材(コアはアルミハニカム材)として、人工衛星などの構造材に多く使われています。



1998年のスペースシャトル「ディスカバリー」では、ロケット燃料タンクに初めてアルミ・リチウム合金が採用された。

本格的な宇宙利用時代の到来

宇宙利用は、通信や放送、気象観測などを中心に、今後ますます広がる事が予想されます。そしてこれを可能にするため、現在開発が行われているのが、宇宙往還技術試験機HOPE-Xです。この機体では主構造にはアルミ合金を用い、先端部にカーボン複合材、これに断熱材としてセラミックタイルなどを使用する計画となっています。日本版スペースシャトルともいべきこの試験機は、宇宙輸送コストの低減を可能とする再使用型宇宙輸送機で、2000年代初頭の飛行を目標に開発が進められています。

このほか日本では、各種の宇宙利用実験や、月や火星の探査などの計画も進行しています。宇宙に向け、アルミニウムの進歩とともに、人類はいま新しいステージに踏み出そうとしているのです。



HOPE-Xの想像図。主構造はアルミ製で、表面に断熱材が付けられる。すでに大気圏再突入、極超音速飛行、自動着陸の各技術を実証するため、小型実験機を用いた飛行実験も行われ、2000年代初頭の飛行を目指している。

取材協力、写真提供
NASA、宇宙開発事業団、三菱重工業(株)、川崎重工業(株)、日本電気(株)

自動車スペースフレーム構造に対応
オールポジションハイスピードMIG溶接

自動車軽量化・アルミ化およびアルミニウム需要開発を推進する接合新技術「オールポジションハイスピードMIG溶接」が実用化されました。アルミニウム溶接の中でも汎用性の高いMIG溶接は広く採用されていますが、アルミニウムスペースフレーム構造においては、高速化・全方向溶接という非常に高度な生産技術の実用化が求められていました。この課題を克服したのが新溶接技術で、これにより自動車メーカーなどユーザーの工数低減、生産における効率向上に貢献する実用技術が可能となりました。

[資料提供：日本軽金属(株)]



使い易さがいっそう向上
家庭用アルミホイール

家庭の台所になくはないアルミホイールに、さらに使いやすさを高めた製品が登場しました。特長は、まずホイールの強度がアップし、箔厚を薄くして、使用後のゴミを約20%減量することができます。また分別不要の紙製のノコ刃をフタ側に付けたので、カットがスムーズになり巻き戻りがしにくくなりました。端止めはこれまでの糊からシールに変わり、一周目からむだなく使えて経済的です。箱にも工夫があり、ロールの左右に付けたロールストップバーや、フタがしっかりしめるフラップも好評です。

[資料提供：三菱アルミニウム(株)]



多彩なバリエーション
アルミカーポートシリーズ

基本、合掌、広幅拡張合掌、直列2連棟の4タイプをそろえたアルミカーポートシリーズが、手ごろな価格とカースペースに合わせた設置ができること好評を博しています。各タイプともに屋根材としてアクリルとポリカーボネートが揃い、好みに応じて選ぶことができます。またオプションとして、側面からの吹込みを防ぐサイドパネルや、強度を高めるサポートが用意されており、しっかりとした構造を実現します。色合いはブロンズとマイルドブラックの2種類で、幅広いニーズに対応します。

[資料提供：昭和アルミニウム(株)]



ハイブリッド構造が作る開放的空間
若狭たかまエルどらんど

今年夏オープンする、地域との共生共感を目指したアミューズメント型複合施設「若狭たかまエルどらんど」。この中心となるのがアルミシステムトラスによる切妻式大屋根の熱帯植物園です。妻壁には張弦構造による格子型のアルミサッシのガラスカーテンウォールが採用され、アルミシステムトラスとの併用が試みられました。張弦ロッドがトラスのボールジョイントから張られたシンプルな構造は、大空間に対するラインの細さを強調し、透明感を高めた光あふれる魅力的な空間を演出しています。

設計：(株)ニュージェック
監理：関西電力(株)土木建築室

[資料提供：住友軽金属工業(株)]



遠赤外線高放射材で高速乾燥
高速遠赤外線乾燥機

さまざまな製品の生産工程において、樹脂、塗料、インクなどの乾燥や硬化時間の短縮は、生産性向上や省エネに有効な手段となっています。このたび、遠赤外線を高放射するアルミ合金を使用したヒータと熱風の組み合わせにより、高速乾燥を実現する画期的な乾燥機が開発されました。この乾燥機は、従来の熱風式乾燥機に比べ、消費電力は約1/2以下、乾燥時間は約1/6以下、炉の長さは約1/2以下にできるほか、電熱を利用するため排ガス、廃熱の発生源もなく、クリーンな加熱を実現します。

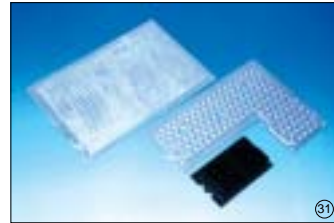
[資料提供：スカイアルミニウム(株)
富士科学器械(株)]



半導体の発熱を効率よく逃がす
平板型放熱器

工作機械のモーター制御が高速化、精密化するにしたがって、駆動用の半導体が制御基板に組み込まれることが多くなり、その熱の排出が課題となっています。平板型放熱器は、半導体素子での発熱を平板型のヒートパイプを介して外気フィンに放熱する放熱器です。平板型のため薄いので、基板の実装に合わせて放熱器を装着でき、制御筐体のレイアウトを薄くできます。また、半導体や放熱ヒートシンクを面接合できるため、小容量から大容量までさまざまな形状が可能であり、設計の自由度が増大します。

[資料提供：古河電気工業(株)]



明石海峡大橋を安全に守る
点検補修用作業車

明石海峡大橋は海上の高所にあり、桁上は自動車、桁下は船舶が往来します。このような厳しい環境下での橋梁の維持管理は、作業効率と安全性の向上が不可欠ですが、ここで活躍している点検補修用作業車にアルミ押出型材が使用されています。車体の主要部分にはアルミ合金が使用され、耐久性の向上と自重の軽減を図っています。橋体の下面の両側面を取り囲んで走行するU字型の作業車が、移動しながら補修塗装、部材の点検などを安全、確実、迅速に行っています。

[資料提供：(株)神戸製鋼所]

