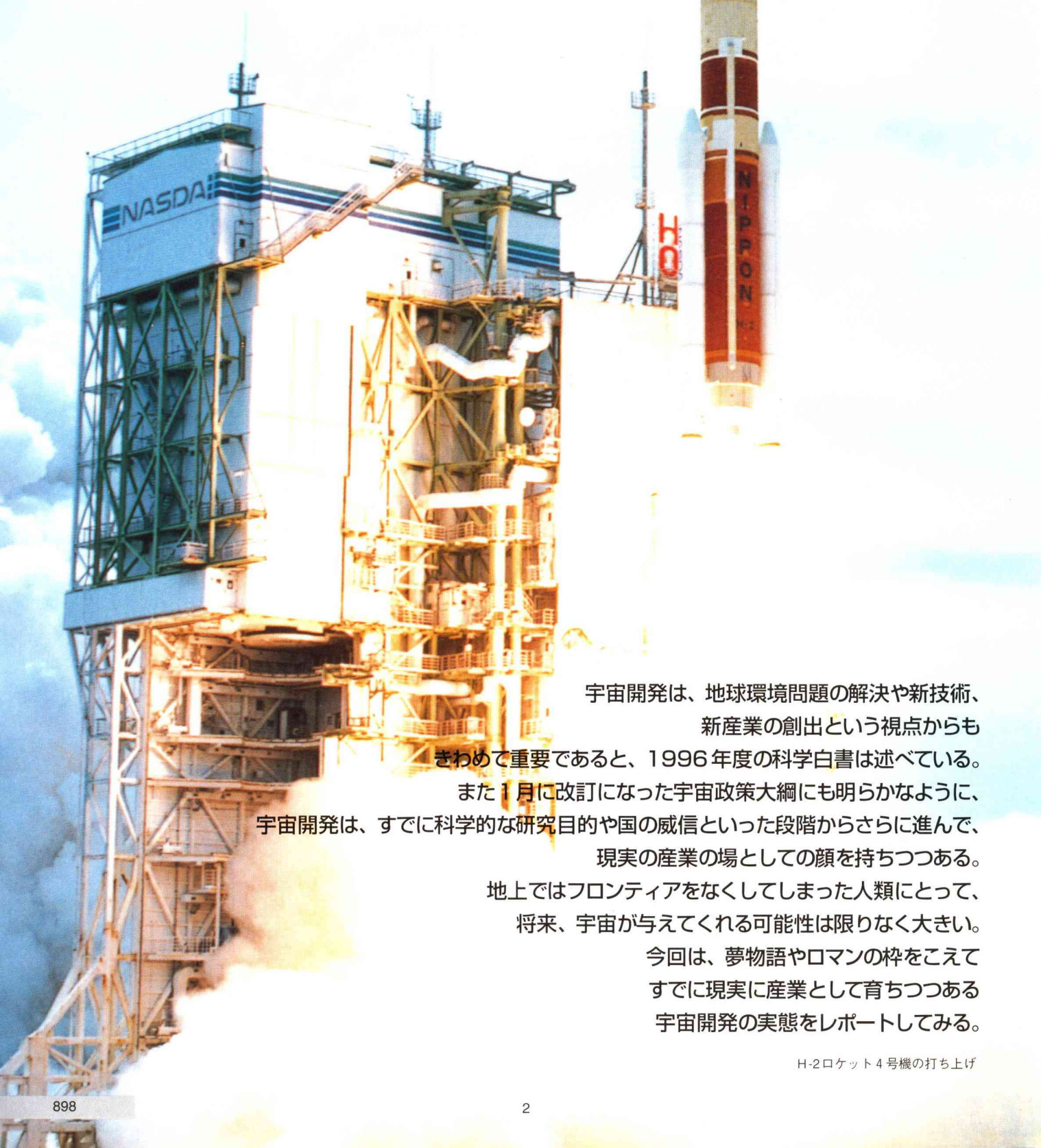


IRON & STEEL

宇宙に挑む



宇宙開発は、地球環境問題の解決や新技術、
新産業の創出という視点からも
きわめて重要であると、1996年度の科学白書は述べている。
また1月に改訂になった宇宙政策大綱にも明らかなように、
宇宙開発は、すでに科学的な研究目的や国の威信といった段階からさらに進んで、
現実の産業の場としての顔を持ちつつある。
地上ではフロンティアをなくしてしまった人類にとって、
将来、宇宙が与えてくれる可能性は限りなく大きい。
今回は、夢物語やロマンの枠をこえて
すでに現実に産業として育ちつつある
宇宙開発の実態をレポートしてみる。

H-2ロケット4号機の打ち上げ

国際宇宙ステーション参加を焦点に 世界のトップレベルに迫る日本の宇宙開発

日米欧露加の国際共同プロジェクトとして、国際宇宙ステーション建設がいよいよ始まろうとしている。最初の機材打ち上げは来年度にも行われる予定という。ステーションには日本独自の実験モジュールが接続され、完成すれば、2人の宇宙飛行士が常駐できるようになる。物資の補給と回収のための日本版無人シャトルの開発も順調に進んでいる。日本でもいよいよ本格的な宇宙時代への軌跡が見え始めているようである。

'94年、日本は世界トップクラスのロケットを手にした

1996年1月24日、総理府・宇宙開発委員会は、前年より先送りになってきた新しい「宇宙開発政策大綱」を発表した。21世紀へ向けての方向性が盛り込まれた、日本の宇宙開発の指標となる大綱である。前回の84年の改訂では、国産技術によるロケットの必要性や独自の有人宇宙活動の必要性などが唱えられ、純国産H-2ロケット開発着手や日本人宇宙飛行士の育成といった物語へとつながった。

今回の「宇宙政策大綱」改訂では、それらを引き継ぐとともに、国際宇宙ステーションを利用した有人宇宙活動や宇宙インフラストラクチャーの開発、将来の月面利用を視野に入れた月探査計画など、より具体的ともいえる宇宙空間の開発・利用への姿勢が示されている。

宇宙開発といえば、その初期から長きにわたって米露2国の独占が続いてきた。しかしここへ来て、日本や欧州（ESA：欧州宇宙機関）、さらには中国などがそれぞれに力をつけてきている。

将来宇宙開発が産業として成立するためには、地上と宇宙空間とをつなぐ交通インフラが不可欠となる。日本は1992年のH-2打ち上げ成功によって、そのボーダーラインをクリアした。

将来の商業利用に対応できるフレキシビリティ

H-2は2段式・液体水素酸素エンジンと現状2基の固体燃料ブースターを備え、大型衛星の打ち上げが可能な性能を持つ。打ち上げ能力は静止軌道で2トン、低軌道で10トン。この数字はH-2同様に商業用利用が可能なESAのアリアンⅣ（静止軌道2.2トン、低軌道9.5トン）や、米国のタイタンⅢ（静止軌道2.5トン、低軌道12.5トン）などと肩を並べるものである。将来ロケットの商業利用が多頻度化した場合にも十分に競合できるだけの性能をH-2は備えていると考えられるだろう。

96年現在、H-2ロケットはすでに試験段階を終了し、実用へ向けて、いっそうの改良を目指している。今後しばらくは、約190億円ともいわれる打ち上げコストをどう軽減させていくかがひとつの焦点となってくると考えられる。コストによって

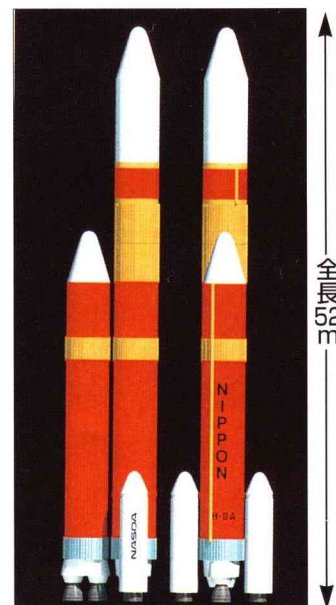
商業ベースでの競争力に差が出るからである。

そうしたコスト面と、将来的な打ち上げ能力の向上を視野に入れて開発されているのがH-2Aといわれる発展型である。標準機体コンフィギュレーション（メインエンジン+ブースター2基）で静止軌道約2.2トン、液体ロケットブースターを追加装備することで静止軌道約3.3トン（静止3トン級）、低軌道約14トンの打ち上げ能力を発揮する。さらにその先には、液体ロケットブースターを2基装備した静止4トン級のものも準備が進められている。日本版スペース・シャトルといわれるHOPE-Xも、この発展型H-2Aを使って打ち上げられる予定である。

国際宇宙ステーション参加へ向けて

今年96年の宇宙政策大綱改訂でも力点が置かれていたもののひとつに国際宇宙ステーションを舞台とする宇宙環境利用の研究がある。

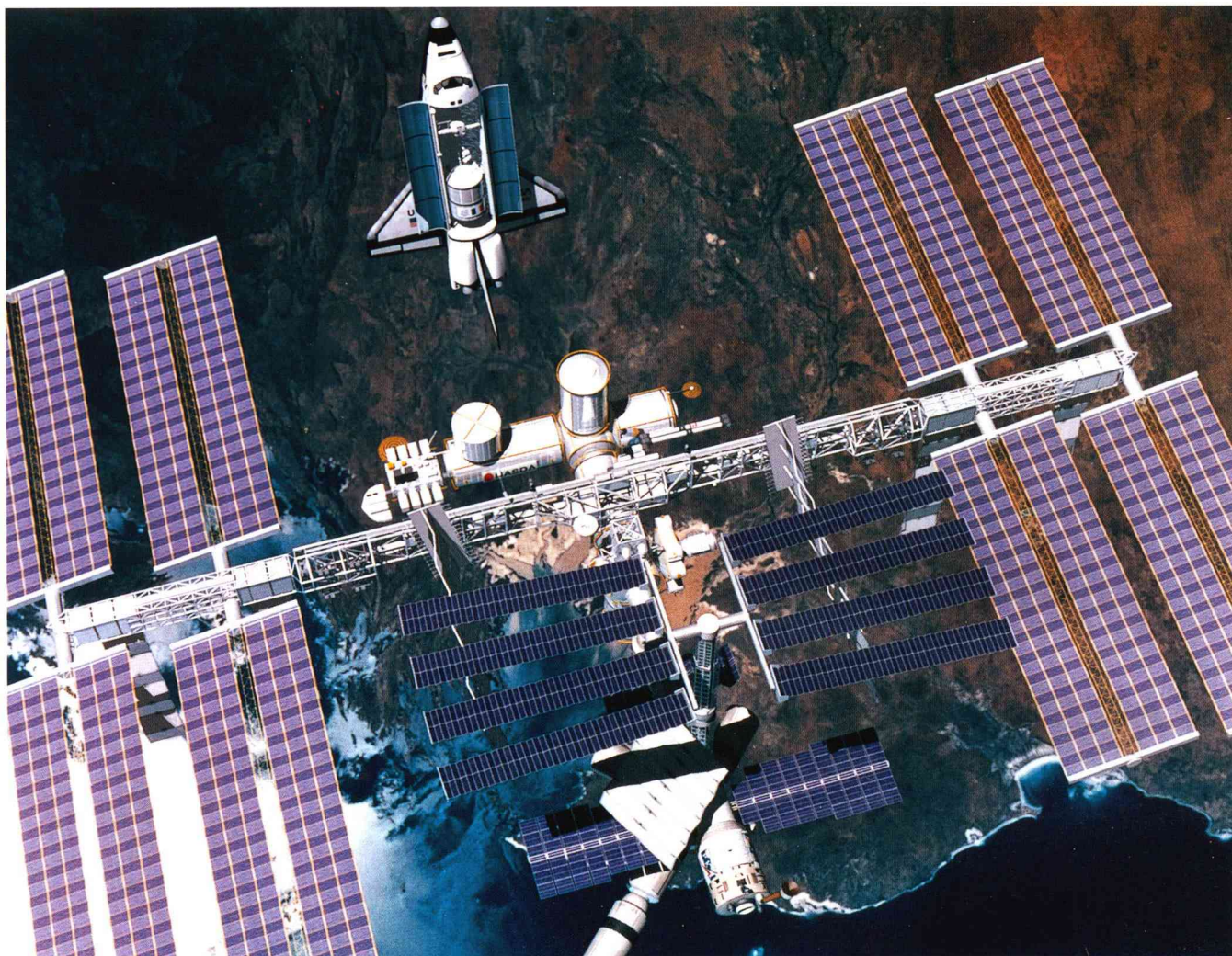
現在注目を浴びている国際宇宙ステーション計画はNASAが発案し、1984年レーガン大統領の時にゴーサインが出され、同年のロンドン・サミットで各国への参加が呼びかけられた。その



液体ロケットブースターによって打ち上げ能力向上をねらう静止3トン級のH-2Aロケット（イメージ）

宇宙開発政策大綱

日本の宇宙開発の方向性、基本方針を決定するもので1963年に設置された宇宙開発委員会（科学技術庁長官ほか4名の委員で構成）によって策定される。最初の大綱は1978年に出された。84年に第1回改訂が行われ、純国産ロケットH-2の開発を決定。89年の第2回改訂で、国際宇宙ステーションへの参加が決定された。今回96年は第3回目の改訂に当たり、さらに本格的な宇宙利用時代へ向けての技術基盤確立をめざすものとなっている。



コンピュータ・グラフィックによる国際宇宙ステーションイメージ。スペースシャトルの下方に見える日の丸の描かれた部分が日本の実験モジュール（JEM）

呼びかけに日本、欧州、カナダが応える形で計画がスタートしたが、NASAの予算削減によって、常に存亡の危機にさらされてきたという経緯がある。93年、この計画にロシアが参加し、米国議会ではロシア支援の名目も追い風となって予算が通過したが、今後の展開はまだ流動的だと見る向きもある。しかし各国の共同事業という意味でも、新たな技術、新たな産業の創出という意味でも期待は大きい。

国際宇宙ステーションが建設されるのは地上約400kmの比較的低い軌道上で、その大きさは、現在の計画でいけば全長約110m、幅約75mほどのものになる。むろん人類が宇宙で建設する建造物としては、現状では最大のものだ。構造的には1体のトラスを中心に、その両端に巨大な太陽電池パネルが据え付けられ、トラス中央あたりに円筒状の各国モジュールが取り付けられる。

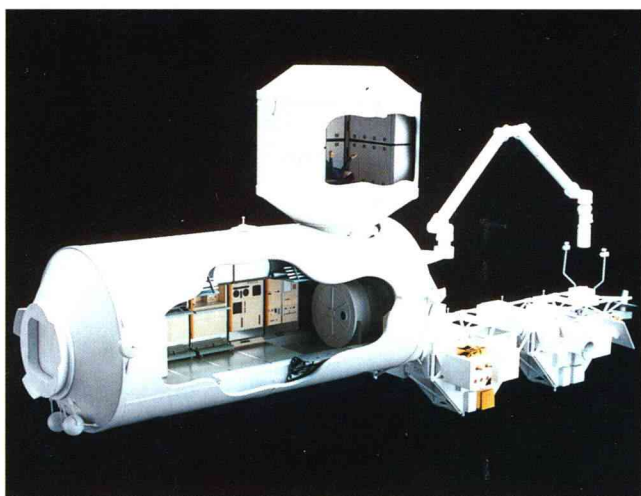
このモジュール部分を各国が独自に開発する。アメリカが実験用モジュールと居住用モジュール、ロシアが実験用モジュールとサービスモジュール、そして日本と欧州が実験用モジュールを割り当てられる。カナダはステーションの組立て、保守などを支援するロボットアームを担当する。

宇宙へのステップとなる研究・実験

予定では1997年にはステーション組立てのための最初のフライトが開始され、コアとなる部分が組立てられる。当初の予定では1999年には完成する見通しだったが、その後の経緯で現在、完成予定は2002年前後に修正されている。日本の実験用モジュール（略称JEM）の完成はもう少し後で、2000年頃から2010年頃にかけて各部分ごとに打ち上げられ、組み上げられる予定である。

JEMはちょうど空缶を2つ組み合わせたような形状の与圧部（飛行士の居住空間、研究設備）とアイロン台のような形の曝露部（宇宙放射線等の曝露実験を行う）、そして機械の腕ともいべきマニピュレーターから構成される。与圧部のサイズは外径4.4（内径4.2）m×長さ11.2m。この中に計算機システムや実験用器材等の設備を組み込んでいくことになるから、居住空間は「鰻の寝床」のように細長だ。ここに常時2名の宇宙飛行士が乗り込んで、さまざまな実験を行う。耐用年数は10年以上におよぶ。

宇宙環境を活かした実験・研究としては、第一に「宇宙メダカ」などの実験でよく知られるようなライフサイエンスの分



模型で再現されたJEMの全体像

野がある。地球の生物が無重力の空間へ行った場合にどんな反応を示すかを研究するもので、将来人間がさらに広範な宇宙空間へと出てゆこうとする場合に直面する生理学上の問題を解決するためのデータを収集し、研究しようというものである。

宇宙空間に長期間にわたって飛行士が滞在する宇宙ステーションのミッションそのものも「有人宇宙技術研究」のための重要なテーマのひとつとなる。例えば無重力（軌道上の場合、より正確には微小重力）で長く生活していると、筋肉はもとより、骨のカルシウムが抜けて脆くなっていくという現象がこれまでの有人宇宙飛行でもわかっている。将来の宇宙活動のためには、そうした地上とは異なる生理現象についてできるだけ多くのデータを集める必要がある。また例えば、宇宙では上下の概念がまるで役に立たなくなるが、そのことが人の視覚、ひいては心理におよぼす影響なども居住空間の設計などの視点から十分に研究する必要がある。

新しい産業技術創出の可能性

また工学的な分野では、よくいわれるように微小重力空間を利用して地上では製造できなかった素材や精密部品などを作る研究も大きな目玉のひとつとなる（コラム参照）。宇宙空間での建造物をつくる技術の研究開発も、ここで確立しておきたいもののひとつである。宇宙空間では拠点となる構造物を建造する場合にも人手に頼ることはできない。したがってロボットによるノウハウの開発が欠かせない。その他、エネルギーや熱の管理技術、通信、メンテナンスなど、実験と同時に検証を重ねていかなければならない課題は山ほどある。

JEMでの有人宇宙活動とあらゆる実験・研究は、そうしたさまざまなデータとノウハウを積み重ねていくうえで、きわめて重要な経験となることが考えられる。

さらに宇宙空間での活動を日常のものとするためには、閉鎖された空間で、小さな生態系をつくり上げる必要が出てくる。



JEMモックアップ内部

宇宙空間が可能にする未知の製造技術

無重力または微小重力空間（地上の数万分の1）では、材料の特性がさまざまに変わってくる。例えば鉄—ジルコニア—アルミナのように、比重が大きく異なるために地上では混合しにくかった素材も宇宙空間でなら、均質に拡散・混合することが可能になる。

また熔融した金属を冷却していく場合、地上では結晶が沈降しながら積み重なって成長するが、無重力では、できた核がその場で成長していくという違いがある。熱対流も、当然存在しない。

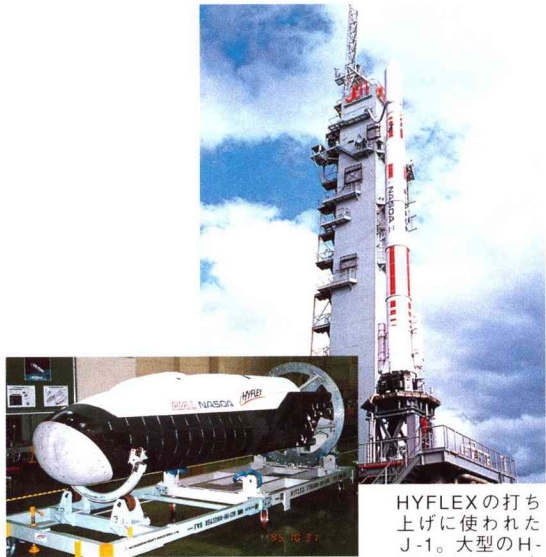
その他にも大型で均質な単結晶を得たい場合にも無重力空間が有利なことなどが分かっている。そうした現象が材料工学などの視点からどのような意味を持つのかを調べていくことも、新たな技術的フロンティアを生むことにつながるだろう。

製造技術の面でも、さまざまな可能性が考えられる。例えば鋳造品の場合、鋳型に材料を流し込むと、材料の重み（静圧）によって、型そのものがごくわずかながら歪んでしまうが、重さのない世界では、そうした心配は不要になる。したがって、極めて高い精度を要求される鋳造品も、宇宙空間でなら製造可能になるわけだ。また地上で金属を溶解する場合に必須なのが「るつぽ」だが、宇宙空間なら、空中に材料を浮かせて加熱することができるから、「るつぽ」そのものの耐熱温度を気にすることなく高温加熱することができ、「るつぽ」からの不純物混入の心配も不要だ。JEMに宇宙飛行士が常駐するようになれば、こうした材料研究なども、より多頻度に行えるようになり、データの蓄積が可能になると考えられる。

とはいえ、地上から材料を運び上げるとすると、当然その運搬コストは相当に大きなものとなる。それに見合うだけの価値のある素材でなければ、商品化の可能性はないという考え方もあろう。ただし、こうしたコスト問題も月面から素材を供給できるようになれば、地上から運び上げるよりは、格段に割安になることも考えられ、宇宙工場の可能性は悲観すべきものでもなさそうだ。むしろ5年、10年先の話というわけにはいかないだろうが、それまでに、あらゆる未知の可能性を宇宙実験室で試みることができるはずだ。

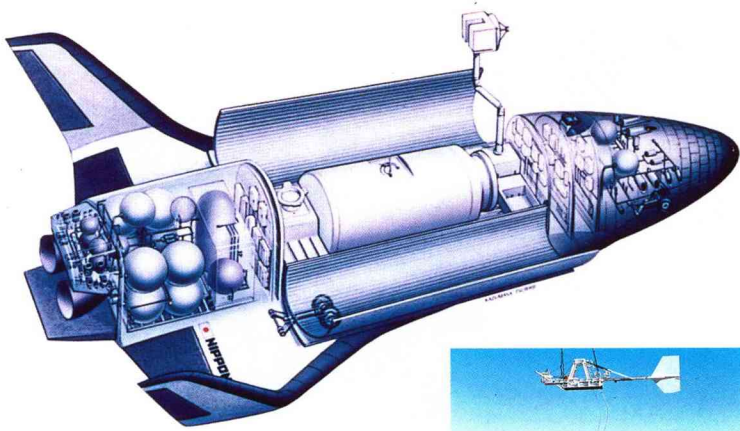
例えば火星への有人飛行を計画することになった場合、推進装置の進歩を考慮に入れてなお、1年以上の月日がかかると考えられるわけだが、当然、その間の水や空気をどうするかという問題が出てくる。数人の人間が1年以上も使用するだけの水や空気をすべて積んでいくとしたら、大変な量になってしまうだろう。また月面基地に滞在員が長期滞在するなどといったケースも想定されるだろう。

そうしたケースでは、宇宙船の中に小さな生態系をつくり上げて、その中で上手に物質循環を図っていく技術が不可欠になる。「閉鎖生態系生命要素維持技術」と呼ばれるこの種の技術も、国際宇宙ステーションならびにJEMでは重要な研究テーマのひとつになってくると考えられている。



HOPE-Xのための極超音速実験を行ったHYFLEX。回収には失敗したが多くのデータが得られた

HYFLEXの打ち上げに使われたJ-1。大型のH-2とならんで日本の宇宙開発を担う小型ロケット



20トン級HOPE-Xの概観イメージ



HOPE-Xのための滑空実験機ALFLEX。今年7月、オーストラリアで実験に成功した

進む日本版シャトルの開発

JEMの打ち上げは、米国のスペースシャトルと国産のH-2ロケットを併用して行われることが考えられるが、将来は往還が可能な交通手段を独自に開発することが計画されている。日本版スペースシャトルともいべき有翼宇宙往還機HOPE-Xである。打ち上げは先述のH-2Aロケットの発展型によって行われる。ただし当初は無人のものを遠隔操作して荷物の上げ下ろしに用いる計画で、有人飛行も有り得ない話ではないものの、まだ先のことになりそうである。

2000年には実験機を打ち上げることを目標に現在開発が進展しており、そのための各種実験も着実に進んでいる。そうした実験のひとつとして今年2月に第1回目が行われたのがHYFLEX（極超音速飛行実験機）といわれるもので、大気圏再突入時の極超音速域での熱の問題や、打ち上げから回収にとまなうノウハウなど、HOPE-Xの実現に必要な各種データの収集が行われた。

HYFLEXの打ち上げは、J-1ロケットと呼ばれるH-2より小型の新型ロケット1号機で行われた。J-1は今後H-2と並んで日本の宇宙開発を支えるロケットとなるもので、小さな荷物を低軌道まで上げる場合などに、より低コストで運用できるというメリットがある。HYFLEXの打ち上げは、その1号機の打ち上げ実験も兼ねていた。

アルミの主構造に耐熱用のセラミックタイルを敷きつめたHYFLEX機の外観は、さしずめミニシャトルといった風で、将来のHOPE-Xのイメージを彷彿とさせるものがある。

実験1号機は種子島から打ち上げられ最高マッハ14のスピードで飛行した後、パラシュートで目標海域に着水した。実験そのものは順調で、データ収集もうまくいったものの、フロー

テーション・バッグで波に揺られる間に、機体とバッグをつなぐ金具が破断してしまった。飛行実験は成功だったが予期せぬミスで海に沈んでしまったわけだ。

打ち上げ再突入実験とは別に、有翼の小型実験機による滑空実験もこの7月から8月にかけてオーストラリアのウーメラの砂漠で行われ、無人での自動着陸に成功した。ALFLEXと呼ばれる実験機は、大型のヘリコプターによって高度約1500 mまで吊り上げられ、切り離されて滑空した後に滑走路に無事タッチダウン。エアブレーキと後部パラシュートで減速し、停止した。滑空実験は最終的に13回にわたって行われ、HOPE-Xのための自動着陸技術もこれによって検証された。

HYFLEXとALFLEXの実験によって、HOPE-Xへの布石が敷かれたわけだが、日本の宇宙往還技術は、すでにその先も見通している。科学技術庁では航空機と同様に滑走路から出発して、宇宙との往還が可能な完全な再利用型スペース・プレーンを研究している。SSTOと呼ばれるこの未来の宇宙往還機が可能になるためには、多くの技術的課題をクリアする必要がある、実現は2020年以降という見方もあるが、その動力となる「エアブリージング・エンジン」のための研究・実験も、すでに具体的に進んでいる。スペース・ポートで宇宙便を待つ時代は確実に近付いてきているのである。

日本は、宇宙開発技術でも、世界的に高い水準に達している。こうした宇宙開発技術を手にできるのは現状限られた高度な技術開発力を持った国々である。今後宇宙というフロンティアが産業に与える影響を考えると、将来は宇宙技術を「持てる国」「持たざる国」が出てくる可能性もある。その意味でも現在、何をしておくかが大きなターニングポイントになるかもしれない。

[取材協力・写真提供：宇宙開発事業団、(財)宇宙環境利用推進センター]