

研究展望  
Review

# 研究展望

## 宇宙開発と建設

### SPACE INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION

松本信二\*

By Shinji MATSUMOTO

#### 1. はじめに

建設業界における宇宙への関心は急速に高まりつつある。宇宙開発が本格的実用化の時代を迎え、建設とのかかわりがますます大きくなってきたからである。

これまで、わが国の宇宙開発は、人工衛星をロケットで打ち上げて通信・放送・観測に利用するのがその主要な活動であった。今後は、それらの実用化が社会にさらに大きな影響を与えるようになるだけでなく、無重量、高真空などの宇宙環境を積極的に利用して新素材や薬品などを宇宙で生産するようになる。

さらに、アメリカでは21世紀に有人火星探査を行う計画を発表している。その第一ステップとして、21世紀初頭に月面基地の建設を検討している。このような大型プロジェクトは国際共同で行わざるを得ず、わが国も重要な役割を果たすことが期待されている。

このように宇宙活動が活発化すると、宇宙のインフラストラクチャーを整備する必要がある。建設の立場からいうと、地上基地、宇宙基地、月面基地等の建設が重要課題となる。

ここでは、宇宙開発の拠点となる諸施設の建設に関連するいくつかの話題をとり上げ紹介する。

#### 2. 宇宙環境利用と宇宙産業の形成

前にも述べたように、宇宙には地上ではなかなか得られないような特殊な環境があり、それらの環境を利用するための多くの研究が進められている。その中でも、特

に無重量環境が注目されている。

スペースシャトルは地球上300～400km離れたところを回っており、宇宙ステーションも400～500kmのところを回ることになる。いずれにしても地球の引力による重力がなくなるわけではない。しかし、一定の速度で地球の周りを回っているために、その遠心力と重力がバランスするようになっている。したがって、スペースシャトルや宇宙ステーションは地球上に落下せずに一定の高度を保つことができる。

そのようなバランスのとれた状態で周回しているスペースシャトルや宇宙ステーションでは、どんなものでも重さがなくなり、浮いているような状態になる。このような状態を無重量という。「無重力」という言い方も一般によく使用されているが、「無重量」の方がより正しい言い方だといふことができる。

さて、無重量環境では、どんなことができるようになるのであろうか。無重量環境の主な特徴と利用例を表1に示す<sup>1)</sup>。

この表からもわかるように、無重量の特徴を生かすと、高純度・高機能の材料をつくることができる。重さがなくなるので、いわゆる「重い」ものも「軽い」ものも重力の影響を受けずに均質に混合させることができる。すなわち、密度の異なる物質の混合が容易になるので、均質な合金や複合材料をつくることができるようになる。

各種の結晶をつくる場合にも、無重量の状態では、結晶内部に無理な力が加わらないので、完全性の高い大型結晶に成長させることができる。次世代の半導体材料として注目されているガリウム・ヒ素のような材料も、無重量環境であれば、高品質なものを安価に生産できそうである。

\* 清水建設技術研究所(〒135 江東区越中島3-4-17)

Keywords : micro gravity, space port, space structure, lunar base, space hotel

表一 無重量環境の特徴とその利用

無重量の特徴	地上（重力環境）	宇宙（無重量環境）	利 用 例
重いものが沈んだり、軽いものが浮いたりすることがない	密度の大きなものほど重力方向へ沈み、複合物は均一な成分にならない	密度差による沈降がなく、すべて均一に分散する	セラミックス繊維と合金が均一に分散した高性能耐熱複合材料
完全な結晶構造が得られる	重力の影響により、結晶の構造に欠陥を生じやすい	完全性の高い大型の単結晶を成長させることができ	完全結晶構造の半導体
熱対流がない	熱対流のために細胞の分離などが不完全である	完全な分離が可能	電気泳動法による細胞等の分離で医薬品
物質を空間に保持できる	容器との接触により、不純物が混入してしまう	物質を浮遊させて溶融できるので、ルツボなどの容器が要らず、不純物の混入がない	高純度ガラス、真球のボールやペアリング

無重量環境では、熱対流という物理現象が起こらなくなる。この特徴は、物質を精製したり分離したりするときに活用することができる。

タンパク質や酵素などを分離するのに電気泳動法という方法を用いる。電圧をかけた2枚の電極の間に多種のタンパク質が混ざり合った溶液を流す。すると、それぞれのタンパク質は、その電荷の強さに応じて電極にひきつけられる強さが異なるので、特定のタンパク質を分離してとり出すことができる。

ところが、溶液に電流が流れると溶液が加熱されるので、地上では熱対流現象が起こり、せっかく分離したタンパク質が混ざり合ってしまい、完全に分離することはできない。無重量状態で電気泳動法を用いると、このような物質の精製や分離を可能にすることができる。たとえば糖尿病の薬であるインシュリンは、無重量環境で電気泳動法を用いると、安価に大量に生産することができる。

以上、いくつかの無重量環境利用例について述べてきたが、このほかにも種々のアイデアがあり、各方面で研究されている。宇宙ステーションが完成すると、長期の実験が可能となり、さらに多くの利用方法が考えられるようになるであろう。

このようにして宇宙で新しい材料や薬品がつくられるようになると、宇宙市場が急速に拡大し、宇宙ビジネスも社会的に認知されるようになるであろう。現在、わが国における宇宙市場の大きさは約2500億円/年であり非常に小さいが、21世紀に向けて急速に拡大する可能性もあるというわけである。

宇宙産業はさまざまな分野の技術を必要とするシステム産業であり、その波及効果ははかりしれない。そのようなことから、現時点の直接的な市場規模のみで宇宙産業を評価すべきではなく、社会的に大きなインパクトを与える産業になりつつあるといふべきであろう。

### 3. スペースポート

アメリカ航空宇宙局(NASA)が中心になり、日本、

カナダ、ヨーロッパ諸国が参加して推進している宇宙ステーション計画は、スペースシャトルの事故のために若干遅れ気味ではあるが、今世紀中に建設が完了し、運用が開始されるであろう。この宇宙ステーションを建設するためには、多くの作業者や資機材を地上から運搬しなければならず、スペースシャトルで約20回の輸送量となる。

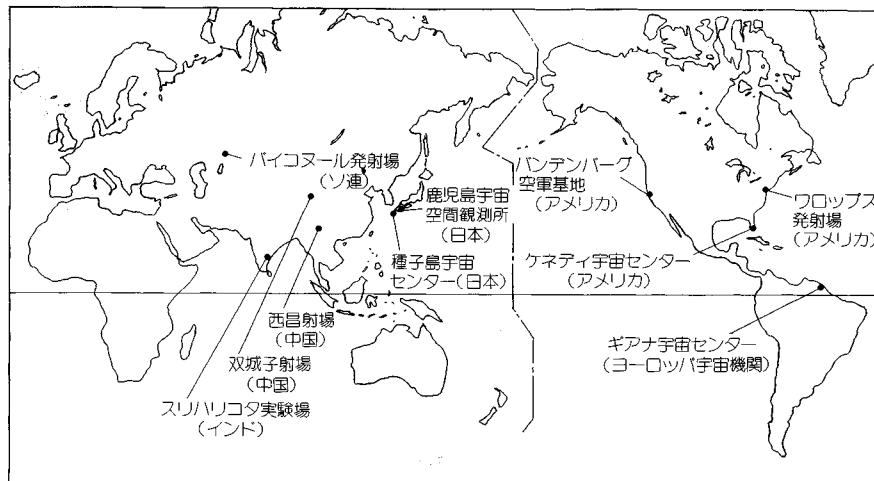
宇宙ステーションが完成すると、常時6~8人の乗員がそこで生活する予定であり、定期的に食料、燃料、実験資機材等を運搬する必要がある。また、宇宙ステーションは徐々にその規模を拡大していく予定であり、地球との往来はますます激しくなる。

前述のように、21世紀初頭には、月面基地の建設が始まり、それに伴って月への輸送も急速に増加すると予測できる。月面基地の建設にあたっては、月面上で採取することのできる天然材料を最大限活用すべきであるが、地球から運搬しなければならない資機材も少なくない。

人工衛星の打上げには、一般にいわゆる使い捨てロケットが使用されている。たとえば、現在日本で開発中の大型ロケットH-IIも使い捨てロケットであり、再使用することはできない。しかし、上に述べたような宇宙輸送量の増大に対応するためには、地球と宇宙を行ったり来たりすることのできる宇宙往還機がどうしても必要となる。

スペースシャトルは一種の宇宙往還機であり、アメリカのほかにソ連でもスペースシャトルの運航が予定されている。日本でもスペースシャトルを開発する計画があり、まず無人スペースシャトルHOPEの開発が進められている。

将来は水平に離着陸することのできるスペースプレーンが実用化されるであろう。スペースプレーンの開発は各国で進められており、日本でも多くの研究が始まられている。スペースプレーンが実用化されると、より広範囲の人々が宇宙旅行をすることができるようになり、ますます宇宙輸送量が増大するであろう。



図一1 世界の主なロケット発射場

宇宙への輸送量が増大すると、ロケットや宇宙往還機が発着できるスペースポートが必要となる。図一1に示すように、現在でも世界には多くのロケット発射場があるが、有人宇宙往還機の発射場はアメリカに2つ、ソ連に1つしかない。これからの宇宙時代には、このままで対応できない。

このようなことから、21世紀初頭には、大規模なスペースポートが新たに必要となる。

アメリカのハワイ州ではハワイ島の最南端に新しいロケット発射場を建設するための検討を進めている。ロケット発射施設だけではなく、宇宙開発に関連する教育・訓練施設や観光施設の誘致も検討している。

オーストラリアでは、クイーンズランド州のケープヨーク半島に新しいスペースポートをつくろうとしている。事業化を促進するための新しい会社も設立され、各国の企業が参画して調査活動が進められている。日本からもいくつかの企業が参加し、オーストラリア政府も種々の面で支援している。キリバス共和国やインドネシアでもスペースポートの建設に関心を示しており、さまざまな検討がなされている。

このように太平洋地域でスペースポートに関する各種の検討がなされているのは、宇宙機の発着は赤道に近い方が有利だからである。たとえば、人工衛星を静止軌道上に打ち上げる場合、静止軌道は赤道上3万6000kmの軌道であり、赤道上から打ち上げるのが最も経済的になる。低軌道(地上200~500km)に人工衛星を打ち上げる場合でも、地球の自転との関係から、赤道上で打ち上げるのが最も経済的となる。

宇宙往還機が地球に帰還する場合にも、発着場が赤道の近くにあるほど帰還可能となるタイミングが増加し、何らかの異常が発生したときの緊急帰還が容易となる。

ロケット発射に伴う各種の落下物を海上に落下させ、回収することができるという点でも、広大な太平洋地域がスペースポートの立地に最適だといえる。

日本では北海道航空宇宙産業基地構想が強力に推進されており、その一環として帯広市の近くの太平洋岸に巨大なスペースポートを建設するという計画が発表されている。北海道は赤道にそれほど近いというわけではないが、広大な用地を確保できるという点で、日本国内ではスペースポートの建設に最も適しているといえる。北海道では、このプロジェクトを地域産業を活性化するための戦略プロジェクトとして位置づけている。北海道航空宇宙産業基地構想のイメージ図を図二に示す<sup>2)</sup>。

岩手県でも、北海道とはほぼ同様の観点から、スペースプレーンの発着場を中心としたスペースポート建設の可能性を検討し始めている。また、鹿児島県でも、種子島および内之浦におけるロケット発射場の実績を生かして、宇宙往還機時代に対応できるような基盤づくりを考えている。日本では、当面複数のスペースポートをつくるという必要性はないので、今後の検討によって、最適な建設地を選択しなければならない。

特定の国の施設とせず、世界中の多くの国が使用することのできる国際スペースポートを太平洋地域に建設しようという構想もある。近藤鉄雄衆議院議員らが提唱している「太平洋スペースポート構想」である<sup>3)</sup>。

この構想が提唱されたのは1985年12月であるが、1987年5月には民間企業7社の専門家による「太平洋スペースポート研究会」(会長:黒田泰弘氏)が結成され、本構想を具体化するための基本的事項について研究を進めている。ここでは、この研究会の成果の一部を紹介したい。

なお、太平洋スペースポートは、現時点ではその建設

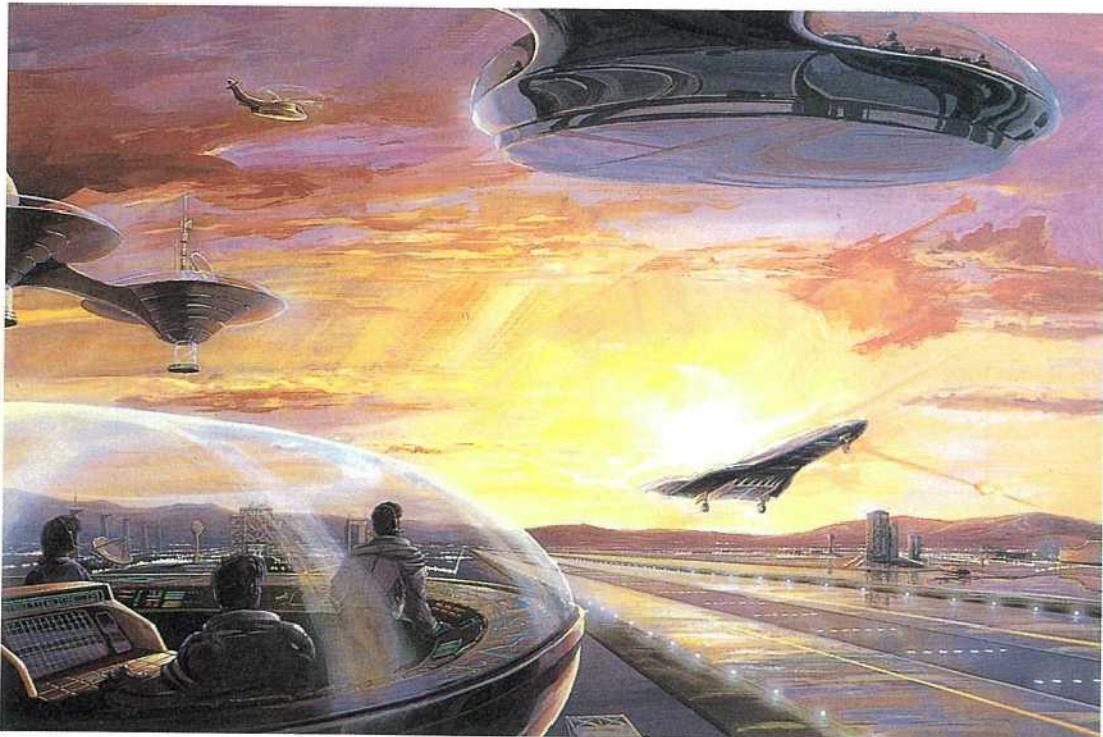


図-2 北海道スペースセンターのイメージ

場所を特定しているわけではない。国際的なコンセンサスを得るという観点から、特定の建設場所を定めず、国際スペースポートに要求される機能を整理し、どのような事業が可能となるか、どのような施設が必要となるかを検討している。

巨大なスペースポートを太平洋地域に建設することは、宇宙開発、宇宙利用の推進という点においても、太平洋地域の経済発展という点においても非常に有意義である。しかし、そのようなスペースポートの建設には長い時間と莫大な費用を必要とする。このようなマクロプロジェクトを推進するためには、国を超えて、体制を超えて、時代を超えた人類共通の基盤にたったコンセプトがなければならない。

太平洋スペースポートの建設における基本コンセプトについては、十分時間をかけて国際的に検討すべきである、「太平洋スペースポート研究会」で提案している3つのコンセプトを以下に示す。

#### (1) 世界最大の規模と機能を有する国際共同宇宙開発センター

太平洋スペースポートは太平洋地域の参加諸国が対等の立場で利用できるという前提のもとで運営されるべきである。そのためには、世界最大規模の宇宙機発着陸施設を保有し、各国主要都市との大量旅客輸送のための超音速旅客機の発着も可能にしなければならない。

#### (2) 宇宙技術を中心とする国際科学技術都市

太陽発電衛星 (SPS) によるエネルギーの確保やスペースプレーン、大気圏外飛行超音速旅客機のような宇宙関連大規模先端技術に積極的に挑戦する国際的な科学技術都市でなければならない。宇宙に関するあらゆる科学技術分野の情報が集積され、最先端の研究がなされ、それらの研究に基づくビジネス機会が構成される新しいタイプの都市でなければならない。

#### (3) 宇宙開発・宇宙利用に関する国際協力を推進する母体

21世紀における宇宙科学研究、宇宙利用について、太平洋地域を中心とする世界各国間の協調プログラムを構築し、その具体化を推進するうえでのオーガナイザでなければならない。また、研究、開発などの成果を管理しつつ、それらの波及効果を関係諸国の実情に合った形で反映させる総合的なマネジメントセンターとしたい。

太平洋スペースポートは、単にロケットやスペースプレーンが発着陸できればよいというわけではない。上に述べたようなコンセプトに基づいて宇宙への玄関口としての役割を果たすためには、以下に示すような多くの機能が要求される。

太平洋スペースポートは人や資材を宇宙へ輸送するための港であるというだけでなく、情報・通信の拠点としての機能をもつ必要がある。宇宙に関連する各種情報が

集積され、適切に処理され、地球上の各地域および宇宙の各施設に伝達されなければならない。

宇宙関連機器の生産も不可欠である。地球上の各地で生産された部品が集積され、太平洋スペースポートで統合される。ロケットやスペースプレーンの燃料センターも必要である。宇宙で生産された新素材などを再処理する機能も求められるであろう。

宇宙技術には種々の先端技術が含まれており、常に研究開発が必要であり、そのための施設が必要である。研究開発の成果が直接実務に移され、実務的な各種の問題がタイムリーに研究されるという環境が重要である。

このほかにも、物流機能や教育・研修機能が必要となる。また、太平洋スペースポートに人間的魅力を与え、経済的に採算を合わせるために、リゾート・レジャー機能が特に重視されなければならない。

このような多様な機能を満足させる施設構成の例を表一2に、また、太平洋スペースポートのイメージを図一3に示す。

#### 4. 宇宙構造物の建設

1999年に完成する予定の宇宙ステーションは、高度約460km、傾斜角28.5°の地球低軌道(LEO)上に建設される多目的の実験・観測施設である。宇宙ステーションの形は、開発当初からいろいろと変遷してきているが、現在は図一4のような形で開発が進められている。

約150mのトラス構造物の中心部に4つの円筒形構造物(モジュール)が取り付けられている。4つのモジュールのうち1つは居住用モジュールであり、他の3つは実験用モジュールである。トラスの両端部には太陽電池のパネルが取り付けられ、太陽の方向に対応して回転できるようになっている。

この宇宙ステーションは、アメリカ、日本、カナダ、ヨーロッパ諸国の共同で開発が進められているが、日本は1つの実験モジュールの開発を担当している。この実験モジュール(JEM)は、与圧部、暴露部、および補給部で構成されている。与圧部は直径4m、長さ10mのアルミニウム合金製の円筒であり、内部は1気圧の空気が満たされる。したがって、この中では搭乗員は宇宙服なしで活動することができる。与圧部では、主に無重量を利用した種々の実験が行われる。暴露部では、与圧部内でするには人体に危険な実験や、高真空中を利用した実験が行われる。補給部は、実験装置や試料の補給に使われ、緊急脱出装置も取り付けられている。

建設という観点からこの宇宙ステーションをみると、トラス構造物をどのように組み立て、そこに各種の部材をどのように取り付けるかという点が最も興味深い。トラス部材の組立てには、単純で信頼性の高い接合方法が要求される。そのような目的で、著者らが、各種の実験を踏まえ、作業性等を考慮して開発した接合部を図一5に示す。

表一2 太平洋スペースポートの施設構成

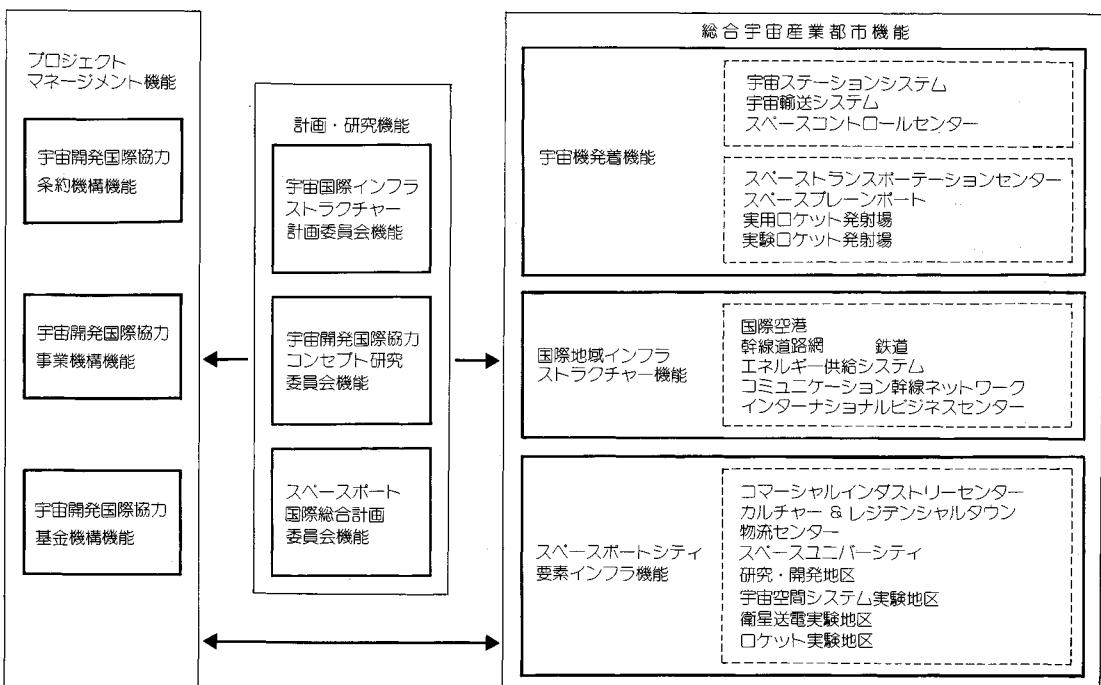




図-3 太平洋スペースポートのイメージ

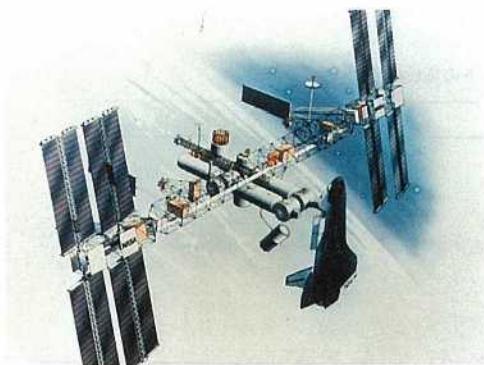
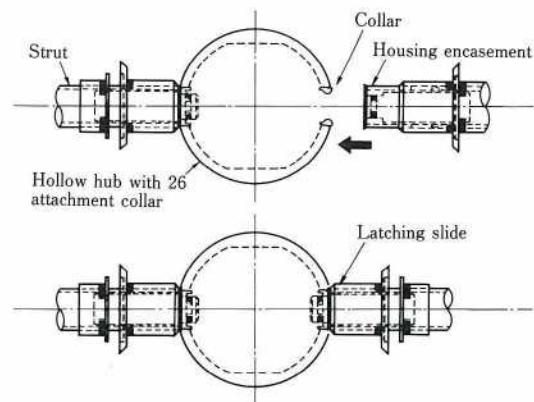


図-4 宇宙ステーション

この接合方法を用いると宇宙飛行士が容易に作業することができ、信頼性も高い。もちろん、実際に宇宙ステーションのような構造物を建設する場合に、宇宙飛行士が1本1本組み立てるわけではなく、ロボットを用いて自動的に組み立てることになる。その場合でもこのような接合方法が有効であることは明らかである。

トラス部材を取り付けるためのロボットとしては、図-6に示すようなものが考えられているが、その他のタイプのものも検討されている。

図-5 トラスの接合部 (STAR BAY 3)<sup>4)</sup>

## 5. 月面基地

人類が初めて月に第一步を記したのは約20年前のことであるが、このところ月面基地建設の関心が非常に高くなっている。宇宙ステーションへの物資補給や火星探査など21世紀の宇宙活動の拠点として、月面基地がおおいに期待されているからである。

月には多くの資源があり、重力の小さい月からの輸送は、地球から宇宙への物資輸送に比べて、著しく有利で

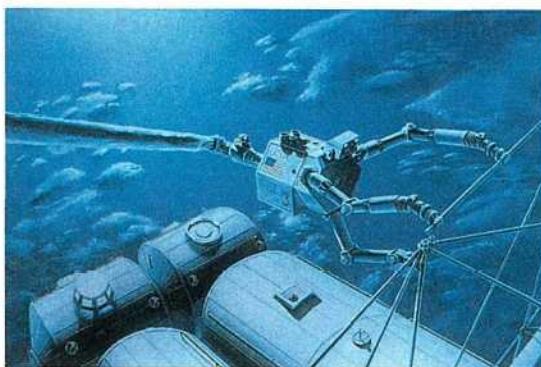


図-6 トラス組立てロボット

ある。月の資源として特に注目されているのは酸素である。月の岩石の中には多くの酸素が含まれており、比較的簡単な処理により、酸素を取り出すことができる。宇宙活動には多くの酸素が必要であり、それを月から供給できるようになれば、非常に好都合である。

最近では、月面に存在するヘリウム3が大きな関心を集めている。ヘリウム3は、地球上で普通に存在するヘリウム4より軽い分子量をもっており、月面のレゴリスという細砂の中に蓄積されている。このヘリウム3を重水素と反応させると核融合エネルギーを発生させることができる。このエネルギーは放射能を発生させる危険性がほとんどなく、21世紀のクリーンエネルギーとしておおいに期待されている。

地球から月への輸送費はきわめて高いので、月面基地の建設にあたっては、月にある天然資源をできるだけ有効に活用しなければならない。月面基地建設における材料費は地球からの輸送費がその大部分を占める。したがって、地球から運搬する資材の重量をできるだけ軽くしなければならない。同様に、月における人件費も高価であり、建設のための工数を最小限にしなければならない。したがって、可能な限り建設の自動化を図り、メンテナンスフリーとしなければならない。

月面基地は、まず小規模なものを建設し、徐々に拡張できるようにしておかなければならない。また、プロジェクトの進行に伴って、計画時とは異なった用途に用いることもできるような構造物であることが望ましい。したがって、月面基地の計画においては、その容積や用途を自由に変更できるようにすべきである。

以下に月面における主要な自然環境をとりあげ、おののが月面基地建設にどのような意味をもつかを考察する。

### (1) 重 力

月における重力は、地上の1/6である。構造物の自重や積載荷重は1/6となるので、鉛直荷重に対応する構造は軽量化することができる。クレーンのような揚重機械

も地上で使用するよりも大きなものを持ち上げができるようになる。しかし、地盤を掘削したり土を押すような建設機械は機械の重さが重要な役割を果たしており、月では非常に使いにくくなるといえる。

### (2) 真 空

月面上には大気がなく、超真空の状態である。居住部分は約1気圧にすべきであり、室内側から外周構造物に内圧力が加わることとなる。また、液体はすぐに蒸発してしまうので、コンクリートのような材料を用いる場合には注意を要する。一方、水分がまったくない状態なので、金属類のさびについてはほとんど心配する必要がない。

### (3) 溫 度

昼が14日、夜が14日というサイクルであり、昼夜の温度差が非常に大きい(-190°C~+137°C)。このような温度に耐えられる建設材料と建設機械を用いなければならない。しかし、地下2m以下では温度は非常に安定しており、地下に構造物を建設するか、構造物の上に土をかぶせれば、温度の問題は解決する。

### (4) 放 射 線

宇宙線、太陽風等の放射線が多量にあるので、それらを遮蔽するような構造にしなければならない。土を約2mの厚さにかぶせると大部分の放射線を防御することができるが、太陽活動が活発になると太陽風による放射線が非常に多くなるので、そのような場合には避難できるように計画しなければならない。

### (5) 隕 石

大小さまざまな隕石が落下する。しかし、土を2mほどかぶせると大部分の小さい隕石は防御することができる。したがって、建設工期をできるだけ短くして、建設中に隕石による被害を受けないようにしなければならない。大きな隕石については防御することができないので、構造物が部分的に破壊しても、他の部分にできるだけ影響を及ぼさないような建築計画が重要となる。

月面基地建設にあたっては、月にある天然資源をできるだけ有効に活用しなければならない。そのような観点から、月面基地用建設材料としてコンクリートが注目されている。

T.D. Lin (Construction Technology Laboratory Inc.) らの研究によれば、月の土や石からセメントを生産するのはそれほど困難ではなさそうである<sup>5)</sup>。アポロ計画において月から持ち帰った岩石の化学成分は表-3に示すとおりであり、セメントの製造に必要な CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等の成分が豊富に含まれている。T.D. Lin は、これらの岩石を 2000K 以上に加熱することによって、市販の高アルミナセメントに近似した成分を有するセメントを抽出することができると指摘している。

表-3 月面試料の化学成分

成 分	平原部 の土砂 (10002)	高地部 の土砂 (67700)	玄武岩 (60335)	斜長岩 (60015)	非晶質 火山岩 (60095)
SiO <sub>2</sub>	42.16	44.77	46.00	44.00	44.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.60	28.48	24.90	36.00	25.48
CaO	11.94	16.87	14.30	19.00	14.52
FeO	15.34	4.17	4.70	0.35	5.75
MgO	7.76	4.92	8.10	0.30	8.11
TiO <sub>2</sub>	7.75	0.44	0.61	0.02	0.51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	0.00	0.13	0.01	0.14
MnO	0.20	0.06	0.07	0.01	0.07
Na <sub>2</sub> O	0.47	0.52	0.57	0.04	0.28

コンクリート用の骨材も、月面の岩や土砂を加工することによって、比較的容易に製造できるであろう。T. D. Lin は、NASA から 40 g の月の砂を提供してもらい、モルタルをつくり、強度試験を行った。その結果によると、月の砂はコンクリート用骨材として十分に使用可能であることがわかった。

水だけは月面になさそうである。しかし、水は酸素と水素を化合させて作り出すことができる。月の土や石には表-3 に示したように多くの酸素が含まれておらず、水を生産するための酸素は十分に確保することができる。水素も月面にないわけではないが、その量は非常にわずかであり、現実的には地球から運搬しなければならないであろう。しかし、水素は最も軽い分子であり、水素 1 g を用いれば 10 g の水を生産することができる。

月の岩石からは鉄やガラスを生産することもできるので、コンクリート用補強材も将来的には月で供給することができる。しかし、品質の高い鉄やガラスが容易に生産できるわけではないので、月面基地建設の初期段階では、これらの補強材は地球からもっていかざるを得ないかもしれない。

コンクリートに用いるおののの材料が確保されたとして、地球上の 1/6 の重力で真空状態の月面でコンクリートを施工することができるのであろうか。1/6 の重力環境を人工的につくり出すことは非常に難しいので、この問題を確認する実験をすることはできないが、逆に大きな重力をかけた実験結果から低重力環境におけるコンクリートの性状を推測することはできる。そのような実験の結果によれば、重力が 1/6 になっても地球上(1 G)で施工したコンクリートの強度の 90 % 程度の強度は確保できるようである<sup>6)</sup>。

真空環境でコンクリートを打設すると、コンクリート中の水分が蒸発してしまい、コンクリート強度は著しく

低下する。しかし、加圧した工場内でプレキャストコンクリートをつくるような場合は問題ではない。では、月面での現場打ち施工は可能なのか、コンクリート打設時の養生が適切であれば、真空環境にさらされても十分なコンクリート強度を確保することができる<sup>7)</sup>。

有人月面基地の建築構造については種々の提案がなされているが、小規模のモジュールをつなぎ合わせていく構法が最適であろう。有人月面基地では、内圧に対して安全に設計することが主要な設計条件となるからである。

たとえば、大規模なドーム構造を考えると、内圧により膜部分に作用する応力が非常に大きくなり、非現実的となる。内圧の大きさにバランスさせるように、ドームの上に土をかぶせるという方法も考えられるが、約 30 m の厚さの土が必要となりこれもあり現実的とはい

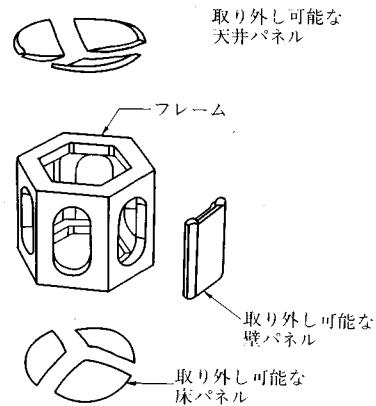
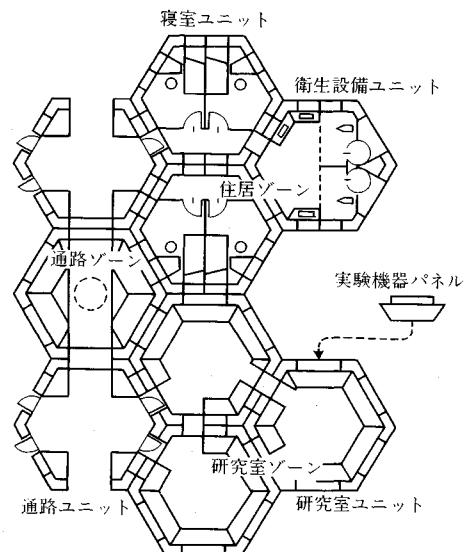


図-7 モジュールの形状

図-8 モジュールレイアウトの一例  
(居住および研究・実験を目的とした施設の場合)

えない。

小規模のモジュールをつなぎ合わせる構法にした場合、小さい空間ばかりできるので、建築計画上の制約条件になってしまふという問題がある。そこで、著者らは、モジュールをフレームと取外し可能なパネルで構成し、広い空間をもつくることができるよう工夫した。そのようなモジュールの例およびそのレイアウトの例を、それぞれ図-7および図-8に示す<sup>8)</sup>。

このモジュールはプレストレストコンクリート製であり、形状は6角柱である。6角形の一辺の長さは3.58m、高さは5.6mであり、すべての壁パネルを装着した状

態ではモジュールの室内面積は約15m<sup>2</sup>である。この大きさは、建設時にモジュールを単位として搬送すること、およびケーブルにより締めつける力の大きさが常識的な範囲におさまること等を考慮して設定した。

本構法では、プレストレス材の配置が重要な問題であり、1つの配置例を図-9に示す。図に示したケーブルは、主にモジュール内部の圧力を抵抗するために設置したフレーム内部の側面ケーブルであるが、このほかに、隣接するモジュールを接合するための水平ケーブルや鉛直ケーブルなどが必要となる。

以上に述べた6角形モジュールの建設手順を図-10に示す。新設モジュールをキャンチレバーで施工済モジュールからはね出すために、屋根面と床面に位置する水平ケーブルを締めつける。水平ケーブルの端部はモジュールの内側にあるため、この作業は与圧環境下で行うことができる。その後新規モジュールを結合し、施工済モジュールとの間に位置する壁パネルを撤去した後、新設モジュールの下面と月面との間をコンクリートでグラウトするが、その作業も与圧環境下からのリモートコントロールで行うことができる。したがってモジュールの組立ては、一貫して与圧環境下における作業となり、作業性に優れたものとなっている。

本構法で建設した月面基地のイメージ図を図-11に示す。

## 6. 宇宙ホテル

21世紀になると、宇宙観光時代が到来するかもしれない。相当な費用がかかるであろうが、未知の空間へ行けるのならば費用をおしまないという人も少なくない。将来は、宇宙産業の中で、宇宙観光が最も有望な産

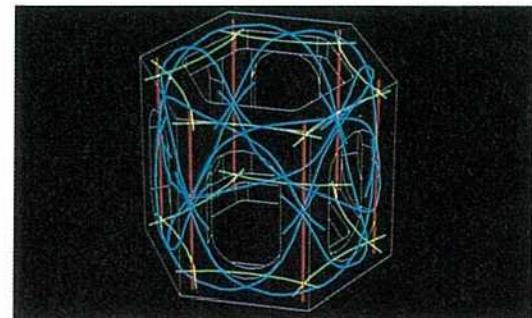


図-9 フレーム内部のプレストレス材の配置

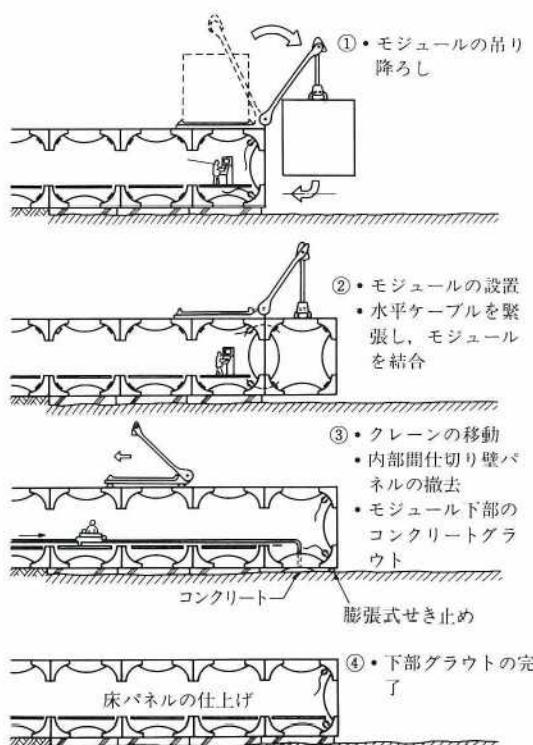


図-10 与圧環境下で行うモジュール結合作業のプロセス

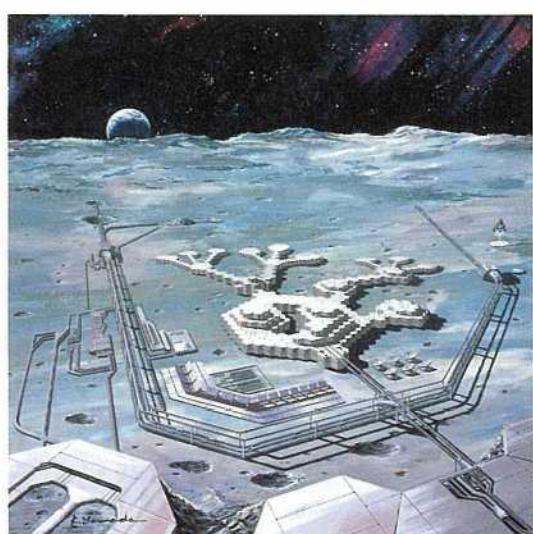


図-11 コンクリート製月面基地のイメージ

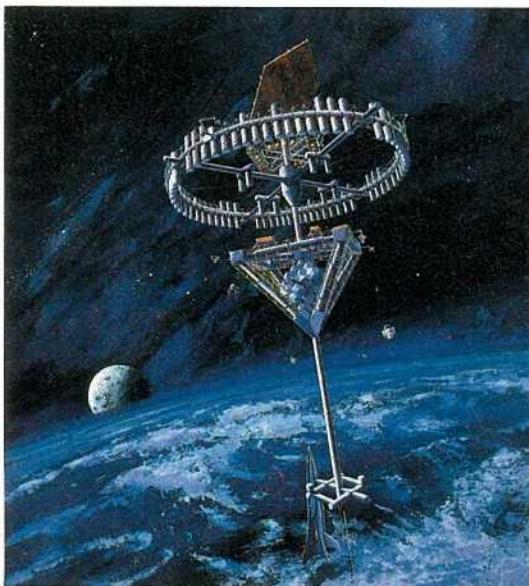


図-12 宇宙ホテル

業に発展するという可能性もある。

著者らはそのような時代を想定して、宇宙観光のモデルプランを考え、宇宙ホテルの試設計を行った。これまでにも、アメリカなどで宇宙旅行をビジネスとしてとらえた計画が発表されてはいるが、宇宙船に乗って地球軌道上を周回するといったものがほとんどであり、宇宙に滞在することを目的としたものは少ない。著者らによる構想は、宇宙に滞在するための施設として宇宙ホテルを建設し、2泊3日（実質48時間）の宇宙観光旅行を可能にしようというものである。

この宇宙ホテル（図-12 参照）は、プラットフォーム部門・エネルギーサポート部門・パブリック部門・客室部門の4部門で構成される。全体の長さ（エネルギーサポート部門からプラットフォーム部門まで）は240m、また、リング状の客室部門の直径は140mであり、この部分が独立して回転する（1分間に3回転）ことによ

り客室内人工重力（0.7G）を与えている。

ホテルの定員は64名で、客室部門には64個の客室モジュールのほかに乗務員用のモジュールやサプライ用のモジュール等がリングの円周部に取り付けられる。客室モジュール内部は、重力があるために基本的には地球上のホテルの部屋と変わらないデザインとなる。

一方、ホテル内で無重量環境を楽しむための施設としてスペースホールがある。スペースホールは種々の無重量ゲームや無重量スポーツを行うための大空間である。

## 7. おわりに

各種の宇宙関連施設について、建設の立場から概観した。本稿で紹介した種々の構想は大部分著者らが提案したものであるが、おのれの施設の建設についてまったく異なった種々の提案があることはいうまでもない。多くの提案の中から徐々に技術が確立されていくのではなかろうか。

## 参考文献

- 1) 宇宙開発事業団編：宇宙飛行士になるための本、同文書院、1987.10.14.
- 2) 北海道開発調整部参事（計画）：北海道航空宇宙産業基地構想、パンフレット、
- 3) 太平洋スペースポート研究会：太平洋スペースポート構想、1988.10.
- 4) 清水建設：SPACE TRUSS SYSTEM (STAR BAY 3)、パンフレット、1988.
- 5) Lin, T.D. : Concrete for Lunar Base Construction, Concrete International, Vol.9, No.7, 1987.7.
- 6) 金森・石川・今井：セメントベーストおよびモルタルの脱水性状に及ぼす加速度の影響、土木学会第43回年次学術講演会、第5部門、1988.10.
- 7) 岡田・橋：真空中に暴露したコンクリートの物性について、土木学会第43回年次学術講演会、第5部門、1988.10.
- 8) Matsumoto, S. et al. : Concrete Structure Construction on the Moon, Lunar Bases and Space Activities in the 21st Century, Houston, 1988.4.

(1990.8.3・受付)