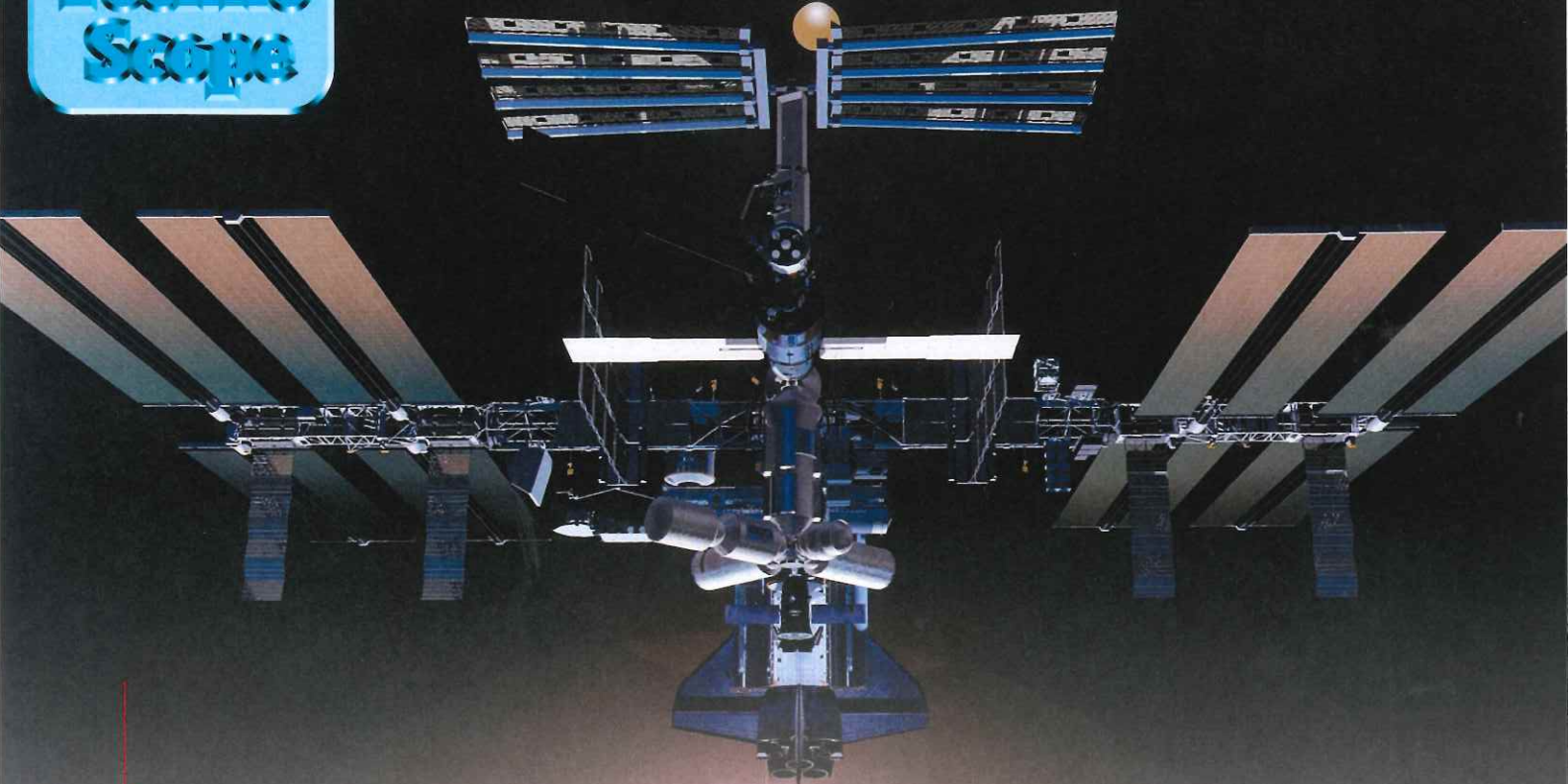




宇宙を利用する時代の到来 国際宇宙ステーション

国際宇宙ステーション
の全体イメージ

人類は、これまで最先端の科学技術を駆使し、宇宙開発を進めてきた。初めて宇宙へ飛び立ってからすでに41年が経ち、今や人類は宇宙空間に新たな活動の場を広げようとしている。世界の各国が協力して、国際宇宙ステーションを建設しようという計画は、人類が初めて宇宙空間に「国境のない場所」を建設するというプロジェクトとして期待されている。また、この宇宙ステーションは、「宇宙空間の研究所」としても注目を集めている。

高速で地球を周回する巨大ステーション

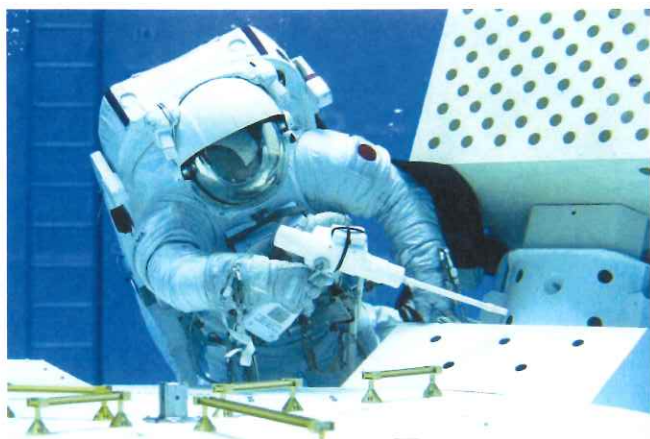
深さ10.5m直径16mのプールに満々と水が張られている。多くの関係者が見守るなか、水中では、いかめしい宇宙服に身を包んだ宇宙飛行士が、アンテナなどの取り付け作業を慎重に行っていく。これは2001年11月、宇宙開発事業団 (NASDA: National Space Development Agency of Japan) 筑波宇宙センターの無重量環境試験棟で行われた船外活動手順の開発試験の様相である。このプールは、水の浮力を利用して宇宙空間の微小重力環境を模擬する施設である。たとえば宇宙船の船外活動を想定した訓練や試験を実際の宇宙と類似の環境

で行うことができる。国際宇宙ステーション (ISS: International Space Station) に向け日本の有人宇宙施設である「きぼう」が初めて打ち上げられる2004年を目指して、準備は着々と進んでいる。

ISSは、高度約400kmの地球周回軌道上に建設される有人宇宙施設である。その大きさは108.5m×88.4mでサッカーフィールドと同じくらいという。容積1,303m³、総重量453.6tonで、これが地球1周約90minという速度で回ることになる。

ISSは、宇宙の特殊な環境を利用してさまざまな実験研究を長期間行える場所を確保する施設である。

この建設計画は、1984年米国のレーガン大統領が「人が生活することのできる宇宙基地を、10年以内に建設する」という発表



「きぼう」実物大模型を沈めた無重量環境模擬水槽

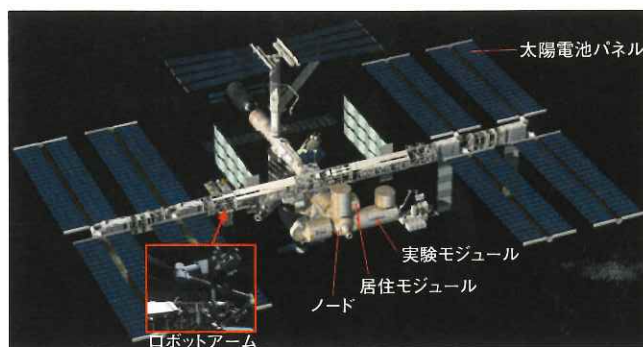
を行い、各国に参加を呼びかけたことから始まった。翌年、日本、カナダ、ヨーロッパ各国が参加し、その後1993年にはロシアが参加することになった。現在では、アメリカ、日本、カナダ、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス、ロシアの15カ国が参加している。このようにISSは、新しい時代の国際協力と平和のシンボリック存在としても注目されている。

ISSの構成要素と組み立て

ISSは、端に巨大な太陽電池パネルを持つトラス構造の中心部に、各国のモジュールが結合された構成となっている。日本の実験モジュール、アメリカの実験および居住モジュール、ヨーロッパの実験モジュール、ロシアの実験モジュールおよびサービスモジュールなどが結合される。このほか、カナダは国際宇宙ステーションの組み立て、保守などを支援するロボットアームを担当する。

この中で宇宙飛行士が使用する主なスペースは、実験モジュールと居住モジュールである。実験モジュールは全部で6棟あり、各種の実験装置が設置されている。居住モジュールは2棟で、各国の宇宙飛行士が共同で使用する。ちなみに搭乗できる宇宙飛行士は最大で7名である。これらのモジュールの中は、宇宙服を着なくても生活ができるように、地球の大気とほとんど同じ組成と気圧で、快適な温度、湿度に保たれている。

実際のISSの建設では、構成パーツを全部で40数回に分けて打ち上げ、宇宙空間で段階的に組み立てていく。打ち上げに使われるのは、アメリカのスペースシャトルやロシア等のロケット



国際宇宙ステーションの構成

国際宇宙ステーションの仕様

項目	諸元等	
寸法	108.5m×88.4m (サッカーのフィールドと同じくらい)	
重量	約453.6トン	
電力	総発電電力 75kW	
全与圧容積	1303m ³ (ボーイング747型ジェット旅客機 2機分の客室容積に相当)	
与圧モジュール棟数	実験モジュール (6棟)	・米国実験棟「デスティニー」 ・ロシア研究棟 (2棟) ・欧州実験棟 ・「きぼう」日本実験棟 ・セントリフージュ
	居住モジュール (2棟)	・米国居住棟 ・ズヴェズダ (ロシア)
曝露搭載物取付け場所	トラス上4箇所 きぼう船外実験プラットフォーム10カ所	
常時滞在搭乗員	7名 (組立期間中は3名)	
軌道	円軌道 (高度330~780km) 軌道傾斜角51.6°	
輸送手段	組立	・スペースシャトル (米) ・ソユーズロケット、プロトンロケットなど (露)
	補給	・スペースシャトル (米) ・ソユーズロケット、プロトンロケットなど (露) ・アリアン (欧) ・H-IIA (日)
通信能力	米国追跡・データ中継衛星 (TDRS) システム その他、露、日、欧のデータ中継衛星システム	

である。最初に打ち上げられたモジュールは、1998年のロシアのFGB(ロシア語の略称、英語ではFunctional Cargo Blockに相当)で、宇宙ステーションの初期段階での推進機能及び電力供給機能を提供する役割を持っていた。このモジュールは愛称をザーリャ(ロシア語で「日の出」の意味)と名付けられた。ISSにかかる人々の期待が伝わってくるようである。

建設が完了するのは2006年の予定であり、その後本格的な運用が開始される。



最初に打ち上げられたロシアのFGB「ザーリャ」

日本が開発する「きぼう」

日本の宇宙開発は、文部科学省宇宙開発委員会が中心となって推進されてきた。日本が開発を担当する実験モジュールは「きぼう」と命名され、この開発、製作はNASDAが中心となって進められている。

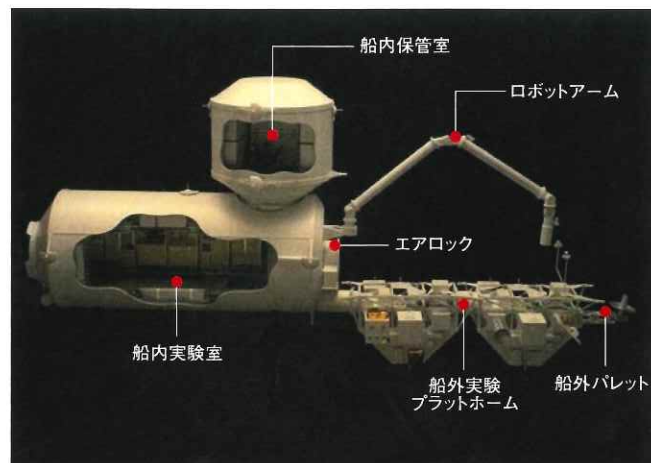
「きぼう」は、船内実験室と船外実験プラットフォームと呼ぶ2つの実験スペース、船内実験室に付帯する船内保管室、船外プラットフォームに付帯する船外パレット、ロボットアームおよび衛星間通信システムの6つの要素で構成されている。

船内実験室、船内保管室などの主構造(外殻構造)はアルミニウム2219合金製であり、表面構造はリブを残して他の箇所を削り取った「アイソグリッド構造」となっている。これは軽量化と剛性保持を兼ねた構造で、ロケット機体にも採用されている。ロケットとの違いは、リブ面がロケットでは通常内側にあるが、「きぼう」では外側にあることである。これは外壁を保全するにあたり、地上において室内から超音波探傷検査、X線検査、浸透探傷検査などができるようにするためである。

「きぼう」の開発は、1990年から開始された。最初に、実物大模型などを作成し、構造、電子回路などの機能の検討や基本的な設計仕様の妥当性を確認するためのデータを取得した。この成果に基づき、実物とほとんど同じ構造の試作品である「エンジニアリングモデル」を製作し、設計および製造方法が技術要求に適合したハードウェアやソフトウェアを制作するのに適していることを確認するために、さまざまな試験が行われた。

1994年、実際に宇宙に打ち上げられる「プロトフライトモデル」の製作が開始された。厳しい品質管理の下に製造された各部品は、まず要素ごとに組み立てられ、その後全体システムとして組み立てられる。この間、何度となく試験が行われ、要求される機能、性能に適合することが必要となる。すべての試験を終えた「きぼう」は3回に分けて打ち上げられるため、それぞれの

■日本の「きぼう」の全体図



製作を終えた「きぼう」の船内実験室

「きぼう」の表面のアイソグリッド構造

打ち上げタイミングに合わせて、分割されアメリカに輸送され、打ち上げの日を待つことになる。

対流が発生しない微小重力環境

1992年9月、毛利宇宙飛行士が日本人で初めてスペースシャトルで飛び立った。この時の「ふわっと'92」ミッションでは、スペースシャトル内の宇宙実験室で材料実験やライフサイエンス実験が行われ、日本の宇宙実験の先駆けとして多くの成果が得られた。

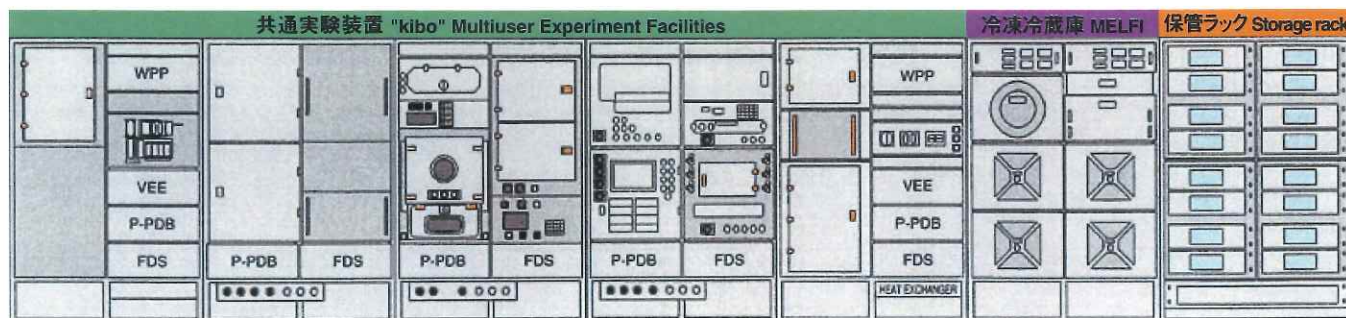
ISSで行われる宇宙実験には、微小重力科学、ライフサイエンス、宇宙医学、宇宙・地球観測等が挙げられている。

このうち、微小重力科学分野では、地球上で製造が困難な物質・材料の創製実験に期待が集まっている。ISS上の重力は、地球上の1万分の1から100万分の1といわれる。この微小重力環境下では、物質の「重さ」という概念が無視できるようになる。そのため、液体中の物質に浮力が働かなくなる、液体を加熱しても温度差にともなう対流が発生しない、という現象が起こる。この環境を利用することにより、成分が均一に混ざった合金や完全な構造を持つ結晶などの創製が期待される。さらに、微小重力下では容器に接触せず浮遊させた状態で溶融、凝固が可能となり、地上と異なる原子配列、組織となることが期待され、新たな特性を持つ物質・材料の創製も期待できる。また、微小重力環境下での研究が進むにつれ、地上では重力によって隠されていた現象が次第に明らかになりつつある。

ISSで実施される微小重力科学実験テーマは国際公募され、科学評価(科学的意義、長時間微小重力利用の意義)、技術評価(技術的実現性)およびプログラム評価(実施スケジュール、実施計画詳細化の可否、必要経費など)を経て、2002年1月に日本の候補テーマ5つが選定された。

このうちの一つに、NASDAの大高雅彦氏らによる「高プラントル数流体の液柱マランゴニ振動流遷移における表面変形効果の実験的評価」が選ばれた。

「きぼう」の船内実験室にある実験装置用ラック



温度勾配炉
Gradient Heating Furnace

ライフサイエンスラック
Lifescience Rack

細胞培養装置
Cell Biology Experiment
Facility
クリーンベンチ
Clean Bench
生物実験ユニット
Biological Experiment Unit

溶液蛋白質結晶成長装置
Solution/Protein Crystal
Growth Facility
流体物理実験装置
Fluid Physics Experiment
Facility
画像処理取得装置
Image Processing Unit

帯域炉
Advanced Furnace for
Microgravity Experiments
with X-ray Radiography



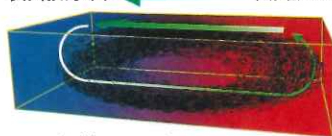
微小重力下で大きく、きれいに(規則正しく)分子が整列してできた有機物結晶の例



電磁場の中で浮遊したシリコン液滴

一般に流体は温度が高いと表面張力が弱く、温度が低いと表面張力が強くなるが、このような表面張力のわずかな違いによって起こる対流がマランゴニ対流である。ISS以外でも、これまでの流体分野の宇宙実験の半数はマランゴニ対流に関するものである。これは微小重力下では密度差による対流がなくなりマランゴニ対流を顕在化させることができること、大きな液柱が作れることでより詳細な流れの観察ができることによる。重力による浮力対流と表面張力によるマランゴニ対流の本質の理解が深まれば、材料の高品質化が期待でき、その解明は大きな意味を持つ。マランゴニ対流は、温度差などの条件を変化させると、流れのようすがいつも同じ整った状態の「定常流」から流れや温度が時間とともに周期的に変化する複雑な「振動流」に

低温 表面張力:大 ← 高温 表面張力:小



マランゴニ対流の概念図

遷移する。従来、振動流に遷移する条件は、液体の大きさと温度差だけとされていた。

大高らのテーマでは、振動流への遷移現象に

おいて液体表面が微小に波打つ動的表面変形(DSD: Dynamic Surface Deformation)に着目し、DSDの大きさがある値より大きくなった場合に遷移が起こるといった新しいマランゴニ対流遷移モデルを構築した。本テーマでは、地球上で不可能な大きな液柱を作成、DSDを精密に測定し、流れを詳細に観察することにより、DSDの詳細な挙動およびその役割を総合的に解明するものである。

新しい物質・材料創製の可能性への期待

この他に選ばれたテーマの一つに、NASDAの栗林和彦氏ら

■ 拡散実験の模式図



2種類の液体を接触、拡散させる



材料サンプルを分断する

による「微小重力下におけるシリコンの無容器結晶化」がある。これは、空間に浮遊させたシリコン液滴中の結晶の成長する速さや形状を観察し、結晶中に原子が取り込まれていく過程を調べるものである。実験装置では、高周波電流を流したコイル中に生じる電磁場中にシリコン液滴を浮遊させ、次に浮遊させたまま融点以下に冷却し、シリコンの小さな結晶を接触させ結晶化させる。浮遊させた液滴は、微小重力下での無容器溶解による表面張力の働きで、ほぼ真球状となるという。この研究成果は、シリコン単結晶の高品質化に寄与することが期待されている。

また、NASDAの伊丹俊夫氏らによる「液体構造の複雑性の系統的変化を示す14 (IVB) 族*液体における自己拡散および不純物拡散に及ぼす短距離秩序の役割」も興味深いテーマである。熔融金属や半導体原子の運動を調べるには、液体の拡散係数を正確に測定することが必要である。しかし地球上ではわずかな温度差が対流を引き起こしてしまうため、正確な測定が困難だった。微小重力環境であれば、対流の影響がきわめて小さく、より正確な測定が可能となる。このテーマでは、ゲルマニウムを対象として、熔融状態の拡散係数の測定を行う。実験に使われるのは、日本が開発した帯域炉であり、X線透過映像により実験中のサンプルを観察することが可能である。

*14 (IVB) 族: 元素周期表における族(縦の列)の一つで、シリコン、ゲルマニウムなどがある。

なお、選定された候補テーマは、フライトに向けた準備作業を実施していく中で、今後のISS計画の進行状況に合わせ、適宜再評価が行われ、実施に至る予定である。

宇宙へのロマンを現実のものに

ISSは完成する2006年以降、少なくとも10年は利用できる半恒久的な施設を目指している。これだけの大規模な国際プロジェクトを継続するため、各国で推進体制の見直しが図られている。

アメリカ航空宇宙局 (NASA: National Aeronautics & Space Administration) は2001年6月に「ISSの管理・コスト評価特別委員会」を設置し、宇宙ステーションのコスト、予算、管理の見直し、評価を行うこととした。同委員会は11月にアメリカ下院科学委員会の公聴会に報告書を提出し、この中でこれまでのNASAのISSの管理等について見直しの必要性を強く訴えた。この報告書を受け、日本でも2002年2月に文部科学省が日本のISS利用の見直しを検討することを決め、搭乗人員や実験の見直しを行う可能性もあるといわれている。また日本政府の行政改革推進における特殊法人の廃止・統合あるいは民営化の議論の中で、ISSプロジェクトを推進しているNASDAは他の



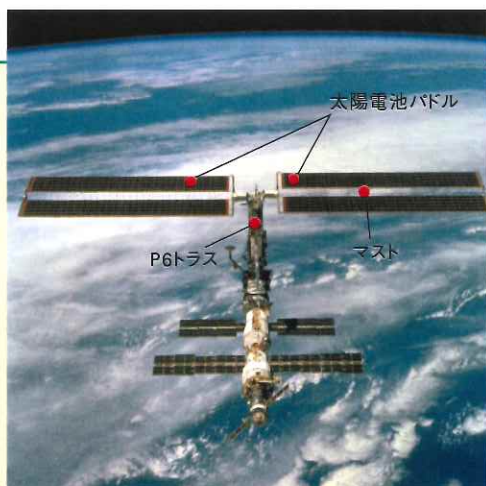
宇宙観光に出発する前の史上初の宇宙観光客、デニス・チトー氏 (中央)
(提供: AP/WWP)

2つの宇宙関係機関 (宇宙科学研究所、独立行政法人航空宇宙技術研究所) との統合に向けた検討が行われている。

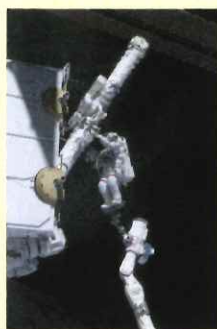
このような状況ではあるが、ISSが建設され、宇宙利用が次第に身近なものとなってきた現在、人々の宇宙への挑戦、ロマンはいや応なしに高まりを見せている。2001年4月に人類初の宇宙観光客であるアメリカの実業家、デニス・チトー氏がISSに

滞在し、2002年にも次の宇宙観光が予定されている。米国のピザハット社がISSにピザを宅配したり、日本の電通が宇宙CMを撮影したりしたという商業利用のニュースも最近のことである。この他、NASDAが募集している宇宙利用のアイデアの中には、宇宙でダンス、ロボットコンテストやガーデニングを行うというユニークなものもあり、実現したらどのようなものとなるのか興味は尽きない。私たち人類が宇宙という新しい活動フィールドを利用するための第一歩として、ISS計画がぜひ成功してほしいと願わずにはいられない。

●取材協力 宇宙開発事業団



ISSに取り付けられた太陽電池パドル



ロボットアームを操縦する
若田飛行士

カナダ製ロボットアーム
の取り付け作業

ISSの太陽電池パドルとロボットアーム

ISSの主なエネルギー源は太陽電池による発電である。太陽電池パドルは、ISSを構成するトラスの3箇所に取り付けられ、常に太陽の方向に向くように回転する。

2006年に打ち上げられたP6トラスに付帯する太陽電池パドルは、ISSの中で最も大きいもののひとつである。これはP6トラスの両側に各2枚ずつ設置されている。片側のパドルの長さは33.5m、幅は11.6mである。両側を合わせると8cm角の太陽電池セル32,800枚が取り付けられ、32kwの発電能力を持つ。この大きな太陽電池パドルは、打ち上げ時は折りたたみ容器に収納されており、取り付け時に展開される。マストはアルミニウム、ステンレスおよびグラスファイバーを組み合わせたもので、断面は77cm角である。

ロボットアームは、ISSの建設に重要な役割を果たす。1995年3月、日本の若田宇宙飛行士がISSの組み立てミッションに参加し、シャトルのロボットアームの操縦を行った。この時のロボットアームは、長さ15m、関節数6、最大取扱質量266ton (宇宙空間) である。骨組みとなるブームはグラファイトとエポキシとの複合材でできている。操作は、船室の中から窓越しに、または2台のテレビモニターを見ながら行う。