

# 国際宇宙ステーションの現況



原 宣一

はじめに

今年は3月と6月の2度にわたり、日本の宇宙飛行士がスペース・シャトルで宇宙に飛び立ちました。3月には土井隆雄宇宙飛行士が2度目の宇宙飛行で「きぼう」の船内保管室を国際宇宙ステーションに取り付けました。6月には始めての宇宙飛行となる星出彰彦宇宙飛行士が「きぼう」の本体である船内実験室を宇宙ステーションに取り付けました。来年春には若田宇宙飛行士が3ヶ月の長期滞在のあと「きぼう」の船外実験プラットフォームを取り付けることになっています。その後、数回のシャトルの飛行があつて国際宇宙ステーションは一応完成し、シャトルは引退することになっています。ここで、国際宇宙ステーションの建設を振り返ってみたいと思います。

本日はD8サロンという建築関係の方のお集まりでのお話なので、出来る限りステーションの建設に関わるお話をしたいとは思っております。

## 1. 宇宙ステーションの始まり

もう半世紀以上昔のことになりますが、私の子供の頃、「少年」という雑誌に載った宇宙ステーションの図がありました。

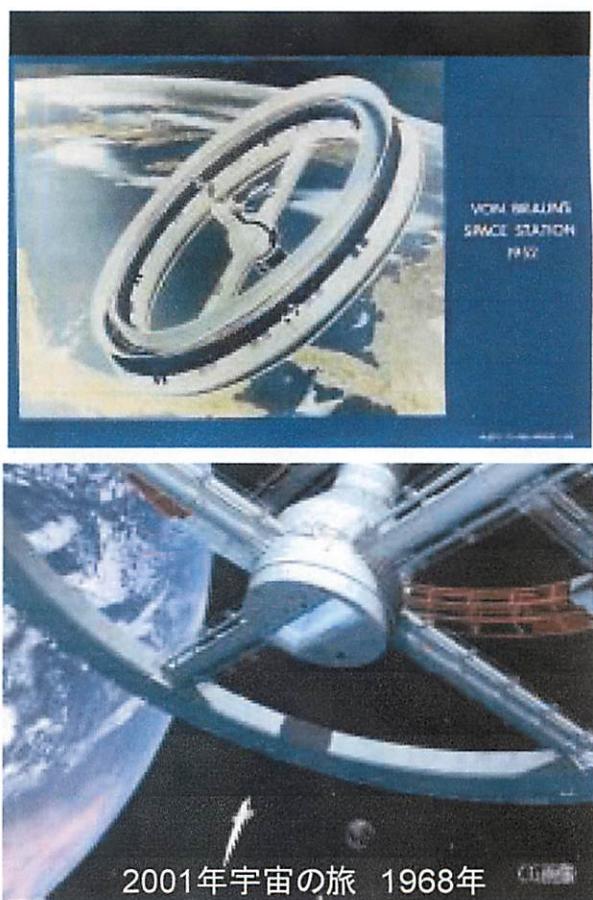
最初の図はフォン・ブラウンの想像した宇宙ステーションです。1951年とあります。ソ連が世界で最初の人工衛星スプートニクを打ち上げて世界を驚かせたのが1957年のことでしたから、ウエルナー・フォン・ブラウンはこんなに早くから将来の宇宙開発を想像していたわけです。フォン・ブラウン博士は、ご存知かと思いますが、第2次世界大戦でドイツのV2号ロケットの開発者として有名です。宇宙関係者でこの人の名を知らなかつたらモグリです。戦後はアメリカに渡つて、米国のハンツビルでV2号のロケット技術を米国に教えていた程度であまり重要な役割は与えられていませんでした。その頃、宇宙ステーションの絵を描いて将来の宇宙探査の想像をしていましたのでしよう。

1957年にソ連が世界最初の人工衛星スプートニクを打ち上げに成功しました。これは米国に大きな驚きと恐怖を与えるものでした。それまで、海軍のバンガード計画が失敗を繰り返していましたが、米国が世界で最初の人工衛星を打ち上げることを疑いもしなかつたからです。

このとき、フォン・ブラウンは陸軍のジュピターCロケットを使つてすぐにでも人工衛星を打ち上げることができると提案し、それが採用されるや、ソ連のスプートニクに遅れること僅か4ヶ月で米国最初の人工衛星エクスプローラを打ち上げることに成功しました。

エクスプローラはJPLが開発した衛星で、地球の周りを取り

1957年にソ連が世界最初の人工衛星スプートニクを打ち上げに成功しました。これは米国に大きな驚きと恐怖を与えるものでした。それまで、海軍のバンガード計画が失敗を繰り返していましたが、米国が世界で最初の人工衛星を打ち上げることを疑いもしなかつたからです。



2001年宇宙の旅 1968年

巻く放射線帯があること、つまり、バン・アレン帯の発見に貢献しています。

この頃、宇宙探査といつても月ですら遠くにあって、まず地球周りを回るステーションを建設し、そこから月や火星に行くことになると考えられていました。

アーサー・クラークの書いた「2001年宇宙の旅」が映画化されたのは1968年ですが、このときの宇宙ステーションはフォン・ブラウンの宇宙ステーションとそっくり同じです。ドーナツ型にして回転させることにより内部に人工重力を発生させています。この人工重力というのは回転による遠心力のことですが。

## 2. サターンVロケットと有人月面探査

フォン・ブラウンの最大の功績は米国の有人月面探査を成功させたことでしょう。月ロケットであるサターンV型ロケットの開発者としても知られています。

ケネディ大統領は米国は1960年代の内に月に人を送つて無事に帰還させると宣言しました。どうすれば10年以内にそのようなことが実現できるか検討した結果、ステーションを建設するのでは時間がかかりすぎることが判りました。そこで、巨大なロケットで一気に月まで行くことになったのです。

それでもエネルギー節約のために、どうしても必要な技術が、ランデブー・ドッキングでした。月面に降り立つてから地球に戻

つてくるロケットとして司令船を月の周りを回って待たせておくことにしたのです。この方式を一人の若い技術者が考え付いたことで、フォン・ブラウンは実現に自信が持てたということです。写真のサターンVロケットは私がフロリダ工科大学（F.I.T）に1年間留学した時にケネディ・スペース・センター（K.S.C）で撮影したものです。1975年の頃です。

サターンV型による有人月着陸は6回成功しています。アポロ13では危うかつたのですが月の裏側を回って、3人の宇宙飛行士はかろうじて地球に戻つて来ることができました。

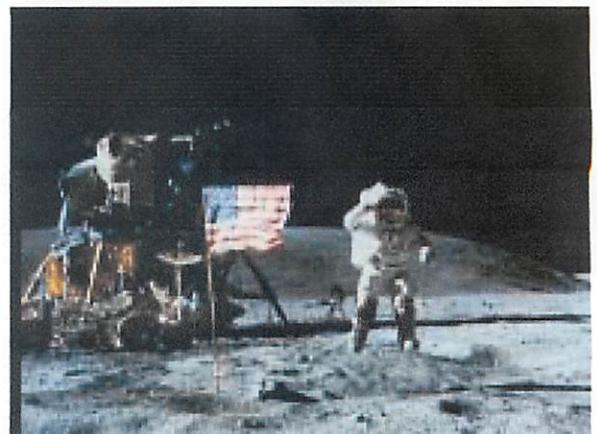
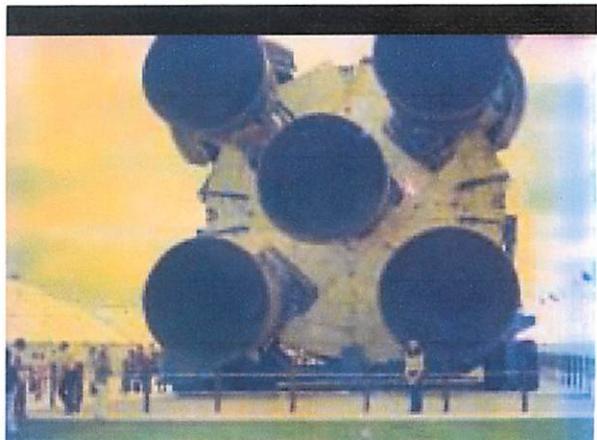


アポロ計画はアポロ17で終了させましたが、余った機体が数機あって、米国の数箇所で展示されています。1975年当時は野外の展示でしたが、これは立派な観光資源であることを認識したせいでしょう、今はどこも屋内展示になっています。

### 3. ミールとスカイラボ

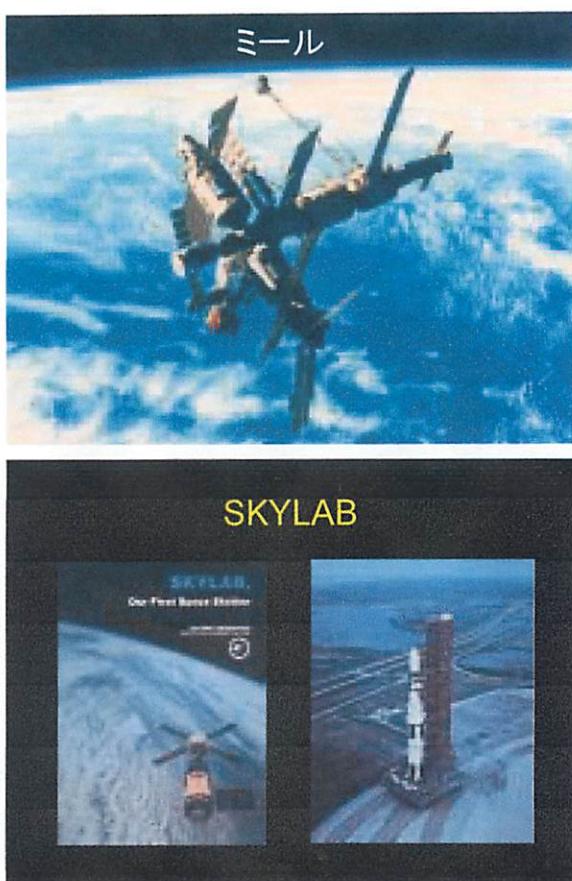
ソ連は有人月着陸で米国との競争に敗れると、有人月着陸には興味を失ったかのようです。無人による月表面物質のサンプル・リターンには成功しているのですが。

火星への有人ミッションには米国に勝つ積もりだったのでしょうか、宇宙ステーション建設と宇宙での長期滞在に目標を変え



ました。火星に行くためには、往復で約3年の時間が必要です。

ソ連の宇宙ステーションは最初のモジュールの打ち上げから単独で衛星としての機能を持ち、モジュールを継ぎ足して大きくしていくスタイルでした。初めから全体を描いて大きくして行つたものではないようと思えます。



のことです。

スカイラブはサターンVで無人のまま打ち上げて軌道に乗せ、後からサターンIBで3人の宇宙飛行士を送り込んでいます。スカイラブには3回に渡って述べ9人の宇宙飛行士が送り込まれました。

スカイラブは長らく無人のままで飛んでいましたが、軌道がだんだん下がってきて、1979年7月に大気に突入しました。一部が燃え残つてオーストラリアの西海岸、パースの近くに残骸が落ちました。

スペース・シャトルの開発が早ければ、推進モジュールを運んで取り付け、軌道を上げ、ずっと使う予定でしたが、間に合いませんでした。

ミールもソ連が崩壊した後、ロシアが国際宇宙ステーションに参加することが決まった後、大気に突入させています。ロシアは老朽化したミールもまだまだ使えるとしていたのですが、運用のための維持費が出なかつたようです。

日本の秋山さんがTBSの記者ながら、日本人最初の宇宙飛行の栄誉を勝ち取りました。TBSがソ連にお金を払つてソユーズに乗り、このミール宇宙ステーションを訪問したのです。

ソ連はサリュートの次はミールと二つのステーションを打ち上げて有人の長期間の宇宙滞在記録を更新していきました。米国はソ連が宇宙ステーションに力を入れだしたので慌てたのかもしれません。アポロ17号の成功で月に行くのは止めにして、残つた機体の1機を改造して宇宙ステーションとして使うことにしました。これはスカイラブと呼ばれたもので、1973年

#### 4. スペース・シャトル

アポロ計画が成功すると、宇宙開発にかかるお金が問題視され

るようになりました。ベトナム戦争が始まつて宇宙開発に当てる予算が切り詰められるようになつたことも影響しています。

そして、宇宙ステーションをつくつて宇宙探査などの活動は宇宙ステーションを根城に進めることが本筋という考えに戻つたのです。

宇宙ステーションを作るに当たつては、資材を宇宙に運ぶ宇宙輸送システムが必要です。宇宙ステーションと輸送システムを同時に開発するのはさすがの米国でも大変です。そこでまず輸送システムの開発だということになりました。



在来型のロケットは使い捨てだからどうしても打ち上げコストがかかる。再使用型の宇宙輸送システムを作れば、打ち上げコストは激減できるはずとして設計されたものがスペース・シャトルです。1回あたりの打ち上げコストは十分の一にできるという意気込みだったのです。

このような経緯でスペース・シャトルは開発され、初飛行は1981年でした。2回目の試験飛行にも成功し、レーガン大統領が次は宇宙ステーションの建設であると宣言しました。

スペース・シャトルは一見華やかに見えますが、その後の宇宙開発を大きく狂わしたものだつたことは否めません。シャトルの運用コストは一向に安くならなかつたばかりか、使い捨て型ロケットより高いものだつたのです。そのため、米国は国際宇宙ステーションの建設が終わつたらシャトルの運用を止める決心をしたのです。

もちろん、多くの宇宙飛行士を宇宙に運んだと言う不滅の実績は残しています。後世の歴史家がスペース・シャトルをどのように位置づけるかは判りません。

一時期は、シャトルの運用回数が増えれば1回あたりは安くなるという考え方で、当時の主ロケットである、タイタン、アトラス、デルタの生産ラインまで廃止したぐらいです。軍用ミッショングでシャトルを使うことにしていました。この政策の影響は非常に大きく、歐州のアリアンロケットに世界の商業衛星打ち上げの

シェアを大きくさせてしまいました。

なお、シャトルの運用費は現在で400億円／飛行といわれています。有人ミッションであることが高くついています。またオーラの翼が使われる時は着陸時だけで、その他の時は何も役立っていないことが不利な点です。航空機のように着陸できることは確かに良かったのですが、全体としてみると効率的でなかったことになります。

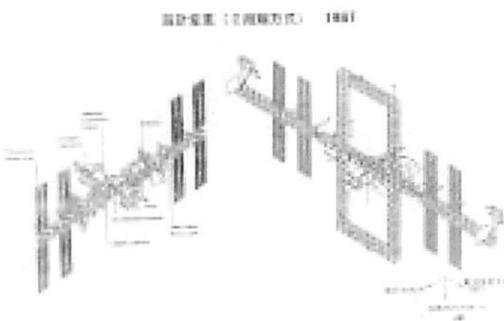
## 5. 宇宙ステーション・フリードム

国際宇宙ステーション計画は1982年に始まりました。

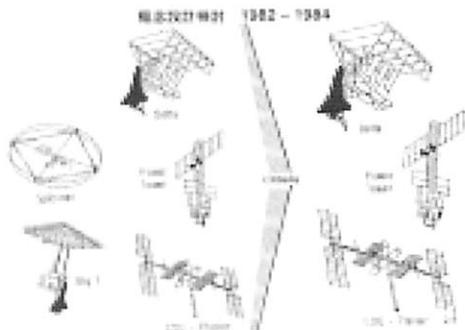
初めからESAや日本に参加するように要請があり、日本は喜んで参加したのです。スペース・シャトルの開発の際にも、参加の打診はあつたのですが、日本の宇宙開発技術はとても世界に追いついていなかつたので、参加しても費用分担に終わるだろうと考え、参加は辞退したのです。カナダはロボット・アームの開発で、ESAはスペースラブの開発で参加しています。

宇宙ステーション計画では、国際間の協定文書の作成などに多大な労力がかけられています。日本は語学のハンデがある分、大変でした。NASAは全体の安全に責任を持つので、日本の開発するJEMについても安全審査を行う一方で、日本はJEMの開発に責任を持つという関係でした。

国際宇宙ステーション - 歴史 (3/5) NASA



国際宇宙ステーション - 歴史 (1/5) NASA



国際宇宙ステーション - 歴史 (4/5) NASA



国際宇宙ステーション - 歴史 (2/5) NASA



宇宙ステーションの形状はいくつも考えられました。その間、日本の開発部分であるJEMだけは最初から最後まで一貫して同じものでした。当初は極軌道衛星まで宇宙ステーション・プログラムで軍事ミッションも含まれていて、日本はNASAの部分とだけ付き合うという切り分けの難しい変則的な話でした。

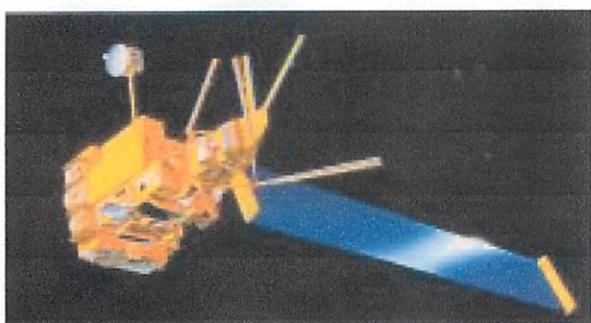
宇宙ステーションが共産圏のソ連もミールに対抗して開発が始まつたことは明らかで、名前も自由圏を意味するフリードムという名前で呼ばれていました。ただし、米国の防衛関係がいち早くスペース・シャトルを使うことをあきらめてから、宇宙ステーションも軍事の色合いはなくなりました。

私は宇宙ステーション計画が動き出した頃は、NASDAの将



来宇宙機を検討する部署にいました。無人機も宇宙ステーションをベースにして宇宙での活動が広がることを想定していました。その頃のキーワードの一つが「軌道上サービス」で将来の衛星は修理が出来るようになるという見込みでした。もちろん修理ができるとしても当分はコンポーネントを一つそり取り替えることぐらいしか出来ないだろうから、衛星などの宇宙機はコンポーネントを取り替えやすいように設計しておくべきという思想でした。

ADEOS想像図（基本設計終了時点）



地球観測衛星であるADEOSは地球観測技術プラットフォーム衛星と名づけ、観測用のセンサをいくつも搭載したのです。この頃の私の予想で外れたものがあります。漠然と考えていた

もので、誰かに話したわけではありません。それは「人類が作った最も大きなものは宇宙ステーションのような宇宙機である」というものでした。何しろ、宇宙に持つて行きさえすれば無重力環境におかれますから、継ぎ足していくばどんどんどん大きな構造物になるだろう。そして宇宙空間はとてもなく広いですから場所に困ることはなかろうと予想したわけです。

かなり遠い将来には、L5のような軌道上安定な場所に大きな宇宙構造物を作る可能性はありますが、現在の技術の延長上には見えません。

少なくとも地球周回の軌道上ではいくら無重力状態だとしても大きな構造物は成り立たない要素があるのです。今から20年前に過ぎないのですが、当時はデブリ環境を気にかけていませんでした。また重力に抗しての姿勢保持は大きなものは大変です。

逆に重力を姿勢安定に使えなくもありません。この場合は細長い宇宙機が縦になる状態が安定なのです。月が裏面を地球に見せないのも同じく重力安定によることが理由です。

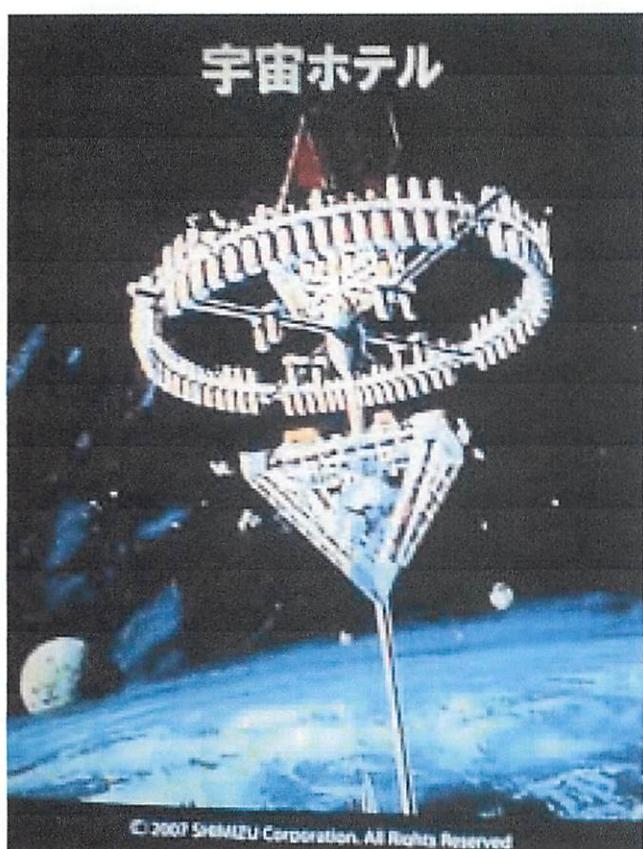
土星の輪が円盤状でなく岩石状の集まりであることはニュートン力学から予測されていました。重力に持ちこたえて円盤状を保てるような物質はないからです。

少し脱線します。軌道エレベータと言う言葉を聞かれたことがおりでしようか。もともとは、アーサーCクラークが考えたそうですが、静止衛星軌道から上下に柱を伸ばしていくことは重力

安定にかなっていますから出来ます。どんどん伸ばしていくと地に頼らなくて宇宙空間に物資が運べるというアイデアです。

実際にはこのような柱を作ることができる強度のある材料がありませんので不可能です。

カーボンナノチューブが大きな材料で出来れば可能になるのではないかと考える人もいますが、私の予想ではテープをつけてもまだ強度不足です。



この頃は、日本の建設業界も景気が良くて将来構想を幅広く検討していました。中でも清水建設さんは宇宙開発室という組織

も作られて、月面ホテルなどの絵も発表されていました。

この図が宇宙ホテルですが2007年のクレジットが入っているところを見ると最近書かれたものようです。まだ、夢は続いているようです。

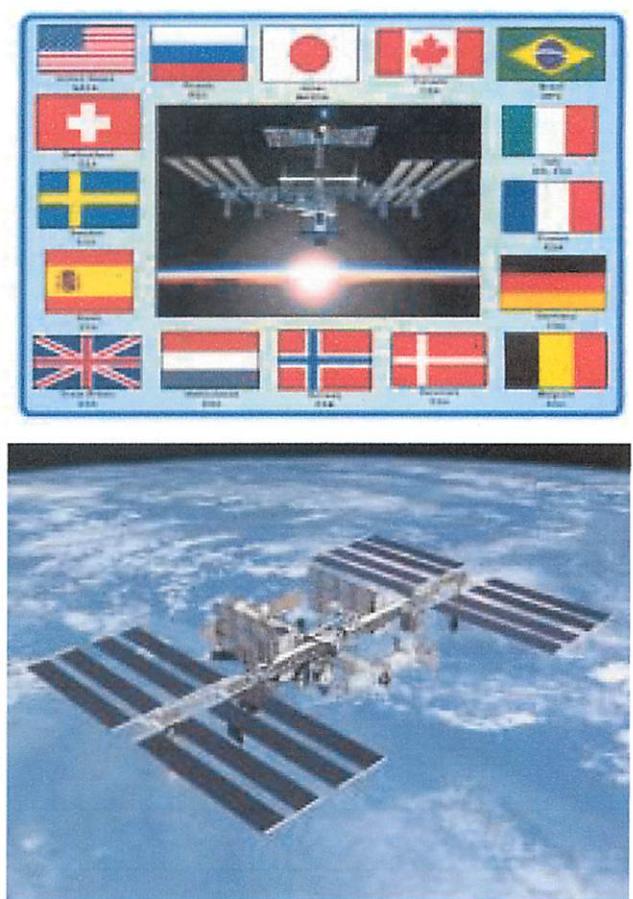
ADEOSの設計をしていた頃の話に戻ります。当時の宇宙開発検討はまさに将来がばら色で楽しいものでした。米国の雑誌も軌道間輸送機(OTV)やロボット宇宙機の挿絵などがあつて夢が膨らんでいた時期でした。

これらの予想がはなはだしく甘いものであつた理由は、スペース・シャトルの現実を直視していかつたことがあります。

シャトルの性能も計画の半分ぐらいしかなかつた上、運用コストが非常に高かつたのにそのうち安くなるだろうと希望的に見てしまつたのです。チャレンジャーの事故は1986年ですが、その後でさえそのように見ていました。NASAだから出来るだろうという期待がありすぎたのです。何しろ、有人月面着陸を大統領の約束に違えず1960年代に実現したのですから。

ソ連が崩壊した頃、国際宇宙ステーション計画も放棄されかけたのですが、その頃、形状も変わり名前も変えられました。最終的にロシアの参加も前提にして大きく変更されたのが、現在の国際宇宙ステーション(ISS)です。参加国は15カ国となっていますが、このほかに2国間の契約で参加する国もあります。この図の右肩に出ているブラジルもそのうちの一つで正規の参加

国ではありません。



宇宙ステーションは当初宇宙基地と呼ばれていたように、宇宙に進出する前線基地という意味であつたのです。基地ということばは軍事用語のニュアンスがあるということから、ステーションとカタカナで呼ぶようになりました。日本はこうすることにも気を使う国なのです。

現在宇宙ステーションの機能は宇宙実験に限られています。宇宙実験は材料実験分野と生命科学分野に分けられます。人間の長期間宇宙滞在は大きな項目です。

材料実験としては比重の異なる金属の合金精製は典型的な無

重力状態を利用した実験です。

生命科学分野では各種たんぱく質の精製があるとのことです。日本は芸術家の宇宙滞在も視野に入っています。ロシアが有償で民間人を宇宙に運んだこと也有って、商業利用も検討しています。

## 6. JEM

NASAは宇宙ステーションの開発に3兆円をかけるという話でしたので、日本は当時のNASDAの予算がNASAの十分の一でしたからJEMの開発に3000億円かけるということまで大枠が決まりました。JEMはすぐ100億円増やして貰って3100億円で開発が始まりました。

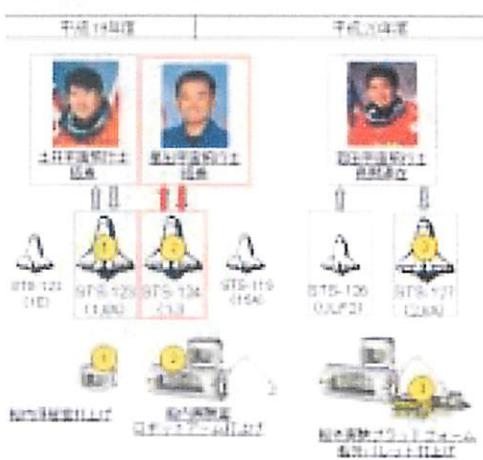
日本は最初から最後まで同じ計画を貫き通しました。宇宙ステーション計画が伸び伸びになつて、他国がすべて予算の増加に悲鳴を上げていきましたが、日本の長期予算は殆ど変わらなかつたのです。他国からは、NASDAのマネージメントが奇跡だと賞賛されたのですが、その分日本のメーカーは影で泣いていたということです。

JEMは「きぼう」という名前がつけられました。ISSの

前方左側に取り付けられています。現時点では船内実験室（与圧室）と船内保管室とロボット・アームが取り付けられたところで、船外実験プラットフォームおよび船外実験パレット（暴露部）は

10

来年春に取り付けられる予定です。



今年の3月に土井さんがSTSの123便で飛んで船内保管室をISSに取り付けました。そして、6月にSTSの124便で星出さんが船内実験室とロボット・アームをISSに取り付けました。星出さんは始めての宇宙飛行でした。

来年春には3度目の宇宙飛行となる若田さんがSTSの126便でISSに行き、3ヶ月の長期滞在をして、STSの127便で運ばれてきた、船外実験プラットフォームと船外実験パレットをISSに取り付けてから帰還します。

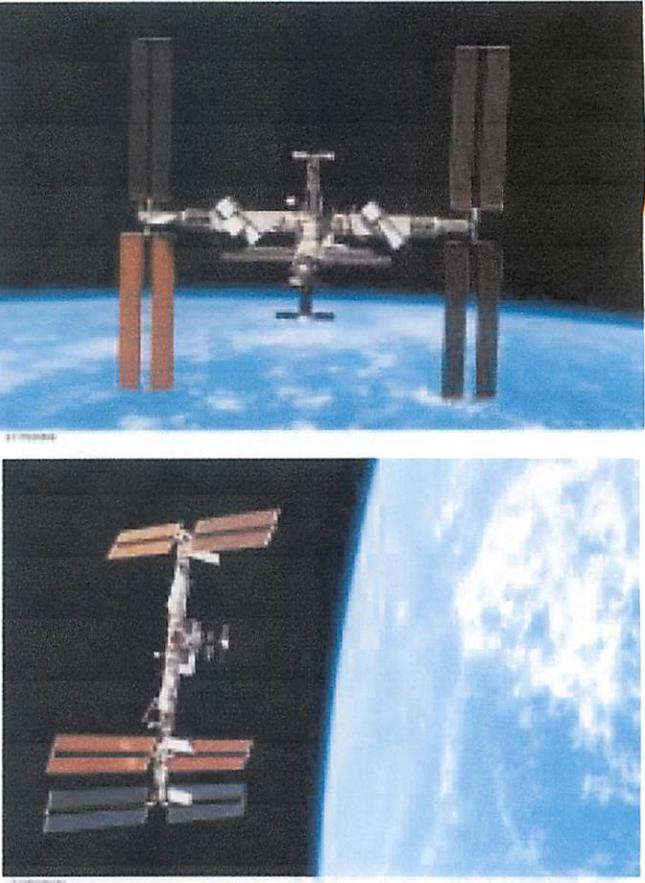
ISSの最新の写真はあいにく手元にありませんでしたので、まだJEMが取り付いていませんが、2,3の写真をご覧下さい。

ールでATVはロシアのドッキングモジュールに結合するよう設計されています。

JAXAは来年の秋にHTVをISSにバーニングさせる予定です。ドッキングというのは少し勢いをつけて結合させるのですが、バーニングというのは静かにアームで引き寄せて結合します。

HTVを打ち上げるロケットはH2Aの1段エンジンを2機にしてタンクの直径も4mから5mに大きくしたH2Bというロケットで打ち上げます。

ATVはロシアのモジュールにドッキングする形式ですから、運べる大きさに制限があります。HTVは最初からラックをそのまま交換できるように大きな結合部を有しています。



## 7. HTVとH2Bロケット

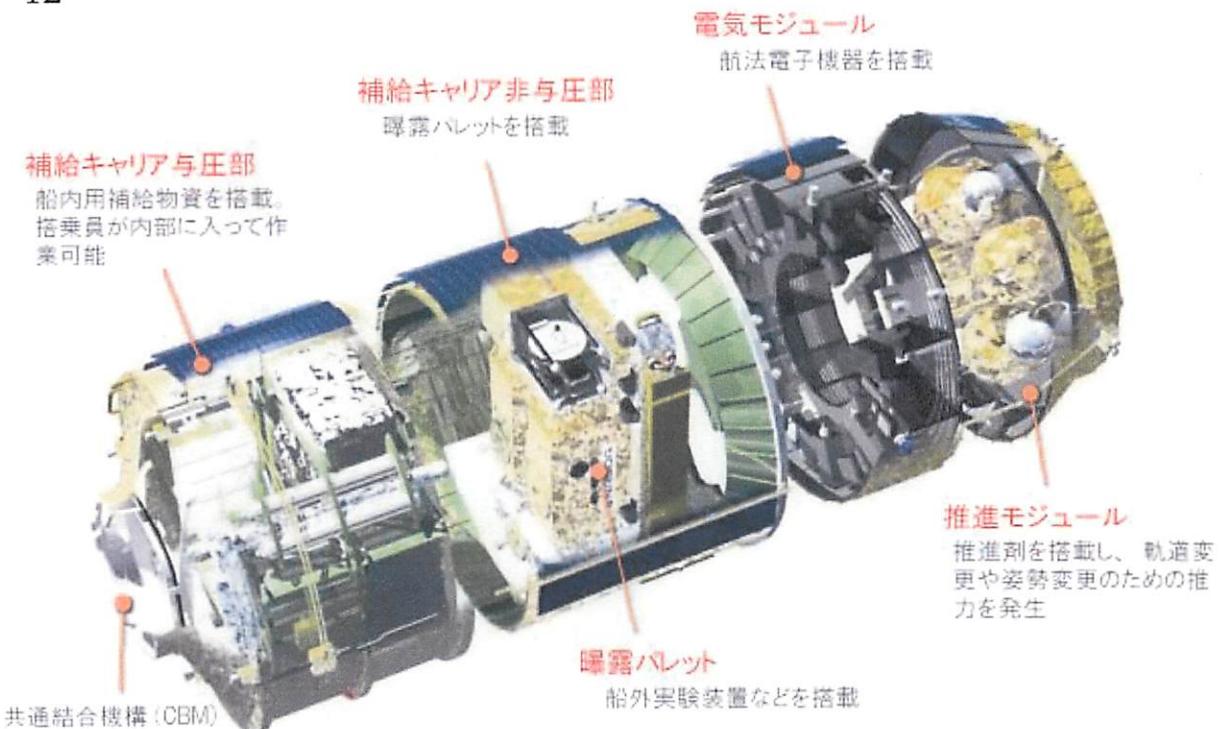
NASAはスペース・シャトルの運用を後10回で止めます。

この後、ISSへの宇宙飛行士の輸送は少なくとも数年間はロシアのソユーズに頼ることになります。

一方、国際宇宙ステーションへの物資の輸送はシャトルでなくでもできるということでESAはATVをJAXA/NASDAはHTVを開発してきました。

ESAは今年の3月に最初のATVをISSにドッキングさせることに成功しています。ISSの後方部分はロシアのモジュ





おわりに

現在の国際宇宙ステーションがどのような状況にあるかお話をしました。米国はもう関心を無くしたかのようですが、日本は何か有効に使おうとしています。

米国はISSの運用を2016年までしか決めていません。それ以後は廃却することも含めて未定だということです。ロシアは2020年までは運用するよう提案しています。日本はずつと先まで運用したいと表明しています。

NASDAの副理事長をされた五代さん達は、米国が運用を止めた場合に備えてISSからJEMを切り離し、電源モジュールなどを付け加えて小さなJSSというのを作つたらどうかと提案されています。

折角大金をかけて開発したものだから、骨の髄まで使い切ろうというのは通常の「もつたいない」的考え方でしょう。しかし、有用であるから使うのでなければさらに運用費をかける理由がつきません。あくまでも宇宙実験の成果が出るか否かが分かれ目でしょう。

当初、希望的に予想したように、インシュリンのような高価な薬品が簡単に作れることが判れば良いのです。誰にも判る有用な結果が出れば良いのですが、一般に実験というのはあくまでも地味なものです。

もつとも、目覚しく有用なことが創造できれば、NASAでも



(平成20年8月28日)

月を後回しにして ISS の継続利用に目を向ける筈です。  
国際宇宙ステーションの将来を見ると、現実は厳しいものがあると言わざるを得ないでしょう。