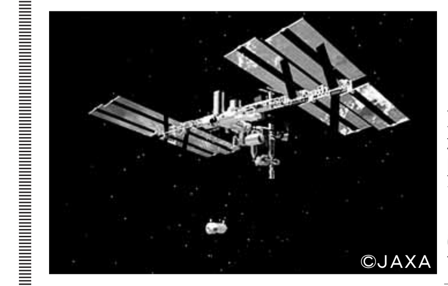
日本の宇宙ステーション補給機 発進

地上400㌔を、秒速8㌔の超高速で移動し続ける国際宇宙ステーション（ISS）。そこへ向けて、無人の自律制御で接近～ドッキングし、最大6㌧もの研究資材や生活物資などを送り届ける宇宙航空研究開発機構（JAXA）の宇宙ステーション補給機HTVの打ち上げ予定日まで2週間を切った。日本の技術が詰まったこのプロジェクトの全容に迫る。

宇宙を航行するHTVのイメージ画像。この機体に、日本の技術が詰まっている。

スクリーン上に映し出された宇宙空間のHTVに、ISSから伸びるロボットアームがゆっくりと近づいてゆく。緊張した面持ちで見つめる管制官たち。やがて純白のアームがHTVをしっかりとつかむと、関係者たちの間に笑顔が広がった。ここは茨城県つくば市にある、JAXAの筑波宇宙センターに設置されたHTVミッションコントロールルーム。

きたる9月11日に予定されているHTVの打ち上げに向けて、NASAのジョンソン宇宙センターと通信しながらの運用シミュレーションなどが何度も繰り返し行われている。



HTVが物資を送るISS。世界各国の協力により作られた、巨大な宇宙建造物だ。

HTVは"H-Ⅱ Transfer Vehicle"を略した名称であり、文字通りJAXAのH-Ⅱロケットによって打ち上げられ、ISSへ様々な研究資材や生活物資を送り届ける無人の宇宙ステーション補給機だ。

現在すでにISSへ物資を輸送している補給機は欧州宇宙機関（ESA）が開発したATVやロシアのプログレス、NASAのスペースシャトルなど全部で3種類あり、それぞれに特長を持っているが、HTVの特長のひとつはその自律制御機能にある。

HTVが目指すISSは縦に74㍍、横に110㍍とサッカーのフィールドほどのサイズを持ち、条件がそろえば地上から肉眼で見ることもできる巨大な宇宙ステーションだ。その軌道は高度400㌔であり、さらに飛行スピードは東京から名古屋までを、わずか45秒あまりで通過してしまうほどの速さだという。

地上から打ち上げた機体を、自律制御に頼りながらそこまで導くことがいかに困難かは推して知るべしだ。

世界の宇宙開発に貢献

JAXAでは今回の打ち上げを皮切りに、2016年まで毎年1機ずつHTVを送り込むことで、ISSの運用における日本の役割を果たしてゆく構えだ。

特に2010年はISSへの数少ない輸送手段のひとつであるスペースシャトルの引退がNASAより発表されており、最大積載量6㌧を持ち、スペースシャトル以外で唯一、大型の船外機器も輸送ができるHTVには打ち上げ前から早くもその後継としての活躍が期待されている。

HTVが今後1回、2回とミッションを着実にこなし、その輸送力への信頼性が確立されれば、JAXAにより設置された国際宇宙ステーション内最大の実験棟〈きぼう〉と合わせて、世界の宇宙開発に貢献する日本の技術力の象徴的存在になることだろう。

いわば宇宙の「宅配便」

HTV内部には、最大6㌧までの物資をISSへと送り届けることが可能な貨物エリアがあり、地上と同じ1気圧に保たれ、船内用の生活物資や実験用機材などが格納される与圧エリアと、船外への大型機器を運ぶための非与圧エリアの2区画に分かれている。

船外用の大型機器を運べる貨物エリアを持つのは現在、スペースシャトルを除くとHTVだけであり、スペースシャトルの引退が予定されている2010年以降、その重要度は格段に増すことになる。

また与圧部に関しても、HTVは大型のハッチを確保。これにより比較的大きな船内実験ラックなどの運搬も可能となった。

そして乗組員たちが今回、与圧エリアから直接手にする予定の船内用物資の総質量は約3・6㌧。

その内容は非公開だが、公式に発表されている内訳によるとそのうちのおよそ33%が食料であり、10%がそれぞれの乗組員が希望したプライベートな荷物だという。

↑HTVの貨物エリア。最大6㌧までの物資の輸送が可能だ。

地上と宇宙の想いをつなぐ

ISSの乗組員たちにとって、定期的に訪れる補給機からの水や食料の支給は生命を維持するために不可欠なライフラインであり、何にも代えることができない貴重なものだ。

また今回運ぶ物資のおよそ10%を占めるという、乗組員ひとりひとりが個人的にリクエストしたプライベートな荷物についても、これはあくまで想像ではあるものの、中には自分が大好きなお菓子や読みたかった書籍などもあれば、家族からの写真や、愛する人からの心のこもったメッセージが入っているかもしれない。

そう考えるとHTVはただ最先端の技術を誇るだけのものではなく、高度400㌔で激務に励む乗組員たちと、地上の家族や友人たちとの想いをつないで励ます「宇宙の宅配便」でもあるといえるだろう。

打ち上げ予定時刻は 9月11日 午前2時4分

種子島から

H-ⅡBロケットによりHTVが打ち上げられる歴史的舞台となるのが、種子島宇宙センターだ。

九州の南、北緯30・49度・東経130・99度に位置する種子島の東南端に設立されたこのセンターは、総面積970万平方㍍を誇る日本最大のロケット発射場であり、温暖な島ならではの美しい海や緑に囲まれた自然環境から「世界一美しいロケット発射場」と形容されることも多い。

HTVの発射予定時刻は現在、9月11日の午前2時4分と夜間に設定されている。

地上からロケットを発射し、秒速8㌔で移動するISSの軌道に合わせてHTVを分離するにはこのタイミングが最も適していて、これを悪天候や機器の調整などで逃すと、次の打ち上げタイミングは翌日以降になってしまうという。

打ち上げを間近にして緊張が高まる種子島宇宙センター。（写真はHⅡ―Aロケット打ち上げ時のものです。）

[illegible]地で見学も

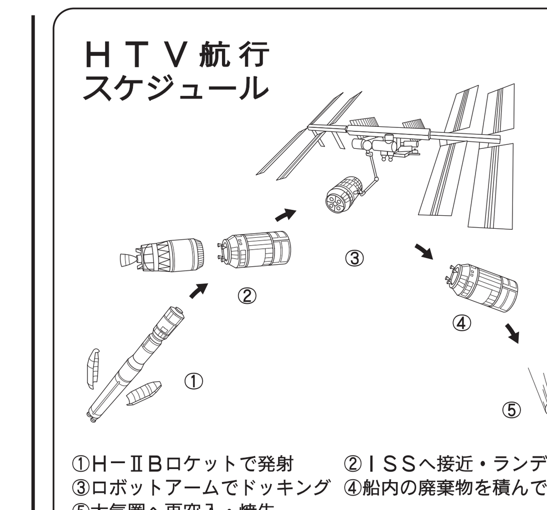
打ち上げまであと2週間を切り、HTVはすでに同センターの敷地内で打ち上げの時を待っている。

期日はずれ込む可能性があるものの、打ち上[illegible]げの[illegible]ポイ[illegible]ア外で、[illegible]センター[illegible]は種子島[illegible]模[illegible]宇宙[illegible]のエリ[illegible]打ち上げ[illegible]ントから3[illegible]㌔以上離れた[illegible]場所であれば自[illegible]由に見ることが可能だという。

[illegible]は宇宙ヶ丘公園や長谷展望公園など、見学に適したスポットもあるので興味がある方は足を運ばれてはいかがだろうか。

強風や雷に邪魔されず、HTVを搭載したH-ⅡBロケットが予定通り、無事宇宙へと駆け上がることを祈ろう。

およそ7日でISSへ 最後は廃棄物を積み大気圏に



HTVは、打ち上げ能力を大幅にパワーアップさせた新型H-ⅡBロケットで種子島宇宙センターから打ち上げられる。

打ち上げ後、高度およそ300㌔の地点でH-ⅡBロケットから分離されたHTVは、JAXAの筑波宇宙センターと通信を確立。

カーナビなどにも使われているGPS機能を使ってISSとの位置関係や距離を確認し、徐々にISSへと接近する。

ある程度近づいた時点で、日本が開発した近傍通信システム（PROX）を使用してISSと直接の通信を開始。

さらに接近すると、今度はHTVからISSに向けてレーザーを照射し、その反射をセンサーで感知しながら間隔を詰めてゆく。

最終的にはISSの下方10㍍に到達すると、ISSと速度や軌道をほぼ同一に保つことで相対的に停止。

ISSに搭乗した宇宙飛行士が操作するロボットアームにより把持され、ISSへのドッキングが行われる。

今回の打ち上げでは、地上からここまでにかかる日数はおよそ7日間と計画されている。

ドッキング終了後は宇宙飛行士により物資がISS船内へと移送され、それと同時に宇宙ステーション内部で不要になった資材や廃棄物などがHTVの機内へと詰め込まれる。

荷物の代わりに不要品を積み込んだHTVはISSから分離。大気圏に再突入し、その摩擦熱で宇宙ステーションからの廃棄物とともに燃焼・焼失するという。

将来的には有人飛行も

JAXA HTVプロジェクトチーム プロジェクトマネージャ
虎野 吉彦氏

これまでHTVの開発を行ってきたJAXA。そのプロジェクトマネージャである、虎野吉彦氏に話を聞いた。

—HTVには、世界からも注目が集まっていると聞きました。

「開発当初は他国の補給機に、お金を出して運んでもらえばよいのではないかという意見もあったと聞いていますが、スペースシャトルの退役が決まってからはNASAもがぜん注目するようになりました。計画通りにいかないこともしばしばあったのですが、常に前向きな姿勢で取り組んできたのが今日につながったのだと思います」

—打ち上げを目前にした今の心境は。

「周りの期待が高まることはうれしいですし、よし頑張ろうという気持ちになります。ですが、打ち上げ後もISSへのドッキングから離脱まで気が抜けませんし、来年以降も2号機、3号機と続きますので、常に平常心を忘れずにしっかりと取り組んでいきたいと思っています」

—今後の抱負をお聞かせください。

「HTVというのは非常に素晴らしい補給機です。個人的な願望になりますが、将来的には有人飛行はもちろん、推進系を強化して月や他の惑星を開発するための手段として活用するなど、その活躍の場をどんどん広げてゆけたら、と考えています」

日本の宇宙開発[illegible] きわ立つ HTVの技術力

補給機	HTV（日本）	ATV（欧州）	プログレス（ロシア）	スペースシャトル（米国）
				※2010年引退予定
補給能力	6トン	7.5トン	2トン	9トン（物資）
総重量	16.5トン	20.5トン	7.2トン	94トン（オービタ／カーゴ）
打ち上げロケット	H－ⅡBロケット	アリアン5ロケット（ES－ATV型）	ソユーズロケット	スペースシャトルシステム
飛行形態	無人	無人	無人	有人

各国補給機の比較

現在ISSへ研究資材や生活物資などを運ぶために稼動している補給機は、9月打ち上げ予定のHTVの他に3種類存在する。

有人飛行仕様のため、物資と合わせて乗組員たちも送り込める米国のスペースシャトルに、有人機ソユーズを補給機に転用したロシアの無人機プログレス。

そしてISS船内へ空気を補給するなど独自の機能を併せ持つ、欧州宇宙機関（ESA）開発のATVだ。

日本のHTVはこれらの他国で開発された宇宙ステーション補給機と比べても、十分な補給能力と融通性を持っている。

各国から寄せられる様々な要求にも総合的に高い水準で応えることができる、バランスがとれた補給機だといえるだろう。

今回のミッションをJAXAは、[illegible]様々な宇宙開発[illegible]技術が積み重ね[illegible]られた、日本の[illegible]ロケット[illegible]の集大成と位置づけていて、2010年から[illegible]016年までの[illegible]にHTVを、年[illegible]に1機ずつのペースで打ち上げてゆく予定だ。

おりしも7月にはISSから帰還した若田宇宙飛行士に引き続き、今年暮れには野口宇宙飛行士、2011年には古川宇宙飛行士のISSでの長期滞在が計画されている。

つまり今後タイミングさえ合えば、日本のロケットで打ち上げた日本の物資を、日本の補給機でISSまで運び、そこに滞在する日本人乗組員へ送り届けることが可能になるのだ。

月面探査へ 将来応用も

JAXAでは今回のHTVで培った技術やノウハウを活用すれば、軌道上にある複数の衛星間で物資をやりとりするための軌道間輸送機や、宇宙から物資を地球へ持ち帰る回収システムの開発なども可能になると考えている。

将来的な展望としては今回のHTV打ち上げを足がかりに、有人輸送機の開発や、ISSを上回る規模の軌道上大型プラットフォームの建設、さらには月や火星などの他惑星への探査機や、物資補給機を開発する構想も視野に入れているという。

今から54年前の1955年に発射された、手のひらほどのペンシルロケットから始まったわが国の宇宙航空技術は、半世紀を経てアメリカやロシアなど、世界の宇宙開発先進国と肩を並べるまでに至った。

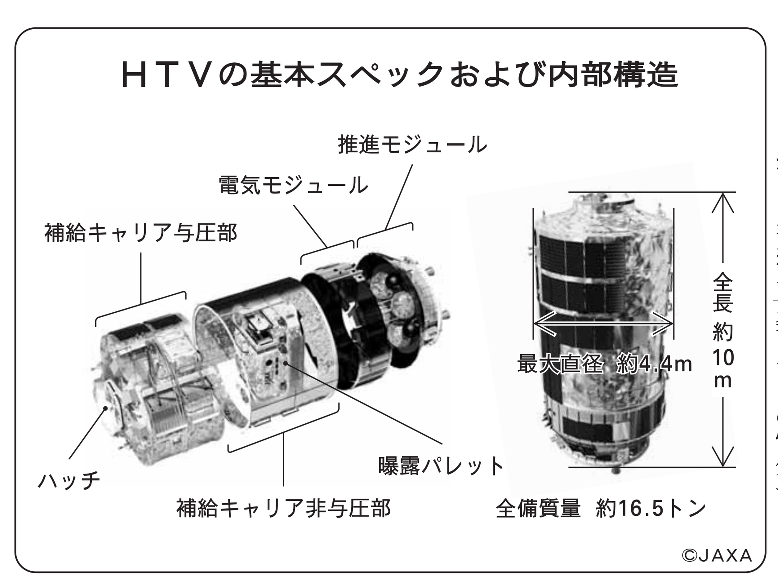
これから半世紀の後に、果たして日本は世界の宇宙開発において、どんな役割を占めることになるのだろう。

世界に先駆ける 自律制御システム

HTVの頭脳 電気モジュール 開発したのは三菱電機

全長約10㍍、直径約4・4㍍の巨大な円筒型であるHTVは、ISS船内への物資の出入り口であるハッチと、船外用物資を直接宇宙空間へと受け渡す曝露パレットを備えていて、船内は補給キャリア与圧部と非与圧部、電気モジュールと推進モジュールの4か所から構成されている。

その中でHTVの頭脳にあたる部分が電気モジュールだ。三菱電機が開発したこの電気モジュールは、自機位置の把握やISSへ接近するための軌道計算、推進モジュールへの出力指示のみならず、航行中の機内における故障発生時の対処などを無人・自動で一手に引き受けるHTVの中枢である。



カギは「重力と遠心力」

三菱電機により開発された電気モジュールがHTVで行う仕事の中でも、特に重要なものが高度400㌔を秒速8㌔で移動するISSに追いつき、接近するための軌道計算と制御である。

地上であれば単純に、前を走るクルマに追いつきたければ、それより速いスピードで走れば接近することができる。

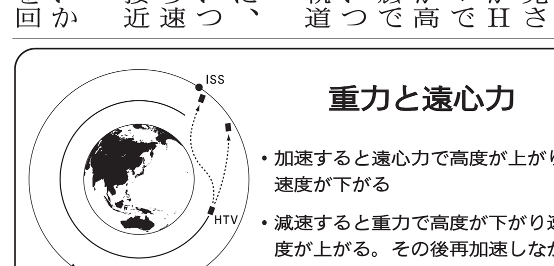
しかしISSを追いかけるHTVは、軌道を回ることによる遠心力と地球からの重力の微妙なバランス上に立っている。

追いつこうと加速すると遠心力が大きくなってしまい、HTVは高度が上がりすぎてISSから離れてしまう。

逆に減速すると重力で高度が下がり、ISSよりも地球に近い軌道を走ることになるので、タイミングを見て再加速すれば、ある意味ショートカットするような形でISSに接近することができるのだ。

追いつくために、減速する。時にはそんな非常識が成り立つ宇宙空間で、複雑な計算を繰り返しながら自らの軌道に微調整を加えていき、秒速8㌔で進むターゲットに接近することが、いかに大変かがわかるだろう。

しかもHTVはISSと同じ軌道を後追いするのではなく、万が一の衝突のリスクを避けるために、あえて軌道をずらしてISSの下方から徐々に近づき、最終的にはわずか10㍍の至近距離で、相対速度0㌔の静止状態を実現するのだ。



原点は「おりひめ・ひこぼし」

これらの無人・自動制御や安全設計の源流をたどると、1998年7月7日に行われたJAXAの人工衛星「おりひめ・ひこぼし」による分離・ドッキング実験にさかのぼる。

今回HTVに搭載された電気モジュールの開発は、三菱電機が長年、宇宙開発技術の研究に取り組んできたことで実現した、ひとつの大きな成果だといえるだろう。

どこかが壊れてもミッション続行可能 ワンフェイル・オペラティブを実現

人工衛星は通常、「ワンフェイル・セーフ（1-fail safe）」という安全設計を取り入れている。これはCPUなどの搭載機器に故障がひとつ発生した場合、致命的な事態に陥らないために、安全な状態をキープして地上からの指示を待つような設計である。例えば通常の衛星の場合、CPUは普段使っているメインCPUと、メインCPUがトラブルに陥った時に切り替えて使用するバックアップCPUで構成されている。

一方HTVでは、人が搭乗する宇宙ステーションに万が一にも衝突することがないよう、より高い安全性が要求されている。そこで、HTVの電気モジュールが実現したのが「ワンフェイル・オペラティブ（1-fail operative）」設計だ。

これはつまり、機器のどこかに故障がひとつ発生した場合でも、故障箇所を検知し、自律的に修復することでオペレーションを中断することなく計画通り進行させるという設計だ。

3つのCPU 多数決で判断

このシステムは通常の衛星のようにメインCPUとバックアップCPUを搭載するのではなく、まったく同じ権限を与えたCPUを3つ置き、その処理結果を多数決で判断させる仕組みになっている。そうすることで例えば、そのうちひとつのCPUが機能不全に陥っても、残りふたつが正常であればまったく問題なくオペレーションを続けることができるという、非常に高いトラブル耐性を実現することができたのだ。3重多数決は単なる一例であるが、重量や消費電力の厳しい制限の中でいかにバランス良くワンフェイル・オペラティブを実現するか、という点には三菱電機の様々なノウハウが結集されている。

ちなみにこの安全設計を担当した開発者によると、NASAと運用訓練をした際、訓練スタッフがわざとトラブルを起こして地上からの遠隔操作で対応するシミュレーションをしようとしても、HTVの電気モジュールがすぐに自動で修復してしまい、なかなか訓練にならなかったという事態があったそうだ。HTVが誇る安全性の高さは、そんな逸話からもうかがい知ることができよう。

〈これは広告です。〉

今回の打ち上げは新たなステップ

HTVについて語る三菱電機の白坂氏

HTVの頭脳ともいえる電気モジュール。その開発に設計段階から取り組んできたという、三菱電機の白坂成功氏に話を聞いた。

—HTVの電気モジュールの開発で苦労した点は。

「今回のプロジェクトではまず、設計段階でNASAの安全審査をクリアしなければならなかったのですが、彼らの高い要求に対して、技術的にどう答えるべきかをつかむまでに時間がかかりました。また無人の自動制御で目的地に向かうという前例のないミッションに対して、何をどう設計すればよいのか見当もつかず、かなり悩みました」

—通常の衛星に比べ、かなり複雑になったようですが。

「NASAからの要求は、ふたつのトラブルが同時に起きても安全を確保する『ツーフェイル・セーフ』の実現でした。さらに、ひとつのトラブルでも処理を継続できる『ワンフェイル・オペラティブ』という要求にも応えるべく特殊な機能やバックアップシステムを追加した結果、通常の衛星とは比較にならないほど複雑な構成になりましたし、その信頼性を確保するために、数え切れないほどのテストを繰り返しました」

—打ち上げを目前にした今の心境をお聞かせください。

「ついにここまで来たかという思いでいっぱいです。早く打ち上げたいけれど、もっと準備に時間をかけたいという、複雑な気持ちです」

—HTVが日本の宇宙開発に果たす役割とは。

「HTVは技術開発のための実験衛星とは違い、ISSというユーザーの要求を満たすために作られた、とても実用的な衛星です。そういう意味で、日本の宇宙開発にとっても新たなステップといえるのではないでしょうか」

eco Changes
家庭から宇宙まで、エコチェンジ。
©この広告についての詳しいお問い合わせは、adv.webmaster@rf.MitsubishiElectric.co.jp またはFAX:03-3218-2321（宣伝担当）まで。

高度400kmを、秒速8kmで進む国際宇宙ステーション（ISS）に無人・自動で接近して乗組員たちへ荷物を届ける。そんな困難なミッションを行う、日本初の宇宙ステーション補給機HTVがまもなく打ち上げられようとしています。三菱電機の制御技術が活用された、常識のワクを超えた宇宙空間での離れ業に皆様どうぞご注目ください。

＜キー・テクノロジー＞で変える。
三菱電機の宇宙ステーション補給機制御技術

三菱電機株式会社