

「そら」の技術を身近に感じて ————— そらとそら



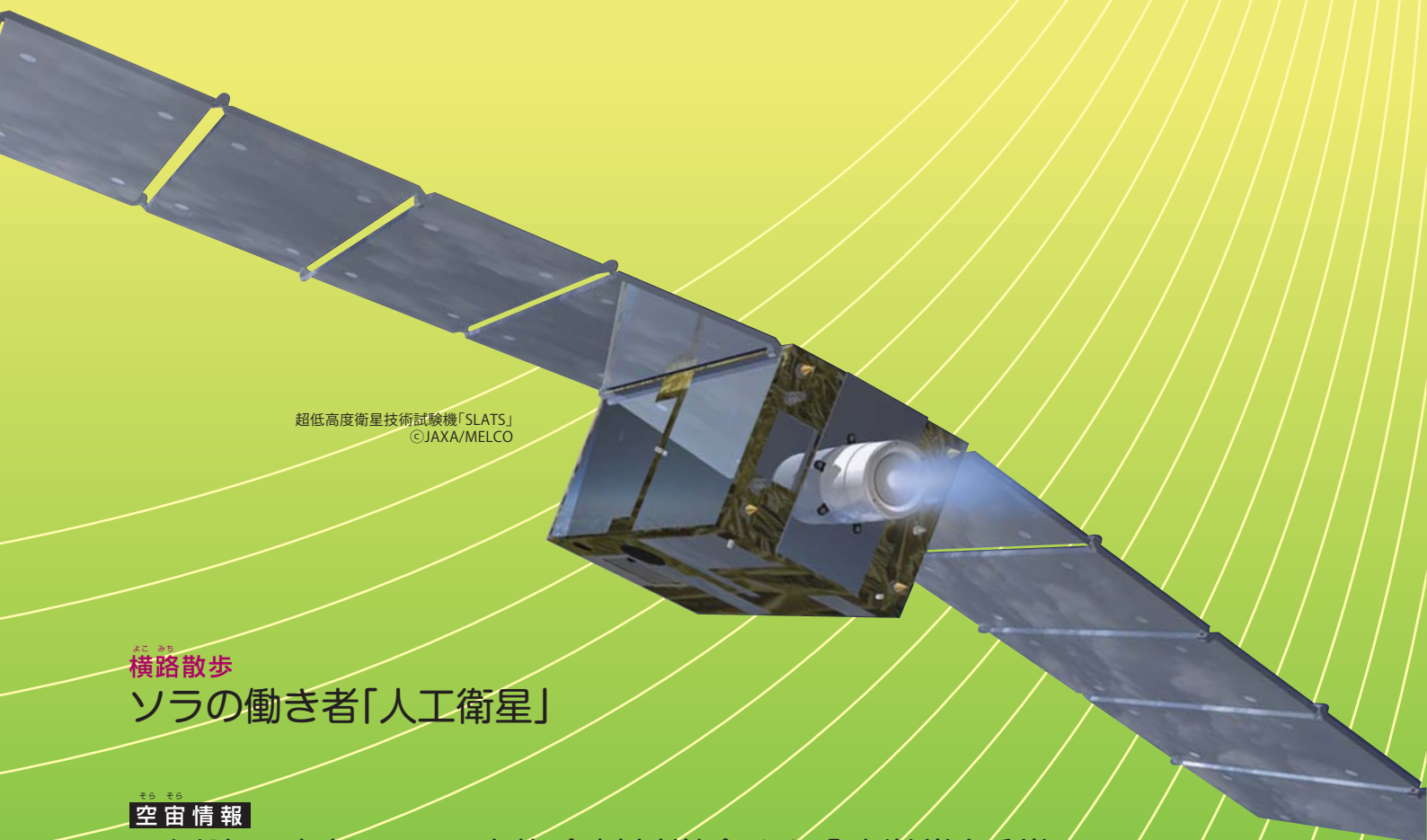
空と宙

2011 JUL/AUG
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究開発

軽くて高効率な太陽電池を目指す
超低空飛行の人工衛星を実現させる



超低高度衛星技術試験機「SLATS」
©JAXA/MELCO

横路散歩

ソラの働き者「人工衛星」

空宙情報

石川隆司本部長 日本複合材料学会より「功労賞」受賞
「あじさい」の功績による坪井賞受賞とILRS 感謝状授与

No. **42**

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

軽くて高効率な太陽電池を目指す

人工衛星の構成要素は できるだけ軽くなければならない

壮大な轟音を響かせながら天高く昇ってゆくロケット。その先端、フェアリングと呼ばれる殻の中には「人工衛星」が収納されています。全長56.6メートル、重さ531トンもある我が国最大のロケットH-II Bが高度400キロメートル前後の低軌道に運べる人工衛星の重さは約16.5トン、これは打上げ時のロケット全重量の3%に過ぎません。それほど、重力に逆らって人工衛星を宇宙空間へ運ぶのは大変なことなのです。そのため、人工衛星には様々な軽量化が図られています。

人工衛星は働くのに必要な電力を自身の「太陽電池」で賄います。各人工衛星に課せられた仕事は決まっているため、必要な電力もおのずと決まってきます。つまり、太陽電池の重量当たりの発生電力である「出力重量比」を上げることができれば、人工衛星の更なる軽量化が図れ、より沢山の観測機器や実験機器などを載せることができるようになります。

太陽電池の土台「太陽電池パドル」も軽くする

2008年打上げの超高速インターネット衛星「きずな」や2009年打上げの温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」などには、発電部分を3枚重ねた3接合太陽電池が使われてい



ロケットの先端、フェアリング内には人工衛星などの“荷物”が収納されている。

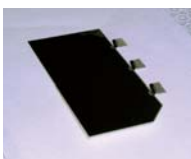

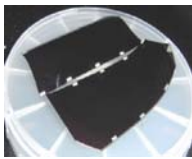
図1 国産ロケット「H-II B」打上げ

ます。私たちは3接合太陽電池の25～30%という「変換効率」は保ちつつ軽量化を図るため、発電部分を2枚重ねにした太陽電池の開発を進め、25%の変換効率を持った薄膜2接合太陽電池の開発に成功しています(表)。

紙の様に薄いこの太陽電池をこれまでの土台(太陽電池パドル)に貼るだけで、出力重量比を従来の50W/kg前後から80W/kgまで上げることができます(図2)。しかし、更なる高値を目指すためには、パドルの軽量化が鍵となります。もし、板構造のパドルをフレーム構造にできれば、パドルの軽量化が図れます。現在、出力重量比150W/kgを目指して研究を進めています。

太陽電池パドルはフェアリング内に収まる様に小さく折りたたまれ、宇宙空間で展開されます。そこで、フレーム構造のパドルに薄膜太陽電池を搭載して軽量化を図ると共に、パンタグラフ展開による組合せ展開機能を持たせることで、パネルのスムーズな展開も目指します(図3)。この展開方式だと、展開後にパネルがパンタグラフ構造により固定されるため太陽電池パドルの剛性を高めることが可能です。

表 太陽電池の性能比較

	3接合太陽電池	薄膜2接合太陽電池	新薄膜3接合太陽電池
1セル ^{※1} の重量	3.2g	0.2g	0.3g
変換効率 (AM0 ^{※2} 、寿命初期)	25～30%	25%	30～32% (目標)
厚み	0.15mm 	0.01mm 	0.015mm 

※1：セル 太陽電池の最小単位。

※2：AM 太陽光の大気透過量。宇宙空間では大気を通過しないため、AMの値は0になる。

「太陽電池」と「太陽電池パドル」の研究開発

宇宙空間に飛ばしてみないと 分からないこともある

更に、薄膜太陽電池の高効率化を目指した研究も進めています。発電部分の枚数が多い方が変換効率は高くできます。そこで、これまでの3接合とは異なる発電部分を1枚付けたし、薄さは保ちつつ効率を30～32%まで上げる“新”薄膜3接合太陽電池の研究開発を進めています(表)。この太陽電池をフレーム型パドルに組み込むことで、更に出力量比を上げることができると考えています。

開発した太陽電池が想定のパフォーマンスを発揮できるかどうかは、宇宙の状態を模擬した様々な試験装置による地上試験で確認します。しかし、“本当に宇宙で性能を発揮できるのか”はやはり宇宙で試した方が確実です。JAXAでは2013年度の打上げを目指し、地球軌道上の人工衛星から金星や火星、木星などの惑星を遠隔観測する惑星観測用宇宙望遠鏡「SPRINT-A」の開発を進めています。SPRINT-Aには惑星観測用の望遠鏡が付いているのですが、その望遠鏡を支えるタワー部分に私たちが開発を進めている太陽電池を搭載し、実証することを計画しています。

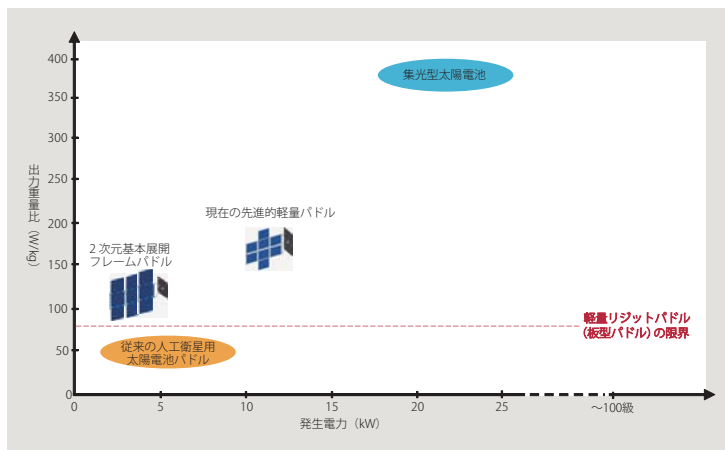


図2 軽量太陽電池開発動向

太陽電池の形態は、海外も含めて様々な物が考えられています。そのひとつに、レンズを使って太陽光を集光することで太陽電池の面積を小さくする「集光型太陽電池」があります。この方法だと太陽電池を小型化できるため、更なる出力重量比の向上と大出力化が図れます。また、宇宙用の太陽電池は大変高価なため、コストの削減にも繋がります。アメリカなどで既に研究が始められており、私たちが集光型太陽電池を宇宙で使用できないか検討を進めています。

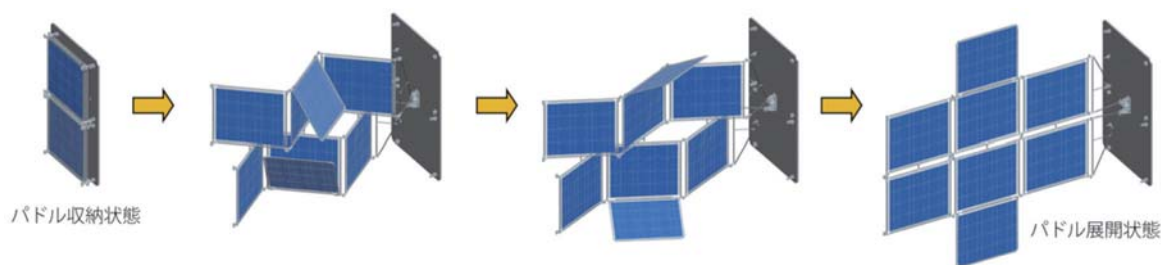
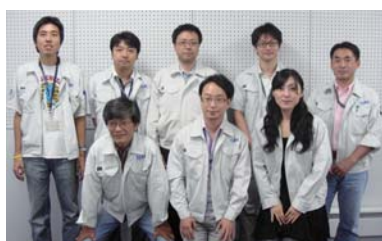


図3 フレーム構造パドルのパンタグラフ展開



【電源グループ】

(後列左より) 川北 史朗、島崎 一紀、艸分 宏昌、中村 徹哉、今泉 充
(前列左より) 高橋 真人、奥村 哲平、小林 裕希

超低空飛行の人工衛星を実現させる

軌道を下げると人工衛星の視力が上がる

宇宙空間から地球を隈なく観測する「地球観測衛星」には様々な種類があります。JAXAでも、地球温暖化の主犯と目されている二酸化炭素などを観測する温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」や、地図作成や資源探査などを目的とした陸域観測技術衛星「だいち」などの地球観測衛星を打ち上げてきました。

地球観測衛星の多くは、地球全体を観測するために赤道に対して直角の南北の極を通る軌道を周回しており、その高度は600～800kmです。その高さから光学望遠鏡などにて地球を観測しています。もし、衛星の高度を下げる事ができれば、地球との距離が近づくため望遠鏡の視力である「分解能」が上がります。例えば、衛星の高度を800kmから200kmまで下げると、分解能2.5mの光学望遠鏡であれば約60cmの物まで見分けられるようになるのです(図1)。

また、レーザによる観測では高度が高すぎてレーザが拡散してしまうという問題があるのですが、人工衛星の高度を低くできれば拡散が抑えられ、高精度な観測を行えるようになるという利点もあります。

大気抵抗を如何に乗り切るか

JAXAでは、200km前後の超低高度を周回する人工衛星の開発を2006年度より検討してきました。その中で、解決すべきふたつの問題が見えてきました。ひとつは「大気抵抗」です。便宜上、高度100kmからは宇宙と定義されていますが、実際にはどこまでが空でどこからが宇宙なのかはとても曖昧です。超低高度衛星がターゲットとしている高度200kmは定義上は宇宙なのですが、僅かに大気が存在しています。この大気が抵抗となるため、放っておくと人工衛星は数日で落下してしまいます。超低高度衛星には、推力を発生させるエンジンが必要なのです。

人工衛星を打ち上げるのとは異なり、超低高度で衛星を飛ばすのに大きな推力は必要ありません。空気抵抗に見合った推力を発生できれば十分です。なおかつ、衛星を所定の軌

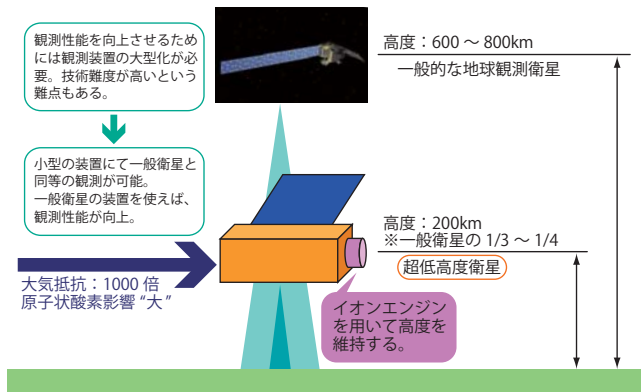


図1 超低高度衛星のコンセプト

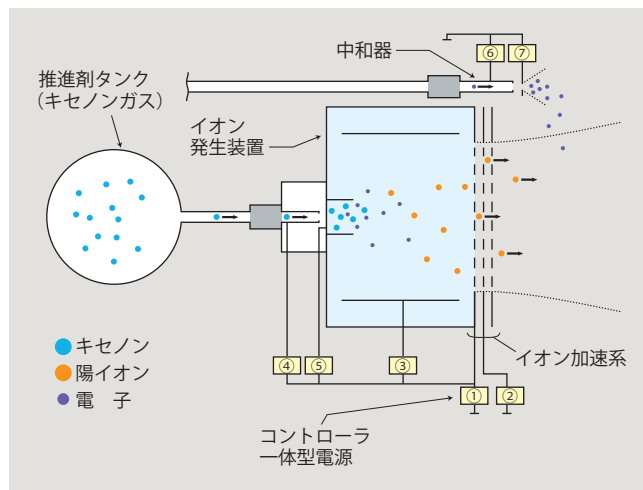


図2 イオンエンジン

道で長く働かせるために、長期間推力を発生させることができる燃費の良いエンジンが適しています。その任務にうってつけのエンジンがあります。技術試験衛星VIII型「きく8号」などの静止軌道衛星にて南北軌道保持に使われている「イオンエンジン」です。

イオンエンジンとは、イオンを電気的な力で加速して放出することにより得られる反力によって推力を生み出すエンジンです。キセノンなどの推進剤からイオンを作る「イオン発生装置」、そのイオンを加速する「イオン加速系」、宇宙空間に放出されたイオンを中和するための電子を放出する「中和器」と、それらを動作させる7つの「電源」、電源をコントロールする「コントローラ」で成り立っています(図2)。

原子になると酸素は悪さをする

高度が高くなると、大気中の酸素は原子と原子が分離した原子状酸素になります。原子状酸素は非常に酸化作用が強く、衛星に不具合を引き起こす恐れがあります。高度200km前後では高度600kmよりも1000倍近い原子状酸素があるため、その影響が心配されますが、衛星表面あるいは内部にどのように影響するのか、その実態は良く分かっていません。

大気抵抗と原子状酸素、このふたつの問題を解決することが超低高度衛星の実現に繋がります。そこで、イオンエンジンによる超低高度軌道保持の実証と、原子状酸素の分布データの取得を目的に「超低高度衛星技術試験機（SLATS：図3）」の打上げを検討し、開発を進めています。SLATSに搭載するイオンエンジンは大気抵抗をできるだ

け低減するため、操作を行うコントローラを電源に内蔵させるとともに、最新の部品材料を使用することで小型化を図っています。また、地上局から見える時間が少ないため、軌道高度を感知し自律的にイオンエンジンを作動させる機能を持たせるなど、超低高度を飛行するために様々な新規開発を行いました。軌道保持については、イオンエンジンの推力を1周回単位でオンオフさせることで、安定的に円軌道を保持できることを見出し、その原理を応用した運用を行う予定です。SLATSの軌道保持試験期間は100日程度の予定です。高度250～180kmの間で7～50日間ずつ試験を行い、必要なデータを取得すると共に、光学センサによる地上の撮影も行います。現在、2013年度の打上げを目指し、イオンエンジン各機器の性能試験を進めています。また、SLATS以降の実用機を睨み、寿命を2万時間以上に伸ばすための研究を行っています。



図3 超低高度衛星技術試験機「SLATS」

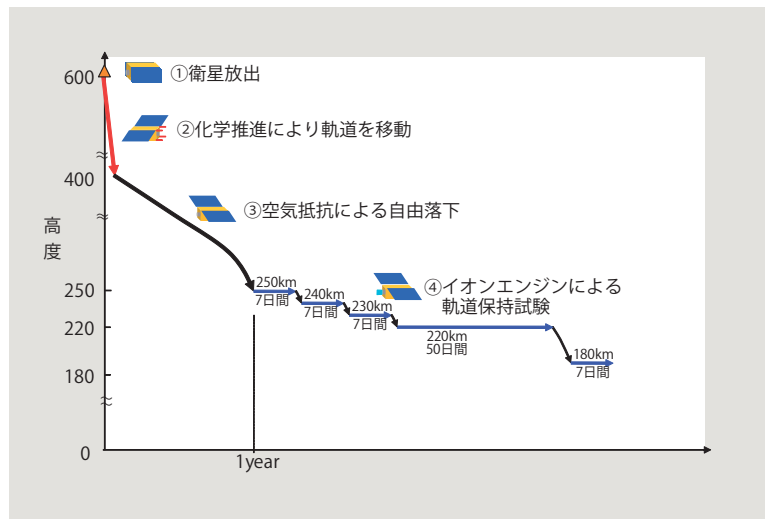


図4 SLATSの試験スケジュール（計画中）



【推進系グループ】

（左より）宮崎 勝弘、長野 寛、梶原 堅一、大川 恭志

ソラの働き者「人工衛星」

■ 人工衛星の役割

世界各地の様々な情報を届けてくれる「通信・放送衛星」、天気予報の精度を上げる「気象観測衛星」、地図作成などで活躍している「測地衛星」、カーナビゲーションシステムに使われている「GPS衛星」など、私たちの生活の様々な場面で人工衛星が活躍しています。

1957年10月に当時のソ連によって打ち上げられた「スプートニク1号」以降、6000を超える人工衛星が世界各国で打ち上げられてきました。私たちJAXAも1970年2月11日に「おおすみ(図1)」を打ち上げて以降、80を超える人工衛星や探査機などを開発し、打ち上げています(図2)。

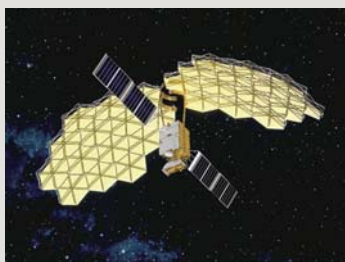
■ 人工衛星の構成要素

人工衛星には、それぞれ課せられた仕事があり、仕事によって衛星を構成する要素も異なります。人工衛星を構成する要素は、衛星に課せられた仕事を遂行するための「ミッション部」と、衛星の基本構成要素である「バス部」に分けられま



JAXAの前身機関のひとつである宇宙科学研究所(ISAS)によって打ち上げられた日本初の人工衛星です。衛星が予想外の高温になったことにより、想定していたよりも短い時間で地球との通信は途絶えてしまいましたが、その後も地球周回軌道を回り続け、2003年8月2日に地球大気圏に突入して燃え尽きました。

図1 人工衛星「おおすみ」



・技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」
携帯電話に代表される移動体通信をよりスムーズで快適に行えるようにすることを目的としています。テニスコート大の2枚の大型展開アンテナが特徴的な衛星です。



・超高速インターネット衛星「きずな」
国内のみならず、高速インターネット網の行き届いていないアジア・太平洋地域なども視野に入れ、「いつでも、どこでも、誰でも」インターネットを使って必要な情報を得られることを目指しています。



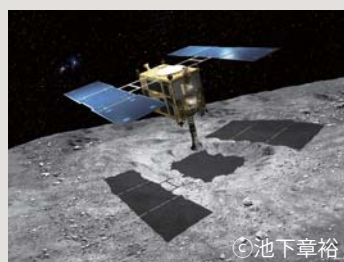
・温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」
地球温暖化の主犯と目されている二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの観測を行います。宇宙から観ることで、地球の隅々まで観測することができます。



・準天頂衛星 初号機「みちびき」
人工衛星を使った位置測位システムの精度向上を目的としています。日本のほぼ真上を通る軌道に投入することで、ビルや山の谷間でも高精度な位置情報を取得できることを目指しています。



・X線天文衛星「すざく」
ブラックホールや銀河団の中心などから発せられるX線を観測することで、宇宙誕生の謎に迫る衛星望遠鏡です。宇宙にある望遠鏡なら、地球の大気などに邪魔されない高精度の観測が行えます。



・小惑星探査機「はやぶさ」
地球軌道上を周回するだけでなく、地球外の惑星や小惑星の探査を行う機体もあります。はやぶさは地球と火星の間にある小惑星「イトカワ」まで飛行し、サンプルを採取して戻ってきました。

図2 JAXAが開発した様々な人工衛星・探査機

す。ミッション部とバス部はいくつかの「サブシステム」で構成されています。サブシステムとは、バス部であれば地上とデータをやり取りする機能を持った“通信系”など、一つの機能を持ったシステムのことです。各サブシステムを構成する機器は「コンポーネント」と呼ばれます。

人工衛星に最低限必要な要素であるバス部を構成するサブシステムには、通信系以外にも様々なものがあります。衛星の姿勢を所定の方向に向けさせる“姿勢・軌道制御系”、衛星の電力を賄う“電源系”、衛星の軌道制御を行う“推進系”、衛星搭載機器の温度を想定内に保つ“熱制御系”などです。4ページで紹介しているイオンエンジンは推進系です。2ページで紹介している太陽電池は、電源系のコンポーネント（機器）になります。

宇宙は大気のほとんど無い高真空の空間です。宇宙線などの放射線が飛び交う過酷な環境のため、人工衛星には宇宙環境に十分耐える“宇宙用の機器”が搭載されています。宇宙空間で働く人工衛星に不具合が生じたとしても、簡単には直せません。そのため、衛星への搭載実績のある安心感の高い機器が選ばれることが多いのですが、古い技術になってしまう、値段が高いなどの欠点もあります。そのため、2～5ページで紹介している様に、技術の刷新を図るべく新規機器の開発を行っています。また、耐久試験によって宇宙環境に十分耐えられることを確認し、民生品を利用する衛星も出てきています。

ミッション部は衛星の仕事によって搭載するサブシステムが大きく異なります。天体観測を目的とした衛星であれば、そのための望遠鏡が欠かせませんし、「はやぶさ」のようなサンプルリターンを狙った衛星であればサンプルを採取したり、採取したサンプルを入れるシステムが必要になります。

■人工衛星システムに欠かせないもの

人工衛星を宇宙空間まで運ぶのはロケットです（P.02 図1参照）。人工衛星はロケット先端のフェアリング内に収められて打ち上げられるため、その中にすっぽり入る仕様でなければいけません。その要件を満たすため、打上げ時には折り畳んで収められ、宇宙空間で展開する様な工夫がされています。

宇宙空間に人工衛星が打ち上がって仕事を遂行しても、その結果を地上で受け取らなければ意味がありません。衛星を管制する地上設備も重要になります。

JAXAでは埼玉県の地球観測センターや長野県の白田宇宙空間観測所（図3）、千葉県の勝浦宇宙通信所や沖縄宇宙通信所などに人工衛星と電波をやりとりする地上管制施設を整備しています。衛星が地球の裏側にあり日本国内での管制が難しい時間帯には、国外の管制施設も利用して衛星の運営を行っています。



惑星や衛星などの探査を行っている人工衛星と通信を行っている観測所です。「はやぶさ」との通信もここで行いました。

図3 白田宇宙空間観測所

世界一美しいロケット発射場

鹿児島県にあるJAXA種子島宇宙センターには、日本最大のロケット打上げ発射場があります。射場は海岸に面しており、南国特有の美しい海を望むことができます。その景観から「世界一美しいロケット発射場」と呼ばれています。



1992年撮影

空 宙 情 報

石川隆司本部長 日本複合材料学会より「功労賞」受賞

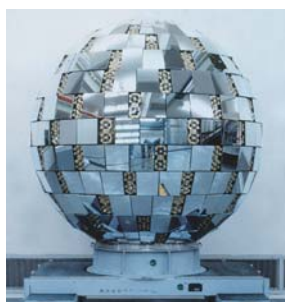
2011年5月、日本複合材料学会の「功労賞」を当本部の石川隆司本部長が受賞しました。日本複合材料学会は、日本における複合材料の科学技術的発展と、その普及を主な目的としています。功労賞は、学会が掲げる目標に深く貢献した者に対して、不定期に贈られています。

大学院時代から数えること40年、石川本部長は複合材料の研究に携わっています。学会の活動にも積極的に参加し、2003年から2005年にかけては学会長としてその発展へ寄与するべく努力を尽くしました。2007年7月に学会主催で京都にて開催され、成功裡に幕を閉じた「第16回 国際複合材料学会 (ICCM-16)」では会議チェアパースンを務め、会議の盛り上がりに一役買っています。これらの活動が認められ、今回の受賞となりました。



JAXAには複合材料の研究に特化したセンターがあり、航空宇宙分野における複合材料の発展に少なからず寄与していると自負しております。功労賞という荣誉ある賞を頂けたことはもちろんですが、これまでの活動を通して複合材料の認知に貢献できたことを大変嬉しく思っています。

「あじさい」の功績による坪井賞受賞とILRS感謝状授与



その表面には、太陽光や地上から発射されるレーザを反射するために、318枚の鏡板と1436個のコーナキューブリズムが貼られています。

図 測地実験衛星「あじさい」

1986年8月13日、JAXAの前身機関のひとつである宇宙開発事業団 (NASDA) によって測地実験衛星「あじさい (図)」が打ち上げられました。「あじさい」は、世界地図上の日本列島の位置を正確に計測するための衛星です。表面は「太陽光反射板」と「レーザ反射体」で覆われており、太陽光を反射する衛星と恒星を同時に光学観測することで角度を、地上からレーザを発射して戻ってくるまでの時間から距離を測ります。衛星を頂点とした大きな立体三角測量を目的としていました。

衛星には電子機器がなく、電源が必要ありません。質量685kg、高度1500kmの円軌道のため、軌道落下は殆どなく長期間測地衛星として利用することが可能です。

この度、25年間という長期にわたる観測結果が高く評価され、日本測地学会より「坪井賞 (団体表彰)」を受賞しました。坪井賞は、測地学の発展に大きく寄与した故坪井忠二の業績を記念して設立された賞です。測地学の分野で特に顕著な業績を上げた者や団体に贈られます。2011年5月23日に行われた授賞式では、当本部 宇宙実

証研究共同センターの橋本英一特任担当役が、JAXA、情報通信研究機構、海上保安庁、国土地理院、一橋大学で構成される開発グループの代表として表彰を受けました。

また、国際レーザ測距事業 (ILRS) からは、その業績を称えられ感謝状が贈られました。ILRSでは世界各地から「あじさい」を観測し、地球重力場の決定に活用しています。

初期構想では直径13mのレーザ反射気球型でしたが、1980年に直径2mの固球型を考案しました。世界測地系に対する日本測地系のずれ (約450m) の補正に寄与したことが大きな成果です。2010年度1年間に1万パス以上という世界一の地上からの観測記録を達成するなど、25年経った今も現役で活躍しています。

