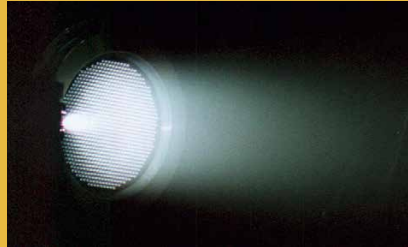


宇宙研のマイクロ波イオンエンジン(左上図)と開発中の国産ホールスラスタ最新モデル(左下図)

国産ホールスラスタシステムは地球周回ならびに深宇宙機の輸送力向上のための大型電気推進機として期待されており、技術試験衛星9号機(ETS-9、右図)に搭載され軌道上実験に供される。



The Forefront of Space Science

宇宙  
科学  
最前線

## ホールスラスタが切り拓く宇宙探査の新時代

宇宙飛翔工学研究系 船木 一幸(ふなきいっこう)

### はじめに

宇宙機は軌道変換する際、推進剤をジェット噴射してその反力として推進力を得ます。真空の宇宙環境では「排気したジェットの流量」×「速度」が「宇宙機の推進力」ですから、排気速度を大きくすることで燃費を高め、少ない推進剤で宇宙機の世界速度増分を高めることができます。宇宙推進機研究の核心は、高速なジェットを生成して軌道変換に必要な速度増分(ΔV)能力を向上させる、この1点にあると言っても過言では無く、排気速度を1%でも高めるための研究開発が続いています。燃費の良い推進機の代表例としてイオンエンジンがあり、小惑星探査機「はやぶさ」「はやぶさ2」にて主推進として採用され、小型の宇宙機でも小惑星への往復航行が可能であることを示しました。ただ、こうした電気推進による燃費向上メリットは、何も小型の宇宙機に限定されるわけではありません。大型の電気推進で大型の宇宙機を駆動することで大規模な輸送を効率化することができますが、今回紹介するのはこのための次世代電気推進機である「ホールスラスタ」です。

### 開発中のホールスラスタシステムとその特徴

電気推進を主推進とした衛星では、静止トランスファー等の打ち上げ軌道から推進機を連続噴射して軌道高度を上昇さ

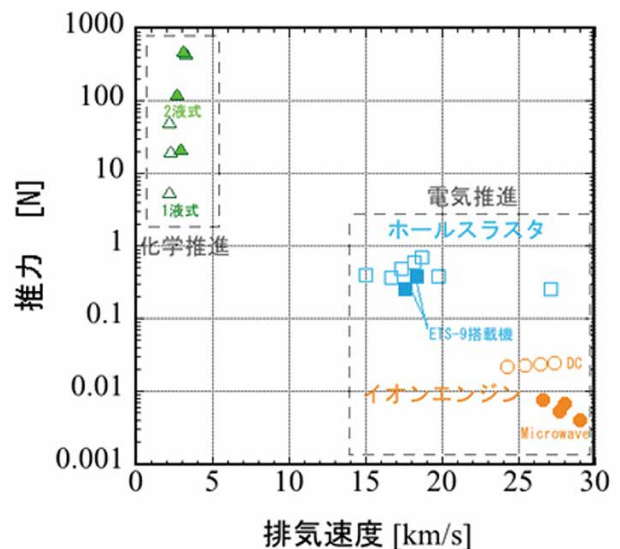


図1 開発中のホールスラスタの動作領域

せませんが、5tの衛星を6ヶ月で静止軌道まで運ぶためには、約720mNの推力が必要です。これを2台のスラスタで担うとすると、1台あたり360mNが必要であり、これが今回開発するホールスラスタの目標推力になります。図1には研究開発中の国産ホールスラスタとJAXAで既開発のイオンエンジン

について、それぞれの動作領域を示しています。イオンエンジンもホールスラスタもキセノンイオンを電界により加速する静電加速型の電気推進であり、10km/s以上の高速ジェット生成が可能な点は同一です。ですが、推力領域が大きく異なっており、衛星推進にて従来から用いられている化学推進(20～500N)とイオンエンジン(10～20mN)の中間域である500mN級がホールスラスタでは提供可能となります。イオンをグリッドにて抽出して加速するイオンエンジンでは空間電荷制限\*により単位面積あたりの推力が制約されるのに対して、ホールスラスタにはこのような制約がありません。ホールスラスタでは、図2に示した円環状のチャンネルに磁場を印加する独特な形態により高密度なプラズマジェットが実現可能であり、高出力な電気推進として最適であると言えます。

## ブレッドボードモデルホールスラスタによる最適化研究

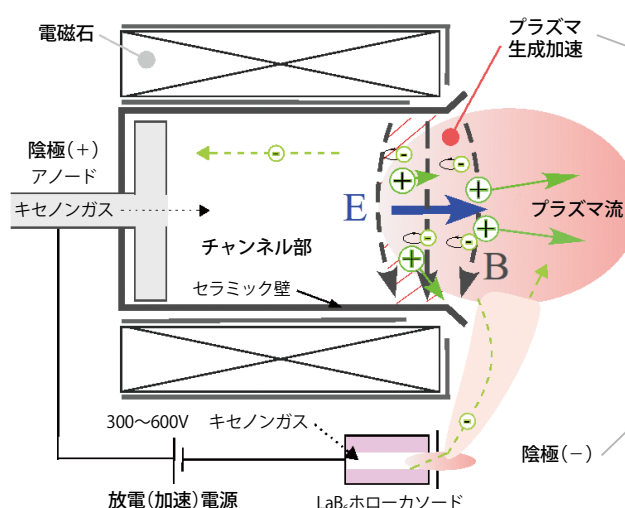
JAXAにおけるホールスラスタ研究が本格化したのは2015年からです。これまでに4つの実験室モデル(ブレッドボードモデル)の試作がなされ、プラズマ生成と加速のための通称チャンネル部位の設計最適化を進めてきました。図1にはブレッドボードモデル3号(BBM3、□)、ならびに4号(BBM4、■)スラスタの特性が描かれています。これらは外径(直径)がおよそ20cmですが、300-400Vの放電加速電圧で15-27km/sとイオンエンジンに匹敵する排気速度と500mN前後の推力が得られています。推進効率が60%を超える点もあり優れた特性が得られています。こうした特性を軌道変換に必要な長期間維持し続ける設計が重要になります。このため当時学術界で議論されていたチャンネル設計やスラスタ中心部に電子源を置くセンターカソード配置等の手法を取り入れると共に、寸法則の解明に取り組み、放電加速電圧300V、推力390mN、排気速度19km/sの点(図1中で■)をBBM4スラスタの最適動作点として探し当てました。技術試験衛星9号機(ETS-9)における軌道上実験では、主にこの動作点の実証されます。当初試験は海外設備で実施していましたが、2017年末には新しい試験設備(ホールスラスタ開発試験用(DT)チャンバー)が完成したことから、早速BBM4スラスタを用いた予備耐久試験を約4,000時間にわたって実施しました。結果は良好であり、動作初期から500時間程度をかけて3%弱

の性能劣化が見られた後は、スラスタの各特性をほぼ一定に保持できることが検証されました。推力等の特性劣化を抑えるために重要なのが低損耗設計です。4,048時間動作後のスラスタを図2右図に示しますが、チャンネル部の多くが黒く汚れていることが見て取れるでしょう。チャンネル部位はセラミックで構成されており、もともと白色の材料でした。予備耐久試験結果によると、チャンネルの損耗は1,000時間あたりで10 $\mu$ m以下と小さく、また、累積運転時間を重ねると共に損耗率が減少する傾向でした。チャンネル部位では放電電圧である300Vに相当する高いエネルギーのイオンが大多数なのですが、これらのチャンネル壁への入射をほぼ無くすることができていると考えています。

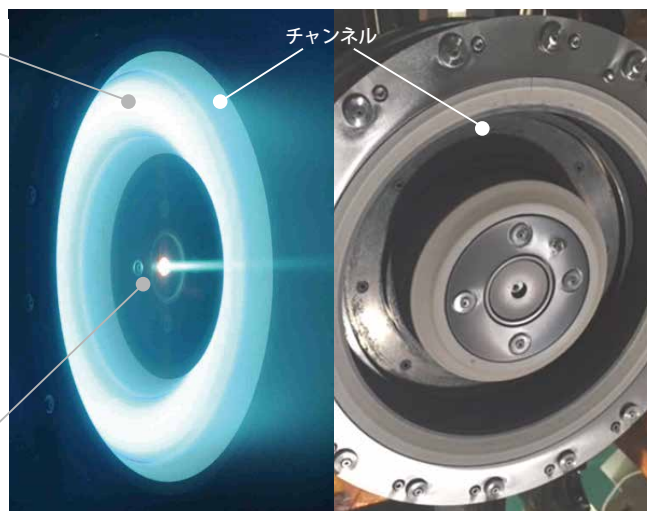
なお、図2には電子を供給する電子源(=ホローカソード)についても記載されています。このホローカソードは電子を放出する特別な素材(6ホウ素化ランタン、LaB<sub>6</sub>)を用いており、動作時はプラズマからの加熱を受け1500 $^{\circ}$ C程度の高温を維持することから、素材が一定率で蒸発します。ホローカソードは高温動作では高い蒸発レートが、逆に低温側ではコンタミ堆積影響による劣化を受けやすいことから動作範囲が限定されます。現時点での国産ホールスラスタは推定で1万時間程度の動作が期待できる一方で、動作可能域がまだ狭く、その拡張が今後の課題となります。

## アポジモーターからホールスラスタへ

従来型の地球周回衛星は打ち上げ後複数回にわたって燃焼ガスを噴射して衛星を増速させることで所定の軌道に投入されます。この軌道遷移には500N級の2液式化学スラスタがもっぱら用いられており、楕円軌道のアポジ点でインパルス噴射することからアポジモーターと呼ばれてきました。これに対して開発中のETS-9は電気推進系のみを搭載した「オール電気推進化衛星システム」となっています。オール電気推進化衛星ではホールスラスタを半年ほど連続的に噴射して目標の静止軌道まで遷移する他、静止軌道へ到達後は南北および東西軌道補償のために必要な増速を行います。それぞれのモードでスラスタ噴射方向を変更することから、主スラスタはアームジンバル上に搭載され推力ベクトルを調整することが可能であり、また、アンローディング等も含めた自律姿勢



a) スラスタ構成とプラズマ生成加速を行うチャンネル部位の断面図



b) ホールスラスタの動作写真と4,048時間試験後の外観写真

図2 ホールスラスタの構成とスラスタ写真



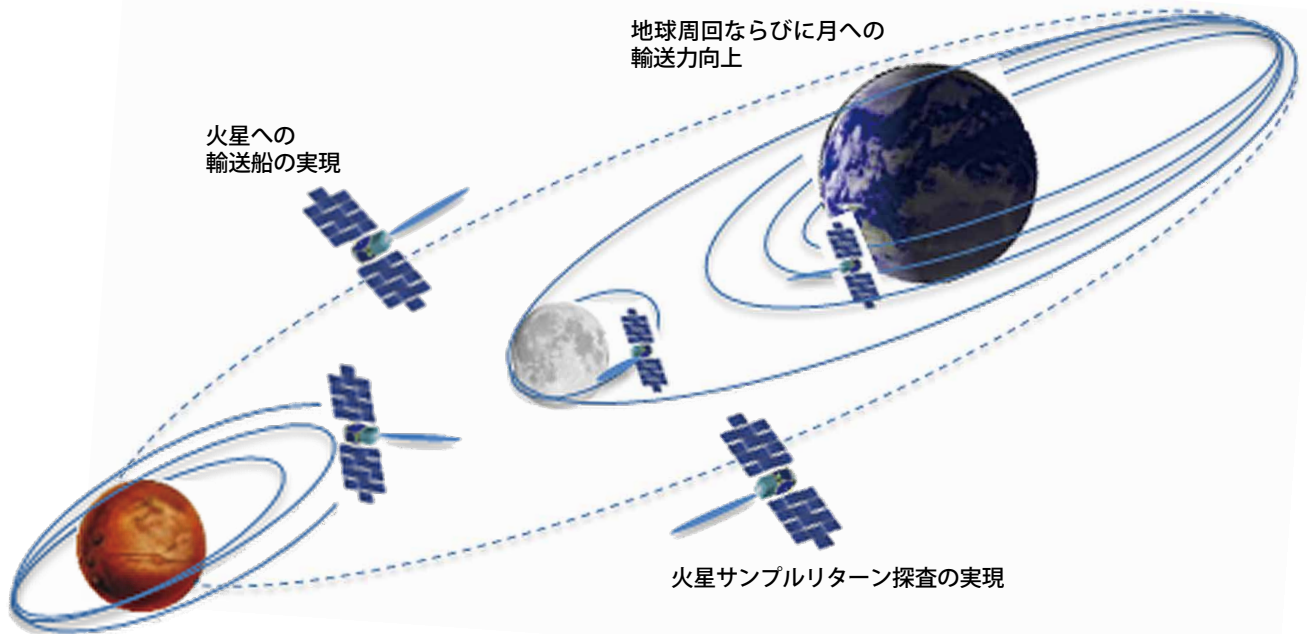


図3 ホールスラスタによる将来の月火星探査イメージ

制御を実施する予定です。ただし、ETS-9では海外製の実績のあるホールスラスタシステムを主推進として利用し、国産ホールスラスタは衛星筐体（反地球面）に装着され、衛星全体の信頼性を確保しつつ国産初のホールスラスタ実験を実施する予定です。例えば軌道遷移時には主スラスタ2台と国産スラスタ1台の同時運転等が計画されています。

ホールスラスタ本体に加えて、ホールスラスタの制御系とこれを駆動する電源系（PPU）も重要な検証項目です。ETS-9では、制御系とPPUも、主推進については海外製の宇宙実証済みのもので利用しますが、国産スラスタ実験用は新規開発となります。主要部分であるプラズマ生成・加速用電源は300V/6kWの直流・直流コンバータであり、時間変動するプラズマ負荷に対応しつつ90%以上の高効率を目指しています。また、大きな負荷変動やサージ放電が発生した場合でも1次側へ影響を与えない設計となっています。その他電磁石を駆動する直流電源やホローカソードを点火するためのキーパー電源と、流量制御器系等のための補助電源を持ち、これらは統合的に制御されたシーケンスにて動作され、一定電力で効率最大化等の自律制御によりシステムリソースを最大限利用できる仕組みになっています。

### ホールスラスタを商用へそして探査へ

今回は新規開発中のホールスラスタを中心にお話ししてきましたが、ETS-9はオール電気推進衛星バスとして国際的にも遜色のないものに仕上がりがつつあり、主推進を国産スラスタベースのシステムへとアップデートすることで、更なる競争力強化が図ることが可能です。このための技術課題の解決にも取り組んでおり、スラスタスロットリング域の拡張とシステム重量の一層の低減開発を進めています。こうした追加の研究開発により、スラスタとしても海外製に対して遜色のないものになりそうです。その一方、単体での販売や今後の多様なミッションにおける利用のためには、あと一歩仕様の面から工夫が必要だと考えています。その1つとして現在取り組んでいるのが、幅広い排気速度レンジにて動作することで

各種ミッションの最適動作を提供する「ワイドレンジ」対応です。既に13km/sから27km/sまでの排気速度を複数の動作電圧で実現するスラスタならびに電源のブレッドボードモデル開発に成功しています。

深宇宙ミッションではミッション毎に最適な排気速度が変化するため、ワイドレンジホールスラスタシステムは、月・火星・小惑星へとといった各種ミッションの輸送力向上の決め手となります。Hシリーズロケットとホールスラスタシステムの併用により、輸送力は化学推進のみを用いる輸送に比べて概ね2倍とすることが可能であり、図3に示した通り、月はもちろん火星圏へ「このとり」(HTV) 規模の輸送船を送り込むことも可能になります。日本の火星輸送船 (HTV-Mars) は、電気推進でのクルージングを想定しながら今後開発検討されることでしょう。火星・小惑星への往復ミッションの輸送力が飛躍的に高まることから、解析上は火星本体からの我が国単独のサンプルリターンも可能になります。次世代の探査ミッションへ向けて、「はやぶさ」以来の技術革新が起こりつつあります。

### 開発体制ならびに謝辞

ホールスラスタの研究開発では、JAXAを挙げての取り組みが進められています。ETS-9搭載国産ホールスラスタの開発は第一宇宙技術部門プロジェクトチームが統括し、アドバイザーとしてのホールスラスタ技術委員会に支援をいただきながら、研究開発部門と宇宙科学研究所が技術支援と設備運用の観点から協力する体制をとっています。また、技術課題の解決に向けた研究を研究開発部門と宇宙科学研究所が国内外大学等と連携しながら進めています。これら関係各位と開発を担当する株式会社HIIエアロスペース、三菱電機株式会社のスタッフの皆様へ、深く感謝すると共に、今後も活発な研究開発をお願いする次第です。

\* 印加電圧に対して単位面積あたりで放出可能なイオンビーム電流値が制約される現象。表紙左上図の多孔グリッドを用いたイオン加速では、常にこの制約がかかる。

## 2020年度気球実験

6月下旬から9月上旬まで、大樹航空宇宙実験場にて気球実験を実施しました。気球実験のシーズンは例年5月開始ですが、今年は新型コロナウイルス感染拡大（いわゆるコロナ禍）に伴い一時中断を余儀なくされた相模原キャンパスでの実験準備の期間を確保した結果、当初の予定よりも約1ヶ月遅いスタートとなりました。

実験実施に際しては、新型コロナウイルスを想定した「新しい生活様式」を実践するべく、3密の回避や手指の消毒は当然のこと、実験参加者一人一人が使用する部屋や車両に至るまで従来の運用方法を見直したり、実験参加者数を最小限に絞ったりして、感染拡大防止に努めました。感染者数の多い首都圏から一定人数が出張することに関しては、幸い、地元の自治体や住民の皆様は温かく迎え入れて頂き、長年実験を続けてきたことによる絆の有難さを強く感じました。

さて実験は、大樹での準備を経て、7月14日にB20-03「皮膜に網をかぶせたスーパープレッシャー気球の性能評価」を、7月25日にはB20-04「マルチクロックレーサーによる大気年代の高精度化」を、それぞれ実施しました。これら2つの実験は、ここ数年間、異常気象やヘリウムガス不足のために実施機会を得られなかった実験で、満を持しての実施となりました。実験で取得されたデータは今後詳細な解析が進められます。

一方で、このほかに予定していた3つの実験であるB20-01「火



放球直前の大気球 B20-04号機

星探査用飛行機の高高度飛行試験」、B20-03「気球VLBI実験」、BS20-02「極薄ペロブスカイト太陽電池の気球飛翔」は、相模原や大樹での準備を進めたものの、今年度の実施を見送ることとなりました。直接的な原因は様々ですが、いずれもコロナ禍が一因となっており、残念です。

今年は、大気球実験グループ所属メンバーの入れ替わりのタイミングが重なったことなどから、例年になく初参加者が多かったのですが、こうして実験を実施できたことは、若手の育成という観点からも、今後に繋がる成果となりました。

コロナ禍において実験を遂行でき、3ヶ月間に亘り1人の発熱者も出ずに無事に完了できたこと、ご協力いただきました関係者の皆様に深く感謝いたします。  
(福家 英之)

## リモート開催：第1回ISAS惑星探査ワークショップ報告

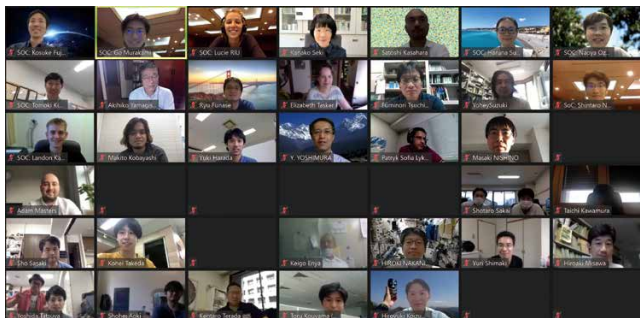
9月9日から11日までの3日間、第1回ISAS惑星探査ワークショップ (ISAS Planetary Exploration Workshop) をリモート開催しました。本ワークショップは、(現行ミッションの状況報告ではなく)数十年先の新しいミッション提案に繋がるような理工学を交えた学際的な発表および議論の場を設けることを狙って企画されました。また、もう一つの狙いとして、そのようなミッションを実現していくための分野横断的・大学-JAXA横断的なチーム構築(プラットフォーム作り)のきっかけを作りたいと考えていました。数十年先を視野に入れているため若手研究者が企画し、また発表者・参加者もポスドク・博士課程学生を含む若手研究者が中心となりました。

コロナ禍の中でのワークショップということで完全リモート

開催とし、その利点を活かして国外等の遠方からの参加者を積極的に巻き込みました。また、日本語を母国語としない研究者を輪に入れるためにも原則英語での発表・議論を行いました(実はワークショップの運営も含めて英語で行いました!)。リモート開催の「気軽に参加できる」という利点が功を奏したのか、ワークショップの参加登録は246名、瞬間最大同時参加人数は約150名(発表者は48名)という想定を上回る規模での開催となりました。逆に、リモート開催の欠点である「全日フル参加できる参加者が少ない」「懇親会等の人と人の繋がりを深める活動が難しい」という点については改善の余地が残りました。試験的に実施されたこのスタイルはNew Normalとなっていくかもしれません。

ワークショップでは、探査対象毎(「火星」「外惑星(木星以遠)」「内惑星(金星・水星)」「月」「小天体」)にスプリンターミーティングを開催し、数十年先の日本の惑星探査が何をすべきか?という議論を行いました。今回のワークショップでは、これらの問いに対する完璧な答えにはたどり着いていないものの、第一歩を踏み出したことが大きな一歩だと考えています。今後も本ワークショップを継続的に開催していきたいと考えています。

最後になりますが、ワークショップに参加・発表して下さった皆様、事前準備に時間を費やして下さったSOCチームの皆様に、改めて感謝いたします。  
(尾崎 直哉/村上 豪)



リモート集合写真



## イオンエンジン運転終了、拡張ミッションのターゲット決定

9月号のISASニュースで、「はやぶさ2」のイオンエンジンの運転が99.9%終了したことをお話ししましたが、残りの0.1%の運転を9月15日の22時(機上、日本時間、以下同様)から開始しました。イオンエンジンは予定の速度まで順調に探査機を加速し、9月17日 03:15:45に停止しました。停止時の予定の速度からのずれは、たった0.05mm/s。これは、時速18cmに相当します。完璧と言ってよい運用でした。まさにイオンエンジンが有終の美を飾ったこととなります。トラブルが多かった「はやぶさ」の時のイオンエンジンと比べると、非常に改良されたエンジンとなったことが実証されました。

一方で、「はやぶさ2」が地球にカプセルを帰還させた後のミッション(拡張ミッション)についても検討が進みました。ISASニュース9月号では、2001 AV43と1998 KY26という2つの小惑星が候補天体となったところまでお話ししました。その後、それぞれのミッションについて更に詳しく検討し

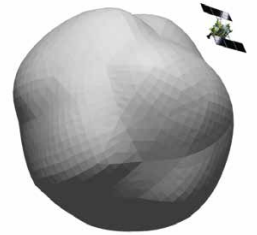


イオンエンジン往復完走後の集合写真。管制室にて2020年9月17日未明撮影。

て、最終的に1998 KY26をターゲットとすることになりました。その理由は、探査機の温度条件や軌道運用において1998 KY26に行く方がリスクが小さいということがはっきりしたためです。ただし、拡張ミッションを実施するためには、そのための予算を確保する必要があります。これは、今後行うこととなります。

1998 KY26に到着するのは2031年7月の予定で11年ほど先のことになりますが、2026年7月には、2001 CC21という小惑星をフライバイし、黄道光や系外惑星の観測も行いながら惑星間空間をクルージングしていきます。探査機のハードウェアがどこまで機能するかという技術的な耐久試験にもなります。

10月からは、再突入カプセルをオーストラリアのウーメラ砂漠にびたっと着地させるよう化学エンジンによる精密軌道制御を行います。また、カプセル回収隊もいよいよオーストラリアへ移動を開始します。(吉川 真)



拡張ミッションのターゲット天体である小惑星1998 KY26の形状モデル。直径は約30mであり、探査機に比べるとこの図に描かれているほどの大きさとなる。(©Auburn University, JAXA)

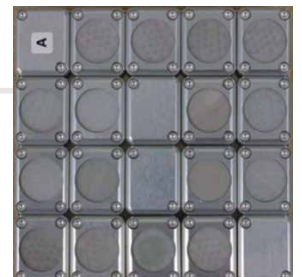
## 微生物の塊は紫外線を浴びても数年、浴びなければ数十年生存 —「たんぽぽ」微生物宇宙空間曝露実験結果報告—

「たんぽぽ」実験は国際宇宙ステーション曝露部共用ポート実験候補として2007年採択され、検討を経て2013年JAXAと東京薬科大学の共同研究として実施が決定されました。「たんぽぽ」実験では微生物や有機物を宇宙空間に曝露する曝露実験と、超低密度固体エアロゲルを宇宙空間に曝露して超高速微粒子を捕集する捕集実験の2種類を3年間(一部延長で4年間)実施しました。その中で微生物曝露実験の結果がまとまり、今回Frontiers in Microbiology誌に掲載されました。報告はNHKニュースや、国際的には117のネットサイトで報道されました。

微生物が宇宙空間を移動するのではないかという仮説は100年以上前に提唱され、パンスペルミア(パンは汎、スペルミアは孢子の意)とよばれています。この仮説を検証する実験がESAとロシアを中心に複数回実施されていました。その結果、微生物が直接紫外線を浴びると死んでしまうが、紫外線が岩石中で遮られれば長期間生存できるという結果が得られていました。これまでの実験は、紫外線を何らかの方法で遮蔽していたのに対し、「たんぽぽ」実験では微生物を塊にして、紫外線もあたる宇宙環境(真空中で放射線もあたる)に曝露しました。また、これまでの実験がそれぞれ1回のみの実験であったのに対し、「たんぽぽ」実験では同じ場所で1年、2年、3年と微生物生存の時間経過を追ったことも新規です。この結果、微生物の塊が紫外線下でも2~8年、紫外線が当たらなければ数十年生存できることを明らかにしました。

実際に微生物が宇宙空間を移動する為には、微生物の塊が惑星を脱出し、移動し、別の惑星に着陸し、そこで増殖しなければなりません。これらが検証されているわけではないので、パンスペルミアが実証されたわけではありません。ただし今回の結果は、火星と地球の間を最短で移動できる時間(1~数年)、微生物の塊が生存できることを示したことになります。

生命の起源には諸説あり論争中ですが、RNA生命が最初に誕生したという考えがあります。RNA生命の誕生には乾燥できる環境が必要で、生命誕生の場所として陸上の温泉やクレーター等の乾燥と湿潤の両方が実現しうる場所が想定されています。その環境を実現する場所として、40億年前のほぼ海洋で覆われた地球よりも、星全体が30%海だった火星の方が生命の誕生に適していた可能性があります。今回の結果は生命の起源を考える上で、地球に限定しないで検討する必要があることを示しています。その検討の1つの方法は、実際に他の天体に生命がいるかないかの探査を行うことです。またパンスペルミアがさらに検証されるなら、惑星保護についても見直す必要が出てきます。惑星保護では地球外天体に地球生命を持ち込まないことと地球外生命を地球に持ち込まないことを目指しています。もし、微生物の惑星間移動が自然の過程で起きているのであれば、微生物の人為的な移動の制限を緩和しても良いということになるかも知れません。(山岸 明彦)



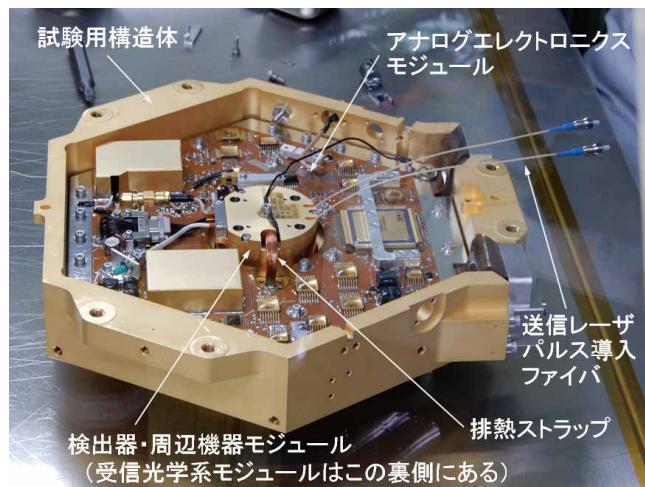
「たんぽぽ」曝露パネル(たんぽぽチーム)。20のユニットから構成され、ひとつひとつのユニットには微生物あるいは有機物の試料が納められている。窓の無いユニットは放射線測定用。

## JUICE搭載ガニメデレーザ高度計GALA：氷衛星の地形と地下海の測定を目指して

木星氷衛星探査JUICEはESAが主導する大型計画で、2022年に探査機の打上げが予定されています。JUICEの科学観測機器のひとつに、日本も主要部の開発を担うガニメデレーザ高度計GALAがあります。GALAは最大の氷衛星であるガニメデに対して、周回軌道上から全球への距離測定を繰り返し行うことで、氷で形成される地形を3次的に把握し、更にその時間変動を計測します。

氷衛星の地形については現状では乏しい情報しかないので、GALAはその生成と進化の解明に大きな役割を果たすと期待されています。また、ガニメデの氷の地殻の下には液体の海がある可能性が指摘されています。地下海があればその潮汐のため、ガニメデの形状が僅かに変動したり、軌道運動が変化したりします。GALAはこれらの効果を計測することで地下海の有無を突き止め、特徴を把握することを目指します。地下海のサイエンスは、アストロバイオロジー（宇宙生命論）の観点からも意義が大きいと考えています。

GALAの開発はドイツを中心に、日本、スイス、スペインを加えた国際協力で進めています。日本は受信光学系、検出器・周辺機器、そしてアナログエレクトロニクスの3つのモジュールを担当しています（スイス、スペインは電気系のモジュールを1つずつ担当）。日本の担当部分は高感度の検出器を含み、光学、熱構造、機械および電気系が絡み合う心臓部とも言えます。これらの3つのモジュールとも、このたびフライトモデルの欧州へのデリバリーを迎えました。この先は各種の試験と、もう一式のハードウェア製作（フライトスペア）があります。設計変更が生じないことを願うばかりです。



デリバリー前のGALA日本担当部分

GALAの開発では様々な理由により、これまでに経験した同規模のプロジェクトに比べて多くの労を要しました。例えば、電気系以外は宇宙研責任で実際に開発を遂行しています。GALAの経験と教訓は、ぜひ他のプロジェクトとも共有して活かしたいと思っています。個人的には、GALAに携わる前は宇宙望遠鏡による系外惑星（第2の地球）観測を目指した開発をしていました。分野も技術も大きく異なるので脈絡がないようにも見えますが、昔も今も宇宙における生命を目指しています。GALAの成果も、この先の研究も、たいへん楽しみです。

（塩谷 圭吾）

## 「宇宙科学探査交流棟」再開から3か月

新型コロナウイルス感染拡大による緊急事態宣言のただなかにあった4月、私たちはどうすれば交流棟の展示見学を再開できるのか検討を始めました。5月に策定された博物館業界の感染拡大予防ガイドライン等をふまえ、6月25日に臨時休館を解除しました。それからの展示見学はすっかり様子が変わっています。

以前は誰でも自由に入出入りすることができましたが、現在はネットからの予約制で人数制限をしています。手で触れる展示

物はこまめな消毒が難しいことから休止中で、好評だった対面型の展示解説ツアーも実施していません。

交流棟をオープンしてからもうすぐ3年。宇宙科学探査について体験的に学べる場として、昨年まではハンズオン展示やミニレクチャーを積極的に増やしてきたところでした。体験型の展示や交流活動を制限することは、これまで取り組んできた方向性とは正反対で、とても寂しいことではあります。

今はできる工夫を考え続けて運営するしかありません。展示解説ツアー休止の代わりに、各自のスマートフォンで聞ける音声ガイドを導入しました。大きな映像をご覧いただける壁面シアターも始めてみたところ好評です。学校の校外学習も条件付きですが受け入れています。

これほど世の中のありさまが変わっても、以前と何ら変わっていないこともあります。人びとの宇宙への関心です。最近では「はやぶさ2」地球帰還も交流棟を訪れるきっかけとなっているようです。世の中の不安が広がっている昨今ですが、宇宙科学・宇宙探査は人類の希望を感じさせるものであり続けられるということを、この状況下で改めて感じています。「見学できてよかったです」との声に支えられつつ、これからも運営の工夫を続けていきます。将来につながることを願って。（大川 拓也）



館内の白い壁をスクリーンにして映像を投影する壁面シアター。周りの人との間隔を空けてご覧いただいています。



# 「みお」つくし

第18回

## 世代も国境も越え水星へ挑むベピコロomboの物語

水星 / 「惑わない星」より



### 赤道直下の移設作業

オランダでの試験が終わり、ついに探査機は射場へ移動となります。場所は仏領ギアナにあるCSG (Centre Spatial Guyanais)。MMO (「みお」) の地上システムに係る作業として、私は2018年5月、8月、9月の3回CSGへ出張しました。現地では空港、ホテル、CSG以外は英語があまり通じない事(現地はフランス語)の他は特に不自由なく過ごせました。現地のレストランでは生肉料理であるタルタルを知らずに注文し、初めて食べました。生牛挽肉の上に卵の黄身が乗っており、自分で好きな味付けをして食べるのですが、南米ということで生水などに気を付けるよう注意していたので、少し勇気が必要でした。食べてみると美味しく、その後タルタルを見つけると注文するようになりました。幸い、現地では私も含め、誰もおなかを壊すような事がなく、無事に滞在期間を終える事ができました。



初見時に衝撃的だったタルタル

さて、現地作業について。探査機本体は後述する専用機であるアントノフで空輸されますが、それ以外の装置類は船便で衛星より少し前に現地に到着します。我々は木箱で梱包された器材を開梱し、システムを構築するのですが、そこは赤道直下のギアナです。開梱作業は蒸し風呂のような

暑さと湿度で、時折来るスコールに注意しながら、皆汗だくでの作業になりました。開梱、搬入後は装置の据付調整や日本とのデータ通信確認を行います。現地での電源配線工事や通信確認は現地の専門スタッフと調整しながら行いました。日本との通信に使用しているISDN回線がサービス終了していたというトラブルもあり、その原因が分かるまで何度も現地スタッフと調査をすることになりました。結果としてはうまく通信出来るように調整ができたのですが、国際ミッションならではの難しさを痛感しました。その後日本のスタッフや現地スタッフの協力で無事システム構築も完了、「みお」の搬入も終わり、打上げに向けた最終確認の準備が整いました。



探査機移設作業が無事完了した後の集合写真

この滞在を経て、国際協力ミッションの楽しさと難しさを覚え、好きなフランス料理が1つできた事が大きな収穫でした。

地上システム・運用担当 **太田方之**(おおた まさゆき)



### アントノフ

2018年5月、MMO (「みお」) のオランダのヨーロッパ宇宙技術研究センター (ESTEC) から南米仏領ギアナの射場 (CSG) への輸送に立ち会いました。熱制御系担当として「みお」が輸送中に所定の環境に維持されていることを確認し、必要に応じて対処するのが任務です。オランダのスキポール空港から南米仏領ギアナのカイエンヌ空港まではロシアのアントノフという超巨大輸送機で輸送されました。

アントノフは衛星の輸送によく使われている世界最大級の貨物機です。胴体前後に大きな貨物扉を持ち、2基のクレーンが貨物室に装備されていて、貨物の搬出入がスムーズにできます。貨物室の上、操縦室の後ろにクルーの個室と顧客のための座席スペースがあります。普通の旅客機と同じ座席ですが、「いやつを選んで座ってくれ」と言われました。座席のところに窓はなく外の様子はわかりません。飛行中貨物室はある程度与圧され空調されていますが、人が耐えられる気圧・温度ではなく飛行中のチェックはできません。地上でだけ衛星コンテナにアクセスできました。

ESAの電気推進モジュール (MTM) と混載でしたので、ESAから1名と衛星試験を請け負っているTAS-I社から3名が、私の



アントノフ (Copyright: ESA-M.Cowan)

他に搭乗しました。途中サンタ・マリア島に給油と時間調整のために寄港しました。衛星コンテナと積荷の健全性を確認後、ESAとTAS-Iの人たちと連れ立って空港の外のお店に行き、軽い食事をとりました。お店には卓球台やビリヤード台などがあり、彼らと一緒に遊んだのは良い思い出です。アントノフに戻り、衛星コンテナの健全性確認後、カイエンヌ空港に向けて出発しました。

アントノフも南米ギアナも初体験でとても心配しましたが、結果として問題なく輸送できてほっとしました。

…今回で一旦連載は中断になります。まだまだお伝えたいことがたくさんあります。しばらくしたら再開したいと思います。どうぞご期待ください!

BepiColombo計画 日本側プロジェクトマネージャ **小川博之**(おがわ ひろゆき)

# 宇宙・夢・人

Space Human Dream

》「できっこない」と言われるくらい  
でないと燃えません！

## 成功と失敗の狭間の真剣勝負でこそ進歩する

——「おおすみ」打上げ50周年記念で開催した「宇宙科学・探査と『おおすみ』シンポジウム」で総合討論のモデレーターを務められました(シンポジウムの様子はこちらをご覧ください\*).

基調講演で秋葉 鏡二郎先生が大切なことを仰いました。「『おおすみ』成功に至る4度の失敗は全て成功とも言えるし、『おおすみ』の成功自体が失敗とも言える」科学と技術は成功と失敗の狭間の真剣勝負でこそ進歩するということです。ところが最近の宇宙研は組織自体が失敗を恐れて萎縮し、大きな挑戦にしり込みしているという強い危機感を私はもっています。

### ——宇宙研がやるべき大きな挑戦とは？

NASAやESAが躊躇するようなことに挑戦し続けるべきです。例えば、イプシロン級の小さな探査機で小回りよく機敏に(短期間低コストで)超一流の科学や技術に挑戦する。小型化は日本のお家芸、タイムリーに世界をリードするパイロットになれば素晴らしいと思います。

## プログラム化によって大きな挑戦を成功に導く

——探査機の小型化は打上げ頻度の増加にもつながりますね。

そのとおり。単に回数を増やすだけでなく、これからの時代に大事な「プログラム化」という概念です。ひとつひとつの挑戦的な探査計画の物語を戦略的に繋ぎ、壮大な宇宙叙事詩として展開するのです。小惑星探査機「はやぶさ」と「はやぶさ2」は、結果的にプログラム化の勝利と言えます。今後はこのようなことを計画的に行う必要があるでしょう。

## 深宇宙 OTV が探査を変える

——探査機を小型化すると、遠くの天体まで行くことが難しくなるのでは？

答えの1つが「深宇宙OTV(深宇宙を行き来する輸送機)」というアイデアです。現在の探査機は、探査を行うためのコア部分と目的地までの往來を司る輸送部分で構成されていますが、後者はどの探査機でも似たり寄ったりです。それを共通化して宇宙に置き、繰り返し使えるようにしておけば効率が断然よくなります。探査機の開発はコア部分だけですむのでイプシロンでも深宇宙探査に挑戦できますし、高度な探査に英知を結集して宇宙科学が飛躍的に発展するでしょう。

\* <https://www.youtube.com/watch?v=tmDq3n-wdKA&feature=youtu.be>

### 編集後記

緊急事態宣言発令から早半年がたち、本号で紹介された惑星探査ワークショップのリモート開催のような新しいスタイルでの活動がISASでもかなり板についてきたように思います。オンライン会議が当たり前になって会議場所の確保に気を回さなくてよくなったのは思わぬ恩恵でした。(荒川 聡)

宇宙飛行工学研究系 教授  
研究基盤・技術統括

## 森田 泰弘(もりた やすひろ)

1958年、東京都生まれ。東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。カナダ・プリテッシュ・コロンビア大学客員研究員、宇宙科学研究所助手などを経て、2003年より宇宙輸送工学研究系教授。M-Vロケット、イプシロンロケットのプロジェクトマネージャとして開発・打上げをリード。2017年より研究基盤・技術統括兼務。専門はシステムと制御。



——深宇宙OTVを実現した例はあるのでしょうか？

まだありません。深宇宙OTVは、輸送工学と探査工学が融合し、1つのシステムとして最適化させることで実現します。これは、まさに「おおすみ」以来、私たちが挑戦してきた集大成、私たちだからこそ出てくる発想です。実現したら世界はすぐ追いかけてくるでしょう。科学や技術に携わる者としてこれ以上ない快感です。

## 温めると溶ける。新しい固体燃料を開発

——打上げロケットについて新しい動きはありますか？

ロケットを身近な乗り物にするというコンセプトで、イプシロンではモバイル管制など打上げシステムの革新を図りました。次の大きな挑戦は固体燃料の改革です。現在の燃料は粒子を混ぜた樹脂に熱を加えて固めますが、一度固めるとやり直しが利きません。これでは効率が悪い。私たちは逆転の発想で、熱を加えると溶ける、それを何度でも繰り返せる固体燃料(低熔点固体燃料:LTP)を開発して、まるでチョコレートのように簡単に製造しようと考えています。

——現在の開発状況は？

一昨年、昨年と小型ロケットの飛行実験(赤平市と大樹町)に成功し(写真)、現在は観測ロケットの開発に挑戦しています。その先はイプシロン級への応用です。低熔点固体燃料という発想は昔からありましたが、実現できるはずがないと考えられてきました。実は、イプシロンのモバイル管制も、周囲からは「できっこないからやめておけ」と言われていたのです。でも、それくらい難しいことに挑戦しないと燃えないですよ。科学も技術も進歩しません。

——未来に向けた抱負をお聞かせください。

「日本の宇宙開発は欧米の後追いで始めたわけじゃない。将来の目標を定めてやってきたのだ」という秋葉語録があります。この精神を胸に、これまでの延長線上にはない新たな世界を切り拓いていきたいと思っています。



LTPロケット初飛行  
(2018年、協力:植松電機)



ISASニュース No.475 2020年10月号

ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所  
発行責任者/宇宙科学広報・普及主幹 藤本 正樹  
編集責任者/ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠  
デザイン制作協力/株式会社アズディップ

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶ <http://www.isas.jaxa.jp/>