JAXA宇宙科学研究所

ISAS News

ISSN 0285-2861

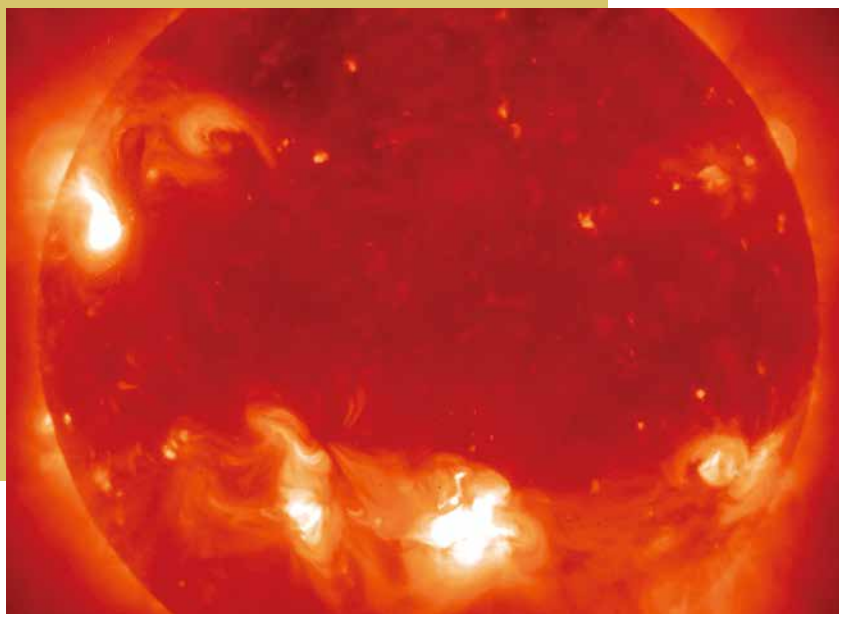
2022 1

No.490

「ひので」が捉えた
新たな太陽活動周期のあけぼの

2021年10月28日に「ひので」衛星X線望遠鏡が捉えた太陽のようす。太陽面の中央南に位置する黒点群（明るく輝く領域）は、第25太陽活動周期で2例目となるXクラスの太陽フレアを生じ、報道でも大きく取り上げられました。また、11月2日のMクラスフレアに伴う高速プラズマの塊（CME）は地球に到達し、11月4日に磁気嵐が発生しました。その模様は、ノルウェーから打ち上げられた観測ロケットSS-520-3号機にて観測されました。

ISASニュース2021年12月号参照
https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews489.pdf



2022年所長年頭ご挨拶

宇宙科学研究所長　國中　均（くになか ひとし）

宇宙科学研究所は、複数の衛星や探査機・観測ロケット・大気球を運用しながら並行して、戦略的中型計画としてX線分光撮像衛星（XRISM）・火星衛星探査計画（MMX）のシステム、公募型小型計画として小型月着陸実証機（SLIM）・深宇宙探査技術実証機（DESTINY⁺）・太陽観測衛星Solar-C（EUVST）のシステム、戦略的海外共同計画として木星氷衛星探査計画（JUICE by ESA）・二重小惑星探査計画（Hera by ESA）・広視野赤外線宇宙望遠鏡（Roman Space Telescope by NASA）のための観測装置や地上設備を開発中です。戦略的中型計画や公募型小型計画は、宇宙科学研究所が主体となって科学衛星を研究開発し、基幹ロケットで打上げ、科学成果創出を目指すものです。より頻繁に宇宙進出を図るために戦略的海外共同計画枠を設けています。戦略的中型計画や公募型小型計画にて培った技術や知見を海外機関から請われて提供し、低出費で堅実に成功を収め、早期に科学成果を刈り取ることを指針としています。これまでの宇宙科学研究所の活動は、海外より高評価と世界信用を勝ち得ており、お断りするのが難儀なほど多くの依頼が舞い込みます。予算に制限のある中、戦略的中型計画・公募型小型計画・戦略的海外共同計画を駆使し工夫しながら「深宇宙探査船団」や「宇宙天文観測網」の構築を進めてまいりました。

このような宇宙科学を展開するには、お金のみならず優秀な人材が必要です。「はやぶさ2」小惑星探査にて経験を積んだ技術者を、後続のMMXやDESTINY⁺に再配置して研究開発に当たらせています。一般職の経験者採用を積極的に進めるとともに、教育職の人事公募は毎年10件以上、特に2021年には20件発出し、人材糾合に努めてきました。既存部門を強化しながら、これまで宇宙科学研究所に備わっていなかった研究領域：アストロバイオロジー・超小型衛星・系外惑星・インフレーション理論・重力波天文などに関わる人材を新たに迎えることができました。

政府より認めて頂いた「技術のフロントローディング」経費を原資に、宇宙科学研究所の将来を担うキラーコンテンツの獲得を目指します。全JAXAに提案を募り、タウンホールミーティングを開催して大勢で公平に議論し、国産赤外線センサーや宇宙用極低温冷凍機などの実現に研究開発資源を集中することとしました。予算規模を拡大してさらにキラーコンテンツの充足を志向します。ここから創出される成果が2020年代後半以降に花開き、宇宙科学研究所のメインコンテンツになることを期待します。さらに、「今後の月と火星の宇宙科学は、米国アルテミス計画とも連携して実施する国際宇宙探査プログラムとして整理した上で、大学共同利用システムを活用して大学アカデミアメンバーの参画を促し、企画立案する」ように、政府よりご指導頂いています。新たな挑戦領域と認識し、この分野へも尽力する所存です。

人・もの・金・技術・情報を集め、宇宙科学研究所のさらなる飛躍を誓います。引き続きご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

宇宙科学最前線

将来の宇宙ロボットへとつながるトランスフォーマー宇宙機

青山学院大学　理工学部 機械創造工学科　准教授　菅原 佳城（すがわら よしき）

はじめに

宇宙ロボットという言葉で何をイメージするでしょうか？フィクションに現れるロボットをイメージする人が多いのではないでしょうか？それらの多くは人間並みの巧みな動きができる上に、飛行したり変形したりと人間以上の能力を持つものばかりです。しかしながら、現在運用されているロボットをはじめとして、人間の巧みさの実現さえもまだハードルが高いものとなります。ましてや微小重力環境である軌道上での巧みな運動を実現するには、フィクションで描かれているような人間以上の能力が求められます。私たちはそのような将来の宇宙ロボット技術の礎となるトランスフォーマー宇宙機の研究開発を進めています。

宇宙ロボット

国際宇宙ステーション（ISS）を始めとする大型の宇宙構造物の軌道上組み立てや修理等の作業では、宇宙飛行士の安全確保や効率的な作業のためにもアームを備えた宇宙ロボットが利用されてきました。例えば、ISSに設置されたSSRMS（Space Station Remote Manipulator System）や、きぼうモジュールに設置されたJEMRMS（JEM Remote Manipulator System）は様々な用途で使われています。このような宇宙ロボットはISSなどの大きな構造物に設置されており作業空間は限定的なものです。一方、ロボット自身が自由に移動可能であれば作業空間に関する制約を緩和することが可能となり、ロボットの能力をさらに活用できるようになります。ERA（European Robotic Arm）はISS上のベースポイントを掴みながら移動することで、より広範囲での作業を実現します。しかしながら、動作範囲はベースポイントの配置の制約を受けます。より複雑な構造物の建設や巧みなミッションを実現するためにも、ロボットにはより多くの自由度が求められます。その要求を実現する1つの解がフリーフライングロボットであり、その名の通り軌道上で自由に飛び回ることで、複数の作業対象や作業空間を移動しながら様々な作業（把持、移動、監視、検査など）を実現します。しかしながら、SSRMS、JEMRMS、ERAのようにロボット自身が大きな構造物に設置されていないことから、アームを動かすと、つまりはロボットの形状を変化させると、ロボット自身の姿勢が大きく変化するため、姿勢変化を考慮しながらアームを動かす必要があります。さらに、ロボットが実現できる運動はその形状や質量によって決定する慣性特性に依存するため、状況によっては実現できない運動が発生します。例えば図1に示すフリーフライングロボットにおいて、駆動関節1の動作のみで対象物を把持する簡単な作業を考えます。リンク1を動かすためにトルクを加えると、リンク1以外の構造（青線の部分）にも反トルクが加わります。Case AとBではリンク1以外の構造の形状が異なり、駆動関節1まわりの慣性モーメントはCase Aの方が大きい、つまりリンク1以外の構造に関してCase Aの方が動きにくい状況になっています。その結果としてロボット全体の姿勢変動は抑制され、Case Aの方が対象物を把持できることになります。一方、Case Bではリンク1以外の構造が折り畳まれているため狭い空間での作業が可能であるものの、リンク1以外の構造が大きく動いてしまうため、ロボット自身の姿勢変動が大きくなります。その結果として、リンク1が作業対象物に到達できない上に、ロボット自身が周囲と衝突する可能性があります。もちろん、他の駆動関節の動作によりこれらの問題を回避できる可能性はあるものの、その場合も姿勢と形状を同時に考慮する必要があります。このような性質ゆえに、フリーフライングロボットの実用的な運用のためにも形状（アームの動き）と姿勢の同時制御がとても重要な技術となります。

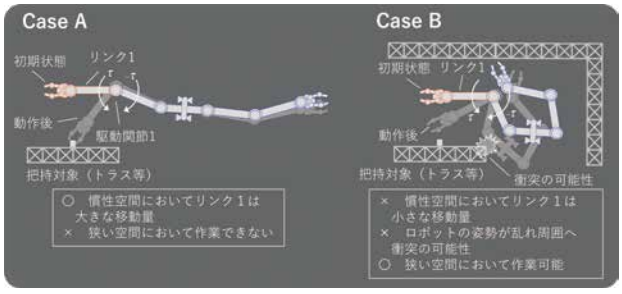


図1：フリーフライングロボットによる作業

トランスフォーマー宇宙機

本研究グループで実現を目指しているトランスフォーマー宇宙機とは、パネル構造やボックス構造などの複数の形態要素が互いに回転ジョイントなどの駆動関節によって接続された構造を持つ宇宙機です（図2）。まさにフリーフライングロボットです。駆動関節の動作により様々な形状に変形することが可能であり、異なる形状への変形によって複数の機能

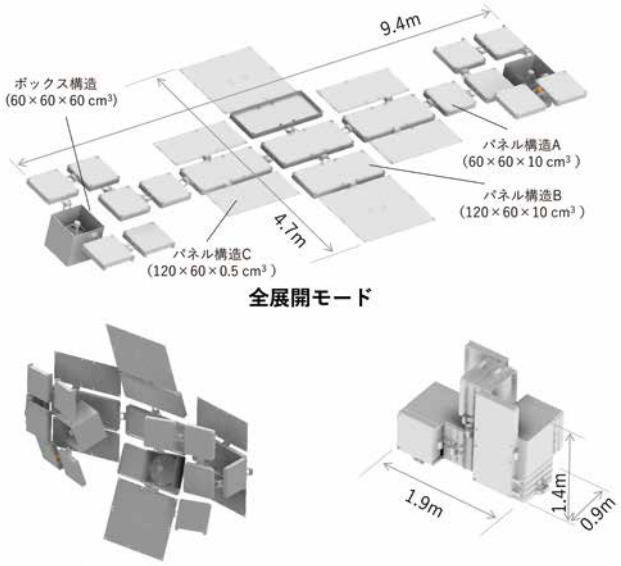


図2：トランスフォーマー宇宙機と各変形モード

モードの実現が可能となります。このとき、複数の駆動関節を適切な順番で繰り返し動作させることで宇宙機が有する非ホロノミック性（後述）を利用した「形状と姿勢の同時制御」を行い、これまでにない宇宙機を実現することが可能となります。これは、将来のフリーフライングロボット技術への礎ともなります

本宇宙機は技術実証衛星であり、前述のような「形状と姿勢の同時制御」の技術実証に加え、それに伴う関連技術（アストロダイナミクス、構造、熱、通信、パネル駆動など）の実証や、その特徴を有効に活用した理学観測ミッションの実現を目指しています。図2に示すように、27個のパネル構造とボックス構造から構成されており、全展開モードの状態で長手方向に約9.4m、その直交方向に約4.7m、質量は約280kgです。また、後述の小円halo軌道への軌道投入後は本宇宙機の技術実証に加え、観測モードの状態で理学観測ミッションとして搭載する干渉計とフーリエ分光計による天体観測を行います。

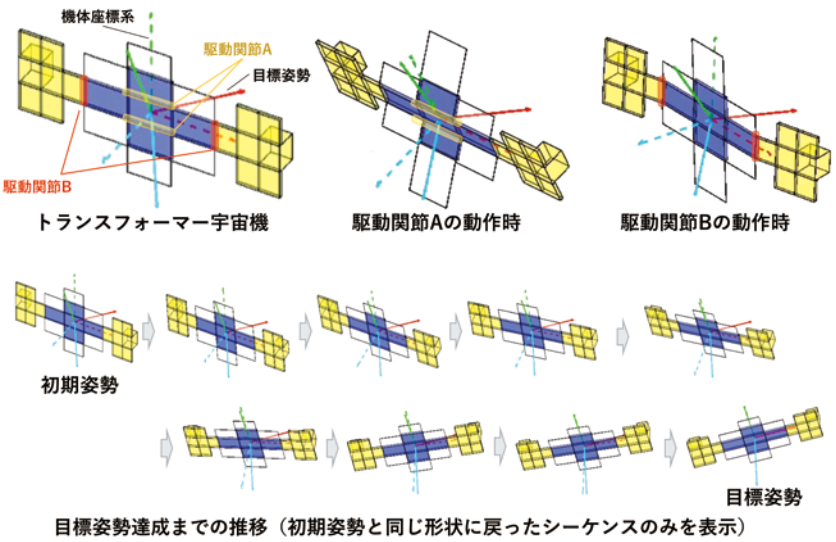


図3：トランスフォーマー宇宙機における姿勢と形状の同時制御の解析例

非ホロノミック性を利用した形状と姿勢の同時制御

前述のようにトランスフォーマー宇宙機の最大の特徴は非ホロノミック性を利用した「形状と姿勢の同時制御」です。非ホロノミック性とは非ホロノミック拘束と呼ばれる運動に関する拘束条件に基づく性質です。一般に機械の運動が何らかの拘束を受けるとき、その自由度は少なくなります。一方、非ホロノミック拘束では自由度が減ることはなく、機械の動き方を組み合わせることで、様々な方向に動くことができます。このような非ホロノミック性を持つものは身の回りにも数多く存在します。例えば、猫は背中を下方に向けた静止状態から落下したとしても、身体をひねることで脚を地面に向け安全に着地することができます。これは「猫ひねり」としても知られている現象です。角運動量がゼロに保存され、内部にリアクションホイールやスラスタなどのトルクを発生する仕組みがないにも関わらず、猫は関節の動きを適切に組み合わせることで空中で姿勢を変化させることができます。さらに、着地時に足で地面を捉えるように体の形を整えており、姿勢と形状を同時に制御していると捉えることができます。

本宇宙機は複数の駆動関節を適切な順番で駆動させることで、形状を制御しつつ同時に希望の姿勢を実現することが可能です。図3に本宇宙機における非ホロノミック性を利用した形状と姿勢の同時制御のシミュレーション例を示します。この例では、図3上段の中央図および右図に示すように駆動関節AおよびBのみの駆動に限定したうえで、それらの運動の適切な組み合わせと繰り返しによって、図3下図のように初期姿勢から目標状態へ姿勢変更を達成しています。駆動関節AおよびBのみならず、他の駆動関節の運動も組み合わせることで、より効率的かつ高精度に希望の姿勢変更を行うこともできます。

トランスフォーマー宇宙機の特徴的な技術と開発状況

以降では本宇宙機の実現にあたり特徴的な技術とその開発状況について抜粋して示します。

形状と姿勢の同時制御による太陽輻射圧を用いた軌道維持・制御：形状と姿勢の同時制御により、宇宙機が受ける太陽輻射圧を変化させることが可能となり、その輻射圧を外力として利用することで太陽−地球系のL2点における小円halo軌道上での軌道維持・制御を行います。小円halo軌道では外力が働かない場合には不安定ですが、このような形状、姿勢、軌道の統合的な制御を行うことで、安定な長期滞在が可能となります。

形状変形を活用した熱遮蔽による受動冷却：パネル構造を用いた太陽光の熱遮蔽により、振動などの擾乱発生源となる冷凍機を使用せずとも機器の冷却が可能（受動冷却）となります。そのため、本宇宙機は無擾乱かつ低温環境が要求される観測ミッションなどに適しております。観測機器を搭載したボックス構造の温度を-40K程度まで受動冷却できる可能性を

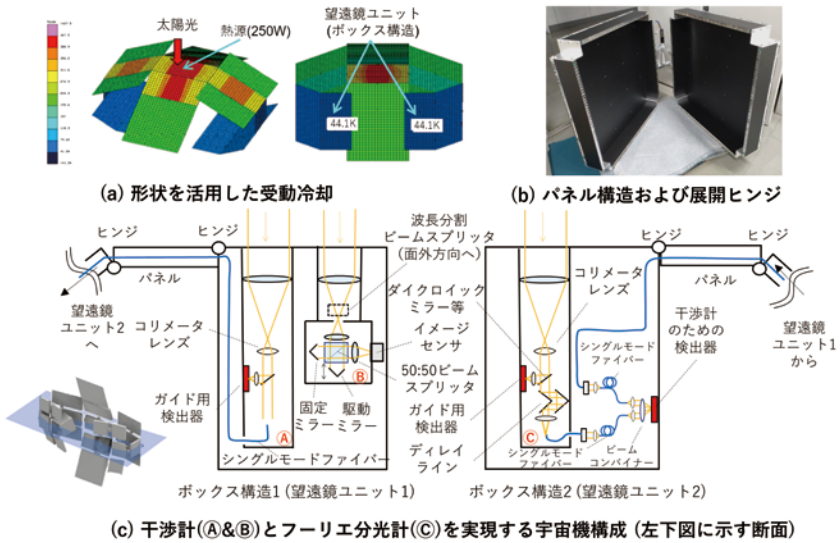


図4：トランスフォーマー宇宙機における技術と開発状況の抜粋

数値解析結果によって示しており（図4（a））、さらに受動冷却性能の検証のためにパネル構造および展開ヒンジから構成される基礎モデルに対し熱真空試験を進めています。

パネル構造・展開系：宇宙機に必要となる各機器はパネルやボックスの各構造に搭載されます。そのため、それらの構造に依存して機器サイズや機器配置が決まるため、従来の衛星とは大きく異なる設計方針となります。また、駆動関節を跨いで設置されるハーネスの剛性が形状変形動作に影響を及ぼすため、ハーネスの検討においても従来の宇宙機とは大きく異なる設計が求められます。そのようなトランスフォーマー宇宙機に固有の課題を解決すべく、図4（b）のようなパネル構造および駆動ヒンジを開発し、展開試験や振動試験等を進めています。

理学観測ミッション：本宇宙機は干渉計とフーリエ分光計の2種類の観測装置を搭載します（図4（c））。いわば観測器を操るフリーフライングロボットです。干渉計では複数の望遠鏡をそれらの距離を変えつつ様々な方向に向ける必要があり、形状と姿勢の同時制御が可能な本宇宙機の特徴を十分に活用できます。口径が10cmの望遠鏡2つを2つのボックス構造のそれぞれに搭載し、3m級の大口径の望遠鏡と同程度の分解能で天体観測を行います。これが実現できれば世界初の可視光領域による軌道上干渉計観測となります。また、ボックス構造の一方にはフーリエ分光計を搭載し、高スペクトル分解能の観測により黄道光のフラウンホーファー線を検出する新たな観測手法の開拓を目指しています。本宇宙機に搭載するフーリエ分光計では振動のない静かな環境と低温環境が必要であり、これも本宇宙機における無擾乱で冷却が可能という特徴を十分に活用した観測ミッションになります。

終わりに

本研究グループはJAXAや大学などの様々な研究機関で構成され、宇宙工学委員会ワーキンググループ「トランスフォーマー宇宙機の実現とその応用に関する研究」として2020年代後半の打ち上げを目指して活動をしています。コロナ禍における活動の制約が発生したにもかかわらず、オンラインツールの発達によって遠方にいるメンバー間での速やかなやり取りが可能となり、研究開発をむしろ加速しています。引き続き応援頂けたら幸いです。

Column

「はやぶさ2」における「ウラシマ効果」について

アインシュタインの相対性理論が予言する「ウラシマ効果」をご存じだろうか？往復の宇宙旅行を終えて地球に戻ってくると、地上では悠久の時が経過していて自らのひ孫の世代に遭遇する、というようなSF映画で度々題材となる現象である。浦島太郎が竜宮城で楽しい時間を過ごし、玉手箱を片手に浜辺に帰ってきたら、地上では何百年もの時が経っていたという話にちなんで、そのように呼ばれている。小惑星リュウグウで有意義な時間を過ごし、リュウグウからの贈り物をカプセルに詰め込み地球に帰還した「はやぶさ2」に、どの程度の「ウラシマ効果」が生じていたのかが気になったので、調べてみた。

相対性理論によると、太陽系内を航行する旅行者が経験する時の流れ $d\tau$（固有時）と、太陽系重心に対して静止している（が太陽系内の天体の重力の影響は受けないものとする仮想的な）時計の流れを表す太陽系座標時 dt_{CB}（TCB：Barycentric Coordinate Time）との間の関係は、近似的に以下のように書くことが出来る。

$$d\tau = \left(1 - \frac{U}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2}\right) dt_{CB}$$

ここで c は光速であり v は旅行者の太陽系重心に対する相対速度、U は旅行者の地点に太陽系の全天体が及ぼす重力ポテンシャルの和（$U = \sum_i \frac{GM_i}{r_i}$）をを表す。この式を旅行者の旅程の期間において積分することにより旅行者が旅行中に経験した総時間を計算することができる。

$-\frac{v^2}{2c^2}$ の項は高速で移動すると時間の流れが遅くなるという特殊相対論に起因する効果であり、$-\frac{U}{c^2}$ の項は強い重力場下において時間が遅れる一般相対論に起因する効果である。

地球上の海抜0mの地点にずっと留まっている者（太陽系重心を原点とする慣性系でみると地球の公転・自転により太陽系内を移動している）が経験する固有時を上の式により計算したものを地球時（TT：Terrestrial Time）と呼ぶ。往復旅行者の軌道に沿って積分した固有時と地球時を比較することにより「ウラシマ効果」による時間の遅れの量を見積もることができる。

まず初めにISSに滞在する宇宙飛行士が経験する時間を計算してみよう。ISSが飛行する上空400kmは地上より重力が弱いので、一般相対論の項は、地上に比べてISSの方が時間が“早く”流れる効果を及ぼす。その一方でISSは地上よりも高速で太陽系内を移動しているので、特殊相対論の項は時間が“遅く”流れる効果を持つ。ISSの軌道では後者の効果が卓越するので、結果としてISS上の時間は地上よりも遅く流れる。その量はほんの僅かであり、ISSで1年間過ごしても地上に比べて10ミリ秒間短いだけである。

次に「はやぶさ2」の場合を考察する。一般相対論の項は地球の重力圏を脱する効果が大きく地上よりも時間が“早く”流れるセンスであるのに加え、「はやぶさ2」の軌道は外惑星方向への航行であるため軌道速度が地球に比べて小さく、特殊相対論の項についても時間が“早く”流れる効果となる。「はやぶさ2」の打ち上げからカプセルの地球帰還までの確定軌道に沿って積分を行い固有時を求めた所、6年間のミッション期間中に、「はやぶさ2」の方が地球に比べて0.455秒間早く時間が流れていた（カプセルの方が年老いていた）ことが分かった。浦島太郎の逸話との類似性を期待して計算してみたものの、計算の結果は、浦島太郎とは逆の結果であった。

浦島太郎では玉手箱から出てきたのは災難をもたらす煙であり、有益な宝物は入っていなかった。「はやぶさ2」のカプセルに入っていたサンプルは現在分析チームにより分析中である。浦島太郎の玉手箱とは異なり、世界が驚くような貴重な宝物がもたらされたに違いない。分析チームによる分析結果の発表を心待ちにしている。（竹内　央）

帰還したリュウグウ試料は水と有機物に富んでいた

去る2021年12月21日、国際誌「Nature Astronomy」に、探査機「はやぶさ2」が一年前に帰還させたリュウグウ試料のJAXAキュレーション設備における初期記載*成果のレポートが出版されました。

第1回タッチダウンで回収された、キャッチャー A室試料（3.2g）と第2回タッチダウンのC室試料（2.0g）について、試料全体の光学顕微鏡観察、秤量、赤外反射スペクトル、可視分光スペクトルの記載を行いました。その結果、リュウグウの個別粒子の全体密度の平均値が、今までに見つかったどの隕石よりも小さいことが明らかになりました。また、その赤外反射スペクトルには、O-HやC-H結合及び炭酸塩由来と思われる吸収特性が見られ、リュウグウ試料が含水鉱物や水が関与して生成されたと思われる炭酸塩鉱物、及び有機物を含んでいることが明らかになりました。更に可視分光スペクトルを既知の隕石と比較すると、どの隕石よりも暗く平坦な反射特性を示しました。可視光スペクトル、赤外反射スペクトルの反射率、OHの吸収位置は、いずれも探査機が測定したリュウグウ全球の値と同等で、試料がリュウグウ表層物質を代表していることが示されました。光学顕微鏡観察では帰還試料の表面に、始原的隕石に一般的に見られる高温包有物（コンドリュール、カルシウムーアルミニウムに富む包有物）は観察されず、可視・赤外反射スペクトルの特性と合わせて比較すると、太陽系の平均元素組成に最も近い始原的隕石である、CIコンドライトと呼ばれる隕石に近いことが分かりました（但し、それらの隕石より密度は小さく、反射率は低い）。

人類が初めて試料を持ち帰ったC型小惑星リュウグウは非常に始原的な隕石と似た物質から成る小天体だった、ということが明らかになったわけです。この帰還試料を詳細に分析することにより、初期太陽系の成り立ちや進化過程、更には地球上の海・生命の起源に一石を投じる成果が得られることが期待されます。既に試料の一部は昨年6月に国内外の研究者から構成される初期分析チーム及び2次キュレーションチームに配分されて分析研究が進められており、更なる詳細な研究成果の発表が待たれる所です。（矢田　達）

キャッチャー A室から回収したリュウグウ試料の一部

＊ JAXAキュレーションチームが実施する、サンプルのカタログ化作業の際の予備的な分析を「初期記載」と呼ぶことにしています。

JASMINE Consortium会議 2021開催

日本初の位置天文観測衛星「JASMINE」の進捗情報をコミュニティに報告するとともに、広くコミュニティからJASMINEが切り開く可能性のあるサイエンスケースを提案していただき議論する場として、JASMINE Consortium（JC）会議 2021が2021年12月6日～8日にオンラインで開催されました。

JASMINEはJAXA宇宙科学研究所の公募型小型3号機として選定され、2028年の打上げを目指して鋭意検討が進められています。JASMINEは「天の川銀河」の中心領域の星の精密な位置・速度の測定による銀河中心考古学の遂行と太陽系の起源の探究や、高精度測光能力を活かした星の光度変動を観測することで、ハビタブル地球型惑星の探査を目的とした意欲的な計画です（ISASニュース2019年11月号「小型JASMINEで迫る銀河系考古学」河田 大介氏*1および2021年12月号「Exo-JASMINE―宇宙からの近赤外線精密測光で地球型系外惑星をさがす―」河原　創氏*2もご参照ください）。

今回で3回目となるJC会議には日本国内にとどまらず、イギリス、オランダ、アメリカなども含め100名を超える参加者登録がありました。初日には、JASMINEの望遠鏡の検討状況・検出器開発状況報告に加え、End-to-Endシミュレーションチームによる JASMINEデータ解析手法の定量的評価の進捗が報告されました。また、欧州宇宙機関（ESA）の位置天文衛星Gaiaの観測データを利用した、天の川銀河の理解の現状と今後の課題、そしてJASMINEの科学的意義に関する講演・議論が行われました。2日目には、JASMINEの高精度測光観測を活かした系外惑星探査計画であるExo-JASMINEに関する講演が行われ、ハビタブル惑星探査に加え、褐色矮星や若い惑星の探査など様々な探査天体のサイエンスケースが提案されました。3日目には、すばる望遠鏡次世代広視野補償光学装置「ULTIMATE-Subaru」とのシナジーによる銀河系中心のサイエンスについて、他波長（X線・電波）からの観点も交えた講演が行われ議論されるとともに、JASMINEがターゲットとする銀河系バルジ領域に対するすばる望遠鏡超広視野多天体分光器PFSでのサーベイ計画についての議論も活発に行われました。

今後もJASMINEデータがコミュニティにとって最大限有益なものとなるようJASMINE Consortiumは活動を続けていきたいと思います。　（国立天文台JASMINEプロジェクト 馬場 淳一）

＊1 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews464.pdf
＊2 https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews489.pdf

ISAS事情

コロナ禍でのLiteBIRD計画

2019年5月に戦略的中型衛星として選定されたLiteBIRD計画は、2019年7月に相模原キャンパスにてキックオフ会議を行い（ISASニュース 2019年9月 No. 462号）、順調に登山口に立つことができました。しかし、その後2020年3月のNASAのMissions of Opportunity（MO）に落選して、NASAに担当してもらう予定でした焦点面検出器や絶対温度（2K）に冷却する断熱消磁冷凍機（ADR）の対処が必要になりました。ちょうど、コロナ禍が猛威をふるいはじめた頃です。その間、ISASでは、多くの優秀な応募者の中から人的体制の強化がはかられ、概念検討については着実に進みました。また、ヨーロッパでは、フランス、イタリア、スペインは既にフェーズAの検討を進めました。国際コラボレーションや国内グループとともにリモート会議にて、対応策の検討を進めておりましたが、なかなか良い案がまとまらず、コロナ禍と相まって、苦しい期間でした。

東京オリンピック・パラリンピックが行われた2021年8月は、日本の新規コロナ感染者が1日あたり2万人を超えていました。が、ワクチン接種が進むとともに、9月になり急速に新規感染者が減少してくるタイミングにて、LiteBIRDにも光が見えてきました。10月には、LiteBIRD PIの羽澄 昌史の提案した KEK量子場計測システム国際拠点（QUP）が、文科省の世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）に採択され、焦点面検出器の開発を推進することになりました。政府の宇宙科学探査小委員会でも

KEK素粒子原子核研究所御一行と宇宙研執行部のLiteBIRD協力に向けた懇談後の記念撮影。

2028年度打上げに向けた後押しを受けて、2K冷凍機のJAXA担当という、ある意味日本の得意技術の更なる発展につながる対応がとられ、LiteBIRD計画の前進の目処がつきました。

並行して、2021年10月には、CNESとJAXAの概念検討を進める協力協定を結びました。2021年11月に、KEKと研究協力協定を結びました。写真は、日本全体での新規感染者が200人を下回っている2021年12月に、KEK素粒子原子核研究所の齊藤直人所長ほかにISASに来ていただいた時に撮りました。

コロナ禍においてはオミクロン株など今後も心配事が続きますが、LiteBIRDは、打上げに向けて、宇宙インフレーションの解明を目指して、チーム一丸となってがんばります。今後もご支援をよろしくお願いします。（関本 裕太郎）

ひので国際科学会議「Hinode 14/IRIS 11」開催

太陽観測衛星「ひので」の第14回国際科学会議が、2021年10月25日から28日の日程で開催されました。今回の会議は、米国ジョージ・メイソン大学が主催となり、NASAのIRIS衛星との合同で開催されました。「ひので」科学会議は2007年の打上げ直後以来、日米欧の持ち回りで毎年開催されています。今回は当初2020年7月に予定されていましたが、コロナ禍の影響による2度の延期を経て、完全オンライン形式でようやく実施することができました。

科学組織委員会内外からは、2019年9月の第13回（東京大学）以来、会議が開かれないことで、特に若手研究者の発表機会が減少している事態を懸念する声が上がっていました。そこで、会議プログラム策定にあたっては、より若手に発表機会が行き渡るよう配慮がなされました。

GatherTownを利用したポスター会場

4日間の会議のうち、初日は各太陽観測衛星・探査機の現状やSolar-C（EUVST）を含む将来計画について、2日目以降は表面対流と磁場、大気加熱、フレアとコロナ質量放出（CME）などのテーマについて講演が行われました。「ひので」・IRIS両衛星を組み合わせた偏光分光観測や、15年以上に及ぶ運用期間を活かした太陽長期変動の解析なども紹介されました。

オンライン国際会議で避けては通れない問題が時間帯の調整です。「ひので」・IRISは世界中の研究者が使う衛星であり、どのように時間帯を設定しても必ず参加困難な時間帯に当たる参加者が生じてしまいます。今回はイベント管理ソフトウェアCventを用いるにあたって主催大学職員の支援を受ける必要があり、米国東部夏時間を中心とした時間割を採用することとなりました。日本時間では夜10時から翌午前2時ごろまでという過酷な時間帯となりましたが、会議の様子を録画し、後日閲覧できるようにすることで対応しました。参加人数は26か国から350名、うち日本からは深夜ではありますが33名となりました。

各講演の終了後には、会議ウェブアプリのチャット機能やビジネス向けチャットツールSlackを使い、非常に活発な議論が交わされました。また、ポスター講演ではオンラインビデオ通話スペースGatherTownが使われました。レトロゲームの登場人物のようなアバターがスペースを縦横に行き交い、そこかしこで会話が生まれる様子は、もう2年も経験していない“本来の”国際会議の姿を思い起こさせるものとなりました。（鳥海　森）

ただいま打上げ準備中

本連載の最終回として、地上系の構成、運用システムの特徴を説明します。EQUULEUS、OMOTENASHIと地球との通信には、図1のようにJAXAのアンテナ局とNASAのDeep Space Network（DSN）を使用します。探査機は超小型ですが、通信するためには大型のアンテナが必要になります。そのため、アンテナ局を使用するJAXAやNASAの衛星・探査機と運用時間の調整が必要になります。また、最近ではDSNの各アンテナ局とJAXAの運用室との間でのデータの疎通試験を順次実施しており、DSNのWebサイト（DSN now, https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html）をご覧になると、運用中の様々な探査機に加えてEQUULEUSやOMOTENASHIの名前を見つけることができるかもしれません。加えて、両探査機ともに精密な軌道決定が必要になるので、通常用いられるRange and Range Rate（RARR）計測[*1]に加え、DSN局と連携したDelta Differential One-way Range（DDOR）計測[*2]も実施します。DDORは、「はやぶさ2」などでも使用されている実績ある技術ですが、CubeSatでも使用します。OMOTENASHIはそのほか、世界のアマチュア無線家への電波送信も行います。ご興味がある方はOMOTENASHIのWebサイト（JAXA Ham Radio Club, https://www.isas.jaxa.jp/home/omotenashi/JHRCweb/jhrc.html）をご覧ください。

探査機に指令（コマンド）を送信したり探査機の状態（テレメトリ）情報を画面表示したりするシステムは、JAXAの科学衛星の運用で標準的に使用されているGeneric Spacecraft Test and Operation Software（GSTOS）[*3]を使います。こうした汎用のソフトウェアに、各探査機独自の内容を追加することで、探査機の運用に使うシステム（探査機管制装置）が完成します。例えば、GSTOSの文法に従って、探査機に送信するコマンドやその実行状況の確認項目が記載された「コマンド計画ファイル」を作成し、GSTOSに読み込ませます。また、探査機からダウンリンクされたテレメトリデータを見やすく画面表示させたり、グラフを描かせたりすることも、GSTOSの定義ファイルを作成するだけで自由にできます（とはいえ、0/1で表されるバイナリデータをどのような物理値に変換して、画面のどこに何色で表示するか、などを全部事細かに記述する必要があるので、大変な作業ではありました）。

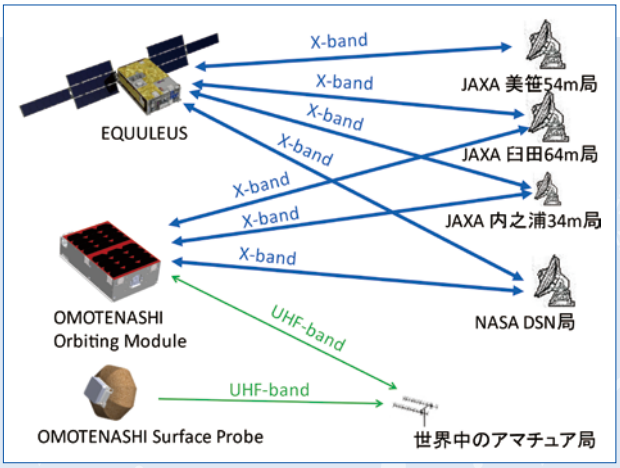
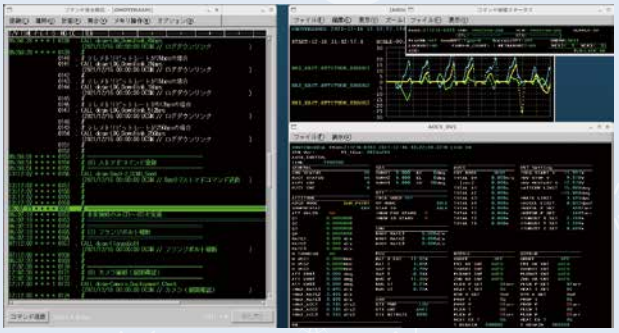


図1：各アンテナと探査機の通信系の図



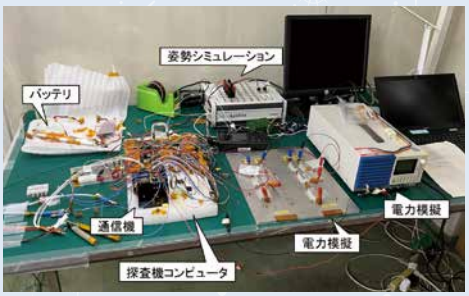


図2：（上）GSTOSの運用画面
（左）探査機シミュレータ

探査機は2021年7月にNASAに引き渡し、既にSLSロケットに搭載されています。打上げ後の運用の訓練をするために探査機シミュレータを開発しました。シミュレータのコンピュータや通信機、バッテリなどは実際の探査機と同等の開発品を使用しました。また、無重力空間での姿勢の動きを地上で実際に模擬するのは非常に難しいため、専用のソフトウェアを開発しました。探査機のコンピュータは無重力を飛行しているかのようなデータを専用ソフトウェアから受け取ることで、無重力空間での探査機の動きを再現しています。実際に運用で使用する探査機管制装置をシミュレータに接続すると、運用システムの画面上にあたかも本物の探査機のようにデータが表示され、臨場感ある運用訓練が可能となっています。図2に、運用訓練で使用している運用画面の一例を示します。

本項執筆時点で、SLSロケットの打上げは2022年3月の予定となっています。現在、両探査機の運用に向けて、地上運用設備の整備、運用手順の確認、運用訓練などを実施しています。ミッションの成功に向けて、応援よろしくお願いします。

（中島 晋太郎、平澤　遼）

＊1 地上から送信した電波が探査機で折り返されて返ってくるまでの時間から距離（Range）を計測し、送信した電波と受信した電波の周波数変化から速度（Range Rate）を計測する技術。ISASニュースNo.415（2015.10）参照
https://www.isas.jaxa.jp/j/isasnews/backnumber/2015/ISASnews415.pdf

＊2 距離的に離れた複数の地上局で、探査機からの電波と電波星からの電波を交互に受信することにより、その電波遅延量から探査機の位置を精度良く求める技術。ISASニュースNo.421（2016.4）参照
https://www.isas.jaxa.jp/outreach/isas_news/files/ISASnews421.pdf

＊3 ISASニュースNo.412（2015.7）参照
https://www.isas.jaxa.jp/j/isasnews/backnumber/2015/ISASnews412.pdf

東奔西走

北極星を真上に見つつ
（ニーオルスンの射場から）

宇宙科学研究所 科学推進部
石崎 智子（いしざき ともこ）

2021年11月4日ノルウェー時間午前11時9分25秒、9個の観測機器を搭載したSS-520-3号機がニーオルスンの空に打ち上げられました。極夜（白夜の逆で、1日太陽が昇らない）の中、薄明の雲1つ無い空にロケットロードがきれいに浮かび上がったのです。

第1章 新型コロナとの戦い

新型コロナウイルスのパンデミックは、SS-520-3号機実験にも例外なく大きく影響し、11月の打上げに向けて5月から感染対策の検討を始めました。というのも打上げ場所は、北極圏スバールバル諸島にあり、民間人が定住する地としては世界最北に位置する村のため、ウイルスを持ち込むことは絶対に許されないためです。徐々にヨーロッパでは経済活動が再開されており欧州内の空港や機内は混雑している中、現地に到達するまでにはコペンハーゲン、オスロ、トロムソ、ロングイヤーベンと4箇所を経由しなければなりません。そのため実験班全員がワクチンを2回接種し、かつ出張2週間前からテレワークで自主隔離を行い万全の体制で臨みました。

第2章 ノルウェー入国制限緩和

渡航2週間前に青天の霹靂とも言える事態が起きました。ノルウェー入国制限の“緩和”です。一報を受けたのは9月27日ですが現地でも情報が錯綜していたため、全貌を把握するまで3日を要しました。緩和でなぜ？と不思議に思うかもしれませんが、理由は以下です。従前のノルウェー入国制限規則は、“入国後ノルウェー当局が指定するホテルにおいて強制的に10日間隔離実施をする”こととなっていましたが、入国制限緩和により当局指定の隔離ホテルの斡旋がなくなってしまったのです。しかし日本から入国する際は、変わらず隔離のためのホテルに滞在しなければなりません。既に実験班24名分の飛行機チケット、射場での宿泊先等の手配は済んでいたためそれらに影響が出ないよう、急遽“隔離可能なホテル”を自力で探す必要が出てきたのです。まさかの事態に一瞬気が遠くなったのを覚えています。全員分の隔離ホテルを無事に確保できたのは日本出国3日前10月5日のことでした。

第3章 ニーオルスン射場での生活

オスロでの隔離期間を経て10月19日にスピッツベルゲン島に入りました。西にグリーンランド、南西にアイスランドという正真正銘北極圏です。ニーオルスン村は北緯78度56分に位置しているため北極星がほぼ真上に見えるのです。昔は炭鉱で栄えていましたが1962年の大きな事故がきっかけで閉鉱になったと聞きました。現在は最大30名ほどの定住者により施設の管理等を行っていて、その他は様々な分野の研究者が数ヶ月滞在するくらいの小さな村です。そのためレストランやコンビニ等はなく食堂で毎食摂ります。滞在中の数十人全員が朝・昼・夜の決まった時間帯に食堂に集まり食事をするという、さながら学生寮のような光景でした。日本と同じく建物に入る際には必ず靴を脱ぐ習慣があるため、廊下や部屋はとても綺麗に保たれています。特に食堂に入る際には防寒着も脱ぎ、手を洗うのです。新型コロナウイルス対策なのかと思いましたがそうではなく、炭鉱時代の名残とのことでした。食堂のスタッフは非常にアットホームで、打上げ当日はパティシエの粋な計らいによりSS-520-3号機ロケットを模した大きなケーキが振る舞われ歓声が沸きました。食堂の他には、小さいジムと週に2回1時間だけ開くショップがあります。ショップには日用品の他、スナックや飲料品が販売されています。私たち短期滞在者用のお土産も売られていたて、いつもレジを待つ行列ができていました。

打上げ当日振る舞われたケーキ。

第4章 3号機打上げ

冒頭の通り、打上げウインドウの2日目に無事に打ち上げられました。当初11月3日を予定していましたが、猛吹雪のため断念せざるを得ませんでした。私は北海道生まれのため、ある程度の吹雪には慣れていますが、数10cm先も見えず複数人で移動しても遭難する恐怖を感じたのはこの日が初めてでした。体感気温は-30度近くにもなり少しの距離でもまつげが凍るのです。翌日の打上げを目指し早朝3時10分からタイムスケジュールを開始しました。観測条件が整うのを待ち打上げウインドウから1時間遅れで打ち上げることができました。12月5日には実験班全員帰国後の隔離生活を終え、2ヶ月弱に及ぶ長期出張が終了しました。

1人の体調不良者もなく、この貴重な機会に携われたことにとても感謝しております。唯一の心残りは、白熊を見ることが出来なかったことでしょうか。

最後になりますが、コロナ禍の本実験に際し、ノルウェー宇宙庁、アンドーヤスペース、在ノルウェー日本大使館、極地研究所ニーオルスン基地等関係各所から多大な支援をいただきました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

編集後記

新型コロナ禍で2年が経とうとしています。そんな中、アメリカベンチャー企業 による宇宙船の登場や日本の民間人の ISS滞在など、宇宙を取り巻く環境はすご いスピードで変化しています。今号掲載の「トランスフォーマー衛星」の記事にも SFの世界が瞬く間に現実になる気配を感じました。（石川 毅彦）

JAXA Explore to Realize **ISASニュース No.490 2022年1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
E-mail : isasnews@isas.jaxa.jp　FAX : 042-759-4251
ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶https://www.isas.jaxa.jp/