

日本の宇宙科学研究の中枢 JAXA宇宙科学研究所

◆ここでは何をしているの？

宇宙科学研究所では、宇宙の構造やその起源をさぐるために大気の外に出て行う天文観測、地球を含む太陽系の生い立ちをさぐる太陽系科学、宇宙空間でさまざまな実験を行う宇宙環境利用科学、新たな宇宙への可能性を切り開く宇宙工学などの研究をしています。

また、大学共同利用機関として、日本の宇宙科学分野の研究・教育の中心としての役割をはたしています。

得られた成果は日本国内だけでなく世界中に発信しています。



◆なぜ宇宙を研究するの？

宇宙科学は我々に何をもたらすのでしょうか？それは宇宙の謎を解明するだけではありません。この地球をとりまく広大な宇宙を探るということは、宇宙に満ち溢れる謎に迫ると同時に、われわれの住む地球のことを探ることにもつながるのです。

地球環境問題の解決にも大きく貢献しますし、将来の新技术・産業の創出にも役立ちます。

人類社会の発展を担う次世代の人材を育てることや、国際社会への貢献にも関わってきます。

それらをふまえて、さまざまな研究活動、教育活動を行っています。

◆何人ぐらいが働いているの？

相模原キャンパスに在勤の職員数は408名です。

ここでは宇宙科学研究所や宇宙教育センター、契約、財務、施設部門の職員の他に大学研究者、大学院生、外国の研究者、メーカーの人たちも働いています。（職員数は2017年4月現在）

◆最近の主な成果は？

2016年12月、イプシロンロケット2号機により、ジオスペース探査衛星（ERG）が打ち上げられ「あらせ」と名付けられました。「あらせ」は順調に観測を続けています。

太陽観測衛星「ひので」は2016年で打上げ10周年を迎え、最近では波動による太陽彩層形成の証拠の観測で成果をあげました。惑星分光観測衛星「ひさき」は木星磁気圏への太陽風の影響を観測しました。超小型衛星EGGは展開型エアロジェルを用いた大気圏突入など、一連の実験を完了しました。また、月周回衛星「かぐや」が撮影したハイビジョンカメラにより取得したデータに基づく映像の公開を行いました。

◆これからの計画は？

2018年打上げ予定の国際水星探査計画 BepiColombo（ベピコロombo）に、日本は水星磁気圏探査機（MMO）で参加します。また、小型月着陸実証機 SLIMのプロジェクトも進行中です。X線天文衛星代替機、火星衛星探査計画（MMX）についても検討を進めています。

このほか、長野県佐久市では臼田局の後継となる大型アンテナ、深宇宙探査用地上局（GREAT）の建設が進んでいます。

また、2018年夏には「はやぶさ2」が小惑星 Ryugu到着予定です。

◆所長から一言

宇宙科学研究所へようこそ。所長の常田 佐久（つねた さく）です。

宇宙研では、ASTRO-Hの運用断念により失った信頼回復に、引き続き取り組んでおります。所内外の方々と共に、世界とつながり魅力的なサイエンスを実行する宇宙研の良さを残しつつ、より信頼性や安全性が高い革新的な宇宙科学プロジェクトの開発・運用体制を構築していく所存です。ご支援のほど、どうぞよろしくお願いいたします。

今年から「宇宙探査実験棟」をご覧くださいませ。月などの表面地形を模した施設があり、将来の月や惑星探査を行う着陸機やローバ、ロボットの試験を行います。



◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/>



伝統を受け継ぎ、革新を続ける イプシロンロケット



イプシロンロケットは、M-Vロケットまでに培われた日本の固体ロケット技術を引き継ぐとともに、新しい技術を取り入れ小型衛星打ち上げのニーズに応える即応性、自在性を備えた先進的な衛星打ち上げ用固体ロケットです。
2013年 9月に試験機の打ち上げに成功し、ロケット新時代の第一歩を踏み出しました。

- 小型高性能という時代の要請に応える ■ 高性能化と低コスト化を同時に達成する
- 即応性、自在性において世界一のシステムを確立する

固体ロケットの遺伝子を内蔵

- ◆ 世界に追いつき追い越せではなく、世界の先を行く
- ◆ 自分たちの力で未来を切り拓く
- ⇒ 常識にとらわれない打ち上げシステムの革新

ユーザーフレンドリーな機体

- ◆ 第3段燃焼後小型液体ロケットで軌道を正確に調整
- ◆ 衝撃を吸収する構造で乗り心地を改善
- ◆ 煙道設備で打ち上げ時の音響を低減

コンパクトな打ち上げシステム

- ◆ 自動点検システム
- ◆ 世界初のモバイル管制
- ⇒ 準備の時間と費用を大幅に削減
(世界一シンプルな打ち上げ方式)



モバイル管制システム

革新技術



引き継ぐ高性能技術

- ・ 上段固体推進系
- ・ 固体補助推進系

伝統の継承と発展(高性能化)

- ◆ 推進系基本技術は高性能のM-Vロケットから継承
- ◆ 発展技術で構造の軽量化と低コスト化を同時に達成

基幹ロケット技術との融合 (低コスト化)

- ◆ 第1段にはH-IIA/Bロケット固体ロケットブースターを転用
- ◆ 電気系もモジュール化して共通使用

共通技術

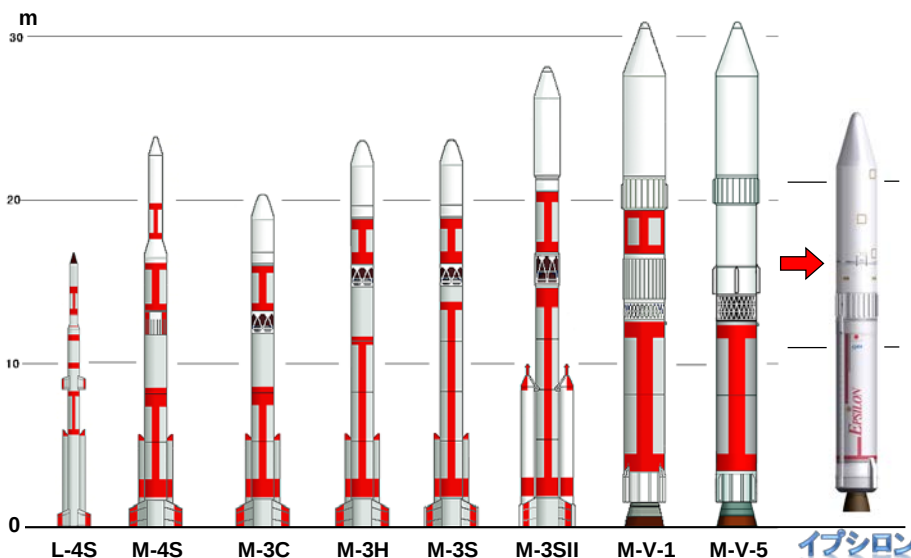
- ・ SRB-Aモータ
- ・ 電気系(電力/通信系)



M-Vロケット



H-IIA/Bロケット



日本の科学衛星打ち上げロケットMシリーズ

イプシロンロケット(試験機)概要

項目	諸元
機体構成	3段式 (PBS*追加搭載可)
全長/直径	約24 m/2.5 m
全備重量	約91 ton
軌道投入能力	太陽同期軌道 450kg
試験機打ち上げ	2013年 9月14日

*PBS: 軌道調整用小型液体ロケット

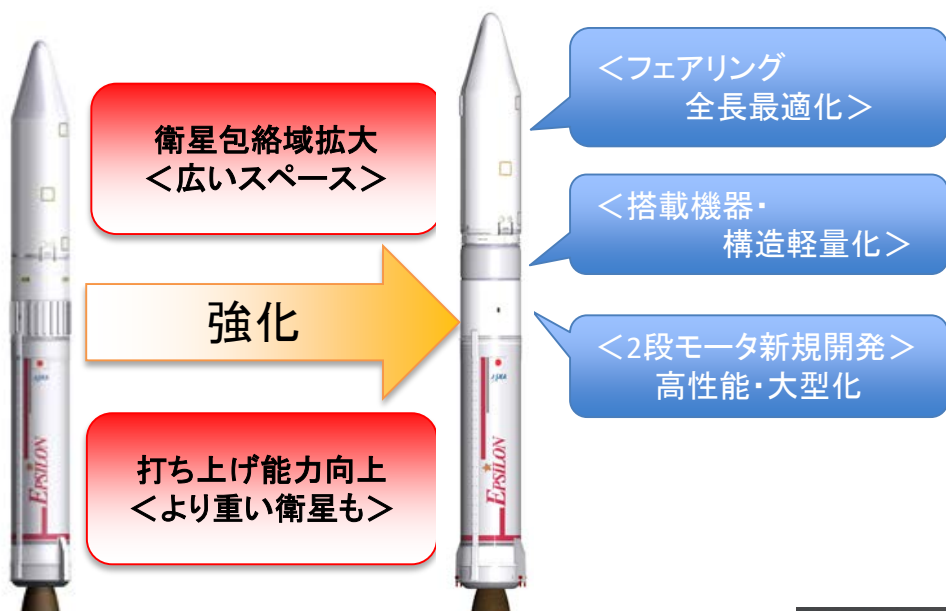
もう一歩先へ

強化型イプシロンロケット

試験機(1号機)の打ち上げに成功したイプシロンは更なる発展を遂げて、強化型イプシロン(2号機)として平成28年12月20日に打ち上げをおこない、ジオスペース探査衛星「あらせ」の軌道投入に成功しました。

試験機

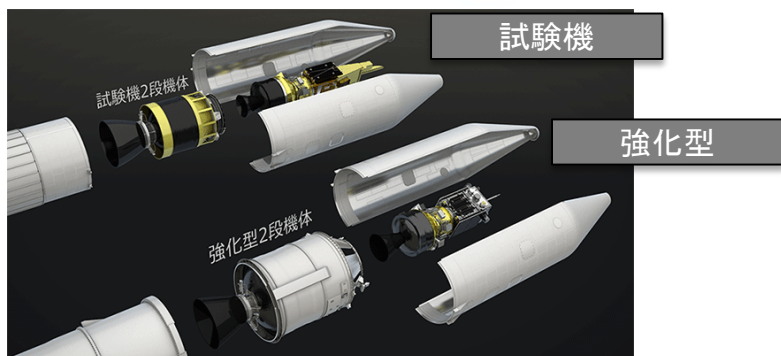
強化型



強化型イプシロンの概要

項目	諸元
機体構成	3段式 (PBS追加搭載可)
全長／直径	約26 m／2.5 m
全備重量	約95 ton
軌道投入能力	太陽同期軌道 590kg
2号機*打ち上げ	平成28年12月20日

*イプシロン2号機=強化型イプシロンの1機目



イプシロン試験機打ち上げ@2013.9

強化！！



強化型イプシロン打ち上げ@2016.12
夜の打ち上げもカッコイイ。

イプシロンロケットプロジェクトチームは、平成29年度の3号機打ち上げに向けて、鋭意準備を進めています。

大気球実験

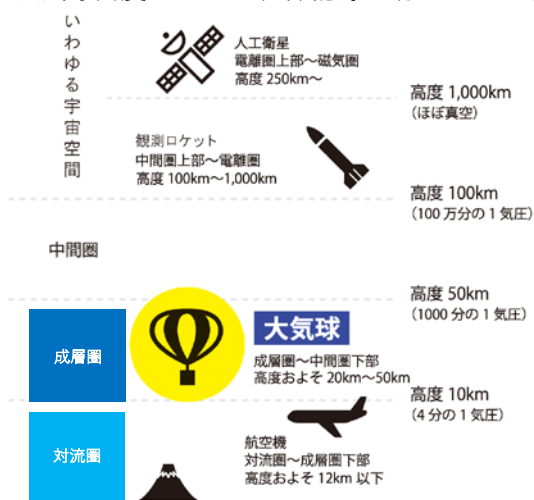


大気球って何？

大気球は、人工衛星や観測ロケットと並ぶ、科学観測と宇宙工学実験のための飛翔体です。一般的に知られる熱気球とは違い、大気球は薄いポリエチレンフィルムで作られており、ヘリウムガスで膨らませる無人気球です。

北海道大樹町のほか、オーストラリアなど海外でも実験を実施しています。

大気球は成層圏を滞空できる、唯一の飛翔体です。JAXAはフィルム厚さ $2.8\mu\text{m}$ の気球を開発し、無人気球高度53.7kmの世界記録を有しています。



ココがすごい！

- ・実験装置の大きさや重さに対する制限、打ち上げ時の振動や衝撃等の搭載条件は、衛星やロケットに比べて緩いです。
- ・打ち上げにかかるコストが、衛星やロケットと比較してはるかに小さいため、多くの飛翔機会を提供できます。
- ・実験後に装置を回収できます。

大気球で何を研究するの？

① 地球科学

- ・オゾン層や温暖化ガスの継続観測
- ・大気の流れと循環システムの研究
- ・極限微生物の探査

② 天文学、宇宙物理学

- ・X線、ガンマ線、遠赤外線などによる天体の観測
- ・宇宙粒子線の観測による宇宙物理の研究
- ・新しい測定器技術の検証

③ 宇宙工学

- ・高高度から実験装置を落下させることによる無重力環境を利用した実験
- ・空気が薄いことを利用した膜展開などの実験
- ・燃料電池など新しい宇宙技術の環境試験



大気球実験グループ長の吉田 哲也です。

数100kgの実験装置とともに上昇して、航空機の数倍の高度を浮遊する大気球は、他の飛翔体とは違った力強さとしなやかさを兼ね備えています。宇宙や地球についての知識を広げていくために、実験技術を磨き、研究者を育て、研究の糸口を見出す場としての大気球実験を応援してください。

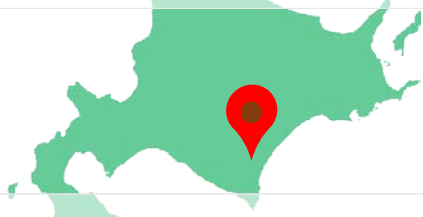




大樹航空宇宙実験場



大樹航空宇宙実験場は、北海道広尾郡大樹町の
大樹町多目的航空公園の中にあります。
大気球などの宇宙科学実験のほか、実験用航空機
を用いた飛行実験などが行われています。



大気球実験は、毎年おもに5月～6月と8月～9月の
上空の風の状態が実験に適している時期に行って
います。



実験場には、大気球実験の準備や気球飛翔中の追尾・
受信管制などを行うための「大気球指令管制棟」①が
あります。また、大気球の打ち上げにも用いられる、
巨大な「格納庫」②と、世界でも唯一の「スライダー
放球装置」③があります。
このほかにも、航空機実験のための管制棟や、気象
観測設備などがあります。

気球フィルムサンプルの ふくらませ方

大気球実験グループでは、次世代型の気球として「高く飛ぶ気球」を開発しています。気球が同じ大きさでも、気球を軽くすることで高く飛ぶことが可能となるため、通常気球に使われているフィルム（厚さ $20\mu\text{m}$ ）よりも薄くすることで、軽量化を進めています。今では $3\mu\text{m}$ 以下の超薄膜フィルムの開発に成功しています。開発した $3\mu\text{m}$ の気球フィルムにさわってみてね！

※フィルムで窒息しないように気をつけてね！

① まず、端（はし）を探してね

② 端を少しやぶいて小さな穴を開けよう

③ 2枚のフィルムが重なっているので、ゆっくり
ゆっくりしんちょうに広げていこう



フィルムは厚さ $3\mu\text{m}$ で、
ポリエチレン製です。

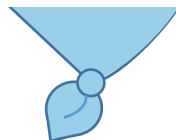


④ 穴から風を入れて、ふくらませよう

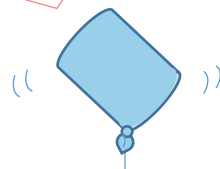
ドライヤーを使って
膨らませると、
フィルムが浮くよ！



⑤ 端をねじって、くくって、しばろう



⑥ はい、できあがり！



ハイブリッドロケットが描く未来

★未来のハイブリッドロケットの形

固体燃料の充填された燃焼室に液体の酸化剤を噴射し燃焼させる方式の次世代のロケット推進機関をハイブリッドロケットと言います。

現在、ロケットの打ち上げの5%が失敗しており、「宇宙旅行」などの宇宙開発の未来を考えた時、「**ロケットの安全化**」という技術革新が必要です。そこで当研究室では爆発の心配のないハイブリッドロケットを開発研究することで、**宇宙輸送の増加、低コスト化、安全で経済的な宇宙輸送の実現**を目指しています。

私たちは、ハイブリッドロケットの技術的問題点の解決のため、軸流と旋回流の二つの酸化剤の流れを作ることで燃焼の促進と制御が可能なA-SOFT (Altering-intensity Swirling-Oxidizer-Flow-Type) とよばれる手法に注目した研究を行っています。

A-SOFTハイブリッドロケット

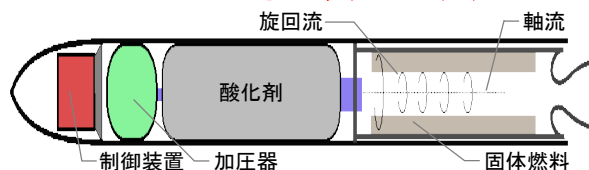


Fig. 1 A-SOFT ハイブリッドロケットの概念図

ハイブリッドロケットの課題

- ◎推力や燃料と酸化剤の混合比(O/F)を直接制御できない(性能が変動する)
- ◎境界層燃焼による燃料後退速度、燃焼効率の低下
- ◎推進剤を燃やしきれない

⇒ **これらの課題をA-SOFT が解決する！！**

★研究テーマの例

1. 可視化実験

ハイブリッドロケットは「**推進剤を燃やしきる**」「**推力制御しつつ高効率で燃やす**」ことができずまだ実用化に至っていません。これには酸燃比(O/F)と推力の両方の制御が必要です。A-SOFTハイブリッドロケットエンジンによってエンジン燃焼中に酸化剤の旋回強度をバルブ操作により制御し、混合比を推力とは独立に制御することを目指しています(A-SOFT, Fig.1)。

高速度カメラを用いた燃焼室内の可視化実験(Fig.2)を行い、取得した火炎の画像に対し画像解析(Fig.3)を施して燃焼室内でどのような現象が起きているかを定量的に解析しています。

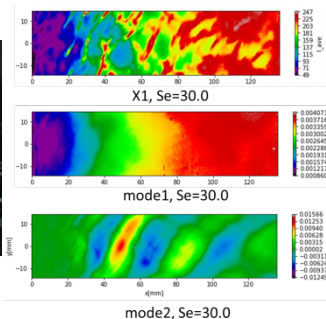
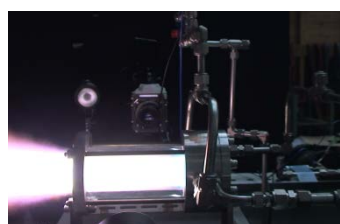


Fig. 2 可視化実験の様子 Fig. 3. 火炎画像の解析結果

2. コンピューターシミュレーション

A-SOFTハイブリッドロケットエンジン内で起こっている現象を詳しく知るために、JAXAのスーパーコンピュータを利用したコンピューターシミュレーションに取り組んでいます。

また、A-SOFTの性能を十分に得るために不可欠な、液体酸化剤の気化方法に関する数値計算にも取り組んでいます。



Fig. 4 ハイブリッドロケットエンジン内部のシミュレーション結果

3. 宇宙輸送の安全化の研究

ロケットを用いた宇宙輸送システムでは、安全性の向上が求められていますが、現在の固体ロケットや液体ロケットはそもそも爆発性を有しており抜本的な改善は困難です。

一方、ハイブリッドロケットは安全とされていますが、定量的な評価や理論的な説明が手薄な状態です。そこで『爆轟』という現象に着目して、その発生に必要なエネルギーを推進剤毎に比較することで、上記の課題解決に取り組んでいます。

★嶋田教授から一言

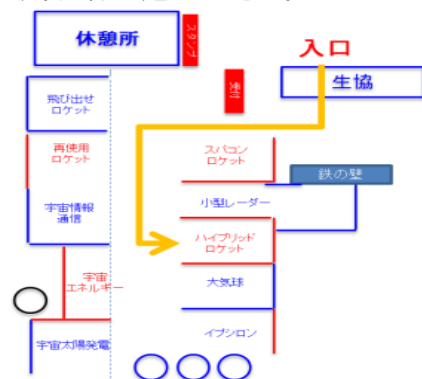
将来の宇宙輸送経済が持続的に発展するために必要となる技術革新のキーワードは「再利用化」、「積層製造(3次元印刷)の活用」、「次世代安全性」です。

私達はその中で根幹をなすロケット推進系の次世代安全性を実現するために、ハイブリッドロケットの研究に取り組んでいます。特に最近では、まだ実現していない推力と酸燃比を同時にフィードバック制御する仕組み(A-SOFT)の研究開発に力を注いでいます。

これからも多くの学生の皆さんと一緒に研究を進めていきたいと考えています。



◆もっと詳しく知りたい方は8/26(土)13:00より嶋田教授による講演会を**構造棟(1-3)ブース**にて行います。是非お越しください。



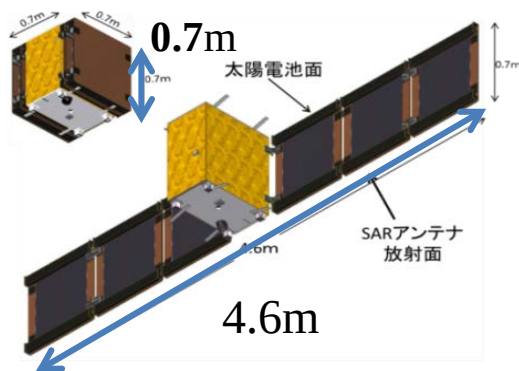
(1-3) ハイブリッドロケットが描く未来

夜でも曇でも地表が見れる 小型レーダ衛星の開発

◆小型人工衛星向けのレーダとは

近年、100kg以下の小型な衛星で、地球の光学写真を撮影するミッションが行なわれています。しかし、昼間の晴天の時にしか地表を撮影することができません。

この研究は、夜や曇でも電波で地表を撮像できる合成開口レーダを、小型の衛星に搭載する研究開発です。



◆小型レーダ衛星の要素技術開発

(A) 高周波アンプ技術

窒化ガリウムという新しい半導体の高周波アンプで電力を増幅して、高出力の電波を合成します。

(B) 電力合成器

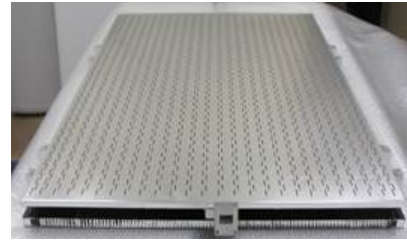
1パッケージで200Wの高周波を増幅できる窒化ガリウム高周波増幅器からの出力を、導波管共振器内で6合成する電力合成器を開発しました。これによって1kWのX帯(9.6GHz)送信信号を発生できます。

(C) ヒンジ部の非接触給電

折りたたみヒンジを通して電波をレーダ用アンテナへ給電するのに、導波管チョークフランジを用いて非接触で給電可能な新方式を使います。

(D) レーダ用平面送受信アンテナ

このアンテナで、地表への電波の発射とその反射波の受信をします。小さいロケットで打ち上げられるように、一層構造のスロットアレイというアンテナを開発して、これを片翼3枚ずつ展開します。



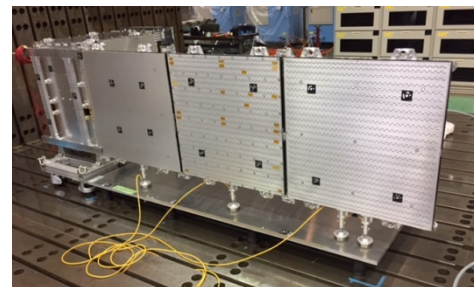
直線1偏波スロットアレイアンテナ

(E) 衛星用通信技術

レーダー観測によって得られる大量のデータを地上に伝送するために、高速な衛星通信が必要となります。東大のほどよし4号という衛星で既に検証している技術をさらに発展させて、1秒間に 2×10^9 ビットのデータを伝送できる高速通信システムを開発中です。

◆アンテナパネル展開試験

小型レーダ衛星は、ロケットに搭載されているときには、平面アンテナパネル(左右両翼3枚)が、片翼あたり厚み15cmに収納されています。それが衛星軌道上で展開され、 $0.7\text{m} \times 4.9\text{m}$ のサイズになります。また、展開後のアンテナ面を1mm以内の精度とする必要があります。



アンテナパネル展開完了状態(片翼)

研究開発部門 第三研究ユニット (JEDI) スパコンによるロケット開発最前線！

◆スパコンってなに？

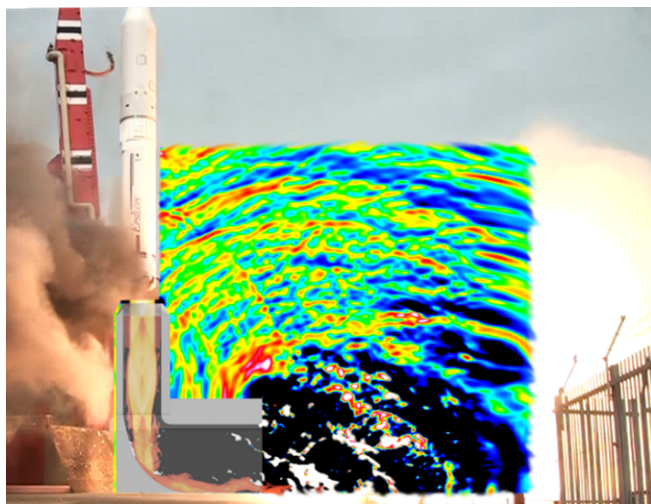
みなさんの中には家でパソコンを使って文章を書いたり、インターネットで調べ物をしている人も多いでしょう。スーパーコンピュータ(スパコン)もパソコンと同じコンピュータの仲間ですが、スパコンは学校の体育館ほどの建物に設置されるぐらい大きなコンピュータです。そして何よりもパソコンと比べると非常に計算が速いことが特徴です。例えば、パソコンでは7年もかかってしまうような計算を1日で終わらせることができます！また、パソコンの計算速度を人が歩く速さに例えると、スパコンの速さは宇宙に飛び立つロケットと同じくらいになります。スーパーコンピュータがどれだけ「スーパー」なのかおわかりいただけるでしょうか。



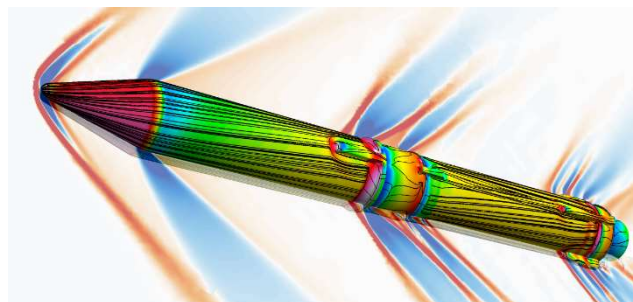
JAXAのスーパーコンピュータ(JSS2)

◆第三研究ユニットって？

研究開発部門 第三研究ユニット(JEDI)では、シミュレーション技術を使って新しいロケットや人工衛星などの宇宙機の研究と開発を行っています。例えば、ロケットが発生する大きな音やエンジン内の燃焼ガスの流れなどをコンピュータの中で再現する技術の研究・開発を行っています。この技術を使うと、再現結果を詳しく観察して未知の現象がわかったり、限界はありますが、未来に起こる事を予測することが出来ます。JEDIにはこの技術の専門家が集まっていて、スパコンを使って宇宙開発の新しい可能性に挑戦しています。



イプシロンロケット打上げ時の音のシミュレーション



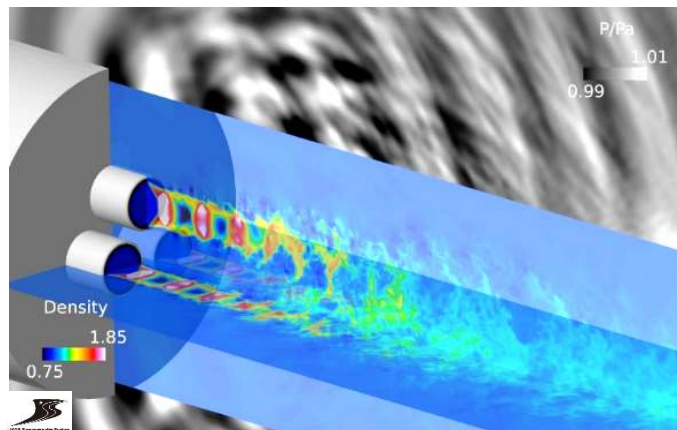
強化型イプシロンロケットの飛行シミュレーション

◆ロケット打上げのすさまじい音から人工衛星を守る！

ロケットはエンジンからたくさんのジェットを吹き出しながら、“ゴー”というすさまじい音とともに大空へ高く登っていきます。この“ゴー”というすさまじい音はどのぐらい大きいかというと、家庭の音楽コンポを、なんと2500万個も並べたぐらい大きなエネルギーを持っています！離れて見ていると迫力がありカッコ良いですが、ロケットに乗っている人工衛星にとってはあまりにも音が大きすぎ、壊れてしまうほどの危険な音です。そのため、ロケットを開発する時はこの音がどれほど大きいのかということ予測したり、音を小さくする方法を考えることが大切です。

これまでは、40年ほど前にNASAで作られた方法を使ってばく音の大きさを予測してきました。当時はロケットのばく音がどのように発生するのかということがよく分かっておらず、音の大きさを正確に予測することは難しいことでした。40年後の現在、私たちは最新のスパコンと高度な数値シミュレーションを使って、打ち上がるロケットからどのようにばく音が出てくるのか、その大きさはどのぐらいかという問題に挑戦しています。さらに、音を小さくする方法にも取り組んでいます。

これらの技術はH-IIBロケット・イプシロンロケットの打上げ施設の開発に使われています。現在はH3ロケットの開発にも使われ、人工衛星にやさしいロケットを目指しています。



クラスタジェットの流れと音のシミュレーション
(H3ロケット開発)

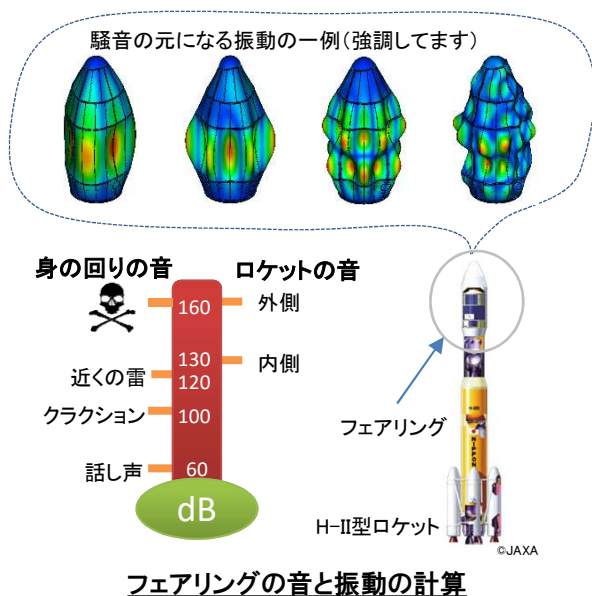


◆騒音を防ぐ軽くて強いフェアリングを作る

ロケットの先端部分をフェアリングと呼びます。フェアリングには、中に載せている人工衛星を外側の騒音から守るという重要な役割があります。

ロケットの外側の騒音は、時として160dB（デシベル）以上になりフェアリングを大きく振動させます。この振動が原因でロケットの内側では、近くで聞く雷よりも大きな音がしています。

JAXAでは、現在次の新しいロケットに向けて、軽くて強く音が静かなフェアリングのコンピュータシミュレーションを行っています。静かなロケットがあれば、今よりもっと精密で高性能な人工衛星を打ち上げることが出来ます。



◆エンジン内で炎をうまく燃やせ！！ ～炎と音のふしぎな関係～

ロケットを打ち上げる時に、ノズルから吹き出る炎は、エンジンの中のたくさんの小さな炎（理科の実験で使うガスバーナと似ています）が集まってできています。

普通は安定して静かに燃えています。何かのきっかけで、エンジン内の炎がフラフラと揺れてしまうことがあります。そのまま静かな安定した燃え方に戻りますが、炎がどんどん揺れていき、最後には炎が直接エンジン内の壁に触れて、金属の壁が溶けてしまうこともあります。こうなると最悪エンジンは爆発し、ロケットの打ち上げは失敗してしまいます。

どうしてこのようなことが起きるのでしょうか？ 炎が揺れながら燃えると大きな音が出ます。この音がエンジンの壁で反射し、条件がそろってさらに大きく炎を揺らせてしまうようなのです。でも、はっきりとした理由を知っている人は世界中でまだ誰もいません。JAXAのスパコンはとても速くたくさんの計算をすることができるので、炎の燃え方や音が発生する様子を計算して調べることができます。

ロケットのエンジンを作る前にコンピュータを使って、エンジンの中の炎全てがどう燃えるかを知ることができれば、その後のテストや改良をする時間や費用を大幅に減らすことができます。この様になることをわたしたちは目標にしています。



◆関係者から一言

ユニット長の嶋です。スパコンは10年で1000倍のペースで速くなり、それを用いて物理現象を忠実に再現する数値シミュレーションも急速に発達しています。飛行機や自動車、さまざまな電気製品や携帯など、今や「ものづくり」には、この技術が設計や開発に欠かすことのできない道具となっています。信頼性が大切で保守的になりがちな宇宙開発では、その導入が遅れていましたが今やっと活用の時代に入ってきています。世界トップクラスのスパコンと研究者集団の知恵を駆使することで日本の宇宙開発をさらに信頼されるものに変えていく仕事をしています。

◆もっと詳しく知りたい人のために

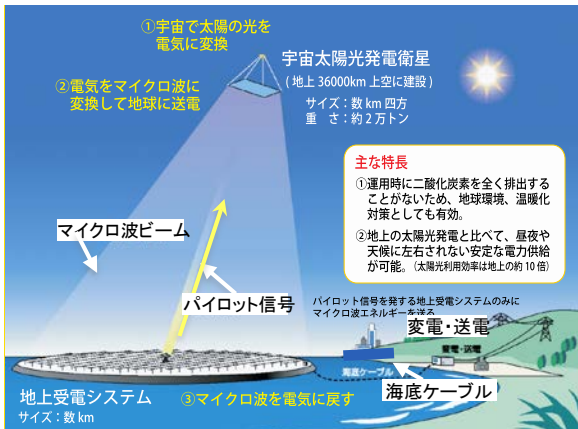
<http://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/>

(1-5) スパコンによるロケット開発最前線！

宇宙でがつつりエネルギー！ 太陽発電衛星

◆マイクロ波で電気を地上に送る 新しい発電システム

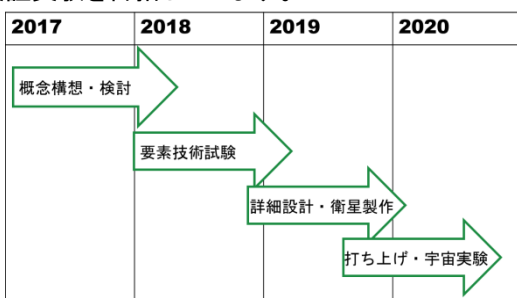
宇宙太陽発電(SPS: Solar Power Systems)とは、将来の実用化を目指して研究開発が進められている新しい発電方式の一つです。人工衛星の軌道上に広大な太陽電池を展開して、太陽光により電気エネルギーを発電します。従来の人工衛星と異なるのは、軌道上で発電されたエネルギーを**地上に送電し**、既存の電力網と同様に都市等へ供給する、**市民のための発電所**です。最大の特徴は、宇宙で発電したエネルギーを**マイクロ波に変換して地上に無線送電**する点です。マイクロ波は太陽光よりも大気を透過しやすい性質を持っているため、天候に影響されず、安定して電力を供給できるという特長があります。



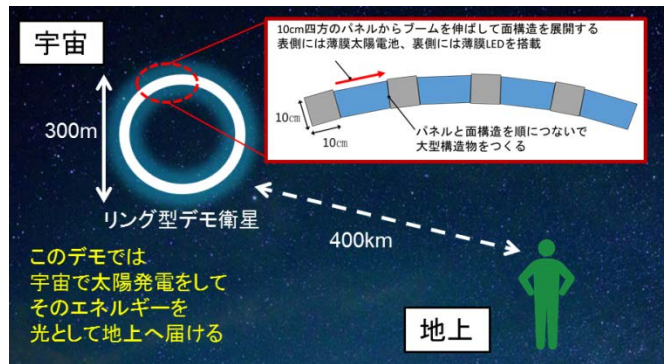
太陽発電衛星の構想図

NEW さくら
SACULA Project
(Space demonstration of Autonomous assembled CUBesats for Large size Architecture)

私たちの研究室ではSACULA projectと題して、学生が中心となりプロジェクト活動を行っています。このプロジェクトでは、**SPSのような数キロメートルもの構造物を宇宙空間に作る方法や技術について研究しています**。このプロジェクトは2017年から始まり、2020年での実証実験を目指しています。



SACULA Project スケジュール



SACULA Project リング型実証衛星の概要

太陽発電衛星は数mサイズのモジュールを組み合わせ、発電パネルや送電パネルあるいは発電電一体パネルを構築します。私たちは多角形モジュールの展開、連結による巨大な宇宙構造物の建設を検討しています。その技術実証のための宇宙実験として、六角形あるいは台形のパネルを用いたリング型実証衛星の検討を行っています。その概念検討を上図に示します。この**リング衛星は発電電一体パネルの一部を模擬**しています。実証試験では小さなパネルモジュールを積層した50cm角の小型の衛星を使用します。パネルモジュールのサイズは10cm四方で、厚さは4mmです。モジュールの両側からブーム展開により台形構造をつくり、その展開した台形モジュールの連結により大きなリング型衛星を形成します。約3000モジュールを使用することで**直径300mのリング**を作ることが可能です。このモジュールの一方の面には太陽電池が貼られており、もう一方の面にはLEDが搭載されます。この小規模実験では宇宙空間で発電した電気エネルギーを光で地上に送ることで、**SPSの発電電一体パネルに関する原理実証**を行います。

現在の最大の宇宙機は国際宇宙ステーション(約100m)です。このプロジェクトが成功すれば最も大きな宇宙機となり、**将来のkmサイズの宇宙構造物建設のための技術実証**となります。また、このリング衛星を5つ組み合わせることにより、地上から観測できる五輪のマークが実現できます。よって、このプロジェクトは東京オリンピックまでの実現を目指しています。

今回の展示ではどうやってモジュールをロケットに乗せ、宇宙空間で展開するのか、という事を紹介します。



研究リーダー
田中孝治准教授

宇宙発電は、環境にやさしいだけでなく、天候に左右されず、安定した電気エネルギーを供給することができる未来の発電システムです。私たちは、この宇宙発電所の実現を目指して、技術の確立やシステム検討などを行い、国内の様々な研究機関と協力して日々研究に励んでいます。

ホームページ

宇宙エネルギー工学研究室 <http://sps.isas.jaxa.jp>

宇宙太陽発電学会 <http://www.sspss.jp>

宇宙で必要なエネルギーの確保

◆この研究のねらいは？

人工衛星や探査機、ロケット等は地球から旅立つ瞬間から自活してエネルギーを賄わなければなりません。そのためには、必要な時に必要なだけ電力を供給するための電池が必要になります。

宇宙探査がスタートした1960年代には、原子力電池や燃料電池を使った探査が主流でしたが、その後、太陽電池の普及とともに二次電池が多く使われるようになりました。二次電池は1990年代まではニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池が多く使われていましたが、少しでも軽くするために、今ではリチウムイオン二次電池が使われるようになっています。

エネルギー・デバイスを少しでも軽く、また高性能にして宇宙探査に貢献する研究を進めています。

◆主な研究テーマは？

僕たちの研究室では、リチウムイオン二次電池や燃料電池の宇宙利用について、研究しています。

特に、燃料電池では、微小重力になる宇宙で使いこなすためのシステム試作や、水電解機能との複合化による再生型燃料電池の研究を行っています。

今では宇宙用蓄電池の主流になってきているリチウムイオン二次電池ですが、実は宇宙での利用が始まったのは2000年代に入ってからです。

リチウムイオン二次電池の場合には、高真空中で微小重力となる宇宙で使えるかどうかの判断も大切ですが、実際には飛んでからの「運用」で、引き出せる能力が大きく変わります。

2005年に打ち上げられた「れいめい」では地上の民生用リチウムイオン二次電池を使用したバッテリーも使われています。「れいめい」では、詳細な電力管理を行い、既に10年近い年月にわたり衛星を運用し続けることに成功しています。そのためには、電池の内部状態を理解し、何が出来て何が出来ないことなのかを判断できることが重要です。その判断力は、普段の研究を通じて、経験的に身につける必要があります。



打ち上げ前の「れいめい」衛星

◆どこがどうスゴイ？

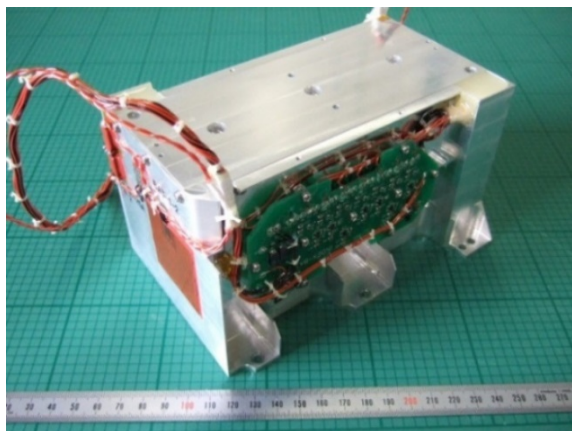
「はやぶさ」では、搭載されていたリチウムイオンバッテリーが故障してしまいました。宇宙空間でこれを修理しカプセルの蓋を閉めました。リチウムイオンバッテリーを宇宙で修理した例は「はやぶさ」以外にありません。

前述の「れいめい」衛星ですが、打ち上げてから既に12年が経ちました。繰り返している充放電の回数は70,000回近くになります。みなさんが使う携帯機器の電池はだいたい1,000回くらいの充放電に耐えるように製作されています。その70倍近くにわたり性能を維持し続けているのが、宇宙研の「運用技術」です。

今、宇宙で電池を使うに際して、国際的な約束事が決まりつつあります。電池はエネルギーの缶詰ですので、不測の事態では衛星を破壊する要因にもなります。寿命末期に、宇宙空間の電池に何が起って、どう対処するべきかを決めていかなければなりません。

実は、「れいめい」は、この指標となるデータを取得できる世界で唯一といっている良い衛星となっています。欧州の複数の宇宙機関や、国際標準化作業を進める組織等から、「れいめい」バッテリーのデータの開示や、解析への協力申し入れが寄せられています。

電気がなければ始まらない。常に縁の下の力持ち。きちんと動いて当たり前。その当たり前の存在であることこそ、誇りをもって、頑張れ、小さな電池達！



「れいめい」搭載 リチウムイオンバッテリー



◆関係者から一言

宇宙機応用工学研究系の曾根理嗣(そねよしつぐ)です。趣味はサッカー、ジョギング、バイク、料理です。好きなデバイスは電池。好きな言葉は「エネルギー充填、120%」。

◆もっと詳しく知りたい人のために
ISAS メルマガ

<http://www.isas.jaxa.jp/j/mailmaga/index.shtml>

(1-7) 宇宙エネルギー技術－電池から地球環境まで

宇宙エネルギー技術から 環境制御技術への貢献

◆この研究のねらいは？

「オデッセイ」という邦題の映画があります。原作となった小説のタイトルは「火星の人」という作品です。

火星に一人取り残された宇宙飛行士が、生き残るためにいろいろな工夫をします。水は？食料は？自分の吐いた二酸化炭素はどうやって処理するのか？そのすべての作業にはエネルギーが必要となります。

太陽は、光エネルギーという大きな恵みをくれます。また、大気と重力があれば太陽が与えてくれる熱エネルギーは風を生み、これもエネルギーの源になります。

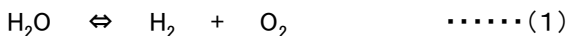
でも、こうして生み出されるエネルギー源をどうやって持ち運ぶか、どうやって貯めるのか。宇宙では、目的に応じたエネルギーの利活用を考えなくてはなりません。

JAXAでは、調布航空宇宙センターのチームが中心となり、閉鎖環境での生命維持の研究を進めてきました。宇宙科学研究所の私たちの研究室では、彼らと一緒に、その技術の高度化、高効率化や、次世代のための有効な技術の探索を進めています。

◆主な研究テーマは？

ヒトは、食べ物を食べて、酸素と反応させて分解するときにエネルギーを取り出しています。この基本的な代謝という作業は、地球が水に恵まれ、大気中に酸素が豊富な世界であったことから、生き物が身に着けた基本動作なのでしょう。

では、宇宙ではどうするのか？食べ物は持っていくか、現地で作るしかない。酸素はタンクに詰めて宇宙に持つ出る場合もありますが、それではとても効率が悪くて、持ち運べる量に限りがある。例えば国際宇宙ステーション(ISS)では、水の電気分解で酸素が作られています。



酸素ができるときに、一緒に水素ができます。水素はヒトの代謝にはあまり役に立ちません。その一方で、ヒトは酸素を吸って二酸化炭素を吐きます。この二酸化炭素は水素と反応すると水とメタンを生み出します。

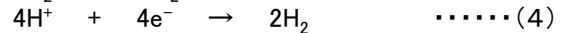
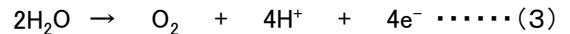


これは、サバチエ反応と呼ばれる反応です。宇宙では、今、この反応を使って、閉鎖環境で生命を維持する際の持続力(サステナビリティ)を向上させる検証がすすめられています。

◆どこがどうスゴイ？

僕たちは、今、これらの反応の高度化を進めています。みなさん、驚かれるでしょう。だって、式(1)は、中学校で習う水の電気分解です。「何が難しいのか？」って、思いますよね。

式(1)は実は二つのステップを踏んだ反応です。(ここでは、酸を電解質として使用する場合を示します。)



一番難しいのは、気体と水の分離(気液分離)です。宇宙では重力がほとんど働かなかったり、あったとしても地球に比べて小さかったりします。そうすると、作ったガスと水が混じりやすくなります。

水を電気で分解して水素や酸素を作るので一般的な水電解ではどうしても液体の水とガスが混じった状態になりやすくなってしまふ。

今、僕たちは液体の水の混入の少ない、できるだけ乾いたガスを発生させる水電解方式を研究しています。

更に、僕たちは、この時に作られる水素を式(2)のサバチエ反応を使って水に変換したいと思っていますが、このサバチエ反応にとっても液体の水を含まない水素が作れることは、反応効率を高く維持するためにはとても大事なことなのです。

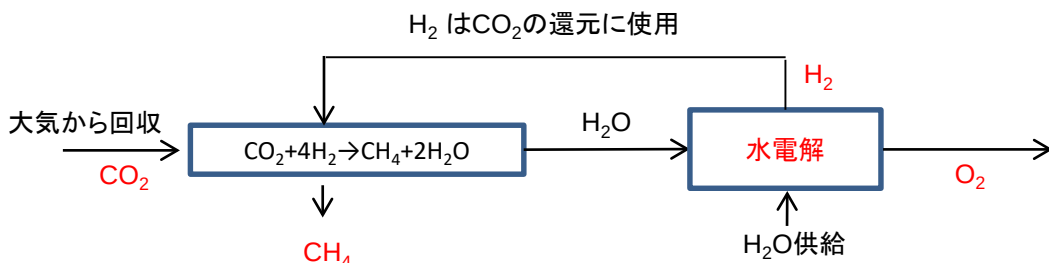
乾いた酸素と乾いた水素を作り、サバチエ反応と電解のウィンウィン関係をつくるのが、僕たちの研究の大事な柱です。

さてここで、式(2)には、もう一つ大事な要素があります。僕たちは水がほしくてサバチエ反応を利用しようと考えてきましたが、実は水と一緒にメタンが生成します。

メタンは、僕たちが日常生活で燃料として使っている天然ガスの主成分でもあります。太陽光や風車等、いわゆる再生可能エネルギーを使って電気を作れば、二酸化炭素からメタンという燃料を合成できる。即ち、化石燃料を燃した結果としてできた二酸化炭素から、再度化石燃料を再生することが可能になる。

そんな時代を招き寄せるべく、JAXAは、富山大学や九州大学と連携して、JST CRESTの事業に参画し、地上応用技術として研究開発を進めています。

ところで冒頭の火星ですが、実は極冠のところに二酸化炭素が固まった状態で存在することが知られています。人類が火星を開拓するとき、僕たちの技術は、酸素製造はもちろん、火星でのエネルギー資源を生み出す切り札になるかもしれません。



川崎研究室 はるかなる衛星と会話する宇宙情報通信

◆はるかなる衛星との会話

地球からはるかに離れた衛星や探査機と地上との間で、衛星が取得したデータ（衛星等から地上）や、姿勢制御などの命令（地上から衛星等）などのデータを通信するためには、ハイパワーの信号を送信するための高電力増幅器や、遠方から飛来する微小信号を高感度に検出するための低雑音増幅器などの電子デバイスが重要な役割を果たしています。宇宙応用を目指して開発した情報通信デバイス技術は、へき地への高度遠隔医療などに利用される衛星通信にも応用されます。

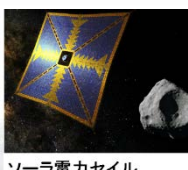


衛星通信で可能になるサービス例

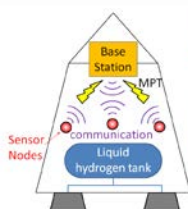
◆ここでは何をしているの？

川崎研究室では人工衛星に搭載するアンテナなどの通信用コンポーネントや天文学用センサの開発や、これまでにない電力輸送の形態となる無線電力伝送技術の研究・開発をおこなっています。わたしたちの研究室で開発されたコンポーネントは超小型深宇宙探査機「PROCYON」や内之浦宇宙空間観測所内の巨大パラボラアンテナですでに使用されています。また、無線電力伝送技術の研究の一環として、わたしたちが開発した大電力増幅器を用いたロケット内センサシステムへの無線電力伝送実験を成功させました。また今後はHySICと呼ばれる異種半導体接合技術によってセンササイズをより小型化することを目標としており、昨年度はHySICを用いた小型センサシステムの無線電力伝送実験を行い成果を収めました。

USC34mパラボラアンテナ



ソーラ電力セイル



ソーラー電力セイルとの通信

ロケット内無線電力伝送実験

◆最新のクリーンルーム紹介

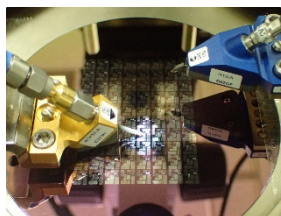
宇宙開発に画期的発展をもたらす小型化・高性能化・低コスト化を実現するHySIC (Hybrid Semiconductor Integrated Circuit) デバイスを実現するために、世界最高の ISO クラスレベル 1 の洗浄度を誇る最新のスーパークリーンルームにて、ナノメートル (1 ミリの 100 万分の 1) サイズの超微細加工技術を駆使し、ナノ R F デバイス作成など、日々研究・開発を行っています。



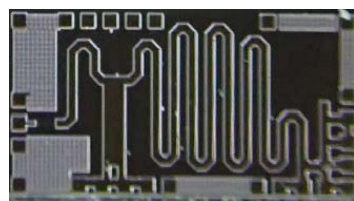
10 nm Line & Spaceの描画が可能な電子線描画装置



ISOクラス1を実現する高性能ファンユニット



高周波プローブによるデバイス評価



製作中のナノRFデバイス（整流回路）



◆ 川崎先生から一言

自動車やロボットと同様に人工衛星も センサー、通信機といった電子機器が重要な役割を果たしています。ワイヤレス技術による高度衛星技術を 川崎研究室のプースで感じてみてください。

◆もっと詳しく知りたい人のために

川崎研究室 <http://www.rfaia.isas.jaxa.jp/>

(1-8) はるかなる衛星と会話する宇宙情報通信

宇宙旅行に行きたいな 再使用ロケット

◆再使用ロケットってなに？

宇宙にものを運ぶのはとても大変なことで、今では大きなロケットにたくさんの燃料をつめて地上から打ち上げ、ロケットの空になった部分は切り離して捨ててしまいます。このようにロケットを一回しか使わないのはもったいないし、とてもお金と時間がかかります。

再使用ロケットは打ち上げたあと戻ってきて何度も使えるロケットです。再使用ロケットができれば、今よりずっと安く簡単に宇宙にいけるようになります。

私たちは再使用ロケットの実験をはじめとした研究をしています。

◆宇宙旅行に行くには？

宇宙旅行に行くには、今のままでは何千万円、何億円というお金が必要です。これではほとんどの人が行けません。なぜこんなに高いのでしょうか？それはロケットが高いからです。

大きなロケットは作るのにたくさんの時間と人が必要で、それだけお金がかかります。今のロケットは打ち上げのたびにロケットを作っているの、このお金はそのまま宇宙に行くのに必要なお金になってしまいます。

再使用ロケットのように何回でも使えるロケットは高価なものでも、一度作ってしまえばたくさん使えるので、そのぶん一回の打ち上げの値段は安くなります。再使用ロケットは飛ばせば飛ばすほど一回の打ち上げにかかるお金が安くなります。

今の飛行機みたいに、たくさんの人を乗せて、何回も宇宙にいけるロケットを作ることができれば、海外旅行に行くように宇宙旅行に行けるようになるかもしれません。



◆どうすれば再使用できるの？

今までのロケットは一回飛ばばいいようにできています。でも、再使用ロケットは何度も飛ばなくてはならないので、今のままではだめです。すばやく整備をしたり、燃料をいれたりしないといけません。そのためには実験をして、どんなシステムがいいのか調べなくてはなりません。

飛び方も今までのロケットとは違います。何度も飛ぶために、地上に戻らなくてはなりません。でも、そんなロケットはほとんどありません。戻ってこられるようなロケットを作るには、新しい方法を考えなくてはなりません。

その他にもやることはたくさんあります。



◆関係者から一言

昨年度、高度100kmまで飛ばすことができる再使用型の観測ロケットの基礎研究が終わり、研究成果を実証するための実験機を開発中です。これまでに実際に飛翔するエンジンの開発や推進薬タンクの開発が終了しています。また、この実験機を使って実証する技術、例えばロケットを繰り返し使う技術・効率的かつ安全に運用するための技術・着陸するために必要な技術などロケットを「再使用」するために必要な技術について様々な検討を進めています。再使用ロケット実験機は、将来宇宙に頻繁にアクセスして大量に物や人を運ぶための第一歩と考えています。

宇宙の過酷な冷暗黒環境や高温環境を地上で作ります！

高真空も
やっています！

宇宙環境試験室

◆この部屋の役割は？

人工衛星や惑星探査機を設計する場合、宇宙の過酷な冷暗黒環境や高温環境に耐える設計・製作上の対策は宇宙工学上大きな課題です。この部屋では、人工衛星や惑星探査機及び宇宙用機器の構造・熱設計上の確認試験を行います。

◆主な試験内容は？

人工衛星や惑星探査機が飛翔する宇宙空間は、空気の無い真空の世界です。もう少し正確に言えば、その圧力は、低い軌道を飛翔する人工衛星の場合でも、地上の10億分の1以下となります。このため、地上で起る対流による熱の流れは、宇宙ではまったくありません。また、太陽からの光エネルギーは、遮る空気が無いために、地上の場合より、40%程度強く1m²あたり1400Wくらいになります。このため、太陽が当たっているところでは、地上に比べてたいへん熱くなります。一方衛星が地球の影に入って太陽からの光が当たらない場合、熱エネルギーは、暗黒の宇宙空間に向かってどんどん逃げていきます。例えば、自分で熱を発生しない物体を宇宙空間におくと、その温度は、簡単に摂氏-200℃以下になってしまいます。つまり、太陽の当たらない場所では、その温度は、たいへん下がる傾向にあります。人工衛星や惑星探査機では、このような特殊な宇宙の環境下でも、温度がなるべく快適に保たれるように設計を行います。宇宙環境試験室では、この設計がうまく行われていることを確認するための試験を行います。この部屋で行われる試験の多くの場合、1～2週間程度、昼夜連続で行われます。

JAXAの研究者だけでなく、全国の大学等の研究者がこの施設を利用しています。



小型宇宙環境試験装置
(内惑星熱真空環境シミュレータ)



温度環境試験装置(大型恒温槽)



熱衝撃試験装置



大型宇宙環境試験装置
(4mφ縦型スペースシャワー)

◆この部屋にある装置は？

この部屋には、地上で宇宙の高真空極低温の環境を作り出す大型宇宙環境試験装置「4mφ縦型スペースシャワー」、地上で水星軌道上の高真空極低温と灼熱の環境を合わせて作り出す小型宇宙環境試験装置「内惑星熱真空環境シミュレータ」、温度変化環境を作り出す「温度環境試験装置(大型恒温槽)」、高温と低温が繰り返される環境を作り出す「熱衝撃試験装置」が置かれています。また、それらの装置を使って実験するための人工衛星や惑星探査機を準備するための準備エリアもあります。

◆関係者から一言

宇宙環境試験室では、「はやぶさ」をはじめ惑星探査機の熱真空環境試験などを行っております。この試験室で、灼熱の暑さの耐熱試験を行った「BepiColombo MMO」が、これから水星に向けて旅立つ準備をしています。水星近くの暑さはものすごいです。まさに想像を超えた環境です。

宇宙環境試験室 担当 小川/狩谷

宇宙機の高度な熱制御を実現する先進熱制御技術 触れてみよう！未来の熱制御技術

◆この研究のねらいは？

将来の内外惑星探査や望遠鏡、小型衛星等のミッションでは、より厳しい熱環境で、少ない電力、重量制限の下で、高度な熱(温度)制御が要求されてきます。これら将来ミッションの要求に応えるために、新しい熱制御技術の研究・開発を大学と連携して行っています。

◆主な研究テーマは？

宇宙用ループヒートパイプ、自励振動ヒートパイプ、可変コンダクタンスヒートパイプ等、熱制御デバイスの研究を行っています。

＜ループヒートパイプ＞

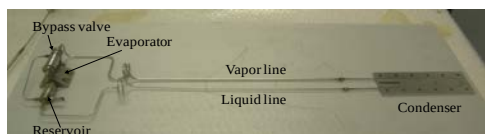
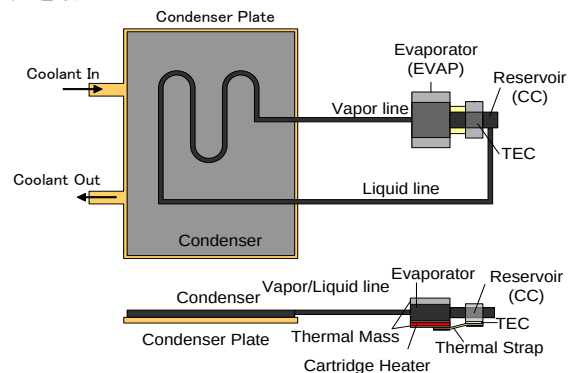
相変化を利用して大量の熱輸送が可能な熱制御デバイスであり、高い毛細管力により作動流体を循環しているため、軽量かつ信頼性が高い。

＜自励振動ヒートパイプ＞

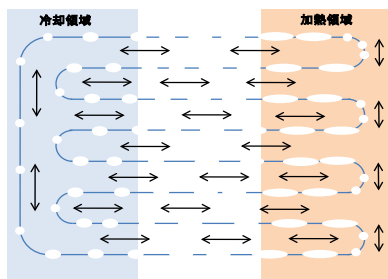
加熱部と冷却部とを十数回往復する細管で結んだヒートパイプ。細管の中に、全内容積の半分程度の容量で封じ込められている作動流体が、加熱部での蒸発・冷却部での凝縮を繰り返し、連続的な圧力振動により駆動される。冷媒が自励振動によって伝熱面間を往復することにより熱輸送を行う。

＜可変コンダクタンスヒートパイプ＞

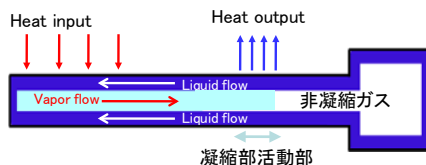
管の中に作動流体を飽和状態で封じ込めた通常のヒートパイプに、非凝縮ガスを封入する事で温度制御性を有したヒートパイプ。



＜ループヒートパイプ＞



＜自励振動ヒートパイプ＞



＜可変コンダクタンスヒートパイプ＞

◆どこがどうスゴイ？

＜ループヒートパイプ＞

- ①蒸気管と凝縮器がスムーズな管で結ばれているため、複雑な経路を持つ熱送経構築が容易に可能であり、かつ軽量である。また、フレキシブルな管(プラスチックやベローズ)の採用が可能。
- ②重力下で動作可能であり、複雑な経路をもつ熱送経経路であっても地上で試験が可能。
- ③リザーバを温度制御することで、受熱部の温度を小電力で高精度に制御が可能。
- ④リザーバの温度(圧力)を制御することで冷媒の循環を止めることができ、保温ヒータ電力低減が可能。

＜自励振動ヒートパイプ＞

- ①細管で構成されているため、伝熱面積を大きくとることができ、高い熱輸送能力が得られる。同時に、薄型・軽量化が可能である。
- ②ウィックを使用しない単純な形状であるため、様々な形状に加工・変形できる。
- ③リザーバ(液溜め)を取り付けることで、温度制御可能な熱制御デバイスとなる(可変コンダクタンスOHP)

＜可変コンダクタンスヒートパイプ＞

- ①通常のヒートパイプに非凝縮ガスを入れただけの単純な構成。
- ②リザーバの温度を一定に保てば、熱負荷の変化や外部温度環境の変化に対して、温度を一定に保とうとする。(自身に粗い温度基準を有している)

宇宙探査イノベーションハブ

◆ 宇宙探査イノベーションハブについて

月、火星で人類が活動する未来が近づいてきました。今、何を準備しておくべきでしょうか？

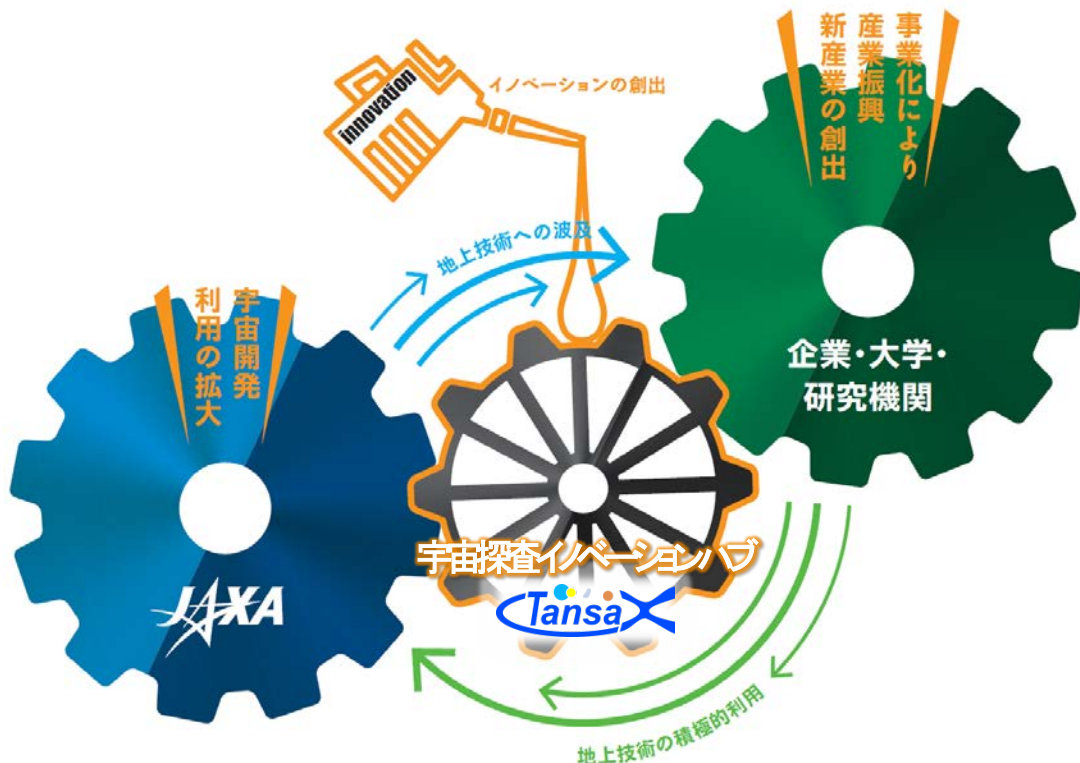
きっと、月や火星に降り立った人類は、そこがどんなところか探ったり、その場にあるものを可能な限り使って何かを作ったり、住居のようなものを建てたりし、大丈夫そうならその星で何日か暮らしてみたりすることでしょう。

月・火星には、地球ほどではありませんが重力があります。土の中にはひと工夫をすれば様々な活用が期待できる物質がいろいろと含まれています。火星には地球とは全く成分が違いますが大気もあります。

JAXAでは、JST(科学技術振興機構)の協力のもと、地球上で、「探る」、「作る」、「建てる」、「住む」といった活動や研究をしている民間企業や大学、研究機関の皆さんから、将来の月、火星探査に必要な技術であり、かつ、地上の技術への転用で我々の生活が大きく変わる(イノベーションにつながる)ような提案をもらい、一緒に共同研究を開始しました。

これまで、宇宙開発を扱っていなかった会社や研究者からもたくさんの意見や参加を頂いています。実際に宇宙で使うようにするためには、応用研究が必要ですが、将来、月、火星で活用できる技術の芽が生まれつつあります。

次のイメージ図は、宇宙探査イノベーションハブが歯車となり、宇宙と企業・大学・研究機関をつなぐことで、相互の交流、活動の活性化につなげる様子を表しています。



◆ 宇宙探査イノベーションハブの愛称「TansaX」

「TansaX」は、宇宙探査イノベーションハブの愛称です。「タンサックス」と読んでください。探査「Tansa」のための技術研究開発から、誰も何も予想しないようなこと「X」を生み出すという意図を込めた「Technology advancing node for space eXploration」(宇宙探査のための技術進歩の要)を意味しています。

「TansaX」のロゴは、「X」がかたどるロケットノズルから勢いよくジェット噴射する輸送技術を使い、地球(青色円)を出発して月(黄色円)、小惑星(灰色楕円)、火星(橙色円)などの太陽系宇宙空間を自由自在に飛翔し、人類の活動領域拡大を目指すことを表しています。



◆ もっと詳しく知りたい人のために
宇宙探査イノベーションハブのホームページ
<http://www.ihub-tansa.jaxa.jp/>

うちゅうたんさじっけんとう うんようかいし
「宇宙探査実験棟」の運用開始



宇宙探査実験棟 外観



宇宙探査フィールドでの探査ローバの実験の様子

◆ 宇宙探査実験棟は
～宇宙探査のイノベーション創出の拠点～

実際に、月・惑星探査のための研究開発が進むと、実サイズの探査ロボット、着陸機、複数台のロボットの連携作業等を、より実用に近い形で実証してみる必要があります。また、この実証試験では、民間企業や研究者、JAXAの共同研究にかかわる関係者が一堂に会し、議論や試行錯誤を積み重ねていきます。その際、天候の影響を受けず、砂の状態や日照等の環境条件が毎回変わらないことがとても重要になってきます。

このようなニーズに基づき、JAXAの月・惑星探査の実証試験を行う場、産学官の人材を糾合する拠点として整備されたのが宇宙探査実験棟です。実験棟は、平成29年2月に建設が完成し、逐次実験設備等を整えつつ、5月より探査ロボット等の実験を開始したところです。

◆ 宇宙探査実験棟の設備の特徴

実験棟は、宇宙探査のイノベーション創出の拠点として、設備にさまざまな工夫が凝らされています。月・惑星表面を模擬するために400㎡の広さ(世界有数)の実験場に、珪砂(けいさ)という砂を425トン用い、月・惑星の平地や山を作っています。砂が湿気で劣化しないよう湿度・温度管理を行っています。また、実験場を見渡することができる二部屋のコントロールルームは、地上局と宇宙船内と月・惑星上の3地点中継の模擬を想定しています。天井は11mの高さがあり、実サイズのロボットや着陸機を運ぶことのできる天井クレーンを装備し、各種データ計測機器を設置できるキャットウォーク(2階通路)があります。さらに、月・惑星の日照環境を模擬するために、実験室の暗室設備と人工太陽照明装置等を備えています。

実験棟の公開の際は、宇宙探査イノベーションハブにおける民間企業、大学とJAXAの共同研究で試作した探査ロボット等を2階見学用通路からご覧いただき、最新技術に触れていただく機会を設けます。

宇宙探査実験棟の宇宙探査フィールド パノラマ写真



◆ ハブ長から一言



宇宙探査イノベーションハブ ハブ長の國中 均(くになか ひとし)です。

世界各国で約8000機近い人工衛星が打ち上げられ、月・火星探査計画が発表されるなど、宇宙は身近になり人々の関心の急激な高まりを感じます。宇宙探査イノベーションハブで取り組んでいる課題は、一層、研究開発を重ねなければなりません。この中から将来の月・火星探査で使われる技術が生まれることを楽しみにしています。そして、ハブから生まれた成果が地上での技術に転用され、皆さんの身の回りで活躍する日も近いと思います。

皆さんも我々とともに、将来の月・火星での探査の研究開発に参加しませんか？

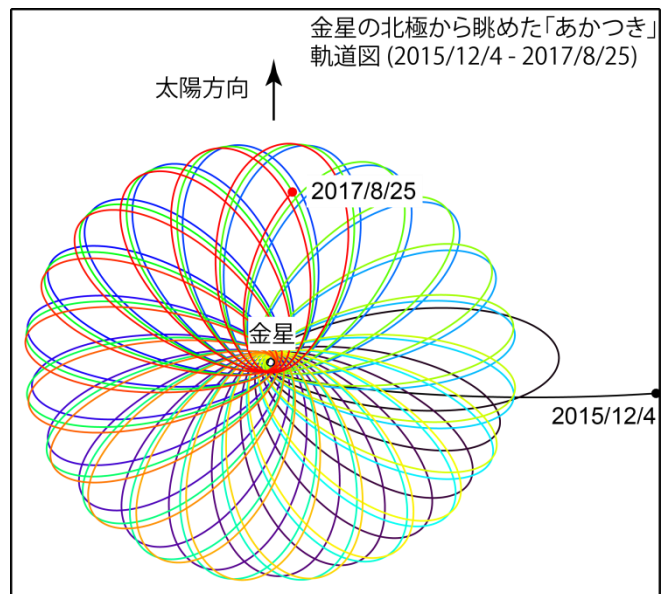
金星大気の謎に挑む 金星探査機「あかつき」

◆ この計画のねらいは？

金星は地球とほぼ同じ大きさ・密度をもち、同時期に類似の過程を経て誕生した双子星だと考えられていますが、現在の惑星環境は似ても似つかないものです。大気の主成分は二酸化炭素であり、地表面は 90 気圧、460℃という高压灼熱地獄です。高度 50~70km には濃硫酸の厚い雲が全球を覆っています。雲の模様に着目すると、「スーパーローテーション」と呼ばれる強い西向きの風が金星全体で吹いていることがわかります。これは、雲付近では金星の地面に対して約 60 倍の速さで大気が移動していることを意味しており、そのメカニズムは未だ謎に包まれています。「あかつき」は、紫外線から中間赤外線にわたる 5 台のカメラと地球通信用の電波を用いて、大気の流れや温度を調べることで金星大気の謎に迫ることを目的としています。

◆ 打ち上げから今日まで

「あかつき」は 2010 年 5 月 21 日に H-IIA ロケットにより種子島宇宙センターから打ち上げられました。2010 年 12 月 7 日には金星周回軌道に入る予定でしたが、メインエンジンの故障により次の機会を待つ長い旅が始まりました。奇しくも失敗からちょうど 5 年経った 2015 年 12 月 7 日に念願の周回軌道に入り地球以外の惑星を周回する日本初の探査機となりました。打ち上げから 5 年 7 か月、ついに訪れた歓喜の瞬間でした。軌道投入から今日まで約 1 年 9 か月にわたり、「あかつき」は約 11 日で 1 周する長楕円赤道軌道から興味深い金星画像を毎日送り続けています。



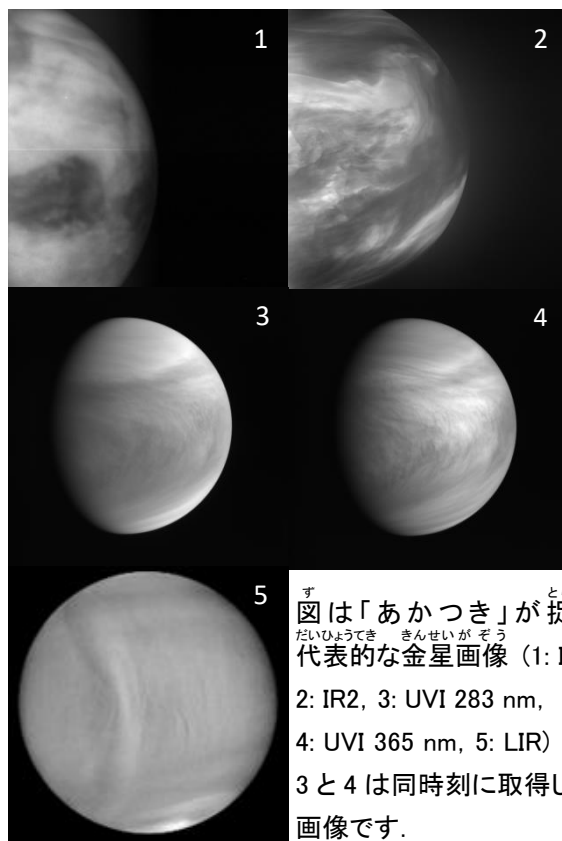
図は金星の北極から眺めた「あかつき」の軌道です。8 月 25 日時点で、金星の周りを 58 周しました。

◆ 観測装置は？

5 台のカメラと地球通信用の電波を用いて、金星大気の流れや温度、微量大気成分の存在量を観測します。

- 1 μm カメラ (IR1)
中層雲～下層雲付近における大気の流れや水蒸気分布、地表面の鉱物組成、活火山の有無を調べます。
- 2 μm カメラ (IR2)
上層雲や下層雲付近における大気の流れや一酸化炭素分布、雲の粒径を調べます。
- 中間赤外カメラ (LIR)
上層雲付近の大気の流れや温度を観測します。
- 紫外イメージャ (UVI)
上層雲付近の未知化学物質や雲生成に関わる二酸化硫黄分布を観測します。
- 雷・大気光カメラ (LAC)
雷放電発光の有無を明らかにします。
- 超高安定発振器 (USO)
「あかつき」が発した電波が金星大気をかすめることを使って、温度や濃硫酸蒸気分布を調べます。

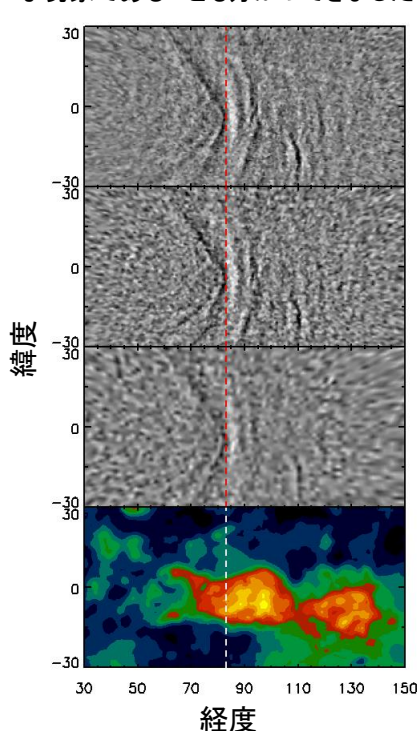
◆ イメージギャラリー



金星大気の謎に挑む 金星探査機「あかつき」

◆ 世界初！巨大な弓状模様の発見

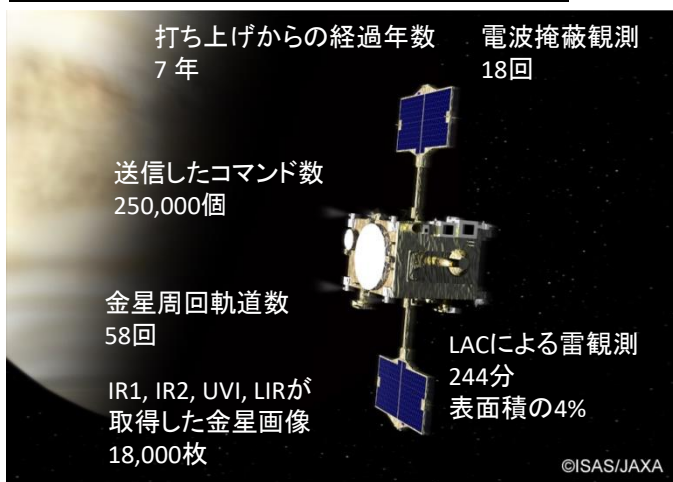
「あかつき」は軌道投入後の最初の1枚目からこれまでに見たこともない現象を地球に送ってきました。それは、中間赤外カメラでとらえた南北方向に約1万kmに及ぶ巨大な弓状模様です。この模様は4日間にわたる観測中、「スーパーローテーション」に流されることなく同じ位置にとどまっていた。その位置を地形図と比較してみると、アフロディーテ大陸と呼ばれる高地の真上でした。詳細な解析により、気流が山を越えたときに発生した波が上空(約65 km)に伝搬し、弓状の温度模様を作ることが分かりました。その後の観測でも似たような模様が、異なる山や異なるローカルタイムで発生しており、普遍的な現象であることも分かってきました。



金星でも大気の下層と上層が深く結びついてることを「あかつき」は初めて教えてくれたのです。

図は中間赤外カメラで取得した最初の3枚(上から順に2015年12月7日の5:27, 7:27, 17:33に撮影、時間は世界標準時)と金星の地形図(暖色ほど標高が高い)を示しています。

◆ 数字は語る！「あかつき」の歴史



◆ どこがどうスゴイ？

時々刻々と変化する大気の流れを詳細に捉えるため、「あかつき」の観測装置はカメラが主体です。これは過去の米露(ソ)欧による金星ミッションにない独創的な方法です。そのねらい通りに、これまでに見たこともない高精細な金星画像が取得できています。また一度失敗したミッションを、しかも姿勢制御用エンジンで軌道投入に導いたのは世界に例がありません。理学チームが日本独自の高精細な金星画像を使って研究できるようになったのも工学チームを始め多くの関係者の努力の賜物なのです。



◆ プロマネからの一言

「あかつき」プロジェクトマネージャーの中村正人です。7年前大きな問題に遭遇した「あかつき」は、プロジェクトに関わったすべての人々の堅忍不拔の志を体現して、不死鳥となって2015年に金星の周りを回り始めました。それ以来、日々の運用を通して、全く予想していなかった金星の新しい姿を地球に送信し続けています。このデータを通して金星を知ることが、翻って母なる星地球をより深く理解することに繋がるでしょう。

◆ 応援してくださる皆様へ

1μmカメラと2μmカメラは2016年12月9日に2つのカメラを制御する機器が示す電流値が不安定となり、今日まで観測休止となっています。打ち上げから約7年という長期にわたる放射線環境の下、機器劣化が進んだことが原因と考えられますが、「あかつき」が生きている限り、希望を忘れず復旧に向かっていきたいと考えています。もちろん、これまでに得られた画像にはいくつもの興味深い現象が発見されています。できるだけ早く皆様に研究成果をご紹介しますと思っています。



◆ もっと詳しく知りたい人のために

「あかつき」プロジェクトホームページ

<http://akatsuki.isas.jaxa.jp/>

<http://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/>

深宇宙探査用地上局のすごさ

◆ GREAT プロジェクトとは？

深宇宙探査機用の新しい地上局を開発整備するプロジェクトです。Ground station for deep space Exploration And Telecommunication の大文字を取って GREAT (グレート) は生まれました。2015 年 11 月からプロジェクトの活動が始まっており、2019 年冬には巨大なアンテナがその姿を現し、はやぶさ 2 との通信に向けた準備を開始します。

◆ 新しい探査用地上局

新しい地上局は、電波（電磁波の内、周波数 300GHz 以下のもの。周波数は 1 秒あたりに繰り返す波の数を表し、G(ギガ)は 10 億倍を表す記号です。）を送ったり、受けたりするためのアンテナです。電波のうち、X 帯（7～8GHz 付近）及び Ka 帯（31～32GHz 付近）という決められた帯域（電波の周波数の広がり）で性能を最大限発揮するよう設計されています。ちなみに、臼田宇宙空間観測所の 64m 局では、S 帯（2GHz 付近）と X 帯となっています。

地上局の性能を表す指標に、信号を集める強さ（これを利得と呼びます）と熱雑音の受けやすさ（通常、温度で表します）があります。信号を集める能力が高いほど、また雑音の邪魔を受けにくいほど、優れた地上局であるといえます。したがって、これらをひとまとめとして、利得を G、温度を T で表して、G を T で割った G/T（ジー・オーヴァー・ティと呼びます）という値を利用して、この数値の高い地上局ほど、効率よく高い受信性能が実現できていると考えるのです。世界の名だたる探査用地上局との G/T を比べてみましょう。新しい探査地上局は、X 帯と Ka 帯とに対応し、なおかつ性能でも上位を争う世界に冠たる地上局です。

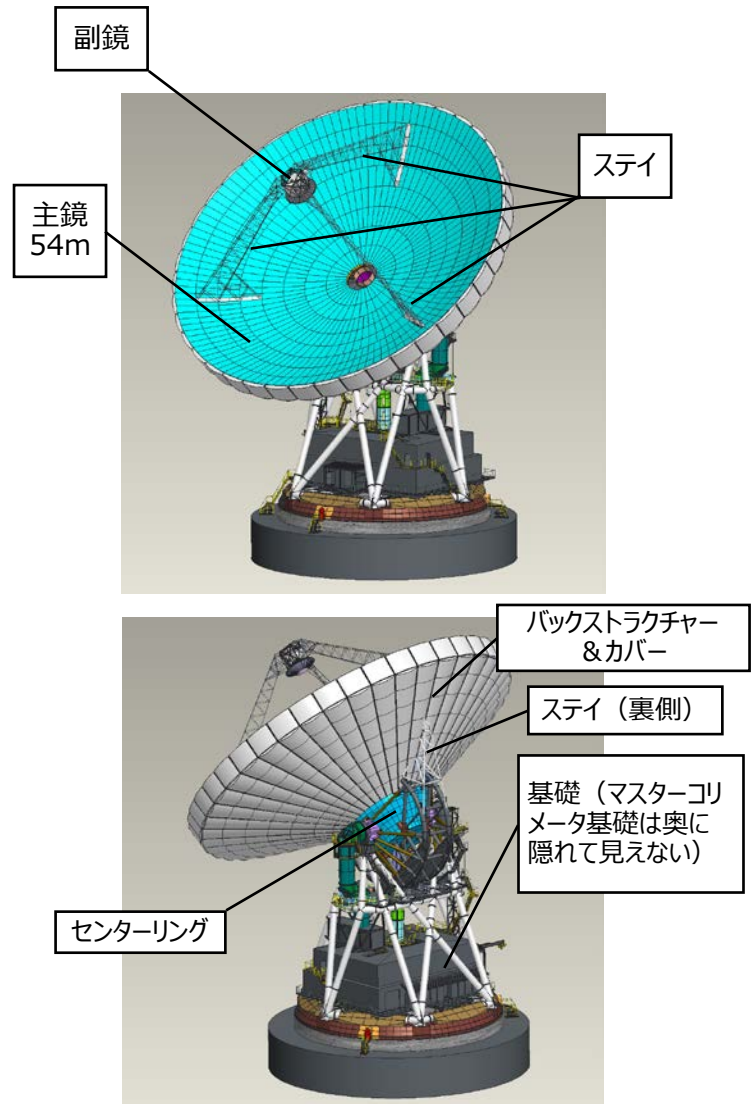
GREAT!まさに最新の技術を結集したアンテナなんだね！



グレート君

世界の探査用地上局の性能比較

世界の探査用地上局	G/T [dB/K]	
	X 帯	Ka 帯
GREAT54m 局	53.35 以上	59.33 以上
臼田 64m 局	53.35	非対応
NASA34m 局 DSS26	52.6	60.6
NASA70m 局 DSS14	59.2	非対応
ESA35m 局 DSA2	49.9	55.6



↑ アンテナの外観と各部の名称

◆ 深宇宙探査用地上局の Q&A

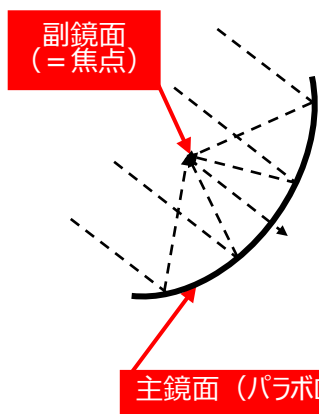
ここからは、質問に答えるかたち（Q&A 形式）で、新しい地上局の技術についてご紹介していきましょう。アンテナの部分の名称は上の図をご覧ください。

Q1： アンテナの重さはどれくらい？

A1： アンテナの総重量は、その機器室に設置する各種装置の重量も含めると、2100 トン余りあります。反射鏡の重さだけでも 440 トンを超えます。64m 局の 1800 トンと比べると強度を向上している分、少し重くなっています。

Q2： アンテナの鏡面の秘密とは？（裏面に続く）

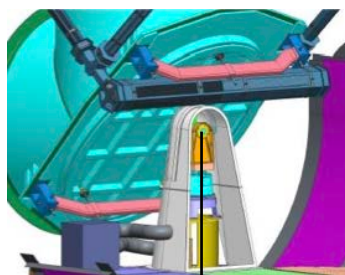
A2： アンテナには主鏡面と副鏡面という二つの鏡面があります。主鏡面は正面を向き、副鏡面は主鏡面に向き合っ



てステイと呼ばれる脚で支えられています。主鏡面は、放物線を回転させた曲面で（パラボロイドと呼ばれます。）、効率よく電波を焦点に集め、機器室の受信機まで届ける役割があります。しかしながら、大きな主鏡面は傾けても自分の重さだけによって変形し、電波の集まりが悪くなります。それを解決する手段にホモロガス設計法があります。パラボロイドはうまく設計すると、変形後の形状もパラボロイドとみなせる特長が生まれます。変形後も引き続き電波は焦点に集まり続けるので、副鏡位置をその焦点位置へ合わせて動かし続けられれば、たとえ変形しても狙い通りに電波が集まるのです。

Q3： アンテナを目標へ精密に向ける仕掛けとは？

A3： 電波を集められるようになって、アンテナを狙い通りの方向へ向けられなければアンテナ失格です。



マスターコリメータ

雨にも負けず風にも負けず、重くて大きなアンテナを探査機へ向け続ける必要があります。そのために、マスターコリメータと呼ぶ正確に狙った方向へ向く視準器をアンテナの中心に導入し、その基準に従うようにアンテナを自動制御する仕組みを取り入れています。新規導入のKa帯を使いこなすためには1mdeg（1000分の1度）のずれをも気にするほどです。

Q4： どうして64m局と見た目が違うのか？

A4： 日射による熱変形や、強風によるあおりへー層の対策を必要としました。不均一な熱分布は素材の変形を引き起こします。変形を抑えるために、センターリングと呼ばれる主鏡の構造を小型化し、主鏡裏面の支持構造（バックストラクチャーと呼びます。）にカバーをかけて日照を避けています。カバー内側の空気もファンで均一化します。この温度均一化は副鏡ステイの内部やマスターコリメータを置く基礎（土台）にも適用します。風圧に対しては、バツ

クストラクチャー及び副鏡ステイの構造を強化しました。ステイの足下や裏側に伸びる構造にそれを見て取れます。探査用地上局は、風速 10m/秒の条件でも大幅な性能低下なく運用を継続できるよう設計しています。

Q5： どこにできるの？

A5： 長野県佐久市の蓼科スカイライン沿いに建設されます。臼田宇宙空間観測所から直線距離で約 1.5km のところ



◆ 日本の大型アンテナの系譜

新しい探査用地上局は、直径 40m 以上の国内大型アンテナとして 3 基目になります。最初に、国立天文台の野辺山 45m 局が 1982 年に電波天文を目的として作られ、次いで臼田宇宙空間観測所の 64m 局が 1984 年に探査用地上局として稼働し始めました。それらから 30 年以上経ち、2 局の遺伝子を受け継いで新たな探査用地上局が誕生しようとしています。ホモロガス設計法、マスターコリメータ、主鏡裏面の温度均一化などは、いずれも 45m 局で取り入れられ、64m 局へも応用されてその完成度を高めてきた技術です。その成果によって 45m 局は、2017 年 6 月、IEEE（米国電気電子学会）のマイルストーン認定を贈られました。新しい探査用地上局では、その伝統の上に更なる付加価値を生み出そうとしています。

◆ GREAT の最新情報

http://www.jaxa.jp/projects/sas/great/index_j.html

現地工事の様子など、随時、進行情報をお知らせしていく予定です。次期主力探査用地上局にご期待ください。



GREAT ホームページの QR コード

小惑星リュウグウ到着まであと10ヶ月！ 小惑星探査機「はやぶさ2」

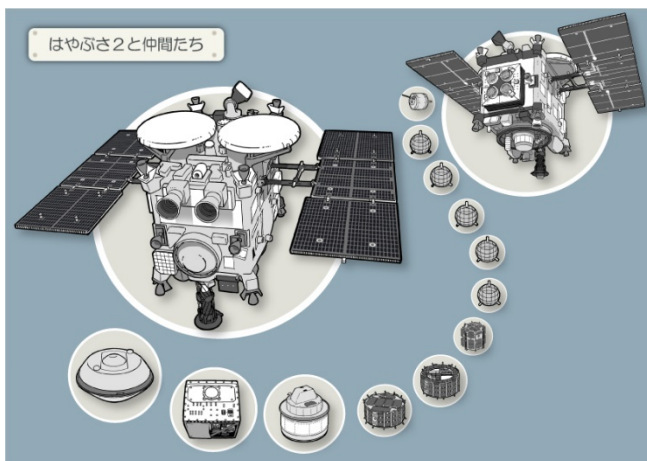
◆「はやぶさ2」の挑戦

小惑星探査ミッション「はやぶさ」に続く新たな挑戦を目指して、「はやぶさ2」が2014年12月3日に打ち上げられました。打上げ日からちょうど1年後の2015年12月3日には地球スイングバイに成功し、目的地の小惑星リュウグウに向け順調に航行中です。リュウグウ到着は今から10ヶ月程先の2018年の6月から7月の予定です。

「はやぶさ2」は「はやぶさ」と同様に、小惑星から物質を持ち帰るサンプルリターンミッションです。目的地は小惑星リュウグウ。「はやぶさ」が探査した小惑星イトカワとは別の種類の小惑星です（詳しくは裏面へ）。

「はやぶさ2」では小惑星の表面からサンプルを採取するだけでなく、衝突装置というものによって約2kgの銅の塊を秒速2kmで小惑星表面に打ちこむことで直径が数メートルのクレーターを作るといった新たな挑戦も行います。この衝突装置による実験の様子は、分離カメラで撮影します。そして可能であれば、作ったクレーターに着陸して物質を採取します。このことで地下の物質も手に入れることができるのです。これは、「はやぶさ」でも行わなかった人類初の挑戦です。

また、「はやぶさ」にはなかった装置として、Ka帯のアンテナもあります。このKa帯のアンテナでは小惑星からより多量のデータを送信する試みを行います。この他、「はやぶさ」や「あかつき」などの経験を活かして、イオンエンジンや化学推進系、姿勢制御系などに多くの改良を加えました。さらに、サンプルを取る装置や再突入カプセルにも新しい工夫がなされています。



「はやぶさ2」には、分離される装置が合計12個も搭載されています。上の図で左から順番に、再突入カプセル、MASCOT（マスコット）、衝突装置、MINERVA-II（ミニルバ2）（3機）、ターゲットマーカ（5基）、分離カメラです。MASCOTは、ドイツとフランスによって製作された小型の着陸機で、MINERVA-IIはJAXAや日本の大学等が作成した小型ローバです。これらをリュウグウに降ろしてその表面を調べます。



第3期イオンエンジン運転 (2018年初め頃～到着)

第2期イオンエンジン運転 (2016/11/22～2017/4/26*)

リュウグウの軌道

はやぶさ2の軌道

地球の軌道



リュウグウ到着
(2018年6-7月)

打ち上げ
(2014/12/3)

地球スイングバイ
(2015/12/3)

第1期イオンエンジン運転
(2016/3/22～5/21*)

*噴射期間は追加噴射を含む



日時は日本時間

◆もっと詳しく知りたい人のために <http://www.hayabusa2.jaxa.jp>

(5-1) はやぶさ2: 小惑星到着まであと10ヶ月！

「はやぶさ2」のサイエンス

◆「はやぶさ2」が目指すサイエンス

太陽や惑星などの太陽系天体は、今から約46億年前に宇宙空間にあった星間ガスから生まれました。つまり、地球を作っている物質は、46億年以上前の星間ガスの中にあったことになります。地球のような大きな天体は、物質が集まったときにいったんドロドロに溶けてしまったと考えられています。ですから、地球上にある物質を調べても46億年前に地球をつくった物質は正確には分かりません。ところが、小惑星のような小さな天体の中には、太陽系誕生初期の物質がそのまま残っているものもあると考えられています。

「はやぶさ」は小惑星イトカワからサンプルを持ち帰ることに成功し、それを調べることで、太陽系の誕生時の物質の様子がだんだん分かってきました。しかし、地球を作っているものは、岩石や鉄のような物質だけではありません。大量の水がありますし、生物は有機物からできています。このような水や有機物についても46億年前の星間ガスの中にあったと考えられています。もし、46億年前の有機物を手に入れることができれば、生命の起源になった物質がわかるかもしれません。「はやぶさ2」は、46億年前の水や有機物を探しにいくミッションです。まさに、生命の原材料に迫るミッションなのです。

◆小惑星リュウグウ

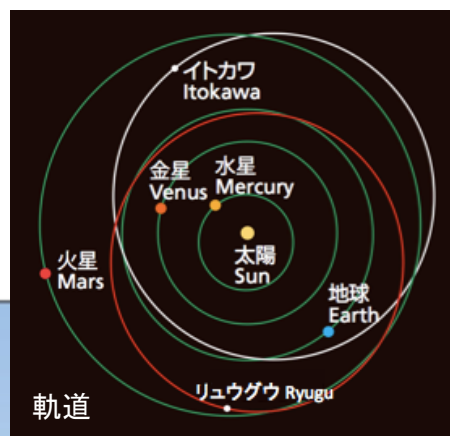
「はやぶさ2」の目的地である小惑星リュウグウ((162173) Ryugu)は、C型に分類される小惑星です。「はやぶさ」が探査したイトカワ(S型)とは異なる小惑星です。S型もC型も岩石でできていますが、その成分が違っていると考えられています。イトカワのようなS型の小惑星は、地球に落ちてくる隕石のうち「普通コンドライト」という隕石の母天体であることが「はやぶさ」の探査で証明されました。これに対して、C型の小惑星は「炭素質コンドライト」という種類の隕石の母天体であると考えられており、その名のとおりに、炭素つまり有機物を含んでいると考えられています。有機物というのは生命の材料になったものです。46億年前に太陽系を生んだ星間ガスにどのような有機物があったのか、それを解明するのが「はやぶさ2」なのです。

望遠鏡によるこれまでの観測で、リュウグウについては下の表や図に示すことが分かってきました。大きさは900m程度で、形はほぼ球形のようです。ですが、本当の形や大きさ、そして表面の様子など詳しいことは「はやぶさ2」が到着しないと分かりません。リュウグウはいったいどのような小惑星なのでしょう？ それ分かるのは約10ヶ月後です。楽しみですね。

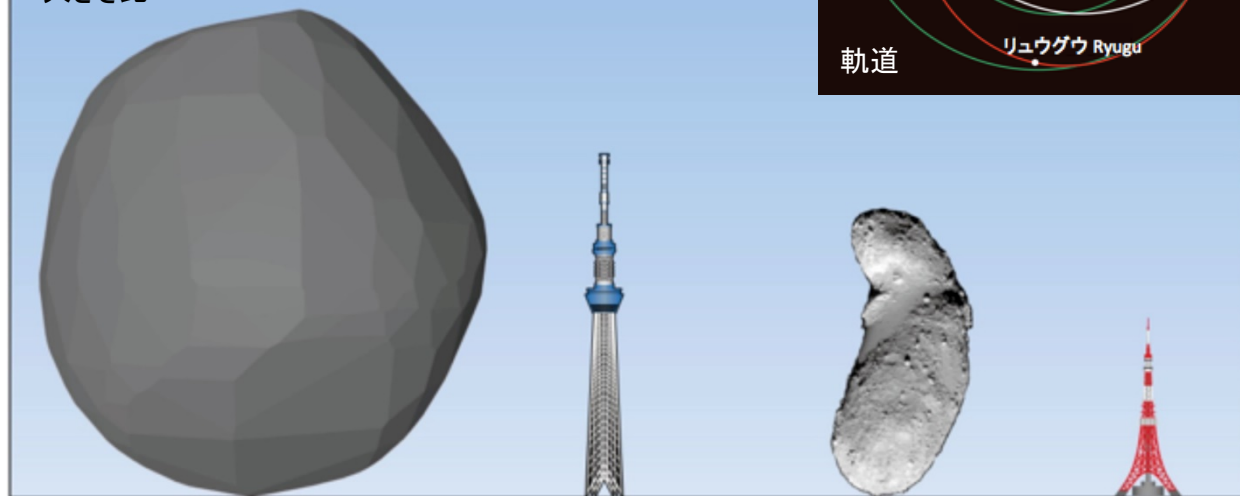
Ryugu(リュウグウ) 確定番号:162173 仮符号:1999 JU3

※1999年5月に発見

大きさ	: 約900 m (形はほぼ球形?)
自転周期	: 約7時間38分
自転軸の向き	: 軌道面に対して傾いている可能性大
反射率	: 0.05 (1に比べて小さい=黒っぽい)
タイプ	: C型(水・有機物を含む物質があると推定)
軌道	: 半径 約1億8千万km、公転周期 約1.3年



大きさ比べ



リュウグウ
約900m

東京スカイツリー
634m

イトカワ
535m

東京タワー
333m

◆もっと詳しく知りたい人のために
<http://www.hayabusa2.jaxa.jp>



地球外物質を扱うスペシャリスト

キュレーションのお仕事

◆ キュレーションとは？

JAXAキュレーショングループは、地球外試料や、試料を分析して得られた情報を整理・分類し、世界中の研究者と共有するという仕事を行っています。

現在は主に、探査機「はやぶさ」が持ち帰った小惑星イトカワの試料の初期記載・試料配分・保管・研究を行っています。日本唯一のリターンサンプルの受入施設として、将来的には、2014年12月に打ち上げられた「はやぶさ2」、2016年に打ち上げられたNASAの「OSIRIS-REx」の帰還試料受け入れも予定されています。

◆ 粒子が格納されているコンテナ

カプセル回収後、カプセル内部のサンプル格納用コンテナがJAXA相模原キャンパスESCuC (Extraterrestrial sample curation center)に搬入されました。*クリーンチャンバ第1室でコンテナの開封作業が行われ、第2室で試料が入っているキャッチャA室、B室、回転筒 (RC) からそれぞれ粒子を回収し、**マニピュレータによる拾い出し作業が行われています。

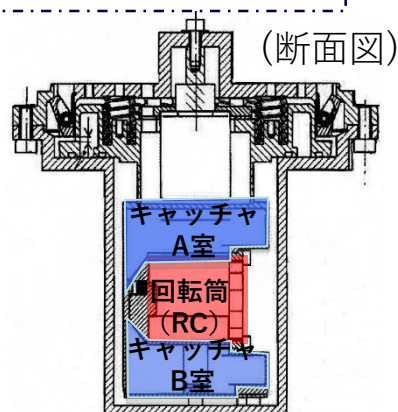
* 貴重な粒子が地球の酸素や水に触れないように、純窒素ガスを循環させた大きな箱 (クリーンチャンバ) に入れて、手袋越しに作業を行っています。

** 粒子はとても小さいので、マニピュレータという小さな針を使い、静電気の力を利用して、粒子をくっつけて拾い出しを行っています。

クリーンチャンバ



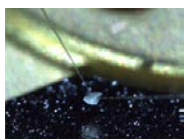
はやぶさサンプルコンテナと内部構造



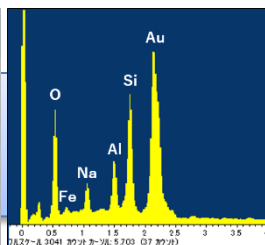
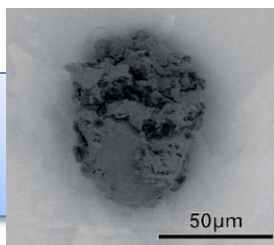
◆ イトカワ粒子のカタログ化とデータの公開

拾い出した粒子は、電子顕微鏡を用いて、粒子1粒1粒に対して、粒子の形状や組成などの岩石学的特徴の記載 (初期記載：下記参照) を行い、ID (粒子ごとの名前) をつけ保管しています。IDのつけられた試料は全世界に公開され、研究を希望する人々に審査を経て分配しています。

○ 粒子の形状や大きさ ○ 粒子の元素組成



マニピュレータで拾い出された粒子



元素の組み合わせと比率から、粒子がどのような鉱物から構成されているかを知ることができます。※金の上に粒子を載せているので、粒子以外の情報として背景の金のピークが出ます。

記載が完了した粒子にはIDがつけられ、それらのデータが全世界に公開されます。研究者たちは、これらの情報を見て、吟味し、研究に必要な粒子を選定します。

2017年度、キャッチャ (試料を持ち帰った容器) の新たな領域からの粒子の拾い出しに着手しました。これまではA室、B室からの拾い出しを行っており、加えて回転筒 (Rotational Cylinder: RC) から粒子を回収し、それらの粒子には、RC-MD01-XXXXとIDが振られています。

容器の隅々まで粒子を探しだし、全世界の研究者の方々の研究に役立つように、キュレーションでは今も継続して粒子の拾い出し作業を続けています。

◆ もっと詳しく知りたい人のために

<http://hayabusaaao.isas.jaxa.jp/curation/index.html>

(5-2) 体験イトカワ！発見リュウグウ！

はやぶさが持ち帰ったイトカワの粒子 イトカワ粒子のトレーディングカード2016・2017

◎ 粒子ID：粒子一つ一つにID（名前）がついているよ。

粒子IDの見方

例：RA-QD02-0136-01

RA：粒子の出身地を表す部分（A室等）

QD02：粒子の回収場所を表す部分

0136：回収場所ごとの粒子の登録順を表す通し番号

01：分割された粒子などに与えられる小番号

◎ 印：粒子の属性を表している。

の6種類あるよ。

◎ 粒子の特徴を説明しているよ。

イトカワ粒子は、それぞれ形や鉱物が違って、様々な種類があるんだよ。

◎ レアリティ：粒子のレア度を表しているよ。
ノーマル(N) ⇒ レア(R) ⇒ スーパーレア(SR) ⇒ ウルトラレア(UR) と強くなるよ。

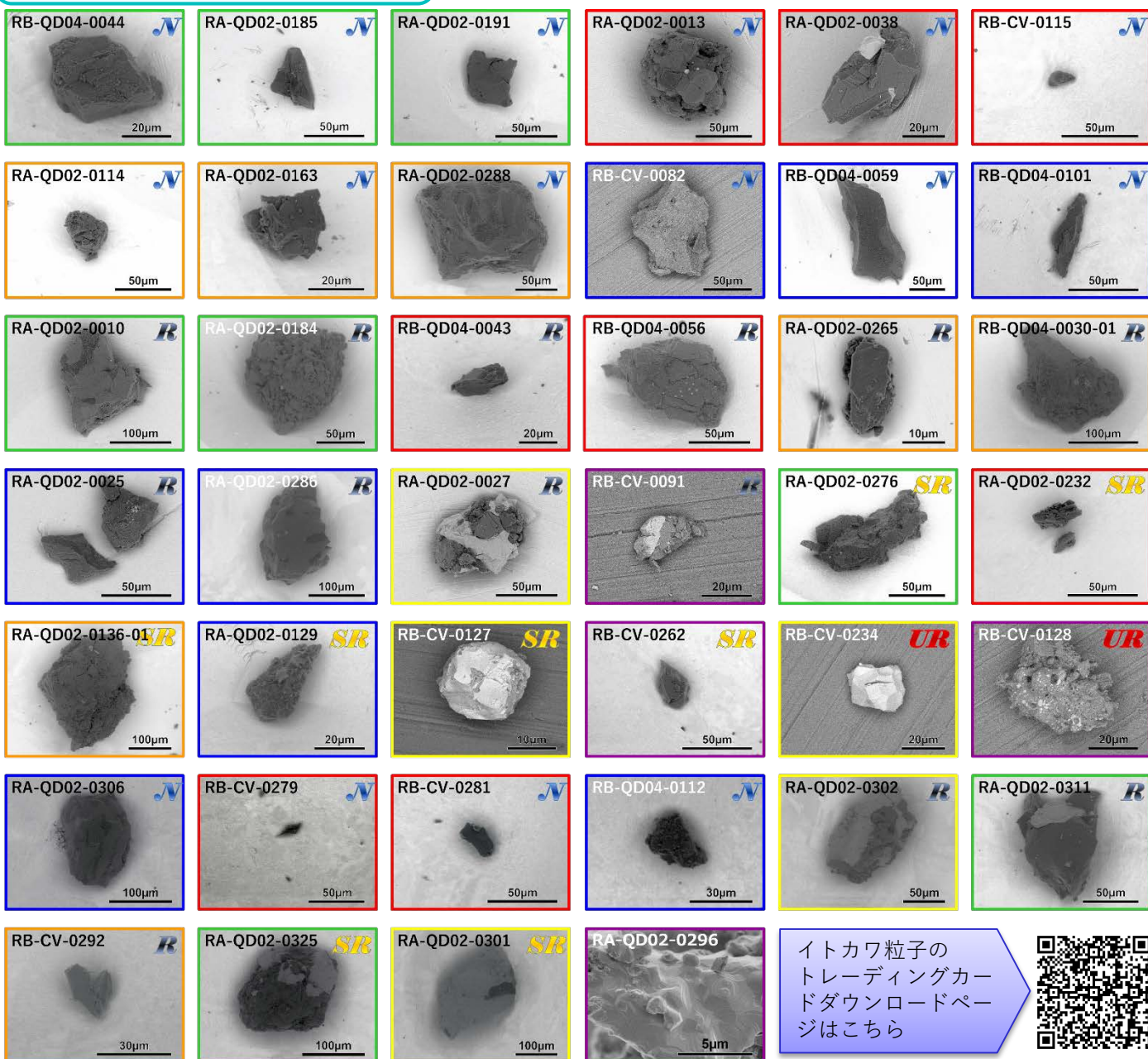
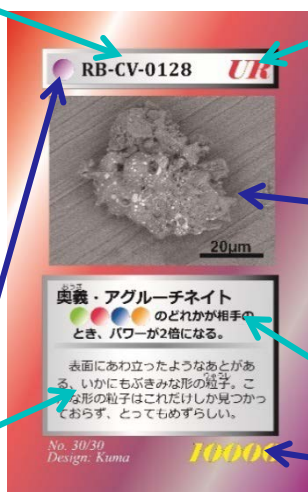
◎ 粒子の電子顕微鏡の写真。

色の違いはそこにある鉱物の違いを示しているよ。右下の棒状の線と数字は定規の役割をしており、粒子の大きさがわかるよ（スケールバー）。1μmは1/1000mmなので、とても小さいことがわかるね。

◎ 特技名と特技の内容

特技をうまく使いこなして相手よりも強くなろう。

◎ パワー：粒子のパワーの値を示しているよ。



イトカワ粒子の
トレーディングカード
ダウンロードページは
こちら



新たに15粒子追加！上記以外にシークレット粒子が5粒子あるよ！

(5-2) 体験イトカワ！発見リュウグウ！

火星の月からのサンプルリターンに挑む 火星衛星探査計画「MMX」



◆火星衛星探査計画 MMXとは？

火星衛星探査計画 MMX (Martian Moons eXploration) は、火星の周りを回る衛星を探査するミッションです。火星はフォボスとダイモスと呼ばれる2つの衛星を持っており、探査機はこの火星衛星を周回・観測し、サンプルを回収して地球に戻ってくることを想定しています。

現在は2020年代前半の打ち上げを目指して開発を行っています。

その後、火星衛星の周回軌道に入り、さまざまな観測を行うことを検討しています。この期間に複数回火星衛星への着地を行い、ロボットアームによるサンプルの回収を行います。火星衛星の観測とサンプル採取を終えた探査機は地球に戻ってきて、カプセルの中に入っているサンプルを地球に届けます。

◆なぜ火星衛星を探査するの？

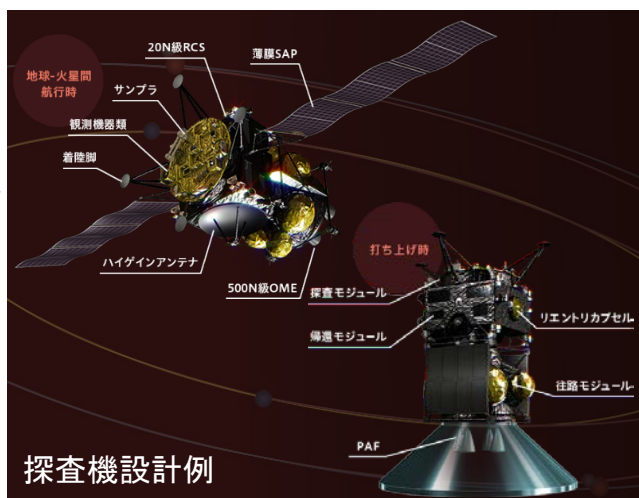
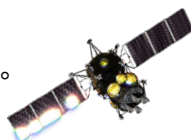
MMXの火星衛星探査は、科学と工学2つの面から次のような目的があります。

科学

火星衛星の起源を明らかにし、太陽系の惑星がどうやってできたのかを明らかにする
火星圏(火星・フォボス・ダイモス)がどのように進化してきたのかを明らかにする

工学

火星圏への往還技術を獲得する
天体表面上での高度なサンプリング技術を獲得する
新探査地上局を使った最適な通信技術を獲得する



探査機設計例

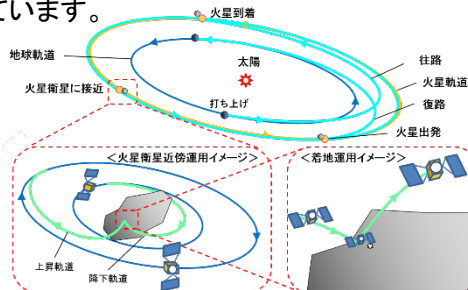


◆関係者から一言

検討を率いている川勝です。惑星科学の面からも、探査工学の面からも野心的な計画で、国際的な注目度も高いミッションです。若手の研究者・技術者が集まり、精力的に検討を進めています。

◆検討中のミッションシナリオ

探査機は、地球から打ち上げ後、約1年をかけて火星圏に到着し、火星周回軌道に投入されることを考えています。



◆もっと詳しく知りたい人のために

公式サイト <http://mmx.isas.jaxa.jp/>

ニュースサイト <http://mmx-news.isas.jaxa.jp/>



Twitterも更新中
Follow me!



-月探査新時代- 小型月着陸機 SLIM

SLIMは「月の探査のための高性能な着陸機」で、英語ではSmart Lander for Investigating Moonとあって、その頭文字からSLIMと名付けられたよ。

世界で初めて月へのピンポイント着陸を目指すんだ。

SLIMには、体型がスリムという意味もあって、小さくて軽ーい着陸機なんだ。

小さいのに機能はたくさん詰まってるんだね。すごい！

月面に狙いを定めて、ピンポイントで着陸するっていう難しいことに挑戦するために、とっても高性能なんだ。

地球からこんなに離れたところでもピッタリ着陸できるんだね。

◆SLIMで月探査は新時代へ

SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) とは、将来の月惑星探査に必要な**ピンポイント着陸技術**を研究し、それを小型探査機で月面に実証するプロジェクトです。

SLIMを実現することで、我々人類は、従来の「降りやすいところに降りる」着陸ではなく、「**降りたいところに降りる**」着陸へ、と質的な転換を果たすことになります。

SLIM級の小型探査機による着陸実証は世界的にもユニークであり、これを実現することで、月よりもリソース制約の厳しい惑星への着陸も現実のものとなってきます。

また、将来、月面から物資を持ち帰るサンプルリターンを実施する場合、月面からSLIM級の大さきのリターン機を打ち上げれば、はやぶさと同程度の大きさのカプセルを地球に送り返すことができるようになります。

SLIMは、JAXA宇宙科学研究所のメンバーを中心としつつ、全国の大学等の研究者が集まり、一体となって検討を進めています。

◆SLIMの目的とは

- 小型の探査機によって、月への高精度着陸技術の実証を目指す。
- 従来より軽量な月惑星探査機システムを実現し、月惑星探査の高頻度化に貢献する。

対象となる天体についての知見が増え、探査すべき内容が今までより具体的になっている今、軽量であること、そしてただ降りるだけでなく、高精度に降りることが太陽系科学探査では必須となります。

◆プロマネから一言

プロジェクトマネージャ：
坂井 真一郎

「降りたいところに降りる」月着陸は、まだ誰も実現していません。SLIMを成功させることで、月探査を巡る国際競争において、一気に世界の最先端に踊り出ることができます！



◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/home/slim/>

月惑星の縦孔・地下空洞探査

～UZUME計画～

◆月の縦孔を知っていますか？

2009年、日本の月探査機SELENE（セレーネ、愛称「かぐや」）の科学者チームは、月に、直径、深さともに、数10mに及ぶ巨大な縦孔を、人類史上初めて発見しました。この縦孔の底には、巨大な地下空洞が広がっていると考えられています。

月の縦孔は、溶岩チューブと呼ばれるような、溶岩の流れた後にできた空洞の上に、開いたものだと考えられています。縦孔や、続く地下の空洞の探査で、月の過去の火山活動や磁場の有無がわかることでしょう。水を含むガス成分や、地下深くで産まれた物質が、地下空洞の壁や床の溶岩の中に捕らえられているかもしれません。縦孔・地下空洞は、科学研究対象の宝庫です。

SELENE（かぐや）が月に発見した（マリウス丘の）縦孔。直径、深さともに数10mに及ぶ。

～1.5km

© JAXA/SELENE

◆月基地に最適な縦孔・地下空洞

月は、地球に最も近い天体であり、将来人類が宇宙へとその活動の場を広げていくとき、まず訪れ、宇宙への適応を学び、そして、更に遠くへと旅立つ拠点になるはずで。ところが、月は、大気や磁場に守られた地球と異なり、多くの隕石や放射線が降り注いでいます。赤道付近では、温度は、 -150°C から 120°C と大きく変化します。

しかし、月の縦孔の底や地下空洞では、隕石や放射線から守られ、また温度もほぼ一定です。空洞の壁や底はガラス質で覆われていて、密閉性が高いと考えられ、シャッターをして空気を送り込めば、人が住むのに適した圧力が保たれた空間を作り出すことができることになります。他にもたくさんの、基地としての利点が挙げられます。人や観測機器に優しい縦孔・地下空洞内の基地で、長期間の科学観測が可能になることでしょう。そして、人類が宇宙へと適応していくための様々な科学データが取得されていくでしょう。

月基地として最適な縦孔・地下空洞

● 天井の存在

放射線・紫外線・隕石衝突、隕石衝突の際の飛散物から機器や人が守られる

● 定常な温度

赤道域で、 -20°C 付近

● 広大な空間

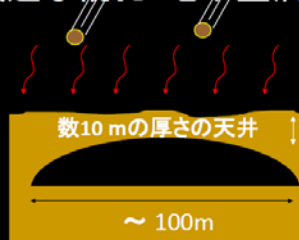
数10mの高さ 100mに及ぶ幅数km以上の長さのところも？

● 平滑で堅固な床面

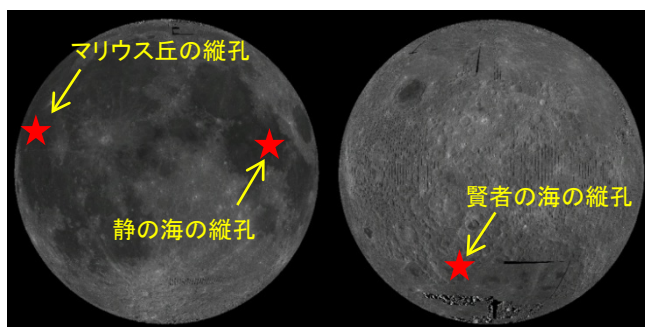
● 高い密閉性

● 塵の無い空間

● 安定な光環境



月惑星の縦孔・地下空洞探査 ～UZUME計画～



セレーネが発見した巨大な縦孔の位置
(左図は月の表側、右図は月の裏側)

◆火星にも縦孔、そこには、、？

火星にも、月のものと似た縦孔が見つかっています。火星の縦孔・地下空洞も、火星での長期にわたる無人・有人の探査、そして人類の将来の活動拠点・基地になることでしょう。

さらに火星の地下空洞内には、生命が生まれ、そして進化を遂げた場所があった可能性が高い、とも思われます。空洞内は、隕石や放射線・紫外線から守られるとともに、過去には、火山性の熱があったでしょうし、水もまた存在していた可能性があるからです。今後、火星の地下空洞の探査が行われれば、生命の発見、さらには、様々な生命が関係し合って存在している「生態系」の発見が、なされるかもしれません。

◆月縦孔・地下空洞探査 UZUME計画

私たちは、月の縦孔、そしてその底に広がる地下空洞を、まずは日本の得意とするロボット技術により探査しようとしています。月の縦孔・地下空洞の探査を私たちは、次のように名付けました。

UZUME/ うずめ /Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration: 古今未曾有(ここんみぞう)の日本の月地下世界探査。「うずめ」は、天(あま)の岩戸(いわと)に隠れた天照大神(あまてらすおおみかみ)を、踊りによって誘い出した女神「あまのうずめ」の名からいただいています。

◆UZUME計画を、是非一緒に！

UZUMEのMは、MoonのMにとどまらず、火星(Mars)や小天体(Minor Body)のMにもなっていくことでしょう。UZUME計画は、科学者だけでも、宇宙工学者だけでもできない、様々な分野の様々な方々と一緒になってやっていく、壮大な計画です。皆様をお願いしたいのは「応援してください」ではありません。「UZUME計画を、是非一緒にやりましょう！」です。



UZUME計画が名を頂いている女神「あまのうずめ」
(計画と一緒に進める 茂渡真理さん 画)

UZUME計画HP: <http://kazusa.net/uzume/>

国際宇宙探査計画

◆世界の国々が協力して探査に挑戦！

宇宙探査は、全人類のためのものであり、また1つの国の力で成し遂げることは難しいことから、世界の国々が協力すべく議論を進めています。JAXAも、世界15の国と地域の宇宙機関が参加している「国際宇宙探査協働グループ」(ISECG)に加わり、人類が宇宙での活動領域を拡大していくことの調整・検討に貢献しています。

ISECG: International Space Exploration Coordination Group

◆国際宇宙探査ロードマップ

ISECGでは、2030年代に有人火星探査ミッションを実現することを目標に、持続可能な探査シナリオの検討を行っています。

現在、地球周回低軌道では、国際宇宙ステーションにおいて、生命維持技術や宇宙医学の分野において様々な実証が行われており、そこで培われた技術を今後の国際宇宙探査ミッションに継承していきます。

当面の目的地は月およびその近傍領域です。月近傍に有人拠点をすることによって、月面探査へのベースキャンプにもなりますし、月⇄地球間の通信中継などの役割を果たせます。この有人拠点は2020年代前半からの組み立てを計画しています。

2020年代後半になると、いよいよ有人月面探査のフェーズになります。アポロよりも大掛かりで本格的な有人探査を検討しています。大きなポイントの一つは有人と圧ローバです。これにより、宇宙飛行士は宇宙服を着ることなく、普通の服で生活しながら数週間・数百kmの移動をすることができます。

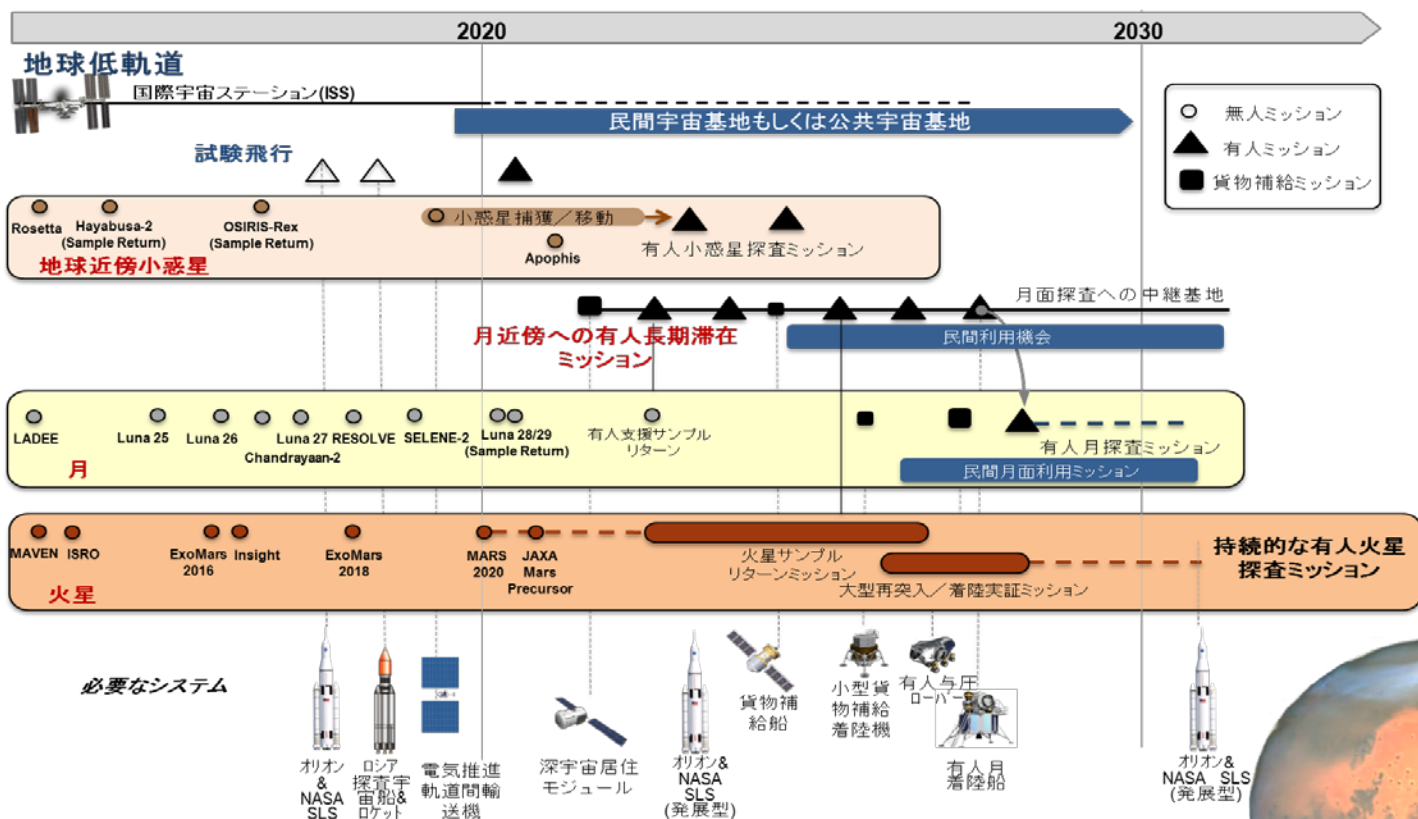


◆有人月探査計画(JAXA案)

JAXAでは、国際宇宙探査ロードマップにもとづく有人による独自の月の探査計画の検討を行っています。

宇宙飛行士が月探査を効率的に行うためには、月面で推薬を生成できるかどうか大きなカギとなります。そのため、まず初めに無人機による水の存在を確認する探査ミッションを行い、水が多く存在する領域(月の極域と考えられています)が分かると、水から推薬(液体水素、液体酸素)を生成するためのプラント(工場)の建設をします。

このプラント(工場)ができると、地球から推薬を運ぶことなく、月面と月近傍の有人拠点との往復や、月面上の飛翔移動を行うことができるようになります。

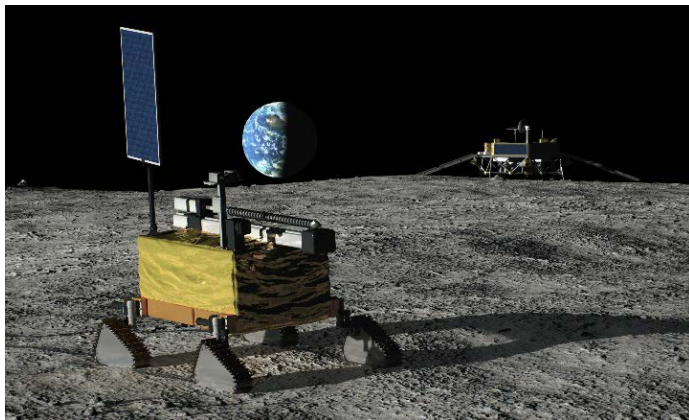


月極域探査計画

◆月の水を調べる

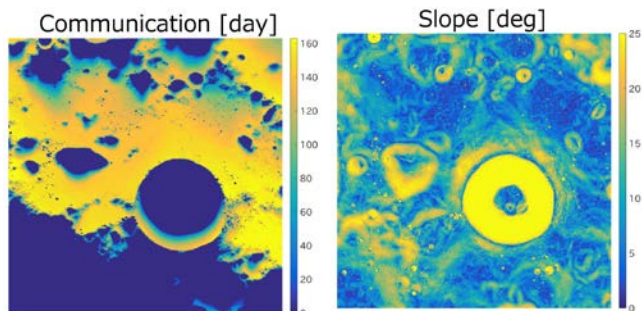
将来、人が月へ行き安全に長期間活動するためには、放射線環境や地盤、利用可能な資源などを事前に調べておく必要があります。中でも、水などの資源がどこにどのくらいあるのか調べておくことは、本格的な月探査を行うにはとても重要です。水は、人間の活動に必要なだけでなく、酸素と水素に電気分解すれば、探査機の燃料として使用できるため、無人探査にとっても有用です。そのため、無人の探査機を月面に着陸させ、利用可能な水の有無を調べることを計画しています。

着陸地点としては、地下に水があると考えられている南極や北極を検討しています。



◆着陸地点はどうやって選定？

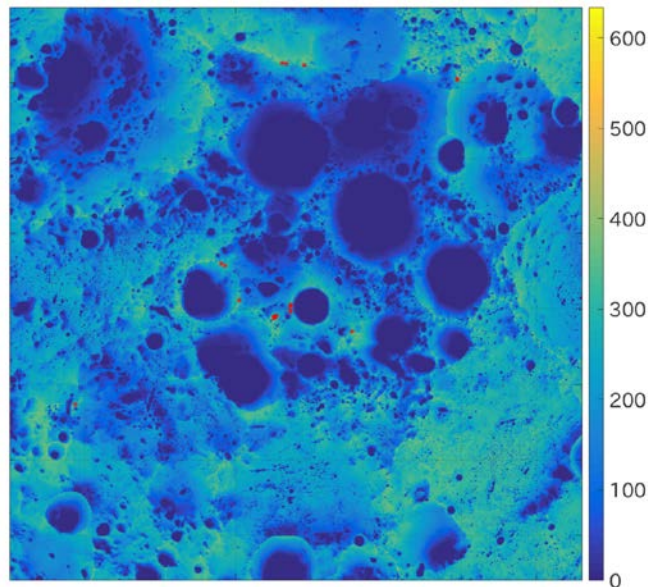
月の水は南極や北極にある永久影と呼ばれる月の当たらないクレータの底面の地下などに存在すると考えられています。一方で、月面で探査機が活動するためには、発電するための太陽の日照、ローバが走行可能な月面の傾斜、さらには地球との通信や温度などの条件を考慮する必要があります。JAXAでは、「かぐや」などの探査機によって得られたデータを解析し、水、日照、地形、通信などの条件が最も整う場所を選定する作業を行っています。



月面から1mの高さにおける地球との通信可能日数

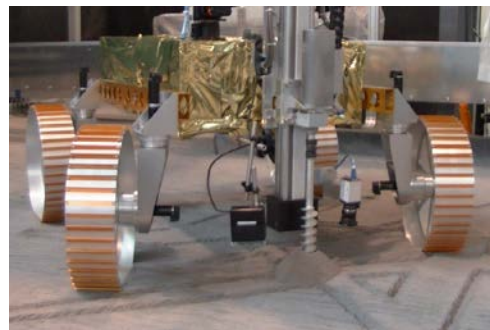
月面の傾斜に関する解析結果

下の図は、月の南極付近の太陽の日照量の解析を行った一例で、赤く示されているところは、2年間のうち、80%以上の日数の間、太陽が照り続けている場所を示しています。逆に濃い青の部分は永久影です。最適な条件が整う着陸地点は非常に限られており、着陸には高度な技術が求められます。



◆新たに開発する技術は？

このような探査を実現するには、狙った場所に高精度に、そして岩などの障害物を避けて着陸しなければなりません。また、月面の細かいレゴリスの上を走る技術や、レゴリスが車軸のすき間に入らないようにしたり、激しい温度環境などから装置を守る技術が必要です。もちろん、水の量や存在場所、存在形態を調べる観測装置や、地中の水を掘り出すための掘削ドリルも開発する必要があります。太陽電池が使えない永久影の領域や低温の月面で観測装置を動かすためには、徹底した断熱技術、省電力化技術、高効率の蓄電池技術が必要です。将来的に、大量の水を採掘するには、日の当たる高台などで発電した電力を、影になった場所に無線で送る技術も必要になるでしょう。



探査ローバに搭載したドリルで地面を掘り水を探します。

はやぶさ発！

宇宙技術のスピノフ&イン

-シニアフェロー室からの技術発信-

◆シニアフェロー室とは？

元はやぶさプロジェクトマネージャの川口シニアフェローはこれまでの実績を踏まえ、JAXA内で創造的ミッション創出を部門横断的な活動を通して推進しています。結果、これまでにない斬新なミッション創出／技術イノベーションを発信しています。シニアフェロー室は特定の本部の立場にとらわれず、シニアフェローの横断的活動のサポートを担い、シニアフェローの活動の具現化に大きく貢献してきています。シニアフェロー室で昨今特に力を入れて**ミッション創出／技術イノベーション発信**を行っているもののいくつかをここに紹介します。キーワードは**“スマート(賢い)”、“安心・安全”、“無駄のない”、“災害に強い”**で宇宙技術でありながら現在私たちが直面している生活上の課題を解決するソリューションにもなりうるものです。「はやぶさ発」技術は惑星探査のためだけではないのです。

◆スマートな電力生活を！



はやぶさで使っていた電力制御技術を応用した、電力のピークカット制御のスピノフ推進事業を、シニアフェロー室で行っています。はやぶさでは、限られた電力を有効利用する装置が搭載されました。それを発展させた、その時点時点での電力消費量を反映して、**動的に電力資源を割り当てる、電力制御装置の新しい方式です。それは、サーバー・クライアント間通信を要しない、高速制御法**です。簡単な

同じ情報をブロードバンドで各クライアントに伝え、その情報をもとに、各クライアントが各々計算し、自分たちの消費電力を抑え全体的な消費電力のピークカットを実現します。特別公開では、この方式を用いたデモンストレーションをお見せします。はやぶさの応用技術を地上での一般生活で使用するまで、もうすぐです！

◆誰にでも使いやすいスラスタ装置

小型衛星のスラスタ装置には「ヒドラジン」といった性能は優れるが猛毒であったり、あるいは数百気圧といった高圧ガスでの貯蔵が必要な燃料が使用されています。



誰にでも使いやすい「無毒」で「安全」に保管・運用できる廉価な小型衛星スラスタ装置の技術開発を進めています。特に**無毒／常温液体保管**が良好なものとして代替フロンを使用した方式の実用化に向けて世界をリードしています。

本スラスタ装置の特徴は従来の高圧ガス押し方式あるいは高価なターボポンプ方式とは一線を画した低コストな新方式を**「超臨界」を切り口**として実現するものです。これは火力発電所のボイラー等に使用されている超臨界技術を宇宙転用し液体燃料を超臨界／ガス化させてスラスタ噴射体を生成させるものです。軌道上実証を経て、近く実用化を図る予定です。ニーズが高まる大規模小型衛星編成に有望です。

◆災害を生き延びる ーサバイバルツール

これまでにロケットや惑星探査機のエンジン系の酸化剤として亜酸化窒素(笑気ガス)が無毒で常温貯蔵液体ということで有効性を実証中ですが、この亜酸化窒素は触媒により容易に高温窒素ガスと高温酸素ガスに分解されます。この高温ガスを発電装置(例えばガスタービン等)に供給し、発電を行い、その排気ガスを冷却して生命維持用の酸素源にすることが可能となります。これは将来の惑星探査等の軽量・小型有人活動(船外活動)装置として大いに期待されます。同時に地上災害時の緊急発電及び呼気(酸素発生)装置としても即応性をもった携帯装置として使用できるものです。**どこでも誰でも使える安価で安全な、電力供給と呼気供給を行える、「サバイバルツール」(生命維持装置)**です。



©NASA

◆川口シニアフェローから一言



「シニアフェロー」の川口淳一郎です。宇宙開発のキーワードは、インスピレーションです。外国でも行なっていることで、価格競争で勝ち抜いたとしても、それでは下請け国家に転落するばかりです。**新たな着想で、変革もたらし、斬新な展開をはからなければ、将来はありません。インスピレーションでイノベーションを、こそが目指すところです。**「はやぶさ」、「イカロス」が示し、そして受け継いだ「はやぶさ2」が語ろうとしていることは、既存の継続ではなく、未だ姿を見せない、新たな何かを探すことです。シニアフェロー室が取組んでいることは、まだまだ小さい事例でしかありませんが、我々が宇宙開発から得たヒントを応用させて行こうという試みです。お立ち寄りいただき、ご意見いただければと思います。お待ちしております。

ワーク・ライフ変革推進室

トークイベント「理工系職員が語る私の仕事と生活」

◆ ワーク・ライフ変革推進室って？

ワーク・ライフ変革推進室は平成28年4月にJAXAに設置されました。様々な人が能力を発揮し、高い目標に挑戦し、成果を創出する組織へ変革することで、職員1人1人の労働生産性の向上を目指しています。

男女がともに尊重し合い、それぞれの職員が能力を十分に発揮できる環境をつくり、宇宙航空分野の活力を一層高めることを目指しています。

◆ どんな取り組みをしているの？

JAXAでは平成25年10月から平成28年3月まで「男女共同参画推進室」を設置して、女性研究者の活躍に取り組んできました。ワーク・ライフ変革推進室は、男女共同参画推進室の取組を継承して女性の活躍推進に取り組むとともに、全ての職員のワーク・ライフ・バランス(仕事と生活の調和)の実現に向けて、働きやすい職場環境を整えることを目指して主に以下の取組を推進しています。

【女性活躍推進に関すること】

- ・職員向けの意識改革セミナーや、子育てや介護等と仕事の両立支援のための交流会やセミナーの開催
- ・キャリア形成のためのメンター制度の導入
- ・JAXA女性研究者(ロールモデル)の紹介 等

【職員の働き方変革に関すること】

- ・IT・オフィス環境の整備による時間と場所に縛られない働き方変革の検討
- ・会議や業務の合理化による働き方の改善と残業の削減 等

◆ 室長から一言

ワーク・ライフ変革推進室 室長・向井 浩子

特別公開に来て下さったみなさま

JAXAのプロジェクトの成果や失敗は大きくテレビや新聞に取り上げられますが、個々の職員がどんな研究をしているかはイメージしにくいのではないのでしょうか。トークイベントでは、研究内容を直接聞いていただくとともに、職場の雰囲気も理解いただくために「イクボス」の座談会も企画しました。

特に学生のみなさん、そして保護者の方、JAXAは完璧な職場ではありません。まだまだ変革しなければいけないところが沢山あります。しかし、10年前より、5年前より、確実に良くなっています。

生き生きとした先輩の姿を見て、理工系であれ文系であれ、なりたい自分の姿が浮かんで来れば幸いです。



◆ 女性活躍推進法とJAXAの取り組み

平成27年8月に「女性の職業生活における活躍の推進に関する法律(女性活躍推進法)」が制定されました。

女性が個性と能力を十分に発揮し、活躍するためにJAXAでは以下の行動計画を立てて取り組んでいます。

女性活躍推進法に基づく一般事業主行動計画

(平成28年4月1日～平成30年3月31日)

【目標】

- ・管理職に占める女性割合を11%以上にする。
- ・役員等意思決定のできる役職に女性の登用を1名以上行う。
- ・教授への女性の採用を1名以上行う。
- ・平均残業時間を3割削減する。

【取組内容】

- ・女性自身が安心してキャリア形成でき、管理職として活躍できる支援体制の構築
- ・総労働時間削減を実現するための制度と環境の整備
- ・ワーク・ライフ・バランスに向けた意識改革

次世代育成推進法に基づく一般事業主行動計画

(平成29年5月1日～平成31年4月30日)

【目標】

- ・計画期間内に、年度に発給された年次有給休暇と夏季特別休暇の合計日数の60%以上、及び職員の配偶者の出産に関する3日以上の特例休暇を80%以上取得できるよう休暇取得を促進する。
- ・育児支援制度の柔軟な運用など育児環境の一層の改善を図る。
- ・ワーク・ライフ・バランスについて職員の理解を深め、それを支援する諸制度周知徹底と利用促進を図る。

JAXAの女性の活躍の状況(平成28年2月時点)

- ◆管理職に占める女性労働者の割合: 7.2%
- ◆採用した労働者に占める女性労働者の割合: 22.0%
- ◆男女の平均継続勤務年数の差異: 74.9%

◆ 次世代キャリア支援

JAXAワーク・ライフ変革推進室では次世代キャリア支援として、中高生・大学生・大学院生を対象に、交流イベントなどを通して、女子学生のキャリアへのチャレンジを支援しています。

また、内閣府男女共同参画局の「理工チャレンジ」(通称リコチャレ)に参加し、女子学生の理工系分野の選択を応援しています。



- ◆もっと詳しく知りたい人のために
ワーク・ライフ変革推進室ホームページ
<http://stage.tksc.jaxa.jp/geoffice/index.html>

トークイベント

「理工系職員が語る私の仕事と生活」

～ 理工系職員が自身の仕事・生活・キャリアについて語ります。
進路選択・職業選択の参考にどうぞ ～

日時: 8/25 (金) ①12:15-13:00 / ②13:15-13:45

8/26 (土) ③12:05-12:35 / ④12:45-13:15 / ⑤13:25-13:55

場所: 研究管理棟1階 1134会議室



JAXAワーク・ライフ変革推進室は内閣府男女共同参画局の「理工チャレンジ」に参加し、女子学生の理工系分野の選択を応援しています。

8/25 (金) 登壇者紹介

(各回冒頭)

ワーク・ライフ変革推進室活動紹介 ワーク・ライフ変革推進室室長 向井 浩子 (むかい ひろこ)

① 12:15-13:00 「イクボス」座談会



向井 浩子 (むかい ひろこ) 評価・監査部部长 / ワーク・ライフ変革推進室室長

1987年宇宙開発事業団入社。ロケットや人工衛星の発注契約、財務諸表の作成等に携わる。現在は、評価・監査部長としてJAXAの独法評価や内部監査業務と共に、働き方変革と女性活躍を推進。



前島 弘則 (まえじま ひろのり) ISAS宇宙科学プログラムディレクター付

修士課程修了後、1991年NASDA就職。地球観測センター、環境観測技術衛星、省庁出向等を経て、月周回衛星、BepiColomboなどのISAS衛星／探査機のプロジェクトマネジメントを行う。



竹島 敏明 (たけしま としあき) ISAS科学衛星運用・データ利用ユニット ユニット長

理化学研究所、NASAゴダード宇宙飛行センターでのポスドク生活の後、2000年よりNASDA/JAXAでの地球観測衛星 地上システム開発に従事。2015年より宇宙科学研究所勤務。片道2時間半強の長距離通勤のなか、多数の育児中の部下を抱え、部署のワークライフバランスに苦慮する日々。



坂井 真一郎 (さかい しんいちろう) ISAS宇宙機応用工学研究系准教授

2001年より宇宙科学研究所勤務。制御工学を背景として宇宙機の姿勢制御・航法誘導制御に関する研究を行い、科学衛星姿勢制御系の開発に従事。2016年より SLIMプロジェクトマネージャを務めている。7歳の息子と5歳の娘あり、共働き。

【司会】



橋本 樹明 (はしもと たつあき) ISAS宇宙機応用工学研究系教授 / ワーク・ライフ変革推進室協力員

1990年より宇宙科学研究所勤務。現在、超小型月探査機プロジェクトのチーム長を務める。19歳の息子と9歳の娘の父。

② 13:15-13:45 吉野 良子 (よしの りょうこ)



科学衛星運用・データ利用ユニット

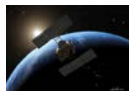
ISASでの大学院生活を経て、2010年JAXAに就職。入社後は地球観測衛星を担当。現在は宇宙科学データのアーカイブに携わる。

8/26 (土) 登壇者紹介

(各回冒頭)

ワーク・ライフ変革推進室活動紹介 ワーク・ライフ変革推進室副室長 青田 知恵 (あおた ちえ)

③ 12:05-12:35 尾川 順子 (おがわ なおこ)



宇宙科学プログラム室 / はやぶさ2プロジェクトチーム、宇宙探査イノベーションハブ併任

博士課程、ポスドクを経て2013年JAXA就職。宇宙科学プロジェクト支援や宇宙探査機「はやぶさ2」等の開発・運用に携わる。

④ 12:45-13:15 長谷川 晃子 (はせがわ あきこ)



科学衛星運用・データ利用ユニット

2007年JAXA就職。各科学衛星の運用調整を支え続けて数年。現在は、科学衛星運用ネットワーク、伝送にも携わる。

⑤ 13:25-13:55 大竹 真紀子 (おおたけ まきこ)



ISAS太陽系科学研究系助教

月周回衛星「かぐや」観測機器開発を経て、現在、月科学研究、将来の月惑星探査に向けた検討、「かぐや」データ校正処理、「はやぶさ2」機器開発に携わる。

いまJAXAが取り組む たいようけいたんさ さいぜんせん 太陽系探査の最前線

◆ JAXAが進める太陽系探査

私たち太陽系科学研究系では人工衛星やロケットを用いて、太陽、惑星、そして惑星間空間をターゲットとした研究を行っています。

地球を含め太陽系の惑星は太陽が吹き出す高速ガス（太陽風）に強く影響されます。そこで私たちは太陽観測衛星「ひので」やジオスペース探査衛星「あらせ」、惑星分光観測衛星「ひさき」、水星磁気圏探査機MMOなどを用いて、太陽と様々な惑星環境の関係を研究しています。

地球と大きく異なる惑星環境も興味の対象です。金星探査機「あかつき」は金星の分厚い大気に吹き荒れる暴風の謎に挑み、惑星版気象衛星として活躍中です。

また、私たち生命がどのようにして地球に生まれたのかという人類共通の大問題にも取り組んでいます。地球に生命をもたらしたのは水の存在だと考えられていますが、一方で地球の誕生時には水は蒸発してしまっていたはずで、ではどのように地球に水が運ばれたのか？私たちはこの問題の探求のため、小惑星探査機「はやぶさ2」や火星衛星探査計画MMX、木星氷衛星探査計画JUICEなど

鍵となるいくつかの小天体の探査を運用・検討しています。地球の最も身近な存在である月の起源についても、月周回衛星「かぐや」の多くの観測成果が役立てられています。太陽系がどのように出来て今の形になったのか？この問題に取り組むのが太陽系探査の最前線といえるでしょう。

水星探査計画「ベピコロンボ」や木星氷衛星探査計画JUICEなどは、国際協力のもとで進められる大型計画です。私たちの得意な技術を活かしながら世界の研究者らと連携し、人類共通の大問題を探求すべく研究を進めています。

◆ 探査の最前線丸わかり！太陽系科学ミニ講演

様々な探査プロジェクトの中心となる研究者が、それぞれの探査の最新状況や研究成果について紹介します。1講演につき20分でわかりやすく説明します。

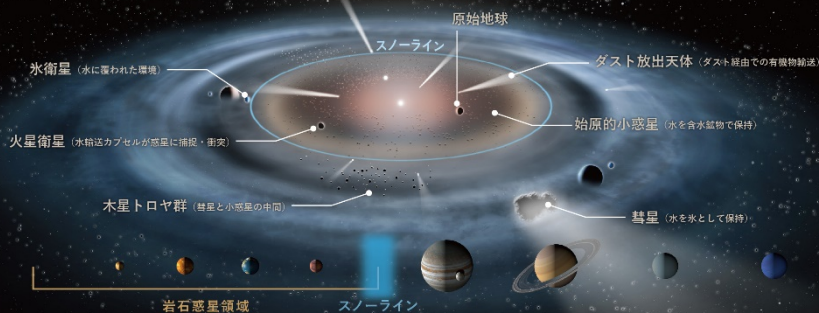
◆ もっと詳しく知りたい人のために

太陽系科学研究系のホームページURL

<http://sprg.isas.jaxa.jp/main.html>

ISASの小天体探査戦略

スノーラインの外で生まれた小天体。最初は凍った泥団子であり、その後、多様な姿に進化する。これらの天体が運ぶ水、有機物等の揮発性物質が、地球型惑星を生命居住可能にするために必須であった。しかし、いつ、どの天体が、どのように水を原始地球に持ち込んだのか？



一連のミッションで、これらの問題を探求する

太陽系探査の仲間たち



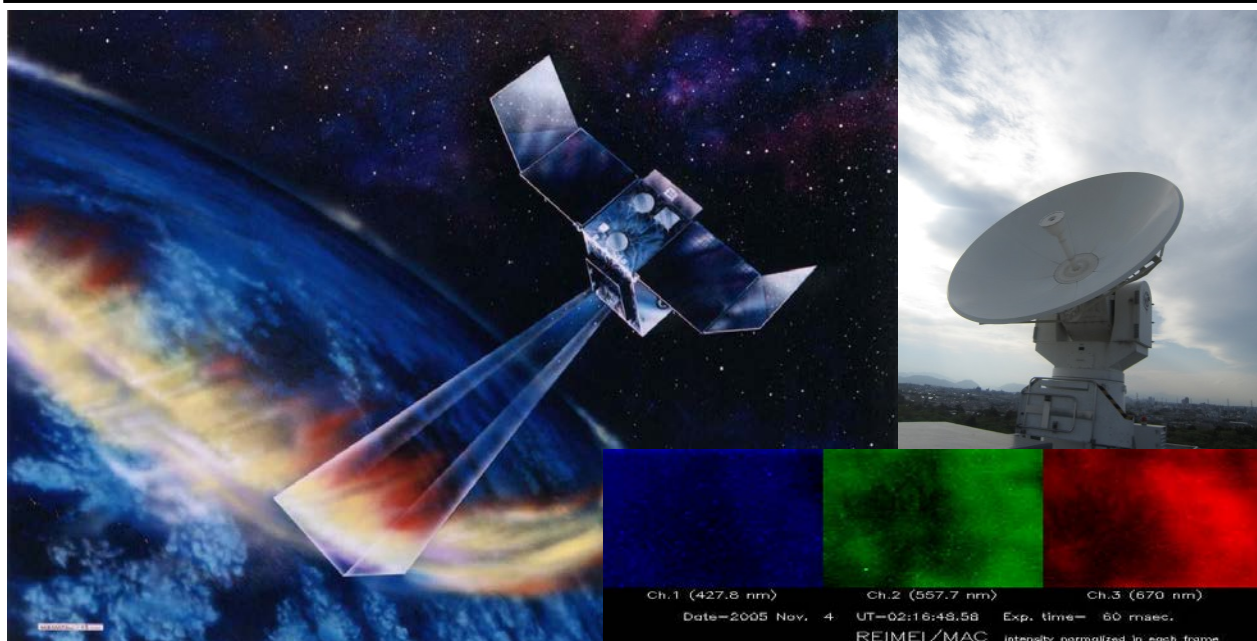
◆ 研究主幹から一言



太陽系科学研究系 研究主幹の藤本 正樹（ふじもと まさき）です。太陽系探査は最近の冥王星探査をもって一巡した結果、新しい段階に入っています。そこでは「〇〇という惑星を知りたい」という問題意識から、「〇〇という惑星を調べることで、太陽系の成り立ちに関する何がわかるのか」というスタンス、「その惑星を透かして太陽系を観る」という態度への変化があります。小惑星探査をいくつもシリーズ的に実行・計画するのは、それぞれの小惑星そのものを詳しく知りたいということに留まらず、そこから、「太陽系がどのようにして出来たことで地球が生命居住可能となったか」という大問題の解決へと向かうためです。この意識変化の別の背景としては、系外惑星の発見があります。太陽系内の惑星同士を比べるだけでなく、太陽系と他の惑星系を比べて考える時代に突入したのだと言えるでしょう。

小型科学衛星「れいめい」

ちいさな巨人



「れいめい」によるオーロラ観測のイメージと観測データの一例、運用局アンテナ

「れいめい」は、オーロラ観測と新規衛星技術の軌道上実証を主目的とする、小型科学観測衛星です。2005 (H17) 年8月24日に打ち上げられました。日本を代表する小型高機能な衛星として2010 (H22) 年には日本航空宇宙学会技術賞を授与されました。2017 (H29) 年8月24日で打ち上げ12周年を迎えます。

衛星は一般に大型・複雑化の傾向にあり、開発期間は長期化、開発費も高騰します。これに対し「れいめい」は、短期間・低コストでの開発を目指しました。新規技術の導入・軌道上実証、本格的な理学ミッションの遂行を高い次元で両立することを目指しました。若手技術者・科学者の育成にも力を入れました。

日々の運用は、宇宙科学研究所が所有する運用局設備およびアンテナを使って行います。衛星自動運用や遠隔運用の実用化に向けた実験や、バッテリーの負荷試験も行っています。

◆もっと詳しく知りたい人のために
<http://www.index.isas.jaxa.jp/>



「れいめい」の プロマネに聞く

- Q1.** お名前をおしえてください。
A1. 齋藤宏文です。
- Q2.** どんなお仕事をされていますか？
A2. 2005年までは「れいめい」を開発してきました。現在は、小型衛星で、大型衛星に匹敵する性能でレーダ地球観測を行う機器を開発しています。
- Q3.** 何をしている時が一番楽しいですか？
A3. 夕食とワインを愛妻と共にしている時。庭の苔の世話をしている時。
- Q4.** 「れいめい」の魅力を一言で言うとか？
A4. メーカーに作ってもらうのではなく、自分たちで衛星を作ったという実感があるところ。
- Q5.** 皆さんへのメッセージを！
A5. 人のためになる仕事を楽しくできるように、自分の能力を高めてください。

惑星分光観測衛星「ひさき」は惑星観測に没頭中 「きょくたん」の惑星の世界

◆この計画のねらいは？

惑星分光観測衛星「ひさき」は地球の上空約1000kmの宇宙空間から、金星・火星・木星など太陽系内の惑星から発する特殊な光（極端紫外光）を観測します。極端紫外光は私たちの目には見えませんが、実は多くの情報を持っています。

金星や火星を見ると、惑星から逃げ出している大気が光って見えます。地球と同じく固い地面をもつこれらの惑星ですが、大気の様子は大きく異なります。また、地球の生命の源となった海も、今の火星や金星にはありません。なぜこのような違いが生み出されたのでしょうか。その謎を解く鍵が、大気が逃げ出す量なのです。つまり、今、惑星から逃げ出している大気の量から、数10億年分さかのぼって、惑星大気の歴史が想像できるのです。

木星では、木星をドーナツ状のリング（トーラス構造）で取り囲んだプラズマが光って見えます。このリングの源はイオとよばれる木星の衛星です（木星には60個以上の衛星があります！）。イオには火山がたくさんあり、大量の火山ガス（硫黄酸化物）を噴出しています。その勢いは凄まじく、イオの重力を振り切って宇宙空間にまで達します。さらにこれらの物質はプラズマとよばれるイオンと電子の共存状態になり、木星の周りをイオの公転軌道に沿って回り続けます。こうしてできた木星周辺のリングは、イオプラズマトーラスと呼ばれており、周囲の電子と衝突して極端紫外光を発しています。ひさきは、木星の周りで激しく動くこれらのプラズマの状態を可視化し、電子エネルギーの量や空間分を導出するのです。

◆主な観測装置は？

【極端紫外分光器】

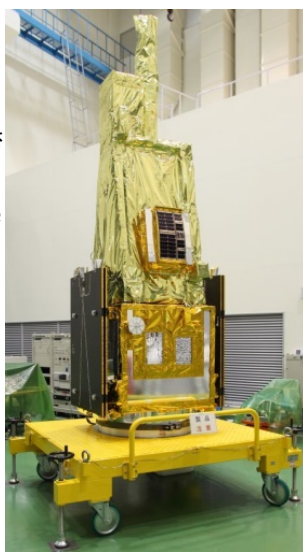
金星や火星、木星が発している極端紫外光（波長50～150nm※の光）を直径20cmの鏡で集め、さらに回折格子で分光します。木星の約20倍の領域を一度に観測できる広い視野を持っています。

※1nmは1mmの100万分の1の長さです。

【次世代電源系要素技術実証システム】

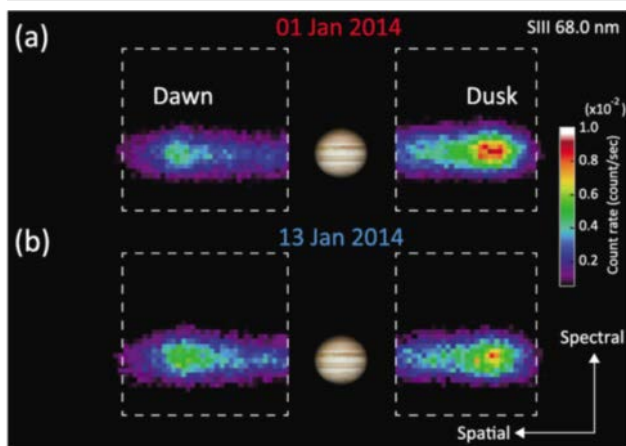
次世代の高性能小型衛星用電源の実現に向けて、キー技術の実証を目指したオプション実験です。以下の2つの先端技術を実際の宇宙環境で実験し、その有効性を実証します。

- (1)「高効率薄膜太陽電池セル」実証実験
- (2)「リチウムイオン・キャパシタ(LIC)」実証実験



写真：打ち上げ前のひさき
(2013年6月撮影)

◆木星にも太陽風の力が...



図。「ひさき」が観測した木星イオプラズマトーラス [Murakami et al., GRL, 2016]。ドーナツ状を横から見るので、横長に見える。

木星は太陽系で一番強い磁石を持った惑星です。なんと、地球の磁石の2万倍！太陽からの距離は、地球の約5倍です。このとき、木星の磁石が届く範囲は、地球の磁石が届く範囲の100倍になります。これはなんと太陽の大きさの10倍なんです！！

となると、木星の近くでは太陽からの影響力は限りなく小さいに違いない、と多くの科学者が考えていました。ところが、「ひさき」の観測は、そうではないことを示しています。上の図に示したように、左右の明るさが対称ではなく、日によって異なることが判明しました。実はこれ、太陽風（太陽から流れ出るプラズマ）の強さに反応して明るさが変化することを突き止めたのです。

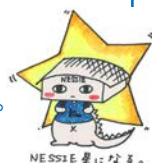
太陽の影響力は強大で、太陽系で一番強い木星の磁石も吹き飛ばしていることが観測されました。多くの科学者がびっくりした事実です。もちろん関係者一同もびっくりした結果でした！！

◆関係者から一言

「ひさき」の公式非公認キャラクター“きょくたん”です！！設計寿命を超えて長生きしています。

宇宙には色々な光が飛び交っているんだけど、その中でも惑星の観測に一番便利なのが、極端紫外（きょくたんしがいい）という光なんだ。だから、僕の名前は“きょくたん”なんだよ！

次世代電源系要素技術実証システムの“ネッシー”（NESSIE）ちゃんとなかよしだよ。“きょくたん”キャップをかぶりに来てね。



◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/home/sprint-a/>

(5-13)「きょくたん」の見た惑星の世界

太陽活動の謎に迫る 太陽観測衛星 ひので

◆太陽観測衛星「ひので」とは？

「ひので」(Solar-B)は2006年9月23日にM-Vロケット7号機で打ち上げられた日本で3番目の太陽観測衛星です。「ひので」には口径50cmの可視光望遠鏡(SOT)、X線望遠鏡(XRT)、極紫外線撮像分光装置(EIS)の3つの望遠鏡が搭載されています。打ち上げから10年以上が経過しましたが、まだまだ元気に観測し続けます。

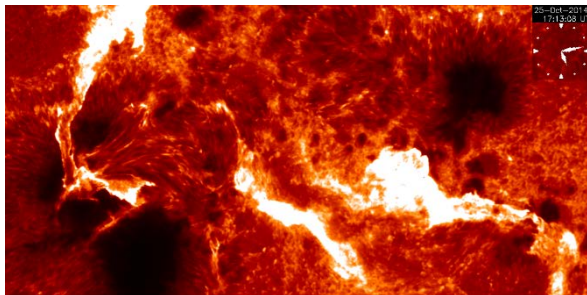
「ひので」の目的は、太陽上空のコロナという大気層が熱い原因を突き止めることです。太陽表面は約6000℃ですが、太陽コロナはその200倍の100万℃以上もあります。熱源である太陽中心よりも、外側のコロナの方が温かいなんておかしいですよね？でも、そのおかしいことが普通に起きているのが太陽なのです。鍵となるのは磁場の存在です。「ひので」は太陽面の磁場を精密に測定し、同時にその上空のコロナの様子を観測することで、どのようにして磁場の持つエネルギーがコロナへと運ばれ、加熱しているかを調べます。

他にも、フレアというコロナで起きる爆発をはじめ、いろいろな活動現象を高い解像度で観測し、どうしてそういう現象が起こるのか解明に取り組んでいます。

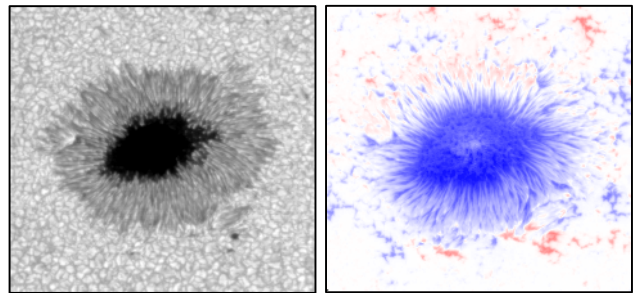
◆宇宙で観測するメリット

「ひので」の最大の特徴は可視光望遠鏡を搭載していることです。可視光というのは人間の目に見える光のことです。X線や極紫外線とは違い、太陽から来る可視光線は地上からでも観測できます。それならわざわざ望遠鏡を宇宙に運んで観測する必要はないのでは？と思うかもしれません。

太陽活動の謎に迫るには、時々刻々変化する太陽面の小さな磁場を正確に調べる必要があります。1枚の磁場の図を得るためには、数分から数時間に渡って、ぶれや歪みのない観測をしなければなりません。しかし、地球には大気がありますので、どうしても像が揺らいでしまい、安定した画像を取得できないのです。そのため、口径の大きな望遠鏡を作り、宇宙に運びました。それが「ひので」なのです。地球大気の外で撮る太陽の画像はとても鮮明で、磁場の測定以外にも様々な研究成果をもたらしています。



2014年10月25日に起きたXクラスフレア
(可視光望遠鏡で撮影)



2013年3月15日、黒点とその磁場(赤=N極 青=S極)
(可視光望遠鏡で撮影)



◆関係者から一言

みなさんこんにちは。「ひので」プロジェクトマネージャの清水敏文です。みなさんが普段目にする太陽は、実は不思議なことがいっぱいあります。フレアという大爆発が太陽で起きると、その影響は地球にまで押し寄せ、人工衛星を故障させることもあります。また、太陽にはおよそ11年の活動周期があり、活動が活発になるとフレアもたくさん起こります。けれども、どうしてこんな爆発が起きるのでしょうか？なぜ活動に周期があるのでしょうか？不思議ですね～。「ひので」衛星は身近な太陽のこんな不思議にも挑戦しています。「ひので」にご期待ください！

◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/current/hinode.html>
<http://hinode.nao.ac.jp/>

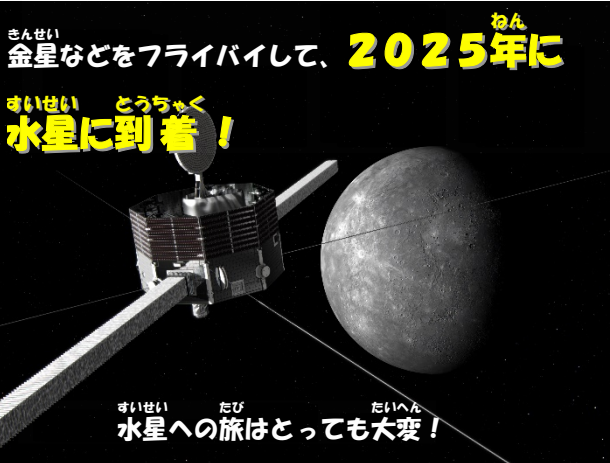
(5-14)「ひので」が見た太陽

すいせい
いざ水星へ！

たん さ き たび MMO探査機のぶらり旅

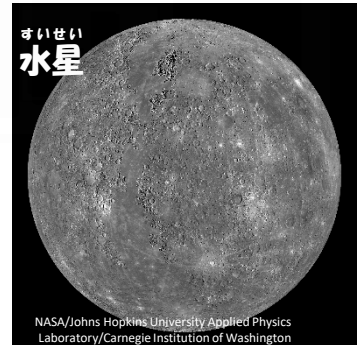
◆すいせい たび 水星への旅にでかけよう！

2018年^{ねん}の^あち^{よてい}上げ^{すいせいたんさ}予定の水星探査ミッション
「BepiColombo（ベピコロンボ）」。



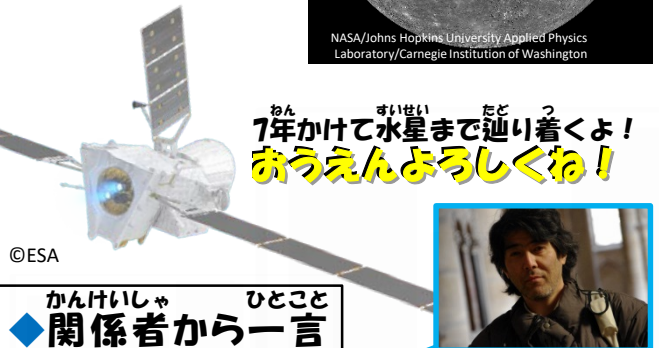
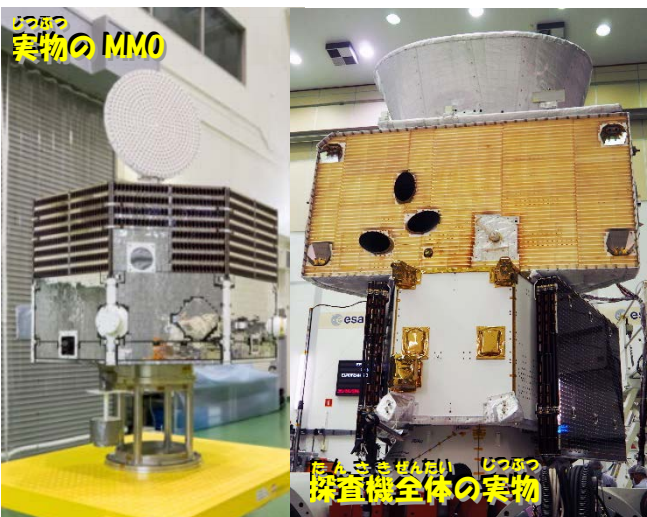
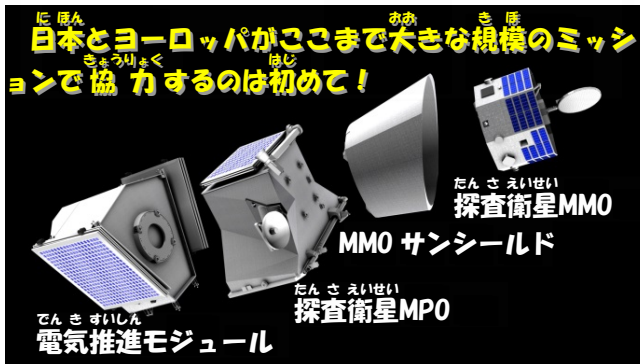
◆すいせい 水星ってどんなところ？

なんと水星の見た目は^{つき}月にそっくり！？
でも月とは異なる独特の環境も持っていて、水星を調べることで惑星の起源や進化がわかるかもしれないんだ！また、水星は太陽が当たっている昼側は摂氏約400度、当たっていない夜側は約-200度と、ものすごく暑くも冷たくもなる惑星なんだよ。



◆すいせい ベピコロンボ計画って？

ベピコロンボは、日本が担当する水星磁気圏探査機（MMO）と、ヨーロッパが担当する表面探査機（MP0）という2機の衛星が水星を周回する計画なんだ。



◆かんけいしゃ ひとこと 関係者から一言

水星探査計画(BepiColombo計画)プロジェクトマネージャの早川基です。
水星は距離は近いのですが、水星の周りを回す軌道に衛星を入れようと思うと必要なエネルギーは海王星(太陽系で一番外側の惑星)の周回軌道に衛星を入れるよりも多く要するという、「近くて遠い」惑星です。
行ったら行ったで太陽に近い為、生き残るための熱対策に頭を悩ますという、行くのも大変、行ってからも大変という「大変」だらけな惑星ですが、不思議なことがたくさんある大変「面白い」惑星でもあります。この惑星を出来る限り調べつくそうという計画(BepiColombo計画)で日本が作る探査機(MMO)はすでに完成し、ヨーロッパでの全体試験を行っています。水星での観測が始まるのは未だ大分先となりますが、楽しみに待っていて頂けると幸いです。

◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/future/mmo.html>

はつこうかい あらし なか み うちゅう 初公開！嵐の中のあらせが見た宇宙

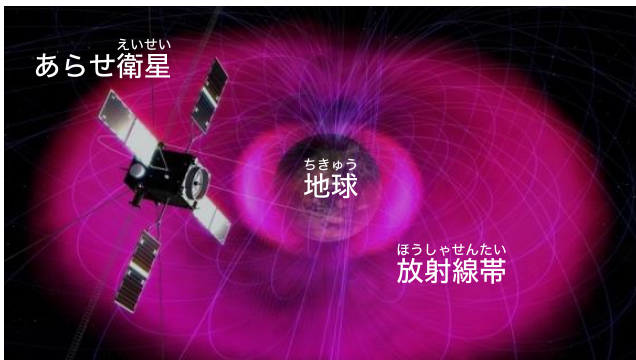
◆ あらせ衛星打ち上げ大成功！



写真提供：北村成寿

2016年12月20日の午後8時、ERG衛星は鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケット2号機で打ち上げられました。この日の日中の曇り空も、打ち上げ時刻にはすっきり晴れ、打ち上げは大成功。今日も元気に、地球の周りの宇宙を調べています。この科学衛星には「あらせ」という愛称が付けられました。

◆ 放射線帯ってなに？



放射線帯は、地球近くの宇宙で周りよりエネルギーの高い粒子が集まっている場所です。これは、地球の周りをぐるりと取り巻いており、この高いエネルギーの粒子は人工衛星に異常をもたらすことがあります。しかし、放射線帯の高いエネルギーの粒子がどうして生まれるのかよくわかっていません。

◆ 宇宙嵐の謎に挑む！

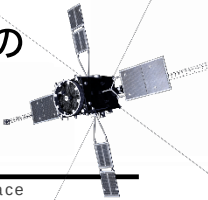
太陽の活動によって地球の近くの宇宙に嵐がもたらされると（宇宙嵐）、放射線帯の高エネルギー粒子の数が増えます。なぜこの変化が起こるのかは、いまでも大きな謎です。あらせ衛星はこの謎に迫るため、宇宙の粒子を測る6つの粒子観測器を搭載しています。また、宇宙の波を測る波動観測器を搭載し、波と粒子の相互作用をS-WPIAで計測します。あらせ衛星は、強い放射線の中をかけぬけ、放射線帯と宇宙嵐の謎を解きあかします。



ERG Project の

関係者から一言

Exploration of energization and Radiation in Geospace



ジオスペース探査衛星（ERG衛星）プロジェクトのプロジェクト・マネージャの篠原 育です。ERG衛星は2016年12月20日午後8時0分0秒（日本時間）に打ち上げられ、「あらせ」という名前がつけました。多くの方々への応援のおかげで衛星は無事に予定通りの観測をはじめることができ、とても元気に素晴らしい観測データを届けてくれています。あらせ衛星は「地球の周りの放射線帯（ヴァン・アレン帯）は、なぜ、どのようにできるのか？」という1958年の発見以来の謎に挑んでいます。放射線帯は目には見えないので、イメージがわきにくいですが、地球のすぐそばの宇宙空間で起きている不思議な現象を通して、私たちの地球と太陽の繋がりを感じたり、「宇宙空間」という世界の面白さに興味を持っていただけたら、私たちプロジェクトにとってうれしい限りです。

◇ もっと詳しく知りたい人のために
http://www.jaxa.jp/projects/sat/erg/index_j.html

アストロバイオロジー研究

◆ 日本初のアストロバイオロジー 宇宙実験、地球帰還試料を分析中

生物学(バイオロジー)を、物理・化学・地学と同様、宇宙(アストロ)のどこでも通用する普遍的な知識体系へ飛躍させることを目指す、**新しい宇宙の見方「アストロバイオロジー」**。その科学目標を立てて選ばれた、日本初の宇宙実験が「たんぽぽ」です。

その目的は、**風に舞うたんぽぽの種子のように、生命そのものやその原材料が、地球と他天体を往来しているという仮説を確かめること**です。2015年から国際宇宙ステーションきぼう曝露部にて、**毎年試料を交換し、地球へ持ち帰った試料をISASはじめ全国26もの大学・研究所等がチームを組んで、分析を行います**。最長4年の運用予定で、現在も鋭意進行中です(図1)。

簡易曝露実験装置(ExHAM)に設置されたたんぽぽ実験は、密閉された地球微生物・人工有機物の「曝露パネル」と、水の1%足らずの極密度固体「シリカエアロゲル」によって超高速でぶつかる微粒子をとらえる「捕集パネル」からなります(図2)。

曝露パネルでは、**地球起源の微生物が、例えば火星へ繁殖可能な状態で到達できるかを調べるため**、微生物を1-3年の間、宇宙環境へさらし、生き残る割合の時間変化を世界で初めて解析しています。2016年に帰還した試料の解析から、**宇宙環境を1年経験しても、特定の微生物の集合体はある大きさ以上になると生存率が高まる**ことが確認されました。

初年度の「捕集パネル」では、**0.1 mm以上の超高速衝突痕を130個以上同定し、炭素を含む宇宙塵の衝突も確認**されました(図3)。また20年ぶりに宇宙機による直接計測から、**地球低軌道上の固体微粒子のサイズ分布データを更新**することができました。



図2: (左上)国際宇宙ステーション(©NASA)。(左下)「たんぽぽ」ミッションデッキときぼう曝露部(©JAXA)。(右)たんぽぽ試料を搭載したExHAM装置を設置したきぼうを表紙に飾った学術誌「アストロバイオロジー」(©Mary Ann Liebert Inc. Publishers)。

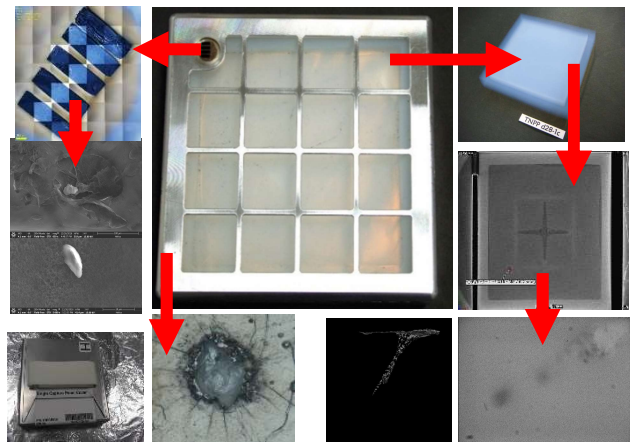


図3: 地球帰還した「たんぽぽ」捕集パネルの初期分析結果の概要。右は0.01g/ccエアロゲル上の超高速衝突トラックの光学画像とX線CT画像。下はアルミニウム製蓋上の衝突クレーター。左はカーボンナノチューブ汚染管理プレート上の低速捕集粒子。左下は保護カバー(©たんぽぽプロジェクト)。

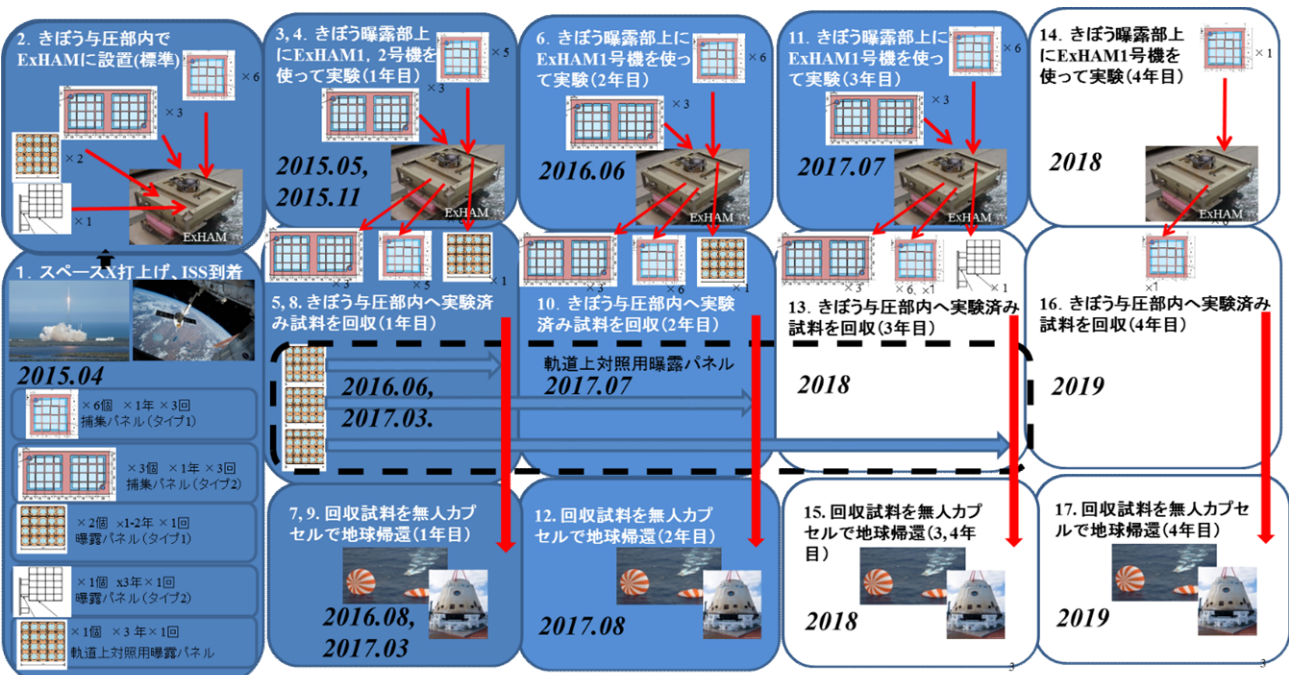


図1: 「たんぽぽ」プロジェクトの軌道上運用手順。青い背景箇所は実績。2019年に最終試料が地球帰還する予定。(©たんぽぽプロジェクト)

アストロバイオロジー研究

◆帰還試料を分析する「無人無塵室」

たんぽぽ計画は現在、**2年目の試料が地球帰還し、3年目の試料が宇宙に曝露されている段階**です。

宇宙で捕集された試料は、適切な汚染管理をして保管される限り未来永劫、新しいアイデアと最新技術を使った分析が可能です。そこでたんぽぽでは、**「CLOXS」という自作の分析装置を駆使し、汚染管理、衝突痕の地図作り、光学観察、三次元情報取得、試料掘削までを、「無人の無塵室」の中で行います**(図4)。

ISASにおける初期分析・キュレーション作業の使命は、**科学的価値を損なわない状態で、全国の研究者に宇宙試料を配分し、多彩な科学成果を生み出すこと**で、アストロバイオロジー研究を飛躍させることです。たんぽぽ初年度では、**初期分析開始100日以内に、優先順位第一位の試料を詳細分析チームへ配分**できました。

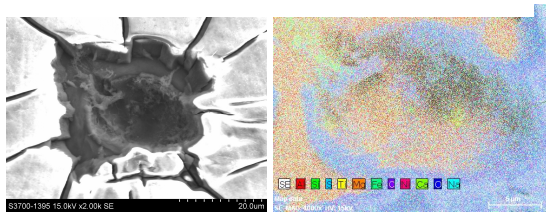
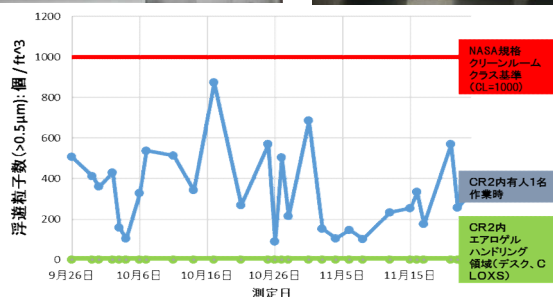


図4: ISASクリーンルーム内の有人作業(左上)と「捕獲微粒子位置同定・観察・抽出システム(CLOXS)」を使った無人作業(右上)は共に、KOACHシステムの中でISOレベル1の清浄度(中央)を実現しながら、地球帰還試料を扱っている。その結果、宇宙面の衝突クレーター内部の残留物から炭素が検出された。(©たんぽぽプロジェクト)

JAXA/ISAS学際科学研究系・宇宙生物・物質科学実験室(LABAM)の2017年度スタッフです。

日本の「アストロバイオロジー」研究を宇宙実験・探査を通じて推進するため、2012年から太陽系科学・海洋地質学など、専門分野を越えて集まっています。

アストロバイオロジー研究コミュニティの中核を担うべく、宇宙科学の全国大学共同利用システムとして、本年度より専用実験室を整備し、「たんぽぽ」による宇宙試料の分析・保管・データ蓄積の機能も担っています。皆様の指導と応援を、よろしくお願いいたします。

◆「海洋天体」探査の基礎研究も着々と

地球の深海底には、太陽光が届かなくても持続できる生態系があります。**アストロバイオロジーが宇宙探査で貢献すべき分野は、「地球外生命の探索」と「生存可能領域の見直し」**です。両者に共通する探査対象が「海洋天体(オーシャンワールド)」です。LABAMメンバーは2011年より、海洋研究開発機構や国内外の大学研究者と協力しながら、**オーシャンワールド探査の基礎研究と機器開発を進めています**。特に、地球外生命体やその兆候を探る地球外海水サンプルリターンを、次世代に引き継ぐ探査構想として提唱しています。

具体的には、たんぽぽ技術を発させて、**土星の衛星エンケラドスの内部海から放出する海水や海底地殻物質のサンプルリターンを可能にする機器技術と惑星保護の研究**を行っています。今は微生物DNA、ペプチド、模擬エンケラドス海水化合物のエアロゲルによる捕集と、軌道上で微粒子を分析できる装置を試作中です(図5)。

また、**太古の地球海洋に生命材料を含む宇宙物質が衝突した際に海中で進む化学進化も、隕石を模擬海洋に超高速でうち込む実験を通じて研究**しています(図6)。

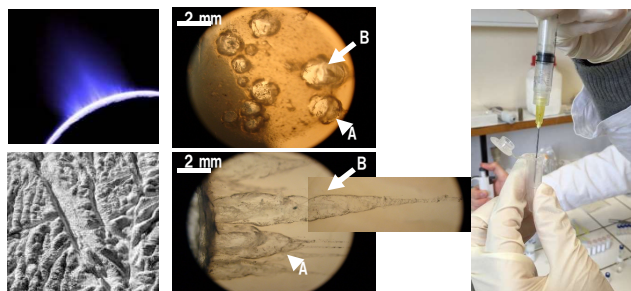


図5: 土星衛星エンケラドスの南極域の割れ目(左)から噴出するプルーム微粒子のフライバイ採取を実現するために、たんぽぽエアロゲルを発展させた新型捕集材(中央)と、軌道上分析の研究開発(右)が行われている。(©NASA, 矢野創(ISAS/JAXA)・藤島皓介(ELSI))

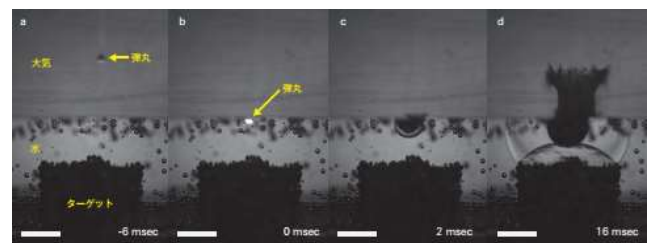


図6: ISAS縦型二段式軽ガス銃を使った、模擬地球海洋に超高速衝突する隕石物質の破壊・拡散・化学反応を調べる実験のハイスピード画像の例。(©西澤学(JAMSTEC), 矢野創(ISAS/JAXA))

◆関係者から一言



◆もっと詳しく知りたい人のために

LABAM: ISAS学際科学研究系

宇宙生物・物質科学実験室ホームページ

<http://www.isas.jaxa.jp/home/labam/home.html>

太陽の光の力で推進する宇宙帆船の先駆者 ソーラー電力セイル実証機イカロス

運用中

◆イカロスとは？

イカロスは、2010年5月21日に種子島宇宙センターからH2Aロケットで打ち上げられ、世界で初めて「ソーラーセイル」による宇宙航行を実証した宇宙機です。ソーラーセイルとは、太陽の光の力を大きな帆(セイル)に受けて燃料なしで推進力を得る、新しい宇宙航行の方式です。

イカロスは、セイルの一部に薄膜の太陽電池を貼り付けて太陽光発電も同時に行う「ソーラー電力セイル」の実証機でもあります。太陽から遠く離れた場所でも、その大きなセイルを利用して探査機に必要な電力を効率よく得ることができます。

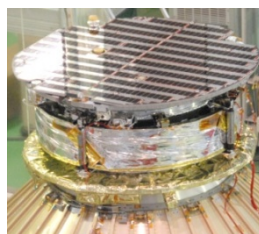
イカロス計画は、私たちが深宇宙へ乗り出すために必要な画期的な技術を、まとめて試してみよう、という野心的な計画なのです。

◆セイルはどのように開いたの？

イカロスは、スピンによる遠心力を使ってセイルを展開する、スピン型ソーラーセイルです。大きなセイルを広げるために重いマストなどを必要としないので、探査機をとて軽くすることができます。

2010年6月2日～9日にかけて、イカロスは世界で初めてセイル展開運用を実施し、14m四方のセイルを宇宙空間で展開させることに成功しました。

セイル展開は一次展開と二次展開に分かれており、探査機全体がスピンすることで生まれる遠心力を使って実施しました。セイル展開状況は、固定カメラ4台で撮影することで把握しました。さらにセイル展開後には小型の無線カメラ2台をイカロス本体から放出し、イカロス自身の全景を撮影しました。



←セイル展開前のイカロス



→宇宙空間でセイルを広げたイカロス(分離カメラで撮影)

◆イカロスのこれまでの成果は？

セイル展開後に軌道を測定した結果、イカロスは理論通り太陽の光の力により加速されていることが確認できました。また、搭載されている薄膜太陽電池による発電も確認しました。さらにその後、液晶デバイスによって帆の向きを調整し軌道制御にも成功しました。2010年12月8日には金星付近を通過し、ソーラー電力セイルとして必要な技術の実証に成功しました。

2011年からは、セイルの運動や光による力についてより詳しく調べるために、太陽に対してセイルの姿勢を大きく傾けたり、スピンを遅くする運用、さらには逆回転させる運用にも成功しました。これらの運用により、スピン型ソーラーセイルの運動について理解を深め、「太陽系の航海術」をみがいてきました。

他にもオプション機器による工学実験や理学観測として、VLBIによる高精度軌道決定実験やガンマ線バースト観測、ダスト観測などを行い、世界第一級の成果をあげてきました。

2017年度も運用を継続しており、ソーラーセイルの挙動について更なるデータ取得が期待されます。



金星通過時に撮影したイカロスのセイルと金星

◆イカロスの技術が切り拓く未来

イカロスで実証した電力セイルは面積を広くすれば、大電力が得られるようになります。この電力を用いて高性能なイオンエンジンを駆動すれば、ソーラーセイルとイオンエンジンのハイブリッド推進が可能になります。JAXAではこのコンセプトを踏まえ、ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査の実現を目指しています。

また、大型のセイルを広げる技術や、薄膜太陽電池による大電力発電技術は、大型膜面アンテナや宇宙太陽光発電衛星などにも応用できる、大きな可能性を秘めた技術です。

◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/current/ikaros.html>

宇宙帆船で太陽系大航海へ乗り出す ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査

計画中

◆ソーラー電力セイルとは？

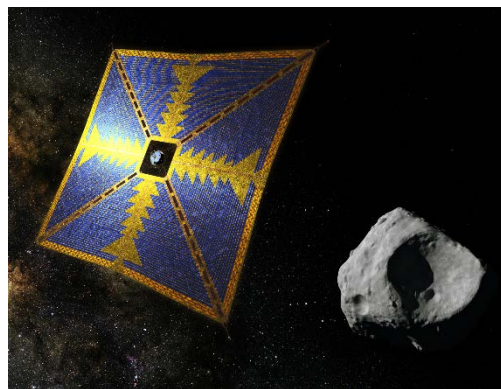
風を受けて海を走る帆船のように、宇宙空間で大型の薄い帆(セイル)を展開し、太陽からの光の粒子を反射する力で推進する方式を、「ソーラーセイル」といいます。このセイルに薄膜太陽電池を貼りつけてたくさんの電力を発電させる方式を、「電力セイル」といいます。この2つのセイルを組み合わせる、日本オリジナルの新しい宇宙船が、「ソーラー電力セイル」です。ソーラー電力セイルの基本的な技術は、2010年に打ち上げられた小型ソーラー電力セイル実証機「イカロス」によって実証されました。

ソーラー電力セイルは、太陽から遠く離れた場所でもその大きな帆で探査機に必要な電力を効率よく得ることができます。この電力により高性能イオンエンジンを駆動し、ソーラーセイルとのハイブリッド推進によって太陽系大航海へと乗り出す「宇宙帆船」を実現します。

◆木星圏探査計画とは？

「イカロス」の成功を受けて、2020年代前半の打ち上げを目標に、ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星探査計画が進められています。探査機は、太陽から遠く離れた外惑星領域でも十分な電力を獲得するために、50m級の大きさのソーラー電力セイルを展開します。

まず打ち上げ後すぐセイルを展開し、イオンエンジンを駆動するために必要な電力を確保します。2年後に、イオンエンジンを使った地球スイングバイによる加速で木星へと向かいます。木星へ向かう軌道上で、宇宙赤外線背景放射の観測、太陽系ダスト分布の観測、ガンマ線バーストの観測、磁力計による磁場観測を行います。木星スイングバイを経て、打ち上げから約10年後、世界で初めて到達するトロヤ群小惑星のランデブー観測を行います。その後子機を着陸させて、小惑星の地下サンプル採取及びその場での質量分析を行います。さらにオプションとして、小惑星のサンプル採集を地球に持ち帰る計画(サンプルリターン)も検討しています。



◆どんな新しい技術がある？

ソーラー電力セイルによる外惑星領域の探査を行うために、たくさんの新しい技術の研究を進めています。

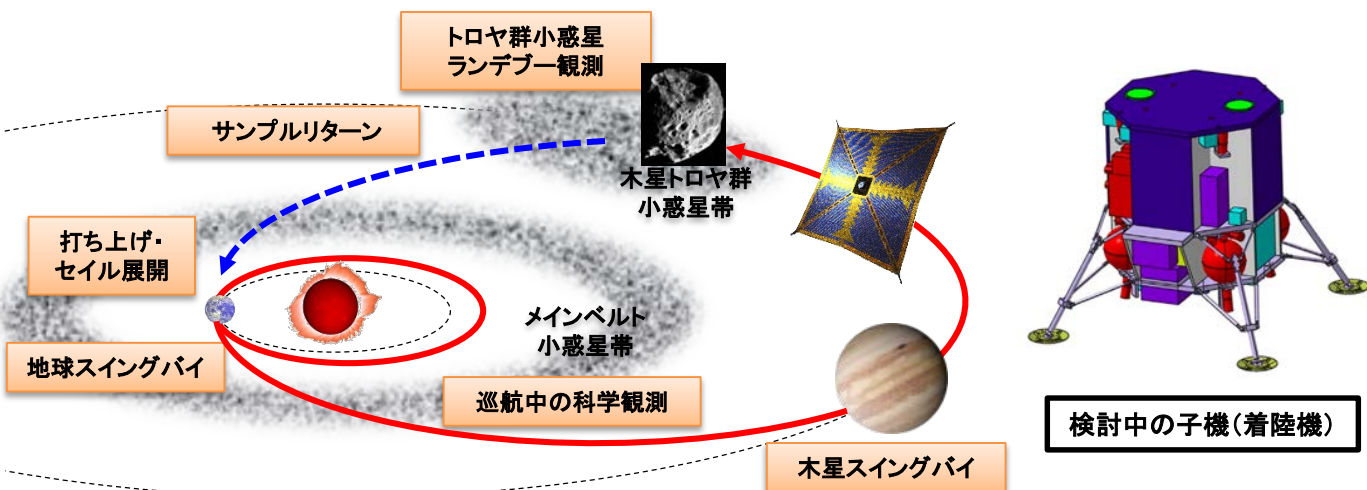
まず、50m以上の大きさのセイルが必要となるため、これを製造する技術、セイルを収納・展開する技術、燃料を使わずに自在にセイルの向きや形状を操る技術などの研究を進めています。

また、軽くて効率よく発電できる「薄膜太陽電池」や、はやぶさ2よりも高効率の「高性能イオンエンジン」の開発も進めています。

さらに、小惑星へ降り立つための子機、小惑星の地下サンプルを採取する新型サンプリングデバイス、サンプルをその場で分析する質量分析器、子機が探査機へ再ドッキングしてサンプルを受け渡すための航法技術・サンプル搬送技術の検討も進めています。

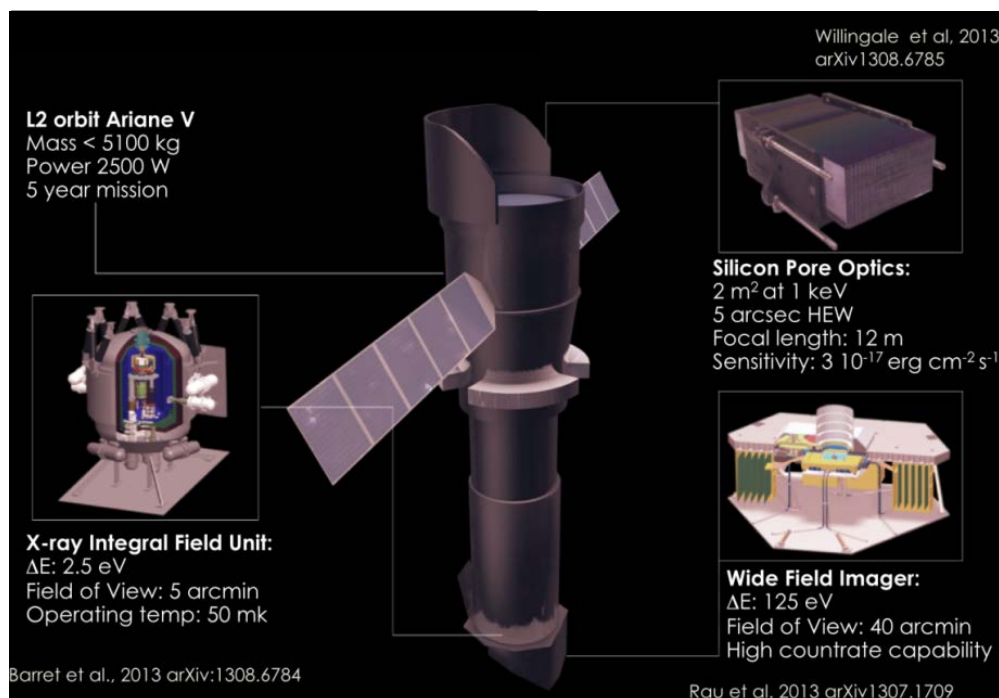
◆太陽系大航海時代に向けて

ソーラーセイルは米国・欧州でも検討されていますが、ソーラー電力セイルは日本のみが研究を進め、「イカロス」により世界で初めて実証しました。これに「はやぶさ2」以上のイオンエンジンを組み合わせることで、日本独自の外惑星探査技術確立し、太陽系大航海時代に向けて世界をリードしていきます。



X線天文衛星Athena

Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics



Courtesy: K. Nandra (MPE), D. Barret (IRAP)

◆Athenaとは？

Athenaとは、欧州宇宙機関（ESA）が大型計画2号機として2020年代後半の打ち上げを目指すX線天文衛星です。ESAが開発中心ですが、日本(ISAS/JAXA)とアメリカ(NASA)の国際協力を加えて実現を目指します。直径 3 m にも及ぶ大口径で高角度分解能のX線望遠鏡（Silicon Pore Optics; SPO）でX線を集光し、ASTRO-HのX線カロリメーターの発展版であるTESカロリメーター（X-ray Integral Field Unit; X-IFU）で、高解像度・高精度のX線分光を実現します。また、広視野半導体検出器（Wide Field Imager; WFI）も搭載し、遠くにある暗いX線天体を発掘します。

◆Athenaで何がわかるの？

Athenaは次の2つの宇宙科学の謎の解明を目指します。(1) 宇宙の物質は、どのように大規模構造に集積したのか、(2) どのようにして巨大ブラックホールは成長し、宇宙に影響を与えたのか。

重力で束縛された宇宙最大の構造物は銀河団であり、銀河団の主成分はX線を放つ高温ガスです。(1)の謎の解明のために、Athenaは宇宙遠方の出来始めの銀河団から現在の銀河団まで、系統的なX線観測を行い、銀河団ガスの温度や密度など、物理状態の進化を暴き出します。

また、ほとんど全ての銀河中心に存在する巨大ブラックホールは、物質を飲み込みつつ成長します。そのとき、飲み込む物質質量に応じてX線を放射します。(2)の謎の解明のために、AthenaはブラックホールからのX線が宇宙の歴史の中でどのように変化してきたのかを観測し、ブラックホールの成長の歴史を解明します。また、ブラックホールはジェットや高速風として飲み込んだ物質の一部を吐き出し、銀河に影響を与えます。AthenaはこれらをX線で観測し、ブラックホールから銀河へのフィードバックがどのように起こるのかを解明します。

◆日本はAthenaにどんな寄与をするのですか？

Athenaは、ASTRO-HやX線天文衛星代替機の発展版といえます。これらの衛星の開発経験を活かし、Athena計画を成功に導くことが期待されています。具体的には、ASTRO-HやX線天文衛星代替機で得たサイエンスを発展させ、Athenaの科学成果を最大化するため、Athena Working Group に日本の科学者が参加し、観測計画の立案の議論などを行っています。また、ASTRO-HやX線天文衛星代替機のカリメーター開発の経験を活かし、特にX-IFUの冷却系の開発に力を入れています。他にも、WFIやSPOの較正や、地上運用系への貢献が期待されています。

◆もっと詳しく知りたい人のために

英語ですが、

<http://www.the-athena-x-ray-observatory.eu/>
に情報がわかりやすくまとめられています。

X線で宇宙を見る X線天文衛星代替機 X-ray Astronomy Recovery Mission

◆ASTRO-HとX線天文衛星代替機

ASTRO-Hは、2016年2月17日に種子島宇宙センターからH-IIAロケットで打ち上げられた、我が国6番目のX線天文衛星です。打ち上げ後、観測装置の立ち上げは順調にすすみ、所定の性能を確認しました。しかしながら、不具合の発生により、4月28日に運用を断念、その後、徹底した原因究明を行い、不具合の直接要因及び背後要因を識別、再発防止対策を立案しました。

「X線天文衛星代替機」計画は、上述の再発防止対策に基づき、プロジェクト業務の大幅な見直しをすすめています。その上で、高エネルギー宇宙物理学の研究者の要望を踏まえながら、ミッション目的を絞り込み、ASTRO-Hが目指していた科学成果を早期に回復し、世界に届けることを目指しています。ASTRO-Hの教訓を踏まえつつ、これまで世界のX線天文学を牽引してきた日本が主導し、宇宙科学のフロンティアを拓く大規模な国際X線観測ミッションとしてNASAやESAをはじめとした関係機関と協力しつつ進めていきます。



◆X線天文衛星代替機のねらい

X線天文衛星代替機は、ASTRO-Hの2つの特長だった「超高分解能X線分光」と「広帯域分光」のうち前者に焦点を絞って計画されています。

銀河と銀河の間や、星と星の間、超新星が爆発したあと、ブラックホールなどの強い重力を持つ天体の周りなど、さまざまな場所に、1000万度を超す高温のガス(プラズマ)があります。このガスには、水素やヘリウムとから、酸素や窒素、ケイ素や鉄まで、さまざまな元素が含まれています。X線でみると、それぞれの元素は、特有の「色(波長)」を出すので、これを分析すれば遠くからでもガス中の元素がわかります。この「色」を分析する力を「分光能力」といいます。さらに、ガスが近づいてきていけば少し波長が短く(青方に)、遠ざかっていけば長く(赤方に)ずれてみえます(ドップラー効果)。これを測れば、元素の種類だけでなく、ガスの視線方向の速度を知ることできます。

「あすか」や「すざく」など、これまでのX線天文衛星に搭載されていたX線CCDカメラでは、この速度を秒速1万キロメートルの精度で測定できる性能をもっていました。残念ながら宇宙のガスの大部分が動き回る速度は、およそ秒速千キロメートル以下と、これよりも遅いので、よほど高速に動くものでなければ、実際には測定できませんでした。

ASTRO-Hに搭載され、X線天文衛星代替機にも搭載されるX線マイクロカロリメータは、秒速200キロメートルより良い精度で測定できるので、宇宙のほとんどの高温ガスの速度を測ることができるようになります。

この性能向上は、これまでの静止画に加え「動画」が撮れるようになったことに相当します。

右図は、米国のチャンドラ衛星によるペルセウス座銀河団のX線画像(赤色)と、銀河団の中にある活動銀河核周辺からの電波放射(青色)の画像を合成したものです。

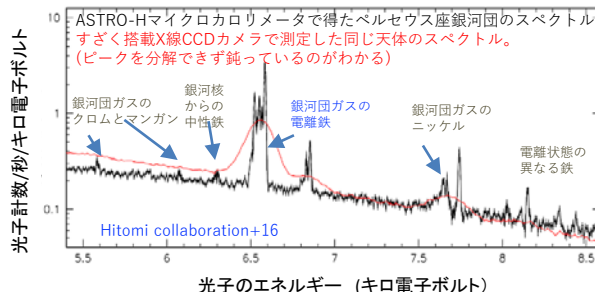
銀河団の高温ガス(赤)が、活動銀河核から吹き出す電波放射プラズマ(青)によって押しのけられている様子がみえます。



Chandra(red): Million, et al., 2010, MNRAS, 407, 2046. Radio(blue): Owen, Eilek, Kassim, 2000, ApJ, 543, 611

この領域をASTRO-HでX線分光したところ、たくさんの元素の「色」を表す「輝線」が確認できました(下図)。しかもこの「輝線」は、非常に細く鋭いピークを示しています。これは、ドップラー効果による波長のずれ(ぼけ)が少ない、つまり、銀河団高温ガスの運動は遅いことを意味します。大方の予想に反し、銀河団ガスは、活動銀河核から爆発的に吹き出しているプラズマにもかかわらず、受け流しているようなのです。

このように、くっきりした静止画とX線マイクロカロリメータによる「超高分解能X線分光」を合わせることで、驚くべき新たな世界がみえてきます。



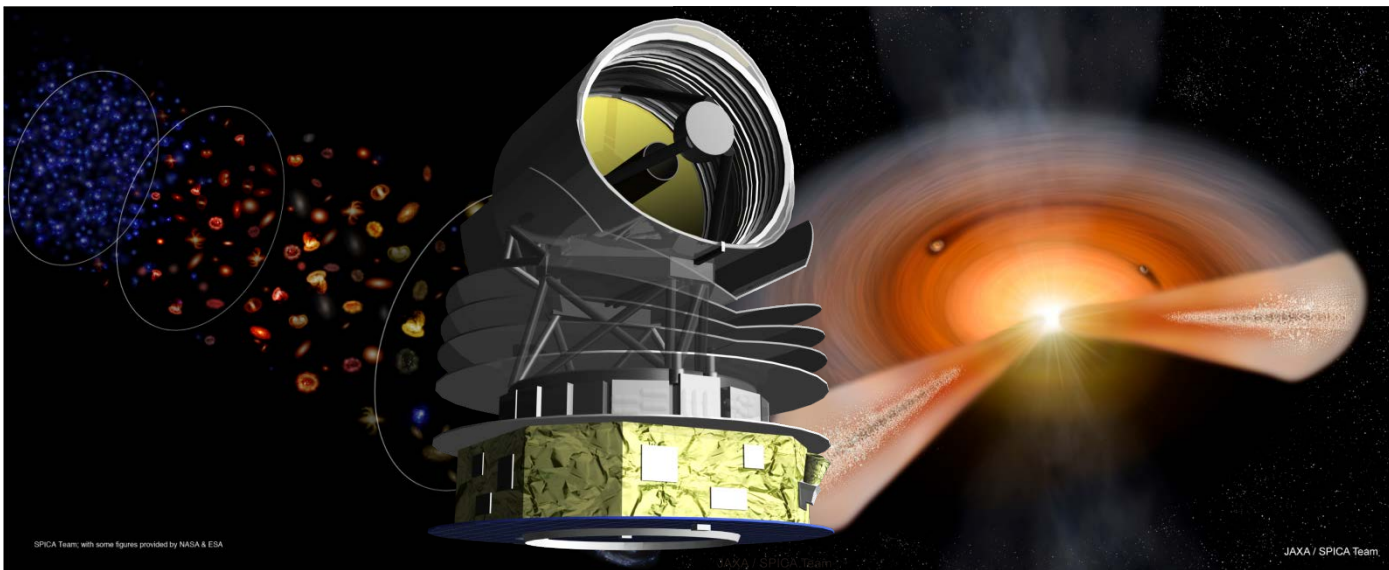
この超高分解能X線分光を引き継ぐのが、X線天文衛星代替機です。新たなX線「動画」を加えることで、他のX線天文衛星ばかりでなく、他波長の観測装置とも、互いの特長を活かしながら、銀河や銀河団など宇宙の構造形成過程や、多様な元素の作られ方や広がり方などを明らかにしていきます。



◆関係者から一言

X線天文衛星代替機準備チームの田代 信です。代替機は、世界の多くの人からの協力を得て、2020年代の初めの打ち上げを目指し、ASTRO-Hの反省も踏まえながら準備をすすめています。応援をお願いいたします。

8/25(金)15:00- 宇宙科学セミナー@フィルムセンター
「銀河をわたるプラズマの風をみつめるX線天文台」
X線で見える宇宙とX線天文衛星代替機の話します。



SPICA Team, with some figures provided by NASA & ESA

JAXA / SPICA Team

◆こんな観測をします

<「ガス」や「塵(ちり)」から宇宙の歴史を探る>

ビッグバンで誕生したばかりの宇宙には、水素とヘリウムしかありませんでした。その後、星や銀河の誕生を繰り返すうちに様々な種類の元素が作られ、豊かな物質に満ちた、生命までも育む現在の宇宙に大きく変化しました。

宇宙の物質の進化には、星や銀河をとりまく「ガス」や「塵」の作られ方とその進化が深く関わっていることがわかってきています。SPICAは、「ガス」や「塵」の観測を通して、星や銀河の進化の歴史とともに、宇宙の物質の進化の歴史を明らかにすることを目指します。

◆こんな観測装置を使います

2種類の観測装置を使って、高い感度(暗いところまで調べる)と高い分解能(細かいところまで調べる)を活かした観測を行います。

<星や銀河をとりまく「塵」を捉える>

● 中間赤外線観測装置 SMI

SMI は宇宙の「塵」を観測するのに適しています。「塵」の分布や元素の種類、運動の様子を調べ、銀河や惑星系が作られている様子を探ります。

<巨大ブラックホールのおいたちも解明>

● 遠赤外線観測装置 SAFARI

SAFARI は最先端技術の超伝導検出器を使って、銀河内でどのように星ができていくか、また巨大ブラックホールがどのように活動しているかを探ります。

◆もっと詳しく知りたい人のために

http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/

◆望遠鏡をまるごと冷やします

<口径2.5 mの望遠鏡をマイナス265 °Cに冷やす>

赤外線の観測装置から見ると、冷やさない場合の望遠鏡や観測装置自身はその温度のために明るく光って見えます。SPICAは望遠鏡や観測装置をまるごとマイナス265 °Cまで冷やすことで機器からの光を減らし、遠くの暗い天体の細かい部分まで観測します。

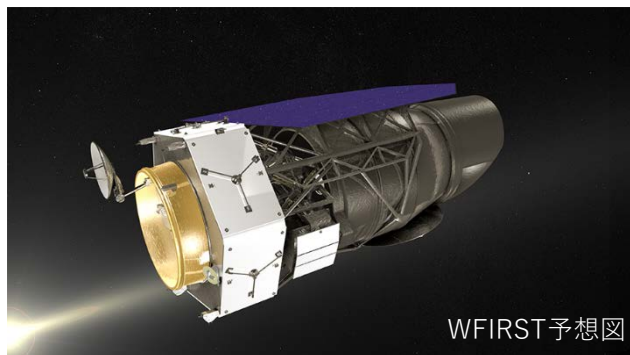
SPICAでは「機械式冷凍機」という機械を使い、望遠鏡や観測装置を冷やします。これまでの赤外線天文衛星は機器を冷やすために大量の液体ヘリウムを積んでいました。搭載する液体ヘリウムが衛星の重さの多くを占め、しかも衛星の寿命(観測できる時間)を決めていました。SPICAでは液体ヘリウムを使わないため、これまでの赤外線天文衛星に比べて重さに余裕がでる分、望遠鏡の口径を大きくすることができ、さらに「頑張れば5年以上」という長い時間冷却することも可能となり、これまでにない大口径望遠鏡での長い観測時間を実現します。

◆国際協力ミッション

ESAとJAXAを軸に、日本と欧州を中心とした多くの国から集まった研究者・技術者が協力して開発をすすめています。

SPICA基本情報

望遠鏡口径	2.5 m
望遠鏡温度	-265 °C (絶対温度で8 K)
衛星大きさ	直径 4.5 m × 全長 5.8 m
衛星重さ	約 3.6 トン
観測波長	12 ~ 350 μ m (中間赤外線~遠赤外線)
打ち上げ予定	2027~2028年頃
	JAXAのH3ロケット
軌道	太陽-地球系ラグランジュ点 L2 まわり軌道
国際協力	ESAとJAXAを中心とした国際共同ミッション



WFIRST予想図



◆ダークエネルギーと系外惑星

20世紀最大の宇宙物理学の発見として、膨張宇宙と系外惑星の発見があります。膨張宇宙を説明するためにはダークエネルギーが存在すると考えられていますが、その正体はよく分かっていません。また、これまでに数千の系外惑星が見つっていますが、中心星から離れたところを回る冷たい惑星の分布や性質は分かっていません。

WFIRSTは、大量の遠方銀河の形状、明るさを精密に計測することでダークエネルギーの正体に迫ります。また、冷たい惑星を大量に発見することで、系外惑星の統計調査を行い、これまでにない感度で冷たい惑星の写真を撮ることで、より軽い惑星の大気の調査を行います。

◆広視野かつ高空間分解能

ピクセル数が多い最新の近赤外カメラ(288メガピクセル)を使用することで、WFIRSTは同サイズのハッブル宇宙望遠鏡(口径2.4m)とほぼ同じ空間分解能で約200倍の視野を持ちます(右上図)。広視野、高空間分解能の特徴を生かした3つのメインミッションがあります。

<ダークエネルギーの解明>

宇宙の運命の鍵を握るダークエネルギーを理解するために、『銀河の分光観測』、『超新星の観測』、『重力レンズの観測』をします。それぞれの観測で独立にダークエネルギーの正体に迫るため、より信頼性の高い調査を行うことができます。

<未知の太陽系外惑星を数千個発見>

天の川銀河の中心を観測し、大量の星の明るさの時間変化を精密に測定することで、未知の冷たい惑星を数千個発見します。地球型惑星も数百個発見できると期待されています。

<提案型観測>

近赤外、広視野、高空間分解能を生かした様々な観測を行います。

上図は、ハッブル宇宙望遠鏡の視野(白枠)とWFIRSTの視野を比較したものです。例えば、アンドロメダ銀河の一部を写真に収めるには、ハッブル宇宙望遠鏡では432回撮像する必要がありますが、WFIRSTでは2回の撮像ですみます。

◆惑星の写真を撮る

広視野近赤外カメラの他に、WFIRSTには系外惑星の写真を撮るための可視光カメラが搭載されます。月から地球を見たような写真は撮れませんが、他の星を回っている木星や土星はもちろんのこと、海王星やそれよりも小さい惑星から届く光を、中心星からの光と区別して測定することができると期待されています。惑星の明るさが波長ごとにわかれば、大気の成分・構造や、惑星内部の構造までわかるかもしれません。

◆国際協力ミッション

NASAを中心としてプロジェクトが進められていますが、多くの国の研究者が参加しようとしています。日本では、JAXA/ISASのメンバーが中心となって、WFIRSTに参加するために研究活動を進めています。

◆WFIRST 基本情報

ミッション概要: ダークエネルギーの解明

系外惑星の統計調査

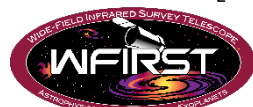
海王星やスーパーアースの
直接撮像

望遠鏡口径: 2.4m

打上げ予定: 2024-25年頃

米国フロリダ州ケープ・カナベラル
にて

軌道予定: 太陽-地球系のラグランジュ点L₂周
りの軌道



「あかり」が見た星・惑星と銀河

◆日本初の赤外線天文衛星「あかり」

星・惑星や銀河はどのようにして生まれ、現在の姿になったのか。その謎を解き明かすため、赤外線天文衛星「あかり」は2006年2月に打ち上げられ、2010年まで観測を行いました。

「あかり」は宇宙の全方向をくまなく観測したに加え、特定の領域を集中的に観測しました。口径約70cmの望遠鏡をマイナス270度程度まで冷やしたことで、高感度の赤外線観測を実現しました。「あかり」によって得られたデータから、銀河形成の歴史の解明、惑星の誕生現場の発見、ブラックホール周囲の高温ガスの検出など、天文学の多くの分野における研究が盛んに行われています。



打ち上げ前の「あかり」

◆「あかり」打ち上げより11年間の科学成果 (抜粋)



● 100億年前に ケタ違いの星形成活動

遠くの銀河が発した光は、地球に届くまでに時間がかかります。そのため、地球から見て遠くの銀河ほど昔の姿が見えます。これを利用して、「あかり」は図のような遠方銀河サーベイを行いました。検出された多数の銀河を詳細に調べた結果、100億年前の宇宙では現在の10倍以上の勢いで星を生み出していたことがわかりました。



● 惑星が誕生する現場をとらえた！

太陽系のような惑星系の誕生現場を複数発見しました。惑星が誕生しつつある現場では、図のように天体同士の衝突で大量に塵が作られます。その塵は恒星からの熱で温められ、赤外線を放射します。それを「あかり」がとらえました。見つかった塵は地球の温度にも近く、太陽系形成の解明のヒントになるかもしれません。



● 巨大ブラックホールを囲む一酸化炭素ガス

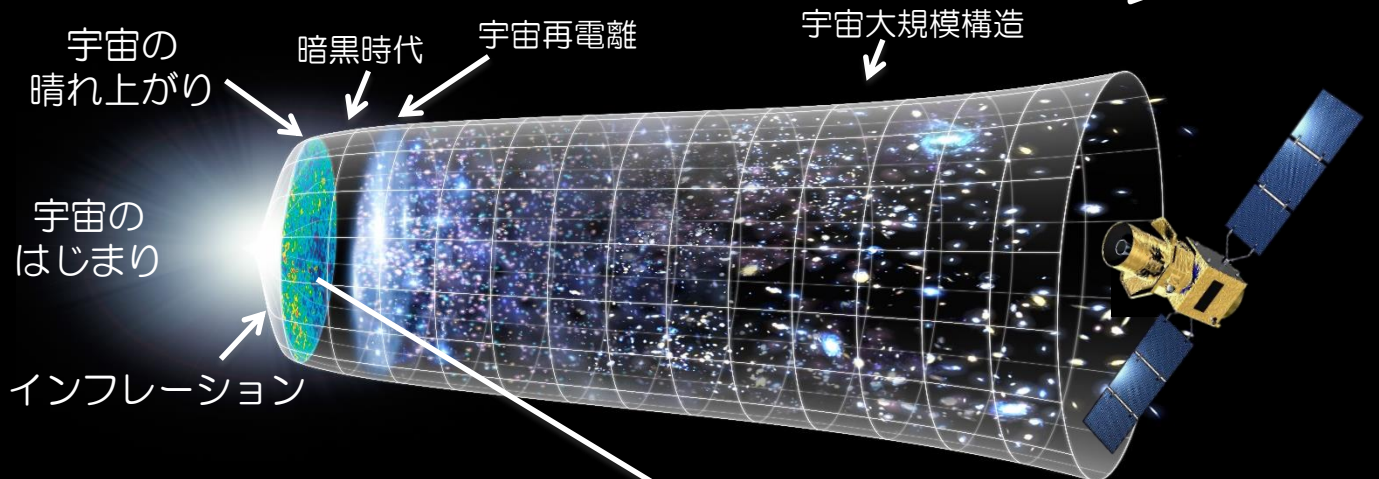
UGC5101という銀河の中心にある巨大ブラックホールの周囲に、500℃を超える高温の一酸化炭素ガスが見つかりました。ガスを加熱しているのは、巨大ブラックホールに物質が落ちる時に発生する、莫大なエネルギーの放射と考えられます。図はブラックホールを取り巻くガスの想像図です。

宇宙の歴史

誕生 38万年

1 億年

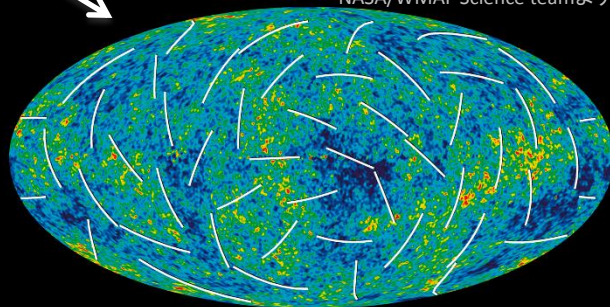
138億年 (現在)



多くの理論家・実験家の努力により上図のような「宇宙の歴史（ビッグバン標準宇宙論）」が科学的に確立されています。

宇宙マイクロ波背景放射(Cosmic Microwave Background=CMB)はビッグバンの残り火と言われる宇宙最古の光です。このCMBは今日も観測でき、その発見と観測にノーベル賞が2度も贈られています。

Brief history of the Universe
NASA/WMAP Science teamより(一部修正)



CMBの温度揺らぎと偏光 (NASA/WMAP Science teamより)

どんなことがわかるの？

宇宙マイクロ波背景放射は宇宙が38万歳の時の光です。この光の強さを詳しく調べて、いろいろなことがわかってきました。宇宙の年齢（138億歳）、身の回りの物質は宇宙全体の5%しかなく、宇宙の中身はほとんど正体不明なこと、などは代表的な成果です。

LiteBIRDは何をするの？

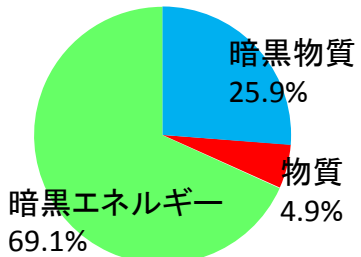
LiteBIRDでは偏光と呼ばれる光の性質の一つを宇宙マイクロ波背景放射について精密に測ります。偏光を調べることで、宇宙が38万歳のころ（晴れ上がり）よりも昔の様子を調べることができると考えられています。特に、宇宙誕生後10の-38乗秒後にインフレーション（急激な膨張）があったという仮説の検証を目標としています。

インフレーション仮説が正しい場合、インフレーションが宇宙初期の量子揺らぎに由来する原始重力波を引き伸ばし、引き伸ばされた重力波の影響が宇宙背景放射の偏光の向きにBモードと呼ばれる特徴的な模様として現れると予想しています。LiteBIRDではこのBモードの模様の有無を調べ、インフレーション仮説の検証をします。2020年台中旬の打ち上げを目指しています。



Eモード

Bモード



Planck 2015 より

はじめての宇宙データ



宇宙カレンダー (<http://www.isas.jaxa.jp/home/showcase/calendar/>)

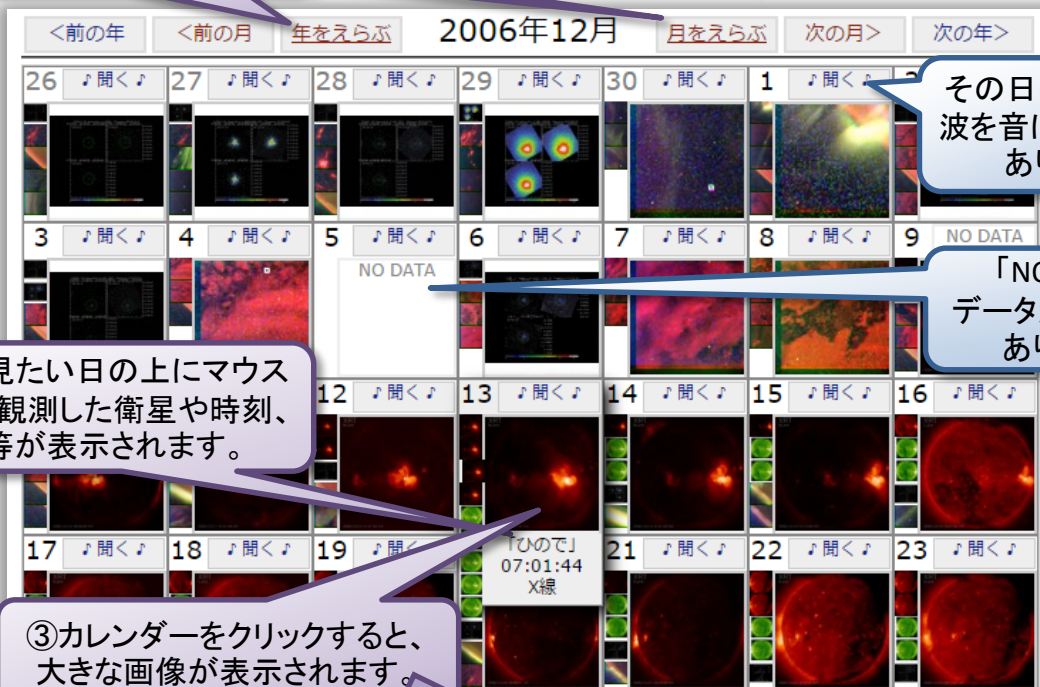
宇宙から観測した科学データ(宇宙データ)をその観測日でカレンダーに並べました。1990年からデータがあります。誕生日や記念日の宇宙データを探してみましょう。

宇宙カレンダー JAXA

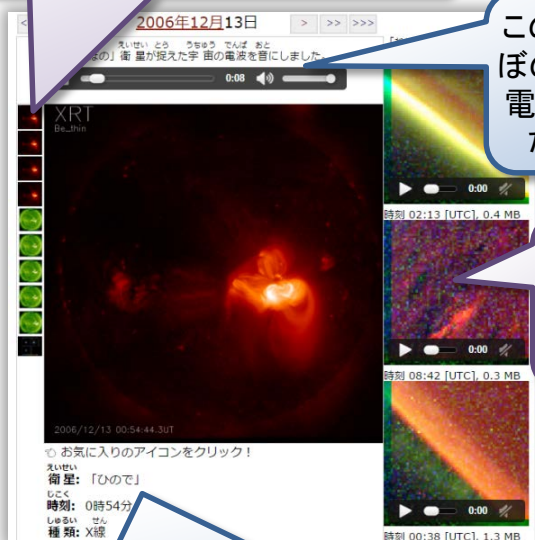


クリック！

①探したい年・月を選びます。

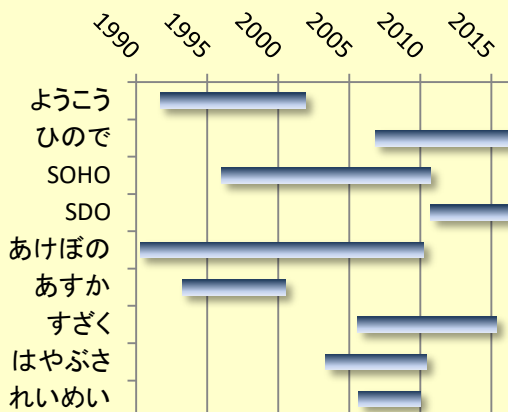


④左のアイコンに沿ってマウスを動かすと、大きな画像が変わります。



データがある期間

期間中でもデータがない日もあります。

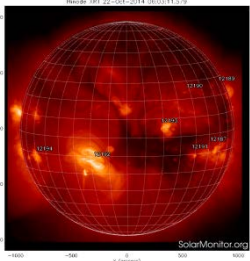


竹島ユニット長からひと言
インターネット環境があれば、どこからでも見ることができ、印刷もできますよ。

はじめての宇宙データ

宇宙カレンダーにあるいろいろな宇宙データ

◆ 太陽



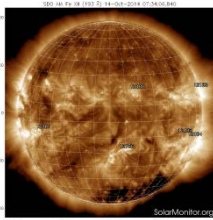
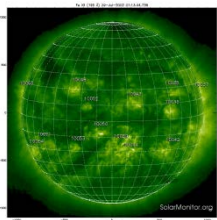
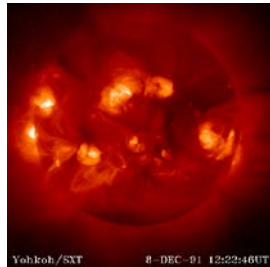
←「ひので」衛星で観測した太陽です。X線で観測したもので、太陽の外側にある「コロナ」という数百万度の大気の層を見ています。

ひので

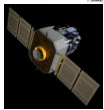


→「ようこう」衛星でX線で見た太陽コロナです。「ようこう」は「ひので」の前に活躍した衛星です。世界で初めてダイナミックに変化する太陽をとらえました。

ようこう



←左はSOHO観測機で、右はSDO衛星で観測した紫外線での太陽です。コロナより少し下の層の大気を見ています。

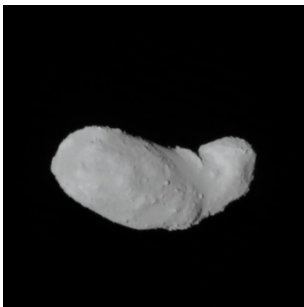


SOHO
ESA/NASA



SDO
NASA

◆ はやぶさ観測画像



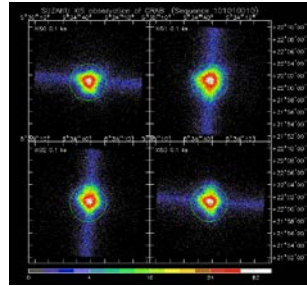
←「はやぶさ」探査機がとらえた小惑星イトカワです。これまで知られていなかった小惑星の姿を明らかにしました。

→「はやぶさ」探査機が地球に戻ってきて、大気圏に突入する直前の地球の画像です。

はやぶさ



◆ X線天体



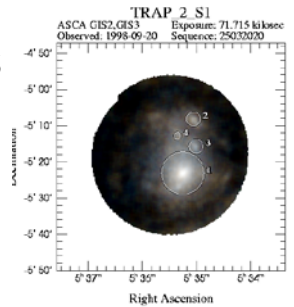
←「すざく」衛星で観測した「かに星雲」です。「かに星雲」は西暦1054年に起きた超新星爆発の残骸で、今なお強いX線を出しています。4枚の画像はそれぞれ違う「色」のX線をとらえたものです。

すざく

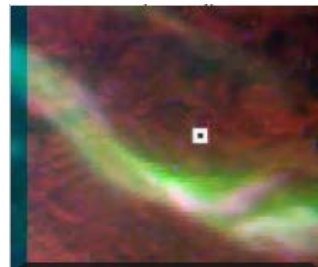


→「あすか」衛星で観測したオリオン大星雲(M42)中心部です。「あすか」は「すざく」の前に活躍した衛星です。

あすか

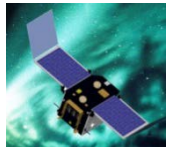


◆ オーロラ



←「れいめい」衛星で上から見たオーロラです。変化する様子をムービーで見ることができます。

れいめい



◆ 地球のまわりの電波



「あけぼの」衛星がとらえた地球のまわりの電波を、人に聞こえる波長の音に変換しました。地球のまわりの電波は、太陽活動やオーロラなどによって激しく変化します。

あけぼの

高校生を対象とした体験学習プログラム 君が作る宇宙ミッション ～きみっしょん～

◆「きみっしょん」とは？

毎年夏休みにJAXA相模原キャンパスで開催されている、高校生を対象にした研究体験型の教育プログラムです。チームを組んで、仲間と共に1つの宇宙ミッションを5日間かけて作り上げます。

「きみっしょん」の理念は、**「自ら考え、自ら決定し、自ら作業する」**ことです。研究者は人から「教わる」のではなく自らの発想をベースに「考え、決定し、作業」しています。どんな答えが出るかやってみるまでわからない、そういう課題に挑戦する「科学研究」の楽しさを感じ取ってほしいと考えています。また、チームで1つのミッションを作り上げていくためには、チームワークがとても大切です。皆で力を合わせて、1つのミッションに取り組む、これもまたJAXAの研究者たちが日々行っていることです。

◆「きみっしょん」の特徴

◎主役は高校生

自分たちの疑問・興味に対して、自分たちで考え、解決してチームでひとつのミッションを作り上げます。

どんなミッションになるか、スタッフにもわかりません。また、作り上げたミッションはJAXAの研究者の前で発表し、科学的なディスカッションを行います。

◎大学院生の密接なサポート

大学院生スタッフは、宇宙科学の幅広い研究分野に携わっています。それぞれの専門性を駆使して、皆さんのミッション作成をサポートします。また、JAXAの研究者・職員によるミッション作成へのアドバイスもあります。

将来、宇宙の勉強をしたいけどどうすればいい？大学はどうやって選べばいいの？などミッション作成以外のことでも何でも相談してください。「きみっしょん」の5日間は高校生の皆さんの将来を考える良い刺激になると思います。



◆宇宙ミッションを作る

●目的を決める

「きみっしょん」は、チームで作るミッションの目標を設定するところから始まります。



●ミッションをデザインする

どのようにすればミッションがより魅力的になるか議論します。議論するために必要な情報も集めます。



●方法を議論する

計算だって頑張ります！わからないことはチームの大学院生スタッフに相談しましょう。



●発表する

4日目には、作り上げたミッションの最終発表会が行われます。会場にはたくさんの人が集まり、プロの研究者顔負けの熱い議論が交わされます。



◆もっと詳しく知りたい方は・・・
「君が作る宇宙ミッション」公式サイトまで
<http://www.isas.jaxa.jp/kimission/>



◆「きみっしょん」の5日間

初日のオリエンテーションに始まり、ミッションを5日間で作成していきます。

期間中はミッション作りだけでなく、JAXA相模原キャンパスの施設見学や院生スタッフによる進路相談、研究者による特別講義も行います。

そして締めくくりは、高校生による最終発表会です。発表会には沢山の研究者や職員、大学院生が参加し、インターネットでその様子も全国へ配信されます。

また、「きみっしょん」終了後には、考えたミッション内容をチームでさらに発展させ、日本天文学会ジュニアセッションで発表することもできます。

1日目	オリエンテーション ミッション作成
2日目	特別講義・所内見学 ミッション作成
3日目	ミッション作成 中間発表
4日目	ミッション作成 最終発表会
5日目	報告書作成 修了式

※スケジュールは年度により異なる場合があります。



◆「きみっしょん」に参加するには？

「きみっしょん」は例年夏休みの時期（7月下旬～8月上旬）に開催されています。

募集要項は4月頃公開され、募集が開始されます。（締切は年度により異なります）

詳細については、「きみっしょん」公式サイト <http://www.isas.jaxa.jp/kimission/> を御覧ください。

◆問い合わせ先

「君が作る宇宙ミッション」事務局 Tel:050-3362-4662 / Fax:042-759-8612 E-mail:kimission@jaxa.jp

★Q&Aコーナー★

Q1. みんな宇宙に詳しいの？好きだけどあまり知識はなくて不安です…

A1. 宇宙への詳しくさは人それぞれで、文系志望の高校生も参加しています。院生スタッフが知識の面ではサポートするので心配はいりません！必要なのは宇宙について徹底的に話したい！という気持ちです。

Q2. みんなどこから参加しているの？

A2. 出身地は様々です。毎年、全国各地からの参加者が集まります。

Q3. 学年は関係ありますか？

A3. 高校生相当であれば学年は問いません。高校1年生から高校3年生まで幅広く参加しています。履修している科目や勉強の進み具合は気にしなくても大丈夫です。分からないことがある場合には院生スタッフにお気軽に質問してください。

Q4. 「きみっしょん」はどんな雰囲気なの？

A4. 公式サイトおよびBlogに毎年の様子が載っています。20名ほどの高校生が集まって、お互いの意見をぶつけ合いながら1つのミッションを作り上げます。「きみっしょん」で検索してみてください。

Q5. 予定があって今年は参加できないのですが、「きみっしょん」の様子を見たいです。

A5. 期間中はBlogに毎日実施経過が報告されます。また、最終発表会の様子は動画で配信します。公式サイトからいつでもアクセスできます。

Q6. お金はどのぐらいかかるの？

A6. JAXA相模原キャンパスまでの交通費、および期間中の食事代は自己負担ですが、それ以外には特にかかりません。

（※ 年度により異なる場合があります）

「君が作る宇宙ミッション」公式サイト



宇宙探査ロボットの研究

◆この研究のねらいは？

21世紀は、人類が月や惑星など太陽系にまったく新しい文明圏を創り出す時代になると期待されています。近い将来、月や火星などでの生活が実現するかもしれません。そこで、月や惑星の表面探査を行うため、自由自在に移動してミッションを行うロボットの研究を行っています。地球から遠く、また未知環境である月惑星表面で、ロボットが効率よく探査を行うためには、人間のように高度な知能が必要です。そのため自動・自律で活動するロボットの研究開発を行っています。



◆主な研究テーマは？

- カメラやレーザによる環境認識
- 月惑星探査ローバの自動・自律機能
- 極限地形を走る移動メカニズム
- 宇宙の厳しい環境に耐えるロボット用コンポーネント

小惑星探査ロボット



研究開発中の探査ローバ



◆ここがスゴイ！

月や惑星の過酷な環境で活躍するためには、熱や放射線に耐えるだけでなく、効率よく確実に探査を行うための賢さが要求されます。また、宇宙に持っていくためには、小型軽量低消費電力の必要があります。

そこで、高度な知能を持った探査ロボットを開発しています。探査目標地点が与えられたら、自分で環境を把握し、岩やクレータなどの障害物を認識し、安全な経路に沿って自動的に移動します。目標地点に到達したら、興味深いサンプルを自動採取し観察します。

◆将来のロボットミッション

- 月着陸探査計画（SLIM, SELENE後継探査, OMOTENASHI, UZUME）
- 火星着陸探査計画
- 小惑星サンプルリターン（火星衛星探査計画MMX） ほか

◆研究者から一言



宇宙機応用工学研究系の久保田孝です。
月惑星探査を行う探査ロボットの研究をしています。今後、さまざまなタイプのロボットが宇宙で活躍することでしょう。そして、将来、我々が宇宙へ進出するための貴重なデータを取得してくれます。



宇宙機応用工学研究系の吉光徹雄です。
月や惑星の表面探査ロボットの研究活動をしています。できるところから始めようと、小惑星探査用に小さい探査ロボットを作ってきました。



宇宙機応用工学研究系の大槻真嗣です。
探査ロボットは如何にして特殊な環境へ適応し、知的に活動するかが鍵となります。宇宙で人にできないことをやってのけるロボットの開発を目指し、日々チャレンジ&エンジョイしています！

◆もっと詳しく知りたい人のために

http://robotics.isas.jaxa.jp/kubota_lab/index.html

目指せ月面！ 超小型探査機OMOTENASHI

◆超小型探査機OMOTENASHIって？

NASAが2019年に打ち上げを計画している新型ロケット“SLS”の初号機の打ち上げ時に、相乗探査機として搭載される6Uサイズ(12x24x36cm)/約14kgの超小型探査機(CubeSat)です。世界最小の探査機での月着陸を目指しています。このような超小型探査機での月面探査が可能になれば、国の宇宙機関でなくても、大学や企業、場合によっては個人でも月探査機が作れる時代が来るでしょう。

◆OMOTENASHIのミッションは？

OMOTENASHIの第一の目的は、超小型の月着陸技術を開発して実証することです。電源、通信装置、制御装置、推進装置、計算機など、全てを超小型に作る必要があります。着陸時に速度や位置を計測するセンサを載せることは無理なので、秒速30m(時速100km)程度で月面に衝突することは覚悟する必要があります。そのため、エアバッグとクラッシュブル材を使って、着地の衝撃を吸収します。ここで開発された超小型技術は、月着陸に限らず、様々な探査に応用できるでしょう。

OMOTENASHIのもう一つの目的は、地球から月までの軌道上での放射線環境を測ることです。将来、人が月へ行くためには、放射線被曝量を管理する必要があるので、その環境を測定しておくことが必要です。



◆関係者から一言

プロジェクトチーム長の橋本樹明です。
まだ誰もやったことが無いことに挑戦するのは大変ですが、わくわくする仕事です。このような極限の技術開発は、今後の宇宙開発に大いに役立つと信じています。

◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/home/omotenashi/index.html>

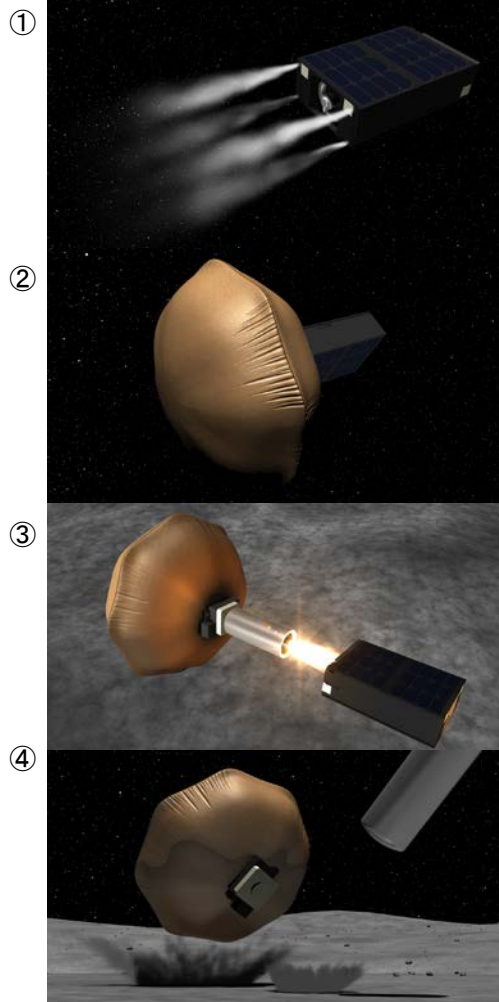
◆OMOTENASHIの着陸方法は？

①SLSロケットから分離された探査機は、ガスジェット推進装置により、月面へ衝突する軌道へ制御を行います。

②月衝突軌道に投入した後、月面へ衝突する直前(打上から4～5日後)に固体ロケットモータによって、秒速2500m(時速9000km)の相対速度を減速して、ほぼ0にします。ロケットモータの燃焼中は姿勢制御ができないので、探査機を高速に回転させて姿勢を安定させます。この時、衝撃吸収用のエアバッグを膨らませます。

③14kgの探査機全体を減速させるためには大きなロケットモータが必要で、これは6Uサイズには入りません。そのため、着陸に必要な部分は全て捨ててしまうことにしました。つまり、ロケットモータに点火すると、ロケットモータと表面プローブ(月面に着陸する部分)のみが分離します。

④ロケットモータによる減速後、表面プローブは月面へ自由落下を始め、秒速30m程度の速度で月面に衝突します。この時、エアバッグとクラッシュブル材によって探査機にかかる衝撃を吸収します。最後に、小型通信機により地球に着陸衝撃データを送信します。



The World's Smallest Moon Lander

OMOTENASHI

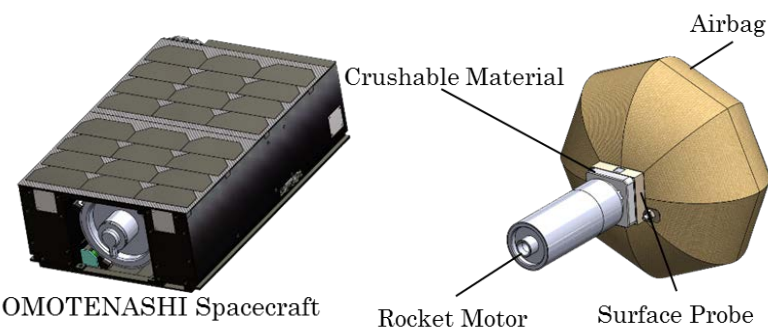
◆What is OMOTENASHI ?

As the world's smallest moon lander, OMOTENASHI will be launched by NASA's SLS rocket in 2019. This is a 6U-size (12×24×36cm) CubeSat weighing about 14kg. When surface exploration of the moon becomes possible with such an ultra-small spacecraft, industry, academia, and even individuals will be able to easily participate in space exploration in the near future.

◆What is the OMOTENASHI's mission?

The main purpose of OMOTENASHI is the development and demonstration of ultra-small moon landing technologies. It is thus necessary to make all components ultra-compact, such as the power system, communication device, control device, propulsion system, and computer. As it is impossible to mount a sensor for measuring the landing velocity and position, the spacecraft is expected to impact the surface of the moon at about 30 m/s (100 km/h). Therefore, OMOTENASHI uses an airbag and crushable material to absorb the shock of a moon landing. The ultra-compact technology developed in this mission can be applied not only to moon landings but also to various kinds of interplanetary exploration.

Another purpose of OMOTENASHI is to measure the radiation environment in the orbit between Earth and Moon. In order to pioneer human travel to the moon in the future, it is necessary to manage radiation exposure by measuring the environment.



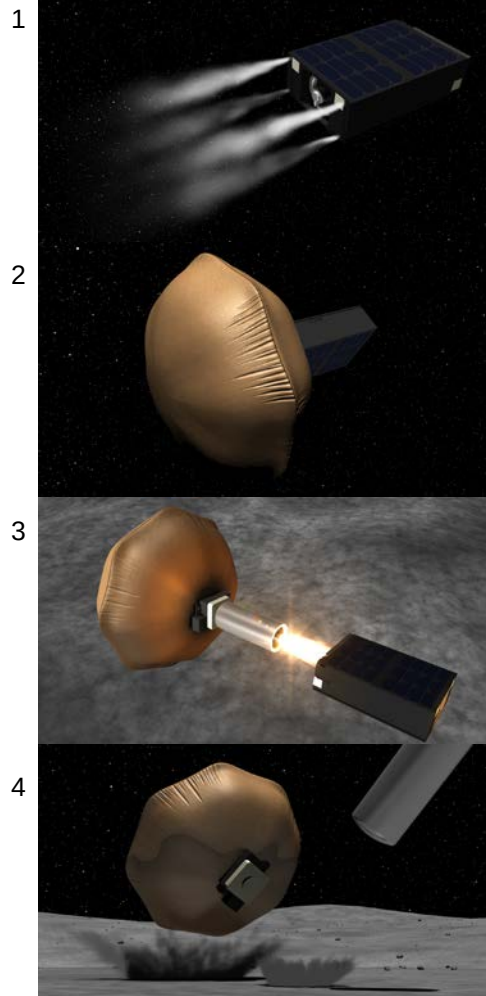
◆Comment from Team Leader

I am Tatsuaki Hashimoto, the project team leader. It is very difficult to attempt any challenge that no one has ever faced, but it is a very exciting project. I believe that such extreme technical development will help future space exploration.

◆If you want to know more about OMOTENASHI...
<http://www.isas.jaxa.jp/home/omotenashi/index.html>

◆How can OMOTENASHI land on the moon?

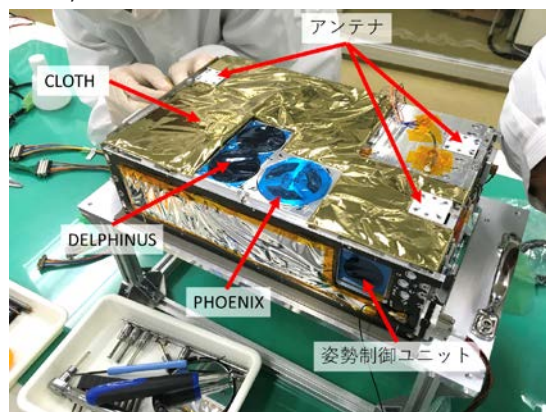
1. After the separation from the SLS, the OMOTENASHI spacecraft will be inserted into moon impact orbit by using cold-gas jet propulsion.
2. After insertion into moon impact orbit (4 ~ 5 days after launch), the solid rocket motor completely cancels the 2,500 m (9000 km / h) velocity immediately before impact with the moon's surface. As attitude control is not possible while the rocket motor is burning, the spacecraft achieves spin stabilization through high-speed rotation. At the same time, the airbag is inflated to absorb the impact.
3. The deceleration of the 14-kg spacecraft requires a large rocket motor, which cannot be mounted on the 6U-size CubeSat. Therefore, all non-essential parts are left behind for the moon landing. In other words, only the rocket motor and the surface probe (i.e. the part landing on the moon) are separated after rocket motor ignition.
4. After decelerating by using the rocket motor, the surface probe begins a free fall and impacts the moon surface at 30 m/s. At this time, the airbag and crushable material absorbs the impact applied to the surface probe. Finally, the landing impact data is sent to Earth by a small communication device.



月のラグランジュ点を目指す 超小型探査機EQUULEUS

◆EQUULEUS(エクレウス)って？

JAXAと東京大学中須賀・船瀬研究室が共同で開発している**6Uサイズ(10x20x30cm)/約14kg**の深宇宙CubeSatです。EQUULEUSは日本語で“こつま座”という意味です。(衛星内のいくつかの機器も星座に関連した名前が付いています。)
2019年に、NASAの有人型Orion試験機の相乗り副衛星として**SLS (Space Launch System) ロケット1号機によって打ち上げられる予定**です。水レジストジェットエンジン(AQUARIUS、アクエリアス)と月スイングバイを使って、**深宇宙を駆け巡り、月のラグランジュ点への到達**を目指します。小さな機体で大きなミッションを達成するため、各種機器を隙間なく詰め込んでいます。



▲EQUULEUS EMの外観

◆EQUULEUSの開発状況は？

現在はEM(エンジニアリングモデル、試作機)を上図のように組み立て、**様々な試験を実施している最中**です。具体的には、全機能が正常に動作することを確認する試験、ロケットの強い振動を与える試験(振動試験)、宇宙空間での強い日差しやむしろ日差しの無い時の温度条件を真空中で模擬する試験(熱真空試験)等を実施して、**EQUULEUSが安全に打ち上げられること、確実にミッションを達成できることを確認しています**。それらの過酷な試験を実施し、そこで出た不具合を改善することでできれば、FM(フライトモデル、実際に宇宙に行く)の製作を始めることができます。2019年の打ち上げに向けて今年度中にFMを完成させる予定です。

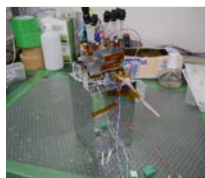


▲振動試験の様子
◀熱真空試験の様子

◆EQUULEUSのミッションって？

地球-月のラグランジュ点への航行を通じて、以下のミッション達成を目指します。

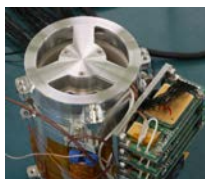
【工学技術実証】CubeSatによる太陽-地球-月圏での軌道制御・宇宙探査技術の実証。その際にAQUARIUSというエンジンを使います。



AQUARIUS (アクエリアス)

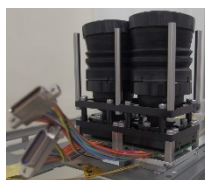
日本語で“みずがめ座”という意味です。水レジストジェットという、気化させた水を加熱しながら排出するエンジンで推進力を得ます。

【理学観測】以下3つの地球-月圏の宇宙環境調査。



PHOENIX (フェニックス)

日本語で“ほうおう座”という意味です。地球周囲のプラズマ撮像による地球磁気圏の全体像把握を目指します。



DELPHINUS (デルフィヌス)

日本語で“いるか座”という意味です。2台のカメラを駆使して、月裏面への隕石衝突が発する閃光を観測します。



CLOTH (クロス)

名前の由来は漫画「聖闘士星矢」の聖衣(クロス)から？という噂です。探査機を包む金色の断熱材に衝突する微粒子を検出し地球-月圏の宇宙塵の分布を調査します。

◆関係者から一言



EQUULEUSのプロジェクトリーダーの船瀬です。NASAも含め世界中の宇宙機関が超小型の深宇宙探査機の開発に取り組み始めています。超小型深宇宙探査ミッション全盛期の実現に向け今後も頑張ります！

SNS等での応援がプロジェクトメンバーの励みになります。下記のQRコードからアクセスしてフォロー・いいね！をよろしくお願いします。



▲HP



▲Twitter



▲Facebook

深宇宙探査技術実証機 DESTINY+

◆DESTINY+とは

DESTINY+（デスティニー・プラス）は、将来の深宇宙探査のカギとなる先端技術の実験をするミッションです。イプシロンロケットにより打ち上げることを提案しており、小型科学衛星4号機のミッションとして選ばれ、2022年頃に打ち上げられる見込みです。

機体の大きな特徴に、以下のものが挙げられます。

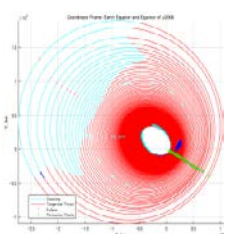
- イオンエンジン $\mu 10$ （はやぶさと同型）
- 薄膜軽量太陽電池パネル
- 先端的熱制御デバイス
- 小型軽量なアビオニクス
- 子機PROCYON-miniを搭載

◆流星群母天体の探査と軌道計画

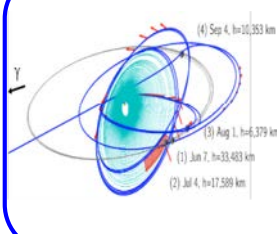
流星群母天体とは、流星群のもととなる流星群ダストを放出する天体であり、太陽系始原天体の進化過程を知る重要な手がかりとなります。DESTINY+ミッションでは、ふたご座流星群母天体である小惑星“フェイトン”のフライバイ探査を実施することにより、始原天体や流星群ダストの進化過程を明らかにすることを目的としています。

ミッション過程を下図に説明します。イプシロンロケットにより地球周回軌道に投入されたDESTINY+は、まずイオンエンジンによって徐々に高度を上げ（スパイラル軌道上昇）、約1年かけて月に到達します。その後、月スイングバイを複数回実施し、フェイトンへ向かう軌道に投入します。フェイトンのフライバイ後は他の小惑星へのさらなるフライバイも実施します。

スパイラル軌道上昇



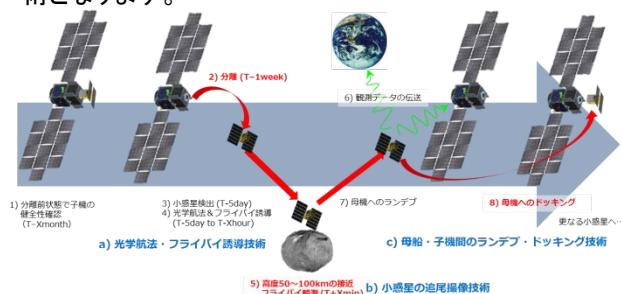
月スイングバイ



DESTINY+の説明を聞いてスタンプを押してもらおう！ARアプリでスタンプを映すとDESTINY+ミッションの様子が見られます！

◆子機による超近接フライバイ

フェイトンへ接近すると、DESTINY+は母船DESTINYと子機PROCYON-miniに分離します。その後、DESTINYは最接近距離数百km、PROCYON-miniは最接近距離数十kmのフライバイをそれぞれ実施し、フェイトンの観測を行います。これにより、母船を危険に晒すことなく超近接探査をすることができます。フライバイ後、2機はドッキングし、次の探査対象へ向かいます。これは世界初の深宇宙でのドッキングであり、複数回のフライバイ探査を実現するための重要な技術となります。



◆将来の深宇宙探査に向けて

DESTINY+と同じような軌道変換方法を用いることにより、深宇宙のさまざまな目的地に到達することができます。また、小型科学衛星を用いるDESTINY+は、深宇宙探査ミッションとしては比較的小規模なものです。このような構成を採用することによって、コストを低減しつつミッション機会を増やすことが可能となり、深宇宙への敷居はますます低くなることでしょう。

◆関係者から一言



DESTINY+プリプロジェクト準備チームリーダーの西山です。DESTINY+の実現に向けて頑張ります。よろしくお願いします。この他にも、DESTINY+にはいろいろな技術や探査目的があります。詳しくは、ブースの人にお尋ねください。



◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://destiny.isas.jaxa.jp/index.html>

宇宙科学研究のためのものづくり 先端工作技術グループ

◆先端工作技術グループとは？

平成28年、宇宙科学研究所研究・基盤技術グループ
工作室および宇宙機応用工学研究系宇宙ナノエレクト
ロニクスクリーンルームが改組し、先端工作技術グル
ープとして誕生しました。先端工作技術グループは、10
年先、20年先の宇宙科学研究を支える、宇宙機器開発の
ための機械工作、デバイス開発に取り組んでいます。



D棟3Fの工作室

◆新工作室の設立と我々が目指す先

我々は、現在新工作室を立ち上げ中です。現在ある
工作室を発展・拡張させる目的は、分野の垣根を超えた
知識・ノウハウ・技術を更に蓄積・集約し、JAXAの
将来ミッション候補やそれらに資する研究の試作
検討過程を支援し、研究開発を支えるためです。また、
実験ジグ、BBM(Bread Board Model)、最終的には衛星
搭載用FM (Flight Model) 品まで作製できる高度な加工、
設計支援を行っていきたいと考えております。



現在立ち上げ中のD棟1Fの新工作室

◆宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルーム

宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームは、JAXA
宇宙科学研究所が誇る、ISO クラス 1(1立方メートル
あたり、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ (μ は0.000001の単位)の
大きさの塵がそれぞれ10個、2個以下)の世界最高の
清浄度を誇るスーパークリーンルームです。このクリ
ーンルームでは、宇宙用エレクトロニクスデバイスや、
センサー、フィルター等を研究開発しています。



ぜんけい
スーパークリーンルーム全景

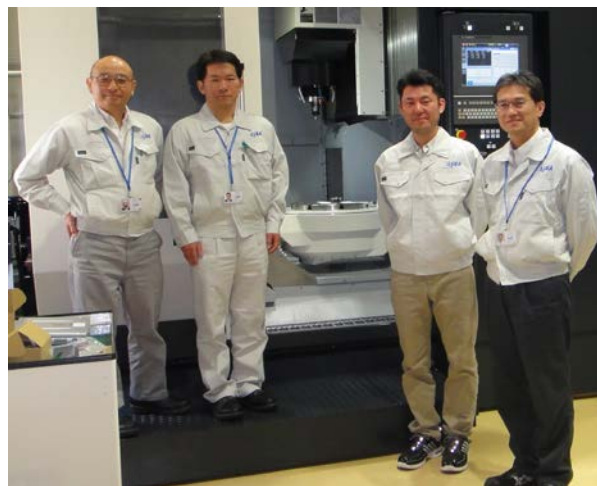


せんようむじんふく
専用無塵服

◆岡田グループ長から一言



このグループは、
機械工作技術とデバイス開発技術の
両面で宇宙研内部での『ものづくり』を
実践しています。特にインハウスでの
研究開発を強力に支援していきます。
ご期待ください。



新工作室スタッフ

超高速の空気流を人工的に作り出す

8-1 風洞実験設備

◆この建物の役割は？

皆さんは、マッハ数という言葉をご存知でしょうか？音の伝わる速さと等しい速さが マッハ 1。マッハ2の航空機は、音の伝わる速さ(音速)の2倍の速度で飛行していることになります。

ロケットやスペースプレーンは、マッハ1以上の非常に大きな速度で飛行します。高速気流実験設備(風洞実験設備)は、ロケットなどの高速飛行体の飛行環境を人工的に作り出し、ロケットなどの設計開発や、飛行前試験等を行うことを目的に設置されています。

◆主な設備は？

この建物の中には、空気源設備、遷音速風洞、超音速風洞及び計測システムがあります。遷音速風洞は、0.3-1.3のマッハ数範囲を、そして超音速風洞は1.5-4.0の範囲を連続的にカバーしています。各風洞の測定部は一边60cmの正方形断面を持ち、実飛行状態に相当する高速気流を実現して各種模型に働く空気力や圧力分布の測定などを行います。

模型に働く空気力を測定する天秤(6分力計)、流れ場を可視化するシュリーレン装置、模型表面や気流中の圧力を測定する圧力計などが主な計測機器です。

◆どんな研究開発をしているの？

JAXAが実施または計画中の、数多くの高速飛行体の設計開発に利用されてきました。

- ・M-Vロケット/再使用ロケット/イプシロンの開発
- ・「はやぶさ」カプセルの開発
- ・柔軟飛行体などの先進機体の開発

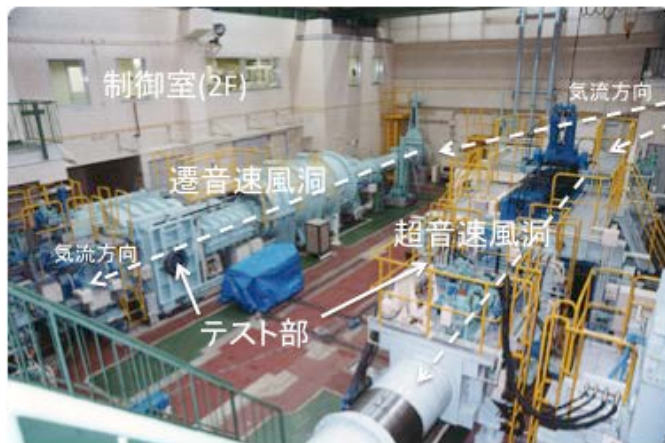
なお、風洞設備は、全国の大学・研究機関等の研究者も利用する事ができます。高速飛行のための基礎から応用まで、様々な研究開発が行われています。

- ・再使用型宇宙往還機の研究
- ・小型超音速飛行実験機の研究
- ・極超音速インテークの研究
- ・非定常空力現象の可視化/感圧塗料の研究

◆どこがどうスゴイ？

・最大でマッハ4(秒速1000m以上!)の超高速空気流を作ることができます。

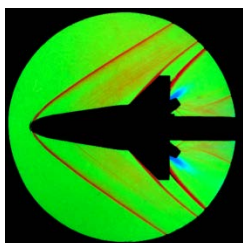
・ロケットの飛行環境を模擬するために重要なのが、レイノルズ数とマッハ数。本風洞では、模型とこれらの無次元数を現実と一致させることで、ロケットなどの飛行状態を高い精度で模擬することができます。



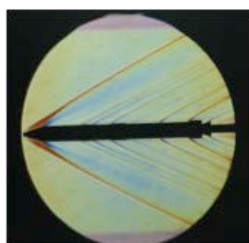
遷音速・超音速風洞：風洞実験棟内の様子



高圧空気源設備



超音速機・ロケットのシュリーレン写真



はやぶさカプセル・柔軟構造エアロシエルの試験用模型



高速気流総合実験(風洞)設備と、風洞設備における様々な模型による実験の様子