

ジャクサうちゅうかがくけんきゅうしよ  
JAXA 宇宙科学研究所

◆ここでは何をしているの？

ここでは、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、日本の宇宙かがくぶんやけんきゅうきょういくちゅうしんやくわり科学分野の研究・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。



◆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413名(うち教育職が126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、施設部門の職員その他に大学研究者、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。(人数は2016年5月現在)

◆最近の主な成果は？

2015年12月には、金星探査機「あかつき」が金星周回軌道に入り、日本で初めての地球以外の惑星を周回する人工衛星になりました。小惑星探査機「はやぶさ2」は地球スイングバイを行い、2018年に小惑星Ryuguへの到着を目指し航行中です。小型衛星「れいめい」によるオーロラを明滅させる電波「コーラス」の観測、惑星分光観測衛星「ひさき」による木星オーロラの観測など、世界をリードするような成果をあげています。また、再利用観測ロケット技術実証エンジン試験を行い、要求される機能・性能・寿命・再利用性を実証しました。

◆これからの計画は？

強化型イプシロンロケットで打上げるジオスペース探査衛星(ERG)、国際水星探査計画BepiColomboなどがあります。

◆所長から一言

宇宙科学研究所へようこそ。所長の常田佐久です。みなさまのご支援のもと、2015年には「はやぶさ2」の地球スイングバイや「あかつき」の金星軌道投入を成功させることができました。一方、ASTRO-Hの運用断念により、皆さまの期待や信頼を損なうこととなり、忸怩たる思いです。今後、宇宙研の信頼回復に努めてまいります。特別公開では、打上げの近づいているミッションや、現在計画中の将来のミッションも紹介しています。宇宙研の「今」と「これから」をどうぞご覧ください。



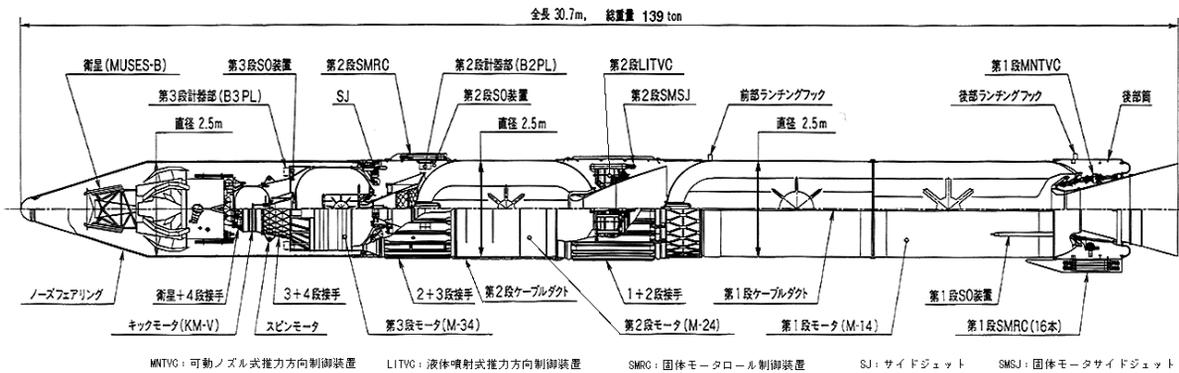
◆なぜ宇宙を研究するの？

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ことは、実は宇宙に満ち溢れる謎に迫ると同時に我々の住む地球のことを探ることにもつながるのです。すなわち、地球環境問題の解決にも大きく貢献しますし、将来の新技術・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。

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

# 固体燃料ロケット M-Vロケット

Mロケットシリーズは、科学衛星や探査機を打ち上げるために開発された、固体燃料ロケットです。1号機の打上げ以来、途中4号機の失敗があったものの、2機の太陽系探査機と、4機の天文衛星を軌道に乗せてきました。2006年9月の7号機による「ひので」の打上げで、その役目を終了しました。その成果は、イプシロンロケットに引き継がれています。



M-V-1号機断面図



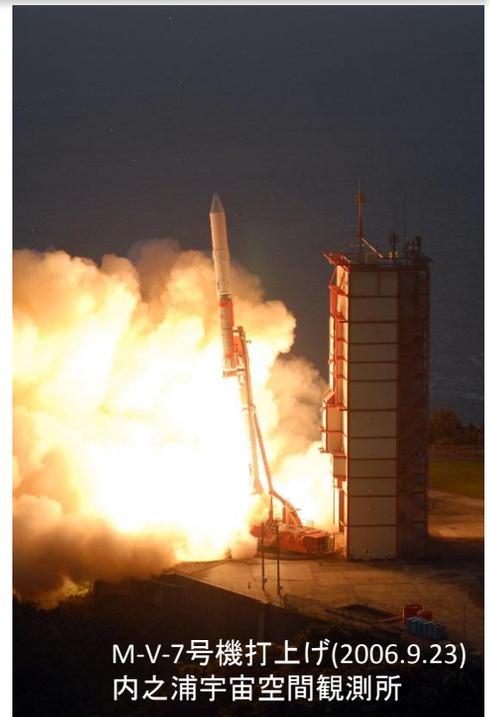
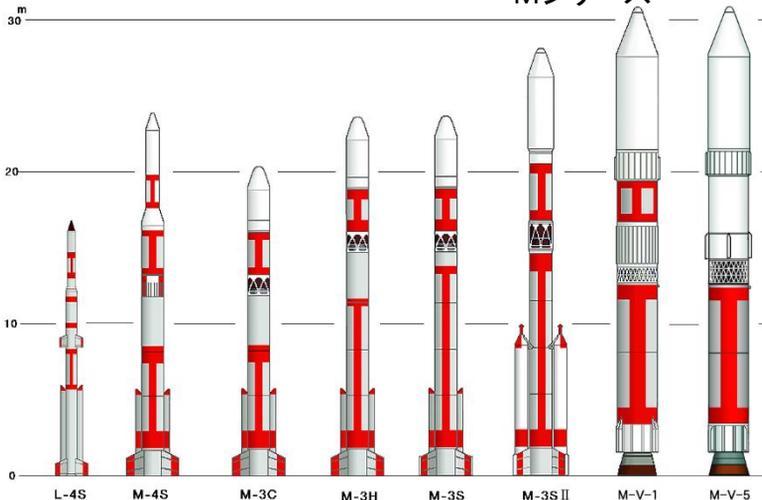
## M-Vロケットの大きさ

全長: 30.7m  
直径: 2.5m  
重さ: 139トン

## M-Vロケットで打ち上げられた科学衛星・探査機

- 1号機 (1997.2.12): 電波天文衛星「はるか」
- 3号機 (1998.7.4): 火星探査機「のぞみ」
- 5号機 (2003.5.9): 小惑星探査機「はやぶさ」
- 6号機 (2005.7.10): X線天文衛星「すざく」
- 8号機 (2006.2.22): 赤外線天文衛星「あかり」
- 7号機 (2006.9.23): 太陽観測衛星「ひので」

## 日本の科学衛星打上げロケット Mシリーズ





# スマートに月面へ！ 小型月着陸実証機 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  
いって、その頭文字からSLIMと名付けられたよ。

日本で初めて月への  
着陸を目指すんだね。

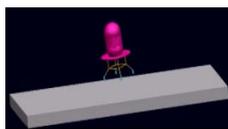
SLIMには、体型がスリムっ  
ていう意味もあって、小さく  
て軽い着陸機なんだ。

小さいのに機能は  
たくさん詰まってい  
るんだね。すごい！

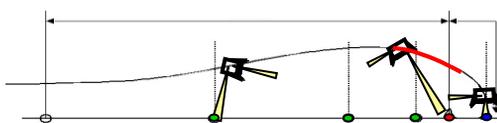
月面に狙いを定めて、  
ピンポイントで着陸す  
るっていう難しいことに  
挑戦するために、とっ  
ても高性能なんだ。

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。

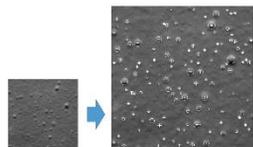
## SLIMに使われる先端技術



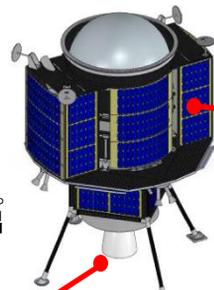
着陸解析



月面撮影・位置制御(画像照合航法)



画像からクレータ抽出



薄膜太陽電池

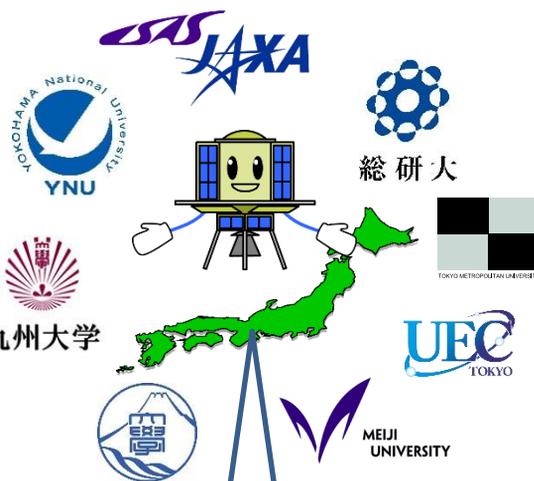


高性能推進系



着陸衝撃吸収系

## 大学との連携



JAXAと様々な大学との連携で、  
SLIMには日本の最先端技術が  
使われているよ！



もっと詳しく知りたい人は、ホームページもチェックしてみてね。  
<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、たとえば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、月で過去に起きた火山活動がわかることでしょう。また、月の固有の水や、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あるかもしれません。縦孔・地下空洞は、科学研究対象の宝庫です。



### ◆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。温度は、 $-150^{\circ}\text{C}$ から $120^{\circ}\text{C}$ と大きく変化します。

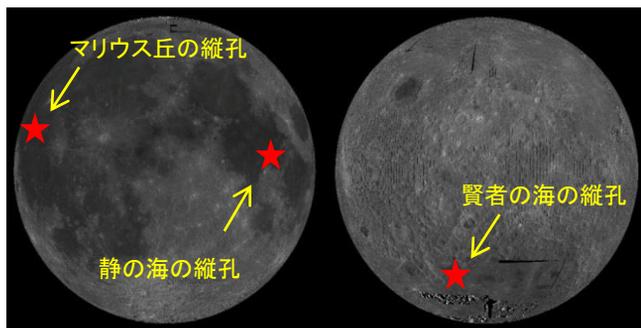
しかし、月の縦孔の底や地下空洞では、隕石や放射線から守られ、また温度もほぼ一定だと考えられます。空洞の壁や底はガラス質で覆われていて、密閉性が高いと考えられ、シャッターをして空気を送り込めば、人が住むのに適した圧力が保たれた空間を作り出すことができることとなります。他にもたくさんの、基地としての利点が挙げられます。人や観測機器に優しい縦孔・地下空洞内の基地で、長期間の科学観測が可能になることでしょう。そして、人類が宇宙へと適応していくための様々な科学データが取得されていくでしょう。

### 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、 $-20^{\circ}\text{C}$ 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？
- **高い密閉性**
- **塵の無い空間**
- **平滑で堅固な床面**
- **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 中島真理さん 画)

UZUME計画HP: <http://kazusa.net/uzume/>

# 火星の月フォボスからのサンプルリターンに挑む 火星衛星探査機「MMX」

## ◆MMXとは？

MMX (Martian Moons eXplorer)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、MMXは火星衛星を周回・観測し、フォボスからは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。



↑火星衛星フォボス(左)とダイモス(右)

## ◆なぜ火星衛星を探査するの？

MMXの火星衛星探査には科学と工学の2つの面から次のような目的を検討しています。

### 【科学】

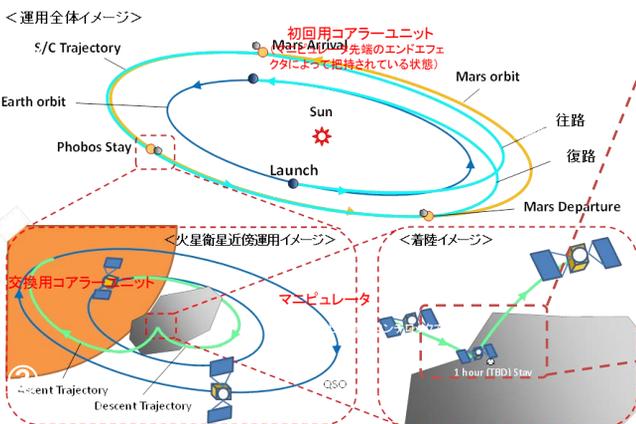
- 火星衛星の起源を明らかにし、太陽系の惑星がどうやってできたのかを明らかにする
- 火星圏(火星・フォボス・ダイモス)がどのように進化してきたのかを明らかにする

### 【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

## ◆MMXのミッションシナリオ(検討中)

MMX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。



↑火星衛星に接近するMMXのイメージ

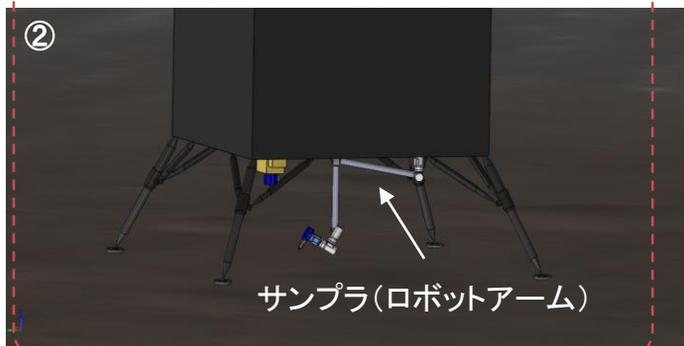
その後、フォボスの周回軌道(QSO)に入り、さまざまな観測を行うことを検討しています。この期間に複数回フォボスへの着地を行いロボットアームによりサンプルの回収を検討しています。フォボス観測・サンプル採取を終えたMMXは地球に戻ってきて、カプセルの中に入っているサンプルを地球に届けてくれるというシナリオを検討しています。



## ◆関係者から一言

探査機システム検討をとりまとめている川勝です。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。昨年度から、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。

## <サンプル採取イメージ>



←↑ MMXのミッションシーケンス案(検討中)

# キュレーションのお仕事紹介

## ◆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月に打ち上げに成功した「はやぶさ2」、2016年に打ち上げを予定しているNASAの「OSIRIS-REx」の帰還試料受け入れも予定されています。



実際にイトカワの粒子を扱っているクリーンチャンバー

## ◆キュレーションでの作業

「はやぶさ」の持ち帰ったイトカワの試料は、0.1mm以下程度の非常に小さな粒子です。私達は、この宇宙から持ち帰った貴重な粒子を、地球の酸素や水に触れさせないため、純窒素ガスを循環させた大きな箱(クリーンチャンバー)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って扱います。ガラス針の中には、金属の導線が入っており、電気を流して静電気を発生させ、その力で粒子をくっつけて拾います。ゴワゴワの手袋3枚を重ねた状態で、小さな粒子を、静電気ので1粒1粒持ち上げて移動させます。

こうして拾い出した粒子は、電子顕微鏡で形状や組成を判別し、カタログ化されます。カタログは、私達のホームページで公開されており、みなさんも見ることができます。また、世界中の研究者が詳細研究のための粒子を選ぶ時にも、大切な情報源となっています。



イトカワ粒子の回収の様子

## ◆どんなことがわかった？

電子顕微鏡という装置の中で数千倍に拡大して観察を行いました。観察の結果、イトカワの粒子は、主に珪酸塩鉱物で構成されていることがわかりました。これらの鉱物は地球の岩石にも存在しますが、「はやぶさ」の持ち帰った微粒子は、太陽風(主に水素、ヘリウム、ネオン等)などが打ち込まれており、また微量元素や同位体の組成が地球の物とは異なることから、小惑星イトカワの表面の粒子であることが確認されました。

また地球に降り注いでくる隕石の大半が小惑星の破片であること、小惑星イトカワが20km以上のより大きな天体の破片が集合した天体であること、その表面から粒子がどんどん離脱しており、1億年程度でイトカワ自体がなくなってしまうかもしれないこと、などがわかりました。現在日本を含む世界中の研究者がさらに詳しい研究をつづけています。

## ◆はやぶさ2のリュウグウ試料

2014年12月に、新たに小惑星探査機「はやぶさ2」が打ち上げられました。「はやぶさ2」は、イトカワとは別の小惑星「リュウグウ」から粒子を持ち帰る予定です。持ち帰られた粒子を受け入れる準備も現在進められています。

リュウグウには、水や有機物があると考えられています。小惑星は地球の材料と言われているため、リュウグウの粒子を調べることで、地球の水や生命がどうやってできたのかわかるかもしれません。

## ◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://hayabusaa.isas.jaxa.jp/curation/index-j.html>

# 小惑星研究と隕石研究

## ◆小惑星研究と隕石研究

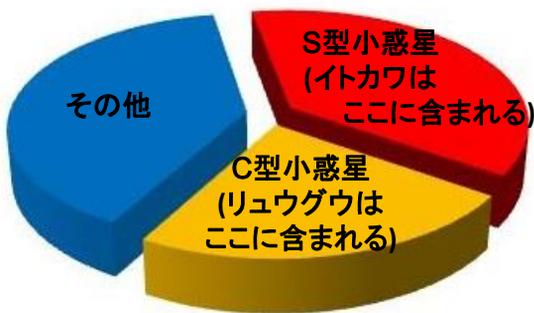
小惑星の研究は地上の望遠鏡などを用いて色の違いを調べる反射スペクトル観測によるものが主流です。この観測では地球の大気の影響などはっきりと見積もることが難しく、また、反射スペクトルの情報は小惑星の表面からの情報が多く含まれており、小惑星のスペクトル観測による結果と隕石の観察による結果を照らし合わせるが良いのか判断が付きませんでした。

一方、隕石の観察による研究では地球の大気圏突入時の影響や落下後の地球上での汚染や風化の影響を完全に排除することが難しいです。また、大部分の隕石は大気圏突入時に燃え尽きており、落ちてきた隕石はふるいわけされていません。

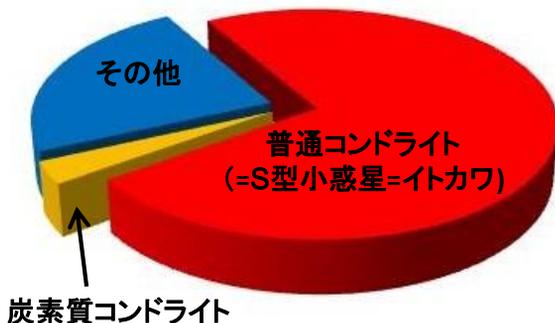
実際、小惑星の反射スペクトル観測から得られた小惑星のタイプと隕石の化学的分類はある程度一致すると考えられていますが、その量比は異なっていることがわかっています。

このように小惑星と隕石の関係についてより詳細な理解を得るためには、地球外の天体の試料を直接手に入れるサンプルリターンが重要になってきます。

反射スペクトルによる小惑星の分類  
(近地球型小惑星の数量比)



化学組成による隕石の分類



## ◆サンプルリターンの意義

地球外天体から直接試料を持ち帰ることにより

- ・大気圏突入時にふるい分けされない(丈夫な試料も壊れやすい試料も手に入る)
- ・地球上の汚染や風化の影響がない
- ・産地がはっきりしている
- ・最先端の技術で分析を行える

といったメリットがあります。

今後、はやぶさ2やNASAの「OSIRIS-REx」といったサンプルリターンによる試料の研究によって、太陽系のより詳細な進化の過程が理解できることになるでしょう。

## ◆イトカワとリュウグウ

イトカワは反射スペクトルによる分類ではS型小惑星に分類される小惑星です。これは隕石でいうと普通コンドライトに分類されます。

はやぶさ1が持ち帰ったイトカワ粒子より小惑星の表面には太陽風がうちこまれており、衝撃や宇宙風化と呼ばれる現象の痕跡を確認することができました。また、持ち帰った粒子と小惑星の反射スペクトル、隕石の研究結果より、これまで言われていたようにS型小惑星は普通コンドライトの母天体と同じものからできると推察できました。

リュウグウは反射スペクトルによる分類ではC型小惑星に分類され、これは炭素質コンドライトの母天体と同種であると考えられています。炭素質コンドライトはその名のとおり、炭素質の物質や有機物質を多く含み、揮発性の元素に富みます。

リュウグウから水の存在を示す鉱物や有機物を含む粒子を持ち帰ることにより鉱物、水、有機物の相互作用を明らかにすることが可能になると期待されます。



上図:  
リュウグウとはやぶさ2  
左図:  
イトカワとはやぶさ

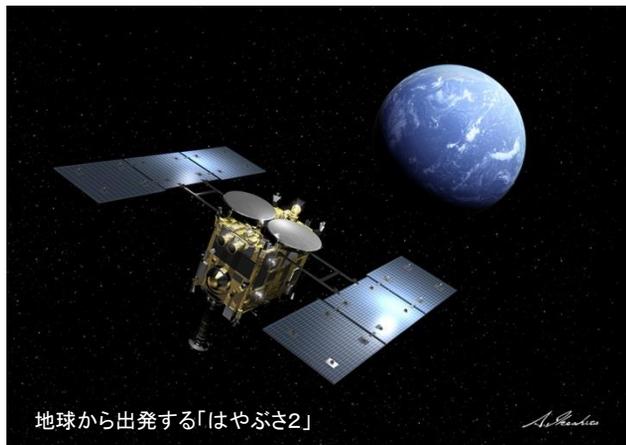
## ◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://hayabusaa.isas.jaxa.jp/curation/index-j.html>

(1-4) 体験イトカワ！発見リュウグウ！

# 2016年 小惑星リュウグウに向けて巡航中 小惑星探査機「はやぶさ2」

## ◆「はやぶさ2」の新たなチャレンジ



地球から出発する「はやぶさ2」

小惑星探査機「はやぶさ」によって、私たちは太陽系往復探査の技術や小さな小惑星について様々なことを学ぶことができました。しかし、これはまだ最初の一步にすぎません。新たな挑戦を目指して、「はやぶさ2」を2014年12月3日に打ち上げました。「はやぶさ2」は、地球スイングバイに成功し、現在、目的地の小惑星リュウグウに向け順調に航行中です。

「はやぶさ2」も「はやぶさ」と同様に小惑星往復ミッションです。一般的な人工衛星と異なるのは、打ち上げ→巡航（動力航行、スイングバイ）→小惑星接近→観測→着陸→巡航→地球帰還といったように、ミッションそのものが一つの流れとなっていることです。このような特殊なミッションに合わせた宇宙探査機的设计や製作は容易ではありませんが、「はやぶさ2」は「はやぶさ」の経験を活かしつつ、さらに発展させています。これができるのは、世界で唯一小惑星サンプルリターンを実現した日本の強みです。

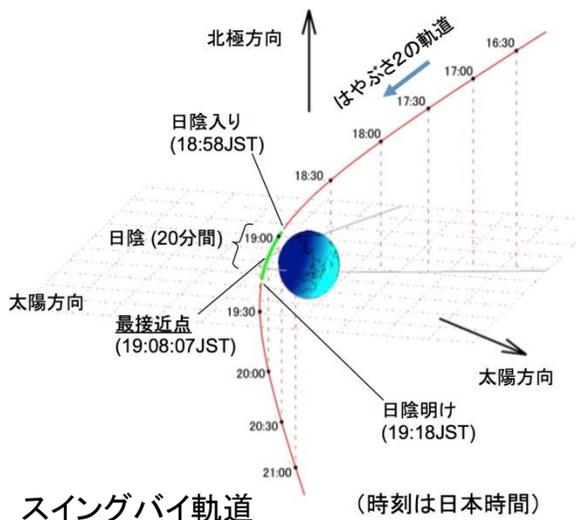
「はやぶさ2」での新しい挑戦は、衝突装置というものによって小惑星に小さなクレーターを作る試みを行うことです。約2kgの銅の塊を秒速2kmで小惑星表面に打ちこむことで直径が数メートルのクレーターを作り、可能であればそこに着陸して物質を採取します。このことで小惑星表面の物質だけでなく、地下の物質も手に入れることができます。この衝突装置による実験の様子は、分離カメラで撮影します。

このほか、2つの平面アンテナ（X帯とKa帯）や、小型着陸機のMASCOT（マスコット）、小型ローバのMINERVA-II（ミネルバ2）も新しいものです。また、着陸のときに目印となるターゲットマーカは、「はやぶさ」のときの3個から5個に増やしました。さらに外からは分かりませんが、姿勢制御装置やイオンエンジン・化学エンジンなどにも多くの改良がなされています。

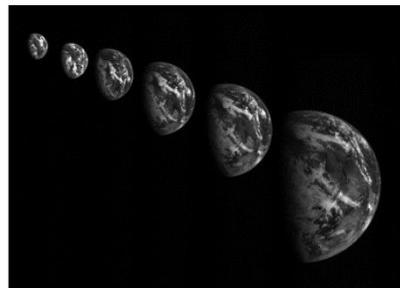
小惑星を観測する装置としては、光学航法カメラを3台、中間赤外カメラ、近赤外分光計、レーザ高度計を搭載しています。そして、もちろん、サンプルを取る装置や再突入力セルもあります。このように、「はやぶさ2」は盛りだくさんの装置によって、リュウグウを詳しく調べるのです。

## ◆スイングバイ成功

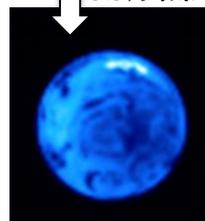
2015年12月3日19時8分（日本時間）、「はやぶさ2」は地球に接近してスイングバイを行いました。地球の引力を利用して、リュウグウに向かう軌道に変更したのです。最接近は、地表から約3090kmの距離で、ハワイ諸島の上空でした。地球接近の前後では、光学航法カメラや中間赤外カメラで地球や月の撮影を行ったり、近赤外分光計でもデータを取得しました。また、レーザ高度計では、地球から約670万kmの距離において地上のレーザ局から打ったレーザを受信することに成功しました。スイングバイ後は、イオンエンジンを用いたりしながら、約2年半をかけてリュウグウに接近していくことになります。



← 光学航法カメラ(望遠)で撮影した南極周辺(2015年12月4日)



↑ 光学航法カメラ(広角)で撮影した地球(2015年12月3日)



← 中間赤外カメラで撮影した地球(2015年12月4日)

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

(1-5) はやぶさ2～深宇宙大航海～

# 小惑星探査で調べること

## ◆「はやぶさ2」のサイエンス

太陽系は、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。星間ガスが自分の重力によって収縮し、中心に太陽が生まれたのです。つまり、地球を作っている物質は、46億年前の星間ガスの中にあつたこととなります。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ど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。小惑星サンプルリターンは、まさに太陽系誕生時の物質を探るミッションなのです。

「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ましたが、そのサンプルを調べることで、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なく、海には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つ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、まさに生命の原材料にも迫るミッションなのです。

## ◆「はやぶさ2」探査対象天体 C型小惑星リュウグウ

「はやぶさ2」は、「はやぶさ」が探査したイトカワとは異なる種類の小惑星を目指します。イトカワはS型に分類される小惑星ですが、「はやぶさ2」が目指す小惑星リュウグウ((162173) Ryugu)は、C型に分類されています。C型小惑星は、その表面の物質に有機物や水を多く含んでいると考えられています。リュウグウは、まさに「はやぶさ2」の挑戦に適した小惑星なのです。

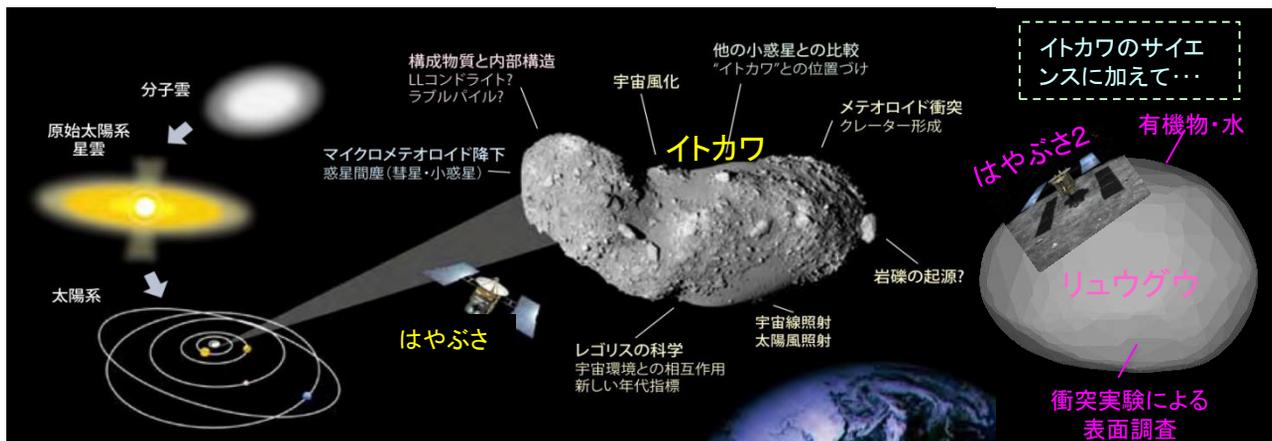


小惑星リュウグウの軌道

これまでの観測で、リュウグウは大きさが900m程度で、形はほぼ球形であることがわかっています。イトカワが530mくらいですから、イトカワよりは大きいですが、小さな天体です。約7.6時間で自転しており、地球と火星軌道の間を公転しています。詳しいことは「はやぶさ2」が到着しないと分かりません。「はやぶさ2」がこの小惑星に到着するのは、2018年の予定です。どのような小惑星なのか、今から楽しみです。



人工的に作ったクレーターにタッチダウンする「はやぶさ2」(想像図)



小惑星サンプルリターンミッションで調べること

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

ジャクサ あたら と く  
**JAXAの新しい取り組み**  
 うちゅうたんさ  
**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の活動

平成27年4月、新しい組織である「宇宙探査イノベーションハブ」が設置されました。私たちは、JAXAの公的研究機関の特性を生かし、企業や研究機関から多くの人材や様々な知識を集めた新しい拠点となり、宇宙開発利用のための技術研究開発だけでなく、地上産業にイノベーションをおこすことを目指しています。次の図にある「3つの歯車」は、私たちの活動をイメージしています。企業・大学・研究機関がもつ様々な地上技術と、JAXAの宇宙探査技術とを「宇宙探査イノベーションハブ」が結び付け、新しい地上産業の創出と、新しい宇宙探査技術を力強く生み出していきます。

国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)のイノベーションハブ構築支援事業に、「太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けたオープンイノベーションハブ」として平成27年6月に採択され、私たちの活動する環境が整いました。

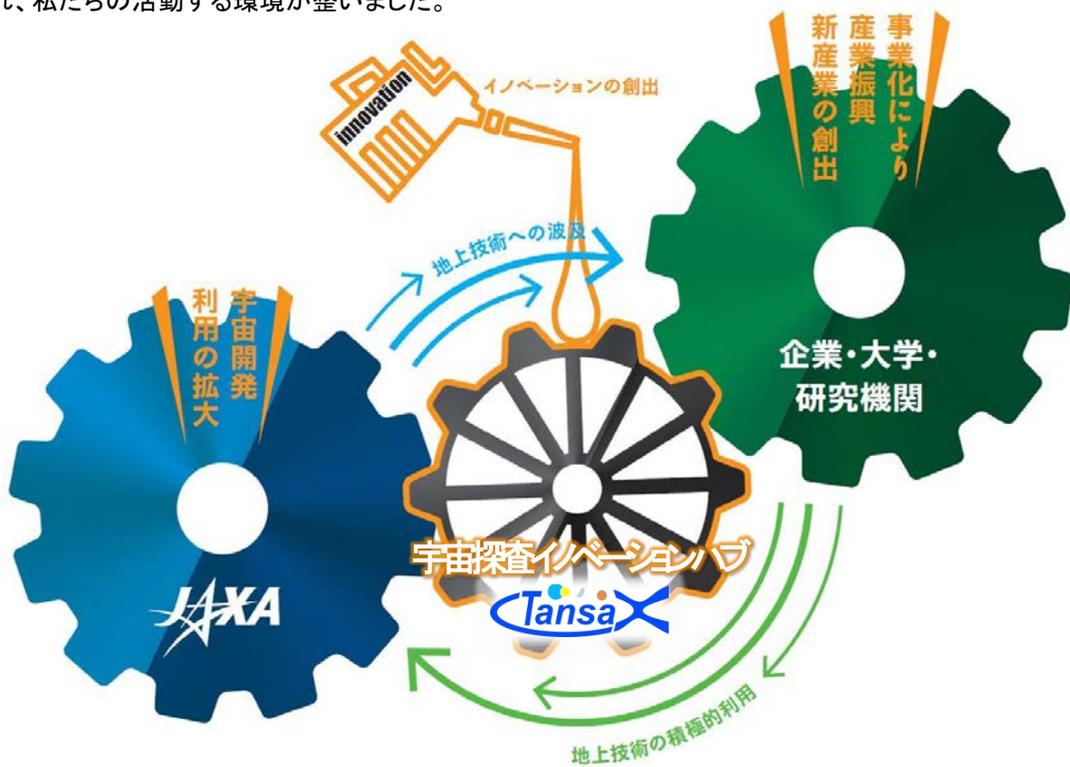
◆ 情報提供要請(RFI)と研究提案募集(RFP)

企業・大学・研究機関等の研究開発者より、宇宙探査に関する技術情報を提供いただく「情報提供要請(RFI: Request For Information)」をおこない、その情報を基にJAXAからの課題を設定し研究を募る「研究提案募集(RFP: Request For Proposal)」によって、オープンイノベーションハブの研究開発を進めています。

平成27年末に実施した第1回 研究提案募集(RFP)では、65件の研究提案をいただき、外部有識者を含む評価を経て、31件の研究開発を実施しています。また、平成28年4月より、情報提供要請(RFI)を随時受け付けています。ご関心をお持ちの方は、「宇宙探査イノベーションハブのホームページ」をご覧ください。

◆ 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URL  
<http://www.ihub-tansa.jaxa.jp/>



宇宙探査イノベーションハブの活動のイメージ「3つの歯車」

◆ 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。  
 JAXAの前身の前身は、今から約100年前1918年に東京帝国大学の附置研究所として開所されました。当時の世界の航空機の最先端に遅れを取るまいと、技術研究開発を加速させました。その後紆余曲折を経て、その挑戦の矛先は、ロケット・人工衛星・人工惑星・深宇宙探査機・スペースステーションへ次々と向けられて、Game Change(現状を打破して根本的な変革をもたらす)しながら世界を先導して「宇宙探査」を実現させてきました。この挑戦的な研究開発応用のスキームを、地上活動に応用できれば、多くの新産業を創出できるはずで、TansaXは宇宙と地上の双方にイノベーションを興します。

## 愛称「TansaX」と「宇宙探査実験棟」

## ◆ 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 ロゴの紹介

次の図は「TansaX」のロゴです。「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。



宇宙探査イノベーションハブの愛称「TansaX」のロゴ  
Technology advancing node for space eXploration（宇宙探査のための技術進歩の要）

## ◆ 新しい施設「宇宙探査実験棟」

平成28年3月中旬より、M-V ロケット実機模型の背後の区画が整備されました。この場所には、平成28年度末竣工（予定）の「宇宙探査実験棟」が建設されます。

宇宙探査イノベーションハブの活動を効率よく実施するため、人や実験設備を一カ所に集約し相互に連携させる具体的な施設が、宇宙探査実験棟です。宇宙探査実験棟は、幅27m×奥行き32m×高さ12mの鉄筋2階建てで、飛翔体環境試験棟（C棟）と並ぶように配置されます。最大の特徴は、月惑星表面を模擬した広大な屋内実験場である「宇宙探査フィールド」を持つことです。

これは、約400㎡（幅18m×奥行き22.5m、1-2階吹き抜け）の広さで、砂礫や岩等により起伏のある月惑星の表面地形を模擬し、実スケールの探査ロボットや着陸機を用いた探査活動の一連の性能・機能確認や運用試験等を行います。

この宇宙探査フィールドを見下ろす見学用の通路・窓を2階に備え、一般来訪者を受け入れることができます。この宇宙探査実験棟により、将来の宇宙探査のための新しい技術研究開発や人材育成・交流が、一層活発になるよう期待します。



宇宙探査実験棟の完成予想図（左：外観、右：内観）

世界の国々が協力して、人類の活動場所を太陽系に広げる

# 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、1つの国の力で成し遂げることは、とても難しいことです。そのため、世界の国々が協力して、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検討を進めています。



## ◆国際宇宙探査ロードマップ

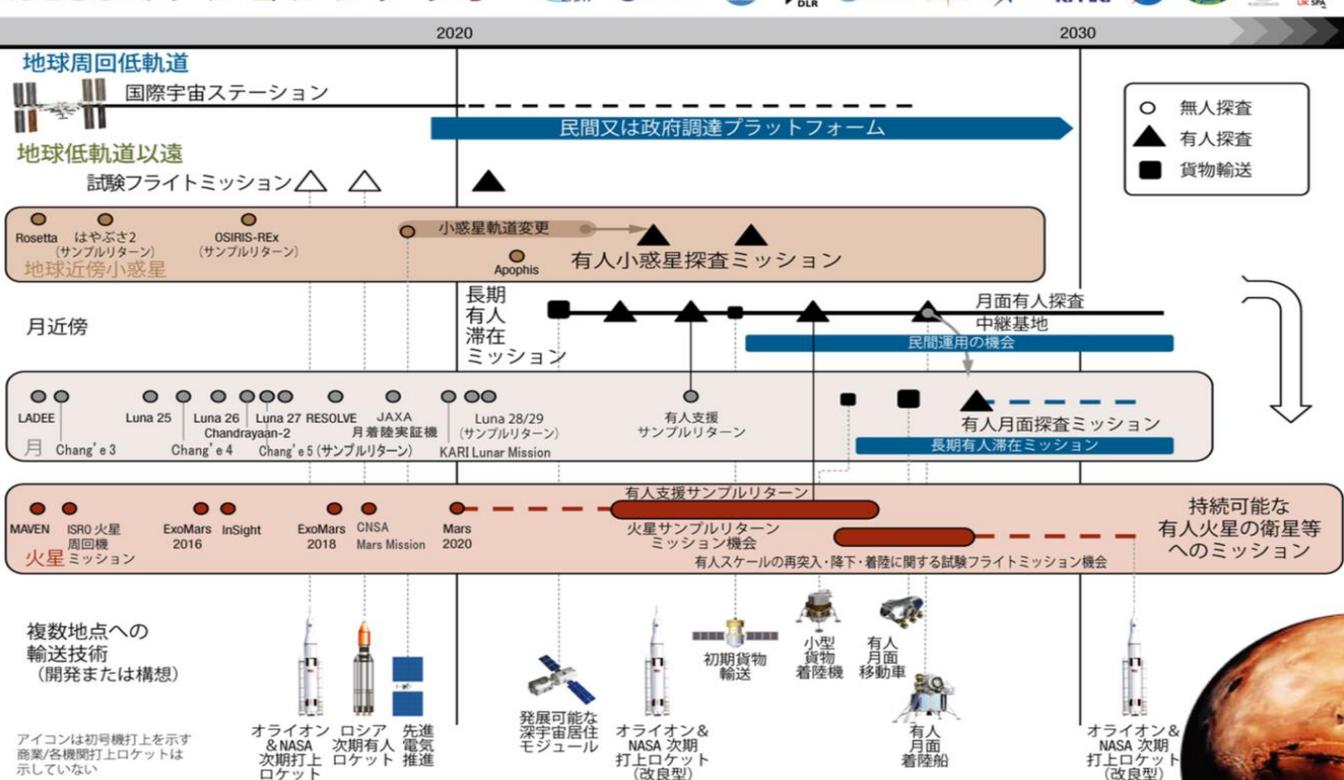
ISECGでは、2030年代に有人火星探査ミッションを実現することを目標に、持続可能な探査シナリオの検討を行っています。現在、地球周回低軌道では、国際宇宙ステーションにおいて、生命維持技術や宇宙医学の分野において様々な実証が行われており、そこで培われた技術を今後の地球低軌道以遠のミッションに継承していきます。小惑星については、はやぶさ2などの無人探査や、無人探査機により月の近くの領域に運ばれてきた小惑星へ宇宙飛行士を送り込んで行う有人小惑星探査ミッションが検討されています。月およびその近傍領域では、月面の水の存在を確かめるミッションや、月のサンプルを持ち帰ることが検討されており、将来の有人月面探査ミッションに向けたシナリオ作りが進められています。

これらの月近くの領域で行われる探査によって培われた技術や経験、築き上げられた世界の国々の協力関係をもとに、有人による火星探査の実現を目指しています。

## ◆宇宙探査に必要な技術

これまでの軌道上での活動技術に加えて、月や火星などの天体表面で活動する技術が必要になります。そのためには、宇宙飛行士を安全に運ぶための輸送や着陸の技術、月面での生活や研究を行うためのエネルギー源となる発電や電気をためるための技術、空気や水を再生する生命維持技術、広い範囲を探査するための移動車(月面車)の技術、月の土を取るために掘ったり削ったりする技術など、今のうちに準備しておく必要があります。2020年代末には、有人月面探査が計画されていますが、その前に無人の探査機によって着陸・離陸・月面車や月面基地のテストを行うことなどが計画されています。

## ISECGミッションシナリオ



# 最先端技術で月を調べる 月着陸探査計画

## ◆月へ行くためには、月を知る

「かぐや」などの探査機が月を外側から調べましたが、表面の砂(レゴリス)を除いた下にある岩石の性質、地下に水があるか、月の内部の構造がどうなっているかなどはよくわかっていません。アポロ計画では月の石や砂を持ち帰りましたが、調べたのは月の「海」と呼ばれる平らな場所に限られています。

将来、人が安全に月へ行くためには、放射線環境や地盤などの環境調査も必要です。そして、本格的な月探査を行うには、水などの利用可能な資源がどこにどのくらいあるのか、調べておくことが必要です。そのため、無人の探査機を月面に着陸させ、詳しい観測をすることを計画しています。

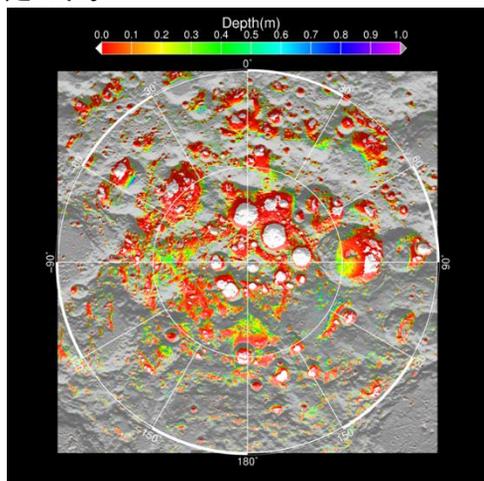
着陸地点としては、地下に水があると考えられている南極、北極、月の地下物質が表面に出ている大きなクレータの内部など、人類未踏の場所を検討しています。

## ◆観測装置は？

地下にどの程度の水があるか、月の水はどこから来たのかを調べるためには、中性子分光計、赤外線分光計、質量分析装置、同位体分析装置、掘削用ドリル、加熱装置などが必要になります。

月がどのようにできて今のような地形になったのかを調べるためには、広帯域地震計、熱流量計、電磁探査装置、レーザ測距用リフレクタ、岩石研磨装置、分光カメラ、X線分光計などが検討されています。

また、月面の環境を詳しく調べるために、放射線線量計、地盤調査装置、ダスト計測装置などを搭載する予定です。

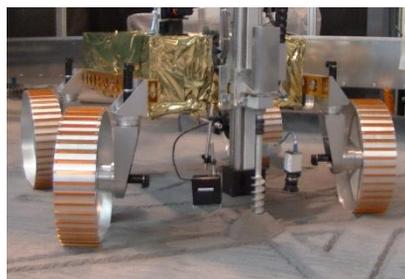


南極付近の氷の存在可能性地図。赤い部分が浅いところに氷が存在すると予想されている場所。NASAのLRO探査機の観測データから推定されたもの。 Paige et al. (2010)



## ◆新たに開発する技術は？

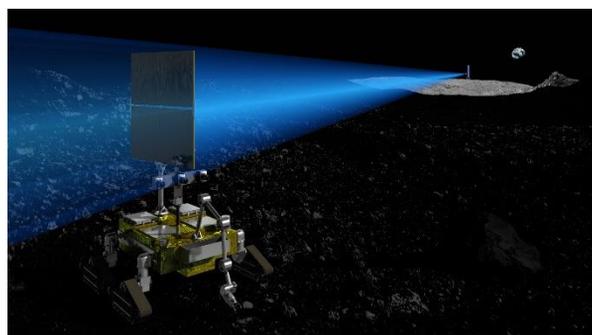
このような探査を実現するには、狙った場所に高精度に、そして岩などの障害物を避けて着陸しなければなりません。また、月面の細かいレゴリスの上を走る技術、激しい温度環境やレゴリスから装置を守る技術が必要です。観測装置を地面に設置したり岩石や砂を取り扱うロボットアーム、地中の物質の観測を行うための掘削ドリルも開発しています。太陽電池が使えない影の領域や低温の月面で観測装置を動かすためには、徹底した断熱技術、省電力化技術、高効率の蓄電池技術が必要です。将来的には、日の当たる高台などで発電した電力を、影になった場所に無線で送る技術も必要になるでしょう。



探査ローバに搭載したドリルで地面を掘ります。



ロボットアームの研究もしています。



レーザ電力伝送の想像図

# 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)”**、**“環境に優しい”**、**“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。

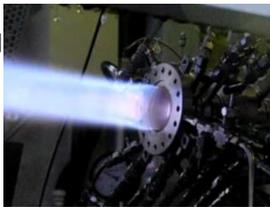
## ◆スマートな電力生活を！



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！

## ◆見たこともない夢の宇宙エンジン

ロケットや衛星のエンジン系には「ヒドラジン」、「液体水素」といった性能は優れるが猛毒であったり、あるいは極低温といった状態での貯蔵が必要な燃料が使用されています。人間が使いやすい無毒で常温で保管・運用できる自動車のエンジンのような宇宙エンジンの技術開発を進めています。特に**無毒／常温保管**が良好なものとして代替フロン、亜酸化窒素(いわゆる笑気ガス)／エタノール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。



また燃料のエンジンへの供給方法に関しても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安全で低コストな新方式を「超臨界」を切り口として実現化を推進しています。これは**ポンプの要らないエンジンで**、火力発電所のボイラー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自己加圧供給を可能にしたものです。将来のロケット、探査機等に有用です。

## ◆災害を生き延びる -サバイバルツール

前項の記載のよう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有人活動(船外活動)装置として軽量小型化が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小型装置として使用できるものです。**どこ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

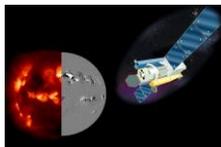
## ◆川口シニアフェローから一言



「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。**

# 衛星運用

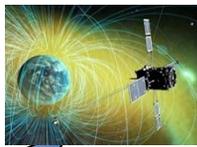
(ひので)  
SOLAR-B



(ひさき)  
SPRINT-A



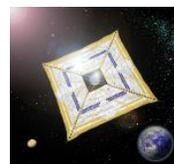
FY28打上予定  
ERG



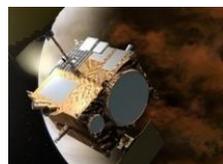
(はやぶさ2)  
HAYABUSA2



IKAROS



(あかつき)  
PLANET-C



相模原キャンパス  
管制センターへ

GEOTAIL



内之浦宇宙空間観測所  
34m、20m、及び新宮原11m

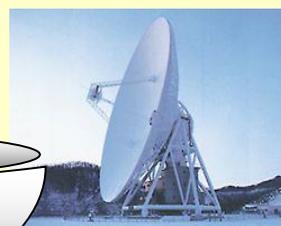


NASA DSN局

使用可能な地上局

追跡NWセンタ管轄  
新GN/EN局も併用

臼田宇宙空間観測所  
64m



JAXA VLBI観測 (JAXAのアンテナを利用)

探査機の軌道決定をVLBI観測で行いさらなる高精度化をめざす。  
・他の高精度観測のため、アンテナ局位置を高精度で決める。  
・電波天文局としての日本のVLBI観測局としての中心的役割を果たす。

はやぶさ MUSES-C  
(H22.06.13迄)



(れいめい)  
INDEX  
相模原運用



(すぎく)  
ASTRO-E II  
科学観測終了



(ひとみ)  
ASTRO-H  
復旧運用断念



## 効率的な 運用体制

コマンド

データ

データ

(あけぼの)  
EXSOS-D  
(H27.04.23迄)



### 運用／解析

データ



### 相模原キャンパス (管制センター)



### 運用／解析

データ

# 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日間かけてつくりあげます。

「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りをサポートします。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何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。



2016.7

## ◆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。



### ●方法を議論する

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。



### ●ミッションを評価する

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日目にはこれまで議論し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、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

参加者同士仲良くなるため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との進路相談、研究者による特別講義、モノづくりによる特別演習も行います。

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 特別演習 中間発表
4日目	ミッション作成 最終発表会
5日目	最終報告書作成 修了式



## ◆「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？好きだけども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、文系志望の子も参加しています。院生スタッフが知識の面でサポートするので心配はいりません！必要なのは誰かと話したい！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大丈夫です。分からないことがある場合にも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. 予定があって今年に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。公式サイトからいずれに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



—将来JAXAで学びたい人のために—

# JAXA × 大学



## ◆大学との連携？

JAXAでは、外部の知識や意見を積極的に取り込むため、宇宙科学分野での大学共同利用システムをはじめ、各部門・グループなどが、国内外の大学と共同研究や人材交流を行っています。

近年の宇宙航空分野の重要性の高まりや、人類の宇宙活動領域の拡大により、宇宙航空以外の理工学分野や人文・社会科学分野からのアプローチも必要とされており、大学との連携はますます重要となっています。

主な包括的な連携協力協定締結先	
北海道大学	名古屋大学
東北大学	京都大学
筑波大学	大阪府立大学
東京大学	九州大学
早稲田大学	アーヘン工科大学
慶應義塾大学	(ドイツ)

平成28年4月現在

## ◆JAXAで学ぶには？

JAXAでは、次世代の人材育成のため、世界最先端の研究環境を活かし、大学院教育への協力や研究者・技術者の養成も実施しています。

### 【JAXAにおける大学院教育の種類】

#### 総合研究大学院大学(総研大)宇宙科学専攻

宇宙科学研究所の担当教員が総研大教員として、宇宙物理(主に天文学及び太陽系科学)と宇宙工学の領域において、高度な研究教育を行います。ロケットや人工衛星等の宇宙飛行体を用いた宇宙観測科学、宇宙探査理工学、宇宙工学の諸分野にわたって、理論研究、観測データの解析、および先端的な研究開発の実践を通じて、高度な教育研究を行います。

#### 東京大学大学院(学際講座)

宇宙科学研究所が東京大学大学院理学系研究科及び大学院工学系研究科の下記8つの専攻に加わっています。(大学院理学系研究科:物理学/天文学/地球惑星科学/科学各専攻、大学院工学系研究科:航空宇宙工学/電気工学/材料工学/科学システム工学各専攻)

#### 特別共同利用研究員

宇宙科学研究所が大学共同利用システムの大学院教育協力の一環として、全国の国公私立大学の大学院生を受入れています。研究指導を希望する大学院学生の所属する大学院研究科からの依頼を受け、宇宙科学研究所が一定の期間、特定の研究課題に関して研究指導を行います。

## 連携大学院

JAXAと大学が連携大学院協定を結ぶことにより、JAXAの研究者が大学院の客員教員となることで、大学院生の皆さんが、JAXA研究者から直接、教育・研究指導(学位論文指導含む)を受けられるようにしている制度です。この制度の下に学ぶには、JAXAと連携大学院協定を結んでいる大学院研究科専攻を受験し、入学する必要があります。

連携大学院協定締結先大学			
北海道大学	室蘭工業大学	東北大学	会津大学
筑波大学	千葉大学	電気通信大学	東京大学
東京工業大学	東京農工大学	首都大学東京	青山学院大学
東海大学	東京電機大学	東京理科大学	日本大学
法政大学	静岡大学	金沢工業大学	名古屋大学
奈良先端科学技術大学院大学		徳島大学	九州大学
九州工業大学	鹿児島大学	平成28年4月現在	

平成27年度 制度別受入実績 (単位:人)

	受入制度				計
	総研大	東大国際	特別共同	連携	
修士	5	65	20	46	136
博士	21	44	8	13	86
計	26	109	28	59	222

## ◆どんな教育を受けられるの？

JAXAでは、宇宙科学研究所が中心となり理論研究、観測データの解析及び先端的な研究開発の実践を通じて、高度な教育研究を行う体制を築いて大学院教育を行っています。研究の最前線で、世界最先端の大規模プロジェクト型研究に身近に接することにより、宇宙科学の豊かな学識のみならず、プロジェクトの企画・立案能力の習得も期待できます。



連携大学院生の実習風景だよ



## ◆修了後はどこに就職しているの？

平成27年度修了生(修士・博士)は、航空宇宙産業及び大学へ32名、その他産業分野へ33名、JAXAを始め、IHI、MHI、三菱電機、日立、東芝、トヨタ自動車、東日本旅客鉄道、日本航空、ソニー、パナソニック、等宇宙航空関連から幅広い産業に就職しています。

### ◆もっと詳しく知りたい人のために

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

## 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°C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風の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。

## ◆ 打ち上げから軌道投入まで

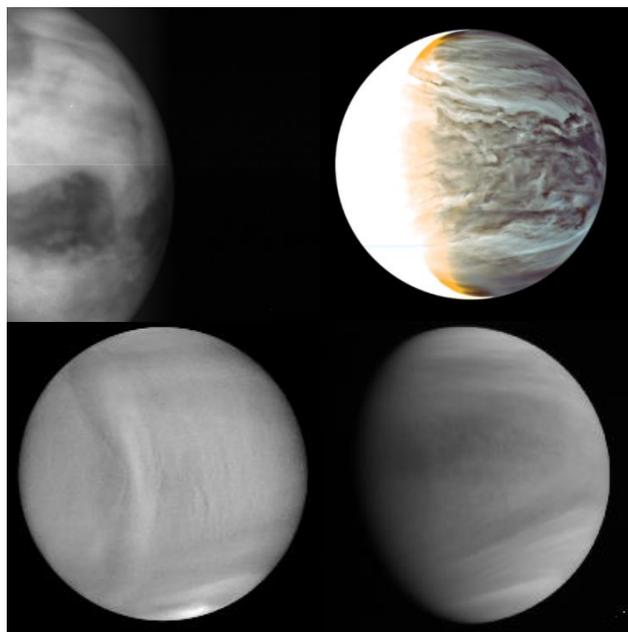
「あかつき」は2010年5月21日にH-IIAロケットにより種子島宇宙センターから打ち上げられました。2010年12月7日には金星周回軌道に入る予定でしたが、メインエンジンの故障により次の機会を待つ長い旅が始まりました。奇しくも失敗からちょうど5年経った2015年12月7日に念願の周回軌道に入り、地球以外の惑星を周回する日本初の探査機となりました。打ち上げから5年7か月、ついに訪れた歓喜の瞬間であるとともに、ようやくスタート地点に立ちました。

## ◆ 主な観測装置は？

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。

- 1μm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。
- 2μm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。
- 紫外線イメージャ (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) [現在試験中です。]  
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利用して、温度や濃硫酸蒸気分布を調べます。



図は「あかつき」が捉えた代表的な金星画像（左上から時計回りにIR1, IR2, UVI, LIR）です。IR2は疑似カラー表示です。

## ◆ 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。去年の特別公開では、まだ金星にたどりついていなかった「あかつき」が、今年にはたくさんのデータを僕らに見せてくれています。みんな、ワクワクしています。皆さんも、この展示を楽しんで帰って下さい。そして、将来は是非我々の仲間にならね(^\_^)

## ◆ もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/akatsuki/compile/index.shtml>

(1-13) 「激写、金星現地報告！特派員あかつき！」

# 惑星分光観測衛星「ひさき」が惑星を観測しました 「きよたん」の見た惑星の世界

## ◆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から、数十億年分さかのぼって、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)

## ◆観測の結果は？

### 【木星X線オーロラの正体は？】

木星オーロラは紫外線、X線、電波など多様な色で光ります。明るさは地球のオーロラの100倍で、エネルギーはX線オーロラの場合地球のオーロラの1000倍にも達します。光速に近い速さで移動する酸素や硫黄のイオンが木星大気に衝突してX線で光ると考えられていますが、なぜイオンが光速近くまで加速されるのかは長年の謎でした。

「Chandra(チャンドラ)」「XMM-Newton(XMM-ニュートン)」X線望遠鏡と「ひさき」衛星の協調木星観測により、X線オーロラが明るいときは太陽風の速度が速いことが分かりました。この結果はX線オーロラは太陽風によって引き起こされると考えられ、木星磁気圏と太陽風の境界域にイオンを光速近くまで加速するプロセスがあることを示しています。



図. 木星極域のX線オーロラが、磁力線を介して木星の磁気圏太陽風の境界域とつながっていることを示すイメージ図

### 【金星超高層大気の変化は？】

「ひさき」衛星は、金星超高層大気(金星の雲の上空50~100km)で光る酸素原子を観測するのですが、その明るさが周期的に変化していて、太陽風の変動には関係ないことが分かりました。このことは、超高層大気の酸素原子は下層からの大気の変動が伝わっていることを示していて、下層大気-超高層大気の結び付きを紐解く一つのカギを見つけたこととなります。

## ◆関係者から一言

「ひさき」の公式非公認キャラクター“きよたん”です!! もうすぐ3才になります。

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(きよたんしがいい)という光なんだ。だから、僕の名前は“きよたん”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。“きよたん”キャップもデビューするよ。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/>

(1-14) 「きよたん」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つの望遠鏡が積まれています。軌道上で観測を始めてから10年。まだまだ元気に観測し続けます。

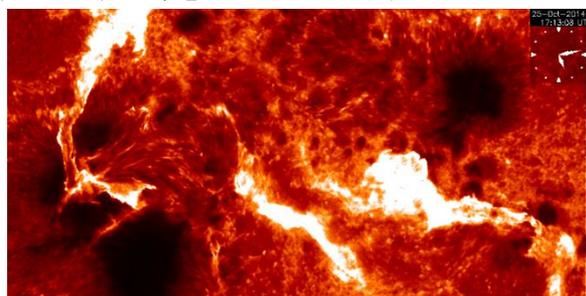
「ひので」の目的は、太陽上空のコロナという大気層が熱い原因を突き止めることです。太陽表面は約6000°Cですが、太陽コロナはその200倍の100万°C以上もあります。熱源の太陽本体よりも、遠くのコロナの方が温かいなんておかしいですよね？でも、そのおかしいことが普通に起きているのが太陽なのです。鍵となるのは磁場の存在です。「ひので」は太陽面の磁場を精密に測定し、同時にその上空のコロナの動きを観測することで、どのようにして磁場の持つエネルギーがコロナへと運ばれ、加熱しているかを調べます。

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。

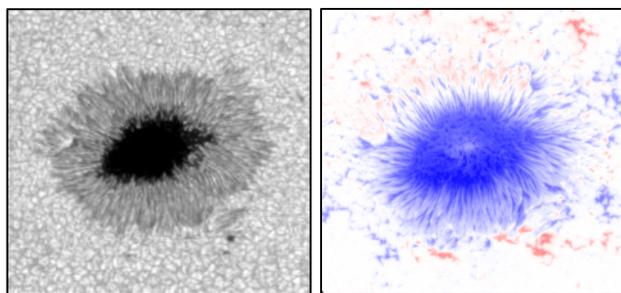
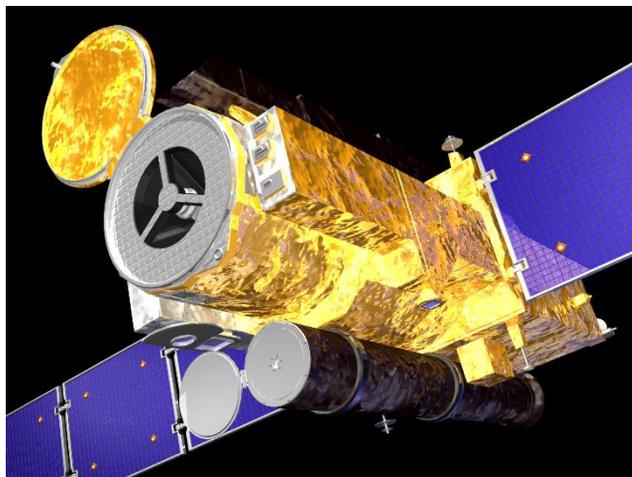
## ◆宇宙で観測するメリット

「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/j/enterp/missions/hinode/>  
<http://hinode.nao.ac.jp/index.shtml>

# え、ホログラム！？

## エルグ いと かがく せかい

# ERGが挑む科学の世界

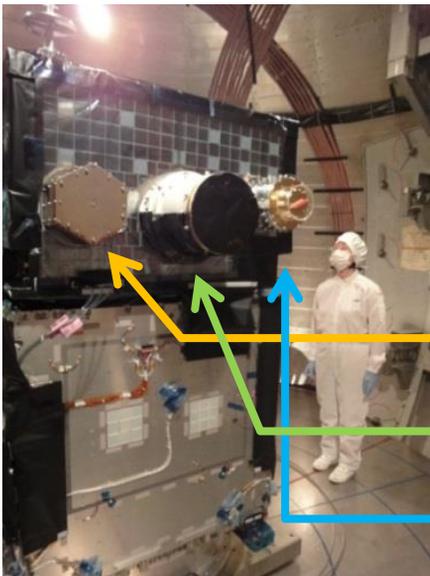
### ◆フラスマってなんだろう？



フラスマとは、イオン（主にプラスの電気を帯びた粒）と電子（マイナスの電気を帯びた粒）が集まったもので、固体や液体、気体とは違った状態のことを言うんだ。例えば水がフラスマ状態になると水素イオンや、酸素イオン、電子に分かれるよ。

### ◆たくさんの機器を搭載！

ERG衛星は宇宙のフラスマを測るために LEP-e、LEP-I、MEP-e、MEP-I、HEP-e、XEP-e、MGF といった機器を搭載しているよ。またフラスマや波動を測るPWE や S-WPIA なども搭載しているんだ！



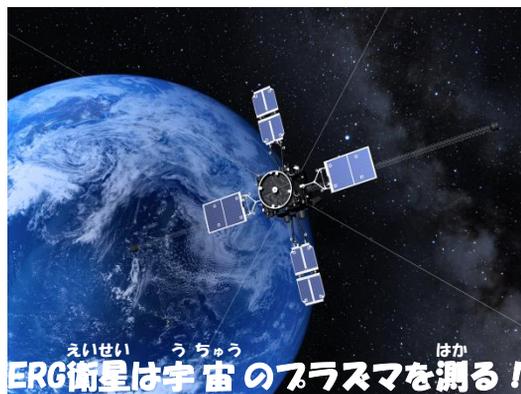
ERG衛星  
開発中！

HEP-e  
MEP-e  
LEP-i

### ◆放射線帯って何だろう？

地球近くの宇宙で、周りよりもエネルギーの高いフラスマが集まっている場所のことだよ。放射線帯は、地球の周りをぐるりと取り巻いているよ。でも、この高いエネルギーを持ったフラスマがどうやって生まれるかはよくわかっていないんだ。

地球を取り巻く放射線帯



### ◆宇宙嵐の謎に挑め！

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、放射線帯のフラスマが増えるよ。放射線帯のフラスマが増えると、地球の周りを飛んでいる人工衛星が誤作動してしまうことがあるんだ。ERG衛星は放射線帯や宇宙嵐の謎を解くために打ち上げられるよ。



イフシロンロケット2号機で  
打ち上げ！

### ◆関係者から一言

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。地球の周りの宇宙空間には、放射線帯（ヴァン・アレン帯）と呼ばれる、高エネルギーの電子が充満した領域が存在します。しかし、なぜ、高エネルギー電子が生まれて、放射線帯がつくられるのかは、1958年の発見以来の謎とされています。この謎を解くために私たちが開発しているのがERG衛星です。高エネルギー電子に激しくさらされることに耐えながら、放射線帯の中心部で、世界ではじめて高エネルギー電子がうまれる過程を観測しようとしています。「高エネルギー電子」は目には見えないので、イメージがわきにくい世界の話ですが、地球のすぐそばで起こっている不思議な現象を通して、「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き限りです。

◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isasjaxa.jp/j/enterp/missions/erg/>

# てのまな 手乗りMMOで学ぼう！

## すいせいたんさ 水星探査ミッション

### ◆水星への旅にでかけよう！

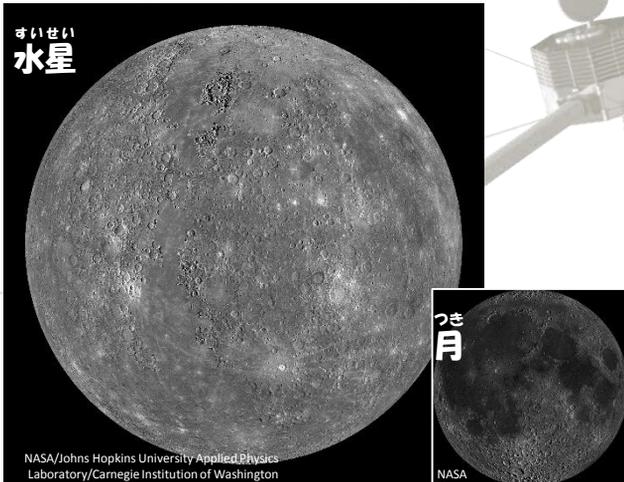
2018年かま上げ予定 (ESA 発表) の  
水星探査ミッション「BepiColombo (ベピコロポ)」。



### ◆水星ってどんなところ？

なんと水星の見た目は月にそっくり！？

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！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。



### ◆目指せ、太陽に一番近い惑星！

- 水星の中はどんなになっているの？
  - 水星の周りでは何が起きているの？
  - 地球とは何が違うの？ などなど・・・
- ベピコロポ計画が水星の謎を解明していくよ！  
おうえんよろしくね！

### ◆ベピコロポ計画って？

ベピコロポは、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。



### ◆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。  
水星は紀元前から存在が知られていましたし、皆さんも(多分夕焼けの空に)見た事がある惑星だと思います。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) で日本が作る衛星 (MMO) は去年完成し、ヨーロッパでの全体試験を待っています。水星での観測が始まるのは未だ大分先の8年半後となりますが、楽しみに待っていて頂けると幸いです。

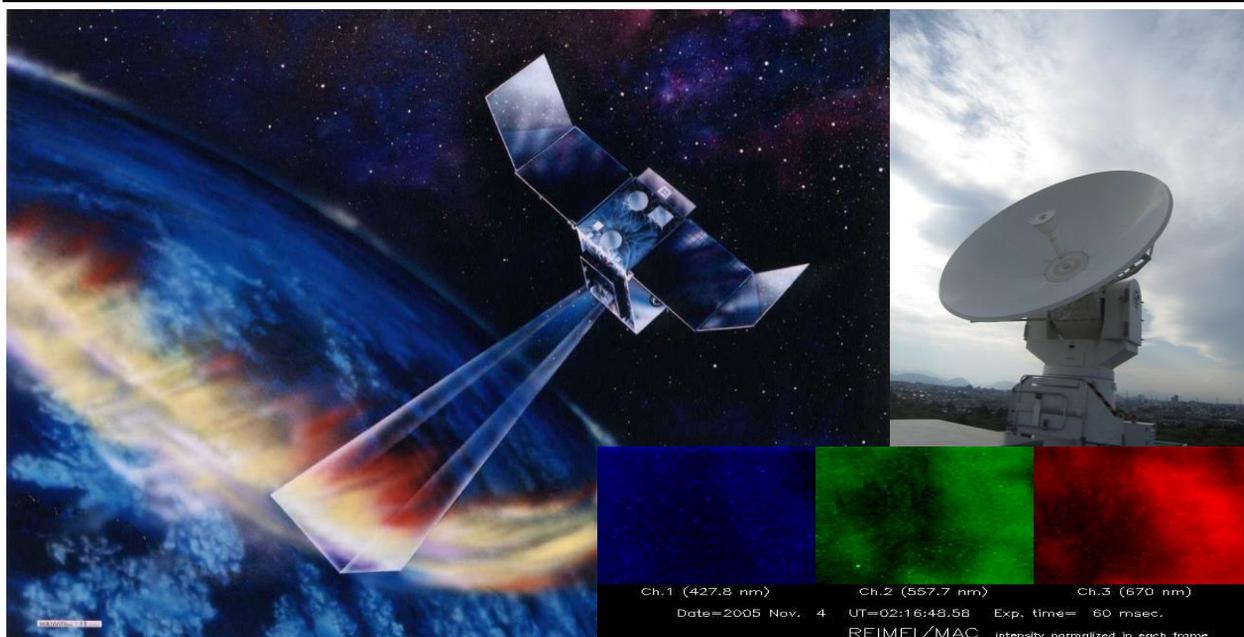
◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/mmo/>

(1-17) 手乗りMMOで学ぼう！水星探査ミッション

# 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部、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。2016 (H28) 年8月24日で打ち上げ11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？  
**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。

# 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。

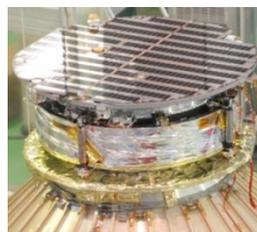
イカロス計画は、私たちが深宇宙へ乗り出すために必要な画期的な技術を、まとめて試してみよう、という野心的な計画なのです。

## ◆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、探査機をととも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。

2016年度もイカロス運用を継続しており、2016年夏に地球へ再/最接近する予定です。



金星通過時に撮影したイカロスのセイルと金星

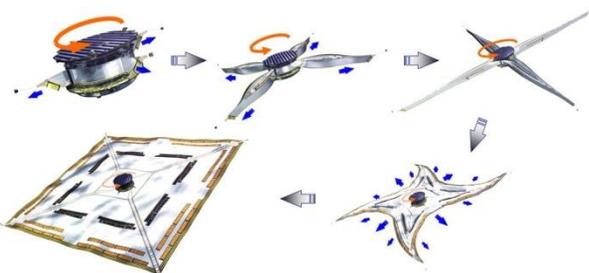
## ◆イカロスの技術が切り拓く未来

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/j/enterp/missions/ikaros/index.shtml>



↑イカロスのセイル展開シーケンス

# 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

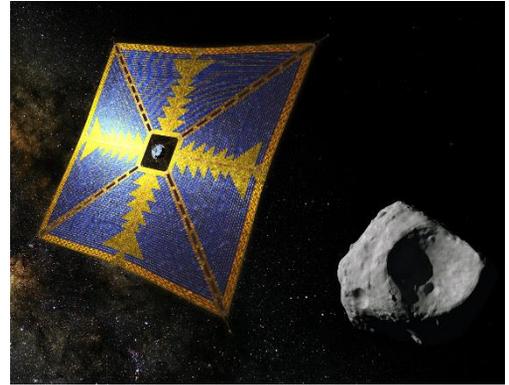
## ◆ソーラー電力セイルとは？

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、50メートル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11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？

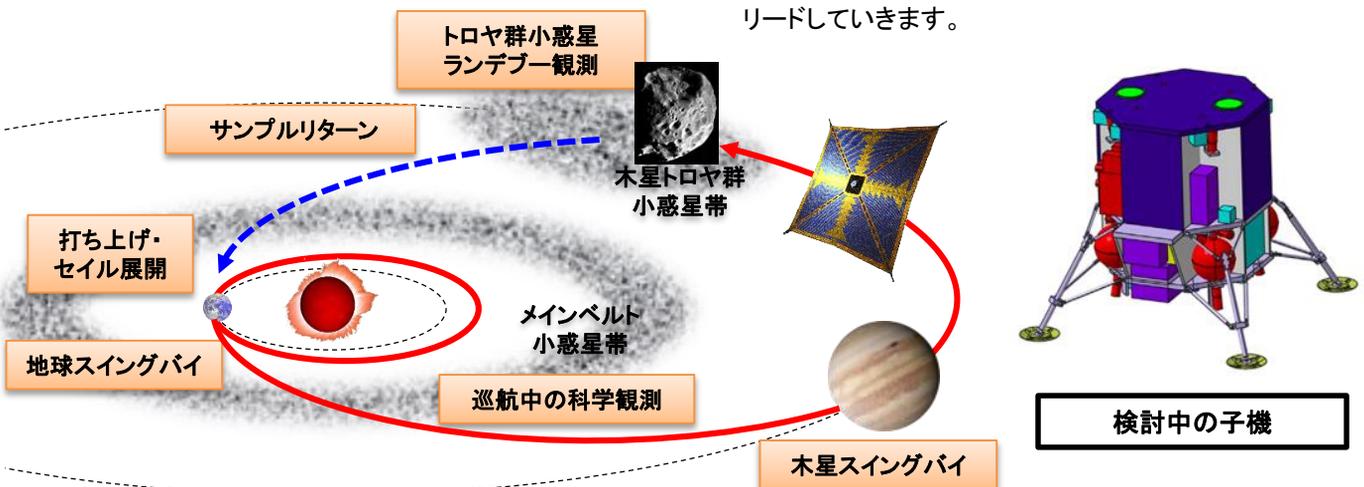
ソーラー電力セイルによる外惑星領域の探査を行うために、たくさんの新しい技術の研究を進めています。まず、50メートル以上の大きさのセイルが必要となるため、これを製造する技術、宇宙空間で展開する技術、燃料を使わずに自在にセイルの向きをあらゆる姿勢制御技術などの研究を進めています。

また、軽くて効率よく発電できる「薄膜太陽電池」や、外惑星領域で発電した5kW級の大電力をセイルから探査機本体に集めるための「大電力集電機構」、そして集めた電力を使って駆動する、はやぶさよりも高効率の「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誘導技術・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」により実証しました。これに「はやぶさ」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を確認し、太陽系大航海時代に向けて世界をリードしていきます。



# アストロバイオロジー研究

## ◆ 生命の材料・宇宙塵をつかまえ、微生物を宇宙環境にさらす

20年ほど前から世界中の学术界と宇宙機関を巻き込んで誕生した、新しい宇宙の見方「アストロバイオロジー」。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しています。日本でも昨年、初めての宇宙実験が開始されました。それが「たんぽぽ」実験(図1)です。その科学目標は、生命の材料である宇宙塵の地球への到達と、地球起源の微生物が宇宙環境で生き残れるかを探ることです。

まず、2015年4月に三年分の試料をロケットで国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟へ届けました。同年5月にはきぼう曝露部上の「簡易曝露実験装置(ExHAM)」1号機(図2)、11月には同2号機(図3)に、地上運用室と軌道上の宇宙飛行士が協力して専用試料を取り付け、実験を始めました。

その後、微生物試料の温度を機械式温度計で測る運用を続けながら、2016年6月には、一年あまり宇宙にさらしたExHAM1号機の初年度試料を無事、きぼう与圧部へ回収しました。今秋には無人カプセルで地球にサンプルリターンされ、ISASの専用クリーンルームへ戻る予定です。その後も定期的に試料の交換を続け、2019年まで毎年、宇宙から回収されたたんぽぽ試料が全国の大学や研究所へもたらされる予定です。

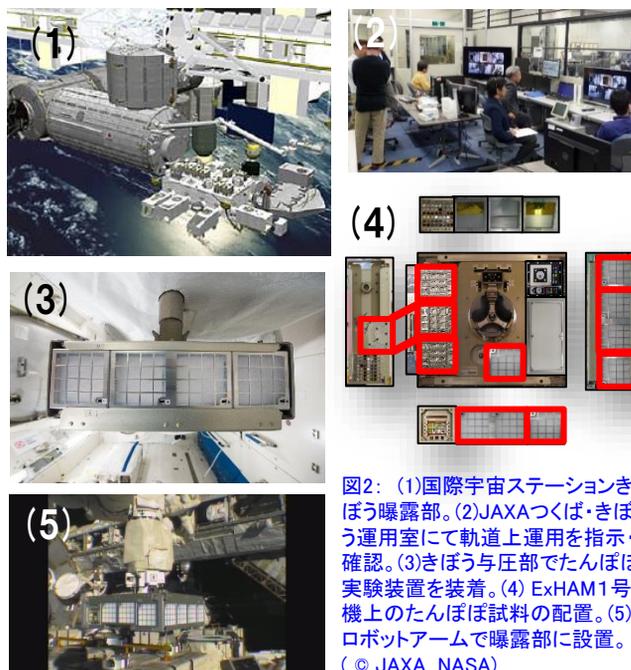
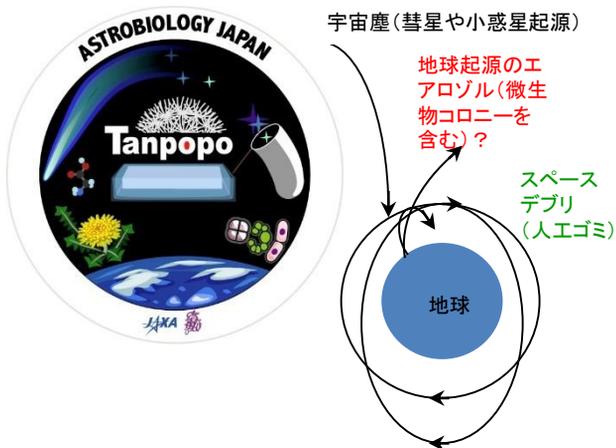


図2: (1)国際宇宙ステーションきぼう曝露部。(2)JAXAつくば・きぼう運用室にて軌道上運用を指示・確認。(3)きぼう与圧部でたんぽぽ実験装置を装着。(4) ExHAM1号機上のたんぽぽ試料の配置。(5) ロボットアームで曝露部に設置。(© JAXA, NASA)



**パンヘルミア:**  
生命の惑星間移動仮説  
1. 圏外で微生物採集  
2. 微生物の圏外生存実験

火星  
火星隕石  
火山爆発  
小天体衝突

彗星、C.P.D型小惑星

化学進化から生命へ:  
生命の起源以前の宇宙由来有機物の地球到達の可能性  
3. 有機物の変成  
4. 有機物含有宇宙塵の採集

ISSきぼう曝露部 (宇宙塵) 圏外線、宇宙線、高放射、微小重力等

小天体衝突 流星群

宇宙開発利用の発展につながる、先端的技術開発:  
5. 高性能エアロゲル実証  
6. 微小デブリプラックス評価

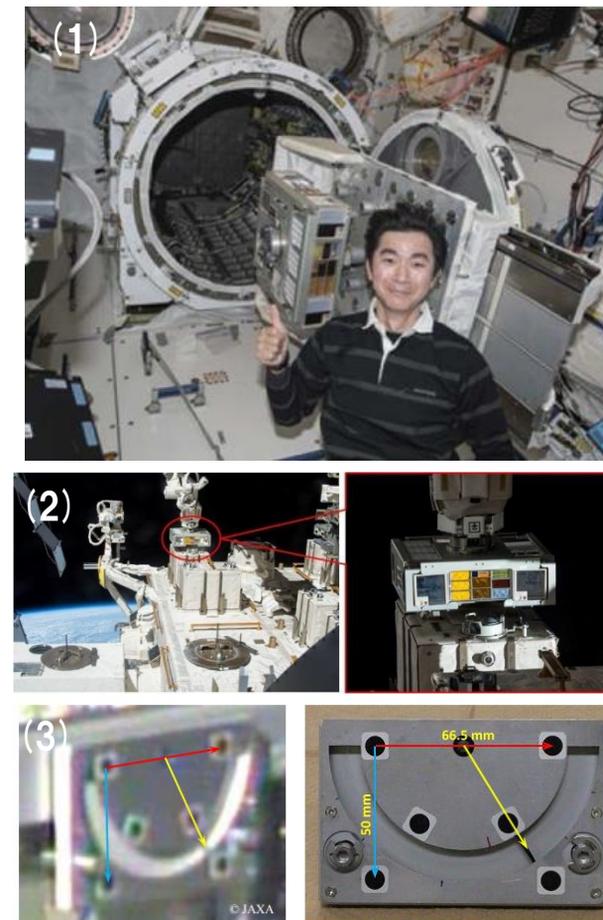


図3: (1)油井亀也也飛行士による ExHAM2号機へのたんぽぽ試料の取り付け。(2)地上局から操作したロボットアームによる ExHAM2号機のきぼう曝露部への設置。(3)機械式温度計の画像読み取りによる微生物試料が到達する温度の測定。(© JAXA, Hashimoto et al., 2016.)

# アストロバイオロジー研究

## ◆回収試料の初期分析と汚染管理

たんぼぼ試料は、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%の密度しかない固体「シリカエアロゲル」によって超高速でぶつかる微粒子をつかまえる「捕集パネル」からなります。

エアロゲル内部に閉じ込められた1/100ミリ程度の微粒子を、汚したりなくしたりせずに、速やかに詳細な分析に回すため、宇宙実験装置の開発と並行して、地上クリーンルーム内で初期分析とデータ記録、汚染管理を行う装置「CLOXS」も開発しました(図4)。CLOXSは衝突痕の地図作り、光学観察、三次元情報取得、試料掘削までを、統一的に遠隔操作で実現します(図5)。



図4: 捕獲微粒子位置同定・観察・抽出システム(CLOXS)を設置した、LABAMたんぼぼクリーンルームの内側と外側の様子。

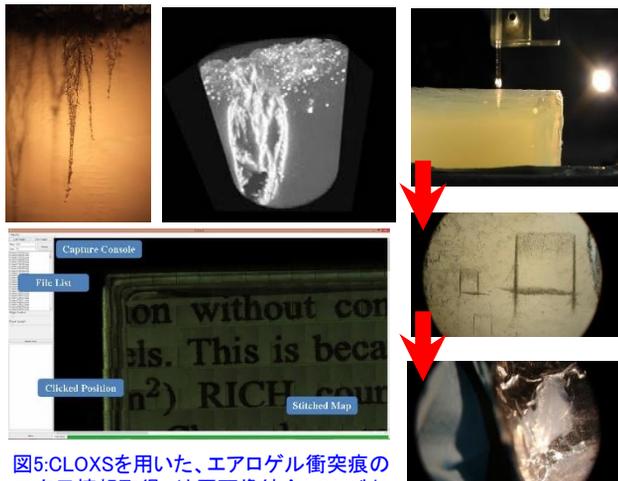


図5:CLOXSを用いた、エアロゲル衝突痕の三次元情報取得、地図画像統合、CAD制御によるエアロゲルの自動掘削の様子。

## ◆「海世界」探査にむけた基礎研究

NASAは2015年に火星探査に続く旗艦ミッションとして、木星衛星エウロパ探査機を予算化しました。2016年には土星衛星エンケラドスとタイタンを競争公募探査の候補に追加。2018年に初飛行を控えた超大型ロケット「SLS」を使った「海世界(オーシャンワールド)」探査構想を打ち出し、太陽系探査の新潮流を決定づけました。

こうした動きを予見し、2011年より独自の研究を開始してきたLABAMメンバーは現在、海世界探査の基盤となる基礎研究と機器開発を行っています。

一つは、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「その場質量分析」や「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です。今は微生物DNA、ペプチド、模擬エンケラドス海水化合物のフライバイ採取を試みています。二つ目は、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を、衝突実験を通じて再現中です(図6)。

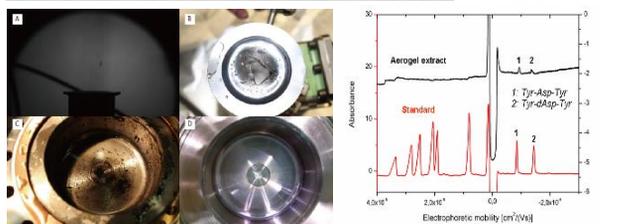


図6: ISAS超高速衝突実験設備を使った「海世界」探査の基礎研究例。(左:協力JAMSTEC西澤学)模擬地球海洋に超高速衝突する物質の破壊・拡散・化学反応を調べる実験。(右:協力NASA/ARC 藤島皓介)たんぼぼエアロゲルでエンケラドスプリューム微粒子をフライバイ採取しても、ある種のペプチドは生き残って検出される。

## ◆関係者から一言



JAXA/ISAS学際科学研究系・宇宙生物・物質科学実験室(LABAM)の2016年度スタッフです。

日本の宇宙科学における「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年から宇宙工学・太陽系科学・極限環境微生物学など、専門分野を越えて集まっています。日本アストロバイオロジーネットワークが策定したロードマップの実現に、宇宙科学の全国大学共同利用システムという立場から貢献しています。具体的には、今回ご紹介したたんぼぼ、海世界探査に加えて火星生命探索、宇宙農業などの基礎研究、機器開発、惑星保護対策なども行っています。

皆様のご指導と応援をよろしくお願いいたします。

## ◆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>

# 宇宙データを見てみよう！



## 宇宙カレンダー

宇宙から観測したデータ(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。  
<http://www.isas.jaxa.jp/home/showcase/calendar/>

①探したい年を選びます

②探したい月を選びます



③詳しく見たい日をクリックします

④カレンダーをクリックすると、大きな画像が表示されます。

⑤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。一日の間にも太陽が自転しているのがわかります。

### 使い方

1. 年を選びます
2. 月を選びます
3. 詳しく見たい日の上にマウスを置くと、観測した衛星や時刻、波長等が表示されます。
4. カレンダーをクリックすると大きな画像のページに行きます。
5. 大きな画像のページでは、その日に観測されたデータを見たり聞いたりできます。  
 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。宇宙の電波の音がある日には、その音が再生されます。オーロラのムービーはクリックすると再生します。

この音は、「あけぼの」が観測した電波を音に変えたものです

オーロラのムービーはクリックして再生します

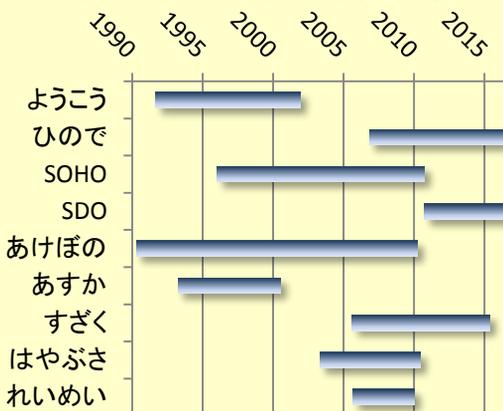
太陽のほかに、「はやぶさ」「あすか」「すざく」「れいめい」のデータがあります



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。

### データがある期間

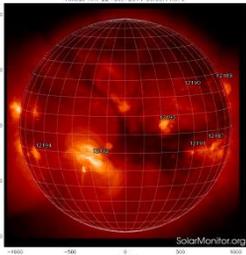
期間中でもデータがない日もあります。



# 宇宙データを見てみよう！

## 宇宙カレンダーにあるいろいろな宇宙データ

### ◆ 太陽



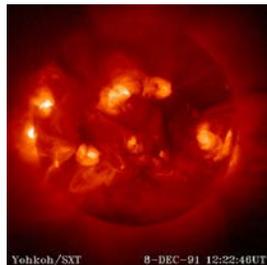
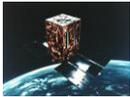
←「ひので」衛星で観測した太陽です。X線で観測したもので、太陽の外側にある「コロナ」という数百万度の大気の層を見ています。



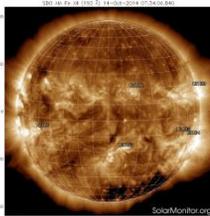
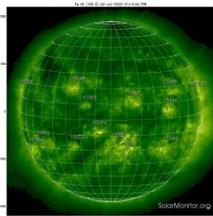
ひので

→「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。

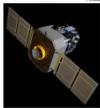
ようこう



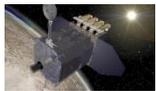
Yohkoh/SXT 8-DEC-91 12:22:40UT



←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

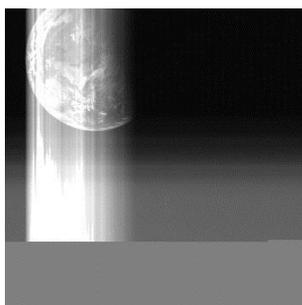
### ◆ はやぶさ観測画像



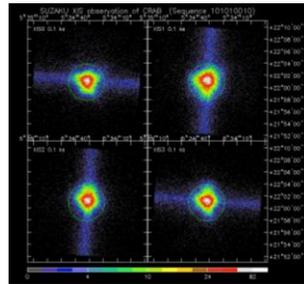
←「はやぶさ」探査機がとらえた小惑星イトカワです。これまで知られていなかった小惑星の姿を明らかにしました。

→「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



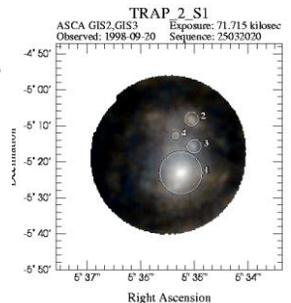
←「すざく」衛星で観測した「かに星雲」です。「かに星雲」は西暦1054年に起きた超新星の残骸で、今なお強いX線を出しています。4枚の画像はそれぞれ違う「色」のX線をとらえたものです。

すざく

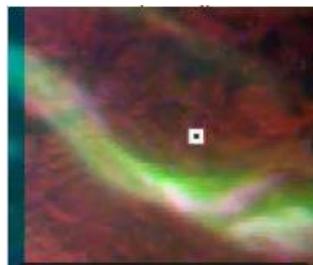


→「あすか」衛星で観測したオリオン大星雲(M42)中心部です。「あすか」は「すざく」の前に活躍した衛星です。

あすか



### ◆ オーロラ

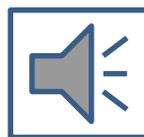


←「れいめい」衛星でとらえた地上のオーロラです。変化する様子をムービーで見ることができます。

れいめい



### ◆ 地球のまわりの電波



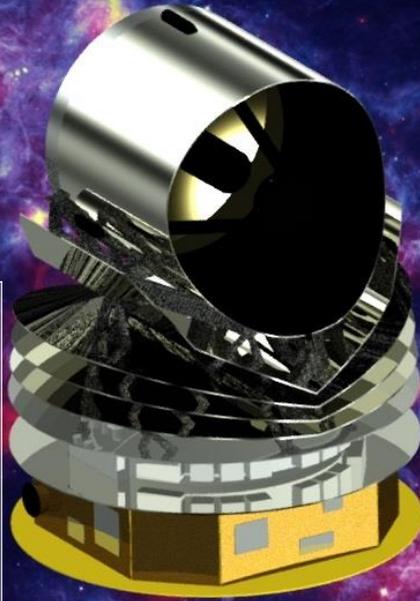
「あけぼの」衛星がとらえた地球のまわりの電波を、人に聞こえる波長の音に変換しました。地球のまわりの電波は、太陽活動やオーロラなどによって激しく変化します。



あけぼの

## 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 ~ 230 μm (中間赤外線~遠赤外線)
打ち上げ予定	2027~2028年頃
軌道	JAXAのH3ロケット 太陽-地球系ラグランジュ点 L2 ハロー軌道
国際協力	ESAとJAXAを中心とした 国際共同ミッション



SPICAのイメージ図  
背景画像は「あかり」で観測した  
はくちょう座の星形成領域

## ◆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。

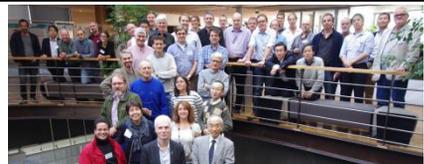
## ◆望遠鏡をまるごと冷やします

### <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。

### ◆もっと詳しく知りたい人のために

[http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA\\_HP/](http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/)

# 目に見えない光で星や銀河の進化に迫る 赤外線天文衛星「あかり」

## ◆赤外線天文衛星「あかり」

「あかり」は、2006年2月22日に打ち上げられた日本初の赤外線天文衛星です。「あかり」の最重要ミッションは、空のすべての方向を観測して、赤外線の「宇宙地図」を作ることです。宇宙からやってくる微弱な赤外線を捉えるため、「あかり」は望遠鏡や観測装置を液体ヘリウムでマイナス270度℃前後にまで冷却し、観測を行いました。「あかり」は、2011年11月24日にすべての運用を終了しており、現在「あかり」チームでは、「あかり」が運用期間中に取得した貴重な観測データを後世に残し、世界中の研究者が「すぐに研究に使えるデータ」を整備・公開するという活動を行っています。



打ち上げ前の「あかり」

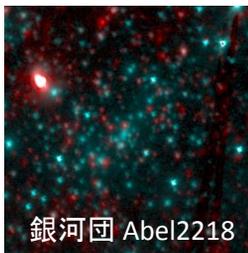
## ◆赤外線で見えた宇宙の姿



星形成領域  
はくちょう座X



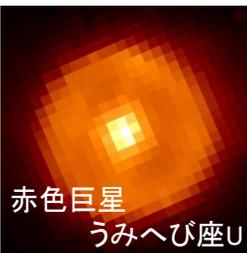
球状星団 NGC7078



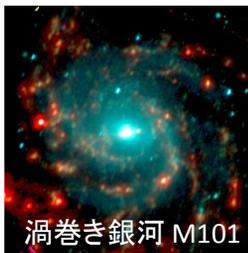
銀河団 Abel2218



超新星残骸  
G54.1+0.4



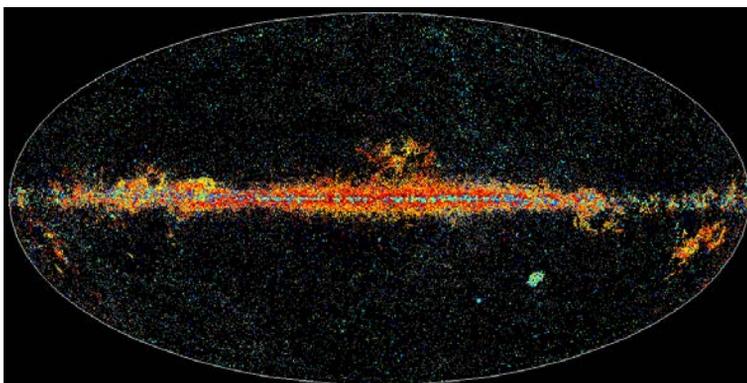
赤色巨星  
うみへび座U



渦巻き銀河 M101

左の画像は、「あかり」で観測した様々な天体です。赤外線で見ると、星などの光によって暖められた宇宙を漂うチリや、年老いた星からの光をとらえることができます。星形成領域では若い星によって温められたチリが、超新星残骸や赤色巨星の周辺ではチリでできた輪のような構造がそれぞれ見えています。球状星団中では、その中で一生を終えようとしている星が赤く光っています。また、渦巻き銀河では新たに星が誕生している現場が、銀河団では活発に星を生み出している銀河がそれぞれ見えています。

## ◆「あかり」最新情報



「あかり」遠赤外線カタログVer. 2に登録されている天体

「あかり」チームが公開しているデータの一つに、遠赤外線を放っている天体の場所と明るさをリストアップしたカタログがあります。2011年にそのVer. 1、今年4月にはより信頼性の高いVer. 2が公開されました。Ver. 2では約50万天体に対して波長65～160マイクロメートルでの情報が含まれています。今後、世界中の研究者がこのカタログを活用して研究を進め、多くの新しい発見が生まれることが期待されます。

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

# 観たいものを観る 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

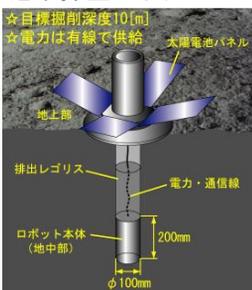
### 小惑星探査ロボット



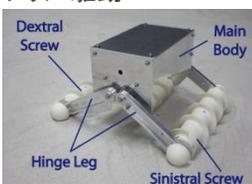
### マイクロローバ



### 地中探査ロボット



### ドリル駆動ローバ



### 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
- 火星衛星サンプルリターン (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](http://robotics.isas.jaxa.jp/kubota_lab/index.html)

# 地上で宇宙空間をつくりだす装置 スペースサイエンスチェンバー

## ◆この装置で何ができるの？

宇宙空間での使用を目的として地上で作った装置が実際に宇宙で使える事を確かめるためには、宇宙と同じ環境で試験を行う必要があります。そのために地上に宇宙空間を作り出す設備がこのスペースサイエンスチェンバーです。宇宙では大気が極めて薄い(真空)なのですがこの設備はそんな環境を作ることができます。

下の写真に見える長い円筒型容器がそのチェンバーで、取付けられている排気ポンプによって空気を外に抜いて、内部を真空にすることができます。

この設備は主に人工衛星や観測ロケットに搭載する測定器の開発や動作試験に用いられる他、宇宙で起こるさまざまな現象を容器内で再現し、その現象についての研究を行うために使用されています。



## ◆地上に宇宙をつくる仕掛け

・排気装置(ロータリーポンプ2台、ターボ分子ポンプ1台、クライオポンプ2台)

排気装置を使ってチェンバー内部の空気を抜いて真空状態にします。3種類のポンプを使うと地上の約100億分の1のとても薄い大気状態をつくることができます。

・プラズマ発生装置

光や電気を使って真空状態のチェンバー内に(宇宙に存在するような)プラズマを発生させることができます。

・磁場発生装置

装置の周囲に設置した磁場発生装置を用いて、チェンバー内の磁場の大きさ・向きを制御できます。

## ◆どこがどうスゴイ？

このチェンバーは長さ5m、直径2.5mで内部にプラズマを発生できる装置としては日本で最大級です。

日本国内の大学や研究機関の人々が宇宙に関する様々な実験を行うためにこの設備を使用しています。

## ◆どうやってオーロラをつくるの？

1. 排気装置を使ってチェンバー内を真空にします。
2. プラズマ発生装置を使って、チェンバー内にプラズマを作ります。
3. 磁場発生装置を使って内部に磁場を作ります。
4. 電気を使ってエネルギーの高い電子を作り、薄い大気に衝突させるとオーロラをつくることができます。

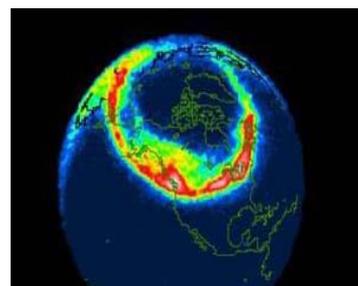
## ◆オーロラはどうして光るの？

地球上空の高さ数万km位の領域は電気を帯びた粒子であるプラズマに満ちています。このプラズマが電気的な力で下向きに加速されて地球方向に高速で降下してくると、大気粒子(酸素や窒素)とぶつかってエネルギーを与える事ができます。

大気の粒子がもらったエネルギーを放出してもとに戻ろうとする時に起こる発光現象がオーロラです。プラズマを下向きに加速する領域は緯度の高い場所にもみ存在するために、北半球か南半球の高緯度地方でしかオーロラは見られません。



ノルウェーで見えるオーロラ



人工衛星から撮影した北極点を取り巻くリング状のオーロラ

## ◆人工オーロラと本物の違い

イメージでは様々な色のカーテンが揺れていると思われがちですが、ほとんどの場合、本物もチェンバー内のオーロラ同様に単色で見えます。この設備ではチェンバー内に入れるガスの種類を変えて、オーロラの発光色を変えることができます。また、本物はゆらゆら揺らめいて見えますが、人工オーロラはほとんど動きません。



## ◆関係者から一言

本設備を担当する(太陽系科学研究系の)阿部です。

人工オーロラは見え方は異なりますが、本物と全く同じ原理で光っています。見やすくなるよう工夫を重ねていますが、見栄えはいかがでしょうか。

オーロラは地球大気の密度と種類、プラズマと磁場の存在など幸運が幾つも重なって肉眼で見えているのです。こう考えると、自然は我々に本当に素晴らしい贈り物をしてきているものだと思えます。皆さんも、宇宙の神秘オーロラをお楽しみ下さい。

◆設備に関してもっと詳しく知りたい人のために  
<http://ssl.tksc.jaxa.jp/pairg/spf/>

(3-1) 人工オーロラ

# 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？

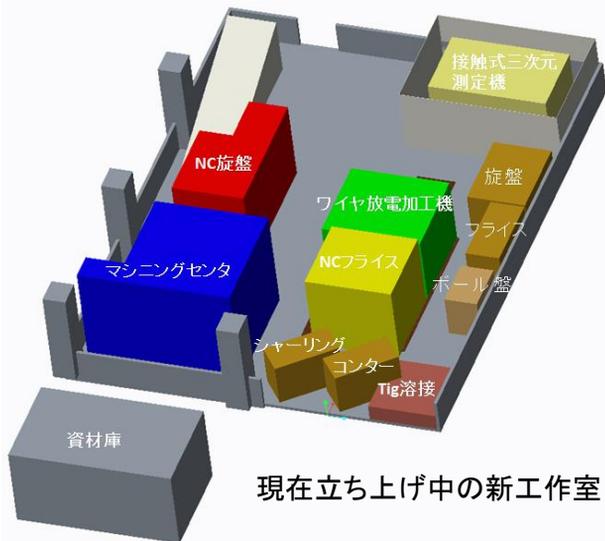
平成28年、宇宙科学研究所 研究・基盤技術グループ  
 工作室および宇宙機応用工学研究室 宇宙ナノエレクト  
 ロニクスクリーンルームが改組し、先端工作技術グル  
 ープとして誕生しました。先端工作技術グループは、10  
 年先、20年先の宇宙科学研究を支える、宇宙機器開発の  
 ための機械工作、デバイス開発に取り組んでいます。



現在の工作室全景

## ◆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思っております。



現在立ち上げ中の新工作室

## ◆宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルーム

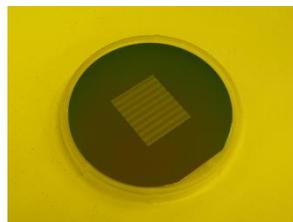
宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームは、JAXA  
 宇宙科学研究所が誇る、ISO クラス 1(1立方メートル  
 あたり、0.1  $\mu\text{m}$ 、0.2  $\mu\text{m}$  ( $\mu$ は0.000001の単位)の  
 大きさの塵がそれぞれ 10個、2個以下)の世界最高の  
 清浄度を誇るスーパークリーンルームです。このクリ  
 ーンルームでは、宇宙用エレクトロニクスデバイスや、  
 センサー、フィルター等を研究開発しています。



スーパークリーンルーム全景



専用无尘服



開発中のデバイス



## ◆岡田グループ長から一言

こんにちは。

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。

# 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。小型科学衛星の4号機として、イプシロンロケットにより打ち上げられることを提案しています。4号機のミッションとして選ばれれば、2021年頃に打ち上げられる見込みです。

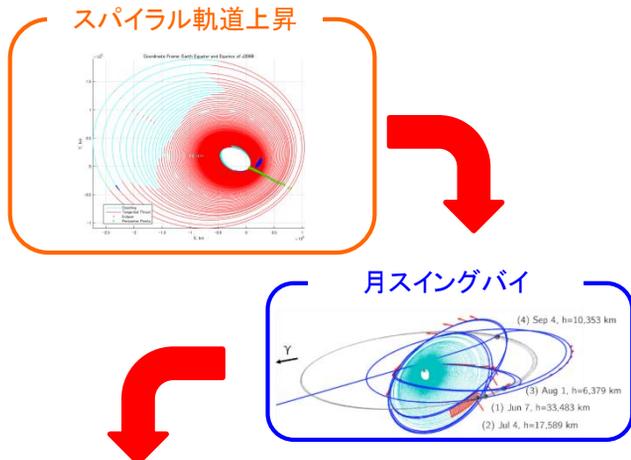
機体の大きな特徴として、以下のものが挙げられます。

- 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ドル
- 先端的熱制御技術
- 小型軽量なアビオニクス
- 子機PROCYON-miniを搭載

## ◆流星群母天体探査と軌道計画

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(3200 Phaethon)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に据えています。

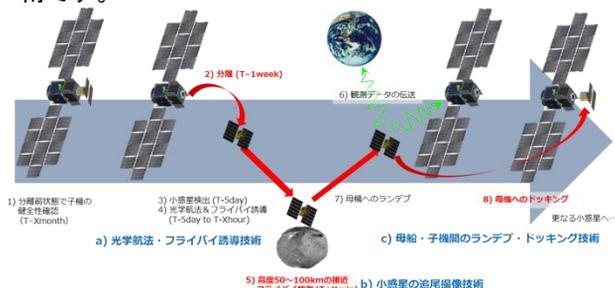
フェイトンのフライバイに至る過程を説明します。イプシロンロケットにより地球周回軌道に投入されたDESTINY+は、まずイオンエンジンによって徐々に高度を上げ(スパイラル軌道上昇)、約1年かけて月に到達します。その後、月スイングバイを複数回実施、フェイトンへ遷移する軌道に投入します。フェイトンのフライバイは、1回又は2回以上実施します。



**小惑星フェイトンへ！**

## ◆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です。



## ◆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+ワーキンググループリーダーの川勝です。DESTINY+の実現に向けてがんばります。よろしくお祈りします。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。

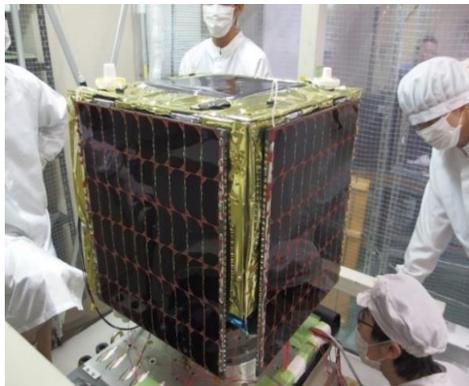
## ◆もっと詳しく知りたい人のために

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

# 超小型探査機PROCYONの成果と将来

## ◆超小型探査機PROCYONって？

JAXAと東京大学中須賀船瀬研究室が共同で開発した50kg級の超小型深宇宙探査機です。2014年12月3日13時22分04秒に、小惑星探査機はやぶさ2の相乗り副ペイロードとしてH-IIAロケット26号機によって種子島宇宙センターから打ち上げられました。打ち上げ後、PROCYONは地球の重力圏を脱出し、**深宇宙で活動できる世界で初めての超小型探査機**となりました。



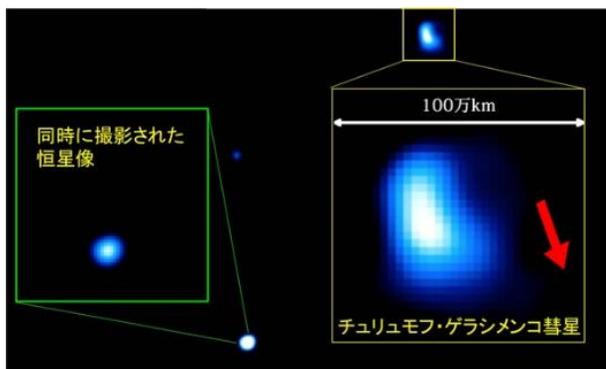
PROCYONのフライトモデル（サイズ：約55cm）

## ◆PROCYONのミッションは？

PROCYONのミッションは大きく分けて3つあります。1つ目のミッションは、超小型深宇宙探査機のバス技術（基本機能）の実証です。PROCYONは、**軌道制御・姿勢制御用の推進系も持った、本格的な探査機**で、深宇宙空間で電力確保、遠距離通信、熱・姿勢・軌道制御などを超小型深宇宙探査機が行えるかを実証します。2つ目のミッションは、小惑星フライバイ撮影です。超小型イオンスラスタによる軌道制御を行い、地球スイングバイによる加速を経て、小惑星を目指します。その後、小惑星フライバイをしながら近距離からの撮影に挑みます。3つ目のミッションは、LAICAという望遠鏡によるジオコロナの撮影です。ジオコロナとは地球の周りを広く覆っている水素の層のことです。

## ◆PROCYONの成果は？

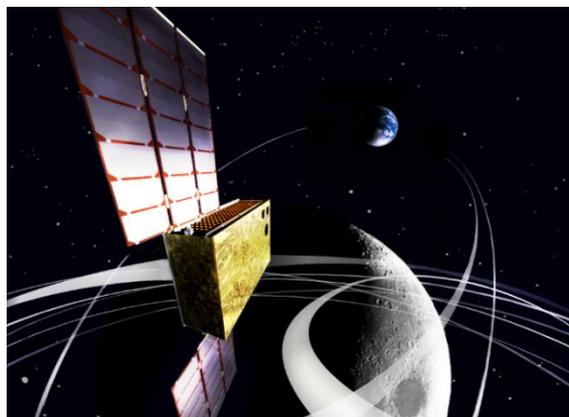
PROCYONは、打ち上げから4ヶ月の間安定して運用され、深宇宙軌道での発電・熱制御・姿勢制御・通信・軌道決定・軌道制御に成功し、ノミナルミッション（メインミッション）である超小型深宇宙探査機のバス技術（基本機能）の実証に成功しました。また、アドバンスドミッション（さらに発展的なミッション、メインミッションの達成を100点満点とすると100点満点を超えて加点対象と考えていたミッション）の一部である、GaN（窒化ガリウム）を用いた高効率なX帯通信アンプの実証、PROCYONが世界で初めて搭載する新しい方式のVLBI軌道決定技術の実証、そして、理學ミッションであるジオコロナの広視野撮像（地球周辺の水素大気層の発光の撮像）や、当初観測を予定していなかったチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺の水素原子の発光分布にも成功しました。日本が世界に先駆けて50kg級という過去最小の深宇宙探査機を実現し、軌道上運用に成功することにより、**超小型衛星の活動範囲を地球近傍（地球周回軌道）から深宇宙へ広げるといふ大きなマイルストーンを築くことができた**と考えています。



チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星周辺の水素原子の発光分布(右)と同時に撮影された恒星像(左)。矢印はジェットによると考えられる水素の広がり方向。

## ◆超小型探査機EQUULEUSって？ (エクレウス)

JAXAと東京大学中須賀・船瀬研究室が共同で提案した、**6Uサイズ(10x20x30cm)/約14kgの深宇宙CubeSat**です。NASAが2018年に打ち上げを計画している新型ロケットSLS初号機の打ち上げの副ペイロードとして選定されました。超小型宇宙機による地球・月圏での低エネルギー軌道制御技術の実証や、地球を覆うプラズマ観測などの科学観測を計画しています。**50kg級のPROCYONよりもはるかに小さい探査機**ですが、自らのエンジン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。



EQUULEUSのミッションイメージ図

## ◆関係者から一言



PROCYONとEQUULEUSのプロジェクトリーダーの船瀬です。NASAも含めて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て、今後も頑張っています。

◆もっと詳しく知りたい人のために  
<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp>

(3-4) 超小型探査機PROCYONの成果と将来

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、遮る空氣が無いために、地上の場合より、40%程度強く1m<sup>2</sup>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縦型スペースチェンバ)

## ◆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縦型スペースチェンバ」、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ら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、灼熱の熱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〉

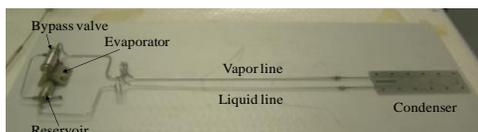
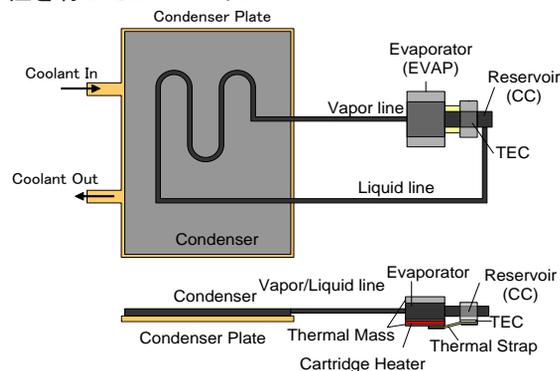
相変化を利用して大量の熱輸送が可能な熱制御デバイスであり、高い毛细管力により作動流体を循環しているため、軽量かつ信頼性が高い。

### 〈自励振動ヒートパイプ〉

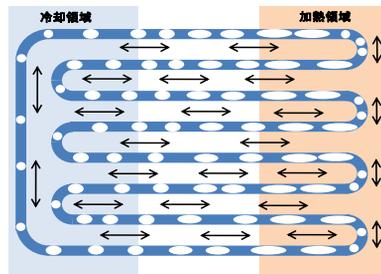
加熱部と冷却部とを十数回往復する細管で結んだヒートパイプ。細管の中に、全内容積の半分程度の容量で封じ込められている作動流体が、加熱部での蒸発・冷却部での凝縮を繰り返す、連続的な圧力振動により駆動される。冷媒が自励振動によって伝熱面間を往復することにより熱輸送を行う。

### 〈可変コンダクタンスヒートパイプ〉

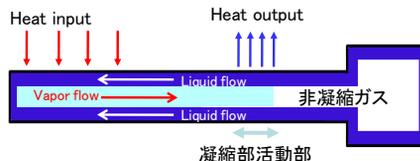
管の中に作動流体を飽和状態で封じ込めた通常のヒートパイプに、非凝縮ガスを封入することで温度制御性を有したヒートパイプ。



〈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輸送経路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輸送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)

# 電波無響室

## ◆この部屋の役割は？

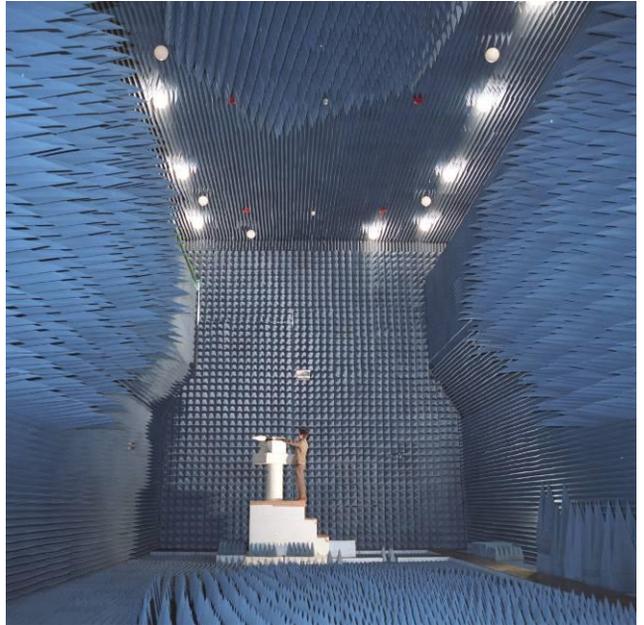
遠く離れた宇宙を旅する宇宙機に指示を出したり、宇宙機から送られてくるデータを受け取ったりするためには、電波を使った無線通信が不可欠です。電波を空中に放出したり、空中を伝わっている電波を取り入れたりするのがアンテナの役割です。

アンテナは、宇宙機と地球の通信のためにとても重要な機器であるため、思い通りの性能を出しているかどうかを注意深く前もって調べておく必要があります。しかしながら、我々が生活している空間では、携帯電話やテレビなど数多くの電波が氾濫しているため、アンテナの性能を正確に調べることができません。

電波無響室は外部からの電波の混入を完全にシャットアウトしています。また、電波無響室内では電波がほとんど反射できないため、アンテナの性能を正確に測定することが出来るのです。

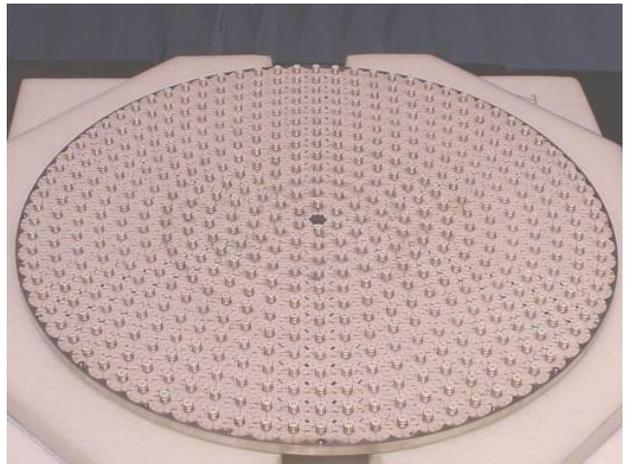
## ◆どこがどうスゴイ？

電波無響室の壁一面に貼られている青いトゲトゲしたものが「電波吸収体」です。電波吸収体は炭素の粉を含んだスポンジ状の材質から出来ており、入射してきた電波を10万分の1にまで減衰させることが出来ます。この空間には不要な電波は存在できないため、電波的に大変クリーンな空間となっています。



## ◆これまでの開発品は？

電波無響室では、これまで数多くの宇宙機搭載用アンテナを開発・搭載し、宇宙に送り出してきました。現在、注目を浴びているアンテナたちをいくつか紹介します。



水星探査機(MMO)搭載用高利得アンテナ(HGA)のエンジニアリングモデル(EM)

JAXAでは、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)との共同プロジェクトとして水星磁気圏探査機(MMO)の開発をしています。水星は太陽にもっとも近い惑星であるため、地球の約11倍も高い熱環境状態にあります。そのため、MMOの高利得アンテナ(HGA)には、通常のパラボラアンテナではなく、集光部を持たない平面アンテナ(ラジアルライン給電ヘリカルアレイアンテナ)が搭載されています。宇宙機搭載用としては、世界初の試みとなっています。



## ◆関係者から一言

この電波無響室は相模原キャンパスの設立当初から使用されている実験施設で、既に29年以上も使用され続けています。ようやく、電波無響室の大扉に貼られていた電波吸収体を新しく交換することが出来ましたが、そのほとんどは当時のまま使用されています。なかには、宇宙科学研究所の前身である東京大学宇宙航空研究所時代から使用されてきたものもありますよ。

この電波無響室では、多彩なプロジェクトに関わるアンテナ系開発を職員主導の形で行っています。

これまで同様、これからも日本の宇宙科学・工学の発展のためにこの電波無響室は活躍することでしょう。



「MMO」に搭載されたHGAの様子  
(2015年3月)



「はやぶさ2」に搭載されたアンテナの様子  
(2014年8月)

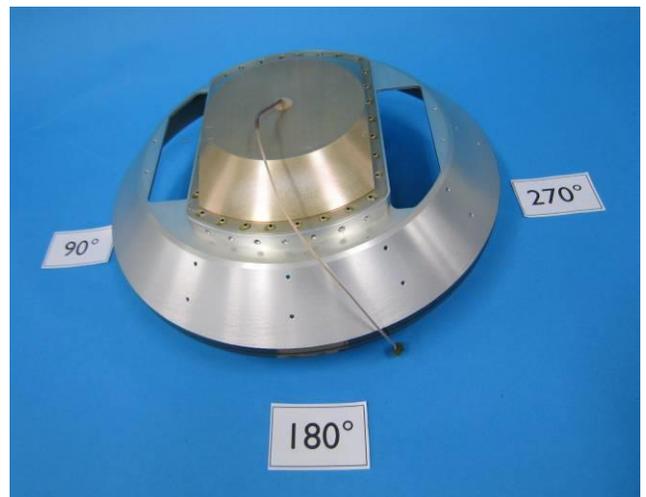
電波無響室では、2014年12月に打上げられた「はやぶさ2」搭載用アンテナの開発も行いました。実際の機器配置を模擬してアンテナの特性を確認したり、「はやぶさ2」の1/2縮尺モデルを作成してアンテナの電気特性を確認したりしました。

「はやぶさ2」では、「あかつき」で搭載された平面アンテナ(ラジアルライン給電スロットアレイアンテナ)と同じタイプのアンテナが、Xバンド高利得アンテナ(XHGA)とKaバンド高利得アンテナ(KaHGA)として搭載されています。また、「イカロス」で搭載された低利得アンテナ(XLGA)と同型のレンズアンテナも搭載されています。このアンテナは、非常に広い半球状のビームパターンを維持しながら、取付位置を低くすることが出来るので、宇宙機への搭載性が良いのが特徴です。

2010年6月13日に地球に帰還した「はやぶさ」帰還カプセルのアンテナもここ宇宙科学研究所で開発・製作しました。パラシュートによる緩降下中に、このアンテナからビーコン電波を地上に送り出し、地上の方向探査システムによりカプセルの着地点を特定することができました。7年もの長い宇宙旅行でしたが、アンテナの状態は非常に良く、搭載前の様でした。このアンテナはJAXA職員(鎌田幸男さん)の手作りです。そして、「はやぶさ2」のカプセルでも、やはり同職員による手作りアンテナが搭載されています。「はやぶさ2」帰還の際にカプセルから元よくビーコンが発せられるのが今から楽しみです。



「はやぶさ2」搭載用低利得アンテナ(XLGA)  
熱計装(MLI)を付けた状態



「はやぶさ」帰還カプセル用アンテナ

# 宇宙に浮かぶ巨大な発電所 宇宙太陽発電

## 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(SSPS: Space 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。

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>



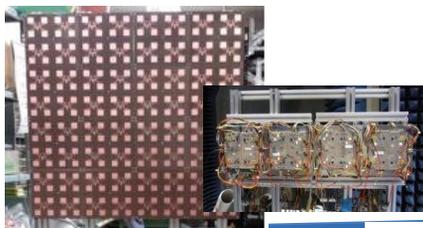
## 宇宙太陽発電所の実現に向けた計画

### ①地上間送電実験



初期段階の技術実証実験。地上設置された送電・受電装置の間で、マイクロ波によりエネルギーを伝送。

### ②高所送電実験



ヘリコプターや気球に搭載可能な薄型送電装置を開発中。高度数百mから送電実験。

### ③小型衛星実験



小型衛星に送電装置を搭載して、衛星軌道から地上に送電。

1キロワット

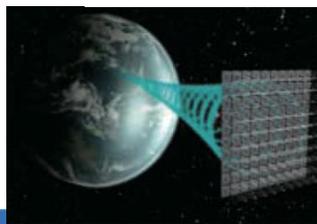
マイクロ波ビーム制御技術の実証。電離層との相互作用の検証実験。

### ④大型衛星による実験



衛星規模を拡大し、発電量を徐々に増大。大型パネルの展開建設技術の実証。

### ⑥実用的発電衛星の建設



ベーシックモデル: 大型実証プラントを多数配列して、発電規模をさらに増大。

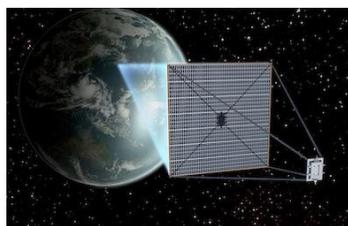
100キロワット

1000キロワット

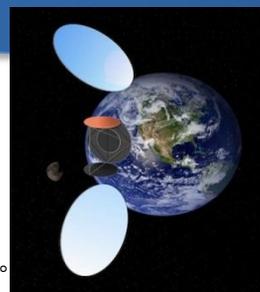
100万キロワット

### ⑤大型実証プラントの開発

実用衛星に近い形態の構造を持つ。太陽電池と送電アンテナが一体型。



アドバンスドモデル: 太陽電池と送電アンテナ分離型。太陽光を巨大ミラーで太陽電池に集光。



研究リーダー  
田中孝治准教授



宇宙太陽発電は、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。

# 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です、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行けないので、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行けません。

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行けません。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行けません。

その他にもやることはたくさんあります。



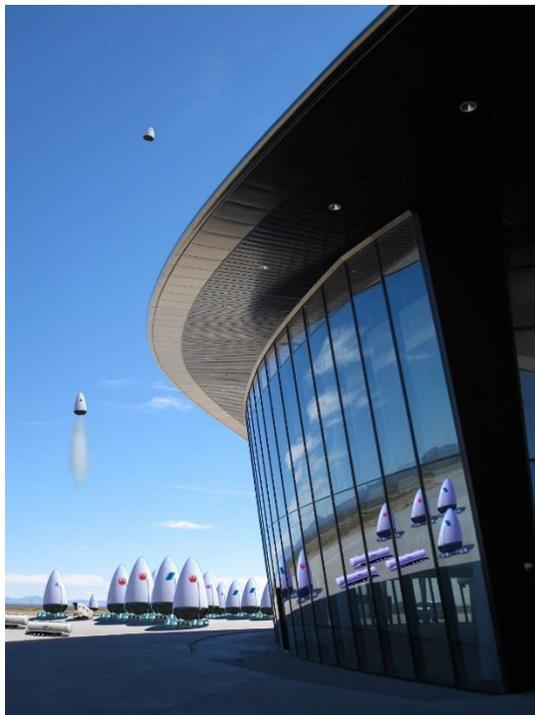
## ◆関係者から一言

現在、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予定です。これまで再使用型のエンジンの技術を実証するための試験を行ってきました。また、ロケットを繰り返し使うには何に気を付けられよいか、効率的かつ安全に運用するためにはどうしたらよいか、宇宙から地上に帰ってくるために必要な技術はなにか、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実証試験を進めています。再使用観測ロケットは、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。

## ◆もっと詳しく知りたい人のために

<http://www.isas.ac.jp/j/enterp/tech/flight/03.shtml>

(5-2)再使用ロケットと水素エネルギー技術



# 再使用ロケットの研究が切り拓く 水素エネルギー社会

## ◆「エネルギー問題」

私たち人類を含むあらゆる生物が生きていくためには、「エネルギー」が必要です。ここ地球上では、基本的に太陽に由来するエネルギーを使って生物は生きています。現在、人類は、豊かな暮らしをおくるために、特に化石燃料(石油、石炭など)という形で大量のエネルギーを消費しています。

化石燃料はその名の通り、太古の昔の動植物が長い年月をかけて変化してできたものです。長い年月をかけてできたものを、それより遥かに速いスピードで私たちは消費していますので、地球の化石燃料はいつかは必ずなくなります。

私たちは、今と同じような暮らしをするためには、化石燃料がなくなるときまでに、代替りのエネルギーを獲得していなければなりません。「宇宙に資源を探しに行く」というのは、再使用ロケットの出番としては魅力的なのですが、ここでは地球でなんとかすることを考えます。原子力という選択肢もありますが、究極的には、太陽の恩恵をより直接的にエネルギーとして受け取る(例えば、太陽光とか風力とか潮力とかの形で)ことが望ましいです。このようなエネルギー(の受け取り方)を「再生可能エネルギー」といいます。

ところで、ここでいうエネルギーは漠然としたものです。物質のように形あるものではなく、あえていえば、「状態」、「形態」を指すものです。また、エネルギーは、ある形態からある形態へ変換されます。例えば、動く物が持っている運動エネルギーは、摩擦によって熱エネルギーに変換されます。このように、エネルギーはエネルギーの源から、使いやすいように変換して使うわけですが、現代では、「電気」として消費することが多いです。

電気エネルギーは使いやすいエネルギーの状態ですが、欠点もあります。ひとつは貯めたり(長距離を)輸送したりしにくいこと、もうひとつには短時間に爆発的にエネルギーを取り出しにくいこと、です。このふたつの欠点を補うのが「水素」です。

## ◆水素エネルギー社会とは？

水素は物質ですので、「水素がエネルギーを持っている状態」にしておくことで、エネルギーを貯めておくことができますし、水素を運べば長距離の輸送も可能です。また、水素を燃やすと大きなエネルギーを発生しますので、短時間に爆発的にエネルギーを取り出す(変換する)ことも可能です。このように、水素は電気の欠点を補うことができます。さらに重要なことは、水素と電気は水を介して容易に相互変換できることです。水素は酸素と結びつくと水になります。このとき、何らかの方法で電気を発生します(例えば、燃料電池)。また、水を電気分解すれば、水素(と酸素)を得ることができます。

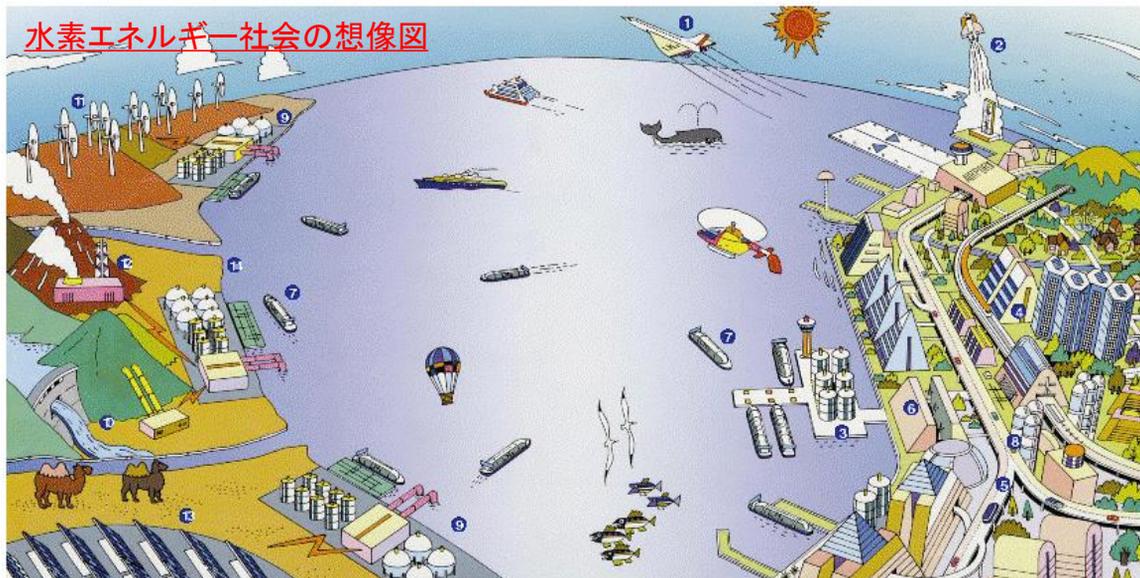
水素エネルギー社会とは、再生可能エネルギーを源とし、電気と水素のエネルギー形態を適材適所で使い分けるエネルギーのあり方をとする社会のことです。

## ◆宇宙ロケット研究と水素エネルギー

宇宙ロケットでは、大量の液体水素を燃料として用いており、水素の取り扱いには得意です。水素エネルギー社会への取り組みはまだ始まったばかりですが、これまで水素を大量に使ってきた宇宙ロケットの研究が水素社会を目指す動きを引っ張っていきけるはずで、また、そうしなければならないとも思っています。特に、気体の水素を $-253^{\circ}\text{C}$ に冷やして得られる液体水素は、極低温の特長を活かして「超電導」と組み合わせ、より効率的なエネルギーシステムの実現が期待できます。

宇宙科学研究所では、宇宙ロケットの研究者を中心に、水素エネルギー社会を目指す研究も行っています。特に液体水素をキーワードに、液体水素を用いた実験が可能な能代ロケット実験場で、民間企業と一緒に実験や研究を行っています。

水素エネルギー社会の想像図



WE-NETウェブサイトより (C)NEDO

# 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。



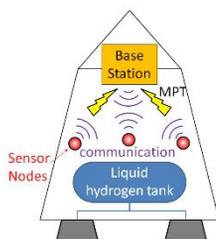
衛星通信で可能になるサービス例

## ◆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超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。



内之浦宇宙空間観測所  
パラボラアンテナ



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

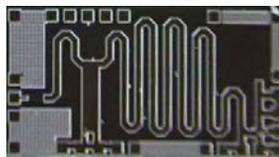
宇宙開発に画期的発展をもたらす小型化・高性能化・低コスト化を実現するHySiC (Hybrid Semiconductor Integrated Circuit) デバイスを実現するために、世界最高のISOクラスレベル1の洗浄度を誇る最新のスーパークリーンルームにて、ナノメートル(1ミリの100万分の1)サイズの超微細加工技術を実施し、ナノRFデバイス作成など、日々研究・開発をおこなっています。



ISOクラス1を実現する  
高性能ファンユニット



10 nm Line & Spaceの描画  
が可能な電子線描画装置



製作中のナノRFデバイス  
(整流回路)



高周波プローブによる  
デバイス評価



## ◆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ブームで感じていってください。

## ◆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/>

# 宇宙エネルギー技術から 地球環境への貢献

## ◆この研究のねらいは？

「再生可能エネルギー」という言葉があります。石油エネルギーのような化石エネルギーは、一度燃やしてしまうと、簡単に元の物質に戻すことができません。これに対して、太陽光や風力は自然界に存在し、かつ使い切る訳ではなくて、再使用が可能な自然エネルギーと考えられており、これらのエネルギーを再生可能エネルギーと呼んでいます。

このような再生可能エネルギーは、電気を作る際に炭酸ガスを生じることがないため、環境に優しい技術であると考えられています。

私達は、宇宙で培った燃料電池やバッテリー、生命維持技術を生かして、この再生可能エネルギーを利用した地球環境保全のための技術開発に乗り出しました。

## ◆主な研究テーマは？

地球温暖化が進んでいることは、色々なニュースで語られていることかと思えます。

要因には、化石エネルギーを燃やすことにより炭酸ガスが発生し、この炭酸ガスの大気中濃度が増加し、熱がこもりやすい現象(地球温暖化現象)が進んでいるためだと言われています。

この打開策として、再生可能エネルギーと呼ばれる太陽光や風力を活用して電気を作る試みが進められています。太陽光や風力を使って発電を行う場合、発電を行う現場では炭酸ガスが生成されません。クリーンで地球に優しい発電方法として注目されています。

ただ、課題もあります。例えば風力発電を行うのであれば、風の強いところで電気を作る必要があります。また、太陽光発電を行うのであれば、曇りの日が少なく、常に太陽光が降り注ぐような場所で発電をしたほうが効果的です。

このように、電気は発電に有利な場所で作ることが効果的です。その上で、エネルギーを運ぶ手段が必要になります。発電により得た電気を使って、例えば水を分解して水素を作ることができ、これを運搬することができるのなら、色々なヒトが再生可能エネルギーの利用者となることができます。このエネルギーの運び手を、「エネルギーキャリア」と呼びます。

「太陽電池で発電しながら、水を電気分解して、水素を作り、必要な時にエネルギーソースとして活用する。」あれ、これって、どこかで聞いた話のような…。

そう、僕たちが、再生型燃料電池と呼んでいる技術と、とても近いところに、地上の環境問題解決のためのニーズが存在していました。

僕たちは、更に生命維持技術との融合も考えました。宇宙ステーション用の技術として、ヒトが呼吸の結果として作った炭酸ガスを水素と反応させて水とメタンを作る技術が検討されています。宇宙ステーションでは水が欲しいのですが、一緒にできるメタンは水素に比べると持ち運びが容易な物質です。実は、エネルギーキャリアとして、とても有効な物質なのです。

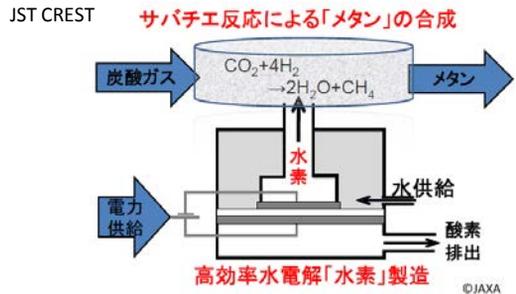
## ◆どこがどうスゴイ？

この技術の素敵なところは、これまで地球環境にとって悪者であった炭酸ガスが資源に変わることです。炭酸ガスは地球温暖化を招く主要物質の一つであり、回収して少しでも大気中から減らす努力が図られています。

このように嫌われてしまう炭酸ガスですが、私達の技術が開発された際には、メタンなどの資源を生み出すための貴重な出発原料としての役割が待っています。

今、JAXAでは、二つのアプローチで炭酸ガスの資源としての活用を考えています。

一つは、宇宙ステーションで使用を期待している化学反応を活用してメタンと水を合成する技術の応用です。宇宙ステーションでは水が欲しいのですが、地上ではメタンを天然ガスの代替として使用することで、地下資源への依存から再生可能な資源へのシフトが起こり、私たちが長く地球に住み続けることができるようになるのではないかと。そんな未来を作ることが目標です。

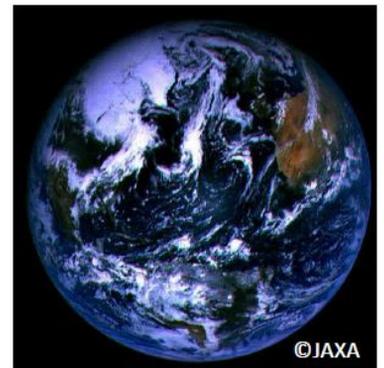


また、燃料電池を応用して炭酸ガスと水素で電池のような反応をおこすことを試んでいます。この反応は長岡技術科学大学が発見し、JAXAも協力して反応効率を向上させ宇宙、地上のそれぞれの実用化に結びつける研究をスタートしています。このリアクターでは発電ができる上、メタンの他にアルコールや有機酸などヒトに有益な物質を生み出せることが解ってきています。(NEDOエネルギー・環境新技術先導プログラム等)

さて更に宇宙に目を向けると、我々の地球にいた星として火星があります。火星では水が手に入るかも知れないと言われています。また二酸化炭素があることは広く知られています。

この技術が発展をすると、火星で手に入る物質でヒトに必要なエネルギーと炭化水素化合物の両方を作り出すことができるかも。

炭酸ガスの資源化は、地球環境問題を解決する糸口と、宇宙探査技術の両面から、発展しつつあります。



©JAXA

## 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きました。

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？

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。

電池は、高真空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年に打ちあげられた「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。

というわけで、ここでの研究の大事なテーマは、「如何に安全に、長い期間にわたって電池の健康状態を維持するか」です。そういう事柄を理解しながら、次の世代の蓄電池は、どういう設計であるべきか、どういう電池が宇宙用途に適しているかを考えています。また、所謂、缶に入った電池から抜け出して、宇宙探査の幅を広げるような研究を進めたいと考えています。

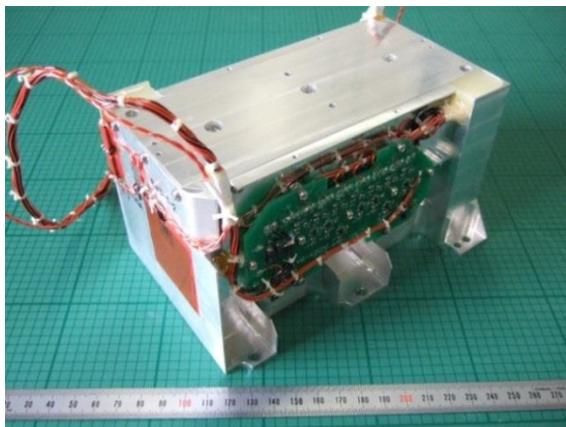


図 「れいめい」搭載 リチウムイオンバッテリー

## ◆どこがどうスゴイ？

宇宙では真空と微小重力が電池の性能に影響する可能性があります。また、例えば電池で使用される電解液という物質が、真空に曝されると電池から外に抜け出してしまふことも考えられます。ここでは、高真空になる宇宙でも使いこなす構造補強や、真空に強い材料を使った電池の研究を進めています。

また、大電力を使う機器に備えて素早く充電できる電池の研究も進んでいます。そういう電池を衛星内に分散配置すると全体の電力バランスを整え、分散した電池同士で電力を融通しあうことも可能になります。

更に、宇宙船で旅をするようなことを想定すると、燃料電池も使いこなしたいですね。燃料電池は、燃料と酸化剤を反応させる時に電気を取り出す「装置」ですが、電気と一緒に水ができます。水は重力のない宇宙では分離が難しいので、遠心力を使って分離します。その上で、運用を考慮したシステム化が必要です。分離した水は電気分解により水素と酸素に戻すことにより、エネルギーの再利用につなげることもできます。これが再生型燃料電池と呼ばれる技術になります。

日常でも、電池を使わない日は無いくらいに身近なデバイスですが、宇宙でもなくてはならない存在です。

常に緑の下の力持ち。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！

電気がなければ始まらないからね。



## ◆関係者から一言

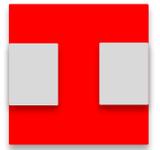
宇宙機応用工学研究系の曾根理嗣(そねよしつぐ)です。趣味はサッカー、ジョギング、バイクです。好きなデバイスは電池。好きな言葉は「エネルギー充填、120%」。

## ◆もっと詳しく知りたい人のために

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



# 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、超革新技術を開拓し小型衛星打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上げ用固体ロケットです。  
2013年 9月に試験機の打上げに成功し、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  
⇒ロケット業界の常識を覆す打ち上げシステムの革命

## 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
- ◆ 特別な地上設備で音響を低減

## 技術の革新(イプシロン方式の打ち上げ)

- ◆ 世界でも初めて人工知能をロケットに応用した自律点検システム(ROSE)
- ◆ 世界初のモバイル管制(LCS)  
⇒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)



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

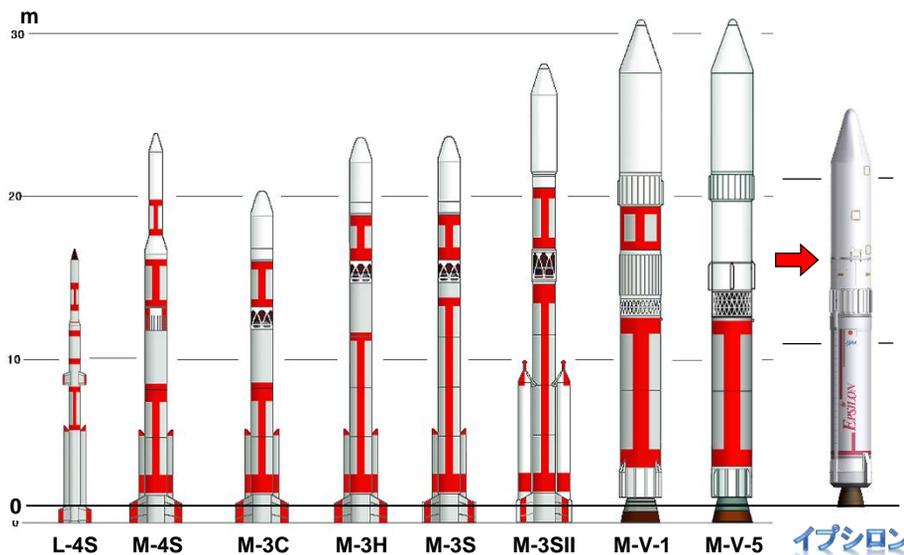
## 伝統の継承と発展(高性能化)

- ◆ 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)



## イプシロンロケットの概要

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
基盤技術革新	自律点検機能
試験機打上げ	2013年 9月14日
PBS: 軌道調整用小型液体ロケット	

もう一步先へ



# 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、強化型イプシロンとしてH28年度に上げられる予定です。

試験機

強化型



衛星包絡域  
拡大

強化

打上げ能力  
向上

<フェアリング  
全長最適化>

<搭載機器・  
構造軽量化>

<2段モータ(M-35)  
新規開発>  
低コスト・高性能

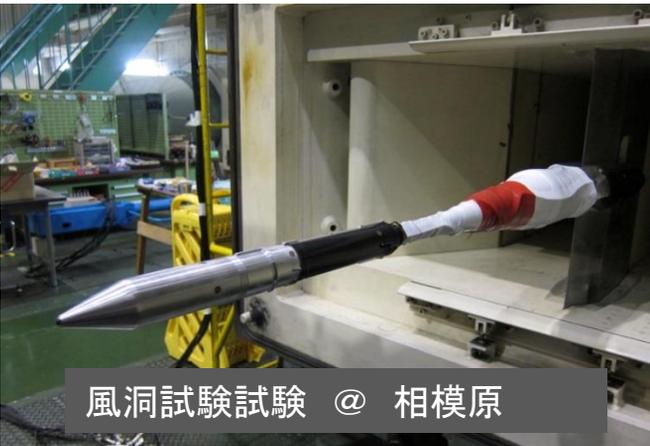
強化型の概要

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
基盤技術革新	自律点検機能
試験機打上げ	平成28年度

<強化型開発の一部>



M35モータ(第2段ロケット)  
真空地上燃焼試験 @ 能代

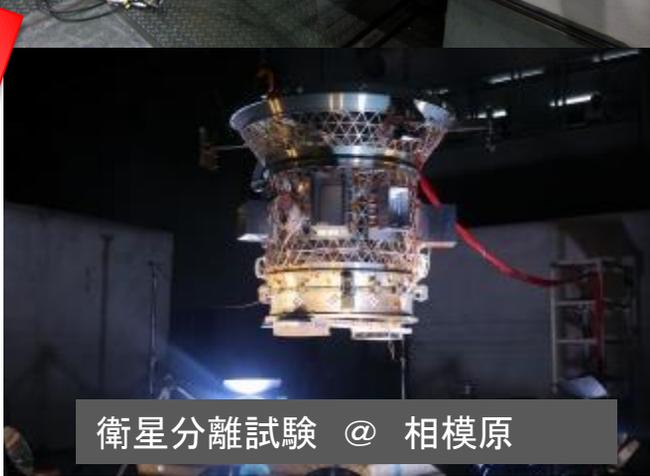


風洞試験試験 @ 相模原



試験機打上げ成功!

強化!!



衛星分離試験 @ 相模原

# 安全なロケット -A-SOFTエンジン～

## ★安全なロケットとは？

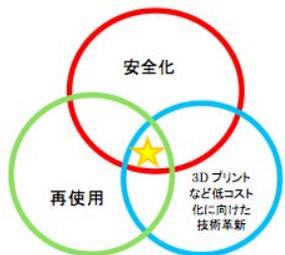


Fig.1

従来のロケットの推進系に対して、「再使用」、「3Dプリント」などの技術革新に期待が寄せられています。従来の推進系は本質的に爆発性を有する推進系であり、約5%が打ち上げを失敗しています。「**ロケットの安全化**」という第3の技術革新が必要です。(Fig.1)そこで当研究室では本質的に爆発性のない推進系であるハイブリッドロケットを開発研究することによって、**宇宙輸送の生産性の増加、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。

## ★A-SOFTハイブリッドロケットって何？

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(HR)と言います(Fig.2)。

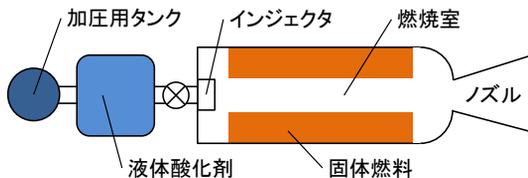


Fig. 2 ハイブリッドロケット概念図(加圧供給式)

### メリット

- ◎燃料と酸化剤が混合しにくい**ため安全性が高い**
- ◎**推力制御可能**でミッション適合性が高い
- ◎**有毒物質を使わないため環境負荷が低い**
- ◎製造・管理までを含めた**トータルコストが低い**

### 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**

これらの課題を解決する方法  
それが...

## A-SOFTハイブリッドロケット

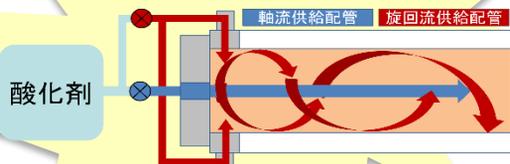


Fig. 3 A-SOFT HR概念図

A-SOFTとは強度可変酸化剤流旋回型のことで、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することによって混合比を推力とは独立に制御することが可能になります。当研究室ではこのA-SOFTハイブリッドロケットの実用化に向け、エンジン内部の熱・流体现象を、数値計算と実験の両面から研究を行っています。また、宇宙研を中心に発足した「HR研究ワーキンググループ(HRrWG)」を通じ、各大学と協調し、HRによる世界初の超小型衛星打上げを目指しています。

## ★研究テーマの例

### 1. A-SOFTハイブリッドロケットの酸燃比(O/F)と推力の制御

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.3)。この旋回強度制御方法の理論的検討や性能予測、**燃焼実験**(Fig.4)、**数値計算**(fig.5)による特性把握等の研究を進めています。また、高速度カメラを用いた燃焼室内の可視化も目指しています。



Fig. 4 A-SOFTの定常燃焼実験の様子

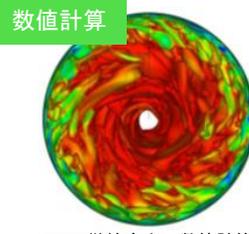


fig.5 燃焼室内の数値計算

### 2. 液体酸素(LOX)気化装置

A-SOFTハイブリッドロケットエンジンでは、LOXではなく、**気体酸素(GOX)**を燃焼室に旋回させて噴射させる方が燃料後退速度やC\*効率、比推力が良いことが分かっています。そのためハイブリッドロケットを実用的に用いるために液体で酸素を貯蔵し、**気化**させる技術を研究しています。(Fig.6)

### 液体酸素(LOX)気化



Fig.6 液体酸素気化装置

### 3. 宇宙輸送の安全化

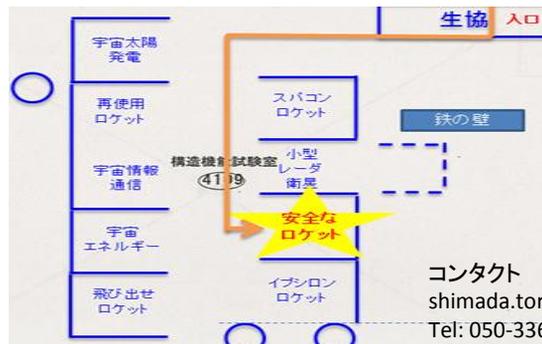
『**燃焼形態を予混合燃焼から境界層燃焼に転換することにより宇宙輸送システムが安全化される**』という仮説の実証を目指しています。そのためにロケットの打上げに係る安全対策において主要な評価対象となる爆風に着目し、爆風発生の数値モデルの構築および、推進剤間の比較することによって推進剤の爆発性を定量的・理論的に評価することを目指しています。

## ★嶋田教授から一言

今、各国は将来の宇宙輸送のあり方を模索しています。キーワードは**宇宙輸送系の安全化**です。私達はその中で根幹をなす推進系の技術を高めるため、JAXAや他大学と共同して、固体やハイブリッドロケット推進系に関する科学的な理解を促進する研究活動に取り組んでいます。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**7/30(土)13:00**より嶋田教授による講演会を**構造棟第5会場**にて行います。是非おこしください。ホームページ→<http://shimadab.isas.jaxa.jp/>



コンタクト  
shimada.toru@jaxa.jp  
Tel: 050-3362-2501

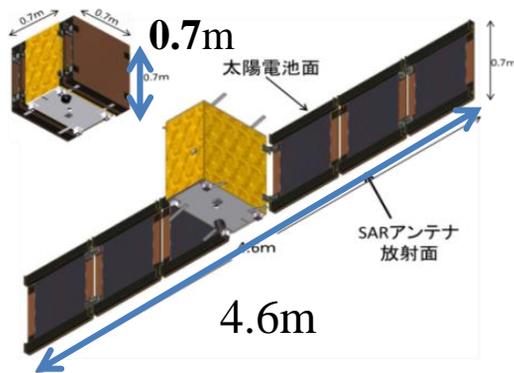
(5-7) 夜でも曇りでも地表が見れる小型レーダ衛星

# 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以下の小さな衛星で、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(9.65GHz)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グ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。



2偏波共用一層構造スロットアレイ・アンテナ

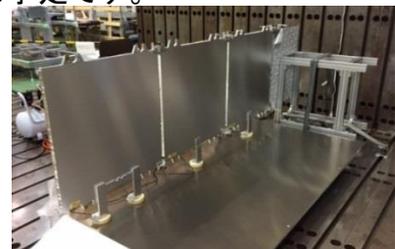
### (E) 衛星用通信技術

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 $2 \times 10^9$  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デモ

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、0.7m×4.9m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。

特別公開では、空気力で浮上させるエアベアリングを使用し、地上展開試験をデモする予定です。



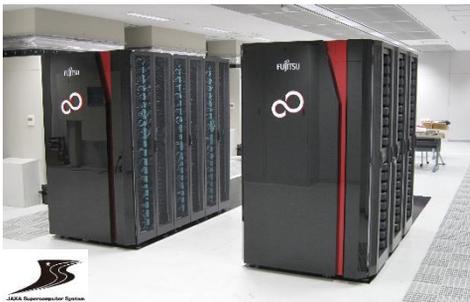
アンテナパネル展開完了状態(片翼)

# 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？

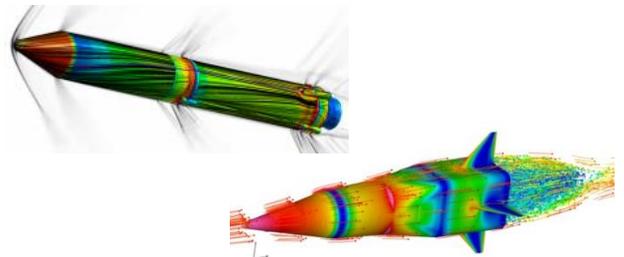
みなさんの中には家でパソコンを使って文章を書いたり、インターネットで調べ物をしている人も多いでしょう。スーパーコンピュータ(スパコン)もパソコンも同じコンピュータの仲間ですが、スパコンは学校の体育館ほどの建物に設置されるぐらい大きなコンピュータです。そして何よりもパソコンと比べると非常に計算が速いことが特徴です。例えば、パソコンでは7年もかかってしまうような計算を1日で終わらせることができます！また、パソコンの計算速度を人が歩く速さに例えると、スパコンの速さは宇宙に飛び立つロケットと同じくらいになります。スーパーコンピュータがどれだけ「スーパー」なのかおわかりいただけるでしょうか。



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。



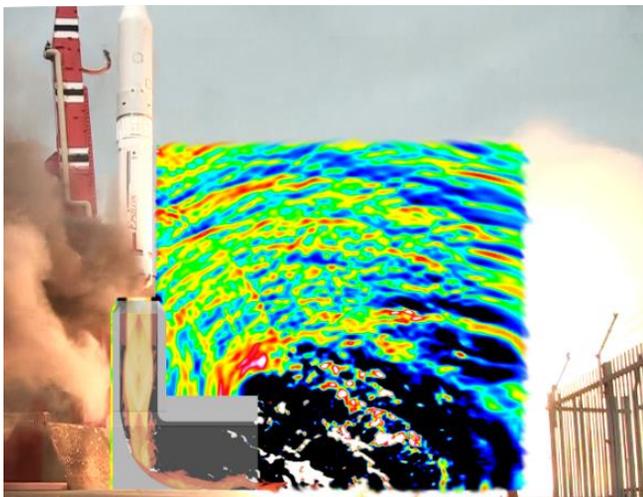
イプシロンロケット(上)と再使用観測ロケット(下)の飛行シミュレーション

### ◆ロケット打上げのすさまじい音から人工衛星を守る！

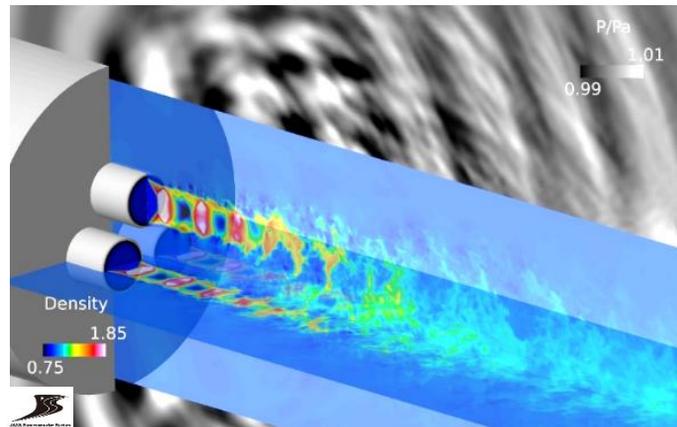
ロケットはエンジンからたくさんのジェットを吹き出しながら、“ゴー”というすさまじい音とともに大空へ高く上がっていきます。この“ゴー”というすさまじい音はどのぐらい大きいかというと、家庭の音楽コンポを、なんと2500万個も並べたぐらい大きなエネルギーを持っています！離れて見ていると迫力がありカッコ良いですが、ロケットに乗っている人工衛星にとってはあまりにも音が大きすぎ、壊れてしまうほどの危険なばく音です。そのため、ロケットを開発する時はこの音がどれほど大きいのかということや予測したり、音を小さくする方法を考えることが大切です。

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。



イプシロンロケット打上げ時の音のシミュレーション



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)



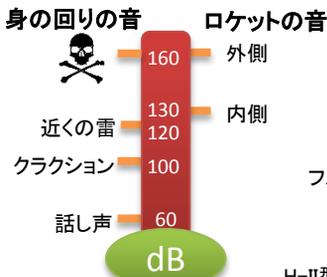
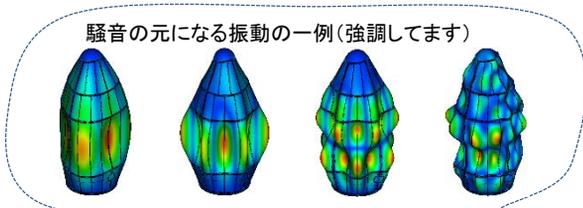
エンジン内の炎の乱れや圧力の変化をシミュレーションで詳しく調査

◆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。



フェアリングの音と振動の計算

◆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、条件がそろそろさらに大きく炎を揺らしてしまおうようなのです。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/>

(5-9) スパコンによるロケット開発最前線！

# 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となります。

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辺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

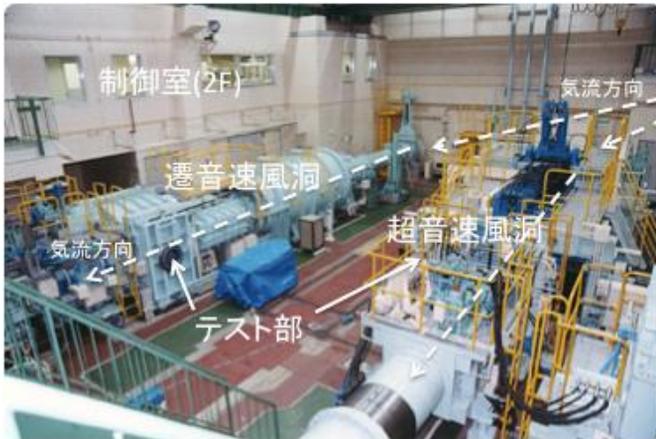
なお、風洞設備は、全国の大学・研究機関等の研究者も利用する事ができます。高速飛行のための基礎から応用まで、様々な研究開発が行われています。

- ・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

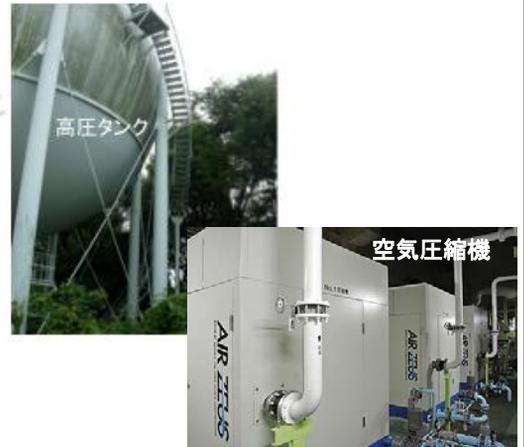
## ◆どこがどうスゴイ？

・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。

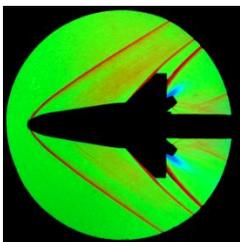
・ロケットの飛行環境を模擬するために重要なのが、レイノルズ数とマッハ数。本風洞では、模型とこれらの無次元数を現実と一致させることで、ロケットなどの飛行状態を高い精度で模擬することができます。



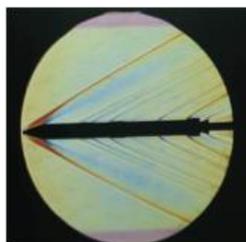
遷音速・超音速風洞: 風洞実験棟内の様子



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

# 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2016年4月に設置されました。多様な人材が能力を発揮し、多様な視点で高い目標に挑戦し、成果を創出する組織へ変革し、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、能力を十分に発揮できる環境をつくることで、宇宙航空分野の活力を一層高めます。

また、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、女子学生の理工系キャリアへのチャレンジを支援します。

## ◆ どんな取り組みをしているの？

JAXAは2013年10月～2016年3月まで「男女共同参画推進室」を設置し、女性研究者の活躍に取り組んできました。ワーク・ライフ変革推進室では、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

(H28.4.1～H30.3.1)

#### 【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

(H27.5.1～H29.4.30)

#### 【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%を取得できるよう休暇取得を促進する。
- ・計画期間内に、時間外勤務免除を受ける職員の子どもの制限年齢(現行:小学校就学前)を見直すなど育児環境の改善を図る。
- ・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の周知徹底をはかる。

### 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%  
(平成26年度集計、任期制職員・管理職・裁量労働制適用者を除く)

## ◆ ワーク・ライフ・バランスが実現した社会とは

「国民一人ひとりがやりがいや充実感を感じながら働き、仕事上の責任を果たすとともに、家庭や地域生活などにおいても、子育て期、中高年期といった人生の各段階に応じて多様な生き方が選択・実現できる社会」と定義されています。

(ワーク・ライフ・バランス憲章(内閣府)より)

### ◆ もっと詳しく知りたい人のために

<http://stage.tksc.jaxa.jp/geoffice/index.html>

理工系職員が語る私の仕事と生活

## 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：7/29(金)・7/30(土) 13:15-13:45 / 14:15-14:45 / 15:00-15:30

場所：相模原市立博物館地下大会議室

## 7/29(金) 登壇者紹介

## 【ワーク・ライフ変革推進室活動紹介】 JAXAワーク・ライフ変革推進室副室長 杉田 尚子 (すぎた なおこ)

1995年宇宙開発事業団入社、国際契約、国際宇宙ステーション・地球観測の国際調整業務等に従事。米国での長期派遣研修、文部科学省を経て、日本の宇宙政策史の研究で博士号を取得。現在は、国外の宇宙動向の調査分析業務と共に、働き方変革と女性活躍を推進。



## ①13:15-13:45 「イクボス」座談会

## ★ISAS宇宙飛行工学研究系教授 / 宇宙探査イノベーションハブ (TANSAX) ハブ長 國中 均 (くになか ひとし)

1983年3月、京都大学工学部航空工学科卒業。1988年3月、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年4月、文部省宇宙科学研究所助手。2000年1月、同助教授。2005年4月より同教授。2012年9月、はやぶさ2プロジェクトマネージャ。2015年4月、現職。工学博士。東京大学大学院工学系研究科科学際工学教授併任。2010年度文部科学大臣特別賞受賞。著書に「イオンエンジンによる動力航行」コロナ社。



## ★ISAS科学推進部部長 佐々木 宏 (ささき ひろし)

1987年宇宙開発事業団入社、有翼往還機(HOPE)の研究、ロケットエンジン(LE-7)の開発等、宇宙輸送系研究開発に従事。1998年にHTVプロジェクトチーム所属。2002年HTVプロジェクトサブマネージャー、2013年経営企画部次長を経て、2015年から現職。娘二人(大学生、中学生)の父。



## ★ISAS宇宙物理学研究系教授 堂谷 忠靖 (どうたに ただやす)

1990年より宇宙科学研究所勤務。中性子星やブラックホールを始めとするエックス線天体の研究を行うとともに、科学衛星搭載用のエックス線検出器の開発研究を行う。2014年より宇宙物理学研究系主幹。娘一人(小3)。



## ★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 橋本 樹明 (はしもと たつあき)

1990年より宇宙科学研究所勤務。科学衛星の姿勢軌道制御系の研究開発に従事。2007年～2015年に月着陸探査計画SELENE-2の検討チーム長、2012年～2015年に宇宙機応用工学研究系研究主幹を務める。宇宙探査イノベーションハブ併任。18歳の息子と8歳の娘の父。



## ②14:15-14:45 科学衛星運用・データ利用ユニット 長谷川 晃子 (はせがわ あきこ)

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。



## ③15:00-15:30 研究開発部門第一研究ユニット / PLANET-Cプロジェクトチーム 廣瀬 史子 (ひろせ ちかこ)

修士課程修了後、2004年JAXA就職。スペースデブリの観測・衝突解析等を行い、現在金星探査機「あかつき」の軌道計画に携わる。



## 7/30(土) 登壇者紹介

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

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。



## ④13:15-13:45 研究開発部門第二研究ユニット / ジオスペース探査衛星プロジェクトチーム 柴野 靖子 (しばの やすこ)

修士課程修了後、2012年JAXA就職。科学衛星の熱設計、熱制御材の研究、ISSでの曝露実験に携わる。

## ⑤14:15-14:45 研究開発部門第一研究ユニット / 観測ロケット実験グループ 宮澤 優 (みやざわ ゆう)

修士課程修了後、2012年JAXA就職。科学衛星の電源系機器開発、観測ロケットに携わる。

## ⑥15:00-15:30 ISAS太陽系科学研究系助教 大竹 真紀子 (おおたけ まきこ)

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。

