

ISSUE  
2022  
JULY

[対談]

## Beyond Constraints A Romance Found in Engineering

制約の向こう側  
エンジニアが見出すロマン

**武井祥平**

(nomena創設者・エンジニア)



**富岡定毅**

(角田宇宙センター所長)

[特集]

推力なくして宇宙は遠い。  
ロケットを動かす心臓部、  
角田宇宙センターが有する6つの試験設備

[インタビュー]

空のエンジニアリングと、生き物たち  
——フクロウの羽とサメ肌の構造を生かし、  
航空機の騒音と空気抵抗を抑える

[連載]

JAXA TIMES

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構  
機関紙 [ジャクサス]

宇宙と私たちをつなぐコミュニティメディア

# BEYOND CONSTRAINTS A ROMANCE FOUND IN ENGINEERING

制約の向こう側  
エンジニアが見出すロマン

＼nomena創設者・エンジニア／

**武井祥平**

TAKEI SHOHEI



＼角田宇宙センター所長／

**富岡定毅**

TOMIOKA SADATAKE

宮城県角田市にあるJAXA「角田宇宙センター」は、ロケットエンジンの研究・開発と試験を担う国内随一の拠点だ。また、高度な技術を持つ試験設備は、エンジンの開発だけでなく、企業や大学、NASAを含む海外機関にも開かれている。その現場を訪れたnomena代表でエンジニアの武井祥平さんと同センター所長の富岡定毅が語ったのは、制約を楽しむ姿勢と、機能から立ち上がる美しさ。そして、「宇宙を仕事にする時代」を目指す共創の未来だった。

撮影:竹之内祐幸 取材・文:吉田彩乃 編集:水島七恵



宇宙開発展示室の屋外に展示している大型液体ロケットエンジンは、一般向けに開放されていて自由に見学できる。写真は、LE-5、1975年から国内で開発された、液体酸素と液体水素を推進剤とした実用ロケットエンジン。



## 「わいわい」が創造を生む

**富岡** 角田宇宙センターは、1965年の開所以来、宇宙推進技術に関する材料・要素技術の研究から、ロケットエンジンの開発・試験までを一貫して行う研究開発拠点として発展してきました。現在も、一回しか使わなかったロケットエンジンを何度も使えるようにする研究や、ロケットエンジンとジェットエンジンを組み合わせて、地上から宇宙まで飛行機のように飛べる複合エンジンの研究など、次世代を見据えた挑戦が続いている。

**武井** シャトルバスで移動しながら見学してみて、敷地の広大さと試験設備の多様さに驚きました。

**富岡** 敷地面積は約170万平方メートルで、東京ドーム約37個分とも言われています。点在する各施設には、ロケット燃焼器や軸受といった専門領域に特化した研究者が所属し、先進的な技術開発に取り組んでいます。

**武井** 外部の方が試験場を利用することもあるそうですね。

**富岡** はい。当センターが所有する試験設備は、JAXAの基幹ロケットの試験に使用するだけではなく、企業や大学、そしてNASAをはじめとする海外宇宙機関との共同研究にも提供されています。また、新たな取り組みとして「官民共創推進系開発センター」を建設中です。完成後はスタートアップ企業に向けて、ロケットエンジンの研究開

発に必要な設備とノウハウを提供していきます。

**武井** ロケットエンジンの試験に取り組むスタートアップ企業にとって、最初に直面する課題は試験設備の確保。既に設備が整っている場所があると、「形にしてみたい」という思いをすぐ行動に移せるようになりますね。

**富岡** 当センターの設備の中には、設置から30年目にしてようやく本格的に活用され、いま世に出していく技術を支えているものもあります。逆に設備が既にあって、長い間にノウハウをためてきたので、新しい開発を支えることができているのです。だからこそ、当センターが培ってきた技術や知見を広く社会に提供し、宇宙開発に貢献していきたいと考えています。

**武井** 宇宙に関心のある人は多いけれど、仕事をしようと思う人はまだ少ない。私自身も高専で電気工学を専攻したからこそわかるのですが、工学を学ぶ人にとって航空宇宙は最高峰の憧れの世界です。これまでには遠い存在だと感じていましたが、角田宇宙センターに訪れ、人工衛星を打上げるというチャレンジが、思いのほか身近に感じられました。官民共創推進系開発センターを中心に、誰もが宇宙を仕事にできる時代が来たら面白いですね。

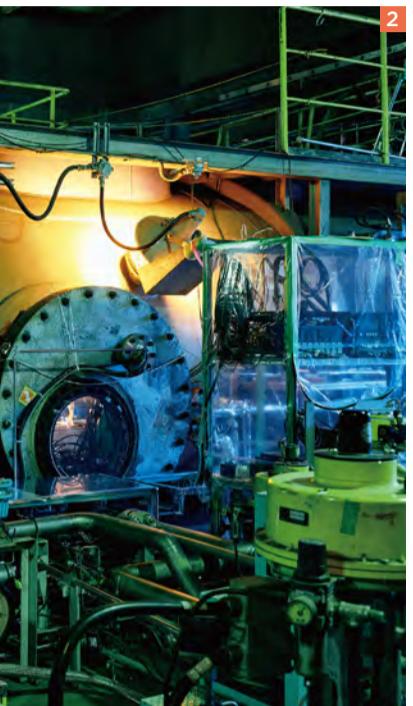
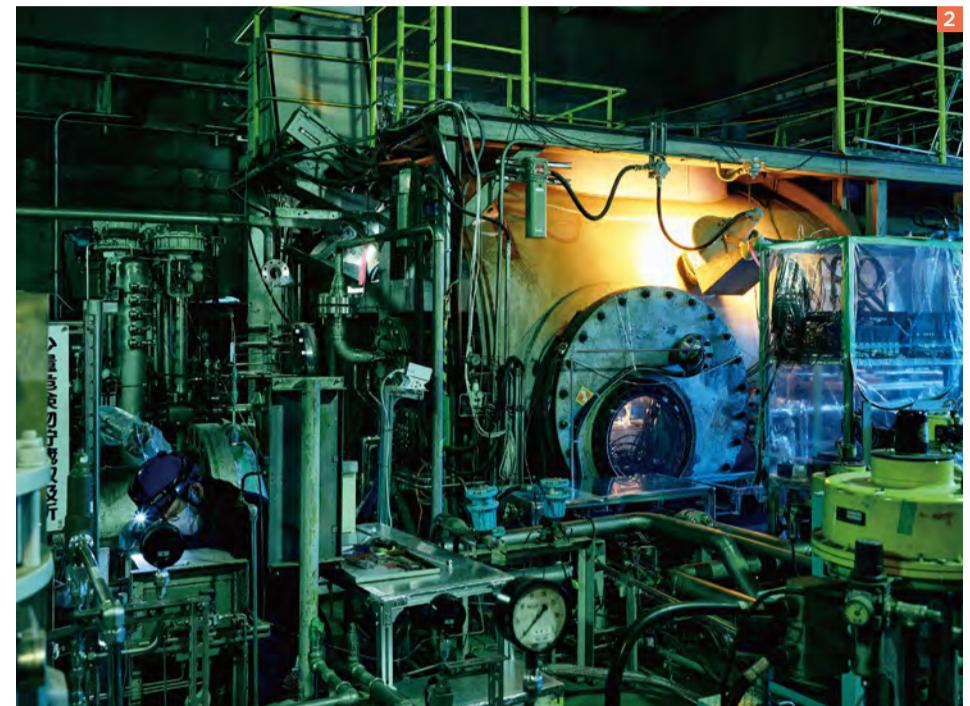
**富岡** 官民共創推進系開発センターに角田宇宙センターの外から多様な研究者や企業の方々が集まることは、JAXAにとっても次の技術の開

発につながると考えています。角田宇宙センターも、最初は小さなコミュニティでした。志をもった人たちが一人二人と集まり、「わいわい」と議論しながら研究を続け、次第に規模の大きなものを手がけるようになっていった。「わいわい」の輪を組織の外にも広げることで、さらに発展していくはずです。

**武井** 「わいわい」って、面白い表現ですね。でも、よくわかります。僕がnomenaという会社を創設したのは、大学院時代に抱いていたものづくりへの純粋な欲求を、社会に出たあとも失わずにいたいと思ったからです。純粋な創作活動って、社会人になると一人では継続しにくいものです。だからこそスタジオという場を設けて、ものづくりが好きな人たちが集まる環境をつくりたかったんです。その感覚は、富岡さんがおっしゃる「わいわい」に近いかもしれません。

**富岡** 大学院時代のどのような原体験が、会社

1.nomena創設者でエンジニアの武井祥平さん(左)と、JAXA角田宇宙センター所長の富岡定毅(右)。2.角田宇宙センターにある多様な設備のひとつである、ラムジェットエンジン試験設備(RJTF)。未来の高速飛行機や宇宙往環機のためのエンジンを作る設備だ。3.高温衝撃風洞(HIEST)は、宇宙往還機や大気圏再突入カプセルが大気圏へ戻る際の環境を再現できる設備。写真は、内部の点検作業の様子。



設立の動機になったのですか。

**武井** 少し遡りますが、先ほど触れたように出発点は高専で学んだ電気工学と、そこで取り組んでいたVR研究でした。VRは「人の脳を工学的にいかに欺くか」という、人間の知覚と工学が交差する領域です。その境界に興味を持ったことから、大学では認知心理学を専攻しました。視野が一気にひらけたのはその頃です。文学、哲学、社会学、建築……世の中にはこんなにも多様な学問があるのだと、衝撃に近い感覚がありました。その後、空間そのものをどう演出するかという視点に惹かれ、空間づくりを行っている丹青社に入社しました。万博パビリオンや展示ブースの制作に携わりましたが、次第に「自分の手でものづくりがしたい」という思いが強くなり、退職して東京大学大学院でエンジニアリングを専攻しました。そこで、棒が伸縮することで形が変わっていく、ロボットのような構造物を研究しました。その

**BEYOND  
CONSTRAINTS  
A  
ROMANCE  
FOUND  
IN  
ENGINEERING**

## TAKEI SHOHEI × TOMIOKA SADATAKE

体験が、nomena設立につながっています。

**富岡** どのような特徴がある構造物だったのでですか。

**武井** 「建築が動いたら面白い」という発想から生まれたもので、柱に見立てた棒で三角形をつくり、この棒が15cmから4mまで伸縮することで、ロボットの形が変わっていく構造になっています。一見すると「何かわからないもの」にすぎないのですが、あるとき宇宙を舞台に仕事をされている方の目に触れ、「宇宙展開構造物として、太陽光パネルや基地の設置に応用できるのではないか」と評価をいただきました。自分でも説明しきれないものを、他者が真正面から面白がってくれる。そのことがとても嬉しくて、とにかく楽しかったんです。

### 印象とは、一瞬で形成されるもの

**富岡** 武井さんの「何かわけのわからないようなもの」が、いつしか公共性を帯びていくのが面白いですよね。nomenaが手がけた、東京2020オリンピック・パラリンピック聖火台は非常に美しかったです。

**武井** ありがとうございます。聖火台のデザイン

を担当したnomentoさんからの依頼で、nomenaが機構の設計を担当しました(PO4 写真2)。これは、球体の形状から10枚のパネルが花びらのように開き、炎が燃る仕組みでした。点火後は再び閉じ、元の球体に戻る構造となっていることが特徴です。球体へと戻る動きは「丸く収まる」というコンセプトを象徴する重要な要素でした。

**富岡** 球体が開いて、そして閉じていく動きがとても滑らかで、思わず見入ってしまいました。

**武井** 開く動作だけであれば、重力を利用した機構で成立しますが、閉じる動きを滑らかに保つためには、球体内部に動力装置を収める必要があります。限られた内部空間に部品を配置し、さらに動作の美しさを制御することが、大きな技術的課題でした。また、パネルを動作させるとき特定の速度域では、共振と呼ばれる振動現象が生じます。しっかりととした質感の動きを実現するために、共振が発生する速度域を可能な限り短くし、振動を抑える調整に時間をかけました。理屈を一つづつ形に落とし込んでいく過程が、結果として美しさを立ち上げたのだと感じています。

**富岡** 美的な部分は結果としてついてくる、ということですか?

**武井** 実を言うと、スタイリング(意匠)にあまり自信がないんです。フリーハンドで自分にしか描けないような美しい曲線を引く技能や感性は、残念ながら私にはありません。その代わり、工学の知識や経験に基づいて導き出される方程式などの必然の曲線に、説得力のある強さを見出しています。

**富岡** 確かに、機能的なものって美しいですよね。**武井** ロケットにも通じるものがありますか? エンジンの配管や設計を細部まで見学させていただき、随所で「美しいな」と感じました。「高温衝撃風洞」や「液酸/液水エンジン供給系試験設備」も、見た瞬間に圧倒されるものがある。決して人を圧倒したくて作っているものじゃないのに、そこに神々しさを感じる。ただ、それはスタイリングとして造形された美しさではなく、必然から導かれた形が結果として美を帯びているのだと思います。

**富岡** 最後に残ってしまうもの、必然性。それ

は、まさにロケットエンジンの世界にも通じますね。

**武井** そうした「副次的に立ち上がる感覚」や「印象」を、自分の制作では大切にしています。印象というのは、本当に一瞬で形成されるものだと思うんです。何かを目とした瞬間、無意識の領域で自動的に立ち上がる像のようなもの。

**富岡** そうですね。

**武井** どうすれば、そうした感覚を立ち上げるものを作り得るのか。それが自分にとって日々大きなテーマですが、例えば時計ブランドのセイコーオオタとのプロジェクトで制作した「連鎖するリズムのコラージュ」(PO4 写真1)。この作品は、「機械式時計はなぜ魅力的なのか」という素朴な問い合わせから始まりました。

**富岡** 剥き出しになった時計の機構が重りによって端から順番に動き出す、洗練された美しさを感じさせる作品でした。アイデアはどのように生まれたのですか?

**武井** 機械式時計の本質は何なのか。まずは、そのリサーチから始めました。そして、機械式時計を分解して一つひとつの機構を見てみると、人類の創意工夫と発明の積み重ねが連鎖して、技術を進化させてきたことが伝わってきて。とても感動的な体験でした。

**富岡** 普段は見ることのない、時計の中の小さな世界に入り込んでいたのですね。

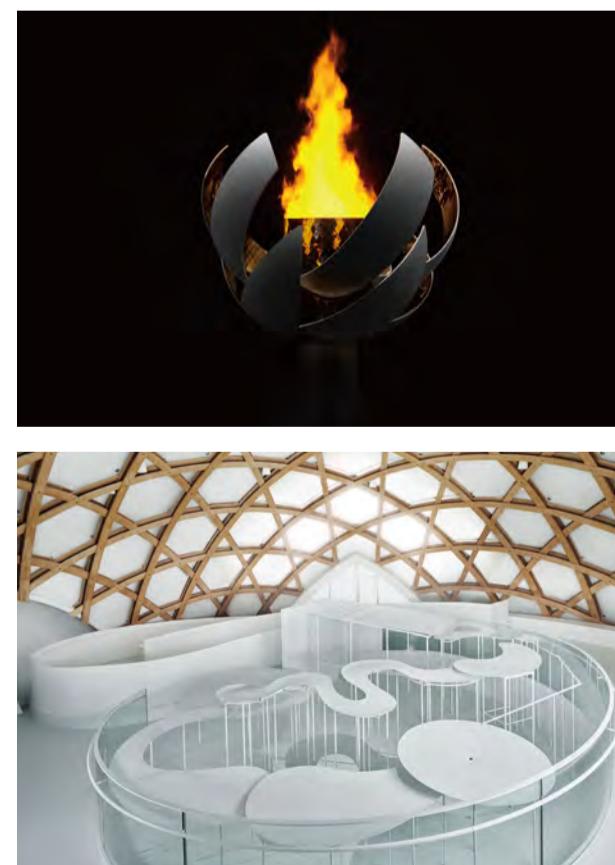
**武井** まさに、そうです。何より、機械式時計の魅力は電気を使わなくても動き続けられること。そこで、作品に重りをつけて、重力で落ちようとする力だけで電気を使わずに動いていく構造にしました。さらに、時計の中の世界を他の人にも体験してほしいという意図から、時計の機構を剥き出しにする設計へつながってきました。

**富岡** 今のお話を聞いていて、武井さんがエンジニアであると同時にリサーチャーという肩書で活動されている理由がわかつきました。

**武井** 一方で、制約や条件をいかにクリアするか、ということにロマンを感じている部分もあります。そういう瞬間には、「自分はエンジニアだな」と実感します。



1.液酸/液水エンジン供給系試験設備の巨大な排気設備内を見学するふたり。2.液酸/液水エンジン供給系試験設備の排気用バーナー。燃焼処理される燃料の発熱量は原発1基分にも比する。



1.nomentoが制作した「連鎖するリズムのコラージュ」。機械式腕時計を分解してその構造を再解釈し、歴史上の時計機構を再現。セイコーの機械式腕時計が0秒を指した時を合図に動き始める仕組み。Photo by Masaki Ogawa 2.nomentoが機構設計を担当した、東京2020オリンピック・パラリンピック聖火台。Photo by Hiroshi Iwasaki 3.大阪・関西万博では、民間パビリオンのひとつである「BLUE OCEAN DOME」のドームA・アートビーストの制作をnomenaが担当。パビリオンのテーマ「海の蘇生」をもとに、山に降った雨がやがて海へと循環する様を表現した。Photo by Taiki Fukao

### 創造性こそ、エンジニアリングや研究の本質

**武井** 富岡さんは、とても純粋にものづくりを楽しんでいらっしゃいますね。JAXAという国の機関で、「絶対の信頼性」が求められ、徹底した検証と慎重さが不可欠な研究・開発に取り組みながらも、ワクワクする気持ちを忘れていない。

**富岡** 実験するのが大好きなんです。実験は目的があってやるわけで、その目的たるもののが社会の役に立たなければ、ただの道楽になってしまいます。それは、「求めている人が外にいる」という制約もあります。その中で楽しむことが、ワクワクの源です。

**武井** チャレンジ精神を常にお持ちなんですね。

展示エリアで大型液体ロケットエンジンLE-7の実機を見ながら「最初に作ったロケットエンジンはすごく挑戦的だった」とおっしゃったとき、富岡さんの表情がとても生き生きとされていたのが印象的でした。

**富岡** 堅実に取り組んでいるものの脇で、何か挑戦的なこともやっておかないと、新しいものが出てこない。何か一つの研究が実を結んだら、「次はちょっと違うものを」と新たなネタを立てられない、我々の存在理由がだんだん薄れていってしまう気がしています。

**武井** そうですね。依頼された仕事だけをやっては、やっぱり面白くありません。「自分がつくりたいものを、つくる」という気持ちを持ち続けることが、とても大事だと思っています。それはアイデアのストックを作ることにもつながりますよね。

**富岡** 「形にならなくても、次々と物を試す」ことは大事ですよね。私はそれを「引き出しのネタを作る」と言っています。さらに言うと、実はそのネタが増えるのは失敗したとき。私たちの研究において頻繁に失敗するわけにはいきませんが、でも、

小さな失敗ができる場があれば、新しいネタが引き出しへに集まってくる。その意味でも、「官民共創推進系開発センター」の存在は大きいと思っています。

**武井** 富岡さんは研究者であると同時に、クリエイターの精神もお持ちですね。

**富岡** それは嬉しいお言葉です。

**武井** エンジニアや研究者も、広義の意味でクリエイターと捉えられるのではないでしょうか。アプローチこそ異なりますが、人を惹き付ける何かを創出している点では共通していて、時には理由もわからないまま鳥肌が立つような体験さえ生まれている。こうした創造性がエンジニアリングや研究の本質として、もっと社会に認識されていけばいいなど。もともと抱いていた思いではありましたが、角田宇宙センターの見学と、富岡さんのお話を伺ったことで、その考えはいっそう確かなものになりました。

対談の続きはウェブ版で



nomena創設者・エンジニア  
**武井祥平 TAKEI Shohei**

1984年岐阜県生まれ。高専で電気工学、大学で認知心理学を専攻。2012年東京大学大学院学際情報学府修士課程修了。同年、nomena設立。工学的な視座から前例のない表現の可能性を追求する活動を展開。主な受賞歴に、2024毎日デザイン賞(2025)、東京大学総長賞(2012)など。最近のマイブームは竹トンボづくり。



角田宇宙センター所長  
**富岡定毅 TOMIOKA Sadatake**

東京都出身。東京大学博士課程修了後、1993年、JAXAの前身である航空宇宙技術研究所(NAL)角田支所に勤務。ヴァージニア工科大学客員研究员などの経験を経て研究一筋の人生であったが、2024年より現職を拝命し日々奮闘中。趣味は料理(別名化学実験)であり至高の息抜きタイム。

## 液酸/液水エンジン 供給系試験設備 FETS

ロケットは、液体酸素や液体水素などの推進剤を燃焼させることで、宇宙へ向かう。その推進剤を、エンジンへと安定して送り込む仕組みを試験する設備がFETSだ。FETSは新型基幹ロケットである「H3ロケット」の開発に大きく貢献し、現在は次なる開発に備えている。

USER'S VOICE



JAXA宇宙輸送技術部門  
H3プロジェクトチーム  
角田薫洋さん



## エンジンシステム 試験設備 T-RECS

液体ロケットエンジンの主な構成要素は、推進剤を加圧・供給する「ターボポンプ」、推進剤の流量を制御する「バルブ」、推進剤を燃焼させる「燃焼器」である。T-RECSは、これら個別の要素を組み合わせたエンジン全体を「ひとつのシステム」として試験できる設備だ。

USER'S VOICE

私たちCALLISTOプロジェクトメンバーだけでは、設備や計測などについて十分な技術を持っていませんでしたから、試験経験が十分ある専門家や設備の支援スタッフに支えられたおかげで、安全に、そして確実に試験を実施でき、不具合対策も進むことができました。

JAXA研究開発部門  
CALLISTOプロジェクトチーム 齊藤靖博さん

USER'S VOICE

角田宇宙センターは宇宙へ向かうロケットエンジンだけでなく、新たな航空機の開発にも活用されています。その一つが、航空業界における大きなテーマである脱炭素化を見据えた「水素航空機」です。開発中のポンプに液体水素を供給し、特性を計測する試験にT-RECSを活用しました。

JAXA航空技術部門 航空基盤技術統括部  
庄司烈さん

## ラムジェットエンジン試験設備 RJTF

宇宙に向かうロケットエンジンが燃料をすべて機体に搭載しているのに対し、RJTFが扱うラムジェットエンジンやスクラムジェットエンジンは、大気中の空気を取り込みながら超音速まで加速していきます。そのスクラムジェットエンジンを用いた「小型・極超音速飛行体」の飛行実証を、防衛装備庁とJAXAは共同で目指しています。国内でスクラムジェットエンジンの研究開発に必要な試験設備を備えているのは、唯一RJTFだけです。

防衛装備庁 航空装備研究所 エンジン技術研究部 ロケットエンジン研究室 中山久広さん

# 推力なくして宇宙は遠い。 ロケットを動かす心臓部、 角田宇宙センターが有する 6つの試験設備



探査機や人工衛星を宇宙へと運ぶロケット。その“心臓部”となるエンジンの試験・調整、新しい方式の研究・開発を担ってきたのが、JAXA角田宇宙センターだ。

JAXAが今後もより高度なミッションに挑み続けていくためには、角田宇宙センターだからこそ実現できる「実環境に限りなく近い試験」と、そこから得られるデータの活用が欠かせ

ない。2026年春には、新たな試験設備「官民共創推進系開発センター」が完成予定で、その知見は民間にも広く開かれていく。

これまで日本の宇宙開発を支えてきた確かな技術力、そして未来に向けた役割。本特集では角田宇宙センターの設備担当者が登場する4コマ漫画、そして実際に試験設備を利用するユーザーの声を通して紹介する。

イラスト: 森優 文: 熊谷麻那



## ラムジェット要素試験装置 RJCS

RJCSは、ロケットラムジェットを構成する三要素「空気取入口」「燃焼器」「ノズル」のうち、特に燃焼器を、それぞれ個別に試験するための小型試験設備。小規模ゆえに準備負担が少なく、挑戦的な実験にも気軽に取り組める機動性の高さが強みだ。

環境負荷をできるだけ小さくしながら、安定して使用できるロケット推進燃料「SRP (Sustainable Rocket Propulsion:持続可能なロケット燃料)」を用いた新しいロケットエンジンの開発を目指し、RJCSで燃焼試験を実施しました。特にエンジンの着火には苦労しましたが、スクラムジェットエンジンを専門とする開発員から助言を得ることで、普段扱っているロケットエンジンとは異なる視点から多くの気づきを得ることができました。

JAXA宇宙輸送技術部門 H3プロジェクトチーム 紗野雄大さん



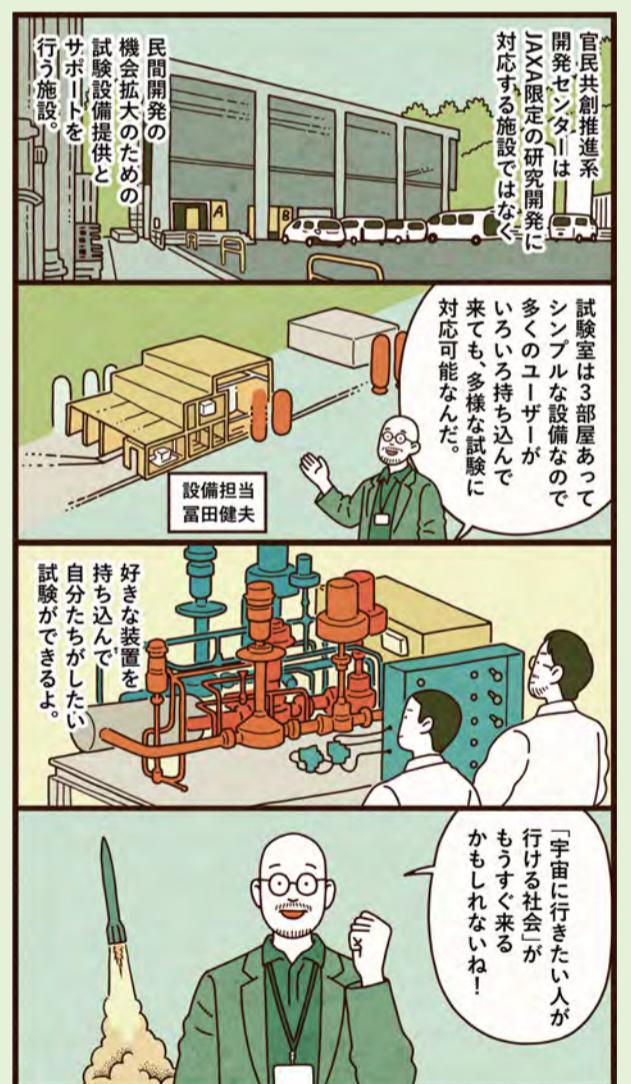
## 高温衝撃風洞 HIEST

HIESTは、有人宇宙船やサンブルリーンカーセルの大気圏再突入、さらにはマッハ8を超える極超音速機の飛行環境を模擬できる試験設備。衝撃風洞として世界最高性能を誇る。



近年、持続的な宇宙開発を進めるうえで、スペースデブリ(宇宙ごみ)が大きな課題となっていますが、その対策を検討する際にもHIESTが活用されています。デブリを減らす取り組みの一つとして行われているのが、大気圏へ再突入させて燃やし尽す方法です。実際にデブリがどのように加熱されるのかを明らかにするため、(実際のデブリ)の複雑な形状の模型を用いた検証を行いました。

JAXA研究開発部門  
第三研究ユニット  
社 長 次郎さん



特集の  
続編は  
ウェブ版で





# 豪速達の日

あなたに手紙を書こうとしているのですが、  
あなたに届けるにはどうしたらいいのかを  
考えています。送り先はどこになるのでしょうか。

手紙を土に埋めたら、いつか奥の奥に染み込んで  
あなたに届くでしょうか。だけどその時あなたは  
言葉をどうやって読むのでしょうか。存在しうる  
言語をあなたは何でも知っている気がしますが、  
言葉ではなく、絵にして見せた方が届くでしょうか。

ただあなたにとって「見る」とはどういうこと  
にあたるんでしょう。眼球のように丸い地表全体  
で、感じとるのでしょうか。感じとるならばもし  
かして、「響く」の方が届くのでしょうか。例えば  
あなたに向かって地面を叩いてみるのはどうかしら  
と思いました。撫でるように愛でるように叩いて  
みたら、あなたに向かって私の想いが振動となつて  
届いたりしないでしようか。いやもしかしたら叩く  
んじやなくて、土に唇をつけて、思いの丈を歌つて  
もいいかもしないです。どんなに振動が小さくて  
も、あなたは感じとてくれるような気がするん  
ですが、どうでしようか。

今からやってみます。目の前に庭がありますか  
ら、土の上にうつ伏せて寝転んでみます。白く乾  
いた土に口をつけます。表面は生暖かいですが奥  
は少しひんやりしています。少し砂埃で咳き込み  
そุดけど、気にせずやってみます。息を吸い込み、  
私はあなたへの想いを歌いはじめます。唇と地面  
がぶぶぶ、ぶぶぶぶと振動して、少しくすぐつ

たいです。目の前を3匹のアリが飴玉のかけらを  
引きずって歩いているのが見えます。私の口から  
漏れた歌声で砂埃が彼らにかかります。あ、今、  
私の背中にひんやりとした小さな振動が伝わって  
きました。ぱつ、ぱつぱつ、ぱつぱつぱつ、乾いた

地面に小さな丸い絵が描かれながら、木々の葉つ  
ぱや屋根に振動を与えている音が私に聞こえてき  
ました。目の前は、ざーっと丸い絵で埋め尽くさ  
れ、木々の間を風が吹き抜ける音が聞こえてきま  
した。カッと空が光り、土の上にできた水溜りに  
は地響きでつぶさに波立ちました。私はづぶ濡れ  
で土に唇をつけて歌い続けますが、溜まってきた  
雨の水で想いはぶくぶくしていて、これ以上は息  
ができなくなりそうです。仰向けになりますね。  
人間の言葉で言うゲリラ豪雨で、私の体はすっかり  
水浸しなので。

そうですね。あなたは読まれない手紙を毎日  
書き続けていますよね。毎日毎日、あなたは私た  
ちにささやかな手紙を書き続けています。小さな  
頃、私は毎日あなたからの手紙を読んでいました。  
都市に暮らし始めて、ささやかな手紙を受け取る  
よりも、いそいそと何かに追われ、どんどん読め  
なくなつてしまつたのは私です。私からあなたに手  
紙を書く前に、私はまずあなたからの手紙をもつ  
と、まずは今ここにあるあなたからの手紙をもつ  
と、読んでびぶびぶごぶばばびばぶ。べごふべびば  
ぶばべび。ばばばばばばばば、ばびぶびべぶばば。

## 故郷へ 手紙

宇宙を想うとき、  
地球に生きる  
わたしが見えてくる

vol.25

〔手紙の送り主〕

長嶋りかこ

Rikako Nagashima

グラフィックデザイナー。village®  
代表。VIデザイン、サイン計画、  
ブックデザインなど、視覚言語  
を基軸としながら活動。著書に  
『色と形のずっと手前で』。

rikako-nagashima.com

# JAKARTA TIMES

#### ISSへの無人補給機HTV-X1搭載

# H3ロケット7号機 24W形態の初の打上げ

宇宙輸送技術部門



3プロジェクトチーム  
任研究開発員  
**吉森大造**  
UGIMORI Daizo



H3プロジェクトチーム  
研究開発員  
**森 彩乃**  
MORI Ayano

② 025年10月26日に打上げられた新型宇宙ステーション補給機1号機(HTV-X1)は10月30日に国際宇宙ステーション(ISS)への物資輸送に成功した。このHTV-X1の打上げを担った、新しい形態のH3ロケット7号機とは、一体どのようなロケットなのか。H3プロジェクトチームの杉森大造と森 彩乃に聞く。

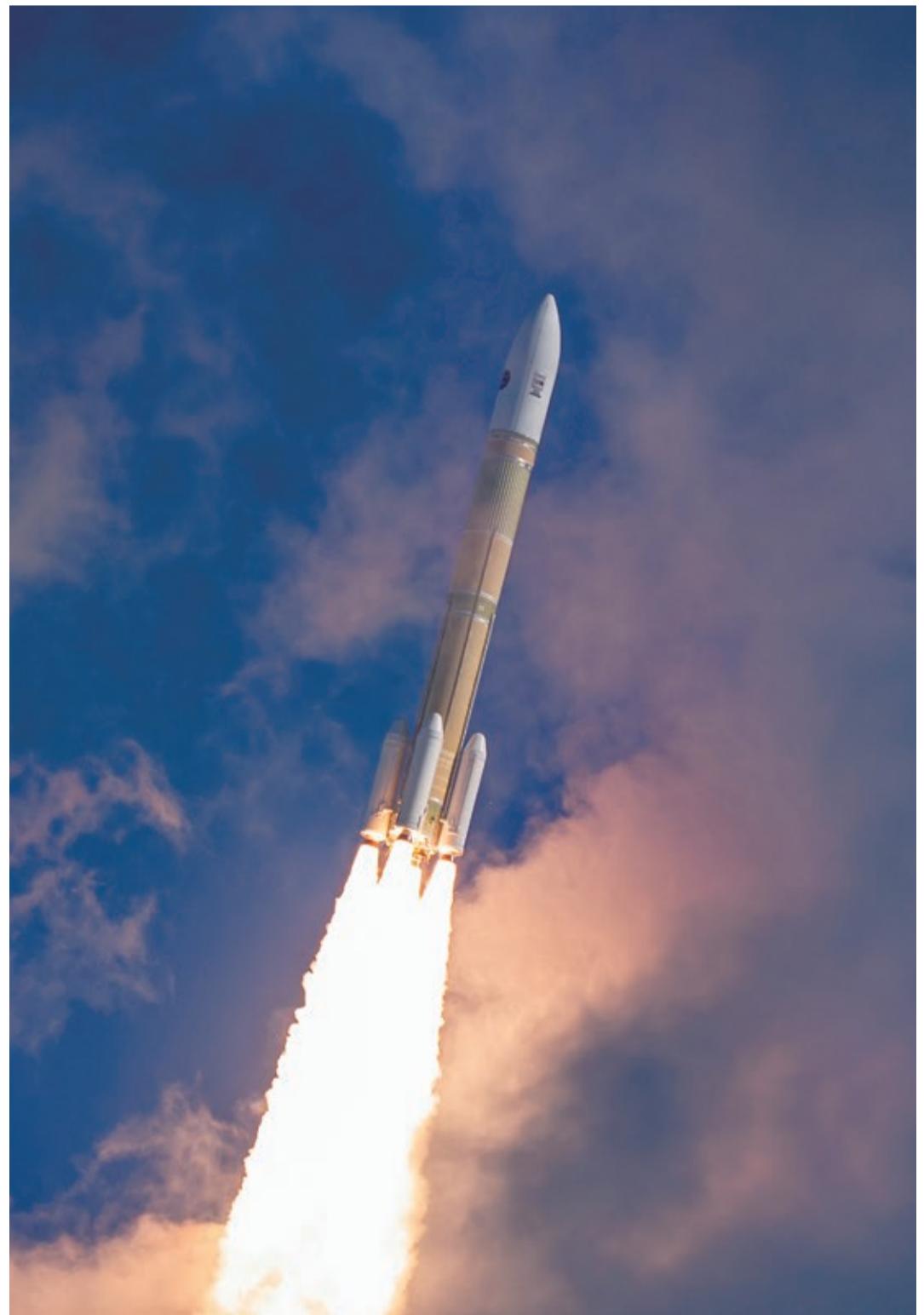
「これまで打上げてきたH3(1~5号機まで)は22S形態(H3-22S)という形で、1段エンジン2基・固体ロケットブースタ2本・ショートフェアリングで構成された、全長約57mのロケットでした。これに対し7号機は24W形態(H3-24W)で、1段エンジンは同じ2基ですが、固体ロケットブースタ4本・ワイドフェアリングで構成された、全長約64mの大きな機体です。固体ロケットブースタの本数が倍なので、これが生み出す推力(前に進む力)も単純計算で約2倍になります」と杉森は語った。大きな推力をを持つロケットはより重いペイロード(衛星など)を運ぶことができる。しかしそこには課題もあった。

「推力が大きいと、その分、打上げ時の音響、振動も大きくなります。大切なペイロードを壊さないよう、いかにして振動を抑え、ペイロードにとって安全な環境を用意できるかが大きな課題でした」と構造設計を担う森は言う。7号機では、この課題に対し、フェアリング内に音を吸収する素材を取り付け、外で轟音が鳴り響いていてもフェアリング内のHTV-Xが揺れすぎることなく、保護できる設計にした。

「この他にもHTV-Xを打上げるために、H3ロケット側もさまざまな開発を行ってきました」と森は語る。そもそもHTV-Xは通常の衛星とは違い、「国際宇宙ステーション(ISS)計画に不可欠な大型機器や宇宙飛行士の生活を支える荷物を、ISSに届けること」をミッションとしている。先代となるHTV「こうのとり」に比べて、より多く、そしてより重い物資を運べる構造となっているため、サイズも重量も大きい。また、最大の違いは「こうのとり」では積むことができなかった、冷凍庫や実験装置などの電源が必要な荷物にも対応していることだ。さらに、「打上げの24時間前まで物資を積荷できる」これまでにない仕様により、より幅広い生鮮食料品や鮮度が重要な実験サンプルを輸送できるようになった。「こうのとり」では80時間前までの積載となっていたため大幅な短縮となる。

「これを実現するため、私たちは、(縦)1.6m×(横)1.5mの大型ドアを設置したワイドフェアリングを新規開発しました。あとから物資を積み込む、いわゆるレイターアクセス用

ドアです。打上げ24時間前までこのドア  
ら生鮮食品などを積み込める、HTV-X  
ための仕様でした」と森は語った。  
こうしたHTV-X対応開発を実現するた  
に、杉森たちはHTV-Xチームと数年に  
たってミーティングを重ねてきた。  
開発期間は約9年ほどでしたが、HTV-  
チームの皆さんとさまざまなことをスト  
ートに伝え合い、ともに解決策を考えら  
る関係性を築くことができました。それ  
で今回の成功につながったと感じていま



10月26日に打上げられたHTV-X1搭載のH3ロケット7号機(24W形態)



# 空のエンジニアリングと、生き物たち

## フクロウの羽とサメ肌の構造を生かし、航空機の騒音と空気抵抗を抑える

大きな翼を持ちながら、音もなく降下し獲物を捕らえるフクロウ。海の中を猛スピードで泳ぎ回るサメ——生き物の体の構造は非常に多種多様で、それぞれの生態に最適な工夫が施されたようなその構造には、科学者たちもしばしば驚かされる。今回はJAXAが研究開発している航空技術のなかでも、生物の構造や機能からヒントを得て行われたプロジェクトを紹介する。

イラスト:わたなべるみ 取材・文:イトヒロコ 編集:熊谷麻那



### サメの肌構造が機体の表面摩擦抵抗低減のヒントに

「サメ肌」といえば思い浮かぶように、サメの皮膚表面には細かな溝がある。サメが速く泳げるのは、皮膚の溝が水の抵抗を減らしているからだ。このサメの肌の溝にヒントを得て、旅客機の表面摩擦抵抗を低減する空力技術がリブレット技術である。

近年ではカーボンニュートラルの取り組みとして、旅客機の燃料消費を減らすための技術はいっそう重要度を増している。燃費向上に効果的なのは機体の空気抵抗を減らすことだが、全抵抗の4割以上を占めるのは、機体の表面と空気がこすれることによって起こる表面摩擦抵抗である。

JAXAでリブレット技術の研究開発を担当する栗田充(以下、栗田)はその仕組みについてこう説明する。「リブレットとは、機体の表面に0.1mmの幅の微細な縦溝をはどこす技術です。表面摩擦抵抗を減らすには表面がつるりとしているほうが効果的に思えるかもしれません。しかし旅客機の機体表面は小さな渦を含む流れに覆われており、その渦が機体表面

で強い流れを生じさせています。そのため、あえて微細な縦溝をつくることで機体表面に渦による強い流れがあたる部分を溝の山部分のみにさせ、面積を少なくすることで、表面摩擦抵抗を低減できます。逆に溝の間隔が大きすぎると、溝の谷部まで渦による強い流れが入り込み、単に表面積が広がるだけになるので表面摩擦抵抗はかえって大きくなってしまします。溝の高さや幅をいかに緻密に検討し最適な答えを導き出すかが、リブレット技術の肝もあります」

栗田とともにリブレット技術の研究開発を担当した笹森萌奈美(以下、笹森)は「リブレット技術そのものはJAXAで研究がなされる以前よりあったものの、微細なリブレットを大面積に施工する技術の進展が必要でした。我々のリブレット施工法も、当初のサイズはハガキくらいの大きさで、オーウエル社

の塗膜形成技術の向上により、広い面積への施工が可能となりました。また、研究開発の当初は、リブレットによる空力性能を評価する技術もまだ追いついていなかったので、研究開発の大きな進展には塗膜形成技術の向上、そしてJAXAのコンピューターシミュレーションによる数値解析技術と風洞実験技術が大きく関係しています」と道のりを振り返る。研究開発チームでは、最先端のシミュレーション技術と風洞実験を併用し、実用化を前提にさまざまな条件下でも柔軟に対応できる技術の開発を進めたことで、リブレット実装時に見込まれる摩擦抵抗低減効果の推算値を得ることができた。

リブレットの実装は、2023年からJALが国内線で運航するボーイング737-800型機(JA331J)にて、2025年からは

### フクロウに学ぶ、機体の静音のしくみ

フクロウの多くの場合は夜行性で、羽音を立てずに空を飛び、気づかれないうちにすばやく獲物を捕らえる。「夜の忍者」とも呼ばれるゆえんだ。鳥が飛んでいるとバサバサと翼が風を切る音が聞こえるが、なぜフクロウは羽音がしないのか。その秘密は、羽や柔毛の構造にある。本来、翼が風を切ることで、羽のまわりには空気の渦が発生する。これが音の源で、「風切り音」と呼ばれる。風が強い日に、電線や窓サッシの隙間からビューピューと音がするのも同じ原理だ。フクロウの羽には細かく並んだトゲのような構造があり、ここを空気が通り抜けることで空気の渦が生まれるので抑え、ほとんど音がしなくなる。また

脚にはふわふわとした柔毛が生えていて、その間を空気が通ることで渦が発生しにくくなる。フクロウは生まれながらにして、高度な静音性能を備えている。

フクロウの羽や脚の構造に着想を得て、JAXAが2015年から進めているのが、旅客機が出す騒音の低減に取り組む「FQUROH(フクロウ)プロジェクト」だ。「旅客機の騒音が問題となるのは、主に人々の暮らしに影響をおぼす離着陸時です」と、FQUROHプロジェクトを統括する高石武久(以下、高石)は言う。旅客機の騒音はエンジンによるものと思われるかもしれないが、実はエンジン音はひと昔前と比べると大幅に抑えられている。燃費向上にもつながるため、先行して技術開発が進んだのだ。その結果、今では空港への着陸進入時には、前脚・主脚、フラップ(\*1)、スラット(\*2)といった機体騒音の影響が大きく、3/4近くを占めている。

JAXAではコンピューターシミュレーションに加え、音の発生源を探る技術の導入、さらに人の耳に聞こえる音の周波数範囲を考慮に入れた評価など、人間の性質にも寄り添いなが

ら技術開発に取り組んでいる。なかでもフラップのギザギザ形状や、主脚周りに採用している小さな穴をたくさんあけて空気の通りを調整した部品(多孔板や多孔質材)は、フクロウの羽のトゲ構造や柔毛にヒントを得たものだ。「空気の通る速度を落として、音の原因となる渦を小さくしながら、空気が後ろに流れていくようにする。もちろんほかの技術も数多く開発していますが、まさにフクロウにならう、ですね」と高石は語る。

プロジェクトでは、JAXA実験用航空機「飛翔」を用いてフラップと主脚からの音をともに3dB以上小さくすることに成功した。これは、飛行機を2機飛ばしても1機分の音の大きさになったことを意味する。そして今後JAXAは、90席クラスのジェット機、さらには200~400人乗りの中型旅客機へと、より複雑で大きな機体をターゲットに開発を進めていく。

世界の航空旅客輸送量は今後20年間で約2倍に増加し、それに伴って旅客機の騒音も約2倍になると予測されている。「そんな状況にあって、JAXAの技術によって騒音が低減され、人々の暮らしがよりよいものになれば、こんなに嬉しいことはありません」と高石は言う。「プロジェクトでは失敗や困難にも数多く経験していますが、社会に必要なことだと思えばくじけずに向き合うモチベーションになります。常に世の中つながっている意識をもって、研究開発に取り組んでいきたいですね」

静かな空の実現に向けた挑戦は、これからも続いている。

(\*1) フラップ:離着陸時に翼の後縁などから出てくる可動式の板

(\*2) スラット:主翼の前縁に設置された、離着陸時に揚力を増大させる装置の一種

航空技術部門  
旅客機機体騒音低減技術飛行実証(FQUROH-2)  
部門内プロジェクトチーム チーム長  
**高石武久 TAKAISHI Takehi**

長崎県出身。フクロウのように静かな旅客機の実現を目指してチームの仲間とともに奔走中。最近の推進は、2025年春に完成したばかりの大きな旅客機の模型を用いた風洞実験やコンピューターシミュレーションと、新卒採用の4人にリニューアルしてもらったチームのHP。

航空技術部門  
航空環境適合イノベーションハブ  
環境適合機体技術チーム チーム長  
**栗田充 KURITA Mitsuru**

兵庫県出身。空気抵抗の低減は航空機に必要不可欠な技術です。エネルギー消費や二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の低減が望まれている中、環境によりやさしい航空機を目指して研究開発を進めています。

航空技術部門  
事業推進部、航空環境適合イノベーションハブ  
**笹森萌奈美 SASAMORI Monami**

東京都出身。研究者である傍ら、ここ最近は事業推進部にて研究者を支える業務にもあたっている。自分の携わった技術が社会に浸透したときに我が子らに紹介(自慢!)できるようにするために日々奮闘中。

9

SEPTEMBER  
TOPICS18  
①

2010年に打上げられ2015年12月に金星周回軌道投入に成功、  
金星大気の観測を続けてきた探査機「あかつき」(PLANET-C)  
が運用終了①

25  
②

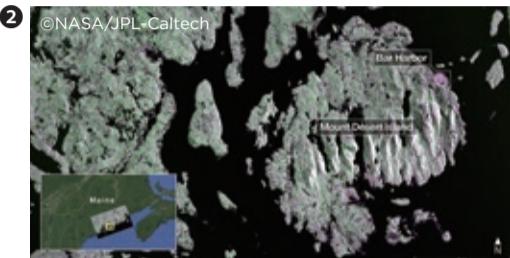
NASA、ISRO(インド宇宙研究機関)と共同開発した地球観  
測衛星「NISAR(NASA-ISRO Synthetic Aperture  
Radar)」に搭載されているSAR(合成開口レーダー)で取得  
した画像を初公開②

29  
10月3日  
③

第76回国際宇宙会議(IAC)期間中、NASAやJAXAなど世  
界の宇宙機関のトップや世界各国の政府代表らによるアルテ  
ミス協定の実施を促進するための会合が開催



金星周回軌道で観測を行う「あかつき」想像図

8月21日にNISARのLバンドレーダーで撮影された米国  
メイン州マウント・デザート島

# NEWS HEADLINES

## 宇宙と航空にまつわる 世界のニュース

宇宙開発や天文、最新の研究など、  
宇宙と航空に関する3ヵ月間のトピックスをご紹介

- ① JAXA
- ② 日本
- ③ 海外

11

NOVEMBER  
TOPICS6  
④

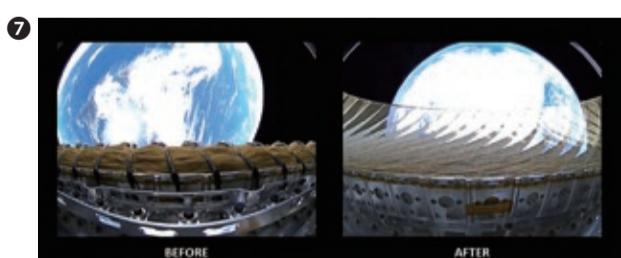
株式会社QPS研究所の小型SAR衛星QPS-SAR14号機  
「ヤチホコ-1」は米Rocket Lab社の「Electron」ロケットに  
よって6日に打上げられ、初交信成功の後、収納型アンテナの  
展開を実行⑦

7  
⑤

JAXA、株式会社ウェザーニュース、株式会社NTTデータ、  
Terra Drone株式会社は、JAXAが中心となって研究開発  
を進めている「災害・緊急時等に活用可能な運航安全管理シ  
ステム」(DOERシステム)が、2025年日本国際博覧会の機  
会を活用し、大規模イベントにおける有人機・無人機(ドロー  
ン等)を用いた警備に際し有効性があることを実証

11, 14-15  
⑥

JAXA、小笠原追跡所50周年記念イベント開催  
JAXA、ISS長期滞在ミッションを終え地球へ帰還した、  
大西卓哉宇宙飛行士のミッション報告会を開催



QPS-SAR 14号機  
「ヤチホコ-1」の収納型  
アンテナの展開前(左)  
と展開後(右)の様子  
©株式会社QPS研究所

10 OCTOBER  
TOPICS15  
⑦

地球観測、通信、測位などの目的で、複数の人工衛星を連携させて運用する  
システムをめざす株式会社Synspectiveの小型SAR衛星、米Rocket  
Lab社の「Electron」ロケットによって打上げられ、軌道投入に成功

24  
⑧

JAXA、地球観測データ解析研究センター30周年記念シンポジウム開催

25  
⑨

低騒音STOL実験機「飛鳥」が、日本航空協会により歴史的、文化的に価値  
の高い航空遺産として「重要航空遺産」に認定③

26  
⑩

JAXA、H3ロケット7号機(24W形態)による新型宇宙ステーション補給  
機1号機(HTV-X1)を打上げ④

27  
⑪

JAXAと国土交通省道路局、2017年より実施されてきた水害・土砂災害発  
生時における衛星画像データ活用での連携に加え、人工衛星画像データの  
活用に関する協定を締結。道路の被害状況の把握に必要な支援等を行う

28  
⑫

NASAと米Lockheed Martin社が開発を進める静粛超音速研究機  
「X-59」の初飛行⑤

29  
⑬

JAXA、スカパーJSAT株式会社と進めてきたJAXA近地球追跡ネット  
ワークサービスの本格運用を2025年9月から開始したことを発表

30  
⑭

新型宇宙ステーション補給機1号機(HTV-X1)は、国際宇宙ステーション  
(ISS)に向けて最終接近を実施した後、油井宇宙飛行士が操縦するISS  
ロボットアームにより把持され結合に成功⑥

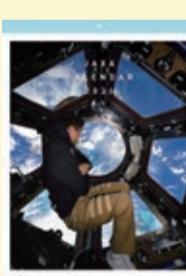
1985年から1989年までの間に、97回の飛行実  
験を行い短距離離着陸飛行とパワード・リフト  
STOL技術の実用化の可能性を実証した「飛鳥」種子島宇宙センターから打上げられた  
H3ロケット7号機(24W形態)

静粛超音速研究機「X-59」



HTV-X1号機がISSへ結合した様子

## ＼『JAXAカレンダー2026』のご案内／



JAXAの活動を紹介する2026年の  
カレンダー。表紙はISSから地球を眺め  
る大西宇宙飛行士。はやぶさ2#や  
H-IIA50号機、いぶきGWも。ぜひ手  
に取って見てください!

B3判／8枚綴り／1,650円(税込)  
※在庫が無くなり次第、販売は終了となります。

QRコード先の  
ウェブサイトから  
ご購入できます



今号では角田宇宙センターの特集として、設立以来60年に  
わたり宇宙の最先端技術開発を支え、新たな技術を生み出  
してきた活動や世界に誇れる設備の数々を取り上げました。  
そして新しい取り組みのひとつとして「わいわい」と輪を広げる  
官民共創推進系開発センターへの期待などもお伝えしました。また、航空機  
とバイオミメティクスの話題も技術の成り立ちとして興味深い記事になっている  
かと思います。技術を作って試してみる研究や設備の面白さを感じて頂ければ  
幸いです。(JAXA's編集委員／理事補佐 伊藤 健)

