

「そら」の技術を身近に感じて

そらとそら



# 空と宙

2011 JAN/FEB  
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577



極超音速旅客機

ハイブリッド航空機

## 研究開発

環境に配慮した航空機燃料の実現を目指して

## 横路散歩

世界の空にはルールがある  
国際民間航空機関 ICAO

## 空宙情報

こんにちは、ジェット飛行実験機「飛翔<sup>ひしょう</sup>」です。  
「JAXA宇宙航空技術研究発表会」開催報告

No. **40**

研究開発本部  
Aerospace Research and Development Directorate

## 環境に配慮した航空機燃料の実現を目指して

### 「エコ」が叫ばれている

1997年12月、京都で開催された「気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）」にて「京都議定書」が採択されました。気候変動枠組条約とは、「温室効果ガス」の排出による気候変動問題などの地球規模の環境問題を解決するための条約で、主に先進国に対して温室効果ガス削減のための政策の実施義務を課しています。京都議定書では、条約を批准している先進国に対し、2012年までに二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）やメタン（CH<sub>4</sub>）など6種類の温室効果ガスや、パーフルオロカーボン類（PFC）\*<sup>1</sup>などの温室効果の非常に高い物質の排出量を1990年の排出量より一定数削減することを義務付けています。

なぜ、温室効果ガスの削減が求められているのでしょうか？ 地球は、太陽光が当たっている部分（昼の部分）でその熱を吸収し、太陽光が当たっていない部分（夜の部分）で吸収した熱を「赤外線」に変換して宇宙空間に放射します。しかし、放射された熱の一部は大気中の温室効果ガスに吸収および放射され、再び地球表面へ戻ってきます（図1）。このような熱の流れにより、地球の平均気温は約15℃に保た

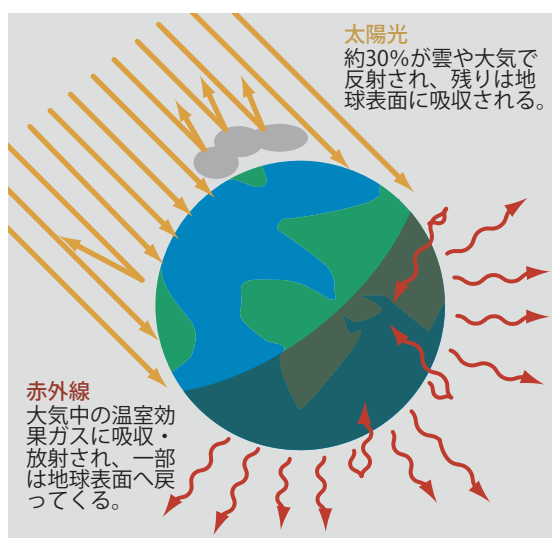


図1 地球に降り注ぐ太陽熱の流れ

れています。もし全ての熱が放射されてしまうと、地球は平均気温マイナス19℃となり、人類を始めとする多くの動植物が生存するには寒すぎる星になってしまうため、温室効果ガスはとても重要です。しかし近年、特に先進国が産業の発展を優先させてきた結果、自然界のサイクルでは処理できないほど温室効果ガスが増加してしまいました。それにより、地球の温暖化が進んでいるのではないかという懸念が全世界に広がっています。

### 化石燃料はいつか枯渇する

多くのメディアで、CO<sub>2</sub>が主原因で地球温暖化が起こっているという報道がなされています。CO<sub>2</sub>は石油や石炭などの「化石燃料」を燃やすことで大量に発生するため、風力や原子力などのCO<sub>2</sub>の発生を抑えられるエネルギー供給方法が推奨されています。その一方で、“地球温暖化の原因は別にある”“そもそも温暖化など起こっていない”という意見もあります。その様な話を聞くと、“CO<sub>2</sub>を削減するために化石燃料の使用を規制する必要はないのでは？”と考える人も出てくるかもしれませんね。しかし「燃料の枯渇」という物理的に避けることのできない問題もあります。

化石燃料がいつ枯渇するかの正確な試算はありません。しかし、地球の奥深くで長い年月をかけてできた燃料であること、人工的に作ることのできない燃料であることを考えると、いつか枯渇してしまうことは間違いのないでしょう。

そのため、「持続可能な代替燃料」が求められています。枯渇しないエネルギー源としてまず思い浮かぶのは太陽です。商業施設はもちろん一般家庭でも、太陽電池パネルを屋根などに設置し、生活に必要な電気の一部を太陽エネルギーによる発電によって賄っています。

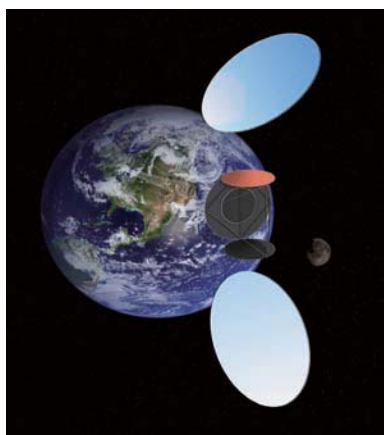


図2 宇宙エネルギー利用システム  
Space Solar Power System (SSPS)

宇宙空間で太陽光を集めて地上へ送れば、もっと効率良く太陽エネルギーを利用できるのではないか。JAXAではその考えを推し進め、「宇宙エネルギー利用システム（図2）」の研究開発に取り組んでいます。

### 航空の世界も例外なくエコへ

2010年9月に国際民間航空機関（ICAO：P.07参照）より『環境レポート2010－航空と気候変動－』が発行されました。ICAOとは、国際民間航空の発達や国際航空運送業務の健全な運営を図っている国連の機関で、190を超える国々が加盟しています。環境面では、航空機エンジンの騒音や排気に対する条約などを定めています。例えば、航空機エンジンから排出される炭化水素（HC）、一酸化炭素（CO）、窒素酸化物（NOx）、煤などを有害物質と定め、排出量の規制を行っています。

しかし、国際航空に関するCO<sub>2</sub>の排出規制は現時点ではまだなく、規制化に向けた議論が始まったところです。そこで注目されているのが「水素」や「電気」を使用した、CO<sub>2</sub>を出さないエンジンです。JAXAでは、水素を燃料とすることで燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出しない「極超音速ターボジェットエンジンの研究開発」や、空飛ぶハイブリッド車を目指



全長90m、100人乗りのこの機体は太平洋を2時間で横断します。

図3 極超音速旅客機

した「ハイブリッド航空機のエンジンに関する基礎研究」などに取り組んでいます。私たちの取組みは世界の航空業界から高い関心を持たれており、『環境レポート2010』にはICAOより依頼を受けてジェットエンジン技術研究センターの岡井主任研究員が執筆した“航空機代替燃料の長期展望”に関する記事が掲載されています。

### 「水素」の力

アメリカやヨーロッパに2時間程度で行ける飛行機があったら、利用してみたいと思いませんか？ 私たちは、音速の5倍である「マッハ5」で飛行することで太平洋を2時間で横断できる「極超音速機」の研究開発を進めています（図3）。この機体は、現在の見慣れた飛行機とは形状がだいぶ異なります。実は、異なるのは形だけではありません。エンジンシステムと燃料も現在の飛行機とは大きく異なります。普通の飛行機が「灯油」を燃料としているのに対し、極超音速機では「水素」を燃料に使うことを想定しています。エンジン内に取り込んだ空気に燃料の液体水素を混ぜ合わせて燃焼させ、それによって得られる燃焼ガスを後方へ噴射する反力によって前進します。

水素燃料は既にロケットで利用されています（図4）。宇宙空間まで飛んでゆくロケットは酸素（液体



液体水素と液体酸素を混ぜ合わせて燃焼することで得られるエネルギーで宇宙空間まで飛んでゆく。

図4 国産ロケットH-IIAの打上げ

酸素)も燃料(液体水素)と同様に積載しています。液体酸素の重量はロケットの大部分を占めているため、大気圏内飛行中に大気中の酸素を利用することができれば、ペイロード積載量の増加が図れます。そのため私たちは、極超音速で飛ぶロケットのエンジン内に空気を取り込む研究を行ってきました。水素を使う極超音速機のアイディアは、ここから生まれました。

液体水素を燃料として使うことにはいくつかの利点があります。まず、マイナス253℃という極低温であることです。図5は極超音速機用水素ジェットエンジンの概念図です。極超音速機用水素ジェットエンジンにとって最大の難所は、流入空気による加熱にどう対処するかです。マッハ5で飛行すると流入してくる空気の温度は約1000℃にも達します。このような高温環境下で通常のジェットエンジン(★)を作動させることはできません。そこで、流入した空気を液体水素で冷却しようと考えました。それにより、ジェットエンジンをマッハ5まで作動させる

ことが可能となります。また、冷却することによって空気の密度が上がり、空気の流入量が増えます。ジェットエンジンの推力は空気の流入量に比例して増加するため、一石二鳥です。水素を燃料として使えば、CO<sub>2</sub>を排出しないことは先に述べました。加えて、NO<sub>x</sub>の排出を抑えられる可能性も秘めています。NO<sub>x</sub>は高温燃焼時に空気中の窒素(N<sub>2</sub>)と酸素(O<sub>2</sub>)が反応することで生成されます。しかし、水素原子(H)には酸素原子(O)と結合しやすい性質があるため、燃焼機内に水素を多めに入れることで、NO<sub>x</sub>の生成を抑えられる可能性があるのです。そのための研究を東京大学と共同で進めており、水素を多めに混合することでNO<sub>x</sub>の生成が抑えられることを確認しています。

極超音速機用水素ジェットエンジンの技術は、亜音速機にも応用できます。大型旅客機のエンジンのファン(★)は高効率化のためにどんどん大型化しているのですが、燃焼前の空気を液体水素を使って

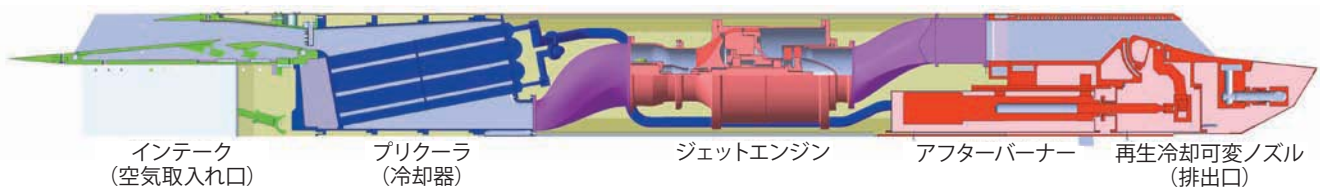
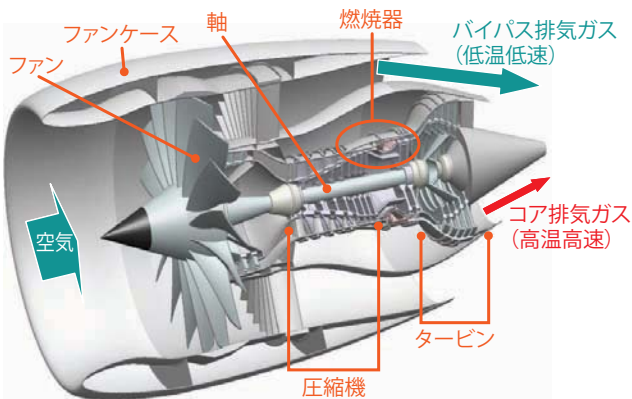


図5 極超音速機用水素ジェットエンジンの概念図



### ジェットエンジンとファン

ジェットエンジンに入った空気はまず「圧縮機」で高圧に圧縮され、「燃焼器」にて燃料と混合させて燃焼されることで膨



張し、「タービン」を回して後方に排出されます。タービンは圧縮機と中心軸で繋がっており、タービンの駆動によって圧縮機を回転させます。

ジェットエンジンによって得られる推力は、単位時間に排出されるガス量と排出速度の積によって決まります。しかし、航空機が効率良く飛ぶためには排気速度を航空機の飛行速度に近づける必要があるため、超高速でジェットを排気するジェットエンジンは、亜音速で飛行する機体にとっては「燃費の悪い」エンジンになってしまいます。強推力と高燃費、両方を得るためにはどうすれば良いのでしょうか？そこで登場したのが「ファン」です。

現在の旅客機のエンジンには、ジェットエンジンの前方に大きな羽根車(ファン)が付いています(図)。空気はファンを通り、大部分はジェットエンジン(コアエンジン)の横の「バイパス」を抜けて後方へ排出されます。ファンを通る空気は飛行速度に近いため、ファンが大きいほど「燃費の良い」エンジンにすることができます。そのため、現在ではバイパスとコアエンジンを通る空気の比が10にもなる高効率なエンジンが開発されています。



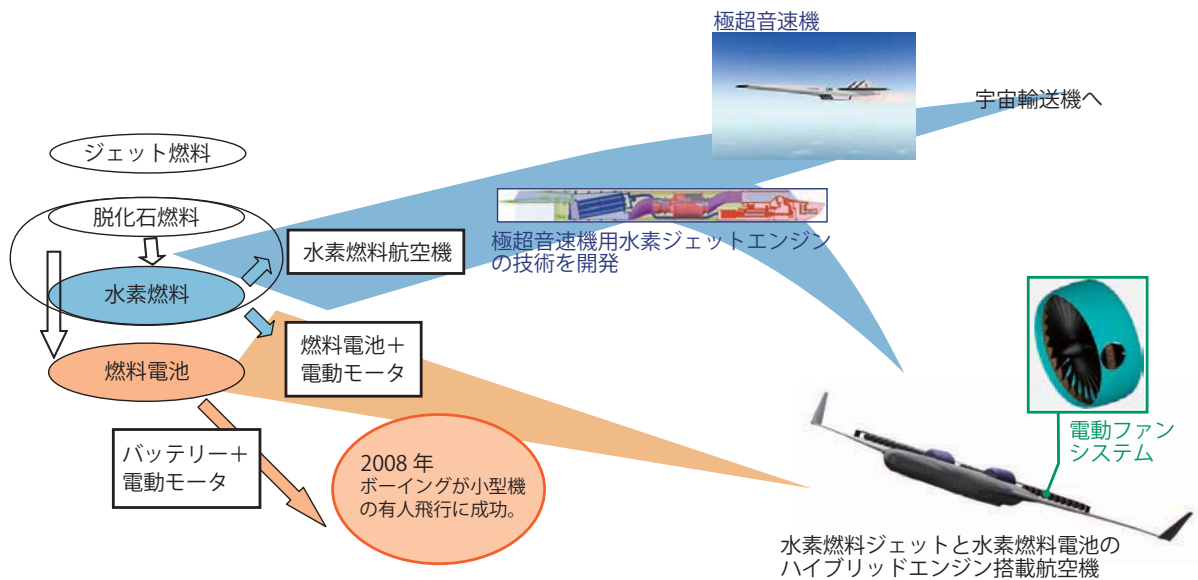


図6 極超音速機用水素エンジンの技術は将来求められる様々な航空機へと発展してゆく

冷却することで、ジェットエンジンの推力を高めることができ、更に大きなファンを回すことも可能になります。また将来、亜音速機の燃料に液体水素を使うようになった時には、極超音速機の技術をそのまま利用できます（図6）。

### ハイブリッド航空機

2008年4月、ボーイング社（アメリカ）は水素燃料電池を搭載した航空機の有人飛行に世界で初めて成功したと発表しました。この航空機の動力は“バッテリー電源と水素燃料電池<sup>\*2</sup>によるハイブリットエンジン”でした。海拔1000メートルの巡航高度までは両方を作動させて上昇し、巡航高度へ到達したらバッテリーを切り、水素燃料電池のみで時速10キロにて約20分間の直線飛行に成功しています。

しかし、この方式は大型機では現実的ではありません。航空機は“できるだけ軽いこと”が求められているのですが、大型機を飛ばすのに十分な推進力を得ようとするとバッテリーの重量がかさんでしまい、飛ぶのが困難になるのです。大型の機体を電気エネ

ルギーで飛ばしたいと考えた時、現実的なのは「水素を燃料とするジェットエンジンと燃料電池によるハイブリッド航空機エンジン（図7）」です。

まず、ジェットエンジンに取り込んだ空気を圧縮機で高圧にします。その高圧空気を燃料電池に供給し、水素燃料と反応させて発電し、その後空気を燃焼器とタービンを通して後方に排出するシステムです。排気の熱の一部を燃料電池に流入する空気の昇温に利用する再熱機構も検討しています。このシステムのファンには電気で駆動する「電動ファンシステム（図6右下）」の適用を想定しています。

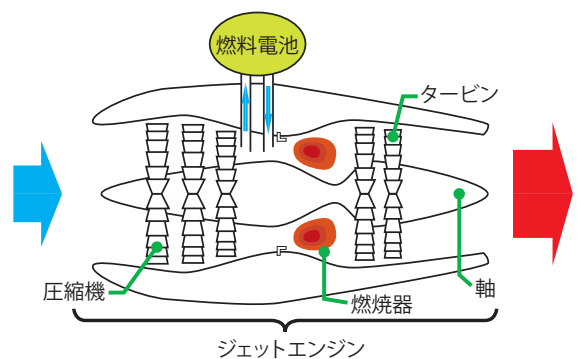


図7 並列型ハイブリッド航空機エンジンの概念図

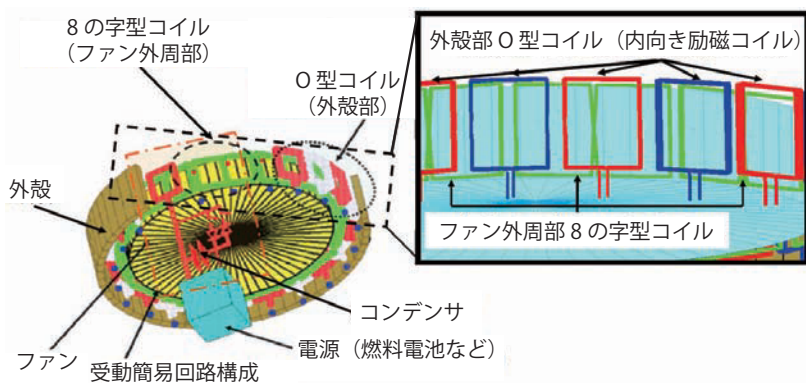


図8 大口径軽量外周駆動モータの原理



水素と言う新しい燃料を使うことで、航空機の形状はこれまでと大きく異なってくるかもしれませんが。私たちがハイブリッドエンジンの適用を検討しているのは、翼と胴体を一体設計した「Blended Wing Body (BWB)」です。電動ファンの利用により、エンジンの分散配置が可能となります。

図9 新ファンシステムを採用したハイブリッド航空機

一般的な電動駆動モータは鉄芯や永久磁石などを使用するため出力あたりの重量が大きく、軽量化が重要な航空機には適しません。電動ファンシステムでは、この問題を解決することが可能な「大口径軽量外周駆動モータ (図8)」を採用しています。外殻部に配したO型コイルに電流を通して変動磁場を発生させることで、ファン外周部に配した8の字型コイル部分に磁場と電流を生じさせ、それらの相互作用によって回転駆動力を発生させます。この方法だと、比較的小さな力でファンの回転力を発生させることができます。O型コイルはコンデンサと直結されており、未使用の磁気エネルギーをコンデンサに回収することでエネルギーの有効利用も図れます。このコンデンサから外殻部のコイルに短期間に大電流をパルス的に流すことで、鉄心や磁石なしでも損失の小さい外周駆動部モータを実現することができるのです。

このファンシステムでは動力を電気の形で得るた

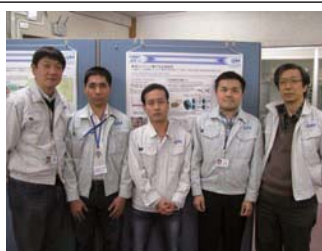
め、ジェットエンジンと軸で直結する必要がなく、ファン配置の自由度が大変高くなります。飛行条件によってファンの向きを変えたり畳んだりということが可能となるため、一種の「可変面積エンジン」も可能となるなど、様々な新しい適用性が考えられます (図9)。

あなたが見上げた空を通り過ぎてゆく飛行機。その機体が私たちの技術が活かされた“環境に優しい飛行機”だったら・・・ そんな素敵な未来を目指して、私たちは日夜、真剣に研究に取り組んでいます。

- ※1 パーフルオロカーボン類 (PFC)  
炭素とフッ素のみから構成される化学物質のこと。不燃性で性状が安定であり、オゾン層破壊効果のないことからフロン  
の代替物質として利用されてきた。しかし一方で、その強力な  
温室効果性が近年問題となっている。
- ※2 燃料電池  
酸素と水素を化学反応させることによって電気を得る電池。  
酸素と水素を供給することができれば、ずっと電気を作り出す  
ことができる。化学反応によって発生するのは水だけの環  
境に優しい電池である。



極超音速ターボジェット  
燃焼実験メンバー



電動ファンシステム開発メンバー  
(右から2番目：岡井主任研究員)

## 世界の空にはルールがある

**国際民間航空機関 ICAO**  
International Civil Aviation Organization

### ■飛行機はルールに則って飛んでいる

2010年10月21日、羽田空港の国際化が始まり、海外への行き来がより便利になりました。飛行機は世界の国々を繋ぐ重要な輸送機関です。誰もが安全・安心して利用するためには、世界共通のルールが必要です。そのためのルールを定めているのは、国連の専門機関である「国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization : ICAO)」です。

ICAOは、“国際民間航空の発達や国際航空運送業務の健全な運営を図ること”を目的とする「国際民間航空条約 (シカゴ条約)」に基づき1947年に設立されました。本部はカナダのモントリオールにあり、日本も含めて190以上の国が加盟しています。

### ■民間航空の取り決めは全てICAOが行う

ICAOは「総会」「理事会」「事務局」で構成されています。ICAOの最高意思決定機関である総会は3年毎に開催され、選挙による理事国の決定や、予算の決定などが行われます。年に3回、33の理事国が集まって開かれる理事会では、様々な報告や審議などが行われます。

ICAOが定める国際ルールは運航や整備などの日常業務に関するものから環境保護、テロ対策までと多岐にわたります。

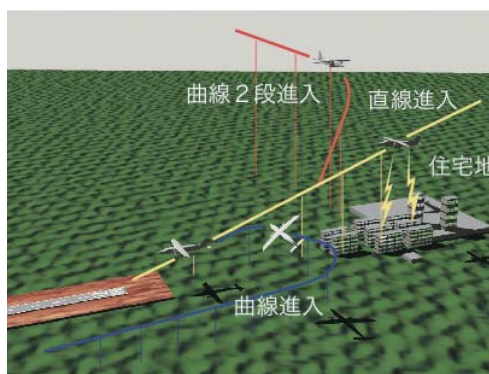
環境に関しては、ICAO理事会により1983年に設立された「航空環境保全委員会 (Committee on Aviation Environmental Protection : CAEP)」が検討を行っています。CAEPでは、「航空機騒音およびエンジン排出ガスの規制」や「空港周辺の騒音被害の軽減方策」、「地球温暖化対策」などの民間航空における環境問題全般にかかる様々な課題について、主に技術的な観点から検討を行っています。

### ■JAXAの環境に対する取組み

国際社会の環境に対する関心の高まりに合わせて、ICAOの環境に対する規制も段々と厳しくなっています。

JAXAでは騒音そのものを低減するための研究や、飛行経路や飛行方法を工夫することで、空港周辺の住宅地に届く音を小さくするための研究などを進めています。

排気に関しては、燃焼方法を工夫することで窒素酸化物 (NOx) や一酸化炭素 (CO) の排出を減らすための研究を行っています。更に、地球温暖化ガスのひとつである二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を削減するため、より環境に優しい燃料に関する技術にも着手しています (P.02 ~ .06参照)。



曲線進入や2段進入を行うことで住宅地真上の飛行を避け、騒音を低減する研究を行っています。

図1 騒音を低減する進入方式



燃料を高温で燃やした方がエンジンの効率は高くなります。しかし、CO<sub>2</sub>の排出量が増加する問題があります。そこで、実際の燃焼環境を模擬する設備を整備し、大気汚染物質排出低減のための研究を進めています。

図2 高温燃焼試験設備



# 空 宙 情 報

こんにちは、ジェット飛行実験機「飛翔ひしょう」です。

JAXAには、“将来必要となる航空に関する先進的な技術の実証”を行うための「実験用航空機（プロペラ機とヘリコプタを保有）」があります。この度、“国産ジェット旅客機の開発のための飛行実証”や“ジェット機に関する先進的な技術の実証”などを行うことを目的に、「ジェット飛行実験機（ジェットFTB）」を導入することとなりました。

新しく仲間入りする実験機に親しみを持ってもらえるよう、2010年9月9日から11月9日の期間で愛称を募集し、3928件の応募をいただきました。その中から、

最も多い125名の方からご提案のあった「飛翔ひしょう」を愛称とすることにいたしました。

「飛翔」は2011年度より、県営名古屋空港を拠点に運用を開始します。当面は、国産旅客機開発支援に重点を置いて活躍する予定です。



## JAXA 宇宙航空技術研究発表会

### 【開催報告】

2010年11月25日（木）、JAXAが取り組む宇宙航空技術の研究を広く一般の方にも紹介するため「JAXA宇宙航空技術研究発表会」を日本科学未来館（東京）にて開催しました。当日は400名近い来場者にお越しいただきました。



日産自動車株式会社 総合研究所  
EVシステム研究所 所長 飯山明裕氏による  
特別講演  
「自動車における環境への取り組み  
—新しいパワーソースへの挑戦—」



最新の研究成果を分かりやすく紹介

空と宙 2011年1月発行 No.40

【発行】宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1

電話：0422-40-3000（代表） FAX：0422-40-3281

ホームページ <http://www.ard.jaxa.jp/>

【禁無断複写転載】『空と宙』からの複写もしくは転載を希望される場合は、研究推進部広報までご連絡ください。



リサイクル適正への表示：紙ヘリサイクル可