

「そら」の技術を身近に感じて———そらとそら



2008 SEP/OCT  
<http://www.iat.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

# 空と宙

## 研究開発

雷に強いCFRPを目指す

飛行機の後ろを安全に飛ぶために

## 設備紹介

FSCAT — JAXAのフライトシミュレータ

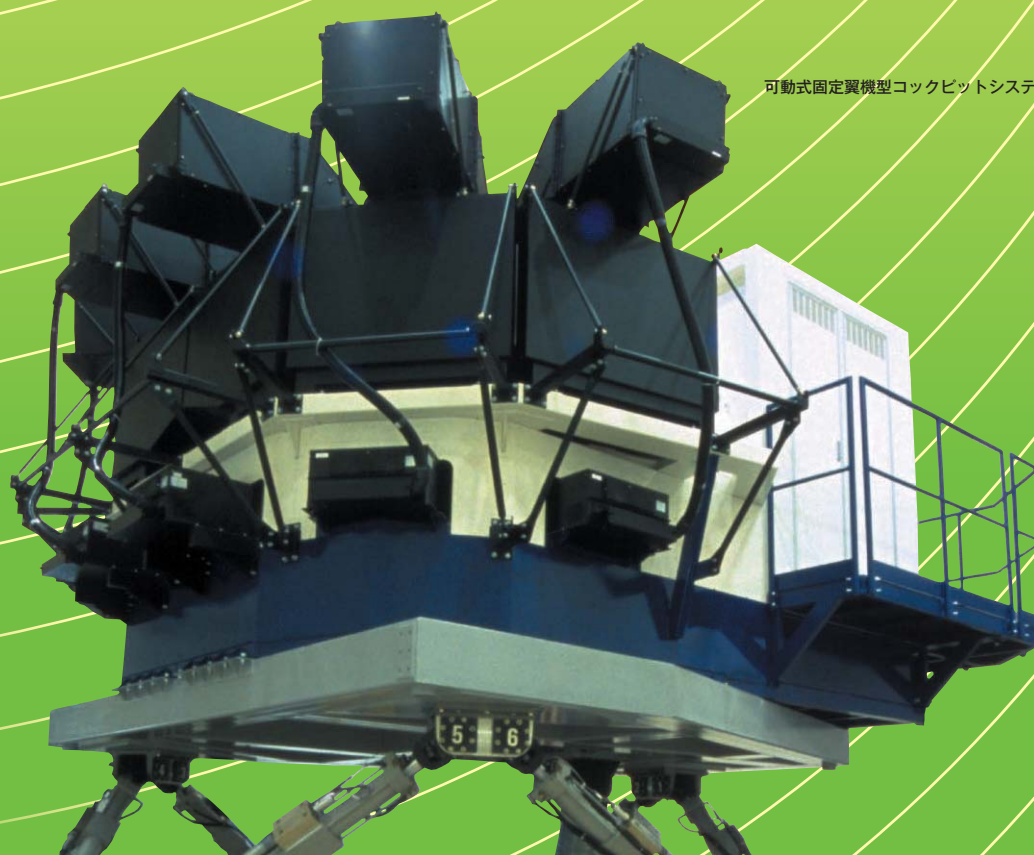
## 横路散歩

航空機と気象条件

## 空宙情報

「JAXA 宇宙航空技術研究発表会」開催案内

可動式固定翼機型コックピットシステム



# No. 26

研究開発本部  
Aerospace Research and Development Directorate

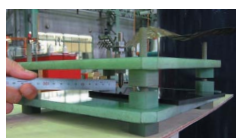
## 雷に強いCFRPを目指す

## 航空機には雷に負けない工夫がしてある

飛行中の航空機には、大気との摩擦などにより静電気が発生してしまいます。この静電気を逃がすため、翼の後縁などに「放電索」と呼ばれる放電装置が付いています。この装置は、航空機が雷を受けた時（これを「被雷」と言います）、受けた電気を逃がす役割も担っています。

一般的な旅客機の主要な材料は「ジュラルミン」と呼ばれるアルミニウムを主とする材料です。近年では、軽くて強い材料である「炭素繊維強化複合材料（CFRP）<sup>\*1</sup>」などの新たな材料が注目され、尾翼などに使われています。2007年10月に就航したエアバスA380型機や、今後の就航が予定されているボーイング787型機では、胴体や主翼など、更に多くの構造部にCFRPが使用されています。

ジュラルミンは電気を良く通しますが、CFRPは



**供試体設置部分**  
雷は尖った部分に向かう性質があります。平らな供試体の中央に模擬雷（電撃）を落とすため、電撃を与える部分や供試体に対する距離などを工夫しました。

図1 インパルス高電流試験装置（日新電機株式会社所有）

炭素繊維に沿った方向以外には電気が流れにくいため、被雷により機体が大きく損傷してしまう恐れがあります。そのため、表面に金属を貼るなどの耐雷上の工夫がされています。

## 試験によって分かってきたこと

耐雷上の工夫がされているとはいえ、被雷に対するCFRPの特性を把握しておくことは重要です。CFRPは比較的新しい材料ということもあり、体系だったデータの蓄積はまだ十分ではありません。そこで、「被雷によって発生する損傷の基本的な損傷挙動」と「雷のレベルによる損傷規模の把握」を目的に試験を行いました。

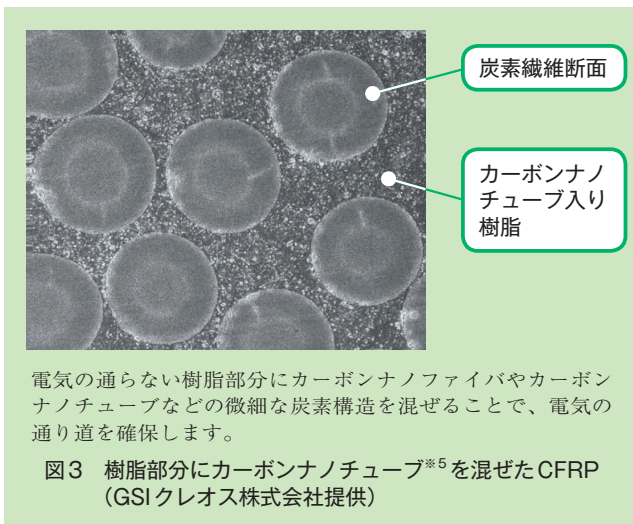
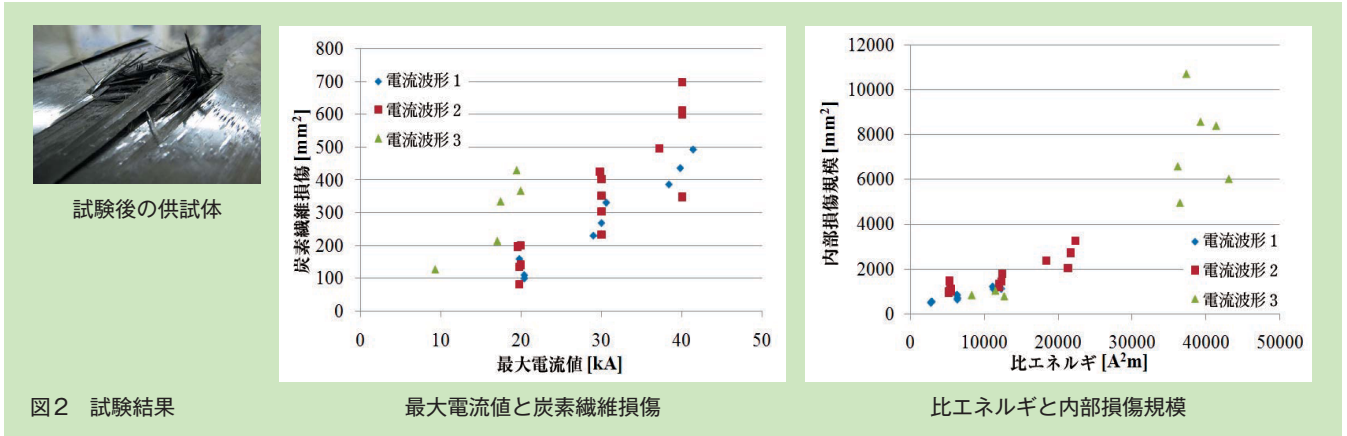
試験には、インパルス高電流試験装置という被雷を模擬できる装置（図1）を使用しました。図2に試験後の供試体と試験結果の一例を示します。試験の結果、与えた模擬雷（電撃）の最大電流値が大きいほど、炭素繊維の損傷領域および損傷深さが大きくなることが分かりました。エポキシ樹脂を含んだ複合材料としての損傷に関しては、与えた電流全体のエネルギー量が大きいほど損傷が大きいことが分かりました。電撃レベルだけでなく、供試体の板厚を変化させた試験も行いましたが、板厚は損傷の大きさにはあまり影響しないことも分かりました。

## 伝導性が高いCFRPを設計する

今後の目標として、CFRPに対する新たな耐雷システムを提案したいと考えています。

そのひとつが、カーボンナノファイバ<sup>\*2</sup>を使って電気および熱伝導性を高める方法です。エポキシ樹脂にカーボンナノファイバを混ぜることで、電気や熱が流れる道を作ることができます（図3）。CFRPの電気・熱伝導性を高くすることができれば、表面に貼る金属の量を減らす、あるいは無くすることがで

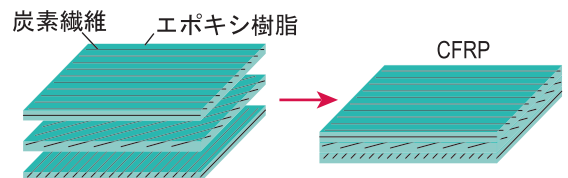
## 模擬電撃を加えた航空機用複合材料の損傷挙動に関する研究



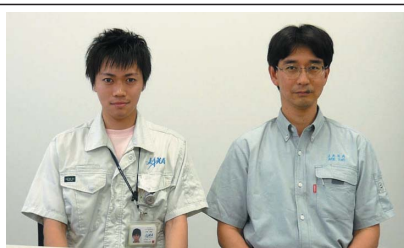
きる可能性が広がり、機体の更なる軽量化を図れるなどの利点があります。

その他にも、現在航空機で一般的に使われている複合材料よりも伝導性の高い複合材料を構造表面に使った耐雷システムについても研究を進めています。

※1 炭素繊維強化複合材料 (CFRP)：複合材料とは、二つ以上の素材を組み合わせた材料のことです。組み合わせることで、各素材が持つ特性を残しつつ、更に優れた特性を持つ材料にすることができます。CFRPは、軽くて強い (比強度・比剛性が高い) 炭素繊維を、エポキシ樹脂というプラスチックで固めた材料です。よく、「鉄よりも強く、アルミよりも軽い」などと表現されます。CFRPの強さは繊維方向に対して顕著なため、繊維に角度を持たせて重ね合わせる (積層する) ことで、必要な方向に強い材料を設計することができます。



- ※2 カーボンナノファイバ：直径10～1000nm<sup>※3</sup>、長さ数 $\mu\text{m}$ <sup>※4</sup>程度の、非常に微細な繊維状態の炭素です。炭素繊維同様、軽くて強く、電気や熱を良く通すという性質を持っています。
- ※3 nm：ナノメートル。1m = 1000000000nm。
- ※4  $\mu\text{m}$ ：マイクロメートル。1m = 1000000 $\mu\text{m}$ 。
- ※5 カーボンナノチューブ：カーボンナノファイバより更に微細な炭素の結晶。



【材料グループ】

(左より) 平野 義鎮、岩堀 豊



## 飛行機の後ろを安全に飛ぶために

### 飛行機が飛ぶと 後方乱気流という現象が起こる

飛行機が通過した後は、一対の渦状の流れ（後方乱気流）が発生します。これは、主翼の両端などから生じる気流の乱れなどに起因しています（図1）。

後方乱気流の強さは、機体の重量に比例し、また、速度が遅い時ほど強くなるため、離陸時には最も強い乱気流が発生します。この乱気流に航空機、特に小型の機体が遭遇すると、バランスを失うなどの影響を受け、事故に繋がる危険性があります。そのため、離着陸の際には、先行機との安全な間隔が決められています。この間隔は機体の種類には依らずに重量だけで決められています。しかし、飛行機に比べ、ヘリコプタは後方乱気流の影響を受けにくいと言われていました。

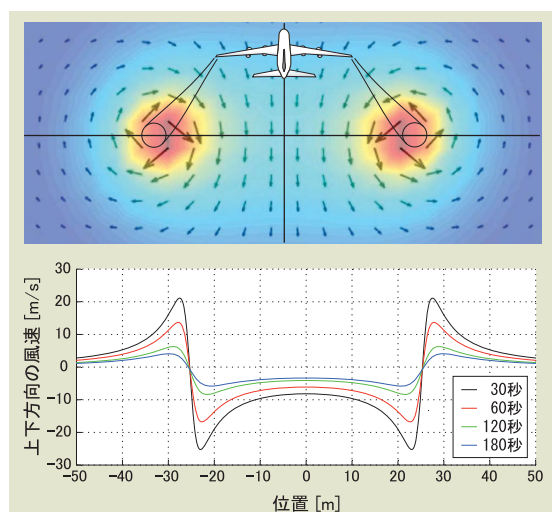
### 後方乱気流に関する JAXA の研究

ヘリコプタが後方乱気流の影響を受けにくいことを証明することで、混雑する空港でもヘリコプタの

離着陸の機会を増やすことができ、より効率的な運航を行うことが可能になります。そこで、JAXA 所有のフライトシミュレータ（P.6参照）を利用した実験を行いました。

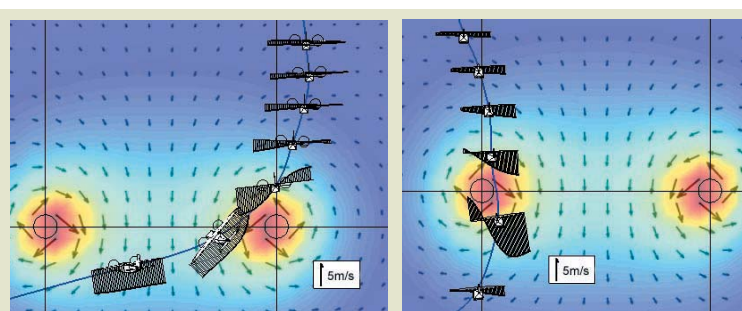
大型旅客機ボーイング747-400型機に続いて、小型飛行機およびヘリコプタが着陸進入し、高度約90mにて後方乱気流に遭遇する状況を想定したシミュレーションを行いました。図2に実験結果の一例を示します。図3はパイロットによる評価結果です。この実験により、ヘリコプタの方が飛行機に比べて後方乱気流の影響を受けにくいことが証明できました。

また、後方乱気流の危険性についても改めて認識できました。実際の運航で後方乱気流に巻き込まれることは少ないのですが、それでも国内だけで過去5年間に3件の事故が起きています。もし巻き込まれてしまった場合には、とっさに適切な対応（判断および操縦）をする必要があるため、フライトシミュレータによって体験しておくことが安全の向上に役立つことが分かりました。今後も、外部のパイロットの方に体験していただく機会を提供する予定です。



発生から60秒経過した時点でも、10m/sを超える上昇流および下降流が吹いていることが分かります。

図1 大型旅客機ボーイング747-400型機の離陸後に発生する後方乱気流の計算結果



ドルニエ式 Do228 型機

三菱式 MH2000A 型機

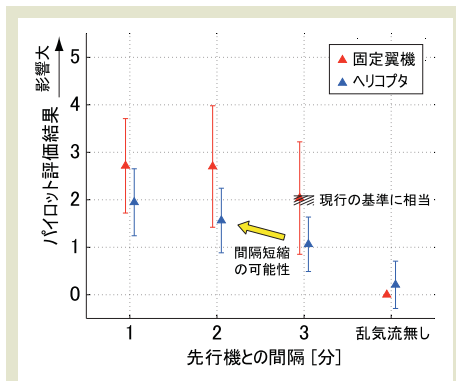
左は飛行機（ドルニエ式 Do228 型機）、右はヘリコプタ（三菱式 MH2000A 型機）の例です。機体の動きと、飛行機の主翼およびヘリコプタのメインロータが受ける上下風の分布を示しています。飛行機は後方乱気流の影響を受けて激しく左に傾いています。これに対してヘリコプタは、渦の中心を通過してより強い上下風を受けているにもかかわらず、機体の傾きは小さくなっています。

図2 飛行シミュレータによる実験結果

## 後方乱気流に関するJAXAの取り組み

### パイロットに安全をお知らせ

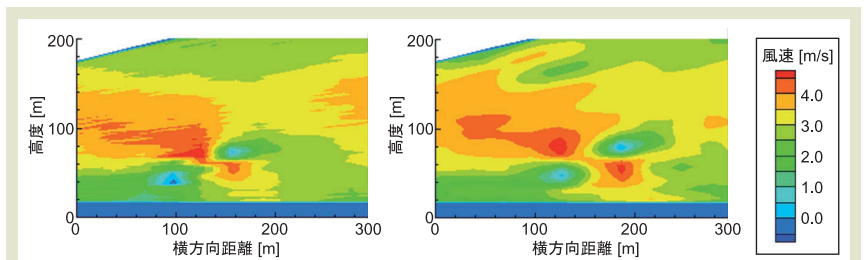
いくつかの空港には、レーザを用いて上空の風向や風速を観測できる、ライダと呼ばれる装置が設置してあります。JAXAでは、電子航法研究所および東北大学と共同で、このライダのデータと数値計算法のひとつであるCFDの解析結果を利用して後方乱気流の挙動を予測し、管制官やパイロットに知らせるシステムの研究を進めています。



外部から延べ16名のパイロットに参加いただき、約200回の実験を行いました。縦軸の数字が大きいかほど影響が大きく、2を越えると安全な着陸ができないと判断されたことを表しています。今回想定した機体同士では、間隔は3分に決められています。ヘリコプタは先行機との間隔が2分でも評価結果が2より小さくなっています。

図3 パイロットによる評価結果

これまでに、CFDによってライダの観測データの精度を向上する技術（図4）や、後方乱気流のデータを航空機に送信し、パイロットに表示する技術を開発しました（図5）。今後は、これらの成果を統合し、航空機の間隔を最適に保つことによって、より安全かつ効率的な運航を実現するシステムの開発を目指します。



ライダによる観測だけの場合（左）に比べて、CFDとの融合により、風速分布をより鮮明に捉えることができました（右）。

図4 CFDによる観測データの精度向上（東北大学提供）

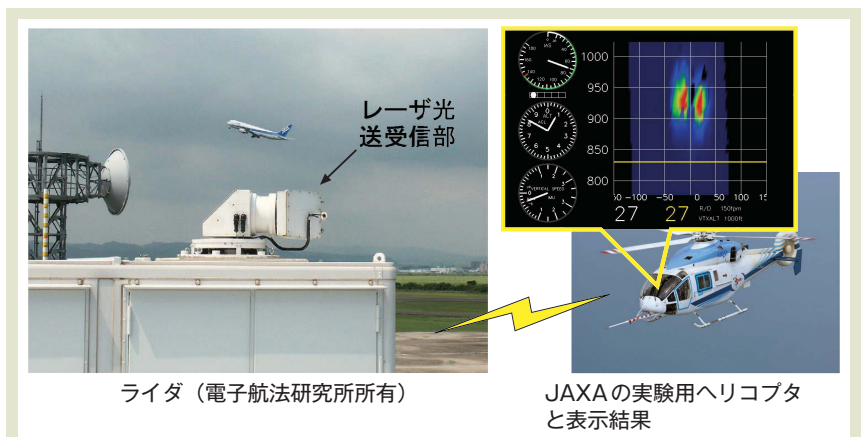
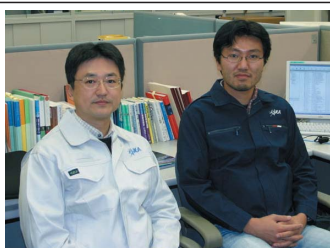


図5 地上のライダで観測した後方乱気流をパイロットに表示するシステム



【飛行技術研究センター】

（左より）奥野 善則、又吉 直樹

## 設備紹介

## FSCAT — JAXAのフライトシミュレータ

フライトシミュレータとは、航空機の飛行状況を模擬する装置のことです。外の景色を映し出すビジュアル装置や機体の動きを模擬するモーション装置などが付いており、臨場感溢れる模擬飛行を体感できます。パイロットの訓練や航空機開発に必要なデータの収集、実際の飛行が困難な実験、例えば後方乱気流の飛行実験(P.4参照)などで利用されています。

JAXAでは、前身機関の一つである航空宇宙技術研究所(NAL)時代の1963年にフライトシミュレータを整備し、研究開発に役立ててきました。当初のコックピットシステムは固定翼機(飛行機)1種だけでしたが、現在は、固定翼機2種と回転翼機(ヘリコプタ)1種、合わせて3種のコックピットシステム

を整備しています。全てのコックピットシステムを同じシステム上で働かせているため、飛行機とヘリコプタを同時に飛ばすなど、多様なシミュレーションが可能です。

過去には、NALで研究開発を行っていた短距離離着陸機「飛鳥」の開発などに、現在は三菱航空機株式会社が主体となって開発を進めている「三菱リージョナルジェット(Mitsubishi Regional Jet: MRJ)」の操縦性能に関する研究などに利用しています。他にも、飛行性能に関する研究やヒューマン・マシン・インターフェースに関する研究など、様々な研究に利用しています。

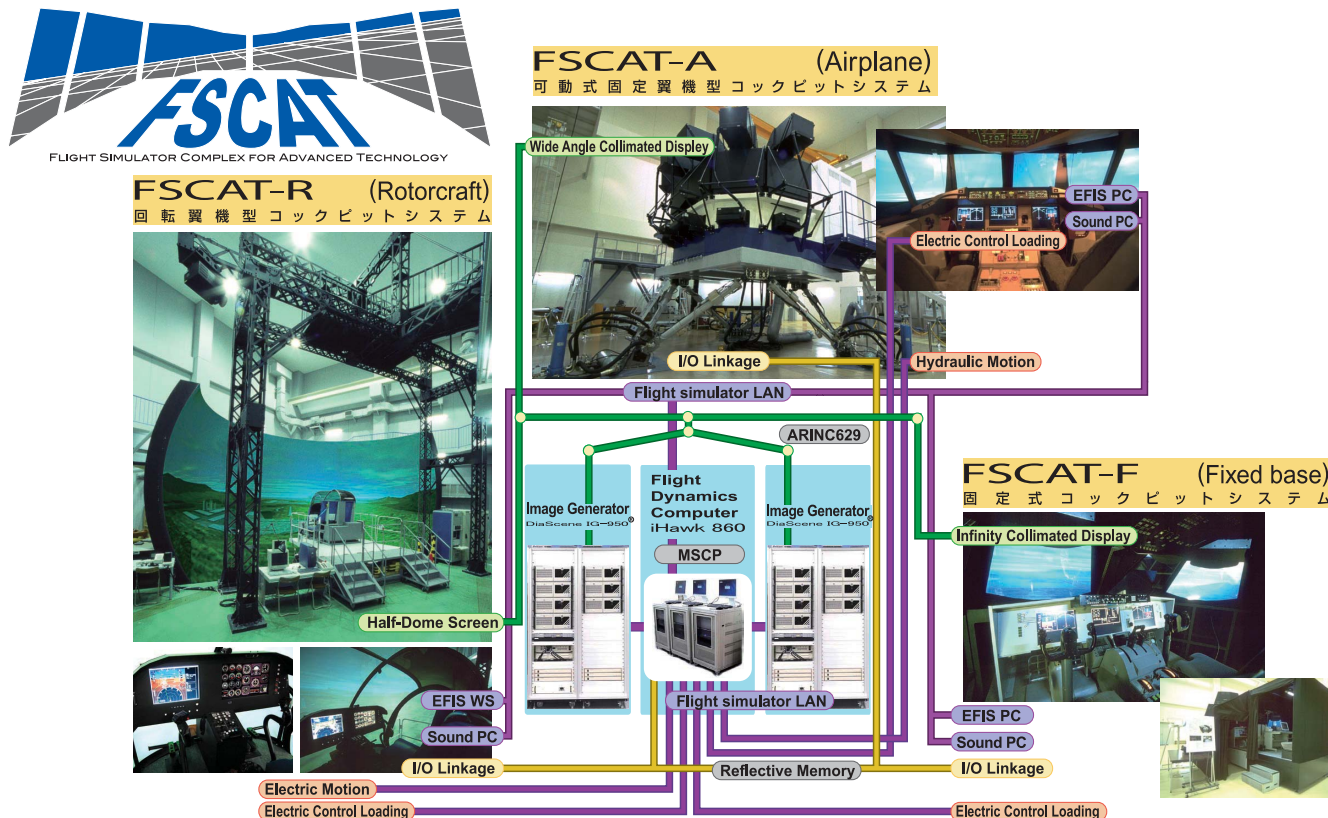


図 研究開発用飛行シミュレータ (FSCAT) の概要



## 航空機と気象条件

雨や雪の日、滑走路上で加速した飛行機のタイヤの回転速度がある一定速度以上に加速すると、タイヤと滑走路との間に水膜が入り込んで車輪が空回りしてしまう「ハイドロプレーニング現象」が起こってしまう恐れがあります。ハイドロプレーニング現象が起こると、機体の操縦が困難になるため、滑走路には水はけを良くするための工夫がされています。雪の日には、翼などに着氷することで形状が変化し、浮くための力である「揚力」が十分に得られなくなる恐れもあります。そのため、エンジンから取り出した熱い空気を翼前縁などに送ることで着氷を未然に防いでいます。

日本は雷大国なため、しっかりとした雷対策も欠かせません。雷と聞くと夏の風物詩の様な気がしますが、日本海側沿岸では「冬季雷」と呼ばれる世界でも大変めずらしい雷が発生します。冬季雷は夏の雷に比べてエネルギーが強いため、航空機に与える影響も甚大です。雷に打たれると黒焦げになってしまうイメージがありますが、飛行が困難なほど機体が大破することはまずありません。航空機には「放電装置」という溜まった電気を放電するための装置が設置されており、受けた雷のエネルギー（電気）もこの装置などを介して放電されるからです（図1）。それよりも、機体表面を電気が流れることで計器類に影響を受けてしまうことが懸念されるため、ある計器が使えなくなってしまうとしても他の計器で補えるような工夫がされています。最

近では炭素繊維強化複合材料（CFRP）という新しい材料を採用する機体が増えているため、CFRPの雷に対する特性の把握も重要になっています（P.2参照）。

航空機を運航するうえで必ず把握しておくべき気象条件に、風の動きがあります。我が国の旅客機の航空事故の約半分は「乱気流」が主要因と言われているため、乱気流に関する情報を事前に知っておくことが重要になります。日本では、ほぼ全国の空港に航空気象情報の施設があり、数時間先の空港の気象を予測しています。東京国際空港や成田国際空港などでは、空路が存在する洋上を含めた広い範囲の気象を監視しています。大型旅客機は気象レーダーを搭載しているため、空港を離れた後も前方の雨粒の状態などを観測し、気流の状態を確認することで乱気流を避けた安全な飛行が可能です。しかし、地形や風の状態で雲を伴わずに発生する乱気流（晴天乱気流）もあります。晴天乱気流は気象レーダーでは観測することができません。JAXAでは、雲を伴わない気流も含めて前方の風の状態を計測できる装置を研究開発しています。

離着陸時には、図2に示すように様々な乱気流が問題になります。飛行機の翼端などから出る「後方乱気流」に後続の機体、特に小型の機体が巻き込まれると、大きな事故に繋がってしまう恐れがあるためです（P.3参照）。そのため、離着陸の際には、前機と適切な距離をとることが決められています。



空気の摩擦などにより機体に溜まってしまふ静電気を逃がすため、翼後縁や降着装置には放電装置が付いています。写真は主翼後縁に取り付けられた放電索と呼ばれる放電装置です。

図1 放電索



離着陸中の航空機は様々な乱気流の影響を受ける恐れがあります。

※低層ウインドシア:高度数百m以下の地表面付近で発生する、風向および風速が急激に変化する現象のこと。

図2 離着陸時に問題となる乱気流

# 空 宙 情 報

## JAXA 宇宙航空技術研究発表会

### 【開催案内】

JAXAが取り組む宇宙航空技術について、広く一般の皆さんに知っていただくことを目的に「JAXA宇宙航空技術研究発表会」を開催することとなりました。JAXAにおける代表的な技術・研究の概要を紹介すると共に、現在注目すべき研究成果を発表します。JAXAが進める最先端の宇宙航空技術にぜひ触れてみてください。

### ■ 日時

2008年11月27日(木) 10:00~16:45

### ■ 会場

日本科学未来館7F(みらいCANホール、会議室)  
東京都江東区青海2丁目41番地

※事前登録は必要ありません。直接会場までお越しください。

※聴講は無料です。当日、会場にて前刷集を配布いたします。

※プログラムなどの詳細は当本部のHPをご覧ください。下記窓口へお問い合わせください。

### お問合せ窓口

宇宙航空研究開発機構

研究開発本部 研究推進部 広報

TEL: 0422-40-3960 FAX: 0422-40-3281

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



去年の発表風景

## 『空と宙』はHPでもご覧いただけます！

本誌『空と宙』はJAXA研究開発本部のHPでもご覧いただけます。  
バックナンバーも掲載しています。

<http://www.iat.jaxa.jp/info/prm/index.html>

また、HPだけの特別読み物「+α そらとそら」も掲載中です。取材で飛び出した面白い話やちょっとイイ話など、本誌には載せきれなかったこぼれ話を紹介しています。研究者の魅力が垣間見えるかも!?

<http://www.iat.jaxa.jp/info/prm/plusalpha/plus-index.html>

アンケートへのご協力、どうもありがとうございました。

24号で実施した読者アンケートにご回答をお寄せいただき、真にありがとうございました。いただきましたご意見は、今後の誌面作製に役立ててまいります。