

J A X A 航空マガジン



# FLIGHT PATH

新たな空へ 夢をかたちに  
*Shaping Dreams for Future Skies*

2015  
WINTER

No. 11  
航空技術部門  
[www.aero.jaxa.jp](http://www.aero.jaxa.jp)



特集

## さまざまな分野と連携する 「次世代航空イノベーションハブ」

～航空安全技術における最新の取り組み～

《座談会》 D-SENDプロジェクト その先へ

# FLIGHT PATH

2015 WINTER No. 11

今号は2015年4月から動き始めた次世代航空イノベーションHub体制や産学官連携について、その中で航空安全技術の研究開発に注目します。また、2015年7月の飛行試験による計測結果発表を終えたD-SENDプロジェクトチームのメンバーが集まり、D-SENDプロジェクトの成果を振り返ります。

## CONTENTS

### 特集

P. 3-7

## さまざまな分野と連携する「次世代航空イノベーションHub」 ～航空安全技術における最新の取り組み～

P. 8-11

### 《座談会》

## D-SENDプロジェクト その先へ

### 航空技術部門へのメッセージ

P. 12-13

## 子供に夢を与えるような、革新的技術の研究開発を

富士重工業株式会社

航空宇宙カンパニー 航空機設計部長 若井洋氏

航空宇宙カンパニー 航空機設計部 滞空型無人機設計係長 奈良橋俊之氏 インタビュー

### リレーインタビュー

P. 14

## 第7回「常に新しい挑戦がある、刺激的な実験装置です」

構造・複合材技術研究ユニット 主任研究員 熊澤寿

### ソラの技

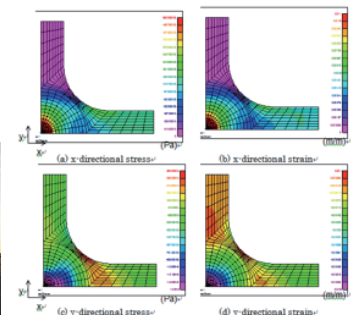
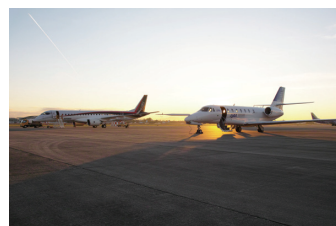
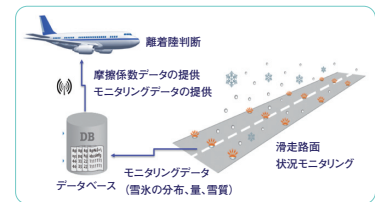
P. 15

## 「二軸疲労試験機編」

### FLIGHT PATH Topics

P. 16

- ・能登空港で実験用航空機「飛翔」の騒音源計測試験を実施
- ・「飛翔」、MRJ初飛行に協力
- ・「FLIGHT PATH」アンケートのお願い



### 表紙写真

放球を待つD-SENDプロジェクト試験機。スウェーデン・エスレンジ実験場にて。

# さまざまな分野と連携する 「次世代航空イノベーションハブ」

～ 航空安全技術における最新の取り組み ～

2015年4月からJAXA航空技術部門に「次世代航空イノベーションハブ」という組織を置き、日本の航空研究開発の拠点となるべく、オールジャパン体制を目指しています。この新たな体制が目指すものや産学官連携の今後について伊藤文和ハブ長に、またイノベーションハブで進められている航空安全技術の研究開発について神田淳主任研究員に聞きました。



伊藤文和

次世代航空イノベーションハブ  
ハブ長

——次世代航空イノベーションハブができた背景をお話ください。

**伊藤** 内閣府は2014年6月に「科学技術イノベーション総合戦略2014」を発表しました。この中ではわが国のイノベーションの加速のために「研究開発法人を中核とした国際的な産学官共同研究拠点」を形成し、「人材流動化の促進のための制度の導入と活用」を図ると述べています。また、2014年8月には「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」が文部科学省から発表され、「イノベーション、インパクトのある成果」や「わが国の航空機産業の世界シェア向上」を目指すこととされました。

2015年4月に国立研究開発法人となったJAXAはこのような動きを受けて、JAXA相模原キャンパスを中心とした「宇宙探査イノベーションハブ」と、調布航空宇宙センターを中心とした「次世代航空イノベーションハブ」が動き始めました。イノベーションハブでは航空宇宙分野だけでなく、広く異分野の人材や知を糾合し、開かれた研究開発体制をとっていくことになります。

——次世代航空イノベーションハブには、ど

のようなことが期待されていますか。

**伊藤** 一つは研究開発体制の強化です。産学官の垣根を乗り越え、異分野・異業種との連携を進めます。もう一つは産業・社会に対して役立つ成果を生み出すことです。JAXAの研究開発は近年、社会のニーズを重視して進めるようになってきました。今後はさらに社会実装までのスピード感が大事だと思います。航空イノベーションハブの目指すところをまとめるとすれば、「産業・社会に役立つテーマ」、「オープン・イノベーション」、「ハイ・インパクトな成果」ということになります。これらによって、わが国の航空機産業の競争力強化、航空輸送の変革を実現する社会価値の創造を実現していきます。

——次世代航空イノベーションハブでは、具体的にどのような研究開発を行っていきますか。

**伊藤** JAXA航空技術部門では「環境」、「安全」、「スカイフロンティア」という三つの軸で研究開発を行い、それらを「基礎・基盤技術の研究」が支えるという体制をとっています。三つの軸ではそれぞれ次のプロジェクト候補が動いていますが、今回、次世代航空イノベーションハブでは、三つの軸のうち、「安全」の「航空機事故防止技術」分野において、「気象影響防御技術」と「ヒューマンエラー防止技術」を

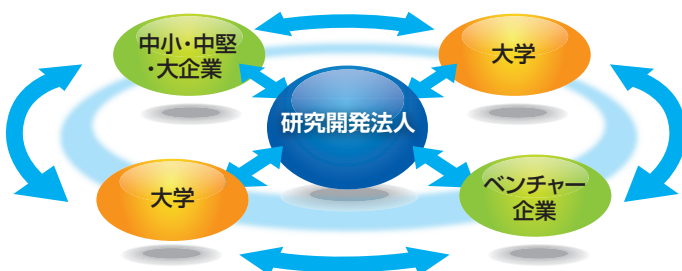
重点的に取り組むことにしました。

IATA（国際航空運送協会）の2013年のレポートによると、航空機による死亡事故の主要因の45%を視界不良や乱気流などの気象関連が占めています。これにパイロットのヒューマンエラーや整備不良といった副要因が重なって事故が起こるわけです。一方、気象が副要因になっているケースもあるわけです。従って主要因あるいは副要因に気象が関係しているケースはかなりの多いことになり、気象による影響を低減させていけば、結果としてかなり多くの事故は起こりづらくなります。私たちが行った運航会社各社へのヒアリングでも、日本の場合には特に冬季の特殊な気象条件が、航空機の事故を引き起こす大きな問題であることがわかりました。

——この「気象影響防御」の研究はどのように行っていきますか。

**伊藤** 運航会社では気象影響事故を防止するために、多大な時間と努力が費やされています。事故を起こさないよう、安全面を優先させての欠航や、出発を遅らせたり、ダイバート（目的地を変更し、別の空港に着陸すること）をしています。その結果、乗客の利便性が損なわれ、運航会社のコストにも影響していきます。「気象影響防御」では、乗客の利便性を損なわない運航安全技術の確立を目指しています。

私たちは、この気象影響を防ぐという課題に対して「予測」、「検知」、「防御」の三本柱で取り組もうと思っています。予測に関しては近年、気象観測機器の性能向上や予測技術の進



研究開発法人を中核とした国際的な産学官共同研究拠点の形成

「内閣府：科学技術イノベーション総合戦略2014（概要版）（2014.6.24）」を参考にイラスト書き起こし

# 「次世代航空イノベーションハブ」

歩があります。これらの技術を使えば、航空用途の高精度な予測ができるのではないかと考えています。検知というのは、機体などの点検・整備を指しています。機体が安全であることを検査するには時間と人手がかかるのが現実です。従って、精度が高く、しかも作業効率が良い技術が求められています。防御というのは、機体に雪が付かないようにする、あるいは雷でも壊れない材料で機体を作るといった本質的な防御技術のことです。

## ——具体的にはどのようなことが研究課題になりますか。

**伊藤** 日本特有の気象条件として、雪氷、雷、火山灰での対策が必要になります。雪氷の検知の例としては、滑走路の積雪モニタリングがあります。この問題は降雪量の多い北海道・東北・北陸地方では相当に厳しく、滑走路の状態がよく分からないために、運航会社は安全側に考えて欠航したり、ダイバートをせざるを得なくなります。したがって、滑走路の雪氷を検知することは非常に重要な研究課題となっています。

着氷の検知の例としては、機体に氷が付着しているかどうかを検知するセンサー技術があります。機体に氷が付いているかどうかは、安全な運航に影響が出るため、運航会社はかなり気を遣って確認しています。防御技術でいいますと、氷が付かないようにすればいいので、機体やエンジンなどの防氷コーティングの研究があります。これと同じような研究を、雷や火山灰に対しても行っています。

## ——先ほどおっしゃった研究開発のスピード感については、どのように考えていますか。

**伊藤** 滑走路の雪氷検知でいいますと、高精度な着陸距離を想定することができれば、欠航やダイバートを減らせます。離着陸判断に使うことで、オーバーラン事故も減るでしょう。除雪のタイミングや離陸前、機体に塗る除雪剤の量も分かります。より安全な運航を行うために、いろいろ役に立つことがあるので、かなり重要な技術

です。運航会社から早期実現を望む声を聞いています。しかし、この研究開発にあたって、まず雪氷を検知する原理を解明し、次にセンサーを試作して室内で実験する。次に屋外での試験で実用化に関わる課題を解決し、最後に滑走路で実証するといった段階を踏む方法で進めていくと、長い時間がかかるわけです。ある程度原理が分かったら、仕事を併行して進めた方が良く私は考えています。

## ——JAXAの航空技術部門ではこれまででも出口を見据えた研究開発をしてきました。イノベーションハブでは、何を重視しますか。

**伊藤** ニーズを考えた研究をしても、実際に社会実装するとなると、研究者の考えだけでは限界があります。しかし、イノベーションハブでは最初から企業も参加していますから、開発された技術の実装を企業が引き取って行うことができます。実用化を目指すということは、ニーズを知るだけではなく、そのニーズを出口の側から見て、開発すべき技術にブレークダウンするという方法が必要なわけです。イノベーションハブは、まさにそれをしようとしているのです。

## ——ヒューマンエラー防止技術に関しては、どのように進めますか。

**伊藤** 先ほど申しましたように、事故が起こる場合には必ず主要因と複数の副要因とがあります。いくつかの要因がそろってしまうと事故になってしまいます。事故が起こる場合、気象とヒューマンエラーの組み合わせというのは非常に多いのです。しかし、このうちどちらかを防止できれば、事故を回避できるのです。そういう意味で、ヒューマンエラーの防止は非常に重要と考えていますね。

ヒューマンエラーをなくす努力は、運航会社でいろいろ取り組んでおられ

ますが、なかなか難しいですね。一つの例としては、ある期間を決めてパイロットの操縦をチェックする人を乗せるというようなことをしていますが、いわば抜き取りでのチェックであるし、コストも非常にかかります。そこでJAXAでは、そういうことをもう少し効率良くできないかと考えており、まずはパイロットのエラーの予兆を見つけるために、飛行データの中のどのようなパラメータに着目すれば良いかを知るところから研究しています。運航会社から実際の飛行データを頂いて分析しているところです。

## ——気象影響防御、ヒューマンエラー防止。こうしたテーマを取り上げることに、運航会社からの反応はいかがですか。

**伊藤** 期待は大きいと思いますね。それだけに、安全に運航するための技術をきちんと作っていかないといけないということで、プレッシャーもありますね。

## ——イノベーションハブの特徴は何ですか。

**伊藤** イノベーションハブには大学、研究機関、企業が参加します。雪氷センサーの研究では、それぞれの活動をみると、大学は数値モデルなどを作って基礎的な研究を進めます。JAXAはモニター方法のアイデア出しや実験などを進めるとともに、全体のマネジメントを行います。企業は試作品などの設計・製作を担当します。こうした個々に行っている活動

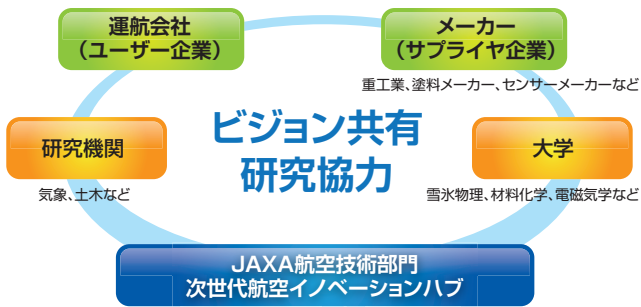


次世代航空イノベーションハブの目指すところ

|               | 現行のプロジェクト<br>(成果を重視)                   | 次のプロジェクト候補<br>(成果+もっとイノベティブ)                 |
|---------------|--|--|
| 環境            | ・ジェットエンジン燃費向上(aFJR)<br>・機体騒音低減(FQUROH) | ・燃費・騒音低減(エコウィング)<br>・コアエンジン・低騒音(GreenEngine) |
| 安全            | ・運航システム(DREAMS)<br>・乱気流事故防止(SafeAvio)  | ・気象影響防御技術<br>・ヒューマンエラー防止技術                   |
| スカイ<br>フロンティア | ・超音速機の騒音低減(D-SEND)<br>・電動航空機(FEATHER)  | ・静粛超音速機技術                                    |
| 横断的基盤領域       |  |  |
| 基盤研究          | ・基盤先端技術研究<br>・施設設備の維持・運用及びその整備         | ・航空機開発に役立つ基盤を<br>応用した技術研究                    |

次世代航空イノベーションハブの主要テーマ





幅広い技術分野と連携した体制で、ビジョンを共有し相互の研究協力を実現

を併行して研究を進めれば、基礎研究をやりながら実験もできます。イノベーションハブでは2016年度までに「フィールド検証」をすることにしています。滑走路を実際に使うのが難しいので、道路などで行おうと考えています。こういう検証を行えば、運航会社も本気になってくれて、滑走路で実証してみようという動きになり、実装されるタイミングも早くなるのではないかと思います。

——幅広い連携の効果が出てくるわけですね。

**伊藤** JAXAでも大学や企業との共同研究はずいぶん行ってきました。しかし従来は個別の大学、あるいは企業とのテーマごとの共同研究だったのです。活動全体を皆で話し合うという機会はあまりありませんでした。イノベーションハブでは、さまざまな研究機関、運航会社、メーカー、大学に参加していただき、ビジョンを共有し、相互の研究協力を実現していきます。例えば「気象影響防御」というビジョンを皆が共有することによって、より良い

めに、工夫していることはありますか。

**伊藤** 優秀な人材を集めるには、柔軟な給与体系が必要です。またクロスアポイントメント制度も有効です。大学の先生などが大学で50%仕事をし、残りの50%をJAXAで仕事をするといったケースです。このようなことができる制度を準備しています。それから知財関連ですね。これについても、企業からJAXAへ出向している研究者が行った発明に関して、出向元に対する優遇措置などがあります。さまざまな参加機関からイノベーションハブに参加しやすいよう、人事面や知財面でいろいろなしなやかを作っているのです。

——こうした新しい体制での研究開発をJAXAで実現できる目論見はありますか。

**伊藤** 非常にあると思いますね。研究者にはすごく柔軟に考えてもらっています。マネージャークラスが集まってチームを作り、検討しましたし、現場の研究者とも話をしています。これまでの研究の仕方を変えるというの

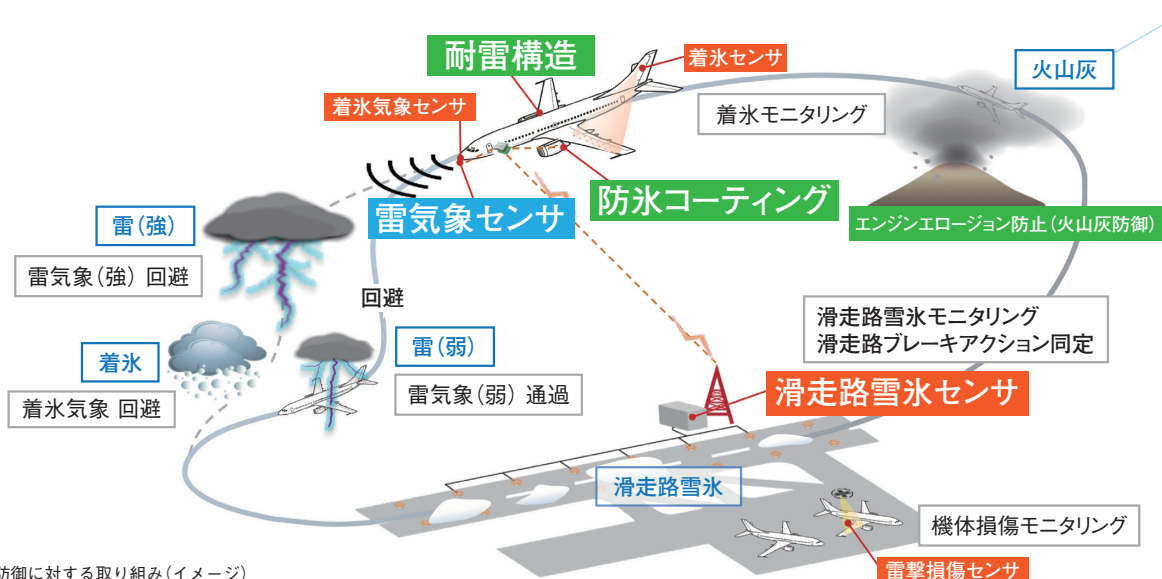
は、私一人が走ってもダメで、みんなで考えなければいけないわけですが、そのようなことをすでに行っています。

——JAXAには基盤研究の体制ができています。また風洞をはじめ実験施設もそろっています。こうした点は研究開発にかなり役に立つとお考えですか。

**伊藤** 非常に役に立つと思います。ここには低速から極超音速までほとんどのタイプの風洞があります。さまざまな研究開発に応えるための、そういったインフラはそろっていると思います。それからCFD(数値流体力学)ですね。コンピュータ・シミュレーションも相当な力をもっています。連携して研究開発をする上で非常に良い環境だと思います。

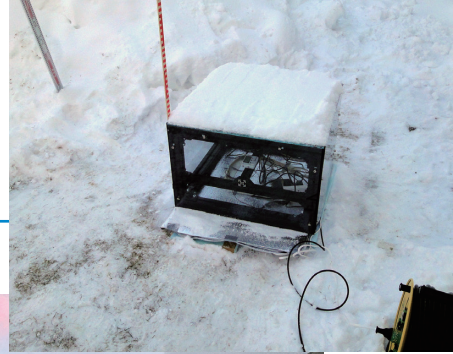
——動き始めた次世代航空イノベーションハブに、どのような抱負をお持ちですか。

**伊藤** 「産業や社会に役立ったね」と言われたいですね。次世代航空イノベーションハブは、航空技術部門の特区だと思うのです。研究開発のいろいろなやり方を試している。そういうところで一つでもいいから、早く結果を出したいと思います。小さくてもいいから、ヒットを打ってみる。その結果、「やっぱりあの仕掛けはいいかもしれない」と関係者が思ってくれば、研究は加速して、おのずとまわり始める。研究開発はもっと良くなります。そういうことを加速するのが、私の役目と思っていますので、そこまでぜひ推進していきたいですね。



気象影響防御に対する取り組み(イメージ)

自然に積もった雪を使用した  
フィールド実験の様子。



# Feature 特集

## 「次世代航空イノベーションハブ」

冬季の空港を悩ませる問題の一つに、滑走路上の積雪があります。積雪によって着陸時のオーバーランや欠航、ダイバート(目的地変更)などが発生しています。雪氷モニタリングセンサーは、リアルタイムで雪の状態を検知する技術であり、実用化されれば、航空機の安全・運航の効率化に貢献できる技術です。



雪に当たった散乱光の広がりや強さから、雪氷の厚さや雪質を検知した。

# 雪氷モニタリング センサー

### 積雪によって航空機の 運航効率が低下する日本

次世代航空イノベーションハブでは、航空機の安全運航に関わる技術の研究開発を進めています。その中の一つが、滑走路上の雪や氷の状態を計測する雪氷モニタリングセンサーの研究です。

雪氷モニタリングセンサーの研究が開始されたきっかけについて、次世代航空イノベーションハブ航空安全技術研究チームの神田淳主任研究員は、「エアラインからの要望が大きいですね」と話します。エアラインにとって必要不可欠な気象観測技術の中でも、雪氷モニタリングセンサーは早急を実現してほしい技術の一つなのです。その背景には、日本の冬季における固有の気候条件が関係しています。

雪の積もった滑走路に航空機が着陸する場

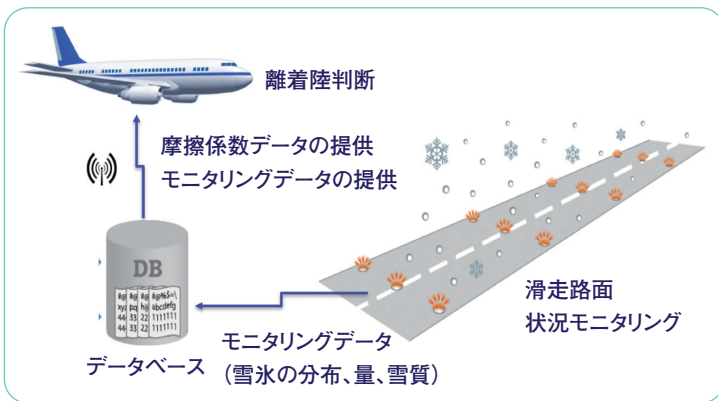
合、滑走路に雪のない状態よりも摩擦が小さくなるため着陸距離が長くなってしまいます。特に日本の雪は海外の雪に比べると水分が多く、摩擦が極端に小さくなる性質があります。加えて、山間部の多い日本では、長い滑走路を持つ空港は少なく、2,000m~3,000mの比較的短い滑走路がほとんどです。こうした気象や地理的な状況から、オーバーランやスタック(動けなくなる)が発生しています。また、オーバーランなどの危険を回避するために、積雪や雪氷による欠航やダイバートが発生しています。北海道の新千歳空港に着陸する国内線だけでも、欠航は年間数百便、ダイバートも年間数十便発生しています。このような欠航やダイバート、オーバーランといったトラブルを減らし、航空機をできるだけ効率的に運航するために、雪氷モニタリングセンサーの実用化が求められているのです。

### 光によって雪氷の状態を検知する 雪氷モニタリングセンサー

雪氷モニタリングセンサーの原理は、比較的簡単です。レーザーなどの光源から照射した光を氷や雪に当てて、その散乱光を受光部で捉えることで光の強度を計測、散乱光の強度分布から雪氷の厚さや雪質を検知します。積雪が少なければ光も透過しやすく散乱光は少なくなり、積雪が多ければ散乱光も多くなります。雪の粒の大きさでも散乱の仕方は変わってきます。このように光によって雪氷の状態を判断する技術は世界初となる技術で、すでに特許も出願済みです。

現状、積雪時における滑走路の滑りやすさは、特殊な計測車両を使って行われています。計測車に取り付けられたタイヤの抵抗値を計測する方法ですが、計測のためには安全を考えて空港を閉鎖しなければなりません。また、計測用タイヤは摩耗するため交換が必要になりますし、計測車両自体も高価なため導入や運用に掛かるコストも馬鹿になりません。道路に積もった雪の深さを検知する超音波センサーも存在しますが、雪の深さしか検知できない上に、路面の上方に超音波などの発生装置が必要になるため航空機用滑走路では使用できません。

雪氷センサーは、滑走路に一定間隔で埋め込んで使用します。センサーの上面はガラスになっていて、下から当たった光で雪氷の有無や積雪の厚みなどを常時モニターします。モニター



「滑走路雪氷モニタリング技術」システムイメージ

したデータを用いて摩擦力を推定し、他のデータとともに航空機に送信され、パイロットによる着陸可否の判断材料として活用されることを目標にしています。

雪氷モニタリングセンサーが実用化されれば、空港を閉鎖せずにリアルタイムで滑走路の状態を把握できるようになります。また、タイヤのように接触して抵抗を計測する技術とは異なり、非接触で計測が行われるので部品の消耗も少なく、導入してしまえば運用コストも非常に低く抑えることができます。

## フィールド実験を経て 数年後の実用化を目指す

しかし、実用化まではまだいくつかのハードルがあります。現時点では、まだ「研究室の実験レベル」(神田主任研究員)の段階なのです。雪氷モニタリングセンサーの研究開発では、JAXAのみならず北見工業大学と光学機器メーカーの株式会社センテナシアと共同で実験を進めています。また、日本雪氷学会のような、これまであまり交流のなかった航空と異なる分野の学会から意見をもらうことがあります。

北見工業大学とは、雪氷モニタリングセンサーの研究開発が開始された当初から共同研究を続けてきたことから、強い連携体制を築いています。

雪氷モニタリングセンサー技術の検証には氷や雪が必要不可欠ですが、降雪は自然現象ですから、冬季の寒冷地であっても常に降雪があるとは限りません。そのため、実験では降雪時に集めた雪や人工雪を利用しています。実験は雪の変化を抑えるため、マイナス20℃という極低温環境を保持できる北見工業大学の実験室で行われています。精密な操作を行うため厚手の手袋は使用できず、体力的にも厳しい実験となっています。この他にも、数値解析によって光が雪の中をどのように散乱するかをシミュレーションできるまでになっていて、いろいろな雪の状態の中からあらかじめ有望な実験条件を絞り込むこともできるようになりました。

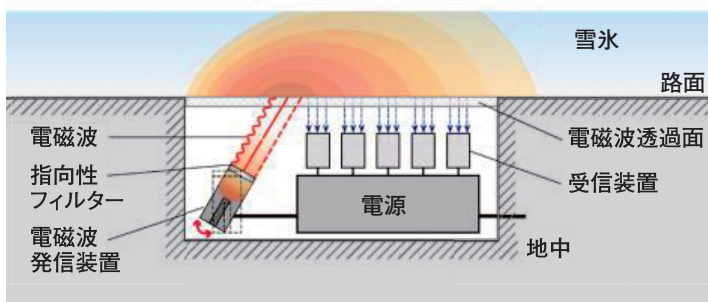
「2015年度は、波長や光量の調節などによる

性能向上を目指した実験を行います。まずは屋内(実験室内)で十分な能力を実証したのち、2016年度からは、実使用環境に近い屋外で、道路に雪氷モニタリングセンサーを埋め込んだ形での実証を進めて行こうと考えています」(神田主任研究員)。屋外のフィールド実験では、自然環境に大きく影響されますから、実験室での実験よりも困難が予想されます。大学やメーカーとの、より深い協力体制が不可欠といえます。

実験環境の問題以外に、技術的な課題もあります。例えば、散乱光の強度と積雪量との関係は、実際に野外で実証実験を行うまではっきりしたことは分かりません。屋外での実証実験を繰り返し、雪氷の厚みと散乱光の相関データを蓄積していかないと、正確な計測は困難だと考えられます。「現状では、雪の厚みが変わることは検知できますが、厚みが何ミリであるというような、正確な数値での計測はまだできていません。大きな技術的ハードルですが、検討を進めて2016年度の実験では解決して行きたいと考えています」(神田主任研究員)。

さらに2017年度頃には、実際の滑走路に雪氷モニタリングセンサーを埋め込んだ実証実験を行い、航空機の着陸時に発生する振動やセンサーのガラス面にタイヤが接触することによる影響などを検証したいと神田主任研究員は考えています。こうした実証実験のデータを関係省庁に提出し、許認可を得て実用化へ至ることになります。

雪氷モニタリングセンサーによって滑走路上の雪がどのくらい積もっているのかを知ることができれば、エアラインはこれまで蓄積した積雪の計測データから摩擦力を導き出し、航空機が



光散乱強度計測センサーのイメージ

どのくらいの距離で離着陸できるのかを判断できるようになります。雪氷モニタリングセンサーを設置した空港にとっては、より安全に効率良く離着陸できるというアピールポイントになると考えられます。

現在、研究開発を進めている雪氷モニタリングセンサーは滑走路面に埋め込むタイプですが、将来は滑走路の他に航空機の機体に付着した雪氷の検知に応用できる可能性があります。その場合、雪氷モニタリングセンサーは、空港の設備や航空機の尾翼などに配置され、そこから機体に光を当てて着氷状態を計測することが考えられています。また、滑走路に限らず広く道路管理に利用することも検討を始めるところです。現在、国立研究開発法人土木研究所(PWRI)との研究を行うための調整を進めています。道路上に積もった雪の状態が把握できれば、適切な除雪や通行止めのタイミングを知ることができます。他にも、鉄道など雪氷によって安全や運行に影響を受ける分野での利用も考えられます。

「できるだけ早急の実証実験を実施して、一日でも早く雪氷モニタリングセンサーを実用化させたいと考えています」(神田主任研究員)。



## 神田 淳

次世代航空イノベーションハブ  
航空安全技術研究チーム  
主任研究員

## 《座談会》

D-SEND  
プロジェクト  
その先へ

2015年7月24日、スウェーデンのエスレンジ実験場において、低ソニックブーム設計概念実証プロジェクト第2フェーズ試験(D-SEND#2)を行い、ソニックブーム低減設計の実証試験に成功しました。約2カ月にわたってスウェーデンでの試験に参加したメンバーが再び集まり、将来の静粛超音速旅客機へと繋がるD-SENDプロジェクト\*を振り返る座談会を開催しました。

## 出席者

- D-SENDプロジェクトチーム ファンクションマネージャ 富田 博史
- 航空技術実証研究開発ユニット 研究領域リーダー 原田 賢哉
- D-SENDプロジェクトチーム 主任研究員 川上 浩樹
- 飛行技術研究ユニット 主任研究員 二宮 哲次郎
- 次世代航空イノベーションハブ 主任研究員 中 右介

2013年7月放球リハーサル時の様子

短期間で成果を目指した  
プロジェクト

—皆さんがD-SENDプロジェクトに参加した時期と担当を教えてください。

**原田** D-SENDプロジェクトの前にスウェーデンで行った、空中でソニックブームを計測する「ABBA(Airborne Blimp Boom Acquisition)試験」の第2回から参加し、D-SENDプロジェクトでは気象と気球運用を担当しました。日本での準備段階では、過去の気象データを分析して試験期間やBMS(ブーム計測システム)の位置を設定したりしました。また、気球の運用自体はスウェーデン宇宙公社(SSC)が担当したのですが、JAXA側の担当としてSSCとの調整を行いました。

**中** 私は2009年に行ったABBA試験の第1回目から、ずっとBMSを担当しています。2011年に行った第1フェーズ試験(D-SEND#1)と、その後の第3回ABBA試験までは、技術的な部分を中心にサポートしていました。第2フェーズ試験(D-SEND#2)からは、BMS班長としてシステムの改修・改善やメーカーとの調整、機器の準備、計測手順の決定などBMS関連はすべて、プロジェクトチームやメーカーなど皆さんの協力を得ながら進めてきました。また、取得したデータの整理と解析も担当しています。

**川上** 原田さんと同じく第2回のABBA試験から参加し、試験計画と安全を担当していました。スウェーデンで行った試験では、スケジュール管理やSSCとの調整を行う試験管理班とソニックブームの計測を行うBMS班を兼任しました。

**富田** 私もプロジェクトの開始当初から参加し、機体を担当していました。機体の仕様策定やメーカーとの対応です。機体に関連する作業ということで、地上で機体をモニターする管制システムも、メーカーと私とで作りました。試験では、飛行安全といって試験中に機体の

状況を監視し、もしも異常な飛び方をしたらその場で強制的に落下させる仕事も担当しました。飛行安全に関しては、SSC側との対応も行いました。

**二宮** 私もプロジェクトの最初から参加してまして、機体班の中のGNCを担当しています。GNCというのは、航法誘導制御(Guidance, Navigation and Control)と言って、自動的に飛ぶために必要な情報を計算するアルゴリズムです。いわば、パイロットの役割を果たすプログラムですね。試験では管制担当として、機体の位置を示す管制モニターシステムの前で、気球から機体を分離するタイミングの判断を行いました。

—D-SEND以前の試験も含めて、プロジェクトのこれまでを簡単に教えてください。

**富田** JAXAでは、長年ソニックブームを抑えた静かな超音速機、静粛超音速機の研究が続けられていました。D-SENDプロジェクトの前には、ロケットで打ち上げて超音速飛行を行った、「NEXST-1(小型超音速実験機)」の飛行実験の後継となる、エンジン付きの超音速実験が計画されていたのですが、エンジン付

## 原田賢哉

航空技術実証研究開発ユニット  
研究領域リーダー

※1 D-SEND=Drop test for Simplified Evaluation of Non-symmetrically Distributed sonic boom(「低ソニックブーム設計概念実証」の略)



## 富田博史

D-SENDプロジェクトチーム  
ファンクションマネージャ



きでは実験も大規模になるため、そうそう簡単には実験できません。なるべく早く成果を出したいということから、気球から機体を落下させて超音速の試験を行うというアイデアの検討が少人数のチームで始まりました。それが2008年で、プロジェクトになったのが2010年11月でした。本当は、あと2年早く終わる予定でしたから、かなりスケジュールの短い、集中して行われたプロジェクトになります。

### 3年間、夏の2カ月を実験場で過ごす

——スウェーデンでは試験開始までどのように過ごされたのですか。

**川上** 私はD-SENDプロジェクト専任です。スウェーデンの実験場に行ってもプロジェクトの仕事だけに集中できましたが、他の部署と兼任している試験隊メンバーは、日本から仕事を持ってきてこなしていました。

**二宮** スウェーデンでもやることはいっぱいあって、例えば風の強い時にはどうするか、分離可能領域に入らなかったらどうするかとか、様々なケースを考えて検討していましたね。

**富田** 飛行中の管制について、想定したさまざまなケースでの対応を訓練したりもしました。

**二宮** なるべくシンプルなルールに落とし込んで、天候の変化にもとっさに反応できるように結構訓練しました。

**中** 今回の試験期間開始は2015年6月末からでしたが、私はその1カ月前から現地入りして、いくつかの候補地からBMSサイトをどこに設置するかという調査から始めました。計測機器もかなりの量がありましたから、現地に送った荷物を全部あけて動作確認し、事前にいくつかの機器をBMSサイトに配置するなどの作業を行って、6月末までに準備を整えました。

BMS班は試験隊の中でも大所帯で、

D-SEND#2では3カ所のBMSサイトそれぞれに2名ずつの操作員、管制室に2名、合計8名の体制でした。D-SENDプロジェクトに関わってきたメンバーばかりではなく今回初めて参加した人もいたので、操作の訓練を行いました。第2回のD-SEND#2までは、各サイトに1名ずつの体制だったのですが、今回の試験では試験機会を増やすために準備時間を圧縮し、作業も並行して進めるために、2名体制になりました。

**原田** 試験実施可否を判断するために、毎日、気象予報データを基に気球の飛行経路などを確認していました。自然現象である気象はどうかできるものではないのですが、2014年の試験で気象条件が揃わず延期になった時には実施の時期や期間の設定を誤ったかと、自分に責任があるかのように感じていました。その後の検証でも間違っていたことはなかったのですが。

気象条件には、上空の風や地上の風、雨、それからBMSサイトへはヘリコプターで移動するので、視界も良くなければならない。そのようなたくさんの条件があって、それぞれ単独では条件に合う日もありましたが、なかなか良い条件が重ならなかったで、日々悔しい思いをしていました。ですから、気象条件が揃って試験実施が可能であることを示すオールグリーンの状態になった時には、嬉しかったですね。嬉しかったし、これだけ良い条件が何回も来ることはないということは分っていたので、何とかこの機会を逃さずに試験したいという気持ちでした。

——試験が開始されてからはどのような作業をしていましたか。

**二宮** 機体のコントロールは、事前に組んだプログラムで全部行いますから、当日は分離する場所を判断するだけでした。分離を判断

するためには、高度やBMSとの位置関係など細かい項目がありましたが、ソニックブームのデータをより多く取るには、BMSサイトに対してなるべく遠くから飛んだ方がいいことは分っていましたから、できるだけ飛行距離が長く、かつ3カ所のBMSサイトをうまく通過するような位置に到達するまで、分離はぎりぎりまで粘っていました。たぶん、周囲の人は、「もう分離可能領域に入っているのになぜ気球から機体を分離しないの」とやきもきしていたと思いますが、そのプレッシャーを私も感じながら、我慢してもっとも良いデータが取れるようなタイミングを狙って分離させました。

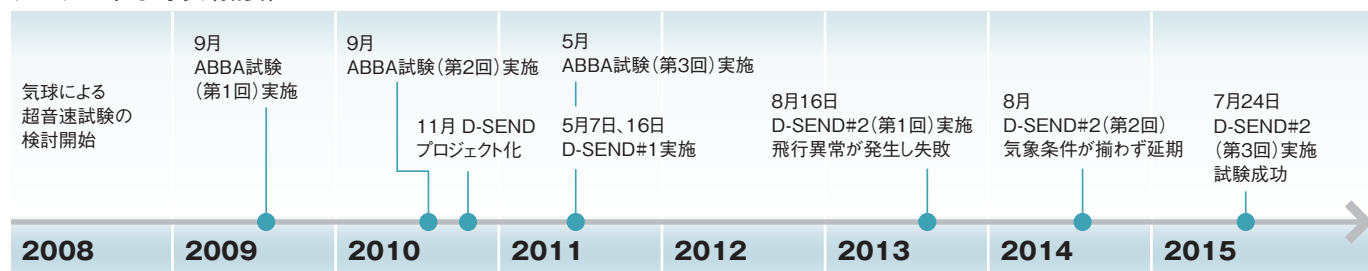
**原田** 放球までのカウントダウンに入ってから実際に放球するまでの間、気象条件への適合を確認して先に進むかどうかの判断を4回行います。そのために気象予報データや観測データを分析し、SSC側の担当者と議論しました。放球後は気球を運用する管制室に張り付いて、SSCによる気球の運用を支援していました。

——試験が成功した現在の気持ちを教えてください。

**富田** 飛行試験の目標を達成できたという意味では、すっきりした感じです。

**二宮** 試験が失敗した2013年の時にはとても辛い思いをしましたが、今回は自分が設計したものが設計通りに飛行してくれたので、ほっ

### プロジェクト年表(概要)





## 二宮哲次郎

飛行技術研究ユニット 主任研究員

としました。しかし個人的には、飛行試験は飛ばしたことが成果ではなく、飛ばした結果からいかに有用なデータが得られるかが課題だと捉えています。プロジェクトとしては2015年度で一旦終了しますが、D-SENDプロジェクトの最大の成果である低ソニックブームの解析結果を、今後の研究や実機の開発に役立てることが大事だと思っています。

**原田** 昨年試験できなかったのは気象条件を満たす日が来なかったから。気象担当として、できる限りの対策をとって臨んだ訳ですが、それでも天気のことなので確実とは言い切れず不安でした。ですので、まず気象条件が整って試験ができたことでほっとしました。また、気球が目標としていた空域に入ったことで、安堵しました。これも最後まで不安でしたので。これで自分の任務は全うできたわけですが、嬉しさはありませんでした。飛行やブーム計測が上手いかなければ意味がないので、心から喜べたのは試験成功の発表を聞いたときです。

## プロジェクトを振り返って

——プロジェクトで苦労されたのはどのようなことですか。

**富田** 短期間のプロジェクトということで集中してやっていたのですが、D-SEND#2の1回目の飛行試験が失敗した時に、それまでは機体の開発から飛ばすまで脇目も振らず突っ走ってしまい、途中での見直し・再確認が足りなかつ

たのかなと思いました。失敗の後には、見直しの機会をもらったと考えて、途中途中でチェックを受けて確認を行いながら進めました。機体のハードウェアは変えていませんが、制御用ソフトウェアや管制システム、運用方法などを見直しました。その1年間は、大変でした。もっとも大変だったのは、GNCチームだと思います。

**川上** 誘導制御の改修は大変だったと思います。試験計画担当としては、短いスケジュールの中で、SSC側と次の試験計画をどのようにするか検討したり、JAXA内でコンセンサスを得るための作業をしたりと、試験以外の部分で厳しかった思いがあります。SSC側もJAXAの仕事だけをやっているわけではなく、ロケット実験など他機関の試験も並行して行っていますから、スケジュールなどのすり合わせは大変でしたが、SSCはいろいろと親身になってなるべく要求に応えようとしてくれました。一例を挙げると、JAXAからゴンドラの重量を重くしたいと頼んだ件があります。試験機の機体には、最適な分離高度が設定されていて、あまり高い位置で切り離すと成功率が下がってしまいます。気球の到達高度は吊り下げているものの総重量で決まるため、高度を最適に保つようにゴンドラを1t重くしてほしいとSSCにお願いしたのです。しかし、重くなるとゴンドラを含めた気球システムの地上でのハンドリングが難しくなりますし、試験機を分離した後ゴンドラを地上に戻すパラシュートも大きくしなければなりません。少し無茶な要求でしたが、SSCは要求を入れてゴンドラを重くしてくれました。

**中** BMSサイト周辺に大量の蚊がいて、最初の頃は作業のモチベーションが下がったり、集中力が切れたりして大変でした。日本製の虫除けは効果がなくて、現地調達した虫除けを体中に塗りたくっていましたが、結構臭いがきつくて、頭から蚊帳のような装備を着て作業していた人もいました。

——BMS計測も難しい挑戦でした。

**中** D-SENDプロジェクトは、ソニックブームを低減させる機体の検証が目的ですが、ソニックブームの計測技術を確立させることも一つの大きな目標でした。特に係留気球を使い、空中でソニックブームを計測するという方法は前例がありませんでしたので、D-SENDプロジェ



2011年5月  
D-SEND#1を  
行った供試体



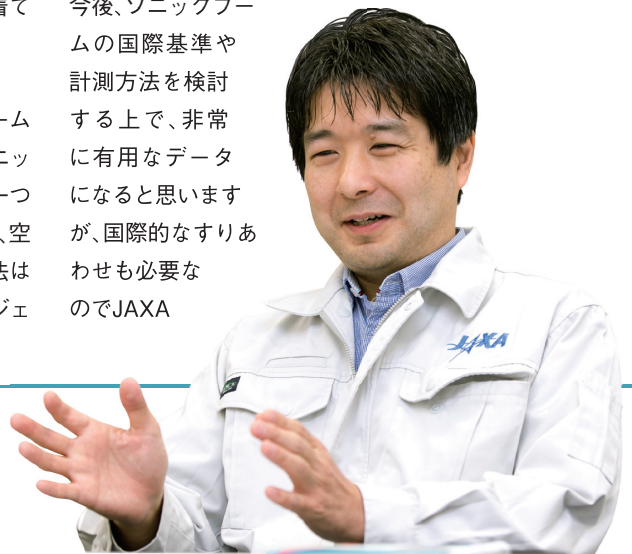
2011年5月  
D-SEND#1  
放球時の様子

クトの前に確認しておく必要があるだろうということ、実施したのがABBA試験です。

ソニックブームは地上でも計測できますが、地上に置いたマイクロホンで計測した音のデータは、地上付近の対流や放熱など大気乱流の影響で変形してしまい、細かい波形の変化が分かり難くなり、意図した波形のソニックブームが発生しているのかどうかの検証ができなくなります。地表近くの大気の乱れや地表での音の反射といった影響を避けるためには、上空で計測する必要がある、という考えがBMSのコンセプトです。テザー<sup>※2</sup>にいくつかの計測機器を付けた係留気球を飛ばすことで、いくつかの高度の計測データを取得できることが、BMSの特長と言えます。

**川上** ABBA試験では、JAXAで組んだ計測器を気球で空に上げ、上空を通過する超音速機のソニックブームを測りました。ABBA試験で空中でのソニックブーム計測の実効性を判断して、D-SEND#1からはBMS用にメーカーで作成してもらった計測器を使いました。少しずつ改良を加えて、今回の試験では完璧に成功しました。

D-SENDプロジェクトで得られたデータは、今後、ソニックブームの国際基準や計測方法を検討する上で、非常に有用なデータになると思います。国際的なすりあわせも必要なのでJAXA



## 川上浩樹

D-SENDプロジェクトチーム  
主任研究員

※2 繋ぎ留めるための紐



## 中 右介

次世代航空イノベーションハブ  
主任研究員



順は何度も訓練していたので、飛行を中止して試験機を投棄するスイッチを押すことは自然にできたのですが、一方で「こうなってしまったか」と思っている自分ももう一人いるような変な感じでした。

**川上** D-SENDプロジェクトは、ロケットや衛星のプロジェクトと比べると小規模なイメージですが、実際に現地に行ったメンバーだけでも総勢40名ほどもいる、航空技術部門としては大きいプロジェクトです。SSCの方も

も含め大勢の人間とコミュニケーションを図りながら、一つの成果を出せたことは、良い経験だったと思います。

**二宮** 私もコミュニケーションの大切さを経験できたことが、すごく大きかったと思います。機体の制御は、機体設計やBMS計測などから様々な仕様や条件を渡されて、淡々と設計していくのですが、実際には関係する担当者と密接に関わる必要があって、1回目の試験では、コミュニケーションがうまく行っていなかったことも失敗の一因だったと思います。

**富田** 試験のためにいろいろな分野の人が集まってきているのですが、分野が違うと使っている用語が違っていたり、同じ用語でも少し意味がちがっていたり、極端に言えば言葉が通じない部分もありました。

**二宮** なまじ理解した気になって、後から本当は通じていなかったと知ることが、一番良くなかったですね。

——D-SENDプロジェクトの次にはどんな計画がありますか。

**川上** 試験としては終了して、今は成果をまとめる段階です。取得したデータを使って解析されたデータは、次世代航空イノベーションハブの研究テーマとして有効に活用できると思っています。私自身は、このプロジェクトで得た経験を他のプロジェクトで生かしていきたいと思っています。

**富田** 私は別の実験用航空機で行う実証の担当も兼任してまして、すでに並行して、いろいろな実験の手順を考えた

り実施したりしています。

**原田** 私も元の業務に戻っています。現在は、無人機の研究を担当しており、これからも飛行試験に関わると思います。その時、D-SENDプロジェクトで得た沢山の知識や経験を活かせるように、今回の成果をしっかりとまとめておきたいと思っています。

**二宮** 2015年度中は、D-SENDの解析を続ける予定ですが、設計から関わっているGNCに関しては、2016年度末までに成果のとりまとめを行います。ただ、そればかりをやっている訳にも行かないので、今、声を掛けられているいくつかのプロジェクトのいずれかに参加することになると思います。

**中** 試験後は、基本的にデータの整理・解析を行っています。現地では、どのくらいデータが取れているか、どんな波形があるかといったことをざっと整理をして、帰国後に、それらのデータをきちんと解析しているところです。ソニックブームのデータは、1本のマイクを一つと数えると200弱のデータが取れたことは確認していますが、データはソニックブームだけでなく、GPSデータや気象センサーのデータなども取れているので、いくつか段階を踏んで解析しているところです。数値解析技術研究ユニットにも解析をお願いしています。

ソニックブームの低減効果が検証できるデータの解析は、D-SENDプロジェクトが終了する2015年度末までに終わらせる予定です。すでにICAO(国際民間航空機関)のSSTGという超音速航空機を検討するグループの会合では、解析結果を報告しています。来年度以降は、試験で得られたデータから、研究的な要素を含めて解析していくことになります。

の使ったBMSがそのまま採用されることはないと思います。より実用的な計測方法へと進化させるべく、現在検討を行っています。

——プロジェクトを通じて印象的だったことを教えてください。

**原田** 長く関わったので、印象に残っていることはたくさんありますが、一つ挙げるなら、ABBA試験で係留気球が割れたことでしょうか。破裂の原因を調査したり、対策を講じたりした経験が、D-SENDプロジェクトに深く関与することになったきっかけみたいなものですから。

**中** D-SEND#1は春、4月から5月にかけて実施したのですが、人生で初めてヘリコプターに乗って連れて行かれたところが一面真っ白な何も無い雪原で、降りたとたん腰まで埋まって身動きできなくなったことを、非常に鮮明に覚えています。もう一つ、今回の試験でBMSが計測したデータにきちんとソニックブーム波形が見えた瞬間も、非常に印象深く残っています。

**富田** 私は、やはりD-SEND#2第1回目の試験で、管制画面で試験機の姿勢を示す表示がクルッと回って、試験が失敗したあの瞬間が一番印象に残っています。何が起きたかはすぐ分かりました。トラブルが起きた場合の手



試験当日のBMSサイト

# 子供に夢を 与えるような、 革新的技術の 研究開発を

富士重工業株式会社  
航空宇宙カンパニー  
航空機設計部長  
若井洋氏  
航空機設計部  
滞空型無人機設計 係長  
奈良橋俊之氏



JAXAとの共同研究を行った当時の模型を手にする若井航空機設計部長(右)と奈良橋係長

富士重工業株式会社は、自動車メーカーとして有名ですが、そのルーツが中島飛行機であることから分かるように、航空機メーカーとしても歴史と実績を持つ企業です。D-SENDプロジェクトの第2フェーズ試験(D-SEND#2)の機体設計も担当された富士重工業に、プロジェクトのことやJAXAに期待することなどを伺いました。

——JAXA航空技術部門との関わりはいつ頃からでしょう？

**若井** 古くは昭和30年代、40年代に遡ります。昭和41年(1966年)には、当社の「FUJII/FA-200 エアロスバル」改型が実験用航空機として、当時の航空宇宙技術研究所に導入されていますし、昭和46年(1971年)に初飛行した、日本初のVTOL飛行を目指した研究機「フライングテストベッド(FTB)」や実験用航空機「クイーンエア」(ビーチクラフトB65)の高揚力装置改修も当社が手がけています。また、当社の航空機開発にJAXAの持つ風洞等の設備を使わせていただいています。

D-SENDプロジェクトに直接繋がる研究としては、小型自動着陸実験(ALFLEX)、高速飛行実証(HSFD)、「NEXST-1(小型超音速実験機)」の飛行実験にも参加しています。そ

の後計画された静粛超音速実験機では、プライムメーカーに選定されていましたが、実機での実証実験前に計画が変更となり、それがD-SENDプロジェクトへと繋がりました。D-SENDプロジェクト全体でみると、JAXAが行った第1フェーズ試験(D-SEND#1)を除いて、当社は最初から参加していたこととなります。

D-SEND#2では、JAXAの設計を基に機体システムとして仕上げる部分を当社が担当しています。これまで以上に密な連携が必要なプロジェクトでした。

——スウェーデンの実験場にも行かれたそうですね。

**奈良橋** 当社からは、19名ほどが試験に参加しました。ほぼ同じメンバーが、3年連続で長期間海外に出るということは、家族にも負担をかけたと思いますが、皆、D-SENDプロジェクトの途中では終われないという意識がありました。

**若井** 自分が設計に携わった機体が飛ぶところを見たい、現場に居たいという気持ちを皆が持っているのも、モチベーションは高かったと思います。

**奈良橋** 今回の飛行試験が行われた際には、私は機体と管制システムの担当を兼任していたので、夕方から現場で機体の準備作業を開始して、放球直前に管制室に移動してからは

ずっと気球の飛行をモニターしていました。機体は大丈夫だろうとは思っていましたが、早く分離する場所まで飛んでほしいと待ち遠しい気持ちはありました。

**若井** 試験機がうまく飛んだ時点でほっとしていましたが、やはりソニックブームが低減されたことを確認できる計測データを取得するという本来の目的が達成されるまでは、心の中は穏やかではありませんでした。試験直後のデータでは、本当にソニックブームが低減したのか不明でした。しかし、その後解析が進んで目論み通りソニックブームが下がったと聞いて、ようやく肩の荷が下りました。

**奈良橋** データがうまく取れたと聞くまでは、ドキドキしていましたね。

——D-SENDプロジェクトに参加して苦労したことは何ですか？

**若井** 機体は高度およそ30km、ほとんど宇宙のような領域までゆっくりと上って行くので冷却が困難になります。機体内部は電子装備品やアクチュエーターなどによって熱くなるので、どうやって熱を出さないようにするか、また発生した熱をどのように逃がすかというヒートマネジメントが非常に難しい点でした。また、試験機は空飛ぶ風洞模型ともいえるほど精密です。普通の航空機なら板金で作るところを削り出して作るなど、表面精度や公差など段違いの厳しさと精密加工した部

品を組み上げるために非常に苦労しました。  
**奈良橋** 翼が複雑な形状ながら、しかも非常に薄い。厚さ1ミリほどしかない後端まで丁寧に削っていかねばなりません。普通の機械加工では精度が出ないようなところをうまく作ることができたのは、当社の技術だと思っています。

超音速を出すため胴体が細長いので、機材を積める場所が限られていました。現場の作業では、下から組み付けなければならない部分などがあって、アクセス性などを含めて考えると結構大変でした。

**若井** 当社は無人機が得意です。非常に小さい機体の中にも、実際に飛行するための装備品を集約して入れ込んで行く、あるいは小さくて制約が大きい機体システムの中に装備品をインテグレートしていくというところにノウハウもっています。

——航空関係では、今後どのような技術を手掛ける予定ですか。

**若井** 我々は機体メーカーとして、大きく三つの課題に取り組もうとしています。一つは、燃費を含めた航空機本来の性能を向上させる技術。空力特性の良い機体、軽くするための構造、さらに軽くするための材料の開発などに力を入れていきます。二つ目は、システムインテグレーション。例えば、地上の管制システムや機体に搭載されたシステム、衛星とのシステムなどが相互連携する無人機のように複雑なシステムを、バランス良く設計していく技術にも力を入れていきたいですね。三つ目は、グローバルな競争環境の中で生き残っていくために必要な、低コストで早く作る技術です。材料の開発から部品の確保、組み立てまで生産性を高める製造技術は、既存の製品を組み合わせれば良いというのではなく、自社開発しなければならない部分も多いのです。現場での生産性を高める小さなツールも自社で開発するということは、富士重工の持ち味というかユニークなところかも知れません。

——JAXAとの共同研究の予定はありますか。

**若井** 今、航空イノベーションハブで相談させていただいているテーマとし

て機体構造の健全性をリアルタイムでモニタリングする技術があります。これまで部材を厚くするなどの方法で担保してきた安全性を、実際のデータに基づきながら安全性を高めつつ部材を軽量化していくことに繋がると考えています。JAXAとの共同研究で、こうした安全技術から、最終的には軽量化、燃費改善まで、世界トップレベルの技術に持って行ければいいなと思っています。そのためには産学官のネットワークを作り、力を集結させていくことが大事なので、その意味でもJAXAの航空イノベーションハブには期待しています。

——これからのJAXAに期待することは何ですか。

**奈良橋** スウェーデンでの試験が終わって帰ってきてから学生と話す機会があったのですが、D-SENDというプロジェクトの認知度があまりありませんでした。折角、先端的なことをしているのもっとアピールしていただけたらいいなと思います。小さい子供たちに夢を与えるD-SENDのようなJAXAのプロジェクトを知ってもらって、将来、航空をやりたいと思ってくれる人が増えれば、われわれの人

材確保にも繋がります。

**若井** 実証プログラムを共に行ってきた成果の一つに、人材が育ったということがあります。やはり、研究開発して飛ばして、そのデータを解析するという活動を経験しないと得られない技術や育たない人材があります。例えば、実験用航空機「飛翔」を改造して飛ばしたり、あるいは新しい実験機を作って飛ばしたり、小さい規模でもいいので飛行実証プログラムを続けてほしいと思います。

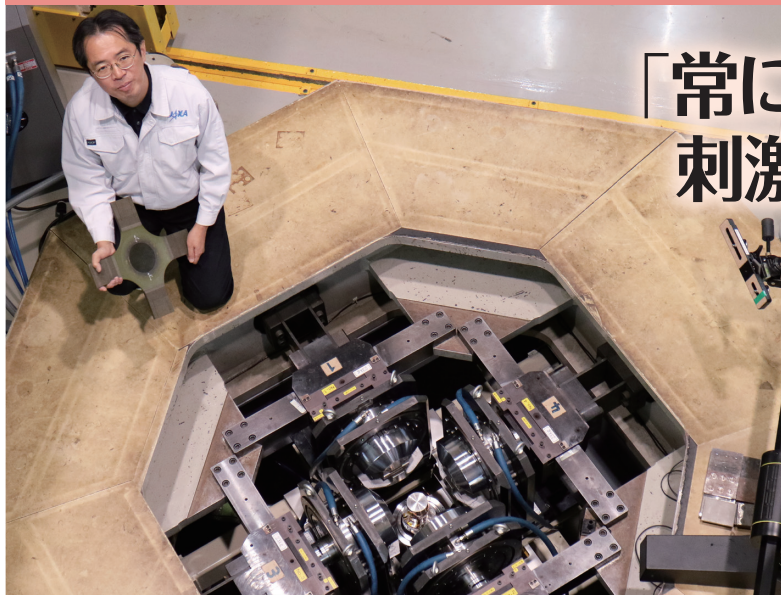
また、グローバルな競争環境にある企業としては、短期で成果のある技術開発が優先されますが、他方、革新的な技術、われわれで言うところの“とんがり技術”に対しては、なかなか投資しにくい状況はあります。メーカーのできない基礎研究も含めた革新的な技術の研究開発は、やはりJAXAのような研究機関に期待したいところです。とんがり技術をやっておかないと、本当のグローバルな競争力を保てない。出口指向であるとか短い期間で成果を出すような研究開発も大切ですが、JAXAには深いとんがり技術にもバランス良く取り組んでいただきたいですね。



(上) 試験本番に向け、機体の試験準備を進める  
(右) スウェーデンのエスレンジ実験場に現地入りした富士重工メンバー  
(右下) 管制訓練の様子



## 「常に新しい挑戦がある、刺激的な実験装置です」



二軸疲労試験機の上で、十字型の構造試験用試験片を手に。

構造・複合材技術研究ユニット  
主任研究員  
**熊澤 寿**

1971年生まれ。1994年3月東京大学工学部航空宇宙工学科卒業。2000年3月東京大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、航空宇宙技術研究所(現JAXA)入所。2006年4月より2007年3月まで米国テキサスA&M大学客員研究員。2015年から現職。

今回は、構造・複合材技術研究ユニットの熊澤寿主任研究員に、JAXAの二軸疲労試験機の特長や仕事のやりがいなどについて聞きました。

### ——二軸疲労試験機を使った実験の利点は何ですか。

一般的な構造試験や材料試験では、一方向だけの単軸試験が行われますが、二方向から力をかけた場合の二軸疲労試験機の実験は、これまでに蓄積されたデータが少ない分、非常に独特で面白いデータが出てきます。特に、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)のように繊維の方向で特性が変わるような材料などの新しい材料では、単軸の試験機からは分からない、意外な結果が出てくることもあります。新しい材料を実験して得られるデータは本当に面白く、そのデータが論文等に引用されることはやりがいの一つです。(二軸疲労試験機については、本誌15ページを参照)

### ——JAXAの二軸疲労試験機には、どのような特長がありますか。

JAXAの持つ二軸疲労試験機では、単なる引っ張りや圧縮だけでなく、加熱や冷却した環境での試験ができます。加熱の場合は約2,000℃以上、冷却は20K(マイナス250℃)程度まで加熱・冷却が可能です。こうした機能を活用して材料の極限を見極めるなど、さまざまな試験目的で利用できる点が特長といえます。例えば、極低温になるロケットなどに使われる液体水素タンクに使用する材料の特性を調べる実験なども行えます。幅広い試験環境に対応する技術は、世界と見比べて進んでいます。

### ——冷却装置は完成して間もない装置ですね。

完成は、2014年度末です。冷却するために試

験片の周囲を真空にしなければならないのですが、試験のしやすさも考慮していくと、単軸の試験機のようにまるごと真空環境にはできないので、十字型の試験片だけを真空に入れるにはどうしたらいいか、最後まで悩みました。また、極低温環境槽と一緒に開発したメーカーは、冷凍機などでは実績があるのですが、二軸疲労試験機のような負荷試験とはまったく縁のない、いわば異業種の会社でした。こうしたメーカーとの橋渡し作業も行わなければならない、お互いの認識のすり合わせなどにも苦労しましたが、その分、私にとっても勉強になりました。

### ——現在の業務について教えてください。

現在の業務は、大きく分けて研究と設備管理に分けられますが、設備管理においては、主に、二軸疲労試験機やその付属装置のメンテナンスや校正作業など、機器が正しく動くように管理することです。実験が行われる場合には、実験の目的に応じて試験片の形状決定や発注、ひずみゲージを使った計測の準備なども行います。また、誰でも設備を運用できるように、運用マニュアルの作成も進めています。研究に関しては、試験片製作や測定装置の設定などの試験準備、試験による実験データの取得、試験データを解析、学会での口頭発表や論文作成などを行っています。

### ——これまでで印象に残っている実験はありますか。

学生時代に博士論文を作成する過程で、燃料タンクに二軸引っ張り荷重をかけた際、どのくらい漏洩があるのかを知るには単軸疲労

試験機だけでは不十分だったので、JAXA(当時NAL)の二軸疲労試験機を使って実験しました。自分で計算して事前に解析結果を準備してから実験に取りかかったのですが、計算通りに漏洩するだろうかという気持ちもあり、解析結果と計測結果が良く一致していた時は驚きがありました。この実験をきっかけに、二軸の試験機は常に新しい挑戦を求められる、刺激的な実験装置だと感じました。

あとは、やはり冷却装置です。前例がないこともあり、十字型の試験片を真空状態にするアイデアが出る最後の最後まで苦労しました。考えた仕組みがうまく行ったときは、嬉しくてテンションが上がりましたね。

### ——航空機や宇宙機以外分野では、どのような分野で活用できるでしょうか。

プレス成形での塑性点計測は、自動車など他の工業製品でも役立つデータを得ることができると思います。自動車分野では、燃料電池車などに使用する水素タンクの設計にも役立つと期待しています。

### ——今後の目標や抱負を教えてください。

二軸疲労試験機による複合材の特性データは、まだまだ十分に揃っていません。3Dプリンターで製造した部品のような新しい材料の特性を調べる際にも、二軸疲労試験機の活躍する場が増えるはずで。また、超音速旅客機や再使用型ロケットなどの開発プロジェクトが進められたときに、実環境を模擬した試験に二軸疲労試験機を活用し、プロジェクトの効率化に貢献できたらと思っています。

第3回の今回は、  
材料の特性などを計測するための  
「二軸疲労試験機」を紹介します。

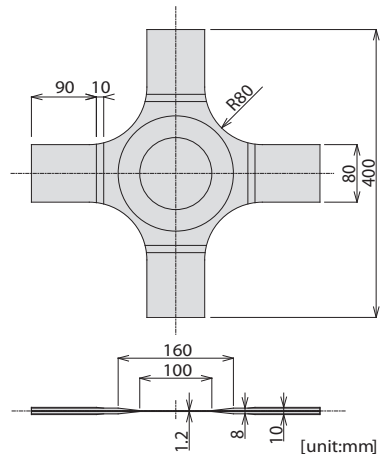


図2 試験片形状の例。400mm角の試験片が標準的な試験片の大きさ。標準的な試験片の測定エリアの厚みは、1mmから2mm程度。

### ■二軸疲労試験機の利用と仕組み

材料の疲労や強度などの特性を調べる際には、単軸の疲労試験機を用いて試験する方法が一般的です。単軸疲労試験機では、短冊状の試験片の両端を固定し材料に対して一方方向に荷重を加えます。しかし、実機などで使用される部材にかかる荷重は、一方方向のみとは限らず、二方向や三方向から荷重が加わる場合もあります。また、異方性の強い複合材料では、荷重のかかる方向によって特性が異なります。複合材料の特性を知るためには、単軸疲労試験で得られるデータや情報だけでは十分とはいえません。

一つの方向から荷重を加える単軸疲労試験機に対し、二軸疲労試験機は、直交する二方向から材料に対して荷重を加えることができる試験装置です(図1参照)。二軸疲労試験機に使用する試験片は、直交する二方向、計四力所にアクチュエーターを固定する必要があります(図2参照)。

単軸疲労試験では一方方向に応力が加わった場合の試験しかできませんが、二軸疲労試験では二方向の応力に対する特性を評価できることが、二軸疲労試験の利点となります。十字型の試験片は、試験の目的に合わせて設計を行わなければならない、試験片の設計に当たっては、有限要素法<sup>※</sup>などの技術が必要となる点が二軸疲労試験の難しいところです。(図3参照)

二軸疲労試験機では、試験片を二対のアクチュエーターが直交する中に配置し、試験片の端を油圧グリップで固定します。アクチュエーターによって試験片に引っ張り荷重、あるいは圧縮荷重を加え、そのひずみを計測することで材料の強度特性や疲労特性の評価を行います。それぞれのアクチュエーターは独立した

制御が可能で、二方向への引っ張りや二方向からの圧縮、片方は圧縮で片方は引っ張りといったような荷重を設定可能で、引っ張りや圧縮を交互に繰り返すことも可能です(表1参照)。

### ■加熱・冷却による特性変化を評価

航空機や宇宙機では、エンジン内部のように高温環境、あるいは液体水素タンクのように極低温環境で使用される材料もあります。JAXAが持つ二軸疲労試験機では、金属疲労や塑性点の計測など、さまざまな目的の試験に対応していますが、中でも試験片を加熱、あるいは冷却することで、実際に近い環境下で計測できるのが最大の特長です。

加熱には、レーザー加熱装置が使われます。レーザー発振器から照射されたレーザーは、角度を変える2枚の鏡によって試験片の矩形領域を、2,000℃以上まで加熱できます。

一方、冷却に関しては、これまで低温環境での二軸疲労試験のニーズはあったものの、十字型試験片の極低温試験は技術的にも難しいため、世界的にも前例がありませんでした。十字型試験片の冷却を行うため、真空断熱の実現など技術的に難しい点がありましたが、

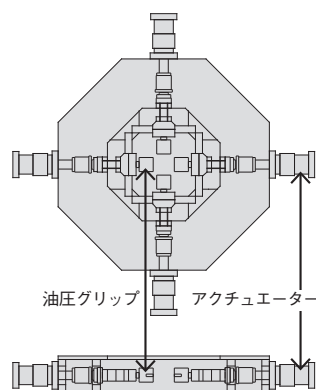


図1 二軸疲労試験機の構造

表1 二軸疲労試験機的主要諸元

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| 最大荷重    | ±245kN                      |
| 最大変位    | ±50mm                       |
| 繰返し速度範囲 | 0 ~ 10Hz                    |
| 制御方式    | 荷重変位演算フィードバック方式による電気・油圧サーボ型 |
| 加振波形    | 正弦波、三角波、矩形波、外部入力任意波形        |
| 完成年度    | 1987年度                      |

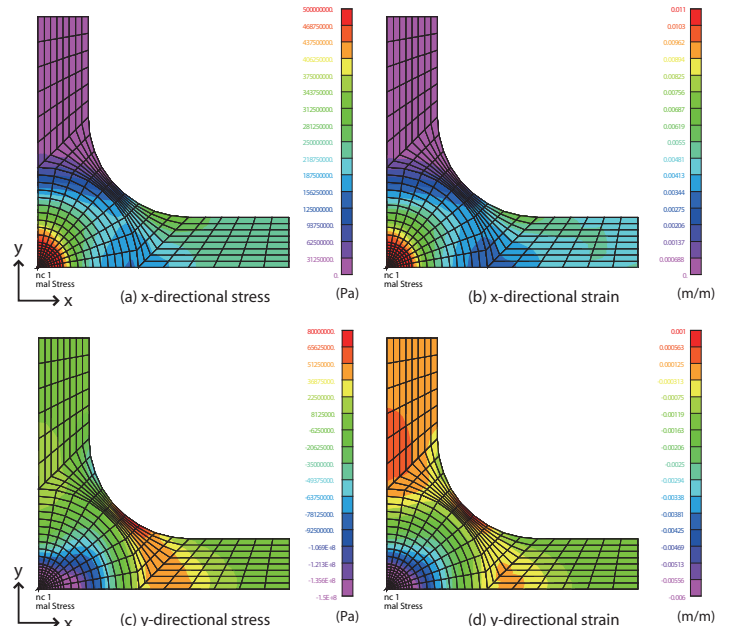


図3 単軸負荷での十字型試験片の応力(左)とひずみの分布(右)。一方方向からの荷重によって、その方向以外にも応力やひずみが生じていることが分かる。

※ 対象の領域を小さい要素に分割し、それぞれの要素を解析することで、領域全体の近似値を求める解析方法。

# FLIGHT PATH Topics

## 能登空港で実験用航空機「飛翔」の騒音源計測試験を実施

2015年9月28日から10月3日まで、能登空港においてFQUROHプロジェクト\*による「飛翔」の騒音源計測試験を実施しました。今回の試験は、今後実施予定の飛行実証試験に備え、騒音源計測の再現性評価や飛行データ計測の精度向上、耐候性を改良した計測システムの評価などを目的として実施しました。

大型低気圧通過の影響により、騒音計測は前半3日間のみ実施しましたが、必要とする60回以上の騒音源計測を行うことができました。さらに、荒天時における試験の作業手順や制限事項の確認も合わせて行うことができました。

FQUROHプロジェクトでは、主翼のフラップや降着装置から発生する空力騒音(風切音)を低減することを目的とした低騒音化技術の研究開発を行っています。今回の計測結果も踏まえ、2016年度には機体騒音低減技術を適用して改修した「飛翔」を使って、騒音低減効果を確実に評価する試験方法を確立するための予備実証試験を行い、2017年度には低騒音化技術の本格的な技術実証試験を行う計画で進めています。

\* 機体騒音低減技術の飛行実証プロジェクト。FLIGHT PATH No.1参照。



能登空港にて計測点(矢印部分)上空を低空飛行する「飛翔」。

## 「飛翔」、MRJ初飛行に協力

2015年11月11日、三菱航空機株式会社および三菱重工業株式会社は、名古屋飛行場にてMRJ(Mitsubishi Regional Jet)飛行試験機初号機の初飛行試験を実施しました。「飛翔」は事前に飛行して、MRJの飛行試験を行う空域や飛行ルートの方や雲などの気象観測を行い、この初飛行に協力しました。

JAXAでは、YS-11以来およそ50年ぶりとなる国産旅客機として注目を集めるMRJ開発の初期段階から、CFD(流体数値シミュレーション)や風洞実験などで協力や連携\*をしてきました。騒音の低減や乱気流の検知、新しい複合材料による構造技術など、JAXAが進める研究開発を通じて、MRJのみならず、わが国の航空産業の更なる発展に今後も貢献していきます。

\* FLIGHT PATH No.7参照。



名古屋飛行場にて。写真右から、飛行前の実験用航空機「飛翔」とMRJ

## 「FLIGHT PATH」アンケートのお願い



JAXA航空マガジン「FLIGHT PATH」をお読みいただきありがとうございます。今後の広報誌制作の参考とすべく、下記URLにてアンケートを実施しております。この機会に、読者の皆様が日頃お感じになっている「FLIGHT PATH」へのご意見やご要望をお聞かせください。

<http://www.aero.jaxa.jp/publication/magazine/>

【アンケート実施期間】

2015年12月28日(月)15時から

2016年2月29日(月)17時まで



アンケートの回答は、5～10分程度で完了します。また、インターネットからアンケートにお答えいただいた方には、「FLIGHT PATH」編集部がピックアップした、JAXA航空技術部門のおススメ写真(電子データ)をプレゼントいたします。「FLIGHT PATH」をより良い広報誌とするために、ぜひアンケートにご協力ください。よろしくお願いいたします。

\* インターネット接続によって発生する通信費等は、ご利用された方のご負担となります。

JAXA航空マガジン  
FLIGHT PATH No.11  
2015年12月発行

発行:国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門  
発行責任者:JAXA航空技術部門事業推進部長 張替正敏  
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1  
TEL 050-3362-8036 FAX 0422-40-3281  
ホームページ <http://www.aero.jaxa.jp/>

【禁無断複製転載】JAXA航空マガジン「FLIGHT PATH」からの複製もしくは転載を希望される場合は、航空技術部門までご連絡ください。



古紙パルプ配合率80%再生紙を使用

