

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
AUTUMN

No. 10
航空技術部門
www.aero.jaxa.jp



特集

飛行システム技術で
航空機をもっと身近で安全なものに

速報! D-SEND#2飛行試験成功

FLIGHT PATH

2015 AUTUMN No. 10

今号は、航空機を安全に制御したり、パイロットのヒューマンエラーを防止する「飛行システム技術」について紹介します。また、2015年7月に飛行試験に成功した「D-SEND#2」について、速報でお伝えします。

CONTENTS

P. 3-5

速報!

D-SEND#2飛行試験成功

P. 3-5



P. 6-9

特集

飛行システム技術で航空機をもっと身近で安全なものに

P. 6-9



P. 10-11

日本オリジナルの航空機用インフラづくりを

ナビコムアビエーション株式会社 代表取締役社長 玉中宏明氏

技術開発部開発課長 船坂直哉氏

P. 10-11



P. 12

次世代ジェットエンジンに向けた複合材料 CMC(セラミックス基複合材料)とは?

P. 12



P. 13

短期間で成果を得るSafeAvioの産学官連携とは?

P. 13



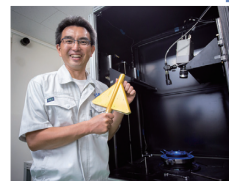
P. 14

リレーインタビュー

第6回「塗るだけで簡単に圧力が分かる技術を開発したい」

次世代航空イノベーションハブ 基盤応用技術研究チーム
実機空力性能技術研究リーダー 主幹研究員 中北和之

P. 14

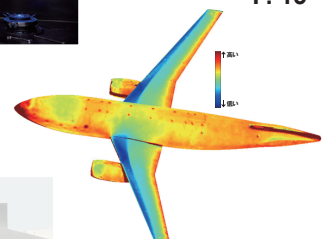


P. 15

ソラの技

「感圧塗料 (PSP) 編」

P. 15



P. 16

[Flight Path Topics]

- ・NASAとJAXAの航空分野トップがバリで会談
- ・「リサイクル炭素繊維リユース技術の開発」が先端材料技術協会の「製品・技術賞」を受賞
- ・JAXAが提案したセラミックス基複合材料(CMC)試験方法がJIS規格に
- ・6.5m×5.5m低速風洞用ピラミッド型六分力天秤の開放点検及び改修を実施

P. 16



表紙写真

JAXA名古屋空港飛行研究拠点の格納庫前で、飛行試験のフライトを直前に控えた実験用航空機「飛翔」。

速報!

D-SEND#2 飛行試験成功

2015年7月24日
スウェーデン・
エスレンジ実験場にて
飛行試験実施



スウェーデン・エスレンジ実験場において、2015年7月24日に「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)」の飛行試験が実施されました。超音速試験機は正常に飛行し、複数のマイクロホンでソニックブームが計測されていることが確認されました。現地で試験に参加していたD-SENDプロジェクトチーム本田雅久サブマネージャに試験の状況や現地の様子について話を聞きました。

昨年の教訓を活かし 万全の体制で試験に臨む

——いろいろとご苦労があったと思いますが、試験を終えた今の感想はいかがですか。

それはもう、ほっとしています。2010年に立ち上がったD-SENDプロジェクトで、検討期間も含めれば足かけ6年かかっています。本当に長かったですね。試験が成功して嬉しいのはもちろんですが、D-SEND#2では、3年続けて、しかも毎回3カ月間スウェーデンに滞在していましたから、来年はもう来なくていいかと思うと、ちょっとさびしいところもありますが、やっぱりほっとしましたね。

——試験にあたって、本田サブマネージャの役割について教えてください。

2013年、2014年は、試験全体を統括する試験主任を務めていましたが、2015年は、それに加えて、試験隊の生活をサポートする総務主任も兼任していました。

——昨年2014年の結果を踏まえ、今年はどうのような対策を行ったのでしょうか。

2014年は、設定した試験期間中に気象条件が揃わず、やむなく試験実施を断念したのですが、昨年と同じような気象になっても試験機会が増えるような対策をいろいろ検討しました。昨年の2倍の試験期間を確保したのもその対策の一つです。

技術的な面での対策としては、気球から分離するタイミングを増やす工夫をしました。例えば、気球から試験機を分離して、決められた速度、高度、経路角でブーム計測システム(BMS)の直上を飛行させるためには、BMSを中心とした同心円状、ドーナツ状の領域内で分離をしなければなりません。飛行経路の再検討などによって、そのドーナツの幅(高度30kmで外側に+3km)、高度方向への厚さ(高度28km~30kmを高度28km~33km)を最大限に広げました。また昨年までは、気球を一旦高度33kmまで上昇させてから、30kmまで降下させ、水平飛行した時点で試験機を切り離す計画(我々は「パターンA」)

速報! D-SEND#2飛行試験成功

と呼んでいます)だったのですが、上昇中30kmに達した時点で切り離す軌道(パターンB)も採用しました。

実際の試験では、気球が上昇途中に分離可能なドーナツ領域を通過しただったため、当初パターンBを狙って放球しましたが、ドーナツに近づいたところで、近辺の風向・風速が安定せず、分離のタイミングを計るのが難しくなり、バックアップのパターンA狙いに切り替えて、ドーナツの西側で分離しました。

——準備段階から実験終了まで、何かトラブルはありましたか?

昨年の試験以降、試験機はエスレンジ実験場の建物内に温度管理されて保管されていたので、機能的には全く問題ありませんでしたが、準備期間の終盤になって、GPSのデータが受信できないという不具合が起きました。ある国の静止衛星が、昨年の我々の試験期間終了後の10月頃からGPSの精度向上のために送信し始めた試験的な信号が、我々のGPS受信機の邪魔をしていることが分かりました。なんとか機器を試験機から取り外さずに信号を受信しない設定に変更することで対応できたのですが、もし取り外して日本に送り返すことにでもなったらと思うと今でもぞっとします。

——今回もなかなか試験実施になりませんでした。それまで待っている間の試験隊の皆さんの雰囲気はどうでしたか?

天気が変わるのを待っているだけだから暇だろうと思われる方もいるかもしれませんが、精神的には非常に大変でした。2日後の試験実施を判断する気象会議を毎日行います。毎日(基本的に土日)の試験不可の判断は、ボディブローのようにジワジワと効いてきて隊員の精神を蝕んでいきます。6月29日から試験期間が始まって7月の3週目まで来ると、全員の気持ちはとても暗いものになっていました。このままの雰囲気では8月31日まで隊員の気力が続かないと思い、今年から新しく試験隊に加わった方々に自分の研究内容を1時間程で紹介してもらうなどして気分転換を図りました。ほんの1時間ですが気象のことが忘れられます。本当に貴重な

リフレッシュタイムでした。

それから、SSC(スウェーデン宇宙公社)で行われたどこかのロケット発射試験の時に、なかなか気象条件が揃わない中、気象会議に緑の服を着て行ったら試験のGo判断が出たというエピソードを聞きつけ、みんなで“緑のものを身につけよう”キャンペーンを始めました。気分転換の一つだったのですが、プロジェクトマネージャが実験場内で緑のTシャツを購入したり(今考えると、なぜ緑のTシャツを売っているのか不思議ですが)、他の隊員も緑っぽいセーターとか緑の靴とかを身につけたり。そのおかげが、緑キャンペーンを始めて1週間ほどで試験の実施が決まりました。

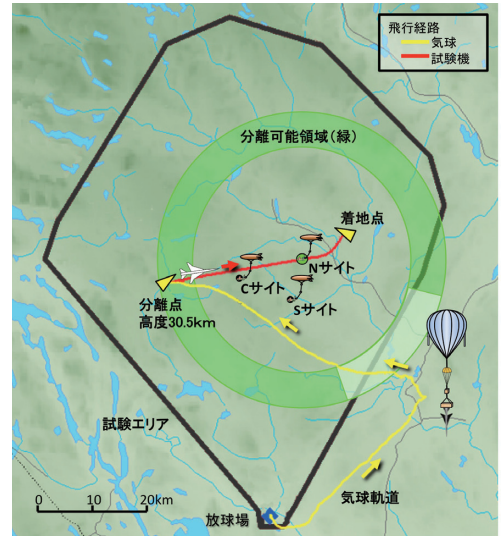
試験準備から終了までを追う

——試験実施の判断はどのようにしていたのでしょうか。

まずJAXAの試験隊内で、毎日現地時間午前11時くらいから、2日後の気象を予測して試験実施の判断をしました。気温や湿度、風速・風向などの気象条件を元に、気球の飛行予測軌道やソニックブームの計測条件などを勘案し、JAXAとして事前検討を行います。そして午後2時から、エスレンジ実験場を運用・管理しているSSCが主催する気象会議に臨みます。気象の状況、気球の軌道、JAXA側の準備状況等を確認して、試験実施が判断されます。土日も休みなく試験がGoになるまで、毎日繰り返します。

天候が悪い中わずかなチャンスを狙って実施した2013年とは異なり、最後には気象条件が揃う日が数日連続して現れてきました。六つの気象条件を赤、黄、緑で色分けして判断していたのですが、最初に全部の条件が緑に揃った日には拍手が起きましたね。しかも緑が連続している訳ですから、緑キャンペーンの祈りが効いたというしかありませんね。放球日を選ぶほど緑の日が連続し、逆に「何か見落としがあるのでは」と真剣に悩みました。

——試験当日の皆さんのお気持ちはどうでしたか?



実際の飛行経路。気球は黄色い線によって移動した。試験機は、高度30.5kmの分離可能なドーナツ領域内で分離され、赤い線の経路を辿りながら、BMSサイトの一つであるNサイト上空を通過して着地した。

機体関係の試験隊員は、ほとんどが3年目ですし、運用手順は何度もリハーサルを繰り返してきましたから、手順通りやれば間違いなく実施できるとみんな自信を持っていたのではないのでしょうか。

試験を行ったエスレンジ実験場は、南北約100km、東西約70kmととても広大で、管制を行う場所やBMSを設置した場所(BMSサイト)はそれぞれ離れた場所にあります。そのためBMSを担当する隊員は、放球の10時間くらい前にはヘリコプターを使ってBMSサイトに移動し準備を行わなければなりません。BMS班2名×3カ所の内、4名は新しく参加していたので、事前に屋内訓練を何度もやっていますが、計測点での訓練は1回限りだったので、本番となるとかなり緊張したのではないのでしょうか。

試験実施のGo判断がされ、準備を開始した後も、気球を展開する判断や、気球にガスを注入する判断など、決められたポイントでGo/NoGo判断を行います。その間、ハンガーから試験機を搬出する前にパラパラと雨が降ったために、試験のカウントダウンをホールド(一時停止)したり、放球を行うSSC側の準備の遅れなどがあったりして、放球まで予定より時間がかかりました。日本国内で支援をしていただいた方々は、現地の状況が詳しく分からず、かなりヤキモキしたのではないのでしょうか。

——放球後は、どのような状況でしたか?

試験隊は、SSCによる気球の運用やJAXAによる試験機の飛行安全の確認を行うオペレー

本田 雅久

D-SENDプロジェクトチーム
サブマネージャ

Summary	Friday 24/7 00:00 UTC	Friday 24/7 03:00 UTC	Friday 24/7 06:00 UTC	Friday 24/7 09:00 UTC
Ground wind	SE, 1.2 m/s	SSE, 1.2 m/s	SE, 2.0 m/s	ENE, 2.3 m/s
Low level wind	SE, 1.5, 2.0 m/s	SE, 2.0, 2.0 m/s	SE, 2.0, 2.0 m/s	SE, 2.0, 2.4 m/s
1000 m wind (Blimp)	SE, 2.0, 3.4 m/s	SE, 2.0, 2.4 m/s	SE, 2.0, 2.4 m/s	SE, 2.0, 3.4 m/s
Rain				
Trajectory				
Helicopter				
Payload				

全ての気象条件が緑色に。試験前の気象会議において、ついに試験実施が判断された。



ションセンターと、試験機の状態やBMSの状態を監視するサイエンスセンターの部屋に分かれていました。午前4時43分の放球時はオペレーションセンターから気球の放球を見守っていました。我々の試験機の重量は、SSCがこれまで気球で試験したペイロードで最も重いものと聞いていたので、放球の瞬間は本当に息が止まりそうでした。放球からしばらくは、気球が破れて落ちてこないか心配で上空を眺めていました。気球の上昇が安定したのを見届けた後は、サイエンスセンターに入って風の状態と気球の飛行軌道をチェックする作業などを担当者と始めました。

最初は、パターンBで放球後3時間後に分離する予定だったので、かなりせわしく分離タイミングの議論をしていました。結局タイミングが合わず、パターンB分離を断念し、パターンAへと切り替えました。その後は高度と風の方向を見ながら、できるだけ良い条件(ドーナツの中でも外側、試験機が二つのBMSサイトの上空を通過する)を狙って、気球を誘導していきました。

分離できたのは、更に2時間経過した午前10時で、非常に良い条件で分離することができました。分離のカウントダウンをオペレーションセンターで見届けた後、すぐに隣のサイエンスセンターに走り込んで、管制画面を食い入るように見ていました。サイエンスセンターのモニターには、試験機の予測飛行経路と実際に飛行した経路等がリアルタイムで描かれているのですが、実際の飛行は計画ぴったりという訳にはいきません。管制画面に表示されるグラフの1点1点が、心臓に突き刺さります。空力や飛行制御の担当者も2013年の飛行異常のこともありますから、相当ヒヤヒヤしていたそうです。

BMSはリアルタイムで監視していたので、ソニックブームの計測に成功したことはすぐ分かりました。しかし本当に「成功した」と実感したのは、BMSに取り付けた計測装置を回収し、データを再生してからです。試験の翌日だったでしょうか。BMS班のリーダーが、素早く対応してくれました。

ソニックブーム 低減技術で世界をリード

——試験の結果について現在※分かっていることを教えてください。

超音速試験機は、飛行制御がうまくいって、計画通りに飛行しました。また、BMSについても、空中、地表ともすべてのレコーダーが問題無く動作し、たくさんのソニックブームを記録していました。3箇所のBMSサイトのうち、低ソニックブーム波形はNサイトで計測できましたが、他の2地点(Cサイト、Sサイト)のマイクロホンでも複数のソニックブームが計測されていました。それらをあわせると計測できたソニックブームのデータは、186個にもなります。1回の飛行試験だけで、これだけの貴重なソニックブームのデータが取得できたのは他に類を見ないことです。

取得したソニックブームのデータから、ソニックブームの低減効果は確認できました。ただ、飛行環境などが予測時と少し異なっているため、現在、CFD(数値流体力学)解析やソニックブーム伝播解析等を詳細に行っているところです。プロジェクトの目的である「低ソニックブーム設計概念」の実証には、もう少し時間がかかります。

——詳しい解析結果が出るのはいつ頃になりそうですか？

10月末にはカナダで開催されるICAO(国際民間航空機関)のSSTG(超音速タスクグループ)に詳細な解析結果を報告したいと考えています。

また、将来の超音速旅客機の実現を想定した、ソニックブームに関する国際基準策定に向けた議論が行われるICAOのCAEP(航空環境保全委員会)総会が、2016年2月に開催される予定なので、そこでも今回の試験結果を公表したいと思っています。

——D-SENDプロジェクトで、これまで苦労された点はありますか？

この超音速試験機は、エンジンが無く、地上滑走用の脚もないので、地上滑走、亜音速飛行、超音速飛行といったステップを踏んだ試験ができません。地上で機能試験を行った後は、いきなり本番です。そういう意味では、我々の試験は、航空機の飛行試験というよりは、ロケットや人工衛星の打ち上げに近いかもしれません。まさに一発勝負です。予算とスケジュールを睨みつつ、想像力を存分に働かせて、あらゆることに気を配り、確実に実行できるように開発しておかなくてははいけません。

また、実験場のあるスウェーデンの方々はおおらかというかのんびりしていましたから、日本人との違いにカルチャーショックを覚えましたね。SSCとのコミュニケーションを密にし、文化の違い、感覚の違いを克服し、試験を円滑に進められる環境を構築するのもサブマネージャの重要な仕事でした。

——最後に、今後の予定をお聞かせください。

今回、実際に、先端/後端共に低ソニックブーム設計をした試験機を超音速飛行させて、低ソニックブームを含む多くのソニックブームのデータを取得し、詳細解析・評価を行うことで、日本が世界を1歩リードできると確信しています。今後は、D-SENDプロジェクトとして成果をまとめると共に、それらの成果をベースに新たな超音速機技術の研究課題を追求していきたいです。

※ 2015年9月中旬現在



飛行システム技術で 航空機をもっと身近で 安全なものに

航空機にとって、構造的に頑丈であり環境に優しいことは重要ですが、そうして作られた航空機を制御できなければ、安全な飛行、安心な運航はできません。航空機は、パイロットが操縦する場合もあれば、プログラムが制御して飛行する場合があります。安全に飛行するためには、パイロットによるヒューマンエラーや、機器故障による制御不能など、さまざまな状況を想定し対策を取らねばなりません。これらを解決するためには、非常に幅広い技術が求められます。JAXAでは、どのような技術を研究しているのでしょうか。

世界でも類を見ない JAXAの飛行試験設備

古くから活用されてきた風洞実験や、近年著しく進歩したCFD(数値流体力学)によって、航空技術の研究開発は以前に比べて飛躍的に効率良くなりました。しかし実用化のためには、最終的には実環境による飛行実証を行い、性能を保証することが求められます。航空機や搭載機器メーカー、運航会社、研究機関などからのニーズは幅広く、新たに開発されたセンサー、アクチュエーター、アビオニクス、制御プログラムなどの飛行実証による評価や、航空機開発に必要な飛行実証技術の確立、安全で効率的な運航技術の飛行評価など、さまざまです。そうしたニーズに応えるため、JAXAでは、ヘリコプター、ブ

ロペラ機、ジェット機という飛行高度や飛行速度などが異なる3機の「実験用航空機」と、操縦性が全く異なる固定翼、回転翼の2機の「飛行シミュレータ」を保有し(詳しくは8ページ)、さまざまな実証ニーズに応えるとともに、効率の良い試験技術の確立や試験技術・計測技術の高度化を図っています。

双発ターボプロップ機であるMuPAL- α は、機械式操縦システムに併設して実験用フライ・バイ・ワイヤ(FBW:Fly-By-Wire)操縦システムを搭載し、さまざまな航空機の動きを模擬することを可能にしています。このような機能を持っている機体は、世界を見ても数少ないユニークな存在といえます。この機能を使えば、これから開発する航空機の操縦や事故機の状態を再現し、模擬飛行することができます。東京大学と共同

で研究を進めている、機体が故障したり破損したりした場合でも、安全に飛行を続ける、あるいは安全に着陸するための制御技術の研究では、MuPAL- α を利用して実験を行っています。

2012年に導入した実験用ジェット機「飛翔」は、より高速/高高度での飛行実証を可能にするために導入した機体で、既にJAXAのFURUHOプロジェクトで騒音源の計測試験にも利用されており、将来的には騒音を低減する技術の飛行実証試験も予定しています。また、国産旅客機の飛行試験に向けた試験機器の性能試験や、試験運用の確認などにも「飛翔」を使って行っています。

ヘリコプターBK117C-2は、2013年に退役したMuPAL- ε の後継機として導入した機体で、現在、実験用航空機としての機能を充実させつつ、HMD(ヘルメットマウンテッドディスプレイ)を利用した視界情報支援システム「SAVERH(セイバー)」の実証実験や後方乱気流の計測などに活用しています。

地上で、パイロットに現実の航空機と同じ



飛行データを可視化するDRAPの画面例



コックピット内に表示されるトンネル・イン・ザ・スカイの画面例

操縦性や感覚を与えることができる「飛行シミュレータ」も2種類保有しています。MuPAL- α のFBWで使用する飛行制御プログラムや操縦席の計器表示プログラムは、飛行シミュレータと共通になっているため、MuPAL- α に搭載して飛行実証する前に、飛行シミュレータで確認することが可能になっています。

「航空機を飛ばすだけでなく、計測技術や飛行実験に関する技術、ノウハウを持っている点がJAXAの強みといえるでしょう。今後も飛行試験設備を活用しながらJAXA以外の企業や大学などと共同研究を進めていくことで、航空産業の発展に貢献していきたいと思います」(藤井謙司飛行技術研究ユニット長)。

パイロットの ヒューマンエラーを 未然に防ぐ

パイロットのミス、いわゆるヒューマンエラー(人為的ミス)を完全になくすことは不可能ですが、訓練やヒューマンインターフェースを充実させることにより、ミスを減らすことができます。

ヒューマンエラーを防ぐための技術として、航空会社や自衛隊、海上保安庁、パイロット養成組織などでCRM(Crew Resource Management)訓練が広く普及しています。CRMとは、ひと(パイロット、管制官、整備士

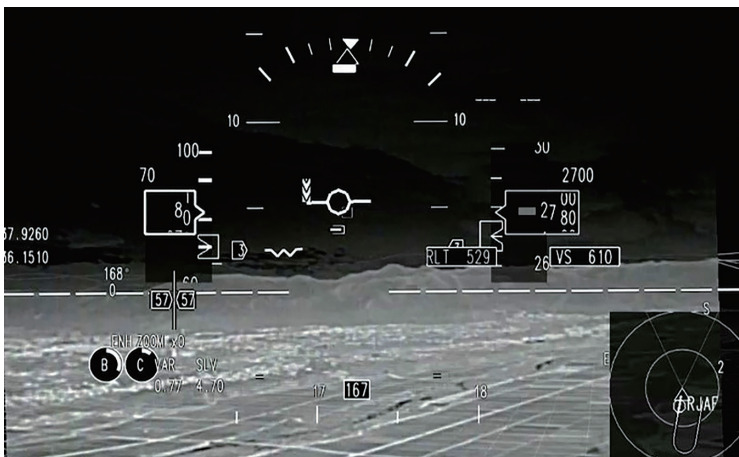
等)、もの(マニュアル、空港等)、情報といった全てのリソースを有効に活用することにより、安全で効率的な運航を実現する考え方で、JAXAもCRM導入に協力をしてきました。JAXAでは、CRM教育が効果的に実践できていることを評価するツールの開発を行っています。さらに人間に関する要素という観点で、パイロットの感情や心理、能力・技能、疲労度など、いわゆるヒューマンファクター(人的要因)を統合的に評価できるようなシステムを確立させていこうと考えています。

飛行後に機体から飛行データを取り出して、実際の飛行状況を立体的な視覚情報として再現することができるDRAP(日常運航データ再生ツール)は、すでに実用化されていくつかの航空会社で使われています。パイロットがDRAPを使って自らの運航状況、操縦の様子を再確認することで、さらなるミスを減らすと同時に、パイロットの技能向上に役立てられています。

DRAP以外にもすでに実用化された技術として、「トンネル・イン・ザ・スカイ(トンネル型経路表示システム)」があります。トンネル・イン・ザ・スカイとは、操縦席のディスプレイにトンネル状の飛行経路を表示し、表示されている領域の内側を通過するように操縦することでスムーズな飛行・着陸が行える飛行支援システムです。空中に仮想のトンネルを描き、その中を飛行するといえば、イメージしやすいでしょうか。トンネル・イン・ザ・スカイは、精密な飛行が求められるJAXAの飛行実証実験だけでなく、民間のヘリコプター運用会社でも、精密な飛行に必要なレーザー測量飛行に活用されています。

また、有視界時にしか飛行できないヘリコプターの操縦を支援するヒューマンインターフェースとして、前述した「SAVERH」の研究開発にも力を入れています。このシステムは赤外線カメラや地形データと組み合わせ、十分な視界が得られないような悪天候であっ

SAVERHの表示例



さまざまな情報が映し出されるHMD(表示イメージ)



パイロットがHMDを装着した様子

特集 ▶▶ 飛行システム技術で航空機をもっと身近で安全なものに

ても地形情報や経路情報、赤外線カメラの映像など必要な情報をHMDに表示させたり、指定した障害物との距離を自動計測したりすることで、パイロットの負担を減らし運航の安全性を高めます。

このほかに、離着陸時から高高度での高速飛行、将来的には超音速飛行まで視野に入れた幅広い飛行条件や、さまざまな気象条件の変化や乱気流などの緊急時でも、安全に操縦を行うことができる飛行制御システムも重要です。JAXAではそのような飛行制御システムを効率的に開発・評価するためのツールの研究開発も行っています。

「これらの技術を積み重ねて、いずれは誰でも簡単に操縦できる航空機を実現したい。そのために、簡単に操縦できて、どんな状況でも対応できる安全な飛行システムを開発することが目標です」(藤井ユニット長)。こうした技術が確立し普及すれば、人々にとって航空機がもっと身近な存在になる日が来るかもしれません。

ヘリコプターの利用を拡大するためには

平地が少なく、山岳や島嶼部が多い日本では、航空機の登録台数におけるヘリコプター(回転翼機)の割合がおよそ3割を占めており、

海外と比較して突出した割合となっています。ヘリコプターは、捜索や救急搬送、物資運搬などさまざまな場面での活用が期待されていますが、視程不良等安全運航への脅威や市街地の騒音問題などにより、利用拡大が妨げられています。こうした現状を改善し、ヘリコプターの利用機会を拡大するためには、より安全な運航支援技術の開発が必要になります。

主翼が固定されている固定翼機が離着陸時に発生させる後方乱気流は、続いて離着陸を行う航空機に対する影響が大きく、その発生や消失の状況など長年にわたって研究が行われており、そうした研究の成果として、固定翼機の大きさごとに空港への離着陸間隔が世界的なルールとして規定されています(Flight Path No.8参照)。しかし、固定翼機の後方乱気流よりも複雑な流れを生み出すヘリコプターに関しては、あまり研究されておらず国際的なルールも規制も存在しません。多くのヘリコプターを効率良く、かつ安全に運航させるためには、ヘリコプターの後方乱気流がどのように発生し、どのような影響があるかを知る必要があります。JAXAでは、実際にヘリコプターを滑走路上で飛行させて、発生した後方乱気流をライダー*や超音波風速計を用いて計測し、空気の流れを可視化する実験を行っています。この実験により得たデータは、今後、ヘリコプターの後方乱気流予測に活用されます。

このほか、災害時に効率的な航空機運航を行うための技術であるD-NET2(災害救援航空機統合運用システム。Flight Path No.7参照)と連携して、視程不良時に危険な障害物となる電線をミリ波レーザーや赤外線カメラを使って検知しパイロットに知らせる技術の研究や、悪天候時でも計器のみで飛行を実現するための取り組みなどを行っています。

* 空気中の塵などにレーザー光を照射し、その散乱光から風速を測るセンサー。

藤井謙司

飛行技術研究ユニット
ユニット長



JAXAの実験用航

実験用航空機

ミューバル・アルファ MuPAL-α

19人乗り(他に操縦士2人)双発ターボプロップ機ドルニエ式Dornier228-202型を改造した実験用航空機で、フライ・バイ・ワイヤ方式の操縦系統を搭載しており、インフライトシミュレーションが可能。



飛行 シミュレータ



FSCAT-A

固定翼機用飛行シミュレータである「FSCAT-A」は、アクチュエーターによって筐体を動かすことで飛行中に感じる加速度も模擬できる。

空機と飛行シミュレータ

飛行実験設備には、実際に飛行して観測やデータ収集を行う「実験用航空機」、航空機の飛行状態を地上で模擬する「飛行シミュレータ」があります。



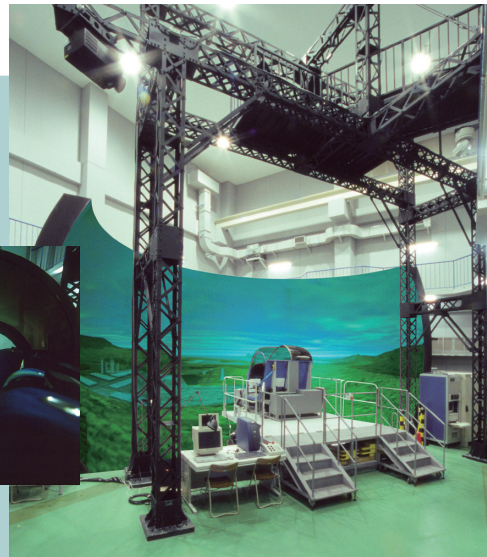
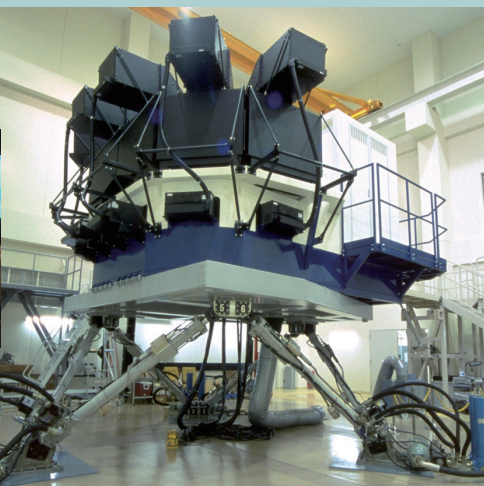
飛翔

高高度で高速な環境での飛行実証実験を可能にするジェット機。セスナ式680型(サイテーション・ソブリン)を改造し、飛行状態・姿勢などを精密に計測できる機器、アンテナや、キャビン下には直下を見ることができるカメラ孔を備える。2012年から運用開始。



実験用ヘリコプター

MuPAL-εが2013年2月に退役したため、後継機として川崎式BK117C-2型を導入して改造した実験用ヘリコプター。



FSCAT-R

回転翼機用飛行シミュレータである「FSCAT-R」は、半球状スクリーンに映像を投影し広い視野を得ることで、実際の操縦に近い環境を構築できる。SAVERHなどの研究開発に利用されている。

航空技術部門へのメッセージ

日本オリジナルの 航空機用インフラづくりを

ナビコムアビエーション株式会社
代表取締役社長 玉中宏明氏
技術開発部開発課長 船坂直哉氏



製品化されたD-NET対応機器を手にする玉中社長(左)と船坂開発課長

ナビコムアビエーション株式会社は、JAXAが研究開発したD-NET(災害救援航空機情報共有ネットワーク)※に対応した製品を販売しています。D-NETの研究開発や製品化の経緯、そして航空機分野のインフラ開発の必要性についてお話を伺いました。

D-NETとともに歩んできた9年間

——JAXAと仕事をするようになったきっかけはどのようなものだったのでしょうか。

玉中 2006年にナビコムアビエーション株式会社を設立しました。その前、私は今の会社の前身であるバイオアナビコムという会社で航空部門を担当し、カーナビの航空機版である地図情報表示装置や動態管理システムを販売していました。動態管理システムというのは、航空機やヘリコプターに搭載された地図情報表示装置から送られてきた位置情報を、地上局PCのディスプレイ上の電子地図に表示するシステムです。2005年にイリジウム衛星による通信に私たちの動態管理システムを組み合わせたシステムが、総務省消防庁(東京消防庁が運航受託)の緊急消防援助隊が使用するヘリの1号機に採用されました。同じ頃、D-NETの

コンセプトができてきて、JAXAの小林啓二氏(現・航空技術実証研究開発ユニット 運航技術研究グループ 主任研究員)とはいろいろ話をさせていただきました。

2006年に名古屋の国際会議場で開催された日本ヘリコプタ協会主催の「ヘリジャパン2006」で、JAXAは初めてD-NETの構想を発表し、会場での展示もしました。この頃に、JAXAが開発したシステムと私たちの動態管理システムを統合したものを作って実験をしようという話がスタートしました。この年に、私たちの会社もスタートしましたから、私たちの会社はD-NETと一緒に歩んできたともいえます。

——D-NETに自分の会社の技術が活かせる点、その時に考えましたか。

玉中 はい。小林氏にD-NETのコンセプトを聞くと、私たちが考えていたこととピタッと合っていたのです。ぜひお手伝いさせてくださいということになりました。ただし、私たちは企業ですから、商売にならなければいけません。小林氏の方も、研究だけで終わりにしたくない、最終的には製品にしなければいけない、という考えでした。JAXAが製品を作って商売をするわけにいかないから、技術を民間移転して、どこかの企業に作ってもらわなければいけない。そこで、私たちが製品化をさせていただくことにしたのです。

——このような製品の需要はあると、当時考えていらっしゃいましたか。

玉中 もちろんです。総務省消防庁は自分たちのヘリが今、全国のどこを飛んでいるかを知りたいと考えていました。他にもいろいろな省庁や自治体がヘリを運用しています。それらを全部統合して、情報共有ネットワークをつくらうと考えたのがD-NETですから、必ず需要があると思いました。有人の航空機と無人航空機が一緒に飛んだ時の相互監視をどうするか、ドクターヘリでバイタル伝送(脈拍や血圧など患者の情報を送ること)ができないか、付加価値の高い災害情報をヘリの地図情報表示装置に伝送できないかといったことなどもD-NET開発の中で検討しました。そのようなJAXAの研究開発から今の製品が生まれているわけです。例えば、JAXAから技術供与を受け、私たちの製品で実現している「エリア登録画面」。これは被災地の範囲を多角形の情報として地上に伝送する、あるいは地上からヘリ側に送る機能です。こうした機能がD-NETの研究開発から出てきたのです。

——その間に2011年の東日本大震災がありましたね。

玉中 この大震災の時に、私たちはヘリの存在がいかに大切かを再認識しました。また、私たちに何が望まれているのか、どういう改善をしなければいけないのかも改めて考えさせられました。とりわけ、D-NETが目指していた複数のヘリの位置を把握できるシステムの重要性を実感したわけです。あの時、私たちの動態管理システムは地方自治体の10台くらいのヘリに搭

載されていました。通常、それぞれの自治体は自分たち以外のヘリの位置は分からなかったのですが、私たちはインターネット回線で、他の自治体のヘリの位置も分かるようにしました。これがきっかけになって、情報の提供をサーバー&クライアント方式で行うことにしました。こうした発想もJAXAで開発していた技術を見ている中で出てきて、それが現在、総務省消防庁で運用している集中管理型動態管理システムに活かされています。

実証実験の大切さを認識

——JAXAと仕事をしていく中で、どんなことを感じましたか。

船坂 私は開発の現場を担当していましたが、私たちメーカーの開発の方法とJAXAの方法は、少し違っていました。私たちはJAXAとの仕事を通じて、試作したシステムを大規模な実証実験の中で災害現場で活動される方に評価していただき、機能の変更などを行う方法を初めて経験させていただきました。実証実験を成功させるために現場に行ってケーブルを繋ぎ変えることもありましたし、不具合が出て急な設

定変更に対応したり、実証実験中のヘリに乗ってその場で対応することもありました。

——特に印象に残っている経験はありますか。

船坂 一番思い出深いのは、2012年に岐阜大学のドクターヘリで、バイタル伝送の実験をした時のことですね。その時、ドクターヘリには、今のシステムの前身となるD-NETのシステムが載っており、その開発を私たちが担当していたのです。この実験には、JAXAの研究者の方々はもちろん、本職の救急医や救急隊員、整備会社の方々、大学の研究者なども含めて非常に多くの方が関係していました。私はヘリに搭乗して伝送実証の支援を行いましたが、いろいろな要求が次々に送られてくるのです。それらに対応しながら、何とか実証実験を成功させました。たいへん苦労しましたが、実験が終わった時には関係者の方々と一緒に一体感があって、これがJAXAの仕事のやり方だと実感しました。そういう成功体験があったので、その後もJAXAと仕事していくモチベーションは非常に高かったですね。製品化には別の苦労もあったのですが、JAXAで実証されたものが製品になれば間違い

ないという自信を持って開発ができました。

——実証実験が非常に役に立ったわけですね。

船坂 実証実験をすることによって、ダイレクトに現場からの意見を聞くことができます。これは開発する側にとってすごく良い機会でした。

玉中 JAXAは自治体や関係機関と協定を結んで実証実験を行います。私たちのような小さな会社では、なかなかそんなことはできません。これはJAXAと一緒に研究する際の大きなメリットだと思います。

JAXAには航空分野の活性化に取り組んでほしい

——これから、どんな製品を開発していきたいとお考えですか。

玉中 私たちには航空機の世界のインフラを作ってほしいという夢があります。日本は火山や地震の国で災害が多い。この小さな国にたくさんヘリが配備されているという特別な事情があるわけですから、これに対して日本オリジナルの航空機用インフラが必要と私たちは考えています。これがD-NETのコンセプトでもあったわけですね。

——今後もチャンスがあればJAXAと一緒に研究開発したいと考えていますか。

玉中 はい。例えば、インターネットがこれだけ普及し、タブレット端末などもたくさん使われている世の中になると、航空業界でもその流れは止められないと思っています。ヘリの機内での作業はこれからますます高度化するし、いろいろな情報を瞬時に判断して処理するシステムが必要になってきます。そういうインターネット技術を取り込んだシステムの開発を、JAXAと協力して取り組むことができたらと思っています。

——JAXAに対して、何か要望はありますか。

玉中 実用化を視野に入れ、企業と一体となった研究開発をどんどん推進してほしいと思います。より多くの会社が参入してきて、より良い製品が生まれることで、航空産業の市場も大きくなり、多くの雇用も生まれて好循環になってくると思うのです。

小型機やヘリコプターなどのために 製品化した航空支援システム機器



日本各地で運航中の消防防災ヘリコプターの動向が全て把握できる動態管理システム「IMS-320」のモニター画面



完全持ち込み型のD-NET対応地図情報表示装置とイリジウム衛星通信装置



ヘリコプター機上に搭載でき、地上局と情報交換を行う地図情報表示装置「NMS-01S」

※ 災害時に救援航空機と対策本部等間で必要な情報を共有化し、最適な運航管理を行うことにより、救援ミッション遂行時の無駄な待機時間や救援機同士の異常接近を減らすこと等によって、効率性と安全性を向上することを目的とした共有ネットワーク。Flight Path No.7参照。

燃費の良い航空機が求められている中、より軽く効率の良いジェットエンジンの研究開発が世界中で行われており、この手段の一つとしてタービンのような高温になる部分でも耐えられるCMC(セラミックス基複合材料)が注目を浴びています。JAXAでは低コストで品質の良いCMCの研究をしています。

次世代ジェットエンジンに向けた複合材料 CMC(セラミックス基複合材料)とは?



燃焼試験後の CMC製姿勢制御スラスター

■過酷な高温環境に耐える複合材料

航空機やロケット、人工衛星のような宇宙機は、軽くすることが性能向上に繋がるため、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)のような複合材料の適用が進んでいます。しかし、航空機や宇宙機の中でも、ジェットエンジンやロケットエンジンのような高温になる箇所ではCFRPでは耐えられません。そこで、高温に耐えつつ、軽量で耐久性のある材料が求められます。例えば、退役したNASAのスペースシャトルでは、機体下面に大気圏再突入時の空力加熱による高温から機体を保護するための耐熱タイルが貼り付けられています。この耐熱タイルは、主にシリカガラスで作られていて、非常に軽く耐熱性にも優れているのですが、軽石のようにもろいのです。

そこで近年注目されているのが「セラミックス基複合材料(CMC: Ceramic Matrix Composites)」です。JAXAでは、1990年頃から宇宙往還機の高温構造部材への適用を目指して研究を始めました。CMCは、セラミックスできているため、金属よりも軽く、熱に強く酸化しにくくなります。さらに、セラミックス繊維を使っているため、割れにくくなります。「CMC部材であれば小さな異物が衝突した場合にも、バラバラにならず形状をなんとか維持し、宇宙往還機としての信頼性が上がることが考えられます」(青木卓哉主任研究員)。これまでに、CMCで宇宙機の姿勢制御スラスター(ページ右上の写真)などを試作し、燃焼試験などの性能評価も行ってきました。

航空機のジェットエンジンのタービン部分には現在ニッケル基合金が主に使われていますが、

世界的に2000年頃からCMCが注目され始め、CMCを使った高压タービン用シュラウドが型式認定間近となっています。JAXAでは2005年頃からジェットエンジン用CMCの研究を開始しました。

■低コストで高性能な次世代CMCを目指す

航空機や宇宙機の構造部材として利用されているCFRPは、平面または立体に織り込んだ炭素繊維を樹脂(プラスチック)で固めた複合材料です。CMCは、直径7 μ m~20 μ mの炭化ケイ素(SiC)などのセラミックス繊維をやはり平面または立体に編み込んで、繊維の隙間にセラミックスの原料、例えばシラン系ガスや有機ケイ素ポリマーなどを浸透させてセラミックスを形成させて作ります。この固まった部分を「マトリックス」と呼びます。ただし、繊維とマトリックスの結合が強すぎると割れやすくなってしまいますので、繊維とマトリックスの接着力を適度に弱める必要があります。このようにして作ったCMCは、茶碗のように繊維を使用していないセラミックスと比べて格段に割れにくい材料になります。

CMCはいよいよ航空機の世界で実用化されつつあります。JAXAが進めているaFJR(高効率軽量ファン・タービン技術実証)プロジェクト*1では、メーカーと協働して低压タービンにCMCを適用する上での技術課題を解決する活動を行っています。JAXAでは、さらに次世代のジェットエンジンへの適用を視野に入れ、低コストで、より高温にも耐えられるCMCの研究にも取り組んでいます。

CMCの製造にはいくつかの手法があります。代表的な製造法であるポリマー含浸焼成(PIP)法は、SiC繊維間の隙間に熱処理によってSiCとなるポリマーを浸透させ、焼き固める

項目	PIP法	CVI法	SiC粉末+熔融Si含浸法	熔融Si合金含浸法
マトリックス形成温度	1000-1200℃	1000-1200℃	>1414℃	<1400℃
マトリックス形成時間	1-2カ月	1-2カ月	数日	数日
マトリックス形成コスト	高	高	低	低
繊維の隙間	大	大	小	小
SiC繊維	安価	安価	高価	安価

CMC製造手法の比較

方法で、化学気相浸透(CVI)法は、原料ガスを浸透させてSiCを蒸着させる方法です。どちらの方法もSiCマトリックス形成に1~2カ月もかかってしまい、製造コストが高価になります。また、熔融シリコン(Si)含浸法は、繊維間の隙間にSiCや炭素の粉末を含浸し、熔融したSiを流し込む方法で、上記二つの手法に比べてマトリックスの形成にかかる時間は大幅に短縮されます。しかし、熔融Siを流し込む処理温度が高いため、耐熱性に非常に優れる高価なSiC繊維を使用する必要があります。JAXAでは、シリコンに替えて、より融点の低いシリコンとチタンの合金を流し込むことによって、安価なSiC繊維も用いることができる「熔融Si合金含浸法」を検討しています。この手法で作ったCMCは耐熱性はそこそこですが、素材と製造の両面からコストを抑えることができると考えています。

CMCは、金属材料はもちろんのこと、CFRPと比べても、まだまだ技術の成熟度は低いのが実情です。「メーカーとしてやりたくても時間やコスト、採算性などの理由で手が出せないCMCを、JAXAが先行的に研究することで、航空宇宙産業に貢献できると考えています」(小笠原俊夫主幹研究員)。

SiC繊維は東北大学で発明された素材で、日本のメーカー2社が世界のほぼ100%のシェアを持っています。CMCの普及に貢献することは日本の産業に貢献することにもなります。「CMCを普及させるには、評価試験方法を確立し、設計から検査、整備の仕方など、実用化に必要なさまざまな技術を整備する必要があります。JAXAとしては今後もそれを積み上げていきたいと思っています」(小谷政規主任研究員)。

(写真右から) 構造・複合材技術研究ユニット*2

主任研究員 青木卓哉
主幹研究員 小笠原俊夫
主任研究員 小谷政規

*1 航空エンジンの「ファン」および「低压タービン」について環境適合性を向上する技術を開発・実証するプロジェクト。Flight Path No.2参照。

*2 2015年8月末現在



短期間で成果を得る SafeAvioの 産学官連携とは？

乱気流を検知してパイロットに知らせる乱気流検知システムや乱気流遭遇時の航空機の揺れを低減する技術の実用化を目指す「乱気流事故防止機体技術の実証(SafeAvio)」※1では、航空機の装備品メーカーや機体メーカー、航空会社をはじめとする航空産業界、そして大学と連携してコミュニティ「SafeAvio研究会」を立ち上げ、その中で得たさまざまな意見や知見を反映させながら研究開発を進めています。この活動と従来の研究開発では何が違うのでしょうか？

短期間で成果を出すためには

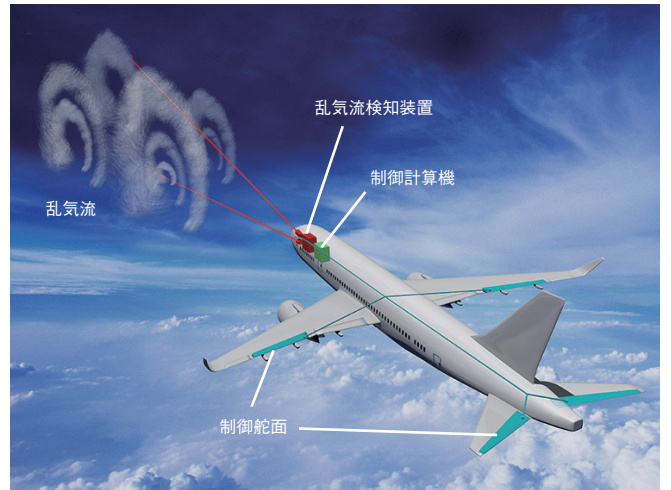
「SafeAvio研究会」は、2012年に東京大学の鈴木真二教授が中心となって立ち上げた研究会です。この研究会では、乱気流事故を防止する技術の実用化を視野に、研究開発を短期間で行うため、東京大学と東北大学、JAXAのほか、機体メーカーや装備品メーカー、一般社団法人日本航空宇宙工業会(SJAC)、さらにアドバイザーとして航空会社など、研究開発から実用に関わる機関・企業が参加しています。

研究会では、「乱気流検知および情報提供技術」の研究開発を4年間で技術実証することを最初の目標として定めて、JAXAと装備品メーカーが、乱気流を検知するドップラーライダー※2やパイロットへ警報を知らせる技術の研究開発を担当、大学が観測したデータから気流の流れを予測するための「気流推定アルゴリズム」や、乱気流情報を受け取ったパイロットの行動やそれによる負荷を評価する「パイロットワークロード評価」といった高度化技術・先進技術の研究を行います。さらに、機体メーカーは実用

化された検知装置を機体へ搭載するための方法などに関する意見を、エンドユーザーの立場から航空会社はパイロットのインターフェースなどの意見を出します。開発中からユーザーである航空会社や機体メーカーの意見を取り入れることで、実用化後の導入もスムーズになりますし、ユーザーが使いやすい製品を作ることができるため、実用化し運用するまでのスケジュールを短縮することができます。

オールジャパン体制で作り上げる

SafeAvio研究会は、まず乱気流検知と情報提供技術の研究開発を2016年度末までに技術実証することを目標に研究開発を進めていますが、次のフェーズである実用化への取り組みが始まると、研究会の中心はJAXAから装備品メーカーや機体メーカーへと移行していくことになるでしょう。研究会では、実用化後を見据え、検知した乱気流の情報をどのように安全な運航へ結びつけるかの議論

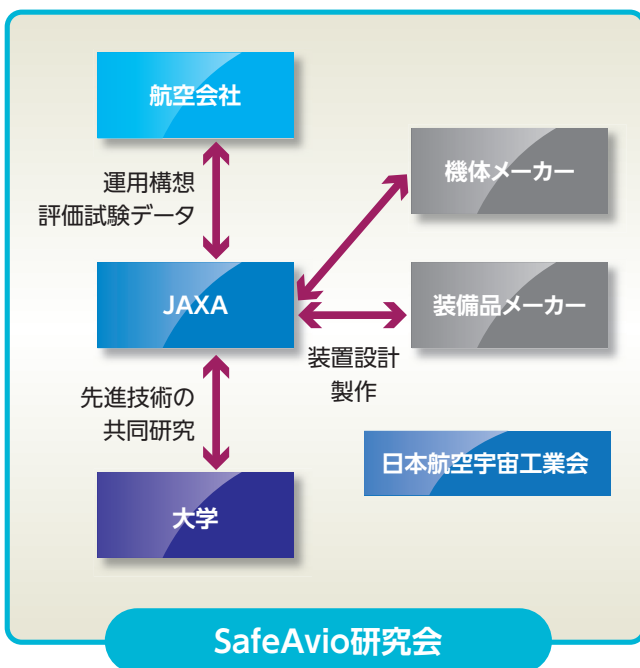


乱気流検知システムによる乱気流検知のイメージ

も行っています。まず、旅客機の客室状況について5分ごとの標準モデルを航空会社に提案し、さらに乱気流を検知した後、乱気流に突入するまでの時間ごと(30秒前、60秒前など)に、どのように乗客に伝えるか、客室乗務員はどのような行動を取れば良いのかといったケーススタディを行って、対应手順などのガイドライン案を作っています。このような運用面まで視野に入れた検討も行えるのが、SafeAvio研究会の特長といえるでしょう。

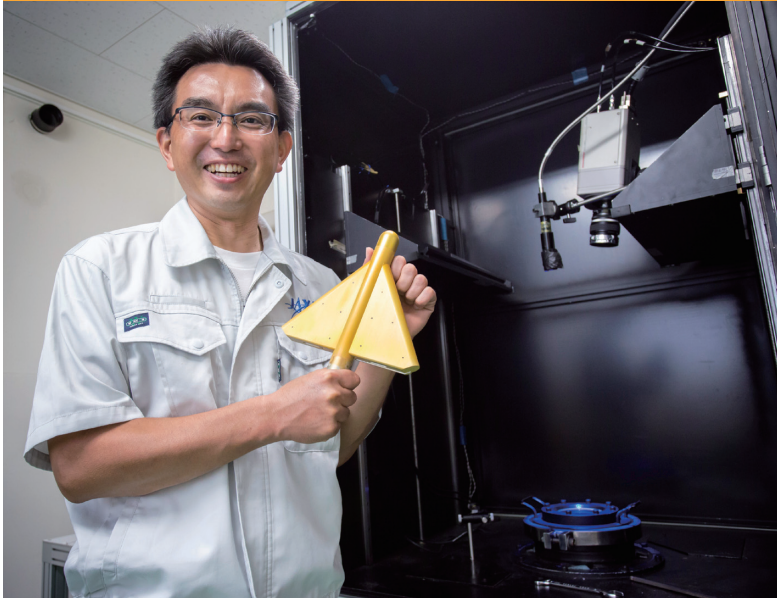
さらに、今後乱気流に遭遇した際に舵(動翼)を制御し、機体の揺れ(機体動揺・翼端振動)を抑えて乗客への危険を減らす「機体動揺低減技術」など、航空機の安全性向上技術も考えられています。

SafeAvio研究会では、高い機能と安全性を持った国産旅客機をオールジャパン体制で作りに上げることを将来の目標として活動しています。このような産学官連携の取り組みが、実用化を短期間で達成したい他の研究開発の良きモデルケースとなるかもしれません。



※1 これまで検知が困難だった晴天乱気流を検知し、パイロットへ情報を提供するとともに、最終的には制御技術により機体の動揺を低減することで航空機の安全運航を目指す技術を研究開発するプロジェクト。Flight Path No.3参照。

※2 レーザー光をエアロゾル粒子に照射することでその散乱光を検知し、気流の流れを計測する技術。Flight Path No.9参照。



2003年の極超音速衝撃風洞試験で
使用した宇宙往還機の模型を手に、
PSP自動校正装置の前で。

「塗るだけで簡単に 圧力が分かる 技術を開発したい」

次世代航空イノベーションハブ 基盤応用技術研究チーム
実機空力性能技術研究リーダー 主幹研究員
中北和之

1969年生まれ。1992年3月名古屋大学工学部航空学科卒業。1994年3月名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1994年航空宇宙技術研究所（現JAXA）入所。2015年から現職。空力技術研究ユニット併任。

今回は風洞試験に用いる計測技術の研究に20年以上にわたって取り組んでいる中北和之主幹研究員に、
業務内容や風洞試験の面白さ、印象に残った試験などについて聞きました。

—— これまでどのような研究に取り組まれて
きましたか。

大学時代から、極超音速風洞を使って模型に加わる空気力や加熱率を調べる研究をしていました。1994年にJAXA、当時の航空宇宙技術研究所（NAL）に入ってからはほとんどの期間、風洞試験に関わる研究に取り組んできました。最初は極超音速風洞を使って宇宙往還機の空力特性や熱特性などの計測技術の研究を行いましたが、1999年にPSP（感圧塗料）の研究プロジェクトを立ち上げた浅井圭介さん（現在は東北大学教授）から誘われて以来、現在に至るまでPSPの技術開発が続いています。2009年からは、JAXAの実験用航空機を使い、飛行中の航空機の圧力や主翼の変形量を計測する技術にも挑戦しています。（PSPについては、本誌15ページ「ソラの技」を参照）

また、2015年4月から「次世代航空イノベーションハブ」の基盤応用技術研究チームの一員として、これまで培ってきた風洞計測技術に数値シミュレーション技術や実際の航空機による計測技術など複数の基盤技術を組み合わせ、環境に優しい航空機を低コストで早く設計できる技術を開発することで、技術面から日本の航空機産業を支援し盛り上げることを目指しています。

—— これまでの中で印象に残っている実験
は何ですか。

特に印象に残っているものは二つあります。一つは大学院時代に行った、極超音速域の空気の流れにおける衝撃波と境界層干渉流れ

の加熱率分布の計測です。トラブルで1点になってしまった温度センサーを前後に動かしながら100回以上試験したのですが、最初は真っ白だったグラフが試験を重ねるごとに点が繋がって加熱率分布が浮かび上がってくるのが、とても新鮮に感じたことを今でも忘れられません。もう一つは、2000年から2003年にかけて行った極超音速衝撃風洞で行ったPSP計測試験です。自分にとっての最初のPSP計測試験で、当時は誰も行っていなかった超短時間でのPSP計測だったため、模型に均一なムラの無いPSPコーティングを行う作業や、タイミングを合わせて撮影する手順など試行錯誤の連続でした。世界で初めて20ミリ秒という超短時間でのPSP計測に成功し圧力分布の画像が得られた時には、ノイズだらけの結果でしたが苦勞が報われたと感じました。

—— PSPによる計測の面白さはどうい
うところでしょうか。

普段目に見えない圧力分布が、PSPを使うことでビジュアル化されることは面白いですね。画像として見えるというのは航空機の設計や流れを理解する上で大きな助けになりますし、PSP技術を開発する中でも大きなモチベーションにも繋がります。今後も、これまで見ることができなかった航空機の圧力分布や流れの特性を分かりやすく示し、航空機の性能を良くすることに繋がるデータを出していければと思います。

—— PSPは、実際の航空機の設計にどのよ
うに役立てられているのでしょうか。

2004年頃から、三菱重工業株式会社と旅客機形状における実用的PSP計測技術の共同研究を行いました。PSPデータを単なる圧力分布計測データではなく、構造強度評価用データとして用いるためのデータ処理や大量のデータを処理する技術など、共同研究によって急速に技術力を高められたと感じていますし、三菱重工業側にも、従来の計測技術では十分ではなかった設計データを構築することができるようになり、PSP計測を高く評価していただきました。また、航空宇宙分野以外でも、自動車エンジンのエアインテークや鉄道用パンタグラフの圧力分布計測などで、PSPを使った共同研究や技術移転の実績があります。

—— 将来の目標を教えてください。

PSP技術としての目標の一つは速くて小さい圧力変動まで測れるPSP技術が目標です。まだまだ測ることができるのは大きな圧力変動に限られ、周波数も数kHzまでです。もう一つは、今のPSPは準備に時間と人手がかかるので、スプレー缶1本で塗装できて、10分で準備が終わるような手軽なPSP計測があればもっとPSPの価値が上がると思います。

さらに大きな目標としては、国内でも5年くらいごとに新型機がどんどん開発されるようにすること。PSPでの経験からも機体開発があると技術は確実に進歩します。開発が繰り返されると加速度的に技術や飛行機性能は良くなります。日本がこのプラスのスパイラルに入れるよう、微力ですが全力を尽くしたいと思います。

第2回となる今回は、風洞実験などで
模型表面の圧力計測に利用される
「PSP(感圧塗料)」の技術に
迫ります。

■PSPを使いこなす

風洞実験などでは従来、模型表面の圧力を計測するために圧力センサーが使われてきました。圧力センサーは高精度な計測が可能ですが、圧力孔と呼ばれる“点”で計測するため、圧力孔以外の圧力は分かりませんし、設置できる圧力孔の数にも限りがあります。一方、PSP(感圧塗料)計測ならば、“面”全体で圧力分布を捉えることができます(図1参照)。PSPを利用すれば、圧力孔の数を減らすことができるので、高価な圧力センサーや圧力孔の加工、センサーケーブルの引き回しなどが少なくなり、準備作業にかかるコストを低く抑えることもできます。

白金ポルフィリン(PtTFPP)などの感圧色素とポリマーを混合したPSPに、感圧色素の励起波長光を当てると色素がリン光発光します(図2参照)。酸素濃度が高い、すなわち圧力が高いと発光量が少なく(暗く)なります(図3参照)。この性質を利用して、カメラで撮影した明るさから圧力を算出する方法がPSP計測です。

しかし、圧力に対して明るさが変わるPSPの特性(感圧感度)は試験を行うたびに少しずつ変化しますし、温度で明るさが変わってしまう特性(温度依存性)も持っています。そのため、PSP計測では毎回、実験前にJAXAが開発した自動校正装置を使って、実験に使うPSPの圧力と温度による発光量の特性デー

タを取ります(図4参照)。風洞試験時には、TSP(感温塗料)を併用することで模型上の温度分布も計測します。計測したPSPの発光量と、温度分布データから圧力を導き出し、さらに同時に計測した圧力孔での圧力計測結果と組み合わせることで、より正確なデータに補正しています。

■PSP計測の欠点を補う

一般的なPSP計測では、感圧色素はポリマーに混合して塗装されているため、圧力変化が感圧色素に到達し応答するまで数秒程度の時間を要します。したがって、それより短い超短時間の圧力計測や非定常状態による不規則な圧力変化の計測は困難でした。JAXAが開発したAA-PSP(アルミ陽極酸化PSP)コーティング技術は、ポリマーを無くし、直接金属面に遷移金属錯体などの感圧色素を吸着させることで、非常に短い時間で発光強度の変化を起こすことができます(図5参照)。JAXAではこの技術を使い、世界で初めて20ミリ秒という極短時間における圧力分布の計測に成功しています。この技術を発展させた非定常PSP計測では、高速度カメラを使って発光を計測することで、現在では航空機やロケットにおける振動や騒

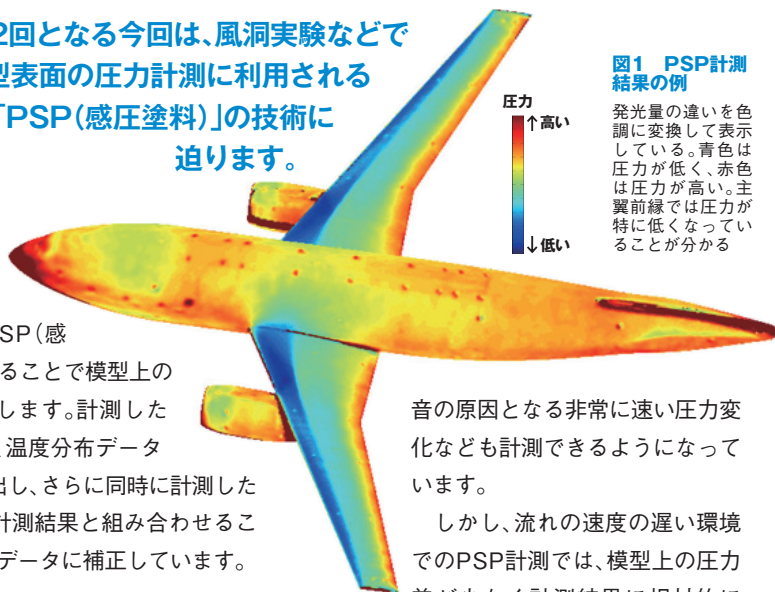


図1 PSP計測結果の例

発光量の違いを色調に変換して表示している。青色は圧力が低く、赤色は圧力が高い。主翼前縁では圧力が特に低くなっていることが分かる

音の原因となる非常に速い圧力変化なども計測できるようになっています。

しかし、流れの速度の遅い環境でのPSP計測では、模型上の圧力差が少なく計測結果に相対的にノイズが強く影響するため、高精度での圧力分布を求めることはまだ困難です。現在の非定常PSP計測では、光出力7Wの青色半導体レーザーと、空間分解能1280×800ピクセル以上で1秒間に12万回以上撮影可能な高速度カメラを用いていますが、より高精度な圧力計測や、低速・低圧環境でも大きな発光量を得られるPSPの開発、感度の良い高速度カメラの利用が必要になるでしょう。

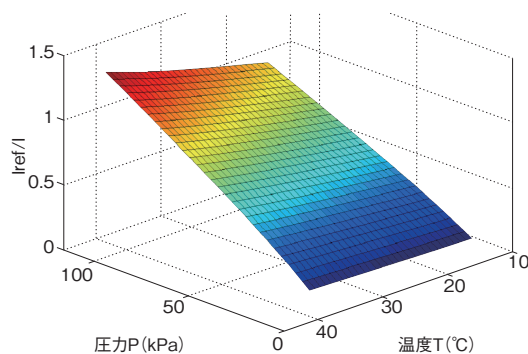


図4 PSPの圧力及び温度特性例

JAXAが開発した自動校正装置で計測。圧力方向に大きな発光量変化(圧力感度)を持つ。温度方向に多少の発光量変化(温度依存性)も持つことがある。

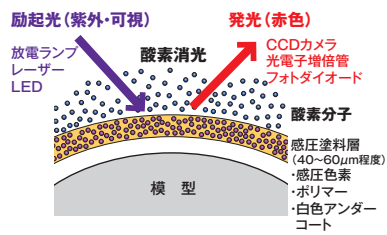


図2 PSPの構成

下地として白色のアンダーコート、その上に白金ポルフィリンなどの感圧色素(蛍光色素)とポリマー、溶剤を混合した感圧塗料層を重ねて塗布する。これにキセノンランプなどの光源から感圧色素に励起波長(PtTFPPであれば紫)を含む励起を照射すると、感圧色素が励起され、発光(PtTFPPであれば赤色)する。

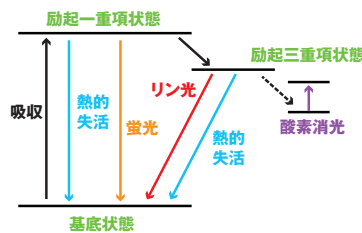


図3 光励起分子の反応過程

感圧色素が励起光を吸収して励起状態になり、基底状態へ戻ろうとする過程でリン光発光することでエネルギーを消費する。周囲の酸素量が多ければ励起発光状態のエネルギーの一部が酸素分子に移動し、リン光発光が小さくなるため、発光強度に圧力感度(酸素感度)が生じる。

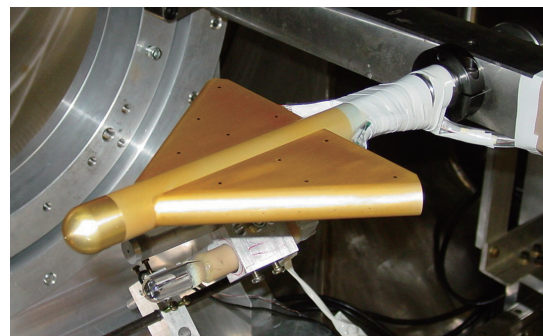


図5 AA-PSPコーティングを施した風洞模型

アルミ製模型を陽極酸化処理(アルマイト加工)した後、感圧色素を吸着させるだけのため、コーティング後の模型には金属的な光沢がある。

Flight Path Topics

NASAとJAXAの航空分野トップがパリで会談

2015年6月にフランス・パリで開催された第51回パリ国際航空ショーの開催期間中、会場において、NASAのチャールズ・ボールデン長官と航空研究ミッション局のジェイウオン・シン局長、JAXAの奥村直樹理事長と中橋和博航空技術部門長による会談を行いました。JAXA・NASAの航空分野についての四者会談は今回が初めてで、関連な意見交換が行われました。

航空研究機関の国際組織であるIFAR(国際航空研究フォーラム)*では、現在NASAが議長、JAXAが副議長を務めています。2015年10月からはJAXAがIFAR議長職を引き継ぐ予定になっています。今回の会談では、これまでNASAの強いリーダーシップによって国際協力が推進されてきたことに対してJAXAより厚く謝意を表するとともに、NASAからは議長となるJAXAをサポートしていくこと、またJAXAがアジア・太平洋地域の公的航空研究機関に対してさらなるリーダーシップを発揮することへの期待が表明されました。

また、ソニックブームの国際基準策定への取り組みをはじめとする、NASAとJAXAが二者間で進めている共同研究のこれまでの成果についても話題に上るなど、NASAとJAXAが今後も優れたパートナーとして協力関係を発展させていくことを確認しました。

* 2010年に設立された公的航空技術研究機関による国際組織で、現在26機関が加盟。詳しくはFlight Path No.1を参照。



左から、シン局長、ボールデン長官、奥村理事長、中橋航空技術部門長

「リサイクル炭素繊維リユース技術の開発」が先端材料技術協会の「製品・技術賞」を受賞

2015年7月、JAXA航空技術部門が研究している「リサイクル炭素繊維リユース技術の開発」の業績が、極めて顕著であると認められ、先端材料技術協会から「製品・技術賞」の表彰を受けました。

軽量かつ強度の高いCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の航空機用部材への利用が年々増加する中、将来必要となるであろうCFRPのリサイクル技術は、いまだ確立されておらず、世界的に注目されている技術です。



リサイクルCFRP技術で作られた実物大ウィングレットの模型

JAXAでは、開発したリサイクル技術を用いて航空機用の高品質なCFRPをリサイクルし、実物大のウィングレット形状の模型を製作しました。試作品によって、リサイクルしたCFRPで複雑な構造を製作できることが確認できています。引き続き実用化に向けて、CFRPリサイクル技術の研究開発に取り組んでいきます。

JAXAが提案したセラミックス基複合材料(CMC)試験方法がJIS規格に

JAXAと一般社団法人日本ファインセラミックス協会(JFCA)が共同で提案していたセラミックス基複合材料(CMC)(12ページ参照)に関する二つの試験方法「長繊維強化セラミックス複合材料の高温における圧縮特性の試験方法」と「長繊維強化セラミックス複合材料の高温における引張クリープ特性の試験方法」が、2015年5月にそれぞれ日本工業規格(JIS)の規格(JIS R1721、R1723)として発行されました。



一般社団法人日本規格協会発行のJIS規格冊子

先進複合材料が産業界で広く使われるようになるためには、その材料の性能を評価する試験方法の標準化が欠かせません。JAXAでは、これまでの複合材料技術の研究で得た試験方法や評価方法をJIS規格や国際標準規格(ISO)として標準化する活動を行っています。JIS規格とISO規格が同じであれば、国内外向けに評価方法を変える必要はなく、国内メーカーにとって開発をスピーディーに行えるというメリットが生まれます。

今回採用された2件は、2010年度から技術的な検討を開始し、2013年10月に原案を作成したものが認められたものです。標準規格として認められるためには、JIS化、ISO化それぞれで3~5年も要しますが、日本の航空機産業の発展に貢献できるよう、今後も標準化を目指した活動を行っていきます。

6.5m×5.5m低速風洞用ピラミッド型六分力天秤の開放点検及び改修を実施

2014年10月~2015年10月にかけて「6.5m×5.5m低速風洞」のピラミッド型六分力天秤(ピラミッド天秤)の開放点検及び改修を行っています。

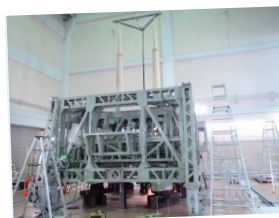


分解した構造体を点検と改修のために搬出する

ピラミッド天秤は、風洞の計測部の床下に設置し、支持装置を介して試験模型を支え、模型

にかかる六つの力とモーメント、すなわち、抗力、揚力、横力、ピッチングモーメント、ローリングモーメント、ヨーイングモーメントを精密に計測するための装置です。重量のある模型を支えながら、微細な力の変化を検出するため、大きな胴体の中に複雑な機構が組み込まれています。

1965年、調布航空宇宙センターに6.5m×5.5m低速風洞が建造され運用が開始されて以来、ピラミッド天秤は国内最大の航空用風洞の主力として、数多くの風洞試験に使用されてきました。運用開始から50年を経て、経年変化による劣化や摩耗により、計測精度の低下が懸念されるため、今回初めて、天秤を全て分解する大規模な



点検と改修を終えた構造体を再び組み立てる

点検に踏み切りました。半年間にわたるメーカー工場での開放点検と改修を終え、現在、調布航空宇宙センター内にて最終組立中です。今回の作業によって、活力を取り戻したこの風洞は、今後もさまざまな実験に活躍してくれることでしょう。

