

JAXA 航空マガジン



FLIGHT PATH

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

2016
SPRING

No.12
航空技術部門
www.aero.jaxa.jp



特集

日本の航空産業へのJAXAの貢献

大貫武航空プログラムディレクタに聞く
日本の航空産業に対するJAXAの技術的貢献

ビジネスジェット機としての実現に期待が高まる
超音速旅客機研究の現状とこれから

日本の航空産業を支える
JAXAの複合材料研究

今号は、JAXAの研究成果がもたらす「日本の航空産業におけるJAXAの貢献」をテーマに、これまでのJAXAの研究開発の歩みを振り返ります。また、日本の航空産業を盛り上げる分野の一つである複合材料研究について、JAXAの取り組みを紹介します。

CONTENTS

特集

日本の航空産業へのJAXAの貢献

P. 3-5
大貫武航空プログラムディレクタに聞く
日本の航空産業に対するJAXAの技術的貢献

P. 6-7
ビジネスジェット機としての実現に期待が高まる
超音速旅客機研究の現状とこれから

P. 8-9
日本の航空産業を支える
JAXAの複合材料研究

航空技術部門へのメッセージ
P. 10-11
国家的なプロジェクトならではの先導的な研究を示して
将来の技術者に伝承されていくチャレンジングな研究開発を

川崎重工業株式会社 航空宇宙カンパニー
大型機設計チーム(MCET)サブチーフ・デザイナー フェロー(役員) 滝 敏美氏
技術本部 研究部 構造技術課 基幹職 倉石 晃氏 インタビュー

技術研究紹介
P. 12-13
研究の根幹となるデータを取得する
JAXAの音計測技術

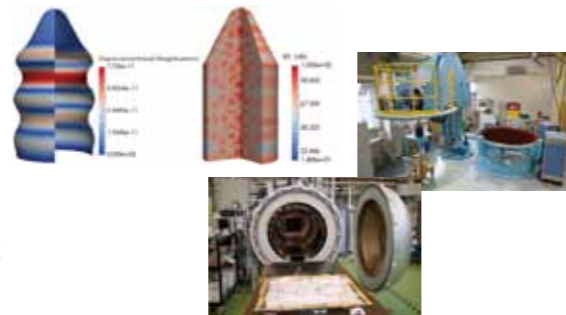
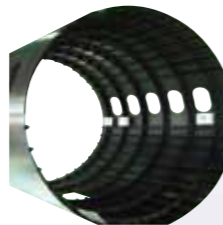
リレーインタビュー
P. 14
第8回「将来必要となる技術を読み取ることが研究者としてのやりがいです」
数値解析技術研究ユニット 研究計画マネージャ 青山 剛史

ソラの技
P. 15
「音響解析(非線形音響伝播/音響透過・振動)編」

FLIGHT PATH Topics
P. 16
・DMAT訓練と連携し「D-NET2」のシステム評価を実施
・南相馬市で小型無人航空機による放射線モニタリングシステムの実証評価を実施
・大型回転強度試験機の運用を開始
・実験用高温オートクレーブ(複合材硬化炉)の運用を開始

「FLIGHT PATH」11号において、記載に一部誤りがございました。謹んでお詫び申し上げますとともに、訂正させていただきます。
●2ページ及び12ページ「航空技術部門へのメッセージ」の役職名中 (誤) 滞在型無人機設計係長 奈良橋俊之氏 → (正) 滞在型無人機設計係長 奈良橋俊之氏
●5ページ下段「気象影響防御に対する取り組み(イメージ)」の図版中 (誤) 防水コーティング → (正) 防水コーティング

表紙写真
VaRTAM・プリプレグハイブリッド(VPH)成形技術実証のために製作した航空機胴体を模擬した試作品。



大貫武航空プログラムディレクタに聞く 日本の航空産業に対する JAXAの技術的貢献

大貫 武
航空プログラムディレクタ



実験用航空機「飛翔」の模型を前に。

JAXA航空技術部門では、航空に関わるさまざまな技術の研究開発を通じ、日本の航空産業に大きく貢献してきました。中でも、今回は特にエンジンや機体の技術研究、また将来必要と考えられる超音速旅客機の技術研究について、JAXAのこれまでの貢献とこれからの取り組みについて、大貫武航空プログラムディレクタに話を聞きました。

共同研究で技術を高め合う

——これまでどのように日本の航空産業界と連携してきたのでしょうか。

JAXAはこれまで、複合材料やCFD(数値流体力学)、エンジンなど、さまざまな研究分野で日本の航空機技術の発展に寄与してきました。少し遡りますと、JAXA航空技術部門の前身である航空宇宙技術研究所(NAL)時代に、複合材料技術を使ってSTOL実験機「飛鳥」^{※1}の2分の1スケール尾翼を製造し、強度試験に合格しました。実際の機体に適用したわけではありませんが、世界に先駆けて航空機に複合材料を適用できる可能性を示すことができました。

また、「飛鳥」に搭載された「FJR710」エンジンは、1970年代前半に日本が一丸となって作り上げたエンジンで、後に海外メーカーに日本の技術力を認められたことで、現在エアバスなどに採用されている「V2500」エンジンの国際共同開発に日本が参加するきっかけにもなりました。また、これまでの研究成果は、aFJRプロジェクト^{※2}にも引き継がれています。

CFDはNAL時代から率先して研究開発を進めてきた分野であり、メーカーや産業界と直接手を取り合って開発してきたのではな

く、JAXA(NAL)が主導して技術を獲得し、獲得した技術を民間に移転しました。また、日の目は見ませんでした、国内初の旅客機「YS-11」の後継となる機体の検討を、産業界、経済産業省(当時通商産業省)などと協力して行いました。JAXAの技術は日本の機体メーカーの国際競争力強化に繋がったと考えています。

2003年に3機関が統合^{※3}しJAXAがスタートしましたが、ちょうどその頃、三菱重工業株式会社と共同研究を開始しています。それが、MRJの開発に活かされています。

——ほかにも共同研究が行われていますか。

三菱重工業株式会社との共同研究と同時期に、株式会社IHIと小型ジェットエンジンの共同研究を行っています。2013年からは、JAXAも最先端技術や基礎的・基盤的技術だけでなく、国民の生活に直接関係するような技術、出口指向の研究開発を行うということで、いろいろなメーカーと議論を重ねてきました。

——話を少し戻して、複合材料やCFDの技術はどのように産業界へ伝わったのでしょうか。

複合材料の場合では、JAXAと素材メーカーとで共同研究を行い、性能を満足する機能があるかどうかを実証します。その技術を

素材メーカーが育て、実用化していきました。CFDについても同様に、重工メーカーとの共同研究で要素技術として作り上げ、産業界がそれを育ててきました。まずJAXAが研究をスタートさせて、民間企業が実用化していくという形ですね。

MRJの中にJAXAの技術が生きている

——三菱重工業株式会社との共同研究は、どのようなものでしたか。

共同研究は、まず、MRJをどのような機体にするのか、どのように差別化していくのかといった概念設計の段階から始まりました。研究分野としては、空気力学や低騒音化技術、構造材料、飛行試験技術など、2002年から10年の間、いくつかの分野での共同研究を行いました。開発現場の方々と一緒に研究させていただいたことは、私たちJAXAとしても非常に勉強になりました。

共同研究が終了した現在は、三菱重工業株式会社と連携協定を結び、支援事業という形で一緒に研究開発を進めています。MRJに何

※1 C-1輸送機をベースにFJR710エンジンを搭載した短距離離着陸(STOL)実験機。1985年(昭和60年)から1989年(平成元年)まで、97回の飛行実験を行った。
※2 高効率軽量ファン・タービン技術実証プロジェクト。ジェットエンジンに使用されるファンや低圧タービンの効率化、軽量化を目指す。詳しくは、FLIGHT PATH No.2を参照。
※3 宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、2003年に宇宙科学研究所(ISAS)、航空宇宙技術研究所(NAL)、宇宙開発事業団(NASDA)の3機関が統合して誕生した。

か課題が生じればMRJの開発チームとJAXAが一緒に解決していくことになるでしょう。——共同研究の内容をもう少し教えてください。

空気力学分野では、CFDを使った機体設計の最適化を行いました。低騒音化技術の研究は、現在JAXAが進めているFQUROH^{※4}プロジェクトに繋がっています。構造材料分野では、機体の安全性の確認のための共同研究を行いました。構造と空力の連成によって生じるフラッター^{※5}という非常に危険な現象があるのですが、その限界を推定する解析ツール、また、非常時に不時着する際の機体の強度的な安全性を解析するツールなどを開発しました。

また、MRJの尾翼には複合材料が使用されていますが、この複合材料技術については、クーボン試験^{※6}、パネル試験^{※7}、実大垂直尾翼の強度試験などの試験案の策定を支援し、尾翼の安全性証明の支援を行いました。

飛行試験は、航空機の耐空性を実証するための試験で、型式証明を取得するための試験

ともいえます。2015年11月11日にMRJが初飛行した際には、試験空域の気象状況をMRJの飛行前に確認するために、JAXAの実験用航空機「飛翔」も飛びました。これはMRJがまだ型式証明を取得していない状態であり、気象条件が整っていないと飛行できないためです。その後も、MRJの飛行試験に合わせて、「飛翔」が気象状況の確認を行っており、気象条件が揃わずにMRJの試験飛行が中止になったこともあると聞いています。今後は、研究的な要素、例えば主翼の変形量を計測したり、騒音を計測したりといった研究を共同で行うことを予定しています。また、ほかの形でも支援ができないか検討中です。

共同研究から発展した 二つのプロジェクト

——共同研究当初から機体騒音低減は重要だったのでしょうか。

航空に関する国際的な基準を定める国際民間航空機関(ICA)でも、当時から騒音に対する規制が厳しい方向へ向かうことは明らかでしたので、将来制定されるであろう厳しい規格にも対応できるような騒音レベルに抑えなければならないと考えていました。騒音を抑えることができれば空港周

辺の騒音対策エリアが減りますし、空港着陸料も安くなります。国やエアラインにとってのメリットが生まれると考えて、研究を進めました。

——それがFQUROHプロジェクトに繋がるのですね。FQUROHの現状を教えてください。

2016年度、「飛翔」を使った実証試験を予定しており、現在、実証に使用するフラップや脚部分の低騒音化デバイスを設計中です。その後、MRJにも低騒音化デバイスを装着して、実証実験を行いたいと考えています。この技術が実証されてMRJに適用できれば、それだけで機体売り込み際のセールスポイントになります。もちろん、MRJ以外の航空機にも、どんどん使われていくことになるでしょう。

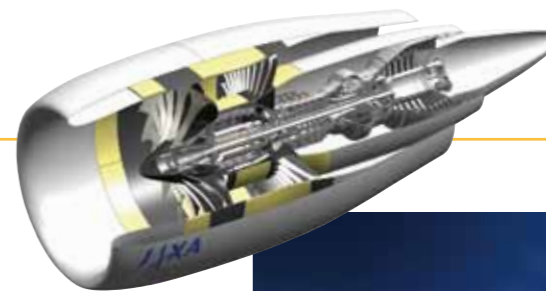
低騒音化技術の研究は世界中で行われていますが、低騒音化を目的とした飛行実証はまだ行われていません。「飛翔」による実証試験が実施できれば、世界に対するアドバンテージになります。

——aFJRプロジェクトでも実証試験は行われるのでしょうか。

aFJRについては、技術開発が終わったからといって、開発した技術がすぐにジェットエンジンに搭載されるというわけではなく、地上での要素技術の実証を行います。できれば、ベースとなるエンジンを調達し、開発したaFJRの技術を組み込んで実証できれば良いのですが、プロジェクト期間中にそこまで行う計画はありません。aFJRもエンジンメーカーと共同で研究を進めており、プロジェクト終了後はメーカーに技術移転されます。その技術をもって、エンジンメーカーは国際共同開発など戦略的に利用していくことになるでしょう。

——複合材料の分野でもプロジェクトは進行しているのでしょうか。

残念ながら、複合材料分野では大きなプロジェクトはありませんが、効率的な主翼の開発技術を研究する「エコウィング」で複合材料の利用を検討しています。まだ技術的課題も多く、プロジェクトではなく要素技術研究の段階です。



さらなる環境性能向上のために、これまで日本の担当実績が少ないコアエンジンや、エンジン騒音低減技術の開発・実証を目指す

将来の航空産業における 日本の立場はどうなる？

——国際競争が激しい航空産業で、日本の位置付けは今後どのように変わっていくのでしょうか。

MRJが飛行に成功したことで、日本はインテグレーターとして大きな一歩を踏み出しました。国際共同開発における参画度合いのシェアを伸ばしていくことも大事ですが、やはりインテグレーターとして飛行機を飛ばすことができる力が重要です。今後は、オールジャパンで次の国産旅客機、その次の国産旅客機というように、続けていかなければならないと思っています。そのためには、他機種との差別化が必要です。JAXAは、将来を見据えながら差別化できる技術、海外と十分に戦える技術を研究開発していかなければなりません。

——超音速旅客機の研究も、将来を見据えた研究開発ですね。

超音速旅客機(SST)の研究は、JAXAに統合される以前、NALだった1997年からスタートしました。超音速で飛行すれば旅行などの移動時間が短縮できるので、非常に利便性が高い移動手段になります。研究開始当時は、まだ超音速旅客機「コンコルド」が飛行していましたが、いろいろな課題が見えていました。私たちは、コンコルドで問題になった環境問題や経済性といった課題を、一つひとつ技術的に解決しようと研究しています。

まず、2005年にオーストラリアで行ったNEXST-1(小型超音速実験機)の飛行実験によって、機体の空気抵抗を大幅に減らす技術を実証しました。2015年には、スウェーデンで行った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)から、ソニックブーム低減技術の実証ができました。これら二つの試験結果により、SSTの技術的課題を克服する目的が立ったので、2016年度以降、システム全体の概念設計検討を行いたいと考えています。航空機は、何か一つだけ突出した良い技術があっても飛行できませんから、全体としてそれぞれの技術が成立するかどうかが大切です。概念設計の後、新たな

取り組みとして、実機の飛行を目指したプロジェクトができればと思っています。

——NEXST-1もD-SENDも長期の試験になりました。

今では、いい勉強をさせてもらっ

たと思います。どちらもモノを作って飛ばす、飛行させることを目的とした試験で、それだけでも貴重な経験ですが、それぞれ1回ずつ失敗したことが、非常に勉強になりました。実際に機体を作って飛行させるとなると、想像もしなかったトラブルが起きてしまう。システム全体を作って実際に飛ばすということは、とても大変なことだということを若い研究者が体験できたことが良かったです。もちろん、失敗しないことが一番ですが、失敗してもその原因を究明して対策を行い、もう一度挑戦するという経験は得がたいものでした。

——SSTの実現は日本の航空産業にどのような影響を与えますか。

SST開発は、非常に高額な費用が掛かりますから、一国で開発するのではなく、国際共同開発になるでしょう。そうなった時、JAXAが現在行っているようなデータの積み重ねがあれば、国際共同開発の場でも日本は早期から参加して、大きな発言力を持つことができます。SSTは、まだ大手航空機メーカーも参入していない、これからの市場ですから、最初から参加していることが大切だと思います。

——SSTはJAXAにとって大きなターゲットといえるのでしょうか。

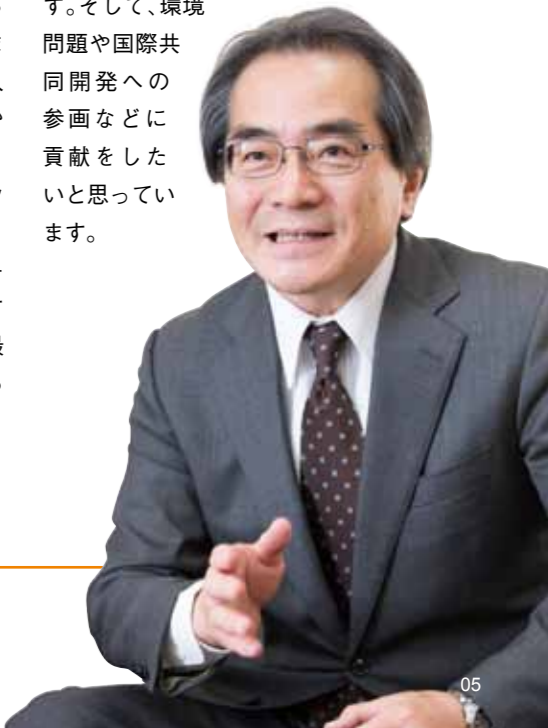
もちろんです。JAXAのミッションは、メーカーに技術支援を行って国際競争力を強化することです。SSTのような将来を見越した最先端の研究開発は、私たちが行う必要があると考えています。



JAXAが研究している小型静粛超音速旅客機(イメージ)

——今回は機体やエンジンを中心にお話を聞きましたが、最後に運航や整備系などの産業に対してはどのような貢献を行っていくのか教えてください。

飛行する航空機の前方向にある乱気流をドップラーライダーによって検知し、航空機の動揺を抑制する技術の確立を目指すSafeAvioプロジェクトや、航空機の運航への影響が大きい雪氷、雷、火山灰などの日本特有の気象影響に対する防御技術などのように、運航の安全性や運航効率を向上するための技術研究をメーカーと共同で行っています。また、2015年4月からは新しく「次世代航空イノベーションハブ」体制も動き始めています。これまでJAXAと共同研究を行ってきたメーカーや大学、エアラインだけでなく、これまで接点なかった異分野のメーカーなどにも参加してもらい、新たな技術の創造を目指します。そして、環境問題や国際共同開発への参画などに貢献したいと思っています。



STOL実験機「飛鳥」

実験用ターボファンエンジンとして開発されたFJR710

※4 機体騒音低減技術の飛行実証プロジェクト。飛行時に機体から発せられる騒音の低減技術や航空機の騒音計測技術の確立を目指す。詳しくは、FLIGHT PATH No.1を参照。

※5 翼などの構造物が振動することで生じる「慣性力」「弾性力」「空気力」の組み合わせによって引き起こされる現象。FLIGHT PATH No.8参照。

※6 平板打撃試験。加工前、素材段階の部材に対して衝撃を加え、エネルギー吸収率などを計測する試験。

※7 加工した部品、あるいは部品を組み合わせてサブ・コンポーネント化した状態の部材に対して衝撃を加え、破壊状態などを確認する試験。

一時は下火になった超音速旅客機の研究が、再び注目されています。さまざまな研究開発を通じて、超音速旅客機の実現を目指すJAXAのこれまでの取り組みと今後の展望を紹介します。

牧野 好和

次世代航空イノベーションハブ
研究領域リーダー

ビジネスジェット機としての実現に期待が高まる
超音速旅客機研究の
現状とこれから

超音速旅客機研究の背景

1947年、アメリカの有人実験機X-1が、世界で初めて音速の壁を突破し、超音速での飛行が可能であることを示しました。その後、21世紀にはすべての旅客機が超音速機になるだろうという前提のもと、アメリカやロシアをはじめとする世界各国が、しのぎを削って超音速旅客機(SST: SuperSonic Transport)の研究開発を行い、1969年にはイギリスとフランスが共同開発したコンコルドが飛行を開始しました。しかし、コンコルドはいくつもの課題を抱えていました。第一に燃費の悪さによる経済性の低さ、第二にNOxやCO₂などによる環境に与える影響、そして第三に超音速飛行による衝撃波、ソニックブームの問題が挙げられます。特にソニックブームに関しては、ソニックブームを聞いた人への健康被害を考慮し、陸地の上空ではマッハ1以上の超音速飛行が禁止されたため、コンコルドは旅客機として限られた航路しか飛行できなくなってしまいました。こうしたことから、SSTの研究開発は下火になりました。

アメリカでは1971年にSSTの研究開発がキャンセルされましたが、1986年に再びHSR(High-Speed Research)プロジェクトを立ち上げてSST実現の可能性の検討が再開されました。HSRプロジェクトでは、乗客300人程度の大型旅客機を想定していましたが、航空機メーカーの撤退により1999年で終了してしまいます。しかし、その後もアメリカ航空宇宙局(NASA)や国防高等研究計画局(DARPA)によって、SSTの研究が続けられ、2003年にはノースロップ・グラマン

社製F-5E Tiger II戦闘機の先端部を改造したSSBD(Shaped Sonic Boom Demonstration)実験機を使った、低ソニックブーム技術の実証実験も行われました。

これまでの
JAXAの取り組み

SSBDの実証実験で、ソニックブームを十分に低く抑えた超音速飛行が可能であることが分かりました。これにより、アメリカではいくつかのベンチャー企業がSSTの一つである超音速ビジネスジェット機の開発に名乗りを上げました。また、ヨーロッパではフラ

機体の特徴

●面積則胴体形状
胴体の形状を工夫して、衝撃波、抵抗を小さくします。

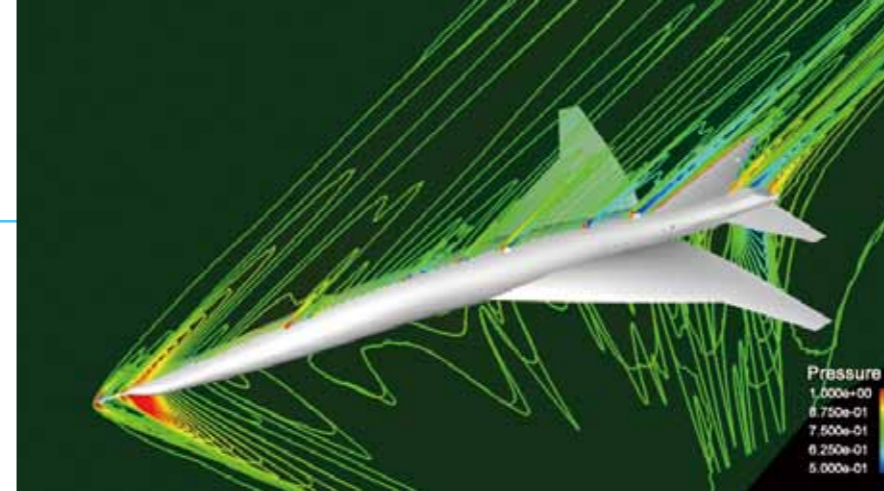
●アロー型平面形
翼の平面形を工夫し、抵抗を減らします。



調布航空宇宙センター展示室にて。実際に飛行実験を行ったNEXST-1(小型超音速実験機)

●フープ形状
翼の捻りを工夫して、抵抗の少ない形にしています。

●自然層流翼
翼面上の流れをできる限り乱れの少ない流れにして、抵抗を減らします。



D-SENDのCFD解析画像

ンスのダッソー社が中心となって立ち上げた超音速研究プログラム、HISAC(High-Speed Aircraft)でソニックブーム低減や空港騒音の低減、長距離飛行を目指した超音速ビジネスジェット機の研究開発が行われました。

JAXAは、1997年に「次世代超音速機技術研究開発」として、超音速旅客機の研究開発に着手していました。2005年には、オーストラリアのウーメラ実験場でNEXST-1(小型超音速実験機)の飛行実験に成功し、機体表面の摩擦抵抗を減らす技術などを用いて、さまざまな空気抵抗を減らすことで燃費を改善し、経済性を向上させる技術の実証を行いました。抵抗を減らせば、それだけ燃料の消費を抑えられる、つまり航空機の燃費を良くできます。また、2015年には、スウェーデンのエスレンジ実験場で低ソニックブーム設計概念を適用した試験機による飛行試験(D-SEND#2)に成功し、機体の先端と後端にソニックブーム低減化を図った航空機形状によってソニックブームを低減する機体設計技術を実証しました。

実際にSSTが飛行することになれば、現在各国で規定されている“陸地の上空を超音速で飛行してはいけない”というルールが、SST普及の足かせとなります。ルールを変更するためには、人間に影響が出ない程度までソニックブームを低減しなければなりません。そのため、国際民間航空機関(ICAO)の超音速航空機を検討するグループの会合であるSSTG(SuperSonic Task Group)では、ソニックブームの基準づくりが始まっており、JAXAも2005年頃から参画しています。D-SEND#2の結果もSSTGで報告し、国際的な評価を得ています。

ICAOでは、騒音問題以外にもさまざまな課

題が話し合われています。SSTは、高い揚抗比で効率的に飛行するため、また空気との摩擦熱を抑えるため、一般的なジェット旅客機よりも高い高度で飛行します。SSTが巡航するような高高度でNOxが排出された場合、気候にどのような影響を与えるのか、といった検討もICAOで行われています。

JAXAが目指す
次のSST研究開発とは

JAXAでは、まずNEXST-1で空気抵抗を下げて燃費を良くする技術を、次にD-SEND#2でソニックブームが小さくなる機体設計技術を研究開発しました。では、JAXAが次に目指すべき目標、確立すべき技術は何か?といえば、これまで個別に研究開発を行ってきた技術を集結させて、一つの機体システムを成立させるシステムインテグレーション技術、統合設計技術なのです。

NEXST-1やD-SEND#2のプロジェクトを通じて、実際に実験機を飛行させる、つまり飛行実証することの重要性は、JAXA内だけでなく共同で研究するメーカーも強く認識されています。飛行実証を行うまでの道のりは、決して平坦なものではありませんが、実際に飛行して得られたデータは、非常に大きな価値があり、国際的な基準づくりの場でも無視することはできません。「今後、これまでに得た低燃費技術や低ソニックブーム技術などの要素技術をブラッシュアップしていくと同時に、新たな飛行実証の検討を行っていきたく考えています」(牧野好和研究領域リーダー)。

なぜ統合設計技術が
必要なのか

統合設計技術を確立させるためには、まだ

解決しなければならない課題がいくつかあります。その一つが、離陸時の騒音問題です。超音速機は高速での飛行は得意ですが、離陸のような低速での飛行は苦手です。コンコルドの場合には、特別に認められて離陸時にアフターバーナー^{※1}を使って離陸のための速度を得ていましたが、その際に発生する騒音は、超音速で飛行しない航空機に比べて非常に大きいものでした。

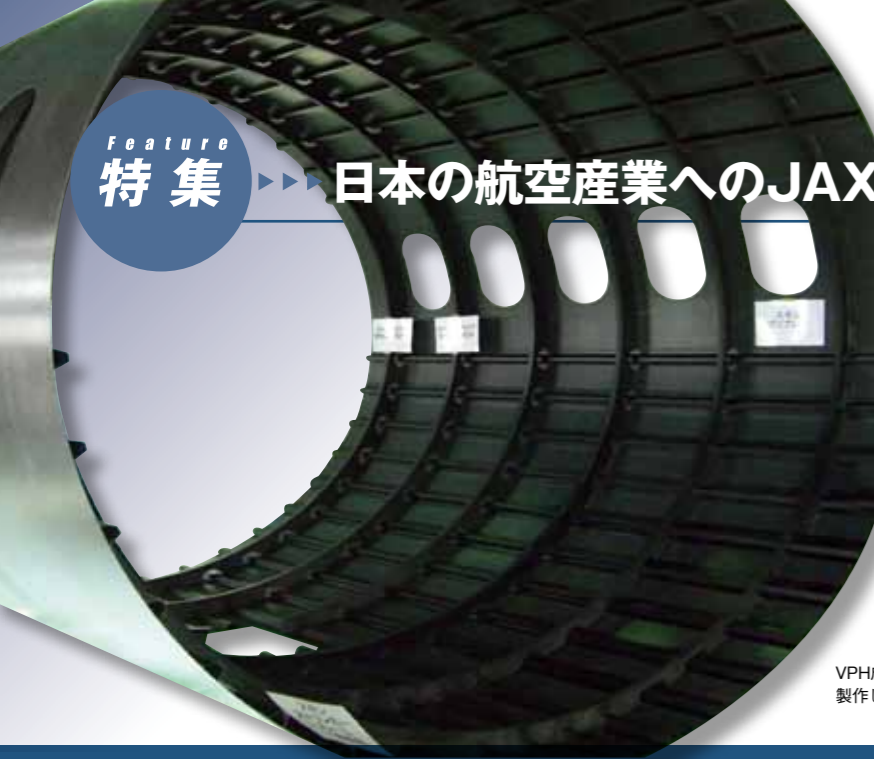
離陸時の騒音を抑えるためには、エンジン前部にあるファンを大きくし、バイパス比^{※2}を高くすれば良いのですが、一方、超音速で巡航する際には、低バイパス比エンジンの方が効率良く飛行できます。エンジン単体で考えれば、高バイパス比と低バイパス比は両立しないので、空気流路の形状を離陸時と巡航時で変えて空気の流量を調節するといった方法が必要になります。あるいは、エンジン後部にあるノズルの形状を工夫することで、同じバイパス比のまま騒音を抑える方法もあります。このように、相反する要求を一つの要素技術のみで解決するのではなく、機体全体で考えることがSST開発のカギであり、これこそが統合設計技術なのです。

SST開発における
JAXAの役割

JAXAの使命としてはNEXST-1やD-SEND#2のような実証実験など、企業単独ではむずかしい分野に取り組むことが重要です。しかし、JAXAが研究開発した技術を、できあがってから企業に技術移転するという方法では、世界の流れから取り残されてしまいます。「今後の研究では、SSTの国際共同開発を見据えて、これまで以上に企業との共同研究開発体制を構築したいと考えています」(牧野研究領域リーダー)。

日本が独自の技術や強みとなる技術を持っていれば、SSTの国際共同開発が行われた場合に、その中で大きな発言力を持つことができるはずですが、JAXAは、航空産業に関わる日本企業の先頭に立って、SST技術の確立を目指していきます。

※1 ジェットエンジンの排気に燃料を噴霧し、再び燃焼させることで大きな推進力を得る方法、および装置のこと。主に戦闘機で利用される。
※2 コアエンジンを通過する空気量とファンのみを通過する空気量の比。バイパス比を高くすれば騒音は抑えられるが、最高速度は低くなる。



VPH成形技術で
製作した供試体

長年にわたって行われてきたJAXAの複合材料研究。その成果は、さまざまな形で日本の航空産業に貢献しています。JAXAにおける複合材料研究の変遷と将来について紹介します。

層と層の間が剥がれて強度が落ちる問題があり、そのメカニズムを詳細に調べることが必要でした。そのため、メーカーからサンプルを取り寄せて、試験や評価が行われました。「メカニズムを解明しないことには設計もできません。どういう現象が起こっているのかを根本から把握しておくことは非常に重要なことだと考えていました」(杉本研究領域リーダー)。

こうした経験から、JAXAでは複合材料を試験し評価する方法を開発してきました。開発してきた試験方法や評価法については、JIS規格やISO規格で標準化していく活動も進めており、これらの規格化により企業の複合材料開発を支えたいと考えています。複合材料の開発では、複合材料を作る技術、実際の構造に適用するための技術、そして複合材料とその構造を試験して評価する技術が必要だと考えて研究に取り組んでいます。このように複合材料の試験・評価の研究は、NALで複合材料の研究体制が整備されていた時代にまで遡ることができるのです。

さまざまな試験装置で複合材料を評価

現在、JAXAの飛行場分室には、複合材料を試験するための装置が多数あり、JAXAの「試験設備等共用制度」のもと、外部の機関・企業なども利用して



杉本直

構造・複合材技術研究ユニット
研究領域リーダー

に複合材料が採用されました。NALでは1980年代後半に研究組織が整理・再編成され、複合材料の研究は飛行場分室に置かれた機体部の複合材構造研究室と疲労研究室において行われることになりました。「私がNALに入所したのは1991年でしたが、その頃、ここに試験機がどんどん入ってきました」と語るのは、構造・複合材技術研究ユニットの杉本直研究領域リーダーです。「日本でも複合材料の研究に力を入れようということになり、圧縮や引張の試験装置や非破壊検査装置などの設備が充実していきました」。

ちょうどこの頃、ボーイング社、日本航空機開発協会(JADC)、NALの共同研究として、「7J7尾翼試験」が行われていました。その後開発された777の尾翼は、複合材料が旅客機の一次構造材に使われた初めてのケースとなりました。

複合材料の産業化が進んでいく中、NALでの複合材料の研究は、基礎的な分野で進められました。CFRPは炭素繊維に樹脂を含浸させたプリプレグと呼ばれるシートを積層し、圧力窯で焼いて作られますが、当時、

います。JAXAの試験施設の特徴としては、さまざまな種類の試験装置が揃っていることです。ユーザーのニーズに応えることができること、企業にはない大型の試験装置があること、単なる施設の利用だけでなく、ケースによってはJAXAのサポートを得ることもできる点などが挙げられます。

中でも1,000tまでの負荷をかけることができる10MN試験機は、各方面から注目されています。「こうした大型の試験機は、航空機用としては国内に他にありません。航空機開発メーカーに使っていただくことも、JAXAの大事な役割です」(杉本研究領域リーダー)。また、構造・複合材技術研究ユニットの吉村彰記研究員も、「このような大規模な装置をメーカーが単独で持つのは、コストがかかり過ぎます。JAXAにあれば皆が使えます。実際、使用頻度は思っていたより高いです」と語っています。

JAXAの複合材料研究では、産業との関わりが深い研究も進めています。一つの例としては、ある航空機エンジンのCFRP製ファンケースが挙げられます。ファンケースは、バードストライク(鳥の衝突)等によってファンが破損した場合に、破片が周囲に飛び散ることを防ぐために設置されています。「そのケースに適した性能の良いCFRPが見つかったので



航空機開発メーカーからも引き合いがある10MN試験機。1,000tまでの負荷をかけることができる。



吉村彰記

構造・複合材技術研究ユニット
研究員

すが、性能の良い理由が明確ではありませんでした。そこで共同研究を行い、シミュレーションを通じ材料の性能が良い理由を解析しました。メーカーの活動に貢献できた事例ではないかと思っています」(吉村研究員)。

複合材料の利用は今後も広がっていく

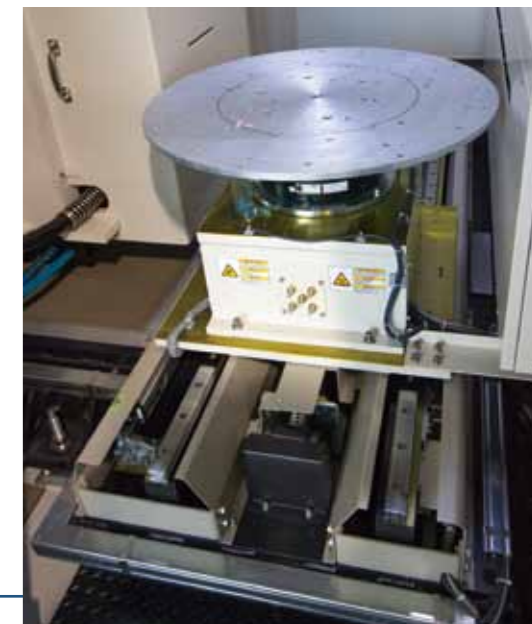
現在JAXAが進めているいくつかの研究でも、複合材料の研究は重要な位置を占めています。例えば高バイパス比でありながら高効率で軽量のターボファンエンジンの要素技術開発を目指すaFJR(高効率軽量ファン・タービン技術実証)プロジェクトでは、高温にも耐えうる複合材料が必要となります。航空機の優れた環境性能の実現を目指すエコウィング技術の研究でも、複合材料の役割が重要になっています。「エコウィング技術の一つである高ひずみ軽量複合材構造設計技術では、将来の国産旅客機の主翼に複合材料を適用するにはどうしたらいいかを考えています。主翼を軽量化できれば、環境負荷を下げることができます。そこで、今より高いひずみに耐えられる複合材料の研究を進めています」(杉本研究領域リーダー)。

複合材料の製造技術も研究しています。CFRPを製造する際には、プリプレグのシートの繊維方向を変えながら積層していくため、シート8枚分が厚みの最小単位になっていますが、これをもっと薄くできれば、板厚の選択の自由度が広がり、複雑な形状の部分も最適な設計ができます。



また近年、航空機用複合材料の製造で「自動積層」が利用されるようになってきました。自動積層では、プリプレグのシートを重ねていくのではなく、幅の狭いテープにしたプリプレグをコンピューター制御で積層していきます。複雑な形状では角にしわが寄るなどの課題もありますが、コンピューターによる最適化などによって発展していくことが期待されています。一方、自動積層装置の開発が進むと、自動積層によって作られた複合材料の試験・評価が重要になってきます。「自動積層で実際にできあがったものがどのような性質をもち、設計段階の予測値とどれくらい差があるのかを解析していく技術、製造された製品とコンピューター・シミュレーションの結果の両方をきっちり研究し、設計と現実の製品との差異を埋めていく研究などが必要になります。私たちは、そうした技術をしっかりと確立していきたいと思います」(吉村研究員)。

長い研究の中で、JAXAの複合材料の研究にも新しい目標が少しずつ加わってきました。JAXAでは今後も、将来どのような技術が必要になるのかを見据えて研究を進めていきます。



肉厚の複合材料構造の非破壊評価を行うことができるX線CT探傷装置。小惑星探査機「はやぶさ」のカプセルを試験したことも。

航空技術部門へのメッセージ

国家的なプロジェクトならではの 先導的な研究を示して 将来の技術者に伝承されていく チャレンジングな研究開発を

川崎重工業株式会社 航空宇宙カンパニー
大型機設計チーム(MCET)
サブチーフ・デザイナー
フェロー(役員) 滝 敏美氏
技術本部 研究部 構造技術課
基幹職 倉石 晃氏
インタビュー



短距離離着陸(STOL)実験機「飛鳥」の開発で複合材料によって作られたフラップを手にする滝フェロー(左)と倉石氏

川崎重工業株式会社は、航空機メーカーとしての一面のみならず、船舶や鉄道車両、モーターサイクルやガスタービン、産業プラントなど幅広い事業を展開する企業です。航空機の開発や製造で求められる複合材料の研究も進める川崎重工業に、これまでのJAXAとの関わりやJAXAに期待することなどを伺いました。

—— 複合材料の研究はいつ頃からされましたか。

滝 複合材料の研究は私が入社する1980年よりも前に始まっていました。JAXAとの関係でいうと、私が入社した時には、NAL(航空宇宙技術研究所、現JAXAへ統合)が中心になって短距離離着陸(STOL)実験機「飛鳥」の開発が行われていました。ご存知の通り、「飛鳥」のエンジンは主翼の上に置かれ、エンジンの排気を主翼の上面に沿って流し、フラップで下方へ導くことによって大きな揚力を得るUSB(アッパー・サーフェス・ブローイング)という方式がとられました。そのため、フラップは高温に耐える素材でなくてはならず、ガラス繊維とポリイミドの複合材料が用いられました。アルミでは熱に耐えることができません。チタンやステンレスにすると、重量が増してしまいます。そうしたことから、軽量で耐熱性を持つ複合材料が使われたわけです。

それから、NALとNASDA(宇宙開発事業団、現JAXAへ統合)と一緒に開発していた

宇宙往還機がありますね。軌道再突入実験(OREX)、極超音速飛行実験(HYFLEX)、小型自動着陸実験(ALFLEX)、宇宙往還機(HOPE)、宇宙往還技術試験機(HOPE-X)です。NALとNASDA、そして三菱重工業や富士重工業と一緒に複合材料の開発を進めました。そこでは、大気圏再突入の際の高温に耐える材料が必要でした。炭素繊維とポリイミドで構造部品を作ったり、CMC(セラミックス基複合材料)やカーボンカーボン(炭素繊維強化型炭素複合材料、C/C)など、いろいろな材料を研究しました。技術的にかなり難しかったのは間違いないですが、目標は達成できたと思っています。

—— 民間の航空機についてはいかがですか。

滝 ボーイング737のウイングレット(主翼端につけられる小さな翼)を開発製造していました。今はボーイング787ですね。787には複合材料が全面的に使われており、私たちの会社では炭素繊維複合材料(CFRP)の前部胴体を作っています。ワンピースバレルといって、胴体を丸ごと窯に入れて焼くという一体成形方式です。すでに機体のデリバリーは380機を超えています。2015年3月には、名古屋に新しい工場が完成し、稼働を始めています。また、エンブラエル社のリージョナルジェット機「170/190」シリーズの製造にも参加しており、すでに1,000機を超える生産を行っています。

—— 航空機にとって複合材料を使うメリットにはどのようなものがありますか。

滝 やはり軽量であるということですね。それから表面が滑らかということ、非常に複雑

な曲面を滑らかに作ることができます。さらに、最近特に重要視されているのは疲労の問題です。複合材料には疲労の問題はなく、寿命はほぼ無限と考えていいでしょう。旅客機の胴体は何万回と与圧しますので、金属の場合どうしても疲労クラックが出ますが、複合材料に代えればこの問題がなくなります。しかも錆びませんから、機内の湿度と圧力を上げて快適な環境を提供できます。

倉石 民間旅客機の場合、それらの問題がなくなれば整備間隔を延ばすことができるようになります。複合材料によって航空機の整備費低減にかなり貢献できるといわれているので、それは一番のメリットといえると思います。

—— 複合材料を使う場合の課題は何でしょうか。

滝 課題はやはり製造コストですね。787の胴体では自動化を進めてコストダウンを図っています。

—— 787の胴体のような大きなものを自動で一体成形するには、どのような方法をとっていますか。

倉石 マンドレルという筒状の大きな型に、幅の狭い炭素繊維のテープに樹脂を含浸させて、機械を使って積んでいきます。以前は炭素繊維の紙のようなものを積層していましたが、今は機械を使った自動積層というシステムが使われています。厚さは薄いところでは2mmくらい、厚いところで10mmくらいです。この自動積層の技術は20年前くらい前にできたのですが、制御が大変でした。ようやく使えるようになったのはここ10年くらいです。まだ課題はいろいろありますが、いかに

効率良く作るかということを考えています。

—— 胴体だけでなく、他の形状のものを作る必要もできますね。

倉石 さまざまな形状を作る装置も研究が進んでいますし、自動積層機に適した設計というものもあります。今は自動積層をしやすい設計をしようと、設計側と製造側が歩み寄って、なるべく効率良く作れるように工夫しています。

滝 複合材料という世界は、成形技術が非常に重要なので、私たちの会社では初期の頃から設計と製造、材料、それから品質保証、検査を一緒に進めてきました。

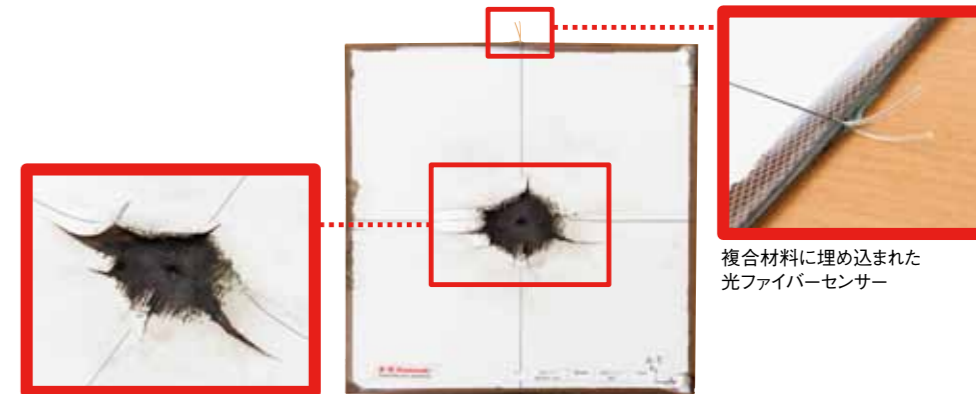
—— JAXAではNALの時代から複合材料の研究をしていました。当時のNALとはどういった交流がありましたか。

滝 複合材料についていろいろ教えていただける人的な繋がりがありましたね。それから一つ覚えているのは、NALの施設で複合材料の超音波検査をした時のことです。当時私たちは超音波検査を透過法で行っていましたが、NALでは反射法の超音波検査を取り入れていました。反射法は大幅な自動化ができ、しかも細かいところまで分かるので、今では世界中どこでも使っています。そのあたり、ずいぶん進んでおられたというのが私の印象でした。

—— 現在、JAXAとの共同研究はありますか。

倉石 私が担当している共同研究が二つあります。一つは落雷に関するものです。民間航空機に使われている複合材料では、落雷による損傷を低減させるため、雷が落ちやすい部位に銅線のメッシュが貼ってあります。雷が落ちた際に電気を分散させるような対策をしているわけです。この損傷を試験と解析で解明し、設計に生かす研究をしています。落雷対策が最適化できれば、その分重量が減ります。

もう一つは、経済産業省が進める構造健全性診断技術の研究をJAXAと一緒に進めています。その中で、複合材料構造の中に光ファイバーセンサーを埋め込むか内側に貼り付けるかしておき、ものがぶつかった時にその衝撃を検知する研究を進めています。これまで機体にもものがぶつかったかどうかを調べるのは、検査員による目視または超音波検査で行われてきました。それを光ファイバーセンサーで検出して、的確なタイミングでそこを検査すれば、整備費の低減や機体の稼働率向上に繋がると考えています。日本は光ファイ



被雷部分の拡大写真

耐雷メッシュによる複合材料の研究をJAXAと共同で進めている。ペンキだけ塗った板状の複合材料に雷を落とすと、雷の電気が複合材料のかなり深くまで入り込んでしまい、複合材料に大きな損傷を与える。板状の複合材料に銅線の耐雷メッシュを貼ると、耐雷メッシュが複合材料の表面で雷の電気を散らすため、電気が複合材料に与える損傷を抑えることができる。

バーセンサーの研究が進んでいます。こういうセンサーを埋め込むことができるのも複合材料の魅力だと思います。

—— JAXAの持っている複合材料の試験設備を利用されていますか。

倉石 最近導入された10MNのロードフレームは非常に魅力的です。それから極低温構造要素特性試験装置ですね。マイナス60℃くらいまでの試験設備は持っていますが、もっと低い極低温での試験に使わせていただきたいです。大型のX線CT探傷装置も非常に魅力的で、時々お借りしています。

—— JAXAのいろいろなデータベースやアーカイブは、日本の航空技術のレベルアップのために貢献できるとお考えですか。

滝 はい、そうだと思います。そういう意味ですと、例えばハンドブックとか、技術資料や設計資料のようなものをJAXAでまとめて、20年30年経っても技術者が使えるようなものを作っていたらいいですね。

倉石 私たち企業で研究をしている立場では、数年先の技術まで見るのがやっとです。複合材料に限らず、ずっと先まで意識した技術は欲しいですね。どの企業も自分たちの技術資料はもっているわけですが、それらの中で共通した技術を網羅した日本の航空機産業界の標準的な技術資料です。こうしたものをまとめて、広く普及させることができるのはJAXAしかいません。

滝 これは日本の技術者のレベルアップに繋がると思います。

—— JAXAの今後に期待したいことは何ですか。

滝 やはり「飛鳥」や「HOPE」のような国家的プロジェクトですね。機体一つを全部開発するというのは、いろいろな技術が入ってきますので、非常に大きいことです。それが次に

繋がりますし、技術者も育ちます。そういった技術を伝承できるものがあれば私たち企業もオールジャパンで参加させていただきます。むしろ、いろいろ教えてもらってついでという形かもしれませんが。

倉石 当時、学生だった私にも「飛鳥」は非常に魅力的でした。「HOPE」の頃も、皆がすごく強い思いを持っていて、オールジャパンの気運が盛り上がっていました。

—— JAXAは2015年、静粛超音速機のためのD-SEND#2試験を成功させました。超音速旅客機の開発と、複合材料の開発はどう進んでしょう。

滝 高速で飛ぶためには軽量化と耐熱性が重要ですから、耐熱性複合材料を使うことになると思います。そうすると、「HOPE」以後、一度途切れてしまった耐熱性複合材料の研究をまたやらなくてはなりません。新たな超音速旅客機の開発で、昔の材料をそのまま使うわけにはいかないので、材料開発から始めなければいけないと思います。大きなプロジェクトとなるため、やはりオールジャパンで皆が参加することになるでしょう。

—— JAXAが先導する先端的な尖った研究が必要ということですね。

倉石 私たち企業も、将来どのような航空機が求められているのかを考えないといけないのですが、企業の立場ではずっと先を意識した研究が難しく、なかなかそこが見えません。

滝 最近調べた文献で、かつてNALにいらした先生がおよそ50年前に行った金属のき裂の力学に関する研究があります。当時はいわば先っぽの研究でしたが、それがいま役に立っている。ですからJAXAには数十年という先の先に進んでいただき、そのうちにこういう技術が必要になりますよというのを、私たちに示していただきたいですね。



研究の根幹となるデータを取得する JAXAの音計測技術

JAXAでは、航空機の機体から生じる音(音響)について、さまざまな研究を進めています。今回は、JAXAが持つ音計測技術の中でも、超音速飛行時に発生するソニックブームの計測技術を紹介します。

ブーム計測システムの構成と目的

D-SENDプロジェクトでは、超音速で飛行した際に発生するソニックブームを低減する機体設計概念の実証が第一の目的でした。飛行実験でブーム計測システム(BMS)を用いたソニックブーム計測は必要不可欠な技術であるため、D-SENDプロジェクトに先行する形で、2009年から2011年にかけ、BMSの性能を確認するABBA(Airborne Blimp Boom Acquisition)試験を実施しました。BMSは、上空でソニックブームを計測するための空中ブーム計測システムと、地上で計測するための地上ブーム計測システムのほか、気象観測システム、通信システムなどからなる計測システムです。BMSの各システムは無線ネットワークで接続され、それぞれの情報を計測地点から数十km離れた管制室からモニターで

きる仕組みになっています。空中ブーム計測システムは、マイクロホンと計測用のコンピューター、それらを動かすためのバッテリーを発泡スチロールのケースに収めた機材(上写真参照)で、空中に浮かべた係留気球から地上に向かって伸びる係留索(テザー)に複数配置されます。2015年に行われたD-SEND#2の第3回飛行試験では、高度750m、650m、500m、50mの4カ所に配置しました。このように1本の係留索に複数の計測器を設置して、音の計測を行う技術は、世界的にも前例がない技術です。「私たちが研究を開始するまで、係留気球を使って複数の高度で同時にソニックブームを計測した例はなかったため、どのように空中にマイクロホンを固定するのか、どうしたら長時間の録音が可能になるのか、非常に苦労しました」と、次世代航空イノベーションハブの中右介主任研究員は話します。

ソニックブームを空中で計測する理由

BMSで利用する係留気球には、風向風速計や温度計、気圧計といった気象観測装置も含めトータルで25kg以下という重量制限があります。空中ブーム計測システムはできるだけ軽く作られています。重量を抑えるため、地上との有線での接続は行わず、取得した音のデータは、まず上空に設置したシステム内のパソコンに保存します。そして、実験が終了して空中からシステムを回収した後に、音データを回収する方法を取っています。ソニックブームは可聴域(人間の耳で聞き取れる音の高さの範囲で、通常は20Hz~20kHz程度)より低い周波数の成分が強い音なので、0.2Hz程度から20kHz程度まで計測できる特殊なマイクロホンを使用しています。

地上から離れた空中でソニックブームを計測する理由は、地上付近で起きる大気の大乱れによる影響を避けるためです。擾乱とは、短い時間や短い空間スケールで変化する大気の乱れのことです。擾乱している大気中を音(音波)が通過すると、音の波形が乱れてしまいます。高度が高くなれば擾乱も発生しにくいと考えられているため、高い場所での計測が必要になるのです。「D-SENDで計測するソニックブームは、0.03から0.04秒程度と非常に短いのですが、この短い波形をなるべく変形のない状態で取得することが機体設計概念を実証する上で重要でした」(中主任研究員)。

計測技術のブラッシュアップを図る

超音速旅客機(SST)の実現を見据え、国際民間航空機関(ICAO)でもソニックブームに関する議論が活発化しており、ソニックブームの計測方法についても徐々に本格的な議論が行われるようになってきました。ICAOで行ったD-SENDの解析結果報告でも、BMSによる音響計測は参加者から大変興味を持たれました。

しかし、JAXAのBMSが、そのままソニックブーム計測の世界基準となる可能性はあまり高くないと考えられます。ABBA試験やD-SENDプロジェクトで用いられたBMSはソニックブーム計測に必要な技術が含まれたシステムですが、同時にプロジェクト特有の目的や要求に応えるための機能や性能も多く含まれており、必ずしも型式証明などに最適なシステム構成や運用手順とはなっていないからです。しかし、結果的に世界基準にどのような計測システム・計測技術が採用されるかに関わらず、基準検討の段階においては上空での計測も含めて、さまざまなシステム・方法でソニックブームを計測することが重要です。その際には、JAXAのBMSで得られた計測実績やBMSで計測されたソニックブームのデータが大きな役割を果たすことは間違いありません。

ソニックブーム計測技術は、D-SENDプ

ロジェクトで終了する技術ではありません。中主任研究員は「計測技術としては、細部のブラッシュアップが必要」と話します。改善した計測技術は、今後計画されているJAXAのSST研究だけでなく、NASAなど海外の研究機関におけるSST研究でも利用されるかもしれません。



中右介
次世代航空イノベーションハブ
主任研究員

ソニックブームが人に与える影響を評価する ソニックブームシミュレータ

■基準や許容範囲を決めるためにはデータが必要

ソニックブームの基準づくりや許容範囲を決めるためには、ソニックブームを聞いた人間がどのように感じるのかという情報、すなわち主観評価試験を行って、数多くのデータを蓄積する必要があります。しかし、実際の超音速機を試験に使用するとすれば、試験自体の規模も大きくなり、コストも高くなってしまいます。また、ソニックブームの波形は、飛行条件や気象条件、観測場所などによって変化してしまうため、評価試験に必要な再現性が乏しく波形の制御も困難です。こうしたことから、さまざまな波形のソニックブームを再現するソニックブームシミュレータが国内外で開発され、ソニックブームの評価試験に使用されています。JAXAでも、2007年からソニックブームシミュレータを開発しました。

■8つのスピーカーでソニックブームを再現

ソニックブームシミュレータは、箱形の部屋(ブース)と波形を制御するPCやアンプなどで構成されたシステムです。PCでソニックブームの波形を設定し出力した信号は、DA変換器で電圧信号に変換され、アンプで増幅されて低周波用スピーカーに送られ



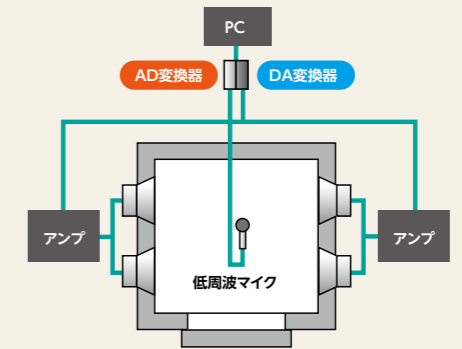
ソニックブームシミュレータの外観。壁の厚みは10cmあり、防音対策も取られている。



ドアを開けた状態。左に見えるスピーカーが、背面側の低周波用スピーカー。

ます。低周波用スピーカーは、ブースの前後に各々4台、計8台設置されています。ソニックブームの特性に合わせて、アンプは超低周波領域まで再生できるように改造しています。前面の壁には低周波用スピーカーとは別に、フルレンジに対応したスピーカー4台が設置されていますが、これらのスピーカーはソニックブーム模擬音の再生には使用せず、バックグラウンドノイズが必要な実験などで使用します。

ソニックブームシミュレータを使ったソニックブームの評価試験では、ブースの中に被験者一人が座りソニックブームを体感してもらいます。ブース内部には、窓のある壁を配置できるようになっていて、ソニックブームを室内で聞いた場合の模擬が行えるようになっています。



システム概要

PCからの信号は、低周波アンプで増幅して低周波用スピーカーへ送られる。	
ブース内部外寸	120(W)×90(D)×170(H) mm
ブース内部吸音処理	グラスウール(厚さ5cm)とウレタン(厚さ5cm)の併用
ブース構造	厚さ10cmのコンクリートの表面に鉄板を取り付け
ブース重量	約4 t
最大再生可能音圧	200 Pa

2016年4月24日(日)に開催する調布航空宇宙センター一般公開の「おもしろ体験コーナー」(第2会場)で、ソニックブーム模擬音を体験できます。音を体感してみませんか。



「将来必要となる技術先読みして的中させることが研究者としてのやりがいです」

数値解析技術研究ユニット 研究計画マネージャ
青山 剛史

1963年生まれ。1987年3月東京大学工学部航空学科卒業。1993年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程(航空工学専攻)修了(博士(工学))。1993年航空宇宙技術研究所(現JAXA)入所。1999年3月より2000年3月米国メリーランド大学客員研究員。2010年8月より2012年8月JAXA研究開発本部研究推進部研究開発企画室長。2012年9月から現職。

今回は、数値解析による騒音解析や空力解析を研究する青山剛史研究計画マネージャに、これまでの研究やこれから必要となる技術について聞きました。

—現在までに携わられた研究を教えてください。

大学院で博士課程に進む際、ヘリコプターに関する研究ではどのようなテーマが一番良いかを考えました。世の中に直接役立つのはきっと騒音だろうと思い、騒音の低減を研究テーマの一つに選びました。博士号も、そのテーマで取得しています。JAXA(当時NAL)に入社した後、ヘリコプターの騒音低減に関する研究を続けました。

JAXAが発足した後、航空だけでなく宇宙分野でも音響問題で困っていることがあると知り、ヘリコプターの騒音解析を研究してきた経験を活かせるだろうと考えて研究テーマに加えしました。それは、ロケットの打ち上げ時に発生する轟音が、フェアリング内部の人工衛星まで影響を及ぼしてしまうという問題です。海外では、実際に人工衛星が損傷したという話もあります。その後、どんどん研究の幅が広がって、現在では旅客機のCFD(数値流体力学)解析が最大の研究テーマになっています。

—ソニックブームの研究もされていますね。

ロケットの音響解析を手がけた時に、それまでヘリコプターの騒音解析研究では扱わなかった分野がありました。それが音響透過・振動と非線形音響伝播です。JAXAでは、非線形音響伝播の研究は行われていませんでしたが、アメリカで行われていた解析手法を参考に、解析プログラムを開発しました。このプロ

グラムは、ソニックブームの音響解析に非常に役立ちました。D-SENDプロジェクトで、このプログラムによって立ち上がり時間を考慮した現実的なソニックブームの波形が予測できたり、さらに発展的な手法で大気擾乱の影響を検討できたことで、私たちの研究グループはプロジェクトの成功に大きく貢献することができました。

—これまでに一番印象に残っている研究は何ですか。

BVI(ブレード／渦干渉)騒音と呼ばれるヘリコプター騒音の研究ですね。BVI騒音とは、ヘリコプターのブレードが生み出す翼端渦が、後続のブレードに衝突、あるいは近接する際に発生するバタバタと聞こえる騒音です。NASAでも研究されていましたが、私たち(株式会社コミュニタ・ヘリコプタ先進技術研究所との共同研究)が世界で初めて鋭い山を持つBVI騒音特有の波形予測に成功しました。当時、私たちが成功した理由としては、スパコンの性能もありますが、CFD技術に優れていたということが挙げられます。日本のCFD技術は、海外に対しても強みになっていると思います。

—ヘリコプター研究の面白さはどこにありますか。

大学時代に生物の飛行に興味があったのでその分野の権威である教授の研究室に入ったところ、教授はヘリコプターの権威でも

あったので「ヘリコプターをやってみなさい」と言われたことがきっかけでした。固定翼機とは違った複雑さがあるのが面白く、研究テーマとしてもやるのがたくさんあります。

—音響解析やCFDなど幅広く研究されていますが、やりがいは何ですか。

私たちのような基盤領域の研究では、ある特定の機体開発などに向かって進むのではなく、基盤技術を使っているいろいろなプロジェクトに貢献しなければなりません。そのため、自分たちの見識で将来必要となる技術先読みして、そこに布石を打っていきます。ソニックブームでは、現実的な波形の予測技術が必要になるだろうという読みがぴったりと的中して、プロジェクトに貢献できたことに非常に満足しています。必要とされる基盤技術を自分の見識で見通せた、ということは研究者として嬉しいことです。

CFDに関していえば、高速化にターゲットを絞って研究開発を続けてきた結果、一昔前まで一昼夜かかっていた計算を2分に短縮できました。計算の高速化は実現したので、次は巡航時以外の非定常状態を解析できれば、離陸から着陸まですべての状態をCFDで解くことが可能になります。もちろん、風洞試験や飛行実証の必要性は変わりませんが、CFDによる航空機の設計手法は大きく変わっていくのではないかと考えています。

ソラの技

今回は、数値解析の中でも音響に関する技術について紹介します。

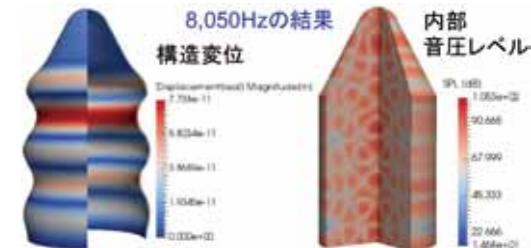


図4 WBMによるロケットフェアリングモデル内の音響環境予測結果

■非線形音響伝播と透過・振動

“音”とは、空気振動(圧力変動)が波(音波)として伝わる現象で、心地良い音から耳障りな騒音、さらには振動や破壊などの目で見えるほどの顕著な現象をとまなうものもあります。航空機においては、特に飛行する際の騒音が問題となるため、音の発生源、伝播、さらには音の透過とそれにとまなう振動などの解析が重要な技術となります。

音の発生源と線形的な伝播に関してはこれまでも研究が盛んに行われていますが、非線形伝播と透過・振動の予測手法については、多くの課題が残されていました。通常、音が伝播する際、振幅は小さくなるものの、もとの正弦波状の波形は維持したまま伝わると考え、差し支えありません。しかし、音が非常に大きい場合には、正弦波状の波形が崩れて先端が突出した“のこぎり波”へと変形してしまいます(図1参照)。こうした現象を非線形音響伝播と呼びます。ロケット打ち上げ時の轟音や航空機が音速を超える際に発生するソニックブームは非線形的に伝播します。音響透過とは、音がある物体を通り抜ける現象のことで、例えば、窓や壁を突き抜けて屋内まで聞こえる外の音なども音響透過です(図2参照)。ロケット打ち上げの際に、発射時の轟音がフェアリング内部まで透過し、それが内部の人工衛星を

揺らす音響振動が発生して、最悪の場合には人工衛星に影響を及ぼしてしまう可能性もあります。つまり、非線形音響伝播と透過・振動の解析は、航空宇宙分野において重要な技術の一つといえるのです。

■大気の影響を考慮して非線形音響伝播を解析

ソニックブームの解析方法としては、Thomasによる波形パラメータ法(トーマス法)が古くから知られてきました。トーマス法は、幾何音響理論^{※1}に等エントロピー仮定による波形の歪み効果を考慮して、航空機が巡航する上空での情報から、地上などの離れた場所での非線形音波の状態を予測する手法です。しかしこの方法では、衝撃波を不連続面として取り扱うため、現実には存在する波形の立ち上がり時間を確認できません。伝播中の大気の影響を受ける立ち上がり時間は人間の聴覚にとって非常に重要で、ソニックブームの予測を行う際に無視することはできません。JAXAが行っているソニックブームの研究では、大気の変化や熱粘性、緩和の効果を考慮した拡張Burgers式、さらには大気擾乱の影響も考慮できるように発展させたHOWARD法などを用いて解析プログラムを構築しており(図3参照)、その結果、先に述べた立ち上がり時間を正確に予測することができるようになりました。

2015年に行われたD-SEND #2^{※2}で取得したソニックブームの計測データは、想定していた波形とは少し異なる形であったという問題^{※3}が持ち上がりましたが、大気擾乱の影響を考慮した予測とほぼ符合しており、低ソニックブームを考慮したD-SEND#2だからこそ実現できる波形である、ということを示すことができました。

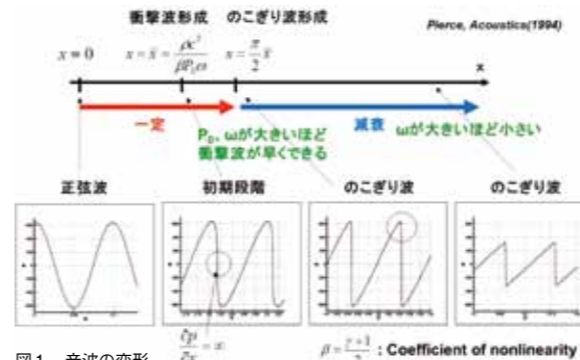


図1 音波の変形

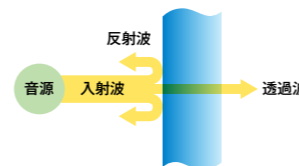


図2 音響透過

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p^2}{2 \rho_0 c_0^2 \partial t} - \frac{1}{2A} \frac{\partial A}{\partial x} p + \frac{1}{2 \rho_0 c_0} \frac{\partial (\rho_0 c_0)}{\partial x} p + l_{cl}(t) p + l_{nl}(t) p$$

非線形効果 幾何学的減衰 大気の変化 熱粘性 緩和

図3 大気の影響を考慮した拡張Burgers式

■透過・振動の解析で人工衛星の開発コスト削減を目指す

人工衛星への音響振動の影響を調べる試験では、残響室という設備で人工衛星に直接音波を当てて手法が取られています。これでは、実際の打ち上げと異なりフェアリング構造で覆われている影響が考慮されていないため、安全側により大きな音を浴びせることになります。それを基に開発する人工衛星は、必要以上に頑丈に作る必要になり、振動を抑えるための対策にコストがかかってしまいます。また、透過する音を抑制するために、フェアリングに付加的な機器をつけたり剛性を高めたりしても重量が増えてしまいます。

透過・振動の解析では、高周波では確率統計的な統計的エネルギー法(SEA)^{※4}、低周波では決定論的な有限要素法(FEM)^{※5}や境界要素法(BEM)^{※6}が用いられてきました。しかし、これらの手法では、中間周波数帯の精度の高い解析が困難であったため、JAXAでは中間周波数帯もカバーする波動ベース法(WBM)を用い、解析プログラムを作成しました。これにより、フェアリング内部における透過・振動の影響を高精度で解析できるようになりました(図4参照)。また、WBMとFEMとを組み合わせることで、複雑な人工衛星の形状、吸音材の有無による振動の違いが解析可能になり、より現実に近い状況をモデル化できるようになりました。数値計算で透過・振動を正確に解析できれば、フェアリングの吸音材配置の最適な設計等が可能になり、フェアリング内の音を小さくできるので人工衛星の開発コストの削減にも繋がります。

※1 音のエネルギー伝播を幾何学的に考察した音響理論。音が壁面に反射して伝わる経路の可視化が可能だが、音の波動性は考慮されない。
 ※2 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。FLIGHT PATH No.10参照。
 ※3 詳細についてはFLIGHT PATH No.11を参照。
 ※4 ある空間と周波数区間において確率統計的に平均的な振動エネルギーを算出する解析手法。
 ※5 解析対象の空間を小領域に分割して解く数値解析手法。形状が複雑な場合にも適しているが、周波数が高くなるほど細かな分割が必要になる。
 ※6 解析対象の境界面を小領域に分割して解く数値解析手法。一般に、開いた領域の解析に適しているが、閉じた領域の解析は有限要素法のほうが有利。

FLIGHT PATH Topics

DMAT訓練と連携し「D-NET2」*のシステム評価を実施

2016年1月30日、厚生労働省DMAT(災害派遣医療チーム)事務局、および東京都等が中心となって実施された『平成27年度 日本DMAT関東ブロック訓練』に、JAXAが研究を進める「D-NET2」が参加しました。

訓練当日は天候不良だったため、予定していた実証実験の一部を実施することはできませんでしたが、立川にある内閣府予備施設ほか3拠点に設置したD-NET2端末を使って、航空機情報に加えて、「だいち2号」(ALOS-2)の観測データやDMAT位置情報などを組み合わせたD-NET2情報統合システムが災害救援活動に有効であるか検証しました。

航空分野と宇宙分野がさらに連携を深めて、安全かつ効率的な災害救援活動の機会を提供することで、防災や減災、救命の現場などに活用してもらえるよう、JAXAは今後もD-NET2の研究開発を進めていきます。

※ 災害救援航空機統合運用システムの略。詳細はFLIGHT PATH No.7参照。



厚生労働省DMAT事務局および東京都等の主催により、2016年1月30日に実施された日本DMAT関東ブロック訓練の様子。東京都庁ほか3拠点にD-NET2端末を設置して、D-NET2の有効性を評価した(写真は内閣府予備施設)

南相馬市で小型無人航空機による放射線モニタリングシステムの実証評価を実施

JAXAと日本原子力研究開発機構(JAEA)は、共同研究を行っている小型無人航空機を利用した放射線モニタリングシステム(UARMS)*の飛行試験を、2015年12月20日に福島県南相馬市において行いました。

飛行試験には、これまで研究開発を行ってきたベース機(試作機)に対して、構造強化や搭載システムの安全強化を行った機体を使用しました。安全強化として、搭載機器の冗長化や飛行中の健全性診断、自動帰還機能やパラシュートといった自動的な安全措置を追加しています。また、連続飛行時間も、これまでの1時間程度から6時間程度まで延びました。この機体の機能については、すでに北海道などで機能検証を終えています。

今回の飛行試験によって、避難指示区域内でのシステム全体の運用性を確認したほか、JAEA開発の放射線検出器の評価も行いました。今後JAXAの開発した無人航空機の設計や運用に関する技術はJAEAにより移転利用され、避難指示区域内での放射線分布の変化把握や安全向上研究などへと適用される予定です。

※ FLIGHT PATH No.1およびNo.6参照。

滑走路上で離陸の準備を行うUARMSの小型無人航空機



大型回転強度試験機の運用を開始

JAXAは、回転要素部品の強度試験などを行うための「大型回転強度試験機」を導入し、2015年12月から試験運用を開始しました。

回転強度試験機は、aFJR(高効率軽量ファン・タービン技術実証)プロジェクト*の一つである、新素材を使った低圧タービン翼の軽量化に関する研究開発に用いられます。高速回転するタービン翼供試体に、外力による振動を与えて翼振動特性を確認する振動試験、試作した回転体の健全性を確認する試験、破壊強度試験や疲労寿命試験などを行います。

今回導入された大型回転強度試験機の最大回転数は毎分42,000回転で、大きさ1,600mm程度、重さ400kgまでの供試体の回転試験を行うことができます。また、回転数の制御が可能な電気駆動方式なので、巡航時だけでなく、離陸から着陸までの回転数を模擬した試験もできるようになります。

JAXAでは、以前から小型の回転強度試験機を用いた実験を行ってきましたが、この試験機の導入により、実機に近い大型の部品での試験が可能になります。

※ FLIGHT PATH No.2参照



大型回転強度試験機による試験準備の様子。円筒形の真空チャンバ(写真右側)から、上蓋(写真左側)を外して、供試体(赤線の丸囲み部分)を取り付ける。

実験用高温オートクレーブ(複合材硬化炉)の運用を開始

2015年11月に内閣府プロジェクト「SIP*革新的構造材料」の研究の一環で導入された「実験用高温オートクレーブ」が、2016年1月より本格的運用を開始しました。オートクレーブは、炭素繊維に樹脂を含浸させた素材(プリプレグ)に圧力と熱を加えることで複合材を製造する装置です。JAXAでは、2014年度に10気圧200℃まで加熱できるオートクレーブを導入して運用していましたが、今回運用を開始したオートクレーブでは、460℃までの加熱が可能です。

高温オートクレーブを導入したことで、これまでよりも耐熱性の高い素材ができるため、以前に比べてさらに高温環境下を想定した実験まで範囲を広げることができます。また、これまででは3カ月も必要だった実験サイクル(プリプレグの発注から実験完了まで)が、2~3週間程度に短縮され、実験に必要なコストも約4分の1に圧縮できるようになりました。

本格運用を開始した高温オートクレーブを活用し、さまざまな特性を持った複合材料を短時間で作製することで、複合材料の製造技術研究のみならず実験などに必要な機能や性質を持った複合材料の開発を行っていきます。

※ 内閣府「総合科学技術・イノベーション会議」が創設した府省・分野の枠を超えた横断型のプログラム



実験用プリプレグを真空状態にするバックに入れ、熱センサを配置して複数点の温度を測定しながら硬化させる

