

# 航空プログラムニュース

No. **11**

**2009  
Winter**

ISSN 1881-2570

【特集】

静粛超音速機技術の研究開発

## 速くてクリーンで静か 次世代超音速旅客機を 実現する技術

【研究現場から】

その1

ヘリコプタによる

災害救援活動を迅速に行うために

その2

消防飛行艇の風洞放水試験

# 速くてクリーンで静か 次世代超音速旅客機を実現する技術

静かであることと速く飛べること。シンプルな願いですが、この両立は、じつは超音速旅客機が再び空を飛べるようになるための最大の関門です。でも研究は着々と進められています。近年では飛行に向けて環境基準を策定する動きも始まりました。

## 活発化する超音速旅客機の研究開発

唯一の超音速旅客機（SST）だったコンコルドが運航を停止したのは2003年。ロンドン、パリからニューヨークまで3時間半で移動できる魅力的な交通手段であり、ほぼ満席で運航していましたが、ピ

ジネスとしては成功しなかったとの評価が一般的です。それはいくつかの技術課題を抱えたままの運航だったからです。

今、世界で再びSSTの研究開発がさかんになっています。新しいSST実現にはどんな技術が必要で、私たちはいつ乗ることができるのでしょうか？

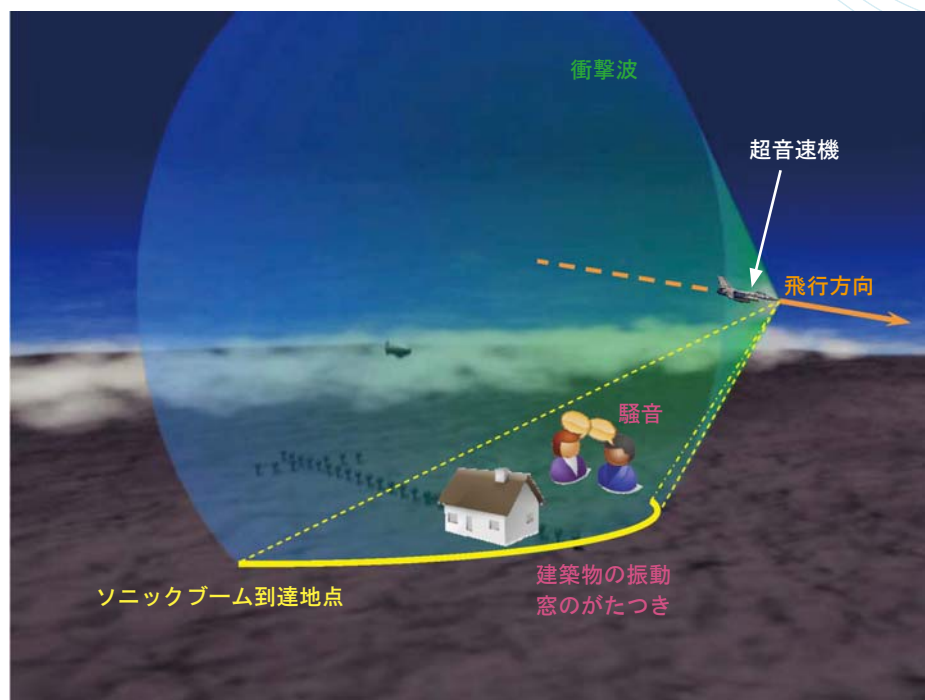


図1 ソニックブームとは？

航空機が超音速（音の伝わる速度〈音速〉より速い速度）で飛行するとき、機体とその周辺の空気の干渉により急激な圧力上昇を伴う衝撃波が発生する。この衝撃波は機体を頂点とした円錐状に広がり、地上に到達するとソニックブームと呼ばれる衝撃音として観測される。コンコルドのソニックブームは近くに雷が落ちたような非常に大きな音だった。

## 静かさがカギ

新しいSSTを考える時のヒントは、なぜコンコルドは失敗したかという点にあります。その大きな理由は、超音速機特有の騒音であるソニックブーム(図1)と燃費の悪さと言われています。ソニックブームが発生するため陸地上空では飛行が禁止されていたばかりか、離着陸時の騒音も大きいことから乗り入れできる空港も制限されていました。また燃料消費量も多いうえに乗客定員が100人と少なかったため、運賃は高額でした。

新しいSSTに求められるのは環境適合性と経済性の両立、つまり現在の旅客機と同様に、静かで有害排出物が少なく手頃な運賃で誰もが利用できることなのです(図2)。

環境適合性	ソニックブーム低減 *
	ブーム強度を下げて陸上・洋上でも飛行可能とする
	空港騒音低減 *
経済性	エンジン・機体騒音を下げて亜音速旅客機と同じ基準に
	排ガス清浄化
	特に超音速巡航時の窒素酸化物の排出を減らす
経済性	軽量化 *
	機体構造・エンジン・装備品重量を軽量化し燃料消費を減らす
	低抵抗化 *
経済性	主に超音速巡航時の空気抵抗を抑えて燃料消費を減らす
	エンジン低燃費
エンジンの高効率化により燃料消費を減らす	
* JAXA重点課題	

図2 次世代超音速旅客機の実現に必要な技術

なかでもいちばんの技術課題は、ドローンという落雷のような音のソニックブームを小さくすることです。そうでなければ世界中を自由に飛ぶことができません。これまでの研究により、機体の形状を工夫することでソニックブームを低減できることが分かっています。各研究機関では、さまざまなアイデアに基づいた機体を提唱しています(図3)。JAXAでも独自のアイデアを考案、小型の機体に適用すればソニックブームの大きさを半減できる見通しを得ました(図4)。

▶ 図3

東北大学  
サイレント超音速旅客機



東北大学提供

◀ 図4

JAXA  
静粛超音速旅客機



## 超音速で飛行している 戦闘機の技術とは 違うの？

同じ超音速で飛行する機体でも、戦闘機とSSTとでは必要な技術は違います。戦闘機が超音速で飛ぶのは非常に短い時間であり、また機動性を重視しているため、燃費や機体の効率、あるいは騒音などについ

での要求は重要度が低いといえます。一方SSTは、超音速で数時間飛ばなければなりません。そのためにはエンジンの効率をよくすることや、機体の軽量化、空気力学的な効率を考

## JAXAの研究計画

JAXA超音速機チームでは、1997年から超音速旅客機を作るために必要な技術の研究開発に取り組んでいます。第1段階の重点課題は「経済性の向上」でした。機体の空気抵抗を低減する設計技術を開発し、設計した機体を2005年にオーストラリアで飛行させ、その成果を実証することに成功しました（図5）。

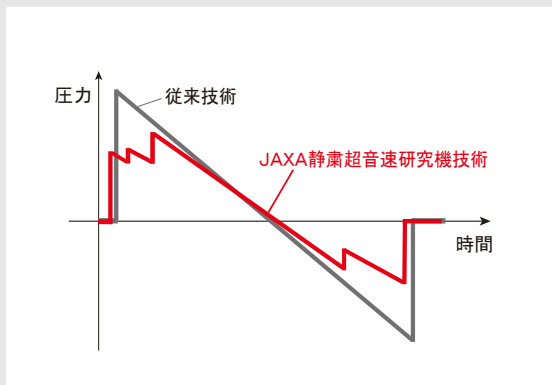
第2段階を迎えた現在、技術目標に「環境適合性」も加え、ソニックブームの低減（図6）を重点課題として進めています。2010年代のころに予定している静粛超音速研究機の飛行実験では、ソニックブームを半減するアイデアとその設計技術を実証する計画です（図7）。開発中の設計技術は、空気抵抗は少ないうえに静かに飛べる機体形状をコンピュータが探してくれるというものです。



図5 小型超音速実験機

## 検討始まるブーム規制値

ではソニックブームがどれくらい小さくなれば、陸上を飛行することができるのでしょうか？ じつは、現時点では明確な基準がありません。



**超**音速飛行時、機体から発生した無数の小さな圧力の波は、地上まで伝わってくる間に整理統合されて大きなものになってしまう。ソニックブームを低減するにはその小さな波同士を干渉させて、整理統合しないようにすればよい。従来技術では、地上で感じる圧力変化（ソニックブーム）は黒色のようなN型の波形をしている。この鋭く上がった波形をゆるやかにし、圧力差を少なくすることで小さく聞こえる。JAXAの技術で、落雷のような音からドアノック程度の大きさまで低減することをめざす。

図6 地上でのソニックブーム波形



**環**境にいい機体と、経済的にいい機体の形状は対照的である。空気抵抗が少なく燃費のいい機体にするには先端が鋭い方がよいが、ソニックブームを小さくするには先端は丸まっている方がよい。このように、それぞれの性能に都合のよい形状は相反するため、両立は難しい技術。両者を満たす最適な形状を、コンピュータが解析を行いながら設計するためのソフトウェアを開発中。その成果を用いて研究機を設計し、飛行実験を行うことで確かめられる。

図7 静粛超音速研究機S<sup>3</sup>TD

このため、JAXAではソニックブームについての研究も行っています。2007年度にはソニックブームを忠実に再現できるシミュレータ（図8）を開発し、これを用いて被験者にソニックブームを聞いてもらい、どう感じるかの調査を始めました。音に対する感じ方と物理的指標の関係を明らかにすることがねらいです。

2008年5月からはNASA（米国航空宇宙局）との共同研究を開始し、ソニックブームが形成されるメカニズムや、空気中をどのように伝わっていくかなどを解明することをめざしています。

折しも、米国では2014年就航をめざした8～12人乗りの超音速ビジネスジェットの開発計画があり、それを受けてICAO（国際民間航空機関）ではソニックブーム規制値を含む環境基準策定へ向けた検討が進められているところです。私たちはこの研究で環境基準の策定に貢献したいと考えています。



図8 ソニックブームシミュレータ

## 国際共同開発も視野に

コンコルドが英国とフランスの共同開発だったように、たくさんの乗客が乗れるコンコルド後継機は国際的な共同開発となるでしょう。私たちはそのときに主体的に開発に参加するために、世界に先駆けて技術を実証することをめざしています。



ドクター大貫に聞きました

### 超音速旅客機

いつごろ乗れそうですか？



大貫 武  
超音速機チーム チーム長

とても速く飛べる超音速旅客機というのは夢やあこがれである一方、現在の経済状況や環境問題もあってイメージがあまりよくない面もあるようです。燃料は大量に消費するし、排ガスも悪そうだし、音もうるさいといったマイナスのイメージは、確かにいくつかはその通りなんです。

われわれ研究者は実現に必要な技術課題を認識し、それを克服し

て世の中に受け入れられるレベルになるようにと今研究を続けています。そこで成果が出てくれば、必ず将来世の中に受け入れられるSSTが登場すると思うんです。ただ、これは難しい技術ですから、大型のSST実現へと一足飛びにはいかないでしょうね。JAXAは、まずは30～50人乗りの小型のSSTが実現できるレベルの技術実証に向けて少しずつ動き出して

います。その前に世界ではもっと小さい超音速ビジネスジェットの登場があると思います。

やっとな手が届くところにきたのかなあという感じはしますね。いつそれが実現するのかというと、答えは人によって違うかもしれませんが、着実に近づいていると思います。

# ヘリコプタによる災害救援活動を迅速に行うために

研究現場から①

運航・安全技術チーム

地震等の大規模災害が発生した時、日本全国から多数のヘリコプタが被災地に集結し、傷病者の搬送、救援物資の輸送、情報収集等の任務で飛行します。同じヘリコプタでも機体ごとに装備や性能が異なるため、各任務に最も適した機体を割り当てる必要があります。例えば傷病者の人数や症状によって対応可能な機体が限られますし、病院ごとに離着陸可能な機種や受入可能な人数等の制限があります。任務が終わった後に、給油や整備をどこで行うかも重要です。1カ所に集中すると離着陸や給油の順番待ちで長時間待たされることになります。

現状ではこれらの情報は電話やFAX等で伝達され、任務割当が決められていますが、災害の規模が大きくなると情報量が膨大になり、迅速な対応が難しくなります。JAXAでは、ヘリコプタと地上の災害対

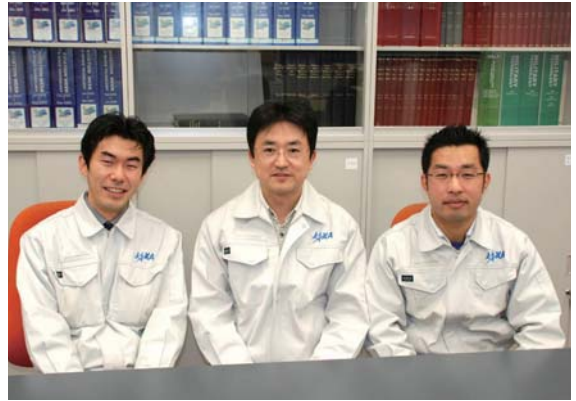
策本部等の間でリアルタイムで情報を共有し、各機体への最適な任務割当を支援する運航管理システム（図1）の研究を進めています。データの共有化のためにD-NET（災害救援航空機情報共有ネットワーク）という規格を考案し、関係機関に提案しています。詳しくは本誌No.3「研究現場から」をご覧ください。

## 災害情報システムとの連動

運航管理を迅速に行うためには、ヘリコプタの運航状況だけでなく、災害の発生状況のデータも共有する必要があります。文部科学省が進める「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」で開発中の「減災情報共有プラットフォーム」（<http://admire.or.jp/gensai.html>）との相互接続により、自治体が



図1 D-NETによる情報共有・運航管理のイメージ図



防災・運航管理技術セクション  
(左より) 小林啓二、奥野善則、杉浦正彦

ら送られてくるヘリコプタの出動要請や各病院の収容能力等の情報を使って運航管理を行う機能を開発し、平成21年2月に実証実験を実施しました。

### 多様な通信システムに対応

#### ～無線LANを使った航空機間通信実験～

D-NETの実現には、航空機と地上間のデータ通信システムが必要になります。ヘリコプタは地上波が届きにくい山間部等を飛行するので、衛星を使ったシステムの普及が期待されます。小型（直径10cm程度の円形）のアンテナで通信可能なイリジウム衛星が実用化されていますが、通信速度が遅い、コストが高いなどの課題が残っています。

家庭用にも普及している無線LANは、低コストで高速な通信が可能ですが、到達距離が短いため、航空機での利用は空港周辺に限られるのが現状です。旅客機は飛行高度が高く、飛行中の機体間距離も長いので、上空では電波が届きません。一方、被災地周辺ではヘリコプタは低高度で近接して飛行するため、無線LANでも通信できる可能性があります。JAXAのヘリコプタと飛行機（図2）を用いて、無線LAN（IEEE 802.11b規格）による通信実験を行いました。

図3に示した結果では、2機が9km離れた状態でもイリジウム衛星の200倍の通信速度が得られることが確認できました。被災状況を撮影した数百万画素のデジカメ画像を十数秒で送れる速度です。被災地周辺では半径9km以内に複数のヘリコプタが飛行していることが想定されるため、これらの機体を中継局として通信ネットワークを構成すれば、9km以上離れた地上の対策本部までデータを送る

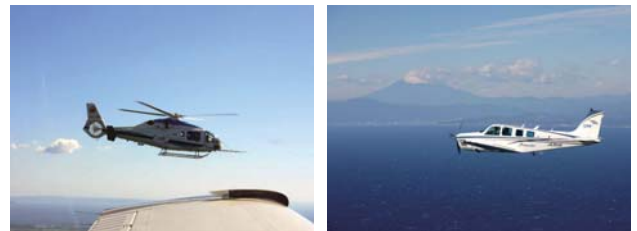


図2 通信実験に用いたヘリコプタと飛行機

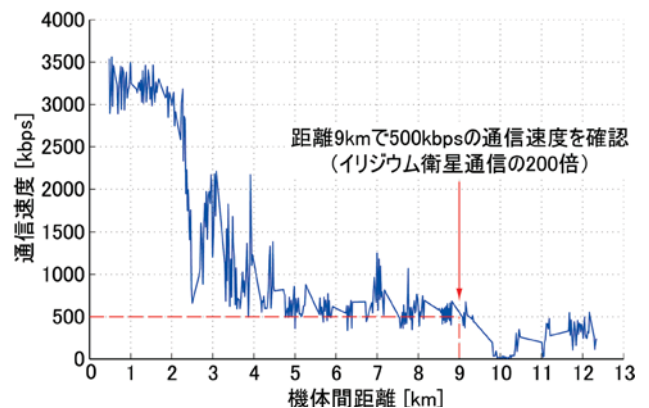


図3 無線LANによる航空機間通信実験の結果

ことも可能になります。

通信技術は日進月歩で、イリジウム衛星、無線LANともに性能を向上した次世代規格の策定が進められています。D-NETはこれら多様な通信システムに対応していく予定です。

### 今後の目標 ～実用化を目指して～

平成21年度から、JAXAが試作開発した地上用の運航管理システムや機上のアビオニクス（電子機器）を防災関連機関に試験的に導入し、運用評価を行う計画を進めています。これらの結果をフィードバックし、平成22年度から実用システムを開発することを目標にしています。（奥野善則）



図1 消防飛行艇による消火（想像図：新明和工業提供）

## 消防飛行艇とは

震災時の大規模火災や山火事など、地上からの接近による消火や延焼阻止が難しい状況では、空中からの放水が役立ちます。特に飛行艇を活用した空中消火では、搭載できる水量が大きいことや、着水滑走で容易に取水できることなどから、より効果的な消火活動が期待されます。JAXAと新明和工業および日本航空機開発協会は、図1の想像図に示される

ような消防飛行艇の実現に向けた技術開発を目的とした共同研究を行っています。

## 効率的な水の投下のために

空中から水を投下すると、大きな水塊が細かい粒に分裂しながら飛散します。この水粒の大きさや飛散範囲および地上に到達する水量が消火の成否を握っていますが、これらは飛行機の飛行速度や飛行高度に大きく影響されます。このため、水の飛散と飛行条件の関係を把握し、解析評価手法を確立することが、効果的な消火を行うため必要不可欠です。

今回、図2に示されるように6.5m×5.5m低速風洞に飛行艇の胴体模型を設置し、種々の風速や高さに対して、模型から投下した水の落下分布計測や、高速度カメラによる水塊の分裂状況の観察、PIV（粒子画像速度計測法）技術の応用による水滴の速度分



図2 風洞における放水試験

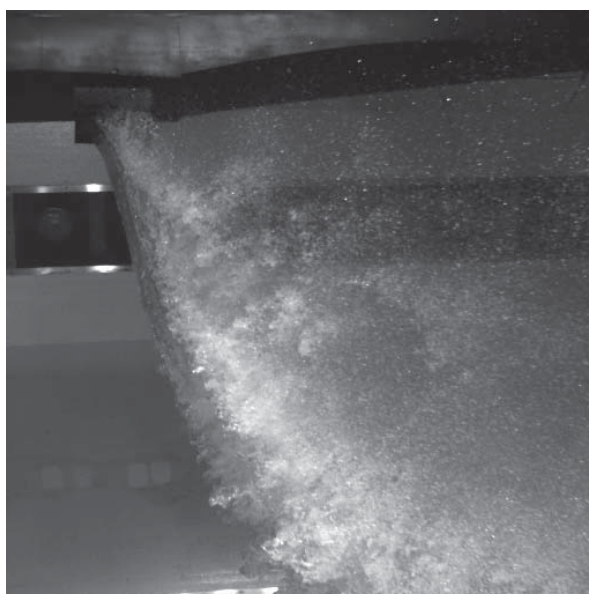


図3 高速度カメラ画像





消防飛行艇の放水技術研究メンバー  
(上段右から4人目が筆者)

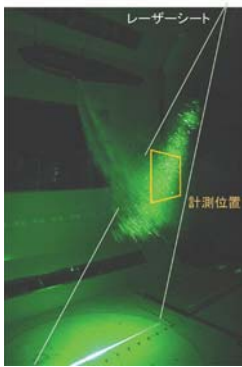


図4 PIV計測

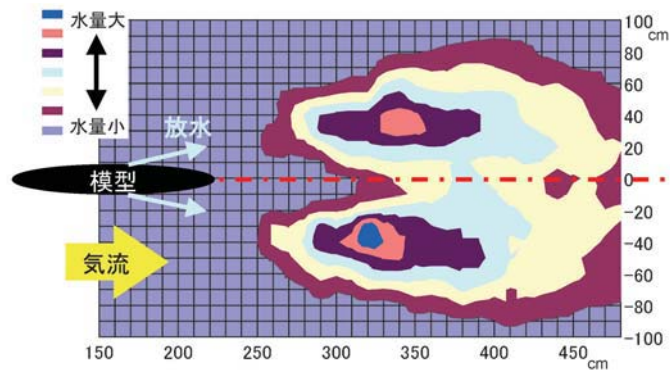


図5 落下散布密度分布

布計測などを行いました。これらの水落下のデータを活用し、数値解析評価手法の検証などを通じて、効果的な消火飛行手法を探索していきます。

### 放水した水の挙動

風洞の気流中で、模型から投下された水の挙動を、高速度カメラにより調べました。図3に示されるように、大きな水の塊が風の流れによって分裂して粒となり、さらに、下流へ進むにつれて細かい霧状へと変化する様子が見られます。風速や模型スケールの違いによる違いも見られ、重力と風速に加え、水滴に働く表面張力による効果の大小により、水が粒状になったり霧状になったりするなど、物理現象として非常に興味深い結果が得られています。

また、水の落下に関する詳細で具体的な数値データを得るため、水滴の速度分布計測を試みました。これまでJAXAにおいて風洞での空気の流れを計測する技術として開発されてきたPIV技術を活用したものです。この計測では、図4のように連続光レーザーをシート状にして照射し、高速度カメラで水滴の

画像を取得した上で、連続する2コマの画像から同じ水滴を探し出し、その移動量から速度を決定します。このようにして、水滴の速度に関し、場所や時間の変化に応じたデータが取得できました。

さらに、風洞の中に落下した水の散布状況を、メスシリンダーでの降水量計測と吸水シートでの吸水の重量増により評価しました。図5のように、左右に放出された水が、拡散しながら落下し、ある点を中心に水量の分布を持ちながら飛散しています。これは地上に到達する水の分布状況を示すものであり、この落下分布を適切に予測、コントロールするための貴重な基礎データとなります。

\*

このように、高速度カメラでの全体の現象把握と、PIVによる落下中の水滴の数値データ、さらには落下後の全体の分散のデータを得ることで、放水時の水の挙動の全体像を詳細に把握することが可能となりました。これらの試験データは、飛行艇からの水の散布を予測し、より効率的な消火活動を実現するために役立てられます。(伊藤 健)



長井健一郎  
低騒音化セクション  
大学院では航空宇宙工学を専攻

うのは非常に危険なため、人が近寄ることはできないんですね。でもこれなら、運転を止めずに不具合や状況の確認ができるので大変便利です。

**長井** こういったさまざまな手法を用いて計測した騒音データを元に、実際に飛行機が飛ぶときの騒音を計算し、離着陸の際に、空港周辺の住民にどんな影響を与えるのかを予測します。

**二人の役割分担は？**

**生沼** 大まかに言うと、ソフトウェアの開発を担当するのが長井さんで、ハードウェア担当が私です。騒音計は市販されており、それで測れば騒音値は出るんです。でも、それだけでは騒音の原因まではわかりません。その原因を探るため、私たちは独自にアイデアを出して計測装置や計測方法を考えて実践していると

というのが研究内容です。

**騒音を低減する方法の具体例を教えてください。**

**生沼** ジェット騒音は、排気速度が速いほど大きくなります。つまり音を小さくするには、排気速度を遅くすればいいのです。その一つに排気口にデバイス（装置）をつけるという手法があります。ただ高速の排気は推進力でもあるので、排気速度を下げることは推進力を妨げることになるんです。いかに推進力の損失を抑えて、騒音を低減するか。そのバランスが重要ですね。そんなデバイスを作るために模型を製作して試験するということを繰り返しています。

**体育会系研究者**

**子どもの頃の夢は？**

**生沼** 私は電車の運転士と聞いていたかな。

**長井** 小学生の頃は小説家になりたかったんです。本が好きで、シャーロックホームズシリーズなどの推理小説をよく読んでいました。しかし国語の才能はなかったようです。古文とか漢文が大嫌いで、結果として理系に進むことになりました。

**JAXAを選んだきっかけ**

けは？

**長井** 大学院修了後はメーカーに行きたかったのですが、後輩の女の子に取られちゃいました。そのときに教授がNAL（航空技術研究所、JAXAの前身機関の一つ）を勧めてくれたのがきっかけです。飛行機の研究は続けたかったので迷いはありませんでした。

**生沼** 地元の宮城県に支所があったNALに決めました。私は入所した当初は施設管理の業務を担当していたんです。先輩に勧められたのと、機械いじりが好きだったこともあって夜は短大で勉強をしていました。その後、研究部門に移って研究に携わるようになりました。

**現在、職場の運動部に入っているそつです。**

**長井** サッカー部に入って昼休みに練習をしています。

**生沼** 私はバレエ部です。体が大きいからうまくなるよとおだてられて始めました。もう長いこと続けていますが上達はしませんね（笑）。

**スポーツをする研究者は意外と多いですね。**

**生沼** そうしないとストレスが発散できないんじゃないでしょうか。仕事での疲れより、運動で疲れたほうが気分

がスッキリします。すると少し別の角度から考えられることがあるんですよ。

**週末はどのように過ごされますか？**

**長井** 息子の小学校でサッカーを教えています。私は1年生担当なのですが、サッカーを教えているというより子どもの面倒を見ている感じですね。「砂遊びはやめて」とか（笑）。

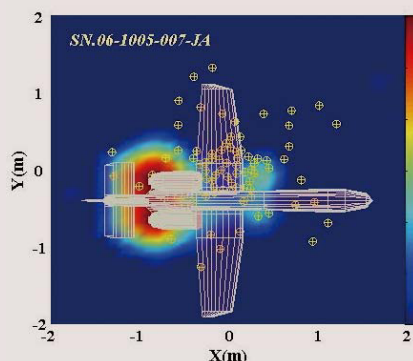
**生沼** 家で映画をみたりしてのんびり過ごしています。

**今後の夢や目標があったら教えてください。**

**長井** 現在、ある企業と音源探査装置の共同研究をしています。



▶ 模型機の音源探査実験



▶ 音源探査の結果  
(赤い箇所が騒音源)

るのですが、まずはそれを製品化できればいいなと思っています。研究所にしていると自分が作ったものが形になるというのがなかなかないので。

**生沼** これまで作ってきたいろいろなものが、世の中に出て役に立つて欲しいなと思います。エンジンの騒音低減に役立つことはもちろん、計測器メーカーなどにもうまく活用していただけるようになってほしいですね。私たちの技術は企業などとも研究しているほか、JAXAの他の部署の研究にも利用されているんですよ。



生沼秀司  
低騒音化セクション  
短大では電子機械工学を専攻

ジェットエンジンのあの音は、速く飛ぶことの結果なのだそう。だからって大きい音は困りますよね。30年前のエンジンと比べてずっと静かになったけど、私たちと飛行機がこの先も仲良く暮らしていけるように、もっともっと静かなエンジンを目指しています。

どこからどんな音が出ているか？

低騒音化セクションではどんな研究をしているのですか？

生沼 私たちは航空機のジェットエンジンから発生する騒音を低減する研究を行っています。エンジン騒音には、前方のファンから出るファン騒音や、後方からの高速の排気が音源となるジェット騒音などいろいろありますが、今年度、当セクションで重点的

に取り組んでいるのはジェット騒音です。

長井 研究内容は大きく分けると、騒音を正確に測る計測法の研究と騒音を小さくする低減法の研究の二つです。たとえばお医者さんが病気を治すには、まずレントゲンや胃カメラなどの検査をして病気の原因を調べ、その上で注射や投薬など適した治療を施しますよね。私たちの研究でも、まずはきちんとした計測を行い問題となる騒音の正体を把握し、次にどんな低減を行えばよいのかを考えていきます。計測方法にはどのようなものがあるのですか？

長井 音源探査法といって、どの場所からどういう音が出ているかを見つける方法があります。この方法は、マイクをたくさん並べて、それぞれのマイクに音が到達する時間差を利用して、どこから音が出ているかを逆算して求めるものです。実際の実験では、滑走路上にマイクを数十個配置し、その上空に模型飛行機を飛ばして騒音を計測します。模型機などの部分からどんな音が出ているかが写真を撮ったようにわかるんですよ。模型機といっても時速200km以上で飛びますので、マイクの



Interview  
夢を飛ばす人々  
Vol.11

# 騒音の正体をとらえて 静かなジェットエンジンづくりに 役立てる

敵を攻略するには、まずは徹底的に素性を探れ。

環境適応エンジンチーム  
生沼秀司●長井健一郎

上を通過する一瞬の間に、騒音データはもちろん、模型機の高速度や高度を正確に計測することも必要になってきます。高速で移動する飛行機の音をとらえるのは、じつはとても難しいんですよ。いろいろな計測方法を自分たちで開発し、それらをうまく組み合わせさせて実験を行っています。

生沼 他には、無人の模型車両(ローバー)にマイクやカメラなどを搭載した遠隔計測システムの開発も行っています。ジェットエンジンの屋外運転試験の際には、無線LANを用いてこのローバーを遠隔操縦し、エンジンの周囲を走行させながら騒音計測を行います。場所によって音の伝わり方がどう違うかを調べます。また、このローバーはエンジンの異常監視にも使っています。エンジン運転中とい

遠隔計測ローバー▶



▼エンジン運転試験



### ICAO CAEP WG3委員がJAXAを訪問

ICAO CAEP WG3（国際民間航空機関航空環境保全委員会第3技術部会）が東京で開催された機会に、同部会委員がJAXAを訪問（平成20年11月19日）し、環境適合エンジン研究の見学と意見交換（JAXA Technical Visit）が行われました。同部会は、国際航空輸送における航空機排出物（発動機排出物）規制の技術的検討を担当しており、世界の民間航空機の排出物規制に関する技術基準の案はここで作られています。部会の委員はICAO加盟各国から推薦された専門家で構成されており、JAXAからも国土交通省の要請により専門家が参加しています。訪問中、各委員は強い関心をもって見学に臨み、研究者への質問や意見交換も活発に行われ、今後の技術動向を検討する上で大いに参考になったと、謝意が寄せられました。対応したJAXA研究者にとっても、国際的な規制を検討する現場に触れる大変貴重な機会となりました。（対外協力推進室）



超音速実験機を見に行こう

### 3月22日（日）に展示室を特別公開します

JAXA調布航空宇宙センター展示室では、現在取り組んでいる研究活動や、これまでにやってきた研究をわかりやすく紹介しています。通常は平日10時から17時までの公開ですが、親子航空教室の開催に伴い、3月22日（日）にも公開することになりました。ぜひこの機会に航空宇宙技術にふれてみてください。お申し込み・入料は不要です。

当展示室では、小型超音速実験機や成層圏プラットフォーム飛行船システム、低騒音短距離離着陸実験機「飛鳥」、小型自動着陸実験機「ALFLEX」などの研究実績を展示しているほか、スペース・ミッション・シミュレータなどを体験できます。詳細は<http://www.ard.jaxa.jp/info/exhibition/a00.html>をご覧ください。

なお、今年の調布航空宇宙センター一般公開（事業所公開）は4月19日（日）です。

特別公開日時：平成21年3月22日（日）  
10：00～16：00

場所：東京都調布市深大寺東町7-44-1

お問い合わせ：Tel.0422-40-3960

