

航空プログラムニュース

No. **08**

2008
Spring

ISSN 1881-2570

[特集]

次世代運航システムDREAMS

空の交通安全を守る 技術が変わり始めた

[研究現場から]

その1

超音速機の

ソニックブーム許容性の研究

その2

大型航空機エンジン用

低NO_x燃料ノズルの研究

空の交通安全を守る 技術が変わり始めた

従来の航空機の運航システムでは、増え続ける交通量に対応しにくくなっていることから、それらを解決する次世代システムの導入が必要とされています。多くの航空機が遅延なく安全に飛行するための技術について紹介します。



航空交通量は現在の1.5倍に

航空交通の需要は毎年増加しており、世界の空の交通量は20年後には現在の1.5倍から最大3倍になると予測されています。私たちが暮らすアジア圏は、なかでも増加率が著しいエリアです。

大規模空港は多数の便が発着するため、上空周辺は渋滞しているようなものです。航空交通量が増加しても、航空機の便利さや安全性を損なうことのないよう、現状の運航システムを変革することが求められています。

変わり始めた運航システム

今運航システムは2つの革新的な技術によって、変わり始めています。

ひとつは、航法です。航空機が目的地まで飛行するには、今どこを飛行しているかを知る必要があります。これまで地上の無線施設からの電波を受信して機体の位置を計測していましたが、現在は宇宙空間にある人工衛星からの電波を受信して精度よく計測できるようになりました。これを衛星航法といいます。衛星航法には、カーナビでおなじみのGPS（全地球測位システム）が使われています。地上局からの電波は、山などの障害物があると航空機に届かなかったり、電波の届く範囲に限界がありますが、GPSでは複数の衛星を利用することで、地球上のど

こでも測位することができます。

もうひとつは、情報通信技術です。例えば、これまで管制官とパイロットのやりとりは、アナログ形式である音声で行われてきましたが、デジタル形式にすることで文字や画像として機上のディスプレイに表示できるようになりました。このため音声の途切れや聞き間違いなどがなくなります。

分散型高効率航空交通管理システム

JAXA運航・安全技術チームでは、次世代運航システムの研究開発を推進しています。Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System（分散型高効率航空交通管理システム）といい、略してDREAMSと呼んでいます。これまで地上施設や管制官が担っていた空の交通整理のための機能の一部を、各航空機に搭載した機器に分担させることによって、効率性を高めてより多くの航空機が安全に運航できる技術の開発を行うものです。

DREAMSでは、以下の5つの分野の技術開発を重点的に進めています（図1）。これらは次世代運航システムの基礎を支えるキー技術であるとともに、JAXAが世界トップレベルを誇る技術です。

①分散型管制

現在より多くの航空機が空を飛ぶことになれば、それに伴って管制官の指示はより複雑になり仕事量

が増加します。多くの航空機を安全に飛ばすためには、管制官の負担を軽減することが欠かせません。そこで、現在管制官が地上のレーダを見て行っている機体間の間隔確保や着陸順位付けのための指示を、航空機同士が情報通信を行うことによって導き出すシステムの開発を進めています。これによって、管制官に代わって機体に搭載したコンピュータが仕事の一部を担うことができるようになります。

②高精度衛星航法

電波で航空機を滑走路に誘導する計器着陸システムのある空港では悪天候でも安全に着陸することができますが、このようなシステムがない空港では目視によるため、視程の悪い悪天候時には着陸できず欠航便が発生することになります。

DREAMSでは、空港の設備によらず、機体に搭載することで悪天候時にも安全な着陸を可能にするための航法装置の開発を行っています。この装置は衛星航法と慣性航法^(注)を複合化することによって、

(注) ジャイロと加速度計により自機の運動を検知して計算することにより、位置や速度を知る方法。地上施設を必要としない。

静止衛星を使った補強システム（P5囲み記事参照）に比べて精度や信頼性を向上していることが特長です。実現のための課題のひとつは、GPS衛星のひとつが故障した場合に、それを瞬時に検知して適切な処置を行えるようにすることです。

③気象情報配信

航空機を安全かつ効率的に運航するためには、風や雲の様子、気圧、視程などの気象情報を正確に知ることが不可欠なため、空港等でこれらの観測を行ってパイロットに伝えられています。

DREAMSでは、観測で得た情報のほかに、コンピュータで計算することによって、空港周辺で離着陸に影響を及ぼす乱気流の発生を精度良く予測し、その情報を航空機に配信して機上のディスプレイに表示するシステムの開発を行っています（図3）。また、予測した乱気流を適切に回避する経路をパイロットに指示するシステムの開発も進めています。乱気流を避けて大きく迂回したり着陸を中止してやり直したりすれば、交通の流れを妨げ、遅延の原因になります。安全性と定時性の両立が課題です。

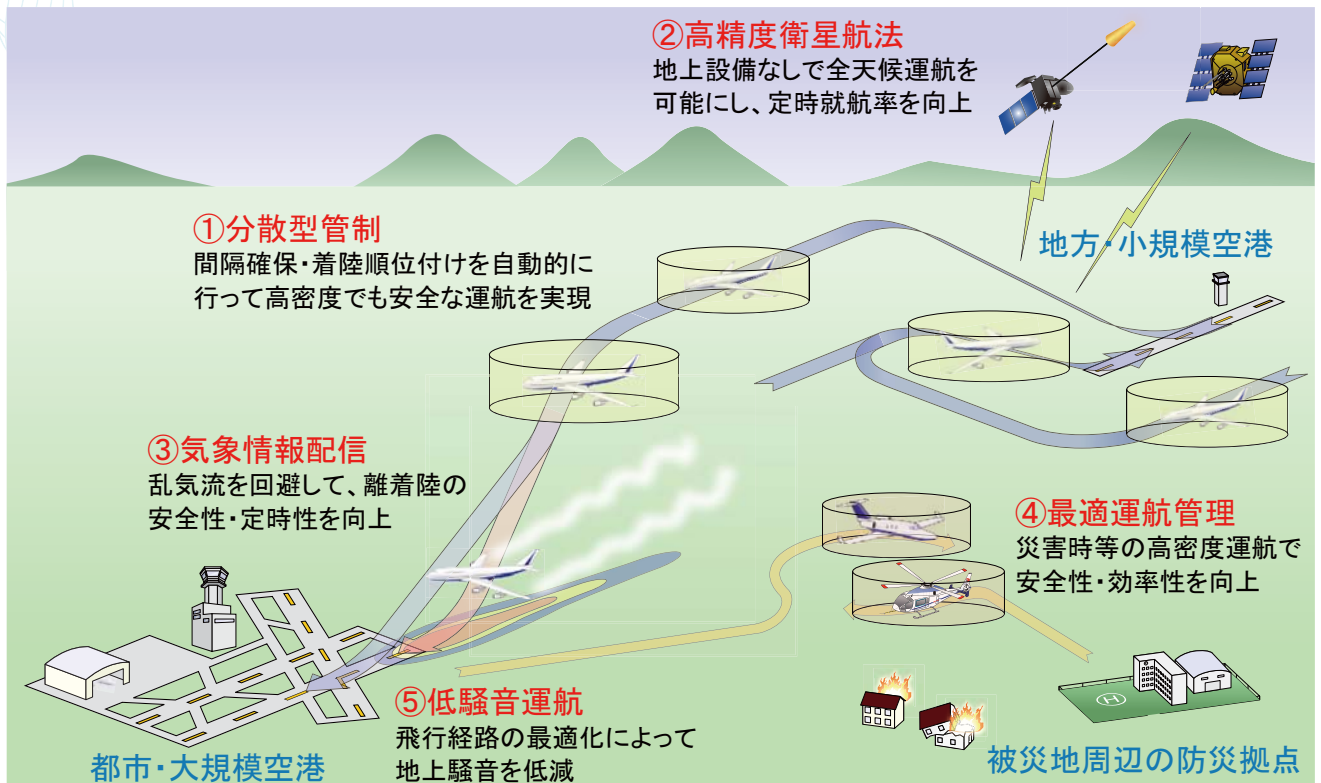


図1 DREAMSで開発する5つの技術

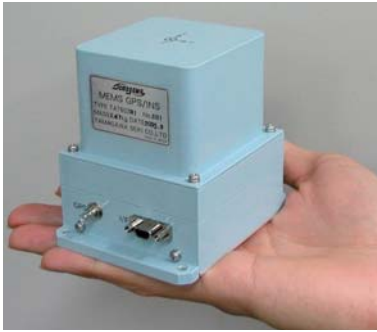


図2 小型高精度航法装置「Micro-GAIA」

写真は無人機用として昨年度に実用化したもの。大型旅客機、ビジネスジェット機、ヘリコプタ等の有人航空機への搭載を目指す。計器着陸システムと同等の精度・信頼性を達成することが今後の課題。



図3 DREAMS技術実証機を用いた飛行実験の様子

- (左) 地上のコンピュータで乱気流の発生を予測し、そのデータを航空機に送信してコックピットに設置したディスプレイに表示している。この実験では、意図的に乱気流の中を飛行し、予測結果を検証するためのデータを取得した。
- (右) 米国アラスカ州で実施したCAPSTONE飛行実験で使用した機体を日本に輸送し、2008年3月からDREAMS技術実証機としての運用を開始した。機内には、Micro-GAIA等、DREAMSで開発した技術を実証するための機材が搭載されている。

乱気流には、自然に発生するものだけではなく、航空機自身が作り出すものもあります。航空機が飛行するすぐ後ろには強い乱気流が発生するため、後続機は巻き込まれないように十分な間隔をとって飛行しています。この航空機が作り出す乱気流についても位置や強さを精度良く予測することによって、間隔を空けすぎずに安全に飛行することが可能になります。

④最適運航管理

過密空域での安全性や効率性の向上はDREAMSの大きな目標です。航空交通量が1.5倍になるのは20年後と考えられていますが、実は明日発生するかもしれない過密運航の可能性があります。それは、大規模災害時の航空機による救援活動です。被災地上空では、自治体の消防や警察、自衛隊や報道などのヘリコプタや輸送機が飛び交うため、「現在の1.5倍」よりもはるかに過密な空域になることが予想されています。また、近い将来、無人機も同じ空域を飛行するようになります。

これらの航空機同士、および地上の災害対策本部との間で情報通信を行い、集まったたくさんの航空機が、物資輸送、傷病者搬送、情報収集といったさまざまな目的に効率よく振り分けられ、また衝突することなく安全に飛行するためのシステムの開発を行っています（図4）。

⑤低騒音運航

交通量の増加に伴って、空港周辺に住んでいる人は、騒音を受ける機会がますます増加することになります。従来の計器着陸システムでは直線的に飛ぶことしかできませんでしたが、衛星航法では曲線的な飛行経路も設定できます。このため、民家が密集している場所を避けて飛行することで騒音被害を低減することが可能になります。

また、騒音の地上への伝わり方は、風向きなどの気象条件によっても変化します。DREAMSでは、空港周辺の土地利用状況や気象条件等の影響を考慮し、そのときに地上での騒音被害がいちばん小さくなる進入経路をコンピュータが導き出して、機上のディスプレイに表示するシステムの開発を行っています。

JAXAの技術を国際標準に

上記の5つの技術は、実験環境ではすでに成立することを実証しています。2006年には、米国連邦航空局（FAA）がアラスカ州において小型機を試験的に次世代システムで運航している「CAPSTONE」プログラムに参加し、衛星航法と情報通信についての性能や信頼性のデータを取得してきました。これらの成果を活用し、今後3年間で上記5つの技術の実用性や信頼性の向上を図って、2011年には実運用



図4 災害救援航空機情報共有ネットワーク「D-NET」

を模擬した環境で実証を行うことを計画しています。
 また、航空機は国境を越えても飛行するので、開発した技術は自国内にだけ有効な規格とすると非常に不便です。このため実用化するにはまず「国際標

準化」が必要になります。各技術が目標レベルに達した後に成果を技術基準として提案し、国際規格策定へ貢献することを目指します。

航空機の航法(ナビゲーション)

GPSを使って場所を計測する方法は、自動車ではかなり前から普及しています。航空機の航法として利用されるには、なぜこんなに時間がかかったのでしょうか。

航空機は雲の中など周りが見えない状態でも飛行するため、GPSだけを頼りにすると万一故障した時に非常に危険です。自動車は道に迷っても止まればすみますが、航空機は空中で止まれないのでそのまま飛び続けると山や他機に衝突してしまいます。航空機でGPSを使うには、GPSの故障に対する安全性を確保するシステムの開発を待つ必要がありました。そのひとつが、別の衛星を使った補強システムです。日本では、

気象衛星として知られる「ひまわり」(正式名は運輸多目的衛星: MTSAT)を使って、GPSの誤差や故障についての情報を航空機に送信しています。米国や欧州でも同様の補強システムが運用されており、国際標準化されています。

衛星航法の利点はいくつかありますが、大きな利点のひとつは地上局を使う場合に比べて誤差が少なくなることです。航空機が続いて飛行する時の間隔は、航法の誤差を勘案して十分安全な距離に設定されています。その誤差が少なくなると、その分間隔を縮めることができ、現状より多くの航空機を運航させることにつながります。

超音速機の ソニックブーム許容性の研究 —社会に受け入れられる静かさとは？

研究現場から①

超音速機チーム

陸地上空での超音速飛行を実現するために

航空機が音速よりも速い速度で飛行すると、機体とその周囲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します。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ます（図1）。第一世代の超音速旅客機であ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であり、このため陸地上空での超音速飛行は多くの国や地域において禁止され、超音速旅客機としての性能を十分に発揮できるのは海洋上空に限られていました。そこで、次世代の超音速旅客機においては、ソニックブームを低減し、陸地上空での超

音速飛行を実現することを大きな目標としています。陸地上空を超音速で飛行するということは、私たちが毎日生活している場所でもソニックブームが聞こえる可能性があるということです。従って、日常生活に大きな影響を与えない程度にまでソニックブームを低減する必要があります。

ソニックブームを忠実に再現できるシミュレータ

では、どの程度の大きさなら許容されるのでしょうか？ この点に関しては、現時点ではまだ明確な答えが得られていません。これまでの研究により、機体形状を工夫して設計することでソニックブームの物理的な大きさを大幅に低減できることが分かっ

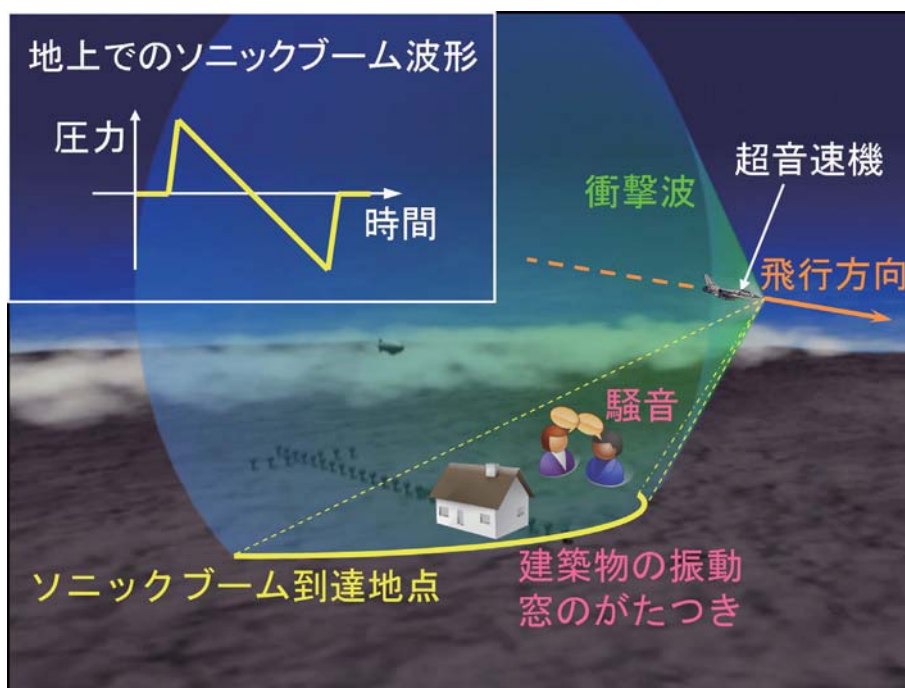
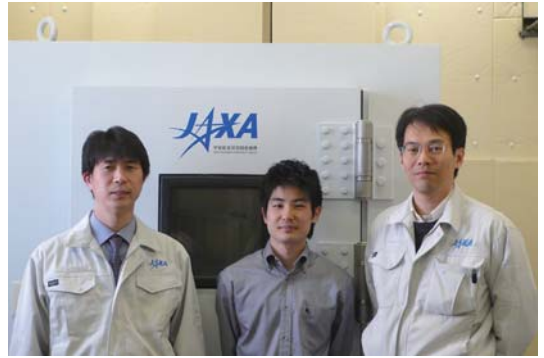


図1 ソニックブームの影響



空力設計技術セクション
(左より) 牧野好和、中右介、伊藤健

ています。しかし、人間の音に対する感覚は複雑で、物理的に同じ大きさの音であっても、それを聞いたときに感じる大きさや印象は音の種類や特徴によって異なります。そのため、許容性の検討には実際にソニックブームを聞いて評価をしてもらい、その音に対する感じ方と物理的指標の関係を明らかにする必要があります。このような許容性評価試験においては、ソニックブームを忠実に再生して被験者に聞いてもらうことが重要ですが、ソニックブームの持つ衝撃性や強い低周波成分などの特徴は、通常の音響機器では再生することができません。そこで、ソニックブームを忠実に再現するために、超音速機チームでは平成19年度にソニックブームシミュレータの開発を行いました(図2)。今後はこのシミュレータを用いて、被験者による許容性評価試験を実施します。

また、屋外に加えて、屋内におけるソニックブームの許容性も重要です。ソニックブームの強度が大きい場合、建物の壁や窓ガラスが振動してがたつき音などの新たな騒音が発生することがあり、他の騒音に比べて室内における影響が大きいことが分かっています。このようなソニックブームが建築物に与える影響に関しては、超音速機チームで開発されたソニックブーム音響・構造振動試験装置を用いて実験的な検討を行っています(図3)。この装置でソニックブーム模擬音を発生させ、壁や窓の振動、がたつき音や建物内に透過するソニックブームを計測します。この試験によって得られるがたつき音や室内におけるソニックブームを図2のソニックブームシミュレータで再生することにより、屋外で聞こえるソニックブームの評価に加え、室内におけるソニックブーム許容性の調査も行います。



図2 ソニックブームシミュレータ



図3 ソニックブーム音響・構造振動試験装置
(左:背面、右:前面)

国際基準策定への貢献

陸地上空の超音速飛行実現のためには、ソニックブームの許容性を正確に把握し、国際的な基準を作ることが必要です。超音速機チームでは、被験者試験を通じて多くの許容性評価データを収集し、国際基準策定に貢献していきたいと考えています。

(中 右介)

大型航空機エンジン用 低NO_x燃料ノズルの研究

研究現場から②

環境適応エンジンチーム

環境適応エンジンチームでは、将来の航空機に搭載する低NO_x（窒素酸化物）燃焼器の研究を行っています。NO_xは、燃焼時に空気中の窒素が酸化されることによって発生します。エンジンでは、圧縮された空気に燃料を混ぜて燃やすのですが、燃焼ガスを高温高圧にした方が燃費が良くなり、CO₂（二酸化炭素）削減につながります。一方、燃焼ガスを高温高圧にすると、NO_xが急激に増えるという問題が発生します。

Nox排出量を5分の1まで下げることに成功

このようなことから航空機用の燃焼器は、現在、大きな転換点を迎えようとしています。燃焼器は、燃料と空気を混ぜて吹き出す「燃料ノズル」と、燃焼領域をおおう「ライナ」からできています（図1）。従来の燃焼器は、燃料ノズルから少量の空気

が入り、ライナの途中から大量の空気が入って、燃焼ガスを希釈して出す仕組みになっています。この方式だと、途中の空気が入るまではかなり燃料が過剰になるため、例えばすすが出やすくなりますが、NO_xはあるレベルまでは減らせることが分かっています。これに対し、根本的に燃焼の方法を変えてNO_xがほとんど出ないようにするのが「希薄燃焼方式」です。この方式では、大半の空気を燃料ノズルから入れて、ライナから入れる空気は少なくします。最初から比較的空気が多く燃料が薄い状態で燃やすので、燃焼ガスが高温になりにくく、すすやNO_xが出にくくなります。本研究では、後者の方式を研究しています。現状では、NO_xを現用エンジンの5分の1のレベルまで下げることに成功し、今後、実用化に向けた諸問題の解決、および海外での実証試験に取り組む予定です。

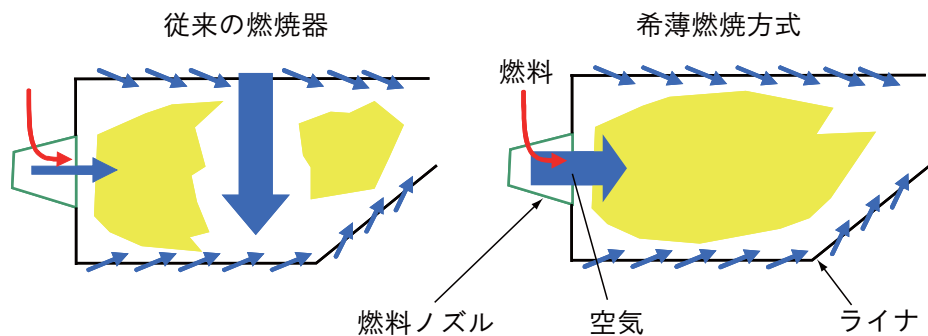


図1 航空機エンジンの燃焼器



(後列左より) 山本武、牧田光正
佐藤拓男、下平一雄、岩瀬常利
(前列左より) 松山竜左、藤原仁志



図2
高温高圧燃焼試験設備

地球環境保全へエンジン技術で貢献

近年の大型航空機用エンジンに対しては、安全性・信頼性に加えて、コストや環境面の要求が非常に厳しくなっており、その開発には膨大な研究開発投資を要するため、国際共同開発によるリスク分散が通例となっています。我が国のエンジンメーカーも主に製造を中心に参入していますが、技術面からの参入が困難な状態が続いています。我々のグループでは、企業1社で保有することが難しい大型の試験設備の整備（図2）や、それを用いた研究開発を通じて、航空機エンジン開発へ技術面から参入しようとするエンジンメーカーの支援に取り組んでおり、本研究もその一環として行われています（図3）。また、これらの活動を通じて、よりクリーンな航空機エンジンを実現し、地球環境の保全へ貢献していきたいと考えています。（藤原仁志）

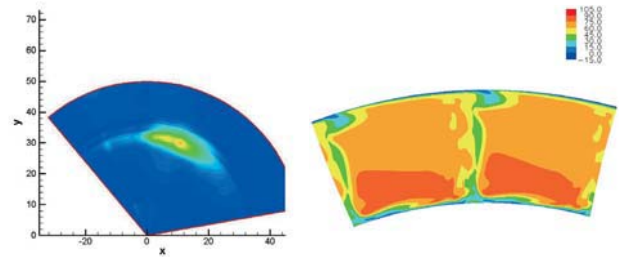


図3 燃料噴霧レーザ計測（左）とCFD（右）

- (左) ノズルからの燃料噴霧の様子をレーザを使って観察している
- (右) コンピュータでシミュレーションを行うことによって燃料ノズル内部の流れを計算した結果を可視化したもの



奥山政広
LTA システム技術セクション
大学院では航空工学を専攻

率的には低くても、万が一のために、墜落した機体が人に当たっても安全であることと、というのは難しい技術課題です。どの程度のダメージなら許容される範囲かといったことも検討しているところです。

✈️ **日本以外で無人機はどのように活用されているのですか？**

奥山 固定翼型が軍用に使われています。無人機にはパイロットが必要ありませんから、環境が悪く危険な現場に適しています。

金子 他にも山火事の監視などにも活用されていますね。無人機を使う現場として大規

模地震を想定しているの、もしかしたら日本独自ののかもしれません。

奥山 無人飛行船は広告用などに使われていますが、災害監視は新しい用途だと思います。

✈️ **興味を持つことから始まる子どもの頃の夢は？**

奥山 特定の職業に憧れを持ってはいませんでした。科学は好きでした。

金子 小学校のときパイロットに憧れていました。でも大きくなるにつれて目が悪くなったのと、成績の都合上(笑)断念しました。

✈️ **学生時代に熱中していたことは？**

金子 小学校から高校までずっとサッカーをやっていました。ずいぶん熱中しました。現在は腰を痛めているのでプレーはしませんが、年一回の高校のOB会には顔を出しています。

奥山 高校のときアマチュア無線をやっていました。見晴らしのいい場所まで出かけて

行って遠くの電波を受けたりしていました。電波には現在も仕事で深く関わっています。映像を送るのに電波を媒介とするため、資格も必要になってくるのですが、その時養ったことが役に立っているんですよ。

✈️ **休日はどうのように過ごしているのですか？**

金子 家族サーブिसをしています。子どもとポケモンごっこやプリキュアごっこなんかをして遊びます。ポケモン当てクイズは得意ですよ。

奥山 時々山へ行きます。山へ行くといっても山頂へ登ることだけに限りません。山小屋に泊まるためだけにわざわざ行ったことがあります。電力を太陽光、風力、水力による自家発電でまかなっている山小屋があつて、温泉もあるというので楽しんできました。その発電は、三つの中では水力発電がいちばん安定しているとのことでした。肝心の温泉は、泥っぽい湧き水を沸かしたようなお湯で、少しがっかりしましたが、山小屋

✈️ **仕事でやりがいを感じるのはどのようなときですか？**

奥山 自分の知らなかった知識や経験を得たときです。

金子 目標に対して自分でイメージしたことが、達成されたりそれ以上の結果が出たとき。そうじゃないこともあるので、「やったな」という感じになります。

✈️ **研究者を目指している方に向けてメッセージをお願いします。**

奥山 何にでも興味を持って、それに取り組んでいく姿勢が

あるといいんじゃないかと思っています。

金子 学生のうちだったら自分のためにやりたいことをやってみることも大事だと思います。そうすることで目標が見えてくるんじゃないかと思うんです。仕事になるとそうはいきませんので。親や先生の気持ち、学校の成績とかを気にし過ぎてしまうと、自分の目標がなかなか決められないこともありますから。私は自分の好きなものを省くことが時々ありました。自分ができなかったたので子どもたちに伝えたいと思うけど、なかなか難しいですね。

飛行船は台車に載せて移動させます



地上局のようす



金子宣彦
無人機システム技術セクション
大学では機械工学を専攻

日本において無人航空機の代表的な用途といえば、無人ヘリコプタによる農薬散布なのだそう。そのほか気象観測などにも使われています。近年では無人航空機を自然災害発生時の支援に役立てようと研究が進められています。JAXAでもこれまでの無人機技術を応用して、災害現場で運用できる無人機システムの開発を行っています。

小型の飛行船と飛行機で 担当しているお仕事の内 容を教えてください。

奥山 私たちのチームでは「災害監視無人機システム」

の開発を行っています。このシステムは、大地震などの災害が発生したとき、無人で小型の飛行船（LTA）と飛行機（固定翼）をうまく使い被災地の状況を撮影するなど、災害対策に必要な情報を収集し提供することを目指したものです。

私は小型飛行船システムに携わっています。このシステムに使用する飛行船に必要な性能や大きさの検討を行った後、飛行中の機体から映像を電波で送信し地上で受信する映像伝送システムを確立するための研究を行っています。

金子 同じく災害監視無人機システムに使う固定翼型の無人機で、主に二つのテーマを担当しています。ひとつは人や物に衝突しても衝撃が少ない機体の構造の研究です。もうひとつは機体に搭載するカメラについて、どのようなものをどのように使ったらいいかを検討しています。

実際に向けてどのような 課題がありますか？

奥山 災害現場で本当に使える

無人機だからできること

災害現場で、人に代わって
空から支援を行う無人航空機のはなし



Interview
夢を飛ばす人々
Vol.8

無人機・未来型航空機チーム
奥山政広●金子宣彦

飛行船として求められている性能を明確にし、それを実現するためにはあと何が必要かを掘り下げなければなりません。そのひとつに飛行船の大きさがあります。大きすぎると格納庫の確保や地上で扱いにくくなります。では小さくすれば良いということになりませんが、積載量も飛行性能も小さくなってしまいます。その辺の折り合いをつけるにはどうするかを



無人機に搭載したカメラで高度110mから撮影した画像



ユーザーの要求を満たすように具体的に進めていかなければならないと考えます。
金子 無人機は市街地上空で仕事をする可能性があるため、二次災害を起こしてはいけないというのが大前提です。まず第一に「落ちない・衝突しない」という重要な技術課題があります。それでももし落ちるようなことがあった場合には「被害を出さない」ようにしなければなりません。確

■ ファンボローエアショーへ出展

2008年7月14～20日に、英国でファンボローエアショーが開催されます。ファンボローエアショーはロンドン郊外で2年に1度開催される航空宇宙関連の展示会です。

JAXAは、前回(2006年)に続く今回の出展で、技術力を世界へアピールします。

航空プログラムグループでは、静粛超音速研究機模型(写真)や高精度低コスト複合材成形法による主翼外翼実大構造物の展示を通して、超音速機技術の研究開発について紹介します。



■ 林チーム長にノーベル平和賞受賞への貢献に対する感謝状

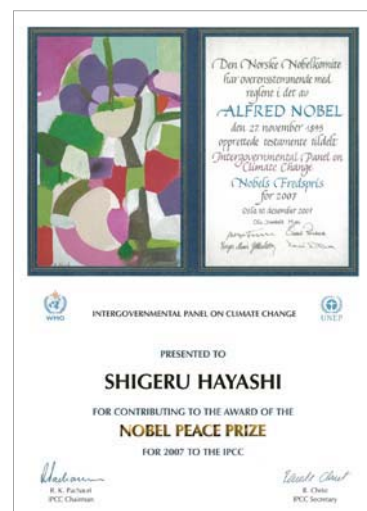


2007年ノーベル平和賞を受賞した国連組織「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」から、JAXA航空プログラムグループ環境適応エンジンチームの林茂チーム長に感謝状が贈られました。林チーム長は、IPCCが1999年に発行した特別報告書『Aviation and The Global Atmosphere (航空と地球大気)』の作成に携わっており、この度その貢献に謝意が表されたものです。

IPCCは、人為起源による気候変化、影響、適応および緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として設立された組織です。

林チーム長が共同執筆したのは、上記特別報告書の第7章「航空機技術と排出ガスとの関係」で、その中で航空需要の高まりを背景に、人類が排出する二酸化炭素(CO₂)全量のうち航空機の排出が占める割合は現在の数%から2050年には2桁まで増加する可能性があるとして予測。それに伴って窒素酸化物(NO_x)や粒子状物質の排出も増大することから、先進的なクリーンエンジン技術の開発が不可欠との報告をまとめました。

環境適応エンジンチームでは、現在よりもNO_xやCO₂の排出量を低減し、騒音も少ないエンジンを実現するための技術の研究開発を行っています。この度の感謝状は、同チームの日頃の研究活動の評価にもつながるものとJAXAではうれしく思っています。



IPCC議長は受賞に際し「これまでIPCCの活動に参加してきた全ての科学者がこの賞の受賞者である」と述べている。