

航空プログラムニュース

No. **27**

2013
Winter

ISSN 1881-2570

〔未来技術座談会〕

自家用飛行機が普及する には何が必要か(後)

—マイカーからマイプレーンへ—

〔研究現場から〕

その1

滑走路雪氷の
リアルタイムモニタリング技術の
研究開発

その2

D-SEND # 2 全機構造強度試験

〔航空技術講座〕

今より騒音を広げない飛び方って？

自家用飛行機が普及するには 何が必要か

マイカーからマイプレーンへ【後編】

自家用飛行機が、当たり前の日常ツールになるにはどんな技術が必要かを考える座談会の後編をお届けします。前編は「どこまで機械に任せるか」で盛りあがってきたところでした。引き続き人と機械の役割分担の話から始まります。あなたはマイプレーンで何をしたい？操縦はマニュアルがいい？ いっしょに想像してみてください。

人と機械はどう協働すべきか

薄 計器飛行方式(IFR)に人間の判断は介在しているの？

小林 今は管制官が指示を出しています。将来的には管制で、人が判断している部分をコンピュータに移譲させて行こうという研究が進められており、航空交通量が増える分は機械がカバーするんじゃないでしょうか。

薄 すると、人間と機械はどう協働すべきかがカギになってくるね。

小林 パイロットは視程が良いという状況下では非常に能力を発揮するわけですね。その能力を天気が悪いときにも活かそうとすると機械の支援がいる。ただそれは支援であって、とって代わるものではないと思うんですよね。

平野 現行の航空機の操縦システムというのは、冗長性^(注1)を持っているということが絶対ですが、その冗長の最終段階に人間を置くことで事故の可能性をできるだけゼロに近づけるという思想で作られていると思います。そこを無くせるかどうかというの、どういう判断になるのでしょうか。例えば万が一、制御システムやオートパイロットが危険な状態に行こうとしたら、パイロットがすべてキャンセルして自分でやるわけですね。それによって現行システムの安全性が確保されていると思う。それに代わるシステムができない限りは、オートパイロットにすべてを任せるということは、難しいだろうなと思うんですよね。

小林 ディジション・ハイト(着陸決心高

度)という考え方があって、ある高度以下で失敗したらだめというのがその機械の信頼性によって決まっています。例えばCAT^(注2)は、それぞれに応じて信頼性がすべて変わるんですね。いちばん信頼性が高いCAT3は、絶対に失敗しない、だから人間は絶対に手を触れない、とする代わりに冗長系が3重・4重だったりして、ものすごく大きなシステムになっています。その結果、大型旅客機にしか入っていないというものです。何を選ぶかはニーズによって変わってきますよね。例えばパイロットが機械が信用できないから自分で操縦したい、そうだと小さくて安価なものができる、というのが現状なんです。技術的にはもう人を介さずにやれるシステムは世の中にあって実際に使われているという状況なんです。

平野 なるほど。ではなぜ人がいるのだろう。

小林 それは例えば、機体サイズによってはCATのような大きなシステムが載らないから。パイロットが腕でカバーすることだと私は理解しています。

薄 自家用機は、普通のおじさんやおばさんがパイロットになるよね。

小林 免許を簡単にするという方向にくるのだと思いますね。そうすると機械に任せる部分が増えていくでしょう。

久保 今のシステムはパイロットありきで作られたものですから、そもそも人がいないというのは選択肢に入っていないと思います。CAT3で確実だといっても、パイロットは何かしらの要件が必要です。ね。(津田・小林：はい)つまり責任を持つ人がいるということ。

薄 CAT3ができたことでパイロットに要求される資質は変わったのだろうか。

小林 機械を最後まで信じる力がまず必要だと思う。視程が悪いと着陸するまで見えないわけです。「うおー、着く着く」という感じ(笑)。僕だったら信じるところから始めないといけないですね。ちなみに有視界飛行方式(VFR)で飛んでいる人がIFRの資格をとるとき、自分の目じゃなく計器を信じるっていう訓練をするそうですよ。

薄 そう簡単に信じれるものではないの？

小林 例えばパーティゴ(空間識失調)。雲の中に入ると自分の姿勢とかが分からなくなるが、それは計器を信じるしかない。そこで「計器は1重系だったな」と思い出したとしますよね。「計器が示す数値が間違っている確率が何分の1あって…」と考え出すともうだめなわけ。そんなことを考えずに操作をする訓練が必要だと思うんです。薄 CAT3が運用できるようになったのは、システムの信頼性が十分に認められたということだね。

小林 そう思います。要するに携帯電話と同じようなインフラとして認められたものなんですよ。自家用機を普及させるには、それくらいの信頼性がないと。

久保 自動化とパイロット有無の話に戻りますが、現行システムを少し変えたからといってすぐパイロットなしにはならないでしょう。ICAO(国際民間航空機関)では「無人航空機」を「遠隔操縦航空機」と呼んでいます。現状技術の無人航空機は、真の「無人」ではなく、パイロットは地上にいる「遠隔操縦者」という考え方です。今のところ完全に人が介在しないシステムは、検討

(注1) 冗長：あるシステムの一部に障害が発生した場合に備え、障害発生後でもシステム全体の機能を維持し続けられるように予備装置や回路などが予め配置されていること

(注2) CAT：着陸援助装置は運用精度により5段階に分類されている。この段階をcategory(=CAT)という。



されていない段階なのかなという気がします。そういう議論は今の航空機のシステムの延長線上にはまだ乗ってきていない。です。すから現行システムを厳密に議論していくとそこには辿り着けないですね。もしかしたら、今までとは設計思想が全く違う所に答えがあって、我々が今議論しているのは、そういうところが実現しないと有り得ないような話だと思う。

平野 自動車ですら、今ようやくそういう方向に進みつつある所なので、最初から自家用機だったらオートパイロットというのは飛躍しすぎているのかもしれないですね。自動車が完全に一般家庭に普及して、その上で運転アシストなどが出てきたところですから。自家用機の場合もまずはすべて自分で操縦する段階があって、その次にアシスト制御が出てきても不思議ではないと思います。

久保 小型機の操縦ってどうなんですか？

西沢 難しいです。自動車はハンドルを回した方に進むので直感的でわかりやすいじゃないですか。でも飛行機は違うんですよ。私の場合ですが、初めての訓練飛行では、操縦桿を動かす前につい行きたい方向に身体を向けてました。操縦桿とラダーペダル操作の組み合わせを頭に叩き込んで、何度も訓練して、体に覚えさせないと操縦できるようにならないんですよ。

小林 脳波で操縦できるといいですね。

西沢 そこがもしコンピュータが間に入って、進みたい方向にレバーをひねれば勝手に進むというようになってくれたら、操縦はすごく楽になりますね。

薄 先日、ボーイング787のシミュレータを体験したら、ゲームをするような感覚だった。ヘッドアップディスプレイ上の丸の中の一点にシンボルを持っていけば、機体姿勢がコントロールされて無事着陸できるようなシステム。これは将来像なのかなと思う。

西沢 それはフライバイワイヤ^(注3)になっているかどうかなんです。小型機はほとんどそうっていない。

薄 コスト的な問題で？

平野 重量もありますね。アクチュエータが重くなってしまうので。

小林 大きさも。そういった技術を可能にするシステムが、信頼性の面から3重系の必要があって、その結果容積が大きくなってしまふ。これを安く小さく作れると小型

機に搭載できるようになります。

薄 2重系、3重系にするのは今後も必要です。

小林 身近な場所を飛ぶことを考えると、それなりの信頼性は要るんじゃないかな。何かあった時に与えるインパクトが都市部では大きすぎるので下げきれない。

平野 メカニカルトラブルに関しては冗長系をなくすわけにはいかない。

西沢 信頼性は確かにコストがかかりますが、量産できれば数で回収できるので、量産するっていうのが答えの一つではあります。

薄 ただ2重でいいんじゃない？

西沢 自動車は3重にはしていないと思うんですよ。でも深刻な問題は起こしていない。その代わりシステムの信頼性を十分上げて自信を持って売っている。その辺を自動車から学んで航空機に活かそうですね。

移動手段か、それとも楽しみか

薄 自家用飛行機は、どのくらいの人を楽しみに使っだろう。

小林 別の場所で専用の機体で楽しめばいいと思う。この場合は移動手段なんじゃないかな。

西沢 私もそう思います。自動車だと目的の最上位は頻度でいうと多分買い物なんです。飛行機も何かの手段としての使い方がメインで、楽しみで乗るのは少しの割合ではないかな。

薄 手段だとすれば、目的地のボタンを押せば、最短の時間とルートを計算して、混雑状況を考慮しながら飛行高度なども決定してくれて、その通りに飛行するというのが理想だね。自動車と比べて得するものは時間。

西沢 中央新幹線(リニアモーターカー)が実現すると東京・大阪間は約1時間です。これが普通になると、時間の感覚が今よりもっと変わってくると思うんです。私たちはすでに速く移動するという価値観に慣れ親しんでいます。それを満足させるには航空機が最適。徒歩や船で何日もかけて移動するなんて、もうできないですよ。

平野 リニアモーターカーの場合は行き先が固定されていますから、そうすると国内格差がすごく出てきますね。大阪へ1時間



薄 一平 SUSUKI Ippei

元JAXA航空技術研究統括。1977年航空宇宙技術研究所(現JAXA)入社。専門は構造・材料



久保大輔 KUBO Daisuke

2008年JAXA入社。無人航空機システムの研究開発に従事



小林啓二 KOBAYASHI Keiji

企業を経て、2009年JAXA入社。災害救援用航空機情報共有ネットワーク(D-NET)の研究に従事



津田宏果 TSUDA Hiroka

2004年JAXA入社。Crew Resource Management、パイロット視覚情報支援技術の研究に従事。当座談会で「マイブレーン」の呼び名を提唱。こちらの普及も目指しているとか



西沢 啓 NISHIZAWA Akira

2002年航空宇宙技術研究所(現JAXA)入社。航空機の電動化の研究に従事。小型機操縦経験あり



平野義鎮 HIRANO Yoshiyasu

2005年JAXA入社。複合材料・構造設計の研究に従事。08年より超音速機チームにて実験機の構造設計を担当

で行ける一方で、同じ距離でも数倍時間がかかる地域が出てくる。そういった所では自家用機の需要が高いでしょうね。

マイブレーンにつながる技術

薄 そこに至るまでを考えると技術課題は何だろうか。

西沢 小林さんの話にあったように、安価で簡単であること、これがものすごく大きいんじゃないかと思います。あとは大量に飛ぶようになって、安全に運営できる輸送システムであること。

小林 信頼性向上を冗長性を高めることだけで行くんだったら、もうやれているので、それを大衆化レベルまで持ってこようと思うと、小型・安価で実現すること。

薄 そもそも自家用航空機ってどんな魅力があるだろうか。以前ほかの所で若い人たちに飛行機の魅力を聞いたら「3次元空間で自分でコントロールできること」。空を飛びたいっていうのはタケコブターの世界だと思うんだよね。

(注3) フライバイワイヤ：操縦桿や操舵ペダルの動きを電気信号に変え、舵をその信号量に応じて動かすようにした操縦システム。従来、航空機の操縦系統は、パイロットが操作する操縦桿や操舵ペダルの動きをケーブルなどを介して油圧作動機構に伝え、各操縦翼面を動かす方式だった。

久保 自家用機って名前をつけたとたんイメージが限定されてしまっているの「fly to fun」ってことだったら、この議論もまた違った答えになったかもしれない。

小林 言い方が違ってても、使うのは同じシステム。広い公園で飛ぶのを楽しみたい人だったり、ビジネスマンが移動で使ったり、使う目的は人それぞれなんじゃないかな。ルールは同じではないかもしれないが。

西沢 自動車と一緒にですね。

平野 安全な自家用機のようなものが身近にあれば、飛行機操縦というハードルの高さを、かなり下げられると思うんです。自由に飛ぶってことが比較的簡単に手に入ったら、今度はその時点で違う需要が生まれるでしょう。これにも使いたいっていうのがどんどん広がるだろうと思う。作る側はそれをあまり意識しなくても、安全に飛べるシステムを提供しさえすれば、あとは需要ができて、じゃあそれに向けた機体を開発しよう、こういう機能を付けてみようという方向に進むんじゃないかな。

小林 オートパイロットの考え方が変わるかもしれないですね。目的地にボタン一つで行くのは自由じゃないから、操作が簡単にできて、自分の思うイメージで飛べる技術。でもこれってフライバイワイヤで既にやっているんじゃない？

平野 ええ。あとは利用者が比較的簡単に手に入れられるかどうかですね。

西沢 インフラ整備も必要になりますね。

薄 推進面からのアイデアは？

西沢 私は電動化航空機の研究をしまして、電動化の一番の魅力という点と費用が安くなることなんです。燃料費と整備費は1/4程度に抑えられます。電動モーターと、それを動かすコントローラーと動力源になるバッテリーの組み合わせもシンプルなので、機体価格も安くなる可能性があります。もう一つ、安全性の観点で、モーターなのですでにコントローラーというコンピュータが自動的に回しているわけで、もし何かあったら、自動的に安全な方に作用させるということはあり得ます。ですので小型機でフライバイワイヤになっていなくても、エンジンを電動モーターにすれば、部分的な安全性向上が可能です。それと計器類が少なくてすむので、パイロットの仕事量を減らせるし、電動モーター自体の信頼性が従来のエンジンに比べて非常に

高いので故障もしにくくなります。

薄 2～4人乗り、全長・翼幅ともに10数mだと実現性はありますか。

西沢 ええ。その規模だったら50年よりずっと短い期間で実現できるでしょう。

薄 重量は軽減できるでしょうか。

西沢 バッテリーが重いので、バッテリーのエネルギー密度がどれだけ向上していくかが非常に重要ですね。

薄 24時間飛べるソーラープレーンもありますが、それとの併用はどうですか。

西沢 推進の動力源として使おうとするので、太陽電池はどうしても大面積が必要になるので、小型であることが要求される自家用の用途では難しいと思います。太陽電池の発電効率がもっと桁違いに上がれば、有意なものになる可能性はありますが。

薄 電気と石油とのハイブリッド化は実現できそうですか。

西沢 2人乗りだったら既に作られています。ガソリンエンジン単体で飛ぶよりもエネルギー効率は高くできるので、燃料費が抑えられることは既に実証されています。

技術の種はある！

薄 より良い推進システムを作るには。

西沢 電池のエネルギー密度と、モーターの出力密度をあげることです。今、単位重量当たりの出力は、ガソリンエンジンより電動モーターの方が大きいんですよ。だからガソリンエンジン機を電動モーターに換装すれば、電池のことを除けば性能が向上するんです。ただジェットエンジンに置き換わるかと言うと、それはまだで、ビジネスジェットクラスが電動化できるのはずっと先になるでしょう。ですが、そんなに非現実的なことではないと思います。現在でも出力密度だけで言えばジェットエンジン並みのモーターは存在はするんです。出力はまだまだ小さいですが、技術の種はあるんですよ。

薄 構造や材料の技術面はどんな展望ですか。

平野 大型機も小型機にも共通することですが、強くても軽くが基本路線だと思います。それをいかに安く作るか。今よりも圧倒的に手間のかからない作り方をしないと、自家用機には上手くフィットしないだろうと思います。皆さんの家にあるバスタブも

複合材料^(注4)の一種なんですよ。ガラスの短い繊維をランダムに配置した所に樹脂を流してプレス機で一発であの形を作るんですけど、そのように飛行機のボディ作りも簡素化しないと成り立たないでしょう。そこにカーボンナノファイバーのような最先端の材料が使われたり、さらに何かもっと新しい形態の材料が必要なのかなという気はします。

薄 では構造材料に機能を付加する、その研究についてはどうですか。

平野 光ファイバーなどのセンサーを張り巡らせてセンシングをするといった、いわゆるヘルスマonitoring技術が旅客機に導入されようとしています。そこで信頼性が確保できれば、小型機にも入ってくると思います。ただこういった高価で付加価値の高い物が、より低コストが求められる所に入ってくるには、より一層の技術的な飛躍が必要だと思います。それよりは、例えば材料が壊れたら中でマイクロカプセルが割れて、それによって自動的に補修をするセルフヒーリングといった技術のような、機能材料的な方が有望かもしれません。

薄 今航空宇宙機向けに使われている複合材料はほとんどが熱硬化^(注5)で、壊れたらおしまい。セルフヒーリングなどをやろうとすると、熱可塑のような何回も使えるような材料が使われていくのでしょうか。

平野 日本が得意としてきたのは熱硬化複合材料ですが、最近は自動車を中心に熱可塑材料の開発が進められています。今後その分野から新しい材料が出てくる可能性がありますね。欧州は熱可塑CFRP(炭素繊維強化プラスチック)に力を入れていて、A380の主翼前縁部にも既に採用されていますし、今後ますます使われる範囲が拡大していくと思います。

薄 今使われている熱可塑とは、古くなったら溶かして再び使う、リサイクルという意味ですか。

平野 耐衝撃性の目的です。バードストライクのように、飛んでいる最中に物が当たった際一気に壊れないという性質を活かして使われています。

薄 破壊をできるだけ局限化するというのは、信頼性を向上する目的ですよ。

平野 はい。自家用機にはそういった材料が向いていますね。熱可塑は、熱を加え

(注4) 複合材料：異なる材料を混ぜ合わせることで、それぞれの長所を引き出した材料。航空宇宙分野では、炭素繊維とプラスチックによるCFRP(炭素繊維強化プラスチック)が主に用いられる。

(注5) 熱可塑性／熱硬化性：熱可塑性とは熱を加えると変形しやすくなる性質。熱硬化性は熱を加えると硬くなる性質。

ると柔化して冷やすと再び硬化する性質がありますので、物がぶつかったらドライヤーなどで熱して変形を戻すとか、修理を簡単にできる可能性もあって、今後も取り組むべき技術ですね。

薄 複合材のリサイクルは必要になりそうですね。

平野 そうですね。旅客機は20～30年飛びますが、家用機はサイクルがかなり短くなる可能性があります。その分材料もリサイクルできることが要求されるでしょうね。

それって面白い？

薄 多様な機体が高密度で飛べるような新しい管制を実現するには、機体側ではどんな機能が必要でしょうか。

津田 現在の地上対機体ではなく、機体同士が直接やりとりをして自分たちで飛んでしまう、というのは必要かと思います。

薄 そのとき、飛行機間でどんな情報をやり取りする必要があるだろう？

津田 自分の位置と機速は最低限必要だろうと思います。あとは飛行経路もわかるかと思っています。経路の候補も含めて。例えば、着陸時に一つの空港に対して両方向から入ってくる時に「お先にどうぞ」「自分は遠回りの経路を選択しました」というような情報を送ってあげられるといいですね。

先程、自由にはではなく整然と飛ばなければいけないというのを聞いて、それって面白いのかなと引っかかりました。自動車のように、行き先を決めて出かけたけれど急に変更したくなったり、適当に走ってみたいという乗り物にはならないのかな。

西沢 確かに、それが許容されなかったら面白いとは言えないな。技術的にそんなに難しいことなのかな。

津田 ルールが変われば、できることですよね。

西沢 カーナビは、運転者が知らない場所でも住所を入ると教えてくれますよね。途中で先行変更もかなりの選択肢で可能。飛行機もそれと同じようなシステムになればいいんですね。

津田 そうなると楽しいですね。

西沢 でないと利便性が落ちてしまうので、普及を妨げることになるでしょう。

目的地をかなりの自由度で変更可能っていうのはシステム要求として必須ですね。

エージェント機能が 操縦をサポート

薄 久保さんの研究にどう関連していきそうですね。

久保 VTOL（垂直離着陸）技術は、燃費など課題は色々ありますが、何かしらブレークスルーがあれば将来的にはもっと利便性の高いものになるでしょう。滑走路が必要なのは大きな制約ですから、将来的に目指していく方向だとは思いますが、無人機技術では、自動操縦に関連する技術がもっと信頼性が高くなって成熟するはずですので、より使いやすい機体が作れるだろうと思います。あとは法的な制度や、使い手にとって安心感が得られることも必要ですね。

薄 飛行機に自律してもらうにはどうすればいいでしょう。

久保 一言でいえば人工知能だと思いますが、その安全性を確認するという部分が手つかずですね。逆に言えば、課題だと認知されているので、段々出てくるかもしれない。制御則に適応制御ってありますけど、飛行機ではあまり使われていないんです。インプットに対してアウトプットが不確定なものは、今の航空法では耐空性証明がとれないんじゃないかな。人工知能はそれをもっと極端ですから、飛行機がどう飛ぶかわからない。その安全性をきちんと確認して認めて行くっていうのが大変なことだと思います。

小林 私はJAXAでやっている技術が全部ここへ行きつくだろうと思っている。ただ自律性を高める研究というのは、今JAXAでやられている？ロボット化でしょうか。

久保 自律の基本定義が曖昧ですよね。米軍の定義だと、自律の究極的な姿は、群れて協調しながら飛ぶとされている。仕事を一緒にすることだと思うが、それは混んでいる空でぶつからないように機体自分たちで交通整理して飛ぶということ。

小林 衝突回避技術、誘導・制御系の話になるでしょう。

久保 そうとも言えるでしょうし、なにか故障が起きた時に勝手に安全策をとってくれるということも自律だと思います。自動化

+機械が判断できることになるでしょうか。
薄 自律とは最後は人間の判断じゃなくて、機体に任せるということかな。

久保 ある程度そういう意味合いだと思います。人間が介在しないである程度してくれる…やっぱり自動との定義が曖昧ですね。

薄 自律になった時、人間が飛行機に「なぜそんなことをするんだ？」と聞くの？すると飛行機は人間に理由を説明したりといったコミュニケーションが必要なの？

久保 ヒューマンインターフェイス技術になるんですね。今自動車でも、ナビが勝手に再検索する機能がありますね。運転している方からすると、何を勝手にと思いますが。

小林 ここは危ないところだからって説明が出るんですね。

薄 飛行機が「ご主人様、私はあなたのために、こういうことをしようとしています」と説明しながらになるだろうか。

久保 エージェントみたいなのがいて運転をサポートしてくれるとか、そういったインターフェイスがあり得るかもしれませんね。

平野 そうなると『2001年宇宙の旅』のHALの世界ですね。

久保 ああ、まさに。イメージとしてSiri^(注6)のようなものがもっと発展すると。車にも載せるという方向らしいですね。その発展としてはあり得るのかな。

*

最後までお付き合いいただきありがとうございました。飛行機とコミュニケーションをとりながらの操縦なんて、心強いしワクワクしますね。でもマイプレーンで飛べる日は、そう遠い未来ではないかもしれませんよ。そのときは、飛行機のことを研究している人たちがいることを思い出してもらえるとうれしいです。



(注6) Siri: Apple社の携帯端末に搭載された、音声認識型のアプリケーションソフトウェア。人の会話を認識し、タッチパネルを介さずにメールをしたり電話をしたりといった操作ができる。

滑走路雪氷のリアルタイム モニタリング技術の研究開発

研究現場から①

運航・安全技術チーム

冬期滑走路の常時モニタリングで離着陸可否を即座に判定する—そんなシステムの実現に向けてJAXAは北見工業大学・(株)センテシアとともに要素技術の研究開発を開始しました。冬期の運航効率を向上させるほか、着陸時のオーバーラン(滑走路逸脱)などの事故の防止にも役立つ技術として期待が寄せられています。

■ 冬期運航の課題

滑走路が雪や氷で覆われると滑りやすくなり停止距離が長くなります。このため除雪作業による遅延、欠航やダイバート(目的地外着陸)がしばしば発生します。日本では雪氷が原因の欠航が年間数百便に及ぶ空港もあるほどです。冬期運航は、利用者への影響が大きいだけでなく、エアラインにとってもコスト的な負担が大きいことが課題となっています。

離着陸可能かどうかの判断はエアラインごとの運航規定によりますが、リアルタイム性に乏しいこと、過度な安全性に基づいていることが効率的な運航の妨げになっていることがJAXAの調査によりわかりました。JAXAでは、これらの課題を解決する技術として①雪氷状態モニタリングセンサの開発②摩擦係数データベースの構築③摩擦係数計測装置の開発—

を目標に2010年から共同研究に取り組んでいます。①と②を連動させることで「いま離着陸できるかどうか」が瞬時に判断できるようになります。③はデータベース構築に際し必要なものです。これらの技術で欠航・ダイバートの削減を目指します。

■ 雪氷状態を光で判定

現在重点的に取り組んでいるのが、雪氷状態モニタリングセンサの開発です。滑走路上の状態を、人の手を介さずに常時計測できるセンサを開発します。光を使って積雪量や雪質を判定するしくみです。センサは滑走路の下に埋め込み、路面にはガラスをはめ込みます。下から雪に向けて光を発射し、散乱して戻ってきた光を検知するものです。検知した散乱光の強度や分布によって、どんな雪がどれくらい積もっているかがわかります。現在は室内環境で試験を行っている段階で、来年度以降は屋外に設置しての試験を計画しています。

これまで滑走路の雪氷状態は、必要の都度、人が専用の計測車を使って計測していました。雪氷状態モニタリングセンサは、人に代わってリアルタイムデータの収集を行います。さらに、この値を摩擦係数データベース(後述)と連動

させ、機体重量や飛行速度、風速、滑走路長などを加味して計算すると、フライトごとの着陸判断ができるようになります。

■ 摩擦係数推定とデータベース構築

滑走路面と航空機脚のタイヤ間の滑りやすさを表す指標に摩擦係数があります。摩擦係数がわかると、航空機が停止するのに必要な距離を算出できるようになります。私たちはこの摩擦係数を使って各航空機の停止距離を計算し、その距離が滑走路の長さを超えるか超えないかを確認することで、離着陸の可否をフライトごとに判定できるようにすることを目指しています。

摩擦係数は理論的にもとめることが難しいので、実測する必要があります。ただしフライトごとに摩擦係数を計測することはできないので、事前に様々な雪氷状態での摩擦係数を計測してデータベース化しておくことが有効です。こうすることで今の雪の状態が分かれば、摩擦係数をデータベースに参照することができます。

■ 摩擦係数計測装置の開発

摩擦係数は現在の運航でも、離着陸可否を決定する情報の一つとして利用されており、計測にはSFT(Surface Friction Tester)



取材協力
構造評価技術セクション 神田 淳

と呼ばれる専用計測車を使用して
います。私たちはS F Tより高精度に
摩擦係数を得ることを目標に摩擦係
数計測装置の開発も進めています。自
動車に牽引するタイプで、摩擦係数
がより精度よく計測できる装置です
。すでに設計が完了しました。

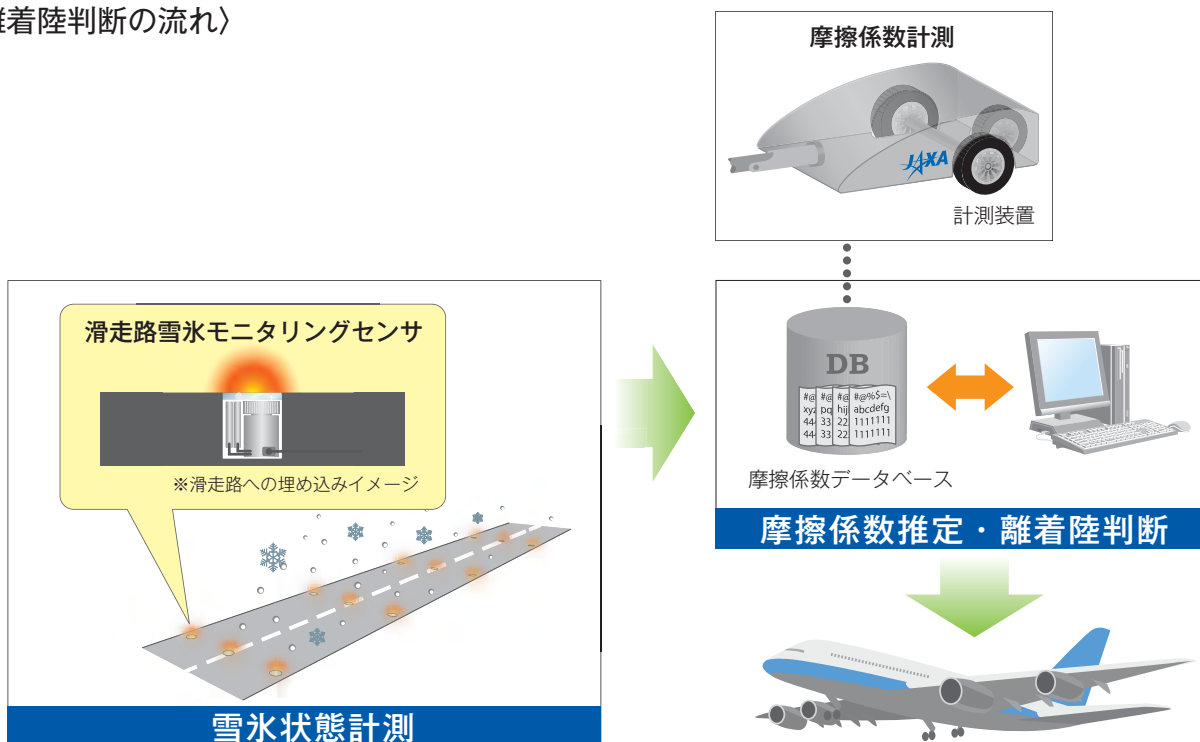
ただし計測装置を使って得た摩擦係
数は、あくまでも「装置と滑走路面の
間の摩擦係数」であり実際の

航空機のそれではありませんので、
計測装置で得た摩擦係数から「航空機
のタイヤと滑走路面の間の摩擦係数」
を推定しなければなりません。また推
定値が現状をよく模擬しているかを検
証することも必要です。このため航空
機のフライトデータから実際の摩擦係
数を解析して求め、比較することで、
相関を検証します。この相関データも
加味してデータベースを構築します。

■ 安全を確保しつつ効率を向上

安全性を確保することは非常に重要
ですが、過剰な安全性に基づいた運航
方法は、結果として欠航を増やすこ
とにもつながります。以上の技術によ
り安全性をより厳密に判断できるよう
になれば、欠航を必要最低限にでき
るだけでなく、適切な除雪のタイミン
グもわかるので滑走路を閉鎖する時
間も減らせるようになるでしょう。
世界初のシステム実現に向けて、ま
ずは技術の実証を目指します。

〈離着陸判断の流れ〉



D-SEND #2

全機構造強度試験

研究現場から②

D-SEND プロジェクトチーム

■ D-SENDプロジェクト 第2段階へ

「環境に優しい」をキーワードとして、「静かな超音速旅客機」を目指す静粛超音速機技術の研究開発を進めてきたJAXAでは、D-SENDプロジェクトが進められています。D-SENDとは(Drop test for Simplified Evaluation of Non-symmetrically Distributed sonic boom: 非軸対称ソニックブーム場に対する簡易評価のための落下試験)の略で、ソニックブームを半減させるための先進的設計概念及び手法を実証・評価することが目的です。平成23年5月の第1フェーズ試験(D-SEND#1)のミッション成功を受け、第2フェーズ試験(D-SEND#2、**図1**)の準備を進めております。D-SENDプロジェクトについて、詳しいことは本誌No.21特集ページをご覧ください。今回は、D-SEND #2の準備の一つとして実施した全機構造強度試験について紹介します(**図2**)。

■ 自重の何倍もの荷重に 耐えられるか？

まず、D-SEND#2の概要を紹介します。気球(上空では大きさ100m以上に膨らむ成層圏気球)で上空約30kmまで供試体を上昇させたところで、気球から分離し、垂直に落下しながら音速を超える速度まで加速していきます。搭載しているコンピュータが供試体の速度・姿勢を制御して、音速の1.3倍(マッハ数1.3)で地上付近の計測機器の上を通過します。その時に発生するソニックブーム(音速を超えた物体から発生する衝撃波により発生した音で、ドーンという孤立した騒音になる)を計測機器で計測することを計画しています。供試体は全長約8m、重量1,000kgの無人機で、三角形の主翼と胴体、尾翼があります。構造は主にアルミ合金でできています。

供試体が飛行するには、空気の

流れによる抵抗や揚力、運動による力、重力などが加わり、自重の何倍もの力が供試体に働きます。そのような力に加え、気球で吊り上げられる際に加わる力や、道路をトラックで運搬される際に働く力なども含めて供試体に働く荷重を求めます。その荷重に対して耐えられるように材料を選定し、部材の板厚等を設計していきます。供試体に厳しい荷重の組み合わせを5ケース選定し、設計荷重としました。

全機構造強度試験は、あらかじめ地上において、その5ケースの荷重の組み合わせについて油圧アクチュエータで供試体に負荷し、各部材のひずみ^(注)や変形を計測し、供試体の構造が飛行を阻害するような有害な変形をしないこと、さらに解析の予測と計測値を比較することで、供試体の構造が耐えられることを確認するための試験です。今回は実際に飛ば

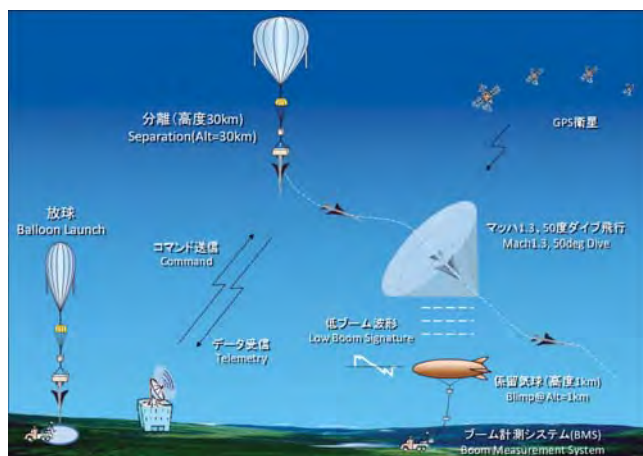


図1 D-SEND #2の概要

当プロジェクトでは、静かな超音速旅客機を実現するJAXA独自の設計コンセプトを実証する



図2 全機構造強度試験のセットアップ状況

全機構造強度試験のメンバー
(右端が筆者)

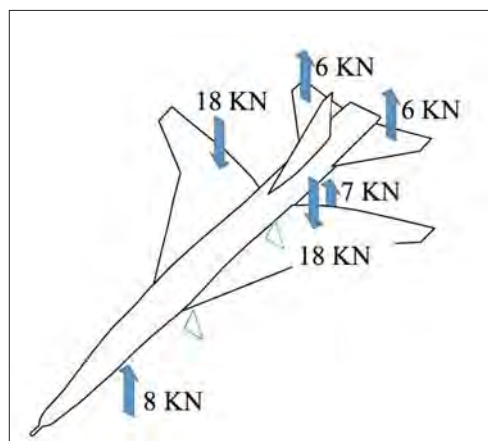


図3 主翼・胴体荷重縦曲げ最大ケースの
供試体に加わる荷重の概要
支点で吊りあいを取るため合計は0にならない



図4 主翼・胴体荷重縦曲げ最大ケースの翼端の変位
(負荷前と負荷後の合成写真)

す供試体を使用しましたので、負荷する荷重は設計荷重までとして、破壊させるところまでは負荷していません。

余談ですが、現在、日本の空を飛んでいるほとんどの航空機は必ずこのような試験をして設計を確認しています。設計した範囲内では壊れないことが保証されておりますので、安心して航空機をご利用ください。

■ 構造設計の妥当性を確認

全機構造強度試験は、平成24年11月22日から12月25日まで栃木県宇都宮市にある富士重工業株式会社宇都宮製作所で実施しました。鋼製の架構の中に自重をキャンセルするよう吊られている供試体に、油圧アクチュエータからトーナメント・翼・胴体バサミを介して飛行状態を模擬するような分布した荷重を負荷します。変位は翼端など合計84点を変位計で、ひずみは各部材に貼った合計305枚のひずみゲージを使って計測しました。

主翼・胴体荷重縦曲げ最大ケースは、供試体がソニックブームの計測点に向かってダイブするタイミングで、主翼と胴体に加わる荷重が負の方向に一番大きくなることを想定しています(図3)。機体には主翼片側に18kN(約1.8トンの重力に相当)の荷重を加えました。その時には図4中の白い矢印のように翼端が約100mm下にたわみました。

ひずみと変形の計測値は、解析の予測値に近い値が得られており、試験終了後の外観検査も特に異常ありませんでした。これらの結果から構造設計は妥当であり、供試体の構造が荷重に耐えられることが確認されました。

強度試験終了後、気球で上昇中に太陽光を吸収しにくいように白色に塗装しました(図5)。

現在は装備品を載せて動作確認などの準備を進めております。気象条件に恵まれれば、平成25年夏にスウェーデン北部で落下試験を実施する予定です。

(高戸谷 健)

(注)力を加えることで物体が変形した時、その変形の割合を「ひずみ」と呼ぶ。詳しくは研究開発本部広報誌「空と宙」No.50、7ページを参照。



図5 塗装済みのD-SEND #2供試体

飛行機の騒

石井 経路を変えと言っても、基本的な経路があつて、そこから少しずらすというイメージだ。これを経路の最適化というよ。飛行機は「どこから来たか」や「風向き」などである程度進入経路が決まってくるから、それを気象条件に応じ

てチューニングするということだね。こういうことができるのも、航空機を飛ばすしくみが変わってきていることが背景にあるんだ。GBAS（地上局型衛星補強システム）について聞いたことがあるかな。

飛行機がGPSを使って飛ぶとき、GPSの誤差を補正する情報を教えてくれるものね。空港に設置するのよ。

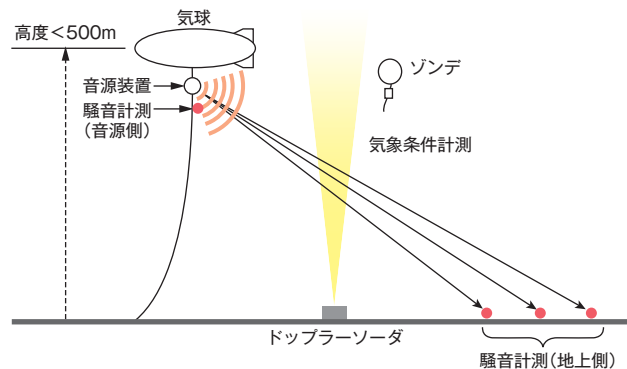
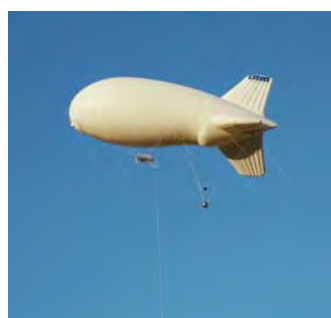
石井 そうだね。将来的な導入をめざして一部の空港で試験的に運用をしている段階だが、このGBASを使うと、曲がった経路なんかも設定できて、しかもその経路に沿って正確に飛べるようになるから、その結果、騒音のバラつきを最小限に抑えられるんだよ。これを使って、騒音を今より

広げないような、その時その時の気象条件で一番いい経路を作れるようにしようというのが、私たちが取り組んでいることなんだ。

予測精度と計算速度を両立

Q どんな技術が必要になるの？

石井 「騒音予測モデル」と「低騒音経路最適化手法」の開発をしている。もう一度整理し



音の伝わり方を調べる実験

騒音予測は次の3つに分けて考える。①音源からどのくらいの音が出ているか②空中をどう伝わるか③地上でどう聞こえるか。①は音源モデル、②は伝搬モデル、③は騒音の指標によりもとめる。実験は、気象の影響によって変化する騒音の伝搬特性を把握するため、北海道・大樹航空宇宙実験場で実施した。係留気球に音源（スピーカ）を取り付け、高度500m・300m・100mと高さを変えて騒音を発生させて、音源のすぐそばと地上のマイクで計測・記録した。試験前後に、ドップラーソーダで風の、ゾンデで風・温度・湿度、実験用ヘリコプタ MuPAL-e で風・温度・湿度・気圧の高度分布も計測した。取得データは②の伝搬モデルの検証に使用。結果は現在解析中。

気象の影響を考えて1機

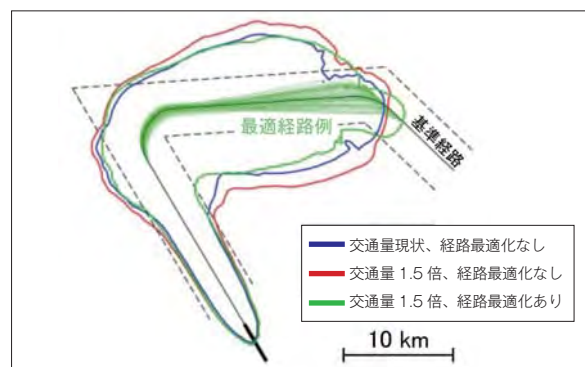
よう。最終的な目的は、音が伝わる範囲が予め想定した範囲内に収まるように経路を決めたい。それには地上で聞こえる音がどれくらいかわからないと経路の決めようがないので、まず地上で聞こえる音を予測する技術が必要だ。それが騒音予測モデル。飛行機から出た音が空中を伝わる間にどう変化して、到達した地上ではどのくらいの音の大きさになるかを計算できるようにするよ。その結果を元に経路を作れるようにする技術が低騒音経路最適化手法だ。昨年11月には、騒音予測モデルの検証に必要なデータを取得するための実験を実施したところだよ（囲み記事参照）。騒音の予測が精度よくできないと「経路の最適化を試みたけど効果がなかった」なんてことになるからね。

Q 結果はどうだった？

石井 今解析中で、詳細な結果が出るまではもう少し時間がかかるんだ。速報的な結果では予測とよくあっているし、貴重なデータがたくさんとれたので結果が楽しみだ。

Q 技術的なポイントは？

石井 予測精度と計算速度を両立できるようにしたことだ。羽田空港では1時間当たりの着陸数が1.5倍になると約50機になる。



低騒音運航シミュレーションの結果

ということとは少なくとも1分で経路が決められないといけないからね。そこで予め気象条件を325パターン作り、それに基づき音の計算をしておくことで、観測・予測した気象データから一番近いパターンを参照できるようにしてあるんだ。計算時間を短縮するための工夫だよ。

次年度は、国内空港で大規模な検証実験の実施を計画している。それらの結果をまとめた後は、私たちの低騒音運航技術は、将来的な運航技術の世界標準にするために、関係機関に提案をしていくよ。

航空技術講座

第3回

航空交通量1.5倍に備える

Q 今よりたくさんさんの飛行機が飛ぶようになって、飛び方で騒音の影響を増やさないようにできるよになるって聞いたけど、いったいどんな飛び方？スピードをうんと遅くして飛ぶとか？

石井 確かに速度は遅いほうが静かだけど、それじゃ時間がかかって不便だね。正解は「気象の影響を考えて飛ぶ」でした。

Q それは初耳。気象というと「台風で欠航」のように、飛べるかどうかの判断に使われているだけかと思っていいたら、騒音にも関係があるなんて。

石井 風や温度や湿度などの気象条件は、音の伝わり方に影響を与えるんだ。ふだんはあまり聞こえない遠くの学校のチャイムが大きいく聞こえることがあってびっくりしたという経験がないかな。それは風向きや温度などが変わることによって起る現象なんだ。いま空の交通量が増えていて、日本では2027年には2005年の1.5倍になるだろうと予測されている。今と同

じ飛び方をしていたら騒音の影響は増えてしまうから、まじめに考えなければいけない問題なんだ。そもそも騒音の影響を増やさないってどういうことかという、空港周辺地域で、騒音が伝わる範囲を今より拡大しないということなんだ。

Q 具体的にはどうするの？

石井 着陸のために空港に進入する飛行機の経路を、そのときの気象条件に応じて1機ごとに変えるんだよ。

Q 現在は決まった経路を飛んでいるのね。

石井 そういうこと。飛行機はどこでも自由に飛べるわけではないんだよ。たくさんさんの飛行機が安全に飛べるように、そして土地の使われ方も考えたうえで、できるだけ騒音の影響が少ない経路が設定されている。また経路は1本だけじゃなく複数あるものだ。

Q 地上に音が伝わるのは、その経路の下ということね。

石井 無風ならばね。でもそんなことってあり得ないからね。飛行機がたとえ全部同じ経路で進入し

〈テーマ〉
低騒音運航技術

たとしても、風向きなどが変われば、音が伝わる場所も変わるよね。だから実際の運航で地上に音が伝わる範囲というのは、ある程度の広がりを持ったものとして考えられているんだ。

さらに進入経路が決まっているといつても、飛行機ごとに少しのずれがあるんだ。というのも、地上からの電波をたよりにしている現在の飛び方では、着陸直前のまっすぐな部分は良いけど、その前の曲がるころなんかでどうしてもバラつきが出てしまう。だから実際に飛んだ軌跡を重ねて見るとかなり幅広になっていることもあるんだ。こういったものもバラつきを考えると、音が伝わってもいい範囲が決められているんだよ。でも、この先もずっとこの飛び方のまま飛ぶ飛行機の数が増えたら、結果として音の伝わる範囲が広がることになる。

GBASで可能になる

新しい飛び方

Q だから、飛び方のほうを変えるのね。



低騒音運航技術のコンセプト



回答：石井 寛一
DREAMS プロジェクト
チーム
低騒音運航技術
セッション リーダー

石井 その時の気象条件で、いつもその経路を飛んだら音がどこに伝わるかを予測して、それが現在の想定範囲を超えるようなら、超えないように経路の方を変えようというやり方だ。私たちはこの研究に取り組んでいるんだ。

Q なるほど。どこに伝わらないかを考えて飛ぶのね。

音、今より広げない飛び方って？

■ JAXAメルマガで好評連載中「夢を飛ばす人々・メルマガ版」

当広報誌に掲載していた「夢を飛ばす人々」が、2012年12月から「JAXAメールマガジン」に場所を変えて、ふたたび連載を開始しました。航空技術の研究者が交代で、日常感じていることを自分の言葉で綴っています。研究の裏話や最新技術など、ふだんは見聞きすることのできない情報が飛び出すのはメルマガならではかもしれません。ご覧いただくには、JAXAメルマガの配信登録が必要です。配信は1日・15日の月2回。JAXAウェブ情報やイベントガイドなど、盛りだくさんにお届けしています。JAXAホームページからご登録ください。

JAXAホームページ

http://www.jaxa.jp/pr/mail/index_j.html

■ 今年の一般公開は4月21日に決定！

毎年恒例の「JAXA調布航空宇宙センター一般公開」が、今年も4月21日(日)に開催されます。普段は公開していない実験設備や実験用航空機などを間近で見られるチャンス！ 研究成果の発表のほか、ソニックブーム体験や月・惑星探査ロボットの操縦など楽しみながら航空宇宙技術に触れることのできる体験コーナーもご用意しています。また今年は複合材料についてのミニ講座も開催する予定です。

今年もみなさんに会えることを楽しみに、事業所メンバーは現在準備を進めています。この機会に、ぜひご来場ください。

【日 時】 2013年4月21日(日) 10:00～16:00

【第1会場】 調布航空宇宙センター 調布市深大寺東町7-44-1

【第2会場】 調布航空宇宙センター飛行場分室 三鷹市大沢6-13-1

※当日は、両会場を結ぶ連絡バスを運行します



昨年開催のようす