

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 航空宇宙技術研究センター

1 はじめに

宇宙航空研究開発機構 (JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency, 以下JAXAと略) は、2003年10月1日に発足した独立行政法人である。設立の母体となったのは、宇宙科学分野で世界的評価も高い宇宙科学研究所 (ISAS)、日本の航空技術研究を支えてきた航空宇宙技術研究所 (NAL) ^{けんいん}、そして実利用分野で日本の宇宙開発を牽引してきた宇宙開発事業団 (NASDA) の3機関である。JAXAは、日本がこれまでに蓄積してきた知識と技術と経験を結集させ、さらなる宇宙航空研究開発に挑むため、これら3機関が統合されて発足した。JAXAでは旧3機関の事業を受け継ぎ、大別して以下の五つのプロジェクトを推進している。

- 1) 宇宙科学研究
- 2) 地球観測・通信測位・人工衛星
- 3) 宇宙環境利用
- 4) ロケット・輸送システム
- 5) 宇宙航空技術研究

今回は、その宇宙航空技術研究のうち、主に次世代超音速旅客機 (SST: Super Sonic Transport) に関する研究を行っている東京都調布市および三鷹市の航空宇宙技術センターを訪ねた。

2 SSTプロジェクトとは

航空技術の発達というのは段階的に行われてきたわけではない。ライト兄弟が飛んだのは今からおよそ100年前の1903年だが、それから2004年の現在の技術に至るまでには、いくつかの技術革命があった。はじめに登場したのは、自動車と同じレシプロエンジンによるプロペラ機である。複葉機や単葉機が登場し、1940年代にはプロペラ旅客機も登場した。

その後1960年代のはじめに、第一の技術革命が起こる。それがジェットエンジンの開発であった。初期のジェット旅客機の代表はコメットやボーイング707といった旅客機であった。その後、さらなる大型化、航続距離の改良が進められ、400~500人乗りのボーイング747が開発されるに至り、これが世の中の海外旅行ブームに火を付けた。

1970年代になって第二の技術革命となったのが、超音速エンジンの開発によるコンコルドの就航であった。これは音速の2倍程度の速さで飛ぶ飛行機であったが、はじめの周囲の期待とは裏腹に騒音や輸送効率、さらには航続距離といったさまざまな問題が明らかとなり、結局わずか17機の生産でその生涯を閉じてしまった。

振り返ると、「より速く」という人類の夢を実現するために、航空技術はプロペラ機からジェット機、そしてジェット機から超音速機コンコルドという発展を遂げてきたと言える。ところが、そのコンコルドが経済的、技術的問題から挫折した。JAXAが現在取り組んでいるのは、まさにこの部分である。コンコルドにはどういう問題があって、どこをどれだけ改良すれば、多くの乗客を乗せて飛ぶ次世代の超音速旅客機が開発できるのか。JAXA航空宇宙技術センターでは、この次世代の超音速旅客機をSST (Super Sonic Transport) と名付け、日夜その技術開発に力を注いでいる (図1参照)。

それでは航空宇宙技術センターが技術開発を目指す次世代SSTとはどのような航空機なのかを見てみよう。表1はコンコルドとこれから技術開発を目指す次世代SSTがどうありたいかを示した表である。

これら巡航速度、ペイロード、航続距離、全長、騒音、NOxのスペックは、営業運航をしたときの経済性を見越してのものである。すなわち実現したときにしっかりと利益を上げて普及させられるかを考えると、この程度のスペックが必要なのだ。

このようなSSTが世の中にもたらすメリットは、何といっても輸送時間の短縮にある。例えば、東京 ロスアン



図1 SST構想図

表1 コンコルドとSSTの比較

コンコルド	項目	次世代SST
2.0	巡航マッハ数	2.0~
100人	ペイロード	250人
6 000km	航続距離	11 000km
62.1m	全長	~ 100m
174t	最大重量	~ 360t
大 (120dB程度)	騒音	小 (100dB程度)
20g/kg	NOx排出量 (EI)	5g/kg

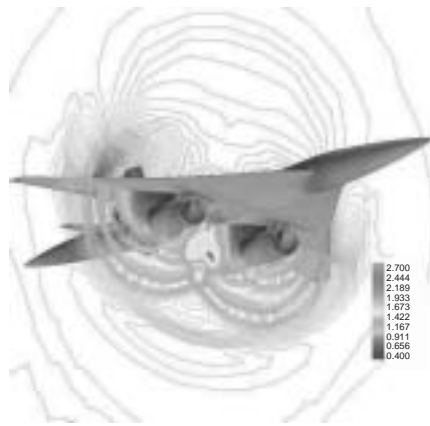


図2 CFDによる圧力分布計算例



図3 設計計算室

ジェルス間は亜音速機では約10時間を要するが、SSTができれば、およそ半分の4～5時間に短縮することができる。

3 CFD設計技術

このようなSST開発のネックとなる技術的な課題を大別すると、

- 1) 空力技術
- 2) 材料・構造技術
- 3) システム統合技術
- 4) 制御技術
- 5) 推進技術

の五つに分けることができる。

JAXAではこれらの技術研究をしており、われわれ取材班がはじめてに訪問した新型航空機技術開発センターでは、主に空力技術の研究をしており、コンピュータを活用した数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）による設計最適化、あるいは逆問題設計手法（所望の性能を決め、それを実現する形状を求める手法）を用いて空力技術の開発を行っている。CFDとは、（流れの）物理現象を数式で表してやり、その数式を計算機で解いて必要なデータを得る技術である。この技術は実機による実験や風洞試験が困難あるいは実行不可能な場合にその技術を確認する手法として注目されている（図2参照）。

昨今の日本における旅客機開発というのは、ボーイングなどの海外航空機メーカーの構造の一部を分担して、設計・製造を行うというような、構造技

術のほうが主体であった。いちばん肝心の航空機の形状決定に関わる空力技術については海外航空機メーカーが主に担当してきた。JAXA新型航空機技術開発センターでは、そのいちばん肝心の空力技術に関する研究を行っており、CFD設計技術の技術実証実験機としてロケット打上げによる無人超音速滑空実験機を開発して飛ばすことを計画している。

実は、この実験に関しては2年前の2002年の7月にオーストラリアのウーメラという砂漠地帯で実験を行い、残念ながら失敗に終わってしまった。打ち上げて実験をしようとしてロケットに点火した矢先に実験機とロケットが分離してしまったのである。現在、JAXAではその原因と対策を検討しており、問題部分の改修と再実験の準備を進めている。実験によってCFD技術が実証されれば、それをさらにSSTの前段階の超音速ビジネスジェットに適用し、その次のステップとして200～300人乗りの大型SSTに適用する予定である。

これらの手順を通して、CFD設計技術を日本で自主開発し、日本の機体メーカーに信頼性あるツールを提供し、日本の航空技術の発展に貢献するのがJAXAのSSTプロジェクトのねらいである。

4 設計計算室

SSTプロジェクトの概要説明を受けた後、新型航空機技術開発センター内

にある設計計算室を見学させていただいた。

CFDを行うには、第一に機体形状を正確にモデル化しなければならない。ここでは主にCATIAという設計ソフトを用いて、機体上に数値計算をする上で必要なグリッド（格子）を張る作業を行っている。まずこの段階でいい形状を作らないといい計算結果は生まれない。そのため、きれいで滑らかな形状作りを行うのだが、その形状作成が非常に難しい。しかし、この形状作成こそがCFDによる数値計算を行うためのすべての基礎に当たる部分になるので、形状作成技術に長けた専門のスペシャリストによって作業が行われている（図3参照）。

5 超音速風洞

風洞というのは、実機をぐっと小さくした模型を置き、それに逆に風を当て、流体の相似則を用いて飛行機が飛んでいる状態を作り出す設備である（図4参照）。現在はCFDの発達によって、それらの状態を数値計算によって予測する技術がかなり進歩している。それでも最後は所望の性能が得られているかどうか、風洞で確かめなければ飛ばせない。JAXA航空宇宙技術センターには4基の大型風洞が共用設備として一括整備されている。大小すべての風洞を含めると10基の風洞があり、それらは風速によって分類することができる。時速200km程度までが低速風洞、マッハ1.4までが遷音速風洞、

マッハ1.4～4までが超音速風洞，マッハ5から上は極超音速風洞の以上4種類の風洞で，着陸からマッハ25付近までをカバーすることができる。

とりわけJAXAの1m×1m超音速風洞は，40年以上の試験実績を持つ大型風洞であり，吹出し式と呼ばれる20気圧の貯気槽からノズルを介して空気を吹き出すことによって超音速以上の流れを作っている。

超音速風洞で使われている原理は，ラバールノズルである。例えば蛇口をどんどん絞っていくと，断面積が減るため流速が速くならないと流量のバランスが取れなくなる。一方，空気は圧縮性流体であり，体積が自由に縮む性質がある。その性質を使うと，超音速の流れを作ることができる。最も断面積が小さい部分でマッハ数が1になるように流れを絞り，また広げるとする。非圧縮性流体の水が通る場合は，流れを絞ったところで速くなり，広げると遅くなるだけであるが，圧縮性流体の空気を流して，その流れを絞り，あるところでマッハ1になったとする。そこで流れを広げると，空気には圧縮性があるため，そこから先はマッハ1以上となる。

そのラバールノズルを，JAXAの超音速風洞では電動ジャッキによって実現している。四角い管路の左右の壁間隔は一定なのだが，上下幅が電動ジャッキによって調整されるのである。小さなマッハ数のときはあまり押さず，大きなマッハ数のときは押しこんでやり，スロートと呼ばれるいちばん狭い部分の断面積を狭くする。これが超音速風洞の原理である。

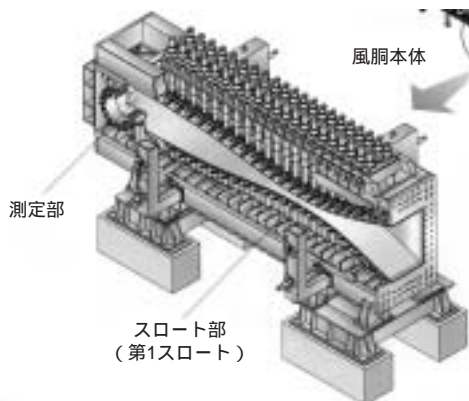


図4 超音速風洞ノズル

6 大型低速風洞

大型低速風洞は1周が200mもあり，かなり大きな工場が一つ入ってしまうサイズである（図5参照）。なぜこれだけの大きさが必要かというと，空気を安定させるためにきつい絞りが必要になるのだが，その絞りを実現するために非常に大きな開部が必要となるためである。最大のところでは15m×12m，これはビルの高さの3～4階建てくらいの高さにもなる。この中で空気を循環させるのが大容量送風機である。これはいわば直径10mの大きな扇風機である。ここでの風速は最大70m/sであり，これを単位変換によって時速に直すと，約時速250kmに相当する。

風洞は風を起こす装置であるが，内部の物理量を計測するにはさまざまな実験手法がある。実験としては模型を中に入れてその力を計るわけであるが，実際には模型を下方から棒で支持し，そこにかかる力を下側で受けて計測が行われる。この支持棒は風洞計測部の下部にある六分力天秤に連結され，模型にかかる六分力が測定される。

7 三次元可視化センター

通常，航空機の性能解析は風洞試験によって行われてきた。ところが，近年のコンピュータ技術の発達によって，CFD（数値流体力学）を用いた数値計算を行うことで，風洞試験と実機テストを補うことができると期待されている。

どのようにすればいい計算データができるかという点，まず計算の精度を高くすることが挙げられる。これは物体の周りの流れを表すための計算格子点の数を大きくすることと同義である。そのためには計算機のメモリや計算時間が重要になってくる。そういったさまざまな条件で計算を行う必要があるために，処理速度の速いスーパーコンピュータが必要になってくる。JAXAでは旧・航空宇宙技術研究所時代の1980年代から最新型のスーパーコンピュータシステムを導入してきた。1985年からはNS と呼ばれるスーパーコンピュータシステムを導入し，1993年にはNS（数値風洞、NWT），2002年にNS，現在のCeNSSと呼ばれるシステムを導入するに至っている。

数値シミュレータNSの構成は，計算するための「中央NSシステム」と，計算結果を可視化するための「中央可視化システム」より成る。そこで，いくつかの計算結果を見せていただいた。宇宙往還機やタービン，SST，空力と熱の干渉現象など，二次元表示では非常にわかりづらい計算結果が，中央可視化装置によって三次元（立体）表示され，直感的に理解しやすくグラフィック表示されているのがよく理解できた（図6参照）。

8 超音速エンジン試験施設

続いて超音速エンジン試験施設を見学させていただいた。ここはジェットエンジンの試験設備であるが，ただのエンジン運転設備ではない。ここは超



図5 低速風洞の測定部（カート）



図6 三次元可視化センター



図7 超音速エンジン試験設備

音速で飛行している状態を模擬できるエンジン試験設備なのである。普通に地上でジェットエンジンを運転するだけでは、大気圧、大気温度の異なる高々度の上空を飛んでいる時のエンジンの状態がわからない。この設備では、実際に航空機が上空を飛んでいる時にエンジンがどういう状態で作動しているのかを調べるための数々の工夫がなされている。

その高々度の状態を再現するのが低圧試験室である（図7参照）。鋼鉄製のタンク構造となっており、中の気圧を下げることによって、大気圧が低い高々度の状態を模擬している。そして、この低圧試験室内に据え付けられているのが試験エンジンである。

この設備は高度15km、巡航速度マッハ2までのエンジン性能を調べるといった目的に合わせて、エンジンの入口における空気状態をあらかじめ計算して設計されている。それによるとエンジン入口で空気温度が大体120℃、圧力にして0.8気圧から0.85気圧くらいになるということである。そこで入口側は大気を吸いこみ、電気ヒーターで120℃に暖めたあと、バルブで少し絞ることによって大体0.8気圧、120℃という設計状態が模擬される。他の高度、飛行速度はこのヒーターとバルブを調節して模擬される。

エンジンの推力は低圧試験室内の揺動架台で測定されている。この揺動架台は1種のブランコのようなものである。すなわち、エンジンを固定する架台の下に揺れる板ばねを4枚つなげることで、前後にブランコのように揺れ

る仕組みである。この前後に揺れる部分にロードセルをつないでおき、エンジンの前進を抑えている。このときロードセルにかかる力が推力として測定される。ロードセルの変形量は1mm以下と非常に少ないのだが、推力を測るという意味では、ここでの摩擦力を極力減らすということが重要であるために、このような小さな変形量になっている。



9 おわりに

JAXA航空宇宙技術センターのさまざまな施設を見学させていただき、航空技術研究の今を見学させていただいた。紙数の都合で割愛せざるを得ない部分も多かったが、実際に実験装置を目にし、研究員の方による説明を聞くことによって得られたものは非常に大きいものであった。

われわれ取材班の取材日程の交渉およびセッティングをしていただいた業務課広報係の肥土様をはじめ、案内をしていただいたJAXA航空宇宙技術センターの方々には心よりお礼を申し上げます。

最後に、新型航空機技術開発センター-SSTプロジェクトユニットの堀之内茂チーフマネージャーより、機械系学生へのメッセージをいただいた。

「研究でも、開発設計でも、何でも



図8 JAXAの皆さんと

そうだと思いますが、自分のやりたいと思うことを見つけて、それに向かって没頭するという事に尽きるのではないのでしょうか。子供のころから飛行機が好きで、エアラインの機長になって世界を飛び回っている人はとても充実した人生を送っているといつてよいでしょう。もちろんその間に、つまづきや挫折、大変な努力や苦労があるでしょうが、最終的に志を遂げるという人生ほどすばらしいものはないでしょう。機械系の学科に学んで、将来、物作りの技術者になる場合も、自分がこれから先、どういう物を作りたいのか、早く目標を見つけることが必要でしょう。やっているうちに興味が湧いてくるというのでも良いと思います。

物作りはたいせつです。昨今の第三次産業的なものは華やかですが、その土台は物づくりにあります。志と努力がたいせつです。」

（文責 メカライフ学生編集委員

落合貴志，平田荘周，畠中龍太，

鈴木良平，古澤 宏一朗）