

# なる

# NAL 12

No.501  
DECEMBER 2000

## TOPICS

ロケット実験機ONERA風洞試験

研究スポット

デブリ捕獲の前段階

## PROJECT

-SST-ロケット実験機パラシュートシステム試験

-SPF-成層圏滞空飛行船放船装置の開発試験

-独立行政法人化に向けて-③

CFD技術開発センター





空力特性研究部  
杉浦 裕樹  
sugiura@nal.go.jp

## ロケット実験機ONERA風洞試験

小型超音速実験機(ロケット実験機)では、超音速旅客機にかかる抵抗の半分近くを占める主翼の摩擦抵抗を最小にするために、独自に設計した自然層流翼が採用されています。自然層流翼は、主翼面上の境界層の乱流遷移(表面流れの乱れ開始点)を出来る限り遅らせるような圧力分布を持つ翼型となるように設計されています。飛行実験では、国内で初めて超音速飛行時における境界層の遷移計測を行い、自然層流翼の空力設計法を確認します。この飛行実験に先立ち、風洞試験によって自然層流翼が適切なものであるか確認検証を行う必要があります。

富士重工業(株)の吸込み式超音速風洞における遷移計測試験(なるNo.490)に続いて、今回はより高いレイノルズ数での試験が可能な、フランス国立航空宇宙技術研究所(ONERA)の大



写真1 23.3%ロケット実験機模型(全長1870mm)

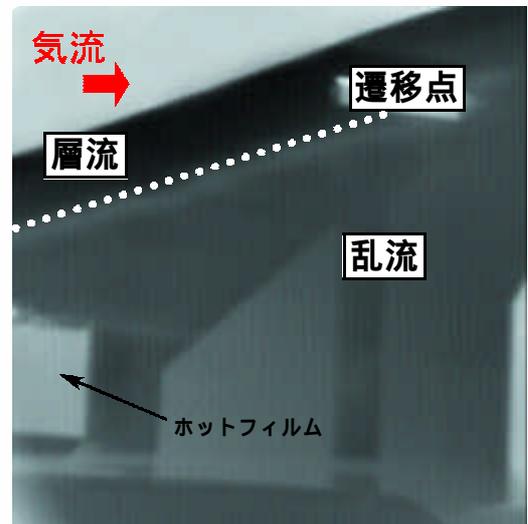


写真2 赤外線カメラによる主翼面上の遷移の可視化

型回流式超音速風洞(S2MA)を使用して行いました。実験には、縮尺23.3%の模型を使用しました(写真1)。遷移の計測にはホットフィルムと呼ばれる薄い金属膜熱センサー71点と赤外線カメラ1台を用いました。

赤外線カメラによる計測でも、主翼面上の流れが前縁付近の乱れの少ない層流の状態(黒色の領域)から乱れの大きい乱流の状態(灰色の領域)になっていることが明確に分かります(写真2)。

今回の試験では、さまざまなマッハ数や姿勢角における主翼の遷移特性、主流乱れや表面粗さが遷移に与える影響などのデータを取得することができ、設計結果の妥当性が確認されました。

スペースデブリ(以下デブリ)とは、宇宙空間で制御不能となり、そのまま軌道上に放置された人工物体のことです。デブリは軌道上を高速で飛行しているため、使用中の衛星などにぶつくと非常に危険です。そこで、デブリを捕獲し軌道上から除去する必要があります。今回は、革新宇宙プロジェクト推進センターの河本聡美にデブリ捕獲の前段階として考案した方法を聞きました。

## 回転を止める方法 ~ デブリ捕獲の前段階 ~

デブリは軌道上をただ飛行しているだけでなく、様々な回転を行っている場合があります。無重力空間に浮遊していても回転している物体を捕まえることはとても難しく、宇宙飛行士が挑戦しても失敗してしまうほどです。デブリの捕獲方法として、大きな網などを使用して無理矢理捕まえる方法や、デブリの回転にロボットアームの動きを合わせることで捕まえる方法などが提案されています。しかし、網などの使用は大がかりすぎますし、ロボットアームをデブリの動きに合わせるには複雑な運動推定や制御が必要になってしまいどちらも実用的ではありません。

そこで、ロボットアームで捕獲する前段階として、デブリの回転を止めるために考案したのが今回の方法(図)です。



図 デブリの角運動量を除去する方法

この方法は、回転体が回転しようとする方向とは逆向きに力を加えることにより、その角運動量を減らすという単純なものです。運動量を完全にゼロにすることはできませんが、弱い力を何度も加えて徐々に回転を弱めていくので、投射物が回転体に当たる位置や角度やタイミングが多少ずれても回転を増長させる心配がなく、ロボットアームで捕獲できる状態まで確実に持つことができます。

今回の方法を実証するために、宇宙空間でニュートン(首振り運動)をしている物体を模擬した装置を試作しました(写真)。宇宙空間で運動する物体を地上で模擬するには2つの方法があります。1つは物体が宇宙空間にあると仮定して、力が加えられた時にどう運動するか計算し、モーターで動かす方法です。しかし今回は、物体に働く正確な力が得られないためこの方法は使えません。もう一つは、空気浮上式エアテーブルを使用し、摩擦のほとんど無い状態を作り出す方法です。今回開発した装置は、ベアリングを組み合わせ取り付けることにより、その点を重心とした3自由度の姿勢運動を行えるようにしました。これにより、エアテーブルだけでは実現できない、宇宙空間での自由な3次元運動の模擬が可能になりました。

今の段階ではまだデブリへの投射物は決まっていないため、実験は手で力を与えることにより行いました。その結果、ニュートンからほぼ静止の状態まで持つことが確認できました。

今後は、人工衛星型の実験装置を製作し、この方法の妥当性を証明していく予定です。

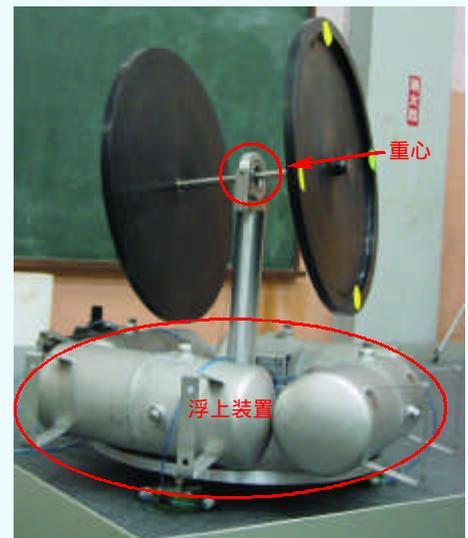


写真 実験装置

### 本件に関するお問い合わせ先

革新宇宙プロジェクト推進センター  
河本 聡美  
motohasi@nal.go.jp



## ロケット実験機パラシュートシステム試験



次世代航空機プロジェクト推進センター  
川上 浩樹  
kawakami@nal.go.jp

ロケット打ち上げによる無推力小型超音速実験機(ロケット実験機)の飛行実験において、ロケット実験機は計測フェーズが完了したあと一連の回収シーケンスに入ります。

これは、主に次の段階に分けることができます。

- 1.パイロットシュート展開
- 2.メインシュート展開、減速、鉛直姿勢で降下
- 3.ライザ(パラシュートと機体を結ぶ懸吊ベルト)立ち上げ、機体は水平に
- 4.エアバッグ展開、着地

シーケンスの1~3がパラシュートシステムで行なわれる動作です。

今回はこのうち3の「ライザ立ち上げ試験」について、11月7日に富士重工業(株)宇都宮工場で行なわれた結果を紹介します。

ライザ立ち上げ試験は、機体の尾部でパラシュートにつながるライザにより、鉛直に吊り下げられた状態から着地姿勢である水平に移行させるというライザの機能が設計通りであるかどうかを確認する模擬試験です。

模擬機体(写真0)は大きさ、質量、重心位置を実験機と同様にしたもので、大型クレーンで実験機同様にライザで吊り上げて行いました。尾部のライザ拘束機構で機体が機首を下にして鉛直に吊り下げられた姿勢から、拘束機構内の切断火薬を発火させ拘束を解きます

(1) 機体は図のように数回の反動を繰り返した後(2~4) 姿勢が水平に移行しました(5)。

この結果、ライザの円滑な走行やライザの強度、不測の動きがないことなどが確認でき、試験は成功しました。



(0)



(1)



(2)



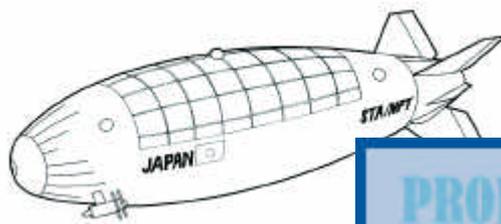
(3)



(4)



(5)



PROJSPFOJECT

## 成層圏滞空飛行船放船装置の開発試験

成層圏プラットフォーム飛行船システム  
特別研究チーム  
佐野 政明  
sano@na1.go.jp



成層圏滞空試験機は、このプロジェクトにおいて最初に飛行する予定の機体であり、膜構造技術開発の確認と温室効果大気の詳細観測が主な目的です。

成層圏滞空試験機は、水平離陸ではなく、垂直での放船を予定しています。もちろん普通の飛行船のように、水平に上昇できる機体が良いとは言うまでもありません。しかし、成層圏飛行船の動力は、クリーンであることが大事なので、パワーと重量との関係から現状では機体の制御が上手くできません。また、ヘリウムガスの割合が機体容積の10%程度しかないため、機体の下側（飛行船の腹の方）にある空気と上側（背中の方）にあるヘリウムガスのバランスが崩れると、空気が機体の一方に偏り、機体が立ってしまうなどの問題があります。普通の飛行船のように、空気の移動を防ぐ仕切りなどを設ければバランスは保て



写真1 地上で整備中の機体

ますが、どこまで軽量化できるかを考えると、やはり垂直の姿勢が得策だと考え、これに対応した飛行船の設計を進めています。

今年9月、大きな飛行船を使って垂直放船する実験を行いました（なるNo.499）。大型クレーンなどを必要とし、たいへん時間と手間がかかったため、簡単に放船や整備ができる装置が必要となりました。

今回開発した放船装置は、放船時には簡単に機体を立てることができ、また整備の時は、水平状態の機体を回転させることができます。この装置は、写真1に示すように、機体を前後で挟む装置と飛行船を水平に固定する台車からできています。写真の機体は10mの小型模型です。挟む装置は、前側（写真左側）と後側が、共に水平軸回りに回転できるため、整備する際に便利です。さらに、後側は機体を立てる方にも回転できるため、縛ってあるロープを離すと、写真2のように立ち上がります。この状態から、後ろを離せば放船することができます。この装置による試験を、垂直放船実験に協力していただいた方々に見ていただき、使い勝手などを批評していただきました。評判は上々でしたが、今後は更に改良を加えて、より安全で使いやすい装置に仕上げ、実際の放船に使う予定です。



写真2 姿勢変換中の機体

# CFD 技術開発センター

航空宇宙分野の技術開発を進めるうえで、数値シミュレーションは必要不可欠な技術です。第3回目となる今回は、数値シミュレーション技術を総合的に推進する「CFD技術開発センター」について紹介します。

(注) CFD:

当研究所では科学技術計算のために、1960年代から国内の他の機関に先駆けて計算機を導入し、方程式を解いている様々な物理現象を解析する数値シミュレーション技術の研究開発を進めてきました。その中で、空気の流れを取り扱うのがCFD(数値流体力学:Computational Fluid Dynamics)です。

## 1 .NALのCFD研究とCFD技術開発センターの役割

航空機は翼が空気から上向きの力(揚力)を得ることによって浮くことができます。したがって空気の流れを詳細に知ることが航空機の設計にとって大変重要です。しかし、航空機まわりの空気の流れは非常に複雑で、本格的な解析が可能となったのはスーパーコンピュータが登場してからです。その後、CFD(注)技術が急速に発展し、最近ではエンジンや制御舵面も含めた複雑な全機形状まわりの流れやエンジン内部の複雑な流れの計算も可能となり、航空機や宇宙機の開発にはなくてはならない技術となっています。当研究所でもCFD技術の開発を重点的に進め、超音速機や宇宙往還機などのプロジェクトにおいて積極的に利用し、その役割を高めています(図1)。

航空機やエンジンのメーカーにとって性能向上とともに開発期間の短縮やコスト削減が重要な課題となっていますが、CFD技術を含む数値シミュレーション技術はこれに役立つ技術として期待されています。CFD技術を利用することによって実験回数を減らしたり、地上では実験が困難な現象を計算機上で実現してよりよい設計につなげることが可能だからです。しかし、単にシミュレーションができるだけでは不十分で、実用的な時間でよりよい結果を得ることができなければなりません。

このためには、数値シミュレーション技術を構成している個々の技術である複雑な形状の作成技術、そのまわりの空間を必要な精度で覆う格子生成技術、並列計算等を利用した高速計算技術、結果を理解するために必要な後処理(特に可視化技術)などの作業を見直すとともに、それらの連携を効率的に行う必要があります。また、従来個別に検討されていた空力、構造、熱、音、飛行運動、制御等の分野を組み合わせ、相互の関連も一括して解析する多分野統合シミュレーション技術を開発する必要があります。このような技術の確立を通じて、航空宇宙技術の発展に寄与することが、当研究所の役割の一つであると考えています。

その中で、ニーズへの対応と外部機関との連携強化、数値シミュレーションの基盤技術開発の中心的役割を担うのが、CFD技術開発センターです。計算機システムを運用するにあたり、ネットワークやIT技術を取り入れて使いやすさを向上させ、研究開発の効率化を図るとともに、インターネットを通じた外部からの利用にも対応していく予定です。

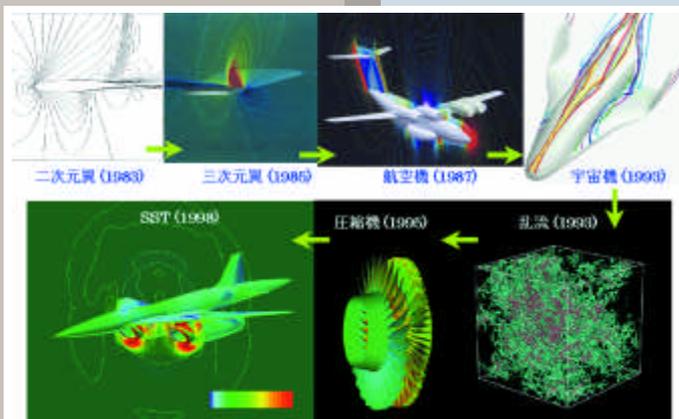


図1 CFD技術の成果

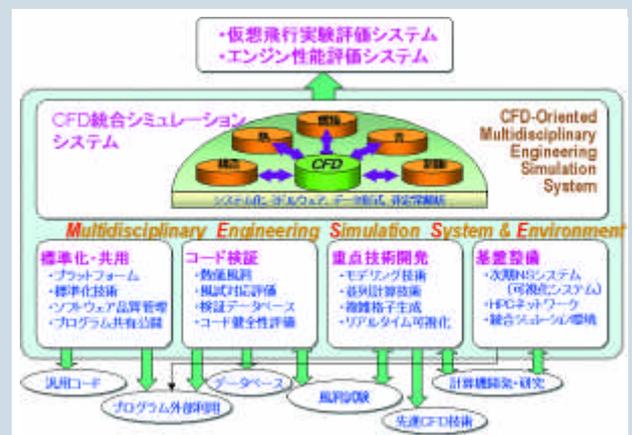


図2 CFD技術開発プロジェクトの概要

## 2. 数値シミュレーション技術研究開発計画

数値シミュレーション技術に関して、大学やメーカーなどからのニーズ調査と意見交換を行った結果を踏まえ、以下の研究開発計画を実行していくこととしています(図2)。

- (1) 航空機・宇宙機などを対象に空気力学や構造、燃焼、飛行制御などの多分野を統合したシミュレーション技術を開発、利用する(図3)。
- (2) ソフトウェアを共用するために必要な標準プログラムの開発や共同利用に必要なプログラムの改良などを行う。計算結果の評価などの際に利用できるような標準コード・標準データ・標準ツールを整備し、外部へ公開する。
- (3) 解析コードや解析データの検証法を確立し、信頼性のあるコードを提供する。このために必要な風洞対応CFD計算プログラム(数値風洞)を整備し、風洞試験データとともにデータベース化する。また、数値風洞を風洞試験の前後の検討に利用して風洞試験の効率向上に資する。
- (4) 格子形成、リアルタイム可視化などCFDをツールとして用いる際のボトルネック技術の克服を重点的に取り組む。
- (5) 航空機や宇宙機を対象として、飛行の全フェーズを数値シミュレーションで評価する仮想飛行実験評価システムなどの研究開発を行う。



図3 CFD統合シミュレーションの適用例

## 3. 統合シミュレーション環境整備

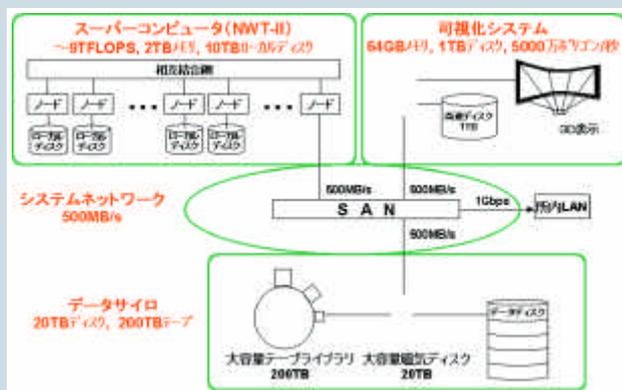


図4 次期NSシステム構成案

数値シミュレーションの発展を支えるものは計算機の高高速化と基本ソフトウェアの充実です。今後進める数値シミュレーション技術開発においては、高性能計算機の導入と計算環境の整備が不可欠です。計算環境を整備するにあたり、高速化、大容量化はもちろん、ユーザーにとって使いやすいシステムであることが重要となります。現在検討を進めている次期数値シミュレータシステムは、演算性能で現在の30倍以上を目標としています(図4)。また、可視化システムの充実により、計算結果の比較検討が容易となることにより、計算の進展を時々刻々リアルタイムで観察できるため、新しい現象の発見や研究効率の向上につながります。一方、可視化により研究成果をわかりやすく伝えることができるため、成果の発信や普及を充実させることができます。

## 4. 設備の共用、外部との連携

風洞施設に対応した数値風洞を開発することにより、風洞試験の事前評価を行い、実験計画の策定に役立てるとともに、実験結果の整理にも反映させることができます。適切な条件設定、データ信頼性の確保、格子生成の負担軽減などの課題がありますが、遷音速数値風洞から順に、超音速、極超音速数値風洞へと展開していく予定です。

また、研究者が共有可能な複雑形状に対応する並列計算CFDコードの開発を目指して、UPACSプロジェクト(なるNo.495)を進めるとともに、現在のハードウェア中心の設備利用制度を見直し、ソフトウェア利用も含めた新しい制度を検討します。

航空機・宇宙機の効率的な設計開発が求められる状況の中で、当研究所は我が国の先端的な統合シミュレーション技術開発の拠点として役割を果たすべき立場にあります。CFDの基本的な計算技術がかなり成熟してきた今、これらをいかに応用し、実用化していくかが大きな課題です。当研究所では、関連機関の協力を得ながら、CFDを中核とした多分野統合シミュレーション技術開発を着実に進めていく予定です。

(計算科学研究部 岩宮敏幸)

## 開催報告

HPF (High Performance Fortran) に関する  
第4回国際ユーザー会 (HUG2000)

当研究所は10月19～20日にインターコンチネンタル東京ベイにおいてHUG2000組織委員会と共催でHUG2000会議を開催しました。この会議は高度計算科学技術計算機の使用言語であるハイパフォーマンスFORTRAN (HPF) の開発と利用技術に関して、内外のHPF研究者、コンパイラ開発メーカー、HPF利用者が一同に会し、最新の研究成果を発表し、問題解決へ向け討議することが目的です。海外からは基調講演をお願いした米国大統領情報技術顧問委員会前共同議長であるライス大学ケン・ケネディ教授はじめ19名の参加を得て80数名による活発な研究発表、パネル討論が行われました。HPFは超大型並列計算機の基本ソフトとして有力な言語のひとつであり、今後の発展が期待されます。



計算科学研究部  
廣瀬 直喜  
[nahi.rose@nal.go.jp](mailto:nahi.rose@nal.go.jp)

## 調布飛行場祭り

平成12年10月28日(土) 調布飛行場祭りが開催されました。周辺自治会の協力のもと、小型機の展示や物産展、滑走路航行体験、ペットボトルロケット製作などの催しがあり、大勢の来場者で賑わっていました。当研究所からは実験用ヘリコプタMuPAL-εを展示するとともにビデオやパンフレットなどで研究所の紹介を行いました。

企画室 小河 昭夫  
[oakio@nal.go.jp](mailto:oakio@nal.go.jp)



## 表紙の説明・・・

超音速風洞は、設備の老朽化対策と性能向上を目的として、ノズルや測定部、制御システムなどの大改修を実施した(なるNo.496)。今年度はシステムの調整や気流特性の取得を行ってきましたが、11月22日(水)にユーザー試験の再開を記念して通風式を開催しました。式には風洞関係者らが出席し、テープカットの後に通風、設備の公開などが行われました。

## 編集後記・・・

科学技術庁航空宇宙技術研究所としての『なる』発行は今回で終了。来月からは文部科学省、そして4月からは独立行政法人航空宇宙技術研究所として広報誌を発行していくこととなります。これからも理想を高く持ち、「目を引く、読まれる」広報誌を目指して努力していきたいと思います。

(光ファイバーの揺らめく仕事場より・・・Y)