

# なる

## NAL

No.529

APRIL 2003



- 軌道上で小型ターゲットの自動認識に成功
- ロケットエンジンシミュレータの開発
- 飛行状態におけるジェットエンジンの運転法の研究
- スマート・ボルト
- 定点滞空飛行船用格納庫の建設工事作業始まる
- 航空宇宙数値シミュレーション技術

シンポジウム2003

National Aerospace Laboratory of JAPAN

# 4

航空宇宙技術研究所

# 軌道上で小型ターゲットの自動認識に成功

当研究所では、故障衛星や衛星ゴミなどのスペースデブリ（宇宙ゴミ）の回収・修理・除去システムの研究を進めています。このシステムを実現するには、作業する衛星が軌道上で回収対象を認識し、位置や運動を計測する技術が必要ですが、これまで宇宙用に使われてきた白黒カメラでは、地球などの明るい背景の中から対象の形を認識することは容易ではありませんでした。この課題を解決する有望な手段が、カラー情報を利用した画像処理です。

当研究所では、カラー画像処理による自動認識技術の確立に向け、画像処理ソフトウェアを開発し、これまで地上で試験を行ってきました（「なる」2002年4月号参照）。その後、宇宙空間での実験として、マイクロラプサット1号機（図1）に小型ターゲット（模擬衛星：写真）、画像処理コンピュータおよびカラーカメラを搭載し、世界初となる軌道上でのカラー画像処理実験を2003年3月14日に行いました。マイクロラプサット1号機は、宇宙開発事業団（NASDA）が開発し、ピギーバック衛星としてH-A4号機で軌道上に打ち上げられた、小型の実験用衛星です。

実験では、マイクロラプサット1号機から直径10cmの小型ターゲット

をプラスチックの板バネで約1cm/sの速度で放出し、同衛星上のカメラで約8秒間隔の連続撮影を行い、画像処理コンピュータで抽出処理を行いました。ターゲットには、人工衛星の外面に多用

されているカプトンフィルムという断熱材貼付やその色に近いオレンジ色の塗装を施しており、撮影した画像からこの色の部分を抽出することで、ターゲットを抽出・計測できました。実験に使用した画像処理コンピュータおよびカラーカメラは、通信総合研究所（CRL）が民生用技術を基に開発したものです。

図2のように、衛星の影に隠れた暗いターゲットでも、太陽光の照り返しでわずかにオレンジ色に光っている部分を抽出することに成功し、カラー画像処理技術によるターゲットの抽出が、太陽光の影響下および地球背景でも有効であることが確かめられました。また、その後の解析

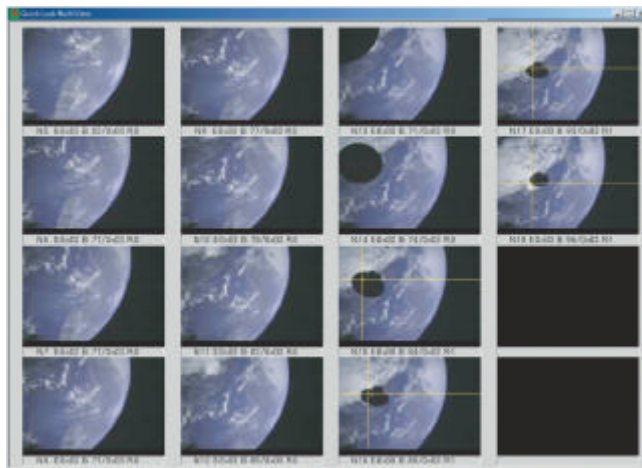


図2 運用モニターに送られてきたターゲット検出結果（黄色い十字線が検出位置を示している）

により、衛星搭載コンピュータでソフトウェアの全ての処理が正常に行われたことが確認されました。

今回の実験は、NASDA、CRLおよび東京大学等と共同で進めている実証実験の一環として、各機関の協力を得て実施しました。各機関の方々には深く感謝致します。今後も各機関と協力して、軌道上での画像処理や対象物の追跡、対象物の運動の推定等の実験を行う予定です。また、今回の実験で確認した画像処理技術を宇宙システムに適用する研究・開発を進めます。

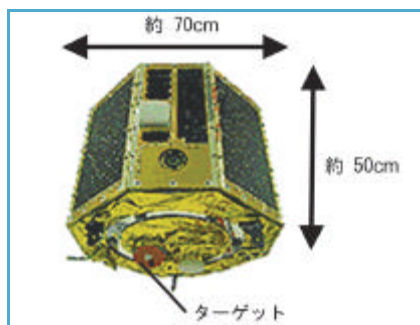


図1 マイクロラプサット1号機

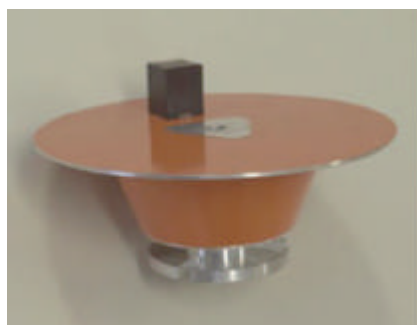


写真 実験に使用した小型ターゲット



宇宙システム研究センター

（前方右より）

上村 平八郎

河本 聡美

西田 信一郎

# ロケットエンジンシミュレータの開発

当研究所角田宇宙推進技術研究所では、数値宇宙エンジンというスーパーコンピュータシステムを使って、ロケットエンジンの数値シミュレーションの研究を行っています。

ロケットエンジンは、液体水素や液体酸素といった極低温（-250 ~ -190）の推進剤や3000に達する高温の燃焼ガスが、壁一枚を隔てて同じエンジン内を流れており、圧力も高い所では300気圧近くに達します。

ロケットエンジンの研究開発には様々な実験設備を用いて試験を行います。先に述べたように極めて過酷な条件の下で運転されるため、安全性や開発コスト、そして技術的な面から様々な制約を受けます。そこで、我々はコンピュータの内部に仮想的にロケットエンジンを作り上げ、事前にエンジンの挙動をシミュレートすることで安全かつ効率よくエンジンの研究開発ができるように研究を行っています。

具体的には、ロケットエンジン動

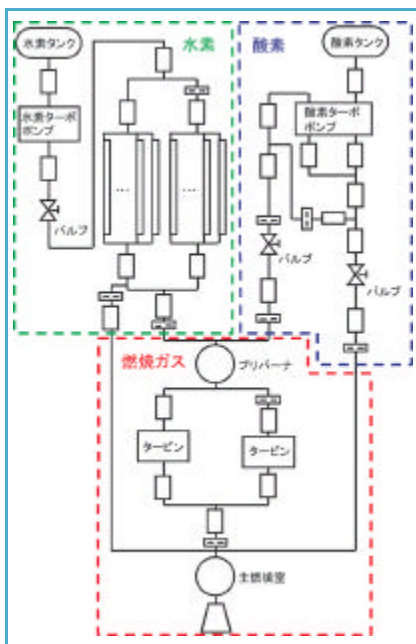


図1 モデル化されたロケットエンジン

的シミュレータ (REDS) と称する、エンジン全体の作動状況をシミュレートし評価するための計算ツールを開発しています。REDSはエンジンを図1のようにモデル化して、そこにエンジンの様々な特性を組み込んだ上で、内部を流れる液体水素や液体酸素そして燃焼ガスの流れを計算します。これによってエンジンの始動や停止、何らかのトラブルが発生した際のエンジン全体の挙動等をシミュレートすることが可能となります。例えば、H-AロケットのメインエンジンであるLE-7Aエンジンの始動や停止をシミュレートすることができます。

REDSは様々なタイプのエンジンへの応用が可能であり、今後の新規エンジン開発に役立つことが期待されています。

また、ターボポンプやノズル、そして燃焼室等のエンジンの主要な機器における流体の流れや、機器に加わる熱や力の様子を数値シミュレーションを用いて詳しく調べる研究を行っています。図2は、ターボポンプインデューサ内部の流体の流れをシミュレートした様子を表しています。図3は、エンジン始動過渡時のノズル内部の燃焼ガスの流れをマッハ数の

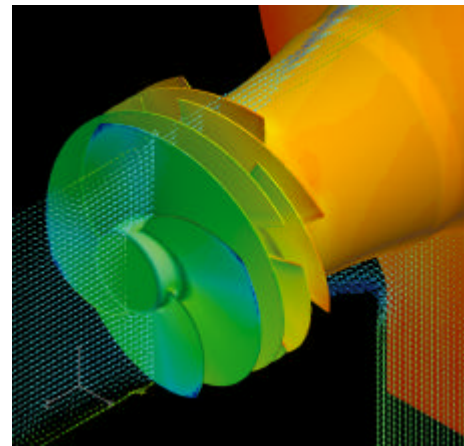


図2 ターボポンプインデューサ内部の流体の流れ

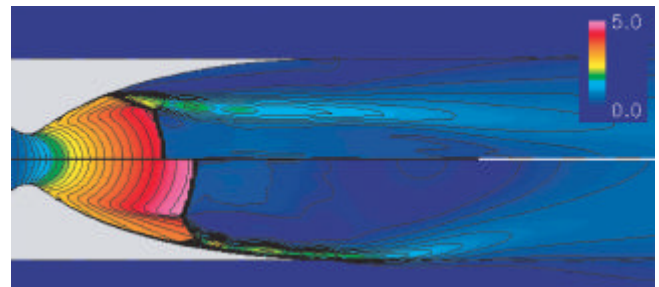
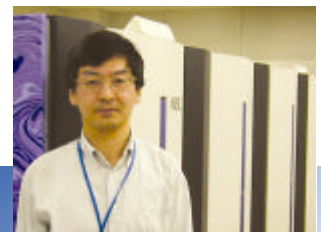


図3 エンジン始動過渡時のノズル内部の燃焼ガスの流れ

分布で表したものです。このように、実験では直接観察することが困難な流れの様子も、数値シミュレーションを使えば詳しく観察することができます。実験と相互補完することで、エンジン内部で起こっている現象をより良く把握することが可能となると共に、より信頼性の高い設計にも貢献をしています。



角田宇宙推進技術研究所  
ロケット推進研究センター  
木村 俊哉

= 飛 び 立 っ て か ら 羽 を 休 め る ま で =

# 飛行状態におけるジェットエンジンの運転法の研究

ジェットエンジンは航空機が離陸してから着陸するまで動き続けますが、その間にさまざまな状況におかれます。例えば、離陸時の機内は乗客、荷物、燃料が満載で、最も重たくなっているため、2000~4000mの滑走路で十分加速して、最大の推力を発生する必要があります。エンジンの研究開発では、この状況は幸いにも防音処理をした地上運転試験設備（写真1）で試験を行うことができます。

一方、巡航中には高度10000mを時速800kmほどで飛んでいます。このときエンジンには、-20℃で0.4気圧程度の冷たい空気が入ってきます。また、コンコルドのようなSSTは、高度15000mを音速の2倍の時速2000kmで飛びますが、このときは逆に120℃で0.8気圧の熱い空気が入ってきます。このような状況を地上で再現してエンジン試験を実施するためには、ATF（Altitude Test Facility：高空エンジン試験設備）が必要となります。2001年に完成した当研究所の「超音速エンジン試験施設（写真2）」はこのATFです（「な

る」2001年5月号参照）。この施設には空気を加熱するための電気ヒーターが備え付けられていますが、空気を冷却する機能がありませんでした。今回、液体窒素（-196℃）がガス化するときの気化熱で、入口空気を航空機の巡航中とほぼ同じ-20℃ほどに冷却する実験を行いました（写真3）。制御弁にはびっしりと霜が凍りつき、気象条件の厳しさが実感できます。この種の実験方法は、寒冷地におけるエンジンへの着氷を模擬することも可能です。

また、豪雨の中を飛行する時など、極まれにエンジンの火が消えることがあります。航空機を安全に運航するために、このような場合エンジンを「空中始動」させる必要があります。火が消えているエンジンは、流入する空気により風車のように回っている（ウインドミル作動）ので、その時の航空機の数によりウインドミルの回転数が変化し、着火したりしなかったりします。このエンジンの始動性を改善するため、飛行中には発電機として使われる直流モーターを電磁ブレーキとして用いる方

法を考案し、エンジン回転数の制御に成功しました（図）。

このように、飛行状況に応じて確実に作動しなければならない航空エンジン特有の問題について、当研究所ではさらに研究を進めています。



写真3 液体窒素制御弁

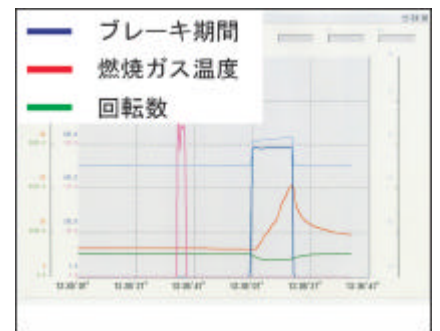


図 電磁ブレーキ試験データ



写真1 地上運転試験装置



写真2 超音速エンジン試験施設



航空推進研究センター  
二村 尚夫

= より高い安全性を目指して =

# スマート・ボルト

## 航空機は材料はボルトでつながれる

現在民間用航空機には、翼前縁や尾翼などの一部に複合材が使用されています。複合材は軽くて丈夫なうえに、一体成型が可能などの利点があり、今後ますます航空機に使用される割合が増えてくると思われます。しかし、航空機の大部分はまだアルミやチタンなどの金属で作られており、金属と複合材をボルトでつなぐ必要があります。航空機で一番壊れやすい部分は、窓やドアなどの穴の開いた部分です。ボルトでつなぐために開けた穴も、例外ではありません。金属同士の結合は、長年の経験によりその強度が確認されていますが、金属と複合材の結合については、まだ十分ではありません。当研究所では、金属と複合材の結合部に関する研究を進めています。

巡航中の航空機の内部は、外よりも気圧を高く保っているため、その圧力差により機体には引っ張る方向の力が加わります。この状態を調べるために行う地上での引っ張り試験では、材料の変形量を計測するために、穴の周りにひずみゲージを張るのが一般的です。しかし、ひずみゲージを穴に密着させるのは困難な

ため、損傷の瞬間を計測することはできませんでした。

## ボルトで計測できないか？

複合材は、上下に膨れて損傷する特性を持っています。この膨らみを捉えることができれば、損傷の始まりを把握できると考えられます。そこで、複合材の膨らみにより起こるボルトの伸びに着目しました。この方法では、インターネット通信などでおなじみの光ファイバーを利用したセンサーをボルトの中に埋め込んで、計測を行います(図1)。このボルトのことを、自分で計測を行う賢いボルトという意味で、スマート・ボルトと名づけました。

## 光ファイバーが破壊の測定に本当に使えるのか実験してみよう

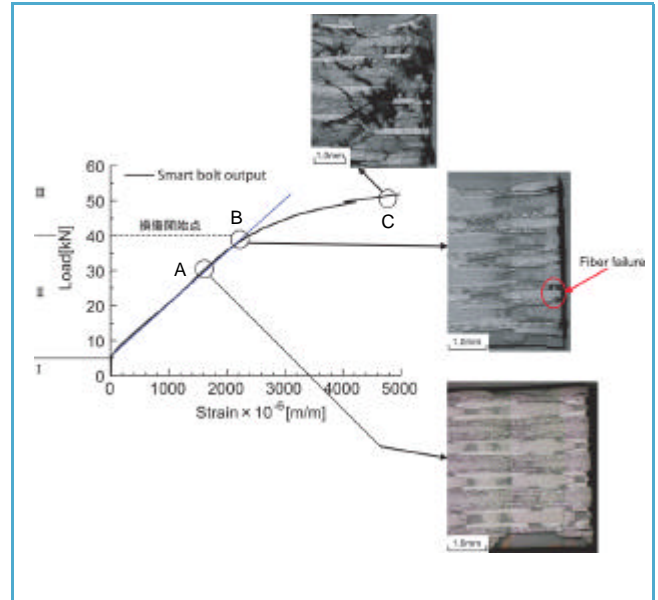


図2 スマート・ボルトによる実験の結果

損傷開始のB点で、スマート・ボルトの出力が青色の直線に対して大きく変化しているのが分かります。このグラフには描かれていませんが、従来のひずみゲージによる計測ではB点の変化を捉えられません。

化を監視できる可能性があります。当研究所では今後も、実験および数値解析を行って研究を進めることで、早期に損傷を発見できる技術を確認したいと考えています。

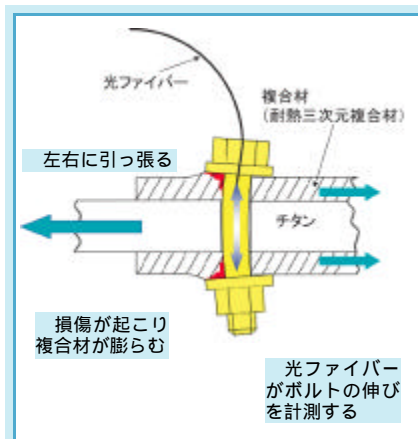


図1 光ファイバーによる機体損傷の計測方法

材料(複合材とチタン)に開けられた穴とボルトの間には、小さな隙間が空いています。材料はボルトにより上下から強く押さえつけられているため、ある程度の力までは耐えられるのですが、加わる力が強くなると横にすべり、ボルトが穴の縁にぶつかります。この時、非常に小さな範囲で損傷が起こります。この小さな損傷により複合材が少し膨らみ、ボルトは上下に引っ張られます。このボルトが引っ張られた状態を、光ファイバーを使って計測します。



(上)スマート・ボルト  
(下)試験片につないだ様子

構造材料研究センター  
佐藤 裕 (取材協力)  
薄 一平 (取材協力)

スマート・ボルトを使って行った実験の結果を図2に示します。スマート・ボルトは損傷の早期発見のほかにも、ボルトの緩みの感知など様々な機体の変

# 定点滞空飛行船用格納庫の建設工事作業始まる

成層圏プラットフォームプロジェクトセンターでは、成層圏飛行船を高度約4kmの高さで定点に静止させ、通信・放送の中継や地球観測のミッション実験を行う「定点滞空飛行試験」を2004年度に北海道大樹町多目的航空公園にて行います。実験



実験施設全体のイメージ

場については「なる」2001年5月号で紹介していますが、この度その飛行船を格納するための格納庫建設工事開始に際して、工事の安全祈願祭が現地で行われ、いよいよ定点滞空飛行試験に向けて本格的な準備作業がスタートしました。

格納庫は、定点滞空飛行試験機（全長約70m、胴体最大直径約17m）が収容でき、格納庫内での準備作業スペースも考慮したもので、全長約90m、間口約30m、高さ約35mの大きさです。北海道十勝地方の耐風、耐雪などを考慮し、（株）日本設計が基本設計、詳細設計を担当し、建設工事は清水建設（株）が施工しま

す。格納庫は、正面から見ると7角形をした独特の外観で、酪農地帯の景観にもマッチした建物になっています。竣工予定は2003年9月です。

多目的航空公園では、すでに昨年度土地の整備作業が行なわれ、屋外の電気工事が完了し、この4月からは実験支援棟建設工事、舗装・植栽工事も始まります。試験場として総ての設備は今年9月末には完成し、来年度の試験に向けての準備を開始します。

成層圏プラットフォームプロジェクトセンター  
楯 篤志

## 開催報告1

# 小型衛星シンポジウム2003

2003年3月12日（水）国際文化会館（東京都港区六本木）において、小型衛星シンポジウム2003（Small Satellite Symposium 2003）を開催しました。本シンポジウムでは、平成14年度科学技術振興調整費「高度衛星・通信技術を医療に応用するための研究開発」の研究発表と共に、関連する海外の研究者を招聘して招待講演が行われました。本振興調整費では、救急車から患者の動画を準天頂衛星経由で救命センターに送信し、病院前救護体制の確立に必要な遠隔医療、準天頂軌道ならびに実証実験用小型衛星技術について研究を行っています。

講演は各テーマを持った4つのセッションに分けて行われ、セッション1では、小型衛星研究会および宇宙工学コンソーシアムの活動状況、ならびにユタ大学における小型衛星シンポジウム概要報告があり、最新の小型衛星関連情報が提供されました。

セッション2では、遠隔医療ならびに準天頂衛星について、国内外の研究発表が発表されました。遠隔医療に関しては、当研究所および東海大学総合医学研究所による救急車からの動画伝送システム、Natenzon氏からはロシアにおける遠隔医療の現状が報告されました。また、米国Sirius社のBriskman氏からは、走行中の自動車にリアルタイムで100チャンネルのデジタルラジオ放送をサービスする、米国版8の衛星（2000年打ち上げ、現在運用中）の発表があり、我が国の準天頂衛星計画にも大いに参考になりました。

セッション3、4では、昨年12月14日にH-A4号機で打ち上げられた3つの相乗り衛星、宇宙開発事業団等のマイクロラプサット、千葉工業大学の鯨生態観測衛星およびオーストラリアのFedSatについて、3衛星を開発した3機関が打ち上げ後初めて一堂に会し、最新の情報交換を行いました。また、韓国のベン



チャー企業SaTReCiからは、韓国の小型衛星技術や開発計画が発表され、我が国との協力関係についても提言がありました。

今回のシンポジウムは、小型衛星研究会と共同で開催しました。講演発表はタイムリーな話題が大変多く、関係者の高い関心が寄せられると共に、今後の協調関係を進めていく上でも良い機会になりました。

宇宙システム研究センター  
中島 厚

## 開催報告2

# 国際ワークショップ

## Fluid and Applied Mathematics 2003

CFD（計算流体力学）の諸問題の研究情報を交換し議論を深めるため、国際ワークショップ「Fluid and Applied Mathematics 2003」が、3月18日、19日の両日にわたって当研究所で開催されました。CFDは、流体现象を数式（偏微分方程式=連続モデル）で表し、次に計算機で計算可能な数式（離散モデル）を作り、計算実行し、結果を可視化する、という複数の段階を経て行われます。CFD技術の信頼性向上にはこれらの各段階での信頼性の向上が必要で、そのための研究開発は今も盛んに行われています。本ワークショップでは特に、連続モデルから離散モデルを作る段階での問題点（連続・離散両モデルの適合性）を議論しました。



外国人招聘講演者による最新研究成果の紹介4件を含む11件の講演に対し、約40名（外国人10名）の参加者間で盛んな質疑応答が行われました。数学、流体力学、航空宇宙工学、素材工学等の多岐にわたる分野からの参加者を得たことで、異なる観点からの問題意識を交換する良い機会が提供でき

ました。

また、当研究所における実験と連携したCFD信頼性検証の発表に関し、数値計算の信頼性研究の新しい枠組の提案とその実践例として、基礎応用双方の分野から強い関心が寄せられ、当研究所ならではの研究活動としての評価も受けました。本研究集会は2001年11月に引き続き2回目の開催ですが、参加者からは数値計算の信頼性向上を方法論の面から深く議論し得る場として定期的な開催への要望もあり、検討を進めたいと考えています。

CFD技術開発センター  
相曾 秀昭

## 開催報告3

# SPRING SCIENCE CAMP 2003

3月25日（火）～26日（水）の2日間、高校生（高等専門学校1～3年生を含む）を対象にしたスプリング・サイエンスキャンプを実施しました。スプリング・サイエンスキャンプは、最先端の科学技術に触れることで科学の素晴らしさを実感し、科学技術に対する理解を深めてもらうことを目的に、文部科学省の主催で行われています。



今回は「人類の宇宙活動の推進」をテーマに、各種講義や実習を行いました。当日は、宇宙に興味のある10名の参加者が、関東圏を中心に全国から集まりました。

初日は、実験用航空機（MuPAL-）、極超音速風洞、三次元可視化システムという3種類の大型研究設備を見学した後、宇宙システム研究の概要について講義を受けました。次に、スペースデブリの講義を受け、パソコンを使って各自でスペースデブリの軌道計算を行いました。夕方には当研究所の光学望遠鏡を使って、実際にデブリの観測を行う予定でしたが、あいにくの雨で中止となってしまいました。

2日目は、人類が今後宇宙で生活するために必要となる、自立型循環



生命維持システムについて講義を受けた後、フリーピストンスターリングエンジンや自分だけの小さな閉鎖環境系の作成、水分解サブシステムを使ったゲームなどを通して、システムの各要素について理解を深めました。参加者と研究者がひとつの机を囲んだ懇談会では、今回のテーマを越えた面白い質問が飛び出すなど、最後まで疑問を解決し宇宙について学ぼうとしている姿が印象的でした。

# 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2003

## 開催のお知らせ

**主催** 独立行政法人 航空宇宙技術研究所

**開催日** 平成15年6月12日(木)～13日(金)

**会場** 独立行政法人 航空宇宙技術研究所 本所 [事務棟2F講堂・業務棟1F会議室]

**参加費** 無料

**懇親会** 会費3,000円 18:15～20:15

### 特別講演

12日(木) 13:30～14:30

The Role of Analytic Methods in Computational Aeroacoustics

Dr. Joe W. Posey

(Head, Aeroacoustics Branch, NASA Langley Research Center)

### 特別企画

12日(木) 14:40～18:00

空力音響

パネルディスカッション「CAAとスーパーコンピュータ」

### 企画セッション

13日(金) 10:00～11:00

これからの大規模シミュレーション

13日(金) 13:30～15:10

構造シミュレーションの現状

13日(金) 15:20～17:00

NATAS解析システムの現状

13日(金) 13:30～17:00

将来型宇宙輸送に関する数値シミュレーション

パネルディスカッション「実験とCFD両者の活用による現象解明に向けて」

### 一般セッション

詳細はホームページ<http://www.nal.go.jp>に掲載のプログラムをご覧ください。

### 問い合わせ先

航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム運営委員会

事務局 吉田正廣

TEL 0422-40-3000

FAX 0422-40-3327

E-mail [anss03@nal.go.jp](mailto:anss03@nal.go.jp)



#### 発行

独立行政法人 航空宇宙技術研究所

東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1 〒182-8522

平成15年4月発行 No.529

© 禁無断複写転載「なる」からの複写、転載を希望される場合は、広報室にご連絡ください。

ご意見ご感想などは電話、FAXまたはEメールでお寄せください。

電話：0422(40)3958 FAX：0422(40)3281

NALホームページ：<http://www.nal.go.jp/> Eメール：[WWWadmin@nal.go.jp](mailto:WWWadmin@nal.go.jp)

古紙配合率100%再生紙を使用しています