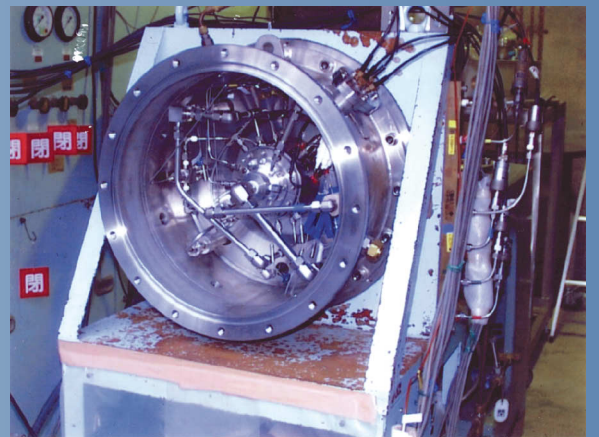


なる

NAL

No.516

MARCH 2002



世界最高速のロケットエンジン用液体水素玉軸受を開発
成層圏プラットフォーム再生型燃料電池の研究
先進複合材データベースシステムを公開
逆対称積層板のエンジン翼
スーパーコンピュータシステムを更新
今月のキーワード
一般公開のお知らせ

National Aerospace Laboratory of JAPAN

3

= 超高速ハイブリッドセラミック玉軸受、回転数120,000rpm、DN値300万を達成 =

世界最高速のロケットエンジン用液体水素玉軸受を開発



写真 ハイブリッドセラミック玉軸受の外観

当研究所では、将来の再使用型宇宙輸送機に必要な再使用型ロケットエンジンの研究を進めています。軽量（小型）・高性能化が要求される再使用型ロケットエンジンでは、液体水素（-253℃）や液体酸素（-183℃）の極低温推進剤を燃焼器に供給するターボポンプの高速化が必要になります。

特に上段用ロケットエンジンは、重さや性能が打上げペイロードに大きく影響するため、回転数が100,000rpm級の液体水素ターボポンプが必要になり、超高速ターボポンプの研究開発が現在、世界的に進められています。超高速ターボポンプのキーテクノロジーは、ポンプやタービンの回転軸を支える軸受や軸シールの超高速技術を開発することです。

今回、世界に先駆け、高速性能や

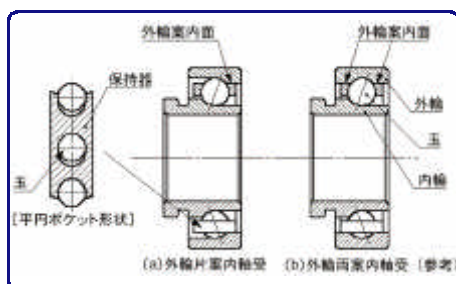


図1 外輪片案内軸受の構造

冷却性能に優れる外輪片案内方式（なるNo.483参照）を採用した、窒化ケイ素セラミック玉を用いたハイブリッドセラミック玉軸受（内径25mm、写真）は、液体水素中、回転数が120,000rpm、高速性の指標となるDN

値 [軸受の内径（mm）×毎分の回転数（rpm）] が300万の世界最高速を達成しました。特殊な表面処理により潤滑性を高めたガラス織布強化テフロン保持器を使用して、玉や内外輪に付着するテフロン潤滑膜で軸受を潤滑します。この新型軸受は、H-AロケットのLE-7Aエンジンの液体水素ターボポンプに使用されている軸受鋼製の玉軸受の高速限界（回転数50,000rpm、DN値200万）を大幅に越えるものです。

ハイブリッドセラミック玉軸受は、セラミック玉と軸受鋼製の内外輪を組み合わせた軸受のことです。超高速回転下では、かなりの遠心力が軸受に発生しますが、軽くて耐摩耗性に優れる窒化ケイ素玉を使用すると、回転数120,000rpmでの玉の1個あたりの遠心力荷重が軸受鋼玉の約40%の454Nまで減少し、軸受の発熱や摩耗を少なくできます。液体水素中では、テフロン潤滑膜が窒化ケイ素玉に厚く付着し、軸受鋼玉に比べて高い荷重を支えることができます。

また外輪片案内方式の軸受（図1）は、外輪と接触する保持器の案内面が片側になるため、特殊な平円ポケット形状を採用して、高速回転する

保持器の振動発生を抑えています。軸受トルクが従来の外輪両案内軸受の約1/2になるため、超高速回転で問題となる摩擦発熱は、回転数120,000rpmで4kW程度まで大幅に減少できました。

軸受試験には、タービンで駆動する超高速軸受・軸シール試験機（表紙の写真）を使用しました。この試験機は、軸受試験と同時に軸シールの試験もできます。液体水素中、回転数120,000rpm、スラスト荷重2,160Nでの試験において、ハイブリッドセラミック玉軸受は、軸受温度が安定し優れた性能を発揮しましたが、従来の軸受鋼玉を使用した軸受は、軸受温度が不安定な挙動を示し焼付き状態になりました（図2）。今後、DN値300万でのハイブリッドセラミック玉軸受の耐久性の評価を進め、超高速ターボポンプに必要な軸受や軸シールの超高速技術を確立します。

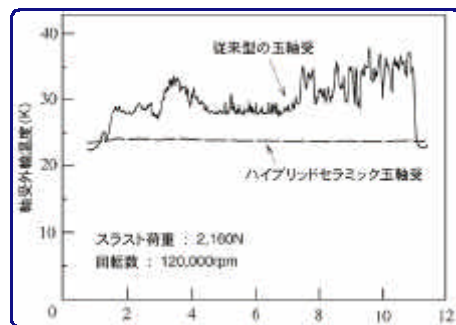


図2 回転数120,000rpmでの軸受外輪温度の推移



ロケット推進研究センター
野坂 正隆
nosaka@kakuda-splab.go.jp

成層圏プラットフォーム再生型燃料電池の研究

成層圏高度ほぼ20kmに停留し、通信・放送、地球観測等の中継プラットフォームとなる飛行船は、その推進動力を得るために昼間は環境に優しい太陽光エネルギーを使用します。当研究所では、夜間の推進電力を供給するために、エネルギー貯蔵・発電の1つの有力な手段である再生型燃料電池（通称RFC）の研究を平成11年度から進めてきました。

飛行船の電源は、太陽電池と再生型燃料電池からなります（図）。昼間は、太陽電池で光を電気に変換し、得られる電力の一部を推進等に、残りの電力は水を水素と酸素に電気分解するのに使われます。水素と酸素は、燃料タンクに貯蔵され、夜間になると燃料電池に送られ発電の燃料となり、飛行船の動力や搭載ミッションの電力に使われます。夜の発電で、水素と酸素は反応を介して再び水に戻り、水はタンクに蓄えられます。この水が、日照時に再び水素と酸素に電気分解され、燃料として使われます。このように、太陽電池と再生型燃料電池を組み合わせることで、昼夜連続して電気を供給することが可能となります。

近年、化石燃料の使用による大気汚染が世界的に大きな問題となっていますが、我々が研究を進めているRFCは、水や太陽光といった自然エネルギーを利用して純粋な水素と酸素を作りだし、電気を得るため、大気を汚染することがありません。このようなRFCを本格的に運用する研究を行うのは、国内では当研究所が初めてです。

成層圏で発電を行うRFCの実用段階では、低温・低圧の環境下で長期の運用サイクルに耐える必要があります。そのためRFC自体の開発はも

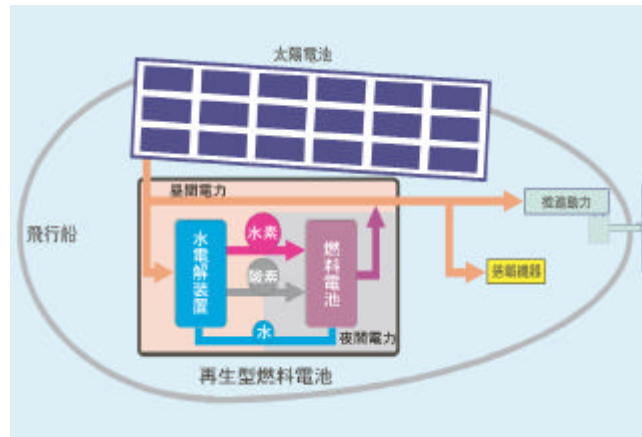


図 成層圏プラットフォーム飛行船の電源

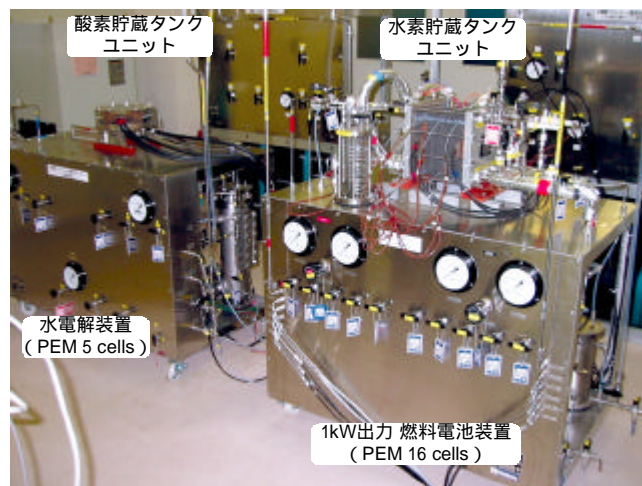


写真 再生型燃料電池（RFC）の地上研究モデル

とより、閉じた流体ループ系での気体と水の分離、水の凍結を避ける等、運用管理上の解決すべき多くの技術課題があります。このような課題を克服し、飛行船に搭載できるRFCの設計データを取得するために当センターが製作した評価試験装置の写真を上に示します。

1kWの電気出力の能力をもつ固体高分子膜（通称PEM）型の燃料電池ユニット、水電解ユニット、および燃料貯蔵タンクの3つから構成されます。現在、発電や水電解の出力性能をそれぞれ単独に調べており、出力に影響する温度、圧力を変えて電

流・電圧特性等を明らかにしています。今後の運用試験では、太陽電池からの入力、推進に求められる負荷の変化を模擬してシステム運転を行い、RFCの設計に役立つデータを蓄積していきます。



成層圏プラットフォームプロジェクトセンター
藤原 勉
fujihara@nal.go.jp

= 複 合 材 料 の さ ら な る 発 展 を 目 指 し て =

先進複合材データベースシステムを公開

航空宇宙分野に欠かせない複合材料はめざましく進化し、次々に新しい材料が開発されています。金属材料に比べて取得すべき特性データの数が遙かに多い複合材料は、そのデータベースを構築することが、複合材料を使った構造設計の必須事項であり、また研究開発の効率化を図る上でも重要となっています。

そこで、当研究所先進複合材評価技術開発センターでは先進複合材データベースシステムを作成し、今年1月よりインターネットで公開しています (<http://www.nal-acdb.com/>)。

通常、このようなデータベースは有料で公開されていますが、無料で公開することにより、他分野の方や一般の方にも広く利用していただくことを期待しています。

データベースシステムの利用に際してはデータの商業的二次利用を防ぐためにユーザー登録が必要になっていますが、登録条件は国内在住者であることのみで基本的にどなたでも登録が可能です。また海外在住者の登録も検討中です。

本データベースシステムは試験法、材料からの検索が可能となっています(図1)。試験結果の他にも材料によってはグラフや写真を掲載しています。また、通常、疲労に強いとされる複合材料では珍しい疲労試験のデータが掲載されているのも特徴です(図2)。

現在のバージョンで登録されているデータは、当研究所の技術刊行物であるTR (Technical Report)、TM (Technical Memorandum) および学術論文に掲載されたものから、複合材データベースとして適合する材料をピックアップして登録していま

す。そのため、現在では複合材データの収集の指針であるMIL-HDBK-17に適合していないものが多いですが、今後登録されるデータはMIL-HDBK-17に適合したものとし、適合していないデータも引き続き並行して掲載していきます。また、他機関、メーカー等のデータも登録の要請があれば掲載を検討しています。

次のバージョンアップでは今年度取得したデータを登録する予定です。その後は、半年に1回ないし2回のペースでバージョンアップしていく予定です。



図1 検索画面

試験法	材料名	試験結果
15.0	1.00E+03	
15.0	1.20E+04	
15.0	2.00E+04	
08.6	1.20E+04	2.06E+04
08.6	2.40E+04	4.47E+04
08.6	5.44E+04	
08.6		2.62E+04
08.6		1.04E+05
03.7	4.20E+04	8.14E+04
03.7	1.16E+05	1.26E+05
03.7	1.22E+05	1.40E+05
03.7		3.14E+05
08.8	3.44E+05	1.94E+05
08.8	8.00E+05	4.89E+05
08.8	2.74E+06	3.66E+06
03.9	8.30E+05	
03.9	1.26E+06	
03.9	4.07E+06	
03.8	1.30E+06	
03.8	3.76E+06	
03.8	8.76E+06	
498	1.03E+7 Stop	
498	1.05E+7 Stop	

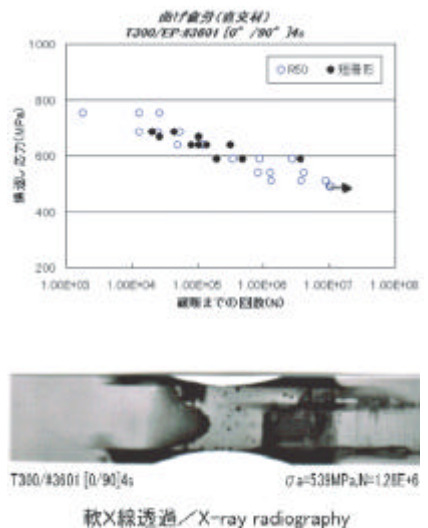


図2 疲労試験のデータとグラフ・写真の一例

お問い合わせ先
先進複合材データベースシステム
nal-acdb@nal.go.jp

= 魔法かな？魔法じゃないよ科学だよ =

逆対称積層板のエンジン翼

取材協力

航空推進研究センター
橋本 良作
hasimoto@nal.go.jp

もっと優れたエンジンは作れない？

航空機のエンジンは、ファンや圧縮機等の翼が、流入してくる空気に対して常に適切な角度を保つように設計することで、効率よく推力を得ることができます。しかし実際には、翼の角度を変化させるのに複雑な制御システムが必要であったり、エンジンの重量増加が避けられない等、あまり手軽なものではありません。そこで、製造時の工夫によりある種の特性を持たせることができる積層構造の複合材料（以下、積層板）を使用することを思いつきました。

積層板は、樹脂などのマトリックス（母材）をしみ込ませた繊維シートを重ね合わせ、高温高压下で固めることにより製造されます。普通は、各繊維シートの繊維の方向を中心面に対し対称にして重ね合わせるのですが、中心面に対して逆対称に重ね合わせる逆対称積層板というものもあります（図1）。

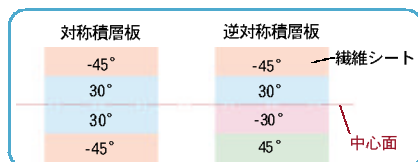


図1 対称積層板と逆対称積層板

逆対称積層板の場合、各繊維シートの繊維の方向を工夫することで、外部から制御することなく、積層板にかかる遠心力による引張り力に応じて、意図するように変形させることができます。この原理を使ったエンジン翼を実現するための基礎的試験をしてみました。

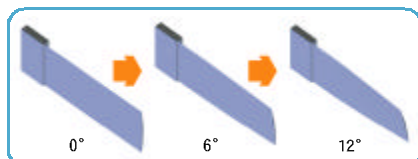


図2 遠心力により逆対称積層板がねじれていく様子

まず計算それから試験

エンジンのファンブレード（ファン動翼）が、回転により加わる遠心力に応じてねじれていく様子を数値計算で確認しま

した（図2）。次に、どう重ね合わせれば最も効果的かを計算しました。その結果、(30°/-30°)積層構造が遠心力に対して最も変形し、(45°/-45°)積層構造が熱に対して最も変形することが分かりました。そこで、積層板製作時に起こる熱による変形を防ぎ、大きくねじれ変形を起こすような3種類の試験片を製作しました。

各試験片に引張り荷重をかけ（遠心力の模擬）、ダイヤルゲージでねじれを、ひずみゲージでひずみ（外力の作用によって伸ばされた長さを元の長さで割ったもの）を計測する試験を行いました（写真）。下方のつなぎ手は、試験片のねじれに応じて自由に回転を行えるように設計されているため、試験結果に影響を与えることはありません。

数値計算の結果との対比を図3に示します。計算通りの値が得られていることが見て取れます。

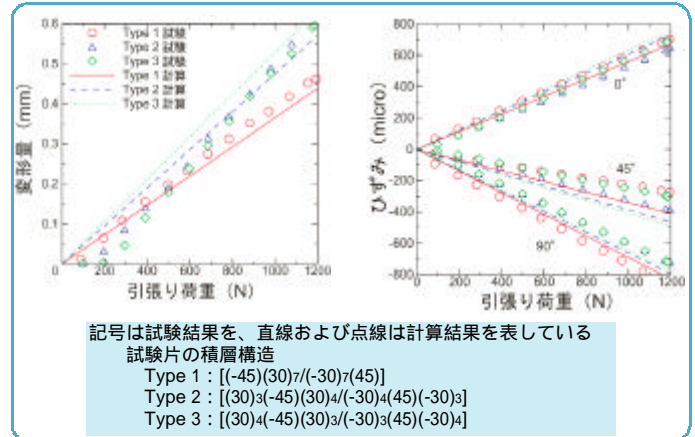


図3 計算結果と実験結果の比較

できたらいいな未来のエンジン

期待した通り（計算通り）にねじれ変形を起こすか検証することと、基礎的なデータを得ることが今回の試験の目的でした。次の段階として、エンジン翼の形状を模擬した試験片を実際に回転させる試験を行い、ねじれとひずみを計測しています。

今はまだファンブレードなどのエンジン動翼が研究対象ですが、その他の部分にも効果的に逆対称積層板を使用することで、状況に応じて自動的に形状が変わるエンジンを作れたらと思っています。

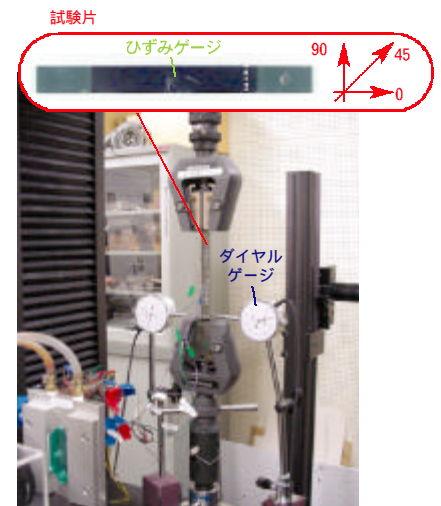


写真 引張り試験

この研究に関する特許

1. 自動形状調整機能を有する回転翼
2. 積層複合材料

スーパーコンピュータシステムを更新

当研究所は現行スーパーコンピュータ「数値風洞（NWT）」を中心とした数値シミュレータシステムの後継として、超高速スーパーコンピュータシステムの導入を決定しました。

図に示すように、新システムは現行NWTの30倍以上である9TFLOPS（*1）（理論ピーク）の数値演算処理性能、主記憶容量では60倍以上の3TB（*2）を実現する超高速スーパーコンピュータを中心とし、総量で現行の800倍以上となる磁気ディスク容量57TB、磁気テープ容量620TBから成る大規模データサイロ・ストレージシステムを構成要素としています。また、多目的処理を行うノード（*3）を設けることにより、対話型ジョブなどの各種処理環境を実現し、ユーザ利用開発環境を充実させるシステムとなっています。また一方で、先に導入した世界でも最大クラスの可視化システムと超高速ネットワークで結合することにより計算と可視化がシームレスに扱える環境が実現されます。

新システムの導入により、CFD（*4）を中心とした多分野統合シミュレーション技術の確立のための、航空機や宇宙機などに関する多分野にまたがる連成問題（*5）の解決を可能にします。また、従来は実現困難であった、数十億点を超える乱流の直接シミュレーション技術や非定常計算対応型システム（*6）の確立を通じて大規模数値シミュレーションの精度向上などを目指します。さらには、ITBL（*7）施策における航空宇宙分野に関する重要なアプリケーションセンターとして実働に供すると共に、大規模ストレージ

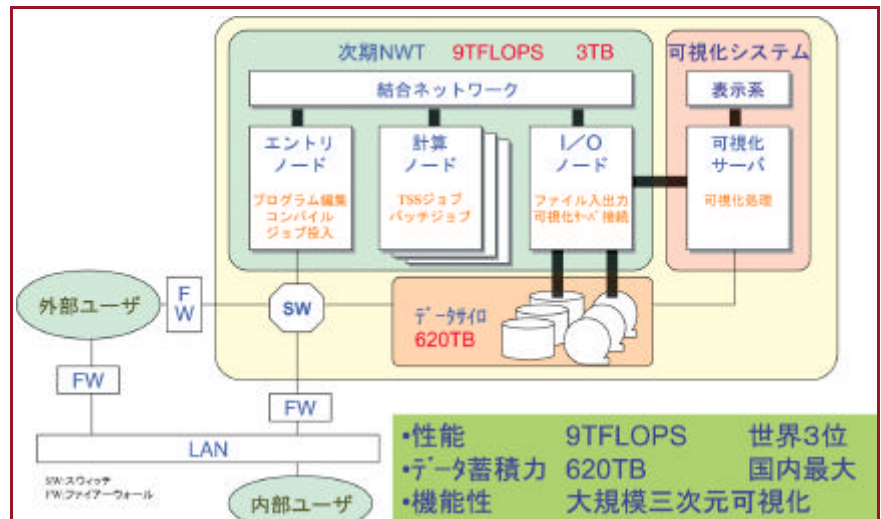


図 超高速コンピュータシステムの概要

ジを利用した航空宇宙分野のデータ拠点として、新規機体開発や安全性向上に資することが期待されます。

新システムは、2002年4月より現行システムからの移行を開始し、全システムは2002年10月より本格稼働する予定です。

（*1）TFLOPS

テラフロップス。1TFLOPSは每秒1兆回の浮動小数点演算。

（*2）TB

テラバイト。バイトはメモリの単位、1TBは1バイトの1兆倍。

（*3）ノード

計算機には、最小単位であるCPUとメモリがいくつか集まって筐体に収納されている。その筐体単位をノードとよぶ。

（*4）CFD

Computational Fluid Dynamics。計算流体力学（計算機で流れを解くこと）。

（*5）多分野にまたがる連成問題

流体はCFDにより解かれるが、構造

（圧力による変形など）は有限要素法で解かれるなど、それぞれに異なった手法を用いてシミュレーションが行われる。それらを同時に解く必要のある問題。

（*6）非定常計算対応型システム

時々刻々と変化する現象を観察したり、データを出力できるシステム。

（*7）ITBL

IT-Based Laboratory。インターネット等の情報技術を使った仮想研究所のことで、離れたところにある計算機やデータをあたかも自分のところにあるように使うことを可能とする。国の策定したe-Japan重点計画の1つとして、理化学研究所、日本原子力研究所他当研究所を含めて6機関でITBL施策を進めている。

お問い合わせ先

CFD技術開発センター

計画管理室

TEL 0422-40-3301

今月のキーワード

ペイロード (P1)

一般にペイロードとは、乗客、貨物等、運賃や料金の対象となる有償荷重のことをいいますが、ここでは単に搭載物のことをいいます。

軸受鋼 (P1)

軸受に要求される耐摩耗性、耐食性、耐熱性、高硬度等を満たす、高炭素クロム鋼等の特殊鋼です。

平円ポケット形状保持器 (P1)

当研究所で考案した、高速性能に優れる保持器です。軸方向のポケットすきま（保持器と玉のすきま）がほとんど無いので、保持器の振動を押さえることができ、軸受トルクが減少します。現在、平円ポケット形状保持器は、LE-7Aエンジンの液体水素ターボポンプの軸受で使用されています（1984年に米国特許を取得）。

スラスト荷重 (P1)

回転軸の軸方向にかかる荷重です。

成層圏 (P2)

成層圏とは、大気圏の一部で、高度15,000m付近から50,000mの間の気層です。オゾン層もこの中に含まれます。雲がある対流圏の上なので、常に晴天が続き、高度約32,000m付近までは気温はほぼ一定です。成層圏プラットフォーム飛行船は高度約20,000mに滞空する計画ですが、-56の低温、地上より強い紫外線、平均30m/sの風、地上の約1/20である50hPaの気圧という厳しい環境で長期間滞空できる飛行船を作らなくてはなりません。

固体高分子型燃料電池 (P2)

燃料電池は複数のセルが積み重なったスタックであり、セルは空気極（カソード）と燃料極（アノード）で電解質膜をはさんだ構造をしています。

カソード側に酸素、アノード側に水素を供給すると、水素は電解質膜まで入り込んで電子を遊離して水素イオンとなり、遊離した電子はセルに接続された負荷ラインを通過してカソード側に移動します。電解質膜を通過する水素イオンは、反対のカソード側に入る酸素と負荷ラインを介して戻ってきた電子と反応して水を生成します。このように電子が流れることで電気を発生します（図）。

(先進) 複合材料 (P3)

複合材料とは、2種類以上の素材を組み合わせることによってさまざまな特性（強度・剛性・靱性・化学的特性など）を持たせることを目的として作られた材料のことです。一般に金属と比べ、軽くて丈夫、耐腐食性が良いなどの利点があり、特に比強度・比剛性（重さを同一としたときの強度・剛性）が極めて高い炭素繊維強化複合材料（CFRP）は、航空宇宙分野に多く使われています。

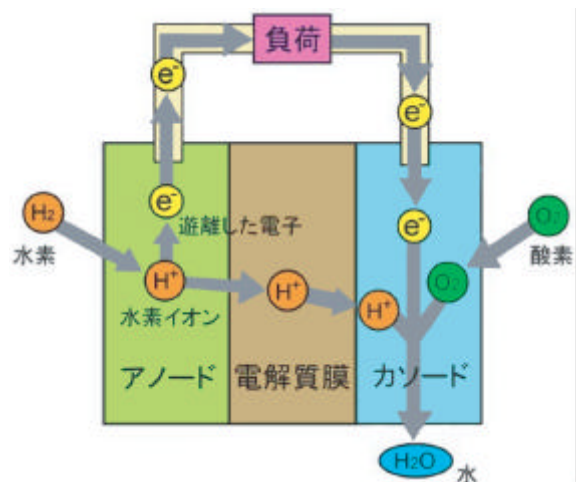
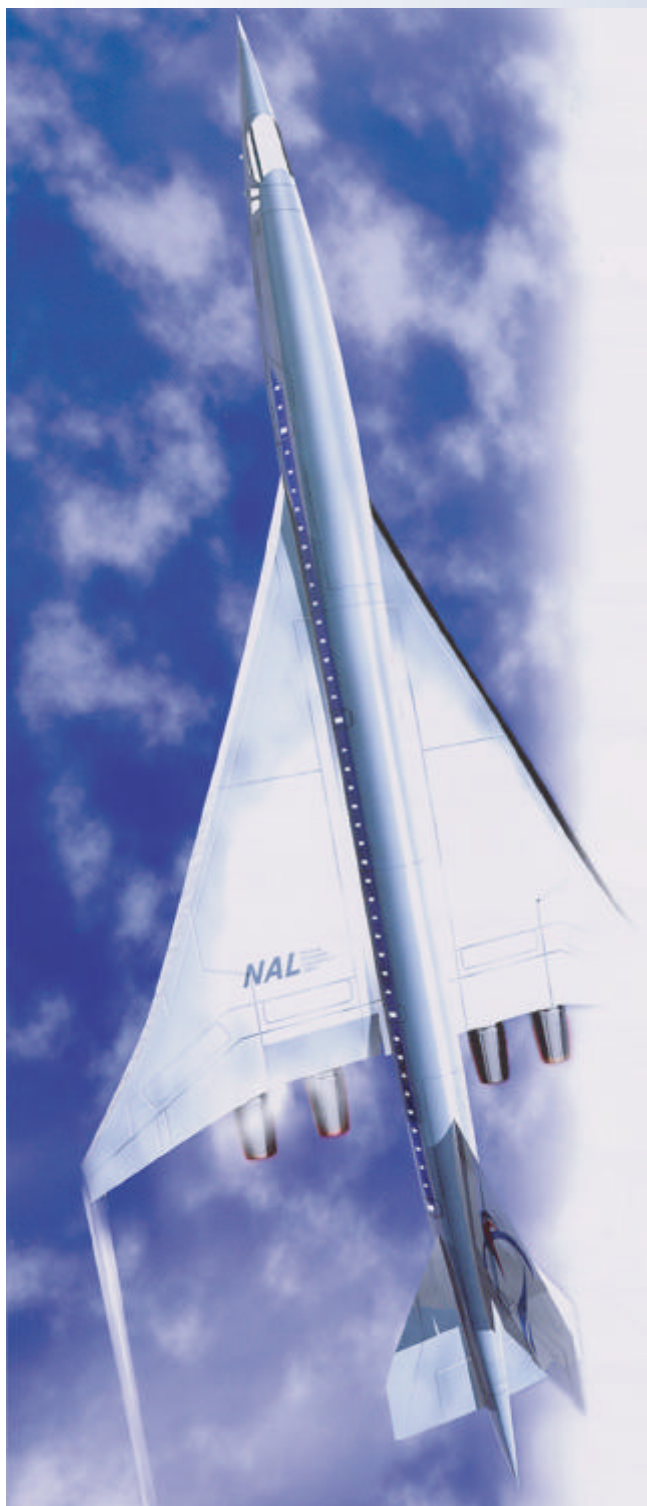


図 固体高分子型燃料電池の原理

一般公開のお知らせ



本所および調布飛行場支所

日時 平成14年4月21日（日）
10:00～16:00

主なイベント

作って遊ぼう工作教室
おもしろ体験コーナー
スタンプラリー

主な公開施設

- ・ 超音速エンジン試験施設（初公開）
- ・ 三次元可視化システム（初公開）
- ・ 風洞施設
- ・ 実験用航空機ビーチクラフト65型機
- ・ 多目的実証実験機MuPAL-
- ・ 構造材料試験設備

お問い合わせ先

東京都調布市深大寺東町7-44-1
航空宇宙技術研究所 広報室
TEL 0422-40-3960

角田宇宙推進技術研究所

日時 平成14年4月21日（日）
10:00～15:30

主なイベント

無重力疑似体験
ゴム動力プレーン教室

主な公開施設

- ・ ラムジェットエンジン試験設備
- ・ 液体水素ロケットエンジン要素試験設備
- ・ 高温衝撃風洞
- ・ 高圧液体酸素ターボポンプ試験設備
- ・ ロケットエンジン高空性能試験設備
- ・ 計算センター

お問い合わせ先

宮城県角田市君萱字小金沢1
航空宇宙技術研究所
角田宇宙推進技術研究所 管理課
TEL 0224-68-3111



発行日 平成14年3月20日（毎月1回発行） No.516

発行所 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

©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

古紙配合率100%再生紙を使用しています