

# 空と宙

2007 MAY / JUN  
<http://www.iat.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

## 研究紹介

繰り返し何度も使える  
宇宙往還機を目指して  
再使用型宇宙往還機に搭載するための  
再使用型エンジンの研究

## 設備紹介

ラムジェットエンジン試験設備

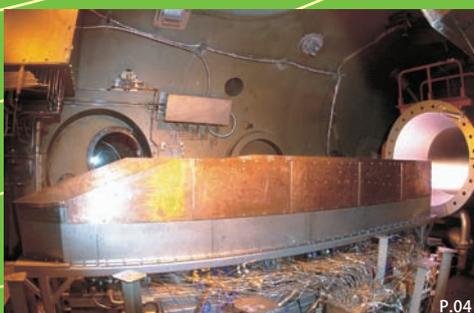
## よこみち 横路散歩

再使用型宇宙往還機

## そらとそら 空宙情報

施設公開

再使用型宇宙往還機の一例



# No. 18

総合技術研究本部  
Institute of Aerospace Technology

## 繰り返し何度も使える宇宙往還機を目指して

### 宇宙の有用利用には 完全再使用型宇宙往還機が必要

人や物資などの荷物（ペイロード）を宇宙空間まで運ぶ手段として、H-IIAなどのロケットが使われています。現在は、アメリカの宇宙往還機であるスペースシャトルが機体の一部を再使用している以外は、一度しかペイロードを運ばない「使い切り型」のロケットが一般的です。しかし、使い切り型ではコストを抑えるのが難しいため、宇宙開発や宇宙観光をさらに発展させるためには、比較的簡単な整備で繰り返し何度も使用できる宇宙往還機（完全再使用型宇宙往還機）の実現が望まれます。

現在、完全再使用型宇宙往還機として、様々な形状の機体が考えられています（P.7参照）。JAXA総合技術研究本部では、飛行機のように水平に滑走路に離着陸する形状の往還機の実現を目指し、研究を進めています。この形状には「揚力を利用できる」、「搭乗時の快適性が得られる」などの利点があります。これまでに、地球大気圏への再突入や滑走路への進入など、様々な実証実験を進めてきました。

### リフティングボディ — 翼がなくても飛ぶ形

実証実験などの結果、ロケットのように上空で分離し、ペイロードを載せた上段部のみが宇宙まで達する二段式の形状が、実現性が高いことが分かりました。そこで、下段部は翼とエンジンを有する飛行機のような形状を、上段部はロケットのフェアリング（ロケット先端のペイロードを搭載する部分）へ載せる可能性も考慮し、翼ではなく胴体で揚力を発生する「リフティングボディ」と呼ばれる形状を採用し研究を進めています。リフティングボディ形状には翼がないため、構造を小型化かつ簡略化でき、軽量化も図れます。

しかし、速度を落とす必要がある着陸時には揚力が弱まってしまうため、飛行が難しくなるという問題があります。この問題を解決するために、リフティングボディ形状機による自動着陸技術の蓄積を目的とした実験【Lifting-body Flight Experiment : LIFLEX（リフレックス）】を計画しています。

機体が確実に着陸するためには「機体形状」と「飛行経路」が重要です。LIFLEX計画は3年間（2005～2007年度）という短い期間で初期検討から飛行実験まで行います。当然、機体の設計期間も短いため、数値流体力学（CFD）を活用しました。CFDとは、コンピュータによる数値解析によって、機体周りの大気の状態などの複雑な流れを求めることができる技術です。CFDを利用すれば、機体の設計および製作から飛

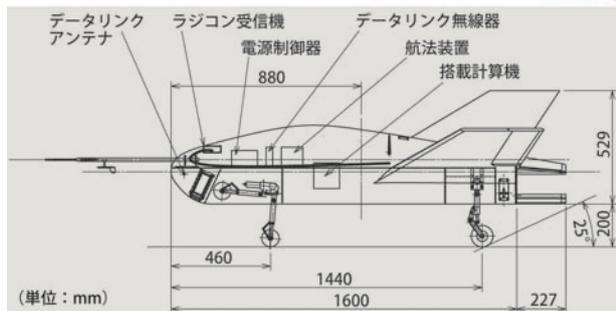
図1 CFDによる機体形状の検討

これまでの実証実験などにより蓄積したデータを基に設計した初期の機体は、横方向の安定性と制御性が悪いという問題がありました。そこで、コンピュータによるバーチャルな飛行実験を繰り返し行い、必要な安定性と制御性の得られる機体に改良しました。



初期機体形状

CFDを繰り返し…



## リフティングボディ形状機の自動着陸実験－LIFLEX

図2 LIFLEXの概要



機体にはエンジンがないため、ヘリコプタで懸架して上空まで運びます。所定の位置と速度で分離された機体は、滑空しながら自動操縦で滑走路へ近づき、着陸を試みます。

行実験までをバーチャルな世界で繰り返し行えるため、模型を製作して風洞（模型の周りに空気の流れをつくり、実際に飛行している様子を模擬する装置）によって試験を行う時間を最小限に抑えられ、短期間で設計が可能になります（図1）。

飛行経路に関しても、上空での風向きなどの条件を考慮した解析を行い、最も適した飛行経路を選定しました。

### 北海道の大空にとばす

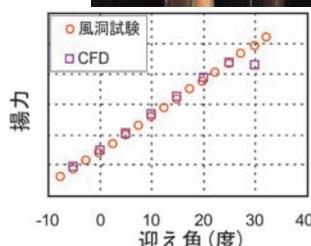
図2は、2007年の秋に大樹町多目的航空公園（北海道）にて行う予定のLIFLEXの概要図です。

2006年10月にはヘリコプタ単体で実際の飛行経路

図3 ヘリコプタによる予備試験と風洞試験の様子



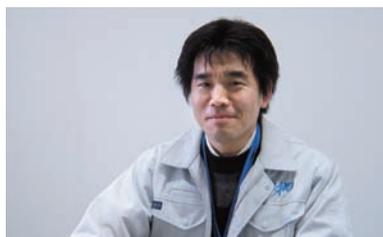
▲ヘリコプタによる予備試験（2006年10月）  
飛行経路や実験手順、データの送受信などを確認しました。



▲風洞試験（2006年11月）  
富士重工業の2m×2m低速風洞にて、飛行特性などを確認しました。CFDの解析結果との一致も確かめられました。

を飛行する予備試験を行い、実験の運用に問題が無いことを確認しました。11月には風洞試験も行い、その特性を確認しました。風洞試験とCFDの解析結果がよく一致することも確認できました（図3）。

現在は実験機などの実験システムの機能試験を行い、LIFLEXの準備を着々と進めています。（広報）



【将来宇宙輸送系研究センター】

塚本 太郎

もっと詳しく知りたくなったら  
ここに **アクセス!**

<http://www.iat.jaxa.jp/res/fstrc/b00.html>

## 再使用型宇宙往還機に搭載するための再使用型エンジンの研究

## 再使用型宇宙輸送は難しい

1957年に世界で最初の人工衛星が打ち上げられてから、間もなく50年になろうとしています。この間、ロケットもそのエンジンも原理的には変わっていません。打ち上げ総重量の数%に満たないペイロードに宇宙へ達するために必要な速度エネルギーを与える目的で、総重量の80~90%におよぶ燃料と酸化剤を燃焼・噴射させ、加速していきます。空になった燃料と酸化剤を入れていたタンクはエンジンごと切り捨てます。そうしないと、余計な重量に速度エネルギーを与えることになり、ペイロードを宇宙に届けることができません。

1980年代に実用化したスペースシャトルは、再使用を可能として宇宙輸送に革命を起こすと期待されました。しかし、ロケットエンジンとしては限界に近い燃費性能を誇るメインエンジンをもってしても完全

な再使用はできず、外部タンクを切り捨てます。離陸には燃費の悪い固体ロケットエンジンが必要で、拾ってきて再使用するものこちらも切り捨てます。整備に莫大なコストが掛かることもあり、打ち上げコストは従来のロケットよりも高くなってしまいました。

## スクラムジェットエンジンの研究

複合推進研究グループでは、完全な再使用化による劇的な低コスト化を目指して、飛行機のエンジンと同様に酸化剤として大気中の酸素を使用する「スクラムジェットエンジン」の研究を進めてきました。燃料に液体水素、酸化剤に液体酸素を利用する時ロケットエンジンの効率是最も高くなりますが、液体酸素が総重量の7割を占めているため、大気圏飛行中には空気(酸素)を吸い込むことでその搭載量を減らすのが狙いです。軽くなった分、帰還に必要な翼や降着装置を機体に付け、再使用化を図ります。

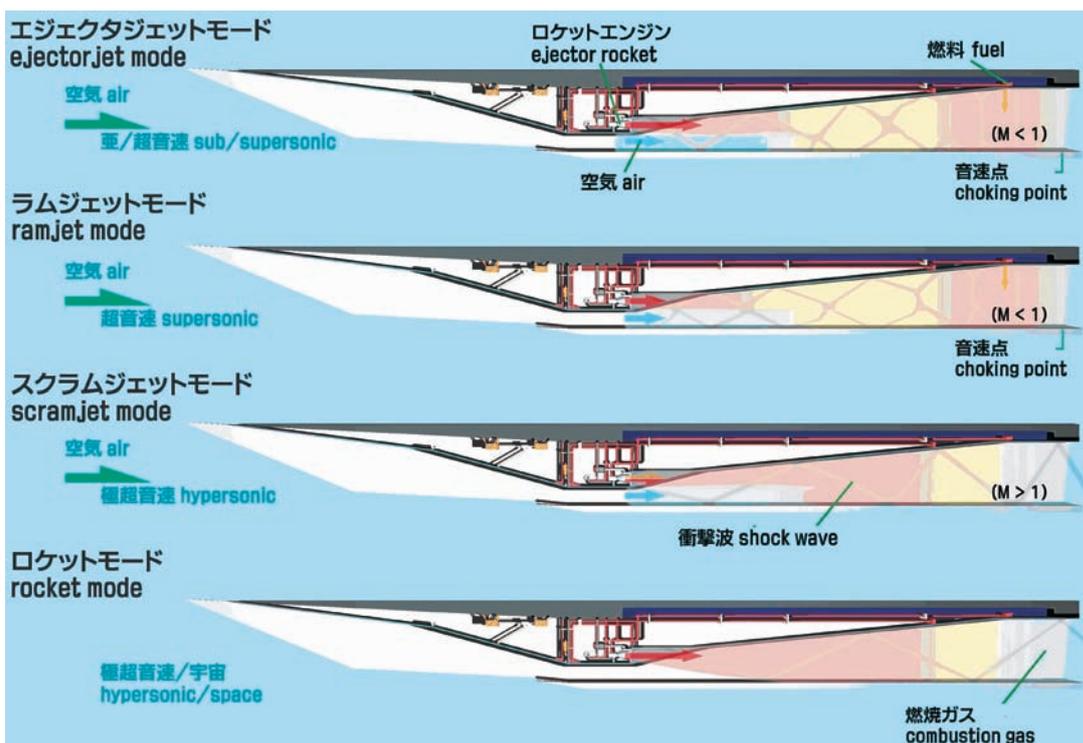


図1 複合エンジンの作動モード

## 「ロケットーラムジェット複合エンジン」

スクラムジェットエンジンは、流入してくる空気の勢いを使って空気自身を圧縮するラムジェットエンジンの一種で、非常に高速で飛行する時に用いられます。ラムジェットエンジンでは圧縮後に燃焼器に流れ込む空気流が音速以下になるのに対し、超音速のまま流れ込むため、超音速燃焼ラムジェットエンジン (**Supersonic Combustion Ramjet Engine : SCRamjet Engine**) と呼ばれています。地上の風洞設備でエンジンに高速の気流をぶつけて性能を評価する試験を重ね、飛行マッハ数<sup>\*</sup>4~8で「推力」と「ロケットエンジンより高い燃費」を得られる事が示せました。現在は、より高速域でも性能を発揮できるよう、飛行マッハ数8~12での推力発生を目指した研究も継続しています。

### さらに進んだエンジン

#### 「ロケットーラムジェット複合エンジン」の研究

ところで、スクラムジェットエンジンを用いるには避けて通れない問題があります。空気に勢いがない時、つまり静止から低速では推力を出せません。離陸ができないのです。これを解決するために、スクラムジェットエンジンの流路にロケットエンジンを埋め込んだ「ロケット-ラムジェット複合エンジン」を提案し、供試エンジン模型の性能評価試験に着手しました。この複合エンジンでは、埋め込んだロケットエンジンの推力で離陸から超音速までの加速を行います。ロケット排気の勢いで廻りの空気が流路に吸い込まれるエジェクタ効果と、その空気を使った燃焼による

推力の増強が期待されます。加速して十分な速度に達したら、ラムジェットおよびスクラムジェットエンジンとして作動させます。この間ロケットエンジンは出力を下げ、点火器として、あるいは燃料噴射器として利用します。図1に異なる使い方(作動モード)でのエンジン内の様子を模式図で示します。

今回の供試エンジン模型は、全長が約3 mあり、ガス水素およびガス酸素を使用する出力2 kNのロケット燃焼器2機を埋め込んでいます。静止状態(空気を吹き付けられない状態)での試験から着手し、エジェクタ効果を発揮させるための改良点など、設計上の技術課題の把握を進めています。図2に試験中のエンジンの様子を示します。今後は飛行マッハ数を上げた試験を継続して、特に作動モードを切り換えるときの制御上の技術課題の把握を進めつつ、改良による性能向上も図っていく予定です。(富岡定毅)

図2 静止状態試験中の複合エンジン供試模型



エンジン排気が右側に見えています。

<sup>\*</sup> マッハ数：速さを音速に対する比率で表した値のこと。音速=マッハ数 1



【複合推進研究グループ】

富岡 定毅

もっと詳しく知りたくなったら  
ココに **アクセス!**

<http://www.iat.jaxa.jp/kspc/japanese/research/combcycl.htm>

# 設備紹介

## ラムジェットエンジン試験設備 (Ramjet Engine Test Facility : RJTF)

JAXAが所有する「ラムジェットエンジン試験設備 (RJTF：図1)」は、ラム/スクラムジェットエンジンの燃焼性能を試験するための設備として1993年に完成しました。

この設備では、音速の4、6、8倍の3通りの気流速度を作り出すことができます。気流の速度は、熱の持つエネルギーを運動エネルギー（速度）に変換することで得ています。気流に熱エネルギーを与えるのは、「蓄熱体加熱器」と「燃焼加熱器」です。気流に与えら

れた熱エネルギーは、「ノズル」を介して速度に変換され、「測定部」に流入します。測定部内の圧力は、「エジェクタ設備」により機体が飛ぶ高度と同様の低圧に保たれています。

2007年3月より、「ロケットラムジェット複合エンジン」の作動モードの一つであるエジェクタジェットモード (P.4参照) の試験を行い、その性能を実証しています (図2)。

図1 RJTFの概要

マッハ4と6で約1分、マッハ8で約30秒の通風が可能です。通風中に燃料の吹き方を変えることで、一回の試験で様々な燃料供給による燃焼の様子を調べられます。

### ◆ 燃焼加熱器

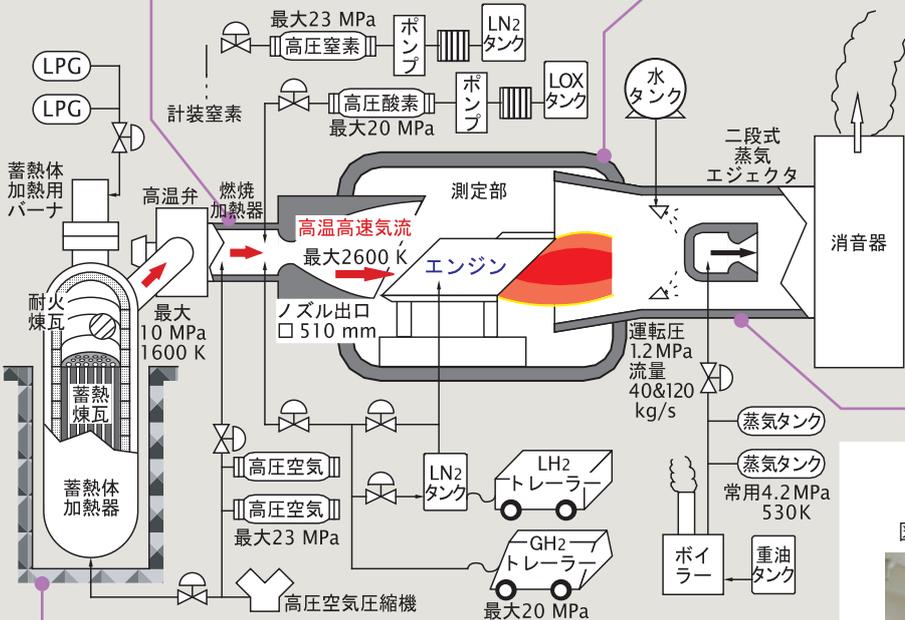
気流中に水素と酸素を流して燃焼させることで更に熱エネルギーを与え、気流の熱エネルギーをマッハ8相当まで高めます。



◆ 測定部



ノズルを介することで、気流の持つ熱エネルギーは速度に変換されます。



### ◆ エジェクタ設備

高速の蒸気を噴き出すことで、周りの空気も一緒に流れる「エジェクタ効果」を利用し、測定部内の空気を抜き出して低圧に保ちます。奥に見える建物は消音器です。



### ◆ 蓄熱体加熱器

音速を超える速さの気流をつくるためには、気流にそれ相当のエネルギーを与える必要があります。蓄熱体加熱器には気流の通り道となる孔の開いた蓄熱用煉瓦がぎっしりと積まれており、煉瓦加熱後にその孔に空気を通しマッハ6相当の熱エネルギーを与えます。

図2 エジェクタジェットモード試験の様子



(2007年3月22日)

## 再使用型宇宙往還機

日本では、30年ほど前より再使用型宇宙往還機の開発が検討されてきました。再使用型宇宙往還機を実現するためには、再使用に必要な「宇宙へ行くための技術」と「宇宙から帰ってくるための技術」の確立が欠かせません。

現在のロケットエンジンは、基本的に一回の使い切りを想定しているため、行くための技術として「何度も繰り返し使えるエンジンの技術」を確立する必要があります。帰ってくるための技術として確立しなければならないのは「再突入時の熱からの防御技術」、「誘導・制御技術」、「着陸技術」などです。

再使用型宇宙往還機には、こうつくれば良いという明確な形がまだありません。そのため、様々な形の機体が考えられ研究が進められています(表1)。当本部では現在、水平に離着陸する二段式の機体を想定して研究を進めています。帰還時に必要な技術のデータを蓄積するため、これまでに様々な実証実験を行ってきました(図1)。2007年の秋には、リフティングボディ形状による飛行実験を予定しています(P.2参照)。行くための技術であるエンジンに関しても、ロケットエンジンの長寿命化の研究や、大気圏飛行中は空気中の酸素を使う空気吸い込み式エンジンの研究を進めて

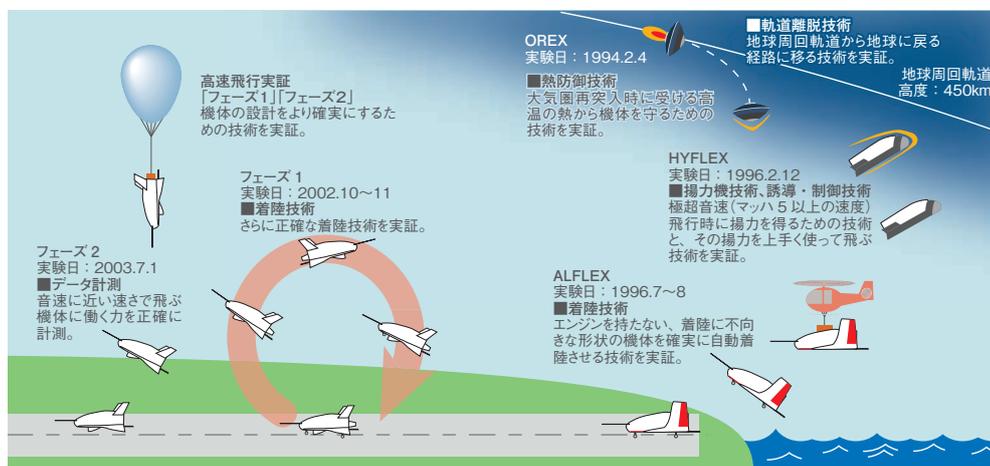
います。空気吸い込み式エンジンとして、飛行機と同じ原理を土台に超音速飛行を実現する「ターボ系ジェットエンジン」や、「複合サイクルエンジン(P.4参照)」などを考えています。

表1 再使用型宇宙往還機の形

段数	<b>単段式</b> ：途中で分離することなく宇宙まで行きます。 ●二段式より高度なエンジンや軽量化の技術が必要です。
	<b>二段式</b> ：ロケットのように上段と下段が分離することで軽量化を図り、上段だけが宇宙へ行きます。 ●整備作業が単段式より増えてしまいます。
離着陸方法	<b>垂直離着陸</b> ●翼などはないため機体を小型化できます。 ●揚力を利用できないため大きなエンジンが必要になります。
	<b>水平離着陸</b> ●飛行中にエンジンが止まってしまっても、翼などによる滑空により安全に地上に着陸できます。 ●翼などの機構や脚が必要のため大きな機体になります。
エンジン	<b>ロケットエンジン</b> ●大気中から宇宙まで使用できます。 ●大気中の酸素は使えず、酸化剤をたくさん搭載する必要があります。
	<b>空気吸い込み式エンジン</b> ●大気中では酸素を利用できるので、その間の酸化剤が必要なく、機体を軽量化できます。 ●宇宙では使用できないため、ロケットエンジンも必要です。

[例] スペースシャトル：「二段式」「垂直離陸・水平着陸」「ロケットエンジン」

図1 「宇宙から帰ってくるための技術」を実証するための飛行実験



# 空 宙 情 報

## 総合技術研究本部 施設公開

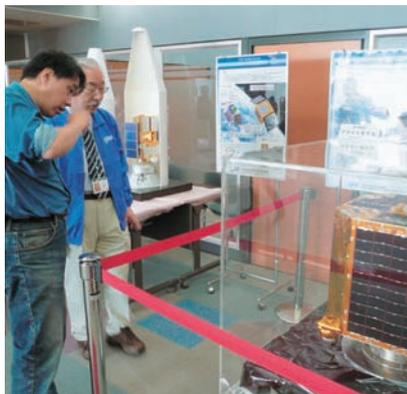
### 【開催報告】

「科学技術週間(4月18日の発明の日を含む一週間)」に合わせ、角田宇宙センター、筑波宇宙センター、航空宇宙技術研究センターの施設を公開しました。

角田宇宙センター (宮城県角田市) 2007年4月15日 来場者数：1,785人



筑波宇宙センター (茨城県つくば市) 2007年4月21日 来場者数：9,970人



航空宇宙技術研究センター (東京都調布市) 2007年4月22日 来場者数：5,679人



空と宙 2007年5月発行 No.18

【発行】宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1

電話：0422-40-3000 (代表) FAX：0422-40-3281

ホームページ <http://www.iat.jaxa.jp/>

【禁無断複写転載】「空と宙」からの複写もしくは転載を希望される場合は、業務課広報までご連絡ください。

