

空と宙

2008 MAR/APR
<http://www.iat.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究紹介

JAXA の設備を
純国産エンジン開発に活かす
人工衛星を決まった位置に
運ぶ、留める

設備紹介

ターボファンエンジン試験設備

横路散歩

「飛行機のエンジン」と「人工衛星のエンジン」

空宙情報

「一般公開」開催案内

旧航空宇宙技術研究所 松木 正勝 元科学研究官
ISABE Award を受賞



超高速インターネット衛星「きずな」

FJR710 エンジン



No. **23**

総合技術研究本部
Institute of Aerospace Technology

JAXAの設備を純国産エンジン開発に活かす

JAXAが進める実機エンジン運転試験

航空機のエンジンは、空気を取り込んで圧縮するための「圧縮機」、圧縮した空気と燃料を混合して燃焼を行う「燃焼器」、燃焼によって得られた高温高压のガスから仕事を取り出す「タービン」など、様々な構成要素から成ります（P.7 参照）。各構成要素を研究開発する際には、まず構成要素ごとに開発および試験を行い、その性能を検証します。その後、実際のエンジンに組み込み、エンジンを運転してその性能を検証するエンジン運転試験を行います。

エンジン全体にどう作用するかが重要な「制御系」の研究でも、エンジン運転試験は欠かせません。宇宙航空研究開発機構（JAXA）では「ターボファンエンジン試験設備（P.6 参照）」と「エンジン高空性能試験設備（図1）」という2種類のエンジン運転試験設備を所有しており、エンジン・システムや制御系の研究に活用しています。

もう一つ、エンジン騒音に関する研究でもエンジン運転試験を行う必要があります。騒音の研究では、エンジンから発生する音がどのように伝わるかを検証することが重要なため、屋外での試験が有効です。そこで、2004年度よりJAXA 能代多目的実験場（秋田）にて屋外エンジン運転試験を毎年行っています（図2）。

ターボファンエンジン試験設備での制御系の研究

航空エンジン技術開発センターでは、ファデック「FADEC（Full Authority Digital Engine Control）」と呼ばれるエンジン制御系の研究に特に力を入れています。

離着陸時や巡航時など、航空機に必要な推力はその時々で変わってきます。エンジン制御系の役目は、必要な推力を発生させ、航空機を安全に飛ばすことです。しかし、これからの制御系には、安全に飛ばすことはもちろん、エンジンの性能変化を敏感に感知（モニタリング）し、状況に合わせて適切な制御が行えることも求められてきます。

例えば、出荷の段階で出てしまうエンジン性能のば



高空を超音速で飛行した時の大気状態を模擬できる設備です。

図1 エンジン高空性能試験設備



図2 YJ-69エンジンを使った能代多目的実験場での騒音計測試験の様子（2007年度）

ターボファンエンジン試験設備での先進FADECの研究

らつきや、使用年数による劣化などをモニタリングし、個々のエンジンに合わせた制御が行えることなどが必要になってきます。その様な制御が行えると、エンジンの性能を最適に保ちつつ寿命を延ばすことが可能になります。また、整備の効率化も図れ、コストダウンにも繋がってきます。

そこで、ターボファンエンジン試験設備に「ESPRエンジン[※]」を設置し、将来の制御系である「先進FADEC」の研究開発を進めています（図3）。

将来の国産エンジンの開発に貢献する

これまでの制御系の研究は、テレダイン社（アメリカ）製YJ-69エンジンを使用してきました。今回、設備の改修を行い、より高性能なエンジンであるESPRエンジンでの試験が可能になったことで、制御の研究をより一層実用化に近づけることができると考えています。

今後も、国産エンジンの開発へ貢献することを目指し、実機エンジンに搭載できる「先進FADEC」の構築を目指して研究を進めていきます。



今後はESPRエンジンを使って、実機エンジンに搭載できる「先進FADEC」の研究開発を進めていきます。

図3 ターボファンエンジン試験設備に設置されたESPRエンジン

※ ESPRエンジン：通産省（現経済産業省）/新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の国際プロジェクト「超音速輸送機用推進システムの研究開発（HYPR）」および「環境適合型次世代超音速推進システムの研究開発（ESPR）」で試作開発された研究用エンジン。石川島播磨重工業株式会社（現株式会社IHI）、川崎重工業株式会社、三菱重工業株式会社や航空宇宙技術研究所（現JAXA）などが参加し、日本のメーカーがエンジンの主要部の開発を行った。現在の大型旅客機に搭載されているエンジンと構造がほぼ同じ「ターボファンエンジン（P.7参照）」で、音速の3倍の速度（マッハ3）までの飛行を想定して設計・製作されている。



【航空エンジン技術開発センター】
システム総合試験セクション

（後列左より）仲田 靖、水野 拓哉、関根 静雄、杉山 七契、平野 好紀
（前列左より）田頭 剛、二村 尚夫、高 将治、土屋 雄毅

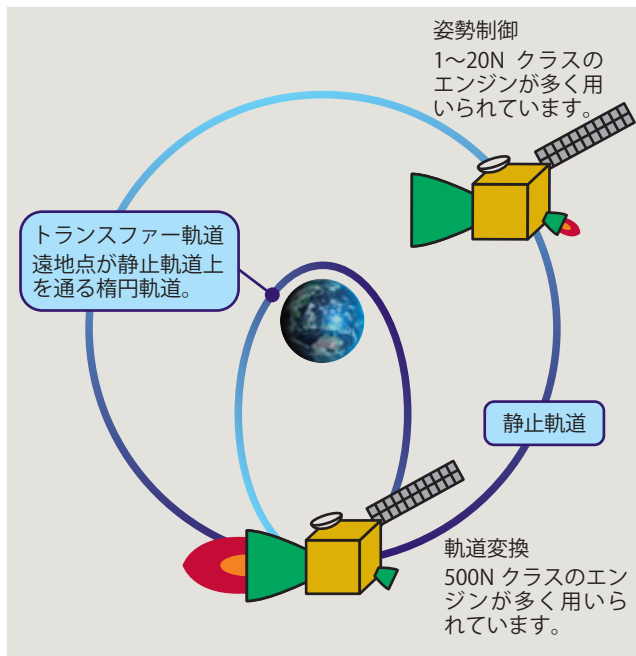
人工衛星を決まった位置に運ぶ、留める

人工衛星は働きによってエンジンを
使い分けている

人工衛星、特に高度36,000kmの静止軌道を周回する衛星や惑星探査を行う衛星などには、役割の異なる大小2種のエンジンが搭載されています。

例えば静止衛星の場合、ロケットで宇宙へ打ち上げられた時点ではまだ所定の軌道にいないため、自力で静止軌道に到達しなければなりません。そのため、大きな推力を出す軌道変換用エンジンを搭載しています。

静止軌道に到着できれば、もう大きな推力は必要ありません。しかし、太陽や月による重力などの外乱により徐々に軌道から逸れていってしまうため、小さな推力を出す姿勢制御用エンジン（スラスタ）も搭載しています（図1）。*1



静止衛星はまず、ロケットによってトランスファー軌道（遠地点が静止軌道上を通る楕円軌道）に打ち上げられます。その後、軌道変換用エンジンを使って静止軌道に到着します。静止軌道に到着した後も、様々な外乱によって軌道が逸れてきてしまうため、エンジン（スラスタ）による軌道修正が欠かせません。

図1 人工衛星のエンジンの役割

国産軌道変換用エンジンの成果

2007年9月に打ち上げられ、10月に月周回軌道へ到着した月探査衛星「かぐや」は、地球周回軌道から月へ向かう航路へ移る際と、月周回軌道へ入るために減速する際に推力500Nの軌道変換用エンジン（図2）を用いています。このエンジンは、衛星推進技術グループおよび株式会社アイ・エイチ・アイ・エアロスペース（IA）が開発したものです。機能および性能を十分に発揮し、無事かぐやを月へ届けてくれました。

さらに、2008年2月に打ち上げられた超高速インターネット衛星「きずな」には、かぐやの500Nエンジンで培った技術をもとに、更なる燃費の向上を図ったIA製のエンジンが搭載されています。このエンジンの性能は世界トップレベルであり、これまでにアメリカの衛星メーカーへ輸出され、JCSAT-9、10（日本）などの衛星に搭載され運用実績を重ねています。

JAXAでは着々と国産二液式スラスタの
開発を進めている

「かぐや」および「きずな」に搭載されている軌道変換用エンジンは、「ヒドラジン」と「MON3^{*2}」を推進薬とする二液式エンジンシステムです。^{*3}ヒドラジンとMON3は接触すると自然に着火するため特別な点火装置を必要とせず、供給を停止すれば燃焼を中断できるため繰り返しの使用が可能なおうえに、燃費が良いという特徴があります。そのため、人工衛星の軌道変換用エンジンとして広く使われています。衛星推進技術グループでは、軌道変換用エンジンの開発と並行して、推力22Nスラスタの開発も進めてきました（図3）。このスラスタは、Optus-D1（オーストラリア）やTelkom-2（インドネシア）といった衛星に搭載され運用実績を重ねています。

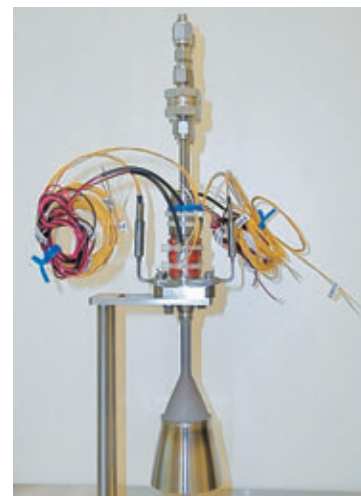
衛星の姿勢制御は、スラスタをパルス噴射し発生推力をコントロールすることにより行われます。そ



のため、スラストには数十ミリ秒から数千秒という広い範囲の噴射時間で安定に作動することが求められます。近年の衛星の軽量化・姿勢制御精度向上の要求から、より小推力でかつ作動範囲の広いスラストが必要になっています。そこで、この課題を解決すべく、新たに10～20Nクラスのスラストの研究開発を進めています。

衛星推進技術グループでは、様々な種類の衛星用エンジンを開発することで、人工衛星の高性能化に貢献しています。

- ※ 1 スラストは静止衛星に限らず、ほぼ全ての実用衛星に搭載されています。
- ※ 2 MON3 (モンスリー): 四酸化二窒素に酸化窒素を3%混ぜ合わせたもの。
- ※ 3 人工衛星のスラストには二液式の他に、触媒を利用する一液式や、電気力を利用する電気推進式があります (P.7参照)。



(写真: 株式会社 IHI エアロスペース提供)

図3 ヒドラジンおよびMON3を推進薬とする二液式22Nスラスト



【衛星推進技術グループ】

(後列左より) 村山 眞悟、増田 井出夫、梶原 堅一、香河 英史、櫛木 賢一、長田 泰一
(前列左より) 草間 光治、後藤 大亮

設備紹介

ターボファンエンジン試験設備

今回紹介する「ターボファンエンジン試験設備」は、地上静止条件にてターボファンエンジン（P.7参照）の試験を行うための設備です。1976年に建設され、我が国初の高バイパス比ターボファンエンジン「FJR710」の開発を始めとする様々なエンジンの研究開発で活躍してきました。今回、今後のエンジン開発を見据え、設備の大幅な改修を行いました（図）。

2008年1月に改修工事の領収試験を終え、2008年度からはESPRエンジンを使用した先進FADECの技術実証試験を行っていく予定です（P.2参照）。今後は、この設備により、JAXAが進める「クリーンエンジン技術の研究開発」プロジェクトにて、開発した技術を

実証する際に必要となる実機運転を行います。

また、経済産業省/新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が中心となって進めている「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発（エコエンジンプロジェクト）」の商用国産エンジン実証機の運転試験も可能となるため、本設備を十二分に活用してエコエンジンプロジェクトの成功にも貢献していく考えです。

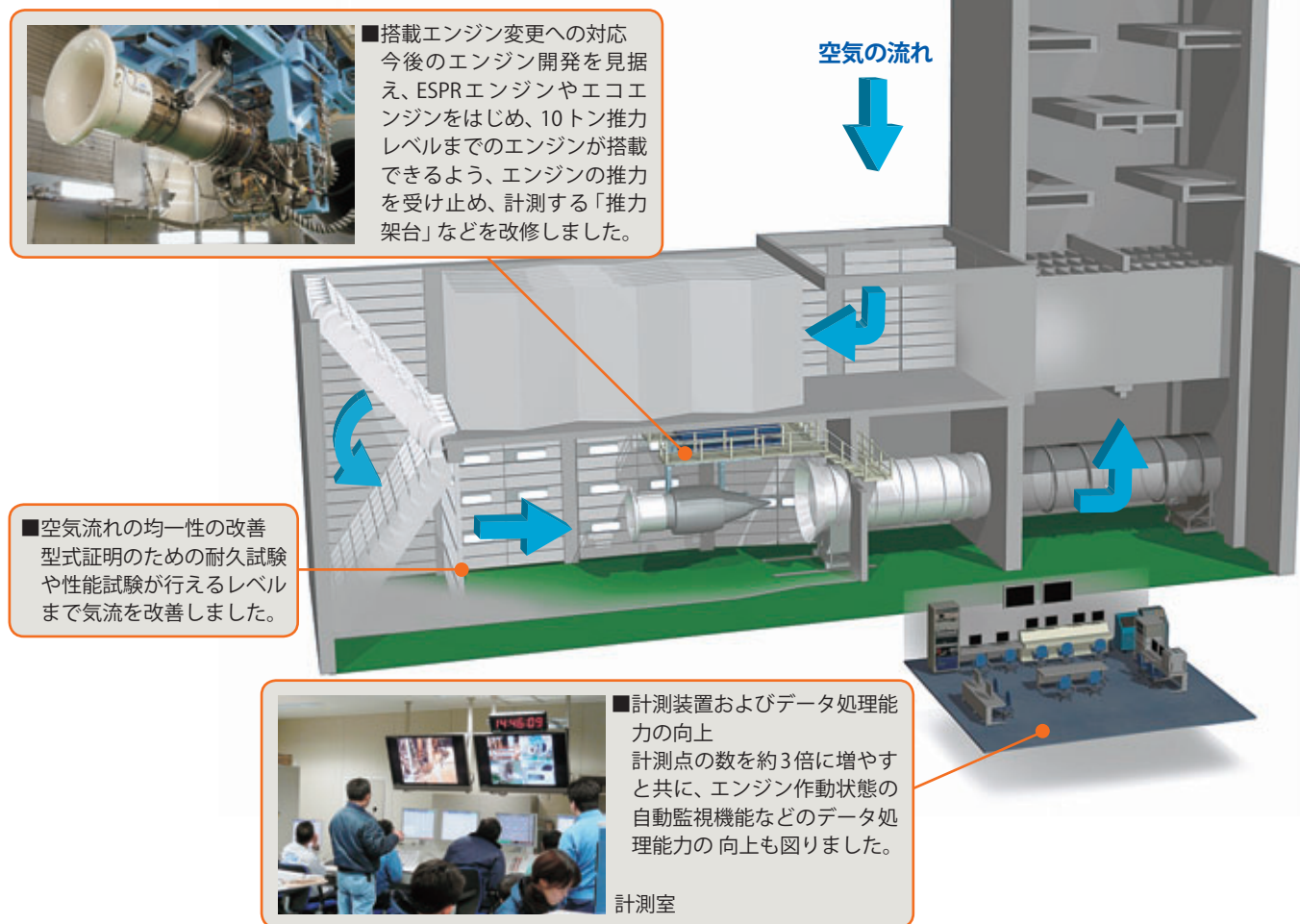


図 ターボファンエンジン試験設備の主な改修点

「飛行機のエンジン」と「人工衛星のエンジン」

大空を飛び交う飛行機と、宇宙空間まで飛んで行くロケットや人工衛星などの宇宙機、その姿形や働く環境は大きく異なりますが、前に進むための力（推力）を得る原理は同じです。

ゴム風船を大きく膨らませて手を離すと、風船は空気を吹き出しながら飛んでいきます。この時風船を動かしているのは、空気を吹き出した時の反動により得られる力です（図1）。飛行機や宇宙機が飛ぶ時の原理もこれと同じです。

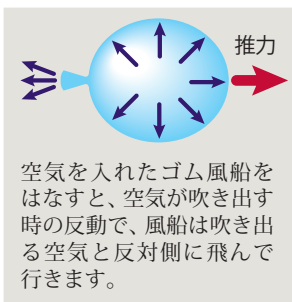


図1 飛ぶ原理

■ 飛行機のエンジン

飛行機のエンジンとして広く使われているのは、ジェットエンジンです。ジェットエンジンは、空気を取り入れる「インテーク」、取り入れた空気を羽根車で圧縮する「圧縮機」、圧縮した空気に燃料を混合して燃焼を行う「燃焼器」、燃焼により膨張した空気のエネルギーを利用して圧縮機を駆動する「タービン」、膨張した空気を勢い良く排出する「ノズル」からなります。

エンジンが排出するガス（ジェット）の速度と飛行機の飛ぶ速度が等しい時、エンジンの効率は最も高くなります。効率が高いとは、たくさんの乗客や荷物を少ない燃料で遠くまで運ぶことができるということです。一般的な旅客機は音速の80～90%（マッハ0.8～0.9）で飛行していますが、ジェットの速度は音速を超えるため、旅客機にそのまま搭載するのは効率的ではありません。そこで、エンジンの前方に「ファン」と呼ばれ

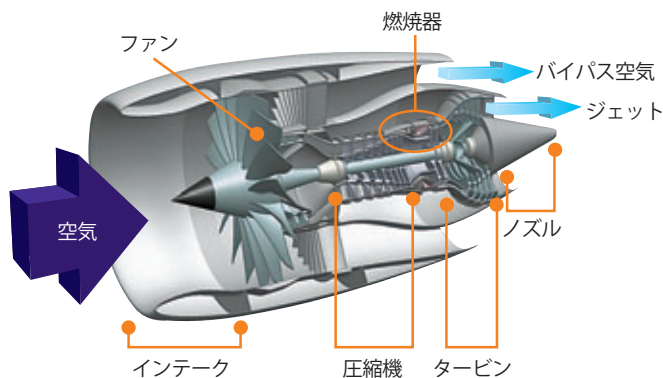


図2 ターボファンエンジン

る大きな羽根車を付け、大半の空気をエンジンの側面を通してバイパスさせ、最後にジェットと混ぜることで全体の排出速度を飛行速度に見合った速度まで落として効率を上げるターボファンエンジンが考案されました（図2）。現在の大型旅客機には、バイパスさせる空気流量の多い「高バイパスターボファンエンジン」が搭載されています。

■ 人工衛星のエンジン

宇宙空間は、大気などの物質がほとんど存在しない真空の空間です。そのため、空気抵抗は非常に小さく、特に軌道が高い場合には速度が変化することはほとんどありません。地球周回軌道上の人工衛星は重力によって絶えず地球へ落下しているため、必要な初速を与えてしまえば地球の周りを回り続けることができ、絶えずエンジンを働かせて推力を生み出す必要はありません（図3）。しかし、様々な外乱によりその軌道は少しずつ逸れてきてしまうため、状況に応じて軌道を修正する必要があります。

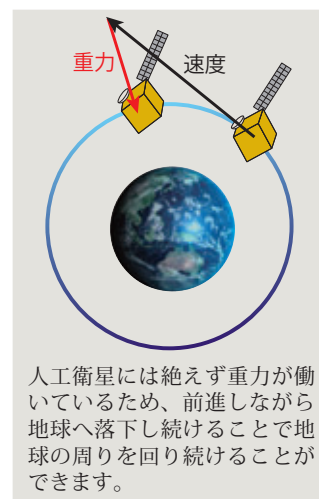


図3 地球周回軌道上の人工衛星の運動

軌道を修正するためのエンジン（スラスター）には、「一液式スラスター」

「二液式スラスター」「電気推進系スラスター」などがあります。一液式スラスターは、触媒を使って推進薬をガス化し、そのガスをノズルから噴出することで推力を得ます。二液式スラスターは、2種類の推進薬を化学反応させることで燃焼を行い、膨張したガスをノズルから噴出することで推力を得ます。一液式スラスターよりも大きな推力を得ることが可能です。

上記ふたつの推進系が化学エネルギーを利用するのに対し、電気推進系スラスターは電気エネルギーを利用して推力を得ます。大きな推力の発生は得意ではないのですが、燃費が非常に良いという特徴があります。

空 宙 情 報

【開催案内】 一般公開

当本部では毎年、4月の科学技術週間に合わせて施設を公開しています。今年もたくさんの施設・設備を公開します。各種イベントも開催しておりますので、みなさまお誘い合わせのうえご来場ください。

詳細は、当本部のホームページ (<http://www.iat.jaxa.jp/>) にて紹介しています。ご不明な点などありましたら、各センターに直接お問い合わせください。

筑波宇宙センター

所在地：茨城県つくば市千現2-1-1

開催日時：4月19日(土) 10:00~16:00

キャッチフレーズ

「みんなの“きぼう” 宇宙で広がる世界の“きずな”」

【お問い合わせ先】

筑波宇宙センター 広報係 電話：029-868-5216・4281

航空宇宙技術研究センター

所在地：東京都調布市深大寺東町7-44-1

開催日時：4月20日(日) 10:00~16:00

【お問い合わせ先】

航空宇宙技術研究センター 広報 電話：0422-40-3960

旧航空宇宙技術研究所 松木 正勝 元科学研究官 ISABE Awardを受賞



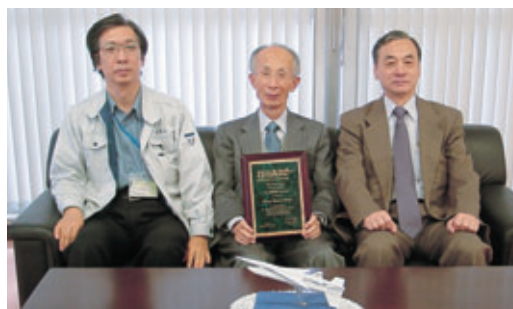
2007年9月に北京で開催されたエンジンの国際会議「第18回ISABE※1」にて、航空宇宙技術研究所(航技研、現JAXA) 原動機部長並びに科学研究官を歴任された松木正勝氏が、名誉あるISABE Award※2 2007を受賞されました。我が国で初めてのことです。

松木元研究官は、戦後の我が国ジェットエンジン研究開発の草分け的存在であり、航技研においてまずエンジン試験設備の整備を進め、第2代原動機部長と成られてからは、JR100シリーズの超小型ジェットエンジンの研究開発を進め、1971年から指導者として取り組まれた、我が国初の高バイパス比ファンジェットエンジンFJR710の研究開発を成功に導き、大きな成果を残されました。FJR710は、短距離離着陸実験機「飛鳥」に搭載されてその実用性を実証し、5,000台の受注に達した中型エンジンV2500の開発に繋がりました。このため、FJR710は我が国ジェットエンジン技術の母とも言えるもので、これを記念して日本機械遺産にも認定されています(『空と宙』No.20参照)。

今回の受賞は、松木元研究官を中心として航技研が研究開発して来た我が国のジェットエンジン技術が世界レベルであると認められたことを意味しており、我が国にとって大変大きな意義を持ちます。松木元研究官の偉業に敬意を表しますと共に、後進としてそれを発展させる使命を強く感ずる次第です。

(航空エンジン技術開発センター 柳 良二)

※1 ISABE：会員国持ち回り2年毎に開催される、国際的には唯一の航空エンジンの研究集会。国際空気吸い込み式エンジン協会が主催している。
※2 ISABE Award：エンジン科学技術貢献表彰。生涯を通して進めたジェットエンジンに関する研究が、広く世界のジェットエンジンの研究に寄与したと認められる者に贈られる。ジェットエンジンの発明者であるフランク・ホイットル卿も受賞した非常に権威のある賞。



(左より)
航空エンジン技術開発センター センター長 柳 良二
松木 正勝 元研究官、本部長 坂田 公夫