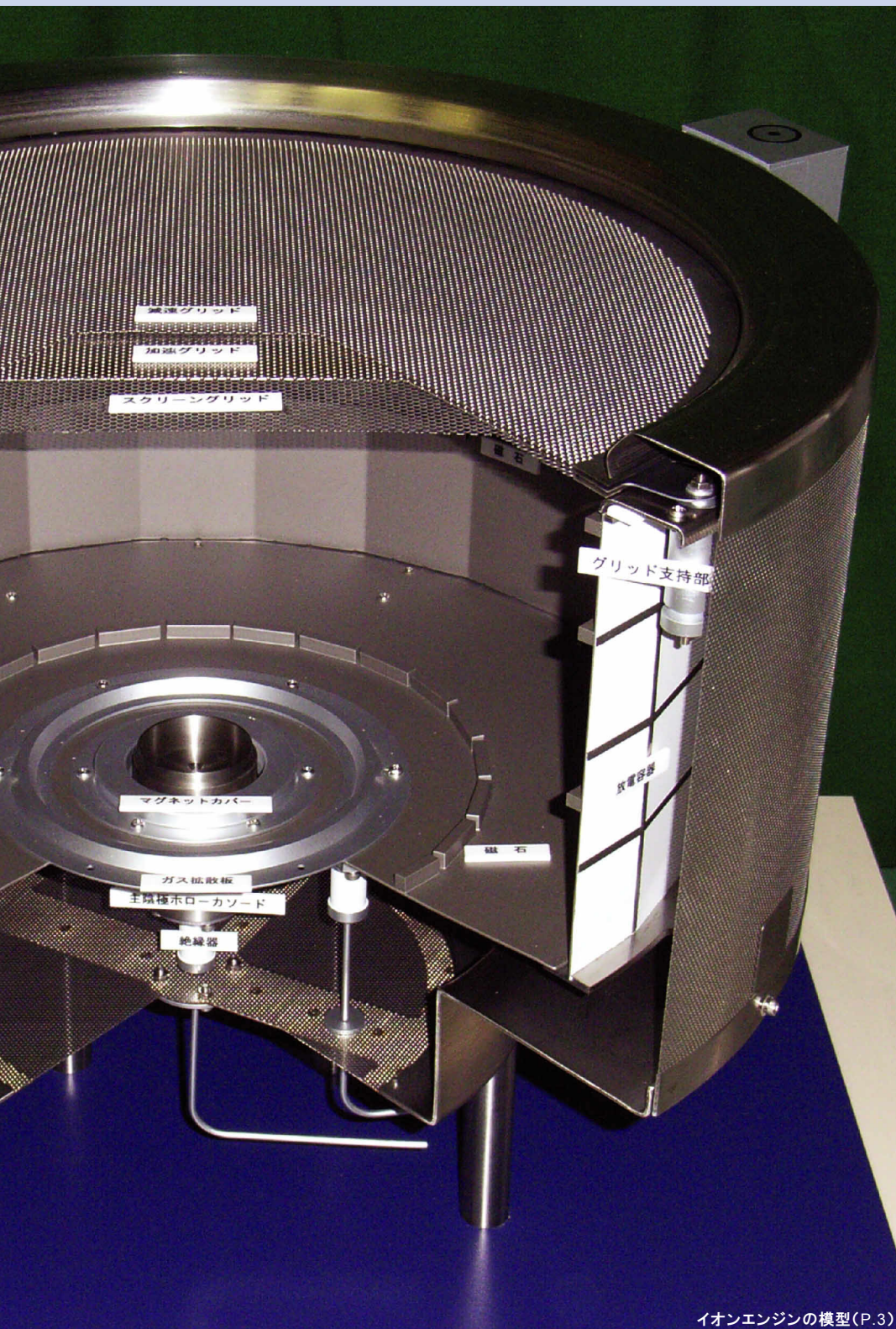


空と宙



2006 NOV./DEC.
隔月刊発行
EVERY OTHER MONTH
ISSN 1349-5577 No. 15



イオンエンジンの模型 (P.3)

研究紹介

信頼できる衛星推進システムの構築に向けて

効率よく宇宙をとり回る推進システム

設備紹介

インデューサ用キャビテーション試験設備

横路散歩

人工衛星の推進系

空宙情報

公開研究発表会

DLR-ONERA-JAXA会議

「そら」の技術を身近に感じて

そらとそら

総合技術研究本部

Institute of Aerospace Technology

<http://www.iat.jaxa.jp/>

15

信頼できる衛星推進システムの構築に向けて

20N級推薬弁の国産開発

宇宙用部品は信頼性が高いことが重要

地上にある自動車などと異なり、人工衛星はいったん宇宙空間に打ち上げられると、トラブルを起こした部品の修理・交換は不可能です。そのため宇宙用として使用される部品は、打ち上げ時の振動などに耐える能力とあわせて、少しのことでは故障しない高い信頼性が要求されます。

2001年度に調査を行い、人工衛星に対する不具合の多くは推進系(図1)で起きていることが分かりました。その中でも、推進薬を供給・制御する「推薬弁」は特に重要な役割を担っており、ここで不具合が起これば、人工衛星のミッション遂行に大きな打撃を与えてしまうことになります。

人工衛星で使用される弁類は、様々な衛星で共通

的に使われているため、一つの不具合が複数の人工衛星に影響を及ぼしてしまう恐れがあります。

また、不具合を起こした部品が海外からの輸入品の場合には、自由に修理作業することができないといった難点もあります。このような事態を避けるためにも、信頼性の高い宇宙用部品の国産開発が重要です。

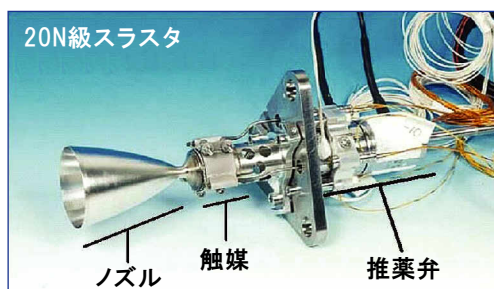
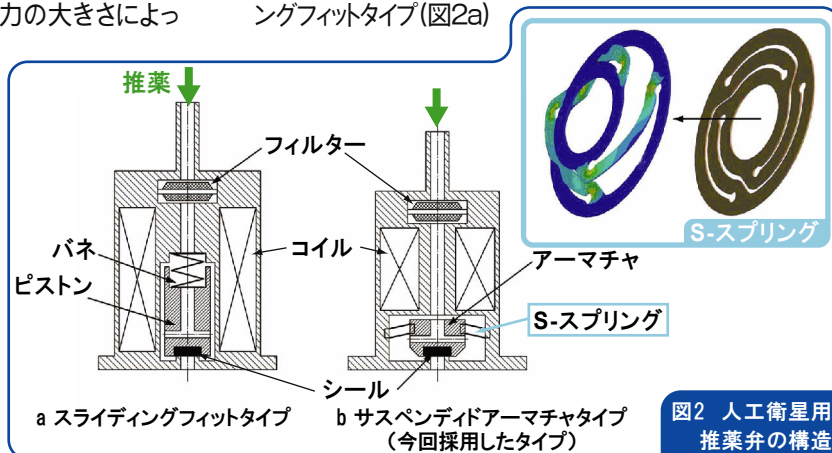


図1 人工衛星の推進系(20N級スラスタ)

20N級推薬弁の国産開発に着手

人工衛星の推進系の役割は、スラスタを噴射することで衛星の軌道を変えたり、姿勢や位置を安定させたりすることです。スラスタは発生する推力の大きさによっていくつかの種類に分けられますが、姿勢を制御するための小型スラスタに関しては、20N級の推薬弁以外は全て国産品でまかなうことができます。そこで、姿勢制御用小型スラスタを全て国内技術で構成可能とすることを目指し、2003年度より20N級推薬弁の開発に着手しています。

この推薬弁は電磁力によって開け閉めを行うソレノイドバルブで、現在の主流となっているのはスライディングフィットタイプ(図2a)





衛星推進技術グループ
 (後列左より)後藤大亮、長野寛、梶原堅一、
 香河英史、櫛木賢一
 (前列左より)草間光治、長田泰一、増田井出夫

と呼ばれる構造様式です。しかし、擦れ合う部分(摺動部)を有するため、推進薬という特殊な流体作動環境においては、摩擦抵抗の増加や摩耗ゴミの発生などにより、弁開閉機能を損なう可能性があります。開発を進めている国産20N級推進弁では、性能を大きく左右する摺動部を無くした、サスペンディドアーマチャタイプ(図2b)を採用することで、大幅な作動寿命の延長を図りました。カギとなる技術であるバネには、「S-スプリング」と呼ばれる特殊形状の板バネを組み

込みます。この軸方向には変形しますが、半径方向には変形しにくいS-スプリングの働きにより、側壁との摺動部がなくなるために作動が安定し、長寿命なバルブにできます。

また今回の開発では、日本の自動車部品開発で採用されているトラブル未然防止手法の導入、設計評価には数値解析を取り入れるなど、製品の信頼性をさらに高めるための試みも取り入れています。

2007年度の実用化を目指す

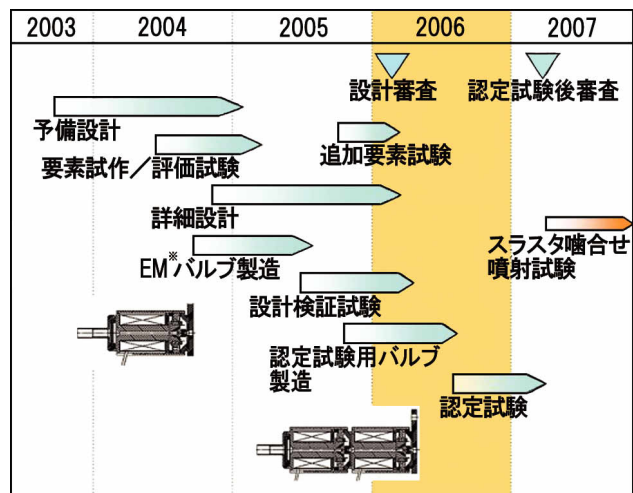
これまでに、日本ムーフ株式会社との協力で試作品を製作してきました(図3)。設計の検証を目的に行った作動寿命試験では、従来品の10倍である100万回の開閉作動を確認しました。技術的な課題はすでに全て克服しており、現在は認定試験のための準備を進めています。

実際に衛星に搭載する時には、推進弁を二つ直列に並べた形にします。これは、仮に推進弁が閉まらなくなるという不具合が起こってしまったとしても、推進薬の流出を止めることができるようにするためです。認定試



図3 試作品

験では、実機搭載製品と同様、この構成で試験を行います。2007年度には、スラストと組み合わせた噴射試験にて地上での総合検証を行った上で、実用化する計画です(図4)。(広報係)



※EM:エンジニアリングモデル(P.4 ※3参照)

図4 20N級推進弁開発スケジュール

効率よく宇宙をとび回る推進システム

大型イオンエンジンの開発

イオンエンジンで大推力を得たい

一般的に人工衛星は推進剤が尽きると推力が出せず、姿勢制御ができなくなり、その役割を終えます。推力は「単位時間に噴射する推進剤の質量と噴射速度の積」によって決まるので、噴射速度を上げれば同じ「力積(=推力×噴射時間)」を発生させるために必要な推進剤の量が少なくて済むことになります。従来の推進系では、その噴射速度は推進剤が持つ化学エネルギーの量によって決まります。イオンエンジンは電気エネルギーを利用し、この化学エネルギーで得られるより10倍以上速い噴射速度を可能にした推進系です。推進剤の量が同じであれば、従来の推進系より衛星の寿命を延ばすことができます。同じ力積

を発生させるのであれば推進剤を減らせるため、その分ペイロードを増やすことができます。この結果、宇宙利用のコストを大幅に下げることが可能となります。

この様に「燃費の良い」イオンエンジンですが、推力が小さいため、大推力を実現できれば衛星の位置保持などに限られていた活躍の場を広げることができます。そこで私たちは、近い将来の宇宙開発に必須の大推力、高効率のイオンエンジンを目指して研究を進め、すでに研究室レベルで実現しています。これを実際に宇宙で使用するためには、十分な信頼性を確保しなくてはならず、現在はそのために必要な技術の研究を行っています。

イオンエンジンの仕組みと実験方法

イオンエンジンは原理的に、①推進剤のガスからイオン※1を生成する「放電室」、②そのイオンを加速する「イオン加速系」、③中和電子を放出する「中和器」の三つの部分から構成されます(図1)。この中で特に性能を左右するのは②の「イオン加速系」です。スクリーン電極、加速電極と呼ばれる多数の孔が開いた2枚の電極で構成されており、この電極間に高い電圧を加えることによって孔を通るイオンを加速します。電極の厚みは1mm以下、間隔も同程度です。作動時は400℃近い高温となるため、常温からこの温度まで一定の間隔を保つ必要があります。

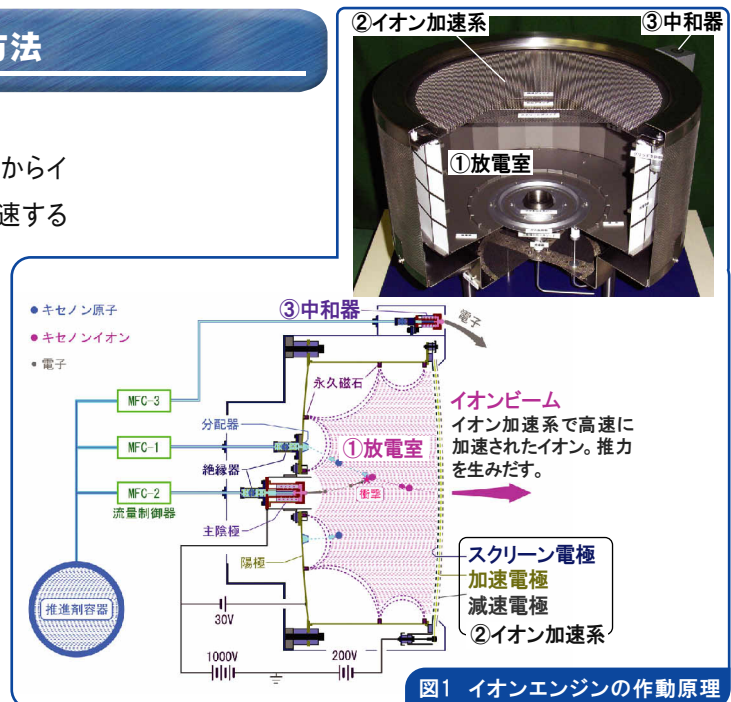


図1 イオンエンジンの作動原理



衛星推進技術グループ
(イオンエンジン担当)
(左より)北村正治、宮崎勝弘
大川恭志、吉田英樹

大きな推力を得るためにはエンジンの口径を大きくすることが有効ですが、エンジンが大型化するほど、電極間に電圧を加える電源にはその出力を高速遮断することが求められます。これは、高圧絶縁破壊※2で放出されるエネルギーを小さく抑えるためです。現在一般的に採用されている金属製では、大口径だと電極が熱変形し易いので工夫をしています。炭素製のものも研究されていますが、大口径のものでは高圧絶縁破壊による損傷の心配があるため、採用はまだ先になるでしょう。

イオンエンジンを宇宙空間で使用する前に、地上で試験を行う必要があります(図2)。イオンエンジンが大量の推進剤を放出するにもかかわらず、真

空槽内の圧力を宇宙空間のそれに近づけなくてはならないことから、私たちは極めて高い能力を有する排気システムを構築しました。さらに発生するイオンビームは高いエネルギーを持っているので、真空槽の壁を損傷します。そこで壁の原子がなるべくエンジンに付着しないような工夫をしています。

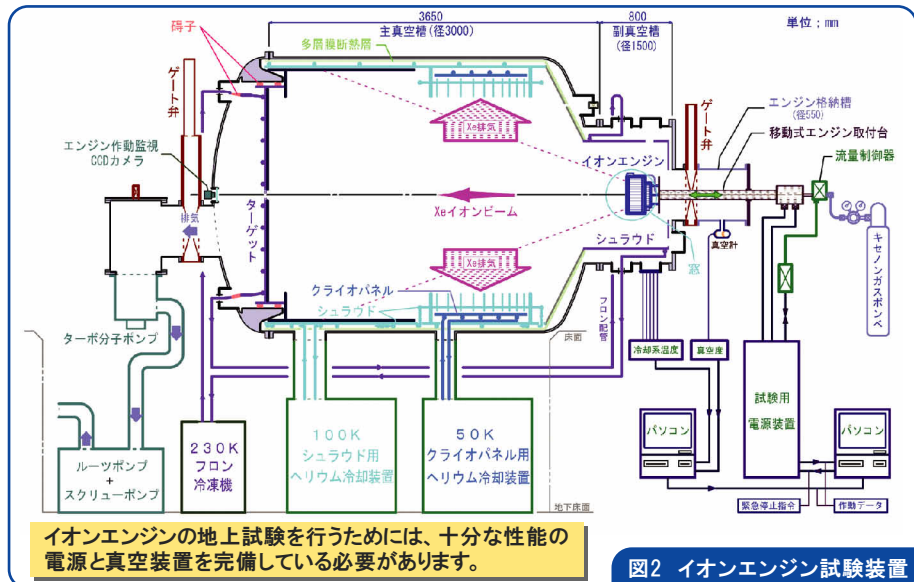


図2 イオンエンジン試験装置

まずはフライトモデル製作技術を

当面は長寿命化と高信頼性確保のための研究に重点を置いて研究を進める予定です。特に耐久試験は不可欠ですが長い時間を要するため、なるべく早くエンジニアリングモデル※3を製作してこれを開始する必要があります。並行して大推力のイオンエンジンの実現に必要な様々な技術を実証し、2010年までにフライトモデル※4を製作する技術を確立できるように尽力します。

(衛星推進技術グループ 早川幸男)

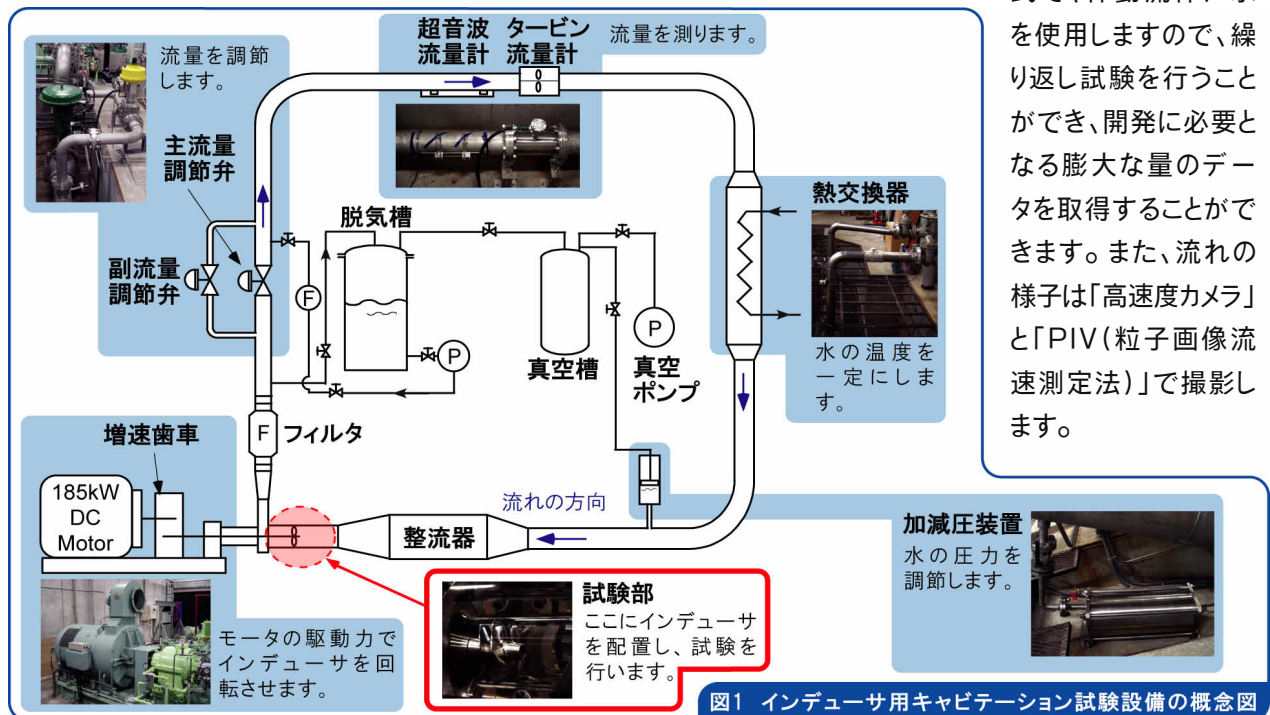
- ※1 原子や分子が電子をやり取り、プラス、もしくはマイナスの電気を帯びたもの。ここではプラスイオンのみを扱う。
- ※2 電極から発生するガスや電極上に付着した異物により、電極間の絶縁耐圧が印加電圧より低下したときに発生する放電。
- ※3 ロケットなどの宇宙機を開発する際には、何段階かに分けて試験用のモデルを製作し、各種試験を行って設計の妥当性を検証する。エンジニアリングモデルとは、基本設計に基づいて製作され、その機能や性能などを確認し、さらに先のモデルを設計するためのデータの取得を目的とするモデルのこと。
- ※4 実際に宇宙に打ち上げるモデル。

インデューサ用キャビテーション試験設備

「インデューサ用キャビテーション試験設備」とは、ターボポンプ方式液体ロケットの「インデューサ」と呼ばれる部品を試験するための設備です。ロケットの推進剤(燃料と酸化剤)はタンクに詰められており、

ターボポンプにより昇圧されて燃焼室に送られます。インデューサはターボポンプの手前に付いており、推進剤を燃焼室に送る手伝いをします。

図1は、設備の概念図です。この設備は循環方式で、作動流体に水を使用しますので、繰り返し試験を行うことができ、開発に必要となる膨大な量のデータを取得することができます。また、流れの様子は「高速度カメラ」と「PIV(粒子画像流速測定法)」で撮影します。



設備がつけられたのは1970(昭和45)年です。それ以来、日本が開発してきた全てのターボポンプ式液体ロケットの開発に携わってきました(図2)。

インデューサは、高速で回転し推進剤の圧力を

高めます。そのため、インデューサの周りに気泡(キャビテーション)が発生し、これが振動する「旋回キャビテーション」と呼ばれるターボポンプの性能を劣化させてしまう現象が起こります。1970年代半ばには、この旋回キャビテーションが気泡の伸縮で起こることを解明しました(図3)。

現在も、JAXAの基幹ロケットであるH-IIAをより安全で高性能に飛ばすため、試験を続けています。

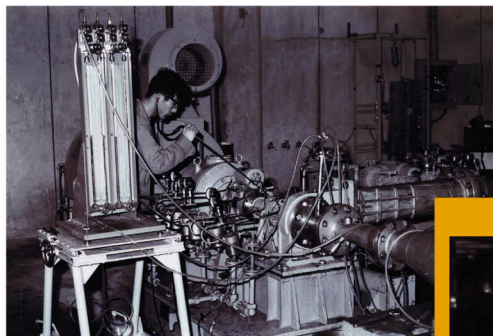


図2 1971年にはじめて試験を行った時の様子



図3 旋回キャビテーション発生の様子

人工衛星の推進系

天気予報や放送・通信、カーナビゲーションシステムなど、私たちは様々な場面で人工衛星の恩恵を受けています。人工衛星は「地球軌道」と呼ばれる地球を周回する宇宙空間を、自動車や飛行機のように終始エンジン(推進系)を働かせることなく移動しています。

宇宙空間はほぼ真空なので、一度速度を得た人工衛星は、空気抵抗などをほとんど受けずに一定の速度で地球から離れていきます。しかし、地球の重力に引っ張られて少しずつ地球の方へ落ちていくため、地球軌道を周回することができるのです(図1)。

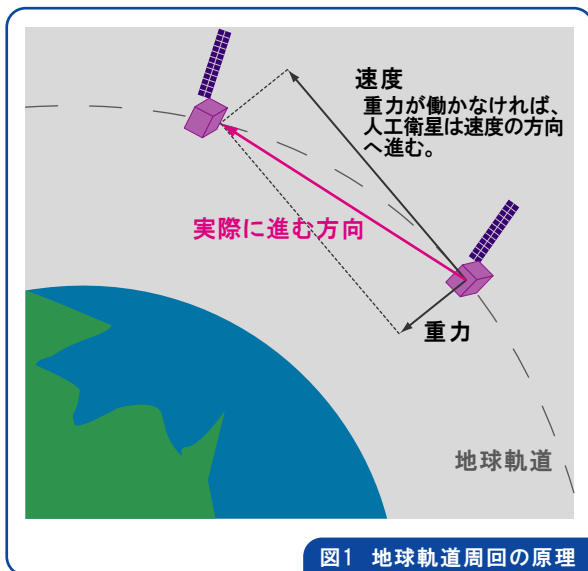


図1 地球軌道周回の原理

人工衛星が推進系を働かせるのは、予定の軌道に入る時や、姿勢や位置の制御などが必要になった時です。

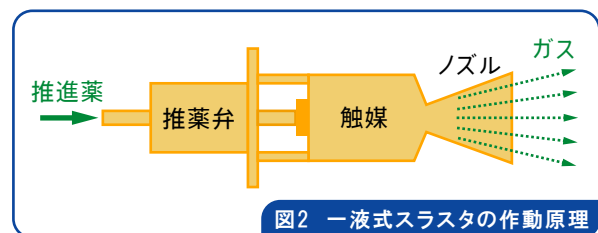
人工衛星の多くは、実用的な軌道である高度300~1000kmの「低軌道」と、36000kmの「静止軌道」を周回しています。静止軌道上の人工衛星(静止衛星)は、地上から見ると、いつも同じ位置に静止している様に見ることができます。静止衛星は、まず近地点200km、遠地点36000kmの楕

円軌道(トランスファー軌道)にロケットで打ち上げられます。次に、遠地点で推進系を噴射させることで静止軌道に入ることができます。低軌道、静止軌道ともに、初期の軌道に入ってから、誤差の修正や南北・東西の位置保持、姿勢制御などに推進系を利用します。

人工衛星の推進系には、一液式スラスタ、二液式スラスタ、電気推進系などの種類があります。

◆一液式スラスタ

推進薬を触媒を使ってガス化し、そのガスをノズルから噴出して推力を得る方法です。推薬弁(P.1参照)を開け閉めすることで推進薬の流量を調節します(図2)。



◆二液式スラスタ

液体ロケットエンジンと原理は同じです。酸化剤と燃料を燃焼室内に噴射して燃焼することで得られる高温・高圧のガスをノズルから噴射して推力を得る方法です。

◆電気推進系

上記二つの推進系が化学エネルギーを利用するのに対し、電気推進系では電気エネルギーを推力に変換します。P.3で紹介しているイオンエンジンは、電気推進系です。

参考文献

『トコトンやさしい宇宙ロケットの本』
 的川泰宣 日本工業新聞社
 『スペース・ガイド2002』 丸善

参考ホームページ

JAXA <http://www.jaxa.jp/>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 平成18年度 総合技術研究本部／航空プログラムグループ 公開研究発表会

開催報告

宇宙航空研究開発機構(JAXA) 総合技術研究本部および航空プログラムグループの日頃の研究成果を広く紹介するため、2006年10月11日に日本科学未来館(江東区)にて「平成18年度 総合技術研究本部／航空プログラムグループ 公開研究発表会」を開催しました。

我々の研究成果を発表すると共に、NEC 東芝スペースシステム(株) 独立技術評価室 技師長 市川憲二氏にご講演いただきました。研究者や技術者を中心に400名を超える来場者があり、盛況のうちに終了いたしました。

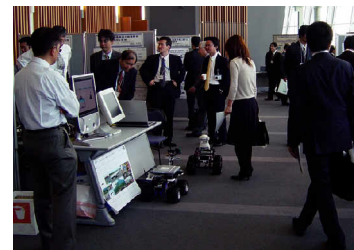
(広報係)



講演中の市川氏



たくさんの来場者にお越しいただきました



展示発表も行いました

DLR-ONERA-JAXA会議

開催報告

2006年9月21、22日に、JAXA航空宇宙技術研究センター(調布)において、「DLR-ONERA-JAXA 会議」を開催しました。これは、ドイツ航空宇宙センター(DLR)、フランス航空宇宙研究所(ONERA)およびJAXAの間で進められている共同研究の進捗状況を確認し、各共同研究テーマごとにその延長・終了などを議論する



会議の様子



当センター展示室視察の様子

会議で、今回は継続8件、終了3件、新規2件が了承されました。また、3機関の共同研究を一層推進するための議論も行い、分野ごとにコーディネータを指名し、技術的な情報交換を行い、新規提案を促進することも合意されました。

次回は2007年9月にドイツで開催することが決まり、同年6月のパリエアショーに合わせて技術的な会合の開催が提案されました。(プログラム推進室)