

# 3 衛星システムの開発

## 3 Development of Satellite System

### 3-1 衛星全体構成

#### 3-1 Overview of WINDS Satellite

佐藤哲夫 中村安雄 荒木恒彦

SATO Tetsuo, NAKAMURA Yasuo, and ARAKI Tsunehiko

#### 要旨

超高速インターネット衛星(WINDS: Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite)は、政府IT戦略本部の「重点計画—2006」における世界最高水準の高度情報通信ネットワークの形成にかかわる開発研究の一環として、日本全国及びアジア・太平洋地域の諸国と超高速通信の実現を目指し、JAXA 及び NICT が開発する超高速インターネット衛星を 2007 年度までに打ち上げ、2010 年度までに 1.2 Gbps の通信速度を可能とする技術を確認するという位置付けの下、将来の超高速衛星通信技術として先導性を有する主要技術の開発を行うとともに、静止衛星通信が持つ広域性、同報性及び耐災害性などの特徴を生かした実証実験を行う研究開発衛星である。現在、2007 年度冬期(平成 20 年 1、2 月期)の打ち上げに向け、衛星システムの地上試験を実施している。

JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency, and NICT, National Institute of Information and Communications Technology, are jointly proceeding with development of WINDS, Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite, as part of the e-Japan Priority Policy Program of the Japanese government's IT strategy headquarters. WINDS will be launched by H-IIA launch vehicle in the Japanese fiscal year 2007 to establish the world's most advanced information and telecommunications network.

#### 【キーワード】

超高速インターネット衛星, マルチビームアンテナ, マルチポートアンプ, ベースバンド交換部, 広域電子走査アンテナ

Wideband Internetworking Engineering Test and Demonstration Satellite (WINDS), Multi-Beam Antenna (MBA), Multi-Port Amplifier (MPA), ATM Baseband Switch subsystem (ABS), Active Phased Array Antenna (APAA)

#### 1 はじめに

WINDS は、静止衛星通信が持つ広域性、同報性及び耐災害性などの特徴を生かし、地上通信網との相互補完による地域格差のない高度情報通信ネットワーク社会の形成に貢献するために先導性を有する以下の技術について、開発・実証を行う研究開発衛星である。

- (1) 超高速固定衛星通信技術の開発・実証
  - 通信速度の超高速化に必要な技術
    - 家庭用を想定した 0.45 m 級アンテナで送信 1.5 Mbps 受信 155 Mbps
    - 企業向けを想定した 5 m 級アンテナで 1.2 Gbps
  - 通信カバレッジの広域化に必要な技術
    - アジア・太平洋地域の広域での超高速通信

- 利用分野の開拓に必要な通信網システムの整備
- (2) 超高速固定衛星通信ネットワーク機能の検証
  - 超高速通信ネットワークの検証及び利用実験実施の促進

WINDS で開発・実証する「通信速度の超高速化」と「通信カバレッジの広域化」にかかわる技術は、将来の超高速衛星通信技術の基板になるものとして期待されており、その技術的な位置付けは図1に示すとおりである。これらの特徴を生かし、「災害時等の主幹回線のバックアップ」「小型地球局による高速インターネットの実現(離島、山間

部等のデジタルデバイドの解消)」「自然災害時の罹災地域との迅速な高速通信回線確保」及び「多地点接続による受講者相互会話型の遠隔教育・多地点へのコンテンツ同時配信」等の利用実験が計画されている。

利用実験を実施するための通信網システムの構成を図2に示す。WINDS 衛星システムは、通信網システムを構成する地上実験システム、追跡管制システムとともに全体システムとして一体で開発している。通信網システムの開発は、JAXA と NICT が共同で実施しており、その開発分担は表1に示すとおりである。

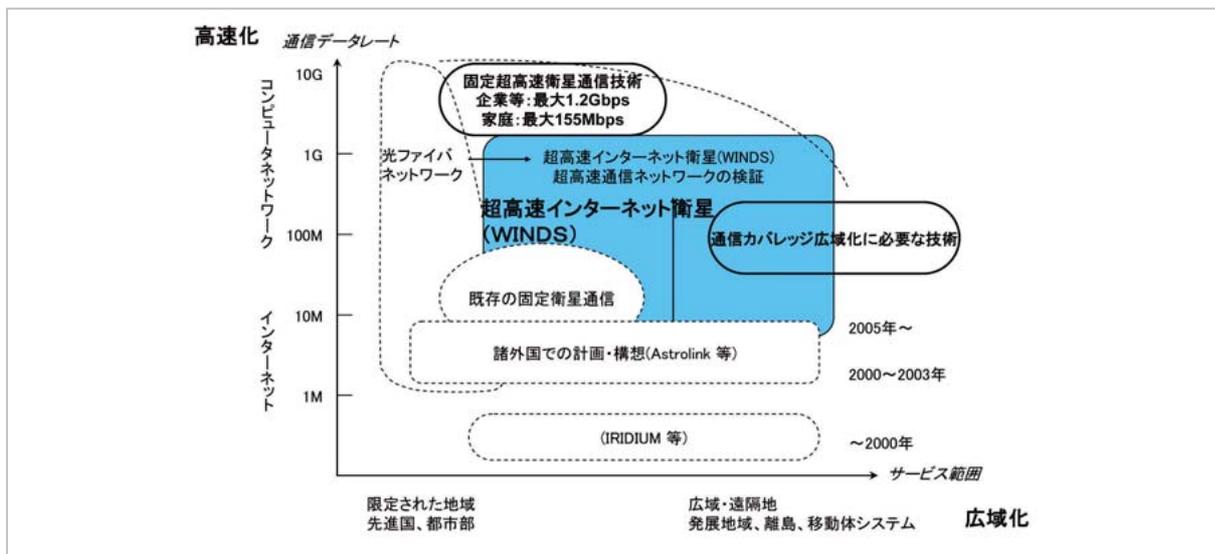


図1 WINDS ミッションの位置付け

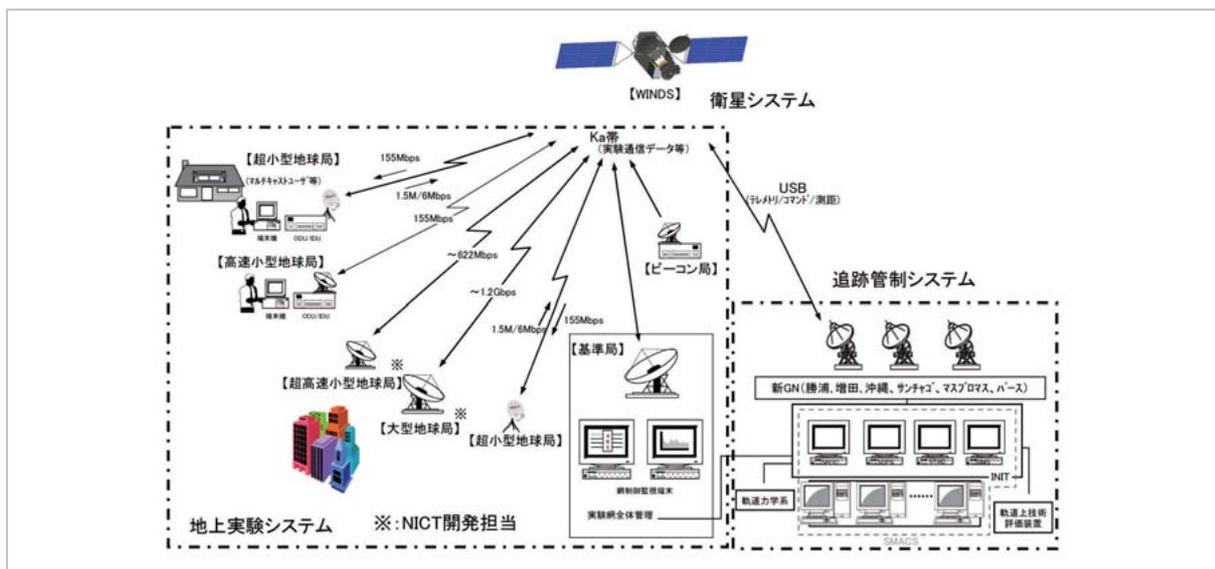


図2 WINDS 通信網システム

表1 WINDS 通信網実験システムの開発分担

作業項目	JAXA 側分担	NICT 側分担
通信網実験システム	①全体システムインテグレーション ②通信プロトコル開発	①全体システムインテグレーション支援 ②通信プロトコル開発支援
衛星システム	①衛星システムインテグレーション ②バス系開発 ③ミッションサブシステム開発 ・超高速アンテナ部 (MBA/MPA) ・広域電子走査アンテナ部 (APAA) ・I F 交換部 ・網情報送受信部 ・ミッション計装系	①ミッションサブシステム開発 ・ベースバンド交換部 (ABS)
地上実験システム	①基準局開発 ②ビーコン局開発 ③実験ユーザ局開発 ・高速小型地球局 (HDR-VSAT) ・超小型地球局 (USAT)	①実験ユーザ局開発 ・大型地球局 (LAP) ・超高速小型地球局 (SDR-VSAT)
追跡管制システム	追跡管制システム開発	N/A
打上げ／初期機能確認	①打上げ ②衛星運用、初期機能確認	①初期機能確認支援

## 2 衛星システム

WINDS の主要諸元を表 2 に、軌道上概念図及びシステム構成をそれぞれ図 3、図 4 に示す。

表2 WINDS の主要諸元

項目	仕様
打上げ	2007年度冬期(平成20年1、2月期) ロケット:H-II A2024 射場:種子島宇宙センター
設計寿命	5年(目標)
静止軌道位置	東経143度
形状	本体: 3 m × 2 m × 8 m パドル全幅: 21.5 m
質量	打上時: 4,850kg 静止軌道上初期: 約2700kg
発生電力	5,200W以上 (EOL夏至)
消費電力	8,000W(EOL夏至、アークジェット運用時) →パドル発電及びバッテリー放電による 4,000W(食運用時)
姿勢制御	ゼロモーメント三軸姿勢制御 精度: ±0.05deg(R/P)、±0.15deg(Y)
推進系	4N/20N/アークジェットスラスタ: 一液式(N2H4) 450N アホジキックモータ: 二液式(N2H4, MON3)
ミッション	Ka帯*固定ビーム: 国内9ビーム/海外10ビーム Ka帯*電子走査ビーム: 2ビーム *: 27.5~28.6GHz(上り)/17.7~18.8GHz(下り)

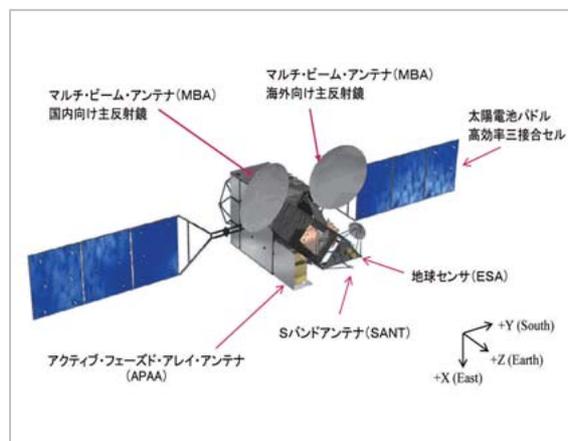


図3 WINDS 軌道上外観図

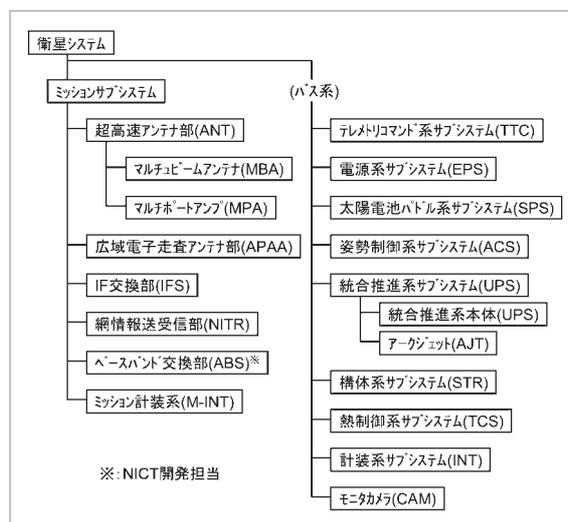


図4 WINDS システム構成

WINDSの開発に当たっては、開発期間が非常に厳しいことを踏まえ、新規に開発する機器はミッション達成に必要な最小限の機器に絞り込むことで開発リスクの最小化を図った。WINDSで新規に開発した機器は以下のとおりである。

- Ka帯高出力マルチビームアンテナ(MBA)／マルチポートアンプ(MPA)

- 地域別降雨補償機能付き Ka帯高出力アンテナ技術
- Ka帯広域電子走査アンテナ(APAA)
- 広域かつ任意地点への自在な照射が電子的に可能なビーム制御技術
- ベースバンド交換部(ABS)
- オンボード高速回線接続技術

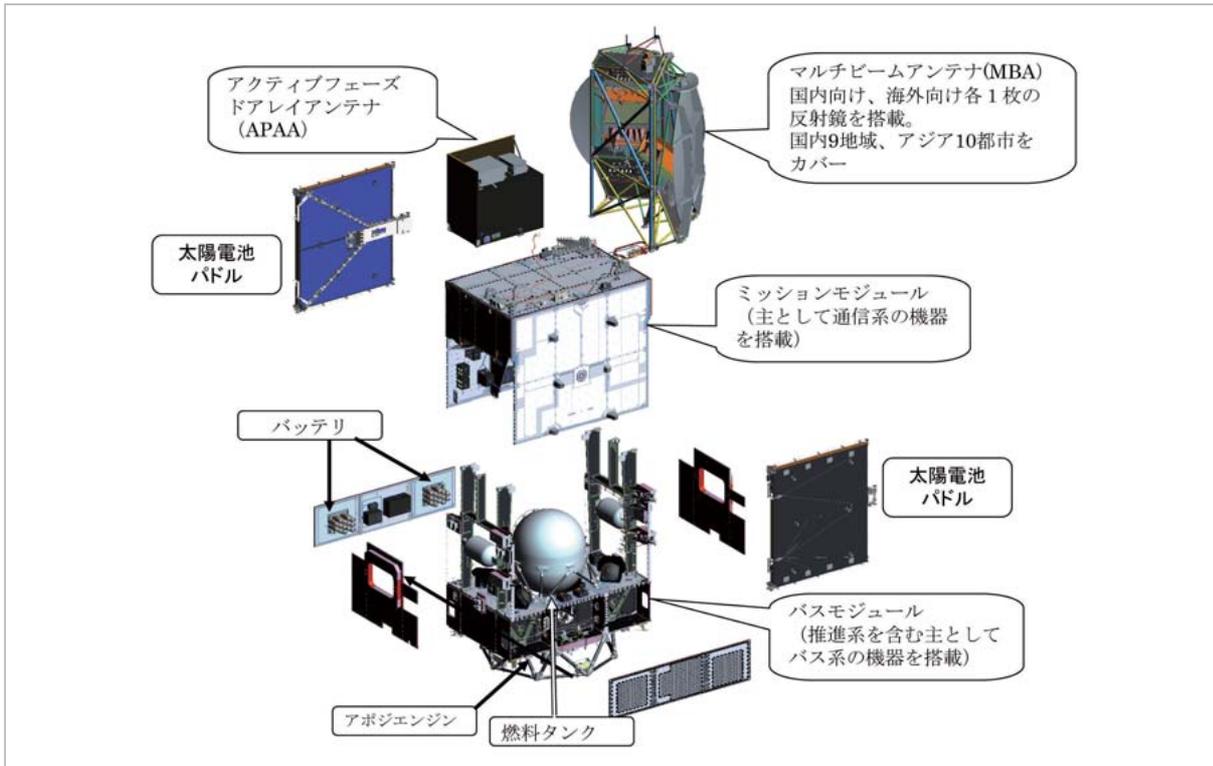


図5 WINDSの構造

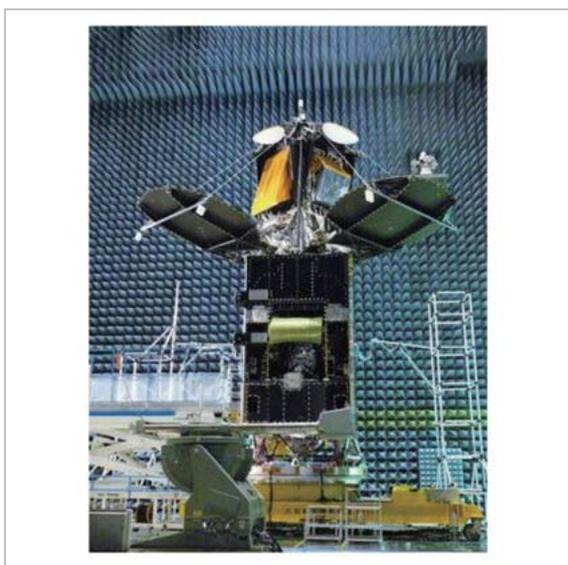


図6 RF放射試験セットアップ

図7 WINDS 開発スケジュール

小項目	FY15	FY16	FY17	FY18	FY19
WINDSの開発	地上試験用モデルの製作試験	PFMの製作試験			射場作業
地上実験システムの開発	試作試験	製作・試験			
追跡管制システムの開発		開発・試験			追跡管制隊の編成・運用
打上げ		打上げサービスの調達			打上げ
実験運用		パイロット実験の実施			
			基本実験の準備		
			利用実験準備の支援		

図7 WINDS 開発スケジュール

これらの新規開発機器を含む WINDS 搭載機器の配置を図 5 に示す。WINDS では、ミッション機器とバス機器を別の構体モジュールに搭載(同一機能・系統機器を同一領域内に配置)することにより、衛星組立て及びシステム試験時における作業性の向上を図っている。

現在、WINDS のフライト実機はシステムとしての組立てが完了し、平成 19 年 1 月から筑波宇宙センターにおいて衛星システムの地上試験を開始、同年 10 月ごろに終了予定である。フライト実機の試験コンフィギュレーション例として、システム RF 放射試験時のセットアップ状況を示す(図 6 参照)。また、WINDS の開発スケジュールを図 7 に示す。

### 3 バスシステム

WINDS バスシステムは、JAXA 既存衛星の技術をベースに、USB/CCSDS 対応の通信方式・1553 B データバスを採用するテレメトリコマンド系、50 V 安定化シングルバス方式の電源系、高出力太陽電池パドル系等の特徴を有する。WINDS バスシステムの機能系統図を図 8 に示す。

### 3.1 テレメトリ・コマンド系(TTC)

テレメトリコマンドサブシステム系(TTC)は、SバンドアンテナからSバンド送受信機までのRF機能を担うRF部と、ベースバンドでのデータ処理を担うDH部から構成される。TTC系はCCSDS勧告に準拠したパッケージベースのインタフェース方式で、統合化衛星データバス方式を採用している。TTC系の主要機能を以下に示す。

- コマンド信号受信・分配制御機能
- テレメトリ収集・編集処理機能
- 軽負荷モード機能
- 衛星時刻管理・配信機能
- 測距信号中継機能
- バッテリ制御機能

RF部及びDH部ともDRTS、ALOS、SELENE等で開発実績のある機器を採用しているが、WINDSでは、バッテリーの下限電圧制御、過温度制御等のバッテリー制御機能の一部をDH部のソフトウェア機能の一部として新規に付加している。

### 3.2 電源系(EPS)

電源系(EPS)は、50V安定化シングルバス方式を採用している。日照時は太陽電池パドルから、日陰時はバッテリーからの電力を50Vの安定化電

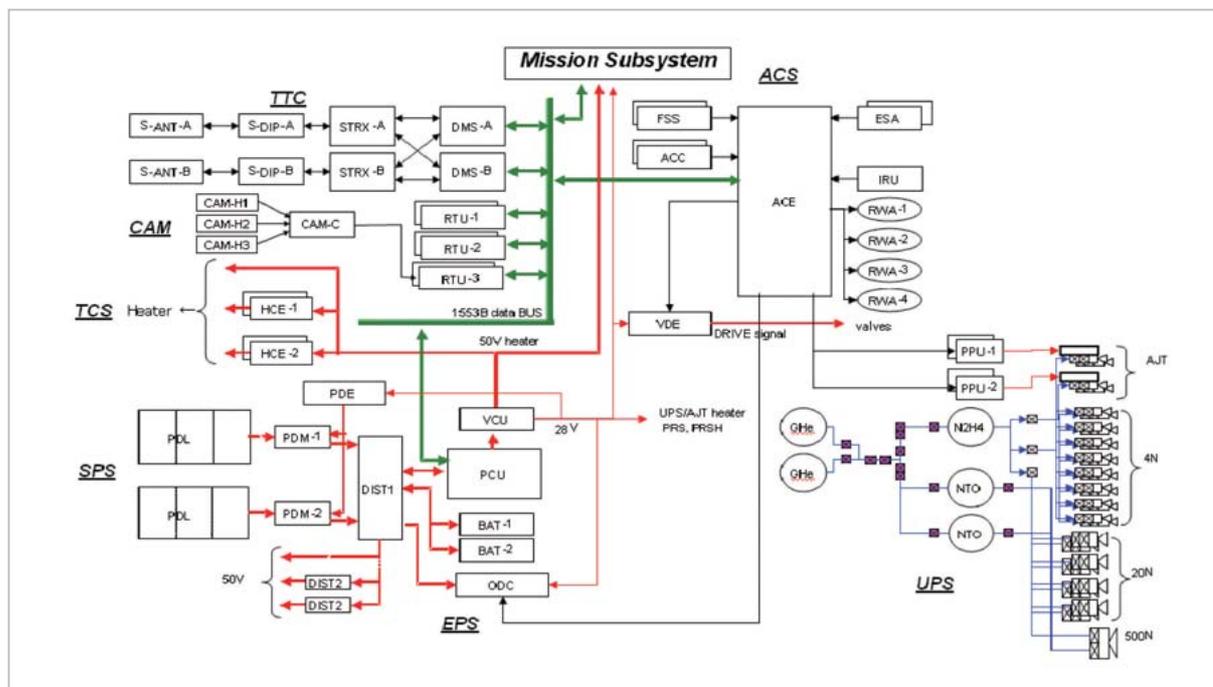


図8 WINDS バスシステム系統図

源に変換し、搭載機器に供給する。ただし、DC アークジェットスラスタを使用する南北軌道制御時においては、供給電力が太陽電池パドルによる発生電力だけでは不足するため、不足分はバッテリー電力で補うようにしている。バッテリーとしてニッケル水素バッテリー(97 AH)を2台搭載している。EPS系の主要機能を以下に示す。

- 電力供給機能
- 電力蓄積機能
- 火工品点火電力制御機能

EPS系の設計においては、短絡事故による電力供給系の全損を回避するために、電源系バスの単一故障点に対する対策を電氣的観点に加え、熱・構造、実装上の観点からも検討し、信頼性向上を図っている。

### 3.3 太陽電池パドル系(SPS)

太陽電池パドル系(SPS)は、太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換し、衛星に電力を供給するサブシステムである。SPSは2翼で5.2kW以上(EOL夏至)の発生電力を有するリジッドタイプの太陽電池パドルである。太陽電池パドルの外観(写真)を図9に示す。また、SPS系の主要機能を以下に示す。

- 電力発生・供給
- 太陽電池パドル保持・開放
- 太陽電池パドル駆動機能

SPS系の主要機器である太陽電池パドルは、高効率の国産3接合太陽電池セル(電力変換効率:27%(公称))を採用した高出力太陽電池パドルである。1翼当たり9.8m×2.3mの大きさで、3接

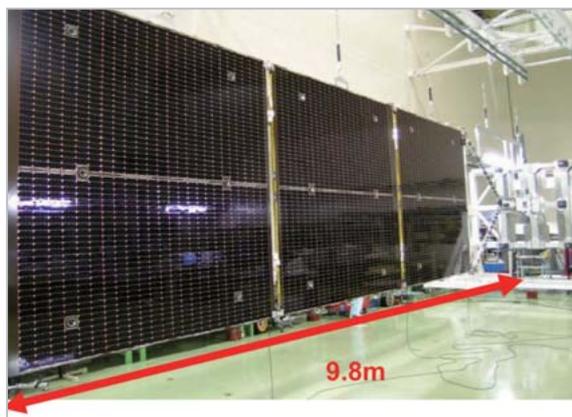


図9 フライト用太陽電池パドル(PFM)

合セルの採用により軽量化を図ることができた。太陽電池パドルの開発においては、新規の3接合セルと太陽電池パネルの組合せによる熱構造上の特性を十分評価し、設計に反映した。

### 3.4 姿勢制御系(ACS)

姿勢制御系(ACS)は、リアクションホイールアッセンブリ(RWA)、地球センサ(ESA)、太陽センサ(FSS)、慣性基準装置(IRU)、姿勢制御電子回路(ACE)及び姿勢制御フライトソフトウェアで構成される。ACS系の主要機能を以下に示す。

- 初期捕捉機能  
衛星分離後、初期捕捉シーケンスとして、ACS系コンポーネントの自動構成、パドル展開信号送出、太陽捕捉を自動で実施
- トランスファ軌道上姿勢制御  
太陽指向クルージング制御を実施
- アポジエンジン噴射(AEF)時姿勢制御  
AEF時のシーケンスとして、AEFフェーズ三軸姿勢制御、ジャイロドリフトキャリブレーション、AEF姿勢設定、アレジセトリング、AEF制御(三軸制御)を実施
- ドリフト/静止軌道時姿勢及び軌道制御  
定常時の制御として、ホイール制御、アンローディング、東西軌道制御(4Nスラスタ制御)、南北軌道制御(アークジェットスラスタ制御)を実施
- パドル駆動制御
- 推進系コンポーネント制御(バルブ開閉)

ACS系は、質量・消費電力・開発スケジュール等の観点から、OICETS/ISAS科学衛星ベースのACE(16bit MPUを2台搭載、待機冗長構成)を採用している。また、定常時外乱解析結果を踏まえ、18Nms級のRWA(4スキュー配置)を採用している。

### 3.5 統合型推進系(UPS)

統合型推進系(UPS)は、四酸化二窒素(NTO)を酸化剤、ヒドラジン(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)を燃料とした2液式アポジキックモータ(AKE)とN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を推進薬とした1液式スラスタ(20Nスラスタ、4Nスラスタ、DCアークジェットスラスタ)を合わせ持ったデュアルモード—調圧・ブローダウン方式の推進系である。推進系システム燃焼試験(EM)の状

況を図 10 に示す。また、UPS 系の主要機能を以下に示す。

- 静止軌道投入推力発生
  - －アレジセトリング
  - －ドリフト軌道投入推力発生
  - －AEF 中の三軸姿勢制御
- 静止軌道上制御トルク・推力発生機能
  - －静止軌道上制御トルク発生
  - －東西軌道制御推力発生
  - －南北軌道制御推力発生
  - －ホイールアンローディング
  - －軌道離脱時推力発生
- 推進薬枯渇検知機能
  - －AEF 末期の推進薬枯渇検知
- 推進薬排出機能
  - －酸化剤排出機能 (AEF 終了後の酸化剤排出)
  - －燃料排出機能 (停波時のヒドラジン排出)

南北軌道制御用スラスタについては、イオンエンジンを構成する機器の一部が製造中止となったことを踏まえ、DRTS で実績のある DC アーク

ジェットスラスタを採用した。この結果、衛星システムの質量が増加したが、質量配分の見直しを図り、システム全体として整合性を図った。

### 3.6 構体系 (STR)

構体系 (STR) は、COMETS、SELENE 等で実績のあるパネル支持方式を採用しており、二つの構体モジュール (ミッション部構体モジュールとバス部構体モジュール) とそれらを締結する緊締具類から構成される。衛星構体をモジュール化することにより、衛星組立てやシステム試験時における作業性の向上を図っている。STR の外形を図 11 に示す。また、STR の主要機能を以下に示す。

- MBA、APAA、太陽電池パドル、推進系等を含む他サブシステムのすべての機器を支持又は収納
- 地上・打上げ時・軌道上のミッション期間を通じて、衛星に加えられる環境下で、各搭載機器の環境条件を所定の範囲に維持

### 3.7 熱制御系 (TCS)

熱制御系 (TCS) は、OSR (Optical Solar Reflector)、MLI (Multilayer Insulator) 等による受動型熱制御とヒータ、ヒートパイプ等による能動型熱制御の併用方式を採用しており、以下の機能を有する。

- 打上げから軌道上ミッション終了までのすべての運用段階及び運用モードにおいて、衛星及び搭載機器を許容温度範囲に維持するための熱制御機能 (機器側で独立して熱制御を行う APAA、MBA、太陽電池パドル等を除く。)

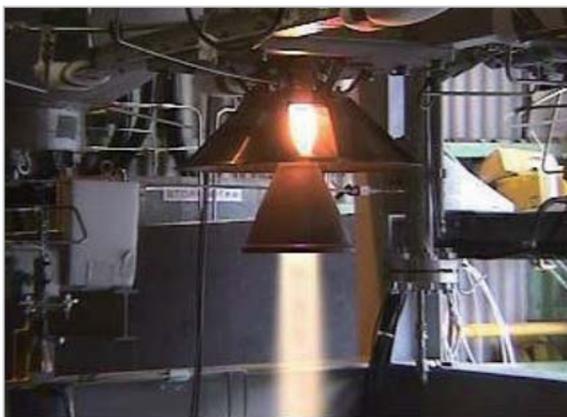


図 10 推進系システム燃焼試験 (EM)

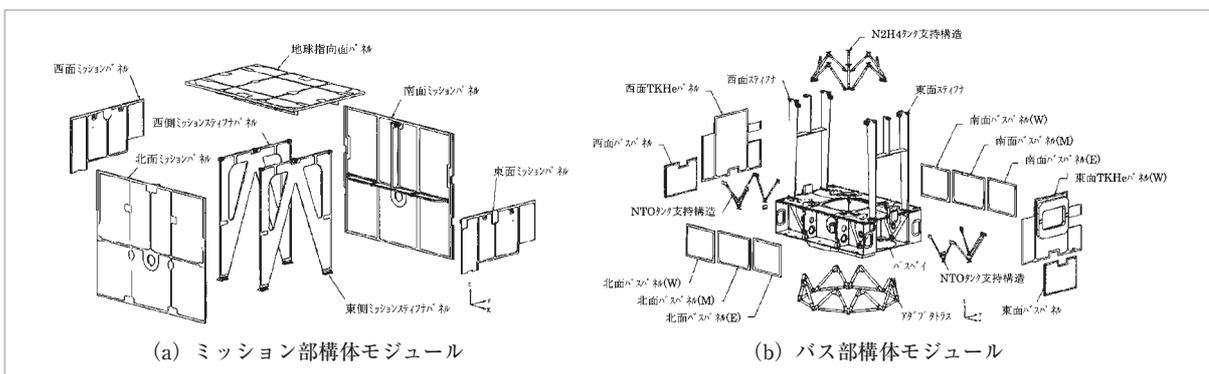


図 11 STR 分解図

- バッテリー、地球センサ、配管及びDC アークジェットスラスタ推薬弁を許容温度範囲に維持するための熱制御装置によるヒータ制御機能

### 3.8 モニタカメラ(CAM)

WINDS では、太陽電池パドル及び MBA 主反射鏡の展開状況を静止カラー画像でも確認できるよう 3 台のモニタカメラを搭載している。撮像した画像データは、圧縮後、TTC 経由で地上に送信される。図 12 に CAM の搭載位置を示す。

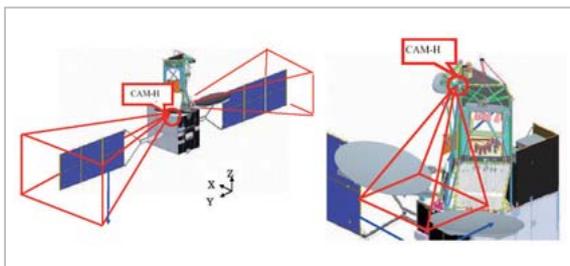


図12 モニタカメラ搭載位置

## 4 WINDS ミッションシステム

WINDS ミッションシステムは、新規開発品の MBA、MPA、ABS、APAA のほか、IFS 交換部 (IFS) 及び網情報送受信部 (NITR) で構成される。ミッションシステムについては、本稿に続く他の論文で説明することとする。

## 5 まとめ

本稿では WINDS 衛星システムの全体構成について述べた。現在、WINDS は開発の最終段階にあり、衛星システムの地上試験終了後、種子島宇宙センターに輸送され、平成 20 年 1、2 月期の打上げを迎える。



佐藤哲夫

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム



中村安雄

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチームプロジェクトマネジャー

荒木恒彦

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチームサブマネージャー