

# 衛星運用を支える地上システム

吉川 志郎

## 要旨

衛星がミッションを達成するためには、衛星の状態を監視してミッション達成のための制御を行う衛星管制機能、及び衛星が取得した種々のデータを受信する機能などから構成される地上システムの整備が必要です。NECでは、これらの機能のパッケージ化によるシステム標準化を行うとともに、最新の技術動向に対応した要素技術開発を行い、国際競争力のある地上システムの開発を目指しています。

## キーワード

- 衛星運用 ●地上システム ●衛星管制 ●衛星追跡管制
- データ受信 ●軌道決定 ●高精度軌道決定

## 1. はじめに

衛星がミッションを果たすために、衛星の管制、衛星が取得したデータの受信など、衛星を運用するための地上側のシステムが必要になります。

NECは、衛星運用地上システムの分野で国内トップシェアを有し、無線送受信機器から運用ソフトウェアまでの開発とシステムインテグレーション、及び運用と保守までのシステムライフサイクルにわたる幅広い領域で活躍しています。

本稿では、これらの地上システムの概要や地上システムパッケージ化の取り組み、衛星運用関連技術の動向と開発状況を紹介します。

## 2. 衛星運用地上システムの概要

衛星運用地上システムは、衛星の状態監視とミッション遂行のための制御を行う衛星管制機能、衛星の取得したミッションデータを受信して処理機能部へ伝送するミッションデータ受信機能などを有し、衛星がミッションを遂行するための監視と制御、衛星の維持管理、ミッション運用サポートの役割を担っています。以下、これらの機能を実現するための、衛星管制システムとミッションデータ受信システムについて概要を述べます。

### 2.1 衛星管制システム

衛星管制システムは、衛星が正常にミッションを遂行できるように、衛星の状態をテレメトリにより監視するとともに、

衛星の制御指令やミッション運用計画などをコマンドとして送信する衛星管制機能を有しています。また、衛星の軌道を決定する軌道決定機能も有します。

以下に、構成及び衛星管制機能と軌道決定機能の概要を示します。

### (1) 構成

図1に衛星管制システムの構成例を示します。

一般に、衛星管制システムは、衛星と直接通信する送受信局と、衛星の状態監視、制御、及び軌道決定を行う運用管制局とで構成されます。

システム構成としては、通信機会増加や軌道決定精度の向上、及び災害や天候による運用停止時のバックアップを目的として、送受信局を複数の地点に配置し、運用管制局とネットワーク接続する構成が一般的です。

送受信局は、アンテナとアンテナ制御部、変調/送信部、受信/復調部、衛星を制御するコマンドデータと衛星の状態を

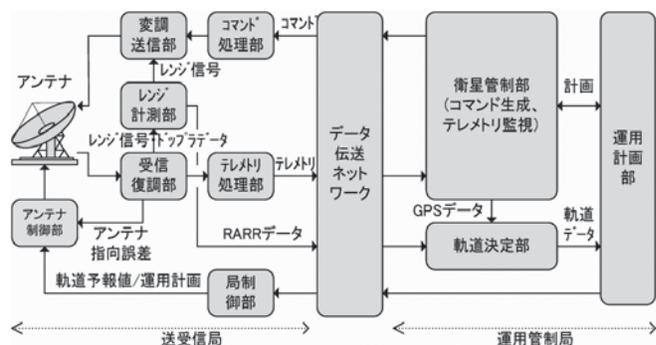


図1 衛星管制システムの構成例

示すテレメトリデータの処理部、局制御部などで構成されます。

運用管制局は、コマンドデータ生成とテレメトリの監視を行う衛星管制部と、衛星の軌道を算出する軌道決定部、運用計画部で構成されます。

**写真1、写真2、写真3**に、衛星追跡管制システムの例として、準天頂衛星追跡管制システムのアンテナ・送受信設備・衛星管制設備の写真を示します。

## (2) 衛星管制機能

送受信局は、運用管制局で作成された軌道予報値を使用するか、電波の到来方向を自動追尾してアンテナを衛星方向に向け、通信リンクを形成します。無線周波数は、S帯（2GHz帯）とKu帯（12GHz帯）が一般的ですが、科学衛星ではX帯（7～8GHz帯）、測位衛星ではC帯（5GHz帯）も使用されています。

通信リンク形成後、送受信局でテレメトリデータを受信して復調し、フレーム同期や誤り訂正などの処理を行って衛星管制部へ伝送します。テレメトリデータは、衛星内の各部の運用状況や健康状態を示すデータであり、衛星管制部で制限監視や長期変化傾向などの統計処理による管理を行います。

また、衛星の運用計画に従って、衛星の姿勢や軌道、搭載機器を制御するためのコマンドデータを衛星管制部で生成し、送受信局で変調して衛星に送信します。コマンド送信後、テレメトリにより実行結果を確認し、必要に応じてコマンドの再送信を行う機能も有しています。

コマンド送信前に、計算機上の衛星シミュレータにより、コマンドに対する衛星の挙動を確認する機能を備える場合もあります。

テレメトリやコマンドの伝送データレートは一般に数kbps～数100kbps程度であり、後述するデータ受信局と比較するとデータレートが低くなっています。

## (3) 軌道決定機能

衛星の軌道決定を行い、将来の予報軌道を作成する機能を有します。軌道の決定結果は、衛星の飛行軌道の確認、データ送受信の開始終了時刻とアンテナ指向角度の予報値に用いられるほか、衛星の運用計画立案やデータ処理のための衛星位置情報として使用されます。

軌道決定の方式には、軌道確認や予報値の用途では、送受信局と衛星との間の距離（レンジ）と距離変化率（レンジ

レート、速度）を使用したレンジアンドレンジレート方式が用いられます。この方式による軌道位置決定の誤差は、



写真1 7.6mφ送受信アンテナ



写真2 送受信設備



写真3 衛星管制設備

衛星運用を支える地上システム

数10m~1km程度です。

距離は、送受信局から距離計測用信号を送信して衛星で折り返し、往復伝搬時間を求めることで計測します。距離変化率は、衛星より受信した信号の周波数ドップラシフト量から測定されます。

一方、衛星画像の地図へのマッピングといったミッションデータ処理に軌道決定結果を使用する際には、数m以下の精度が要求されます。この場合には、GPSを利用した高精度軌道決定が利用されています。衛星でGPS信号を受信して地上に伝送し、地上で補正を行って精度の高い軌道を求める方式です。この際、高精度の距離測定が可能な、レーザを使用したレンジ測定 (SLR : Satellite Laser Ranging) による補正を併用する場合があります。これは衛星に反射板を具備し、レーザの往復時間から距離を測定する方式であり、国内のSLR設備はNECで整備しています。

2.2 ミッションデータ受信システム

ミッションデータ受信システムは、地球観測衛星や科学衛星などが取得したデータを受信して蓄積し、データ処理部へ伝送する機能を有します。

(1) 構成

図2 にデータ受信システムの構成例を示します。

アンテナとアンテナ制御部、受信/復調部、前処理部、記録部、局制御部から構成されます。図のように、ミッションデータ処理部や衛星管制局とはデータ伝送ネットワークを介して接続される構成の他、同一箇所に配置される場合もあります。

(2) データ受信機能

運用管制システムで作成された軌道予報値を使用するか、電波の到来方向を自動追尾してアンテナを衛星に指向し、

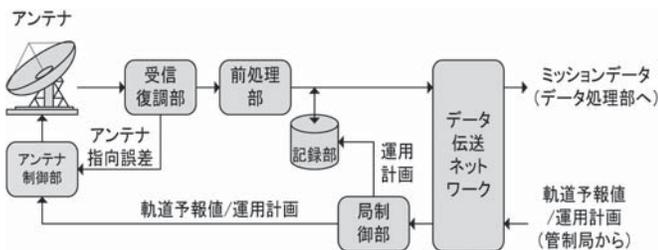
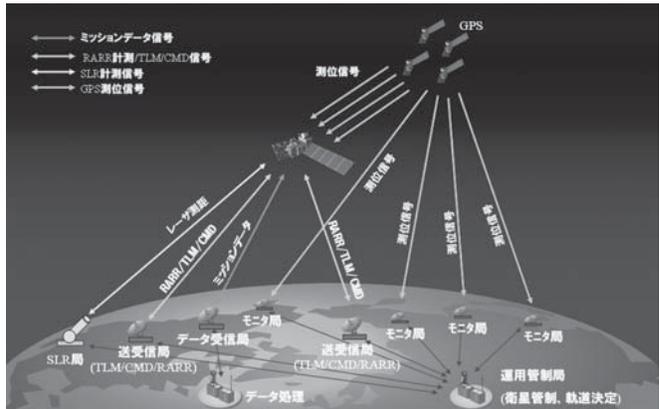


図2 データ受信システムの構成例



RARR:距離・距離変化率(Range And Range Rate)、TLM:テレメトリ、CMD:コマンド

図3 衛星運用地上システム構成概念図

通信リンクを構築します。無線周波数はX帯 (8GHz帯) が一般的です。

通信リンク形成後、データの受信復調や前処理 (フォーマット同期、誤り訂正など) を施して一時記録し、画像処理などを行うデータ処理部へ伝送します。なお、データ処理部との処理範囲分担は、運用条件やネットワーク環境などの条件を考慮して決定されるので、システムによって異なります。

地球観測衛星のデータ伝送では、数100Mbpsもの高い伝送レートが要求されます。このため、広帯域データ受信機と大容量記録媒体、高速データ伝送ネットワークが整備されています。

図3 に、衛星管制システムとデータ受信システムを含めた衛星運用地上システムの構成概念図を示します。

3. 地上システムパッケージ化の取り組み

NECでは、衛星運用管制とミッションデータ受信の機能をパッケージにした、標準地上システムの整備に取り組んでいます。

表に標準地上システムの主要諸元を示します。

本標準システムはCCSDS (宇宙データシステム諮問委員会) のデータ通信規格に準拠しているため、国内外を問わずに使用できる汎用性を持っています。また、標準自社製品の採用により、先進的な機能を早期に取り込む柔軟性と、コストダウンを両立しています。

表 標準地上システムの主要諸元

アンテナ	カセグレン・3軸マウント(AZ, EL, Cross-EL)
形式	7.6m, 11m, 13m (その他オーダー可)
反射鏡直径	AZ: ±270°, EL: 0~180°, 衛星高度400km全天追尾
駆動性能	
S帯TTC送受信	
コマンド送信	
送信電力	200W (その他オーダー可)
周波数	2.025MHz~2.120MHz
変調形式	PM, PSK-PM, BPSK, QPSK
ビットレート	PM, PSK-PM, BPSK 100bps~1.2Mbps QPSK 10kbps~2.048Mbps
ベースバンド処理	CCSDS準拠
誤り訂正符号化	たたみ込み(K=7, R=1/2), RS(255, 223), CRC
伝送形式	CLTU
テレメトリ受信	
周波数	2.200MHz~2.300MHz
変調形式	PM, PSK-PM, BPSK, QPSK
ビットレート	PM, PSK, BPSK 100bps~1.2Mbps QPSK 1kbps~2.048Mbps
BER劣化量	2.0dB以下(1dBtypical)
捕捉周波数範囲	±200kHz以上
ベースバンド処理	CCSDS準拠
誤り訂正復号	ビタビ復号, RS
伝送形式	VCDU, ASD*
レンジング	
計測方式	PNコード方式, サイドトーン方式
最大計測距離	75,000km相当以上
計測分解能	1ns相当
計測信号周波数	500kHz, 100kHz
捕捉時間	10秒以下(PNコード), 15秒以下(サイドトーン)
計測精度	1mrms以下(500kHz計測, S/No: 38, 8dBHzにて)
レンジレート計測	
計測方式	インテグレートドップラ計測
計測範囲	±15km/s以上
計測位相分解能	360°/4096以上
計測精度	1cm/s以下(Sバンド受信, C/No: 40dBHz)
X帯データ受信	
周波数	8.025MHz~8.400MHz
変調形式	BPSK, QPSK, OQPSK, 16QAM
ビットレート	BPSK 1Mbps~250Mbps QPSK, OQPSK 2Mbps~500Mbps 16QAM 400Mbps~850Mbps
BER劣化量	2.0dB以下(1dBtypical)
捕捉周波数範囲	±1MHz以上
ベースバンド処理	CCSDS準拠
誤り訂正復号	ビタビ復号, RS復号
データ伝送形式	RAW, VCDU
データ保存容量	2TB(拡張可)
伝送プロトコル	ftp, Socket伝送*

\*オプション

#### 4. 衛星運用関連技術の動向と開発状況

衛星運用技術の多くは、運用の信頼性を鑑み、既に確立された技術を用いて実現されています。

ただし、近年のミッションデータの伝送レート向上や衛星管制の秘匿性、耐妨害性向上の要求に対して、通信方式や信号方式の改良が検討されており、NECではこれらに対応した要素技術開発を行っています。

##### (1) ミッションデータの伝送レート向上

近年、地球観測分野での観測領域広域化と高分解能化の要求から、観測情報量の著しい増加要求があります(図4)。一方、地球観測衛星などの極軌道の低高度地球周回衛星では、1回の衛星との通信時間が数分~10分程度と短い。このため、通信の機会や時間を増加する方法として、受信局を高緯度地域に配置したり、静止衛星でデータを中継するといった方策が、既に実用化されています。

また、電波法で規定される帯域制限により伝送レートには限界がありますが、電波伝搬上の異なる偏波を使用することで帯域の利用効率を高める偏波多重も実用化されています。

更に伝送レートを向上する案として、広い周波数帯域を獲得しやすいKa帯(20~30GHz帯)の利用も考えられますが、降雨による電力減衰が大きく、通信回線の稼働率が低下する問題があります。このため、狭い周波数帯域で伝送容量を向上できる、多値変調によるデータ多重化増加が検討されています。

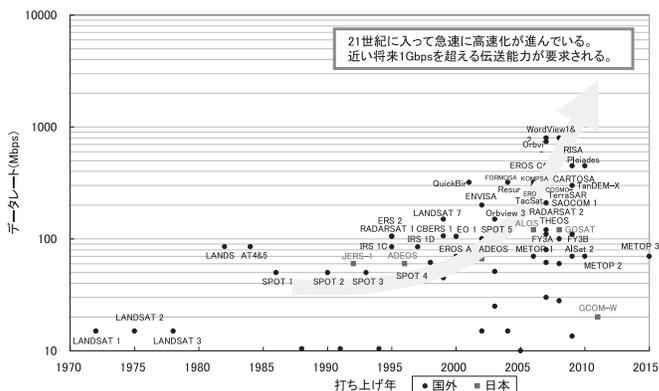


図4 地球観測衛星のデータ伝送レートの変遷 (NEC調べ)

## 衛星運用を支える地上システム

現在は4相位相変調（QPSK）による2ビット同時伝送が主流ですが、16相振幅位相変調方式（16QAM）による4ビット同時伝送の実用化が予定され、NECでも衛星搭載変調器と地上側復調器を開発済みです。また、今後は64相に向かおうとしています。本方式では、相数の増加によって更なるレート増加が可能であることから、その成果に高い期待が寄せられています。

### (2) 衛星管制運用でのセキュリティ向上

安全保障分野での衛星利用では、収集したミッションデータ以上に、観測位置や頻度といった運用情報に対して高いセキュリティレベルが求められます。このため、衛星管制運用でのコマンドやテレメトリに高い秘匿性が求められるとともに、偽コマンド送信による運用妨害の対策も検討していく必要があります。

これらの実現手段として、複数周波数の利用（ホッピングなど）に加え、スペクトラム拡散通信の導入が考えられています。スペクトラム拡散通信に関しては、CDMA変調でのコマンド/テレメトリ用変復調器の開発と軌道上衛星を介した送受信試験を実施済みであり、技術ノウハウを蓄積しています。

## 5. おわりに

本稿では、衛星運用を支える地上システムの概要とパッケージ化の取り組み、技術動向と開発状況を紹介しました。

世界では地球観測を主とした宇宙関連市場の成長が見込まれています。また、海外では、衛星と運用システムを組み合わせたパッケージでの提供が求められるケースが増えています。

この市場動向を踏まえ、衛星と地上の両システムを自社開発できるNECの強みを生かし、国際競争力のあるパッケージシステムの開発と拡販を推進していきたいと考えています。

### 執筆者プロフィール

吉川 志郎  
航空宇宙・防衛事業本部  
宇宙システム事業部  
統合システム部長

# NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ  
宇宙特集によせて  
宇宙事業ビジョンとロードマップ  
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

### ◇ 特集論文

#### ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合  
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略  
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進  
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(人工衛星/宇宙ステーション)

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう(JEM)」の開発  
金星探査機「あかつき」の開発  
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発  
月周回衛星「かぐや」の開発  
地球観測衛星(陸域観測技術衛星)「だいち」の開発  
超高速インターネット衛星「きずな」の開発  
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星地上システム)

衛星運用を支える地上システム  
衛星データの利用を促進する画像処理システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星バス)

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」  
衛星機器を構成する標準コンポーネント

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(通信)

衛星通信を支える通信技術  
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(観測センサと応用技術)

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望  
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術  
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術  
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(基盤技術)

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス  
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術  
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発  
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(誘導制御計算機)

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

#### 小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

### ◇ NEC Information

#### NEWS

NEC C&C財団25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1  
(2011年3月)

特集TOP