

# 衛星通信技術の変遷

Trend of the satellite communications technology

中尾 実\* 榎本 直人\*\*

Minoru Nakao, Naoto Enomoto

当社において関西事業部では1984年の関西分室開設以来25年に渡り、三菱電機通信機製作所において衛星通信事業の様々な分野に対して業務を行っている。中でもJAXA向け地上設備に関する業務はシステム設計、ハードウェア設計（アンテナ制御装置、変復調装置、監視制御装置）、ソフトウェア設計、プロジェクト業務など多岐に渡っていた。本報告では、最も長期に渡って従事してきた変復調装置の開発およびグローバルな展開を必要とした追跡管制地上ネットワーク換装（新GN）について、その開発の歴史を振り返る。

The CBO (Communication Branch Office) performs duties for the various fields of the satellite communications business in a Mitsubishi Electric Corporation Communication System Center for 25 years since establishment of 1984. About the ground facilities for JAXA (the Japan Aerospace Exploration Agency) in particular, it carried out many duties. For example, systems architecture, a hardware design (an antenna control, modem, a monitor & control), a software design, project management etc.

This report introduces the history of about the development of the modem for satellite communications which engaged in most for a long term and the ground network for Telemetry Tracking & Command (TTC) which needed global development.

## 1. まえがき

関西事業部の衛星通信事業の歴史はわずか2名からスタートし、年毎に人員の増加を見ながら業務範囲を拡大してきた。中でもJAXA（当時NASDA）向け地上局設備に関する業務では、JERS-1（1992年打ち上げ）に始まりALOS（2002年打ち上げ）用に至るまでの国内リモートセンシング衛星用のすべての地上局変復調装置（MODEM）の開発に従事してきた。これらの変復調装置はJAXA地球観測センターに設置され、それぞれのミッションを達成すべく衛星からの電波を受信し、データを提供し続けた。

また、新地上ネットワークシステム（新GN）では、衛星・地上間のTT&C通信を担うベースバンド装置を筆頭に、システム設計、各種ソフトウェア設計および海外地球局の施設整備等のプロジェクト業務を行い、JAXA衛星の追跡管制システム構築に貢献した。

本報告では、技術的に専門分野を深く担当した「MODEM」および系統的に広範囲な分野を担当した「新GN」について、それぞれの開発の歴史を振り返りながら獲得してきた様々な技術を紹介する。

## 2. JAXA向けMODEM開発小史

三菱電機通信機製作所ではJAXAリモートセンシングの黎明期より地上設備を開発してきた。

地球観測センター（EOC）にLANDSAT用およびMOS用の10m径のアンテナを2基設置し、リモートセンシングデータの提供を担っていた。関西事業部において筆者らは、MOS-1（もも1号）に続くJERS-1（ふよう1号）の復調装置の開発に参加することとなった。

JERS-1からALOS（だいち）までの10数年に渡り国内リモセン衛星として4衛星6種類、衛星間通信実験用に2衛星4種類の復調装置を開発し、さらに海外用2衛星2種類の変復調装置の調達（仕様決定と調達・導入）を行ってきた。図1に変復調器開発年表を示す。

### 2.1 JERS-1/ERS-1（— デジタルだけどごくアナログ的 —）

JERS-1は、ビットレート60MbpsのデータをQPSK変調し地上に伝送する方式がとられていた。このとき、JAXAでは欧州ESAの打ち上げる地球資源探査衛星（EERS-1）の受信も同時に整備する計画であり、EERS-1はビットレート105Mbps、QPSK変調であった。

1990年当時のデジタル回路のデバイスとしては、TTLやC-MOSと言ったデバイスが標準的であった。これらのデバイスは動作速度として20MHz程度（周期として50ns程度）が限界であった。JERS-1では1シンボルの周期が30MHz、EERS-1に至っては52.5MHz（約20ns）となるため標準のデバイスでは正しくデータをサンプルすることができない。（図2参照）

このため、デバイスはECLと呼ばれる高速デバイス（50MHz程度）を使用し、同時に並列処理を行うことで高速データに適応させた。通常（低速）のデジタル回路ではクロック回路を共通的にすれば容易に同期させることができるが、高速のデジタル回路では回路パターンや回路の遅延差にも注意を払った設計・調整が必要となる。JERS-1/EERS-1復調器ではクロック波形は、矩形ではなく、正弦波状であり復調タイミング（デジタルデータ判定タイミング）の調整に非常に苦労した。通常のプロビング（オシロスコープで波形をモニターする方法）ではタイミング調整ができないため、最終的にはビット誤り率（BER）が最小となる様にクロックタイミングを調整した。デジタル回路はHigh/Lowではつきりしているとの考えが一蹴された。「高速デジタルはアナログ回路だ」と認識した。（図3参照）

2.2 ADEOS/ADEOS-2（新しいアンテナと古い復調方式）

ADEOS（みどり）はJERS-1と同一の変調によるダウンリンク回線（60Mbps）が2チャンネルと6Mbpsが1チャンネルの3チャンネルのダウンリンク回線を有していた。回路的にはJERS-1と同一回路にて実現できた。

この時、地球観測センターにはADEOS用アンテナとしてAZ（アジマス）/EL（エレベーション）軸駆動に加えてクロスEL軸駆動が可能なアンテナが整備された。クロスEL軸駆動を有するアンテナでは、高仰角を通過する周回衛星に対して、AZ軸の駆動速度を抑えつつ追尾することが可能となる。地球観測センターでは、新設のADEOSアンテナと既存であったMOSアンテナを切り換え運用することにより、受信機能（広範囲にデータ受信できる機能）の向上を実現した。

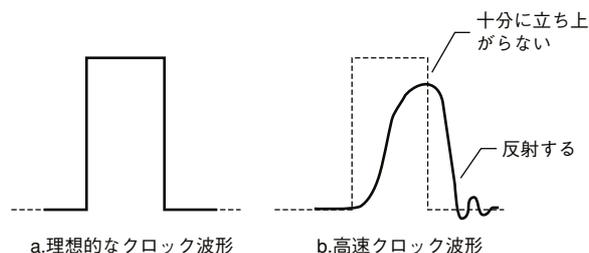


図2 高速クロック波形

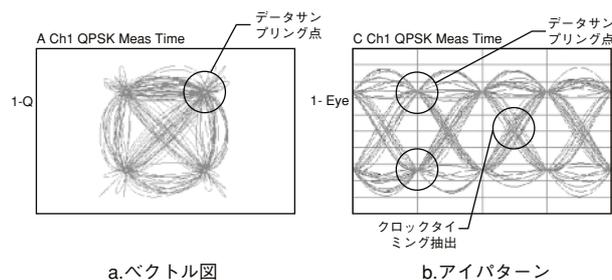


図3 ベクトル図とアイパターン

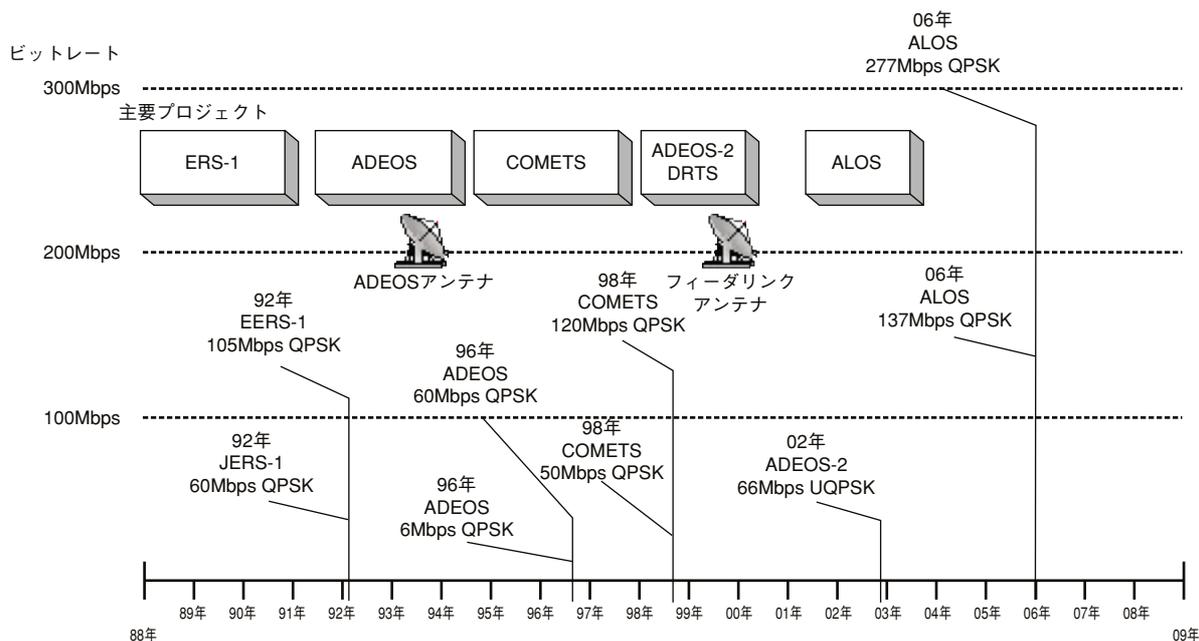


図1 変復調器 開発年表

ADEOS-2はADEOSの後継であるがデータ伝送の方式は大きく変わった。60Mbpsのセンサデータと6MbpsのセンサデータをそれぞれPSK変調（位相変調）し、1:4の電力比で直交合成するUQPSKが用いられた。

UQPSK変調に対しては、LANDSAT-5用復調器として開発済みであった再変調搬送波再生方式を用いた復調器を開発した。再変調方式では、入力信号を遅延させた信号と復調した信号で再度変調した信号の位相を比較して搬送波を再生する。入力信号の遅延時間は内部の復調信号の遅延時間と等しくする必要があり、ADEOS-2用復調器では30m超のケーブルを用いて遅延回路を構成した。遅延時間の最終調整は、位相検波の出力電圧、BER特性、引き込み特性（搬送波再生回路の同期特性）を見ながらミリメートル単位で行った。古い方式（ほんとにアナログ）であるが不平衡な電力合成にも絶え得る方式であった。本方式は国内にも3式ほどしか作られなかったし、ミッションを終えLANDSAT用、ADEOS-2用ともその姿は無いのが少々残念である。

ADEOSもADEOS-2も衛星の障害からミッション期間が短かったが、地上設備、復調器の開発としては一番苦労した機種であった。

### 2.3 ALOS（一 広ければ、広いで・・・ 一）

ALOS（だいち）はそれまでの衛星に比較して伝送レートが飛躍的に拡大した。これは、センサデータの高速化（広帯域化）の要求に、DRTS（データ中継衛星）を用いた広帯域伝送が応えたことによる。従来、Xバンド（8GHz帯）で直接地上に伝送していた方式（DT系）に加えて、データ中継衛星を経由したKaバンド（20GHz帯）で伝送する方式（DRC系）を備えることで広帯域伝送が可能となった。さらにデータ中継衛星を経由することで地上局と衛星との通信回線保持時間が拡大し、データ取得時間の拡大にも絶大な効果をあげることができた。

ALOS用復調器の開発ではデバイスの速度も大幅に改善されていたものの、従来と同様にクロック調整には最新の注意を払わねばならなかった。同時に広帯域（300MHz程度）信号を伝送する際の伝送経路の影響を回避するために、伝送機器の周波数特性について改良を加える必要が発生した。

データ伝送において伝送路の特性（振幅特性、位相特性）が伝送信号に比較して十分広くない場合、信号ひずみを生じる（波形がひずむ）。波形がひずむと復調後の信号に誤りを生じ所望のデータを取得できない。ALOS受信ではXバンド受信系により帯域の影響が生じていたが、装置の改良により所要特性を獲得し、正常に運用に供されている。

### 2.3 COMETS/DRTS（一 こんなところも 位相雑音 一）

地球観測センターでの実運用外にも各種の変復調器の開発、実証実験を行った。

COMETS/DRTS用に、120MbpsQPSK、66Mbps UQPSK（ADEOS-2）、50MbpsQPSK（JEM）など複数の変復調器を開発した。データ中継衛星での実証実験のための機材としてつくば宇宙センターに設置された。

COMETS打ち上げ前の模擬衛星（シミュレータ）との接続試験では、系間の位相雑音特性によると考えられるBER特性の飽和（受信信号対雑音比を改善してもBERが小さくならない）状態が見られた。この現象は復調器の搬送波再生回路のオフセット調整回路を実伝送路に適応させる調整により回避した。いずれの復調器も搬送波再生、ビットタイミング再生の特性が復調器の性能、すなわち同期特性、BER特性を支配するのだと改めて認識させられた。（図4参照）

### 2.5 まとめ

JAXA向け変復調装置開発、システム開発を通じて無線通信、衛星通信に関する多くを学ぶ機会を得た。地球観測センターに設置した受信設備でのシステム設計、COMETS/DRTSでの衛星側との信号劣化解析についての検討、各衛星と実施した衛星適合性試験など筆者をはじめ開発メンバが得たものは計り知れないものがあり、かつ現在も生き続けている。

## 3. JAXA向け追跡管制（新GN）システム開発小史

### 3.1 追跡管制（新GN）とは

追跡管制とは「人工衛星を正常に運用するために、人工衛星の監視制御を行うこと、及び軌道計測を行い正し

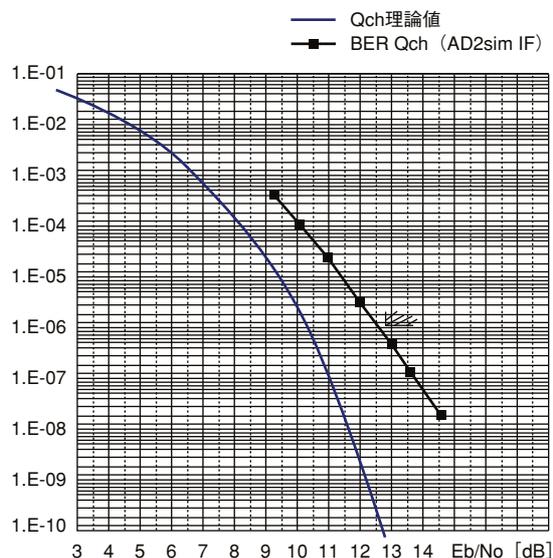


図4 BER特性例

い軌道を飛行するように制御すること」であり、新GNとは、追跡管制を行うために必要な人工衛星の監視制御データおよび軌道計測データの送受信を行うための、人工衛星と追跡管制システムを繋ぐ地上局（パラボラアンテナ）を主としたネットワークシステムのことである。

具体的には、国内3カ所・海外4カ国（スウェーデンのキルナ、チリのサンチャゴ、スペイン領カナリア諸島のマスパロマス、オーストラリアのパス）に設置した地上局（10mパラボラアンテナ）と筑波宇宙センターに設置された筑波管制局をWANで繋ぎ、各地上局は筑波管制局からの要求（計画）に基づき、自動かつ無人で人工衛星との送受信を行う。また人工衛星から追跡管制システムまでのデータインタフェースは、CCSDS勧告準拠による新データ方式を採用している。その他、打上前に人工衛星との接続試験を行う筑波試験局という設備も有している。（図5参照）

当社はこの新GNシステム開発に三菱電機の受注活動時期から参画し、現在も三菱電機のパートナーとしてシステム拡張・更新を支援している。

## (1) システム構成

新GNシステムの概略構成を図6に示す。

新GNシステムは、全地上局の運用計画を立案し遠隔運用を行う「筑波管制局」と、10mアンテナと各電子機器により衛星と通信する「地上局」に大きく分かれる。地上局の内部構成は基本的に全局同じ構成となっており、筑波管制局からの運用計画に基づいた自動無人運用を行う。

## (2) 担当業務と主な開発技術

新GNシステム開発は、三菱電機(株)通信機製作所とりまとめの下、当社は関西事業部主体での開発体制であった。以下に主な担当業務と開発技術を記す。

### ①プロジェクト業務：

- ・進捗、品質、コストといったQCD管理全般を担当。また新GNは海外輸出も多く、輸管関係業務を一任。更に2004年から筆者が三菱電機兼務出向となってプロマネとなり、プロジェクトマネジメントも実施。

### ②システム設計：

- ・衛星捕捉追尾：様々な静止・周回衛星や打上時に対応するための自動衛星捕捉シーケンスと予報値補正アルゴリズムを三菱電機と共同開発。
- ・無人運用：無人運用に対するコンセプトを定義し、システム全体として統一のとれた無人運用仕様を設計。
- ・インテグ試験計画：ノミナル運用や障害時運用等をシナリオ化し、機能フローパスに漏れがないように試験を計画し手順化。

### ③H/W設計：

- ・アンテナ制御装置：2.2章記載のADEOS向け3軸アンテナをベースとしたアンテナ制御装置を開発、3軸アンテナの追尾可能衛星高度のシミュレーションやGUIを設計。
- ・時刻装置：無人運用局における時刻信号の安定供給に向けたバックアップ設計。



可搬型地上局設備

図5 地上局概観と新GN地上設備配置（三菱電機(株)公式ホームページより引用掲載）

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/space/ground/control/index.html>  
Copyright(C)2009 Mitsubishi Electric Corporation All rights reserved

④ S/W開発

(ア) 計画系：

・軌道系より各衛星の可視時間やアンテナ指向角度等の情報を入力し、各衛星管制系からの運用要求に応じて、地上局の運用(いつ、どの局が、どの衛星を追跡するか)を割り当てるアプリケーション。各衛星管制系からの種々の運用要求(特定局指定や主従局組合せ等)に対して、優先度を割当て、最適な地上局の振分けを行うアルゴリズムを開発。

(イ) TCR系：

・ベースバンド装置に対するパラメータ設定や監視制御を行うことにより、TTC通信および測距処理、およびテレメトリと測距データの蓄積・アーカイブ等を行うアプリケーションを開発。

(ウ) CCSDS処理：(勝浦第二可搬局、沖縄第二可搬局のみ)

・衛星に対する送信コマンドデータや衛星からのテレメトリデータに対して、CCSDS規格に準拠したパケット/デパケット、再送等の処理を行うアプリケーション。開発当初は海外COTS品ベースバンド装置搭載S/Wを用いていたが、勝浦/沖縄第二可搬局増設時に、三菱電機と共にCCSDS規格準拠のプロトコルアプリケーションを開発した。

(エ) DB系：

・様々な衛星や様々な運用に必要な多くのパラメー

タだけでなく、軌道情報や運用計画、取得データ等、システムに必要なデータを、全てリレーショナルDB化。

①②については、CBOの三菱電機(株)通信機製作所構内メンバーにて実施。また計画系S/Wの開発はつくば事業部にて実施。

3.2 新GN開発小史

新GNと当社との関わりは、1998年春の三菱電機の提案書作成支援から始まり、現在まで10年以上継続しているが、大きく4つの時期に分かれる。どの時期も多くのことを習得経験し、またシステムが大きいことから簡単に述べることはできないが、代表的な事柄を以下に紹介する。

①第一期(1998年～2002年)：提案書作成・受注～システム開発へ

1998年5月から三菱電機の提案書作成に参画し、提出直前は三菱電機と共につくば事業部に詰めての提案書作成作業であった。1999年春に三菱電機の受注が決定、当社は関西事業部主体での開発が開始された。

新GNは、特定衛星や軌道上の衛星を対象とした設備ではなく、基本的には当時想定されていたJAXAの周回衛星および静止衛星全てを対象としており、また打ち上げ(つまり軌道に乗る前)から対応するこ

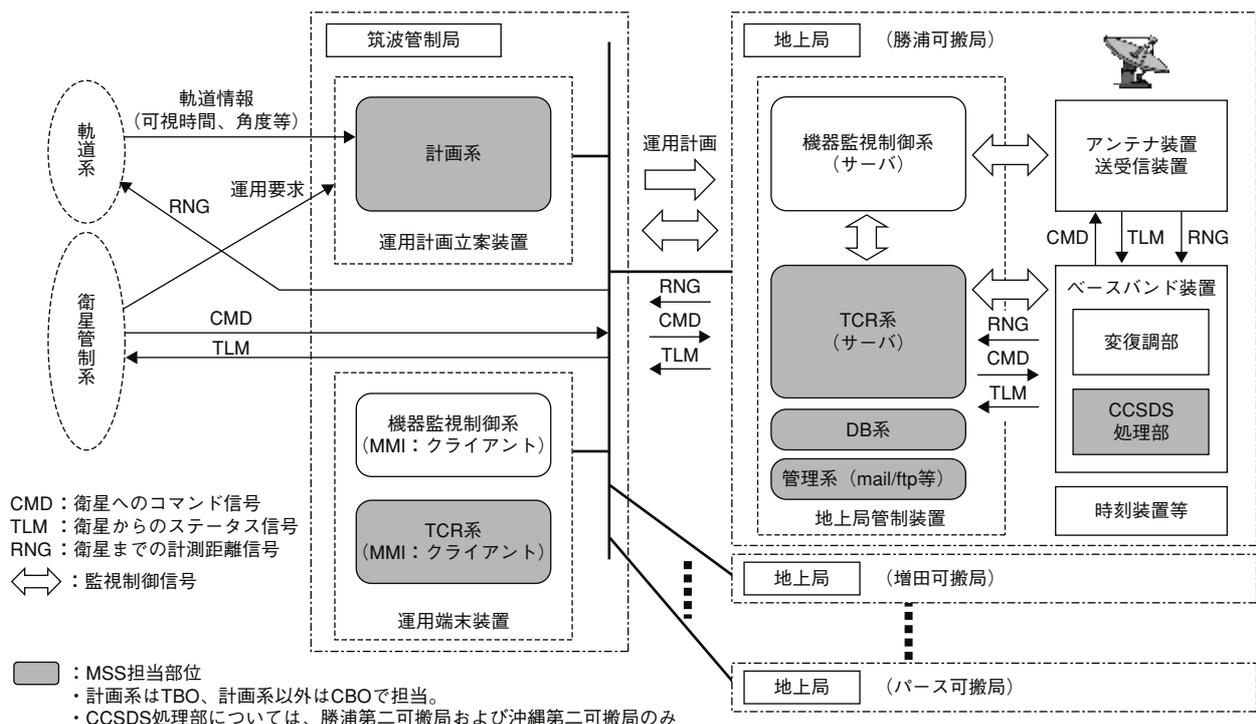


図6 新GNシステム概略構成

	98年度	99年度	00年度	01年度	02年度	03年度	04年度	05年度	06年度	07年度	08年度	09年度
新GNで追跡した衛星					☆ ☆ USERS ADEOS-II DRTS μlabsat	SERVIS ☆ ☆ ☆		☆ ☆ ☆ ☆ OICETS ALOS INDEX MTSAT-2 ASTR-E2 ASTR-F	SOLAR-B ☆ ☆ ☆ ☆	SELENE ☆ ☆ ☆ ☆	☆ GOSAT まいど1号	
新GN開発年表	提案	新GN開発				実運用と機能拡張						
						システム拡張(2局追加とBB内作)						
											実運用システム更新	

(参考：JAXA衛星の和名)

DRTS (こだま)、ADEOS-II (みどり2号)、OICETS (ひかり)、INDEX (れいめい)、ASTR-E2 (ひので)、ALOS (だいち)、MTSAT 2号 (ひまわり7号)、ASTR-F (あかり)、SOLAR-B (ひので)、ETS-VIII (きく8号)、SELENE (かぐや)、WINDS (きずな)、GOSAT (いぶき)

図7 新GN 開発年表

とも要求されていたため、あらゆる運用に対応することが必要であった。更に全局の運用は、無人自動運用が基本であった。そのためまずシステム設計として、想定される運用と衛星および地上局機器のインタフェースを洗い出し、様々な運用をシナリオ化することによって無人自動運用システムとしての必要な機能性能を整理し、S/Wへの要求仕様を抽出していった。また机上だけでは検討できない内容についてはシミュレーション(地上局割付アルゴリズムの計画立案時間や3軸アンテナの追尾可能な最低衛星高度等)を行い、開発を進めていった。

また衛星とのTT&C通信関連においては、関西事業部にはTT&C(特にCCSDS)の経験がなく、JAXAや三菱電機の指導を受けながら、TCR系S/Wの開発やベースバンド装置に採用された海外COTS品メーカーとの仕様調整を進めていった。苦労したのは、TT&C通信仕様に対してJAXAは世界標準化が進められているCCSDS規格(多重化パケット通信)を新GNに採用することを決定したが、一方で従来のJAXAのTT&C通信基準(連続データ)の衛星とも通信することを要求しており、このJAXA基準仕様に対して海外COTS品ベースバンド装置を用いて実現することであった。また衛星から受信したデータのアーカイブ方法も、多重化パケットデータや測距データとテレメトリデータの組み合わせ、静止衛星の長時間受信データ等様々あり、これらも開発に苦労した点である。

その他、三菱電機と協力して地球自転を考慮したアンテナ予報値(指向角度)補正アルゴリズムを開発した。従来のアンテナ予報値補正は、予報値時刻と実際の衛星追尾時の実角度時刻との時間差分だけ単純に予報値の時刻をずらすものであった。開発したアルゴリズムは、予報値に対して上記時間差分の地球自転相当分のベクトル演算を行い、新たな予報値を算出するも

のである。このアルゴリズムは従来のアルゴリズムに対して格段に精度がよく、また衛星追尾に対してリアルタイムに処理されるため、特に打ち上げ後のJAXA軌道系の公式な軌道決定がなされる前の追尾において、今も絶大な信頼を挙げている。

トピックとしては、関西事業部のJAXA向け事業としては初めてつくば事業部と共同開発を行ったこと、海外COTS品ベースバンド装置のGN対応改修がかなり遅れ、挽回するために計算機とエンジニアを納期約半年前の2001年9月に米国派遣(なんと米国テロ事件の1週間後!)してのインタフェース試験、2001年12月からやっと完成したベースバンド装置をもって種子島現地に試験システムを構築して3ヶ月間詰めてのインテグレーション試験、残り2ヶ月でのプロジェクト、技術、品管等の三菱電機と当社メンバー総動員による国内海外全局並行しての総合インテグレーション試験の実施等である。かなり厳しい工程であったが、一連の追跡管制の運用と技術および海外現地機関やメーカーとの交渉等、多くのことを学ぶことができた

②第二期(2002年~2003年):開発から実運用へ

2002年5月にJAXAに納入し、2002年9月に新GNシステムとして初めての打上(USERS衛星)に望むことになる。衛星はロケットから分離後、姿勢制御されるまで回転しているため、地上に対して常に送信電波を向けることができず、地上局から見ると受信不可(ブラックアウト)という状態が発生する。そのため通常は衛星の複数のアンテナから送信し、回転しながらでも、どれかのアンテナから送信した電波が地上に向くように設定して打ち上げる。しかしUSERSの衛星分離後の回転数と送信アンテナの組み合わせを当社にて解析すると、衛星分離後の最初の受信となるサンチアゴ局(チリ)において新GNでの自動捕捉シーケンスではブラックアウトが発生する確率が高いことが

判明、打ち上げ1週間前に衛星側にて送信アンテナの組み合わせを変更した。地上局側から衛星の打ち上げ運用シーケンスに対して変更要求を行うことは稀であり、三菱電機と当社のシステムエンジニア力が評価された。

さて新GN初めての打ち上げとあって、打ち上げには筑波管制局だけではなく、国内海外のキルナを除く全局に関係者が派遣（当社からも数名が派遣）され、緊張しながらスタンバイした。種子島からロケットが打ちあがり、懸念していた最初の受信局であるサンチアゴ局（チリ）での受信成功時には、筑波管制局内の関係者全員が大歓声をあげた。なかでもJAXA担当者が筆者の手を握り締めて、「いいシステムを開発して頂き、本当にありがとうございます。」と丁寧なお礼を述べられたときの感動は、今でもはっきりと覚えており、この仕事をやれて本当によかったと心底感激したものであった。

一方で、USRS以降、実際に打ち上がった種々の衛星に対しての運用が始まると、様々な問題や要求が生じてきた。特に衛星との通信において、CCSDS勧告の解釈の相違やJAXA固有仕様および様々なJAXA運用に対して海外COTS品ベースバンド装置仕様との不整合が多く、そのほとんどをTCR系S/Wで対策処置していった。また様々な通信仕様（伝送レートやデータ容量、パケット数等）からS/Wの処理にも問題が生じてきた。例えばパケット正常受信の判定は、一定時間内に一定個数の正常パケット受信時としていたが、パケットサイズが大きいと一定個数受信に時間がかかり、またパケットサイズが小さくても伝送レートが遅ければこれもまた一定個数受信に時間がかかり、タイムアウトに掛かってしまうといった不具合である。CCSDS勧告にはパケットサイズの規定はなく、システム開発時には、各衛星の個々のデータのパケットサイズまでは決まっていなかったことから、運用して実際のデータを受信して発覚してきた問題である。これらの様々な問題について原因をひとつひとつ、JAXAおよび三菱電機と共に粘り強く調査解析し、ときには3者共同で長期間実験し、パラメータチューニングや処理改修、あるいは運用での対応等の解決策を導きだしていった。まさに開発システムを実運用システムへと成熟させていく苦労を学んだ時期であった。

③第三期（2004年～2006年）：安定性とシステム拡張（地上局2局追加とベースバンド装置内作化）

新GNもいくつかの打ち上げと実運用を経験し実運用システムとして定着してくると、今度はシステムの安定性と衛星増加（特にETS-VIII、WINDS等の静止衛

星）に伴う地上局不足が問題となってきた。

特に海外COTS品ベースバンド装置の安定性に難があり、また三菱電機の宇宙事業拡大へのキーとすべく通信機製作所にてベースバンド装置を内作化することを決定し、そのS/W（CCSDS処理）開発を関西事業部が担当することになった。またこの内作化ベースバンド装置を開発することにより、三菱電機の地上局2局整備の追加受注に貢献した。しかしTCR系S/Wの開発実績があるとはいえ、膨大なCCSDS勧告（英文）を理解するのは容易ではなく、またCCSDS勧告は、エラー条件は定義されているもののエラー時の処理は定義されていない等の曖昧な箇所も多く、仕様についてひとつひとつ細かく確認調整を進めながら開発していった。また既設システムでも苦労したが、衛星や運用によって通信レートとパケットサイズ・数が様々であることが、開発を困難にした。試験パターン計画にも苦労したが、通信レートが遅くてもパケット数が多ければ想定以上にCPUの処理負荷が増え、安定化向上のため、開発途中にCPUとメモリがワンパッケージ化されたカスタムCPU基板へ交換することとなり、H/Wとの組合せの重要性を改めて認識させられた。

その他、追加となる2局のアンテナ仕様が新GNアンテナと異なり、また海外COT品ベースバンド装置仕様とあわせて、既設システムとの整合性を確保するためのS/W処理とパラメータやDB構造設計、そしてその整合性の確認に苦労した。

そして新GN開発時にはなかった大きな課題は、更新開発を行いながら並行する既設システムの改修内容を反映していくこと、および既存システム運用と並行しながらの拡張システムの試験と更新であった。既存システムを拡張更新する最も重要なこと、それは既存システムとの整合性確保、および運用しながらの更新作業に対する入念な作業計画とリスク管理であることを学んだ。

④第四期（2007年～現在）：システム更新と世代交代

開発から10年経過すると、機器劣化だけでなく、開発当初に想定しなかった衛星の出現（月探査のかぐや、準天頂衛星、民間小型衛星まいど等）や運用増加が生じ、システムも更新していくことになる。また筆者をはじめJAXAおよび三菱電機含めて開発当初メンバーの多くが本プロジェクトを卒業し、開発も後進の世代に引き継ぐこととなる。しかし追跡管制は一瞬たりとも途絶えることはできず、新たなメンバー達は、新たな時代の追跡管制ネットワークを目指して、現在も開発を継続している。

### 3.3 まとめ

新GNシステムは、衛星打上から衛星運用終了までの全てのフェーズに対応するため、追跡管制システムが必要とすべき仕様と運用を習得することができた。また新GNシステムは、特定衛星を対象としたシステムではないため、様々な衛星の通信仕様や運用を理解し、それに応じたシステムを開発する設計ノウハウを習得した。またTT&CやCCSDS等の固有技術や検討ポイントも習得した。苦労も多かったが、習得した様々な衛星との通信技術や運用技術は、開発メンバーのこれからの設計に大きく活かされるものと思う。

### 4. むすび

JAXA向け変復調装置や新GNシステム開発を通じ、衛星に対する通信やシステムおよび運用等に関して多くの技術を習得した。関西事業部としてはこれらの知識と実績をベースに、引き続き三菱電機株通信機製作所の良きパートナーとしての関係を保つと共に、今後は衛星管

制担当の鎌倉事業部やJAXAと繋がり深いつくば事業部と連携し、当社の宇宙関連地上システムの事業拡大を図っていきたい。