

# 宇宙電波監視施設

## Space Monitoring Facility

安藤 康浩  
ANDO Yasuhiro

野沢 達哉  
NOZAWA Tatsuya

社会・経済活動の発展及び社会の高度情報化に伴い、通信並びに放送の分野では衛星を利用した電波の需要が増大し、静止衛星の数が年々増大する傾向にある。わが国においても、国際協定に違反した衛星による混信、妨害の可能性に対処するためのデータ取得や、判定を目的とした宇宙電波監視施設が整備された。

宇宙電波監視施設は、衛星から発射される電波の質を監視することを任務としており、広帯域なRF(Radio Frequency)受信系、高精度な追尾・測角系、及びソフトウェアにより自動化された計測系などから構成されている。

With the growth in social / economic activities and the movement toward a highly information-oriented society, the demand for radio wave transmissions in the satellite communication and broadcasting fields is growing and the number of geostationary satellites is increasing. Under these circumstances, the Space Monitoring Facility has been installed in Japan in order to collect data and provide monitoring and evaluation of possible illegal emissions and interfering / disturbing radio waves from satellites which violate international agreements. The facility incorporates a wide-range radio frequency (RF) receiving system, a highly accurate tracking system, a measurement system automated by software, and other features, enabling satellites and their various emissions to be observed.

## 1 まえがき

郵政省では、電波資源の有効活用及び不法・違法無線局の排除を目的とし、3GHz帯以下の地上無線を対象とした電波の監視業務を実施している。これを静止衛星が発射する電波にも拡大、適用していくために、1997年度から宇宙電波監視施設の整備が開始された。当社は、整備を開始して以来、一貫して当該施設の開発、設計、整備に携わってきた。

静止衛星に対しては、過密する軌道資源の有効活用並びに広範囲に及ぶ覆域内での混信、干渉の問題を回避するために、軌道維持範囲と発射電波の質に関する国際協定がITU(International Telecommunication Union)により規定されている。静止軌道上には数多くの衛星があり、この規定を遵守して運用しているか、又は混信、干渉について監査・調査・探査業務を効率的に行う必要がある。このためには、自動的かつ効率的で高精度なデータ収集と、判定・解析処理を実現し、運用員に提供する必要がある。宇宙電波監視施設(図1)は、このような要求に対応するため、コンピュータ制御により高度な機能・性能要件を実現するものである。なお、この施設では、郵政省指導の下、機能や性能のよりいっそうの向上に向けた開発を継続している。

ここでは、宇宙電波監視施設の運用概念、要件及び実現した施設の特長について述べる。

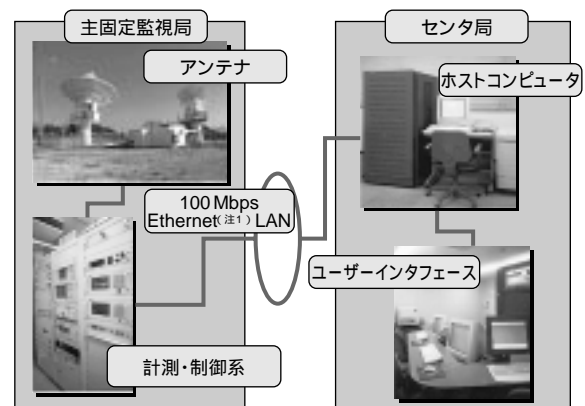


図1 . システム構成 主固定監視局(データ収集系)とセンタ局(データ処理系)は高速LANで接続される。

System configuration

## 2 宇宙電波監視施設の必要性

電波は柔軟な回線設定などの利便性を持つ反面、ルールの遵守なしには混信、妨害などの障害を引き起こすおそれがある。そのため、電波がルールどおりに運用されているかを監視することは、電波を直接利用する一般ユーザーにとっても重要である。特に、通信や放送の分野では、以下の有効性を背景に、衛星を介した電波利用の重要性が増大している。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。

- (1) 地上系の無線通信に比べ、格段に広いサービスエリアを持つ。
- (2) 新規回線の増設などにおいて、柔軟な回線設定が可能である(有線系の回線工事などが不要)。
- (3) 放送業務に代表される、伝達情報の同報性が世界的規模のサービスエリア内で容易に実現できる。

このため、違法電波の発射や、国際協定に違反した衛星による混信、妨害が引き起こされる可能性も増大している。このように、違法電波を監視し、指導、摘発、排除するための宇宙電波監視施設の整備は、その社会性や国際貢献の面において急務となっている。

### 3 運用概念と機能・性能要件

#### 3.1 運用概念

宇宙電波監視業務では、以下の役割を担っている。

- (1) 国際的に登録された内容に基づいて運用していると想定される衛星に対する計画的な“監査”業務
  - (2) 国際登録されていない衛星、又は不法衛星の“探査”業務
  - (3) 電波の利用実態などを明らかにするとともに、混信・妨害の検知、申告があった場合、その詳細情報を取得するための“調査”業務
  - (4) 上の三つの役割に対してその結果を“報告”する業務
- これらの業務のうち、比較的定型的な業務については極力自動化し、業務の効率を高めることが要求される。

#### 3.2 機能・性能要件

- (1) 受信部 監視できる受信周波数範囲は、静止衛星のダウンリンク用としてITUで割り当てられている全帯域が対象となり、衛星が使用しているすべての偏波に対応できることが必須条件となる。この施設に対する

表1. 宇宙電波監視施設に要求される受信帯域と偏波  
Frequency range and polarization requirements

帯域	周波数範囲 (MHz)	偏波
L	1,525 ~ 1,710	円偏波(右旋/左旋) 直線偏波(水平/垂直)
S	2,120 ~ 2,690	同上
C	3,400 ~ 4,800	同上
Ku	10,700 ~ 12,750	同上
Ka	17,700 ~ 21,200	同上

受信帯域及び偏波の要件を表1に示す。

- (2) 衛星追尾・測角部 静止衛星は、ITU RR( Radio Regulations )によりその軌道範囲を維持するように規定

されている。

近年、その運用を開始した静止衛星の多くは、もっとも厳しい $\pm 0.1$  degの軌道維持が義務づけられており、実際には、 $\pm 0.05$  degの範囲に維持、運用されている場合も少なくない。このため、静止衛星の位置を監視するには非常に高い測角精度が必要となる。この施設に

表2. 宇宙電波監視施設に要求される測角精度  
Tracking accuracy requirements

帯域	測角精度
L	0.1 deg rms 以下
S	0.08 deg rms 以下
C	0.03 deg rms 以下
Ku	0.02 deg rms 以下
Ka	0.01 deg rms 以下

rms : root mean square

対する測角精度の要件を表2に示す。

- (3) 運用スケジュール部 監視業務は、円滑かつ効率的に運用するために、要員が設定したスケジュールに従って自動で行う必要がある。また、自動運用を効率良く行うためには、監査、探査、調査の各業務に応じた測定項目とスケジュールを運用員が容易に設定、変更、調整できる機能が不可欠である。
- (4) 測定部 測定部においては、運用スケジュールで登録された測定項目について、迅速かつ高精度で測定を行い、ITUに登録されている衛星情報と比較することが必要である。このシステムが対象とする測定(推定、支援を含む)項目を以下に示す。
  - (a) 衛星の静止位置
  - (b) 周波数
  - (c) 占有周波数帯幅
  - (d) スプリアス発射<sup>(注2)</sup>の強度
  - (e) 電波型式
  - (f) 等価等方輻射電力(EIRP)
  - (g) 電力束密度(電波の到来角を含む)
  - (h) 偏波面及び偏波角度
  - (i) 周波数利用状況(率)
  - (j) トランスポンダ利用状況(率)
- (5) 分析部 過去に収集した各種測定情報を統計分析的に処理することで、監視対象となった衛星の運用状態や、電波諸元の時間的推移などを把握する。
- (6) 較正部 電波監視の立場から、その性能は高精度に維持する必要がある。このため、運用系監視情報の測定経路に監視ごとに較正信号を入力し、測定性能の

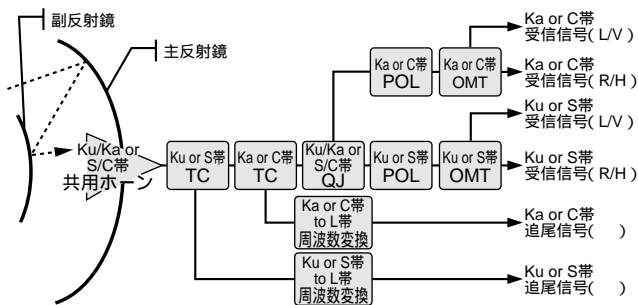
(注2) 必要周波数帯外における不要電波の発射(不要輻射)

変動が監視のつど、自動的に較正される必要がある。

#### 4 ハードウェアの特長

##### 4.1 RF受信部の特長

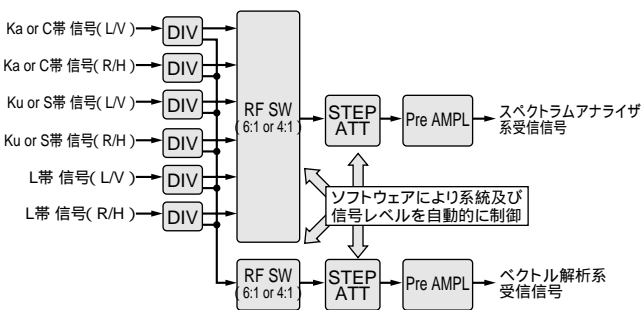
L/S/C/Ku/Kaの周波数帯及び複数偏波にわたる不特定多数の衛星電波は、直径5m(L/Ku/Ka帯用)及び11m(S/C帯用)の2台のカセグレンアンテナ<sup>(注3)</sup>で受信される。これらのアンテナは、L/Ku/Ka帯及びS/C帯の全帯域を同時に受信できるという特長を持っている。両アンテナは、円偏波/直線偏波を切り換えて出力する。いずれかの偏波に設定された場合、右旋/左旋(又は水平/垂直)偏波の受信信号については同時に出力される(図2)。この信号は、RF受信部で



TC(Tracking Coupler): 高次モードを利用したトラッキング信号の分離・抽出  
 QJ(Quad Junction): 周波数帯域の分離  
 POL(Polarizer): 位相制御  
 OMT(Ortho-Mode Transducer): 偏波別信号の分離  
 L/V(Left hand circular/Vertical): 偏波の組合せ  
 R/H(Right hand circular/Horizontal): 偏波の組合せ  
 :モノパルス追尾を行うには電波の位相を90°ずらした2種類の信号が必要になる。  
 その一つを差チャンネル(チャンネル)他方を和チャンネル(チャンネル)と呼ぶ。  
 (注) L帯は電気的に独立した系で構成している。

図2. アンテナシステム 受信信号は、右旋/左旋(又は水平/垂直)偏波が同時に出力される。

Antenna subsystem



STEP ATT(Step Attenuator): ステップ減衰器  
 Pre AMPL(Pre-Amplifier): 前置増幅器  
 SW(Switch): スイッチ  
 DIV(Divider): デバイダ  
 (注) L/Ku/Ka帯対応の場合は、受信RF信号6系統に対応。S/C帯対応の場合は、受信RF信号4系統に対応。

図3. RF受信系システム 受信信号は、信号レベルを制御し、観測対象となる周波数帯及び偏波を抽出する。

RF management subsystem

(注3) 主反射鏡及び副反射鏡で構成されるパラボラアンテナで、副反射鏡の鏡面が双極凸面構造をしたもの。

適正な信号レベルに制御された後、観測対象となる周波数帯及び偏波の信号だけを抽出し、計測部に送られる(図3)。

##### 4.2 衛星追尾・測角部の特長

追尾部は、全受信周波数範囲で高い測角精度を実現する必要があり、この施設では位相モノパルス方式を採用している。各周波数帯ごとに高次モード(TE21)で抽出した信号から和・差信号を生成、L帯に周波数変換し、モノパルス追尾を実現している。また、アンテナ位置の検出は、19ビットのオプティカルエンコーダを使用したサーボループ(ACサーボ)を形成することで、高精度な位置検出・制御機構を実現している。

アンテナを衛星の静止位置に向ける場合、いかに高精度な追尾系を持っていたとしても、衛星の絶対的な方向に対する高い検出(測角)精度を保証するためには、いくつかの誤差要因を排除する必要がある。測角情報に重畳される誤差には、測角誤差のランダム成分として現れる追尾系の誤差と、バイアス成分として現れる大気による電波の屈折、追尾部の調整及びアンテナ軸の傾きによる誤差などが挙げられる。モノパルス追尾の採用により、測角誤差のランダム成分は高精度に保証される。一方、バイアス成分をキャンセルするための基準として、光学的に静止衛星の位置を観測する“静止衛星光学観測装置”(GSOMS: Geostationary Satellite Optical Monitoring System)(図4, 図5)を設け、この装置を用いた角度較正を行うことで要求される測角精

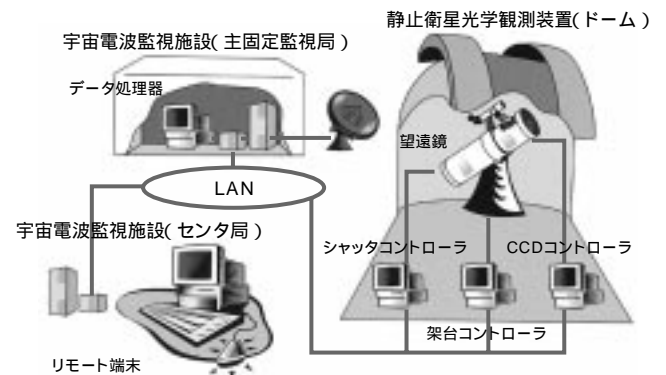


図4. 静止衛星光学観測装置のシステム構成 静止衛星光学観測装置と宇宙電波監視施設はLANで接続されている。

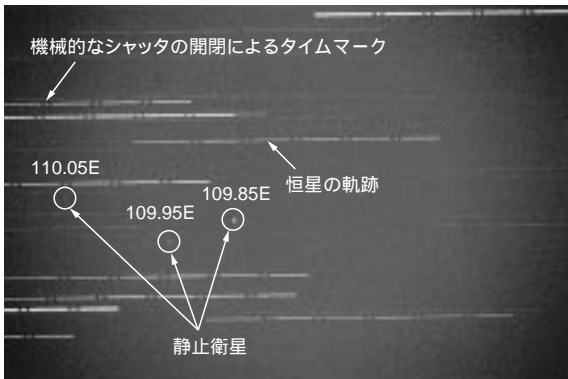
System configuration of Geostationary Satellite Optical Monitoring System(GSOMS)

度を実現した。

#### 5 ソフトウェアの特長

##### 5.1 ソフトウェア構成

このソフトウェアでは、リアルタイム性と多量のデータを扱う必要があるため、クライアント/サーバ方式を使用している。



E : 東経

図5. 静止衛星光学観測装置の画像データ(例) 静止衛星は点状に、恒星は線状に撮影される。  
Example of picture taken by GSOMS

構成としては、アンテナ及び計測・測定系から成る主固定監視局とホストコンピュータ及びユーザーインターフェースから成るセンタ局で、機能分割がされ、マルチプロセスによる効率的な処理を実現している(図6)。測定情報などのデータベース(DB)管理ソフトウェアとしては、RDBMS( Relational Data Base Management System)のORACLE<sup>注4)</sup>を使用し

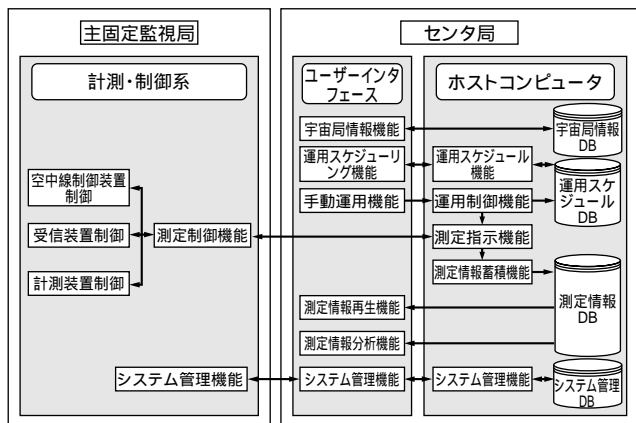


図6. ソフトウェアの構成 測定情報は、ホストコンピュータのDBに保持される。  
Software configuration

ている。

### 5.2 ユーザーインターフェースの特長

運用方法を十分考慮した画面構成とGUI( Graphical User Interface)により高い操作性を実現している。例として、宇宙局配置図表示画面を図7に示す。この画面は、静止衛星の静止位置情報を地図上に表示する画面である。

(注4) ORACLEは、Oracle Corporationの登録商標。

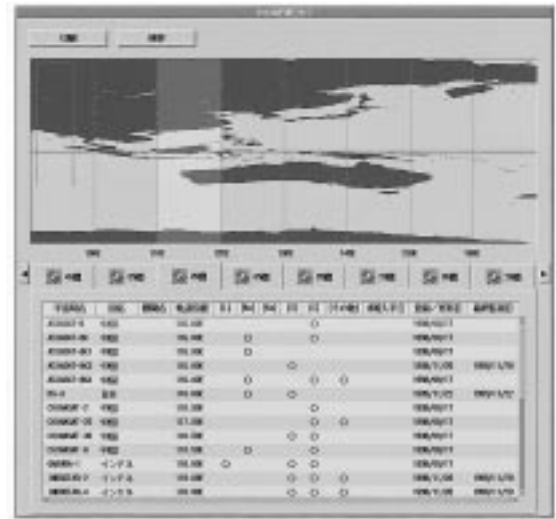


図7. 宇宙局配置図の表示画面(例) 指定された静止軌道範囲内の宇宙局が画面の下部に一覧表示される。  
Example of space station location map display

### 5.3 測定ソフトウェアの処理手順

運用スケジュールに登録された監視内容に従って、空中線制御装置、受信装置、計測装置を制御し、静止衛星の追尾を実施する。追尾後、運用スケジュールで登録された監視項目に従って測定を行い、測定したデータは、DBに保存される。測定データは、宇宙局情報DBに登録されているデータと照合し、衛星の同定や許容値判定を実施する。このソフトウェアにより静止衛星の測定系の自動化を実現した。

## 6 あとがき

宇宙電波監視施設は現在稼働中であり、郵政省指導の下、機能・性能面におけるいっそうの向上を継続している。

今後は、これまでに培った宇宙電波監視の技術を生かし、更に高度な監視機能の実現に向け、研究・開発を続けていく。

## 謝辞

この施設の開発にあたり、ご指導、ご助言をいただいた郵政省 電気通信局の関係各位に深く感謝の意を表します。



安藤 康浩 ANDO Yasuhiro  
情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術  
部主務。宇宙電波監視施設のシステム・ハードウェア  
の開発・設計に従事。  
Komukai Operations



野沢 達哉 NOZAWA Tatsuya  
情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術  
部主務。宇宙電波監視施設のソフトウェアの開発・設  
計に従事。  
Komukai Operations