

# 静止気象衛星ひまわり 8号・9号の地上システム

腕野一磨\*  
田中 剛\*  
西村修司\*

Ground System for Himawari-8/-9 as Geostationary Meteorological Satellite

Kazuma Udeno, Tsuyoshi Tanaka, Shuuji Nishimura

## 要 旨

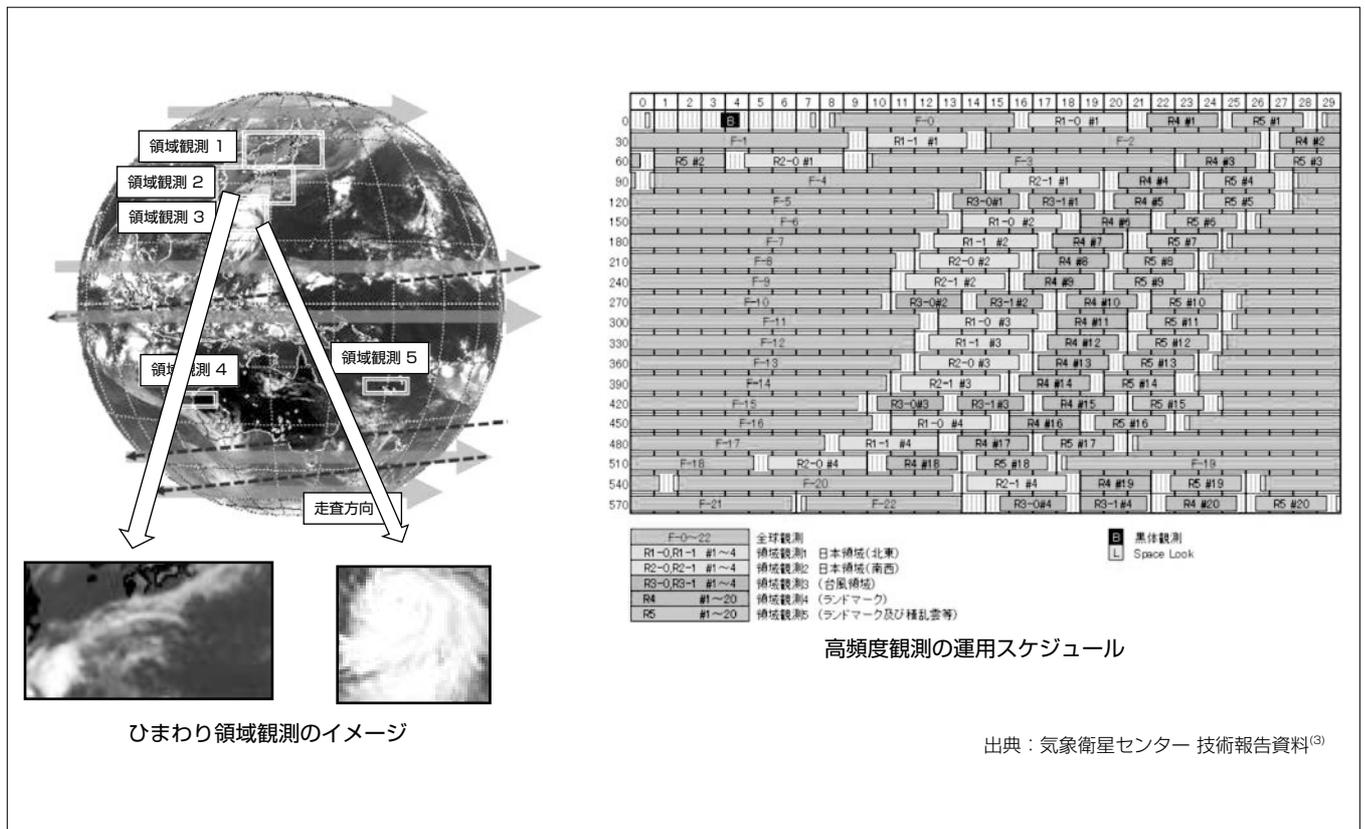
気象庁は1978年から約35年にわたって気象衛星ひまわりの観測情報等を利用して気象予報を実施している。そして2015年には現行のひまわり7号の観測機能が設計寿命を迎える。後継機のひまわり8号が2014年10月7日に無事打ち上げられ、2015年夏以降に本格運用を開始する予定である(ひまわり9号は2016年夏期に打ち上げ予定)<sup>(1)(2)</sup>。

ひまわりを利用した気象観測は、国民の日常生活に身近な天気予報や洋上の台風監視、また地球規模の雲、水蒸気分布等の観測に有効であり、その観測情報は日本国内だけでなく気象衛星を持たないアジア・太平洋地域にも提供され、気象情報・防災情報として広く有効活用されている。また、昨今短時間に急激に変化する集中豪雨や竜巻等の局

地的な気象現象の予測に対する期待も高まっており、さらに重要性を増している。

ひまわり8号・9号の衛星では、必要な観測領域に対して2.5分ごとの高頻度観測が可能な先進機能を搭載しており、刻々と変化する台風進路や局地的気象現象に追従して柔軟に観測領域を選択することによって、きめ細かい気象予報に役立てることができる。

本稿では、衛星の高頻度観測機能に対応した運用を実現するため、地上設備から衛星に対して観測対象領域情報を2.5分ごとに繰り返し指示するシステム機能を開発するに当たっての課題と対策、及びシステム設計上考慮した点について述べる。



## ひまわり8号・9号の観測イメージと運用スケジュール

左は、観測された部分的な領域画像イメージの例として台風領域の観測イメージを示す。右は、定常運用パターンでの10分間観測運用と2.5分ごとの領域観測の運用スケジュールを示す。

1. ま え が き

ひまわり 8号・9号の2機の衛星は2015年から2029年度まで15年間にわたって日本初の衛星運用PFI(Private Finance Initiative)事業によって運用されることとなり、“気象衛星ひまわり運用事業(略称HOPE)<sup>(4)</sup>”が2010年に受注した。

ひまわり地上システムには衛星運用PFI事業向けシステムとして2つの要件が求められる。1つは安定的に確実な運用サービスを継続できること、もう1つはひまわり衛星の観測機能の特長を生かした運用機能を持つことである。

本稿では、これら2つの要件を満たすシステム開発のポイントを述べる。

2. ひまわり観測運用の概要

2.1 ひまわり地上システム構成

ひまわり地上システムは主局・副局の2局から構成され、各局には衛星と電波を送受信するアンテナ設備を配置するアンテナサイト(AS)と計算機システムが稼働するデータセンター(DC)を配置し、主に主局データセンターから24時間体制で衛星管制運用と観測データ運用が行われる。

局配置、アンテナ設備、計算機システムの各設備で冗長構成をとり、複数経路で観測データを受信・伝送することによって、大規模災害発生時にも運用継続可能な堅牢(けんろう)なシステム構成とした。これによって、設備点検と保守や機器故障で冗長システムに切り換える際にも、衛星と電波を送受信するアンテナ設備の切り換え処理時間を最小化することが可能となり、安定的かつ確実な運用サービスが継続可能な構成とした。

データセンターの地上システムは、次の3つの主要システムから構成される(図1)。

(1) 衛星管制システム

衛星の状態監視、軌道制御、領域観測指示等の衛星管制全般を行う。

(2) 放射計データ処理システム(RDACS)

観測画像データの受信、観測画像ファイルの作成と伝送、観測領域の選定処理等を行う。

(3) 通報局処理システム

船舶や離島等の通報局で観測されてひまわりで中継された気象情報を受信し、気象庁に伝送する。

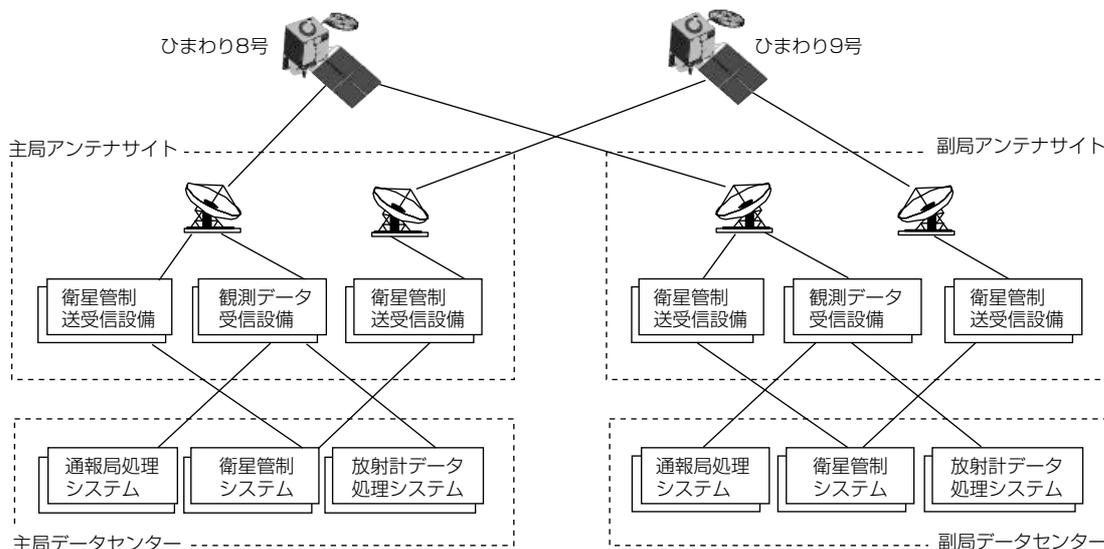
(1)、(3)を三菱電機が整備し、(2)は気象庁から貸与されている。

2.2 ひまわり観測運用の概要

衛星管制システムが指示した観測計画情報に従って衛星上で観測された観測データを地上設備が受信し、即時に気象庁にデータを伝送する。気象庁は受信した観測データを最適化処理した後、国内外の様々な政府機関や民間機関に伝送し、広く活用される(図2)。

ひまわり観測運用では、全球観測や日本領域観測といった固定領域の観測運用に加え、ひまわり衛星の観測機能の特長である2.5分ごとに指定が可能な可変領域の観測運用を行う。固定領域観測は衛星上で繰り返し自動的に観測され、可変領域観測は台風や積乱雲の指定領域等の観測領域を地上システムから指定して期待する領域を観測する。

可変領域観測は、気象庁が指定した観測領域指定情報がRDACS経由で衛星管制システムに送られ、衛星管制システムが観測領域を運用計画に取り込んだ後、衛星に観測指示情報として登録する。自然現象の変化に柔軟に対応した観測領域を指定するため、気象庁からの指定情報は観測開始直前の2分前まで可能とし、受信後2分間で衛星に登録処理する(図3)。



※ ひまわり8号が観測衛星のケース

図1. ひまわり地上システムの構成(イメージ)

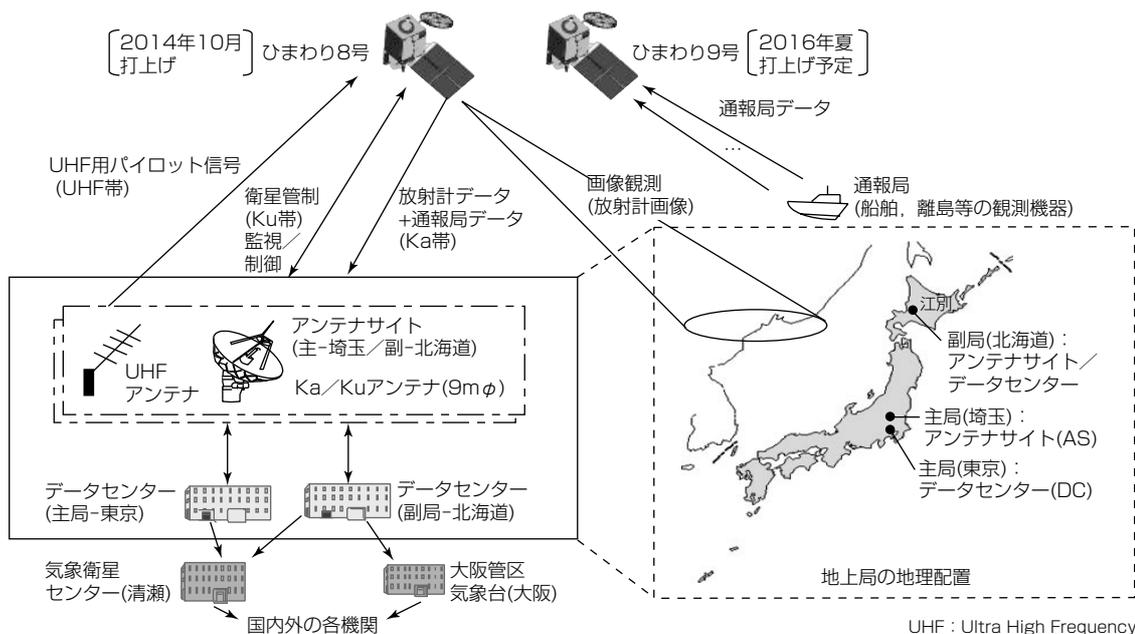


図2. ひまわり運用概念図

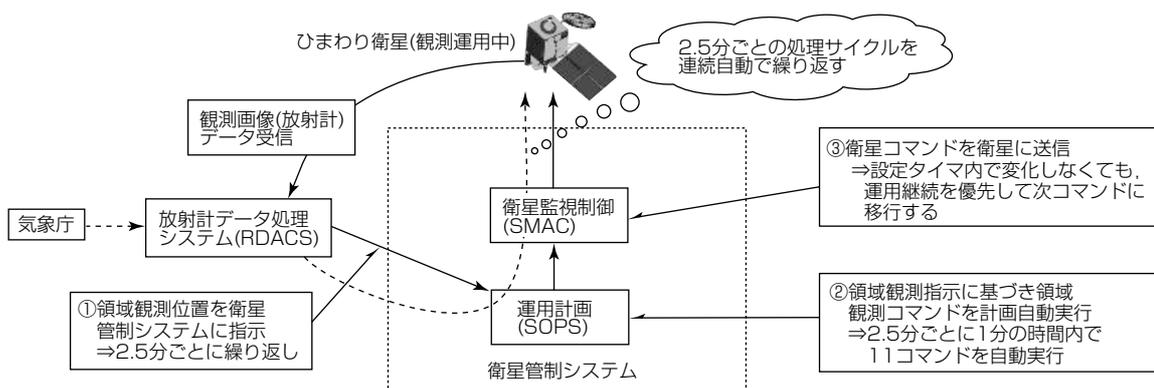


図3. 観測領域指定にかかわるデータフロー

観測領域指定情報を地上設備内で効率的かつ確実にインタフェースし、24時間連続的に繰り返すことができるシステムの詳細を次に述べる。

### 3. 運用要求実現のためのシステム課題と対策

#### 3.1 観測運用要求における課題

地上システムでは2.5分間の観測スケジュールごとに観測開始2分前まで11か所の観測領域指定を受け付ける。2.5分間の流れを図4に示す。この観測領域指定コマンド11個の送信には1分弱の時間を要するため、観測開始1分前から衛星にコマンド送信する設計とした。衛星は観測領域の指定がなかった場合は、前回登録した指定領域の観測を繰り返すことになり2.5分ごとに確実に指定する必要がある。2.5分間のうち1分間がこの気象衛星特有の観測領域指定運用で占有することになることから、この観測領域指定運用を確実に地上システム実現のために次に述べる3つの課題に対応した。

#### 3.1.1 観測領域指定以外の衛星運用時間(課題①)

観測領域指定は観測開始1分前にコマンド送信して衛星で即時実行するためリアルタイムコマンド方式による運用とし、ほかの衛星運用は残り1.5分の間に一旦、衛星にコマンド登録を行い、時刻指定でコマンド実行をするストアードコマンド方式とする必要がある。

#### 3.1.2 観測領域指定以外の地上局運用時間(課題②)

コマンド送信は地上局アンテナから衛星にアップリンクを行い、衛星とのコマンド送信回線を確立する必要がある。この運用は1分の時間を要する。また、衛星は2つの地上局アンテナから同時にコマンド送信回線を確立すること(ダブルアップリンク)を故障要因となるため禁止している。そのため定常は常時1つの地上局アンテナからコマンド送信回線を確立しておくことで対応しているが、保守などによってコマンド運用局を切り換えることは観測運用中も必須の運用であり、1.5分の空き時間で実施する必要がある。

	観測A開始時刻 観測B 2.5分前	観測B 2分前	観測B 1分前	観測B開始時刻 観測C 2.5分前
RDACS(気象庁指示)	観測B指示送付締切り	観測C指示送付締切り		
衛星管制システム(計画管制)	他計画運用指示	観測B指示取り込み 観測B位置指示	他計画運用指示	
衛星管制システム(監視制御)	観測指示以外CMD運用		観測B指示送信	観測指示以外CMD運用
衛星(CMD受信)	観測指示以外CMD受信		観測B指示登録	観測指示以外CMD受信
衛星(観測)	観測A(2.5分間)	観測B(2.5分間)		

CMD : コマンド

図 4. 観測領域指示運用

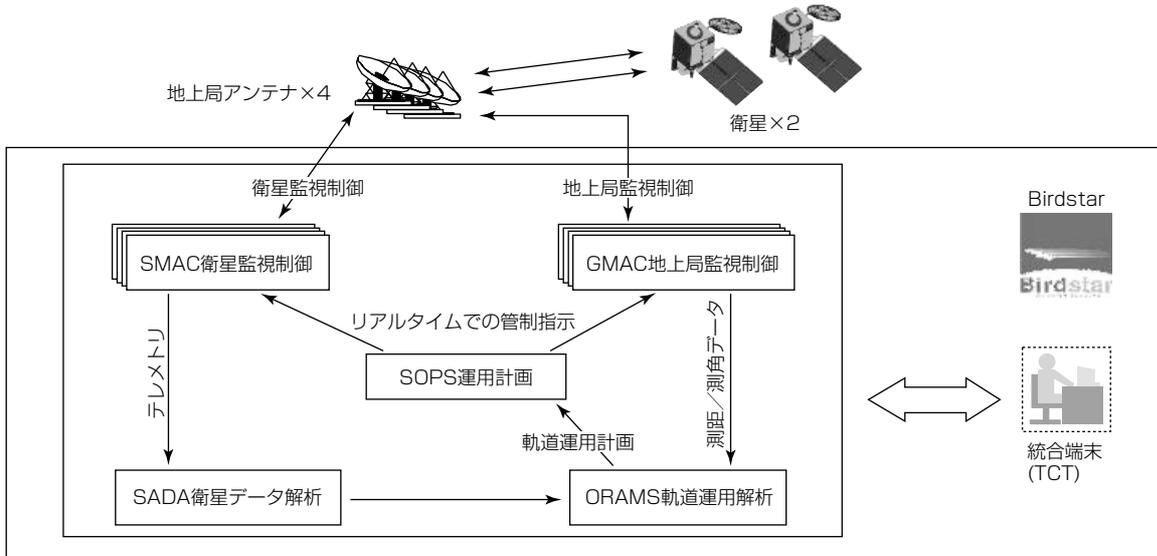


図 5. 統合計画管制

3.1.3 運用者の負荷軽減(課題③)

ひまわりはPFI事業として運用コストを抑えるために、必要最小限の運用者で2衛星の同時運用を行う。観測領域指定のような密な運用は運用負荷が高く、運用ミス誘発する可能性がある。運用の計画自動化を最大限図ることで安定的な運用を実現する必要がある。

3.2 地上システムでの対策

これらの課題に対して主に衛星管制システムで対策を行った。衛星管制システムには衛星管制ソフトウェア“Birdstar”を適用している。Birdstarは当社で開発したソフトウェアパッケージであり、“衛星監視制御(SMAC)”“地上局監視制御(GMAC)”“運用計画(SOPS)”“軌道運用解析(ORAMS)”“衛星データ解析(SADA)”といったソフトウェアから構成される(図5)。

ORAMSでの軌道運用計画を基にSOPSで計画立案を行い、SMAC, GMACが計画に従いコマンド実行をする。

3.2.1 統合監視機能(課題③への対策)

SOPSはこれまでオフラインでの運用者による計画立案の支援ソフトウェアであったが、今回、統合監視機能として8号・9号の衛星監視制御装置及び地上アンテナ4台の

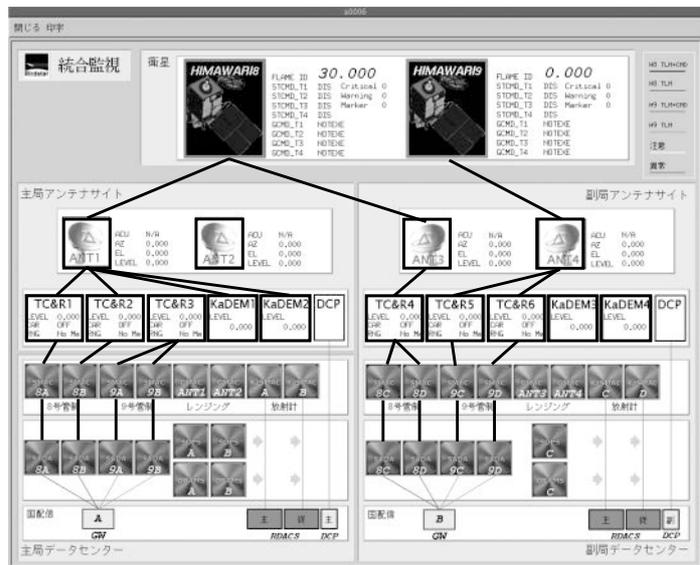
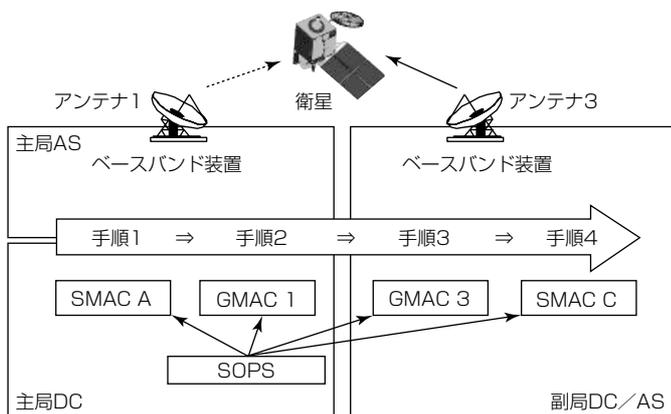


図 6. 統合監視画面

地上局監視制御装置を監視して、統合計画管制機能として計画運用指示を行うリアルタイム機能を構築した。代表的な監視情報を全ての衛星監視制御装置及び地上局監視制御装置から収集して、2つの衛星及び2つの地上局の統合的な実行状況を図6のように監視可能とした。図の画面では、



手順	ソフトウェア	内容
1	SMAC A	衛星とのコマンド送信回線を停止
2	GMAC 1	アンテナ1のアップリンクを停止
3	GMAC 3	アンテナ3のアップリンクを開始
4	SMAC C	衛星とのコマンド送信回線を確立

図7. コマンド系切換え

衛星管制システムから衛星までの接続状況を表示しており、各種異常を検知した際には運用者に報知する。

3.2.2 統合計画管制機能(課題①, ②, ③への対策)

SMACは衛星ごとに主局2系統, 副局2系統の計4系統による冗長構成としている。SOPSは計画実行時刻の1分前にこれら4系統のうちコマンド送信可能な系を確認して計画実行指示を行う。SMACの突発的な故障など、コマンド送信可能な系が見つからない場合にはアラーム鳴動で運用者に報知して再接続を促し、計画実行時刻まで計画送信のリトライを繰り返す。

また、衛星運用だけでなくコマンド運用局の切換えといった地上局運用も定常は計画運用を行う。SOPSは1.5分の中で切換えに必要な手順を各ソフトウェアに実施させる。図7は手順1から手順4を順番に計画実行することでコマンド運用局をアンテナ1からアンテナ3に切り換える例である。

3.2.3 コマンド系切換え機能(課題②, ③への対策)

電波干渉や地上局設備故障などによって、突発的にコマンド運用局の切換えが必要となった場合に備えて、運用者がSOPSからコマンド系の切換え手順を手動で実行できる機能を設けた。運用者が画面上で“コマンド運用停止”を選択することで図7の手順1, 手順2を実行し、“アンテナ3コマンド運用開始”を選択することで手順3, 手順4を実行する。これによって運用者は短時間でコマンド運用局の切換えを行うことができる。

3.2.4 自動アップリンク停止機能(課題②, ③への対策)

運用人員の最小化のために地上局アンテナサイトは通常、無人としている。被災などデータセンターからの遠隔制御ができなくなった場合にアップリンク停止が行えないと別

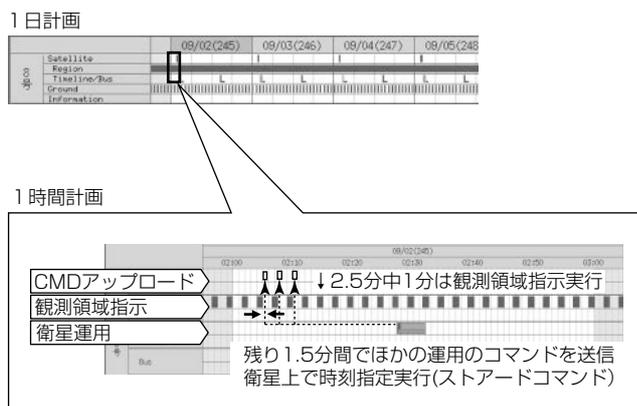


図8. アップロード計画分割

の地上局に切り換えての運用継続ができない。この対応として、アンテナサイト側のベースバンド装置にデータセンターからの接続を監視してネットワークの切断を検知した場合にアップリンクを自動停止する機能を備えた。

3.2.5 アップロード計画分割機能(課題①, ③への対策)

SOPSでの計画立案機能の1つとしてストアードコマンドのアップロード計画分割機能を開発した。衛星に登録するストアードコマンドの送信運用を1コマンド当たりの送信時間を考慮して1.5分間隔に自動的に分割して割当てを行う(図8)。これによって運用者の計画立案負荷を軽減している。

3.3 対策の効果

3.2節で示した各種対策を組み合わせることによって、気象衛星特有の密な観測領域指定運用を継続した上で、運用者の負荷を極力抑えた形での衛星及び地上局の運用を実現した。この対策によって計画的な衛星運用やコマンド運用局の切換えで指定領域の観測を止めることなく継続可能となる。また干渉や災害など突発的なコマンド運用局の切換えが発生した場合にも、運用者の初動支援及び対応負荷の抑制によって短時間での切換えを可能とした。

4. む す び

ひまわり地上システムは2015年度からHOPEが気象庁に対する衛星運用サービスを開始する予定であり、今後2029年度まで15年間の長期間にわたる事業として、観測データを安定提供し続ける重要な役割が期待されている。

参 考 文 献

- (1) 気象庁のホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/>
- (2) 気象衛星センター, <http://www.jma-net.go.jp/msc/ja/>
- (3) 横田寛伸, ほか: 静止地球環境観測衛星「ひまわり8号及び9号」の紹介, 気象衛星センター技術報告, No.58, 121~138 (2013)
- (4) 気象衛星ひまわり運用事業(株), <http://hope-pfi.jp/>