

通信衛星・気象衛星の最新開発状況

関根功治* 米地寛夫*
野口龍宏*
坂井英一**

Status of Recent Communication Satellites and Meteorological Satellites Series

Koji Sekine, Tatsuhiko Noguchi, Eiichi Sakai, Hiroo Yonechi

要 旨

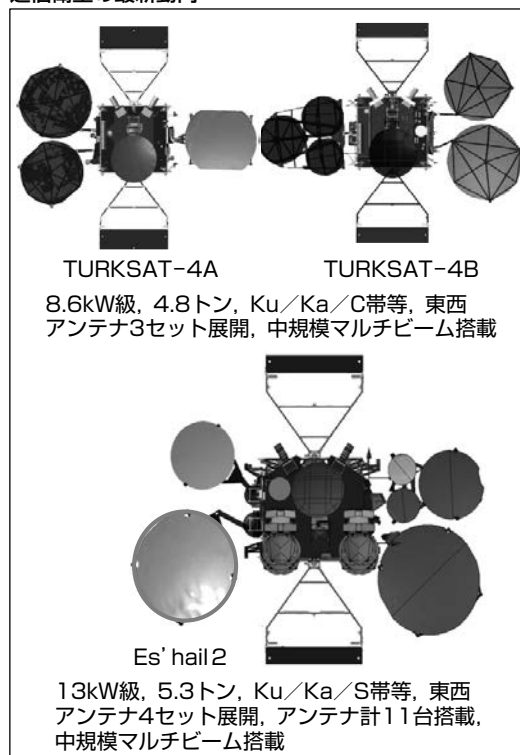
三菱電機の静止衛星事業は2002年打上げのデータ中継技術試験衛星(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 当時、(独)宇宙開発事業団(NASDA))以来、通信衛星6機、気象衛星3機、準天頂測位衛星1機の着実な運用と性能向上を重ねてきており、現在7機の静止衛星標準バス“DS2000”衛星を開発製造中である⁽¹⁾⁽²⁾。

通信衛星は固定通信・移動体通信等の通信インフラを定常時に提供するとともに、災害時・緊急時には地上通信インフラに替わって対象地域に通信サービスを提供できる。近年Ku/Ka帯のマルチビームを用いたHTS(High Throughput Satellite)は商用通信衛星需要の過半を占めるようになってきているが、更にチャネライザやビームフォーミング技術を組み合わせることで、通信需要の変化に柔軟に対応した通信サービスを提供できる。当社も次世代チャ

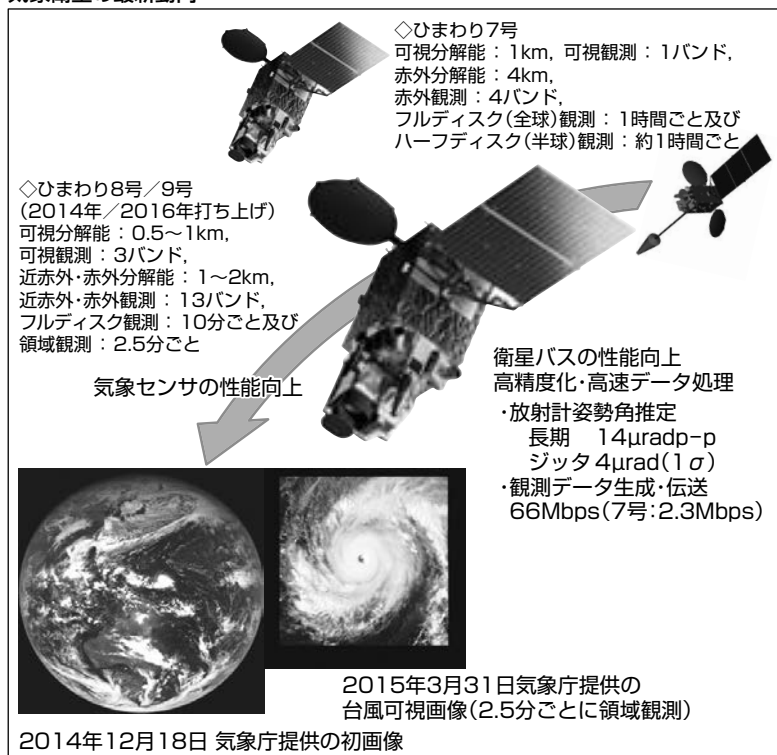
ネライザの開発等によって最新の技術動向に対応していく計画である。当社製造の最新の商用通信衛星としては、トルコTURKSAT社の通信衛星TURKSAT-4AとTURKSAT-4B、カタールEs'hailSat社の通信衛星Es'hail 2がある。

また、気象衛星は静止軌道からの高分解能・高頻度観測によって、台風や局地的大雨等を的確に監視する上で重要な国家インフラとなっている。気象庁によって2015年7月から運用が開始されたひまわり8号は、分解能・観測バンド数・観測頻度に関してひまわり7号より大きく性能が向上している。2016年11月にはひまわり9号が打ち上げられて、静止軌道で試験中である。当社はDS2000バスに広帯域姿勢センサ・低擾乱(じょうらん)ホイール・気象ミッション計算機・UHF/Ku/Ka帯通信系を追加搭載し、気象観測に適する姿勢決定精度と低擾乱性能、通信性能を実現している⁽³⁾。

通信衛星の最新動向



気象衛星の最新動向



通信衛星・気象衛星の最新動向

近年、静止通信衛星ではマルチビームによる通信容量増大とともに、各チャネルの周波数・帯域のフレキシブル化も同時に進んでおり、当社もKa帯マルチビームを含む通信衛星を開発している。気象衛星ではひまわり7号に続き8号、9号を開発して最先端の気象インフラを提供している。

1. ま え が き

本稿では安全・安心に向けた通信衛星の技術動向と当社の最新の商用通信衛星、及び広帯域姿勢決定機能と低擾乱性能を確認した、気象衛星ひまわり8号の軌道上性能について述べる。

2. 安全・安心に向けた通信衛星の動向

2.1 通信衛星のトレンド

衛星通信で近年求められている要求として、①端末の小型化と通信の大容量化、②非常時通信への対応がある。この要求に対する技術的な解として、①マルチビームによるスループット向上と②通信ペイロードの帯域・周波数・カパレッジの軌道上フレキシビリティ化が、近年実用化されつつある。これらは①衛星バスの大型・大電力化と②通信ペイロードのデジタル化によって可能となっており、欧米各社も衛星バスと通信システムの開発を加速させている。

UHF/L/S帯における狭帯域の音声中心のサービスでは、運用に制約があるケースがあるものの、ここ数年でスマートフォンサイズの衛星通信端末が出現している。一方、比較的広帯域が確保しやすいKu/Ka帯等では、総帯域で100Gbps級のHTSと呼ばれる衛星が実現され、移動体で使用する小型のアンテナでも100Mbpsクラスの通信が可能となってきた。

2.2 求められる通信技術

このような動向の中で、安全・安心に向けた衛星通信システムに対して、次のような要件が求められている。

(1) フレキシビリティの高い通信技術

マルチビームの採用によって衛星システム全体での利用可能帯域幅は飛躍的に向上するが、ビームによって必要帯域幅が異なる。また、通信需要は定常時には都市部に集中するが、災害発生時には帯域の狭いビームで需要が急増することも想定される。このようなケースでも、柔軟に帯域や周波数を変更できる衛星通信システムへの要望が高まっている。マルチビーム衛星にチャネライザやビームフォーミング技術を適用し、各照射ビームの周波数・帯域・覆域を需要に合わせて変更できるシステムである(図1)。

(2) デジタル化による搭載中継器の標準化

通信ペイロードの大規模化、周波数プラン・ビーム接続要求の複雑化に伴い、多数の入出力フィルタや機械スイッチ等アナログ機器だけによる設計・実装・試験は、物理的に限界となりつつある。中継器のデジタル化技術は(1)の通信フレキシビリティ確保とともに、設計標準化・実装効率向上・運用自由度向上につながる可能性を持っている。

(3) 干渉・妨害への耐性確保

静止軌道は物理的にも周波数的にも限られた資源である一方、静止衛星の数と使用帯域は増加の一途をたどってい

るため、隣接又は同一軌道衛星間の電波干渉問題は年々深刻化している。さらに、近年、意図的に通信衛星の運用を妨害するジャミング局の存在も問題となっており、このような干渉・妨害への耐性を持つ機能が求められている。具体的には、先に述べた周波数や覆域のフレキシビリティ機能とともに能動的にジャミングに対してヌル形成を行い、干渉・妨害を回避する技術が重要となってきた。

(4) 衛星管制の保全性確保

衛星管制のための通信(テレメトリコマンド)に関しては、安全・安心を提供するための衛星では保全性確保に留意する必要がある。この実現のため、管制通信データの高度な暗号化や拡散符号化、使用周波数のアジャイル化技術が求められている。

2.3 当社の取組み例

当社における通信衛星の開発でも、2.2節で述べた技術要件の取組みを継続的に行っている。代表的な例として、2.2節で述べた要件(1)~(3)を満たすデジタルチャネライザの開発が挙げられる。当社は2009~2012年にかけて第1世代のチャネライザを開発した⁽⁴⁾。さらに、帯域・チャンネル数等の性能を格段に向上させた第2世代チャネライザを、現在総務省・情報通信研究機構の指導の下で開発中である。安全・安心に向けた通信衛星への期待は今後ますます拡大すると考えられ、その実現には衛星搭載系とともに、地上処理系の通信ネットワークシステム抜きに議論することはできない。今後は衛星搭載系と地上システムを統合したシステム構築を進めていく予定である。

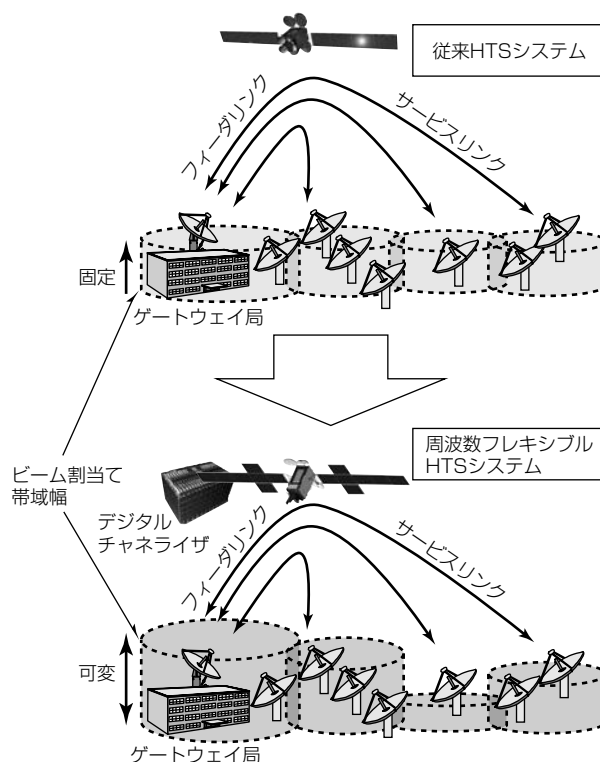


図1. 従来型HTSと周波数フレキシブルHTSの比較

3. 最新の商用通信衛星

3.1 通信衛星TURKSAT-4AとTURKSAT-4B

TURKSAT-4A(図2)及びTURKSAT-4B(図3)は、当社がトルコの国営衛星通信会社“Turksat Satellite Communication, Cable TV and Operation AS”から受注した通信衛星で、当社静止衛星標準バスDS2000衛星としては7機目、8機目の衛星である。TURKSAT-4AとTURKSAT-4Bは、それぞれ2014年及び2015年にILS社プロトンロケットによって打ち上げられ、軌道上で設計どおりの良好な通信性能とバス性能を確認して運用されている。TURKSAT-4Bは、中規模のKa帯マルチビームペイロードを搭載しており、この実績を足掛かりに当社も今後の大規模HTSへの発展を計画している。

3.2 通信衛星Es'hail 2

また、Es'hail(エスヘイル)2(図4)は、当社が2014年にカタールの国営衛星通信事業者であるEs'hailSat社から受注した通信衛星で、DS2000としては16機目のものである。2017年度にSpace-X社のFalcon-9ロケットで打ち上げられ、東経26度に配置される予定である。この衛星の打上質量は約5,300kg、太陽電池パドルの寿命末期での発生電力は13kW以上であり、Ku/Ka帯を中心に11台のアンテナを地球指向面及び東西面に搭載し、表1に示すように中東・アジア・北アフリカ地域へ放送・通信サービスを提供する。特に、衛星放送サービスでは、通常のKu帯でのサービスと



展開アンテナ3枚のうち、2枚の展開試験写真を示す

図2. TURKSAT-4Aのアンテナ展開試験

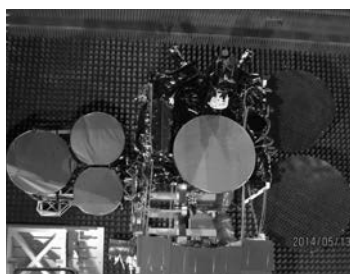


図3. TURKSAT-4BのCATR (Compact Antenna Test Range) アンテナパターン試験



図4. Es'hail 2の軌道上コンフィギュレーション

表1. Es'hail 2の通信系

衛星	周波数	地域	サービス
Es'hail 2	Ku/Ka帯	中近東 アジア 北アフリカ	衛星放送
	Ka帯	カタールなど	衛星通信
	S/X帯	グローバル	アマチュア無線サービス

ともに、干渉(ジャミング)発生時の耐性を考慮して、Ka帯でも地上局からのアップリンクを受信できる通信系を搭載している。また、世界初となる静止軌道上からの衛星アマチュア無線サービスのペイロードを搭載している。

この衛星は当社が製造し、納入してきたDS2000バス商用衛星の中では最大級のペイロード搭載能力と発生電力を持つものとなる(図4)。

4. 気象衛星の性能向上

4.1 気象観測能力の向上

ひまわり8・9号は、ひまわり7号と比較して、主に次の3項目に関して飛躍的な性能向上が図られている。それらの詳細を表2に示す。

- (1) 観測バンド数は、5バンドから16バンドへ
- (2) 空間分解能は、波長に依存するが約2倍
- (3) 空間頻度は、フルディスク(全球)観測が6倍、領域観測機能向上

この性能向上によって、全球だけではなく日本付近の観測や多くの台風、積乱雲を高頻度かつ高精度に観測可能であり、近年の激しい気象変化に対して機動性を発揮できる。

4.2 姿勢制御系の高精度化

ひまわり8・9号では恒星センサ(STT)による高精度姿勢決定系を搭載している。ひまわり7号の地球センサ(ESA)、太陽センサ(FSSA)ベースの姿勢決定系と比較して、センサやアルゴリズム自体の高精度化とともに、ESAの月・太陽干渉や、FSSAの検知可能領域切替えによる姿勢変動がなくなること、常時高精度の姿勢制御を実現しており、気象観測画像の精度向上に貢献している。

図5に、ひまわり7号とひまわり8号の姿勢決定値テレメトリを示す。ESA/FSSAベースの7号に比較して8号は常時高精度の推定を行っていることが確認できる。

DS2000は、TURKSAT-4A/B、Es'hail 2など、商用通信衛星でもSTT搭載の高精度姿勢決定系を標準化しており、高精度が要求されるマルチビームミッションにも対応する。

表2. ひまわり7号とひまわり8・9号の性能比較

	衛星	ひまわり7号	ひまわり8・9号
観測バンド数	気象センサ	イメージャ	可視・赤外放射計(AHI)
	可視観測	1バンド(白黒)	青、緑、赤の3バンド
	近赤外観測	なし	3バンド
	赤外観測	4バンド	10バンド
	合計	5バンド	16バンド
観測分解能	可視分解能	1 km	0.5~1 km
	近赤外・赤外分解能	4 km	1~2 km
観測頻度	フルディスク(全球)観測間隔	1時間	10分
	ハーフディスク(半球)観測間隔	約1時間	なし
	領域観測間隔	なし	2.5分

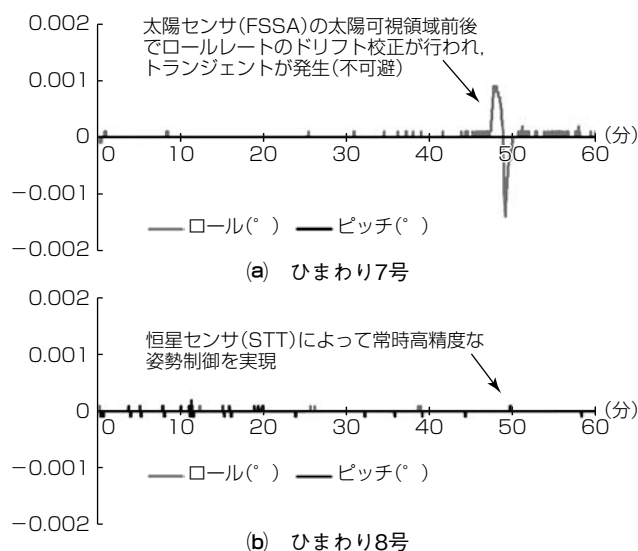


図5. ひまわり7号と8号の姿勢テレメトリの比較

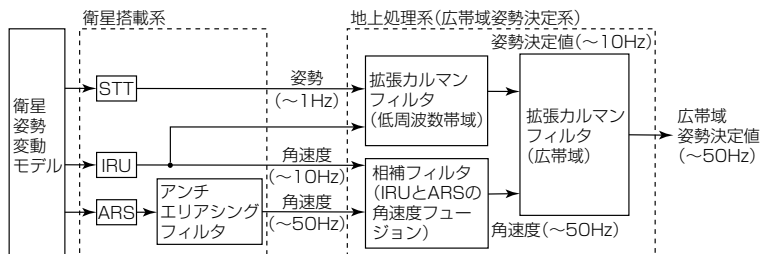


図6. 高精度・広帯域姿勢決定系のブロック図

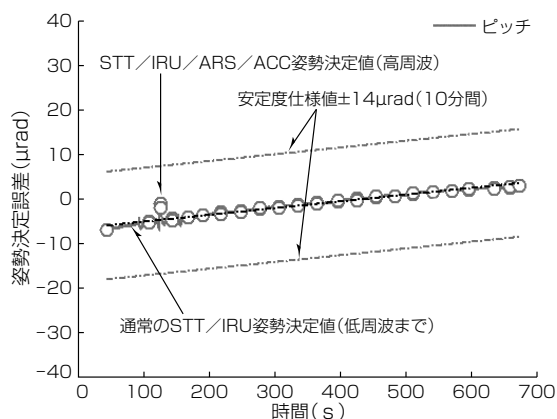


図7. 高精度・広帯域姿勢決定系の性能

4.3 地上処理による高周波姿勢決定

ひまわり8・9号では、STT、慣性基準装置(IRU)、及び高周波レートセンサ(ARS)、加速度計(ACC)を光学ベンチに搭載することによって、センサ間の相対アライメント誤差を最小化している。地上処理系ではこれらSTT、IRU、ARS、ACCのデータを使用して高周波領域を含めた放射計(光学ベンチ)の姿勢決定を行い、リアルタイムで気象画像の幾何補正を行っている(図6)。図7に高精度・広帯域姿勢決定誤差を示す。算出された誤差は、安定度仕様値 $\pm 14\mu\text{rad}$ (10分間)に対し、十分小さいことを確認した。

一方、高精度観測には、高周波数成分による影響も低く抑えることが要求されている。そのため、当社がこれまでの高精度観測衛星開発で構築した擾乱管理技術を適用し、

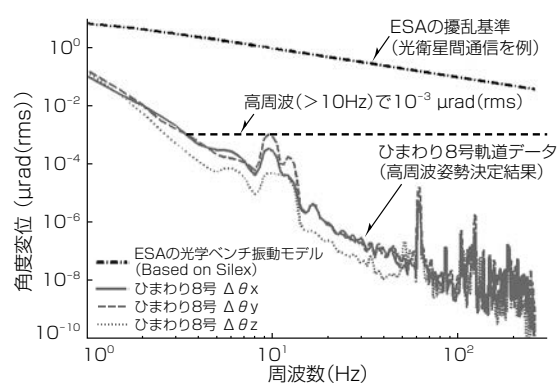


図8. ひまわり8号の光学ベンチの姿勢安定度

低擾乱コンポーネントを積極的に採用する等して擾乱源による影響を、 $4\mu\text{rad(rms)}$ (10分間)と非常に低レベルに抑える設計を行っている⁽⁵⁾。

図8にひまわり8号の軌道上での光学ベンチ姿勢安定度の周波数特性を示す。10Hz以上の高周波でも $10^{-3}\mu\text{rad(rms)}$ 以下と、非常に安定していること、及びESA(European Space Agency)の設計基準と比較しても非常に低いレベルを実現していることを確認している。なお、図中で確認される61Hz、122Hz、183Hz等の周波数は、放射計内部の冷凍機起因の成分である。

5. む す び

通信衛星の最新の技術動向とともに、当社の最新の海外商用通信衛星と気象衛星の軌道上広帯域精度検証結果について述べた。今後、大電力化と通信ミッションの高度化とともに、気象衛星の運用成果を反映させて更なる高精度化も図っていく。

参 考 文 献

- (1) 関根功治, ほか: 宇宙利用の技術動向と事業展開—世界の衛星リーディングカンパニーを目指して—, 三菱電機技報, **85**, No.9, 496~502 (2011)
- (2) 関根功治, ほか: 静止衛星標準バス“DS2000”の開発と今後の指針, 三菱電機技報, **90**, No.2, 115~118 (2016)
- (3) 西山 宏, ほか: ひまわり8号打ち上げ成功と定常運用開始, 三菱電機技報, **90**, No.2, 107~110 (2016)
- (4) 江島二葉, ほか: 次世代高速衛星通信用デジタルチャネライザ, 三菱電機技報, **88**, No.2, 127~130 (2014)
- (5) Takahara O., et al.: Prediction of the Micro vibration from Ground Test and Its In-orbit Evaluation of the Geostationary Meteorological Satellite“Himawari- 8”, Proc. of the 67th International Astronautical Congress, 26~30 (2016)