

◆ **オール電化衛星、小型・軽量化技術による打上げ質量削減**

通信ミッションの大規模化・大容量化に対応するため、大電力化、大推力化、軽量化、高精度化を実現

◆ **低価格化**

軽量化による低価格ロケットへの搭載、衛星設計・製造コスト削減技術等の採用によりコスト削減

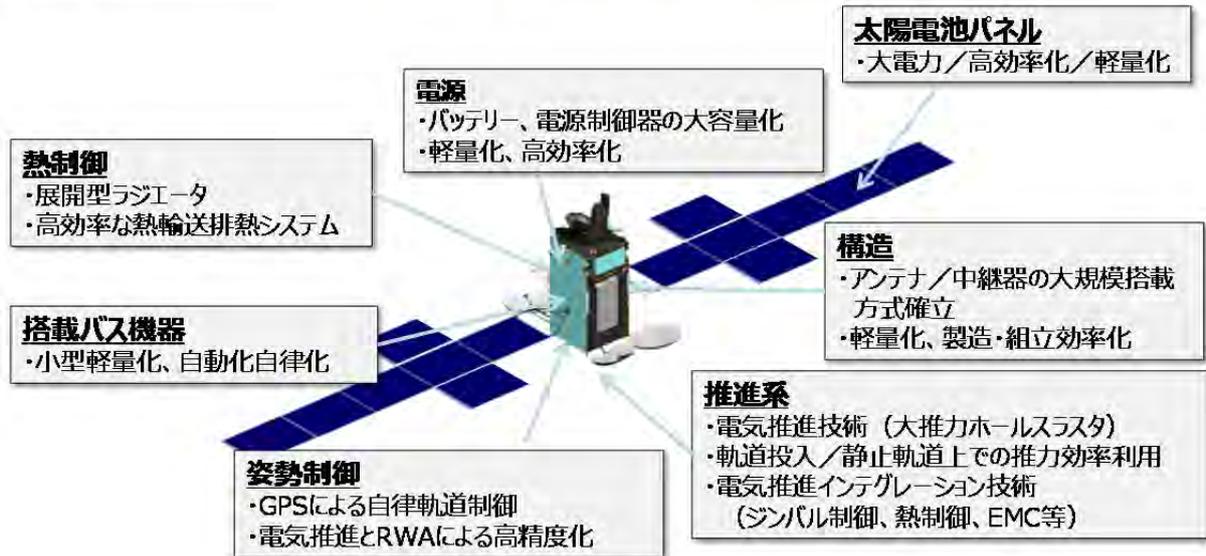


図8 次世代通信衛星の基本構想（バス）

ウ ミッションの基本構想

先に述べたとおり、将来衛星の構想に合致した通信ミッションの実現のためには、大きく分けて(i)大規模・大容量化と(ii)フレキシビリティの2つの開発アプローチが必要となる。

(i) 大規模・大容量化

現在ブロードバンド衛星通信向けに利用されている周波数帯域は、Ku帯及びKa帯が一般的である。このうちKu帯は長年商用の固定衛星通信として利用されていた経緯があり、帯域/衛星軌道位置がひっ迫しているのが現状である。一方、一般に周波数が高いほど利用帯域幅を広く確保することが容易であることもあり、現在HTSのユーザ利用帯域はKa帯に注目が集まっている。各国により実際に利用可能な帯域は異なるが、世界的に見た場合、固定衛星通信に対してUplink/Downlink各々に連続した3.5GHzの帯域を利用することが可能である。将来的にはさらに周波数の高いQ/V帯の利用も想定されるものの、本技術試験衛星打上げ時に対応したユーザ端末の量産・普及はまだ困難であるということや、本帯域については各国で利用状況が異なり、我が国では図9のように地上系システムにおける利用が進展しており、広帯域での利用が困難なことが想定されることから、当面の利用候補周波数帯域としてはKa帯が望ましい。

大容量化に向けてはビーム数を可能な限り増やす必要がある。ビーム数の限界は衛星で利用可能なリソースに依存するが、先に述べた衛星バスの大型化により、ミッションとして利用可能な電力は20kW以上が期待される。このリソースを活用し、かつ大規模

密配置のマルチビームの実現を可能とする小型給電系の開発により、100 ビーム級 HTS を実現する技術の確立を目指す。

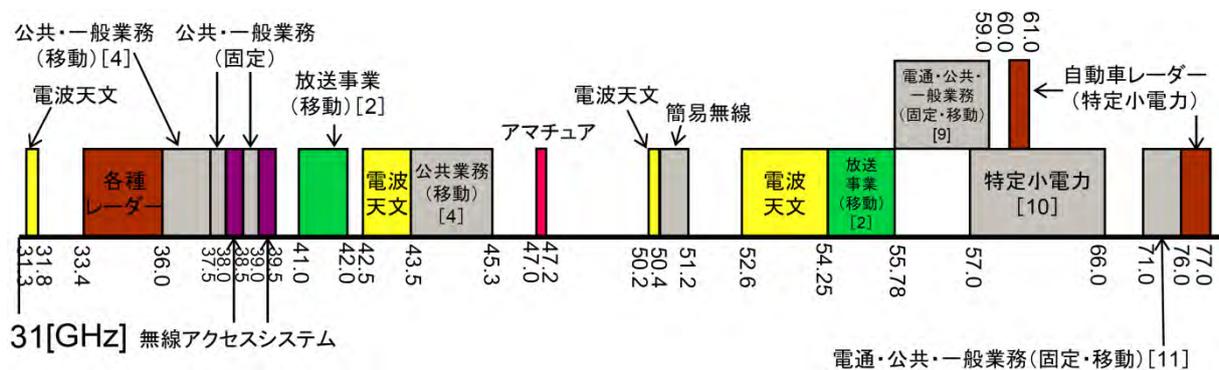


図9 我が国における Q/V 帯域の利用状況

(ii) フレキシビリティ

フレキシビリティ技術については、先に述べたとおり、周波数フレキシビリティとビームロケーションフレキシビリティの実現を目指す。

(ii-1) 周波数フレキシビリティ

主に欧米において、通信衛星の大容量化に伴う周波数フレキシビリティの要望が高まったため、商用ブロードバンド通信衛星においても、いくつかの手法で周波数フレキシビリティ実現のアプローチが従来よりなされていた。最も単純なアプローチは周波数フィルタとスイッチにより構成されたアナログ装置で切換えを実現する手法であるが、広帯域化と多ビーム化に伴いアナログ装置の規模が肥大化し、ハードウェア規模と信頼性確保の点で現実的ではなくなってきた。またアナログ回路構成では、フレキシビリティの自由度が限定的であるという欠点もあった。

そこで注目されてきたのがデジタル化のアプローチである。衛星で中継する信号を一旦デジタル変換し、論理回路で形成される再構成可能なデジタルフィルタとスイッチにより自由度の高い周波数フレキシビリティを実現する、デジタルチャネライザの有用性が認められ実利用にも広まりつつある。

ただし、地上と比べて環境条件の厳しい宇宙環境向けシステムでは、デジタルチャネライザの性能（帯域、チャンネル数等）は類似の地上機器に比べて見劣りする問題もある。現時点のデジタルチャネライザの衛星搭載実績は、L/S 帯等の狭帯域の通信向けか軍用通信等特殊用途向けが中心である。

次世代通信衛星に向けては、周波数フレキシビリティ実現のため、Ka 帯の商用マルチビーム通信衛星での利用を可能とする、広帯域デジタルチャネライザの開発を行う。

(ii-2) ビームロケーションフレキシビリティ

先に述べたように、ビームロケーションフレキシビリティ技術の適用により、衛星照射ビームの位置変更（可動ビーム）機能とビーム形状変更（可変ビーム）機能が可能となる。これを実現するアンテナとしては何種類かの方式があり、表1に概要をまとめる。

表1 アンテナ方式とビームロケーションフレキシビリティ機能の対比

アンテナ方式	可動ビーム	可変ビーム	適用衛星例	備考
機械駆動アンテナ	○	×	Superbird-C2/B2	世界中に適用例が多い
電子制御アンテナ	APAA	△	WINDS, WGS, (Quantum)	可変ビーム性能は限定的であり、採用していないケースもあり。Quantumは開発中。
	DBF	○	(Inmarsat-4, Thuraya)	左記適用例では、ロケーションフレキシビリティ機能は運用していない。

既に商用通信衛星では、機械駆動アンテナによる可動ビームの利用は一般的であり、従来より適用例も多い。この方式ではビームの数だけアンテナ鏡面を用意する必要があり、衛星実装上の制約でビーム数は限られてしまう。最近は同一開口面で複数の可動ビーム形成が可能な電子制御アンテナの適用例も出てきており、我が国のWINDSをはじめとした例が見られる（アナログAPAA）。この方式では可変ビーム機能も原理上実現可能であるが、効率が悪いという問題がある。また形成ビーム数に関しても、ビーム数の増加に対応してアンテナ給電系のアナログハードウェア規模が増大するため、十数個以上のビーム数規模の実現は困難である。

これらの方式に比べ、ビーム数及びビーム形状変更に対する自由度が高いDBF方式が、ビームロケーションフレキシビリティ実現のために目指すべき現実解であると世界的にも認識されている。DBFは論理演算でビーム形成を行うためビーム数の増加は演算量の増加に帰着するが、デジタルハードウェアにより実現するため、年代とともに高集積化が期待できる。またRFラインに移相器を並べて位相制御を行うアナログAPAAでは、制御解像度は移相器素子の数に依存し数ビットレベルが限界であったが、デジタル処理により制御を行うDBFでは位相・振幅ともに、数倍のビット数での制御解像度を得ることが出来る。

したがって次世代通信衛星に向けては、ビームロケーションフレキシビリティ実現のため、Ka帯の商用通信衛星での利用を可能とするDBFの開発を行う。

以上を踏まえたミッションの基本構想を、以下①～⑥に示す。この特徴を簡潔に述べ

ると、「大容量デジタル・フレキシブル・ベントパイプ」となる。将来のネットワーク等の技術進展の妨げとならぬよう簡潔な構造でありながら、大容量化、フレキシブル化を実現することを目指すものである。

- ① コンセプト 我が国の先進的な技術力・通信環境を生かし、国際競争力を有する将来衛星の開発に繋げるため、地上系の技術を積極的に転用するなど既存の技術にとらわれない視点で現在の衛星通信サービスの限界を突破するとともに、2020年頃の実用化が期待される第5世代移動通信システムや、そこで使われるネットワークとの間で様々なアプリケーションによるデータがさほど不自由なく伝送されるような、新技術のテストベッドとして利用できる次世代通信システム
- ② 周波数帯域 Ka 帯域（帯域幅 500MHz）【現状 500MHz 以下（Ku 帯）、Ka 帯の国際周波数調整の動向等を鑑みて設定】
- ③ 伝送速度 100Mbps（ユーザー当たり）、10Gbps（光ファイダリンク）【現状は各々、10Mbps、1～2GHz（電波ファイダリンク）程度】
- ④ 柔軟性・機動性 任意の地点に任意の容量を伝送できる技術（DC（250MHz/チャンネル以上）+DBF の一体化、マルチビーム高精度・高効率形成技術）
- ⑤ 地上網とトランスペアレントなインターフェースを実現する光ファイダリンク回線
- ⑥ 全体システム 地上ネットワーク変更への適合に向けた変更容易な統合システム

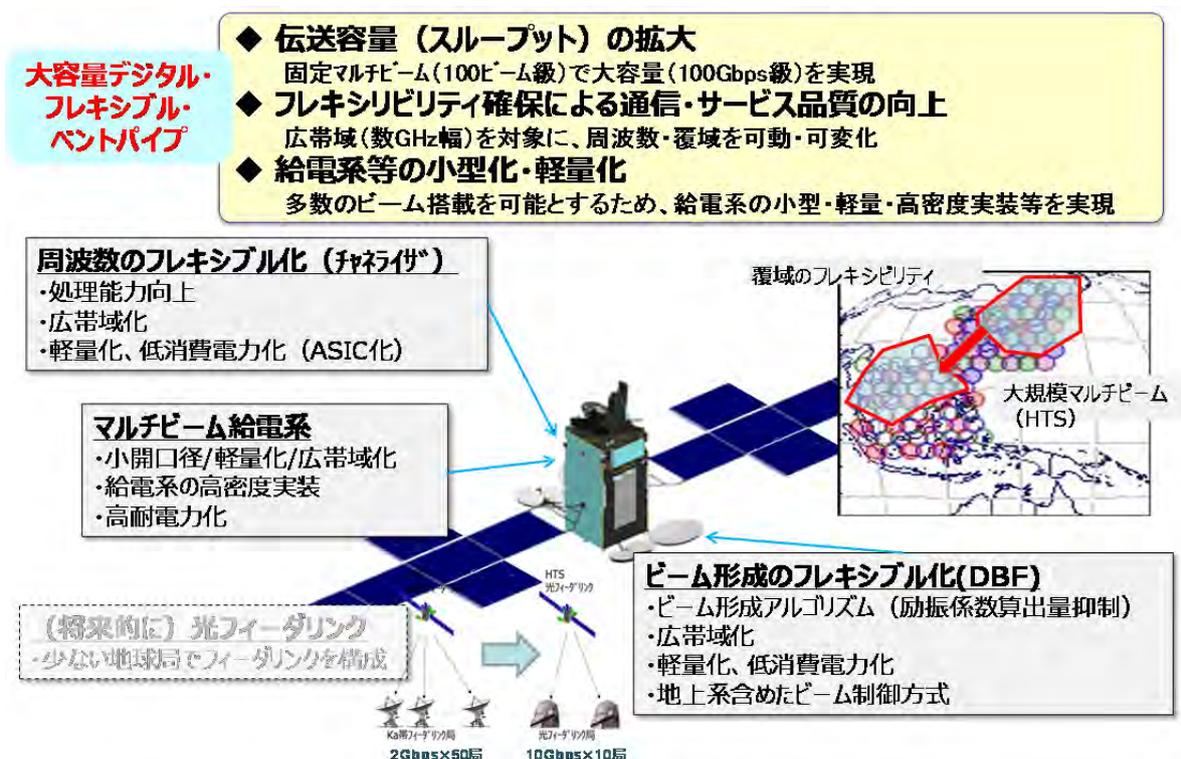


図 10 次世代通信衛星の基本構想（ペイロード）

エ 周波数ファイリング構想

自国衛星の使用する周波数が他国の無線局に対して有害な干渉を与えないよう、主管庁（日本では総務省）が、ITU（国際電気通信連合）で定める無線通信規則（RR:Radio Regulations）の規定に基づき、周波数や軌道位置等についてあらかじめ国際調整を行うこととされている。静止衛星に関する国際調整手続きについては、大まかに以下の4段階に分けられる。

- ① 事前公表資料の ITU への送付（衛星使用開始の2～7年前に概要公表）
- ② 調整（影響を与える衛星を有する他国主管庁との調整）
- ③ 通告（衛星使用開始から遡って3年前を超えない時期に ITU に通告）
- ④ 登録（国際周波数登録原簿（MIFR）に登録）

近年、国際調整手続きの対象となる衛星が増加傾向にあり、調整が複雑化・長期化の傾向にある。国際調整開始から打上げまでに要する期間は実態として、2～7年程度を要するが、今後さらなる長期化が懸念されている。特に近年の世界的な通信放送衛星等の増加によって Ku 帯以上の周波数の需要が急速に増加しており、2014年8月現在、以下の状況となっている。

◎Ku 帯を使用する衛星は 233（通告数）、今後の打上げが予定されている衛星は 1279（計画数）にものぼり、合計で約 1500 以上もの衛星が今後想定される。

◎Ka 帯についても同様に、現時点で 158（通告数）、1586（計画数）、合計約 1700 と Ku 帯以上のひっ迫が予想。

※計画数には、衛星の仕様変更や国際調整戦略（1機のために軌道の異なる複数の調整資料を出す場合）等も含まれ、必ずしも衛星打上げ数全体を指し示すものではない。

Ku 帯の主要な軌道については上述の通告衛星で概ね埋まっている状況である。

今後、衛星の離隔距離の短縮やビーム方向の変更等により、衛星をより稠密に配置することは辛うじて可能であるものの、上述のような膨大な計画衛星の数を考えると限界に達しつつあり、より周波数の高い Ka 帯や光通信を含めた領域への技術開発が不可欠となりつつある。

以上の点や 2021 年の技術試験衛星を踏まえると、国際周波数調整に向けてファイリング作業を速やかに進める必要がある。軌道の候補としては、143E、146E 及び 141.5E の 3 軌道が想定される。143E は現在 WINDS が運用している軌道、146E は技術試験衛星Ⅷ型（ETS-Ⅷ）が運用している軌道であり、国際周波数調整を行った実績がある。141.5E については、本軌道近傍でファイリングされている衛星が比較的少なく、また 3 軌道の中で最も西の軌道であることから、日本を中心とするサービスエリアの構築にも適している。143E は衛星のサービスエリアとして日本の排他的経済水域（EEZ）もカバーすることを考えた場合、3 軌道の中で EEZ を含めたサービスエリアの中心に最も近い。図 11、12 に 143E の衛星から見た日本地図と EEZ の様子を示す。