

技術試験衛星9号機と将来展開

小田原 靖* 佐倉武志*
小濱達夫*
大谷冬彦*

Engineering Test Satellite 9 and Future Evolution

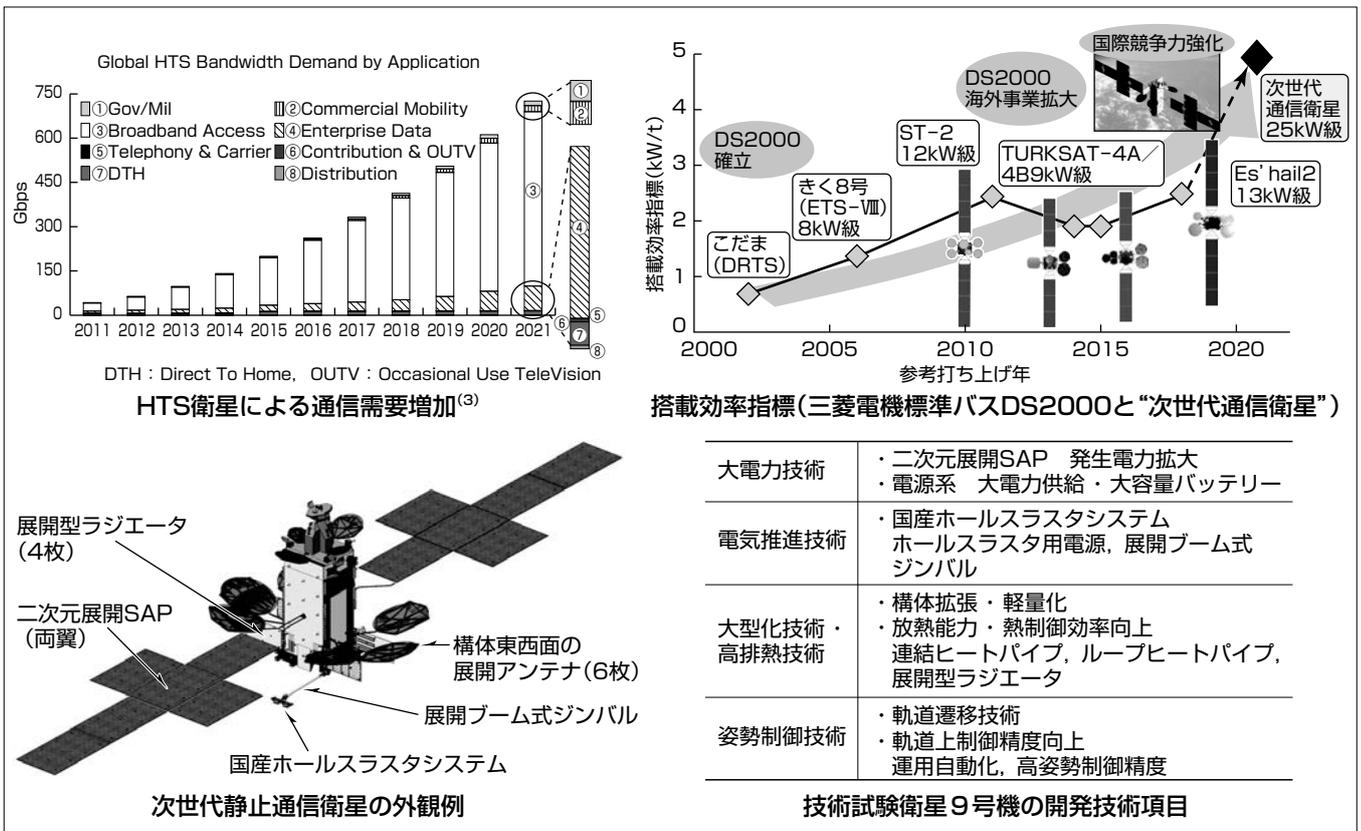
Yasushi Odawara, Tatsuo Kohama, Fuyuhiko Otani, Takeshi Sakura

要旨

世界市場では通信単価低減を目指して、HTS(High Throughput Satellite)を用いた大容量高速通信を指向しており、HTS専用及びHTS混載のマルチミッションペイロードが主流化し、これに対応する大電力大型衛星バスの投入が必須となっている。同時に化学推進に比較して比推力が5~10倍となる高効率の電気推進によって衛星の搭載推進質量を削減し、次世代通信衛星では搭載効率指標(発生電力(kW)/打ち上げ質量(t)の比)を5.0に向上させることで、国際競争力の強化を目指している⁽¹⁾。大電力大型・電気推進バスとなる次世代静止通信衛星の実現に向けて、技術試験衛星9号機では、大電力、電気推進、大型化・高排熱、姿勢制御の分野で新たに技術開発を行う⁽²⁾。二次元展開太陽電池パドル(Solar Array Paddle: SAP)、

電力制御器、電力制御分配器、国産ホールスラストシステム(JAXA開発の国産ホールスラスト、ホールスラスト用電源、展開ブーム式ジンバル、展開型ラジエータ、ループヒートパイプ)を主要開発品として新規に開発し、技術試験衛星9号機で軌道上実証を行うことで新技術の確立を図る。また、電気推進による軌道遷移運用、定常軌道制御運用によって、次世代静止通信衛星での姿勢制御技術を獲得する。

技術試験衛星9号機での開発によって、発生電力として数kW~25kWの衛星バス、推進系として電気推進/化学推進/電気・化学のハイブリッド推進を組み合わせた衛星バスのラインアップの充実化を図り、商用衛星市場での受注の機会をこれまでより拡大することが可能になる。



次世代静止通信衛星の傾向と技術試験衛星9号機の開発技術項目

HTS衛星を用いた大容量高速通信需要が増加しており、大規模な衛星バスが必要になる一方、搭載効率指標を大きくし、初期の資本的支出を最小化することがビジネスモデルの基調となっている⁽¹⁾。次世代静止通信衛星での実現に向け、技術試験衛星9号機で新規技術の開発を行う。

*鎌倉製作所

1. ま え が き

技術試験衛星9号機は三菱電機が国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)から2017年4月に受注し、2021年度にH3ロケットで打ち上げる予定の衛星である。本稿では、大電力大型・電気推進バスとなる次世代静止通信衛星の実現に向けた技術試験衛星9号機について2章でまとめ、主要な開発技術項目について具体的に3章で述べる。4章では技術試験衛星9号機の開発によって、衛星バスラインアップの充実化が図られ、商用衛星市場での受注機会が拡大することを述べる。

2. 技術試験衛星9号機

技術試験衛星9号機は、2020年代の国際商用衛星市場で競争力のある次世代静止通信衛星の実現に向けて開発を進めており、次の特長を持つ。

表1. 技術試験衛星9号機の諸元

項目	諸元
打ち上げ	2021年度 H3ロケット試験機2号機
打ち上げ質量	4.5t級
設計寿命	衛星バス16年
発生電力	25kW級
排熱能力	約8kW (このうち展開型ラジエータ2枚で約2kW分を排熱)
推進系システム	国産ホールスラストと海外製ホールスラストを合計4台搭載
軌道遷移	全電化推進システム(ホールスラスト)で打ち上げから静止軌道まで到達可能とする。
軌道制御	ホールスラストで、寿命末期まで軌道制御可能とする。
自律化運用	静止GPS受信機を用いた軌道遷移中及び静止軌道での軌道決定を行う。

(1) 大電力化／高排熱化

- ①発生電力25kW級の大電力・大容量を実現し、通信衛星の高速大容量化の需要に対応
- ②大電力化による発熱量増大に対応した高排熱性の実現

(2) 全電化／軌道遷移／軌道制御

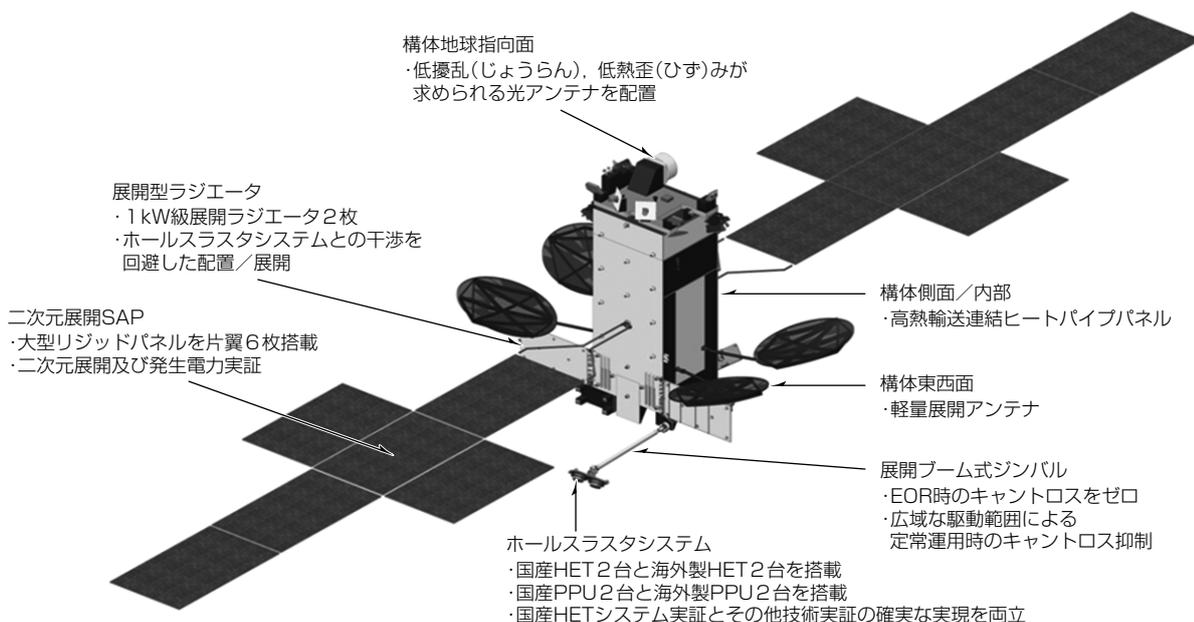
- ①6kW級の国産大出力ホールスラストシステムを搭載することで、軽量化・全電化を実現
- ②大出力ホールスラストシステムによって、衛星打ち上げ後の軌道到達時間を諸外国の全電化衛星と比べて短縮
- ③国産GPS(Global Positioning System)受信機を初めて静止衛星に搭載することで、軌道遷移及び軌道制御の自律化運用を実現し、軌道上での衛星運用を省力化

技術試験衛星9号機の諸元を表1に、外観と開発技術を図1に示す。技術試験衛星9号機の開発では、打ち上げ質量4.5t級、発生電力25kW級の大電力・大容量化とともに、次世代静止通信衛星で想定される発熱量10kWにも対応可能な排熱技術開発を行う。推進系としてホールスラストサブシステムの開発による全電化衛星を実現し、打ち上げ後の電気推進による軌道制御技術も確立する。

3. 技術試験衛星9号機の開発技術

3.1 大電力化・高排熱技術

次世代静止通信衛星に要求される大電力バスの実現のため高効率セルを使用した二次元展開SAP、大電力対応の電源系による30kW給電技術を開発する。また、大電力化に対応した排熱が必要になることから、展開ラジエータ／高熱輸送連結ヒートパイプを用いた10kW排熱技術を開発する。



EOR : Electric Orbit Raising, HET : Hall-Effect Thruster, PPU : Power Processing Unit

図1. 技術試験衛星9号機の開発技術

SAPは当社の標準バス“DS2000”で採用している一次元展開から新たに二次元展開方式となる。発生電力25kWを実現する受光面積確保とイナーシャ、ハーネス長抑制のため、大型リジッドパネルを使用し、4枚のストレートパネルと2枚のサイドパネルによる二次元展開を実現する(図2)。これによって、寿命末期16年後に発生電力25kW以上の供給を可能にする。

大電力化対応の電源系技術として、DS2000衛星バスの電源系を構成する各機器を新たに開発する。電力制御器は将来への多様なミッションに対応した拡張性を確保するため、日照/日陰15kW以上の大電力化と併せ、軽量化を図る。電力制御分配器は大電力化に加え、スライス構成の変更によって従来サイズを維持したまま分配電力・分配系統数を倍増した機器開発を行う(図3)。バッテリーは150Ahセルの2並列化技術開発によって、大容量化を実現する。

10kW級の排熱能力を確保するため、新たな技術開発を行う。高熱輸送ヒートパイプは機軸・南北・東西方向でパイプ径・厚を最適化し、輸送能力向上と軽量化を両立させる。南北・東西連結ヒートパイプを実現することで、更なる効率向上を図る(図4)。

大型展開型ラジエータは、1枚当たり3式のリザーバ外付け型ループヒートパイプ(LHP)を使用し、約1kW/枚の排熱を実現する(図5)。また、展開方式としては、2枚の展開型ラジエータパネルを最小限の保持解放機構で固定することで、部品点数を低減し、低コスト化を行っている。

3.2 全電化技術と軌道遷移・制御技術

バス質量の大半を占める推進質量を大幅に低減可能な全電化推進衛星技術が不可欠であり、電気推進による軌道遷移に必要な推力を確保するためにホールスラスタシステムの開発を行う。

6kW級国産ホールスラスタに対応する専用電源装置と

して、軌道遷移モード及び定常軌道制御モードの両方に対応した最高効率95%の世界最小クラスのサイズの高効率電源開発を行う。

ホールスラスタを2軸ジンバルに搭載し、衛星本体から2軸で展開するブーム上にジンバルを配置することによって、衛星に対する展開位置・噴射方向を柔軟に設定することが可能である。電気推進による静止化までの軌道遷移期間を短縮するために、ホールスラスタの噴射ベクトルを軌道遷移で必要な並進力(ΔV)方向に一致するように調整可能な方式を採用している。また静止軌道では遷移軌道と異なり、必要とする ΔV 方向が軌道面外・面内と2方向になるため自由度の高い4軸機構で蓄積角運動量最小化(積極的なアンロード)と ΔV の最適化を同時に実現する。

図6は遷移時の軌道計画例、及び発生電力を最大化する

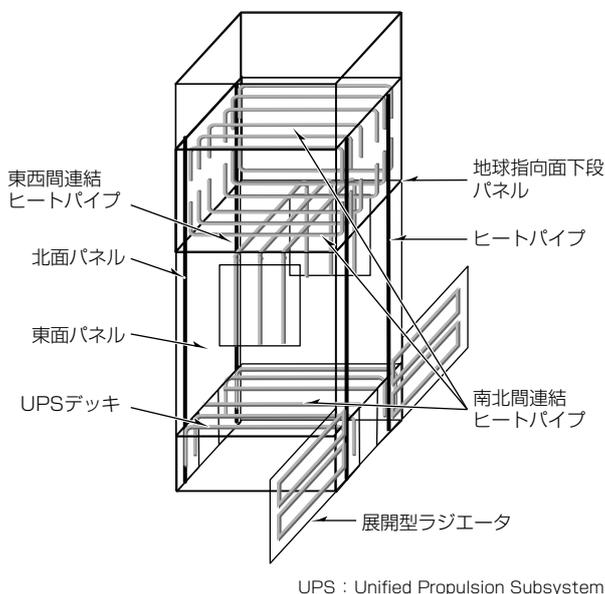


図4. 南北/東西連結ヒートパイプ

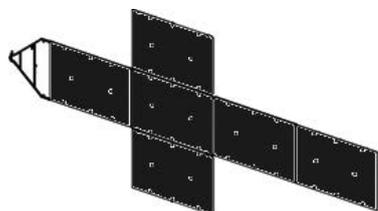


図2. 二次元展開パドル

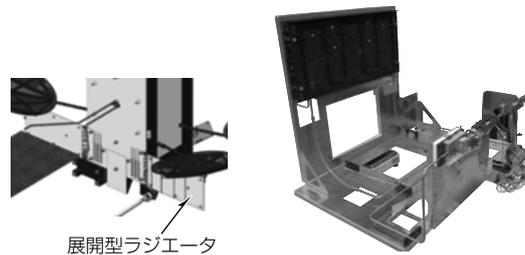


図5. 大型展開型ラジエータ

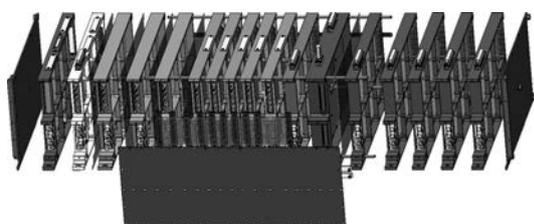
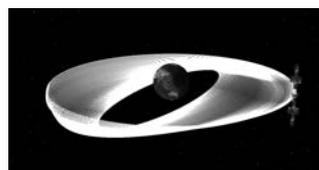
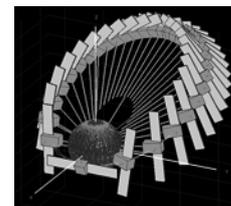


図3. 次世代通信衛星向け電力制御分配器構造



(a) 電気推進による遷移軌道プロファイル



(b) ヨーステアリング制御による発生電力最大化

図6. 衛星姿勢制御の例

表2. 静止衛星市場への対応

想定用途	小型通信衛星			中型通信衛星			大型HTS衛星/大型DBF衛星	
衛星外観								
発生電力/SAP(片翼)	~13kW/2~3枚			13~18kW/3~4枚			18kW~/4~6枚	
推進系構成	全電化	ハイブリッド	化学	全電化	ハイブリッド	化学	全電化	ハイブリッド
打ち上げ質量	2~2.5t	3~4t	3.5~4.5t	2.5~3.5t	4~5t	4.5~5.5t	3.5~5t	5~6.5t

DBF : Digital Beam Forming

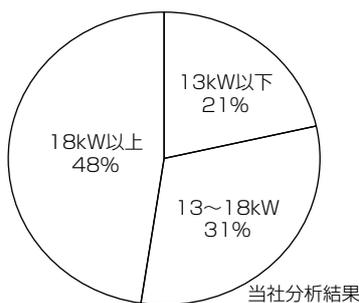


図7. 2020年代の衛星バス発生電力の市場ニーズ想定

ことで複数(2~3台)のホールスラストに大電力を供給するためのヨーステアリング制御の例である(ヨー角と駆動角でパドルセル面を太陽方向に正対させる)。

4. 将来展開

技術試験衛星9号機の開発によって、これまでの発生電力18kW級までのDS2000衛星バスから、発生電力25kW級の大電力バスの要求に対応が可能になり、2020年代の発生電力の市場ニーズ(図7)への100%対応がほぼ可能になる。また、推進系として、ホールスラストサブシステムの開発によって、全電化衛星バスとしての対応も可能となり、軌道遷移の期間が短い化学推進、軽量化が図れる全電化推進、及び化学推進と電気推進を併用したハイブリッド推進をラインアップにそろえることで要求に応じた自在性

を確保できる。

全発生電力ラインアップに対して全電化推進/ハイブリッド推進/化学推進の全ラインアップをそろえることで、商用静止衛星市場での受注の機会がこれまでより拡大する(表2)。

5. むすび

市場動向から次世代静止通信衛星バスに求められる仕様と技術試験衛星9号機での開発技術項目を示し、主要開発技術である大電力化・高排熱技術、全電化技術と軌道遷移・制御技術について開発内容を述べた。また、技術試験衛星9号機の開発によって、将来、商用静止衛星市場での受注機会の拡大が図れることを述べた。

参考文献

- (1) Nishi, K., et al. : Conceptual Design of Japan's Engineering Test Satellite-9, 35th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (2017)
- (2) 関根功治 : 技術試験衛星9号機の開発と今後の商用展開, KDDI財団 2017年度衛星通信年報 (2017)
- (3) Global Assessment of Satellite Supply & Demand 9th Edition