

5-2 ETS-9 による実験計画

5-2 Experimental Plan of ETS-9

高橋 頂 鄭炳表 谷内 宣仁 加藤 幸治 Kolev Dimitar 三浦 周

TAKAHASHI Takashi, JEONG Byongpyo, TANIUCHI Nobuhito, KATO Koji, KOLEV Dimitar, and MIURA Amane

次世代ハイスループット衛星で必要となるフレキシブル技術や大容量光通信技術の実証を目的とする技術試験衛星9号機(ETS-9)には、固定ビーム通信サブシステム、可変ビーム通信サブシステム、光フィーダリンク通信サブシステム等が開発され、搭載されている。

ETS-9の打上げ・静止化後、初期機能確認期間から実証試験・実験が実施される。初期機能確認としては、地上試験で得られた結果と同様の機能性能が軌道上でも維持されているかを確認し、その後衛星ネットワークとしての基本的な動作性能の実験を行う。さらに通信システム応用実験として、災害、船舶、航空、5G接続、IoTの各ユースケースを想定した実証実験を計画しており、それについて紹介する。

The Engineering Test Satellite-9 (ETS-9), which aims to demonstrate the flexible technology and large-capacity optical communication technology required for next-generation high-throughput satellites, is equipped with a fixed beam communication subsystem, a variable beam communication subsystem, an optical feeder link communication subsystem, etc.

After ETS-9 is launched and placed in a stationary orbit, demonstration tests and experiments will be carried out starting from the initial check period.

For functional performance verification, we will confirm whether the results of ground tests maintain the same functional performance in orbit, and then demonstrate the basic operational performance as a satellite network.

Furthermore, as application experiments for communication systems, we are planning demonstration experiments assuming use cases of disaster communications, ships, aviation, 5G connectivity, and IoT, and will introduce each of them.

1 まえがき

近年、通信分野ではハイスループット衛星(High Throughput Satellite: HTS)によるKa帯周波数を利用した衛星通信の大容量化が進んでいる。一方衛星寿命の長期化に伴い、運用期間中の通信需要の変化(帯域幅、利用地域等)に対応できるよう、衛星搭載中継器によるフレキシブル化が期待されている。技術試験衛星9号機(Engineering Test Satellite 9: ETS-9) [1]では、各ビームにおける周波数帯域フレキシブルを実現するチャネライザやサービスエリアの位置や大きさのフレキシブルを実現するデジタルビームフォーミング(DBF)、大容量通信が可能な光フィーダリンク通信サブシステムが開発され、搭載されている。

ETS-9で静止化後に実施される初期機能確認を含め、実験を計画している実証実験について報告する。

2 ETS-9 通信実験計画

ETS-9には図1に示すように通信ミッションサブシステムが搭載されている。

(1) 固定ビーム通信サブシステム [1]

チャネライザやマルチビーム給電部が開発され、搭載されている。

チャネライザのポートは帯域幅250MHz以上の

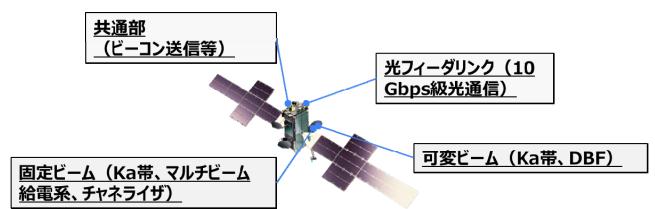


図1 ETS-9 通信ミッション

5 ETS-9 の今後の計画

設定が可能で、各ポートの帯域幅は変更可能で、拡張性が考慮されている。

(2) 可変ビーム通信サブシステム [2]

Ka 帯で動作する DBF が開発され搭載されている。

DBF はポート当たり 100 MHz 以上であり、ビーム形状は可変である。

(3) 共通部通信サブシステム [3]

いずれも Ka 帯でビーコン信号、低レートミッションデータ送信及び光フィーダリンク通信サブシステムの詳細テレメトリ送信機能を有する。

(4) 光フィーダリンク通信サブシステム [4]

最大 10 Gbps の通信容量を静止衛星-地上局間で実証する。

ETS-9 では、打上げ後数か月の軌道遷移期間を経て静止化される。静止化後衛星搭載中継器の健全性確認を行う初期機能確認を実施した後、定常運用へ移行し無線局免許取得のための実通試験をはじめ、各種実証実験を計画している。検討している実証実験の項目と目的を表 1 に示す。ここに示されている実験には初期機能確認時に実施されるものも含まれている。以下で各実証実験について説明する。

2.1 初期機能確認

ETS-9 は静止化後、最初に衛星搭載中継器の健全性を確認する初期機能確認を実施する計画である。中継器が地上試験で確認した機能・性能を維持しているかを確認するものである。コマンドにより中継器が制御でき、テレメトリにより中継器状態を取得できるかを確認し、さらに各通信ミッションサブシステムでの基本的な動作性能等を確認する計画である。

2.2 RF 機器実証実験

ETS-9 には Ka 帯周波数を使用した通信システムとして固定ビーム通信サブシステム、可変ビーム通信サブシステム、共通部通信サブシステムを搭載している。これらの各サブシステムを使用し、基本的な機能性能確認や通信実験を計画している。

(1) 固定ビーム通信サブシステム [5]

固定ビーム通信サブシステムを使用した実験では、まず搭載機器の機能性能が設計通りであるか確認した地上試験の結果との相違を確認する。これは初期機能確認のなかで実施する。

マルチビームアンテナの確認として想定した位置にビームが形成されているか、アンテナ利得、偏波間干渉が地上試験を再現しているか(地上試験を実施していないビームは設計値と差異はないか)を実信号を使用して確認する。

チャネライザの動作確認として、帯域、スイッチの切替前後において、通信が正常に行われていることで確認する。地上から連続無変調波(CW)等を用いて衛星中継器を経由し、地上における受信信号レベルを測定するとともにチャネライザの帯域に応じて CW 等の周波数を変更することでチャネライザの帯域設定が正常に機能していることを確認する。1 ポートあたり最大 250 MHz 帯域で動作可能であることについても確認を行う。複数の地球局を用意し、スイッチ切替機能の確認も予定している。

実信号を使用した動作確認として地球局から変調信号を送信し、相手局にて信号品質(ビット誤り率: BER)などを測定する。

高速伝送試験として 100 Mbps 級実信号(変調波)を使用して BER 等を測定する。さらに、広帯域実

表 1 ETS-9 実証実験項目

運用フェーズ		実験目的	
初期機能性能確認(軌道上)		機器の健全性確認	
開発者実験	RF 機器実証実験	固定	チャネライザ等による帯域可変機能の実証
		可変	DBF によるビーム形成機能の実証
		共通部	機能確認
	光機器実証実験	光フィーダリンク	最大 10 Gbps の光通信の実証
		RF	・100 Mbps/ユーザ の高速通信の実証 ・制御アルゴリズムによる制御機能の実証
	通信システム応用実験	災害	災害発生時の対応を想定した実験で動作を検証
		船舶	洋上の船舶との通信確認
		航空	航空機との通信確認
		5G	衛星系と 5G が連携できることの確認
		IoT	小型センサ局からのデータ収集を想定し、衛星バックホール回線を介した低速通信の検証

験として、フィーダリンク地球局から複数の信号で合計帯域 250 MHz 級の信号を送信する伝送実験も予定している。

(2) 可変ビーム通信サブシステム [5]

可変ビーム通信サブシステムを使用した実験としては、アンテナ素子単体のビームパターンが設計通りであるかパターン測定を実施する。地球局から送信した信号を、衛星姿勢を変化させながら測定する計画である。

DBF (Digital Beam Forming) プロセッサ機能試験として、ビームを切り替えた際に衛星受信信号強度が変化することを確認する。また、ビームの切替時間を確認する。さらに、受信信号強度の確認は周波数を変化させて実施し、100 MHz 帯域で動作することを確認する。

DBF 校正試験として地球局から送信される校正用信号を使用し、素子間の校正を図る。

ビーム生成に対する励振係数設計の妥当性を実施するビームパターン測定を行う。特定のビームパターンを生成する励振係数を設定し、1 局以上の地球局から送信した信号を衛星姿勢を変化させながら各受信強度を測定することで、ビームパターンを 2 次元的に測定する。

指定したエリアへのビーム形成を実証するビーム形成実験として、カバーエリア内の指定したエリアにビームを形成する励振係数を設定し、地球局からのアップリンク信号を受信することで確認する。

2 ビームの同時生成を実証する 2 ビーム運用実験では、2 ビームの励振係数を設定し、2 地点からのアップリンク信号を受信できることを確認し、2 地点で送受が可能であることを確認する。

ユーザ当たり 100 Mbps の通信を実証する通信性能評価では特定のビームで通信が可能であることを確認する。

(3) 共通部通信サブシステム [5]

共通部通信サブシステムを使用した実験として、アンテナパターン測定を計画している。想定した位置にビームが形成されているか、アンテナ利得やビームパターンが設計通りか評価する。

ミッションデータ送信実験では、地球局から送信された信号を可変ビーム通信サブシステムで受信し、その信号を共通部通信サブシステムから送信し、地球局で受信し、信号を評価する。

詳細テレメトリ送信実験では、光フィーダリンク通信サブシステムから伝送された詳細テレメトリデータを共通部通信サブシステムで変調・增幅し送信する機能を確認する。地球局で受信した信号の品質 (BER 等) を評価する。

2.3 光機器実証実験

光フィーダリンク通信サブシステム [6]

光フィーダリンク通信サブシステムの動作確認として、レーザダイオード励起電流とパワー、受信器などのテレメトリデータを収集し、各機能健全性をセルフテスト等で確認する。

アップリンク、ダウンリンクの通信品質 (BER) を測定し、環境条件によってどの様に変化するか解析する。また誤り訂正符号の効果を検証する。

アップリンクデータを衛星で折り返してダウンリンクし、データの評価を行う折り返し実験などを検討している。

2.4 全体システム試験

(1) RF 機器全体システム実験 [5]

ETS-9 に搭載されている RF 機器を使用した通信実験などである。

Ka 帯信号伝搬特性に関する統計データを取得するため、固定局で受信信号強度測定を実施する。

個別の通信ミッションサブシステムと地球局との間でユーザ当たり伝送速度 100 Mbps の通信を実証するためスループット測定実験を実施する。個別の通信ミッションサブシステムを経由し、フィーダリンク地球局とユーザ地球局の間で伝送を行い、スループットを測定評価する。

衛星リソース割当て計画に沿って個別の通信ミッションサブシステムを制御し、通信リソースの割当てを変更する機能を検証する衛星リソース割当て計画の機能試験を固定ビーム通信サブシステムと可変ビーム通信サブシステムの両方でそれぞれ実施する。複数地点のユーザ地球局からのトラフィック要求に応じ、衛星リソース割当て計画に沿って、固定ビーム通信サブシステムでは周波数割当てを決定し、チャネライザの状態を変更できることと、可変ビーム通信サブシステムでは、カバーエリアを決定し、DBF の状態を変更できることをそれぞれ検証する。

さらに衛星リソース制御アルゴリズムを使用し、適切にリソース配分された個別の通信ミッションを経由して通信する機能を確認するリソース割当て制御アルゴリズムの機能試験も予定している。

複数ユーザ地球局の同時接続実験では、複数のビームの各ビーム内の複数ユーザ地球局で同時に接続した際のビーム間干渉、チャネル間干渉の影響を回線速度・回線品質等で評価する。また、複数のユーザ地球局とフィーダリンク地球局の間でデータ伝送を実施し、スループットを測定することでユーザ当たり 100 Mbps の通信を実証する。

5 ETS-9 の今後の計画

(2) 通信システム応用実験

ETS-9 を使用した応用実験として 5 種類(災害、船舶、航空、5G、IoT)のユースケースを想定した実験を検討している。それについて簡単に報告する。

(ア) ユースケース(災害)

災害は衛星通信の利用要求の高いアプリケーションであり、災害時の柔軟な非常通信ネットワークの構築(バックホール利用、緊急車両による直接衛星通信等)が想定される。

ETS-9 では災害対応のための衛星通信を中心とした緊急ネットワークの構築をテーマに、災害時を想定したトライフィックの変動に追従し、柔軟に通信リソースを割り当てる機能の検証、実災害を模擬した実験による運用可能な最大地球局数・伝送速度の推計、さらに災害緊急対応機関等を想定した実災害に近い環境での実験(防災システムとの連携など)を検討している。

(イ) ユースケース(船舶)

海洋上では衛星通信のほかにブロードバンド通信環境を提供できる手段がなく、海洋資源調査の効率化、海洋での重機の遠隔操作、客船サービスの向上、自律船開発等での需要の拡大が期待されている。

ETS-9 では沖縄を含む日本本土沿岸部及び周辺海域のエリアにおいて陸上と船舶間で双方向最大 30 Mbps の衛星回線の実証や陸上と船舶、船舶と船舶等を組み合わせ、複数同時に衛星回線の確立を検証する実験を検討している。

(ウ) ユースケース(航空)

航空分野では航空機の機内 WiFi サービス等航空機通信事業が拡大し、上空での安定で大容量な通信への需要が拡大している。

ETS-9 では沖縄を含む日本本土のエリアで航空機による通信の実証(最大伝送速度 50 Mbps を想定)や衛星マルチビームのハンドオーバ機能の検証、DBF による衛星ビーム追尾機能の確認などを検討している。

(エ) ユースケース(5G 連接)

衛星と地上系を接続させることで、5G の広域網が十分に整備されていない地域でも 5G を利用することが可能となる。衛星を介して 5G 端末・5G 基地局と 5G コアを接続することで、海上、上空、災害地などで 5G アプリケーションの提供が可能となることが期待される。

ETS-9 では衛星を介した 5G の疎通実験、衛星を介した 5G アプリケーションの通信実験及び地上系ネットワークが利用困難となった災害地域において 5G 端末が、接続する先を衛星系に切り替えること

で通信回線が確立することを検証する通信実験などを検討している。

(オ) ユースケース(IoT)

地上系ネットワークでカバーできない場所に展開されたセンサからデータ収集することで、あらゆる機器がネットワークでつながり情報を交換できるようになることが期待される。

ETS-9 では災害の早期検出等を目的とした IoT の開発をテーマとして、通信や電力インフラがない場所からでも衛星回線を用いて簡単にデータ伝送ができる通信システムの開発や災害の発生等を早期に検出するためのデータの収集及び衛星回線を用いた基地局への伝送実験などを検討している。

3 おわりに

ETS-9 実証実験について報告した。ETS-9 の打上げ・静止化の初期機能確認期間から定常運用期間に搭載機器の機能性能検証から、5 種類のユースケースを想定した実証実験を計画している。今後の実験実施に向け、実験計画の詳細化を進めていく予定である。実証実験を実施するに当たり、NICT 単独で実施するか、あるいは関連機関と共同で実施するか、さらにより良い成果を得るために実施すべき実験項目などの検討も進めている。今後、衛星ネットワークは低軌道衛星や静止衛星等で構成されるマルチオービットシステムへと展開されていくことが考えられる。マルチオービットシステムにおいて大容量かつ安定した通信が可能な静止衛星には中核ハブとしての役割が期待されている。ETS-9 では、マルチオービットシステムを柔軟に接続する回線割当てのコア技術の実証にも活用したいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、総務省「電波資源拡大のための研究開発(JPJ000254)」の「多様なユースケースに対応するための Ka 帯衛星の制御に関する研究開発」で実施している。関係各位に感謝する。

【参考文献】

- 1 三浦 周, 森川 栄久, 吉村 直子, 高橋 卓, 辻 宏之, 大川 貢, 織笠 光明, 佐藤 正樹, 大倉 拓也, 阿部 侑真, 豊嶋 守生, ほか, “技術試験衛星 9 号機通信ミッションの概要と固定ビーム系通信ミッションの状況,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2019-4145, 2019.
- 2 草野 正明, 稲沢 良夫, 尾野 仁深, 坂井 英一, 須永 輝巳, 角田 聰泰, 金指 有昌, 堀江 延佳, “技術試験衛星 9 号機 Ka 帯デジタルビームフォーミングの開発,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2019-4146, 2019.
- 3 織笠 光明, 三浦 周, 森川 栄久, 大川 貢, 大倉 拓也, 仙波 新司, “技術試験衛星 9 号機共通部通信サブシステムの開発,” 第 63 回宇宙科学技術連合講

- 演会講演集, JSASS-2019-4148, 2019.
- 4 宗正 康, 白玉 公一, 國森 裕生, 竹中 秀樹, Kolev Dimitar, Carrasco-Casado Alberto, 鈴木 健治, 斎藤 嘉彦, Phuc Trinh, 高橋 靖宏, 布施 哲治, 久保岡 俊宏, 豊嶋 守生, “技術試験衛星 9 号機光フィーダリンク通信サブシステムの開発,” 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2019-4147, 2019.
- 5 高橋 卓, 三浦 周, 森川 栄久, 辻 宏之, ほか, “ETS-9 での実験計画 (RF 系),” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2022-4088, 2022.
- 6 Dimitar R. Kolev, 國森 裕生, 白玉 公一, 布施 哲治, 小竹 秀明, 中園 純一, Carrasco Casado Alberto, Trinh Phuc, 鈴木 健治, 斎藤 嘉彦, Ishola Femi, 久保岡 俊宏, 辻 宏之, 豊嶋 守生, “ETS-9 での実験計画 (光),” 第 66 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2022-4089, 2022.



三浦 周 (みうら あまね)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
室長

博士 (情報科学)
衛星通信システム、アンテナ
【受賞歴】

2017 年 日本 ITU 協会賞 奨励賞受賞
2016 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ 活動功労賞
2016 年 電子情報通信学会通信ソサイエティ 優秀論文賞



高橋 卓 (たかはし たかし)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
副室長

高速衛星通信、移動体衛星通信

【受賞歴】

2019 年 電子情報通信学会 活動功労賞
2017 年 電子情報通信学会 衛星通信研究賞



鄭 炳表 (じょん びょんぴょ)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
主任研究員

博士 (工学)

衛星通信、電波伝搬、災害対応

谷内 宣仁 (たにうち のぶひと)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
主任研究技術員
宇宙通信システム

加藤 幸治 (かとう こうじ)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
研究技術員
宇宙通信システム



Kolev Dimitar (コレフ ディミタール)

ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター
宇宙通信システム研究室
主任研究員

博士 (国際情報通信学)

宇宙通信システム、光アンテナ、光宇宙通信、
大気揺らぎ