

## 5 ETS-9 の今後の計画

### 5 Future Plans for ETS-9: Roadmap and Prospects

#### 5-1 擬似衛星局の開発と地上総合評価

#### 5-1 Development and Comprehensive Ground Evaluation of the Pseudo-Satellite Ground Station

谷内 宣仁 鄭炳表 高橋 卓 大津留 豪 関口 真理子 三浦 周

TANIUCHI Nobuhito, JEONG Byeong-pyo, TAKAHASHI Takashi, OTSURU Go, SEKIGUCHI Mariko, and MIURA Amane

NICT では、衛星通信におけるリソース配分を最適化する制御技術を確立することで、限られた周波数においても多様なサービスや大容量通信に対応可能な次世代ブロードバンド衛星通信技術の研究開発を推進している。

本研究開発では、従来の衛星通信システムに比べて周波数利用効率の向上を目的とし、実衛星通信環境下での計測とシミュレーションを組み合わせることで、技術試験衛星 9 号機（以下、ETS-9）に搭載予定の通信制御技術の有効性を評価してきた。また、評価のために伝搬遅延や降雨減衰などの衛星回線シミュレーション機能に加え、ETS-9 が有するリソース配分機能及びサイトダイバーシティ機能を模擬可能な擬似衛星局を開発した。本稿では、この擬似衛星局の開発概要と、ETS-9 の制御技術の有効性を評価するために実施した地上総合評価について報告する。

National Institute of Information and Communications Technology (NICT) is conducting R & D on next-generation broadband satellite communications technology. By establishing control technology to optimize satellite resource allocation, it will be possible to support a variety of services and high-capacity communications even with limited frequencies.

In this research and development project, we have evaluated the effectiveness of the communication control technology to be installed on the Engineering Test Satellite-9 (ETS-9) by combining on-site measurements with simulations, aiming to improve frequency utilization efficiency compared with conventional satellite communication systems. Therefore, we have developed a pseudo-satellite station that can simulate the resource allocation function and site diversity function of ETS-9, in addition to satellite channel simulation functions such as radio wave delay and rain attenuation. This paper reports on the development of the pseudo-satellite station and the comprehensive ground evaluation conducted to assess the effectiveness of the ETS-9 control technology.

#### 1 まえがき

近年、社会経済活動のグローバル化及び多様化に伴い、空域や海域における広範な活動領域でのブロードバンド環境や、携帯電話網や光ブロードバンドのサービス圏外におけるネットワーク環境への需要が高まりつつある。加えて、2011 年に発生した東日本大震災のような大規模災害時においては、陸上移動通信システムが復旧するまでの補完的手段や、緊急通信システムとしての衛星通信の必要性も一層増している。

一方、使用周波数帯の観点では、Ku 帯までの比較

的低い周波数帯は世界的に周波数逼迫が懸念されており、そのため Ka 帯以上の高周波数帯で広帯域を活用する衛星通信への関心が高まっている。

他方、通信衛星の開発には長期間を要するため、衛星回線の模擬や評価を目的として、各種エミュレータ、シミュレータ及びソフトウェアが開発され、衛星通信システムの設計・検証に広く活用されている。

NICT では、H3 ロケットにより打ち上げ予定の質量約 4.5 トンの技術試験衛星 9 号機（以下、ETS-9）を用い、同衛星に搭載する Ka 帯通信機器及び光通信機器の機能・性能確認実験をはじめとする各種衛星通信実

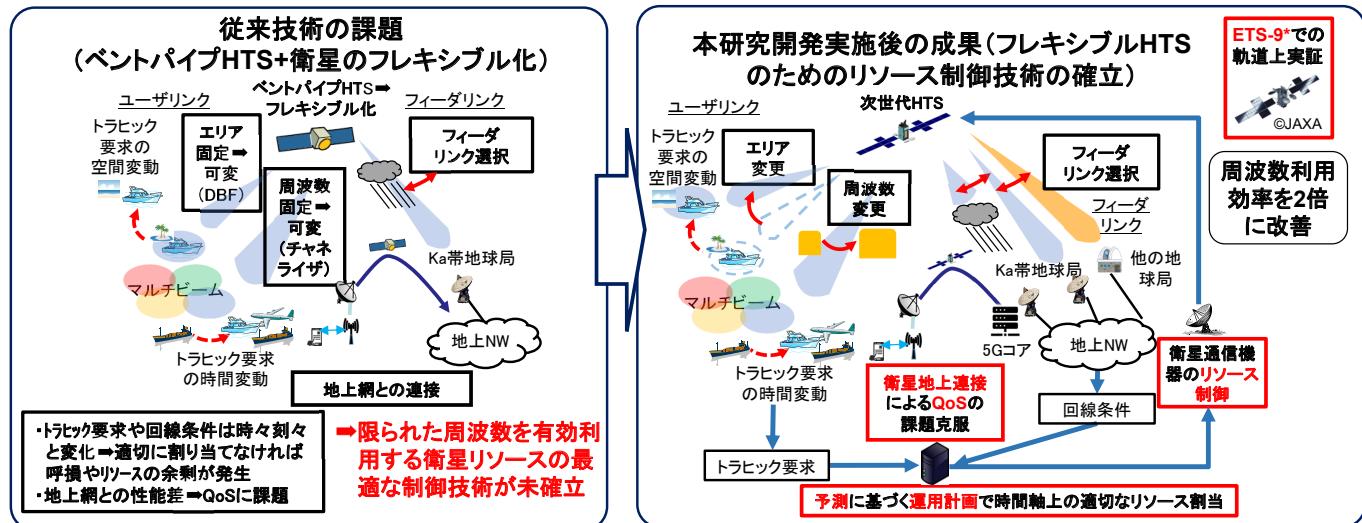


図 1 本研究開発の達成目標

験を実施する予定である [1]。

さらに、ETS-9 の打ち上げに合わせ、ETS-9 の Ka 帯通信システムの開発を含む総務省「電波資源拡大のための研究開発」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」(プロジェクト期間:2020 ~ 2024 年度、以下、本研究開発)が開始された。図 1 に示すように、本研究開発の特徴は、衛星が保有するリソース、すなわちユーザとの通信に用いるビームの周波数幅や到達範囲などを最適に配分可能な制御技術を確立することで、限られた周波数帯域においても多様なサービスへの対応や大容量通信を実現できる点にある。従来型のフレキシビリティを持たないベントパイプ型ハイスループット衛星 (HTS) 通信システムと比較し、本研究開発ではユーザリンクとフィーダリンクの相乗効果により周波数利用効率を 2 倍に改善させ、周波数資源の有効活用を更に推進することを目標としている。

当初は、実衛星通信環境下での実測とシミュレーションを組み合わせ、最終的に ETS-9 を用いて研究開発した制御技術の妥当性を評価する総合評価を実施する計画であった。しかし、令和 4(2022)年 12 月の宇宙基本計画工程表の改定に伴い、ETS-9 の打上時期が令和 7(2025)年度へ変更 [2] された結果、本開発研究期間内における実衛星での評価(軌道上実証実験)が不可能となった。そこで、本開発研究期間内に評価を可能とするため、総合評価の手法を地上総合評価へと変更し、目標達成の確認を行うこととした。

また、地上総合評価を実施するため、伝搬遅延や降雨減衰などの衛星回線シミュレーション機能に加え、ETS-9 が有するリソース配分機能及びサイトダイバーシティ機能を模擬可能な擬似衛星局を開発した。これにより、ETS-9 の打ち上げ延期に伴う評価手法の

擬似衛星局による周波数利用効率改善の地上総合評価

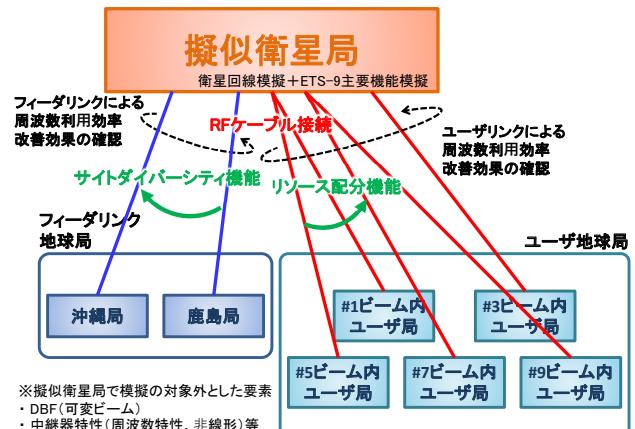


図 2 擬似衛星局を用いる通信実験のイメージ

変更、すなわち ETS-9 による総合評価から地上総合性能評価への移行に柔軟に対応可能とした。

図 2 に擬似衛星局を用いる通信実験のイメージを示す。

## 2 擬似衛星局の開発

本研究開発で開発され ETS-9 に搭載される通信機器は、Ka 帯の固定ビーム及び可変ビーム、共通部がある [1]。擬似衛星局は Ka 帯通信を主対象としており、地上総合評価の実施時には地上局と有線接続する必要がある。可変ビームはアンテナの放射特性に依存するため、有線では模擬できず、固定ビームのみを模擬可能な構成としている [3]~[5]。

### 2.1 擬似衛星局のシステム構成

擬似衛星局は、コア制御部と周辺部で構成されてお

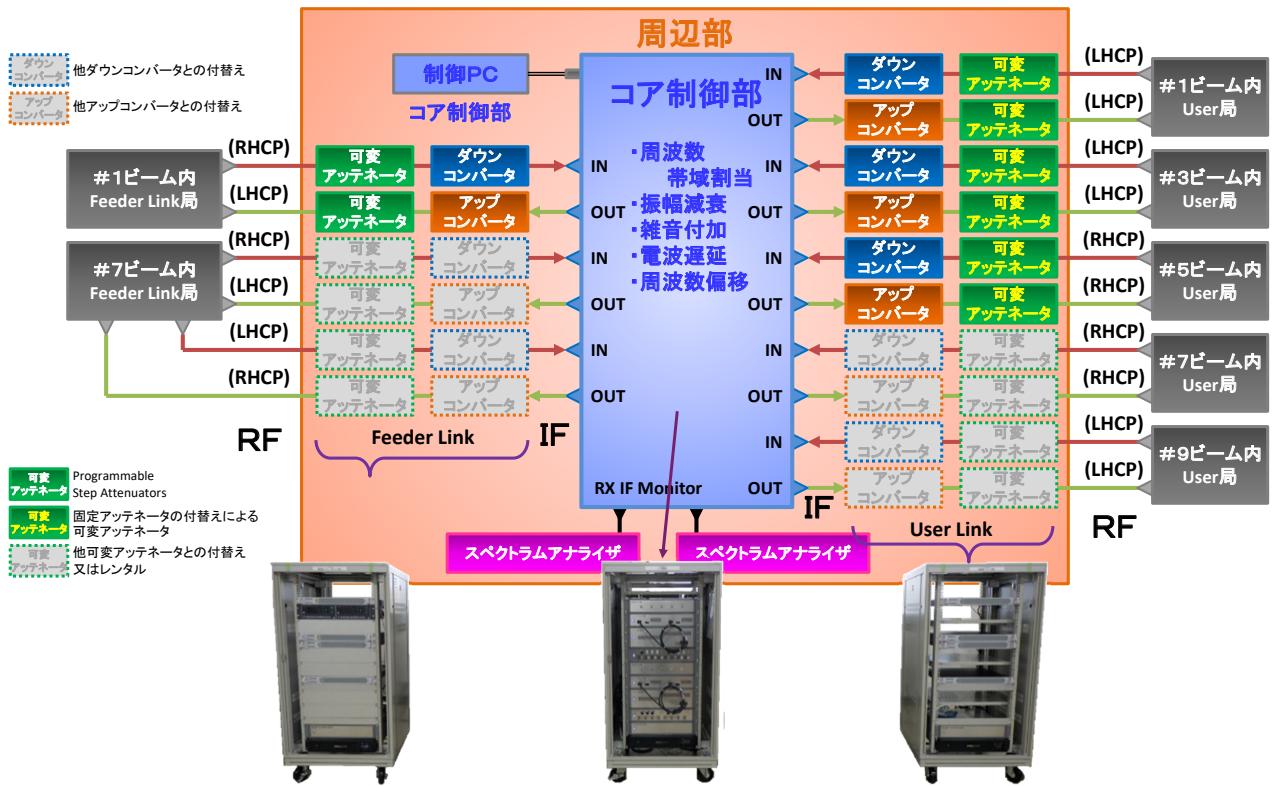


図3 擬似衛星局の機能及びブロック図、外観

り、各機器を19 inch ラックに実装することで、地上総合評価の構成変更時における機器移動を容易にしている。なお、コア制御部の Field Programmable Gate Array (以下、FPGA) 及び周辺部のアップコンバータやダウンコンバータは、Global Positioning System (GPS) 受信機で生成される 10 MHz の基準信号に同期させることで、信号品質を担保している。

図3に擬似衛星局の機能及びブロック図、外観を示す。以降、2.2にIntermediate Frequency (以下、IF) 信号の入力／出力ポートを有し、FPGAにより衛星局のデジタル処理部分を模擬するコア制御部を、2.3にフィーダリンク局／ユーザ局と接続可能な、衛星通信回線の模擬する周辺部を説明する。

## 2.2 コア制御部

コア制御部は、最大 500 MHz の連続した帯域で複数処理かつ遅延処理をデジタル処理で実現するため、マルチチャンネル対応の Analog to Digital Converter (ADC) / Digital to Analog Converter (DAC) と、高速メモリを組み合わせて構築されている。フォワードリンク／リターンリンク及び右旋／左旋の同時通信は、それぞれ専用回路を設けることで模擬が可能である。また、コア制御部への指令及び状態表示は、制御 PC (市販ノートパソコン) により行う。

コア制御部で実現する主な機能・性能を表1に示す。

表1 コア制御部の機能・性能

No.	項目	機能・性能	
1	周波数帯域割り当て(チャネライザ)機能	分波	分波に用いるフィルタは、500 MHz当たり複数のフィルタサイズを最大5パターン 25 ~ 500 MHzで設定可能
		スイッチ	分波された信号ごとに送信ビーム先を設定可能とし、分波された1つの信号に複数の送信ビーム先も設定可能(マルチキャスト機能)
		合波	分波及びスイッチ機能で処理されたデジタル信号は送信ビーム先ごとに合波処理
2	降雨減衰機能	分波された信号について設定された減衰率によりデジタル処理にて 0 ~ 48 dB の信号振幅を減衰	
3	伝搬遅延機能	デジタルに変換された IF 信号をダウンサンプリングし、高速メモリにバッファリングすることにより、0 msec ~ 320 msec の遅延を発生	
4	送信波周波数偏移	分波された信号に対してデジタル処理により周波数を ± 700 kHz 偏移可能	
5	雑音付加機能	送信ビーム毎に合波処理された信号に対して、雑音成分を付加し、送信用 IF 信号として出力	

## 5 ETS-9 の今後の計画

表 2 周辺部の機能・性能

No.	項目	機能・性能
1	ETS-9 送受信周波数模擬機能	—
	アップコンバータ	入力周波数: 950 ~ 1,950 MHz 出力周波数: 19.2 ~ 20.2 GHz
	ダウンコンバータ	入力周波数: 29.0 ~ 30.0 GHz 出力周波数: 950 ~ 1,950 MHz
2	振幅制御機能	周辺部の経路上に可変アッテネータ等(市販品)を用い、経路上の信号に対して 0 ~ 71 dB 振幅レベルを変更可能
3	送受信経路制御機能	周辺部の経路上にコンバイナ/ディバイダ(市販品)を使用し、外部接続試験機器に対応する機能 経路上の信号を合成/分配することにより、複数のモデムやスペクトラム・アナライザ等の接続に使用
4	位相偏移機能	可変位相器(市販品)を使用し、周辺部の経路上の送受信信号に対して、最大 330° の位相偏移が可能

### 2.3 周辺部

周辺部では、ダウンコンバータによりフィーダリンク局及びユーザ局から送信される Ka 帯信号(29.0 ~ 30.0 GHz)を IF 信号(950 ~ 1,950 MHz)に変換し、アップコンバータによりコア制御部から送信される IF 信号(950 ~ 1,950 MHz)を Ka 帯信号(19.2 ~ 20.2 GHz)に変換する。また、可変アッテネータによって衛星回線の伝搬損失や降雨減衰を模擬する。

周辺部で実現する主な機能・性能要件を表 2 に示す。

## 3 総合評価

ETS-9 の打上延期に伴い、衛星実機を用いた検証が困難となったため、各課題成果の検証を目的として、代替的に地上総合評価を実施した。

本地上総合評価は、開発した擬似衛星局を用いてフィーダリンク局とユーザ局を接続して行うシナリオ評価と、ネットワーク運用センター(以下、NOC)及び衛星運用センター(以下、SOC)の動作確認を行うハードウェア連接評価の二本立てで構成される。さらに、本研究開発の他課題である衛星-5G 連接についても、擬似衛星局を用いた実証実験を実施した。

ハードウェア連接評価では、図 4 に示す接続に基づき、NOC で立案した運用計画をミッション SOC 経由でバス SOC に伝送し、衛星中継器への制御コマンドが

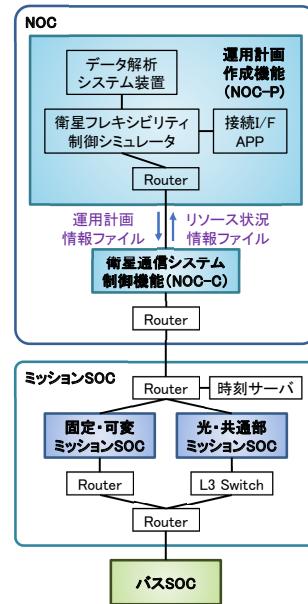


図 4 ハードウェア連接評価接続図

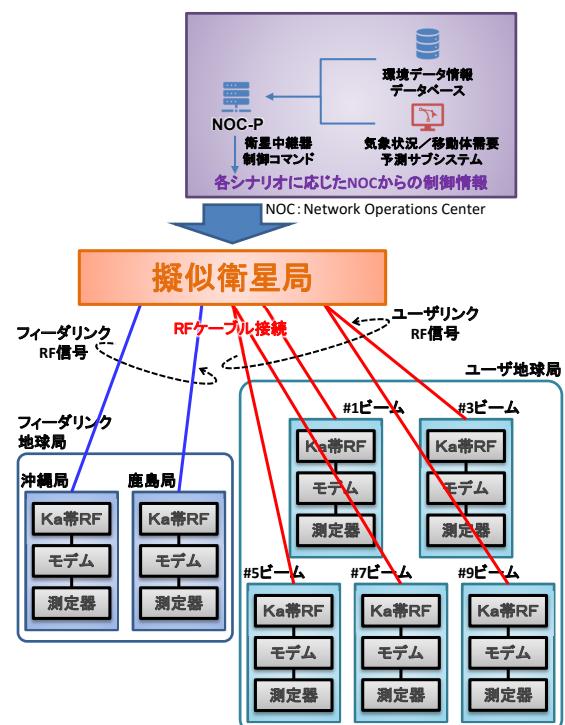


図 5 シナリオ評価接続図

正常に生成・反映されることを確認した。これにより、運用計画の実現に必要なハードウェア連接の一連の動作に問題がないことを確認している [6]。

一方、シナリオ評価では、周波数利用効率改善を確認するため、以下のようなケースを立案・評価した [7]。

- ・トラフィック集中地域に対する動的な帯域割当のシナリオ
- ・降雨減衰対策としてフィーダリンク局にダイバーシティを適用するシナリオ

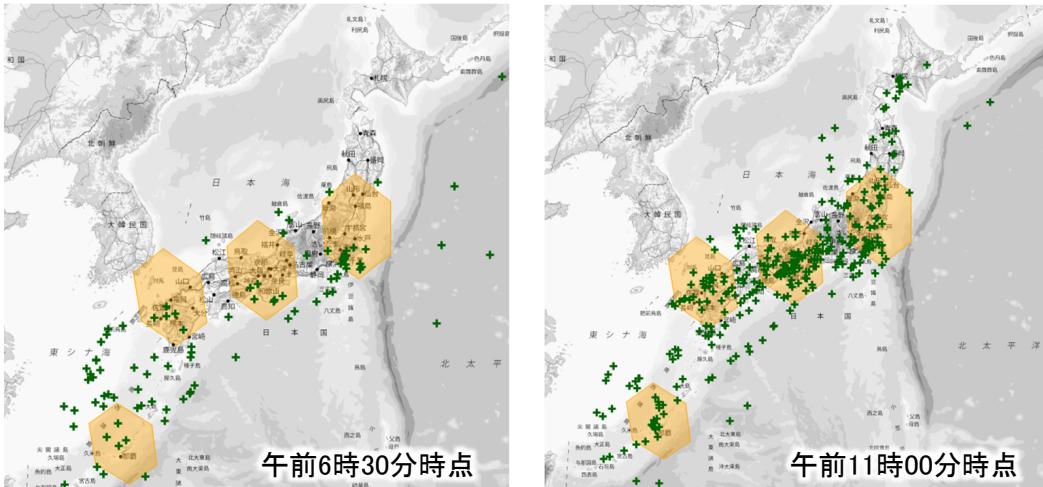


図 6 4 ビームに対する CARATS オープンデータに基づく 2019 年 6 月 18 日の航空機位置

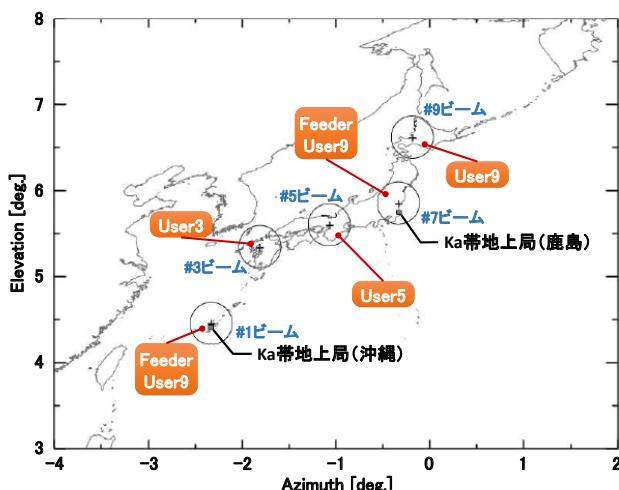


図 7 ETS-9 を想定したビーム配置／地上局配置

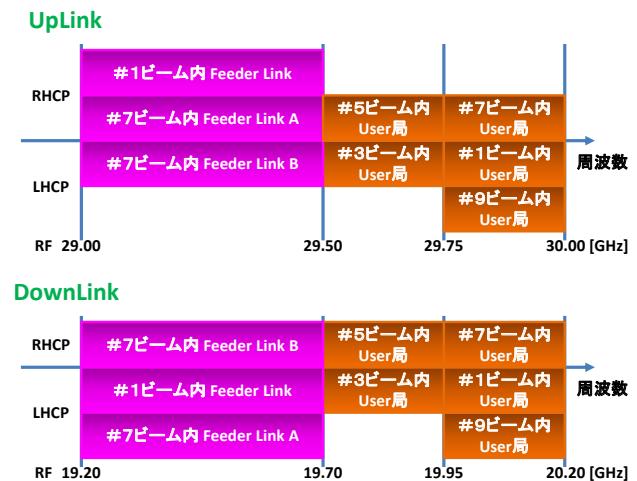


図 8 ETS-9 を想定した周波数配置

衛星実機を用いる場合、各地球局と衛星局間は無線で接続されるが、本評価では無線区間を同軸ケーブルに置き換えて実施した。ユーザ局は ETS-9 用に開発してきた可搬型地球局実機を用い、Radio Frequency (以下、RF) (Ka 帯) 接続で評価を行い、フィーダリンク局については IF (L 帯) 接続とした。図 5 に、シナリオ評価における接続図を示す。

以下では、3.1 に動的な帯域割当のシナリオによる検証内容、3.2 にダイバーシティを適用するシナリオによる検証内容を示す。

### 3.1 シナリオ評価 1：ユーザリンクによる周波数利用効率改善の検証

特定のビームエリアにおいて一時的に利用者が増大した場合、ビーム帯域内における呼損が発生する可能性がある。この問題に対応するため、デジタルチャネライザを用いて当該ビームエリアの帯域配分を変更し、空きのある他ビームの帯域を再配分することで、周波

数利用効率の改善が期待される。

本研究報告 4-1「ETS-9 運用計画作成システム」[8] で報告されたシミュレーションによる検証では、日本上空のある日の航空機位置をユーザ局と仮定し、固定ビームごとの需要帯域幅を予測した。さらに、衛星に搭載されているデジタルチャネライザを用いたダイナミック割当法により帯域再配分を行い、従来のベントパイプ型静止衛星との比較を通じて、周波数利用効率の改善効果を検証している。

シミュレーション検証時の条件を示す。

- ・ユーザ種別：航空機データ（図 6：4 ビームに対する CARATS オープンデータに基づく 2019 年 6 月 18 日の航空機位置）[9]
  - ・ビーム配置：図 7 に示すとおり
  - ・周波数配置：図 8 に示すとおり
  - ・フィーダリンク地球局設置所：鹿島主局、沖縄副局
- 2019 年 6 月 18 日の CARATS オープンデータ [9] に基づく航空機位置情報から算出した、各ビーム (4 ビー

## 5 ETS-9 の今後の計画

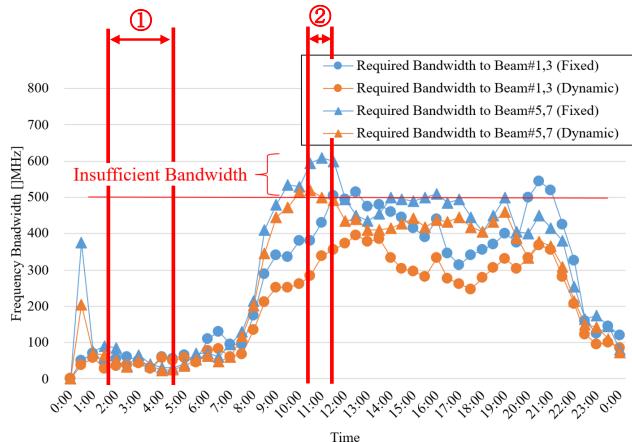


図 9 固定割当法及びダイナミック割当法に対する隣接ビームの合計必要帯域

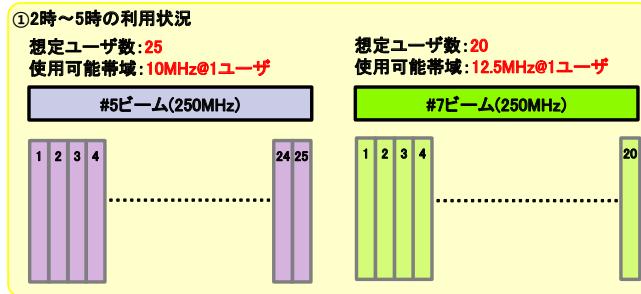


図 10 ①の期間の周波数帯域利用状況

ム: #1, #3, #5, #7) の要求帯域幅を用いて、固定割当法及びダイナミック割当法の双方における要求帯域幅をシミュレーションした結果を図 9 に示す。特に #5 及び #7 ビームにおいては、固定割当法で顕著な帯域不足が発生することが確認された。

地上総合評価では、#5 及び #7 ビームに着目し、衛星用モデムの台数制限により 4 ユーザ局を対象として、フィーダリンク局との通信を同軸ケーブルで接続し、擬似衛星局のチャネライザ機能を用いてシミュレーション結果の実証を行った。なお、図 9 に示すような連続的な要求帯域幅の変動を地上総合評価で再現することは困難であるため、①要求帯域に余裕のある期間(2 時から 5 時)と、②#5 ビーム内の要求帯域が設定帯域を超過している期間(11 時から 12 時)に着目して評価を実施した。

図 10 に示すとおり、①の期間の利用状況ではユーザ数が少ないため、#5 ビーム(基本割当帯域: 250 MHz)については想定ユーザを 25 局とし、1 ユーザあたりの使用可能帯域を 10 MHz と設定した。同様に、#7 ビーム(基本割当帯域: 250 MHz)については想定ユーザ数 20 局とし、1 ユーザあたりの使用可能帯域を 12.5 MHz とした。図 11 に #5 ビームにおいて 1 ~ 4 ユーザについて通信を行った際の IF 周波数スペクトラムを示す。

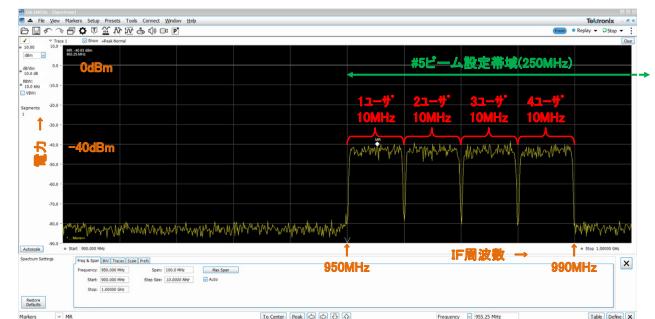


図 11 ①の期間の周波数帯域利用状況を模擬した #5 ビーム周波数スペクトラム

### ②11時～12時、固定割当の場合

想定ユーザ数: 80  
使用可能帯域: 5MHz@1ユーザ  
50MHz分のトラヒックが呼損発生

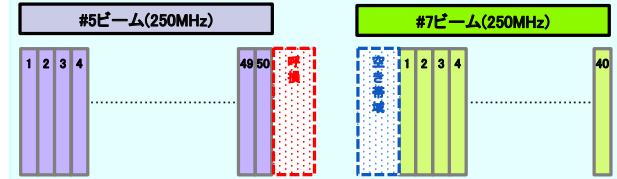


図 12 ②の期間の周波数帯域利用状況(固定割当)

### ③11時～12時、チャネライザを活用したダイナミック割当の場合

想定ユーザ数: 60  
使用可能帯域: 5MHz@1ユーザ

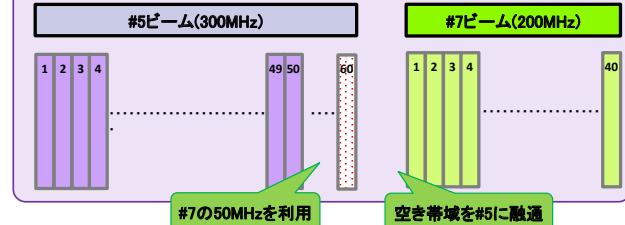


図 13 ②の期間の周波数帯域利用状況(ダイナミック割当)

図 12 に示すとおり、②の期間の利用状況では、両ビームともユーザ数が増加したため、1 ユーザあたりの帯域を縮小する必要が生じる。本検証では擬似衛星局で設定可能な最小値である 5 MHz を適用した。この結果、#5 ビーム(基本割当帯域: 250 MHz)の最大収容数は 50 局となるが、ユーザ数が 60 局に達した場合、従来のペントパイプ方式では呼損が発生する。一方、#7 ビームの想定ユーザ数を 40 局とした場合、同様に 1 ユーザあたり 5 MHz を割り当てる、50 MHz 分の未使用帯域が発生する。

チャネライザを活用したダイナミック割当を行うと、図 13 に示すように隣接ビーム間で帯域を柔軟に再配分できる。本ケースでは、#5 ビームの帯域を 250 MHz から 300 Hz に拡張し、#7 ビームを 250 MHz から 200 MHz に圧縮することで、#5 ビームの呼損が解消される。

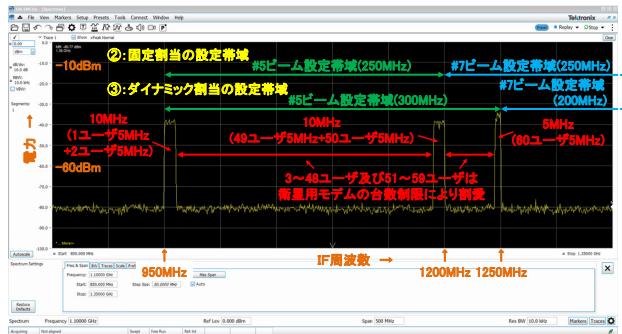


図 14 ②の期間の周波数帯域利用状況を模擬した IF 周波数スペクトラム

図 14 には、#5 ビームの 1・2 及び 49・50 ユーザ、さらに拡張後帯域に収容された 60 ユーザが通信を行った際の IF 周波数スペクトラムを示す。

周波数利用効率改善効果の検証するため、スペクトラム・アナライザを用いて衛星用モデム及び擬似衛星局の送信周波数を確認した。また、イーサーネット・テスタにより、フォワード／リターンリンクのスループットを測定し、ビット誤り率が  $1 \times 10^{-12}$  未満であることを確認した。従来のペントパイプ方式は、最大トラヒックに対応するために全ビームを固定的に割り当てる必要があり、本ケースでは 600 MHz (300 MHz × 2) が必要となる。一方、チャネライザを用いた場合、500 MHz (300 MHz + 200 MHz) で通信が可能となる。以上により、本ケースにおける周波数利用効率改善効果は 1.2 倍 ( $600 \text{ MHz} \div 500 \text{ MHz}$ ) 改善されることが示された。

### 3.2 シナリオ評価 2：フィーダリンクによる周波数利用効率改善効果の検証

Ka 帯のような高周波帯域では、降雨減衰による伝送速度の低下は無視できない。この課題に対しては、気象状況に応じた複数のフィーダリンク局の切り替えや、複数局同時利用（サイトダイバーシティ）により、伝送速度の維持・向上が期待される。

運用計画作成機能（NOC-P）は、気象状況及び移動体需要予測サブシステム並びに地上局周辺に設置された計測データ収集システムによる環境データを基に、データ解析アルゴリズムシミュレータを用いて衛星局に指示する運用計画情報を生成する機能を有している。

本研究報告 4-1「ETS-9 運用計画作成システム」[8]で報告されたシミュレーション検証では、日本上空のある日の航空機位置をユーザ局と仮定し、フィーダリンク局が設置されている鹿島において午後より天候が悪化した状況を想定した。このとき、気象条件の良好な沖縄局への切り替えシナリオを設定し、最適な変調方式及び符号化率（以下、MODCOD）を選択することにより、従来の単一フィーダリンク局の通信システムと

の比較を通じて、周波数利用効率の改善効果を検証している。

シミュレーション検証時の条件は以下のとおりである。

- ・図 9 に示す 2019 年 6 月 18 日の CARATS の航空機データに基づくトラヒック（大型航空機に着目し、1 機あたり 60 Mbps を基準とした）

- ・関東地方及び沖縄地方で実測された降雨時環境データ（なお、ユーザ局は航空機を仮定し、ユーザ局側の気象影響は考慮しないものとした。）

地上総合評価では、本シナリオに基づき、2種のデータをデータ解析アルゴリズムシミュレータに入力し、算出された通信条件（フィーダリンク局の切り替え、MODCOD、降雨減衰を考慮した衛星用モデム入力 Carrier to noise ratio（以下、C/N）値等）を変更したうえで、擬似衛星局及び衛星用モデムを用いて通信可否を確認した。なお、周波数利用効率の比較を目的として、全ての通信のシンボルレートは 12.1 Mbaud に統一した。ここで 12.1 Mbaud は、晴天時、伝送速度 60 Mbps を確保しつつ、かつ帯域を最小化する MODCOD (64 APSK/6·APSK:Amplitude and Phase Shift Keying) におけるシンボルレートである。また、擬似衛星局、衛星用モデムの連続的な設定変更は困難なため、特異時刻を抽出し、その時点に着目して評価を実施した。

シナリオと検証操作内容は以下のとおりである。

#### ① 2019 年 6 月 18 日 11:00 :

- ・シナリオ状況：晴天時の関東ビーム内において、鹿島主局（主フィーダリンク局）と各航空機局（ユーザ局）間の通信環境を想定
- ・検証操作内容：NOC-P 機能を有するデータ解析アルゴリズムシミュレータにより作成された運用計画情報（平均 C/N、MODCOD、シンボルレート、中心周波数）を擬似衛星局及び衛星用モデムに入力し、通信品質（スループット、比特誤り率）を取得

#### ② 2019 年 6 月 18 日 13:30 :

- ・シナリオ状況：関東ビーム内において鹿島主局で最大 12 mm/h の降雨が発生した状況を想定
- ・検証操作内容：①と同様に運用計画情報を、擬似衛星局及び衛星用モデムに入力し、通信品質を取得

#### ③ 2019 年 6 月 18 日 13:30 :

- ・シナリオ状況：関東ビーム内の鹿島主局において降雨による伝送レートが低下したため、フィーダリンク局を晴天の沖縄ビーム内の沖縄副局（副フィーダリンク局）に切り替え
- ・検証操作内容：本条件に基づき、データ解析ア

## 5 ETS-9 の今後の計画

ルゴリズムシミュレータで作成された運用計画情報を擬似衛星局及び衛星用モデムに入力し、通信品質を取得

④ 2019年6月18日13:30:

- ・シナリオ状況：関東ビーム内の鹿島主局で降雨により伝送レートが低下したため、同局との通信に加え、晴天の沖縄ビーム内の沖縄副局を追加した。ただし、2局のフィーダーリンク局との同時通信を行うため、それぞれのフィーダーリンクへの送信電力はシナリオ①～③の送信電力に対してそれぞれ1/2とした。また、図19に示すとおり、鹿島主局は#5ビーム内#3ユーザと沖縄副局は#1、#3、#7ビーム内#1、#2、#4ユーザと通信を実施
- ・検証操作内容：本条件により、データ解析アルゴリズムシミュレータで作成された運用計画情報を擬似衛星局及び衛星用モデムに入力し、通信品質を取得

図15に①から④のシナリオにおける鹿島主局、沖縄副局と各航空機局の通信イメージを示し、図16にぞれぞれのシミュレーション結果を示す。

また、適用するMODCODは、使用した衛星用モデルのMODCOD選択制約はあるもののDVB-S2X規定に記載されているMODCODごとの誤り性能を基に最適なものを選択した。

検証結果を表3に示す。

表3に示すとおり、データ解析アルゴリズムシミュレーション結果の数値を設定し、擬似衛星局を用いて実証した結果、すべてのシナリオにおいて

ビット誤り率が $1 \times 10^{-12}$ 未満であることが確認された。

サイトダイバーシティを用いない②のシナリオにおけるスループット(14.0 Mbps)を基準とすると、③のシナリオ(晴天の沖縄局への切替)ではスループットが58.5 Mbpsとなり、瞬時的ではあるが改善効果は約4.2倍( $58.5/14.0 \approx 4.2$ )であった。また、④のシナリオ(鹿島局と沖縄局の同時利用)ではスループットは48.9 Mbpsとなり、改善効果は約4.0倍( $(7.7+48.9)/14.0 \approx 4.0$ )となった。

以上のシナリオ評価により、RFケーブル接続の環境下ではあるものの、データ解析アルゴリズムシミュレーション結果の妥当性が確認された。

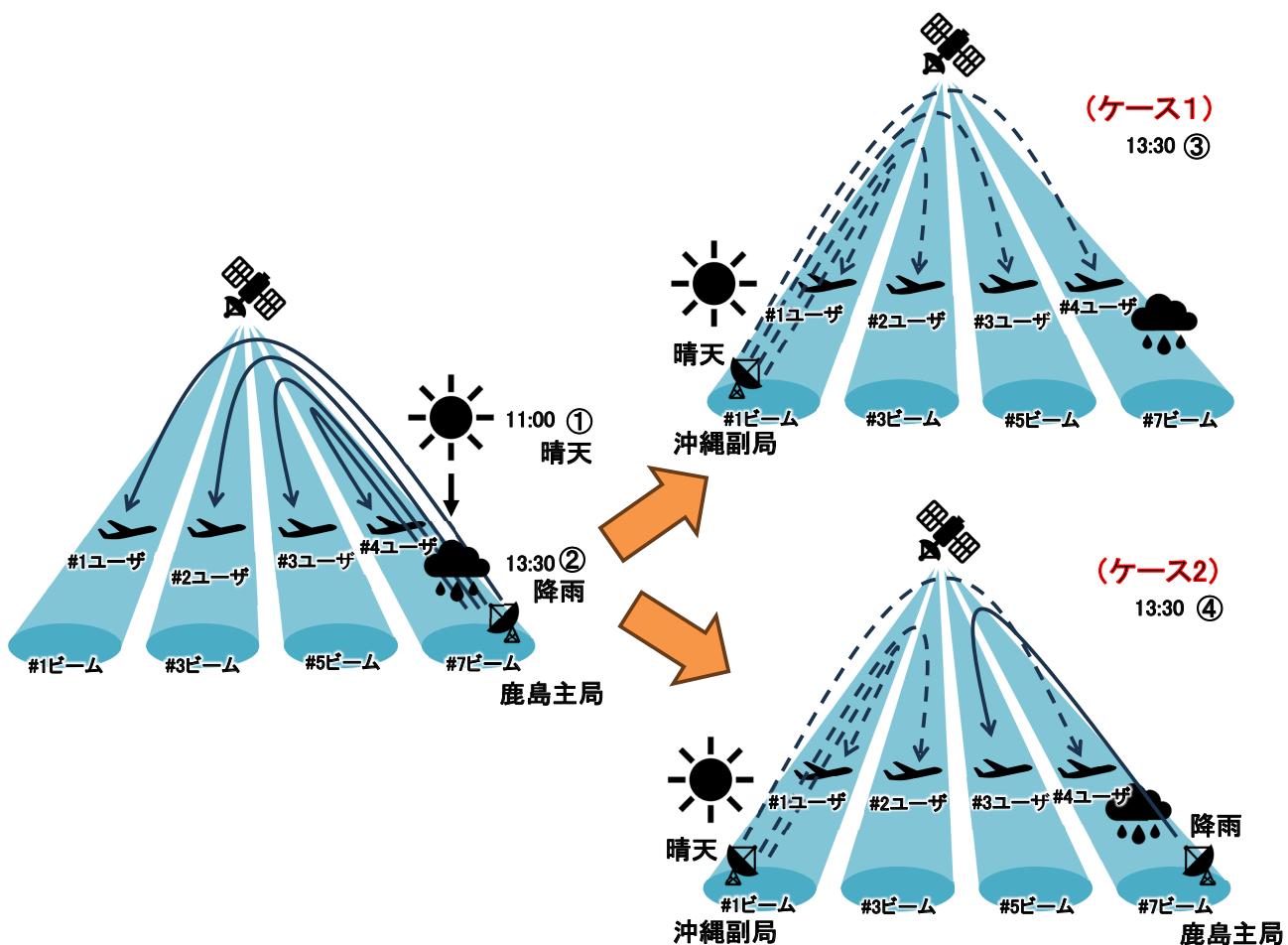


図15 シナリオ①から④における通信イメージ

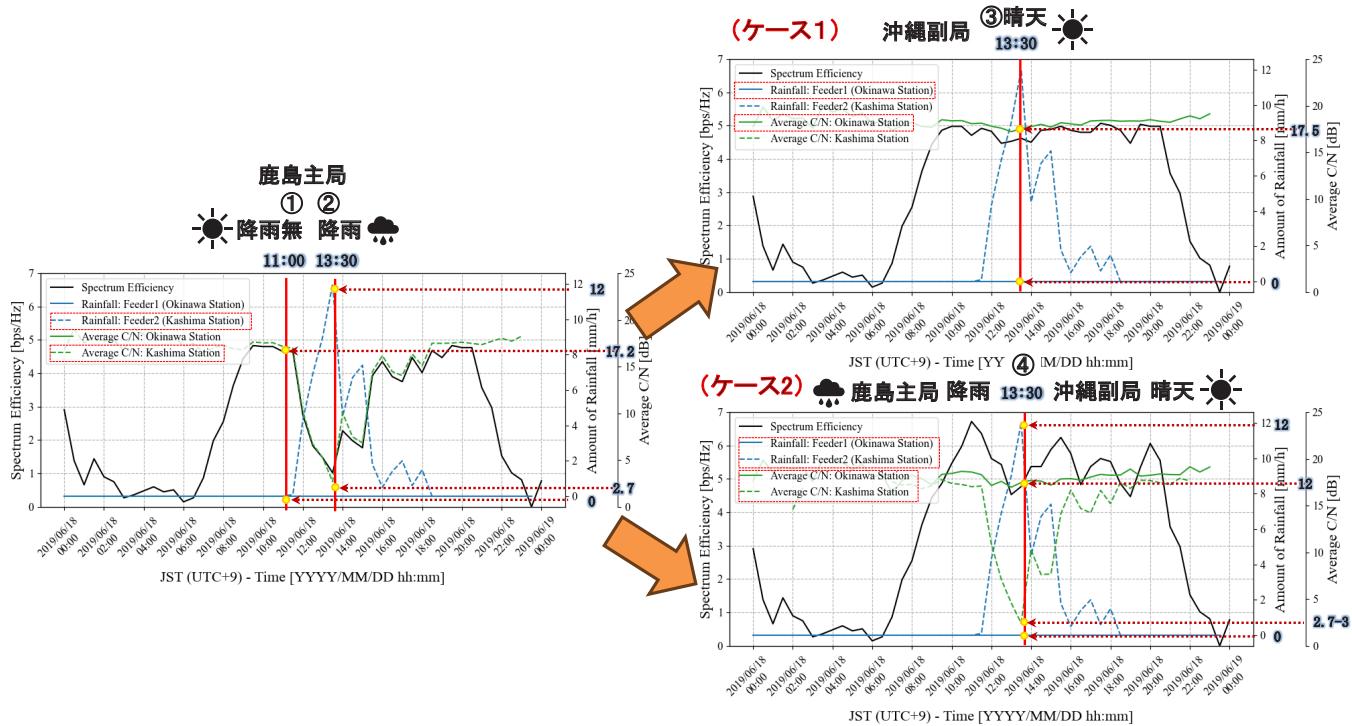


図 16 シナリオ①から④における周波数利用効率／降雨量／平均 C/N

表 3 フィーダリンクによる周波数利用効率改善効果の検証結果

	項目	①鹿島	②鹿島	③沖縄	④鹿島 & 沖縄※
シミュレーション結果	降雨量 [mm/h]	0	12	0	12
	平均 C/N [dB]	17.2	18	18.2	-1.1
	MODCOD	64 APSK 5/6	QPSK 3/5	64 APSK 5/6	QPSK 1/3
	周波数利用効率 [bps/Hz]	4.9	1.0	4.9	0.7
	伝送速度 [Mbps]	60.0	14.4	60.0	7.9
シンボルレート [Mbps]		12.1			
測定値	設定 C/N [dB]	17.0	3.5	18.0	1.8
	スループット [Mbps]	58.5	14.0	58.5	7.7
	ピット誤り率	$1 \times 10^{-12}$ 未満			
	改善倍率	-	1	4.2	4.0
	※	④の2局同時利用においては、衛星局の総送信電力が①～③の1局利用時と同等となるよう、鹿島局及び沖縄局それぞれ送信電力を1/2として平均 C/N を算出した。			

#### 4 衛星通信を利用した 5G 通信の検証

衛星通信を利用した 5G 通信の検証は①衛星を介した 5G 縦通実験、②5G アプリケーションの通信実験、③地上回線が利用不能となった災害地において、5G 端末が衛星回線に切り替わることで通信回線を復旧できることの検証、の 3 点から構成される。

本節の詳細は本研究報告 4-9「衛星 5G 連接システムの総合評価」[10] で報告されている。ここでは、図 17 に示す 5G 通信と擬似衛星局・衛星用モデムの接続構

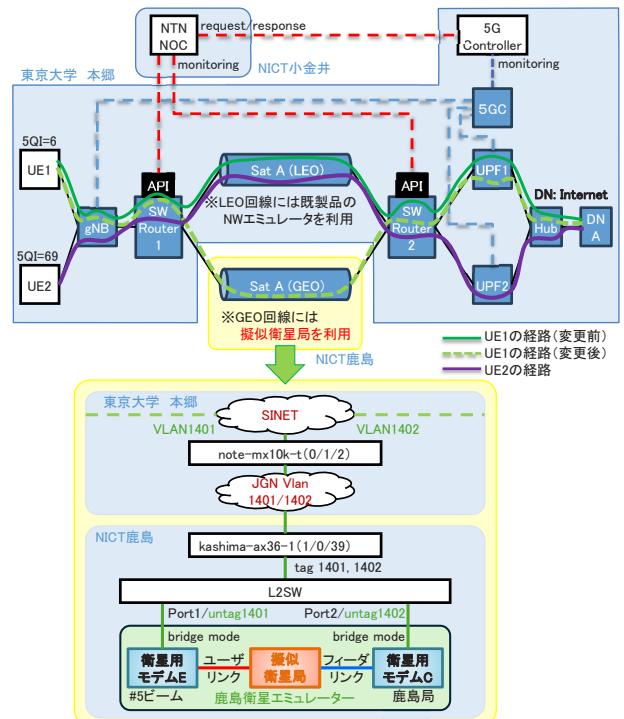


図 17 東京大学と NICT 本部（東京都小金井市）・鹿島の三拠点を横断する衛星 5G テストベッド構成図

成を示すに留める。

今回、衛星地上連接システムのシステム構成（図 17 上段）に記載の Sat A (GEO) 回線部分を擬似衛星局や衛星モデムに置き換え、有線接続という制限はあるものの、実通信に近い環境下でアプリケーション要件に

## 5 ETS-9 の今後の計画

応じた衛星回線の自動選択及びUser Equipment(UE)のトラヒック要求応じた動的な帯域制御についての検証を実施し、良好な結果を得た。

## 5 まとめ

NICT では次世代のブロードバンド衛星通信技術の研究開発の一環として、ETS-9 を活用した軌道上実証により衛星帯域配分の最適化を目的とした制御技術の評価を計画していた。しかし、ETS-9 の打ち上げ延期により、本研究開発期間中における実衛星通信環境下での実証実験が困難となった。そこで、ETS-9 を模擬する擬似衛星局を開発し、シミュレーション結果と併せて地上総合評価を実施した結果、周波数利用効率の改善効果を確認した。今後は、ETS-9 の打ち上げ後に本研究開発の成果を活用し、対災害、対船舶、対航空機、対第 5 世代移動通信システム(5G)、対 Internet of Things(IoT)などの活用事例を想定した軌道上での通信システム応用実験を実施する予定である[11]。これら実験を通じて、衛星帯域配分の最適化を目的とした制御技術の有効性を評価する予定である。

## 謝辞

本研究開発は、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」にて実施された。

### 【参考文献】

- 1 三浦 周, 辻 宏之, 吉村 直子, 森川 栄久, 久保岡俊 宏, 高橋 卓, 豊嶋 守生, 山本 周, 中尾 彰宏, 川本 雄一, 加藤 寧, 木村 紋子, 高山 泰一, 百束 泰俊, 内田 繁, 草野 正明, 須永 輝巳, 堀江 延佳, “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－研究開発全体の課題と計画－,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-3-1, 2020 年。
- 2 宇宙基本計画工程表(令和4年12月23日宇宙開発戦略本部決定), 2022年12月。
- 3 谷内 宣仁, 菅 智茂, 森川 栄久, 大川 貢, 高橋 卓, 三浦 周, 辻 宏之, “地上総合評価用擬似衛星局の開発,” 第67回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2023-40966, 2023年10月。
- 4 鄭 炳表, 土谷 牧夫, 谷内 宣仁, 高橋 卓, 三浦 周, 辻 宏之, “ETS-9 の地上試験のための擬似衛星局の開発,” 信学技報, SAT2023-68, 2024年2月。
- 5 鄭 炳表, 谷内 宣仁, 高橋 卓, 三浦 周, 辻 宏之, “ETS-9 模擬のための擬似衛星局の開発,” 電子情報通信学会総合大会, B-3-28, 2024年3月。
- 6 内田 繁, 草野 正明, 須永 輝巳, 角田 聰泰, 坂井英一, 堀江 延佳, “ETS-9通信制御システムと固定・可変ビームミッション管制システム,” 情報通信研究機構研究報告, 本特集号, 4-2, 2025。
- 7 鄭 炳表, ほか, “ETS-9地上総合評価の計画について,” 第68回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1C10, 2024年11月。
- 8 大津留 豪, 川本 雄一, 木村 紋子, 谷内 宣仁, “ETS-9 運用計画作成システム,” 情報通信研究機構研究報告, 本特集号, 4-1, 2025。
- 9 國土交通省航空局, CARATS 事務局, [online]: <https://www.mlit.go.jp/koku/carats/#copen>
- 10 関口 真理子, 阿部 侑真, 三浦 周, 中尾 彰宏, “衛星 5G 連接システムの総合評価,” 情報通信研究機構研究報告, 本特集号, 4-9, 2025。
- 11 高橋 卓, 鄭 炳表, 谷内 宣仁, 加藤 幸治, Dimitar Kolev, 三浦 周, “ETS-9による実験計画,” 情報通信研究機構研究報告, 本特集号, 5-2, 2025。

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

鄭 炳表 (じょん びょんぴよ)

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

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

大津留 豪 (おおつる ごう)

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  
研究員  
博士(工学)  
NTN、宇宙通信

関口 真理子 (せきぐち まりこ)

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  
衛星通信

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