

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 21901
 研究開発課題名 Beyond 5G における衛星-地上統合技術の研究開発
 副 題 衛星-地上統合技術の情報収集、技術確立及び有効性確認

(1) 研究開発の目的

Beyond 5G における衛星の方向性を見出すため、ESA と日欧共同実験を実施し、SDN/NFV、ネットワークスライシング及びネットワークの統合管理に関する先行技術の情報を効率的に収集し、国内のユースケースを考慮した実証実験を実施することにより国内ニーズに合致した技術を習得する。また、衛星とローカル 5G とのシームレス接続を可能とする研究を行い、SDN/NFV、ネットワークスライシング及び統合的ネットワーク管理技術を確立する。

(2) 研究開発期間

令和 2 年度から令和 6 年度（5 年間）

(3) 受託者

日本無線株式会社＜代表研究者＞
 スカパーJSAT 株式会社
 国立大学法人東京大学

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 2 年度から令和 6 年度までの総額 300 百万円（令和 6 年度 60 百万円）
 ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 日欧共同トライアルによる研究開発

1-1. ESA テストベッドによる衛星-地上接続実証実験 （日本無線株式会社）

1-2. 日欧接続によるネットワーク運用性の評価 （スカパーJSAT 株式会社）

研究開発項目 2 ローカル 5G バックホールの研究開発 （国立大学法人東京大学）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	64	15
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	3	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	2	0

（7）具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1：日欧共同トライアルによる研究開発

1-1. ESA テストベッドによる衛星-地上接続実証実験

フェーズ1（2020年度～2021年度）では、研究開発項目1-1の最終目標である「ESAにより開発されたテストベッドを活用して実証実験を行い、国内にて衛星-5Gの連携に関する有効性を評価し、課題を確認する。」に対し、ESAのテストベッドを活用した日欧共同トライアルを実施した。本トライアルでは、衛星回線と日欧間地上回線を含む長距離伝送による遅延等の影響下において、日本に配置したCPE（Customer Premises Equipment）と欧州に配置した5Gコア間でやり取りされる5G制御信号で通信セッションが確立できること、日本側のIoTセンサで取得したデータを欧州側のPC及びデータサーバへ伝送できることを明らかにした。また、各伝送区間のネットワーク品質を測定し、衛星回線と5Gを接続したネットワーク性能の評価を行った。これにより、具体的なアプリケーション伝送の観点からも、国際間長距離通信を介した5Gネットワークにおける衛星回線の統合が可能であることを実証した。

フェーズ2（2022年度～2024年度）では、ESA開発5Gコアを用いて、静止軌道（GEO）衛星回線、低軌道（LEO）衛星回線、地上光回線をバックホールとした、マルチバックホールスイッチングの実証を行った。これにより、地上回線と衛星回線のシームレスな連携を確認した。

次に、災害時をユースケースとし、GEO衛星回線と、LEO衛星回線のそれぞれをバックホールとしたローカル5G-衛星のデモンストレーションを実施した。GEO衛星回線ではジッタの少ない安定した回線という特長を活かし、360度カメラや監視カメラからの映像伝送を行い、LEO衛星回線では遅延の少なさを活かし、災害用ロボットの遠隔操作を成功させた。このデモンストレーションにより、災害下での情報収集ニーズに対し、使用したいアプリケーションから最適な軌道の衛星回線を選択することで、優れたソリューションを提供できることを実証した。また、スライシング機能を有効活用することにより、災害時におけるローカル5G-衛星の有効性を示した。

以上のように、ESAにより開発されたテストベッドを活用して実証実験を行い、国内にて衛星-5Gの連携に関する有効性を評価し、課題を確認した。ETS-9打ち上げ延期という状況にも、受託者間で協力しながら柔軟に対応し、目標を達成することができた。

1-2. 日欧接続によるネットワーク運用性の評価

フェーズ1（2020年度～2021年度）では、日欧トライアルとして、欧州テストベッドと国内Kuバンド衛星回線を接続し、グローバルな構成での衛星と5Gの連携運用の実証実験を行った。実験により、衛星回線を含む日欧間の長距離回線で5G通信が成立することを示し、様々なアプリケーションを想定したU-Plane通信性能の評価とC-Plane制御所要時間の評価を実施した。衛星回線を含む日欧間の長距離回線で5G通信を提供する有効性を示した。C-PlaneとU-Planeの機能配置によって5Gネットワークの運用形態や通信特性が大きく異なることを確認した。運用用途や遅延要件に応じて、適切な配置を選択する際の指標を示した。具体的には、国際的なグローバルネットワークオペレータが5G事業を展開する場合はC-Planeを中央に、ドメスティックな事業を対象とした衛星回線を介したネットワークオペレータによる5G事業展開の場合はHub Offloading Point（HOP）に、1つまたは少数のサイトでの個別のローカル5G利用ではエッジに配置するのが適している。また、コア機能（UPF以外）をエッジに置けば制御手順が高速化し、中央に置けばコスト削減が可能となる。UPFをエッジに配置すると低遅延通信が実現でき、中央に配置すると複数拠点の統合管理が容易になる。アーキテクチャ選定は、遅延量等の通信要件とコストとのトレードオフから、ビジネス展開に応じて選択を行う必要がある。

フェーズ 2（2022 年度～2024 年度）では、研究開発項目 2 で開発中のローカル 5G と Superbird-C2 号機を接続してローカル 5G バックホールを構築し、実験及び評価を実施した。特にローカル 5G 接続を利用する Edge 環境に一体型の 5G コア装置を配置した構成における衛星バックホールの有効性を示した（2022 年度）。また、国内 Ku バンド衛星（Superbird-C2 号機等）回線と伝送速度 100Mbps が実現可能な国内衛星回線を介して、研究開発項目 2 にて開発するローカル 5G を接続し、欧州で開発されたテストベッド技術を用いて、5G の高度な制御技術であるスライシング、経路制御、QoS 制御と衛星との連携運用の実証実験を行い、連携運用の有効性を示した（2023 年度、2024 年度）。当初の計画に追加して、衛星通信と 5G 通信を連携させた新たなユースケースとして、ローカル 5G のバックホール回線に GEO/LEO 複数軌道衛星を活用した衛星通信を使用し、5G で高度化された「QoS（Quality of Service）制御」と「経路制御」とを連携するユースケースを検討し、その有効性を実証した。

研究開発項目 2：ローカル 5G バックホールの研究開発

東京大学では、研究開発項目 2 において、衛星と地上システムにおける技術的課題に対し、5G 技術で提供される、①SDN/NFV、②ネットワークスライシング、③ネットワーク管理の 3 つの技術に係る研究開発を行い、課題解決を目指す。

上記の 3 つの技術に関して、本研究開発項目が掲げる目標は、以下の 3 つである。

- ・ 目標①：狭帯域・遅延大の衛星コンポーネントを含むスライスに対応し、SDN/NFV 技術を利用したトラフィック分類、優先制御、遅延対策機能などの研究開発を進める。
- ・ 目標②：ネットワークスライスのための SDN/NFV 技術で開発する機能の静的あるいは動的機能配置する技術や、それに係わるネットワーク運用技術を開発する。
- ・ 目標③：衛星コンポーネントを含むネットワークスライスの生成・削除するための動的リソース管理技術を開発する。

これら 3 つの目標に対して、本研究課題実施期間（フェーズ 1 およびフェーズ 2）を通して、各目標に対して、以下の技術をそれぞれ確立した。

<目標①に対する達成内容>

ローカル 5G システムの堅牢化に向けて、ネットワークスライシングの優先制御機能を具備する C-Plane スライシング技術を確認した。C-Plane は、制御情報を送受信するための伝送路を示し、UE が 5G へ接続する際にも利用されることから、C-Plane の堅牢化は、5G システムの堅牢化に繋がる。確立した技術により、C-Plane の輻輳緩和が実現でき、平均 UE 接続台数を約 2.4 倍増加できることを明らかにした。また、ネットワークスライシング自動化に向けてリアルタイムにアプリケーション同定可能な手法も確立した。実アプリケーションを利用した評価実験を通して、確立した手法により、約 100-400msec の処理遅延で 95%以上のアプリケーション同定を実現した。

<目標②に対する達成内容>

研究開発しているローカル 5G システムを利用し、国内衛星を利用した日欧をまたがる衛星地上統合システムのテストベッド環境を構築・整備した。本テストベッド環境上で、衛星地上統合システム上で動作するネットワークスライシングを確認した。確立したネットワークスライシングは、スカパーJSAT と共同で実証した。

ネットワークスライシングの災害監視システムへの適用に向けて、IoT 通信プロトコルとして知られている Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) の通信性能向上可能なネットワークスライシング方式を確認した。確立した提案方式により、ネットワークスライシングを利用しない方式と比較して、MQTT の送信メッセージ数が 1000 メッセージ以上増加できることを明らかにした。

<目標③に対する達成内容>

衛星地上統合システムのためのネットワークスライシング・ネットワーク管理手法を確立した。確立したネットワークスライシング管理手法により、遠隔での災害監視をユースケースとして定め、オンデマンドなニーズ（例えば、品質を確保したいカメラを切り替えたいなど）に対応可能なコントローラを実装し、動的にネットワークスライシングの可用帯域を変化させることで、品質を確保したいカメラの画質劣化やフリーズ時間を抑制できることを示した。

このように、上記に記載している達成内容に基づき、本研究開発項目で掲げている各目標を全て達成した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発項目1：日欧共同トライアルによる研究開発

1-1. ESA テストベッドによる衛星-地上接続実証実験

Beyond5G における衛星-地上統合技術の展望は、多くのユースケースにおいて見出すことができるが、研究開発項目 1-1 においては発災時の通信ネットワークをユースケースとし、災害状況の把握から、現場監視、人命救助、支援物資の運搬、ライフラインインフラ設備の復旧復興まで、長期的に優先度の高い通信環境を構築することをテーマとして取り組んだ。最終年度では、人間が立ち入れない危険な場所での情報収集を想定し、360°カメラを搭載したロボットをローカル 5G 環境に置き、衛星回線を経由してロボットの操作と高機能映像の伝送を行った。遅延の少ない低軌道衛星とジッタの少ない静止軌道衛星、それぞれの特徴を活かしつつ、5G 機能を利用して目的のユースケースをデモンストレーションできたことは、今後のNTN時代を展望する上で有益である。

本研究を通して、静止衛星および低軌道衛星を 5G のバックホール回線として利用する際に必要な知見を得ることができた。その成果は、広域地震災害時に国民の生命・財産を守るための高機能通信手段として社会実装するために有効と考える。今後、国や自治体の防災機関において利活用されることを目標とした計画を検討する。

1-2. 日欧接続によるネットワーク運用性の評価

本研究により得られた成果については、今後も学会やセミナー等を通じて当社の研究開発動向として発信するとともに、プレスリリースなどの手法を活用し、社外に対しても的確かつタイムリーに情報発信を行う予定である。スカパーJSAT は、本研究を通じた欧州との連携を契機として、3GPP の標準化において ESA とのユースケース検討に協力し、ESA が主管する NTN Forum への参加を通じて欧州との関係強化を進めている。今後もこの関係を活用し、研究開発および標準化活動を推進していく方針である。本研究では、特にローカル 5G のバックホール回線として衛星を活用するユースケースに着目し、衛星と 5G の連携における運用性の評価に取り組んだ。最終年度には、GEO・LEO など複数軌道の衛星通信と高度な通信制御技術との連携による有効性を検証し、これらの成果はローカル 5G 向けバックホールサービスとしての活用に加え、RAN 区間を衛星で提供する 5G NTN や、スカパーJSAT が事業化を進める Universal-NTN への応用も視野に入れている。また当社は、2024 年 11 月 NTN の技術検証環境「Universal NTN イノベーションラボ」を開設し、NTN 展開に向けた実証や技術開発を実施できる環境を構築した。今後本環境を活用して、各企業や団体と共同で将来のユースケースに対応した実証ができるよう促進を行う予定である。

研究開発項目2：ローカル5Gバックホールの研究開発

日本において、パンデミックや自然災害、国際紛争など、予測不可能なリスクが今後も高まる中、生命維持・社会活動の継続に欠かせない「次世代サイバーインフラ」としての情報通信環境の整備はますます重要になる。特に、インフラが制約される環境下において、迅速かつ確実な情報の伝達と社会活動の維持が求められる。これに対し、ローカル5Gの導入は、我が国の通信インフラを新たなレベルに引き上げる可能性を秘めており、自営可能な高品質な無線通信環境の確立は、その重要な柱となる。ローカル5Gの最も大きな特徴は、公共の通信ネットワークに依存することなく、独自に通信網を構築できる点である。これにより、災害時や緊急時においても、即座に自立した通信環境を整えることができ、社会全体の回復力を強化することが可能となる。また、衛星通信との連携によって、インターネットやクラウドサービス、遠隔地のアプリケーションサーバーへの通信が安定的に確保されるため、地域や状況に依存せず、広範囲にわたるサービス提供が実現できる。これにより、特に災害対応や公共安全分野での通信確保が強化され、リアルタイムでのデータ収集・分析、IoT機器や監視カメラ、AIを駆使したシステムによる迅速な対応が可能となる。未来の社会において、ローカル5Gは、災害時の通信インフラのバックアップや、リアルタイム監視システムの構築といった重要なユースケースにおいて、大きな役割を果たすと予測される。これらは、単に災害対応にとどまらず、日常的な社会の安全保障や、交通、医療、農業などの分野にも適用が可能である。特に、衛星と地上通信の統合システムを実現することにより、これらの分野での柔軟な通信制御が可能となり、災害時や緊急事態において、より迅速で効果的な対応が可能となる。2025年度以降、ローカル5Gの普及期が訪れることが予測されており、その実装と社会受容性の向上に向けて、更なる研究開発が進むことが期待される。特に、商用システムへの実装や、社会的受容性を考慮した機能の追加・改良が不可欠である。これにより、ローカル5Gは単なる通信インフラを超えて、社会全体の「次世代サイバーインフラ」として広く普及し、我が国の安全・安心を支える重要な基盤となると展望を描いている。最終的には、これらの取り組みが、日本全体のレジリエンスを高め、未来社会における持続可能で強靱な情報通信基盤を築くための礎となることを目指す。