

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 00602
 研究開発課題名 Beyond 5G 次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発 (研究開発項目 1 : LEO コンステレーション用小型衛星搭載電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発)
 副 題 小型衛星コンステレーション実現に向けた次世代ネットワーク要素技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

地上系ネットワークとシームレスに接続できる低軌道衛星 (LEO) コンステレーションを活用した非地上系ネットワーク (NTN) 基幹網の実用化に向け、時間発展するネットワークトポロジーに対応する次世代ネットワーク技術による「電波・光ハイブリッドメッシュネットワークの実現」に取り組むものである。

NTN 基幹網を活用したデジタルトランスフォーメーション (DX) の分野で日本が世界をリードすることは、社会コストを抑制しながら IoT、ロボット、AI 等の日本が得意とする先端技術を、グローバルにあらゆる産業や社会生活に活かす Society5.0 の実現に貢献する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 4 年度 (2 年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 126 百万円 (令和 4 年度 123 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 LEO コンステレーション用小型衛星搭載電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発

- 項目① 衛星システム検討基盤の検討・構築 (日本電気株式会社)
- 項目② ネットワーク検討基盤の検討・構築 (日本電気株式会社)
- 項目③ 検討基盤間の相互連携の仕組みの検討 (日本電気株式会社)
- 項目④ ノード装置(ルータ)の開発 (日本電気株式会社)
- 項目⑤ ネットワーク全体成立性に関する技術課題の識別 (日本電気株式会社)

(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	1	1
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	2	2
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

➤ 項目① 衛星システム検討基盤の検討・構築

複数の人工衛星に対して軌道、姿勢、搭載通信装置の性能等の属性情報をそれぞれ与えた時に、各衛星間でのリンク形成の可否判断を行い、その集積であるネットワークトポロジーの出力を可能とする検討基盤を構築した。(LEO コンステレーションのみに留まらず、MEO・GEO 共存といった任意形態への対応も考慮した。)

➤ 項目② ネットワーク検討基盤の検討・構築

衛星コンステレーションのトポロジー、およびその時間変化の情報が与えられた時、それらを地上シミュレータ上に模擬しネットワーク性能の検証を可能とする検討基盤として、ネットワークシミュレータ環境を構築した。1 軌道あたり 10 衛星、8 軌道の計 80 機の衛星によるコンステレーションを模擬する環境を VM 利用や配線工夫により実現した。

性能指標のアプリケーション依存性を整理し、対象とするアプリケーションについてプロトコルのチューニングおよび定量的な性能評価を実施するために、TCP/UDP のプロトコル別、長短経路ごとに性能評価し、通信速度確保に必要な水準を見極めた。

千を超える機数の衛星コンステレーションを想定し、必要となる検討基盤の規模の検討、また規模の大幅拡大が必要になった場合の実現方法について整理・検討を実施した。頻繁に変わる衛星間リンクに対応しユーザ通信のパケットロスを抑制して経路切替する方式を検討した。

80 機の衛星コンステレーションを模擬したネットワークシミュレータ環境において適切な経路切替とユーザ通信の継続性確保を実現した。

➤ 項目③ 検討基盤間の相互連携の仕組みの検討

衛星システム検討基盤(項目①)の結果をネットワーク検討基盤(項目②)が取り込める、ネットワーク検討基盤の性能検証機能を衛星システム検討基盤が取り込める、という相互の連携を実現するための仕組みを実現した。(これにより、各領域の設計者が、他の領域に関する知識不十分な状態でも設計、最適化に取り組むことのできる環境を提供し、開発の加速を促進することが可能となる。)

➤ 項目④ ノード装置(ルータ)の開発

ルータ模擬装置に求められる要件定義として、衛星間、地上局間の通信方法や、項目①の衛星システム検討基盤(物理層 sim)とのインタフェースを定義した。更に海外で先行する検討活動および主に項目②の検討状況を参照しつつルータに求められる要件を定義し、その要件に基づき SDN を用いたルータ模擬装置を準備し、模擬装置を使った性能確認、機能追加検討、および搭載化に向けた仕様整備を実施した。

頻繁に変わる衛星間リンクに対応し柔軟にルーティングを変更するため、衛星内制御を SDN により実現し、10Gbps 近いパケット転送など高性能なルータ機能も実現した。

他受託者と連携し接続実証を実施した。インタフェース点での最大スループット 10Gbps を達成、および通信が遮断する事なくデータが流れる事を確認した。

➤ 項目⑤ ネットワーク全体成立性に関する技術課題の識別

00602 全体の方針として宇宙システムとネットワークの疎結合化を志向し、それぞれ独立に検討基盤(シミュレータ)を整備した上で互いの連携を図る、というアプローチをとってきた。この成果に基づいてネットワークシステムとして社会実装を進めていく際に、検討基盤側に残留している、または発生する課題の整理を行った。(課題間の優先順位、または時間軸を明確にするために、以下の 4 種に分類し整理した。)

- (A) 社会実装を前に検討基盤にて解決されるべき課題
- (B) 当面、社会実装より優先順位は低い、いずれ検討基盤に実装、解決されるべき課題
- (C) 社会実装のフェーズで前面化される課題
- (D) 実システムと検討基盤との協調、連携図るにあたって表面化する課題

なお、課題の存在場所としてはこれら(A)～(D)の他に、”個別事業化活動”の枠の中にも存在する。この活動は、00602 参加組織のみならず、衛星コンステレーションベースのネットワークの構築を模索する全ての組織が個別に実施しているものであり、その内容は多種多様なものとなる。(A)～(D)における課題は、00602 参加組織の”個別事業化活動”との連続性とともに、異種コンステレーション間の協調の観点で検討基盤側に対し行われるフィードバックを念頭に、抽出を進めた。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

➤ 計画

本活動での研究開発成果をベースに、今回はスコープ外としたオフノミナル対応や自動再構成、自律化に関する調査研究を進める計画である。また、軌道上実証に向けて、本活動で開発したルータ模擬装置の衛星搭載化に取り組むことも検討中である。

プレスリリースや外部発表による成果発信を積極的に進めプレゼンス向上に努めながら、今回構築したスキームの活用も意識し、早期の軌道上実証成功を目指していく。

➤ 展望

将来的に LEO コンステレーションを実用化・社会実装する際には、地上ネットワークとの親和性や継続的なアップデート可能性を確保しておくべきである。費用対効果の観点からはデュアルユース等も含む通信稼働率の向上や相互接続性への配慮も求められる。また、社会に対して有益なサービス、ソリューションを提供するには一定以上の規模の衛星数による LEO コンステレーションを構築・運用する必要があり、今後より一層のパートナーシップ拡大・充実や地上民生品の活用を推進していかなければならない。

上記の取り組みを継続して進め、持続的に発展可能な LEO コンステレーション実現への貢献を目指していく。