

採 択 番 号        01901

研究開発課題名   低軌道衛星を利用した IoT 超カバレッジの研究開発

### (1) 研究開発の目的

既存のスマートフォンで利用可能な衛星通信ネットワーク構築により、これまで圏外であった山岳地帯や離島、あるいは海洋でも通信可能とし、国土 100%のモバイルネットワークの実現を目指す。低軌道衛星を使用し、低遅延化を図るとともに、衛星と直接通信することにより地上での基地局設置を不要としたシンプルな構成で、設備コストの低減を実現する。

国内の携帯電話事業者のカバレッジについては事業者の周波数にもよるが、人口カバー率は最大で約 99%である。しかしながら、面積カバー率で計算すると最大でも約 70%であり、少なくともカバーされていない国土面積は約 30%ということになる([https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000859612.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000859612.pdf))。その状況を鑑み、日本全土をカバーできるブロードバンド・インフラの実現を目標とする。社会的側面からは、地震、台風、集中豪雨等の自然災害の増加や、被害の甚大化の観点から、災害が発生した際にも安定的に提供できる通信手段の確保が重要となる。そのためには、一般に普及している既存端末を用いて災害時でも使用できる通信手段の提供が重要である。

一方、衛星通信を取り巻く環境を俯瞰すると、3GPP では、地上系のセルラー通信に加え、衛星を使用した非地上系ネットワーク NTN(Non-Terrestrial Network)の標準化が進められている。これまで非地上系はワイドビームによる広域通信に対し、スポットビームによるセルラー化が進められている。2020 年 3 月、楽天(現楽天グループ)は、米 AST & Science 社(現 AST SpaceMobile 社)へ出資と共に、同社と戦略的パートナーシップを締結し、同時に AST & Science 社は低軌道衛星からスマートフォンに直接 4G / 5G の通信を届ける「SpaceMobile」衛星通信サービスを発表した。

「SpaceMobile」の特徴は、専用ハードウェアを用いずに既存のスマートフォンで衛星通信が利用できる点である。Iridium 等の既存の衛星電話サービスの利用には専用の端末が必要となるが、「SpaceMobile」の場合は、手持ちのスマートフォンで通常の携帯ネットワークと同じように通信できる点がメリットとなる。技術検証衛星である「BlueWalker 3」が 2022 年 9 月 11 日(日本時間)に打ち上げられ、各種確認試験を実施した。2023 年後半頃から商用衛星を打ち上げ、全世界的なエリアを構築する予定である。また、最終的には、MIMO によるより高速なサービスを提供する予定となっている。この計画が実現すると、これまで圏外だった山奥や海上でも手持ちのスマートフォンで通信できるようになり、これらの地域でもモバイル通信を利用する道が開け、情報格差の解消にも役立つといわれている。

しかし、既存のスマートフォンと直接通信するにあっては課題も多くあるため、本研究開発は、いくつかの課題に対して技術検討および必要な技術については研究開発を行っていく。地上系のセルラーと同等の通信は難しいことから、センサー情報などのデータ通信を対象とした、NB-IoT を使った狭い帯域で長距離化を図り既存のスマートフォンが使用できることを前提にする。この結果、ユーザ側の変更の負担を回避することで、携帯端末新規開発コストの低減を図れ、地上系の端末との共有が可能であるため低廉な端末でサービス展開の加速ができる点で優位性を確保する。

### (2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度(4 年間)

### (3) 受託者

国立大学法人東京大学<代表研究者>  
楽天モバイル株式会社

(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 896 百万円（令和4年度 805 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 低軌道衛星を利用した IoT 超カバレッジの研究

研究開発項目 1-a) LTE 衛星通信ネットワークの構築（楽天モバイル株式会社）

研究開発項目 1-b) LTE 衛星通信の安定化・最適化、NB-IoT SW の開発・衛星適用（国立大学法人東京大学、楽天モバイル株式会社）

研究開発項目 1-c) 超カバレッジ IoT のユースケース検討、超カバレッジ IoT の実証実験（国立大学法人東京大学、楽天モバイル株式会社）

(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	0	0
	外国出願	2	2
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	25	22
	標準化提案・採択	11	8
	プレスリリース・報道	2	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 低軌道衛星を利用した IoT 超カバレッジの研究を実施した。具体的には、各項目に対して以下を実施した。

研究開発項目 1-a) LTE 衛星通信ネットワークの構築（楽天モバイル株式会社）

楽天モバイル：

- AST SpaceMobile 社の技術検証衛星である「BlueWalker 3」が SpaceX 社の Falcon 9 ロケットにより地上約 500 km の地球低軌道に打ち上げられ、フェーズドアレーアンテナを無事展開した。
- 国内試験で使用する周波数及び試験場所について、既存無線局に影響を与えない構成を詳細に検討し選定、試験端末およびゲートウェイ局の試験局免許の申請を行い、予備免許を取得した。
- 福島県内に設置する地上ゲートウェイ局建設を完成させ、登録点検を実施した。また、モバイルネットワーク接続のための回線を準備した。
- AST SpaceMobile 社から試験衛星と一般端末間の通信条件（Link Budget 等）を入手して机上検討を実施した。
- 楽天モバイルのラボに試験衛星と一般端末間の無線環境を模擬した環境を構築し、通信模擬試験を行った。
- LTE 衛星通信試験予定地の事前確認を行い、試験端末から衛星の見通し状況について調査した。

研究開発項目 1-b) LTE 衛星通信の安定化・最適化、NB-IoT SW の開発・衛星適用  
（国立大学法人東京大学・楽天モバイル株式会社）

東京大学：

- ドップラー効果や遅延の補償の拡張機能の実現を目指し、massive Machine Type

Communication (mMTC) サービスを提供する Narrowband Internet-of-Things (NB-IoT) ソフトウェア基地局の初期アクセス手順を実装した

- 低軌道衛星の利用により生じるドップラー効果や遅延の影響と、その補償方法を検討した。
- 通信モジュール BC95-G をリファレンスとして複数の NB-IoT 基板を製作した。将来的に通信モジュールをより一般的な製品に置き換えることを想定し、miniPCIe ボードを設計した。
- 東京大学に楽天モバイルの O-RAN 設備を設置し、共同研究のテストベッドを構築した

楽天モバイル：

- 試験衛星・一般端末間の直接通信を行う際に予想されるスループットについて、シミュレーションを実施した。
- 楽天モバイルのラボに試験衛星・一般端末間の無線環境の机上検討を踏まえて、擬似環境を構築した。
- 擬似環境で試験衛星・一般端末間の通信性能を評価するために端末の受信電力、端末側の送信電力に対する、衛星側の受信電力をフェージング量等を変更しながらラボ試験を実施し、LTE 衛星通信の安定化・最適化に向けてソフトウェアの改善を行った。
- 試験対象の周波数の Band8 が 5MHz 帯域幅のため、In-band 方式に決定し、NB-IoT 対応 RAN ソフトウェアを開発した。

研究開発項目 1-c) 超カバレッジ IoT のユースケース検討、超カバレッジ IoT の実証実験  
(国立大学法人東京大学・楽天モバイル株式会社)

東京大学：

- 超カバレッジ IoT のユースケースとして地域の一次産業への適用を検討し、牡蠣の育成と産卵タイミングの予測のための環境モニタリングを選定して実証実験を開始した。
- 通信モジュール BC95-G をリファレンスとして、IoT で使用する全天候水温センサーを試作した。
- IoT で求められる、安価かつ精度の高い温度センサーの実現方法を検討し、ガリウム融点と氷水融点で二点較正を行う方法を検討した。

楽天モバイル：

- 超カバレッジ IoT の実証実験に向けた環境整備を進めた。

## (8) 今後の研究開発計画

今後は最終目標に向けた研究開発を継続して行う。研究開発項目 1-a) および 1-b) に関しては、試験衛星の打ち上げが当初予定の 2021 年 12 月から 2022 年 9 月に延期されたことから、2022 年度に予定していたネットワーク構築、LTE 衛星通信の安定化・最適化作業の一部を 2023 年度に実施する。

### 研究開発項目 1 低軌道衛星を利用した IoT 超カバレッジの研究

研究開発項目 1-a) LTE 衛星通信ネットワークの構築

2023 年度

- 2023 年 4 月～2023 年 6 月：地上・衛星間の通信確立

研究開発項目 1-b) LTE 衛星通信の安定化・最適化、NB-IoT SW の開発・衛星適用

2023 年度

- 2023 年 4 月～2023 年 6 月：LTE 衛星通信の安定化・最適化

- 2023年4月～2023年5月：NB-IoT SW のラボ試験実施
- 2023年6月～2023年10月：NB-IoT SW の衛星通信適用
- 2023年8月～2024年3月：NB-IoT の最適化・安定化

2024年度

- 2024年4月～2024年7月：NB-IoT の最適化・安定化

研究開発項目 1-c) 超カバレッジIoT のユースケース検討、超カバレッジIoT の実証実験

2023年度

- 2023年4月～2023年6月：LTE IoT 端末の設置
- 2023年4月～2024年3月：既存NB-IoT サービスによるIoT 実証実験
- 2023年7月～2024年3月：LTE 端末利用した超カバレッジIoT の実証実験
- 2023年10月～2024年3月：NB-IoT 端末の開発・ラボ試験

2024年度

- 2024年7月～2025年3月：NB-IoT 端末を利用した超カバレッジIoT 実証実験