

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、楽天グループの出資先企業である AST & Science LLC 社(現 AST SpaceMobile 社)が、低軌道衛星からスマートフォンに直接 4G /5G の電波を届ける「スペースモバイル」衛星通信サービスを発表した。「スペースモバイル」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、「スペースモバイル」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「BlueWalker3」が 2022 年 9 月 11 日(日本時間)に打ち上げられ、現在軌道上試験が行われている。商用衛星は 2024 年中頃から順次打ち上げ予定であり、全世界的なエリアを構築する計画である。このサービスが実現すると、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る。また、携帯電話のエリア化から取り残されていた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実現に向けては課題がある状況を鑑み、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コストな端末でサービス展開の加速化える点で優位性を確保する。

現在、3GPP における NTN の議論については、NTN 向けに新たに規定された無線機能を具備した端末を前提としている。一方、IoT デバイスはすでに全世界で 200 億デバイス以上が出回っているといわれている。様々な産業機械に組み込まれることから、消費者が利用する携帯電話等に比較し利用されるサイクルが長いことが特徴である。そのため、既存の仕様の IoT デバイスのまま通信ができるよう、収容する eNB 側で使用差分を吸収するアプローチで研究開発を進める。

なお、3GPP 標準化が進む中で、楽天モバイルは標準化活動に参画し、各社との議論、標準化整合の実績あり、積極的に標準化活動を推進している。この活動を通して、最新の 3GPP 動向、仕様を確認し、標準化の獲得、および仕様適応していくことで基地局・UE が連携したアーキテクチャの最適化に継続し取り組む。

(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5年度までの総額 1,293 百万円(令和5年度 397 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	7	5
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	33	8
	標準化提案・採択	15	4
	プレスリリース・報道	2	0
	展示会	1	1
	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：

- 米国において AST SpaceMobile 社が実施した BlueWalker 3 衛星とスマートフォンの直接通信に参加し、音声通話に成功した。
- BlueWalker 3 衛星と携帯端末の直接通信試験に先立ち、福島県内に設置した地上ゲートウェイ局で BlueWalker 3 衛星の追尾試験を行い、BlueWalker 3 衛星からの Q バンドダウンリンク信号受信に成功した。
- 北海道における衛星との通信試験へ向け、試験セットアップ内容の検討及び試験リハーサルを行い、2~3 分の短い時間に衛星との通信試験を実施できるよう準備を行った。
- 試験衛星との通信時間は 2~3 分と短いため、継続的にフィールド試験環境を模擬できる衛星シミュレータ (遅延及びドップラーシフト、信号品質を再現) を用いた試験環境を構築した。
- 上記試験環境下で UE との接続試験にて、Attach/Detach、Ping、DL/UL スループット試験および VoLTE コールのリグレーション試験は全て実施可能であることを確認した。
- 北海道における BlueWalker 3 衛星との直接通信試験を開始し、BlueWalker 3 衛星からの LTE ダウンリンク (Band-8) の観測に成功した。なお携帯端末との双方向通信には成功しておらず、原因について調査を行っている。
- LTE 周波数の MSS への国際分配へ向け、APG23-6 会合への入力寄書を作成し、会合に参加した。

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：

- 最終目標の「衛星を利用した NB-IoT 通信の最適化」達成に向け、衛星通信へ適応するプロトコル開発用にオープンソースを用いソフトウェアベースの NB-IoT 基地局の開発を推進した。
- 最終目標の「衛星を利用した LTE/NB-IoT の超カバレッジ IoT の仕様策定」達成に向け、LTE 衛星通信の安定化・最適化に必要なドップラー効果や遅延等補償方法の検討を進め、オープンソースのソフトウェア基地局へ実装し、実装方式の有効性を検証した。
- ・最終目標の「衛星を利用した LTE/NB-IoT SW と IoT 端末の開発」達成に向け、通信モジュール BC95-G をリファレンスとした複数の基板を試作し、その動作検証を実施した。

楽天モバイル：

- 将来的な拡張を考慮して開始した、5MHz NB-IoT In-band 及び 20MHz NB-IoT Guard-band の両ソフトウェア開発が完了した。
- 5MHz NB-IoT In-band 及び 20MHz NB-IoT Guard band の両ソフトウェアにおいて、固定遅延 (20msec) を入れたラボ環境下で、NB-IoT デバイスを使用した Attach/Detach 確認、サーバーへの Ping 疎通、DL (ダウンリンク) /UL (アップリンク) Data 転送の基本的な通信確認を完了した。
- 衛星通信用の LTE RAN ソフトウェアの機能改修において、DL 2x2 MIMO 対応における大幅なスループット向上及び VoLTE 品質改善を行った事により、音声品質の評価基準である MOS 値が改善された事を確認した。

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方式として、安価に温度センサを高精度化するための温度校正方式を考案し、研究室内にて性能評価を通して、提案方式によって、従来手法と比較して温度計測(例えば、ガリウム融点温度観測)の分散を約 97% 抑制できることを明らかにした。
- 通信の脆弱な地域を想定し、島嶼および海洋地域における超カバレッジ IoT に係わるユースケース実証実験を進めた。具体的には、超カバレッジ IoT のユースケースとして、海洋調査・資源探査・農業 IoT を想定し、水中・海上・衛星を接続する超カバレッジ通信システムの構築に向けて、水中光無線通信および海上ローカル 5G の通信特性評価を実施し、各通信規格が持つ通信特性を明らかにした。また、農業 IoT のユースケース実証として、低軌道衛星通信とローカル 5G を接続させたシステムを展開し、24 時間の温湿度センサや監視カメラを利用した環境モニタリングを実施している。

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完了した。
- 衛星通信において、不安定な通信環境となった場合でも通信品質を向上するため、データ送信方法改善を行い、ラボでの検証を完了した。

(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、及び、各種理由により 2023 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 2024 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

2024 年度

- 2023 年 4 月～2024 年 7 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

2024 年度

- 2024 年 4 月～2024 年 7 月：NB-IoT の最適化・安定化
- 2024 年 4 月～2025 年 3 月：LTE 衛星通信の安定化・最適化

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

2024 年度

- 2023 年 4 月～2024 年 7 月：LTE IoT 端末を利用した実証実験