

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 01901

研究開発課題名 低軌道衛星を利用した IoT 超力バレージの研究開発

(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)。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にする。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 月は、楽天モバイル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 の電波を届ける衛星通信サービスの計画を発表した。本サービスの特徴は、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、AST とのサービスの場合は、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。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る。また、これまで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り、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化え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 6 年度までの総額 1,690 百万円（令和 6 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	5	5
	外国出願	22	15
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	52	18
	標準化提案・採択	23	6
	プレスリリース・報道	2	0
	展示会	2	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

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)
 - 福島にゲートウェイ地球局を設置し、東京のラボにある EPC と接続して正常に機能することを確認した。
 - ゲートウェイ地球局及び試験端末の実験試験局予備免許を取得した。
 - 限られた衛星との通信機会 (1 日に 1~2 回、1 回 2~3 分) に効率よく試験できるセットアップ、手順を確立した。
 - 開発した LTE 衛星通信対応の RAN S/W を用いてゲートウェイ地球局と BlueWalker 3 衛星、北海道の試験場所における携帯電話端末間の通信試験を実施し eNB と携帯電話が衛星経由で信号のやり取りをしていることを確認できた。北海道での試験ではノイズの問題があり Attach が成立しなかったが、さらに米国で試験を実施し、開発した RAN S/W で衛星経由で Attach できることを確認した。
 - IMT 周波数の MSS への国際分配へ向け WRC-23 及び関連各種会合への参加、寄書の入力を行い結果として正式に WRC-27 議題 1.13 が設立され、IMT 周波数を使った衛星と既存端末の直接通信サービスの商用化実現に向けて大きく貢献した。当初、既に WRC-23 暫定議題が 13 件存在し、現実的なタイムラインとして WRC-23 で暫定議題化、WRC-27 での正式議題化を目標とした活動を総務省含め計画していたが、衛星ダイレクト通信に対して通信市場における早期導入の機運が高まったことから前倒して議論を進め、計画より 4 年早く議題化を実現した。
- ・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)
 - 本研究において、楽天モバイルと東京大学は共同で、LTE・NB-IoT 衛星通信の安定化および最適化を目指した一連の開発を実施した。

- 既存の衛星通信技術は専用端末を必要とし、その活用に制限があったため、東京大学では一般端末を利用した通信を確立するための新規 NB-IoT モジュールを開発した。
この新規モジュールは、既存の論文成果を活用するため標準インターフェースである M2 チップに通信モジュール BC660K-GL を組み込み、汎用 PC に挿入することにより IoT 端末として機能する。過去に使用した通信モジュール BC-95G に代わり、BC660K-GL を採用し、米国の FCC 認証を取得したことにより、国内外での使用が可能となった。

- 当初予定していなかった対向として動作する Open Air Interface (OAI) Software Alliance のオープンソースソフトウェア基地局を用いて、NB-IoT プロトコルをサポートする基地局の実装を行い、新規モジュールとの接続試験を実施した。通信モジュールの後継品への変更に伴い、仕様変更が発生したが、MIB の受信や RAR、RRC の通知に関する設定をチューニングしさらなる最適化を図った。

- 楽天モバイルは低軌道衛星での LTE 通信の信頼性を高めるため、ランダムアクセスプロシージャの改善、HARQ 機能の最適化、SPS による VoLTE の音声品質向上に取り組み、フィールドテストの結果を基にソフトウェアを最適化することで、最終的にフィールドテストにおいて Attach の成功を確認した。

- LTE 通信のソフトウェアをベースに NB-IoT の基地局ソフトウェアを開発し、20MHz の Guard-band および 5MHz の In-band 設定において、ラボ環境にて Attach/Detach 確認、Ping 疎通、DL/UL データ転送の成功を確認した。また、屋外を想定した無線環境で実際の NB-IoT デバイスの動作を模擬したデータ転送量と転送時間のパターン試験を行い成功することを確認した。

- 産学連携を強化するため、楽天モバイルの知見と O-RAN アーキテクチャを活用し、低軌道衛星実証に必要な設備を東京大学に設置した。これにより、東京大学ラボを拡張し、同じ検証が可能となった。このテストベッドでは、双方のラボでの検証結果やフィールドテストのデータを共有し、産学連携の開発環境を構築した。

・研究開発項目 1-c) 超力バレージ IoT のユースケース検討、超力バレージ 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）

- 島嶼地域や山岳地帯、海洋地域など、従来の LTE/5G ネットワークでは十分にカバーが難しいエリアを対象に、IoT 端末やセンサーを活用した実証実験を計画した。特に一次産業（例：農業や漁業）への適用可能性を検討し、果樹園・農園・海洋の各種情報のセンシングや動体検知デバイスを用いたモニタリングシステムを構築し、実証実験を実施した。

その結果、実証実験を通じて得られた知見から課題を解決し、NB-IoT の開発および衛星通信への適用を前進させた。

- 島嶼地域では今治市島嶼地域の果樹園農家よりヒアリングを実施し、天気予報等の情報は実際の各果樹園の場所によって異なるとが想定されることから、各果樹園の温湿度データをきめ細かに取得して分析必要との課題、および動物等による食害の影響が大きく、その対策が必要との課題が明らかになった。IoT システムを用いた温湿度センサーと動体検知デバイスのモニタリングによりこれらの解決に対応し、システム全体が正常に動作することを実フィールドで実証を完了した。

- 山岳地帯では、楽天農業での土壌センシングを実施することで、従事者や経験者が不足する可能性のある分野において、土壌をモニタリングすることで効率的に農業のノウハウを習得できることが期待される。一例として、実施した圃場は散水を行わなくとも良いとされる地域であるが、IoT プラットフォームに蓄積されたデータからも、土壌湿度が通年を通して十分に保たれていることを確認した。

- 海洋地域では、牡蠣養殖を水産業の中心に据えている広島県らと連携し、江田島海域に全天候環境センサーノードを設置した。NB-IoT 端末を用いた環境モニタリングにより遠隔で生育状況のモニタリング

を実現することで、実際に漁場へ足を運び生育状況を確認する労働負担の軽減が見込まれる。海洋の各種情報（温度、風速、海の栄養状態、上空からの画像情報など）や牡蠣養殖に関する情報をセンシング・収集し、IoT プラットフォームに蓄積し得られたデータを漁業者へも配信することで、漁業者は低コストで最適な採苗場所や筏養殖の場所を知ることができ、生産効率の改善と生産効率の改善と生産高の向上、漁業者の所得向上を達成した。本センサーノードについて、本年度の状態を確認をした所、雨による水害での故障が確認されたため、防水仕様のセンサーノードを新しく設計した。主にコネクタデバイス・ケースそのものの形状を再設計し、浸水を防ぐための改良を行った。

（８）研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究開発では、AST SpaceMobile 社の衛星コンステレーションを活用し、地上の既存LTE/NB-IoT 端末と直接通信が可能な技術を開発した。将来的には、日本国内だけでなく海外市場にも展開し、グローバルな普及を目指していく。国内では2026年目途の商用サービス開始に向け、衛星間ハンドオーバー等の通信試験を進め、準備を行う。国際的には2027年のWRC-27での無線通信規則改定を目指して活動を進める。また、6G時代を見据えた技術開発も進行中であり、低軌道衛星を活用した通信ネットワークの統合や、6G対応の無線インターフェースの標準化に向けた取り組みを強化していく。

今後の展望としては、衛星通信と地上通信の統合技術を進化させ、EtoE 通信環境の改善を図るとともに、さまざまなユースケース実証を行うことで、社会実装を加速し、6G時代に対応した高効率で低コストな通信システムの実現を目指す。また、東京大学を拠点に、学生や若手研究者の育成を進め、次世代の高度宇宙人材を育てることに重点を置きながら、IoT やデータ解析技術など関連分野のスキルを持つ人材の育成を強化し、宇宙産業に必要な多様なスキルセットを持つ人材の確保を目指す。これにより、6G時代における日本の宇宙分野の競争力を強化し、宇宙市場の拡大を促進する。