

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆受託者 国立大学法人東京大学、楽天モバイル株式会社
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆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)

2. 研究開発の目標

現在の地上系のセルラーサービスが持っている国土面積カバレッジの限界を乗り越えるために低軌道衛星を利用したサービスエリア拡大を目標とする。この研究では①試験衛星を利用したLTE通信の確立、②NB-IoTのS/W開発と衛星適用、③超カバレッジIoTの実証実験の実施を行う。

3. 研究開発の成果

1-a) LTE衛星通信ネットワークの構築 (楽天モバイル)

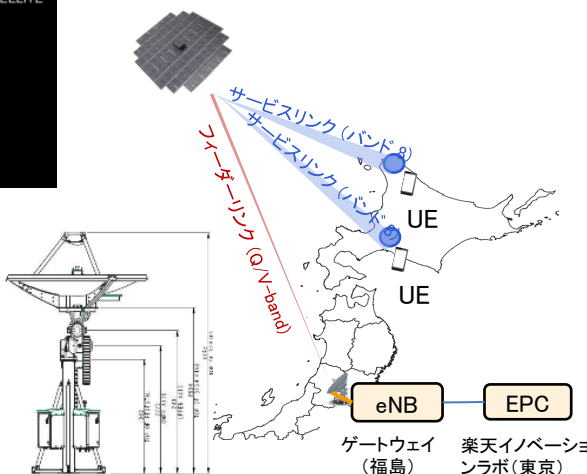
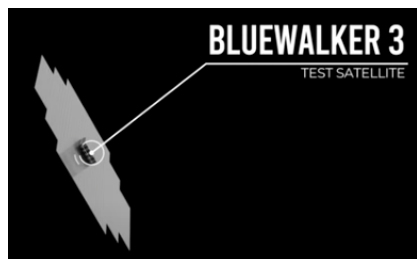
研究開発目標

研究開発成果

専用端末を利用しない地上・衛星間のネットワーク構築

試験衛星、地上ゲートウェイ、試験端末の準備

試験場所の選定、利用周波数の検討、ネットワーク構築



研究開発成果: 衛星通信ネットワークの構築

試験衛星と通信するための実験試験局およびゲートウェイ実験局を準備。試験端末による通信試験のための見通し確認など実験準備。

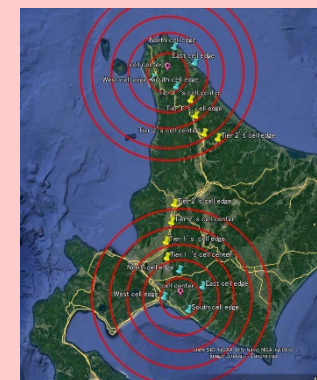
- 技術試験衛星BlueWalker3(2022年9月11日(日本時間)打上げ成功(図1))と通信するための地上ゲートウェイ局(図2)の建設を完了させるとともに、実験試験局予備免許を取得、登録点検を実施し、伝送実験環境の構築を進めた。
- 試験場所において試験端末から直接通信・特性評価を行うため、現地の見通し確認を行うとともにセルエッジにおける測定場所の選定(図3)、試験可能時間の確認など、詳細な試験手順の作成を行った。



図1 アンテナ展開したBW3衛星



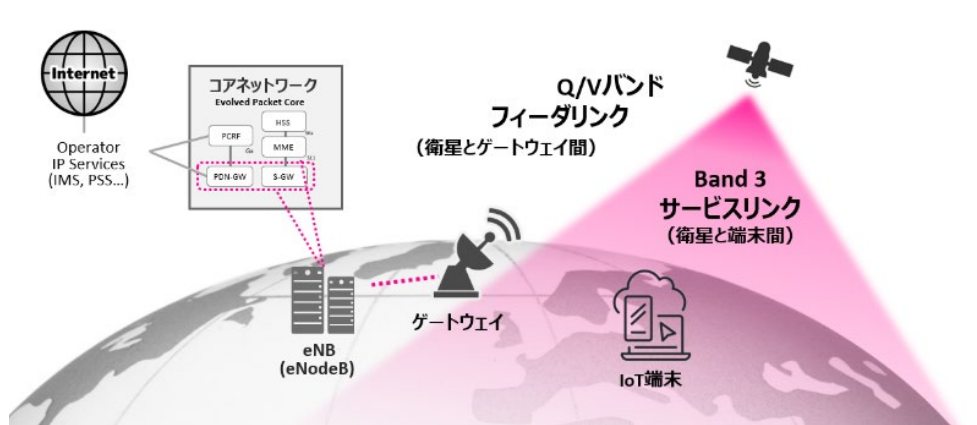
図2 ゲートウェイ局のアンテナ



©2023 TerraMetrics、地図データ ©2023
図3 セル中心/エッジの測定場所

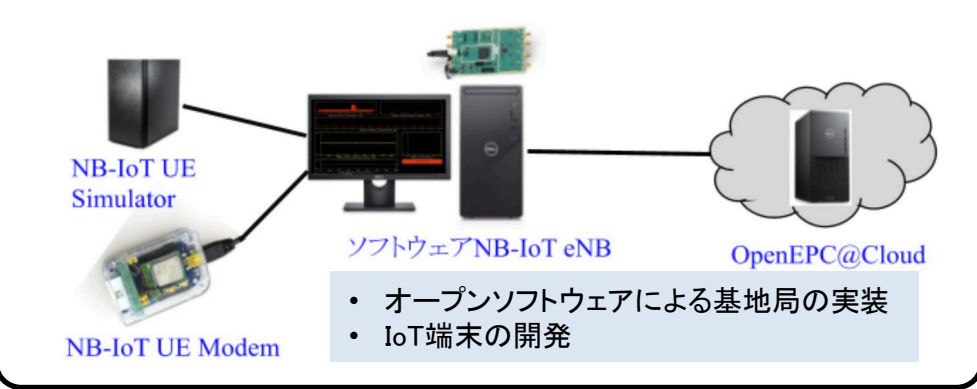
1-b) LTE衛星通信の安定化・最適化、NB-IoT SWの開発・衛星適用 (東京大学、楽天モバイル)

衛星を利用したLTE/NB-IoTの超カバレッジIoTの仕様策定



- NB-IoT通信の課題抽出
- 通信安定化・最適化のためのソフトウェア開発

衛星を利用したLTE/NB-IoT SWとIoT端末の開発とNB-IoT通信の最適化



- オープンソフトウェアによる基地局の実装
- IoT端末の開発

研究開発成果: LTE衛星通信の安定化・最適化に必要なソフトウェアの開発

一般のモバイル端末が遅延のある衛星経由で良好に通信可能とすることが課題。

- 衛星の軌道情報を考慮し、試験予定地における試験衛星・一般端末間の通信シミュレーションを実施(図4)し、予想される伝送性能を確認した。
- LTE衛星通信に対応するためにHARQを除去する機能が追加された衛星通信用のRAN (Radio Access Node) のソフトウェアを開発した。試験衛星BlueWalker3を使用した伝送試験を開始し、楽天ラボにてスループット測定を実施(図5)した。

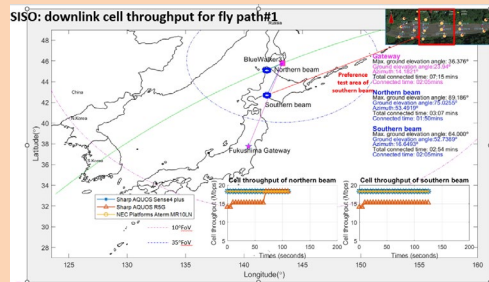


図4 通信シミュレーション結果

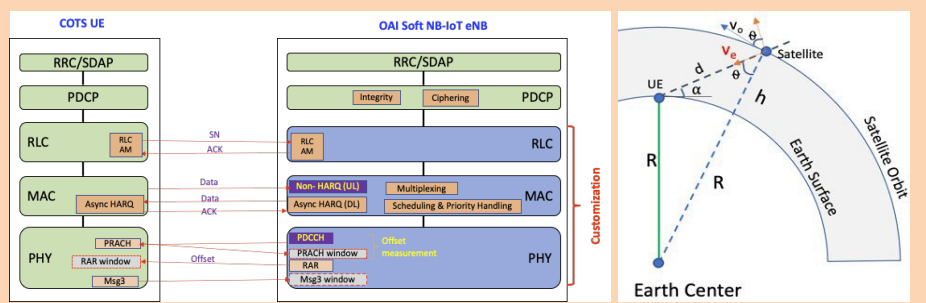


図5 楽天ラボのスループット測定環境

研究開発成果: NB-IoTソフトウェア基地局の実装とドップラー効果や遅延の補償方法の検討

安定したNB-IoT衛星通信実現のために、補償や通信の最適化が必須。

- mMTCサービスを提供するNB-IoTソフトウェア基地局の初期アクセス手順を実装
- 低軌道衛星により生じるドップラー効果や遅延の補償方法を検討
- BC95-Gをリファレンスとして複数のNB-IoT基板を製作



3. 研究開発の成果

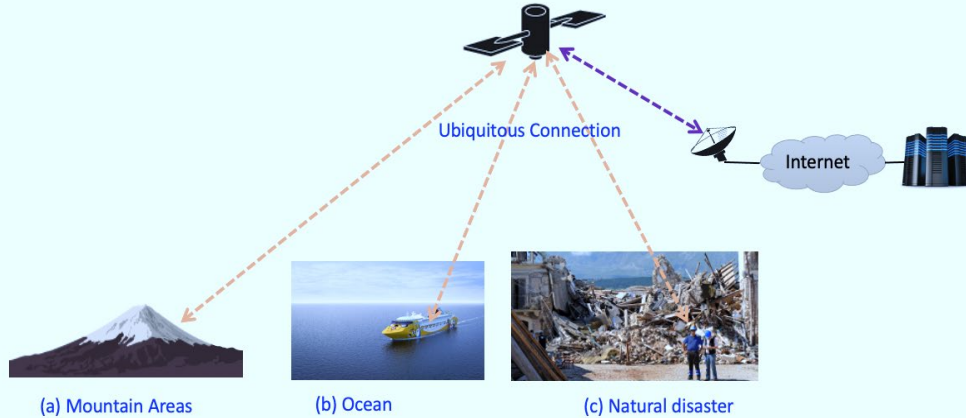
研究開発目標

研究開発成果

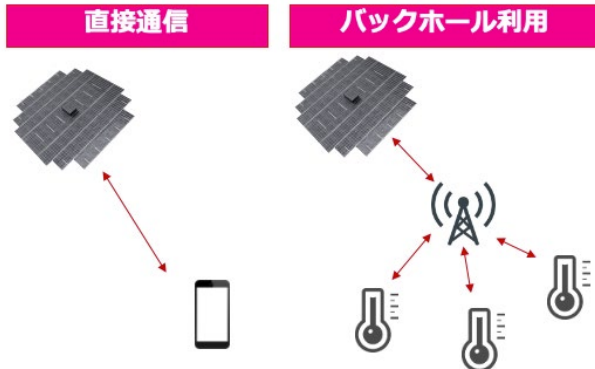
1-c) 超カバレッジIoTのユースケース検討、
超カバレッジIoTの実証実験
(東京大学、楽天モバイル)

- 衛星リンクのネットワーク状態(帯域幅、遅延、ジッターなど)を調査し、また、実証実験の準備のために衛星リンクエミュレーターを使用して、NB-IoT端末を直収した場合の通信性能の把握、および、それに適したユースケースを検討
- 次年度以降のユースケースの実証実験の立案、実施可能なユースケースの予備実験を実施

用途によるユースケース区分

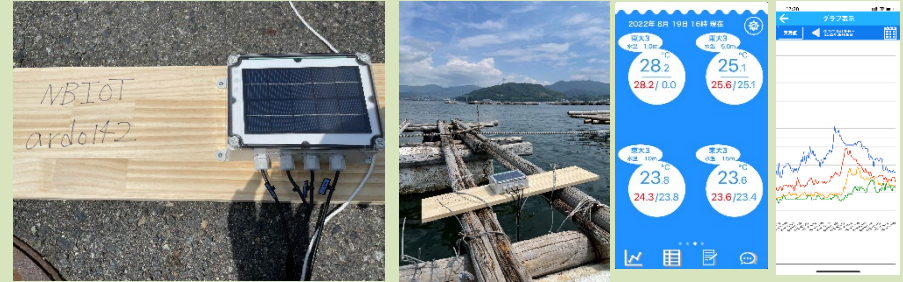


通信形態によるユースケース区分

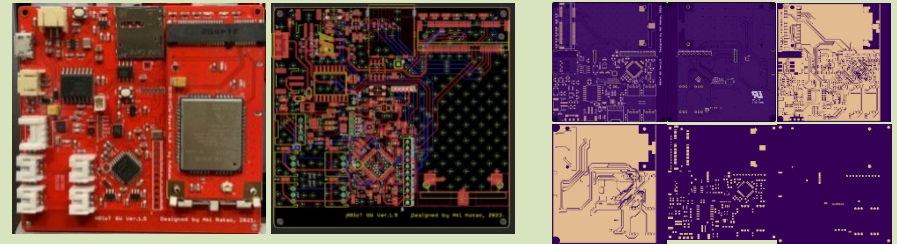


研究開発成果: 超カバレッジIoTの実証実験

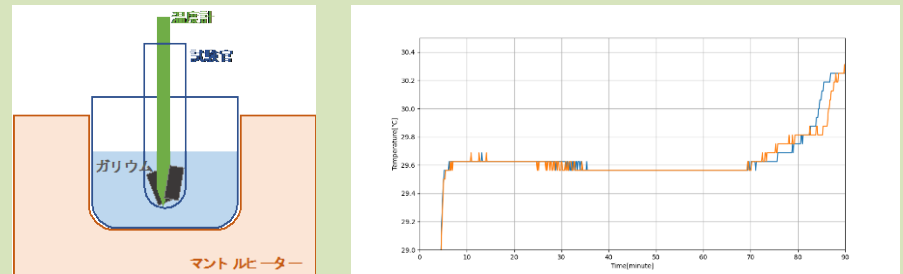
- 超カバレッジIoTのユースケースとして地域の一次産業への適用を検討
- 牡蠣の育成と産卵時期予測のための環境モニタリングの実証実験を開始
- リアルタイム環境モニタリングアプリ「ウミミル」との連携による可視化



- 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



- 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



4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

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

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

東京大学および楽天モバイル両者より、各種5G、IoT関連セミナーまた電子情報通信学会等において本研究の取組みに関して講演発表並びに収録論文発表を実施した。

- 1) N. Fukumoto, “Super-coverage IoT using Low Earth Orbit Satellites,” Japan – Finland Technology Roundtable, Session 4 – IoT/SatCom, May 2022.
- 2) 中尾彰宏, “海洋情報通信の民主化が切り拓く地域未来社会協創,” 「海洋テロワール」シンポジウム, May 2022.
- 3) 内田信行, “Beyond 5Gに向けた楽天モバイルの取り組みと展望,” 「ワイヤレスジャパン」基調講演, May 2022.
- 4) 内田信行, “スペースモバイル計画が起こすイノベーション,” 周波数資源開発シンポジウム, July 2022.
- 5) Ping Du, Norihiro Fukumoto, Akihiro Nakao, “Design NB-IoT Base Station for Satellite-air-ground Integrated IoT Network,” 電子情報通信学会技術研究報告NS2022-64, pp.23-28, September 2022.

他多数。

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1-a) LTE衛星通信ネットワークの構築

- 構築した地上ゲートウェイ局と一般端末を利用した衛星通信の確認試験を進め、衛星・地上間のLTE通信を確立する。
- 試験衛星BlueWalker3が日本上空を通るのは2~3分程度/回であるため、必要な伝送特性評価を行うために、数カ月かけて試験を実施する。

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

- NB-IoTソフトウェアを使用してラボで試験環境を構築し、衛星・地上間NB-IoT通信の最適化・安定化を行う。
- 広域IoTユースケース実験用としてNB-IoT端末を準備し、最適化・安定化するために必要な修正点を確認する。
- LTE通信を利用した実証実験で得られた試験結果を反映した仮想化RANソフトウェアを開発し、試験用モバイルネットワークと衛星に適用する。

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

- NB-IoTの実証実験のために必要なデータを蓄積し、ソフトウェア開発内容に反映する。
- LTE Band8端末で、WiFi機能を利用して試験を実施し、LTEを利用した広域IoTの実証実験を行う。
- LTE IoT端末の設置し、既存NB-IoTサービスによるIoT実証実験、LTE端末利用した超カバレッジIoTの実証実験、NB-IoT端末を利用した超カバレッジIoT実証実験を行う。