

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5年度までの総額1,293百万円 (令和5年度397百万円)

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

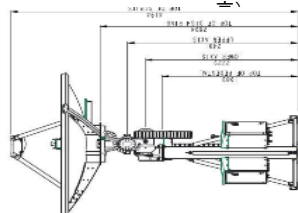
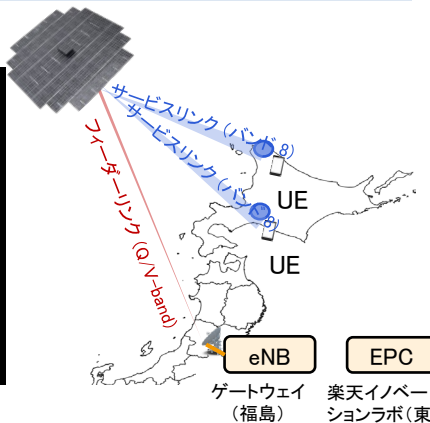
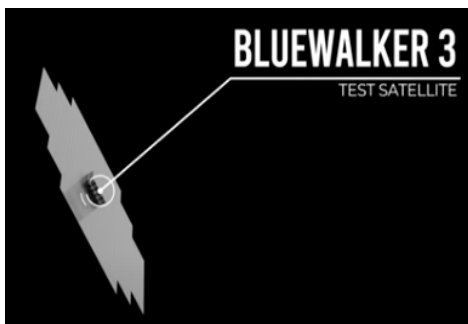
研究開発目標

1-a) LTE衛星通信ネットワークの構築 (楽天モバイル)

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

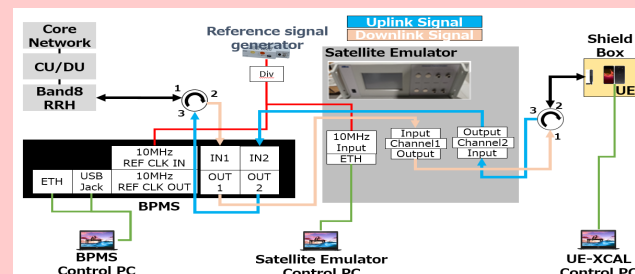


研究開発成果

研究開発成果:衛星通信ネットワークの構築

地上のゲートウェイ地球局と試験衛星BlueWalker 3, 北海道における試験携帯端末間の通信試験へ向けた準備の実施及び試験開始。

- 北海道試験場所における試験セットアップ内容の検討及び試験リハーサルを行った。(図1)
- 衛星シミュレータを用いてフィールド試験環境を模擬したラボ試験環境を構築し、各種事前試験を実施した。(図2)
- 北海道における試験衛星との直接通信試験を開始し、衛星からのLTEダウンリンク信号の観測に成功した。(図3)



Time	Power	SNR	Modulation	Code Rate	Bandwidth
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44
10:00:00.000	-100.00	-100.00	QPSK	1/2	1.44

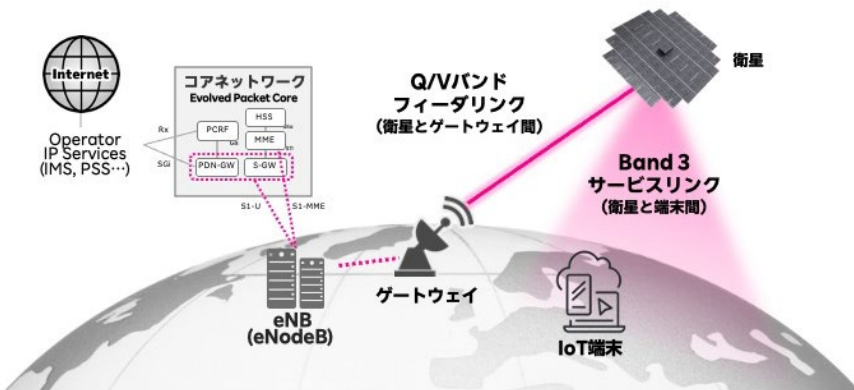
図3 北海道で観測した試験衛星からのLTEダウンリンク信号(Band-8)

3. 研究開発の成果

研究開発目標

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

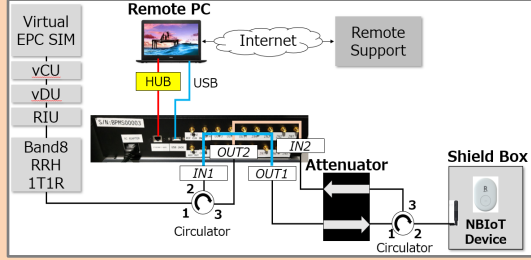


- オープンソフトウェアによる基地局の実装
- IoT端末の開発

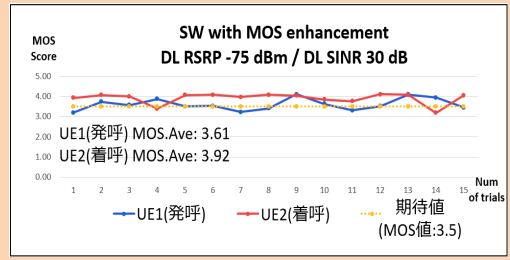
研究開発成果

研究開発成果: LTE/NB-IoT衛星通信の安定化・最適化

- 将来的な拡張を考慮し、5MHz NB-IoT In-band 及び 20MHz NB-IoT Guard-band のソフトウェア開発が共に完了し、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において、NB-IoT デバイスを使用した基本的な通信確認を完了している。本検証時の環境を以下の左図に示す。
- 衛星通信用のLTE RANソフトウェアの機能改修において、DL(ダウンリンク) 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。VoLTE品質改善を加えたソフトウェアを使用したMOSスコアの遷移状況を以下の右図に示す。

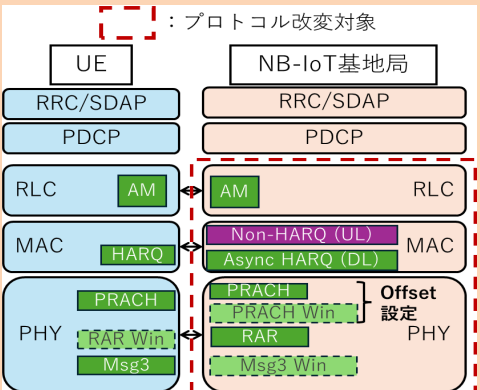


NB-IoTソフトウェア検証時のラボ環境構成図

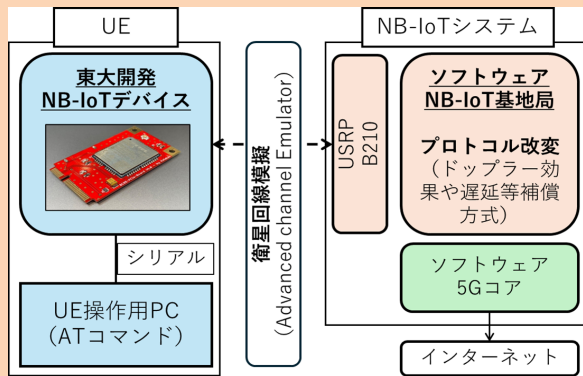


VoLTE品質改善SWを使用したMOSスコア確認結果

- 「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たソフトウェアベースのNB-IoT基地局の開発を推進した。
- 具体的には、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。



NB-IoT基地局のプロトコル変更箇所



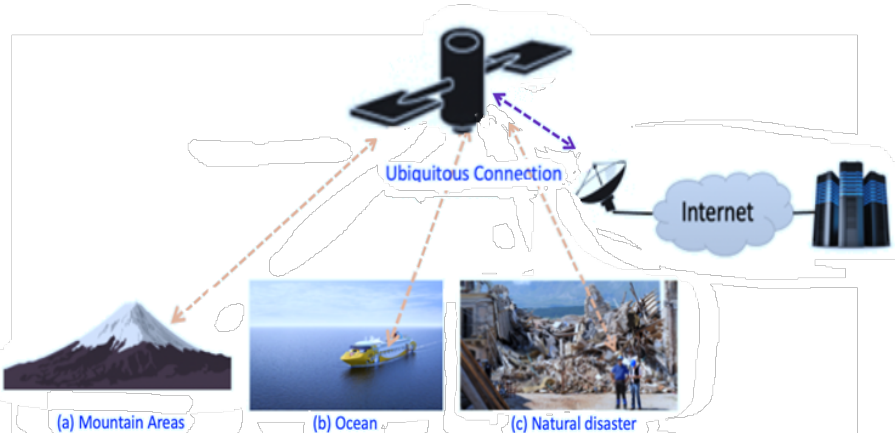
開発したソフトウェアベースNB-IoT基地局システム構成図

3. 研究開発の成果

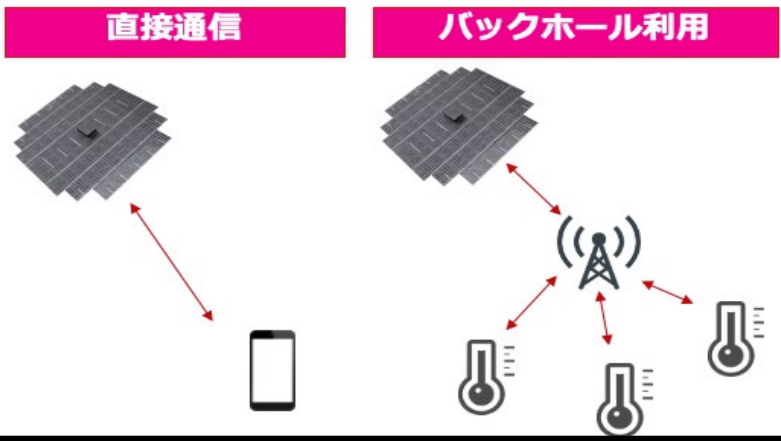
研究開発目標

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



通信形態によるユースケース区分



研究開発成果

研究開発成果: 超カバレッジIoTのユースケース検討

- 海洋調査・資源探査・農業IoTを想定し、水中・海洋・空の超カバレッジ通信システム実現に向けて、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。(愛媛県大三島にて実施)
- 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。(愛媛県大三島にて実施)
- 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。



愛媛県大三島における洋上通信評価実験



安価に高精度な温度校正方式

研究開発成果: 超カバレッジIoTの実証実験

- 不安定な衛星通信環境時の通信品質向上のためのデータ送信方法改善を実施
- 実証実験に向けた環境整備は完了。衛星通信の疎通後、試験予定



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・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	7 (5)	0 (0)	33 (8)	15 (4)	2 (0)	1 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

1. 東京大学は、令和5年度にて、主に収録論文1件、一般口頭発表7件を実施。
 特に、ユースケース実証を進めている愛媛県大三島にて、「しまなみテクノロジー市民大学講座 出張東京大学」の講演を実施。
 ✓ “海洋ローカル5Gと水中光無線通信を接続する拡張カバレッジのための通信特性評価” 電子情報通信学会NS研究会(2024年2月)
 ✓ “次世代サイバーインフラ活用の地域創生” しまなみテクノロジー市民大学講座 出張東京大学(2023年12月)
 ✓ “低コストIoT温度センサの校正に向けたガリウム融点測定の検討” 電子情報通信学会 ソサエティ大会(2023年9月)
2. 楽天モバイルは、令和5年度にて、主に知財獲得(特許提案5件)および標準化提案(3GPP提案4件)を実施。
 衛星エリアにおける位置情報の課題や、地下など圏外における対策などに関する特許を出願。
 3GPP Release 18/19(5G Advanced)におけるNTN関連検討アイテムにおいて、衛星を用いたユースケース拡張等の寄書入力を実施。

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

- 継続的に安定して双方向通信を成功させ、無線信号品質や音声品質、スループット等の各種データを取得し評価する。

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

- フィールドLTE衛星通信で得られたデータを解析し、仮想化RANソフトウェアへ反映する事で、さらなる衛星通信の安定化・最適化を図る。
- 衛星・地上間NB-IoT通信の安定化と実証実験を実施する。広域IoTユースケース実験用としてNB-IoTをサポートする端末を準備し、準備できた端末を利用してNB-IoT通信の最適化・安定化をするために必要な環境的・ソフトウェア的修正点を確認し、必要に応じて改修を行う。

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

- 令和5年度に整備した実証実験に向けた環境について、衛星通信の疎通後、超カバレッジIoTの実証試験を進める。
- NB-IoT端末、ローカル5G端末、LTE端末等を活用し、超カバレッジIoTのユースケース検討を継続して実施し、実証実験を遂行する。