

調査研究成果報告書

調査研究課題名：

「LoRa ネットによる防災避難所情報共有システムの調査研究」

調査研究代表者：高知工業高等専門学校 今井 一雅

調査研究期間：令和元年9月27日～令和2年3月31日

1. 調査研究の目的

本調査研究は、高知県南国市を対象とした防災避難所情報共有システムに関するものである。南国市においては、津波避難タワー間を結んだ安否確認システム「つながったワー」が高知高専で開発されており、実際に実用化され南国市危機管理課が運用している。

この南国市には、約50カ所の防災関係の避難所（津波避難タワーも避難所となっている）があり、対策本部となる南国市役所と避難所をLoRa ネットで結ぶことにより、リアルタイムに避難者情報を通信できるシステムの基礎実験を本調査研究で行うものである。特に南国市は、平地が多いことから、図1に示すように南国市役所から多くの避難所が5kmの範囲内の見通し距離にあり、このLoRa ネット（LoRa 親機とLoRa 子機で構成される通信システム）の優位性を最大限に生かすことが可能であると考えられる。本実証実験は、南国市危機管理課の支援のもとに行うものであり、実証実験の成果は全国の市町村にある防災関係の避難所にも適用が可能で、大きな波及効果をもたらすと考えている。



図1 南国市役所から半径5km圏内にある防災関係の避難所の位置を示した地図

2. 調査研究の実施体制

実施体制は、下記の通りである。

- ・システムの構築・実験担当

高知工業高等専門学校 嘱託教授 今井 一雅

- ・システムの評価・実地検証担当

南国市役所危機管理課 課長 山田 恭輔、課長補佐 野村 学

3. 調査研究の実施計画の概要

本調査研究では、自治体（高知県南国市）において、防災関係の避難所に IoT デバイスを設置し、LoRa ネット（920MHz 帯の電波を使用）による防災データの情報共有の基盤技術を確立する。具体的には、対策本部となる南国市役所とその半径 5km 以内にある 9 カ所の避難所とを LoRa ネットで結ぶ実証実験を行う。このシステムが実用化されると、下記のような具体的な効果が期待できる。

■リアルタイムに避難者情報を防災対策本部で把握することが可能になる。

防災対策本部で把握したい情報の例として、下記のようなものがあり、LoRa ネットのように通信速度が遅くても十分実用となると考えている。

[避難者情報の例]

- ①避難所の避難者数 ②透析の必要な方の人数 ③酸素療法の必要な方の人数

- ④人口呼吸器の必要な方の人数 ⑤乳児（赤ちゃん）の人数 ⑥妊婦の人数

要配慮者のうち上記の対象者に絞って人数の情報をもらうことによって、必要物資を確保したり、医療機関への搬送などの対策につなげることができる。（大災害の発生時には、情報量が過度に多くなると、防災対策本部での限られたマンパワーのために処理ができなくなり、情報が生かされなくなる可能性もあるので、このような絞った情報が良いと考えられる）

■Raspberry Pi Zero と LoRaHAT を使った超低消費電力システムであるため、長期間の停電に対しても強い防災システムが構築できる。

（太陽電池などを使った、自立電源システムでの対応が容易である）

■津波避難タワー間を結んだ安否確認システム「つながったワー」でも採用されている Beacon を用いた安否確認情報などを LoRa ネットで情報共有する新しいシステムへの展開が可能であり、様々な防災センシングデータをインターネット上でオープンにすることで、新しい価値を創出することができる。

■平常時でも防災センシングデータをインターネットでオープンにすることができ、住民の防災意識の向上、農業などでの利活用に繋がる。

4. 調査研究の項目について

①標準化された IoT デバイスによる防災データ収集の調査研究

防災関係の避難所に設置可能な標準化された IoT デバイスによる防災データ収集のモデルを構築し、南国市役所の危機管理課の支援のもとに、南国市の 9 カ所の避難所に仮設置することにより、防災データ収集を行うことができるシステムのソフトウェアの開発を行う。また、太陽電池等の自立電源による長期間の停電に対しても強いローコストな防災

システムのモデルの検討も行う。

②防災避難所を結ぶ LoRa ネットの実証実験

防災関係の避難所を結ぶ LoRa ネットの実証実験を行うために、南国市役所の屋上に設置した LoRa 親機 1 台と 9 カ所の避難所に設置された LoRa 子機との間の通信実験を行う。この実験においては、5km 範囲内の避難所を選定して行い、南国市役所からの距離によってどのように通信の影響があるのかを実測して、通信可能範囲を推定するモデルの構築を行う。また、LoRa の同期通信モード（親機 1 台と最小 16 台の子機で構成）の有用性についての検証も行う。

③リアルタイム避難者情報通信システムの研究開発

リアルタイム避難者情報通信システムの実証実験のために、①避難所の避難者数、②透析の必要な方の人数、③酸素療法の必要な方の人数、④人口呼吸器の必要な方の人数、⑤乳児（赤ちゃん）の人数、⑥妊婦の人数等の情報を、LoRa ネットで効率的に対策本部となる南国市役所において情報共有できるシステムの構築を検討する（この研究開発においては、人数の情報伝達だけで個人情報等は扱わない。）このシステム開発においては、簡便性を重視したヒューマンインターフェースの検討を行う。

5. 調査研究の実施状況について

① 9 月・10 月 システムの検討・基本設計を行った。

② 11 月 10 セット（LoRaHAT 基板とアンテナ）の LoRaHAT を発注し納品される。4 セットの LoRaHAT システムを使って親機と子機の Python プログラムの作成を行った。

③ 12 月 高知高専の電気情報工学科棟の屋上に LoRa 親機 1 台を仮置きして、2Km 程離れたポリテクカレッジ高知の 4 階に設置した LoRa 子機 3 台との通信テストを行い、問題なく通信できることを確認した。
親機が受けた子機 3 台の通信状況をスマートフォンの Blynk アプリで確認できるシステムを構築し、子機の通信テストを Blynk アプリで確認できるようになった。これによって親機の状況をリモートで把握できるようになり、子機の設置をスムーズに行うことができる体制を整えることができた。Blynk アプリの使用にあたっては、親機がインターネットに接続されている必要があるため、親機の Raspberry Pi Zero WH の WiFi を使って無線 LAN アクセスポイント経由でのインターネット接続テストを行い、問題なく動作することを確認した。

④1 月・2 月・3 月

【フェーズ 1】

LoRa 親機 1 台と LoRa 子機 9 台の組み合わせで、通信テストを行った。親機が受けた子機 9 台の通信状況を長時間モニターしてその安定度を確かめることができた。また、親機が子機から受けた情報をスマートフォンの Blynk アプリで確認できるようにして、子機に付けた温度センサーのデータを模擬データとして、データ収集ができるシステムのテストを行った。

【フェーズ2】

南国市役所の屋上に仮設置した LoRa 親機と 9 カ所の避難所に設置予定の LoRa 子機との間で通信が安定にできるかのフィールドテストを行った。
また、南国市役所の屋上に設置予定の LoRa 親機と 9 カ所の避難所に設置される予定の 9 台の LoRa 子機との間でリアルタイム避難者情報通信システムの稼働テストを行い、その評価を行った。

6. 使用した LoRaHAT について

本調査研究で使用した LoRa システムは、株式会社エレパより 2019 年から発売されている図 2 のような、LoRaHAT (LoRa モジュールに ADRF 社製 ADRF901 を採用) を用いている。

この LoRaHAT の特長は下記の通りである。

- ①920MHz 帯の LoRa 通信に対応しており、LoRa 親機 1 台と複数 (16 台、32 台、64 台、128 台、256 台、512 台、1024 台) の LoRa 子機の間でスター型の通信が可能な、プロトコル (SkWAN) が実装されている。
- ②LoRa 親機と LoRa 子機となる LoRaHAT は同じもので、ソフトの切り替えで親機にしたり子機にすることが可能で、LoRaHAT の基板には、ボタン電池でバックアップされたリアルタイムクロック (DS3231) と GPS のモジュール (SIMCOM SIM28ML (みちびき対応)) と PIC16F を通して、4ch 10 ビット AD 変換器が実装されている。
- ③LoRaHAT の基板サイズは、Raspberry Pi Zero WH と同じもので、40 ピンのコネクタにより、超小型で消費電力の小さい Raspberry Pi Zero WH と接続が可能である。なお、同じ 40 ピンのコネクタを実装している Raspberry Pi 2/3/4 にも接続が可能である。
- ④IoT のトレーニング用に開発された IoT 学習 HAT (株式会社秋月電子通商より 2019 年 10 月より発売) を使った様々なインターフェースの利用が可能である。

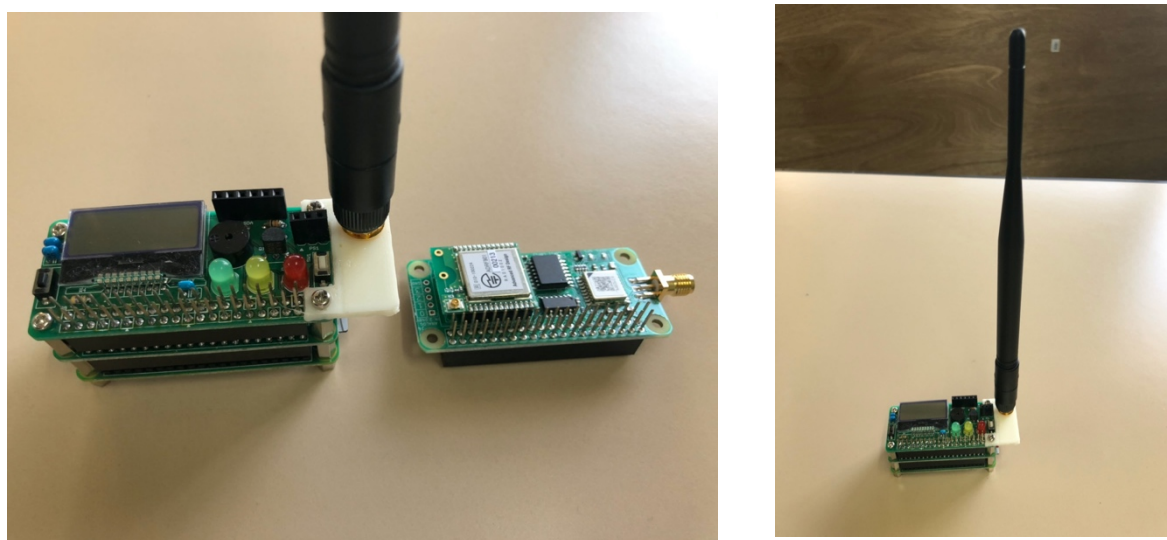


図 2 左の写真は、使用する LoRaHAT の基板 (右) と、Raspberry Pi Zero WH と IoT 学習 HAT の間に LoRaHAT を挟んだもの (左) で、右の写真は、LoRa 通信用のアンテナを含めた 1 セットの全体写真である。なお、アンテナを取り付ける部分については、3D プリンタで自作している。

7. 高知高専とポリテクカレッジ高知の間で実施した通信テストについて

高知高専の電気情報工学科棟の屋上に LoRa 親機を仮設置（図 3）し、2km 離れたポリテクカレッジ高知の建物（右の地図に通信路を記入）の 4 階に子機の 3 台を設置して電波強度の測定や通信テストを行った。その結果、十分な電波強度があり、見通し距離内では 5km での通信も十分可能であることがわかった。



図 3 左の写真（ポリテクカレッジ高知方向）は、高知高専・電気情報工学科棟の屋上に仮設した LoRa 親機（モバイルバッテリーで電源供給）で、右は高知高専とポリテクカレッジ高知の地図上の位置関係と距離を示している。

8. 南国市役所と避難所（津波避難タワー）間の通信実験について

南国市役所の屋上に LoRa 親機 1 台を設置し、南国市の避難所間での通信が可能であるかどうかの通信実験を行った。この実験においては、避難所として指定されている津波避難タワー（図 4 参照）の最上階に LoRa 子機を仮設置して行った。



図 4 南国市役所と 14 カ所の津波避難タワーの位置関係

図5は、避難所となる津波避難タワーの最上階に仮設置した LoRa 子機での電波強度に対応する RSSI に相当する値をオレンジ色の文字で記入したものである。津波避難タワーの⑦から⑭については、南国市役所から 5km 程度で見通し距離にあり良好に通信できた。④から⑥については、途中に山があったり建物があったりして見通しは良くないが通信は可能であることがわかった。①から④については完全に山で遮られており通信はできなかった。



図5 南国市役所との LoRa 通信ができた津波避難タワーの位置にオレンジ色の文字で電波強度に対応する RSSI に相当する値を記入

通信状況の測定にあたっては、図6に示すように LoRa 親機での LoRa 子機の通信データの情報を、スマートフォンアプリの Blynk を使ってリアルタイムにモニターした。通信モードとしては、16 台の LoRa 子機をスキャンするモードを使った。

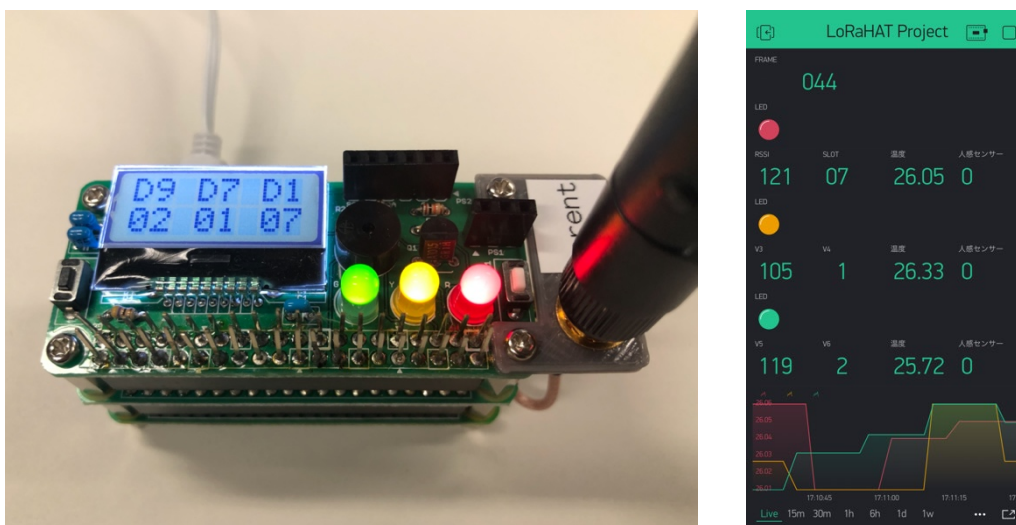


図6 左の写真は、LoRa 親機の通信状況を液晶やLEDに表示したもので、右の写真は、Blynk を使って通信状況を表示したスマートフォンの画面

9. 南国市役所と避難所（津波避難タワー）間の情報通信について

使用している LoRa 通信システムは、16 台の LoRa 子機を 1 秒おきにスキャンしながら、16 秒間の 16 スロットのどこかに、検知した子機を自動割当して、各スロットに対応して LoRa 子機との通信を行う同期通信方式である。非同期通信では衝突による再送が起こる可能性があるが、この同期通信方式では、衝突が起こらないので安定な通信が可能である。実際に 1 台の LoRa 親機に、9 台の LoRa 子機を接続して長時間の通信テストを行ったが、非常に安定して通信ができることを確認することができた。

次に避難所からの情報を対策本部となる南国市役所に伝達する通信内容として次の項目があげられている。

- ①避難所の避難者数
- ②透析の必要な方の人数
- ③酸素療法の必要な方の人数
- ④人口呼吸器の必要な方の人数
- ⑤乳児（赤ちゃん）の人数
- ⑥妊婦の人数

これらの避難所情報を迅速に入力してリアルタイムに対策本部に送るためのユーザーインターフェースの検討を行った。実証実験を行っている津波避難タワーは、それぞれの最上階においてフリースポットとなる無線 LAN アクセスポイントが常時運用されていることから、LoRa 子機（Raspberry Pi Zero WH）をこのフリースポットに接続し、避難所情報を入力する人のスマートフォンの無線 LAN 接続により、LoRa 子機に情報を送る仕組みを実装した。



図7 左は、避難者情報を入力する人のスマートフォン（LoRa 子機に無線 LAN 接続）の画面で、右は LoRa 親機と連動する Blynk アプリの表示画面

図7のように、LoRa子機で入力された情報がリアルタイムにLoRa親機に伝わることを確認することができたので、これを9台のLoRa子機で動作させることにより、9カ所の避難所の情報を、16秒おきに収集することができることになる。なお、無線LAN環境のない避難所に対しては、LoRa子機のRaspberry Pi Zero WHの無線LAN機能を使って、直接スマートフォンの無線LANでLoRa子機を接続する方式も可能である。

また、親機に集められた避難情報のデータを、南国市役所の防災対策本部で情報表示する方式については、大型ディスプレイに各避難所の情報を地図上に表示したり、電光掲示板方式で表示することが考えられる。この場合、無停電電源装置での運用は必須で重要なポイントとなる。

10. まとめと今後の展望

長距離通信が可能であるが情報伝送容量の小さいLoRa通信を活用して、1台のLoRa親機と9台のLoRa子機を使った新しい防災避難所情報共有システムの実証実験を南国市において行った。LoRa通信においては、スター型の同期通信方式を使うことによって、安定に多数の避難所間でのリアルタイム通信が可能であることがわかった。この同期通信方式では、LoRa子機が16台までのモード（データ更新時間は16秒おき）を用いて実験を行ったが、32台や64台の接続モードを使用することにより、さらに多くの避難所との接続が可能となる。この場合、32台モードでは32秒おき、64台モードでは64秒おきのデータ更新となるので、リアルタイム性についての考慮も必要となる。

一方、南国市の避難所全てが、南国市役所の見通し距離である訳でなく、途中で建物があつたり、山影による遮蔽のために、LoRa通信ができない場合もある。この場合、LoRaの中継通信方式を使うことによりカバーできる場所もかなりあるのではないかと考えられるので、LoRaの中継通信方式については今後の研究課題となる。また、実用面で考えると、南国市役所からの見通しできる区画をゾーンに分けて、建物の屋上にゾーンごとのLoRa親機を複数設置するやり方が、電波を通しやすい条件を確保できると考えられる。今回は、仮設による実証実験であったが、長期間の安定運用のためには、設置方式や防水ケースの選定などの問題点を検討するために次のステップの運用実験が必要となる。

今回の調査研究において、従来の通信インフラと完全に独立した防災情報通信システムの構築が可能であることを実証することができた。特に、小型で太陽電池などの自立電源が可能な低消費電力のシステムであることから、様々な応用が今後期待できると考えている。