

津波防災情報伝達を目的とした超低周波音および潮位の多地点連続計測網と低電力長距離無線通信を基盤とするロバストな非常時 IoT 通信システムの研究開発 (175009003)

Research and development of a robust emergency IoT communication system based on a multi-site continuous observing network of infrasound and tide with low-power long-distance wireless communication for aiming at tsunami disaster prevention information transmission

研究代表者

山本 真行 高知工科大学

Masa-yuki Yamamoto Kochi University of Technology

研究分担者

瀬川 典久[†] 矢澤 正人^{††} 横田 昭寛^{†††} 戸梶 博司^{††††}

Norihisa Segawa[†] Masato Yazawa^{††} Akihiro Yokota^{†††} Hiroshi Tokaji^{††††}

[†]京都産業大学 ^{††}株式会社数理設計研究所 ^{†††}株式会社サヤ ^{††††}株式会社オサシ・テクノス

[†]Kyoto Sangyo University ^{††}Mathematical Assist Design Laboratory ^{†††}SAYA Inc. ^{††††}OSASI Technos Inc.

研究期間 平成 29 年度～平成 30 年度

概要

本研究開発では、海洋国・日本の最重要防災課題の 1 つである津波対策にフォーカスし、開発済の国産超低周波音センサーと潮位計を用いた津波情報検出技術を活用し、非常時にも検出情報を着実に伝達可能なロバストな情報集約システムを構築、その現場実証までを目的とする。具体的には、研究代表者らが高知県内をモデル地域とし上述センサー群の面的設置を推進中である点を活用し、これに研究分担者らが開発済の低電力長距離無線通信技術を融合させ、国スケールでの IoT 活用の先進的事例とする社会実装を提案する。津波など 100 km スケールの波源を有す地球物理学的大規模自然現象の適切な検出には、同スケールでの面的センシングが必須で、この場合に広く分散したセンサー同士のデータ中継・集約部分の非常時ロバスト性の確保は大きな課題である。電源・通信インフラが途絶しても機能しつづける IoT システムを実現するための新たな技術基盤を創出する。

1. まえがき

本研究開発では、海洋国・日本の最重要防災課題の 1 つである津波対策にフォーカスし、開発済の国産超低周波音センサーおよび潮位計を用いた津波情報検出技術を活用し、非常時にも検出情報を着実に伝達可能なロバストな非常時 IoT 防災通信システムを構築、その現場実証までを目的とした。具体的には、研究代表者らが高知県内をモデル地域とし上述センサー群の面的設置を推進中である点を活用し、これに研究分担者らが開発済の低電力長距離無線通信技術 MAD-SS (Mathematical Assist Design Laboratory's Spectrum Spread) 通信機を融合させ、国スケールの防災 IoT (Internet of Things) 活用の先進的事例とすべく社会実装レベルの研究開発を実施した。

津波のように 100 km スケールの波源を有す地球物理学的大規模自然現象の適切な検出には、同スケールでの面的センサー配置が必須で、この場合に広く分散したセンサー同士のデータ中継・集約部分の非常時ロバスト性の確保は大きな課題である。本研究開発では、既存の電源・通信インフラが途絶しても機能しつづける IoT システムを実現するための新たな技術基盤の創出を目指し、高知県内等をフィールドとした実証実験を実施した。

具体的には、見通し内で 100 km 距離までの 10 bps 程度での長距離通信性能を達成する技術実証は、最終目標である超低周波音センサー及び潮位計データを中継する非常時 IoT 防災通信に必須の技術であり、既存技術を基に非常時 IoT 防災通信用アルゴリズムを実装した形で、目標として、特定実験試験局対応の低電力長距離通信モジュールによる 100 km 通信の性能達成を掲げ本研究開発を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発で用いた MAD-SS は、LPWA (Low Power Wide Area) 通信の一種であり、本課題は、これを用いた非常時通信の実証と IoT 活用に主眼を置いた近い将来の電波資源の有効利用に関わる研究である。MAD-SS は株式会社数理設計研究所が開発済のスペクトル拡散法を用いた独自通信技術であり、これまでに小型気球-地上間通信として 500 km 超の上空見通し内通信を実現してきたほか、小型発信器を野鳥等に取り付けた生態観察を行う研究等にも貢献してきた。本課題では、特に超低周波音 (インフラサウンド) 計測用に高知工科大学と株式会社サヤが共同開発してきた複合型インフラサウンドセンサー等を MAD-SS 通信技術と組み合わせ活用することで、非常時における防災情報取得への利活用を目指した。

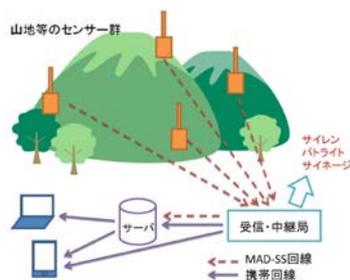
インフラサウンドとは、人間の可聴周波数下限の 20 Hz 以下の超低周波音であり、地球物理学の規模の様々な自然現象により発生し地球大気中を遠距離まで伝わる性質を持っている。高知工科大学では、高知県への被害が想定されている南海トラフ地震による津波をはじめ、火山噴火、土砂災害、雷鳴などをインフラサウンドセンサーが遠隔検知可能なことから、数 km～数 10 km スケールでの防災 IoT の 1 つの形としてインフラサウンドの面的観測網の確立を提案し、高知県内等をフィールドとして実証研究を進めてきた。しかしながら実際の観測地は山間や谷間等となることが多く、数 km～数 10 km 程度の見通し外を条件として、低ビットレートであってもロバストな通信の確立が重要である。災害時に一般の通信回線が遮断されることも想定し、MAD-SS 技術を用いた非常時通信の実証試験な

ど実践的研究が重要と考える。

通常時の各センサーノード間の通信には携帯 LTE 回線を用いているが、MAD-SS による通信を常時の副次系統と扱ってセンサーの生存確認等に用いつつ、非常時には警報レベル等の低ビット情報のみを一般回線が遮断されても着実に伝達する形で防災情報伝達に活用したい。

以上の事柄を、既にインフラサウンドの面的観測網の一部が実現されている高知県をフィールドとして実証試験を行うことを念頭に、まず平成 29 年度後半に、空中送信線電力 1 mW の特定小電力通信（特小）MAD-SS 通信機を用い、見通し内 100 km 通信の確認と、見通し外のセンサーノードから中継ノードまでを想定した通信経路ではシミュレーション通り通信できないことを確認した。SCOPE 予算内で非常時長距離通信用として周波数 426 MHz 帯の低電力長距離通信モジュールを新たに製作し、空中線電力 1 mW の特定小電力通信による長距離通信実験を高知県内にて実施し、室戸市～四万十町の見通しの良い条件下で、最大 96.7 km の双方向通信成立を確認した。この際、送受信には無指向性アンテナを用いた。これを踏まえ、平成 30 年度には空中送信線電力 400 mW の特定実験試験局による活用を念頭に、426 MHz 帯での特定実験試験局免許を取得し、次いで同帯域・同出力の MAD-SS 通信機を株式会社数理設計研究所が開発した。これらの経験を活かし、超低周波音と潮位という 2 種類の防災 IoT センサーのデータセットについて、同通信モジュールと一般携帯電話 LTE 回線を通じた運用を試み、実用的な中継区間における同帯域 MAD-SS 通信品質を確認するためのデータを取得した。さらに中継された超低周波音データを順リアルタイム解析し、閾値レベルを超えた場合には、潮位計に対してモード変更の信号を自動送信し、潮位計を高速サンプリングモードに変えるという 2 種類の計測情報を複合した防災情報通信・観測網の構築のための実証試験までを実現できた。

実際の観測では、図のように高知県全域に分布するインフラサウンド観測点から、1 ホップまたは 2 ホップでデータ集約地である高知工科大学のデータサーバーまでを通信したいため、通信距離 10 km 超で見通し外の状況と



図：災害時非常時通信のイメージ

なる実際のセンサーノードを試験場所に選定し、フィールド試験を実施した。これに先駆け、本研究で開発した 400 mW 出力の MAD-SS 通信機を用いた通信試験を京都市内ならびに関東平野にて実施した。関東では自動車に送信機を載せて移動させつつ実験を実施し、概ね 60 km 超までの通信性能を確認した。高知県内では実際の観測現場を活用し、安芸市の既設インフラサウンド観測点に加え、安芸市内に新たに潮位計観測点を仮設置し、計 2 種類の観測装置からの実際の観測データの一部を用いて一定期間の通信実験を実施した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究開発では、km スケールの遠隔地に分布するインフラサウンドセンサーを広域分散 IoT ノードと規定し、それらの生存確認を行うツールの基礎開発や、固定閾値による

警報自動処理ツールの基礎開発、SQL データベースを活用した自動データ転送・集約システムの基礎開発も同時に実施した。これらを含む研究成果は、防災関連への波及効果創出の足掛かりとすべく国内展示会に計 3 回出展したほか、国内・国際学会等において発表した。

さらに防災に向けたインフラサウンド面的観測の近い将来を含む展開という観点では、熱帯域における雷活動分布の精密測定と洪水対策を念頭に、北海道大学等と共同でフィリピンでの面的観測網 (SATREPS-ULAT) の設置も進めており、近い将来には津波危険地域の 1 つであるインドネシアへの配備も高知工科大学において検討中である。独自センサーの開発としては、遠隔探知で重要となる高層大気中での音波伝搬特性解明のために、気球や観測ロケットを用いた研究も開始した。気球やロケット搭載用の軽量センサーを開発し、実際に 2017 年には欧州 BEXUS 学生気球実験の際に実証試験を実施した。さらに 2019 年 5 月には北海道大樹町において、民間独自開発の観測ロケットとして国内初となる宇宙空間到達に成功したインターステラテクノロジズ株式会社の観測ロケット MOMO シリーズを用い、同 3 号機において高度 113.4 km までの音波伝搬特性を探る初の実証実験を成功させた。

4. むすび

本研究開発では、LPWA の独自規格として開発済の MAD-SS を特定実験試験局のスキームにて活用することで、km スケールで広域分布した防災用 IoT センサー群からの非常時通信としての活用と特定実験試験局のスキームを生かし電波資源有効利用のための道筋を提示した。

【誌上発表リスト】

- [1] Mone Kijima, Yuta Miyagawa, Hayato Oshita, Norihisa Segawa, Masato Yazawa, and Masa-yuki Yamamoto, "Multiple door opening/closing detection system using infrasound sensor", Proceedings of the 17th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '18) pp126-127 (2018 年 4 月 11-13 日)
- [2] Mone Kijima, Norihisa Segawa, Masato Yazawa, and Masa-yuki Yamamoto, "Multiple door opening/closing detection and identification system using infrasound sensors", Proceedings of the 5th Conference on Systems for Built Environments (BuildSys '18) pp192-193 (2018 年 11 月 7-8 日)
- [3] Norihisa Segawa, Masato Yazawa, and Masa-yuki Yamamoto, "Sensor Network for Transmitting Tsunami Information from Tosa Bay using MAD-SS Technology", Proceedings of the MobiSys '19 (2019 年 6 月 17-21 日)

【報道掲載リスト】

- [1] "津波音波捉える研究拡大 県内 10 カ所機器増設へ 工科大・山本教授「地域防災に活用を」"、高知新聞、2017 年 10 月 6 日
- [2] "津波規模を早く検知も 高知工科大が超低周波音で研究報告"、高知新聞、2017 年 11 月 25 日
- [3] "通信被災でも情報送信 インフラサウンド観測 無線システム開発へ 高知工大"、日刊工業新聞、2018 年 9 月 3 日

【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

- [1] <https://www.kochi-tech.ac.jp/news/2017/003653.html>
- [2] <http://infrasound.kochi-tech.ac.jp/infrasound/infrasound.php>