

### 3.2 官民連携による超高密度地震動観測データの収集・整備

#### 3.2.2 マルチデータインテグレーションシステム開発の検討

##### 3.2.2.4 MeSO-net 観測点～サテライト観測点群間の揺れデータ伝送技術の開発

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

株式会社東芝が実施する本委託業務では、国立研究開発法人防災科学技術研究所（以下「防災科研」という。）が維持し、運用の安定化・高度化を目指す MeSO-net から収集する高密度な地震観測データに加えて、基盤的地震観測網（K-NET、Hi-net 等）および民間企業等により設置された計測機器から得られる大量かつ様々な品質の地震データを有機的に統合するマルチデータインテグレーションシステムを、防災科研と連携して開発する。具体的には、「MeSO-net 観測点～サテライト観測点群間の揺れデータ伝送技術の開発」として、東京理科大学の技術助言を受けつつ、MeSO-net の各観測点をハブとするサテライト観測を実施するためのデータ伝送技術を開発し、その有効性を検証する。

##### (b) 平成 29 年度業務目的

サテライト観測点における揺れデータの伝送に必要な地震時のトリガ機能やデータの無線伝送機能・省電力機能等について検討し、揺れデータ伝送無線機を試作する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
株式会社東芝 研究開発センターネットワークシステムラボラトリー	主任研究員	佐方 連

#### (2) 平成 29 年度の成果

##### (a) 業務の要約

- ・サテライト観測点における揺れデータの伝送に必要な地震時のトリガ機能について検討した。
- ・サテライト観測点における揺れデータの無線伝送機能について検討した。
- ・サテライト観測点における省電力機能等について検討した。
- ・揺れデータ伝送無線機を試作した。

##### (b) 業務の成果

#### 1) サテライト観測点における揺れデータの伝送に必要な地震時のトリガ機能

##### a) センサ候補の選定

これまで、加速度の測定と無線収集のために、MEMS センサを搭載した無線加速度センサ装置を試作してきた。この装置には、TDK 社製センサである MPU-9250<sup>1)</sup>（以下、センサ A と呼ぶ）を搭載してきた。このセンサ A は直交する 3 軸の加速度に加え、3 軸の角速度及び 3 軸の磁気を測定可能な 9 軸のセンサである。全センサ動作時の電流の典

型値が  $9.3\mu\text{A}$  と小さく、サイズが  $3\text{mm}\times 3\text{mm}$  と小さいことも特徴である。

また、2017年8月に、東京理科大学理工学部土木工学科の佐伯昌之教授を訪問し、防災や減災のためのセンシングシステムに用いられている試作装置について伺った。佐伯教授の試作装置でも加速度を測定できる MEMS センサを採用していることを伺った。

以上より、小型、安価で消費電力が低く、簡便に取り扱える MEMS センサの中から、サテライト観測点における揺れデータの測定のためのセンサの候補を選定し、地震の測定において有効にトリガ機能が働くかどうかを机上検討することとした。

まず、MEMS センサの候補を選定した。今回は入手性や省電力性などの観点から、上記のセンサ A と、STMicroelectronics 社製の LIS3DSH<sup>2)</sup> (以下、センサ B と呼ぶ) を候補として挙げた。双方の主な仕様を表 1 に示す。

表 1 2 種類の MEMS センサの比較

	センサ A <sup>1)</sup>	センサ B <sup>2)</sup>
測定可能項目	加速度、角速度、磁気	加速度
加速度の測定軸数	3	3
加速度測定時のダイナミックレンジ	$\pm 2\text{g}/\pm 4\text{g}/\pm 8\text{g}/\pm 16\text{g}$ (可変)	$\pm 2\text{g}/\pm 4\text{g}/\pm 6\text{g}/\pm 8\text{g}/\pm 16\text{g}$ (可変)
加速度測定時のビット幅	16 ビット	16 ビット
加速度測定時の雑音スペクトル密度	$300\ \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$150\ \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
加速度測定時のサンプリングレート	4 Hz ~ 4 kHz	3.125 Hz ~ 1.6 kHz
加速度測定時の電流値の例	$450\ \mu\text{A}$ (4kHz サンプリング時)	$225\ \mu\text{A}$ (1.6kHz サンプリング時)
待機状態の電流値	$8\ \mu\text{A}$	$2\ \mu\text{A}$
待機状態において、一定の加速度を検知した場合に外部へトリガをかける機能	あり (wake-on-motion) 機能	あり (motion-detection) 機能

## b) センサ候補の吟味

表 1 より、センサ A は加速度に加え角速度や磁気も測定できる分だけセンサ B よりも高機能であることが分かる。

一方で加速度測定時の雑音量はセンサ A の方が大きい。この雑音量の影響は、次年度以降の研究において検討する。

測定及び待機時の電流値もセンサ A の方が大きい。しかし、無線機の動作の際に約 40mA 程度の電流が流れることと比較すると、センサの消費電流は無視できるほどに小さい。従って実際は、無線機の低消費電力化の方が重要である。ただし、センサ A や B の動作時の電流である  $450\ \mu\text{A}$  や  $225\ \mu\text{A}$  が常に流れ続けたとすると、単三電池 2 本程度であれば 1 年もたたずに電池が切れる恐れがある。従って、地震による揺れが無いと

みなせる時間帯には、センサを待機状態へと遷移させることも必要である。

加速度の測定はいずれも $\pm 2g \sim \pm 16g$ の間で可変であり、測定値のビット幅は16ビットにつき、解像度も同一である。東北地方太平洋沖地震では最大で1軸あたり960mg以上の加速度が観測されている<sup>4)</sup>。センサのダイナミックレンジは $\pm 2g$ 以上あるため、不足は無いと考える。また、例えば震度2のときの加速度は、均一な周期の振動が数秒間継続した場合には、最小でも1mg以上である<sup>3)</sup>。 $\pm 2g$ を16ビットで観測した場合の解像度は $61 \mu g$ 以上であるため、こちらも現段階では不足は無いと考える。より詳細な是非は、来年度以降に試作機などを用いながら確認する。

センサA及びBの双方とも、待機状態において一定以上の加速度を検出した場合に、外部にそれを通知する機能を有している。例えば通常は待機状態として消費電力を下げおきつつ、1mg以上、すなわち震度2以上と思われる揺れを検知した場合には外部の装置にその旨を通知して、詳細な測定を行うことができる。

以上より、サテライト観測点における揺れデータの伝送に必要な地震時のトリガ機能を実現するためには、いずれのMEMSセンサも、電流、ダイナミックレンジ、解像度、そして揺れの検出機能の観点から、大きな問題は無いと考える。従って、これら2センサを今後の検討にて用いることとする。

## 2) サテライト観測点における揺れデータの無線伝送機能

前述の佐伯教授の訪問において、防災や減災のためのセンシングシステムに920MHz帯の特定省電力無線を用いている旨を伺った。この無線方式は、伝送できるデータ量が少ないものの、見通し環境であれば1km以上の無線通信が可能である。従って街中で地震に関する情報を伝送する今回の検討にもふさわしいと考える。他によく知られている2.4GHz帯を用いた無線LAN通信は、通信距離が100m以下となることが多く、大容量のデータが伝送できる点では優れているが、本用途には適さない。

ただし920MHz帯特定省電力無線であっても、街中では数100mの通信距離にとどまってしまう。従って、街中の広い範囲から情報を収集するためには、遠方の無線センサが測定した情報も、隣接する周囲の他のセンサが中継して伝送し、数少ないMeSO-net観測点までデータを届ける必要がある。このような中継を用いた無線通信技術として、本プロジェクトとは別にこれまで、電池駆動できる無線センサ装置について研究開発を進めてきた。この技術を、省電力無線マルチホップネットワーク(LPMN: Low Power Multihop Network)と呼んでいる。LPMNは図1のように、複数のノードと呼ばれる無線センサ装置と、1台のコンセントレータと呼ばれるノードの管理装置から構成される。そしてバケツリレー方式で遠方からデータを収集する無線マルチホップネットワークを形成する。無線方式には920MHz帯特定省電力無線を採用している。

以上より、サテライト観測点における揺れデータの無線伝送機能として、920MHz帯特定省電力無線を用い、さらにマルチホップ機能を備えたLPMNを選定する。今後の検討ではLPMNの活用を前提とする。

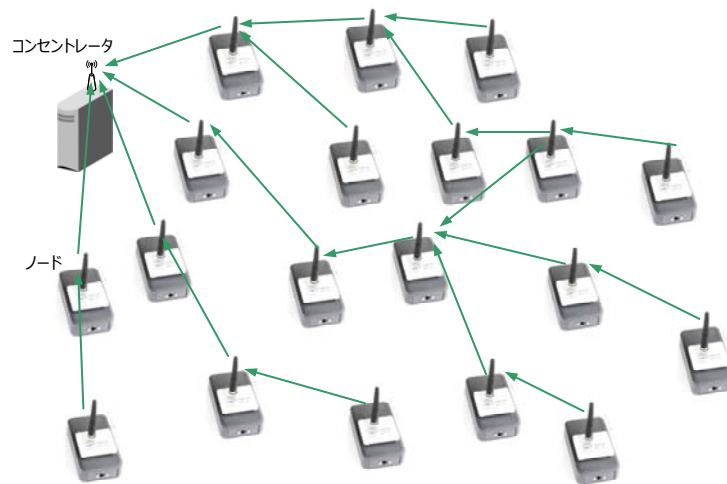


図1 LPMN システム構成

### 3) サテライト観測点における省電力機能等

前述の通り、センサ A やセンサ B が常時動作し続けると、それだけでも 1 年を超える電池駆動が難しい可能性がある。また LPMN が用いる無線センサ装置も、無線信号の送受信時には 30mA 以上の電流が流れる。従って、地震の揺れが無いと見なせる時にはセンサ及び無線機は待機状態に入ってスリープすることで消費電力を下げ、地震を検出した場合には揺れの測定及び通信を開始する機能が望まれる。

この観点において、センサ A 及びセンサ B の双方とも、待機状態において予め設定した一定の加速度を超える揺れを観測したら、外部に対してトリガをかける機能を有している。このトリガをきっかけに無線機を通信状態とし、さらにセンサも測定状態へと遷移させれば、上記の機能が実現される。

LPMN は、10 分に 1 度程度の通信であれば、電池で 10 年以上駆動できることが確認されている<sup>5)</sup>。図 2 に示すように、LPMN では各無線ノードが重ならないように自律的に時刻を分けて無線通信する時分割通信方式を採用している。各ノードは、通信していない時間帯はスリープして消費電力を落とす。例えば、上述の揺れの測定結果を最大加速度のような特徴量に変換し、10 分に 1 回の通信で伝送すれば、長時間の電池駆動が可能となる。

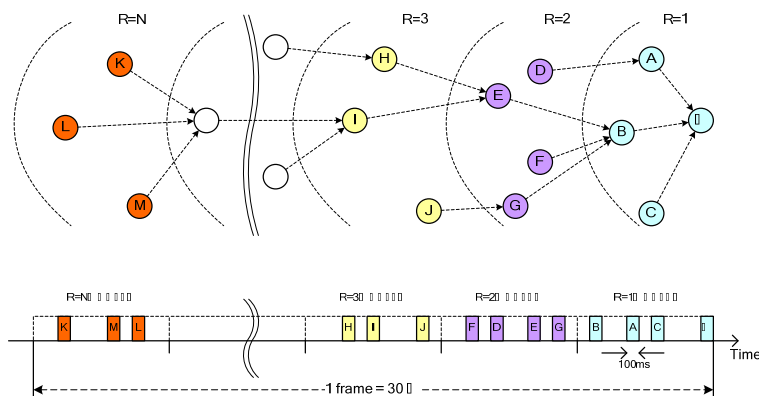


図2 LPMN の通信タイミング (通信周期が 30 分の場合)

#### 4) 揺れデータ伝送無線機の試作

LPMNの無線センサノードの設計を改造し、揺れデータ伝送無線機を試作した。試作した装置の外観を図3に示す。具体的には、センサAを搭載した既存のLPMN用無線センサノードの回路を流用し、センサの交換ができるよう、センサAの回路部分を搭載した加速度センサA基板と、それ以外の無線通信と制御部分を搭載した通信基板の2つの基板に分けた。そして双方をケーブル及びコネクタで接続するようにした。またセンサBを搭載した加速度センサB基板も作成し、こちらも通信基板と接続できるようにした。

上記の揺れデータ伝送無線機を動作させるためのソフトウェアとしては、今期はセンサAを搭載した既存のLPMN用無線センサノードのソフトウェアをそのまま流用した。このソフトウェアは、センサAからの揺れを検出した信号をトリガに通信する機能などを備えている。

本年度は、ソフトウェアを搭載した本試作機の電源を投入し、上記ソフトウェアが持つ基本機能である、コンセントレータからの指示に従って一定時間の揺れ波形を収集する機能を試験した。そして揺れデータを収集できることを確認した。来年度以降に、揺れをトリガに通信する機能を今回試作した基板上で動作させるなど、サテライト観測点として必要な機能を確認したり、追加で作成したりする予定である。

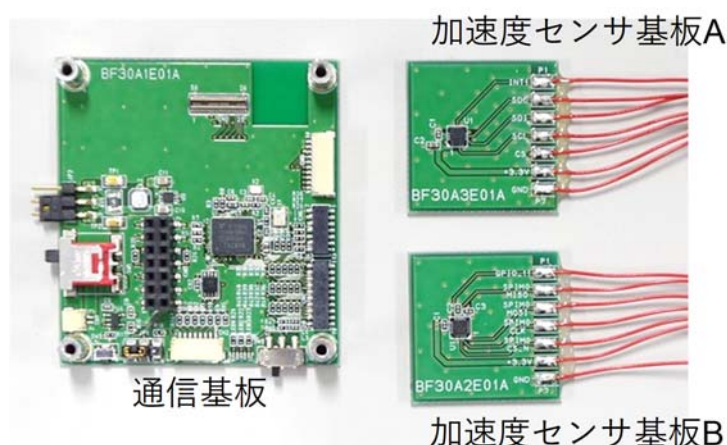


図3 試作した基板

#### (c) 結論ならびに今後の課題

本年度はまず、サテライト観測点を実現するためのMEMSセンサの候補を2種類選定し、揺れデータの伝送に必要な地震時のトリガ機能を実現できる見込みがあることを確認した。続いて、通信部分に省電力無線マルチホップネットワークLPMNの技術を用いることで、データの無線伝送機能や省電力機能を実現できる見込みがあることを確認した。最後に、LPMNの無線センサノードの設計を元に揺れデータ伝送無線機を試作した。

今後はまず、試作した揺れデータ伝送無線機について、揺れを検出して動作する機能を

試験する。続いて省電力動作するよう設定をする。そして屋外に試作機を設置し、実際に地震を検出してそのデータを無線伝送できるかを試験する予定である。

#### (d) 引用文献

- 1) “MPU-9250 | TDK” , <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/> , 2018年4月17日アクセス.
- 2) “LIS3DSH - 3-axis accelerometer,  $\pm 2g/\pm 4g/\pm 6g/\pm 8g/\pm 16g$  user selectable full-scale, SPI/I2C digital output, ultra low-power, high performance” , <http://www.st.com/ja/mems-and-sensors/lis3dsh.html> , 2018年4月17日アクセス.
- 3) “気象庁 | 震度と加速度” , <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/comp.htm> , 2018年4月17日アクセス.
- 4) “気象庁 | 強震波形（平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震）” , [http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/110311\\_tohokuchiho-taiheiyouoki/index.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouoki/index.html) , 2018年4月17日アクセス.
- 5) 長久保, 金, 工藤, 佐方: 省電力高信頼無線マルチホップネットワークにおける大容量データ伝送方式, 2018年電子情報通信学会総合大会, B-5-104, 2018.

#### (e) 学会等発表実績

##### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

なし

##### 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

##### 3) マスコミ等における報道・掲載

なし

#### (f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

##### 1) 特許出願

なし

##### 2) ソフトウェア開発

なし

##### 3) 仕様・標準等の策定

- ・ MEMS センサを交換可能な無線加速度センサ基板の試作仕様を策定

#### (3) 平成30年度業務計画案

サテライト観測技術を検証するために、揺れデータ伝送無線機の試作機を複数製作

し MeSO-net 観測点の周辺での試験観測に着手する。