

# MEMS 加速度センサーを用いた遠隔ヘルスマニタリングシステムの電力需給バランスに関する簡易的検討

長岡技術科学大学 非会員 北園 和磨

長岡技術科学大学 正会員 志賀 正崇

群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真

長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

## 1. 研究背景

大規模な地震発生直後にはインフラ構造物の安全性の確認を目的とした緊急点検が行われる。従来の点検方法では、実際に調査員が現地に赴き、インフラ構造物の損傷程度を確認している。しかし、地震直後は情報が錯綜するとともに、道路閉塞などの影響により点検箇所にとり着けない問題や、被災範囲が広大な場合は点検に時間を要する問題がある。

こうした問題を解決するために、インフラ構造物の遠隔ヘルスマニタリングシステムの構築が有効である。遠隔ヘルスマニタリングシステムとは、インフラ構造物に遠隔観測が可能なセンサーと IoT 通信モジュールを取り付け、広範囲に存在する複数の構造物の健全性を、任意のタイミングで確認できるシステムを示す。本研究で開発する遠隔ヘルスマニタリングシステムとは、ある閾値以上の地震が発生した際の観測記録を用いる被害推定の目的と、定期的な観測記録による構造物の健全性評価の目的の 2 種類がある。

従来の遠隔ヘルスマニタリングシステムには、メンテナンスフリーかつ高価な振動計を用いていたが、近年の半導体技術の向上により、小型かつ安価な MEMS (Micro Electro Mechanical System) 加速度センサーをヘルスマニタリングシステムに導入する動きがある。MEMS 加速度センサーは、内部の可動電極が慣性力を受け移動し、電極間の静電容量が変化することで加速度を計測するセンサーであり、携帯端末などにも広く搭載されている。しかし、MEMS 加速度センサーを用いた場合のシステム全体としての性能や耐久性、同センサーを用いた、被害推定と常時の健全性評価の両者に適用可能な遠隔ヘルスマニタリングシステムの構築には未だ課題が多く、実運用を見据えた検討が必要である。

## 2. 既往研究と目的

MEMS 加速度センサーを地震計として利用するアイデアは複数の既往研究にも見られる。小野<sup>1)</sup>は MEMS を用いた構造物の地震被害を即時判断する手法を提案しており、MEMS センサーは通常地震計よりも精度が劣っているが一次的な被害判定は利用可能だとした。野田<sup>2)</sup>は地震発生後に鉄道の効果的な巡回点検を行うために、MEMS を用いたポータブル地震観測装置を開発した。栗田<sup>3)</sup>はある程度地震動強さを得られれば、地震計として十分な性能を持つとした。

このように既往研究では、MEMS を地震観測に用いる場合は、ある程度以上の地震動に対しては十分に地震計に利用可能とされている。一方、既往研究では各モジュールを組み合わせた地震計のシステム全体としての性能は十分に検証されていない。全体性能に影響を与える要因としては、昼夜の日射量増減に伴う電力需給バランスや温度、風速、交通振動による計測安定性がある。本稿では、現在開発中の独立型 MEMS 加速度地震計の電力需給バランスに関する簡易的な検討を行った。

## 3. 電力需給バランスの簡易的検討

今回検討する地震計(図-1)は、66mm 四方あるいは 99mm 四方のソーラーパネルを持つ電源モジュール(以後それぞれ小型モジュールと大型モジュール)と、MEMS 加速度センサー(ADXL355)を含む複数のモジュールから構成されている。それぞれのモジュールと電力に関する情報(表-1、表-2)を元に、3 パターンの運用ケースを想定し、必要な電力量を賄うソーラーパネルの面積を求めた。なお、本検討では設置位置やパネルの向きによる発電量の変化、蓄電池の充放電、電圧変換時や回路中での電力損失などは考慮しない。

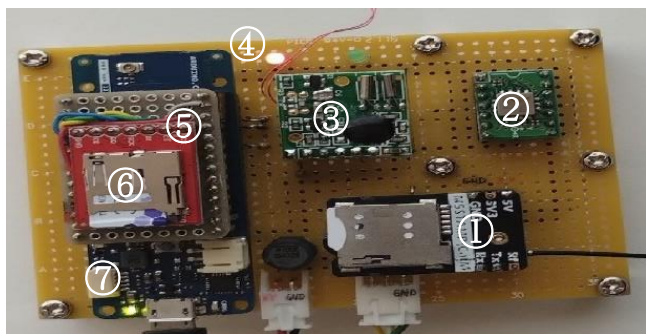


図-1 今回検討する地震計

表-1 地震計を構成するモジュールの仕様

モジュール種類	型番	待機時消費電流 (mA)	稼働時消費電流 (mA)	稼働電圧 (V)	
①	LTE-M M5stamp CAT-M	0	117	5.0	
②	加速度 センサ	ADXL-355	0.021	0.2	3.6
③	JJY 受信機	CME60005	0.0003	0.011	5.0
④	SD カード スロット	市販 流通品	0.001	0.3	6.5
⑤	SD カード	市販 流通品	0	0.2	3.6
⑥	マイ コン	Arduino MKRQAN 1310	0.01	20	5.0
⑦	LED	市販 流通品	0	30	5.0

表-2 地震計を構成する電源モジュール  
(充電池一体型ソーラーパネル)の仕様

電源モジュール	小型モジュール	大型モジュール
単位面積当たりの 発電量 (W/mm <sup>2</sup> )	9.99×10 <sup>-5</sup>	
パネル枚数	5枚	
パネル1枚あたり の面積 (mm <sup>2</sup> )	4,356	9,801

### 3.1 ケース1：常時稼働

電力は各モジュールの稼働時消費電流と稼働電流の積で表せるため、常時稼働時の必要電力の合計は1.10Wとなり、1日当たりの必要電力量は1.10×24=26.4Whとなる。単位面積当たりの24時間発電量は日照時間を12時間と仮定して、9.99×10<sup>-5</sup>×24=1.20×10<sup>-3</sup>Wh/mm<sup>2</sup>となる。この結果から必要なパネルの枚数は小型モジュールと大型モジュールの場合、それぞれ5.1枚と2.5枚となる。

### 3.2 ケース2：トリガー計測のみ

トリガー計測はある閾値以上の加速度が観測された場合のみ通信を行うケースを指す。J-SHISの地震ハザード曲線より、監視地点を長岡とした場合震度5弱以上の内陸型地震の1日の発生確率は6.0×10<sup>-7</sup>%である。このため、稼働時間の割合は待機時間に比べて無視できるほど小さい。このため待機稼働時の1日あたりの必要電力量は3.21Whとなり、3.1と同様に計算することで、必要なパネルの枚数は小型モジュールと大型モジュールの場合、それぞれ0.6枚と0.3枚となる。

### 3.3 ケース3：トリガー計測と定期計測

上記のトリガー計測と6時間間隔の定期計測を行う場合は、1回の計測・通信を15分と仮定して計算をする。この場合1日あたりの必要電力量は4.17Whとなり、必要なパネルの枚数は小型、大型モジュールの場合、それぞれ0.7枚と0.4枚となる。

## 4. 結論と今後の展望

今回検討した電源モジュールには1台当たり最大5枚のパネルが搭載できる。上記の計算結果より、ケース1の大型モジュール、ケース2、ケース3であれば、電力需給には問題がないといえる。今後はシステム全体に影響を与える検討項目をより詳細に考慮し、実運用に適した地震計開発を行う。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、エルスピーナヴェインズ株式会社青谷浩二様を始め多くの方のご協力をいただきました。深甚の謝意を表します。

## 引用文献

- (1)小野祐輔, 清野純史, 小林望, 新垣芳一, 高橋天兵: 小型センサーを用いた構造物の地震被害の即時判定法の提案, 土木学会論文集 A1, Vol65, No11, pp.705-709, 2009.
- (2)野田俊太, 是永将宏, 伊藤賀章, 山本俊穴, 岩田直泰: ポータブル地震観測装置・SPOT地震計の開発と自然地震観測, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, I-196, pp391-392, 2012.
- (3)栗田哲史: 実測値に基づくMEMSチップの地盤震動観測への適用性検討, 土木学会論文集 A1, Vol75, No4, L657-666, 2019