

# 技術紹介

## 5 加速度計 JA-70SA を用いた軍艦島での 構造物ヘルスマモニタリングの取り組み

### Approach to Structural Health Monitoring Using JA-70SA MEMS Accelerometer in Gunkanjima

大胡 拓矢	Takuya Daigo	商品開発センター 主任
市川 真太郎	Shintaro Ichikawa	商品開発センター 主任
田村 博規	Hironori Tamura	商品開発センター
松崎 政彦	Masahiko Matsusaki	商品開発センター
富岡 昭浩	Akihiro Tomioka	商品開発センター シニアマネージャー

キーワード: 加速度計、MEMS、構造物ヘルスマモニタリング、軍艦島 モニタリング  
視聴触統合センシング

Keywords: accelerometer, MEMS, Structural Health Monitoring,  
Gunkanjima Monitoring

#### 要旨

航空電子ではサーボ型加速度計を慣性航法装置や地震・防災機器、油田掘削など高い精度が要求される用途に提供していますが、サーボ型加速度計は比較的高価であり、構造物ヘルスマモニタリングなど加速度計の設置数が多い用途では、より低価格であることが要求されます。そこで、航空電子の特徴である高精度と小型・低価格を特徴とする MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ばれる半導体技術を融合し、構造物ヘルスマモニタリング用途向けに高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を開発してきました。

本稿では JA-70SA を用いた構造物ヘルスマモニタリングといたしまして軍艦島での振動計測の取り組みをご紹介します。

#### SUMMARY

JAE has the high-accuracy servo accelerometer product which originated from inertial navigation system for aircraft, seismic and oil drilling. In structural health monitoring, it is difficult to use many high-accuracy accelerometers since a servo accelerometer is generally expensive.

Therefore JAE is developing the high-accuracy MEMS accelerometer "JA-70SA" for structural health monitoring by taking the high accuracy which is the feature of JAE, and the budget prices which are the features of MEMS.

In this paper, we introduce the approach to structural health monitoring using JA-70SA in Gunkanjima.

## 1. まえがき

近年、センサを利用して構造物（橋梁、高架道路、トンネル、プラント、建築物等）の老朽化や地震の影響等による特性変化を的確に捉えて診断を行い、構造物の保全活動につなげる構造物ヘルスマモニタリングへのニーズが急速に高まりつつあります。構造物の振動状態を監視するような用途ではセンサの設置数が多いため、小型・低価格を特徴とする MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）と呼ばれる半導体技術を用いた加速度計が注目を集めています。そこで、MEMS 技術によるセンサ素子に高精度加速度計で培われた回路・実装技術を応用することで常時微動が計測可能な高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を開発してきました。

我々は、構造物ヘルスマモニタリングの実用化に向け、橋梁、建物において実証実験に取り組んでおります。その取り組みの一つとして 1974 年の炭鉱閉山以来無人島になり、波浪、暴風、塩害などの厳しい海洋環境にさらされ、多くの建築物が今まさに崩壊しつつある軍艦島の建築構造物崩壊過程を視聴触統合センシングする軍艦島モニタリングプロジェクト（リーダー：濱本卓司 東京都市大学 名誉教授）に 2014 年より参加してまいりました。本報告では軍艦島での振動計測の取り組みを報告します。

## 2. システム概要

軍艦島プロジェクトでは想定外事象に対する備えとして、長崎県端島(軍艦島)の居住区を舞台に、視聴触統合センシングにより建築群の維持管理システムを構築することを研究目的としています。2014年度から視覚(画像)と触覚(振動)によるセンシングを開始し、2015年度では、それらに加えて聴覚(音)によるセンシングを開始しました。触覚センシングは振動センサにより実施し、MEMS 加速度計 JA-70SA を使用しています。振動計測システム構成を図1に示します。

軍艦島は無人島であるため、ソーラーパネルを用いた独立電源システムを採用し、通信端末を用いて島外のデータサーバへのデータ転送、遠隔監視を行っております。また、複数の建物での振動計測システム間の時刻同期を GPS で行っております。

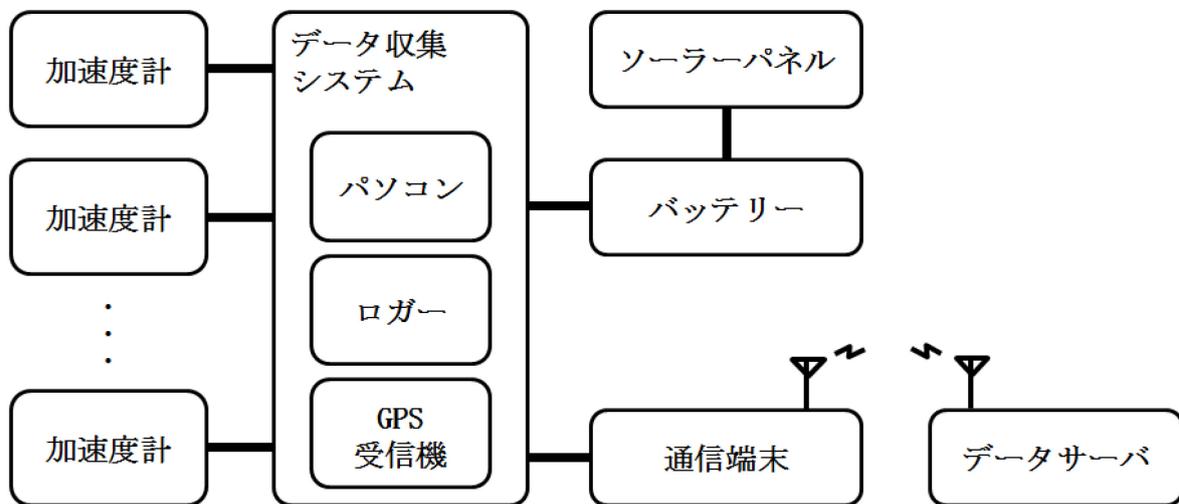


図1. 振動計測システム構成



図2. 外観写真(加速度計、データ収集システム、ソーラーシステム)

### 3. 計測対象建物およびセンサ設置状況

軍艦島は地震も少なく、強震観測が期待できない岩盤上なので比較的振動も小さい環境であります。その中で常時微動による建物の振動データを取得するために高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を設置しました。図 3 に示す居住区内にある 5 棟を計測対象建物としました。2014 年度には 70 号棟、2015 年度には 30 号棟、31 号棟、2016 年度には 16-20 号棟、65 号棟に振動センサを設置しました。計測システムは各棟独立な構成とし、障害発生時に他のシステムに影響しないよう配慮しました。GPS を用いて各システムを同期させています。建物への配置を図 4 に示します。

【70 号棟】2014 年度に、振動センサ 4 個を東側階段(海側)と西側階段(岩山側)それぞれの 1F と 7F、リファレンスとして 65 号棟 1F に 1 個の合計 5 個設置しました。

【30 号棟】2015 年度に、中央に吹き抜けの中庭空間をもつ「ロ」の字型平面形状のため建物全体のねじれ振動を計測するため 2F と 7F の各頂点に 4 個ずつと 1F 中央部に 1 個の合計 9 個の振動センサを設置しました。

【31 号棟】2015 年度に、1F と 6F の「へ」の字形の各頂点に 3 個ずつの合計 6 個の振動センサを設置しました。

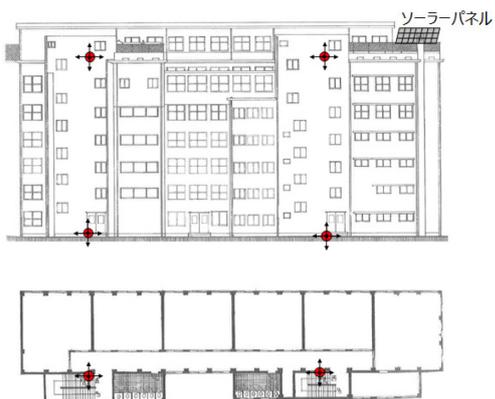
【65 号棟】2016 年度に、1F と 9F の「コ」の字形の各頂点に 4 個ずつの合計 8 個の振動センサを設置しました。センサケーブルの省配線化のため 1F と 9F で計測システムを分離し、GPS で各システムを同期しています。

【16-20 号棟】2016 年度に、1F 各棟の西側(海側)と 18 号棟の東側(岩山側)の 6 個、9F 各棟の西側、東側の 10 個の合計 16 個の振動センサを設置しました。9F 西側、9F 東側、1F で計測システムを分離し、GPS で各システムを同期しています。



図 3. 軍艦島島内図

70号棟

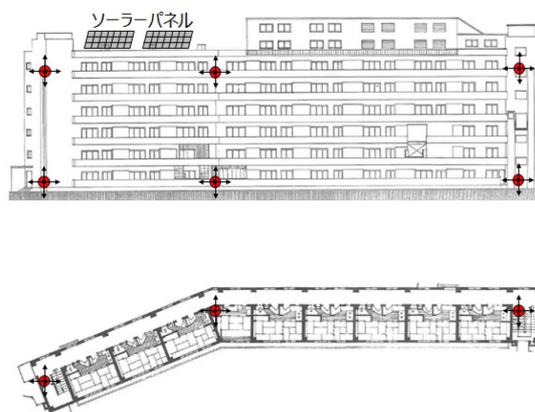


⊕ : 加速度計設置箇所

30号棟



31号棟



65号棟



16-20号棟

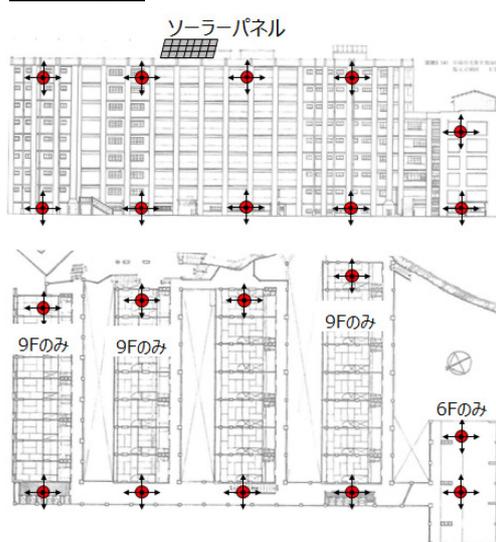


図 4. センサ配置図

## 4. 計測

### 4.1 振動および音の計測

振動計測はデータ収録装置(以後、DAQ と称する)として 16CH の AD 変換モジュールを使用し、前段のマルチプレクサにより 5  $\mu$ sec 以内に同期しています。サンプリング周波数は 100 Hz としています。また聴覚(音)の計測もマイクを設置して同時に行っています。音の計測は振動データの取得開始時刻のデータから保存を行っています。このため振動と音の同期の精度は音声データのサンプリング周期(45  $\mu$ sec)程度になっています。振動データと音データは 2 時間ごとに 10 分間計測し、計測完了時にサーバへ転送する構成としています。

### 4.2 データ転送

軍艦島におけるロバストなデータ転送のために建物内は有線ケーブルによるアナログ伝送とし、70 号棟、31 号棟、16-20 号棟、65 号棟から携帯電話網によりデータを伝送しています。30 号棟、31 号棟は島内の近い位置にあるため有線の Ethernet にてデータ伝送を行っています。

### 4.3 エネルギーハーヴェスティング

計測対象建物それぞれの屋上に太陽光パネル(晴天時)と蓄電池(夜間・曇天時)を設置して電源を確保しています。複雑な形状の建物が多いためセンサの設置数を増やしたい一方で、限られた電源の中で安定したデータ取得を行うためにはシステムの省電力化が必須となります。消費電力が大きい機器はパソコン、DAQ、振動センサとなります。表 1 に計測システムの構成を示しています。接続機器が少なく比較的消費電力の小さい 70 号棟、30 号棟、31 号棟においては、計測時以外はパソコンに接続された機器をソフトウェアで停止することにより、消費電力を低減しました。65 号棟、16-20 号棟は省配線のために、システムを分割したため、パソコン数が増加しました。そのため、計測時以外はパソコンをスリープさせる方法を採用し、消費電力を低減しています。日照時間 3.5 時間とした場合の、各棟の稼働可能時間を図 5 に示しました。省電力対策により、日照時間 3.5 時間以上あれば、24 時間以上の計測を行うことが可能となります。

表 1. 計測システムの構成

		70 号棟	30 号棟	31 号棟	65 号棟	16-20 号棟
計測システム	センサ数	5	9	6	8	16
	パソコン	1	1	1	2	3
	DAQ	1	2	2	2	3
	GPS	1	1	1	2	3
	マイク	1	2	1	2	2
	温度計	1	1	1	2	2
	通信端末	1	-	1	1	1
	中継器	-	-	-	1	1
ソーラーシステム	最大出力[W]	100	100	100	100	150
	バッテリー容量[Ah]	80	80	60	60	100

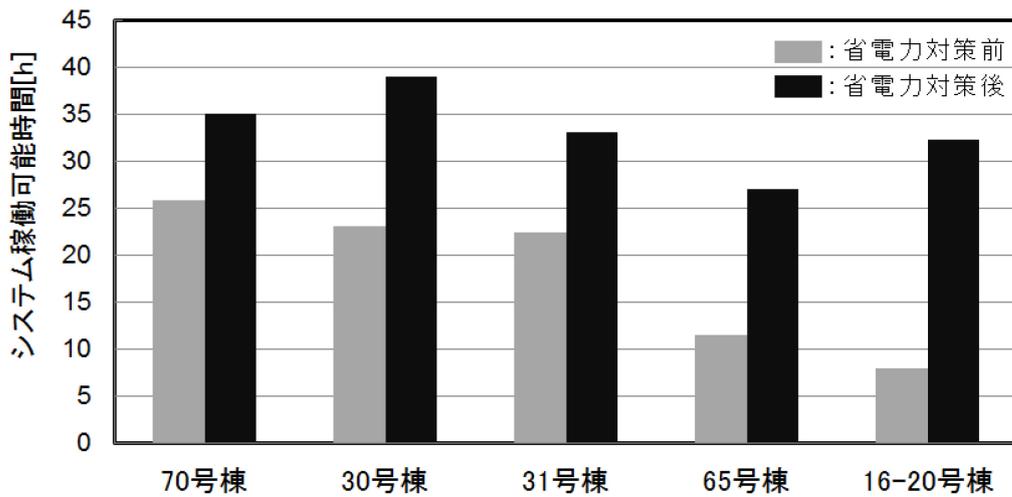


図 5. 日照時間 3.5 時間とした場合のシステム可能稼働時間

#### 4.4 解析事例

振動データを高速フーリエ変換処理した事例を図 6~8 に示します。常時微動による卓越振動数が観測できており、振動が少ない環境の中で、常時微動による振動計測ができています。加振をせずに常時微動による卓越振動数を追跡することにより建物の異変を監視しています。

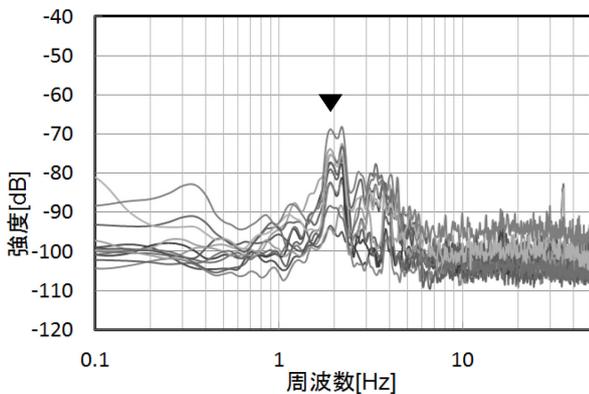


図 6. 70 号棟解析データ

▼ : 常時微動による卓越振動数

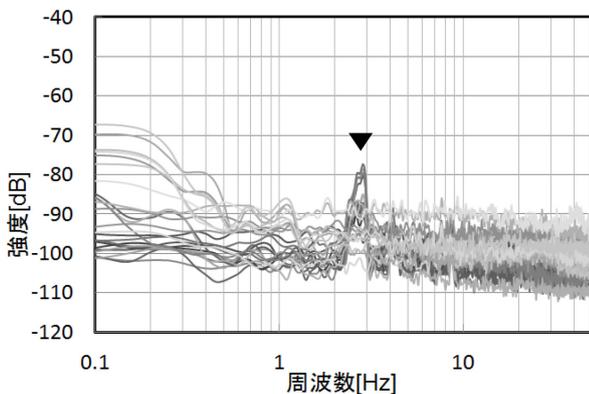


図 7. 30 号棟解析データ

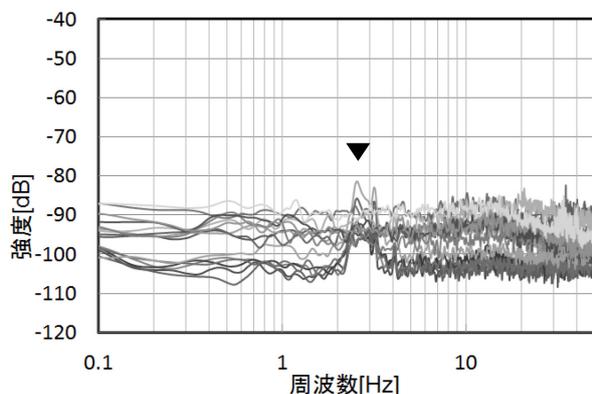


図 8. 31 号棟解析データ

## 5. むすび

今回、高精度 MEMS 加速度計 JA-70SA を用いた構造物ヘルスマモニタリングの実証実験の取り組みとして、軍艦島での取り組みについてご紹介しました。無人島、波浪、暴風、塩害などの厳しい環境下でもデータ取得および蓄積が可能となっています。今後、有効なデータを示すことで加速度計を用いた構造物ヘルスマモニタリングの普及に貢献していきます。