

## 低温環境下におけるワイヤレスセンサーの適用性と電力消費

## Applicability and power consumption of wireless smart sensor at low temperature

北見工業大学大学院工学研究科 学生会員 ○坂 和平  
 北見工業大学社会環境工学科 正会員 宮森 保紀  
 北見工業大学社会環境工学科 F 会員 大島 俊之

## 1. はじめに

近年、構造物の実時間的な健全性の監視を目指した「構造ヘルスマニタリング(SHM)」に関心が高まっている。SHMは構造物の振動や応力などの応答を測定し、何らかの構造同定手法を用いて構造系の剛性低下などの損傷を明らかにする手法である。構造物の応答を適切に把握するためには、センサーによる計測を十分な密度で行なうことが必要になる。しかしながら、従来の有線型のセンサーシステムは費用や測定時の手間がかかることから多点での測定を長期期間行うことは困難であり、そのためより安価で効率的なセンサーシステムが必要とされている。

このような要求に対して、データ処理機能と無線通信機能を有するスマートセンサーが構造モニタリングにおいて効率的な測定を可能にすると考えられ、研究が進められている<sup>1),2)</sup>。

スマートセンサーはMEMS(微小電気機械システム)技術を用いた精密な電子機器であり、一般的には使用できる温度範囲に制約がある。一方、SHMの対象となる土木構造物は、屋外の厳しい環境条件にさらされながら供用されている。このため、土木構造物のモニタリングにスマートセンサーを利用するためには、そのような厳しい環境下でも利用可能かを検討しておく必要がある。本研究は、土木分野におけるスマートセンサー利用の基礎的検討として、低温下における動作の可否や電力消費量の検討を行ったので、その結果を報告する。

## 2. スマートセンサー

本研究において使用するセンサーは図-1に示すCrossbow社のImote2システムである。データを収集するセンサーボード、データを計算処理するプロセッサボードそしてバッテリーボードがそれぞれ別個に存在しこれらを接続して使用する。センサーボードはイリノイ大学において開発されたSHM-A<sup>3)</sup>を使用している。SHM-Aは加速度センサーの他に温度センサーも搭載されている。バッテリーボードは1.5V単4型電池3本を搭載する。Imote2はOSやアプリケーションプログラムをインストールして使用するが、本研究ではOSにはTinyOS 1.xを、アプリケーションプログラム群としては、ISHMP (Illinois

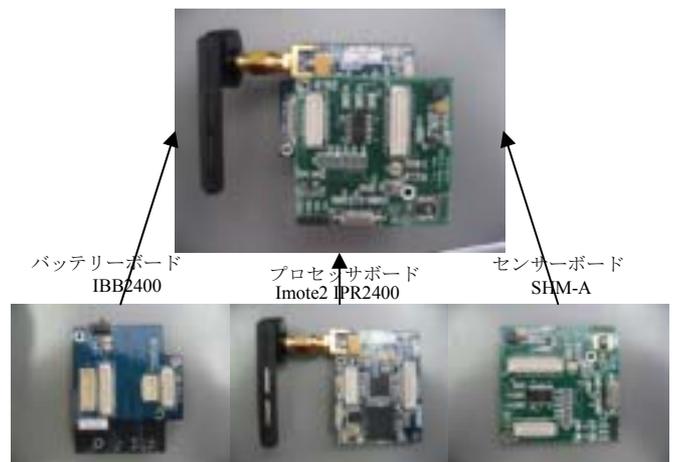


図-1 スマートセンサー Imote2

Structural Health Monitoring Project)<sup>4)</sup>により提供されているISHMP Toolsuite 2.0を用いる。測定には2台のImote2を用い、パソコンとImote2をUSBケーブルでつないだものを受信ノード、測定を行う無線端末を送信ノードとして用いる。

## 3. 実験概要

実験は、北見工業大学地域研究共同研究センターの低温室で行い、Imote2を図-2のように設置した。受信ノードと送信ノードの距離は4.5mとし、ノードの間は直接見通せるような状態で実験を行う。送信ノードは発泡スチロール製のブロックの上に置き、受信ノードは壁面にテープで固定した。測定用のパソコンは隣接した計測室内に設置し、USBケーブルで受信ノードと接続した。また低温室の室温は、18℃、-12℃、-20℃でそれぞれ実験する。今回は、振動データなどの測定値ではなく、受信ノードから送信ノードに返信させる命令を送り、送信ノードから受信ノードに応答させる。これを5万回(5万パケット)一括して行い、受信ノード、送信ノード双方の受信回数を調査した。各室温で同じ実験を5回繰り返す。1回の測定ごとに送信ノードの電源電圧を測定した。各室温の測定では、電池を新しい物に交換したが、使用した電池はすべてPanasonic社のIndustrialアルカリ電池(AM-4PI)を使用した。以上において、具体的なアプリケーションプログラムとしては、ISHMP

キーワード：スマートセンサー、Imote2、低温室

連絡先 :090-0857 北見市公園町 165 北見工業大学社会環境工学科 Tel:0157-26-9472 email:miyamoya@mail.kitami-it.ac.jp

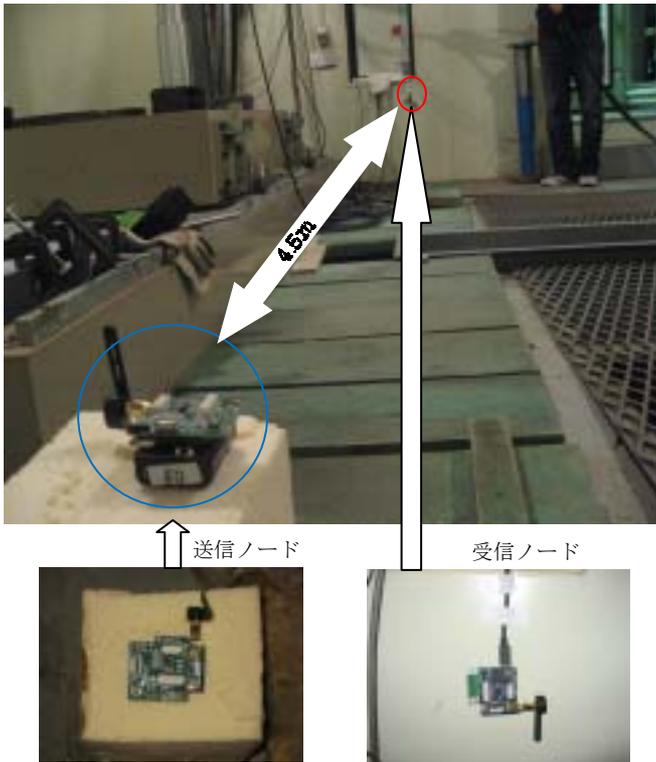


図-2 ノード配置

Toolsuite の TestRadio プログラムと、RemoteCommand プログラムの Vbat コマンドを用いた。

4. 実験結果

実験結果を表-1 に示す。表-1 の電圧低下量は各測定の前後における電源電圧の差であり、図-3 はこれを図示したものである。

いずれの室温においてもデータ送受信は可能である。データ損失量は温度低下に伴い微増しているものの、全パケット数と比較してほとんど影響はないものと思われる。それに対して、データ送受信の間に低下した電源電圧は気温が下がるほどに顕著に増加している。またその電圧低下量は測定回数を重ねるごとに減少する傾向がある。この原因としては、測定を重ねるごとにプロセッサボードのCPUが発熱し、基盤の温度が上昇したことが考えられるが、より詳細な検討が必要である。なおプロセッサボード上のセンサーボードに対して温度測定コマンド ReadTemp を実行したところ、室温-20℃の場合に-17.5℃であった。

5. まとめと今後の課題

スマートセンサーImote2 に対して、低温室内でデータ送受信実験を行なった。実験結果から-20℃の環境でもデータ送受信は正常に行なえることを確認したが、消費電力は大きくなり必要な電圧の供給が難しくなることが明らかになった。

本研究では十分に乾燥した低温室内でセンサーをケースに収納しない状態で実験を行なったが、実際の測定ではセンサー周辺の環境温度を保つとともに結露や霜を発生させないような工夫が必要である。

表-1 実験結果

温度 (°C)	測定回数	測定時間 (秒)	電圧低下 (V)	データ損失 (受信)	データ損失 (送信)
18	1	565	0.041	6/50000	4/50000
	2	555	0.021	8/50000	4/50000
	3	566	0.021	0/50000	0/50000
	4	556	0.010	2/50000	0/50000
	5	564	0.021	3/50000	2/50000
-12	1	555	0.135	4/50000	1/50000
	2	574	0.103	7/50000	4/50000
	3	537	0.083	7/50000	4/50000
	4	541	0.062	5/50000	4/50000
	5	538	0.052	3/50000	4/50000
-20	1	565	0.173	3/50000	4/50000
	2	555	0.114	7/50000	4/50000
	3	538	0.083	4/50000	4/50000
	4	558	0.062	8/50000	4/50000
	5	549	0.051	6/50000	4/50000

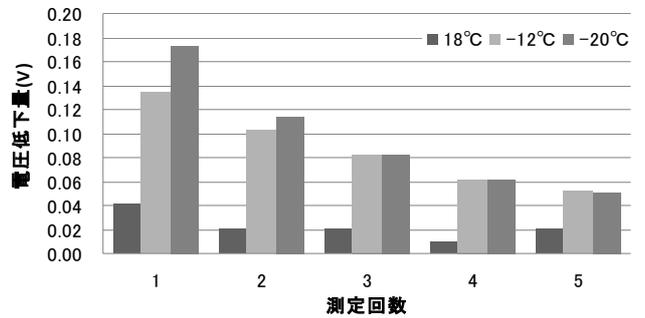


図-3 温度による電圧低下量

また、センサーボードについては温度測定のみで動作を確認したが、加速度センサーの動作も今後確認する必要がある。

【参考文献】

- 1) Tomonori Nagayama: Structural Health Monitoring using Smart Sensors, Ph. D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2007.
- 2) Rihua Tan: Fundamental Vibration Based Experiments for Structural Health Monitoring using Smart Sensors, Master thesis, Kitami Institute of Technology, 2009.
- 3) ISHMP: SHM-A Sensor Board Advanced User's Guide, <http://shm.cs.uiuc.edu>, 2010.
- 4) ISHMP: Structural Health Monitoring at the University of Illinois, <http://shm.cs.uiuc.edu/>

【謝辞】

本研究の一部は科学研究費補助金 若手研究 (B)(課題番号 21710166)によって実施されました。また、イリノイ大学アーバナシャンペイン校のB. F. Spencer教授、東京大学の長山智則講師から多大な助言とご助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。