

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 5 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560507

研究課題名（和文） 外部電源を必要としない低価格橋梁モニタリングシステムの開発

研究課題名（英文） Development of Low Cost Bridge Monitoring System with Energy Harvest Devices

研究代表者

白旗弘実（SHIRAHATA HIROMI）

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：40298013

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、低価格で、外部からの電源を必要としない橋梁のモニタリングシステムを構築することである。落橋検知を主たる目的として、太陽電池や圧電素子による電源供給で、廉価なマイクロコンピュータを使用したモニタリングシステムの試作品を作製した。圧電素子は落橋検知のためのセンサとしても使用されており、検知センサとしての圧電素子の発電特性も調べて適切なものを使用している。

研究成果の概要（英文）：This study aims at developing low cost bridge monitoring system for collapse detection in case of earthquakes. Recently in Japan, deterioration of infrastructure such as bridges has been a serious problem. Bridge administrative authorities have to organize maintenance management under limited budget. A prototype of bridge monitoring system employing low cost micro-computer and energy harvest with solar cell was made.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	500000	150000	650000
2010年度	100000	30000	130000
2011年度	300000	90000	390000
総計	900000	270000	1170000

研究分野：維持管理工学

科研費の分科・細目：土木工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：橋梁，モニタリング，異状検知，マイコン，自己発電

1. 研究開始当初の背景

橋梁の破壊要因としては、疲労や腐食などの劣化、地震の2点が特に考えられる。

一つ目の要因である劣化損傷と関連して、橋梁の老朽化の問題が指摘されている。我が国においては橋長15m以上の橋梁が80万橋近く存在し、これらの大多数が高度成長期の1960～1970年代に構築されたものであることはよく知られているところである。さらに、これらの橋梁が供用40年をむかえ、老朽化が顕在化してくる時期であることも周知である。これらの背景をふまえ、近年では橋梁の診断、モニタリングおよび維持管理戦略の

ためのアセットマネジメントに関する研究などがさかんである。

橋梁のもう一つの破壊要因として、地震があげられる。近年、日本全国での地震活動が活発になったとの指摘もあるが、海溝型地震、首都直下型地震に対する危険への対策も講じられる必要がある。

劣化や地震などの外乱に対し、損傷箇所をすばやく検知し、補修・補強もしくは交通規制するなどの措置が重要となる。そのためのスマート構造物によるモニタリングに関する研究がさかんであり、MEMS(加速度センサ)といった微小センサの適用性や無線ネッ

トワークによるデータ通信が検討されている。橋梁のモニタリングに際し、電源の確保は重要な問題である。これまで橋梁モニタリングは行われてきたが、いずれの手法も実験装置を橋梁の電線付近に設置する必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低価格であり停電時にも使用することのできる橋梁モニタリングシステムを構築することである。橋梁を対象構造物とするが、特に橋梁の崩落を検知することを目指している。低価格であることのメリットはたとえば地方公共団体のように、モニタリングを必要としているにもかかわらず、きわめて厳しい予算制限がある場合に有効である。特に地震時は停電となることも考えられる。停電時にも使用することのメリットは地震などの災害時にも強いモニタリングシステムであることである。

3. 研究の方法

研究の方法は以下の3項目より構成される。

(1) マイクロコンピュータを用いた低価格なデータロガー開発

微小センサの開発とともに、低価格ではあるが、比較的高性能なA/D変換機能をもったマイクロコンピュータが開発されている。これまでのモニタリング装置は高額な装置が多いように思われるが、すべての橋梁に取り付けることは非常に困難である。そこで低価格で作成できるデータロガーを開発する。

(2) 自己発電装置とデータロガー接続および電源供給性能

マイクロコンピュータは低電力でも動作するものが多い。現在、太陽電池や圧電素子を利用した発電装置が開発されているが、低電力である点で、家庭で使用するための電力は供給できないことが多い。しかしながら、マイクロコンピュータ駆動に対しては十分適用できるものとする。また、利用できるエネルギーを活用していくことは重要であると考え、このような観点で研究を行う。本研究で開発するデータ収集装置は地震時も念頭に入れている。つまり、地震災害時に停電することも十分に考えられるが、既存の外部電源を必要とするモニタリングシステムでは駆動が困難である。ここで開発を試みようとしているデータロガーは電力が供給されない場合でも駆動することができるものを目指している。

(3) インターネット回線を利用したセンシング結果表示

測定データを利用して、損傷検知を行うためには何らかの形でデータを抽出する必要

がある。本研究では、インターネットを利用しようと考えている。有線もしくは無線、ウェブページにするか電子メール通知にするかなどを検討する。

4. 研究成果

(1) システム構成

作製したモニタリングシステムの構成を図-1に示す。基本的にシステムは次の5つの要素より構成される。1つはセンサ部である。センサは橋梁が落下したかどうかを判定するものである。センサとしては2種類を考慮した。図-1(a)はセンサ部に圧電素子を使用したものである。桁が動いた際にケーブルに張力が作用することで圧電素子に電圧が生じ、落橋を検知するものである。図-1(b)は測距センサである。空中を伝播する超音波センサである。センサは橋桁に取り付けられるが、橋台で反射することで一定の距離に橋台が存在することになるが、落橋時は距離が通常の計測値と異なることを利用して検知するものである。構成要素の2つめはデータ入力部である。センサからの信号をA/D変換し、しきい値を上回った場合に異状と判定するものである。3つめは電源部である。電源としては、圧電素子と太陽電池の検討を行っている。4つめはデータ入力部で判定した異状を無線で通信するための出力部である。5つめにデータ入力部で得られたデータを外部であるインターネット上で見られるようにするためのサーバである。

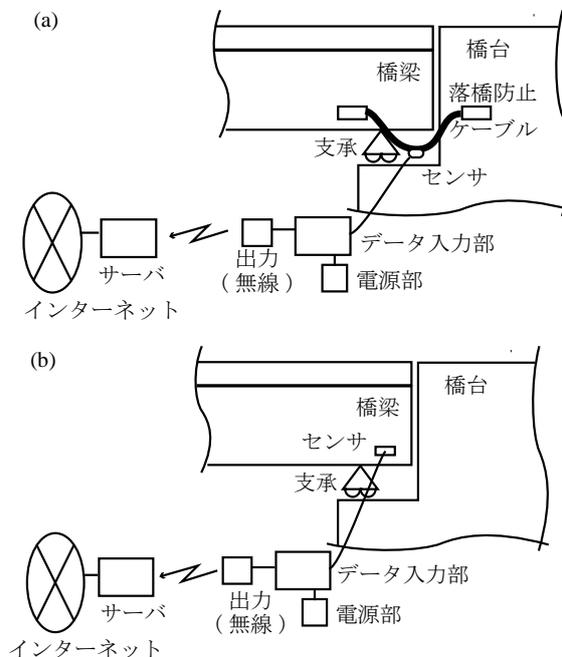


図-1 試作したモニタリングシステム

以下では、センサ部に関連して圧電素子の発電特性、データ入力部、電源部、出力部およびサーバの順で成果を述べる。

(2) 圧電素子の発電特性

センサとしておよび電源部としての使用を念頭に入れることを目的に、圧電素子の発電特性を調べた。

圧電素子としては、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)素材のフィルム状のものをを用いた。長さ1mほどの板に圧電素子を貼り付け、3点曲げ載荷物を行い、発電量を測定した。構造物に生じるひずみとの関連を調べるために、ほぼ同じ位置にひずみゲージも貼付した。圧電素子はプラスとマイナスの電圧を生じる交流波形となるため、ダイオードを用いた整流回路で絶対値となる直流成分で測定した。

圧電素子の発電特性を図-2に示す。載荷を行ったジャッキは変位制御で行った。図-2(a)は縦軸に生じた電圧を、横軸にジャッキで与えた変位を示したものである。図-2(b)は電流を計測したものである。図-2において、圧電素子は1枚と3枚で使用した。3枚の場合は、並列に接続している。

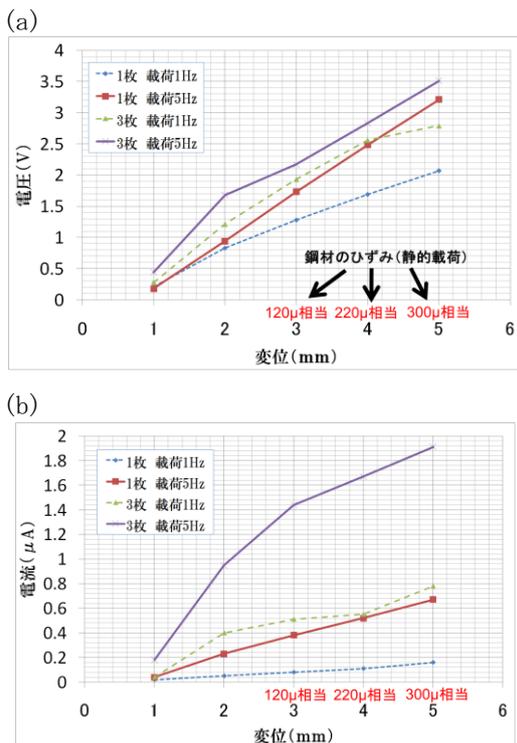


図-2 PVDF フィルム圧電素子の発電特性

図-2より、電圧は3V程度が得られているが、電流が1μA程度しか得られていないことがわかった。電源としては、マイクロワット程度の規模であり、待ち受け時の消費電力を補てんできる程度のものであることを確認した。また、センサとしては十分な電圧で

あることを確認した。図-2に示すように、変位3,4および5mmで生じるひずみはそれぞれ120, 220 および 300μであったが、図-1(a)に示すような場合、センサとして働きうることが確認できた。

(3) データ入力部

データ入力部のハードウェアおよびマイコンにプログラムを書き込むには、Arduino統合環境を使用している。図-3にマイコンに組み込んだプログラムのフローを示す。図-3(a)および(b)はそれぞれ図-1(a)および(b)に示したシステムに対するものである。

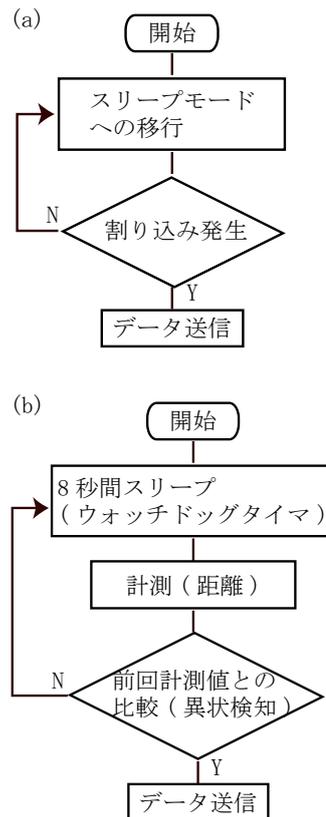


図-3 マイコンプログラムのフロー

マイコンには、消費電力をおさえるための電力モードがいくつか存在する。スリープモードの中でもパワーセーブモードは1ミリアンペアのオーダーにまで抑えることが可能である。図-3(a)では、割り込み信号として、圧電素子からの信号を考慮している。割り込みが発生しない限りはスリープモードであり続けるので、消費電力を抑える点では非常に有効であるが、故障しているかどうかを判別するのは難しい。図-3(b)では8秒間スリープモードに移行して、計測することになる。計測が行われているかどうか確認することは簡単であるが、消費電力が図-3(a)に比較すると多いことが問題である。

(4) 電源部

太陽電池を用いた電源供給部を図-4 に示す。電源部は太陽電池からの入力を整流し、昇圧型の直流-直流コンバータを介して 5V となる。太陽電池は 5V で 0.5A を供給できるものを選んだ。昇圧 IC を通った電気は充電電池に充電される。充電電池はリチウムポリマー型のものを使用している。充電電池には過充電と呼ばれる現象が起こる可能性がある。過充電とは電池の容量を上回る電力が充電され電池の機能が損なわれる現象である。過充電を防止するために、マイコンを間にはさむ形とした。マイコンは充電電池の電圧を計測し、充電電池の定格電圧近くになると太陽電池からの電流を流さないようにする機能を有している。

充電電池に充電された電気は再度、整流され、昇圧コンバータを介して、5V となるようにして出力される。データ入力部の Arduino は 5V、0.5A 程度の電力が必要であり、これに近い量の供給を目指している。

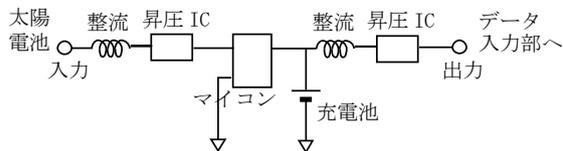


図-4 太陽電池を用いた電源供給部

(5) 出力部

データ出力部においては、ZigBee を用いている。ZigBee は無線通信規格の一つであるが、他に無線 LAN、Bluetooth なども使用の候補としてあげられたが、消費電力がもっとも低い 10mW オーダーであることが主な理由で ZigBee を使用することとした。

(6) サーバ

インターネットに接続するためのサーバとして、ARM ボードの一つである Beagle Board を使用することとした。Beagle Board を図-5 に示す。Beagle Board は使用電圧が 5V、1.6A 程度の低電力仕様である。寸法は 100×100×50mm ほどでコンパクトである。

Beagle Board には ZigBee との接続インターフェイスである USB ポートが 1 つある。また、インターネット接続に必要な Ethernet ポートを 1 つ有している。Beagle Board はハードディスクのような記憶媒体を用いず、Micro SD カードに基本ソフトである OS をインストールすることとなる。Beagle Board で使用することのできる Linux のインストールを行った。

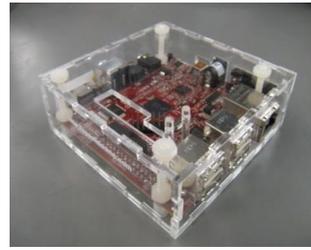


図-5 Beagle Board の外観

(7) 今後の課題

落橋検知モニタリングシステムを構築した。今後の課題として以下の点があげられる。検討項目としては、マイコンの低電力消費モードの活用のためのプログラム開発がもっとも重要であると考えている。スリープモードが使用できるようなプログラムとしたが、8 秒おきの計測は短いと考えるので、計測間隔を長くできるように改良を加える予定である。どのような条件でモードを変えるかの検討が重要である。データ収集間隔と電力消費の関係を調べる。その他に、異常検知センサを何種類か試すこと、ARM ボードの処理の高度化を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

①慶田喜純, 白旗弘実, 岸田敦朗, 木村大紀: 構造物の異常を検知する太陽電池を用いた省電力橋梁モニタリング装置の作製, 第 67 回土木学会年次学術講演会, 2012.9.名古屋大学

②岸田敦朗, 白旗弘実: 太陽電池および無線通信を使用した構造物モニタリングシステムのデータ収集ノードの作成, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会 I-57, 2012.3. 関東学院大学

③白旗弘実, 吉池主, 加藤真鳥, 淡路雄一: 圧電フィルムを用いた省電力型橋梁異常検知モニタリングシステムの構築, 土木学会第 65 回年次学術講演会, I-455, 2010.9.北海道大学

[その他]

ホームページ等

<http://stpc12.ssl.civil.tcu.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白旗弘実 (SHIRAHATA HIROMI)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号: 40298013