

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 5月14日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560832

研究課題名（和文） アクセス困難な構造部材の健全性診断のためのネットワーク型計測システムに関する研究

研究課題名（英文） Study on Network-type Instrumentation System for Health Monitoring of Inaccessible Structural Members

研究代表者

新宅 英司 (EIJI SHINTAKU)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50263728

研究成果の概要（和文）：

本研究は、計測のためのアクセスが困難な場所で、構造部材のひずみ、変形などを計測する小型の計測装置を開発することを目的とし、計測装置を構成する要素技術の提案と検証を行った。具体的には数値解析と試作品の検証実験を通じて、小型圧電ひずみ検出センサの形状提案と計測性能検証、信号処理回路の提案と計測装置の動作時間の改善、圧電発電による補助電源の可能性検証、計測結果を処理して無線通信する機能の提案を行った。

研究成果の概要（英文）：

The objective of the research is to develop a small instrumentation system for health monitoring of inaccessible structural members of large-scale structures. In this research, the proposal and verification of elemental technologies that composed the sensing device were carried out. The following were carried out through the numerical analysis and the verification experiments of the prototype system: shape proposal and performance verification of piezoelectric dynamic strain sensor, proposal of signal processing circuit and improvement of measuring device at operating time, possibility verification of backup power supply by piezoelectric power generation, and proposal of wireless communication function of measurement result.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：疲労破壊、ひずみセンサ、圧電セラミックス、計測システム、マイクロコントローラ、圧電発電

1. 研究開始当初の背景

船舶や海洋構造物などの大型構造物の状態を安全に維持する要求は高まっており、構

造部材に働く応力の状態等、構造の健全性を把握する必要がある。従来から構造部材にひずみゲージに代表される測定装置を使用して応力情報の収集が可能であるが、

(1) センサやアンプなどの測定器、データ記録装置など多くの機器を必要とし、センサの取り付け、配線など測定装置の設置スペース、設置作業が問題となる。また、

(2) 多点の測定データを長期間にわたって詳細に記録すると計測装置に膨大なデータの記録容量が必要であるなど、通常の船舶での構造計測は普及しているとは言い難い。

研究代表者らは圧電材料を利用した簡易応力履歴センサを開発し、前述(1),(2)の問題を解決する機能を持つ試作機を作成した。この他、圧電材料を利用した変形計測センサ等の成果を得ている。

前述のことから、計測のための各種手法、基礎的な構想については確立したといえるが、実際の船舶に本センサを搭載するには、専門家および現場経験者から多くの課題が指摘されている。特に損傷が発生しやすい箇所は、デッキ裏、船倉底部やタンク内などであり、このような計測のためのアクセスが困難な場所で、航行中の船舶の構造部材のひずみ、タンクの水圧荷重等を計測したいという要望がある。そこで本研究を着想し、これまでの研究成果である計測技術に活用しつつ、上記の課題を解決する技術について研究する。

アクセス困難な箇所での計測を可能とするためには、計測システムに

(1) 計測環境に耐える強度、耐久性、信頼性を有すること、(2) 計測した結果をブリッジなどに送信する機能、(3) 計測システムが動作するための電源の確保、が要求される。

2. 研究の目的

本研究は、計測のためのアクセスが困難な場所で、航行中の船舶の構造部材のひずみ、変形などを計測する実用的な計測装置を開発することを目的とする。

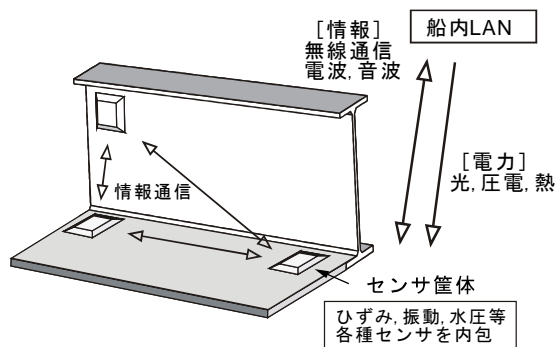


図1 計測システムの概要

具体的には設置スペースや作業の複雑さを気にせず構造部材各所に簡単に取り付けられ、小型で耐久性がある薄型の筐体に、圧電材料を使用したひずみ、加速度、変形セン

サと信号処理回路、電源を内蔵し、構造物に接着して使用でき、計測した情報を処理し、相互に通信する機能を持つ計測システムを実現することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、構造部材のひずみを計測する実用的な計測装置を開発するための基盤技術を確立することを主目的として、主に以下の項目について研究を実施した。

(1) 構造部材に負荷されるひずみ、荷重を計測する小型圧電センサの開発

計測システムを構造の狭隙部などに設置するためには装置の小型化が必要であり、ひずみ検出に使用する圧電センサの小型化が課題となる。さらに圧電セラミックスは圧電性により電源を必要としないが、その電気的等方性から負荷されるひずみ方向検出が困難であった。そこで圧電セラミックスと細長いアルミニウム板を併用することで小型化とひずみ方向検出を実現するひずみ検出センサを提案し、数値シミュレーションと検証実験により、センサの形状と測定性能の関係を明らかにした。実験には図2の油圧サーボ式材料強度試験機を用いる。

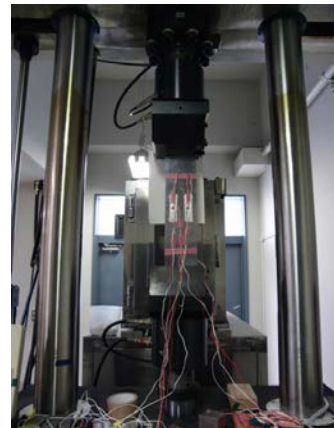


図2 油圧サーボ式材料強度試験機

(2) 小型圧電センサ用信号処理回路および計測結果記録システムの開発、および、アクセス困難な箇所における電力取得方法

前述(1)の圧電ひずみ検出センサに適した信号処理回路の設計と試作を行い、油圧サーボ試験機を用いた実験により測定性能を明らかにした。また、構造部材の疲労強度に関する情報収集を想定し、計測したひずみ信号をレインフロー法により処理してひずみ発生頻度分布を記録するマイクロコントローラ用プログラムと計測装置を試作した。信号処理回路基板、試作計測装置の回路基板を図3に示す。この際、計測システムの動作時間を延長するためのプログラムの改善、回路部

品・基板の改良を行っている。

さらに、ひずみ検出に使用している圧電セラミックスの圧電性を利用し、振動エネルギーを電圧に変換する圧電発電回路を試作し、振動条件と発電特性の関係を実験的に明らかにした。

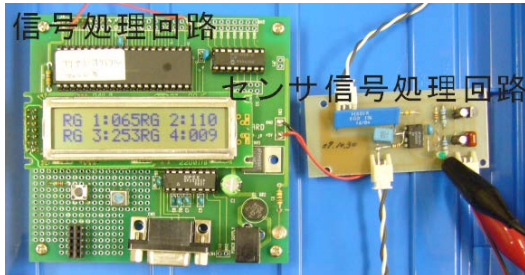


図3 ひずみ履歴計測装置回路基板試作品

(3) 計測した情報および制御指令を送受信する通信手法の開発

研究代表者のこれまでの研究では、計測したひずみ履歴情報は、マイクロコントローラ内に保存され、液晶画面に表示されるのみであったため、計測装置の故障や電源の消耗などによる計測データの喪失に対処できていなかった。

そこで有線通信機能、および、無線通信機能を計測システムに統合し、複数の計測システム間でデータを共有・バックアップ保存することを試みた。具体的には ZIGBEE (IEEE 802.15.4) を利用し、複数のプロトタイプボード間でデータを送受信して共有することが可能であることを実験的に検証した。

4. 研究成果

主要な研究成果を以下に示す。

(1) 構造部材に負荷されるひずみ、荷重を計測する小型圧電センサの開発

動ひずみ検出センサとして使用する圧電セラミックスは、材料のひずみ変形に対して自発的に出力電圧を発生し、使用状況によっては増幅回路を必要としない程度に大きな信号を出力するが、電気的等方性を持つため、ひずみ方向を検出することを困難であるが、この課題を解決するために図4上段に示す形状とした。

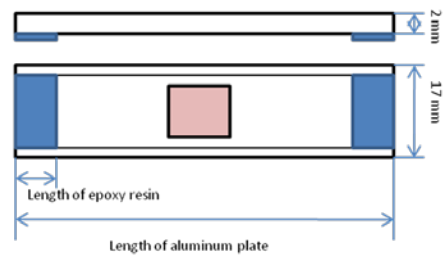
FE解析および油圧サーボ試験機を使用した実験の結果、断面形状がU型で幅17mm、長さ55mm、板厚0.5mmのアルミ型材の上面に圧電セラミックス(14mm×14mm、板厚0.3mm)を接着したタイプが形状加工の容易な最も小型なセンサであり、かつ、検出性能が良好であることを明らかにした。ひずみ検出センサのサイズ(設置面積)は、既存研究の約3分の1(34%)に縮小された。

(2) 小型圧電センサ用信号処理回路および

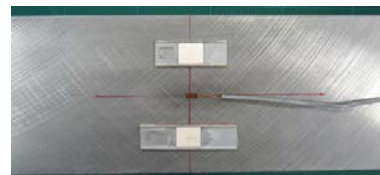
計測結果記録システムの開発、および、アクセス困難な箇所における電力取得方法

数Hz程度の低周波変動ひずみを計測するためには圧電セラミックひずみセンサからの出力信号を処理する図5に示す電荷増幅回路が必要となる。前述(1)のひずみ検出センサに適した信号処理回路の設計と試作を行い、油圧サーボ試験機を用いた実験において回路定数を調整することで約0.5Hz以上の低周波変動ひずみ計測が可能となった。

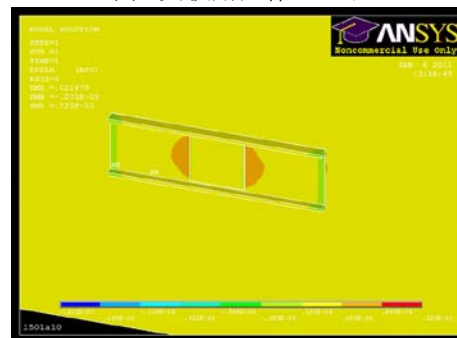
また、構造部材の疲労強度に関する情報収集を想定し、計測したひずみ信号をレインフロー法により処理してひずみ発生頻度分布を記録するマイクロコントローラ用プログラムと図3に示す計測装置の試作を行った。この際、計測システムの動作時間を延長するためのプログラムの改善、回路の改良を行っている。これにより研究開始段階で計測システムの動作時間は9Vアルカリ乾電池1個使用時に12時間程度であったが、47時間動作に改善された。



(a) センサの概形



(b) 実験用試作センサ



(c) FE解析によるセンサのひずみ分布

図4 圧電ひずみ検出センサ

さらに、ひずみ検出に使用している圧電セラミックスの圧電性を利用し、振動エネルギーを電圧に変換する圧電発電回路を試作した。専用の整流回路を用いることで圧電セラ

ミックスが発生する交流電流を直流電源とコンデンサに蓄電することができる。図6に示すようにサイズ 30mm×20mm の圧電セラミックスに周波数 5Hz, 240 $\mu\epsilon$ のひずみ振幅をに与え、作成した蓄電回路を使用すると 3.3V まで昇圧可能であることを実験で示した。

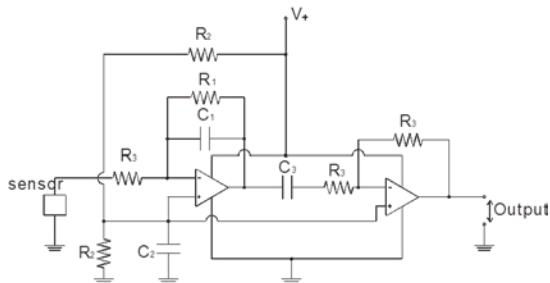


図5 圧電ひずみ検出センサ用電荷増幅回路

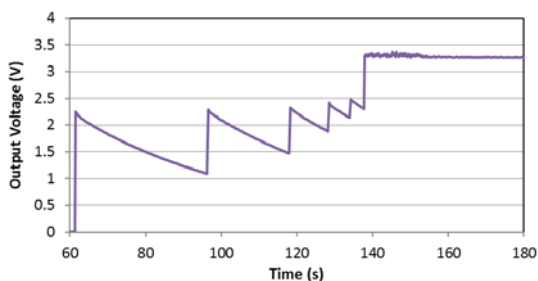


図6 圧電発電による蓄電結果

(3)計測した情報および制御指令を送受信する通信手法の開発

開発したマイクロコントローラによるひずみ履歴計測システム(図3)について、RS-232C規格を使用して2つの計測システム回路間でひずみ履歴計測結果を有線で送受信すること、計測システムとパーソナルコンピュータとの間で計測データの送受信を可能とした。

さらに、図7に示す市販の無線通信検証用基板を用い、複数のセンサ基板間で計測結果を無線で送受信して測定結果を共有することを試みた。本基板は ZigBee 無線通信機能を搭載し、制御用マイクロコントローラはひずみ履歴計測試作基板(図3)と同様であるため、プログラムは共通である。

実験の結果、図7センサ基板間相互の送受信モード、複数の基板共通でデータを共有するモードの実現を確認した。

以上の成果により、航行中の船舶の高所の構造部材など、アクセスが困難な場所で、構造部材のひずみ、変形などを計測する実用的な計測装置に必要な要素技術開発が完了したと思われる。

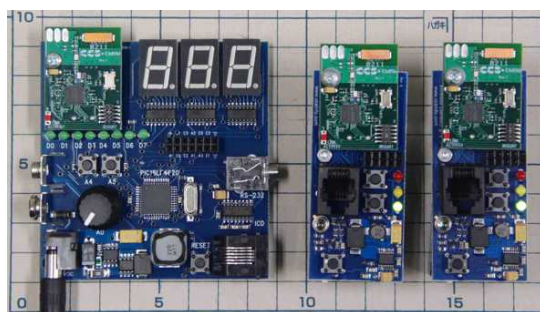


図7 無線通信検証用基板

近年の半導体技術向上により、電子部品、汎用マイクロコントローラの処理能力向上、省電力化が進み、本研究が目的とする小型で長時間動作可能な計測装置が、比較的低頻度の計測間隔の温度計測で実現しつつあるが、より高い計測頻度を要するひずみ計測、振動計測が可能な計測システムの事例は少ない。また、船舶などの大型構造物は数秒周期の低周波計測と数百 Hz の振動現象の同時計測が必要とされており、そうした対象を想定した計測システムは非常に少ない。このような観点から、本研究の成果は構造の安全性を保持するために有意義であると思われる。

一方、外洋を航行する船舶を想定した場合、一航海が14日程度を要することもあり、本研究で達成した3日程度の持続時間では不足する面がある。今後、圧電発電を含めた補助電源システムの追加により、より長期の計測時間を可能とする計測システムの開発が課題である。

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)

【雑誌論文】(計 0件)

〔学会発表〕(計 2件)

1. 新宅英司, 圧電セラミックスを用いた簡易動ひずみ計測システムに関する研究, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門講演会 2011, 2011年9月9日, 高知工科大学
2. Ning Xiaoguang, 圧電セラミックスを用いた簡易動ひずみ計測法に関する研究, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会 2010, 2010年9月17日, 同志社大学京田辺キャンパス

6. 研究組織

(1)研究代表者

新宅 英司 (EIJI SHINTAKU)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 50263728

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし