

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04583

研究課題名(和文) 船舶甲板上の艀装品に負荷される波浪衝撃力計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of measuring system for hydrodynamic impact force acting on equipment on deck

研究代表者

新宅 英司 (SHINTAKU, EIJI)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：50263728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は船舶の甲板上に設置された機器に作用する波浪衝撃力を測定・記録するための計測システムを開発することを目的とし、高分子圧電材料を用いて薄型で柔軟な波浪衝撃力センサとセンサ用の計測システムを開発した。研究の結果、波浪衝撃力計測に適したセンサの形状・構造を提案するとともに、実験によりセンサの水衝撃力計測性能を検証した。また、開発した計測システムはフィルム型等の太陽光発電システム、及び二次電池を電源とし、振動、気温、日射量、太陽電池の発電量等のデータを計測・記録するとともに、取得したデータを無線通信でクラウド上のサーバに蓄積することを可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的を達成することで、これまで実船計測が困難であった甲板上の構造物、艀装品に作用する波浪衝撃力が計測可能となることで、艀装品設計技術の向上に寄与し、船舶の安全性向上に貢献できると考えられる。また、近年、浮体式洋上風力発電に関する研究開発が実施されており、船舶とは異なり荒天時に設置位置を変更することが容易でない海上施設の安全を確保するために、将来的に本研究の成果の活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to develop a measurement system for measuring and recording wave impact force acting on equipment installed on the deck of a ship. The measurement system consists of a thin and flexible wave impact force sensor by using piezoelectric polymer thin film and data logging system which is powered by photovoltaic power generation system. As the results of the research, the shape and structure of the sensor suitable for wave impact force measurement is proposed, and the water impact force measurement performance of the sensor is verified by the experiments. Furthermore, the developed measurement system uses film-type photovoltaic power generation modules to be able to install on the surface of equipment. The system is possible to measure and record vibration, temperature, solar radiation, power generation, etc., and to accumulate the acquired data on a server on the cloud by wireless communication.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：波浪衝撃力計測 高分子圧電フィルム 圧電衝撃力センサ 太陽光発電システム 無線通信システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

船舶はこれまでの海難事故を教訓に安全規則の整備と設計技術の向上を図り、さらに世界的な気象観測網の整備、情報システムの発達により、荒天を回避して船舶を航行することが可能となって海難事故の発生確率は低下している。一方、温暖化防止対策のため、甲板上の設備・機器の軽量化、さらには厳しい国際競争の激化によるコスト削減要求のために構造の簡素化への要求が高く、暴露甲板上の艀装品が青波による衝撃力や打ち込み水により破損、消失する被害は依然として多い。

甲板上に打ち込む海水の挙動は、船種による船首、船尾形状の違いや、各種甲板機器の影響により複雑で、波浪による衝撃荷重の正確な推定は容易ではない。さらに、マストや甲板上の各種機器が波浪衝撃により流失すると、船舶の航行機能、荷役機能に支障を来すため、防止対策のために衝撃荷重の把握が必要とされている。しかし、甲板上の構造物や各種機器に対し、運航作業に影響なく設置できるセンサ、計測装置は存在しないのが現状である。船体に働く波浪衝撃荷重に関する研究は古くから多くなされているが、船体に働く波浪荷重を実船計測した研究の大半は加速度計による船体運動計測と船体構造材のひずみ計測により間接的に荷重の推定を行っており、衝撃荷重そのものの実測例は数少ない。

一方、研究代表者らは高分子圧電材料を使用した薄型の衝撃力センサを開発しており、機械や工具への打撃力、人体に作用する衝撃力計測、自動車の衝突荷重計測等に利用されている。本センサを流体による衝撃荷重計測に使用できるように発展させ、使用環境に耐えうる計測システムを開発することで前述の課題が解決できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、圧電材料による薄型衝撃力センサの特長を生かし、船舶の甲板、および甲板上に設置されたマスト等の構造物、各種艀装品等に負荷される波浪による衝撃力を実船で計測するための衝撃力センサとその計測システムを開発することである。

実船での波浪衝撃力計測を可能にするための計測システムは以下で構成され、研究により各構成要素を開発する。

- (a) 波浪衝撃力を計測するシート状の衝撃力センサ
- (b) 加速度などの MEMS センサを搭載し、衝撃力センサ(a)の信号処理と計測データを記録する計測回路部
- (c) 船上で長期間の計測を可能とするフィルム型の太陽電池などを用いた電源システム
- (d) (b)の計測結果を無線で船内 LAN 等に送信する無線通信システム

3. 研究の方法

本研究の研究期間は3年間であり、実施内容・方法を下記に示す。

- (1) 対象部材に負荷される波浪衝撃力を計測する衝撃力センサ(a)の開発
数値計算、および、既往研究に関する文献調査、研究代表者の過去の実験実績・研究開始前の準備実験等の評価によるセンサ構成案の検討、及び試作センサによる性能評価試験を行って計測性能を明らかにし、最終的にセンサ形状と構造を確立する。併せて所属機関の水槽等を用い、水衝撃力に対する試作センサの計測性能の検証試験を行う。
- (2) 計測システムを一定期間動作させるための太陽電池などを用いた電源システム開発(c)
- (3) 衝撃力センサ(a)が検出した情報を処理し、加えて加速度などの MEMS センサを搭載し、計測データの記録を行う計測回路部(b)の開発、さらに、計測結果を無線で船内 LAN 等に送信する無線通信システム(d)の開発
上記(2)、(3)について、センサ用の信号処理回路の設計、試作と動作検証を行う。並行して太陽電池を用いた電源システムの開発を行い、マストなどの垂直曲面に適用して計測装置の動作に十分な電力確保を可能とするための発電システムの設計・試作と検証のための試験を行う。さらに計測結果を無線 LAN により送信する計測システムを試作し、実験による動作検証を行う。

4. 研究成果

- (1) 波浪衝撃力センサの基本構成の確立と計測性能の検証

2018 年度において、研究目的に適したセンサの構成素材の選定、及びセンサの基本構成を確立することを目的に、計測感度性能、耐久性が期待される金属素材、高分子素材など、複数種類の素材を用いた荷重センサを試作した。さらに、水面衝突による衝撃荷重を計測可能な実験装置を作成し、試作センサの測定性能を検証した。

当初の予定では、耐食性があり、高強度のステンレス薄板を使用する構成を有力視していたが、前述の装置を用いた試験の結果、水面衝突時の衝撃荷重は当初の見込みよりも小さかったため、ステンレス製のセンサでは測定感度が低く、さらに、水面衝突時の温度変化影響を受け易いことが明ら

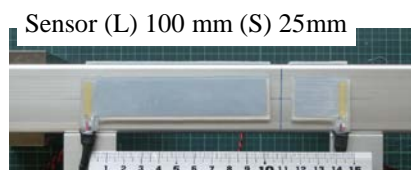


図1 試作センサと評価用試験体

かとなった。そこで、シリコンゴム素材を用いたシート状の荷重センサを作成した(図1)。本構成により、水面衝突時に適切な出力信号を検出できることが明らかになった(図2)。

続いて2019年には、初年度で選定した衝撃センサの素材と確立した基本構造について、図3に示すように、計測対象が円柱状曲面である場合の性能検証実験を行った。試作センサによる検討の結果、円柱曲面への衝撃荷重を検出可能であり、センサの基本測定性能を明らかにした。初年度の平面に衝撃的に水が作用する現象と比較して、円柱形状の計測対象における現象は複雑であり、センサの形状、設置方法と水衝撃荷重の関係について、最終年度の2020年度も調査を進めた。研究の結果、センサに対して斜め方向から負荷される水衝撃力に対する圧電センサの計測特性を明らかにし、本センサの計測性能を水衝撃力に関する理論式で説明できることを示した(図4)。

また、実用化のためにはセンサの耐環境性が必要となるため、センサと簡易計測装置を屋外に設置する計測試験を行い、計測データに含まれる雑音信号に対する屋外使用時の気象、温度影響を確認した。この結果、簡易な信号処理回路の導入により、計測ノイズを低減する目処が得られた。

(2) 太陽光発電による計測システム用電源の開発(c)

船上では陸上と異なり、航行中に太陽光発電モジュールの方位が変化すること、さらに発電モジュール上に部分的に陰影が生じて発電性能が大きく変化することが予想される。そこで2019年度は太陽光発電パネルを複数枚用いた実験装置を作成し、発電モジュールの設置方位が変化したとき、及び部分陰影が生じたときの発電特性について検証を行った。図5は方位変化に伴う実船での日射強度計測の様子である。以上の知見をもとに、ニューラルネットワークを用いて、複数の太陽光モジュール上の部分陰影影響を考慮した最大電力点追従制御(MPPT)の手法を開発した。本項目の成果は英文論文(3)(Applied Solar Energy)に公表した。

また、太陽光発電システムを計画する際に必要となる日射量のに関するデータベースが海上では存在しないため、ニューラルネットワークを用いて海上での日射強度の推定する手法を開発した(図6)。本成果は英文論文(1)(Int. J. of Machine Learning & Computing)に公表した。本成果により、陸上の限られた地点での過去の日射データから海上の任意の地点の日射量を推定することが可能となった。

さらに、船上で効果的にエネルギーを抽出するための太陽光発電モジュールの設置方法を検討した。前述の英文論文(1)の成果を利用し、日本国内の定期旅客航路における年間の日射量を推定し、発電量を最大化する船上での太陽光発電モジュールの設置方法を求めるシステムを開発した。例えば、一日に複数回往復する短距離航路ではモジュールの傾斜角を季節に応じて調整することが有効であることを確認している。本成果は英文論文(2)(Int. J. of Renewable Energy Research)に公表した。

加えて2020年度はフィルム型太陽電池を用いて柱状構造に設置可能な電源システムを開発・試作した。実験検証の結果、船舶が方位変化しても有効な発電特性が得られることを確認した(図7)。

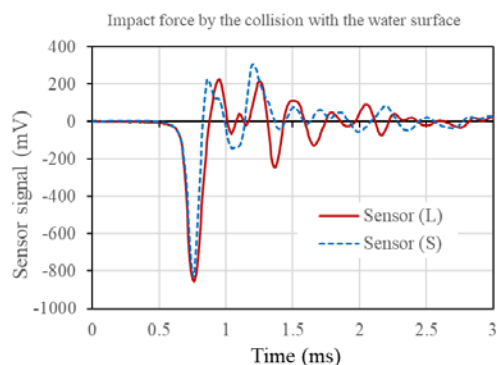


図2 センサの水衝撃力計測波形



図3 円柱試験体

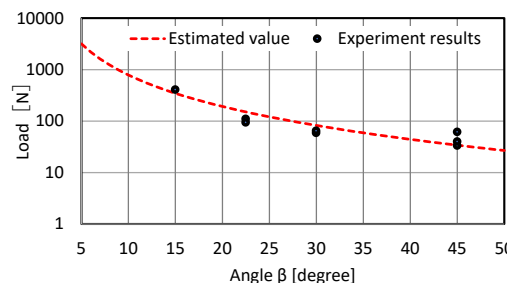


図4 センサの水衝撃力計測性能

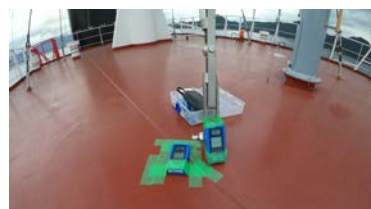


図5 船上での日射量計測

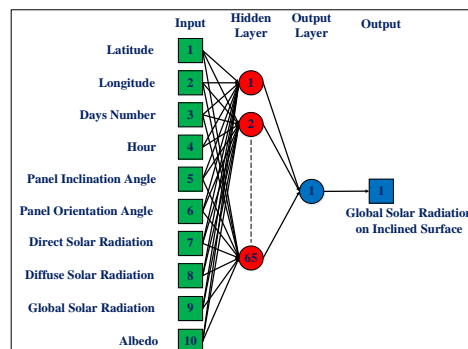


図6 ニューラルネットワークによる船上日射強度推定システム

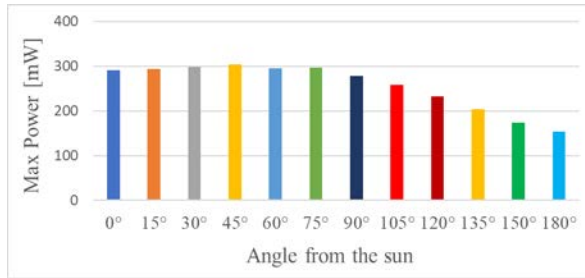


図7 フィルム型太陽光発電モジュールと発電性能

(3) 無線通信機能を有する計測システムの開発 (b), (d)
 (2)で開発した太陽光発電システムを電源とし、振動、気温、日射量、発電量等を計測・記録し、取得したデータを無線通信でクラウド上のサーバに蓄積することが可能な計測システム (b)を開発した(図8, 図9)。
 加えて開発した計測システムを船上に設置することを想定した検証実験を行った。実際の船舶の位置情報 (AIS データ) を無線 LAN により取得し、船舶の動きに連動して日射計測装置を制御して、船上での日射量の推定値を計測した。この結果、研究成果 (英文論文 (2)) の有効性を確認した。

以上の研究の結果、圧電材料を用いた波浪衝撃力センサの基本構成を確立し、船上で使用可能な計測システムの試作機を完成することができた。

本研究で開発した波浪衝撃力センサにより、船上の対象機器の表面に設置可能で、従来手法と比較して容易に波浪衝撃力を計測することが可能となった。ただし、計測システム全体として実用的な計測を可能とするためには、太陽光発電システムによる電源を含めた計測装置のさらなる小型化が必要となる。

なお、本研究で開発した海上での日射量推定手法は、入手が困難な海上での日射量に関するデータを補う目的で研究を行ったが、海外において太陽光発電に関する研究論文で参考文献として引用されている。また、フィルム型太陽光発電モジュールによる電源システムは当初、比較的消費電力の少ない計測装置の電源用途を目的に開発したが、本発電モジュールは設置形状の自由度が高く、部分陰影の影響が比較的小さいため、今後、船上での太陽光発電導入の促進に寄与することが期待される。

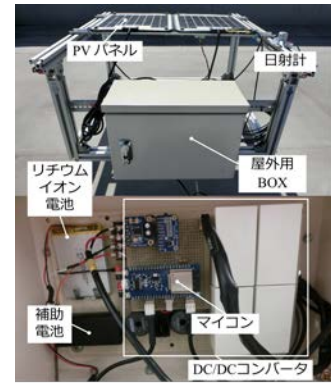


図8 試作した無線通信計測システム

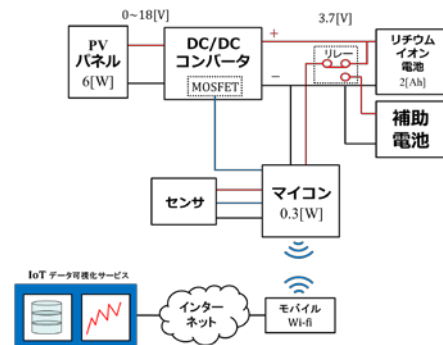


図9 計測システムの構成図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 A. Kurniawan, E. Shintaku	4. 巻 10
2. 論文標題 Estimation of the Monthly Global, Direct, and Diffuse Solar Radiation in Japan Using Artificial Neural Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Machine Learning and Computing	6. 最初と最後の頁 253-258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18178/ijmlc.2020.10.2.928	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Adi Kurniawan, Eiji Shintaku	4. 巻 10
2. 論文標題 Determining the Optimal Inclination and Orientation Angles of Solar Panels Installed on Ship	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Renewable Energy Research	6. 最初と最後の頁 45-53
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Adi Kurniawan, Eiji Shintaku	4. 巻 56
2. 論文標題 A Neural Network-Based Rapid Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Systems in Partial Shading Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Solar Energy	6. 最初と最後の頁 157-167
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3103/S0003701X20030068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新宅英司
2. 発表標題 高分子圧電材料による波浪衝撃力計測に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------