

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 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：2013～2015

課題番号：25420867

研究課題名(和文) 船舶機器の故障・劣化情報を収集する計測診断システムに関する研究

研究課題名(英文) Study on measurement and diagnostic system to collect failure and degradation information of auxiliary equipment system for marine engine

研究代表者

新宅 英司 (Shintaku, Eiji)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50263728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：圧電材料を用いた変動ひずみセンサを使用して振動計測等を行い、船用機関補機システムの故障・劣化情報を収集する計測診断システムを開発した。また、船用機関システムの構成を分析し、計測装置による情報収集に援用するために、主要な機器システムのシミュレーションモデルを開発した。最終的に、造船所における故障不具合の発生調査結果を基に前述の成果を連携し、信頼性解析手法、および、リスク評価手法を利用した安全管理手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The measurement and diagnostic system to collect breakdown and degradation information of auxiliary equipment system for marine engine was developed by using piezoelectric strain sensor etc. And, it is analyzed the composition of the marine machinery system, the simulation models of the main equipment systems were developed to obtain the information to set up the measuring device. Finally, it proposed a safety management technique using the reliability analysis technique and the risk assessment technique, based on the above-mentioned results and the investigation of failure of marine equipment in a shipyard.

研究分野：船舶海洋工学，計測工学

キーワード：船用機関補機システム 診断システム 圧電変動ひずみセンサ 振動計測 温度補償 信頼性解析 リスク評価

1. 研究開始当初の背景

船舶では、機関室内に設置されている主機や各種機器によって複雑なプラントを形成しており、各種機器の状態を安全に維持する要求は高く、事故や故障による安全性の喪失や、運航停止による経済的損失だけでなく、環境保全の観点からもシステムの合理的な維持管理は重要である。従来から船舶機関室内の各種機器には様々なセンサを設置し、その情報を基にその運転状況を監視し、異常状態が発生するとアラームを発して事故や故障の危機的な状況を回避するように設計されている。一方で以下の問題がある。

(1) 機関室内の主機関については保守管理システムが開発されて維持管理に利用されているが、その他の各種機器(冷却システムや、清浄システム、燃料供給システムなど)の運転状況を全てモニタリングして情報を記録保存することは経済的に困難である。

(2) 従来の保守管理システムは各種機器そのものの運転状況に関する情報はモニタリングしているが、故障・劣化損傷の原因となる恐れのある外部要因(船体構造や機器本体の振動、温度、湿度などの周囲環境、騒音等)は計測していない。

機器の故障、劣化による損失を予防するためには、影響が軽微な段階で、各種機器の発する振動や音響、熱などの予兆を検出する必要があり、前述の監視手法だけでは十分でない。

研究代表者らは構造部材を対象として、ひずみ、変形、計測点での振動・加速度などを計測する実用的な計測装置を開発実績があり、本装置は設置が容易となることを優先し、筐体内にセンサ、信号処理回路、電源を内蔵し、環境発電を用いることで単独で長期間動作することを特長とする。本研究の成果を機関関連機器の診断に応用し、機器の故障や劣化の早期発見に利用することを着想した。

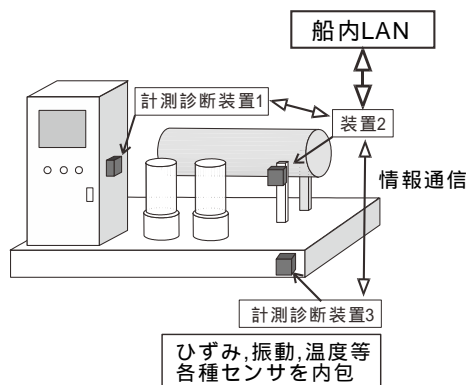


図1 開発システムの構想図

2. 研究の目的

本研究は、船舶の各種機器の制御装置からの運転情報を取得し、各種機器の発する振動や音響、熱、配管のひずみ、腐食など、機器の故障や劣化の予兆を検出し、さらに各種機

器の健全状態を診断する計測装置を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

研究期間は平成25年度から平成27年度の3年間で、以下の項目について実施することを計画した。

- (1) 機関室内各種機器の故障、劣化と計測情報の関連性についての調査の実施
- (2) 機関室内各種機器の設置環境情報を収録する計測装置の開発
- (3) 機関室内各種機器の運転情報と損傷、劣化の予兆情報を基にした機器の診断手法の開発

最後に、研究成果をとりまとめ、目的とする計測診断システムの試作機を完成させ、性能の確認と最終改良を行うことを計画していた。以下に各項目について詳細を述べる。

- (1) 前述の実施内容(1)に関連し、船舶機関室内の機器について、故障発生状況や対処について、文献調査と造船所における聞き取り調査を行った。

具体的には、複数の工場を有する造船所において、一般商船の機関室における不具合、故障事例を調査し、発生場所と症例を調査・集計した。また、これらのデータを基に機関関連機器の機能をシステム工学的に分類し、リスク評価手法を導入して、各機器の重要度の順位付けと故障事例の評価を行い、選定した機器と故障事例について、シミュレーションモデル開発を行い、機器の故障現象の再現と対策法の検証を実施した。

- (2) 次に、実施項目(2)計測装置開発においては、機関室内機器を模擬した清水の加熱冷却装置整備と計測センサの設置、装置の基本特性データ収集のための実験を行った。また、実験結果の検証のために、装置のシミュレーションモデル開発を行った。

また、機器の振動現象、配管等の構造における強度検査のため、圧電材料を用いたひずみセンサ、および、計測システムの開発を実験的に行った。さらに計測結果における温度影響を調査し、温度影響補償方法について検討した。

- (3) 上記(1)、(2)の実施内容を踏まえ、単に局所的な機器の情報を収録する装置開発だけではなく、機関システム全体の安全を考慮したリスク評価手法を取り入れた維持管理手法について研究を行った。

4. 研究成果

研究の結果、以下について成果を得た。

- (1) 機関室内各種機器の故障、劣化に関する調査結果を反映した船舶機関の機能分割とリスク評価手法を導入した維持管理手法の構築

複数の造船工場で過去5年間に建造された

ディーゼル主機関を有する載貨重量 80,000 トン以上の新造一般商船の機関室における故障，不具合事例を調査した．この結果，事例数は主機関，発電機関が多く，燃料供給関連が続く．故障不具合は搭載機器そのものの故障，続いて配管および機器接合部の漏れ，破損が主であった．以上から危害となる火災，主機停止に関連する装置システムの特定と，危害事象についての知見，情報を得ることが出来た．

本研究は機関室関連機器の異常診断を目的とするが，調査の結果から無数にある個別の不具合事例全てに対応可能な汎用技術・装置を開発する事は困難である事を確認した．

そこで，機関システムを図 2 に示すように機能分割して整理，再構成し，FMEA 等の信頼性解析手法，リスク評価手法を導入する事により，安全維持のために優先されるべき機器の重要性を定量化し，研究対象として燃料供給システム，主機海水冷却システム，潤滑油性状維持システムを選定した．これらに対し，情報収集のためのシステムの測定情報の選定や，測定設置場所の選定に利用するため，以降に示すシミュレーション解析モデル開発を行った．

さらに，本研究では，計測機器により異常情報収集を行うだけでなく，図 3 に示すように，設計，建造等の流れも考慮した船舶機関機器の安全管理のフローを提案したことも成果として挙げられる．

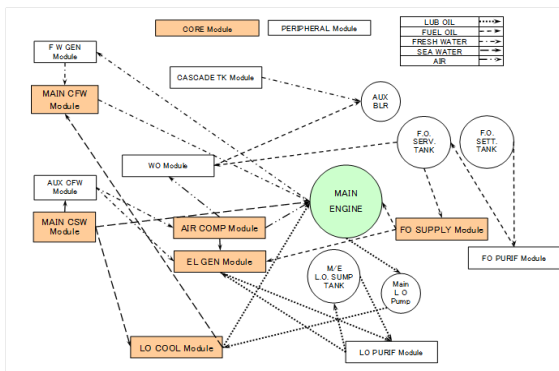


図 2 機関室機器システムの機能分割

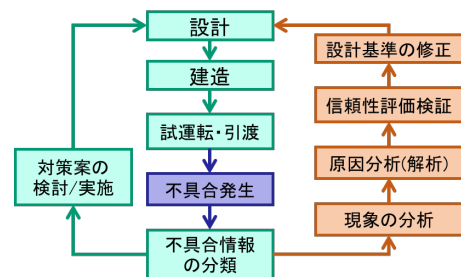


図 3 機関室機器システムの維持管理

(2) 船舶機関システムの安全性確保のための計測システム開発

機関室内各種機器の設置環境情報を収録する計測装置の開発については，オープンソースハードウェアライセンスを利用した計測システムを開発し，加速度，振動，温度，ひずみ等を記録する計測システムの原型を開発した．また，圧電材料を利用した変動ひずみ，振動計測システムにおいて，使用時の周囲環境として影響の大きい気温変化の影響を実験的に調査し，計測結果の補償法について提案した．また，環境影響を受けにくい圧電ひずみセンサを試作した．

また，機関室内機器を模擬した清水の加熱冷却装置整備と計測センサの設置，計測装置の基本特性データ収集のための実験を行った．

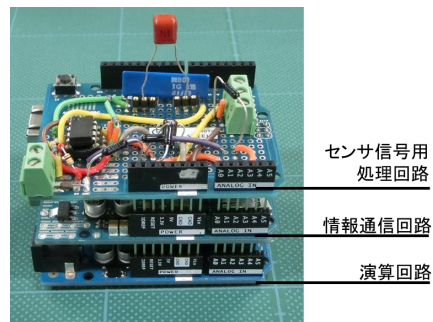


図 4 開発した計測システムの原型

(3) 船舶機関システムの主要機器システムのシミュレーションモデル開発と異常予知への利用

計測システムを効果的に運用するためには，計測対象システムにおいて診断に必要な計測対象情報を選定し，計測システムの設置場所を決定する必要がある．加えて研究成果 (1) の調査結果から，機関室内各種機器の故障，劣化を予防に関連し，計測システムによる予兆現象計測だけでは未然に故障，劣化防止は十分でないことから，事前に補機システム内の故障原因物質の挙動把握を可能にするため，シミュレーションモデル開発を行った．

前述の成果(1)より，燃料油供給システムの管内圧力脈動解析モデル開発，主冷却海水システムの海水循環流動制御モデル開発，主機潤滑油性状維持システムの機器配管およびタンク内の流体内微粒子の流動挙動解析と改善手法の提案を行った．

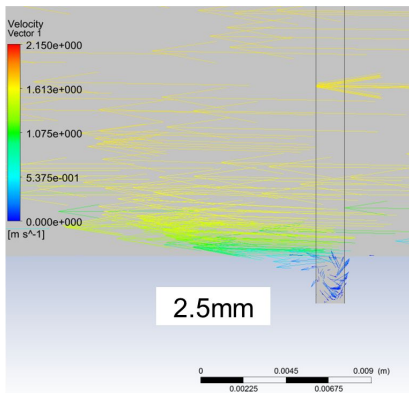
燃料油供給システムの管内圧力脈動解析の結果，表 1 に示すように，対象システムにアキュムレータを設置する等，対策を施す事で FMEA による信頼性指標を安全なレベルに低減可能である事を示した．

表 1 燃料供給システムの安全評価例

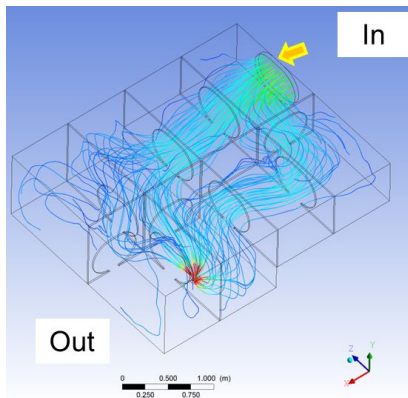
機器名	故障モード	故障原因	故障影響		絶対評価法 (上段：改善前 下段，改善後)				
			局所的影響	機能への影響	深刻度	頻度	潜在性	RI 評価値	
燃料ポンプ	弛緩、脱落	振動過大、 応力過大	油漏れ	低下	流量/圧力	4	2	2	2.52
						4	1	2	2.00

主機関の潤滑油性状維持システムにおいては、故障原因となる潤滑油内の微粒子を除去する必要があるが、清浄性の指標となる微粒子のサイズは $6\mu\text{m}$ および $14\mu\text{m}$ であるため、開発した計測システムで予兆を検出する事は困難である。このため、図5に示すように3次元流体解析により、潤滑油内の微粒子の運動を推定するモデルを構築した。

以上、研究の結果、船用機器システムの安全維持のためのシステムの基本構成を確立することが出来た。



(a) 配管接合部の流動例



(b) タンク内の流動例

図 5 3次元流体解析モデルによる微粒子の流動解析

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 2 件)

1. T. Nishijima, E. Shintaku, et al, Research of reliability enhancement by module division application to ship machinery system design, The 25th (2015) International Ocean and Polar Engineering Conference, 21-27 June 2015, Kona Hawaii U.S.A
2. 藤井 康平, 土生 賢太郎, 新宅 英司, 圧電材料を用いた変動ひずみ計測における温度影響に関する研究, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2015, 2015年8月25日-28日, 青森県弘前市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新宅 英司 (SHINTAKU EIJI)
 広島大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：50263728