

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04957

研究課題名（和文）漁船の健康寿命を守るマルチコプター型 状態監視・診断ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of multi copter type robot based condition diagnosis technology to extend of healthy life expectancy of fishing boat

研究代表者

太田 博光 (Ohta, Hiromitsu)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産大学校・教授

研究者番号：80399641

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：大型船舶に比べメンテナンスが行き届いていない漁船では機関や循環ポンプ等、周辺機械設備の損傷を早期に診断し、健康寿命を守る高精度な状態監視・診断システムが必要である。本研究ではこの様な診断システムを開発し、マルチコプター型の自律無人航空機に搭載することで短時間に複数の船内機械設備の状態監視・診断を自動的に行う機械診断ロボットの開発を行う。具体的には提案する高精度な信号処理手法である「新合成波形分離法」を用いて、高ノイズ環境下においても高いSN比を実現する診断システムを構築している。本装置を機械診断ロボットに搭載する事で、軽量化の実現、高精度かつ高効率な診断を実現する事が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は漁船の健康寿命を守る高精度な診断システムの開発である。開発した本診断システムをマルチコプター型 自律無人航空機に搭載することで短時間に複数の船内機械設備の状態監視・診断を自動的に行うロボットの開発を行うことである。提案する本診断システムを開発することで漁船の健康寿命を守り、高船齢化の傾向が強く表れている我が国の現存漁船の長期利用、低コスト運用の実現に寄与することができる。また漁船に関わらず、老朽化が進んでいる他の船舶や近年、損傷事故が多発している製鉄所、化学プラントの機械設備の診断にも効果的である。

研究成果の概要（英文）：I diagnose the damage of neighboring machinery such as an engine or a circulation pump early, and high-precision state monitoring, diagnosis system protecting healthy life expectancy is necessary for the fishing boat which maintenance is not careful to in comparison with a large ship. I develop such a diagnosis system in this study and develop the machine diagnosis robot performing state monitoring, a diagnosis of in a short time plural inboard machinery in what it is equipped with to the autonomy no person plane of the multi-copter type automatically. Specifically, I build a diagnosis system realizing the SN ratio that is high under the high noise environment using "the newly synthetic wave pattern separation method" that is high-precision technique to signal process to suggest. I was able to realize realization of the lightweighting, the high-precision diagnosis that and was high efficiency by putting this device on a machine diagnosis robot.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：漁船 状態監視・診断 信号処理 新合成波形分離法 機械診断ロボット 健康寿命 マルチコプター 自律無人航空機

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年の厳しい漁業情勢の中、漁船の代船建造は進まず船齢 15 年以上の高船齢漁船での操業を余儀なくされている。そのため機関故障や船体疲労のリスクは年々増加し、修繕に要する費用も増大している。2017 年に閣議決定された水産基本計画の重点課題の 1 つとして「漁船の安全性評価と安全性向上技術の開発」が挙げられている。今後、漁船の機械設備に対する状態監視・診断技術の高精度化はもちろんの事、省人化、自動化によりメンテナンスコストの低減が求められる。過去には水産庁主導の「漁船リニューアル促進技術開発事業」が行われており、現存漁船の安全性向上、低コスト運用に関する技術開発が実施された。本事業の「機関の状態監視・診断に関する技術開発」ではセンサ設置スペースに余裕のある総トン数 200ton 以上の漁船を対象とし、潤滑油、清水、海水、給気、排気等に圧力センサと温度センサを設置したモニター船により状態監視を行っている。課題としてセンサ設置にコストがかさむ点、診断には主効果パラメータを使用しているため異常箇所の同定が困難な点、損傷の根本的原因である潤滑油の性状や潤滑状態を予測することが困難な点である。

2. 研究の目的

本研究の目的は漁船の健康寿命を守る高精度な診断システムの開発である。開発した本診断システムをマルチコプター型自律無人航空機に搭載することで短時間に複数の船内機械設備の状態監視・診断を自動的に行うロボットの開発を行うことである。本研究を達成するための課題が 2 つある。課題 1 回転周波数成分を高効率に抽出するための固有振動数帯の同定、抽出、課題 2 診断システムを搭載したマルチコプター型自律無人航空機の診断対象機械への正確な照準合わせがある。課題 1 の達成には機械の回転周波数成分を励起する固有振動数帯の同定が必要となる。一方、ピストン-シリンダライナ機構や滑り軸受の潤滑油を採取すること無しに簡便に潤滑状態を推定することはこれまで困難であった。研究代表者らはピストン-シリンダ機構の摺動部で発生する超音波振動をパラボラマイクで測定することで機械の健康寿命延長の要である潤滑状態（性状、油膜厚さ）を推定することが可能となっており、本知見を利用する。また課題 2 に関してはマルチコプター型無人航空機を製作し、診断対象機械への正確な照準合わせと自律化に関する研究を進めていく。

3. 研究の方法

最初に漁船の機械要素として損傷の多い転がり軸受、歯車、滑り軸受、ピストン-シリンダ機構を取扱う。損傷が発生した際に回転周波数成分を励起する固有振動数帯の同定を行う。本診断システムは既存法である「パラボラ集音マイクロホンと合成波形分離法」の特長である集音効果と複数の音源同定機能を生かしつつ、回転周波数成分の抽出法である合成波形分離法に新たな信号処理手法を加え、更なる高い診断精度と実用性の向上を実現することである。具体的には回転周波数成分を励起する固有振動数帯の同定、抽出を目指す。提案する信号処理法の考え方は以下である。診断対象の機械要素である転がり軸受の外輪、内輪に人工傷をつけた物を試験機に装着する。損傷転がり軸受から離れた位置にパラボラマイクを設置する。パラボラマイクに装着されたレーザーポインタを利用し、損傷軸受に照準を合わせ効果的な集音を行う。次に試験機を運転させ、スピーカから任意のノイズを加えた環境下でサンプリング周波数 100[kHz]の音響測定を行う。測定された音響時系列データにフーリエ変換を施したものを直接 FFT 値と呼ぶ。直接 FFT 値には転がり軸受の固有振動数帯も含まれている。この直接 FFT で得られた広帯域成分を周波数領域で細分化し、逆フーリエ変換により音響時系列データに再び変換する。この音響時系列データにエンベロープ処理を施し、再度、フーリエ変換によりパワースペクトルを得る。これをエンベロープスペクトルと呼ぶ。このエンベロープスペクトルには細分化された帯域毎の回転周波数成分が強調されている。この帯域毎に現れる回転周波数の 1 次から 3 次成分までの強度和を評価量とする。この強度和が最大となる直接 FFT 値の帯域を最適な固有振動数帯として同定する。最終的に診断のパラメータとして機械の回転数や測定器のアンプゲインの影響を受けない無次元の尖り度値を用いる。同定された帯域の音響時系列データに対して無次元の尖り度値を算出し、損傷程度別に閾値を設定することで診断精度を大幅に向上させる診断システムを構築する。次に本診断システムを無人航空機に搭載し、漁船の機関室を想定した室内での自律航行と診断対象機械に対する正確な照準合わせ法を確立し、有効性を検証する。漁船の機関室内での使用を前提としているため GPS(Global Positioning System)による誘導は困難かつ精度不足である。今回、精度の良い位置情報を得るためのツールとして簡易マーカーの使用を予定している。壁面に簡易マーカーを貼り、無人航空機に搭載されたカメラから、そのマーカーが指示する情報を受け取り、飛行制御に利用する。具体的には無人航空機が各簡易マーカーの位置で行うべき動作を決めておく。例えば上昇、水平移動、左右旋回、音響測定、着陸等、各マーカーを実験空間の適切な場所に貼付け、

その位置で指定された動作を行う。音響測定時にはパラボラマイクの焦点が合う正確な位置に簡易マーカーを貼ることで本無人航空機を誘導し、精度の良い位置情報を得る事ができる。音響測定終了後、本無人航空機はプログラムされた定点に着陸する。音響データは搭載されている WiFi 送信機で地上のノートパソコンに送信され、診断プログラムによりリアルタイムで診断が行われる。本無人航空機はマルチコプター型であるため、プロペラブレードによる空力音が発生し、パラボラマイクに到達する。これらノイズは合成波形分離法により除去可能である。またプロペラブレードと診断対象機械の回転周波数が近接している場合でも、ズーム FFT 注*3 により周波数分解能を向上させることで分離、除去が可能である。最終年は研究代表者の所属する水産大学の漁業調査練習船 耕洋丸(排水量 2352 トン)の機関室内を利用して本診断システムの有効性と実用性を実証する。

4. 研究成果

大型船舶に比べメンテナンスが行き届いていない漁船では機関や循環ポンプ等、周辺機械設備の損傷を早期に診断し、健康寿命を守る高精度な状態監視・診断システムが必要である。本研究ではこの様な診断システムを開発することを目的とする。さらに開発した診断システムをマルチコプター型の自律無人航空機に搭載することで短時間に複数の船内機械設備の状態監視・診断を自動的に行う機械診断ロボットの開発を行う。今回、提案する新たな信号処理手法を用いることで大幅な診断精度と実用性の向上を実現する。さらに本診断システムを搭載したマルチコプター型 自律無人航空機を状態監視・診断ロボットとすることで機関室等での診断業務の高精度化、省人化、自動化、短時間化を実現する。本年度は機械診断ロボットに搭載する診断システムの高精度化および高効率化を実施した。具体的には提案する高精度な信号処理手法である「新合成波形分離法」を用いて、高ノイズ環境下においても高い SN 比(Signal to Noise Ratio)を実現することの可能な診断システムを構築している。さらに本診断システム用に携帯型パラボラ集音装置の開発を行った。開発された携帯型パラボラ集音装置は軽量、コンパクトであり、任意のサンプリング周波数、サンプリング時間を選択可能である。本装置を機械診断ロボットに搭載する事で、軽量化の実現、高精度かつ高効率な診断を実現する事が可能となった。

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 0件）

1. 著者名 太田博光, 高田寛大, 福井良輔, 長橋尚也, 山田雄太	4. 巻 No.70, Vol.2
2. 論文標題 滑り軸受に発生する自励振動オイルホワールの振動特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 水産大学校研究報告	6. 最初と最後の頁 45-54
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田博光, 福井良輔, 長橋尚也, 山田雄太, 高田寛大	4. 巻 Vol. 31, No.4
2. 論文標題 り軸受に発生する自励振動オイルホワールの振動・潤滑油解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本設備管理学会誌	6. 最初と最後の頁 42-47
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 太田博光, 山田雄太, 長橋尚也, 福井良輔, 高田寛大	4. 巻 Vol.31, No.4
2. 論文標題 パラボラ集音マイクロホンと合成波形分離法の高精度診断のための無次元兆候パラメータ尖り度の閾値解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本設備管理学会誌	6. 最初と最後の頁 48-55
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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 太田博光
2. 発表標題 マルチコプター型 機械診断ロボットの開発
3. 学会等名 2021年度 日本設備管理学会 春季発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田寛大, 太田博光
2. 発表標題 High precision condition monitoring and diagnosis method for rolling bearing based on a parabolic sound reflector type microphone
3. 学会等名 26th Joint International Symposium Between National Fisheries University and Pukyong National University (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田寛大, 太田博光
2. 発表標題 低速転がり軸受の高精度診断法
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門主催 第19回 評価・診断に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大森未来, 太田博光
2. 発表標題 Condition monitoring and diagnosis method for fishery machinery by acoustic signals
3. 学会等名 The 7th Joint International Symposium Between National Fisheries University and Shanghai Ocean University (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長橋尚也, 太田博光, 福井良輔, 山田雄太, 高田寛大, 田村 賢
2. 発表標題 滑り軸受に発生する自励振動オイルホワールの振動・潤滑油解析 -ロータにアンバランスが発生した際の振動特性-
3. 学会等名 日本機械学会 中四国支部 第58期 総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長橋尚也, 高田寛大, 太田博光, 福井良輔, 山田雄太, 田村 賢, 椎木友朗
2. 発表標題 滑り軸受に発生する自励振動オイルホワールの振動特性 ~ ロータにアンバランスが発生した際の振動特性 ~
3. 学会等名 2020年度 日本設備管理学会 春季研究発表大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田博光, 長橋尚也
2. 発表標題 IoT, AIを使った回転機械の異常予知, 故障予知のポイント
3. 学会等名 振動・音響に基づく回転機械の状態監視技術と故障予知への活用, 技術情報協会主査セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長橋尚也, 高田寛大, 太田博光, 田村 賢
2. 発表標題 滑り軸受に発生する自励振動オイルホワールの振動特性
3. 学会等名 2020年度 日本設備管理学会 秋季研究発表大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田博光, 長橋尚也, 高田寛大
2. 発表標題 IoTを使った回転機械の高精度診断法の紹介
3. 学会等名 CAE利用技術研究会2020
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hiromitsu Ohta, Naoya Nagahashi, Tomohiro Takada	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 869
3. 書名 Advances in Asset Management and Condition Monitoring	

〔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
---------	---------