

機関番号：85502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560752

研究課題名（和文）超音波振動による漁船機関に最適な次世代型状態監視システムの開発

研究課題名（英文）Development of an optimized new generation condition monitoring system for reciprocal fishing vessel engine based on ultrasonic vibration analysis.

研究代表者

太田 博光 (HIROMITSU OHTA)

独立行政法人 水産大学校 海洋機械工学科・准教授

研究者番号：80399641

研究成果の概要（和文）：

メンテナンスが行き届いていない漁船機関を対象とした次世代型の状態監視システムの開発を行っている。具体的には運転中に漁船機関から発する超音波振動を非接触状態にて計測し潤滑状態の推定さらに得られた低周波振動を基に機関に高負荷が作用する危険なトルクリッチ状態を容易かつ高精度に推定するシステムの開発を行っている。成果として潤滑状態とその際に発生する超音波振動の帯域、強度の定量化を行った。さらに線形自己回帰モデル1種であるARXモデル(Auto Regressive Model with Extra Input Model)を4並列に拡張した異常成分抽出法を提案し、実機である船舶用船外機に適用し危険なトルクリッチを早期かつ高精度に検出している。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is development of an optimized new generation condition monitoring system for reciprocal fishing vessel engine which is not generally well kept at cost and man power associated with maintenance. In, particular, the construction on the estimation method of lubricated and critical torque rich conditions within fishing vessel engine is carried out by measuring generated ultrasonic vibration signal in operation. As merit of the proposed condition monitoring system, is able to monitor the symptom of the initial fault of fishing vessel engine, lubricated and critical torque rich conditions are closely related with the initial faults and performance of the reciprocal engine. Further, the monitoring system is able to monitor from the middle fault forth by analyzing obtained audio frequency band vibration and sound generated from the reciprocal engine too. The identification method of fault conditions is based on paralleled ARX model (Auto Regressive with Extra Input) at condition monitoring locations within the engine. It is possible to diagnose above fault condition by the improve SN ratio.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	2,600,000	780,000	3,380,000
21年度	400,000	120,000	520,000
22年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：状態監視・診断技術

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海上安全, 船舶工学, 超音波振動, 漁船機関, 状態監視, 潤滑油, 線形自己回帰モデル, トルクリッチ

1. 研究開始当初の背景

近年、船用機関損傷事故の約7割は5トン未満の漁船に集中している。漁船機関損傷事故の1次的要因において最多を占めているのは潤滑油性状の劣化および量不足である。また漁船の機関損傷発生時の負荷状態では機関最大出力の75%以上の高負荷いわゆるトルクリッチ状態が全体の約6割を占めている背景がある。

2. 研究の目的

本研究はコスト的にもマンパワー的にもメンテナンスが十分に行き届いていない漁船用レシプロ機関を対象とした状態監視システムの開発を目的としている。特に故障原因除去型保全(プロアクティブ保全)に立脚しており状態監視上重要な潤滑状態および高負荷状態であるトルクリッチを簡便かつ確実に推定可能な次世代型状態監視システムである。既存漁船に本状態監視システムを導入することにより適切なメンテナンス時期の決定、また運転条件を修正し機関負荷を低減することで燃料消費量の改善、船体抵抗の予測、機関燃焼状態を良好に保てるためCO₂削減にも期待でき環境に優しく、かつ無駄を省いた省エネ・省人・省力型漁船に転換することが可能となり収益性改善の一助となることで安全・安心な漁業経営の実現が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 平成20年度は漁船機関の初期異常の兆候検出および異常が進展した場合の特徴定量化を試みている。初期異常の兆候検出では潤滑油性状劣化に関連ある高周波数成分の検出と定量化を行っている。また機関損傷の状態監視では機関の駆動に関連している低周波成分の特徴抽出を試みている。手法としてAE(Acoustic Emission)センサを設置した実機4サイクルガソリン機関を用い、粘度の異なる数種類の潤滑油に金属粉を混入させ潤滑油の劣化(汚損)を区別させている。次に運転時に発生する超音波振動から潤滑油劣化の程度と周波数領域の特徴を対応させ定量化を図る。一方、機関損傷の状態監視では機関の排気バルブの「あたり不良」検出を想定している。マイクロホンにて駆動音を測定し、線形自己回帰モデルに基づくSN比向上手法に検出感度を向上させる。

(2) 平成21年度は対象の検出精度向上を目指している。レシプロ機関のようにノイズ源が多く発生する周波数帯が重なると状態監

視対象信号の同定は困難となり異常に関連する信号成分のみを効率的に抽出するSN比向上手法が重要となる。本研究では機械設備の状態監視対象部位に近接する2点間で得られた振動、音響信号を用いて、その相互相関性の高さからノイズ成分を除去する手法とシステム同定手法のパラメトリックモデルの1つであるARXモデル(Auto Regressive Model with Extra Input)を並列に組合せた性質を用い異常信号を効率よく抽出する手法を提案している。潤滑状態の状態監視では機関のピストン-シリンダライナ摺動面での劣化や粘度低下による油膜厚さ減少が原因で摺動面同士の直接接合が生じ、その結果、超音波振動が発生する。基礎的段階としてピストン-シリンダライナ型往復摺動摩擦試験機を使用して潤滑油の種類と粘度(油温)を変化させた状態での超音波振動の測定を実施している。採取した潤滑油性状の分析を行い超音波振動の強度との相関を解析する。

(3) 平成22年度は潤滑油状態の推定では漁船レシプロ機関に多数使用されている鉱物系エンジンオイルの特徴定量化を試みる。具体的には実験室のピストン-シリンダライナ型往復摺動摩擦試験機を使用して鉱物系エンジンオイルの性状と、その際に発生する超音波振動の帯域と強度に関する解析を行なう。次に実機である動力計付き4サイクル2気筒エンジンを駆動させ摩擦試験機による基礎実験で得られたデータの検証を行い本推定法の有効性を検討する。一方、漁船エンジンに高負荷が作用する危険なトルクリッチの検出法に関しては昨年度、提案した線形自己回帰モデルのARXモデル(Auto Regressive Model with Extra Input Model)の性質を利用した異常成分抽出法を船舶用船外機に適用し、トルクリッチ検出に関する有効性検証を行いその有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) 平成20年度

構造がより複雑な4ストローク2気筒エンジンを状態監視の対象としている。想定する異常状態として、ロッカーアームを駆動するプッシュロッドのあたり不良である。実機のプッシュロッドを曲げ人為的にあたり不良を作り出している。SN比向上手法として自己回帰モデル(Auto Regressive model, 以下ARモデルと略)に基づくアルゴリズムを用いている。手法を表すブロック線図を図1に示す。具体的には正常時のロッカーアームカバー上近傍に設置されたマイクロホンから得られた時系列音圧データを用いてARモデルをモデリングし、作成されたARモデルに異常時の信号を入力することで得られる残差成分および予測出力信号の統計的性質を評価することでモデリングの妥当性と高いSN比を達成し高精度な状態監視を実現している。

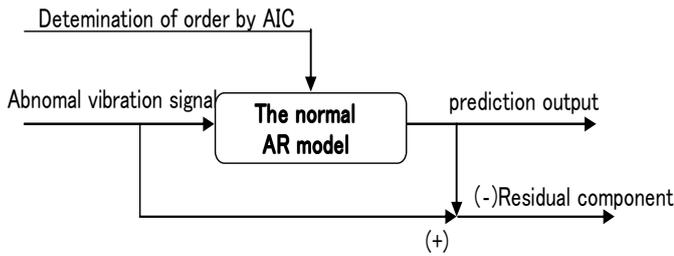


図1 SN比向上のためのブロック線図

(2) 平成 21 年度

構造の複雑なレシプロエンジンの状態監視ではノイズ源の数が飛躍的に多くなるため発生する周波数帯が重なるため状態監視対象信号の同定は困難となる。本研究では機械設備の状態監視対象部位に近接する2点間で得られた振動、音響信号を用いて、その相互相関性の高さからノイズ成分を除去する手法および線形自己回帰モデルの1種であるARXモデル(Auto Regressive Model with Extra Input)を4並列に組合せた性質を用いた変動成分抽出アルゴリズムを提案している。図2は提案手法適用前の吸気・排気弁近傍で得られたスペクトル図である。図3は適用後のものである。適用前ではエンジンで発生する多数の駆動関連周波数成分とその高調波が発生し、異常の生じた周波数成分の同定は困難であるが提案手法適用後では吸気・排気弁動作関連周波数成分のみが卓越しており判別は容易であることが分かる。

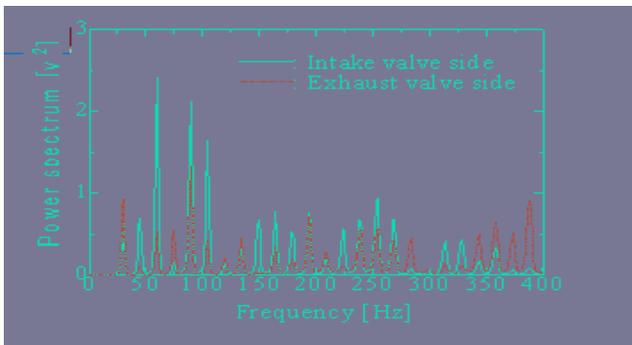


図2 提案手法適用前の吸気・排気弁動作関連スペクトル

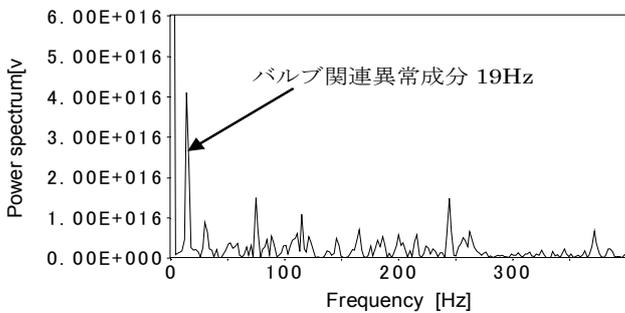


図3 提案手法適用後の吸気・排気弁動作関連スペクトル

(3) 平成 22 年度

潤滑油状態の推定では漁船レシプロエンジンに多数使用されている鉱物系エンジンオイルの特徴定量化を試みた。具体的には実験室のピストン-シリンダライナ型往復摺動摩擦試験機を使用してディーゼルエンジンオイルの性状と、その際に発生する超音波振動の帯域と強度に関する解析を行なう。潤滑油はフェログラフィー法, SOAP 法などにより性状分析を行なうことでピストン-シリンダライナ間に作用する応力と油膜厚さ, 潤滑油性状とそれに発生する超音波振動の帯域, 強度を定量化し潤滑状態と作用する負荷など運転状態を推定するための基礎データを得ている。

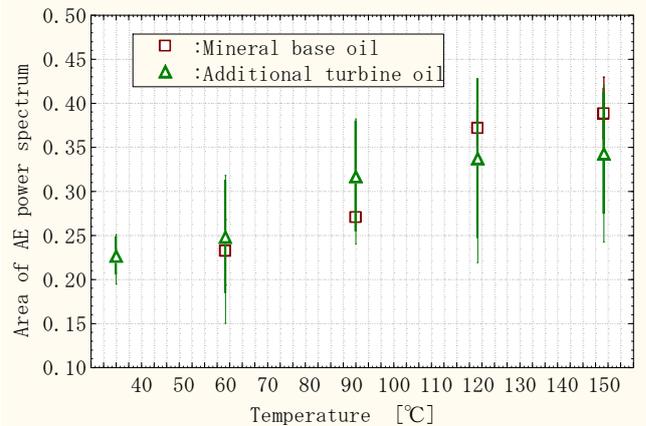
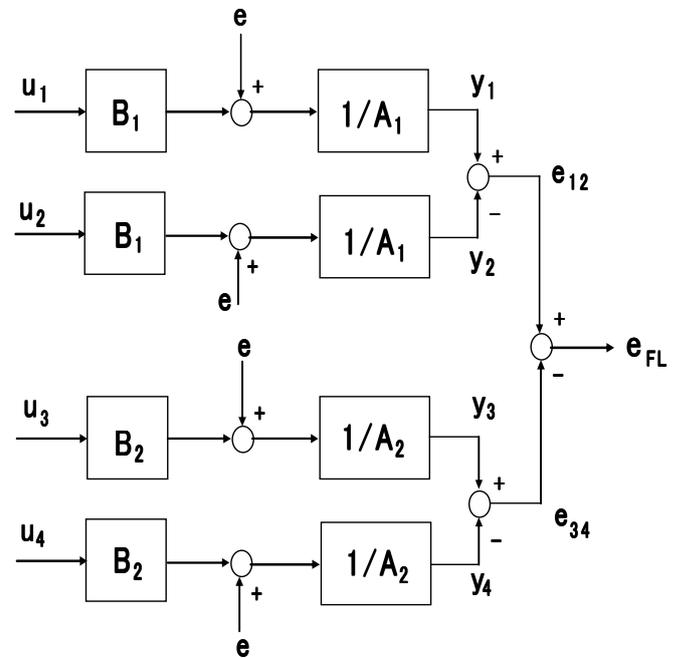


図4 油温度とピストン-シリンダライナ摺動部間で発生する超音波エネルギー



$u_{1,2,3,4}$: 入力信号, $A_{1,2}, B_{1,2}$: フィルタ係数, e_{FL} : 抽出された異常信号

図5 並列型 ARX モデルに基づいた異常成分抽出ブロック線図

図4はピストン-シリンダライナ摺動部間で発生する超音波エネルギー量と油温度を示している。油温度が上昇するに連れて油膜厚さが薄くなるため金属接触が増加し、発生する超音波エネルギーも増加する傾向が現れている。漁船エンジンに高負荷が作用する危険なトルクリッチの検出法に関しては図5に示す並列型 ARX モデル (Auto Regressive Model with Extra Input Model) の性質を利用した異常成分抽出法を提案し船舶用船外機 (4 サイクル 2 気筒エンジン (排気量 650cc)) に適用し、トルクリッチ検出に関する検証を行い、その有効性と実用性を証明している。

研究期間3年間で行った内容は企業との共同研究の内容とも関連しているため一部、本研究報告書に記述していない内容もあるがこれは平成23年度に本状態監視システムに関する特許出願を共同で予定しているためである事を記す。

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8件)

- ① Hiromitsu OHTA, Dynamic Characteristic Analysis in the Abnormal Condition on Piston Crank Mechanism for Small Fishing Boat Engines, JSME12 th Asia Pacific Vibration Conference, 査読無, 2008, pp.124-130.
- ② Hiromitsu OHTA, Terunori AIKAWA and MINORU Tuda, DIAGNOSIS OF ABNORMAL CONDITIONS ON A SINGLE CYLINDER RECIPROCAL ENGINE BY GENERATED VIBRATION AND ACOUSTICAL SIGNALS, Third World Congress on Engineering Asset Management and Intelligent Maintenance Systems Conference(WCEAM-IMS2008), Springer-Verlag London Limited, 査読有, 2008, pp.1215-1221.
- ③ Hiromitsu OHTA, Terunori AIKAWA, DIAGNOSIS OF ABNORMAL CONDITION ON TWIN CYLINDER RECIPROCAL ENGINE BY VIBRATIONAL SIGNAL, 22nd International Congress Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM2009), 査読有, 2009, pp.158-163.
- ④ 太田 博光, 相川 照規, 近接2点信号間の相互相関性と並列型 ARX モデルの性質に着目したレシプロエンジンの異常信号成分抽出法, 日本設備管理学会誌, 査読有, Vol. 23, No. 3, 2009, pp. 105-112.
- ⑤ Hiromitsu OHTA, Terunori AIKAWA, Extraction Method of Failure Component on Vibration and Acoustic Signals Generated by a

Reciprocal Engine Based on Cross Correlation of Close Two Point Signals and Characteristic of Paralleled Auto Regressive Model with Extra Input, 23rd International Congress Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM2010), 査読有, 2010, pp. 333-340.

- ⑥ 太田博光, 笹田敬司, 中村誠, Non-Destructive Evaluation Method about the Texture of Puffers Meats on Its Response, 23rd International Congress Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM 2010), 査読有, 2010, pp. 377-380.
- ⑦ Hiromitsu OHTA, T.I.Khan, Kenbu TERAMOTO, Position Monitoring Sensor by Using Rotating Magnetic Field, 23rd International Congress Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM 2010), 査読有, 2010, pp.685- 694.
- ⑧ 太田博光, レシプロ機関の状態監視におけるノイズキャンセル技術, 日本工業出版社 検査技術, 査読無, Vol.16, No.2, 2010, pp.6-11.

[学会発表] (計15件)

- ① 太田博光, 振動音響情報による単気筒レシプロエンジンの異常状態推定, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門講演会 Dynamics & Design Conference2008, 2008, 東京都.
- ② 太田博光, 相川照規, 津田 稔, 振動情報による2気筒レシプロエンジンの異常状態推定, 日本設備管理学会 平成20年度創立20周年記念大会, 2008, 横浜市.
- ③ 太田博光, 相川照規, 津田 稔, 振動情報による2気筒レシプロエンジンの異常状態推定, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門主催 第7回 評価・診断に関するシンポジウム, 2008, 埼玉県.
- ④ 太田博光, システム同定手法によるレシプロエンジンの異常診断, 平成20年度 第4回 最新設備診断技術の実用性に関する研究会, 2008, 北九州市.
- ⑤ 相川照規, 太田博光, 津田 稔, システム同定手法に基づくレシプロエンジンの状態監視手法, 日本設備管理学会 平成21年度春季研究発表大会, 2009, 東京都.
- ⑥ 太田博光, 相川 照規, 自己回帰モデルの性質に着目したレシプロエンジンの異常信号成分抽出法, 日本設備管理学会 平成21年度 秋季研究発表大会, 2009, 秋田市.
- ⑦ 相川照規, 太田博光, 近接2点信号間の相互相関性と並列型 ARX モデルの性質に着目したレシプロエンジンの異常信号成分抽出法, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 主催 第8回 評価・診断に関するシンポジウム, 2009, 金沢市.

- ⑧ 太田博光, レシプロ機関に適した状態監視技術の高精度化手法について, 日本設備管理学会 平成 21 年度 第 4 回 最新設備診断技術の実用性に関する研究会, 2010, 北九州市.
- ⑨ 太田博光, 設備診断技術に関する Question and Answer, 日本設備管理学会 平成 22 年度 第 1 回 「最新設備診断技術の実用性に関する研究会」, 2010, 東京都.
- ⑩ 太田博光, 最新設備診断技術の実用性に関する研究会 —平成 21 年度活動報告—, 日本設備管理学会 平成 22 年度 第 1 回 「最新設備診断技術の実用性に関する研究会」, 2010, 東京都.
- ⑪ 笹田敬司, 太田博光, 相川照規, レシプロエンジンの機械要素に関する状態監視技術の高精度化, 日本設備管理学会 平成 22 年度 春季研究発表大会, 2010, 東京都.
- ⑫ 太田博光, 津田 稔, 笹田敬司, シリンダヘッド振動加速度を用いた船用ディーゼルエンジンの簡便な状態監視手法, 日本設備管理学会 平成 22 年度秋季研究発表大会, 2010, 金沢市.
- ⑬ 笹田敬司, 太田博光, 並列型自己回帰モデルの性質に着目した船外機の状態監視手法, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 主催 第 9 回 評価・診断に関するシンポジウム, 2010, 高松市.
- ⑭ 太田博光, レシプロエンジンの状態監視のためのノイズキャンセル技術, 財団法人やまぐち産業振興財団 やまぐち事業化支援・連携コーディネート会議, 2010, 山口市.
- ⑮ 太田博光, 笹田敬司, 2010 年度に実施した設備診断技術に関する研究テーマの紹介, 日本設備管理学会 平成 22 年度 第 4 回 「最新設備診断技術の実用性に関する研究会」, 2011, 北九州市.

[図書] (計 1 件)

- ① 陳山 鵬, 太田博光, 設備保全・診断技術の理論と実践 (2) 特集号巻頭言, Vol. 23, No. 3, 2009, pp. 1-2.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 博光 (OHTA HIROMITSU)
独立行政法人 水産大学校 海洋機械工学科・准教授
研究者番号：80399641

(2) 研究分担者

なし ()
研究者番号：

(3) 連携研究者

津田 稔 (TUDA MINORU)

独立行政法人 水産大学校 海洋機械工学科・准教授
研究者番号：00399643