

令和元年6月4日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06904

研究課題名(和文) 先進的体感型機関シミュレータを用いた故障検知能力の向上に関する研究

研究課題名(英文) The Study on approach using advanced advanced sensory marine engine room simulator

研究代表者

井川 博雅 (IKEA, HIROMASA)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号：20184377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、これまで開発してきた体感型機関シミュレータをさらに発展させ、これを用いて故障検知能力の向上を図るものである。まず模擬聴音棒を開発するために正常および異常軸受の聴音棒を介した振動・音響を計測・解析し、異常軸受では正常軸受には見られない損傷周波数が確認できた。次に、市販の骨伝導イヤホンの振動子を使用して模擬聴音棒を製作し、上記にて得られた振動データを再生して同様の解析をした。解析結果から、振動・音響ともに非常に振幅が小さく、損傷周波数を確認できないケースも多く見られた。併行して、既存の機関室シミュレータに機能追加を施して、上記振動データにて模擬聴音棒を駆動できる準備を整えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、意図的に異常を模した軸受の聴音棒を介した振動とタミーヘッドを用いた音響のデータを得ることができた。また、これらのデータが正常軸受には見られない損傷周波数を含んでおり、先進的体感シミュレータ用のデータとして使用可能なことが確認できた。後者のデータは世界的にも類を見ないものであると考えている。模擬聴音棒は開発半ばではあるが、完成すればこれを組み込んだ先進的体感型シミュレータを用いて、多くの若手機関士の故障検知能力の向上が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study relates to utilization of the advanced sensory marine engine room simulator for the purpose of realizing the improvement in ability for engineers to discovery early trouble. First, we measured vibration and sound of normal or abnormal bearing through the listening-rod to develop the imitation listening rod and analyzed them. And we found out the damage frequency at the abnormal bearing which isn't seen could be confirmed. Next, we manufactured the imitation listening rod using the oscillator for the bone conduction earphone of the marketing. A similar analysis using this indicate that amplitude of vibration and sound is smaller and some signal don't have the damage frequency. In parallel, we added functions to existing engine room simulator, for above obtained vibrations driving an imitation listening rod.

研究分野：工学

キーワード：機関管理 先進的体感型シミュレータ 聴音棒 異常診断

1. 研究開始当初の背景

シミュレータは船員の教育・訓練の分野に現れた新しい手法であり、2010年に採択、2012年に発行され、2017年からの完全施行が予定されているSTWC条約の改正により、今後その重要性がますます高まっていた。ここで言うシミュレータとは、計算機などで船舶の航行や船用機器の状態量や動作を計算して、その計算結果をプロジェクタに映像を、機器・パネル等に指示値やランプを表示させることで船舶運航状態を模擬できる装置を指す。機関室シミュレータに関しては、これまでに国際海事機関からシミュレータを用いた教育訓練指針のモデルコースが提唱され、国際会議においてはその開発、教育・訓練手法、活用法が検討されるなどシミュレータを用いた教育・訓練効果の向上は著しいが、その活用法や評価法はまだ確立されていないと言いはれ、我々は機関士の故障検知能力向上のために、これまでに手のひらで配管温度を確認できる模擬配管装置を組込んだ体感型機関シミュレータを開発してきた。

2. 研究の目的

上述のような背景の中で、我々は、機関士が触手法により温度を確認するのは配管部だけでなく、機関室に多く存在するモータやポンプの軸受け部の異常発熱についても同様に触手によって確認していることに注目した。機関士経験者へのインタビュー他によると、これら軸受けの異常発熱に関しては経験的に温度異常を感じた時点で分解整備した際に既に部品の損傷が起きていることも多く、より早期の異常検知が望まれている。本研究では新たな展開として、船舶の機関室に多く存在する電動式ポンプの軸受の早期異常を模擬できる模擬聴音棒を開発し、これを神戸大学海事科学研究科に設置されている船用機関プラントシミュレータ(以下 MEPS)に組み込むことで、聴音棒とこれまでの触手を合わせた情報から機器の早期異常を検知できる先進的体感型機関シミュレータとし、その特長を活かした教育・訓練方法を検討・検証することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究を遂行するためには、以下の2点が重要となる。

(1) 一つ目は模擬聴音棒の開発である。模擬聴音棒は超小型の振動子からなり、通常または異常何れかのポンプ軸受部の振動と音響を作り出すことができる。模擬聴音棒を作成するためには、正常または異常なポンプ軸受の音響および振動が聴音棒を介してどのように聞こえるかを調べるのが非常に重要となる。計測では、軸受部の振動に加えて人間の耳側の情報が重要となり、人間と同じ構造の耳を持つダミーヘッドが必要になる。ダミーヘッドは、軟骨で囲まれた耳道壁面の振動による軟骨伝導領域の放射音成分にも充分適用できるものを導入し、これを用いて、聴音棒を介した軸受の音響および振動を測定した。図1にその計測系の概略を示す。聴音棒の一端は軸受に、他端はダミーヘッドの耳珠に押し当てられる。耳珠側の聴音棒に取り付けられた振動計にて計測された振動信号とダミーヘッド内部に設置されたマイクにて集音された音響信号は、それぞれ専用のアンプにて増幅された後に1ビットレコーダにて録音される。記録されたデータをソフトウェア MATLAB にて周波数分析用し、正常な軸受の振動や音響が内包する周波数成分や異常な軸受の損傷周波数が確認できる事等を確認する。模擬聴音棒を製作し、上記のように計測した正常または異常な軸受の振動データを用いてこれ振動させて、同様の周波数成分や損傷周波数成分等がみられるかを確認する。

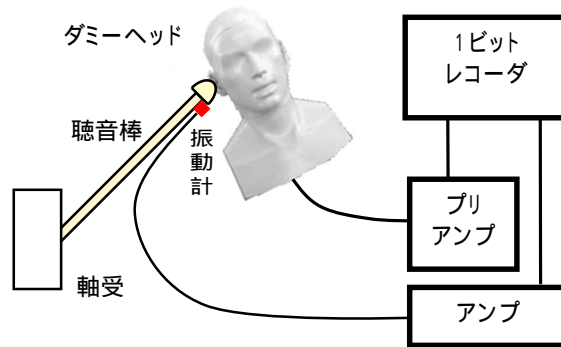


図1 計測システムの概要

(2) つぎに模擬聴音棒を既存の機関室シミュレータに組み込む必要がある。本研究では、MEPSに組み込むこととした。MEPSは、神戸大学海事科学研究科に設置された2ストロークディーゼルエンジンを搭載するコンテナ船を模した、制御室システム、機関室システム、インストラクターシステムと処理PCシステムから成る機関シミュレータである。機関室は、3つのタッチパネルディスプレイからなり、訓練生が触れてコントロールできる各機器やパイプラインをスクリーンに表示することによって実現されている。模擬聴音棒を組み込んだ体感型シミュレータのスクリーンイメージを図2に示す。図中で拡大表示したタッチパネルディスプレイのポンプ付近に、聴音する部位が耳型マーク(赤丸囲み部)で表示されている。模擬聴音棒はMEPSに接続されており、スクリーン上の各ポンプにシミュレータの振動情報を外部出力させる耳型アイコン(ボタン)を付した。訓練生がこの耳型マークを選択してタッチするとその位置のポンプの振動が模擬聴音棒に出力されると共に、そのポンプ軸受の温度情報が調温機を介して模擬軸受に出力される。模擬軸受は、先行研究にて開発した模擬配管装置を流用した。模擬聴音棒が発する振動および音響は、MEPSの機関室を示すスクリーンにて訓練生が選択したポンプのものであり、それが通常か異常かはインストラクターが予め故障しているポンプを選定しておくことによって決定されている。

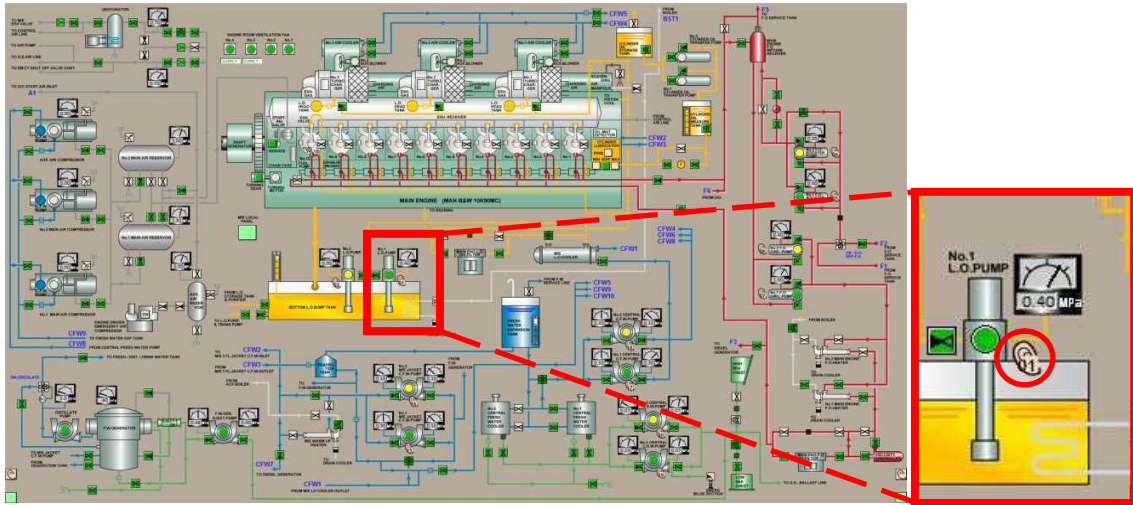


図2 模擬聴音棒を取り入れた体感型シミュレータの概要とスクリーンイメージ。

4. 研究成果

(1) 実船に於ける正常な軸受の振動・音響信号データの周波数分析結果

神戸大学海事科学研究科の練習船深江丸の機関室において、主機が停止して発電機1台のみが稼働している場合に測定した聴音棒の振動・音響の周波数分析結果を図3, 4にそれぞれ示す。サンプリング周波数 44.1kHz, 測定時間 60 秒であり, 図は 1 秒毎のパワースペクトル 60 個を平均した結果を示している。図中, 青線はポンプ停止時, 赤線はポンプ運転時を示す。横軸は周波数(Hz), 縦軸は相対値で表した振幅パワースペクトルである。測定は, 稼働発電機近辺に設置された GS ポンプの軸受付近に聴音棒を当てて行った。図ではわからないが, ポンプ停止時には発電機原動機の燃焼や回転に基づく振動およびその高調波と考えられる周波数にピークが見られる。しかし, これらはポンプ運転時に見られるポンプ回転数に基づく周波数と比べると極めて小さい事がわかる。主機運転時も同様の結果が得られた。これらの結果から, 少なくとも今回のケースでは, 聴音棒の振動及び軟骨伝導を通しての音響は, 軸受以外の影響は極めて小さく, 軸受のみに注目してよいと考えられる。

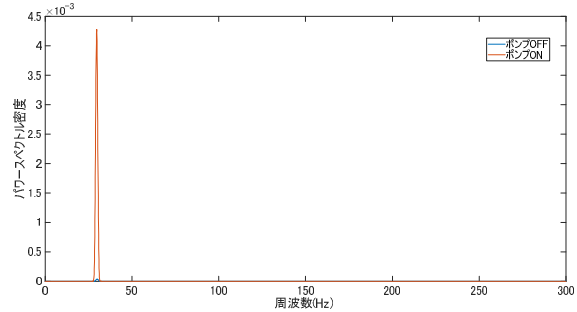


図3 正常軸受の振動分析結果

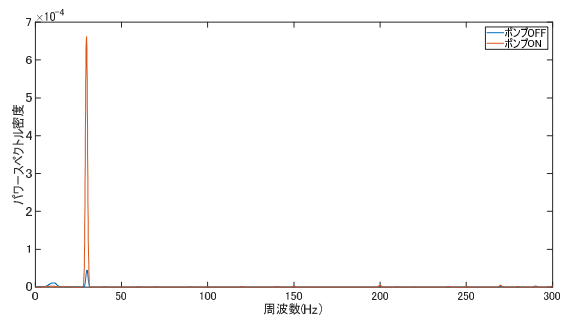


図4 正常軸受の音響分析結果

(2) 異常軸受の振動・音響信号データの周波数分析結果

以下に示す異常軸受を用いた場合の振動・音響信号を正常な軸受のものと比較した。異常な軸受として, 0.05 ~ 0.5mm の隙間を意図的に大きくした6種類の軸受 外輪内側に傷を付けた軸受, 外輪に 1.5mm の孔を開けた軸受を準備し, それぞれの軸受に対して振動・音響信号を計測・記録し, 周波数分析を行った。ここでは, ベアリングの損傷解析に用いられるエンベロープ処理による損傷周波数分析を行った。図5はその一例として上記 (外輪に傷を付けた軸受) と正常軸受を比較した結果である。前者を赤色, 後者を青色で示す。双方の軸受ともに回転に基づく基本周波数 28Hz

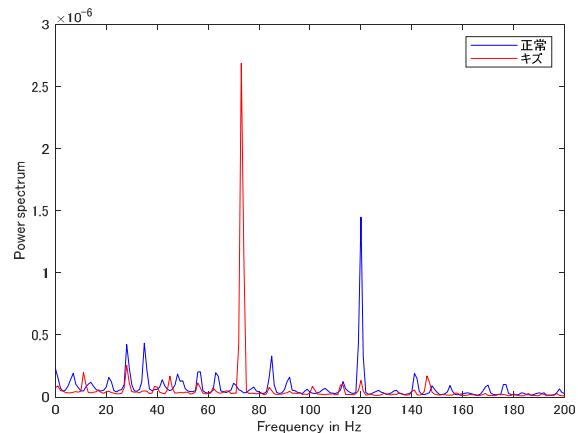


図5 外輪に傷をつけた軸受の振動分析結果

とその高調波成分がピークとして見られる。それに加え、外輪に傷がある場合には正常軸受で見られない強いピークが73Hzに見られる。これはベアリングの外輪に付けられたキズが原因で発生する外輪損傷周波数と一致する。同時にダミーヘッドで計測した音響の分析結果を図6に示す。同様に28Hzとその基本周波数、ならびに外輪周波数においてピークが見られる。

また、上記においてもほぼ同様の結果が得られ、においては隙間が大きくなるほど振幅が増加することに加え、一部には内輪の損傷周波数等も見られた。これらのことから、今回の異常軸受を用いた実験において得られた信号には、損傷軸受特有の成分が含まれていることがわかった。

(3) 模擬聴音棒の製作ならびに振動・音響信号データの周波数分析結果

市販の骨伝導イヤホンに注目し、これに用いられている振動子を用いて模擬聴音棒を製作した。(2)で得られた振動信号データをパーソナルコンピュータにて再生して模擬聴音棒を駆動させ、そのときの模擬聴音棒自体の振動信号とダミーを通じて得られる音響信号を取得して(2)と同様に分析した。得られた振動および音響信号を最大音量で再生して得られた結果は、元の振動・音響に比して極めて振幅の小さいものであり、特に後者では上述のエンベロープ処理による損傷周波数分析においても損傷周波数の明確なピークを見いだせないケースも多く見られた。これは、振動子のパワー不足によるものであると考えている。骨伝導イヤホンを用いた計測も試みたが、大きな改善は見られなかった。改善策としてアンプを介してスピーカーのボイスコイル等で駆動する模擬軸受を製作して実際の聴音棒で聴音することを考えているが、残念ながら予算が尽きた。今後この改善策を実施していく予定である。

(4) 模擬聴音棒のMEPSへの組み込み
3章の(2)で述べたように、上記(2)～(3)の作業と並行して、模擬聴音棒をMEPSに組み込む作業を行った。組み込みにあたっては、MEPSに機能追加を行う必要があり、模擬聴音棒に出力される正常・異常の振動信号および模擬軸受の温度を各ポンプ軸受に設定する方法、インストラクター画面への各ポンプ一覧情報の追加、模擬聴音棒を用いた故障設定の追加他を検討し、(3)で製作した模擬聴音棒を使用してこれらの検討事項が正常に機能していることを確認した。

(5) まとめ

本研究においては、意図的に異常を模した軸受の聴音棒を介した振動とダミーヘッドを用いた音響のデータを得ることができた。特に、後者のデータは世界的にも類を見ないものであると考えている。また、これらのデータが正常軸受には見られない損傷周波数を含んでおり、先進的体感シミュレータ用のデータとして使用可能なことが確認できた。さらに、MEPSに機能追加を施して、これらのデータにより模擬聴音棒を駆動できる準備を整えた。

模擬聴音棒の製作は振動子のパワー不足から振動の振幅が予定していた大きさに達していないが、提示した改善策を今後実施していく所存である。

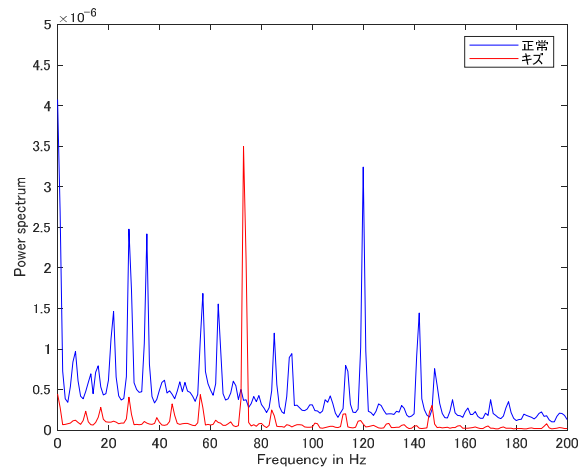


図6 外輪に傷をつけた軸受の音響分析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

井川 博雅、こわさない技術としての聴音棒による異常診断に関する研究(第1報)、第88回(平成30年)マリンエンジニアリング学術講演会、2018

井川 博雅、Conceptual Proposal of Advanced Sensory Marine Engine Room Simulator、International Symposium on Marine Engineering and Technology 2017、2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：機械音測定装置、機械音再生装置、および、体験教育方法
発明者：井川博雅，三輪誠，段智久，伊丹良治

権利者：国立大学法人神戸大学
種類：特願
番号：2017-154182
出願年：2017
国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：三輪 誠
ローマ字氏名：Takashi MIWA
所属研究機関名：神戸大学
部局名：海事科学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：20184377

研究分担者氏名：段 智久
ローマ字氏名：Tomohisa DAN
所属研究機関名：神戸大学
部局名：海事科学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：80314516

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。