

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 18 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：25420188

研究課題名(和文) 振動信号に内在する非線形性に着目したカオス時系列解析による軸受診断

研究課題名(英文) Bearing diagnosis based on chaos time series analysis

研究代表者

関口 泰久 (Sekiguchi, Yasuhisa)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60226644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではカオス時系列解析を用いた転がり軸受の異常診断法について調査した。まず転がり軸受の転動疲労試験を実施し、軸受が正常な状態から、傷が生じ寿命に達するまでの振動および音を測定した。次に得られた時系列データに対し、カオス時系列解析を用いて軸受の異常診断を試みた。その際には最大リアプノフ指数および軌道平行測度を計算し、その変化により診断を実施した。また従来からの診断法である、歪度、尖度、波高率の計算、および周波数分析を行い、本研究での診断結果と比較検討した。その結果としてカオス時系列解析の異常診断への有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The present research investigated bearing diagnoses based on chaos time series analyses. First, rolling fatigue tests were conducted to measure vibration and sound generated by rolling bearings during their lifetime. Then, obtained data were analyzed with chaos time series analyses for the bearing diagnoses. In the diagnoses, the largest Lyapunov exponent analysis and the trajectory parallel measure method were used to identify the change of data. Also, conventional methods, such as skewness, kurtosis, crest factor, and frequency spectra, were calculated for the comparison of diagnosis results. Finally, the effectiveness of chaos time series analyses was confirmed in the bearing diagnoses.

研究分野：機械工学，機械力学

キーワード：異常診断 転がり軸受 カオス時系列解析

1. 研究開始当初の背景

発電所や化学プラントにおいて既に設計寿命を迎えた機器が使用されている。これら老朽化した機器の全面的な交換は、現在の日本では非常に困難である。そのため、機器のメンテナンスおよび診断技術が必要となる。故障を早期に発見し事故を防ぎ、工場の操業停止を未然に防ぐことが求められている。このような工場において軸受は必要不可欠かつ重要な機械要素であり、ひとつの軸受の故障が、工場全体の操業に大きな影響を与えることも少なくない。

従来の異常診断法は、信号の周波数解析結果に基づいている。各異常が発生する特有の周波数成分に着目する方法である。しかしながらこの方法では、故障がある程度進んだ段階になってようやく周波数成分に変化となって生じる。このため故障の初期段階から、定量的な指標となる診断法の確立が求められている。

本研究の主題である転がり軸受に関して、実験にて予め傷をつけた軸受の振動信号を解析し、軸受に傷があると軸受振動のカオス性が変化することを過去の論文で示した。本研究では軸受の全寿命にわたり、振動・音響データをカオス時系列解析し、その変化を捉えることで診断につなげることを目指していた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、転がり軸受が発生する振動や音の情報を用いた異常診断である。データの解析にはカオス時系列解析を用いる。この手法はデータ内に存在する微小な差の検出に優れているため、故障の初期段階での検知を行うことができる。また、軸受に発生する傷の大きさの同定も可能であり、寿命予測にも応用することができる。振動・音という簡便な計測方法を用いることで、故障の初期段階の検知法の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究で実施した転がり軸受の転動疲労試験においては、軸受にラジアル荷重を負荷し、一定の速度で回転させた際の半径方向加速度と、軸受が発生する音を測定した。

図1に試験装置を示す。両端をプランマブロックで支持した主軸の中央に供試軸受(単列深溝玉軸受、呼び番号6006)を設置した。供試軸受にはラジアル荷重(8 kN)を負荷した。振動測定の際の加速度センサーは、供試軸受カバーに取り付けた。主軸回転数は1800 rpmである。

転動疲労試験によって得られた振動信号の変化の一例を図2に示す。この図は軸受の初期の段階から、最終的に寿命に達するまでの振動加速度のrms値を示しており、最終的に寿命に達した際に振動値の急激な変動が見て取れる。また、図3には図2の最終部における時系列波形を示す。試験開始後、約50

時間経過後、総回転数約500万回転後のデータを示している。このあたりの軸受総回転数において、軸受振動値が大きくなり、軸受寿命に達したと考えている。このデータに対し、従来の時系列解析における診断パラメータとして歪度、尖度、波高率を計算した。また周波数分析を実施した。さらに本研究の目的であるカオス時系列解析として最大リアプノフ指数解析および軌道平行測度解析を実施し、診断結果を比較検討した。

実験にて得られたデータのカオス時系列解析の際には、まずアトラクタを描く。その際には、遅れ時間や次元のように、予め決定しておくべきパラメータが存在する。そこで本研究では異常診断に適したパラメータ値を検討し、決定した。

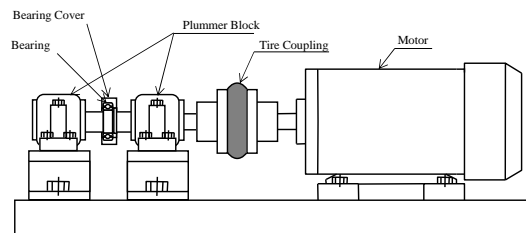


図1 軸受転動疲労試験装置

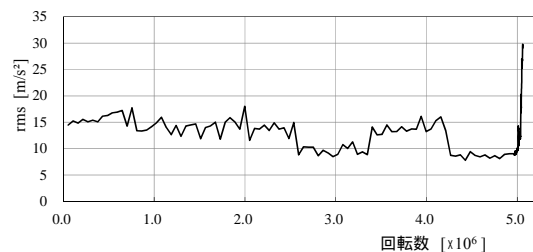


図2 振動 rms 値の変化

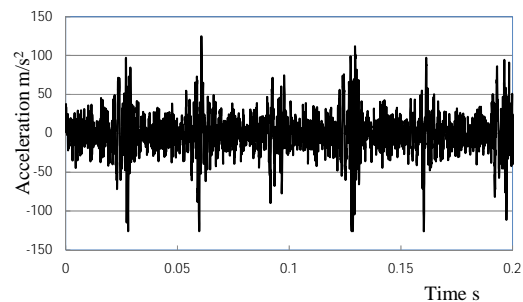


図3 軸受振動の時系列波形

4. 研究成果

以下、転がり軸受の診断に際し、振動の振動加速度値を用いる(1)振動診断と、軸受が発生する騒音値を用いる(2)音響診断に分けて考察する。

(1) 軸受の振動診断の場合

実験結果における従来法による振動診断の一例として、軸受が寿命に達する少し前からの各パラメータの計算結果を示す。図4～6にそれぞれ歪度、尖度、波高率を示す。これは軸受に内輪傷が生じた後、寿命に達した

場合で、それぞれの最終部分のみのデータを示している。

図4および6を見ると、歪度と波高率は、傷が大きくなると一旦計算値が大きくなるが、その後値の変動が大きく、軸受が寿命に達するまでの変化を捉えているとは言いがたい。また図5の尖度は、歪度および波高率と比較すると診断パラメータとして有用であるが、この値も変動が大きい。

次に図7に同データに対するリアプノフ指数解析の結果を示す。実験開始時(正常な軸受)から概ね一定であったリアプノフ指数が、寿命に達する少し前からその値が大きく変化する様子が見られる。この変化は図4~6の歪度、尖度、および波高率とは異なり、総回転数の経過に伴い、概ね一様に変化することがわかる。そのため、異常診断においては、リアプノフ指数の方が、他の計算値より有用であると考えられる。

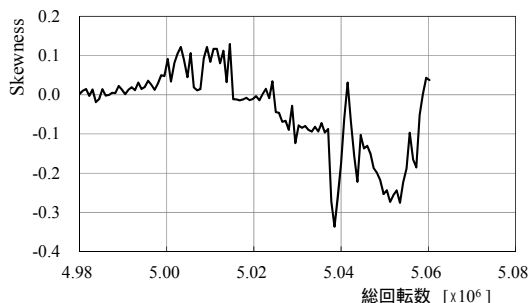


図4 時系列解析結果 歪度

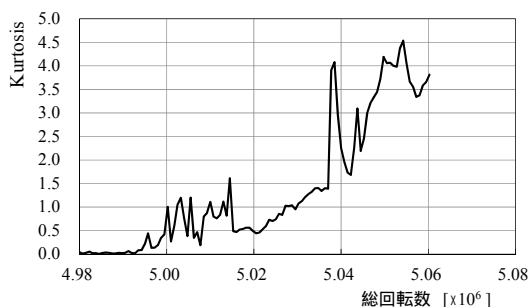


図5 時系列解析結果 尖度

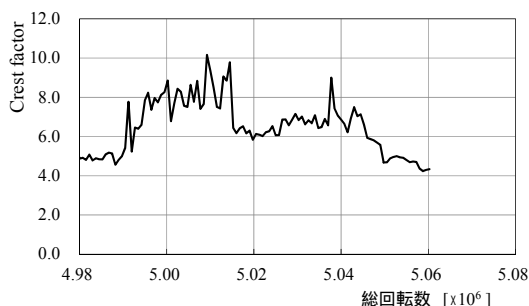


図6 時系列解析結果 波高率

なお、図4~7に示す実験で用いた転がり軸受には、最終的に内輪レース上に傷が生じ、

寿命に達した。その傷の様子を図8に示す。転動疲労によって生じたフレーキングであり、初期の状態から徐々に傷が進展し、図に示すような大きさになったと考えている。

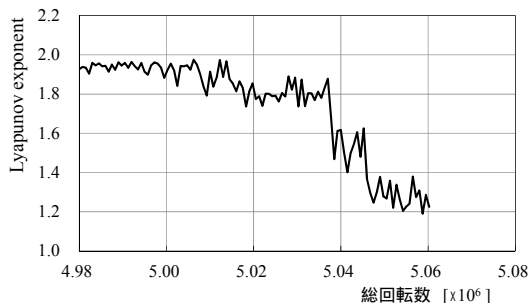


図7 時系列解析結果 リアプノフ指数



図8 内輪傷詳細

(2) 軸受の音響診断の場合

音響診断についても研究計画通りに実施し、振動診断と同様の考察を試みた。しかしながら予想されていた通り振動診断と比較すると実験装置そのものからの雑音などの影響から、測定精度が低く、十分な結果を残せたとはいえない。

さらに当初の計画には含んでいなかったが、振動・音響より高周波の信号となるアコースティックエミッションについてもその採取と解析を試みた。しかし、音響解析と同様、ノイズによる精度低下が大きく、まだ診断に有用であるかどうか、十分な検討ができていない段階である。これらの手法については引き続き研究が必要であると考えている。

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. 山本暁, 松田隆太郎, 関口泰久, 転がり軸受の転動疲労実験における振動解析と異常診断, 日本機械学会中国四国支部第54期講演会, 2016年3月9日, 愛媛大学工学部(愛媛県・松山市).

2. 後藤利哉, 関口泰久, 転動疲労試験における転がり軸受のカオス時系列解析, 日本機械

学会中国四国支部第 53 期講演会，2015 年 3 月 6 日 近畿大学工学部(広島県・東広島市)。

6 . 研究組織

(1)研究代表者

関口 泰久 (SEKIGUCHI YASUHISA)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：6 0 2 2 6 6 4 4