

ボアホーニング機のオイルシール故障 予兆検知システム構築

Development of Predictive Maintenance system for Oil Seal Failure About Bore Honing Machine

下岡 祐介^{*1} 駒田 和史^{*2} 仙石 友彦^{*3}
Yusuke Shimooka Kazuhito Komada Tomohiko Sengoku

*1 エンジン事業部 生産技術部 *2 ITデジタル推進部 *3 品質統括部

1 背景

当社の碧南工場では自動車用、産業車両用のガソリン、ディーゼルエンジンを中心に多種多様なエンジンを生産している。その中で最も生産台数が多いエンジンがA25Aエンジンである(図1)。



図1 A25A-FKSエンジン^[1]
Fig.1 A25A-FKS Engine

このエンジンはToyota New Global Architecture (TNGA) システムに搭載される2.5LのガソリンエンジンでRAV4などの車種に採用されている。当社でも生産負荷の高いエンジン生産ラインであったがさらなる需要の高まりから2023年1月より本エンジンの増産計画が立ち上がり、その対応として稼働時間が延長となった。

稼働時間延長の背反として危惧されるのが保全時間縮小(増産前後比マイナス70%)による生産設備のメンテナンス不足、それに伴う設備故障の増加である。その対策の1つとして実施したのが予兆保全の取り組みである。予兆保全とは予知保全とも呼ばれ、設備の状態をセンサなどで監視し、故障の前兆を捉え設備が故障する前に発報(通知)することを指す。本稿では保全時間縮小対策の一環として実施した2008年製の既設設備への予兆

保全システムの導入について報告する。

2 対象設備の選定

予兆保全システムの導入に先立ち、どの設備に優先してシステムを導入するかという検討を行った。過去3年間の設備故障の履歴を洗い出しそれぞれの設備の故障によるライン停止時間を算出した。また故障の内容をそれぞれ調査し予兆保全システムを導入した際のコスト、実現性、横展開性を考慮し対象設備としてモデル設備4設備を選定した(図2)。モデル4設備の中で故障時間が最も大きかったのがシリンダブロック加工機の1つであるボアホーニング機である。

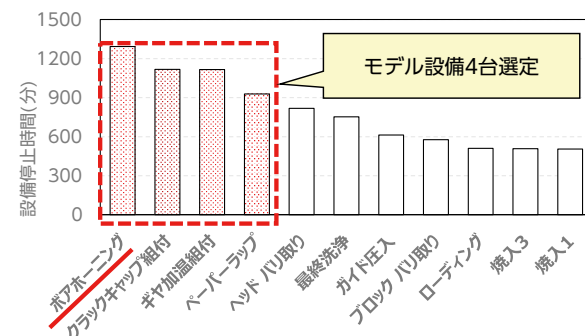


図2 予兆保全モデル設備
Fig.2 Predictive Maintenance Model Equipment

3 ボアホーニングについて

1) ボアホーニングとは

ボアホーニングとはエンジン構成部品のシリンダブロックのボア部(エンジン駆動用のピストンが摺動する部位)の内側部分に施されたクロスハッチ型の加工を指す(図3)。ボア内側はピストンとの摺動部になるため、適切な量の摺動油がボ

ア部に維持されることが要求される。クロスハッチ部に油溜まりを形成することでこの要求を実現するのがホーニング加工である。

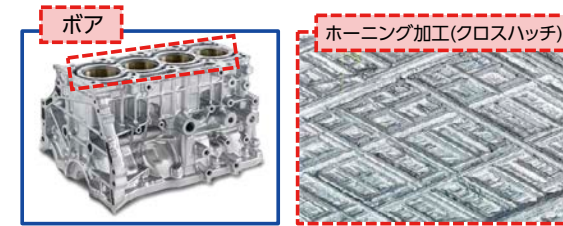


図3 ボアホーニング加工イメージ
Fig.3 Image of Bore Honing Processing

2) ボアホーニング加工方法

ボアホーニング部の加工は図4のような砥石を用い主軸の回転とレシプロ動作(上下動作)、砥石の拡張によって行われる。ボアホーニング加工中はボアの仕上がり径を監視するためエア圧力を用いたサイジングを行い仕上がり径へと加工する。ボアが加工され、ボア内径が大きくなるにつれて砥石先端部から吐出されるエア圧力が低下することを利用してサイジングを行う。主軸回転を伴いながら主軸全体を通じて砥石先端までエア圧力を伝達するために回転部にはオイルシール(以下、O/S)と呼ばれるゴム製の密封装置が用いられる。

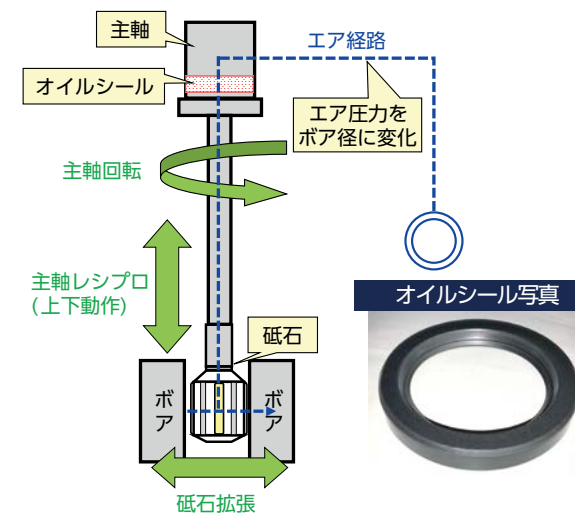


図4 ボアホーニング機加工メカニズム
Fig.4 Bore Honing Processing Mechanism

3) ボアホーニング機で発生していた設備故障

次にボアホーニング機で発生している故障の詳細な層別を行った。この結果を図5に示す。本設備では上述のO/Sの突発破損が多発していた。そこでモデル故障としてO/S破損を選定した。

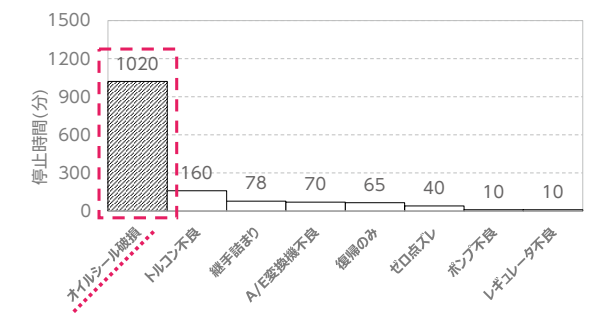


図5 ボアホーニング機モデル故障選定
Fig.5 Selection of Failure Modes

4 O/S故障予兆検知システム

O/S故障の予兆を検知するにあたり、エアサイジングに用いられるエア圧力に着目した。O/Sが破損するとエアがO/Sから漏れエア圧力が低下することに着目しシステム開発を実施した。主軸の1次側にエア圧力センサを追加し、圧力センサのデータをアナログ出力でデータ収集用のPLC (Programmable Logic Controller) へと出力させた。データを取得するタイミング(加工開始、加工完了信号)をホーニング機のPLCから取得しデータは無線アクセスポイント(AP)を介して社内LANにつなぎGAUDIと呼ばれる社内システム兼サーバへと蓄積されるようにシステム構築した(図6)。

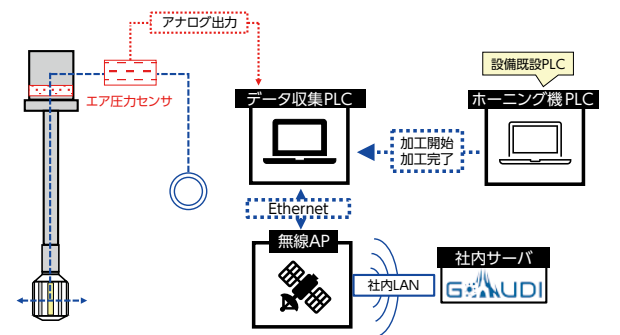


図6 予兆保全システム概要
Fig.6 Overview of Predictive Maintenance System

5 正常データの取得と解析

上述のシステムで取得したO/S正常時のエア圧力の時間変化データを図7に示す。エア圧力の時間変化はボアホーニング機の動作機構を鑑みること3つのフェーズに分けられる。①はホーニング加工が始まる前の状態で、砥石はボアに侵入しておらずエアは大気解放されている。加工が始まり砥石がボアに侵入したフェーズが②である。エ

アの吐出口がボア内径によって阻害され結果としてエア圧力の急峻な増大が確認できる。加工中に砥石が拡張し、ボアが仕上がり径へと加工されているフェーズが③である。砥石の拡張に伴いボア内径が次第に加工され内径が大きくなり、結果として緩やかにエア圧力が低下する。このように設備動作と齟齬がないO/S正常時のデータ収集に成功した。

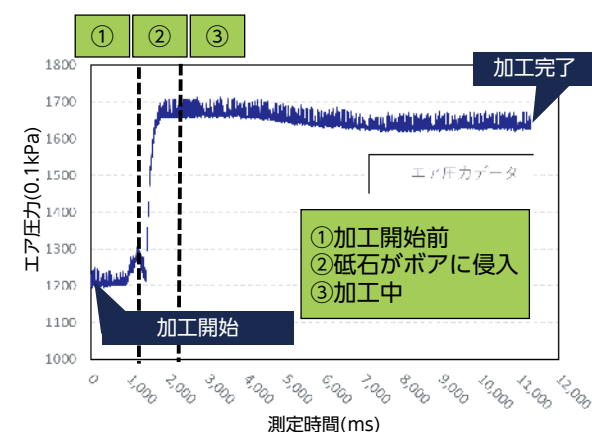


図7 ボアホーニング機エア圧力の時間変化
Fig.7 Change of Air Pressure in Bore Honing Machine

6 異常データの取得と解析

次に異常時のデータ取得について報告する。本事例ではしきい値設定のため3Dスキャナを使用して使用済みの中古O/S寸法を計測しその寸法から“故障模擬品”のO/Sを製作、ライン非稼働日に取り付けデータ収集する方法を採用した(図8)。

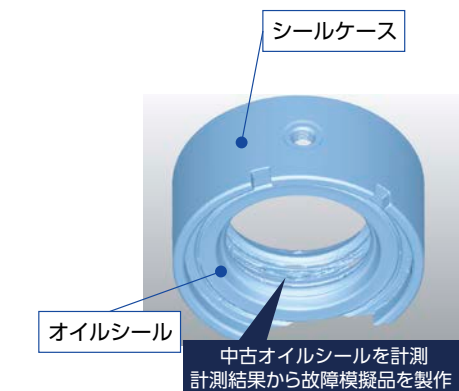


図8 故障模擬品O/S作成
Fig.8 Creation of Fault Simulated Oil Seal

故障模擬品により取得した異常時のデータを図9に示す。砥石がボアに侵入しエア圧力が立ち上がるフェーズ②の時間変化量に正常/異常時で変化が現れることを確認した。これは砥石がボアに

侵入する際にO/Sにも大きなエア圧力がかかり故障模擬したO/Sからエアが漏れるため新品よりも緩やかな圧力変化になったと考えられる。結果として異常時のデータ収集に成功した。

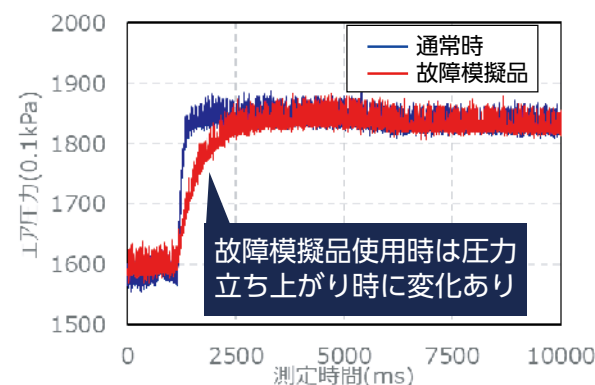


図9 O/S故障模擬品によるエア圧力変化
Fig.9 Change of Air Pressure Caused by Fault Simulated Oil Seal

7 データ解析ロジックの構築

異常時のデータ収集が完了したため、正常/異常のしきい値判定を行うためにデータ解析ロジックの構築を実施した。本システムにおいて実施したデータ処理を図10に示す。

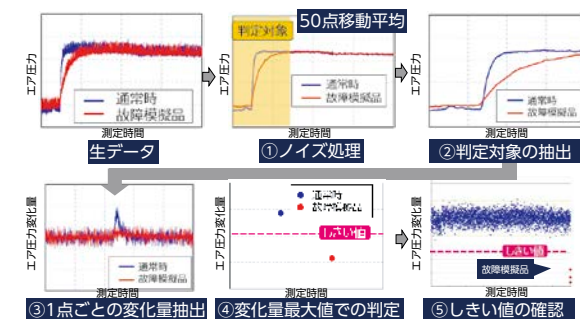


図10 データ処理ロジック
Fig.10 Data Processing Logic

データ処理は5つのフェーズに分割される。

1) ノイズ処理

生データには測定ノイズが含まれるためノイズ除去処理を行った。ノイズ処理により本質的なデータ形状が崩れないことに留意しながら本システムでは50点の移動平均を採用した。

2) 判定対象の抽出

正常/異常のデータに差異がみられるのはエア圧力立ち上がり部であり、その部分に着目するために特定の時間帯のみのデータを抽出した。

3) 1点ごとの変化量抽出

エア圧力の立ち上がり量の差を抽出するため

に、本システムではデータ1点ごとの変化量(微分値)を抽出した。

4) 変化量最大値での判定

正常時は急峻にエア圧力が立ち上がるため圧力変化量は大きくなり、異常時は緩やかにエア圧力が立ち上がるため圧力変化量は正常時と比較し小さくなる。その特性を利用し変化量の最大値を算出することでしきい値判定を行った。

5) しきい値の確認

正常時のデータに対し、4) で実施したしきい値判定が有用であることを確認した。80000点分の正常データに対ししきい値判定を実施したところ正常時のばらつきの外側で誤判定がないことが確認できた。

これらのデータ処理を行うことでO/S故障時の判定を行うことが可能となった。これらのデータ処理は社内サーバかつデータ処理機能を持つGAUDIの機能を活用して実装を行った。

8 異常予兆発見時の運用

最後に設備故障の予兆を発見した際の運用方法について説明する(図11)。

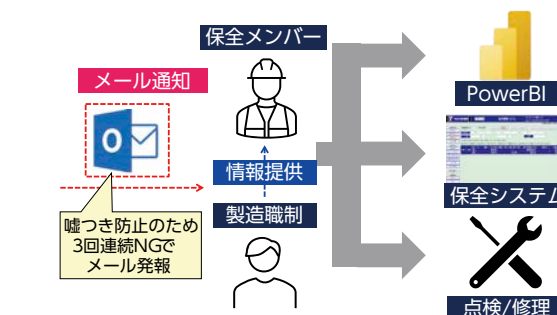


図11 システム運用方法
Fig.11 System Operation Method

本システムでは異常と判定された場合はメールにて通知が行われる。本システムでは誤判定防止のため3回連続で異常と判定された場合にのみメール通知を実施し、メールは製造現場のオペレータ職制(リーダー)と保全メンバーに送付され、PowerBIで確認することができる。メールを受けた保全メンバーは通常の当社の保全システムに内容を記入し、点検/修理を行う。

9 まとめ

本システムの導入により今まで予見しえなかったO/S故障の予兆を捉え故障する前に修理を行うことができるようになった。運用開始が2024年1月と日が浅く実際の警報メールはまだ発報されていないが、発報された際は実際のO/Sの劣化具合からしきい値の確認、再調整が求められる。本システムはモデルとする故障内容に応じてデータ処理ロジックを変更する必要があるが、ハードや考え方に関しては他設備に展開できる点も多くあるため今後対象設備を増やし保全の働き方改革(DX)やさらなる生産性の向上へとつなげていく。

参考文献

[1] (株) 豊田自動織機 ホームページ

著者紹介



下岡 祐介



駒田 和史



仙石 友彦