

# 転がり軸受の損傷検知と 状態監視技術の動向



武藤 泰之  
Yasushi MUTO

日本精工(株)産業機械技術総合センター CMS開発部

## 1. まえがき

機械システムが信頼性高く動作する上で、転がり軸受の果たす役割は大きい。転がり軸受は機械システムの使用条件に適した形式と名番を選定し、正しく取り付け、そして回転速度や荷重などの運転条件が軸受の性能限界を超えないようにコントロールし、適正な潤滑を保ちながら運転することが基本である。しかし、現実には軸受内に異物が混入したり、過大な荷重が加わったり、潤滑不足などの理由から所期の寿命が得られないケースが多々ある。このような事情から、転がり軸受が本来の機能を失う前に内部の状態を非分解で検査し、故障の発生を未然に防止することが事業者にとって安全性と生産性の両面から重要な課題となっている。この一環として、これまで、軸受異常を早期に発見するための検出技術と状態監視技術が精力的に開発されてきた。

本稿では、これらの中から実用化されている転がり軸受の損傷検知技術と状態

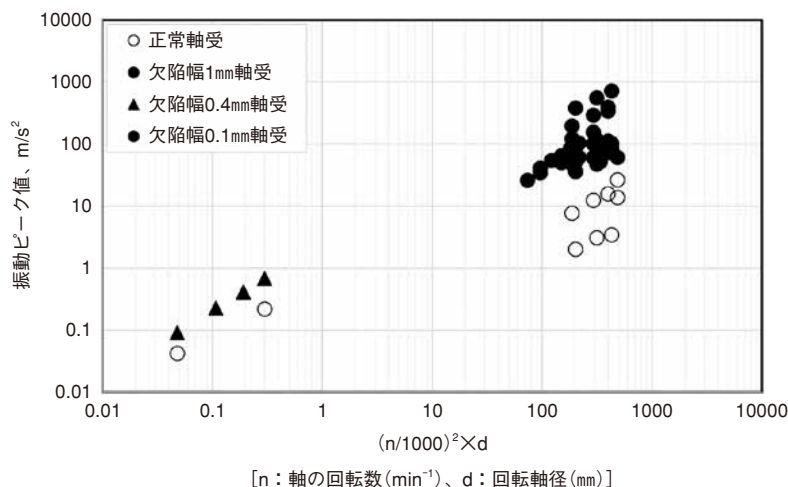


図1 軸受欠陥の大きさと振動値の関係

監視技術の動向について概説する。

## 2. 転がり軸受の損傷検知技術

転がり軸受の損傷モードは多岐にわたるため、軸受の損傷検知についても様々な方法が適用されているが、各検出方法には得失があり、万能な方法がないのが現状である。以下に、これらの中で有用な損傷検知方法を取り上げて概説する。

### 2-1 振動

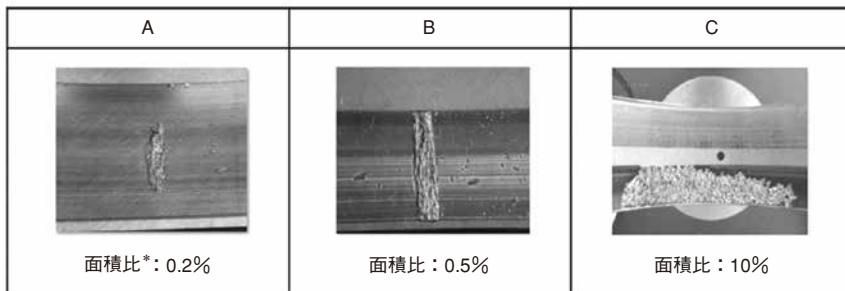
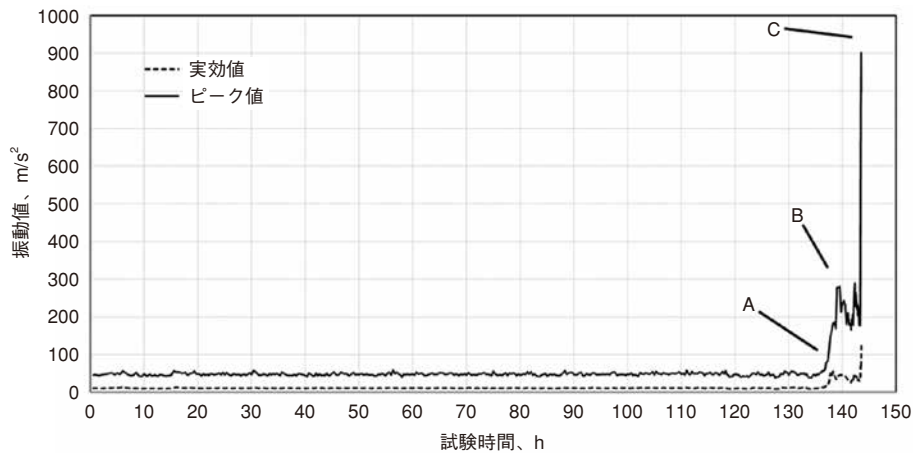
転がり軸受に損傷が生じた時の振動は、正常な時に比べて増加する特徴を示す。

図1は、転がり軸受の内輪または外輪軌道面に微小なフレーキングを模擬した人工欠陥を付け、その欠陥の大きさと振動値を回転軸径と回転数で一般化した関係を示したものである。

軌道面の周方向に幅1mmの欠陥がある軸受の振動は、正常軸受に比べて一桁以上も大きい値を示す。しかも振動値は、欠陥幅の大小や回転数と強い相関がある。このことから、振動は微小な欠陥を検出するとともに、欠陥の程度を定量化していることが分かる。

### 【著者問合せ先】

〒251-8501 神奈川県藤沢市鵠沼神明1-5-50  
Tel.0466-21-3058 Fax.0466-21-3078  
E-mail mutou-y@nsk.com



\*面積比: フレーキング面積/外輪軌道面の総面積

図2 振動値と外輪軌道面損傷の進行過程

図2は、ころ軸受に極めて過大なラジアル荷重を負荷した回転試験を行い、外輪軌道面にフレーキングが生じて進展する過程の振動値と外輪軌道面の損傷程度を例示した結果である。振動評価のパラメータとして、実効値とピーク値を同時に測定しているが、フレーキングのように局所的な損傷にはピーク値の方が感度よく異常を捉えている。フレーキングが発生し振動値が微増した直後のA時点の損傷は、外輪軌道面の総面積に対して0.2%と微小な面積比であったが、その後、損傷の進展に伴い振動値は変動しながらB時点まで増加し、フレーキングが発生してから10時間にも満たないうちに急増したC時点では面積比が約10%まで広がったことが分かる。このように、振動値を監視することは軸受走行面の形状的な状態変化を推定できる有用な手法である。

## 2-2 温度

転がり軸受が回転すると、その摩擦によって発熱が生じ、軸受とその周りの温度が上昇する。温度が上昇すると構成部

品に熱膨張が生じ、機械システムの運転性能に悪影響を与えることがある。

一方、軸受部品間の相対すべり部分をミクロ的に見ると、その真実接触部は局部的に、また瞬間的に温度が上昇して油膜破断が生じ、かじりや焼付きなどに至る表面損傷の発生原因になる。このため、軸受の使用温度限界を超えないように温

度を管理することが重要である。

## 2-3 摩耗粉濃度

軸受や歯車、ピストンなどの回転摺動部は潤滑油やグリースにより油膜を形成して接触しているが、転がり軸受は軌道面と転動面の間に転がり運動を伴う微小すべりによる摩耗が生じる。油膜が破断して摩耗が進行すると軸受の温度上昇や内部すきまの増大により機械システムの性能低下に繋がる。このため、潤滑剤の中に混入した摩耗粉濃度を計測して機械の状態を調べる機器が商品化されている。

図3は転がり四球摩擦試験機を適用し、鋼球に過大な荷重を負荷した試験を行い、試験部に供給した潤滑油の鉄粉濃度に併せて摩擦トルクと振動値をオンライン計測したトレンドグラフである<sup>1)</sup>。

A時点以降の約30分間は初期摩耗により鉄粉濃度が微増し、C~D時点では摩擦トルクに断続的な変化が生じている。D時点では、鉄粉濃度と摩擦トルク、振動値がほぼ同時に変化し、E時点においては摩擦トルクが急激に増減後に鉄粉濃度が急増し、振動値も増大し始めている。試験終了後、鋼球には摩耗およびフレーキングが発生しており、鉄粉濃度を計測することにより損傷の予兆を捉えていることが分かる。この方法は、特に振動法の適用が難しい低速回転の機械システムに有用である。

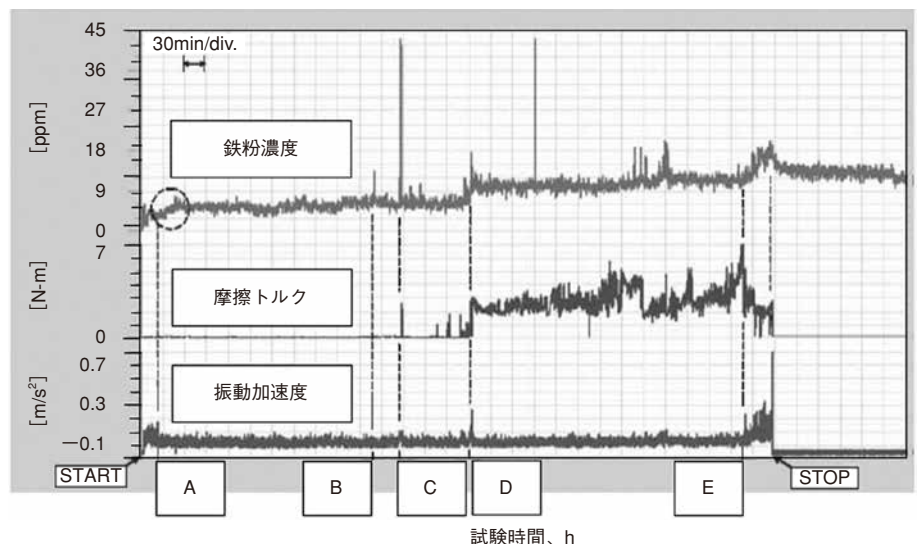


図3 転がり四球摩擦試験結果<sup>1)</sup>

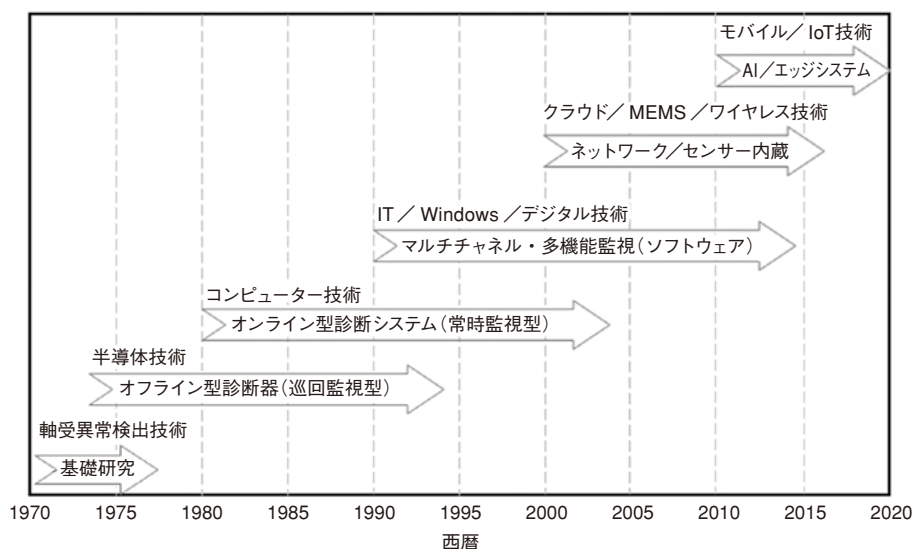


図4 IT技術と状態監視技術の変遷

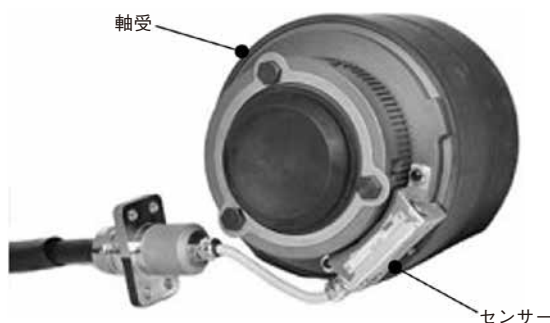


図5 鉄道車両用車軸センサー軸受<sup>2)</sup>

## 2-4 モーター電流

機械システムを構成している機械要素に異常が生じると摩擦、すなわち負荷トルクが変化する。機械システムの多くはモーター駆動であり、モーターの電流値は負荷トルクに比例して増減する。この特徴を利用し、モーターの電源ケーブルにクランプ式電流センサーを取り付けて運転中の電流波形を収集することにより、機械の状態変化を監視できる。

## 3. 転がり軸受の状態監視技術

機械システムの状態監視技術は、図4に示すようにデバイスやIT関連技術の進歩に伴い発展している。最近では、半導体やMEMSデバイス関連技術に支えられたセンサー付軸受のほかに、通信技術に支えられたワイヤレスおよびクラウドやエッジコンピューティングのプラットフォームを利用した状態監視システム

の開発が目立っており、今後急速に普及していくものと予測される。ここでは、転がり軸受を含む状態監視技術の動向を紹介する。

### 3-1 センサー軸受

センサー軸受は、転がり軸受にセンサー機能を付加した構造である。図5に示す鉄道車両用車軸センサー軸受<sup>2)</sup>は、軸受の温度や車輪の摩耗起因の振動とともに回転速度も検出することが可能である。これら複数センサーの信号を統合的に解析することにより、異常と損傷モードを早期に検出できることから、今後状態監視への適用が増えてくるものと期待される。

### 3-2 ワイヤレス化

一般に機械システムの内部および周辺はスペース的な余裕が少なく、またシステムの分解点検を行う必要があるため、異常検出用センサーケーブルの設置が困



図6 ワイヤレス式振動診断器<sup>3)</sup>

難な箇所が多い。このような問題の解決策として、Wi-FiやBluetoothなどの通信手法を採用したワイヤレス式振動診断器が増えている。

図6に示すワイヤレス式振動診断器は、振動センサーとタブレットパソコンで構成されるシングルチャネル仕様<sup>3)</sup>であるが、多点同時計測できるマルチチャネルの仕様<sup>4)</sup>も商品化されている。センサーには駆動電池が内蔵されているため有線式に比べるとサイズは大きい、手軽に持ち運べてセンサーの着脱が容易なことから巡回点検用に適している。

振動値や軸受欠陥判定はその場で確認できるので迅速に対処でき、また取得した各種データはオフィスのパソコンへ移行することにより傾向管理や精密診断報告書を自動作成できるので、情報の共有化を図れる利点がある。

### 3-3 クラウドコンピューティング

アプリストアからスマートフォンへアプリをインストールすると多彩な用途に使えるようになる。機械システムの状態監視においても、図7に示すようなインターネットを経由してクラウドコンピューティングサービスを利用したプラットフォームが商品化されている<sup>5)</sup>。

機械システムに常設したセンサーは、アプリストアからスマートフォンへインストールしたモバイルアプリにワイヤレスで同期して振動と温度データを測定する。スマートフォンには、振動と温度の管理基準判定とトレンドのほかに、周波数と時間領域の波形がその場で表示されるので、異常を早期に発見できる。取得

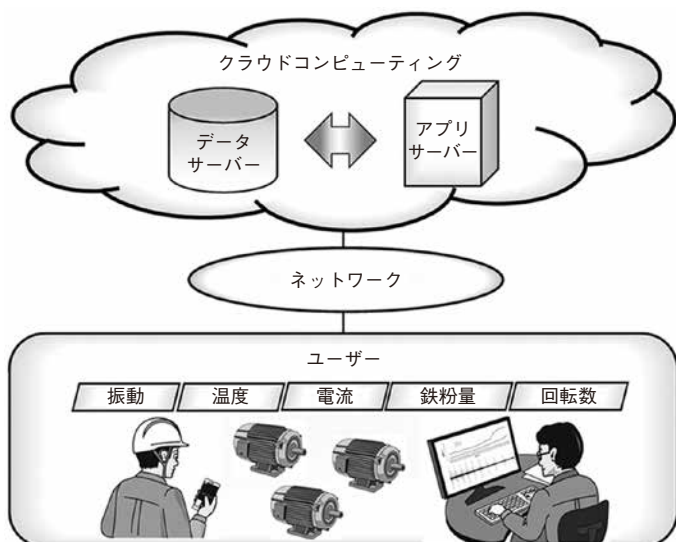


図7 クラウドを利用したプラットフォーム例

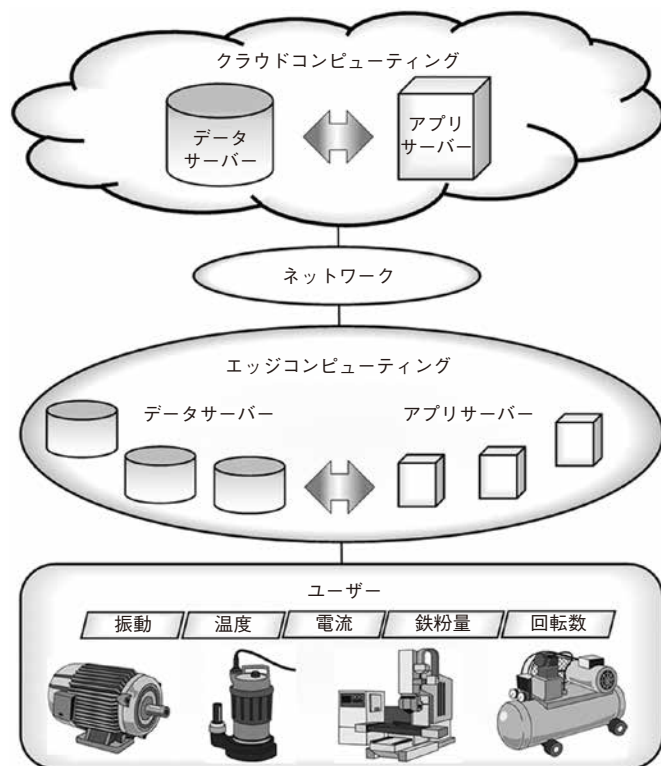


図8 エッジを利用したプラットフォーム例

した各種データはクラウドへ蓄積し、オフィスのパソコンで各機器の状態を一元管理できる。また、監視報告書が定期的に電子メールで送付され、各種測定値が管理基準を超えた時には、生データ(CSV形式)の表示に併せて異常通知メールが送信される。稼働を停止できない重要な機械システムや監視対象が多い場合には、点検時間の大幅な短縮と作業員の削減効果が期待できる。

### 3-4 エッジコンピューティング

多様なモバイルから大量のデータがクラウドへ送信されるようになり便利になったが、一方でデータ量の増大はネットワークやクラウドに負荷を与え、通信速度の低下を引き起こす恐れがある。そこで近年、図8に示すように、すべてのデータをクラウドで処理するのではなく、ユーザーの端末の近くにサーバーを分散配置してデータを処理し、必要なデータのみをクラウドへ送信することで、通信速度の低下を抑制するエッジコンピューティング技術を利用したプラットフォームが開発されている<sup>6)</sup>。これにより、大容量のビッグデータをクラウド

へ高速で送信することが可能である。

このプラットフォームは、機械システムの状態監視の用途に応じてマーケットプレイスからエッジアプリケーションを選択して予知保全を図ることができる。機械システムに常設した振動や温度、トルク、回転数などの各種センサーからリアルタイムにデータを収集、分析し、AIによる波形認識技術を活用して波形データを学習・認識することで、異常な兆候の検出精度を向上できる。また、重回帰分析などの統計手法を活用し、異常の発生要因を分析できるなど、生産現場の予防保全や品質向上への貢献が期待されている。

## 4. まとめ

転がり軸受は、様々な環境や運転条件下の機械システムで使われるため、その損傷モードは多種多様である。

本稿で述べたように、現状はこれらすべての損傷を検出できる万能な方法はないが、今後はITを利用して様々なセンシング情報を高速で処理し、統合的な解析により診断するインテリジェント型状態

監視システムが普及するものと思われる。

一方、転がり軸受の状態監視技術とともに、軸受の使用環境や運転条件に即した最適な軸受設計や材料、潤滑技術の発展が、今後ますます求められてくるものと思われる。

末筆ながら、本稿が転がり軸受の予防保全に少しでもお役に立てば幸いである。

### 参考文献

- 1) 藤井：精密状態診断のための摩耗モニタリング技術、潤滑経済、2011.11、557(2011)18-23.
- 2) 日本精工ホームページ：http://www.nsk.com/jp/company/news/2012/press120328a.html(参照日 2019年1月10日)
- 3) 日本精工ホームページ：http://www.jp.nsk.com/app01/jp/ctrj/(参照日 2019年1月10日)
- 4) JFEプラントエンジニアリングホームページ：https://www.jfe-planteng.co.jp/product/mains/(参照日 2019年1月10日)
- 5) i-ALERT Monitoring Solutionホームページ：https://www.i-alert.com/(参照日 2019年1月10日)
- 6) Edgexcrossコンソーシアムホームページ：https://www.edgexcross.org/ja/(参照日 2019年1月10日)