

モータ状態計測による転がり軸受の異常検出手法の研究 (第3報)

田畑克彦*、大橋勉*、横山哲也*、村橋信之介†、津田亮†

A study on anomaly detection method of antifriction bearing using motor monitoring system (III)

TABATA Katsuhiko*, OHASHI Tsuyoshi*, YOKOYAMA Tetsuya*, MURAHASHI Shinnosuke† and TSUDA Ryo†

工場保全における信頼性、効率、労働環境の向上を目的として、工場などの製造設備で広く利用されているモータに様々な種類のセンサを取付けて、収集した計測データをもとにモータ等の軸受の異常検出とその緊急度を自動判定する軸受診断技術を開発している。本年度は軸受内の潤滑不良の検出に着目し、これまでの軸受寿命加速試験等で得られたデータを分析して、軸受内のグリース潤滑の変質や不足などの潤滑不良を検出する手法について検討した。

1. はじめに

本研究では、工場設備で広く使用されているモータに着目してデータ収集を行い、データ分析によりモータの異常検出や異常予測技術を開発している。これまでの研究では、モータの状態を様々なセンサで計測してデータを収集するシステムと、異常を比較的短時間に発生させるモータエミュレータを開発し、このモータエミュレータを用いて軸受寿命加速試験を実施して故障に至る迄のデータを収集した²⁾。また、収集したデータから、軸受の異常検出と対応の緊急度を自動判定する軸受自動診断ソフトウェアを開発した³⁾。

この軸受自動診断ソフトウェアは、異常の有無と対応の緊急度の判定だけでなく、軸受の幾何学構造や回転数から内部の異常箇所（外輪、内輪、転動体あるいは保持器）も推定できるが、潤滑不良は検出できなかった。潤滑不良が発生すると、軸受内部の潤滑剤による保護機能が低下し、軸受寿命を短縮してしまうため、不良を検出して注油等の是正対策を施す必要がある。このため、本年度は軸受寿命加速試験のデータ分析や潤滑不足の再現実験を実施し、グリース潤滑の場合における潤滑不良の検出方法について検討した。

2. 軸受診断システムの課題

本研究で開発した軸受自動診断ソフトウェアは、現在、工場の基幹設備を集中管理する遠隔監視システム（写真1）に実装され、軸受診断システムとして現場実証と改良のために試験運用されている。

軸受の潤滑剤は、軸受の各部品を潤滑して摩擦やそれに伴う発熱や摩耗を減少させる、接触面に油膜を形成して保護する、さび止めや防じんの役割を果たすなど、重要な働きをしている。このため、潤滑剤に高温や経年劣化による変質や、漏れ等による不足などの不良が発生し

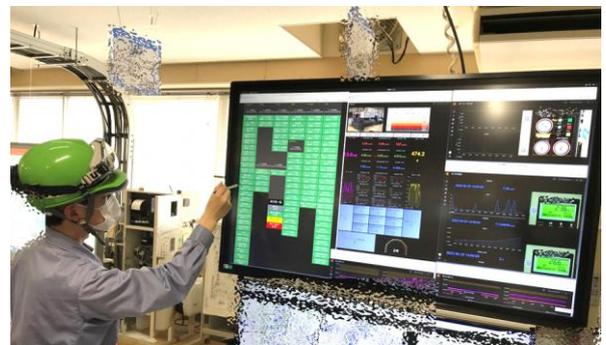


写真1 工場設備の遠隔監視システム

ていないか検出する機能を軸受診断システムに追加し、軸受へのメンテナンスの要否を判断する必要がある。なお、軸受の潤滑方法はグリース潤滑と油潤滑に分類されるが、本研究では広く用いられているグリース潤滑の不良を検出する方法について検討した。

3 潤滑不良検出技術の開発

潤滑不良が発生すると軸受内部の金属部品が直接接触する“コスレ”と呼ばれる現象が発生する。このコスレの振動データに見られる特徴として、高周波数帯（約5kHz以上）の振動加速度成分が増大することが知られている。しかしながら、実際にコスレにより潤滑不良が発生しているか否かを判断する基準は、各開発メーカーが独自の基準を設定しており、明らかではない。そこで、これまでの軸受寿命加速試験等の振動加速度データを用いて、振動の大きさと潤滑不良の関係について検討する。

3.1 潤滑不良のデータ分析

軸受寿命加速試験用に開発したモータエミュレータは、負荷側に接続された3つの軸受にラジアル荷重をかけ、寿命（試験時間）を短縮している。これまでに、9回の試験後の軸受を分解調査したところ、表1の試験2、試験7および試験8の軸受において、潤滑グリースの油分が減少し、黒色ペースト状に変質する現象が見られた。このため、潤滑グリースが変質した場合とそうでない場

* 情報技術部

† イビデンエンジニアリング株式会社

表1 潤滑不良を分析した軸受寿命加速試験

試験名	試験時間 [h]	試験終了理由	異常原因	潤滑グリースの変質有無
試験2	397	負荷過大 (モータ停止)	軸受異常 保持器破損 転動体欠け	有
試験4	3456	出力軸破断	軸破断	無
試験5	42.9	異常振動 及び騒音	ガタ、ゆるみ 軸受外輪キズ	無
試験6	530	異常振動 及び騒音	軸受キズ、 軸の摩耗、軸折れ	無
試験7	197	負荷過大 (モータ停止)	外輪キズ、内輪キズ、 転動体変形と黒色化	有
試験8	530	異常振動 及び騒音	内輪キズ、 外輪キズ	有 (軸受No.3のみ)

※試験1、試験3、試験9は試験構成等が異なるため対象外とした

合における振動加速度データの比較を行った。また、強制的に軸受の潤滑グリースを除去して、潤滑不足を再現した場合の振動加速度を計測し、正常時と比較することにより、潤滑不良の判定基準について検討した。

3.2 潤滑グリースの変質

図1は、表1に示す試験において、軸受毎(計16個)の振動加速度の高周波成分の変動を示した傾向管理図である。ここで縦軸は高周波成分(5kHz以上)の振動加速度成分を示す指標であり、その指標として平均レベル比 L_{ratio} を以下の式で定義した。

$$L_{ratio} = \frac{L_{av}}{L_{av,min}} \quad (1)$$

ここで、 $L_{av}[m/s^2]$ は直前12hにおける5kHz以上の振動加速度成分の平均値、 $L_{av,min}[m/s^2]$ は計測時までの L_{av} の最小値である。比を取った理由は、軸受毎の個体差、組付けや負荷の違いによる計測値のバラつきを抑制するためである。また、振動加速度データは20分毎にサンプリング周波数20kHzで1.6秒間計測した。

図1において、ラベル付きの着色データはグリースに変質が見られた試験で、灰色のデータは変質が見られなかった試験である。図のように寿命末期(試験終了直前)において平均レベル比は上昇するが、変質が見られた軸受の平均レベル比はすべての軸受で6.0を上回り、変質が見られなかった軸受は概ねこの値以下であった。このため、試験データから、変質による潤滑不良を判断する基準として平均レベル比6.0以上を目安とする。

3.3 潤滑グリースの不足

次に、新品の軸受のグリースを封入しているシール部品を取り外してグリースを除去(脱脂)し、グリース不足を想定した試験を行った。図2はその試験結果である。図中の“脱脂なし”は正常な軸受、“軽い脱脂”はグリースをウェスで拭いた軸受、“完全脱脂”は薬品でグリースを洗浄除去した軸受の平均レベル比である。本試験では、便宜上、平均レベル比は10分毎に5回計測した5kHz以上の振動加速度の平均レベルと、“脱脂なし”の場合の平均レベルとの比とした。

図2より、潤滑不足が進むと概ね平均レベル比が増加

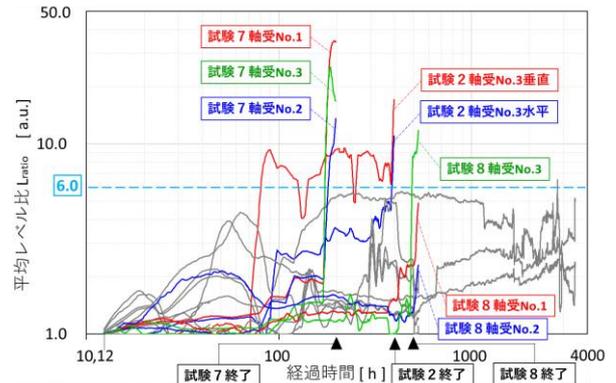


図1 振動加速度の高周波成分の変動

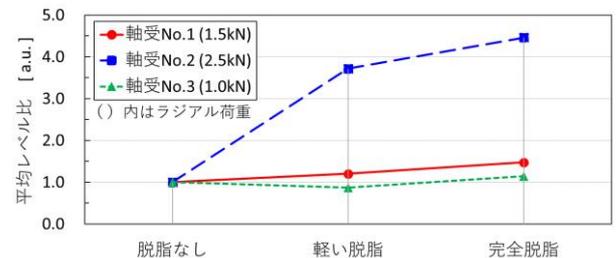


図2 潤滑グリース不足による振動加速度の変動

することが確認できる。しかしながら、最大でも軸受No.2の“完全脱脂”の4.5であり、図1の変質の基準となる6.0より小さい。この理由としては、新品の軸受を使用したために、軸受内のキズなどを原因とする振動加速度成分がまだ増大していないことが考えられる。通常運用時においては、長時間稼働により発生するキズに、潤滑不足が加わるので、平均レベル比が6.0以上となることは十分に現実的である。また、軸受No.2の平均レベル比が大きいのはラジアル荷重が最も大きいためと考えられるが、図1の軸受寿命加速試験では他の軸受が大きい。したがって、実際の運用時ではラジアル荷重の大きさだけでなく、軸受のキズの発生具合、組付や潤滑状態の違い等の他の要因も影響するものと思われる。

4. まとめ

本年度は、軸受の潤滑不良を検出するため、潤滑グリースの変質時と不足時における振動加速度のデータ分析を行った。この結果、5kHz以上の振動加速度レベルが最小レベルに対して6.0倍を超えると潤滑不良である可能性が高いことを示した。現在は、本検出機能を軸受自動診断ソフトウェアに追加し、現場実証中である。

【参考文献】

- 1) 田畑ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp95-98, 2020
- 2) 田畑ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.2, pp87-90, 2021
- 3) 田畑ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp81-84, 2022