

技術論文 

## その場計測による回転機軸受けモニタリング

Dynamic Monitoring for Bearings of Rotating Machines in Plant

三菱電機 (株)  
神戸大学大学院宇佐美 照夫  
小島 史男Teruo USAMI  
Fumio KOJIMAMember  
Member

A dynamic monitoring system for bearings has been developed. The defects of bearings in motors can be detected and classified into some groups from their vibration signals by an accelerometer screwed on the monitored bearings using the dynamic monitoring system. The abnormality of the bearings is judged from many factors such as the peak value, the root mean square value and the ratio of peak to root mean square value. And then, the grade of its abnormality is diagnosed how heavy the defect is, when the bearing is judged abnormal. Finally, the defects of bearings in motors can be classified into three groups such as scratched crack, poor lubrication and including rubbish. The abilities of monitoring system have been proved by the field test in plants.

**Keywords:** Rotating Machine, Dynamic Monitoring, Bearing, Power Plant

## 1. 緒言

プラントにおいて「安全な運転」を継続し、事故を未然に防ぐためには「プラント機器の状態をリアルタイムでモニタリングできるその場計測による検査技術」が必要である。とくに電動機、発電機などの回転電気機器は電気エネルギーと機械エネルギー相互のエネルギー変換装置として重要な役割を担っており、その停止や異常は全体のプラントやシステムに重大な影響をもたらす。したがって、設計、製作時から機器自体の信頼性を高めることは当然であるがプラントにおいて機器が稼働している場合、その場計測により適切な監視、診断によって事故の予防、早期発見を行うことが重要である。プラント機器の始業点検や定期点検、注油などのメンテナンス、部品の交換などは従来から人間による保守がおこなわれてきているが近来ではプラント装置の多様化、あるいは高集積化などに従って異常の発生形態が複雑化し点検の自動化が要望されている。しかしこれまでの研究は回転機器の軸受けの振動や寿命、信頼性等の個々に関する研究がほとんどであった<sup>[1][2][3]</sup>。

本研究では、これらの研究を発展させ実プラントで

◆連絡先：宇佐美 照夫

三菱電機 (株) 先端技術総合研究所  
〒661-8661 尼崎市塚口本町 8-1-1  
E-mail: Usami.Teruo@ap.MitsubishiElectric.co.jp

運転稼働中の回転機器の軸受けに発生する異常現象をモニタリングするために軸受けの振動波形データを解析し、それらの異常現象を分類・抽出するプラントの点検・検査における「その場計測技術による回転機軸受けモニタリング」を目的としている。2章では軸受けの物理的な異常現象とその軸受けからの振動波形の対応を考察する。3章ではプラント回転機器の軸受異常内容をグループに分類することを目的とした振動波形データ解析法について考察する。4章では3章で考察した振動波形データ解析法を実プラントにおいて考察をおこなうための回転機器軸受モニタリングシステムの構成・機能を提案する。5章ではモニタリングシステムのプラントでのフィールドテストについて考察する。フィールドテストでは、第一ステップとして工場内の試験プラントでおこなう。第二ステップとして実プラントで運転稼働中の回転機器でおこなう。実プラントでおこなうフィールドテストでモニタリング対象とした回転機器の軸受は、フィールドテスト終了後に分解検査をおこないモニタリングシステムによる振動波形データ解析による正常・異常状態の判断結果と比較することによりモニタリングシステムのその場計測による異常現象の分類・診断機能を考察する。6章では本研究で得られた考察結果を要約する。

## 2. 軸受けの異常現象

プラントの誘導電動機を対象として、これらの軸受に発生する異常を考えていく。異常現象は、これまでに工場に蓄積されている事例からは次の3ケースに分類できる。(1) 軸受部分(外輪, 内輪, 玉)でのキズの発生 (2) 潤滑油の不足、油切れ状態 (3) 鉄片や砂、劣化した油脂等の異物混入

これらの異常現象を詳細に考察するために軸受試験装置を用いたシミュレーション試験をおこなった。試験装置は、任意の回転数と荷重条件下で異常状態を再現することができ、かつ軸受部分の振動、騒音、温度のモニタが可能である。この試験で得られた正常軸受のデータは、プラントでの実機データと波形パターンの相違がないことが確認されている。軸受けの異常を検出するためには、試験装置で各種異常状態を発生させどのような物理量の変化に注目すれば良いかを考察した。その結果①温度の変化は異常に対応する温度上昇は概して時間的追従が悪い。軸受が修復不能になるまで変動を示さない場合もある。異常状態の早期検出は困難である。②騒音量は一つの測定点で多くの対象点からの音信号を検知できる利点はあるが、反面、回転機の駆動側などからの周辺騒音の影響を受けやすい。周辺騒音による誤動作が考えられ実用上採用しがたい。③振動量の計測は検査点そのものの振動を抽出することが出来る。これは検査員が従来からおこなっている聴棒という長い金属製の棒を検査点にあて片端に耳をおし当てて状態を判断することと類似している。試験装置での軸受けの正常および異常状態のシミュレーションにおいても、振動センサからの信号は異常の原因に対応した特徴情報を含む信号が計測される。これらの考察から、実プラントでは振動データ解析による検出法が異常状態の初期段階からの異常検出法として最適であると結論づけた。Fig.1(a)に、正常な軸受状態の波形を示す。

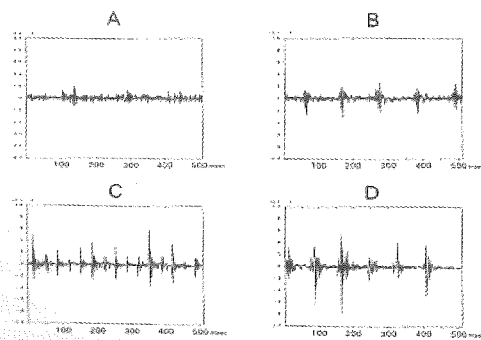


Fig.1 (a) Normal (b) Outer race damage (c) Inner race damage (d) Ball damage

試験装置にて軸受の異常状態をシミュレーションし考察した結果は次のとおりである。

(1) キズ

軸受部分にキズが発生した場合、軸の回転に伴って特徴のある衝撃波が発生する。Fig.1(b)~Fig.1(d)に外輪転走面、内輪転走面、玉にそれぞれキズがある場合の波形を示す。衝撃波が発生していることが認められる。この発生間隔は、軸受の大きさ、玉数、軸の回転数によって次式のように一義的に定まる<sup>[4][5]</sup>。

$$f_c = z f_r \tag{2-1}$$

$$f_i = z f_r \tag{2-2}$$

$$f_b = 2 f_r \tag{2-3}$$

ただし、

$$f_c = \frac{f_r}{2} \left( 1 - \frac{d}{D} \right) \tag{2-4}$$

$$f_b = \frac{f_r}{2} \frac{D}{d} \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \tag{2-5}$$

$$f_i = f_r - f_c = f_r \left( 1 + \frac{d}{D} \right) \tag{2-6}$$

ここで、 $f_r$  : 軸の回転数  $f_c$  : 保持器の回転数  
 $z$  : 玉数  $d$  : 玉の直径  $D$  : 軸受ピッチの直径

試験装置でのシミュレーション試験での振動波形からキズ状態を表現する特徴は衝撃波発生周期と同一衝撃波中の正負方向の波形の偏在が観測される。

衝撃波における偏在比率 (D) を

$$(D) = |d^+ / d^-| \tag{2-7}$$

ここで、 $d^+$  :  $\Delta t$  での振幅正領域での最大値

$d^-$  :  $\Delta t$  での振幅負領域での最大値

と定義すると計測値から (D) =1.6 の値が工場における蓄積データから妥当と考察される。この値は定常である。衝撃波のあらわれかたの特徴として内外輪キズでは常に式(2-1),式(2-2)で求められた周期で一定であるのに対し、玉キズでは衝撃波の発生は定常ではない。ただし、衝撃波があらわれている期間では発生間隔は一定である。玉キズの場合、玉の運動によっては、キズが内外輪転走面と接触せず、衝撃がまったく発生しないことがあり得ることから衝撃波の発生パターンが複雑となる。シミュレーション試験においても数秒から数分にわたり衝撃波がまったくなくなることが観測できた。

(2) 油ぎれ

油切れ状態は、油切れの進行状態に応じて局部的な無潤滑状態が発生し、そのため玉の表面や転走面に微小なキズが発生する。油切れ初期では、軽度のキズによる軸の回転に比例した衝撃波が規則正しくあらわれる。その後、このキズは順次増加していくと振幅、位相、周期が異なる無数の衝撃波があらわれる。試験装置でおこなったシミュレーション試験でも油切れ2時間経過後では衝撃波の発生が1回転程度であるのに対し、4時間経過後の状態では連続した衝撃波があらわれる。衝撃波のピーク値も増加する。この状態で軸受を分解した結果、フレーキング（表面のはがれ、修復不可）が見られた。この状態になった場合には油を注入しても正常状態にもどり得ない。よってこの状態になる以前に異常予知をせねばならないことが考察できる。ピーク値、実効値の時間変化を Fig.2 に示す。

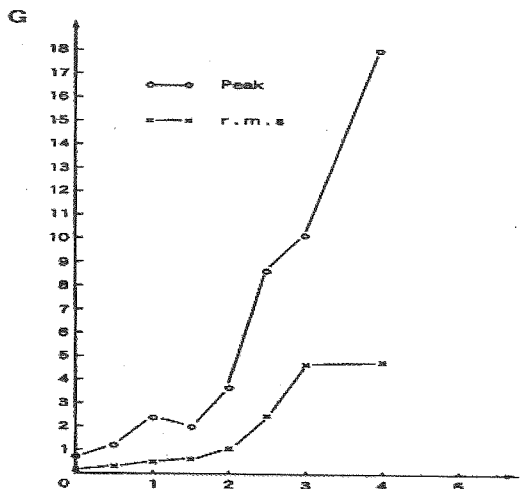


Fig.2 Poor lubrication

(3) 異物混入

異物混入は、金属片、砂など多種多様なものがグリースと共に軸受内に入ることなどが可能性として考えられる。異物混入による異常現象は異物が転走面に滑り込むとその直後、振幅値が急激な増加を示す。その後異物が滞留すると、あたかも強制的に油切れを起させるようにランダムノイズ状の振動レベルが増大を続ける。一方、異物が排除されれば正常状態に復帰する。油切れの場合と似ているが衝撃波のあらわれ方が、はじめから不規則であることが考察できる。ピーク値、実効値の時間変化を Fig.3 に示す。

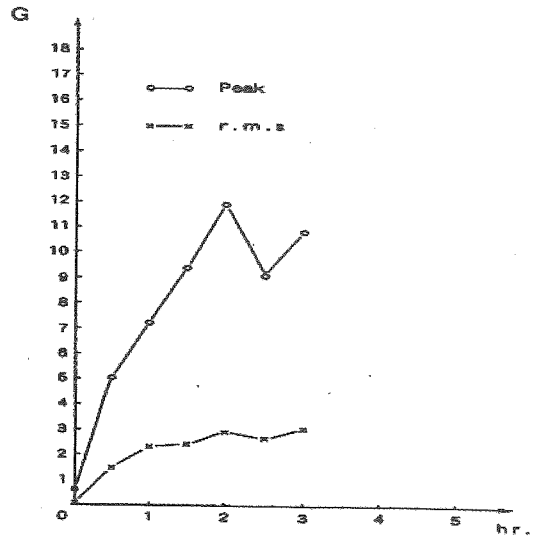


Fig.3 Mixed rubbish

3. 軸受けの異常解析

2章のシミュレーション試験での振動波形を解析して特徴から各異常現象を早期検知するための解析法について考察する。単純に異常の有無のみの検知であれば、時間軸データのピーク値、実効値を判断のパラメータとすることで可能と考えられる<sup>[6][7]</sup>。さらに、異常の内容、原因を判断する場合はその場計測による観測波形に対して衝撃波の発生間隔、波形の正側あるいは負側への偏りの特徴を識別することが必要である。また、異常の進行度合いを推定するには時間をさかのぼり過去の正常時データと現在の状態との比較をおこなう波形解析処理が必要となってくる<sup>[8][9]</sup>。試験装置でのシミュレーション試験結果を考察し、軸受の異常現象である「キズ」「油切れ」「異物混入」を識別するための軸受けの異常解析法を提案する。

3.1 軸受けの異常の検出

この異常解析法はその場計測で軸受異常を検出するとともに異常の内容を分類する。

まず、センサからの入力信号波形のピーク値と実効値から異常の可能性を判定し、その程度が軽故障か重故障かを判断する。異常の可能性の有無は次の条件で判定していく。

$$x(t_{max}) \geq X_T \tag{3-1}$$

$X_T$ は異常と正常の境界値である。

(3-1) 式を満たすときのみ「異常の可能性あり」と判

断し次のステップへ進行する。逆に (3-1) 式を満たさない場合は、「異常の可能性なし」として次の軸受の振動波形モニタリングへ移行する。

次のステップでは、ピーク値、実効値及びそれらの相互関係から異常の程度が「軽傷」であるのか、「重傷」を判断する。

いま、入力波形信号  $X_i(t)$  が、 $N$  回得られたとし、それぞれ最大値、実効値を、 $A_i$ 、 $P_i$  とすると、

$$A_i \geq A_s \quad (3-2)$$

$$P_i \geq P_s \quad (3-3)$$

の条件を、 $X_i(t)$  [ $i=1,2,\dots,N$ ] が、各々  $m_a$ 、 $m_p$  回満たしたとする。

そのとき、 $m_a$ 、 $m_p$  が

$$m_a \geq \frac{1}{2}(N+2) \quad (3-4)$$

$$m_p \geq \frac{1}{2}(N+2) \quad (3-5)$$

の条件を同時に満たせば、「異常あり」とする。

また、

$$A_i \geq 2 A_s \quad (3-6)$$

$$P_i \geq 2 P_s \quad (3-7)$$

の条件を満たした回数  $n_a$ 、 $n_p$  が

$$n_a \geq \frac{1}{2}(N+2) \quad (3-8)$$

$$n_p \geq \frac{1}{2}(N+2) \quad (3-9)$$

を、同時に満たせば、「異常状態が重症」と判断する。式 (3-3) ~ (3-9) の条件は、工場での蓄積データと試験装置でのシミュレーション試験結果より決定する。実効値を判断の条件パラメータとしたのは、境界値を入力波形が変わってもその波形に追随し可変にすることで、モニタリングする機器の条件に自動的に追随できるという考えである。従来のシステムのように判断パラメータを固定のものにしておくと、軸受の振動波形は回転数が高くなるほど正常波形、異常波形とも振幅が増加し、正常波形の振幅が (3-1) 式の条件を満足する可能性がある。この場合、固定の判断パラメータ設定では本来「正常」である軸受けが、「異常」とみなされる。ここで提案したモニタリングする機器の入力

波形に連動する可変のパラメータを用いればこのような誤判断は激減すると考察される。(3-3) ~ (3-9) の条件をみだし、「異常の可能性あり」と判断した場合には、第2ステップとして異常内容の分類へ進む。

### 3.2 軸受けの異常の分類

「キズ」「油切れ」「異物混入」に、軸受けの異常状態分類のための振動波形解析法について提案する。異常の分類のための振動波形解析は、まず、キズの特徴である衝撃波の発生周期の抽出をおこない式 (2-4) ~ (2-6) で求められる値と比較する。

衝撃波の有無は、波形  $X_N(t)$  より、

$$Q = \sum |X_N(t)| \quad (3-10)$$

で定義される  $Q$  をパラメータとする。

すなわち物理現象としては、式 (3-16) を満たすように  $Q$  値が小さければ衝撃波が多く存在すると考えられる。逆に、 $Q$  値が大きければ、実効値が大きくホワイトノイズに近い波形と考えられる。

衝撃波の偏りを判断するためにはパラメータ

$Q^+$ 、 $Q^-$  を定義する。

$$Q^+ = \sum [X_N(t)]^+ \quad (3-11)$$

$$Q^- = \sum [X_N(t)]^- \quad (3-12)$$

$$Q = Q^+ + Q^- = \sum |X_N(t)| \quad (3-13)$$

ここで

$$[X_N(t)]^+ = \begin{cases} X_N(t) & X_N(t) > 0 \\ 0 & X_N(t) \leq 0 \end{cases} \quad (3-14)$$

$$[X_N(t)]^- = \begin{cases} 0 & X_N(t) \geq 0 \\ |X_N(t)| & X_N(t) < 0 \end{cases} \quad (3-15)$$

衝撃波の有無、及び波形の正負への偏りは、それぞれ式 (3-16)、式 (3-17) によって判別される。

$$Q < Q_s \quad (3-16)$$

$$Q^+ - Q^- \geq D_s \quad (3-17)$$

$Q_s$ 、 $D_s$ : シミュレーション試験からの境界値

よって、式 (3-16)、(3-17) の条件を満たし、式 (2-4) ~ (2-6) であらわされる衝撃波の発生周期を持っているとき、「キズの可能性あり」と判断する。

式 (3-18) の条件を満たすとき潤滑不良すなわち「油切れ、異物混入の可能性あり」と判断する。

$$R_p/R_f > R_s \quad (3-18)$$

$R_p$  : 現時点での実効値  $R_F$  : 一定時間前の実効値  
 $R_S$  : 境界値

また、これらのいずれの条件も満足しない場合は、「異常発生」とする。

#### 4. 軸受けのモニタリングシステム

3章での振動波形解析法を適用したモニタリングシステムについて提案する。このシステムは、中央の監視室に中央制御盤、対象となる回転機器の周辺にローカルステーションを設置して各種プラントで運転される回転機器の振動波形を常時集中監視し軸受状態の監視をおこなうものである<sup>[10]</sup>。モニタリングシステムシステムの機能の特徴としては、実プラント内で振動波形データ処理をおこない回転機器の軸受けの異常の分類・表示ができる次に示す高度機能を持っていることである。

##### 4.1 システムの構成と機能

###### (1) ハードウェアの構成と機能

システムの構成は特徴の一つである本質防爆構造であるセンサ部と、高速信号処理をおこなうDSP、キーボードなどの入力をDSPへ送信しDSPでの信号処理結果を外部へ通信するホストプロセッサ、経時データを記憶するメモリからなる制御部、およびモニタリング結果の表示部から構成されている。

センサ部は、軸受の加速度振動をセンシングするピックアップと、プリアンプからなっている。センサ部はプラント内の爆発性危険地域に設置する場合もあることから安全防爆構造の認定を受ける。アンプのオフセットやゲインは中央制御部のDSPを通過して自動調整されるので温度変化による影響などを常時考慮することは不要である。その結果、従来機種と比較し保守調整作業は極めて容易になると考えられる。

もう一つの特徴は軸受けの振動波形解析によりリアルタイムで軸受けの異常内容の分類が可能となり警報および振動波形は瞬時にグラフィックディスプレイに表示される。グラフィックディスプレイでの他の表示機能としてはトレンドデータ表示が可能である。軸受の情報は据付時から記憶され最長2年間のトレンドデータが表示できる。軸受けの振動波形とトレンドデータは異常時には自動的に、必要時には任意に表示でき予測診断のデータとしても有用である。

システム全体としては最大32点のセンサからの信号も高速処理され最大256点の集中監視ができる。またシステムの自己診断機能を有することも大きな特徴である。信号処理システム系とセンサ系に故障が発生した時、システム異常警報表示をおこなう。センサ系の診断は信号波形処理データを用いておこなうので別の検出器は必要としない。提案したモニタリングシステムは検査員がプラント内のモニタリング機器がある現場に出向くことなくすべて中央監視盤にて軸受けのモニタリングが可能となりこれまでとくらべてプラント機器の保守作業を容易にするものである。

##### 4.2 モニタリングシステムでの異常の検出法

異常検出の内容は、軸受け異常の「程度」と「種類」の2項目である。

###### (1) 異常の程度に対する考え方

異常の程度の「段階分け」と「各段階の定義」は対象とする機器・現象によって多種多様であるが、本モニタリングシステムでは対象とするプラントの回転機器の軸受けに起こりえる異常に限定しかつ過去の事例を参考に4段階とした。

- ①ベアリングの焼き付け寸前---即時停止
- ②ベアリングの破損寸前---停止
- ③ベアリングの中期損傷---警報表示、計画停止
- ④ベアリングの初期損傷---警報表示、異常進行監視とする。

###### (2) 異常と判別する種類

軸受けの異常の種類は「内輪キズ」「外輪キズ」「玉キズ」「油切れ」「異物混入」などに細分化される。しかし、モニタリングシステムで異常の内容をどの程度分類するかに関しては、(a)「キズ」と「油切れ」のみの判別、(b)「キズ」と「油切れ」と「異物混入」の判別、(c)「3種類のキズの種類」と「油切れ」「異物混入」を判別、(d)「正常」と「異常」表示のみの4案に関してそれぞれの場合の効果を考察することとした。

まずモニタリングシステムにおいて異常の種類判別機能の必要性については、

- ①回転機器の停止の必要性を判別できる。
  - ②異常に対する処置法を判別できる。
  - ③ベアリング以外の故障判別が可能となってくる。
  - ④据付および交換時期の異常を判別することにより、据付調整不良の防止、初期不良の発見に貢献できる。
- という事由からモニタリングシステムの機能の一部

として設置することとした。

さらに異常の種類を判別することによる効果として各々の異常原因に対する最適な処置をとることができる。具体的には

- a)キズの場合は内輪キズ、外輪キズ、玉キズのいずれの場合でも様子を見ながらベアリングなどの部品交換をおこなう。
- b)油切れの場合はまず「油注入」し、しばらく経時データを監視の上、正常状態に復帰すれば連続運転を続行する。あるいは油切れ状態が継続するようであれば機器を停止し分解検査をおこなう。
- c)異物混入の場合は、機器を停止し洗浄をおこなう。その後は油を注入し経時データの監視をおこない油切れと同様の対応をおこなう。

このような検討の結果を総合的に考察し、モニタリングシステムでの軸受けの異常の種類判別は、b)「キズ」「油切れ」「異物混入」の3種類に判別表示をおこなうことに決定した。

## 5. フィールドテスト

フィールドテストは、第一ステップとして工場内の試験プラントでおこない、第二ステップとして実プラント内での回転機器でおこなう。実プラントでおこなったフィールドテスト期間中に警報が発生した軸受けについてフィールドテスト終了後におこなった分解検査の結果とモニタリングシステムの警報内容とを比較し考察をおこなう。

### 5.1 試験プラントでのフィールドテスト

工場内の試験プラントでのフィールドテストは、軸受け試験装置で軸受けの異常状態を再現しておこなった。「キズ付き軸受け」「油切れ軸受け」「異物混入軸受け」の判別にについて試験をおこなった。

#### ①キズつき軸受け試験

衝撃波の発生頻度、偏りなどのパラメータを認識し、サンプル10個すべてを「キズ」と分類できた。

#### ②異物混入試験(その1)

異物として鉄粉100メッシュの粒子をグリースとの混合比100:1(重量比)の割合で混ぜたものを使用した。試験軸受けおよび正常軸受けに正常グリースを注

入し定格回転数(3600RPM)で連続運転をおこなった。この状態で30分保持し異物混入グリースを35g注入した。異物混入前の軸受け部の振動加速度は0.7Gであったのに対し、異物とする鉄粉100メッシュ1%含有のグリース注入後の振動加速度は徐々に増大し7時間後には初期値の6倍になり検出システムの異常検出レベルをオーバーし重故障アラームが作動した。トレンドデータは異常発生に至るまでの振動レベルは増減しながら全体として増大している。これは軸受け転送面の面荒れを生じるためと考えられる。振動レベル初期値の3倍時に正常グリースを注入したがレベル減少は認められなかった。試験軸受けの転送面の面荒れについては試験後に軸受けを分解して確認した。

#### ③異物混入試験(その2)

異物として鉄粉60メッシュ以下の粒子をグリースとの混合比100:1(重量比)の割合で混ぜたものを使用した。試験内容は異物混入試験(その1)と同じである。試験の結果、異物混入試験(その1)との相違点は異物の大きさにあり軸受けの異常発生までのトレンドデータに変化が認められた。異物混入前の振動加速度は0.7Gであったが鉄粉60メッシュ以下1%含有の異物混入グリースを注入すると振動レベルが急速に大きくなりわずか3時間で異常検出レベルをオーバーし重故障アラームが作動した。トレンドデータの変化量は急速に振動レベルが増大しており軸受け転送面への粒子の大きい異物混入のため内外輪、ボール間の接触力が増大しそれとともに振動レベルも大きくなったものと考察する。

異物混入試験の考察として、異物の大小2種類の試験をおこなった結果、両者の経時変化に違いが認められた。異物粒子の大きい場合は緩やかな立ち上がり勾配を示した。プラントでの実機運転時に混入する異物の大きさを予想することは困難であるが、60メッシュより大きな粒子の異物が一度に多量混入することは考えにくく、またごく少量の大きな粒子が混入した場合はキズ信号にちかい衝撃波形が生じる。実プラントでは粉塵等の細かい異物が混入する可能性が大きく異物混入試験(その1)のようなゆるやかな経時変化になることが多いと考察する。

#### ④油切れ試験

軸受けが正常であることを確認後、転送面以外のグリースを除去して試験を行った。異物混入試験と同様に試験軸受けおよび正常軸受けに正常グリースを注入

し定格回転数（3600RPM）で連続運転をおこなった。

この状態で 30 分保持し正常時の振動信号を入力した。その後、一時停止させ転送面以外のグリースを除去し、再度 3600RPM にて運転再開した。振動加速度は油切れの状態になると急速に大きくなり試験時間 4 時間後に初期値の 18 倍になった。軸受け異常と表示されてからでもグリースを注入すると振動加速度は初期値と同じレベルまで小さくなることが確認された。すなわち、軸受けの内外輪およびボールへのキズ発生までに至らない段階でグリース注入により正常に復帰させることも可能であることが考察できた。トレンドデータの変化量から油切れの特性としては異物混入と比較して異常時の加速度振動波形の立ち上がりは急勾配の傾きとなると考察する。

## 5.2 実プラントでのフィールドテスト

運転稼働中の実プラントでのフィールドテストでは、ポンプ駆動用誘導電動機を対象機器として、1 年間おこなった。フィールドテストでは、軸受けの経年変化などのデータを得ることを考慮して同種の軸受けについて、(a) 2 年間使用の軸受け、(b) 1 年間使用の軸受け、(c) 新品の軸受けの 3 種 16 個についてモニタリングをおこなった。これらの代表的な軸受けについての振動トレンドデータを Fig.4 に示す。

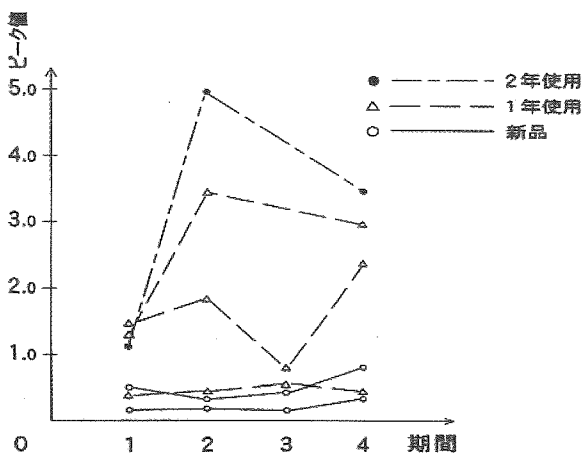


Fig.4 Time trend data of bearings

この図から明らかなように、軸受けの使用期間とピーク値とに相関が認められる。これらのデータは、5.1 で考察した工場における試験装置によるデータと同じ傾向を示している。テスト期間中、「キズ」と分類された軸受けは、フィールドテスト後の分解検査で「キズ」が

発見された。

「潤滑不良」と思われる軸受けについてモニタリングを行うと異常警報が発生した。異常警報が発生した際、ただちにグリースの給脂を行うと大部分の軸受け振動ピーク値が減少し正常情愛に回復し警報は解除された。

Fig.5(a)(b)にグリース注入前後の波形を示す。

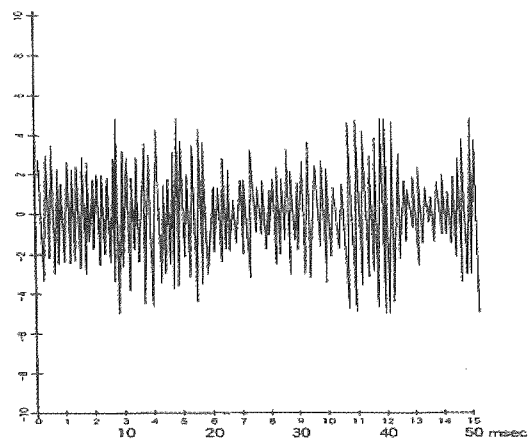


Fig.5 (a) Poor lubrication

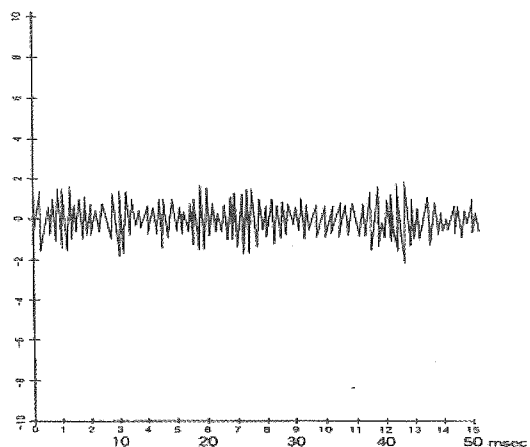


Fig.5 (b) Greased bearing

正常状態に回復しなかった軸受けについては、分解後グリース調査をおこなうと、グリースは黒い炉に変色していることが判明した。この原因は磨耗粉の混入によるものと考えられ軸受け内部に異変があると推定しさらに詳しい調査をおこなったところ保持器および転動体に各々「磨耗箇所有り」との結果を得た。これは、転動体と保持器間の潤滑不良があったものと考えられる。このような潤滑不良などの異常状態時に発生する可聴領域外の高周波成分及び間欠的に発生するキズによる成分は、現在プラントで行われている作業員による聴棒診断では、判定困難と推定されるものである。フィールドテストにて異常と表示された電動機 7 台中

6台の軸受けについて分解調査をおこなった。その結果、2年間以上使用された軸受けについては交換時期になっていたこと、新品の軸受けであるのに警報が発生した軸受けは転がり軸受け自体に異常が認められた。これらのフィールドテストの結果と軸受けの分解調査の結果から、提案した軸受けのモニタリングシステムの利用により実プラントでの軸受けの振動波形データからリアルタイムで異常状態の分類・検出が可能となったと考察できた。

## 6. 結言

プラントにおいて「安全な運転」を継続し事故を未然に防ぐために、「その場計測による回転機器の軸受けのモニタリングシステム」を提案した。回転機器の軸受けの異常現象を分類し検出する振動波形解析法を適用した軸受けのモニタリングシステムをもちいて試験プラントおよび運転稼働中の実プラントでフィールドテストをおこなった。本研究で得られた結果を要約する。

1) モニタリングシステムにておこなった工場内の試験プラントでのフィールドテストでは、「キズ」、「異物混入」、「油切れ」の異常現象を強制的に発生させた軸受けをサンプルとした。「キズ」サンプルの軸受けはすべて「キズあり」と分類・表示された。「異物混入」サンプルについては、2種類の粒子の大きさの違う異物を混入して試験をおこなった。試験開始後7時間後、3時間後に各々「異物混入」の警報が表示された。「油切れ」サンプルは4時間後に「油切れ」警報が表示された。これらの結果からすべての異常状態に対してその場計測で検査分類が可能と考察できた。

2) 運転稼働中の実プラントでのフィールドテストは1年間おこなった。フィールドテスト期間中に警報が発生した軸受けについてはフィールドテスト終了後に分解調査をおこなった。分解調査結果とフィールドテスト期間中警報内容はすべて一致した。これらの結果から実プラントでのその場計測による軸受けの振動波形データからリアルタイムで異常状態の分類・検出が可能となったと考察できた。

1) 2) の結果から、軸受けの振動波形データ解析により運転稼働中の実プラントの回転機器の軸受けに発生する異常現象をその場計測で自動的に分類することが本研究で提案したモニタリングシステムで可能となったことを考察した。

## 参考文献

- [1] 高田浩年、柏原了、“転がり軸受けの寿命と信頼性”、日刊工業新聞社、2005
- [2] 山本 鎮男、“ヘルスマニタリング”、共立出版、1999
- [3] 日本非破壊検査協会、“新 非破壊検査便覧”、日刊工業新聞、1992
- [4] 會田範宗、“軸受”、岩波全書、岩波書店、1964
- [5] 五十嵐昭男、“玉軸受けの振動に関する研究”、日本機械学会論文集、vol.37,1971,pp1774-1781
- [6] 日野幹雄、“スペクトラム解析”、朝倉書店 1983
- [7] 磯部孝(編)、“相関函数およびスペクトル”、東京大学出版会、1968
- [8] J.S.Bandat and A.G.Piersol, “Random Data Analysis and Measurement Procedures”, Wiley-interscience, 1971
- [9] K. Fukunaga, “Introduction to Statistical Pattern Recognition”, Academic Press, 1972
- [10] T.Usami et al:US Patent ,4,493,042, “Bearing failure judging Apparatus”, .1985

(平成19年11月14日)