

AE法による低速転がり軸受の診断技術

Diagnosis of Low Speed Rolling Element Bearing by AE Method.

旭化成エンジニアリング株式会社 迫 孝司 Takashi SAKO Non-Member
岩崎 俊二 Shunji IWASAKI Non-Member
金子 修一 Syuichi KANEKO Non-Member

Abstract

Most of low speed rotating equipments includes large important equipments, and an equipment stoppage caused by damage of rolling element bearing brings significant losses to a plant. This paper relates to a diagnostic method of rolling element bearing in low speed rotating equipment of 100 rpm or less, and proposes a method to diagnose using AE envelope waveform of a 100 k to 1 MHz frequency region. Abnormality diagnosis was enabled even from rotation number of 1 rpm by improving the S/N ratio by the method of further amplifying after envelope processing in addition to amplification of AE waveform. Furthermore, a method to remove electric noises in an event counting method and an abnormality judgment method by an event counting method in low speed rotation are proposed. We are manufacturing the diagnostic instrument by this diagnostic method, and are utilizing for the abnormality diagnosis and condition monitoring on sites.

Keywords: machine diagnosis, signal processing, low speed rotating equipment, rolling element bearing, acoustic emission

1. はじめに

設備の高経年化が進む昨今、ますます設備管理の重要性が高まっている。製造業 296 事業場に対して行った調査結果によると、モータやポンプ、ファン、圧縮機などの動機械では新設から 20 年以上を経過している設備が 45.9%であり、30 年以上を経過している設備が 16.6%を占めていることが報告されている^[1]。

そして、動機械における機械要素の内、もっとも異常発生頻度の高い機械要素は転がり軸受である。転がり軸受は、荷重を受けて転動体が内輪や外輪と接触しながら回転するため、潤滑状態や荷重過大などに起因した磨耗や転がり疲労はく離、亀裂などの異常が発生し、これらの異常が進行すると転がり軸受の破壊に至り、動機械の停止による多大な損失が発生する。1995 年 3 月に（社）潤滑油協会から発表された「潤滑管理効率化促進調査報告書」による 18 業種 511 事業所における設備管理技術についての実態調査結果によると、破損割合の最も高い機械要素は転がり軸受であり約 3 割を占めている^[2]。また、転がり軸受に最も多く活用されている状態監視技術は振動法である。鉄鋼 7 社（16 事業所）及び重工業 7 社で行われた調査結果でも同様であり、故障 295 件の内転がり軸受が 69 件と最も多く、その中の 72%にあたる 50 件が

振動法で行われているという結果が報告されている^[3]。

しかし、回転数数百 rpm 以下の低速回転数領域においては、転動体の周速が遅いため、その転動体と軌道面に発生した傷との衝突により発生する加速度値のレベルが低くなる。それにより、環境や計測器の雑音に埋もれてしまい、異常の検出が困難となるという問題がある。

本論文では周波数領域 0.1~1MHz の AE 波形をエンベロープ処理した波形を用いて診断する方法を提案する。AE エンベロープ波形を増幅することで異常検出感度を高め、一般的に低速回転数領域といわれる 100rpm 程度はもちろん、特に回転数で 1rpm 程度、dn 値（軸受内径 mm と回転数 rpm の積）で 25mm/min 程度からの超低速回転数領域での異常診断を可能とした。さらに、事象計数法におけるノイズ除去回路と異常判定回路を搭載した診断器を製作し、現場での診断にて成果をあげた診断例について報告する。

2. 低速転がり軸受異常検知の振動法の現状

深溝玉軸受の外輪軌道面にダイヤモンドヤスリにて人工傷を作成し、回転数 1~1500rpm において正常軸受との振動加速度値レベルの比較を行った。供試軸受には内径 60mm の軸受 6312 を用い、作成した傷のサイズは軌道面中央部で幅 1.02mm、深さ 0.15mm であり、潤滑はグリースとした。圧電型加速度センサを軸受ハウジングにねじ込み固定して測定した。Fig.1 は縦軸に周波数 10~30kHz

連絡先: 迫 孝司, 〒108-0075 東京都港区港南 4-1-8 リパージュ品川ビル, 旭化成エンジニアリング株式会社, E-mail: sako.tb@om.asahi-kasei.co.jp

の加速度 O/A 値と Peak 値をとり、横軸に回転数をとる。本計測システムのバックグラウンドノイズレベルは 0.004G である。

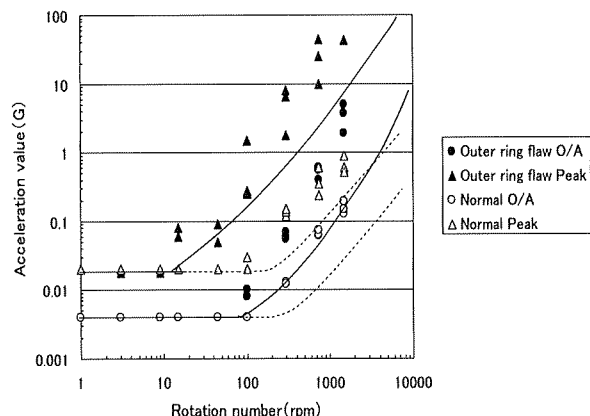


Fig.1 Acceleration value comparison between outer ring flaw bearing and normal bearing.

Fig. 1 に示すように、100rpm 以上の回転数における加速度 O/A 値は、外輪傷軸受から発生した加速度値レベルと正常軸受からの加速度値レベルとは差異が見られる。しかし、100rpm よりも低い回転数領域では、外輪傷軸受と正常軸受との加速度値レベルの差異は見られなくなり、両者とも計測器ノイズレベルである 0.004G となっている。

一方、加速度ピーク値に着目すると、O/A 値に比べて低速領域まで差異が見られるものの、回転数 30rpm 程度が限界である。つまり、軸受内径 d mm と回転数 n rpm の軸受内径の積である dn 値で評価すると、加速度 O/A 値で 6000mm/min、加速度ピーク値で 1800mm/min 程度が、振動法による異常検知の限界といえる。

回転数 100rpm 以下の低速回転数領域においては転動体の周速が極端に遅くなり、外輪や内輪の軌道面に存在する傷と転動体の衝突による衝撃レベルが低くなり、環境や計測器のノイズレベルに埋もれてしまう。さらには、低速回転数領域では傷に転動体が衝突して次の転動体と同じ傷に衝突するまで、つまり異常波形と異常波形の発生時間のインターバルが長くなる。したがって、通常の振動モニタリングで用いられている実効値などでは正常との差異が弁別しにくくなるので、低速軸受状態監視用に別の信号処理方法が必要となる。

3. 超低速回転数領域における AE 法の適用^[4]

正常な状態から転がり疲労はく離を発生させるまでの過程を AE でモニタリングする加速寿命試験を行うため

に、模擬的なスラスト玉軸受を供試軸受とした。

スラスト玉軸受 (型式 51105) の内輪とスラスト玉軸受 (型式 51205) の外輪の背面を用いて点接触させて、接触圧力を高めることで加速させる方法を採用した。実験装置は Fig.2 に示すものであり、油圧シリンダにて供試軸受にスラスト荷重を掛け、モータからタイミングベルトを介して回転させる。

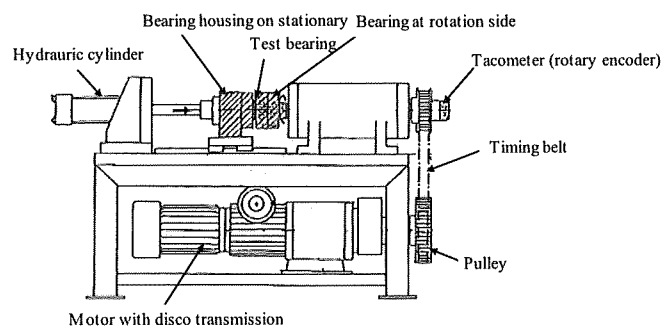


Fig.2 Experimental equipment for accelerated life test.

回転数 50rpm にて実施した加速寿命試験において、はく離進展中に得られた AE スペクトルの一例を Fig.3 に示す。これにより、周波数成分が最大 500kHz 程度まで周波数成分が広く分布していることがわかる。この時、目視によるはく離長は約 2mm から 4mm に進展していた。

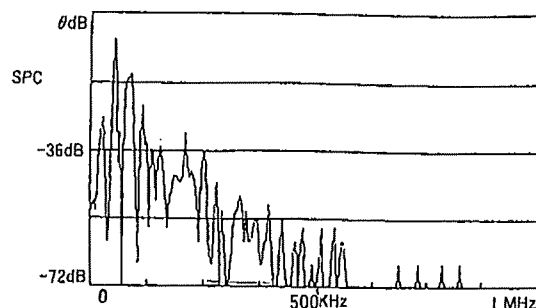


Fig.3 AE spectrum obtained at progressing of flaking.

このはく離異常から発生する 500kHz 前後までの AE 周波数をとらえるために、0.1~1MHz の広帯域 AE センサを用いることとした。

また、低速回転状態では転動体の周速が遅くなることにより衝撃レベルが低下することに加えて、きずと転動体の衝突のインターバルが長くなることで O/A 値などの平均化処理では S/N 比が低下する。したがって、単位時間における AE 包絡線検波波形の最大値と事象数による状態監視方法を採用した。事象計数法により異常を見逃すことなく早期に検知し、AE 波形と包絡線スペクトルの観察により異常の種類を判別するという組み合わせで総合的に診断する。

AE 法の欠点である高周波数の AE 生信号の処理に要す

る長時間と大容量のデータ量及びノイズの影響を受けやすいという点をクリアできれば、超低速回転数領域での異常検知が可能となると考えられる。

すなわち、30rpm 以下の超低速回転がり軸受の異常診断のために現場で使用する診断器へ反映させるべく、実用的な観点から、検出感度の向上、ノイズ除去、異常判定方法の3点について提案を行う。ただし、特に重要な異常モードである回転がり疲労はく離、潤滑不良（油切れ、異物混入）、嵌め合いガタの検出を対象とする。

3.1 検出感度の向上：AE エンベロープ波形の増幅

回転数 1rpm からの超低速回転数領域における異常検出を可能にする目的で、まず、AE 波形を 80dB で増幅し、エンベロープ処理を行った後、さらに増幅させる。具体的には、Fig4 に示すように、まず、検出した AE 信号が AE センサから計測器本体までの間のケーブルからのノイズの影響、信号の減衰に対処するために、前置増幅器 40dB を備えたプリアンプ内蔵センサを用いる。その後、バンドパスフィルタにて解析に必要な周波数帯域 0.1~1MHz に絞り、さらに、40dB の増幅器にて合計 80dB の増幅度を得る。そして、エンベロープ処理回路により AE 波形をエンベロープ波形に変換した後に第 2 増幅器にて 10dB 増幅する。

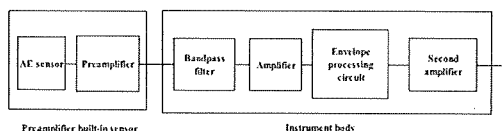


Fig.4 Measuring system.

回転数 1~30rpm の超低速回転数領域でのはく離検出能力比較試験を Fig. 2 の試験装置を用いて実施した。AE 波形をエンベロープ処理した波形のスペクトルにおける式(1)に示す外輪傷周波数 f_{out} の発生有無により、はく離異常検出限界を調査した(12)。

$$f_{out} = \frac{Z}{2} \times f_r \times \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha\right) \quad \dots(1)$$

- ここで、 f_r : 回転周波数 (Hz)
- D : ピッチ円直径 (mm)
- d : 転動体直径 (mm)
- Z : 転動体個数 (個)
- α : 接触角 (deg)

Fig.5 に回転数 1rpm における増幅度 80dB による AE エンベロープスペクトルを示す。はく離異常を示す特徴的

な周波数の発生が見られていないことがわかる。一方、増幅度 80dB+10dB における AE エンベロープスペクトルを Fig.6 に示す。Fig.5 と異なり、外輪傷周波数 f_{out} とその高調波が発生している。

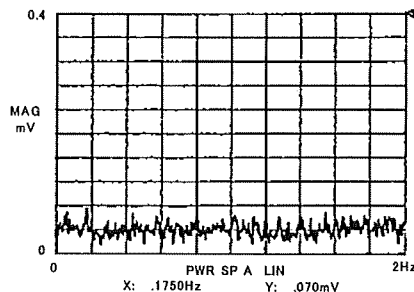


Fig.5 AE envelope spectrum at progress of outer ring flaking (rotation number 1rpm, amplification degree 80dB).

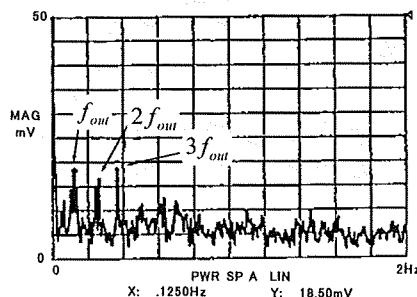


Fig.6 AE envelope spectra at progress of outer ring flaking (rotation number 1 rpm, amplification degree 80 dB+10dB).

各回転数における増幅度 60dB、80dB に加えて 80dB+10dB の各条件で得られた AE エンベロープスペクトルにて発生した外輪傷周波数 f_{out} のレベルをプロットしたものを Fig.7 に示す。これより、増幅度 80dB+10dB では 1rpm 以上の各回転数において明確に外輪はく離を検出できていることがわかる。

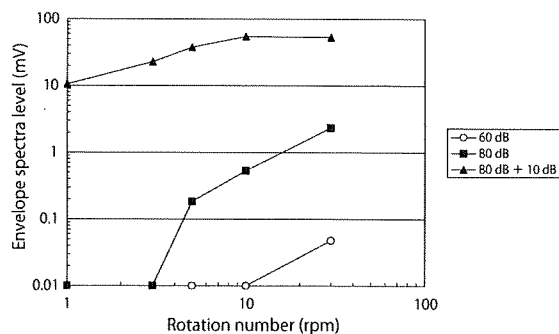


Fig.7 Flaking abnormality detection capability comparison in the extremely low speed rotation number. (Comparison between amplification degree 80 dB and 80+10 dB).

3.2 ノイズ除去

事象計数法を用いて異常検出を行うとき、Fig.8 に示すような電氣的なノイズ波形が外部から飛来して本来の異常波形に重畳されることにより、計数率に誤差が生じる場合がある。

従来法である持続時間によるノイズ弁別法を試みたが、はく離波形を正確に計数できるようなエンベロープ処理の時定数を定めると、Fig.8 に示すような波形のエンベロープ波形がはく離異常を示す AE 波形のエンベロープ波形と酷似したものとなってしまう、持続時間では弁別できない。

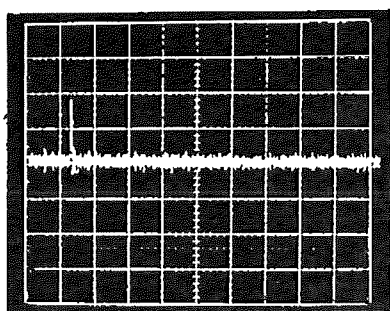


Fig.8 Electric noise waveform.

そこで、Fig.9 に示す新たなノイズ除去法を考案した。すなわち、通常的事象計数法と並列にリングダウン計数法を行い、事象計数法にて得られた持続時間内に何個のリングダウン計数値が得られているかで信号かノイズかを弁別する方式である。異常現象として、はく離発生時を例として説明する。はく離異常やノイズが発生すると、しきい値②を超えた AE 信号が発生する。これをリングダウン計数法で計数すると、Fig.9 のコンパレータ②に示すように、数の多いパルス波形の集合と少ない集合が発生する。この数の多い集合が異常信号であり、少ない集合がノイズ波形である。これらを弁別する必要があるが、計数するための時間幅が決められない。そこで、AE 波形をエンベロープ処理し、しきい値①を超えた時間（持続時間）を用いて、この間に発生しているコンパレータ②の数で弁別する方式を考案した。このような考え方にに基づき、はく離異常信号とノイズ信号の混在した AE 波形についてエンベロープ処理した波形（Fig.9 中のエンベロープ波形）に対してしきい値①を超えた時間（持続時間 $t_1 \sim t_4$ ）を求める。このしきい値を超えた信号をパルス波形に変換する（Fig.9 中のコンパレータ①）。さらに、これとは並列に同じはく離異常信号に対して、しきい値②を設定してリングダウン計数を行う（Fig.9 中のコンパレータ②）。持続時間とリングダウン数を比較して、予め設定

した個数 n よりも多ければ異常信号、同じか少なければノイズ信号と弁別して計数する（Fig.9 中の EVENT）。

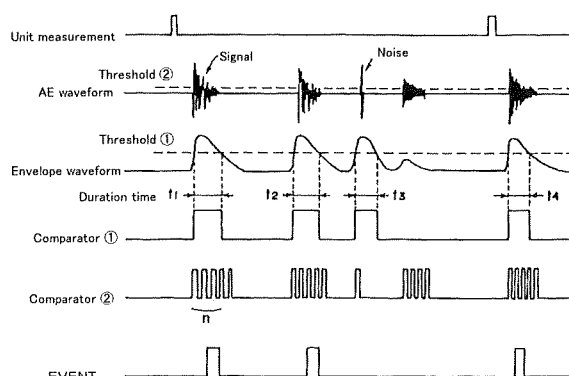


Fig.9 New noise discrimination method.

実際の計測器においては、しきい値①は正常状態の包絡線検波波形をオシロスコープなどで観察してそれを基準に設定する。対象機器の AE レベルはそれぞれ異なるため可変としている。しきい値②は固定としており、増幅後の計測器の電気ノイズレベルを基準に正常状態の AE 波形のレベルが超えない値に決定する。予め決定しておくリングダウン計数値 n も固定としており、試験にて得られた電気ノイズ波形と加速寿命試験で得られたはく離異常との比較により決定する。

3.3 異常判定方法（計測単位時間と異常判定基準）

低速回転数の場合、例えば 1rpm と 30rpm では 1 回転に要する時間は 30 倍も大きく異なる。逆に、同じ計測時間で事象計数法を実施した場合には、同じ軸受でも 30 倍も事象数が異なることになる。これでは僅かな回転数の違いにより異常判定が困難となる。そこで、式 (2) より算出した計測単位時間 T を用いることで、回転数が異なる軸受にも同等に事象数による評価ができるようにした。

$$T = \frac{60}{n} \times m \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 T : 計測単位時間 (s)

n : 回転数(rpm)

m : 判定に要する総回転数(rev)

軸受の嵌め合いガタが発生した場合、異常信号による事象は 1 回転に 1 回発生する。転がり疲労はく離が発生した場合、発生位置が外輪軌道面の時は式(1)にて周期性が求められる。内輪軌道面の時は式(3)、転動体の時は式(4)で求められる。

$$f_{in} = \frac{Z}{2} \times f_r \times \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha\right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$f_b = \frac{f_r \times D}{d} \times \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \alpha\right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式(1), 式(3), 式(4)のいずれも f_{out} よりも大きい値となるので、1回転に1回以上発生することになる。油ぎれや異物混入時には周期性はないものの、1回転に1回よりも多くの事象数が発生する。したがって、異常時は計測時間 T 内で式(2)中の m 個以上の個数が発生するといえる。

よって、計測単位時間 T において、事象数 m 個以上の場合は異常、1～(m-1) 個の場合は注意、0 個の場合に正常と判定できる。また、 m を異常判定基準と呼ぶ。

3.4 超低速回転における加速寿命試験⁵⁾

超低速回転数で回転する転がり軸受が正常な状態から転がり疲労はく離の発生に至るまでの過程を、AE によりモニタリングして異常検出能力の評価を実施した。回転数 1rpm における加速寿命試験では、供試軸受ハウジングに AE センサ設置して計測した。

AE と加速度の検出性能の差異を明確にするために、同じ信号処理方法である事象計数法を用いて比較試験を行った。AE と加速度は、周波数帯域以外は全く同一の測定系としており、AE の測定周波数は 0.1～1MHz である。

実験装置は Fig.2 に示すものを用いた。

3.4.1 供試軸受

スラスト玉軸受 (型式 51105) の内輪とスラスト玉軸受 (型式 51205) の外輪の背面を用いた模擬的なスラスト玉軸受を供試軸受とし、点接触させることで接触圧力を高め、さらに転動体の数を通常の 15 個から 5 個に減らすことで玉 1 個にかかる荷重を増やすことで加速性を高めている(5)。荷重は油圧シリンダにて 19.6kN に設定しており、点接触となる外輪側の Hertz 最大接触圧力の計算値は 9.86GPa と非常に過酷な条件とした。ただし、外輪面は塑性変形するので実際には計算値よりも低い値となる。また、潤滑はグリースとした。

3.4.2 試験条件

Hertz 最大接触圧力 9.86GPa という過酷な条件で試験しても回転数 1rpm という超低速では疲労はく離が発生するまで非常に長い時間が必要となる。したがって、寿命推定時間を計算してそのほとんどを 478rpm にて疲労さ

せ、残りの寿命を超低速回転数で試験するという方法を実施した。具体的には AE エンベロープピーク値のトレンドを見ながら 478rpm で回転させて変化が生じた時点で停止し、試験回転数である 1rpm に設定して行った。この時、内輪と玉、保持器を新品に交換し、外輪面にはく離の発生がないことを目視にて確認して試験を再開した。増幅度は 70dB+10dB とし、事象計数法のしきい値は 0.5V に設定して実施した。計測単位時間は 10min とし判定に要する総回転数 m は 10 回転であるので、異常判定基準を 10 個とした。

3.4.3 試験結果

試験開始後、990min にて異常判定個数を超えたので試験を停止した。Fig.10 に回転数 1rpm で試験開始後 820min から試験停止時の 990min までの AE 事象率 (個/10min) の推移を示す。820min 時点では外輪軌道面に異常は見られていないことを確認している。

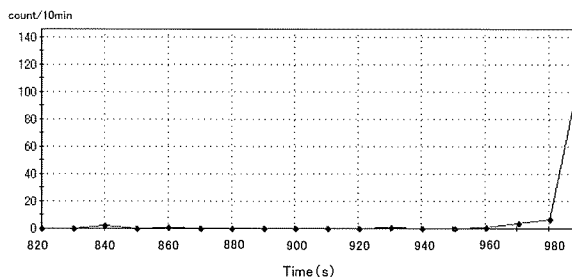


Fig.10 Trend of event count rate (1 rpm)

930min と 960min で 1 個、970min で 2 個、980min で 6 個発生し、990min で一気に 120 個発生している。それまでに 840min で 2 個計数しているが一過性のものであり、その後 0 個となっている。

また、Fig.11 に AE エンベロープ波形の計測単位時間内に発生した最大値の推移を示す。

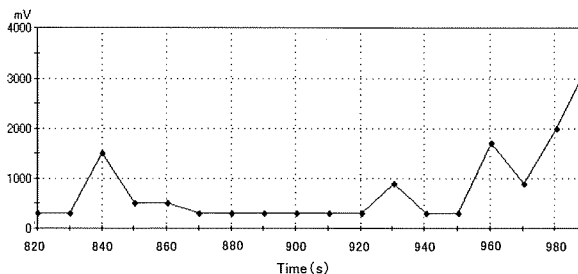


Fig.11 Trend of peak value of AE envelope waveform (1 rpm)

840min で 1500mV 発生した後、930min で 950mV、960min で 1700mV 発生した後は、毎回 500mV を超えて上昇傾向を示し、990min では 3200mV の高いレベルの AE が発生している。試験停止時には、Fig.12 に示すような外輪軌道

面にはく離の初期段階である長さ約 300 μm の微小なクラックの発生が見られた。

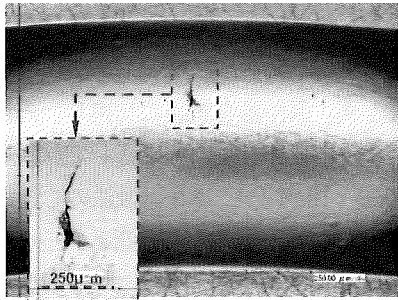


Fig.12 Outer ring flaking confirmed at the time of 990 min stop.

3.5 超低速回転における潤滑不良試験⁶⁾

加速寿命試験と同じ試験方法で、回転数 20rpm において油ぎれ状態で回転させ、途中から潤滑油を注油して正常な状態に戻す試験を行い、AE の挙動を確認した。

Fig.13 にその過程での AE 事象率 (個/30s) の推移を示す。注油後急速に事象数が減少し 0 個となっている。

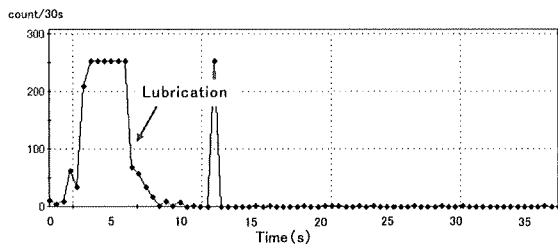


Fig.13 Trend of event count rate (20 rpm)

Fig.14 に AE エンベロープピーク値の推移を示す。油ぎれ状態では 3000mV を超えていたが、注油後急激な低下を示して良好な状態になっていることが伺える。

また、Fig.15 に注油前後における AE 波形の比較を示す。油ぎれにより転動体と内輪、外輪が金属接触を起こして発生している突発型の AE 波形が、注油後に正常な波形に変化している。

つまり、低速回転数領域においても AE にて油ぎれを検知でき、表面起点によるはく離が発生する前に注油することで正常な状態に戻ることができる。

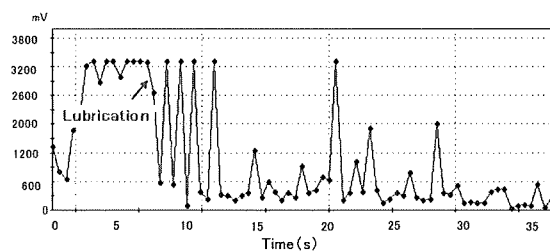


Fig.14 Trend of peak value of AE envelope waveform (1 rpm)

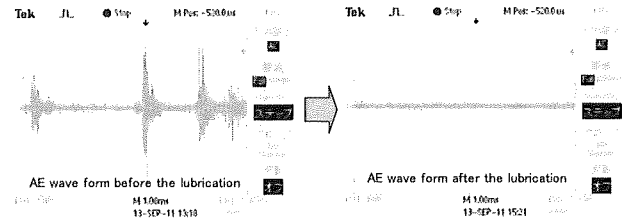


Fig.15 AE waveform

4. 実機による実施例

4.1 横型サイクロ減速機における実施例⁶⁾⁷⁾

重要機器である横型のサイクロ減速機について、振動と AE で診断した実施例を紹介する。

対象機器のサイクロ減速機の略図および測定点を Fig.16 に示す。モータの回転数は 1000rpm であり、減速機の出力回転数は 34rpm である。

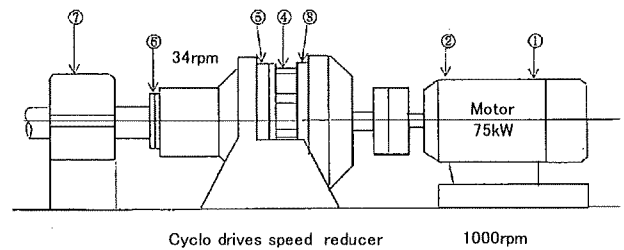


Fig.16 Sketch of cyclo drives speed reducer (Horizontal type).

Pos③の H 方向における振動速度波形とスペクトルを Fig.17 に示す。外ピンと曲線板の噛み合い周波数 P_0 ($33.1\text{Hz} = \text{出力回転周波数} \times \text{歯数} \times \text{曲線板枚数} = 34/60 \times 29 \times 2$) およびその 2 倍 (66.2Hz) が発生しており、 $2P_0$ のレベルの方が高い。この $2P_0$ 廻りをズームングしたスペクトル ($60.25 \sim 72.75\text{Hz}$) を Fig.18 に示す。

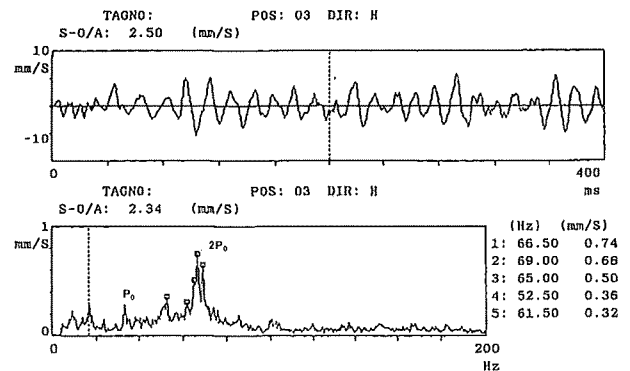


Fig.17 Vibration velocity waveform and spectrum (Pos. 3)

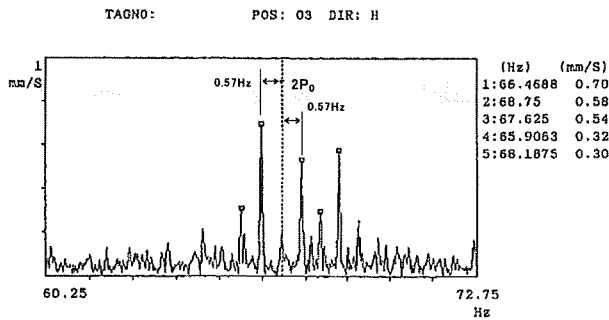


Fig.18 Zooming spectrum (60.25~72.75Hz)

2P₀ 廻りに出力回転周波数 0.57Hz 間隔で側帯波の発生が見られ、曲線板の摩耗の影響が考えられる。

Fig.19にPos③における振動加速度波形とスペクトルを示す。加速度レベルは極めて低いが、波形では振幅は小さいものの突発型波形の発生が見られる。

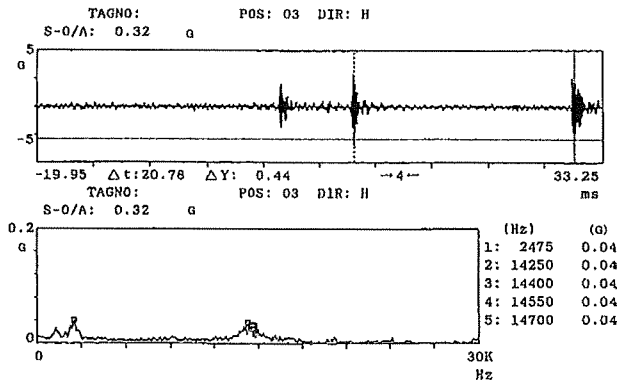


Fig.19 Vibration acceleration waveform and spectrum (Pos. 3).

Fig.20に加速度エンベロープのスペクトルを示す。1k~10kHzと10k~30kHzの各周波数領域に分けて表示しているが、両方とも全く特別なスペクトルの発生が見られず、Fig.19で見られた突発型波形の周期性はないと言える。

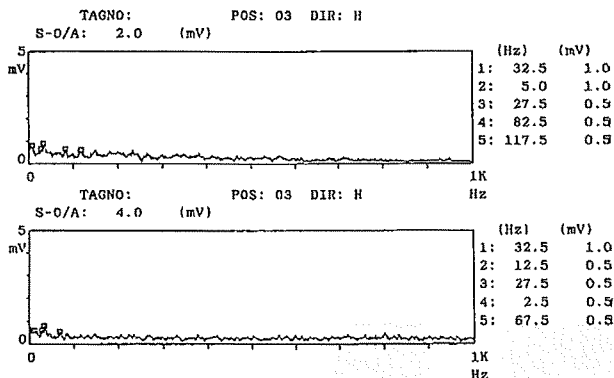


Fig.20 Acceleration envelope spectrum (pos.3)

Pos③~⑦の低速回転数領域における AE のエンベロープピーク値と事象数を Fig.21 に示す。増幅度 50dB+10dB、しきい値 500mV で実施している。Pos③~⑤の AE レベルが高く、異常部位はサイクロ減速機本体であることが

わかる。Pos⑥とPos⑦には問題ないと言える。

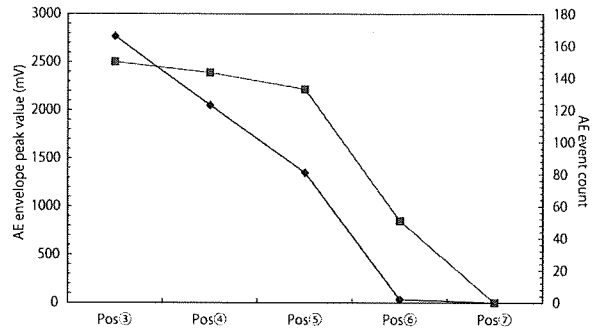


Fig.21 AE envelope peak value and AE event count

Fig.22にPos③で発生していた AE 波形と AE エンベロープ波形を示す。突発型の AE 波形が発生しており、異常の発生を示している。

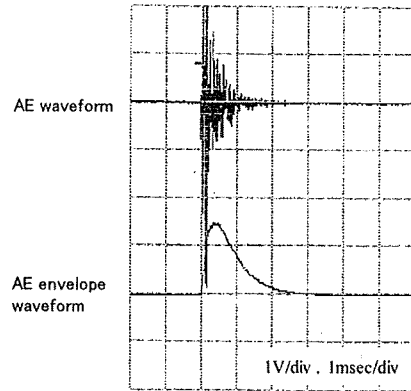


Fig.22 AE waveform and AE envelope waveform (Pos. 3)

Fig.23に20HzまでのPos③における AE エンベロープスペクトルを示す。出力回転周波数 f_L (0.57Hz) と $2f_L$ が発生しておりガタの発生が見られる。また、偏心体軸受の内輪きず周波数 f_{in} と $2f_{in}$ が発生しており、偏心体軸受の内輪にきずが発生していることが伺える。

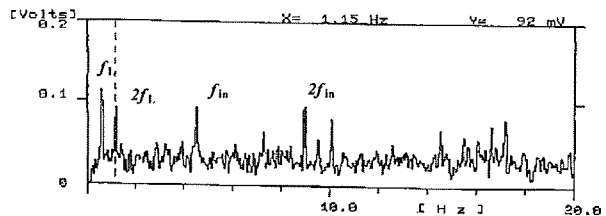
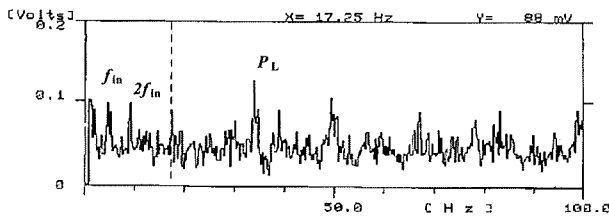


Fig.23 AE envelope spectrum (Pos. 3) f_{max} : 20Hz

また、Fig.24に100Hzまでの AE エンベロープスペクトルを示す。上述の内輪きず周波数の他、Fig.17にて振動速度スペクトルでも発生していた外ピンと曲線板の噛み合い周波数 P₀ (33.1Hz) が発生しており、曲線板の摩耗が発生していると考えられる。



開放点検での結果では診断結果通り、偏心軸受の内輪のきずと曲線板の摩耗が確認された。

4.2 縦型サイクロ減速機における実施例⁷⁾

攪拌機用のサイクロ減速機から異音が発生するため振動とAEにより、診断を行った。対象機器の略図と測定点を Fig.25 に示す。モータの回転数は1485rpmであり、減速機の出力回転数は91rpmである。

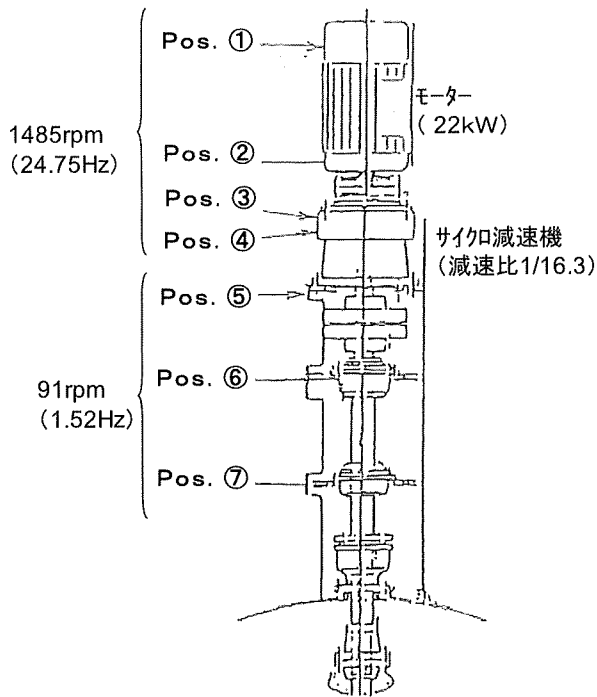


Fig.25 Sketch of cyclo drives speed reducer (Vertical type)

Pos④における振動加速度波形とスペクトルを Fig.26 に示す。20kHz 近傍のスペクトルが発生しており、O/A 値も 2.8G と高めである。

Fig.27 にエンベロップスペクトルを示す。特に、10k~30kHz のエンベロップスペクトルは入力軸回転周波数 f_H (24.75Hz) およびその高次成分の発生が顕著である。つまり、レベルが高い 20kHz 近傍の加速度は入力軸の回転周波数の周期で発生しており、ガタの発生が考えられる。

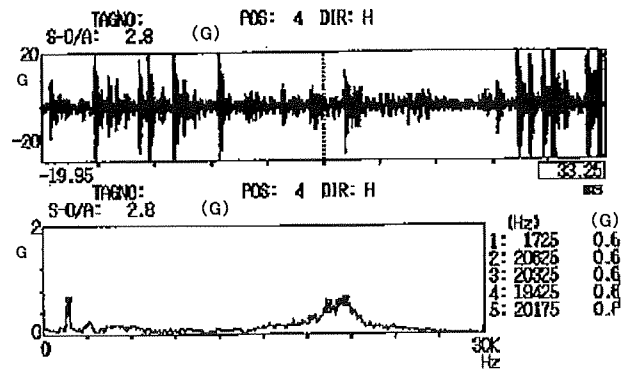


Fig.26 Vibration acceleration waveform and spectrum (Pos. 4)

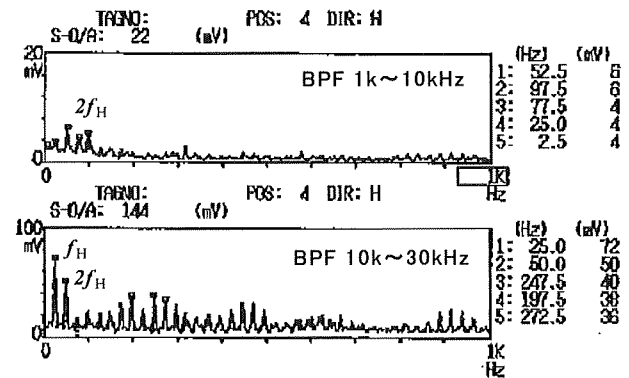


Fig.27 Acceleration envelope spectrum (Pos.4)

サイクロ減速機の出力側の Pos⑤における AE エンベロップスペクトルを Fig.28 に示す。ここでも、入力軸側の回転周波数 f_H (24.75Hz) およびその高次成分の発生が見られる。つまり、この異音の原因はサイクロ減速機の入力軸のガタによるものと考えられる。

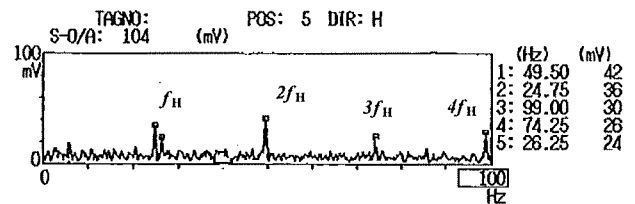


Fig.28 AE envelope spectrum (Pos.5)

開放検査にて得られた分解写真を Fig.29 に示す。

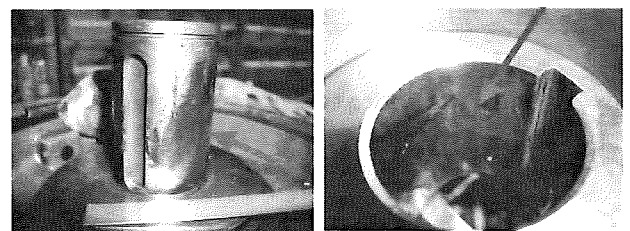


Fig.29 Result of overhaul inspection

モータ軸とそのはめあい部である偏心体軸受のはめあい部にフレティングコロージョンの発生が見られ、はめあいガタが発生しており、診断結果通りの結果であった。

5. 結論

一般に、AE法は数百kHz～数MHzという高周波数のAE生信号を処理することで、解析時間が長く、大容量のデータとなる。また、ノイズの影響を受けやすく、異常信号を抽出する手法が確立されていないという欠点により、振動法に比べて現場での診断が乏しい。そこで、本論文では超低速転がり軸受の診断法として、周波数領域0.1～1MHzのAE波形をエンベロープ処理した波形を用いて診断する方法を提案した。

回転数で1rpm程度、dn値で25mm/min程度からの超低速回転数領域においても有効な診断手法である。振動O/A値で6000mm/min程度、加速度Peak値で1800mm/min程度、AE法で750mm/min程度という従来の実用的な性能と比較すると、本提案手法は非常に優れているといえる。既にこの手法による診断器を開発し、現場での異常診断に活用している。

しかし、現場での活用の際に、0.1～1MHzの計測周波数帯域に外部雑音が混入する場合は、異常検知が困難となる。例えば、岩石などを粉砕する粉砕機の軸受や高周波数の雑音が発生する反応器といった外部雑音が存在する場合において、別途雑音除去法が必要になる。

対象機器である攪拌機や押出機、減速機などによってそれぞれ正常状態でのAE信号レベルが異なるため、現場での最適な計測条件を理論的に一律に定めることは困難である。しかし、加速寿命試験やフィールドテストを重ねることで、ある程度の目安となる計測条件を定めつ

つある。実施例にも示したように異常検知感度の高いAE法と安定して計測できる振動法との特徴を生かし診断精度を高められる。筆者らは、1台で振動とAEとを計測できる診断器を開発した^[5]。

今後、この診断器を用いたフィールドテストを重ね、信頼性の高い診断技術の確立を目指す。

参考文献

- [1] “2011年度メンテナンス実態調査報告書”、日本プラントメンテナンス協会、2012
- [2] “機械の診断・評価技術に関する調査報告書—転がり軸受の異常予知と材料評価—”、D&E研究会、1996、pp.1.
- [3] 前川健二、“設備診断技術ハンドブック”、日本鉄鋼協会編、丸善、1986、pp.24.
- [4] 迫孝司、吉江修、“AEエンベロープ波形を用いた超低速転がり軸受診断法”、電気学会論文誌D、Vol.132、No.4、2012、pp.501-509.
- [5] 迫孝司、東辰夫、金子修一、“ハイブリッド軸受診断システム(MD-370)の技術と適用について”、プラントエンジニア、Vol.44、No.3、2012、pp.23-31.
- [6] 迫孝司、“サイクロ減速機における軸受損傷事例”、v_BASE(振動工学データベース)フォーラム、日本機械学会、2012、pp.13-18.
- [7] 迫孝司、“振動、AE、潤滑油分析を用いたサイクロ減速機の診断事例”、第1回最新設備診断技術の実用性に関する研究会、2009、日本設備管理学会

(平成24年6月16日)