

転がり軸受加速劣化試験

Accelerated Deterioration Test of Roller Bearings

トライボテックス(株) 川畑 雅彦 Masahiko KAWABATA Member
佐々木義憲 Yoshinori SASAKI Non-Member

In Japan the maintenance method of the nuclear plant is mainly time based maintenance (TBM), therefore the reliability and the health of equipment have been secured by periodical maintenance. However, in the new inspection rule which starts from January 2009, with the rise of the expectation for CBM (Condition Based Maintenance) which identify the condition of facilities or equipments during operation, advancement of maintenance technology and condition monitoring technology have been demanded. In the nuclear power industry of many foreign countries and the domestic non-nuclear power industry, the shift to CBM has been already pushed forward positively, as a result, the reduction of the trouble incidence and the rise of plant operation rate have been realized.

With the aged deterioration of a power plant, improving the maintenance at a nuclear power plant in our country is strongly required and the shift to CBM from TBM or the maintenance system which combined TBM and CBM is examined. At this research, improving on the Condition Monitoring Technique is the purpose. The test to monitor the deterioration of the bearing has been carried out by using three kinds of parameters including Vibration, Lubrication Diagnosis, and AE.

The relation and the feature of each parameter were investigated when the progression of deterioration of the bearing was observed at the same time. From this result, we will show what we found that these three kinds of parameters have the feature in the timing of catching the degradation mode.

Keywords: Lubrication Diagnosis, AE, Vibration, Bearing, Wear Debris, Multi Sensing, Condition Monitoring

1. 緒言

我が国の原子力プラントにおける従来の保全方式は、時間基準保全(TBM)が主流であり、一定時間ごとの点検により設備の信頼性や健全性が担保されてきた。

しかし、2009年1月から始まった新検査制度では、設備・機器の稼働中に状態を把握し、適切で的確な保全を実施するCBM(状態基準保全)への期待が高まると同時に、保全技術や状態監視技術の高度化が求められている。[1]

諸外国の原子力産業および国内の非原子力産業においては、既にCBMへの移行が積極的に進められてきており、その結果としてトラブル発生率の低減や高いプラント稼働率が実現されている。

プラントの高経年化に伴い、我が国の原子力プラントには保全の高度化が強く求められており、TBMからCBM、もしくはTBMとCBMをベストミックスさせた保全方式などが検討されている。

連絡先:川畑雅彦、〒474-0052 愛知県大府市長草町山口45-7、トライボテックス(株)、電話: 0562-48-1148、e-mail:kawabata@tribo.co.jp

2. 目的

今回の研究は、回転機器の状態監視技術として最も用いられている振動法に、潤滑油診断法とAE法を加え、転がり軸受の加速劣化試験のデータを3つのパラメータで同時に監視し、これまで明らかにされていなかった転がり軸受が健全な状態から破壊に至る過程と各パラメータの劣化への応答性を確認するとともに、パラメータの複合化の有効性について検討する。

また、試験結果から劣化の判定基準の策定につながる新規パラメータを検討し、状態監視技術の高度化に資することを目的とする。

3. 実験

3.1 転がり軸受加速劣化試験

fig.1は本試験に使用した軸受で、寸法および定格荷重などの諸元をTable 1に示す。

軸受タイプは深溝玉軸受で、呼び番号6006CM、内径30mm、外径55mm、幅13mm、動定格荷重13.2kN、静定格荷重8.3kNである。試験機は、fig.2に示す転がり摩擦試験機を使用した。試験用の軸受は、試験機の主軸端部の軸受箱に組み込まれ、主軸はモーターと減

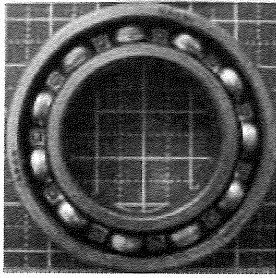
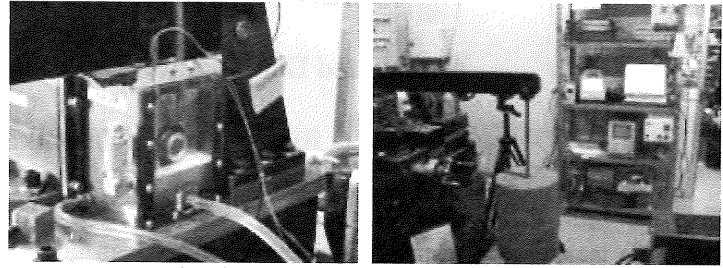


fig.1 試験用軸受

Table 1 試験用軸受の諸元

軸受タイプ	深溝玉軸受
呼び番号	6006CM
内径 ,mm	30
外径 ,mm	55
幅 ,mm	13
動定格荷重,kN	13.2
静定格荷重,kN	8.3



(i)試験部

(ii)荷重部

fig.2 転がり摩擦試験機

Table 2 試験条件

荷重 ,kN	荷重 ,kN
最大面圧 ,GPa	最大面圧 ,GPa
長径 2a ,mm	長径 2a ,mm
短径 2b ,mm	短径 2b ,mm
試験油粘度 ^{グレート}	試験油粘度 ^{グレート}
回転数 ,min-1	回転数 ,min-1
軸受温度 ,°C	軸受温度 ,°C

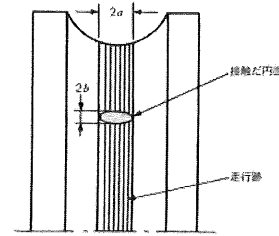


fig.3 接触だ円

速機で結合して回転される。

試験条件を Table 2 および fig.3 に示す。試験荷重は、試験用軸受の動定格荷重の 1.24 倍となる 16.4kN とした。内輪の最大接触圧力は 4.1GPa で、接触面は fig.3 に示すように楕円形状となり、長径 2a が 8.3mm、短径 2b が 0.4mm となる。試験油は ISO VG10 相当の鉱油を使用した。

転がり軸受の損傷兆候は、振動加速度データを監視しながら確認し、加速度の実効値が設定値を超えたとき、または損傷音が確認されたときを試験停止とした。

2.2 AE ならびに振動の測定方法

AE は、fig.4 に示す測定系によって測定を実施した。

測定系は、AE 変換子、前置増幅器、フィルタ・主増幅器

幅器、弁別器、パルスカウンター、コンピューター、オシロスコープから構成されている。AE 変換子は強誘電体の圧電性を利用して AE 信号を電気信号に変換するものである。ここで使用した変換子は、PZT (チタン酸ジルコン酸鉛) 製であって、300~1,400kHz に共振点を持たない。一般に、変換子出力が小さいので、信号の後処理のために増幅される。増幅はノイズ対策を考慮して前置増幅器と主増幅器の 2 段階に分けて行う。バンドパスフィルタが試験機の振動などノイズを除去するために組み込まれている。弁別器は、入力信号を包絡線検波し、検波信号のうち振幅が設定した閾値を超えた信号のみをパルス信号に変換してカウンタに出力する。オシロスコープは AE 波形の観察、記録に用いた。

振動測定は、周波数 0.005~12kHz の範囲で加速度成分を検出できる振動計を使用した。これは片振幅の実効値(3 回目の試験は両振幅)を表示し、記録計に出力する機能を有しており、さらに実効値が設計値を超えるか、軸受の損傷音が確認されたときに荷重を外し、同時に試験機を停止する。

AE 変換子および振動ピックアップは、試験軸受が収まっている軸受ケースの上面にセットし、AE 変換子は受信面にグリースを塗布しねじで押さえ付け、ピックアップは強力な磁石により密着させた。

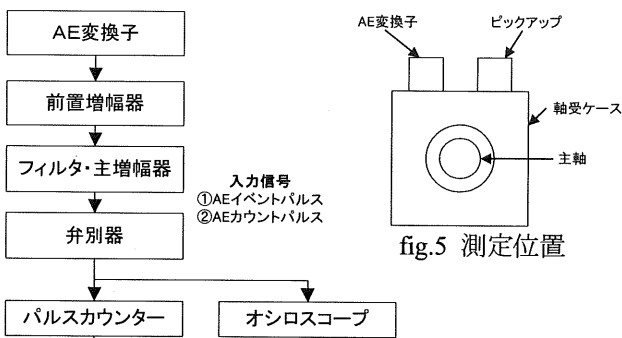


fig.5 測定位置

fig.4 AE 測定系のブロック図

3. 試験結果

3.1 試験 1 回目

fig.6 に試験中に測定した試験 1 回目の軸受温度、油温、回転数、回転トルクを示す。試験は、荷重 16.4kN 一定で行なっており、それに伴い回転数、回転トルクに変動は確認されなかった。軸受温度は油の冷却により 60°C 以下で軸受が損傷するまで続いた。今回、動

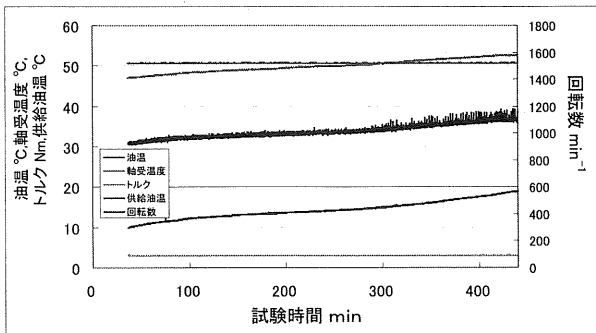


fig.6 測定データ (1 回目)

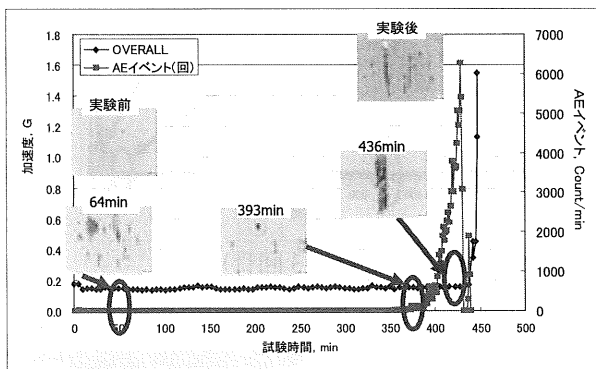
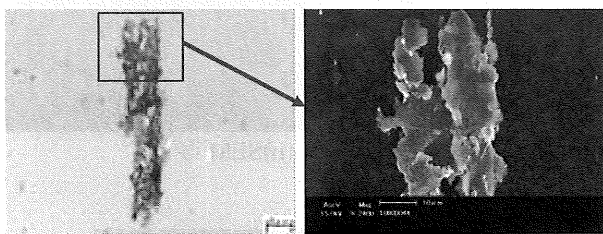
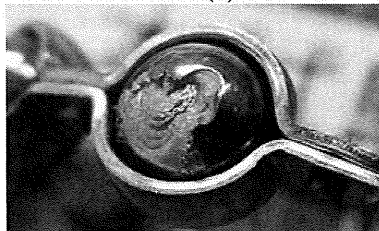


fig.7 AE, 振動, 摩耗粒子 (1 回目)



(i) 光学顕微鏡写真

(ii) SEM 写真



(iii) 転動体の損傷

fig.8 疲労進行期の摩耗粒子

監視パラメータとして着目した AE 信号と振動加速度と静監視パラメータとして着目した摩耗粒子診断の結果を fig.7 に示す。[2],[3]

この結果から確認された点は、疲労の兆候を捉える点で最も早期に捉えたパラメータは AE 信号であり、次に摩耗粒子、そして振動加速度の順となったが、振動加速度の検出は損傷とほぼ同時であった。AE 信号は、振動加速度が検出される 50 分近く前から検出され始め、AE カウントレートは振動加速度が検出される直前まで顕著な増加傾向を示していた。この様子から、軌道面内部に試験開始と同時に動定格荷重の 1.24 倍にあたる 16.4kN の荷重を受けたことにより大きな弾性変形が発生し、転がり運動を繰り返しながらひずみエネルギーが蓄積され、試験開始から 380 分経過した付近で蓄積されたエネルギーが開放され、AE 信号として検出したものと考えられた。

AE に次いで状態の変化を検出したのは、静監視パラメータである摩耗粒子である。摩耗粒子の検出特徴は 2 点確認された。始めの 1 点は、試験開始から 64 分後に採取した試料油中に観察されたなじみ過程で発生する摩耗粒子が観察された点で、もうひとつの点は、AE 信号が検出されなくなり、振動加速度が検出されるまでの間に転がり軌道面の疲労摩耗により発生した摩耗粒子が増加していることを捉えた点で、試験開始後 436 分に採取した試料油中にこの摩耗粒子が観察された。

最後に検出されたのは、動監視パラメータである振動であるが、試験開始後 442 分で損傷音とともに振動加速度が 0.1G から 0.4 に増加し、1.5G となったためこの時点で試験機を停止した。

試験後、試験軸受を分解して確認した結果、fig.8(iii) に示すように転動体の損傷が確認された。

3.2 試験 2 回目

試験 2 回目は、初期荷重を 14.2kN とし、AE カウントレートの増加が確認されてからは 12.2kN に変更した。Fig.9 に試験中に測定した試験 2 回目の軸受温度、油温、回転数、回転トルクを示す。試験時間 750 分経過付近で軸受温度、油温、回転トルクが下降しているが、これは 740 分から AE カウントレートが増加し、損傷の兆候と思われたため、荷重を 14.2kN から 12.2kN に変更したためと推定される。試験中での荷重の変更は、劣化の進行を緩和し、各パラメータで極力多くのデータ採取ができるように工夫したものである。しかし、AE 信号が検出されなくなってから、振動加速度が

検出されるまでの時間および進行期から損傷に至るまでの時間は、試験 1 回目とあまり変わらなかった。尚、劣化進行期における AE 信号、摩耗粒子、振動加速度の変化は、試験 1 回目と同様に AE 信号、摩耗粒

子、振動加速度の順に検出された。

3.3 試験 3 回目

3 回目の試験は、試験 2 回目と同様に初期荷重を 14.2kN とし、AE カウントレートの増加が確認されて

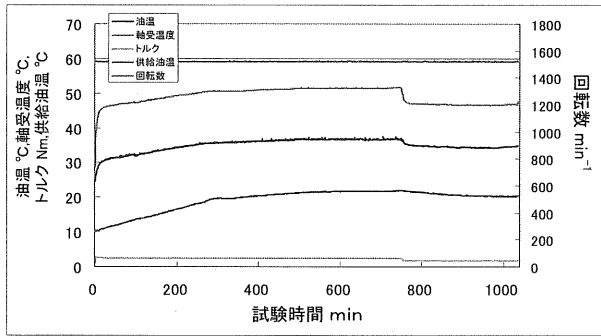


fig.9 測定データ (2 回目)

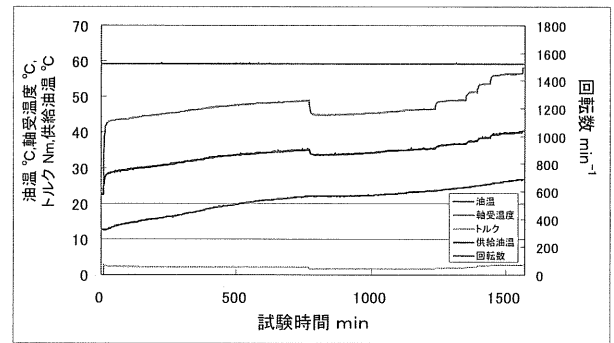


fig.12 測定データ (3 回目)

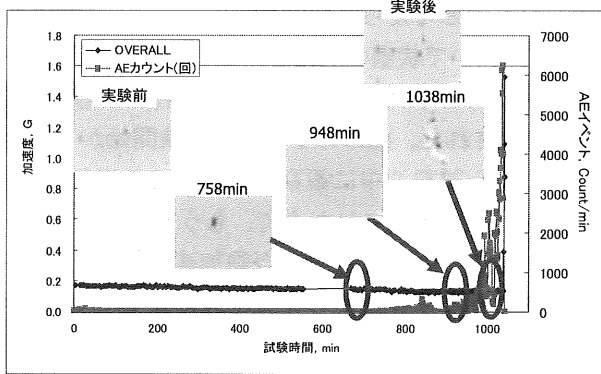


fig.10 AE,振動,摩耗粒子 (2 回目)

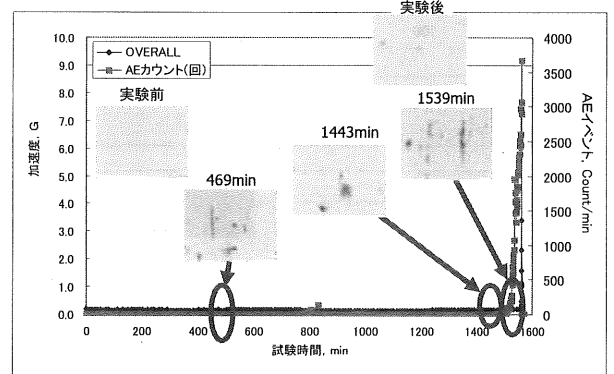
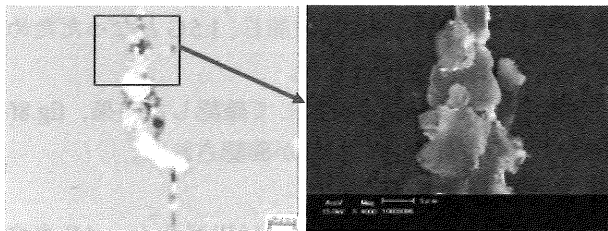
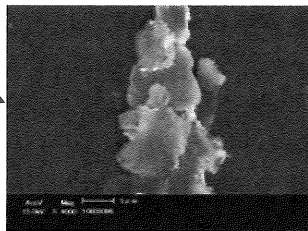


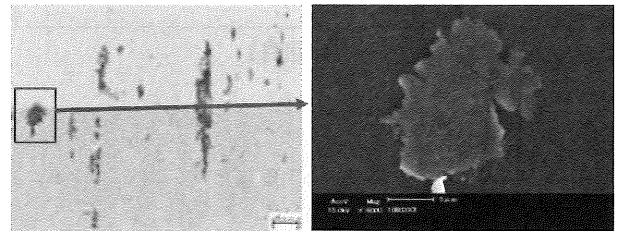
fig.13 AE,振動,摩耗粒子 (3 回目)



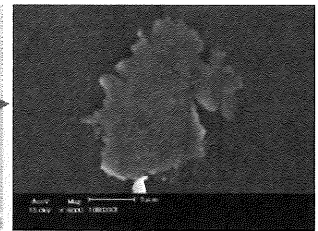
(i)光学顕微鏡写真



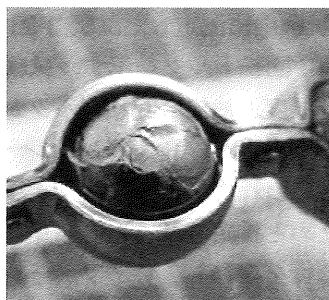
(ii)SEM 写真



(i)光学顕微鏡写真

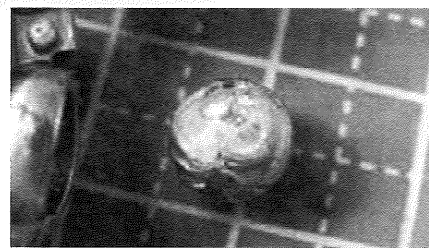


(ii)SEM 写真



(iii)転動体の損傷

fig.11 疲労進行期の摩耗粒子



(ii)転動体の損傷

fig.14 疲労進行期の摩耗粒子

から 12.2kN に変更した。但し、試験 3 回目は劣化進行期の出現時期を調整するため、荷重を 12.2kN から段階的に 16.3kN まで変化させた。

3 回目も、2 回目の試験同様に試験時間は全体的には延びたが、劣化進行期の継続時間は、試験 1 回目および 2 回目と変化はなかった。

試験 3 回目は、振動加速度の測定周期を進行期後半に 30 秒間隔に変更できたため、AE カウントレートがカウントされなかった後ではなく、直前に振動加速度が上昇を始めていることが確認された。摩耗粒子は振動加速が検出される 20 分前に採取した試料油で疲労摩耗粒子の増加が確認された。

3. 結言

- 1) AE は、振動加速度より速い段階で劣化期の兆候を検出した。
- 2) 摩耗粒子は、AE や振動では捉え難い、初期摩耗の段階を検出した。
- 3) 摩耗粒子は、振動法より早い段階で疲労の進展を検出した。

謝辞

本研究は、日本保全学会 CMT 分科会の技術ワーキンググループの平成 20 年度研究公募に基づき実施された。研究にあたっては日本保全学会をはじめ、懇切丁寧な実験指導をして下さった東京大学上坂教授をはじめ、CMT 分科会技術ワーキンググループの各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] 川畑雅彦, “発電設備におけるメンテナンストライボロジービジネス”, トライボロジスト, 49, 3(2004), pp206-212.
- [2] 川畑雅彦 “潤滑油診断技術の発電設備への適用”, 日本保全学会, 「第一回検査・評価・保全に関する連携講演会」, 2008, pp65-68.
- [3] 赤垣友治, 加藤康司, 川畑雅彦, “フェログラフイー及び発光オイル分析法によるジャーナル軸受の異常診断に関する研究”, トライボロジスト, Vol. 39. 11. 1994, 979-986, pp47-54