

簡易型 AE 法によるすべり軸受診断システムの開発

Development of the Sliding Bearing Diagnosis System by the Simple Model AE Method

三上 雅生 (Masao Mikami) * 1

要約 原子力発電所の保全活動の充実を目指して状態監視保全への移行が進められている。本研究では、更なる高度化を図るべく、大型回転機器用すべり軸受の損傷要因である潤滑不良（潤滑油切れ）をアコースティックエミッション（AE）法を用いて早期に検知する技術の開発を行った。汎用型試験装置を用いた実験により潤滑油切れ、潤滑油水混入等の各現象でのAE信号特性を調べ、振動測定や油分析よりも早期に検知が可能であることが分かった。そこで、簡易診断システムを試作し、その性能の確認を行ったところ汎用型試験装置と同様に異常発生の初期段階より検出できることを確認した。

キーワード 状態監視保全, すべり軸受, 潤滑不良, AE法, 損傷加速試験, AE信号特性

Abstract A shift to condition based maintenance is in progress to improve maintenance activities in nuclear power plants. In this study a technique was developed to detect lubrication failure (i.e. the condition of running out of lubricating oil) that may damage sliding bearings. The technique used an acoustic emission (AE) method for early stage detection of failure. AE signal properties were examined for various conditions such as running out of lubricating oil, forming a lubricating oil water mixture using commercially available test equipment, and it turned out that the equipment can detect the failure earlier than vibration measurement and oil analysis. Then a simplified diagnosis system was fabricated and tested. It was confirmed that the simple diagnosis system can detect failure at its initial stage like a generally available examination device.

Keywords condition monitoring maintenance, sliding bearing, lubrication defectiveness, AE method, injury acceleration testing, AE signal properties,

1. はじめに

原子力発電所の保全活動の充実を目指して、状態監視及び状態基準保全に対応した各種設備診断を実施するため設備診断技術ごとに技術指針が制定された^{(1)~(3)}。現在、回転機器の軸受部に対して振動計測あるいは油分析による状態監視が行われている。しかしながら、すべり軸受を用いている回転機器は大型で重要なものが多いにもかかわらず、異常が振動として顕在化しにくい特徴がある。一般産業で用いられている回転機器は、経済性の観点から稼働率を上げるため、各 부품の使用限度近くまで運転している。これに対し、原子力プラントでは、各機器の保全に関し高い品質管理を要求されているため、軸受部他の点検頻度が高い上、負荷が一定の安定な運転を行っている。このた

め、すべり軸受を有する回転機器の診断で使用されている振動測定では異常が検知されることはほとんどなく、万一異常を検知した場合、その時点でプラントの運転上の問題となる可能性があるため連続モニタリングが必要である。また、油分析はサンプリング試験では結果が分かるまで時間を要するので、オンラインで計測できる複雑な装置を必要とする。このためすべり軸受に対しては振動測定よりも早期に異常を検知できる簡単な計測システムが望まれている。上記のような安定的な運転中に発生し得るのは、何らかの原因によるすべり軸受の瞬間的な油切れと考えられる。本研究は、この瞬間的な油切れをAE法により早期に検知することを目的として始めた。

AEによるすべり軸受損傷診断に関して古くから研究がなされて報告^{(4)~(6)}されているが実用化の例は少

* 1 元(株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所 現在 関電プラント(株)

ない。AE法は「材料が変形したりき裂が発生したりする際に材料が内部に蓄えていたひずみエネルギーが解放されて生じる数十kHz～数MHzの弾性波」を利用した検出法であり、高度な信号処理と熟練を必要とすると一般的に言われてきた。AE特性はAE波の波形、AE計数率、AE振幅、AE周波数分析、AEエネルギー（AE波の面積）、信号持続時間（しきい値を超えたAE信号の発生時間）等がある。過去のAEセンサによる診断技術は、上記AE特性から扱う周波数が高周波帯域であり、複雑で高価な計測・信号処理システムを必要としていた。

本研究では、先ほど述べたように運転中に発生し得る瞬間的な油切れを検知したいので、まず汎用型試験装置により、種々のAEセンサを用いてこれが測定可能であるかどうかを含め、最適な条件を調査した。同時に振動計測、油分析を行った。その結果、約50～200kHz程度の比較的低周波数帯域で、振動計測、油分析よりも早期に油切れを検知可能であることがわかった。次に、低周波数帯域に特化した安価で実機適用性に優れた簡易型AE計測システムを開発・試験し、同様な油切れを十分検知できることを確認した。以下にその成果を報告する。

2. 汎用型装置による試験

モデル試験装置を図1に示す。左右の支持軸受に支えられた回転軸の中央にある試験用軸受を、下部より油圧で持ち上げる構造である。本試験装置を用いて、すべり軸受上部から供給している潤滑油を停止する油切りの実験を実施した。原子力プラントでは一定運転

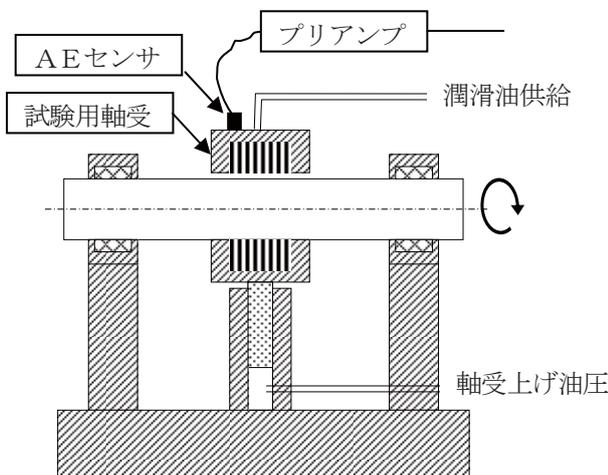


図1 モデル試験機



図2 軸受上部の振動センサと3種のAEセンサ

の負荷変動がほぼなく清浄な運転保守状況から油切れによる損傷を考慮すれば十分と考えられる。

汎用型装置の試験としてAEセンサと振動計用の加速度センサ、温度計測用の熱電対を軸受上部に接着剤で貼り付け、また軸に回転検出用センサを取付け実施した。図2は軸受上部に加速度センサとAEセンサ3種を貼り付けたものである。

AEの測定は、センサ信号を増幅後、原波形信号と検波波形信号とを並列処理し、デジタルオシロスコープで波形を監視しながら信号が大きくなった時点で各々の波形データを保存し、その後周波数解析等の処理を行った。

図3は種々のセンサを用いて計測したAE信号波形と周波数スペクトルである。本試験では潤滑油ポンプ停止後500秒前後でAE振幅が1(V)前後に達した後、実験を停止する前に各種センサの信号波形と高速フーリエ変換(FFT)による周波数分析データを取得した。AEセンサ3種では各々軸の回転に同期した大きな振幅の波形が確認されたが、振動センサに変化は認められなかった。またAEセンサの周波数スペクトルは50kHzから200kHzと比較的低周波帯域に分布している。同時に測定していた油分析、温度センサには異常の兆候は表れず、軸受けを開放すると周の一部のみに軽微な接触痕が確認できた。図4に軸受の開放結果を示す。本実験より汎用型装置計測システムを用いて既存の振動計測法や油分析法よりも早期に異常が検知できることがわかった。

次にシステム全体の低コスト化を目的として、サンプリング周波数を低くするため、検波波形により検知可能か検討した。図5は潤滑油の供給停止を繰り返し4回行ったときの最大振幅の推移である。それぞれの潤滑油供給停止後に最大振幅の上昇が確認された。最初2000(sec)の油供給停止前にも最大振幅は0.7(V)

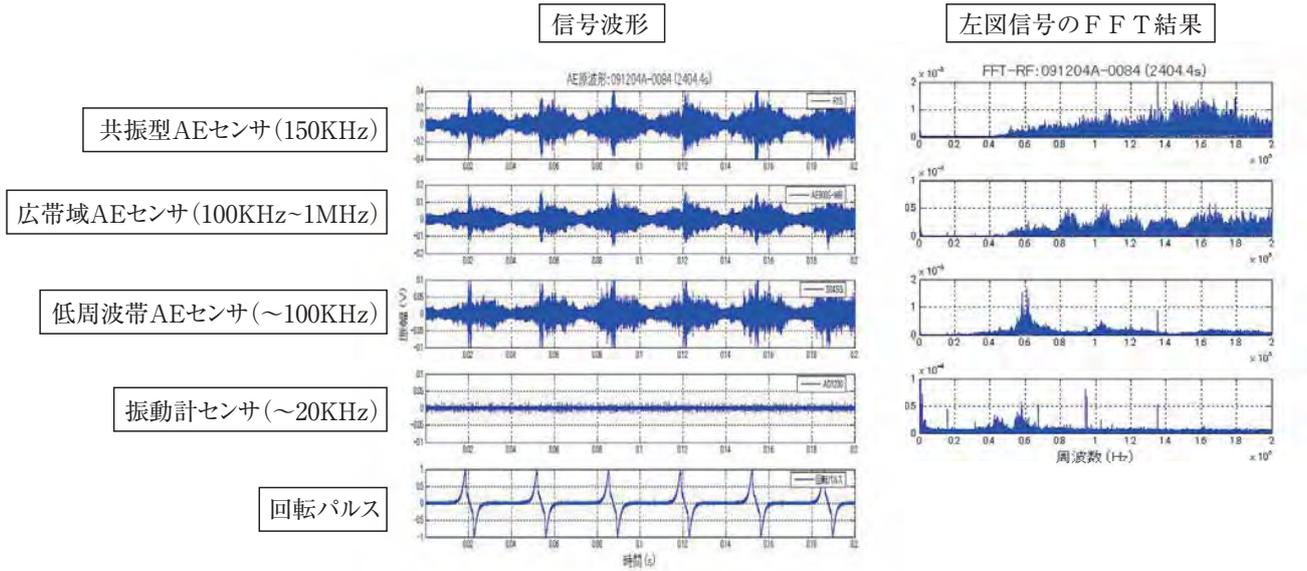


図3 潤滑不良（油切り）試験時の AE 信号と周波数分析（FFT）結果



図4 周の一部に軽微な接触痕のある軸受

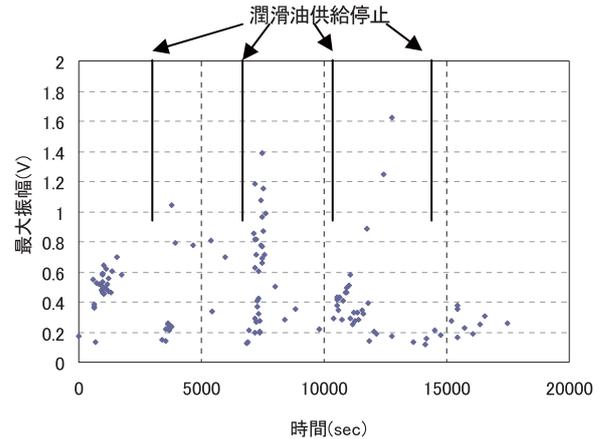


図5 繰り返し油切り試験時の AE 振幅

前後あり 15000(sec)前後の振幅値よりも大きい。この時の検波波形を確認は単発の0.7(V)ピーク波でありノイズと考えられ、この除外方法としては周期性を考慮することとした。

3. 簡易型AE計測システムの開発、確認

汎用型装置計測システムによる試験結果から低周波数帯域に特化した実機適用性に優れた簡易型AE計測

システムを開発した。本システムはポンプ・モーターの複数の監視ができるよう4chとした。図6にシステム構成を示し、表1に開発したシステムの仕様を示す。

簡易型AE計測システムの検証はモデル試験装置を使って、汎用型装置計測システムと同時計測し比較することにより確認した。油切れは潤滑油に水混入を行うことで再現した。これは、本試験装置が下部から油圧により軸受を持ち上げ軸と軸受を接触させているも

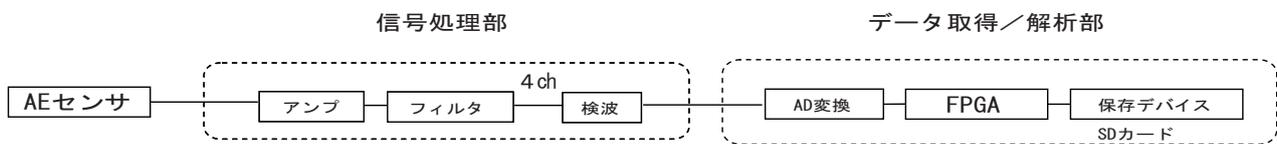


図6 開発したシステムの構成

表1 簡易型 AE 計測システムの仕様

項目	仕様	
検出器	AE センサ	
信号処理部	アンプ部	ゲイン 30~60dB
	フィルタ部	50kHz~1MHz
	包絡検波回路含む	
データ取得 解析部	AD 変換	1MHz
	演算処理	FPGA
	電源	100V
	保存デバイス	SD カード
信号処理 内容	サンプリング	30sec 間隔 (可変)
	データ採取	5 サイクル
保存データ 内容	サンプリング毎の最大 値・平均値	
	しきい値を超えた 10 波 形データ	

データ取得/解析のフローチャートを図7に、簡易型 AE 計測システムのシステム外観を図8に示す。

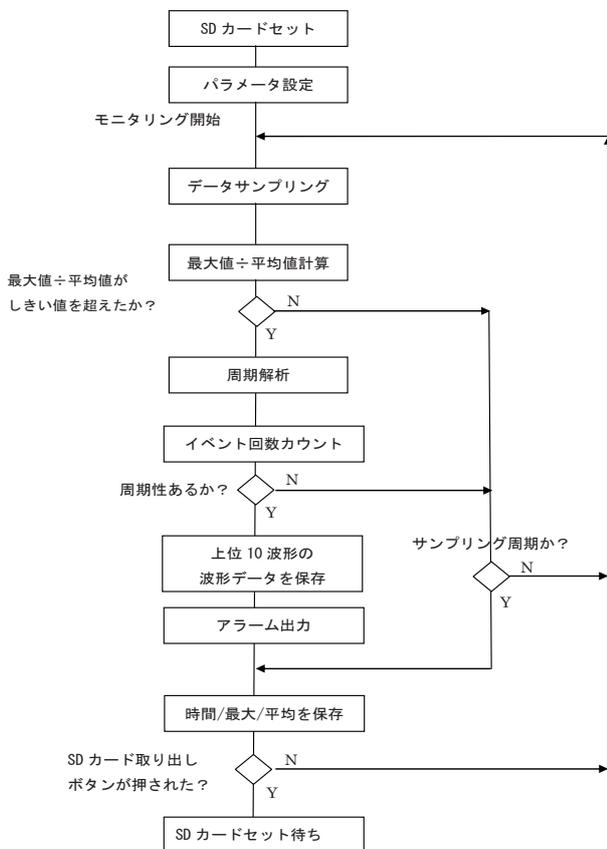


図7 ソフトウェアのフローチャート

のであり、水混入により局所的な潤滑油の膜消滅による固体接触となり、適切に再現できると考えたからである。試験時採取したデータのうち汎用型装置計測システムの測定結果と代表チャンネルの結果を図9に示す。図9の上段①は汎用型装置計測システムでの振幅最大値の測定結果であり②は簡易型 AE 計測システムの同じく振幅最大値の測定結果である。また、下段③と④は同様に汎用型装置計測システムと簡易型 AE 計



図8 開発したシステムの外観

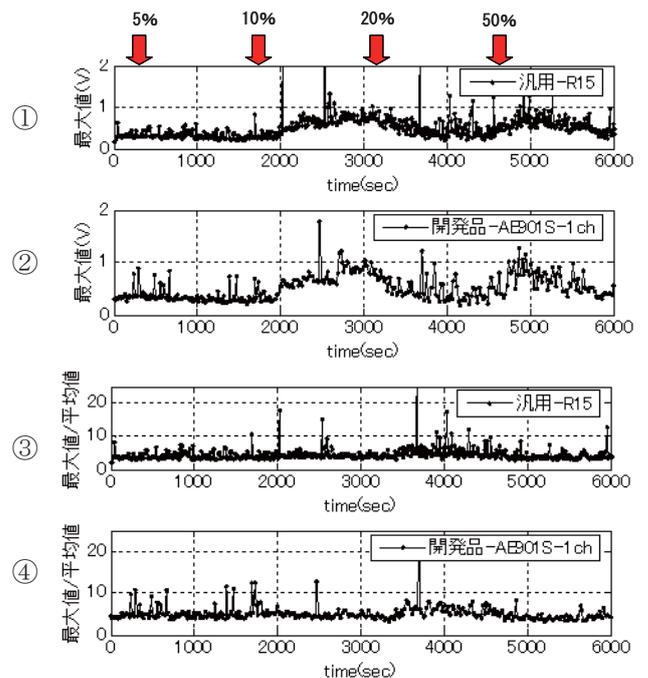


図9 水混入試験時の汎用品と開発品の AE 最大値及び最大値/平均値の推移

測システムでの最大値／平均値である。

試験後当該軸受部のメタルを確認したところメタル表面に図4と同様の接触痕が認められた。AE最大値は水の混入量が増えるに従い大きくなっている。また、最大値と平均値の比は5%、10%、20%水混入時は「10」以上の値となったが50%の混入時は全体の値も高くなり比の値は大きくなっていない。採取した他チャンネルのデータに欠測もなく良好な結果であった。

モデル試験装置を用いてすべり軸受の潤滑不良試験によるAE計測を行い、焼付き現象の予兆である軸との接触を診断する簡易型AE計測システムを開発した。これは、焼き付き過程を、潤滑油の膜が局部的に消滅して固体接触が発生し、それが進むと摩耗が発生し摩耗粉の成長、脱落が生じ、そしてあるとき成長過程が急速に進み、脱落に至らず焼きつくと考えられるため、一番初期の固体接触を検出して記憶し、接触状況を把握すれば、保守情報としては十分と考えられる。

5. まとめ

原子力プラントで安定的な負荷一定運転を行っている回転機器の状態監視に特化したAE法による計測システムを開発した。

本システムにより運転中に発生し得る瞬間的な油切れを振動計測や油分析よりも早期に検知できることがわかった。また実機適用性に優れた簡易型AE計測システムを新たに開発した。

今後は実機環境下で実際にすべり軸受の計測を行う予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、非破検査株式会社江淵高広研究員、山邊正太研究員にご指導ご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 日本電気協会, “電気技術指針原子力編 原子力発電所の設備診断に関する技術指針—一回転機器振動診断技術” (2007).
- (2) 日本電気協会, “電気技術指針原子力編 原子力発電所の設備診断に関する技術指針—潤滑油診断技術” (2008).
- (3) 日本電気協会, “電気技術指針原子力編 原子力発電所の設備診断に関する技術指針—赤外線サーモグラフィ診断技術” (2008).
- (4) 井上紀明, 尾崎研吾, 佐藤一也, 米山隆雄, 掛札優, 昼岡修一, “圧延機すべり軸受のAEによる損傷診断技術”, 川崎製鉄技報, Vol.17, No. 4, (1985).
- (5) 和田正毅, 水野萬亀雄, 笹田直, “摩擦・摩耗のAEによるインプロセス計測に関する研究 焼付き過程のAE計測”, 精密工学会誌, Vol.56, NO.10, p.1835-1840 (1990).
- (6) 米山隆雄, 佐藤一也, 井上知昭, 久野勝邦, 古賀嗣明, 池内和雄 “AE計測法によるすべり軸受損傷診断技術の開発” アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集, Vol.3, p.213-218, (1981)