

AEによるメカニカルシールの損傷評価

西本重人* 新家昇**

* 日本フィジカルアコースティクス株式会社

** 関西大学工学部

キーワード: メカニカルシール, 摩耗, 漏洩, 回転機械, 保全

Evaluation of Damage to Mechanical Seal using AE Method.

Shigeto Nishimoto* Noboru Shinke**

*Nippon Physical Acoustics LTD

**Kansai University

Abstract

A mechanical seal is an important part in the rotary machine. However it is hard to evaluate the damage of mechanical seal with non-destructive inspection. In this report, the damage evaluation of the mechanical seal was investigated using AE(Acoustic Emission) method. The following became clear after the investigation: (1) When the abrasion of mechanical seal progressed, the amplitude of AE signal got larger. (2) The frequency distribution of AE which produced by the abrasion had mainly characteristics to 400kHz from 100kHz. Furthermore, it had a frequency distribution to 700kHz. (3) The comparison between AE signal and the rotation of mechanical seal showed an excellent agreement between the two periods. (4) When a foreign substance was mixed in the mechanical seal, the amplitude of AE became greater. (5) The leakage in supply liquid reduced the amplitude of AE signal. (6) Based on the above knowledge, we evaluated the damage of mechanical seal for the pump in operation.

Key Words : Mechanical Seal, Frictional Abrasion, Leakage, Rotary Machine, Preservation

1. 緒言

回転機器の保全において、軸受とシールの損傷が設備不良の主原因であり、設備保全にとってはこの2機素の損傷進行を適切に評価することが求められている。しかし、軸受に関しては、振動法やAE法などの高度な状態監視技術が開発され、高い効果が得られたとの報告も多数あるが¹⁾²⁾³⁾、特にメカニカルシールに関する損傷評価技術は皆無であると言っても過言ではない。しかも、メカニカルシールは近年、特に航空・宇宙、原子力分野において広い範囲の流体、圧力、周速条件に対応する軸封装置として用途が増大しており、早急な損傷評価技術の開発が望まれている。

また、現在、保全費用削減の観点から、保全方法はTBM(Time based Maintenance)からCBM(Condition based Maintenance)へ、そしてRBM(Risk based Maintenance)へと移行しつつある⁴⁾。したがって、今後、回転機器の健全性を的確に評価する技術の開発が、その企業の生産性・利益に大きく影響すると予測される。

メカニカルシールの損傷形態は主に摩耗で、これが進行して漏洩が生じる。摩擦・摩耗の検出方法としては、従来からAE法が利用されており、漏洩の検出についてもAE法が有効であるとの報告がある⁵⁾。そこで本報では、メカニカルシールの損傷評価にAE法の適用を試みた。まず最

初に、基礎試験としてメカニカルシールの摩耗進行に伴い放出されるAEの特徴と、漏洩が生じる時のAEの特徴を明らかにした。さらに上記の実験結果をもとに、実機のメカニカルシールの診断にAE法を適用した結果、メカニカルシールの損傷を的確に評価することができたので報告する。

2. 試験方法

試験装置は、メカニカルシールから発生するAE以外のノイズの発生を防止するために、軸受とメカニカルシールだけを構成要素とする回転試験装置を製作した。その試験装置をFig.1に示す。軸径 $\phi 30$ の軸にメカニカルシールの回転輪を取り付け、内部流体として水を図中指示部より注入した。メカニカルシール摺動部で発生するAEは、固定輪近傍に取り付けたAEセンサにより検出した。AEセンサの取り付けは、取り付け部が円柱となるため、取り付け面の形状に加工したブロックを介して取り付けた。試験条件をTable 1に示す。

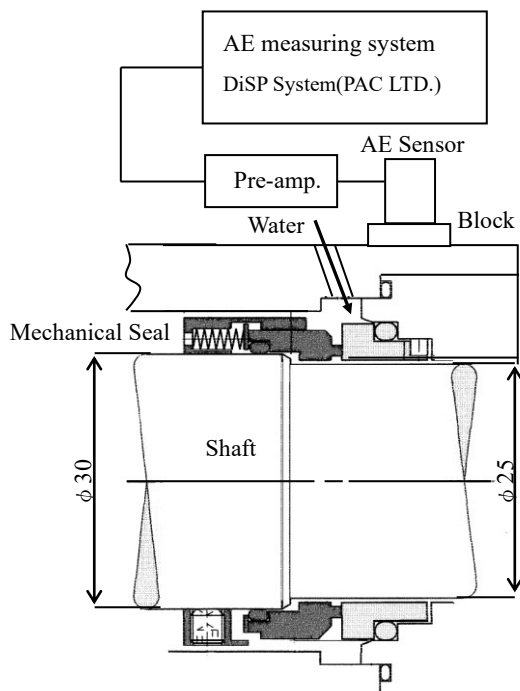


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup.

Table 1 Experimental conditions.

Item	Condition
Material(Rotating part)	Carbon
Material(Fixed part)	SiC
Water pressure	2.5 Mpa
Temperature	20 °C
Shaft speed	4.7 m/s

AE計測システムは、フィジカルアコースティクス社製のDiSPシステムを使用し、Table 2に示す条件にて計測した。発生するAEの周波数成分を検討するためにAEセンサは広帯域型を使用した。また、摩耗の影響のみを評価する場合には、低周波数のノイズを除去するために100 kHz程度のハイパスフィルタを使用するが、漏洩の発生時には60 kHzを中心とする周波数成分を持つAEが発生することが報告されているので⁵⁾、本実験では低周波数の領域も評価できるように、ハイパスフィルタは20 kHzとした。

Table 2 Measuring conditions of AE.

Item	Condition
HPF	20 kHz
LPF	1200 kHz
AE Sensor	Broad-band type
Sampling time	2 MHz
Pre-amplifier	40 dB
Time constant	100 μ s

3. 試験結果

3.1 摩耗の評価

摩擦・摩耗進行時のAE挙動として、摩耗が進行するとAEの振幅が増加することはよく知られている。そこで、まず試験開始から漏洩発生に至るまでのAE振幅の変化を検討した。その実験結果をFig.2に示す。試験時間の経過とともに、AEの振幅が上昇するのが観察された。なお、試験開始直後に振幅が若干高い値を示しているが、これは初期摩耗によるものと考えられる。

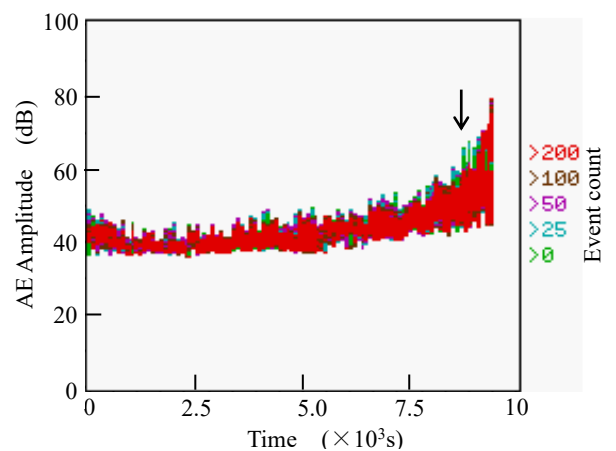


Fig.2 Change in amplitude of AE

Fig. 3 に、AEの振幅の上昇が認められた時 (Fig. 2 の矢印指示部) に発生したAEの周波数成分を示す。100 kHz ~ 400 kHz を主成分に、700 kHz 近い周波数帯域まで幅広い周波数成分を持つことが分かる。このように周波数が高く、幅広い周波数成分を持つAEが発生する現象は、回転体の摩擦・摩耗、例えば軸受の潤滑不良時に発生するAEの特徴と類似する⁶⁾。

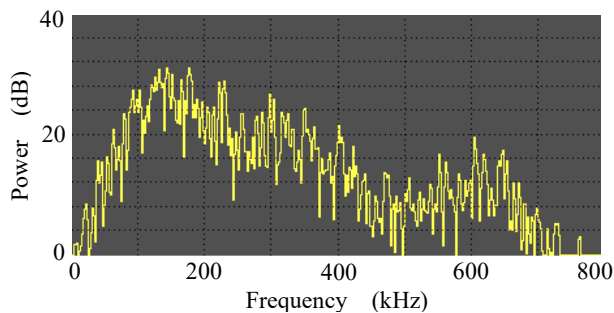


Fig. 3 Frequency distribution of AE signal.

Fig. 4 に、AEの振幅上昇が認められた時 (Fig. 2 の矢印指示部) に観察されたAEの波形を示す。持続時間の長いAEが周期的に発生するのが認められた。この周期を測定するとメカニカルシールの回転周期に一致した。

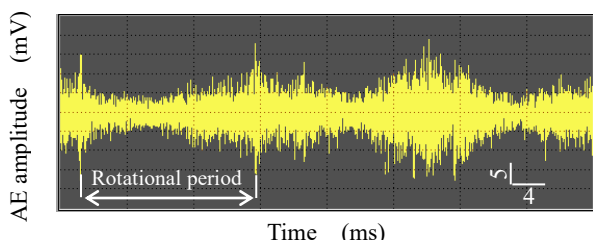


Fig. 4 Wave form of AE.

AE波形にこのような周期性が発生する理由について考察する。Fig. 5 に示すように、メカニカルシールのもっとも損傷が大きい部分を考えると、この部分は回転輪(上部)が一回転する毎に互いに接触することになる。したがって、この接触によってAEの発生周期は回転に同期した周期となるものと考えられる。このことを検証するために、メカニカルシールの回転輪および固定輪の一部を強制的に摩耗させて、発生するAEと回転角度との関係を検討した。その結果を Fig. 6 に示す。図は固定輪の損傷位置を 180° に固定した場合であるが、損傷部が接触する 180° の角度でAEが発生し、上記考察の正しいことが検証された。

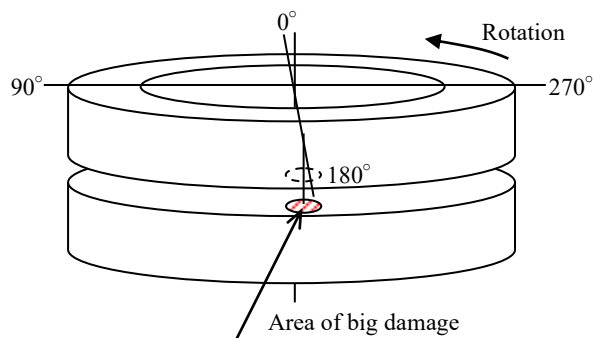


Fig. 5 Schematic diagram of artificial damage.

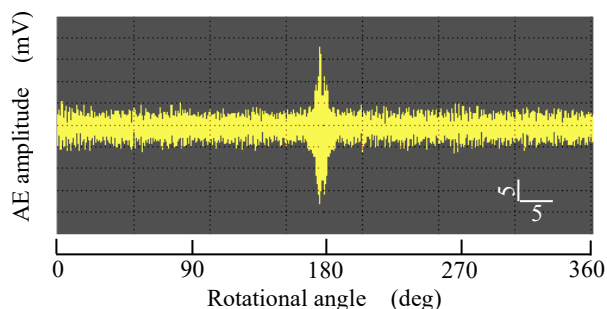


Fig. 6 AE wave form with artificial damage.

また、損傷部分が大きくなると、損傷部分が接触している時間が長くなりAEの持続時間が長くなると考えられる。

Fig. 7 は円周方向の損傷幅と発生したAEの持続時間の関係を示したものであるが、損傷幅に比例してAEの持続時間が増加することが認められる。この現象は、上記 Fig. 4 で持続時間の長いAEの発生が観察されたことと一致する。

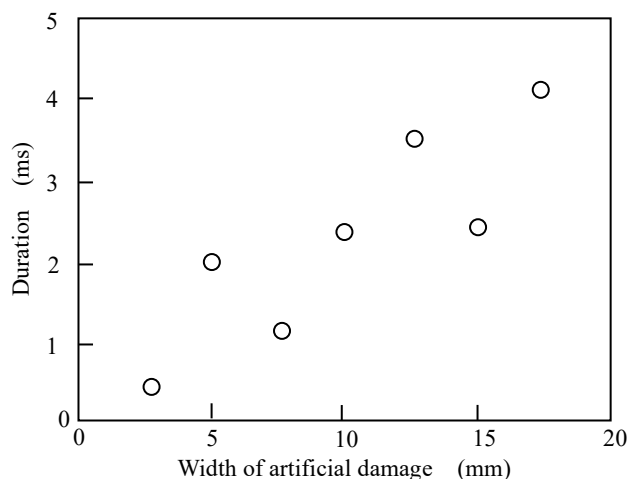


Fig. 7 Relation between duration and width of artificial damage.

上記のように、メカニカルシールに損傷が発生するとAEの発生に周期性が認められる。周期性の強度を検討するために、発生したAEを包絡線検波して周波数分析し、その周期性を求めた結果をFig. 8に、またその変化をFig. 9に示す。明らかにメカニカルシールの回転に起因した周期性が認められ、また摩耗の進行に伴い回転周期の強度が増加していることがわかる。摩耗の評価として、Fig. 2で示したように振幅の上昇を評価する方法もあるが、上記のように回転周期の強度を評価するほうが変化も大きく、さらに変化点が明確であるので、摩耗評価のパラメータとして有効であると考えられる。

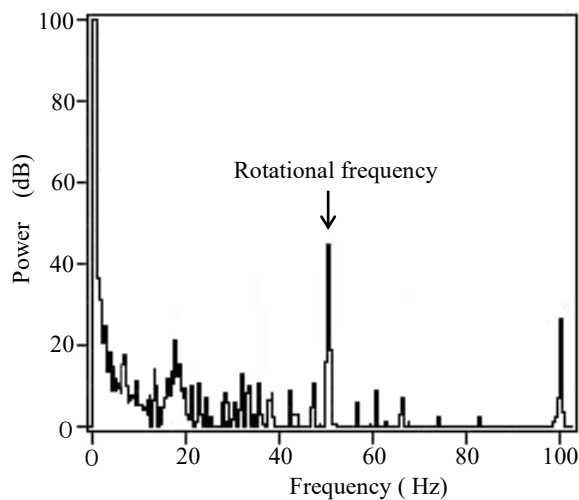


Fig. 8 Periodicity of AE signal.

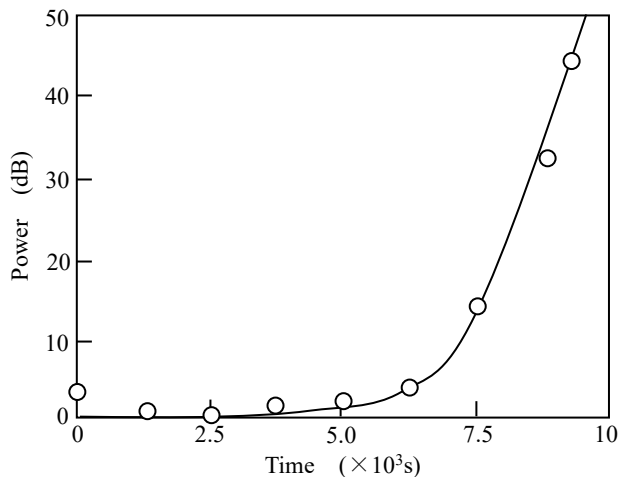


Fig. 9 Change in strength of periodicity

3.2 異物混入の評価

メカニカルシールの損傷原因の大きな原因として、異物の混入をあげることができる。通常の摩耗進行では、早急な漏洩は発生しないが、異物をかみ込むと大きな損傷が生じ、これが起点となって摩耗が急激に進行する。

異物混入時のAE挙動をFig. 10に示す。異物混入時には、異物を両輪の間にはさみ込む形となり、異物が圧砕されたり、メカニカルシールが損傷することにより、大きな振幅を持ったAEが発生する。上述のように異物によって大きな損傷の起点ができると、その後は損傷が急激に進行すると思われる。AE振幅の挙動はこの現象に対応したものと考えられる。

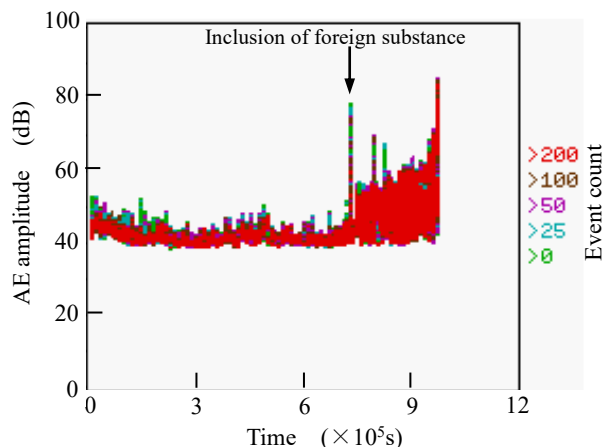


Fig. 10 Change in AE amplitude with foreign substance

3.3 漏洩発生の評価

メカニカルシールの損傷が進行すると漏洩が発生する。

Fig. 11は、摩耗試験中に漏洩が発生した場合のAE振幅の変化を示す。漏洩が発生すると振幅が急激に低下するのが観察された。漏洩が発生することによって、液体が回転輪と固定輪の間に入り込むことになる。本試験では水が浸入するが、これが一種の潤滑剤の役割をはたし、両輪の摩擦を低下させることによってAEの振幅が低下したものと考えられる。

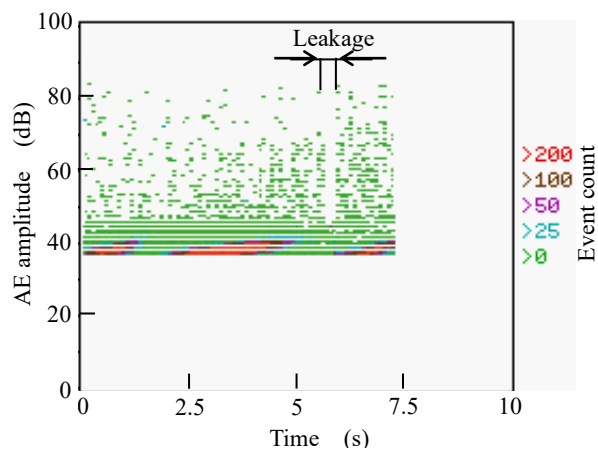


Fig. 11 Change in AE amplitude with leakage.

Fig. 12 に、漏洩量と AE の振幅の関係を示す。漏洩量が増加するに伴って AE の振幅は減少するが、一定量を越えると AE の振幅はほぼ一定値に近づく。この傾向は、水による膜形成の限界によるものと考えられる。

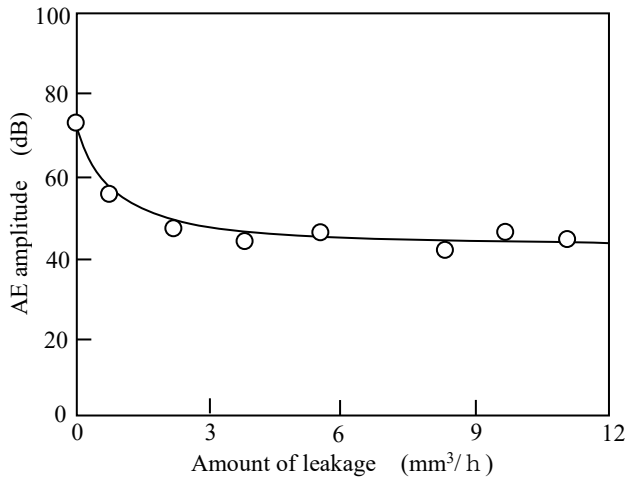


Fig.12 Relation between AE amplitude and amount of leakage

4. 実機への適用

基礎試験により、メカニカルシール損傷進行時の AE 挙動が明らかになったので、実機にこれを適用し、実用性を検討する。

原子力発電所の 1 次系ポンプは内部流体が放射性も持つことから、メカニカルシールが損傷して内部流体が漏洩することは許されず、定期的に変換されている。しかし、交換に伴い、場合によっては組み込みミスを生じる場合がある。本例は、軸受ならびにシール交換後に設備の振動が高くなり組み込みミスが懸念されたので、AE 法を適用して危険度とその原因を推定した結果を示す。Fig. 13 に計測対象設備の構造と AE センサの設置位置を示す。また、実験条件を Table 3 に示す。

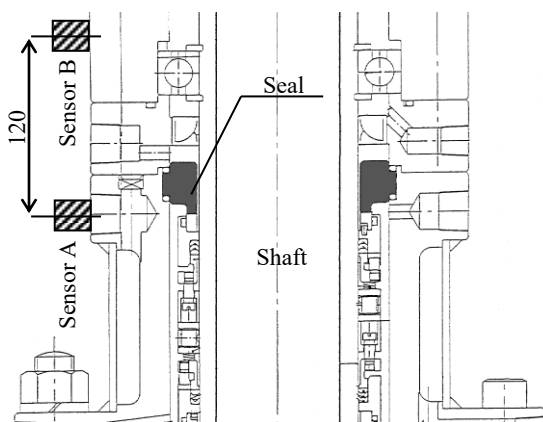


Fig.13 Schematic diagram of mechanical seal of pump

Table 3 Operating conditions of pump.

Item	Condition
Material(Rotating part)	Carbon
Material(Fixed part)	SiC
Water pressure	3.2 Mpa
Temperature	25 °C
Shaft speed	4.6 m/s

実機では、AE 発生部位はメカニカルシールだけではなく、他の異常と識別する必要がある。本報告では、軸受異常との識別を考慮した。軸受に損傷が生じた時の AE 挙動は、振幅の上昇、周期性、持続時間の増加とメカニカルシールが損傷した時に発生する AE の挙動と類似する⁶⁾。そこで、軸受とメカニカルシールの損傷部位の判別は、上記のように 2 センサを使用した位置標定により判別した。

Fig. 14 に AE の発生位置を示す。メカニカルシール及び軸受部で AE が発生し、特にメカニカルシール部での AE の発生が顕著で、メカニカルシールの異常が懸念される。

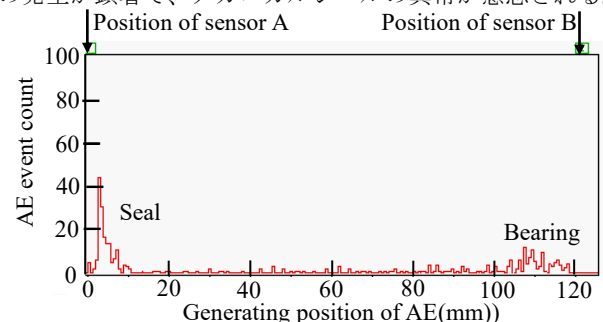


Fig.14 Relation between AE event count and generating position of AE.

Fig. 15 に検出された AE 波形を示す。基礎試験で観察されたように持続時間の長い AE が周期的に発生しているのが観察できる。回転周期の強度を計算した結果、34dB の強度を有した。この値は、回転数や設備の大きさが上述の試験設備と類似していることから Fig.8 から判断して漏洩発生直前の摩耗が生じているものと考えられる。なお、このメカニカルシールを分解点検した結果、シール面に摩耗傷が観察され、AE による評価の結果と一致した。

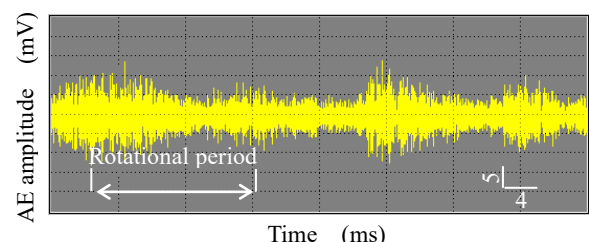


Fig.15 Wave form of AE generated from pump in operation.

5. 結言

最初に基礎試験として、メカニカルシールの摩耗進行に伴い放出されるAEの特徴と、漏洩が生じる時のAEの特徴について検討した。次に、検討した結果に基づいて、実際に稼動中のポンプのメカニカルシールの診断を行った。その結果、下記のことが明らかになった。

1)メカニカルシールの摩耗進行に伴いAEの振幅は増大する。2) 摩耗に起因して発生するAEは、100 kHz～400 kHzを主成分に、700 kHz 近い周波数帯域まで幅広い周波数成分を持つ 3) 摩耗進行に伴って発生するAEは、メカニカルシールの回転周期に一致して発生する。4) 異物が混入すると振幅の大きなAEが発生し、その後は摩耗進行時のAE挙動を示す。5) 漏洩が発生すると、AEの振幅は著しく減少する。6) 上記の実験結果を基礎にして、原子力発電プラントで稼動中のポンプのメカニカルシールの健全性評価を行った結果、本技術が実機の状態監視に有効であることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1)井上紀明、篠原正則:熱間圧延設備における設備診断技術の適用、日本機械学会第 69 期全国大会講演論文集、477-479(1991)
- 2)井上紀明:振動法と AE 法による軸受診断、月刊トライボロジー、Vol.9、38-39(1995)
- 3)井上紀明、高木清、藤本芳樹:クランクプレス機械用軸受の AE による診断技術、日本設備管理学会誌、Vol.6、29-38(1987)
- 4)井上紀明:生産システムにおける設備診断技術の効率化、メンテナンス、科学図書出版、NO.161,20-24(1993)、
- 5)西本重人、吉荒俊克、海陸力他:気体リークの AE 計測と専用装置の開発、非破壊検査協会平成 7 年度秋季大会講演概要集、195-200(1994)
- 6) 西本重人、井上紀明、藤本芳樹、原田俊二:“転がり軸受の AE による異常検出技術の開発”、日本潤滑学会大 32 期全国大会論文集、101～104 (1987)