

# AEによるメカニカルシールの損傷 評価技術の開発

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, 回転体, 保全

## The development of the damage evaluation technology of the mechanical seal by AE

Shigeto Nshimoto\* Noboru Shinke\*\*

\*Nippon Physical Acoustics LTD

\*\*Kansai University

### Abstract

A mechanical seal is an important part in the rotation machine. But the damage evaluation technology of the mechanical seal hardly exists. We tried the damage evaluation of the mechanical seal. Then, we got the following result. 1) When abrasion progresses, the amplitude of AE rises. 2) The frequency element of AE which occurs due to the abrasion has characteristics to 400kHz from 100kHz. Furthermore, it has a frequency element to 700kHz. 3) AE occurs in the rotation period. 4) When a foreign substance is mixed, the amplitude of AE grows big. 5) When leakage occurs, the amplitude of AE becomes small. We tried the diagnosis of the pump based on the above knowledge. As that result, a degree of damage be evaluated.

Key Words : Mechanical Seal , Rotation body , Leakage , Frictional abrasion , 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<sup>1) 2) 3)</sup>、シールに関しては、特にメカニカルシールに関しては損傷評価技術が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からCBMへ、そしてRBMへと

移行しつつある<sup>4)</sup>。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法が有効とされている。また、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<sup>5)</sup>。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。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。さらに本研究結果をもとに、実機のメカニカルシールの診断にAE法を適用し、その結果、メカニカルシールの損傷を的確に判断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。試験装置をFig.1に示す。軸径 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、固定輪近傍の試験機表面に取り付けたAEセンサにより検出した。AEセンサの取り付けは、センサの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した。試験条件をTable 1に示す。メカニカルシールの材質は、一般によく使用されているSiCとカーボンの組み合わせを選択した。

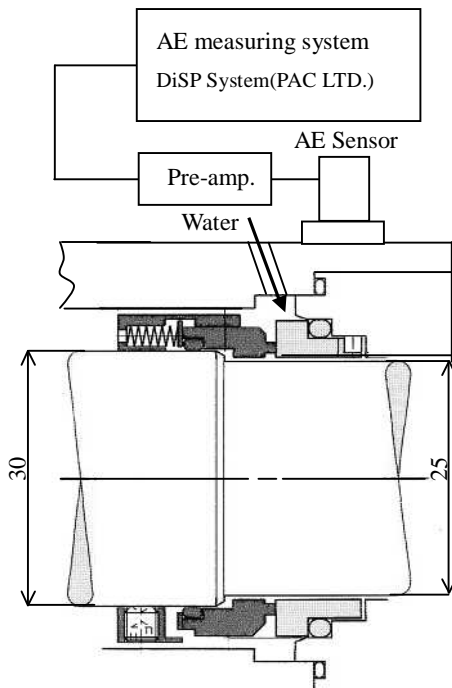


Fig.1 The method of the examination

Table 1 The condition of the examination

Item	Condition
Material(Rotation part)	Carbon
Material(Fixed part)	SiC
Pressure	2.5Mpa
Temperature	20
Shaft speed	4.7m/s

AEの計測システムは、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、摩耗の評価だけであるなら低周波数のノイズを除去するために100kHz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60kHz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<sup>5)</sup>、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20kHzとした。

Table 2 The condition of measuring

Item	Condition
HPF	20kHz
LPF	1200kHz
AE Sensor	Broad-band type
Sampling time	2MHz
Pre-amplifier	40dB
Time fixed number	100 $\mu$ 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の振幅の変化を検討した。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、試験開始直後には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。

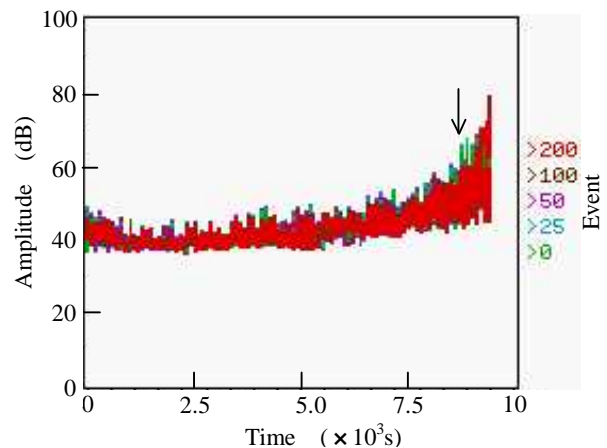


Fig.2 The change in the amplitude of AE

[>>平成\*年\*月<<]

Fig.3 に、A E の振幅の上昇が認められた時 (Fig.2 指示部) に発生した A E 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 A E 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 A E の特徴と類似する<sup>6)</sup>。

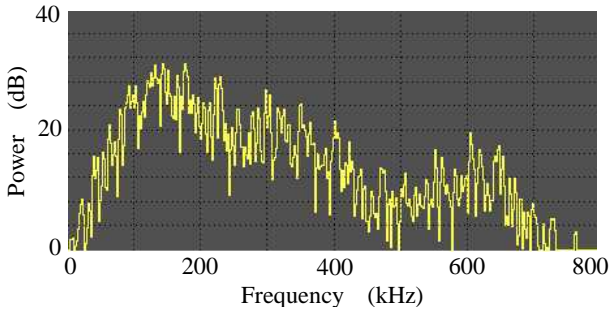


Fig.3 Frequency element of AE

Fig. 4 に、A E の振幅上昇が認められた時 (Fig.2 指示部) に観察された A E の波形を示す。持続時間の長い A E 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。

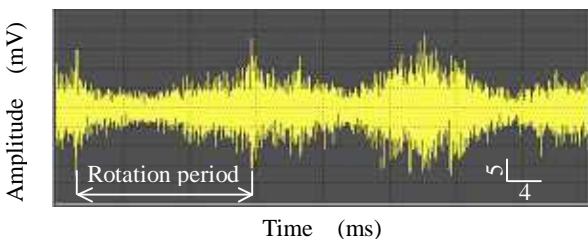


Fig.4 Wave form of AE

このような周期性が発生する原理を考察する。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、この部分がお互いに接触するのは回転輪 (上部) が一周するごととなる。したがって、この接触により発生する A E 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。これを検証するために、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 A E と回転角度との関係を検討した。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 A E が発生し、上記仮定が正しいことが検証された。

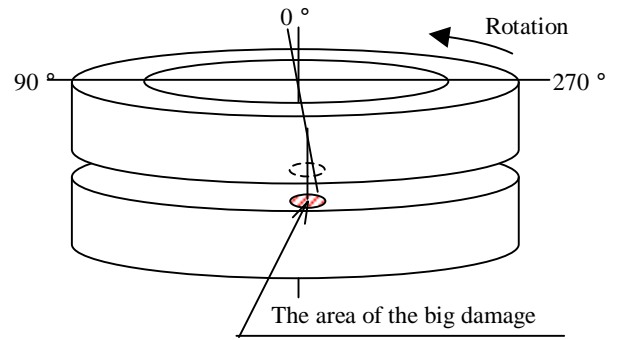


Fig.5 The occurrence principle of AE

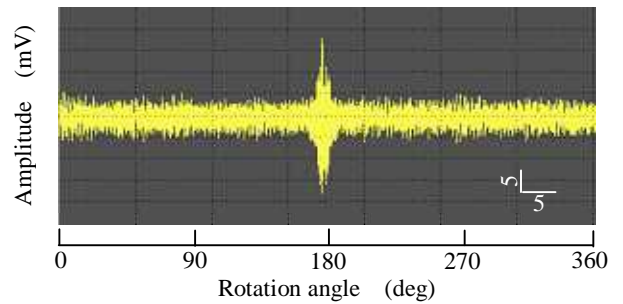


Fig.6 Wave form of AE

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 A E の持続性が長くなると考えられる。Fig.7 に円周方向の損傷幅と発生した A E の持続時間の関係を示すが、損傷幅に比例して A E の持続時間が増加するのが認められた。この現象は、上記 Fig.4 で持続時間の長い A E の発生が観察されたことと一致する。

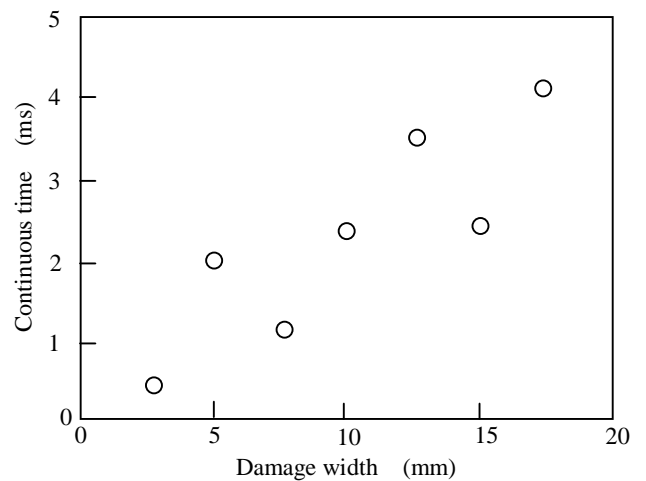


Fig.7 Relations between the damage width and the continuous time of AE

上記のように、メカニカルシールに損傷が発生するとA Eの発生に周期性が認められる。Fig.8 に周期性の強度を検討するために、発生したA Eを包絡線検波して周波数分析した結果を、Fig.9 にその変化を示す。摩耗の進行に伴い回転周期の強度が増加しているのがわかる。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。

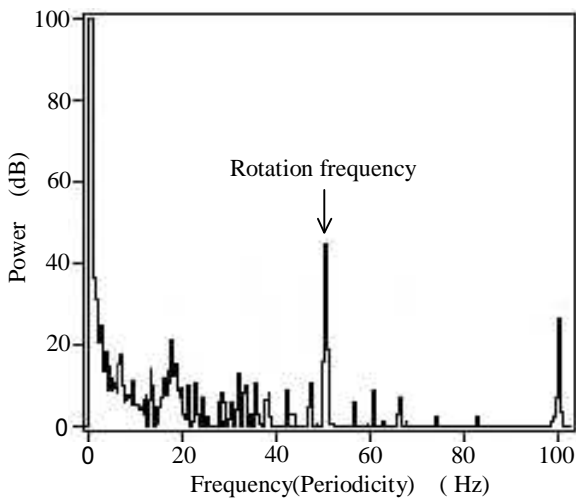


Fig.8 The periodicity

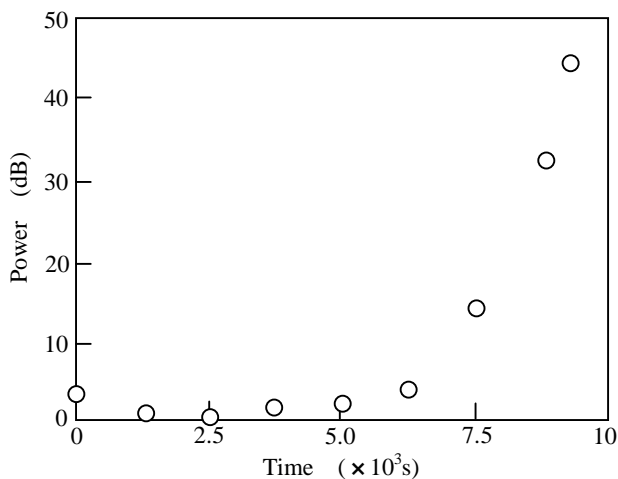


Fig.9 A change in the strength of the periodicity

### 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A E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A Eが発生する。上述のように異物による損傷により大きな起点ができると、損傷が急激に進行すると考えられる。A Eの振幅の挙動はこの現象に対応して異物かみ込み後、急激に大きくなった。

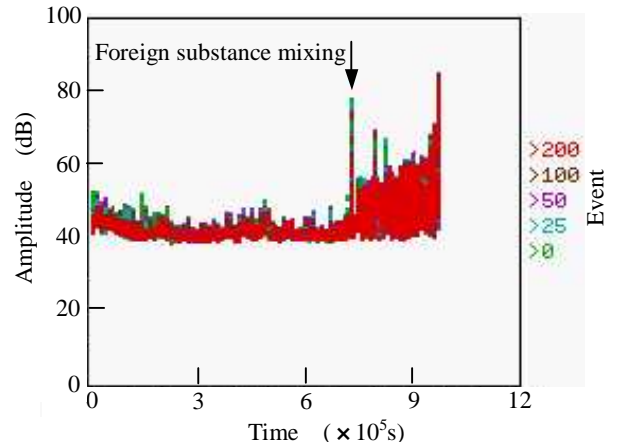


Fig.10 A change in the amplitude when a foreign substance was mixed

### 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A E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。漏洩が発生するということは、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たことによりA Eの振幅が低下したものと考えられる。

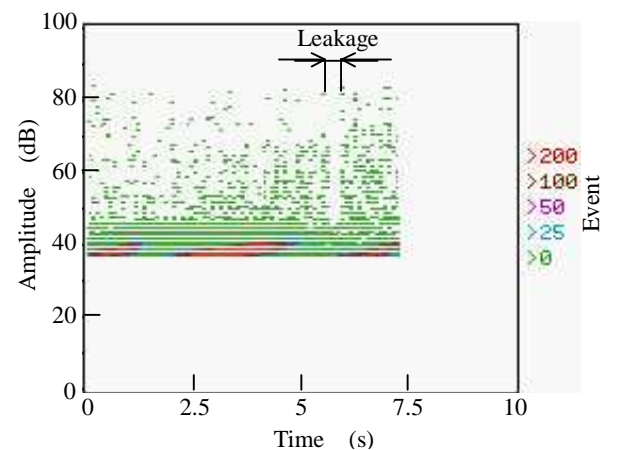


Fig.11 A change in the amplitude when leakage occurred

Fig.12 に、漏洩量と A E の振幅の関係を示す。漏洩量が多くなると A E の振幅が増加するが、一定量を越えると増加が低下する。増加量の低下は、水による膜形成の限界によるものと考えられる。

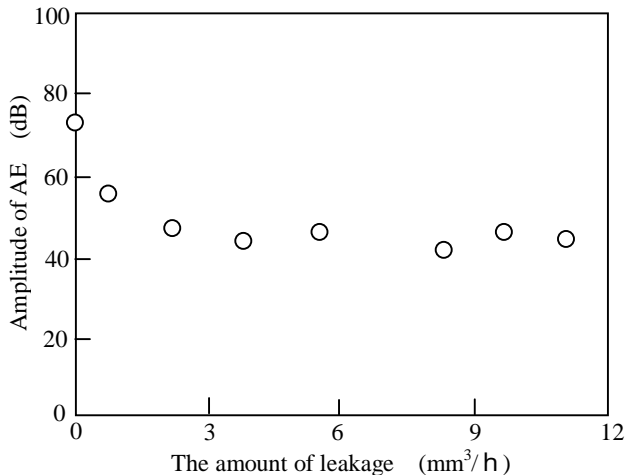


Fig.12 Relations between the amount of leakage and the amplitude

#### 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 A E 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、定期的に交換されている。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、A E 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 A E センサの設置位置を示す。

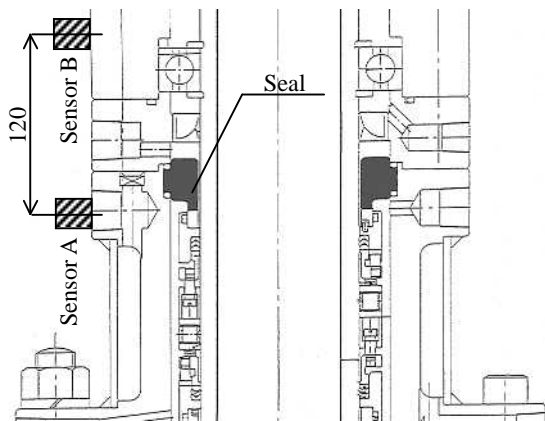


Fig.13 The equipment made the target of the diagnosis

Table 3 The condition of the examination

Item	Condition
Material(Rotation part)	Carbon
Material(Fixed part)	SiC
Pressure	3.2Mpa
Temperature	25
Shaft speed	4.6m/s

実機では、A E 発生部位はメカニカルシールだけではないので、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 A E 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 A E の挙動と類似する<sup>6)</sup>。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特定により判別した。

Fig.14 に A E の発生位置を示す。メカニカルシール部近傍と軸受近傍で A E が発生するのが認められ、特にメカニカルシール部での A E の発生が多く、メカニカルシールの異常が懸念される。

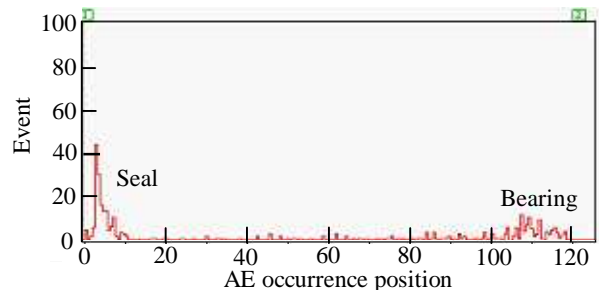


Fig.14 The occurrence position of AE

Fig.15 に検出された A E 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 A E 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、減衰率が若干異なると考えられるが、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、分解点検の結果、シール面に摩耗傷が観察され、A E による評価の結果と一致した。

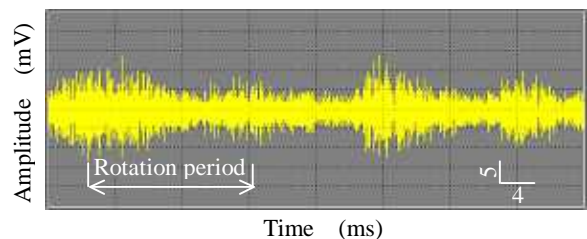


Fig.15 Waveform of AE

## 5. 結言

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 A E の特徴と、漏洩が生じる時の A E の特徴を検討した。その結果、下記が明らかになった。

1)メカニカルシールの摩耗進行に伴い A E の振幅が上昇する。2) 摩耗進行に伴い発生する A E は、100 k Hz ~ 400 k Hz を主成分に、700 k Hz 近い周波数帯域まで幅広い周波数成分を持つ 3) 摩耗進行に伴い発生する A E 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 A E が発生し、その後は現象としては摩耗現象となることから摩耗進行時の A E 挙動を示す。5)漏洩が発生すると、A E の振幅が減少する。

主に振動法により軸受の状態監視保全が進められるようになり、設備停止の要因としてメカニカルシールの不良が占める割合が大きくなってきた。さらに近年、メカニカルシールはますます過酷な条件下で使用されるようになり、早急な損傷評価技術の開発が望まれている。A E は本研究結果で示したように摩擦摩耗現象に相関して変化することから、メカニカルシールの状態監視技術として非常に有効な手段であると考えられる。今後、軸受も含む回転体設備の総合状態監視技術の中心となるものと考えられる。

## 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 A E 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 A E 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 A E 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 A E 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 )