

# AE 法によるメカニカルシールの損傷診断

日本フィジカルアコースティクス株式会社  
西本重人

## 1. はじめに

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紹介されているが、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。本章では、AE 法を用いたメカニカルシールの診断原理と適用事例を紹介する。

## 2. AE によるメカニカルシールの診断原理

### 2.1 メカニカルシール損傷における AE 挙動

まず、メカニカルシールの典型的な損傷であるツールリングとフローティングシートの損傷について検討する。AE 法の原理からメカニカルシールの動作原理を考えると、単純に 2 物体の摩擦摩耗現象であると考えることができる。一般的に、2 物体が接触して摺動する場合、その 2 物体間の摩擦係数あるいは摩耗量は AE の振幅と相関がある。したがって、メカニカルシールが損傷してその表面粗さが増大すると、発生する AE の振幅が上昇すると考えられる。

図 1 にメカニカルシール耐久試験時における AE の振幅の変化を示す。稼働時間の増加に伴い、AE の振幅が上昇し、漏洩前にはさらに大きく振幅が上昇するのが認められる。なお、試験開始直後にも、振幅の上昇が認められるが、これはシール面の初期摩耗によるものと考えられる。

上記の試験結果は、適切な使用環境化でのシール面の寿命進行に伴う AE の挙動であるが、実際の使用環境下では、異物の噛み込みなどにより、シール面の損傷は急激に進行する。図 2 は、流体内に異物を混入して上記と同様な試験を実施した結果である。異物は、焼入れ粉の微粉末を使用した。試験途中で非常に大きな振幅をもつ AE の発生が認められ、この直後から AE の振幅が急激に上昇している。そこで、大きな AE の発生が認められた場合に試験を中断してシール面を観察したところ、異物噛み込みによる傷が確認され、振幅の大きな AE はこの傷が生成される時に発生したのと考えられる。

### 2.2 ノイズ弁別技術

メカニカルシールが使用される環境下では、AE はシールからだけ発生するのではなく、配管等など、さまざまな部分から発生している。したがって、メカニカルシールの損傷を精度よく評価するには、これらのノイズとシールから発生した AE を区別して評価する必要がある。以下、メカニカルシール特有の AE 挙動を示す。

図3にメカニカルシールに損傷が生じた時(図1中A部)に発生したAEの周波数成分を示す。700kHzにまで至る高い周波数成分をもつことが分かる。損傷が大きくなると高周波成分がさらに大きくなる傾向を示す。一般的に、金属などから発生するAEの周波数成分は500kHz程度までであると言われており<sup>1)</sup>、これらと比較して高い周波数成分を有することが分かる。

図4は、メカニカルシールに摩耗が進行した時に観察されたAEの波形を示すが、周期性を持って発生していることが分かる。この周期性は軸の回転周期に一致する 경우가多く、損傷状態により複数の周期性が観察される。図5に示すように、メカニカルシールの損傷を考えると、損傷は接触面全体に均一に生じることはなく、局部的に大きい損傷が生じている部分が存在するものと考えられる。したがって、ツールリングの損傷の大きな部分とフローティングシートの損傷の大きな部分が接触してAEの振幅が上昇するのは、軸が1回転することである。すなわち軸の回転周期に一致して変化するものと考えられる。

さらに、発生した波形の波形形状は亀裂などにより発生する突発型ではなく、比較的持続時間の長い連続型を示している。したがって、メカニカルシールの評価においては、発生したAEの最大振幅だけでなく、平均値やRMS(実効値)で評価することも有効であると考えられる。

図6に、メカニカルシールが損傷し、内部流体が漏洩した場合のAE振幅の変化を示す。漏洩時にAEの振幅が急激に低下するのが認められる。これは、シール損傷に伴い、内部流体がシール面を通過した時に潤滑剤の役目をはたして摩擦係数を軽減させたことにより生じた現象であると考えられる。このように、振幅上昇後の振幅の急激な減少は漏洩の前駆現象であると考えられる。

上述のように、AEの周波数成分や発生周期、そして振幅の上昇後の低下という特徴ある現象を捕らえることにより、他の原因から発生したAEと弁別して損傷を判断できる。さらに、これに位置特定技術を組み合わせることにより、さらに精度よくメカニカルシールの損傷を評価できる。

### 3. 診断事例

#### 3.1 重合槽攪拌軸

重合槽の攪拌軸は回転数が数rpmから早くても数百rpm以下と低く、振動法の適用が困難である。この重合槽のメカニカルシールの損傷診断にAE法を適用した例を紹介する。この事例では、AEセンサはメカニカルシール直近のハウジングに接着剤で取り付けられた。本設備は回転数が低いために、ノイズとなるAEの発生が少なく、さらに上記のようにAEセンサをメカニカルシール直近に設置できたことから、基本的にはAEの振幅の変化だけに着目して評価した。図7に計測されたAEの振幅の変化を示す。回転数が低い場合には外乱ノイズの振幅が小さいことから、シールの損傷を示すAEの振幅の変化が明確に認められる。このようにAE法では、振動法などでは評価困難な回転数の低い設備の異常も、逆に精度よく検出できる。

#### 3.2 軸受とメカニカルシールの損傷部位の判別

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などを生じる場合がある。以下は、軸受ならびにシール交換後、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。図8に計測対象設備の構造(秘密保持上類似品を示す)とAEセンサの設置位置を示す。ここで、このAEの発生位置を特定するためにAEセンサを2個設置した。軸受到損傷が生じた時のAE挙動は、振幅の上昇、周期性、持続時間の増加(潤滑不良、つばあたりなどの場合)とメカニカルシールが損傷した時に発生するAE

挙動と類似することから<sup>2)</sup>、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が有効である。結果を図 9 に示すが、メカニカルシール部近傍と軸受近傍で AE が発生するのが認められた。なお、本件では、分解点検の結果、シール面に傷が観察され、軸受の転走面にも摩擦痕が観察された。

#### 4. おわりに

主に振動法により軸受の状態監視保全が進められるなり、設備停止の要因としてメカニカルシール不良の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。AE は文中でも述べたように、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、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。

1)尾上守夫、山口楠雄ら：“アコースティック・エミッションの基礎と応用”、コロナ社、15-163(1976)

2)井上紀明、西本重人、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)

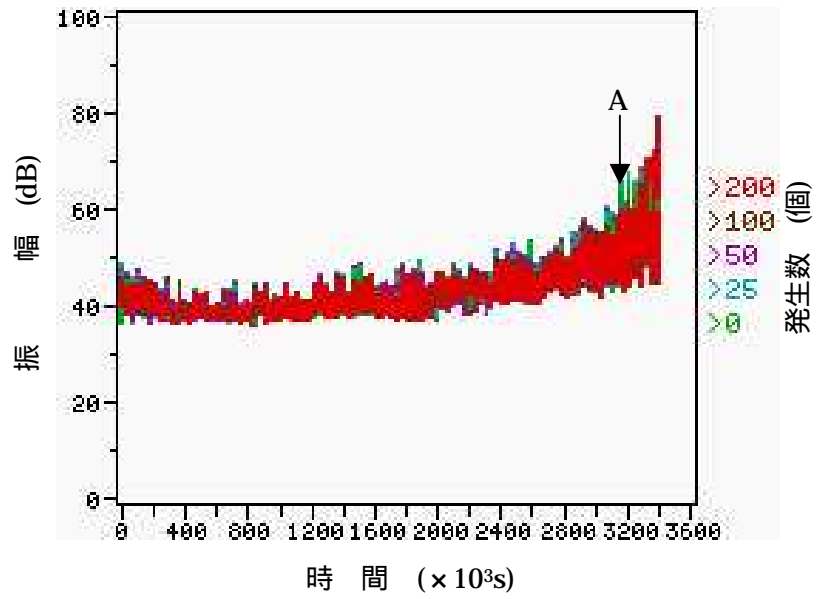


図1 メカニカルシール損傷過程における AE 振幅の変化

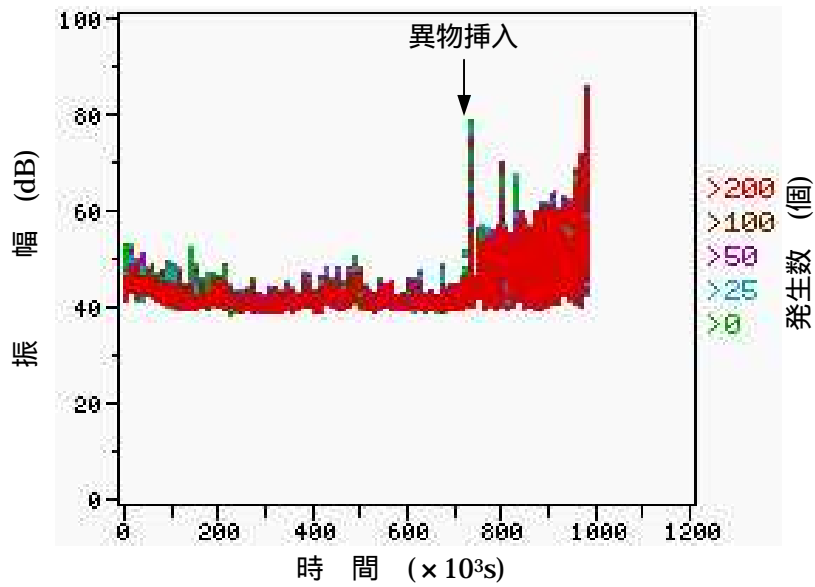


図2 メカニカルシール損傷過程における AE 振幅の変化 (異物混入)

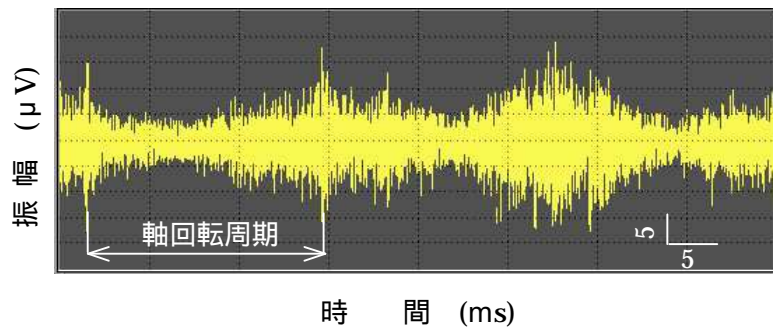


図3 AE発生周期

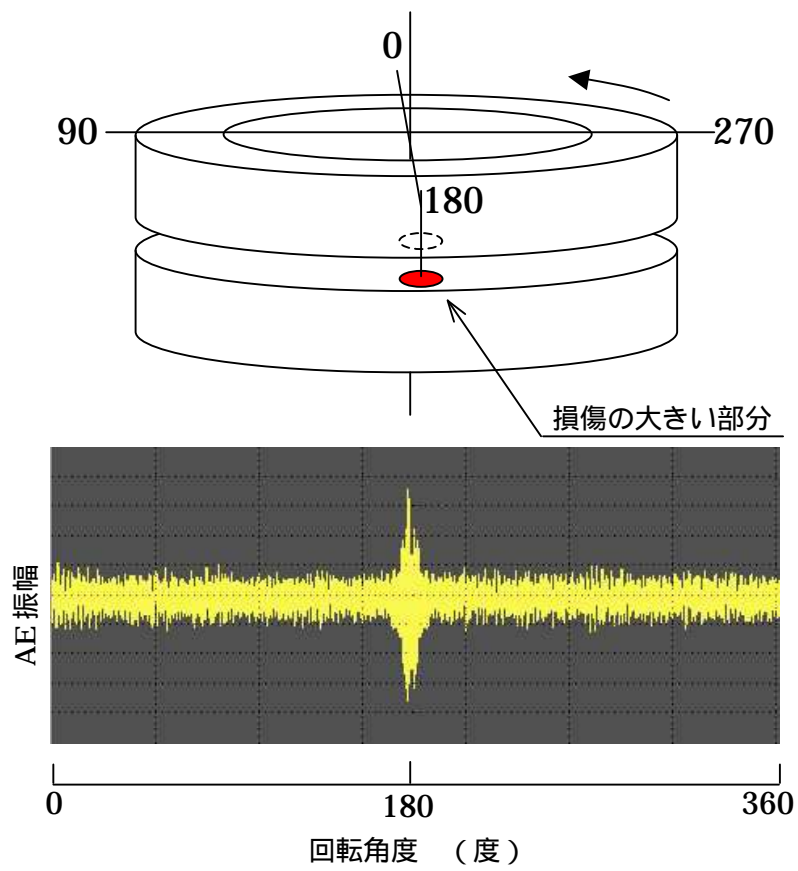


図4 周期性の発生原理

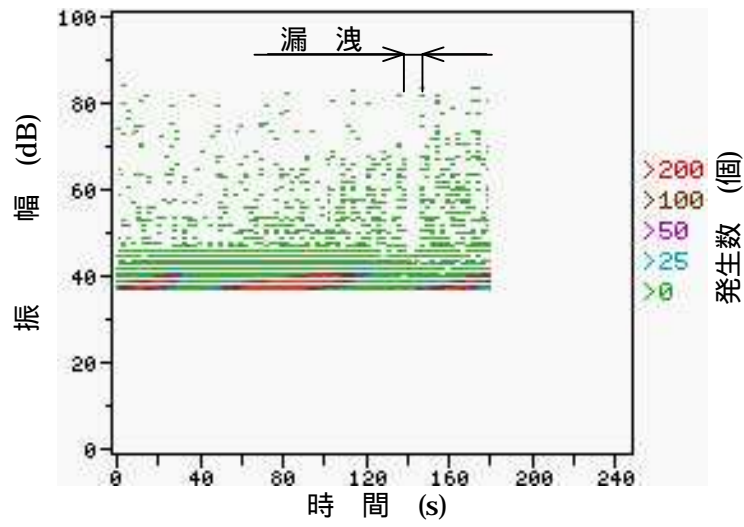


図5 漏洩発生時のAE振幅の変化

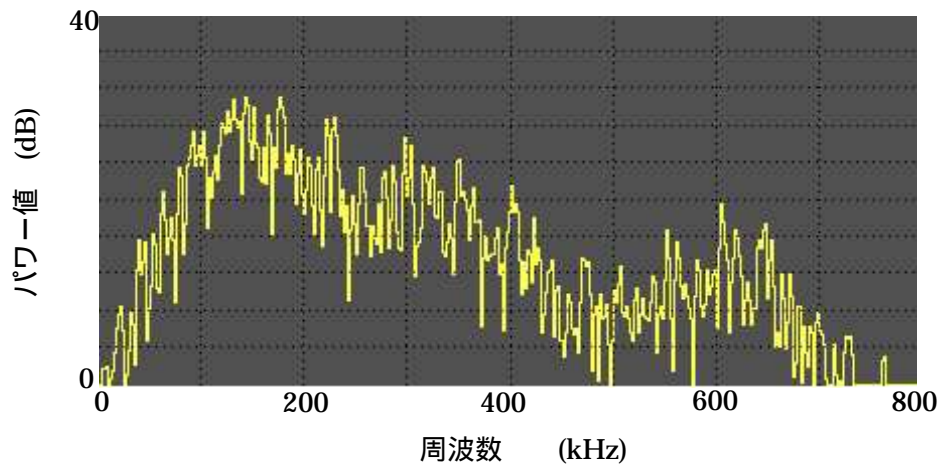


図6 AEの周波数成分

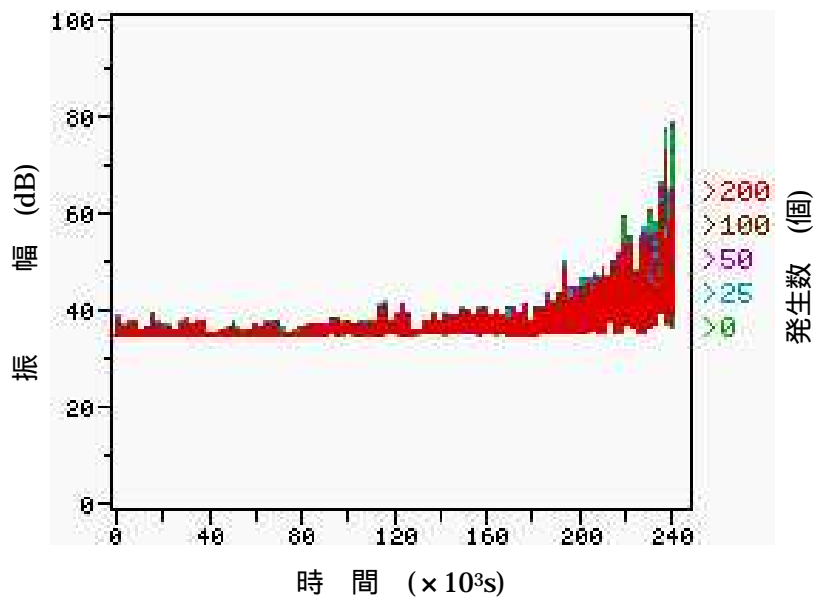


図7 重合槽用メカニカルシールのAE挙動

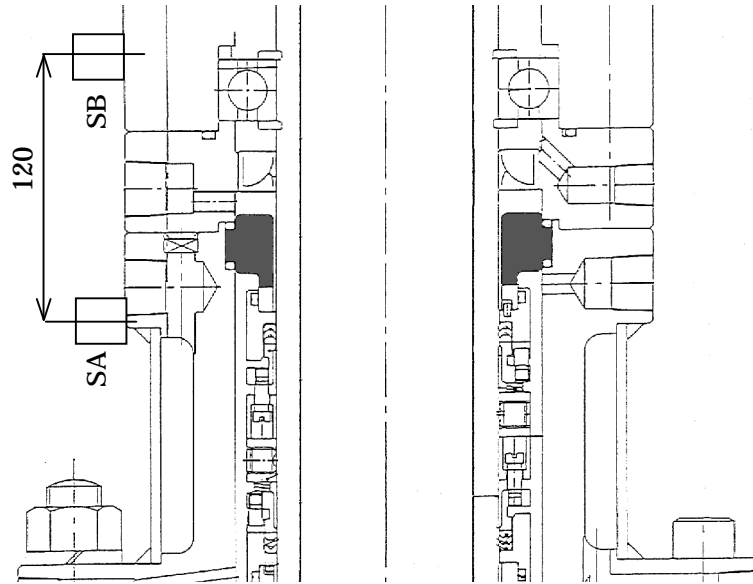


図8 対象設備の構造とAE センサ設置位置

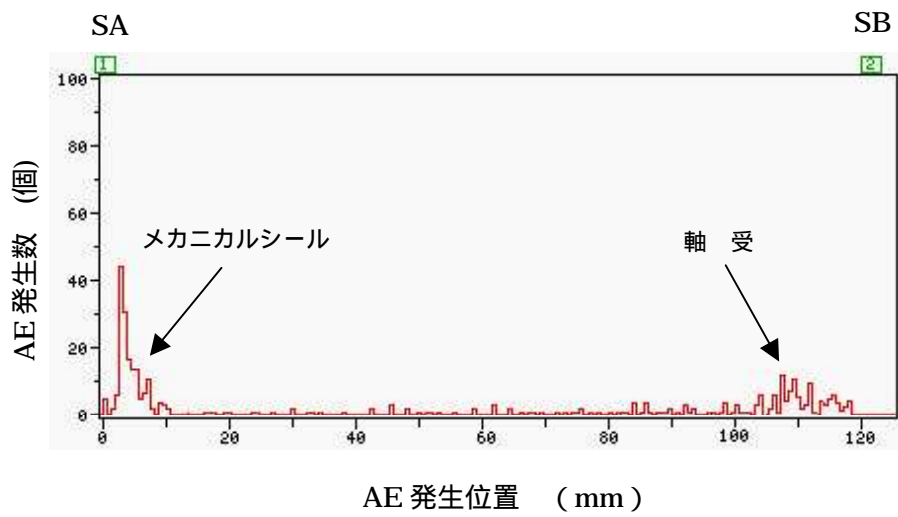


図9 AE発生位置