

AE による設備診断技術と IoT 活用技術

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

昨今、生産現場においても IoT が流行りである。主目的は、設備の稼働状況を「見える化」、すなわち生産に影響する前に設備の故障の兆候をセンシングして設備の健全性を明らかにし、この結果を保全にフィードバックして生産への影響をできるだけ小さくすることである。ここで、目的を達成するための要となるのは設備状況の「見える化」である。よく「振動や温度や電流など、いろいろなデータを集めてきてビックデータを作成すれば設備の健全性を把握できる」などと言われるが、本当にビックデータで設備の健全性を評価できるであろうか？例えば、振動が上昇するという事は、半導体製造装置のような微細な加工ではすでに製品の品質に影響を与えていることになるし、緊急修理の為にラインを予定外に停止することが必要となる。すなわち、このような末期現象のデータをたくさん集めても、予知ではなく末期の状況しか把握できない。必要なのは、設備の振動や温度などの変化を生じる原因、すなわち設備に生じる亀裂や摩耗を検出しなければ健全性の評価はできない。

このような状況下、最近、AE(Acoustic Emission)法が注目を集めるようになってきた。AE 法については、本論では説明は省略するが、AE 法の基本原理である亀裂や摩耗をリアルタイムに検出できる特徴が設備の健全性のセンシング技術として非常に有効で、さまざまな分野のさまざまな工程へ導入が進んでいる。本論では、市場で注目を浴びているこの AE 法の設備診断への活用例について紹介する。

2.IoT 向け AE システム

AE の計測は、今までは計測ボードをコンピュータに組み込んだ大型のシステムが主流であった。価格も数百万円以上し、工場で何百台と使用するのは困難であった。しかし、ここ数年で、処理ボードも Fig.1 に示すような小型の機器が開発され、その結果、Fig.2 に示すような設備と接続してデータを収集し、アラーム信号を発報することができる製品や、Fig.3 に示すような ZigBee や Wi-Fi などのデータの無線転送可能なシステムも提供されるようになってきた。

これらのシステムは、小型、低価格だけでなく、処理する AE のパラメータを最小限に絞っているところにも特徴がある。AE のパラメータは多数あるが、後述するように、設備の健全性は振幅、エネルギー、RMS の 3 パラメータだけで評価できることが多い。したがって、上記のシステムではこの 3 パラメータだけを処理している。これは、システムの簡略化だけでなく、情報量を最小限に抑えることができることで、ネットワークへの負荷も小さくすることができる。



Fig.1 IoT 向け AE ボード



Fig.2 IoT 向け AE システム



Fig.3 無線送信 AE システム

3. 適用事例

3.1 ロボット

工場の自動化に伴い、ロボットの需要は年々増加し、これに伴い故障診断の重要性は益々大きくなっている。本項では、故障の中でも生産にもっとも影響がある軸受やギヤの故障評価について紹介する。

ロボットの軸受やギヤの故障原因は、主に転がり摩耗が原因である。AE のエネルギー値は、摩耗体積と相関があることから、このエネルギー値の変化からロボットの健全性を評価できる。まず、AE センサは、Fig.4 のように軸受や減速機が組み込まれている関節部に取り付ける。Fig.5 にロボットから検出された AE のエネルギー値の変化を示す。ここでエネルギー値は、ロボットの動作の 1 周期分の積算エネルギー値を示す。使用に伴いエネルギー値が増加し、摩耗の進行を把握できる。また、寿命の後半にエネルギー値の増加量が変動するのが観察される。軸受や歯車の摩耗が進行すると、転がり面のすき間が増加して潤滑状態が不安定となり、また、発生した摩耗粉を転がり面に噛み込むために摩耗量が増加すると考えられ、これが AE のエネルギー値の変動として観察されていると考えられる。このように、AE のエネルギー値の増加と変動の管理により、ロボットの寿命後半の適切な時期に異常を判断することができる。

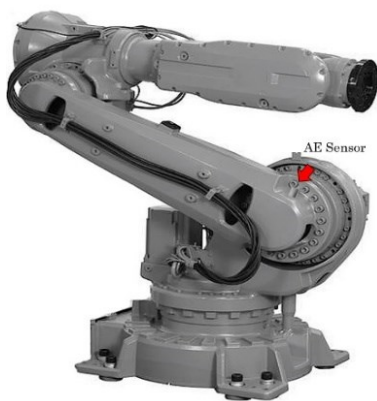


Fig.4 AE センサ取り付け位置

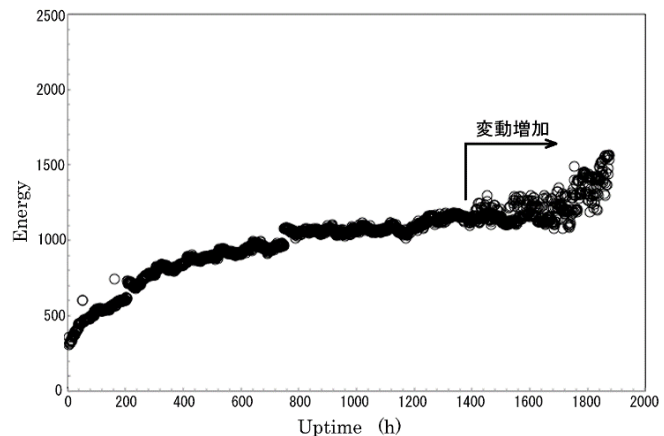


Fig.5 稼働に伴う AE のエネルギー値の変化

3.2 メカニカルシール

回転機器の保全において、軸受、歯車、シールの損傷は設備不良の主要原因であり、設備保全にとってはこの 3 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。本項では、メカニカルシールの診断に AE 法を適用した例を紹介する。

メカニカルシールは、2つのリングが接触して回転することにより内部流体を封入する構造となっているので (Fig.6)、損傷形態は主に摩耗で、これが進行して漏洩が生じる。Fig.7 に、実機において観察された漏洩発生前後の RMS 値の変化を示す。2物体が接触する場合、AE の RMS 値は両物体間の摩擦係数と相関がある。したがって、シールの摩耗進行に伴い RMS が上昇するが、漏洩が発生する前に RMS 値が低下し、漏洩が発生するとさらに低下するのが観察される。これは、漏洩が発生する直前には内部流体が回転輪と固定輪の間に入り込み、これが一種の潤滑剤の役割をはたして両リングの摩擦を低下させることによって RMS 値が低下したものと考えられる。メカニカルシールを診断する場合には、RMS 値の増加を評価するのではなく、上記のように RMS 値の低下開始を判断するのが有効であると考えられる。

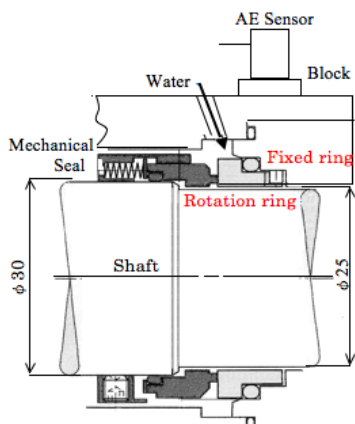


Fig.6 メカニカルシール

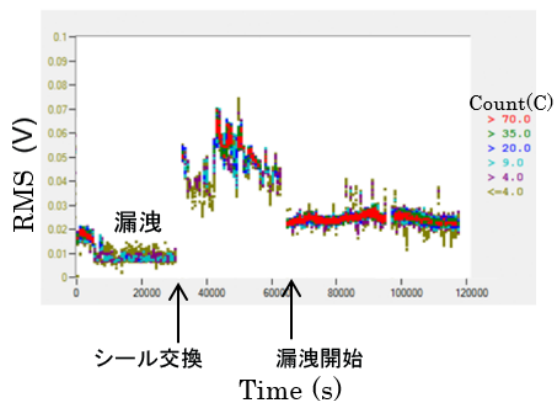


Fig.7 RMS の変化

3.3 射出成型機

樹脂製品の生産工程で欠かせない設備が射出成型機である。Fig.8 に典型的な射出成型機の構造を示すが、本論では射出成型機の故障としてもっとも多い、スクリーウの摩耗の評価について解説する。

2 物体が接触する場合、AE の RMS 値は両物体間の摩擦係数と相関がある。Fig.9 にスクリーウが接触した場合の AE の RMS 値の挙動を示す。スクリーウがシリンダー内面に接触すると摩擦係数が増大するので、RMS 値の上昇と、さらに変動するのが観察され、この変化量からスクリーウの接触を評価できる。

また、秘密保護の関係でデータを開示できないが、スクリーウの摩耗量（体積）と発生した AE のエネルギー総量の間に関係があり、スクリーウの摩耗量を判定してスクリーウの交換時期を判断できる。

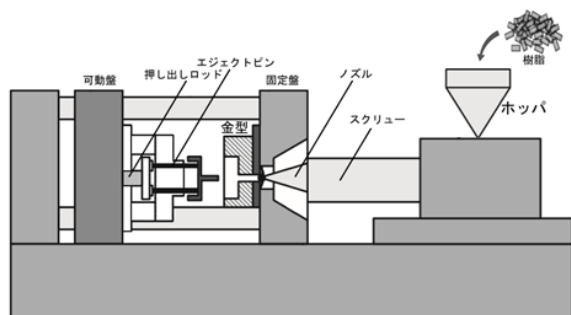


Fig.8 射出成型機

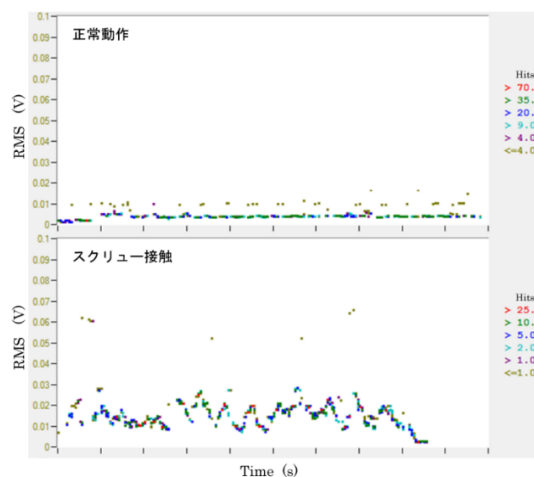


Fig.9 スクリーウ接触時の RMS 値の変化

3.4 加工 (研削)

AE はさまざまな加工の状態監視に使用できるが、本論では研削焼けの評価について解説する。

研削は、加工点では亀裂と摩耗が生じていると考え、AE と相関があることは容易に推測できる。Fig.10 に示すようなクランクシャフトを加工した時の目詰まり状態と AE の振幅の関係を Fig.11 に示す。目詰まりが発生し、さらに研削焼けが発生すると振幅が増大している。したがって、振幅値を監視することにより研削焼けを検知し、加工条件の変更や、適切なドレッシング間隔の確保ができる



Fig.10 クランクシャフト

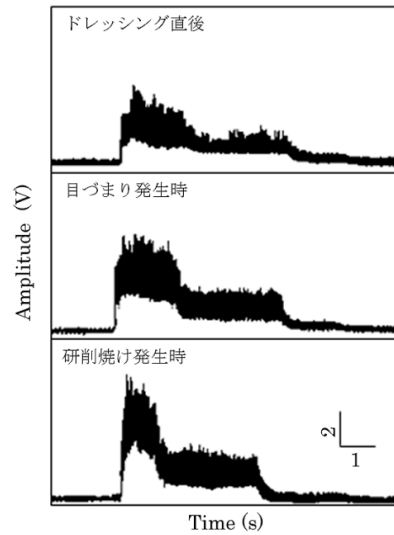


Fig.11 研削状態と AE の振幅の関係

3.5 溶 接

溶接加工において溶接状況を把握して不良発生を防止する技術についてレーザー溶接を例に紹介する

Fig.12 は、レーザー溶接において、溶接不良が発生した場合の検出波形を示す。溶接不良により AE のエネルギー（波形の面積に相当）が異なることがわかる。Fig.13 にレーザー溶接時の溶け込み量と AE のエネルギー値の関係を示す。AE のエネルギー値と溶け込み量がよい相関を示していて、溶け込み量の変化を AE のエネルギー値で把握することにより、間接的に設備の異常を評価できる。

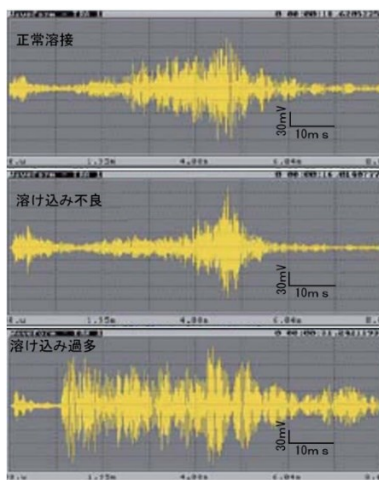


Fig.12 溶接不良時の AE 信号

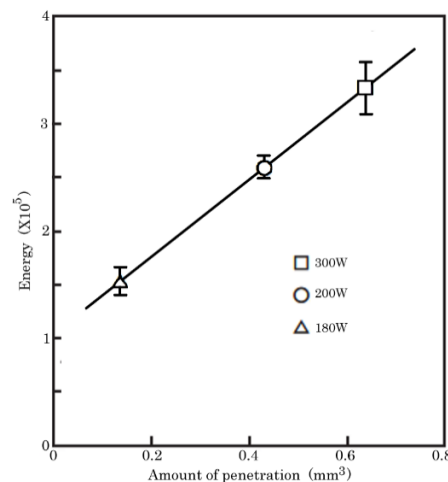


Fig.13 溶け込み量と AE エネルギーの関係

4.おわりに

設備の健全性を評価するセンシング技術は IoT の最も核となる技術である。AE 法は、上述のように設備の異常の起点となる亀裂や摩耗を検出する手段として非常に有用な手段である。また、評価に必要な情報も少なく、通信量の点でもネットワークに優しい技術であり、今後、センシング技術の中心となると考える。