

3.7 エレベータ・エスカレータ

エレベータやエスカレータなどの昇降機は、建築基準法 12 条 3 項昇降機の定期検査と報告義務の項で、「所有者は建築士または国土交通大臣の設定する昇降機検査資格者による年 1 回の定期検査を受け、その結果を所轄行政庁へ報告しなければならない」と定められている。ユーザーは、上記の法律に従い定期的に昇降機メーカー等に点検を依頼し、そのコストはユーザーが負担する。したがって、ユーザーは点検コストの安い昇降機メーカーを選択し、この結果、昇降機メーカーは点検費用の削減を要求されることになり、点検コストの削減が受注量あるいは利益確保に直結することになる。昇降機の点検は、目視観察や振動測定、あるいはワイヤーの非破壊検査など、サービスマンによる一つ一つの手作業となるために、昇降機の点検業務のコストで大半を占めるのは人件費となる。したがって、コスト削減に対して点検効率の向上が最も大きな課題となっている。また、近年、エレベータ、エスカレータの事故が多数伝えられ、検査業務の正確さと精度向上が求められるようになり、新しい検査手法の導入が検討されるようになってきた。

本節では、この昇降機の点検に AE 法を適用して検査業務の効率と検査精度の向上を図る方法を示し、また、従来は困難であった検査対象の点検方法について説明する。なお、本章では、機密保持の関係で軸受等の型番、回転数等の稼働条件の記載は控えた。

3.7.1 エレベータ¹⁾

エレベータは大きくロープ式(トラクション方式)と油圧式に大別される。一般的によく使用されている、ロープ式(トラクション方式)エレベータの構造を図 3.7.1 に示す。ロープでかごとつり合い重りを接続し、このロープを巻き上げ機の綱車で上下させてかごを昇降させる。油圧式エレベータは、巻き上げ機ではなく油圧ジャッキによって綱車を上下させてかごを昇降させる構造となる。主な点検箇所を下記に示す。

- A: 巻き上げ機の軸受と歯車
- B: 巻き上げ機の主軸
- C: 電動機軸受
- D: 綱車の軸受と主軸
- E: 主ロープ
- F: フレーム、ガイドレール
- G: 電磁ブレーキ
- H: 開閉機構

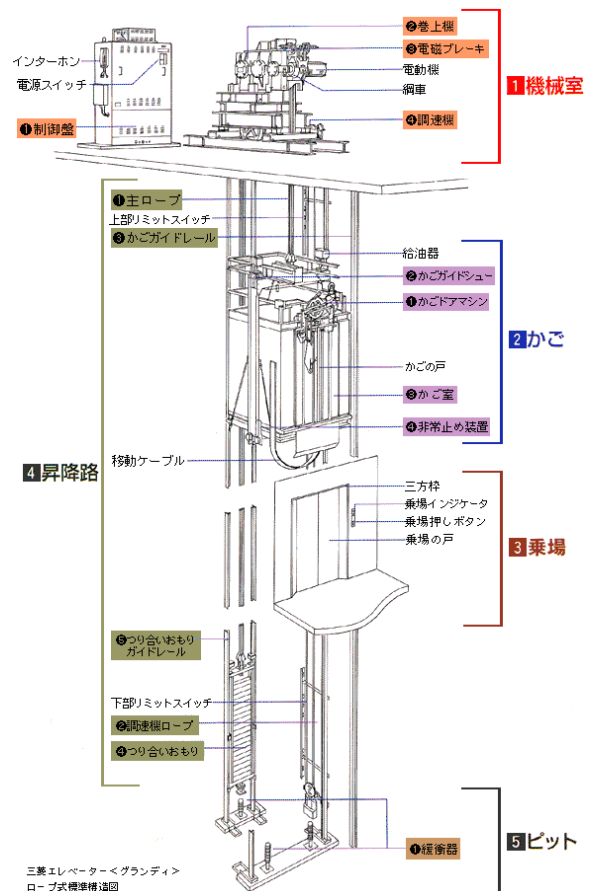


図 3.7.1 エレベータの構造

(1)軸受, 歯車²⁾³⁾⁴⁾

巻き上げ機や電動機の軸受, 歯車の診断は, 一般的に、聴覚や手感触等により実施されている。この方法では, 検査時間の問題だけでなく, 損傷が増大して振動が上昇したり, 発熱しないと異常を判断できない。また, 個人の能力により診断精度が異なるなど問題が多い。実際, 点検後に軸受が焼き付いて停止したり, 振動が高くなって運用を停止した例も多い。軸受や歯車の診断方法としては振動法がよく使用されるが, エレベータで使用される軸受や歯車の回転数は低いので, 異常発生時に振動の変化が少なく, 適用が困難な場合が多い。これに対して, AE法はクラックの進展や摩擦・摩耗を検出できることから, 軸受のクラック進行や転走面の摩擦・摩耗状態, すなわち潤滑状態を評価できる。

軸受や歯車にクラックが生じると, 100kHz~300kHz (材料により若干異なる) の突発型のAEが発生する (図 3.7.2)。また, 潤滑状態が悪くなり転走面の摩擦・摩耗が大きくなると連続型のAEが発生し, その摩耗量と相関して RMS 値が大きくなる (図 3.7.3)。さらに, 軸受や歯車の転走面で発生する AE には周期性 (特性周期) が観察される。図 3.7.4, 図 3.7.5 に主軸のサポート軸受の AE 計測例を示す。AE センサは両軸受の軸受箱にマグネットホルダで設置した。図 4 は内輪転走面に微小はく離が発生した軸受の評価例である。横軸が経過時間で縦軸が発生した AE の振幅を示す。AE が発生すると点を 1 点プロットしている。微小はく離により AE が発生し, 発生に周期性 (Ti, Tr) が観察される。図 5 は潤滑剤の不足した軸受の計測結果を示す。潤滑状態が悪くなり, 転走面の摩擦・摩耗が大きくなると上述のように連続型の AE が発生し, RMS 値が上昇する。さらに, RMS 値の変化に回転数に同期した周期 (Tr) が観察される。

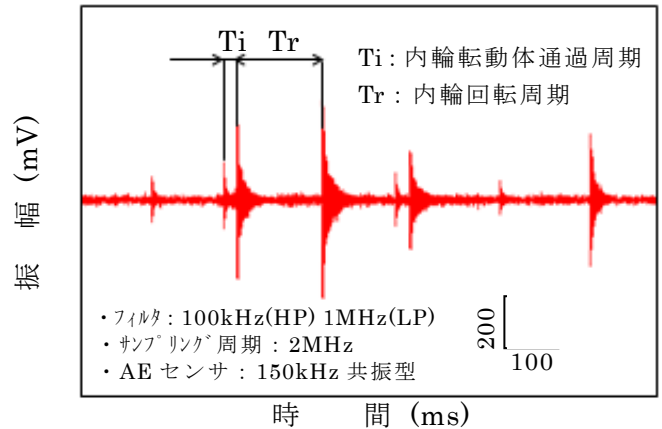


図 3.7.2 クラック進展時の AE 信号波形

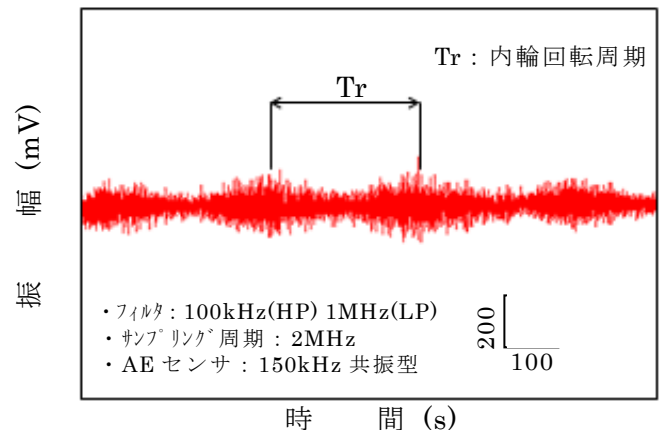


図 3.7.3 潤滑不良時の AE 信号波形例

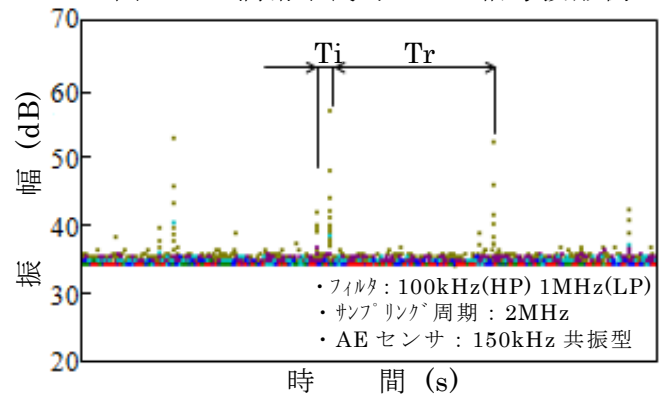


図 3.7.4 AE 計測例 (微小はく離)

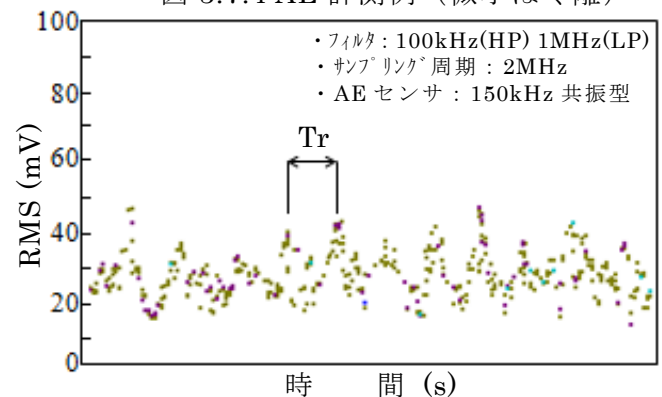


図 3.7.5 AE 計測例 (潤滑不良)

(2)主軸

主軸の検査方法としては、一般的に目視観察しか実施されない場合が多い。これは、超音波探傷を実施するにしても、軸端面へのアクセスが困難である場合が多く、サービスマンの技術的な問題も大きい。主軸の AE の検査方法は、原理的には圧力容器などと同様で、軸に応力を負荷することによりクラックの破面間に応力が作用して AE が発生し、この AE を検出することによりクラックの有無を判断する。軸への応力の負荷方法としては、一般的にエレベータの籠に重りを積載するが、小型のエレベータでは、主軸の中央に重りを吊り下げる場合もある。

AE の評価方法は、重りを段階的に積載し、積載過程で発生する AE の有無を評価する。AE センサは、主軸の端面が露出している場合には、その両端面に設置し、端面が露出していない場合には、軸の露出部あるいは、両サポート軸受の軸受箱に取り付ける。AE センサを軸受箱に取り付ける場合には、伝搬経路が長くなり、さらに部品間の界面が多くなるので高周波数成分の減衰が大きくなる。したがって、AE 計測の周波数帯域の下限を広げ、例えば 20kHz～

1MHz とし、使用する AE センサは 60kHz などの共振周波数の低いセンサを使用したほうが検出感度として効果のある場合が多い。図 3.7.6 に、クラックのある主軸に荷重を負荷した場合の AE の発生総数の変化を示す。クラックの存在しない主軸ではほとんど AE の発生は観察されないが、クラックの存在する主軸では、負荷に伴い図 3.7.6 に示すように AE の発生が観察される。クラックの状況によって、AE の振幅にも変化が観察されるので、図 3.7.7 に示すように振幅と発生数を総合的に判断するのも有効である。

(3)ロープ

ロープの健全性は、一般的にロープの素線切れの数で評価される。素線切れは、目視あるいは磁気探傷、X 線検査等で検査されるが、ロープ長が長くなると、全長検査には非常に長い時間を要し、エレベータ検査の時間短縮の大きな障害になっている。

AE によるロープの検査原理を以下に示す。ロープは巻き上げ機のドラムで巻き上げられるが、ロープはこのドラムを通過する時に大きく曲げられ、曲げ応力を受ける。素線切れの部分が、このドラムの位置で曲げ応力を受けると、素線切れの先端部分が接触するなどして AE が発生する。

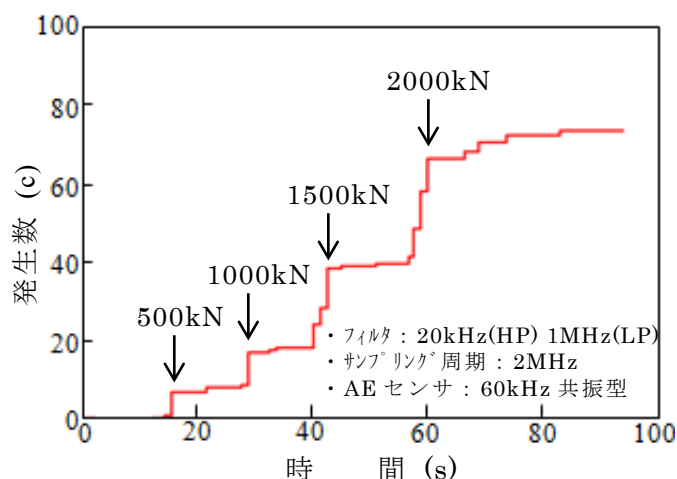


図 3.7.6 AE 発生数 (主軸クラック)

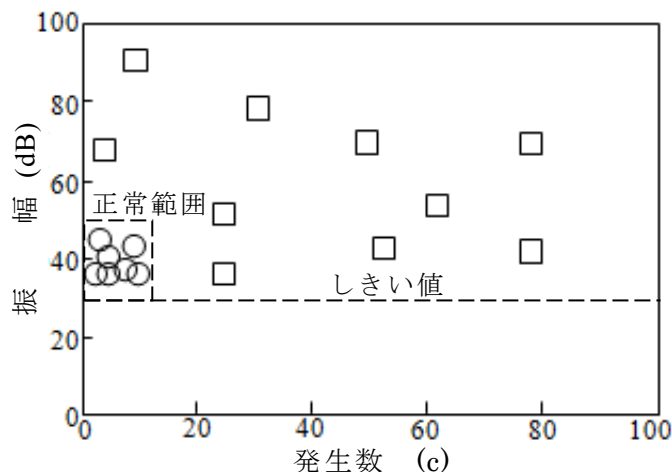


図 3.7.7 主軸クラックの評価結果

すなわち、このドラム部分での AE の発生の有無で素線切れの有無を評価できる。また、AE は素線切れ部がドラムの位置を通過する時に発生するので、巻き上げていったロープ位置と AE 発生タイミングを評価することにより、素線切れの位置を評価できる。

検査例を以下に示す。まず、AE の検出は、ローラー型の AE センサが用意できればドラムの外周部に接触させて AE を検出するのが最良であるが、主軸の両支持軸受の軸受箱に取り付けて、ドラム→軸→軸受と伝搬してきた AE を検出してもよい（図 3.7.8）。この場合、上述のように高い周波数の減衰が大きいので、AE 計測の周波数帯域の下限を広げ、例えば 20kHz～1MHz とし、60kHz などの共振周波数の低い AE センサを使用したほうが、検出感度がよい場合が多い。また、20m 程度の長さのロープであれば、ロープの固定端に AE センサを取り付けても検出できる場合がある。図 3.7.9 に、素線切れしたロープの検査結果を示す。ここでは、軸受箱に AE センサを取り付けて検査した。横軸が経過時間を示し、縦軸が AE の振幅を示し、AE が発生すると図上に点を 1 個プロットしている。横軸 0s が上昇開始点を示し、AE 発生の停止点が巻き上げ完了点を示す。ここで、AE の発生した経過時間がロープの素線切れ位置となる。この試験では、誤判断防止のために、同様の試験を 3 回実施して AE 発生タイミングが同一の場合に素線切れ位置と判断する。すなわち、ノイズはロープの位置に関係なく発生するが、素線切れによって発生する AE は素線切れ位置がドラム部を通過するタイミングで発生し、常に同一の経過時間で AE が発生する。図 3.7.9 の場合には図中の矢印の位置で振幅の大きな AE が発生し、3 回の試験全てにおいて同一のタイミングで AE の発生が観察された。なお、AE 法による検査は素線切れの有無と位置を検査できるが、素線切れの本数を評価できない。AE 法で素線切れを評価した後は、磁気探傷法や X 線検査法などにより、素線切れの本数を評価する必要がある。

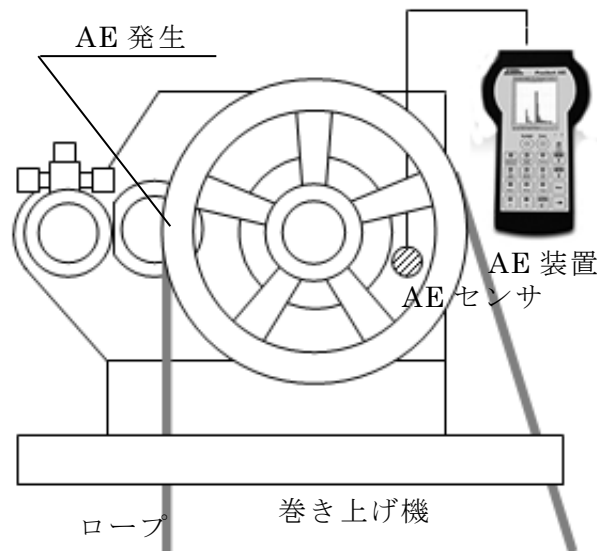


図 3.7.8 ロープの評価方法

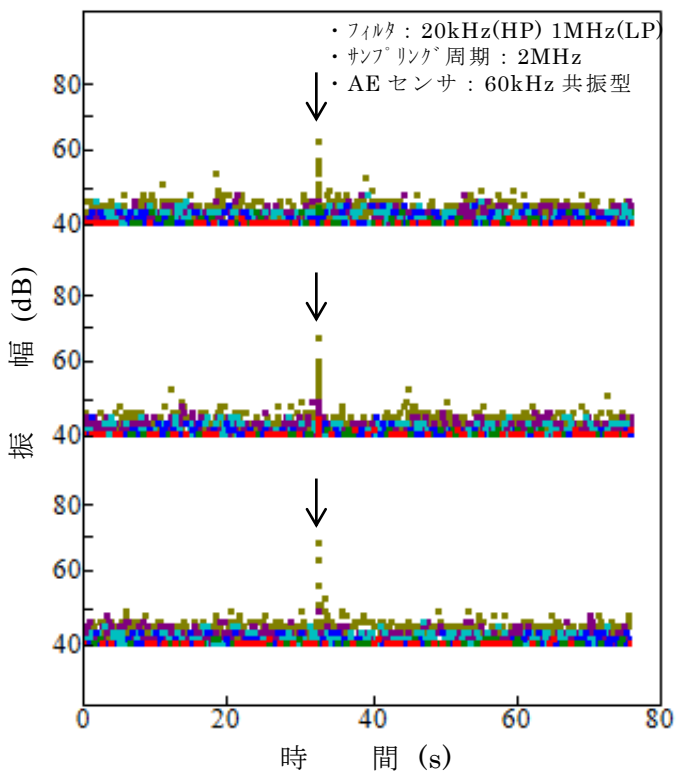


図 3.7.9 ロープの評価方法

すなわち、ノイズはロープの位置に関係なく発生するが、素線切れによって発生する AE は素線切れ位置がドラム部を通過するタイミングで発生し、常に同一の経過時間で AE が発生する。図 3.7.9 の場合には図中の矢印の位置で振幅の大きな AE が発生し、3 回の試験全てにおいて同一のタイミングで AE の発生が観察された。なお、AE 法による検査は素線切れの有無と位置を検査できるが、素線切れの本数を評価できない。AE 法で素線切れを評価した後は、磁気探傷法や X 線検査法などにより、素線切れの本数を評価する必要がある。

3.7.2 エスカレータ⁵⁾

エスカレータにはさまざまなタイプがあるが基本的な構造はかわらない。標準型エスカレータの構造を図 3.7.10 に示すが、上部に設置した駆動機から踏段（ステップ）チェーンに動力を伝達するタイプが一般的で比較的シンプルな構造となっている。主な点検箇所を下記に示す。なお、歯車、軸受に関しては、診断方法がエレベータと同一であるので、本項では省略する。

- A: 駆動機 B: 駆動チェーン C: 電磁ブレーキ D: スプロケット軸受
 E: 踏段チェーン F: 駆動ローラー軸受 G: 追従ローラー軸受 H: トラス

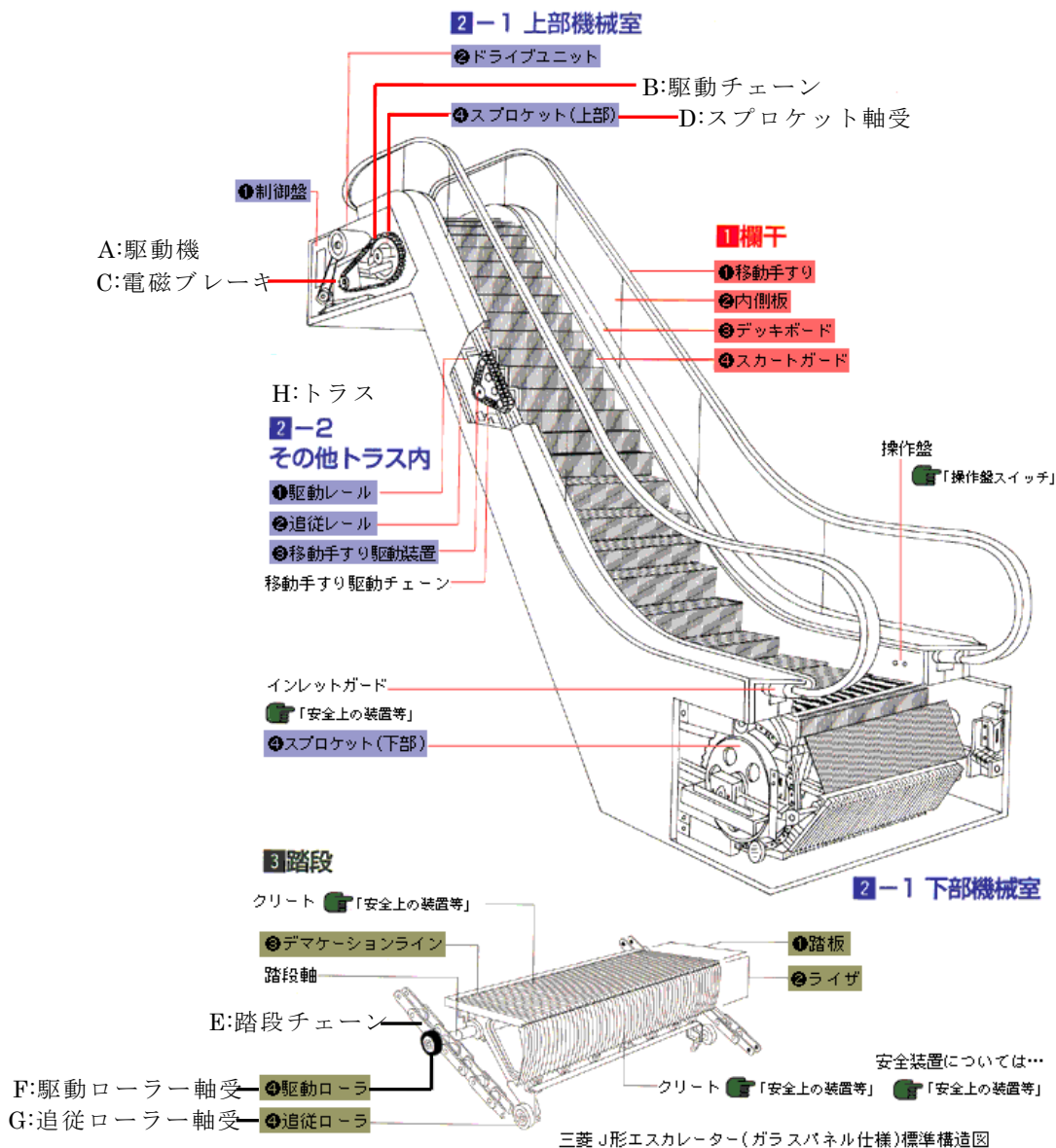


図 3.7.10 エスカレータの構造例

(1)駆動チェーン、踏段チェーン、スプロケット

駆動チェーンおよびスプロケット（図 3.7.11）は通常は目視観察と、耳による聴覚検査が実施されている。しかし、これらの方法ではかじりの兆候やスプロケットの微小な欠損などを判断することは困難である。さらに、チェーン全数を詳細に検査するには時間を要する。この駆動チェーンおよびスプロケットの異常を AE により効率よく検査する方法を以下に示す。

スプロケットとチェーンのかみ合い部には両部品の金属接触が生じて摩耗現象が生じており、これに伴い AE が発生する。一般的に、摩耗量と AE のパラメータ（振幅やエネルギー等）には相関があることが知られており、上記の両部品の摩耗状況を評価できる。図 3.7.12 に、歯 1 枚に摩耗が生じているスプロケットを AE により評価した例を示す。ここでは、AE センサは上部スプロケットの軸受近傍に取り付けている。摩耗したスプロケットの歯とチェーンがかみ合った時に、潤滑状態悪化により正常なスプロケットかみ合い時と比較して振幅の大きな AE が発生する。また、AE は摩耗した歯とチェーンのかみ合い時に発生することから、図中に示すように AE の発生にスプロケットが 1 周する周期 T_1 と一致した周期性が観察される。

同様に、一部に摩耗が生じているチェーンを評価した例を図 3.7.13 示す。スプロケットと同様に、摩耗した一部のチェーンとスプロケットがかみ合った時に振幅の大きな AE が発生し、図に示すように AE の発生にチェーンが 1 周する周期 T_2 と一致した周期性が観察される。このように、基本的にスプロケット 2 回転以上あるいはチェーン 2 周以上で検査が完了し、スプロケットとチェーンの摩耗や欠損を評価することができる。なお、この場合には、上述のようにスプロケットで発生した AE を軸受を介して検出するので、高周波数の減衰が大きく、60kHz などの共振周波数の低い AE センサを使用したほうが、検出感度がよい場合が多い。

上記の例では駆動チェーンの例を示したが、踏段チェーンに関しても同様の方法で検査することができる。

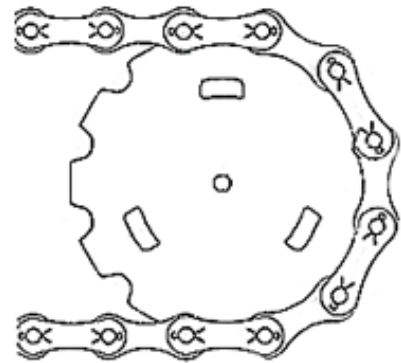


図 3.7.11 スプロケットおよびチェーン

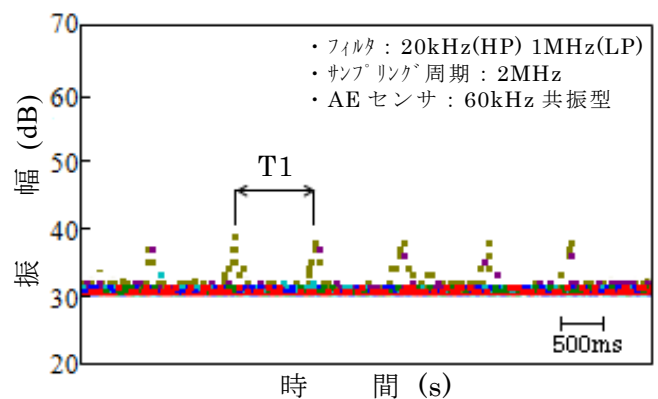


図 3.7.12 スプロケット摩耗時 AE 挙動

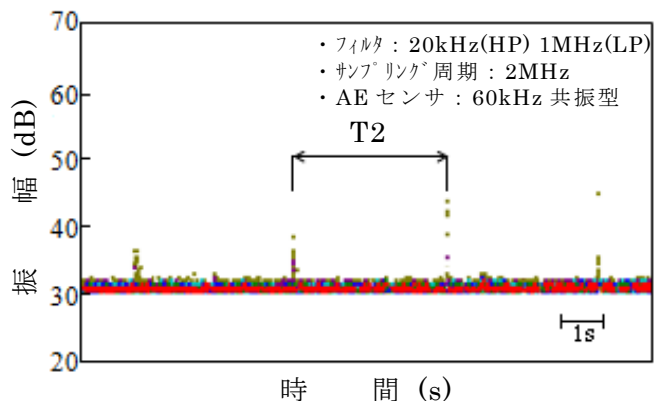


図 3.7.13 チェーン摩耗時 AE 挙動

(2)トラス

トラスを検査するためには、踏段（ステップ）を全てはずすことが必要となる。また、実質は目視検査しか実施できず、溶接部の欠陥等の評価はできない。また、使用中のエスカレータに対してはもちろんであるが、特に近年、エスカレータの寿命に伴って、エスカレータ更新の判断方法のひとつとしてトラスの非破壊検査の需要が増加している。非破壊検査としては、主に溶接部の超音波探傷試験や各部の肉厚測定が実施されるが、エスカレータを長時間停止していることが必要なことや、アクセスの関係で測定困難な部位があるなど、問題が多い。

トラスの健全性を AE で検査する方法としては、大きく 2 種類の方法が適用される。その 1 つは、圧力容器などの検査方法と同様で、トラスに応力を負荷してクラックの破面間で発生する AE を検出し、トラス溶接部のクラックの有無を評価する。応力の負荷方法としては、エスカレータの踏段に重りを積載するのが簡便で、使用状況に一致した方法である。重りとしては、砂袋などが使用されるが、実際に人間が踏段上に載って負荷とする場合もある。もう一つはトラス各部の腐食進行の評価で、タンクや配管の腐食検査原理と同様の方法で⁶⁾⁷⁾、エスカレータの動作を停止して機械的な各部の AE の発生源の影響をなくしたのち、腐食部から発生する AE の発生と発生位置を特定する。

図 3.7.15 は、トラスの溶接部にクラックが存在するエスカレータを計測した結果を示す。エスカレータを停止したのち、負荷として人間が踏段上に一人ずつ乗っていった時に発生した AE を計測する。この場合、AE センサは図 3.7.14 に示すように、点検口を開けてトラストの上端部に取り付けている。AE の計測は、圧力容器の欠陥評価と同様に、負荷上昇時と、一定負荷

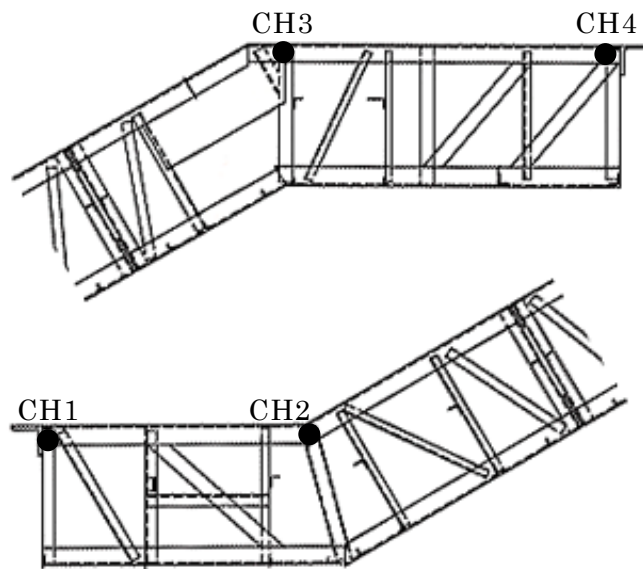


図 3.7.14 AE センサ取り付け位置

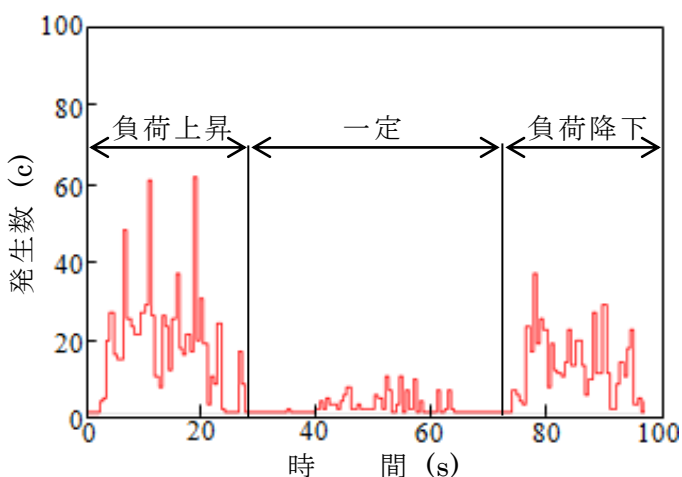


図 3.7.15 AE 発生数の変化(クラック評価)

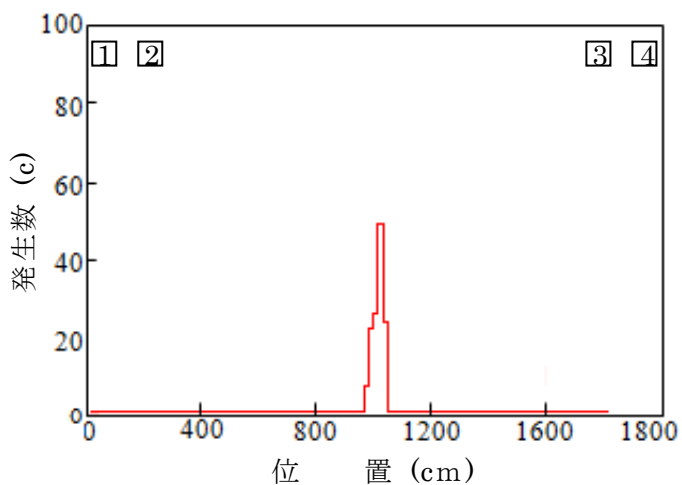


図 3.7.16 AE 発生位置

時、負荷下降時に計測するのが理想である。本エスカレータの場合、図 3.7.15 に示すように各負荷条件で AE の発生が観察され、トラスのクラック存在が評価できる。ここで、人間を負荷とした場合、踏段に乗り込んだり、踏段を移動時に AE が発生する場合があります、これがノイズとなり計測結果に影響がでる場合があります。そこで、クラック部で発生する AE は発生位置が常に同一であることを利用し、到達時間差法による AE の発生位置標定を組み合わせることで AE の発生位置の集中の有無より判断する場合があります。図 3.7.16 に上記のエスカレータの AE 発生位置を示すが(図中 1~4 が AE センサ位置)、CH1 から約 10m の位置で AE の発生集中が観察され、この位置にクラックが存在することを示す。

図 3.7.17, 図 3.7.18 はトラスに腐食が存在するエスカレータのトラスを検査した例を示す。腐食の評価では、エスカレータを停止し、基本的に腐食以外から発生する AE 源をなくして計測する。図 17 は、検査中の AE の発生数を示すが、エスカレータを停止しているにもかかわらず、AE の発生が観察される。トラスに腐食がある場合には腐食部分に AE 発生が集中することから、クラックの評価と同様に、位置標定を組み合わせることにより、精度よく腐食の有無と位置を評価することができる。図 18 は、設置した 4 個の AE センサで AE の発生位置を標定した結果を示すが(図中 1~4 が AE センサ位置)、AE 発生の集中部が観察され、この部分に腐食が進行していることを示す。なお、AE の発生は、あくまでも腐食進行速度と関係があり、トラスの残厚を示すものでないことに注意されたい。

3.7.3 AE 検査装置

エレベータあるいはエスカレータの検査は、メーカーのサービスマンが設置先に出向いて検査を実施する。また、エレベータもエスカレータも、検査を行う機械室はアクセスが不便であったり、狭い空間である場合が多い。このような環境下で AE を計測して結果を判断するために使用する AE 検査装置には、可搬性のよい小型の装置であることが要求される。また、エレベータあるいはエスカレータの検査を行うサービスマンは人数も多いことから、操作性が簡便で、操作の教育期間が少ないことが要求される。さらに、サービスマン一人に 1 台が必要であるから、装置価格も低いことが要求される。

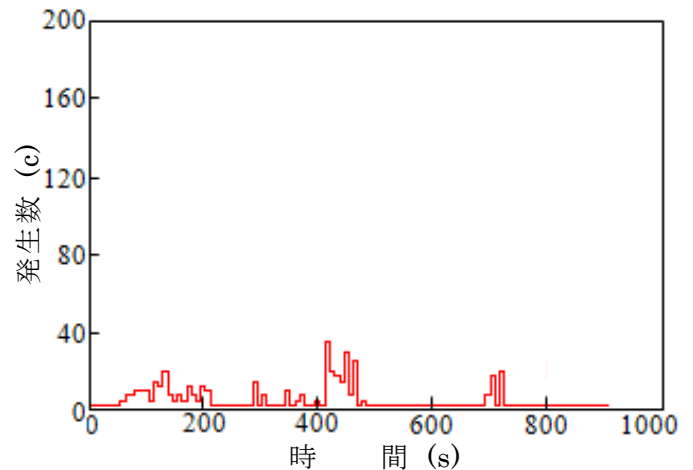


図 3.7.17 AE 発生数の変化 (腐食評価)

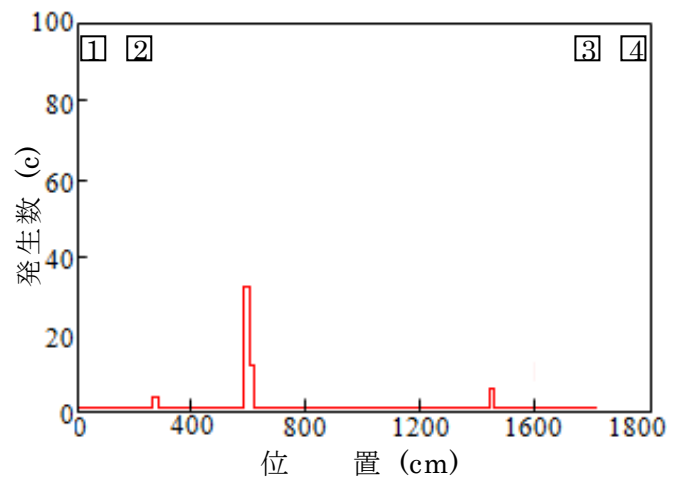


図 3.7.18 AE 発生位置

従来の AE 装置は、コンピュータ内に計測ボードを内蔵したり、独立した別筐体の AE 計測装置をコンピュータと接続して使用するなど、可搬性を無視した大型のシステムが多く、価格も非常に高価であった。また、操作方法についても、基本的には AE の専門家が中心に使用することを前提に製作されていて、AE に関する基礎知識が必要であった。これに対し、近年、可搬性を重視したポータブルタイプの AE 装置が販売されるようになり、これが、エレベータあるいはエスカレータの AE による検査を実現可能としたと言って過言ではない。

図 3.7.19 に、ハンディータイプの AE 計測装置の一例を示す。本装置は、片手で持って操作することが可能な大きさで、バッテリーによる駆動も可能であり、重量も 1.2kg と軽い。また、この大きさで 2CH の AE 計測が可能である。したがって、位置標定の評価も可能であるのでトラスの検査にも使用できる。計測機能としては、従来の AE 計測装置と比較して大きな差はなく、発生数、振幅、エネルギー、RMS などの基本的な AE パラメータを評価することができ、オプションで、軸受の診断等に有効な AE の発生周期を評価する機能を付加することも可能で、エレベータ、エスカレータの検査に必要な機能は装備されている。ただし、外観の小型化に伴い、図 3.7.20 に画面表示例を示すが、表示画面がどうしても小さくなり、データ解析の能率が悪い。また、小型化と省電力化に伴い、搭載するコンピュータの能力上、単位時間当たりに計測できる AE 数が少ないことなど、今後改善が期待される。

近年、携帯電話やインターネットなど通信網が大きく発達した。将来的にはサービスマンは AE の計測後に会社の診断部門にデータを送付し、診断部門にて解析したのち、再びサービス

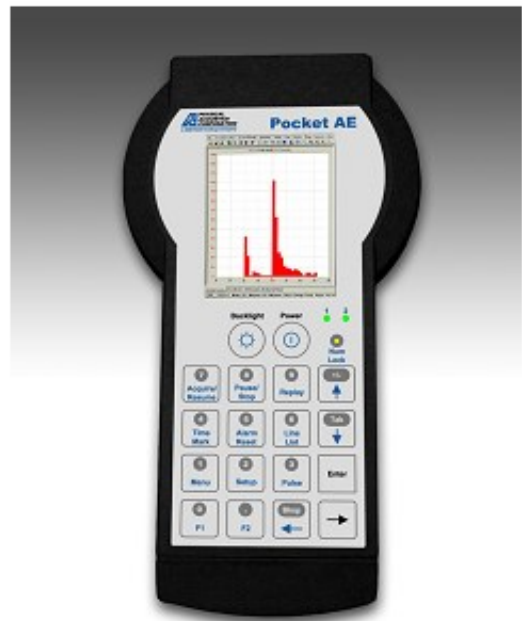


図 3.7.19 ハンディータイプ AE 装置

表 3.7.1 仕様

| 項目 | 仕様 |
|-----------|------------------|
| 1) チャンネル数 | 2CH |
| 2) 周波数帯域 | 1kHz~1MHz |
| 3) サンプリング | 18bit 20MHz |
| 4) 動作環境 | Windows CE |
| 5) アナログ入力 | 1CH |
| 6) 外観 | 241×89×36mm |
| 7) 重量 | 1.13kg |
| 8) 駆動時間 | 7.2VNiMH4 時間連続運転 |

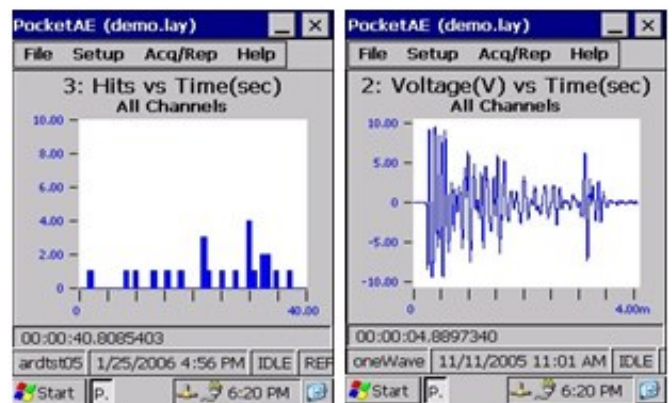


図 3.7.20 画面表示例

マンに解析結果を送付して補修にあたる方法も検討されている。この方法により，AE のデータ解析に関してサービスマンの個々の能力に左右されず，効率的に設備の判断が可能である。

- 1) 三菱電機株式会社：ホームページ「エレベータのしくみ」より抜粋
http://www.mitsubishi-elevator.com/jp/html/inquiry/mechanism/elev_1.htm
- 2) 五十嵐昭男：転がり軸受の振動および音響,潤滑,32(1987)5,317-322
- 3) 吉岡武雄：振動ならびにAEによる故障予知技術,潤滑,31(1986)5,291-294
- 4) 井上紀明,西本重人,藤本芳樹,原田俊二：AEによるころがり軸受診断技術の開発,川鉄技法,20(1988)1,64-68
- 5) 三菱電機株式会社：ホームページ「エスカレータのしくみ」より抜粋
http://www.mitsubishi-elevator.com/jp/html/inquiry/mechanism/esca_1.htm
- 6) 湯山茂徳：アコースティックエミッション(AE)法による腐食損傷評価,防食技術,Vol.35,(1986),163-170