

石油エネルギー技術センターガイドライン

屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン

Recommended Practice for AE Global Diagnostics on Corrosion Damage
in Bottom Plate of Above-ground Oil Tanks.

平成 24 年 3 月 16 日制定

一般財団法人 石油エネルギー技術センター

©2012 (無断複写・転載を禁ず)

屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン
ワーキンググループ構成表

検査技術ワーキンググループ 委員 8 名（所属、氏名略）

(主 査)	関根 和喜	横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター
(委 員)	山田 實	総務省 消防庁 消防研究センター
	田和 健次	石油連盟
	紺野 臣郎	石油連盟（委員代理）
	津本 秀	出光興産株式会社
	児島 淳	コスモ石油株式会社
	村田 康一	J X 日鉱日石エネルギー株式会社
	兵藤 雅己	昭和シェル石油株式会社
	藤井 達也	東燃ゼネラル石油株式会社
(事務局)	鈴木 裕晶	千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社
	前田 守彦	千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社
	紙本 孝雄	一般財団法人石油エネルギー技術センター
	坂本 宏	一般財団法人石油エネルギー技術センター

屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン目次

1. 総則	1
1.1 目的	1
1.2 適用範囲	1
1.3 引用規格	1
1.4 作成の経緯と趣旨	1
1.5 ガイドラインの改訂	3
2. 用語の定義	3
3. AE 試験方法	4
3.1 試験原理	4
3.2 計測機器	5
3.2.1 AE 計測装置	5
3.2.2 AE センサ	5
3.2.3 風速計	6
3.3 計測実施のための条件	6
3.4 AE 試験手順	6
3.4.1 試験前準備	6
3.4.2 試験の実施	7
3.5 計測データ解析法	9
3.5.1 AE データ解析	9
3.5.2 ノイズ除去処理	9
3.5.3 AE 活動度の算出方法	11
4. タンク底部の腐食損傷評価	12
4.1 AE 活動度と平均最大腐食速度との相関関係	12
4.2 管理上の想定腐食速度	13
4.3 精度の向上	14
参考文献	14
附属書 A 腐食リスクパラメータと平均最大腐食速度との関係	15
附属書 B AE 計測データの諸元	17

屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン

Recommended Practice for AE Global Diagnostics on Corrosion Damage in Bottom Plate of Above-ground Oil Tanks.

1. 総則

1.1 目的 本ガイドラインは、屋外設置の地上石油タンク（以下、タンクという）を対象に、供用中に AE 試験を実施し、AE 計測結果からタンク底部全体の腐食損傷状態を総合的に評価、すなわち AE 法によるグローバル診断を実施し、腐食リスクの導出とそれに基づく寿命予測をベースとした腐食管理の意思決定を行うためのガイドラインを提示することを目的とする。ただし、本ガイドラインで記述されている診断技術は、あくまで現時点での底部の腐食活性度を評価するというリスクベースの方法論に基づくものであり、底部の腐食減肉量の絶対値を直接的に評価することを目的としたものではない。

1.2 適用範囲 本ガイドラインは、タンクの底部（アニュラ板及び底板）に適用し、内面がライニングされている場合は裏面、されていない場合は裏面及び内面の損傷状態を、供用中に評価するために適用される。対象となる損傷は鋼板の腐食減肉や孔食等のいわゆる腐食損傷で、応力腐食割れや溶接欠陥、また内面コーティング等の損傷は含まれない。タンク形式は FRT、CFRT、CRT、DRT のいずれも適用でき、側板部保温材、内部ヒーティングコイル、底部当板補修の有無を問わず適用される。なお、タンクの側板部や屋根部、ステンレス鋼製タンク、及び電気防食を施工したタンクは、本ガイドラインの適用外である。

1.3 引用規格 次に掲げる(社)日本高圧力技術協会技術指針(以下、HPIS という)、(社)日本非破壊検査協会規格(以下、NDIS という)及び International Organization for Standardization (以下、ISO という)は本ガイドラインに引用されることによって、本ガイドラインの一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版(追補を含む)を適用する。

HPIS G 110 TR2005 AE法による石油タンク底部の腐食損傷評価手法に関する指針

NDIS 2106 アコースティック・エミッション試験装置の性能測定及び表示方法

NDIS 2109 相互校正法によるアコースティック・エミッション変換子の絶対感度校正方法

NDIS 2110 アコースティック・エミッション変換子の感度劣化測定方法

ISO 12713 Non-destructive testing - Acoustic emission - Inspection - Primary calibration of transducers

1.4 作成の経緯と趣旨 構造物や部材の一部から発生した弾性波(音波)をキャッチして、その部分の変形や不具合及び欠陥などを検知・評価する、いわゆるアコースティック・エミッション法(AE法)は、特に稼動中の機器・材料の損傷発生や異常のグローバル診断技術の一つとして、すでに50年近くの歴史を持っており、世界的には広範な工業分野への実用化が進められてきている。我が国においては、AE法の誕生後、すぐにその基礎・応用研究が盛んに行われた。特に、AE法の基礎的研究に関しては、常に世界の先導的な地位にあったといっても過言ではない。しかし、実用化・応用技術という点では、我が国においては当初の期待が過大であったこともあり、特に保守検査への適用という点では設備の異常診断などを除くと、それほど大きな展開が認められない状

況が続いた。

その間、欧米では、AE 法こそが設備・装置の健全性をトータルな形で把握できる有力な実用技術の一つであるとの認識のもと、規格・基準の制定や整備、計測装置や信号処理技術の改良、信頼性の高いデータベースの構築といったことを目標に会議や情報交換が頻繁に行われ、着実に AE 法の実用化が進められてきた。その一つの成果として、貯油中にタンク底部の腐食進行状態を AE 法（メタル・ロス部分で生じた腐食生成物から放出される弾性波の検知）によって大まかに把握し、その結果からタンク開放による精密検査を行うかどうかを決めるという、いわゆる“AE 法による腐食損傷のスクリーニング検査技術^{[1][2]}”が確立している。欧米でのこの技術は、膨大な数の実機タンクの AE 計測例によって作られたデータベースに支えられた経験的定性的手法ではあるが、既に各国でも規格化も進み、この技術によるタンクの腐食診断は欧米では既に定着化している。

一方、我が国では、一定周期でタンク内部を開放する事を前提に、超音波厚さ計を用いた定点測定法（離散的ポイント板厚計測）による腐食管理が法規制のもとに定着し、広く行なわれてきている。しかし、タンクの合理的維持管理の新しい技術戦略の一つとして、AE 法による供用中タンク底部腐食診断技術を、我が国の優れた保全管理の考え方に適合した形で実用化・普及したいとの気運が石油関連産業界を中心に高まってきた。このような背景のもと、いくつかの学会、大学及び研究所等にて、AE グローバル診断に関する基礎的研究と実用化に向けての応用研究、そして我が国独自の診断・評価システムのための実タンクを対象としたデータベースの構築等の作業が、精力的に行なわれた^{[3][4][5][6][7]}。これらによって、当初不明確であった底部鋼板の活性腐食に伴う AE 波の発生メカニズム^[8]、腐食 AE 波の油中伝播特性^[9]などの基礎事項も明らかにされると同時に、現状の法定準拠の腐食管理技術に代替し得る新しい供用中腐食診断手法とそのアルゴリズム等の開発がなされ、**HPIS G 110 TR2005**が制定され、この指針がタンク底部の内外面腐食損傷状態を供用中に評価するために適用されている。

この指針では、AE 計測によって得られる“AE 活動度”と法定準拠の定点測定データを統計処理して得られる減肉量の進んだ領域での腐食速度に対応するパラメータ（腐食リスクパラメータ）との定量的相関を表示するデータベースを基に供用中タンクの底部腐食損傷を評価する手順が記述されているが、いくつかの未整備な点があった。

それらは以下の事柄に要約される。

- ① タンク底部の腐食状態の評価に用いられるデータベース（AE 活動度と腐食リスクパラメータとの相関性を示す、いわゆる“検量線”）における実タンクの検査データは、離散的な定点測定データであり、これらは計測点密度が極めて粗いため、タンク底部全体の腐食状態を正確に反映していない。特に、腐食の進んだタンクではこれが顕著で、検量線の信頼性を向上するには、腐食の進んだタンクの連続板厚測定法による正確なデータによる検証が必要であることが判ってきた。
- ② AE 法を用いたこの診断技術では、雑音の抑制と除去をいかに有効に実施できるかが、精度と信頼性向上に繋がる。HPI 指針で採用されている AE 計測技術は、側板にセンサを複数個設置する（側板方式という）ものである。しかし、アニュラ板張出し部に設置する手法^{[10][11]}（アニュラ方式という）も考えられ、これらを併用すれば、腐食 AE 波の“音源の位置情報”を含め、AE 信号処理のさらなる改善が望める。

上記の未整備課題を解決し、タンク AE グローバル診断技術を単なる管理の優先度を定めるスクリーニング検査技術ではなく、定量的な寿命予測技術として確立すべく、平成 20 年度より、(財)石油産業活性化センター（現、(一般財)石油エネルギー技術センター(JPEC)）による「石油産業安全基盤整備事業」の一つの技術開発テーマとして、実タンクを対象とする広範囲な調査研究が行われてきた。この間、平成 21 年 12 月には、内閣府規制改革会議から、タンクにおける開放検査の性能規定化の一貫として、“適宜タンクの腐食状況をモニタリングし、腐食の進行を把握することで、開放検査周期のさらなる延長が可能”また“新技術を採り入れる事で、安全を確保した

上で、開放検査周期のさらなる延長を含め、規制の合理化を図るべき”という具体的な提言がなされ、この AE グローバル診断技術の確立促進に向け、一層の拍車がかげられた。

本ガイドラインは、上記の内閣府の提言に呼応することも含め、平成 20 年度～23 年度までに得られた JPEC による調査研究の成果を基に、AE 法を用いたタンク底部の供用中腐食診断技術として、我が国の腐食管理の考え方と方法論等に整合し得る具体的試験手順と評価・判定法を提示するために作成されたものである。

1.5 ガイドラインの改訂 このガイドラインは、定期的に改訂することとし、必要に応じて追補を発行してこれを補完する。

2. 用語の定義 本ガイドラインで用いる用語の定義は、次による。

あ

AE (アコースティック・エミッション、AE 波)

材料内で起こる変形、変態、微小破壊の発生や成長など局所的、且つ急速な微小変化に起因して発生する非定常的な弾性波。タンク底部の腐食損傷で発生する AE の発生源は、底部内面、あるいは裏面の腐食生成物の剥離、あるいは割れであるとされる。

AE イベント

位置標定が可能な AE 信号セット。

AE エネルギー

検出された AE 信号の包絡線検波波形の面積。解析装置により、最大振幅値の 2 乗、あるいは最大振幅値と信号継続時間の積と定義される場合もある。

AE 信号

AE センサで検出された電気信号。

AE 信号処理パラメータ

AE 信号を処理し、数値化することにより信号の大きさや強さ、あるいは波形形状に関する情報を与えるパラメータ。AE イベント、AE エネルギー、AE ヒット、持続時間、最大振幅値、立ち上がり時間など。

AE 活動度

ノイズ除去処理後の側板方式の全 AE センサによって、有効計測時間の 1 時間内に検出された AE ヒット数を、使用した全 AE センサの数で除した値。

AE センサ

弾性波によって生じる粒子運動を電気信号に変換するための検出器。通常は、圧電方式により設置表面の振動を電気信号に変換する。

AE ヒット

検出された AE 信号のひとかたまりに対応する AE 信号の数。データを加算する単位として用いられる。

位置標定

AE 発生源から放出された AE 波を複数の AE センサによって検知し、各 AE センサの設置位置情報と AE 波の到達時間差、AE 伝播経路の音速を用いて AE 発生源の位置を算出する。地震源探査と同様の手法。

か

継続時間 (持続時間)

最初の閾値クロス時 (AE 信号の開始) から、最後の閾値クロス時 (AE 信号の終了) までの時間。

さ

最大振幅値

検出された AE 信号の最大電圧値。

接触媒質

AE 計測の際に、AE センサ表面とセンサ取り付け面間の隙間を埋めて音響エネルギーの通過を良くするために用いられる材料。通常は固体と液体の中間的な性質を持つ、グリース状の物質が用いられる。

スクリーニング検査技術

多数の検査対象（部位）に対し、比較的容易に実施できる検査技術によって不健全な可能性がある検査対象（部位）をふるい分けすること。スクリーニング検査結果は最終的なものではなく、その後の詳細検査などにより、不健全性が確定されたり否定されたりする。

た

立ち上がり時間

最初の閾値クロス時（AE 信号の開始）から、最大振幅値に至るまでの時間。

タンク形式

CRT Cone Roof Tank：固定円錐屋根式貯槽

DRT Dome Roof Tank：固定球面屋根式貯槽

FRT Floating Roof Tank：浮き屋根式貯槽

CFRT Covered Floating Roof Tank：固定屋根付き浮き屋根貯槽

超音波厚さ計

トランスデューサー（プローブ、探触子）と呼ばれるセンサから発信した超音波が、測定物の反対面に反射し戻ってくる時間（伝播時間）と測定物の音速（物性値）に基づいて測定物の厚さ算出する計測装置。

定点測定法

超音波厚さ計を用いた、底板は 1m 以下の間隔、アニュラ板は 10cm 以下の千鳥間隔での板厚計測手法。

は

平均最大腐食速度

連続板厚測定法による、計測板厚と設計板厚との差の最大値（最大減肉深さ）を対象タンクの供用年数で除した値。供用期間中の平均的な最大腐食速度であり、供用期間中の一時的な最大腐食速度ではない。

腐食リスクパラメータ

超音波厚さ計を用いた板厚計測結果をフラクタル分析の概念に基づき整理・導出したもので、測定時点で腐食が最も活性な領域の腐食速度の指標

ら

リングダウンカウント

検出された AE 信号において、計測時に設定された閾値を超えた振動回数。

連続板厚測定法

超音波厚さ計、あるいは電磁気的方法によって、底板及びアニュラ板を 30mm 以下の間隔で板厚計測する手法。

3. AE 試験方法

3.1 試験原理 タンク底部の腐食損傷評価を行う際、検出される AE 信号の発生源は、タンク底部裏面、あるいは内面の腐食生成物の破壊であると考えられている。すなわち、活性な腐食により新たな腐食生成物が生ずる際

に大きな体積膨張を伴うため、腐食生成物が剥離したり割れたりする高速なエネルギー解放に起因して AE が発生することが検証^[8]されている。

本ガイドラインでは2通りの AE 計測方法を併用して実施する。図 3.1.1 に示すように、AE センサをタンク円周方向に対して等間隔でタンク側板面に配置する側板方式と、アニュラ板面の外部張出し部に配置するアニュラ方式^[12]の2種類である。

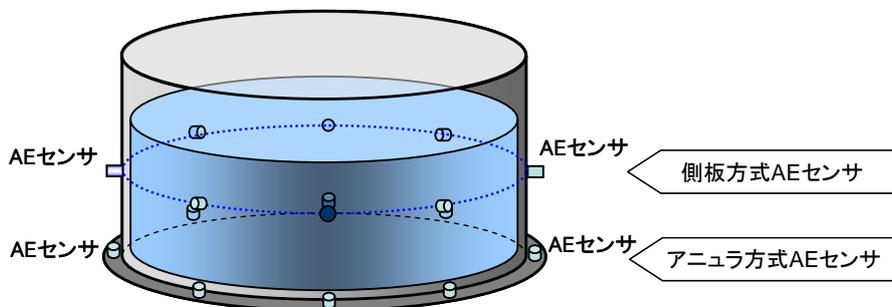


図 3.1.1 側板方式、アニュラ方式のセンサ配置

側板方式では、FRT、CFRT の場合はタンク側板面の適切な高さ 1 段に、CRT、DRT の場合は屋根から滴下する液滴によるノイズを識別するためにタンク側板面の適切な高さ 2 段に等間隔で円周方向へ AE センサを設置する。タンク底部で腐食に起因した AE 波はタンク内容物中を伝播して AE センサによって検出される。但し、側板に保温材が取り付けられている場合は、AE センサ設置面の保温材を一時撤去する必要がある。

一方、アニュラ方式では、いずれのタンク形式でもアニュラ板張出し部に等間隔で円周方向へ AE センサを設置し、タンク底部で腐食に起因した AE 波はタンク底板及びアニュラ板中を伝播し、AE センサによって検出される。

AE 法によるタンク底部の腐食損傷評価は、腐食に起因する信号のみを対象とし、ノイズを検出しないことが原則であるが、実構造物の AE 計測においては、微弱な AE 信号を検出するために、計測装置が高感度に設定されているため、側板方式、アニュラ方式のいずれも様々な要因に起因するノイズの混入は避けられない。本ガイドラインでは、側板方式とアニュラ方式を併用して得られた AE 信号データを相互に分析することによって、実用的なレベルでのノイズ信号処理を行い、腐食に起因する AE 活動度を算出する。特に、アニュラ方式から得られる AE 発生源の位置標定解析は、タンク底部の当て板補修や付帯装置などの予めノイズ発生源が予想されている部位からのノイズ除去に有効である。

AE 活動度と平均最大腐食速度の間には相関関係があることがわかっている。複数のタンクの AE 活動度と平均最大腐食速度との相関データベースから検量線が与えられており、検量線を用いることによって AE 法による腐食損傷状態を評価・判定する。

3.2 計測機器

3.2.1 AE 計測装置 AE 計測装置には、NDIS 2106 に従って校正された装置を用いる。この装置は、実時間での計測・解析が可能でなく、後処理が適用できるものでなければならない。特に後述するノイズ除去処理機能の充実している装置が好ましい。また、風速計の出力を入力でき、AE データと風速の関係を解析できる装置が好ましい。

3.2.2 AE センサ 計測に使用する AE センサは、ISO 12713 あるいは NDIS 2109 に従って校正されたもので、30kHz 付近の周波数帯域に共振周波数を持ち、背景となる電気ノイズが小さく、計測に必要な感度を有したものでなければならない。計測に必要な AE センサの数はタンク径に依存し、表 3.2.1 に AE センサ数の目安を示す。

表 3.2.1 計測に必要な AE センサ数の目安

タンク径	センサ数		タンク径	センサ数	
	FRT,CFRT	CRT,DRT		FRT,CFRT	CRT,DRT
24m未満	12	18	62～66m	32	48
24～29m	14	21	66～70m	34	51
29～33m	16	24	70～74m	36	54
33～37m	18	27	74～78m	38	57
37～41m	20	30	78～82m	40	60
41～45m	22	33	82～86m	42	63
45～49m	24	36	86～91m	44	66
49～53m	26	39	91～95m	46	69
53～57m	28	42	95～99m	48	72
57～62m	30	45	99m以上	50	75

3.2.3 風速計 屋外での AE 計測では、強風によってノイズが混入するため、AE 計測と同時に風速を計測し、ノイズ除去処理に利用する。風速計は 20m/sec 程度までの風速を計測でき、計測データを AE 計測装置へ出力できることが望ましい。

3.3 計測実施のための条件 AE 法によって腐食に起因する AE 活動度を算出する為には、腐食以外の現象に起因して混入するノイズの除去が重要である。ノイズ要因には、AE 計測前後に信号処理によって除去しなければならないノイズと AE 計測前の対応によって要因を排除できるノイズがある。前者にはバックグラウンドノイズなどがある。一方、後者にはタンク内容物の対流ノイズ、風雨によるノイズ、接続した配管の振動など起因するノイズなどがあり、これらのノイズの混入しない環境下で実施する必要がある。以下に計測実施のための条件を列記する。

—必要静止時間

下記の時間について、受入・払出及び加熱蒸気等を停止すること。

原油タンク：24 時間以上

製品タンク：12 時間以上（直径 15m 以上）、6 時間以上（直径 15m 未満）

—AE 計測時間

側板方式 AE 計測：2 時間以上計測し、最大 AE 活動度が算出される 1 時間を有効計測時間とする。

アニュラ方式 AE 計測：5 時間以上計測し、位置標定された AE イベントを評価する。また、側板方式の AE 活動度と比較する場合には、最大 AE ヒット数が計測される 1 時間を有効計測時間とする。

—液面高さ 50%以上の液面レベルを推奨

—気象条件 降雨が無く、風速 4m/sec 以下。（ただし、風速に同期した AE 波が検出されない場合はこの限りではない。）

—AE 計測技術者 AE 試験は、タンクの腐食に関する知識と AE 技術、信号処理技術に関する知識を併せ持ち、試験を行うのに十分な技量を有する技術者が実施すること。

3.4 AE 試験手順 AE 試験は、下記の手順で行う。

3.4.1 試験前準備

1) 試験を行うタンクの所有者、あるいは管理者は、表 3.4.1 に示すタンクに関する必要事項の情報を試験実施者に提供する。

- 2) 試験実施者は、1) に与えられた情報をもとに必要とされる AE センサチャンネル数、センサ配置方法、センサケーブル長、及び AE 計測装置の設置位置を決定する。
- 3) 使用する AE センサ、風速計、AE 計測装置が非防爆タイプの場合、必要な対応、諸手続きを行う。また、対象とする事業所ルールに準拠した火気使用に関する対応、安全装備、諸手続きを行う。

3.4.2 試験の実施

- 1) 計測装置類一式をタンク近傍の仮設計測小屋（あるいは、ワゴン車）にセッティングし、必要量の電源を供給する。
- 2) AE 計測時に貯蔵中の内容物が完全に静止するように、3.3 節に示した事前の静止時間、計測当日の受け払いの停止、あるいはバルブの遮断、ポンプの停止等をタンク管理者に確認する。
- 3) 予め定めた AE センサ配置方法に従い、側板方式、アニュラ方式の双方の AE センサを、接触媒質を介して設置する。
- 4) 側板方式では、FRT 及び CFRT の場合はタンク最下段側板の下段から 1.0～1.5m の位置に 1 段に、CRT 及び DRT の場合はタンク最下段側板の下段から約 1.5m と約 2.0m の二段に円周方向に等間隔で AE センサを設置する。各 AE センサ設置位置の塗装は、センサ設置に最小限の範囲（20cm×20cm）をスクレーパーなどによって平滑になるように除去する。
- 5) アニュラ方式では、タンクアニュラ板張出し部に、側板センサ位置の垂直下に設置する。各 AE センサの設置位置の防水シート、塗装などは AE センサ設置に最小限の範囲（10cm×20cm）をスクレーパーなどによって平滑になるように除去する。
- 6) 側板方式とアニュラ方式は同時に計測するので、必要な AE センサ数は表 3.2.1 に示す数となる。
- 7) 風速計をタンクの周りの構造物との位置関係を勘案し、三脚などを用いて適切な位置に設置する。
- 8) AE センサと風速計を同軸ケーブルを介して AE 計測装置と接続し、システム動作確認を行う。
- 9) 圧電素子を内蔵した電気式パルサーや NDIS 2110 で規定された標準 AE 発生源であるシャープペンシル芯の圧折などによる擬似 AE 信号を用い、側板方式、アニュラ方式の各段の AE センサが±2dB 内のピーク感度範囲内にあることを確認し、AE 伝播速度及び AE 減衰特性を計測する。
- 10) 完全静止状態で、基本データとなるバックグラウンドノイズを測定する。なお、強風時（風速およそ 4m/sec 以上）あるいは雨天時は、ノイズの状況によっては、計測の一時中断あるいは待機を行う場合がある。
- 11) 障害となる環境ノイズが発生していないことを確認後、AE 計測を開始する。計測中は、原則として対象タンクに触れる作業は中止。やむ得ない場合は計測を一時的に中断するなど対応する。
- 12) AE 計測時間中はタンク周辺の状況を常に確認し、ノイズ要因になりそうな事象が発生した場合はその内容と時刻を記録する。

表 3.4.1 タンク諸元に関する必要記入事項

会社名：

事業所名：

タンク番号		直 径	
貯 蔵 物		容 積	
スラッジ高さ		屋根形式	
現在の開放周期		内面コーティング の有無	
作業温度		電気防食の有無	
建設時期		補修履歴	
法定検査実施時期 (初回から最新まで の検査年)		板厚計測手法	定点・連続・その他 (連続：超音波・低周波渦流 ・漏洩磁束・磁気飽和)
板厚データの状態	有 / 無 , 印刷/デジタルデータ , 腐食速度： mm/y		
タンク敷地内の 配置図	有 / 無	AE計測時における 装置用電源の有無	有 / 無
タンク構造 データ等	<ul style="list-style-type: none"> ・保温： 有 / 無 ・底板板割り図、板厚（底板 mm、アニュラ板 mm） ・支柱位置が分かる図面 ・屋根構造が分かる図面（梁位置など） ・側板の付属部品位置が分かる図面（マンホール、配管位置など） ・AE計測時における、スラッジ高さ、液面高さ 		
管理者名と 所在地			
連絡先 (ご担当者と電話番号)			

3.5 計測データ解析法

3.5.1 AE データ解析 データ解析の目的は AE 活動度を算出し、タンク底部の腐食損傷を評価することである。データ解析に用いる AE 信号処理パラメータは AE ヒット、リングダウンカウント、AE イベント、最大振幅値、位置標定結果などであり、併せて AE 計測時の風速データを用いる。AE 信号処理パラメータ及び風速データは AE 計測装置から出力され、PC 上で分析できることが好ましい。

3.5.2 ノイズ除去処理 AE の現場計測においては、3.3 節で示した計測実施のための条件に含まれる必要静止時間と気象条件に準拠して、計測前に内部対流ノイズ、風雨などのノイズ対策を施すことが前提であるが、実際は計測装置の熱雑音や環境ノイズの影響により、AE 信号にはバックグラウンドノイズの混入が避けられない。その為、バックグラウンドノイズを除去し、有意な AE 信号を計測するため適切な計測閾値を設定する。

現場計測では、計測前のノイズ対策を実施しても設定閾値を超えて AE 信号へのノイズ混入は避けられないので、様々な信号処理法を駆使して不要なノイズを除去する必要がある。代表的なノイズ処理法を以下に示す。

a) 信号履歴解析によるノイズ除去処理

AE 計測データを複数のセンサ毎の AE ヒット、AE 振幅などの時系列グラフとして整理し、風速データの時系列グラフと併せて信号履歴を分析する。本手法が有効なノイズとして、風ノイズ、周期ノイズ、特定時間帯ノイズ、接続配管からのノイズ、鳥類の接触などがある。

風ノイズの除去には AE ヒットと風速の信号履歴を分析し、4m/sec を基準として、それ以上の風速が観測された時刻に AE ヒットが顕著に増加している場合は、その時刻帯のデータを削除する。

周期ノイズは、タンク運転管理の制約から停止できない内圧調整時などに観察され、AE ヒット、AE 振幅の信号履歴に一定間隔の周期的な大きな値が観測される場合があり、その時間帯のデータを削除する。

特定時間帯ノイズの原因は明らかになっていないものもあるが、ある特定時間帯に AE ヒット、AE 振幅の履歴に不連続に大きな値が観察される場合がある。特定時間帯ノイズの場合は、信号履歴解析と位置標定解析を併用してノイズを除去する。特定時間帯ノイズの一種として、タンクに接続された配管の振動やタンク屋根上を移動する鳥によって AE ヒット、AE 振幅、AE エネルギーの履歴に高い値のノイズが混入するが、AE 計測中のタンク周辺と屋根の観察・記録が有効である。図 3.5.1 に配管由来ノイズの事例を示す。計測時間中に AE ヒット数、AE 振幅共に特定時間帯に極端に大きくなり、配管に作業員が接触した時刻と一致したのでノイズとして除去した。

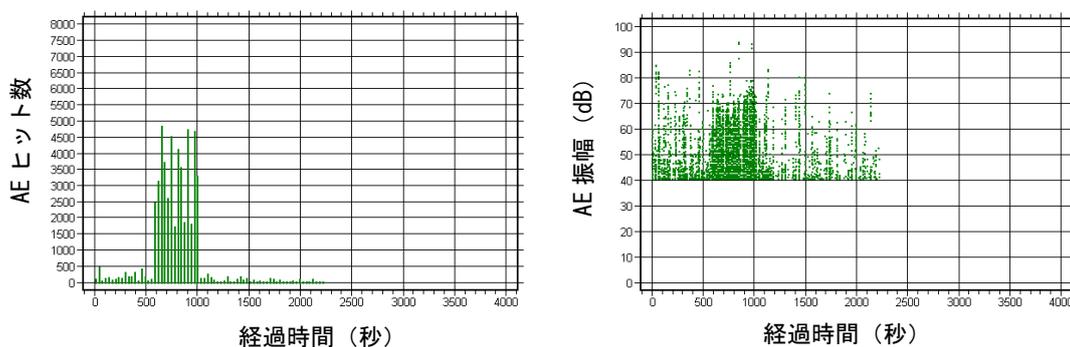


図 3.5.1 信号履歴解析による配管由来ノイズ除去の例

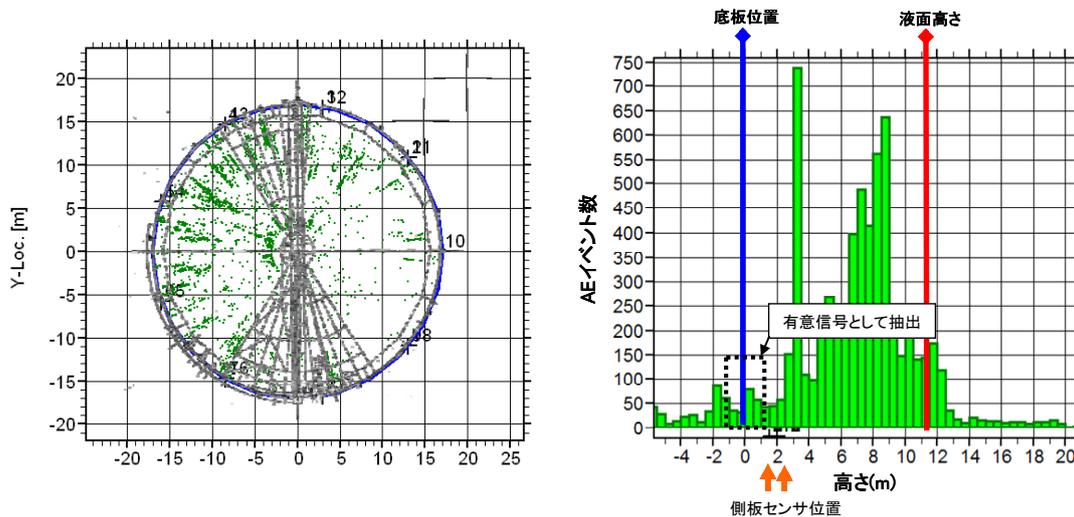
b) 位置標定解析によるノイズ除去処理

位置標定解析では、タンク底板腐食部の AE 発生源から放出された AE 波をアニュラ板、側板の各々に円周方向等間隔に設置した複数の AE センサによって検知し、各センサの設置位置情報と各センサへの AE 波の到達時間差を用いて、AE 発生源の位置を算出する。位置標定解析には、アニュラ板に設置した AE センサによる

二次元位置標定と側板に二段に設置した三次元位置標定がある。二次元位置標定は微小ノイズの除去や、当板補修下側の腐食信号の選別に有効であり、三次元位置標定は結露による液滴ノイズなどの除去に有効である。

腐食診断に有意な AE 信号は、複数の AE センサによって検知される程度の強度を有するため、全ての形式のタンクに二次元位置標定を実施して、タンク底板内部に AE 発生源が評定された信号のみを抽出する。タンク底板から外部へ外れた信号や、単独のセンサのみで検知され位置標定ができなかった信号は、微小ノイズとして除去する。また、対象タンク底部に当板補修がある場合、当板の下側に残された腐食部からの AE が当板を介して検出される場合も考えられ、本来は健全部である当板補修部を腐食部位として誤判定する可能性がある。その為、アナログ方式での位置標定機能を用いて当板補修部と AE 発生源の関係を考慮して評価する。

CRT、DRT タンクの場合、屋根内面に結露し、タンク内容物の液面に滴下することに伴う液滴ノイズが発生する。液滴ノイズの発生源は、液面であるが、液面で発生したノイズがタンク底部で反射して、あたかもタンク底板より下側で発生した信号のように検知される。そこで、三次元位置標定を実施し、タンク底板より上側と下側の双方の信号を液滴ノイズとして除去する。図 3.5.2 に三次元位置標定によるノイズ除去の例を示す。図中(a)の三次元位置標定を上側から見た図より、屋根の梁から液滴による信号が多数検知されていることがわかる。従って、図中(b)の横から見た図から、底板位置の近傍のみを有意信号として抽出する。



(a) 三次元位置標定（上側から見る）

(b) 三次元位置標定（横から見る）

図 3.5.2 三次元位置標定によるノイズ除去の例

c) 波形パターン認識によるノイズ除去処理

有意信号とノイズとは波形形状が大きく異なる場合が多く、有意信号とノイズの各々の波形形状を特徴量として扱うパターン認識^[14]はノイズ除去に有効である。腐食から発生した有意信号とノイズの波形例を図 3.5.3 に示した。図中(a-1)、(a-2)に代表的な有意信号を、(b)に液滴に起因したノイズ信号、(c)に電気ノイズ信号を示す。有意信号は、振幅ピーク以降も 1000 μ sec 以上振動が継続しているのに対し、ノイズ波形は、振幅ピーク直後に減少する傾向がみられる。また、液滴ノイズは、液面が信号源であるため、波形のプラス側とマイナス側で対称的な規則正しい波形となり、電気ノイズは継続時間が短いという特徴を有する。

パターン認識とは、新たに計測された波形パターンをあらかじめ定められた概念（クラス）の 1 つに対応させる処理であり、コンピュータによるパターン認識は、「特徴抽出」と「識別」の 2 つの過程を実施する。本手法で用いる特徴抽出では、波形形状の情報を数値化して特徴として扱い、識別は得られた特徴を用いて新たに計測されたパターンがどのクラスに属するかを判断する処理を行う。

識別の手法は、様々なものが提案されているが、本手法においては統計的アプローチが有効であることを確認している。統計的アプローチでは、代表的な有意信号とノイズの特徴を持つクラスについて、あらかじめ多数のデータを収集し、収集されたデータから得られた統計量（平均、分散など）をもとに、新たに計測された波形パターンがどのクラスに分類されるかを評価する手法である。一般に現実の識別問題の特徴は抽出も複雑で数も多く（高次元）、どのクラスに属するかを判断するのは難しい問題になる。様々な特徴に対応できる一般的な方法として、確率分布を考える方法があり、クラスごとに多くのデータを収集して特徴を求め、特徴の確率分布を求めておき、未知の観測パターンから特徴を求め、それが各クラスに属する確率を計算する。そして、最も確率の高いクラスに分類されると判断する。

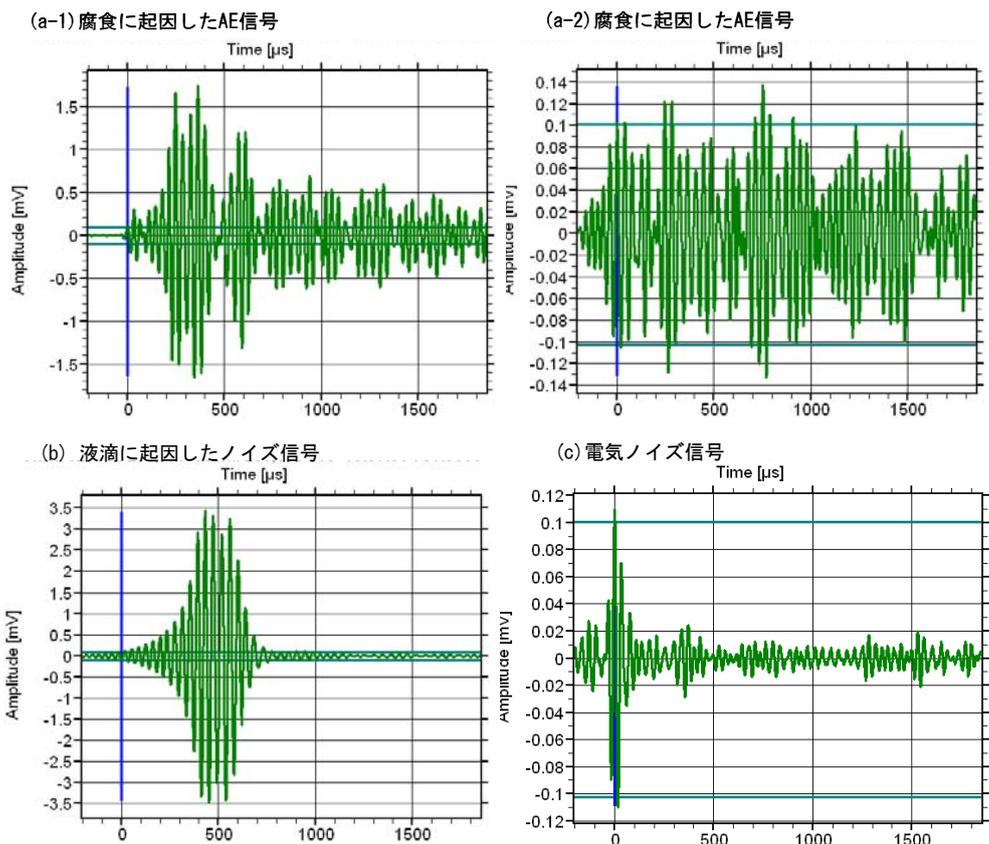


図 3.5.3 有意な AE 信号とノイズ信号の例

AE 法におけるノイズ除去処理は重要であり、上記の代表的な信号処理を単独使用ばかりでなく、必要に応じて複数を併用するなどして除去率を向上させると共に、上記以外の振幅分布解析^{[15][16]}や相関解析^[17]なども併用して AE 活動度の算出に影響を与える不要なノイズを除去する必要がある。ノイズ除去処理を正しく行う為、AE 試験はタンクの腐食に関する知識と AE 技術、信号処理技術に関する知識を併せ持ち、試験を行うのに十分な技量を有する技術者が実施することが必要である。

3.5.3 AE 活動度の算出方法

AE 活動度は、以下の定義より算出する。

$$\text{AE 活動度} = \frac{\text{ノイズ処理後の側板方式の全 AE センサで 1 時間あたりに検出されたヒット数}}{\text{側板方式の AE 計測に使用した AE センサ数}}$$

4. タンク底部の腐食損傷評価

4.1 AE 活動度と平均最大腐食速度との相関関係 AE法によるタンク底部の腐食損傷評価においては、AE計測から得られるAE活動度とタンク底部の連続板厚測定法から求めた平均最大腐食速度との間の一般的な相関関係を示すデータベースを利用することによって、AE活動度から平均最大腐食速度を定量的に推定する。尚、平均最大腐食速度とは、連続板厚測定法によって計測された最大減肉量をタンクの供用期間で除した値であり、腐食リスクパラメータ (Corrosion Risk Parameter, CRP (mm/year)) との間には強い相関が確認されている。CRPとは、超音波法によるタンク底部の板厚計測結果をフラクタル分析の概念に基づき整理・導出したもので、測定時点で腐食が最も活性な領域の腐食速度のAEグローバル診断の指標となる。すなわち、AE活動度を用いた平均最大腐食速度の推定は、CRPのAEグローバル診断の概念を踏襲したタンク底板腐食評価手法であるといえる。CRPと平均最大腐食速度の関係についての詳細は**附属書A**を参照されたい。

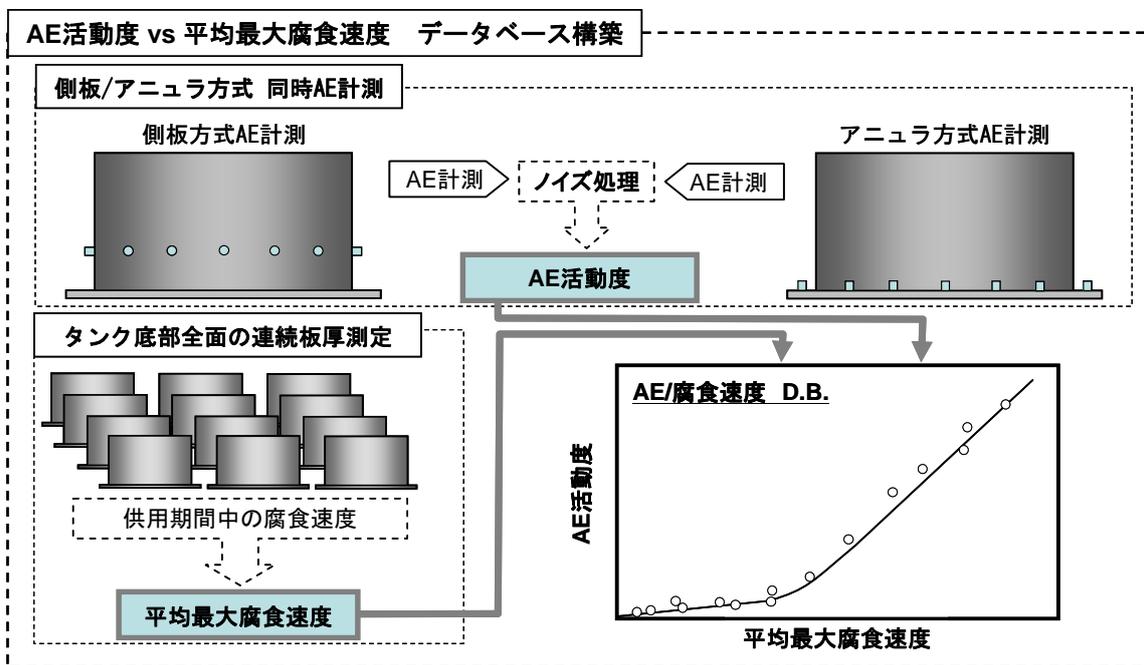


図 4.1.1 AE 活動度と平均最大腐食速度との相関データベース構築の流れ

AE活動度と平均最大腐食速度の間の相関関係を示すデータベースは、**図 4.1.1**に示すような流れで求める。まず、側板方式とアニュラ方式を併用したAE計測を実施し、各種ノイズ除去処理を行うことによってタンク底部の腐食に起因したAE活動度を求める。併せて、AE計測時の前後の開放点検時の連続板厚測定法から平均最大腐食速度を導出する。これを多数のタンクに同様な操作を行い、1つのタンクを1つの点としてAE活動度を縦軸に、平均最大腐食速度を横軸にプロットしAE活動度と平均最大腐食速度との相関データベース (AE/腐食速度D.B.)を求め、プロット図からAE活動度から平均最大腐食速度を求める検量線が得られる。その一例を**図 4.1.2**に示す。本図は、各種内容物タンク15基について整理したものである。**附属書B**に**図 4.1.2**に掲載したAEデータの諸元を示す。

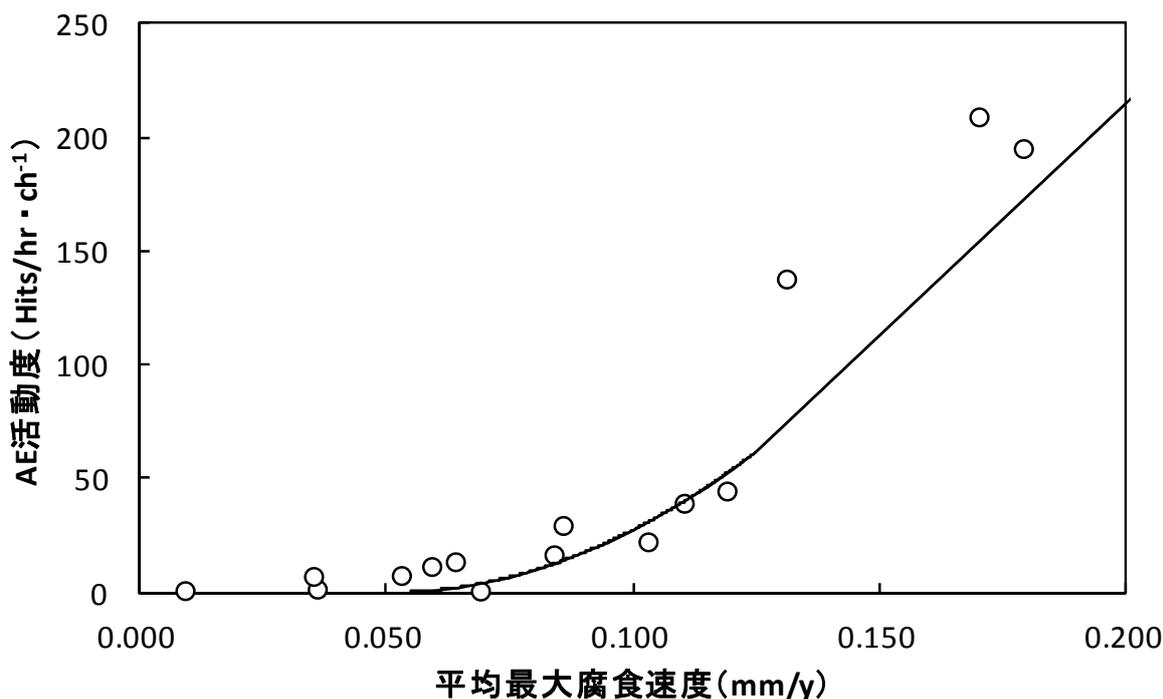


図 4.1.2 AE 活動度と平均最大腐食速度との関係

4.2 管理上の想定腐食速度 AE 法によるタンク底部の腐食損傷評価の流れを図 4.2.2 に示す。評価対象のタンクに対し、AE 計測によって AE 活動度を算出し、事前に得られている AE 活動度と平均最大腐食速度とのデータベースの検量線を利用して平均最大腐食速度を推定する。

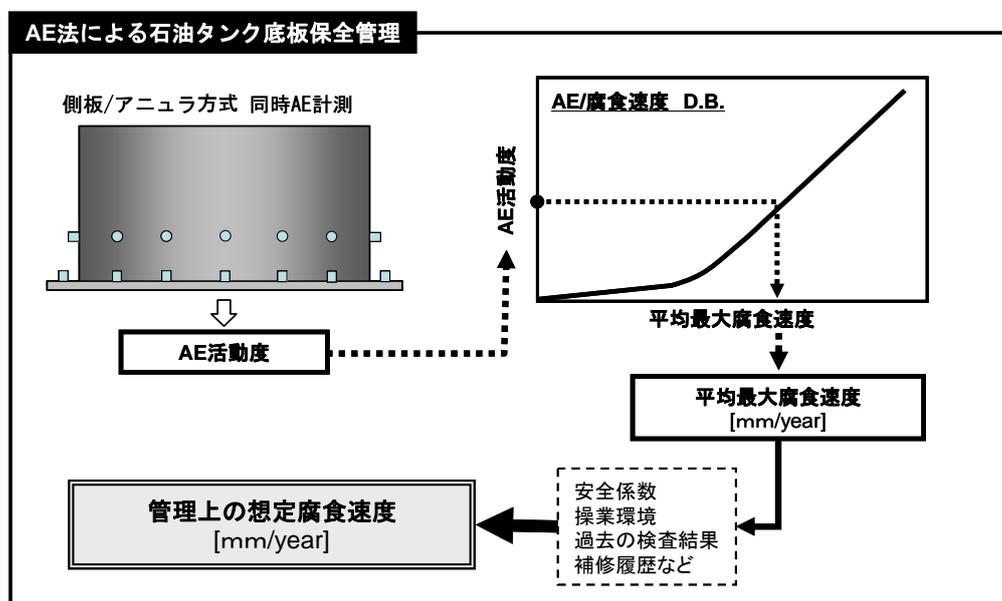


図 4.2.2 AE 法によるタンク底部の腐食損傷評価の考え方

推定された平均最大腐食速度に対し、タンクユーザーは安全係数、作業環境、補修履歴などを考慮し、管理上の想定腐食速度を設定する。管理上の想定腐食速度が大きいと判定された場合は、開放検査等により底部の状況を確認する事が推奨される。管理上の想定腐食速度が小さいと判定されたタンクは、その時点でのタンク底板の残存板厚から余寿命予測を実施し、開放検査に掛かる支出のバランスも考慮し、タンク底板管理の方針を定める。

4.3 精度の向上 AE活動度は計測時のノイズ除去をしたデータから算出されるが、場合によっては除去しきれないノイズの影響等で、**図 4.1.2** の検量線から外れるデータが出てくる可能性がある。事前に得られている検量線で評価する時、ノイズを含むデータは、実際の AE 活動度よりも見かけ上高い値を示すので、評価としては、安全側の評価となる。しかし、評価に用いる検量線を引く際の精度向上を目指すには、このようなデータをいくつか入手し、精緻な分析・考察を行い、補正し得るものは補正し、場合によってはデータベースへの採用の有無を検討する必要がある。同様にタンクの大きさの違い、油種の違い、タンク基礎の違い、タンクの周囲の状況等も、相関関係に影響を与える可能性がある。本手法の評価精度を上げるには、多種多様のデータを継続的に入手し、データベースを充実させ、それぞれの要因毎の分析を行い、その影響を精査していく必要がある。

参考文献

- [1] P. T. Cole .et al : Listen to your Storage Tanks to Improve Safety and Reduce Cost、 Acoustic Emission - Beyond the Millennium (2000)、 pp.169-178
- [2] Guide pour L'inspection .et al : Maintenance des Reservoirs Metaliques Aeriens Cylindriques Verticaux D'hydrocarbures Liquides en Raffinerie、 Edition Aout 2000、 Union Francaise des Industries Petrolieres (2000)
- [3] 関根ら：タンク底板の AE 法による腐食損傷診断、保守検査シンポジウム講演論文集(2001)、 pp. 77-82
- [4] (社)日本高圧力技術協会：石油公団委託 平成 10～12 年度 経年変化を考慮した長期備蓄タンクの診断・保全技術に関する調査研究委員会報告書概要(1999-2001)
- [5] (社)日本高圧力技術協会：石油公団委託 平成 13～15 年度 経年タンクの供用中グローバル診断技術と開放検査の最適化に関する調査・研究委員会報告書概要(2002-2004)
- [6] 森田ら：石油タンク底板の腐食 AE 波検出に関する研究、 圧力技術、 40(4) (2002)、 pp. 203-212
- [7] (独)消防研究所：AE 法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書、消防研究所研究資料第 52 号(2001)
- [8] 竹本：大気さびの成長・破壊によるアコースティック・エミッション、材料と環境、51(6) (2002)、 pp. 256-261
- [9] 中村ら：石油タンク底板腐食の AE 検出に関する検討、第 13 回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集、(2001)、 pp. 55-58
- [10] 竹本：液体貯蔵タンクの AE 伝播挙動と音源位置標定、圧力技術、40(4)、(2002)、 pp. 22-29
- [11] 曾我部ら：屋外暴露貯水円筒タンクの底板腐食によるアコースティック・エミッションの検出と音源位置標定、非破壊検査、53(1)、(2004)、 pp. 35-39
- [12] 長ら：石油タンク底板腐食によるラム波 AE の検出と位置標定、非破壊検査、54(6)、(2005)、 pp. 318-323
- [13] 長ら：アコースティック・エミッションによるタンク底板の腐食診断、材料と環境、55(9)、(2006)、 pp. 406-412
- [14] K.Ono .et al : Pattern Recognition Analysis of Acoustic Emission Signals、 Progress in Acoustic Emission 、 VII (1994)、 pp. 69-78
- [15] 大津：アコースティック・エミッションの特性と理論、森北出版株式会社、(1988)
- [16] (社)日本高圧力技術協会：HPIS G 110 TR2005 “AE 法による石油タンク底部の腐食損傷評価手法に関する指針” 附属書 2(2005)
- [17] 中野ら：AE によるプラント機器試験法、非破壊検査 44(1)、(1995)、 pp. 32-37

附属書 A 腐食リスクパラメータと平均最大腐食速度との関係

タンク底部の腐食に関するリスク曲線は、腐食現象を確率過程によって支配されるとみなし、タンク底板測定データより求める^[1]。腐食リスク曲線は、超音波厚さ計による板厚測定データを腐食深さ（設計板厚-計測板厚）の大きい順に並べ、腐食深さ毎の板厚測定データ数を全板厚測定データ総和数で除した値の大きい順からなる上側累積確率を求め、腐食深さと上側累積確率との両対数グラフとなる。図 A.1 に腐食リスク曲線の例を示す。

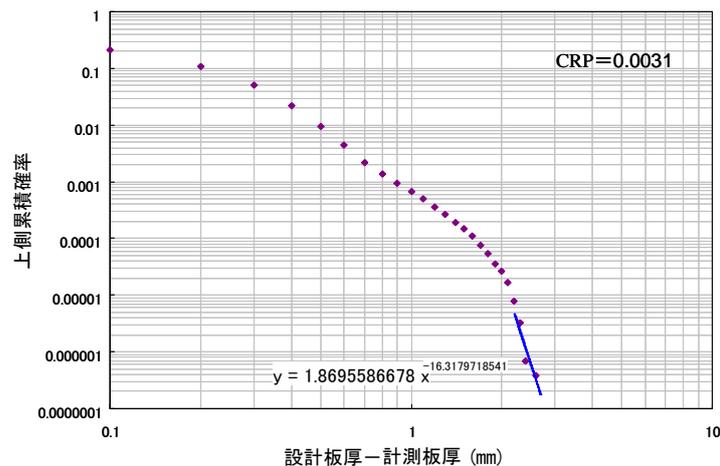


図 A.1 腐食リスク曲線の例

腐食リスク曲線の腐食深さの大きい側の部分（テイル部分）は、逆べき乗則に従う。このテイル部分は腐食管理において直接対象となる重要な部分で、その分布特性はリスク曲線テイル部を直線近似し、その近似直線の傾き D で代表される。 D が小さければ、そのタンクは腐食速度の高い領域を持ちうる事、絶対値 D が大きければ、腐食速度は全般に低い事が予想される。

腐食リスクパラメータ (CRP) は、近似直線上に位置する所定の上側累積確率における代表腐食深さ $\langle h \rangle$ を求め、タンクの使用年数 y とにより、(A.1) 式によって求める。

$$CRP = \langle h \rangle / (D \times y) \quad \dots \dots (A.1)$$

CRP は板厚測定結果をフラクタル分析の基づき整理・導出したもので、測定時点で腐食が最も活性な領域の腐食速度のグローバル診断の指標となる。

HPIS G 110 TR2005 (以下、HPIS という) では、タンク底部の腐食状態の評価に用いられるデータベースは AE 活動度と定点測定データ (約 1m 間隔) から求めた CRP の相関図が用いられた。一方、本ガイドライン (屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に係わるガイドライン) では、連続板厚測定データ (30mm 以下の間隔) から求めた CRP と AE 活動度との相関を得た。図 A.2 に上記双方の相関図を併せて示す。図中×印は HPIS、○印は本ガイドラインのデータを示す。図中の検量線は HPIS で示されたものであるが、本ガイドラインのデータは CRP が小さい領域に集中しているが、HPIS の検量線によって傾向は示せるものの、検量線の若干下側にプロットされるデータが多いことがわかる。これは、本ガイドラインではノイズ除去率が向上しているため、AE 活動度が HPIS のデータと比較して低減した影響であると考えられる。

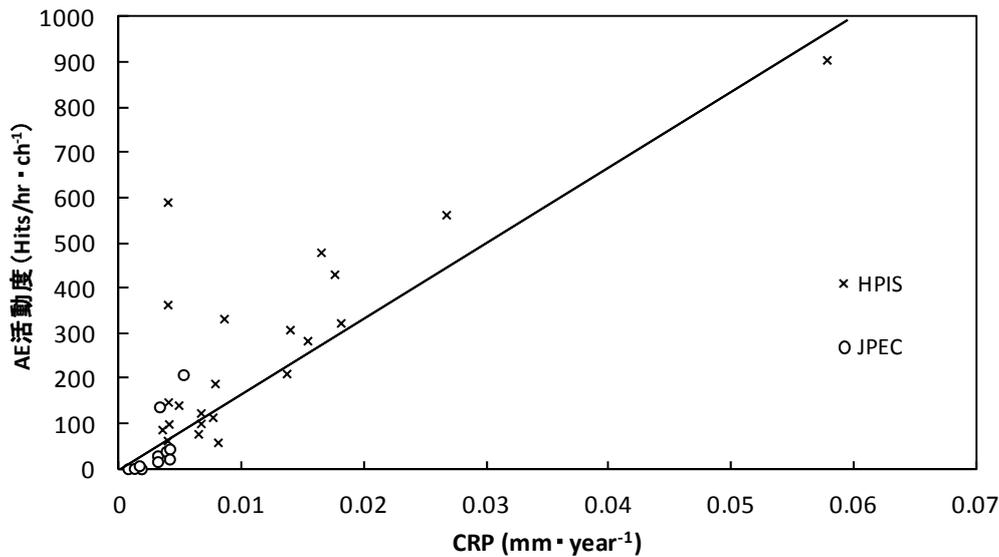


図 A.2 AE 活動度と CRP との関係 (X: 定点測定 [HPIS]、○: 連続板厚測定 [JPEC])

一方、本ガイドラインで用いた連続板厚測定法による板厚データから求めた CRP と平均最大腐食速度の関係を図 A.3 に示した。図中の直線は全データから算出した直線近似線であり、決定係数 R^2 乗は 0.93 以上であり、非常に強い相関があることがわかる。従って、本ガイドラインでは、連続板厚測定によって得られた平均最大腐食速度と AE 活動度のデータベースに基づいてタンク底部の AE グローバル診断を提唱する。

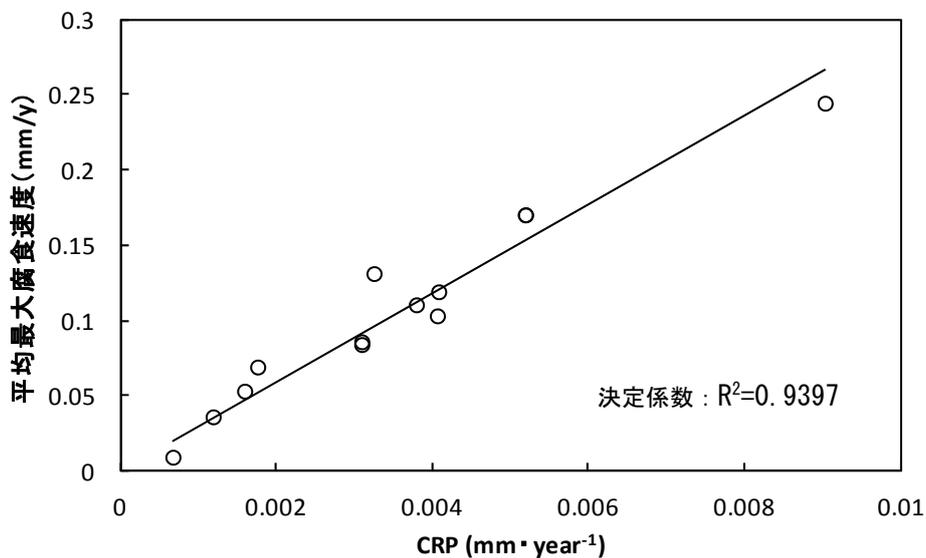


図 A.3 連続板厚測定による CRP と平均最大腐食速度との関係

参考文献

- [1] (社)日本高圧力技術協会 : HPIS G 110 TR2005 “AE 法による石油タンク底部の腐食損傷評価手法に関する指針” 附属書 4(2005)

附属書 B AE 計測データの諸元

本ガイドラインに掲載した AE 活動度と平均最大腐食速度のデータベース(図 4.1.2)の AE 計測データ諸元を下記表に示す。

No.	直径 [m]	貯蔵物	容積 [kL]	屋根形式	建設時期 [年]	AE 活動度 [hits/hr·Ch ⁻¹]	平均最大腐食速度 [mm/y]
1	17.4	A 重油	4,090	DRT	1961	9.78E-01	6.90E-02
2	52.3	ナフサ	47,000	FRT	1973	2.98E+01	8.57E-02
3	10.7	潤滑油	1,400	GRT	1986	1.16E+00	9.09E-03
4	78.5	原油	108,000	FRT	1969	3.95E+01	1.10E-01
5	23.2	灯油	6,700	DRT	1963	1.69E+01	8.39E-02
6	37.8	ジェット燃料	22,820	GRT	1969	1.80E+00	3.59E-02
7	48.4	軽油	25,000	GRT	1970	7.40E+00	3.51E-02
8	21.3	ガソリン	5,000	FRT	1964	1.18E+01	5.91E-02
9	53.5	ジェット燃料	40,319	DRT	1972	1.38E+01	6.39E-02
10	38.7	原油	22,963	FRT	1980	1.95E+02	1.79E-01
11	26.7	ガソリン	10,000	FRT	1975	2.26E+01	1.03E-01
12	33.9	軽油	20,000	DRT	1975	7.80E+00	5.29E-02
13	63.9	軽油	47,800	FRT	1958	1.38E+02	1.31E-01
14	75.5	原油	85,200	FRT	1967	2.09E+02	1.70E-01
15	21.3	潤滑油	5,170	GRT	1970	4.49E+01	1.19E-01

無断転載・複製を禁ず

一般財団法人石油エネルギー技術センター 技術企画部

〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-3-9

電話 03-5402-8503