

廃棄物処理施設の課題

第3回 廃棄物処理施設の保全上の課題と対策について

寺嶋 均

TERASHIMA Hitoshi

プロフィール

1935年に東京都で出生、1960年に早稲田大学理工学部機械工学科を卒業し東京都交通局に就職、1970年に東京都清掃局に異動し、ごみ処理施設の計画・建設・維持管理に24年間も従事、1994年に施設部長を最後に東京都清掃局を定年退職、(公財)東京都環境整備公社に技術部長で再就職、1997年に(公社)全国都市清掃会議の技術部長に転職し2011年に退職するまでの間に、国・公益団体・約60地方公共団体の技術関係委員会の委員・(一社)廃棄物処理施設技術管理協会の会長及び(公財)日本産業廃棄物処理振興センターの監事を歴任する。現在は(株)東京エコサービス(第三セクター)の顧問及び(一社)廃棄物処理施設技術管理協会の名誉会長。



原子力発電所の事故を起因としたエネルギー需給の逼迫やCOP21において採択された「パリ協定」を受け、廃棄物処理施設には、安定した高効率の廃熱利用や大幅な省資源・省エネが可能な設備の導入が求められています。また、新たな施設の建設や適正な維持管理による施設の安定稼働確保への見識が重要となります。

本年度の連載講義は、「廃棄物処理施設の課題」と題し、建設や維持管理などの課題について、東京都のごみ処理施設の計画・建設・維持管理に長年にわたり従事した経歴を持つ、(一社)廃棄物処理施設技術管理協会の名誉会長寺嶋均様にご解説いただきます。

第3回は、廃棄物処理施設の保全上の課題と対策について、ご解説いただきました。

多数の機器により複雑・大規模で高度な技術システムを構成している廃棄物処理施設すなわち廃棄物処理プラント(以下、「処理プラント」という)は、一つの機器(以下、「機械」という)が本来の機能・能力を発揮できない状態の故障を起こしても、機械同志がお互いに密接に関連する機能を有しているため、処理プラント全体を停止せざるを得ない羽目に発展することが起きる。

このため、処理プラントを構成する各機械の故障発生を防止し、プラント全体の安定稼働を確保するために運転員は、各機械の運転状態に異常や不具合がないか計器によるモニタリングや日常巡回点検により確認し、異常や不具合を検知したらすぐに対応処置を行い、異常が故障に発展するのを防止すること(異常監視)が最も重要であると、前号に掲載の「廃棄物処理施設 運転上の課題と対策について」で説明したところである。

しかしながら、「機械には寿命があり、いつか必ず壊れる」ものである。機械は部品と部材を組み立て作られるが、長期間にわたり使用すると摩耗や腐食による損傷、部品や部材に加わる荷重による疲労・変形・亀裂などの劣化が生じ、さらに時間が経過すると劣化が成長して突発的に修理不能で再使用できない故障(破局故障)に発展し、機械の寿命がきたとして機械を分解して部品交換や大修理、または丸ごと機械を更新せざるを得ない事態になる。

機械に突発的な故障が発生してからの事後的な修理

や更新工事(事後保全)は、緊急修理工事として割増単価により積算された高額な修理費の支出が必要になるだけでなく、処理プラントを停止せざるを得なかった場合には、プラント運転休止中における廃棄物処理料金の減収、休業する運転員の人件費やプラント建設費の減価償却に伴う無駄な経費負担など、経済的・時間的に大きな損出(ロス)を発生させることになる。

このため、処理プラントを構成する各機械の劣化状態の相違を考慮しつつ突発的な故障が発生する前に、毎年一回、定期的にプラントを計画停止して予防的に各機械の点検・検査・修理を、プラントメーカーに特命発注して実施することが一般的に行われている。

以下、処理プラントの安定稼働を図るため、故障や劣化を回復するために必要な点検・検査・修理・改良・更新などを行う「保全」における課題と対策について、プラントユーザの立場から説明する。

1. 保全方式・寿命特性曲線・故障解析について

処理プラントの保全に係る基礎知識として、最初に保全方式・寿命特性曲線・故障解析の説明から始める。

(1) 保全方式の分類について

処理プラントを構成する各種機械の保全方式としては、表1に示すように分類される。各機械の耐用寿命(劣化速度)は異なり、劣化のしかた(パターン)も異なるが、

廃棄物処理施設の課題

第3回 廃棄物処理施設の保全上の課題と対策について

表1 保全方式の分類

予防保全	時間計画保全	定期保全	① 予定の時間間隔で行う予防保全であり、いつも平均して稼働する機械に適用する。 ② 最も一般的に採用されている。
		計時保全	① 稼働が不規則または間欠的な機械に適用する。 ② 累積動作時間（アワーメータ）等で保全時期を決める。
	状態監視保全	機械の稼働状態における常時監視に基づく予防保全であり、故障の発生時期を予測して行う予防保全である。	
事後保全	緊急保全	予防保全をしていなかった機械に発生した故障を修復する保全である。	
	通常事後保全	予防保全するよりも事後保全の方が経済的で、稼働停止の影響が軽微な機械に対し、成り行きにまかせて行う保全である。	

年間における処理プラントの操業を計画的に実施するため、通常、年に一回、定期的にプラント全体を停止し、プラントを構成する全ての機械の網羅的な定期保全（「定期点検修理」または「オーバーホール」ともいう）を実施する。

(2) 寿命特性曲線(バスタブ曲線)について

新たな機械や複数の機械を組み合わせた装置を設置して稼働開始後に時間が経過すると、長期間における「故障の発生しやすさ（故障率）」は、一般的に洋式浴槽（バスタブ）の断面に似た図の曲線に示すように変化する。この図を寿命特性曲線（バスタブ曲線）と呼び、各機械や各装置の寿命特性曲線が明らかになれば、初期故障・偶発故障・摩耗故障という故障のパターンがひと目でわかり保全対策をたてることができる。

偶発故障期間には運転員による異常や不具合の早期検知・処置対応（異常監視）する状態監視保全が、安定稼働を確保するうえで重要であることが理解されることになる。さらに、摩耗故障期の始まる時期（耐用寿命に相当）も明らかになれば、耐用寿命が来る少し前に予防保全を実施することで、最も経済的な定期保全の周期設定が可能になる。

しかしながら、各機械または各装置ごとの寿命特性曲線をどうすれば把握できるかが課題であり、後述する信頼性手法への理解が求められることにつながる。

(3) 故障解析について

処理プラントを緊急停止せざるを得ないような重大な故障が特定の機械に発生した場合など、同じ故障の再発防止を図るため故障解析を必ず行っておく必要がある。

故障の態様（モード）には表2に示すように様々なケースがあるが、まず故障した機械（現品）を分解して損傷部分を主として物理面から詳細に調査し、故障メカニズムの究明を通じて故障原因を明確にし、解析結果を同じ故障の再発防止策に利用する。

なお、各不具合や故障の解析結果と修理事例については、①管理番号、②機械名称、③メーカー名、④設置時期、⑤設置費用、⑥設置環境、⑦使用条件、⑧故障期日、⑨稼働時間、⑩故障の内容・原因、⑪修理内容、⑫修理後の性能、⑬修理費用等の項目について、のちほど電算機による統計処理ができるよう数字とアルファベット等を使用したコード記入により、運転記録用紙・保全記録用紙・設備機械履歴簿（台帳）等に必要事項を必ず記録しておくことが重要である。

2. プラント保全の基本方針

近年の処理プラントは、公害防止のレベルアップや再資源化の推進のため、ますます複雑・大規模で高度な技術システムを構成するようになってきている。このため、処理プラントを停止せざるを得ない突発故障の修理工事や例年の定期保全工事も、高額な点検修理

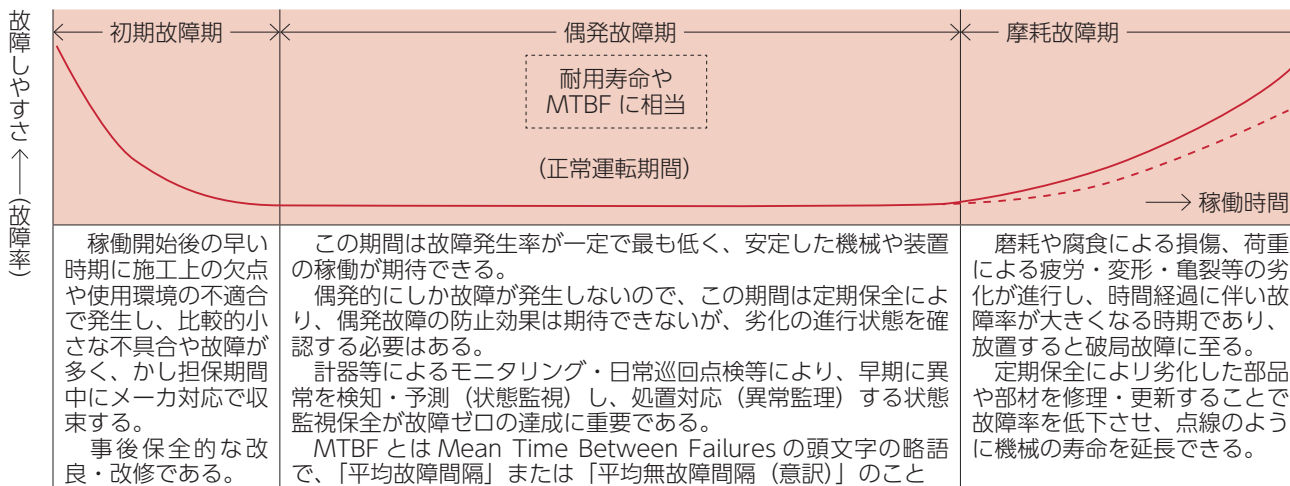


図 寿命特性曲線 (bath-tub curve)

表2 故障モードと故障メカニズムの例

機械・部品	故障モード	故障メカニズム
取り付けボルト	折損	ナットゆるみ→振動→疲労→衝撃荷重
スプリング	へたり、折損	作動回数→繰り返し荷重→疲労→強度低下
回転ベアリング	焼き付き	軸心ずれ（ミスアライメント）→高温しゅう動→表面損傷
ボイラ過熱器	噴破・蒸気漏れ	高温・腐食環境→減肉
電解コンデンサ	短絡・容量抜け	熱ストレス→静電容量低下（アレニウスの法則）

費用の支出に苦勞しながらプラントの安定稼働と性能確保のため予防保全上の見地から、技術力を頼りに処理プラントメーカーに特命発注し実施している例が多く見られる。

しかしながら、高額な費用が必要な処理プラントの保全に当たっては、どの範囲までプラントメーカーに発注し、残りをプラントメーカー以外の協力企業に発注する外注分を含めた直営工事とするか、保全の基本方針をあらかじめ十分に検討し確立しておくことが重要と考える。直営保全員の技能レベルと修理用の機械工具や計測器の整備状況および予備品・原材料等の在庫を考慮し分担範囲を決定する必要がある。

機械の修理とは、部品や部材を組み合わせて作られた機械の損傷（劣化）部分を、元の設計通りに復旧させる行為であり、修理後その機械が元の性能を発揮できないとすれば、当初の設計に問題があったと言わざるを得ない。プラントメーカーは、他の業者に修理工事を発注すると修理後のその機械に対し性能保証はできないとして、自社への特命発注の理由付と受注範囲の拡大のために主張するが、西欧では処理プラント運営専門企業が、プラント全体の運営（運転+保全）を受注し、プラントメーカーに頼らず運営している例が多く見られる。

今後の保全のあり方としては、直営の保全員および処理プラントの運転が停止する定期保全期間中の運転員に対しても保全に関する教育訓練を継続的に実施し、徐々に直営工事の拡大を図ってプラント保全工事費用を漸減する努力が強く求められていると考える。

3. 保全工事の積算と価格折衝について

処理プラントの保全に要する費用は、修理費用と予備品の在庫および保有の費用から構成されるが、この中で最大の支出額となるものは毎年プラントを停止して行う定期保全工事費用である。このため、定期保全工事の基本設計・積算および特命契約するプラントメーカーとの契約前の価格折衝が、定期保全工事の経済性を担保するうえで非常に重要な業務になる。

処理プラントが複雑・大規模で高度なシステムであるため定期保全工事の計画を始めるに当たっては、前年の定期保全工事から半年後に通常プラントを停止して行う中間点検の結果に基づいて、プラントメーカーから定期保全工事の基本設計図と見積り内訳書を提出させることが通常行われている。当初提出される見積り内訳書は、処理プラントを構成する設備毎の一式価格で表示されることが多いようであるが、見積り内訳書の精度は、公益社団法人 全国都市清掃会議が発行・販売する「廃棄物処理施設点検補修工事積算要領」の仕分

けに基づき、原材料・部品・人工・数量・単価・歩掛り等まで記載した詳細な内訳書の書式にするよう、何度も繰り返し強く要請し提出させる必要がある。

そして、この詳細な見積り内訳書と基本設計図をベースに、点検・修理工事の内容と価格の妥当性について、上記の積算要領や各種の市販積算資料も参照したり、過去の定期保全工事の実績記録と比較検討をしたり、プラントメーカーが購入する高額な部品について部品メーカーから直接見積り書を取って確認するなどの準備作業を行ったうえ、プラントメーカーとの定期保全工事の価格折衝に臨まなければならない。

とにかく価格折衝では、疑問や不明な点について何度でも質問し、根拠に基づいた納得できる回答が出るまで粘り強く折衝する必要がある。まさに真剣勝負と心得て対応しなければならない。

4. 保全周期の設定について

各機械や装置の点検修理間隔（保全周期）の設定に係わり横道にそれる訳ではないが、一般廃棄物を処理する地方公共団体の処理プラントにおける運営業務民間委託の動向について説明する。

地方公共団体における処理プラント運営業務の民間委託方式には、毎年、運転業務のみを委託する短期役割仕様運転委託と、長いケースでは20年間も運転業務に加え保全業務を含めて包括的に委託する長期包括的運営委託の2方式がある。近年、地方公共団体は、財政ひっ迫から経済性に優れた長期包括的運営委託を採用するケースが急速に増えつつある現状である。

従来、短期役割仕様運転委託の処理プラントにおける保全工事は、突発故障の発生による緊急修理工事（事後保全）を除き、毎年一回、予防保全の見地から定期点検修理工事（定期保全）を実施している。しかしながら、このような時間基準による定期的な点検修理工事は、次期定期点検修理工事までに故障する可能性はあるが、半年後の中間点検までは十分に故障せず稼働できる機械まで予防的に修理対象にせざるを得ず、オーバーメンテナンス（過剰保全）となり不経済ではないかと言われている。ところが特命随意契約により定期点検修理工事を請け負う処理プラントメーカーは、予防保全的に修理をしておかないと次期定期点検修理までに故障が発生する可能性が高いと主張し、点検修理対象を拡大して工事費の増額をめざす傾向が多く見られたところである。

一方、長期包括的運営委託の場合は、複数事業者の価格競争的により契約締結された時点で長期間にわたる維持管理（運転+保全）費用の総額が確定してしまうので、毎年の定期点検修理工事費を節減して収益を高

第3回 廃棄物処理施設の保全上の課題と対策について

めるため点検修理工事の実施方法を工夫する必要がある。このため、従前の時間基準による定期点検修理工事の過剰保全を改め、過去の異常・不具合への処置対応や故障修理などの運転・保全データを信頼性手法により解析し、各機械の劣化状態(耐用寿命)を判断して点検修理工事を実施する状態監視保全に変更しつつある。また、従来の定期点検修理工事後、一年間は無理でも半年間以上の稼働可能な機械は半年後の中間点検期間中に修理工事を行うなど、各機械の修理間隔の延長と点検修理工事の分散実施が行われるように変わっている。さらに、短期役務仕様運転委託から長期包括的運営委託に移行後は、全般的に各機械の保全周期がかなり延長されており、結果として長期にわたる受託事業期間内に実施する点検修理回数を減らすことにより保全工事費の節減を図っている。

以上の地方公共団体における処理プラント運営業務民間委託の動向を参考にして、今後のプラントの定期保全工事の計画・実施において、信頼性手法の導入により定期保全から状態監視保全への移行をめざし、各機械や装置の保全周期の延長により保全費用の節減を図ることが強く望まれていると考える。

5. 信頼性手法について

(1) 信頼性手法とは

信頼性とは、機械が使用期間中に故障しないで安定して機能を発揮し稼働できる性質であり、要約すれば「故障しない性質」という抽象的な概念である。そして信頼性手法とは、機械の使用中に起こる故障についての問題を取り扱う技術の一分野であり、要約すると「故障予防の技術」と言える。処理プラントの維持管理(運転+保全)技術のレベルを高めるために役立つ代表的な信頼性手法には、下記に示すようなものがある。

- ① ワイブル解析(ワイブル確率紙を使用する信頼性データの図式解析法)
- ② 故障モード影響解析(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)
- ③ 信頼性、可用性、保守性(RAM: Reliability, Availability, Maintainability)
- ④ リスク基準検査(RBI: Risk Based Inspection)
- ⑤ 信頼性中心保全(RCM: Reliability Centered Maintenance)

上記の信頼性手法を全て紹介するには、指定されたページ数を大幅に超えた説明が必要になるので、巻末の参考文献を参照されたい。以下、MTBF(「平均故障間隔」のことであり、「耐用寿命」に相当する)・信頼度・故障率等の信頼性尺度を予測でき、便利で活用頻度が高い手法の「ワイブル解析」にしまり、その有用性を説明する。

(2) ワイブル解析とは

ワイブル解析を行うには、まず信頼性データを収集する必要がある。信頼性データとは、MTBFなどの信頼性尺度を予測するための原料に相当するものであり、前記1.(3)の故障解析において使用した運転・保全記録用紙や設備機械履歴簿が該当する。

次にワイブル解析により信頼性データの解析を行う

ことになるが、統計的手法により収集した信頼性データの数値を確率やバラツキの理論を使用し計算処理・加工による方法もあるが、複雑で手間のかかることが避けられない。ところが「ワイブル確率グラフ用紙(以下、「ワイブル確率紙」という)」を使用すると、複雑な計算処理が不要になり図式解析が可能になる。ワイブル確率紙を使用して信頼性データに基づく故障累積頻度(%)数値をプロット記入するだけで、MTBF・信頼度・故障率等の数値を予測できる。このようなワイブル解析は、信頼性データ解析において最も多く使用されている優れた道具と言える。

ワイブル解析により特定の機械や装置の寿命特性曲線が明らかとなり、MTBF(耐用寿命)が予測できただけでも、その機械の妥当な定期保全周期を設定できるようになり、従前のようにプラントメーカーから言われるままに予防保全的に耐用寿命よりかなり手前で行ってきた過剰保全を防止でき、定期保全費用の節減可能性が生まれてくる。

前記1.(3)の故障解析は、ハードウェアの面から故障モードと原因の現状分析であったが、ワイブル解析は、故障解析の結果を信頼性データとして活用し、的確な定期保全周期の設定を可能にするなど、予測的対策や改良に適用できる手法と言える。

以上のようにワイブル確率紙を使用する信頼性手法は保全費用の節減に役立つ優れた手法であるが、ワイブル確率紙の使用法については長い説明が必要になるので、巻末の参考文献を参照されたい。

6. おわりに

処理プラントは、完成後の運用期間の長さを考えると、プラントの建設費より維持管理(運転+保全)費用が大幅に上回ることになるので、維持管理コストをいかに節減できるかが大きな課題である。

運転費用の節減策は、①処理プラント運転自動化の推進による運転員の省力化、②用役や薬剤等の節減、③運転員の異常監視を徹底し突発故障発生・プラント停止の防止による安定稼働の確保等が主要な対策となる。

一方、保全費用の節減策については、化学プラントや製鉄プラント等では状態監視保全が当たり前の保全方式であるのに対し、これまで採用が遅れていた信頼性手法に基づく状態監視保全の導入を図り、①適切な定期保全周期の延長設定により点検修理費用を節減する。②プラントメーカーの技術力に頼らずに修理工事の直営施工範囲の拡大等に取り組み、修理工事費用を節減すること等が挙げられる。

そのためには、運転員と保全員の技能レベルを高める継続的な教育訓練の充実と、処理プラント運営情報管理電算システムの整備・活用が避けられないことになると考える。

参考文献

- ①. おはなし信頼性(齊藤善三郎著、日本規格協会発行)
- ②. 信頼性工学のはなし(大村平著、日科技連出版社発行)
- ③. 入門信頼性(田中健次著、日科技連出版社発行)