【特 集：廃棄物処理施設の「安全・安心」】

廃棄物処理・リサイクルにおける安全・安心対応策に関する研究

永 田 勝 也^{*, **, ***}・切 川 卓 也^{*}

【要 旨】 近年の産業技術の高度化やごみ質の変化に伴い、廃棄物処理施設は非常に複雑な処理システムとなった。そのため、施設の設計や操業・維持管理が一層難しくなり、事故やトラブルが頻発している。そこで、プラントメーカーやオペレーション・メンテナンス企業、約30社の協力を得て、2004年10月にシステム安全安心研究会を設立し、廃棄物処理・リサイクル施設を対象に、安全面や環境面へのリスクが最小となる将来の廃棄物処理体系実現のための指針を得ること、市民の安心醸成のための情報公開手法の検討とそのあり方についての指針を得ることを目指し活動を展開している。

事故等の事例を体系的に整理するためのフォーマットを作成し、約3,300件の事例を有するデータベースを構築した。リスクを定量的に網羅可能な安全設計解析手法 SAD の開発や操業情報管理支援システムおよび運転員教育支援ツールの開発、市民の安心の醸成につながる共創型の情報共有システムを開発した。

キーワード：システム安全・安心、データベース、静脈産業施設

1. は じ め に

近年、地球環境問題や安全・安心に対する関心が高まり、廃棄物の安全かつ適正な処理が求められている。しかし、現状の事故の発生状況を見てみると、図1に示すように、2001年以降増加の一途をたどっている^{1, 2)}。そこで、早稲田大学環境総合研究センターはプラントメーカーやオペレーション・メンテナンス企業約30社の協力を得て、2004年10月、システム安全・安心研究会（代表：早稲田大学永田勝也教授）（表1に第1期参加企業を示す）を設立した。

システム安全・安心研究会は、廃棄物処理・リサイクル関連施設における事故やトラブルの未然防止や拡散防止、安全体制の構築などを体系的に実施し、施設設計や運用時における安全性の向上ならびに周辺住民の安心感

の醸成などを実現することを目指している。第1期活動（2004年10月～2007年3月：約2年半）では約30社の協力を得、2007年4月から第2期活動として、約20社の協力を得て、第1期で得られた成果を基にさらなる発展を目指した活動を展開している。

われわれの研究の基本としているのは、事故だけでなく、トラブルやヒヤリハットを含めた事例である。これまで報告はなされてきたが、効果的に活用され、事故の未然防止策等が実施された例は少ない。そこで、事故やトラブル、ヒヤリハットに関する情報を新たに提案したフォーマットで体系的に整理し、データベース（DB）を構築する。このDBを分析することで得られた事故やトラブルに関する情報を基に次のような研究を展開する。1点目はDBを活用し、個別の施設の設計や新技術の適用の際に効果的に利用できる安全設計解析手法の開発である。これまでのリスクアセスメント手法にはなかった定量的にリスクを網羅可能にする手法を開発する。また、発注者である自治体向けの簡易版も検討する。2点目は個別の施設の安全・安定な運転に寄与できる操業情報管理支援システムの開発である。これに関してはIT技術を活用した効率的なシステムの開発を目指す。同時に効果的な運転員教育支援ツールの開発も行う。安心に関し

原稿受付 2007. 8. 10

* 早稲田大学理工学術院

** 早稲田大学環境総合研究センター

*** 早稲田大学大学院環境エネルギー研究科

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 58-215

切川 卓也

E-mail: kirikawa@ruri.waseda.jp

図1 事故発生状況の推移¹⁾

表1 システム安全安心研究会への参加企業（第1期）

住原製作所 荏原エンジニアリングサービス(株) 中部リサイクル(株)	新日鉄エンジニアリング(株) 日鉄環境プラントサービス(株) 北九州環境プラントサービス(株) 北九州エコエナジー(株)
(株)川崎技研	新明和工業(株)
カワサキ環境エンジニアリング(株)	(株)タクマ (株)タクマテクノス
極東開発工業(株) 極東サービスエンジニアリング(株)	日立造船(株) 関西サービス(株) 日神サービス(株)
(株)クボタ クボタリテックス(株) クボタ環境サービス(株)	富士電機システムズ(株) 富士電機水環境システムズ(株)
三機工業(株) 三機化工建設(株)	三井造船(株) 三井造船環境エンジニアリング(株)
JFE 環境(株) JFE 環境サービス(株) JFE 環境ソリューションズ(株)	三菱重工業(株) 三菱重工業環境エンジニアリング(株)
(株)神鋼環境ソリューション	—

(五十音順)

ては、市民・住民との接点として HP を中心に情報公開や情報共有のあり方を、住民とともに創るという、共創の理念で取り組む手法のモデルを検討する。安心に関しては、こうした体系で取り組めば安心が獲られるといったものは提案されていないため、住民・市民との共創で体系化を図っていきたいと考えている。

このような手法やシステム、ツールの開発とその実証試験を通して、安全で安心な廃棄物処理・リサイクルシステムの構築の実現にむけた指針を得ることを目的とする。本稿では第1期活動で得られた成果を報告する。

2. 事故・トラブル・ヒヤリハット事例の収集・整理と解析

2.1 事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB の拡充・整理と分析³⁻⁵⁾

一般廃棄物処理施設等に対するヒアリング調査結果や関連団体へのヒアリング調査および報告書、既存の文献

調査等を通じて得られた情報を体系的に整理するために有効な DB のフォーマットを作成した。フォーマットはヒアリング調査や文献調査により得られた事例を活用しながら、システム安全・安心研究会への参加企業（有識者）や関連団体等と議論を繰り返し作成した。発生した事故やトラブルの状況や原因、その復旧方法等を入力するものを提案する。

具体的には発生した事故の状況を発生日時（いつ）、設備（どこで）、装置・機器、対象者（誰が）、作業内容（何を）、事故の型（どうした）、考えられる発生原因（なぜ）、事故による被害状況と同時に復旧方法も記載する形式とした。従来の報告形式といえば、1（事例）対1（枚）の事故報告書による報告である。これは詳細に状況が判明し、その後の対策等を考案し易いというメリットはあるが、これまで同一または同様の事故が発生しているかどうか、またどの設備で事故がもっとも多いのか、どの作業中に事故が多いのか等の分析を行うことが容易に実施できない。そこで、このフォーマットを適用させ、事故事例を5W1Hの形に分解し入力することで、誰でもスムーズに入力を行うことが可能となるとともに、統一的なフォーマットでDBを構築することで、上述したような分析だけではなく、処理工程に沿ったHAZOP（設計仕様（たとえば、温度、圧力、PH、攪拌、反応）から逸脱した運転を行った際の、設計からのズレが発生する箇所およびそこで発生するハザードとその原因を解析し、それぞれの原因から危険事象への進展を阻止するための防護機能と改善すべき対策を調査する手法）⁶⁾的な分析や1つの事故原因に着目し、事故やトラブル、ヒヤリハットがどのような割合・タイミングで発生しているのかといった分析など、より詳細な分析を行うことが可能となる。

われわれは、2007年3月までに作成したフォーマットに従い、文献調査や関連団体や施設へのヒアリング調査等を通じて、合計で3,256件の事例を集約した。

2.2 事故・トラブル・ヒヤリハット事例の分析

構築した事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB を用いて、焼却発電施設の全体を対象に事故の発生状況とその原因や事故とトラブル関係等について分析した（図 2）。2001 年～2005 年のデータを対象とした。設備別でみると、受入供給設備において事故発生率が $2.14 \times$

10^{-2} [件 / 施設 / 年] と最も多く高く、次いで燃焼設備で 0.87×10^{-2} [[件 / 施設 / 年]], 灰処理設備が 0.82×10^{-2} [件 / 施設 / 年] という結果となった。各設備の人身被害状況と施設被害状況の割合をみると、受入供給設備では人身被害割合が 62 [%], 施設被害割合が 38 [%], 燃焼設備では人身被害割合が 91 [%], 施設被害割合が 9

(I) 事故の発生状況

(II) トラブルの発生状況

図2 焼却発電施設全体での事故およびトラブルの発生状況

[%]、灰処理設備では人身被害割合が89 [%]、施設被害割合が11 [%] となり、これらの設備において人身被害の割合が高くなっていることがわかる。事故の型について分析すると、受入供給設備では転落が 0.45×10^{-2} [件 / 施設 / 年]、火災が 0.46×10^{-2} [件 / 施設・年] となり、他の設備と比較して高い割合となっていることがわかる。

次にトラブルの発生状況について分析する。設備別で見ると、灰処理設備が2.21 [件 / 施設 / 年] で最も高く、次いで燃焼設備の1.56 [件 / 施設 / 年]、排ガス処理設備の0.91 [件 / 施設 / 年]、燃焼ガス冷却設備の0.73 [件 / 施設 / 年]、受入供給設備の0.33 [件 / 施設 / 年]、余熱利用設備の0.2 [件 / 施設 / 年]、通風設備の0.20 [件 / 施設 / 年]、排水処理設備の0.07 [件 / 施設 / 年]、電気系総設備の0.04 [件 / 施設 / 年] となる。機器・装置別のトラブル発生率を見ると、燃焼設備の焼却炉でのトラブル発生率が0.94 [件 / 施設 / 年]、灰処理設備の灰溶融炉が0.83 [件 / 施設 / 年]、灰搬送装置が0.59 [件 / 施設 / 年] がトップ3となった。焼却炉ではクリンカや動作不良などが多いためである。

事事故例とトラブル事例の分析結果を比較すると、事故発生率がトラブル発生率よりも約100倍高いことから、ハインリッヒの法則（労働災害における経験則の一つである。1つの重大事故の背後には29の軽微な事故があり、その背景には300の異常が存在するというもの⁵⁾）よりも多くトラブルが発生していることがわかる。

2.3 DB活用のメリット

上記2.1（事故・トラブル・ヒヤリハット事例DBの拡充・整理と分析）で示した全体の事故・トラブル・ヒヤリハット事例DBの項目の一部を削除する、または言葉の表現を変えるなどのカスタマイズを行い、個別の施設のDBを構築することにより得られるメリットを以下にまとめる。

2.3.1 プラントメーカー

- ・設計（計画）段階において、施設内の設備や機器において発生する可能性のある事故やトラブルを確認することができる。
- ・設備や機器において発生する可能性のある事故やトラブルの発生原因を確認することができる。
- ・事故やトラブルの対応策を設計に取り入れることができる。
- ・設計時に事故やトラブルの発生しにくい設備・装置等の予備品の削減等、予算の削減の検討を行うことができる。
- ・費用対効果の大きな安全向上策を確認することがで

きる。

- ・発生した事故やトラブルの原因究明や対策実施にも役立てることができる。

2.3.2 オペレーション・メンテナンス会社

- ・操業上、注意を要する設備や機器を確認することができる。
- ・トラブルを起こしやすい設備や機器をあらかじめ確認することで、効果的なメンテナンスを実施することができる。
- ・設計時に事故やトラブルの発生しにくい設備・装置等の予備品の削減等、予算の削減の検討を行うことができる。
- ・事故・トラブル・ヒヤリハットの分類により、目標値管理や事故・トラブルの未然防止に活用できる。
- ・DBを活用した適切な情報公開を行うことができる。
- ・発生した事故やトラブルの原因を究明や対策実施にも役立てることができる。

2.3.3 自治体等の管理者

- ・DBを活用した適切な情報公開を行うことができる。
- ・計画時に施設のリスクレベル等を検討することができる。
- ・費用対効果を基にした安全向上策を検討することができる。
- ・発生した事故やトラブルの原因究明や対策実施にも役立てることができる。

3. 体系的・定量的な安全設計解析手法の開発

3.1 安全設計解析手法 SAD (Safety design Analysis with Database) の概要

安全設計解析手法 SAD は事故・トラブル事例DBを参照することで、各施設・設備で起こりうる可能性のあるシナリオを網羅でき、かつリスクを被害額と事故発生率を用いて算出するため、定量評価が可能である。つまり、リスクの定量化が図れるトップダウン方式の解析手法と施設全体のリスクを網羅できるが、定性的な評価しかできないボトムアップ方式の解析手法のメリットを併せ持つ手法である。

3.2 安全解析手法の算出式

リスクを確率論的な被害額と定義し、事故が発生した施設において考えられる事故被害額と事故発生率を乗じることによって算出する。被害額は人身の被害額と施設の被害額、そして施設を停止したために発生する被害額の合計値と定義する。事故・発生率はある事故やトラブルが1年間あたりに発生する頻度と定義する。被害額は、

各施設において発生した事故やトラブルの影響に応じて実際に被った被害額を用いる。詳細なデータが不明な場合、または新しく施設を設計する際には構築した事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB を参照して評価を行う。事故発生率に関しても同様に各施設の事故やトラブル、ヒヤリハットの発生率を用いて算出することを基本とするが、詳細なデータが不明な場合、新たに設計する場合には DB を参照して算出する。

3.3 全焼却処理施設の安全性評価の結果 (ATM: Accident Trace Map)

上述した安全設計解析手法の高度化による被害額算出式を用いて、焼却処理施設全体での安全性評価を行った。図示したものを図3に示す。施設に内在する事故シナリオをすべて表示できるもので、左から“運転状況項目”、“対象者と作業内容”、“事故が発生した設備”、“事故原因”、“事故の型”を線でつなげることで、シナリオを示している。そして、各シナリオのリスクを一番右に示している。これを見ると一目でリスクを網羅することができる。安全性評価結果から受入れ供給設備において、可燃性ガスが存在・発生することによりピットで、火災が起きた場合のリスクが最大となった。なお、プリミティブな事故まですべてのシナリオを図示すると、合計で320本の事故シナリオを表示できる。

4. 操業情報管理支援システムの開発

4.1 操業診断の実施に関する検討

国内の先行事例である豊島廃棄物等処理事業（以下、豊島事業とする）では事業の実施状況を第三者機関により評価（外部評価という）し、それを今後の事業実施に役立てている。対象者は、請負業者と香川県であり、実施方法は、ドキュメント調査とヒアリング調査である。評価すべき事項は、①各種マニュアルに基づく事業実施状況、②各担当者の知識・意識レベル、③非常時・緊急時の対応、④各担当者への教育・訓練の実施状況、⑤請負業者及び香川県の内部チェック状況、⑥その他必要な事項である。

この外部評価を実施することで、施設の操業状況や操業技術、操業体制等を診断・改善するとともに、操業管理者や操業者の事業に対するモチベーションや緊張感の維持にもつながるといえる。安全・安心かつ安定した施設の操業の実現のためには有効な方法であるといえる。しかし、実際に施設において外部評価を実施するには専門的な知識を要するだけでなく、実施体制の構築や実施者の選任、実施計画書の作成などさまざまな課題をクリアする必要がある。

そこで、豊島事業において実施している外部評価をベースにさまざまな施設において操業診断を実施可能と

図3 焼却発電施設全体で見た場合の安全解析の結果

図4 操業診断の基本フレーム

なるように実施ガイドの作成について検討する。操業診断の基本フレームを図4に示す。豊島事業以外の施設において操業診断を実施するにあたり、課題となる点や問題点を抽出し、その対応策を検討し、実施ガイドを作成した。

4.2 操業情報管理支援システムの構築

操業診断や目標値管理等を効率的に実施するために操業情報の管理を支援するシステムの構築を検討した。施設へのヒアリング調査より、筆者らがヒアリングに行ったすべての施設において日々の運転状況や計画の遂行状況等を運転引継ぎノート等のアナログ媒体を用いて管理していることが判明した。これらの情報を電子化し、整理、DB化することで操業の効率化や診断・管理の実施をサポートできると考える。

5. 運転員教育支援ツールの開発

5.1 APT (Accident Prevention Training tool) の開発

APTは運転維持管理マニュアルを画像化し、バーチャル的に表現することで理解・体得の効率化に配慮し、施設の操業者の体験的学習に資することを目的としたものとする。施設のCADデータを用いて、バーチャル空間において施設を3Dで表現する。この空間を運転員がパソコンを操作し、自由に動きながら、プログラムされた操業方法や安全に関する教育を受講する。

このプログラムを通じて、OJTの全段階としての操業技術や安全教育に関する知識や技術を身につけることを目指したツールである。

5.2 ACST (Accident Counter Skills Training tool) の開発

異常時・緊急時対応方法学習ツールACSTはオペレータの判断力、決断力を養うことで適切で迅速な対応を行うことを主目的として実施する。DBを参照して、過去の異常時・緊急時発生事例に対する対応方法を学習する。これを繰り返し実施しながら、異常・緊急状態への迅速な対応を身につけることを目指したツールである。本ツールは判断時間等で技術の評価を行う。

6. HPMAXの改良とHPMAX作成マニュアルの作成

6.1 施設の情報公開状況の調査と住民が求める情報の調査

住民・市民の安心の醸成に役立つHPでの情報発信・情報共有システムの開発の検討を行った。はじめに日本の焼却施設や粗大ゴミ処理施設のHP公開状況を調査した。その結果、保有率自体も低く、また事故トラブルなどについてはほとんど公開されていないことが判明した。一方、ごみ焼却施設の周辺住民へ街頭ヒアリングを実施した結果、設備の安全装置や事故・苦情への対応など安全に関する情報の公開を望んでいることが判明した。

6.2 HPMAX の作成

現状の HP の情報公開調査、街頭ヒアリング、web アンケート等から公開すべきであると考えられる情報をすべて盛り込んだ HP の作成を行った。

上述した調査結果を踏まえて、“施設の理解”や“市民とのコミュニケーション”、“施設からのお知らせ”、“事故・苦情情報”そして“施設の進化・成長”の大きく5項目を提案した。また、それぞれの公開方法についても検討した。処理過程や作業内容などに関しては動画等を用いて公開することで、より実際の状況を把握しやすいよう表現した。施設の概観や事故の状況などに関しては写真を用いて作成した。また、Q&A やアンケートに対する意見などは文章で作成した。

7. ま と め

廃棄物処理・リサイクル関連施設における安全の向上と市民の安心の醸成を目指した活動を展開した結果、以下の結論を得た。

事故やトラブル、ヒヤリハットに関する情報を体系的に整理するために、フォーマットを作成し、約3,300例の事例を収集した。DBを分析した結果、焼却処理施設焼却炉、灰系統の装置において多くのトラブルが発生することがわかった。また、焼却処理施設と粗大ごみ処理施設ともに、受入供給設備では“転落”と“火災”の事故が頻発していることが判明し、DBの活用に関する有効性を確認できた。また、リスクを定量的に網羅可能な安全設計解析手法 SAD を開発し、全国の焼却発電施設を対象としてリスクの算出を行い、有効性を検証した。国内の先行事例である豊島廃棄物等処理事業や施設ヒアリング調査を通じて得られた知見をもとに操業情報管理支援システムの提案し、その構築に向けた指針を得た。また効果的な運転員への安全教育支援ツールとして、APT と ACST を考案し、その開発方針を得た。

最後に安心に関しては、市民がどのような情報を求めている、実際施設はそれに応えているのか、調査を行うとともに、市民の安心の醸成につながる情報を効率的に共有するシステムとして HPMAX を開発した。

〔謝 辞〕

代表幹事である新日鉄エンジニアリング(株)長田氏ならびにカワサキプラントシステムズ香西氏をはじめとするシステム安全・安心研究会の会員企業の皆様にはアンケート調査や WG での議論を通じて多大なるご協力と大変深いご理解を賜りました。深く感謝申し上げます。特に三機化工建設(株)向原氏には施設への詳細なヒアリング調査や貴重な資料の提供などを賜りました。重ねて感謝申し上げます。

また、日本廃棄物処理技術管理者協議会や日本環境衛生施設維持管理業協会、全国市有物件災害共済会の皆様にも事故・トラブル事例をご提供いただき、DBの構築にご協力いただきました。

参 考 文 献

- 1) 日本廃棄物処理施設技術管理者協議会：廃棄物処理事業に伴う事故事例調査結果報告書（平成8年～11年度分）、平成13年4月発行（2001）
- 2) 厚生労働省 HP
<http://www.mhlw.go.jp/index.html>
- 3) 環境衛生施設維持管理業協会：災害・事故調査結果報告書（平成11年～16年分）、平成18年5月発行（2006）
- 4) 全国市有物件災害共済会：破碎処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル、p.118（1997）
- 4) 東京産業廃棄物協会 HP
http://www.tosankyo.or.jp/hiyari/hiyari_index.htm
- 5) Wikipedia HP
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 6) ISO用語ミニ辞典
http://blog.isovocabulary.com/16_riskmanagement/hazop/

Safety Systems and Effective Counter-measures at Disposal Facilities

Katsuya Nagata^{*,**,*} and Takuya Kirikawa^{*}

^{*} School of Science and Engineering, Waseda university

^{**} Waseda university Environmental Research Institute

^{***} School of Environmental and Energy, Waseda university

[†] Correspondence should be addressed to Takuya Kirikawa :
School of Science and Engineering, Waseda university
(3-4-1 Okubo, Shinjyuku-ku, Tokyo 169-8555 Japan)

Abstract

As industrial techniques were upgraded and the quality of garbage began to change, disposal facilities had to become increasingly more complex systems. It became more difficult to maintain good designs and operations for disposal, and the number of accidents and other types of hazards were happening more frequently.

In October 2004, the Society for System Safety and Security was established at Waseda University in conjunction with plant makers and approximately 30 different operation and maintenance enterprises. The aim of this collaborative effort was to construct systems that will make disposal facilities safe and more secure by reducing factors of risk.

A formatting for coordinating accident data and the data on other kinds of incidents was proposed, and a database was constructed. A Safety Design Analysis technique, known as SAD (Safety design Analysis with Database), was designed in order to use the database, along with an Operation Information Management Support System, an Operator Training Support System, and a System for the sharing of information in order to protect citizens as well.

Key words : safety, security, system, database, disposal facility