

廃棄物処理・リサイクル関連施設における安全・安心対応策に関する研究 —安全性評価手法 SAD の開発—†

切 川 卓 也*1 永 田 勝 也*2 村 岡 元 司*3

静脈施設における事故は減少傾向を示しておらず、安全な施設設計・操業が求められている。そこで、筆者らは静脈施設における安全・安心システムの構築を目指し、新たな安全性評価手法として SAD (Safety design Analysis with Database) を提案する。本手法はリスクを確率論的な被害額と定義し、既存のリスクアセスメント手法にはない、施設のリスクを定量的に網羅可能であり、かつ事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベースと連携させることで評価を簡便にできるという特長を有する。本稿では SAD による施設の安全性評価の方法を示すとともに、溶融発電設備を持つ個別施設を対象として、SAD を用いた施設の安全性評価を実施し、その結果を ATM (Accident Tracing Map) で表示するとともに、安全向上策について検討した。

キーワード: 安全性の定量評価手法, 事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベース, 廃棄物処理施設

1 はじめに

循環型社会の構築のなかで重要な役割を占める廃棄物処理・リサイクル施設において、事故やトラブルが比較的高い頻度で発生している¹⁾。日本廃棄物処理施設技術者管理協議会の調査¹⁾によると、特に焼却あるいは焼却発電施設・粗大ごみ処理施設で多く発生している。厚生労働省の労働災害動向調査の死傷者の度数率²⁾を図1に示す(2000年～2006年の安全衛生情報センターの公開データを参考)。2000年から7年間の平均値を見ると、全産業の平均が1.84であるのに対し、廃棄物処理施設(注)は3.83と3.59の運輸業、比較的事故が多いと考えられている建設業の1.50の2.5倍の数値を示している。これは、廃棄物の多様化やダイオキシンなど環境対策の高度化、より高度なリサイクルへの要請を受け、処理施設が高度化・複雑化するとともに、またそれらに対応するために新しい技術が適用されるなどが影響を与えていると考えられる。廃棄物処理施設の運転員等に対する安全教育等の実施など、人材育成への対応の遅れ等も事故発生の一因となっていると考えられる。また、事故等の発生に伴い、これらの情報を受け取った市民は廃棄物処理施設が三度事故等を起こすのではないかと、絶対安全ではないものであると思ひ、不安を感じながら生活するとともに、新たな施設の建設等に反対する、負のループに陥っている。こうした情勢から、安全安心な廃棄物処理システムの構築が喫緊の課題と考えられる。わが国では、永く「絶対安全」「リスクゼロ」が目標とされ、リスクを

(注 1) 安全衛生情報センターの統計で廃棄物処理施設はサービス業に区分され、洗濯業、旅行業、ゴルフ場、一般廃棄物処理業、産業廃棄物処理業、自動車整備業、機械修理業及び建物

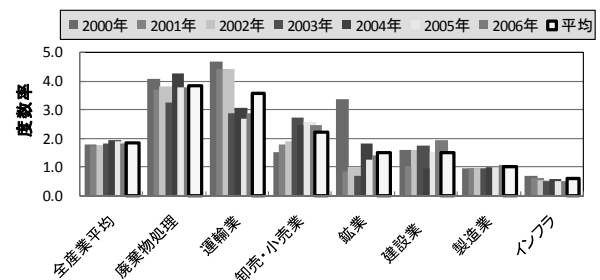


図1 度数率による比較²⁾

サービス業を含めた数値を示している。

正當に評価、説明する必要がなかったために、リスクはゼロにすることは不可能であるという事実を冷静に評価し、外部に対して安全であることを説明する手法が必要とされている。そして、以上の評価結果について情報伝達・情報公開を社会に対して積極的に行っていくことにより、社会的な信頼を得、安全・安心が確保される。

そこで、リスクを被害額で算出することで、設計時および施設の大規模改造時に活用(安全装置の導入や体制の構築、そして周辺住民への説明等)可能な安全性評価手法(過去に評価対象施設や類似施設にて発生した事故やトラブル事例(機械だけではなく労災も含める)を参照することで、施設の安全性を定量的に評価可能である手法)の開発を目的とする。

また、本研究は環境総合研究センターシステム安全・安心研究会および環境省廃棄物処理等科学研究費補助金を受けて行う。

2 既存のリスクアセスメント手法の整理³⁾

新しい安全解析手法を検討するにあたり、既存の各種安全解析手法の特徴をまとめた。表1に各種安全解析手法とその概要を示す。また、各種安全解析手法を比較したものについて表1に示す。各種安全解析手法は、メリット・デメリットを併せ持っており用途に応じて最適な解析手法を用いることが大切であるといえる。

† 原稿受付 2008年07月09日

† 原稿受理 2008年10月26日

*1 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科

*2 早稲田大学大学院理工学研究科

*3 早稲田大学環境総合研究センター

連絡先: 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

早稲田大学大久保キャンパス 58号館 215号室 切川卓也*1

E-mail: kirikawa@ruri.waseda.jp

表1 各種リスクアセスメント手法の整理

手法	概要	計画	基本設計	詳細設計	作業	メリット	デメリット
チェックリスト	あらかじめ用意したチェックリストを使用して、安全上の配慮が成されていくことを確認する手法	○	○	○	○	ヒューマンエラー防止策としては最良。	大事故に発展する複合的な事例に対応するのが困難。
予備的危険解析	設計初期段階で立地、取扱物質、設備面での潜在的危険を洗い出し、検討すべき安全項目を把握する予備的な解析	○	—	—	—	情報の共有化により計画の初期段階から安全対策の取り組みができる。	洗い出しから漏れる事故があり得る。「重大事故」が主観的表現になり易い。
相対危険度評価	取扱物質、作業条件などに対し評価点をつけ、プラント構成機器の相対的な危険度を評価する手法	○	—	—	○	安全対策を実施するためのスクリーニング、安全対策の優先順位の把握に有効。	解析評価の実施目的に応じた解析方法を選定する必要がある。
What-if	「もし... ならば」という質問を繰り返すことによりシステムの潜在的危険を洗い出し、それに対する安全対策を実施していく手法	—	○	○	○	プロセスプラントの設計開発および運用段階におけるハザード分析に有効。	潜在的な危険を効率的に網羅できなければ洗い出しにおいて漏れを生じる。
HAZOP	プロセスプラントを構成する一本のラインに着目し、流量、温度、圧力といったパラメータの正常状態からのズレを想定して、ズレが顕在化したときのプロセスへの影響を評価、安全対策の検討を行う	○	○	○	○	設計段階だけでなく、緊急時での対応手順の検討や解析結果による教育が可能。	解析に長時間を要する。
FMEA	システムを構成する機器に着目し、その故障モードを取り上げ、その故障のシステムへの影響を解析し、安全対策を実施する手法	—	○	○	○	ソフト面による影響解析、信頼性の解析に有効。	複合的な事故には非対応。
FTA	システムに起こってはならない頂上事象を設定し、その発生原因を部品レベルまで掘り下げ、論理記号（AND 記号、OR 記号等）ツリー状に表現し、頂上事象の発生確率を解析（算出にあたっては個々の部品・機器の故障確立を付与）する手法	○	—	○	○	定量的かつ定性的解析が可能。	大規模なシステムの場合、FT 作成が困難。
ETA	最初の引き金事故がどのように拡大するかをツリー状に表現し、最終的に起こり得る災害の発生確率を解析する手法で、各種安全・防災設備の作動、緊急対応の成功を考慮して事故拡大過程を解析する	○	—	○	○	FTA と組み合わせることによって有用な評価が行える。	ET の出発点である引き金事象に FTA、HAZOP、FMEA 等の手段によって特定するため解析に時間を要する。
CCA	システムに発生した危機の故障または誤作動によって発生したプロセス異常が進展していく経路を安全対策の成功・失敗を考慮に入れて解析する手法で、安全対策の成功・失敗の原因を FTA により解析し、原因・結果で表現する（FTA と ETA の特徴を合わせ持つ）	○	—	○	○	FTA と ETA 双方の特徴を持ち、その内容が一度に把握できる。	複雑になると整理が困難で、一度に把握できるという利点が失われる。

しかし、既存の解析手法は化学プラントへの適用を前提としており、廃棄物処理施設に対応する手法はないのが現状である。また、手法を駆使するには専門家の高度な知識を要するものが多く、現場レベルで比較的簡便に活用できるわけではない点も挙げられる。

3 安全性評価手法 SAD の開発コンセプト

新たな評価手法である安全性評価手法 SAD (Safety design Analysis with Database) を開発するにあたってのコンセプトは以下に示す。また、SAD の特長を図 2 に示す。FTA 等のトップダウン方式のリスクアセスメント手法では発生確率を用いて定量化が可能であり、逆に FMEA 等のボトムアップ方式のリスクアセスメント手法では有識者の経験を基に「大・中・小」の定性評価が可能である。これらのメリットを併せ持つ手法の開発として、安全性評価手法 SAD を開発する。SAD は事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB を参照することで、過去に他の施設で発生し、評価対象施設の既存設備・装置でも起こりうる可能性のある事故やトラブルを網羅でき、かつリスクを被害額と事故発生率を用いて算出することによりリスクの定量評価が可能な手法を目指す。

- ①安全解析を行う上で情報が少ないと考えられる計画、基本設計段階で活用可能な手法とすること。
※事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベース（以下、ATHDB とする）⁴⁾（注 2）と連携することにより、不足情報を補うものとする。
- ②施設のリスクを網羅でき、かつ安全性を定量的に示すことができる手法とすること。簡便に実施できること。
※従来のリスクアセスメント手法では有識者もしくは経験者が実施してきたリスクアセスメントをメーカーの設計者や自治体等の発注者も評価を実施できるものとする。

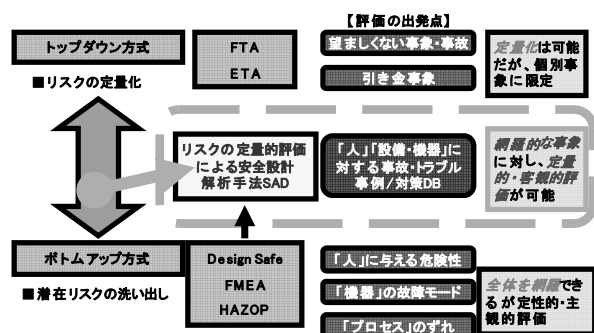


図 2 各手法における SAD の特長

（注 2）筆者らは独自のフォーマットで廃棄物処理施設において発生した事故やトラブル、ヒヤリハット事例 3,262 件（H8～H19）を収集・整理している。

4 リスクと事故被害額の定義

事故が発生した際に得られる情報の中には被害額や発生原因等、さまざまな情報がある。その中で筆者らは定

量的な数値であり、設計者等が理解しやすい事故被害額に着目した。規模が大きいものから小さいものまで事故やトラブルが発生した際に、施設（事業者等）は少なからず被害を受ける。これに発生確率をかけ合わせることで、確率論的な被害額としてリスクを算出する（式 1）。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（施設停止被害額）」の合計値と定義する。また、事故発生率は「ある事故やトラブルが 1 年間当たりに発生する頻度」と定義し、データを蓄積した全期間またはリスクを算出する選択期間における平均発生件数として算出する。

$$R = A \times B \quad (1)$$

$$A = \alpha + \beta + \gamma \quad (2)$$

R: リスク [万円/施設・年], A: 事故被害額 [万円/件],
B: 事故発生率 [件/施設・年], α : 人身被害額 [万円/件], β : 施設被害額 [万円/件], γ : 施設停止被害額 [万円/件]

実際に施設の設計・計画段階において SAD を利用するには個別施設で構築した事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB を活用する。これを用いることで、日本全国で発生した事故事例と個別施設で過去に経験した事故やトラブル、ヒヤリハット事例を参照し、従来の手法よりも簡便に、かつ施設独自の安全性評価を実施でき、同じ事故を繰り返すことのない施設設計に寄与することができる。しかし、個別施設で発生した過去の事例を参照する場合は良いが、日本全国で発生した事例を参照する場合には、人身被害額は労働損失日数で示されることが多く、施設被害については施設の規模により被害額が異なってくるため、そのまま対象とする個別施設に適用できない場合がある。そこで、人身被害、施設被害について、個別施設での被害額が算出できない場合を考慮し、被害額の算出方法を考案する。

1) 人身被害額

人への被害は労働基準法の障害等級認定基準⁵⁾および生命保険の保険金支払い基準、自賠責保険金を参考に、被害状況から『死亡』、『重体』、『重傷』、『中傷』、『軽傷』、『被害なし』の計 6 段階で分類し、それぞれに被害額を設定した。被害状況の定義を以下に示す。

「軽傷」：通院等を必要としない怪我

「中傷」：30 日未満の治療を要する怪我

「重傷」：30 日以上の治療を必要とする怪我

「重体」：病気や負傷の程度が重く、命にかかわるような状態

「死亡」：心肺脳が全て停止している状態

※「重体」は「重傷」者のうち脳や内臓に大きな損傷を受け生命の危機に瀕している場合とする。

対人被害に関する保険金の支払い基準の設定が明確に行われている自動車の自賠責保険⁶⁾を参考に定義した(表2)。これを用いて、被害を受けた人数をかけ合わせることで、人身被害額を算出する。

$$F=G \times H \quad (3)$$

※F=人身被害額 [万円/件], G=“軽傷, 10 万円”, “中傷, 50 万円”, “重傷, 100 万円”, “重体, 500 万円”, “死亡, 2500 万円”, H=被害者数 [人/件],

表2 人身被害額

区分	被害額 (万円)
死亡	2,500
重体	500
重傷	100
中傷	50
軽傷	10
被害なし	0

2) 施設被害額

施設の処理規模によって、施設に搭載されている装置の価格(修理, 交換に要する費用)や事故の原因となる物質(スプレー缶やライター)の混入割合が異なってくる。そこで、施設の建設費をベースにそれに対してどれくらいの被害を受けたのかを示す“事故被害状況割合”を定義し、この2つをかけ合わせることで被害額を算出する(式4)。

この施設建設費は全国都市清掃会議のプラント保険⁷⁾を参考に有識者(プラントメーカーの設計経験者等)¹⁵⁾

$$\gamma = J \times K \quad (4)$$

※J=被害設備建設費 [万円], K=事故被害状況割合

表3 建設費の例(焼却発電施設 100t/D)

設備名	建設費 万円
受入れ貯留設備	25,000
燃焼設備	133,000
燃焼ガス冷却設備	23,000
排ガス処理設備	44,000
余熱利用設備	26,000
通風設備	18,000
灰処理設備	21,000
スラグ搬出設備	88,000
給水設備	4,000
排水処理設備	7,000
電気設備	35,000
計装設備	41,000
その他の設備	23,000
合計	500,000

名に対して、建設費に関するアンケート調査を実施し、決定した(有効回答率 60% 9名)。事故被害状況割合 K も同じく有識者に事故発生後に各設備や装置・機器の復旧に要した費用のアンケートを実施し、全壊:1.0, 中壊:0.5, 破損・故障:0.1 と決定した。また、アンケートは焼却発電施設, リサイクルプラザ(粗大ごみ処理施設), ガス化熔融発電施設, 灰熔融施設の4つとした。この結果を用いて、建設費データベースを作成し、これを用いて被害額を算出する。

5 SAD を用いた安全性評価のフロー

施設の設計・計画段階において SAD を活用した安全性評価のフローを以下の1.~5.および図3に示す。

1. 評価対象の施設の種類や規模, 処理対象物でデータベースを絞り込む。
2. 評価対象の施設の運転状態に合わせた条件で事故等の発生箇所や運転状況を選択する。DBを参照することで、選定した項目に対して、工程・対象者・作業内容・発生場所、発生する可能性のある事故等とその原因等が表示される。その中から評価対象施設の条件(設置している安全装置の有無や選定した設備・装置での作業の有無など)に合うものを抽出して、シナリオを決定する。これを繰り返し行い、評価シナリオを決定する。
3. シナリオを決定すると、再度データベースを参照することで、発生した事故やトラブルによる人身、施設被害状況や発生頻度が表示され、これを用いてリスクを算出する。
4. 評価結果をもとに防爆対策の導入やリミットスイッチの設置など安全向上策を検討する。
5. 安全向上策決定後の施設のリスクを算出する。

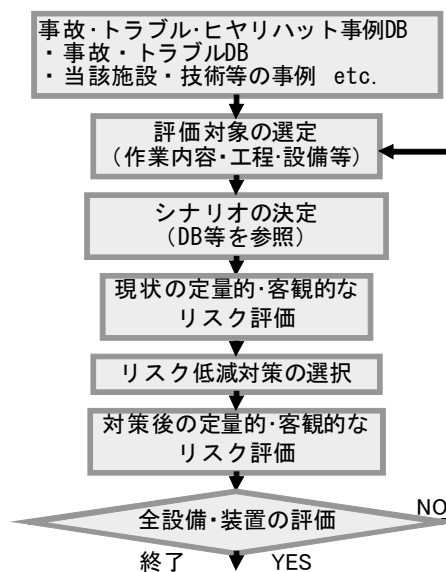


図3 SAD の評価フロー

【算出例】

事故概要：搬入業者 1 名が全連ストーカ炉の貯塵ピットへ廃棄物を投入中、車止めに足をかけてピット内へ転落した。その結果、搬入業者は軽傷を受けた。施設への被害はなかった。現場の復旧のために施設を半日停止させた。

人身被害状況⇒軽傷 1 名、施設被害状況⇒なし、施設停止日数⇒半日停止

$$\begin{aligned}\text{総被害額 } T [\text{円}] &= 100,000 \text{ 円 (人身被害額)} + 0 \text{ 円} \\ &\quad (\text{施設被害額}) + 0.5 \times 1,500,000 \\ &\quad \text{円 (施設停止被害額)} \\ &= 850,000 [\text{円/件}] \quad (5)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{事故発生率} &= 25 \text{ 件} / 1648 \text{ 施設数 (平成 12 年度の総施設数)} \times 4 \text{ 年} \\ &= 3.79 \times 10^{-3} [\text{件/施設} \cdot \text{年}] \quad (6)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{リスク} &= \text{総被害額} \times \text{事故発生率} \\ &= 850,000 \text{ 円/件} \times 3.79 \times 10^{-3} \text{ 件/施設} \cdot \text{年} \\ &= 3222 [\text{円/施設} \cdot \text{年}] \quad (7)\end{aligned}$$

SAD は ATHDB を参照して、安全性評価を実施するため、新技術へも適用可能である。新技術としてガス化溶融発電施設や RDF 施設、バイオガス化施設等の施設があげられるが、これらの技術においても、これまで焼却発電施設やリサイクルプラザにも導入されていた受入供給設備や搬入・搬出設備、排水処理設備など同様の技術を用いていることも多く、従来の技術と異なるのは中核となるコアの技術だけであるためである。このコア技術に関しては、実証プラントで施設の事故等のデータを蓄積することで、対応する。

6 個別施設の安全性評価結果

SAD を用いて施設の安全性評価を実施した。評価の対象として、新技術である溶融炉を持つ施設 A を選択した。

1) 新技術の事故・トラブル・ヒヤリハット事例の集約

はじめに、施設 A の維持管理者が蓄積していた事故・トラブル事例 (140 件) の中から、溶融炉と溶融炉の事故やトラブルが原因として他設備で発生した事故やトラブルに関する事例を ATHDB のフォーマット (運転状況、工程、設備、装置・機器、対象者、作業内容、原因、被害額) に合わせて、80 件の事例を整理・集約した。

2) 施設 A の安全性評価

3,262 件 ATHDB に施設 A の事例 140 件を追加し、SAD を用いた安全性評価を実施した。

(1) 施設の種類や規模、処理対象物で ATHDB を絞り込む。

以下の条件で ATHDB を 532 件に絞り込んだ。

【条件】

施設の種類：溶融処理

処理対象物：焼却・溶融処理対象の廃棄物

規模：200t/D

(2) シナリオの決定

事故等の発生箇所や運転状況、作業内容を選択し、612 (=532+80) 件の ATHDB を参照することで、表示された工程、設備、装置・機器、対象者、作業内容の中から設置している安全装置 (緊急散水装置や難燃性コンベヤなど) と作業内容 (排ガス処理設備でのメンテナンス作業や熱電対の交換作業など) などの施設 A の設計および作業マニュアルなどの評価条件に合うものを抽出して、シナリオを決定する。溶融設備での爆発事故や受入供給設備の火災事故などから転倒事故や感電事故、灰処理設備での挟まれ事故といった比較的プリミティブなシナリオまで合計で 137 件を作成した。(シナリオ数はデータベースへの事例の蓄積・更新を行うにつれて増え、より信頼性の高い安全性評価結果が得られる。)

【シナリオの例】

(ア) 通常運転中に搬入業者が受入供給設備において安全未確認によって転落する。

(イ) 通常運転中に受入供給設備において可燃性物質による火災が発生する。

(ウ) 通常運転中に排ガス処理設備におけるクリンカの落下による施設の緊急停止の作動によって、溶融炉が停止する。

(エ) 保守・メンテナンス中に保守点検員が溶融設備において安全未確認により、火傷を負う。

(オ) 溶融設備の配管に発生した水素ガスが爆発する。

(3) リスクの算出

DB を参照し、上記シナリオ(オ)のリスクを算出する。

事故発生率：0.4[件/年・施設]

最大事故被害額：5,000[万円/件]

リスク：2,000[万円/施設・年]

このように、他の 136 シナリオについてもリスクを算出した。また、筆者らはリスクを算出したシナリオを設計者等の専門家だけではなく、自治体等の発注者や維持管理者もが理解しやすい形での整理方法を目指し、ATM (Accident Tracing Map) を提案している。シナリオ(オ)の水素爆発事故を表示したものを図 4 に示す。これより左から(青い)線を追うことで、「通常運転中に溶融設備において、可燃性ガスの発生によって、爆発事故が発生した。」という事故が過去に起き、2,000[万円/年・施設]のリスクがあることを示している。

(4) 安全向上策の検討

これもシナリオ(オ)を対象として、安全向上策の検討を行う。別途構築している安全向上策 DB を参照し、水素による爆発事故を防止する対策を選択すると、「施設を改修」や「設備中にガスがたまらないよう炉の監視の強化」、「廃棄物の手選別」などが候補として挙げられる。この中で安全面・経済面の両面と施設 A の予算を加味して、「設備中にガスがたまらないよう炉の監視の強化」を選択し、安全向上に向けた検討した。

7 おわりに

静脈施設における安全・安心システムの構築を目指し、施設のリスクを定量的に網羅可能な評価手法の開発し、

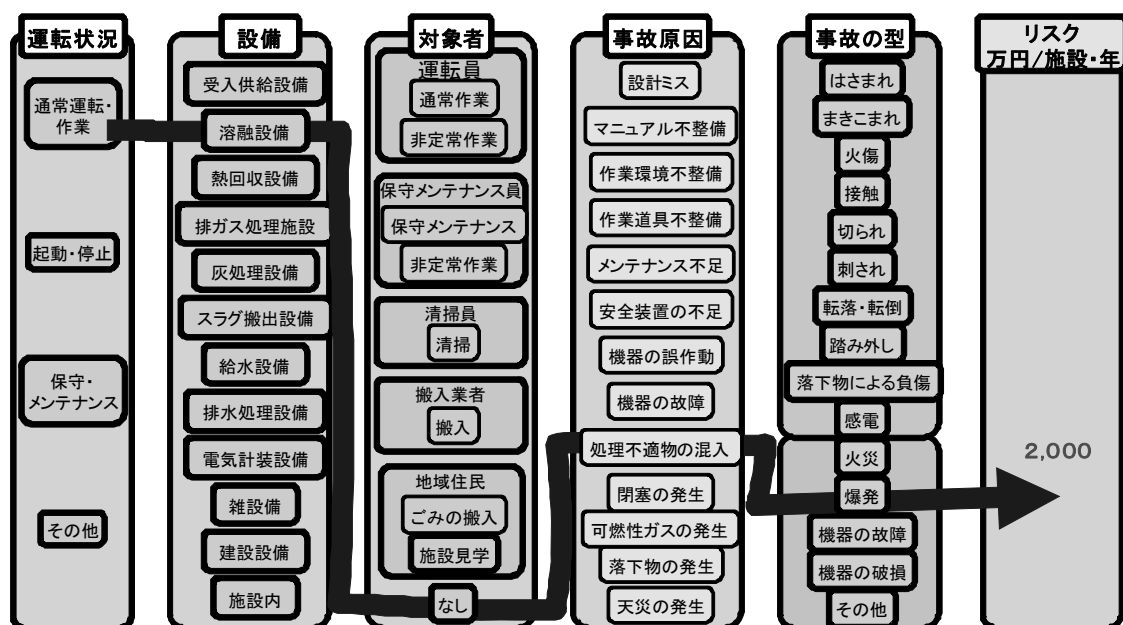


図4 施設Aの安全性評価結果のシナリオをATMで表示

安全性評価手法 SAD (Safety design Analysis with Database) を提案した。化学プラント等とは異なり、施設に入ってくる処理物（廃棄物）の組成が一定ではなく、時代と共に変化するという状況に置かれている廃棄物処理システムの設計時・改修時に活用できる安全性評価手法の確立を目指した。ヨーロッパでは焼却処理技術はストーカ炉のみとして操業技術の蓄積を進め、安全・安心で安定した操業を行っている。環境立国を目指す日本において、省エネルギーで高度なリサイクルが行える技術開発が今後も推し進められるといえる中で、安全でありかつ周辺住民が安心できるシステムを構築していくことが技術者に求められている。

そのなかで、SAD はリスクを確率論的な被害額と定義することにより、従来のトップダウン方式のメリットであるリスク定量化が図れ、さらに過去に発生した事故・トラブル・ヒヤリハット事例をデータベース化し、これを活用したリスクアセスメント手法とすることで、過去に評価対象施設および他の施設にて発生した事故やトラブルを繰り返し発生させることのない施設の設計や改修の検討を行うことを可能とした。従来のボトムアップ方式のメリットであるリスクの網羅性を保証するためにはデータベースの集約件数を増やすことで対応せざるを得ないが、爆発事故や人身事故などの大事故に対しては事故(労災)報告書を収集することで対応できると考える。

今後、個別施設への適用を目指し、さらに ATHDB の更新を行うとともに、本手法の普及を目指し、ソフトウェアを開発していく。

文 献

- 1) 永田勝也, 切川卓也. 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. 廃棄物学会誌. 2007; Vol.18; No.5: 258-265.
- 2) 安全衛生情報センターHP. <http://www.jaish.gr.jp/>
- 3) 大関親. 新しい時代の安全管理のすべて. 中央労働災害防止協会: 2004: 310-325.
- 4) 切川卓也・永田勝也. 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 (事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベースの構築とその分析). 安全工学シンポジウム 2007 講演予稿集: 2007: 177-178.
- 5) 厚生労働省 HP. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/rousaiken03/index.html>
- 6) 株式会社損保ジャパン HP. <http://www.sompo-japan.co.jp/kinsurance/automobile/jibaiseki/index.html>
- 7) 社団法人全国都市清掃会議 HP. <http://www.jwma-tokyo.or.jp/body/activity.html>

A Study of the Construction of a Safety and Security System in Waste Disposal and Recycling Facilities[†]

—The Development of SAD (Safety design Analysis with Database) —

by

Takuya KIRIKAWA^{*1}, Katsuya NAGATA^{*2} and Motoshi MURAOKA^{*3}

Recently, accidents have occurred in waste disposal and recycling facilities. This has led to requests to construct a safety and security system in those facilities. I propose the use of the safety design technique known as SAD (Safety design Analysis with Database) as a new risk assessment technique. We define the risk as the amount of damage. We made the formula of the amount of damage which is composed of the amount of the personal damage and the facilities damage, and the facilities stop damage. We carry out an assessment of the safety level by using SAD. SAD is a technique which combines quantity risk assessment features from both top-down systems such as FTA and bottom-up systems such as FMEA, in conjunction with the information provided by accident, trouble and HIYARIHATTO databases.

This paper presents an outline of SAD, as applied to the meltdown & power generation facilities. By adding information on facilities to ATHDB, SAD could quantitatively assess the risk of 137 accident cases. In addition, using the ATM (Accident Tracing Map), each accident case could be clearly described and the safety improvement plan examined.

Key Words: quantity assessment technique of safety, accident and trouble HIYARIHATTO case data base, waste disposal facility

^{*1} Waseda University Graduate School of Environment and Energy

^{*2} Waseda University Graduate School of Science and Engineering

^{*3} Waseda University Environmental Research Institute