

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書 概要版

・研究課題名＝廃棄物処理・リサイクルの個別施設・技術における安全対応システムの開発・実証に関する研究

・研究番号＝(K2139), (K22054)

・国庫補助金精算所要額(円)＝22,412,000円

・研究期間(西暦)＝2009-2010

・研究代表者名＝永田 勝也(早稲田大学)

・共同研究者名＝小野田弘士(早稲田大学), 切川卓也(早稲田大学)

・研究目的＝

わが国をはじめ、世界各国で循環型社会の構築が求められている。そうしたなかで重要な役割を占める廃棄物処理・リサイクル関連施設(以下、静脈施設と呼ぶ)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。厚生労働省の事故の死傷者の度数率をみると、全産業の中で廃棄物処理業が最も高く、平均に対して約4倍の発生確率となっている。これは処理対象である廃棄物の多様化やダイオキシンなど環境対策の高度化、さらにはより精緻なリサイクルへの要請を受け、静脈施設が高度かつ複雑化するとともに、それらに対応するために新しい技術が適用されること等が影響を与えていると考えられる。また、施設の高度化・複雑化や新技術の適用に伴い、これまで経験してきた施設の運転技術をそのまま活用すると不十分であり、静脈施設の運転員や管理者等に対する安全教育や操業技術教育等の立ち後れも事故発生の一因となっていると思われる。

さらに、施設の維持管理費の縮減や現場技術者の減少も進行しており、より効率的な運用が求められているが、個別施設ではICT(情報通信技術: Information communication technology)化の遅れ等によって安全の向上につながる情報が十分に活かされていない状況にある。また個別技術に関しても、対象物の多様化やリサイクル・環境対応の高度化等から新たなコア技術の開発が急速に進行しており、技術の適用に当たっても関連システムの実績を活かした安全対応の実現が求められている。

1990年以降数次に渡り、静脈施設におけるリスクマネジメントの重要性が指摘され、また大規模な火災・爆発事故が生じるたびに、その防止に向けた原因究明がなされている。さらに、1998年と2007年には、静脈施設の事故事例の収集・分析もなされているが、事故等は一向に減少の傾向を見せていない。

そこで、本研究では過去に発生した事故・トラブルだけではなくヒヤリハット事例を整理するための独自の統一フォーマットを提案し、それをを用いて事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベース(以下、ATHDB: Accident & trouble, HIYARIHATTO databaseと呼ぶ)を構築する。また安全対応に関する専門技術者の知見を集約し、定量化した安全向上策データベース(以下、STDB: Safety techniques databaseと呼ぶ)も作成する。これらを活用して、個別施設での操業や適用技術の今後の設計の場面、さらには周辺住民等への情報公開において有効となる安全・安心対応の手法やシステムを開発し、静脈施設の安全・安心対応策の向上を目指すことを目的とする。

・研究方法＝

(1)事故・トラブル・ヒヤリハット事例および安全向上策に関する DB の拡充・分析

- ①報告書・文献等の調査やヒアリングを通じて、これまでに構築した全国版 ATHDB-all ならびに安全向上策 DB の拡充を図るとともに、それらの解析・分析を実施する。
- ②事件事例の体系的な整理を行うとともに、特異な事例の分析を行う。

(2)個別施設の ATHDB の構築とこれを活用した安全対応情報システムの開発・提示

- ①上記の ATHDB-all を活用して、個別施設向けのデータを抽出するとともに、ICT 技術（PDA や IC タグシステム等）を活用した操業情報取得システムを導入し、操業情報を ATHDB に随時付加できるシステムを高度化するとともに、メンテナンス情報、運転情報の DB を構築する。
- ③上記の個別施設 ATHDB を中心とした DB を活用し、施設管理者から運転員までの各レベルに応じた安全対応情報システムを開発する。例えば、運転員向けにはハザードマップ等による危険個所の提示や操作手順等の情報を自動的に提供できるようにする。
- ④DB のテキストマイニング分析等の実施により、事故等を推論する手法を開発し、施設にて実証する。
- ⑤個別施設 ATHDB を活用し、現場の実情を的確に反映させた安全教育プログラムを自動的に生成できるロジックと 3D-VR 化手法を開発する。この有効性を上記 2 施設で実証する。

(3)個別技術に対する ATHDB をベースとした安全設計評価手法(SAD)の開発

- ①ATHDB-all と個別技術情報をもとに個別技術 ATHDB を構築する。これと既開発の SAD を組合せ、2 つの新旧技術に対して、その有効性を実証する。

加えて、これらを実施設へ試験的に適用させることによって、その有効性を検証し、実用化に向けた指針を得ることを目的とする。

・結果と考察＝

1. 全国版の事故・トラブル・ヒヤリハット事例 DB (ATHDB-all) の構築・拡充

関連文献や従来研究を基に独自に作成したフォーマットに従って、文献調査やヒアリング調査を行うとともに、環境省が調査し、日本環境衛生センターがまとめた平成 20 年度一般廃棄物処理施設等事件事例調査報告書より、粗大ごみ処理施設や資源化施設、処理物収集工程等における重大な人身被害が発生した事例 121 件を拡充した。これにより焼却発電施設の事例が 2068 件、粗大ごみ処理施設の事例が 789 件、RDF 施設やガス化（熔融）発電施設、灰熔融施設の事例が合計で 159 件、資源化施設の事例が 67 件、その他施設の事例が 469 件となり、ATHDB-all は全体で 3393 件となった。

構築した ATHDB を用いて、施設の種類や処理方式、規模、処理対象物等の視点から全国で発生した事故・トラブルの状況を分析するとともに、多くの施設を有する清掃組合や地域、事故が多発している施設等の特長をもった施設郡を対象に分析も行った。事故・トラブル・ヒヤリハットの発生件数を示している。焼却発電施設の事故件数が最も多く、次いで粗大ごみ処理施設となっている。トラブルも焼却発電施設が多く、次いで熔融発電施設となっている。これは従来技術であり、自治体による直営運転が行われている焼却発電施設や粗大ごみ処理施設における事故やトラブル事例の蓄積が進んでいることと、新技術であるガス化熔融炉や熔融炉、灰熔融炉、RDF における事故の発生件数が少ないのは施設の絶対数が少ないこと、操業を委託方式、つまりプラントを設計したメーカーが操業を行っているため、メー

カーにとって貴重な情報となるトラブル情報が公になっていないことが原因としてあげられる。

同様の方法を用いて安全技術を収集すると同時に統計処理により定量化を図り、安全向上策データベースの拡充を図った。拡充に際して、算出した結果を専門技術者等に確認してもらうことで、データの精度を上げている。ここには作成したデータベースのフォーマットに従い、安全対策の名称、その機能や特長等の概要、導入対象施設種類、導入対象設備、導入対象装置や機器を示し、安全向上策の機能を間違えることなく検討でき、人身被害額・施設被害額・施設停止被害額・事故発生率のそれぞれに対する効果を定量的に示している。その際に、回答してもらった意見を大切に扱い、回答者ごとの定量数値も記載している。さらに、組み合わせについては組み合わせを記号で示している。さらに、同時に設置することで、相乗効果が得られる組み合わせも整理した。

2. 操業情報取得支援システムの高度化

2. 1 ヒヤリハット等の情報取得システムの高度化

音声入力ツールの高度化を進めるとともに、3施設において情報取得支援ツールを用いヒヤリハット等の情報の収集を行った。現場の情報を効率的に電子化し、取得するためには、現場の技術者が負担や抵抗感を感じることなく使用できるシステムを開発する必要がある。そこで、これまでに表1に示す操業情報取得支援システムの個別施設への導入可能性を検討してきた。

施設Aでは、音声入力ツールとPDA入力ツールの導入を試みた。その結果、施設Aにおいては後述の理由よりPDAツールを使用しヒヤリハット情報を収集することとした。施設BではPDA入力ツール(バージョン1)を使用しヒヤリハット情報を収集しているが、より効率的に情報を収集できるよう無線LANの通信環境の整備を行った。直島環境センターでは、PC入力ツールを用いヒヤリハットを収集した。

表1 情報取得ツールとその機能の整理

項目	目的	必要なもの	機能	実用性
PDA入力ツール (バージョン1)	ヒヤリハット を収集しDB 化する	PDA, 無線LAN	プルダウン入力, 文字入力, 写真追加, WEB通信	△
PDA入力ツール (バージョン2)		PDA, 専用ソフト, PC	プルダウン入力, 文字入力, PCとの自動同期, DB保存	○
PC入力ツール	ATHを収集 しDB化する	PC, Microsoft Excel	プルダウン入力, 文字入力, 報告書作成, 印刷	△
音声入力ツール	操業情報(日報等)の電子化	マイク(またはヘッドセット), PC, 音声入力ソフト	入力文字の電子化, 不要語削除, 自動単語登録, トレーニング, 入力文字の電子化	△
タブレット 入力ツール		紙(A4サイズ以下), ペン, デジタルインク パッド	タブレット入力, 録音, 再生機能	△

※○: すぐに実用可能 △: 改良すれば実用可能 ×: 実用不可能

2. 2 安全情報同期可視化システムの開発

運転員や見学者に対して、付加情報を与えることを目的とし、事故情報や内部構造情報等、写真・図・グラフ・アニメーション・動画・3D映像による映像を装置や機器、現場等の上に重ねて表示し、支援可能な安全除法同期可視化システムを開発する。これはこれまで開発してきたPDAを用いたツールおよび開発した自動分析ツールを現場で活用可能とするものである。これは既開発のPDAシステムの機能を

持つとともに、取得した情報をグラフやハザードマップ等によって、その場で閲覧することができるものである。

「収集した事例の一覧表を資料として活用したい。」「曜日・週・時間などによる事例発生傾向を把握したい。」「1カ月や1週間ごとの事例発生グラフを作成し比較したい」「事例発生傾向を知ることによって作業員に注意を呼び掛けたい」「安全担当者の作りやすいフォーマットで表やグラフを作成したい」の5つは依頼を聞いたあと研究室で作成して送る必要があり、「収集した事例を個別施設内ですぐに活用できるようにしてほしい」「ハザードマップをクリックすることで概要等を表示してほしい。」の2つは不可能であった。この対応として、自動作成ツールを作成したことにより、すべてのことが個別施設で定期的に行えるようになった。

例として産業廃棄物の破碎処理を行っている施設Aに導入した結果を示す。ここには14時の1年間の累計ヒヤリハット発生件数をハザードマップで示したものを図1に示す。10時から1時間おきに表示すると午前中の業務開始時に台貫等の供給設備においてヒヤリハットが発生しており、14時の処理量がピークとなるとときに破碎設備においてヒヤリハットの発生件数が増加していることがわかる。このような情報をリアルタイムで提供することができるようになった。この情報は任意の期間、場所だけではなく、作業内容や作業員名、原因、処理対象物などの条件で表示することも可能である。

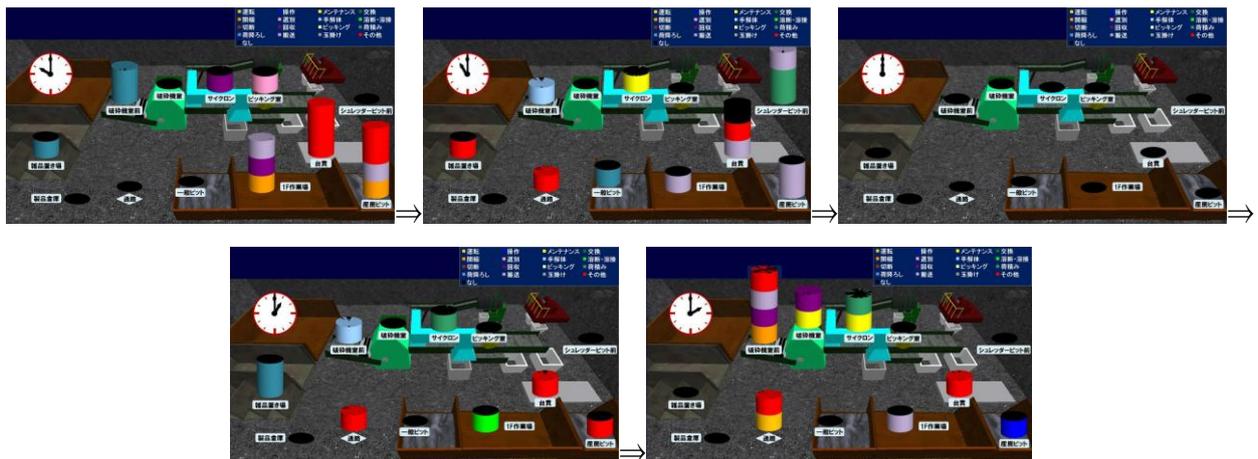


図1 施設Aを例とした1時間おきのハザードマップ

3. 事故等の推論手法の開発

テキストマイニングによる推論手法では、出現パターンの似通った語を線で結んだ共起ネットワークを作成することにより、通常の分析では見えない単語のつながりを可視化し、新たなシナリオを予測することができる。

3. 1 テキストマイニングによる推論法の開発方針

ATHDB-allの各項目間の相関関係をテキストマイニングによって分析し共起ネットワークを作成する。ATHDB-allは、新聞記事、質問紙調査における自由回答項目、インタビュー記録など、社会調査によって得られる様々な日本語テキスト型データを計量的に分析するために製作されたKH Coderによってテキストマイニングした。テキストマイニングは次の手順で行う。ATHDB-allにおいて抽出する単語を決定する。今回は、ATHの区分、装置・機器、運転状況、工程、作業員、作業内容、原因1、原因2、被災者、

人身被害の型、施設被害の型、人身事故のレベルを分析対象とした。決定した分析対象の項目のみを抽出し、テキストデータに変換する。抽出したテキストデータを KH Corder に読み込ませ共起ネットワークを作成する。その際に、分析対象となる全ての単語を強制抽出する単語として予め登録しておく。

中心性が高い「除去作業」を出発点に単語のつながりを追っていくと、「除去作業」→「灰処理」→「固形化装置」、「除去作業」→「灰処理」→「灰クレーン」と線が結ばれているにも関わらず、こういったシナリオは全国版の事例 DB 内では存在していないため、新たに「運転員の灰処理工程における固形化装置や灰クレーンでの除去作業でヒューマンエラーを原因とする事故・トラブル・ヒヤリハットが発生する可能性がある」という新しいシナリオとして推論することができる。

このようにテキストマイニングにより共起ネットワークを作成して分析することで、ATHDB には現れていない新たなシナリオを推論し、過去に発生していない事故を未然に防止することができると考えられる。また、「除去作業」→「巻き込まれ」、「除去作業」→「転落」、「点検」→「巻き込まれ」、「点検」→「転落」というシナリオはいずれも重体とつながっており、この組み合わせの事例は重大な人身事故につながりやすいことがわかる。

3. 2 ATHDB-all の粗大ごみ処理施設の事例を活用した施設 A の事故等の推論

粗大ごみ処理施設・ヒューマンエラーという条件を持った事例 307 件からテキストマイニングを使って作成した共起ネットワーク図を図 2 に示す。今回は粗大ごみ処理施設である施設 B の事故等の推論を目的とし、施設 B のヒヤリハット事例に存在する言葉をピックアップした。「搬入」・「搬出」・「移動」・「破碎」・「点検」・「受入」・「選別」・「破碎機」・「ピット」・「プラットホーム」・「ギロチン」・「コンベヤ」・「駐車場」が挙げられる。これらの言葉から単語のつながりを追っていくと、「選別」→「コンベヤ」、「搬出」→「コンベヤ」、「除去作業」→「コンベヤ」は「巻き込まれ」による重傷や重体などの重大に人身事故に繋がりやすいことがわかる。また、「搬入」→「ピット」、「搬入」→「プラットホーム」、「受入」→「ピット」、「受入」→「プラットホーム」は「火災」や「落下物による人身事故」に繋がりやすいことがわかる。これらの推論は施設 B のヒヤリハット事例を用いて行っているため、全てにおいて新たなシナリオを推論し、過去に発生していない事故を未然に防止することができると考えられる。粗大ごみ処理施設の例は一例であり、これまで蓄積してきた ATHDB-all を活用することでさまざまな種類の個別施設における事故の推測が可能になる。また、この推論手法を用いることで、個別施設の事例が少ない場合でもシナリオを推測できる。

4. 安全教育プログラムの自動生成の検討

APT は従来のマニュアル等、紙ベースの資料では実現できなかった視覚的な教育を実施できる。現場教育で実現できなかったものとして、実機では実施することができない教育をすることや死亡事故に至るような大事故を実際に体験できること等がある。さらに紙ベースのものと異なり、英語等の外国語への対応も容易にできる。また、このように作成した施設を周辺住民への説明会等に応用すると、施設建設前にどのような施設を建設するのか、それによってその地域がどのようなようになるのかを視覚的に提示することが可能となり、周辺住民の安心感の向上にもつながると考える。さらに通常の施設見学でも従来の方法であれば、ビデオと決められた見学コースからの見学が一般的であるが、このツールを活用することで、安全に施設内を見学することも可能となる。

安全教育プログラムへ活用していく。また、作成した装置・機器ユニットは3D-VRによる施設見学にも活用することができる。

現場の安全教育担当者などが実施したい安全教育コンテンツを選択し、これを実際の施設の配置に合わせて安全教育コンテンツを配置していく。安全教育コンテンツとは、これまでに作成した装置・機器ユニット（62ユニット）にATHDB-allから抽出した事例（事故の型・被害者・物）をLSL関数によってプログラミングしたコンテンツである。安全教育コンテンツをあらかじめ作成しておくことにより、簡単に安全教育プログラムを作成することができる。ここでは例として「フォークリフト+接触+運転員」, 「ピット+転落+搬入業者」, 「ピット+火災+運転員」を作成した。このとき、プログラミングは不要であり、装置・機器ユニットを配置する作業と同様に安全教育コンテンツを配置していくことで、安全教育プログラムを作成することが可能である。

5. 安全設計評価手法 SAD の個別技術への展開

5. 1 STDB を活用した安全向上策の相乗効果の検討

安全向上策を複数導入する場合、どのような相乗効果があるのかということについて検討を行った。ここでは例として、爆発発生率低減効果について検討した結果を示す。今回検討した安全向上策は、可燃性ガス希釈装置、不活性ガスの充填装置、ガス検知器、可燃性物質除去装置の4種類である。全国市有物件災害共済会のごみ処理施設の火災と爆発事故防止マニュアルに掲載されていた爆発事故の原因物の割合のグラフを参考にした。希釈空気吹込み装置に関しては空気より軽い気体を、地下部強制換気装置に関しては空気より重い気体に対して有効であると考えた場合、破砕機に投入される爆発事故の原因物の割合を計算することによって各装置の効果を算出することができる。希釈空気吹込み装置の事故発生率低減効果は0.01であるため、これに爆発事故の原因物の中から空気より軽い気体となるものの割合0.88を掛け合わせることでその低減効果を算出した。地下部強制換気装置についても同様に算出した結果、これらの装置を組合せて導入すると事故発生率の低減効果が0.0089となった。

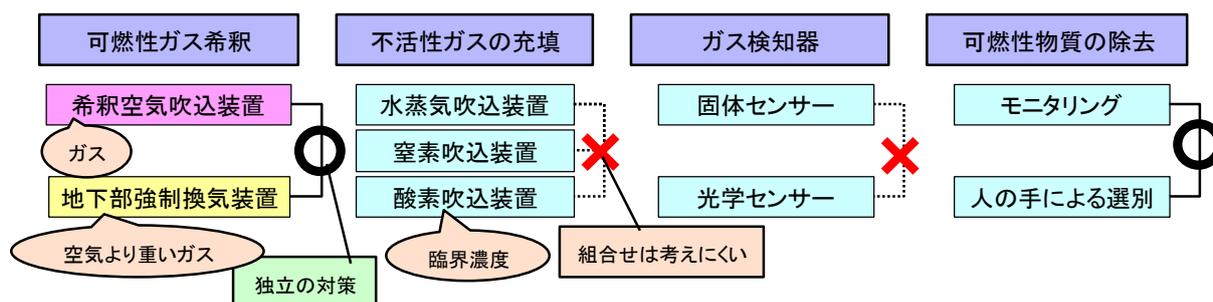


図3 爆発発生率低減効果の検討

5. 2 WASEDA SAD アプリケーションの開発

WASEDA SADとは、安全設計評価手法SADを実用化するために開発したAdobe AIRを実行環境とするデスクトップアプリケーションである。開発した自動分析ツールと連携させることで、情報の整理や分析、活用・提示が個別施設において可能になったが、そのツールの情報の整理機能として、SAD用ファイルの出力を加えた。そうすることで、読込DB拡張子を簡易化したアプリケーションではそのまま

動作させることが可能で、収集した事例をもとに STDB を活用したリスクの評価や大規模改修時への適用など、個別技術においても様々な分析機能を活用することができ、個別の施設・技術における安全対応システムをより総合的に運用可能になった。

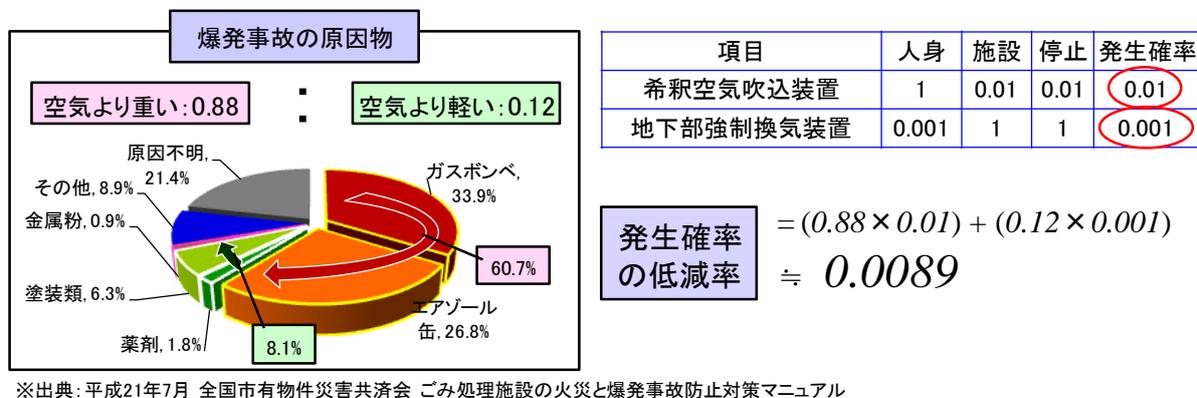


図4 希釈空気吹込装置と地下部強制換気装置を組合せた場合

・結論＝

静静脈施設における安全・安心システムの実現を目指し、全国版の ATHDB-all および STDB を構築した。さらに、個別施設の安全操業情報の効率的な取得を目指し、ICT を用いた情報取得ツールを開発するとともに、潜在的なリスクの定量評価を目的とした安全設計評価手法 SAD や VR 技術を活用した運転員教育支援ツール APT、安心につながる情報の積極的な公開を行う HPMAX を開発した。以下に結論を示す。

①全国版の事故・トラブル・ヒヤリハット事例データベースの拡充と活用方法の検討

- ・関連団体資料等を参照し ATHDB-all は 89 件追加し全体で 3275 件となり、STDB は 75 件追加し全体で 146 件となった。
- ・データベースを整理し、用語統一を行うことにより WASEDA SAD (SAD アプリケーション) への適用が可能となった。
- ・日本環境衛生センターの調査報告書から 121 件の事例を追加し、合計 3393 件となった。
- ・事故等の事例の概要から各項目の整合性を確認・修正した。具体的には、人身事故レベルの不明箇所の入力や人身被害の型、負傷人数等を再検討した。
- ・日本環境衛生センターの調査報告書から 121 件の事例を追加し、合計 3393 件となった。

②ATHDB-all を活用した安全性評価システムの開発

- ・あらゆる装置・機器におけるリスク原単位を算出した
- ・リスク原単位を活用した安全性評価シートを用いることにより、より短時間で個別施設の簡易的な安全性評価を行うことが可能となった。

③事故等を推論する手法の検討

- ・テキストマイニングにおける推論では、通常の分析では見えない単語のつながりを可視化することで、新たなシナリオを予測する手法を検討した。

- ・クラスター分析による推論では、事例発生割合が類似した同類の設備をグルーピングし、お互いに発生していない類似事例を推論する手法を検討した。
- ・重回帰分析による推論では、データベースには存在しない事例を定量的に予測できる手法を検討した。
- ・ヒューマンエラーの発生プロセスを検討するため、共起ネットワークを用いた分析を行った。
- ・共起ネットワークを用いて事故等の推論を行ったところ、施設 B で発生していないが発生する可能性がある事故等が存在することが示された。
- ・個別施設の事例が少ない場合でもシナリオを推測でき、さまざまな施設に対応できることを確認した。

④DBを活用した個別施設における安全対応システムの開発

- ・個別施設へ音声入力ツールの導入を行うべくツールの高度化を図り、ツールが使用できることを確認した。
- ・しかし、施設 A における騒音領域では、音声をうまく認識することができなかった。
- ・施設 A において PDA ツールを用いヒヤリハット事例を収集したところ、台貫において車両との接触事故につながるヒヤリハット事例が多いことがわかった。
- ・さらに、運転員に対する安全情報共有化手法のひとつとして、ハザードマップによる提示方法を施設 A に提案した。
- ・情報取得支援ツールを用い、個別 2 施設においてヒヤリハット事例を継続的に収集している。
- ・個別施設での安全担当員による簡易分析支援のため、収集した事例を入力画面に貼り付ける操作のみで事例の整理やハザードマップ等の作成が可能な自動分析ツールを作成した。施設 B にて試用してもらっている。
- ・アンケート調査と具体的事例に焦点を当てたヒアリング調査の組み合わせによる導入効果の分析手法を検討した。
- ・施設 B のヒヤリハット事例を分析したところ、搬入物によりヒヤリハットとの発生状況に影響を与えることを確認した。

⑤安全教育プログラムの自動生成および 3D-VR 化の検討

- ・合計 62 ユニットの装置・機器ユニットを作成し、さまざまな施設を短時間で再現できるようになった。
- ・装置・機器ユニットに ATHDB の事例をプログラミングした安全教育コンテンツを作成した。
- ・個別施設で必要と判断される事故事例や発生件数の多い場所での作業内容を自動で抽出できるツールを開発した。
- ・ユニット作成に加え、更なる汎用性の向上を目指し、作成したユニットの一覧表及び動画作成マニュアルを作成した。
- ・実際の機器の名称と SL 上でのユニット名、画像プレビューを付加することにより、使用したいユニットを短時間で探し出すことが可能になった。これらを活用し、動画作成が初めての人でも約 15 分でコンテンツを作成することができた。

⑥個別技術の安全設計評価手法 SAD の高度化

- ・WASEDA SAD の二次開発を進めグラフ機能を追加するとともに、その活用方法を提案した。

- ・費用便益比 B/C を定量的に把握する指標「導入効果 [施設・年]」を作成した.
- ・安全向上策の組み合わせを抽出することにより相乗効果の定量化を図る方法の指針を立てた.
- ・SAD ソフトウェアの WASEDA SAD の三次開発として、読込 DB 拡張子の変更やグラフの拡大表示機能、クリップボードへのコピー機能の追加等、ユーザーインターフェースを中心に改良した.

英語概要

- ・研究課題名 = A study of the development of safety and security system in facilities and technologies of waste disposal and recycling system
- ・研究代表者名及び所属 = Katsuya NAGATA (WASEDA university)
- ・共同研究者名及び所属 = Hiroshi ONODA (WASEDA university), Takuya KIRIKAWA (WASEDA university)
- ・要旨 (200 語以内) =

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 design and operation for disposal system. The number of accidents and other types of hazards were happening more frequently. The purpose of this study was to construct systems that will make disposal facilities safer by development method and system.

We constructed ATHDB-all that collected accident, trouble and HIYARIHATTO case happened by the original format. And STDB was constructed by investigation hearing to experts. We use two databases to improve waste disposal system.

individual facilities have important information. We upgraded collecting tool and continually collect information and the effect was confirmed. We developed the method of inferring the accident etc. that did not happen from information, information that facilities needed was analyzed automatically by the program, and the program displayed as APT.

SAD with STDB was upgraded and the combinations of techniques were examined. Moreover, software was developed.

Generally, it was shown to use them to improve safety by applying each technique and the system for the improvement of safety in the waste disposal facility to real facilities.
- ・キーワード (5 語以内) = safety and security , waste disposal and recycling system , database , risk assessment , training