

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

1-2004 AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と
処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築
(JPMEERF20201004)

令和2年度～令和4年度

Optimization of Disaster Waste Treatment Process by Utilizing AI and Construction of Support
System for Preparation of Treatment Plan / Treatment Execution Plan

〈研究代表機関〉

名古屋大学

〈研究分担機関〉

京都大学

大阪大学

和歌山大学

明治大学

岩手県

(株)奥村組

〈研究協力機関〉

(株)ハイドロ技術総合研究所

令和5年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5-1. 成果の概要	
5-2. 環境政策等への貢献	
5-3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6-1. 査読付き論文	
6-2. 知的財産権	
6-3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・実行計画の作成支援システムの構築	19
(名古屋大学、大阪大学、京都大学、明治大学、和歌山大学、岩手県、株式会社奥村組)	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	41
IV. 英文Abstract	45

I. 成果の概要

課題名 1-2004 AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築

課題代表者名 中野 正樹 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)

重点課題 主:【重点課題⑤】災害・事故に伴う環境問題への対応に貢献する研究・技術開発

行政要請研究テーマ(行政ニーズ) (1-3) AI等のICTを活用した適正かつ円滑・迅速な災害廃棄物処理体制の構築に係る研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費

100,793千円(合計額)

(各年度の内訳:令和2年度:35,997千円,令和3年度32,398千円,令和4年度:32,398千円)

研究体制

(サブテーマ1) AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築(名古屋大学)

「他のサブテーマはない。」

研究協力機関

(株)ハイドロ技術総合研究所

本研究のキーワード 災害廃棄物、処理計画・処理実行計画、分別、収集運搬・処理連動モデル、処理プロセス、AI、最適化

1. はじめに（研究背景等）

2013年度の内閣府によると南海トラフ巨大地震により発生する災害廃棄物・津波堆積物は、3億4,900万トン、東日本大震災の約11倍であると言われる。また、近年、気候変動に起因し発生頻度が高く、大規模化している台風や豪雨災害においても、地震津波災害ほどではないにしても、1自治体が処理するには困難となる災害廃棄物が発生している。また、環境省では2018年度に「アジア・太平洋地域における災害廃棄物管理ガイドライン」を英語や各現地語で公表するなど、災害廃棄物対策に関するノウハウに加え、諸外国のニーズに基づき、災害廃棄物を適正かつ円滑・迅速に処理する動きが活発化している。

災害廃棄物の処理・有効活用は、国内外での被災地の早期復旧・復興の重要な課題の1つである。災害はいつでもどの程度で発生するかわからないため、災害廃棄物の処理・有効活用を早期に進めるためには、災害を想定した平時の事前計画および発災後に速やかに災害廃棄物の処理を実施できる体制整備が重要となる。前者を計画策定したものが災害廃棄物処理計画であり、後者を発災規模に応じて計画策定したものが災害廃棄物処理実行計画である。しかし、市区町村の災害廃棄物処理計画の策定率は72%に留まっている（R4.3時点）。また、策定した市町村においても、激甚化する近年の災害時には、処理実行計画の策定に多くの時間を要し、初動対応が遅れる、処理業務が円滑に進まないなどの課題が山積している。さらに、被災した自治体が災害廃棄物処理計画を改訂しているが、その有用な情報はなかなか他の自治体には共有されず、処理計画の更新はほとんど行われていない。

処理計画・処理実行計画の中で記載される災害廃棄物処理の全プロセスを図1.2に示す。災害廃棄物の発生量予測は多くの研究が進められているが、全プロセスが効率的に進捗する、すなわち全プロセスを評価し、最適化するための研究はなされていない。これを最適化することにより、処理期間の短縮や、処理コストの削減に繋がる。さらに、全プロセスの中で最も処理時間に影響するプロセスは分別プロセスであることから、その制御は処理事業にとって重要である。特に、土砂系混合廃棄物は、分別精度を上げることによって、復興資材として利用できるだけでなく、焼却施設の負担軽減、さらには最終処分場の延命にも繋がる。また、土砂混合物は東日本大震災の際にも処理のボトルネックとなっており、上述の災害廃棄物処理の全プロセスの最適化に深く関わることになる。しかしながら、土砂系混合物を如何に精度よく、早く分別するかという研究はほとんどなされていない。



図1.2モデル化する全処理プロセス（環境省H.P.の図に加筆）

2. 研究開発目的

上記背景を踏まえ、実効性のある災害廃棄物処理計画および処理実行計画の策定支援を行うシステムを構築し、処理計画の策定率向上、処理実行計画の発災時の迅速な策定を助け、災害廃棄物の処理・有効活用の適正化、迅速化させることを目的とする。

3. 研究目標

全体目標	過去の処理計画・処理実行計画、災害実績等の分析に基づき、災害廃棄物の処理・輸送を最適化することにより、実効性の高い災害廃棄物処理計画および処理実行計画の作成支援を行うシステムを構築する。
------	---

サブテーマ 1	AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築
サブテーマリーダー /所属機関	中野正樹/名古屋大学
目標	【個別研究A】20件以上の災害廃棄物処理計画、5件以上の処理実行計画や災害対応事例等を分析し、計画書作成に必要な項目を整理・抽出し、計画書テンプレートを作成する。そして、少なくとも3自治体にテンプレートに対する意見をヒアリングし、計画書テンプレートに反映させる。 【個別研究B】災害廃棄物処理計画の妥当性を評価する指標をもとに、災害廃棄物処理プロセスの最適化するモデルを開発する。そして、処理計画・処理実行計画書で必要となる項目を出力できるシステムとして仕上げる。 【個別研究C】東日本大震災における災害廃棄物処理の実績の再精査と実機を用いたパイロット試験により、処理過程で得られる分別物の量・品質を予測する「分別係数」（前回推進費（3K163011）で導出）の精度向上と拡張を行う。パイロット試験では、含水率と粒度組成を変化させた6ケース以上の条件で試験を行い、画像解析も組み合わせて一般化を試みる。

4. 研究開発内容

本研究はサブテーマを設けず、2年目（令和3年度）まで3つの個別研究A、B、Cが互いに連携し、かつ個別に研究する。個別研究A～Cの研究の進行に応じてシステムのユーザーインターフェース（以下UI）についても開発を進めていく。3年目に各成果をシステムに組み込み、各自治体へのヒアリング、シンポジウムから得られた意見を考慮し、試行シミュレーションを重ね、各成果の質を高めてゆき、より実効性のあるシステムの完成を目指す。各個別研究の目標を以下に掲げる。

個別研究A：災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析と計画書テンプレートの確立

個別研究B：災害廃棄物処理プロセスの最適化モデルの開発

個別研究C：処理過程で得られる分別品の量・品質を予測できる「分別係数」の精度向上と拡張

以下、個別研究ごとに研究開発内容（個別研究A：(1)(2)、個別研究B(3)～(5)、個別研究C：(6)～(8)）、そして(9)でシステム全体について示す。

(1) 実効性のある災害廃棄物処理計画・処理実行計画のテンプレート作成【個別研究A】

環境省の市町村災害廃棄物処理計画策定ワークシート、20自治体が被災後改訂した処理計画、6自治体の豪雨被災時の処理実行計画との比較、被災経験のある5自治体の職員に対するヒアリングから追加すべき必要項目、目次案、テンプレートを作成する。

(2) 処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジーの構築【個別研究A】

正確なテンプレート作成のため、25の処理計画等に使われる各種用語を抽出し、その概念、属性等を分析するために、処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジー（言葉、その意味、それらの関係性を明確な仕様として定義すること）を構築し、用語チェックの自動システムを開発する。

(3) AI・GIS と連動可能な収集運搬・処理連動モデルの開発【個別研究B】

AI・GIS と連動可能であり、広域処理、計画の途中変更、空間情報の利用も可能とし、多数の廃棄物種別にも対応した柔軟な収集運搬・処理連動モデルを開発し、現実的な処理プロセスに対し実験的にシミュレーションを実施する。

(4) AIを用いた最適な災害廃棄物処理プロセス構築方法の提案【個別研究B】

災害廃棄物処理プロセスを評価するため処理期間、処理事業費、リサイクル率の3つの評価軸を設定する。そして、処理プロセスの最適化は、これらの3つの評価軸を持つ多目的最適化問題として捉える。そして、多目的最適化問題を解くのに有用な多目的遺伝的アルゴリズムを用いた処理プロセスの最適

化手法を提案し、適用可能なアルゴリズムであるか検討する。

(5) 迅速な災害廃棄物の災害廃棄物の発生量・組成・発生場所の予測システムの開発【個別研究B】

収集運搬・処理連動モデルと最適な災害廃棄物処理プロセス構築システムの入力データとして直接利用可能で、かつ災害廃棄物の発生量・組成分布を瞬時に予測できるGISシステムを開発する。

(6) 実機による混合廃棄物の機械選別と分別物の組成の評価【個別研究C】

実機により、組成が既知の混合廃棄物（可燃系と不燃系）を機械選別し、アウトプットとなる分別物の組成を評価することで、混合廃棄物の配合条件や乾湿条件等と分別特性の関係を検討する。ここでは、土砂と木片を混合した「可燃系混合廃棄物」と、土砂と碎石を混合した「不燃系混合廃棄物」を中心に試験を行う。

(7) 室内分別試験による分別効率と分別係数の詳細評価【個別研究C】

回転式・振動式ふるい機を用いた室内分別試験を行い、実機試験と同様の可燃系混合物と不燃系混合物を用い、ラボスケールの回転式・振動式ふるい機を用いた室内分別試験を行い、異なる条件で混合した混合廃棄物の分別効率と分別係数を実験的に評価する。

(8) 画像認識AIを用いた災害廃棄物組成の自動算出手法の提案【個別研究C】

組成が既知の混合廃棄物を作製し、一般的なスマートフォンカメラでRGB画像（3024×4032 px、28.35px/cm）を100枚収集した。そのうち、ランダムに抽出した86枚を推定アルゴリズム構築のための学習に用い、残りの14枚を用いて、写真から災害廃棄物組成と重量を算出、実測値との比較を行う。

(9) 災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムの構築

(1)～(8)の個別研究の連携により、災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムを構築し、試作版を用いて盛岡市、倉敷市、八代市、静岡県、岐阜県などの職員へのヒアリングや、104の地方自治体を集めたオンラインのシンポジウム通じてシステムをブラッシュアップする。さらに同時進行で、研究成果を反映させた本システムのUIの開発も進める。

5. 研究成果

5－1. 成果の概要

4. 研究開発内容に対する結果および考察を示す。

(1)実効性のある災害廃棄物処理計画・処理実行計画のテンプレート作成【個別研究A】

表1.1に目次案を示す。1章：基本的事項、2章：災害廃棄物処理事業の平時・発災時の取り組み、3章：災害廃棄物処理の3章構成とした。自治体のヒアリングから、平時における様々な取り組みが、その後の廃棄物処理事業に大きく影響することを改めて確認し、そのため、2章を平時と発災時の取り組みにそれぞれ分けて整理することで、平時、発災時でやるべきことを分かりやすくした。また、被災自治体の処理計画の分析などから、処理計画に追加すべき項目を抽出した（表1.2）。

表1.1 災害廃棄物処理計画の目次案

第1章 基本的事項	
第1節 計画策定の背景・目的（共通）	
第2節 本市の地域特性（共通）	1.位置
	2.地勢・地質
	3.行政区域と人口
	4.土地利用
	5.廃棄物処理
	6.一般廃棄物処理施設等の概要
第3節 災害廃棄物処理に係る計画の位置づけ	1.本計画の位置づけ
	2.関連する計画・マニュアル等
第4節 対象とする災害と廃棄物	1.対象とする災害
	2.対象とする廃棄物
第5節 災害廃棄物処理の基本方針等	
第6節 時間経過に応じた災害廃棄物処理業務の概要	
第7節 各主体の役割	
第8節 計画の見直し	1.災害対応後における見直しの必要性の検討
	2.計画の点検・更新
	3.業務分担
	4.連携体制の強化
第2章 災害廃棄物処理事業の平時・発災時の取り組み	
第1節 平時の取り組み	1.組織体制

	2.情報収集と共有 3.協力・支援体制 4.一般廃棄物処理施設等の災害廃棄物処理への準備 5.仮置場等の平時からの備え 6.災害廃棄物の収集運搬体制 7.住民への啓発・広報 8.職員への教育訓練 9.制度の活用
第2節 発災時の取り組み	1.組織体制 2.情報収集と共有 3.協力・支援体制 4.一般廃棄物処理施設等の運用可能状況の確認 5.住民への情報発信・広報 6.災害廃棄物の収集運搬体制 7.災害廃棄物処理実行計画の策定 8.制度の活用
第3章 災害廃棄物処理	
第1節 災害廃棄物処理の一般的考え方	1.対象とする廃棄物 2.災害廃棄物処理の流れ 3.災害廃棄物発生量の推計 4.災害廃棄物処理における運搬能力・焼却処理能力・埋立処分能力等の把握 5.仮置場の設置、管理運営 6.運搬方法 7.災害廃棄物の処理 8.損壊家屋等の解体撤去（公費解体等） 9.仮設処理施設の設置、広域処理の検討 10.生活ごみ（避難所ごみ）の処理 11.仮設トイレ及びし尿の対応
第2節 当該自治体に起こる可能性のある災害に対する処理	1.対象とする災害 2.対象とする災害により発生する災害廃棄物の特徴 3.対象とする災害により発生する災害廃棄物の処理期間 4.対象とする災害に伴う災害廃棄物発生量の推計 5.対象とする災害での災害廃棄物等処理可能量の算出・広域処理 6.対象とする災害での災害廃棄物の処理フロー 7.対象とする災害での仮置場必要面積の推計 8.災害対象別での仮設トイレ必要量

表1.2 ワークシートに追加する項目

章	項目	詳細
1	地域特性	災害廃棄物に関連する地勢・地質、行政区域と人口、土地利用などの情報。
1	地域防災計画	地域防災計画との整合を取るようにする。
2	平時の取り組み	平時と災害時で明確に区別して示す。【+ヒアリング】
2	協力・支援の考え方	他自治体への支援要請や支援に関する定義を示す。
2	業務分担体制構築における留意事項	迅速・適切な指揮体制構築・災害廃棄物処理業務経験者の招集・中長期的な事業実施を見据えた体制など。
2	体制・業務分担例	参考として、過去の被災時の体制・業務分担例を加える。
2	実務経験者の整理	部署異動を伴う自治体担当者の業務継続性（技術伝承）のための解決策を示す。
2	協力支援体制	専門家や関連業界の協力・支援について加える。
2	処理事業費	国の補助事業や廃棄物処理法に係る特例制度を整理する。【+ヒアリング】
2	一般廃棄物処理施設の状況	一般廃棄物処理施設と処理状況・能力を整理する。一般廃棄物処理区域と処理施設の位置を示す。処理施設の災害対策状況も記載する。
2	ごみ処理組合	周辺市町で組織しているごみ処理組合を整理する。
2	マニュアル等	処理計画とは別に、廃棄物処理事業業務継続計画、災害廃棄物処理初動マニュアルを作成する。
2	事業ごみの処理	事業ごみ等、災害廃棄物処理時にも発生する一般廃棄物処理も含めた災害廃棄物処理の留意事項について示す。
2	がれきの搬入場	仮置場以外にも災害廃棄物処理を実施するための「がれき搬入場」を加える。
2	廃棄物処理手数料の減免	全ての災害廃棄物の処理費を国や自治体が負担するのではない（自己負担や民間企業が災害廃棄物処理費を負担する場合がある）ということを周知する。
2	許認可の取り扱い	破碎・選別施設の設置許可に関する情報を加える。
2	災害廃棄物処理の全般的事項	災害ごとに処理計画が異なるので、災害ごとに作成すべきことを明記する。
2	災害廃棄物処理の全般的事項	発災前から3ヶ月まで時期区分別（発災前、初動期、応急期）に、特に片付けごみの発生量推計の考え方を示す。
2	仮置場の設置	必要な資材数や動線などを明記する【+ヒアリング】
2	災害廃棄物処理に関する全体フロー	処理だけではなく、実施すべき事務的なことも含めたフロー図を示す。
2	災害廃棄物処理の時期区分と主な業務の処理期間	災害廃棄物の主な業務を挙げてその業務ごとに時期区分して業務内容の概要を示す。
2	災害廃棄物処理の細かな流れ	災害廃棄物処理に関する主な業務を細かくし、時期ごとに必要な業務を明示する。
3	災害廃棄物等処理可能量	想定災害時における災害廃棄物等処理可能量の算出を記載する。
3	仮設焼却炉	仮設焼却炉の解説を加える。

3	仮説焼却炉設置フロー	「災害廃棄物対策指針」（環境省、H30.3）記載の設置フローを示す。
付	過去の被災について	過去に経験した被災の特徴・災害廃棄物処理について記載。

表1.3に、被災自治体の処理実行計画の分析により、作成した災害廃棄物処理実行計画の目次案を示す。処理実行計画の作成は、発災時の多忙な中で迅速が求められることから、災害廃棄物処理計画策定ワークシートの7章に記載されているすべての項目に万全な計画を立てる時間的余裕が少ないため、作成後に計画を容易に確認できるように、必要最低限の項目のみ示すようにした。ただし、「5.公費解体」、「6.事務委託」は、県は県内の市の状況を整理し、広域処理や委託の判断をするため、「7.財源」は補助金の活用、その割合について記載し、住民からの理解を得るために重要であることから追加した。

表1.3 災害廃棄物処理実行計画の目次案

第1章 災害廃棄物処理実行計画策定の趣旨	1.計画の目的 2.計画の位置づけと内容 3.計画の期間 4.計画の対象地域
第2章 被害状況と災害廃棄物の量	1.被害状況 2.被害状況の概要 3.災害廃棄物の発生推計量
第3章 災害廃棄物処理の基本方針	1.処理対象とする災害廃棄物等 2.基本的な考え方 3.処理期間 4.処理の推進体制 5.公費解体 6.事務委託 7.財源
第4章 災害廃棄物の処理方法	1.災害廃棄物の処理フロー 2.仮置場の設置及び管理・運営状況 3.廃棄物処分場の管理運営方法 4.種類別処理方法
第5章 管理計画	1.進捗管理 2.全体工程 3.災害廃棄物処理実行計画の見直し

(2) 処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジーの構築【個別研究A】

関連文書から306個の使用言語、内容を吟味し、大きく①災害廃棄物、②場所、③作業、④その他の4つの概念にクラス分けし、is-a、part-of (p/o)、attribute-of (a/o)、同意語、時間前後関係などを用いて、オントロジーを構築した。図1.4は、災害廃棄物クラスのサブクラス「混合物」のオントロジーを示す。構築したオントロジーは、4つのクラス分けから、さらに大別されたクラスは18個であった。そこからさらに細分化され、属性、同義語、時間的順序などが付与された。

オントロジーを用いて用語の漏れ、重複、矛盾、時間的順序の誤り、用語のゆれ・混乱を自動的あるいは半自動的にチェックする意味論的照査システムの方法論を構築した。ここでは「用語のゆれ・混乱」について示す。用語のゆれ・混乱は、目次や文章中で、時に「石綿」、時に「アスベスト」と記載されたり、「処理」と「処分」という似て非なる用語を一貫性なく使用したりするような場合である。例えば、図1.5の赤枠にあるような記述があった場合、「飛散性アスベスト」と「廃石綿」は同義語であるか重複しており、判定3（重複）でNGと出力される。

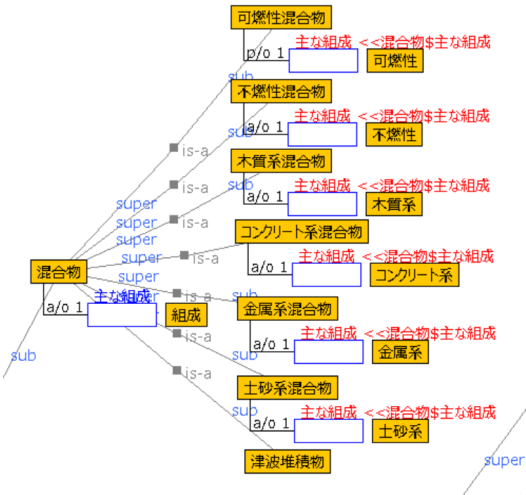


図1.4 「混合物」クラスのサブクラス

is-a : 「パソコンは電気製品である」のような上位概念(super)と下位概念(sub)の関係を示す。attribute-of (a/o) : 「パソコンのモニタサイズは14インチである」のような場合、モニタサイズは属性の一つであり、14インチはその属性値である。属性の関係は attribute-of (a/o) の関係で表す。

対象	用語	判定1 用語	(オントロジ) (概念)		判定2 欠如	判定3 重複	判定4 階層	判定5 順序
災害廃棄物の処理	災害廃棄物	OK	災害廃棄物	災害廃棄物	OK	OK	災害廃棄物	OK
アスベストの取り扱い								
飛散性アスベストや廃石綿等は原則として仮置場に持ち込まないこととし、仮置場で災害廃棄物中にアスベストを含むものがあるものが見つかった場合は、分析によって確認する。								
	飛散性アスベスト	OK (同義語：廃石綿)	品目	廃石綿	OK	NG:76 (廃石綿)	品目／アスベスト廃棄物／廃石綿	OK
	廃石綿	OK	品目	廃石綿	OK	NG:76 (廃石綿)	品目／アスベスト廃棄物／廃石綿	OK

図1.5 本文中において同義語が重複して使用されていることが検出された事例

(3) AI・GIS と連動可能な収集運搬・処理連動モデルの開発【個別研究B】

図1.6は、本モデルのネットワーク表現例を示す。一時集積所、一次・二次仮置場、中間処理施設および最終処分場等の各施設をノードに、各施設間の接続経路をアークとする災害廃棄物の移動・変化をコンピュータネットワークで表現した。各ノードには、災害廃棄物の量や種別、受け入れ可能な最大容積などをパラメータとして与えた。また、破碎分別機や最終処分・リサイクル施設の性能など、各施設における処理速度もパラメータとなる。

注) ノードとアーク：グラフ理論における用語で、ノードは点（本研究の場合は仮置場等の拠点）を、アークは線（拠点間の道路）を意味する。様々なネットワークは図1.6の右図のようにノードをアークでつないだ塊としてモデル化できる。

本研究で開発した「収集運搬・処理連動モデル」は以下の7つの特徴を有している。

- 1) 処理プロセスをフレキシブルに設定できる。図1.6の例は一般的なものであるが、一次仮置場から直接最終処分場に運搬する場合や二次仮置場がない場合、途中で仮置場を増やす場合など、様々な条件を考慮してフレキシブルに処理プロセスを設定し、計算できるモデルとなっている。
- 2) 処理プロセスに時間情報が考慮できる。発災後、仮置場の増設、焼却施設の新設などの復旧進捗によって処理プロセスの時間変化を考慮したモデルとなっている。
- 3) 処理プロセスに空間情報が考慮できる。道路網や災害廃棄物分布、仮置場・リサイクル施設などの位置情報と紐づけられる空間情報を読み取ることができる。
- 4) 広域処理も考慮できる。
- 5) 災害規模の大小や津波・地震・豪雨など災害の種別に関わらず、対応できる。
- 6) 自治体の人口・面積等の規模に関わらず、対応できる。
- 7) 土砂混じりの混合廃棄物を含む災害廃棄物の性状を考慮できる

本モデルを用いて表1.5に示す21つの仮想的な処理プロセスに対し実験的にシミュレーションを実施した。ケース1では1種類の災害廃棄物が20の被災地から発生・集積されたのち、2か所の仮置場に集められ、1か所の最終処分場で処理される単純なモデルを想定した。各アーク上では、1時間あたり50tの災害廃棄物が一律で輸送されるものとした。被災地20か所で発生した合計58万トンの災害廃棄物がそれぞれの一時集積所に集められ、その後、2か所の仮置場に輸送され、破碎分別処理と保管を経て、1か所の最終処分場で輸送・処理される。廃棄物の種類は単純化のためここでは考えず、全ての廃棄物が一つの最終処分場で処理されるようにしている。計算結果から、本モデルは、処理期間や物質収支に問題のないシミュレーションが可能であることが示された。

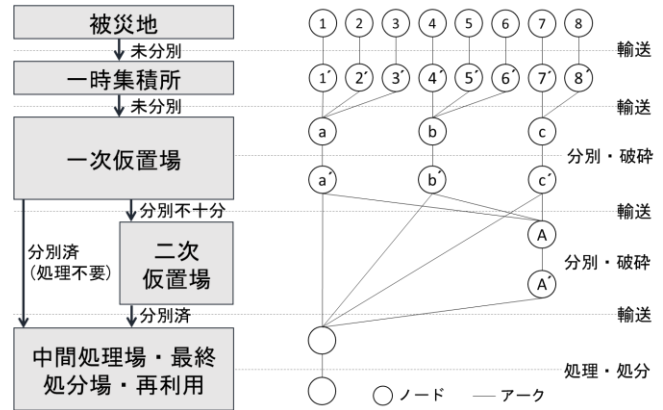


図1.6 災害廃棄物処理のプロセスのネットワーク図の例

表 1.5 処理運搬モデルによる 21 の仮想的な処理プロセスのシミュレーション結果

目的	ケース	シミュレーションの条件						解析						
		廃棄物発生量 [万t]	被災地集積所数	廃棄物種別数	アーク数	合計ダンプ台数 (10t,8t,5t) [初期]	合計ダンプ台数 (10t,8t,5t) [100日後～]	処理期間 [日]	日当たり処理量[t/日]	自区内処理量 [t/日]	広域処理量 [t/日]	潜在処理能力に対する処理量[%]	解析時間 [秒]	秒あたり計算日数 [日/秒]
基本性能確認	1	58	20	1	23	全アークに 輸送能力50t/hを 直接指定	変更なし	896	647.3	647.3	広域 無し	-	-	-
廃棄物量に対する モデル検証(1)	2	30	2	5	37	114	変更なし	305	983.6	952.6	31.02	56.0	2.0	152.5
	3	60						569	1054.5	1024.0	30.53	60.2	3.7	153.8
	4	90						835	1077.8	1047.5	30.30	61.6	5.4	154.6
	5	120						1099	1091.9	1061.6	30.26	62.4	7.0	157.0
	6	150						1365	1098.9	1068.7	30.21	62.9	8.7	156.9
	7	180						1627	1106.3	1076.1	30.20	63.3	10.3	158.0
	8	210						1895	1108.2	1078.0	30.13	63.4	12.4	152.8
	9	240						2159	1111.6	1081.5	30.13	63.6	13.7	157.6
	10	30						219	1369.9	1323.0	46.85	77.8	1.5	146.0
廃棄物量に対する モデル検証(2)	11	60	2	5	37	114	185	391	1534.5	1494.1	40.41	87.9	2.6	150.4
	12	90						555	1621.6	1583.5	38.16	93.1	3.6	154.2
	13	120						731	1641.6	1605.0	36.61	94.4	4.8	152.3
	14	150						895	1676.0	1640.3	35.65	96.5	5.9	151.7
	15	180						1071	1680.7	1645.6	35.03	96.8	6.8	157.5
	16	210						1241	1692.2	1657.5	34.65	97.5	8.0	155.1
	17	240						1409	1703.3	1668.9	34.41	98.2	9.0	156.6
	18	150	2	5	37	354	354	971	1544.8	1458.5	86.30	85.8	6.1	159.2
処理プロセス複雑 さに対するモデル 検証	19	150	10		93			815	1840.5	1619.0	221.47	95.2	5.8	140.5
	20	150	20		167			779	1925.5	1675.2	250.32	98.5	6.5	119.8
	21	150	40		303			783	1915.7	1665.1	250.57	97.9	8.8	89.0

ケース2～9および10～17では、災害廃棄物処理計画を参考に、可燃、不燃、コンガラ、木材、金属の5種類の災害廃棄物を想定し、一時集積所・一次仮置場を2ヶ所、2次仮置場を1ヶ所とした。そして災害廃棄物の想定発生合計量を変化させて、廃棄物発生量の増大が処理期間にどのように影響するかを調べた。また、ケース10～17では計画途中（発災から100日後）に収集運搬車両を増やし、これらを増やさないケース2～9と比較を行った。これにより、処理の迅速化を目的とした計画の途中変更が、処理日数に及ぼす影響を調べた。さらに、シミュレーション1回あたりの解析時間についても、一般的なデスクトップPC（CPU：Intel core i7-10700、メモリ32GB搭載）を対象に調べた。

災害廃棄物が増加するほど処理日数は増える（ケース：2～9）。しかし計画の途中変更により輸送力を強化したケース：10～17では、処理日数が短縮した。広域処理での処理量は、輸送能力を強化したにもかかわらず、最大40t/日程度で変化しなかった。これらの理由としては、自区内の輸送能力の強化を実施したことで輸送におけるボトルネックが解消され、自区内の処理能力を優先的かつフルで利用できる環境が整い、計画が迅速化されたことが考えられる。計算時間に着目すると、1秒あたり150日程度の処理日数が解析可能であることが示された。また、最大計画規模の3年に相当する900日においても6秒で計算を終えられることもあわせてわかった。

(4) AIを用いた最適な災害廃棄物処理プロセス構築方法の提案【個別研究B】

多目的遺伝的アルゴリズムを用いた処理プロセスの最適化手法の適用性について、車両台数と処理期間のみ2目的変数を最小化するように設定した遺伝的アルゴリズムの予備実験で確認した後、さらに図1.11に示す問題を設定し確認した。被災地を2か所、一次仮置場2か所、二次仮置場1か所とし、これらを結ぶ経路数は合計で37経路とした。そして、5種類の災害廃棄物を想定した条件下で災害廃棄物処理プロセスの最適化実験を実施した。この際に、災害廃棄物の発生量は合計で30万トン进行想定した。本モデルでは、多くのインプットデータを最適化対象可能であるが、本検討では、各収集運搬経路に分配する車両の種類および台数と、各仮置場に設置する分別破碎機器の種類および台数の最適化を示す。配分できる車両は10t、8t、5tダンプトラックであり、その最大値は、それぞれ50台、100台、200台である。また、仮置場に配置できる分別機器と分別破碎機器は、仮想的に非常に多く設置できるとし、それぞれ最大で200台と100台である。これは、利用可能な分別破碎機器が多数あっても計画規模にあった台数のみを使用され、無駄を生じないかを確認するためである。

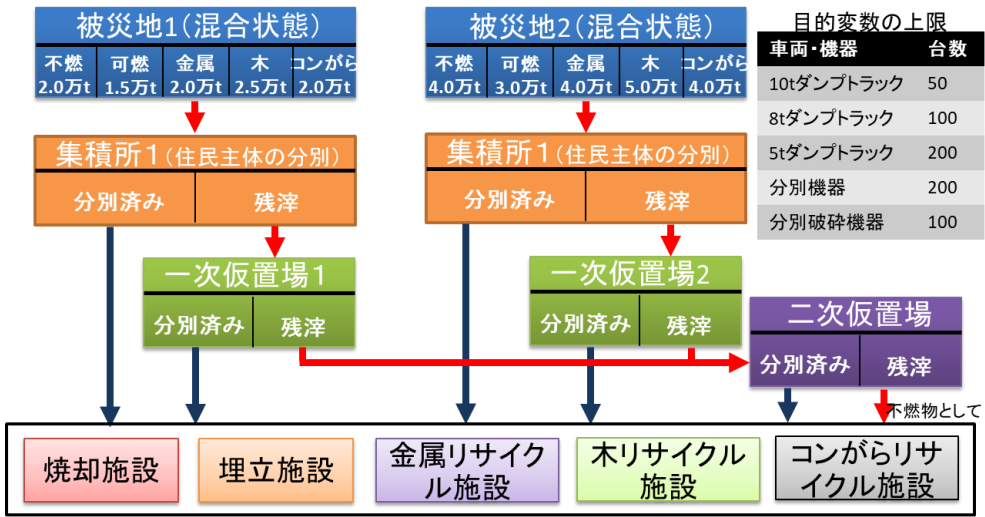


図1.11 計算条件

計算は遺伝子1000個用意し、20世代更新したところで、計算を止めた。最終的に得られた結果の中から、rank(詳細は図1.9)小さいもののみ85個抽出した結果を図1.12に示す。また図1.13は図1.12を2次元に書き換え見やすくしたものである。処理日数と処理事業費の関係から、青いプロットで示したケースのように明確に負の相関がみられる(青線)。ただし、橙色のプロットのように処理期間や処理事業費が大きいケースもある。これらは、図1.13の右側を見るとわかるが、リサイクル率が高いケースであり、こちらを重視した結果と言える。また、今回20世代更新を行ったが、さらに更新をしてゆくことで、リサイクル率が高く、図1.13の左図の青線付近に集まるケースが増えることが予想される。図1.13の赤○で示したところは、事業費が安く、期間が長く、リサイクル率が高いケースとなる。この場合、分別機器を最低限使用して、一次仮置場、二次仮置場に配置し、入念な分別破碎処理を実施したことにより、リサイクル率が上がっている。一方で、紫の○で示したところは、事業費やリサイクル率が高く、処理期間が短いケースとなる。これらは分別機器や分別破碎機器を多数導入し、一次仮置場と二次仮置場に多く配置した場合になる。このようにいろいろなパターンの計画が立案可能である。

最適化によって得られる処理プロセスの一つ(図1.13の赤いプロット)では、10tダンプトラックが17台、8tダンプトラックが33台、5tダンプトラックが74台、分別機器が64台、分別破碎機器が3台それぞれ使用されていた。これらの値は上述の準備可能な最大台数(50、100、200、100、200)より遥かに少なく、いたずらに各機器の台数を増やした無駄の多い計画が案出されなかったことが分かった。なお、これらの車両台数と分別破碎機器台数は、各経路・仮置場ごとに出力されており、具体的にどこに何台を設置すべきかが具体的にわかるようになっている(具体は紙幅の都合で省略)。また、最適化に要した合計時間はモデル検証実験と同じ環境で15000秒(約4時間半)であり、被災当日中に最適な処理プロセスが得られる高速なものであることが示された。

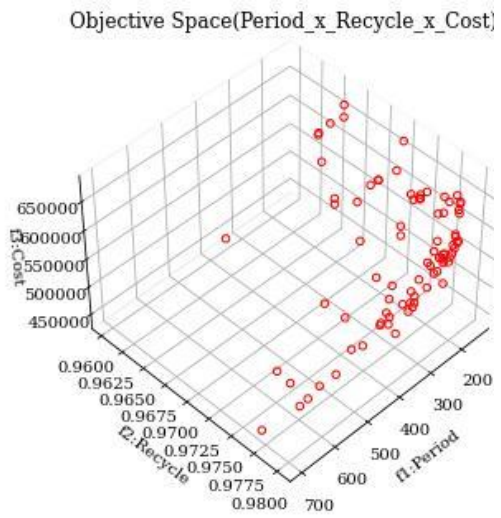


図1.12 3軸での各処理プロセスの評価結果

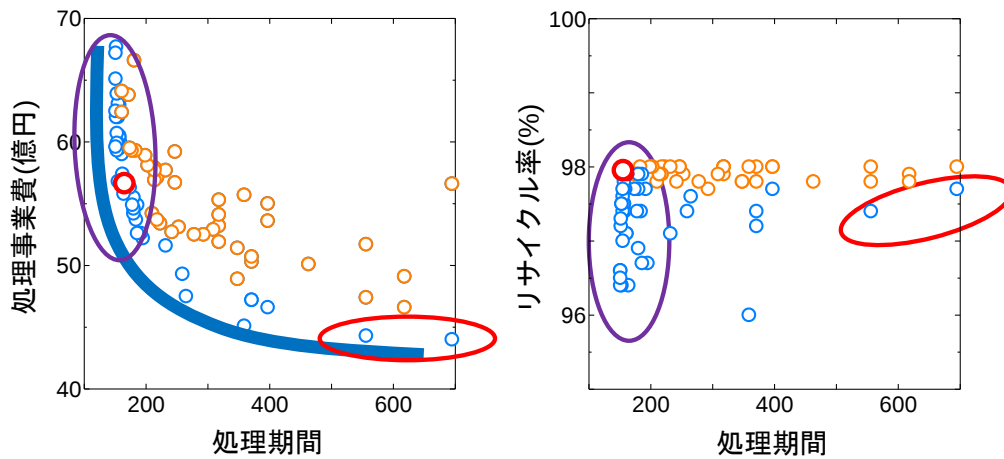


図1.13 左から処理期間(x軸)と総事業費(y軸)の関係、処理期間(x軸)とリサイクル率(y軸)の関係

(5) 迅速な災害廃棄物の発生量・組成・発生場所の予測システムの開発【個別研究B】

開発したシステムを以下に示す。①対象とする地域の浸水深マップ（浸水推定図：国土地理院発行）を入手し、同地域の建物GISポイントデータ（ESRI社のArcGIS Geo Suite 詳細地図を独自に加工したGISデータ）を重ね合わせ、既設建物と浸水域の関係を算出する。②次に、浸水深と各建物の全壊・半壊・床上浸水・床下浸水の関係から被災レベル判定を行う。③得られた被災レベルに基づいて災害廃棄物の発生原単位をかけ、各組成種別の廃棄物発生量を推計する。④最後に、大字または5次メッシュ（概ね250m四方メッシュ）ごとに災害廃棄物の発生量を集約し、マップ形式および表形式で出力する。

本システムの検証を行うために、令和元年東日本台風における長野市の災害廃棄物と令和2年7月豪雨における熊本県人吉市の災害廃棄物について、その発生量と空間分布を予測し、実績値と比較することで妥当性を検討した。ここでは紙面の都合により長野市の被災の中心地であった長沼地区・豊野地区の災害廃棄物発生量（全種別の総量）マップのみを図1.14に示す。この図と実際の発生量を比較したところ、若干多めに算出されたものの、実際の傾向を捉えていることが明らかになった。また勝手仮置場ができた場所と災害廃棄物が多く発生したところには強い相関があることがわかった。なお、浸水想定図は発災から12時間程度で入手でき、図1.14の計算は300秒程度で可能であったことから、半日程度で災害廃棄物の発生量が予測できる。

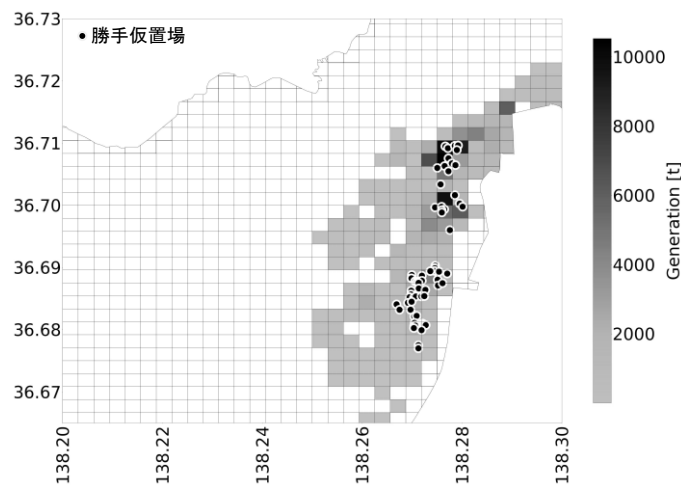


図1.14 長野市・5次メッシュごとの災害廃棄物・土砂発生合計量拡大図と勝手仮置場の位置関係。本稿では被害が甚大で多くの勝手仮置場が出現した長沼・豊野両地区が存在する長野市北東部を拡大した図として示す。

(6) 実機による混合廃棄物の機械選別と分別物の組成の評価【個別研究C】

表1.7に、災害区分ごとの土砂混合廃棄物の基本的な分別方法を示す。実機試験の結果から、含水量が少ないケースではほぼ全ての土砂が通過したが、細粒分の多いケースの方がふるい残留物中に占める土の割合が相対的に多くなった。含水量と細粒分がともに多いケースでは、図1.15からもわかる通り、粘土が団粒化し、ふるいを通しにくいことがわかる。また、粘性土を多く含む場合には回転式ふるいの方が振動式ふるいより精度良く分別できるが、砂分主体の場合には振動式ふるいでも回転式ふるいと同等に高い分別精度が期待できることを明らかにした。

表 1.7 災害区分ごとの土砂混合廃棄物の基本的な分別方法

災害区分	細粒分	ふるいの種類		改質材
		振動式	回転式	
風水害（土砂災害なし）	—	—	—	—
風水害（土砂災害あり）	多	△	○	性状に応じて検討
	少	○	○	原則不要
地震（津波なし）	多	△	○	性状に応じて検討
	少	○	○	原則不要
地震（津波あり）	多	△	○	性状に応じて検討

○：分別できる、△：分別しづらい



図1.15 分別後の試料の外観（可燃系混合廃棄物）

(7) 室内分別試験による分別効率と分別係数の詳細評価【個別研究C】

図1.16に液性指数と残留土砂割合の関係を示す。含水比が土の塑性限界に近づくと、混合物の団粒化が顕著になり、残留する土砂割合が多くなった。災害廃棄物に含まれる土砂の塑性限界を評価することで、改質材の添加量・処理期間・処理費・リサイクル率の早期予測が可能になると考えられる。

(8) 画像認識AIを用いた災害廃棄物組成の自動算出手法の提案【個別研究C】

図1.17に、画像認識AIを用いた混合廃棄物の組成推定の例を示す。左から、カメラで撮影したRGB画像、手作業で抽出した材料区分、AIが推定した材料区分を示している。ビニール袋や新聞紙、プラスチックは精度良く推定でき、碎石や布、木チップ、柱角材等も比較的優れた検出ができたが、廃棄物種類、大きさ、光の強度によって判別制度が変わってくることも分かった。

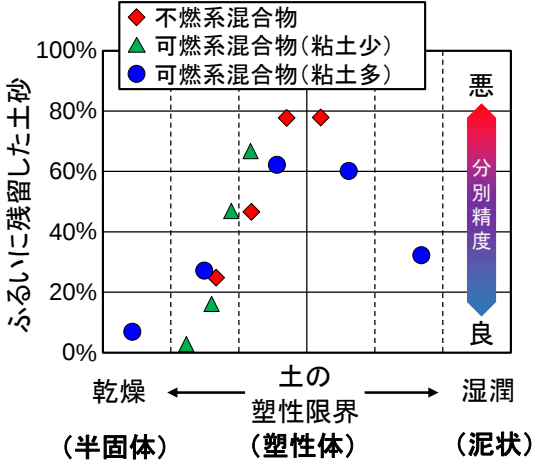


図 1.16 液性指数と残留土砂の関係

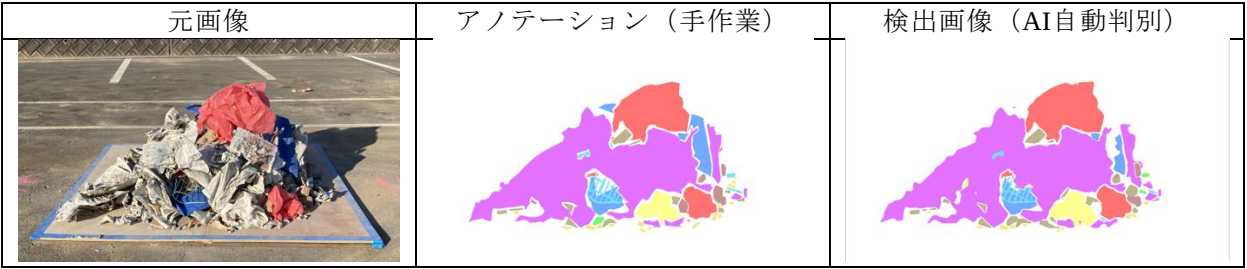


図 1.17 画像解析による組成分析結果の例

(9) 災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムの構築

(1)～(8)の研究進捗に合わせて、支援システムの構築を進めた。詳細は各項目に譲る。ここでは、同時進行で、研究成果を反映させた本システムのUIについて述べる。開発したシステムの画面遷移図を図1.18に示す。また、表1.8にシステムに必要な機能と実装状況をまとめた。本システムは、災害を受

けた自治体でも安定した動作を保証することや、機能4～7のようにインターネット上で管理する機能を将来的に持たせたいため、クラウド上での実装を進めた。ただし、セキュリティ面の確認等は予算の制約上できていない。処理計画については、平時に作成するなど逼迫した状態ではなく、また自治体に依らない共通項目が多いことがわかり、サンプルテンプレートを作成し、自治体独自の項目を修正できるようにすることで対応した。一方、災害直後に逼迫している状況で作成する処理実行計画においては、システムによる支援が重要であることが、自治体ヒアリングからも確認できた。そこで、処理計画はシステムからテンプレートをダウンロードすることとし、処理実行計画の作成支援システムについて開発を進めた。

まず、処理実行計画の作成支援システムに必要な機能は9～29になっている。これらの説明については、成果の詳細を参照されたい。

表1.8 処理実行計画作成支援システムに必要な機能と実装状況

システム全体に関わる機能要件		
番号	必要な機能	実装状況
1	クラウド上での動作を想定	◎
2	システムの頑健性のチェック	×
3	サイバー攻撃に対するセキュリティ面の確認	×
4	市町村の職員が現場に出ているとしても、内容を確認・編集可能	○
5	県の職員が各自治体の状況を把握・管理できる	×
6	各自治体のログインIDとパスワードの管理	×
7	ログインIDごとに役割を変更し役割に応じて必要な画面のみ見せられる	×
8	処理計画のテンプレートをダウンロードすることができる	◎
9	システムで作成途中または作成済の処理実行計画を確認・編集する機能	◎
10	災害に応じたサンプルも使用することができる	◎
処理実行計画への入力に関わる機能要件		
11	災害の基本的な情報を登録する機能（災害の種類・発災日など）	◎
12	実行計画書の基本情報を登録する機能（目的・期間・位置づけ・自治体の説明）	◎
13	被害状況の概要を登録する機能	◎
14	被害状況（GISデータ）を登録する機能	○（風水害のみ）
15	被害写真を登録する機能	○（登録のみ）
16	被害数の入力	○（風水害のみ自動的にできる）
17	廃棄物量・分布を算出する	○（風水害のみ自動的にできる）
18	廃棄物を集積所ごとに自動的に振り分ける	○（風水害のみ自動的にできる）
19	処理すべき災害廃棄物の種類・処理方法・写真を登録する	◎
20	集積所・一次仮置場・二次仮置場の登録	○（手動のみ）
21	廃棄物の処理施設の登録	○（手動のみ）
22	収集運搬車両の登録	○（手動のみ）
23	破碎・分別機の登録	○（手動のみ）
24	道路の復旧や仮置場の設置・復旧に要する時間の入力	×
25	最適化された実行計画案を複数案出する機能	◎
26	25で計算された計画案の工程の出力	×
27	25で計算された計画案における処理フローの出力	×
28	25で計算された計画案全体を確認する	×
29	11～28の情報を実行計画書テンプレートに出力する機能	×

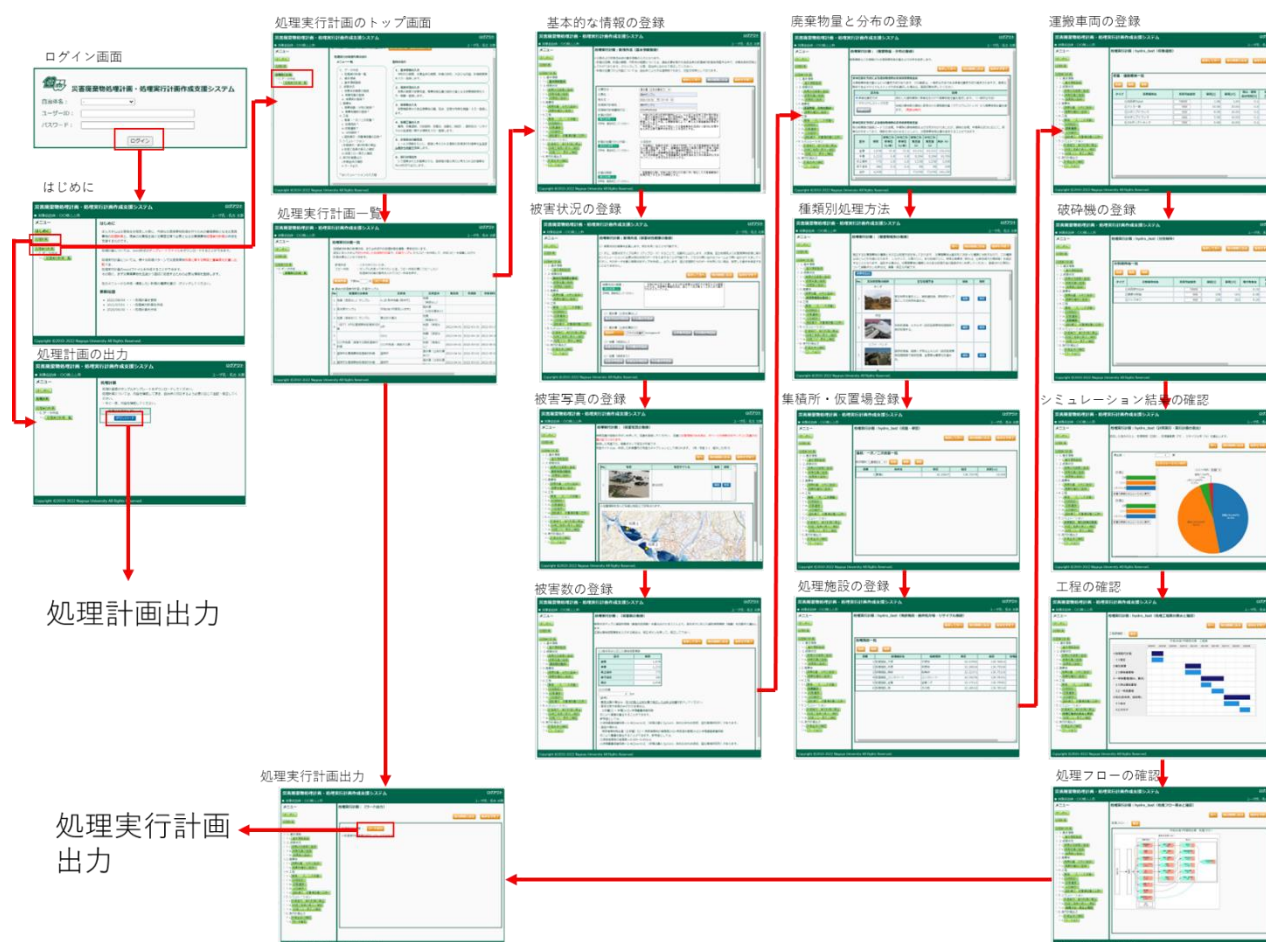


図1.18 システム全体の流れ

本作成支援システムは、研究者グループの考えのみならず、開発経過の過程で、実際に災害廃棄物処理に携わった地方自治体の方からの声を聞き、実効性のあるシステムへと修正を加えた。また、2022年8月には104以上の地方自治体を集めたオンラインのシンポジウムを開催した。システムの良いところとして、以下の7点が主に挙げられた。

- (1) 定型文を用意しておくことで、文章作成の手間を省ける
- (2) 写真をアップロードするだけで被害状況をまとめる資料ができる
- (3) 被害棟数から廃棄物発生量や被害件数が自動的に計算できる
- (4) クラウド上でシステムを運用できる点は被災した現場を考慮している
- (5) 複数の処理プロセス案が出てくる
- (6) 処理にかかる日数・事業費が出てくる
- (7) 計画の修正や見直しが容易である

これらは本システムの強みとなる部分である。また、事前に多くの災害想定をして、いくつもの処理計画を作成しておき、災害の規模に応じて一番近い処理計画を採用することが現実的であるなど、実際の運用方法についても意見が挙げられた。

一方で、改善すべき点や、追加して欲しい機能についても以下の通り挙げられた。

- (1) 自治体の規模に応じて同規模の自治体の計画を閲覧することができる機能
- (2) 撮影する写真の例や写真に収めておくべき情報を実例として示した方が良い
- (3) GISに対する知見がなくても使える、あるいはGIS情報がなくても運用できる
- (4) システムで作成していない処理計画を持つ自治体が、それを取り込んでシステム側に反映させる
- (5) 処理の進捗情報を入力・管理する
- (6) 自動算出の根拠を示す

(7) 実際に策定されている処理実行計画を確認できる

(8) システムのヘルプ機能の実装

これらの機能は、例えば(1)や(2)は、実際の実行計画のサンプルを閲覧すると、実例が確認できるようになる必要がある。このように実装できていない要望が多くあるため、今後の課題としたい。

シンポジウム開催後のアンケート内で、本システムが実装された後に更に見てみたいと回答した自治体は90%を占めた。このことから、本システムは汎用性、効率性など大きく期待されている。

5－2．環境政策等への貢献

＜行政等が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない

＜行政等が活用することが見込まれる成果＞

① 災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析と計画書テンプレートの確立

- ・ 現在、処理計画の策定率は、市町村で72%である。この策定率を高めることとともに、実効性のある処理計画とするため、被災経験を踏まえた計画の更新は重要である。加えて、発災直後から検討をはじめべき処理実行計画の策定においては災害廃棄物処理対応の経験が重要であり、多くの市町村においても迅速・詳細な対応が困難な状況は未だ改善が図れておらず、迅速・確実な処理実行のための計画策定は重要である。環境省ワークシートをベースとして、被災自治体ヒアリングや被災自治体の改訂版を通して必要性の高まった項目を追加し、構成も検討した災害廃棄物処理計画・処理実行計画のテンプレートを作成し、それを利用することで、迅速かつ実効性のある処理計画・処理実行計画策定の支援が可能となる。

② 災害廃棄物処理プロセスの自在な作成

- ・ 開発した収集運搬・処理連動モデルにより災害廃棄物処理プロセス、すなわち一時集積所、一次・二次仮置場、中間処理施設および最終処分場等の各施設の処理能力、機械台数などの変数と、その間の経路の距離や収集運搬車両の台数などを表すことができる。さらに開発したモデルは、処理プロセスをフレキシブルに設定でき、空間情報・時間情報を考慮できる。また、自治体規模、災害規模などに関わらず対応可能で、広域処理も考慮できるなどの特徴を有する。

③ 災害廃棄物処理プロセスの最適化

- ・ 収集運搬・処理連動モデルにより得られた様々な処理プロセスを多数作り、処理期間、処理事業費、リサイクル率の3つの評価軸に基づく多目的最適化により、自治体に応じた最適な災害廃棄物処理プロセスを選定することができる。

④ 災害廃棄物の発生量・組成・発生場所の予測手法の開発

- ・ 浸水深マップ（浸水推定図：国土地理院発行）、日本全国の建物GISポイントデータ（ESRI社のArcGIS Geo Suite 詳細地図を独自に加工したGISデータ）の各レイヤの重ね合わせと、浸水深に応じた原単位を用いて、浸水による各組成種別の、5次メッシュ（概ね250m四方メッシュ）ごとの災害廃棄物の発生量をマップ形式および表形式で出力することができる。
- ・ 被災自治体職員のヒアリングを通して、早期の発生量概算が重要であるとの意見が多く得られたため、本手法の開発に至った。被災直後の廃棄物発生量分布予測に貢献が可能である。
- ・ 本予測手法により、被災直後から、迅速に害廃棄物の発生量と空間的分布が予測できることで、上記③のモデルとの連携が可能となり、処理計画・処理実行計画策定の自動化範囲が拡大される。

⑤ 土砂系混合物の性状に応じた選別処理方法の提案

- ・ 土砂混合物の含水比を低くして選別処理を行うことで、土砂と廃棄物を精度良く回収することができる。特に、粘性土を伴う津波災害では、改質材の添加により含水比低下を促進すると効果的である。
- ・ 粘性土を多く含む津波災害等では回転式ふるいが有効であり、砂質土が主体の災害では振動ふるいでも十分な分別精度が期待できる。
- ・ ふるい通過時間が処理精度に及ぼす影響は小さいことから、処理の高速化も期待できる。被災状況や現場条件、再資源化の進捗に応じて処理速度を決定できる。

5－3．研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
過去の処理計画・処理実行計画、災害実績等の分析に基づき、災害廃棄物の処理・輸送を最適化することにより、実効性の高い災害廃棄物処理計画および処理実行計画の作成支援を行うシステムを構築する。	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 処理計画・処理実行計画作成支援システムを作成することができた。サブテーマ1 目標においても、個別研究A、B、Cともに目標を上回る成果と評価している。ただし、本システムのUIへの実装については不十分な点もあった。以上より、目標を上回る成果をあげたといえる。

サブテーマ1 目標	目標の達成状況
【個別研究A】20件以上の災害廃棄物処理計画、5件以上の処理実行計画や災害対応事例等进行分析し、計画書作成に必要な項目を整理・抽出し、計画書テンプレートを作成する。そして、少なくとも3自治体にテンプレートに対する意見をヒアリングし、計画書テンプレートに反映させる。 【個別研究B】災害廃棄物処理計画の妥当性を評価する指標をもとに、災害廃棄物処理プロセスの最適化するモデルを開発する。そして、処理計画・処理実行計画書で必要となる項目を出力できるシステムとして仕上げる。	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 【個別研究A】20件の災害廃棄物処理計画、6件の災害廃棄物処理実行計画进行分析した。ヒアリングについては、6自治体実施した。それら成果をまとめて、計画書のテンプレートを完成させた。これらの成果を総合的に判断し、目標を上回る成果をあげたといえる。 【個別研究B】災害廃棄物処理プロセスを網羅し、かつ時間的な処理環境の変化を反映させることが可能な収集運搬・処理連動モデルを開発することができた。また、その解析時間は南海トラフ級の大規模な廃棄物発生量でも数秒程度で、AIを用いた膨大な繰り返し計算にも耐えうるものとなった。災害廃棄物処理プロセスの最適化を多目的最適化問題に落とし込み、多目的遺伝的アルゴリズムを実装することができるようになった。得られた処理プロセスには、総事業費、処理期間、リサイクル率といった総合的な指標に加え、たとえばこの経路に度の種別の収集運搬車両を何台配分すればよいかなど具体的・定量的な情報が含ま

【個別研究C】東日本大震災における災害廃棄物処理の実績の再精査と実機を用いたパイロット試験により、処理過程で得られる分別物の量・品質を予測する「分別係数」（前回推進費（3K163011）で導出）の精度向上と拡張を行う。パイロット試験では、含水率と粒度組成を変化させた6ケース以上の条件で試験を行い、画像解析も組み合わせて一般化を試みる。	れる。これらは処理計画・処理実行計画書で必要となる項目をすべて網羅している。さらに、研究開発当初予定していなかったGISを用いた災害廃棄物の瞬時発生量予機能も開発した。これらの成果を総合的に判断し、目標を上回る成果をあげたといえる。 【個別研究C】実機試験は6条件での実施を計画していたのに対し、合計約40条件で実施し、分別精度を計画以上に多角的に検証した。特に、災害種別に応じたふるい機の選別基準、改質材の要否についても一般化できたことは、計画時には想定していなかった意義深い成果である。また、組成評価における画像認識AIの有用性を示し、発災後の処理実行計画の立案に貢献しうることを明らかにしている。よって、目標を上回る成果をあげたと判断できる。
---	--

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

7件

<主な査読付き論文>

- 1) S. Asai, T. Akiyama, H. Tanouchi and N. Egusa: Proceeding of 6th Int. Conf. on Structure, Engineering & Environment (SEE), paper id: 6155 (2020)
A NUMERICAL SIMULATION OF DISASTER WASTE DISPOSAL IN WAKAYAMA CITY BY USING DHT MODEL
- 2) 中野正樹, 酒井崇之, 岩下将也, 大塚義一, 加藤雅彦: 第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.189-194, 2021.
被災自治体の災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析による必要項目の抽出と考察
- 3) 塩入潤一郎, 中川将吾, 高井敦史, 清水祐也, 勝見武: 第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.183-188, 2021.
実機試験と室内試験による土砂混合廃棄物の分別特性に及ぼす含水比と細粒分含有率の影響の評価
- 4) 矢吹信喜, 有賀貴志, 中野正樹, 酒井崇之, 大塚義一, 岩下将也, 加藤雅彦: 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 78, No. 2, I_10-I_21, 2022.
災害廃棄物処理計画・処理実行計画の作成支援を目的としたオントロジー開発
- 5) M. Iwashita, Y. Ohtsuka and M. Katoh: Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 24, pp. 1304-1316. 2022, DOI: 10.1007/s10163-022-01404-x
Predicting the particle size distribution of fine-grained and sandy soils using deep learning for classifying recovered soils separated from tsunami deposits
- 6) 清水祐也, 塩入潤一郎, 中川将吾, 高井敦史, 勝見武: 地盤工学ジャーナル, Vol. 17, No. 3, pp. 319-

329, 2022.

土砂混合廃棄物の分別特性に及ぼす含水比と細粒分含有率の影響の評価

- 7) 石田倫啓, 平岡寛星, 高井敦史, 勝見武, 清水祐也: 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 699-706, 2022.

回転式・振動式ふるい機を用いた土砂系混合廃棄物の分別特性評価

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	3件
口頭発表（学会等）	26件
「国民との科学・技術対話」の実施	4件
マスコミ等への公表・報道等	5件
本研究費の研究成果による受賞	0件
その他の成果発表	0件

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

8. 研究者略歴

研究代表者

中野 正樹

名古屋大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、名古屋大学大学院工学研究科教授

研究分担者

- 1) 矢吹 信喜

スタンフォード大学大学院工学研究科修了、現在、大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻教授

- 2) 勝見 武

京都大学大学院工学研究科修了、現在、京都大学大学院地球環境学堂教授

- 3) 谷川 寛樹

九州大学大学院工学研究科修了、現在、名古屋大学大学院環境学研究科教授

- 4) 加藤 雅彦

名古屋大学大学院生命農学研究科修了、現在、明治大学農学部准教授

- 5) 高井 敦史

京都大学大学院工学研究科修了、現在、京都大学大学院地球環境学堂准教授

- 6) 田内 裕人

首都大学東京都市環境科学研究科修了、現在、和歌山大学システム工学部講師

7) 大塚 義一

京都大学大学院地球環境学舎修了、現在、株式会社奥村組技術本部環境担当部長

8) 佐々木 秀幸

岩手大学工学研究科修了、現在、岩手県環境生活部資源循環推進課総括課長

9) 酒井 崇之

名古屋大学大学院工学研究科修了、現在、名古屋大学大学院工学研究科助教

10) 岩下 将也

日本大学理工学研究科修了、現在、株式会社奥村組技術研究所環境研究グループ主任研究員

Ⅱ．成果の詳細

Ⅱ－1 AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築

名古屋大学大学院		
工学研究科	中野 正樹	
工学研究科	酒井 崇之	
環境学研究科	谷川 寛樹	
京都大学		
地球環境学堂	勝見 武	
地球環境学堂	高井 敦史	
大阪大学大学院		
工学研究科	矢吹 信喜	
和歌山大学		
システム工学部	田内 裕人	
明治大学		
農学部	加藤 雅彦	
(株)奥村組		
技術本部 技術本部	大塚 義一	
技術研究所	岩下 将也	
岩手県		
環境生活部 資源循環推進課	佐々木 秀幸	

[要旨]

本研究開発目的は、実効性のある災害廃棄物処理計画および処理実行計画の策定支援を行うシステムを構築し、処理計画の策定率向上、処理実行計画の発災時の迅速な策定を助け、災害廃棄物の処理・有効活用の適正化、迅速化させることである。

その目的実現のため、本研究はサブテーマを設けず、2年目（令和3年度）まで3つの個別研究A、B、Cが互いに連携し、かつ個別に研究する。個別研究A～Cの研究の進行に応じてシステムのユーザーインターフェース（以下UI）についても開発を進めていく。3年目に各成果をシステムに組み込み、各自治体へのヒアリング、シンポジウムから得られた意見を考慮し、試行シミュレーションを重ね、各成果の質を高めてゆき、より実効性のあるシステムの完成を目指す。各個別研究の目標を以下に掲げる。

個別研究A：災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析と計画書テンプレートの確立

個別研究B：災害廃棄物処理プロセスの最適化モデルの開発

個別研究C：処理過程で得られる分別品の量・品質を予測できる「分別係数」の精度向上と拡張

以下、個別研究ごとに研究開発内容（個別研究A：(1)(2)、個別研究B(3)～(5)、個別研究C：(6)～(8)）、そして(9)でシステム全体について示す。

(1)環境省の市町村災害廃棄物処理計画策定ワークシート、20自治体が被災後改訂した処理計画、6自治体の豪雨被災時の処理実行計画との比較から追加すべき必要項目、目次案、テンプレートを作成する。(2)正確なテンプレート作成のため、25の処理計画等に現われる各種用語を抽出し、処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジーを構築し、用語チェックの自動システムを開発する。(3)処理全プロセスをフレキシブルに表現するAI・GISと連動可能な収集運搬・処理連動モデルを開発し、現実的な処理プロセスに対し実験的にシミュレーションを実施する。(4)災害廃棄物処理プロセスに対し、処理期間、処理事業費、リサイクル率の3つの評価軸を設定し、多目的遺伝的アルゴリズムによる最適化手

法を提案する。(5) 収集運搬・処理連動モデルと最適な災害廃棄物処理プロセス構築システムの入力データとして直接利用可能で、かつ災害廃棄物の発生量・組成分布を瞬時に予測できるGISシステムを開発する。(6) 実機により、組成が既知の混合廃棄物（可燃系と不燃系）を機械選別し、アウトプットとなる分別物の組成を評価することで、混合廃棄物の配合条件や乾湿条件等と分別特性の関係を検討する。(7) 回転式・振動式ふるい機を用いた室内分別試験を行い、混合廃棄物（可燃系と不燃系）の分別効率と分別係数を評価する。(8) 画像認識AIを用いて災害廃棄物組成と重量を算出、実測値との比較を行う。(9) (1)～(8)の個別研究の連携により、災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムを構築し、自治体職員へのヒアリングを通じてシステムをブラッシュアップする。さらに同時進行で、研究成果を反映させた本システムのUIの開発も進める。

上記に対する結果および考察を以下に簡潔に示す。

(1)処理計画については、20以上の追加すべき項目を列举し、また平時の取り組みの重要性を明確にし、また処理実行計画では公費解体、事務委託、財源を追記した。そして、これらの計画の目次案、テンプレートを作成した。(2) 構築したオントロジーは、4つのクラス分け、18の下位クラス、さらに細分化され、属性、同義語、時間的順序などが付与された。また開発したシステムから、用語の漏れ、重複、矛盾、時間的順序、ゆれなどが適切に検出できた。(3) 大きく7つの特徴を有する収集運搬・処理連動モデルを開発した。21つの仮想処理プロセスに対しシミュレーションを実施し、モデルの検証、発生量、計画変更、プロセス増加に対する妥当的な結果を算出、計算時間も高速であることも確認した。(4) 多目的遺伝的アルゴリズムによる最適化手法を開発し、一般的な処理プロセスについて、本手法での最適化を実施したところ、処理期間を短くするほど、処理事業費が大きくなり、処理期間を長く取る（入念な分別破碎処理を実施する）ほど、リサイクル率が上がることを示し、また最適な運搬車両台数、処理機械台数を得た。(5)迅速な災害廃棄物の発生量・組成分布の予測システムを開発し、長野市での豪雨災害について実際の発生量を比較したところ、若干多めに算出されたものの、実際の傾向を捉えており、また勝手仮置場と災害廃棄物が多く発生した場所に強い相関が示された。(6)含水量が少ないケースではほぼ全ての土砂が通過し、細粒分の多いケースの方がふるい残留物中に占める土の割合が相対的に多くなった。砂分主体の土砂が発生する災害と粘土分主体の災害では異なる分別方法が推奨される。(7) 含水比が土の塑性限界に近づくと、混合物の団粒化が顕著になり、残留する土砂割合が多くなった。災害廃棄物に含まれる土砂の塑性限界を評価することで、改質材の添加量・処理期間・処理費・リサイクル率の早期予測が可能になると考えられる。(8) ビニール袋や新聞紙、プラスチックは精度良く推定でき、碎石や布、木チップ、柱角材等も比較的優れた検出ができたが、廃棄物種類、大きさ、光の強度によって判別制度が変わってくることも分かった。(9)研究成果を反映させた本システムのUIの開発を進め、システムに必要な機能と実装状況をまとめた。また、自治体ヒアリングにおいてシステムのブラッシュアップを進め、自治体シンポジウムにおいて、システムの良いところ、改善すべき点や、追加して欲しい機能をまとめた。

以上より、研究開発目標の達成状況としては、全体目標は「目標を上回る成果をあげた、サブテーマごとの目標も、「目標を上回る成果をあげた」と自己評価した。

1. 研究開発目的

本研究では、①災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析をして実効性のある計画書のテンプレートを確立、②災害廃棄物処理プロセスの最適化エンジンの開発、③実機試験を通した混合廃棄物の機械選別と分別物の組成の評価の3点に取り組むことにより、実効性のある災害廃棄物処理計画および処理実行計画の策定支援を行うシステムを構築し、処理計画の策定率向上、処理実行計画の発災時の迅速な策定を助け、災害廃棄物の処理・有効活用の適正化、迅速化させることを目的とする。

2. 研究目標

全体目標	過去の処理計画・処理実行計画、災害実績等の分析に基づき、災害廃棄物の処理・輸送を最適化することにより、実効性の高い災害廃棄物処理計画および処理実行計画の作成支援を行うシステムを構築する。
------	---

サブテーマ1	「AI等の活用による災害廃棄物処理プロセスの最適化と処理計画・処理実行計画の作成支援システムの構築」
サブテーマリーダー/所属機関	中野正樹/名古屋大学
目標	【個別研究A】20件以上の災害廃棄物処理計画、5件以上の処理実行計画や災害対応事例等を分析し、計画書作成に必要な項目を整理・抽出し、計画書テンプレートを作成する。そして、少なくとも3自治体にテンプレートに対する意見をヒアリングし、計画書テンプレートに反映させる。 【個別研究B】災害廃棄物処理計画の妥当性を評価する指標をもとに、災害廃棄物処理プロセスの最適化するモデルを開発する。そして、処理計画・処理実行計画書で必要となる項目を出力できるシステムとして仕上げる。 【個別研究C】東日本大震災における災害廃棄物処理の実績の再精査と実機を用いたパイロット試験により、処理過程で得られる分別物の量・品質を予測する「分別係数」（前回推進費（3K163011）で導出）の精度向上と拡張を行う。パイロット試験では、含水率と粒度組成を変化させた6ケース以上の条件で試験を行い、画像解析も組み合わせで一般化を試みる。

3. 研究開発内容

本研究では、処理計画および処理実行計画の策定支援を行うシステムを社会実装可能な形式で構築する。本システム概要と本研究を進める個別研究A、B、Cの連携を図1.1に示す。システム構築という目的のため、本研究はサブテーマを設けず、2年目（令和3年度）まで、3つの個別研究が互いに連携し、かつ個別に研究する。個別研究A～Cの研究の進行に応じてシステムのユーザーインター

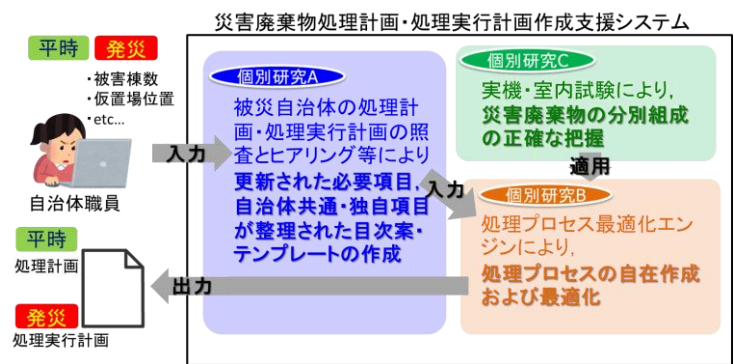


図1.1 本研究の全体像

フェース（以下UI）についても開発を進めていく。3年目に各成果をシステムに組み込み、各自治体へのヒアリング、シンポジウムから得られた意見を考慮し、試行シミュレーションを重ね、各成果の質を高めてゆき、より実効性のあるシステムの完成を目指す。ただし1年目より研究成果を順次統合し、その結果に応じて臨機応変に対応できるように研究を実施している。以下、個別研究ごとに開発内容（個別研究A：(1)(2)、個別研究B(3)～(5)、個別研究C：(6)～(8)）、そして(9)でシステム全体について示す。

(1) 実効性のある災害廃棄物処理計画・処理実行計画のテンプレート作成【個別研究A】

災害廃棄物処理計画については、環境省が平成31年に作成した市町村災害廃棄物処理計画策定ワークシート¹⁾（案）（以下、ワークシート）を基準に据え、被災経験のある20自治体²⁻²¹⁾が被災後に改訂した処理計画を読み込んで、自治体に依らない共通項目、自治体に応じて変更する独自項目を整理、また追加すべき必要項目を抽出し、目次案（章立て構成）、テンプレートを作成する。テンプレート作成の際、被災経験のある5自治体にヒアリングし、意見を参考にする。

処理実行計画については、豪雨災害で被災した6自治体²²⁻²⁷⁾の処理実行計画とワークシートを分析し、

また、5自治体へのヒアリングで得られた意見も参考に、必要項目を整理する。それに加えて、作成支援システムの画面遷移の流れを意識しつつ、災害廃棄物処理実行計画のテンプレートを作成する。

(2) 処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジーの構築【個別研究A】

処理計画・処理実行計画では、自治体ごとに同じ意味でも異なる表現や、用語ごとの関連性が異なるケースがあったことから、本研究は、正確な計画書テンプレートを作成することを目的に、25個⁴⁾~21)、28)~34)の災害廃棄物処理計画等に現われる各種用語を洗い出し、これらの用語の概念、属性、関係などを分析し表現するために、AIの自然言語処理技術の一分野であるオントロジー（Ontology）^{注)}を構築する。さらに、構築したオントロジーを基に、作成中の計画書テンプレートおよび過去の計画書の目次や文章において、構成する用語や概念が正しく用いられているかを自動的にチェックするシステムを開発する。
注) オントロジー：AIでは人やコンピュータと知識を共有し活用するために、言葉、その意味、それらの関係性を明確な仕様として定義すること。土木建築分野でもBIM/CIMの3次元プロダクトモデルIFC（Industry Foundation Classes）の開発段階において利用されている。

(3) AI・GIS と連動可能な収集運搬・処理連動モデルの開発【個別研究B】

図1.2³⁵⁾に本研究の収集運搬・処理連動モデルがサポートする各プロセスの概略図を示す。この図に含まれる被災地、集積所、一次・二次仮置場、焼却施設、最終処分場およびリサイクル施設間のすべての収集運搬プロセスと、各施設における粗分別や破碎選別、焼却、埋め立て、リサイクルなどの処理プロセスを網羅したモデルとして開発する。また、広域処理、計画の途中変更、空間情報の利用も可能とし、多数の廃棄物種別にも対応した柔軟なモデルとして仕上げる。



図1.2モデル化する全処理プロセス（環境省H.P.の図³⁵⁾）に加

ける。また、開発したモデルの堅牢性を確認するため、現実的な処理プロセスに対し実験的にシミュレーションを実施する。なお、このモデルを「収集運搬・処理連動モデル」³⁶⁾と呼び、AI・GISとの連携が容易なPythonを用いて記述するとともに、モデルの高度化を進める。

(4) AIを用いた最適な災害廃棄物処理プロセス構築方法の提案【個別研究B】

収集運搬・処理連動モデルでは、災害廃棄物の発生量とその組成、空間分布を初期条件として準備し、輸送経路の距離や収集運搬車両の台数と配分、仮置場の容積、分別破碎機器の性能や台数、焼却施設や最終処分場・リサイクル施設の受け入れ能力などの大量のパラメータを設定することで、処理に要する期間や事業費を計算することが可能である。一方、本モデルを用いて最適な処理プロセスを見つけ出すためには、こうした膨大な種類のパラメータを個々に設定しながら何度もシミュレーションを実施し、各シミュレーション結果を比較検討する必要がある。この課題を処理期間や事業費などの複数の目的変数をもつ多目的最適化問題ととらえ、AI技術を活用して作業量を大幅に低減することが可能と考えられる。このような最適化問題においては、「何が最適で」、「どのように最適な答えを導くか」が重要である。そこで本研究では、(4-1)災害廃棄物の処理プロセスを総合的に評価することが可能な評価軸の構築と、(4-2) AIを用いた最適な災害廃棄物処理プロセスの導出アルゴリズムの実装を行う。

(5) 迅速な災害廃棄物の発生量・組成・発生場所の予測システムの開発【個別研究B】

本項目は、研究計画段階では既往研究成果を利用し、実施予定ではなかったが、被災自治体職員のヒアリングを通して、早期発生量予測が重要であるとの意見が多く得られた。そこで、上述の収集運搬・処理連動モデルと最適な災害廃棄物処理プロセス構築システムの入力データとして直接利用可能で、か

つ災害廃棄物の量・質・空間分布を瞬時に予測できるGISシステムの開発も併せて行うこととする。

(6) 実機による混合廃棄物の機械選別と分別物の組成の評価【個別研究 C】

組成が既知の混合廃棄物を機械選別し、アウトプットとなる分別物の組成を評価することで、混合廃棄物の配合条件や乾湿条件等と分別特性の関係を検討する。実機試験の様子は写真 1.1 に示すとおりであり、所定の配合量の模擬混合廃棄物をベッセル内で作製し、0.1m³クラスのバックホウを用いてベルトコンベアを介して回転式・振動式ふるい機（トロンメル）に投入し、可燃・不燃物分別装置、手選別ベルトコンベアを経由して模擬機械選別を実施する。混合廃棄物は、土砂と木片を混合した「可燃系混合廃棄物」と、土砂と碎石を混合した「不燃系混合廃棄物」の2種類を中心に試験を行う。



写真 1.1 実機試験の様子

(7) 室内分別試験による分別効率と分別係数の詳細評価【個別研究 C】

より詳細な傾向分析や結果の一般化のためにはデータ数を増やす必要があるが、実機を用いて数多くの配合について検討するには、膨大なコストと労力を要するため現実的ではない。そこで、実機試験と同様の可燃系混合物と不燃系混合物を用い、ラボスケールの回転式・振動式ふるい機を用いた室内分別試験を行い、異なる条件で混合した混合廃棄物の分別効率と分別係数を実験的に評価する。

(8) 画像認識 AI を用いた災害廃棄物組成の自動算出手法の提案【個別研究 C】

組成が既知の混合廃棄物を作製し、一般的なスマートフォンカメラで RGB 画像（3024×4032 px、28.35px/cm）を 100 枚収集する。そのうち、ランダムに抽出した 86 枚を推定アルゴリズム構築のための学習に使い、残りの 14 枚を検証に用いる。手作業と AI で図 1.3 に示す場合分けでセグメンテーションを行い、対象材料の廃棄物の組成と重量の数値データを算出し、比較する。

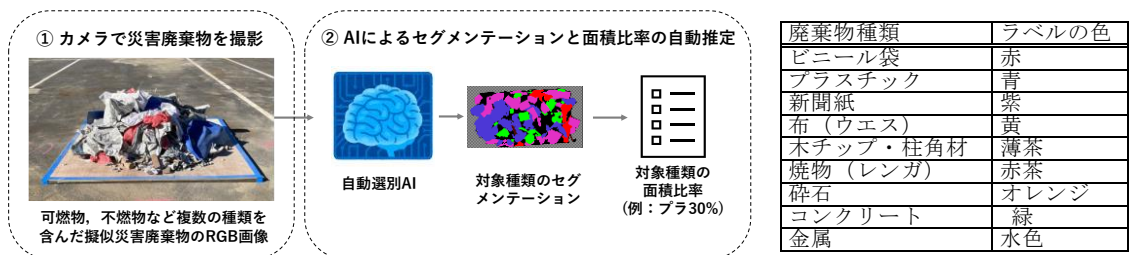


図 1.3 画像解析による廃棄物組成推定の概要

(9) 災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムの構築

(1)～(8)の研究進捗に合わせて、支援システムの構築を進める。(4)において、処理運搬モデルの高度化、最適化モデルについての議論・意見交換を行う。また、本システムの大きな特徴として、GIS・収集運搬・処理連動モデル・AIが連動する点が挙げられるが、具体的には、(5)でGISを用いて災害廃棄物量を算出し、それを入力データとして収集運搬・処理連動モデルを動かし、その解析結果からAIを用いて処理プロセスを最適化するシステムを構築する。さらに同時進行で、研究成果を反映させた本システムのUIの開発も進める。本システムは、自治体職員にとって使いやすいものである必要があり、研究者側で作成した試作版を自治体職員などの前で動かして、意見を収集する。ヒアリングの対象自治体

としては、岩手県、盛岡市、倉敷市、八代市、静岡県、岐阜県など、また、地方自治体を集めたオンラインのシンポジウムを開催する。

4. 結果及び考察

(1) 実効性のある災害廃棄物処理計画・処理実行計画のテンプレート作成【個別研究A】

表1.1は、種々の分析に基づき作成した処理計画の目次案を示す。分析した自治体の処理計画の構成は、自治体によって違いはあるものの、ワークシートの内容をほぼ網羅していた。また近年頻発する風水害での被災自治体が経験に基づき改訂した処理計画において、被災経験により追記された項目を注意深く抽出した。さらに、被災自治体へのヒアリングから、市民への啓発・広報など、平時における様々な取り組みが処理事業に大きく影響することの重要性を改めて再確認した。

そこで、平時の取り組みを明確にするよう、1章：基本的事項、2章：災害廃棄物処理事業の平時・発災時の取り組み、3章：災害廃棄物処理の構成に統一することを提案した。

表1.1 災害廃棄物処理計画の目次案

第1章 基本的事項	
第1節 計画策定の背景・目的（共通）	
第2節 本市の地域特性（共通）	1.位置 2.地勢・地質 3.行政区域と人口 4.土地利用 5.廃棄物処理 6.一般廃棄物処理施設等の概要
第3節 災害廃棄物処理に係る計画の位置づけ	1.本計画の位置づけ 2.関連する計画・マニュアル等
第4節 対象とする災害と廃棄物	1.対象とする災害 2.対象とする廃棄物
第5節 災害廃棄物処理の基本方針等	
第6節 時間経過に応じた災害廃棄物処理業務の概要	
第7節 各主体の役割	
第8節 計画の見直し	1.災害対応後における見直しの必要性の検討 2.計画の点検・更新 3.業務分担 4.連携体制の強化
第2章 災害廃棄物処理事業の平時・発災時の取り組み	
第1節 平時の取り組み	1.組織体制 2.情報収集と共有 3.協力・支援体制 4.一般廃棄物処理施設等の災害廃棄物処理への準備 5.仮置場等の平時からの備え 6.災害廃棄物の収集運搬体制 7.住民への啓発・広報 8.職員への教育訓練 9.制度の活用
第2節 発災時の取り組み	1.組織体制 2.情報収集と共有 3.協力・支援体制 4.一般廃棄物処理施設等の運用可能状況の確認 5.住民への情報発信・広報 6.災害廃棄物の収集運搬体制 7.災害廃棄物処理実行計画の策定 8.制度の活用
第3章 災害廃棄物処理	
第1節 災害廃棄物処理の一般的考え方	1.対象とする廃棄物 2.災害廃棄物処理の流れ 3.災害廃棄物発生量の推計 4.災害廃棄物処理における運搬能力・焼却処理能力・埋立処分能力等の把握 5.仮置場の設置、管理運営 6.運搬方法 7.災害廃棄物の処理 8.損壊家屋等の解体撤去（公費解体等） 9.仮設処理施設の設置、広域処理の検討 10.生活ごみ（避難所ごみ）の処理 11.仮設トイレ及びし尿の対応
第2節 当該自治体に起こる可能性のある災害に対する処理	1.対象とする災害 2.対象とする災害により発生する災害廃棄物の特徴 3.対象とする災害により発生する災害廃棄物の処理期間 4.対象とする災害に伴う災害廃棄物発生量の推計 5.対象とする災害での災害廃棄物等処理可能量の算出・広域処理 6.対象とする災害での災害廃棄物の処理フロー 7.対象とする災害での仮置場必要面積の推計 8.災害対象別での仮設トイレ必要量

上記の通り分類した基本構成ごとに、被災自治体の処理計画の分析および被災自治体へのヒアリングから処理計画に盛り込むべき必要項目を抽出したところ、20以上の項目となった。加えるべき項目を表1.2に示す。

表1.2 ワークシートに追加する項目

章	項目	詳細
1	地域特性	災害廃棄物に関連する地勢・地質、行政区域と人口、土地利用などの情報。
1	地域防災計画	地域防災計画との整合を取るようにする。
2	平時の取組み	平時と災害時で明確に区別して示す。【+ヒアリング】
2	協力・支援の考え方	他自治体への支援要請や支援に関する定義を示す。
2	業務分担体制構築における留意事項	迅速・適切な指揮体制構築・災害廃棄物処理業務経験者の招集・中長期的な事業実施を見据えた体制など。
2	体制・業務分担例	参考として、過去の被災時の体制・業務分担例を加える。
2	実務経験者の整理	部署異動を伴う自治体担当者の業務継続性（技術伝承）のための解決策を示す。
2	協力支援体制	専門家や関連業界の協力・支援について加える。
2	処理事業費	国の補助事業や廃棄物処理法に係る特例制度を整理する。【+ヒアリング】
2	一般廃棄物処理施設の状況	一般廃棄物処理施設と処理状況・能力を整理する。一般廃棄物処理区域と処理施設の位置を示す。処理施設の災害対策状況も記載する。
2	ごみ処理組合	周辺市町で組織しているごみ処理組合を整理する。
2	マニュアル等	処理計画とは別に、廃棄物処理事業業務継続計画、災害廃棄物処理初動マニュアルを作成する。
2	事業ごみの処理	事業ごみ等、災害廃棄物処理時にも発生する一般廃棄物処理も含めた災害廃棄物処理の留意事項について示す。
2	がれきの搬入場	仮置場以外にも災害廃棄物処理を実施するための「がれき搬入場」を加える。
2	廃棄物処理手数料の減免	全ての災害廃棄物の処理費を国や自治体が負担するのではない（自己負担や民間企業が災害廃棄物処理費を負担する場合がある）ということを周知する。
2	許認可の取り扱い	破碎・選別施設の設置許可に関する情報を加える。
2	災害廃棄物処理の全般的事項	災害ごとに処理計画が異なるので、災害ごとに作成すべきことを明記する。
2	災害廃棄物処理の全般的事項	発災前から3ヶ月まで時期区分別（発災前、初動期、応急期）に、特に片付けごみの発生量推計の考え方を示す。
2	仮置場の設置	必要な資材数や動線などを明記する【+ヒアリング】
2	災害廃棄物処理に関する全体フロー	処理だけではなく、実施すべき事務的なことも含めたフロー図を示す。
2	災害廃棄物処理の時期区分と主な業務の処理期間	災害廃棄物の主な業務を挙げてその業務ごとに時期区分して業務内容の概要を示す。
2	災害廃棄物処理の細かな流れ	災害廃棄物処理に関する主な業務を細かくし、時期ごとに必要な業務を明示する。
3	災害廃棄物等処理可能量	想定災害時における災害廃棄物等処理可能量の算出を記載する。
3	仮設焼却炉	仮設焼却炉の解説を加える。
3	仮設焼却炉設置フロー	「災害廃棄物対策指針」（環境省、H30.3）記載の設置フローを示す。
付	過去の被災について	過去に経験した被災の特徴・災害廃棄物処理について記載。

表1.3に、被災自治体の処理実行計画の分析により作成した災害廃棄物処理実行計画の目次案を示す。

表1.4にワークシート7章に記載される災害廃棄物処理実行計画の項目例を示す。加えて、調査した自治体で作成した処理実行計画に項目として記載がある項目を○、そうでない項目を×として示している。×の多い項目として、5章、安全対策、6章管理計画が挙げられる。安全性については、災害廃棄物処理計画で詳細に示している。管理計画については、ワークシートの節に対応する自治体の災害廃棄物処理実行計画の項目は少なかった

表1.3 災害廃棄物処理実行計画の目次案

第1章 災害廃棄物処理 実行計画策定の趣旨	1. 計画の目的
	2. 計画の位置づけと内容
	3. 計画の期間
	4. 計画の対象地域
第2章 被害状況と災害 廃棄物の量	1. 被害状況
	2. 被害状況の概要
	3. 災害廃棄物の発生推計量
第3章 災害廃棄物処理 の基本方針	1. 処理対象とする災害廃棄物等
	2. 基本的な考え方
	3. 処理期間
	4. 処理の推進体制
	5. 公費解体
	6. 事務委託
	7. 財源
第4章 災害廃棄物の処 理方法	1. 災害廃棄物の処理フロー
	2. 仮置場の設置及び管理・運営状況
	3. 廃棄物処分場の管理運営方法
	4. 種類別処理方法
第5章 管理計画	1. 進捗管理
	2. 全体工程
	3. 災害廃棄物処理実行計画の見直し

ものの、いずれの自治体も処理までの全体工程については示されていた。またP市、Q市、R県、S市では実行計画の改定と見直しに関する項目を設け、災害廃棄物の推計量と実績の変化等に合わせ、必要に応じて計画を見直す旨の記載も含まれていた。

ワークシートに記載のない項目として、N県、R県は「事務委託」に関する項目が加えられていた。またN県およびO市は、「財源」という項目を作り、処理事業実施のための補助金の活用の重要性を示唆していた。また被災自治体ヒアリングから、処理の進捗に伴い、「公費解体」による廃棄物処理が処理事業に大きく影響するとのことであった。

災害廃棄物処理実行計画の作成は、発災時の多忙な中で迅速な作成が求められることから、すべての項目に万全な計画を立てる時間的余裕が少ないため、作成後に計画を容易に確認できるように、必要最低限の項目のみ示すようにした。ただし、上記に示した項目「5.公費解体」、「6.事務委託」、「7.財源」はその重要性から追加した。この目次案に合わせ、また処理計画との連携も考慮したテンプレートを作成した。

表1.4 ワークシート7章の処理実行計画の項目例

ワークシートの構成	N県	O市	P市	Q市	R県	S市	ワークシートの構成	N県	O市	P市	Q市	R県	S市
1 実行計画の基本的考え方	○	○	○	○	○	○	4.3 解体・撤去	×	×	×	×	×	×
1.1 基本方針	○	×	○	○	○	○	4.4 処理・処分	○	×	×	×	×	×
1.2 実行計画の特徴	○	○	○	○	○	○	5 安全対策及び不測の事態への対応計画	×	×	×	×	×	×
2 被災状況と災害廃棄物の発生量及び性状	○	○	○	○	○	○	5.1 安全・作業環境管理	×	×	○	○	×	×
2.1 被災状況	○	○	○	○	○	○	5.2 リスク管理	×	×	×	×	×	×
2.2 発生量の推計	○	○	○	○	○	○	5.3 健康被害を防止するための作業環境管理	×	○	×	×	×	×
2.3 災害廃棄物の性状	○	○	×	×	○	○	5.4 周辺環境対策	×	×	×	×	×	×
3 災害廃棄物処理の概要	○	○	○	○	○	○	5.5 適正処理が困難な廃棄物の保管処理方法	×	×	×	×	○	×
3.1 災害廃棄物の処理に当たっての基本的考え方	○	○	○	○	○	○	5.6 貴重品、遺品、思い出の品等の管理方法	×	×	×	×	○	×
3.2 市町村内の処理・処分能力	×	×	○	○	○	○	5.7 取扱いに配慮が必要となる廃棄物の保管管理方法	×	×	×	×	○	×
3.3 処理スケジュール	○	×	○	○	○	○	6 管理計画	○	○	○	○	○	○
3.4 処理フロー	○	×	○	○	○	○	6.1 災害廃棄物処理量の管理	×	×	○	○	×	×
4 処理方法の具体的な内容	○	×	○	○	○	○	6.2 情報の公開	×	×	×	×	×	×
4.1 仮置場	○	×	○	○	○	○	6.3 都道府県、市町村等関係機関との情報共有	×	×	×	×	×	○
4.2 収集運搬計画	×	×	○	×	○	○	6.4 処理完了の確認（跡地返還要領）	×	×	×	×	×	×

(2) 処理計画・処理実行計画の使用言語に関するオントロジーの構築【個別研究A】

28の関連文書から306個の使用言語、内容を吟味し、大きく①災害廃棄物、②場所、③作業、④その他の4つの概念にクラス分けし、is-a、part-of (p/o)、attribute-of (a/o)、同意語、時間前後関係などを用いて、オントロジーを構築した。図1.4は、災害廃棄物クラスのサブクラス「混合物」のオントロジーを示す。構築したオントロジーは、4つのクラス分けから、さらに大別されたクラスは18個であった。そこからさらに細分化され、属性、同義語、時間的順序などが付与された。

オントロジーを用いて災害廃棄物処理計画・処理実行計画の目次や本文における用語の漏れ、重複、矛盾、時間的順序の誤り、用語のゆれ・混乱を自動的あるいは半自動的にチェックする意味論的照査システムの方法論を構築し、ExcelとVBAを用いて実装した。本研究で開発した災害廃棄物に関するオントロジーを本システムに入力し、自治体の実際の処理計画を参考に作成した文案や開

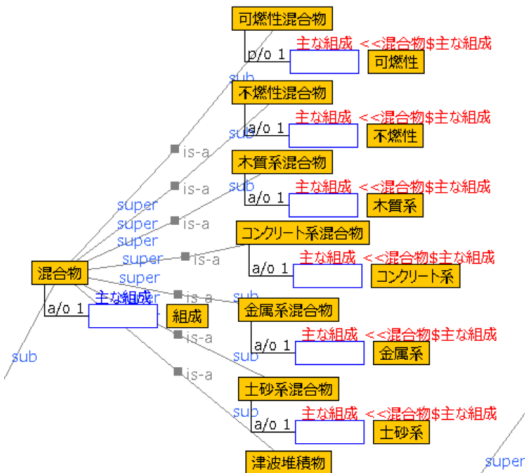


図1.4 「混合物」クラスのサブクラス
is-a : 「パソコンは電気製品である」のような上位概念(super)と下位概念(sub)の関係を示す。attribute-of (a/o) : 「パソコンのモニタサイズは14インチである」のような場合、モニタサイズは属性での一つであり、14インチはその属性値である。属性の関係はattribute-of (a/o) の関係で表す。

7) 土砂混じりの混合廃棄物を含む災害廃棄物の性状を考慮できる。

収集運搬・処理連動モデルの開発・実装したのち、表 1.5 に示す 21 つの仮想的な処理プロセスに対し実験的にシミュレーションを実施した。モデルの基本性能（例えば、物質収支の整合性や仮置場等の容積などの境界条件を満たす解析になっているか）の確認を目的としたケース 1 では 1 種類の災害廃棄物が 20 の被災地から発生・集積されたのち、2 か所の仮置場に集められ、1 か所の最終処分場で処理される単純なモデルを想定した。各アーク上では、1 時間あたり 50t の災害廃棄物が一律で輸送されるものとした。被災地 20 か所で発生した合計 58 万トンの災害廃棄物がそれぞれの一時集積所に集められ、その後、2 か所の仮置場に輸送され、破碎分別処理と保管を経て、1 か所の最終処分場で輸送・処理される。廃棄物の種類は単純化のためここでは考えず、全ての廃棄物が一つの最終処分場で処理されるようにしている。

表1.5 処理運搬モデルによる21の仮想的な処理プロセスのシミュレーション結果

目的	ケース	シミュレーションの条件					解析							
		廃棄物発生量 [万t]	被災地集積所数	廃棄物種別数	アーク数	合計ダンプ台数 (10t,8t,5t) [初期]	合計ダンプ台数 (10t,8t,5t) [100日後～]	処理期間 [日]	日当たり処理量[t/日]	自区内処理量 [t/日]	広域処理量 [t/日]	潜在処理能力に対する処理量[%]	解析時間 [秒]	秒あたり計算日数 [日/秒]
基本性能確認	1	58	20	1	23	全アークに輸送能力50t/hを直接指定	変更なし	896	647.3	647.3	広域無し	-	-	-
廃棄物量に対するモデル検証(1) 計画の途中変更無し	2	30	2	5	37	114	変更なし	305	983.6	952.6	31.02	56.0	2.0	152.5
	3	60						569	1054.5	1024.0	30.53	60.2	3.7	153.8
	4	90						835	1077.8	1047.5	30.30	61.6	5.4	154.6
	5	120						1099	1091.9	1061.6	30.26	62.4	7.0	157.0
	6	150						1365	1098.9	1068.7	30.21	62.9	8.7	156.9
	7	180						1627	1106.3	1076.1	30.20	63.3	10.3	158.0
	8	210						1895	1108.2	1078.0	30.13	63.4	12.4	152.8
	9	240						2159	1111.6	1081.5	30.13	63.6	13.7	157.6
	廃棄物量に対するモデル検証(2) 計画の途中変更あり	10						30	2	5	37	114	185	219
11		60	391	1534.5	1494.1	40.41	87.9	2.6						150.4
12		90	555	1621.6	1583.5	38.16	93.1	3.6						154.2
13		120	731	1641.6	1605.0	36.61	94.4	4.8						152.3
14		150	895	1676.0	1640.3	35.65	96.5	5.9						151.7
15		180	1071	1680.7	1645.6	35.03	96.8	6.8						157.5
16		210	1241	1692.2	1657.5	34.65	97.5	8.0						155.1
17		240	1409	1703.3	1668.9	34.41	98.2	9.0						156.6
処理プロセス複雑さに対するモデル検証		18	150	2	5	37	354	354						971
	19	150	10	93		815			1840.5	1619.0	221.47	95.2	5.8	140.5
	20	150	20	167		779			1925.5	1675.2	250.32	98.5	6.5	119.8
	21	150	40	303		783			1915.7	1665.1	250.57	97.9	8.8	89.0

図1.7は、各施設における災害廃棄物量の時系列変化を示している。被災地で発生した合計58万トンの災害廃棄物が、一時集積所、仮置場を介して最終処分されていることが確認できる。最終処分に要する期間は、1日の業務時間を8.5時間と換算して896日と試算された。東日本大震災において発生した災害廃棄物の処理におよそ3年費やされたことを踏まえると、現実と計算の乖離も小さい。この期間を通して各施設の個別詳細な検証を実施したが、災害廃棄物の量が負の値となるとか、容積を超える災害廃棄物が保管されるなどの問題は見られなかった。このことから、本モデルによって物質収支に問題のないシミュレーションが可能であることが示された。

ケース2～9および10～17では、災害廃棄物処理計画を参考に、可燃、不燃、コンガラ、木材、金属の5種類の災害廃棄物を想定し、一時集積所・一次仮置場を2ヶ所、2次仮置場を1ヶ所とした（後述の図1.11）。そして災害廃棄物の想定発生合計量を小規模自治体の豪雨災害規模を想定した30万トンから南海トラフ巨大地震を想定した240万トンを設定し、廃棄物発生量の増大が処理期間にどのように影響するかを調べた。また、ケース10～17では計画途中（発災から100日後）に収集運搬車両を増やし、これらを増やさないケース2～9と比較を行った。これにより、処理の迅速化を目的とした計画の途中変更が、処理日数に及ぼす影響を調べた。また、輸送による環境負荷や運搬費用を低減するため、できるかぎり自区内処理での廃棄物の処分・リサイクルが要求されると考え、自区内処理の全能力1700t/日（廃棄物5

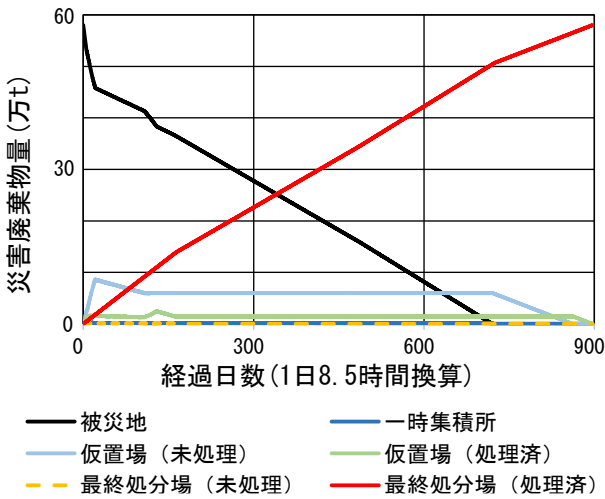


図1.7 災害廃棄物処理の進捗状況

種類の各処理・リサイクル施設の能力40t/h×5種類×1日の稼働時間8.5時間)として現実より大きな値を設定しつつ、それらの処理能力がどの程度使用されたかを示す「潜在処理能力に対する処理量」を定義・計算し、考察を行った。さらに、シミュレーション1回あたりの解析時間についても、一般的なデスクトップPC (CPU: Intel core i7-10700、メモリ32GB搭載)を対象に調べた。

災害廃棄物が増加するほど処理日数は増える(ケース:2~9)。しかし計画の途中変更により輸送力を強化したケース:10~17では、処理日数が短縮した。潜在処理能力に対する処理量に着目すると、ケース:10~17はケース:2~9に対して明確に大きくなった。一方で、広域処理での処理量は、輸送能力を強化したにもかかわらず、最大40t/日程度で変化しなかった。これらの理由としては、自区内の輸送能力の強化を実施したことで輸送におけるボトルネックが解消され、自区内の処理能力を優先的かつフルで使用できる環境が整い、計画が迅速化されたことが考えられる。計算時間に着目すると、処理期間と解析時間の間に極めて強い相関関係が認められ(平均二乗誤差 $R^2 = 0.93$)、1秒当たり150日程度の処理日数が解析可能であることが示された。本モデルでは処理日数と同じ回数のループ計算を行う構造になっており、この挙動はこうしたモデル構造から説明できる。また、最大計画規模の3年に相当する900日においても6秒で計算を終えられることもあわせてわかった。

(4) AIを用いた最適な災害廃棄物処理プロセス構築方法の提案【個別研究B】

(4-1) 災害廃棄物の処理プロセスを総合的に評価することが可能な評価軸の構築

表1.6は被災自治体からの情報収集から得られた処理プロセスの優劣を判断するための個別の評価指標と3評価軸の中のどれに分類されるかを示す。処理プロセスの評価軸として、まず「処理期間」と「処理事業費」を大きな2軸として設定した。これらは様々な事業においても挙げられる2軸である。災害廃棄物処理において、その他、市民満足度や環境リスクなど多くの指標が挙げられる。それら指標は、被災自治体や処理事業を経験した技術者からのヒアリングから上記2軸で評価することが可能と判断した。例えば、住民満足度の向上と生活への影響度は処理期間として評価できるなどである。さらに、災害廃棄物処理特有の指標として、処理されたものの「リサイクル率」を挙げる。分別土を含む「リサイクル率」は、最終処分場の延命など、環境負荷軽減に関係する指標であり、独立した評価軸として扱う。本研究において、「処理期間」「処理事業費」「リサイクル率」の3評価軸をもとに処理プロセスの優劣を考えれば、総合的・多角的な処理プロセス評価が可能となる。

(4-2) AIによる最適な災害廃棄物処理プロセスの自動構築手法の開発

多目的最適化問題を解く際、いろいろなアルゴリズムが提案されているが、本研究では遺伝的アルゴリズムを採用した。今回の問題では、輸送経路の距離や収集運搬車両の台数と配分、仮置場の容積、分別破碎機器の性能や台数など離散的なデータを多く扱う。また、例えば処理期間を3年以内にするなど、制約条件も多い中で最適化を進める必要がある。このように離散的なデータや制約条件の多い問題に対し、遺伝的アルゴリズムの研究は古くから行われており、多くの実績があることが採用した理由である。

表1.6 ヒアリング等をもとに抽出された個別評価指標

評価指標	評価の考え方	評価軸
処理期間	短いほど高評価	処理期間
処理事業費	小さいほど高評価	処理事業費
リサイクル率	0~1の値をとり、大きいほど高評価	リサイクル率
混合土砂の再資源化率	0~1の値をとり、大きいほど高評価	リサイクル率
環境リスク	小さいほど高評価	処理事業費
施設新設数	少ないほど高評価	処理事業費
運搬の総距離	小さいほど高評価	処理事業費、処理期間
特殊技能をもつ人員の拘束時間	小さいほど高評価	処理事業費、処理期間
計画設計の単純さ	単純なほど高評価	処理事業費、処理期間
生活への影響度	影響が少ないほど高評価	処理期間
住民満足度	高いほど高評価	処理期間

図1.8に多目的遺伝的アルゴリズムのフローを示す。遺伝子の持つ情報としてはモデルへのインプットデータとなる。Nセットのインプットデータから、Nセットのアウトプットが得られる。そして、(4-1)に示した3つ評価軸空間に各遺伝子のアウトプットデータ、つまり候補となる処理プロセスをプロッ

トする。この際、非優越ソートという考え方を使って処理プロセスを評価する。図1.9を用いて非優越ソートについて説明する。ここでは、簡単のため、事業費と処理期間の2軸で説明する。図1.9においては、事業費が小さく処理期間が短い方がより良い処理プロセスであるのは明らかである。そこで、ある遺伝子よりも事業費「および」処理期間が小さい遺伝子がない場合、その遺伝子はrank=1となる。rank=1の遺伝子を取り除いて、ある遺伝子よりも事業費「および」処理期間が小さい遺伝子がない場合、その遺伝子はrank=2となる。それを繰り返すことで、すべての遺伝子をrankづけしていく。遺伝的アルゴリズムにおいては、遺伝子の持つ情報を交換して次世代へと繋いでゆく。この際、rankの小さい遺伝子が交叉相手として選択されやすくなるようにすることで、優秀な遺伝子の情報を次世代につなぎやすくする。そして次の世代のインプットデータでまた改めて計算をしてゆく。最後の世代の計算が完了したら、rankの小さい遺伝子をL個出力する。L個は任意で、1～N個まで選択できる。

多目的遺伝的アルゴリズムの適用性を確認するため、まず、5か所の被災地から容積無限大の仮置場に災害廃棄物を輸送する単純プロセスを設定し、自治体で準備可能な収集運搬車両の最大台数（10tダンプトラック100台）を最適化の対象パラメータに設定して、被災地-仮置場間の5経路に自動配分する単純な最適化実験を行った。最適化の指標は問題の単純化のため、まずは処理に要した車両台数と処理期間の2つの目的変数を設定したその結果を図1.10に示す。この図から、世代が進むにつれて各計画の事業費が低く、かつ処理期間が短い、より良い計画が案出されるようになっており、最適化が進行していることがわかった。この結果から、災害廃棄物の処理を最適化するという本課題に対し、遺伝的アルゴリズムが使用可能であることが確認できた。

次に、図1.11に示す問題を設定し確認した。なお、設定に当たり、分別土砂やそれ以外の災害廃棄物選別後のリサイクル過程に必要なコストを組み込んでいる。被災地を2か所、一次仮置場2か所、二次仮置場1か所を設定し、これらを結ぶ経路数は合計で37経路とした。そして、5種類の災害廃棄物を想定した条件下で災害廃棄物処理プロセスの最適化実験を実施した。この際に、災害廃棄物の発生量は合計で30万トン进行を想定した。本モデルでは、多くのインプットデータを最適化対象可能であるが、本検討では、各収集運搬経路に分配する車両の種類および台数と、各仮置場に設置する分別破碎機器の種類および台数の最適化を示す。配分できる車両は10t、8t、5tダンプトラックであり、その最大値は、それぞれ50台、100台、200台である。また、仮置場に配置できる分別機器と分別破碎機器はそれぞれ最大で200台と100台設置した。これは、利用可能な機器が多数あっても計画規模にあった台数のみが使用され、無駄を生じないかを確認するためである。

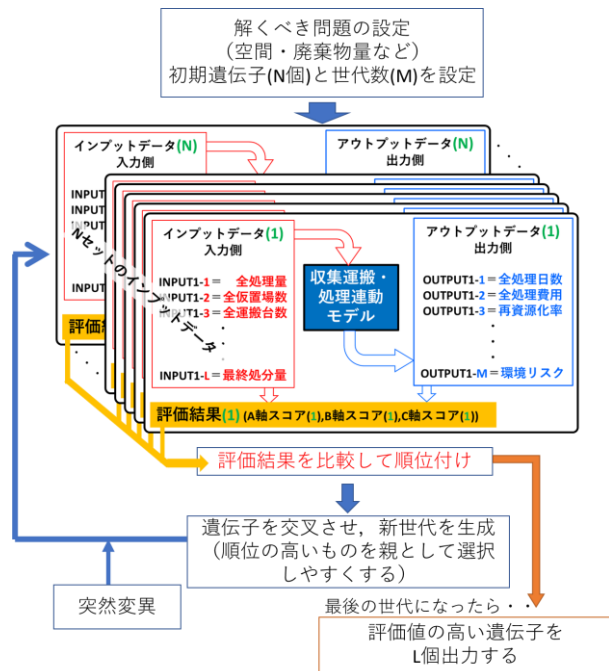


図1.8 計算フロー

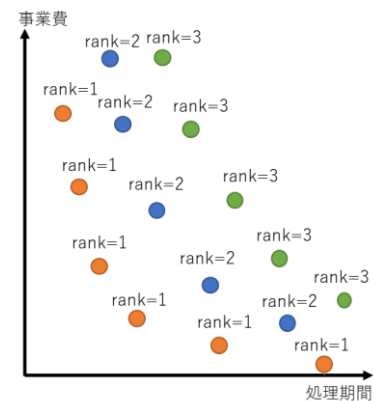


図1.9 非優越ソート

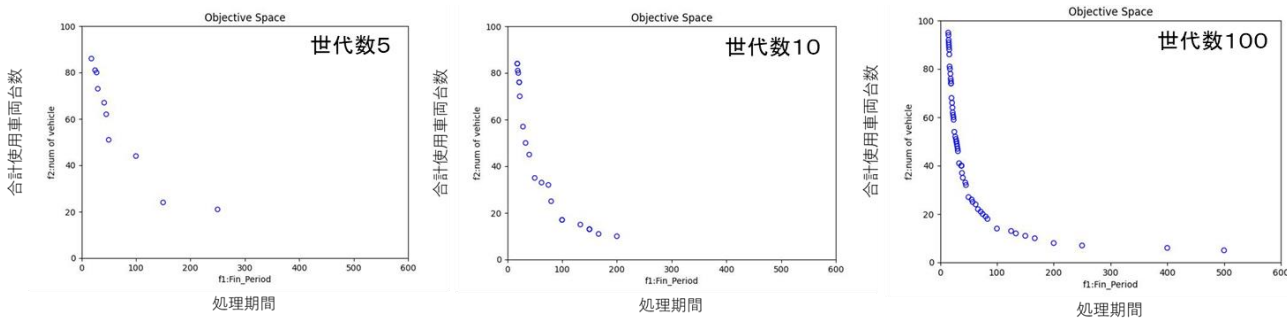


図1.10 車両台数と処理期間の2目的変数を最小化するように設定した遺伝的アルゴリズムの予備実験

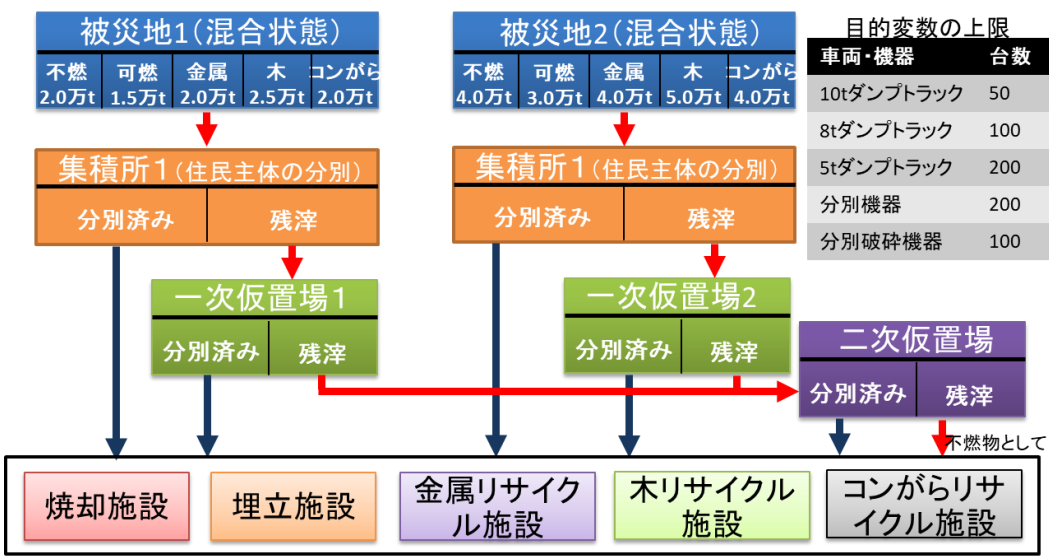


図1.11 計算条件

計算は遺伝子1000個用意し、20世代更新したところで計算を止めた。最終的に得られた結果の中から、rankが小さいもののみ85個抽出した結果を図1.12に示す。また図1.13は図1.12を2次元に書き換え見やすくしたものである。処理日数と処理事業費の関係から、青いプロットで示したケースのように明確に負の相関がみられる(青線)。ただし、橙色のプロットのように処理期間や処理事業費が大きいケースもある。これらは、図1.13の右側を見るとわかるが、リサイクル率が高いケースであり、こちらを重視した結果と言える。また、今回20世代更新を行ったが、さらに更新をしてゆくことで、リサイクル率が高く、図1.13の左図の青線付近に集まるケースが増えることが予想される。図1.13の赤○で示したところは、事業費が安く、期間が長く、リサイクル率が高いケースとなる。この場合、分別機器を最低限使用して、一次仮置場、二次仮置場に配置し、入念な分別破碎処理を実施したことにより、リサイクル率が上がっている。一方で、紫の○で示したところは、事業費やリサイクル率が高く、処理期間が短いケースとなる。これらは分別機器や分別破碎機器を多数導入し、一次仮置場と二次仮置場に多く配置した場合になる。このようにいろいろなパターンの計画が立案可能である。

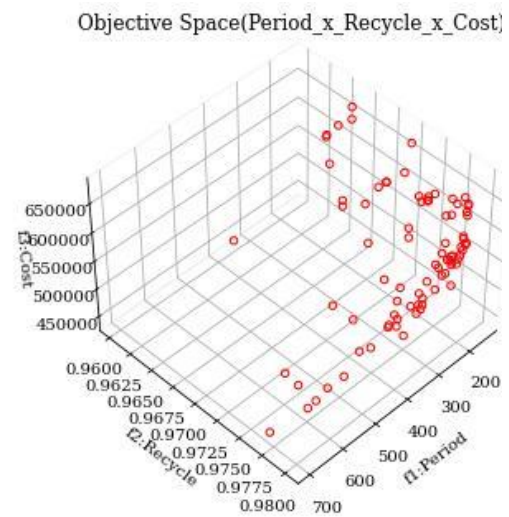


図1.12 3軸での各処理プロセスの評価結果

最適化によって得られる処理プロセスの一つ(図1.13の赤いプロット)では、10tダンプトラックが17

台、8tダンプトラックが33台、5tダンプトラックが74台、分別機器が64台、分別破碎機器が3台それぞれ使用されていた。これらの値は上述の準備可能な最大台数（50、100、200、100、200）より遥かに少なく、いたずらに各機器の台数を増やした無駄の多い計画が案出されなかったことが分かった。なお、これらの車両台数と分別破碎機器台数は、各経路・仮置場ごとに出力されており、具体的にどこに何台を設置すべきかが具体的にわかるようになっている（具体は紙幅の都合で省略）。また、最適化に要した合計時間はモデル検証実験と同じ環境で15000秒（約4時間半）であり、被災当日中に最適な処理プロセスが得られる高速なものであることが示された。

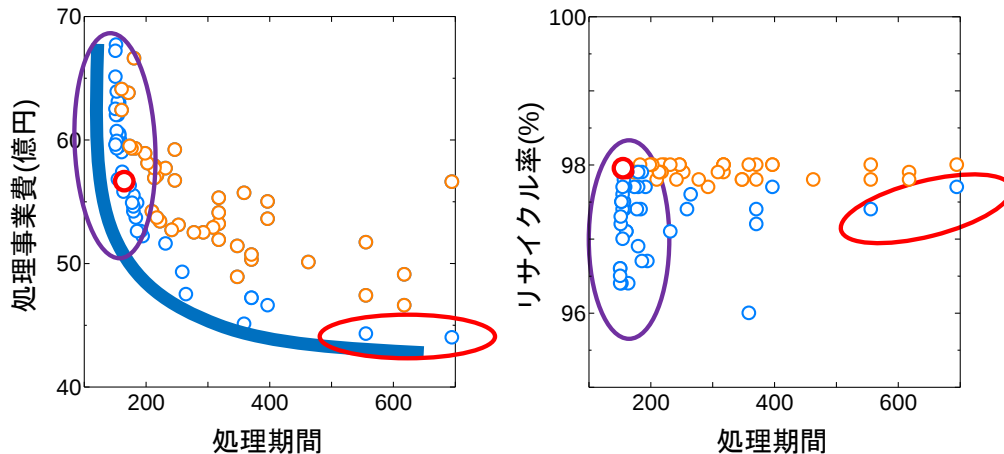


図1.13 左から処理期間(x軸)と総事業費(y軸)の関係、処理期間(x軸)とリサイクル率(y軸)の関係

(5) 迅速な災害廃棄物の災害廃棄物の発生量・組成・発生場所の予測システムの開発

開発したシステムを以下に示す。①対象とする地域の浸水深マップ（浸水推定図：国土地理院発行）を入手し、同地域の建物GISポイントデータ（ESRI社のArcGIS Geo Suite 詳細地図を独自に加工したGISデータ）を重ね合わせ、既設建物と浸水域の関係を算出する。②次に、浸水深と各建物の全壊・半壊・床上浸水・床下浸水の関係^{37,38)}から被災レベル判定を行う。③得られた被災レベルに基づいて災害廃棄物の発生原単位^{39,40)}をかけ、各組成種別の廃棄物発生量を推計する。④最後に、大字または5次メッシュ（概ね250m四方メッシュ）ごとに災害廃棄物の発生量を集約し、マップ形式および表形式で出力する。

本システムの検証を行うために、令和元年東日本台風における長野市の災害廃棄物と令和2年7月豪雨における熊本県人吉市の

災害廃棄物について、その発生量と空間分布を予測し、実績値と比較することで妥当性を検討した。ここでは紙面の都合により長野市の被災の中心地であった長沼地区・豊野地区の災害廃棄物発生量（全種別の総量）マップのみを図1.14に示す。この図と実際の発生量を比較したところ、若干多めに算出されたものの、実際の傾向を捉えていることが明らかになった。また勝手仮置場ができた場所と災害廃棄物が多く発生したところには強い相関があることがわかった。

予測システムの計算時間は、モデル検証実験・最適化実験と同じ環境下で300秒程度となった。また、災害発生から浸水想定図の配布（自治体が入手）までに要する時間が12時間程度であることが確認

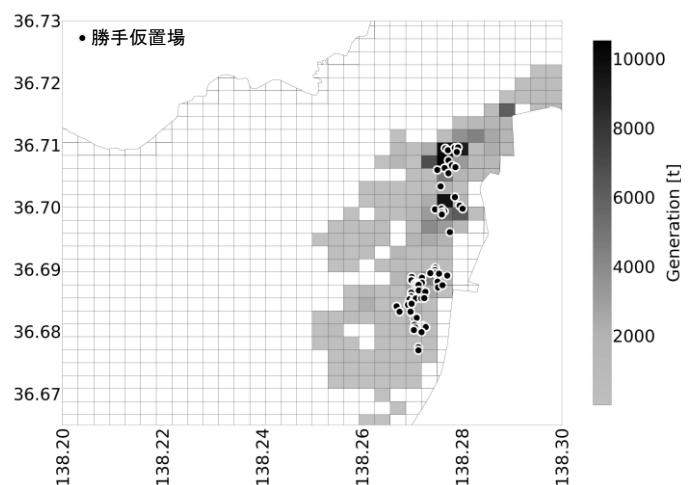


図1.14 長野市・5次メッシュごとの災害廃棄物・土砂発生合計量拡大図と勝手仮置場の位置関係。本稿では被害が甚大で多くの勝手仮置場が出現した長沼・豊野両地区が存在する長野市北東部を拡大した図として示す。

できている。よって、災害発生から浸水想定図の入手、災害廃棄物発生量・質・空間分布の把握からAIによる最適計画を得るまでに要する時間は合計で16時間半程度となる。これは従来手作業で要した1週間以上～1か月程度の計画策定時間と比較し極めて短く、また大半が自動化されているため大幅な作業量の低減をもたらすと期待できる。また、迅速に予測することにより、早期に集積所の位置や、仮置場の位置を設定することに繋がり、勝手仮置場の抑制に繋がると思われる。

(6) 実機による混合廃棄物の機械選別と分別物の組成の評価【個別研究 C】

表 1.7 に、災害区分ごとの土砂混合廃棄物の基本的な分別方法を示す。実機試験の結果から、含水量が少ないケースではほぼ全ての土砂が通過したが、細粒分の多いケースの方がふるい残留物中に占める土の割合が相対的に多くなった。含水量と細粒分がともに多いケースでは、図 1.15 からわかる通り、粘土が団粒化し、ふるいを通すににくいことがわかる。つまり、風水害や河川氾濫のような砂分主体の土砂が発生する災害では、含水量の多寡に関わらず土砂の剥離は容易に行えるが、津波を伴う地震のような細粒分を多く含む土砂が発生する場合には、降雨イベント直後を避け含水量を低下させてから分別することや、改質材を併用することが有効であることを明らかにした。また、粘性土を多く含む場合には回転式ふるいの方が振動式ふるいより精度良く分別できるが、砂分主体の場合には振動式ふるいでも回転式ふるいと同等程度に高い分別精度が期待できることを明らかにした。

表 1.7 災害区分ごとの土砂混合廃棄物の基本的な分別方法

災害区分	細粒分	ふるいの種類		改質材
		振動式	回転式	
風水害（土砂災害なし）	—	—	—	—
風水害（土砂災害あり）	多	△	○	性状に応じて検討
	少	○	○	原則不要
地震（津波なし）	多	△	○	性状に応じて検討
	少	○	○	原則不要
地震（津波あり）	多	△	○	性状に応じて検討

○：分別できる、△：分別しづらい



図 1.15 分別後の試料の外観（可燃系混合廃棄物）

(7) 室内分別試験による分別効率と分別係数の詳細評価【個別研究 C】

図 1.16 に液性指数と残留土砂割合の関係を示す。液性指数が1の時、つまり、含水比が土の塑性限界（土が半固体状から塑性状態に変化する境界の含水比）に近づくと、混合物の団粒化が最も顕著になり、ふるい上に残留する土砂の割合が多くなることを明らかにした。この結果から、災害廃棄物に含まれる土砂の塑性限界を評価することで、改質材の添加量・処理期間・処理費・リサイクル率を早期に予測できるようになると考えられる。

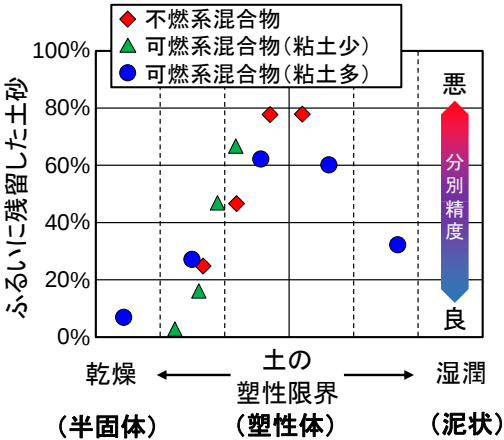


図 1.16 液性指数と残留土砂の関係

(8) 画像認識 AI を用いた災害廃棄物組成の自動算出手法の提案【個別研究 C】

図 1.17 に、画像認識 AI を用いた混合廃棄物の組成推定の例を示す。左から、カメラで撮影した RGB 画像、手作業で抽出した材料区分、AI が推定した材料区分を示している。ビニール袋や新聞紙、プラスチックは精度良く推定でき、碎石や布、木チップ、柱角材等も比較的優れた検出ができることを示した。

一方で、この図では右側青色のプラスチックの部分で、AIによる自動判別では判別不良が生じている。全体的には、影下での誤検出が目立つこと、木チップ・柱角材、焼物（レンガ）、コンクリート、金属の判別精度が落ちること、等を明らかにした。光の強度の影響に対しては、スペクトル処理を適用することで精度を改善できる可能性がある。レンガ、コンクリート、金属等の検出精度低下は個体面積が小さいことが原因で、これらを多く含む学習用画像を用いてモデルを学習させることで誤検出や検出漏れを改善できると考えられる。

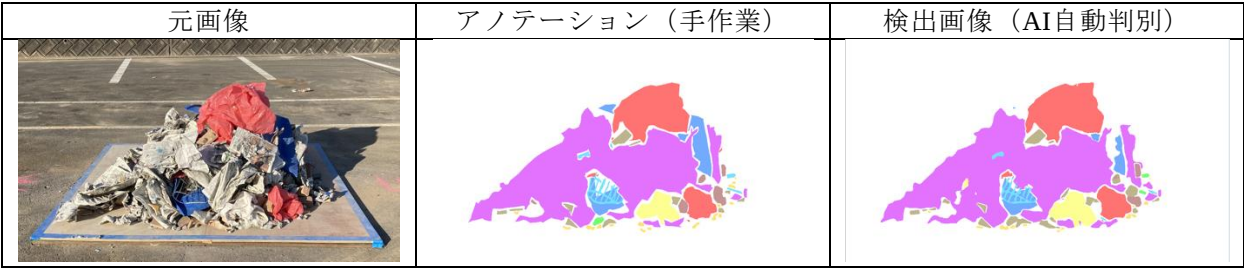


図 1.17 画像解析による組成分析結果の例

(9) 災害廃棄物処理計画・処理実行計画作成支援システムの構築

(1)～(8)の研究進捗に合わせて、支援システムの構築を進めた。詳細は各項目に譲る。ここでは、同時進行で、研究成果を反映させた本システムのUIについて述べる。図1.18に開発したシステムの画面遷移図を示す。また、表1.8にシステムに必要な機能と実装状況をまとめた。種々の制約により、実装できなかった機能もあった。本システムは、災害を受けた自治体でも安定した動作を保証することや、機能4～7のようにインターネット上で管理する機能を将来的に持たせたいため、クラウド上での実装を進めた。ただし、セキュリティ面の確認等は予算の制約上できていない。処理計画については、平時に作成するなど逼迫した状態ではなく、また自治体に依らない共通項目が多いことがわかり、サンプルテンプレートを作成し、自治体独自の項目を修正できるようにすることで対応した。一方、災害直後に逼迫している状況で作成する処理実行計画においては、システムによる支援が重要であることが、自治体ヒアリングからも確認できた。そこで、処理計画はシステムからテンプレートをダウンロードすることとし、処理実行計画の作成支援システムについて開発を進めた。

まず、処理実行計画の作成支援システムに必要な機能は9～29になっている。機能9、10について図1.19を用いて説明する。処理実行計画一覧画面で、新規作成したり、作成途中の処理実行計画を閲覧・編集したりすることができる。被災時にシステムで作成した過去の災害の処理実行計画や、机上訓練で作成した処理実行計画の確認をして、処理実行計画を作成できる。また、災害に応じたサンプルを閲覧できるようにしている。機能11、12の画面を図1.20に示す。基本情報登録画面で、計画目的や位置づけなどは定型文を入力する機能を持たせており、自治体に応じた修正を加えるだけで説明文を作成することができる。被害状況を登録する機能14は、(5)で用いたGISデータをクラウド上にアップすることで実装した。風水害の時は浸水深のデータとなり、(5)で説明した通り浸水深に応じて図1.21に示す建物被害棟数を自動的に計算することができる。また、浸水深には位置情報を持っているため、建物被害棟数も位置情報を当然持っている。自治体の持つ建物情報を基に、どのエリアにどの程度の災害廃棄物が発生しているか計算することができる（機能18）。「収集運搬・処理連動モデル」における初期条件としての災害廃棄物分布が得られたので、処理プロセスの計算をするため、機能20～24を持たせ、「収集運搬・処理連動モデル」の入力データを作成する。ここでは、機能22の収集運搬車両について触れる（図1.22）。図中に示すように、各車両に対し用意可能台数や積載容積など必要な入力パラメータを利用者が入力できるようにした。機能20、21、23も同様の仕様であり、集積所・仮置場、処理施設、破碎・分別機の情報を入力することが可能である。機能25では、(4)で示した多目的遺伝的アルゴリズムを用いて案出された処理実行計画を示すことができるようにした。図1.23に画面案を示すが、評価の高い順に任意の数の案を示すことができるようにして、比較しやすいように画面を構築した。なお、円グラフには、コスト

の内訳を示しており、必要に応じて用意可能台数などを変えることでシミュレーションの条件を変えて再度計算することも可能である。このようにGIS情報から得られた災害廃棄物量を収集運搬・処理連動モデルの初期条件として設定し、AI等による処理プロセスを最適化するシステムを構築した。

本作成支援システムは、研究者グループの考えのみならず、開発経過の過程で、実際に災害廃棄物処理に携わった地方自治体の方からの声を聞き、実効性のあるシステムへと修正を加えている。また、2022年8月には104以上の地方自治体を集めたオンラインのシンポジウムを開催した。システムの良いところとして、以下の7点が主に挙げられた。

- (1) 定型文を用意しておくことで、文章作成の手間を省ける
- (2) 写真をアップロードするだけで被害状況をまとめる資料ができる
- (3) 被害棟数から廃棄物発生量や被害件数が自動的に計算できる
- (4) クラウド上でシステムを運用できる点は被災した現場を考慮している
- (5) 複数の処理プロセス案が出てくる
- (6) 処理にかかる日数・事業費が出てくる
- (7) 計画の修正や見直しが容易である

また、事前に多くの災害想定をして、いくつもの処理計画を作成しておき、災害の規模に応じて一番近い処理計画を採用することが現実的であるなど、実際の運用方法についても意見が挙げられた。

一方で、改善すべき点や、追加して欲しい機能についても以下の通り挙げられた。

- (1) 自治体の規模に応じて同規模の自治体の計画を閲覧することができる機能
- (2) 撮影する写真の例や写真に収めておくべき情報を実例として示した方が良い
- (3) GISに対する知見がなくても使える、あるいはGIS情報がなくても運用できる
- (4) システムで作成していない処理計画を持つ自治体が、それを取り込んでシステム側に反映させる
- (5) 処理の進捗情報を入力・管理する
- (6) 自動算出の根拠を示す
- (7) 実際に策定されている処理実行計画を確認できる
- (8) システムのヘルプ機能の実装

これらの機能は、例えば(1)や(2)は、実際の実行計画のサンプルを閲覧すると、実例を確認できるようにする。また、(3)についてはGIS情報がなくとも被害棟数などを手入力する機能も加える必要がある。このように、まだ実装できていない要望が多くあるため、今後の課題としたい。

シンポジウム開催後のアンケート内で、本システムが実装された後に更に見てみたいと回答した自治体は90%を占めた。このことから、本システムは汎用性、効率性など大きく期待されている。

表1.8 処理実行計画作成支援システムに必要な機能と実装状況

システム全体に関わる機能要件		
番号	必要な機能	実装状況
1	クラウド上での動作を想定	◎
2	システムの頑健性のチェック	×
3	サイバー攻撃に対するセキュリティ面の確認	×
4	市町村の職員が現場に出ているとしても、内容を確認・編集可能	○
5	県の職員が各自治体の状況を把握・管理できる	×
6	各自治体のログインIDとパスワードの管理	×
7	ログインIDごとに役割を変更し役割に応じて必要な画面のみ見せられる	×
8	処理計画のテンプレートをダウンロードすることができる	◎
9	システムで作成途中または作成済の処理実行計画を確認・編集する機能	◎
10	災害に応じたサンプルも使用することができる	◎
処理実行計画への入力に関わる機能要件		
11	災害の基本的な情報を登録する機能（災害の種類・発災日など）	◎
12	実行計画書の基本情報を登録する機能（目的・期間・位置づけ・自治体の説明）	◎
13	被害状況の概要を登録する機能	◎
14	被害状況（GISデータ）を登録する機能	○(風水害のみ)

15	被害写真を登録する機能	○（登録のみ）
16	被害数の入力	○(風水害のみ自動的にできる)
17	廃棄物量・分布を算出する	○(風水害のみ自動的にできる)
18	廃棄物を集積所ごとに自動的に振り分ける	○(風水害のみ自動的にできる)
19	処理すべき災害廃棄物の種類・処理方法・写真を登録する	◎
20	集積所・一次仮置場・二次仮置場の登録	○（手動のみ）
21	廃棄物の処理施設の登録	○（手動のみ）
22	収集運搬車両の登録	○（手動のみ）
23	破碎・分別機の登録	○（手動のみ）
24	道路の復旧や仮置場の設置・復旧に要する時間の入力	×
25	最適化された実行計画案を複数案出する機能	◎
26	25で計算された計画案の工程の出力	×
27	25で計算された計画案における処理フローの出力	×
28	25で計算された計画案全体を確認する	×
29	11～28の情報を実行計画書テンプレートに出力する機能	×

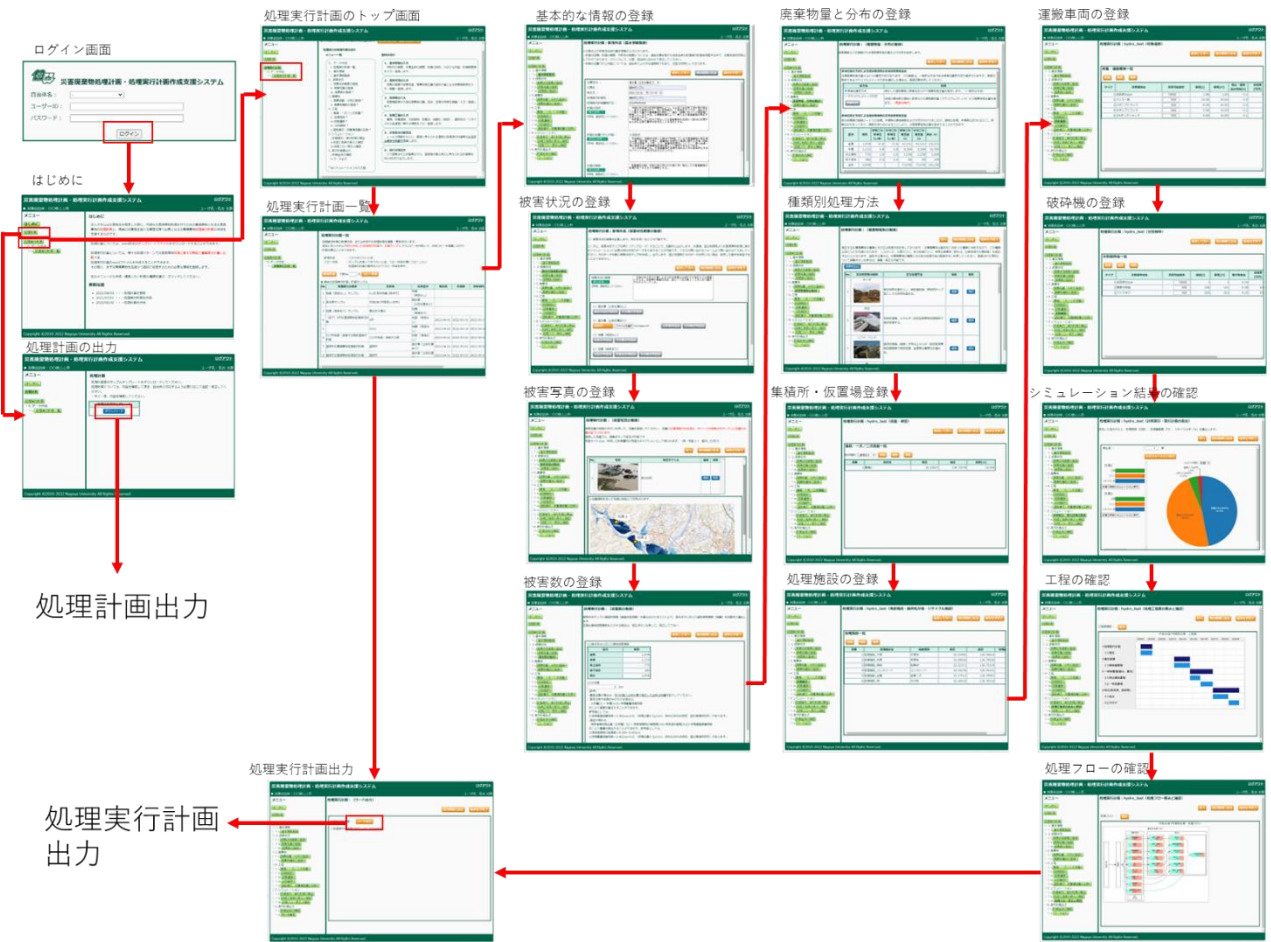


図1.18 システム全体の流れ



図1.19 処理実行計画作成のトップ画面



図1.20 基本情報の登録画面

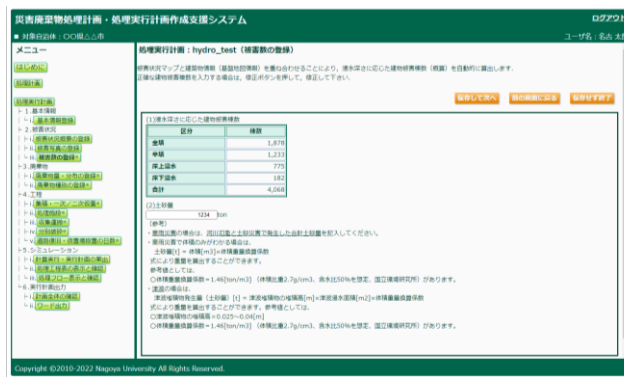


図1.21 建物の被害棟数の計算



図1.22 収集・運搬車両の登録



図1.23 最適化結果の出力例

5. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
過去の処理計画・処理実行計画、災害実績等の分析に基づき、災害廃棄物の処理・輸送を最適化することにより、実効性の高い災害廃棄物処理計画および処理実行計画の作成支援を行うシステムを構築する。	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 処理計画・処理実行計画作成支援システムを作成することができた。サブテーマ1目標においても、個別研究A、B、Cともに目標を上回る成果と評価している。ただし、本システムのUIへの実装については不十分な点もあった。以上より、目標を上回る成果をあげたといえる。

サブテーマ1 目標	目標の達成状況
【個別研究A】20件以上の災害廃棄物処理計画、5件以上の処理実行計画や災害対応事例等进行分析し、計画書作成に必要な項目を整理・抽出し、計画書テンプレートを作成する。そして、少なくとも3自治体にテンプレートに対する意見をヒアリングし、計画書テンプレートに反映させる。 【個別研究B】災害廃棄物処理計画の妥当性を評価する指標をもとに、災害廃棄物処理プロセスの最適化するモデルを開発する。そして、処理計画・処理実行計画書で必要となる項目を出力できるシステムとして仕上げる。 【個別研究C】東日本大震災における災害廃棄物処理の実績の再精査と実機を用いたパイロット試験により、処理過程で得られる分別物の量・品質を予測する「分別係数」（前回推進費（3K163011）で導出）の精度向上と拡張を行う。パイロット試験では、含水率と粒度組成を変化させた6ケース以上の条件で試験を行い、画像解析も組み合わせて一般化を試みる。	<u>目標を上回る成果をあげた。</u> 【個別研究A】20件の災害廃棄物処理計画、6件の災害廃棄物処理実行計画进行分析した。ヒアリングについては、6自治体実施した。それら成果をまとめて、計画書のテンプレートを完成させた。これらの成果を総合的に判断し、目標を上回る成果をあげたといえる。 【個別研究B】災害廃棄物処理プロセスを網羅し、かつ時間的な処理環境の変化を反映させることが可能な収集運搬・処理連動モデルを開発することができた。また、その解析時間は南海トラフ級の大規模な廃棄物発生量でも数秒程度で、AIを用いた膨大な繰り返し計算にも耐えうるものとなった。災害廃棄物処理プロセスの最適化を多目的最適化問題に落とし込み、多目的遺伝的アルゴリズムを実装することができるようになった。得られた処理プロセスには、総事業費、処理期間、リサイクル率といった総合的な指標に加え、たとえばこの経路に度の種別の収集運搬車両を何台配分すればよいかなど具体的・定量的な情報が含まれる。これらは処理計画・処理実行計画書で必要となる項目をすべて網羅している。さらに、研究開発当初予定していなかったGISを用いた災害廃棄物の瞬時発生量予機能も開発した。これらの成果を総合的に判断し、目標を上回る成果をあげたといえる。 【個別研究C】実機試験は6条件での実施を計画していたのに対し、合計約40条件で実施し、分別精度を計画以上に多角的に検証した。特に、災害種別に応じたふるい機の選別基準、改質材の要否についても一般化できたことは、計画時には想定していなかった意義深い成果である。また、組成評価における画像認識AIの有用性を示し、発災後の処理実行計画の立案に貢献しうることを明らかにしている。よって、目標を上回る成果をあげたと判断できる。

6. 引用文献

- 1) 環境省「市町村災害廃棄物処理計画策定ワークシート（案）」、平成31年3月、2019.
- 2) 岩手県：岩手県災害廃棄物対応方針（本編）平成28年3月、2016. <https://dwasteinfo.nies.go.jp/plan/project_man/after_iwate/after_iwate_01.pdf>
- 3) 仙台市：仙台市災害廃棄物処理計画 令和2年3月、2020. <https://dwasteinfo.nies.go.jp/plan/project_man/after_sendai_city.pdf>
- 4) 宮城県：宮城県災害廃棄物処理計画 平成29年8月、2017. <<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/junkan/shorikeikaku.html>>
- 5) 多賀城市：多賀城市災害廃棄物処理計画 令和2年3月、2020. <<https://www.city.tagajo.miyagi.jp/kankyo/kurashi/gomi/saigaihaikibutsu.html>>
- 6) 福島県：福島県災害廃棄物処理計画 令和3年3月、2021. <<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16045a/saigai-plan2.html>>
- 7) 広島県：広島県災害廃棄物処理計画 平成30年3月、2018. <https://dwasteinfo.nies.go.jp/plan/project_man/after_hiroshima_main.pdf>
- 8) 茨城県：茨城県災害廃棄物処理計画 平成29年2月、2017. <<https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/haitai/kikaku/disaster-waste/plan.html>>
- 9) 常総市：常総市災害廃棄物処理計画 平成31年3月、2019. <<http://www.city.joso.lg.jp/soshiki/eisei/seikatsu/shs14/news/sgp1/1574396479066.html>>
- 10) 熊本市：熊本市災害廃棄物処理計画 令和元年7月、2019. <https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=24995&e_id=9>
- 11) 広島市：広島市災害廃棄物処理計画 令和2年3月、2020. <<https://www.city.hiroshima.lg.jp/soshiki/87/146346.html>>
- 12) 呉市：呉市災害廃棄物処理計画 令和2年8月、2020. <<https://www.city.kure.lg.jp/soshiki/18/saigaisyori.html>>
- 13) 福山市：福山市災害廃棄物処理委計画 平成31年3月、2019. <<https://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/site/kankyo/152128.html>>
- 14) 総社市：総社市災害廃棄物処理計画 令和2年11月、2020. <https://www.city.soja.okayama.jp/kankyo/kurashi/gomi_recycle/gomisyuusuu/saigaihaikibutsusyorikeikaku.html>、（入手 2021.10.1）
- 15) 倉敷市：倉敷市災害廃棄物処理計画 令和3年3月、2021. <<https://www.city.kurashiki.okayama.jp/30578.htm>>、（入手 2021.10.1）
- 16) 岡山県：岡山県災害廃棄物処理計画 令和2年3月、2020. <<https://www.pref.okayama.jp/page/432345.html>>
- 17) 笠岡市：笠岡市災害廃棄物処理計画 平成31年3月、2019. <<https://www.city.kasaoka.okayama.jp/soshiki/18/19599.html>>
- 18) 真庭市：真庭市災害廃棄物処理計画 平成31年3月、2019. <<https://www.city.maniwa.lg.jp/soshiki/14/1811.html>>
- 19) 松山市：松山市災害廃棄物処理計画 令和元年6月、2019. <<https://www.city.matsuyama.ehime.jp/kurashi/gomi/kanren/saigaihaikibutu.html>>
- 20) 西予市：西予市災害廃棄物処理計画 令和元年12月、2019. <<https://www.city.seiyo.ehime.jp/kurashi/life/gomi/7449.html>>
- 21) 宇和島市：宇和島市災害廃棄物処理計画 平成31年3月、2019. <<https://www.city.uwajima.ehime.jp/soshiki/15/saigaihaikibutu-shorikeikaku.html>>
- 22) 岡山県：平成30年7月豪雨災害に係る岡山県災害廃棄物処理実行計画（改訂版） 令和元年7月、2019. <https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/799700_7502072_misc.pdf>
- 23) 倉敷市：平成30年7月豪雨に伴う倉敷市災害廃棄物処理実行計画 第2版 令和元年7月、2019.<

- https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201807kurashiki_jikkou_2.pdf>
- 24) 総社市：総社市災害廃棄物処理実行計画、平成 30 年 10 月、2018. <
https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201807soja_jikkou-2.pdf>
- 25) 高梁市：高梁市災害廃棄物処理実行計画、平成 31 年 3 月、2019. <
https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201807takahashi_jikkou.pdf>
- 26) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害に係る広島県災害廃棄物処理実行計画（改訂版）平成 30 年 8 月、
2018. <https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201807hiroshima_jikkou.pdf>
- 27) 呉市：呉市災害廃棄物等処理実行計画 平成 30 年 9 月、2018. <
https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201807kure_jikkou.pdf>
- 28) 環境省 環境再生・資源循環局 災害廃棄物対策室：災害廃棄物対策指針（改訂版）平成 30 年 3 月、
2018. <<http://kouikishori.env.go.jp/guidance/guideline/>>
- 29) 環境省 東北地方環境事務所：市町村向け 災害廃棄物処理行政事務の手続き 平成 29 年 3 月、2017.
<http://tohoku.env.go.jp/to_2019/post_153.html>
- 30) 福島県：令和元年台風第 19 号等に係る福島県災害廃棄物処理実行計画 令和元年 12 月 26 日、2019.
<<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/363168.pdf>>
- 31) 茨城県：茨城県災害廃棄物処理方針 令和元年 11 月 28 日、2019. <<https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/haitai/kikaku/documents/saigaighaikibutushorihousin.pdf>>
- 32) 栃木県 環境森林部 廃棄物対策課：令和元年台風第 19 号に係る栃木県災害廃棄物処理方針、令和元年
11 月 20 日、2019. <https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201910tochigi_houshin.pdf>
- 33) 長野県：令和元年台風第 19 号災害に係る長野県災害廃棄物処理実行計画 令和 2 年 1 月、2020.
<<https://www.pref.nagano.lg.jp/haikibut/kurashi/recycling/shisaku/documents/jikkoukeikaku.pdf>>
- 34) 鋸南町：令和元年台風 15 号に係る鋸南町災害廃棄物処理実行計画 令和元年 12 月 12 日（第 2 版）、
2019. https://dwasteinfo.nies.go.jp/archive/past_doc/201909kyonan_jikkou.pdf
- 35) 災害廃棄物対策の基礎～過去の教訓に学ぶ～、2016. <
http://kouikishori.env.go.jp/document_video/pdf/teaching_material_01.pdf>
- 36) 坂口 直也、田内 裕人、江種 伸之、大塚 義一、災害廃棄物の適切な処理計画策定支援を目的と
した収集運搬・処理連動モデルの開発、土木学会論文集 G（環境）（土木学会）74（5）195-202、
2018.
- 37) 川の防災情報 <<https://city.river.go.jp/kawabou/reference/index05.html>>
- 38) 災害に係る住家の被害認定基準運用指針、2021 <
https://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/r303shishin_all.pdf>
- 39) 田畑智博、張欧、山中優奈、蔡佩宜、統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生
原単位の推計とその利用、「土木学会論文集 G（環境）」、Vol.71、No.6、II_441-II_449、2015.
- 40) 環境省、災害廃棄物等の発生量の推計方法。「災害廃棄物対策情報サイト」<
<http://kouikishori.env.go.jp/>>

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) S. Asai, T. Akiyama, H. Tanouchi and N. Egusa: Proceeding of 6th Int. Conf. on Structure, Engineering & Environment (SEE), paper id: 6155 (2020)
A NUMERICAL SIMULATION OF DISASTER WASTE DISPOSAL IN WAKAYAMA CITY BY USING DHT MODEL
- 2) 中野正樹, 酒井崇之, 岩下将也, 大塚義一, 加藤雅彦: 第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.189-194, 2021.
被災自治体の災害廃棄物処理計画・処理実行計画の分析による必要項目の抽出と考察
- 3) 塩入潤一郎, 中川将吾, 高井敦史, 清水祐也, 勝見武: 第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.183-188, 2021.
実機試験と室内試験による土砂混合廃棄物の分別特性に及ぼす含水比と細粒分含有率の影響の評価
- 4) 矢吹信喜, 有賀貴志, 中野正樹, 酒井崇之, 大塚義一, 岩下将也, 加藤雅彦: 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 78, No. 2, I_10-I_21, 2022.
災害廃棄物処理計画・処理実行計画の作成支援を目的としたオントロロジー開発
- 5) M. Iwashita, Y. Ohtsuka and M. kato: Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol.24, pp.1304-1316.2022, DOI: doi.org/10.1007/s10163-022-01404-x.
Predicting the particle size distribution of fine-grained and sandy soils using deep learning for classifying recovered soils separated from tsunami deposits
- 6) 清水祐也, 塩入潤一郎, 中川将吾, 高井敦史, 勝見武: 地盤工学ジャーナル, Vol.17, No. 3, pp.319-329, 2022.
土砂混合廃棄物の分別特性に及ぼす含水比と細粒分含有率の影響の評価
- 7) 石田倫啓, 平岡寛星, 高井敦史, 勝見武, 清水祐也: 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp.699-706, 2022.
回転式・振動式ふるい機を用いた土砂系混合廃棄物の分別特性評価

<査読付き論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表(査読なし)>

【サブテーマ1】

- 1) 高井敦史, 塩入潤一郎, 中川将吾, 勝見武, 清水祐也: 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会(2021) 実機を用いた模擬災害廃棄物の分別処理特性に及ぼす影響要因の評価
- 2) 田内裕人, 浅井惣一郎, 江種伸之: 第45回土木情報学シンポジウム講演論文集, id:71(2020).
Pythonによる災害廃棄物の収集運搬・処理連動モデルのプロトタイプの開発
- 3) M. Ishida, K. Hiraoka, A. Takai, T. Kato, T. Katsumi and Y. Shimizu: Geo-Environmental Engineering 2022
Evaluation of separation efficiency of soil-waste mixtures using rotating and vibrating screens

(2) 口頭発表(学会等)

【サブテーマ1】

- 1) 谷川寛樹, 山本大陸, 山下奈穂, 白川博章: 第48回環境システム研究論文発表会(2020)

- 日本全国の利用度別物質ストックの定量化ー住宅におけるケーススタディー
- 2) 中野正樹：DOL/LSF に関する全国・国際共同利用研究成果発表会
木片腐朽過程を考慮した木片混じり粘土の長期力学特性の把握
 - 3) 矢吹信喜, 有賀貴志, 中野正樹, 酒井崇之, 大塚義一, 岩下将也：2021 年度土木学会関西支部年次学術講演会
災害廃棄物の処理実行計画書作成支援のためのオントロジー構築
 - 4) 齋藤隆成、平井千津子、芳賀智宏、松井孝典、白川博章、谷川寛樹：第 48 回環境システム研究論文発表会 (2020)
衛星夜光情報に基づく深層学習による建築物の延べ床面積推計に関する研究
 - 5) 吉田英立、白川博章、谷川寛樹：環境科学会 2020 年会 (2020)
同一性判定システムを用いた浸水想定区域における建設資材ストック・フロー分析・東京都市圏におけるケーススタディー
 - 6) 森田大登、白川博章、谷川寛樹：環境科学会 2020 年会 (2020)
建築物解体に伴うコンクリート塊の需給バランスの将来予測
 - 7) 山田久太、白川博章、谷川寛樹、深堀秀敏：環境科学会 2020 年会 (2020)
木材の地産地消を考慮した都市と人工林の炭素ストック量の将来推計ー福岡県北九州市におけるケーススタディー
 - 8) 水嶋彩恵、白川博章、谷川寛樹：環境科学会 2020 年会 (2020)
浸水深別被害率を用いた洪水浸水被害による水害廃棄物発生量の推計・名古屋市におけるケーススタディー
 - 9) 松代竜毅、山下奈穂、白川博章、谷川寛樹：環境科学会 2020 年会 (2020)
日本におけるストック由来の建設廃棄物量の推計
 - 10) Jing Guo, Tomer Fishman, Yao Wang, Alessio Miatto, Wendy Wuyts, Zheng Licheng, Heming Wang, Hiroki Tanikawa: ISIE Socioeconomic Metabolism perpetual online conference Session 2: Spatially explicit SEM research. 2020.09.02
Urban development and sustainability challenges: 4d-GIS assessments of material flows and stocks of buildings in China
 - 11) 中川将吾, 塩入潤一郎, 高井敦史, 勝見 武, 清水祐也：第 56 回地盤工学研究発表会, 12-3-5-07 (2021)
土砂混合廃棄物の含水比と細粒分含有率が分別特性に及ぼす影響
 - 12) 中野正樹, 酒井崇之, 今枝龍之介：第 56 回地盤工学研究発表会, 12-3-5-03 (2021)
木片混入分別土の木片腐朽に伴う力学挙動変化の骨格構造概念に基づく解釈
 - 13) 岩下将也, 大塚義一, 加藤雅彦：3RINCs Special Session 4 “Material Cycles in Construction Works”, 2022
Predicting the particle size distribution of fine-grained and sandy soils using deep learning for classifying recovered soils separated from tsunami deposits
 - 14) 矢吹信喜, 有賀貴志, 中野正樹, 酒井崇之, 大塚義一, 岩下将也：2021 年度土木学会関西支部年次学術講演会, VII-2, 2021
災害廃棄物の処理実行計画書作成支援のためのオントロジー構築,
 - 15) 矢吹信喜, 有賀貴志, 中野正樹, 酒井崇之, 大塚義一, 岩下将也：第 46 回土木学会土木情報学シンポジウム, pp. 65-68, 2021 災害廃棄物処理計画・処理実行計画の作成支援を目的としたオントロジーの開発
 - 16) 太田裕也、吉田英立、郭静、白川博章、谷川寛樹：2021 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 地理情報システムを用いた関東 1 都 4 県の建築物に関する物質ストック・フロー分析
 - 17) 玉崎美結, 森田大登, 山田久太, 郭静, 白川博章, 谷川寛樹：2021 年度 土木学会関西支部年次学術講演会名古屋市中心部における建設資材ストックの推移に関するデータベースの構築

- 18) 田内 裕人, 黒木 秀和, 岩下 将也, 大塚 義一, 中野 正樹: 第 46 回土木情報学シンポジウム, 災害廃棄物の収集運搬・処理連動モデルの基礎的性能の検証, 2021 年 09 月.
- 19) 津田雅仁, 中野正樹, 酒井崇之, 高井敦史, 加藤雅彦, 田内裕人, 大塚義一: 第 57 回地盤工学研究発表会, 2022
風水害で発生した土砂混合廃棄物の物性および木片混入分別土のせん断挙動の把握
- 20) 石田倫啓, 平岡寛星, 高井敦史, 勝見 武, 清水祐也: 2022 年度土木学会関西支部 年次学術講演会, 2022. 回転式ふるい機による土砂系混合廃棄物の分別特性評価
- 21) 石田倫啓, 平岡寛星, 高井敦史, 加藤智大, 勝見 武, 清水祐也: 第 57 回地盤工学研究発表会, 2022.
回転式・振動式ふるい機による土砂系混合廃棄物の分別特性評価
- 22) 飯塚溪介, 清水裕也, 高井敦史, 加藤雅彦: 第 57 回地盤工学研究発表会, 2022
災害廃棄物から発生する分別土砂の分別過程における化学成分の溶出挙動の変化
- 23) 酒井崇之, 中野正樹, 令和 3 年度土木学会中部支部研究発表会, III-07, 2022.
粒子群最適化法による構成則パラメータ推定手法の提案と検討
- 24) 酒井崇之, 中野正樹, 第 34 回中部地盤工学シンポジウム, pp. 73-76, 2022.
粒子群最適化法のパラメータが構成則パラメータの探索能力に及ぼす影響
- 25) 中野正樹, 日本材料学会東海支部 第 59 期総会 支部総会講演, 2022.
災害廃棄物等の処理・活用に向けた取り組み～震災で発生した災害廃棄物・津波堆積物の有効利活用を考える～
- 26) 中野正樹, 酒井崇之, 日本材料学会, 東海地区合同テクノフェア, 東海地区合同テクノフェア, 2023.
災害廃棄物・津波堆積物の処理・活用に向けた取り組み～震災で発生した災害廃棄物・津波堆積物の有効利活用を考える～
- 27) 酒井崇之, 中野正樹, 令和 4 年度土木学会中部支部研究発表会, III-11, 2023.
粒子群最適化法による構成則パラメータ推定における推定範囲が探索能力に及ぼす影響

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ 1】

- 1) 令和 2 年環境研究総合推進費【1-2004】一般公開講演会「災害廃棄物処理における AI 利活用の可能性～土木分野への AI 活用の応用展開を目指して～」(令和 2 年 10 月 15 日、聴講者約 90 名、Microsoft teams によるオンライン講演会) (中野、矢吹、大塚)
- 2) 一般公開講座『災害廃棄物管理に関するシリーズ講座「Series of Lectures on Disaster Waste Management」(主催: (一社) 廃棄物資源循環学会, 2021 年 3 月 18 日, オンライン, 参加者約 40 名)』にて, 「Management and utilization of DW」と題して講義を実施(高井)
https://jsmcwm.or.jp/?page_id=21457
- 3) 自治体職員を対象とした災害廃棄物処理計画・処理実行計画の作成支援システムの社会実装に向けた活用シンポジウム, 石坂広徳様特別講演「豪雨災害における初動時の取り組みと今後の課題について」, 2022 年 8 月 10 日, オンラインおよび名古屋大学, 参加者約 148 名
- 4) 地盤技術フォーラム, ブースによるポスター展示および災害廃棄物処理実行計画支援システムのデモンストレーション, 2022 年 9 月 14 日～16 日, 東京ビッグサイト, 参加者多数.

(4) マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ 1】

- 1) 産経新聞(2022 年 3 月 11 日、国土強靱化へオールジャパン 巨大災害対策 ICT 化カギ)
- 2) 読売新聞(2022 年 7 月 8 日、全国版「なるほど科学&医学 災害廃棄物 混乱の中 AI が処理計

画」

- 3) 産経新聞（2022年8月15日、全国版「防災その先へ 常二備へヨ 災害廃異物処理①」
- 4) 産経新聞（2022年9月1日、全国版「防災の日特集 災害廃異物 処理プロセス最適化」
- 5) 産経新聞（2023年3月11日、災害廃異物処理 経験どう生かす

（５）本研究費の研究成果による受賞

特に記載すべき事項はない

（６）その他の成果発表

特に記載すべき事項はない

IV. 英文Abstract

Optimization of Disaster Waste Treatment Process by Utilizing AI and Construction of Support System for Preparation of Treatment Plan/Treatment Execution Plan

Principal Investigator: Masaki NAKANO

Institution: Nagoya University, Nagoya, Aichi, JAPAN

Tel: +81-52-789-4622 / Fax: +81-52-789-4624

E-mail: nakano@civil.nagoya-u.ac.jp

Cooperated by: Kyoto University, Osaka University, Wakayama University, Meiji University, Iwate Prefecture, Okumura Corporation, Hydro Technology Institute

[Abstract]

Key Words: Disaster waste, Treatment plan/Treatment execution plan, Separation, Collection/Transportation/Treatment linkage model, Treatment process, AI, Optimization

This study aims to establish a system to support the formulation of effective disaster waste treatment plans and treatment execution plans, to help improve the rate of formulation of treatment plans and prompt formulation of treatment execution plans at the time of a disaster, and to optimize and accelerate the treatment and effective utilization of disaster waste. Therefore, we analyzed disaster waste treatment plans and treatment execution plans, established templates for these plans, developed an optimization model for the disaster waste treatment process, and improved and expanded the accuracy of the "coefficient of separation," which can predict the quantity and quality of separated products obtained in the treatment process. For the treatment plan, we listed more than 20 items to be added, and clarified the importance of efforts to be made during normal times. In the treatment execution plans, publicly funded dismantling, administrative outsourcing, and financial resources were added. A draft table of contents and a template for these plans were also created. The constructed ontology enabled the developed system to properly detect omissions, duplications, inconsistencies, temporal order, and distortions of terms. Simulations were performed on 21 hypothetical processes to validate the model and to calculate reasonable results for the amount of generation, plan changes, and process increases, as well as to confirm that the computation time is fast. The optimization method using a multi-objective genetic algorithm was developed, and the optimization of a general treatment process was conducted using this method. The optimal number of transport vehicles and processing machines were obtained. When the water content ratio approached the plastic limit of the soil, the mixture became more consolidated and the proportion of residual sediment increased. It is believed that evaluating the plastic limit of sediment in disaster waste will enable early prediction of the amount of modifier to be added, treatment period, treatment cost, and recycling rate. Finally, we summarized the good points of the system, points that need to be improved, and functions that we would like to see added in each of the eight items in the municipal hearing, and proceeded to brush up the system in the areas where it was possible.