

博士論文審査報告書

論文題目

デジタル技術を活用した廃棄物処理システムの高度化
とその評価に関する研究

Research on the advancement of waste management
systems and its evaluation using digital technology

申請者

小川	聡久
Akihisa	Ogawa

環境・エネルギー研究科
環境配慮エネルギー・循環システム研究

2024年2月

わが国の廃棄物処理分野は温室効果ガス排出量の削減、人口減少・高齢化による労働人口の減少、災害対策等の社会的課題に加え、2020年からは新型コロナウイルス感染症が流行し、感染症対策も求められている。こうしたなか2021年4月に環境省から「資源循環分野からの地域循環共生圏モデル」が提示された。本モデルは中間処理施設が下水処理施設等の周辺施設と連携すること（以下、施設間連携）や廃棄物処理分野においてAI(Artificial Intelligence)・IoT(Internet of Things)等の自動化等技術を活用することを推進している。これらの取り組みを行うことは中間処理施設の集約化・広域化および自動化等技術により効率化された廃棄物処理システムの構築につながり、上記に示した社会的課題の解決に寄与できるとされている。本研究では、「中間処理施設と周辺施設の連携の普及に向けた地域特性の把握と評価手法の構築」、「自動化等技術の技術成熟度評価による開発の進捗状況の明確化」、「非接触型ごみ収集に寄与する自動化等技術の普及に向けた開発・評価」を目的としている。

3名の論文審査員は、2024年1月12日、2024年1月23日の計2回の審査を実施するとともに、個別の指導を通じて、内容の改善および追加の検討を求めた。その結果、取りまとめられた論文の概要とその評価について以下に述べる。本論文は6章から構成されている。

第1章では、研究背景および目的について述べている。わが国の廃棄物問題の動向から、デジタル技術を活用した廃棄物処理システムの高度化の必要性について述べている。

第2章では、地理情報システムを活用した地域特性の可視化と施設間連携の経済性・環境性評価手法の構築について述べている。自治体の廃棄物部局と下水道部局を対象に施設間連携に関するニーズを把握することを目的としたアンケート調査を実施し、中間処理施設と下水処理施設が連携し、可燃ごみと下水汚泥の混焼や混合メタン発酵を行うシステムを構築することに一定のニーズがあることを確認している。そのうえで、自治体の構想策定段階において、施設間連携に必要な地域特性を地理情報システム(GIS:Geographic Information System)を活用して可視化することや施設間連携時の経済性・環境性を把握可能とすることにニーズがあることを述べている。そこで、GISを活用し、地域特性の可視化を行うとともに、各自治体の連携に適した立地条件の把握が可能な評価手法を構築した。さらに、実事例の建設に携わったプラントメーカーに経済コストに関するヒアリング調査を実施し、設備ごとの建設費の算出式を構築することで、LCA(Life Cycle Assessment)に基づいた連携時の経済性・環境性評価手法を構築した。

第3章では、地域特性を考慮した施設間連携の経済性・環境性評価手法の活用可能性の検証について述べている。第2章で構築した評価手法が自治体の構想策定段階において活用可能であることを示すための検証を2つのモデル自治体に対して行った。モデル自治体としては下水処理施設を災害拠点化

することを目的として、下水処理施設から発生するエネルギーを温水プールに供給する検討が行われている K 市と市内に熱需要の高い工業団地がある I 市を選定した。K 市では、本評価手法を用いて、ごみ焼却施設と下水処理施設の連携に加え、温水プールへの熱供給を含めた評価を行っている。I 市では、本評価手法を用いて、熱需要の高い工場への熱供給を含めたごみ焼却施設と下水処理施設の連携時の評価を行っている。いずれにおいても、施設間連携と熱供給の有効性を経済面・環境面から定量的に把握することができ、評価手法としての有効性を示している。

第 4 章では、廃棄物処理システムにおける自動化等技術の活用に関する自治体向けのアンケート調査と技術熟度評価について述べている。廃棄物処理システムにおける自動化等技術の活用に対するニーズを把握するために、自治体向けのアンケート調査を実施し、人口減少対策や非接触型ごみ収集に寄与する技術にニーズがあることを確認している。さらに、現状の技術開発の進捗状況の客観的な把握を目的に、近年の廃棄物処理システムにおける自動化等技術に関する先進事例 29 件に対し、技術成熟度評価(TRA: Technology Readiness Assessment)を行っている。ここでは、廃棄物処理分野における自動化等技術の技術成熟度をより明確に評価することを目的に、TRL for WM(Technology Readiness Level for Waste Management)を新たな評価軸として定義し、廃棄物処理分野の実態に即した評価を試みている。その結果、ICT(Information and Communication Technology)技術や画像処理技術を活用したごみ焼却施設における自動運転に代表される中間処理施設内の事例に関しては、TRL for WM が 8 (最終実証)、9 (市場投入) と高く、AI・IoT 技術を活用した収集運搬分野の事例は TRL for WM が 8 未満と低い傾向があることを示している。収集・運搬分野では、AI・IoT 技術を活用した開発が積極的に行われているものの、社会実装に至っているものは少なく、非接触型ごみ収集の技術開発の必要性を述べている。

第 5 章では、非接触型ごみ収集の実現に向けた自動化等技術の開発と社会実装に向けた評価について述べている。非接触型ごみ収集の社会実装に向け、収集運搬業者へのニーズ調査やごみ収集実態調査を実施し、非接触型ごみ収集に必要とする要素を明らかにしている。具体的には、コンテナ回収への変更を念頭におき、監視機能を有するスマートごみ箱、大型・小型ごみコンテナそれぞれに対応した反転装置、自律走行でコンテナを運搬できるモビリティ・ロボット等の要素技術を開発対象として抽出している。開発した要素技術を実環境に近いフィールドで、PoC(Proof of Concept)を実施した結果、小型ごみコンテナを大型ごみコンテナに移し替え、大型反転装置でごみ収集車に投入するまでの一連のプロセスを非接触で行うことが可能であることを示している。さらに、開発した要素技術を第 4 章で定義した TRL for WM による評価を行うとともに、社会実装に向けた課題を提示するとともに今後の展望を提示している。

第 6 章では、本論文のまとめとして本研究で得られた成果を総括するとともに今後の展望について述べている。

以上、本論文は、デジタル技術を活用した廃棄物処理システムの高度化とその評価を通じて、廃棄物処理システムの高度化に寄与することが期待される。本研究で示された成果は、環境工学の分野において新しい知見をもたらすものとして、高く評価できるため、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2024 年 2 月

(主査) 早稲田大学教授 博士(工学) 早稲田大学 小野田弘士 (環境配慮エネルギー・循環システム)

早稲田大学教授 博士(工学) 早稲田大学 納富信 (環境システム評価)

早稲田大学大学院教授 博士(学術) 早稲田大学 永井祐二 (地域情報システム)