

## 論文の内容の要旨

論文題目 廃棄物マネージメントを支援する建築・都市システムの構築

氏名 間宮 尚

本論は一般廃棄物処理を適正に行うために建築・都市が保有すべき要素を定量的に把握することを目的とした研究である。廃棄物処理方法の比較においては特定の廃棄物を対象とし、特定の処理工程に着目した LCA/LCI が実施されている。しかし、システム境界を自由に設定できるため、その結果はシステム境界に依存したものとなり、その設定自由度の高さゆえにシステム境界を理解せずに結果を議論することができないという問題を抱えている。

そこで一般廃棄物、その中でも恒常的に発生する可燃ごみと不燃ごみの処理を与条件として部分処理工程の変革が廃棄物処理領域全体にいかに関与するかを把握する。具体的には廃棄物フローモデルにおける重要分岐点の設定、廃棄物処理の優先順位の上位概念である廃棄物マネージメントの優先順位の設定を行い、各分岐点における廃棄物フローの制御を優先順位に沿った評価軸で検討するという枠組みを提示した。廃棄物マネージメントは廃棄物の発生から処分までを包括的に調整・制御する行為であり、その評価には廃棄物の性状から消費者による分別可能性、各処理の特性等の情報が必要となる。本論では廃棄物フローに沿って各処理工程の情報を詳細に収集し、建築・都市が保有すべき機能を抽出するために実施する総合評価へ反映させた。

本論分の構成と主な内容は以下の通りである。

第1章では、研究の背景と論文の構成を示した。

第2章では、廃棄物処理をめぐる問題を多角的に調査し、課題の設定を行った。まず、本論におけるシステム境界を可燃ごみ・不燃ごみの処理（分別から処分まで）とし、廃棄物フローを規定する4つの分岐点を示した上で、①消費者による分別と対応するリサイクル、②自治体の廃棄物の処理方法、③焼却灰等の建材化が制御可能な分岐点であることを示した。次に日独の廃棄物処理のアプローチを分析し、廃棄物の「適正」処理とは何かを明確にすべく、廃棄物処理の優先順位の上位に位置する保護対象を示す概念として廃棄物マネジメントの優先順位を設定した。具体的には①環境の保護、②最終処分量の低減、③CO<sub>2</sub>発生量の低減、④経済性の追求の4つで、本論では定量的に評価可能な②と③を評価指標として選定した。以上により本論では複数の処理シナリオの効果を廃棄物処理全体の中で、処分量とCO<sub>2</sub>排出量を指標として評価する枠組みを提示した。

第3章では、対象となる一般廃棄物の性状の詳細な把握とデータの共有化を目的としてデータベース化手法を提案し、可燃ごみ・不燃ごみに適用した結果について述べた。廃棄物性状調査方法には確立した方法がなく、実施主体によって①サンプルの採取地点、②サンプル量、③分類の詳細度、④調査項目が異なっている。既存の調査方法では調査時の分類に基づく組成以外の知見が得られず、分類が実施主体によって決められている現状ではデータの互換性もない。その理由は用途と素材を混用したごみの記述方法にあり、これらを分離して記述することがデータ共有の前提となる。それにはごみ一点一点の特性の記述が必要となり、重さ、大きさ、用途、素材、汚れ等を記述するデータベース化手法を構築した。

データベースに基づいた用途・素材組成マトリックスから、リサイクルが量的に有望な廃棄物として可燃ごみでは生ごみ（46%）と印刷物（13%）、不燃ごみではプラスチック包装材（45%）を抽出した。ふると風力選別機を想定した見かけ面積、面積密度による乾式機械選別の可能性を検討したところ、可燃ごみ、不燃ごみともに繊維系・複合系ごみの選別に難があること、プラスチックの素材ベースの選別には用途（形態）と素材の関係づけが必要であることを示した。さらには汚れの記述から真重量と湿重量の変換係数（可燃ごみで1.6、不燃ごみで1.13）、袋構造の記述から生ごみ分別時における可燃ごみ中のプラスチック減量率（約1/6）を求め、総合評価に利用すべく整備した。本手法では多角的な分析を事後に実施できる他、分類を対応づけることによって他者の組成データと比較可能であることを示した。

第4章では、ごみ発生と自治体による処理を繋ぐ立場にある消費者の意識調査により、建築・都市が有すべき機能・制度の把握と、支援体制が確立された条件下における分別可

能性等を調査した。分別が進まない理由は保管スペース不足や収集体制の不備であるが、建築内部よりは外部機能の充実が望まれている。保管スペースは約 0.6m<sup>2</sup>/人、約 1.2m<sup>2</sup>/戸は必要で、リサイクル支援施設では回収するごみ種類と業務時間において自治体収集との住み分けが望まれている他、設置間隔や駐車場の有無が施設利用、すなわち分別率に影響する。

工学分野では廃棄物性状と処理方法を組み合わせた評価が行われているが、最も影響度の高い消費者による発生源での分別率はパラメータとして扱われている。本論ではここに根拠を与えるべく、コンジョイント分析によってデポジット制が導入された際の分別率や機能が整備された際の収集頻度のアクセプタンス等を定量的に把握した。分別しやすい有価物は PET ボトルや瓶や缶であるが、20 円程度のデポジットを導入すると分別しにくい有価物でも 60～90%も分別回収される可能性があること、収集頻度を半分しても PA が得られることを明らかにした。

第 5 章では、廃棄物処理工程の特徴を特性値比較分析の導入により把握し、各工程の標準的な環境負荷 (CO<sub>2</sub> 排出) 原単位を求めた。従来の LCA/LCI でも処理方法の比較が行われているが、比較の前提となる処理の仕様やシステム境界の妥当性が十分に吟味されているとは言いがたい。焼却一つとってもその仕様は千差万別であり、対象の特徴を把握することが前提として必要となる。そこでドイツで廃棄物管理の自治体比較に利用されている特性値比較分析を援用し、公開されていないデータは情報開示請求により入手して、①収集・運搬工程、②焼却処理工程、③処分場建設工程、④下水処理工程の 4 工程について CO<sub>2</sub> 排出量を指標とした特徴の把握を実施した。

東京 23 区では収集・運搬の大半は小型プレス車 (2t) で行われ、積載量は可燃ごみで約 1.4t/台、不燃ごみは約 0.7t/台、燃費は 3.9km/L-軽油、収集・運搬距離は約 20km である。焼却工程での CO<sub>2</sub> 排出量は含有炭素、脱硫方法と発電状況の影響を受け、標準的な焼却では投入財ベースで約 95kg-CO<sub>2</sub>/t、発電を考慮すると約 90kg-CO<sub>2</sub>/t、含有炭素を含めると約 830kg-CO<sub>2</sub>/t となる。処分場建設工程での CO<sub>2</sub> 排出量は特殊工事を除くと埋立面積で整理でき、埋立深さを 10m と仮定すると約 30kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> となる。下水処理では脱水助剤の種類、メタン発酵の有無や汚泥焼却における補助燃料量の影響が大きく、処理水量にかかわる工程では 0.12kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、処理負荷量にかかわる工程では 0.47kg-CO<sub>2</sub>/kg-BOD を標準的な CO<sub>2</sub> 排出原単位として得た。

第 6 章では、以上の結果を元に建築・都市の有すべき機能を最終処分量と CO<sub>2</sub> 排出量の視点で定量的に抽出すべく、ケーススタディを実施した。可燃・不燃ごみ処理全体をシステム境界とし、廃棄物フローを制御する方策として

- ①リサイクル広場の導入によるプラスチックの選択的分別回収とリサイクル
- ②生ごみの発生源 (建築) での分別と処理 (リサイクル・処分)
- ③最終処分量低減策としての焼却灰等の建材化

に着目し、複数のシナリオの廃棄物処理全体での寄与を検討した。処分量低減には一般に資源・エネルギーの再投入が必要となるが、CO2 排出量を維持したまま処分量を削減可能なシナリオもあった。

建築・都市機能としては焼却灰等の建材化が最も重要である。ここだけを評価すると CO2 排出量の増加が問題となるが、減量化された灰の量を考慮すると全体での寄与は小さい。リサイクル広場を経由したプラスチックリサイクルは現状（破碎・埋立）と比較して高炉、コークス炉、セメント工場等で原燃料リサイクル可能な場合に処分量、CO2 排出量の双方の低減が可能となる。一方、生ごみの建築での処理は生ごみ中の灰分が小さく、最終的には汚泥として焼却される場合が多いので処分量が低減されないこと、建築部門での CO2 排出量の増加が大きく、現状の地上回収・焼却・処分における CO2 排出量が最も少ないこと、生ごみの分離処理を採用する場合はメタン発酵によるエネルギー回収や大規模下水処理に依存すべきであることを示した。

大都市は一般廃棄物を大量に発生し、最終処分場の立地は困難であるが、建設市場が安定して存在するという特徴を有している。わが国の物流状況を考慮すると、セメント産業や鉄鋼産業と共存する都市像を模索する必要がある。

第7章では、全体を総括するとともに今後の展開について述べている。本研究では一般廃棄物処理全体を対象とし、処分量と CO2 排出量の観点から建築・都市の有すべき機能を抽出したが、今後は廃棄物マネジメントの優先順位に挙げつつも、評価に含めなかった①環境性（有害性）と④経済性の評価が課題となる。業際的な領域で各セクターの適切かつ公平な役割を設定するには環境性・経済性の評価が不可欠である。特に既存インフラと基幹産業の役割を含めた枠組みを再構築することは困難なタスクであり、これに寄与する評価技術の一層の高度化とデータベースの信頼性の向上が必要である。