

博士論文審査報告書

論文題目

Analysis and proposals for the development of sustainable municipal solid waste management methods in developing Asian countries

アジア新興国における持続可能な都市廃棄物の
処理・管理手法の開発に関する分析と提案

申請者

Andante	Hadi Pandyaswargo

環境・エネルギー研究科
持続可能な技術・社会システム研究

2013年 2月

アジア新興国における持続可能な都市廃棄物の処理・管理システム、すなわち、MSWM (Municipal Solid Waste Management) の構築が喫緊の課題となっている。人口増加と経済成長に伴い、発生する都市廃棄物の性状や発生量も急激に変化している。こうした状況のなかで、適正な MSWM に関する検討を怠れば、大気汚染や水質汚濁、廃棄物問題等のさまざまな環境問題を引き起こすこととなる。

本論文では、インドネシアを中心としたアジア新興国における持続可能な MSWM の構築に向けて必要となる視点を明らかにすることを目的としており、SWOT 分析や LCA (Life Cycle Assessment) 等の各種の手法を用いて、アジア新興国の実情に即した WSWM の提案を環境性、経済性の観点から行っている。これらの成果は、同様の課題を抱えているアジア新興国において有用な知見となる。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章は序章であり、本研究の背景、目的を明確にするとともに、アジア新興国における WSWM に関する現状を整理し、LCA 等に関する従来研究について述べている。

第 2 章では、SWOT 分析により、アジア新興国における MSWM に関する評価を行っている。具体的には、アジア新興国において採用実績のある堆肥化、メタン発酵、埋立地ガスの有効利用、焼却の 4 つの技術に着目し、各々の特徴的な利点および欠点を体系的に整理している。

堆肥化に関しては、有機性廃棄物の大幅な減容化や低品位の有機性廃棄物にも対応可能である点が利点として挙げられるが、臭気問題等を引き起こすことを欠点として挙げている。メタン発酵は、マテリアルリサイクルと同等程度の環境負荷削減効果をエネルギー回収によって得られる一方、低品位の有機性廃棄物への適応が難しいことを述べている。埋立地ガスの有効利用に関しては、メタン発酵と同様にエネルギー回収の効果は大きいものの、エンドオブパイプ (End of Pipe) 型の対応であり、導入可能な埋立処分場も限定的であることを示している。焼却処分は、高温での処理を行うために衛生面では有効であるが、水分の含有量が多い有機性廃棄物を処理するためには多大なエネルギーを消費する点を問題点として挙げている。

これらの結果やアジア新興国と先進国の状況を比較・考察したところ、分別の進展度合いが異なっていること等により、処理対象となる廃棄物の性状の違いが適正な WSWM の構築に影響することを指摘している。アジア新興国においては、さまざまな処理技術の組み合わせを検討し、環境性、経済性の観点から有効なシステムを見出すことの重要性を指摘している。

第 3 章では、ジャカルタにおける廃棄物処理システムへの LCA による統合評価について述べている。複数の統合評価手法により、堆肥化とメタン発酵の比較・評価を行い、SWOT 分析の結果も踏まえ、それに対する考察を行っている。

具体的には、Eco-indicator、Eco-Point、永田研究室で開発された ELP (Environmental Load Point) の異なる 3 つの評価手法を適用している。これらの 3 つの手法は、重要視するインパクトカテゴリーがそれぞれ異なることから、同一の評価シナ

リオを異なる手法で比較・評価することによって、その環境性を総合的に判断することが可能となる。ジャカルタに実在するプロセスをモデル化したうえで、堆肥化とメタン発酵のインベントリデータを収集し、両者の比較を行ったところ、いずれの手法においてもメタン発酵の優位性が定量的に示される結果となった。

一方、第 2 章における SWOT 分析の結果から、さまざまな廃棄物から混合状態で排出されるアジア新興国におけるメタン発酵の導入可能性は現実的ではないことを指摘している。以上により、アジア新興国に適合した処理システムを提示するためには、複合的なアプローチが必要であることを述べている。

第 4 章では、MSWM の LCA をインドネシア、インド、中国に拡張した結果について述べている。具体的には、統合化指標 ELP により、焼却発電、堆肥化、メタン発酵の比較・評価を行い、各国の実情を反映した MSWM を提案することを目的としている。

ELP では、パネル法によりカテゴリー重要度を決定するが、インドネシア、インド、中国各国の大学生を中心としたアンケート調査により推定したカテゴリー重要度を採用し、各国の環境意識を反映した評価を行っている。さらに、発電の評価に関係する各国の電源構成や投入・排出量を把握したうえで各シナリオを比較している。その結果、国によらず、メタン発酵、堆肥化、焼却発電の順で環境負荷の削減効果が大きいことを示している。ただし、削減効果に関しては、国によってその効果が異なる結果となった。その要因をカテゴリー重要度と電源構成の感度解析により検証したところ、電源構成の評価結果に与える影響が大きいことを述べている。とりわけ、石炭火力の占める割合が大きいインド、中国では発電電力による環境負荷の削減効果が大きく、それが評価結果に大きく影響を与えることが示されている。

以上の ELP による評価結果および各処理技術に関する実績の有無、政策動向等を総合的に勘案すると、堆肥化を中心とした処理システムがアジア新興国においては現実的であると結論づけている。

第 5 章では、堆肥化に焦点を当て、その経済性評価を行っている。インドネシア、スリランカ、中国に実在する堆肥化プラントのコスト・ベネフィット分析を通じて、事業採算性を確保できる適切な処理規模等の条件を提示することを目的としている。

インドネシア、スリランカ、中国に実在する小規模（1TPD 以下）、中規模（51TPD）、大規模（200TPD、638TPD）の堆肥化プラントを対象として、現地調査およびインタビューを通じて、種々のデータを入手し、比較・評価を行っている。評価指標としては、NPV（Net Present Value）、BCR（Benefit Cost Ratio）、単純回収年としている。ビックマックプライスにより、各国の経済価値がほぼ同等であることを確認したうえで、比較したところ、51TPD の事業採算性が最も優れる結果となった。1TPD 以下の小規模プラントや 200TPD の大規模プラントでは、中規模プラントに次ぐ事業採算性を示したもののアジア新興国の目安となる単純回収年 5 年での回収はできないことを示している。また、638TPD の大規模プラントでは、採算性が確保できず投資が回収できない結果となった。

以上の結果に基づき、イニシャルコストの設備補助や CER (Certified Emission Reduction) の活用等を想定した場合の感度解析を行い、事業採算性が確保できる条件について定量的な提案を行っている。これにより、小規模プラントは、イニシャルコストの補助を行うこと、大規模プラントでは処理手数料による収入を確保することにより、5年以内での投資回収が可能となると結論づけている。

第6章では、ELPによるカテゴリー重要度の推定方法の高度化を図ることを目的に、従来の AHP 法とテキストマイニング法による比較・評価を行っている。テキストマイニング法は、新聞記事のテキストマイニングにより、得られるキーワードの出現回数をカテゴリー重要度として導出する新たな提案であり、AHP 法と比較して簡便にカテゴリー重要度を推定することが可能となる。

インドネシアにおける全国版8紙、地方版7紙のテキストマイニングを実施したところ、全国版ではエネルギーの枯渇、地球温暖化、廃棄物処理問題の重要度が大きく、地方版では廃棄物処理問題の重要度が大きい結果となっており、両者における意識および関心の違いが反映されていることを述べている。この結果を AHP 法と比較すると、テキストマイニング法では廃棄物処理問題に対する重要度が相対的に大きくなっている。同様の検討を中国およびタイを対象として実施したところ、テキストマイニング法では中国では廃棄物処理問題、タイではエネルギーの枯渇の重要度が相対的に大きくなっている。

これらの結果と各国における廃棄物の発生量やエネルギー消費量等の推移を比較した結果、テキストマイニング法では短期的な視点が重要視されており、AHP 法で中長期的に問題となりうるカテゴリーが重要視されていることを考察として述べている。これらの違いを考慮したうえで、評価の目的に応じて適用する手法を使い分けることの必要性を示し、その活用方策の提案を行っている。

第7章では、本論文のまとめとして本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の研究の展望について述べている。

以上、要するに本論文は、アジア新興国におけるサステナブルな MSWM の構築に向けて必要となるアプローチを SWOT 分析、LCA、経済性評価の観点から実践しており、アジア新興国の実情に即した MSWM に対する具体的な提案を行っている。

これらの成果は、アジア新興国の MSWM の在り方について多大の貢献と示唆を与えるものであり、高く評価される。よって、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2013年2月

(主査) 早稲田大学准教授	博士(工学) 早稲田大学	小野田 弘士
早稲田大学教授		永田 勝也
早稲田大学教授	博士(工学) 早稲田大学	関谷 弘志