学位論文題名

Comparison of Mass, Element Balance, Energy Consumption and Cost of Composting and Methane Fermentation for Various Types of Organic Waste

(様々な有機性廃棄物の堆肥化とメタン発酵における物質収支, エネルギーおよびコストの比較に関する研究)

学位論文内容の要旨

有機性廃棄物は、21世紀環境立国戦略の中で低炭素化社会実現のための重要な施策のひとつとしてその活用が挙げられている。またわが国における廃棄物の半分以上を占めており、廃棄物埋立地削減、環境負荷削減などのために有効利用が必要とされている。有機性廃棄物の活用方法としては、エタノール化、水素発酵など、さまざまな新規技術が提案されている。しかしそれらが広く実用化される可能性は、現時点では未知である。これに対して堆肥化、メタン発酵はさまざまな有機性廃棄物に適用でき、しかも古くから使用されている実現性の高い方法といえることができる。こうした背景のもとで、堆肥化、メタン発酵を対象として研究を行っていた。

第1章では日本におけるごみの年間発生量、そのうち有機性廃棄物の割合及び有機性廃棄物の種類・量を把握した。実用された資源化技術および既往の研究を調べた。有機性廃棄物の代表的な資源化技術は堆肥化とメタン発酵であり、実際に数多くの施設が稼働している。しかし施設パンフレットに記載されている計画量やフローシート程度の情報しかなく、技術の評価は十分行われてはいなかった。また従来の研究は個別システムを対象としたものが大部分であり、対象廃棄物やプロセスが異なる場合の比較を行うことができなかった。この状況を打開するには、各種技術の適用条件、物質収支、エネルギー収支、残渣の特性、コストなどを、事前情報として知ることが必要である。そこで処理対象物の種類、プロセス構成、規模などの異なる全国多数の施設を対象として調査を行い、物質収支、エネルギー収支、およびコストを分析し、「資源化システム」としての技術資料提供を目的とした。

第2章では日本全国一般実態調査統計による、堆肥化施設77施設を対象とし、アンケート調査をおこない、40施設から回答が得られ、対象ごみとプロセスによって施設を分類した。そのうち生ごみを中心とする11施設について詳細な追加調査を行い、製品堆肥、副資材のサンプル提供を依頼して、元素分析を行った。主な結果では、生ごみ堆肥化といっても、同じ処理法ではなくプロセスによって三つタイプを分け、Standard in-vessel composting, drying と stand-alone composting machineであった。それぞれのタイプにおいてプロセス構成を明確し、物質収支を評価した。さらに、副資材を除く廃棄物由来の炭素窒素比、酸素消費速度を推定した。推測したデータはが施設における運転条件から論理的につながるので、堆肥の安定性を評価する良いインデックスであった。

第3章では、第2章で行われた堆肥化施設のアンケート調査に基づいて、回答された40施設全てを対象とし物質収支、エネルギー消費及びコストを比較し評価した。また、製品堆肥のサンプル提供を依頼して、元素分析も行った。主な結果では有機性廃棄物に対する副資材の割合が施設によって差があり、製品堆肥の特性は副資材を含んだものとなっている。副資材による堆肥特性の関係を明らかにし、堆肥の特性は主に廃棄物種類に依存する。維持管理費のうち、人件費や修繕費等をスケールメリットが示され、電力、用水や燃料等はほぼ一定なることをわかった。

第4章では文献や統計調査による、メタン発酵施設217施設を対象としアンケート調査をおこない、回収率50.8%であった。メタン発酵後の消化液及び脱水後のろ液や汚泥のサンプル提供を依頼して、元素分析を行った。通常はガス発生率を施設の評価としているが、従来用いられていたガス発生率は含水率の異なる廃棄物間では比較できない。ここでは炭素の気液固間収支を求め、ガスへの移行率が従来の分解率に当たり、異なる廃棄物間で比較可能な値となった。また、栄養成分であるリン、カリウム、窒素も同様に固液間の収支を明らかとした。リンは施設での脱水時に添加される凝集剤によって、固体へと移行していることが分かった。消化液は十分な栄養分を含んでおり、液肥として利用可能である。

本研究では文献等で知ることのできるすべての堆肥化施設、メタン発酵施設に対して、アンケート調査とサンプル分析を併せて行い、廃棄物の種類、プロセス、規模などの異なる多数の施設を調査した。そして堆肥化については副資材を含めた物質収支をとり、堆肥の安定度評価(廃棄物に由来する堆肥の特性値として)の新しい方法を提案した。またメタン発酵については、炭素のガス・液・固体への分配率を算定し、異なる廃棄物間で比較可能な分解率(炭素のガス化率)の提案、リン、カリウムなどの栄養成分の固液配分率をもとめ、液部分が液肥として利用可能であることを示した。エネルギー収支、コストの分析も同時に行っていた。これらの成果は、自治体が堆肥化、メタン発酵を採用するときの技術情報として提供できる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 藤 敏 彦
副 査 教 授 廣 吉 直 樹
副 査 教 授 高 橋 正 宏
副 査 准教授 東 條 安 匡

学 位 論 文 題 名

Comparison of Mass, Element Balance, Energy Consumption and Cost of Composting and Methane Fermentation for Various Types of Organic Waste

(様々な有機性廃棄物の堆肥化とメタン発酵における
物質収支, エネルギーおよびコストの比較に関する研究)

有機性廃棄物は、21 世紀環境立国戦略の中で低炭素化社会実現のための重要な施策のひとつとしてその活用が挙げられている。またわが国における廃棄物の半分以上を占めており、廃棄物埋立地削減、環境負荷削減などのために有効利用が必要とされている。有機性廃棄物の資源化技術にはエタノール化、水素発酵などが提案されているが、広く実用化される可能性は未知である。これに対して堆肥化、メタン発酵はさまざまな有機性廃棄物に適用可能で、実際に数多くの施設が稼働している現実性の高い方法である。

しかし従来は、施設パンフレットに記載されている計画量やフローシート程度の情報しかなく、技術の評価は十分行われてはいなかった。また従来の研究は個別システムを対象としたものが大部分であり、対象廃棄物やプロセスが異なる場合の比較を行うことができなかった。そこで本研究は、処理対象物の種類、プロセス構成、規模などの異なる全国多数の施設を対象として調査を行い、物質収支、エネルギー収支、およびコストを分析し、資源化システムとしての技術資料提供を目的とした。

第 1 章では日本におけるごみの年間発生量、そのうち有機性廃棄物の割合及び有機性廃棄物の種類・量を把握するとともに、実用された資源化技術および既往の研究に関する調査を行って、研究の意義を明らかにした。

第 2 章では全国の一般廃棄物堆肥化施設 77 施設を対象とし (40 施設より回答)、アンケート調査をおこなった。生ごみとの混合処理として、さまざまな産業廃棄物の処理が行われていることが分かった。処理されている廃棄物は、種類によって含水率に大きな差がある。そこで搬入物中の種類別乾燥重量割合によって、施設を 6 種類に分類した。第 2 章ではそのうち生ごみを中心とする 11 施設について詳細な追加調査を行い、製品堆肥、副資材のサンプル提供を依頼して、三成分、元素などの分析を行った。

生ごみ堆肥化施設には標準的な方法以外に、温水加温・温風送付を行う乾燥に近い方式、業務用の堆肥化装置を利用する施設の3種類に分けられた。炭素窒素比、酸素吸収速度は堆肥安定化の指標であるが、水分調整のために添加される副資材は分解されずに残っている。そこで副資材を除く生ごみ由来部分の数値を求め、両者に良い相関が得られ、安定化の指標として有効であることを示した。

第3章では、第2章のアンケート回答施設すべてを対象とし、物質収支、エネルギー消費及びコストを比較し評価した。製品堆肥サンプルを入手し、分析も行った。同一原料であっても、堆肥の特性には大きな差があること、搬入搬出物間の物質収から、有機物の分解率が廃棄物によって異なること、有機物中炭素割合は堆肥化によって変化しないことを示した。

建設費および維持管理費のうち人件費や修繕費等にはスケールメリットが見られた。廃棄物の種類別に見ると、水処理施設をもつ浄化槽汚泥を原料とする施設の建設費が高く、維持管理費の中で人件費等は電力、燃料等の約5倍であった。

第4章では、全国のメタン発酵施設217施設に対して、堆肥化と同様の調査を行った。回答が得られた85施設は、搬入物中の種類別乾燥重量割合によって7種類に分類した。またメタン発酵後の消化液、脱水後のろ液や汚泥のサンプルを入手して分析を行った。通常はガス発生率を分解率と同義に使用しているが、含水率の異なる廃棄物間では比較できない。そこで、炭素の気液固間移行率を算出し、廃棄物種類間のガス化率の比較を行った。栄養成分であるリン、カリウム、窒素の、固液間の収支を明らかにしたが、リンは施設での脱水時に添加される凝集剤により固体へと移行していることが分かった。消化液は水処理を行っている施設が大部分だが、十分な栄養分を含み、液肥として利用可能であることを示した。

建設費にはスケールメリットが見られ、水処理、堆肥化施設を持つ施設のコストが高い。維持管理費は廃棄物の種類間で差が大きく、この点は堆肥と異なっている。生ごみについて堆肥化と比較すると、コストは同等である。焼却施設に較べると高価な施設となっているが、これは施設規模が小さいためである。

これを要するに著者は、さまざまな有機性廃棄物を原料とする多数の堆肥化施設、メタン発酵施設の総合的評価を行い、資源循環、低炭素化社会実現のための有用な情報を提供したもので、廃棄物資源工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。