

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01917

研究課題名(和文) 機械的・生物的处理を組み込んだ統合的ごみ処理システムの評価・提案

研究課題名(英文) Evaluation of Integrated waste management system based on MBT concept for municipal solid waste

研究代表者

松藤 敏彦 (Matsuto, Toshihiko)

北海道大学・工学研究院・特任教授

研究者番号：00165838

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,700,000円

研究成果の概要(和文)：機械選別、生物処理、熱処理を組み合わせるMBTシステムの適用可能性を検討した。対象としたのはメタン発酵と焼却を組み合わせたコンバインドシステム、最初に好気性処理の発酵熱により水分を除去し固体燃料を回収するバイオドライイングである。実システムでサンプリング調査を行い物質収支、エネルギー収支を明らかにし、バイオドライイングについては室内実験を行い、水分除去のモデルを作成した比較対照として従来の焼却、および燃料によって回収するごみ固形燃料化施設を加え、マテリアルフローを明らかにし、エネルギー収支を推定した。最後にパラメータの感度解析を行い、実システムの設計に貢献できる情報を提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国のごみ処理は、分別して別々の処理を行うことが多いため、並列的となり非効率性がある。本研究は、EUにおいて埋立地への有機物負荷を減らすために考えられたMBTシステムを応用し、混合ごみ処理を効率的に行うMBTの適用可能性を検討した。主に対象としたのはメタン発酵と焼却を組み合わせたシステム、最初に好気性処理の発酵熱により水分を除去し固体燃料を回収するバイオドライイングであり、どちらも施設しての稼働はあるが、これまでの研究は少なかった。実システムにおける調査によって基礎となるデータを得、物質フロー、エネルギー収支を明らかにして、実システム設計に役立つ情報を提供したもので、学術的、社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：MBT is a combination of mechanical, biological, and thermal process as an integrated system. Two MBT systems were studied: combined system of Anaerobic Digestion (AD) and incineration, and Biodrying MBT which is followed by mechanical separation to recover solid fuel. Field study was conducted in real-scale facility, where solid waste and output material were sampled, and material balance and energy balance were clarified. Lab-experiment of biodrying was also carried out to construct moisture removal model. By taking two other system, incineration and RDF production system, four systems were evaluated in terms of energy recovery and CO2 emission. By using data obtained in our study and from literature review, material flow were drawn, and energy balance was estimated. Finally, sensitivity analysis of main parameters was carried out to find factors which should be improved for higher energy recovery rate.

研究分野：廃棄物処理

キーワード：廃棄物処理 エネルギー回収 MBTシステム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)わが国のごみ処理は、焼却のための可燃、不燃ごみ分別に始まり、発生源別の伝統がある。しかし 1990 年代後半のダイオキシン問題をきっかけに循環型社会が目指され、容器包装、家電製品などのリサイクルが始まり、温暖化を背景として生ごみのメタン発酵も広まりつつある。こうした背景のため、分別数が増加し、あらたなプロセスが追加されて、ごみ処理は大変複雑なシステムとなった。

(2)一方、EU では分別なしの混合ごみ埋め立てを行ってきたが、埋立地管理が長期化することを多くの研究者が指摘し、1999 年の埋立指令によって有機物埋立量削減が義務付けられ、そのために MBT (Mechanical Biological Treatment) が多く採用されることとなった。MBT とは、機械選別、生物処理、熱処理を組み合わせるもので (図 1C)、安定化した廃棄物のみを埋め立てる。MBT は、その要素の種類と順序の組み合わせによって、目的に応じた多様なシステムを構築することができる。

2. 研究の目的

MBT の概念を利用すると、焼却して埋め立てるといっような処理に代わって、いくつかの可能性が考えられる。低炭素化のためメタン発酵が脚光を浴びているが、従来の方法は生ごみを分別収集するので焼却とメタン発酵の並列システムとなり、収集コストが増加する。また施設規模が小さくなるので経済的非効率性が発生し、分別率と回収率は住民協力度に依存し不安定になる等の欠点がある。これに対して、図 1A は、可燃ごみを選別して生ごみ・紙類をメタン発酵し、発酵不適物およびメタン発酵固形残渣を焼却するもので、コンバインドシステムと呼ばれている。メタン発酵の分解率は 60~70% 程度であるが、未分解物を焼却することで、廃棄物エネルギーを効率的に利用できる。

一方、図 1C で回収される可燃物は燃料利用が可能で、SRF (Solid Recovered Fuel) と呼ばれている。これに対し、図 1B のように好氣的生物処理を最初に行うと、発酵熱によって水分を除去し、そののちに物理選別を行うため SRF の回収効率が増加する。この最初の生物処理を BioDrying と呼んでおり、図 1B もまた MBT の一種である。

本研究は、機械的・生物的・熱的処理の組み合わせである MBT システムを利用した統合的ごみ処理システムを評価し、わが国のごみ処理を見直すことにある。

3. 研究の方法

廃棄物処理システムに関する研究は、仮想的な対象を設定し、文献値を収集して実施することが多い。これは、ごみ発生・分別、収集、処理の要素が多く、具体的な情報を収集することが困難なためである。しかし、ごみ処理の状況はすべての自治体固有であると言ってよく、机上の研究を実際に当てはめる際には多くの修正・調整や新たなデータ収集が必要となる。本研究は、北海道旭川市を対象に、現実のごみ処理システムを対象に新たなごみ処理の実行可能性を検討した。主な内容は、以下のとおりである。

1)ごみ性状分析を含むマテリアルフロー分析によって、対象とする旭川市の現状を把握した。カギとなる MBT 施設、BioDrying については、2) 運転中の MBT 施設の調査、サンプル分析により、機械的選別の特性を明らかとし、運転データを分析し、3) BioDrying についてはは実験によって運転特性を検討し、モデルを作成した。4) 以上の準備の下で、文献調査によるデータ収集も加えて総合的ごみ処理をエネルギー、CO₂ 排出量によって評価した。対象とするシステムは、図 1A、B、および比較対照として従来の焼却と RDF 化である。

4. 研究成果

(1) コンバインドシステム

図 1A のコンバインドシステムにおいては、最初のプロセスである破碎選別によって、可燃ごみがメタン発酵、焼却にどのように分けられるかが重要である。この破碎選別の効率を初めて実測によって明らかにした。選別によってメタン発酵、焼却へと分けられた廃棄物を採取し、組成ごとの可燃分、TOC および BMP 試験によって嫌気発酵によるガス発生量を測定した。

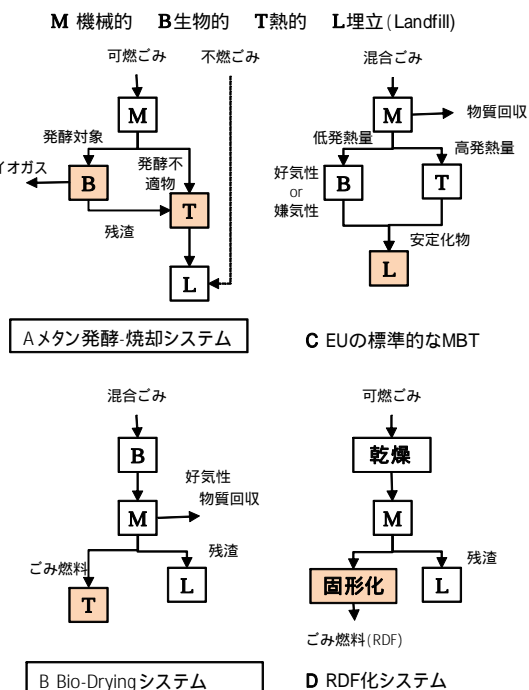


図 1 さまざまな MBT システム

図2に組成別の選別率を示す。別機によって水分、生ごみはメタン発酵に、布、プラスチックは焼却に多く移行している。可燃物組成で見るとメタン発酵への回収率は75%である。しかし、紙や厨芥の分解率は100%にはならない。BMP試験の結果より、炭素収支から組成別にガス化率を求めると(ただし、菌体合成のため分解率よりは低い)紙類、厨芥の分解率は60%程度に過ぎない。一方、プラスチックは付着物のためバイオガス発生ポテンシャルを有している。これらを考慮して、バイオガス発生ポテンシャル(ガス化可能な炭素)の割合にすると、65%がメタン発酵に回収されている。実施設計に有用なデータを提供した。

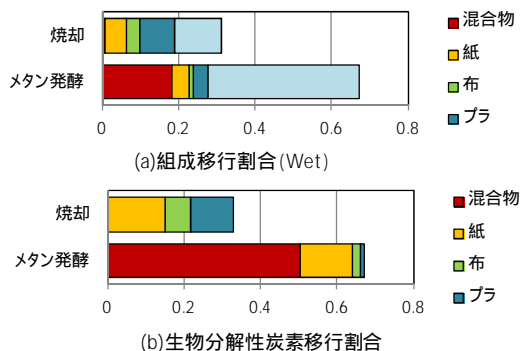


図2 選別装置における移行割合

(2) Biodrying カラム実験

Biodrying については、有機性廃棄物を充填したカラム実験を行い、温度、ガス組成から有機物分解量、熱発生量、乾燥速度を算出した。実験パラメータは、通気量、有機物量であり、それぞれ5通りに変えて組み合わせた。明らかになったメカニズムは、図3のとおりである。

微生物分解による温度上昇が Biodrying の特徴と考えられているが、カラム内部は常に飽和蒸気であり、通気はカラム内から蒸気を押し出す効果を持つ。そこで、水分除去の効果を通気と温度上昇に分けて比較すると、通気の影響が大きいことがわかった。ただし通気量が過大だと水分量が低下して微生物分解が停止することから、適度な通気量とする必要がある。実験結果をもとに、水分除去モデルを作成した。

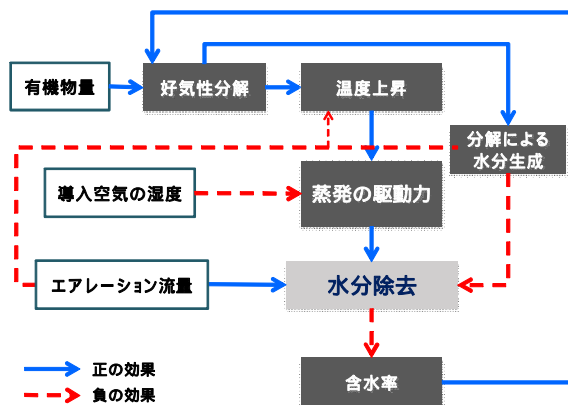


図3 Biodrying の水分除去メカニズム

(3) Biodrying 実システム

日本国内で稼働している施設の調査を行った。17日間通気を行うバッチシステムであり、処理後に可燃物(SRF)を回収して、残りは戻して搬入ごみと混合する。搬入物、処理物、および選別後の可燃物、小粒径物などの分析を行って、組成、水分、有機物量の変化を明らかにした。

また施設は、エアレーション空気を循環し、適宜外気を取り入れ、外気および循環空気の風量を制御している。水分収支を中心とするモデルを作成し、運転データをもとに1時間単位の水分除去量を推定した例を図4に示す。運転は、高温を保つための殺菌、有機物量減少に従って外気量を減らし、最後に風量を増やして冷却乾燥する、いくつかのフェーズがある。初期水分蒸発量は、初期の高温の時期、そして最終段階の空気量を増やした例略の時期に大きいことがわかった。カラム実験の考察と併せて、Biodrying における乾燥メカニズムを明らかにすることができた。

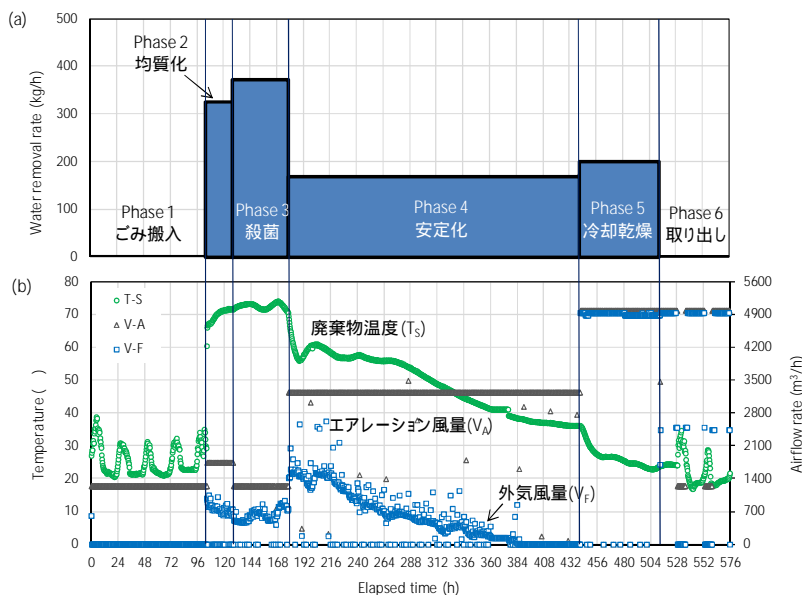


図4 バイオドライイング実システムにおける水分蒸発量

(4) システム評価

エネルギー回収システムとして、コンバインドシステム、Biodrying システムの評価を行っ

た。SRF を回収する Biodrying の比較対照として、燃料によって乾燥を行う RDF 化システム、および従来の焼却を評価した。それまでの研究結果より、まずマテリアルフローを分析した。同時に、各システムの選別率、分解率などのプロセス特性、電力、薬剤等消費量を整理し、物質収支、エネルギー収支モデルを作成した。

評価結果を図5に示す。上が回収、下が消費である、「 \circ 」が正味の回収量である。コンバインドシステムは焼却とメタン発酵で発電を行うため焼却と較べて回収量は大きい。メタン発酵の電気消費量のため正味回収量は低下する。一方、Biodrying はエネルギー消費量が小さく、燃料により乾燥する RDF 化にはるかに優れている。CO₂ 排出量も、図4と同じような傾向にある。

数多くのパラメータを使用しているため、感度解析を行った結果を図6に示す。各システムにおいて、図下に示したパラメータ値を変化させ、図5の正味回収量の変化である。図中 Max, Min は、文献より現実的な幅として設定し、各パラメータの影響度を示すため $\pm 20\%$ 変化させた結果も示した。この図は、どのパラメータを優先して向上すべきか示している。またパラメータ値を同時に向上させた際の推定も行っており、実システム的设计に貢献することができた。

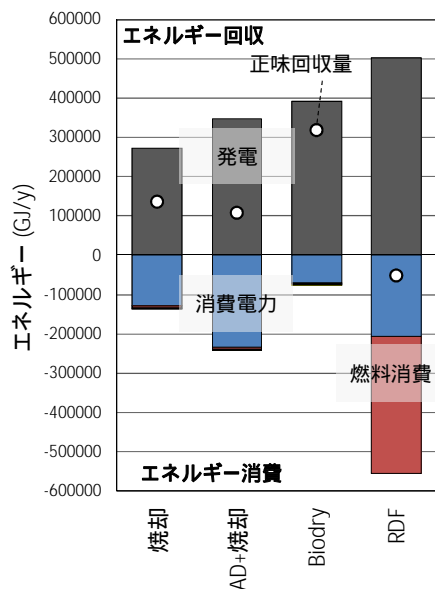


図5 各システムのエネルギー収支

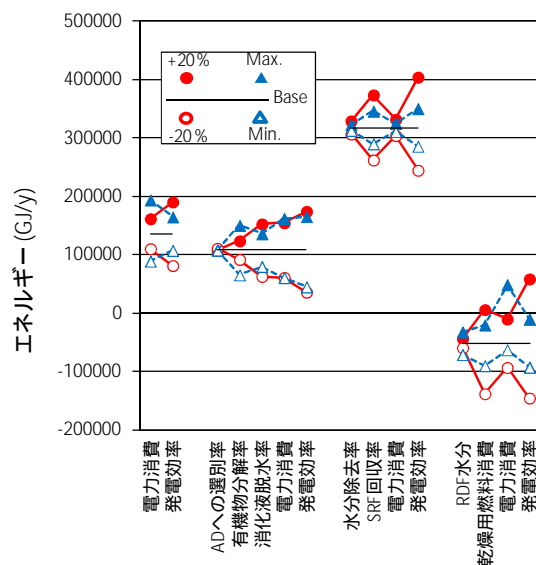


図6 パラメータ感度解析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 松藤敏彦
2. 発表標題 廃棄物焼却における 縦型式ストーカ焼却炉の技術的位置づけ
3. 学会等名 第40回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坪井 成浩, 松藤 敏彦, 松尾 孝之, カナバル エリザ, 東條 安匡, 黄 仁姫
2. 発表標題 コンバインド式メタン発酵施設におけるマテリアルフロー分析
3. 学会等名 第29回廃棄物学会研究発表会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松藤敏彦
2. 発表標題 縦型ストーカ炉内の現象に関する考察
3. 学会等名 第29回廃棄物学会研究発表会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松藤 敏彦, 山田 裕史
2. 発表標題 縦型ストーカ炉における窒素酸化物の生成および共存ガスの影響
3. 学会等名 第29回廃棄物学会研究発表会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ham Geunyong, Matsuto Toshihiko, Dong-hoon Lee
2. 発表標題 Effects of air-flow rate and easily biodegradable organic contents on water removal in bio-drying process
3. 学会等名 第29回廃棄物学会研究発表会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G.Y. Ham, T. Matsuto, T. Matsuo, N. Tsuboi, Y. Tojo, I. H. Hwang
2. 発表標題 Material balance of bio-drying MBT facility for solid fuel production
3. 学会等名 IWWG-ARB 2019, The 4th Symposium of IWWG Asian Regional Branch (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naruhito Tsuboi, Toshihiko Matsuto, Takayuki Matsuo, Yasumasa Tojo, In-Hee Hwang
2. 発表標題 Estimation of sorting efficiency and material flow in combined type anaerobic digestion facility
3. 学会等名 22nd Korea-Japan Joint International Session, The 2018 Spring Conference of the Korea Society of Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

廃棄物処分工学研究室 研究実績 http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/waste/?achievement_category=achievement01
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	東條 安匡 (Tojo Yasumasa) (70250470)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	黄 仁姬 (Hwang In-Hee) (70447077)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	