

研究論文

循環型社会の実現に向けた地方自治体の 廃棄物処理システムの最適化および経済性評価

Economic Analysis of Sustainable Waste Management in a Municipal Government

浦 邊 理 郎*・中 田 俊 彦**

Michiro Urabe

Toshihiko Nakata

(原稿受付日2003年12月4日, 受理日2004年4月23日)

Abstract

In many countries, the concern with municipal solid waste (MSW) has been growing for the past few decades. A remarkable increase in the amount of MSW has generated environmental pollutions such as fly ash, sludge, and dioxin. Most countries have been revising their waste management policies in keeping with changes in environmentally sound technologies.

The purpose of this study is to optimize MSW management system in a municipal government in Japan. We have derived an optimal system configuration among the various alternative and conventional disposal facilities for waste management by designing the MSW management system model, which can consider both the mass flow and economic operation of the system.

The advanced MSW management system could reduce both the total costs of MSW management by 6% and the quantity of landfill by approximately 20%. In conclusion, the installation of alternative facilities in optimal system configuration has a potential for the reduction of total cost of MSW management as well as the quantity of landfill.

1. 背景

20世紀型の社会は、大量生産、大量消費そして大量廃棄というライフスタイルのもとで発展を遂げてきた。しかし、急激な経済発展は、天然資源の枯渇や環境汚染などを引き起こし、解決の抜本策が切望されているのが現状である。

1984年発足の国連「環境と開発に関する世界大会」及び、1992年リオデジャネイロの地球サミットを経て、循環型社会の実現に向けて各国が歩みだした。欧米では循環を基調として、環境負荷を軽減する社会の実現に向けた法制整備^{1), 2)}が始まった。同様に、日本でも1993年に環境基本法が制定され、21世紀に向けた生活環境保全のための環境基準を盛り込んだ環境基本計画が策定された。その後、2000年には循環型社会に係る基本法律（循環型社会形成基本法）が公布され、循環型社会の実現に向けて本格的に歩みだした。

循環型社会の実現に向けた法整備の基本理念は、最終処分量の削減と再資源化率の向上を目標とした、廃棄物処理の適正化である。たとえば、日本では廃棄物の適正処理、リサイクル推進のための横断的、包括的な法律として廃棄物処理及び清掃に関する法律（通称：廃棄物処理法、2001年）と資源有効利用促進法（2001年）が施行されている。

日本では、廃棄物をその発形態や性状の違いから産業廃棄物と一般廃棄物に分類している。産業廃棄物は事業活動によって生じた廃棄物であり、廃棄物処理法で定められた燃え殻など19種類からなる。これに対し、一般廃棄物は産業廃棄物以外をさす。各地方自治体は、法令や環境基準をもとに一般廃棄物処理計画を策定し、域内の廃棄物の収集、処理を行うことが義務づけられている。廃棄物の処理計画を立てる場合、もうひとつ考慮すべき点は、各地域の地域特性（降水量や土地利用現況等）である。たとえば、日本では廃棄物の約80%が焼却処分されているが、この割合は他の先進国の現状に比べて2～5倍と非常に高い^{3), 4)}。この理由として、(1)日本は、平地が少なく高度な土地利用を強いられているため、最終処分場の建設が困難であること、(2)廃棄物の減容化が迫られること、(3)湿潤な気候のため廃棄物の焼却処分が衛生的であること等が挙げられている。しかし、近年廃棄物の焼却処理による環境汚染が深刻な社会問題化するなど、廃棄物処理はいまだに質、量ともに多くの課題を残しており、焼却だけに依存した廃棄物処理では限界に達している。

2. 目的

現在、廃棄物の処理やリサイクルに関する処理技術が提案され、それらの評価や検証が行われている。しかし、既

*東北大学大学院工学研究科技術社会システム専攻

** 助教授

E-mail: nakata@cc.mech.tohoku.ac.jp

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01

第19回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス

(口頭発表) 予稿集p343-348

往の研究は処理技術単体の実証実験や性能評価に関する研究が多く、廃棄物処理システム全体を評価した研究例は少ない。既往の研究例として、飯田らのモデル都市におけるマテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの比較研究などが挙げられる⁵⁾。飯田らは一次エネルギー削減を目的とした際には、マテリアルリサイクルのほうがサーマルリサイクルよりも優れていることを示唆した。

廃棄物処理に関する研究のもう一つの問題点は、処理施設の導入を経済的に考慮した研究例が少ないことである。廃棄物処理に要する経費は毎年上昇しており、1999年の日本では国民一人あたり約18,000円となっている⁶⁾。たとえば、倉坂は廃棄物処理によって引き起こされる環境負荷の軽減には個人の経済判断を活用して行動を誘導する手法の導入が望ましいと結論づけている⁷⁾。このことから、今後廃棄物施設を導入する際には十分に経済性評価を行う必要がある。廃棄物施設の経済性評価を行った例として、AntonioとPacíficoのRDF製造施設の経済性および最適化設計を行った研究結果などがある^{8), 9)}。しかし、廃棄物処理システム全体の経済性を検討した例は見あたらない。たとえ優れた廃棄物処理技術であっても、今後の市場経済において普及の可能性が無いのであれば、技術としての価値が生かされないといえる。

そこで本研究では、最終処分量の削減と再資源化率の向上を同時に達成できる新しい廃棄物処理システムを提案する。物質収支的な視点にくわえて、廃棄物処理経費を考慮した経済的な視点からも検討し、システム性能を評価することを目的とする。

3. 解析手法

3.1 解析モデル概要

本研究は、地方自治体の廃棄物処理システムを対象にした。解析では、廃棄物の排出量から作成したフローに各処理工程に要する処理単価を導入することによって、廃棄物処理システムをモデル化した。本研究が作成したモデルの概念図を図1に示す。このモデルの特徴を以下に示す。(1) 既存の廃棄物処理システムに、複数の新しい処理技術を組み入れることが可能である。(2) 各処理施設における処理量は経済性に依存して決定される。(3) 廃棄物を組成別に分類して処理及び解析することが可能である。(4) 国全体の規模ではなく、地方自治体単位での解析が可能であり、地域特性を考慮した廃棄物処理システムを最適化できる。

3.2 解析の対象

本研究では、解析対象地域を政令指定都市の仙台市とし、解析対象年を1999年とした。また、一般廃棄物を組成別に10種類に分類をして解析を行った(表1)。

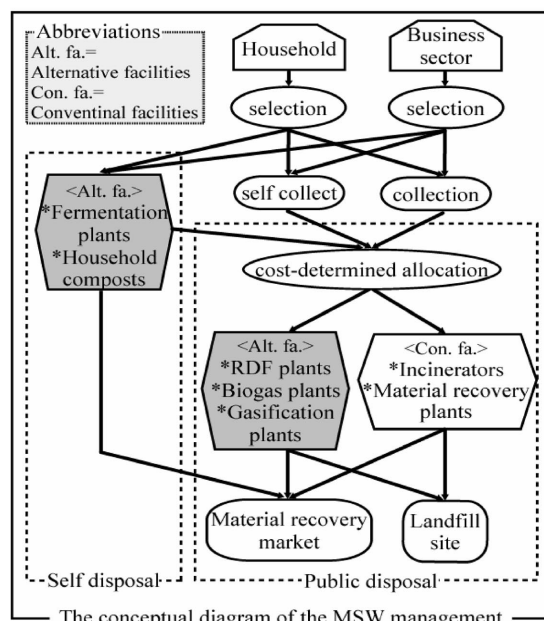


図1 廃棄物処理モデルの概念図

表1 廃棄物の分類および排出量

組成別分類名	排出量 (t/年)
厨芥類	153,520
可燃類	162,528
不燃類	32,506
容器包装類	43,080
ペットボトル	2,018
金属類	10,757
古紙	29,762
ガラス類	15,091
粗大ごみ	47,521
その他	7,065

(参考) 仙台市環境局HP
<http://www.city.sendai.jp/kankyou/soumu/database/index.html>

3.3 解析に用いたデータ

既存の廃棄物処理施設の処理単価は、環境省発表の「一般廃棄物の排出及び処理状況」^[6] および仙台市環境局による「平成14年度仙台市環境局事業概要」^[13] をもとに算出した。解析対象地域に導入されていない新たな廃棄物処理技術の処理単価及び導入コストは、他地域に既に採用されている例を参考に算定した。また、人件費については各処理施設の従事者と処理量を考慮して算定している。表2に、モデルで考慮した、処理施設の建設単価、処理単価および各廃棄物処理工程の処理単価を示す。

各処理施設の特徴を以下に示す。

a) 廃棄物発酵処理施設

微生物などを用いて有機系廃棄物を屋内で分解、発酵させることによってバイオガス（主成分はCH₄）を得る。本解析では、回収したガスは付帯の発電施設（本研究では、マイクロガスタービンと燃料電池発電を考慮）の発電に利

表2 各廃棄物処理施設の処理単価および建設コスト

廃棄物処理施設および工程	処理能力	建設単価 (¥/(t/day))	処理単価* (¥/t)	耐用年数 (year)
焼却炉(既存)	1,800 t/day	—	16,188***	35
再資源化施設(既存)	140 t/5h	—	17,323***	—
室内設置型生ごみ処理機 (一部既存)	—	**80,000(¥/台)	18,000	9
堆肥化施設(新設)	—	40,000,000	9,500	25
廃棄物発酵処理施設(新設)	—	75,000,000	11,500	25
RDF製造施設(新設)	—	45,000,000	10,980	25
ガス化溶融炉(新設)	—	35,000,000	10,500	25
最終処分(埋立)	—	—	9,584***	—
収集	—	—	11,879	—
選別	—	—	30,617	—

(参考)

環境省発表資料；一般廃棄物の排出及び処理等について、(2002)⁶⁾
 仙台市環境局総務課；平成14年度事業概要、(2002)、仙台市環境局¹³⁾
 (注)

*：すべての廃棄物組成処理における平均単価

**：処理機一台あたりの価格

***：施設の減価償却まで考慮した処理単価

(その他の施設の処理単価には、減価償却の費用を含んでいない.)

用するものと仮定した。

b) 室内設置型生ごみ処理機

厨芥類を電気と薬品の作用によって分解、堆肥化する。本研究ではすべての室内設置型生ごみ処理機は各家庭の室内に設置するものと仮定し、設置費用および廃棄物の処理費用の全額を自治体が負担するものと仮定した。また、各家庭や事業所で作られた堆肥の回収も自治体が行うものとした。

c) 堆肥化施設

有機系廃棄物の堆肥化を行う施設である。堆肥化施設で処理を行う厨芥類は解析対象地域内の事業所から排出されるもの、あるいは一般家庭の廃棄物から選別されたものと仮定した。

d) RDF製造施設

RDF (Refuse Derived Fuel) は、可燃廃棄物を粉砕、乾燥させた後、消石灰と混合させて固形燃料化したものである。本研究では、作成したRDFは付帯設備の専用ボイラーで燃焼させ、発電に利用すると仮定した。

e) ガス化溶融炉

廃棄物を木炭(チャー)とガスに熱分解させる設備である。木炭化された廃棄物は高温で溶融され、最終的にスラグとなり、ガスは高温で改質された後、急冷させて燃料ガスとして回収される。本研究では、発生したガスはすべて発電用として用いるものとした。

3.4 問題の定式化

3.4.1 目的関数

本研究の以下の目的関数を設定した。

$$TC = \sum_k \sum_l (FC_l + C(Q_{kl}, AC_l) - IC_l)$$

式中の、 TC は廃棄物処理に要する総費用、 FC は建設費や設備費などの固定費用であり、以下の式で算出される。 C

は運転維持費などの可変費用、 AC は処理工程の平均処理コスト、 IC は廃棄物処理に伴う副産物の売却益、 Q は廃棄物量、 k は廃棄物組成を表す記号で、 l は処理工程を表す記号である。

$$FC = (\text{建設単価}) \times \frac{Q}{365} \times (\text{耐用年数に応ずる償却率}) \times \frac{\text{事業に使用した月数}}{12}$$

3.4.2 制約条件

地方自治体が策定する一般廃棄物処理計画¹⁰⁾は、最終処分量の削減と再資源化率の向上を目標としている。本解析では、最終処分量と再資源化率について以下の制約条件を設定した。なお、式中の*の数値は解析対象地域の実績値¹³⁾を用いた。

$$\frac{\text{資源化物総量 (t/年)}}{\text{廃棄物総量 (t/年)} + \text{資源化物総量 (t/年)}} \geq 0.171^*$$

$$\text{直接処分量 (t/年)} + \text{処理残渣 (t/年)} \leq 71,821^* \text{ (t/年)}$$

3.4.3 解析の仮定条件

本研究では、それぞれの廃棄物処理施設は廃棄物処理システム全体で経済的な運営が可能となるように選択され、処理量が決定されると仮定している。ただし、1999年の仙台市には8基(300t/日×2基、200t/日×6基)の焼却炉が稼動しているが、これらは竣工年度の新しい施設から順番に優先的に選択されるものと仮定している。

3.5 解析ツール

本モデルの解析には、非線形最適化シミュレーションツールであるGAMS^{11), 12)}を用いた。既出の制約条件下で目的関数(TC)を最小化することによって、新設の廃棄物処理施設の経済性と導入可能性を評価した。

4. 結果

4.1 各廃棄物処理施設における処理量比較

図2に、新しい廃棄物処理システムと既存の処理システムについて、各処理施設における年間処理量の変化を示す。図から、新しい廃棄物処理システムでは、焼却炉による処理量が半減していることが確認できる。焼却炉に代わって

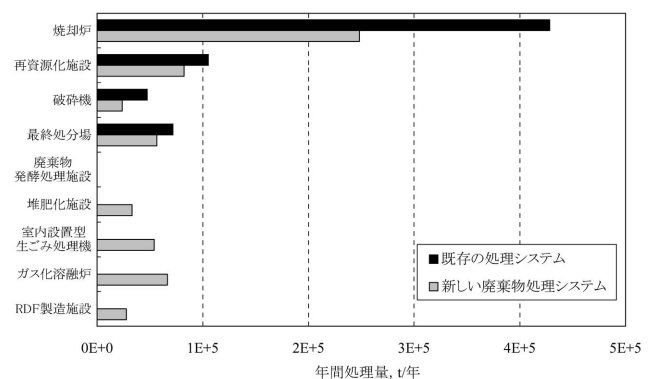


図2 廃棄物処理施設別の年間処理量の変化

室内設置型生ごみ処理機、堆肥化施設、ガス化溶融炉、RDF製造施設にて処理が行われているが、廃棄物発酵処理施設はシステムに導入されないことがわかる。

焼却炉による処理量減少の原因の一つに、解析対象地域では、153,520t/年の厨芥類の処理が焼却炉で行われていたのに対し、新しい廃棄物処理システムでは、厨芥類の焼却炉での処理量が60,297t/年になっていることが挙げられる。その他の厨芥類は、焼却炉に代わって室内設置型生ごみ処理機（54,000t/年）と堆肥化施設（33,000t/年）にて処理されている。

焼却処理量の減少は、厨芥類以外でもみられる。新しい廃棄物処理システムでは、焼却炉の代替処理施設としてガス化溶融炉（66,611t/年）とRDF製造施設（27,760t/年）がシステムに採用されている。このガス化溶融炉とRDF製造施設の年間処理量の差は、処理可能な廃棄物組成に起因していると考えられる。RDF製造施設で処理可能な廃棄物組成は、可燃性の廃棄物だけであるが、ガス化溶融炉では金属類やガラス類の処理が行えるからである。

4.2 最終処分量からみた廃棄物処理システムの最適化

新設の処理施設の導入に伴って最終処分量が減少していることが図2の結果より確認できる。具体的には実績値の最終処分量が71,861t/年に対し、新設施設導入ケースでは56,650t/年であり約20%も削減されている。最終処分量削減に大きく寄与しているのは、堆肥化施設と室内設置型生ごみ処理機であるが、処理の副産物として12,428t/年の堆肥が発生する。堆肥の散布量の目安は10アールあたり5t程度とされており、製造された堆肥を散布するために解析対象地域内に少なくとも25,000アールの農地が必要となる。これは仙台市全体の畑の耕地面積の25%にあたる。さらに、堆肥の使用期間は年間4ヶ月程度であり、その他の期間に発生した堆肥処理の問題も解決する必要がある。

4.3 廃棄物処理システムの経済性評価

廃棄物処理に要する総費用（TC）の比較を図3に示す。ここでは、廃棄物処理工程で得られる副産物からの収入は考えていない。実績値の130.9億円/年に比べて、新しい廃棄物処理システムでは123.3億円/年と、6%の経費削減となっている。図4には、廃棄物処理に要する総費用内訳を廃棄物組成別に示した。図から、厨芥類、ガラス類と粗大ごみの処理に要する費用が、新しい廃棄物処理システムでは大きく減少していることが確認できる。

厨芥類の処理施設としては、堆肥化施設と室内設置型生ごみ処理機が経済性の優れた施設であることが明らかになった。次に、ガラス類と粗大ごみの処理については、実績値では再資源化施設での破碎、選別または直接埋立が行われていたのに対し、新しい廃棄物処理システムでは、再資源化施設での処理にくわえてガス化溶融炉が導入されている。

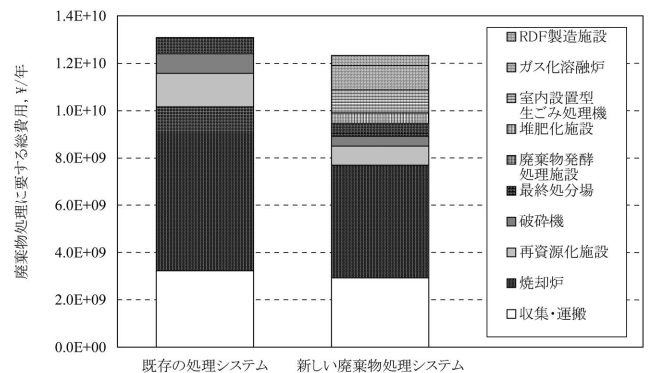


図3 廃棄物処理に要する総費用の比較

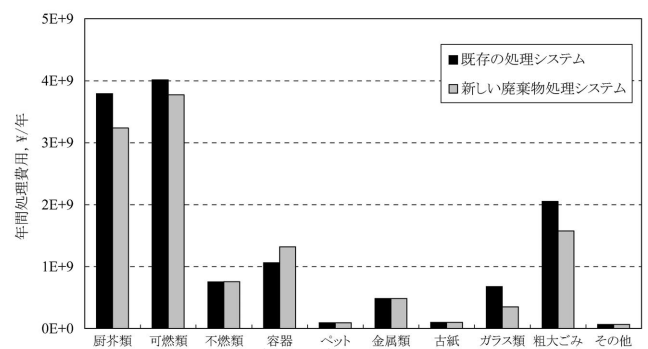


図4 廃棄物組成別に見た処理費用の比較

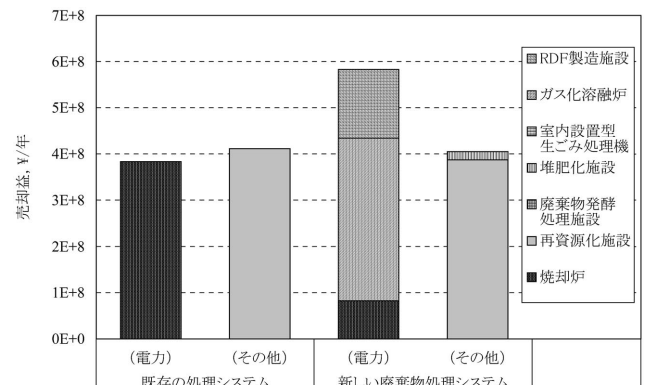


図5 廃棄物処理工程で得られる副産物の売却益の変化

これらから、ガス化溶融炉の経済的な優位性が示された。

図5に、廃棄物処理工程で得られる副産物の売却益の比較を示す。図から副産物の売却益は20%増加していることがわかる。これは、既存の焼却炉よりもガス化溶融炉とRDF製造施設の発電効率が優れているために、売電による売却益が増加したためである。具体的には、既存の仙台市の焼却炉の発電効率が2～13%であるのに対し、本研究では、ガス化溶融炉とRDF製造施設の発電効率を20～25%と想定している。

反対に、堆肥化施設等から発生する堆肥の売却益は非常に小さい。理由として、副産物として得られる堆肥（12,428t/年）の売却価格は最高でも1～2円/kgと安価であることと、室内設置型生ごみ処理機で作られた堆肥による売却益

が得られないためである。

4.4 廃棄物処理施設別の考察

表3に、本研究の結果から算定した各処理設備の最適設備構成を示した。表4には、新しい廃棄物処理システムにおける各処理施設の1tあたりの処理費用（処理単価および、施設の減価償却を含む）を示した。以下に各処理施設の処理容量の変化と処理費用についてまとめる。

a) 焼却炉

表3から実績値の処理能力が1,800t/日（300t/日×2基、200t/日×6基）に対し、新しい廃棄物処理システムでは1,000t/日（300t/日×2基、200t/日×3基）となっている。今後は最も古い焼却炉（小鶴工場1977年竣工、処理能力200t/日×3基）の見直しを行う必要がある。

一般廃棄物の発熱量は2,500～3,000kcal/kg（低位）であり、自然条件であるとされている。しかし、仙台市では、廃棄物の発熱量が2,000（低位）～3,000kcal/kg（高位）という調査結果が得られている。これは、廃棄物の中に水分を多く含む厨芥類などが入っているためであり、低熱量の廃棄物を焼却炉で処理するには重油などの補助燃料が必要となる場合がある。くわえて、厨芥類はストックヤード等に保管する際に腐敗や悪臭が生じるために処理が困難である。今後は、厨芥類処理を中心に、焼却炉処理を見直していく必要がある。

焼却炉による処理量は半減しているが、依然として廃棄物処理システムの主力であることには変わりはない。

b) 廃棄物発酵処理施設

建設費および運転維持費の面で他の処理施設に比べ経済的に不利であることが確認された。導入が促進されない別の理由として、電力会社による余剰電力購入メニューにおいて、焼却炉の廃熱利用により発電された電気の売電価格が約8円/kwhであるのに対し、廃棄物発酵処理施設由来のバイオガスをマイクロガスタービンや燃料電池によって発電した場合は3～4円/kwhと安価であることも挙げられる¹⁴⁾。一方で、廃棄物発酵処理施設の導入に向けた実証実験が横須賀市で始まり¹⁵⁾、「バイオマス・ニッポン総合戦略」¹⁷⁾が2002年に閣議決定されたことなどから、効果的

な政策支援があれば、導入が促進される可能性はある。

c) 室内設置型生ごみ処理機

表3から、仙台市全体で約10万台の新規設置が求められると試算できる。これは住民の4世帯に1台という普及割合であり何らかの政策支援策が不可欠になってくると考えられる。たとえば、現在の室内設置型生ごみ処理機の普及率は全国で3～4%とされている。これは地域差が大きく、福井県や三重県など早い段階から自治体が補助金を出して家庭への普及を促した地域では1割を超えている一方で、都心部では1%未満となっている。

表4から、室内設置型生ごみ処理機の処理費用は、他の施設に比べると割高である。しかし、各家庭で厨芥類を堆肥化した後の収集、埋立までを考慮に入れると、室内設置型生ごみ処理機は経済性に優れていると同時に、最終処分量の削減に有効な処理施設であることがわかる。現在、仙台市では室内設置型生ごみ処理機の設置に対して補助金の上限を25,000円/台に定めているが、現在市販されている一般家庭用の室内設置型生ごみ処理機の価格に匹敵する80,000円/台の補助金を提供しても、焼却炉による処理に比べて経済的であることがわかった。

d) 堆肥化施設

堆肥化施設で処理を行った厨芥類は、解析対象地域内の事業所から排出されるものに限定された。これは、一般家庭から排出された廃棄物の中から厨芥類のみを選別することが高コストになるためだと考えられる。堆肥化施設の導入推進には、現状の廃棄物収集方法の見直しが望まれる。さらに、発生した堆肥の有効利用法も策定されることが望まれる。

堆肥化施設と室内設置型生ごみ処理機には、堆肥の製造を目的とするものと消滅を目的とするものの2種類がある。前者のタイプでは発生した堆肥の有効利用先を模索する必要があるが、後者のタイプの処理残渣は投入量の1～5%程度（重量ベース）であるためにその必要が無い。つまり、前者のタイプは、再資源化率の向上に処理計画の主眼を置いている地域や堆肥の利用先が確保できる地域に非常に有効な施設であり、後者のタイプは最終処分量を削減

表3 廃棄物処理システムの最適な施設構成

廃棄物処理施設	既存のシステム	新しいシステム
焼却炉	1,800 t/day	1,000 t/day
再資源化施設	140 t/5h	140 t/5h
室内設置型生ごみ処理機	—	150 t/day
堆肥化施設	—	100 t/day
廃棄物発酵処理施設	—	—
RDF製造施設	—	100 t/day
ガス化熔融炉	—	225 t/day

表4 新しい廃棄物処理システムの各処理工程の処理費用

廃棄物処理工程	処理単価(¥/t)*
焼却処分	16,188
粉碎	17,323
最終処分	9,584
室内設置型生ごみ処理機による堆肥化	19,481
堆肥化施設による堆肥化	15,445
RDF化	15,418
ガス化熔融処理	15,431

*：処理単価及び施設の減価償却を考慮した値

したい場合や堆肥需要の少ない地域に有効であると考えることができる。また、両者の処理費用や設置費用には大きな差異はない。今後、各地方自治体は、域内の堆肥需要の多寡や廃棄物処理の方針によっていずれかのタイプを選択する必要がある。

e) RDF製造施設

RDF製造施設は、ガス化溶融炉に比べると処理可能な廃棄物組成が少ないため処理量が少なかった。しかし、廃棄物をRDFの状態に加工することは、腐敗や悪臭を抑制できるため、輸送や保管の面でメリットがある。たとえば、九州地方の大牟田市エコタウン構想では県内外の地方自治体がRDF製造施設を保有し、RDFの形で大牟田市に輸送し、発電を行う計画を立てている¹⁶⁾。このようにRDF製造施設は廃棄物処理の広域化の新たな形態を示唆している。

f) ガス化溶融炉

ガス化溶融炉は、既存の焼却炉よりも高温領域（1,250～1,450℃）でかつ還元雰囲気での処理を行うために、処理可能な廃棄物組成が豊富な技術として注目されている。本研究の結果からも経済性に優れていることから既存の焼却炉の代替処理施設として期待できる。くわえて、発生する処理残渣に関しては、(1) 未酸化状態の鉄やアルミが回収できること、(2) 処理残渣がスラグとして得られるために路面材などへの有効利用が可能であること、(3) 上記 (1)、(2) の結果として既存の焼却炉と比較して処理残渣の発生量が軽減される、等の利点があるために、ガス化溶融炉は有望であるといえる。

5. まとめ

本研究では、最終処分量の削減と再資源化率の向上を同時に達成できる新しい廃棄物処理システムを提案し、そのシステム全体の経済性を評価することにより、最適な設備構成を算出した。

1) 新しい廃棄物処理施設のうち、室内設置型生ごみ処理機、堆肥化施設、RDF製造施設及びガス化溶融炉は経済性に優れていることから現状の焼却炉の代替施設として有望であるが、廃棄物発酵処理施設は他の処理施設に比べて経済性が劣ることがわかった。

2) 新しい廃棄物処理システムは、最終処分量の削減と再資源化率の向上を同時に満たすだけでなく、廃棄物処理に要する総費用削減が可能なシステムであることがわかった。つまり、既存の廃棄物処理システムの中に最適な設備容量の新設の廃棄物処理設備を導入することは、廃棄物処理に要する総費用の削減と、廃棄物処理法の基本理念であ

る廃棄物の適正処理の確保に大きく寄与できる。

3) 廃棄物組成別にみると、厨芥類の処理を改善することが廃棄物処理費用と最終処分量の双方の削減に最も影響することがわかった。今後は、室内設置型生ごみ処理機の導入推進策を見直すことが重要になる。さらに、ガス化溶融炉や室内設置型生ごみ処理機の導入を一層活発化するために、廃棄物処理施設から排出される処理残渣（スラグ、堆肥等）の有効利用先の拡大も模索していく必要がある。

参考文献

- 1) (財)エネルギー総合工学研究所；新エネルギーの展望循環型社会の構築，(2002)，(財)エネルギー総合工学研究所。
- 2) Communities E；Directive 2000/76/EC of The European parliament and the council of 4 December 2000 on the incineration, Official Journal of European Communities, (2000).
- 3) The Landfill System Technologies Research Association；Landfill sites in Japan 2000, (2000), The Journal of Waste Management.
- 4) 廃棄物学会；新版ごみ読本，(2003)，79-83，中央法規出版株式会社。
- 5) Tetsuhisa Iida. Mitsuhiro Kubota. Takeyoshi Kato. Wu Kai. Yasuo Suzuoki；Comparison of material recycle and thermal recycle of waste in the model of urban, Proceedings of the 19th conference on energy, economy, and environment, (2003), 209-14.
- 6) 環境省発表資料；一般廃棄物の排出及び処理等について，(2002)。
- 7) Hidefumi Kurasaka；Economic instruments in the environment policy of Japan, Journal of Japanese Society of Waste Management Experts 4-3, (1993), 199-207.
- 8) Antonio CC, Pacifico MP；RDF production plants：I design and costs, Applied Energy, 22, (2002), 423-37.
- 9) Antonio CC, Pacifico MP；RDF production plants：II Economics and profitability, Applied thermal Engineering, 22, (2002), 439-48.
- 10) 仙台市環境局総務課；仙台市一般廃棄物処理基本計画，(2002)，仙台市環境局。
- 11) Anthony Brooke. Daivid Kendrick. Alexander Meeraus. Ramesh Raman；GAMS a user's guide (1998), GAMS Development Corporation.
- 12) Bruce A McCarl；Introducing the GAMS User Guide 2003, (2003).
- 13) 仙台市環境局総務課；平成14年度事業概要，(2002)，仙台市環境局。
- 14) (財)日本エネルギー経済研究所計量分析部；エネルギー・経済データの読み方入門，(2001)，pp298，(財)省エネルギーセンター。
- 15) 横須賀市；
<http://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/bio/index.html>, (30May2003).
- 16) 大牟田市；<http://www.ecosanc.or.jp>, (30May2003).
- 17) バイオマス・ニッポン総合戦略策定プロジェクトチーム；バイオマス・ニッポン総合戦略，(2002)，農林水産省。