

八木山キャンパス排出ごみの組成及び分別状況調査 —不適正ごみ処理に伴うエネルギー量解析—

内田 美穂*・伊東 拓人**

Analysis of the composition and separation status of waste at Yagiyama Campus — Estimation of the potential energy reduction due to the appropriate disposal of waste —

Miho UCHIDA* and Hiroto ITO**

Abstract

The composition and separation status of waste materials deposited in trash boxes at Yagiyama Campus were surveyed. The separation rates of wastes at six sites targeted in this survey were 60–76%, and therefore more than half of all wastes were separated appropriately. Within the disposed waste there was a large proportion of cans, bottles, PET bottles, and plastics, and recyclable materials made up 57% of the total amount of waste surveyed. The estimated calorific value of inappropriate separated waste as a resource if they were all combusted was 9.3 MJ; however, the estimated reduction in energy consumption when all recyclable materials within these wastes stream were recycled was 21.4 MJ. The appropriate separation of wastes and recycling of recyclable materials would lead to a larger reduction in energy consumption than the combustion of all of the non-separated waste as a waste-treatment process.

1. はじめに

廃棄物は、大きく産業廃棄物と一般廃棄物の2つに区分され、一般廃棄物は、主に家庭から発生する家庭系ごみのほか、オフィスや飲食店から発生する事業系ごみも含んでいる¹⁾。大学キャンパスでゴミ箱に廃棄され排出される廃棄物は、この事業系ごみに該当する。一般廃棄物の排出量は、生活系ごみが平成23年度を除く平成15年度以降、少しずつ減少しているのに対し、事業系ごみは、平成22年度を最小に、その後わずかに増加し続けている²⁾。仙台市においては、平成25年度のごみ総量に占める事業系ごみの割合は約28%であり、東日本大震災による平成23年度の排出量増加の後も、その排出量は平成22年度以前の値を上回る状態が続いている³⁾。

昨今、資源の循環利用を促すリサイクルが推進されている。このリサイクルの物質循環の流れの

中で起点となるのは、資源となるごみを集積し、再資源化へと送り出す「回収」である。この回収の役割として利用されているのはゴミ箱であり、普段私たちが利用しているリサイクル装置である。ごみの資源化を実施し易くするため、現在では多くのゴミ箱は廃棄する物品が投入時に分別できるよう、種類別に分けられている。資源化可能な、紙類や缶などの金属類を不適正な分別により可燃ごみとして廃棄することにより、資源として再利用できなくなるだけでなく、処理コストを増加させる可能性もある。自治体などでは、適正なごみの分別と資源ごみの資源化を推進するため、事業系ごみの内容物検査を行い、指導を行っている⁴⁾。しかし、様々な属性の人々がごみの廃棄を行う場所において、ゴミ箱への投入による分別は個人の意識に依るところが大きく、不適正なゴミ箱への廃棄が行われがちである。

本研究の目的は、様々な属性の人々が過ごし、ごみを排出する環境の一つである大学キャンパス内において、ゴミ箱に廃棄されたごみの組成および分別状況を調査し、ごみの分別状況から資源化可能な物品が適正に廃棄された場合に得られ

2015年10月2日受理

* 環境エネルギー学科 准教授

** 株式会社 サイコー

る効果をエネルギーの面から解析し、分別を行う便益を示すことである。

2. 調査方法

2.1 調査場所

東北工業大学八木山キャンパス内に設置されたごみ箱を対象に調査を行った。学内の施設は利用用途によって行動様式が限定されるため、ごみ箱に捨てられる廃棄物は、その設置場所によって偏りが生じることが考えられる。よって調査場所は施設での利用目的ごとに区分を選定し、表1の場所で調査を行った。調査ごみ箱設置状況の写真を図1に示す。

2.2 調査期間

2014年12月10日、15日、17日、19日の4日間、4回実施した。廃棄物はごみ箱設置場所ごとに回収時間が異なり、回収直前での組成調査は難しいため、一日の中で最もごみ箱中のごみの内容量が多い時間帯の13:00に一斉に回収した。

表1 ごみ調査場所

施設利用目的	場所名
共有・談話	10号館1階 (Tohtechフォーラム)
事務手続き	1号館1階 (事務カウンター)
講義受講	9号館 (講義棟) 2階
食事	食堂入り口
自習・休養	図書館入り口
購買	大学生協入り口



図1 調査ごみ箱設置状況

2.3 廃棄物組成調査

八木山キャンパスではごみ箱は各設置場所に「一般ごみ」、「紙専用」、「ペットボトル」、「かん・びん」別に投入できるように設置してある。各調査場所のごみ箱内のごみをごみ箱種類ごとに回収し、適正に分別されているごみと不適正ごみとに分別したうえで、それぞれの内容物を大学キャンパス内での廃棄量が多いごみについて、表2のごみ組成分類にしたがって大分類5種類に分類⁵⁾し、紙類、プラスチック、金属類は種類別⁵⁾にさらに分別し、その重量を測定した。図2にごみの回収直後の状況[(a)]と分類にしたがって分別した際の状況[(b)]を示す。

表2 ごみ組成分類

大分類	小分類	調査時分類
厨芥	厨芥	厨芥
紙類	新聞紙 雑誌 上質紙 段ボール 飲料用紙パック 紙箱, 紙袋, 包装紙 その他の紙(手紙等)	紙類
プラスチック	PETボトル以外のボトル パック・カップ, トレイ プラ袋 その他のプラ(商品等) PETボトル	プラスチック
金属類	スチール缶 アルミ缶 缶以外の鉄類 缶以外の非鉄金属類	缶 びん PET
ガラス	びん	
草木	草木	草木(その他)



(a) 回収直後



(b) 分別後

図2 回収ごみと分別状況

3. 調査結果及び考察

3.1 回収場所によるごみ特性

図 3 に各調査場所より回収したごみの総重量 [(a)], 資源ごみ含有率[(b)]及び分別率[(c)]を示す。各項目は次のように定義する。

ごみ総重量 = 適正ごみ重量 + 不適正ごみ重量

$$\text{資源ごみ含有率} = \frac{\text{資源ごみ重量}}{\text{ごみ総重量}} \times 100$$

$$\text{分別率} = \frac{\text{適正ごみ重量}}{\text{ごみ総重量}} \times 100$$

適正ごみ：適正なごみ箱に廃棄されたごみ

不適正ごみ：不適正なごみ箱に廃棄されたごみ

資源ごみ：資源化可能なごみ (紙類, 缶・びん・PET)

ごみの総重量と組成は 4 回調査した値の平均をとった。また, 図 3 のエラーバーの上端は各項目の最大値を, 下端は各項目の最小値を表している。

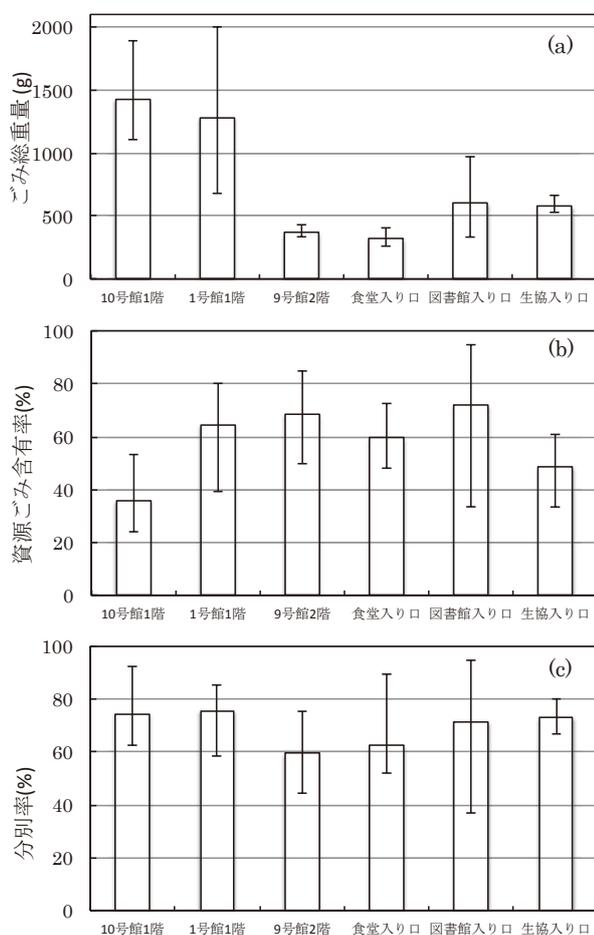


図3 回収場所によるごみ特性;
(a) 総重量, (b) 資源ごみ含有率, (c) 分別率

ごみの総重量は最も多い場所(10号館1階; 1424g)と最も少ない場所(食堂入り口; 370g)では4倍程度の廃棄量の違いがあった。施設の使用目的により, その場所に設置されたごみ箱へのごみの廃棄量は大きく異なった。また, 測定毎の変動係数(%)は生協入り口(11%)や9号館2階(13%)は小さかったが, 1号館1階(55%)や図書館入り口(46%)は大きく, その日毎の施設の利用状況により, ごみの廃棄量は大きく変動すると考えられる。資源ごみの含有率は10号館1階の38%, 生協入り口の48%を除いて60~79%であり, 廃棄されるごみの6~7割が資源化可能なごみであった。分別率は全ての調査場所で60~74%の範囲にあり, 廃棄されるごみの約6~7割が適正に分別されていた。

3.2 組成によるごみ特性

調査した6箇所合計でのごみ組成別総重量, 各組成中の適正ごみと不適正ごみ量及びその割合を表3に示す。組成別にみると, プラスチックが最も多く, 次いで缶・びん・PET, 紙類の順に多かった。缶・びん・PETと紙類は資源ごみであり, 適正に分別され回収できれば, ごみの資源化へとつなげていくことができる。

ごみ組成別の分別状況は, 適正に分別されているごみの割合がプラスチックで最も高く94%で, 缶・びん・PETは81%, 紙類は40%であった。これら種類別ごみ箱が設置されている資源ごみ, 特に紙類の適正な分別を推進することが課題として挙げられる。

3.3 適正ごみの組成と特徴

図4に場所別の適正ごみ平均重量を示す。適正ごみの総重量が最も多い場所は10号館1階(1030g)で, 最小は食堂入り口(197g)であった。

表3 ごみ組成別総重量, 適正ごみ量及び不適正ごみ量

ごみ組成	総重量 (g)	適正ごみ量 (g)	不適正ごみ量 (g)
厨芥	222	118 [53]	104 [47]
紙類	1220	489 [40]	731 [60]
プラスチック	1420	1342 [94]	79 [6]
缶・びん・PET	1416	1148 [81]	268 [19]
草木(その他)	308	255 [83]	54 [17]

*[]内の数値は割合(%)を表す

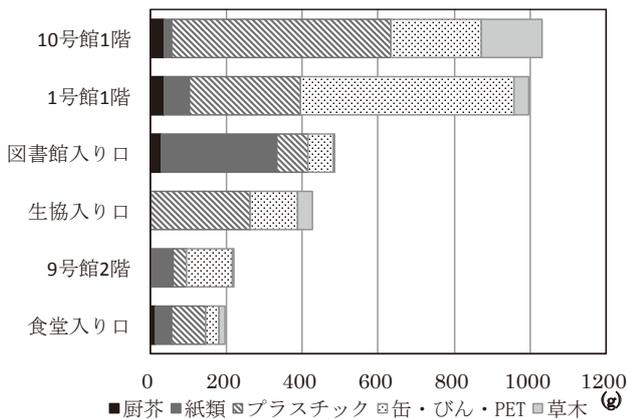


図4 場所別適正ごみの平均重量

図4より適正に廃棄されたごみは総重量が多い場所と少ない場所にわかれていることがわかる。総重量が多い場所は、10号館1階、1号館1階の2箇所、総重量が少ない場所は図書館入り口、生協入り口、9号館2階、食堂入り口であった。

また、場所により総重量は同程度でもごみの組成は大きく異なっていた。適正ごみの重量が多い10号館1階と1号館1階を比較すると、プラスチックについては10号館1階での重量は1号館1階での重量の2倍程度であるが、逆に缶・びん・PETについては1号館1階での重量は10号館1階での重量の2倍以上であった。また、図書館入り口は紙類の占める割合が他の場所よりも大きく63%となっていた。場所別に5種類のごみの中で最も重量が多いものは10号館1階のプラスチック、次いで1号館1階の缶・びん・PETの563gであった。また、調査した6箇所合計でのごみ組成別総重量の最大値はプラスチックの1342g、最小は厨芥の118gであった。

3.4 不適正ごみの組成と特徴

図5に場所別の不適正ごみ平均重量を示す。不適正ごみの総重量が最も多い場所は10号館1階(394g)、最小は図書館入り口(121g)であった。適正ごみの場合と同様に、不適正に分別されたごみは総重量が多い場所と少ない場所にわかれていた。総重量が多い場所は10号館1階、1号館1階の2箇所、少ない場所は、図書館入り口、食堂入り口、9号館2階、生協入り口の4箇所であった。総重量が多い場合でも場所により、ごみの組成は大きく異なっていた。総重量が最も多い10号館1階では紙類(61%)が最も多く、次に厨芥

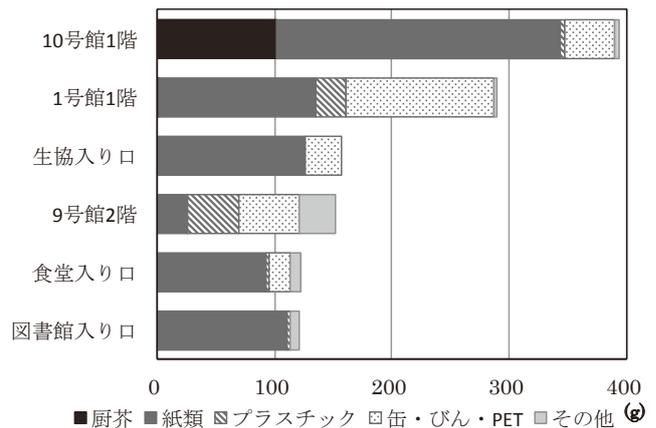


図5 場所別不適正ごみの平均重量

(26%)が多かった。一方、1号館1階では紙類(46%)に次いで缶・びん・PET(43%)が多かった。場所別に5種類のごみの中で最も重量が多かったのは10号館1階の紙類の241gであった。また、調査した6箇所合計でのごみ組成別不適正ごみ重量の最大値は紙類の731g、最小はその他の54gであった。

今回の調査で適正・不適正ごみともに総重量が多い場所と少ない場所にわかれているのは、ごみの回収形態の違いが原因だと考えられる。生協・食堂の2箇所はそれぞれ施設内で、施設運営事業所がごみを別途回収している。そのため、施設入り口に設置されているごみ箱に廃棄される機会が少ないため、ごみの量が少ないと考えられる。生協・食堂と同様に独立した施設である図書館のごみ量が若干多いのは、業務で排出される紙類を全てごみ箱で回収しているためである。一方で、図書館は施設として使用目的が明確なため、不適正ごみの量は少なかったと考えられる

3.5 不適正ごみ処理エネルギー量の解析

大学キャンパスから排出される事業系ごみは一般廃棄物として処理される。一般廃棄物(ごみ)の処理は、大きく「直接資源化」、「中間処理」、「直接最終処分」の3つに分けられる⁶⁾。大学キャンパスから排出されるごみは様々な組成のごみを含む混合ごみであり、主に「中間処理」工程へと運ばれる。「中間処理」には直接焼却と焼却以外の中間処理が含まれる。排出されるごみのうち「一般ごみ」として回収されたものは直接焼却に、「紙専用」、「ペットボトル」「かん・びん」それぞれのごみ箱に廃棄されたごみは焼却以外の中間処理ルートへと運ばれる。

焼却以外の中間処理を行う施設では回収されたごみの一部が資源化される⁷⁾。よって、廃棄されるごみのうち資源化可能なごみを資源として再生させるためには、排出時の適正な分別によりごみ組成をできるだけ均一化し、直接焼却ではなく、資源化を行う焼却以外の中間処理ルートに乗せる必要がある。

一方で、「一般ごみ(燃えるごみ)」として焼却ルートに運ばれた可燃ごみは焼却施設で焼却され、ごみの減容化が行われる。同時に焼却の際に発生する熱を回収(サーマルリサイクル)し、回収した熱による発電や施設内外での熱供給が行われている。

そこで、(i)資源ごみが不適正に分別され、可燃ごみとして焼却される際に発生する発熱量と、(ii)不適正に分別された資源ごみが、仮に適正な分別をされたとして、その資源ごみの資源化に伴い、素材を元の原料から製造する場合と比較して削減されるエネルギー消費量をそれぞれ推算し、資源ごみを燃焼する場合と資源化する場合のどちらがエネルギーの面から有効か比較した。

3.6 不適正ごみ燃焼時の発熱量

ごみは大きく三成分(水分、可燃分、灰分)に分けられる。可燃分は、ごみの種類により炭素 C、水素 H、窒素 N、酸素 O、塩素 Cl 等の元素を含み、その組成はごみの種類により異なる。ごみに含まれるこれらの元素組成により、ごみ燃焼時の発熱量は変化する。

ごみ燃焼時の発熱量(低位発熱量:燃焼によって生成した水分が水蒸気の状態にあるときの発熱量)は次の手順で推算した^{5,7,8)}。

[a] 都市ごみの燃焼時の発熱量の実測値と相関性の高い Steuer の式^{5,7,8)}を用いて高位発熱量 H_h を計算する。高位発熱量 H_h (kcal/kg)は、ごみの可燃分の元素組成 (C:炭素(%), H:水素(%), O:酸素(%), S:硫黄(%)) から次の Steuer の式を用いて計算される。

$$H_h = 81.0 \left(C - \frac{3}{8} O \right) + 57.0 \times \frac{3}{8} O + 342.5 \left(H - \frac{1}{16} O \right) + 22.5S \quad [1]$$

[b] ごみの含水率(水分:W(%))から水の蒸発潜熱

を計算し、これを高位発熱量 H_h より差し引き、ごみの単位重量あたりの低位発熱量 H_L (kcal/kg)を計算する。

$$H_L = H_h - 6.0(9H + W) \quad [2]$$

[c] 各ごみの組成別の三成分割合、元素組成(C, H, O)は松籐の文献⁵⁾の値を用いた。この資料の元素組成は水分を含んだ湿りごみでの割合で与えられている。

[d] 不適正ごみを表 2 の大分類にしたがって分類し、各ごみ組成の 4 日間の平均重量を計算する。

[e] ごみ組成毎の元素組成と水分を [a],[b] の式 [1], [2] に代入し、単位重量あたりの低位発熱量を計算する。その値に各ごみ組成の平均重量を乗じて、不適正ごみを燃焼した場合の発熱量を計算した。

例えば、一般廃棄物の組成分析結果⁵⁾から厨芥の元素組成は、C: 6.4%, H: 0.9%, O:5.0%, S:0%, W:85%と分析されている。これらの値を式 [1],[2] に代入すると厨芥の単位重量あたりの低位発熱量は 116 kcal/kg となる。この値に各調査場所の不適正ごみ中の厨芥の平均重量の総和 104g を乗じると、発熱量は 5.0×10^{-2} MJ と計算される。他のごみ組成についても同様に計算した。

各大分類のごみの元素組成は、ごみを小分類にわけたとき、適正ごみ中での重量が大きく、単位重量あたりの発熱量が各大分類中で、中程度の物品の値⁵⁾で代表させた。紙類は飲料用紙パック、プラスチックはプラ袋、びんはワンウェイびん(ガラス)、その他は草木の元素組成をそれぞれ適用した。表 4 に発熱量の計算に用いた各ごみ組成中の元素組成と水分割合を示す。Steuer の式に含まれる硫黄分は一般廃棄物中では 0%とした。

図 6 に不適正ごみを燃焼した場合の発熱量の推算値を示す。缶、びんについては可燃分を含んで

表4 各ごみ組成中の元素組成と水分割合*

ごみ組成	C (%)	H (%)	O (%)	W (%)
厨芥	6.4	0.9	5.0	85
紙類	26.0	3.7	25.4	40
プラスチック	51.0	6.3	3.3	30
缶	0.0	0.0	0.0	5
びん	0.0	0.0	0.0	5
その他	28.9	3.8	24.1	40

*文献[5]から抜粋引用

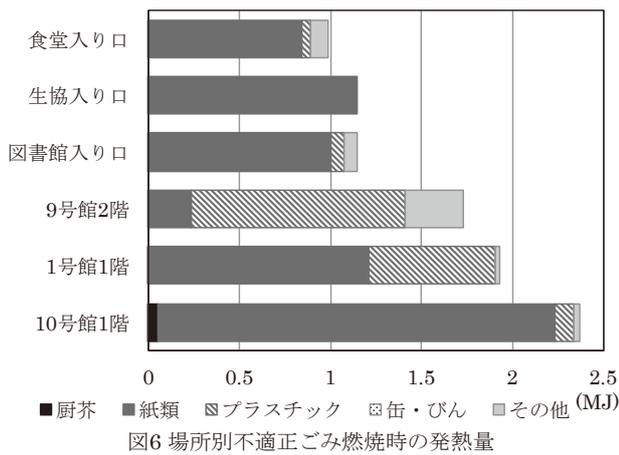


図6 場所別不適正ごみ燃焼時の発熱量

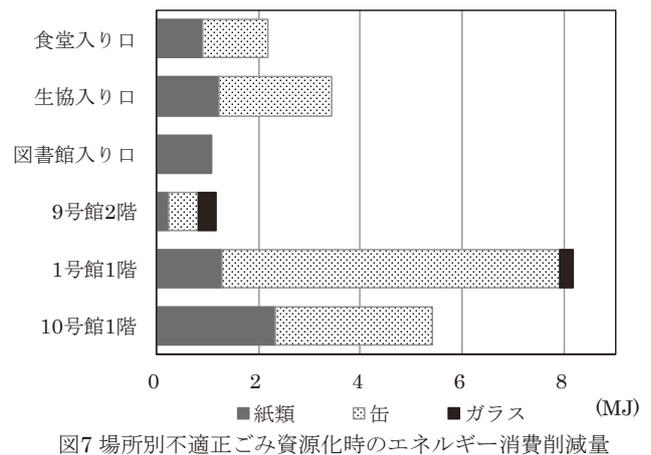


図7 場所別不適正ごみ資源化時のエネルギー消費削減量

いないので、燃焼時の発熱量は負の値(吸熱)となる。推算された発熱量の最大は10号館1階(2.4 MJ)、最小は食堂入り口(0.99 MJ)であった。不適正ごみの重量が多い場所(10号館1階、1号館1階)と同じ場所の発熱量が大きくなっていた。この2箇所を次いで9号館2階の発熱量が大きかった。これはごみ総量中のプラスチックの占める割合が他の場所と比較して高く、プラスチックは単位重量あたりの発熱量が大きいため、9号館2階で回収されたごみの総発熱量が大きくなったと考えられる。一方、生協入り口は不適正ごみ重量が3番目に大きかったが、プラスチックよりも単位重量あたりの発熱量の小さい紙類が重量の80%を占めていたため、総発熱量が他の場所と比較して小さくなったと考えられる。可燃ごみとして回収されたごみを焼却処理する場合に得られる熱エネルギーは、そのごみ組成に大きく影響される。調査した6箇所合計での、不適正ごみ燃焼時の総発熱量は9.3 MJであった。

3.7 不適正ごみ資源化時のエネルギー消費削減量

不適正ごみを資源化した場合に、素材を元の原料から製造する場合と比較して削減されるエネルギー消費量は、松籐ら⁹⁾により提示されているエネルギー消費削減原単位に、本調査で得られた不適正に分別された資源ごみの重量を乗じて計算した。各資源化可能なごみのエネルギー消費削減原単位(kcal/kg)とその設定条件⁹⁾は次のとおりである。

紙類：2300 kcal/kg；紙を分別し、古紙パルプの再資源化により紙を製造する場合と、それと同じ

量の紙をバージンパルプから製造する場合を比較した時のエネルギー消費削減量¹⁰⁾

びん：1950 cal/g；びんを製造するエネルギーの半分と仮定した時のエネルギー消費削減量

スチール缶：2930 cal/g；バージン原料から製造する場合と比較しての製造エネルギー消費削減量

アルミ缶：50200 cal/g；バージン原料から製造する場合と比較しての製造エネルギー消費削減量

不適正ごみにおけるスチール缶とアルミ缶の混合比(重量比)は、全国の両容器包装材の再資源化量¹¹⁾の割合からスチール缶:アルミ缶=7:3とし、エネルギー消費削減原単位を計算した。

図7に調査場所別にエネルギー消費削減量をごみ重量から推算した結果を示す。推算されたエネルギー消費削減量の最大は、1号館1階(8.2 MJ)、最小は図書館(1.1 MJ)であった。本調査のごみ分類で、不適正ごみに含まれていた資源化可能なごみは、紙、缶、ガラス(びん)のみで、不適正ごみに占める資源ごみの割合は、調査場所により、50~100%であった。対象となるごみの重量は減少するが、資源化時のエネルギー消費削減量は燃焼時の発熱量と比較して図書館以外の全ての調査場所が大きかった。これは不適正ごみに占める資源ごみの割合が高く、またエネルギー削減効果の大きい缶を含むためと考えられる。調査したごみの単位重量あたりで比較すると、資源化時エネルギー消費削減量は燃焼時発熱量の約2.9倍であった。そのため、対象となるごみ重量が少なくても、エネルギー消費削減量が燃焼時発熱量を上回ったと考えられる。

調査した6箇所合計でのエネルギー消費削減量

は 21.4 MJ であった。これは、同じ不適正ごみを燃焼した時の発熱量と比較して 2.3 倍となった。この結果から大学キャンパスから排出されるごみは排出時に適正なごみ箱に分別廃棄し、回収することが、ごみ処理時のエネルギー消費削減量が大きく、ごみ処理と資源化においてエネルギー消費削減に大きく寄与することが示された。

4. ま と め

東北工業大学八木山キャンパス内の各種施設内外に設置されているごみ箱に廃棄されたごみの組成と分別状況を調査した。調査した 6 箇所のごみの分別率は 60～76%で、半分以上のごみが適正に分別されていた。廃棄されるごみの組成は、缶・びん・PET とプラスチックの割合が多く、資源ごみはごみ総量の 57%であった。不適正に廃棄されたごみを燃焼した場合の発熱量は 9.3 MJ、不適正ごみに含まれる資源ごみを資源化した場合のエネルギー消費削減量は 21.4MJ と推算された。資源ごみを分別せずに燃えるごみとして焼却するよりも、ごみ箱に廃棄する際に適正に分別し、資源ごみとして回収し資源化されることで、ごみ処理過程でのエネルギー消費量を大きく削減できることがわかった。

東北工業大学は ISO14001 の認証を受け、環境目的の一つに「一般廃棄物排出量の減量」が掲げられている。本調査の結果から、分別廃棄の重要性の認識が深まることを期待したい。

謝 辞

廃棄物回収の調整にご協力いただいた株式会社メルファム東北支社東北工大担当スタッフの皆様には厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 平成 27 年度版環境・循環型社会・生物多様性白書-環境省, p.191, 2015.
- [2] 一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 25 年度）について, 環境省 HP, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h25/data/env_press.pdf
- [3] 仙台市一般廃棄物処理年報, 仙台市 HP, http://www.city.sendai.jp/sumiyoi/gomi/keikaku/1192623_1571.html
- [4] 事業ごみの処理, 仙台市 HP, http://www.city.sendai.jp/business/d/1210505_1434.html
- [5] 松籐敏彦, 都市ごみ処理システムの分析・計画・評価, 技報堂出版, 東京, 2005.
- [6] 平成 27 年度版環境・循環型社会・生物多様性白書-環境省, p.192, 2015.
- [7] 田中信壽, リサイクル・適性処分のための廃棄物工学の基礎知識, 技報堂出版, 東京, 2003.
- [8] 元田欽也, 大山長七郎, わかりやすい廃棄物処理・リサイクルの実務計算, オーム社, 東京, 1999.
- [9] 松籐敏彦, 田中信壽, “一般廃棄物処理システムのコスト・エネルギー消費量・二酸化炭素排出量評価手法の提案”, 土木学会論文集, No.678/VII-19, pp. 49-60, May 2001.
- [10] 井村秀文, 中嶋芳紀, 森下兼年, 前田利家, “一般廃棄物処理システムのライフサイクルアセスメントに関する研究-エネルギー指標として-”, 環境システム研究, 23, pp.261-267, Aug. 1995.
- [11] 環境経済基礎情報>容器包装廃棄物, 環境省 環境経済情報ポータルサイト, http://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/A_basic/a05.html