

ごみ分析において発生する“ばらつき”の要因解析

酒井 護、山本 攻

Investigation of Dispersion Factors in Waste Analysis

Mamoru SAKAI, Osamu YAMAMOTO

Abstract

In Osaka, to ensure appropriate disposal of municipal solid wastes (MSW) and to provide reference data for the design of new incineration plants, the physical and chemical composition and calorific value of MSW have been analyzed since the 1960s. The results of the analysis, which is conducted at all ten plants in each of the four seasons, show dispersion. The present study investigated whether this occurs due to analysis error or due to specific factors. Analysis of variance was performed on composition and calorific value data sets from fiscal years 2003 to 2007 (n=200) applying the three factors of “plant”, “season”, and “year”. There was significant dispersion between the plants, but no significant dispersion by season or year. The major reason for significant dispersion seemed to be the difference with the ratio of waste from household origin to business origin at each plant. There was also a significant dispersion between plants in the calorific value produced by paper and by plastics. The calorific value per unit weight of paper and plastics decreases with increase in volume of coating or sizing materials and increase in oxygen in ester bonding, respectively. The results suggested that the increased dispersion depended on the different composition by type of the paper and plastics disposed of at each plant.

Key words: municipal solid waste, analysis of variance, dispersed factor

I 緒言

日本では、衛生的に効率よく減容化するために、都市ごみ等の可燃性の廃棄物については焼却による中間処理を行っている。しかし、焼却処理に伴い、NO_x・SO_xによる大気汚染公害や、ダイオキシン類問題などが社会問題となった。このような公害への対策のためには、適正な規模での焼却と排ガス処理が必要となるが、そのためには、焼却すべきごみの性状(厨芥や紙などの組成の比率や発熱量などのデータ)を把握し、処理施設の適切な維持管理を行うことが求められる。そのために大阪市では1960年代より、工場に搬入されたごみの性状調査を行っている。現在では、10工場において季節ごとに調査を行っており、年間に40件のデータを継続して集積している。

ごみ処理施設の新設や行政施策を決定するために

は、ごみ質の過去の調査結果から将来的な変化を予測する必要がある。しかし、時間経過において、各パラメーターの変動の幅や与える影響の大きさは一定ではない。そのため、測定結果について、ばらつきが発生した要因を明らかにし、その影響を適正に評価することが必要となる。

ごみ中可燃物の組成比率は、以下のような要因によりばらつきが発生することが予想される。すなわち、①プラスチック製容器包装材の全市域での分別収集が2005年から開始されたなど、行政施策の変化やリサイクルに関する世論の変化があったこと、②市民の生活様式は、季節により変化する可能性があること、③各工場に搬入されるごみの発生源(収集形態)について、市民の日常生活により発生するもの(家庭系;直営収集)と事業者の事業活動により発生するもの(事業系;業者収集)の比率が大きく異なっていること、などの要因を挙

げることができる。

本報では、ごみの性状分析結果において、“ばらつき”が発生した要因を統計的手法により解析した結果について報告する。

II 大阪市のごみの性状

大阪市では家庭ごみの分別は、表 1 に示したとおり 4 種類 (7 品目) となっており、容器包装材以外のプラスチックについては、全量焼却を行っている。以下、これらの組成について、発生源別の排出時および、これらが混合された状態である焼却工場での調査結果について、それぞれ簡単にまとめる。

1) 排出時の性状

大阪市環境局(2007年4月までは、環境事業局)によ

表 1 大阪市の分別の種類と収集の頻度

種類	品目	収集の頻度
普通ごみ	・台所ごみなど	週 2 回
粗大ごみ	・30センチを超える 大型耐久消費財	申込制
容器包装 プラスチック	・プラスチック製 容器包装材	週 1 回
資源ごみ	・空き缶 ・空きびん ・ペットボトル ・金属製の生活用品	週 1 回

り、家庭系[1]および事業系[2]のごみの性状は、表 2 のとおり調査されている。家庭系のごみについては、紙(33%)、厨芥(29%)、プラスチック(15%)が多くこの 3 種類で約 75%を占めている。事業系のもは、家庭系と比較して紙が 43%と大きくなっている反面、厨芥が 23%と小さくなっている。このような傾向は表 3 に示したとおり、横浜市[3]や京都市[4]の調査結果でも現れている。

また、収集形態別の各工場への搬入割合[5]は図 1 に示したとおりである。他都市分を家庭系とみなせば、2006 年度の家庭系の比率は B 工場では約 80%、J 工場では約 15%であり、全市としては約 42%であった。この比率については、工場間において相違が見られた。なお、大阪市では集合住宅などにおいて許可業者が家庭系のごみを収集している事例がある。しかし、その搬入比率は、工場ごとには把握されていない。そのため、図 1 ではこれらのごみは、すべて業者収集として計算した。

2) 搬入ごみの性状

2007 年度に測定された工場に搬入されたごみの性状については、表 2 最下段の通りである(全工場測定結果の平均値)。この調査については、1960 年代より行われており、当初は当研究所において調査を行っていた。現在は、季節ごとに各工場で調査を行っている。ピットより採取したものを試料として、厚生省通達[6]に従った方法により行っている。なお、この調査については、

表 2 排出時および工場搬入時のごみの組成

排出源	組成比率									
	厨芥	紙	繊維	木草	プラ	陶磁器	金属	ガラス	その他	
	%									
全体	28.9	32.9	3.8	3.7	15.3	0.6	3.9	5.2	5.8	
家庭系	32.0	36.5	4.2	4.1	11.6	0.6	3.4	1.3	6.4	
資源ごみ	1.1	0.4	0.0	0.0	22.8	0.7	10.4	64.7	0.0	
容プラ	3.4	2.5	0.2	0.2	86.8	0.1	5.2	0.6	1.0	
事業系	22.6	42.8	6.4	3.8	14.3	0.6	4.1	2.0	3.5	
5トン未満	21.7	42.4	8.4	4.2	13.2	0.6	4.4	1.9	3.2	
5トン以上	24.4	43.7	2.0	3.1	16.5	0.6	3.4	2.3	4.0	
搬入ごみ (風乾ベース)	4.8	40.3	8.8	9.3	15.0	2.8	7.2	6.2	5.7	

文献[1,2]より作成

表 3 横浜市および京都市の家庭系と事業系のごみの組成

	組成比率									
	厨芥	紙	繊維	木草	プラ	陶磁器	金属	ガラス	その他	
	%									
横浜市										
家庭系	38.5	26.9	4.1	13.7	10.4	--	1.1	0.6	4.9	
事業系	20.0	46.4	3.5	3.7	20.6	--	1.4	0.9	3.5	
京都市										
家庭系	29.9	34.9	6.3	0.8	16.7	2.9	2.4	1.4	4.7	
事業系	11.9	49.2	6.6	1.9	20.6	0.2	3.5	1.1	5.0	

文献[3,4]より作成、組成については、大阪市調査に合わせて再分類した

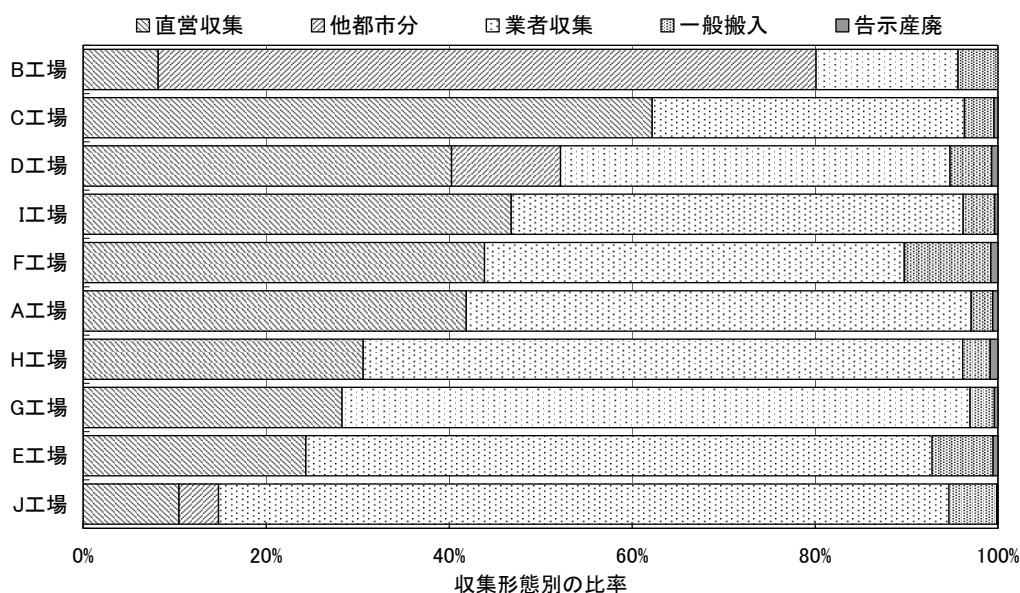


図1 大阪市各工場への発生源別搬入量(2006年度)

文献[5]より作成

あらかじめ乾燥した試料により行っているために、水分率の大きい厨芥の組成比率は5%程度と非常に小さな数値となっている。

この調査で得られた結果として、例えば、2003年度から2007年度(5年間)の低位発熱量測定結果($n=200$)を、図2に度数分布として示す。最小 4.81 MJ kg^{-1} から最大 14.50 MJ kg^{-1} まで分布しており、その平均は 9.85 MJ kg^{-1} 、標準偏差は 2.05 MJ kg^{-1} であった(変動係数は0.21)。ここで、ごみの低位発熱量は、

(低位発熱量)

$$= \sum (\text{各組成の比率}) \times (\text{当該組成の高位発熱量}) - (\text{水の蒸発潜熱}) \times (\text{水分の比率} + \text{水素の燃焼により発生する水分量})$$

であり、可燃物各組成の比率による高位発熱量測定値

の加重平均として計算される。つまり、低位発熱量は各組成の比率と高位発熱量の関数と見なすことができる数値である。

III 解析に用いたデータと解析の方法

工場搬入ごみの調査結果を用い、ばらつきが発生する要因について、以下の手法により統計的解析を行った。

1) 用いたデータ

用いたデータは、10工場で2003年度から2007年度まで(5年間)に測定された200件のデータのセットである。データの採取方法はII2)に述べたとおりである。これらについて、組成比率および発熱量の平均は表4および表5に示したとおりである。各組成の比率は、可燃

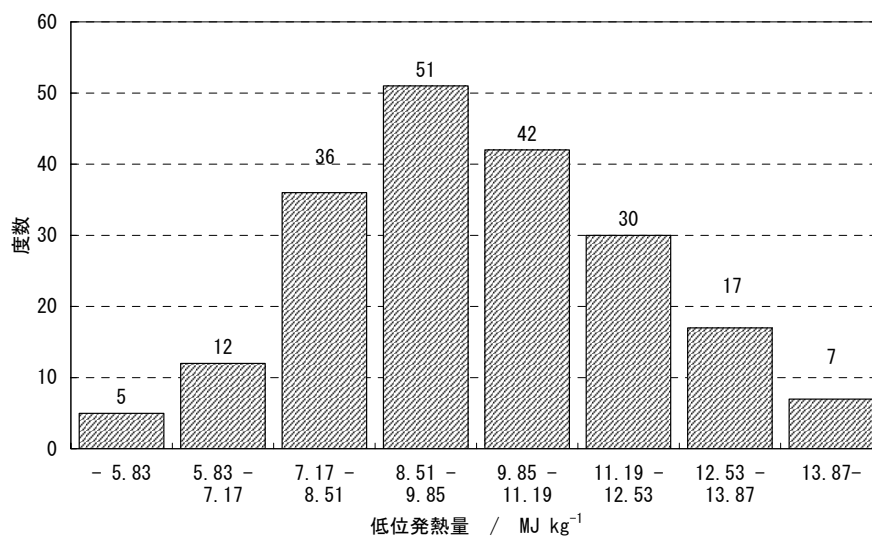


図2 低位発熱量測定結果($n=200$)の分布

分6組成の絶乾物、不燃物および水分の和が1キログラムとなるようにした場合の重量/グラム(千分率)で表している。

2) 解析の方法

表4および表5のデータについて、全体変動を「工場間」、「年度間」および「季節間」の各因子変動に分離し、それらの自由度から不偏分散を求めた。また、この不偏分散について、誤差項との分散比を計算し、F分布により有意確率 p を計算した。

IV 解析結果

工場搬入ごみの調査結果にばらつきが発生した要因について、搬入ごみの由来および素材の観点から解析を行った。

1) 分散分析によるばらつきの要因解析

各要因間の不偏分散を表6および表7に示す。表6および表7中、有意確率が $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ および $p < 0.001$ となるものについて、それぞれ*、**、***の標識で区別した(このデータでの計算結果では、 $0.01 < p < 0.05$ となるようなものはなかったため、標識が*であるものは表中にはない)。

工場間でのばらつきについては、厨芥の発熱量以外の項目ではすべて、 $p < 0.01$ となっており、有意な差が見られた。しかし、年度間および季節間ではいずれの項目についても $p > 0.05$ となっており、有意な差を見つけることはできなかった。一方、同一工場での年度間および季節間についても同様に分散分析($n = 20$)を行った結果について、有意な差が見られたもののみを表8に示した(計算は10工場で行っており、組成比率で80項目、発熱量では70項目となる)。季節間

表4 各組成比率の平均

工場別	組成比率							
	厨芥	紙	繊維	木草	プラ	雑物	不燃物	水分
	mg g ⁻¹							
A工場	34.7	276.7	89.3	95.5	75.9	5.5	173.9	248.4
B工場	42.7	232.9	50.3	45.6	131.9	53.8	44.8	398.1
C工場	34.2	336.3	34.5	22.6	94.8	31.7	136.2	309.7
D工場	24.7	315.8	64.6	90.1	119.4	22.3	80.3	282.7
E工場	33.0	319.3	73.7	44.6	99.6	27.0	58.6	344.2
F工場	19.4	284.4	70.8	59.2	94.0	57.6	130.2	284.4
G工場	26.3	268.4	88.9	79.7	89.9	14.6	145.8	286.5
H工場	25.3	301.8	60.0	84.0	93.6	27.2	105.6	302.5
I工場	33.3	302.5	36.6	63.9	103.4	35.3	77.7	347.2
J工場	27.4	311.9	36.7	55.6	113.1	37.5	89.1	328.7
年度別								
2003	28.5	306.5	63.0	71.0	96.3	27.0	94.4	313.3
2004	29.6	299.6	72.4	65.9	106.3	31.8	117.0	277.4
2005	29.7	310.9	46.7	54.3	100.0	24.7	100.6	333.0
2006	30.8	281.8	61.6	65.0	104.5	34.5	96.9	325.0
2007	31.9	276.2	59.0	64.3	100.7	38.2	112.2	317.4
季節別								
春	28.5	298.7	73.7	69.3	105.1	28.8	98.6	297.2
夏	26.2	298.3	53.7	61.6	102.5	36.4	97.2	324.0
秋	30.0	297.3	60.0	63.4	105.5	30.9	110.1	302.8
冬	35.6	285.6	54.7	62.1	93.2	28.8	111.0	328.9
<全体>								
平均	30.1	295.0	60.5	64.1	101.6	31.2	104.2	313.2
標準偏差	18.2	77.8	45.9	44.8	33.9	26.9	65.3	98.1

表5 可燃物各組成の発熱量の平均

工場別	可燃物各組成の発熱量						低位 発熱量
	厨芥	紙	繊維	木草	プラ	雑物	
	MJ kg ⁻¹						
A工場	17.58	14.74	17.80	17.98	31.17	12.80	9.06
B工場	18.90	16.39	20.01	19.40	35.82	12.80	10.04
C工場	17.37	15.21	19.80	18.08	32.48	12.64	8.78
D工場	18.89	16.13	20.62	19.31	35.30	13.26	11.47
E工場	17.75	15.88	18.80	17.70	32.27	12.93	9.61
F工場	17.64	15.56	20.51	18.75	35.94	17.07	10.15
G工場	19.07	16.08	20.59	19.29	31.20	14.06	9.65
H工場	18.62	15.73	19.91	18.79	34.17	12.71	9.90
I工場	18.26	16.00	18.50	18.95	32.60	14.03	9.55
J工場	18.55	16.84	19.99	19.66	33.39	14.80	10.32
年度別							
2003	18.52	16.24	19.84	19.14	34.59	13.23	10.12
2004	17.63	15.49	19.93	18.51	33.51	13.81	10.32
2005	18.18	15.70	18.96	18.52	32.89	13.02	9.32
2006	18.22	15.99	19.64	18.70	32.83	14.18	9.81
2007	18.76	15.87	19.89	19.07	33.35	14.31	9.70
季節別							
春	17.73	15.85	19.46	18.66	33.43	13.15	10.33
夏	18.24	15.94	19.96	18.97	33.06	14.42	9.76
秋	18.26	15.84	19.53	18.74	33.67	13.63	10.00
冬	18.83	15.80	19.65	18.79	33.57	13.64	9.32
<全体>							
平均	18.26	15.86	19.65	18.79	33.43	13.71	9.85
標準偏差	2.33	1.42	2.61	1.76	4.10	3.54	2.05

では3工場で発熱量にのみ差が見られた。年度間では、B工場では発熱量で3項目、組成比率で2項目に差が見られたが、他の工場では2項目程度でのみ差が見られたのみであった。つまり、以上の結果より、2003年から2007年までの5年間に大阪市の各ごみ焼却工場に搬入されたごみ質の調査結果からは、工場間以外の要因については、ほとんど有意な差はなかった、と結論できる。

以上のことから、ごみ分析において発生するばらつきの要因としては、工場間の相違によるものが大きく、その原因は搬入されるごみの発生源が工場毎に大きく異なっていることを挙げる事ができた。

2) 紙及びプラスチックの発熱量にみられたばらつきの要因

表7において、紙およびプラスチックの発熱量では、工場間のばらつきが $p < 0.001$ と有意な結果が見られた。これらの原因について、素材に主眼を置いた考察を行った。

まず、紙について、表面の塗工の有無別に可燃分と発熱量の関係は、図3の通りであった。これらの紙は、一般的に製品として使用されているものを任意に抽出して測定した結果である。紙パックについては、表面に撥水性の加工を行うために、ポリエチレンがコーティングされている[7]ために、可燃分が95%であり、発熱量も 23 MJ kg^{-1} と大きな値となっていた。また、表面に塗工処理のされていない、段ボールや雑誌などでは可燃分は約85%程度であり、発熱量は 17.5 MJ kg^{-1} 程度であった。しかし、片面にのみ塗工処理のされた箱や両面に塗工処理のされたポスターなどでは、可燃分がそれぞれ75%、63%程度と小さくなり、発熱量も 15 MJ kg^{-1} 、 12 MJ kg^{-1} と小さくなった。一般に紙には表面塗工剤や白色度を上げるための填料として、シリコンなどのワックスや炭酸カルシウムが使用されている。また、両面塗工されたポスターを 600°C で焼却したあとの残渣について、X線回折を測定した結果、炭酸カルシウムが検出された。これらは、カルシウムやケイ素などの無機化合物であり、灰分として測定される。図3より、紙の可燃分と発熱量の間には強い相関($r=0.92$)があり、このような灰分の影響により発熱量が小さくなったものと考えられる。

プラスチックについては、実際に搬入されたごみについて、石油由来のものが主成分となる容器包装材と、それ以外のものに分けて元素分析および発熱量を測定した結果を表9に示す[8]。容器包装材以外のプラスチックは、化学構造の中にエステル結合などに由来す

表6 因子間変動による不偏分散(組成比率)

	組成比率の不偏分散				
	工場間変動	年度間変動	季節間変動	誤差変動	全体変動
厨芥	899.67**	69.65	790.44	300.90	330.71
紙	18044.12***	9327.92	1963.98	5450.69	6045.61
繊維	8559.05***	3416.88	4229.71	1728.07	2108.67
木草	10761.71***	1464.24	627.06	1607.03	2003.41
プラ	5196.23***	618.09	1641.00	950.80	1146.52
雑物	5139.30***	1205.26	644.58	498.42	724.72
不燃物	34231.51***	3897.33	2690.16	2823.83	4263.84
水分	36359.72***	18291.43	12075.56	8073.19	9618.21
自由度	9	4	3	183	199

表7 因子間変動による不偏分散(発熱量)

	発熱量の不偏分散				
	工場間変動	年度間変動	季節間変動	誤差変動	全体変動
厨芥	8.0	7.3	10.1	5.2	5.43
紙	7.0***	3.2	0.2	1.8	2.01
繊維	18.6**	6.5	2.5	6.3	6.84
木草	8.9**	3.6	0.8	2.9	3.11
プラ	64.7***	19.9	3.6	14.6	16.80
雑物	38.5***	13.0	13.8	11.3	12.56
低位発熱量	11.0**	6.0	9.1	3.7	4.18
自由度	9	4	3	183	199

表8 工場内の変動で有意な差が観測された測定項目と指標

工場	組成	測定項目	指標
<季節間>			
C工場	--	低位発熱量	*
G工場	雑物	発熱量	**
H工場	木草	発熱量	*
<年度間>			
A工場	厨芥	組成比率	*
	厨芥	発熱量	*
B工場	紙	組成比率	**
	紙	発熱量	*
	プラ	発熱量	*
	雑物	組成比率	*
C工場	雑物	発熱量	*
	不燃物	組成比率	*
D工場	不燃物	組成比率	*
F工場	木草	発熱量	*
G工場	水分	組成比率	**
H工場	プラ	組成比率	**
	水分	組成比率	*

る酸素原子を含む場合がある。そのために、単位重量あたりの発熱量が炭素および水素から構成される容器包装材よりも小さくなったと考えられる。

以上のことから、紙については塗工剤に由来する灰分、プラスチックについては炭素・水素以外の可燃元素、のために同じ組成に分類されていても、素材により単位重量あたりの発熱量が異なるものが混合して存在する。搬入ごみの組成が工場間において非常に有意

な差が見られたという事実からも、これらの混入比率により発熱量についても有意な差が見られたものと考えられる。

V まとめ

大阪市の焼却工場に搬入されたごみについて、その可燃物の組成比率および発熱量の分析結果にばらつきが発生する要因について統計的な解析を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 可燃物の組成のばらつきは工場間で発生する誤差によるところが大きいことが示唆された。その原因としては、各工場に搬入されたごみの発生源として、家庭から発生したものや事業所から発生したものの比率が工場ごとに異なっているためである。
- 紙およびプラスチックの発熱量については、工場間でも大きな差が見られた。その原因としては、紙については塗工剤による灰分、プラスチックについては酸素などの原子、による影響により単位重量あたりの発熱量の異なる素材の混合によることが挙げられた。

新規にごみ処理施設を設計する際には、過去のごみ質の調査結果から計画ごみ質を算出する必要がある。この際には同時に組成別の発生量などの発生源の情報を組み入れることにより、行政施策を反映させた将来的なごみ質を予測するための手法について検討を行う必要がある。

謝辞 本調査を行うにあたり大阪市環境局施設部施設管理担当、建設企画担当および各焼却工場のみなさまにご協力いただきましたことを記し、深謝いたします。

(本研究の一部は、第 18 回廃棄物学会研究発表会 2007 年 11 月に発表した)

参考文献

- 1) 大阪市環境事業局. 家庭ごみ詳細分析調査報告書 平成 18 年 11 月;2006.
- 2) 大阪市環境局. 事業系ごみ排出実態調査報告書 平成 20 年 2 月;2008.
- 3) 横浜市資源循環局(WEB サイト). 資源循環局 ぐ

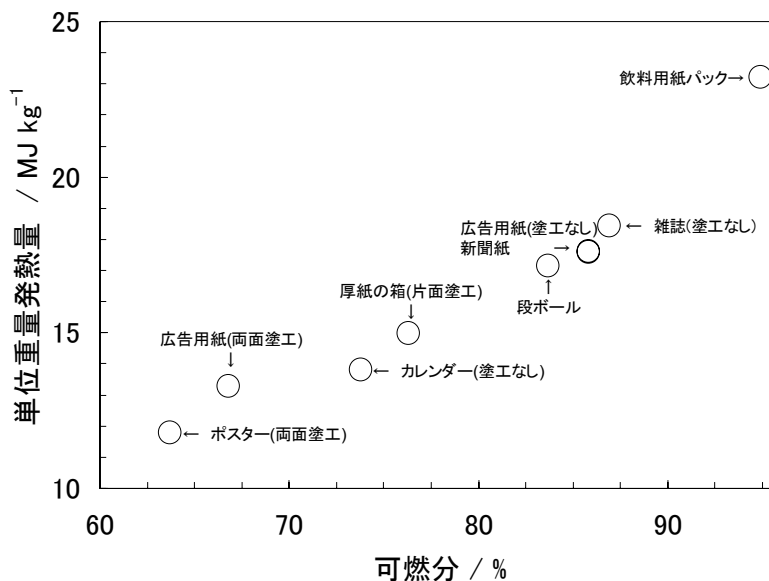


図 3 紙の単位重量発熱量と可燃分の関係

表 9 プラスチックの素材別化学分析結果

素材	元素分析		高位 発熱量 MJ kg ⁻¹
	炭素	水素	
	mg g ⁻¹		
容プラ	750.2	101.1	37.68
容プラ以外	575.9	76.5	27.51
加重平均	674.4	87.3	33.68

みの処理について

<http://www.city.yokohama.jp/me/pcpb/data/dat1.html#sosei> (2008/6/30).

- 4) 京都市環境局. 環境局事業概要 平成 19 年度; 2008. 47-51 頁.
- 5) 大阪市環境局. 統計年報 平成 18 年度;2007. 27-38 頁.
- 6) 厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長 通達 環整 95 号. 一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について(公布日:昭和 52 年 11 月 4 日);1977.
- 7) 全国牛乳容器環境協議会(WEB サイト). 牛乳パックは地球となかよし牛乳パッケン探検隊. <http://www.packun.jp/21make.html> (2008/6/30).
- 8) 酒井護, 西谷隆司, 山本攻, 藤田忠雄. 都市ごみ焼却施設搬入ごみの組成分析調査と将来的な変化の予測. 第 17 回廃棄物学会研究発表会講演