

---

## 環境工学公式・モデル・数値集

平成16年6月15日 第1版・第1刷発行

- 編集者……………土木学会 環境工学委員会  
環境工学に関わる出版準備小委員会  
委員長 福島 武彦
- 発行者……………社団法人 土木学会 古木 守靖
- 発行所……………社団法人 土木学会  
〒160-0004 東京都新宿区四谷1丁目外濠公園内  
TEL : 03-3355-3444 (出版事業課) 03-3355-3445 (販売係)  
FAX : 03-5379-2769 振替 : 00140-0-763225  
<http://www.jsce.or.jp/>
- 発売所……………丸善(株)  
〒103-8245 東京都中央区日本橋2-3-10  
TEL : 03-3272-0521/FAX : 03-3272-0693

© JSCE2004/環境工学公式・モデル・数値集  
印刷・製本：昭和情報プロセス(株)，制作：南恵文社，用紙：京橋紙業(株)  
ISBN4-8106-0421-7

当該出版物の内容を複製したり，他の出版物へ転載する場合には，  
必ず土木学会の許可を得てください。  
本書の内容に関するご質問は，下記の E-mail へご連絡ください。  
E-mail : [pub@jsce.or.jp](mailto:pub@jsce.or.jp)

---

表 1-2.1.4 事業所から排出されたごみ量と組成

事業所種類	純小売業	小規模事務所	大規模事務所	保管・加工・各種小売業	卸売業	飲食店	病院・診療所	運輸・修理・各種サービス業	製造業	理美容・宿泊・宗教・教育	
標本数	36	29	10	26	18	15	18	14	18	23	
ごみ排出原単位 (g/(人・日))	1121	338	205	1031	478	2379	363	970	968	1548	
組成 (湿重量%)	紙類	42.6	67.8	76.6	16.4	41.8	7.0	44.6	27.1	29.9	26.9
	厨芥	12.8	10.9	6.0	52.8	7.7	77.8	18.4	11.9	7.8	32.1
	繊維	1.0	1.0	1.1	5.6	1.8	0.5	2.8	3.7	18.5	3.3
	草木	10.8	1.7	1.0	2.0	3.0	0.8	3.2	13.2	6.1	8.4
	プラスチック	13.7	11.2	8.9	14.4	42.2	5.2	15.6	17.0	26.1	20.0
	ゴム・皮革	3.5	0.1	0.1	0.1	1.3	0.1	1.8	5.8	7.5	1.0
	ガラス	3.4	0.5	1.5	3.6	0.4	2.5	3.0	1.4	1.0	3.8
	金属類	10.1	5.7	4.3	3.6	0.7	5.5	2.7	15.2	2.2	2.8
	石・陶磁器	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	1.1	0.2	0.1
	その他可燃物	0.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.7	0.1	0.2	1.5
	その他不燃物	1.7	1.0	0.4	1.5	0.9	0.7	6.8	3.6	0.7	0.2
	合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(注) 参考文献 4) より作成。ごみ排出原単位は従業員一人当たりの排出量

### 2.1.2 廃棄物の性状

#### (a) 廃棄物性状の調査方法

【解 説】 廃棄物性状の表現には、三成分による方法と物理組成による方法がある (図 1-2.1.2)。三成分は、石炭分析等での工業分析に相当するもので、水分、灰分、可燃分に分けられる。物理組成は、品目ごとに分類し、その重量比もしくは体積比を求めるものである。究極的には、各品目ごとを三成分に分けることができる。

物理組成調査の際に、試料を乾燥させてから選別する方式と、乾燥させずに湿状態で選別する方式がある。それぞれ、乾燥重量ベース、湿重量ベースでの組成が報告されるので、データの比較を行うときには、どちらの表示方式であるのかを確認しておく必要がある。廃棄物性状調査は、昭和 30 年代から地方自治体ごとに独自に行われてきたが、国から厚生省通知 (環整第 95 号, 昭和 52 年) で示された方法がある。これによると、200 kg 以上を採取して 5~

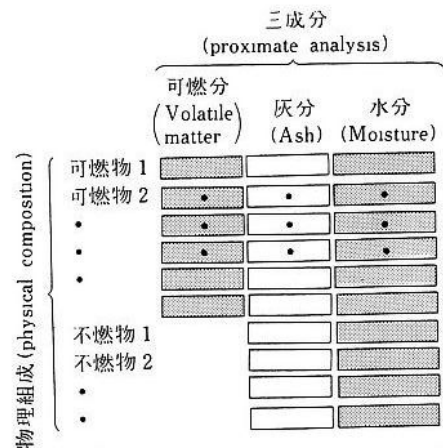


図 1-2.1.2 ごみマトリックスの概念

10 kg に縮分し、乾ベースによる物理組成 (6 品目, 表 1-2.1.5 (a) 参照) と三成分が表示されるが、近年、湿ベースでの選別と、資源リサイクルの観点からの評価を念頭に置いた分類項目がしばしば用いられる (表 1-2.1.5 (b))。この方法は、環整第 95 号法の 6 分類を、中分類でさらに 31 分類、詳細分類で 62 分類に分けるものである (表中では詳細分類の記載を省略)。一方、米国では標準的な物理組成分析方法として ASTM D 5231 (表 1-2.1.5 (c)) が定められており、分類項目数は大分類で 13、小分類で 21 である。この場合の物理組成を調べ際の試料量は約 100 kg であり、結果の信頼性向上のために繰り返し調査が必要である。

表 1-2.1.5 ごみの分類方法

(a) 環整第 95 号	(b) 容器・包装材等の調査に適した分類方法 <sup>1)</sup>	(c) ASTM D 5231 <sup>2)</sup>
紙・布類	紙 新聞紙 段ボール 用紙 書籍・雑誌 広告・チラシ・ダイレクトメール 飲料用容器（アルミなし） その他の紙製容器包装 紙おむつ・ティッシュペーパー等使い捨て商品 その他の紙	News print Corrugated High grade paper Computer printout Other office paper Mixed paper
	繊維類	
合成樹脂・ゴム・皮革類	プラスチック PET ボトル トレイ類 そのほかのプラスチック製容器包装 容器包装以外のプラスチック類 ゴム・皮革類	Plastic PET bottles HDPE bottles Film Other plastic
木・竹類	草・木 木・竹・草類の容器包装 容器包装以外の木・竹・草類	Wood
		Yard waste
厨芥類	厨芥類	Food Waste
その他	その他の可燃物	Other organics
不燃物類	スチール スチール製容器 容器包装以外のスチール	Ferrous Cans Other ferrous
	アルミ アルミ製容器 容器包装以外のアルミ	Aluminum Cans Foil Other aluminum
	その他の金属 その他の金属製容器 その他の金属	
	ガラス 無色のガラス容器 茶色のガラス容器 その他の色のガラス容器 その他のガラス類	Glass Clear Brown
	その他の不燃物	Other inorganics

## (b) 三成分

【解説】 水分は、試料を乾燥機内で乾燥させて求める。乾燥選別方式では選別前に、湿状態方式では選別後にこれを行う。したがって、乾燥選別方式では、全体での水分が求められるのみであるが、湿選別方式では、物理組成項目ごとの水分を求めることができる。

乾燥温度は、多くの場合、80~90°C が用いられる<sup>3)</sup>。100°C 以上の温度を使用しないのは、プラスチック類等の固着を避けるためである。このため「乾燥」後の試料は、わずかに水分を含むが、許容誤差と考えられている。乾燥後の試料を破碎し、電気炉中で熱灼（800°C、2時間）し、可燃分と灰分を求める。数多く計測を繰り返すことで、各物理組成項目ごとの三成分の経験値が得られ、表 1-2.1.6 にその例を示す。

## (c) かさ密度

【解説】 廃棄物の運搬や埋立処分を計画するうえで、かさ密度は、重要である。幅の広い値であり、圧縮された状態で容易に変わることを勘案したデータとして、表 1-2.1.7 にその例を示す。

表 1-2.1.6 各物理組成項目ごとの三成分の経験値

組成項目	三成分, 湿ベース			三成分, 乾ベース	
	水分 (%)	灰分 (%)	可燃分 (+固定炭素) (%)	水分 *1 (%)	灰分 (%)
紙類	10	5.4	76 (+8)		9-10
	16 ± 4			4.4 ± 0.6	9.7 ± 2, 11 ± 1
厨芥類	72	4.5	20 (+3)		13-17
	75 ± 7			7.5 ± 2.0	15 ± 3, 19 ± 2
プラスチック類	2	10			2.1-5.9
	プラスチック類: 16 ± 6 ゴム・皮革類: 8.6 ± 6.4			1.5 ± 0.3	プラスチック類, ゴム・皮革類: 9.5 ± 1.6 プラスチック類: 4.6 ± 1.5 ゴム・皮革類: 12 ± 5
木・草類	62	4.9	27 (+6)		2-13
	43 ± 12			5.4 ± 0.5	13 ± 9, 6.6 ± 1
繊維類	15-31				0.9-2.7
	16 ± 9			3.3 ± 0.5	2.6 ± 1.9, 6.9 ± 2.2

\*1 風乾後に残る水分  
上段: 文献 4), 中段: 文献 5), 下段: 文献 1)

表 1-2.1.7 各物理組成項目ごとのかさ密度の経験値 (単位: kg/m<sup>3</sup>)

組成項目	かさ密度	
	非圧縮	埋立地内
	最小値-代表的な値-最大値	代表的な値
紙類	32- 82-128	465
厨芥類	130-288-480	1186
プラスチック類	32- 64-128	213
ゴム・皮革類	96-128-256	205
庭ごみ	64-104-224	890
木・草類	128-240-320	498
繊維類	32- 64- 96	237

文献 4)

(d) 元素組成

【解説】 可燃分は、有機元素 (C, H, O, N, S, Cl) から構成されていると考えて、O 以外の元素を実測する。たとえば、試料を燃焼させて、発生する CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>O の量から、C と H を求める。N はケルダール法で求める。S と Cl については、燃焼分解後の分析溶液中の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と Cl<sup>-</sup> を計測する。燃焼分解の方法によって、異なる計測値が得られることがあり、注意が必要である。各物理組成項目ごとの有機元素濃度の経験値を表 1-2.1.8 に示す。

(e) 発熱量

$$H_l = H_h - 25(9H + W) \dots\dots\dots (1-2.1.1)$$

表 1-2.1.8 各物理組成項目ごとの元素分析値の経験値

組成項目	元素分析値 (乾ベース)				
	炭素 (%)	水素 (%)	窒素 (%)	硫黄 (%)	塩素 (%)
紙類	43	5.8	0.25	0.2	
	41-42	5.8-6.6	0.16-0.35	0.02-0.03	0.08-0.19
	40 ± 2	5.9 ± 0.2			
厨芥類	42-45	5.8-6.4	3.0-3.3	0.25-0.52	
	39-45	5.2-6.1	2.8-3.2	0.08 0.09	0.19-0.30
	41 ± 2	5.8 ± 0.3			
プラスチック類	60	7.2			
	72	11	0.55	0.04	3.37
	プラスチック類：78, ゴム・皮革類：58	プラスチック類：9.4, ゴム・皮革類：6.5	プラスチック類： 0.19, ゴム・皮革類：1.6	プラスチック類： 0.03, ゴム・皮革類：0.37	プラスチック類： 3.64, ゴム・皮革類：3.1
	プラスチック類： 69 ± 2 ゴム・皮革類：55 ± 6	プラスチック類： 9.8 ± 0.6 ゴム・皮革類： 6.9 ± 0.9			
木・草類	40	5.6	2	0.05	
	43-49	5.4-6.4	0.8-0.95	0.01-0.03	0.14-0.18
	41 ± 4	5.4 ± 0.6			
繊維類	46	6.4	2.2	0.2	
	46-52	6.3-6.6	2.8-3.7	0.22-0.30	0.21-0.49
	48 ± 3	6.3 ± 0.4			

上段：文献 4), 中段：文献 5), 下段：文献 1)

$$\text{Dulong の式} : H_l = 339.4C + 1435.1(H - O/8) + 94.3S - 25(9H + W) \quad \dots\dots\dots (1-2.1.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Steuer の式} : H_l = 339.4 \times (C - 3 \times O/8) + 238.8 \times 3 \times O/8 \\ + 1445.6 \times (H - O/16) + 104.8S - 25 \times (9H + W) \quad \dots\dots\dots (1-2.1.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Scheurer-Kestner の式} : H_l = 339.4 \times (C - 3 \times O/4) + 1435.1H \\ + 94.3S + 104.8 \times 3 \times O/4 - 25 \times (9H + W) \quad \dots\dots\dots (1-2.1.4) \end{aligned}$$

$$\text{三成分の式} : H_l = 190A - 25W \quad \dots\dots\dots (1-2.1.5)$$

$$\text{小林の式} : H_l = 369R + 170 \times (G + P) - 25W \quad \dots\dots\dots (1-2.1.6)$$

$$\text{狩郷の式} : H_l = 188B + 334R - 25W \quad \dots\dots\dots (1-2.1.7)$$

$$\text{都清研 (東京都清掃研究所) の式} : H_l = 162D + 213E + 309R - 25W \quad \dots\dots\dots (1-2.1.8)$$

ここに、 $H_l$ ：低位発熱量 (kJ/湿りごみ・kg),  $H_h$ ：高位発熱量 (kJ/湿りごみ・kg),  $H$ ：湿りごみ中の水素含有量 (%),  $W$ ：湿りごみ中の水分 (%),  $C$ ：湿りごみ中の炭素含有量 (%),  $O$ ：湿りごみ中の酸素含有量 (%),  $S$ ：湿りごみ中の硫黄含有量 (%),  $A$ ：湿りごみ中の可燃分 (%),  $R$ ：乾きごみ中のプラスチックの構成比 (%),  $G$ ：乾きごみ中の厨芥の構成比 (%),  $P$ ：乾きごみ中の紙の構成比 (%),  $B$ ：乾きごみ中のプラスチック以外の可燃物の構成比 (%),  $D$ ：乾きごみ中の紙, 厨芥, 木草およびその他可燃物の構成比 (%),  $E$ ：乾きごみ中の繊維およびゴム・皮革の構成比 (%)

【解 説】 ごみの発熱量は、ごみ焼却施設の設計、維持管理、ごみの熱エネルギーの有効利用等において不可欠な情報であり、熱量計によって実測できる。たとえば、ポンプ熱量計を使った場合には、密閉した酸素雰囲気の中でごみ試料を燃焼させたときに発生する熱を一定量の水に吸収させ、その水のごみの燃焼前後における温度上昇を検知することによって、ごみの総発熱量を測定する。廃棄物分野では高位発熱量と呼ばれる総発熱量には、ごみに始めから含まれている水やごみ中の水素の燃焼によって生成した水の蒸発潜熱（凝縮潜熱）も入っている。しかし、ごみ焼却施設から排出される排ガスの通常温度は 100°C 以上なので、ごみの燃焼過程で水蒸気となった水は気体の状態で排出される。すなわち、蒸発潜熱分のエネルギーは利用できないので、式 (1-2.1.1) に示すように、高位発熱量から水の蒸発潜熱を減じた低位発熱量が、熱管理の観点からはよく使われる。このため、発熱量と低位発熱量は同意語として扱われることが多い。

一方、熱量計による実測を行わずに、式 (1-2.1.2)～(1-2.1.8) に示す既知の情報から低位発熱量を推定する方法<sup>1),2),3)</sup> が提案されている。各推定式の提案時には、発熱量の単位としてカロリーが使われていた。しかし、式 (1-2.1.2)～(1-2.1.8) では単位を SI 単位のジュールに換算 (1 cal=4.18605 J) してあるので、発熱量に関する係数の値は、提案時とは異なっている。

式 (1-2.1.2)～(1-2.1.4) は、ごみ中の炭素、水素、硫黄、酸素含有量および水分の測定結果から低位発熱量を推定する方法である。式 (1-2.1.5) は、ごみの水分、可燃分および灰分のいわゆるごみの三成分から低位発熱量を推定する方法であり、厚生省通知（昭和 52 年 11 月 4 日付環整第 95 号）によって標準法として示されているため、最も利用されている。式 (1-2.1.6)～(1-2.1.8) は、ごみを乾燥させた後に調べたごみ中の厨芥、木草、繊維、プラスチック等の組成分析結果と各組成の平均的な発熱量からごみの低位発熱量を推定する方法である。

これらの式から推定した低位発熱量（推定値）とポンプ熱量計による実測値との間には、

三成分の式<小林の式<都清研の式<Dulong の式<実測値<狩郷の式<Steuer の式<Scheurer-Kestner の式

の関係があること、Dulong の式または都清研の式による推定値は実測値とほぼ一致すること、最も利用されている三成分の式による推定値は実測値より 800～1 200 kJ/kg 低くなることが報告されている<sup>3)</sup>。

なお、ボイラを設置している規模が大きなごみ焼却施設では、焼却ごみ量、排ガス温度、排ガス量、ボイラから発生する蒸気量、蒸気温度等から熱収支計算によって、ごみの低位発熱量をリアルタイムで推定するシステムが導入されている。しかし、熱収支計算から推定した発熱量と実測した発熱量との整合性の検討や推定方法の標準化が今後の課題となっている。

ごみの低位発熱量はごみの組成によって変化し、日本では湿りごみで 5 000～10 000 kJ/kg の範囲<sup>2)</sup> とされている。発熱量がごみの組成項目で異なる例として、平成 11 年に東京 23 区から排出されたごみの組成項目別の発熱量の測定結果<sup>4)</sup> を表 1-2.1.9 に示す。

表 1-2.1.9 ごみの組成項目別発熱量の測定例<sup>4)</sup>

組成項目	ごみの状態	高位発熱量 (kJ/kg)	低位発熱量 (kJ/kg)
紙	湿り	11 000	9 400
	乾き	16 000	14 700
厨芥	湿り	2 800	500
	乾き	15 600	14 300
繊維	湿り	16 400	14 900
	乾き	20 400	19 100
草木	湿り	6 700	5 400
	乾き	9 500	8 700
プラスチック	湿り	31 200	28 900
	乾き	37 200	34 900
ゴム・皮革	湿り	27 200	25 300
	乾き	28 700	26 800