HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	都市ごみ破砕選別工場と破砕不燃残渣の組成に関する調査
Author(s)	関戸, 知雄; 田中, 信壽; 松藤, 敏彦 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム（平成8年11月7日（木）-8日（金） 北海道大学学術交流会館） . 6 調査 . P6-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 253-257
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7860
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-6-7_p253-257.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

６－７

都市ごみ破砕選別工場と破砕不燃残渣の組成に関する調査

関戸知雄、田中信壽、松藤敏彦、東條安匡、松尾孝之（北海道大学）

１　はじめに

日本では解決すべきごみ問題の大きな課題の一つに、埋立地用地不足の問題がある。このため、最近では可燃物を焼却処理することによって減容化をはかる自治体が多い。しかし、無限のエネルギーや税金をかけてごみを減容化、無害化することはできない。将来（現在もであるが）、埋立処理すべき物はどんな物が適正なのかを考える時期が来ると思われる。埋立地を持続的に使用していくようにするには、①中間処理でなるべく容積を少なくし、②長期的に見ても汚水、ガス発生の少ないごみを、埋立処分していく必要があるだろう。そうすれば、埋立地として使用された土地は、短期間で新しい別の価値を持った土地になり、プラスの価値を持った都市インフラに姿を変えることができる。

そこで、筆者らは、埋立処理物としては焼却灰（あるいはそれを溶融したもの）と、粗大ごみや不燃ごみを処理した後の破砕不燃残渣（本報告では不燃残渣と呼ぶ）が、将来メインになってくるだろう、と予想している。そして、これら埋立処理物中の強熱減量が小さいほど、また、重金属などの有害物質の溶出がないほど、埋立に適していると言える。

不燃残渣を分析調査した例は少ないが[1)~3)]、これらの文献では、不燃残渣中の小さい粒径（10㎜以下）のものは分類が困難なため、その他あるいは土砂として分類し、その割合も５～９割と高いという報告をしている。筆者らも、不燃残渣の性状や変動特性について調査したが[4)]、同様に不燃残渣の組成は手選別では分類困難な小粒径物が重量割合で約５割を占め、全体の組成を把握するには至らなかった。また、不燃残渣の強熱減量を粒径別に測定したところ、5.6～2㎜の範囲でもっとも高くなる傾向があり、特に粗大ごみ破砕不燃残渣では顕著であるため、小さい粒径についても単純に不燃性の土砂としては扱えないことが分かった。

本研究論文では、破砕不燃残渣全体の組成を把握するために、手選別では分類困難な5.6㎜以下の粒径についても組成分類する方法を確立し、施設ごとの不燃残渣の組成を調査したので報告する。また、破砕選別処理場の物質収支についても推定した。

２　不燃残渣の小粒径物組成測定法の開発

2.1　目的

焼却残渣の安定化、無機化の指標として熱灼減量（強熱減量）を測定し、この値を用いる場合がある。しかし、不燃残渣に対しては、これを埋立の安定化の指標にはできないのではないかと筆者らは考えている。既報告[4)]で述べたように、不燃残渣の強熱減量は、処理ごみにもよるが、粗大ごみを処理した場合は約50％にもなる。強熱減量の指標を用いるならば、これは明らかにこれは埋立処理物としては適切ではない。しかし、この減量分の内容が、例えばﾌﾟﾗｽﾁｯｸなどのような比較的安定な物質であれば、埋立処理されたとしても分解されず、汚水もガス発生しないことになる。このように、埋立地の安定化を考えるときには、強熱減量の中身を把握することが必要であり、これを単純に埋立処理適正物の指標とすることには、問題があると思われる

現在の研究では強熱減量に代わるような埋立処理の指標の提案ができるような段階ではない。しかし、強熱減量の中身を把握することで、この減量分の意味を工学的に考察できるようになり、将来の埋立地からの汚染の予測にも役立つデータが得られる。このため、不燃残渣の手選別では分類困難な5.6㎜以下の粒径についてもその組成を知る必要がある。

2.2　小粒径物組成測定法

不燃残渣中には様々な材質のものが含まれているが、木、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ、紙、金属、不燃物、の５種に分けることにした。選別方法については、なるべく簡便・安全で、かつ安価な方法で行いたい。このため、それぞれの物質の持つ物理化学的性質を利用して選別を行うための調査、実験を行った。

いくつかの選別方法を検討した結果、実験室レベルで簡単に選別を行えるのは、重液を用いる比重選別と、物質の溶解性を利用する溶媒抽出法であり、これを利用して不燃残渣の選別を試みることにした。物質の溶解性を利用する方法は、試料を溶媒中に浸し、溶解するものとしないものに分け、溶解しなかったものを固液分離して選別する方法で、特別な前処理や技術を必要としないため、非常に簡単な選別方法である。しか

表１　溶媒に対する物質の溶解性

物質	酸	アルカリ	有機溶媒
木、紙	○	△	×
金属	○	×	×
プラスチック	×	×	△
ガラス	×	×	×
石	×	×	×

○：溶解
△：一部溶解
×：不溶解

表２　選別物の物性値

物質名	比重		酸分解性	強熱減量
木	*木材*	*1.2*	○	○
紙	*段ボール*	*1.59*	○	○
	新聞紙	*1.49*		
	広告紙	*1.65*		
（布）		*1.50*	○	○
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	PVC[5)～7)]	1.22～1.44	×	○
	PE[7)]	0.93		
	PS[5)～7)]	1.02～1.15		
	PP[5)～7)]	0.9～0.94		
不燃物	ｶﾞﾗｽ	2.44	×	×
金属	ｱﾙﾐ[8)]	2.7	○	×
	鉄[8)]	7.9		

＊斜体は実験値、その他は文献値

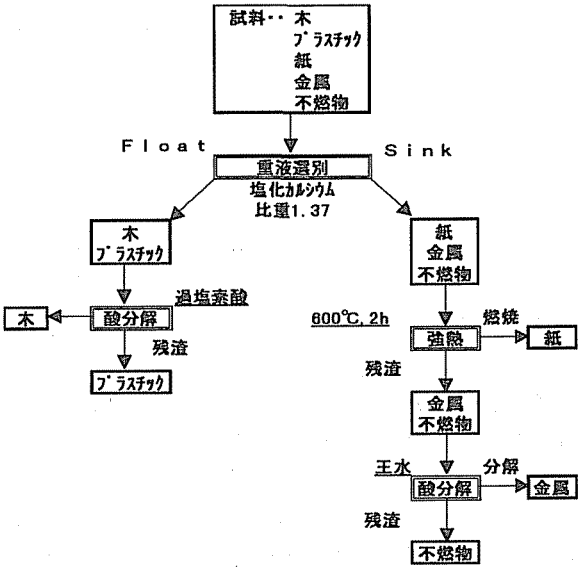

図２　小粒径物組成測定フロー

表３　小粒径物組成分析結果

	初期試料重量	選別効率	補正後選別効率
木	0.393	0.92	0.84
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	0.885	0.91	1.09
紙	0.406	1.00	0.93
金属	0.802	1.09	0.95
不燃物	1.064	1.02	1.08
total	3.550	0.99	1.01
	[g]	[-]	[-]

し、表１に選別対象物質の溶解性をまとめたが、溶媒をどのように組み合わせても、これらの物質を選別できないことがわかる。そこで、溶解性を利用する方法と、物質の比重差を利用して選別を行う重・液選別を組み合わせることにより、不燃残渣の組成分析を行うことについて検討を行った。

図２に小粒径物組成測定法の実験フロー図を示す。また、表２に選別対象物質の物性値をまとめた。斜体文字の物質（木材、段ボール等）は、試料を粉砕し、比重瓶を用いて実測した数値である。測定の際にはアスピレータにより吸引、脱気を行った。重液選別には安価で無害である塩化カルシウム溶液を用いた。それぞれの物質の比重の大きさは金属＞不燃物＞紙＞ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ＞木である。これを、重液選別を行って、木とﾌﾟﾗｽﾁｯｸを浮かせ、それ以外の紙、金属、不燃物を沈める。このときの重液比重の決め手となるのは、紙とﾌﾟﾗｽﾁｯｸとの比重差である。表２によると、紙、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸの中間の比重は1.45あたりであることがわかる。しかし、一般家庭で使われているﾌﾟﾗｽﾁｯｸ類の内で最も重いＰＶＣの比重値は文献によって様々で、例えば文献（6）では1.22～1.38、文献（7）では1.35～1.44, 文献（5）では1.3となっている。そこで、予備実験として水とＰＶＣをビーカーに入れ、塩化カルシウムを添加してゆき、比重1.37でＰＶＣが浮くのを確認し、実験ではこの数値を用いることにした。浮いた木、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸは、過塩素酸＋硝酸による酸分解を行い、溶解せずに残ったものをﾌﾟﾗｽﾁｯｸ、減量分を木とした。沈んだ紙、金属、不燃物は強熱をし、減量分を紙とした。さにその残渣を王水で酸分解し、減量分を金属、残渣を不燃物とした。この場合、不燃物とは、ガラス及び土砂等、酸に溶けにくい物質をイメージしている。

実験に先立ち、この実験方法の精度を調べるために、内容物が既知の試料を用いて実験を行った。試料はそれぞれ不燃残渣から採取し、2㎜以下に粉砕したものを用いた。表３に結果を示す。選別効率は物質によって異なるが、0.91～1.09であった。さらに精度を上げるため、実験手順上の誤差（例えば強熱減量効率、酸分解効率など）を考慮して補正を行った。結果を同じ表３に示すが、良くなったものもあれば逆に効率が落ちたものもあった。この原因についてはよく分からなかったが、試料同士のからみつきにより、うまく再現性がでなかったためだと思われる。しかし、不燃残渣全体の小粒径の割合はは約半分であり、この方法を用いて不燃残渣の組成の推定を行っても、約１割の誤差程度になる。破砕ごみのばらつきを考えると、決して大きすぎる値ではないと判断し、この測定法を用いて不燃残渣組成分析を行った。

３　不燃残渣の小粒径物組成分析

3.1　試料の作成

試料は、５施設から不燃残渣を採取した。各施設の概要を表４に示す。どの施設も一日のばらつきを考慮

表４　調査対象破砕選別工場

施設名および試料採取日	規模[t/5h]	搬入物	[t/y]	搬出物	[t/y]	破砕機	ふるい	試料採取方法
A粗大ごみ処理施設 (8/25:A2) (10/27:A6)	50	家庭系粗大ごみ (ただし大型可燃物は手選別により除去)	4,835	不燃残渣 可燃残渣 鉄	713 1,820 2,302	竪型ｽｲﾝｸﾞﾊﾝﾏ	振動ふるい	ホッパ上の点検口より、バケツを入れて採取
		合計	4,835	合計	4,835			
B環境センター破砕施設 (6/8:B)	60	粗大ごみ（家庭系） 自己搬入（事業系） 不燃ごみ（家庭系） その他	1,059 1,059 6,264 1,062	不燃残渣 可燃残渣 高分子物 鉄	3,826 1,470 2,745 1,195	竪型ﾘﾝｸﾞｸﾞﾗｲﾝﾀﾞ	ﾄﾛﾝﾒﾙ	ホッパからトラックに積み替えた後、採取
		合計	9,444	合計	9,236			
C衛生センター破砕施設 (8/21:C1粗大ごみ破砕日) (8/23:C2不燃ごみ破砕日)	40	粗大ごみ 燃えないごみ 持ち込みごみ	1,046 3,025 248	不燃残渣 アルミ 可燃残渣 ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ 鉄	1,062 66 2,293 8 890	横型ｽｲﾝｸﾞﾊﾝﾏ	ﾄﾛﾝﾒﾙ	ホッパからトラックに積み替えた後、採取
		合計	4,319	合計	4,319			
Dごみ破砕処理場 (10/12:D)	30	持ち込みごみ	1,157	不燃・可燃残渣 鉄	536 621	横型ｽｲﾝｸﾞﾊﾝﾏ	ﾄﾛﾝﾒﾙ	埋立地に搬入後採取
		合計	1,157	合計	1,157			
E資源化センター (2/21:E)	100×2	家庭系不燃性ごみ・粗大ごみ 許可業者ごみ 自己搬入ごみ 道路・街路・屑かご清掃ごみ 堆積ごみ	41,415 297 455 272 11	不燃残渣 アルミ 可燃残渣 鉄	9,380 478 20,030 5,963	横型ｽｲﾝｸﾞﾊﾝﾏ	ﾄﾛﾝﾒﾙ	ホッパに入る直前のベルトコンベア落ち口からスコップにより採取
		合計	42,450	合計	35,851			

＊日付は'95年のものである
＊処理実績値は94年度、ただしB施設のみ93年度のものである
＊E施設の試料のみ郵送により入手した

し、２つ以上の試料を約５Ｌずつ採取した。これを乾燥後各試料から等容量で約750mLずつ代表ｻﾝﾌﾟﾙを取り、各施設ごとに混合して分析試料とした。A、C施設はそれぞれ採取日の異なる２試料を分析した。また、C施設は、搬入ごみが家庭系粗大ごみ（8/21：C1）、家庭系不燃ごみ（8/23：C2）と異なっている。

3.2　分析項目

3.2.1　粒度分布の測定：試料は混合サンプルを縮分して200～500gを採取し、分析ふるいを用いて手ふるいで行った。ふるい目は、16mm、5.6mm、2mmのものを用いた。結果は省略する。

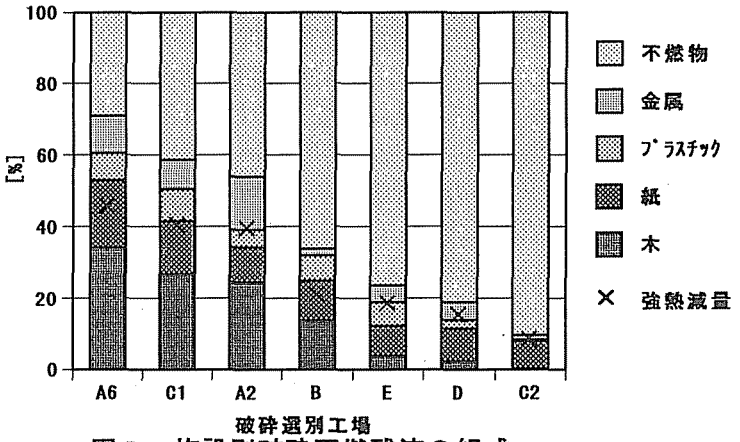

図３　施設別破砕不燃残渣の組成

3.2.2　強熱減量の測定：試料は、混合試料を縮分したもの（20～100g, n=4）、および5.6～2mm、2mm以下にふるい分けしたもの（5～20g, n=4）をるつぼで600℃、２時間強熱した。

3.2.3　小粒径物組成測定法による組成分析：粒度分布測定を行った5.6～2mm、2mm以下のサンプルをさらに縮分して試料とした。（約10g）サンプルのばらつきを考え、5.6～2mmのサンプルはn=4、2mm以下のサンプルはn=2で行った。実験方法は２章で述べた小粒径選別の方法を用いて行った。

3.3　施設の違いによる不燃残渣の性状

小粒径物組成測定結果と、手選別による5.6mm以上の組成分析結果を合わせて全体組成を図３に示す。左から順に強熱減量の大きい方から並んでいる。粗大ごみを処理したと破砕不燃残渣である。A2, A6, C1は、木の割合が多く、全体の可燃物（木、紙、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ）割合も大きい（40～60%）。また、破砕不燃残渣中の可燃物割合は８～60%と、非常に幅の広い割合となっているが、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸは、８～19%と、どの施設もほぼ同じ割合を占めている。不燃残渣中の可燃物割合の大きさは木や紙など生物分解性の組成が大きく影響していることがわかる。可燃物のもっとも少ないC2は不燃ごみを処理したときの不燃残渣である。また、B、E施設は家庭系粗大・不燃ごみを同時に処理しているが、B施設は事業者持ち込みによる建設廃材が処理されているため、木の割合が大きくなったと思われる。金属の割合は粗大ごみを処理したときの不燃残渣であるA2, A6, C1で大きく（８～15%）、不燃ごみを処理したときの不燃残渣であるC2のサンプルでは小さかった

(1%)。

また、図には強熱減量の測定値もプロットしたが、本来強熱減量の数値は可燃物割合とは等しくならず、可燃物中の灰分量だけ小さくなるはずである。今回の分析では、可燃物量を上回る強熱減量の測定結果もあり、分析上の精度に多少問題があると思われるが、搬入ごみごとの傾向はうまく表すことができる結果となった。

4　破砕選別処理場の物質収支

4.1　目的

前章の結果より、粗大ごみ破砕不燃残渣には木のような生分解性の有機物が、約50%も含まれていることが、小粒径の組成分析を行うことによってわかった。不燃残渣を埋立処分するには、有機汚濁汚染源となるような生分解性の有機物をより少なくしていき、埋立地を安定なものにする必要がある。また、埋立地の延命化を図る意味でも、より強熱減量の小さい不燃残渣を得る必要があるだろう。このためには、破砕選別施設内の物質収支を調査し、破砕設備自体のごみの流れを把握することも重要である。

筆者らは、破砕ごみの各選別物を詳細に調査することで、搬入ごみの組成を推定し、物質収支がたてられると考えた。しかし、これには不燃残渣の手選別では分類不能なものについても組成を把握する必要があった。今回の研究では、大まかにこれを分類することができたので、これと他の破砕ごみの組成分析を利用し、施設内の物質収支の推定を行った。

4.2　破砕選別施設の物質収支

破砕ごみから破砕選別施設の物質収支を把握するには、全ての破砕ごみの組成と、施設からの搬出量を知る必要がある。しかし、サンプリング当日の各選別物の正確な量を把握できない施設もある。そこで、搬出量には年間の処理量を用いることにした(A,Dは'94年度、Bは'93年度)。さらに、破砕不適物については、今回の調査ではその処理量や組成が不明なため、これを無視して推定を行った。可燃残渣、高分子物については、採取した各サンプルの分析値を単純平均して用いた。このうち、5.6mm以下の物は不燃物とした。また、鉄、アルミの組成はB施設、C施設の測定結果を用いた。

4.2.1　A施設における物質収支

A施設はA2とA6の破砕不燃残渣組成分析結果をもちいて、別々に物質収支推定を行い、どの程度初期値によって異なるかも検討した。鉄の組成には、この施設が、粗大ごみを搬入し破砕選別処理していることを考え、C1の鉄の組成割合を用いた。結果を表5、6に示す。A2、A6のどちらの調査結果を用いても、搬入ごみの組成にはほとんど影響がなかった。また、搬入ごみ中の木の割合は6%程度であるが、A2ではそのうちの約6割、A6では約9割が破砕不燃残渣中に移行していることがわかる。また、可燃残渣中に含まれる不燃物+金属の割合は、A2で約25%、A6で約30%であり、搬入ごみ中から移行した割合はそれぞれ約5割、7割と高かった。

4.2.2　B施設における物質収支

B施設では他の施設と異なり、高分子物(ﾌｨﾙﾑ状のﾌﾟﾗｽﾁｯｸ)を回収し、埋立処分している。結果を表7に示す。計算に用いた破砕ごみの組成割合はすべて調査値を用いた。A施設と同様、搬入ごみ中の木の内、不燃残渣中に移行している割合は45%と高かった。しかし、搬入ごみ中の不燃物は、約8割が不燃残渣中に移行し、約1割が高分子物に移行しているため、ほとんどが埋め立て処分されているといえる。

4.2.3　D施設における物質収支

この施設では、年間破砕不燃残渣搬出量を可燃物と破砕不燃残渣を足したものとして記録しているため、それぞれの割合はわからない。今回は、サンプリング当日に記録した可燃残渣重量と不燃残渣重量の割合を年間の重量比と仮定した。また、鉄の組成はC1の測定値を用いた。結果を表8に示す。この施設でも搬入ごみ中の木の破砕不燃残渣移行率が、約6割と大きい。ただし、破砕不燃残渣中の割合としては2%程度である。搬入ごみには、他の施設と比べて金属量が多く、家電製品、自転車等、不燃性の持ち込みごみが中心であるためだと思われる。

5　まとめ

本報告では破砕選別処理場から搬出される不燃残渣を小粒径物組成測定別法を用いて詳細に調査し、処理場内の物質収支を推定した。以下に得られた知見をまとめる。

表５　Ａ施設における物質収支（A2）

	搬入ごみ	不燃残渣	可燃残渣	鉄
処理量[t/y]	4835	713	1820	2302
組成割合[%]				
木	5.7	24.2	5.7	0.0
紙	10.1	5.1	24.8	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	17.7	9.9	42.5	0.5
金属	54.7	14.8	13.7	99.5
不燃物	11.8	46.0	13.3	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
搬入ごみに対する割合[%]				
木	100.0	62.4	37.5	0.0
紙	100.0	7.4	92.6	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	100.0	8.2	90.4	1.3
金属	100.0	4.0	9.4	86.6
不燃物	100.0	57.5	42.5	0.0

表６　Ａ施設における物質収支（A6）

	搬入ごみ	不燃残渣	可燃残渣	鉄
処理量[t/y]	4835	713	1820	2302
組成割合[%]				
木	5.7	34.2	1.6	0.0
紙	10.1	7.7	31.2	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	17.7	18.7	35.6	0.5
金属	54.7	10.4	11.0	99.5
不燃物	11.8	28.9	20.6	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
搬入ごみに対する割合[%]				
木	98.4	88.1	10.3	0.0
紙	128.0	11.3	116.6	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	92.7	15.6	75.8	1.3
金属	97.0	2.8	7.6	86.6
不燃物	101.9	36.2	65.8	0.0

表７　Ｂ施設における物質収支

	搬入ごみ	不燃残渣	可燃残渣	高分子物	鉄
処理量[t/y]	9236	3826	1195	2745	1470
組成割合[%]					
木	12.4	13.7	24.2	12.1	0.3
紙	11.7	7.1	9.4	25.4	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	21.9	11.2	34.6	42.6	0.9
金属	20.1	1.8	16.5	5.8	97.3
不燃物	33.9	66.2	15.3	14.2	1.4
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
搬入ごみに対する割合[%]					
木	100.0	45.6	25.2	28.8	0.4
紙	100.0	25.0	10.4	64.5	0.1
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	100.0	21.1	20.4	57.8	0.6
金属	100.0	3.7	10.6	8.6	77.1
不燃物	100.0	81.0	5.8	12.4	0.7

表８　Ｄ施設における物質収支

	搬入ごみ	不燃残渣	可燃残渣	鉄
処理量[t/y]	1157	293	243	621
組成割合[%]				
木	1.0	2.3	2.1	0.0
紙	1.3	2.4	3.2	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	12.1	9.1	45.6	0.5
金属	64.1	5.2	44.8	99.5
不燃物	21.4	81.0	4.3	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
搬入ごみに対する割合[%]				
木	100.1	57.8	42.3	0.0
紙	100.0	47.3	52.7	0.0
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	100.0	19.1	78.8	2.2
金属	100.0	2.1	14.7	83.3
不燃物	100.0	95.8	4.2	0.0

① 不燃残渣には約50%の、手選別では分類困難な小粒径のものが含まれているが、これを物理化学的な方法で木、紙、ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ、金属、不燃物の５種に分類する方法を確立した。この方法を用いて不燃残渣全体の組成を調べることができた。

② 不燃残渣には木や紙など生物分解性の有機物が含まれている。特に、粗大ごみ破砕不燃残渣の場合40～60%の高い割合になる。しかし、不燃ごみ破砕不燃残渣の場合は可燃物のほとんどがﾌﾟﾗｽﾁｯｸであった。

③ 小粒径選別法の結果を用いて、A、B、D破砕選別処理工場における物質収支を推定することができた。その結果、搬入ごみ中の木が不燃残渣に移行する割合が高いことが分かった。不燃残渣中の木の割合は施設によって異なるが、10～30%であることを考えると、木をうまく選別する、あるいは処理段階で除去することによって、不燃残渣中の有機物を低くすることができるだろう。

④ 小粒径選別法の結果を用いることによって、搬入ごみの組成も推定することができた。

以上の知見より、破砕選別施設で粗大ごみを処理すると不燃残渣中に木の混入割合が大きくなり、埋立処理に適切な性状であるとは言い難い性状となることが分かった。今後は、施設ごとの、より代表的な破砕ごみを採取し、精度よく性状を分析する必要があるだろう。また、不燃残渣を埋立処理したときの周辺環境に対する汚染物質（例えば重金属など）の挙動に関する研究も進めていく予定である。

参考文献

(1) 井上：破砕選別処理における選別状況調査、第７回全国都市清掃会議講演論文集、pp. 129-132（1986. 2）
(2) 石松：不燃ごみの処理処分に関する調査研究（3)、第12回全国都市清掃会議講演論文集、pp. 204-206（1991. 2）
(3) 大森ら：不燃性破砕ごみの溶出特性について、第12回全国都市清掃会議講演論文集、pp. 210-212（1991. 2）
(4) 関戸ら：都市ごみ破砕選別工場の破砕不燃残渣の性状と変動特性に関する研究、第７回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 401-403（1996. 10）
(5)（社）ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ処理促進協会：ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ廃棄物の分類・分別技術、ﾎﾟﾘﾏｰﾀﾞｲｼﾞｪｽﾄ、pp50-56（1992. 10）
(6) T. Quintana Sder：IDENTIJICATION AND SEGREGATION OF MATERIALS IN MIXED WASTE, Makra wal Chemos Macroomol Symp. 57, pp123-131（1992）
(7) 小林ら：使用済み家電製品リサイクルシステムの開発、第６回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp66-68（1995）
(8) 玉虫ら：岩波理化学事典