

都市固形廃棄物の熱分解

Pyrolysis of Municipal Solid Wastes

都市固形廃棄物(以下、都市ごみという)の資源化、及び無公害処理を目的として、内径500mmφの流動層を用いて実ごみの熱分解実験を行ない、その技術的可能性を検討した。

実験の結果、都市ごみを450～550℃の温度で熱分解することにより、真発熱量4,000～8,000kcal/kgの燃料油を約25wt%の収率で回収できること、流動層は運転性や制御性の点で優れた熱分解炉方式であることなどが明らかになった。

また、都市ごみの無公害処理の点で懸念された有害ガスは水洗により容易に除去できること、都市ごみ中に含まれている重金属は灰分や炭化物中に濃縮されることなども判明した。

平戸 瑞穂* Mizuho Hirato

斉藤 幸雄** Yukio Saitō

境 弘夫*** Hiroo Sakai

荒木記久男**** Kikuo Araki

1 緒言

経済の高度成長と国民生活水準の向上は、都市ごみの質及び排出量を著しく変化させ、ごみ公害として社会問題をひき起こした。一方、オイルショックにより再認識させられた資源不足の問題から、我が国の経済は省資源、省エネルギー型に転換せざるを得ない立場にたたされている。

これら二つの大問題を一挙に解決する手段として、都市ごみを一つの資源と考え、エネルギー回収、あるいは物質回収に関する研究が、国内はもとより世界各国で積極的に進められるようになってきた。

この問題に関し、我が国では通商産業省工業技術院が中心となり、都市ごみを資源化することにより省資源、省エネルギー化を図ると同時に都市ごみ処理問題をも解決するため、昭和48年度より「資源再生利用技術システムの研究開発」を推進している。この研究開発計画は、現行の焼却及び埋立てによる都市ごみ処理方式に代わり、資源化を主体にした次代の革新的な都市ごみ処理システムを提案するもので、図1に示すように収集、輸送、破碎、分別、分解、利用などの要素

技術と、各要素技術を統合したシステムの開発を含んでいる。

本研究は上記要素技術の一部をなすもので、破碎、分別された都市ごみ中の可燃物を単塔式の流動層熱分解炉により熱分解し、主として燃料油を回収する技術の開発を目的として行なわれたものである。

2 都市ごみ熱分解の原理

都市ごみとは雑多な廃棄物の混合体であるが、可燃物と不燃物とに大別される。可燃物は炭水化物(セルロースなど)を主成分とした紙、木類と、炭化水素を主成分としたプラスチックが大部分を占めている。不燃物は金属、土砂、ガラスなどである。従って、都市ごみの熱分解反応はセルロースとプラスチックの熱分解反応から成っているとみなすことができる。セルロースは $(C_6H_{10}O_5)_n$ で表わされ、加熱すると約250℃で熱分解反応が始まり、400℃以上ではほとんど分解し尽くされる⁽²⁾。熱分解生成物は油状物、ガス及び炭化物などで、熱分解温度や反応時間に大きく影響され、分解温度が高

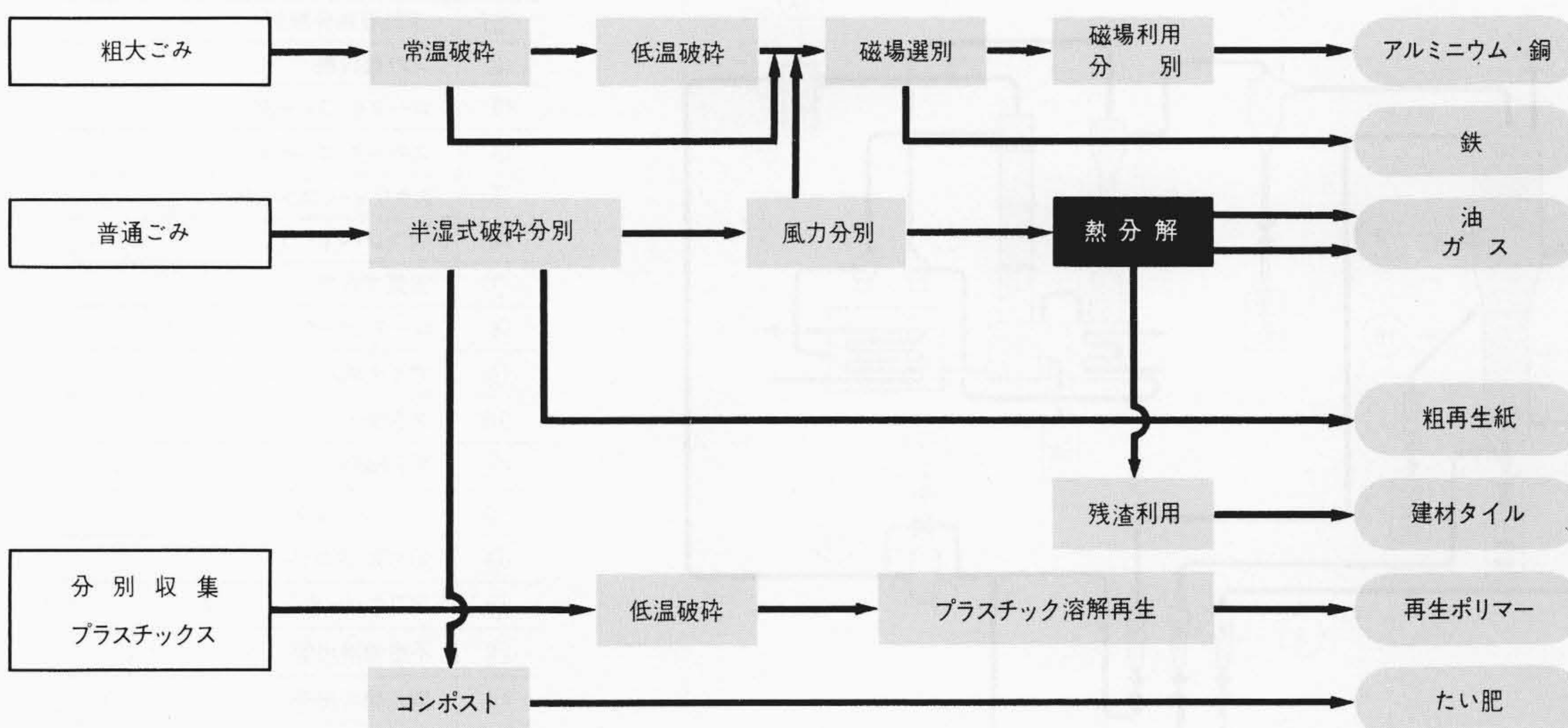


図1 都市固形廃棄物の資源再生利用技術システム 工業技術院で考案している都市固形廃棄物の資源化システムで、本開発技術は普通都市ごみを対象とした熱分解プロセスである。

* 日立製作所日立研究所 工学博士

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所環境技術本部

**** バブコック日立株式会社呉工場

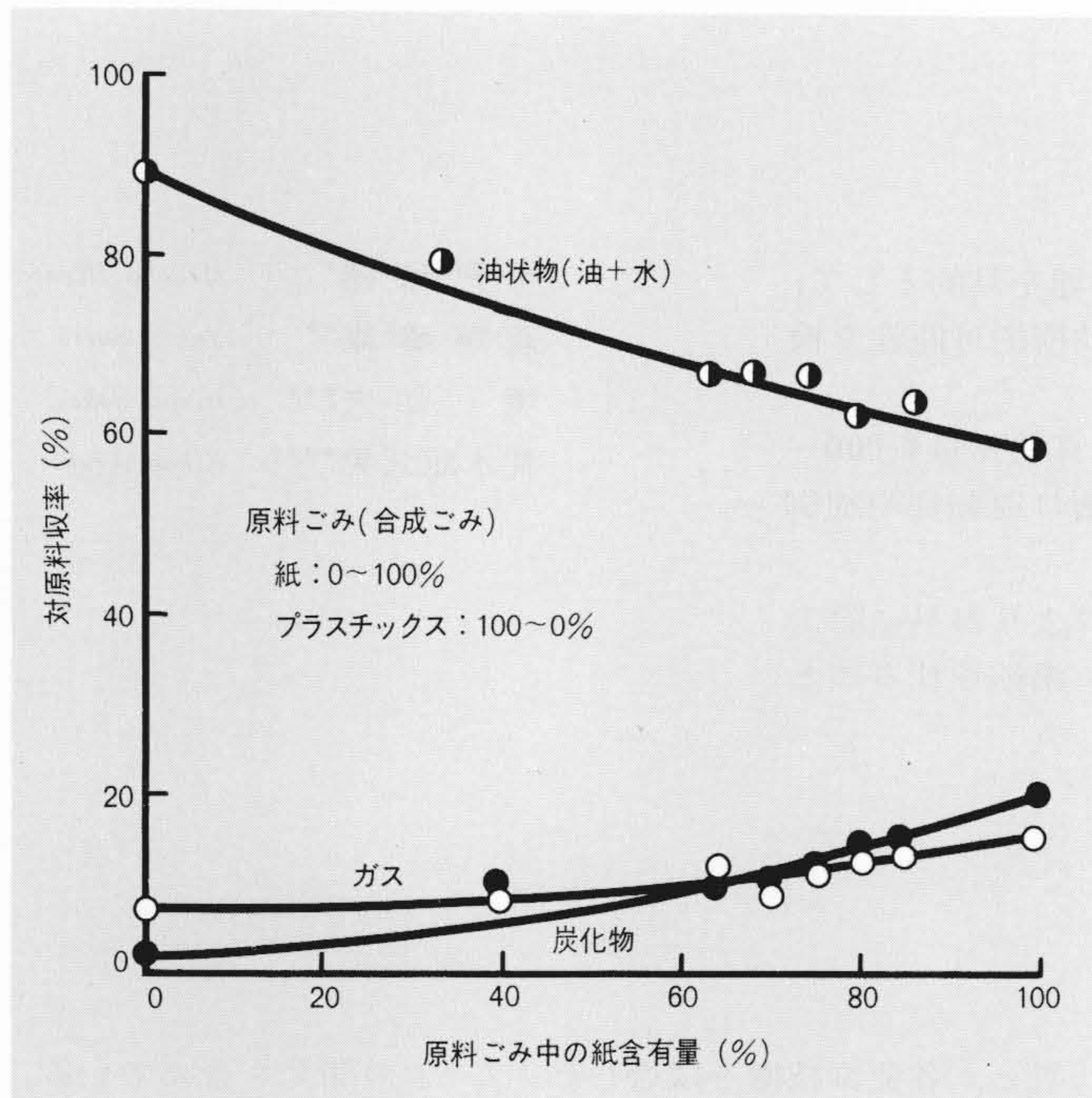


図2 合成ごみの熱分解 ごみを熱分解すれば油、ガス及び炭化物が生成する。収率は原料ごみ組成に影響されるが、油状物収率はガス及び炭化物収率に比較して多い。

表1 原料ごみ性状(平均) 実験に使用した原料ごみ質の分析例で、厨芥を除いた都市ごみ可燃物組成に近い。

項 目		分 析 値・性 状
組 成 (%)	紙	78.2
	木	2.0
	プラスチック	4.3
	不 燃 物	2.5
	水 分	11.2
	そ の 他	1.8
か さ 密 度		0.067kg/l
破 碎 径		30~50mm
真 発 熱 量		3,450kcal/kg
固 定 炭 素		24wt%

く、反応時間が長いほど軽質化が進んでガス収率が増加し、油状物及び炭化物収率は減少する⁽³⁾。一方、プラスチックは300~400℃で熱分解反応を起こし始め、主としてガス及び油状物を生成する⁽⁴⁾。図2に都市ごみの組成を模擬した合成ごみを原料に、卓上装置を用いて行なった熱分解実験の結果を示す。油状物、ガス及び炭化物がかなりの収率で生成しており、都市ごみ中の可燃物を熱分解して油状物を回収することは原理的に可能であることが分かる⁽⁵⁾。

3 実験装置及び方法

実験は内径500mm、有効高さ3,350mmのステンレス製流動層熱分解炉を用い、特に厨芥を除去、あるいは調製した実ごみを使用して行なった。表1に原料ごみ組成を、図3に実験装置のフローを、図4に外観を示す。

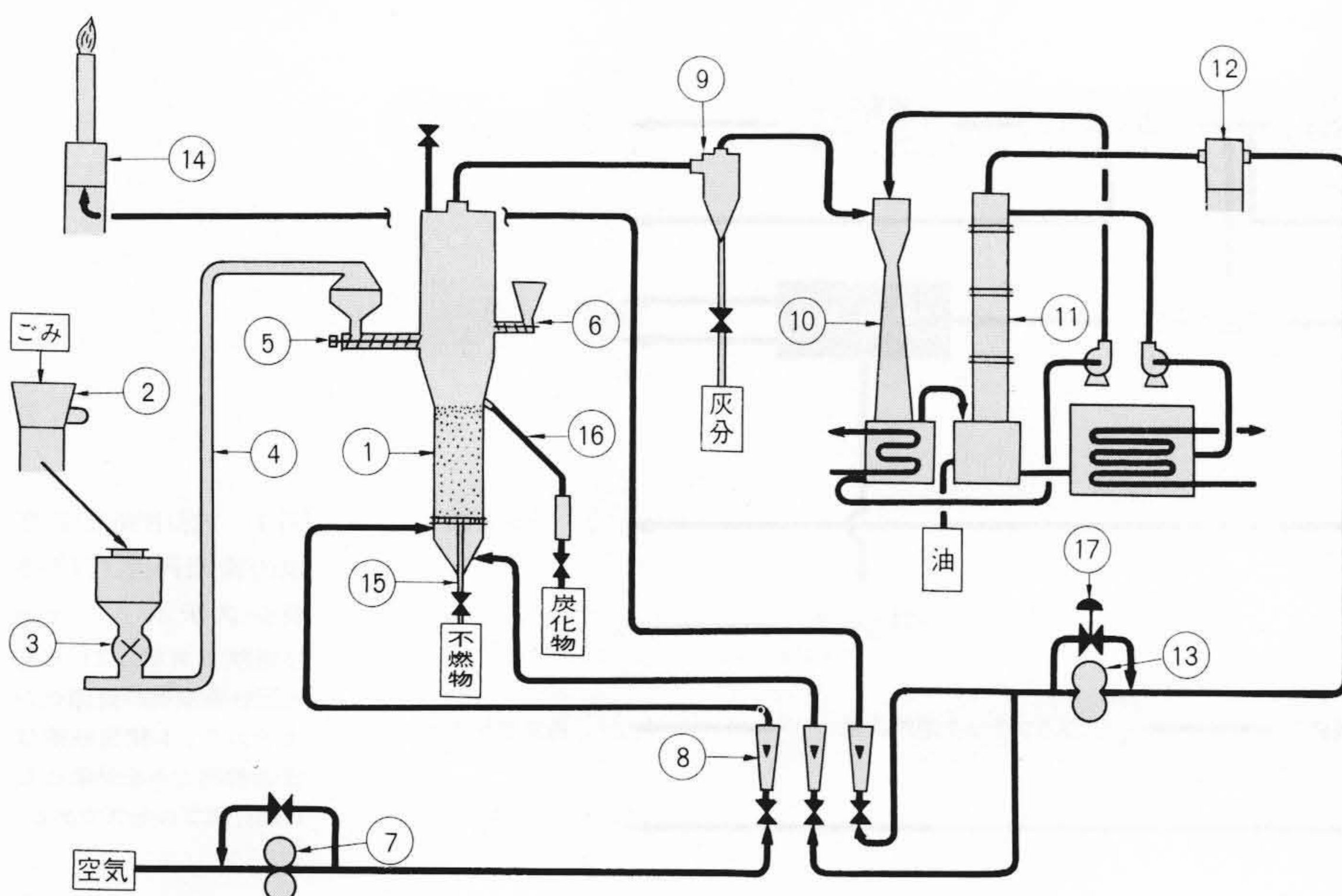
ピットに収集されたごみは50mm以下に破碎され、スクリーコンベヤにより流動層熱分解炉に供給される。流動層熱分解炉内では、流動媒体のケイ砂が空気及び循環ガスにより流動化しており、供給されたごみはここで熱分解されてガス及び炭化物を生成する。生成したガスはサイクロンで同伴する塵を除去した後、スクラップ及び多孔板塔で冷却し、油及び水分を回収した。非凝縮性ガスは屋外のアフタバーナに送り焼却処理した。炭化物は流動層上部に設けられたあふれ管から、また金属くず、ガラス及び小石などの不燃物は、分散板中心部に設けられた排出管よりそれぞれ炉外に取り出した。

生成ガス組成はガス クロマトグラフによる絶対検量線法で分析した。また、HClやH₂Sなど微量の有害ガスは北川式検知管を用いて分析した。熱分解生成油及び炭化物の発熱量、C/H及び重金属の分析には、それぞれ株式会社島津製作所製CA-1型燃研式自動ポンプ熱量計、及び日立CHN分析計、日立207型原子吸光分光光度計を用いた。

4 実験結果及び考察

4.1 熱分解生成物収率

熱分解実験はごみ供給量約50~100kg/h、流動化空気量50~90Nm³/h、温度約480~640℃の油収率の高い条件で行なっ



No.	名 称
①	流動層熱分解炉
②	ごみ破碎机
③	ロータリ フィーダ
④	スネーク コンベヤ
⑤	スクリー コンベヤ
⑥	砂コンベヤ
⑦	空気ブロウ
⑧	ロータ メータ
⑨	サイクロン
⑩	スクラップ
⑪	多孔板塔
⑫	バグ フィルタ
⑬	排ガス ブロウ
⑭	アフタバーナ
⑮	不燃物排出管
⑯	炭化物排出管
⑰	制 御 弁

図3 実験装置フロー 使用した実験装置は、流動層熱分解炉を中心に原料供給系及び生成分回収系から構成されている。

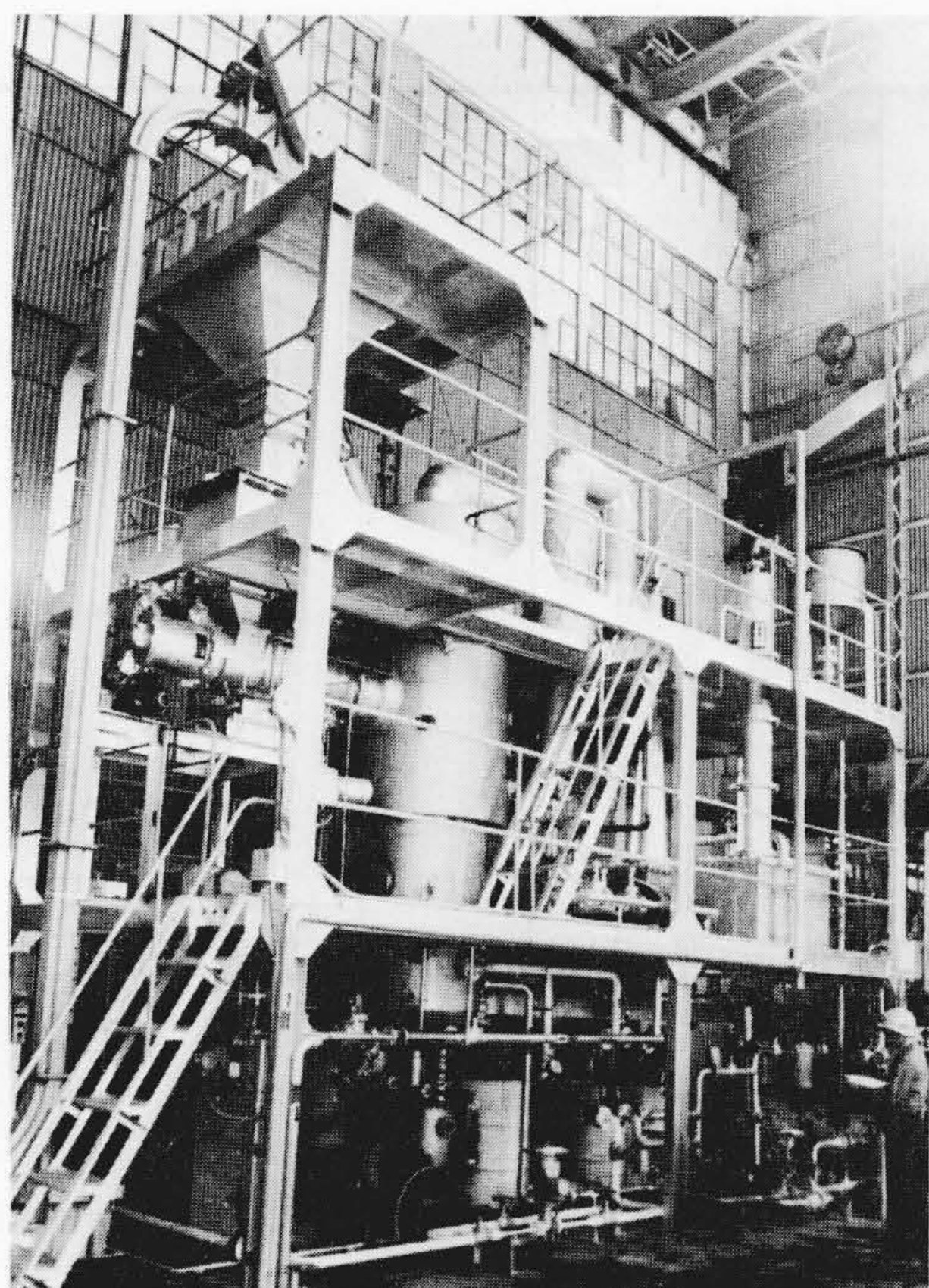


図4 実験装置 実験装置全景の展望で、中央が流動層熱分解炉である。

た。図5に各生成物収率を示す。熱分解温度の上昇に伴いガス収率は増加し、逆に油及び炭化物収率は減少している。これは反応温度が高くなると原子間結合の切断が容易となり、より低分子物質が生成しやすくなるためである。従って、油を回収するためには反応温度を低くすればよいが、反応温度が低くなると熱分解反応速度が遅くなるので、実用化を考えた場合450～550℃が最適条件となる。この範囲での油収率は対原料ごみで約20～30wt%あり、ガス及び炭化物より高い。

4.2 生成物の性状

ごみの熱分解生成物は、油、ガス、炭化物及び水などである。生成する油には原料ごみ中のプラスチックの熱分解で生成するプラスチック系油と、紙、木などセルロース質の熱分解で生成するセルロース系油の2種がある。プラスチック系油は真発熱量約7,700kcal/kgあり、65℃で粘度20cP、灼熱減量は97.6%と大部分が有機質であり、着火性及び燃焼性が良いので良好な燃料油として利用することができる。セルロース系油はグルコースを主成分とした各種糖類の混合物であり⁽⁶⁾、室温ではかなりの粘性をもっているが、60℃では22cP程度にまで下がり流動性が良くなる。真発熱量は約3,200kcal/kgで、空気中で着火すると黒煙を上げて燃える。これら2種類の油を混合させた場合の平均真発熱量は約4,000kcal/kgである。

表2に熱分解生成ガス組成の一例を示す。ガスの真発熱量は約500～1,000kcal/Nm³で、熱分解条件によって異なり、反応温度の上昇に伴い増加する傾向を示すが、620℃で最大となっている。

炭化物は真発熱量約5,000kcal/kgあり、まだ揮発分が残っているため着火性が良い。

副産物であるガスや炭化物は上述したように低品位ではあるが燃料として用いられるので、都市ごみ熱分解プロセス内で原料ごみの乾燥や予熱などに利用し、油収率を向上させることなどは今後十分検討する必要がある。

生成する水分中には、アルコール類、アルデヒド類及び有機酸類などが微量含有されており、pHは約5.8、COD(化学

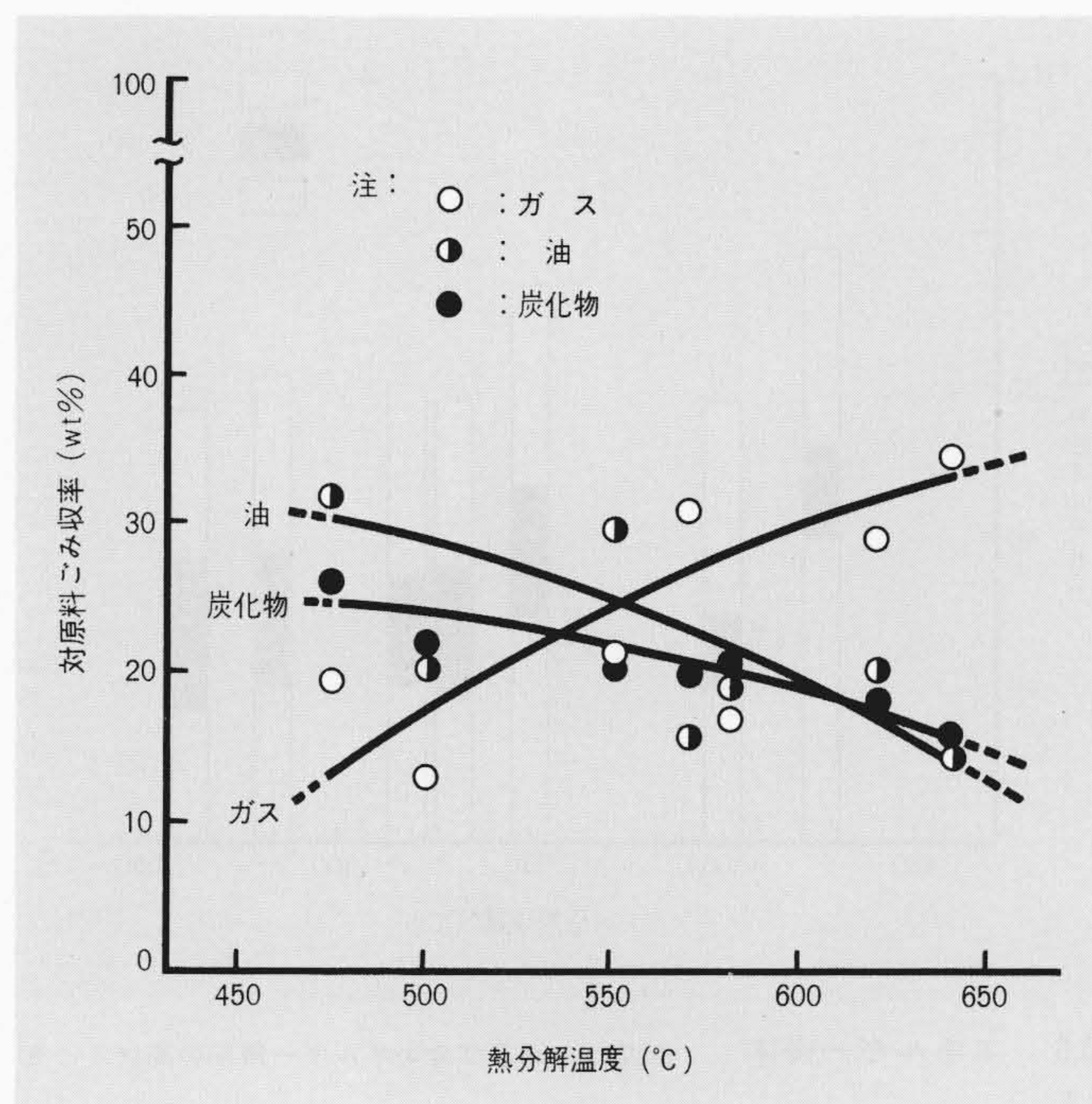


図5 熱分解生成物収率 生成物収率は熱分解温度によって影響される。低温ほど油収率は高くなっている。

表2 熱分解条件と生成ガス組成 生成ガス組成は、熱分解温度によって影響される。発熱量は、高温になるにつれ増加するが、約620℃付近にピークがある。

成分	温度	熱分解条件・生成ガス組成 (Vol%)				
		480℃	500℃	570℃	620℃	640℃
H ₂		1.36	1.28	2.24	3.56	1.67
N ₂		70.59	72.21	70.92	65.30	71.07
CO		9.45	12.47	10.54	12.75	12.71
CO ₂		7.75	14.04	16.79	15.02	12.85
CH ₄		0.69	1.00	1.40	2.15	1.48
CmHn		0.77	1.07	1.31	1.89	1.16
真発熱量 (kcal/Nm ³)		504	669	853	960	731

的酸素要求量)は15,000ppm程度になる。この排水は、中和、凝集沈殿、活性炭など現在使用されている化学的及び物理的処理により、容易に規制値以下に処理することができる。

4.3 含水率の影響

現在進められている都市ごみの資源再生利用技術システムでは、前処理で厨芥が除去されるため水分はかなり少なくなるが、ごみ質の変動により水分の多い場合も考えられるので、生成物収率に及ぼすごみ含水率の影響を調べた。含水率が高くなると、熱分解反応温度を一定に保つためには供給されたごみをより多く燃焼させねばならないので、油収率は低下し、含水率30wt%では約8wt%にまで低下する。従って、油を効率よく回収するには、厨芥などの高含水物質は前処理工程で極力除去し、含水率を小さくしなければならない。なお、油の性状は含水率に影響されずほぼ一定である。

4.4 エネルギー得率

都市ごみ熱分解処理での熱収支の基準としてエネルギー得率を考えた。エネルギー得率は、単位量の原料ごみのもつ発熱量に対する各熱分解生成物のもつ発熱量の比として求めたものである。全エネルギー得率は、熱分解温度が低いほど高くなり、470℃では約75%に達している。また、油のエネルギー得率も低温分解ほど増加し、470℃では約40%を占め、ガス

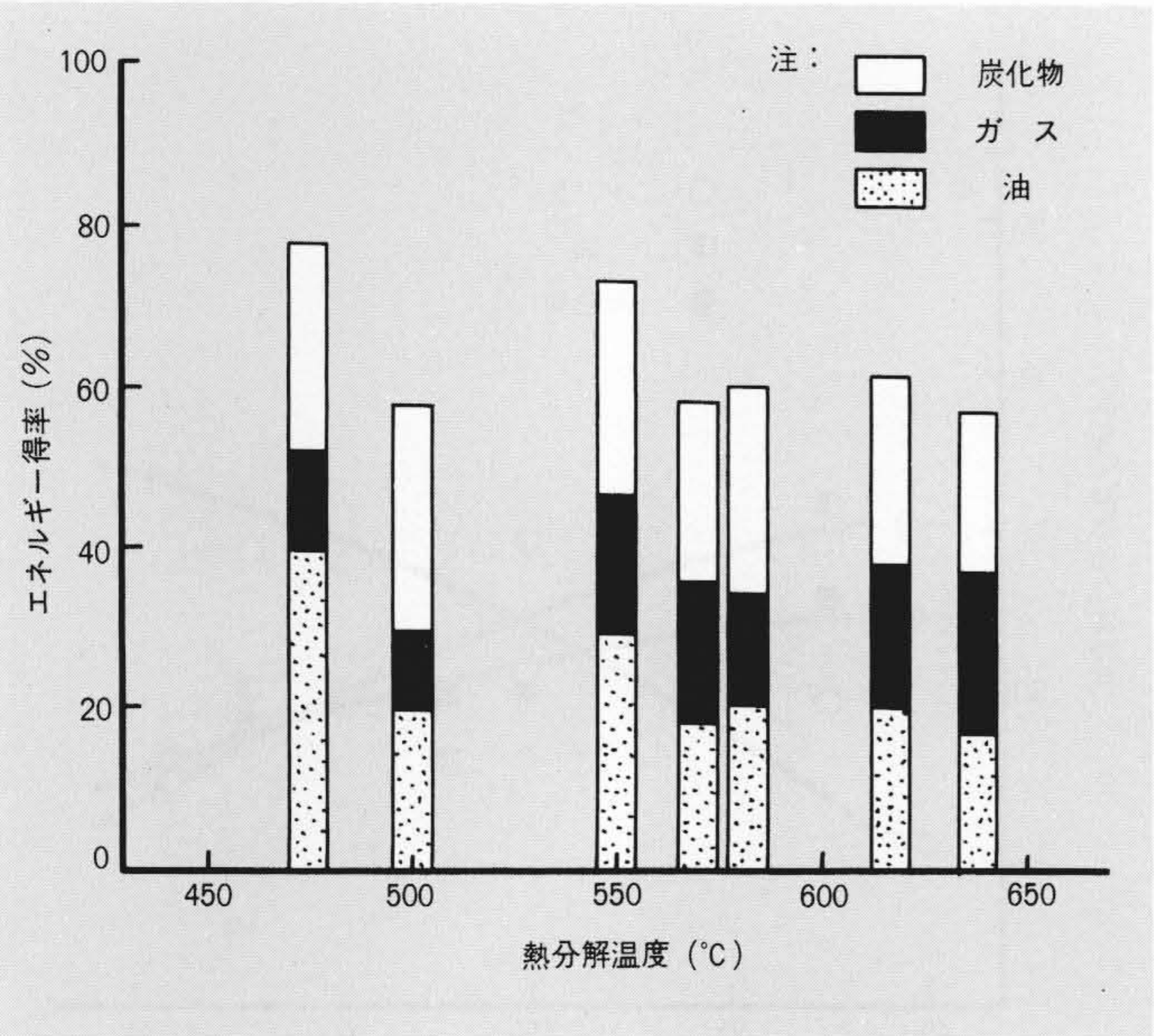


図6 エネルギー得率 低温ほど油及び全エネルギー得率の高いことを示す。

表3 有害ガス分析例 有害ガスは水洗いにより除去されること、及び熱分解炉ではNOxが発生しないことを示す。

有害ガス成分	分解炉出口ガス	洗浄排出ガス	焼却炉
NOx	0～1	< 1	100～500
SOx	15～数十	< 10	50～100
H ₂ S	70～100	< 10	0
HCl	40～50	< 1	300
Cl ₂	2～20	< 10	—
NH ₃	2～20	< 1	0.3～0.5
HCN	20～40	< 1	—

注：単位 (ppm)

及び炭化物より多くなっている。
4.5 有害ガス及び重金属の挙動

表3に有害ガスの分析例を示す。HCl、H₂Sなどの有害ガス濃度は熱分解炉内でいずれも数十ppmであるが、NO_x(窒素酸化物)はほとんど発生していない。これらの有害ガスは、スクラップで水洗いした後はいずれも1～10ppm以下となり、容易に処理することができた。

表4に重金属分析結果の一例を示す。原料ごみ中の重金属は熱分解後いずれも灰分及び炭化物中に移行し、生成油中には少ない。収率と重金属濃度から重金属分布を求めると図7に示すようになり、大部分の重金属は炭化物中に存在する。灰分や炭化物中の重金属溶出試験では、いずれの重金属も2 ppm以下であり、不溶化処理すれば容易に0、又は5 ppm以下に抑えることができる。

5 結 言

以上、都市固形廃棄物の資源化と無公害処理を目的とした熱分解法につき、500mmφ流動層熱分解炉を用いて行なった実験結果の一部を報告した。これらの結果を要約すると、

- (1) 都市ごみを450～550℃で熱分解すると真発熱量約4,000 kcal/kgの燃料油が約25wt%の収率で得られる。この場合のエネルギー得率は約60%である。
- (2) 都市ごみ流動層熱分解炉は、運転性及び制御性の面で優れた反応炉である。

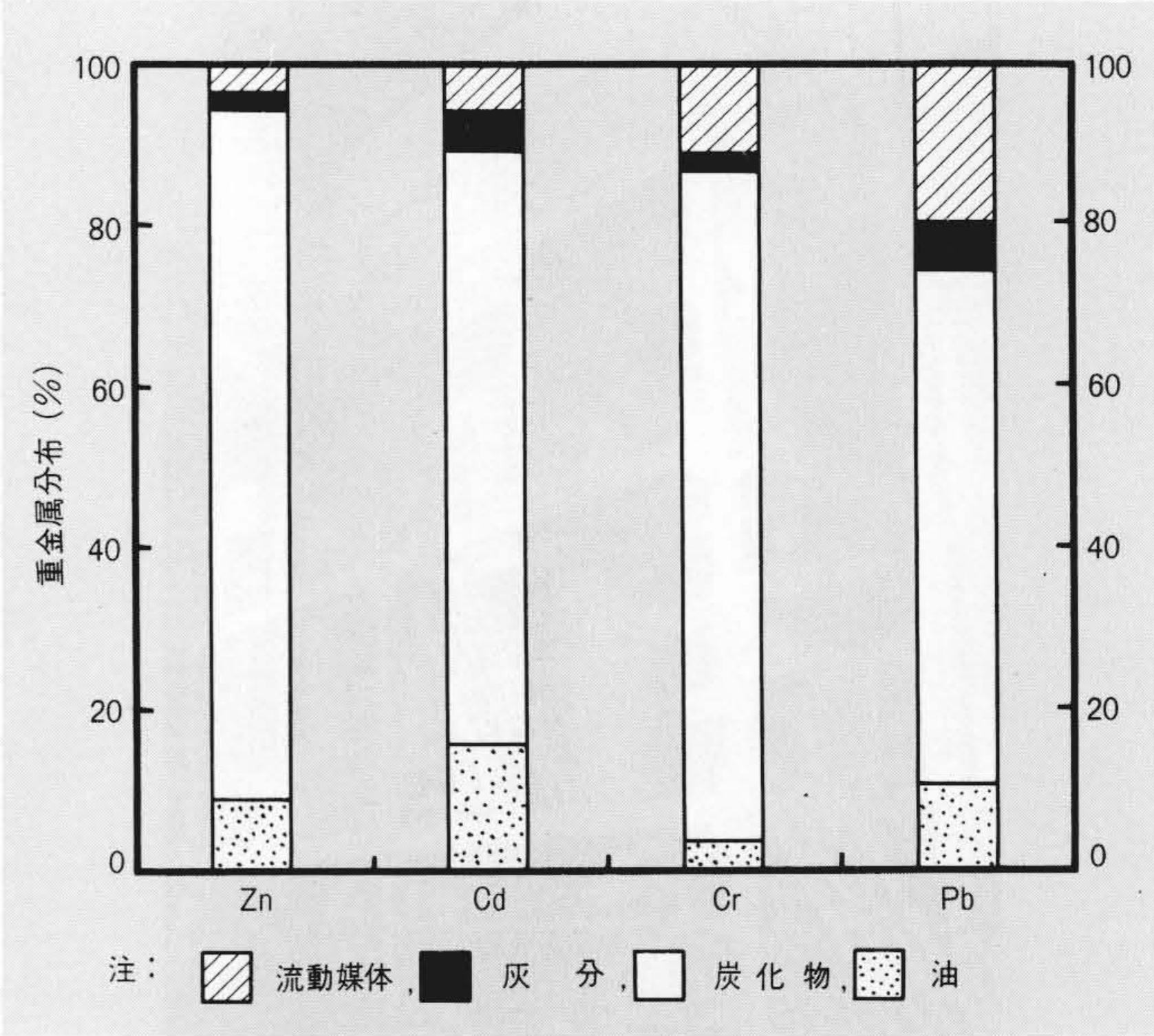


図7 熱分解生成物への重金属分布 原料ごみ中の重金属は、熱分解後炭化物中に多量に存在する。

表4 重金属分析例 原料ごみ中の重金属は、熱分解後灰分及び炭化物中に高濃度で存在する。

重金属の種類 原料及び生成物	Zn	Cd	Cr	Pb
原料ごみ	32.81	8.33	31.25	37.50
流動媒体(ケイ砂)	8.04	1.08	6.66	10.00
炭化物	93.75	32.50	125.00	312.50
生成油	8.64	7.80	5.00	14.50
灰分	312.50	99.37	187.50	450.00

注：単位 (ppm)

(3) 無公害処理の面では、HClやH₂Sなどの有害ガスは水洗い処理で容易に除去でき、NO_xはほとんど発生しない。また、重金属は灰分、炭化物に移行し、灰分中の重金属は不溶化処理により固定化することができる。

本研究は、通商産業省工業技術院の都市ごみを対象とした準大型プロジェクト「資源再生利用技術システムの研究開発」に参加し、昭和48年度から49年度にわたり日立製作所日立研究所において実施された成果の一部である。

終わりに、本研究の推進に全面的に御指導いただいた通商産業省工業技術院齊藤哲男研究開発官、中軸美智雄技官、山形吉男技官及び環境庁国立公害研究所後藤典弘主任研究官(元工業技術院開発官室)に対し厚くお礼を申しあげる。

参考文献

- (1) 東京都清掃局：昭和49年度事業概要、p.61(昭49-4)
- (2) 春山ら：「セルローズの燃焼」、環境技術、2、25(1973)
- (3) 木藤：「塩ビ系混合廃棄物の焼却処理上の問題点と対策」PPM、3、49(1972)
- (4) 戸波：「都市ごみ成分の熱分解」、環境創造、6、47(1974)
- (5) 平戸ら：CRE第1回国際会議論文集、“Fluidized Bed Pyrolysis and Oil Recovery Process of Municipal Solid Wastes”(1975-11)
- (6) Holms, F.H.et al. J.Appl., “The Pryolysis of Celluloss and the action of Flame-Retardants Significance and Analysis of the Tar”, Chem. 11, 210 (1961)