

都市ごみの熱分解油化技術

Pyrolysis Oil Recovery from Municipal Solid Wastes

都市ごみを一つの資源と考え、都市ごみからのエネルギーあるいは物資回収技術に関する研究開発が、国内外で積極的に進められるようになってきた。日立グループでは、都市ごみからの油回収、及びごみの効率的な処理を目的とした熱分解油化プロセスの開発を行ない、パイロットプラントによる都市ごみの熱分解油化実験を実施してきた。その結果、都市ごみを450°C付近で熱分解することによって、原料ごみ中のプラスチック分の30~50%が油化され、生成油は重油相当の性状をもっていること、及び環境問題を発生させることなくごみの処理を効率的に行なえることを明らかにした。更に1箇月間にわたるパイロットプラントの連続運転によって、装置は操作性、制御性に優れ、安定した運転性能をもっていることを確認した。

島田一成* Kazunari Shimada
 古江俊樹** Toshiki Furue
 西本義英** Yoshihide Nishimoto
 下條哲男*** Tetsuo Gejō

1 緒言

都市ごみは、一人当たり1日に約1kg排出され、全国で年間3,000万t以上に達する。都市ごみは、現在、主として埋立及び焼却により処理されている。しかし、埋立地の不足、焼却に伴う環境汚染の発生、焼却処理費の高騰などの問題を生じている。また、石油ショックで再認識させられた資源不足の問題から、都市ごみも有価な資源との見方が生まれ、新しい都市ごみ処理技術の開発が社会的にも要請されるようになってきた。

日立グループでは、都市ごみ中の水分の多い厨芥からメタンガスを¹⁾、また、プラスチック、紙から油を回収し、同時に効率よく都市ごみを処理する技術の研究開発を進めてきた。

本油化技術は、都市ごみのプラスチック、紙成分を対象とし、流動層を用いた部分酸化方式による熱分解法である。小規模実験による基礎実験²⁾を完了し、昭和55年10月から東京都江東区夢の島で、パイロットプラントを用いて、約2年半にわたりフィールドテストを実施した。本報では油化技術の特徴、パイロットプラントによる運転実績の一部について紹介する。

なお、本技術の開発は、通商産業省工業技術院の大型プロジェクト「資源再生利用技術システムの研究開発」の一環として日立グループが参加し、東京都清掃局及び東京都整備公社と共同して実施したものである。

2 熱分解油化技術の原理及び特徴

都市ごみは、紙、木などのセルロースを主体とする物質と、プラスチックなどの炭化水素を主体とする物質から構成されている。これらはいずれも高分子化合物であるが、熱を加えると主鎖及び側鎖の結合が切断されて、低分子化合物、すなわち油、チャー及びガスとなる。日立グループでは図1に示すように単塔式の流動層を用い供給ごみの一部を空気で燃焼させ、この燃焼熱で流動層の温度を400~500°Cに保持し、残りのごみを熱分解する部分酸化方式による都市ごみの油化技術を開発した。

本熱分解油化プロセスは次に述べるような特長をもっている。

(1) 貯蔵性、輸送性の点で優れている燃料油を主に回収できる。

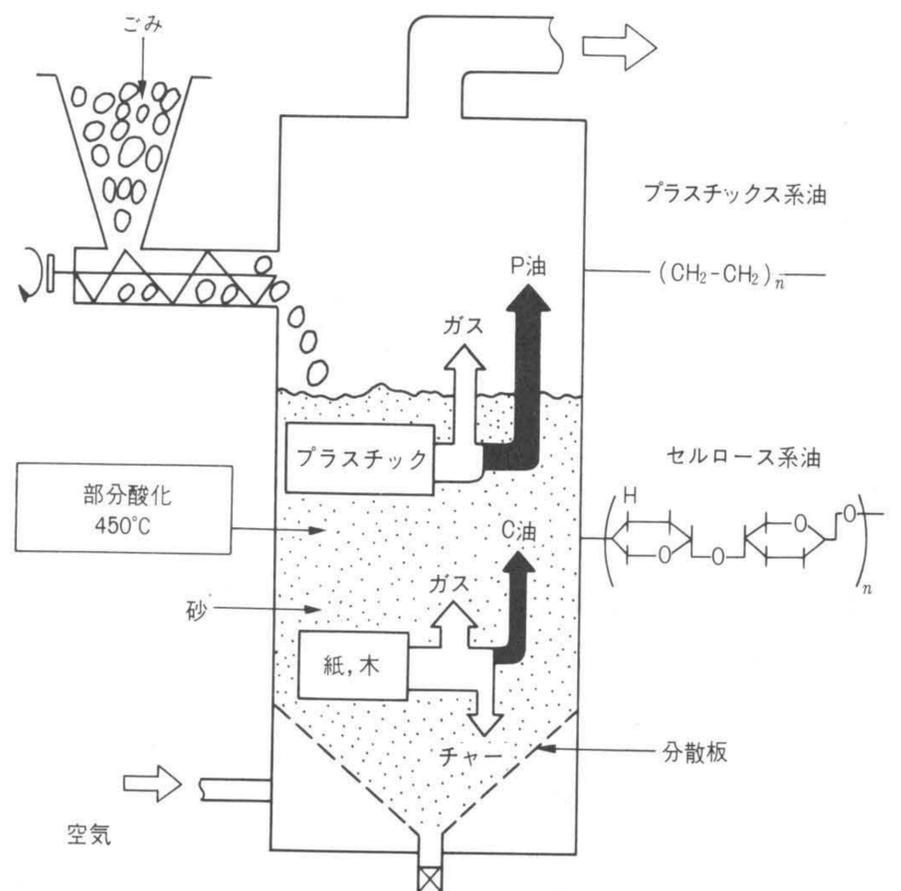


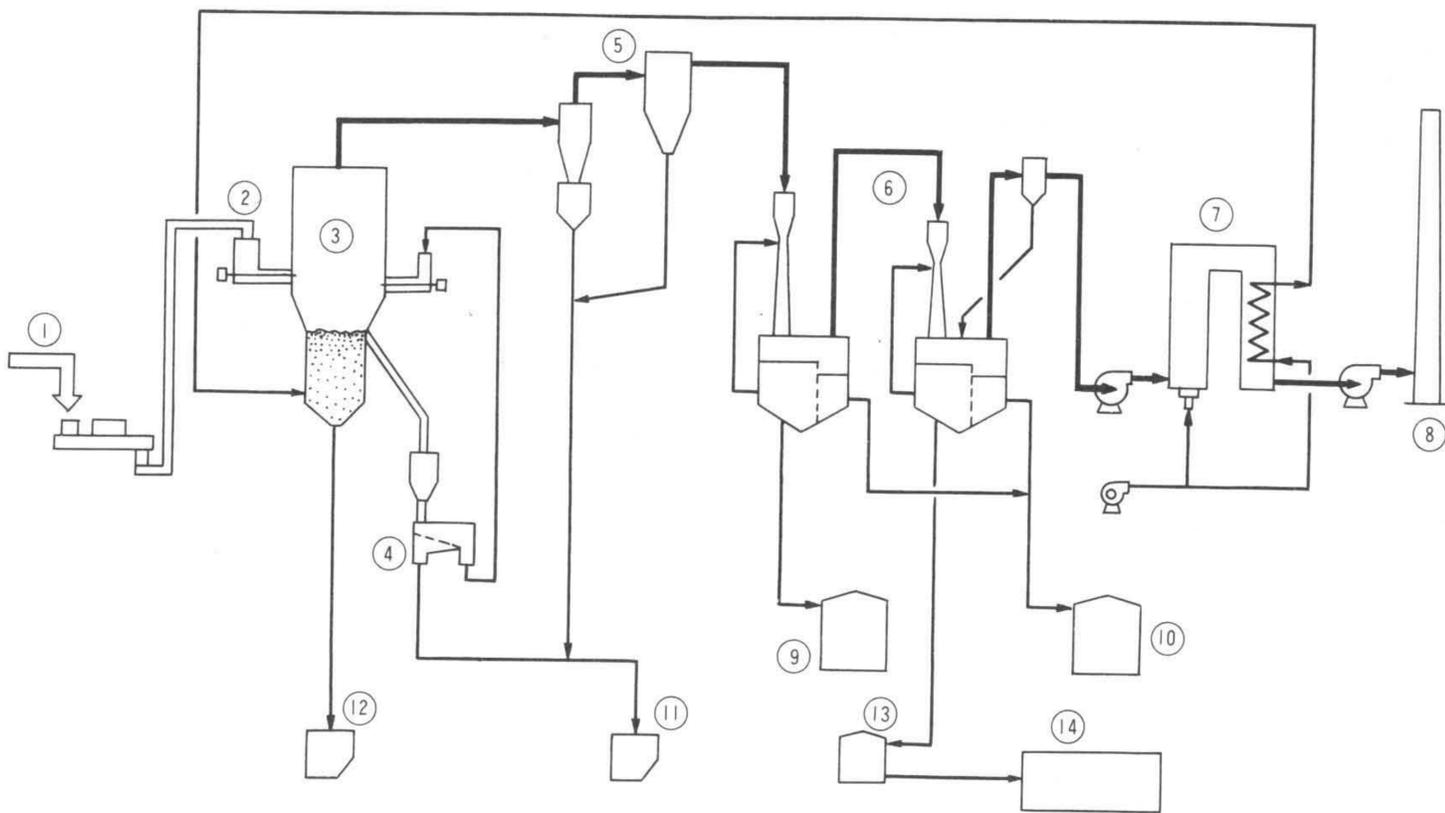
図1 流動熱分解法の原理 ごみの一部を燃焼し、その熱により熱分解反応を進める。反応器には伝熱速度の大きい流動層を用いた。

- (2) 単塔式流動層であるため、装置構造が単純で、かつ運転操作が容易である。
- (3) 低温分解のため、NO_x(窒素酸化物)はほとんど発生しない。
- (4) 炉内に機械的な駆動部がないため、高発熱量をもつ合成樹脂が増加しても処理上支障がない。
- (5) 炉内の温度は均一で、伝熱速度が大きいため熱分解の所要時間が短く、単位容積当たりの処理量が大きい。
- (6) 排ガス量は焼却法の数分の一である。

3 パイロットプラントのフロー

図2に装置のフローを、その外観を図3に示す。半湿式選択破砕分別装置を用いて、都市ごみから厨芥及び不燃物の大

* 日立製作所日立研究所 ** バブコック日立株式会社呉工場 *** 日立製作所機電事業本部 工学博士



No.	名称
①	原料ごみ
②	供給フィーダ
③	熱分解炉
④	砂,チャー分離機
⑤	サイクロン
⑥	スクラバ
⑦	熱回収炉
⑧	煙突
⑨	セルロース系油
⑩	プラスチック系油
⑪	チャー
⑫	不燃物
⑬	有機廃水
⑭	廃水処理装置

図2 パイロットプラントのフロー 流動層熱分解炉を中心に原料供給系, 生成物回収系及び分解ガスの熱回収炉から構成されている。

部分を分別・除去したのち、これを約50mmに破碎し、スケールコンベヤで計量後供給フィーダにより炉内に供給する。分解炉内で流動熱媒体の砂を予熱空気で流動化し、この空気により供給ごみの一部が燃焼し、その燃焼熱により残りのごみが熱分解され、分解ガス及びチャー(炭化物)が生成する。分解ガスはサイクロンで微細チャーを除去後、2段のスクラバで冷却し生成油を回収する。チャーは流動層上部に設けた溢流管から、また、炉内の不燃物は分散板中心に設けられた排出管から炉外に抜き出す。油回収後の分解ガスは熱回収炉で燃焼し、その廃熱を空気予熱の熱源に用いる。

4 生成物の収率及び性状

4.1 生成物の収率及び熱回収率

図4に原料ごみを100とした場合の各生成物の収率、及び熱回収率の分布例を示す。生成物は油、チャー、ガス及び廃水である。生成油には、ごみ中のプラスチックから得られるプラスチック系油(P油)と、木、紙などから生成するセルロース系油(C油)の2種類がある。油の原料ごみに対する

収率はP油8~13%、C油0~6%、合計10~20%である。P油の収率は原料ごみ中のプラスチック分と水分の影響を大きく受ける。その影響を図5に示す。原料ごみ中のプラスチック分の30~50%がP油に転化する。P油の収率を高めるには、ごみの含水率が低く、プラスチック分の高いほど好ましい。

図4(b)の熱回収率例で最も大きな割合を占めるのは油で、P油18~26%、C油0~2%で合計18~28%を占め、油を資源として回収する意義は大きい。その他、ガス30~40%、チャー20~27%で、生成物の熱回収率は合計70~80%となる。熱損失は20~30%で、ごみの顕熱、分解熱、装置からの熱ロスなどが含まれる。

4.2 生成物の性状

(1) 生成油

P油の性状を表1に示す。常温で軟らかいワックス状で、発熱量が若干低いことを除けば、重油に近い性状をもち、重油にもよく溶解する。したがって、P油単独で加温することによって、又は重油に溶解させることによって、貯蔵、輸送

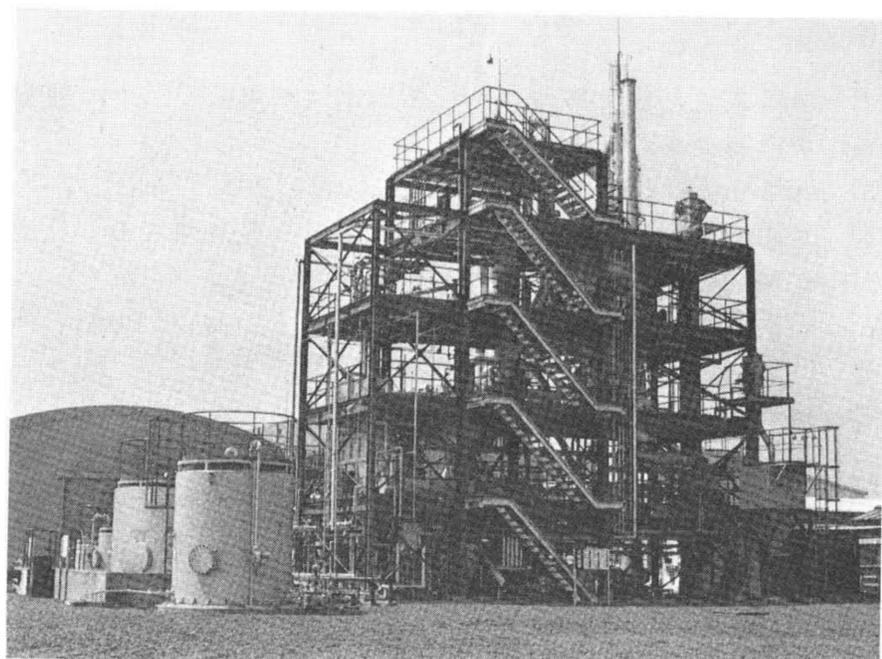


図3 パイロットプラントの外観 東京都夢の島に設置したパイロットプラントの外観を示す。

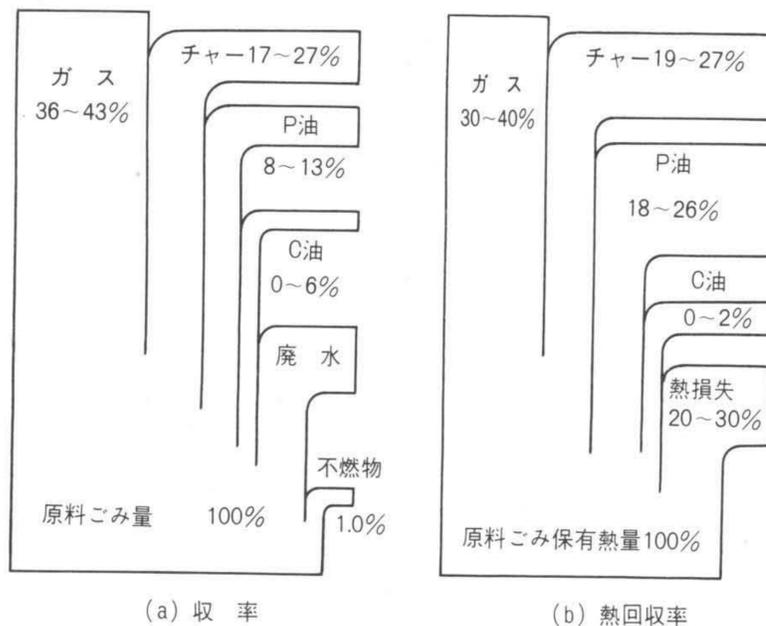
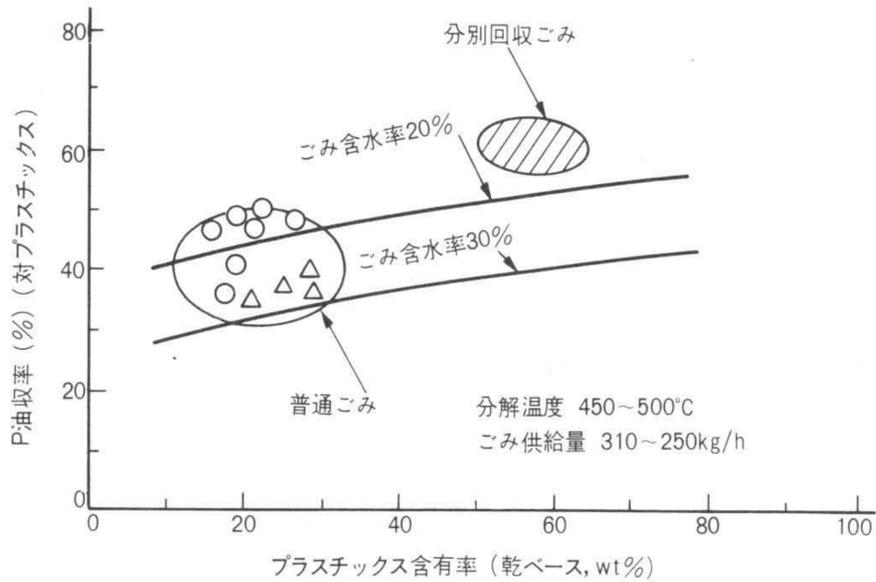


図4 生成物の収率及び熱回収率 原料ごみに対し、生成油の収率は10~20%、熱回収率は20~35%である。また、生成物のトータル熱回収率は70~80%である。



注：—— 小規模実験装置
○, △ パイロットプラント

図5 P油収率に及ぼすごみ性状の影響 P油の収率は、ごみ中のプラスチック分が多く、水分が少ないほど向上する。プラスチック分の30~50%が油化する。

などの取扱いは重油と同等で、一般バーナで噴霧燃焼が可能である。小形実験炉での燃焼結果を表2に示す。P油及びA重油とも最高温度1,400°C、炉出口温度700°Cで安定な燃焼状態が得られた。したがって、重油並みの汎用性があり、低硫黄油として利用できる。

C油は水溶性で、含水率60%での低位発熱量は1,200kcal/kgである。重油との混焼により噴霧燃焼が可能である。

(2) チャー

発熱量2,800~5,500kcal/kgで、中規模流動焼却炉を用いて燃焼試験を実施した結果、空気過剰率2.1、温度800°Cで良好な燃焼状態が得られた。また、重金属はほとんど灰分中に残

表1 プラスチック系油の性状 プラスチック系油は、発熱量が若干低いことを除けば、B重油相当の性状をもち、低硫黄油である。

分析項目	プラスチック系油	重油 (参考)
含水率	5~10wt%	0.0wt%
高発熱量	8,700~9,500kcal/kg	10,000kcal/kg
低発熱量	7,800~8,900kcal/kg	9,200kcal/kg
粘度	20cP (65°C)	6 cP (15°C)
元素分析値	C	82.0wt%
	H	9.5wt%
	O	6.9wt%
	S	0.1wt%
		86.2wt%
		13.2wt%
		—
		0.6wt%

表2 油の燃焼試験結果 プラスチック系油(P油)は、A重油と同等に安定に燃焼し、SOxの発生量が少ないことが分かる。

供試油	燃焼条件					排ガス	
	燃焼容量 (kcal/h)	燃焼温度 (°C)	アトマイズ条件			SOx (ppm)	NOx (ppm)
			流量 (Nm³/h)	圧力 (atm)	予熱温度 (°C)		
P油	50,700	700~1,400	2.7	0.45	60	10	105
A重油	50,440	700~1,400	3.0	0.50	常温	250	90

注：略語説明 SOx(硫黄酸化物), NOx(窒素酸化物)

表3 有害ガス濃度 熱分解法では、いずれの有害ガス濃度も数十ppm以下で、従来の焼却に比較し低い。

ガス成分	スクラバ出口 (ppm)	熱回収炉出口 (ppm)	焼却 (参考) (ppm)
NOx	0~10	20~30	100~300
SOx	10~30	20~30	50~100
HCl	30~50	30~50	300~800

留し、灰分の溶出試験の結果いずれの重金属も規制値を下回り、埋立可能であることが分かった。

(3) ガス

酸素源として空気を使用しているため、ガスの低位発熱量は800~1,400kcal/Nm³である。熱回収炉で燃焼させて系内の熱源として利用している。ガス燃焼時の有害ガス濃度を表3に示す。NOx, SOx(硫黄酸化物)の濃度は低く、従来の焼却法に比較して数分の一である。

5 熱分解炉及び運転操作法の特徴

5.1 熱分解炉

熱分解炉の安定運転上の必要条件を図6に示す。これらの課題に対し、可視流動層コールドモデル装置及びパイロットプラントの分解炉運転結果から、以下のような指針を得た。

(1) ごみの均一分散

ごみを効率よく分解するには、ごみを分散させ熱媒体の砂とよく接触させる必要がある。底部から吹き込む空気の流速は、砂の流動開始速度Umfの5~7倍とし、層高Lはスラッキング防止のため塔径D1の数倍以下に抑えることによって、ごみの流動層部での体積を最大30vol%にすることができた。

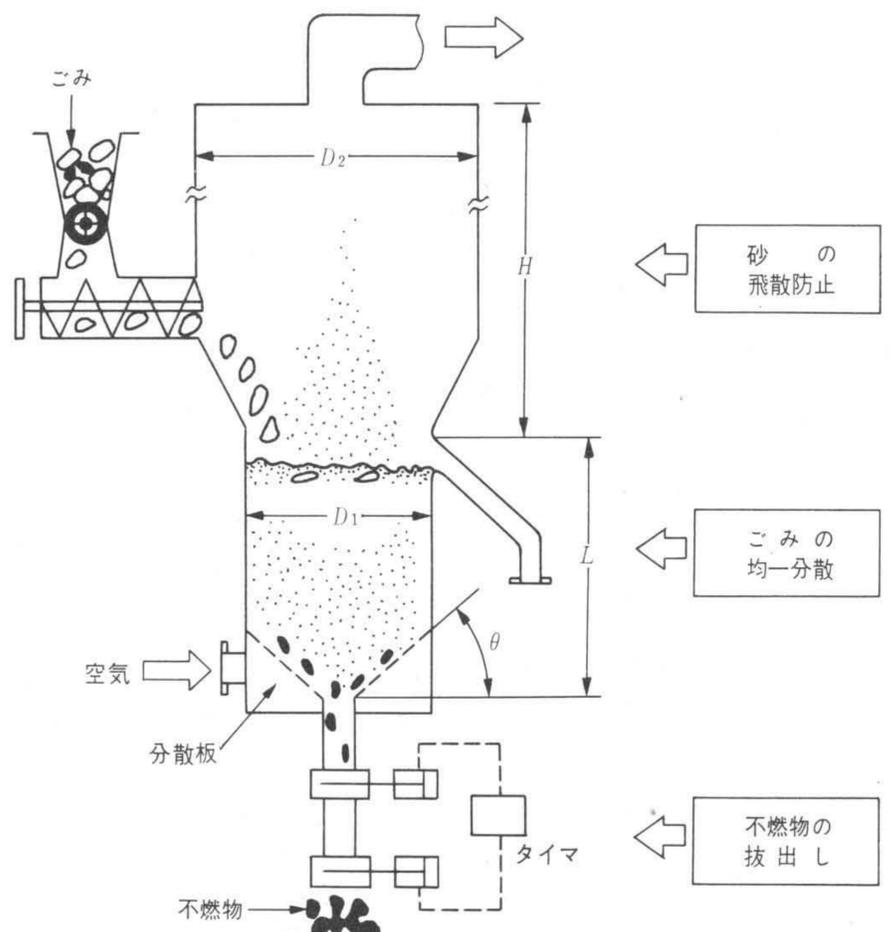


図6 熱分解炉の必要機能 熱分解炉の安定運転には、流動層でのごみの均一分散、底部からの不燃物抽出し、フリーボードでの砂の飛散防止が重要である。

(2) 不燃物の抜出し

不燃物が流動層底部に蓄積すると空気の分散が悪くなり、正常な流動状態の保持が困難になる。そこで分散板に傾斜角を設け、その中心から不燃物を抜き出した。

(3) 砂の飛散防止

熱媒体の砂、未分解のごみなどが分解ガスに同伴され、分解炉から飛散する恐れがある。このため、フリボードでのガス空塔速度と微粒子飛散率の関係を検討し、所定の空塔速度以下で運転できるように、フリボードの塔径 D_2 及び塔長 H を決定した。

5.2 運転操作法

(1) 分解温度の調整

図7に分解温度の調整例を示す。ごみ量に対する空気量の割合、すなわち空気/ごみ(Nm^3/kg)の値を調整することによって、所定の分解温度を得ることができる。大幅な原料性状の変動に対しては、あらかじめ供給量の設定値を変えて、所定の温度付近に調整する。短時間の性状変動は、流動層の熱容量が大きいいためその変動が吸収され、一定運転が可能であった。

(2) オンラインデコーキング法

長期間の運転では、高温ダクト部でのタールやダストの付着量が増加し、分解炉背圧が上昇して分解炉の安定運転が難しくなることが予測される。従来の熱分解プラントでは、操業をいったん停止して機械的に除去する方法や、加熱空気・

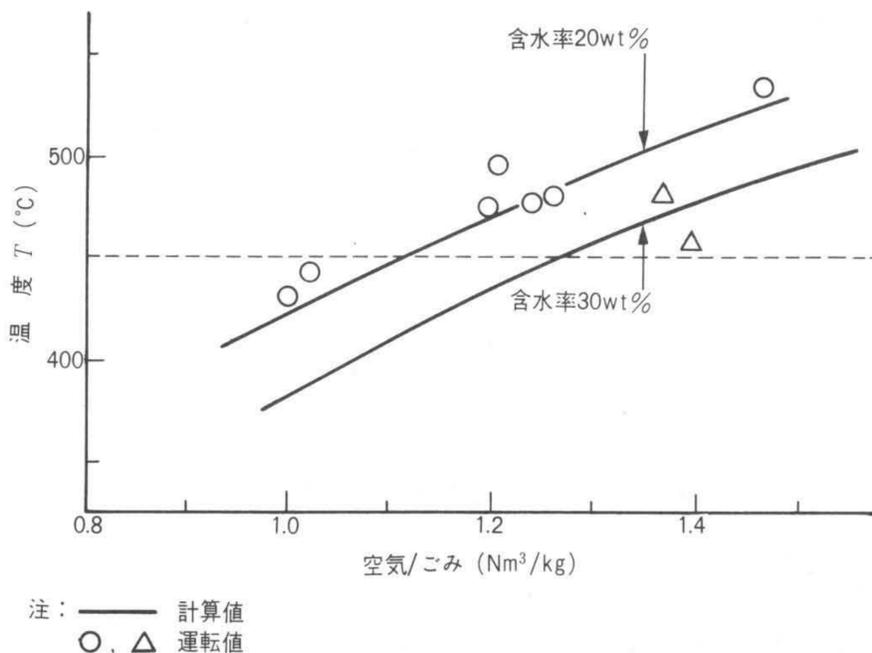


図7 分解温度の調整 空気/ごみ(Nm^3/kg)の値を調整することによって、所定の分解温度を得る。短時間の性状変動は、砂の熱容量が大きいため吸収される。

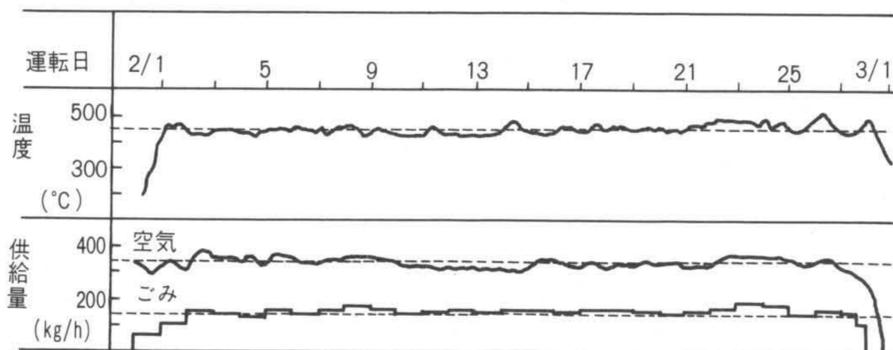


図8 連続運転の経過 装置の信頼性を評価できる1箇月間の連続運転を実施した。装置は順調に稼動し、分解温度も所定領域にあり、安定運転が可能であった。

蒸気を用いたデコーキング法が採用されている。本熱分解法では、分解炉の運転を停止することなく行なえるオンラインデコーキング法を考案した。これはデコーキングを必要とするとき、ごみの供給量を低減させ、酸素過剰状態で運転し、未反応酸素を高温ダクト部に送り、付着物を燃焼する方法である。この間、流動層の温度はごみの燃焼により所定温度に保持される。

6 長時間連続運転試験

装置の性能と信頼性を実証するため、昭和58年2月に約1箇月間の連続運転を実施した。図8に示したように、装置は順調に稼動し、ごみ及び空気の供給を一度も止めることなく、当初の計画どおり1箇月間の連続運転を達成した。分解温度は計画値 450°C に対し、 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ の変動幅で制御されており、温度制御特性が優れていることが確認された。この間、ごみ破砕機の刃の一部破損など、補機類に関し数件のトラブルが発生したが、運転中に部品の交換などを実施して復旧させた。なお、コーキングによる配管閉塞トラブルは発生しなかった。これは分解ガス中のタール濃度が低く、しかも付着物が強度的にも弱いと考えられる。このため、前述のデコーキング操作は行なわなかった。原料ごみの性状はかなり変動したが、生成物の収率及び性状とも当初の計画値を達成した。

7 今後の課題と展望

パイロットプラントによる運転試験の成果として、次のステップである実証プラント(100t/d)の設計、運転及び保守に必要なデータを取得した。例えば、熱分解炉の操作温度域、断面積負荷率などの設計因子、ごみ性状や負荷変動に対応する装置余裕などを把握した。また装置からの騒音、振動、臭気などの環境インパクトについても特に問題はなかった。

今後の課題として、回収物である油及びチャーについて、パイロットによる燃焼テストにとどまっているので、これらの用途分野の開拓や利用技術の確立を図る必要がある。

本技術が、焼却不適ごみである分別プラスチック系ごみを効率的に処理できることを実証したことによって、プラスチック含有率の高い産業ごみや、廃プラスチックの処理に今後有効な技術を提供できるものと考えている。

8 結 言

流動層を用いた部分酸化方式による都市ごみの熱分解油化技術の概要と、パイロットプラントの運転状況について述べた。

パイロットプラントの運転により、原料ごみ中のプラスチック分の30~50%が油化し、生成油は重油相当の性状をもっていること、及び1箇月間の連続運転により装置は安定した運転性能をもっていることを明らかにした。

今後は、本油化技術を都市ごみに限らず、現在焼却不適ごみとされているプラスチック含有率の高い産業ごみや、廃プラスチックごみなどへの応用を検討する必要がある。

終わりに、本研究開発の推進に全面的な御指導をいただいた通商産業省工業技術院研究開発官室、東京都清掃局及び東京都整備公社の関係各位に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 日本産業技術振興協会：資源再生利用技術システムの研究開発成果概要集(昭53-10)
- 2) 島田、外：固形廃棄物の熱分解油化プロセス，ケミカル・エンジニアリング，25，(2) 15 (昭56年2月)