

## 都市ごみからの物質・エネルギー回収技術

### Material・Energy Recovery Technology from Municipal Refuse

鳥巢 正浩・石井 善明

関口 英明・久米 勤\*

#### 1. まえがき

現行の都市ごみ処理方式は焼却方式が主流を占めているが、都市ごみ中のプラスチック類については炉壁の損傷及び環境汚染防止規制の強化等により、多くの自治体が分別収集により不燃物として埋立てているのが実状である。

その結果、埋立地不足、埋立地の高騰及び埋立地盤の脆弱化等の問題をかかえている。当社ではかかる問題の解決策として、通商産業省工業技術院の委託を受け都市ごみの資源化を計ることにより無公害、省力化、低コスト化処理を可能とする「資源再生利用技術システムの研究開発」を昭和48年から推進している。その一環に前処理システムの選択破碎分別装置と連携した都市ごみの二塔循環式熱分解システムがある。この二塔循環式熱分解装置は、吸熱反応の行われる熱分解塔と、これから生成する炭化物の燃焼反応が行われる燃焼塔との間を、流動媒体が循環する二塔方式で、廃棄物中の有機物を流動床法により熱分解し、有用な高カロリー燃料ガスを生成回収するものである。

本研究開発は、第1期計画<sup>1, 2, 3</sup>（昭和48～50年度）の要素技術の研究開発に基づき、第2期計画<sup>4</sup>（昭和51年度～）として100ℓ/dのスターダスト<sup>®</sup>80プラントを昭和53年度に横浜市に建設完了し、昭和54年度から運転研究を実施中である。

ここでは、前処理システムにより分別されたプラスチック類を効率よく熱分解し、高カロリーなクリーン燃料ガスに変換する役割をもつ二塔循環式熱分解システムについて、設備の概要と昭和54年度の運転成果を紹介する。

#### 2. 前処理システムの概要

前処理システムは都市ごみを厨芥、紙類、その他の有機雑芥及び鉄に1工程で、かつ純度よく分別できる選択破碎分別装置を主体とした、都市ごみから堆肥化原料、パルプ化原料、燃料ガス化原料及び鉄を回収するシステムである。

図-1は前処理サブシステムのブロックダイアグラムである。

前処理システムは他の後端システムに先行して、昭和53年度後半から横浜市環境事業局協力のもとに、横浜市磯子・金沢両区のごみを対象にして調整運転を開始、54年度後半より総合運転を継続中である。

選択破碎分別装置（写真1）は、ごみを破碎した場合に材料の強度・脆性度の差によって破碎粒度が異なる、従来隘路とされた現象を積極的に利用して、破碎メカニズムとスクリーニングを一体化して、破碎と分別を同時に行なうものである。以下原理図（第2図）により説明すると、網目の異なる二種のスクリーンをもつ回転ドラムと両スクリーンに対応して回転する掻板により構成され、ごみをドラムの軸方向に送って、各材料の耐衝撃、耐圧縮・剪断力の差に基づく破碎粒度の差を利用してドラム外部に篩分する装置である。

都市ごみは本装置により1工程でⅠ、Ⅱ、Ⅲの3つのグループに分別される。特記すべき事項は以下の通りである。

##### ①、分別性能

Ⅰグループは、磁力、反発利用の精選別により堆肥化可能物の純度約80%が得られた。又、都市ごみ中の乾電池は選択破碎分別装置では破壊されない事が確認され、乾電池による堆肥化原料の重金属汚染の心配がない。Ⅱグループは、風力精選別によりパルプ化原料

\*（欄）原製作所 資源再生技術部

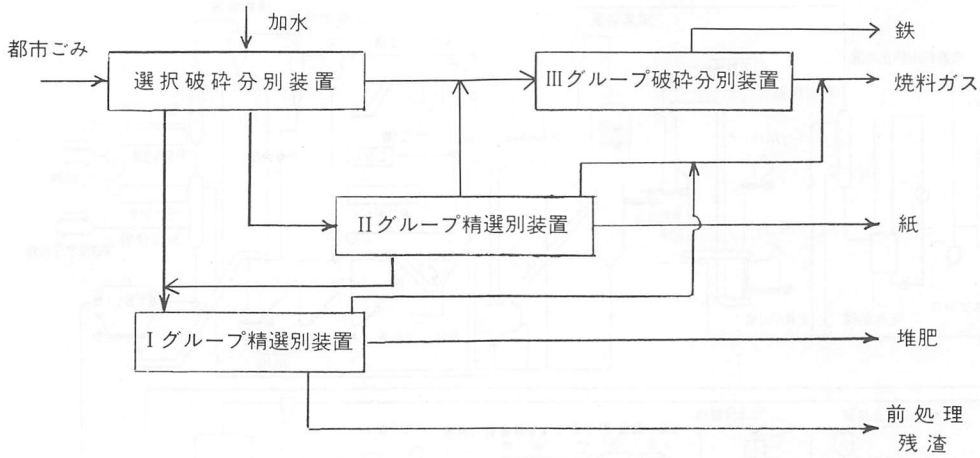


図-1 前処理システムのブロックダイヤグ

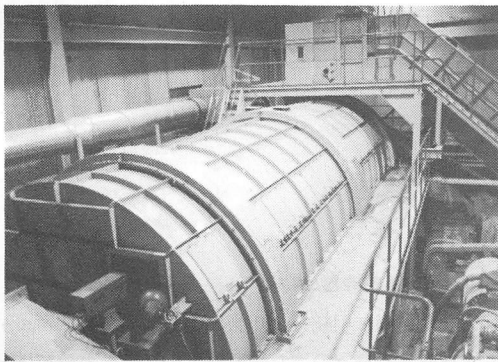


写真1 選択破砕分別装置

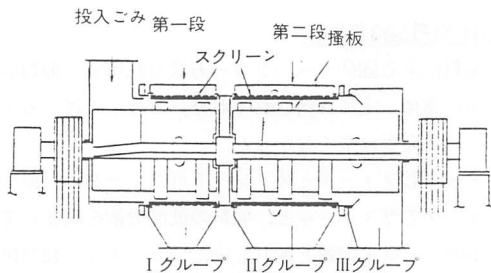


図-2 選択破砕分別装置原理図

の紙純度は90%弱が得られた。IIIグループの熱分解ガス化原料は磁選機で鉄を回収するだけで有機物純度97~99%、又、回収された鉄分の純度は97%以上であった。スターダスト'80の選択破砕分別装置の処理能力は100 ton/8 hrである。

(2) 粗大ごみの対応

投入ごみ中には粗大ごみ(カーペット、毛布、三輪

車、自動車タイヤ)が時折混入していたが、粗大ごみなどによる過負荷検出の際は、選択破砕分別装置の掻板とドラムの回転数を同期させ、粗大ごみを系外に排出し、過負荷を回避する運転操作が確実に行われた。

(3) メンテナンス作業

通常の破砕機に必要な運転後のシャフトにからみついた紐、布類の取りはずし作業が全く不要であり、装置の維持管理の容易性が確認でき、更にごみを取扱う際に起き易い装置内でのブリッジ、湿潤物の付着防止機構は極めて満足すべき結果が得られた。

3. 熱分解システムのプロセスフローと構成機器の特長

3-1 プロセスフロー

図-3はスターダスト'80プラントで使用しているフローであり、周辺機器は目的に応じて適宜変更が可能である。

熱分解原料は、定量切出槽に一時貯蔵後、定量的にオーバーフロー式原料供給設備に揚送される。

原料供給設備では、ホッパー部で一部オーバーフローした原料を定量切出槽へ戻しながら、2段のスクリーフィーダにより、供給量調整とガスシールを行ない、原料を熱分解流動層に投入する。

熱分解塔では、熱分解吸熱反応により瞬時に熱分解ガス化が行われる。熱分解塔と燃焼塔は互いに2つのパイプで連絡されており、この連絡管を通して流動砂が両塔間で循環している。

熱分解吸熱反応によって降温した流動砂は、同時に

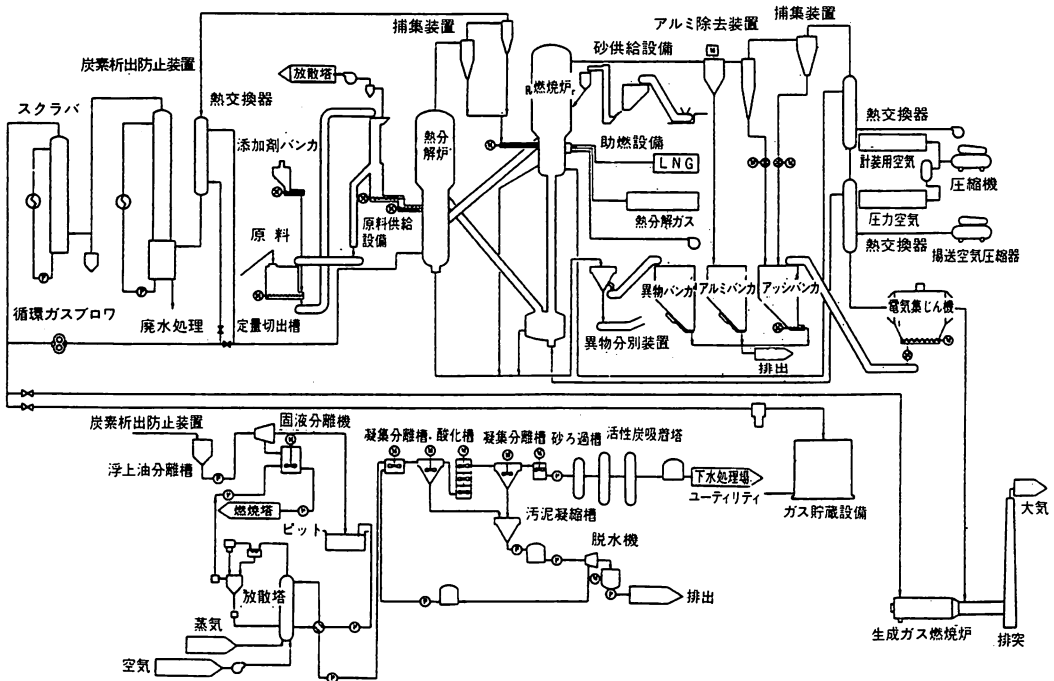


図-3 概略プロセスフロー

生成するチャー分を伴って燃焼塔揚送部へ送られ、チャー分は砂を揚送する空気と反応して燃焼し砂を昇温させる。昇温された砂は再び熱分解塔へ循環される。

原料中の不純物、熱分解残渣は、両塔の底部に設けられた異物排出装置により連続的に排出され、更に異物分別装置により不燃物と流動砂に分別し、流動砂は砂供給設備に返送される。

熱分解ガスに同伴するチャーは2段式サイクロンで捕集分離され、燃焼塔で燃焼させ熱源として利用する。

熱交換器を通過し熱回収されたガスは、炭素析出防止装置、スクラバで油分、析出炭素、有害ガスを洗浄除去する。洗浄されたガスの一部はブロウで加圧され流動化ガスとして熱分解塔へ還流され、残りのガスはガスホルダに送り、一部ユーティリティとしてボイラ燃料に使用される。

洗浄水は廃水処理装置に送られ有害物を除去後、下水処理場に送る。

一方、燃焼塔排ガスは、同伴したアルミ粉体をアルミ除去装置で分離し、二段式のサイクロン捕集装置でアッシュを捕集分離後、微細粒子を電気集塵機で完全除去した後、排突から放出する。

### 3-2 構成機器の特長

第一期計画に引続き1年余の運転結果から、システムを構成する機器のうち、原料供給設備、熱分解塔・燃焼塔本体設備、ガス精製設備等主要部分の特長を述べる。

#### (1) 原料供給設備

原料による固体オーバーフロー方式の採用で、原料レベルは常に一定に保持されており、ブリッジによるトラブルの発生は全くなかった。

テーパ形フィーダとストレート形フィーダの二段形フィーダでガスシールと、原料の低温分解を防止しているため、従来困難とされていたプラスチック類の供給が円滑に行われた。

#### (2) 熱分解塔・燃焼塔本体設備

熱分解装置の心臓である炉本体は、両塔層レベルと塔頂間の差圧を調整するだけで容易に長期安定運転が行えた。

砂循環量は燃焼塔の揚送エゼクタ部で微量の空気を噴射するだけで制御でき、運転中は20~30 ton/Hを維持した。その結果、流動層の上下部の温度差は±2℃以内と極めて安定した温度場となり、組成変動の少な

い均一な生成ガスが得られた。

原料中の異物は、二塔の連絡管を熱分解塔に対して切線方向に接続することで生じる塔内流動層の旋回運動と分級スチームにより容易かつ選択的に排出でき、若干の同伴砂は分別後燃焼塔に再投入され、砂の消費は大幅に減少した。

### ③ ガス精製設備

ガス精製設備は二系統からなり、各々熱分解ガス、燃焼排ガスを処理している。

熱分解系は、熱交換器で一部廃熱利用した後、小形の炭素析出防止装置とスクラバの組合せにより、ガスを急冷し、ガス中の僅な炭素、油等を積極的に析出させ、配管系への付着による熱分解塔背圧の上昇を防止した。また、ガス中の有害ガス洗浄、除塵効果によりクリーンな燃料ガスとしての使用が確認できた。

燃焼系は、熱分解塔で生成したチャーの燃焼だけであり、焼却に比べて排ガス量が少ないばかりでなく、

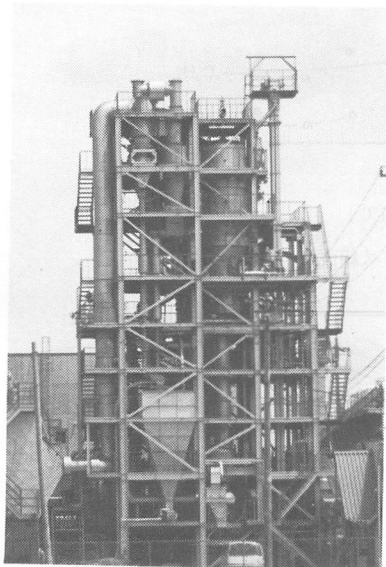


写真2 熱分解装置全景

有害ガスは本質的に発生しにくいので、排ガス処理は煤塵だけを対象とし、簡潔かつ小形化された。

微細なアルミを除去するアルミ除去機の回収性能は高く、処理性能は終始安定していた。

## 4. 運転結果

### 4-1 運転内容

昭和54年3月末に炉の乾燥焼きを終了し、5月から表1の工程に従って、運転を実施し、55年3月末まで約1,000時間の連続運転を含む延べ4,000時間の負荷運転を完了した。写真2に熱分解装置の全景を示す。

### 4-2 運転制御

運転時は、(1)、両塔の塔頂圧と塔頂間差圧、流動砂充填量及び両塔流入ガス量をパラメータとして表される菱形図形の安定運転領域と、現状の運転ポイントの位置監視による安定運転の確認と、(2)、ミニコンピュータ処理によりテレビ画面でデジタル表示される塔内各部の温度、圧力、ガス流量等の運転状況の確認、及び(3)、中央監視盤内にある4台のテレビに映し出される主要部の稼動状況の確認を常時行うことで、容易にワンマンコントロールができる。今回の運転では4班3交代で1班4名とし、内訳を運転監視1名、補佐1

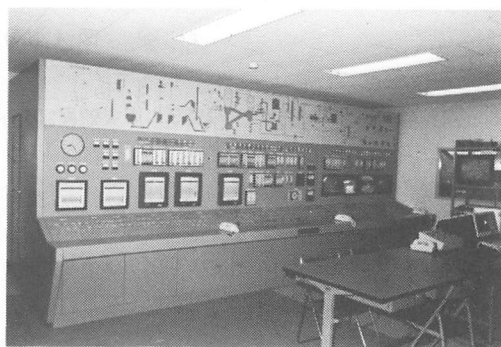


写真3 中央監視盤

表1 運転工程表

実験項目	期間	目的
高温域 砂循環実験	54年5～6月	炉本体の運転特性の把握
短期 熱分解実験	54年7～10月	熱分解運転特性及び、物質・熱収支の把握
長期 熱分解実験	54年11月 ～55年3月	長時間連続運転技術の確立及び 取得データの確認

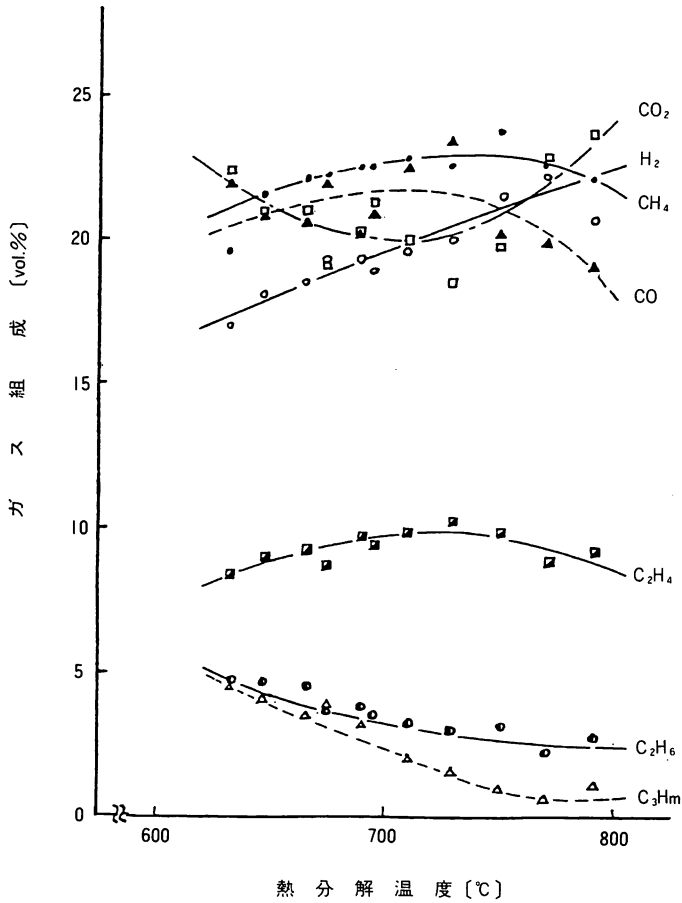


図-4 熱分解温度と生成ガス組成

名、運転補助員2名とした。写真3に中央監視盤を示す。

#### 4-3 運転結果

##### (1) 熱分解生成ガス

図-4に熱分解温度とガス組成の関係を示す。生成ガスの発熱量はプラスチックの含有率に支配されるが、 $6,500 \text{ kcal/Nm}^3$ 程度で大きな変動はなく、ガス化率も原料1kg乾重量当り $0.6 \sim 0.8 \text{ Nm}^3$ が得られた。

従って、燃焼塔への燃料補給分を差引いても60~70%の熱分解ガスが回収ガスとして利用可能な事が確認できた。

表2のガス洗浄後の有害ガス濃度でわかる様に、クリーンな燃料ガスが得られ、特に $\text{Cl}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ については発生源でも十分低濃度である事が確認できた。

回収ガスの利用方法としては、ガス発電、都市ガスへの利用等が考えられるが、本プラント規模で都市ガスとした場合には約2,000世帯程度が賅え、ガス

表2 生成ガスの有害ガス濃度

成分	濃度 ppm
HCl	20
NO <sub>x</sub>	不検出
Cl <sub>2</sub>	不検出
HCN	< 10
SO <sub>x</sub>	< 10
NH <sub>3</sub>	< 10
H <sub>2</sub> S	350

の売却費によりランニングコストが大幅に低減可能となる。

##### (2) 燃焼排ガス

熱分解運転時の燃焼排ガス組成は、経時的な変動も

表3 燃焼排ガス中の有害濃度

成分	濃度 (ppm)	焼却炉排出基準
SOx	5 以下	K 値 1.17 以下
NOx	20~60 NO: 10~50 NO <sub>2</sub> : 10~40	250 ppm 以下
HCl	添加剤なし 30~100 添加剤使用 10~30	430 ppm 以下
Cl <sub>2</sub>	検出限界以下	—
H <sub>2</sub> S	“	—
NH <sub>3</sub>	“	—

なく安定で、ほぼO<sub>2</sub> 9~10%、N<sub>2</sub> 83%、CO<sub>2</sub> 7~8%の範囲であった。

表3に有害ガス濃度と焼却炉の排出基準値の比較を示す。有害ガスはガス洗浄操作なしで、NH<sub>3</sub>、Cl<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Sは検出限界以下、SOxはK値規制、NOx、HClは基準値を十分に満足し、かつNOxは本装置では本質的に発生しにくい事が確認できた。

更に、熱分解塔に原料と混ぜてCa(OH)<sub>2</sub>を投入することで、熱分解ガス、燃焼排ガス中のHClの両方に除去効果が表われ、余剰添加剤による二次効果も確認

できた。

(3) 残査

表4に炉底から間欠的に抜き出される異物と、サイクロン、電気集塵機により捕集されるアッシュの溶出試験値を示す。原料中の重金属類のほとんどが、アッシュ、異物中に固定されていていずれも規制値を十分満足している。熱効減量はアッシュで2%以下、異物では未燃物の残留は全くみられなかった。

減容率については、投入原料に対して1/10~1/40(不燃物の含有量により異なる)となり、大幅な埋立地の延命化が可能となる。

(4) 廃水

熱分解廃水は油水分離、固液分離、放散処理及び砂ろ過、活性炭吸着処理等が行なわれる。表5に示す通り神奈川県の下水道条例を十分満足している。

(5) 物質収支および熱収支

定格運転時の物質収支、熱収支を計算すると、ガス化率は原料1kg乾重量当り0.66Nm<sup>3</sup>であり、生成チャーの燃焼熱だけでは若干不足するので、生成ガスの一部を補助燃料として使用した。

収支から回収ガスと原料の保有エネルギーの比(エネルギー回収率)は0.5と高く、チャー、生成ガスの燃焼塔での燃焼は、フリーボード部の温度を上昇させることなく流動層に伝熱しており、熱分解塔、燃焼塔の流動層温度の差は40~50℃と安定していた。

表4 アッシュ、異物の溶出試験値

	アッシュ	異物	規制値		単位
			埋立処分	海洋投棄	
pH	8.5	8.5			—
Cd	< 0.01	< 0.01	< 0.3	< 0.1	mg/ℓ
Pb	< 0.1	< 0.1	< 3	< 1	“
As	< 0.05	< 0.05	< 1.5	< 0.5	“
Cr <sup>6+</sup>	< 0.05	< 0.05	< 1.5	< 0.5	“
T-Hg	< 0.0005	< 0.0005	< 0.005	< 0.1	“
R-Hg	不検出	不検出	検出されぬこと	検出されぬこと	“
Org-P	< 0.01	< 0.01	< 1	< 1	“
PCB	< 0.0005	< 0.0005	< 0.003	< 0.003	“
CN <sup>-</sup>	< 0.1	< 0.1	< 1	< 1	“
Org-Cl <sup>-</sup>	< 3	< 3	< 8	< 40	mg/kg

表5 処理水の性状

項目	処 理 水	神奈川県下水道 条 例 値
pH	6.9	5.7~8.7
BOD (mg/ℓ)	210	300
COD	140	—
SS	29	300
n-ヘキサン	<5	5
沃素消費量	59	220
フェノール類	0.5	0.5
Cd	<0.01	0.1
CN	0.8	1
有機 燐	<0.01	0.2
Pb	<0.1	1
Cr <sup>6</sup>	<0.05	0.5
As	<0.05	0.5
T-Hg	<0.0005	0.005
R-Hg	不検出	不検出
PCB	<0.0005	0.003
Cu	0.5	1
Zn	0.3	1
Fe	1.8	3
Mn	0.4	1
T-Cr	<0.05	2
F	2.8	15
Ni	<0.1	1

## 5. あ と が き

以上のようにスターダスト'80は、順調に運転されており、処理困難で現状埋立が主流である廃プラ、廃タイヤ等産業廃棄物やプラスチックを含む焼却不適ごみについて、埋立地の延命化、エネルギー回収率の向上並びに多用化、無公害処理及び回収物の売却による運転費の低減等に極めて大きな効果があることが確認できた。

55年度も引続き長時間連続運転を繰返し、経済性、無公害性等の総合評価を行っており、既に国内では無公害型システム、国外ではエネルギー回収型システムとして数件の引合を受けている。

## 参 考 文 献

- 1) 間野昭他5名：都市ごみの二塔循環式熱分解装置エハラ時報No.93, P.17~22
- 2) 石井善明他7名：同(2報)エハラ時報No.98, P.11~15
- 3) 石井善明他5名：同(3報)エハラ時報No.104, P.7~10
- 4) 石井善明他2名：同(4報)エハラ時報No.110, P.6~9

