U.D.C. 628.475.7:66.041.531.041.34

外熱式都市ごみ熱分解システム

Indirect Heating Pyrolysis Systems for Municipal Refuse

浅川　清* *Asakawa Kiyoshi*
若林三男* *Wakabayashi Mitsuo*

日立プラント建設株式会社では，都市ごみの新しい処理方法として環境保全，再資源化を指向する外熱式の都市ごみ熱分解システムを検討した。その結果デンマークのポリューション・コントロール社から基本技術を導入し，我が国に適するように分解炉を改善した後，日立市に実規模の4 t/d実証プラントを建設した。その後1年余にわたって実ごみを用いた熱分解実験を行ない，装置の構造や運転性などについて詳細な検討を行なった。

その結果，都市ごみの熱分解特性や連続運転時の問題点などが明らかになり，これらの対策によって信頼性の高い都市ごみ熱分解システムを確立することができた。このシステムでは，水分の多い(約60%)ごみからでも可燃性ガスを回収することができ，排ガス，排水などもすべて環境規制値を満足していることを実証した。

1 緒　言

現在，都市ごみの処理方法は焼却法がその60%を占めているが，最近の都市ごみ中のプラスチック分の増加や環境汚染防止規制の強化などにより，保守費や環境対策費の増大を招きつつある。

一方，石油危機を契機として，都市ごみの再資源化が要請されるようになってきた。このような背景のもとに，都市ごみの環境対策，再資源化を指向して，流動焼却法，熱分解法，溶融固化法などの新しい都市ごみ処理技術が各社で検討されている。

日立プラント建設株式会社では既に昭和48年に熱分解法の研究に着手しており，昭和50年デンマークのポリューション・コントロール社の外熱移動層式熱分解技術を導入し，システム開発へのプロセスを確立した。しかし，欧州と我が国ではごみ質ばかりでなく，環境汚染防止と炉構造などに関する法規制が大幅に異なる。

そこで，日立市に実規模単位の4 t/d実証プラントを建設し，実ごみを用いて約1年余の連続運転を行ない実用的なシステム開発への検討を行なった。この論文では，開発した都市ごみ熱分解システムと実証プラントの実験結果とについて概説する。

2 外熱式都市ごみ熱分解システムの概要

このシステムは**図1**に示すように，前処理工程，熱分解工程，ガス洗浄工程，廃水処理工程及び残渣処理工程に大別される。

2.1 前処理工程

都市ごみは，破砕機でほぼ100 mm以下の寸法に破砕され，磁選機で鉄分を回収後，破砕ごみピットに貯留される。破砕ごみはクレーンにより熱分解炉に供給される。

2.2 熱分解工程

熱分解炉に供給された都市ごみは，後述するように，外部から約800℃に加熱され，可燃性ガス，水蒸気を主とするガスと残渣になる。加熱用のエネルギーには生成した可燃性ガスを精製して使用する。したがって，この排ガス中の有害物は少ない。炉の下部は水で冷却し，温水として熱エネルギーを回収する。

2.3 ガス洗浄工程

熱分解ガス中には塩化水素やSO_2などの酸性ガス，あるいはアンモニアなどのアルカリ性ガス，油状物質などが含まれる。これらを除去するため，酸及びアルカリ洗浄塔と油状物質分離装置とを設けた。精製ガスは前述したように熱分解炉の燃料として用い，余剰の水は廃水処理工程へ送って処理する。また回収した油状物質はごみに混合して再分解する。

2.4 廃水処理工程

この工程は活性汚泥法を主とする生物処理と砂沪過，活性炭吸着などを主とする高度処理との組合せから成る。廃水は生物処理により，BOD(生物化学的酸素要求量)，COD(化学的酸素要求量)物質の大半が除去され，更に高度処理されて，放流基準以下となる。下水道放流の場合は高度処理が省略できる。

2.5 残渣処理工程

残渣は炭化物と不燃物(土砂・ガラス類)との混合物であり，減容率は原料ごみの約10%程度である。この処理には埋立処分する方法，燃焼してエネルギーを回収してから灰を埋め立てる方法，あるいは溶融して減容固化する方法などがあり，処理場の立地条件によって決められる。

3 実証プラントの運転結果

3.1 熱分解炉

実証プラントの外観を**図2**に示す。この図で中央に示すものが熱分解炉で，その内部を**図3**に示す。同図で破砕ごみは，まずシュート部まで蓄えられ，下部のレトルト内で外部から加熱されて熱分解し，減容すると自重で下降する。この場合シュート内のごみはガスシールの役目を果たし，レトルト内部を外気と遮断する。すなわちごみは密閉された雰囲気下でレトルト内を下降する間に外部から間接的に高温加熱される。ちょうど石炭乾留の場合のような状態で熱分解される。レトルト内の温度は概略**図3**に示すようになり，上部の領域では水分が蒸発し乾燥する。次いでレトルト中央部領域(約200～600℃)で可燃分が分解され，ガスや油状物質あるいは炭化物

* 日立プラント建設株式会社研究所

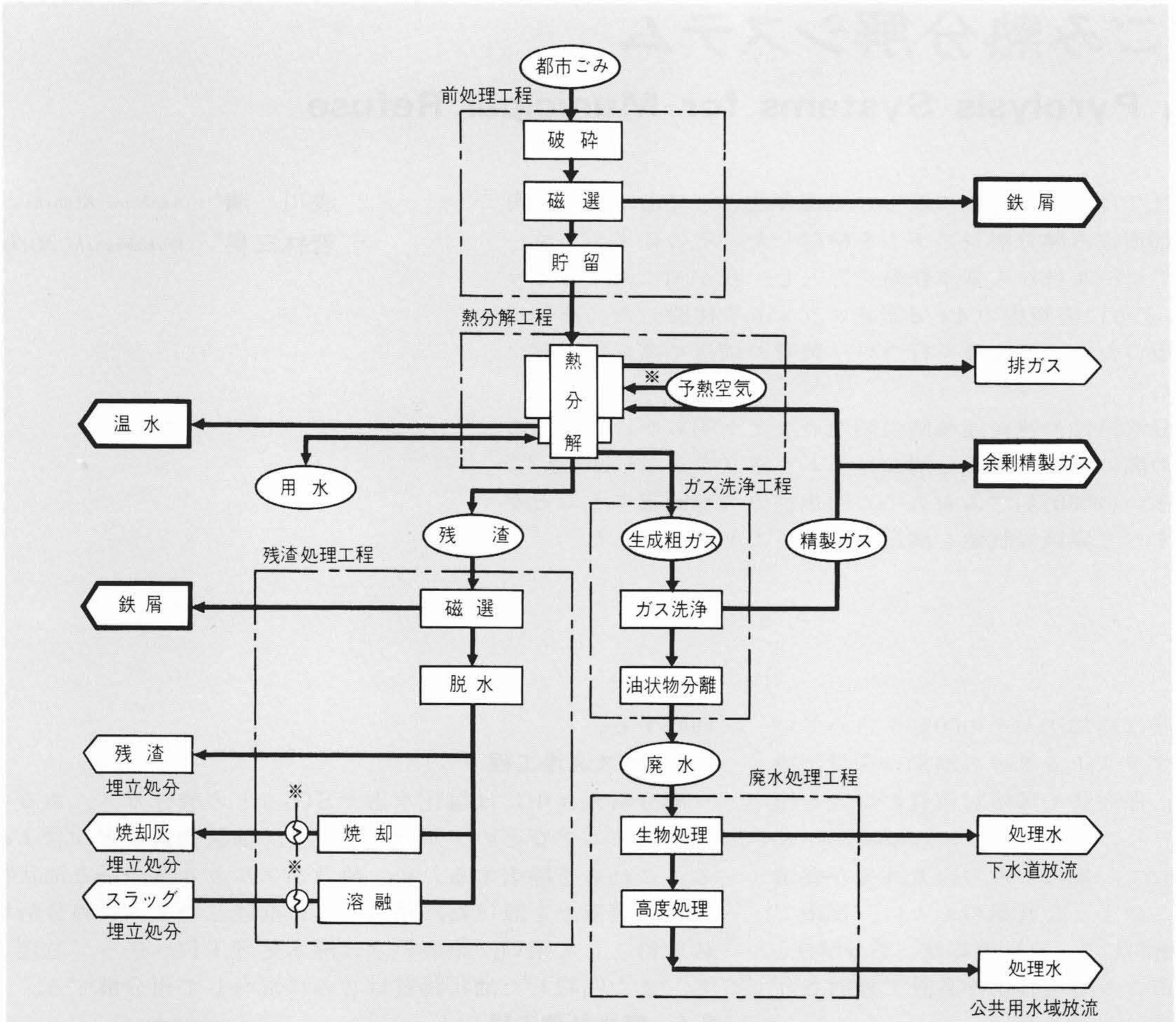


図1 外熱式都市ごみ熱分解システム「日立デストラ」のブロックダイヤグラム
処理工程は外熱式熱分解炉を中心に，原料供給系である前処理工程，生成物回収系のガス洗浄工程，後処理系の廃水処理工程及び残渣処理工程から構成されている。

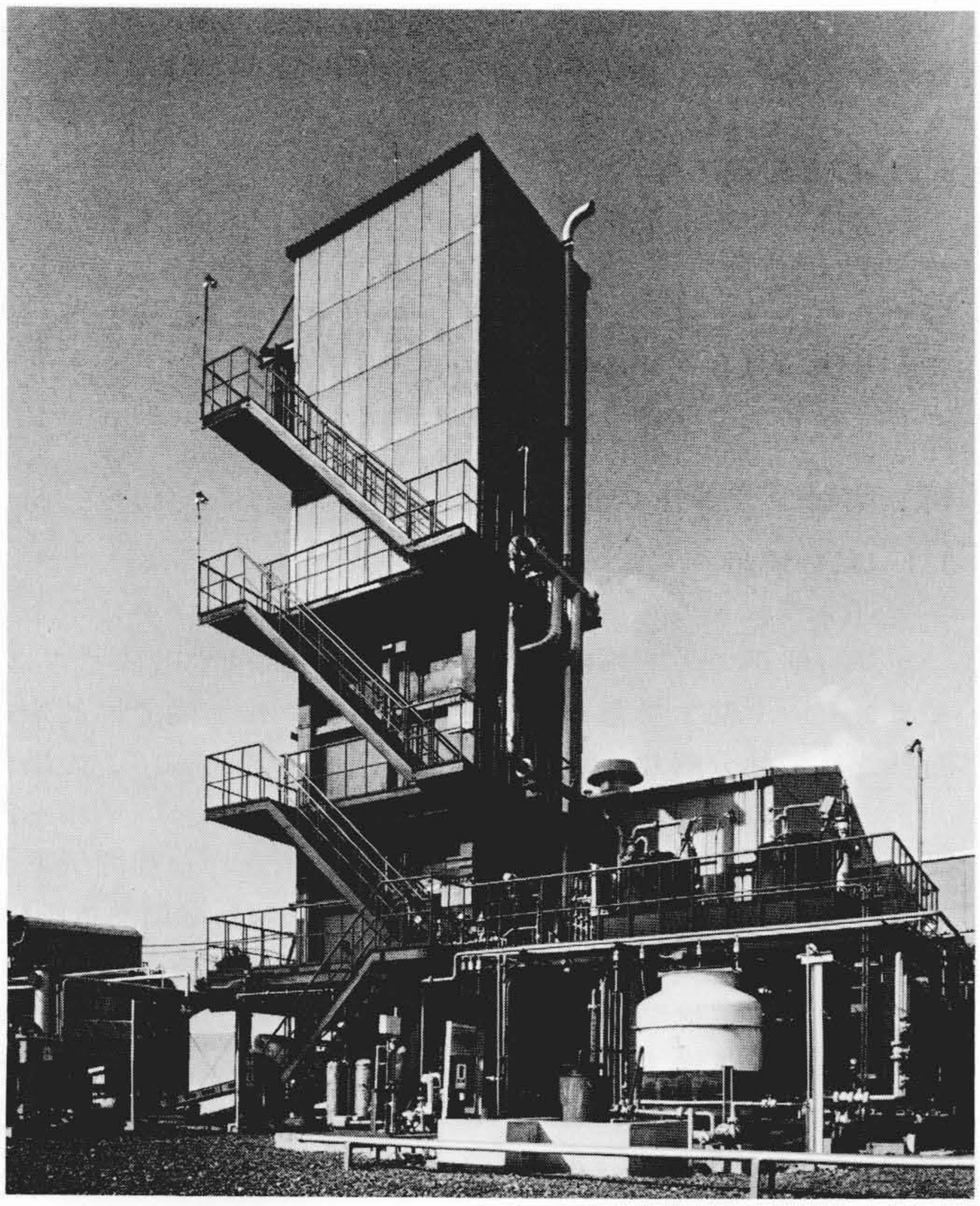


図2 実証プラントの外観 中央部が熱分解炉であり，右側がガス洗浄装置である。

が生成する。下部領域(約600～800℃)では油状物質の分解ガス化が進み，更にレトルト最下部では炭化物と水蒸気による水性ガス化反応も行なわれ，H_2，CO，CH_4の多いガスが発生する。分解ガスは水蒸気とともにレトルト下部から抜き出され，次のガス洗浄工程に送られる。分解残渣とごみ中の土砂・ガラスなどの不燃分は，下部の残渣排出弁を経て水封槽内に落下し系外に排出される。なお，この水封槽はレトルトと外気を遮断し炉内の異常燃焼(爆発)を防止する。ここではレトルト1本について説明したが，実用炉では処理量に応じて所要数のレトルトを並列に組み合わせて使用する。

3.2 処理性能

熱分解炉の運転条件は，試運転結果から検討を加え第1段加熱室の温度1,000℃を標準として試験を行なった。

3.2.1 供試ごみの性状

搬入された供試ごみの組成を**表1**に，またこれらの成分及び発熱量を**表2**に示す。搬入ごみの各組成の湿基準での割合は厨芥類が21～53%，紙類が22～50%，プラスチック類は8～13%であり，ごみ組成でみる限りごみ質にかなりの変動幅がある。一方，破砕ごみ中の水分は冬季に少なく夏季に多い。ごみ中の可燃分対固形分(可燃分＋灰分)比は約0.7でほぼ一定である。また，元素組成や可燃分基準の高位発熱量も比較的変動幅が小さい。これらのことから，乾基準の破砕ごみ質は比較的安定しているものといえる。

3.2.2 生成物量

ごみ中の水分と熱分解生成物量との関係を**図4**に示す。同図から分かるようにごみ1t当たりの精製ガス発生量は，ごみ

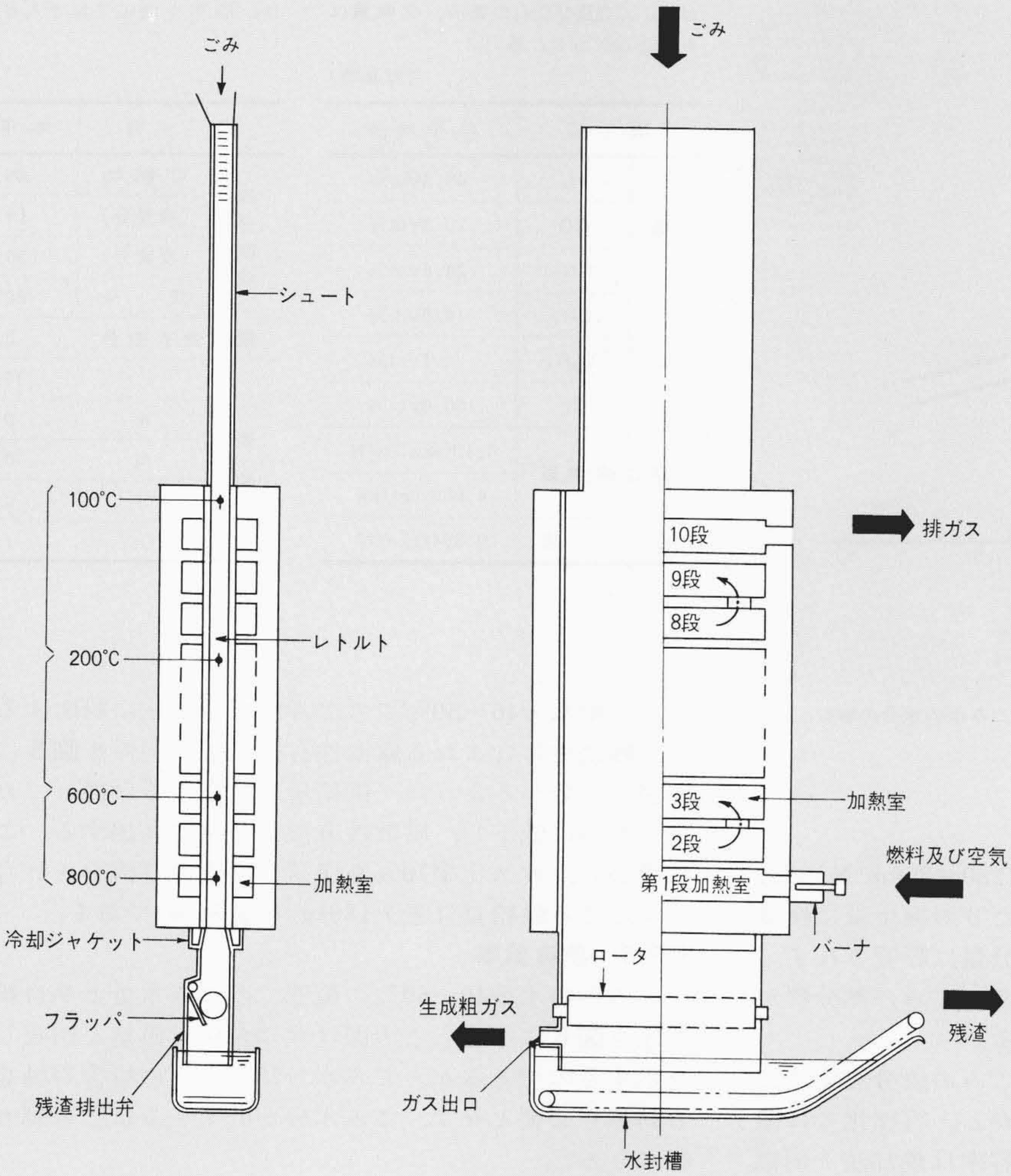


図３　熱分解炉本体　熱分解炉は，レトルトとそのレトルトを両側面から加熱する加熱室，レトルト中のごみを外気より遮断するシュート，残渣を排出する残渣排出弁及び水封槽から構成されている。また，レトルト内の温度と熱分解の関係を示す。

表１　搬入ごみの組成　実証プラントに使用したごみの組成別変動幅と平均値を示す。

（湿基準）

項目			測定期間：昭和51年10月～同52年12月	平均値
ごみ組成	厨芥	パン屑・残飯類	0.14～ 5.46%	1.89%
		植物性厨芥	19.34～48.14%	32.83%
		動物性厨芥	0.36～ 3.19%	1.26%
		小計	21.38～53.72%	35.98%
	紙類		22.42～50.93%	34.84%
	プラスチック類		8.71～13.09%	10.79%
	木・竹類		0.38～ 3.11%	1.44%
	繊維類		0.12～ 3.01%	1.67%
	金属類		2.75～ 7.26%	4.16%
	ガラス・陶磁器		1.31～ 7.60%	4.72%
	その他	わら	0.01～ 0.24%	0.10%
		落葉・草	0.11～10.40%	2.40%
		ゴム・皮	0.01～ 3.42%	1.08%
		卵・貝がら	0.06～ 1.89%	0.75%
		土・砂	1.11～ 2.76%	2.07%
		小計	2.56～16.33%	6.40%
水分			42.04～55.77%	48.06%

注：縮分法は日本環境衛生センター発行の「ごみ試験法」によった。

表２　破砕ごみの成分及び発熱量　実証プラントに使用した破砕ごみの組成及び発熱量の１年余の変動幅と平均値を示す。

項目		基準	測定期間：昭和51年10月～同52年12月	平均値
成分組成	水分	湿基準	41.2 ～53.0 %	45.8 %
	可燃分	〃	33.5 ～43.0 %	38.5 %
	灰分	〃	13.5 ～19.4 %	15.7 %
	可燃分／固形分（可燃分＋灰分）	——	0.66～ 0.75	0.71
元素組成	C	乾基準	18.64～23.34%	20.92%
	H	〃	2.39～ 3.19%	2.79%
	O	〃	9.17～17.03%	13.58%
	N	〃	0.36～ 0.84%	0.51%
	S	〃	0.14～ 0.42%	0.25%
	Cl	〃	0.02～ 1.00%	0.45%
発熱量 高位	測定値	乾基準	3,780～4,000kcal/kg	3,840kcal/kg
		可燃分基準	4,850～5,450kcal/kg	5,200kcal/kg
発熱量 低位	測定値	湿基準	1,270～2,010kcal/kg	1,760kcal/kg

注：各月の測定値は，ほとんど毎日測定されたデータの平均値を示す。

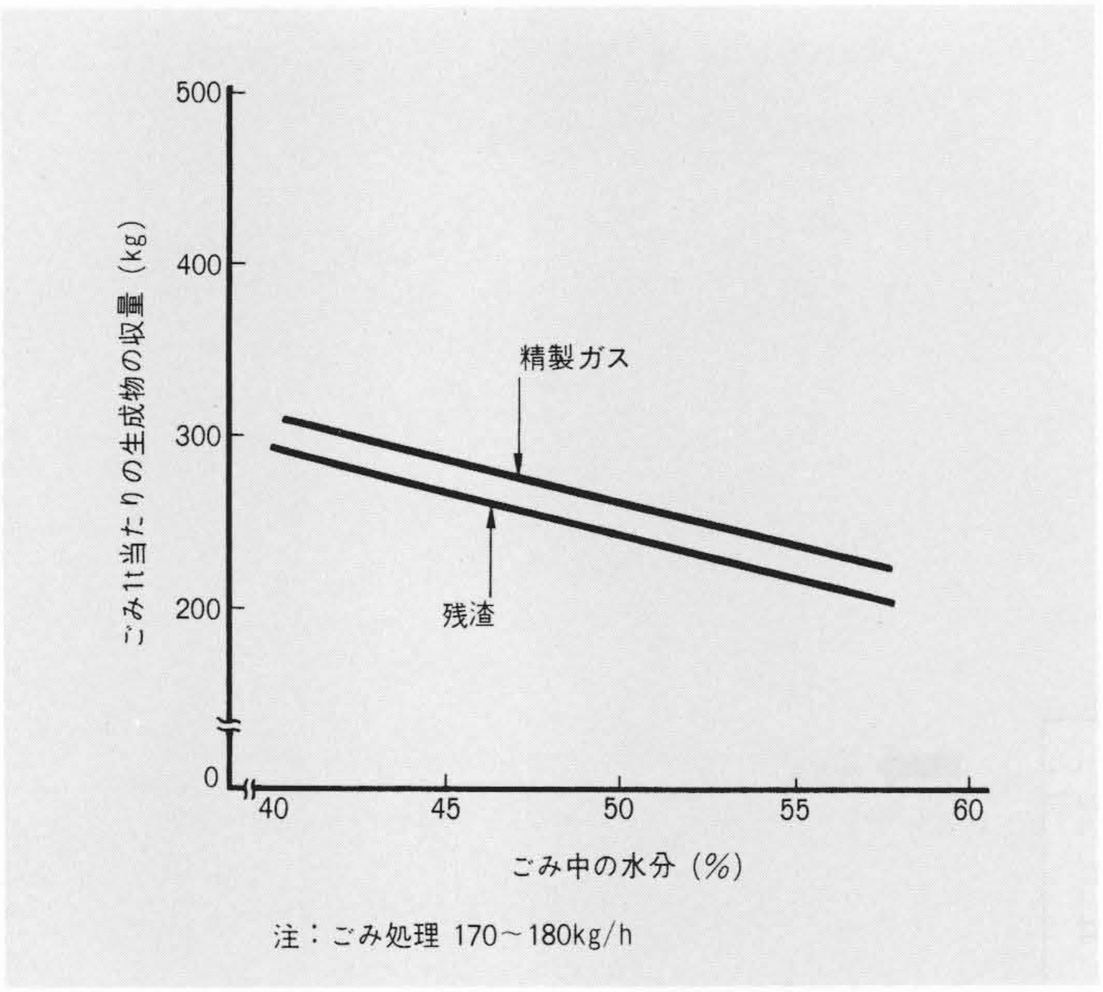


図4　ごみ中の水分と熱分解生成物収量　ごみ中の水分の増加とともに，ごみ1t当たりの生成物は減少する。

中の水分により変化するが，240～300kg(280～350m³N)であった。この発生量をごみ中の可燃分1t当たりの発生量に換算すると740kg(870m³N)となり，ごみの水分量に影響されず，ほぼ一定の値となる。これはレトルト内でのごみの熱分解が安定して行なわれていることを示している。

またごみ1t当たりの残渣の発生量は，ごみの成分変化によって異なるが，218～288kgであった。しかし，容積比では搬入ごみに対し約10%に減少した。この減容率は焼却法と同程度である。

凝縮水はごみ中の水分によるもので，ごみ中の水分に比例してその発生量が変化する。

油状物質の発生量はごみ1t当たり0.5～0.6kg(ごみに対して0.1%以下)であり非常に少ない。

3.2.3　精製ガスと残渣の性状

精製ガスの性状は四季を通じて比較的安定している。これはごみ中のC，H，Oの割合の変動が比較的少ないこと，熱分解反応が安定して行なわれていることのためである。精製ガス性状の測定結果の一例を**表3**に示す。また残渣の組成も，精製ガスと同様四季別の変化はなく安定しているといえる。その一例を**表4**に示す。また後述の腐敗性有機分は許容値0.3wt%以下であった。

3.2.4　ガス化率，腐敗性有機分とごみ供給量

適正なごみ供給量は，ごみ中の有機物のガス化率と残渣中に含まれる腐敗性有機分を基準とした。ここでいう腐敗性有機分とは，西ドイツのデュッセルドルフ試験法[1]により，過マンガン酸カリで有機分を酸化し，酸化後発生するCO_2から有機分を決定するものであり，最大許容値を0.3wt%以下としている。我が国では，焼却残渣中の未燃物は高温加熱操作による熱しゃく減量※1)としての試験法が基準とされているが，熱分解時の腐敗性未燃分についての規定がないので，この方法を採用した。

表3　精製ガス性状　精製ガスはH_2，CO及びCH_4に富み，発熱量は4,100kcal/m³Nと高い。

（乾基準）

項目		年平均値
組成	H_2	45.3Vol%
	CO	10.3Vol%
	CO_2	24.8Vol%
	CH_4	14.9Vol%
	C_2H_4	4.7Vol%
	計	100.0Vol%
高位発熱量		4,100kcal/m³N
		4,800kcal/kg
密度		0.854kg/m³N

表4　残渣の性状　残渣の性状は，四季を通じてほとんど変わらない。

（乾基準）

項目		年平均値
成分組成	可燃物	39.8 %
	(揮発分)	(9.6)%
	(炭素分)	(30.2)%
	灰分	60.2 %
腐敗性有機分		0.25%
元素組成	C	36.32%
	H	0.87%
	N	0.75%
	S	0.28%
	Cl	1.56%

ごみ中水分46～50%でのごみ供給量変化に対応するガス化率と残渣中に含まれる腐敗性有機分との関係を**図5**に示す。同図から分かるように，供給量が増加するに従ってガス化率はしだいに低下し，腐敗性有機分は逆に増加する。これらの結果から，ガス化率70%を保持し腐敗性有機分を許容値以下にするごみ供給量は最大180kg/h(4.3t/d)である。

3.2.5　熱自給率

ごみ中の水分40～60%の範囲でのごみ水分と熱自給率との関係を**図6**に示す。この図は残渣の保有熱量を回収した場合を示すものであるが，ごみ水分55%以下の場合灯油などによる助燃を必要とせず，ごみ水分が低下するほど余剰ガスが回収できる。

3.3　環境保全

3.3.1　燃焼排ガス

熱分解炉燃焼排ガス中の有害ガス及び煤塵の測定結果を**表5**に示す。またこの測定値と焼却炉に適用される排出基準との比較を同表に示す。実証プラントでは，洗浄された精製ガスを燃料に使用しているので，燃焼排ガス中の有害ガスや煤塵の除去装置なしで，次に述べるような良好な結果を得た。

(1)　NOxは排出基準の$\frac{1}{10}$以下である。

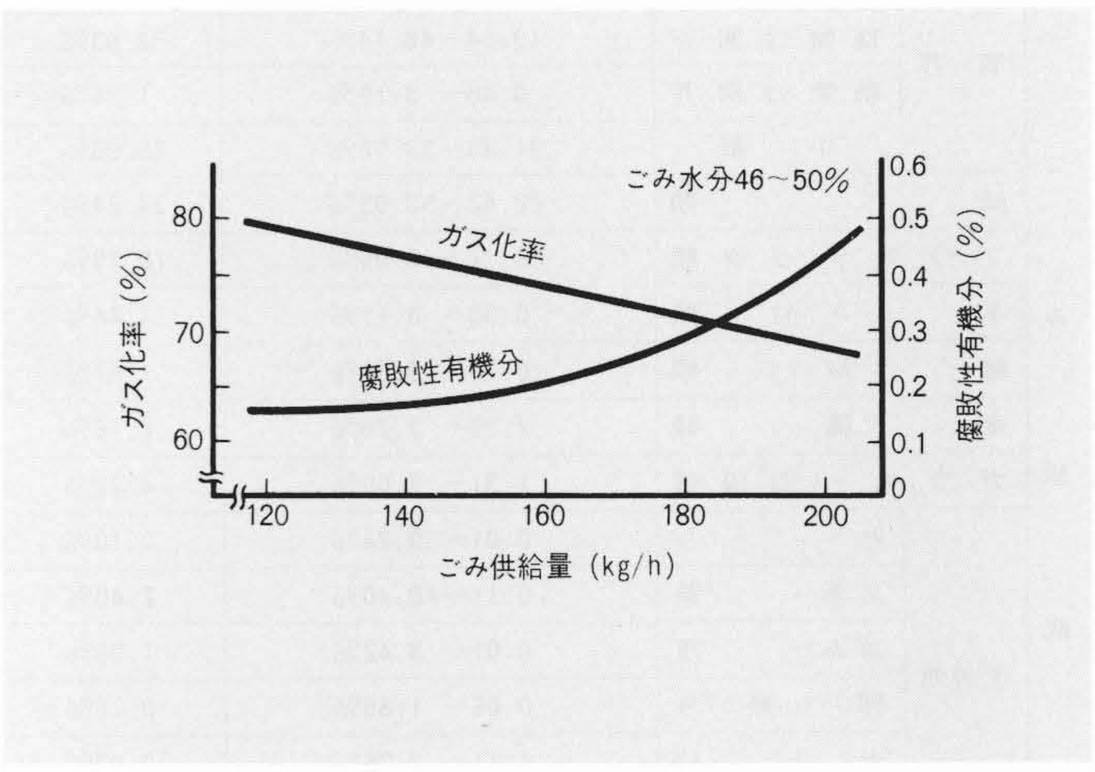


図5　ごみ供給量とガス化率及び残渣中の腐敗性有機分　ごみ供給量を増加するとガス化率は低下し，腐敗性有機分は増加する。腐敗性有機分の許容値0.3を満足する最大ごみ供給量は180kg/h(4.3t/d)で，このときのガス化率は70%である。

※1）熱しゃく減量：「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」で用いている用語であり，しゃく熱減量と同義である。

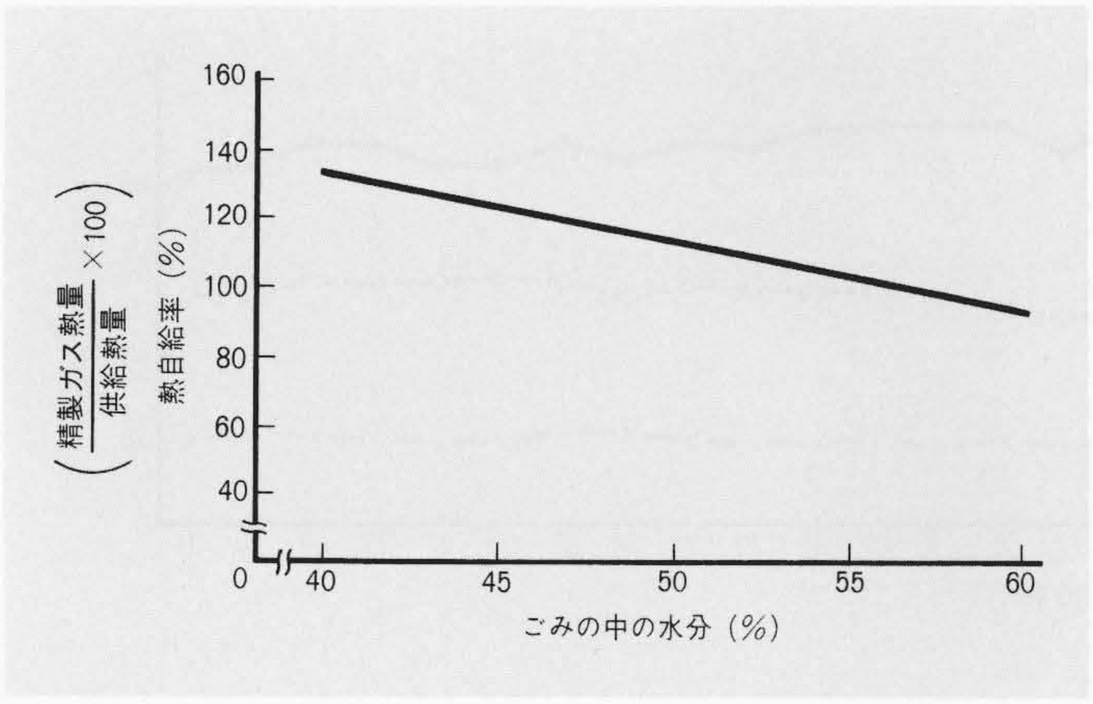


図6　ごみ中の水分と熱分解炉の熱自給率　ごみ中の水分が55%以下であれば，ごみから発生する可燃性ガスは熱分解炉の加熱燃料に使用する他の余剰ガスを生ずる。

表6　処理水の性状　COD，BODともに放流基準を満足している。

項　目	年平均値
pH	7.5
COD	30ppm
BOD	10ppm
SS	微　量

表7　残渣の重金属溶出試験結果　溶出試験結果は，ほとんど不検出で残渣を埋め立てても土壌汚染の懸念がない。

項　目	溶出試験結果	検出限界
全水銀	検出されず	0.0005ppm
アルキル水銀	検出されず	0.0005ppm
カドミウム	～0.02ppm	———
鉛	検出されず	0.005 ppm
全クロム	検出されず	0.005 ppm
六価クロム	検出されず	0.005 ppm
ひ　素	検出されず	0.005 ppm
有機りん	検出されず	0.1 ppm
シアン	～0.27ppm	———

注：溶出試験方法は環境庁告示13号による。

表5　燃焼排ガス中の有害ガス濃度及び煤塵量と排出基準との比較　NOx，SOx，HCl及び煤塵量ともに一般の焼却炉の排出基準に比べ極めて少ない量である。

項　目	単　位	測　定　値	換算値**	焼却炉排出基準***	備　考
NOx	ppm	50以下	45以下	250以下****	測定値の燃焼排ガス中のO_2濃度10～11Vol%(乾基準)
SOx	ppm	40以下*（K値0.84以下）	———	———*****（K値1.17以下）	
HCl	ppm	20以下	18以下	430以下	
煤　塵	g/m³N	0.045以下	———	0.1以下*****	

注：　* 150t/d処理ベースの燃焼排ガス量，排出口高さ(25m)から計算した。
　　** 「大気汚染防止法」施行規則に基づきO_2濃度12%としたときの換算値
　　*** 大気汚染法に基づく排出基準
　　**** 燃焼排ガス量40,000m³N以上
　　***** 「大気汚染防止法」施行規則第7条に定められている特別排出基準

表8　回収有価物　ごみの再資源化物として，ガス，温水及び鉄分が回収できる。

回収物	回収量	備　考
余剰精製ガス	86m³N	余剰精製ガス量はごみ質により異なる。この表の値はごみ低位発熱量1,740kcal/kgの場合を示す。
温水(約80°C)	2.3m³	
鉄　分	24kg	

注：ごみ1t当たり

(2)　SOxはK値(煙突高さ25m)が最大0.84であり，この値は特別排出基準値1.17をはるかに下回る。
(3)　HClは排出基準値の約$\frac{1}{25}$以下である。
(4)　煤塵は排出基準値の$\frac{1}{2}$以下である。
一方，排ガス量はごみ1t当たり2,800～3,000m³Nとなる。この量は一般のごみ焼却炉に比べ約$\frac{1}{2}$で少ない。以上のように，有害ガスや煤塵の総排出量は一般の焼却炉の場合よりもはるかに少ない。

3.3.2　排　水

生物処理と高度処理とを組み合わせた結果は，四季を通じてCOD 30ppm以下，BOD 10ppm以下で安定しており，SS(浮遊固形物)や重金属の濃度も低く放流水規制値を下回る運転を行なうことができた。処理水性状の一例を**表6**に示す。

3.3.3　排出残渣

排出残渣の重金属溶出試験結果を**表7**に示す。同表から分かるように，排出残渣中の重金属の溶出はほとんど検出されず，埋立て判定基準値を十分下回っており，土壌汚染の懸念はない。

3.4　再資源化

表8に回収有価物の一例を示す。試験では熱分解で得られた精製ガスが良質かつ高発熱量をもっており，質及び量の変動も少なく熱分解炉の加熱燃料として十分に有効であることを確認した。また，ごみ中水分が少ないと余剰精製ガスを回収でき，燃料ガスとして系外で利用することができる。

また，熱分解炉底部を冷却して得られる約80℃の温水は，ごみ1t当たり約2.3m³であり施設内の利用のほかに周辺地域の施設などに利用できる。

3.5　安定運転

ごみ供給量と熱分解生成物の1箇月中の変化の一例を**図7**に示す。この図から分かるように，ごみの適正処理量に対し精製ガス発生量及び残渣発生量は，その変動幅も少なく安定した関係を維持することができた。

3.6　都市ごみと産業廃棄物の混合処理

都市ごみに下水汚泥の脱水ケーキ，破砕廃タイヤ，廃プラスチックなどの産業廃棄物を，ごみに対しそれぞれ20～30%の割合で混合し熱分解処理を行なった。その結果は，都市ごみとほぼ同様な処理結果を示し都市廃棄物として総合的に処理できることが分かった。

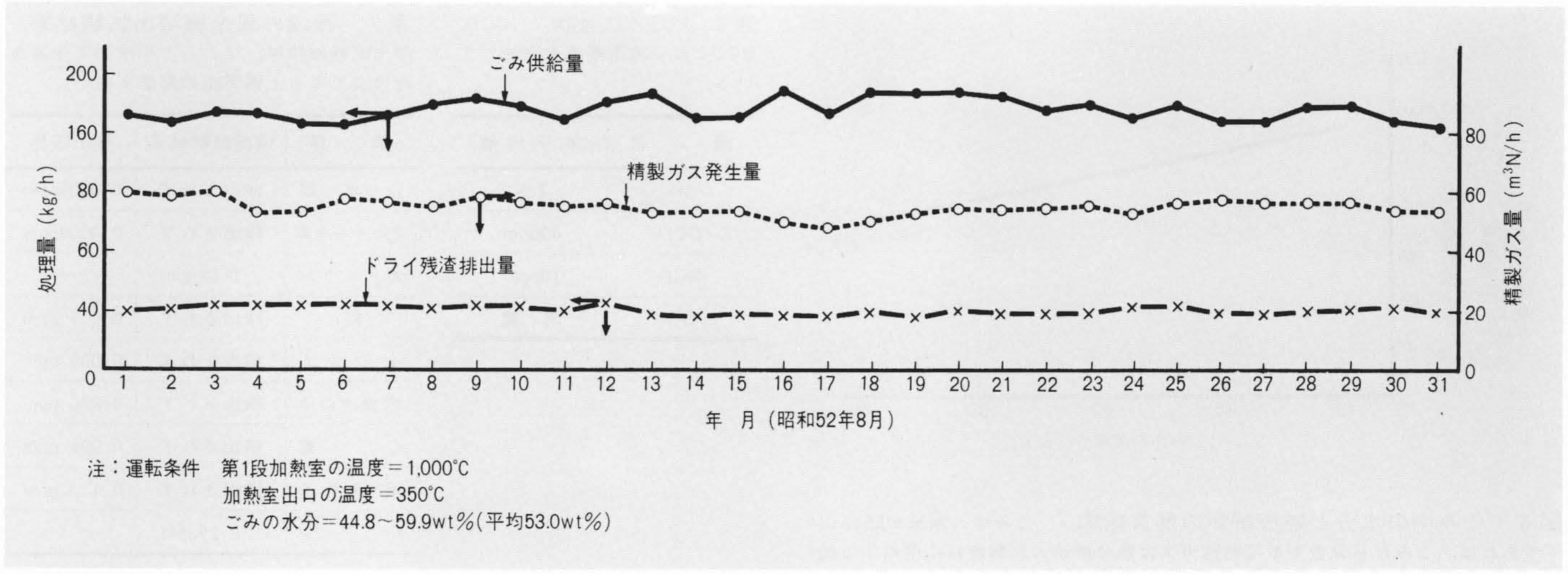
4　システムの特長

4.1　環境保全

(1)　燃焼排ガス中の有害ガスや煤塵が微量なため，排ガス処理施設を必要としない。
(2)　排ガス量は焼却処理に比べ約$\frac{1}{2}$であり，将来の総量規制に対しても十分対応できる。
(3)　排ガスはごみ水分に由来する水蒸気を含まないので，白煙防止対策は不要である。
(4)　残渣投棄による土壌汚染の心配がない。

4.2　資源化

(1)　精製ガスは，燃料や工業用原料として使用できる。
(2)　熱分解炉の冷却水は，温水として施設外へ定量供給できる。
(3)　破砕ごみから容易に鉄分の回収ができる。



注：運転条件　第1段加熱室の温度＝1,000℃
加熱室出口の温度＝350℃
ごみの水分＝44.8～59.9wt%(平均53.0wt%)

図7　ごみ供給量と熱分解生成物の1箇月中の変化の一例　ごみ水分が平均53%と多い8月の運転結果を示すもので，ごみ供給量，精製ガス発生量及び残渣量が比較的安定していることが分かる。

4.3　処理管理の容易性

(1)　混合収集されたごみそのもので受入れ処理ができる。
(2)　構造が簡単なため運転操作，保守が容易である。
(3)　十分な滞留時間をかけてごみを熱分解するので，ごみ質の変動にも十分対応できる。

5　結　　言

日立プラント建設株式会社の開発した「日立デストラ」は実証試験の結果，現在の焼却法と比べ環境保全，再資源化に寄与する新しいごみ処理施設であることを確認した。

今後は実証試験の結果を実用施設の計画に十分に生かし，更に公益性の高いシステムとしたい。

最後に実証プラントの試験に際し，御協力いただいた日立市役所御当局に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

1)　平山直道編著：ごみ処理施設の構造と管理，(財)日本環境衛生センタ (1977)

半導体装置の製造法

久保征治

特許　第820598号（特公昭48-13275号）

本発明はMOSFETの製造工程で，ゲート部分，ドレイン部分，ソース部分の酸化物皮膜を同時に除去し，これらの部分にゲート絶縁膜の厚さの酸化皮膜を同時に形成する工程をもつものである。

以下，本発明の製造工程を示す。

(1)　P形Si基板①上にSiO_2膜②を形成した後，これをマスクにしてソース，ドレイン拡散層③を形成する〔**図1**(a)，(b)〕。
(2)　耐エッチングマスク⑤が被着されていないソース，ドレイン及びゲート部分のSiO_2膜②，④をエッチ除去する〔同図(c)，(d)〕。
(3)　酸化性雰囲気中で加熱し，エッチング部にSiO_2膜⑥を生成する。このSiO_2膜⑥は，ゲート酸化膜に適した厚さ（1,500Å程度）に生成される〔同図(e)〕。
④　耐エッチングマスク⑤の被着されていないソース，ドレイン部のSiO_2膜⑥を除去する〔同図(f)，(g)〕。
(5)　ソース電極⑧，ドレイン電極⑨及びゲート電極⑦を形成する〔同図(h)〕。

上記のように，本発明の製法によれば，ソース電極，ドレイン電極形成部のSiO_2膜の膜厚が薄いので，エッチング除去工程が簡単になり，耐エッチマスクに守られたゲート酸化膜⑥の侵される恐れがない。

なお，SiO_2膜④はソース，ドレイン拡散時に生成されたものである。また，⑩はチャンネルを示す。

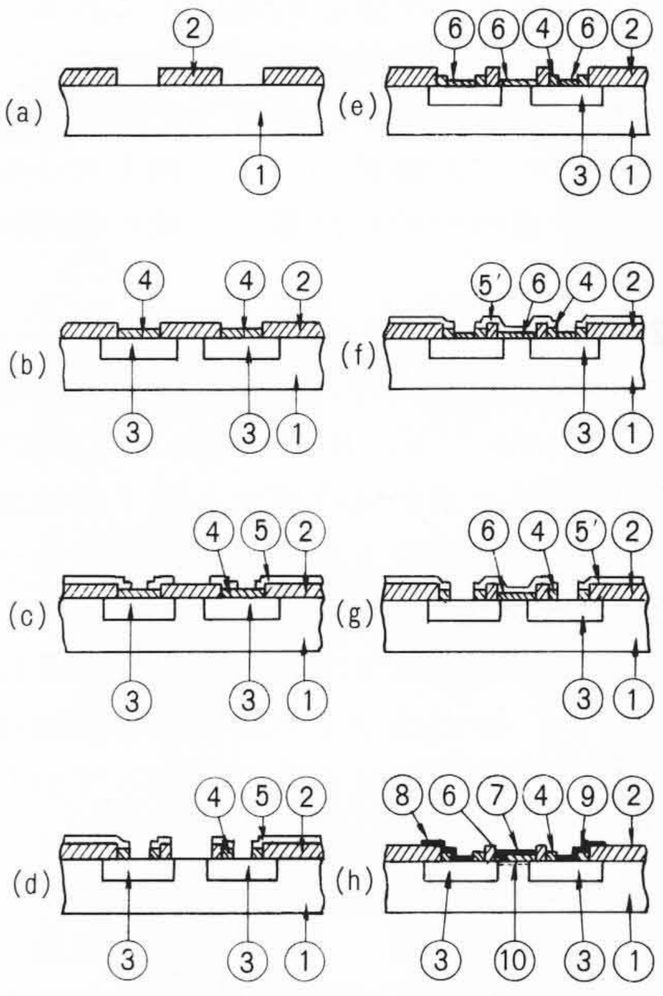


図1　本発明のMOSFETの製造工程