

# 高効率発電型熱分解ガス化溶融ごみ処理システムの実用化

Commercialization of MSW Incineration System with Direct Ash Melting  
by Thermal Cracking for High Efficient Generation of Electricity

技術本部 寺澤良則\*1  
横浜製作所 保田静生\*2 堀添浩俊\*3  
佐藤淳\*4 後藤善則\*5

本システムは、都市ごみを熱分解して生成した塩素分の少ないチャー（熱分解後の炭化物）を低空気比燃焼させ、高温高圧蒸気を回収し高効率発電を達成することが可能で、さらに、排ガス中有害物（ダイオキシン類等）の発生を大幅に抑制できる。また、同時に熱分解ガスを熱源として溶融炉で直接飛灰等をスラグ化し灰の無害化、再資源化が図れる。今回 20 t/d 実証プラントを建設し延べ 168 日間、連続 64 日間の実証試験を行った。本報では、実証試験結果を基に本システムの実用化状況について報告する。

Municipal solid waste (MSW) is thermally cracked in a new incinerator at 400-450°C, char with a small amount of chlorine is generated, and this char is burned in a fluidized bed furnace at a low air ratio. The efficiency of electric power generation from MSW is 30-32% by recovering highly superheated steam (100 ata, 500°C), Ash is melted in a vertical swirling melting furnace at 1 350-1 450°C using cracked gas as the heat source. Slag from the melted ash is reused in several ways. This system dramatically reduces pollutant emissions at the furnace outlet and makes gas treatment facilities compact. A demonstration plant (20t/d) has been constructed and operated over 168 days, including continuous 64 days. Commercialization of this system has been demonstrated based on demonstration plant test results.

## 1. はじめに

近年の廃棄物処理施策の課題は、①ダイオキシン類排出量削減、②飛火の無害化・安定化、③埋立用地の延命化であり、これらの課題解決に加え、さらに循環型社会構築に向けた新しいごみ焼却システムを志向している。当社では、これらの社会ニーズに呼応して、低ダイオキシン、灰の資源化、高効率発電、排ガス処理設備のコンパクト化を同時実現できる“高効率発電型熱分解ガス化溶融ごみ処理システム”を平成 5 年に開発着手し<sup>(1)(2)</sup>、平成 10 年 12 月より平成 12 年 3 月まで実証試験 (20 t/d) を行い、実用化のめどを得た。本報では当社システムの実用化状況について実証試験結果を基に報告する。

## 2. システムの特長

図 1 に実機フローを示す。

### (1) ダイオキシン抑制

燃焼炉は、チャー燃焼炉と溶融炉の 2 炉を持ち、チャー燃焼炉では内部循環型流動床炉を採用して脱塩素されたチャーを燃焼し、一方、溶融炉では塩素を含んだ熱分解ガスを 1 350~1 450°C で高温燃焼させることにより、各々の炉出口でダイオキシン類の発生を低減している。

### (2) 直接灰溶融

本システムでは、ごみを熱分解して発生した熱分解ガスを高温燃焼させて直接灰を溶融できる。

### (3) 高効率発電

本システムではごみを熱分解して生成した塩素分の少ない熱分解残渣(さ) (チャー) のクリーン燃焼排ガスから、低コスト材ボイラチューブによる高温・高圧回収蒸気で発電効率 30% 以上の高効率発電が可能となる。また、高級材を使用し蒸気温度を上げることにより、発電効率を更に 2% 程度向上させることを目指している。

### (4) 排ガス量低減

チャー燃焼炉での性状が均一なチャーの燃焼や、溶融炉での熱分解ガスと空気とのガス燃焼により低空気比燃焼が可能である。この結果、排ガス量が低減され、排ガス処理設備の設備費、設置面積、維持管理費が低減できる。

### (5) 鉄・アルミ及び溶融スラグのリサイクル

熱分解後の不燃物中の鉄・アルミ及び溶融スラグは再利用できるため、排出する不燃物が大幅に低減でき最終処分場の延命化が図れる。

## 3. 実証試験

### 3.1 実証設備概要

実証設備のフローを図 2 に示す。

本設備は、平成 11 年度から適用された“ごみ処理施設の性能指針”を満たす実証試験を実施するため、当社横浜製作所金沢工場に建設したものである。ごみ処理量は 20 t/d で、長期実証試験の目的は本システムの安定性、耐久性及び制御システムの構築である。

ごみを粗破砕後、乾燥フィーダへ供給する。乾燥フィーダの熱源は、チャー燃焼炉から搬送される高温砂であり、200~

\*1 横浜研究所環境装置研究推進室

\*4 環境装置技術部設計一課

\*2 環境装置技術部設計一課主席

\*5 環境装置技術部設計二課

\*3 環境装置技術部主席 工博

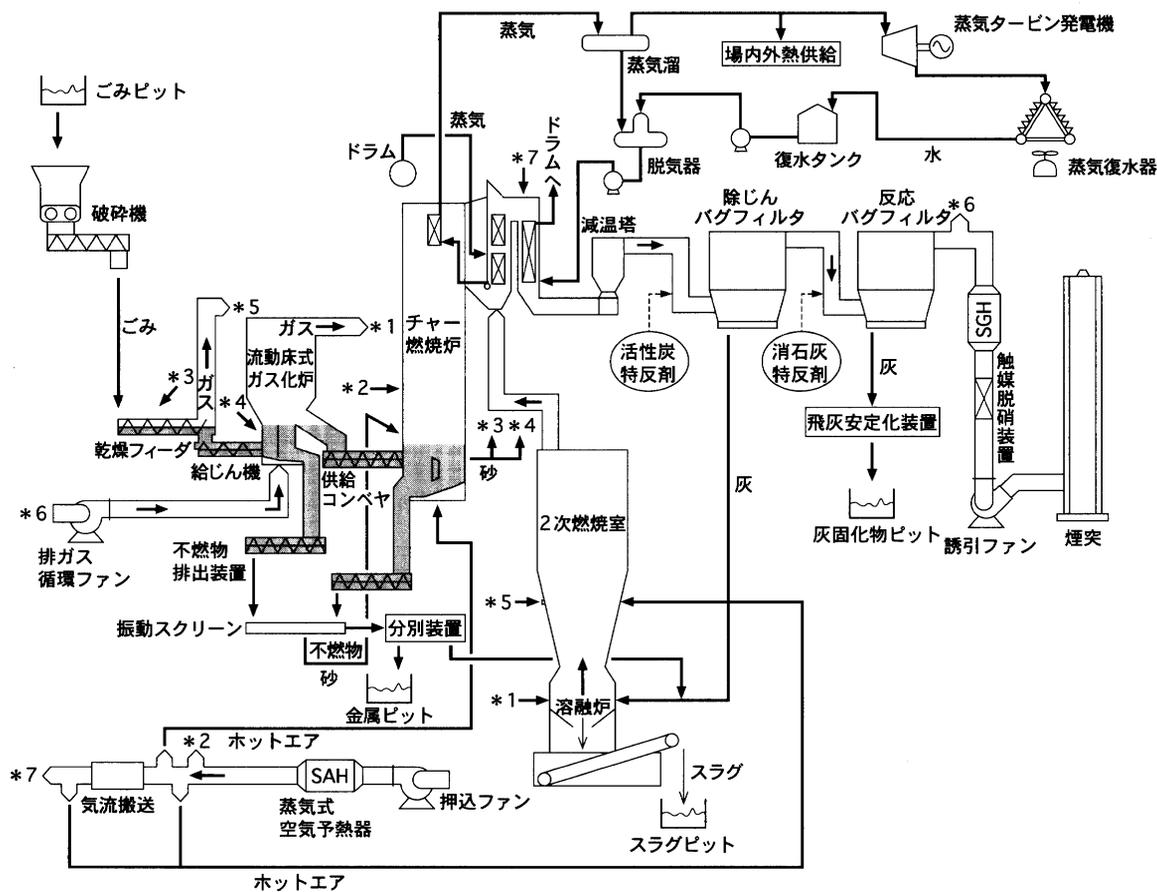


図1 実機フロー 商用規模プラントフローを示す。  
Flow diagram of commercial plant

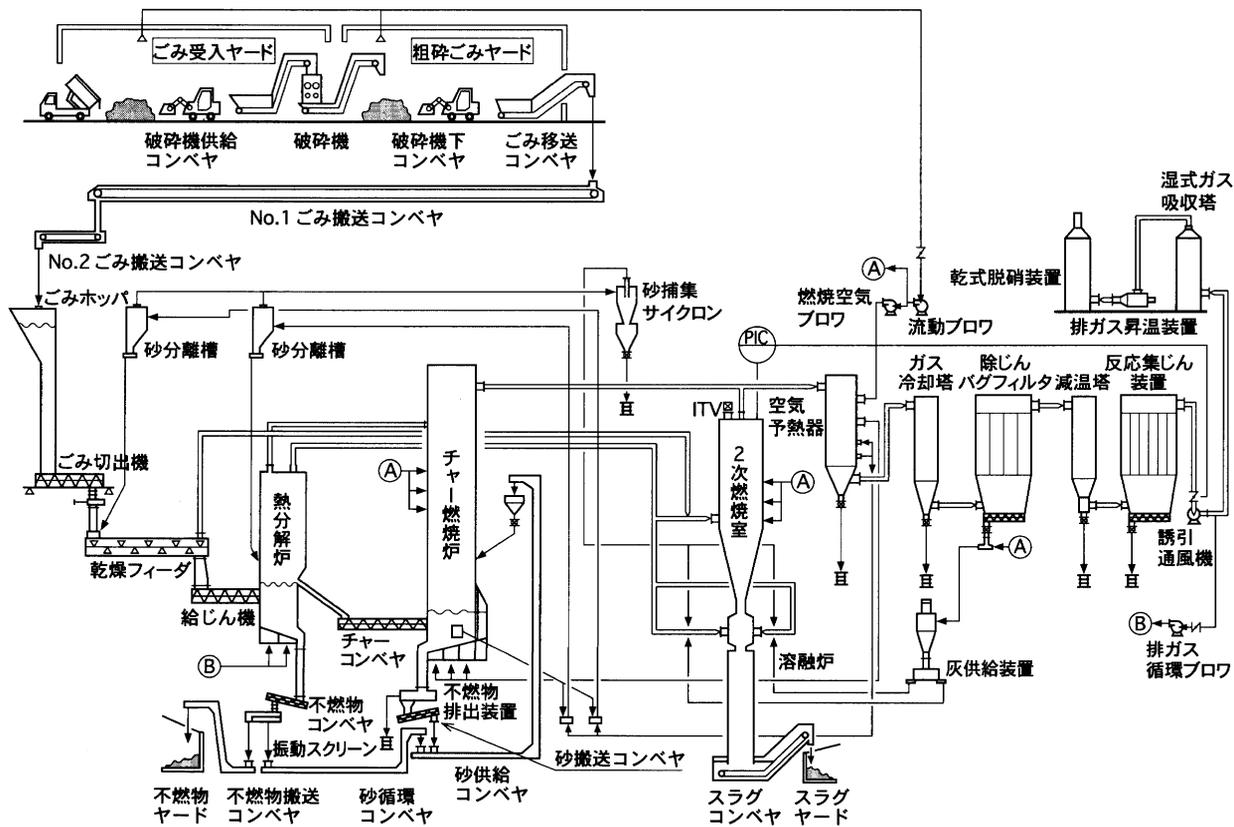


図2 実証設備フロー 20 t/d 規模実証設備フローを示す。  
Flow diagram of 20 t/d demonstration plant

250°Cに維持しながらごみ中の水分と塩素分を蒸発・揮散させるとともに均質化する。乾燥・均質化されたごみを砂と共に熱分解炉へ供給し、乾燥フィード同様高温砂により400~450°Cに維持しながら熱分解する。ここで生成されたチャーはほとんどの塩素分が除去され、砂と共にチャー燃焼炉へ供給され完全燃焼する。一方、熱分解ガスは熔融炉へ供給され熔融炉の熱源となる。また、鉄・アルミ等の不燃物は熱分解炉から非酸化状態で排出され、振動スクリーンで分解回収される。熱分解炉及びチャー燃焼炉から発生する小粒径のがれき等も同様に回収する。排ガスに伴う飛灰は消石灰と反応する前に除じんされ、熔融炉へ送りスラグ化される。

3.2 実証試験結果

本実証試験で用いたごみの性状例を表1に示す。本実証試験では、低位発熱量が4930~13460 kJ/kg (1180~3220 kcal/kg)の広範囲のごみを用いたが、どのごみにおいても安定した処理性能を維持することができた。

3.2.1 連続安定性の確認

本実証試験では厚生労働省(旧厚生省)のごみ処理施設性能指針(30日間の連続運転を含む、延べ100日間の運転)に

表1 ごみの性状例

Properties of waste used by this demonstration plant

ごみ種	低カロリー*	標準		高カロリー	
		RUN 1	RUN 2		
水分 (wet %)	61.3	43.4	55.8	23.2	
灰分 (wet %)	6.2	8.3	4.8	8.9	
可燃分 (wet %)	C	19.9	18.8	22.9	16.7
	H	2.92	2.69	3.96	2.46
	N	0.41	0.39	0.27	0.56
	S	0.07	0.07	0.05	0.05
	Cl	0.24	0.89	0.22	0.26
	O 他	8.96	25.46	11.98	47.87
	小計	32.5	48.3	39.4	67.9
低位発熱量 kJ/kg (kcal/kg-wet)	4930 (1180)	8280 (1980)	9320 (2230)	13460 (3220)	

\*低カロリーごみは標準ごみを調湿したものである。

基づき、64日間の連続運転を含む、延べ168日間の運転を実施した。

図3に連続運転時の各炉内温度、炉出口排ガス濃度経時変化を示す。高温砂の循環量制御により、各部温度が制御でき、熱分解炉温度を400~450°Cの範囲で一定に維持することで、その後流の熔融炉、チャー燃焼炉温度が安定し、炉出口排ガス濃度もO<sub>2</sub>濃度5%と低空気比でCO濃度も平均5ppmで運転可能であった。

3.2.2 自己熱熔融限界

図4に実証設備でのごみ処理量と入熱量(含む補助燃料)の関係を示す。図中の自己熱熔融限界は、助燃なしで熔融処理が可能な、入熱量の限界を示す。実証設備では、放熱量が入熱量に対して約50%と大きく、ごみ発熱量11180 kJ/kg (2670 kcal/kg)まで補助燃料を必要としたが、実機150 t/d規模での放熱割合を考慮すると、ごみ発熱量が6700 kJ/kg (1600 kcal/kg)程度であれば補助燃料の必要はない。

3.2.3 排ガス性状

表2に各炉合流出口及び煙突における排ガス性状を示す。合流口では、O<sub>2</sub>濃度は4.0~6.5%、CO濃度10ppm以下、ダイオキシン類濃度0.039~0.2 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>であり、空気比1.24~1.45と低空気比で良好な燃焼を行うことができ

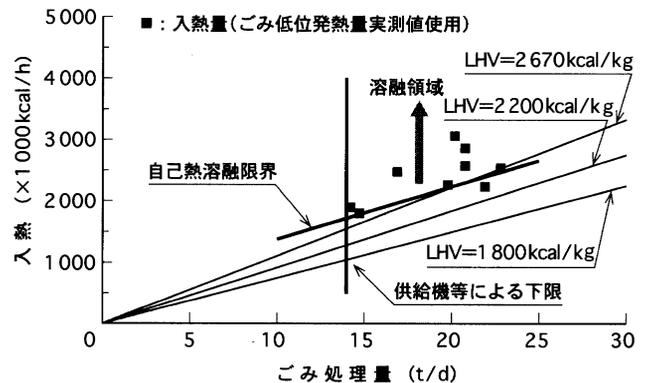


図4 実証設備のごみ処理量と入熱量(含む助燃量)の関係  
実証設備では、放熱量が入熱量に対して約50%と大きく、ごみ発熱量2670 kcal/kgまで補助燃料が必要となった。  
Relation between heat input and throughput of municipal solid waste

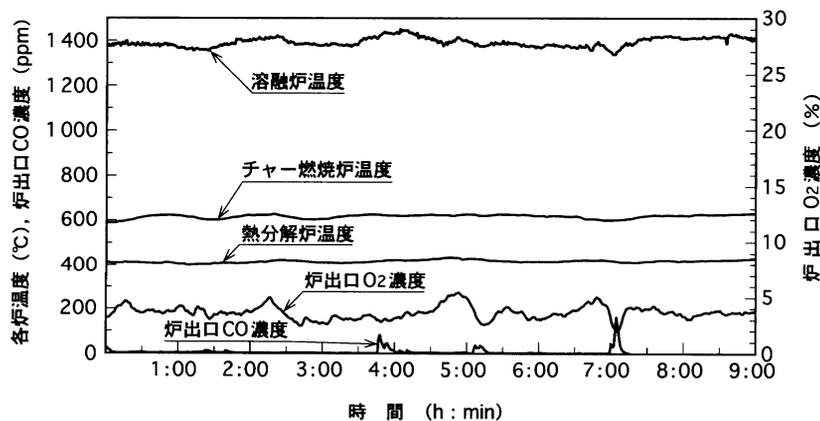


図3 各炉内温度、炉出口排ガス濃度経時変化例 連続安定運転を示す。  
Time trends of main apparatus temperatures and gas cocentration in furnace outlet

表2 排ガス性状  
Pollutant emission at outlet of furnace

項目		NOx 低減試験		RUN 1	RUN 2
炉出口	O <sub>2</sub> %	4.0 (λ=1.24)	4.3 (λ=1.26)	6.5 (λ=1.45)	4.8 (λ=1.30)
	CO ppm(O <sub>2</sub> =12%)	6.0	1.0	0.2	1.5
	NOx ppm(O <sub>2</sub> =12%)	42	49	65	120
	DXN ng-TEQ/Nm <sup>3</sup>	—	—	0.039	0.20
煙突	O <sub>2</sub> %	—	—	10.6	10.4
	HCl ppm(O <sub>2</sub> =12%)	—	—	< 2	< 2
	SOx ppm(O <sub>2</sub> =12%)	—	—	< 5	< 5
	NOx ppm(O <sub>2</sub> =12%)	—	—	64	54
	DXN ng-TEQ/Nm <sup>3</sup>	—	—	0.000042	0.022

(注) 1.λ: 空気比 (—)  
2. 煙突出口排ガス測定値は脱硝反応塔出口の値

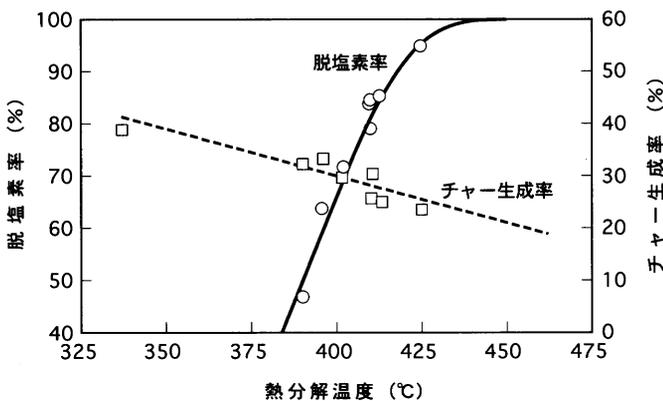


図5 熱分解温度と脱塩素率, チャー生成率の関係  
熱分解温度 400~450°Cの範囲で, 脱塩素率 70%以上, チャー生成率 20~30%を達成することができる。  
Effect of thermal cracking temperature on dechlorination and formation of char

た。また, 熔融炉で還元2段燃焼を行うことでNOx濃度も50 ppm以下にできることを確認した。

さらに煙突においてもダイオキシン類濃度0.05 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>以下と法規制0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>以下を十分満足した。

3.2.4 脱塩素率

図5に熱分解温度と脱塩素率, チャー生成率の関係を示す。脱塩素率は式(1)によって定義した。

$$\eta = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

ここで,

- η: 脱塩素率 (%)
- C: チャー中の塩素含有量 (kg/h)
- C<sub>0</sub>: ごみ中の塩素含有量 (kg/h)

また, チャー生成率は式(2)によって定義した。

$$\zeta = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

ここで,

- ζ: チャー生成率 (%)
- V<sub>0</sub>: ごみ中可燃分量 (kg/h)
- V: チャー中可燃分量 (kg/h)

表3 熔融スラグの溶出試験結果  
Results of leachate test of slag

項目	土壤環境基準	RUN 1	RUN 2
pH	—	7.7	7.3
Cd (mg/l)	≤0.01	<0.01	<0.01
Pb (mg/l)	≤0.01	<0.01	<0.01
Cr <sup>6+</sup> (mg/l)	≤0.05	<0.05	<0.05
As (mg/l)	≤0.01	<0.01	<0.01
T-Hg (mg/l)	≤0.0005	<0.0005	<0.0005
Se (mg/l)	≤0.01	<0.01	<0.01

本システムでは, 塩素分の少ないチャーの燃焼排ガスから高温・高圧蒸気 (100 ata×500°C) を製造し, 高効率熱回収を行うことを特長としており, 熱分解温度が高いほど脱塩素率は高くなり, ボイラ過熱器の腐食を低減することができ, 従来使用されている普通材で500°Cクラスの高圧蒸気を得られる。一方, 熱分解温度が高いほどチャー生成率が低下するためチャー燃焼炉での熱回収率を確保するために, チャー生成率の下限がある。図5に示すように両者を満足する熱分解温度は, 400~450°Cの範囲で, このとき, 脱塩素率70%以上, チャー生成率20~30%となる。

3.2.5 熔融スラグ性状

表3に熔融スラグの溶出試験結果を示す。本結果より, スラグは土壤環境基準をクリアしており, 透水性インタロッキングブロック, アスファルト用砂, コンクリート用骨材, 道路用路盤材等として有効利用できる。また, 熔融スラグ中のダイオキシン類濃度は検出限界以下となった。

3.2.6 排出不燃物性状

熱分解炉から排出された不燃物組成は, 鉄類, アルミ類, その他 (陶器, ガラスほか) が28.5, 1.6, 69.9%であった。また, 金属類は層内温度が400~450°Cと低く, 還元雰囲気であるため金属回収純度は, 鉄, アルミ, 銅でそれぞれ92.9, 99.9, 99.9%と酸化度の低い状態で回収でき, 再利用可能である。不燃物中のダイオキシン類濃度も, 検出限界以下であった。

4. ま と め

平成10年12月より平成12年3月まで実証試験を実施し, 64日間の連続運転を含む延べ168日間の安定運転を達成した。

実証試験の結果, 本システムについて, ①ダイオキシン類の発生抑制, ②高効率熱回収, ③熔融スラグの重金属溶出防止, ④酸化度が低く資源価値の高い鉄及び非鉄金属の回収, ⑤広範囲のごみ質に対して安定運転が可能であることを確認し, 実用化のめどを得た。

参 考 文 献

- (1) 堀添浩俊ほか, 熱分解熔融ごみ処理システムの開発, 三菱重工技報 Vol.34 No.3 (1997) p.162~p.165
- (2) 堀添浩俊ほか, 高効率発電型熱分解熔融ごみ処理システムの開発, 三菱重工技報 Vol.36 No.3 (1999) p.188~p.121