廃棄物の固形化とごみ発電

三菱重工業株式会社 武 田 和 三

Refuse Derived Fuel (RDF) Fired Power Plant

Kazumitsu Takeda
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

In Japan, municipal waste amounts to 50 million tons a year and its incineration ratio at present is approximately 74%. However, the generation of electricity from firing municipal waste is limited because of its characteristics; namely municipal waste vary in shape and are apt to rot or decompose and emit odor. Therefore, they are not suitable for transportation or storage.

Refuse derived fuel (RDF) for municipal waste is the pelletizing one made from municipal waste. Hard and dry RDF with calcium compounds can be stored for a long time, handled and transported easily.

Moreover, high-efficiency power generation is possible by gathering RDF manufactured from local communities and applying a circulating fluidized bed boiler with external circulation system for its combustion.

1. はじめに

近年地球温暖化対策や未利用エネルギーの有効利用の観点より、現在焼却処理されている可燃性廃棄物を対象とした発電が、化石燃料の節約に通ずるものとして注目されている。各種廃棄物発電のうち都市ごみのRDF発電について述べる。

2. 都市ごみ処理の現状

廃棄物はその発生形態や性状などの違いから、一般廃棄物と産業廃棄物とに大きく二分される。一般廃棄物は、日常生活等に伴って排出される“ごみ”で、自治体単位で処理されている。

図1に示すごみの年間排出量は、生活の水準向上や多様化に伴い増加している。平成元年度以降は

5,000万t/年で推移している。又、1人・日当たり約1.1kgを排出した勘定になる。

ごみ処理方法は、埋立処分地の負担を減らし、衛生上優れ、且つ減量・減容化が容易な焼却処理の割合が年々増加し、平成4年度では全国約1,900か所の施設で、排出量の約74%が焼却処理されている(図2)。

3. ごみ焼却発電

3.1 ごみ焼却発電の現状

ごみ焼却に伴い廃熱ボイラで発生した蒸気でターボ発電機を駆動する発電プラントは、昭和40年大阪市淀工場に国内で初めて設置された。

平成7年度末時点で、全国145か所にごみ焼却発電設備があり、発電出力の合計は約55.6万kWである(図3、表1)。一方、平成6年12月に決定された「新

図 1 ごみ排出量の推移

表 1 廃棄物発電の推移

竣工年	施設数	施設能力 (t/d)	発電出力 (kW)	発電(kW) ごみ(t)
1969 以前	3	2,200	6,500	70.9
70～74	7	6,750	28,700	102
75～79	15	11,170	54,760	117.6
80～84	32	15,591	94,250	145
85～89	35	12,053	95,420	355
90～94	36	15,619	178,680	274
95	17	7,450	97,890	315.3
合計	145	70,833	556,200	188.4

エネルギー導入綱」において、廃棄物発電の導入見通しは、2,000年に200万kW、2,010年に400万kWとされており、目標からほど遠い状況にある。しかし、近年地球温暖化対策や未利用エネルギーの有効利用の観点より、今後とも推進すべき分野である。

3.2 ごみ焼却発電の問題点

ごみ焼却発電を推進する上での問題点は次のとおり。

(1) 燃料としての複合的難点

腐敗、悪臭、汚水：輸送性、貯蔵性が悪い、

不均質、汚水：発熱量の変動がある、

腐食性ガス成分：過熱器チューブの腐食対策が必要、
から、可燃性産廃物では可能な高効率発電システムの適用が行いにくい。

図 3 ごみトン当たり発電量の推移

図 2 ごみ処理方法の推移

(2) 自治体単位のごみ収集量が少ない（スケールメリットを追求しにくい）。

(3) ごみ処理が主体で、ごみ発生量にも変動がある（安定した発電に問題がある）。

3.3 高効率発電への取組（図4、図5、図6参照）

一般に発電設備の高効率化の条件は、①蒸気条件の高温・高圧化、②大容量化、③機器効率の改善、④複合システムの構築等が考えられる。

ごみ焼却発電の取組は二分される。

ひとつは焼却炉に付随するターボ発電機の蒸気条件

図4 ごみ発電の熱精算図

図5 高蒸気温度ごみ発電ボイラの蒸気温度と竣工年

図6 RDF発電システム概念図

を高める方式であり、他は現状の問題点を改善するため、RDF（固体燃料）化のような中間処理を行う方式と言える。

前者は更にa) 耐食性の優れた過熱器チューブを用いて廃熱ボイラ出口の蒸気条件を直接高める方式とb) ガスタービンや独立過熱器を併設し間接的に高温化する方式に分けられる。

a) は埼玉県東部清掃組合（380°C）が、平成7年に稼働した。計画効率は約21%で、従来効率の10～15%に比べてかなり高効率である。又、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）プロジェクトでは、500°C級の蒸気条件を目標としたチューブ材の開発が実施されており、パイロットプラントに組み込み検証されることになっている。

b) では、ごみ焼却炉にガスタービンを併設した「スーパーごみ発電」と呼ばれるプラントで、平成8年11月群馬県企業局で国内初号機が運開した。

又、堺市や北九州市でも同様のプラントが建設されている。

後者のRDF製造設備は、厚生省助成第一号の富山県南砺リサイクルセンタ（28t/d）や津久見市（32t/d）が運開し、御殿場市（150t/d）が大容量設備を発注している。

一方、三重県を筆頭に静岡、高知、栃木、熊本、富山、広島等の各県でもRDF発電の事業化が検討されている。更に、電源開発（株）は国の補助事業として、平成7年度よりRDFを利用した発電技術の開発に着手されている。亜臨界圧火力なみの蒸気条件（100kg/cm²×540°C）を実現し、高発電効率（35%程度）の検証及び塩化水素、ダイオキシン、重金属を除去するクリーンな排煙処理技術を開発することを目標とされている。燃焼試験装置と排煙処理試験装置とで構成される試験装置を用いて検証試験が実施される。

表 2 日本国内の RDF プラント稼働状況 (自治体のみ; H.9.1 現在)

事業主体	各所在地	稼働試験	完成年月	処理能力 t/hr (t/d)	用途		概要	備考
					利用	利用対象		
札幌市環境局清掃部 (工場運営; 札幌市環境事業公社)	札幌市こみ資源化工場 (札幌市緑路)	稼働	2. 4 稼働	15 t/hr (200 t/d)	地域冷 暖房 給湯	ホテル、病院 等 バルブ工場	・原料: 資源ごみ (建設系廃棄物のコンパネ、パ レット・木箱・木屑、段ボールを含む紙屑・軟 質廃プラスチック) ・木: 紙: プラの混合比率は 5: 4: 1 (φ 40 mm, L 100 mm に成形) ・処理能力: 200 t/日 (13 時間運転), 発熱量: 4, 500 kcal/kg ・北海道建設供給公社の専焼炉にて EBF 使用 他 ・北道各地域定住促進対策事業として建設 (減容・ 再生処理) ・家庭ごみ (紙) と農廃フィルムを原料とした固 形燃料化 ・公共施設のボイラ	旭東開発 栗本鐵工所
富良野市	農業廃棄物処理施設 富良野市山部	稼働	63. 7 稼働	11 t/hr (7. 2 t/d)	暖房 給湯 温室	事業所 学校	・北道各地域定住促進対策事業として建設 (減容・ 再生処理) ・家庭ごみ (紙) と農廃フィルムを原料とした固 形燃料化 ・公共施設のボイラ	中道機械
留萌市		建設中 国庫補助事業		20 t/d				栗本鐵工所
日本リサイクルマ ジメント (野木事業所)	野木事業所 野木町大字南小塚字出 山	稼働	4. 11 稼働	(10 t/日)	熱源	公共施設 民間企業	・原料: 生活ごみ (生ごみは除くので水分が少ない) ・処理量: 約 10 t/日 (1, 250 kg/h) ・コンポストライン併設 (2 t/日) ・発熱量: 5, 000 kcal/kg (φ 15 mm)	日本リサイクルマ ジメント
苫小牧市 板倉町板倉	板倉町資源化センター 板倉町大字板倉	建設中 国庫補助事 業	9. 3 予定	20 (t/7h)	熱源	公共施設	・家庭ごみ中の可燃物を主体 (H.7 年 4 月 国庫補助内示) ・家庭ごみ中の可燃物を主体	プラント; 日本リサイクルマ ジメント; 地域計画室 指導; 環境計画センター
水上月夜野新治施 設衛生組合	奥利根アメニティパーク 利根郡新治村布地内 地内	建設中 国庫補助事 業	10. 3 予定	40 (t/15h)	熱源			石川県播磨重工業
御殿場市・小山町広 域行政組合	御殿場市・小山町広 域行政組合	稼働 (H.7.10)	10. 3 予定	150 (t/日)	熱源	御殿場市内民 間企業	・原料: 生活ごみ (生ごみを含む可燃ごみ) ・実施設計終了; 7. 3. 受注額: 約 80 億円 ・防衛庁補助: 着工 H.7.10 ~ H.10.3 >	共同企業体: 荏原製作所, 石川島播 磨重工業, フジタ, 三菱商事
御殿場市・小山町広 域行政組合	御殿場市・小山町広 域行政組合	稼働 (H.7.10)	7. 4 稼働	28 (t/7h)	冷暖房 用熱源 融雪用	公共施設 (リ サイクルセン ター、福祉施 設、中学校)	・原料: 生活ごみ (生ごみを含む可燃ごみ) ・利用先: 南房リサイクルセンター内の冷暖房、 消雪 (H.7.4 稼働), やすらぎ荘 (福祉施設) の暖房用 (H.7.9 稼働, 新設中学校の冷暖房、 温水プール用等に検討中)	国庫補助第 1 号プラント プラント; 日本リサイクルマ ジメント; 地域計画室 設計施設監理; 地域計画室 指導; 環境計画センター
愛知郡広域行政組 合 (湖東町、愛知町、 愛知川町、泰荘町、 世羅町)	湖東町・愛知町・愛 知川町・泰荘町・世 羅町	建設中 国庫補助事 業	9. 3 予定	22 (t/7h)	熱源	公共施設 (福祉セン ター)	・原料: 生活ごみ (生ごみを含む可燃ごみ) (H.7.4 国庫補助)	プラント; 日本リサイクルマ ジメント; 地域計画室 設計施設監理; 地域計画室 指導; 環境計画センター
愛知郡広域行政組 合 (湖東町、愛知町、 愛知川町、泰荘町、 世羅町)	湖東町・愛知町・愛 知川町・泰荘町・世 羅町	建設中 国庫補助事 業	2. 11 稼働	1. 25 t/h (8 t/日)			・原料: 森原町の生活ごみ ・円柱状 径 10 mm × 長さ 20 ~ 40 mm ・発熱量: 約 4, 250 kcal/kg	東洋燃機 (現: リサイクルマ ジメント)
日本リサイクルマ ジメント (榛原事業所)	榛原事業所 榛原町大字萩原	稼働	8. 10 稼働	1. 25 t/h (16 t/日)	熱源		・原料: 生活ごみ (生ごみを含む可燃ごみ) (H.7.4 国庫補助)	日本リサイクルマ ジメント (コンサル; 中外テク ノス)
甲斐衛生組合	美化センターごみ 同形燃料化施設 世羅郡中町	建設中 国庫補助事 業	10. 3 予定	1. 25 t/h (16 t/日)	熱源		・原料: 生活ごみ (生ごみを含む可燃ごみ) (H.7.4 国庫補助)	日本リサイクルマ ジメント (コンサル; 中外テク ノス)
津久見市	共同研究 津久見市大字日見	稼働 試験終了	5. 11 稼働	20 t/日	セメン ト用 燃料	産業用熱源・ セメント原料	・取集都市ごみ ・大分県津久見市; 5 年 11 月から集証 ・小野田セメントにてセメント原料、燃料への利 用性をテスト	津久見市小野田セメント, 荏原製作 所, 石川島播磨重工業, フジタ, 三 菱商事, 協力; プラント
大分県	共同研究 津久見市大字日見	稼働 試験終了	5. 11 稼働	20 t/日	セメン ト用 燃料	産業用熱源・ セメント原料	・取集都市ごみ ・大分県津久見市; 5 年 11 月から集証 ・小野田セメントにてセメント原料、燃料への利 用性をテスト	津久見市小野田セメント, 荏原製作 所, 石川島播磨重工業, フジタ, 三 菱商事, 協力; プラント
津久見市	共同研究 津久見市大字日見	稼働 試験終了	5. 11 稼働	20 t/日	セメン ト用 燃料	産業用熱源・ セメント原料	・取集都市ごみ ・大分県津久見市; 5 年 11 月から集証 ・小野田セメントにてセメント原料、燃料への利 用性をテスト	津久見市小野田セメント, 荏原製作 所, 石川島播磨重工業, フジタ, 三 菱商事, 協力; プラント

4. RDF 製造設備の概要

ごみを加工して輸送、貯蔵などが容易に出来るごみ固形燃料化は、大容量・高効率発電を行う手段として有効である。

最近主要な環境機器メーカー等の RDF 製造に関する記事を見かけるが、今回は従来より国内で開発されている二方式の概略フロー図を以下に示す。RDF 製造設備の稼動状況を、表 2 に示す。

(1) カトレル方式

(2) 日本リサイクルマネジメント方式

5. 外部循環流動層ボイラの特徴

当社は石炭等各種固形燃料を対象とする外部循環流動層ボイラ（CFB）を製作しており、産廃物との混焼のケースも含め国内に 6 プラントの実績を表 3 に示す。

火炉内では石灰石を用いた脱硫を行うため燃焼温度は 850℃ 程度で、空塔速度は約 5m/S 前後、循環粒子径は 1mm 以下である。

外部循環流動層方式の特徴を下記に、又、CFB の系統図を、図 7 に示す。

- ① 火炉内温度は流動床式外部熱交換器で熱交換し、粒子温度を 500～600℃ に低下させた後火炉内に循環させる粒子量で調節するので、燃焼特性に寄与する 1 次および 2 次空気の制御とは独立して行える。従って、多種燃料が容易に混焼出来、部分負荷性能も良好である。
- ② 廃棄物等の燃焼で高濃度の HCl を発生する場合でも外部熱交換器内へは火炉燃焼ガスの混入がほとんど無いため、外部煙道よりも外部熱交部に過熱器を設置することで高温・高効率化が可能となる。
- ③ 更に、850℃ 程度の均一な火炉温度を 4 秒程度保

表 3 CFB の実績

納入先 (運開年)	蒸発量 (t/h)	蒸気条件 (atg×℃)	燃料
日本セメント(株) 佐伯工場 ('89)	63	105×513	石炭 石油コークス
本州製紙(株) 釧路工場 ('90)	150	64×450	石炭 製紙スラッジ
日本セメント(株) 上磯工場 ('93)	180	105×541	石炭 石油コークス
日本製紙(株) 勇払工場 ('94)	260	140×550	石炭 製紙スラッジ
日本セメント(株) 埼玉工場 ('96)	178	105×541	石炭 石油コークス
宇部興産(株) 伊佐工場 ('97)	210	105×541	石炭 石油コークス

図 7 CFB の系統図

持することでダイオキシン類の発生を抑制する。

6. ごみ固形燃料（RDF）発電

現在最適発電方式として循環流動層ボイラによる RDF 発電方式を検討している。このボイラでは火炉全体にわたって、脱塩・脱硫・ダイオキシン抑制燃焼にとって理想的な 850℃ 付近の様な温度場と、高密度な小粒子による十分な反応時間が確保される環境負荷の極めて低い優れた方式であり、腐食分の存在しない流動層外部熱交換器で蒸気の過熱を行なえる。このボイラの採用と RDF を一ヶ所に集めて大容量化することで（図 8）一般の火力発電所なみの高い蒸気条件と発電効率とが得られる（表 4）。

表 4 RDF 発電プラントの総合エネルギー効率

ケース	発電出力 (MW)	ごみ処理量 (t/d)	RDF 製造量 (t/d)	RDF エネルギー 回収効率(%)	発電効率 (%)	発電端総合 エネルギー 効率 (%)	所内率 (%)	送電端総合 エネルギー 効率 (%)
20 MW 級	20	530	390	80.0	31.1	24.8	12.6	21.7
100 MW 級	100	2,450	1,650	84.9	36.8	31.2	10.2	28.1

図 8 RDF 発電システム例

7. 試験炉での燃焼試験

開発を支援するため、実機構成要素をすべて含んだ循環流動層試験炉にてごみ固形燃料の燃焼試験を行い、良好な燃焼安定性（石炭専焼時と同様の火炉内圧力・温度分布）および排ガス性状を確認した（図9および表5）。

表 5 バグフィルタ出口燃焼ガス分析

重金属類	O ₂	%	7.0
	SO ₂	ppm	<0.1
	NO _x	ppm	46 (12% O ₂)
	HCl	ppm	<2 (12% O ₂)
	HF	ppm	0.3 (12% O ₂)
	Cd, Tl, As, Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Sn, V	mg/Nm ³	<0.01(12% O ₂)
	Hg Sc, Tc		<0.01(12% O ₂) <0.05(12% O ₂)

参考資料

- 1) 塚田源一郎：一般廃棄物をめぐる現状と課題，PPM，1997/1

図 9 循環流動層試験炉

- 2) 橋詰博樹：最近の廃棄物処理関連技術の動向，PPM，1997/1
- 3) 高塚汎：未利用エネルギーとしての都市ごみ発電の最近の傾向，生活と環境，1994/5
- 4) 築井山信義，ごみ発電の高効率化に向けた意義について，地球環境，1997/5
- 5) 楠田恒雄：発電用燃料としての廃棄物固形化燃料（RDF）の可能性，地球環境，1997/5
- 6) 鍵谷司：ごみ固形燃料（RDF）の特性と今後の動向，地球環境，1997/5