

参考資料 1 高効率ごみ発電交付要件の設定条件

1. 目的

近年、地球温暖化問題への対処が強く求められ、平成 20 年 3 月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」においても地球温暖化防止にも配慮した施設整備を推進することとされている。¹⁾さらに本計画の中でごみ焼却施設の総発電能力の目標値として、2,500MW（平成 24 年度）が設定された。しかしながら現在稼動している焼却施設は発電設備を有している施設が 30%程度であり、また平均発電効率も 10.9%（平成 18 年度）と低レベルにとどまっている実情にある。²⁾従ってこの目標を達成するためには、高効率なごみ焼却発電技術の普及を図る必要がある。

発電効率は施設規模に依存することから、施設規模に応じてどの程度までの発電効率が得られるのかを把握しておく必要がある。そこで、ここでは施設規模毎に、発電効率向上の視点からプロセスパラメータや設備構成を最適化した場合に、現実的な技術レベルにおいて、どの程度の発電効率が得られるのかを検討した。³⁾

2. 発電効率に影響を与える因子

1) 発電効率について

ごみ焼却施設における発電効率は、一般に次のような式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{発電効率}(\%) &= \frac{\text{発電出力} \times 100(\%)}{\text{投入エネルギー}(\text{ごみ} + \text{外部燃料})} \\ &= \frac{\text{発電出力}(\text{kW}) \times 3600(\text{kJ/kWh}) \times 100(\%)}{\text{ごみ発熱量}(\text{kJ/kg}) \times \text{施設規模}(\text{t/日}) \div 24(\text{h}) \times 1000(\text{kg/t}) + \text{外部燃料発熱量}(\text{kJ/kg}) \times \text{外部燃料投入量}(\text{kg/h})} \end{aligned}$$

また、発電効率は、ボイラでの熱回収効率、発生した蒸気を発電へ利用できる率(割合)、タービン・発電機等の効率の積として表すこともできる。つまり、これらの効率に影響を与える因子が、発電効率へ影響する因子であるといえることができる。

$$\text{発電効率} = \text{熱回収率} \times \text{蒸気利用率} \times \text{発電システム効率}$$

2) 発電効率に影響を与える因子

発電効率に影響する因子としては、次のようなものが考えられる。(表 参 1-1)

表 参 1-1 発電効率に影響を及ぼす因子

発電方式	焼却発電（BTG方式） ガス化発電（GT、GE、燃料電池方式） RDF発電 コンバインド発電（スーパーごみ発電）
ごみ質	発熱量、塩素濃度等
施設規模	スケールメリット
熱回収率	燃焼空気比 エコノマイザ出口温度 排ガス循環の有無
蒸気利用率	白煙防止の有無 触媒用排ガス再加熱の有無 余熱利用の有無
発電システム効率	蒸気条件（温度、圧力） 復水器形式（空冷式、水冷式） 再生サイクルの有無
公害防止条件と排ガス処理方式	HCl、SO _x 除去方式（乾式、半乾式、湿式） NO _x 除去方式（触媒方式、無触媒方式）
排水処理条件	放流の可否（無放流、下水道放流）

3. 試算条件

第 18 回廃棄物学会研究発表会小集会「焼却施設におけるエネルギー回収能力増強等の施策による二酸化炭素排出量の削減効果の試算」において、300t/日（150t/24h×2 炉）の焼却施設でプロセスパラメータや設備構成等各種条件を変更した場合の、発電効率の試算が行われている⁴⁾。（概要については参考資料 2 を参照）その条件設定の考え方に基いて、発電効率を向上するための条件設定を行い、ここでの試算を行うこととした。設定条件を表 1-2 に示す。また、条件設定の考え方は下記である。

ごみ低位発熱量は、廃棄物学会で用いたとおり、全国平均として妥当と考えられるレベルの 8,800kJ/kg（2,100kcal/kg）とした。発熱量の過大な設定は実運転でタービン効率低下に繋がるため、処理実績での熱収支や年間変動のチェック等により適切な設定が必要である。

白煙防止は無しとして、蒸気をできるだけ発電のため使用することとした。

排ガス処理方式は乾式とした。湿式とした場合は、湿式出口排ガス温度は 60 程度となるため、排ガスを 200 程度まで再加熱してから触媒に導入する必要がある。乾式にくらべ排ガスの加熱にエネルギー（蒸気）が必要となるため、発電に使用できる蒸気量が減り、発電効率は 2～3%程度低くなる。排ガス処理方式を、湿式とするか乾式

とするかは、排ガス規制値により決まるものであり、地域条件によって決定されるものである。

蒸気条件は、高温高圧とするほどタービン効率が上昇する。ここでは、現在、ごみ焼却発電施設で最も一般的に採用されている 3MPaG × 300 、および、近年採用事例がでてきている 4MPaG × 400 とした。

空気比は、低くするほど、排ガス量が削減されてボイラ出口での排ガス持出し熱量が低減され、ボイラ効率が上昇する。ここでは、現状技術で可能な範囲で低い空気比とし、燃焼安定性を考慮し 200t/日以下規模では 1.5、200t/日を超える規模では 1.4 とした。

排水クローズドが条件となる場合、水バランスの関係から、減温塔で排水を消費する必要が生じる。そのため、ボイラ出口温度の設定を上げる必要が発生し、ボイラ効率が低下する。下水道放流の可否については、下水道設備の整備状況が関係する。ここでは、200t/日以下規模では無放流、200t/日を超える規模では、余剰排水を一部あるいは全量放流できるものと仮定し、ボイラ出口温度設定を、300 から 190 の間で設定した。

触媒は低温触媒を使用することとし、185 の排ガスを受入れることができるものとして、排ガス再加熱を不要とした。

復水器形式は基本的に空冷式とし、タービン排気圧を -86.6kPaG (0.15kg/cm²A) とした。水冷式を用いた場合は、さらに蒸気タービンの排気圧力を低下させることができるため、発電効率を向上させることができる。しかし、水冷式復水器は冷却水の確保、排水の放流先の確保等の問題があり、採用できる立地条件が限られる。

試算のベースとしたプロセスフローは図 参 1-1 のとおりである。

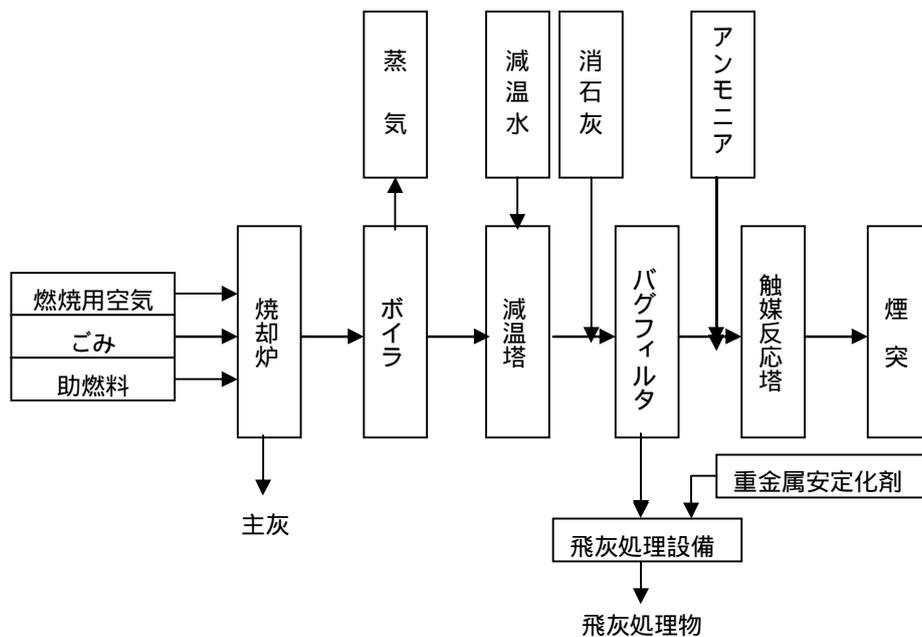


図 参 1-1 プロセスフロー

4. 試算結果

種々の発電効率化のための施策（低空気比燃焼、高温高压化、低温エコノマイザ、低温触媒等）を適用した場合の発電効率の試算結果と、併せて実績施設の発電効率をプロットしたものを、図 参 1-2 に示す。

表 参 1-2 試算条件および試算結果一覧

施設規模	単位	100	150	200	300	400	600	1000	1800	100	150	200	300	400	600	1000	1800	1000	1800
発電効率向上のための施策		白煙防止なし 高効率乾式処理+低温触媒 発電の実施(300クラス)									白煙防止なし 高効率乾式処理+低温触媒 高温高压化(400クラス) 低温エコノマイザ 水冷復水器								
低位発熱量	kJ/kg	8,800																	
空気比		1.5				1.4					1.5				1.4				
排ガス温度		190									185(成り行き)								
ボイラ出口		300	275	250	220					300	275	250	220						
バグ入口																			
触媒入口																			
発電システム																			
蒸気条件																			
圧力	MPaG					3									4				
温度						300									400				
タービン型式		復水タービン				抽気復水タービン					復水タービン				抽気復水タービン				
抽気段数	段	-				1					-				1				
タービン排気圧	kPaG	-				-86.6					-				-86.6				
公害防止条件																			
HCL	ppm	50																	
SOx	ppm	50																	
NOx	ppm	50																	
DXI	ng-TEQ/m3N	0.1																	
白煙防止	×%	なし																	
下水道放流		なし				あり					なし				全量放流				
試算結果																			
発電量	kw	1,300	2,100	3,000	5,000	7,000	11,000	19,600	35,600	1,500	2,400	3,600	6,000	8,500	13,300	23,300	43,300	25,800	47,000
発電効率	%	12.8	13.7	14.7	16.4	17.2	18.0	19.2	19.4	14.7	15.7	17.7	19.6	20.9	21.8	22.9	23.6	25.3	25.6

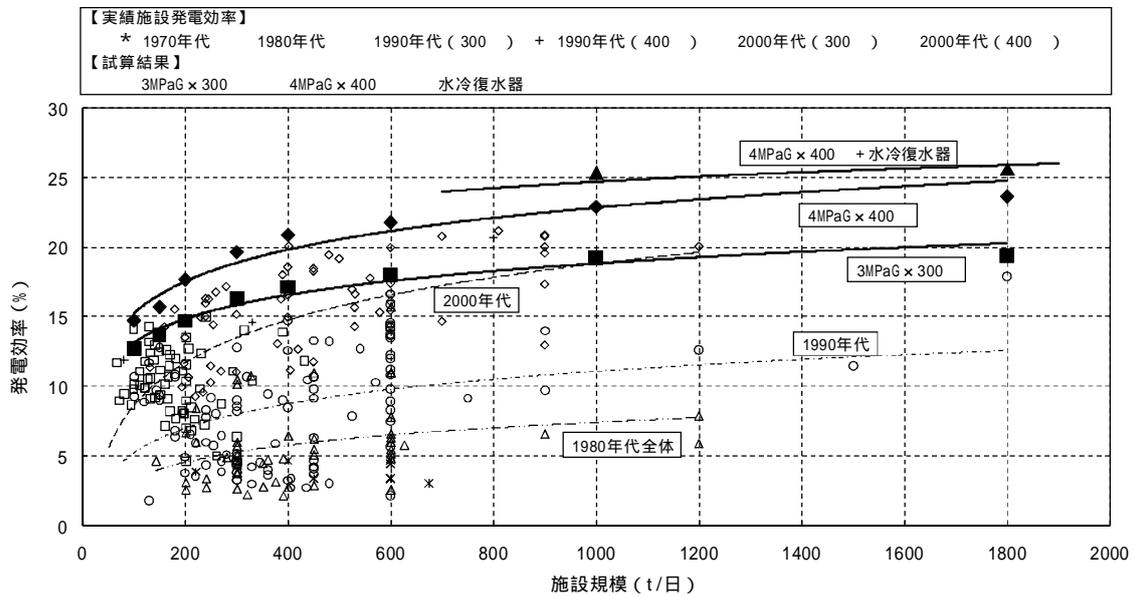


図 参 1-2 ごみ焼却施設の発電効率実績と試算結果

注) 発電効率データは、環境施設 No.107 廃棄物発電の行方 13~20 ページに記載の数値をベースとし、記載の数値の見直しが必要なものについては、メーカーヒアリング等に基づき修正5)。なお、集計にあたり、RDF 発電、スーパーごみ発電、産廃焼却施設、その他特殊条件の施設については除外した。

図 参 1-2 より、1980 年代、1990 年代に建設された施設は、2000 年代の施設に較べ、発電効率が低いことがわかる。これら 1980 年代、1990 年代の施設の建て替え時に発電効率

を向上することで、大幅に国内のごみ発電量の増加に寄与できると思われる。

なお、試算結果は、公害防止条件、白煙防止の有無、排水の下水道放流の可否等の地域条件に左右される条件を含めて、理想的条件がそろった上で達成できる数値となっていることに留意が必要である。

また、この試算において適用した発電高効率化のための施策において、低温エコノマイザの耐久性、低温触媒の寿命等については、今後、長期にわたる運転を通じてより一層の安定運転のための設計ノウハウを蓄積していくことでより経済的なシステムを追求していくことが求められる。さらに新技術の積極的な取組みより一層の高効率化を目指すことが期待される。

5. 発電設備増強による総発電能力向上効果の検証

環境省の一般廃棄物処理実態調査結果の施設整備状況(平成18年度版)をもとに、全国のごみ処理施設を対象に施設規模と発電効率別の施設数分布と発電能力(発電機定格合計)分布を整理した結果を表1-3及び表1-4の上半分に示す。⁶⁾

現状では発電効率5%以下または発電設備無しの施設が多く、総発電能力向上には既存施設の発電効率アップまたは高効率発電施設の新規整備が必要なこと分かる。

総発電能力目標値2,500MWに向けて、下記2ケースのアプローチで試算した結果を両図の下半分に示している。

(1) 全ての施設の発電効率を5%ずつ向上するケース(1)(表参1-3)

(2) 現状、発電設備無しの施設を全て高効率発電化するケース(2)(表参1-4)

両ケースとも大幅に能力アップするものの、ケース(1)ではまだ2,500MWに満たず、ケース(2)では超えている。この結果からみると現在、発電設備無しの施設に高効率発電設備を整備することが重要であると言えよう。特に、100~200t/日及び200~500t/日規模の施設更新時に、それぞれ15%、20%レベルへの高効率化を図ることが有効である。

6. まとめ

廃棄物分野における温室効果ガスの排出量のうち、ごみ焼却による排出量が多くを占めるが、ごみ発電は発電所等における化石燃料の節約を通じて温室効果ガス排出量削減に寄与していると言えよう。従って、高効率発電の導入促進はごみ焼却施設における温暖化対策としての切り札になると期待されている。そのため環境省は平成21年度より3R交付金の交付率アップのメニュー(通常1/3のところを1/2にする)による支援策を打ち出したところであり、多くの自治体がこの施策に後押しされ施設更新時に高効率発電を採用されることが望まれる。

施設数	施設規模(t/日)					627	発電機定格合計(MW)	施設規模(t/日)					1588.307	
	0~100	100~200	200~500	500~900	900~			0~100	100~200	200~500	500~900	900~		
効率先%	0	85	174	77	3	2	0	0.900	2.500	6.290	35.500	6.750	126	1462
	~5	0	6	32	10	0	~5	0.000	6.330	46.602	27.310	0.000		
	~10	4	14	51	10	1	~10	3.750	30.690	107.942	53.710	4.200		
	~15	4	32	48	18	5	~15	4.750	63.840	238.663	195.690	121.500		
	~20	1	1	16	19	5	~20	1.800	2.050	119.050	280.940	139.400		
	~25	0	3	5	0	1	~25	0.000	9.850	46.300	0.000	32.000		
	25~	0	0	0	0	0	25~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		94	230	229	60	14		11,200	115,260	564,847	593,150	303,850		

施設数	施設規模(t/日)					627	発電機定格合計(MW)	施設規模(t/日)					2341	
	0~100	100~200	200~500	500~900	900~			0~100	100~200	200~500	500~900	900~		
効率先%	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	312	2029
	~5	85	174	77	3	2	~5	0.000	183.570	112.136	8.193	0.000		
	~10	0	6	32	10	0	~10	0.000	13.153	67.728	53.710	0.000		
	~15	8	46	51	10	1	~15	9.500	91.770	253.579	108.717	24.300		
	~20	1	1	64	37	5	~20	1.800	2.050	476.200	547.094	139.400		
	~25	0	3	5	0	6	~25	0.000	9.850	46.300	0.000	192.000		
	25~	0	0	0	0	0	25~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		94	230	229	60	14		11,300	300,393	955,944	717,713	355,700		

1段UP 15%上限	1段UP 15%上限	1段UP 20%上限	1段UP 20%上限	1段UP 25%上限	185 25%	568 75%	増加分 753	増加率 147%
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	------------	------------	------------	-------------

表 参 1-3 施設規模と発電効率別の施設数及び総発電能力分布(1)

施設数	施設規模(t/日)					627	発電機定格合計(MW)	施設規模(t/日)					1588.307	
	0~100	100~200	200~500	500~900	900~			0~100	100~200	200~500	500~900	900~		
効率先%	0	85	174	77	3	2	0	0.900	2.500	6.290	35.500	6.750	126	1462
	~5	0	6	32	10	0	~5	0.000	6.330	46.602	27.310	0.000		
	~10	4	14	51	10	1	~10	3.750	30.690	107.942	53.710	4.200		
	~15	4	32	48	18	5	~15	4.750	63.840	238.663	195.690	121.500		
	~20	1	1	16	19	5	~20	1.800	2.050	119.050	280.940	139.400		
	~25	0	3	5	0	1	~25	0.000	9.850	46.300	0.000	32.000		
	25~	0	0	0	0	0	25~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		94	230	229	60	14		11,200	115,260	564,847	593,150	303,850		

施設数	施設規模(t/日)					627	発電機定格合計(MW)	施設規模(t/日)					2666	
	0~100	100~200	200~500	500~900	900~			0~100	100~200	200~500	500~900	900~		
効率先%	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	571	2095
	~5	0	6	32	10	0	~5	0.000	6.330	46.602	27.310	0.000		
	~10	4	14	51	10	1	~10	3.750	30.690	107.942	53.710	4.200		
	~15	89	206	48	18	5	~15	105.688	410.970	238.663	195.690	121.500		
	~20	1	1	93	22	5	~20	1.800	2.050	691.978	325.299	139.400		
	~25	0	3	5	0	3	~25	0.000	9.850	46.300	0.000	96.000		
	25~	0	0	0	0	0	25~	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		94	230	229	60	14		111,238	459,890	1,131,485	602,009	361,100		

発電効率0% (発電設備なし)の施設が、施設更新して 10~15% の発電を行った場合	10~15%	10~15%	15~20%	15~20%	20~25%	445 41%	633 59%	増加分 1077	増加率 168%
--	--------	--------	--------	--------	--------	------------	------------	-------------	-------------

表 参 1-4 施設規模と発電効率別の施設数及び総発電能力分布(2)

【参考文献】

- 1) 環境省：廃棄物処理施設整備計画（平成 20 年 3 月 25 日閣議決定）
- 2) 環境省：廃棄物処理技術情報、一般廃棄物処理実態調査結果、一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 18 年度実績）について（平成 20 年 11 月 14 日現在）
- 3) (財) 日本環境衛生センター：平成 20 年度技術管理者等スキルアップ研修会テキスト、一般廃棄物関係（第 1,2 分科会）
- 4) 廃棄物学会廃棄物焼却研究部会：地球温暖化防止における都市ごみサーマルリサイクルの役割の現状と可能性、第 18 回廃棄物学会研究発表会小集会発表資料（2007）
- 5) 篠田淳司：検証・廃棄物発電の行方、環境施設、No.107、2-20 ページ（2007）
- 6) 環境省：廃棄物処理技術情報、一般廃棄物処理実態調査結果、施設整備状況（平成 18 年度版）