【 論 文 】

低炭素・循環型社会に対応した廃棄物焼却施設の
ベンチマーキング研究

鈴木 和 将*・大 畠 誠**・川 本 克 也***

【要 旨】 近年、ごみ焼却施設は、公衆衛生の向上、環境保全といった目的だけでなく、地球温暖化防止、資源・エネルギー消費の抑制等、低炭素・循環型社会に果たす役割が強く求められている。本研究は、ごみ焼却施設の低炭素・循環型社会への適合性を評価する手法の開発を目的として、15の焼却施設に対してLCA等の詳細調査を行い、評価指標の検討を行った。その結果、評価指標として、投入されるエネルギー量、CO₂排出量、搬出残渣量等を抽出した。また、施設から外部へ供給する電気と熱という質の異なるエネルギーを同じ尺度で評価できる、外部へのエネルギー供給率を指標として提案した。さらに、これらの指標を用いて、発電効率の高い97焼却施設に適用評価し、ベストプラクティスである焼却施設の実態を把握するとともに、ベンチマーキングの基礎情報を得ることができた。また、これらの結果をわかりやすく示すことができるスコアリングおよび表示方法を提示した。

キーワード：低炭素社会、循環型社会、廃棄物焼却施設、LCA、ベンチマーキング

1. は じ め に

現在、地球温暖化、資源の涸渇等の地球環境問題が顕在化する中で、低炭素社会および循環型社会の実現に向けた社会動向が加速し、様々な取り組みが行われている¹⁾。そのような状況の中、従来、公衆衛生の向上、生活環境保全を目的としていたEnd of pipe型施設である廃棄物焼却施設においても、低炭素社会および循環型社会に果たす役割が強く求められている。1990年代後半に、わが国においてダイオキシン類が大きな社会問題となり、主要な発生源として考えられた廃棄物焼却施設に大きな変革をもたらした。従来のストーカ型および流動床型焼却炉に加えて、灰溶融炉やガス化溶融炉といった次世代型の廃棄物焼却施設の開発・導入が進め

られた^{2,3)}。これらの施設は、溶融工程において1,300～1,400℃の高温で溶融することにより、ダイオキシン類の排出を大幅に削減できるものである。これらの次世代型の焼却施設が導入されて10年以上経過した今、従来の焼却炉に加えて、灰溶融炉およびガス化溶融炉といった様々なタイプの焼却施設が、ダイオキシン類をはじめとする各種有害物質に対して厳しい排ガス・排水基準値をクリアしながら運転管理を行っている。しかしながら、これらの各焼却施設に対して、排ガス・排水等の基準値は存在するものの、運転管理において、低炭素および循環型社会を実現するための目指すべき具体的な指標値等は存在しない。そのため、今後、これら廃棄物焼却施設において、低炭素および循環型社会に向けた目指すべき水準等を示すことができる指標の開発が重要な課題となってくる。

企業においては、経営改善の一つの手法としてベンチマーキングが用いられてきた⁴⁾。ベンチマーキング手法とは、他の企業の優れた事例と比較して、その優れた状態を目指して経営改善を行っていくもので、その設定された目標や指標が「ベンチマーク」である。ベンチマーキング手法は、企業の経営改善だけでなく行政サービスにも適用されており、下水道事業に適用した例が報告さ

原稿受付 2011. 12. 21 原稿受理 2012. 5. 11
J-STAGE 早期公開論文 (2012. 8. 31 早期公開)

* 埼玉県環境科学国際センター

** JFE テクノリサーチ(株) 技術情報事業部調査研究第2部

*** 御国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター

連絡先：〒347-0115 埼玉県加須市上種足914

埼玉県環境科学国際センター 鈴木 和将

E-mail: suzuki.kazuyuki@pref.saitama.lg.jp

れている^{5,6)}。また、廃棄物処理事業において、廃棄物行政に対するベンチマーキングの適用意義とその課題について、阿部らが整理しており⁷⁾、山川は、一般廃棄物会計基準に基づくベンチマーキングの可能性について検討している⁸⁾。これまで廃棄物焼却施設において、施設の運転管理は、各自治体または一部事務組合で独自に行われており、他自治体との比較等は行っていない。そのため、真に効率的、効果的な運転管理が行われているのか疑問である。低炭素社会および循環型社会に適応した焼却施設への改善策立案に向けては、ベンチマーキングの導入は、重要なツールになりうると考えられる。具体的には、自治体の焼却施設間で比較しうるベンチマーク（基準、指標）を設定することにより、低炭素および循環型社会への改善の道標とすることができる。

そこで、本研究では、低炭素社会および循環型社会の実現に向けた廃棄物焼却施設のベンチマーキングのための基礎情報を得ることを目的とした。まず、従来型の焼

却施設、灰溶融炉を備えた焼却施設およびガス化溶融施設を含む15の一般廃棄物焼却施設の運転管理データ等の詳細な情報を収集・解析して、各施設におけるマテリアル、エネルギーおよび運転管理といった多角的な面から特性を把握するとともに、ベンチマーク指標の検討を行った。さらに、一般廃棄物の焼却施設で発電効率11%以上（国内の発電施設を有する一般廃棄物焼却施設の平均発電効率11.2%）、竣工年度平成12年度以降の施設97を対象として、提案した各ベンチマーク指標を用いて、低炭素・循環型社会に向けた焼却施設のベンチマーキングの試行を行った。

2. 調査研究方法

2.1 調査施設および調査内容・方法

焼却施設の特性の把握のために調査を行った対象施設の概要を表1に示す。対象施設は、従来型の焼却施設お

表1 焼却施設の概要

記号	稼働開始年	処理規模 (ton/d)	設計ごみ質	焼却施設			発電出力 (kW)	蒸気条件	余熱利用
			(kJ/kg)	焼却炉	灰溶融炉	ガス化溶融炉			
A	2002年11月	600 (300 ton/d×2)	9,600 (7,100-12,100)	ストーカ式	電気式		13,200	3.8 MPa 400℃	場内冷暖房 スポーツ施設, 病院・福祉施設等
B	2005年3月	250 (125 ton/d×2)	5,860 (3,349-8,372)	ストーカ式	電気式		2,500	4.0 MPa 350℃	場内冷暖房 コミュニティ施設
C	2003年9月	125 (62.5 ton/d×2)	7,535 (4,186-10,465)	ストーカ式	燃料式		・	2.35 MPa 260℃	場内プロセス用, IDF 駆動用
D	1999年4月	540 (180 ton/d×3)	9,640 (6,290-11,300)	ストーカ式			9,000	2.7 MPa 300℃	場内冷暖房 スポーツ施設, 福祉施設
E	1991年9月	405 (135 ton/d×3)	7,120 (4,190-11,300)	ストーカ式			1,800	2 MPa 252℃	場内冷暖房 スポーツ施設, 集会所, 公民館
F	2000年11月	315 (105 ton/d×3)	不明	ストーカ式			1,800		場内冷暖房 スポーツ施設, 温浴施設
G	1999年3月	195 (97.5 ton/d×2)	7,160 (5,400-8,920)	ストーカ式			・		場内給湯, 冷暖房
H	1999年6月	400 (200 ton/d×2)	10,100 (7,120-13,400)	流動床式			7,800	3.14 MPa 300℃	場内冷暖房 スポーツ施設, 病院, 福祉施設等
I	2002年11月	219 (73 ton/d×3)	8,372 (5,442-11,533)			シャフト式	2,470	2.5 MPa 300℃	場内冷暖房
J	2004年3月	207 (69 ton/d×3)	7,950 (5,000-11,700)			流動床式	3,000	4.0 MPa 400℃	場内冷暖房 温浴施設
K	2003年3月	260 (130 ton/d×2)	6,600 (4,000-10,800)			キルン式	4,500	3.83 MPa 400℃	場内冷暖房
L	2003年12月	600 (200 ton/d×3)	9,640 (5,870-12,600)	ストーカ式	電気式		15,200	3.93 MPa 400℃	場内冷暖房 屋内プール施設, 福祉施設
M	2001年4月	900 (450 ton/d×2)	9,637 (5,862-13,398)	ストーカ式			32,000	4.0 MPa 350℃	場内冷暖房 スラッジセンター (蒸気)
N	2007年4月	720 (240 ton/d×3)	10,884 (6,279-12,558)			シャフト式	23,500	4.0 MPa 400℃	場内冷暖房 S 環境センター
O	2007年3月	405 (135 ton/d×3)	8,400 (5,400-13,000)			流動床式	6,800	3.92 MPa 400℃	場内冷暖房 病院, 老人福祉センター

* 施設CおよびGは発電を行っていない

よび灰溶融施設を備えた焼却施設で、各々に対して大型、中型および小型の施設の A～H の 8 施設を選定した。また、ガス溶融施設は、シャフト炉、流動床式、キルン式の 3 方式の I～K 施設を選定した。さらに、発電効率 20% 以上であり、この点でいわば先端的な廃棄物焼却施設（トップランナー）の L～O の 4 施設を調査対象施設とした。これら計 15 の対象施設に対して、各施設を訪問して、運転管理および環境分析データの供出を受け

た。データは、A～K 施設においては、平成 18 年 4 月から平成 21 年 3 月の 3 年間のデータ、L～O 施設においては、平成 19 年 4 月から平成 22 年 4 月の 3 年間のデータを収集した。これら調査項目の内容は表 2 に示す。具体的な稼働実績データが得られたが、個々のデータをそのまま掲出することは行わず、データをもとに、ごみ処理単位量あたりの数値として表示するか、またはデータ相互の関係を解析し表示した。

表 2 調査項目の内容

カテゴリー	項 目
基本情報	設置主体、設計・施行メーカー、建設年度、稼働開始年月、施設規模、炉形式、炉数、運転方法、施設建設費、発電（発電の有無、発電設備容量、発電条件、実発電量（平均）、発電端効率
受入ごみ属性	搬入ごみ量、処理ごみ量、ごみ質、計画目標年次、計画目標年次人工
環境保全性	公害防止条件と実績値（ばいじん、HCl、SOx、NOx、CO ダイオキシソ類）、排ガス・排水量、スラグ・溶融処理物溶出・含有試験値
資源・エネルギー性	資源・エネルギーの投入量（電力、用水、補助燃料、副資材、薬品）、資源回収量（スラグ、メタル、鉄、アルミ、その他）、飛灰処理物量、残渣量、スラグ・メタル等の再利用方法、省エネルギーに対する取り組み
維持管理状況	運転体制、保守点検内容、補修内容、定期検査頻度、維持管理費
処理システム	自己熱溶融に必要な最低低位発熱量、ガス化炉・溶融炉運転因子（温度、炉内滞留時間、空気比）、前処理、飛灰のもとし
安定性・安全性	稼働日数、瑕疵担保期間、保障項目、爆発・火災、非常時の安全対策内容

表 3 アンケート調査票

自治体名		部署名		施設名	
ご記入者氏名（連絡先）		電話		E-mail	

項目	アンケート項目	回答	単位	備考	特殊な条件などの記載欄
基本データ	年間ごみ処理量		ton/年	年平均値	
	ごみの低位発熱量		kJ/kg	湿ごみベース	
	プラスチック割合		%	湿ごみベース 合成繊維のデータがある場合は右欄に。	
	繊維くず割合		%		
施設評価	エネルギー面 インプット	買電量	kWh/年		
		灯油年間使用量	L/年	ton 表記の場合はその旨、記載ください。	
		A 重油年間使用量	L/年	ton 表記の場合はその旨、記載ください。	
		都市ガス年間使用量	m ³ /年		
		プロパン年間使用量	m ³ /年		
		コークス年間使用量	ton/年		
		石灰石年間使用量	ton/年		
	アウトプット	売電量	kWh/年	同一敷地内でも焼却施設からの送電量を含む	
		外部供給熱量	MJ/年	蒸気や温水などでの工場外への供給量 GJ/年で回答される場合はその旨を記載してください	
運転管理特性	マテリアル面	外部搬出焼却灰	ton/年	焼却残渣を含む。 最終処分量または灰溶融外部委託量	
		飛灰固化物	ton/年	溶融飛灰固化物を含む	
		年間運転コスト	円/年	人件費および運転委託費、点検・補修費用役費（売電収入は引き算） 飛灰・焼却灰処分費（スラグ等の売却費は引き算）	
		運転人員	人	工場の運転に係る管理職員も含める 灰溶融施設がある場合はその運転人員も含める 清掃業務や計画に関する職員は除く	

また、焼却施設においてベンチマーキング手法を適用するために、一般廃棄物焼却施設（RDFの焼却は除く）のうち発電効率11%以上、さらに竣工平成12年以降の102施設に対してアンケート調査を行った。アンケート項目内容は表3に示す。データは、平成21年4月から平成22年3月の1年間の運転管理データである。アンケート回答率は100%であったが、運転管理データが得られなかった等の理由で、5焼却施設を除く97施設のデータを対象として得られた年間データ（平成21年4月から平成22年3月の1年間）を用いて解析を行った。施設のコスト評価については議論のあるところではあるが、本研究は焼却施設の運転管理に着目しているため、施設の建設コスト等は評価対象に含めず、運転管理費のみを対象に評価を行った。さらに、施設内にリサイクル施設、処分場、環境教育施設等がある場合の、人件費や用役費等の配分方法については、一括管理されていて施設ごとに分割できないものは除外して、焼却施設における人数、用役費が明らかな工場のデータのみを用いて解析を行った。

廃棄物焼却施設からの外部へのエネルギー供給は売電による電力と温水等の熱がある。これまでは別々の指標として評価されていたが、エネルギー面から焼却施設を評価する際、単一の指標を用いることができれば、情報をよりわかりやすく伝えることができる。単一指標として電力を熱量換算し、外部供給熱へ単純に加算したものを用いることができると考えられる。しかし、外部供給熱は蒸気のエネルギーがそのまま利用できるのに対して、電力は蒸気のエネルギーを蒸気タービンで電力に変換しているため、外部供給熱に比較して低い評価になってしまう。そこで、外部供給熱をタービンで電力に変換すると仮定して、電力と同等の熱量に換算して評価を行うことにする。ただし、外部供給熱量を電力に換算する際に計算されるエネルギー量は、タービンの性能に依存するため、本研究では、廃棄物焼却施設で一般に採用されている蒸気タービン（蒸気条件入口：295℃、2.8 MPa、出口：0.3 ata）を仮定して換算係数50.2 kWh/GJを設定し、施設外へのエネルギー供給率を次式により算出した。

外部へのエネルギー供給率(%)

$$= \frac{\text{売電量} \times \frac{0.0036}{(\text{kWh/年}) \times (\text{GJ/kWh})} + \frac{\text{外部供給熱}}{(\text{GJ/年})} \times \frac{50.2}{(\text{kWh/GJ})} \times \frac{0.0036}{(\text{GJ/kWh})}}{\text{ごみ熱量} + \text{外部燃料}(\text{GJ/年})} \times 100 \quad (1)$$

2.2 ライフサイクルインベントリ（Life Cycle Inventory, LCI）分析

廃棄物焼却施設A～Kの11施設に対して、温室効果ガス（CO₂）やエネルギー消費の定量化を行うために、LCI分析を行った。本研究におけるLCIシステム境界を図1に示す。システム境界は、廃棄物および処理残渣の収集運搬過程は含まず、焼却施設の運転管理工程のみとした。LCI分析における機能単位はごみ焼却量1 tonとした。LCI分析は、平成21年度のデータを用いて評価を行った。ただし、調査対象施設の中には発電や外部熱供給を行っている施設があり、これらの発電や熱供給は、間接的にごみ焼却に係るエネルギー消費量やCO₂排出量を削減する効果があるため、これらを定量的に評価する必要がある。そこで、本解析においてはAvoided Impact法⁹⁾を用いて評価を行った。また、鉄やアルミニウムの回収再利用についても、同様にAvoided Impact法を用いて評価を行った。本LCI解析において、表4に示すデータを用いてAvoided Impact法により副産物アロケーションを行った。

このLCI分析においては、計算用ソフトウェアとしてTEAM（エコビラン社）を用いて、アップストリームにおけるバックグラウンドデータとしては、同社のデータベースDEAMをベースとして使用した。また、事業用電力のLCIについては、(社)産業環境管理協会が

図1 評価範囲（点線内）

表4 副産物の環境負荷配分（アロケーション）計算に使用したデータ

副産物	等価物	環境負荷	データ根拠
売電	事業用発電	425.32 g-CO ₂ /kWh	日本LCAプロジェクトDB
場外熱供給	重油炊きボイラーによる蒸気	72.764 g-CO ₂ /MJ	TEAM/DEAM
鉄回収	電炉鋼スクラップ	409.1 g-CO ₂ /kg-鉄	JFEテクノロジーDB
アルミ回収	アルミスクラップ	293.5 g-CO ₂ /kg-アルミ	TEAM/DEAM

管理している LCA プロジェクト DB（経済産業省所管による開発）のデータを使用した。

LCI 分析の CO₂ 排出量の算出に際しては、ごみのバイオマス由来炭素を含めて計算を行った。

3. 結果および考察

3.1 焼却施設における詳細調査結果および評価指標

3.1.1 固形物収支

マテリアル面から施設を評価するために、各施設の計測データを固形物収支の観点から解析、整理した。結果を表 5 に示す。ごみピットクレーンで計量されたごみが、焼却設備に供給され、燃焼工程および排ガス処理工程等を経て、焼却灰、飛灰、スラグおよびメタル等の形態として施設の系外へ排出される。これら系外へ排出される固形物量から、ごみ焼却量に対する比率すなわち生成率を算出し評価した。ごみ焼却量に対する焼却灰・残渣の

生成率をみると、ストーカ式焼却炉 D, E, F, G で 9.3~10.2%、流動床式焼却炉 H で 6.0%、流動床式ガス化溶融炉 J, O で 2.1 および 2.4%、灰溶融炉が設置されている焼却施設 B, C で 1.7 および 2.9% であった。ストーカおよび流動床式焼却炉に比べて、流動床式ガス化溶融炉および灰溶融炉付設施設は、この焼却灰・残渣生成率が小さかった。流動床式ガス化溶融炉では、ごみ中に含まれていた不燃物が炉の底部から砂等といっしょに排出され、砂が分けられた後、磁選機により鉄等が回収され、不燃残渣として系外へ排出される。また、灰溶融炉付設施設では、灰溶融炉が定期点検等により休炉時に焼却施設から排出される焼却灰が最終処分場へ持ち込まれ、そのため他の施設と比較して生成率が小さくなると考えられた。

次に、飛灰・溶融飛灰生成率をみると、ストーカ式焼却炉 D, E, F, G および流動床式焼却炉 H で 2.1~3.2%、シャフト式ガス化溶融炉 I, N で 2.7, 4.5%、流動

表 5 焼却施設における固形物収支

施設	焼却量 * (ton/月)	焼却灰・残渣		飛灰・溶融飛灰		スラグ		メタル・金属		備考
		(ton/月)	生成率 (%)	(ton/月)	生成率 (%)	(ton/月)	生成率 (%)	(ton/月)	生成率 (%)	
A**	12,038 (1,962-17,990)			129 (0-370)	1.1	694 (0-1,447)	5.8	22 (0-78)	0.18	メタル
B	3,583 (2,137-5,061)	61 (29-106)	1.7	36 (17-58)	1.0	218 (0-355)	6.1	2 (0-16)	0.07	メタル
C	1,637 (15-3,067)	47 (7-184)	2.9	719 (111-947)	5.4	59 (0-153)	3.6	5 (0-42)	0.28	鉄
D	10,880 (8,988-13,436)	1,029 (608-1,225)	9.5	323 (233-483)	3.0					
E	8,106 (6,488-12,167)	754 (487-1,018)	9.3	229 (144-283)	2.8					
F	6,765 (3,164-9,209)	690 (364-945)	10	155 (56-204)	2.3			37 (19-61)	0.55	鉄
G	2,907 (1,436-3,930)	279 (146-401)	9.6	61 (32-88)	2.1					
H	8,977 (287-13,208)	538 (146-769)	6.0	289 (68-462)	3.2					
I	5,077 (4,132-5,967)			139 (113-181)	2.7	540 (33-1,064)	11	710 (56-3,440)	14	
J	3,366 (1,045-5,218)	94 (33-147)	2.8	101 (26-154)	3.0	127 (10-202)	3.8	23 (10-36)	0.69	鉄 + アルミニウム
K	3,851 (1,789-5,306)			31 (14-51)	0.81	275 (155-408)	7.1	38 (15-67)	0.99	メタル + 鉄
L	12,589 (8,768-16,902)			123 (0-249)	0.98	609 (60-947)	4.8	99 (0-165)	0.79	メタル + 鉄
M	18,123 (3,125-28,104)	3,395 (514-5,614)	19					110 (20-228)	0.61	鉄 + アルミニウム
N	13,243 (4,188-16,943)			594 (252-749)	4.5	1,272 (90-1,978)	9.6	185 (84-248)	1.4	メタル
O	6,932 (1,370-9,633)	146 (43-282)	2.1	423 (138-625)	6.1	325 (134-536)	4.7	37 (7-66)	0.53	鉄 + アルミニウム

* 月間焼却量は、運転の有無にかかわらず 12 カ月で除して焼却量を算出した

** A 施設は、他施設の焼却灰を受け入れて灰溶融を行っているため、A 施設の飛灰・溶融飛灰およびスラグ量は受入れ比率で按分して推計した

式ガス化溶融炉 J, O で 2.6, 6.1%, キルン式ガス化溶融炉 K で 0.81%, 灰溶融炉付施設 A, B, C, L で 0.98~5.4% であった。灰溶融炉付施設では、焼却施設から排出される灰および飛灰は溶融炉で溶融されるため、灰溶融炉後段の排ガス処理施設で捕捉される溶融飛灰のみが排出されることとなっており、他の施設と比較して生成率が小さかったが、その灰溶融施設の中でも施設 C は生成率が高い。これは、施設 C では、ストーカ式焼却炉の後段の 2 段目のバグフィルターで捕集される飛灰と灰溶融炉の飛灰の両者を最終処分場で埋立てるためである。最終処分場の延命化という観点から、これら焼却灰、焼却残渣、飛灰等の最終処分場へ搬出される量が、マテリアル面で施設を評価する指標になると考えられる。この最終処分場へ搬出される量は、ごみ焼却量単位あたりの搬出量（湿基準）として算出する。

さらにスラグ生成率でみると、灰溶融炉付施設 A, B, C, L で 3.6~6.1%, シャフト式ガス化溶融炉 I, N で 10.6, 9.6%, 流動床式ガス化溶融炉 J, O で 3.3, 4.7%, キルン式ガス化溶融炉 K で 7.1% であった。シャフト式ガス化溶融炉のスラグ生成率が他の施設に比較して高いのは、溶融熱源および還元剤としてのコークス、および塩基度調整剤としての石灰を溶融炉へ投入するためと考えられる。これら廃棄物から生成したスラグは、路盤材、アスファルト骨材、埋め戻し材等として利用されている。

スラグは再利用されているため、本論文では搬出残渣量にスラグは含めていない。しかしながら、覆土材として最終処分場に埋立てられるスラグもあり、このようなスラグをどのように評価するか、今後検討が必要である。

さらにメタル・金属生成率をみると、シャフト式ガス化溶融炉の値が他の施設に比較して高い。しかしながら、シャフト式ガス化溶融炉から取り出される溶融メタルは、鉄を主成分とするもののそれ以外に Si, Cu などを含んだ合金鋼であり、有効利用の用途として重機ウェイトバランス材、低級鋳物材、製鉄材料等と利用が限定される。他の形式のようにプロセス前段で選別・回収する鉄と比較する場合、再生利用用途の有無だけでなく質を考慮したうえで焼却施設の評価を行うことが重要となる。各焼却施設で回収された溶融メタル、鉄、アルミニウムは金属再生事業者や電炉メーカー等に売却されており、再生利用材の質はこの売却益に反映されることから、質の評価はコストの評価で替えることが可能となる。

3.1.2 エネルギー特性

エネルギー面から焼却施設を評価するために、焼却施設の計測データをエネルギー収支の観点から解析、整理した。結果を表 6 に示す。焼却施設において、ごみ、助

燃等の用途で使用される灯油、都市ガスなどの化石燃料および施設の運転に必要な電気がエネルギーとして投入され、焼却施設からは燃焼により電気や熱という形で系外へエネルギーが供給される。

収支計算に際し、化石燃料については熱量に換算して比較を行った。さらに、ごみ処理量あたりの熱量として換算した。投入された化石燃料についてみると、シャフト式ガス化溶融炉 I, N とキルン式ガス化溶融炉 K の投入エネルギー量が 1.7, 1.7, 1.8 GJ/ton-ごみと他の焼却施設と比較して高かった。シャフト式ガス化溶融炉 I, N ではコークス使用量が多かった。さらに、燃料式灰溶融炉付施設 C で燃料として灯油およびコークスが使用されており、投入エネルギー量は 0.7 GJ/ton-ごみと高かった。また、流動床式ガス化溶融炉 J においては都市ガスおよび灯油が使用されており、投入エネルギーは 0.7 GJ/ton-ごみと同程度に高かった。一方、ガス化溶融炉や灰溶融炉付施設と比較して、ストーカ式焼却炉 D, E, F, G, M および流動床式焼却炉 H の化石燃料由来のエネルギー投入量は低かった。次に買電量についてみると、発電していない施設 C, G および電気式灰溶融炉を有する施設 A, B のエネルギー投入量は、263, 131, 92, 161 kWh/ton-ごみと高かった。施設 L は、電気式アークプラズマ炉を有しているものの、発電量が多いことから買電量が低く抑えられていると考えられる。この投入された電力と化石燃料を合わせて投入エネルギーとして評価するために、電力を熱量として換算して（ただし、送電時の損失は考慮せずに、受電時点での換算として 1 kWh=3,600 kJ を用いた）、投入エネルギー量を算出した結果を図 2 に示す。この値は、灰溶融炉付施設の A, B, C およびガス化溶融炉 I, J, K, N が高く、各施設の形式の違いを表すことができ、施設を評価する指標として用いることができると考えられた。

続いて、ごみのエネルギー利用に着目する。各焼却施設における発電量をごみ焼却量との関係でプロットとした結果を図 3 に示す。施設 E を除いて各施設の発電量はごみ焼却量におおむね比例した。施設 E では、電力連携技術ガイドラインにおいて、一般高圧で可能な発電容量の上限として 2,000 kW が定められているという制約のために、発電量が抑えられていることが原因であった。各施設におけるごみ焼却量 1 ton あたりの発電量を算出すると、施設 A と先端施設である施設 M, N, O の発電電力量は、453, 560, 564, 491 kWh/ton-ごみと高かった。これに対して他の施設は、241~373 kWh/ton-ごみであった。これらの値は、日本環境衛生センターが報告しているごみ発電量 100~350 kWh/ton-ごみより若干高い値であった¹⁰⁾。また、表に示すとおり、発電効

表6 廃棄物焼却施設におけるエネルギー収支

入力

施設	灯油 (kL/年)	都市ガス (m ³ /年)	コークス (ton/年)	合計*		買電量	
				(GJ/年)	(GJ/ton-ごみ)	(kWh/年)	(kWh/ton-ごみ)
A	1,000	1,098,470		80,309	0.55	13,275,320	92
B	1	45,043		1,809	0.04	6,934,563	161
C	359		1.8	13,160	0.67	5,152,323	263
D		36,828		1,462	0.01	519,381	4
E	76			2,777	0.03	338,936	3
F		97,223		3,860	0.05	699,166	9
G	86			3,149	0.09	4,552,870	131
H		52,392		2,080	0.02	1,613,808	16
I		643,318	2,532	101,769	1.7	1,292,840	21
J	782	1,422		28,756	0.72	4,027,901	100
K	2,267			83,212	1.8	1,956,357	42
L	267			9,799	0.07	2,405,072	16
M		224,700		8,921	0.04	2,112,003	10
N	393		8,441	268,487	1.7	924,560	6
O		660,909		26,238	0.32	1,478,531	18

* エネルギーへの換算係数は、灯油 36.7 GJ/kL、都市ガス 0.0397 GJ/m³、コークス 30.10 GJ/ton を用いた

出力

施設	発電量 (kWh/年)	発電効率* (%)	売電量 (kWh/年)	場外余熱供給熱量 (GJ/年)
A	65,459,150	17	6,380,067	9,283
B	10,380,490	13	21,687	14,520
C	0	0	0	0
D	42,677,294	13	25,705,876	14,491
E	15,497,367	6	6,539,144	0
F	26,380,130	13	11,745,223	13,860
G	0	0	0	0
H	35,537,490	13	11,672,640	15,314
I	18,421,677	9	1,756,662	672
J	12,945,478	11	0	0
K	17,264,993	13	2,964,936	0
L	55,331,198	19	15,716,378	7,114
M	121,667,400	18	73,125,603	52,467
N	89,706,367	18	50,438,160	3,798
O	40,804,680	17	18,418,680	0

* 発電効率は、発電出力を投入エネルギー（ごみ + 燃料）で除して算出した

図2 熱量換算に基づく各施設への投入エネルギー量

図3 ごみ焼却量と発電電力量との関係

率についても、施設 A および先端施設 L, M, N, O が 17~19% で高かった。このように発電した電力のうち、各施設において外部に供給するために売電した電力量も表 6 に示した。最も売電量が多い施設は灰溶融炉を有しない施設 M で、次いで先端施設 L, N, O、および灰溶融炉を有しないストーク式焼却炉の D, E, G の売電量が多かった。また、焼却施設の近隣に余熱利用施設がある場合には外部へ熱を供給することができ、施設 A, B, D, F, G, H, L, M, N では、場外に余熱を 672~52,467 GJ/年 で供給している。このため、施設の系外へのエネルギー供給の評価には、売電量と場外余熱施設供給熱量を合算した値を用いることが有効であると考えられるため、2.1 で示したように外部へのエネルギー供給率として算出した。この外部へのエネルギー供給率を、3.1.1 で提案した指標である最終処分場への搬出残渣量に対してプロットした結果を図 4 に示す。発電施設を有している大規模なストークおよび流動床式焼却炉は図の左上に位置し、焼却灰および飛灰を最終処分場へ搬出しているため、搬出残渣量は高いものの外部へのエネルギー供給率は高かった。一方、ガス化溶融炉および灰溶融炉を有している施設は、溶融することにより搬出残渣量は低く抑えることができ、さらに、先端施設 N および O のガス化溶融炉は、外部へのエネルギー供給率も高かった。このように、外部へのエネルギー供給率および搬出残渣量という指標を用いることにより、エネルギー的な側面とマテリアル的な側面の両面から施設を評価することができた。

3.1.3 CO₂ 排出 (LCA 解析)

低炭素社会への適応の観点で廃棄物焼却施設を評価する上で、温室効果ガスである CO₂ 排出量は特に重要な評価指標であるため、ライフサイクルインベントリー (LCI) 分析を行い、焼却施設における CO₂ 排出の詳細な解析を行った。LCI 分析の結果、廃棄物焼却施設の運転における CO₂ 排出量を図 5(a) に示す。廃棄物焼却施設

* 各施設の一年毎の値をプロットした

図 4 ごみ処理量に対する搬出残渣量と外部へのエネルギー供給率との関係

における CO₂ 排出量は、ごみ焼却による CO₂ 排出 (ごみ由来 + 助燃由来)、消費電力や薬剤などのアップストリームによる CO₂ 排出および売電、場外熱回収、アルミ回収、鉄回収などの副産物アロケーションによる削減効果で構成される。この副産物アロケーションの削減効果は、負の符号で表示した。廃棄物焼却施設における CO₂ 排出量のうち、大部分が焼却過程からの CO₂ 排出であった。このごみ焼却から排出される CO₂ のうち、廃棄物由来ではなく補助燃料由来の割合は、施設 D, E, F, G, H では 0.04~0.47% の範囲と小さく、灰溶融炉を有する施設 A, B, C は 2.71, 0.24, 3.43%, ガス化溶融炉 I, J, K については 20, 5.9, 9.2% と相対的に高かった。特にシャフト式のガス化溶融炉 I は、コークスの燃焼に由来する CO₂ 排出量がかなり多かった。

これらごみ由来および助燃剤由来から排出される CO₂ に続き、どのような工程が CO₂ 排出に対して寄与が大きいのか、またはどのような手段による削減効果が大きいのかを明らかにするために、ごみおよび助燃剤由来による CO₂ 排出量を除いて整理した結果を図 5(b) に示す。これによると、灰溶融炉を有する施設 C および B の消費電力に基づく CO₂ 排出量が 106 および 70 kg-CO₂/ton-ごみと比較的に多かった。これは、C については発電施設がなく、また、B は電気式灰溶融炉を備えた施設であり、灰溶融のための電気消費量が大きくなることで、CO₂ 排出量が多く算定されたと考えられる。さら

(a) 焼却施設における CO₂ 排出量

(b) ごみ焼却による CO₂ 排出を除外した時の焼却施設における CO₂ 排出量

図 5 LCI 分析結果

に、副産物アロケーションの効果について、アルミニウム回収および鉄の回収の寄与度は小さく、売電および場外余熱利用の効果が大きかった。これらの知見から、廃棄物焼却施設の運転において、ごみの持つ熱量を売電または場外余熱利用等によって、いかに有効に活用できるかが、エネルギーの観点のみならず、CO₂排出量の面からみても重要な鍵となる。

3.1.4 運転管理コスト

廃棄物焼却施設は、公共性のある施設であることから、その運転管理コストは重要な指標の一つとなる。集計結果から、対象施設の年間運転管理費は、8,000～18,000円/ton-ごみの範囲にあった。この運転管理費用は、電気・水道費、燃料費、薬剤費などの用役費、人件費（委託費）および点検補修費で構成されている。

内訳をみると、人件費は2,000～10,000円/ton-ごみの

範囲であり、その中で灰溶融炉を備えている施設B、Cの人件費がそれぞれ7,000、10,000円と高かった。これは、灰溶融炉の運転管理に係る経費を要するためと推察された。しかし、灰溶融炉付施設においても、施設規模が大きくなるほど、スケールメリットにより人件費が抑えられていた。

次に、施設の点検補修に関しては以下のものであった。各施設において、年に1～4回の定期点検を行っており、ヒアリング調査から保守点検頻度の高い設備としてボイラおよびコンベア関連機器があげられた。この点検補修費用は、1,200～5,600円/ton-ごみの範囲であった。ただし、施設によっては瑕疵担保期間にあるため、点検補修費用が生じない例もある。そこで、年間運転管理費を指標として用いる場合、点検補修費用が年間運転管理費に占める割合は平均30%であったため、瑕疵担保期間

図6 (a) 施設規模別による焼却施設の特性値ブロックチャート

内の施設についてはこの値を用いて補正を行い、点検補修費用を算出した。

一方、用役費についてみると、1,000～10,000 円/ton-ごみと幅が広く、施設間の違いが顕著であった。燃料費-についてみると、ストーカ式および流動床式焼却炉の燃料費は、0～200 円/ton-ごみと少額であったが、灰溶融炉を備える施設は 100～2,200 円/ton-ごみ、ガス化溶融施設は 1,400～4,500 円/ton-ごみと高額であった。中でもコークスを燃料として用いるシャフト式ガス化溶融施設の燃料費が高かった。電気については、発電を行っていれば買電量を抑えられるだけでなく、売電を行うことにより運転管理費を低減することができる。このような施設では 7～11 円/kWh で売電しており、収益は 100～2,500 円/ton-ごみの範囲であった。また、回収した鉄やアルミニウムの売却益は 10 円/ton-ごみ程度に過

ぎなかった。

3.2 ベンチマーキング

これらの結果を受けて、本研究では、エネルギー、マテリアルおよび運転管理の 3 つの評価軸を設定した。エネルギーについては投入エネルギー量（ごみの熱量を含まない）および外部へのエネルギー供給率、マテリアルについては搬出残渣量および CO₂ 排出量、運転管理については運転管理費および運転人数である。発電効率 11% 以上の廃棄物焼却施設を対象とした施設のアンケート調査によるデータを用いて、抽出した各指標を計算した結果を図 6(a),(b) および表 7(a),(b) に示す。今後、各自自治体の焼却施設においてベンチマークとして利用できるように、指標ごとに最小値、75% 値、中央値、25% 値および最大値を示した。同時に、焼却施設の形

図 6 (b) 焼却施設形式別による焼却施設の特性値ブロックチャート

表7 (a) 規模分類別の焼却施設の特性値 (ベンチマーク)

	施設規模	<i>n</i>	平均値	中央値	最小値	最大値	25%	75%
投入エネルギー量 (MJ/ton-ごみ)	全体	97	853	376	11	3,731	132	1,478
	<50,000 ton/y	36	1,516	1,630	106	3,731	455	2,506
	≥50,000 ton/y	34	581	274	78	2,387	124	733
	≥100,000 ton/y	18	324	162	67	1,621	94	291
	≥150,000 ton/y	9	288	118	11	1,663	68	132
外部へのエネルギー供給率 (%)	全体	97	3.7	3.4	0	12.5	0.8	6.0
	<50,000 ton/y	36	1.4	1.0	0	5.5	0.1	1.8
	≥50,000 ton/y	34	4.1	3.9	0	10.6	1.2	6.4
	≥100,000 ton/y	18	5.8	5.8	2.4	10.9	4.6	6.8
	≥150,000 ton/y	9	7.7	7.4	0.3	12.5	6.1	10.6
搬出残渣量 (ton/ton-ごみ)	全体	97	0.07	0.06	0	0.21	0.04	0.11
	<50,000 ton/y	36	0.06	0.05	0	0.21	0.03	0.06
	≥50,000 ton/y	34	0.08	0.09	0	0.15	0.04	0.12
	≥100,000 ton/y	18	0.07	0.06	0.02	0.17	0.04	0.11
	≥150,000 ton/y	9	0.11	0.12	0.04	0.18	0.09	0.15
CO ₂ 排出量 (ton/ton-ごみ)	全体	97	0.48	0.48	0.19	0.92	0.38	0.60
	<50,000 ton/y	36	0.58	0.60	0.26	0.92	0.48	0.67
	≥50,000 ton/y	34	0.46	0.48	0.22	0.73	0.39	0.54
	≥100,000 ton/y	18	0.37	0.39	0.19	0.61	0.29	0.45
	≥150,000 ton/y	9	0.34	0.34	0.23	0.49	0.26	0.43
運転管理費 (円/ton-ごみ)	全体	97	18,048	16,363	3,451	41,855	12,285	22,127
	<50,000 ton/y	36	22,537	22,127	8,684	41,855	16,196	28,478
	≥50,000 ton/y	34	17,606	15,640	8,116	37,020	12,883	20,490
	≥100,000 ton/y	18	13,946	14,739	4,803	21,566	10,414	16,669
	≥150,000 ton/y	9	8,084	6,997	3,451	15,999	5,991	9,022
運転人数 (人・年/千 ton-ごみ)	全体	97	0.8	0.7	0.2	1.6	0.5	0.9
	<50,000 ton/y	36	1.0	1.0	0.6	1.6	0.7	1.3
	≥50,000 ton/y	34	0.7	0.7	0.4	1.1	0.6	0.8
	≥100,000 ton/y	18	0.5	0.5	0.2	0.7	0.3	0.5
	≥150,000 ton/y	9	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5

式や処理規模の分類に応じて指標値を計算し、それらによる違いを明らかにした。

処理規模で分類した場合の各指標をみると、エネルギー軸の指標である投入エネルギー量は、処理規模が大きくなるにしたがい小さくなる傾向にある。一方、外部へのエネルギー供給率は、処理規模が大きくなるにしたがい大きくなった。これは、処理規模が大きくなることによるスケールメリットが現れたものと考えられるが、対応して、運転管理費および運転人数に関して、処理規模が大きくなると、効率化によりごみ処理単位量あたりの費用や人数が小さくなる傾向にあった。処分対象の残渣量やCO₂排出量に関しては、ごみ処理量とこれらの指標との間に明確な関係は認められなかった。この二者については、量ではなくむしろ処理形式に依存していると推察された。

さらに焼却施設の形式で分類した場合の各指標値をみると、残渣量は、灰溶融炉を付設していない焼却施設が最も多く、灰溶融炉および各形式のガス化溶融炉では溶

融を行うため少ない。一方、CO₂排出量は、灰溶融炉のない焼却施設が少なく、かつ幅が狭い。これは焼却施設からのCO₂排出については、LCI分析の結果で示したように、ごみ由来のCO₂排出が大部分であるため、ごみ処理単位量あたりとして算出した場合、同程度の値に収れんするためと考えられた。このような焼却施設と比較して、燃料を投入して高温燃焼および溶融を行う灰溶融炉やガス化溶融炉では、CO₂排出量が相対的に多い傾向にあり、エネルギー軸の投入エネルギー量と同じ傾向であった。外部へのエネルギー供給率については、焼却炉および灰溶融炉付設施設で12%程度と高い施設があった。運転管理費および運転人数については、灰溶融炉のない焼却施設が他の施設と比べて低水準の傾向にあった。

このように施設規模や形式ごとに分類して、表に最小値、75%値、中央値、25%値、最大値を示したが、各自治体において、これらの指標を用いて焼却施設の評価を行う場合、各施設の現状を鑑み、これらの値を各施設の

表7 (b) 炉形式分類別の焼却施設の特性値 (ベンチマーク)

	施設規模	<i>n</i>	平均値	中央値	最小値	最大値	25%	75%
投入エネルギー量 (MJ/ton-ごみ)	灰 溶 融 炉	40	331	175	11	1,371	109	440
	焼 却 炉	16	143	121	67	320	92	194
	シャフト式	20	2,354	2,445	376	3,731	1,922	2,635
	流 動 床 式	15	752	559	249	1,864	405	1,101
	キ ル ン 式	4	1,574	1,886	557	1,967	1,216	1,932
	ガ ス 改 質	2	1,299	1,299	763	1,835	—	—
外部へのエネルギー供給率 (%)	灰 溶 融 炉	40	5.2	5.0	0	12.5	2.4	6.8
	焼 却 炉	16	4.6	4.4	0.3	12.0	2.8	6.3
	シャフト式	20	1.7	0.6	0	8.5	0.1	1.4
	流 動 床 式	15	2.7	1.5	0	8.8	0.2	5.2
	キ ル ン 式	4	2.2	1.5	0	6.0	0.6	3.9
	ガ ス 改 質	2	0.1	0.1	0	0.2	—	—
搬出残渣量 (ton/ton-ごみ)	灰 溶 融 炉	40	0.08	0.07	0.01	0.17	0.04	0.11
	焼 却 炉	16	0.13	0.14	0.04	0.21	0.12	0.15
	シャフト式	20	0.04	0.04	0	0.06	0.03	0.05
	流 動 床 式	15	0.07	0.07	0.03	0.12	0.05	0.09
	キ ル ン 式	4	0.06	0.06	0.02	0.11	0.02	0.10
	ガ ス 改 質	2	0.03	0.03	0	0.06	—	—
CO ₂ 排出量 (ton/ton-ごみ)	灰 溶 融 炉	40	0.44	0.45	0.22	0.71	0.35	0.51
	焼 却 炉	16	0.36	0.37	0.19	0.55	0.25	0.47
	シャフト式	20	0.63	0.61	0.43	0.92	0.51	0.72
	流 動 床 式	15	0.51	0.50	0.29	0.66	0.46	0.61
	キ ル ン 式	4	0.60	0.58	0.43	0.80	0.52	0.66
	ガ ス 改 質	2	0.38	0.38	0.26	0.50	—	—
運転管理費 (円/ton-ごみ)	灰 溶 融 炉	40	16,849	16,669	3,451	36,472	12,285	20,890
	焼 却 炉	16	13,074	14,408	5,991	20,014	9,022	15,426
	シャフト式	20	21,903	19,392	5,540	38,573	15,867	30,391
	流 動 床 式	15	19,052	14,859	9,142	41,855	10,546	23,990
	キ ル ン 式	4	17,647	18,027	12,406	22,127	14,162	21,131
	ガ ス 改 質	2	29,704	29,704	29,140	30,267	—	—
運転人数 (人・年/千 ton-ごみ)	灰 溶 融 炉	40	0.7	0.7	0.4	1.6	0.5	0.8
	焼 却 炉	16	0.5	0.5	0.2	1.0	0.3	0.7
	シャフト式	20	1.0	0.9	0.3	1.6	0.6	1.4
	流 動 床 式	15	0.8	0.8	0.4	1.5	0.6	0.9
	キ ル ン 式	4	0.8	0.7	0.3	1.4	0.4	1.1
	ガ ス 改 質	2	0.8	0.8	0.6	1.0	—	—

現状を考慮した上で適切な目標値として設定することにより、ベンチマークとして利用することができるものとする。

3.3 スコアリングおよび表示手法の提案

本研究で抽出した指標を用いて、廃棄物焼却施設における低炭素・循環型社会への適合性を評価することにより、各自治体の施設の相対的な位置がわかり、改善の質を向上することができる。さらに、廃棄物焼却施設の側から低炭素社会および循環型社会を実現していくためには、これらの情報を一般市民によりわかりやすい形で提供することが重要である。そこで、前節で得られた各指標の特性値（最小値、25% 値、中央値、75% 値および

最大値）を用いて、スコアリング基準を作成した。投入エネルギー量、搬出残渣量、CO₂ 排出量、運転管理費および運転人数に関しては、最小値以下をスコア 5、最小値より大きく 25% 値以下をスコア 4、25% 値より大きく中央値以下をスコア 3、中央値より大きく 75% 値以下をスコア 2、75% 値より大きく最大値以下のものをスコア 1、最大値より大きいものをスコア 0 と設定した。外部へのエネルギー供給率は、逆にスコアが大きくなるとより低炭素・循環型社会に適した施設であるように設定した。各施設での指標評価によって得られた結果を表 8 に示すスコアリング基準にしたがって 0 から 5 のいずれかに分類した。さらに、この得られた結果例をレーダーチャートで図 7 に示す。

表8 スコアリング基準

	スコア					
	0	1	2	3	4	5
投入エネルギー量	> 最大値	最大値 $\geq$	75% 値 $\geq$	中央値 $\geq$	25% 値 $\geq$	最小値 $\geq$
外部へのエネルギー供給率	< 最小値	最小値 $\leq$	25% 値 $\leq$	中央値 $\leq$	75% 値 $\leq$	最大値 $\leq$
搬出残渣量	> 最大値	最大値 $\geq$	75% 値 $\geq$	中央値 $\geq$	25% $\geq$	最小値 $\geq$
CO ₂ 排出量	> 最大値	最大値 $\geq$	75% 値 $\geq$	中央値 $\geq$	25% $\geq$	最小値 $\geq$
運転管理費	> 最大値	最大値 $\geq$	75% 値 $\geq$	中央値 $\geq$	25% $\geq$	最小値 $\geq$
運転人数	> 最大値	最大値 $\geq$	75% 値 $\geq$	中央値 $\geq$	25% $\geq$	最小値 $\geq$

焼却施設 A

焼却施設 D

焼却施設 I

図7 スコアリングの結果から得られたレーダーチャートの例 (施設 A, D, I)

灰溶融炉を付設している焼却施設 A についてみると、炉形式別および施設規模別いずれにおいても、投入エネルギー量および外部へのエネルギー供給率のスコアは低く、施設 A はエネルギー面で弱いという特徴を表している。また、施設 D についてみると、焼却施設の中で搬出残渣のスコアは 3 と中程度であるが、100,000～150,000 ton/年施設の中では、搬出残渣と運転人数のスコアは小さい。さらにシャフト式ガス化溶融炉 I についてみると、シャフト式ガス化溶融炉の中ではすべての指標のスコア結果は全体的に高いものの、施設規模別でみる投入エネルギーおよび外部へのエネルギー供給面で低かった。このように、スコアリング結果をレーダーチャートにまとめることにより、各施設の特徴を視覚的にわかりやすい形で表すことができた。

本研究において、提案したスコアリング方法によって、理解しにくい指標データをスコア化した。さらに数字の羅列であったスコア結果をレーダーチャートとして表示することにより、ユーザーにとってより理解しやすいデータの表示方法を提示することができたと考えられる。

4. お わ り に

本研究では、15 の廃棄物焼却施設を対象として、これらの施設の運転・維持管理データ等について情報の収集、整理および解析を行い、低炭素社会および循環型社会への適合性を評価することが可能な指標の抽出と検討を行った。さらにこれらの指標を用いて、グッドプラクティスに成りうる発電効率 11% 以上の 97 の廃棄物焼却施設に適用してベンチマーキングの試行を行った。その結果、発電効率の高い焼却施設の実態・特徴を明らかにし、低炭素・循環型社会に対応した焼却施設への改善策を特定するための基礎情報を得ることができた。エネルギー的な側面から施設に投入されるエネルギー量は、11～3,731 MJ/ton-ごみ（平均 853 MJ/ton-ごみ）であり、エネルギー供給率は、0～12.5%（平均 3.8%）であった。このように発電効率の高い焼却施設間でも大きな違いがあることがわかった。また、温室効果ガスである CO₂ 排出量は、0.2～0.9 ton/ton-ごみ（平均 0.4 ton/ton-ごみ）であった。今後、このような差が何に起因しているものなのか、詳細に調査検討していくことが、低炭素・循環型社会に対応した焼却施設への改善に結びつくものと考えられる。

また、低炭素・循環型社会に対応した焼却施設の実現に向けて、自治体の職員や住民の間で情報共有を進めていくことが必須であり、ベンチマーキングの結果をより

わかりやすい形で提供することが必要となる。そこで、本研究の 97 焼却施設に適用した結果は、ベンチマークとして活用できるように、統計値（最少値、25%、中央値、75%、最大値）を算出して、これに基づき 0～5 に分類したスコアリング基準を作成し、炉形式または施設規模別にスコアリング結果をレーダーチャートで表示した。これにより、廃棄物焼却施設の低炭素社会および循環型社会への適合性を視覚的にわかりやすく示すことができた。

今後、本研究で得られた成果に基づき、廃棄物焼却施設の運転管理が、環境保全の面からだけでなく、エネルギー的な側面、マテリアル的な側面、経済的な側面から、低炭素社会および循環型社会に向けた合理的な対策が展開していくことが期待される。

参 考 文 献

- 1) 環境省：環境白書、循環型社会白書/生物多様性白書 平成 22 年版、地球を守る私たちの責任と約束——チャレンジ 25——、日経印刷（2010）
- 2) 川本克也：循環型社会の視点からみたガス化溶融方式焼却施設の実態と評価、都市清掃、第 61 巻、第 285 号、pp. 462-471（2008）
- 3) S. Sakai, S. E. Sawell, A. J. Chandler, T. T. Eighmy, D. S. Kosson, J. Vehlow, H. A. van der Sloot, J. Hartlen and O. Hjelmar: World Trends in Municipal Solid Waste Management, Waste Management, Vol. 16, pp. 341-350（1996）
- 4) ロバート・C・キャンブ：ビジネス・プロセス・ベンチマーキング、生産性出版（1996）
- 5) K. Mizuta and M. Shimada: Benchmarking Energy Consumption in Municipal Wastewater Treatment Plants in Japan, Water Sci. Technol., Vol. 62, No. 10, pp. 2256-2262（2010）
- 6) 水谷哲成：仙台市下水道事業におけるプロセスベンチマーキングの取り組み——オーストラリア上下水道サービス協会（WSAA）の Aquamark（アクアマーク）を用いて——、下水道協会誌、第 48 巻、第 581 号、pp. 37-41（2011）
- 7) 阿部直也、大迫政浩：一般廃棄物行政に対するベンチマーキング手法の適用意義とその課題：ニューパブリックマネージメントの視点より、廃棄物学会論文誌、第 19 巻、第 3 号、pp. 161-147（2008）
- 8) 山川 肇：廃棄物会計とベンチマーキング、廃棄物学会誌、第 18 巻、第 4 号、pp. 205-212（2007）
- 9) ISO14044：環境マネジメント——ライフサイクルアセスメント——要求事項及び指針、pp. 15-17（2010）
- 10) 御国立環境研究所：ごみ焼却施設の実態等に関する調査報告、財団法人環境衛生センター（2004）

Study on Benchmarks for Municipal Solid Waste Incinerators that Support Societies with Low-carbon Emissions and Sustainable Material Cycles

Kazuyuki Suzuki*, Makoto Ohata** and Katsuya Kawamoto***

* Center for Environmental Science in Saitama

** No. 2 Technical Survey & Research Dept., Technical Information Business Div.,
JFE Techno-Research Corporation

*** Center for Material Cycles and Waste Management Research,
National Institute for Environmental Studies

† Correspondence should be addressed to Kazuyuki Suzuki :
Center for Environmental Science in Saitama
(914 Kamitanadare, Kazo, Saitama 347-0115 Japan)

Abstract

Recently, the need has grown stronger for municipal solid waste incinerators (MSWI) that reduce energy and resource use and help prevent global warming in order to contribute to the advancement of societies with low-carbon emissions and sustainable material cycles. In this study, we compiled and evaluated operation data from MSWIs in order to develop an evaluation method for their adoption for such societies. From these results, we found benchmark indicators such as the amount of input energy, the ratio of output energy (electric power sold, heat supply), and the ratio of discharged residue. We evaluated 97 MSWIs with high power generation efficiency using these benchmark indicators. The results showed the value of using these benchmark indicators. In addition, we proposed a method for scoring and showing the results to make them easily understood.

Keywords : societies with low-carbon emissions, societies with sustainable material cycles, municipal solid waste incinerator, LCA, benchmarking