

参考資料Ⅱ

LCA 文献個票

事例番号	1
文献	Lorella Mercuri and Andrea Raggi. "LCA Application to an Italian Distinct Waste Management System: Some Preliminary Results" 2004
テーマ概要	イタリア、ペスカーラ地方における都市ごみ収集法（リサイクルルート）の最適化 現行の廃棄物管理システムを分析すると共に、代替案の提示及び現行システムとの比較を行った。
評価範囲	収集、分別、生物処理、熱処理、埋め立て、リサイクル
評価対象	現シナリオ（2002年）及び代替案（シナリオ1、シナリオ2）
評価シナリオ	<p>現シナリオ：ごみの収集は週に5、6回（分別・資源ごみは隔週）で、収集率は分別・資源ごみが5.84%でその他のごみが94.16%。 オプションとして、リサイクル、堆肥化、埋め立てがある。</p> <p>シナリオ1：ごみの収集頻度は現シナリオと同様だが、分別・資源ごみの収集率を全体の40%とする（具体的には、45%の有機物、50%の庭ごみ、50%の紙、65%のガラス、20%のプラスチック、20%の木屑、20%の布地、20%の金属を分別・資源ごみとして回収する想定）。 オプションとしては、リサイクル、堆肥化、埋め立てが考えられる。</p> <p>シナリオ2：ごみの収集頻度は現シナリオと同様だが、分別・資源ごみの収集率を全体の25%とする（50%の有機物、50%の紙、65%のガラス、20%のプラスチック、20%の木屑、20%の金属を回収）。 オプションとしては、リサイクル、熱処理、堆肥化、埋め立てがある。 ＊シナリオ2＝2003年の新計画</p>
評価指標	最終処分量、エネルギー消費量、排水、排気量（IWM-2による算出） 温暖化、酸性化、富栄養化傾向
前提条件	－
使用データ	・実データ（2002年） ・文献、データベースからの引用（2002年）
評価対象地域	イタリア、ペスカーラ地方（都市部はアドリア海に、地方部は山岳地帯に面している）。 644.95km ² の地域に256,724人が居住している。2002年に排出された都市ごみは129,478.97t。
評価結果	<p>各シナリオにおける温暖化、酸性化、富栄養化の可能性が、プロセス毎（収集、分別、生物処理、熱処理、埋め立て、リサイクル）に示されている。 Fig.2, Fig.3, Fig4.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Figure 2 is a bar chart titled "温暖化傾向" (Warming Trend) showing CO₂ emissions. The Y-axis represents CO₂ emissions, ranging from -5000000000 to 2E+11. The X-axis lists three scenarios: 現シナリオ (Current Scenario), シナリオ1 (Scenario 1), and シナリオ2 (Scenario 2). For each scenario, there are seven bars representing different processes: 収集 (Collection), 分別 (Separation), 生物処理 (Biological Treatment), 熱処理 (Thermal Treatment), 埋立 (Landfill), リサイクル (Recycling), and 全体 (Total). The legend indicates that the bars are stacked or grouped to show the contribution of each process to the total CO₂ emissions. The total emissions (全体) are significantly lower in Scenario 2 compared to the current scenario and Scenario 1.</p> </div> <p>Fig.2 温暖化傾向 (CO₂排出量)</p>

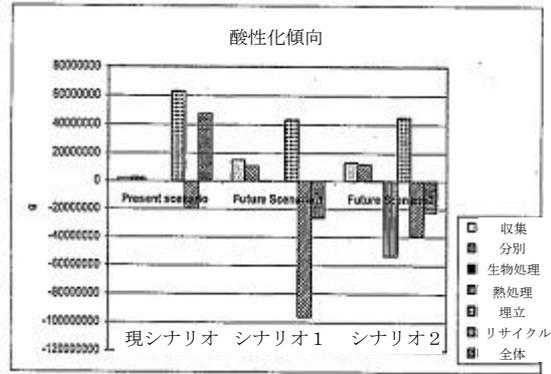


Fig.3 酸性化傾向 (SO₂排出量)

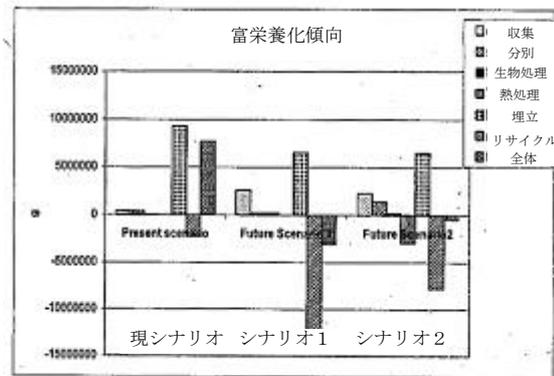


Fig.4 富栄養化傾向 (PO₄排出量)

<p>結果の解釈</p>	<p>シナリオ1と2において温暖化傾向が減少しているのは、埋め立ての減少によるものと思われる。酸性化、富栄養化については、全てのシナリオで埋め立てによる影響が見られる。シナリオ1と2では収集プロセスによる酸性化、富栄養化への効果が見られる。また、熱処理とリサイクルが酸性化、富栄養化に対して効果を示している。</p>
<p>その他</p>	<p>シナリオ1と2は現シナリオより改善されているが、シナリオ1と2の差は明らかではない。今後はモデルを現場の状況に当てはめ、廃棄物管理システムの最適化を目指す。</p>

事例番号	2																																										
文献	田中 勝(岡山大学)ほか「津山市域における資源循環に関する研究」『第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集』、p.159-161(2004)																																										
テーマ概要	廃棄物処理方式選択のための客観的データの取得 人口規模9万人という中小都市である「津山市」を対象地域として、「その他プラスチック」の処理についてLife Cycle Inventory分析(LCI)及びコストの評価を行った。																																										
評価範囲	図1 <p>図1 比較シナリオフロー図</p>																																										
評価対象	「その他プラスチック」の処理について																																										
評価シナリオ	図1																																										
評価指標	コスト、エネルギー消費量、二酸化炭素(CO ₂)排出量、最終処分量																																										
前提条件	単純焼却及び直接埋立は津山市域内で処理するものとし、その他のリサイクル処理については津山市域外で処理しているものとしている。																																										
使用データ	計算値																																										
評価対象地域	津山市(人口9万人)																																										
評価結果	各シナリオにおけるコスト、エネルギー消費量、二酸化炭素(CO ₂)排出量、最終処分量を計算している(図2)。また、処理システムの違いによる二酸化炭素排出量削減効果及び費用負担の比較をしている(表3)。 <p style="text-align: center;">表3 二酸化炭素排出量削減効果と費用負担</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>シナリオ</th> <th>LF (直接埋立)</th> <th>R1 (高炉原料化)</th> <th>R2 (RDF化)</th> <th>R3 (油化)</th> <th>R4 (セメント原料化)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単純焼却と比べた場合の費用負担(円/t)</td> <td>51,515</td> <td>144,490</td> <td>144,490</td> <td>144,490</td> <td>144,490</td> </tr> <tr> <td>単純焼却と比べた場合のCO₂削減効果(kg/t)</td> <td>2,595</td> <td>2,332</td> <td>2,525</td> <td>2,354</td> <td>2,523</td> </tr> <tr> <td>CO₂の削減費用(円/kg)</td> <td>20</td> <td>62</td> <td>57</td> <td>61</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>CO₂の限界削減費用(円/kg)との比</td> <td>2.8</td> <td>8.9</td> <td>8.2</td> <td>8.8</td> <td>8.2</td> </tr> <tr> <td>各シナリオでの処理コスト(円/t)</td> <td>72,149</td> <td>165,124</td> <td>165,124</td> <td>165,124</td> <td>165,124</td> </tr> <tr> <td>限界削減費用を考慮した場合の処理コスト(円/t)</td> <td>38,802</td> <td>36,958</td> <td>38,306</td> <td>37,115</td> <td>38,294</td> </tr> </tbody> </table>	シナリオ	LF (直接埋立)	R1 (高炉原料化)	R2 (RDF化)	R3 (油化)	R4 (セメント原料化)	単純焼却と比べた場合の費用負担(円/t)	51,515	144,490	144,490	144,490	144,490	単純焼却と比べた場合のCO ₂ 削減効果(kg/t)	2,595	2,332	2,525	2,354	2,523	CO ₂ の削減費用(円/kg)	20	62	57	61	57	CO ₂ の限界削減費用(円/kg)との比	2.8	8.9	8.2	8.8	8.2	各シナリオでの処理コスト(円/t)	72,149	165,124	165,124	165,124	165,124	限界削減費用を考慮した場合の処理コスト(円/t)	38,802	36,958	38,306	37,115	38,294
シナリオ	LF (直接埋立)	R1 (高炉原料化)	R2 (RDF化)	R3 (油化)	R4 (セメント原料化)																																						
単純焼却と比べた場合の費用負担(円/t)	51,515	144,490	144,490	144,490	144,490																																						
単純焼却と比べた場合のCO ₂ 削減効果(kg/t)	2,595	2,332	2,525	2,354	2,523																																						
CO ₂ の削減費用(円/kg)	20	62	57	61	57																																						
CO ₂ の限界削減費用(円/kg)との比	2.8	8.9	8.2	8.8	8.2																																						
各シナリオでの処理コスト(円/t)	72,149	165,124	165,124	165,124	165,124																																						
限界削減費用を考慮した場合の処理コスト(円/t)	38,802	36,958	38,306	37,115	38,294																																						
結果の解釈	—																																										
その他	今回行ったサーマルリサイクルに加えて、マテリアルリサイクル(物質回収)との比較検討を行う必要がある。また、環境負荷項目として、窒素酸化物(NO _x)や硫黄酸化物(SO _x)についての評価も行う必要がある。																																										

事例番号	3																																										
文献	栗林 佳史 (京都大学) ほか「溶融飛灰からの重金属、塩類回収プロセスを中心とした一般廃棄物処理システムの LCA」『第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集』、p. 178-180 (2004)																																										
テーマ	溶融飛灰からの重金属、塩類回収プロセスの導入が、現状の廃棄物処理システムに及ぼす影響について																																										
概要	ごみの分別収集から焼却、溶融、重金属 (鉛、亜鉛)、塩類の回収、抽出残渣の無害化、および埋め立てまでの範囲内における重金属、塩類の流れを明らかにした。また、京都市を例として、環境負荷、資源消費の面から重金属、塩類の回収、ごみの分別収集のあり方について検討した。																																										
評価範囲	<p>図 1</p> <p>図 1 LCA 評価範囲</p>																																										
評価対象	<ul style="list-style-type: none"> ・重金属、塩類のフロー ・環境負荷、資源消費 																																										
評価シナリオ	<p>焼却よりも上流側のシナリオとして、焼却対象ごみのうち、厨芥類、びん・ガラス類を分別するシナリオ 1~4 を、下流側のシナリオとして、溶融、重金属、塩類の回収の有無で区別したシナリオ A~D を検討し、上流側と下流側を併せて (例：シナリオ 1-A) 設定した。</p> <p>表 1、表 2</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">表 1 シナリオ設定</th> <th colspan="4">表 2 シナリオ設定 2</th> </tr> <tr> <th>シナリオ</th> <th>厨芥類 分別</th> <th>ビン・ガラ ス類分別</th> <th>シナリオ</th> <th>溶融</th> <th>重金属 回収</th> <th>塩回収</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>×</td> <td>×</td> <td>A</td> <td>×</td> <td>×</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>B</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>C</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>D</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>	表 1 シナリオ設定			表 2 シナリオ設定 2				シナリオ	厨芥類 分別	ビン・ガラ ス類分別	シナリオ	溶融	重金属 回収	塩回収	1	×	×	A	×	×	×	2	○	×	B	○	×	×	3	×	○	C	○	○	×	4	○	○	D	○	○	○
表 1 シナリオ設定			表 2 シナリオ設定 2																																								
シナリオ	厨芥類 分別	ビン・ガラ ス類分別	シナリオ	溶融	重金属 回収	塩回収																																					
1	×	×	A	×	×	×																																					
2	○	×	B	○	×	×																																					
3	×	○	C	○	○	×																																					
4	○	○	D	○	○	○																																					
評価指標	<p>【重金属、塩類のフロー】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Pb、Zn、Na、Cl の移行率 <p>【環境負荷、資源消費】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー消費量、温暖化、酸性化、埋立地消費量 																																										
前提条件	<p>【各プロセスの設定】</p> <p>ごみの分別収集においては、グリッドシティ・モデルを京都市に適用し、年間総収集距離を算出した。焼却炉では燃焼計算を行い、CO₂、NO_x、SO_x 等の排出量、その他ユーティリティを算出した。抽出回収プロセスでは、溶融飛灰から蒸留水により鉛を、酢酸アンモニウムにより亜鉛を抽出し、水酸化ナトリウムによりそれぞれを不溶化、回収するプロセスを対象とした。回収残液にはキレート樹脂により処理を施した。無毒化プロセスでは対象物質の溶出量試験を別途行い、その結果に基づいてセメント、キレート剤により無害化した。回収重金属は製錬炉に、回収塩類はソーダ工場に輸送するもの</p>																																										

とし、回収物と同等のものを生産するのにかかる環境負荷をシステム全体の環境負荷から差し引いた。各プロセスで考慮したユーティリティは表3参照のこと。

表3 ユーティリティー一覧

プロセス名	ユーティリティー
収集	軽油
バイオガス	電力
焼却	消石灰、活性炭、アンモニア、電力
溶融	電力、工業用水、アンモニア
抽出回収	工業用水、酢酸アンモニウム、電力、キレート樹脂
無害化	セメント、キレート剤、工業用水
埋め立て	浸出水処理薬品、電力、軽油
塩回収	電力

【重金属、塩類のフロー】

ごみからの重金属類や塩類の焼却へのインプット量を見積もる際、焼却灰、飛灰をアウトプットとし、アウトプット量がインプット量に等しいとした。溶融炉においては、焼却により発生した主灰、飛灰を全量投入するものとし、スラグの発生量は灰投入量から溶融飛灰発生量を差し引いた値とした。バイオガスプラントでは、重金属、塩類は気相に移行しないものとし、重金属類は100%残渣に移行するものと設定した。Cl、Na、Kは25%が残渣に移行するものと設定した。抽出回収プロセスにおいては、回収重金属、残渣、残液の組成より、その移行率を算出し(表4)、重金属、塩類のフローを得た。

表4 元素移行率(%)

		Zn	Pb	Na	K	Ca	Cl
焼却	主灰	66	69	80	72	44	65
	飛灰	34	31	20	28	56	35
溶融	スラグ	11	4	48	36	96	11
	飛灰	89	96	52	64	4	89
バイオガス	残渣	100	100	25	25	25	50
	廃液	0	0	75	75	75	50
抽出回収	Zn回収物	58	2	0	0	2	0
	Pb回収物	0	48	0	0	1	0
	残渣	42	50	2	1	24	0
	残液	0	0	98	99	73	100

使用データ

計算値

評価対象地域

京都市

評価結果

【重金属、塩類のフロー】

シナリオ1-Bと4-Dにおける重金属(Pb、Zn)、塩類(Na、Cl)のフローが、焼却対象ごみ中の各元素量を100とした場合の相対割合として示されている。

図2、3



図2 シナリオ1-B 元素フロー図

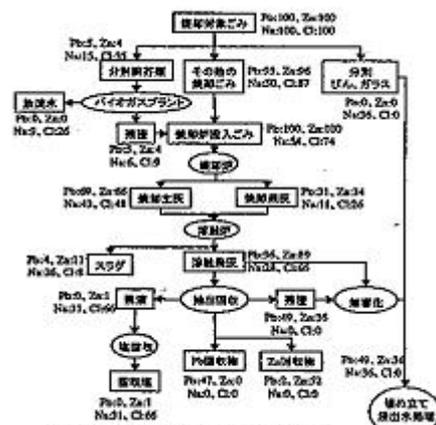


図3 シナリオ4-D 元素フロー図

【環境負荷、資源消費】

エネルギー消費に関する分析結果と、各シナリオにおけるエネルギー消費量、温暖化、酸性化、埋立地消費量に対する評価結果が示されている。

図4、図5

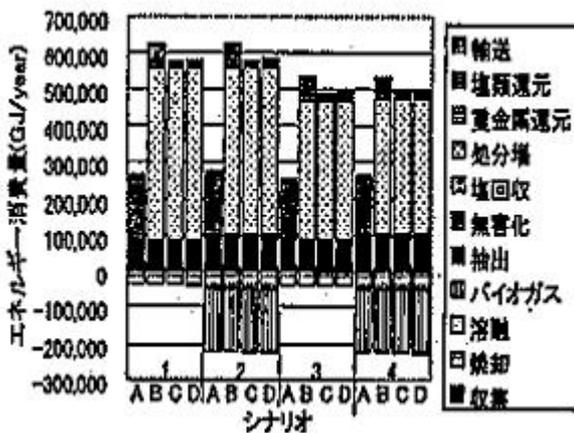


図4 エネルギー消費量

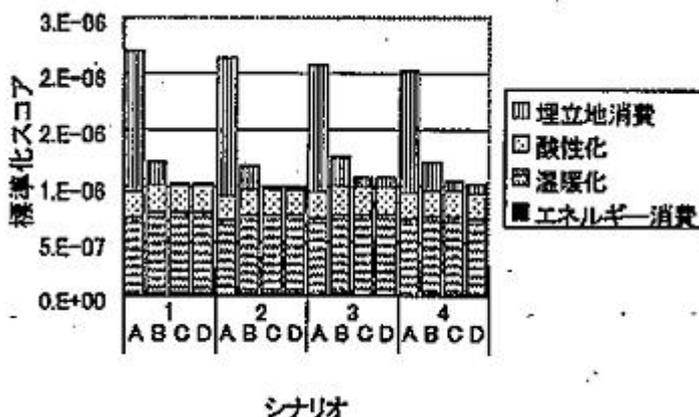


図5 インパクト評価結果

結果の解釈

【重金属、塩類のフロー】

塩類を多く含むごみを分別することは、塩類による溶融炉のダクトトラブルを防ぎ、溶融炉の長寿命化を促すという点で有効と考えられる。また、溶融飛灰中の重金属濃度の上昇にもつながら、重金属回収システムの効率化が図れる。

【環境負荷、資源消費】

溶融処理は多大なエネルギーを消費するが、埋立量を大きく削減でき、全体として環境負荷を削減する。溶融飛灰からの重金属、塩類の回収は枯渇資源を回帰させるとともに、埋立量の減少による環境負荷の削減にも貢献する。

その他

—

事例番号	4
文献	財団法人東京市町村自治調査会「LCA とコストからみる市町村廃棄物処理の現状 ～廃棄・リサイクルシステムの改善に向けて～」2003年3月
テーマ	ごみ処理コストの市町村間比較、および、収集区分の変更等の廃棄・リサイクルシステムの改善の検討
概要	分別方式、収集方式などのごみ処理システムの選択肢の評価を、ライフサイクルコスト、ライフサイクルCO2の観点から評価した。コスト分析にあたっては、実際の5市をモデルとして、政策変更シミュレーション（コスト、CO2）においては、人口10万人の仮想自治体を想定した。
評価範囲	
評価対象	<p>【コスト分析】</p> <p>以下を対象としている。なお、ごみ減量化に関わる経費も考慮。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・職員人件費 ・委託費 ・消耗品費 ・その他経費 <p>以下は対象外としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・し尿処理費 ・美化活動 ・地域還元施設 ・動物の死体処理に関わる経費 ・補助金（国、都） <p>【政策変更シミュレーション】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コストについては、上述の「コスト分析」と同様 ・CO2については <ul style="list-style-type: none"> －収集車両の製造資材に要するエネルギー －収集車両の消費燃料
評価シナリオ	<p>【政策変更シミュレーション】</p> <p>シナリオ1：分別方式の変更による影響（容器包装プラスチックを資源ごみで収集）</p> <ol style="list-style-type: none"> ①不燃ごみの収集回数変更なし ②不燃ごみの収集回数減少（3回→2回） <p>シナリオ2：分別方式の変更による影響（プラスチックを不燃物から可燃物に変更）</p> <ol style="list-style-type: none"> ①不燃ごみの収集回数変更なし ②不燃ごみの収集回数減少（3回→2回） <p>シナリオ3：収集方式の変更による影響</p> <ol style="list-style-type: none"> ①収集車両をディーゼル車からCNG車へ変更

	<p>②収集車両を大型化</p> <p>③収集方式をステーション方式から個別方式へ変更</p>																																																			
評価指標	<p>【コスト分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コスト <p>【政策変更シミュレーション】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コスト ・CO2 (※シナリオ3について) 																																																			
前提条件	—																																																			
使用データ	<p>【コスト分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実データ <p>【政策変更シミュレーション】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実データより想定 ・その他データ 																																																			
評価対象地域	<p>【コスト分析】</p> <p>武蔵野市、調布市、町田市、日野市、狛江市</p> <p>【政策変更シミュレーション】</p> <p>仮想自治体 (人口10万人)</p>																																																			
評価結果	<p>【コスト分析】</p> <p>5市についてコスト分析を行い、下図のような一人あたりごみ処理コスト、1tあたりごみ処理コストなどを算出している。さらに、資源化率等とコストとの関連性を分析している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>図 3.4.1 一人あたりのごみ処理コストとその内訳</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>図 3.4.4 各調査対象市の総ごみ量1トンあたりの処理工程別コスト (歳入差引前)</p> </div> </div> <p>【政策変更シミュレーション】</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>シナリオ</td> <td> ベース</td> <td>1 ①</td> <td>1 ②</td> <td> </td> <td>不燃+その他プラ (百万円)</td> </tr> <tr> <td>コスト</td> <td> 321</td> <td>379</td> <td>360</td> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>シナリオ</td> <td> ベース</td> <td>2 ①</td> <td>2 ①</td> <td> </td> <td>可燃+不燃 (百万円)</td> </tr> <tr> <td>コスト</td> <td> 1,315</td> <td>1,247</td> <td>1,228</td> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>シナリオ</td> <td> ベース</td> <td>3 ①</td> <td> </td> <td>ベース</td> <td>3 ②</td> <td>3 ③</td> <td> </td> <td>可燃+不燃 (百万円)</td> </tr> <tr> <td>コスト</td> <td> —</td> <td>※</td> <td> </td> <td>1,315</td> <td>1,223</td> <td>1,475</td> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td> 146</td> <td>156</td> <td> </td> <td>321</td> <td>389</td> <td>384</td> <td> </td> <td>(t-CO2/年)</td> </tr> </table>	シナリオ	ベース	1 ①	1 ②		不燃+その他プラ (百万円)	コスト	321	379	360			シナリオ	ベース	2 ①	2 ①		可燃+不燃 (百万円)	コスト	1,315	1,247	1,228			シナリオ	ベース	3 ①		ベース	3 ②	3 ③		可燃+不燃 (百万円)	コスト	—	※		1,315	1,223	1,475			CO2	146	156		321	389	384		(t-CO2/年)
シナリオ	ベース	1 ①	1 ②		不燃+その他プラ (百万円)																																															
コスト	321	379	360																																																	
シナリオ	ベース	2 ①	2 ①		可燃+不燃 (百万円)																																															
コスト	1,315	1,247	1,228																																																	
シナリオ	ベース	3 ①		ベース	3 ②	3 ③		可燃+不燃 (百万円)																																												
コスト	—	※		1,315	1,223	1,475																																														
CO2	146	156		321	389	384		(t-CO2/年)																																												
結果の解釈	—																																																			
その他	<p>今後、以下のような経済的手法の評価を検討している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ごみの有料化 ・デポジット制 ・集団回収補助金 ・処理処分課徴金 ・環境税 (温室効果ガス) 																																																			

事例番号	5
文献	Peter Beigl and Stefan Salhofer. "Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems" Resources, Conservation and Recycling 41 p.83-102 (2004)
テーマ	廃棄物管理システム別に生態系に及ぼす影響と費用を比較
概要	廃棄物管理システムをリサイクルの有無によって区別し（リサイクル有：R、無：NR）、更にリサイクルを伴う場合は市民が収集所に持ち込む場合（BS）と道路脇収集（KC）を設定し、各システムの生態系への影響とコスト分析を行った。
評価範囲	廃棄物回収、輸送、処理
評価対象	【生態系への影響】 温暖化、酸性化、エネルギー消費量 【コスト分析】 管理会社が廃棄物回収等に要する輸送費、市民が中央集積場に行く際に掛かる費用、廃棄物処理費用、回収コンテナ代（なお、広告代、回収所の管理費、機会費用は対象外）
評価シナリオ	【廃棄物管理システム】 シナリオ R-BS：残留廃棄物とバイオ廃棄物は道路脇収集によって回収するが、その他の全てのごみは市民によって中央集積所に持ち込まれる。 シナリオ R-KC：残留廃棄物とバイオ廃棄物に加えて、紙、プラスチック、金属についても道路脇収集によって回収する。（ガラスは回収率が低いため道路脇収集しない。）ガラスとその他全てのごみは市民によって中央集積所に持ち込まれる。 シナリオ NR：全てのごみは分別することなく道路脇収集によって回収する。但し、道路脇収集で回収できないような廃棄物（粗大ごみ、庭ごみ、段ボール等）や有害廃棄物は持込によるものとする。
評価指標	【生態系への影響】 温暖化：CO ₂ 、CH ₄ 、NO ₂ 酸性化：SO ₂ 、NO _x 、NH ₃ 、HCl 【コスト分析】 コスト
前提条件	【廃棄物処理法】 残留廃棄物：機械・生物処理過程において、可燃物（紙、プラスチック）は気流式分級機によって、鉄類は磁力選別機によって分別する。微生物分解後の残留物は埋立処理する。分別された鉄類はリサイクルし、紙とプラスチックは流動床焼却炉で熱処理する。機械・生物処理過程の分別効率は、分別回収と同等とみなす。 有機物：バイオ廃棄物と庭ごみは堆肥化する。 プラスチック：従来の選別装置によって、リサイクルするものと流動床焼却炉で熱処理するものに手動分別する。 その他：紙、ガラス、金属はリサイクルする。 【輸送】 市民が中央集積場に行く際に掛かる移動費は、車を使用するものとし、オーストラリア税法の定める走行手当にて換算して求めた。
使用データ	廃棄物量および回収量：実データ（1998） 走行距離：概算値 費用：実データ、計算値、文献値
評価対象地域	オーストラリア、ザルツブルク内の2地区

評価結果

各シナリオにおける生態系への影響及び各シナリオにおいて紙、プラスチック、金属、ガラスを扱った場合の生態系への影響が示されている。Fig3、Table5、Table6、Table7、Table8

(表中の負の値は、排出量の削減またはエネルギー節約量を表す。)

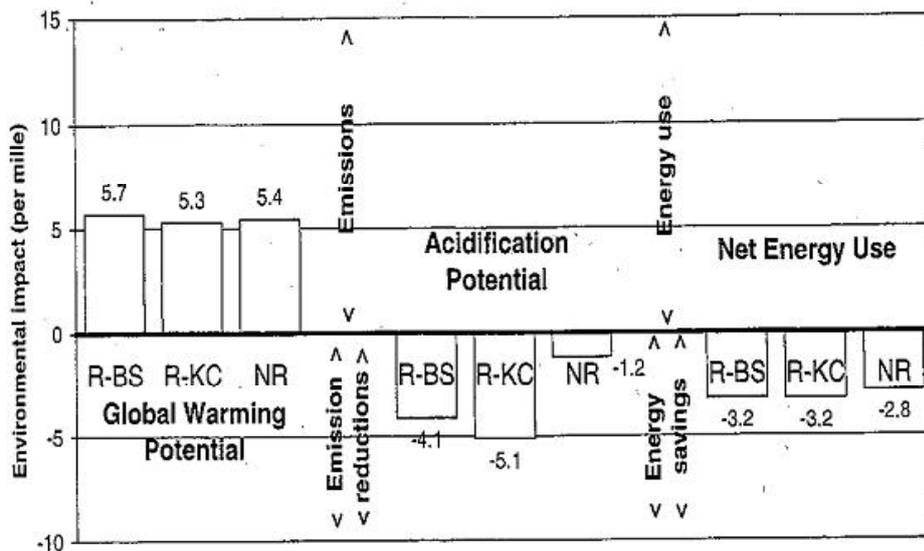


Fig.3 廃棄物管理システムの環境影響比較

Table 5 廃棄物管理システムのプロセス毎の環境影響

	温暖化			酸性化			エネルギー消費		
	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR
収集と処理									
輸送	2.51	1.95	1.63	5.96	4.58	3.80	2.00	1.53	1.28
ごみ箱	0.13	0.28	0.09	0.35	0.73	0.24	0.38	0.81	0.26
残留廃棄物、粗大ごみ、バイオ廃棄物の処理	1.29	1.29	2.42	1.31	1.31	2.56	0.91	0.91	1.78
収集と処理全体	3.93	3.52	4.14	7.63	6.63	6.60	3.29	3.26	3.31
リサイクル									
古紙	-0.28	-0.28	-2.68	-6.87	-6.87	-4.37	-2.26	-2.26	-2.90
プラスチック包装	2.23	2.23	4.07	-2.05	-2.05	-2.28	-2.14	-2.14	-2.12
金属	-0.12	-0.12	-0.10	-2.02	-2.02	-1.15	-1.56	-1.56	-1.14
ガラス	-0.08	-0.08		-0.80	-0.80		-0.52	-0.52	
リサイクルによる全節約	1.76	1.76	1.30	-11.73	-11.73	-7.79	-6.48	-6.48	-6.16
全体	5.68	5.28	5.44	-4.10	-5.11	-1.19	-3.19	-3.22	-2.84

Table 6 廃棄物管理システムの比較：古紙

		温暖化			酸性化			エネルギー消費			
		R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	
収集と処理	輸送	0.56	0.17	0.13	1.36	0.38	0.29	0.46	0.13	0.09	
	ごみ箱		0.06	0.02		0.18	0.05		0.19	0.05	
	熱処理				0.11	0.11	1.65	<0.01	<0.01	0.05	
	収集と処理	0.56	0.23	0.15	1.47	0.67	1.99	0.46	0.32	0.19	
	全体										
	リサイクル	資源	-0.10	-0.10	-0.01	-6.61	-6.61	-0.53	-2.08	-2.08	
	リサイクル	熱処理 (天然ガス 換算)	-0.18	-0.18	-2.67	-0.37	-0.37	-5.49	-0.19	-0.19	-3.00
リサイクル	全体	-0.28	-0.28	-2.68	-6.98	-6.98	-6.02	-2.27	-2.27	-3.00	
全体		0.29	-0.04	-2.53	-5.51	-6.31	-4.03	-1.81	-1.95	-2.80	

Table 7 廃棄物管理システムの比較：プラスチック包装

		温暖化			酸性化			エネルギー消費		
		R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR
収集と処理	輸送	0.23	0.18	0.05	0.55	0.39	0.11	0.19	0.13	0.04
	ごみ箱		0.07			0.16			0.20	
	熱処理	3.61	3.61	6.13	1.15	1.15	1.96	0.01	0.01	0.02
	分別	0.06	0.06		0.09	0.09		0.07	0.07	
	収集と処理	3.90	3.92	6.18	1.80	1.80	2.06	0.27	0.41	0.06
	全体									
	リサイクル	資源	-0.23	-0.23		-0.80	-0.80		-0.95	-0.95
リサイクル	熱処理 (天然ガス 換算)	-1.21	-1.21	-2.06	-2.49	-2.49	-4.23	-1.26	-1.26	-2.15
リサイクル	全体	-1.44	-1.44	-2.06	-3.29	-3.29	-4.23	-2.22	-2.22	-2.15
全体		2.46	2.48	4.12	-1.50	-1.49	-2.17	-1.95	-1.81	-2.09

Table 8 廃棄物管理システムの比較：ごみ別

Impact category	古紙			プラスチック包装			金属包装			ガラス	
	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	R-BS	R-KC	NR	R-BS	NR
温暖化	0.29	-0.04	-2.53	2.46	2.48	4.12	0.01	0.02	-0.01	0.22	0.18
酸性化	-5.51	-6.31	-4.03	-1.50	-1.49	-2.17	-1.18	-1.16	-0.40	-0.08	0.32
エネルギー消費	-1.81	-1.95	-2.80	-1.95	-1.81	-2.09	-0.84	-0.79	-0.44	-0.28	0.17
格付け	2	3	1	1	2	3	1	2	3	1	2
格付け基準	温暖化			温暖化			酸性化、エネルギー消費			酸性化、エネルギー消費	

また、各シナリオにおけるコスト分析が示されている。Table9、Table10

Table 9 廃棄物管理シナリオのコスト (単位：ユーロ/ 住民・年)

プロセス	R-BS	R-KC	NR
収集車、その他	21.87	32.12	23.69
個人の車	18.24	10.76	8.28
ごみ箱	4.58	7.70	2.25
処理 (リサイクルと埋立含む)	25.72	25.72	29.00
全体	70.42	76.38	63.29

Table 10 廃棄コストの比較

廃棄物の種類	R-BS ^a	R-KC ^a
プラスチック包装	79	103
金属包装	24	47
古紙	11	13
ガラス	11	—

^a NR = 21 (disposal as residual waste with kerbside collection).

結果の解釈

—

その他

ガラス及びプラスチックを回収する場合は、走行距離によって生態系への影響が変化するとしている。

事例番号	6
文献	Jeffrey Morris. "Recycling versus incineration: an energy conservation analysis" Journal of Hazardous Materials 47 p.277-293 (1996)
テーマ	ごみリサイクル又は焼却によるエネルギー節約量
概要	一般廃棄物をリサイクルした際に節約されるエネルギー量を、ごみ焼却して回収されるエネルギー量と比較した。
評価範囲	ごみのリサイクルまたは焼却工程
評価対象	エネルギー
評価シナリオ	シナリオ1：ごみ焼却 シナリオ2：ごみリサイクル
評価指標	エネルギー回収量又は節約量
前提条件	エネルギー消費の見積もり： 評価に含めたもの：生産工程における抽出、処理、輸送に要するエネルギー、及び光、熱、動力 評価に含めなかったもの：少量しか使用されない原料の生産に要するエネルギー、使用機器の生産及び建築物の建立に要するエネルギー、労働者の生活維持に要するエネルギー 原料から発生するエネルギー： 化学パルプ：木屑による蒸気エネルギーをパルプ製造に使用するものとして評価 リサイクル紙：リサイクルによって保全された木材分を評価 ごみ焼却によるエネルギー：15%の効率で電力に変換され、1kWh の電力生産に23,820kJのインプット（約2kgのごみ）が必要 cf. 化石燃料の場合は10,807kJのインプットで1kWhの電力を生産するので、ごみ焼却のエネルギー生産効率は化石燃料の45% 輸送・処理：製造システムと廃棄物管理システムに分けて評価 焼却しない廃棄物：車、バッテリー、white goods、建設・解体破片、危険物質
使用データ	実データ、計算値
評価対象地域	カナダ、オンタリオ
評価結果	ごみリサイクルによって保全されたエネルギー量が示されている。 Table1（次ページ）

Table 1 ごみ焼却によるエネルギー回収とリサイクルによる節約エネルギー

ごみの種類		ごみの構成 (%)	発熱量 (kJ/kg)	ごみ焼却によるエネルギー (kJ/kg)
紙	新聞	10.3	18 608	8 444
	段ボール	14.6	16 282	7 388
	事務 (台帳、コンピュータからの印刷物)	5.7	18 143	8 233
	その他リサイクル紙	4.8	16 747	7 600
	金属、プラスチック、またはワックス 塗装	0.5	17 910	8 127
	合計	35.8	17 331	7 865
プラスチック	PET	0.3	46 287	21 004
	高密度ポリエチレン	0.9	46 287	21 004
	その他容器	0.2	36 983	16 782
	フィルム、包装	4.3	32 009	14 566
	その他硬質プラスチック	1.8	36 983	16 782
	合計	7.5	35 669	16 186
ガラス	容器	5.7	233	106
	その他	2.1	233	106
	合計	7.8	233	106
金属	アルミ飲料容器	0.4	1 628	739
	その他アルミニウム	1.1	698	317
	その他非鉄類	0.1	698	317
	ブリキ及びバイメタル缶	3.1	1 628	739
	その他鉄類	7.7	698	317
	自動車バッテリー	0.5		
	家庭用バッテリー	0.1		
	家電	1.0		
合計	14.0	889	403	
有機物		16.0		
生ごみ			6 048	2 744
庭ごみ			6 978	3 166
Memo : 堆肥化				
廃材		11.9	15 584	7 072
皮		0.1	16 747	7 600
ゴム	タイヤ	0.9	32 564	14 777
	その他ゴム製品	0.7	25 353	11 505
布地		2.6	16 049	7 283
綿				
合皮繊維				
おむつ		1.1	23 609	10 713
建設及び解体がれき		0.6		
微量危険物質		1.0		
加重平均		100.0	13 514	6 132

Table 1 つづき

ごみの種類		リサイクルによる節約エネルギー		
		同一素材へのリサイクル		他素材への リサイクル (kJ/kg)
		最低推定値 (kJ/kg)	最高推定値 (kJ/kg)	
紙	新聞	21 450	23 346	38 600
	段ボール	13 665	32 108	38 600
	事務 (台帳、コンピュータからの印刷物)	34 699	35 786	38 600
	その他リサイクル紙	10 318	32 108	38 600
	金属、プラスチック、またはワックス 塗装			38 600
	合計	18 863	30 264	
プラスチック	PET	60 825	110 950	
	高密度ポリエチレン	66 058	82 573	
	その他容器	61 639	64 198	
	フィルム、包装	66 058	84 899	
	その他硬質プラスチック	41 868	95 887	
合計	59 934	87 877		
ガラス	容器	907	5 517	582
	その他			582
	合計	907	4 209	
金属	アルミ飲料容器	201 562	312 098	
	その他アルミニウム	201 562	360 900	
	その他非鉄類	110 148	122 429	
	ブリキ及びバイメタル缶	7 094	37 100	
	その他鉄類	14 496	21 218	
	自動車バッテリー			
	家庭用バッテリー 家電			
合計	35 150	64 155		
有機物				
生ごみ				4 215
庭ごみ				3 556
Memo：堆肥化				5 548
廃材		6 422	6 422	
皮		No data	No data	No data
ゴム	タイヤ	16 265	48 796	147 800
	その他ゴム製品	25 672	25 672	
布地				42 101
綿		58 292	58 292	
合皮繊維				
おむつ		6 801	15 124	
建設及び解体がれき				
微量危険物質				
加重平均		20 060	31 270	

結果の解釈	ごみリサイクルによって保全されるエネルギー量の方が、ごみ焼却によるエネルギー回収量よりも約3～5倍多い（但し、生ごみ、庭ごみ、木屑を除く）。本比較には、リサイクルに要するごみ分別回収、洗浄、処理、輸送エネルギー、並びにごみ焼却に要する回収、処理エネルギーは含まれていないが、これらを考慮した場合でもリサイクルによるエネルギー保全量が、焼却によるエネルギー回収量を上回る。
その他	-

事例番号	7																																																						
文献	W. Reid Lea. "Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings" Journal of Hazardous Materials 47 p.295-302 (1996)																																																						
テーマ	一般廃棄物のリサイクルによるエネルギー節約																																																						
概要	一般廃棄物をリサイクルした場合に期待されるエネルギー節約量を計算した。プラスチックに関しては、焼却によって回収されるエネルギーを計算し、リサイクルした場合と比較した。																																																						
評価範囲	ごみのリサイクルまたは焼却工程																																																						
評価対象	エネルギー																																																						
評価シナリオ	シナリオ1：リサイクル可能なものは100%リサイクルする（参照ケース）。 シナリオ2：リサイクル率を一律25%とみなす。但し、埋立からの庭ごみは除く。 シナリオ3：プラスチックを除き、100%リサイクルする。プラスチックは焼却してエネルギーに変換する。 シナリオ4：プラスチックを除くごみのリサイクル率を一律25%とみなす（埋立からの庭ごみは除く）。プラスチックはエネルギーに変換する。																																																						
評価指標	エネルギー節約量 (MJ=10 ⁶ J (millions of Joules)、ドル)																																																						
前提条件	ごみ分別：消費者によって行われるものとする。 エネルギー節約量の換算：1991年の原油価格に基づき\$16.10/barrelとして換算した後、1991年当時のドルに合わせるため8%減じる。																																																						
使用データ	計算値																																																						
評価対象地域	アメリカ合衆国																																																						
評価結果	Table3-6 Table 3 100%リサイクルした場合（シナリオ1）のエネルギー節約量 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>リサイクル率</th> <th>1人当たりの年間エネルギー節約量^b (MJ)</th> <th>累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)</th> <th>1人当たりの年間エネルギー節約量^b (補正ドル価)</th> <th>累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>紙及び板紙</td> <td>100.0</td> <td>1816</td> <td>19148</td> <td>\$ 4.92</td> <td>\$ 48.29</td> </tr> <tr> <td>ガラス</td> <td>100.0</td> <td>291</td> <td>2810</td> <td>\$ 0.79</td> <td>\$ 7.10</td> </tr> <tr> <td>アルミニウム</td> <td>100.0</td> <td>1126</td> <td>13530</td> <td>\$ 3.05</td> <td>\$ 34.02</td> </tr> <tr> <td>再生可能スチール</td> <td>100.0</td> <td>122</td> <td>1081</td> <td>\$ 0.33</td> <td>\$ 2.74</td> </tr> <tr> <td>プラスチック^a</td> <td>100.0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>\$ 0.00</td> <td>\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>庭ごみ^a</td> <td>100.0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>\$ 0.00</td> <td>\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>0.0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>\$ 0.00</td> <td>\$ 0.00</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td></td> <td>3355</td> <td>36569</td> <td>\$ 9.09</td> <td>\$ 92.15</td> </tr> </tbody> </table> <p>^a 焼却によるエネルギー回収値分のみが節約される ^b 1991の値</p>	Material	リサイクル率	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (MJ)	累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (補正ドル価)	累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)	紙及び板紙	100.0	1816	19148	\$ 4.92	\$ 48.29	ガラス	100.0	291	2810	\$ 0.79	\$ 7.10	アルミニウム	100.0	1126	13530	\$ 3.05	\$ 34.02	再生可能スチール	100.0	122	1081	\$ 0.33	\$ 2.74	プラスチック ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	庭ごみ ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	その他	0.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00	合計		3355	36569	\$ 9.09	\$ 92.15
Material	リサイクル率	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (MJ)	累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (補正ドル価)	累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)																																																		
紙及び板紙	100.0	1816	19148	\$ 4.92	\$ 48.29																																																		
ガラス	100.0	291	2810	\$ 0.79	\$ 7.10																																																		
アルミニウム	100.0	1126	13530	\$ 3.05	\$ 34.02																																																		
再生可能スチール	100.0	122	1081	\$ 0.33	\$ 2.74																																																		
プラスチック ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00																																																		
庭ごみ ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00																																																		
その他	0.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00																																																		
合計		3355	36569	\$ 9.09	\$ 92.15																																																		

Table 4 25%リサイクルした場合（シナリオ2）のエネルギー節約量

Material	リサイクル率	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (MJ)	累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (補正ドル価)	累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)
紙及び板紙	25.0	454	4787	\$ 1.23	\$ 12.07
ガラス	25.0	73	702	\$ 0.20	\$ 1.78
アルミニウム	25.0	282	3383	\$ 0.76	\$ 8.50
再生可能スチール	25.0	30	270	\$ 0.08	\$ 0.69
プラスチック ^a	25.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
庭ごみ ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
その他	0.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
合計		839	9142	\$ 2.27	\$ 23.04

^a 焼却によるエネルギー回収値分のみが節約される

^b 1991 の値

Table 5 プラスチックを除くごみを100%リサイクルし、プラスチックは焼却した場合（シナリオ3）のエネルギー節約量

Material	リサイクル率	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (MJ)	累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (補正ドル価)	累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)
紙及び板紙	100.0	1816	19148	\$ 4.92	\$ 48.29
ガラス	100.0	291	2810	\$ 0.79	\$ 7.10
アルミニウム	100.0	1126	13530	\$ 3.05	\$ 34.02
再生可能スチール	100.0	122	1081	\$ 0.33	\$ 2.74
プラスチック ^a	100.0	1447	15942	\$ 3.92	\$ 40.17
庭ごみ ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
その他	0.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
合計		4802	52511	\$ 13.02	\$ 132.32

^a 焼却によるエネルギー回収値分のみが節約される

^b 1991 の値

Table 6 プラスチックを除くごみを25%リサイクルし、プラスチックは焼却した場合（シナリオ4）のエネルギー節約量

Material	リサイクル率	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (MJ)	累積エネルギー節約量 1991-2000 (MJ)	1人当たりの年間エネルギー節約量 ^b (補正ドル価)	累積エネルギー節約量 1992-2000 (補正ドル価)
紙及び板紙	25.0	454	4787	\$ 1.23	\$ 12.07
ガラス	25.0	73	702	\$ 0.20	\$ 1.78
アルミニウム	25.0	282	3383	\$ 0.76	\$ 8.50
再生可能スチール	25.0	30	270	\$ 0.08	\$ 0.69
プラスチック ^a	25.0	362	3985	\$ 0.98	\$ 10.04
庭ごみ ^a	100.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
その他	0.0	0	0	\$ 0.00	\$ 0.00
合計		1201	13128	\$ 3.25	\$ 33.08

	<p>a 焼却によるエネルギー回収値分のみが節約される</p> <p>b 1991 の値</p>
結果の解釈	<p>アルミニウム及びガラス瓶のリサイクルによるエネルギー節約は顕著である。一方、プラスチックをリサイクルする為には HDPE と PET を分別する必要があるが、現在の分別技術と原油価格を考慮すると、プラスチックは焼却してエネルギーに変換した方がよい。</p>
その他	<p>—</p>

事例番号	8
文献	永田 勝也 (早大理工) ほか「LCA におけるインパクトアセスメント手法の開発 (その3) - 廃プラの RDF・油化発電の統合化指標による評価 -」『第15回廃棄物学会研究発表会論文集』、p. 89-90 (2004)
テーマ	廃プラスチックの固形燃料化 (RDF) や油化の総合的な環境負荷の評価
概要	RDF 及び油化生成油を用いた発電システムを、環境統合化指標 ELP (相対 ELP、絶対 ELP) によって評価・検討し、廃プラスチックを原料とした場合のシステムの有効性を確認した。
評価範囲	燃料化から焼却・エネルギー回収まで
評価対象	発電システムのエネルギー収支及び以下の特性: エネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染
評価シナリオ	シナリオ1: 廃プラスチック 1kg を原料とし、RDF を発電に利用する。 シナリオ2: 廃プラスチック 1kg を原料とし、生成油を発電に利用する。 シナリオ3: 従来の直接ごみ発電。
評価指標	発電量、使用電力量、CO ₂ 、NO _x 、SO _x 排出量、原油、石炭、天然ガス、ウラン鉱石、環境統合化指標 ELP
前提条件	発電量はそれぞれの低位発熱量に発電端効率を掛けて算出し、送電量は発電量から所内動力を差し引いて求めた。燃料は送電端効率 40.3% (国内石油、天然ガス火力平均) で電力換算した。電力についてはわが国の電源構成比、送電端効率から燃料消費量を求めた。CO ₂ 、NO _x 、SO _x 排出量は、回収電力 (送電量) の分だけ発電所での発電が節約できるものと想定し、その際の排出量を差し引いて求めた。また、カテゴリーごとの指標は直接ごみ発電における値を1として相対化した。
使用データ	計算値
評価対象地域	-
評価結果	<p>図1、図2</p> <p>図1 各発電システムのエネルギー収支比較</p>

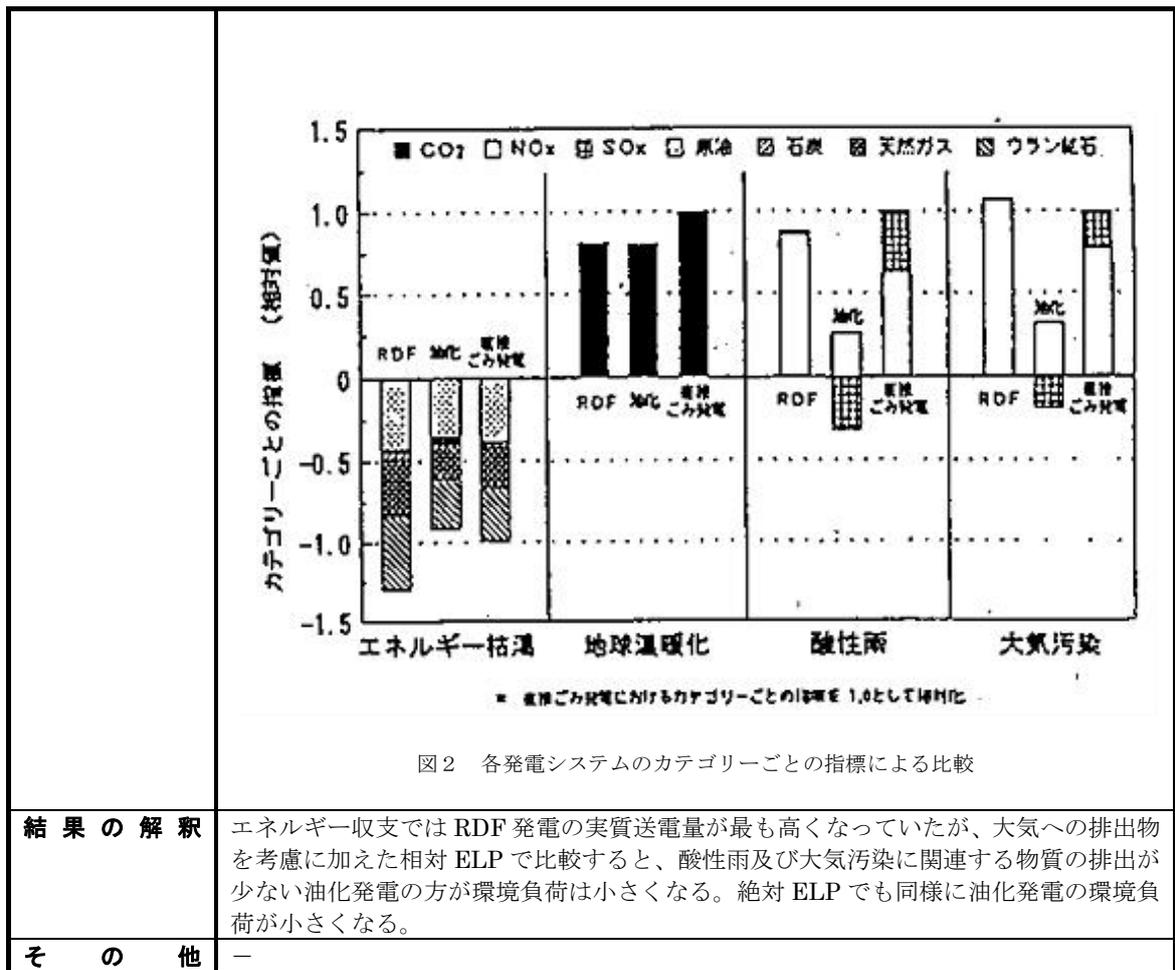


図2 各発電システムのカテゴリーごとの指標による比較

結果の解釈

エネルギー収支では RDF 発電の実質送電量が最も高くなっていたが、大気への排出物を考慮に加えた相対 ELP で比較すると、酸性雨及び大気汚染に関連する物質の排出が少ない油化発電の方が環境負荷は小さくなる。絶対 ELP でも同様に油化発電の環境負荷が小さくなる。

その他

—

事例番号	9
文献	井村 秀文 (九州大学) ほか「一般廃棄物処理システムのライフサイクルアセスメントに関する研究—エネルギーを指標として—」『環境システム研究』、p. 261-267 (1995)
テーマ	一般廃棄物処理システムにおけるエネルギー消費
概要	平成5年度における現在既存施設を対象として、福岡市の一般廃棄物処理システムの評価を、エネルギー消費に着目して行った。また、現在は行われていない紙の分別処理を行った場合の分析も行った。更に、焼却と埋立の各種方式の組み合わせによる温室効果ガスの発生強度を比較検討した。
評価範囲	焼却処理施設の建設・運転、廃棄物の収集、焼却灰の最終処分場までの輸送を含めた一般廃棄物処理システム
評価対象	エネルギー消費、温室効果ガスの発生強度
評価シナリオ	<p>【エネルギー消費】</p> <p>シナリオ1：現在採用されている処理システム（紙の分別処理なし）</p> <p>シナリオ2：可燃性廃棄物の約45%を占める紙だけをすべて分別して再資源化し、その他の可燃性廃棄物を焼却する。但し、処理施設は現在のままとする。</p> <p>【温室効果ガスの発生】</p> <p>シナリオA：焼却処理をして準好気性埋立を行う</p> <p>シナリオB：焼却処理をして嫌気性埋立を行う</p> <p>シナリオC：焼却処理をせずに準好気性埋立を行う</p> <p>シナリオD：焼却処理をせずに嫌気性埋立を行う</p>
評価指標	エネルギー消費量（ALCE＝annualized life-cycle energy：年間当りのライフサイクルエネルギー）、廃棄物焼却によるCO ₂ 排出量、埋立によるCO ₂ 、CH ₄ 発生量
前提条件	<p>福岡市の可燃性廃棄物の組成、発熱量については、解析の際には季節変動は無視し、年間の平均値を用いた（表1）。建設エネルギーについては、各施設ごとにその建設時に投入されたエネルギーを施設・機械類の耐用年数（表2）で除した値を1年あたりの建設エネルギーとした。施設の運用エネルギーについては、福岡市の関連施設と機械類の運転実績値（年間電力消費量及び燃料消費量）を基礎に算出し、対象年度は平成5年度とした。産業関連分析による値のように、特定の年度についてしかデータが得られない場合は、物価等によって補正して対象年度の値とした。また薬品については、消費実績値に製造エネルギー原単位を乗じて算出した。図1</p> <p>ごみ収集車の燃料や、焼却灰の自動車輸送と埋め立て施設におけるコンパクター運転に必要な燃料については、福岡市のパッカー車、トラック、コンパクター1台当たりの燃料、平均走行距離及び使用台数に関する実績データから燃料消費量を算出した。電力のエネルギー換算値としては、電力会社からの受電（買電）については転換、送電ロスを考慮し、1kWh=2250kcalで一次エネルギーに換算した。また、福岡市の清掃工場（東部第2工場を除く）で行われている廃棄物焼却発電によるエネルギー回収については、1kWh=860kcalとし、運用エネルギーに負で計上した。図2、図3</p> <p>収集時の労働力エネルギーについては、廃棄物収集に従事する労働者1人の生活を維持するのに必要なエネルギーの総量として、日本国民1人当たりの家庭用エネルギー消費量を採用し、これを労働者1人1日当りに相当する投入エネルギー原単位とした。また、投入労働力としては廃棄物処理に直接携わる作業人員のみ考慮し、直接作業人員は福岡市のデータを用いて算出した。</p> <p>廃棄物焼却によるCO₂排出量については、廃棄物の発熱量ベースのCO₂排出原単位を用い、分別を行った場合のCO₂排出量は、廃棄物の焼却によるCO₂排出量と補助燃料（灯油）の焼却によるCO₂排出量の和によって算定した。また、埋立による温室効果ガス発生の源となる易分解性有機物としては、埋立廃棄物中に含まれる厨芥類を対象にし、その量については焼却処理をする場合としない場合それぞれについて算定した。埋立廃棄物のガス化率予測モデル式には松藤の式を用いた。</p> <p>表1、表2、図1～3</p>

表1 福岡市の可燃物廃棄物の組成、発熱量

	H1	H2	H3	H4	H5
紙類	43.7	42.7	41.7	45.2	47.8
高分子類	17.1	15.4	15.4	14.9	14.7
木、わら類	8.1	8.8	12.0	7.6	7.5
繊維類	3.6	4.3	4.2	3.8	3.3
雑物	18.3	19.2	17.5	19.4	17.9
不燃物	9.2	9.6	9.2	9.1	8.8
低位発熱量	2,030	2,200	2,170	2,110	2,220

表2 耐用年数

	耐用年数
廃棄物収集車	5年
清掃工場	25年
焼却灰輸送車	6年
埋立場	25年

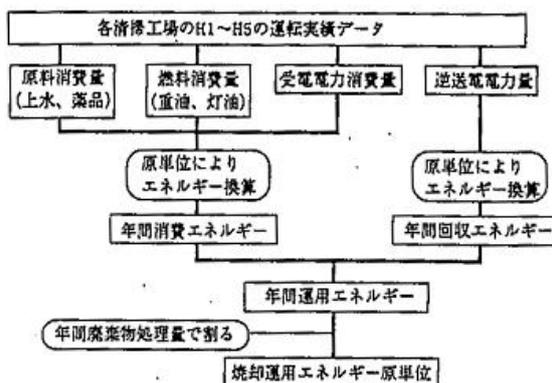


図1 焼却運用エネルギー算出フロー図

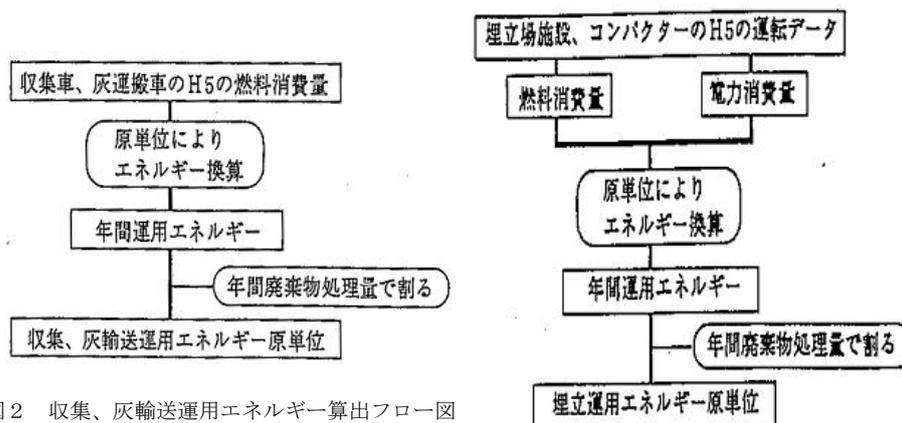


図2 収集、灰輸送運用エネルギー算出フロー図

図3 埋立運用エネルギー算出フロー図

使用データ	実績データ、エネルギー原単位、計算値
評価対象地域	福岡市

評価結果

【エネルギー消費】

現システムについて：表3、表4、図4、表5、表6
紙の分別処理をした場合：表7、図5、図6

表3 福岡市の一般廃棄物処理に要するライフサイクルエネルギー
(平成5年度一般廃棄物焼却量 592,310 t)

		年間投入エネルギー (Gcal/年)	焼却廃棄物1t当たり (Mcal/t・年)
建設	収集	1,633	2.76
	焼却処理	40,319	68.07
	焼却灰輸送	295	0.50
	埋立	885	1.49
	計	43,132	72.82
運用	収集	5,451	9.21
	焼却処理	-21,247	-35.88
	焼却灰輸送	839	1.42
	埋立	4,193	7.08
	計	-10,764	-18.18
労働	収集	1,036	1.75
	焼却処理	401	0.68
	焼却灰輸送	34	0.06
	埋立	50	0.08
	計	1,521	2.57
合計		33,889	57.21

表4 運用エネルギーと労働エネルギー

	運用エネルギー (Gcal/年)	労働エネルギー (Gcal/年)	合計 (Gcal/年)	労働エネルギーの 占める割合 (%)
収集	5,451	1,036	6,487	16.0
焼却処理	-21,247	401	-20,846	
焼却灰輸送	839	34	873	3.9
埋立	4,193	50	4,243	1.2
合計	-10,764	1,521	-9,243	

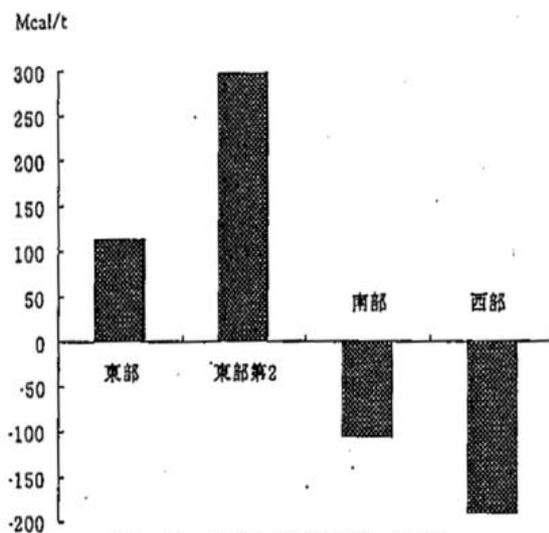


図4 清掃工場別焼却原単位

表5 平成5年度清掃工場別エネルギー内訳 (Gcal/年)

	東部	東部第2	南部	西部
受電電力	8,930	13,927	982	1,535
水	144	35	39	29
灯油	712	814	252	1,888
重油	0	0	0	1,390
苛性ソーダ	10,924	0	14,543	17,453
消石灰	0	551	0	0
セメント	0	243	0	0
送電電力	-1,629	0	-33,315	-60,701
焼却運用エネルギー	19,080	15,570	-17,498	-38,407

表6 平成5年度清掃工場別施設容量1t当たりALCE

	東部	東部第2	南部	西部	合計
施設容量 (t)	219,000	73,000	219,000	273,750	784,750
焼却量 (t)	175,216	52,655	165,157	199,282	592,310
建設ALCE (Gcal/年)	10,941	5,007	8,160	16,210	40,318
運用ALCE (Gcal/年)	19,080	15,570	-17,498	-38,407	-21,256
施設容量1t当たり	49.96	68.59	37.26	59.21	215.02
建設ALCE (Mcal/t・年)					
施設容量1t当たり	87.12	213.28	-79.90	-140.30	80.20
運用ALCE (Mcal/t・年)					
施設容量1t当たり	137.08	281.87	-42.64	-81.09	295.23
ALCE (Mcal/t・年)					

表7 焼却運用エネルギーの比較 (Gcal/年)

	現在	分別時
受電電力	25,374	90,386
水	246	123
灯油	3,666	166,022
重油	1,390	725
苛性ソーダ	42,920	22,375
消石灰	551	287
セメント	243	243
送電電力	-95,646	0
焼却運用エネルギー	-21,247	280,161

【温室効果ガスの発生】

図7、表9

表9 温暖化への影響度

焼却した場合		焼却しない場合	
準好気性	嫌気性	準好気性	嫌気性
1	1.14	9.08	10.55

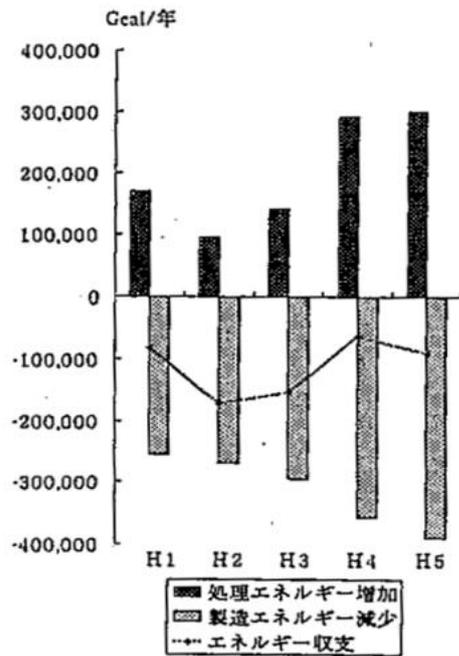


図5 エネルギーバランス

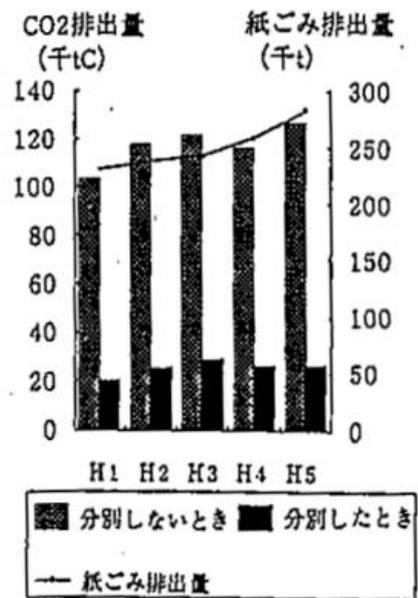


図6 CO₂排出量の比較

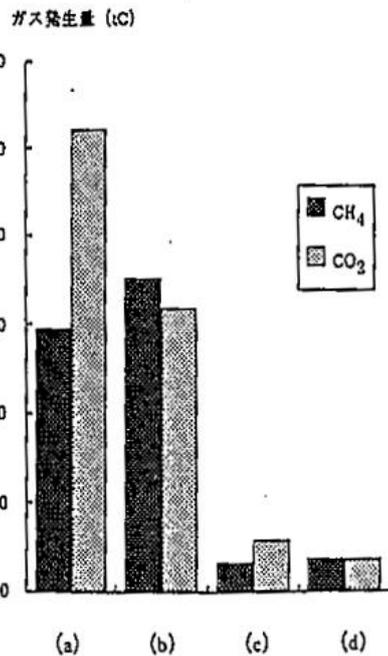


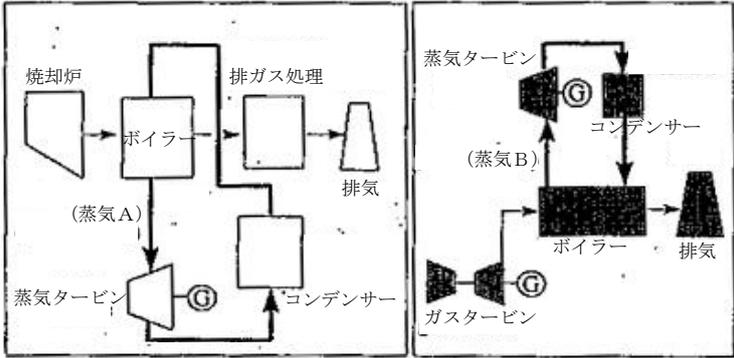
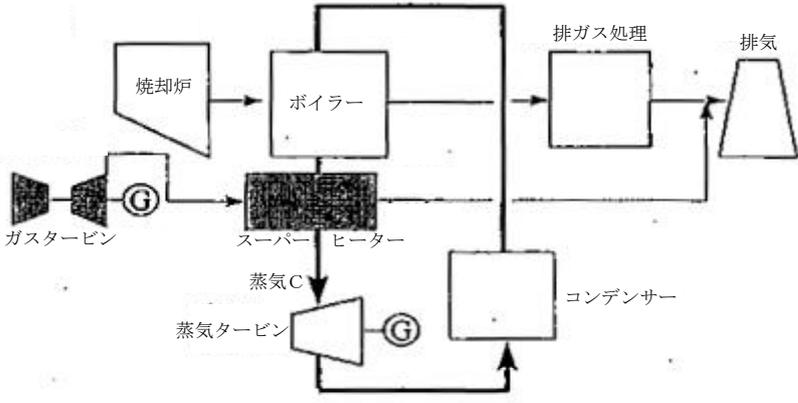
図7 ガス発生量

結果の解釈

紙の分別を行った場合、廃棄物焼却処理工程での運用エネルギーは増加する一方、紙生産のエネルギーは減少する。また、焼却せずに嫌気性埋立を行った場合、温暖化への影響が一番大きくなる。

その他

CH₄とCO₂の単位重量当りの温暖化への寄与率(GWP)を比べた場合、前者は後者の30倍であり、埋立を行う際にはCH₄の発生を小さくするような埋立方法が望まれる。

事例番号	10
文献	乙間末広（国立環境研究所）ほか「高効率化ごみ発電におけるエネルギー回収と CO ₂ 排出量削減効果の推定」『廃棄物学会論文誌』 vol. 8, p. 335-341（1997）
テーマ	リパワリング、リバーニングによる高効率化ごみ発電とエネルギー効率の改善
概要	ごみ発電の高効率化を目的としたリパワリングおよび NO _x 、ダイオキシン同時抑制を目指したリバーニングについてライフサイクルエネルギーバランスを検討し、これらの方法がエネルギー回収に有効であり、またリパワリングではごみ焼却炉に併設するガスタービンについて総合的に効率の最も良くなる最適なサイズが存在することを示した。
評価範囲	ごみ発電のライフサイクル
評価対象	ライフサイクルエネルギー、CO ₂ 排出量
評価シナリオ	<p>Fig2、Fig3、Fig4</p>  <p>Fig.2 ケース1のフロー</p>  <p>Fig.3 ケース2のフロー</p>

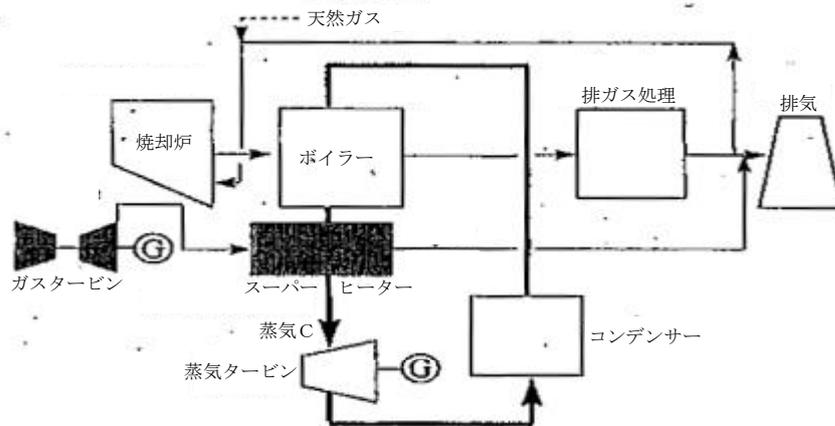


Fig.4 ケース3のフロー

評価指標
前提条件

素材重量、発電効率、エネルギー収支、ガスタービンサイズ、CO₂排出量

【評価方法】

エネルギーは一次エネルギー換算で計算する。Fig1 にごみ発電のエネルギー収支の考え方を示す。

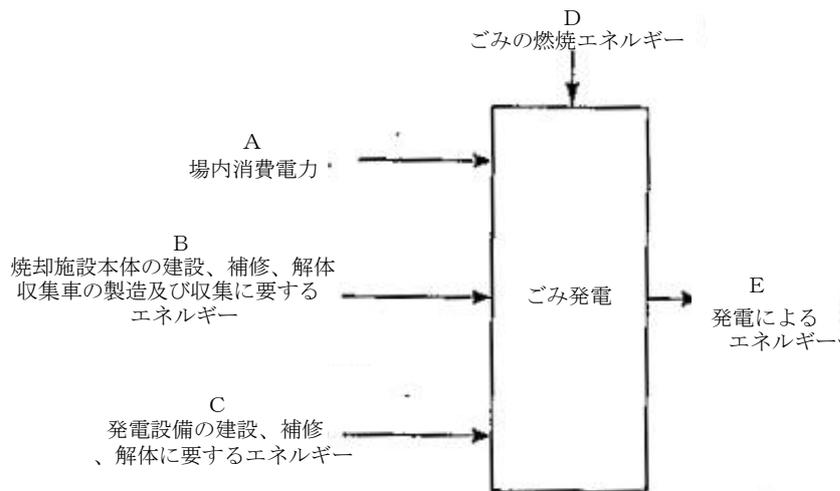


Fig.1 ごみ発電のエネルギー収支

【ごみ焼却施設の設定条件】

ごみ焼却施設として、1 炉あたり処理量が 600 t/日の施設を想定した。形式は全連続燃焼ストーカ炉である。標準ごみ質は 2,300 kcal/kg とし、蒸気条件を 30 kgf/cm²、300℃とすると発電量は 10,300 kW（発電端効率 15.4%）となる。施設の耐用年数は 15 年とした。ごみ焼却施設を構成する機器を製造するためのエネルギーデータは各機器について調査を行い、ライフサイクルを通じたエネルギー消費について積み上げ法と産業連関法を併用して計算した。

【リパワリングシステムの設定条件】

各システムの蒸気条件を示す。Table1

蒸気タービンの排気復水方式は空冷方式とし、ガスタービンでは循環水冷方式とした。

	<p style="text-align: center;">Table 1 蒸気条件</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th style="text-align: center;">圧力 (kgf/cm²)</th> <th style="text-align: center;">温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">(A) ごみ発電</td> <td></td> <td style="text-align: center;">28</td> <td style="text-align: center;">300</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">6 MW</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">380</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">(B) ガスタービンの独立設置</td> <td style="text-align: right;">15 MW</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">380</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">40 MW</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">380</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">6 MW</td> <td style="text-align: center;">32</td> <td style="text-align: center;">320</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">(C) リパワリング</td> <td style="text-align: right;">15 MW</td> <td style="text-align: center;">48</td> <td style="text-align: center;">370</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">40 MW</td> <td style="text-align: center;">62</td> <td style="text-align: center;">420</td> </tr> </tbody> </table>			圧力 (kgf/cm ²)	温度 (°C)	(A) ごみ発電		28	300	6 MW	40	380	(B) ガスタービンの独立設置	15 MW	40	380	40 MW	40	380	6 MW	32	320	(C) リパワリング	15 MW	48	370	40 MW	62	420																														
		圧力 (kgf/cm ²)	温度 (°C)																																																								
(A) ごみ発電		28	300																																																								
	6 MW	40	380																																																								
(B) ガスタービンの独立設置	15 MW	40	380																																																								
	40 MW	40	380																																																								
	6 MW	32	320																																																								
(C) リパワリング	15 MW	48	370																																																								
	40 MW	62	420																																																								
使用データ	計算値																																																										
評価対象地域	—																																																										
評価結果	<p>Table2、Table3、Fig5～Fig 9</p> <p style="text-align: center;">Table 2 ガスタービン容量毎の素材重量比</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="3">6 MW</th> <th colspan="3">15 MW</th> <th colspan="3">40 MW</th> </tr> <tr> <th colspan="3">ケース</th> <th colspan="3">ケース</th> <th colspan="3">ケース</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ごみ焼却施設</td> <td>0.967</td> <td>0.970</td> <td>0.973</td> <td>0.967</td> <td>0.972</td> <td>0.975</td> <td>0.967</td> <td>0.979</td> <td>0.982</td> </tr> <tr> <td>ガスタービン施設</td> <td>0.033</td> <td>0.028</td> <td>0.028</td> <td>0.042</td> <td>0.035</td> <td>0.036</td> <td>0.063</td> <td>0.049</td> <td>0.049</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>1</td> <td>0.998</td> <td>1.001</td> <td>1.009</td> <td>1.008</td> <td>1.011</td> <td>1.030</td> <td>1.028</td> <td>1.032</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Table 3 発電効率</p>		6 MW			15 MW			40 MW			ケース			ケース			ケース			1	2	3	1	2	3	1	2	3	ごみ焼却施設	0.967	0.970	0.973	0.967	0.972	0.975	0.967	0.979	0.982	ガスタービン施設	0.033	0.028	0.028	0.042	0.035	0.036	0.063	0.049	0.049	合計	1	0.998	1.001	1.009	1.008	1.011	1.030	1.028	1.032
	6 MW			15 MW			40 MW																																																				
	ケース			ケース			ケース																																																				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3																																																		
ごみ焼却施設	0.967	0.970	0.973	0.967	0.972	0.975	0.967	0.979	0.982																																																		
ガスタービン施設	0.033	0.028	0.028	0.042	0.035	0.036	0.063	0.049	0.049																																																		
合計	1	0.998	1.001	1.009	1.008	1.011	1.030	1.028	1.032																																																		

タービン	Teal / y	47.2	47.2	47.2	102.8	102.8	102.8	294.0	294.0	294.0
蒸気タービン	KW	2,740	—	—	4,550	—	—	10,690	—	—
タービン計 (d)	Teal / y	20.6	—	—	34.3	—	—	80.5	—	—
	Teal / y	145.5	146.8	166.7	214.6	225.6	247.4	452.1	462.4	491.0
総効率	%	21.7	21.9	23.1	26.8	28.1	29.0	34.9	35.7	36.5
リパワリング率 (d-c) / (b-a)	%	40.4	41.2	40.8	45.9	49.6	48.7	47.3	48.6	49.1

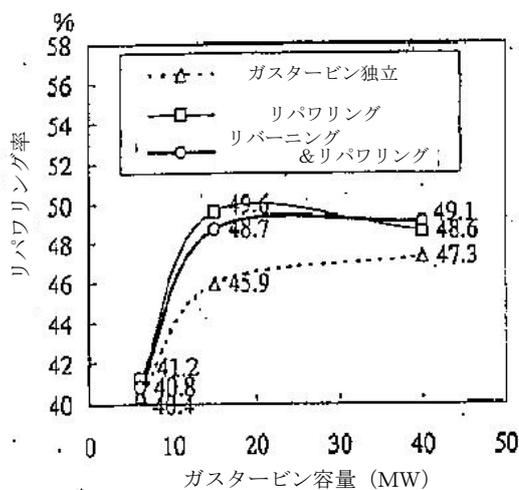


Fig.5 ガスタービン独立設置システム、リパワリングシステム及びリバーニング&リパワリングシステムのリパワリング率

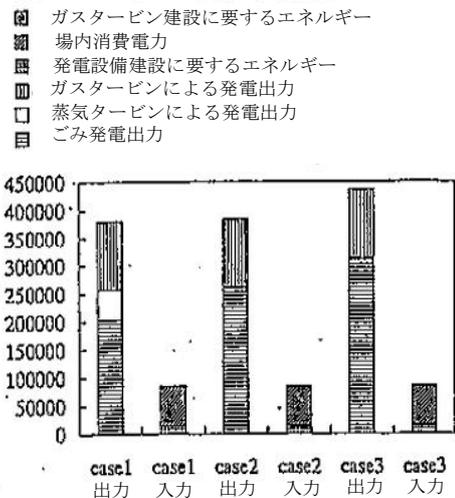
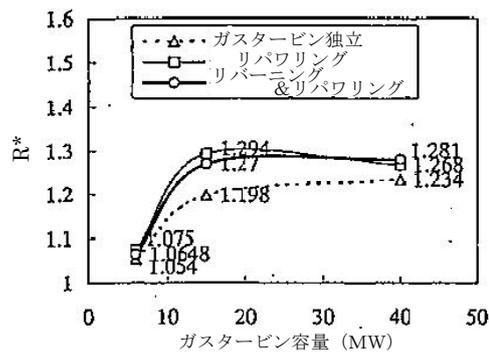
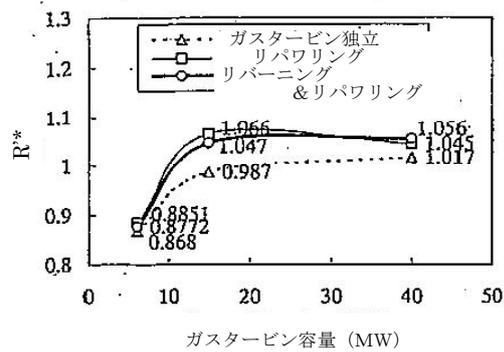


Fig.6 6MW ガスタービン設置の場合の、建設・補修を含めたライフサイクルエネルギー収支比



$R^* = (TP - MP) / (G + TI - MI)$
 R : ライフサイクルエネルギー収支比
 TP : 全発電
 MP : ごみ発電
 G : リバーニングとリパワリングに要するガス
 TI : 建設に要するエネルギー
 MI : ごみ発電設備に要するエネルギー

Fig.7 建設、補修を含めたライフサイクルエネルギー収支比



$R^* = (TP' - MP') / (G' + TI' - MI')$
 R' : CO2 排出比
 TP' : 全発電による削減
 MP' : ごみ発電による削減
 G' : リバーニングを含むガス燃焼による排出
 TI' : 建設による排出
 MI' : ごみ焼却による排出

Fig.8 建設、補修を含めたライフサイクル CO2 排出量削減比

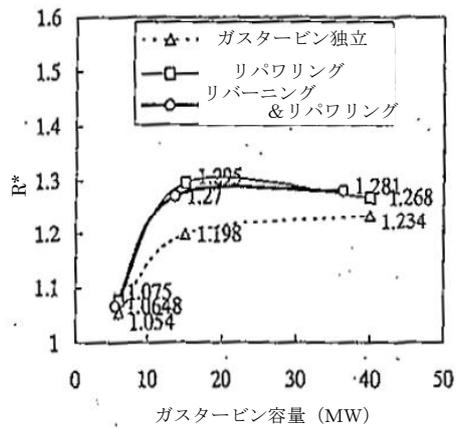


Fig.9 ガスタービン容量に対する
ライフサイクルエネルギー収支比

結果の解釈	—
その他	<p>今回のライフサイクルとしての評価研究では灰の埋め立て、汚水処理などごみ焼却施設の外で行われる処理については、計算に含めておらず、また補修、解体については不明な部分が多い。また、天然ガスの運用エネルギーについては公表データが少ないこと、各ケースにおける天然ガスの使用が同程度であることから、エネルギー収支の入力から除いている。今後はこれらのデータの収集、調査によりライフサイクルエネルギー評価の精度を向上したい。</p>

事例番号	11
文献	守田 裕彦 (東北大学) ほか「LCA の廃棄物処理システムへの適用：宮城県仙台市をケーススタディとして」『第3回エコバランス国際会議講演論文集』、p. 513-516 (1998)
テーマ概要	LCA 手法によるごみ処理システムの解析検討 現在の一般ごみ処理システム及び新しい処理システムシナリオの構築・解析を行い、システム内における物質フロー量や環境への負荷量変化を明らかにした。
評価範囲	「ごみ集積所から収集されたごみ」から「自然環境系に排出される時点」まで Fig1 <p style="text-align: center;">Fig.1 評価範囲</p>
評価対象	温暖化効果、酸性雨効果、水の富栄養化、非再生天然資源減少度
評価シナリオ	シナリオ1：現状のシステム シナリオ2：現状の焼却ごみの7.9%が分別再資源化 シナリオ3：シナリオ2に加え、現状の回収車走行距離の30.6%が削減 参照シナリオ：現状のシステムでリサイクル及び熱回収が行われていない場合
評価指標	SO _x 、NO _x 、NH ₃ 、HCl、HF、H ₂ S 排出量
前提条件	本研究では機能単位を「平成7年度における仙台市で排出された一般ごみ量」とした。モデル構築解析には、エコピラン社のソフトウェア・Waste Management (WM) Tool を使用した。仙台市ごみ処理システムに関するデータは、仙台市環境局の事業概要レポート及びオンサイトデータを中心とし (Fig2, Fig3)、さらにソフトウェア内で必要なデータは default data として予めソフトウェア内に登録されているものを使用した。本研究においてリユース及びリサイクル工程を評価する際には、system boundary expansion 法を採用した。 Fig2, Fig3 <p style="text-align: center;">Fig.2 収集ごみの内訳</p> <p style="text-align: center;">Fig.3 廃棄物処理の割合</p>
使用データ	オンサイトデータ、使用ソフトウェア内の default data
評価対象地域	宮城県仙台市

評価結果

現状のシステム（シナリオ1）が温暖化効果、酸性雨効果、非再生天然資源減少度に与える影響はマイナス値を示した。また、SOx について、収集システムがプラスの影響を持つことが示された。

Fig4、Fig5

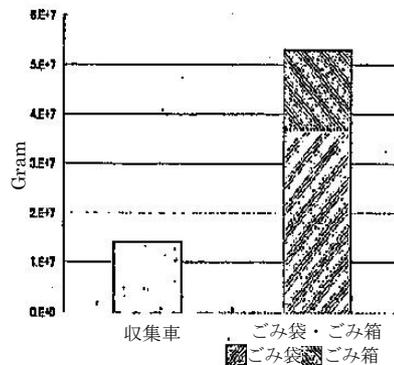
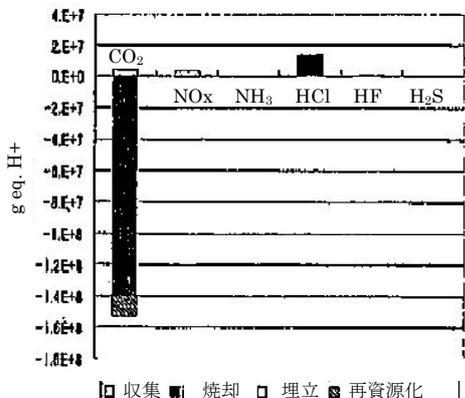


Fig.4 酸性雨効果に与える影響：シナリオ1

Fig.5 収集システムによる SO₂発生量

資源回収を推進する場合（シナリオ2）、ごみ処理システムに関するフロー（大気・水系排出物等）は現状システムのそれよりも減少しており、再資源化推進による環境廃棄物の減少抑制が示された。回収車の走行距離を削減する場合（シナリオ3）は、回収車のメンテナンスに関するフロー及びNOxのフロー量について走行距離減少率と同じ、あるいは大きな値を示した。NOx 排出量削減に対しては、シナリオ2、3は効果のあることが示された。

また、東北電力仙台火力発電所のデータを参考として、ソフトウェアの default data にある単位電力製造時の SOx 排出量を 10 分の 1、NOx 排出量を 2 分の 1 と修正した場合の、シナリオ1における解析結果が示された。

Fig6

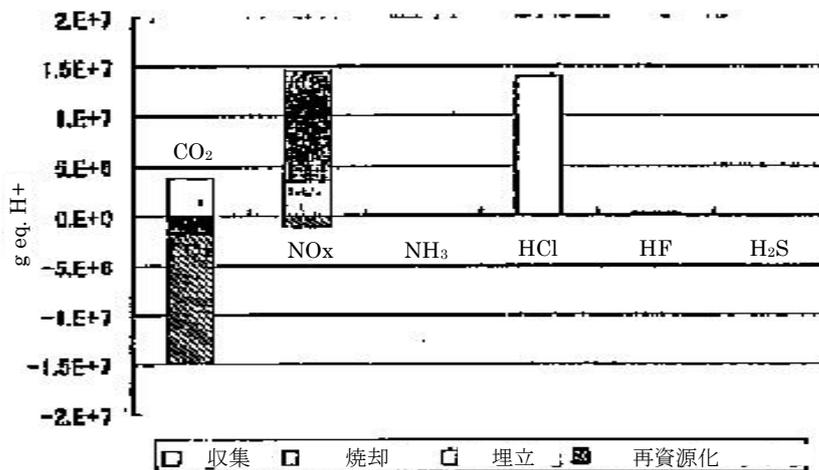


Fig.6 酸性雨効果に与える影響（SOx、NOx 排出量を修正した場合）：シナリオ1

<p>結果の解釈</p>	<p>ごみ焼却場の熱回収システムは、ごみ処理システム全体の評価に影響を与える。</p> <p>ごみ袋・ごみ箱の使用が与える影響は、ごみ回収車が与えるそれよりも大きいことから、袋や箱の使用を抑えていくことによる廃棄物の発生減少の可能性が示唆される。</p> <p>シナリオ3については、本LCA解析では現れてこないが、回収車の走行距離削減＝ごみ収集回数削減は、ごみ排出量減・収集車数減・焼却施設からの排出物減などに影響することが予想され、ごみ発生源からの抑制により近づく施策となりうることから、将来のごみ処理システム全体に大きなインパクトを与えるものと考えられる。</p> <p>ソフトウェアの default data 修正後の解析では、焼却システムのNOx排出に関する環境影響度は、マイナスからプラスに変化しており、本条件化ではごみ発電はメリットを持たなくなったことを意味している。</p>
<p>その他</p>	<p>LCAのより正確な解釈を可能にするために、研究対象システム自身、すなわちオンサイトデータの品質データを得ることはもちろん、素材製造データ等いわゆる上流データの充実、及びそれを共有できるパブリックデータベース化の促進も必要と考える。</p>

事例番号	12
文献	永田 勝也（早大理工）ほか「廃棄物焼却発電システムの LCA 評価～運用時を中心とした評価について～」『第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集』、p. 87-90（1998）
テーマ	運用時を中心とした廃棄物焼却発電システムの評価
概要	廃棄物焼却発電システムのライフサイクルを環境統合化指標 ELP によって評価した。また、ごみを焼却後埋め立てた場合と直接埋め立てた場合を比較検討した。更に、廃棄物発電に関するエネルギー収支を、発電を選択する条件別に評価した。
評価範囲	廃棄物焼却発電システムの建設時、運用時
評価対象	建設時の素材重量による環境負荷、運用時の電力等による負荷、最終処分場において発生する環境負荷、エネルギー収支
評価シナリオ	<p>【埋立法】</p> <p>シナリオ1：ごみを焼却して埋め立てた場合 シナリオ2：ごみを（焼却せずに）直接埋め立てた場合</p> <p>【発電の選択条件】</p> <p>シナリオ1：廃棄物焼却発電システムを発電設備として考え、発電端で評価する。 シナリオ2：廃棄物焼却発電システムを売電を行う発電設備として考え、送電端で評価する。 シナリオ3：廃棄物焼却発電システムを廃棄物焼却発電施設として考える。</p>
評価指標	ELP (Environmental Load Point)、CO ₂ 、CH ₄ 発生量、エネルギー消費量、発電エネルギー量
前提条件	<p>鉄、コンクリートなどの製造時の投入・排出量は SimaPro2.0 データベースを利用した。焼却炉のストーカーは高温となるため 5 年で、またスーパーヒーターも排ガス中の HCl によって高温腐食されるとし 7.5 年で、それぞれ交換されると仮定した。</p> <p>ELP (Environmental Load Point) は耐用年数と稼働日数を考慮してごみ 1kg 当たりとした。ケーブル類の非鉄金属については、すべて銅であると仮定した。</p> <p>また、焼却灰中の未燃分（熱灼減量）はすべて炭素と仮定し、最終処分場からの温室効果ガスの発生量に関しては、松藤ら試算手法を採用した。分解可能な廃棄物は紙・繊維類と厨芥、木竹類とした。但し、紙・繊維類はその殆どが紙であるとした。</p> <p>最終処分場の構造としては準好気性を対象とした。</p> <p>エネルギー収支には、廃棄物の収集輸送で消費されるエネルギーやそのための機材の製造等に使用されるエネルギーは廃棄物処理には共通なものとして考慮しなかった。</p> <p>表1、図1、表2、表3、表4、図6、図7</p>

表1 廃棄物焼却発電システムの評価条件

1 炉当たり処理量	600 t / day
炉形式	全連続式ストーカー炉
ごみ低発熱量	2400 kcal / kg
発電効率	19 %
耐用年数	15 年
稼働日数	300 日/年

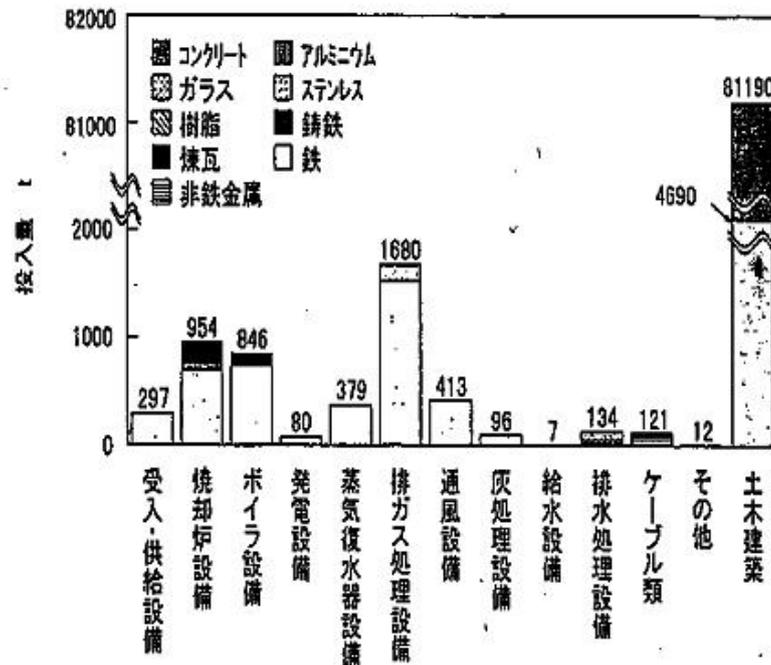


図1 廃棄物焼却発電システムの素材重量見積もり

表2 ごみ条件

組成等	重量割合 %	各組成に対する含有炭素	
		割合 %	kg-C/ごみt
ごみ組成 (乾ベース)	プラスチック・ゴム ・皮革類	37	—
	紙・繊維類	33	50
	金属・ビン・ガラス類	16	—
	厨芥	6	45
	木竹類	4	49
	その他	4	—
3成分	水分	37	—
	可燃分	50	—
	灰分	13	—
熱灼減量	2.5	100	3.3

- 1) ごみの低発熱量は2400 kcal/kgである。
- 2) 上記から焼却灰として埋め立てされる未燃分量は全ごみ量(湿ベース)の0.33%である。
- 3) 上記から焼却にともなうCO₂の発生のうち、易分解性有機物による分は133 kg-C/ごみtと推定する。

表3 埋立構造とガス化率、発生ガスの性状の関係

埋立構造	ガス化率 ¹⁾ %	発生ガスの割合 (体積) %	
		CO ₂	CH ₄
嫌気性	56.7	50	50
準好気性	58.0	80	20
循環式準好気性	61.7	90	10
好気性	72.5	95	5

¹⁾ ガス化率は分解可能な廃棄物中に含まれる炭素重量に対する値

表4 CO₂、CH₄の10年間累積発生量

埋立構造	体積 m ³ /ごみ t		重量 kg/ごみ t		CO ₂ 換算量 ¹⁾	
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂ +CH ₄ kg-C/ごみ t	CH ₄ kg-C/ごみ t
嫌気性	70.6	70.6	138.6	50.4	374.7	336.9
準好気性	115.5	28.9	226.9	20.6	199.7	137.8
循環式	138.1	15.3	271.2	11.0	147.2	73.2
準好気性						
好気性	171.5	9.0	336.8	6.4	134.9	43.1

¹⁾ CH₄のCO₂に対する温暖化係数は24.5とした。

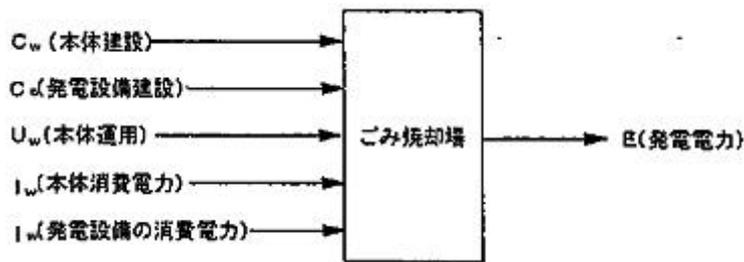


図6 廃棄物発電のエネルギー収支の考え方

- ・発電設備として考えると
 - $\Theta_{G,I} = E / (C_G + I_G) > 1$ (発電)
 - $\Theta_{G,E} = (E - I_G) / C_G > 1$ (送電)
- ・廃棄物焼却発電システムとして考えると
 - $\Theta_{S,E} = (E - I_W - I_G) / (C_W + C_G + U_W) > 1$ (送電)

図7 廃棄物発電を選択する条件

使用データ

文献値、計算値

評価対象地域

—

評価結果

【廃棄物焼却発電システムのライフサイクル—建設時・運用時】

図2、図3

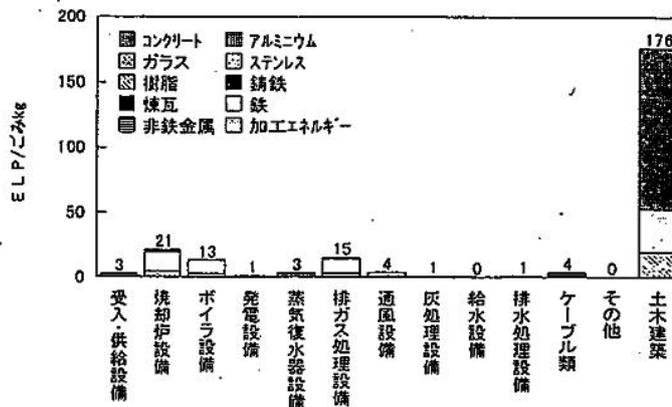


図2 廃棄物焼却発電システムの建設時に関する ELP 評価 (一般会員)

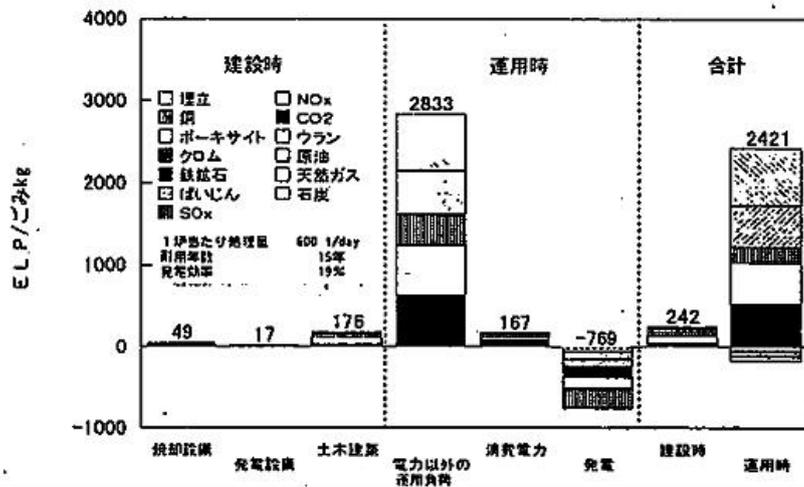


図3 廃棄物焼却発電システムの建設時と運用時のELP評価（一般会員）

【埋立法】

図4、図5

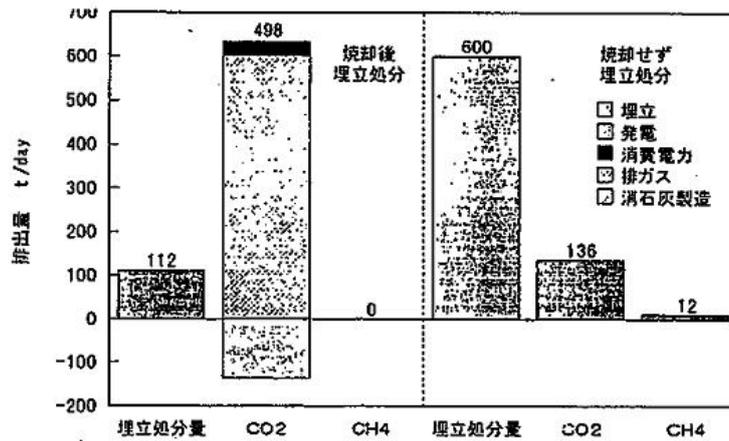


図4 ごみ焼却と直接埋立の排出量の比較

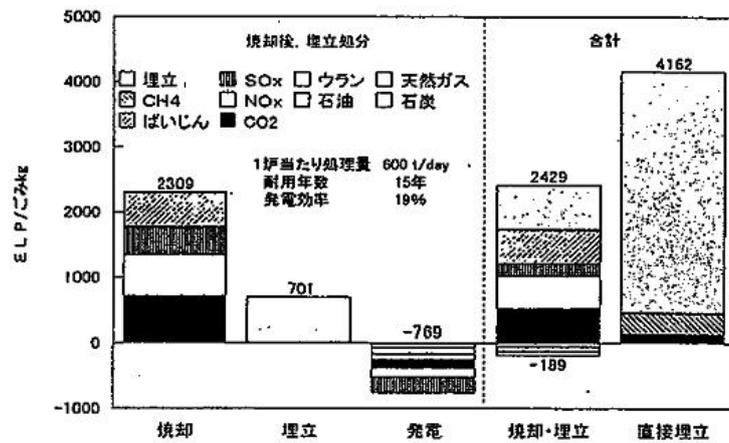


図5 ごみ焼却と直接埋立のELP比較（一般会員）

【発電の考え方】

表 5

表 5 廃棄物発電の考え方による評価の違い

評価項目		エネルギー kWh / ゴミ t
C_W	本体の建設	30.1
C_G	発電設備の建設	3.67
U_W	本体の運用	0.336
I_W	本体の消費電力	115
I_G	発電設備の消費電力	0.668
E	発電電力	531
$\Theta_{G,I}$	発電設備	発電 122
$\Theta_{G,E}$		送電 145
$\Theta_{S,E}$	廃棄物焼却発電システム	12.2

結果の解釈

廃棄物焼却発電システムのライフサイクルでの評価では、運用時の環境負荷が最も多いことがわかり、運用時を中心とした評価でもその全体の傾向が把握できることが示唆された。廃棄物焼却発電システムを廃棄物発電設備と見た場合、直接埋立よりも環境負荷が削減され、廃棄物発電の有効性が確認された。廃棄物焼却発電システムとして建設から運用にわたって評価した場合、エネルギー収支でも十分な有効性を持ち、有利性を持つことが確認された。

その他

—

事例番号	13
文献	南雲 秀哉 (東工大) ほか「スーパーごみ発電の LCA」『エネルギー・資源学会 第18回研究発表会講演論文集』、p.259-262 (1999)
テーマ	スーパーごみ発電の特性
概要	スーパーごみ発電、ごみ発電、小型 LNG 複合発電に LCA を実施し、エネルギー収支と CO ₂ 排出原単位を比較して、スーパーごみ発電の特性を検討した。
評価範囲	<p>図2</p> <p>図2 スーパーごみ発電の検討プロセス</p>
評価対象	投入エネルギー、CO ₂ 排出量
評価シナリオ	<p>シナリオ1：スーパーごみ発電 (図1)</p> <p>シナリオ2：ごみ発電</p> <p>シナリオ3：小型 LNG 複合発電</p>
	<p>図1 スーパーごみ発電 (ガスタービン複合方式)</p>
評価指標	エネルギー収支比、CO ₂ 排出原単位
前提条件	投入エネルギー、CO ₂ 排出量は積み上げ法で分析した。エネルギー収支比とは、生産するエネルギーがシステムに直接・間接に投入されたエネルギーの何倍になるかを示す。CO ₂ 排出原単位とは 1kWh の電気を生産するために排出された直接・間接の CO ₂ 量のこと、CO ₂ 排出量を送電端発電量で割ることによって求まる。
使用データ	計算値
評価対象地域	—
評価結果	図3、図4、表1、図5、図6、図7、図8

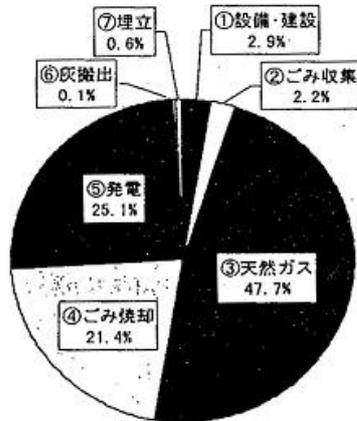


図3 スーパーごみ発電の投入エネルギーの内訳

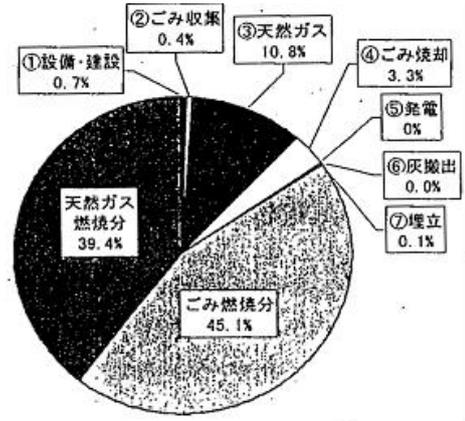


図4 スーパーごみ発電のCO₂排出量の内訳

表1 各発電システムのLCA結果

	スーパーごみ発電	ごみ発電	小型LNG複合発電
発電出力	25 MW	4 MW	19.9 MW
発電端熱効率 (LHV)	34.5 %	15.7 %	42.2 %
エネルギー収支比	4.18	3.02	4.49
CO ₂ 排出原単位 g-C / kWh	241	523	167

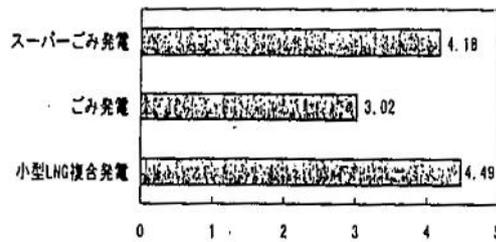


図5 各発電システムのエネルギー収支比

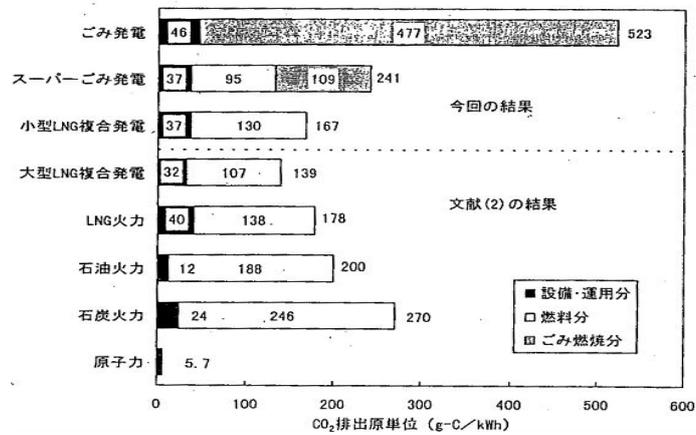


図6 各発電システムのCO₂排出原単位

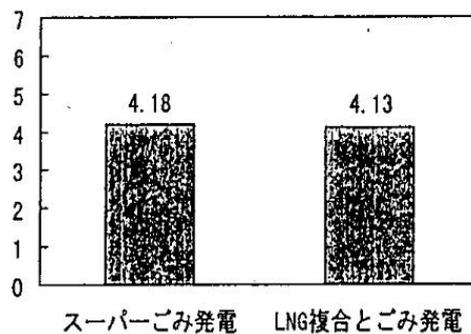


図7 エネルギー収支比の比較

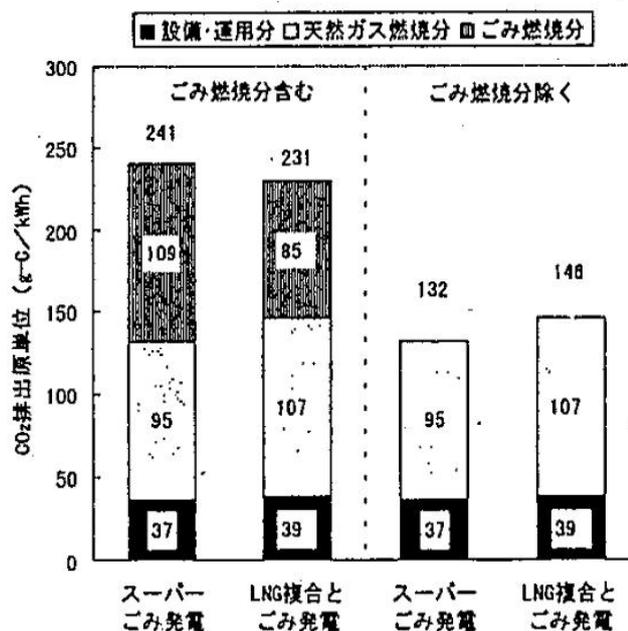


図8 CO₂排出原単位の比較

結果の解釈

スーパーごみ発電のエネルギー収支比は、従来型ごみ発電よりは改善されるが、他の大型発電システムと比べると小さい。また、スーパーごみ発電のCO₂排出原単位は、従来型ごみ発電や石炭火力よりは小さいが、石油火力、LNG火力、LNG複合発電よりは大きくなる。但し、ごみ焼却分のCO₂排出量を除外すると、スーパーごみ発電のCO₂排出原単位は石油火力、LNG火力よりも小さくなり、大型LNG複合発電と同程度の値となり、温暖化影響の小さい発電システムであると言える。スーパーごみ発電にした場合と、通常のごみ発電と小型LNG複合発電とを別々に建設した場合の比較では、スーパーごみ発電の建設を選択した方が省エネルギー性とCO₂排出削減効果の両面で優れていることを明らかにした。

その他

—

RDF 生産量：90ton/日（ごみ搬入量の60%）
 RDF 発熱量：約 4,600kcal/RDF-kg（分析対象地域のごみ質から推算）
 ボイラー効率：約 80%
 発電効率：約 30%
 清掃工場：東京都の M 清掃工場をモデルとし、その実績に基づいて分析。
 設備能力：600t/日（300t/日の焼却炉×2 炉）
 発電・蒸気回収：蒸気タービンによる

Table1、Table2、Table3、Table4

Table 1 RDF システムへのインプットとアウトプット

	インプット	アウトプット
Process 1 可燃ごみの 輸送 プロセス	一般廃棄物 1.66 t 軽油 1.66 l	CO ₂ 4.311 kg NO _x 0.0133 kg SO _x 0.0053 kg 一般廃棄物 1.66 t
Process 2 破碎・選別 プロセス	一般廃棄物 1.66 t 石炭 3.655 kg 原油 3.06 kg 重油 2.55 kg ウラン 0.0024 kg 液化天然ガス 3.57 kg 水 8.925 kg 電力 85 kWh	不適物 0.15 t CO ₂ 35.7 kg NO _x 0.1097 kg SO _x 0.0222 kg 一般廃棄物 1.51 t 粒子 0.0094 kg
Process 3 埋立 (不適物 輸送) プロセス	不適物 0.15 t 軽油 (輸送) 0.05 l 軽油 (埋立) 0.141 l	不適物 0.15 t CO ₂ 0.1299 kg NO _x 0.0004 kg SO _x 0.0002kg CO ₂ 0.1005 kg NO _x 0.0011 kg SO _x 0.0005 kg
Process 4 脱臭、乾燥 プロセス	一般廃棄物 (Process3 後) 1.51 t 灯油 82.86 l 活性炭 0.002 t	水 0.45 t CO ₂ 215.187 kg NO _x 0.6641 kg SO _x 0.2639 kg 一般廃棄物 (Process4 後) 1.062 t
Process 5 成形、加工	一般廃棄物 (Process4 後) 1.062 t 液化天然ガス 6.132 kg 電力 146 kWh 重油 4.38 kg 石炭 6.278 kg 石灰 0.033 t 原油 5.256 kg ウラン 0.0041 kg 水 15.33 t	CO ₂ 61.32 kg NO _x 0.1883 kg SO _x 0.0381 kg 粒子 0.0161 kg 一般廃棄物 (Process5 後) 1.095 t
Process 6 自然蒸発	一般廃棄物 (Process5 後) 1.095 t	水 0.095 t RDF 1 t
Process 7 RDF 輸送	RDF 1 t 軽油 (輸送) 0.714 l	CO ₂ 1.8543 kg NO _x 0.0057 kg SO _x 0.0023 kg RDF 1 t
Process 8 RDF の燃焼	RDF 1 t 水 1.11 t 電力 (自給) 320.93 kWh	灰 0.08 t CO ₂ 450 kg NO _x 0.576 kg SO _x 0.005 kg 粒子 0.0096 kg HCl 0.144 kg 電力 1,283.72 kWh
Process 9 残渣の 輸送・埋立	軽油 (輸送) 0.0288 l 軽油 (埋立) 0.0752 l 灰 0.08 t	CO ₂ 0.0748 kg NO _x 0.0002 kg SO _x 0.0001kg CO ₂ 0.0536 kg NO _x 0.0006 kg SO _x 0.0002 kg 灰 0.08 t

Table 2 RDF システムの環境負荷

種目	化石燃料 (単位: kg、ただし、軽油、灯油は: l)						
	石炭	原油	重油	ウラン	液化天然ガス	軽油	灯油
負荷	-9.93	-8.32	-6.93	-0.0065	-9.70	-2.67	-82.86

大気汚染物質 (kg)					水 (t)	ごみ (t) (不適物+灰分)
CO ₂	NO _x	SO _x	HCl	粒子		
768.7	1.56	0.34	0.144	0.04	24.82	0.23 (不適物: 0.15)

Table 3 焼却システムへのインプットとアウトプット

	インプット	アウトプット
Process 1 ごみの輸送	一般廃棄物 1 t	CO ₂ 5.1940 kg NO _x 0.016 kg
	軽油 (輸送) 2 l	SO _x 0.0064 kg 一般廃棄物 1 t
Process 2 ごみ焼却	一般廃棄物 1 t	CO ₂ 276.5 kg NO _x 0.562 kg
	軽油 (追加燃料) 13.9 l	SO _x 0.077 kg HCl 0.04 kg
	都市ガス (追加燃料) 0.511 m ³	粒子 0.33 kg 灰 0.15 t
Process 3 焼却不適物 および 残渣の 輸送・埋立	水 0.21 t	不適物 0.03 t
	電力 (自給) 158.72 kWh	電気 367.03 kWh 蒸気 162.72 Mcal
	不適物 0.03 t 灰 0.15 t	総埋立量 0.18 t
および 残渣の 輸送・埋立	軽油 (輸送) 0.0648 l	CO ₂ 0.1683 kg NO _x 0.0005 kg SO _x 0.0002 kg
	軽油 (埋立) 0.1692 l	CO ₂ 0.1206 kg NO _x 0.0014 kg SO _x 0.0005 kg

Table 4 焼却システムの環境負荷

種目	化石燃料		大気汚染物質 (kg)				
	軽油 (l)	都市ガス (m ³)	CO ₂	NO _x	SO _x	HCl	粒子
負荷	-16.134	-0.511	+281.99	+0.58	+0.0084	+0.04	+0.33

水 (t)	灰分 (t)	不適物 (t)
-0.214	+0.15	+0.03

【社会的費用便益分析】

省エネルギー効果:

熱回収による節約: 燃料価格 (都市ガス想定) で換算した。

発電による効果: 既存発電システムの 1kWh 当たりの発電原価に発電量を掛けて求めた。

環境汚染物質削減効果: 大気汚染物質の排出係数を用いて金銭価値を評価した。

プラント建設費: プラントの耐用年数を 20 年とし、割引率 6% を適用してごみ 1t 当たりの減価償却費を求めた。

プラント維持管理費: 薬品、使用燃料、電気代

プラント補修費: RDF システムは建設費の 2~3%、清掃工場は建設費の 5%

埋立費用節約: 埋立ごみ 1t 当たり約 11,000 円と推定。

売電: RDF システムは 10 円/kWh、清掃工場は 8 円/kWh

売熱: RDF システムは実証プラントの販売実績の基づき、清掃工場については既存の地域冷暖房の熱供給事業の実績に基づいて計算した。

	Table6																																														
	Table 6 各システムの概要																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>種目</th> <th>A system (一般廃棄物焼却)</th> <th>B system*1 (RDF 製造および焼却)</th> <th>C system*1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ごみ量</td> <td>161,507 t / year (600 t / day)</td> <td>49,500 t / year (150 t / day)</td> <td>*1</td> </tr> <tr> <td>建設費</td> <td>約 33,000,000,000 yen</td> <td>約 11,800,000,000 yen</td> <td>*1</td> </tr> <tr> <td>維持費</td> <td>建設費の 5%</td> <td>建設費の 2~3% *2</td> <td>*1</td> </tr> <tr> <td>電力回収</td> <td>59,279.2 MWh / year</td> <td>38,126.4 MWh / year</td> <td>29,305 MWh / year</td> </tr> <tr> <td>蒸気回収</td> <td>26,280 Gcal / year</td> <td>—</td> <td>32,016.6 Gcal / year</td> </tr> </tbody> </table>	種目	A system (一般廃棄物焼却)	B system*1 (RDF 製造および焼却)	C system*1	ごみ量	161,507 t / year (600 t / day)	49,500 t / year (150 t / day)	*1	建設費	約 33,000,000,000 yen	約 11,800,000,000 yen	*1	維持費	建設費の 5%	建設費の 2~3% *2	*1	電力回収	59,279.2 MWh / year	38,126.4 MWh / year	29,305 MWh / year	蒸気回収	26,280 Gcal / year	—	32,016.6 Gcal / year																						
種目	A system (一般廃棄物焼却)	B system*1 (RDF 製造および焼却)	C system*1																																												
ごみ量	161,507 t / year (600 t / day)	49,500 t / year (150 t / day)	*1																																												
建設費	約 33,000,000,000 yen	約 11,800,000,000 yen	*1																																												
維持費	建設費の 5%	建設費の 2~3% *2	*1																																												
電力回収	59,279.2 MWh / year	38,126.4 MWh / year	29,305 MWh / year																																												
蒸気回収	26,280 Gcal / year	—	32,016.6 Gcal / year																																												
	*1 B、Cシステムは同様だが、Cは蒸気回収機能を持つ。																																														
	*2 RDFプラントは2%、焼却プラントは3%とした。																																														
使用データ	実績値、推算値、文献値																																														
評価対象地域	品川区、練馬区、江東区小松、江戸川地区を基に想定																																														
評価結果	<p>【環境負荷分析】 システム全体の環境負荷をごみ 1t 処理時に換算して比較している。 Table5、Fig3、Fig4、Fig5</p> <p>Table 5 RDF システムと焼却システムの比較</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>RDF システム</th> <th>焼却システム</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">化石燃料 使用量</td> <td>石炭 5.96 kg</td> <td>都市ガス 0.511 Nm³</td> </tr> <tr> <td>原油 4.99 kg</td> <td>軽油 16.13 l</td> </tr> <tr> <td>軽油 1.60 l</td> <td></td> </tr> <tr> <td>液化天然ガス 5.82 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ウラン 0.0039 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>重油 4.16 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>灯油 50 l</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="6">大気汚染物質</td> <td>CO₂ 461.24 kg</td> <td>CO₂ 282.78 kg</td> </tr> <tr> <td>NO_x 0.94 kg</td> <td>NO_x 0.58 kg</td> </tr> <tr> <td>SO_x 0.20 kg</td> <td>SO_x 0.084 kg</td> </tr> <tr> <td>粒子 0.02 kg</td> <td>粒子 0.033 kg</td> </tr> <tr> <td>HCl 0.09 kg</td> <td>HCl 0.04 kg</td> </tr> <tr> <td>ごみ 0.14 t</td> <td>0.18 t</td> </tr> <tr> <td>電力 (発電)</td> <td>770.23 kWh (電力のみ)</td> <td>367.03 kWh</td> </tr> <tr> <td>電力 (プラント内 使用)</td> <td>592.02 kWh (蒸気回収)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>蒸気</td> <td>192.56 kWh (焼却) *1</td> <td>158.72 kWh *1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>140 kWh (製造) *2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>646.80 Mcal</td> <td>162.72 Mcal</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 自給電力 *2 外部電力</p>	Item	RDF システム	焼却システム	化石燃料 使用量	石炭 5.96 kg	都市ガス 0.511 Nm ³	原油 4.99 kg	軽油 16.13 l	軽油 1.60 l		液化天然ガス 5.82 kg		ウラン 0.0039 kg		重油 4.16 kg		灯油 50 l		大気汚染物質	CO ₂ 461.24 kg	CO ₂ 282.78 kg	NO _x 0.94 kg	NO _x 0.58 kg	SO _x 0.20 kg	SO _x 0.084 kg	粒子 0.02 kg	粒子 0.033 kg	HCl 0.09 kg	HCl 0.04 kg	ごみ 0.14 t	0.18 t	電力 (発電)	770.23 kWh (電力のみ)	367.03 kWh	電力 (プラント内 使用)	592.02 kWh (蒸気回収)		蒸気	192.56 kWh (焼却) *1	158.72 kWh *1		140 kWh (製造) *2			646.80 Mcal	162.72 Mcal
Item	RDF システム	焼却システム																																													
化石燃料 使用量	石炭 5.96 kg	都市ガス 0.511 Nm ³																																													
	原油 4.99 kg	軽油 16.13 l																																													
	軽油 1.60 l																																														
	液化天然ガス 5.82 kg																																														
	ウラン 0.0039 kg																																														
	重油 4.16 kg																																														
	灯油 50 l																																														
大気汚染物質	CO ₂ 461.24 kg	CO ₂ 282.78 kg																																													
	NO _x 0.94 kg	NO _x 0.58 kg																																													
	SO _x 0.20 kg	SO _x 0.084 kg																																													
	粒子 0.02 kg	粒子 0.033 kg																																													
	HCl 0.09 kg	HCl 0.04 kg																																													
	ごみ 0.14 t	0.18 t																																													
電力 (発電)	770.23 kWh (電力のみ)	367.03 kWh																																													
電力 (プラント内 使用)	592.02 kWh (蒸気回収)																																														
蒸気	192.56 kWh (焼却) *1	158.72 kWh *1																																													
	140 kWh (製造) *2																																														
	646.80 Mcal	162.72 Mcal																																													

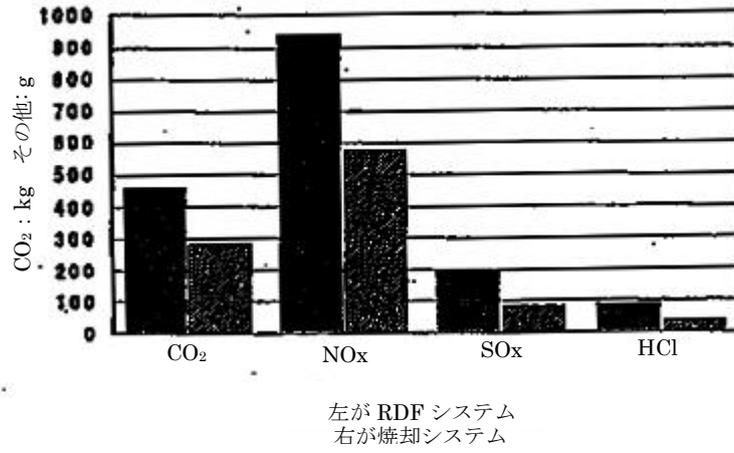


Fig.3 RDF 及び焼却システムによる大気汚染

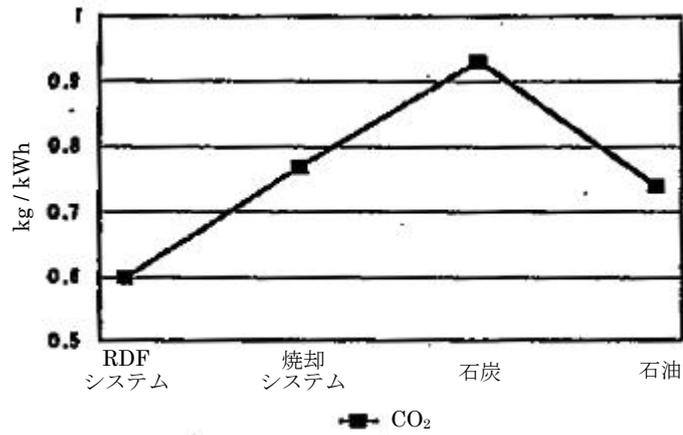


Fig.4 CO₂ 排出比較

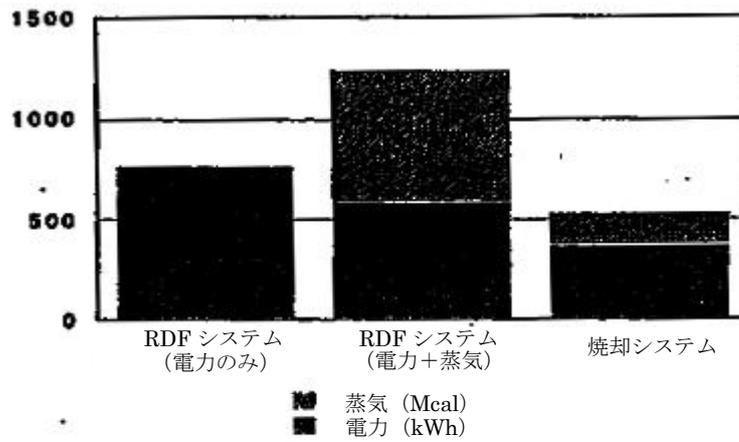


Fig.5 RDF 及び焼却システムのエネルギー回収

【社会的費用便益分析】

項目ごとに費用便益をごみ 1t 当りに換算し、比較している。

Table7、Fig6

Table 7 社会的費用、便益分析の結果

種目	A system	B system	C system
建設費	9,063	11,204	11,204
維持費*	3,396	7,051	7,051
プラント補修費	10,216	5,576	5,576
エネルギー節約量	3,838	6,183	5,380
NOx 削減量	207	346	270
SOx 削減量	123	212	152
CO ₂ 削減量	367	529	614
社会的付加便益	4,535	7,270	6,416
発電による省エネルギー	1,666	5,777	3,995
熱回収による省エネルギー	3,254	0	783
埋立費用節約分	8,991	9,430	9,430
施設内電力使用節約	2,698	3,274	3,274
直接便益	-6,066	-5,350	-6,349
社会的便益	-1,531	1,920	67

* 外部電力、燃料、薬品、輸送費を含む

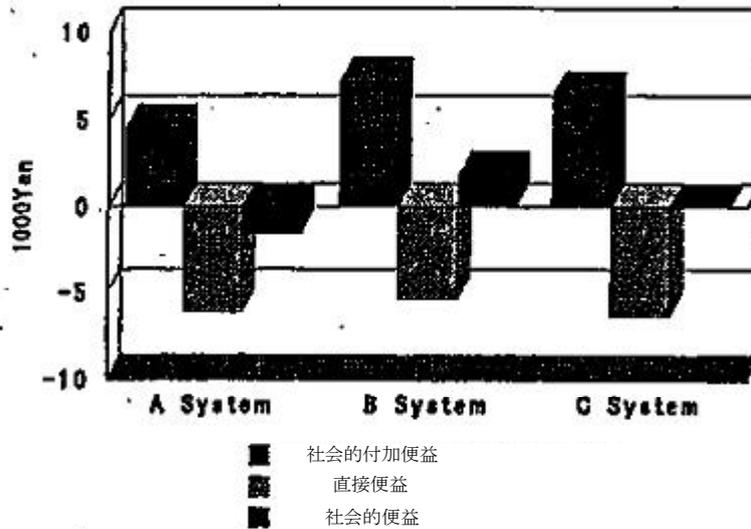


Fig.6 社会的費用、便益分析の結果

結果の解釈

固形燃料化システムは、環境負荷が大きくなっており、製造、焼却施設のプロセス改善が要求されるが、高効率のエネルギー回収が可能であり、生産エネルギー単位当たりの環境負荷は小さい。経済的な面でも省エネルギー効果、環境汚染物質削減効果といった社会的便益を加えると十分有効であると判断される。

その他

固形燃料化システム導入の際には、地域の廃棄物組成や排出特性の把握、エネルギー需要の把握と需要先の確保が重要である。また、需要先の確保が比較的容易である地域冷房施設、発電などへの利用も検討される必要がある。

事例番号	15
文献	村上 真一（関西大学）ほか「LCA 手法を用いたごみ広域処理における RDF 発電の環境負荷評価」『第 10 回廃棄物学会研究発表会講演論文集』、p. 156-158（1999）
テーマ	ごみ広域処理における RDF 発電の環境負荷
概要	ごみを広域収集し、RDF 化して発電を行う場合の環境負荷面の効果を明らかにするために、LCA 手法を用いてごみを直接焼却発電する場合と比較評価した。
評価範囲	RDF 発電システムとごみ焼却発電システム 図 1
評価対象	環境負荷 輸送：各輸送対象プロセス間の車両の運用による軽油消費量 プラント建設：RDF 製造施設、RDF 発電施設、ごみ焼却発電施設 プラント稼働：RDF 製造、RDF 発電、ごみ焼却発電で消費するエネルギー（電力、灯油） RDF・ごみ燃焼：大気汚染物質（CO ₂ 、NO _x 、SO _x ）の排出量 埋立処分：埋立作業における機器（ダンプ、ブルドーザーなど）の運用による環境負荷、浸出水処理の環境負荷
評価シナリオ	シナリオ 1：各都市で排出されるプラスチック、厨芥類を含む可燃ごみを RDF 化し、集約して発電する場合（RDF システム） シナリオ 2：各都市で排出されるプラスチック、厨芥類を含む可燃ごみを集約して直接焼却発電する場合（直接焼却システム）
評価指標	エネルギー消費量、利用可能エネルギー量、CO ₂ 、NO _x 、SO _x 排出量
前提条件	対象とするごみは、対象地域のごみの性状から水分率 60%とした。 RDF 発電施設は現在計画されている規模としてこの地域に 1 施設設置することとし、RDF 製造施設は広域ブロック全体に 1 施設、2 施設、4 施設、8 施設の 4 通り、ごみ焼却発電施設は発電を行う最小規模と考えられる 2 施設と 1 施設の 2 通りを想定した。 輸送距離に関しては、各都市のごみ回収輸送はグリットシティモデルを用いて算出し、RDF・ごみの集約輸送は各都市の中間地間の距離を地図から読み取り設定した。埋立物の輸送は、実際に処理を行っている最終処分場までの距離を地図上から読み取り設定した。ごみの搬入プロセスは、ごみの搬入場所までの輸送距離が 7km を超える場合はストックヤード等で大型車両に積み替える中継輸送方式を取り、各都市のごみを 2t パッカー車で収集した後、中継施設でコンテナ（17m ³ 、8t）に積み替え、輸送するものとした。

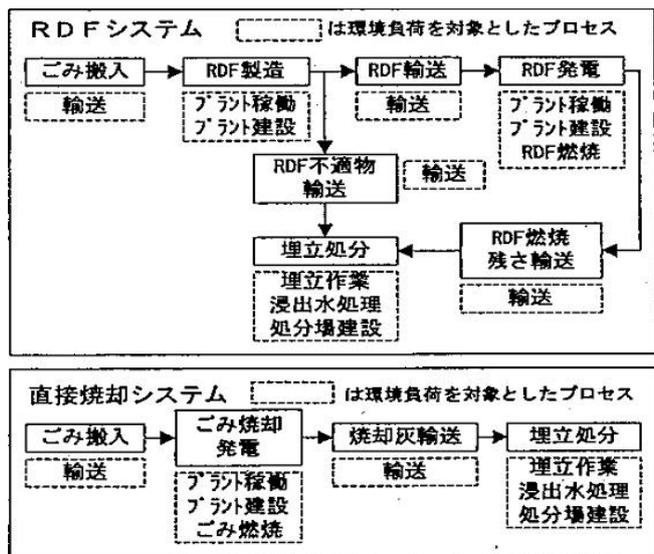


図 1 対象範囲とプロセス

各施設の施設建設に関わるエネルギー消費量は、建設費に単位費用当り投入エネルギー量 (kcal/円) を乗じたものを耐用年数で除することにより算出した。

プラント稼働はスケールメリットを考慮し算出した (表2)。モデル地域の RDF 製造施設の RDF 収率は 50% とし、ごみ中の水分量が 10% 以下になるまで乾燥させた後に消石灰 (ごみ量に対して 2~3%) を添加する方式とした。

RDF、ごみの燃焼時における大気汚染物質 (CO₂、NO_x、SO_x) の排出量は表3のように設置し、除去率は NO_x : 60%、SO_x : 65% とした。

埋立処分に伴う環境負荷原単位は表4のように設定した。但し、浸出水処理方法は内陸埋立での生物処理+凝集沈殿処理+高度処理 (砂ろ過、活性炭吸着) である。

表1~表4

表1 各都市の諸元

	ごみ排出量 (t/年)	人口 (人)
A市	73,610	190,860
B市	28,508	67,251
C市	33,551	81,473
D市	30,396	117,795
E市	27,729	115,824
F市	45,702	151,209
G市	21,763	63,621
H市	14,909	54,764
合計	276,168	824,797

表2 基準施設の設定

RDF 製造	処理規模	22 t/日
	電力消費量	150 kWh/t
	灯油消費量	80 l/t
RDF 発電	灯油消費量	1 l/t
	発電効率	30%

ごみ焼却発電	1カ所	2カ所	
処理規模 (t/日)	757	432	326
消費電力量 (kWh/t)	66	77	83
発電効率 (%)	13	13	12

表3 RDF・ごみ燃焼の設定

項目	RDF 1 kg 燃焼	ごみ 1 kg 燃焼
CO ₂ 発生量 (kg-C/kg)	0.41	0.24
NO _x 発生量 (g/kg)	72	89
SO _x 発生量 (g/kg)	98	40

表4 埋立処分の設定

廃棄物埋立	軽油消費量	9.4 × 10 ⁻⁴ l/kg
浸出水処理	電力消費量	6.5 × 10 ⁻⁴ kWh/kg

使用データ 文献値、既存データ、計算値

評価対象地域 関西にある8つの都市を対象広域ブロックとしたモデル地域

評価結果

図2、図3

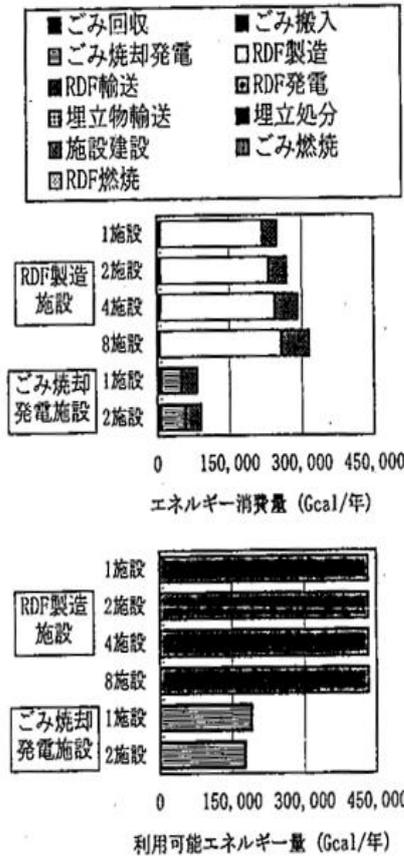


図2 環境負荷評価結果①

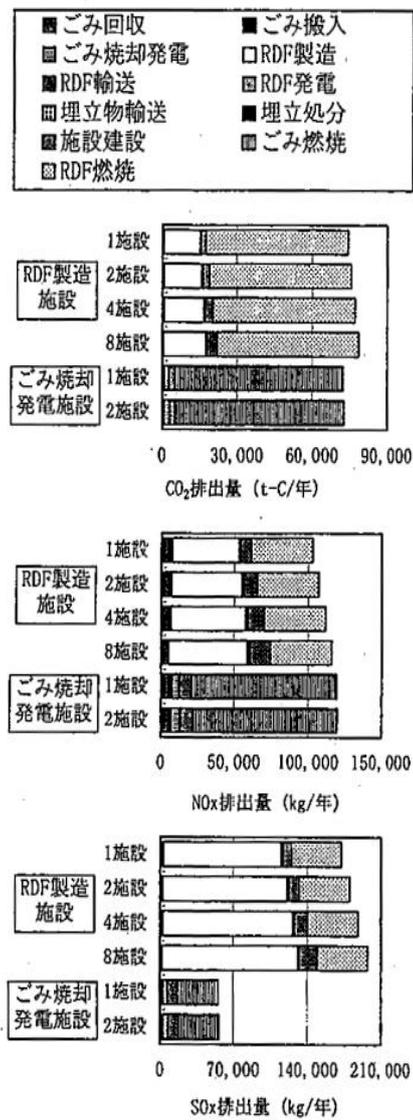


図3 環境負荷評価結果②

結果の解釈

エネルギー面においても CO₂、SOx 排出量においても直接焼却システムよりも RDF システムの方が不利となったのは、本論文で対象としたごみ中の水分が約 60%と多く、RDF 製造工程でのごみ乾燥時の灯油使用量が多いことが原因となっている。このため、今後ごみ処理の広域化として RDF 発電を推進し、それを環境負荷の少ないものとしていくためには、ごみ中の水分を減らし、ごみ乾燥に関わる環境負荷を低減することが重要な課題であることが分かる。

施設数の違いは、RDF システム、直接焼却システム共に施設数を少なくするほうが環境負荷が小さくなる。このことは、処理規模を大きくすることによる処理施設のスケールメリットの影響が大きく、ごみの集約輸送が効果的になることの影響が小さいことが原因となっている。

その他

—

事例番号	16
文献	鶴巻 峰夫 (八千代エンジニアリング株式会社) ほか「廃棄物処理における資源転換の環境保全性に関する研究」『環境システム研究—アブストラクト審査部門論文』、vol. 27, p. 555-560 (1999)
テーマ	厨芥のメタン発酵施設及び可燃一般ごみの RDF 化施設の環境保全性
概要	厨芥等を対象とするメタン発酵施設 (嫌気性消化) 及び可燃一般ごみを対象とした RDF 処理施設の環境保全性について、現在主流の焼却施設と比較し、検討した。
評価範囲	施設建設時、運用時、廃棄時
評価対象	エネルギー資源消費、温暖化影響
評価シナリオ	シナリオ 0 : ごみ焼却発電 シナリオ 1-1 : 下水汚泥嫌気性消化 (メタン発酵基準ケース) シナリオ 1-2 : 小規模メタン発酵 シナリオ 1-3 : 大規模メタン発酵 シナリオ 2-1 : 一般ごみ対象 RDF 施設 (RDF 基準ケース) シナリオ 2-2 : 連続運転 RDF 施設 シナリオ 2-3 : 厨芥を除く一般ごみ対象 RDF 施設
評価指標	一次換算エネルギー消費量、CO ₂ 排出量
前提条件	環境負荷量 = 計画情報による数値 × LCI 用原単位 環境影響緩和指標 (Iep) = ライフサイクルで回収できた環境負荷量 ÷ ライフサイクルでの環境負荷量 Iep1 : 環境負荷量に投入廃棄物の反応によるものを含む場合 Iep1 > 1 で保全効果が排出負荷を上回り、環境改善施設となる。 Iep2 : 環境負荷量に投入廃棄物の反応によるものを含まない場合 Iep2 > 1 で投入エネルギーより回収エネルギーが大きくなり、エネルギー供給施設となる。

表 3-1

表 3-1 検討対象ケース

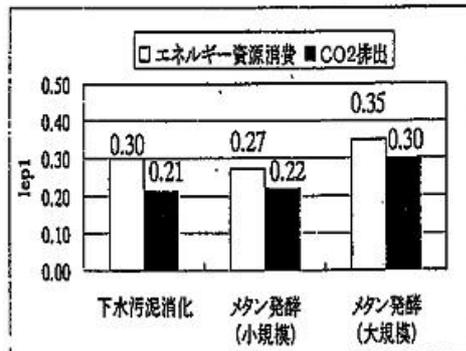
	検討ケース名称	採用の視点	インベントリー分析方法
Case 0	ごみ焼却発電	比較の基準参考値として算定した。	既存文献 ⁹⁾ でのインベントリーデータに必要情報を加えて算定した。
Case 1-1	下水汚泥嫌気性消化 (メタン発酵基準ケース)	現状でのメタン発酵適用先進事例として採用した。	既存でのインベントリーデータ ⁴⁾ を利用した。
Case 1-2	小規模メタン発酵	厨芥を主要な処理対象とした施設事例を参考とした。	施設計画に基づいてインベントリー分析を行った。
Case 1-3	大規模メタン発酵	施設規模を Case 1-1 の施設を厨芥処理としたケース。	Case 1-1 に対して必要な設備を加えてインベントリー分析を行った。
Case 2-1	一般ごみ対象 RDF 施設 (RDF 基準ケース)	RDF 施設の施設事例として採用した。	施設計画に基づいてインベントリー分析を行った。
Case 2-2	連続運転 RDF 施設	施設規模による効率を検討するため Case 2-1 が 8 時間運転に対し、24 時間運転として検討した。	Case 2-1 に対し、24 時間運転に必要なエネルギーを加算した。
Case 2-3	厨芥を除く一般ごみ対象 RDF 施設	RDF の効率向上のため厨芥を除いたケースを設定した。	Case 2-1 に対し、乾燥設備を削除してインベントリー分析を行った。

使用データ	文献値
評価対象地域	—

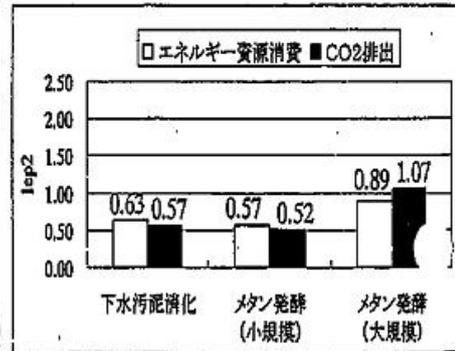
評価結果 各施設の環境影響緩和指標値の算定結果が示されている。
表 4-1、図 4-1、図 4-2

表 4-1 環境影響緩和指標値 (Iep1、Iep2) の算定結果

		ごみ焼却発電	下水汚泥消化	メタン発酵 (小規模)	メタン発酵 (大規模)	RDF発電 (一般ごみ)	RDF発電 (連続運転)	RDF発電 (厨芥分別)
地球温暖化影響 CO ₂ 排出量	ライフサイクルでの 環境負荷量 (t-C)	155,946	259,350	1,945	341,231	10,394	26,045	4,916
	廃棄物の反応による 環境負荷量 (t-C)	1,113,177	433,743	2,632	867,486	17,995	53,985	28,745
	回収した 環境負荷量 (t-C)	177,382	146,633	1,003	363,935	7,312	22,054	10,481
	Iep1	0.14	0.21	0.22	0.30	0.26	0.28	0.31
	Iep2	1.14	0.57	0.52	1.07	0.70	0.85	2.13
エネルギー資源 消費消費熱量	ライフサイクルでの 環境負荷量 (Mcal)	2,217,311	4,703,026	28,998	8,359,184	122,730	299,344	72,102
	廃棄物の反応による 環境負荷量 (Mcal)	9,772,875	5,192,904	32,197	12,753,378	118,988	356,964	190,072
	回収した 環境負荷量 (Mcal)	4,276,059	2,984,026	16,477	7,403,153	91,205	276,006	108,886
	Iep1	0.36	0.30	0.27	0.35	0.38	0.42	0.42
	Iep2	1.93	0.63	0.57	0.89	0.74	0.92	1.51

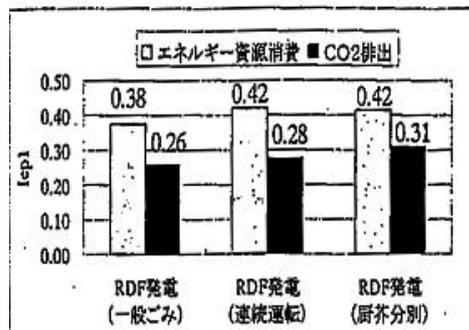


(a) Iep1

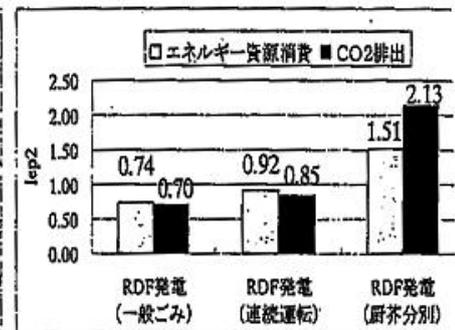


(b) Iep2

図 4-1 メタン発酵施設における環境影響緩和指標値



(a) Iep1



(b) Iep2

図 4-2 RDF 化施設における環境影響緩和指標値

結果の解釈	厨芥のメタン発酵施設及び RDF 化施設は、焼却施設に比較して環境保全性が高いことが確認された。加えて、これらの施設を有効に機能させるには、厨芥の分別収集が必要であることが確認された。
その他	今後は、本研究のような施設単体についての検討ではなく、施設を組み合わせた代替案の検討を行うことが重要になると考えられる。

事例番号	17
文献	田原 聖隆 (成蹊大学) ほか「LCA 手法を用いた都市ゴミ処理プロセスの評価」『環境科学会誌』 vol. 13, p. 594-601 (2000)
テーマ	都市ゴミ処理 (焼却・灰無毒化) プロセスにおける環境負荷
概要	焼却灰・飛灰の減容・無毒化プロセスに注目して、焼却炉に各種の灰減容・無毒化プロセスを組み合わせたシステム及びガス化溶融プロセスを取り上げ、これら都市ゴミ処理技術を CO ₂ 排出量、エネルギー資源枯渇、埋立地枯渇の観点から定量的な評価を行った。
評価範囲	<p>Fig1</p> <p>Fig.1 評価範囲と想定シナリオ</p>
評価対象	環境負荷
評価シナリオ	<p>シナリオ 1：流動層型ガス化溶融炉 シナリオ 2-A：格子式ストーカ炉＋セメント固化法 シナリオ 2-B：格子式ストーカ炉＋薬剤混練法 シナリオ 2-C：格子式ストーカ炉＋酸抽出処理法 シナリオ 2-D：格子式ストーカ炉＋溶融固化法（燃料式） シナリオ 2-E：格子式ストーカ炉＋溶融固化法（電気式） シナリオ 3-F：流動層炉＋溶融固化法（電気式） シナリオ 4：直接埋立</p>
評価指標	埋立処分場枯渇指数、エネルギー資源枯渇指数、CO ₂ 排出量
前提条件	<p>処理対象とした都市ごみ：不燃ごみ、粗大ゴミを除く焼却ごみ 焼却灰・飛灰の減容・無毒化処理後の排出物： セメント固化法、薬剤混練法、酸抽出処理法：処理対象物を飛灰のみとし、処理後の排出物については全て埋立されるものとした。又、焼却灰は直接埋立されるものとした。 溶融固化法：スラグ、メタルを有効利用した場合としない場合の 2 通りを評価した。 焼却による発生エネルギー：発電により回収する。 評価項目： CO₂ 排出量：各シナリオのユーティリティにかかるものを対象とし、都市ゴミ燃焼に際して排出されるゴミ由来の CO₂ は対象外とする。 エネルギー資源の枯渇：運転時に使用される燃料および電力、薬剤などを製造するときに使用されるエネルギー資源量を対象とする。 埋立地の枯渇：埋立される処理物の容積基準に計算する。 計算方法： CO₂ 排出量：運用時に使用される素材毎の CO₂ 排出原単位にプロセス内での使用量</p>

を乗ずることにより算出する。処理に使用する工業用水製造や、酸抽出法での廃液処理工程からの CO₂ 排出原単位は考慮しない。

エネルギー資源枯渇指数：枯渇性エネルギー資源（石油、石炭、天然ガス、ウラン）の確認可採埋蔵量の逆数として定義したエネルギー資源枯渇係数を、素材の製造及びプロセスにし世ゆする各エネルギー資源量に乘じることにより求める。

埋立処分場枯渇指数：国内の一般廃棄物最終処理場における平成 8 年度の残余容量（14,150 万 m³）の逆数として定義した埋立処分場枯渇係数に、無毒化処理後に排出される容量（見かけ嵩密度；都市ゴミ：0.11t/m³、メタル：3.00t/m³、スラグ：1.54t/m³、溶融飛灰：0.87t/m³、不燃物：1.67t/m³等を基に計算）を乘じることにより求める。

ごみ発電による効果：

CO₂ 排出削減：発電量に 1995 年度の電源構成における電力の CO₂ 排出原単位を乗じた値を CO₂ 削減量とする。

エネルギー資源枯渇抑制：外部電力 1kWh を製造するときに使用した石油、石炭、天然ガス、ウランの使用量にそれぞれエネルギー資源枯渇係数を乘じて得られた値

を原単位量として評価。他溶融炉システムのデータは聞き取り調査による

Table1、Table2、Table3、Table4、Table5

Table 1 想定シナリオ

シナリオ Table 3	日本におけるエネルギー消費及び物資生産に伴う CO ₂ 排出量		
焼却炉タイプ	流動層型ガス化	ストーカー炉	ストーカー炉
無害化システム	溶融固化法	セメント固化法	薬剤混練法
溶融炉の熱源	自然燃焼		

Table 2 ごみの成分

灯油	2.812	kg-CO ₂ / kg	4
ディーゼル	3.288	kg-CO ₂ / kg	4
消石灰	1.565	kg-CO ₂ / kg	聞き取り調査
アンモニア水	1.108	kg-CO ₂ / kg	4
苛性ソーダ	0.316	kg-CO ₂ / kg	5
キレート	1.071	kg-CO ₂ / kg	聞き取り調査
塩酸	0.316	kg-CO ₂ / kg	推定*
電極	0.729	kg-CO ₂ / kg	聞き取り調査
硫酸	0.042	kg-CO ₂ / kg	5
セメント	0.714	kg-CO ₂ / kg	5

* HCl から排出する CO₂ は苛性ソーダから排出される CO₂ と同量とした。

Table 4 運用する物質、エネルギー、電力の量

	単位	1*	2-A	2-B
電力消費**	kWh / t	102.47	209.54	209.08
水道水	m ³ / t	3.29	0.30	0.30
下水	m ³ / t		0.38	0.38
都市ガス	m ³ / t	*	0.06	0.06
灯油	kg / t			
ディーゼル	kg / t			
消石灰	kg / t	16.32	2.34	2.34
アンモニア水	kg / t	1.41	0.86	0.86
苛性ソーダ	kg / t		2.16	2.16
キレート	kg / t	1.77	0.37	3.11
塩酸	kg / t		0.24	0.24
電極	kg / t			
硫酸	kg / t			
セメント	kg / t		18.27	
電力供給**	kWh / t	552.0	503.2	503.2

	2-C	2-D	2-E	3-F	4
	207.17	171.44	211.22	278.00	2.00
	0.30	1.05	1.00	0.34	
	0.38	0.57	0.48	0.28	
	0.06	14.60	0.12	0.42	
			1.34		
					0.94
	2.34	0.92	5.09	2.36	
	0.86	2.20	1.07	1.11	
	2.16	8.39	4.21	5.14	
	0.37	0.19	0.22	0.25	
	9.38	0.56	0.45	0.03	
			0.07	0.20	
				0.06	
			3.60		
	503.2	456.9	464.0	492.4	

* ガス化熔融炉システムのデータは聞き取り調査による

** 電力消費：仮定プロセスにおける電力消費量

電力供給：廃棄物発電によって得られ、仮定プロセスまたは自供給として使用された分の電気量

*** 空欄は該当データなし

Table 5 エネルギー資源の確定埋蔵量

エネルギー資源	埋蔵量 [10 ⁹ kg]
石油	138,000
天然ガス	140,000
石炭	1,030,000
ウラン鉱石	4.51

使用データ 聞き取りによるデータ

評価対象地域 -

評価結果 Fig2~Fig7

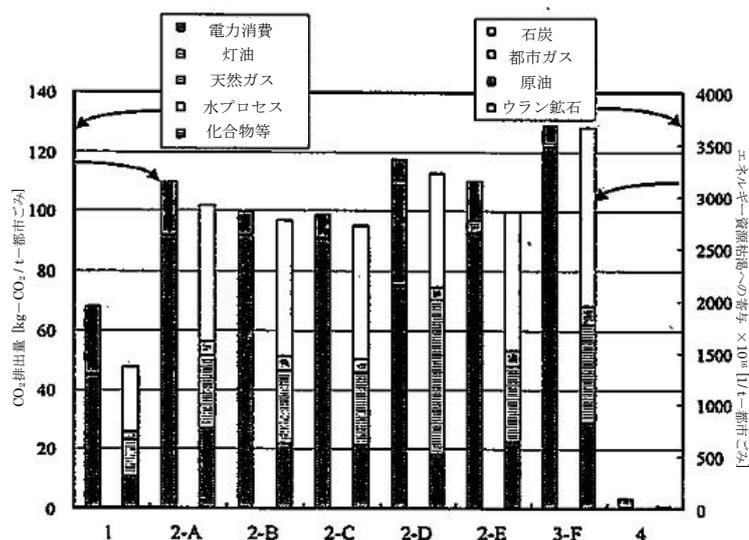


Fig.2 各シナリオのごみ処理プロセスにおける CO₂排出量とエネルギー資源枯渇への寄与 (各シナリオの左側棒グラフは CO₂ 排出量、右側棒グラフはエネルギー資源枯渇への寄与を表す)

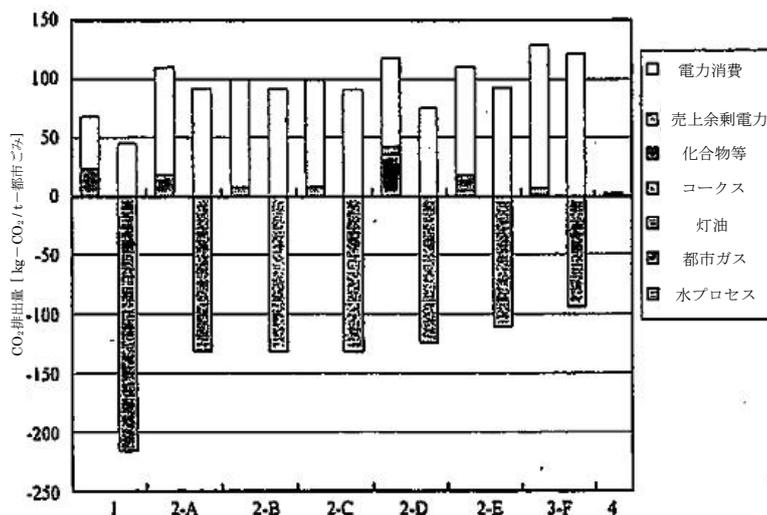


Fig.3 発電による CO₂削減を考慮した各シナリオの CO₂排出量 (ただし、売上余剰電力は、(電力供給) - (電力消費)とした。)

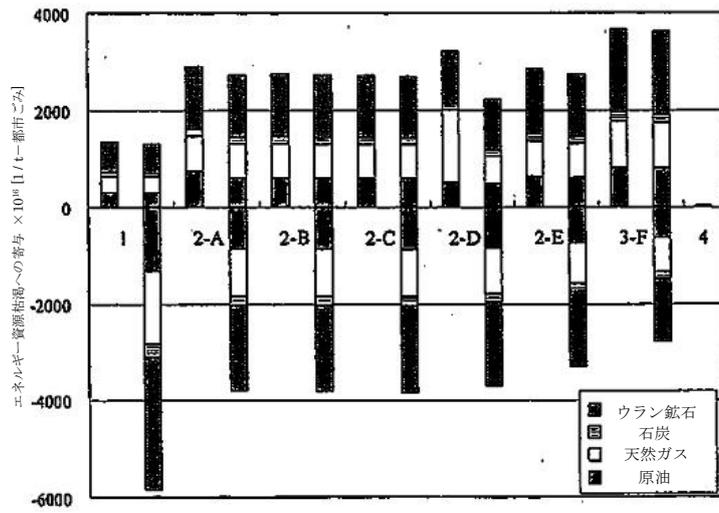


Fig.4 発電によるエネルギー保全を考慮した各シナリオのエネルギー資源枯渇

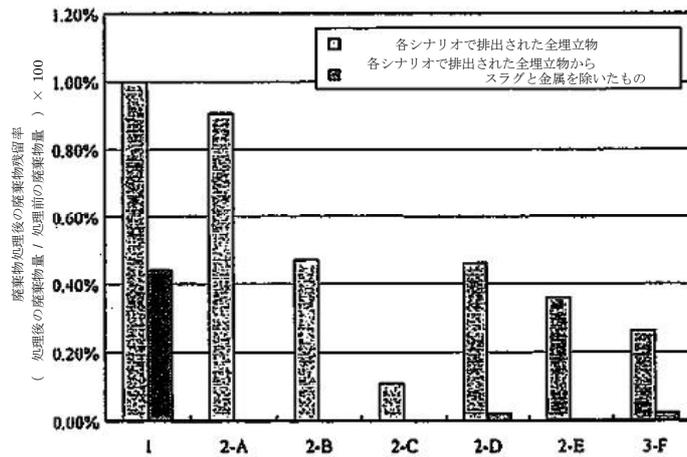


Fig.5 直接埋立時と比較した各シナリオの減容効果

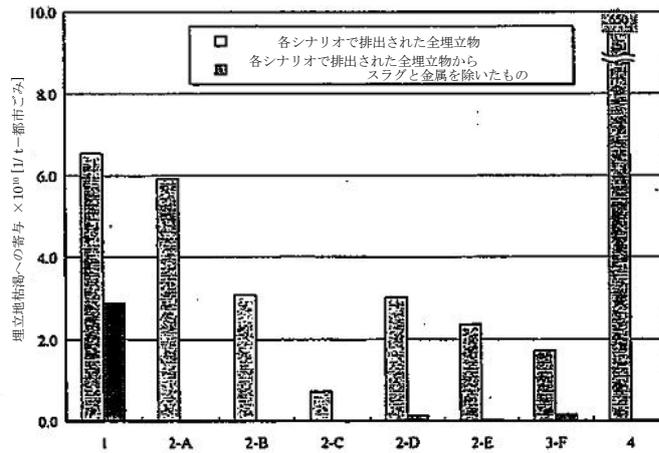


Fig.6 各シナリオの埋立地枯渇

	<p>Fig.7 エネルギー資源枯渇と埋立地枯渇の比較</p>
結果の解釈	<p>焼却・灰無毒化を行うことにより、CO₂排出量やエネルギー資源枯渇への影響は、直接埋立に比べ増大するが、焼却工程で発電を組み合わせ、あるいはガス化発電を採用することによりそれらは相殺され、さらにプラスの効果が見込まれる。焼却や熔融固化で排出されるスラグやメタルを有効利用することにより、最終処分場への負荷は、直接埋立した場合の1/270～1/70に削減することができる。エネルギー資源と土地資源の扱い方には地域性的の問題も含めて大きな隔りがあるが、少数の重要な評価軸を選択し、2軸平面で図示することにより、簡易的ではあるが、多面的な評価が可能となる。</p>
その他	<p>今後、マテリアル/ケミカルリサイクルとの比較評価が必要と考えられる。</p>

事例番号	18												
文献	永田 勝也 (早大理工) ほか「廃棄物焼却発電システムの LCA 評価～発電システムとしての有効性について～」『第 11 回廃棄物学会研究発表会講演論文集』、p. 150-152 (2000)												
テーマ	廃棄物焼却発電システムとしての有効性												
概要	廃棄物焼却発電施設についてバスケットセオリーを用いて単純焼却・最終処分と比較した場合の廃棄物焼却発電システムとしての有効性を検討した。												
評価範囲	<p>図 1</p> <p>図 1 廃棄物焼却発電システムの有効性を検討する比較システム</p>												
評価対象	環境負荷												
評価シナリオ	対応 I：廃棄物焼却発電システム 対応 II：単純焼却システムに事業用発電システムを加えたもの 対応 III：最終処分システムに事業用発電システムを加えたもの												
評価指標	CO ₂ 排出量、ELP												
前提条件	<p>評価条件にあたっては、廃棄物焼却発電システム運用時を中心として評価した論文をもとにした（事例番号 12 の表 1）。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>事例番号 12 の表 1 廃棄物焼却発電システムの評価条件</caption> <tr> <td>1 炉当たり処理量</td> <td>600 t / day</td> </tr> <tr> <td>炉形式</td> <td>全連続式ストーカー炉</td> </tr> <tr> <td>ごみ低発熱量</td> <td>2400 kcal / kg</td> </tr> <tr> <td>発電効率</td> <td>19 %</td> </tr> <tr> <td>耐用年数</td> <td>15 年</td> </tr> <tr> <td>稼働日数</td> <td>300 日/年</td> </tr> </table> <p>廃棄物の収集輸送で消費されるエネルギーやそのための機材の製造等に使用されるエネルギーは廃棄物処理には共通なものとして考慮しなかった。 バスケットセオリーを適用して、単純焼却システム、最終処分システムの場合も廃棄物焼却発電で発電される電力を事業用発電で発電したものとして評価した（図 2）。いずれの対応も廃棄物 1t を廃棄物焼却発電で処理した場合の送電量 416kWh を送電する条件でバスケットセオリーを適用した。また、廃棄物焼却発電システムを他のシステム</p>	1 炉当たり処理量	600 t / day	炉形式	全連続式ストーカー炉	ごみ低発熱量	2400 kcal / kg	発電効率	19 %	耐用年数	15 年	稼働日数	300 日/年
1 炉当たり処理量	600 t / day												
炉形式	全連続式ストーカー炉												
ごみ低発熱量	2400 kcal / kg												
発電効率	19 %												
耐用年数	15 年												
稼働日数	300 日/年												

と比較した際は、事業用発電システムとの比較では、同じ電力を発電した場合の環境負荷で評価し、単純焼却システム及び最終処分システムとの比較では、同量の廃棄物进行处理した場合の環境負荷で評価した（図5）。

CO₂の発生条件は廃棄物焼却ならびに埋立におけるすべてのCO₂を考慮した場合を通常ケースとし、廃棄物焼却ならびに埋立におけるバイオマス起源のCO₂を除いた場合をIPCC規定ケースとした。

最終処分の埋立構造は準好気性とし、その建設や排水処理施設の設置・運用のエネルギー消費、水質汚染物質の排水等に関しては考慮しておらず、埋立処分量と埋立後10年間でのCO₂とCH₄の排出のみ対象とした。廃棄物中のバイオマスは紙・繊維類（繊維類は割合が少ない）、厨芥、木竹類とした。

図2、表1、図5、表2

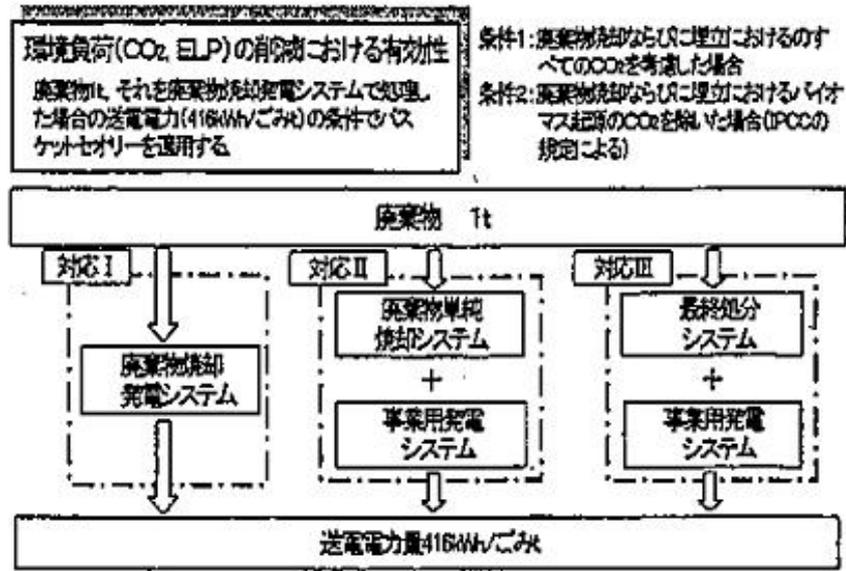


図2 バスケットセオリーによる各対応の比較

表1 対応別の計算と評価

項目		対応Ⅰ		対応Ⅱ		対応Ⅲ	
		廃棄物焼却発電システム:0	事業用発電システム:1	単焼却システム:2	事業用発電システム:1	最終処分システム:3	
CO ₂ 排出	通常 CO ₂ +CH ₄ (CO ₂ 換算)	数値	$\Phi_{10} = CO_1 + CO_2 + C(M1:U:M2) + CO(L) + CH(L)$	$\Phi_{11} = CO + C(G)$	$\Phi_{12} = CO_1 + CO_2 + C(M1:U:M2) + CO(L) + CH(L)$	$\Phi_{13} = CO + C(G)$	$\Phi_{14} = \text{埋立CO} + \text{埋立CH}$
		評価	Φ_{10}	$\Phi_{11} + \Phi_{12}$		$\Phi_{13} + \Phi_{14}$	
	IPCC規定	数値	$\Phi_{20} = CO_2 + C(M1:U:M2) + CH(L)$	$\Phi_{21} = CO + C(G)$	$\Phi_{22} = CO_2 + C(M1:U:M2) + CH(L)$	$\Phi_{23} = CO + C(G)$	$\Phi_{24} = \text{埋立CH}$
		評価	Φ_{20}	$\Phi_{21} + \Phi_{22}$		$\Phi_{23} + \Phi_{24}$	
ELP	通常	数値	$\Omega_{10} = \sum ELP(M1:U:M2:CO_1:CO_2:H:L:CO_1(L):CH(L))$	$\Omega_{11} = ELP(CO:H:G)$	$\Omega_{12} = \sum ELP(M1:U:CO_1:CO_2:H:L:CO_1(L):CH(L))$	$\Omega_{13} = ELP(CO:H:G)$	$\Omega_{14} = \sum ELP(L:\text{埋立CO}:\text{埋立CH})$
		評価	Ω_{10}	$\Omega_{11} + \Omega_{12}$		$\Omega_{13} + \Omega_{14}$	
	IPCC規定	数値	$\Omega_{20} = \sum ELP(U:M1:M2:CO_2:H:L:CH(L))$	$\Omega_{21} = ELP(CO:H:G)$	$\Omega_{22} = \sum ELP(M1:U:CO_2:H:L:CH(L))$	$\Omega_{23} = ELP(CO:H:G)$	$\Omega_{24} = \sum ELP(L:\text{埋立CH})$
		評価	Ω_{20}	$\Omega_{21} + \Omega_{22}$		$\Omega_{23} + \Omega_{24}$	

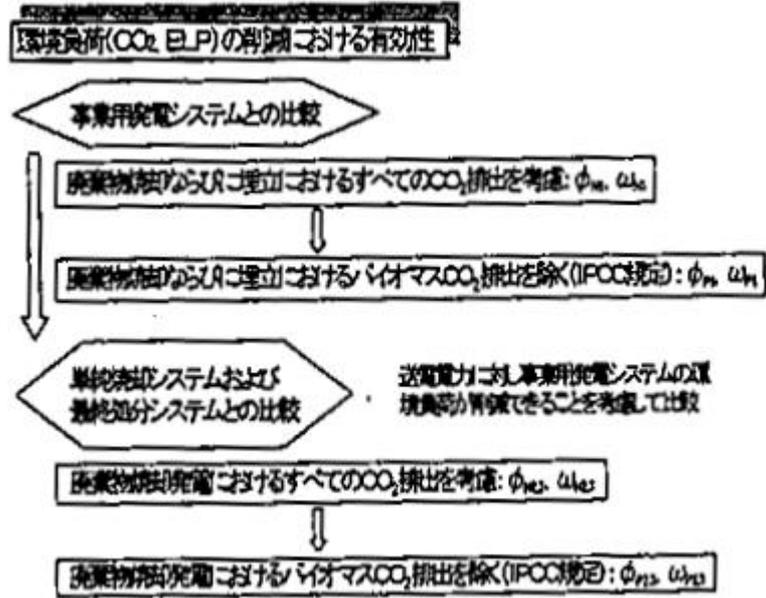


図5 廃棄物焼却発電システムと各システムの比較

表2 システム別の計算と評価

項目			廃棄物焼却発電システム	比較対象システム		
				事業用発電システム:1	単独焼却システム:2	最終処分システム:3
CO ₂ 排出	通常 CO ₂ +CH ₄ (CO ₂ 換算)	数値	$\Phi_{M2} = CO_1 + CO_2 + C(M1:U:M2) + CO(L) + CH(L)$	$\Phi_{N1} = CO + C(G)$	$\Phi_{M2} = CO_1 + CO_2 + C(M1:U:M2) + CO(L) + CH(L)$	$\Phi_{M3} = \text{埋立CO}_2 + \text{埋立CH}_4$
		評価	ϕ_{M2}	$\phi_{N1} = (\Phi_{N1} - \Phi_{M2}) / \Phi_{N1}$	$\phi_{M1} = (\Phi_{M1} - \Phi_{M2}) / \Phi_{M1}$	
	IPCC規定	数値	$\Phi_{M1} = CO_2 + C(M1:U:M2) + CH(L)$	$\Phi_{P1} = CO + C(G)$	$\Phi_{P2} = CO_2 + C(M1:U:M2) + CH(L)$	$\Phi_{P3} = \text{埋立CH}_4$
		評価	ϕ_{M1}	$\phi_{P1} = (\Phi_{P1} - \Phi_{M1}) / \Phi_{P1}$	$\phi_{P2} = (\Phi_{P2} - \Phi_{M1}) / \Phi_{P2}$	
ELP	通常	数値	$Q_{M2} = \sum ELP(M1:U:M2:CO_1:CO_2:H_2L:CO_1(L):CH(L))$	$Q_{N1} = ELP(CO:H:G)$	$Q_{M2} = \sum ELP(M1:U:CO_1:CO_2:H_2L:CO_1(L):CH(L))$	$Q_{M3} = \sum ELP(L:\text{埋立CO}_2:\text{埋立CH}_4)$
		評価	ω_{M2}	$\omega_{N1} = (Q_{N1} - Q_{M2}) / Q_{N1}$	$\omega_{M1} = (Q_{M1} - Q_{M2}) / Q_{M1}$	
	IPCC規定	数値	$Q_{M1} = \sum ELP(U:M1:M2:CO_2:H_2L:CH(L))$	$Q_{P1} = ELP(CO:H:G)$	$Q_{P2} = \sum ELP(M1:U:CO_2:H_2L:CH(L))$	$Q_{P3} = \sum ELP(L:\text{埋立CH}_4)$
		評価	ω_{M1}	$\omega_{P1} = (Q_{P1} - Q_{M1}) / Q_{P1}$	$\omega_{P2} = (Q_{P2} - Q_{M1}) / Q_{P2}$	

使用データ 文献値、計算値
 評価対象地域 -

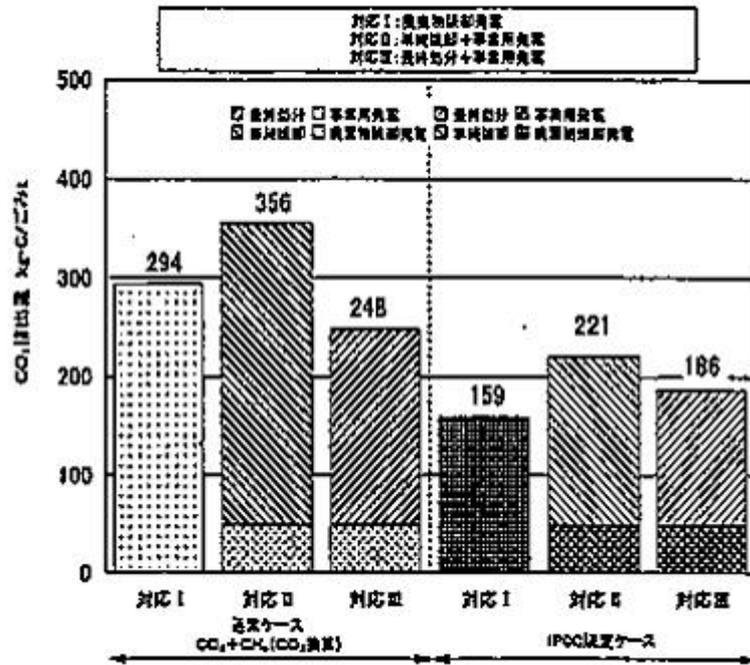


図3 対応別のCO₂排出量比較

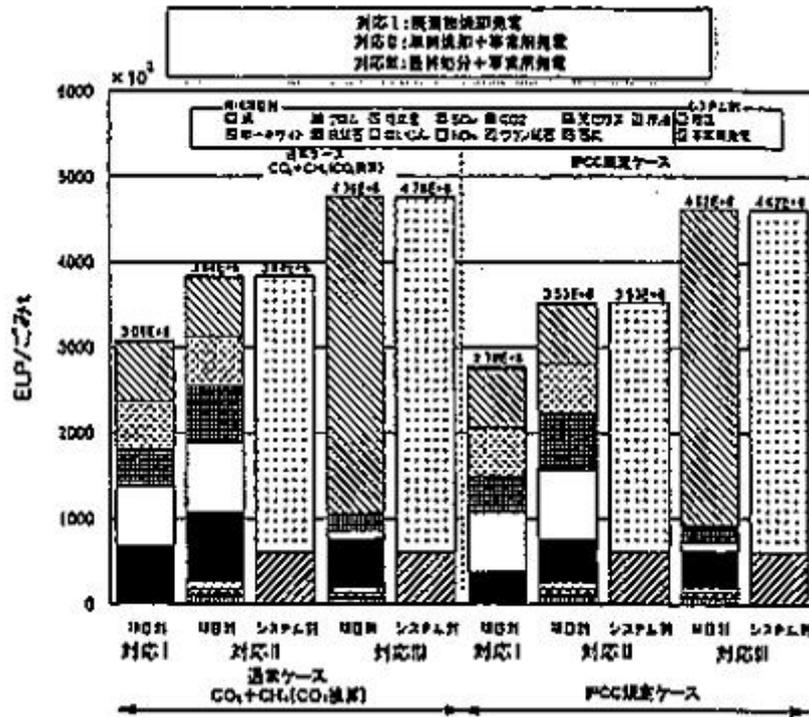


図4 対応別のELP比較

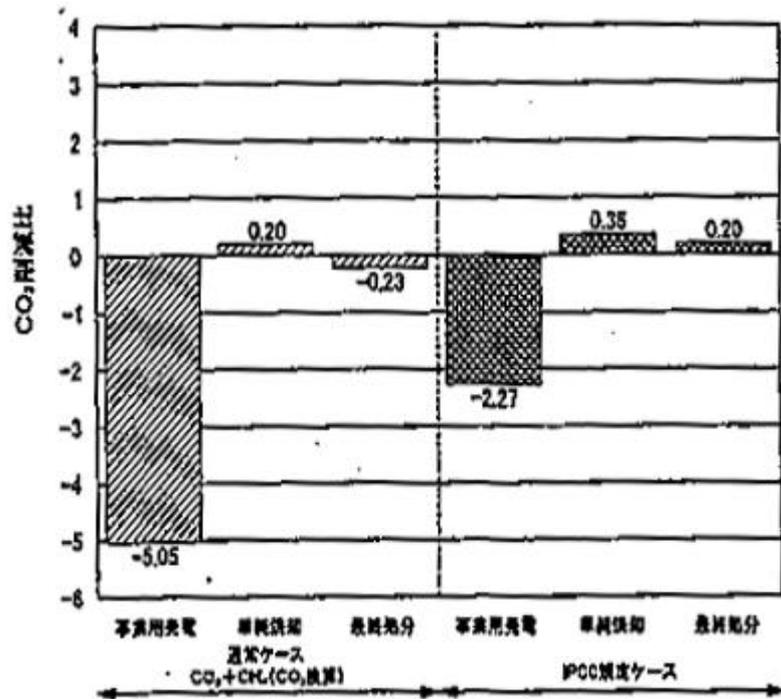


図6 廃棄物焼却発電と比較した各システムのCO₂削減率

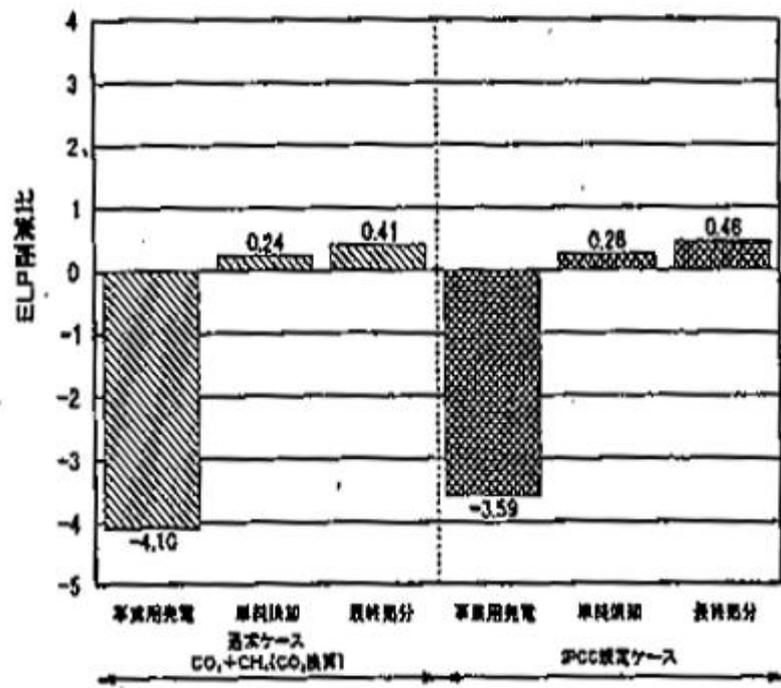


図7 廃棄物焼却発電と比較した各システムのELP削減率

結果の解釈
その他

-
-

事例番号	19
文献	永田 勝也 (早大理工) ほか「LCA と LCC の統合による廃棄物処理技術の導入評価」『日本機械学会第 11 回環境工学総合シンポジウム 2001 講演論文集』、p. 190-193 (2001)
テーマ	焼却施設からのダイオキシン類排出の影響、並びに廃棄物処理の新技术の評価
概要	焼却施設からのダイオキシン類排出の影響を調べるとともに、焼却灰の溶融による排出量の削減効果をまとめた。また、廃棄物処理の新技术として、直接溶融発電による処理をベースに、バイオガス発電を行うケース、プラスチックを分別回収し、廃プラ油化処理するケースについても環境負荷の評価を行い、経済性の関連付けを行った。
評価範囲	【ダイオキシン類排出の影響】 ごみ焼却過程、又はごみ処理過程 【廃棄物処理の新技术】
	<p style="text-align: center;">図 3. 1 評価対象ケース</p>
評価対象	環境負荷、経済性
評価シナリオ	【ダイオキシン類排出の影響】 シナリオ 1-1：ストーカ炉、溶融なし シナリオ 1-2：ストーカ炉、主灰溶融 シナリオ 1-3：ストーカ炉、主灰+飛灰溶融 シナリオ 2-1：流動床炉、溶融なし シナリオ 2-2：流動床炉、飛灰溶融 【廃棄物処理の新技术】 シナリオ 1：可燃ごみ 600t を直接溶融する。 シナリオ 2：可燃ごみ 600t のうち、厨芥分を選別してバイオガス発電を行い、残りのごみについて直接溶融発電を行う。 シナリオ 3：可燃ごみ 600t からプラスチックを除いたものを直接溶融する。選別したプラスチックは廃プラ油化処理し、生成油については発電を行わない。 シナリオ 4：可燃ごみ 600t から厨芥とプラスチックを除いて別処理する。
評価指標	環境統合化指標 ELP、コスト

前提条件

統合化係数 ELF : 表 2. 1、図 2. 1

表 2. 1 統合化係数 ELF

個別項目	カテゴリー	ELF 1/kg		
		従来値	修正値 (1997年値)	修正値 (1998年値)
原油	資源枯渇	3.20E+03	3.17E+03	3.17E+03
石炭	資源枯渇	4.11E+02	3.49E+02	3.49E+02
天然ガス	資源枯渇	2.64E+03	2.43E+03	2.43E+03
ウラン鉱石	資源枯渇	5.12E+04	4.70E+04	4.70E+04
二酸化炭素	温暖化、大気汚染	6.31E+02	6.31E+02	6.31E+02
窒素酸化物	酸性雨、大気汚染	8.58E+05	7.02E+05	8.08E+05
硫黄酸化物	酸性雨、大気汚染	8.94E+05	6.23E+05	6.99E+05
ばいじん	大気汚染	3.62E+05	4.14E+05	4.96E+05
固形廃棄物	廃棄物処理問題	3.70E+03	3.29E+03	3.29E+03
塩化水素	酸性雨、大気汚染	—	4.89E+05	5.44E+05
アンモニア	酸性雨	—	4.54E+05	4.54E+05
ダイオキシン類	大気汚染	—	7.28E+13	8.73E+13
	水質汚染	—	1.43E+16	1.43E+16
	生態系への影響	—	3.65E+14	8.34E+14

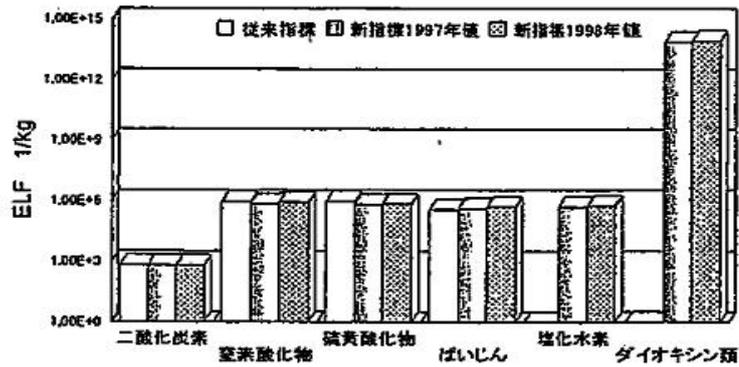


図 2. 1 統合化係数 ELF の比較

ダイオキシン類排出量 : 図 2. 2、図 2. 3

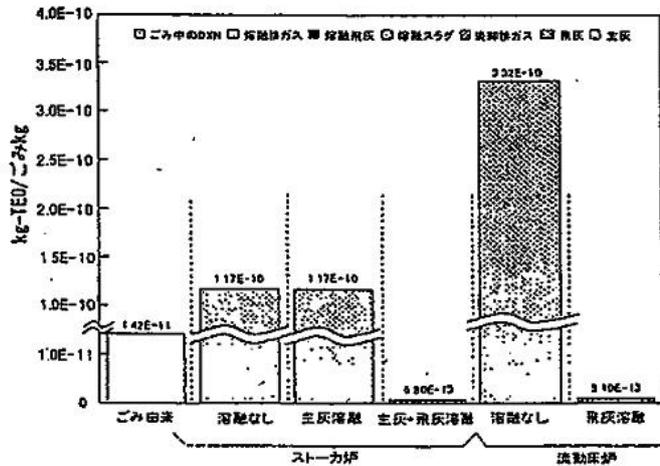


図 2. 2 焼却施設からのダイオキシン類排出量

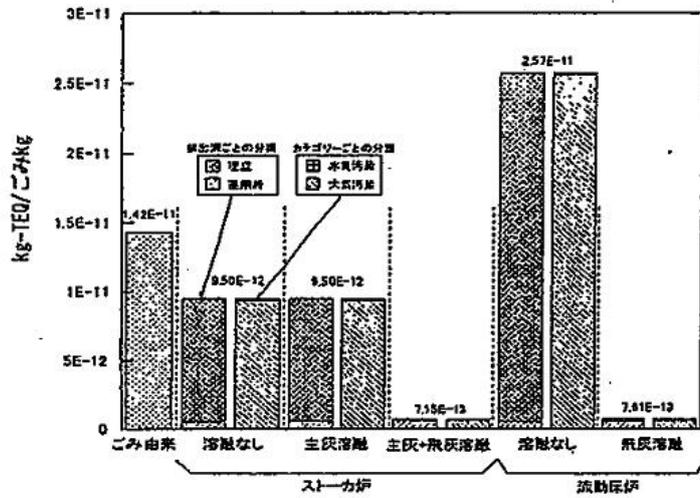


図 2. 3 ごみ処理過程のダイオキシン量

ごみの条件：表 3. 1、表 3. 2

表 3. 1 基本ごみの条件

三成分 (%)	可燃分 (うちプラスチック)	52.40 (8.00)
	灰分	16.10
	水分	31.50
元素組成 (重量%)	C	28.82
	H	3.58
	O	19.00
	N	0.50
	S	0.07
	Cl	0.43
厨芥の割合 (%)		14.90
低発熱量 kcal / ごみ kg		2400

表 3. 2 ごみの 3 成分の割合と低発熱量

ごみの種類	元素組成 %						
	灰分	C	H	N	O	S	Cl
基本ごみ	23.50	42.07	5.23	0.73	27.74	0.10	0.63
厨芥	9.54	42.50	5.69	3.01	38.96	0.09	0.21
プラスチック	1.78	78.71	9.38	0.19	6.25	0.03	3.65
厨芥を除いたごみ	24.49	42.82	5.25	0.34	26.28	0.11	0.72
プラスチックを 除いたごみ	26.22	38.45	4.81	0.77	29.28	0.11	0.36
厨芥・プラスチック を除いたごみ	27.56	38.66	4.76	0.35	28.14	0.11	0.40

コスト算出前提条件：表 3. 3、表 3. 4

表 3. 3 処理施設規模について

施設・方式	処理量 t/d	規模
直接熔融施設	ケース 1	600 / 0.8 = 750
	ケース 2	510.6 / 0.8 = 639
	ケース 3	552 / 0.8 = 690
	ケース 4	462.5 / 0.8 = 579
バイオガス化施設	89.4 / 0.8 = 112	112 t/d × 1 系統
廃プラ油化	48.0 / 0.8 = 60	60 t/d × 1 系統

* 平均稼働率は 0.8 とする。

表 3. 4 ランニングコストについての前提条件

人件費	電気	基本電力	700 万円 / 人・年 (1,720 円 / kW・月) × 12 ヶ月
			従量料金：買電料金 - 売電料金 で算出
用役費	燃料	買電料金	9.4 円 / kWh
		売電料金	8.1 円 / kWh
	灯油	灯油	35 円 / l
		コークス	20 円 / kg
用水		150 円 / m ³	
薬品	キレート	500 円 / kg	
	消石灰	25 円 / kg	
補修費			20 年間の年平均補修費を算出

使用データ 企業から提供されたデータ等

評価対象地域 -

評価結果 統合化指標 ELP：図 2. 4、図 2. 5、図 2. 6、図 2. 7、図 3. 2、図 3. 3

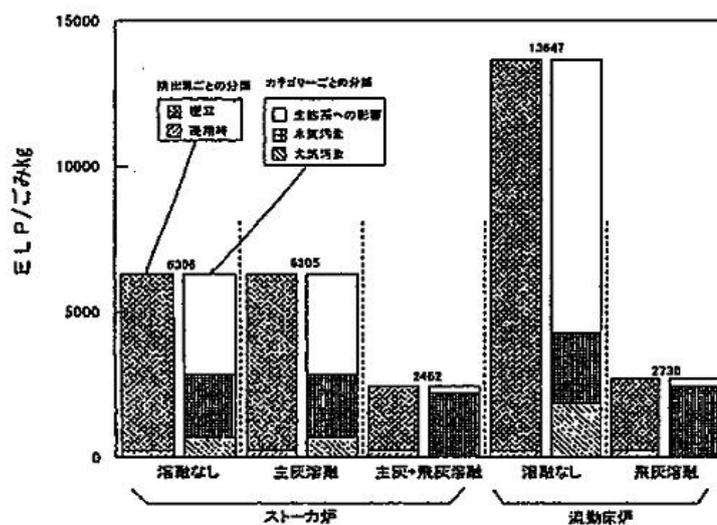


図 2. 4 ごみ処理過程のダイオキシンの ELP

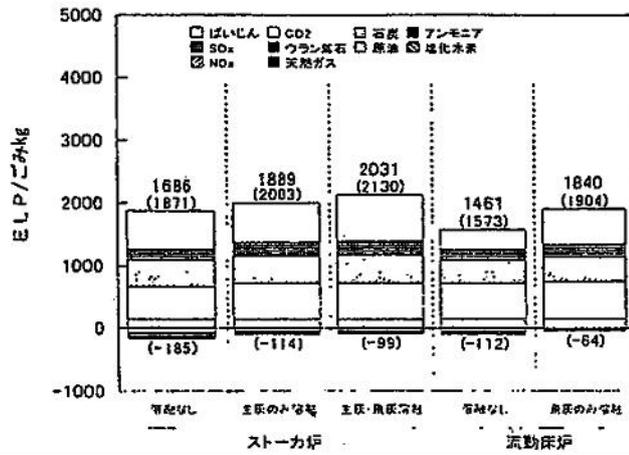


図2. 5 ごみ焼却課程の ELP (ダイオキシン類含まず)

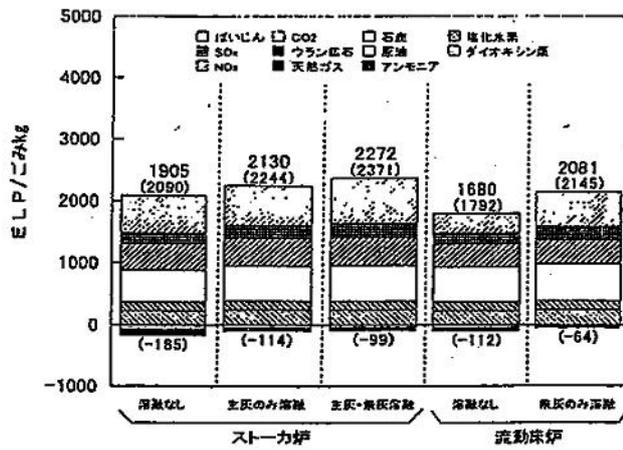


図2. 6 ごみ焼却課程の ELP (ダイオキシン類含む)

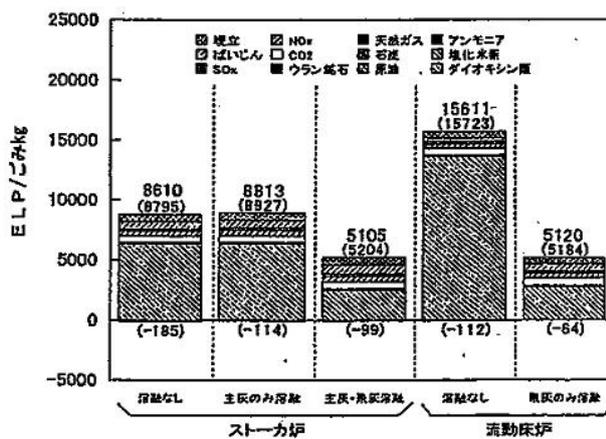


図2. 7 ごみ処理過程の ELP

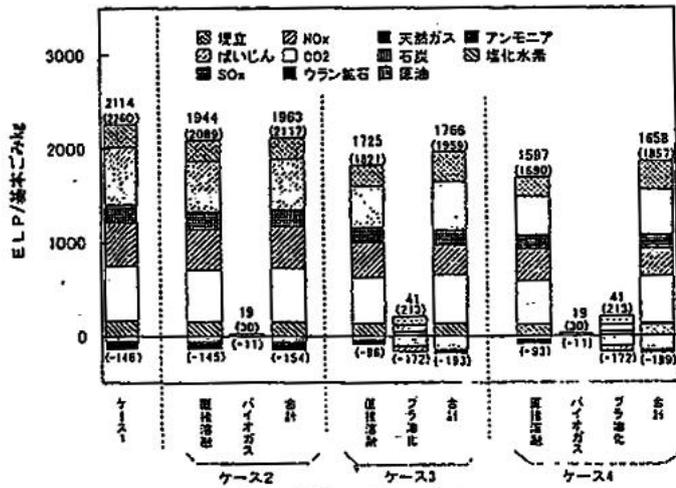


図3. 2 組み合わせ後の各ケースの ELP (ダイオキシン類含まず)

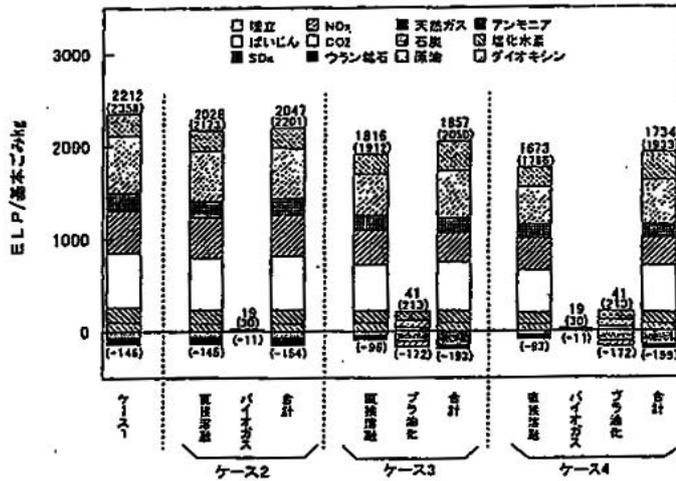


図3. 3 組み合わせ後の各ケースの ELP (ダイオキシン類含む)

コスト：表3. 5

表3. 5 各ケースにおけるコスト

コスト区分	従来ケース					
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4		
建設費	8,720	15,081	24,198	30,615		
運転費	人件費	973	2,557	9,860	11,454	
	用役費	電気	-2,792	-3,929	2,027	1,089
		燃料	1,375	1,516	-88	-14
		用水	124	315	1,086	1,277
		薬品	2,870	4,470	10,304	11,767
	その他	32	32	654	654	
用役費合計	1,644	2,048	28,163	28,688		
補修費	2,062	4,115	6,604	8,758		
運転費合計	4,678	8,719	44,628	48,900		
合計	13,733	24,581	55,946	66,911		

円 / ごみ t

コストと ELP の関係：図 3. 4、図 3. 5、図 3. 6、図 3. 7

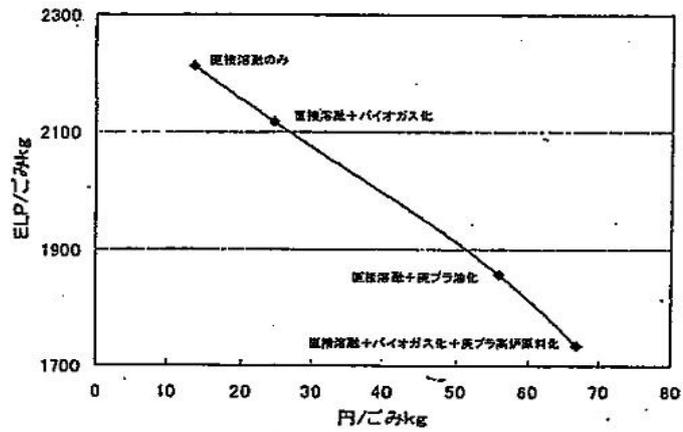


図 3. 4 コストと ELP (ダイオキシン類含む) の関係

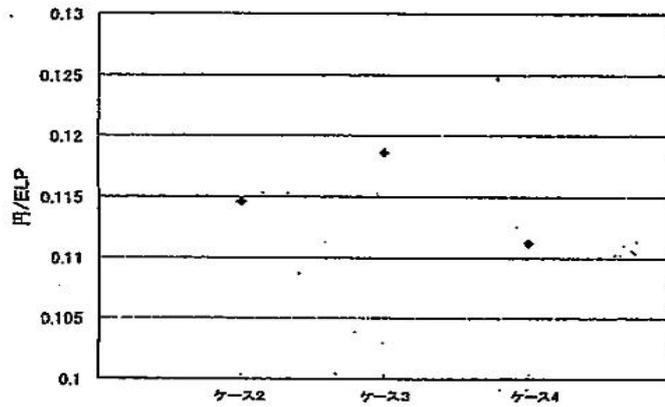


図 3. 5 ケース 1 をベースとした場合の 1ELP 削減に要するコスト

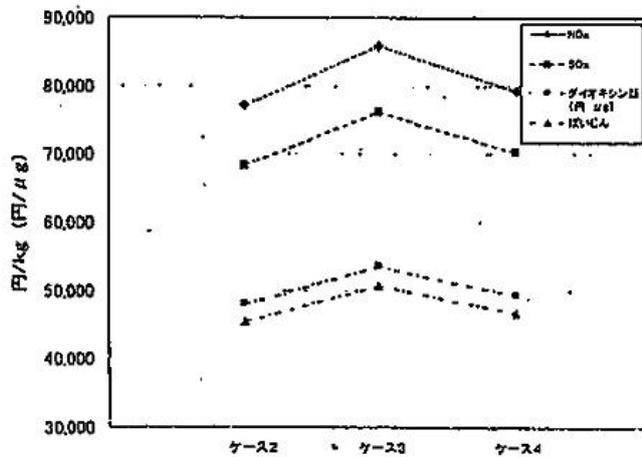
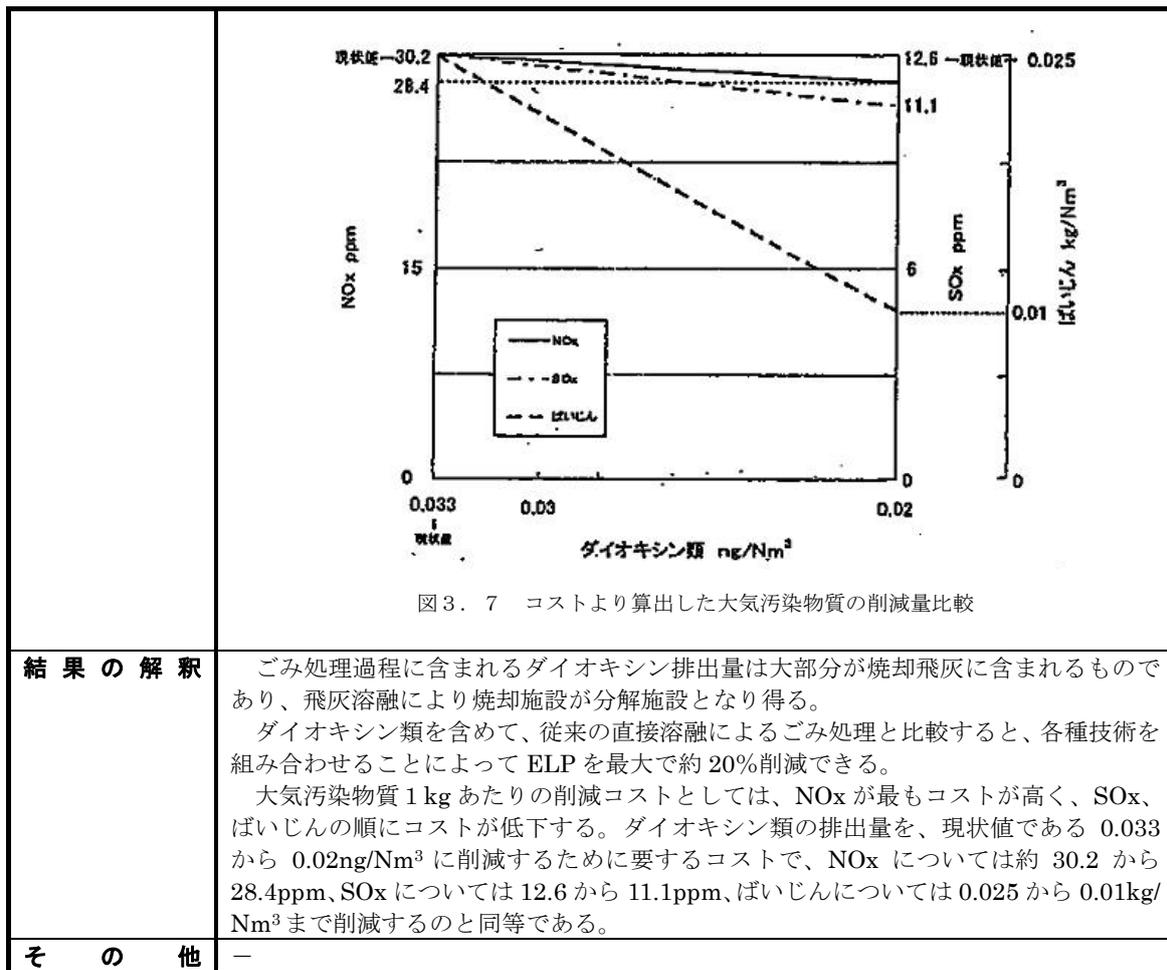


図 3. 6 ケース 1 をベースとした場合の 1ELP 削減に要するコスト



結果の解釈

ごみ処理過程に含まれるダイオキシン排出量は大部分が焼却飛灰に含まれるものであり、飛灰溶融により焼却施設が分解施設となり得る。
 ダイオキシン類を含めて、従来の直接溶融によるごみ処理と比較すると、各種技術を組み合わせることによって ELP を最大で約 20%削減できる。
 大気汚染物質 1 kg あたりの削減コストとしては、NOx が最もコストが高く、SOx、ばいじんの順にコストが低下する。ダイオキシン類の排出量を、現状値である 0.033 から 0.02ng/Nm³ に削減するために要するコストで、NOx については約 30.2 から 28.4ppm、SOx については 12.6 から 11.1ppm、ばいじんについては 0.025 から 0.01kg/Nm³ まで削減するのと同様である。

その他

—

事例番号	20
文献	中澤 克仁 (東海大学) ほか「生ゴミにおける焼却処理とコンポスト化の LCA 的評価」『第 3 回エコバランス国際会議講演論文集』、p. 593-596 (1998)
テーマ	生ゴミにおけるコンポスト化
概要	生ゴミにおける焼却処理方式とコンポスト化方式の LCI 分析を行い、エネルギー消費・大気汚染物質・固形廃棄物における環境負荷について検討した。
評価範囲	<p>【焼却処理方式】</p> <p>生ゴミ収集プロセス：発生した生ゴミを収集し、所定場所に運ぶまで 生ゴミ輸送プロセス：4t トラックがターミナルを出発し、店舗 A で生ゴミを積載して焼却場に到着し、ターミナルに戻るまで 焼却処理プロセス：生ゴミを焼却するまで 残灰輸送プロセス：焼却灰を最終処分場へ運ぶまで 埋立プロセス：埋立地の作業のみ</p> <p>【コンポスト化処理】</p> <p>コンポスト処理プロセス：発生した生ゴミを収集し、コンポスト化処理を行うまで コンポスト輸送プロセス：コンポストを貯蔵地へ運ぶまで 貯蔵処理プロセス：コンポストを土作りステーションで熟成させるまで 農家への輸送プロセス：コンポストを農家へ運ぶまで</p>
評価対象	エネルギー消費・大気汚染物質・固形廃棄物における環境負荷
評価シナリオ	シナリオ 1：生ゴミを焼却処理する (店舗 A) シナリオ 2：生ゴミをコンポスト化する (店舗 A、B、C)
評価指標	軽油・重油・電力エネルギー消費量、CO ₂ 、SO _x 、NO _x 、焼却灰やコンポストの固形廃棄物
前提条件	<p>コンポスト化方式ではコープとうきょうの店舗 A、B、C の 3 店舗を対象都市、焼却処理方式では店舗 A のみを対象とした。各店舗におけるコンポストは、コンポスト条件 (熟成量、混合比、大きさ、熟成期間など) を調整した。輸送プロセスにおけるトラック燃料や埋立作業プロセスにおける重機燃料については軽油を使用した。電力消費による環境負荷は、電力製造時に排出される CO₂、SO_x、NO_x と仮定した。コンポスト化によって生じる CO₂ 発生については評価しなかった。焼却処理方式におけるゴミ袋 (ポリエチレン袋) 製造プロセスとコンポスト化方式におけるコンポスト用袋 (生分解性袋) 製造プロセスについては除外した。焼却方式では生ゴミだけの焼却に必要なとされる助燃剤 (重油) を加えた場合と加えない場合について分析を行い、生ゴミ構成については水 80wt% と紙 20wt% で構成されていると仮定した。</p> <p>図 1</p> <p style="text-align: center;">【インベントリーデータ】</p> <p>生ゴミにおける焼却処理方式とコンポスト化方式での輸送距離を図 1 に示した。</p> <pre> graph LR subgraph "焼却処理・輸送距離" T1[ターミナル] -- 15km --> S1[店舗A] S1 -- 28km --> I[焼却場] I -- 24km --> T2[ターミナル] end I -- 35.5km --> L[埋め立て地] subgraph "コンポスト化・輸送距離" S2A[店舗A] -- 167km --> ST[貯蔵地] S2B[店舗B] -- 163km --> ST S2C[店舗C] -- 163km --> ST ST -- 1km --> SS[土作りステーション] SS -- 5km --> F[農家] end </pre>
	図 1 生ゴミにおける焼却処理方式・コンポスト化方式の輸送距離

使用データ	文献値
評価対象地域	コープとうきょうの店舗

評価結果 図2、図3、図4

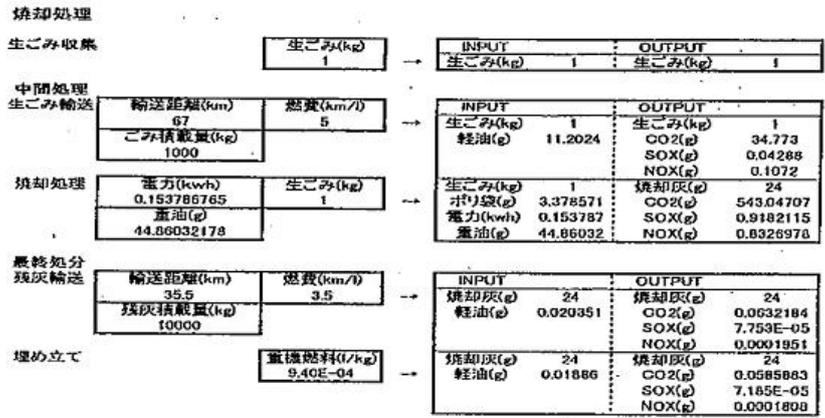


図2 焼却処理方式における LCI 結果

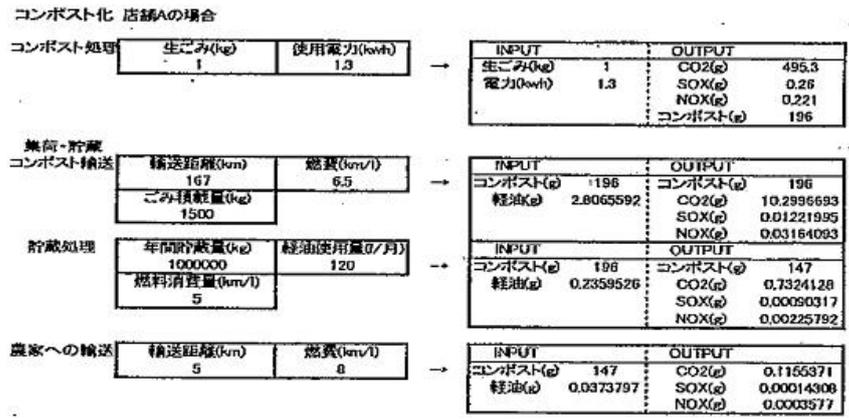


図3 コンポスト化方式における LCI 結果 (店舗A)

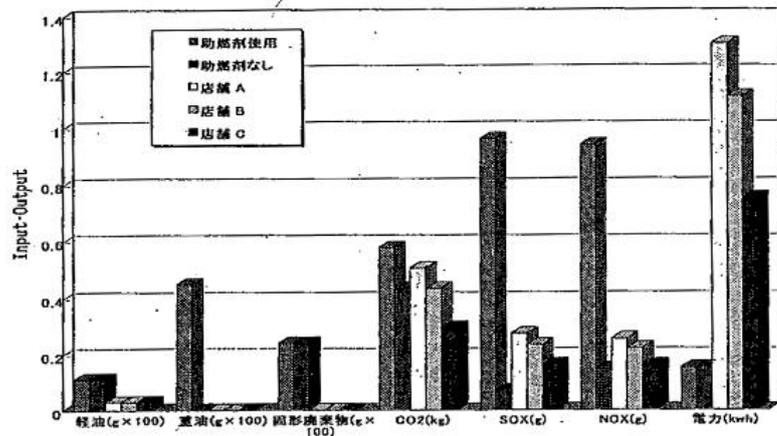


図4 焼却処理方式とコンポスト化方式の比較

結果の解釈 コンポスト化を体系的に実施した場合、電力消費以外の環境負荷の明瞭な増大はないものと示唆された。

その他 コンポスト装置の省電力化やコンポスト化における最適条件の明確化が期待される。

事例番号	21
文献	Giorgio Beccali et al. "Managing Municipal Solid Waste -Energetic and Environmental Comparison Among Different Management Options-" International Journal of Life Cycle Assessment 6 p.243-249 (2001)
テーマ	一般廃棄物の処理システム別環境負荷
概要	一般廃棄物を直接埋立した場合と分別収集して処理した場合の環境負荷を比較した。
評価範囲	ごみ収集から資源回収、リサイクル、埋め立て、環境排出まで
評価対象	エネルギー、環境負荷
評価シナリオ	シナリオ1：ごみの直接埋立（現在の一般廃棄物管理システム） シナリオ2：ごみの35%を分別収集し、物質回収、固形燃料化、焼却によるエネルギー回収、有機物の生物処理、不活性廃棄物の埋立を行う。 シナリオ3：ごみの50%を分別収集する。熱処理は行わないが、生物処理によって堆肥化する。
評価指標	エネルギー消費量、物質回収率、埋立消費量、温暖化、酸性化、富栄養化、有害物質、地質・水質生態毒性
前提条件	物質回収と固形燃料化後の残渣：インプットの30% 固形燃料：全て焼却施設に輸送される。熱容量は16GJ/ton 生物処理：バイオガス化又は堆肥化 堆肥化：30kWh/tonのエネルギーでインプットの50%を堆肥化する。 Fig1
	<div data-bbox="434 987 1359 1594" data-label="Diagram"> <p>[物質収支] Option B</p> <p>一般廃棄物 293.85x1000 tons (100%)</p> <ul style="list-style-type: none"> 分別収集 103.74x1000 tons (35.3%) <ul style="list-style-type: none"> 道路脇回収箱 40.08% 中央集積所 18.27% 資源ごみ(乾) 0% バイオ廃棄物 41.64% 不分別ごみ 190.11x1000 tons (64.7%) <p>分別収集からの流れ:</p> <ul style="list-style-type: none"> 物質回収施設 21.42x1000 tons (7.29%) <ul style="list-style-type: none"> 回収物質 48.97x1000 tons (16.66%) (5.1%) 生物処理 113.97x1000 tons (16.45%) <ul style="list-style-type: none"> 堆肥 16.52x1000 tons (5.62%) (2.19%) 埋立 65.37x1000 tons (19.91%) (5.62%) 埋立 75.33x1000 tons (41.64%) <p>不分別ごみからの流れ:</p> <ul style="list-style-type: none"> 固形燃料化 190.11x1000 tons (64.7%) <ul style="list-style-type: none"> 生物処理 4.47% 熱処理 107.21x1000 tons (36.49%) <ul style="list-style-type: none"> 埋立 3.64% </div> <p>Fig.1 一般廃棄物管理システムへのインプットとアウトプット (Option B)</p>
使用データ	実データ、文献値
評価対象地域	イタリア、パレルモ
評価結果	Fig2、Table1、Table2

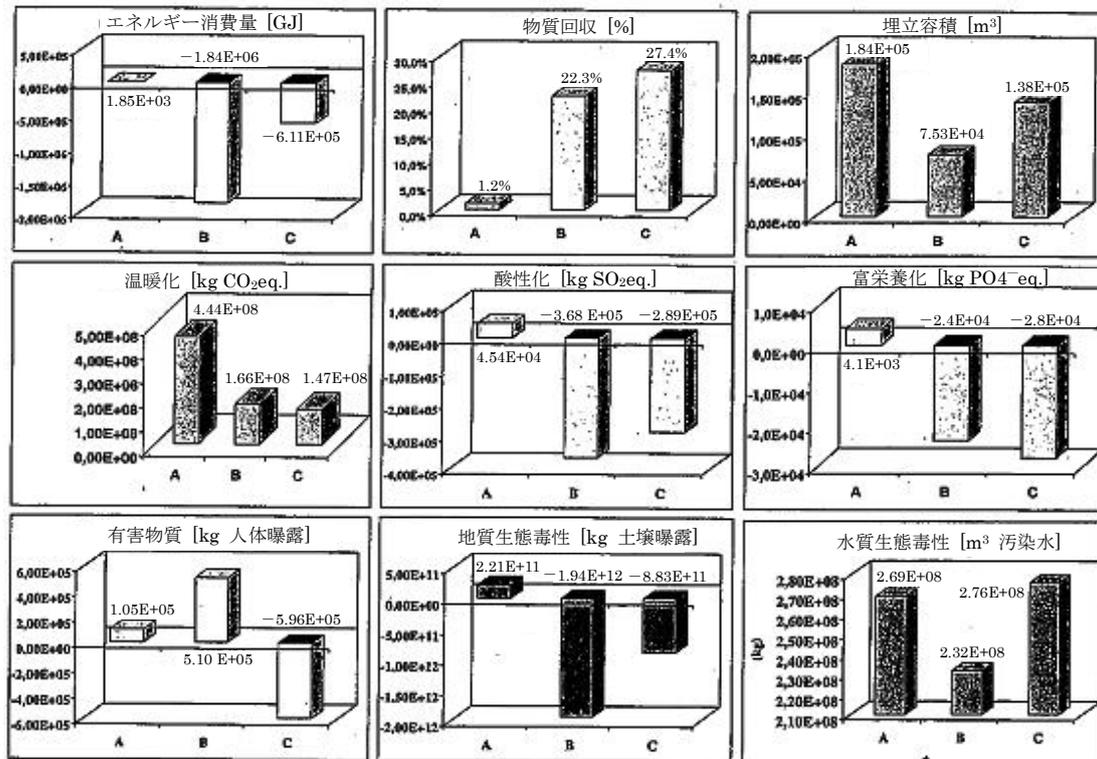


Fig.2 各シナリオの環境影響

Table 1 各シナリオにおけるエネルギーバランス

		収集	分別	生物処理	熱処理	埋立	システム管理	リサイクルによる節約	合計
Option A	TOTAL GJ	26968	1182	0	0	7684	35834		35834
	回収	TOTAL GJ	0	0	0	0	0		0
	エネルギー消費	TOTAL GJ	26968	1182	0	0	35834	33987	1847
Option B	TOTAL GJ	29435	49069	32648	20674	2362	134187		
	回収	Power MWh		0	142952	0	142952		
	TOTAL GJ		0	1358049	0	1358049			
エネルギー消費	TOTAL GJ	29435	49068	32648	-1337375	2362	-1223861	618038	-1841899
Option C	TOTAL GJ	36624	19832	63994	0	3921	124371		
	回収	Power MWh		0	0	0	0		
	TOTAL GJ		0	0	0	0	0		
エネルギー消費	TOTAL GJ	36624	19832	63994	0	3921	124371	735374	-611003

Table 2 各シナリオにおける回収率

	紙	ガラス	鉄類	非鉄類	プラスチック フィルム	硬質 プラスチック	布地	物質 回収率	堆肥率	全回収率
Option A	1.4%	7.5%	0.04%	0.04%	1.04%	1.04%	2.5%	1.2%	0.0%	1.2%
Option B	39.2%	61%	81%	59%	11.3%	11%	10%	16.7%	5.6%	22.3%
Option C	43%	69%	82.5%	82.5%	0.3%	0.1%	0.3%	19.6%	7.8%	27.4%

結果の解釈

—

その他

—

事例番号	22
文献	平井 康宏 (京都大学) ほか「食品残渣の循環処理過程におけるライフサイクルアセスメント」、p. 335-338
テーマ概要	家庭由来食品残渣の処理方式の違いによる環境影響の比較 4種の生ごみ処理・資源化システム（燃却、メタン発酵+残渣燃却、メタン発酵+残渣堆肥化、堆肥化）を対象に環境影響を評価した。
評価範囲	各プロセスの運用段階 図1  <p>図1 評価対象とするシナリオ</p>
評価対象	地球温暖化、酸性化、埋立地消費、有害物質による健康影響
評価シナリオ	シナリオ1：焼却埋立 シナリオ2：メタン発酵・残渣焼却 シナリオ3：メタン発酵・残渣堆肥化 シナリオ4：堆肥化
評価指標	温暖化：CO ₂ 、CH ₄ 、NO ₂ 酸性化：SO _x 、NO _x 埋立地消費：埋立地消費量 有害物質：ダイオキシン類、重金属類
前提条件	機能単位：標準生ごみ 1t の処理 標準生ごみ：仮定由来生ごみ 800g+剪定枝 200kg 処理：ごみを発生源から除去し、環境規制に適合した中間処理を経て、処理残渣あるいは資源化物を環境へ排出すること。 システム： 化学肥料供給サブシステム：化学肥料製造及び窒素肥料の農地分解から構成される。 堆肥化によって得られたコンポスト：窒素含有量の等しい化学肥料を代替する。 電力供給サブシステム：日本における平均的な電源構成を持つ。 データの計算方法： ダイオキシン類発生量：ごみ組成より算出した排ガス量に排ガス中濃度を乗じた。 ごみ発電量：焼却対象物の低位発熱量にごみ発電効率を乗じた。 特定化手法の設定等： 地球温暖化：特定化係数に Global Warming Potential (100年値) を用いた。バイオマス由来のCO ₂ と化石燃料由来のCO ₂ は別々に計上し、バイオマス(生ごみ)の分解によって生じるCO ₂ は温暖化に寄与しないとされた。 酸性化：特定化係数に Acidification Potential を用いた。 有害物質による健康影響：複数の特定化手法を用いた。いずれも Mackay 型マルチメディアモデルを基礎とし、1,4-ジクロロベンゼンの大気への放出を基準とした特定化係数を与える。 正規化： 参照値：日本における一年間の排出量(但し、有害物質による健康影響は、本研究で対象とした物質のみを対象とし、その他有害物質による健康影響は参照値に含めていない。) 重み付け： Distance to Target 法により行い、目標負荷量は 2010 年に達成すべき値として設定した。 表1、表2

表1 環境影響領域および対応するインベントリー項目とその年間排出量および目標排出量

インパクト カテゴリー	物質	年間 排出量	目標排出量	単位
温暖化	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	1231 (1997)	1057 (-6% from 1990)	10 ⁶ ton (CO ₂ 換算)
酸性化	SO _x	1400 (1990)	1400 (same as 1990)	1000ton-SO ₂
	NO _x	2840 (1990)	2130 (-25% from 1990)	1000ton-NO ₂
埋立地消費		81.0 (1996)	40.5 (-50% from 1996)	10 ⁶ m ³
有害物質 (air)	PCDD / DFs	2900 (1998)	635 (-90% from 1997)	g-TEQ
	重金属	see [2]	(-30% from 1997)	

表2 有害物質の特性化に用いたモデル

モデル	地域	空間規模	時間スケール
USES-LCA	ヨーロッパ	グローバルに ネスト化	無限 (定常状態)
Dynamic USES-LCA	ヨーロッパ	グローバルに ネスト化	20,100,500 年
Mackay-Japan (developed for this study)	日本	局地的	無限 (定常状態)

使用データ 自治体及びプラントメーカーへのヒアリング、文献調査、統計値、モデル計算

評価対象地域 -

評価結果 各プロセスにおける環境影響が示されている。図2、図3、図4、図5、図6、表3、表4

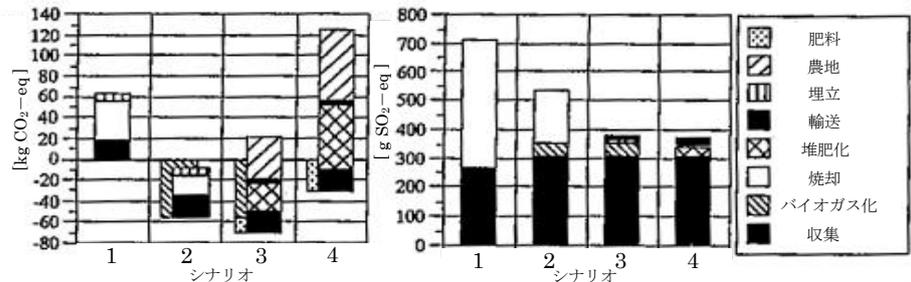


図2 気候変動への影響

図3 酸性化の影響

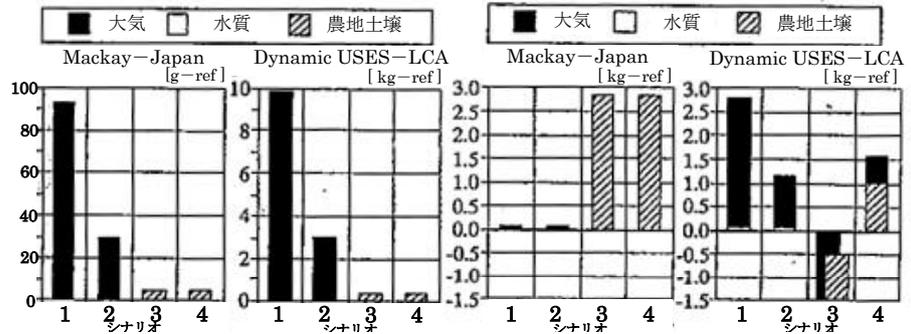


図4 ダイオキシン類による人体毒性スコア

図5 重金属類による人体毒性スコア

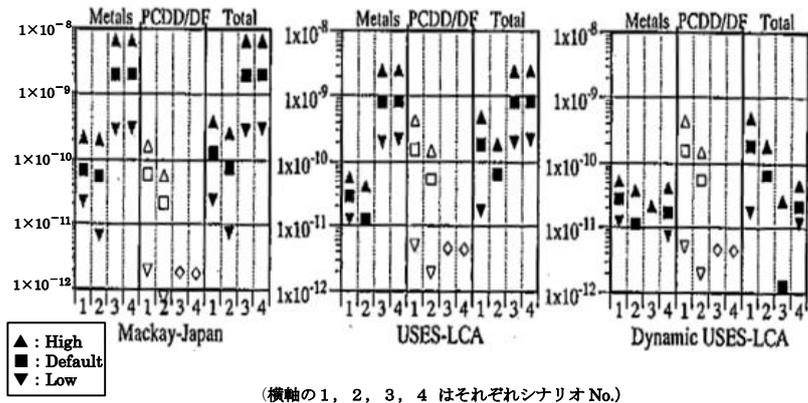


図6 ダイオキシン類および重金属類による健康影響の感度解析結果

表3 有害物質に対する感度解析で用いた想定値

シナリオ	モデル廃棄物中の重金属類 [mg/kg-wet]							煙道ガス中の PCDD/DF [ng-TEQ/Nm ³]
	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Zn	As	
High	0.372	8.24	29.8	44.7	0.114	96.8	0.689	8.6 1998年平均
Default	0.117	4.65	12.3	9.49	0.0372	30.1	0.223	3.1 1998年中央値
Low	0.0186	2.214	0.149	0.372	0.0186	0.0372	0.0372	0.1 2002年以降の 新施設

表4 正規値および重み付けの結果 [×10⁻¹⁰]

シナリオ	温暖化	酸性化	埋立地消費
1	0.50 / 0.59	2.10 / 2.97	4.97 / 9.93
2	-0.08 / -0.09	1.59 / 2.25	4.97 / 9.93
3	0.16 / 0.19	1.13 / 1.59	0.00 / 0.00
4	1.02 / 1.19	1.09 / 1.54	0.00 / 0.00
Max. - Min.	1.10 / 1.28	1.01 / 1.43	4.97 / 9.93

有害物質*1		有害物質*2		有害物質*3	
金属	PCDD/DFs	金属	PCDD/DFs	金属	PCDD/DFs
0.59 / 0.84	0.61 / 2.80	0.28 / 0.40	0.95 / 4.35	0.28 / 0.39	0.98 / 4.46
0.44 / 0.62	0.20 / 0.89	0.12 / 0.18	0.30 / 1.38	0.11 / 0.16	0.31 / 1.42
18.4 / 26.3	0.04 / 0.17	8.07 / 11.5	0.05 / 0.21	-0.03 / -0.05	0.05 / 0.21
18.6 / 26.6	0.04 / 0.17	8.27 / 11.8	0.04 / 0.20	0.17 / 0.24	0.04 / 0.20
18.2 / 26.0	0.58 / 2.64	8.14 / 11.63	0.91 / 4.15	0.31 / 0.44	0.93 / 4.26

[正規化結果 / 重み付け結果] *1 : Mackay-Japan *2 : USES-LCA *3 : Dynamic USES-LCA

結果の解釈

燃却処理または堆肥化処理の前段階にメタン発酵プロセスを加えることにより、地球温暖化に及ぼす影響が低減される。メタン発酵・燃却処理に移行する場合は、ごみ燃却量の減少により有害物質の発生を抑制することができ、健康影響も低減される。堆肥化ー農地還元する場合は、健康影響への負荷は少ないが、地球温暖化、重金属類による影響への負荷が大きい。

その他の

有害物質の評価においては、環境動態モデルの不確実性、正規化に用いた重金属類年間排出量の不完全さ、正規化に用いる参照値と特性化手法との整合性に留意する必要がある。