

ごみ焼却発電プラントの環境負荷評価 (LCA)

Life Cycle Assessment for Waste at Refuse Incineration Power Plants

技 術 本 部 魚 屋 和 夫*¹ 末 岡 靖 裕*²

村 松 恵 理 子*³

横 浜 製 作 所 荒 岡 衛*⁴ 土 井 亨*⁵

近年、地球温暖化防止、ダイオキシン排出抑制等、環境保全に対する社会的要求が強まる中、廃棄物処理においても環境負荷低減を念頭においた製品開発がますます重要となっている。これに対し、当社では価格や性能に加え処理設備そのものが生出す環境負荷を定量的に評価する手法である LCA (Life Cycle Assessment) を製品開発に取入れ、環境負荷の定量評価やシステムの最適化に取り組んでいる。本報では、その取組みの一環として、ごみ焼却発電プラントの適用例を取上げ、環境負荷低減をねらいとして開発した酸素リッチ燃焼システムと、従来型ストーカー炉との環境負荷の比較を行った。その結果、酸素リッチ燃焼システムの特徴を裏付ける環境負荷低減効果が確認できた。

The waste treatment process is being continuously updated to fulfill the social demand for environmental protection which slows global warming, decreases dioxins emission and reduces environmental load. So we try to study Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental load and optimize waste treatment when we developed new systems. LCA evaluates the environmental load to take the equipment life cycle into consideration. Our newly incineration system using oxygen-enriched combustion in refuse incineration power plants was developed for purpose of lower the environmental load. In this paper, we analyzed the system using LCA and compared with the conventional stoker incineration. Results demonstrated the advantage of oxygen-enriched combustion.

1. ま え が き

製品（又はサービス）が環境に与える影響を原料調達・製造・使用・廃棄・リサイクルのライフサイクル全体を通して評価する手法として、LCA (Life Cycle Assessment) がある。ISO (International Organization for Standard) においては LCA の標準化作業が進められ、また、国内においても経済産業省（旧通産省）の主導で“LCA プロジェクト”が 1998 年から 5 箇年計画で開始され、製品・サービスに対する環境負荷データベース構築等の作業が実施されている⁽¹⁾。

廃棄物処理においても、当然、環境負荷低減の視点からの処理装置の選択が今後ますます重要になると考えられる。環境装置の総合メーカーである当社は、このような社会ニーズに対応した製品開発を進めているが、その際にはライフサイクルを通じて環境負荷を定量的に把握し、環境負荷の低い製品であることを事前に評価する LCA の活用を進めている。今回はその取組みの一環として、当社の主力製品であるストーカー炉方式ごみ焼却発電プラントを取上げ、低環境負荷をねらいとして開発した酸素リッチ燃焼システム（以下、酸素リッチ型と称す）と従来型ストーカー炉（以下、従来型と称す）の環境負荷について、両者の比較検討を行った。その結果、酸素リッチ型は従来型に比べて環境負荷が低減できることを裏付ける成果が得られたので以下に報告する。

2. LCA 評価手法の概要

2.1 システムバウンダリ

製品のライフサイクル全体の環境負荷データを収集するこ

とは困難であるので、評価対象となる製品に対して等価性を持たせるシステムバウンダリと呼ばれる境界条件を決めた⁽²⁾。本評価では、これを製造段階と使用段階に限定した。各段階のシステムバウンダリ詳細条件は以下のとおりとした。

(1) 製造段階

主要設備として、機械設備、電気設備、建設設備を評価対象とし、使用材料分析を中心に行った。

(2) 使用段階

プラントの運転、維持・管理、交換部品の撤去が挙げられるが、運転に直接かわるものを対象とした。物質収支においては投入・排出物や副産物を考慮し、用収収支においてはエネルギーや用水、薬品などを対象とした。処理対象の“ごみ”に関してはその組成や発熱量等のデータを基に物質収支、熱収支分析を行い、収集・分別・輸送は対象外とした。

2.2 評価データベース

(1) ライフサイクルデータの抽出

① 製造時

- 構成設備ごとに各素材の重量ベースの環境値を用いた。
- 材質が複合指定のものは、その主要構成材で代表した。
- 製造時の使用材重量の約 9 割を占める建設設備は、土木工事のコンクリート、鉄筋、鉄骨、及び炉フレームとした。

② 使用時

- 構成設備ごとに投入・排出される品目の設計値を用いた。
- 電力は、消費分はごみ焼却発電により賄われるため、その環境負荷を“自家発電電力”で評価し、余剰分（売電）

*¹ 横浜研究所主幹 工博

*⁴ 環境装置技術部主幹

*² 横浜研究所環境装置研究推進室主席

*⁵ 環境装置技術部設計一課長

*³ 横浜研究所環境装置研究推進室

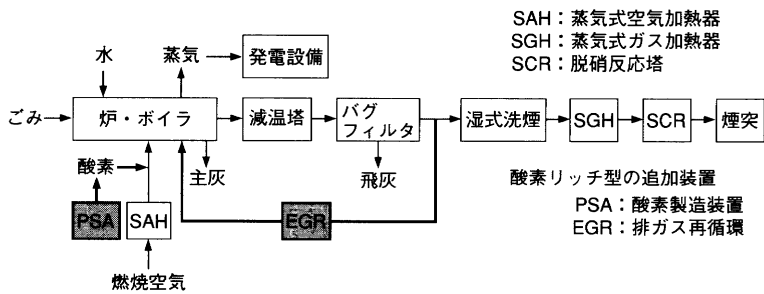


図1 システムフロー 処置装置構成のブロックフローを示す。
System flow of refuse incineration power plant

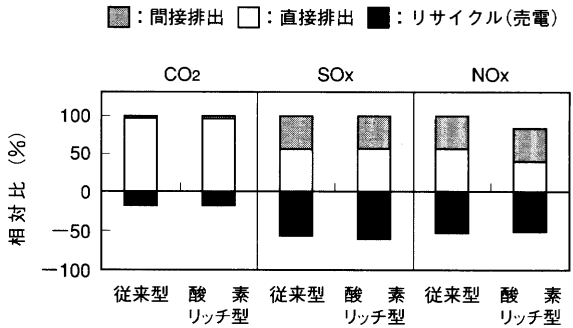


図2 ライフサイクル環境負荷寄与度 排出量の各ライフサイクルごとの寄与度の相対比較を示す。
Relative comparison of environmental load for life cycle

は相当分の電力が不要となるため、“事業用電力”と見なしてその環境負荷をマイナスとした。

●都市ガスや軽油等の助燃料は燃焼分を考慮に入れた。

(2) 環境負荷データベース

環境負荷原単位データベースは産業連関表⁽³⁾、工業統計表⁽⁴⁾、流域別水道整備計画調査資料⁽⁵⁾を基礎に構築されたものを使用した。また、環境負荷定量化の対象としては、大気系排出物はCO₂、SO_x、NO_x、水系排出物は生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物(SS)、全窒素濃度(TN)、全りん濃度(TP)とした。なお、使用する薬品類のうち、具体的な組成(化学式)が記載されていないものについては産業連関表の類似分類のものとし、組成が該当するものは欧州データSimaPro 4.0⁽⁶⁾のBUWAL 250⁽⁷⁾、IVAM⁽⁸⁾の原単位データベースを用いた。

(3) インパクトカテゴリーと重み付け

様々なカテゴリーの環境影響を一元化し、統合化評価する必要がある。この評価手法はインパクト評価と呼ばれ、現在、前述の“LCAプロジェクト”⁽¹⁾で、国内の標準化作業が進められているが本評価ではこの考え方に最も近い人間の健康を保護対象とするEco-Indicator 99⁽⁹⁾を採用した。

表1 システムの基本条件
Basic condition of system

条件	項目	値
運転条件	処理量	300 t/d×2 炉
	炉形式	全連続式ストーク炉
	耐用年数	15 y
	稼働日数	315 d/y
基本ごみの性状 (基準ごみ)	種類	都市ごみ
	低位発熱量	2 100 kcal/kg
	可燃分	44 %
	灰分	17 %
(可燃分内訳)	水分	39 %
	C	23.06 wet %
	H	3.26 wet %
	O	16.18 wet %
	N	0.71 wet %
	S	0.09 wet %
	Cl	0.7 wet %

3. 計算条件

3.1 評価対象設備のシステムフロー

従来型と酸素リッチ型の対象設備のシステムフローを図1に示す。酸素リッチ型とは従来型のストーク式都市ごみ焼却炉の環境負荷低減を目指したシステムであり、酸素製造装置(Pressure Swing Adsorption)で発生させた酸素を燃焼用1次空気に混合し、酸素濃度を高めることによりごみ層の燃焼を強め、灰中未燃分の低減及びダイオキシン類発生量の低減を図るシステムである。また、本システムでは燃焼温度の高温化に伴うNO_x発生量の増加を排ガスの一部を炉内へ再循環(Exhaust Gas Recirculation)させることにより抑制する。これらにより排ガス量が低減でき、排ガス処理装置等のコンパクト化が図れ、従来型に比べ、環境負荷低減が期待できるシステムである⁽¹⁰⁾。

3.2 計算条件

本報で検討したシステムの基本条件を表1に、プラント仕様を表2に示す。

4. 計算結果

4.1 環境負荷定量化

対象ライフサイクルのごみ処理1 t当りで排出される環境負荷の定量化を行った。プラント設備寿命は15年とした。

(1) 直接排出と間接排出の影響度比較

CO₂、SO_x及びNO_xの環境負荷量を算出し、従来型の(直接排出量+間接排出量)を100とした相対比較をした

表2 プラント仕様
Specification of refuse incineration power plant

評価カテゴリ	処理項目	汚染物質	単位	数値	処理方式
大気汚染物質	排ガス処理 (O ₂ :12 % 換算 Dry)	SO _x	ppm	10	乾式+湿式
		NO _x	ppm	9	触媒脱硝方式
		DXNs	ng-TEQ/Nm ³	0.01	バグフィルタ
水質汚染物質	排水処理			下水道放流基準	凝集沈殿+浮遊式
固形汚染物質	灰処理	飛灰	t/h	0.8 (従来型) 0.7 (酸素リッチ型)	キレート混練方式
		主灰	t/h	5.0 (従来型) 5.1 (酸素リッチ型)	灰熔融処理

(図2参照)。ここで直接排出とは対象施設から使用時に実際に排出される量であり、間接排出とは製造時の設備や使用時の投入薬品等を製造する際に発生する量を示し、また、リサイクルとは売電によるサーマルリサイクルを示す。CO₂に関しては、両システムにおける相違はほとんど見られない。これは直接排出の影響が大半を占め、かつ直接排出のCO₂量は、両システムでほとんど変わらないためである。SO_x、NO_xは濃度規制による排ガス処理が行われるため、直接排出が削減され、直接排出の影響が少なくなり、間接排出とリサイクルの影響が相対的に大きくなる。SO_xは酸素リッチ型では排ガス量が削減された分、系外への直接排出量は少なくなる。しかし、燃焼条件によらず総発生量は変わらないため、燃焼ガス中のSO_xの濃度が相対的に高くなり、無害化処理薬品の投入量がわずかに増加するが、今回は両システム間における投入薬品量を同量としたため、直間排出量の差異をつけずに評価した。それに対しNO_xは酸

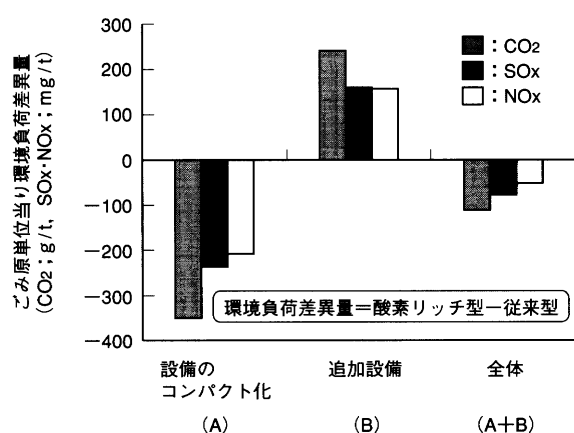


図3 製造時における構成装置の環境負荷差異比較
ごみ1t処理時における建設時の酸素リッチ高温燃焼システム装置コンパクトによる環境負荷低減分を示す。
Reduction of environmental load by oxygen enriched combustion system at constructing plant

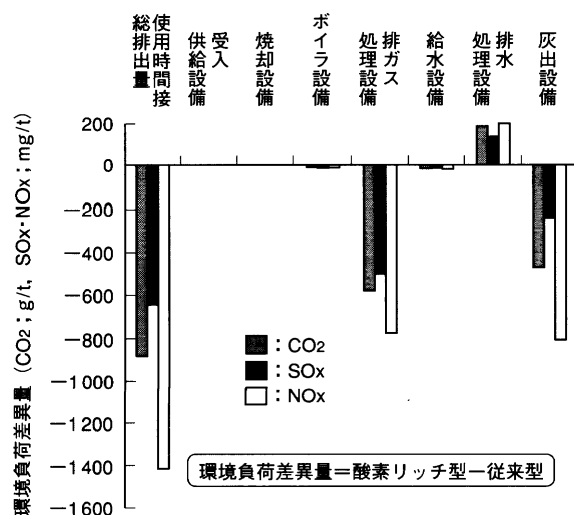


図4 使用時における間接排出環境負荷差異比較
ごみ1t処理時における運用時の各設備ごとの環境負荷差異量(酸素リッチ型-従来型)を示す。
Comparison of environmental load at running plant

素リッチ型の場合、再循環ガスの導入により発生量が減少する。このため排ガス量低減による直接排出量の減少に加え、投入薬品量が減少するため間接排出量も従来型に比べ減少する。

(2) 製造時の比較(設備コンパクト化の効果)

酸素リッチ型では、従来型に比べ排ガス量が減少するため、排ガス処理設備、通風設備などの設備がコンパクトになる。一方で酸素製造装置や排ガス再循環設備が新たに必要となる。これら、設備の環境負荷量(CO₂/SO_x/NO_x)を定量化し、従来型設備を基準とした場合の増減を図3に示す。すなわち、既存設備のコンパクト分はマイナスとなり、酸素リッチ設備追加分はプラスで表示される。また、従来型を1とした場合の相対比率を表3に示した。この結果、コンパクト化による環境負荷低減分(相対比率<1)が酸素リッチ固有設備追加分より上回り、製造時の環境負荷低減が確認できた。

(3) 使用時の間接排出量の比較(排ガス量削減に伴う効果)

酸素リッチ型における排ガス量の低減により、従来型に比べ、各処理装置での薬品類や用役類の使用量の増減が見られる。この影響を使用時の間接排出に対する環境負荷量(CO₂/SO_x/NO_x)として定量化し、各設備ごとの差異を比較した結果を図4に示す。排ガス量減少の影響により、酸素リッチ型の環境負荷が低減される項目としては、排ガス処理設備のアンモニア水や活性炭、ボイラ設備のイオン交換樹脂、工業用水、灰出設備の固化用薬剤などが挙げられ環境負荷が増加される項目としては洗煙排水の塩基濃縮から排水中の塩濃度を下げるため排水処理の排水量が挙げられる。これらの低減分と増加分の環境負荷を総合すると酸素リッチ型は使用時の間接排出においても環境負荷値低減が確認できた。

(4) 使用時のサーマルリサイクル比較(電力量収支の考察)

使用時の電力量収支を図5に示す。酸素リッチ型の高温

表3 製造時における構成装置の環境負荷相対比較

Relative comparison of environmental load at constructing plant

分類	構成設備	パラメータ	相対比率 (従来型=1とする)
機械設備	受入供給設備	ごみ量	1.00
	焼却設備	ごみ量	1.00
	発電設備	蒸気タービン入口蒸気量	1.08
	ボイラ設備	排ガス量(伝熱面積)	0.80
	排ガス処理設備	排ガス量(炉出口)	0.76
	給水設備	給水量	0.85
	排水処理設備	排水量	1.70
	通風設備	排ガス量(煙突出口)	0.64
	灰出設備	灰量(主灰)	1.02
	その他	ごみ量	1.00
土建設備	酸素製造設備	酸素量	(酸素リッチ型のみ) -
	排ガス再循環	排ガス量	(酸素リッチ型のみ) -
土建設備	建築本体所管	空間量	0.99

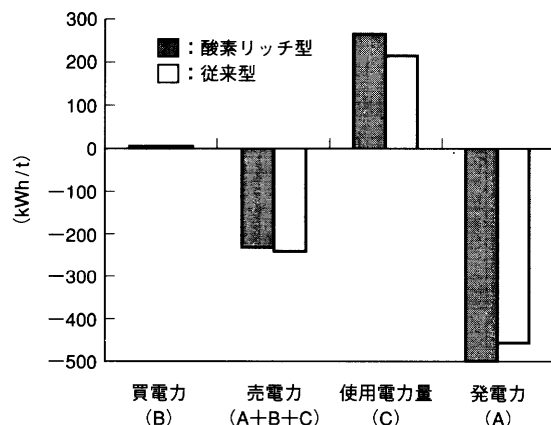


図5 ごみ原単位当りの電力比較 ごみ1t処理時における電力収支を示す。
Comparison of electric usage

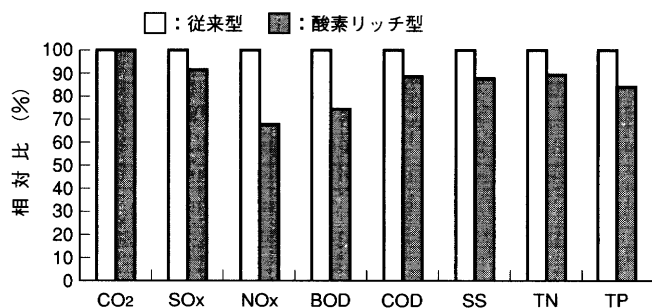


図6 総排出量相対比較 ライフサイクル全般にわたる環境負荷の総排出量の相対比較値を示す。
Relative comparison of total emission for life cycle

燃焼と排ガス量低減により、発電効率が向上する。しかし図5に示すとおり、酸素製造装置や再循環ガスファンによる消費電力が増加するため、余剰電力(売電力)は逆に若干少なくなる。この影響をCO₂値に換算すると酸素リッチ型の電力収支による微少増分は製造時或使用時の間接排出量の減少分により上回り、全体では酸素リッチ型が微少減となった。

(5) 各環境負荷の総排出量比較

製造時及び使用時のライフサイクルにわたった環境負荷の総排出量の相対比較を図6に示す。全環境負荷物質で減少し、従来型に比べ、酸素リッチ型の優位性が認められた。特にNO_xは直接排出量減少の影響で3割程度減少した。

4.2 インパクト評価結果

今回は酸素リッチの特徴といえるダイオキシン類の減少や重金属類の溶出減少といった直接排出に評価対象を絞り、プラント性能試験データによるインパクト評価を行った。

(1) ダイオキシン類の低減評価

ダイオキシン類のインパクト評価を“LCAプロジェクト”⁽¹⁾の考えに最も近い人体への影響に対して行った。大気系(排ガス)・水系(排水)・固形(主灰、飛灰)への直接排出量を各評価ポイント⁽⁶⁾で従来型と相対比較をした(図7参照)。酸素リッチ型の人体への影響は従来型の4割程度に減少でき、これは高温燃焼の発生源での低減と再合成防止の

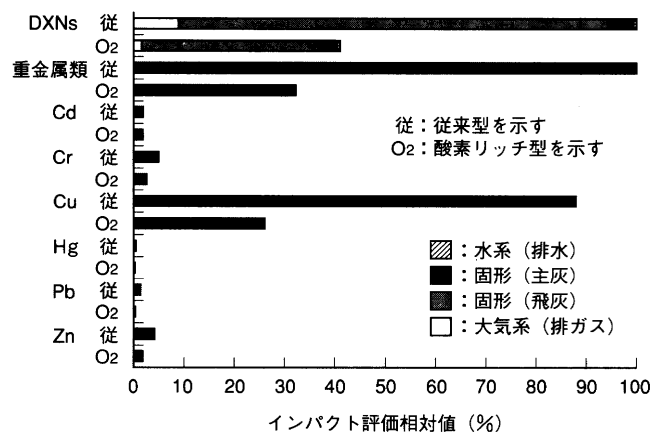


図7 インパクト評価相対比較 統合化指標によるインパクト評価値の相対比較を示す。
Relative comparison of life cycle impact assessment

効果と見られる。

(2) 重金属類の低減評価(主灰質の改善)

有害重金属類は人体への影響の評価指数未整備のため、生態系の評価とした。主灰からの溶出は対象となる全重金属について酸素リッチ型の減少がみられ、さらに水系排出の評価ポイント⁽⁶⁾で見ると、図7に示すとおり、従来型全体の毒性の3割程度となった。特に銅は8割以上を占めることが分かった。

5. む す び

本評価においては当社が現在、開発中の酸素リッチ燃焼システムについて、そのライフサイクル全体を通じた環境負荷をLCAを用いて解析し、従来型と比べ各環境負荷要因で低減されていることが再確認できた。

ごみ燃焼発電プラントでは、発電電力向上とそれに伴う消費電力の増加、燃焼時のCOとNO_xの同時低減、微量重金属の排ガス中と灰中への有害物質移行の同時低減等といった技術的に相反する項目を同時に満足させていく必要があるが、その際にこのLCAによる解析が有効となると考えられる。

今後、さらにこの精度を上げるとともに適用機種を広げ、より環境負荷の少ない製品開発に役立てていく所存である。

参 考 文 献

- (1) LCA 日本フォーラム(社)産業環境管理協会、平成11年度報告(製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発)、(2000)
- (2) 日本規格協会、LCA原則及び枠組み JIS Q 14040 (1997)
- (3) 総務庁統計局、平成7年度産業関連表 (1995)
- (4) 通商産業大臣官房調査統計部、工業統計表・品目編 (1995)
- (5) 環境庁、平成5年流域別下水道整備計画調査資料・指針と解説 (1993)
- (6) PRe Consultants B. V., Simapro 4.0 (1997)
- (7) スイス連邦内務省環境局、BUWAL 250 (1996)
- (8) IVAM環境研究所(アムステルダム大学)、IVAM2.0 (1999)
- (9) PRe Consultants B. V., Eco Indicator 99 (1999)
- (10) 田熊昌夫ほか、第10回廃棄物学会講演論文集II (1999)