

26. LCA 手法による排水処理システムの環境負荷評価

AN ASSESSMENT OF ENVIRONMENT FOR WASTEWATER TREATMENT SYSTEM BY LCA TECHNIQUE

石橋康弘*・早瀬隆司**・高尾雄二**・有菌幸司***・武政剛弘**

Yasuhiro ISHIBASHI, Takashi HAYASER, Yuji TAKAO, Koji ARIZONO, Takehiro TAKEMASA

ABSTRACT; Social system and production system in the modern society are closely related to the wide field, and it becomes a complicated thing. Various environmental problems exist in the social structure. It is necessary to analyze the effect from various sides for the solution of such problems. Especially, the load to the environment may be made to increase in the integrated network infrastructure, if the consideration from the stage of plan and design to environmental harmony-ness is not sufficiently carried out. In this study, it stood at the viewpoint of life cycle of facilities until the disposal from the design, and environmental effect of disposal, operation and construction in the social foundation facility was determined quantitatively. Considering this background, as one step in solving these environmental problems the Life Cycle Assessment (LCA) technique for environmental impact assessment will be examined in this research. As the result, the LCA technique can be called that the application to social foundation facilities represented for the waste water treatment system is also sufficiently possible and that to also make in addition, the wide-area environmental problem to be an object is possible, and that it is a point the quantitative evaluation, and that it is the very effective environmental impact assessment technique.

KEYWORDS; life cycle assessment, wastewater treatment system, global environmental conservation

1. はじめに

近年、環境影響評価手法の1つとして注目されているライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: 以下、LCA と示す。) は、検討対象とする製品の原材料の調達から生産、使用、廃棄に至るまでのライフサイクル全て (すなわち、ゆりかごから墓場まで) を通した環境負荷量の直接量及び誘引量を定量化し、環境への影響を評価しようとする手法である。特に、空間スケールや時間スケールの異なる環境問題の取り扱いや、計画・設計時における環境的コストの最適化に関する検討などを行う際に有効であると考えられる。そのフレームワークは、①目的と範囲の明確化、②インベントリ分析、③影響評価、④結果の解釈の4段階から構成されている。

まず、目的と範囲の明確化は、LCA の目的を明確にし、目的に応じた検討対象範囲の設定を行うものである。次に、インベントリ分析は検討対象物質をライフサイクル内において詳細に分析し、ライフサイクルのインプット及びアウトプット表の作成が最終成果となる。さらに、影響評価 (環境影響分析及び評価) では、

*長崎大学環境保全センター Environmental Protection Center, Nagasaki University, Bunkyou-machi 1-14, Nagasaki 852-8521, Japan

**長崎大学環境科学部 Faculty of Environmental Society, Nagasaki University, Bunkyou-machi 1-14, Nagasaki 852-8521, Japan

***熊本県立大学環境共生学部 Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences Prefectural University of Kumamoto, Tsukide 3-1-100, Kumamoto 862-8502, Japan

インプット・アウトプット解析をもとにして環境負荷の状況や環境影響を解析し評価を行う。最後に、結果の解釈を行うことになるが、評価の結果と解析当初に設定した改善目標とを比較し、システムの改良及び改善について検討が行われ、必要に応じてその結果が各段階にフィードバックされる。

LCA は近年普及しつつある手法であるため、その方法論は十分に確立されているとはいえない。しかし、LCA に関する世界的な関心が高まったことに伴い、欧米を中心とする複数の機関によって、LCA に一貫性・統一性を持たせるべく種々のガイドラインが提唱されてきており、国際標準化機構 (ISO) においてもその規格化が進められている段階である。このような国際的な合意に基づく統一的な規格ができれば、LCA 手法による解析結果間の比較が容易になり、ひいては方法論の確立にもつながっていくであろう。

本研究では、システムの設計から廃棄に至るまでのライフサイクルという観点に立ち、社会基盤施設の建設が環境に及ぼす影響を定量化して評価した。すなわち、環境影響評価法である LCA を用い、従来からある 3 次処理 (高度処理) システムと、新しく提案されている植物の浄化作用を利用した排水処理システム (以下、水耕栽培方式と示す。) の 2 種類の排水処理システムを対象として、両者の環境への影響を定量的に比較した結果を示すものである。

2. 研究内容及び方法

(1) 対象排水処理システム

1) ハウステンボスにおける排水処理システム

対象とする排水処理システムは、ハウステンボス内で稼働中の 3 次処理システムにあたる活性汚泥処理後の接触酸化処理から限外濾過処理までとした。このシステムによる処理水量は、ハウステンボスの平均処理水量 $3,400 \text{ m}^3/\text{day}$ とした。

2) 水耕栽培方式による排水処理システム

長崎県が産学官の共同研究を行っている長崎県北高来郡森山町における水耕田による浄化システムを対象とした。ただし、本システムは、実験プラントであるので、その研究成果を参考にして排水処理システムを想定し、上述したハウステンボスの排水処理システムの処理水量 ($3,400 \text{ m}^3/\text{day}$) と同等の処理量になるよう設計し、環境影響を比較した。

(2) インベントリ分析方法

本研究では、3 次処理施設の建設、供用、廃棄に至るまでに生じられる環境負荷量を定量化した。また、インベントリ分析にあたっては、評価対象の 2 つの施設は、現在排水処理施設として使用されているものである。供用と廃棄に関しては、仮定のもとで行うものとした。供用時におけるコンクリートの供用期間は 30 年とし、使用電力及び薬剤使用については、これまでの実績から年間平均使用量を割り出し供用期間を乗じたものとした。廃棄時における排出量は、建設時の工事数量をもとに算出し、廃材処分についても同様とした。

インベントリ分析は基本的には蠶巻らの原単位を用い、原単位の無いものについては NIRE-LCA Ver.2.1 を用いて積み上げ法により行った。

(3) 環境カテゴリーの選定

LCA に関する既存の文献や事例等に基づく、対象とする環境カテゴリーは二酸化炭素の排出量やエネルギー消費等の単独カテゴリーが大半を占め、複数の環境カテゴリーを対象とした LCA の事例は数が少ない。つまり、環境カテゴリーの選定には十分な議論が今までのところなされていないように思われる。これまでの研究で、対象とする環境カテゴリーには、次元的なばらつきが生じていたため、統一的な比較ができないということが明らかとなった。このことから、本研究では、環境カテゴリーの次元的統一を図ることとし、その時間的背景をもとに、1) Driving force、2) Pressure、3) State、4) Effect、5) Response の 5 段階に分け表現した。5 段階にグルーピングされた環境カテゴリーは、隣りあう次元の環境カテゴリーと相関

を有し、次元的なつながりのもとで、地球環境問題が形成されている。これらの次元的な考察を行うにあたり、各次元のクライテリアを示す必要がある。そこで、Effect としては、環境として維持・保全していくべき対象への影響と考えた。特に、世界的なコンセンサスが持続可能な開発へと向かう中で、環境を維持・保全していくべき目標は、「人間の健康」、「生態系」及び「資源」とした。さらに、Effect の具体的状況を示すものを State と定義する。その結果、本研究では、対象とする環境カテゴリーを、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、大気汚染、富栄養化、水質汚濁、資源の消費及び廃棄物排出とした。

表－１ 環境負荷項目に関する一覧及び対応方針

環境カテゴリー	環境負荷項目	表示単位	排水処理に伴う影響	対応方針
地球温暖化	CO ₂	kg-C	エネルギー消費の結果として排ガス中に CO ₂ の排出がある。 また、処理過程における反応としての排出がある。	○
オゾン層破壊	CFC	kg-CFC	直接的なフロンへの排出はなく、間接的な負荷に限られる。	直接的なインパクトは考えにくいので対象外とする。
酸性化	SO _x NO _x	kg- SO ₂ kg- NO ₂	エネルギー消費に伴う排ガスがある。	○
大気汚染	SO _x NO _x	kg- SO ₂ kg- NO ₂	エネルギー消費に伴う排ガスがある。	○
富栄養化	COD T-N T-P	kg- COD kg- N kg- P	処理水の放流がある。ただしこの場合は処理行為により環境負荷減量という効果としてみることができる。	○
水質汚濁	BOD COD	kg- BOD kg- COD	処理水の放流がある。ただしこの場合は処理行為により環境負荷減量という効果としてみることができる。	○
資源消費	消費熱量	Mcal	ブローをはじめとする動力設備が多数存在し、それらがエネルギーを消費して排水処理を行っている。	○
廃棄物排出	埋立廃棄物	t	余剰汚泥の処分として排出がある。	○

表－２ 評価の対照と指標値の決定手法の概略

環境カテゴリー	環境負荷項目	単位	排水処理に伴う影響	引用その他
地球温暖化	温暖化指数、GWP (CO ₂ =1)	t-C	$L_{GW}=L_{CO_2}+35L_{CH_4}+260L_{N_2O}$	IPCC
酸性化	酸性化指数、AP (SO ₂ =1)	t- SO ₂	$L_{AC}=L_{SO_2}+0.7L_{NO_2}$	ライデン大学
大気汚染	排出基準の逆数	t- SO ₂	$L_{AC}=L_{SO_2}+1.112L_{NO_2}$	環境基準
富栄養化	富栄養化指数、NP (PO ₄ ³⁻)	t- PO ₄	$L_{NT}=0.0221L_{COD}+0.42L_{T-N}+3.06L_{T-P}$	ライデン大学
水質汚濁	排出基準の逆数	t- OD	—	環境基準
資源消費	燃料の高位発熱量	Mcal	—	—
廃棄物排出	埋立廃棄物	t-DPW	—	—

環境影響の定量化は、対象とする環境カテゴリー毎に影響の大きさを求めて評価した。本研究では、表－３に示すように同一カテゴリー内に複数の環境負荷項目が存在するため、各環境負荷項目について重み付け係数を設定し統合化を図っている。すなわち、表－１に示す富栄養化（環境カテゴリー）の定量化の場合には、COD、T-N 及び T-P（環境負荷項目）の環境負荷量をそれぞれ算出し、表－２の算定式に示される重み付け係数の導入によって統合化するとともに、富栄養化指数 LEU で評価している。なお、表－２には評価の対象と指標値の決定手法の概略についても示してある。

4. 結果及び考察

(1) インベントリ分析結果

それぞれの排水処理システムのインベントリ分析結果を図－1及び図－2に示した。

表3 ハウステンボスの排水処理システムのインベントリ分析結果

		エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	埋立廃棄物	COD	T-N	T-P	BOD
		Mcal	kg-C	g-SO ₂	g-NO ₂	kg	g-COD	g-N	g-P	g-BOD
建設時	建設工事	1809498	153866	466096	942091	96279	141269	117874	12597	131371
	土木工事	27413745	2798357	5007171	9940384	568165	357593	847717	81659	1294153
	機械工事	598371	44619	99018	150376	5606	9995	16175	1458	24256
	電気工事	128119	9570	28465	43972	1527	9469	7113	1025	9618
	小計	29949733	3006412	5600750	11076823	671577	518326	988879	96739	1459398
供用時	薬品	43457004	1324318	5454698	7919484	70459	4929689	4297978	186352	3240768
	使用電力	183165641	9000769	20101717	22501922	202517	452289	378782	49504	391533
	保守	2809249	305295	480703	1030549	34248	58908	89192	8332	119987
	小計	229431894	10630382	26037118	31451955	307224	5440886	4765952	244188	3752288
廃棄時		6889754	710815	2228125	3551242	3639864	322082	296506	31742	404704
合計		266271381	14347609	33865993	46080020	4618665	6281294	6051337	372669	5616390

表4 水耕栽培方式の排水処理システムのインベントリ分析結果

		エネルギー	CO ₂	SO _x	NO _x	埋立廃棄物	COD	T-N	T-P	BOD
		Mcal	kg-C	g-SO ₂	g-NO ₂	kg	g-COD	g-N	g-P	g-BOD
建設時	建設工事	878432	62105	164079	243334	11275	86340	85087	4694	80714
	土木工事	1063360	179100	166764	573089	15236	16167	34006	2309	34977
	機械工事	90170	7567	17179	27307	1128	1128	2773	282	4771
	電気工事	19466	1452	4387	6766	236	1524	1144	165	1524
	小計	2051428	250224	352409	850496	27875	105159	123010	7450	121986
供用時	使用電力	16952364	833040	1860456	2082600	18743	41860	35057	4582	36237
	保守	1186561	53527	223400	279304	14364	241621	212701	9606	167510
	小計	18138925	886567	2083856	2361904	33107	283481	247758	14188	203747
	廃棄時	1300761	217576	950888	1332916	14486	118415	117106	8703	111549
合計		21491114	1354367	3387153	4545316	75468	507055	487874	30341	437282

ハウステンボスのシステムでは、埋立廃棄物を除くいずれの環境負荷項目においても供用時の環境負荷が大きくなっている。すなわち、供用時の環境負荷の割合は全体の65～90%程度、建設時には10～25%、廃棄時には5～10%となっている。一方、水耕栽培方式によるシステムでは、すべての環境負荷項目において供用時の環境負荷が大きくなっている。しかし、その割合はハウステンボスの場合と比較して若干低くなっており、全体の50～80%程度である。水耕栽培方式によるシステムでは供用時に薬品の使用がないものの、水圏へ影響を及ぼす環境負荷項目の割合はハウステンボス同様に高くなっている。また、建設時は建設資材量が少ないため、その割合は小さくなっている。

(2) 環境影響の定量化に関する算出結果

両システムの環境負荷量を比較した結果を図－1に示す。この図より、両者の差は歴然としており、水耕栽培方式によるシステムの方が環境負荷量は少ないことがわかる。特に、資源消費と地球温暖化では、水耕栽培方式によるシステムがハウステンボスでの環境負荷量の10%程度となっている。酸性化及び大気汚染では、水耕栽培方式によるシステムがハウステンボスでの負荷量の70%程度となっており、他の環境カテゴリーと比較するとその割合は大きい。これらのことより、本前提条件においては水耕栽培方式による排水処理システムの方がハウステンボスのシステムより環境負荷を低減させうることが可能であると判断される。

つぎに、環境調和性の観点から、水質汚濁物質除去量あたりの環境負荷量を算出し、評価してみた。特に、リン及び窒素除去量あたりの環境負荷量の比較を図一5及び図一6に示した。ハウステンボスのシステムの方がリンの除去量は多くなっているものの、両図より、除去量あたりの全ての環境負荷量は水耕栽培方式によるシステムのほうが小さくなっている。窒素除去に関しでは、ハウステンボスのシステムの除去量が多く、水耕栽培方式の場合の2倍近い値となっており、水耕栽培方式によるシステムの酸性化と大気汚染に対する環境影響度は大きくなっている。これは水耕栽培方式によるシステムでは、大規模なビニールハウスを設置することをとっているため、その建設、保守及び廃棄による影響と考えられる。また、設定した処理水量を水耕栽培方式で処理すること自体が非現実的であったことも原因となっているのであろう。しかし、総合的な観点からは、ハウステンボスのシステムの方が水質浄化には基準以上の成果を示しているものの、ライフサイクル全般から環境への影響を評価すると、他の環境カテゴリーへの環境影響が大きく、システムの環境調和性という観点から評価すると水耕栽培方式のシステムが有効であると考えられる。

6. 結論

本研究では、LCA 手法により2つの排水処理システムの環境影響評価を行った。その結果、今回設定した条件下においては、水耕栽培方式によるシステムの方が環境への負荷は小さく、リン及び窒素除去量あたりの環境負荷量の比較においても環境影響の度合いが小さいことが示された。

しかし、本研究で設定した条件においては、ハウステンボスで行っているような処理水の再利用については考慮されて

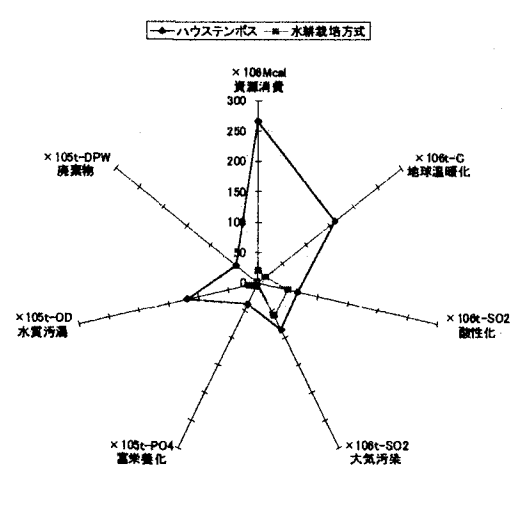


図1 両システムの環境負荷量の比較

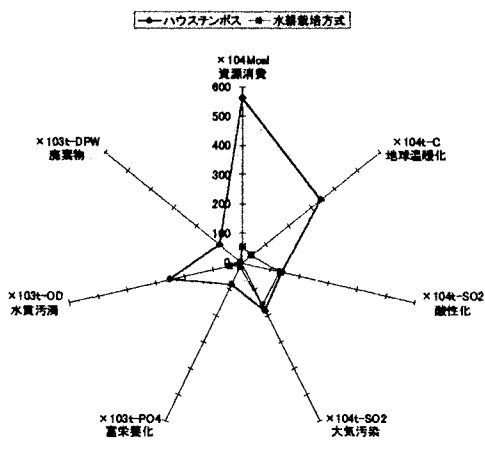


図2 リン除去量あたりの環境負荷量比較

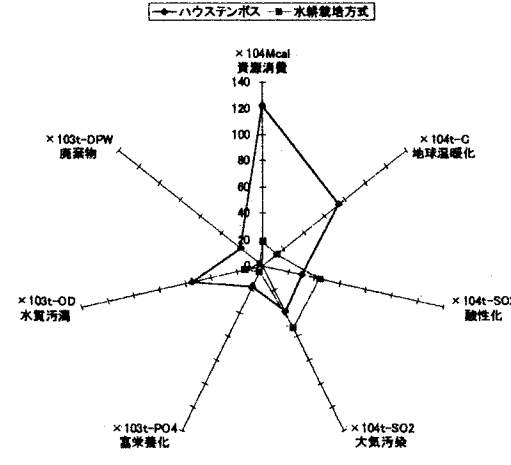


図3 窒素除去量あたりの環境負荷量の比較

おらず、また、水耕栽培方式はハウステンボスの処理水量を処理可能とするためには、莫大な設置面積が必要となり、この点も考慮されていない。さらに、ハウステンボスは排水の放流先が、閉鎖性水域である大村湾であるため、排水の処理水の処理効率も重要なファクターになるので、この点も考慮する必要がある。

今回の検討では、以上のような問題点を含んでおり、本結果のみでハウステンボスの排水処理システムが環境負荷が高いということにはなり得ない。今後はこのような点を考慮できるような評価ができ、さらに、地域性についても表現できるような評価手法の確立を目指している。

参考文献

- 1) (社) 未踏科学技術協会、エコマテリアル研究会：LCA のすべて、工業調査会、1995
- 2) (社) 日本規格協会：ISO14000 シリーズ規格集（対訳版）、1996
- 3) 稲場敦：ライフサイクルアセスメントにおける環境影響評価手法、日本エネルギー学会誌第 75 巻第 8 号、pp.709-717、1996
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(財) 地球環境産業技術研究機構、(社) 化学工学会：平成 7 年度調査報告書 NEDO-GET9505 化学工業製品におけるトータル・エコバランスの分析手法に関する調査（Ⅲ）、1996
- 5) 船津正義・定永哲雄：ハウステンボスの環境・設備計画概要
- 6) 鶴巻峰夫・野池達也：LCA における多項目環境負荷量の定量化に関する研究、環境システム研究会 Vol.25、pp.217-227、1997
- 7) 霞が関地球温暖化問題研究会翻訳：IPCC 地球温暖化レポート、中央法規、1991
- 8) 戦略 LCA 研究フォーラム LCA：製品の環境ライフサイクルアセスメント、サイエンスフォーラム、1994
- 9) 日本エコライフセンター：環境への負荷の評価に関する予備的検討、1993
- 10) 石橋康弘、武政剛弘、楠本茂人、早瀬隆司、本田圭助：排水処理システムのライフサイクルにおける環境負荷量の定量化に関する研究、ハウステンボス環境研究会「知新 Vol 6」、pp.10-13、2000
- 11) 楠本茂人、武政剛弘、早瀬隆司、石橋康弘、古本勝弘、多田彰秀：LCA による排水処理システムの環境影響評価、長崎大学工学部研究報告 30 (55)、pp.229-235、2000