

6. 下水道システムの LCA 評価に関する研究

下水道処理研究室	室長	中島 英一郎
	主任研究官	山下 洋正
	研究官	中島 智史

1. はじめに

現在、地球温暖化をはじめとする地球規模の環境問題の解決にあたり、各分野において環境負荷を定量解析するとともに、その低減を進めるための様々な手法が検討されている。下水道施設のように公共用水域への環境負荷を低減するための社会資本に対しても、その水質改善効果と建設や運転と共に排出される環境負荷との関係の評価することが必要とされている。近年、それら評価手法の一つとして LCA（ライフサイクルアセスメント）が注目されているが、これは検討対象とする施設が環境に与える影響を総合的に評価する手法であり、具体的には施設の建設から運転、廃棄に至るライフスパンにわたって環境負荷を算定することにより、総合的に環境への影響を評価しようとするものである。

本研究では、下水道システムの計画設計段階における LCA を整備することを目的としており、手法を標準化し作業の効率化を図るために基本となるライフサイクルインベントリー（LCI）モデルの構築に取り組んでいるところである。本稿では、下水道システムを対象として LCI モデルのケーススタディを実施し、異なる処理方式における環境影響の比較検討を行い、また経年変化を考慮したモデルの適用性について検討を行ったので、その調査結果について報告する。また、下水道システムの LCA における最終目的とも言える様々な環境要素の総合的評価に関してもその手法を検討したので、その事例について報告する。

2. LCI モデルの適用性およびケーススタディ

2.1 計算手法

LCA における環境負荷の算定方法には、「産業連関法」と「積み上げ法」がある。本調査は、下水道システムの計画・設計段階において、環境負荷量の客観的定量や代替案を含めたシステムの比較検討を含めたシステムの改善に関する検討を行うための評価システムを構築することを目的としている。このため、より詳細な検討が可能な「積み上げ法」を基本とする負荷量算定を行った。

「積み上げ法」とは、膨大な機器や設備から構成される下水道システムをカテゴリー毎に分類し、さらにその構成要素を原単位のレベルまで細分化し、それに環境負荷原単位を乗じることにより最終的にシステム全体の環境負荷量を計算する手法である。

本調査では、このモデルに使用する環境負荷原単位として、CO₂排出量とエネルギー消費量を設定し、計算に使用する原単位は日本建築学会のまとめた原単位データベース等の既存資料¹⁾を用いた。

今回実施したケーススタディでは、水処理施設のみを計算対象としており、各プロセスの負荷量を統合化するため、機器・設備毎の負荷量をその耐用年数で除したものを合計し、年度単位の数値に換算した。また、土木・建築施設については全体規模、機械・電気設備については現有規模に相当する負荷量を算定し、それぞれ全体計画、現有施設の日最大処理能力により処理水量あたりに換算した。

2. 2 ケーススタディ対象施設

LCIモデル²⁾の適用性を評価するため、異なる処理システム毎のケーススタディを行ったが、今回検討対象として、高度処理法：滋賀県湖西処理場（循環法・A2O法）、標準法：茨城県伊師処理場、OD法：茨城県友部処理場を選定した。対象とした下水処理場の概要を表-1に示す。

表-1 ケーススタディ対象処理場の概要

	湖西処理場（滋賀県）	伊師処理場（茨城県）	友部処理場（茨城県）
処理方式	循環式硝化脱窒法 嫌気無酸素好気法	標準活性汚泥法	オキシデーション ディッチ法（OD法）
計画処理水質（mg/l）	BOD：5、COD：10 SS：6、T-N：10 T-P：0.5	BOD：14.7、SS：20	BOD：20、SS：30
計画流入水量（m ³ /日）	75,000	66,900	35,000
現有処理能力（m ³ /日）	52,500	44,810	9,920
処理水量（m ³ /日）	35,520	20,750	6,060

2. 3 環境負荷量算定結果

（1）各処理システム別負荷量算定結果

図-1は、各処理場について、本調査で作成したLCIモデルにより算定したLC-CO₂を単年度当たりに換算し、さらに処理水量当たりに換算したものである。これによると、OD法の友部処理場が0.271(kg-CO₂/m³)で最も大きく、次いで高度処理法の湖西処理場が0.242(kg-CO₂/m³)であり、標準活性汚泥法の伊師処理場が0.182(kg-CO₂/m³)と最も低い結果となった。また、3処理場とも運転による割合が大部分を占めており、その運転由来負荷のほとんどは電力の使用に伴うものであった。

ここで、高度処理法が標準法に対し負荷量が多いのは、窒素・リンの除去等の高度な処理を行うための、運転時における攪拌機やブロー等の電力負荷の増大が要因であると考えられる。

また、OD法における負荷量が比較的大きい値となったが、その要因として、対象とした処理場の施設規模・流入水量といったスケールの影響や、SRTが長く設定されているというOD法の特徴が考えられる。

また、曝気装置の稼働について、水量負荷率が小さい場合でも流入水量に見合った細かい制御運転をせず、処理能力流量時に近い電力を消費するというOD法の運転特性も要因の一つとして考えられる。

（2）設備毎の電力消費量構成比

図-2は、標準法と高度処理法の水処理施設の電力消費量を積み上げモデルにより計算し、その設備毎の構成比を示したものである。これによると、両処理場ともブロー設備の割合が大きく、次いでポンプ設備と続き、両方の設備を合わせると、その構成比は全体の9割以上の割合を占めるという結果が得られた。

また、高度処理法については水中攪拌機や循環ポンプの割合が高く、LCIモデルによる負荷量の算定結果からも、その処理法の特徴がよく表れているという結果を得た。

以上より、各処理法とも下水処理場の環境負荷は運転時の割合が大きく、その大部分が電力の使用に伴う

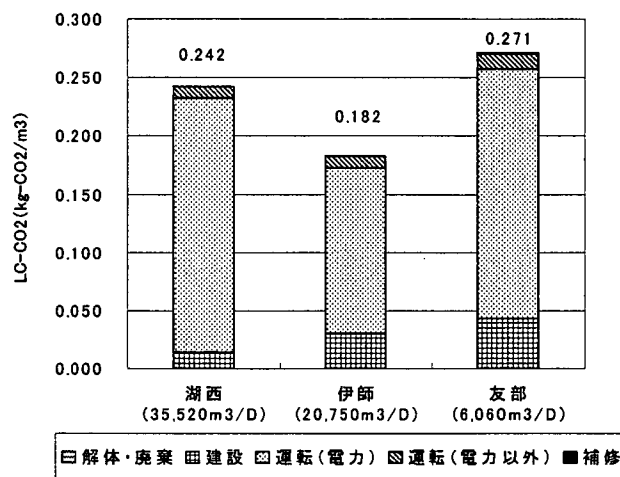


図-1 処理場別負荷量算定例

ものであることが確認されたが、その中でさらに主要機器を抽出し、その能力や稼働時間をパラメータとすることにより、LCIモデルの簡略化へと発展させることの可能性が示唆された。

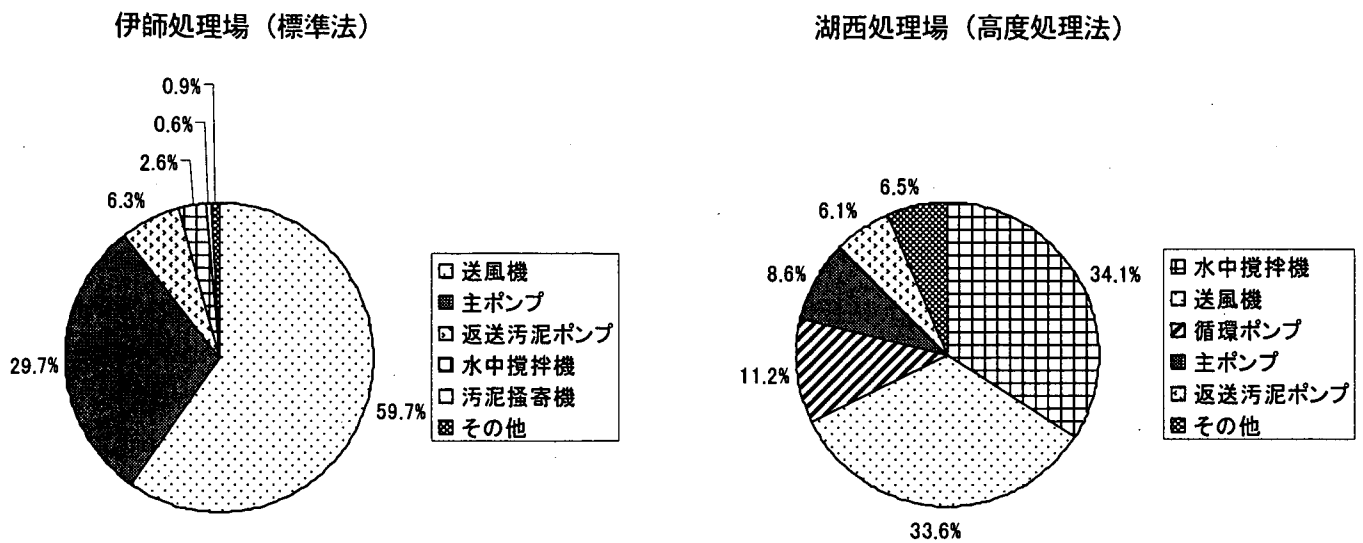


図-2 施設毎の電力消費量構成比

(3) 経年変化に関するLCIモデルの検討

図-3は、友部処理場を対象として経年変化に関する積み上げモデルの再現性について示したものであり、LCIモデルによる電力使用量の計算結果と電気使用量実績を年度毎に比較している。これによると平成8～12年度ではモデルと実績の一致が見られ、処理水量の伸びなど時間経過を考慮した場合でもモデルによる再現性が高いと評価できる。しかし、平成4年度の供用開始後から平成7年度頃までは、施設規模に対して水量が少なく、それに伴う運転管理が安定していないため、このことが電力使用実績のLCIモデルの再現性に影響を与えていると考えられる。

友部処理場（OD法）

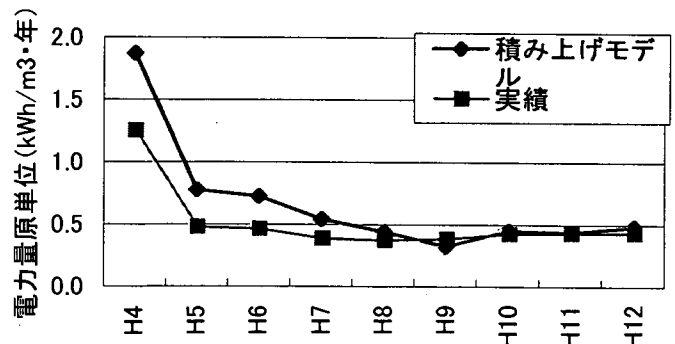


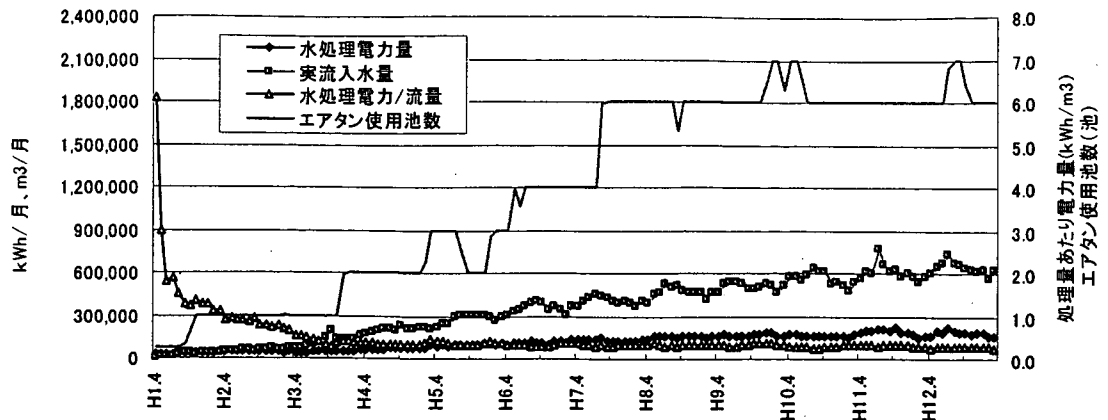
図-3 経年変化の積み上げモデル比較

図-4に伊師処理場と友部処理場の経年変化に伴う電力使用量原単位(電力使用量/流入水量)を示した。

これによると、両処理場とも供用開始当初は電力使用量原単位が高い値を示しており、時間の経過と共にある一定の値へと収束していく様子が伺えるが、これが環境負荷量をLCIモデルにより算定する場合に大きな影響を与えるものと考えられる。

下水処理場は時間経過とともに流入水量が増加し、その伸びに整合して施設が増設されていくが、施設能力に対する流入水量の割合(水量負荷率)がLCAでの環境負荷量計算に大きな影響を与えることが今までのケーススタディにより示されており、今回の検討でもその影響が明らかとなった。このことから、今後処理システムや施設規模、あるいは水量負荷率が異なる比較対象をLCAにより評価する場合は、それぞれ時間軸上のどこを評価ポイントとするのが重要であると考えられる。

伊師処理場
(標準法)



友部処理場
(OD法)

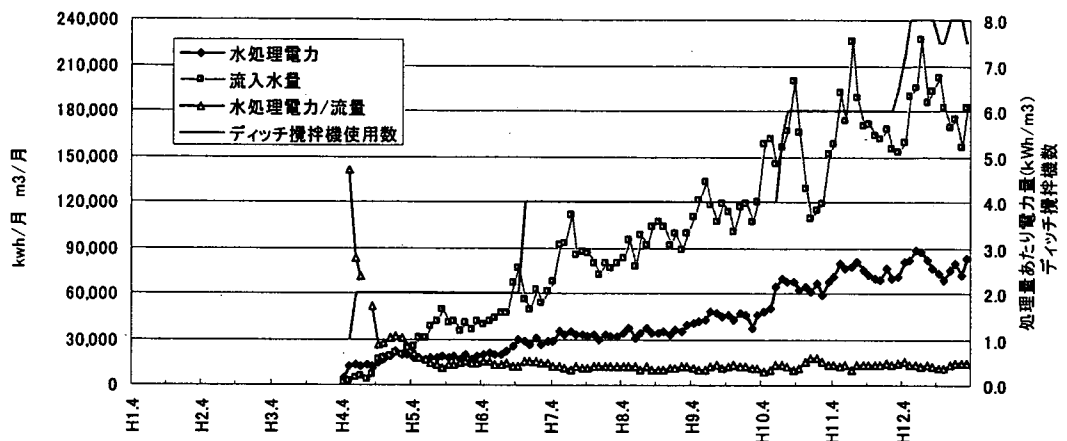


図-4 経年変化に伴う電力使用量原単位

3. 異なる環境要素の総合的評価

本来、LCAとはその利用目的に応じて対象とする環境影響項目を選定し、それらを総合的に評価することが最終目的である。下水道システムのLCAでは、環境影響項目として地球温暖化やエネルギー消費の他に、水質改善や酸性化、埋立廃棄物といった項目が考えられるが、今後はこれら環境影響項目と環境負荷量の軽減を機能単位とし、両者を統合的に評価する手法を確立していくことが必要である。今回、その評価手法を検討するために、湖西処理場（高度処理法）と伊師処理場（標準法）を対象としてケーススタディを行ったので、その事例を以下に示す。

3.1 水質改善項目単位除去量あたりの負荷量による比較

ここでは、水質改善の中の富栄養化項目として窒素とリンを選定し、それと地球温暖化項目のCO2排出量とのトレードオフの関係について評価するための手法を示した。評価対象として選定した各処理場の計算条件を表-2に示す。

表-2 計算条件

		流入(mg/l)	流入(mg/l)	除去率(%)
湖西処理場 (高度処理)	T-N	35.0	8.0	77.1
	T-P	3.2	0.07	97.8
伊師処理場 (標準法)	T-N	35.0	14.0	60.0
	T-P	3.2	0.56	82.5

今回、流入負荷量は同じ値に設定し、除去率はそれぞれ直近年度の実績データを使用した。図-5にその結果を示しており、窒素・リンについてその単位除去量当たりのCO2排出量を表している。これによると、図-1に示した処理水量当たりのCO2排出量では、高度処理法の方が標準活性汚泥法よりも1.3倍程度の値を示したが、窒素・リンの単位除去量当たりと比較すると逆に高度処理法の方が、窒素で約17%減、リンで約10%減という結果となった。

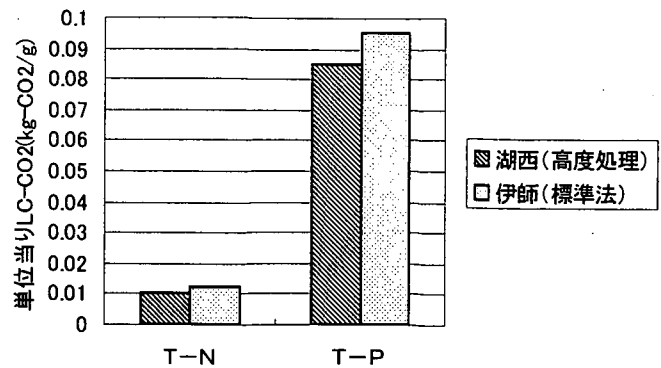


図-5 T-N・T-P 単位除去量当たり LC-CO2

3. 2 多数の環境要素の統合的評価

このケーススタディでは、富栄養化影響の軽減を機能単位とした場合における多数の環境要素を統合的に評価するための手法を示した。

(1) 環境要素の一覧

環境負荷項目の一覧を表-3に示す。

表-3 検討対象とする環境要素と環境負荷項目

環境要素		単位	特性化係数 (カテゴリー内の重みづけ係数)
資源	エネルギー資源	Mcal	一次エネルギー換算熱量
枯渇	水資源	m3	水消費量
生態影響	地球温暖化	kg-C	地球温暖化定数
	富栄養化	kg-P	平均的バイオマス組成の逆数
	酸性化	kg-SO2	質量当りの水素イオン反応量
汚染物の排出	大気圏への排出	kg-SO2	環境基準の逆数
	水圏への排出	kg-OD	BOD, CODの最大値
	土壌圏への排出	t-DPW	埋立廃棄物

(2) 統合化評価の手法

下水処理施設のような環境保全のための社会資本施設は、公共用水域への環境負荷を削減する機能を有している。そのため、機能評価として、例えば水質汚濁負荷を削減するために他の環境要素に対してどれだけの環境影響を与えたかという指標の導入が可能となる。この指標を環境間依存指数³⁾(以下、「LID(負荷排出環境要素/負荷削減環境要素)」と表記する。)とし、これを用いて各処理法の比較検討を行った。

LIDの算出式を下記(1)式に示す。

$$LID_{(i/j)} = LIP_i / LIP_j \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

- LIP_i : 処理によって加えられる i 環境要素の負荷量の環境負荷寄与指数での表示
- LIP_j : 処理によって削減される j 環境要素の削減量の環境負荷寄与指数での表示
- i : 環境要素を表す添字。処理によって環境負荷として加えられる環境要素を表す。
- j : 環境要素を表す添字。処理によって環境負荷を削減する環境要素を表す。

ここで、LIPとは環境負荷寄与指数のことであり、検討対象の全体システムの環境負荷量に対する検討対象物の環境負荷量の比を取ったものである。ここでは、検討対象とする全体システムとして日本全国をとっている。

LIPの算出式を下記(2)式に示す。

$$LIP_i = \sum (C_{i,j} \cdot L_j) / \sum (C_{i,j} \cdot TL_j) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、LIP_i : i環境要素での環境負荷寄与指数
 C_{i,j} : j環境負荷項目のi環境要素内での重みづけ係数
 L_j : 検討対象事業でのj環境負荷項目の環境負荷量
 TL_j : j環境負荷項目の日本全国での環境負荷量
 i : 環境要素の区分を表す添字
 j : i環境要素内の環境負荷項目の区分を表す添字

(3) 計算結果

このケーススタディでは、高度処理を行うことによる機能当たりの環境影響(除去富栄養化ポイント当たりの排出環境負荷ポイント)の増加レベルをチェックすることを目的としている。結果の表示イメージを図-6に示す。

各環境項目のバランスを全体的に見ると、湖西処理場(高度処理法)の方が伊師処理場(標準法)と比較して、富栄養化負荷量を軽減するために排出される他の環境要素の負荷量を抑えていると言える。

つまりこの場合の評価としては「高度処理施設は、富栄養化原因物質の除去を標準法より効率的に行っている。」とすることができる。

ただし、この指標では現状での各環境要素の重み付けや許容される環境負荷量といった視点が不十分であり、その点が今後の検討課題として残されている。

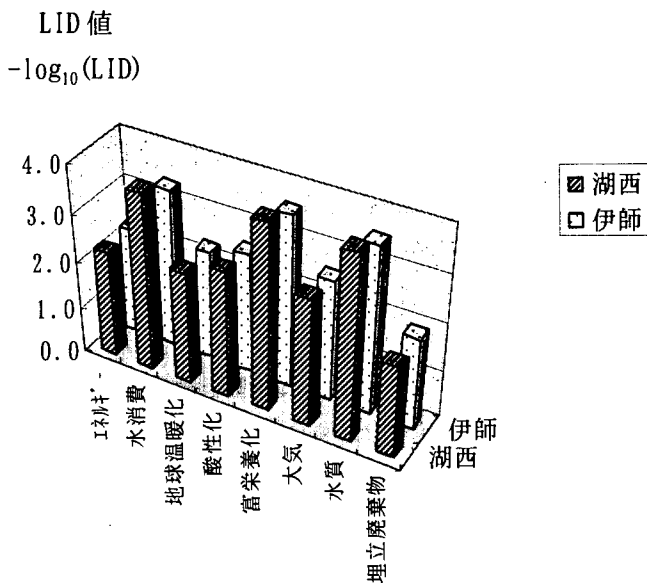


図-6 環境間依存指数を用いた比較検討事例

4. おわりに

本調査では、積み上げ法によるLCIモデルについて、異なる処理方式のケーススタディを行い、LCAの観点から処理法毎の特徴を示し、それを計算モデルの簡略化へと発展させる可能性を示唆した。また、処理場の供用開始後の時間経過とともに変化する水量負荷率がLCIモデルに与える影響を示すと同時に、LCIモデルの適合性を検討した。さらに、異なる環境要素の総合的評価を検討すべく、高度処理法と標準活性汚泥法を対象にケーススタディを行い、その評価手法の事例を示した。

今後はこれらの結果をもとに、環境負荷量の定量化手法や評価手法について、さらに検討を進めていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建物のLCA指針(案), 1999
- 2) 土木研究所、日本下水道事業団、(社)日本下水道施設業協会、(社)全国上下水道コンサルタント協会：下水道システムのLCAに用いる原単位算出手法に関する研究, 2000
- 3) 鶴巻峰夫：環境調和性を考慮した排水処理システムの評価手法に関する研究, 1998