

## 〈特集〉

# 下水道システムと LCA

山 中 大 輔

国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0084 つくば市旭1 E-mail: gesuishori@nilim.go.jp)

### 概 要

下水道は、公共用水域の水質保全に寄与する一方、その事業実施において様々な環境負荷を与えている。持続可能な社会の形成に向けた最適な下水道システムのあり方の検討のため、LCA の適用により下水道システムが与える環境負荷を定量的に評価する必要がある。本稿では、下水道システムへの LCA の適用に向けた国総研での調査研究事例を紹介する。

キーワード：下水道システム、LCA、総合評価、環境負荷

原稿受付 2008.12.11

EICA: 13(4) 40-43

## 1. は じ め に

下水道は、生活環境の改善の他、公共用水域の水質保全に寄与する一方、その施設の建設や運転時における資源消費、運転時のエネルギー消費、下水処理プロセスからの温室効果ガスの排出など、様々な環境負荷を与える側面を有している。持続可能な社会の形成に向けて最適な下水道システムのあり方を検討するためには、下水道事業が与える環境負荷を、下水道システムの各段階においてライフサイクルにわたり定量的かつ客観的に評価する必要がある。下水道システムへの LCA の適用もその一つの手法であると考えられる。また、下水道における資源のみち創出のため、下水道資源の有効利用を推進する必要がある。有効利用に係る効果を総合的に評価するためにも、ますます下水道システムへの LCA 適用の重要性は高まっている。

本稿では、国土技術政策総合研究所（国総研）における下水道システムへの LCA の適用に向けた調査研究事例として、LCA による環境負荷の算定方法、下水道システムに係る環境負荷の把握事例や評価事例について紹介する。

## 2. 環境負荷の算定方法

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。国総研における調査では、下水道システム毎の違いを検討する際により詳細な検討が可能な「積み上げ法」を基本として負荷算定を行っている。「積み上げ法」とは、多数の機器や設備から構成される下水道システムをカテゴリ毎に分類し、さらにその構成要素を原単位のレ

ベルまで細分化した上で、それに環境負荷原単位を乗じることによりシステム全体の環境負荷量を算出する手法である。

本調査で使用する環境負荷の原単位として、主に CO<sub>2</sub> 排出量とエネルギー消費量を設定し、日本建築学会等がとりまとめている素材レベルの原単位に工数等を乗じて機器や製品あるいは処理施設毎といったレベルの二次原単位を作成した。

また、下水道施設の耐用年数はその種類・構造によって相違する。そのため、本調査において環境負荷の算定対象とするライフサイクルの期間は、対象施設・設備の耐用年数<sup>1)</sup>に応じて設定し、環境負荷量の算定値表示を1年あたりに換算して、施設毎のライフサイクル期間の差を補正した。

## 3. 下水道システムに係る環境負荷の傾向

### 3.1 下水道システムにおける環境負荷の把握

#### (1) 管渠施設に係る負荷

管渠施設の建設時に係る負荷を LCI 分析により算定した事例<sup>2)</sup>を紹介する。この事例において、管渠の建設における負荷は、いくつかのパターンについて開削工法の歩掛に基づいた標準設計から単位延長当たりの負荷量を算定し、これを実施設計の流量表を用いて事例地の処理区に当てはめた。この検討事例では、道路復旧工の負荷量は、管渠の建設時全体に占める割合が比較的大きい結果となった。なお、管およびマンホール材料の割合は小さい結果となった (**Fig. 1**)。

また、管渠施設の供用時に係る作業として、管渠の清掃がある。管渠の清掃時における高圧洗浄車、強力吸引車および給水車の環境負荷の原単位を、ディ

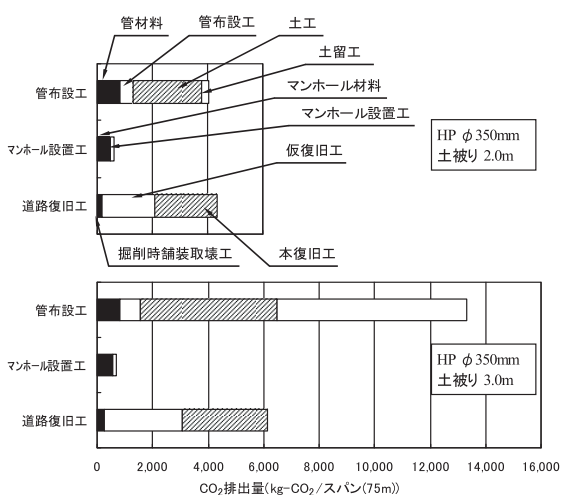


Fig. 1 管渠の建設時負荷の算定事例

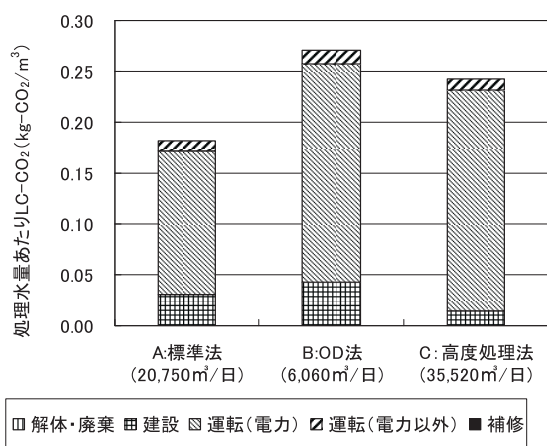


Fig. 2 異なる水処理施設における LC-CO<sub>2</sub>の算定事例  
(高度処理法：凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速ろ過法)

スポンサー導入による影響評価に関する研究報告<sup>3)</sup>において検討した。

(2) 処理場施設の運転時に係る負荷

処理場施設は、管渠施設と異なり、ポンプ類、送風機類など多くの機器で構成されている。Fig. 2は、これらの機器を含めた処理場施設において、CO<sub>2</sub>排出量を対象としたライフサイクルインベントリ (LCI) 分析を行い、処理水量当たりのLC-CO<sub>2</sub> (ライフサイクルで発生するCO<sub>2</sub>の総量を、年当たり換算) を算出した結果<sup>4)</sup>である。この算出例では、建設時よりも運転時に多くのCO<sub>2</sub>を排出しており、また運転時における負荷の大部分は電力消費に由来していた。このような傾向は、オキシデーションディッチ (OD) 法など標準活性汚泥法以外の処理方法についても同様であった。

(3) 処理場施設の負荷量算定の簡略化

Fig. 3は、標準法と高度処理法の水処理施設の電力消費量をLCI分析により算定し、その設備毎の構成比を示したものである<sup>5)</sup>である。これによると、両処理場とも送風機による負荷の割合が大きかった。また、攪

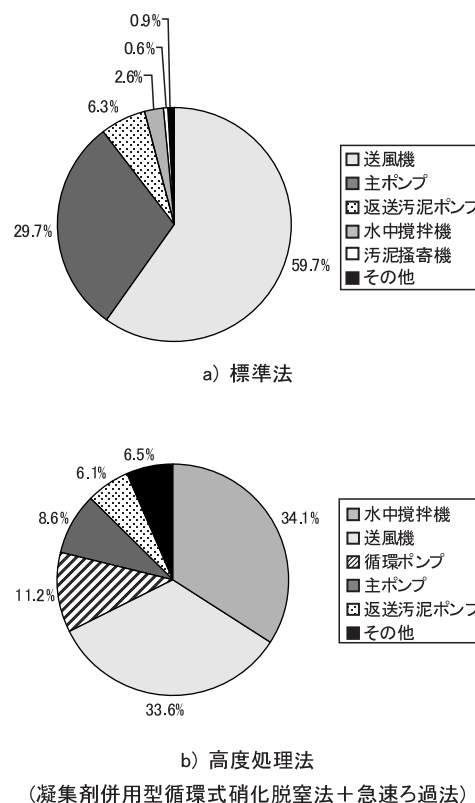


Fig. 3 施設毎の電力消費量構成比の算定事例

拌機やポンプ設備の負荷を合算すると、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。この結果は、前述の処理場施設における電力消費のうち運転時における負荷が大部分を占めることをふまえると、これらの主要機器を抽出し、その能力や稼働時間等をパラメータとすることによって、下水道施設のライフサイクル全体にわたる負荷傾向をある程度把握することができ、また、負荷量の算定をより簡略化できることを示唆している。

水処理施設の環境負荷量と、それに占める主要機器からの発生負荷量の関連性について、OD法を採用している下水処理場を対象として調査した結果<sup>6)</sup>をFig. 4に示す。ばっ気装置 (送風機 + 攪拌機) の出力とCO<sub>2</sub>排出量およびエネルギー消費量の間には正の相関があることが明らかとなった。これにより、主要機器としてばっ気装置を抽出し、それらの出力を求めることによって、水処理施設からの環境負荷量を概算できる可能性が示された。

OD法以外の処理方式についても運転時における負荷の大部分は主要な機器の電力消費に由来する傾向があるため、LCI分析による算定事例を蓄積することによって処理方式毎に主要機器と環境負荷量の関連性を求めることが可能になると考えられる。これらの知見を活用することによって、事業計画や設計段階等限られた情報のもとでの処理方式の評価を環境保全の視点から定量的に行うことが可能になると

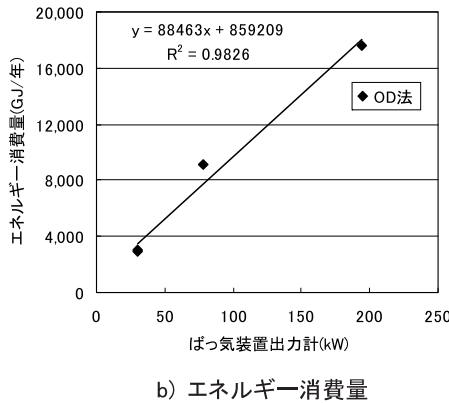
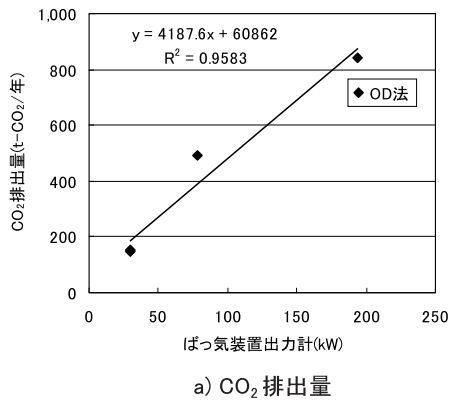


Fig. 4 水処理施設的环境負荷量と主要機器との関係

考えられる。

### 3.2 下水道システムの特性をふまえた環境負荷の評価

下水処理場は、管渠施設の整備の進展や接続率の向上による流入水量の増加に伴って段階的に整備される。処理場の施設能力は、冗長化を図るために原則として日平均流入量に対して若干余裕を持っており、現有施設の処理能力は流入水量に対してやや大きくなる傾向がある。

Fig. 5 は、ある処理場における電力量原単位（電力使用量/処理水量）の経年変化（実測値）を、処理水量および水量負荷率（処理水量/施設能力）とともに示したものである<sup>4)</sup>。この事例では、処理水量の経年的な増加に伴い、水量負荷率が高くなり、電力量原単位が減少する傾向が見られた。このことから、施設規模、あるいは水量負荷率が異なる条件でシステムの比較評価をしなければならない場合には計画水量流入時点を想定したモデルで評価すべきであり、時間経過を評価の際に考える場合は、負荷量の推移を考慮する必要があると考えられた。

### 3.3 下水道システムに関する評価事例

基本構想の策定段階における最適な下水道施設配置計画の検討のため、政策立案段階（マスタープラン

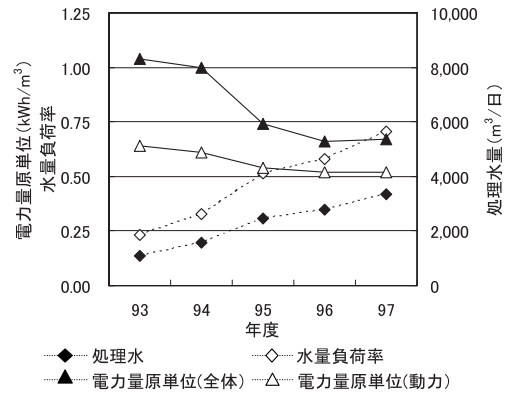


Fig. 5 電力量原単位と水量負荷率の例 (OD法, 処理能力 4,750m<sup>3</sup>/日)

レベル)における意志決定支援ツールとしてLCAを適用することが想定される。そこで、個別処理（浄化槽を想定）と集合処理を対象とした污水処理システムをLCAにより評価するため、市街地からある程度離れたエリアを対象地区として選定し、ケーススタディを実施した<sup>4)</sup>。LCAにより比較評価を行う場合、同一の機能単位に基づいて行わなければならないとされており、ケーススタディにおける環境負荷量算定の際においても留意点となった。評価対象地域の地理条件等により比較評価結果は変わりうるため、比較評価結果の一般化は困難であるが、このケーススタディにおいて選定した区域においては、個別処理よりも集合処理の方が環境負荷量は小さい結果となった。また、個別処理、集合処理の両者とも、建設時よりも運転・補修時においてより大きな環境負荷量が発生しており、運転・補修時における環境負荷量の傾向がライフサイクル全体の傾向に類似する結果となった。

デスポーザーを導入する場合、ごみ処理システムで処理される家庭等からの厨芥量の減少が予測され、ごみ処理に係わる温室効果ガス、エネルギー消費量の削減やゴミ出しの労力の軽減に寄与する可能性が指摘されている。一方、デスポーザー排水を受け入れる下水道システムでは、コスト、温室効果ガス排出量、エネルギー消費量が増大し、地域社会全体で考えた場合、社会的コストや環境負荷が増加する可能性が考えられる。デスポーザー導入による環境への影響評価として、家庭、下水道システムおよびゴミ処理システムを対象にLCAを用いて評価したものとして、「デスポーザー導入による影響評価に関する研究報告—デスポーザー導入時の影響評定の考え方—」<sup>3)</sup>が挙げられる。

また、下水汚泥のリサイクルシステムへのLCAの適用のため、コンポスト化、セメント資源化、埋立処分シナリオについて地球温暖化影響を評価した事例<sup>7)</sup>がある。



### 3.4 異なる環境要素の総合的評価に向けて

LCIA (ライフサイクル影響評価) は、収集したCO<sub>2</sub>排出量等のインベントリデータから、分類化、特性化、正規化、統合化の過程を経て、単一指標にて評価するものである。LCIA 研究の近年の傾向としては、環境影響によって発生する最終的な被害(ダメージ)を貨幣換算し、環境負荷量との間に関数関係を構築しようとする検討があり、このような手法は被害算定型影響評価手法と呼ばれている(この手法では近年のLCIA手法には、特性化と統合化の間に被害評価を行う事例が多い)<sup>8)</sup>。統合化による単一指標化における重み付けの段階においては、その段階において主観が含まれるために、LCA実施者の都合により結論が左右される危険性があり<sup>8)</sup>、LCIAのフローにおける正規化までの過程の国総研の検討事例として、下水道の機能評価のための指標導入を検討した事例<sup>5)</sup>を紹介する。

下水道は公共用水域への環境負荷を削減する機能を有しており、その機能評価として、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を把握することを目標として、環境間依存指数(LID: 負荷排出環境要素/負荷削減環境要素)という指標の適用について検討した。

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(富栄養化影響の単位削減量当たりの、各環境影響要素に与えた環境影響量)の変化を試行的に把握することを目的としており、その試行結果の表示イメージはFig. 6のとおりとなった。

各環境項目のバランスを全体的に見ると、A処理場(高度処理法:凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速ろ過法)の方がB処理場(標準法)と比較して、富栄養化影響を軽減するために排出される他の環境要素の影響量を抑えていると言える。つまりこのケーススタディの評価としては「高度処理施設は、富栄養化影響の軽減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、総合評価のための現状での各環境要素の重み付けや

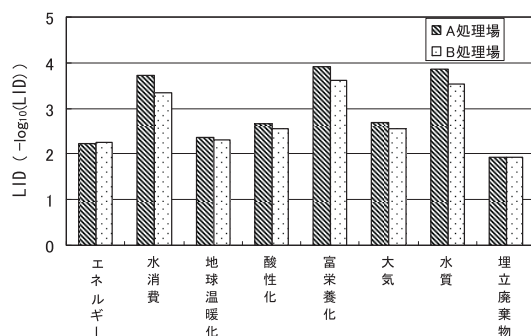


Fig.6 環境間依存指数を用いた比較検討の試行事例

許容される環境負荷量といった視点が不十分であり、その点は検討課題である。

## 4. おわりに

下水道は、公衆衛生の向上、生活環境の改善、浸水防除、公共用水域の水質保全に貢献してきたが、地球温暖化等、国際的な重要課題に対し、環境負荷の少ない持続可能な循環型社会の構築、健全な水循環および資源循環の創出も視野に入れつつ、事業を進めていく必要があると考えられる。本稿では、持続可能な社会の形成に向けた最適な下水道システムのあり方の検討のため、下水道システムへのLCA適用に向けた国総研の調査事例について紹介した。下水道システムの総合的な評価へのLCAの適用は、これらの課題への対応を踏まえた下水道事業の推進にあたり有益な情報を得ることができる手法の一つであると考えられることから、今後も検討を進めていくべきであると考えられる。

なお、本調査の一部は、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との共同研究で行ったものである。

## 参考文献

- 1) (社)日本下水道協会:下水道施設改築・修繕マニュアル(案)一1998年版一(1998)
- 2) 川嶋幸徳, 中島英一郎, 平出亮輔:下水道事業の評価へのLCA導入に向けた国土交通省の取り組み, 第38回環境工学研究フォーラム講演集, pp.37-39 (2001)
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国土交通省都市・地域整備局下水道部:デスポーザー導入による影響評価に関する研究報告一デスポーザー導入時の影響評定の考え方一, 国総研資料第222号(2005)
- 4) 南山瑞彦, 荒谷裕介, 平出亮輔:下水道システムのLCA評価に関する調査, 国土技術政策総合研究所年報 平成16年度, pp.161-162 (2005)
- 5) 中島英一郎, 山下洋正, 中島智史:下水道システムのLCA評価に関する研究, 平成14年度 下水道関係調査研究年次報告書集, pp.93-98 (2003)
- 6) 南山瑞彦, 荒谷裕介, 平出亮輔:下水道システムのLCA評価に関する調査, 平成16年度 下水道関係調査研究年次報告書集, pp.29-31 (2005)
- 7) D. Yamanaka, H. Yamagata and M. Minamiyama: Life-Cycle Inventory Analysis of Global Warming Impact of Sewage Sludge Recycling, WEFTEC '08 Conference Proceedings - 81st Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, pp.2757-2769 (2008)
- 8) 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦:LCA概論, (社)産業環境管理協会(2007)