

下水道における ライフサイクルアセスメント手法の 適用に関する調査研究

1. はじめに

近年、地球環境問題や都市・環境問題が顕在化する中、人間活動をより環境への負荷を少ないものにして行く必要性が認識されてきている。

下水道事業においても平成11年に「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」が発刊され、対策の実施による温暖化防止効果の評価手法が提示された。ここで評価は、主な対策実施箇所を抽出し、効率的な対策が講じられるようにすることを目的としている。主な評価項目は、温室効果ガス総排出量の事前評価と対策後の温暖化防止効果の事後評価である。この評価の対象は、処理場施設の運転管理面である。

よって、本調査は、上記手引きを踏まえ、「地球温暖化防止」を対象に、その環境影響を評価するために、運転管理面だけでなく、処理場に関わる施設の建設から廃棄までのライフサイクルにわたって発生する環境負荷の定量評価、いわゆるライフサイクルアセスメント（以下、LCAと称する。）の実施手法について検討することを目的とする。

2. 研究内容及びスケジュール

平成11年度の調査は、既往のLCA研究手法、事例を調査し、平成12年度に行うケーススタディのための検討を行った。平成12年度は、ケーススタディを

行い、課題の整理及び評価を行う。

3. 結果

3.1 LCAとは

(1) はじめに

LCAとは、製品の製造・流通・消費・廃棄の全サイクルにわたって発生する環境負荷を評価しようとするものである。LCAの枠組みや手法などについては、ISOをはじめ国内外で多くの研究開発がなされている。土木学会などではインフラを対象としたLCAの検討も行われており、原単位や主要な構造物についての共通手法などが提案されている。

(2) LCAの枠組み

LCAは現在、ISO（国際標準化機構）などにおいても、検討が進められている。ISOでは、環境管理に関する国際規格であるISO14000シリーズの中にLCAを位置づけて手法の標準化を進めている。LCAに関連するのはISO14040のシリーズで、その構成は図-1の通りである。

1) 目的及び調査範囲の設定

この段階は、LCAを実施する目的および調査範囲を明確にする段階である。目的および調査範囲の設定如何で結果が異なってくるということで、必要な結果を得るためには慎重に目的および調査範囲を設定すべきであり、その点において重要な段階であると言える。

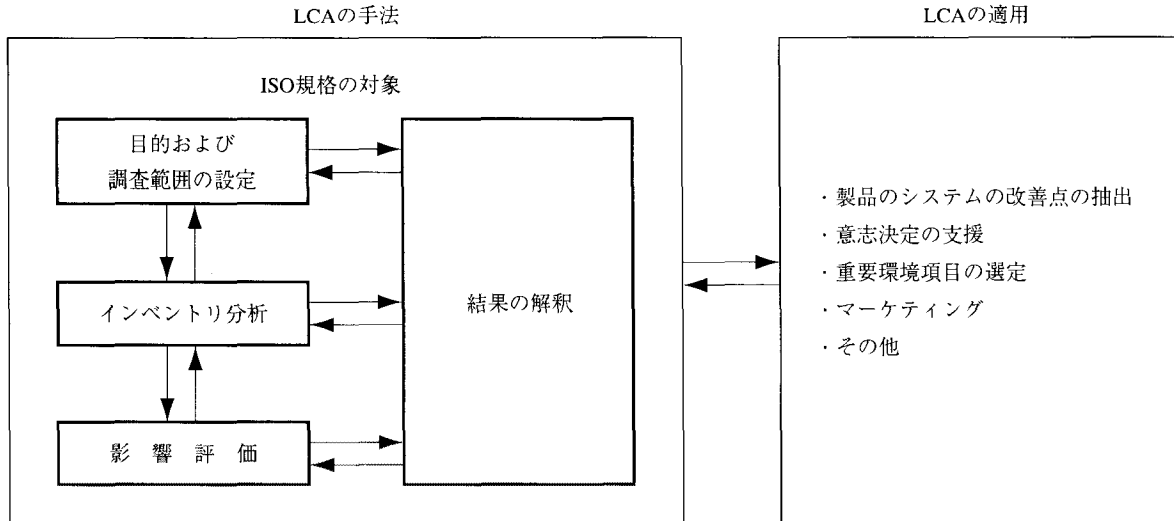


図-1 ISOによるLCAの枠組み

2) インベントリ分析 (LCI)

この段階は、対象とする構造物または製品のライフサイクルを構成する各工程で必要となる資源・エネルギーの投入量（インプット）から大気（CO₂等）や水域（N, P等）などへの排出量（アウトプット）のデータを把握し、環境負荷項目に関する出入力明細表を作成するものである。収集されるデータは、1)で設定した目的および調査範囲に合致したものであることが要求される。この段階までしか行わないものをインベントリ分析と呼んでいる。

3) 影響評価

この段階では、2)のインベントリ分析で得られたCO₂排出量等をもとに、各環境影響カテゴリー（大気汚染、地球温暖化、水域の影響等）に分類し、環境に与える影響の大きさと重要度を分析評価する。例えば、次のように(2)で求めた排出量に重み係数をかけて環境への影響を調べる。

$$\text{大気汚染への影響} = \text{NO}_x\text{の排出量} \times 1.40 + \text{SO}_x\text{の排出量} \times 1.00$$

4) 結果の解釈

この段階は、設定された目的および調査範囲と整合性をもって、2)のインベントリ分析および3)の影響評価の結果を評価、解釈する段階である。

3.2 日本における研究・開発の状況

(1) LCAの研究動向

日本においても、メーカーやゼネコンなどが中心となってLCAに関するさまざまな研究や手法の開発が進められている。LCAの分野では、道路、橋梁、港湾、発電プラント、ダム、地下鉄、ニュータウン建設、一般廃棄物処理システム、公園整備など、多

様なインフラを対象とした手法の研究事例が発表されている（土木学会環境システム委員会、1996）。土木学会の「土木建設業にかかる環境負荷評価（LCA）研究小委員会（LCA研究小委員会）」において、建設システムに関するLCAの意義として、次の4点を挙げている。

- ① 他の産業と比較して大きなシェアを占める、都市やインフラ整備に伴うCO₂排出量を定量的に把握する有効な手法である
- ② 多様な資材を利用する「組立産業」としての建設業の特徴を踏まえたCO₂排出構造を明確化できる
- ③ 同一サービス最小負荷の原則に即した代替案選択の有効な支援ツールとなり得る
- ④ インフラの設計段階から、単に建設時の経済性などに限らず、長期的視点で低環境負荷型になるよう構造を組み立てることができる。

(2) 既存のLCA調査

既存のLCA関連調査および地球温暖化防止対策に関する事例を収集・整理した。

土木業界においてもLCAの研究は進められており、その一例を示すと、土木構造物の建設に伴って発生する二酸化炭素の排出量を示した結果で、図-2に示すように日本全体の10%程度と報告されている。その内訳（図-3）を見ると、道路が最大で農業や下水道がこれに続いており、下水道における取組みの重要性が示唆されているといえる。

3.3 下水道におけるLCA実施手法の検討
(ケーススタディに関する検討)

本調査では、下水道におけるLCAを実施するための基本事項とその考え方を整理し、来年度のケース

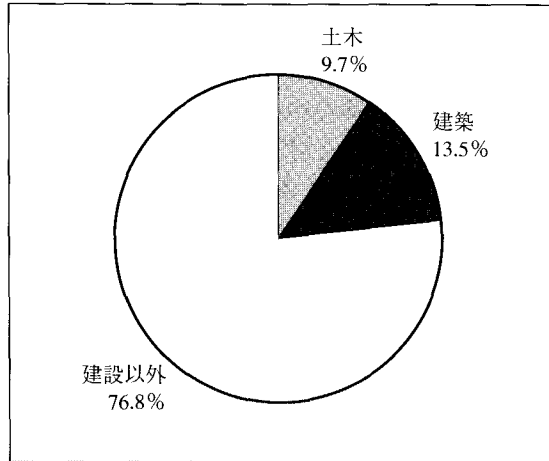


図-2 全産業に対する建設関連分野のCO₂排出量の割合

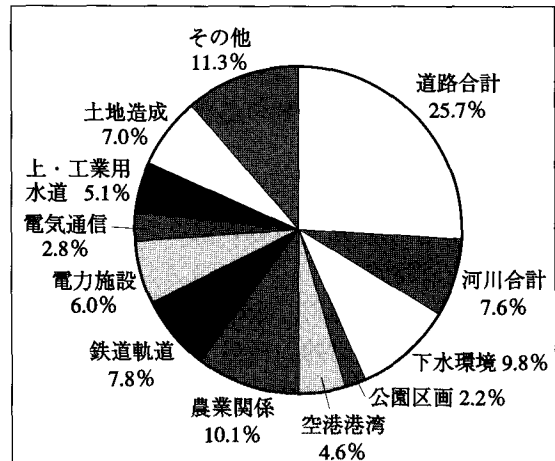


図-3 土木事業におけるCO₂排出量の内訳

出典：土木建設業における環境負荷評価（LCA）研究小委員会（平成8年度調査報告書）より

表-1 下水道におけるLCAの適用段階と内容

段 階	内 容
① 施設整備の段階 (建設時)	・下水道整備計画（下水道施設（処理場、管渠等）の新設、増設） ・既存施設（処理場、管渠等）の改築・更新
② 維持管理段階 (供用時)	・処理場における総合的な省エネルギー対策 ・未処理エネルギー（水力、熱エネルギー等）の導入 ・下水道資源の有効利用
③ 高機能の付加段階 (建設・供用時)	・高度処理の採用 ・上部利用 ・高度情報化施設利用
④ 施設の廃棄段階 (廃棄時)	下水道は社会基盤施設であり、未来永劫必要なものであるため、システムとしての廃棄は該当しない。個々の設備等の更新に伴う廃棄段階がこれに相当する。

スタディ実施のための基本的な条件を整理した。

(1) 下水道におけるLCA

現状では、パブリックデータベースの整備状況および影響評価の手法が未確立であることなどから、インベントリ分析までの検討が主体となっている。

しかし、インベントリ分析までのLCAでも、

- ① 同一の機能を有する製品のLCAを比較し、環境負荷を定量的に比較すること
- ② リサイクルを主とした循環利用と一過性の利用（ごみとして処分）との比較などが可能である。

下水道へ適用する場合の考え方として、

- ① 適切な処理フローおよび方式の選定
 - ② 適切な運転管理方式（省エネ化等）
- などを目的に、LCAの適用が可能と考えられる。

ここでも、当面はインベントリ分析までを対象と

し、影響評価は、カテゴリの重要度の設定手法や評価手法の確立を待つことになる。

(2) 下水道におけるLCA実施の目的と前提条件（対象範囲）の検討

LCAを実施する場合、目的を達成するためのLCAの対象範囲を明確にする必要がある。下水道事業全体を評価する場合、あるいは既存施設の改築・更新を目的により環境負荷の小さい施設への更新を目的として評価する場合など、おのずと評価の対象（対象とする施設やサービス、影響評価項目）は異なってくる。

下水道におけるLCAの適用段階としては、表-1のようなものが考えられる。これらはケーススタディの対象となるものである。

(3) LCA実施に必要なデータの収集と集計方法

エネルギー・資材消費等のインプットデータおよび環境負荷物質（CO₂）排出のアウトプットデータなど、ライフサイクルインベントリ（LCI）分析に必要なデータのうち、収集の必要な既往資料の把握をする。

① 下水道計画図書

全体計画，事業計画（整備計画）

② 処理場の設計図書

施設の諸元（処理能力，定格，規模，台数等）

③ 維持管理年報（月報，日報）

施設の運転状況（ユーティリティ消費量，運転時間，設備更新履歴，施設の補修，改築履歴）

(4) ケーススタディに関する検討

下水道におけるLCAのケーススタディ実施のための検討を行う。

1) LCA実施目的の明確化

LCA実施にあたっては，その目的を明確にしなければならない。これによって，対象とする境界条件の設定を可能とする。

下水道におけるLCAは，施設整備（建設時）から施設廃棄の段階までが対象となるが，その中で，システム全体として捉えるか，または，個々のプロセスを対象とするかでLCAの実施方針も異なってくる。

下水道におけるLCAの目的には，様々なものがあるだろうが，ここでは，①システム全体を対象とするもの，②個々のプロセスを対象とするものに大別する。

各々の目的には以下のようなものが考えられる。

① システム全体を対象とする場合

LCAの目的：設計段階における効率的な污水处理計画の策定

下水道システムにおける環境負荷を定量化し，他の類似施設と比較することにより，環境負荷の面で効率的な污水处理計画の策定を目的とする。

これは未整備地域が対象となるが，計画段階では実施設を有しないため，既存施設による下水道LCAの一般化が必要である。

既整備施設に対しては，整備拡大時の適用が対象と考えられる。整備済みの地域では，下水処理による環境負荷の低減をあわせて考慮する必要がある。

② 個々のプロセスを対象とする場合

LCAの目的：処理プロセスの選定

既存の処理プロセスに対する高度処理化や汚泥処理プロセスの選定など，処理プロセスそのものをLCAによって評価し，より環境負荷の小さいプ

ロセスを選定することを目的とする。

2) 本調査で対象とするLCAの目的

前項の1)で示したシステム全体を対象とするLCAは，土木研究所を中心とする共同研究が進められている。また，積上げ方式によるインベントリ分析を計画段階に適用するのは現時点では困難であり，より一般化された下水道LCAの確立が待たれる。

このような理由から，本調査においては既存の下水道施設（処理場）を対象とし，資源の有効利用による温室効果ガスの排出抑制を目的とした処理プロセスのLCAを対象とする。

下水汚泥の処理は，最終処分地容量の確保難と最近のリサイクルへの関心の高まりなどから，有効利用を前提としたものになりつつある。利用形態には，コンポストの緑農地利用や焼却灰，熔融スラグの建設資材利用などがあり，資源の循環利用の観点から多くの取り組みがなされている。

しかし，従来廃棄物として処分していた汚泥を資源として扱うためには，それ相当の設備の導入が必要になり，そこでエネルギーが消費される。

しかし，従来廃棄物として処分していた汚泥を資源として扱うためには，それ相当の設備の導入が必要になり，そこでエネルギーが消費される。資源（下水汚泥）を循環利用することにより従来から用いられてきた資材の消費削減が図られるが，ここで評価すべき事項は，資源の有効利用による温室効果ガスの排出抑制効果と汚泥の処理および資材生成設備に投入されるエネルギーとのバランスである。

そこで，来年度のケーススタディは，汚泥有効利用の主流となりつつあり，また，効果が現れそうな，コンポスト化とセメント化についてケーススタディを行うものとする。

3) 対象とする境界条件（範囲）の設定

汚泥処理プロセス（資源有効利用）

① 施設の建設（土木・建築，機械・電気）

② 運転管理に要するエネルギーおよびその他のユーティリティ

③ 機械・電気設備の耐用年数経過後の解体と廃棄，各資・機材の運搬

④ 処理生成物の有効利用と最終処分

当該施設の建設から廃棄を対象とするが，コンポストやセメントなどの処理生成物の有効利用による効果は，環境負荷の削減分として評価する。

4) LCA分析

環境影響項目は，現時点で原単位のパブリックデータがそろっている，CO₂を対象とし，地球温暖化

防止対策に資するものとする。

○原単位の取扱い

LCAに用いる原単位は、下水道の個々の処理プロセスを対象とする場合、処理プロセスあるいは各機器毎の原単位が必要となる。

ここでは、LCI分析に用いる原単位を使用目的毎に次のように分類する。

① 1次原単位

機器を構成する金属等の材料毎に設定される原単位で、材料の製造分を含む。

例) 鉄, アルミニウム等の材料

② 2次原単位

機器毎あるいはユニットプロセス毎に設定される原単位で、機器の製造から廃棄(リサイクル)までを含む。

例) ポンプ, ブロワー, 脱水機

③ 次原単位

ユニットプロセスを組み合わせた処理プロセス全体の原単位で、処理フローの選定等に利用できる。

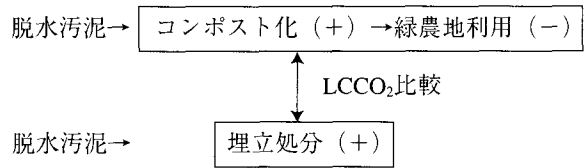
例) 水処理, 汚泥処理

現状のLCI分析は、1次原単位を機器の構成によって積上げることで当該機器の環境負荷量を定量化している。ここでいう1次原単位からの積上げには多くの労力と時間を要するが、これらのデータが蓄積されてくれば、より高次の原単位の設定が可能となり、複数の機器によって構成される処理プロセスの原単位が一般化されてくることになる。

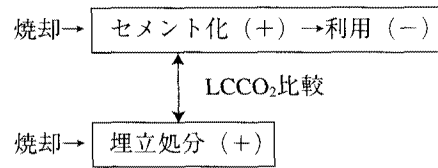
5) ケーススタディの条件整理

評価対象になるプロセスを次に示す。

① 脱水汚泥のコンポスト化



② 焼却灰のセメント化



(+): CO₂の排出を示す。

(-): CO₂の削減を示す。(他事業における排出量の削減に寄与しているものと考えられるため)

4. 今後の予定

来年度は、下水汚泥のコンポスト化とセメント化についてのLCAのケーススタディを行い、LCAでの評価、並びに作業面での効率性などを、整理する予定である。

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長

研究第一部総括主任研究員

研究第一部研究員

江藤 隆
西村 孝彦
石渡 英樹