

特集：下水道における地球温暖化対策

下水処理施設におけるライフサイクルアセスメントの考え方

西村峻介* 荒谷裕介**

1. はじめに

今日、公共事業の実施にあたっては、事業の効率化、透明性の確保などに加えて、とりわけ地球温暖化をはじめとする環境問題への対応が強く求められている。その中で、下水道事業は、生活環境の改善や公共用水域の水質改善に寄与する一方で、処理施設の建設や供用に伴う電力や資源の消費、下水汚泥の処理・処分などにより、地方公共団体の事業活動の中でも、最大量の温室効果ガスを排出している事業である。そのため、下水道事業における地球温暖化問題への対策は極めて重要である。

こういった状況を踏まえ、最適な下水道システムを検討するため、ライフサイクルアセスメント(Life-Cycle Assessment；以下、「LCA」という。)を適用し、下水道システムから発生する環境負荷を定量的かつ客観的に把握し、評価することが地球温暖化対策の有効な手段であると考えられる。

国土技術政策総合研究所ではLCA手法を下水道に適用する際の基本的な考え方やインベントリ分析を実施する際に必要となるLCA原単位についてとりまとめた「下水道におけるLCA適用の考え方」¹⁾を2010年2月に公表した。本稿では、その概要について紹介する。

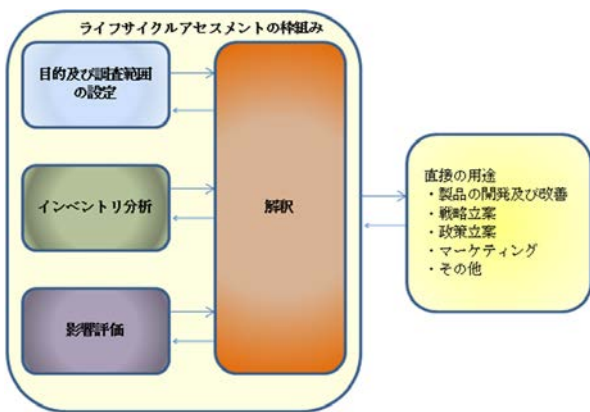


図-1 LCAの実施フロー²⁾

2. LCA適用の目的及び検討範囲の設定

2.1 LCA適用の目的

LCAを適用することにより下水処理プロセスで使用する薬品や電力、エネルギー・資源などによる直接的な環境負荷要因だけでなく、使用するエネルギー資源の採取・加工・製造や建設機械の製作、廃棄物の処理・処分などの事業実施区域外で行われる行為による間接的な環境負荷要因を含めた地球環境などの広い範囲での環境影響の把握が可能である。また、下水処理施設の建設、供用、解体・廃棄までの一連のライフサイクルを検討範囲とすることで、中長期的な環境影響の把握が可能である。以上のことよりLCAの適用は、下水道事業者が、計画・設計段階でコスト面だけでなく環境面を含めて総合的に事業を評価するためのツールとして環境負荷低減の検討及び改善に活用することを目的とする。

2.2 LCA適用の範囲

LCAの適用について、具体的に利用される局面としては、水処理方式や汚泥処理方式の比較検討などの適用例が挙げられる。

LCA手法の性格上、関連する全ての範囲を詳細に検討しようとするればデータ収集作業や環境負荷量算定作業が膨大となり、環境負荷量の定量化が現実的に不可能となる。LCAを実施する際は、結果の活用目的を明確に定義付け、目的にあわせた検討範囲の絞り込みを行うことが重要である。

2.3 検討範囲の設定

(1) ライフサイクルの範囲

一般的にライフサイクルの範囲は、施設に着目した場合と消費される資材などに着目した場合を考慮し、それぞれのライフサイクル段階を整理する必要がある。まず、施設に着目した場合のライフサイクル段階は、施設の建設段階、供用段階、解体・廃棄段階の3つの段階とする。次に、消費する資材などに着目した場合のライフサイクル段階は、原材料の自然地从の採取の段階、素材化から製品化に至る製造段階、下水道施設における

利用段階、下水道施設での利用が終わり、排ガス、排水、廃棄物として扱われる段階の4つの段階とする。本稿では、下水処理施設に着目した環境負荷量の算定を行うため、建設、供用、解体・廃棄の3段階を検討対象のライフサイクル範囲とする。なお、消費する資材などに着目した場合のライフサイクル段階は、3.2で述べるLCA原単位の作成段階で考慮されているため、詳細な検討の必要はない。

(2) 施設及び活動の範囲

下水処理で対象とする施設及び活動は、下水に関する活動と汚泥に関する活動に大別できる。下水は、終末処理場に流入してから放流されるまでの施設と活動を検討対象とする。汚泥は、処理場内で濃縮・脱水などの安定化・減量化処理を行い、埋立後最終的に安定するまでの範囲を原則として対象範囲とする。

近年、注目されている処理水の再利用や汚泥の再資源化などのリサイクルに関する施設や活動についても考慮する必要がある。この場合の検討範囲については、下水道事業者側（排出者）とリサイクル側（受入者）の境界設定がケース毎に異なるため一様に設定することは困難であるが、下水道事業者側の環境負荷量は、リサイクル側が処理水や汚泥を受け入れることによって増加又は減少する環境負荷量を検討対象範囲に含めるものとし、経済活動の範囲やリサイクル利用する製品の機能性の差異などを考慮した上で、何らかの方法で按分して算定することが望ましい。

(3) 対象とする環境問題及び負荷項目

下水処理施設においては、対象とする環境問題を地球温暖化とエネルギー資源消費とする。地球温暖化に係る負荷項目としては、温室効果ガスとして二酸化炭素(CO₂)とメタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)を対象とする。定量化する値としては、CH₄、N₂OをCO₂による影響量と等価の値に換算した数値とする。またエネルギー資源消費については、原油や天然ガスなどの各種エネルギー消費量を対象負荷項目とし、エネルギー資源の価値を発熱量として統一した数値を定量化した値とする。

(4) 評価期間の範囲

下水道施設は、土木・建築施設や大小様々な機械電気設備（以下、「機電設備」という。）から構成されており、種類や構造によって耐用年数が相

違する。そのためライフサイクルの期間は、それぞれの耐用年数に応じて適宜設定するものとし、ライフサイクルの差を補正するために環境負荷量の算定値は1年あたりに換算して表示する。

3. インベントリ分析

3.1 基本的な考え方

LCAにおける環境負荷量の算定方法には、金額ベースで作成された産業連関表を利用して、産業部門別にライフサイクルの追跡を金額ベースで行い、別途の統計資料などから部門間の環境負荷量に換算し把握する「産業連関法」とLCAの検討対象事項の各ライフサイクルでの物質収支や環境負荷のデータを収集して、全ライフサイクルの物質収支量や環境負荷量へと積み上げる「積み上げ法」がある。

下水処理施設にLCAを適用する際は、比較対象の検討部分について資材やエネルギーの消費量などの活動量を積み上げ法によって算定し、その後産業連関分析法によって作成された原単位を用いて環境負荷量を算定することを基本とする。ここで、活動量とは、環境負荷の要因となる活動やその活動により引き起こされる現象の大きさを表す量をいい、電力消費量や資材使用量、建設機械の稼働時間、発生汚泥量などがこれにあたる。

3.2 環境負荷量の算定手法

環境負荷量は環境負荷発生要因の活動量にLCA原単位を乗じることで算定する。LCA原単位とは、産業連関表を利用して作成された資材やエネルギーの消費量あたりの原単位である「基礎原単位」、基礎原単位を積算基準に基づき組み合わせで作成された単位工事数量や単位製品当たりの原単位である「組立原単位」、インベントリ分析事例から作成された施設規模や汚水・汚泥処理量あたりなどの原単位である「インベントリ分析による原単位」の3つの原単位の総称である。ただし、インベントリ分析による原単位は、作成の基となるインベントリ分析の検討範囲を確認し、処理量あたりで利用する場合は、施設規模や処理実績などの条件が類似しているか否かを確認する必要がある。

3.3 終末処理施設の環境負荷量算定の考え方

3.3.1 建設段階

建設段階では、資材の消費と施設の施工に係る

環境負荷量を算定する。

(1) 土木・建築施設

土木・建築施設の算定方法は、設計資料などにより工事数量を積み上げ計算することを基本とし、基礎原単位及び組立原単位を用いて環境負荷量を算定する。ただし、算定結果活用の目的やデータの収集状況に応じて類似事例より作成したインベントリ分析による原単位を用いて簡易的に計算することも可能である。特に建築施設については、下水処理の機能と関連性が小さいと考えることができることと工種が非常に多く、全ての工事数量から積み上げ計算を行うと作業量が膨大となることから、簡易な算定手法として以下の2つの手法があげられる。

①工事数量などのデータが利用できる場合

建築施設のうちコンクリート、鉄筋、左官関連の工種のみを積み上げ計算し、それ以外の工種は、建築施設の建設全体に占める割合が小さいため積み上げ計算した負荷量にCO₂排出量で10%程度、エネルギー資源消費量で35%程度加算することで精度を保つことができる。

②工事数量データが利用できない場合

積み上げ計算ができない場合は、延べ床面積当たりのLCA原単位を用いて環境負荷量を算定する。ただし、結果の活用目的や原単位の算定条件に留意することとする。

(2) 機電設備

機電設備の算定方法は、建設段階のライフサイクルを製造（素材・加工）、運搬、据付の段階に細分化し、表-1に示す計算方法に沿って環境負荷量を算出することとする（詳細な計算方法・算定条件は、参考文献1)を参照）。機電設備の建設段階については、メーカーノウハウが多分に含まれており、個別の機器に対して数量データを収集し積み上げていくことは非常に困難である。そこで、まず機器カタログやヒアリングにより機器の総重量を把握し、既存研究で得た機器種別素材組成比を乗じることで、素材ごとの重量に換算する。換算した各素材重量にLCA原単位を乗じることで、環境負荷量を算定することができる。機電設備の比較検討を目的とした環境負荷量の算定にはこの手法が望ましいが、機電設備全体を対象として、環境負荷量を算定する場合の簡易な方法として、図-2に示す機電設備工事における全体の負荷量に

おける各工種の割合からそれぞれについて概算することができる。

表-1 機電設備の環境負荷計算方法

ライフサイクル段階		機械設備	電気設備
建設	製造	設備を構成する各材料の重量を総重量より組成例を用いて按分し算出する。その際、製造過程でのロスを考慮するため、各材料の重量を1.2倍し、算出した各材料の重量とLCA原単位を乗じることで環境負荷量を計算する。	
	加工	汎用品と製缶品に分類し、それぞれ設定された加工に係るLCA原単位を利用する。	素材由来の環境負荷量にし、それぞれ設定された比率で計算する。
	運搬	4tトラックで200km輸送すると設定する。	
	据付	据付重機、架台・配管工事、配線工事のLCA原単位を用いて計算する。	
管理	修繕	素材の環境負荷量に対する比率で計算する。	
解体廃棄・再利用	解体	解体作業は据付に対する比率で計算する。解体後に発生する廃棄物の運搬は、4tトラックで150km輸送すると設定する。	
	再生	普通鋼材、特殊鋼材は設定された回収率を乗じて負荷量減分として計算する。他の素材は、計上しない。	

表-2 機械機器の種別ごとの素材組成例

機器種別	SS 鋼材	SUS ステンレス	FC 铸铁	銅	合成樹脂	A1 アルミ
ゲート・弁類	10	8	79	3	0	0
ポンプ・回転機器類	14	4	75	6	0	1
製缶機械	50	39	9	1	0	1
タンク（鋼製）	100	0	0	0	0	0
タンク（樹脂製）	0	0	0	0	100	0
ファン類	28	0	10	2	60	0
吊上機械	15	15	70	0	0	0

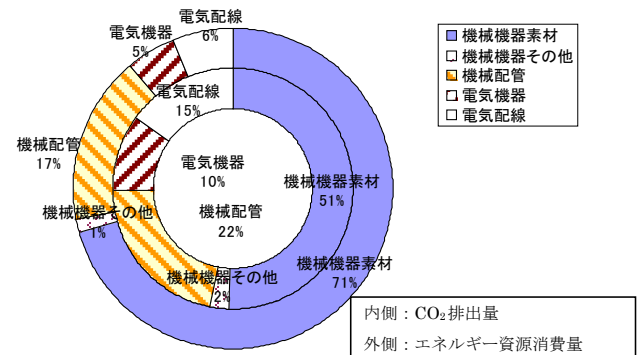


図-2 機電設備の建設段階における環境負荷割合例

3.3.2 供用段階

供用段階における環境負荷量は、以下によるものを算定する。

(1) 運転に伴う環境負荷量

運転については、既存施設や類似施設における稼働実績より電力、重油などの石油及びガス等のエネルギー消費量と薬品、水道水等の資源消費量を活動量とし、LCA原単位を乗じて算定する。

(2) 修繕

建設時の負荷量算定と同様の方法で算定する。

(3) 処理に伴う生成物質

下水処理施設では、ばっ気槽における生物化学反応や焼却炉の燃焼など処理過程の各種反応に

よって生成される物質がある。このような処理に伴う生成物質のうちCH₄及びN₂Oを環境負荷量算定の対象とする。処理水量あたりや汚泥処理量あたりなどの温室効果ガス排出係数が整備されている³⁾ため、その係数をLCA原単位とみなして環境負荷量として算定する。

(4) 発生汚泥の処分・資源利用

汚泥については、場外に搬出された後の行為などによる環境負荷量を算定対象とする。搬出後の行為としては、汚泥最終処分場や汚泥再資源化施設までの輸送、再資源化に必要となる特別な処理、埋立処分後の埋立層での反応によるCH₄などの発生などが挙げられる。輸送に関しては、輸送車両の燃料消費原単位を設定し、輸送距離を乗じる。埋立層での反応によるCH₄などの発生による環境負荷量については、下水汚泥の埋立処分によるCH₄排出係数が整備されている⁴⁾ので、その係数をLCA原単位とみなして、汚泥処分量に乗じて算定する。汚泥を再資源化し有機肥料や化石燃料などの代替として利用する場合は、代替することによって変化する環境負荷量を負荷減少量として計上することが可能である。その場合は、従来の製品と代替製品の機能を比較し、変化量を按分する必要がある点に留意することとする。

3.3.3 解体・廃棄段階

(1) 土木・建築施設

解体については、跡地利用などに支障を来す場合に限定されると考えられ、全体撤去となるか一部撤去となるかは実態に沿ったインベントリ分析が必要となる。既存の研究事例より、解体・廃棄段階の環境負荷量は、終末処理場全体の環境負荷量の割合の3%未満となり寄与が小さいことから、建設段階（全体の15%～20%程度）に対する比率を定めて算定する方法の採用が可能である。

(2) 機電設備

機電設備については、表-1で記載した建設時の割合に応じて解体・廃棄の負荷量を算定する。

以上の考え方にに基づき、既存研究による終末処理場における各ライフサイクル段階でのCO₂排出割合(以下、「LC-CO₂」という。)を図-3に示す。

3.4 影響評価

地球温暖化に関する環境負荷項目のうち、CH₄、N₂Oについては、各排出量に地球温暖化係数を乗じることでCO₂と同等の影響量に換算し、CO₂排出量という数値に統合化して地球温暖化影響を評価する。エネルギー資源については、LCA原単位の作成段階で、発熱量という数値に統合化されているため影響評価段階での統合化は必要ない。

3.5 解釈及び報告

解釈及び報告の段階では、インベントリ分析や影響評価で得られた成果を精査し、検討の目的や範囲、算定条件などの作業内容を明確に整理した上、第三者に理解しやすいようにとりまとめる。

4. まとめ

本稿では、下水処理施設にLCAを適用する際の基本的な考え方、環境負荷量の算定方法及び留意点について示した。なお、考え方の詳細、活用するLCA原単位等は、参考文献¹⁾を活用されたい。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所資料第579号下水道におけるLCA適用の考え方、国土技術政策総合研究所、2010
- 2) 環境マネジメント・ライフサイクルアセスメント・原則及び枠組みJISQ14040、日本工業標準調査会、2002
- 3) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、国土交通省、2009
- 4) 地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン(第3版)、参考資料2、p.11、環境省、2007

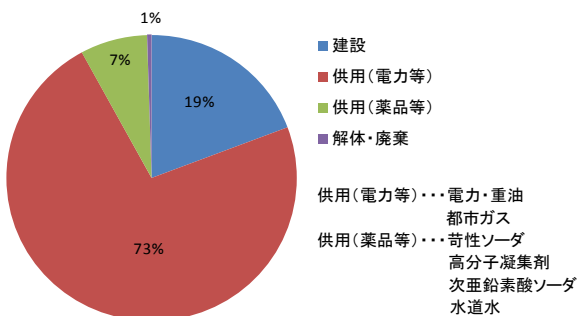


図-3 処理場全体のLC-CO₂割合の算定例

西村峻介*



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部
 下水道処理研究室 研究員
 Shunsuke NISHIMURA

荒谷裕介**



滋賀県土木交通部河港課
 主査(前 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道処理研究室研究員)
 Yusuke ARATANI