

土木機械設備における LCA 適用の考え方に関する一考察

石 松 豊・田 村 敬 一

地球温暖化の主な要因である CO₂ 排出量に関して我が国は 2013 年時点で世界全体の約 3.8% を占め、世界で 5 番目に位置している。近年、地球温暖化等の環境問題を踏まえ、持続的な社会の構築に向けて LCA の方法論が導入されている。我が国の土木建設活動における環境負荷の問題も、軽視できない状況にあり、社会資本整備を担っている国土交通省も地球温暖化、廃棄物処理や天然資源消費等の地球環境問題に積極的に取り組んでいる。

本稿では、建築・下水道・土木（道路・河川）分野等で取り組まれている LCA 適用の考え方を土木機械設備分野においても検討し、その概要及び課題を考察した。

キーワード：土木機械設備、LCA、地球温暖化、CO₂ 排出量、枯渇性資源、エネルギー資源消費量

1. はじめに

LCA とは、Life Cycle Assessment（ライフサイクルアセスメント）の略称で、ISO14040 等でも述べられているように製品に関わる資源の採取から製造、使用、廃棄、輸送などすべての段階を通して、投入資源、排出環境負荷及びそれらによる地球や生態系への環境影響を定量的、客観的に評価する方法論である¹⁾。

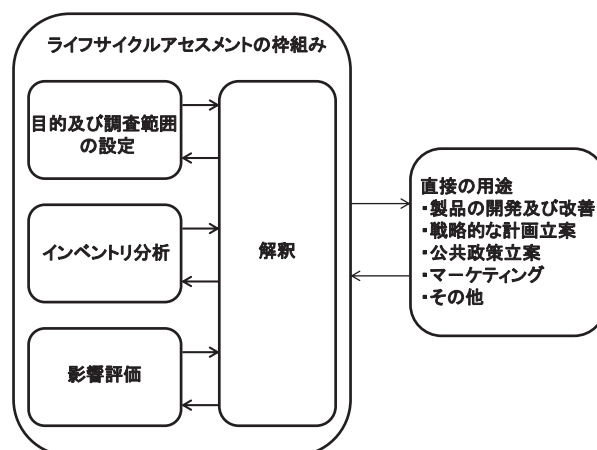
本稿では、国や自治体等を含めて事業者が、土木機械設備（河川用水門設備、ダム用水門設備、揚排水ポンプ設備、トンネル換気設備等）について、計画・設計段階等における経済性のみでなく、LCA による環境負荷を評価することを目的に検討した。また、土木機械設備の環境負荷の低減のための改善に活用することも目的に含んでいる。それらを踏まえ、地球環境等への影響を及ぼす環境負荷量の算定等の考え方を思索し、その概要及び課題を考察した。なお、本稿は著者の見解を含むものである。

2. LCA 方法論の枠組み

ISO14040 では、図一 1 の LCA 方法論の枠組みについて、LCA 調査の各段階が示されており、以下の 4 段階で構成されている。

(1) 目的及び調査範囲の設定

LCA 方法論の目的は、実施する主体者（例えば事



図一 1 LCA 方法論の枠組み²⁾

業者、消費者、行政機関）によって異なってくる。

LCA 調査の目的には、意図する用途、調査を実施する理由、意図する伝達先（調査の結果を伝えようとしている相手）、一般に開示することを意図する比較主張において結果を用いようとするかどうかを、明確に設定する必要がある²⁾。

調査範囲の設定においては、第一に調査対象を明確にしなければならない。ISO14040 では、調査対象を明らかにするための要件として、幾つかの事項が記載されている。以下は、その一例として最小限具体的に設定が必要とされる事項を列挙した。

- (a) 製品システム（どの設備を対象とするか等）
- (b) 製品システムの機能（対象設備の機能を明確にする、特に複数設備の比較を行う場合は機

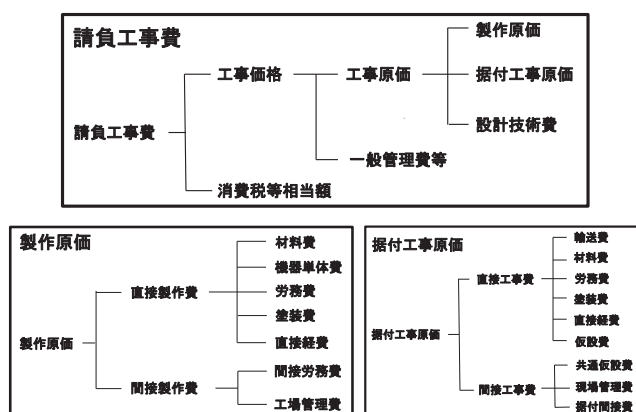
(2) 環境負荷量計算の基礎式⁵⁾

環境負荷量は、資材数量、エネルギー消費量、製品加工や輸送及び建設機械などの稼働等の活動量と作成された原単位を使用して、次のように求められる。

$$(\text{環境負荷量}) = (\text{環境負荷発生要因の活動量}) \times (\text{各種 LCA 原単位}) \quad \cdots (4.1)$$

5. 土木機械設備の環境負荷量算定手法の検討

土木機械設備においては、図—2のライフサイクルの範囲イメージや図—3の積算体系より各設備の建設、供用、廃棄・リサイクルに伴う環境負荷量を検討する。土木機械設備のインベントリとして考慮したライフサイクル段階のイメージ工程を表—1に示す。

図—3 土木機械設備工事費の積算体系⁶⁾表—1 インベントリとして考慮したライフサイクル段階のイメージ工程⁷⁾

ライフサイクル段階			機械設備	
			機械製品	架台・配管
建設	素材製造		○	
	工場製作	加工	○	○
		塗装	○	
	輸送		○	○
	据付工事	据付	○	○
		工事		○
		塗装	(○)	○
供用	運転（試運転含む）		○	
	保守管理	機器補修	○	
		機器更新	不要（建設に計上）	
廃棄・ リサイクル	解　　体		○	○
	廃棄輸送		○	○
	素材回収		○	○

(1) 建設における素材製造、工場製作（加工、塗装）の環境負荷量の算定

素材製造については産業連関分析法を利用して材料

の各素材別の原単位（kg-CO₂/素材t, MJ/素材t）を作成する。素材数量を積算で把握できる場合は、その結果に基づき環境負荷量を算出する。積算では素材数量を把握できない製品（機器・装置等）等はメーカーヒアリング等の調査によって、材料を素材成分に分類し、素材構成比率を定めて、各製品等の総重量に乗じることによって環境負荷量を算定する。

工場製作の加工については、工場の規模や各種機械等がメーカーによって異なるなど、LCA実施主体者が、その製作事業者でない限り、活動量や製品の加工の原単位を正確に求めることは難しい。よって、各設備の構造部（扉体等）・機器・装置等の種類ごとに対してメーカーヒアリング等の調査によって、構造部・機器・装置等の単位重量あたりの原単位（kg-CO₂/製品t, MJ/製品t）を作成するのがよい。この原単位に構造部・機器・装置等の各重量を乗じ、環境負荷量を算定する。なお、機器・装置等において環境負荷への影響が小さいものは、省略するのがよい。

工場製作の中には副部材、部品、補助材料が含まれているが、積算体系で主要部材に対する金額の割合（%）定められているため、それらの環境負荷量の算定は可能である。また、機械単体品（原動機、減速機、自家発電機等）の環境負荷量の算定については、工場製作の加工の環境負荷量の算定方法を用い、環境負荷への影響が小さいものは、機器・装置等と同様に省略するのがよい。

工場製作の塗装については、各種の産業連関表に「塗料」の項目が存在しており、産業連関表や塗料の素材成分比率等を用いて、資源採取から塗料製造段階までの環境負荷量の算定が、塗料種類別ではないが概略的に可能である。

(2) 建設における輸送の環境負荷量の算定

輸送の環境負荷量（CO₂排出量）⁴⁾

$$\begin{aligned} &= \Sigma (\text{燃料消費量} \times \text{燃料の原単位} + \text{間接環境負荷量}) \\ &= \Sigma (\text{輸送距離} \times \text{燃費} \times \text{燃料の原単位} \times \text{間接環境負荷量補正率}) \end{aligned}$$

$$= \Sigma (\text{輸送距離} \times \text{輸送の環境負荷原単位}) \quad \cdots (5.1)$$

※間接環境負荷量とは、自動車の修理や事務所のガス、電気、水道等に係る環境負荷

燃料消費量 : 1

燃料の原単位 : kg-CO₂/l（軽油、揮発油）

間接環境負荷量 : kg-CO₂

輸送距離 : km

燃費 : l/km

※国総研研究報告⁴⁾では、燃費の設定において、

輸送車両、積載条件や走行速度 (km/h) などの前提条件のもと、シャシダイナモ試験の実測結果に基づいて算出。なお、走行速度 (km/h) は国土省の道路交通センサスの平均旅行速度より設定間接環境負荷量補正率

※国総研研究報告⁴⁾では、運搬の環境負荷単位の算定における直接環境負荷量と間接環境負荷量の比として算定

輸送の環境負荷原単位: kg-CO₂/km

一方、エネルギー資源消費量 (MJ) の算定に関しては、国総研研究報告⁴⁾によると、間接環境負荷量も輸送車両の燃料の原単位に概ね依存している傾向が見られるため、式 (5.1) を使用して CO₂ 排出量を算定し、式 (5.2) でエネルギー資源消費量 (MJ) に換算することで概略的には算定可能である。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー資源消費量 (MJ)} = \\ \text{輸送の CO}_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2\text{)} / \text{燃料の種類による} \\ \text{排出係数 (kg-CO}_2\text{/MJ)} \quad \cdots (5.2) \end{aligned}$$

(3) 建設における据付工事による据付の環境負荷量の算定

(a) 据付材料の環境負荷量の算定

据付工事の材料には据付材料・据付補助材料などがあるが、積算体系では据付労務費 (金額) に対する割合 (%) で定められている。内容は小配管、電線・電線管、油脂類などであることから加工は極少量で、加工に関する環境負荷量の影響は小さいため、省略するのがよい。よって 5. (1) の素材製造の算定方法のみを選択するのがよい。

(b) 標準機械器具の環境負荷量の算定

据付けに係る機械器具の例を表一2に示す。

表一2 据付けに係る機械器具例⁶⁾

機械器具名	標準規格	摘 要
クレーン		必要により計上
電気溶接機		基礎据付用, ガウジング用
空気圧縮機	排出ガス対策型	はつり用, ガウジングその他
発動発電機	排出ガス対策型	商用電源がない場合
組立架台		必要により計上
その他必要なもの		現場条件により計上
雑器具損料		機械器具費 × 2%

①建設機械の環境負荷量の算定

据付けに使用するクレーン、電気溶接機、空気圧縮機、発動発電機等の建設機械の環境負荷量は、次式で

算定される。

建設機械に係る環境負荷量⁴⁾

$$\begin{aligned} = & \text{建設機械の稼働に係る環境負荷量} + \\ & \text{建設機械の減耗等に係る環境負荷量 (維持修理費に係る環境負荷量} + \text{償却費に係る環境負荷量} + \text{管理費に係る環境負荷量)} \quad \cdots (5.3) \end{aligned}$$

・建設機械の稼働に係る環境負荷量の算定

建設機械等損料表⁸⁾より燃料消費率を把握し、積算歩係から算出した総稼働時間を乗じて燃料消費量を算出し、燃料の環境負荷原単位を乗じることによって環境負荷量を算定する (式 (5.4) より)。

$$\text{環境負荷量 (Kg-CO}_2\text{, MJ)} = \text{燃料消費量 (l)}$$

$$\times \text{燃料の環境負荷原単位 (kg-CO}_2\text{/l, MJ/l)}$$

$$\text{燃料消費量 (l)} = \text{総稼働時間 (h)}$$

$$\times \text{燃料消費率 (l/h)} \quad \cdots (5.4)$$

・建設機械の減耗等に係る環境負荷量の算定

建設機械の減耗等に係る CO₂ 排出量は 国総研研究報告⁴⁾と建設機械等損料表⁸⁾から算定できる。

一方、建設機械の減耗等に係るエネルギー資源消費量については、環境負荷量への影響が小さいため、算定を省略するのがよい。これは、建設機械の稼働時間が短いことによるものである。

②組立架台の環境負荷量の算定

5. (1) の素材製造、加工と同様である。

③雑器具損料の環境負荷量の算定

機械器具費に対する割合 (%) で定められている。よって 5. (3). (b) の標準機械器具の環境負荷量に、その割合を乗じれば算定可能である。

(c) 塗装の環境負荷量の算定

5. (1) の工場製作の塗装と同様である。

(4) 供用における運転 (試運転含む) の環境負荷量の算定

年間運転時間は、計画・設計中のものについては類似した条件の既存設備の過去の実績値等を参考とし、既存設備の改築については、過去の運転データ等を参考にすればよい。但し、稼働時間の短い非常用の水門設備や揚排水ポンプ設備等については、運転による影響が小さいため、環境負荷量の算定を省略するのがよい。

(5) 供用における機器補修の環境負荷量の算定

機器・装置・部品の修繕・取替については、5. (1) と同様である。また、3. (4) でも述べたように各設備の点検・整備・更新マニュアル (案) に修繕・取替の標準年数が掲載されている (掲載されていないものは過去の管理台帳等より推定) ため、3. (4) で設定したラ

ライフサイクル期間の間に、機器・装置・部品の修繕・取替が何回実施されるのかを想定し、機器補修による環境負荷量を算定する。

(6) 廃棄・リサイクルにおける解体・廃棄輸送・素材回収の環境負荷量の算定

- (a) 解体については、5.(3)の据付による環境負荷量全体における割合を事業者へのヒアリング等の調査により定めて概略的に算定するのがよい。
- (b) 廃棄輸送については、5.(2)と同様である。
- (c) 素材回収については、事業者へのヒアリング等の調査により、例えばSS, SM, SUSや銅などの主な回収素材ごとに、素材構成比率を考慮し、それぞれに回収率を定め、その他の素材は廃棄処分として環境負荷量を算定するのがよい⁵⁾。

6. 影響評価

土木機械設備のLCA適用による評価では、3.(2)で述べたように、地球温暖化の主要因であるCO₂排出量と各種エネルギー資源消費量が主な指標となる。なお、工場製作過程での他の環境負荷物質の排出や塗料の使用によるVOC(揮発性有機化合物：光化学スモッグの要因)の排出の影響などを対象環境負荷項目に付加するかどうかは今後の検討課題である。

また、ISO14044では、対象環境負荷項目が複数の場合は、対象環境負荷項目間の重み付けをして、それぞれの算定量の統一化が可能なら、集計することが述べられているが、現状、客観的な重みを付与することは困難であり、経済性など他の要因も考慮した上で、なるべく総合的に評価するのがよい。

7. 解釈

ISO14044において解釈は、「重要な項目の特定」「点検を考慮した評価」「結論、限界及び提言」の各段階からなる。

・重要な項目の特定

インベントリ分析や影響評価の結果を、定量的かつ明確に整理し、環境負荷の重要度の高いライフサイクル段階やプロセスでの項目を特定する。

・点検を考慮した評価

特定された重要な項目の現実性や信頼性を明確にするため、LCAやLCI調査の結果や収集したデータに関する点検を行う。

・結論、限界及び提言

LCAの結果を伝える相手に、結論を導き出し、使用した環境負荷原単位やLCA実施主体者の判断などの調査の限界も含めて、提言を行う。

8. おわりに

各設備の構造物・機器・装置の素材構成比率や工場製作の加工による環境負荷の原単位など(kg-CO₂/製品t, MJ/製品t)の作成に当たっては、メーカーや業界団体等の協力が必要不可欠であり、LCAの有効性について認識を共有することが重要である。

今後、土木機械設備のLCA評価においては、設備での環境負荷量の試算を行い、環境負荷量の算定方法等の検証を行う必要がある。さらに環境負荷量におけるライフサイクル段階の各工程や各構造部・機器・装置等の影響の大小、精度のバランス、データ収集に要する作業量のバランス等を考慮して、環境負荷量の算定を簡略化できるよう、各種原単位を作成することが課題である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 環境省 環境白書 平成10年度 第1章第3節 2.環境効率性の実現に向けて—ライフサイクルアセスメント—
- 2) 日本規格協会 JIS14040:2010 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 p.9, p.12
- 3) 土木学会地球環境委員会, ISO14030-40の規格化による建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント 鹿島出版会 p.81~83 2000.10.25
- 4) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部, 社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発, 国総研プロジェクト研究報告第36号, p.2-4, p.3-135~142 平成24年2月
- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室, 下水道におけるLCA適用の考え方, 国総研資料第579号, p.17, p.26 平成22年2月
- 6) (一財)建設物価調査会, 国土交通省 土木工事標準積算基準(機械編) 平成28年度
- 7) (一社)日本下水道施設協会, 下水処理設備のLC-CO₂試算例, p.3 平成13年3月30日(平成22年7月21日一部改訂)
- 8) (一社)日本建設機械施工協会, 建設機械等損料表平成28年度版

【筆者紹介】

石松 豊(いしまつ ゆたか)
国立研究開発法人
土木研究所
技術推進本部付



田村 敬一(たむら けいいち)
国立研究開発法人
土木研究所
技術推進本部長

