

〈特集〉

浄水施設を対象とした LCA に関する研究

渡部 英¹⁾, 滝沢 智²⁾, 藤原 正弘³⁾¹⁾水道技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 E-mail: watanabe@jwrc-net.or.jp)²⁾東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 E-mail: takizawa@env.t.u-tokyo.ac.jp)³⁾水道技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 E-mail: fujiwara@jwrc-net.or.jp)

概要

ライフサイクルアセスメント (LCA) の手法は既に多くの産業界で導入されているが、水道事業においてはその研究事例・実施例は限られている。そこで本研究では、処理方式の選定・計画等に役立つよう、凝集沈澱設備、急速ろ過設備、膜ろ過設備、オゾン処理設備、活性炭吸着設備を対象として建設・運転・廃棄・更新の各段階におけるライフサイクルエネルギー消費量・ライフサイクル二酸化炭素排出量を試算し、事業期間全体でのケーススタディを実施した。その結果、ポンプ等の動力の他、薬品や活性炭に関する環境負荷が相対的に高いという傾向が得られた。

キーワード：水道、浄水処理、エネルギー消費、二酸化炭素排出、環境負荷

原稿受付 2008.11.13

EICA: 13(4) 44-47

1. はじめに

IPCC の第 4 次報告書において温暖化の進行と影響に関する深刻な調査結果が明らかにされている中、水道においても「省エネ法」による一定規模以上の浄水場における省エネ活動報告の義務化などに伴い、環境に対する取り組みが一層求められている。安全な水道水の供給の責務を負ってきた水道事業者も、安定供給や水質の向上だけでなく、資源エネルギーの消費量の削減を進めることが社会的な責務となってきた。

製品の製造から廃棄までの環境負荷を全体で評価するライフサイクルアセスメント (LCA) の手法は既に多くの産業界で導入されているが、水道事業においてはその研究事例・導入実績は限られている。そこで本研究では、処理方式の選定・計画等に役立つよう、浄水施設を対象とした LCA を実施する際の手順の確立や基礎的なデータの収集を目的として、LCA のケーススタディを実施した。特に、水道施設全体の中で LCA 評価が難しいと思われる浄水施設を中心に、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量を指標とした LCA 手法の確立を目指して活動を行った。その取り組みについて報告する。

なお、本研究は平成 17 年度～19 年度にかけて厚生労働科学研究費補助を受けて実施した *e-Water II* プロジェクト (安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究) の一環として実施したものである。

2. 本研究における LCA の手法・対象範囲

2.1 対象範囲・設定条件

本研究では検討範囲 (システム境界) の対象を浄水場内 (着水井から浄水池まで) として検討を行なった。取水、導水、送水、配水については主に配水エリアの面積、地形などに影響され、浄水システムの選定には直接影響されないため検討範囲から除外した。対象とする浄水処理フローとしては、「凝集沈澱 + 砂ろ過」、「膜ろ過」、「凝集沈澱 + オゾン + 活性炭 + 砂ろ過」の 3 方式を検討の対象とした。Table 1 に、対象とした施設の諸元の一部を示す。

対象とする環境負荷項目は、温暖化ガスの中では最も排出量が多く、温暖化に対する影響と社会的関心が最も高い CO₂ 排出量と、電力消費量などとの関連で算出結果のイメージがしやすいエネルギー消費量とした。

事業期間は 58 年と設定し、事業終了時に施設を解体廃棄すると設定した。施設の耐用年数は、法定耐用年数をもとに土木：58 年、配管類：38 年、機械・電機：16 年と設定した。

2.2 算出方法

施設を構成する素材・機器類の重量・容量などは実際の浄水場建設工事の設計書を参考に拾い出した。

各素材のエネルギー消費量原単位、二酸化炭素排出量原単位は、公開されているデータベースや文献などから収集し、公の原単位の無い膜モジュールやオゾン発生装置などは、製造メーカー等の協力を得て

Table 1 Main specifications of facilities

項目	仕様等
最大処理水量	21,000 m ³ /日
凝集沈澱砂ろ過	
フロック形成池	上下迂流方式
沈澱池	横流式傾斜板沈澱池
砂ろ過池	自然平衡型自己洗浄方式
薬品注入率	中次亜：2mg/L
(平均)	後次亜：1mg/L
	PAC：20mg/L
活性炭吸着池	
ろ過方式	重力式固定床方式
活性炭	石炭系粒状活性炭
線速度 (LV)	190 m/日
空間速度 (SV)	3.3 1/h
オゾン	
オゾン注入率	2.0 mg/L
注入オゾン濃度	20 g/m ³ (N)
接触時間	13.2 分
接触方式	上下迂流, 散気管注入方式
膜ろ過	
膜モジュール	限外ろ過膜 (有機膜)
ろ過方式	全量ろ過方式
流束	1.7 m ³ /m ² /日
駆動圧力方式	ポンプ加圧式

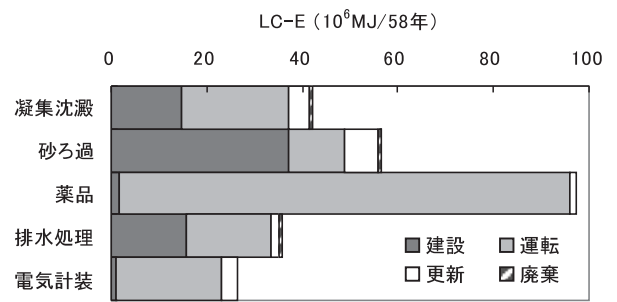


Fig. 1 LC-E for coagulation/sedimentation/sand filtration

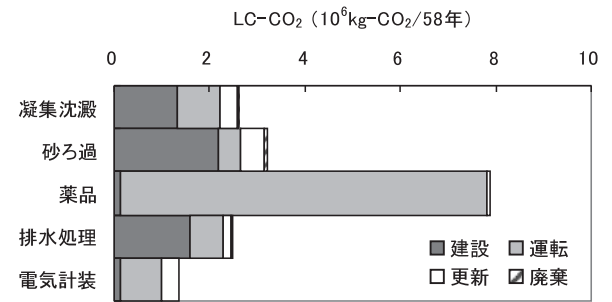


Fig. 2 LC-CO₂ for coagulation/sedimentation/sand filtration

データを収集するなどの独自調査を行った。

集計は、建設、運転、更新、廃棄の各段階ごとに行った。建設段階は主に施設を構成する素材や機器の製造による負荷、掘削や土砂の搬出などが含まれる。運転段階はポンプなどが消費する電力のほか、浄水用薬品の製造による負荷が含まれる。更新段階の負荷は各設備を耐用年数ごとに更新するとし、建設段階と同じ負荷をその都度積み上げている。廃棄段階は、施設の解体および廃棄資材を最終処分場まで運搬（距離は 20 km と設定）する際に発生する負荷を算出した。

3. 結果・考察

3.1 各浄水フローにおける LCA 算出結果

(1) 凝集沈澱砂ろ過

凝集沈澱砂ろ過施設の範囲は着水井から砂ろ過池、薬品注入設備までの浄水場内の施設とした。

Fig. 1 は事業期間を 58 年とした場合における凝集沈澱（着水井を含む）、砂ろ過、薬品注入、排水処理、電気計装の各プロセスのライフサイクルエネルギー消費量 (LC-E)、Fig. 2 はライフサイクル CO₂ 排出量 (LC-CO₂) である。

Fig. 1, Fig. 2 とも薬品注入設備の運転に関する寄与が非常に大きい割合を占めている。これには薬品そのものの製造や注入ポンプの運転に関するものが含まれるが、58 年という長期にわたって継続的に薬品が使用されることから、大きな負荷を占めていると推察される。薬品注入量の削減は、コストや汚泥発生量の削減のみならず環境負荷の低減にも効果があ

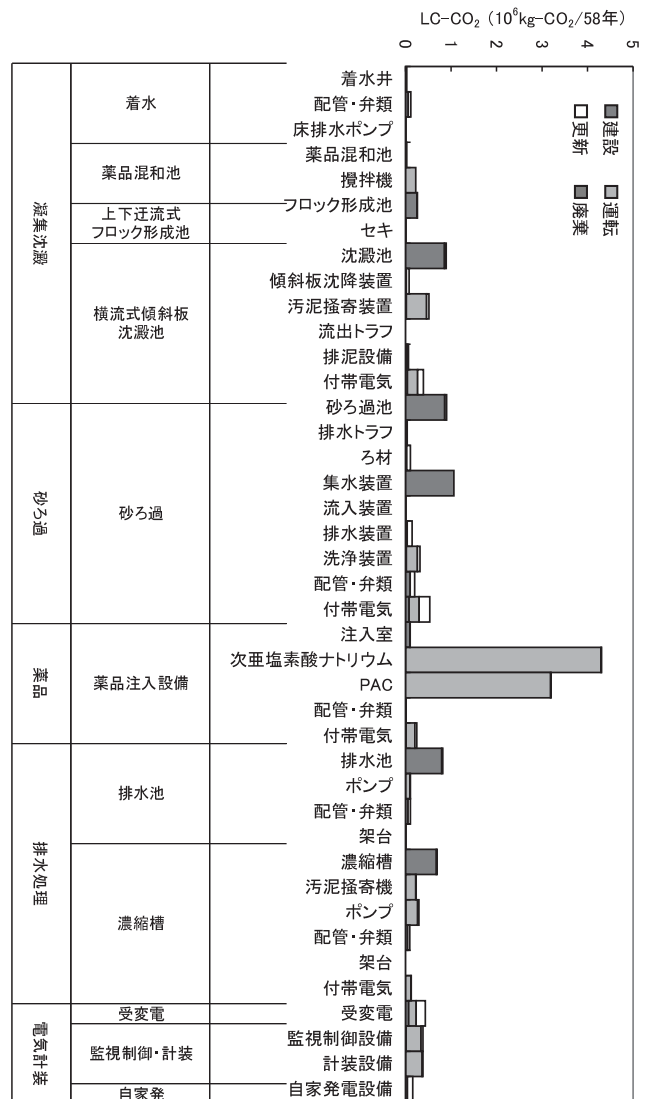


Fig. 3 LC-CO₂ for coagulation/sedimentation/sand filtration

ることが伺える。

更新・廃棄段階についてはそれほど大きな負荷とはなっていない。

Fig. 3は凝集沈澱砂ろ過の単位設備毎の試算結果である。運転段階ではPAC、次亜の注入に関する部分が突出しており、建設段階ではコンクリート構造物の寄与が大きい。

(2) 膜ろ過

Fig. 4に膜ろ過設備のLC-CO₂算出結果を示す。運転段階の負荷が大きな割合を占め、その中では膜ろ過原水供給ポンプ、逆洗ポンプなどの電力消費に関する負荷が大部分である。

膜ろ過はポンプ圧送が基本のため、自然流下が基本の凝集沈澱砂ろ過などと比較すると、浄水池の水位レベルを高く取ることができ、結果的に送水・配水の動力を削減できる。また、排水施設等のレイアウトの自由度が高くなるなどの側面があり、従来処理と比較する際にはこの点の留意が必要である。また、膜ろ過の動力については運転方法や方式などによって値が変動する部分であり、省エネの余地が大きい部分であると思われる。

一方、建設段階に関する負荷は比較的少ない。これは膜ろ過設備が従来方式の施設と比べてコンパクトであり、土木工事なども少ないためであると考えられる。

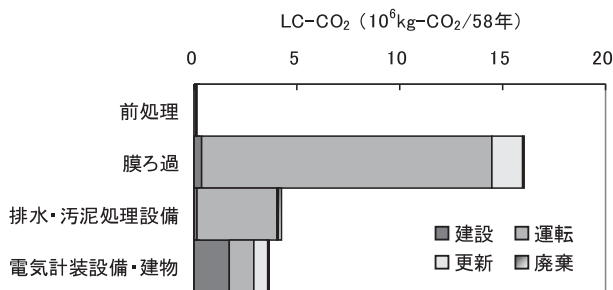


Fig. 4 LC-CO₂ for membrane filtration

なお、エネルギー消費量についても同様の算出を行ったが、負荷の割合としては、Fig. 1およびFig. 2のように、概ね同様の傾向が得られている。以降の処理プロセスにおいても同様であるため、以降はLC-CO₂についてのみ結果を紹介する。

(3) オゾン処理設備

オゾン処理設備のLC-CO₂算出結果をFig. 5に示す。オゾン処理設備については、オゾン注入設備の消費電力に関する割合が大部分を占めている。オゾン注入率の制御方法や機器の仕様などによっても値が変動する部分であり、省エネの工夫の余地が大きい。例えば今回のケーススタディでは、モデルとした浄水場の設備仕様に従ってオゾン注入設備の製造

メーカーから同等の機器の構成素材重量や電力消費量に関するデータを収集したが、より高濃度でオゾン注入を行う仕様の場合では機器のコンパクト化・軽量化による素材使用量の削減や電力消費量の低減が可能という報告も得ている。

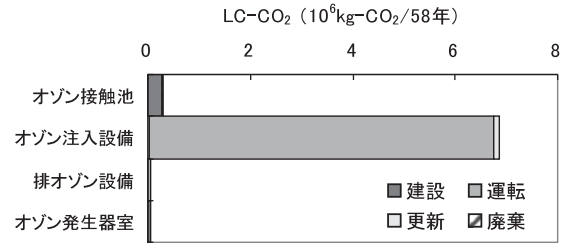


Fig. 5 LC-CO₂ for ozonation facility

(4) 粒状活性炭吸着池

活性炭吸着池のLC-CO₂算出結果をFig. 6に示す。活性炭の更新における負荷が大きな割合を占める結果となった。

これは、活性炭製品そのものの負荷が高いことによるものである。浄水処理用の活性炭製造法である水蒸気賦活法では、製造段階で高温の加熱処理を行うため、排出されるCO₂原単位が比較的高い値となる。また、活性炭の交換頻度は、処理水量10万m³/日以下の全国の浄水場の実績調査より、4年毎に新炭に交換する設定としており、58年の期間では更新に占める割合が大きい。他のプロセスでは、運転段階の負荷が多くを占める結果となったが、粒状活性炭吸着設備では運転段階におけるCO₂排出量の削減効果は、比較的小さいと考えられる。

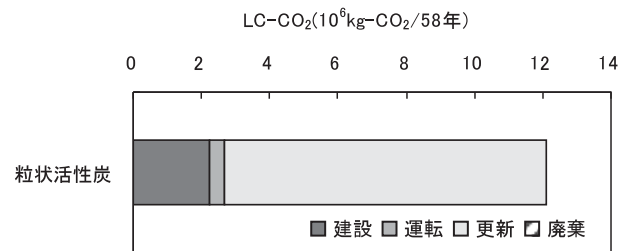


Fig. 6 LC-CO₂ for activated carbon treatment

(5) 凝集沈澱 + オゾン + 活性炭 + 砂ろ過

Fig. 7に上記のプロセスを組み合わせた「凝集沈澱 + オゾン + 活性炭 + 砂ろ過」のフロー全体の

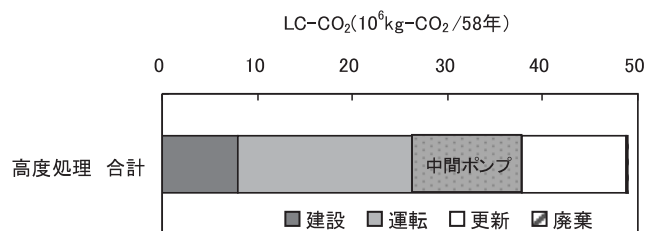


Fig. 7 Total LC-CO₂ emissions by process

LC-CO₂の概算を示す。概算値は、前述の(1)、(3)、(4)のケーススタディ結果と、オゾン・活性炭の水頭確保のための中間ポンプ（出力15kW×6台）の動力を加算して求めた。

運転段階の占める割合が最も大きいのはその他のケースと同様であるが、その中でも中間ポンプの動力が1/3ほどを占めている。このような動力を最小化できるように施設全体を設計することでLC-CO₂の低減が期待できる。

3.2 「浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル」の作成

本研究で検討した手法や結果については「浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル」として取り纏めた。

マニュアルには委員会で作成した計算・集計用の「浄水施設のLCA簡易計算シート」(Fig. 8)をCD-ROMで添付しており、データの収集方法や計算・集計の具体例を紹介している。Fig. 9に簡易計算シートにおける作業の流れの概略を示すが、計算シートは、構成素材・原単位等のデータを入力すればある程度自動で集計が行われるように工夫した。水道施設の計画・設計・運転管理等に携わる関係者がマニュアルや計算シートをそれぞれの目的や対象に合わせて適宜修正・アレンジのうえ利用していた

集計表(元データ)				ライフサイクル		58年		平均
系	大分類	中分類	小分類	エネルギー (MJ/58年)			CO ₂	
				建設	運転	更新		
浄水系	原水	ろ水弁	ろ水弁	344,247	0	0		
			配管・弁類	421,044	0	421,044		
			床排水ポンプ	1,192	60,017	3,576		
			凝集沈殿	344,247	0	0		
	薬品混和池	薬品混和池	攪拌機	8,047	5,761,627	24,142		
			薬品貯留池	0	0	0		
			薬品貯留池の形成	0	0	0		
			薬品貯留池の形成	0	0	0		
			薬品貯留池の形成	0	0	0		
			薬品貯留池の形成	0	0	0		
原水小計				1,118,777	5,821,644	448,762		

Fig. 8 LCA calculation sheet

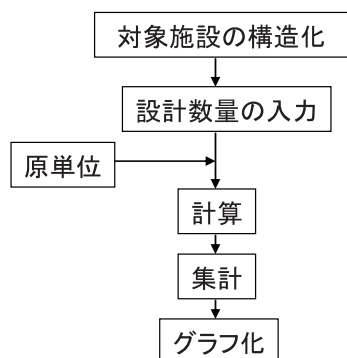


Fig. 9 Work flow of LCA calculation sheet

だくことで、LCA手法を用いた環境評価の実施例が増えることを期待する。

4. ま と め

浄水処理施設のエネルギー消費量やCO₂排出量を事業期間全体で評価した場合、ポンプ動力のほか、薬品や活性炭などに関する負荷も比較的大きな値を示すという結果が得られた。

また、水道分野では実施例の少ないLCAについて、データの収集方法や計算・集計方法の具体的な例を紹介した「浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル」を作成した。

今回試算した設計数量の拾い出し精度や原単位の含む範囲については、継続的な見直し・精査を行うことで、各浄水プロセスの環境負荷をより正確に表すことが可能となる。

LCAの手法を用いた評価は、プロセスのどの部分の負荷がどの程度の大きさであるかの比較が容易であり、プロセスの問題点や改善点を探し出すのに適している。このような定量的かつ長期的な評価を行うことによって、例えばポンプの運転方法や消耗品の使用に関する継続的な改善が図れると考えられる。

同様なLCA実施例が増えることによって、浄水処理施設の省エネルギー化が推進されることを期待する。

謝辞

本研究は平成17年度～平成19年度において厚生労働科学研究費補助金を受けて実施した、「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究」(e-Water IIプロジェクト)の環境評価委員会において実施したものである。検討にご尽力いただいた委員の方々、ならびに浄水施設の設計資料・データ等をご提供くださった水道事業体の皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 財水道技術研究センター：安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究 (e-Water II) 成果報告書集 (2/3) (2008)
- 2) e-Water II 環境評価委員会編：浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル (2008)