

熊本県を対象とした水処理技術システムの評価

EVALUATION OF WATER TREATMENT TECHNOLOGY SYSTEM IN KUMAMOTO PREFECTURE

村野昭人¹・滝川清²・園田吉弘³

Akito MURANO, Kiyoshi TAKIGAWA, Yoshihiro SONODA

1正会員 博士(工学) 東洋大学准教授 理工学部都市環境デザイン学科
(〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

2フェロー 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター
(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

3正会員 NPOみらい有明・不知火(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

To prevent the pollution of enclosed coastal seas, it is necessary not only to purify by on-site technologies but to manage the inflow of water pollutant. In this paper the Life cycle CO₂ emissions are evaluated in case of introducing the water treatment technology system in Kumamoto prefecture.

In the result, in the case of introducing sewage system to the area that population density is 500 (perspn/km²) or more and a septic tank to other areas, CO₂ emissions are 501kt-CO₂ and 18.8kt-CO₂/t-BOD. In the case of introducing sewage system to the area that population density is 1000 (perspn/km²) or more and a septic tank to other areas, CO₂ emissions are 558kt-CO₂ and 21.0kt-CO₂/t-BOD. In the case of introducing a septic tank to all areas, CO₂ emissions are 805kt-CO₂ and 30.1kt-CO₂/t-BOD.

Key Words : Water treatment technology, sewage system, septic tank, LCA

1. 研究の背景と目的

閉鎖系水域の環境を保全するためには、海や湖における浄化を推進するだけでなく、水域に流入する汚濁負荷を適切にマネジメントすることが不可欠である。平成18年度末の日本における汚水処理人口普及率は、東京都の99.1%を始めとして都市部では高い値となっているが、全国平均では82.4%にとどまっている。さらなる整備を進める上では、地球温暖化問題によるCO₂排出制約、人口減少といった社会的動向を踏まえ、処理規模や人口密度といった地域特性に応じた環境負荷削減効果の大きい水処理技術を適用することが求められる。

しかし、下水道システムや浄化槽などの個別の技術を対象として、環境負荷排出量を算出した研究事例は存在する一方で^{1)・2)・3)}、地域特性を考慮して、各地域に適した水処理技術を導入することの効果を実証的に分析した研究例は少ない。

そこで本研究では、ほぼ県全域が近年環境悪化の著しい有明海・八代海に流れ込む河川の集水域となっている熊本県を対象として、流入負荷軽減策の一つとして有機性廃棄物の循環利用を推進するために、水処理技術システムの導入による環境負荷削減効果を定量的に評価することを目的とする。

2. 水処理技術システムの計画・評価のフレーム

水処理技術システムを計画・評価の全体フレームを図-1に示す。まず、排水や有機性汚濁負荷の発生源となるセクターごとに、社会統計情報、衛星情報、環境観測情報の複層的なデータを地理情報システム(GIS)上で統合化して、環境資源のデータベースを構築する。データの精度については、一律の基準は設けず、あくまで本システムを用いる意思決定主体の特性に応じて構築することが重要である。

第二に、政策や規制などの社会技術群として、経済変数の設定、循環施設の規模や立地の設定、土地利用・産業構造の転換、有機廃棄物の分別資源化を取り上げ、社会技術の操作変数を明らかにする。各設定値については、国内における代表値をデフォルト値と設定した上で、システム利用者が地域特性に応じた値を入力できるものとする。

第三に、水処理技術群として、標準活性汚泥法、オゾン処理方式などの下水道技術や、合併処理浄化槽、高度処理浄化槽などの浄化槽技術について、初期・運用時それぞれにおけるコスト・投入エネルギーなどを調査し、水処理技術の生産関数を定式化する。最後に、社会技術の操作関数と水処理技術の

生産関数を組み合わせた技術政策シナリオを設計し、環境資源のGISデータベースに基づいてマクロ・ミクロの環境負荷削減効果や事業効率を評価する。汚濁負荷除去量、事業コストと、長期コストとしてのLCCO₂、それぞれの環境効率を基本指標とした上で、各ステイクホルダーとの協議で具体的な指標を算出し、合意形成に向けた支援ツールとする。

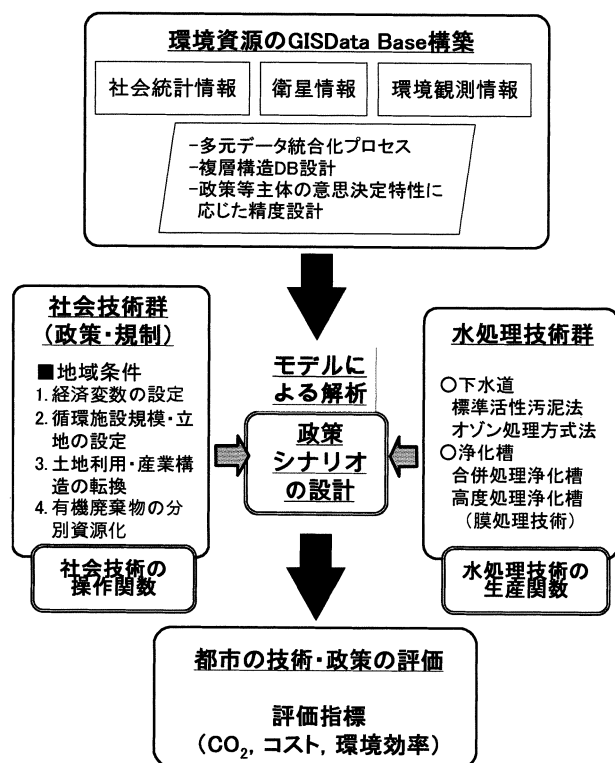


図-1 水処理技術システムの計画・評価のフレーム

究では管渠延長が、処理区域面積に比例すると仮定する。ただし、この仮定では管渠の太さを考慮していない。当然のことながら、太い管渠ほど建設時の資材使用量が増加し、LCCO₂は増大する。管渠の太さを考慮した推計をすることは今後の課題となる。

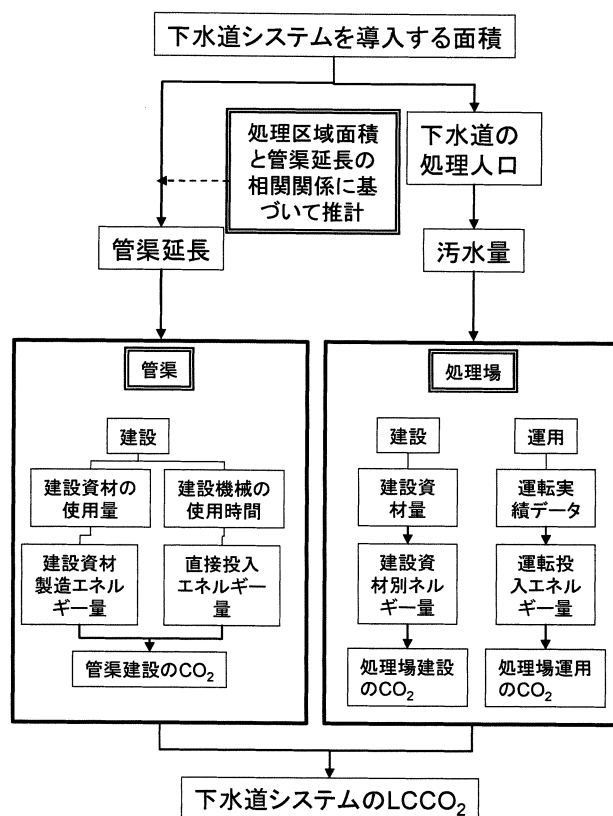


図-2 下水道システムのCO₂排出量算出フロー

3. 水処理技術システムの評価方法

水処理技術システムの導入に伴う環境負荷量を、LCAを用いて評価する。本研究では建設段階と運用段階を対象として、年間のCO₂排出量を算出する。下水道システムのCO₂排出量の算出フローを図-2に、浄化槽のCO₂排出量の算出フローを図-3に示す。評価の対象は、下水道の管渠の建設、処理場の建設、運用段階、浄化槽の設置、使用段階とする。まず、評価対象とする区域を、下水道システムを導入する区域と、浄化槽を導入する区域に区分し、それぞれの面積、人口を求め、水処理技術システムの導入に伴うLCCO₂を算出するための基礎変数とする。

下水道の管渠の建設由来のCO₂排出量を算出するために、管渠延長を推定する式を作成する。下水道統計のデータを基に、管渠延長、単位面積当たりの管渠延長などを被説明変数、人口、人口密度、面積などを説明変数として、様々な組み合わせについて検討した結果、管渠延長と処理区域面積との関係において最も相関が強くなった。その関係をプロットした結果を図-4に示す。この結果に基づき、本研

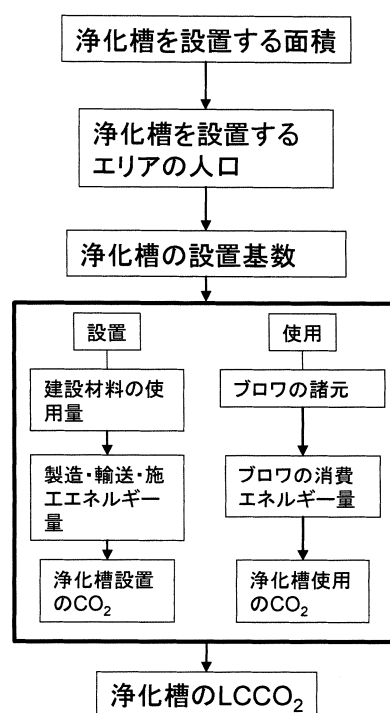


図-3 浄化槽のCO₂排出量算出フロー

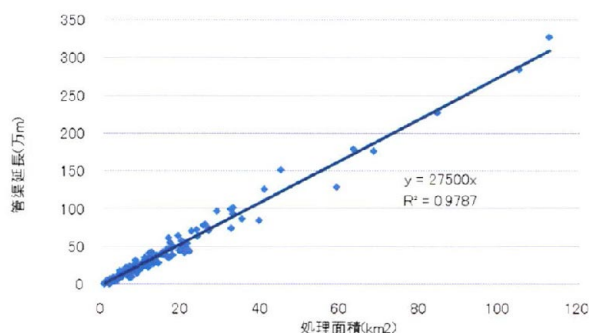


図-4 管渠延長と処理区域面積の関係

次に、下水道管渠の建設段階について、環境省が出しているマニュアル⁴⁾を用いて、水処理技術システムの導入によるコストを算出する。公共下水道については、供用開始後30年以上経過している政令指定都市の下水道施設126箇所の使用実績より式を作成している。下水道の管渠建設費の算出式を式(1)に、下水処理場の建設費の算出式を式(2)に示す。

$$CS_{db} = 7.5 \times L \quad (1)$$

CS_{db} : 下水道管渠建設費(万円)
L: 管渠延長(m)

$$CS_{pb} = 493 \times Q^{0.676} \quad (2)$$

CS_{pb} : 下水処理場建設費(万円)
Q: 日最大汚水量(m^3 /日)

算出した建設費の値を土木工事、機械工事の建設費割合(表-1)を用いて按分し、さらにデフレーターを用いて補正を行う。補正した建設費を耐用年数で除して各々の産業分類に応じた原単位⁵⁾を乗じ、一年当たりの CO_2 排出量を求める。

表-1 下水道の処理場建設・管渠建設の CO_2 算出における設定値

	処理場建設		管渠建設
	土木	機械	土木
費用割合	50%	50%	100%
産業分類	非住宅建築(非木造)	その他の特殊産業用機械	河川・下水道・その他の公共事業
t- CO_2 /万円	0.03	0.03	0.04

下水処理場の運用段階については、使用実績データ¹⁾を基にして、下水処理量当たりの電気使用量、油・ガス系燃料使用量、薬品使用量、汚泥処理量を求め、それらの値に環境負荷原単位を乗じて算出する。

る。

浄化槽の設置段階については、製造・輸送・施工の各プロセスにおけるエネルギー使用量データ³⁾を積み上げた上で、環境負荷原単位を乗じ、耐用年数で除することで一年当たりの CO_2 排出量を算出する。本研究では5人槽の値を採用し、平均世帯人数を3人とする。浄化槽の使用段階については、浄化槽の運転実績データ³⁾を基に、浄化槽の運転に必要な電気使用量の値を算出し、環境負荷原単位を乗じて CO_2 排出量を求める。

以上の方法で求めた各水処理技術システムの $LCCO_2$ の算出結果および、設定値を表-2にまとめる。

表-2 水処理技術システム導入による CO_2 排出量

		値	単位
下水道	管渠建設	3.79	kg- CO_2 /m・year
	処理場建設	191	kg- CO_2 /m ³ ・year
	処理場運用	0.65	kg- CO_2 /m ³
	耐用年数	管渠	50 year
		処理場(土木・建築)	50 year
		処理場(電気設備)	20 year
		処理場(機械設備)	15 year
浄化槽		処理場(個別循環設備)	10 year
	一人一日平均汚水量	225	L/day・person
	設置	1,200	kg- CO_2 /基
	使用	342	kg- CO_2 /基・year
	耐用年数	30	year

水処理技術システムの評価においては、 CO_2 排出量のみに着目するのではなく、システムの導入による便益と比較することが重要である。本研究では、便益として水質改善効果を取り上げ、汚濁負荷除去量当たりの CO_2 排出量を求めることで、各システムの環境効率を評価する。そこで水処理技術システムの運転実績データより汚水1m³あたりの平均BOD汚濁負荷除去量を求める。次に、一人一日当たりの平均汚水量を0.225m³と仮定して、一人当たりの年間BOD汚濁負荷除去量を算出し、評価対象区域の人口を乗じて年間のBOD除去量を算出する。そして、一年当たりの CO_2 排出量を、年間のBOD除去量で除することで、単位汚濁負荷除去量当たりの CO_2 排出量を算出する。汚濁負荷除去量の算出に用いた設定値を表-3に示す。

表-3 汚濁負荷除去能力の設定値

公共下水道 標準活性汚泥法	BOD
除去率	97.35%
流入水平平均濃度(mg/l)	178.3

リン・窒素除去型浄化槽	BOD
除去率	97.03%
流入水平平均濃度(mg/l)	180.5

4. 水処理技術システムの導入による環境負荷発生量の評価

前章で述べた評価方法を用いて、水処理技術システムの導入による CO₂ 排出量を推計した結果、下水道においては管渠建設に伴う CO₂ 排出量が多いことが明らかとなった。また、人口密度が高いほど、また処理面積が大きいほど、下水道の単位汚濁負荷除去量当たりの CO₂ 排出量は減少することが分かった。人口密度が 1000 人/km² の場合には処理面積に関わらず浄化槽よりも小さくなり、500 人/km² の場合には処理面積によって大小関係が変化することが明らかとなった（図-5）。

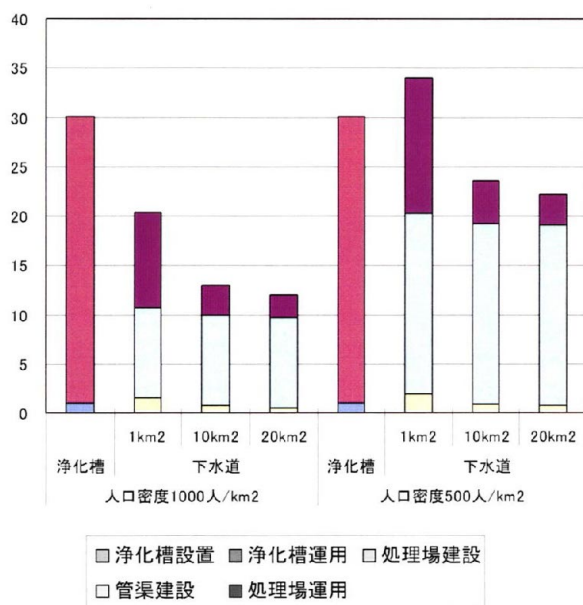


図-5 水処理技術システムの汚濁負荷除去量当たりの CO₂ 排出量 (t-CO₂/t)

次に、熊本県を対象として、人口密度 500 人/km² 以上の自治体のエリアに下水道システム、それ以外の自治体に浄化槽を導入した場合（ケース 1）、年間 501kt-CO₂ の排出となった。システム導入の分岐点を 1000 人/km² 以上とした場合（ケース 2）には、年間 558 kt-CO₂ の排出、すべてのエリアに浄化槽システムを導入した場合（ケース 3）には、年間 805 kt-CO₂ の排出となった（図-6）。さらに、各ケースで汚濁負荷除去量当たりの CO₂ 排出量を算出した結果、ケース 1 で 18.8kt-CO₂/t、ケース 2 で 21.0kt-CO₂/t、ケース 3 で 30.1kt-CO₂/t となった。

本研究で汚濁負荷除去量の算出に用いた設定では、下水道と浄化槽の BOD 除去率や流入水の平均濃度の間に大きな差が無い。そのため、水処理技術システムを導入した際の CO₂ 排出量を比較した結果と汚濁負荷除去量当たりの CO₂ 排出量を比較した結果との間にほとんど違いが見られなかった。

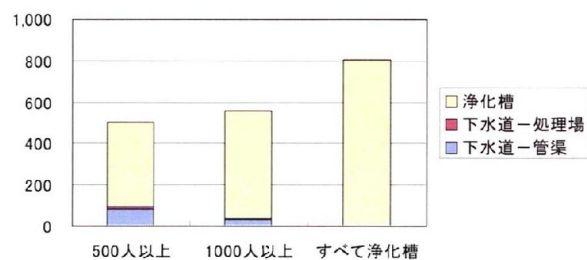


図-6 熊本県沿岸域を対象とした水処理技術システム導入による CO₂ 排出量 (kt-CO₂/year)

最後に、評価対象として、熊本県に加え、福岡県・佐賀県・長崎県を含む九州北部地域とした場合の結果を図-7 に示す。ケース 1 では年間 1347kt-CO₂、ケース 2 では年間 1628 kt-CO₂ の排出、ケース 3 では年間 3441 kt-CO₂ の排出となった。汚濁負荷除去量あたりの CO₂ 排出量を算出した結果、ケース 1 で 11.8kt-CO₂/t、ケース 2 で 14.3kt-CO₂/t、ケース 3 で 30.1kt-CO₂/t となった。熊本県だけを対象とした結果と比べて、ケース 3 と比較した際のケース 1、ケース 2 の排出量が、相対的に少ない結果となった。これは、福岡市、北九州市など、人口密度の高いエリアが多く含まれたことが原因と考えられる。

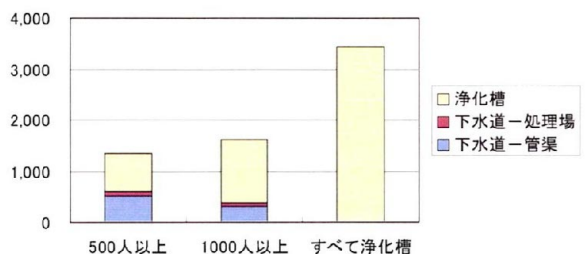


図-7 九州北部地域を対象とした水処理技術システム導入による CO₂ 排出量 (kt-CO₂/year)

5. 結論および今後の課題

本研究では、熊本県を対象として、水処理技術システムの導入による環境負荷削減効果を定量的に評価した。

今後は、本研究で構築した評価方法を援用して、海域に流入する汚濁負荷の軽減および水処理における CO₂ 排出量の削減を図る施策を検討し、循環型水処理技術政策シナリオの環境効率を評価することが求められる。

その際、本研究では、水処理技術の導入政策は自治体ごとに決定されるとの仮定の下、自治体を単位として導入技術を変化させて分析しているが、自治体内の人口密度分布を考慮した、より詳細な分析が必要となる。また、今回の分析では全国の平均値を

用いた設定値が多かったが、より地域に応じた値を用いることで、算出の精度を上げることが求められる。

さらに、①膜処理技術などの最新の技術を含めた技術インベントリの調査対象の拡大、②人口、技術、産業構造等の変化を考慮したシナリオの構築③多様な汚濁負荷指標を一元化した、統合的な汚濁削減性能指標⁶⁾の構築、などが課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 井村秀文，森下兼年，池田秀昭，錢谷賢治，楠田哲也：下水道システムのライフサイクルアセスメント：LCE 及び LC-CO2 による評価，土木学会論文集 No. 552/VII-1, pp75-84, 1996.
- 2) 宮原高志，柏木秀仁：下水浄化センターの LCA における処理水再利用の効果，下水道協会誌 Vol. 43, No. 526, 2006.
- 3) 井村正博，水野雄次：浄化槽およびブロワの省資源化，省エネ化，月間浄化槽 N0380, pp23-29, 2007.
- 4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課 浄化槽推進室，生活排水処理施設整備計画策定マニュアル，2002.
- 5) 国立環境研究所：産業連関表による環境負荷データブック(3EID)，2002.
- 6) 石田整，荒巻俊也，花木啓祐：東京湾流域の下水処理場への排出権取引制度導入効果の推定，土木学会論文集，No. 804/VII-37, pp73-82, 2005.