ディスポーザ対応浄化槽のLCCO₂評価

Life Cycle CO₂ Evaluation for Household Johkasou System with Garbage Disposer

山崎宏史^{1,2}, 鈴木理恵², 蛭江美孝³, 稲森悠平⁴, 西村 修¹

¹東北大学大学院工学研究科 / 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06

²財団法人 茨城県薬剤師会公衆衛生検査センター / 〒310-0034 水戸市緑町3-5-35

³独立行政法人 国立環境研究所 / 〒305-8506 つくば市小野川16-2

⁴福島大学共生システム理工学類 / 〒960-1296 福島市金谷川1

HIROSHI YAMAZAKI^{1,2}, RIE SUZUKI², YOSHITAKA EBIE³,
YUHEI INAMORI⁴, and OSAMU NISHIMURA¹

¹Faculty of Engineering, Tohoku University

/ 6-6-06, Aoba, Aramaki, Aoba, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

²Ibaraki Pharmaceutical Association / 3-5-35 Midori, Mito, Ibaraki, 310-0034, Japan

³National Institute for Environmental Studies / 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506, Japan

⁴Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

/ 1 Kanayagawa, Fukushima, Fukushima, 960-1296, Japan

Abstract

Life cycle CO₂ evaluation of kitchen garbage treatment in a house using Johkasou was conducted to compare the impacts of two scenarios. First one is a present case in which kitchen garbage is incinerated with other domestic waste and treats domestic wastewater in Johkasou, and second case is a simultaneous treatment of domestic wastewater and kitchen garbage in household Johkasou. In the second case, disposer was used for kitchen garbage and newly developed Johkasou for this case was used. Potential contributions of these two cases to CO₂ emission in the processes of waste treatment and domestic wastewater treatment were assessed by LCA. A case of a simultaneous treatment of kitchen garbage and domestic wastewater decreased in transportation amount of domestic waste and net CO₂ emission was reduced by 7.8% (39.9 kg-CO₂ house⁻¹ year⁻¹). Because transportation of domestic waste influences CO₂ emission to a greater degree than in Johkasou sludge transportation, a simultaneous treatment process of kitchen garbage and domestic wastewater can reduce more LCCO₂ when the transportation distance of domestic waste is long.

Keywords: Disposer, Johkasou, Life Cycle Assessment, Environmental Impact

1. はじめに

1997年、京都において開催された地球温暖化防止京都会議の成果をもとに京都議定書が作成され、その中で日本は、2010年までに1990年比で6%の温室効果ガス排出量を削減すると目標を定め、以後、様々な分野で温室効

果ガス排出削減の取り組みがなされてきており、下水道や浄化槽といった排水処理システムにおいても温室効果ガスの排出を削減する必要がある。また、日本における生活排水処理システムの整備が、大都市地域から中山間地域に移行してきている現状を踏まえると、今後は個別分散型の排水処理システムを中心とした温室効果ガス削

減技術の開発が重要である。

デスポーザは、台所の排水口に設置され、生ごみを破碎し排水とともに流し、生ごみを排水処理に供することを可能とする設備で、米国では一般的に広く普及している¹⁾。一方、日本では、旧建設省における総合技術開発プロジェクト「デスポーザによる「生ごみリサイクルシステムの開発」²⁾により、デスポーザ排水と台所排水を併せて排水処理槽で処理した後、下水道等に放流する「デスポーザ排水処理システム」とデスポーザ排水と生活排水を併せて合併処理浄化槽で処理し、公共用水域へ放流する「デスポーザ対応浄化槽」が提案され、以降、建設大臣による認定が開始されている。特に「デスポーザ排水処理システム」は、認定開始以降、生ごみを衛生処理できる利便性が評価され、大都市圏を中心に急速に普及が進んでいる³⁾。また、近年では、下水道地域においてデスポーザ排水を直接下水道へ導入する場合の考え方を示した「デスポーザ導入時における影響判定の考え方」¹⁾が公開されるとともに、浄化槽地域への設置が可能なデスポーザ対応浄化槽の性能評価⁴⁾も開始されており、日本各地においてデスポーザを活用した排水処理システムの導入に関する検討がなされ始めている状況である。

このような社会背景の中で、デスポーザを用いた排水処理システムが、生ごみの衛生処理といった利便性だけでなく、汚水処理設備が本来有している排水の処理性能を維持し、公共用水域への環境保全に寄与するのみならず、環境への総合的な影響を明らかにする必要がある。特にデスポーザを用いた排水処理システムの普及により、生ごみが廃棄物処理から排水処理へ移行することにより、従来、別々に考えられてきた廃棄物処理と排水処理という2種のプロセスの地域全体の環境に及ぼす影響変化が考えられる。豊貞らは既に下水道地域におけるデスポーザ導入前後のCO₂排出量変化を種々の導入形態で評価しており⁵⁻⁷⁾、西村らは、生活排水処理計画を立案する上で、下水道と浄化槽あるいは排水の高度処理化やその規模に対して、LCA評価を実施する重要性を明らかにしている⁸⁾が、デスポーザ対応浄化槽の普及により、地域全体の廃棄物処理と排水処理という2種のプロセスの変化に対する環境への影響について検討された事例はない。

本研究では、上記の点を踏まえ、浄化槽地域の戸建住宅を対象に、生活排水を構造例示型浄化槽⁹⁾で処理し、生ごみを含む全ての生活系ごみをごみ焼却場で処理するケース（以下、「標準処理ケース：Case 1」という。）と

生活排水とともに生ごみをデスポーザ対応浄化槽で処理し、生ごみを除く生活系ごみをごみ焼却場で処理するケース（以下、「デスポーザ対応浄化槽導入ケース：Case 2」という。）を例に、地域全体における廃棄物処理と排水処理の変化に対する環境への影響を明らかにするために、CO₂排出量変化に着目し、LCCO₂を比較定量評価した。また、これらの評価結果から、デスポーザ対応浄化槽の普及による生ごみ処理の廃棄物処理から排水処理への移行が地域全体から発生するCO₂排出量に及ぼす影響を明らかにし、廃棄物処理と排水処理という2種のプロセスの環境影響評価の考え方について明らかにすることを目的として検討を行った。

2. 試算方法

2.1 試算モデルの設定

本研究では、Case 1（標準処理ケース）とCase 2（デスポーザ対応浄化槽導入ケース）におけるLCA試算モデルをFig. 1のとおり定義し、これらの各工程におけるCO₂排出量を明らかにし、比較評価することを目的とした。本研究において試算対象とした排水処理および廃棄物処理における各工程はTable 1に示すとおりである。本研究では、LCA評価に広く用いられている積上げ法と産業連関法を併用した評価手法により、CO₂排出量を指標としたインベントリー分析（LCCO₂評価）を行うこととした。本評価に用いた排水処理工程における構造例示型浄化槽は国土交通大臣が定めた構造方法の浄化槽とし、一方、デスポーザ対応浄化槽は、浄化槽の性能評価を取得し、国土交通大臣の認定を受けている浄化槽とした。また、本研究では両浄化槽とも浄化槽の最小規模である5人槽を対象とした。本研究で比較対象とした両浄化槽の仕様はTable 2に示すとおりである。本評価に用いた生活系ごみの発生量は、環境省より報告された生活系ごみの全国発生総量3,453万t¹⁰⁾を一人あたりに換算した743g/(人・日)とし、浄化槽の人員算定に合わせ、5人/戸とした。また、生ごみ発生量に関しては、地域特性により様々の報告がなされているが⁷⁾、本研究では、「浄化槽の性能評価試験方法」⁴⁾に規定されている250g/(人・日)とし、生活排水およびデスポーザ排水の排水量もそれに準拠し、生活排水量は200l/(人・日)、デスポーザ排水量は5l/(人・日)とした。また、生ごみと生ごみを除いた生活系ごみの含水率をFig. 1に合わせ示した¹¹⁾。本研究では廃棄物の含水率は試算の対象とはしていないが、デスポーザの導入により、含水率

Fig. 1 Scenarios investigated in this study.

Table 1 Simulated Process in this study.

Wastewater Treatment Process	Production/Installation Stage	Johkasou Production, Johkasou Transportation, Johkasou Installation, Disposer Production / Transportation / Installation, Cesspit Cleaner Truck Production, Sludge Treatment Facility Construction, Ash Land filling Construction
	Operation Stage	Johkasou Electric Power (Blower), N ₂ O Output for Wastewater Treatment, Disposer Electric Power, Sludge Transportation Fuel, Sludge Incineration Fuel, Sludge Intermediate Disposal, N ₂ O Output for Sludge Incineration, Sludge Ash Transportation Fuel, Sludge Ash Land Filling
Waste Treatment Process	Production/Installation Stage	Waste Truck Production, Waste Incineration Facility Construction, Waste Ash Transportation Car Production, Waste Ash Land Filling Facility Construction
	Operation Stage	Waste Transportation Fuel, Waste Incineration Fuel, N ₂ O Output for Waste Incineration, Waste Ash Transportation Fuel, Waste Ash Land Filling

Table 2 Design Specific data of Johkasou.

	Johkasou of Structural Standards	Johkasou with Disposer
Designed Number of Users	5 Person	5 Person
Treatment Process	Anaerobic filter contact aeration process	Flow equalization type solid-liquid separation anaerobic filter fluidized bed with circulation process
Effective Volume	3.014 m ³	3.067 m ³
Designed Influent Water Volume	200 l Pe ⁻¹ Day ⁻¹	205 l Pe ⁻¹ Day ⁻¹ (Disposer Wastewater : 5 l Pe ⁻¹ Day ⁻¹)
Designed Influent BOD Concentration	200 mg l ⁻¹	330 mg l ⁻¹
Designed Effluent BOD Concentration	20 mg l ⁻¹	15 mg l ⁻¹
Amount of Designed Garbage	—	250 g Pe ⁻¹ Day ⁻¹
Designed Amount of Sludge Discharged	1.6 m ³ Year ⁻¹	2.0 m ³ Year ⁻¹
Amount of Electricity Used (Blower)	420.48 kWh Year ⁻¹ (Electric Volume 60 W, Power Factor 0.8)	420.48 kWh Year ⁻¹ (Electric Volume 60 W, Power Factor 0.8)
Amount of Disinfectant	2030 g Year ⁻¹	2030 g Year ⁻¹
Operation Process for Disposer	—	Manually Water Fed
Amount of Electricity Used (Disposer)	—	300 W
Weight of Disposer Body	—	8.8 kg

の高い生ごみが廃棄物処理から排水処理に移動することにより、生活系ごみの焼却に伴う助燃料の削減効果も期待できると考えられる。

2.2 LCCO₂評価方法

Fig. 1で定義したCase 1（標準処理ケース）とCase 2（デイスポーザ対応浄化槽導入ケース）の各モデルにおいて、排水処理と廃棄物処理における製造・施工段階と運用段階の各工程におけるCO₂排出量を試算し、全体のLCCO₂を算出し比較評価を行った。なお、各工程からの製品廃棄段階については、建設物や建築設備の廃棄段階における環境負荷のライフサイクル全体に占める割合が非常に小さいとの報告がなされている¹²⁾ ため、本試算から除外した。各工程の試算方法を以下に示す。

1) 廃棄物処理工程

生活系ごみの輸送は、使用車両2tパッカー車、燃費3 km/lとした。製造・施工段階における車両製造にかかわるCO₂排出量は走行時に発生するCO₂排出量の12.9%として求めた⁵⁾。また、運用段階は、生活系ごみの輸送距離を下水道地域における文献値⁵⁾ から30kmを基準点とし、車両の軽油消費量から走行時のCO₂排出量を求

め、これと維持管理にかかるCO₂発生量（走行時の1.63%）の合計を運用段階のCO₂発生量原単位とした。また、浄化槽地域では住宅密集度が低く住宅間の距離も長いことが考えられたため、本研究では、生活系ごみの輸送距離を10kmから50kmまで変化させた場合のLCCO₂についても併せて検討した。

生活系ごみの焼却、埋立の製造・施工段階は、環境省による平成14年度の一般廃棄物処理事業実態調査の建設改良費報告値¹³⁾ を一般廃棄物の総排出量で除して、単位ごみ量当たりの建設改良費を求め、これに産業連関表基準の「その他土木建設」のCO₂排出量原単位を乗じて求めた⁷⁾。また、運用段階は、ごみ焼却における電力、助燃料消費にかかるCO₂排出量を求めた。また、地球温暖化への影響評価指標として生活系ごみ焼却によるカーボン由来ではないN₂Oの影響と最終処分場の延命効果は考慮することとし¹⁷⁾、これらの評価用原単位をTable 3およびTable 4に示した。また、N₂Oに関しては、Table 4に示す地球温暖化係数を基にCO₂ベースの負荷量に換算した。なお、生活系ごみ焼却によるCH₄の影響については、排出係数、地球温暖化係数ともにN₂O、CO₂と比較して十分に影響が小さいことから¹⁷⁾、試算対象外とした。そのため、ごみ焼却時の運用段階はCO₂とごみ焼却時の

N₂O発生量（CO₂換算値）の合計値とした。

ごみ焼却灰の輸送は、使用車両10tパッカー車、燃費3.3km/lとした。製造・施工段階における車両製造にかかわるCO₂排出量は走行時に発生するCO₂排出量の12.9%として求めた⁵⁾。また、運用段階は、焼却灰の輸送距離を文献値から20kmと設定し、車両の軽油消費量から走行時のCO₂排出量を求め、これと維持管理にかかるCO₂発生量（走行時の1.63%）の合計を運用段階のCO₂発生量原単位とした。また、焼却灰輸送距離についてはLCCO₂評価結果への影響が微小であるという報告がなされているため⁶⁾、設定値による試算のみとした。

最終処分場の延命効果については、ディスポーザによって削減されるごみ量から焼却後の埋立量を求め、Table 4の埋立容積あたりの建設費、CO₂発生量原単位から算出

Table 3 Standard Unit for Estimation.

Item	Standard Unit
Others Civil Construction ¹⁴⁾	3818.07 kg-CO ₂ Million yen ⁻¹
Waste Treatment (Public) ¹⁴⁾	2305.16 kg-CO ₂ Million yen ⁻¹
Processing (Pump・Blower) ¹⁵⁾	0.4 kg-CO ₂ kg ⁻¹
Processing of Injection ¹⁶⁾	0.450 kg-CO ₂ kg ⁻¹
Electric Power ¹⁷⁾	0.368 kg-CO ₂ kWh ⁻¹
Water ¹⁸⁾	0.279 kg-CO ₂ m ⁻³
Soda Industry Product [*]	0.824 kg-CO ₂ g ⁻¹
Diesel ¹⁴⁾	2.644 kg-CO ₂ l ⁻¹

※ Input/Output Table

Table 4 Standard Unit for N₂O Output/Construction of Final Disposal Site.

Item	Standard Unit
N ₂ O Global Warming Potential ¹⁷⁾	310
N ₂ O Output Coefficient for Incineration of Waste ¹⁷⁾	0.0565 kg-N ₂ O t ⁻¹
N ₂ O Output Coefficient for Wastewater Treatment System ¹⁷⁾ (Mainly Johkasou)	0.026 kg-N ₂ O Pe ⁻¹
N ₂ O Output Coefficient for Incineration of Sludge ¹⁷⁾	0.645 kg-N ₂ O t ⁻¹ *
CO ₂ Output for Construction of Final Disposal Site ²¹⁾	4.668 kg-CO ₂ Thousand yen ⁻¹
Cost of Construction for Final Disposal Site / Land Filling Volume ⁷⁾	10,000 yen m ⁻³

※ Sludge Cake (ton)

した。ごみ焼却減容率⁵⁾は0.15、覆土量¹⁾は0.17m³/埋立m³とした。以上より算定した廃棄物処理工程のCO₂排出量原単位をTable 5に示した。

2) 排水処理工程

排水処理工程における製造・施工段階のCO₂排出量は、本研究で比較対象とした構造例示型浄化槽とディスポーザ対応浄化槽における材料調達段階、加工段階、輸送段階、施工段階の合計とした。材料調達段階は、構造例示型浄化槽とディスポーザ対応浄化槽に使用されている材料毎の重量に、産業連関表基準の原単位を乗じ、部位毎の耐用年数（浄化槽本体：30年、プロワ：12年）で除して、1年間に排出される材料調達段階のCO₂排出量を求めた。各浄化槽の主要材料名、材料別重量と試算に使用したCO₂排出量原単位をTable 6に示した。ディスポーザ部については既報の数値を採用した⁶⁾。加工段階については、CO₂排出量原単位の報告値が非常に少ないため、ディスポーザおよび浄化槽本体を対象とし、ディスポーザ本体はポンプ・プロワの加工原単位報告値を使用し、浄化槽本体はインジェクション成型法において製作するための原単位を使用し、材料調達段階と同様、耐用年数で除して1年あたりのCO₂排出量を求めた。輸送段階は、使用車両を10t車、車両1台あたり浄化槽6基積載、輸送距離を500kmとして²⁰⁾、各浄化槽を製造拠点から倉庫まで輸送する際に使用する燃料消費量に基づき試算したCO₂排出量を、各耐用年数で除して求めた。ディスポーザ部については既報の数値を採用した⁵⁾。施工段階は、施工機械を使用する土木コンクリート工事のみを算定対象とし、各浄化槽の土木コンクリート工事費用に、産業連関表基準¹⁴⁾の「その他土木建設」のCO₂発生量原単位（Table 3）を乗じて求めた。

運用段階のCO₂排出量は、各浄化槽の電力・薬剤・水使用と、汚泥輸送・汚泥処理の合計とした。各浄化槽に

Table 5 CO₂ Output Standard Unit for Waste Treatment Process.

Item	CO ₂ Output Standard Unit (kg-CO ₂ t ⁻¹)	
	Construction/ Installation Stage	Operation Stage
Transportation	2.62	20.67
Incineration	52.69	97.52
Ash Transportation	0.03	0.24
Land Filling	Including Incineration	2.45

Table 6 CO₂ emission rate and Johkasou material weight.

Main Material	CO ₂ emission rate on weight basis* (kg-CO ₂ kg ⁻¹)	Johkasou material weight (kg reactor ⁻¹)	
		Johkasou of Structural Standards	Johkasou with Disposer
Unsaturated Polyester	1.31	180	240
Resins of Polypropylene	1.10	36	51.5
Resins of Polyvinyl Chloride	0.87	10	32
Others Steel Products	1.68	11.5	13.5
Others Synthetic Resins Plastics	1.35	19.5	20

※ Input/Output Table

において排水処理に伴い発生するCO₂排出量は、カーボンニュートラルとして大気中のCO₂を増加させないことから試算対象外としたが、排水処理に伴い発生するN₂Oの影響については考慮することとし、評価用原単位をTable 4に示した。なお、CH₄の影響については、廃棄物処理工程と同様にN₂O、CO₂と比較して十分に影響が小さいことから¹⁷⁾、試算対象外とした。なお、本研究における排水処理に係わる評価用原単位は、Table 3およびTable 4で示した排水処理水量当たりの原単位を用いているため、本研究では、排水処理に係わる負荷量ではなく、処理水量を用いて試算した。電力・薬剤・水使用によるCO₂排出量については、Table 2に示した各浄化槽およびデイスポーザの消費電力量、薬剤使用量とFig. 1に示したデイスポーザへの供給水量に、Table 3に示した各CO₂排出量原単位を乗じて求めた。浄化槽から発生する汚泥の輸送工程から排出されるCO₂排出量は、文献値から使用車両をバキューム車とし、そのバキューム車に係わる燃費を4.1l/件、走行距離を16.1km/件²⁰⁾を基準としたが、廃棄物処理工程と同様、汚泥の輸送距離を10kmから50kmまで変化した場合のLCCO₂についても併せてその影響を比較評価した。汚泥処理については、下水道統計²¹⁾を基準に算出した汚泥処理費にTable 3に示した廃棄物処理（公営）の金額当りの原単位を乗じて年間のCO₂排出量を求めるとともに¹⁷⁾、汚泥焼却に供する汚泥ケーキの含水率78%²²⁾とし、廃棄物焼却と同様、汚泥焼却に伴い発生するN₂Oの影響を考慮することとした。

3. 結果と考察

3.1 排水処理工程におけるLCCO₂評価

本研究における排水処理工程において、比較評価対象とした構造例型浄化槽とデイスポーザ対応浄化槽の製

造・施工から運用までの算定段階別LCCO₂評価結果はFig. 2に示すとおりである。ほぼ全ての工程において、デイスポーザ対応浄化槽の方がデイスポーザの導入における負荷増加により、構造例型浄化槽におけるCO₂排出量を上回る結果となり、排水処理工程合計を比較すると、約7.4%のCO₂排出量が増加する結果となった。この排水処理工程におけるCO₂排出量を各工程別に比較すると、構造例型浄化槽およびデイスポーザ対応浄化槽ともに同様な傾向にあり、排水処理プロセスにおいては、製造・施工段階よりも運用段階の影響が約6～7倍大きいことが明らかとなった。製造・施工段階では、各浄化槽における浄化槽製造段階および浄化槽施工段階のCO₂排出量が同様に大きく、これらのCO₂排出量は、浄化槽容量にほぼ比例する結果となった。これは浄化槽製造段階においては、Table 6に示される各部材のうち、浄化槽駆体および仕切板などの製造に用いられる不飽和樹脂ポリエステル製の製造工程におけるCO₂排出量が浄化槽製造段階の約70%を占めるためであり、その他の内部部材の変更は、浄化槽製造全体からのCO₂排出量に大きな影響を及ぼさないためであると考えられた。すなわち、浄化槽製造段階から排出されるCO₂量は、主に浄化槽容量に比例し、その浄化槽の処理方式はCO₂排出量に大きな影響を及ぼさないことが明らかとなった。そのため、製造・施工段階においては、浄化槽本来の余剰汚泥貯留能力や浄化能力といった処理性能を確保しつつ、浄化槽をよりコンパクト化する技術開発を行うことにより、CO₂排出量の削減が可能であることが明らかとなった。また、本研究では、浄化槽輸送段階における輸送トラックに積載可能な浄化槽を一定として試算したが、浄化槽のコンパクト化の促進により、輸送トラックへの浄化槽積載台数を増加させることもCO₂排出量削減に有効であると考えられた。

Fig. 2 Comparative analysis of LCCO₂ in wastewater treatment process.

□ Johkasou of structural standard
■ Johkasou with disposer

運用段階においては、各浄化槽とも電力使用が運用段階小計におけるCO₂排出量の約60%以上を占めており、排水処理工程から発生するCO₂の排出量削減には、プロワの省電力化が最も有効な手段であることが明らかとなった。このプロワの省電力化のためには、プロワ本体の効率化による省電力化のみならず、浄化槽本体においても排水の生物処理に必要な酸素溶解効率の上昇やばっ気槽内の旋回流速の上昇などの対策も有効であると考えられた。一方、運用段階における排水処理工程や廃棄物処理工程に伴うN₂O発生量が運用段階小計におけるCO₂排出量の約30%以上を占めている結果となり、排水処理工程から発生するN₂O発生抑制対策も重要課題であることが明らかとなった。排水処理工程に伴うN₂O発生抑制対策は、今後も重要な技術開発テーマであるが、プロワ供給風量の増加など、他工程からのCO₂排出量増加を伴わない手法で対策を実施することが重要である。また、污泥焼却に伴い発生するN₂Oは、高温焼却炉の適正導入²³⁾などにより削減することが可能であると考えられている。

3. 2 標準処理ケースとディスプレイ対応浄化槽導入ケースにおける各工程別LCCO₂評価

本研究で比較評価対象としたCase 1(標準処理ケース)とCase 2(ディスプレイ対応浄化槽導入ケース)における各工程別のLCCO₂評価の結果は、それぞれFig. 3、Fig. 4に示すとおりである。Case 1では、全工程から排出されるCO₂排出量(510.8kg-CO₂/(戸・年))に対して、排水処理工程および廃棄物処理工程のそれぞれの工程からのCO₂排出量はほぼ同等で、排水処理工程は全工程の

Fig. 3 LCCO₂ in each process in case 1.

▨ Production/Installation Stage
▤ Electric Power, Water, Disinfectant, Fuel
▧ Transportation Fuel (Diesel)
□ Sludge Intermediate Disposal
▩ N₂O
■ Subtotal
■ Total

Fig. 4 LCCO₂ in each process in case 2.

▨ Production/Installation Stage
▤ Electric Power, Water, Disinfectant, Fuel
▧ Transportation Fuel (Diesel)
□ Sludge Intermediate Disposal
▩ N₂O
■ Subtotal
■ Total

53% (271.7kg-CO₂/(戸・年))、廃棄物処理工程は全工程の47% (239.1kg-CO₂/(戸・年))であった。一方、Case 2では、全工程から排出されるCO₂排出量(470.9kg-CO₂/(戸・年))に対して、排水処理工程からのCO₂排出量は増大し、廃棄物処理工程からのCO₂排出量は減少するために、排水処理工程は、全工程の62% (291.9kg-CO₂/(戸・年))、廃棄物処理工程は全工程の38% (179.0kg-CO₂/(戸・年))と変化した。このことから、ディスプレイ対応浄化槽の導入により、CO₂排出割合が廃棄物処理工程から排水処理工程へ大きく変化することが明らか

かとなった。また、Case 1およびCase 2における排水処理工程、廃棄物処理工程を各工程別に比較すると、Case 1とCase 2ともに同様な傾向にあり、排水処理工程では排水処理の運用段階におけるCO₂排出量が最も大きく、また、廃棄物処理工程においては、廃棄物焼却の運用段階におけるCO₂排出量が最も大きい結果となった。Case 1とCase 2のLCCO₂評価を各工程別に比較した結果はFig. 5に示すとおりである。Fig. 5では、Case 1を基準に、Case 2において、CO₂排出量が増加する量をプラスに、また、CO₂排出量が減少する量をマイナスとして示している。このFig. 5の結果から、デスポーザ対応浄化槽の導入によりごみ輸送、ごみ焼却に代表される廃棄物処理工程から生ごみ処理に伴い発生していた分のCO₂排出量が55.1kg-CO₂/(戸・年)と大きく減少し、一方、生ごみを排水処理工程で処理する分のCO₂排出量が20.2kg-CO₂/(戸・年)と生ごみの廃棄物処理に伴い発生していた分のCO₂排出量の37%しか増加しない結果となった。また、これらの差分により、生ごみを発生原位置で減量化させるCase 2ではCO₂排出量が削減されることが明らかとなり、Case 1と比較して、Case 2において、CO₂排出量が7.8%削減(-39.9kg-CO₂/(戸・年))される結果となった。

Fig. 5 The balance of LCCO₂ between cases 1 and 2.

3. 3 生活系ごみ輸送距離および汚泥輸送距離が LCCO₂評価に及ぼす影響

浄化槽設置地域は住宅密集度が低く住宅間の距離が長いと考えられるため、生活系ごみの輸送距離を10kmから50kmまで変化させた場合および浄化槽から発生する汚泥の輸送距離を10kmから50kmまで変化させた場合のCase 1とCase 2におけるLCCO₂評価結果について比較検討を行った。汚泥輸送距離を基準点である16.1kmで一定とし、生活系ごみの輸送距離を10kmから50kmまで変化させた場合のLCCO₂の評価比較結果はFig. 6に示すとおりである。両ケースにおいて、排水処理工程、廃棄物処理工程全体のLCCO₂は、生活系ごみの輸送距離に対して一次の相関を示し、Case 1(標準処理ケース)では、生活系ごみの輸送距離1kmあたり1.05kg-CO₂/(戸・年)となり、Case 2(デスポーザ対応浄化槽導入ケース)では、生活系ごみの輸送距離1kmあたり0.70kg-CO₂/(戸・年)となった。この結果から、生活系ごみ輸送距離1kmあたり0.35kg-CO₂/(戸・年)の差が生じることになり、生活系ごみの輸送距離が長い程、CO₂排出量の差が大きくなっていくことが明らかとなった。すなわち、デスポーザ対応浄化槽の導入は、住宅密集度が低い地域ほど、より導入の効果が顕著になることが明らかとなった。一方、生活系ごみの輸送距離を基準点である30kmで一定とし、浄化槽から発生する汚泥の輸送距離を10kmから50kmまで変化させた場合のLCCO₂の評価比較結果はFig. 7に示すとおりである。両ケースにおいて、汚泥の輸送距離に対して、排水処理工程、廃棄物処理工程全体のLCCO₂は一次の相関を示す結果となったが、Case 1(標準処理ケース)では、汚泥の輸送距離1kmあたり0.67kg-CO₂/(戸・年)となり、Case 2(デスポーザ対応浄化槽導入ケース)においても、汚泥の輸送距離1kmあたり0.67kg-CO₂/(戸・年)と同じ結果となった。これらの結果は、浄化槽からの汚泥引き抜きおよび汚泥輸送が1回/年であるため、排水処理工程、廃棄物処理工程全体のLCCO₂に対して大きな影響を及ぼさないことを示している。これらの結果から、Case 1と比較して、Case 2では、生活系生ごみを発生原位置で減量化させ、かつ、原位置で生ごみを処理した結果発生する汚泥を1年間貯留できることから、浄化槽から発生する汚泥の輸送距離が排水処理工程、廃棄物処理工程全体のLCCO₂に及ぼす影響は小さく、一方、生活系ごみの輸送距離は、排水処理工程、廃棄物処理工程全体のLCCO₂に及ぼす影響は大きいことが明らかとなった。また、そ

Fig. 6 Effect of Domestic Waste Transportation Distance on LCCO₂.
○ Case 1 ● Case 2

Fig. 7 Effect of Sludge Transportation Distance on LCCO₂.
○ Case 1 ● Case 2

の差は住宅密集度が低い地域ほど、導入の効果が顕著になることが明らかとなった。

本研究では、構造例示型浄化槽とデスポーザ対応浄化槽という2種の浄化槽を例に、デスポーザ対応浄化槽の導入による生ごみの廃棄物処理から排水処理への移行が地域全体の環境に及ぼす影響を明らかにするために、CO₂排出量変化に着目し、LCCO₂を比較定量評価することにより、廃棄物処理と排水処理という2種のプロセスの環境影響評価の考え方について明らかとした。本研究における試算では、浄化槽を設置する各地域における処理規模、実使用人員、排水の高度処理、地域特性に応じた生ごみ量、デスポーザ対応浄化槽の面整備による生

活系ごみの収集回数削減効果などは検討対象とはしていないが、温室効果ガスの削減には、本研究で明らかとした個別分散型排水処理システムを中心とした排水処理工程からの温室効果ガスの削減を図るとともに、地域全体の環境影響を踏まえた対象地域の選定が重要である。

4. まとめ

浄化槽地域の戸建住宅に、生活排水を構造例示型浄化槽で処理し、全ての生活系ごみを焼却する標準処理ケースと生活排水とともに生ごみをデスポーザ対応浄化槽で処理し、生ごみを除く生活系ごみを焼却するデスポーザ対応浄化槽導入ケースを例に、地域全体の廃棄物処理と排水処理に係わる環境変化をLCCO₂として比較定量評価した。

本報で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- ①排水処理プロセスにおいては、製造・施工段階よりも運用段階の影響が約6～7倍大きいことが明らかとなったため、製造・施工段階より運用段階におけるCO₂削減、すなわち、プロワの少電力化およびN₂Oの発生抑制対策が環境影響上、効果的であることが明らかとなった。
- ②標準処理ケースおよびデスポーザ対応浄化槽導入ケースにおける全体のLCCO₂評価を比較した結果、デスポーザ対応浄化槽の導入により生ごみ処理に伴い発生していた分のCO₂排出量が大きく減少し、一方、生ごみを排水処理工程で処理する分のCO₂排出量は、生ごみの廃棄物処理に伴い発生していた分のCO₂排出量の37%しか増加しない結果となった。また、これらの差分により、生活系生ごみを発生原位置で減量化させるデスポーザ対応浄化槽導入ケースではCO₂排出量が削減されることがわかり、CO₂排出量は7.8%削減（-39.9kg-CO₂/（戸・年））される結果となった。
- ③生活系ごみの輸送距離と浄化槽から発生する汚泥の輸送距離を変化させた場合のLCCO₂について、比較評価を行った結果、浄化槽から発生する汚泥の輸送距離がLCCO₂に及ぼす影響は小さく、一方、生活系ごみの輸送距離がLCCO₂に及ぼす影響は大きくなる結果となった。また、その差は住宅密集度が低い地域ほど、導入の効果が顕著になることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土技術政策総合研究所下水道研究部：デイスポージャー導入時の影響判定の考え方 (2005)
- 2) 財団法人建築センター：デイスポージャーによる生ごみリサイクルシステムの開発 (1999)
- 3) 財団法人茨城県薬剤師会公衆衛生検査センターホームページ：http://www.ibaraki-kensa.or.jp/dis/
- 4) 財団法人建築センター：浄化槽の性能評価試験方法 (2004)
- 5) 豊貞佳奈子、清水康利、大塚雅之：集合住宅用デイスポージャシステムの環境影響評価 その1 LCCO₂、LCE分析用原単位の設定、日本建築学会環境系論文集、No.574、pp.43-50 (2003)
- 6) 豊貞佳奈子、清水康利、大塚雅之：集合住宅用デイスポージャシステムの環境影響評価 その2 デイスポージャー導入によるCO₂発生量変化、日本建築学会環境系論文集、No.585、pp.47-53 (2004)
- 7) 清水康利、山海敏弘、豊貞佳奈子、北口かおり、大塚雅之：家庭用厨芥処理機器のLCCO₂評価、日本建築学会環境系論文集、Vol.73、No.627 (2008)
- 8) 西村和之、渡辺孝雄、木曾祥秋：合併処理浄化槽の整備におけるライフサイクルアセスメント的評価の応用、浄化槽研究、Vol.16、No.5 (2004)
- 9) 財団法人建築センター：浄化槽の構造基準・同解説 (2006)
- 10) 環境省：平成17年版循環型社会白書 (2005)
- 11) 東京都清掃研究所：平成7年度東京都清掃研究所研究報告 (1997)
- 12) 井村秀文：建設のLCA、株式会社オーム社 (2001)
- 13) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果、環境省ホームページ：http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html
- 14) 森口祐一、南斎規介：産業連関表によるエネルギー・二酸化炭素排出原単位'95 (β版)、京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー環境学分野ホームページ：http://aerosol.energy.kyoto-u.ac.jp/lca/l-Otable/public.html
- 15) 日本下水道事業団：下水道の効率化・高度化を目的とした微生物の活用に関する調査 (先導的技術開発プロジェクト) 下水道システムにおけるLCAの適用及び原単位算出手法に関する調査、日本下水道事業団技術開発部報、pp.129-137 (2001)
- 16) 化学経済研究所：基礎素材のエネルギー解析調査報告書、pp.135-136 (1993)
- 17) 環境省・経済産業省：温室効果ガス排出算定・報告マニュアル (2007)
- 18) ㈱空気調和・衛生工学会 地球環境委員会：委員会成果報告書 建築設備と地球環境に関する研究 (1999)
- 19) ㈱日本建築学会：建物のLCA指針 (案) (2000)
- 20) 財団法人環境整備教育センター：平成13年度浄化槽のライフサイクルアセスメントに関する調査報告書 (2002)
- 21) ㈱日本下水道協会：平成14年度版下水道統計要覧、第59号の3 (2002)
- 22) ㈱日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説後編 (1994)
- 23) 平出亮輔、中島英一郎、川嶋幸徳、中島智史、鈴木善三：下水道施設から排出される地球温暖化物質 (CH₄、N₂O) 排出インベントリーの算定と排出抑制技術、下水道協会誌、No.508 (2005)

(受付 2008.2.21)

(受理 2008.6.24)