

## 8. 下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦  
主任研究官 平山 孝浩  
研 究 官 山縣 弘樹  
研 究 官 平出 亮輔  
研 究 員 山中 大輔

### 1. はじめに

地球温暖化対策の推進が必要とされている中で、下水道に関連する温室効果ガス排出原単位等の基礎情報<sup>1)</sup>が十分に整備されているとはいえない状況にある。特に、高度処理の推進の一方で、生物学的窒素除去プロセスからの $N_2O$ 等の温室効果ガス発生量の増加の可能性が指摘されている<sup>2, 3)</sup>。そのため、下水処理全般にわたる温室効果ガスの排出に関する原単位を整備するとともに、高度処理と地球温暖化対策の両立にむけた検討を進める必要がある。さらに、地球温暖化対策の視点を下水道システムの評価に導入するための検討を行う必要がある。

本年度は、水処理過程から発生する温室効果ガスの1つである $N_2O$ を対象に、SRTと $N_2O$ 排出量の関係を把握するためベンチスケールの実験装置を設置し運転状況の確認を行った。また、汚泥の有効利用に伴う温室効果ガス排出量を把握するための基礎資料として、汚泥処理プロセスにおける温室効果ガス排出量を算出するためライフサイクルインベントリー（以下、LCI）分析を行った。

### 2. SRTが $N_2O$ 排出量に及ぼす影響

水処理過程での $N_2O$ の排出特性を把握することを目的として、生下水を原水とするベンチスケールの実験装置を用い、硝化過程から発生する $N_2O$ とSRTとの関係を24時間調査するための実験準備を行った。

#### 1) 実験方法

実験では、湖北総合実験施設内の実験装置を使用した（写真-1，図-1）。実験装置は、6本の塩ビ管を反応槽とし完全覆蓋化しており、それぞれを繋ぎ合わせ、後に最終沈殿池（以下、終沈と記載する）を設置した。容量は、反応槽の合計が39.6L、終沈が13.2Lであり、同系のものが2系列ある。第1槽から第6槽までの発生ガス、流入水および処理水は1



写真-1 完全覆蓋型実験装置

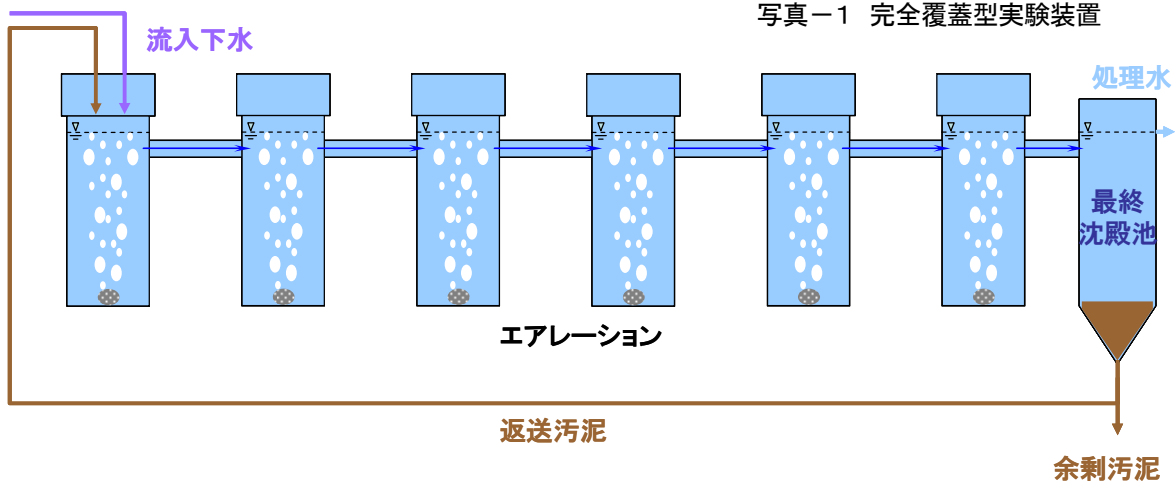


図-1 完全覆蓋型実験装置簡易図

時間毎に各1分ずつ採取し24時間コンポジットサンプルとすることが可能である。反応槽の周囲には恒温槽が設置されており、実験中の槽内は恒温に保持される。

実験装置への流入水は、湖北総合実験施設内にある他実験施設のパイロットプラント（容量10m<sup>3</sup>）の最初沈殿池（以下、初沈と記載する）で一次処理したものを使用した。なお、湖北総合実験施設は茨城県霞ヶ浦流域下水道事務所内にあり、浄化センターの沈砂池後の生水を用いた。

## 2) 運転状況

実験装置は、標準活性汚泥法（以下、標準法と記載する）を基本として運転を行った。槽内MLSSを2,000～3,000mg/L程度に調整し、余剰汚泥引抜量を1.2～2.1L/dayとしてSRTを変化させた。各槽のエアレーション量を2L/min（汚泥を攪拌するための最低風量）、流入水量を0.15～0.2L/minと設定した。今後はSRTと硝化状態およびN<sub>2</sub>O排出量の関係を把握するために実験を行う予定である。また、実施設についてもN<sub>2</sub>O排出量の24時間調査を実施し、実験結果と比較することで水処理過程からのN<sub>2</sub>O排出特性を把握し、排出係数の算出について検討を行う。

## 3. 汚泥処理プロセスにおけるLCI分析のケーススタディ

汚泥の有効利用に伴う温室効果ガス排出量を把握するため、汚泥処理プロセスに関するLCI分析を行った。汚泥処理・有効利用について2つの段階に大別すると、下水処理過程から生成する汚泥から汚泥製品を生成する段階と汚泥製品の利用段階がある。本年度は、汚泥の有効利用に係る前段として、汚泥製品生産段階に係る温室効果ガス排出量を算出した。

### 1) 分析方法

温室効果ガス排出量の算定には、「積み上げ法」を用いた。「積み上げ法」とは、膨大な機器や設備から構成される下水道システムをカテゴリー毎に分類し、さらにその構成要素を原単位のレベルまで細分化し、それに環境負荷原単位を乗じることにより最終的にシステム全体の環境負荷量を計算する手法である。基本的な原単位としては、(社)日本建築学会の原単位<sup>4)</sup>を用いた。

分析対象は、K浄化センター（表-1）において、炭化方式及び焼却溶融方式により汚泥製品を生産する段階（表-2）とした。今回入手した資料の制約等により、汚泥処理系のうち脱水ケーキ受け入れから汚泥製品生産までの工程について算出することとした。表-3にユーティリティ使用に関するCO<sub>2</sub>排出原単位、また、表-4に処理プロセスからの排出に関するCO<sub>2</sub>排出原単位<sup>5)</sup>をそれぞれ示す。

表-1 K浄化センターの概要

水処理方式	凝集剤添加活性汚泥循環変法+砂ろ過法 凝集剤添加多段硝化脱窒法+砂ろ過法
放流水質(目標値) (mg/L)	BOD:5、COD:10、SS:6、T-N:10、T-P:0.5
現有処理能力 (m <sup>3</sup> /日)	216,500
処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	199,633

※ 平成17年度末時点

### 2) 分析結果

各汚泥製品生産システムを対象にLCI分析を用いてライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(LC-CO<sub>2</sub>)を算出した結果を表-5に示す。異なる各汚泥製品生産システムにおけるLC-CO<sub>2</sub>構成比の比較を図-2に示す。これらの図表より、以下の知見を得た。

- ① 負荷量合計を汚泥製品生産システム間で比較すると、焼却溶融炉A>焼却溶融炉B

表-2 LCI分析対象の概要

	汚泥炭化炉	汚泥焼却溶融炉A	汚泥焼却溶融炉B
処理能力 (tケーキ/日)	20	120	120
運転開始年	2001	1996	2005
投入汚泥	高分子系汚泥	石灰系汚泥 + 高分子系汚泥	高分子系汚泥
処理方式	外熱式ロータリキルン	流動床式熱分解炉 + 立型旋回流式溶融炉	循環流動層熱分解炉 + 立型旋回流式溶融炉

表-3 CO<sub>2</sub>排出原単位

(ユーティリティ使用)

項目	CO <sub>2</sub> 排出原単位	
電力	0.533	kg-CO <sub>2</sub> /kWh
都市ガス	2.65	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
水道水	2.011	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
苛性ソーダ	1148	kg-CO <sub>2</sub> /t
けい砂	0.012	kg-CO <sub>2</sub> /kg
調整剤	0.012	kg-CO <sub>2</sub> /kg
ドロマイト	0.004	kg-CO <sub>2</sub> /kg
灯油	2.606	kg-CO <sub>2</sub> /L

表-4 CO<sub>2</sub>排出原単位

(処理プロセスからの排出)

プロセス	項目	CO <sub>2</sub> 排出原単位	
炭化	CH <sub>4</sub>	0.907	kg-CO <sub>2</sub> /WS-t
	N <sub>2</sub> O	45.26	kg-CO <sub>2</sub> /WS-t
焼却	CH <sub>4</sub>	0.755	kg-CO <sub>2</sub> /WS-t
	N <sub>2</sub> O	283.65	kg-CO <sub>2</sub> /WS-t
熔融	N <sub>2</sub> O	5.146	kg-CO <sub>2</sub> /熔融対象DS-t

表-5 LCI 分析結果

区分	CO <sub>2</sub> 排出量						
	kg-CO <sub>2</sub> /年	比率	kg-CO <sub>2</sub> /年	比率	kg-CO <sub>2</sub> /年	比率	
	炭化炉		焼却熔融炉A		焼却熔融炉B		
汚泥処理量(WS-t/年)		4,482		23,441		24,517	
負荷量 (土木・建築)	建設	10,684		35,557		35,557	
	解体・廃棄	534		1,778		1,778	
	小計	11,218	0.8%	37,335	0.3%	37,335	0.3%
負荷量 (機械設備)	建設	53,291		439,892		264,267	
	補修	816		6,559		4,003	
	解体・廃棄再生	-1,648		-12,764		-8,740	
	小計	52,459	3.8%	433,968	2.9%	259,531	1.8%
負荷量 (電気設備)	建設	16,744		138,215		83,033	
	補修	122		981		599	
	解体・廃棄再生	-252		-1,954		-1,338	
	小計	16,614	1.2%	137,285	0.9%	82,294	0.6%
負荷量 (運転)	ユーティリティ使用に伴う負荷量	1,091,427	79.2%	7,548,105	50.8%	6,950,711	48.6%
	脱水ケーキ 処理量あたり ( /WS-t)	244		322		284	
	処理プロセスからの排出に伴う負荷量	206,929	15.0%	6,691,308	45.1%	6,982,071	48.8%
	小計	1,298,355		14,239,413		13,932,782	
負荷量 合計( /年)		1,378,646	100%	14,848,001	100%	14,311,942	100%
脱水ケーキ 処理量あたり ( /WS-t)		308		633		584	

>炭化炉となった。また、焼却熔融方式と炭化方式を比較すると、脱水ケーキ処理量あたりの運転に伴う負荷量は、焼却熔融方式は炭化方式の約2倍であった。これは、表-4のN<sub>2</sub>Oに関する両方式間のCO<sub>2</sub>排出原単位の差が影響しているものと考えられる。

- ② 脱水ケーキ処理量あたりのユーティリティ使用に伴うCO<sub>2</sub>排出量は焼却熔融炉A>焼却熔融炉B>炭化炉となった。
- ③ 脱水ケーキ処理量あたりの処理プロセスからの排出に伴うCO<sub>2</sub>排出量は焼却熔融炉A>焼却熔融炉Bとなった。これは、炉の燃焼効率の改善による影響が大きいものと考えられる。

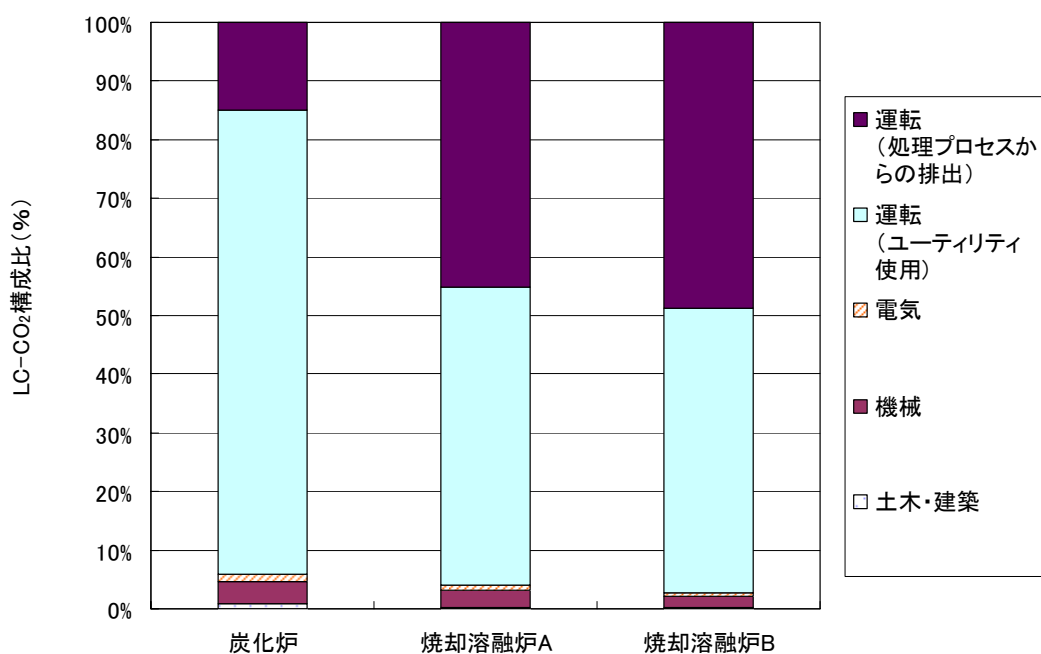


図-2 各汚泥製品生産系統における LC-CO<sub>2</sub> 構成比の比較

- ④ 全ての汚泥製品生産系統において、負荷量合計に対する運転に伴う負荷量の占める割合が圧倒的に大きかった。
- ⑤ 焼却溶融方式において、運転に伴う負荷量は、ユーティリティ使用に伴う負荷量と処理プロセスからの排出に伴う負荷量とがほぼ同等の値となっていた。

ここでは汚泥製品の生成における温室効果ガス排出量を算出した。汚泥の有効利用の評価にあたっては、汚泥製品の有効利用過程に伴う温室効果ガス排出量も検討する必要がある。

#### 4. まとめ

- 1) 水処理過程からの N<sub>2</sub>O の排出特性を把握するためにベンチスケールの室内実験を開始した。本年度は、硝化過程から発生する N<sub>2</sub>O と SRT との関係を 24 時間調査するための実験装置の運転を行った。今後は SRT の変化と硝化状態および N<sub>2</sub>O 排出量の関係を実験により把握するとともに実施設を対象とした調査を行い、水処理系からの N<sub>2</sub>O 排出係数について検討する。
- 2) 汚泥有効利用に伴う温室効果ガス排出量の把握を目的として、炭化方式および焼却溶融方式 2 炉を対象に LCI 分析を行った。このケーススタディの結果、全ての汚泥製品生産系統において、負荷量合計に対する運転に伴う負荷量の占める割合が圧倒的に大きく、また、焼却溶融方式の運転に伴う負荷量は、ユーティリティ使用に伴う負荷量と処理プロセスからの排出に伴う負荷量とがほぼ同等の値となっていた。今後は汚泥製品の有効利用過程に伴う温室効果ガス排出の定量化や評価手法について検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 環境省：平成 14 年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会 報告書、p. 29
- 2) 中村、他：温室効果ガス排出抑制のための下水処理システム対策技術、平成 9 年度 下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料 第 3606 号、pp. 119-133、平成 10 年 10 月
- 3) 平出、他：下水道施設から排出される地球温暖化物質 (CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O) 排出インベントリリーの算定と排出抑制技術、下水道協会誌、2005/No. 508、Vo1. 42、(社) 日本下水道協会、pp. 97-110
- 4) 日本建築学会：建物の LCA 指針 (案)、平成 11 年
- 5) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：汚泥有効利用方式の選定手法に関する調査報告書、pp. 122、平成 15 年