

N-3 下水汚泥処理におけるバイオガスシステム導入に関する一考察

日本上下水道設計株式会社 ○川崎 達
同上 井手 敏文
同上 伊藤 由季子

1. はじめに

近年、地球温暖化ガスの排出抑制の面から、下水汚泥処理分野において唯一エネルギー回収可能な嫌気性消化システムが再評価されている。すなわち、嫌気性消化工程において、発生する未利用の消化ガスを積極的に活用することにより、地球温暖化ガス、特に炭酸ガスの削減効果が期待できる。

嫌気性消化工程から発生する消化ガス量は、投入する汚泥の滞留時間（消化日数）・濃度・有機物の割合等によって左右されるが、下水汚泥処理分野では、従来消化日数が概ね 30 日程度、汚泥濃度が概ね 1.5～3% 程度、有機物濃度 75%程度で嫌気性消化が行われてきている。一方、最近、投入汚泥の固形物濃度として 5～10%程度を標準とするバイオガスシステムが、し尿処理・ごみ処理分野で徐々に導入されており、本システムを導入し、発生するバイオガスを活用することで、大きな省エネ・省資源効果が期待されている。

本報告では、高濃度消化システムであるバイオガスシステムを下水汚泥処理に導入する場合のシステムの提案を行うとともに、従来型の嫌気性消化システム導入に対する地球温暖化ガス削減効果を定量化し、下水汚泥処理分野でのバイオガスシステム導入のあり方について報告するものである。

2. バイオガスシステム導入ケースの設定

2.1 検討フロー

検討システムは表-1 のフローに示す汚泥の広域処理を行う場合を設定する。受泥側のフローは、機械濃縮－嫌気性消化－脱水－焼却のフローとする。ケースⅠは送泥側の重力濃縮汚泥を受泥施設の消化工程に投入するケース、ケースⅡは送泥側で脱水後、脱水ケーキを受泥施設の焼却炉へ投入するケースとしている。さらに、ケースⅢは含水率 80%相当の脱水汚泥を嫌気性消化タンクへ投入するケースとし、受泥施設で発生する機械濃縮汚泥と合わせ、一括して嫌気性消化を行うものとしている。ケースⅢでは、固形物濃度の高い脱水汚泥を嫌気性消化することから、消化タンク内の固形物濃度をある程度高濃度に保つことができるため、採用する嫌気性消化タンクについては、バイオガスプラントが想定される。

2.2 施設規模

施設規模については、日最大処理水量として、受泥側施設については 5 万 m³ とする。送泥側施設については、5 千 m³、1 万 m³、3 万 m³ の規模の処理場がそれぞれ 3 箇所とする。

表-1 検討フロー

区分	送泥側施設			受泥施設(●は受泥位置)			
	重力濃縮	脱水	輸送	機械濃縮	消化	脱水	焼却
ケースⅠ	○		○	○	●	○	○
ケースⅡ	○	○	○	○	○	○	●
ケースⅢ	○	○	○	○	●	○	○

表-2 施設規模

区分	送泥側処理場		受泥施設
	1 処理場当たり水量 (m ³ /日最大)	処理場箇所数 (箇所)	
ケースⅠ	a 5,000	3	50,000m ³ /日最大
	b 10,000		
	c 30,000		
ケースⅡ	a 5,000		
	b 10,000		
	c 30,000		
ケースⅢ	a 5,000		
	b 10,000		
	c 30,000		

2.3 各ケース別の固形物収支計算

受側処理場における各ケースの発生汚泥量を表-3に示す。収支計算に用いる諸元は表-4に示す一般的な値を採用した。消化タンク投入汚泥濃度は、ケースIIの3%を標準として、ケースIでは濃度の低い重力濃縮汚泥を受け入れるため、固形物量の増加につれて3%よりも低くなる。一方、脱水ケーキを受け入れるケースIIIでは固形物濃度を3%以上に高めることが可能であり、III-cでは6.1%まで高めることが可能である。また、汚泥濃度が高くなることで、投入汚泥量の増加も低く抑えることが可能であり、ケースIIと比較すると、III-cでも80m³/日程度の増加である。

表-3 各ケースの発生汚泥量・発生消化ガス量

項目			ケースI			ケースII			ケースIII		
			I-a	I-b	I-c	II-a	II-b	II-c	III-a	III-b	III-c
消化投入汚泥	有機物量	Ds-t/日	6,121	7,655	13,791	4,587	4,587	4,587	6,091	7,594	13,807
	固形物量	Ds-t/日	8,481	10,409	18,121	6,553	6,553	6,553	8,443	10,332	17,891
	汚泥濃度	%	2.6	2.4	2.1	3.0	3.0	3.0	3.7	4.2	6.1
	汚泥量	m ³ /日	323.7	428.9	849.8	218.4	218.4	218.4	231.3	244.1	295.4
消化ガス発生量			m ³ /日	2,375	2,915	5,074	1,835	1,835	1,835	2,364	2,893
脱水ケーキ	固形物量	Ds-t/日	4,927	5,983	10,204	5,678	7,484	14,707	4,906	5,941	10,078
	含水率	%	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0
	汚泥量	m ³ /日	27.4	33.2	56.7	31.5	41.6	81.7	27.3	33.0	56.0
	固形物量	Ds-t/日	1,285	1,412	1,919	1,158	1,158	1,158	1,283	1,407	1,904
返流水			m ³ /日	1,331.4	1,449.5	1,921.7	1,213.3	1,213.3	1,213.3	1,238.8	1,264.3
水量			m ³ /日	1,331.4	1,449.5	1,921.7	1,213.3	1,213.3	1,213.3	1,238.8	1,264.3

表-4 固形物収支検討諸元

	項目	単位	数値
SS水質	流入	mg/l	180.0
	放流	mg/l	9.0
SS除去率	乾合	%	95.0
固形物回収率	重力濃縮(送泥側)	%	85
	機械濃縮(受泥側)	%	90
	嫌気性消化	%	100
	脱水	%	90
その他	脱水率注率	%	1.0
	送泥汚泥VTS/TS	%	70
	受泥側汚泥VTS/TS	%	80
	消化効率	%	50
投入有機物当り 消化ガス発生率	送泥汚泥	m ³ /kg-VS	0.35
	受泥側汚泥	m ³ /kg-VS	0.4
余剰汚泥	SS変換率	%	75
含水率	余剰汚泥	%	99.4
	重力濃縮汚泥	%	98.2
	機械濃縮汚泥	%	97
	消化汚泥	%	計算
	脱水機薬品	%	99.8
	脱水汚泥	%	82.0

3. エネルギー収支及び費用比較検討

3.1 エネルギー収支計算

エネルギー収支計算は筆者ら²⁾による消化ガス収支計算モデルを用いた。発生する消化ガスは優先的に消化タンクの加温に使用するものとし、発生する消化ガスから加温に必要なボイラー用の消化ガス量を差引き未利用の消化ガス量を算定する。収支計算の概念を図-1に示す。また、各ケースの消化タンク形状は表-5に示すように、ケースI, IIでは上下円錐型タンク(単段)、ケースIIIでは円筒型(中温, 高温消化)のバイオガス発酵槽とした。

収支計算結果を図-2に示す。消化ガスの年間発生量は投入有機物量が多いほど大きく、ケースI-c, III-cで1,800,000Nm³/年以上であった。年間を通じ、発生する消化ガスでボイラー加温できないケース(不足ガス量が発生するケース)は生じず、全てのケースにおいて発生する消化ガスで消化タンク加温用ボイラーの補助燃料を全量賄うことができる結果となった。

バイオガスシステムを導入したケースIIIの消化ガス発生量はケースIとほとんど変わらないが、未利用ガス量で見ると、処理量が少ない場合はケースIの方が多いが、

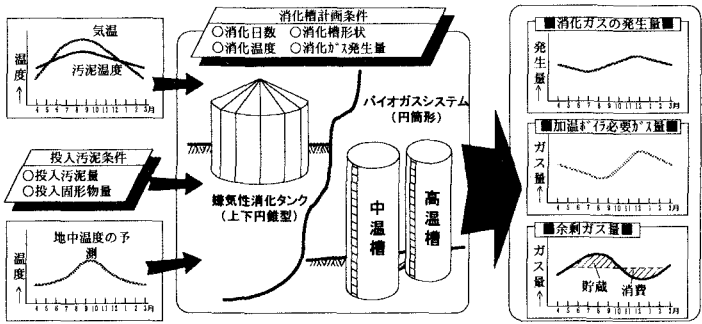


図-1 モデル計算の概念図

表-5 消化タンク形状概要

項目		ケースI			ケースII			ケースIII		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
方式	-	上下円錐型嫌気性消化タンク(単段消化)						バイオガス発酵槽		
必要消化日数	日	20	20	20	20	20	20	中温槽(1段目)7 高温槽(2段目)7	中温槽(1段目)7 高温槽(2段目)7	中温槽(1段目)7 高温槽(2段目)7
必要消化タンク容量	m ³	6,473	8,578	16,996	4,369	4,369	4,369	中温槽1,619 高温槽1,619	中温槽1,709 高温槽1,709	中温槽2,068 高温槽2,068
消化タンク容量	m ³	6,500	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	中温槽800 高温槽800	中温槽850 高温槽850	中温槽1,000 高温槽1,000
形状	系列	-	1	2	4	1	1	1	2	2
	構造	-	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	SS造	SS造
	有効径	m	23.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	6.4	6.6
	有効深さ	m	15.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	25.6	26.4
	有効容積	m ³	6,540	4,320	4,320	4,320	4,320	4,320	820	900

処理量の増加によりこの傾向は逆転する。これは投入汚泥濃度を高くし投入汚泥量を減少させることにより汚泥加温必要熱量が減少した効果である。

なお、バイオガスシステムを導入したⅢ-cでは、未利用ガス量を全量有効利用した場合のCO₂削減量は、約1,954,000t-CO₂/年と算出され、重油使用量に換算すると724,320kl/年の削減に相当する。

3.2 費用比較検討

各ケースにおける汚泥処理施設の建設費用及び運転管理費用を図-3、図-4に示す。なお、算出した費用は、送泥側処理場に関する費用は含まず、受泥側処理場のみの値である。費用の算定は「下水汚泥処理総合計画マニュアル」の費用関数²⁾を用いて行った。

建設費はケースⅢ→Ⅱ→Ⅰの順に高価となったが、検討ケースによる顕著な違いは見られなかった。建設費では脱水機と焼却施設の占める割合が高く、高濃度消化の採用により脱水機投入汚泥量及び脱水ケーキ量を減少できるケースⅢが有利な結果となった。一方、運転経費はケースⅡ→Ⅲ→Ⅰの順に高価となった。運転経費では脱水機運転費の占める割合が高く、送泥側処理場の脱水ケーキを焼却炉に投入するケースⅡが有利な結果となった。全体で見るとケースⅡとケースⅢの総費用は同等であり、ケースⅠが割高な傾向にあった。

4. おわりに

本報告では高濃度消化システムであるバイオガスシステムを下水汚泥処理に導入する場合の検討を行った。バイオガスシステムの導入により、従来の嫌気性消化よりも未利用ガス量を増加することが可能となり、消化ガスの有効利用や地球温暖化ガスの削減に大きく貢献することが示された。汚泥処理量が多いほどその効果は大きく、汚泥集約が可能な広域処理方式の採用が望ましいといえる。また、バイオガスシステムは費用面においても従来方式よりも有利であることが示された。

一方、嫌気性消化の採用により返流水中の窒素、リンの負荷量が増大することは周知のとおりである。今後は返流水対策も含め、さらには他有機資材との混合消化も考慮した下水道におけるバイオガスシステムの構築についての検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

1)伊藤由季子, 井手敏文, 川崎達; 消化ガスの発生・貯留・利用モデルの作成と卵形消化槽を用いたケーススタディ, 第37回下水道研究発表会講演集, pp.172-174, 2000
2)下水汚泥処理総合計画マニュアル, 社団法人日本下水道協会, 1991

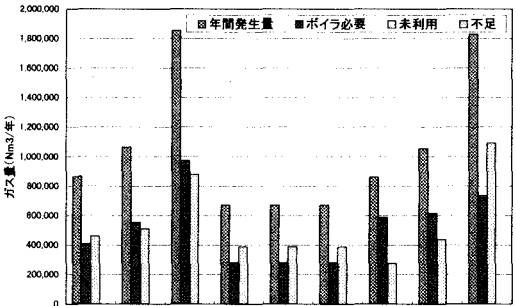


図-2 各ケース別消化ガス収支計算結果



図-3 建設費の比較

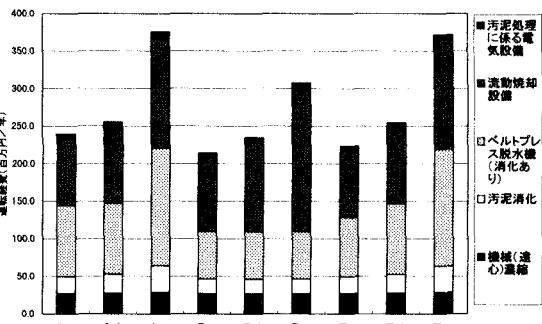


図-4 運転経費の比較