

# 下水処理場における下水汚泥の資源・エネルギー化技術 普及促進に関する取組

大西宵平・釜谷悟司・田嶋 淳・山下洋正

## 1. はじめに

下水道事業で使用される電力は、我が国の総電力消費量の0.7%を占め、自治体を実施する公共事業の中でも温室効果ガス（以下、GHGと言う。）排出量が比較的多いとされている。GHG排出量を削減するため、周辺地域と連携した複合的かつ一体的な下水汚泥のエネルギー利用が求められており、第3次社会資本整備重点計画（平成24～28年度、以下、3次社重点と言う。）においても下水汚泥エネルギー化率、GHG排出削減量といった指標について達成目標が掲げられている。しかし、下水汚泥中の有機物のうちバイオガスや汚泥燃料として活用されているのはわずか約13%（平成23年度）、下水道に流入するリンのうちコンポストとして活用されているのは約10%（平成18年度）と非常に低い状況である。この原因の一つとして、下水処理場における資源・エネルギー循環利用技術の導入事例が全国的に少ない上に、導入検討は個々の下水道事業者毎に行うため、多種多様な技術の中から対象となる下水処理場に適した技術を選定し、導入効果を検討する際のノウハウが蓄積されにくいことが挙げられる。

そこで本研究では、全国の下水処理場を対象に、既存施設状況・処理規模により下水汚泥の資源・エネルギー化技術の採算性を評価し、既存設備構成のまま更新するより資源・エネルギー化技術を導入した場合にライフサイクルコスト（以下、LCCと言う。）が安価となる処理場へ各技術を導入した際の下水汚泥エネルギー化率及びGHG排出削減量を試算した。また、下水道事業者が所管下水処理場への技術導入検討を円滑に進めることを目的として、下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）（以下、本手引きと言う。）を策定し、対象下水処理場の規模・条件を入力することで事業実施可能性とコスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削

減効果を概略試算できる検討補助ツール（表計算ソフト）を開発した。

## 2. 下水処理場への資源・エネルギー化技術の導入シナリオの検討

現在、少子・高齢化による自治体の財政規模縮小は避けられない状況であり、下水処理場への資源・エネルギー化技術の導入においても、事業採算性が確保できていることが、より重要視される傾向がある。どのような技術においても事業検討時には、既存設備の状況と処理場規模によるスケールメリットが影響するため、同じ技術でも処理場毎に採算面における適用可否が変わってくる。本検討では、全国の下水処理場を対象に、既存施設状況・処理規模により下水汚泥の資源・エネルギー化技術の採算性を評価し、採算性ありとされた処理場へ各技術を導入した際の下水汚泥エネルギー化率及びGHG排出削減量を試算した。

### 2.1 導入シナリオ検討

「消化ガス回収・利用技術（発電）」、「汚泥固形燃料化技術」の導入シナリオの検討にあたっては、まず、既存の統計資料<sup>1)</sup>から全国の下水処理場を①既設消化槽の有無、②汚泥処分方法：場内焼却（焼却炉更新要（供用開始後20年以上））、場内焼却（更新不要）、場外処分、の2つの観点から分類した。それらについて、従来設備の更新よりもLCCが安価となる条件（現況設備、処理規模（日平均汚水量）等）の下水処理場に、各技術を導入することとした。LCC（建設費+維持管理費等）は既存マニュアル<sup>2)・3)</sup>の費用関数により算出した。なお、現況で有機物の活用およびエネルギー化（肥料化、汚泥燃料化、消化ガス発電等）を行っている下水処理場については、利用方法の変更は検討していない。製造した汚泥固形燃料を売却する場合、実現性を考慮して、受入先として固形燃料の受け入れポテンシャルが高いと評価される「石炭火力発電所」、「化学工業」、「窯業・土石製品製造業」が処理場から10km以内に位置することを条件とした。

具体的な検討ケースを表-1、図-1および図-2に示す。例えば現況がモデル2の場合、図-2に示すように処理規模が増加するにつれ、乾燥汚泥量あたりの処理コストが低下し、20,000m<sup>3</sup>/日（図-2の青丸○）でモデルAと、40,000m<sup>3</sup>/日でモデルB（図-2の赤丸○）と乾燥汚泥量あたりの処理コストが逆転する（この点を分岐点という）。すなわち、これ以上の処理規模において資源・エネルギー化技術を導入する場合、LCCが安価となる。他のケースについても同様の検討を行い、導入シナリオを検討する。

コスト面から判断し、採算性がないモデル4およびモデル6（他シナリオとの分岐点がない）に関しては、検討対象外とし現状維持するものとした。また、消化ガス発電と固形燃料化を導入する場合、消化ガスは発電に使用し、固形燃料化は化石燃料を使用することとして試算した。

2.2 導入検討結果

現況に比べてコスト的に有利となる汚泥処理方法に変更した場合の全国的な導入効果について試算した。ここでは一例として、資源・エネルギー循環利用技術として消化ガス発電および固形燃料化技術の導入を行った試算結果を表-2に示す。表-2において、本検討での試算結果は①および②であり、現況で資源・エネルギー化技術が導入されている処理場における実績値（3次社重点にて報告）にこれらを加算することで全国での導入結果試算値を示している。表-2より、採算性の観点から考慮して、全国の下水処理場に資源・エネルギー化技術を導入しても、3次社重点で示されているGHG排出削減量および下水汚泥エネルギー化率の目標値である246万t-CO<sub>2</sub>/年および29%を十分達成するポテンシャルを有している。このことから資源・エネルギー化技術導入推進は、採算性を考慮しても地球温暖化に対し一定の効果を有することが確認された。

3. 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定

資源・エネルギー化技術の導入を検討する際に自治体の下水道事業者が重要視する項目や導入する技術の効果を整理・把握し、その後の予備検討を円滑に進めることを目的として、本手引きを策定した。また、対象下水処理場の規模・条件を入

表-1 資源・エネルギー化技術導入ケース

モデル名	現況			更新後					
	①消化	②汚泥処理施設(場内外・稼働年数)	処理場数	モデル名	導入検討技術	分岐点(m <sup>3</sup> /日)	技術導入処理場数	技術導入処理場の汚泥量(t-DS/年)	
モデル1	なし	場内焼却(供用後20年未満)	83	685,167	モデルA	消化ガス発電+高温焼却	50,000	43	603,973
モデル2	なし	場内焼却(供用後20年以上)	40	243,942	モデルA	消化ガス発電+高温焼却	20,000	15	127,688
					モデルB	消化ガス発電+固形燃料化(燃料売却)	40,000	12	97,615
モデル3	なし	場外+埋立て	1043	320,689	モデルC	消化ガス発電	30,000	40	167,123
モデル4	あり	場内焼却(供用後20年未満)	30	195,568	現状維持(分岐点無し)				
モデル5	あり	場内焼却(供用後20年以上)	11	102,409	モデルB	消化ガス発電+固形燃料化(燃料売却)	50,000	3	55,723
モデル6	あり	場外+埋立て	65	59,180	現状維持(分岐点無し)				

※1 現況のモデル4~6は消化ガスを発電以外（消化槽加温、余剰ガス焼却、場内給湯、焼却炉補助燃料等）に使用している処理場を対象とした。  
 ※2 現況で有機物の活用およびエネルギー化（肥料化、汚泥燃料化、消化ガス発電等）を行っている下水処理場については、検討対象外とし記載していない。

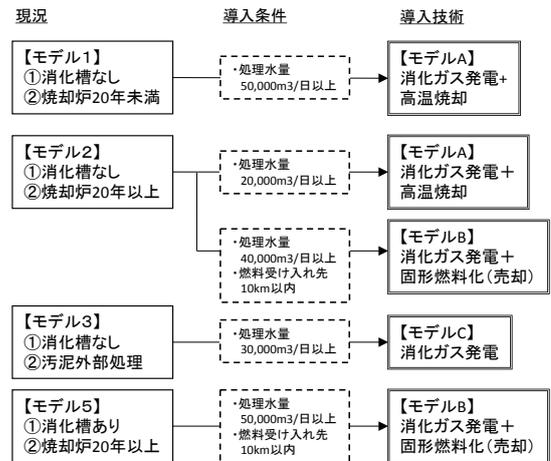


図-1 資源・エネルギー化技術導入フロー

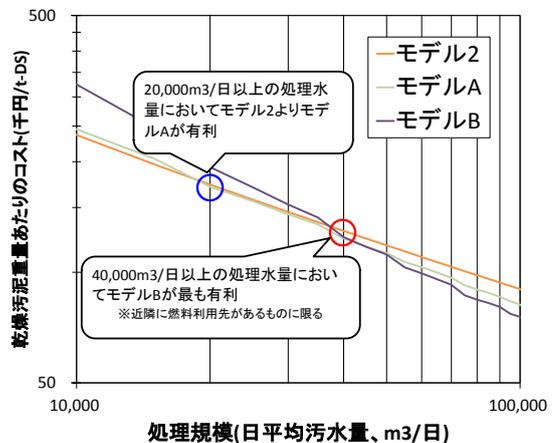


図-2 処理規模と汚泥量あたりコストによる導入検討ケース例（汚泥焼却炉→消化ガス発電+固形燃料化）

表-2 資源・エネルギー化技術の全国的な導入効果の試算例

項目	単位	現況(第3次社会資本整備重点計画)	技術導入による試算値(対象処理場のみ)		合計(現況+①+②)
			①消化ガス発電+固形燃料化(導入対象:1箇所)	②消化ガス発電(導入対象:6箇所)	
GHG排出削減量	万t-CO <sub>2</sub> /年	129	48.5	199.5	377.0
エネルギー利用汚泥量(有機物換算)	t-DS/年	237,884	122,670	287,611	648,166
下水汚泥エネルギー化率	%	13.3%	6.8%	16.0%	22.9%

※1 温室効果ガス排出量は脱水、消化、焼却等の処理工程で排出されるGHGを計上している。  
 ※2 検討対象外の下水処理場はGHG排出削減量および下水汚泥エネルギー化率が変化しないため、①および②の試算結果は技術導入検討を行った処理場のみである。

力することで事業実施可能性とコスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略試算できる汎用的な表計算ソフトウェアを用いた検討補助ツールを開発した。

### 3.1 本手引き及び補助ツールの目的、内容

本手引きは、汚泥固形燃料化事業、バイオガス利用事業、リン資源化事業の予備検討段階（計画立案、基本構想、基本計画）にある下水道事業者を対象としている。以下に本手引きの目的を示す。

- ・ 下水処理場における課題の把握、基本構想(導入目的、適用可能技術検討等)、基本計画(技術面、経済面での概略検討等)、必要な手続きの確認について、検討すべき項目を記載し、各種技術の導入検討を広く促すこと
- ・ 基本設計発注前に下水道事業者が自ら技術導入時のコスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を試算し、各種技術の導入効果を(大まかではあるが)定量的に把握できるようにすること

### 3.2 本手引きの構成

本手引きは、下記の章から構成される。

- 第1章：手引きの位置付け
  - 第2章：導入技術の評価
  - 第3章：事業の実施可能性の評価
  - 第4章：事業化に向けた検討手順と必要な手続き
- 参考資料：各種申請書類の様式、先行事例の紹介、収益性評価手法など。

図-3に、資源・エネルギー化技術の導入に係る意思決定フローと本手引きの対応を示す。

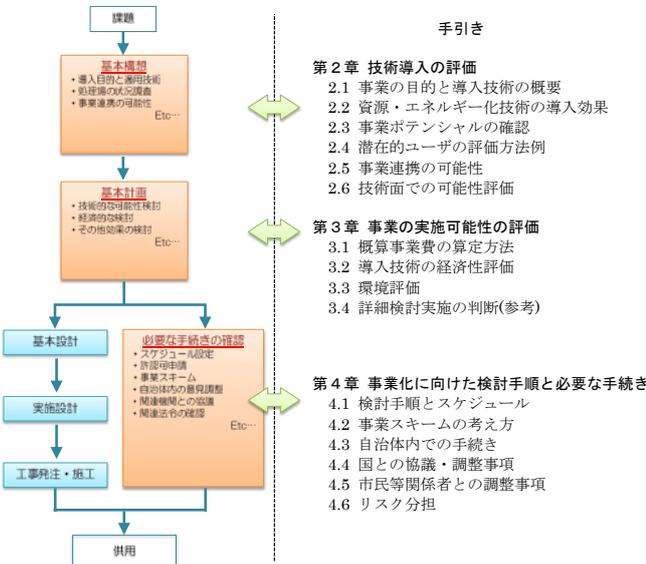


図-3 資源・エネルギー化技術導入の意思決定フローと手引きの内容との対応

使用者は、第2章で導入対象下水処理場の課題と導入技術の概要・目的を整理し、必要な調査項目を整理する。

次に第3章で、事業の実現可能性を評価する。事業の評価項目としては、対象技術の事業費、環境への影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）、事業継続性等がある。本手引きでは判断

技術概要 (フロー図)	既存施設の改築・更新		新技術の導入		
	評価項目	満点	検点結果	点数	検点結果
① 経済性	50	606.7(百万円/年)	34	415.1(百万円/年)	50
② GHG排出量	20	8,464(t-CO2/年)	0	-1,542(t-CO2/年)	20
③ 事業継続性	20	焼却灰埋立地が2018年に容量オーバーにより使用不可能となるため、代替地を探す必要あり	5	PFU方式採用により、製造した固形燃料は20年間近隣火力発電所で使用予定。	20
④ 安全性(防災)	5	-	0	被災時には、消化ガス発電による非常電源として使用可能。消化槽は非常時に汚泥貯留が可能	5
⑤ 維持管理性	5	施設数が少なく、維持管理が容易。	5	高濃度返流水へによる水処理への影響、運転管理の煩雑さが増大。	0
計	100		44		95
評価		経済性、GHG排出量削減効果など重視される評価項目において、新技術導入案よりも劣るため、不適とする	x	評価項目のほぼ全てにおいて、優位である。また、消化槽の更新により地域バイオマス導入の可能性も見込める。	o

図-4 導入判断の重み付け配点結果(参考例)

A. 現況施設の改築・更新		エネルギー化			
		検点施設1		検点施設2	
対象技術	リストから選択	消化槽		バイオガス精製設備	
集計	集計施設にチェック	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
デフレーター		1.00		1.00	
建設費 耐用年数	白抜きセルに値を入力してください	濃度1% 換算汚泥量 =3/日	90.0	施設規模(Na3/h)	1,660.0
		土木・建築(百万円)	191.1	建設費(百万円)	627.8
		耐用年数(年)	45	耐用年数(年)	15
		施設設備(百万円)	291.8		
		耐用年数(年)	15		
合計(百万円)		482.8		627.8	
維持管理費	白抜きセルに値を入力してください	濃度1% 換算汚泥量 =3/日	12.0	施設規模(Na3/h)	1,660.0
合計(百万円)		4.5			
処分委託費	脱水汚泥	脱水汚泥量(t/年)	0.0	脱水汚泥量(t/年)	0.0
		単価(円/t)	16,000.0	単価(円/t)	16,000.0
		処分委託費(百万円/年)	0.0	処分委託費(百万円/年)	0.0
		焼却灰量(t/年)	150.0	焼却灰量(t/年)	0.0
		単価(円/t)	8,000.0	単価(円/t)	8,000.0
合計(百万円/年)		1.2	処分委託費(百万円/年)	0.0	
実績値入力	建設費	0.0	0.0	0.0	0.0
	維持管理費	0.0	0.0	0.0	0.0
	処分委託費	0.0	0.0	0.0	0.0
出典	バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル		488.5	下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)	627.8

図-5 検討補助ツール入力画面

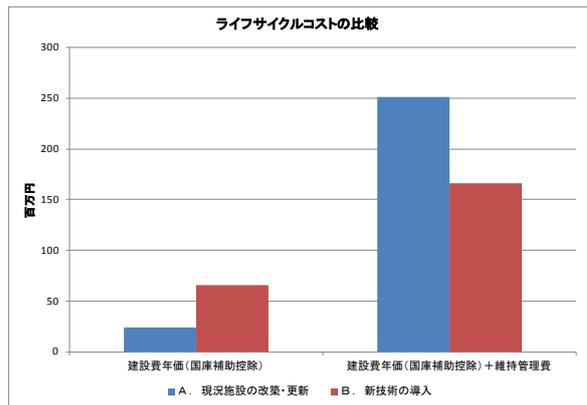


図-6 コストの算出例(参考)

の一助として、図-4のように評価項目を点数で重み付けし総合的に判断する方法を参考として紹介しているが、各自治体を取り巻く社会的情勢等によって、経済性、環境性、事業継続性などの評価項目のどれを重視するかは異なるため、重み付けの方法及び結果の解釈は使用者自らが判断することとしている。なお、概算事業費、環境影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）を概略で把握するための一助として、「下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）検討補助ツール（以下、補助ツールとする。）」をダウンロード可能としており、検討の際に活用可能である（補助ツールの詳細については後述。）。技術導入の検討を継続すると判断した場合、事業化に向けた検討手順と必要な手続きの調査、整理を行う。

技術導入の検討を継続すると判断した場合、事業化に向けた検討手順と必要な手続きの調査、整理を行う。第4章では、検討手順とスケジュール、事業スキーム、関係法令、各種手続き等事業化を進める際の留意点の参考となる内容を示している。

なお、本手引きは、資源・エネルギー化技術導入検討の初期に下水道事業者で使用されることを目的としているため、通常、設計コンサルタントなどに設計業務委託を行うことが想定される基本設計、詳細設計等については言及していない。

### 3.3 補助ツールの活用

自治体の下水道事業担当者のみでは事業導入時のコスト、GHG排出量、エネルギー消費量を算出することが難しい場合に活用できるように、既存マニュアル<sup>2)~4)</sup>の費用関数を基に補助ツール及び操作説明書を作成した。補助ツールは、対象技術を選択し、図-5の入力画面に処理場条件を入力すると、コスト、GHG排出量削減効果、エネル

ギー消費量削減効果を概略ではあるが把握可能となっている。例えば図-6のように、設備更新時に建設費だけではなく、維持管理費を含めた評価を簡便に行うことが可能となる。数箇所の自治体下水道事業者に対し、本手引きおよび補助ツールを使用してもらい意見を聴取したところ、導入検討の初期段階において、使い勝手や内容については概ねよいとの結果であった。本手引きおよび補助ツールの活用により省エネ新技術の導入意義がLCCとして明確化され、導入促進につながることを期待される。

なお、本検討で紹介した手引き及びツールは、国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室ホームページからダウンロード可能である。

## 4. おわり

少子高齢化、自治体の財政収縮、電力需要の逼迫といった様々な課題に対して、低炭素・循環型社会への貢献のため、下水道事業にも大きな期待が寄せられている。

将来にわたって持続可能な下水道事業を構築し、良好な自然環境、水資源を次世代に繋いでいくため、今後も資源・エネルギー化技術の普及・促進に努めていく所存である。

### 参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：下水道統計（平成23年度版）、2013.9
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、2006
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）、2011
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道におけるリン資源化の手引き、2011

大西宵平



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室 研究官  
Shohei OHNISHI

釜谷悟司



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室 部外研究員  
Satoshi KAMATANI

田嶋 淳



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室 主任研究官  
Atsushi TAJIMA

山下洋正



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室長  
Hiromasa YAMASHITA