

Ⅱ. その他の予算による調査研究

1. 下水道を核とした資源循環システムの 広域化・共同化に関する研究

(研究期間 令和3年度～令和5年度)

下水処理研究室 室長 重村 浩之
研究官 平西 恭子
研究官 長崎 真

1. はじめに

近年、地方都市ではすでに、人口減少や下水道職員減少、施設老朽化が顕在化しており、持続可能な下水道運営に向けた広域化・共同化の取組みが進められている。また、政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」に基づき、温室効果ガスの抜本的な削減に取り組むことが求められている。

下水道においては、下水処理過程で発生する汚泥の利活用を推進しているところであるが、さらなる資源循環型社会の構築に向け、地域全体でより一層の省エネ・創エネ及びリン等のマテリアル回収を推進していく必要がある。そのような背景のもと、下水処理と廃棄物処理を連携させ、廃棄物処理施設で焼却処分されている生ごみを下水道に受け入れて、地域全体で効率的にエネルギー・マテリアルを回収し、最終処分量を低減する新たな資源循環システムを構築する必要がある。

そのためには、生ごみを下水道に受け入れる場合に下水道施設に与える影響に関する技術的な検討や、資源循環システムの経済性、温室効果ガス削減効果等の評価手法の確立が不可欠である。本研究は、評価手法を確立し、持続可能な資源循環システムの構築促進を目的とする。なお、本稿では温室効果ガス削減効果を「環境性」と表現する。

令和5年度は、令和4年度に作成した経済性や環境性の評価手法（以下、「評価手法」という）も基に、連携検討を行うための簡易検討ツールを作成するとともに、先進事例をモデル都市として簡易検討ツールを用いた連携パターンの選定を行い、実際の連携パターンとの整合性の検証を実施した。また、3年間の研究成果として、地方公共団体職員等が連携検討を進める上で活用できるよう、評価手法の目的、適用範囲、検討の手順などをまとめた技術資料を作成した。

2. 評価手法に基づく簡易検討ツールの作成

下水処理と廃棄物処理の連携による経済性および環境性の効果は、**図1**に示すフローに沿って処理過程ごとに算出している。令和4年度に、各過程における効果を算出するために必要な費用関数を設定し評価手法の作成を行い、令和5年度は、これらをエクセル上に実装した簡易検討ツールを作成した。今回作成した簡易検討ツールは、下水処理と廃棄物処理の連携検討をこれから始めるという段階で、概略的に効果を評価するために使用することを想定しており、できる限り簡易に結果が得られることが望ましい。そのため、入力項目を絞り、最小限の情報で、**表1**に示す令和4年度までに類型化した下水処理と廃棄物処理の連携パターンごとの評価結果が得られるツールを作成することとした。

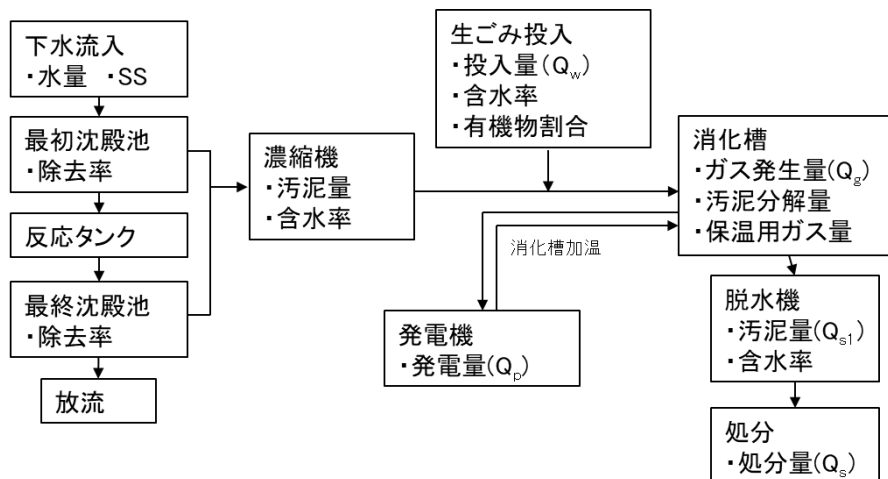


図1 評価のためのフロー

表1 下水処理と廃棄物処理の連携パターン

連携パターン	資源利用用途	脱水汚泥	
1	—	場外搬出	
2		ごみ処理施設へ搬出	
3	消化ガス発電	— (資源化)	
4			固形燃料
5			乾燥汚泥肥料
6	発酵コンポスト	場外搬出等	
7	リン回収		
	汚泥焼却廃熱利用	焼却灰の場外搬出	

作成した簡易検討ツールを図2（入力画面）、表2（評価結果）に示す。図2に示すとおり、簡易検討ツールに入力する収集情報は、処理水量（日最大）および生ごみ投入量など容易に得られるものに絞った。その他、効果の算出に必要な値は、既往文献の標準値等を参考に、初期設定値として簡易検討ツール内にて設定している。なお、この初期設定値は任意の値に変更することが可能である。

入力項目

処理水量(日最大) m³/日

生ごみ投入量 t/日

投入頻度 回/週

電力単価 円/kWh

人件費単価 万円

図2 簡易検討ツールの入力画面例

簡易検討ツールの評価結果例を表2に示す。経済性の収支は、建設費および維持管理費から固形燃料や肥料の売却収入を差し引いた値とし、環境性の収支は、温室効果ガスの排出量と排出削減量を

差し引きした数値を表示し、これらの数値を、既存施設を単純に更新する場合の数値と比較した結果を比率にて表示している。また、立地条件や自治体施策等の検討を進める上で優位性のある項目を加点方式で設定し、経済性・環境性・適用性の結果から、有用性の高いと考えられる連携パターンを総合評価として表示している。前述のとおり、この評価結果は概略的に効果を評価するものであり、有用性の高いと考えられる連携パターンとして、複数の可能性を示している。この結果を参考に、詳細設計にて検討を進め、連携パターンを決定していくことを想定している。

表2 評価結果例（連携パターン1～4を抜粋）

連携パターン		連携パターン1	連携パターン2	連携パターン3	連携パターン4
概要		消化ガス発電+ 消化汚泥場外搬出	消化ガス発電+ 消化汚泥のごみ処 理施設への搬出	消化ガス発電+ 固形燃料化	消化ガス発電+ 乾燥汚泥肥料
経済性	収支(百万円/年)	437	351	566	414
	指標 既設更新の年価収支 を1.0とする比率	1.35	1.08	1.75	1.28
	配点設定値	12			
	A \leq 0.7	12			
	0.7<B \leq 0.9	9	6	0	3
	0.9<C \leq 1.1	6			
	1.1<D \leq 1.3	3			
1.3<E	0				
経済性 ○:既設更新より費用減 △:既設更新より費用増		△	△	△	△
環境性	収支(t-CO ₂ /年)	2,058	-819	-1,805	-895
	指標 既設更新のGHG収支 を1.0とする比率	1.03	-0.41	-0.90	-0.45
	配点設定値	12			
	A \leq -0.5	12			
	-0.5<B \leq 0	9	9	12	9
	0<C \leq 0.5	6			
	0.5<D \leq 1.0	3			
1.0 \leq E	0				
環境性 ◎:収支マイナス(脱炭素) ○:既設更新より排出量削減 △:既設更新より排出量増加		△	◎	◎	◎
適用性	該当1項目 あたりの 加点設定値	3	3	3	3
	①汚泥処分費が 課題となっている	-	①汚泥処分費が 課題となっている	-	①汚泥処分費が 課題となっている
	②処理能力に余 裕のある廃棄物 処理場が近隣に 立地または設置 計画がある	-	②処理能力に余 裕のある廃棄物 処理場が近隣に 立地または設置 計画がある	-	②汚泥肥料の継 続的な需要(農 家・肥料製造業 者等)の見通し がある
	③ごみの減量化 が必要となっ ている	該当	該当	③行政計画等で 地域バイオマス 利活用の推進が 位置付けられて いる	③行政計画等で 地域バイオマス 利活用の推進が 位置付けられて いる
	④固形燃料の継 続的な需要(工 場・事業者等) の見通しがある	-	④固形燃料の継 続的な需要(工 場・事業者等) の見通しがある	該当	④ごみの減量化 が必要となっ ている
	⑤ごみの減量化 が必要となっ ている	該当	⑤ごみの減量化 が必要となっ ている	該当	⑤ごみの減量化 が必要となっ ている
加点	3	0	6	9	
適用性 ○上位3パターン	-	-	○	○	
総合評価	3	15	18	21	
△:経済性・環境性とも△ ◎:環境性◎かつ適用性○ ○:上記以外	△	○	◎	◎	

なお、簡易検討ツールにて表示する結果は、施設を新設することを想定したものであるが、実際には、既存建築物を活用する場合や、すでに運用している施設において受入れの余裕がある場合は、その余裕の範囲内で検討する場合も想定される。そういった場合に、より実態に沿った評価結果となるよう、施設ごとの算出結果を表示した編集用シートを設けており、計上する必要のない項目等を編集することで、それに連動した結果を表示できるようにしている。

3. 実都市をモデルとした連携パターン選定の試行および評価結果の検証

作成した評価手法が、実態と乖離していないかを確認するため、作成した簡易検討ツールを用い、実都市をモデルとした連携パターン選定の試行を行った。モデルとする実都市は、すでに下水処理と廃棄物処理の連携を行っている5自治体を選定し、実際の連携パターンとの整合性について検証した。

試行を行った5自治体のうちA市の評価結果を表3に示す。連携パターン4が、総合評価が最も高く、次いでパターン3、5の総合評価が高いという評価結果となった。A市では、受け入れた生ごみを消化槽に投入し、消化ガス発電を行うとともに、発生する消化汚泥を乾燥させることで肥料化を行っており、評価結果として当該連携パターンの有用性が示された。その他4自治体についても、有用性が高いと示された連携パターンに、実際の連携パターンが含まれており、作成した評価結果が、実態と乖離していないことが確認できた。

表3 試行結果（A市）【実際の連携パターン：パターン4】

連携パターン		1	2	3	4	5	6	7
		消化ガス発電 + 消化汚泥場外 搬出	消化ガス発電 + 消化汚泥の ごみ処理施設 への搬出	消化ガス発電 + 固形燃料化	消化ガス発電 + 乾燥汚泥肥料	消化ガス発電 + 発酵コンポスト	消化ガス発電 + リン回収	消化ガス発電 + 汚泥焼却廃熱 利用
経済性 ①	配点※1	0	6	0	3	0	0	0
	○: 既設更新より費用減 △: 既設更新より費用増	△	△	△	△	△	△	△
環境性 ②	配点※1	0	9	12	9	9	9	9
	◎: 収支マイナス(脱炭素) ○: 既設更新より排出量削減 △: 既設更新より排出量増加	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎
適用性 ③	加点点※2	3	0	6	9	9	6	6
	○: 上位3パターン	—	—	○	○	○	○	○
総合評価	配点(①+②+③)	3	15	18	21	18	15	15
	◎: 環境性◎かつ適用性○ △: 経済性・環境性とも△ ○: 上記以外	△	○	◎	◎	◎	◎	◎

4. 技術資料の作成

技術資料は、下水処理と廃棄物処理の連携検討を進めるために必要な情報をできる限り掲載した。検討の手順や簡易検討ツールの使用方法、適用範囲等に加え、検討連携をイメージしやすいようモデル都市での検討例や連携による留意点などをとりまとめている。

5. まとめ

本研究では、令和4年度に設定した費用関数を基盤として、下水処理と廃棄物処理の連携効果を簡易に評価するための検討ツールを開発した。開発したツールをモデル都市に適用し、試算結果と実際の運用状況との整合性を確認することで、ツールの有効性を検証した。

さらに、両分野の連携検討を体系的に進めるために必要な技術情報や連携形態の分類、関連データ等を整理し、技術資料として取りまとめた。本資料は国総研資料として公表し、地方公共団体が初期検討段階で活用可能な基礎的情報を提供するものである。

本研究成果により、地方公共団体における下水処理・廃棄物処理の連携検討が促進され、施設の最適化や資源・エネルギー利用の高度化を図るうえで有用な知見を提供することが期待される。

2. 下水汚泥からの生分解性プラスチック回収可能性に関する研究

(研究期間 令和4年度～令和5年度)

下水処理研究室 室長 重村 浩之
研究官 石井 淑大
研究官 長寄 真

1. はじめに

下水道は、水、下水汚泥中の有機物、希少資源であるリン、下水熱など多くの水・資源・エネルギーポテンシャルを有するが、その利用は依然として低水準である。そのため、国土交通省が平成27年12月（令和6年3月一部改定）に策定した「下水道技術ビジョン」では、下水中の多様な物質の効率的回収に関する技術の開発が技術目標として定められている¹⁾。

そこで本調査では枯渇性資源の使用削減、海洋プラスチックごみ汚染の抑制に資すると考えられる生分解性プラスチックの原料であるポリヒドロキシアルカン酸（PHA）に着目した。下水汚泥からのポリヒドロキシアルカン酸回収は実用化されておらず、下水汚泥の新たな価値の創出に向けて検討が必要であると考えられる。

令和4年度においては、下水汚泥からの生分解性プラスチックの回収可能性を検討するため、水処理方式ごとに余剰汚泥のPHA生産ポテンシャルの把握を行い、余剰汚泥中のPHA含有量の比較を行った。また、そのPHA含有量のデータを元に、国内の下水汚泥中のPHA賦存量の試算を行った。令和5年度は、生分解性プラスチックの作成、実用性の検討を行った。

2. 研究方法

2. 1 生分解性プラスチックの作成

余剰汚泥内に蓄積させたPHAを抽出・精製し、生分解性プラスチックの作成を試みた。抽出・精製については有機溶媒による溶媒抽出法を用いた。得られた生成物の物性評価として、融点（示差走査熱量計法）、分子量（ゲル浸透クロマトグラフィー法）の測定を行った。

2. 2 実用性の検討

生分解性プラスチック回収の実用化に向けて、採算性、活用方法を文献調査により検討した。

3. 結果・考察

3. 1 生分解性プラスチックの作成

余剰汚泥内に蓄積させたPHAを抽出・精製し、生成物を用いて、生分解性プラスチックの作成を試みた。まず、蓄積させるPHAを増やすため、井上ら²⁾の方法（ADD法）を参考に余剰汚泥にPHAを効率的に蓄積させた。ADD法を用いなかった場合と比較して、約1.9倍PHAが蓄積されたことが確認できた（表1）。

また、現在、市販されている生分解性プラスチックではPHAのうち、PHBとPHHを重合し

たものが使用されている。酢酸基質の場合、大部分が PHB のため、PHH の割合を増やすため、投入基質の検討が必要であり、本研究ではラウリン酸を選択した。酢酸基質と比較して、PHH の割合が 7% 程度上昇した一方で、PHA 含有量自体は減少したため(表 1)、PHH の割合を増やしつつ、含有量を減少させない投入基質の検討が今後必要であると考えられる。

有機溶媒による溶媒抽出法を用いて余剰汚泥から PHA を抽出・精製し、生分解性プラスチックの作成を行った結果を写真 1 に示す。作成にあたり、余剰汚泥から抽出、精製した PHA のみでは非常に脆く、物性評価の実施が困難だったため、市販の生分解性プラスチックを配合し作成した。写真は左から市販品配合率

100%、100%、95%、80%、60%、55% である。物性評価の結果は、融点は他の文献と同様の結果が出ているが、分子量はやや低いことが確認された。

3. 3 実用性の検討

採算性について、文献では PHA 含有率が 40% あれば商業ベースに乗るという報告³⁾もある。本研究では最大でも 16% 程度であり、PHA 含有率の上昇が必要である。仮に実用化された場合、下水汚泥由来ということを踏まえると、ストロー、レジ袋等の日用品は難しいため、農業用マルチフィルムや土木建築資材等が適していると考えられる。

4. まとめ

- ・ PHH の割合を増やすため、ラウリン酸を投入した。酢酸基質と比較して、PHH の割合が 7% 程度上昇した一方で、PHA 含有量自体は減少したため、PHH の割合を増やしつつ、含有量を減少させない投入基質の検討が今後必要であると考えられる。
- ・ 採算性について、文献では PHA 含有率が 40% あれば商業ベースに乗るという報告もあるが、本研究では最大でも 16% 程度であり、PHA 含有率の上昇が必要である。仮に実用化された場合の用途としては、農業用マルチフィルムや土木建築資材等が想定される。

参考文献

- 1) 下水道技術ビジョン, 平成 27 年 12 月 (令和 6 年 3 月一部改訂)
- 2) 余剰汚泥をバイオ触媒としたポリヒドロキシアルカン酸の生産, 池 道彦, 井上 大介, 日本水処理生物学会誌・第 59 巻, 2023
- 3) Bengtsson, S., Werker, A., Visser, C., Korving, L.: PHARIO – stepping stone to a sustainable value chain for PHA bioplastic using municipal activated sludge, Technical Rep, STOVA, Amersfoort, The Netherland, 2017

表 1 生産方法や投入基質の違いによる PHA 含有量の比較 (mg/kg-dry)

基質	PHB	PHV	PHH
酢酸_ADD 有	42000 (99.5%)	190 (0.5%)	9.7 (0.0%)
ラウリン酸_ADD 有	2400 (86.6%)	190 (6.9%)	180 (6.5%)
酢酸_ADD 無	22000 (97.3%)	580 (2.6%)	22 (0.1%)

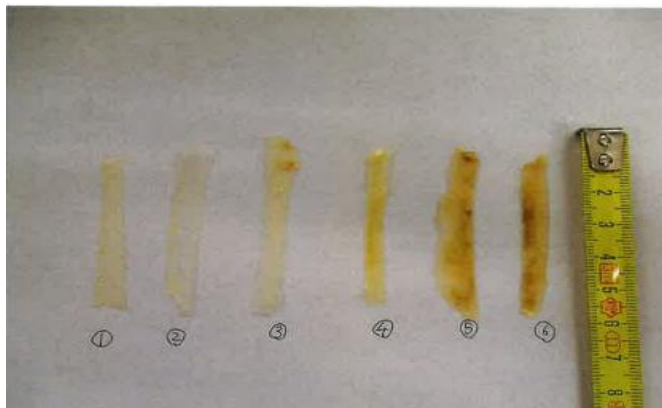


写真 1 生分解性プラスチックテストピース