

## 資料4-2

# 廃棄物分野との一体処理促進について

～下水処理と廃棄物処理を連携させた  
資源循環システムの構築を目指して～

～進捗報告～

# 報告内容

---

- ① 国総研の取組概要(廃棄物分野との一体処理促進)
- ② 令和4年度の成果
  - ②-1:連携パターンの精査、②-2:定量的な評価手法の検討
- ③ 今後の予定

参考資料 第2回分科会におけるご意見について

# ①国総研の取組概要(廃棄物分野との一体処理促進)



## ■ 目的

○廃棄物分野との連携にあたり、自治体の職員が手軽に利用できる「検討手順書(虎の巻)」の整備

- ✓ 複数の連携パターンの中から、自分の自治体にあったものを簡単に選定でき、スムーズに検討段階へ移行可能
- ✓ 自治体の情報を基に、定量的な観点で、総合的にどういった連携パターンが良いか選定できる簡易ツールの様なもの

## ■ 令和4年度に実施した内容

- 令和3年度に作成した連携パターンの精査
- 経済性、環境性に関して、定量的な評価手法の検討

## ②令和4年度成果(②-1:連携パターンの精査)

### 連携パターンの精査内容

昨年度の整理は、生ごみ受入れを実施している先進事例の多くで、目的として「資源の有効利用(循環型社会)」が挙げられている点を踏まえ、資源化メニューを網羅する観点で分類を検討した。今年度は、それをベースとして、以下の4点を見直した。

- a) 一般廃棄物に生活系分別ごみを含むか否かはツール内で考慮可能なため、わかりやすくするために奇数と偶数のパターンを統合
- b) パターン分けの用途「肥料化」を、「乾燥肥料」と「コンポスト」に分類
- c) 「熱利用」について、焼却廃熱に限らず、場内における廃熱全般からの回収・利用とわかるように表記
- d) パターン「汚泥を廃棄物側で処分」とパターン「汚泥を下水側で処分」を入れ替え(下水側での処分を基本パターン)

旧

連携パターン	資源利用用途		脱水汚泥	生ごみ	
				事業系	生活系
1	消化ガス 発電	-	廃棄物処理施設へ搬出	受入れ	-
2				受入れ	受入れ
3			汚泥処理、焼却等	受入れ	-
4				受入れ	受入れ
5		固形燃料	資源化	受入れ	-
6				受入れ	受入れ
7		肥料	⇒b)「乾燥肥料」と「コンポスト」に分類	受入れ	-
8				受入れ	受入れ
9		リン回収	汚泥処理、焼却等	受入れ	-
10				受入れ	受入れ
11		熱利用	↑c)焼却廃熱だけでなく場内廃熱全般と表した	受入れ	-
12				受入れ	受入れ

a)連携パターンでは区別せず統合



新(精査後)

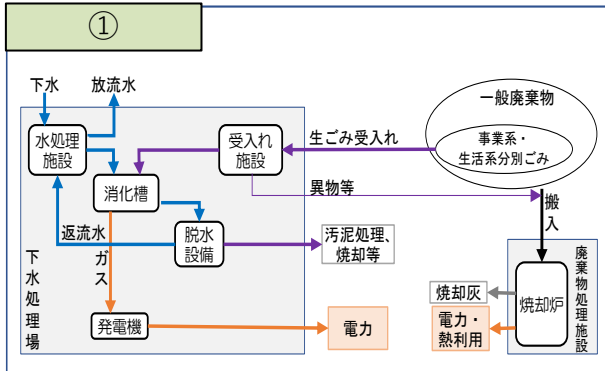
連携パターン	資源利用用途		脱水汚泥
1	消化ガス 発電	-	汚泥処理、焼却等
2			廃棄物処理施設へ搬出
3		固形燃料	資源化
4		乾燥汚泥肥料	
5		発酵コンポスト	
6		リン回収	汚泥処理、焼却等
7		場内廃熱利用	焼却

※導管注入についてはヒアリングの結果、課題点もあり、現時点簡易ツールには反映しないが、下水道応用研究の中で部分的にはあるが研究されていることもあり、将来の可能性も考慮して技術資料には別途参考事例として紹介し、研究が進んできた段階で今後の対応を検討する。

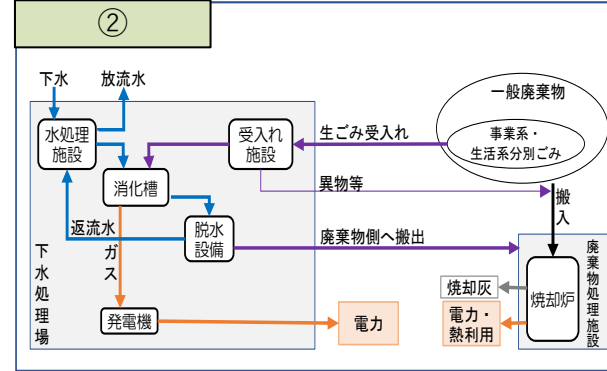
# ②令和4年度成果(②-1:連携パターンの精査)

## 連携パターン一覧

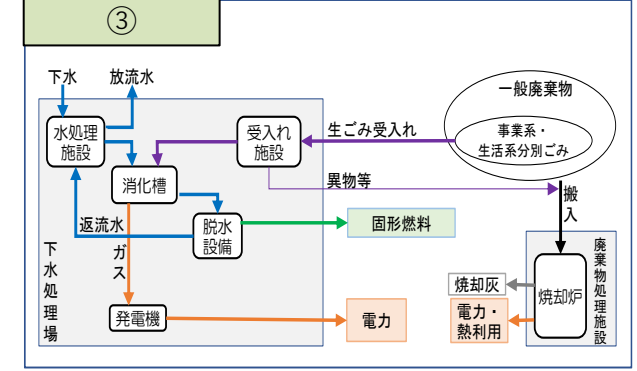
① 消化ガス発電→汚泥は下水側で処分



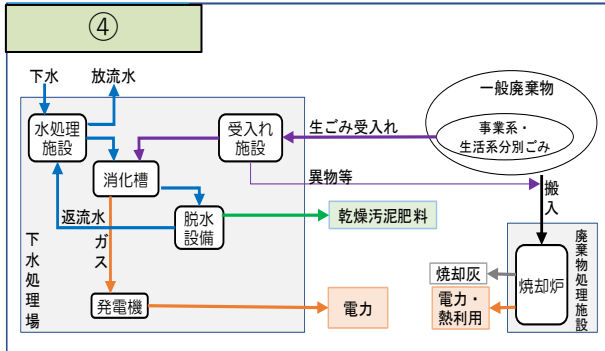
② 消化ガス発電→汚泥は廃棄物側で処分



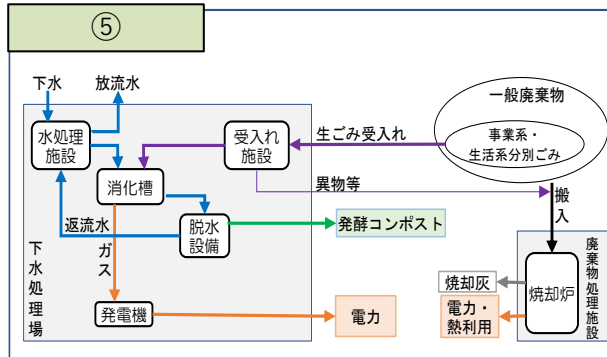
③ 消化ガス発電→汚泥は固形燃料化



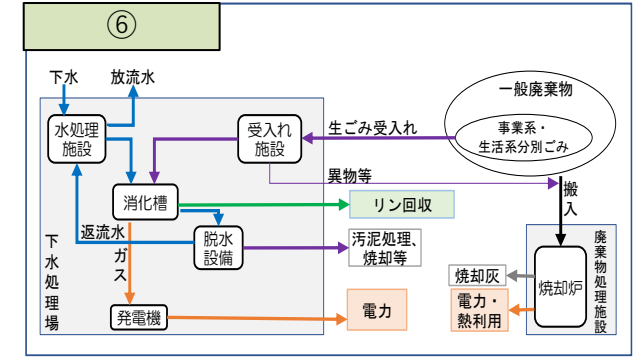
④ 消化ガス発電→汚泥は乾燥汚泥肥料化



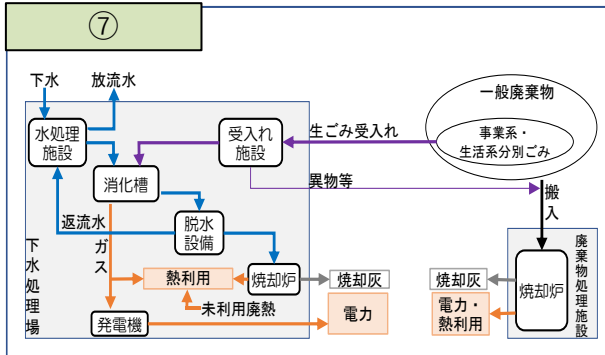
⑤ 消化ガス発電→汚泥は発酵コンポスト化



⑥ 消化ガス発電→汚泥からリンを回収



⑦ 消化ガス発電→場内廃熱から熱回収利用



## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 経済性・環境性評価の全体の流れ

下水道事業と廃棄物処理事業のそれぞれにおいて、「経済性評価」と「環境性評価」を行ったうえで総合的に評価する。

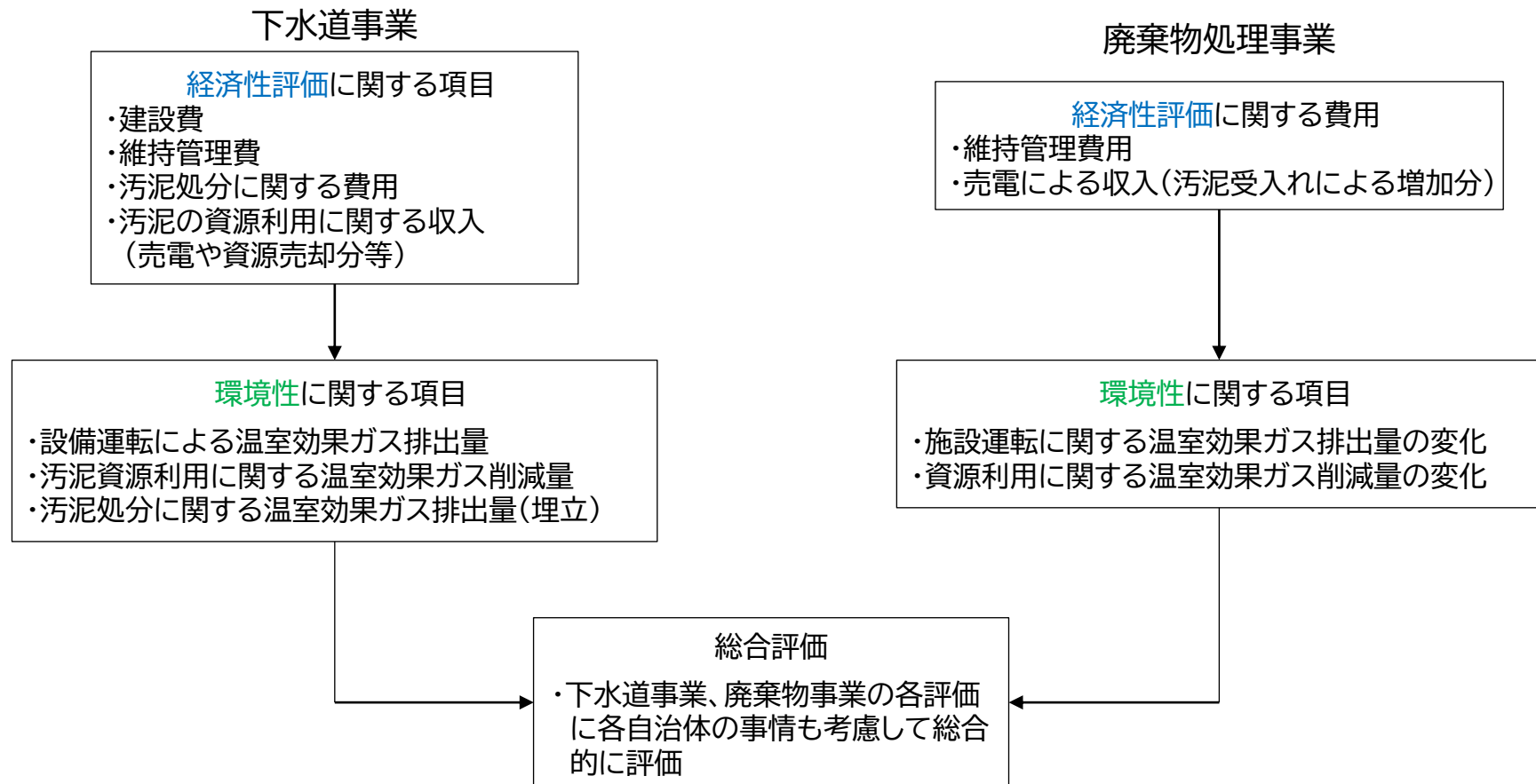


図 経済性・環境性評価の流れ

## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 費用関数(経済性)の整理方針

費用関数の作成に当たっては、下水処理場への生ごみ受け入れ事業に対し、設備納入実績のあるメーカーおよび自治体にアンケート・ヒアリングを実施し、既存の費用関数の精査および不足する費用関数の作成を行った。

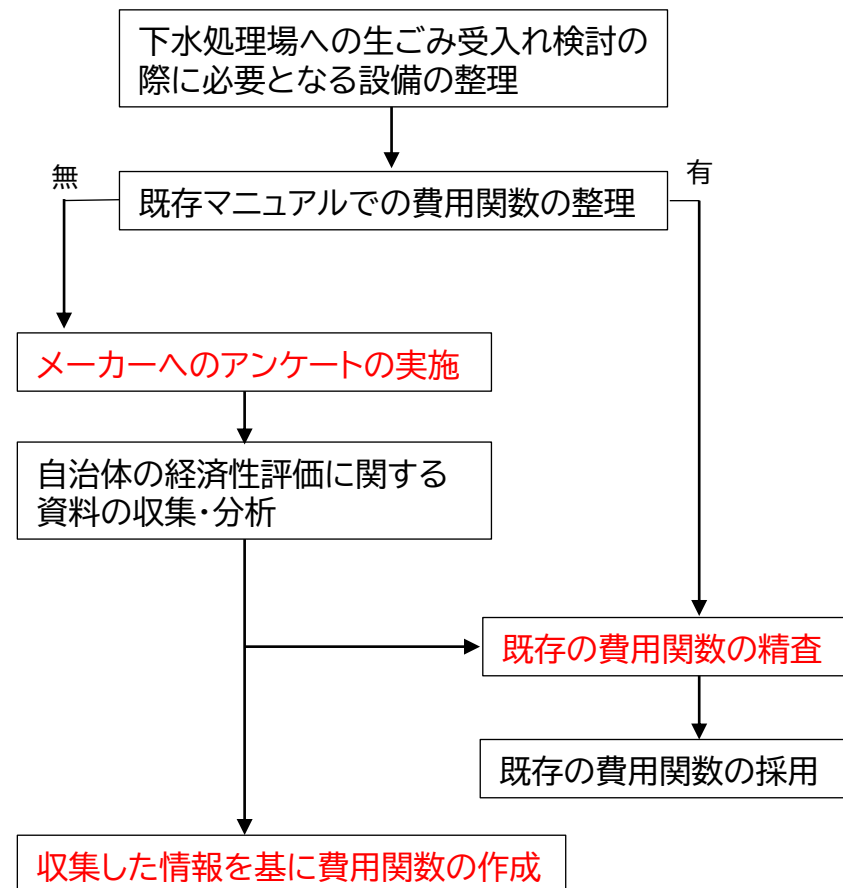


図 検討フロー

#### ○既存関連マニュアル

- ・国交省、下水道新技術機構等から発刊されている下水処理場への生ごみ受け入れや下水汚泥有効利用関連のマニュアルを参照

#### ○アンケート対象メーカー

- ・下水処理場への生ごみ受け入れに関する設備の納入実績のあるメーカー

表 アンケート対象メーカー

対象メーカー	実績
A株式会社	a市
B株式会社	b市
C株式会社	c市
D株式会社	d市
E株式会社	e市、f市

※回答をのあったメーカーのみ記載(繁忙状況により1部設備のみ回答も含む)

#### ○情報収集対象自治体

- ・昨年度調査のアンケートにおいて経済性・環境性の評価を実施した旨の回答がある自治体

## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 収集した情報を基に費用関数(経済性)の作成・精査例

本調査では、既存の費用関数に明確な定義が無く、かつ生ごみの受け入れにあたり今回のメイン施設である前処理設備(「生ごみ受け入れホッパ」「破碎分別機」「沈降物(発酵不適物)除去槽)」について新たな式を作成することを目指した。

#### ○前処理設備(作成)

メーカーアンケート回答および自治体の検討資料における前処理設備(「生ごみ受け入れホッパ」「破碎分別機」「沈降物除去槽)」の建設費のプロットから回帰式を作成した。

#### ◆前処理設備の建設費の例

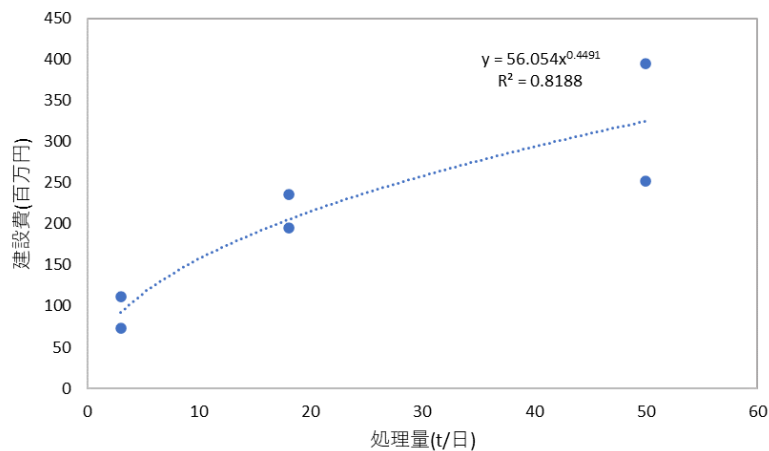


図 前処理設備の建設費回答の整理

上図より、回帰式の決定係数R2値は約0.82となり相関性が確認できた。以上より、作成した回帰式を費用関数として採用することとした。

$$Y = 56.054X^{0.4491}$$

#### ○前処理設備以外(精査)

前処理設備以外は既存の費用関数があることと、本調査では有効回答数が少なく回帰式の信頼性が十分に確保できないことから、作成した回帰式自体の採用は見送り、得られた情報から、既存の費用関数の妥当性を精査することを目指した。

#### ◆乾燥設備建設費の例

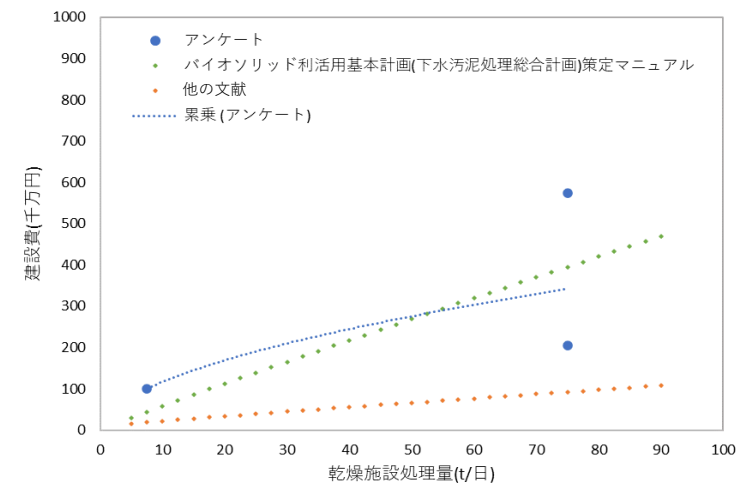


図 乾燥設備建設費回答より既存関数の精査

乾燥設備については、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル(デフレーター補正後)」の費用関数(緑線)の方が今回アンケート結果(青点線)と整合しており、費用関数として採用。



## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 費用関数(経済性)一覧

生ごみ受入れにおいて経済性評価で用いる費用関数の一覧を示す。

表 設備の費用関数一覧1

No	項目	費用関数	単位	補正值 <sup>*1</sup>	出典 <sup>*2</sup>	備考
①	前処理設備(建設費)	$Y=56.054 \times Q_w \wedge 0.4491$	百万円	-		
	前処理設備(維持管理費)	$Y=11.96646 Q_w \wedge 0.7 \times b \times 365 \times C \div 10 \wedge 6$	百万円/年	1.04	1	b:人件費
②	混合槽(機械)	$Y=8.26 \times Q_v \wedge 0.400$	百万円	1.18	2	C:電気使用量単価
	混合槽(電気)	$Y=0.836 \times Q_v \wedge 0.535$	百万円			
	混合槽(土建)	$Y=2.01 \times Q_v \wedge 0.583$	百万円			
	混合槽(維持管理費)	$Y=9.45 \times Q_v \wedge 0.493 \times C$	百万円/年			
	混合槽(補修費)	$Y=0.184 \times Q_v \wedge 0.400$	百万円/年			
③	消化槽(機械)	$Y=0.07359 \times Q_v + 18.54433$	百万円	1.04	1	y:機械設備費
	消化槽(土建)	$Y=0.05367 \times Q_v + 20.30994$	百万円			
	消化槽(維持管理)	$Y=0.05y + 0.0030474 Q_v + 0.4839338$	百万円/年			
	消化槽(維持管理)	$Y=0.05y + 0.0030474 Q_v + 0.4839338$	百万円/年			
④	ガスタンク	$Y=10.4 \times Q_v \wedge 0.437$	百万円	1.18	2	
	ガスタンク(維持管理費)	$Y=0.283 \times Q_v \wedge 0.302$	百万円			
⑤	脱水機(機械)	$Y=0.434 \times Q_{s1} \wedge 0.373$	百万円	1.27	3	
	脱水機(土木)	$Y=0.227 \times Q_{s1} \wedge 0.444$	百万円			
	脱水機(維持管理)	$Y=0.039 \times Q_{s1} \wedge 0.595$	百万円/年			
⑥	消化ガス発電機(機器費)	$Y=0.039538 \times Q_g + 9.073315$	百万円	1.04	1	T:年間稼働時間
	消化ガス発電機(維持管理費)	$Y=0.0988 Q_a T$	百万円/年			
⑦	炭化炉(機械)	$Y=206.94 Q_s \wedge 0.6123$	百万円	1.06	4	
	炭化炉(土建)	$Y=64.741 Q_s \wedge 0.391$	百万円			
	炭化炉(維持管理)	$Y=1.8778 Q_s + 105.9$	百万円/年			

表 設備の費用関数一覧2

No	項目	費用関数	単位	補正值 <sup>*1</sup>	出典 <sup>*2</sup>	備考
⑧	堆肥化施設	$Y=1.233 \times Q_f \wedge 0.650$	億円	1.30	3	人件費なし
	堆肥化施設(維持管理)	$Y=1.925 \times Q_f \wedge 0.932$	百万円/年			
⑨	乾燥施設(機械)	$Y=0.319 \times Q_f \wedge 0.971$	億円	1.27	3	
	乾燥施設(電気)	$Y=0.0659 \times Q_f \wedge 0.809$	億円			
	乾燥施設(土木)	$Y=0.123 \times Q_f \wedge 0.941$	億円			
	乾燥施設(維持管理)	$Y=0.362 \times Q_s \wedge 0.585$	百万円/年			
	乾燥施設(維持管理)	$Y=0.362 \times Q_s \wedge 0.585$	百万円/年			
⑩	リン資源化施設(MAP法脱水ろ液、建設)	$Y=2.2591 Q_t + 244.00$	百万円	1.20	6	
	リン資源化施設(MAP法脱水ろ液、維持管理)	$Y=0.0684 Q_t + 0.7022$	百万円/年			
	リン資源化施設(MAP法、消化液、建設)	$Y=1.9888 Q_t + 107.98$	百万円			
	リン資源化施設(MAP法、消化液、維持管理)	$Y=0.1334 Q_t + 0.6595$	百万円/年			
⑪	焼却設備(機械)	$Y=1.888 \times Q_f \wedge 0.597$	億円	1.27	3	
	焼却設備(電気)	$Y=0.726 \times Q_f \wedge 0.539$	億円			
	焼却設備(土建、焼却炉)	$Y=1.361 \times Q_f \wedge 0.380$	億円			
	焼却設備(土建、電気室)	$Y=2.426 \times Q_f \wedge 0.0094$	億円			
	焼却設備(維持管理)	$Y=0.287 \times Q_s \wedge 0.673$	百万円/年			

表 その他の費用関数一覧

No	項目	費用関数	単位	出典 <sup>*2</sup>	備考
⑫	資源売却収入(固形燃料、電気等)	$Y=Q_r \times M$	円/年	4	M:資源売却単価
⑬	廃棄物焼却炉(電気、重油量変化分)	$Y=Q_s \times E \times C$	円/年	5	C:エネルギー使用単価
⑭	売電収入(廃棄物)	$Y=Q_p \times M$	円/年	5	M:資源売却単価
⑮	污泥処分費	$Y=Q_s \times B$	円/年		B:処分費炭化

Y:費用、 $Q_w$ :生ごみ受け入れ量、 $Q_v$ :容量、 $Q_{s1}$ :汚泥量(固形物1%換算)、 $Q_g$ :消化ガス量、 $Q_s$ :汚泥処理量、 $Q_f$ :施設規模、 $Q_w$ :下水処理量、 $Q_a$ :ガス発電容量、 $Q_r$ :資源生産量、 $Q_p$ :発電量、C:電力単価、E:処理量当たりのエネルギー使用量、G:温室効果ガス排出(削減)量 a:温室効果ガス排出量原単位

\*1 出典資料の発刊年度を基準とした2021年値(R4, 12月時点最新値)へのデフレーター補正值

\*2 1:下水処理場におけるエネルギー自立化の可能性調査研究技術資料,下水道新技術機構,2019 2:下水処理場へのバイオマス(生ごみ等受入れマニュアル)受入れ,下水道新技術機構,2011 3:バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル,下水道協会,2004 4:下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン-改訂版-,国土省,H30 5:廃棄物系バイオマス利活用 導入マニュアル,環境省,H29 6:下水道におけるリン資源化の手引き,国土省,2010

## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 算定式(環境性)等の整理方針

環境に関する簡易算定式の整理に当たっては、経済性同様の方法でメーカーおよび自治体にアンケート・ヒアリングを実施し、検討を行った。

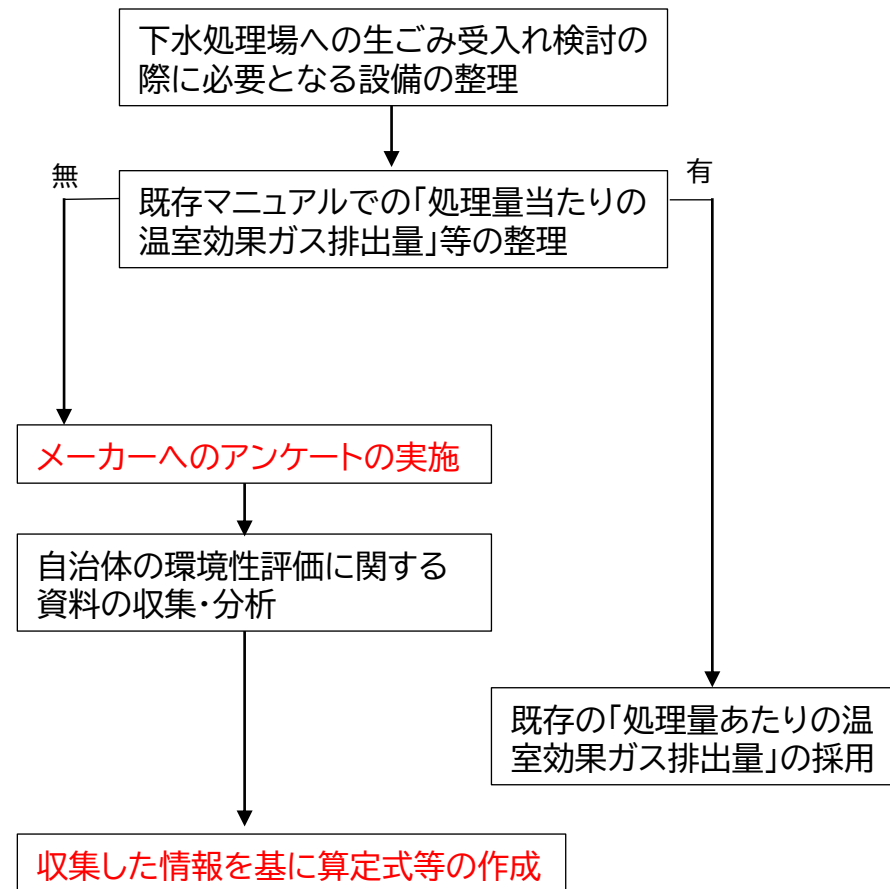


図 検討フロー

○既存関連マニュアル  
・国交省、環境省等から発刊されている下水汚泥有効利用や施設運転に関するGHG排出算定に関する各種マニュアルを参照

○アンケート対象メーカー  
・下水処理場への生ごみ受入れに関する設備の納入実績のあるメーカー

表 アンケート対象メーカー

対象メーカー	実績
A株式会社	a市
B株式会社	b市
C株式会社	c市
D株式会社	d市
E株式会社	e市、f市

※回答をのあったメーカーのみ記載(繁忙状況により1部設備のみ回答も含む)

○情報収集対象自治体  
・昨年度調査のアンケートにおいて経済性・環境性の評価を実施した旨の回答がある自治体

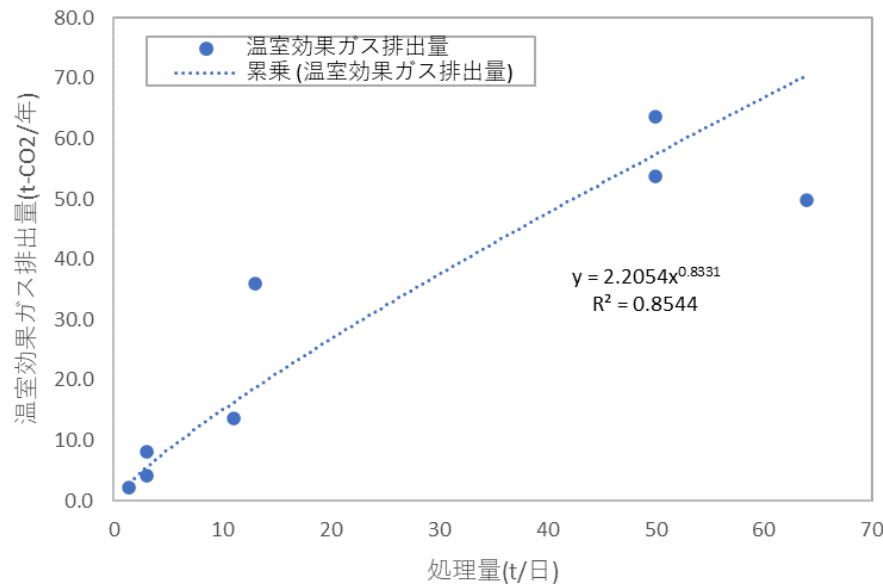
## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

収集した情報を基に簡易算定式(環境性)の作成例

生ごみ受入れをした場合において、エネルギー使用量の増加に着目してデータ整理を行った。

### ○前処理設備のエネルギー使用に伴う温室効果ガスの整理例

メーカーアンケート回答および自治体資料を基に、エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量の簡易算定式を作成した。



前処理設備による温室効果ガス排出量の簡易算定式

$$Y = 2.2054X^{0.8331}$$

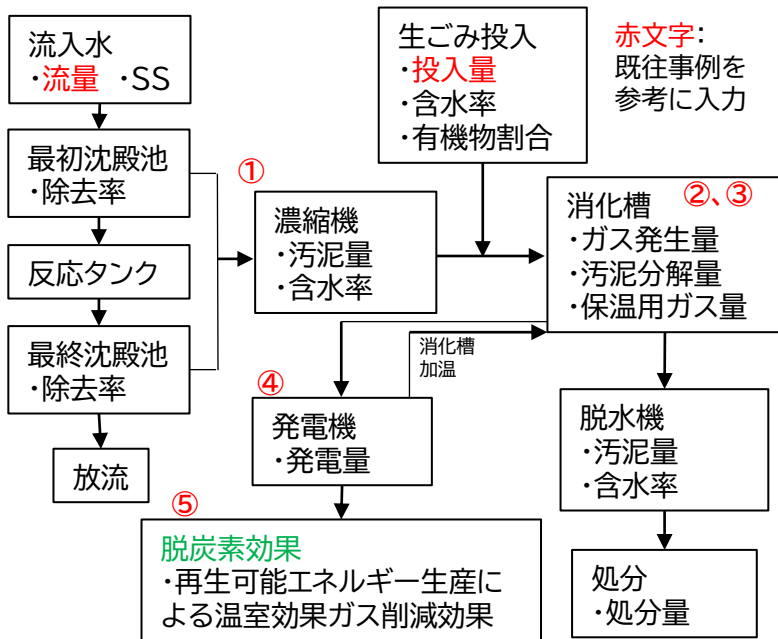
図 前処理施設運転による温室効果ガス排出量

## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### 簡易な算定方法(環境性)の検討

一つの式で簡単に表せないものに関しては、物質収支から電力量を算出し、排出係数を掛けて脱炭素効果量(排出削減量)を算定する等の評価手法を検討した。簡易ツールの中では自動計算で簡単に答えがでるような仕組み。

### 【下水側】(例)消化ガス発電による温室効果ガス排出量削減効果を簡易に算定する流れ



#### ① 汚泥発生量

No	項目	値	単位	算定方法
①	流入水量	19,127	m <sup>3</sup> /日	与条件「A市の入力値」
②	流入水SS	180	mg/L	「参考資料*1を基に仮設定」
③	最初沈殿池SS除去率	50	%	「参考資料*1を基に仮設定」
④	第二沈殿池除去率	86	%	「参考資料*1を基に仮設定」
⑤	最初沈殿池発生固形物質量	1721	kg-DS/日	$((① \times ②) \times 1000) \times ③ / 100$
⑥	第二沈殿池発生固形物質量	1480	kg-DS/日	$((① \times ②) \times 1000 - ⑤) \times ④ / 100$
⑦	発生汚泥固形物質量	3202	kg-DS/日	⑤+⑥

#### ② 消化運転(下水汚泥)

No	項目	値	単位	算定方法
⑧	有機物含有比	0.8	VS/DS	「参考資料*2を基に設定」
⑨	有機物量	2561	kg-VS/日	⑦×⑧
⑩	ガス転換率	0.55	Nm <sup>3</sup> /kgVS	「参考資料*2を基に設定」
⑪	ガス発生量	1409	Nm <sup>3</sup> /日	⑨×⑩

#### ③ 消化運転(生ごみ)

No	項目	値	単位	算定方法
⑫	生ごみ投入量	5700	kg/日	与条件「A市の入力値」
⑬	含水率	80	%	「参考資料*2を基に設定」
⑭	生ごみ固形物質量	1140	kg-DS/日	⑫×(1-⑬)/100
⑮	有機物含有比	0.95	VS/DS	「参考資料*2を基に設定」
⑯	有機物量	1083	kg-VS/日	⑭×⑮
⑰	ガス転換率	0.95	Nm <sup>3</sup> /kgVS	「参考資料*2を基に設定」
⑱	ガス発生量	1029	Nm <sup>3</sup> /日	⑯×⑰

#### ④ 消化ガス発電

No	項目	値	単位	算定方法
⑲	投入ガス量	2438	Nm <sup>3</sup> /日	⑪+⑱
⑳	加温ガス割合	32	%	「参考資料*3を基に設定」
㉑	消化ガス加温に使用するガス量	780	Nm <sup>3</sup> /日	⑲×㉑
㉒	発電に利用するガス量	1658	Nm <sup>3</sup> /日	⑲-㉑
㉓	消化ガスの発熱量	21	MJ/Nm <sup>3</sup>	「参考資料*3を基に設定」
㉔	発電に使用する熱量	34810	MJ/日	㉒×㉓
㉕	発電効率	35	%	「参考資料*3を基に設定」
㉖	稼働率	99	%	「参考資料*3を基に設定」
㉗	発電量	3350	kWh/日	㉔×(㉖/100)×(㉕/100)×(1/3.6)

#### ⑤ 脱炭素効果(化石燃料由来電源の代替として使用した場合の効果)

No	項目	値	単位	算定方法
㉘	温室効果ガス排出係数	0.000453	t-CO <sub>2</sub> /kWh	「参考資料*4を基に設定」
㉙	脱炭素効果	1.5	t-CO <sub>2</sub> /日	㉗×㉘

#### 参考資料

- \*1 下水道計画・設計指針と解説2019(下水道協会)
- \*2 下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアル(H29,国土省)
- \*3 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(H30,国土省)
- \*4 電気事業者別排出係数関連ページ(環境省HP)
- \*5 廃棄物系バイオマス利活用 導入マニュアル,環境省,H29

図 処理水量から発電量を算定する流れの例

### 【廃棄物側】(例)生ごみの量が減ることによる温室効果ガス排出量削減効果算定の流れ

$$\text{CO}_2\text{削減量} = \text{下水処理施設への生ごみ投入量} \times \text{ごみ処理量当たりのエネルギー(電気・重油)使用量}^*5 \times \text{温室効果ガス排出係数}^*4$$

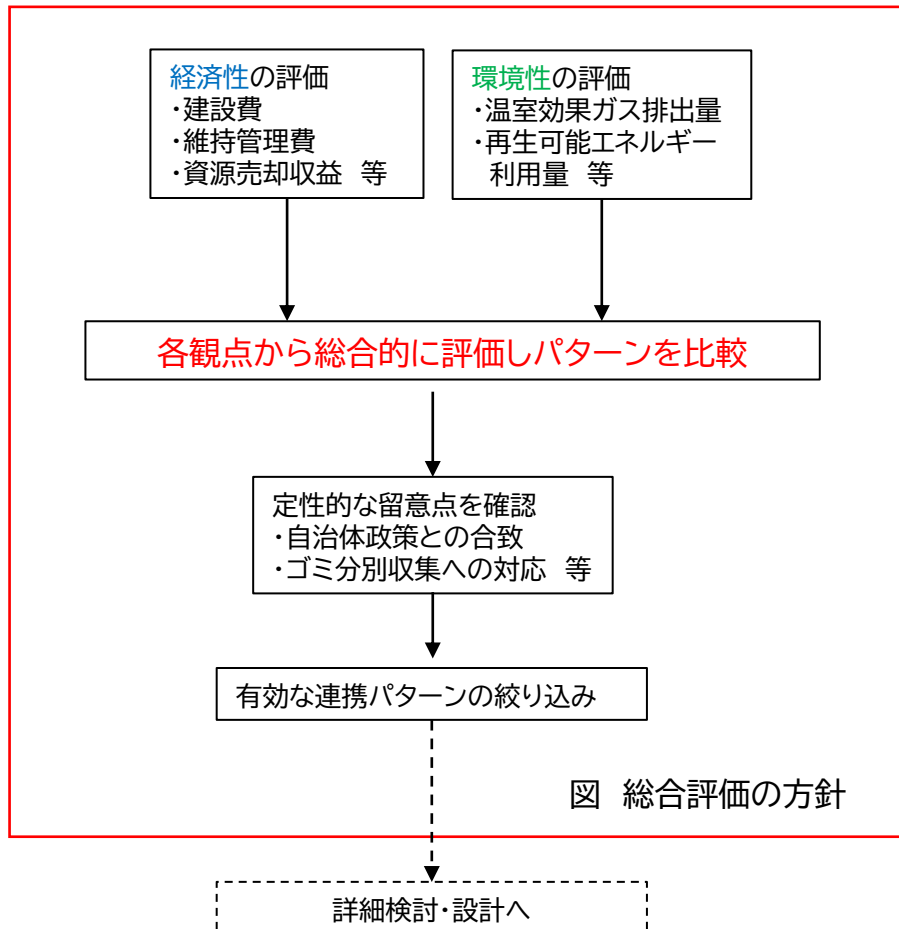
## ②令和4年度成果(②-2:定量的な評価手法の検討)

### まとめ(総合評価の考え方)

「経済性」「環境性」により総合的な評価を行いパターンを比較し、留意点として「定性的な評価」も考慮した上で、有効な連携パターンの絞り込みを行う。

※参考として、「下水道事業における費用効果分析マニュアル(国交省,R3)」におけるCo2貨幣価値換算の考え方も示す。

### ○総合評価の考え方



### 【参考】温室効果ガス排出量削減効果の貨幣価値換算の考え方

$$\begin{aligned} & \text{下水道における年度別温室効果ガス削減効果(円/年)} \\ &= \text{温室効果ガス単位当たり削減便益(円/t-C)} \\ & \quad \times \text{下水道における年度別温室効果ガス削減量(t-C/年)} \end{aligned}$$

公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)(国交省,H21)では、公共事業の事業評価に適用するCO2の貨幣価値原単位を「10,600円/t-C」と示されている。なお、この値は2,890円/t-CO2に相当する。

参考:下水道事業における費用効果分析マニュアル(国交省,R3)

### ③今後の予定

#### 令和5年に取り組むこと

令和5年度は、モデルケースにおける実行可能性調査の実施、並びに検討手順書及び簡易検討ツールを作成予定。

スケジュール		実施年度			状況
		令和3年度	令和4年度	令和5年度	
①	先進事例の実態調査	■			済
②	想定される連携パターンの作成、定性的な特徴を整理	■	→精査		済
③	各パターンについて、定量的な評価手法の検討		■		済
④	モデルケースにおける実行可能性調査の実施 (実都市を複数箇所選定し、試算を行うことにより、本研究の評価手法の妥当性を確認し、必要に応じて軌道修正する。)			■	予定
⑤	研究成果のとりまとめ、検討手順書等の作成 (検討手順書は構成を検討し、最終国総研の技術資料としてとりまとめる。並行して別途簡易検討ツールの作成も行うが、自治体職員に試行運用してもらい、使い勝手を確認してより良いものに仕上げる。)			■	予定