■ 特別寄稿

ごみ焼却施設と下水処理施設の連携検討支援ツールの開発
－GISによる可視化と環境性・経済性評価のケーススタディ－

早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科 教授
小野田　弘士

1. はじめに

筆者らは、廃棄物・３R財団およびプラントメーカー５社との共同研究事業として、ごみ焼却施設と下水処理施設の連携パターンを実例に基づき類型化し、これに伴う環境性（CO_2削減効果）や経済性（社会コスト縮減効果）を定量的に評価することが可能なデータベースの構築や各自治体の計画策定に活用できるツール開発を目指している[1) 2)]。共同研究事業全体の進捗に関しては、本誌第160号（2020.6）において、渡邉[3)]によって報告されている。本稿では、計画策定の初期段階で活用することを想定した地理情報システム（以下、GIS）と環境性・経済性の評価ツールに関する進捗状況を中心に述べる。

GISの活用に関しては、ごみ焼却施設、下水処理施設の立地情報、処理規模、運営形態等を可視化することで、連携可能性の高い自治体を抽出することを目的としている。また、環境性・経済性評価に関しては、自治体等への提案例として、佐賀県唐津市を対象に行ったケーススタディについて報告する。さらに、これらのツールの公開のあり方に関する現時点における考え方を整理した。

2. GISを活用したごみ焼却施設と下水処理施設の連携可能性の検討

2. 1　GISによる可視化方法

共同研究事業の一環として行ったアンケート調査によれば、ごみ焼却施設と下水処理施設の連携

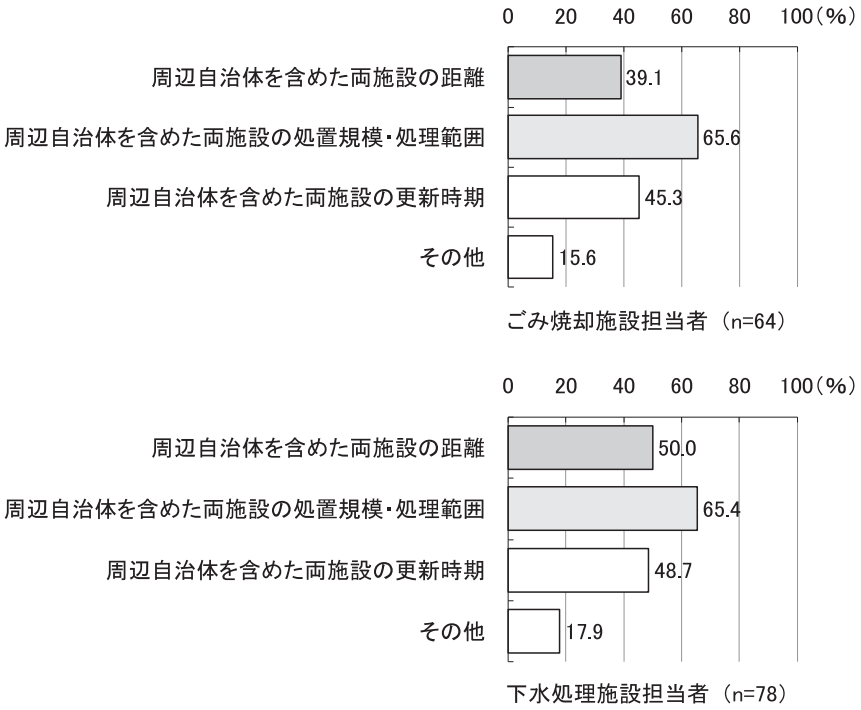


図１　ごみ焼却施設と下水処理施設の連携を検討するにあたって有効な情報

を検討するにあたって、両施設の距離、処理規模・処理範囲、更新時期等が把握可能であることが有効であるという意見が多く得られた（図１）。こうした情報を可視化するツールとしてGISが有効となる。

ここでは、QGIS[4]を活用して、ごみ焼却施設および下水処理施設の分布図を作成した。ごみ焼却施設では、各自治体にある施設の運用体制に応じて、その自治体単独で行っているのか、組合に加入して行っているのかなどを行政区域ごとに可視化した。下水処理施設では、公共、特環、流域、組合、公共＋特環、公共＋流域、特環＋流域、し尿処理の８つに分類して可視化した。連携可能性が高いと考えられるのは、自治体同士がそれぞれ単独で運営している場合である。したがって、単独で運営している自治体をごみ焼却施設、下水処理施設を可視化することにより、視覚的に連携可能性の把握可能とした。さらに、さまざまな自治体において、連携可能性の高い自治体を抽出するためのフローチャートを作成した。また、GISの内蔵プログラムによるスクリーニング機能の活用も併せて検討した。以上のGISによる可視化を、千葉県を例に検討した結果を紹介する。

2．2　GISへの入力データ

GISによる可視化にあたっては、国土地理院の国土数値情報ダウンロードサービス[5]上のデータを用いた。廃棄物処理施設のデータのうち、一般廃棄物処理施設の位置情報、下水道関連施設のデータのうち、下水処理施設の位置情報を活用した。以下にごみ焼却施設、下水処理施設それぞれに対して、追加的に収集した情報について述べる。

（１）ごみ焼却施設

ごみ焼却施設では、ある自治体が所有しているごみ焼却施設の管理体制を把握するために、環境省で公開されている平成29年度の「一般廃棄物処理実態調査結果」[6]より、表１に示すデータを活用した。同表のデータから当該施設を管理している市町村名を把握した。組合で運営している場合、組合名が記載されており、市町村名が記載されていない。よって、組合の構成市町村を明らかにするために、千葉県で公開されている「一部事務組合」[7]の情報を用いた。表２に千葉県のごみ焼却施設の組合一覧を示す。

（２）下水処理施設

下水処理施設の運営体制に関しては、日本下水道協会が取りまとめた平成27年度版「下水道統計（第72号）」[8]に基づき把握した。また、千葉県の流域の構成組合は、千葉県のホームページに掲載

表１　一般廃棄物処理実態調査結果より活用したデータ

項目名	単位
都道府県名	―
地方公共団体コード	―
地方公共団体名	―
施設名称	―
年間処理量	t/Y
処理対象廃棄物	―
施設の種類	―
処理方式	―
施設全体の処理能力	t/日
使用開始年	西暦

表２　千葉県のごみ焼却施設の組合一覧

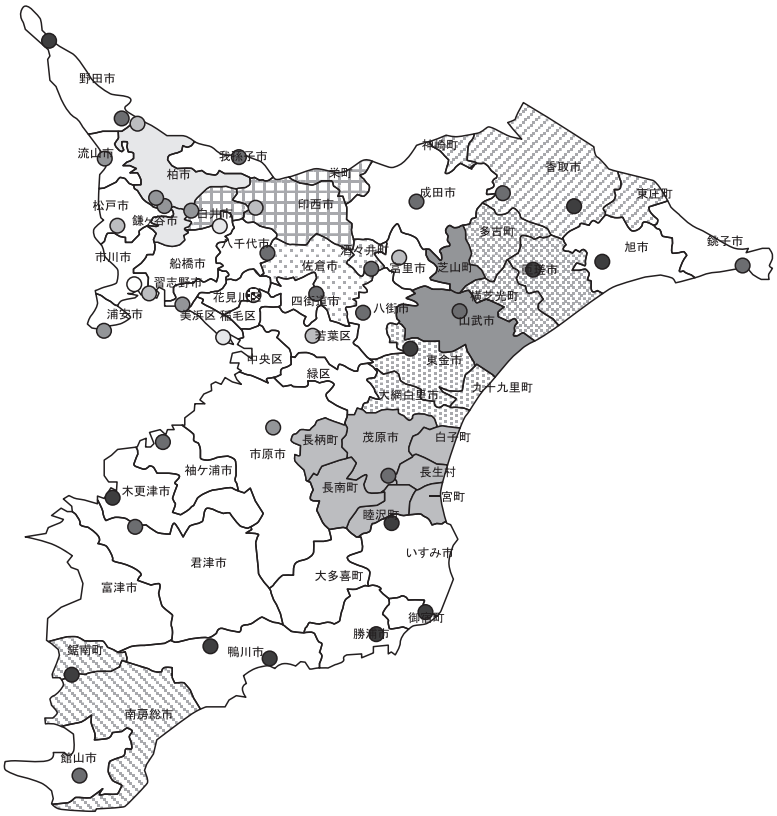
組合名	構成市町村
鋸南地区環境衛生組合	南房総市、鋸南町
佐倉市・酒々井町清掃組合	佐倉市、酒々井町
東金市外三市町清掃組合	東金市、大網白里市、九十九里町
山武郡市環境衛生組合	芝山町、横芝光町
柏・白井・鎌ケ谷環境衛生組合	柏市、鎌ケ谷市
匝瑳市ほか二町環境衛生組合	匝瑳市、多古町、横芝光町
長生郡市広域市町村圏組合	茂原市、一宮町、睦沢町、長生村、白子町、長柄町、長南町
香取広域市町村圏事務組合	香取市、神崎町、多古町、東庄町
印西地区環境整備事業組合	印西市、栄町
柏・白井・鎌ケ谷環境衛生組合＋印西地区環境整備事業組合	白井市
山武郡市環境衛生組合＋東金市外三市町清掃組合	山武市
直営	上記以外

処理能力（t/D）

- 0～100
- 100～200
- 200～300
- 300～400
- 400～500
- 500～600
- 600～700

焼却組合

- 匝瑳市ほか二町環境衛生組合
- 山武郡市環境衛生組合
- 印西地区環境整備事業組合
- 鋸南地区環境衛生組合
- 佐倉市・酒々井町清掃組合
- 東金市外三市町清掃組合
- 山武郡市環境衛生組合
- 柏・白井・鎌ケ谷環境衛生組合
- 香取広域市町村圏事務組合
- 直営



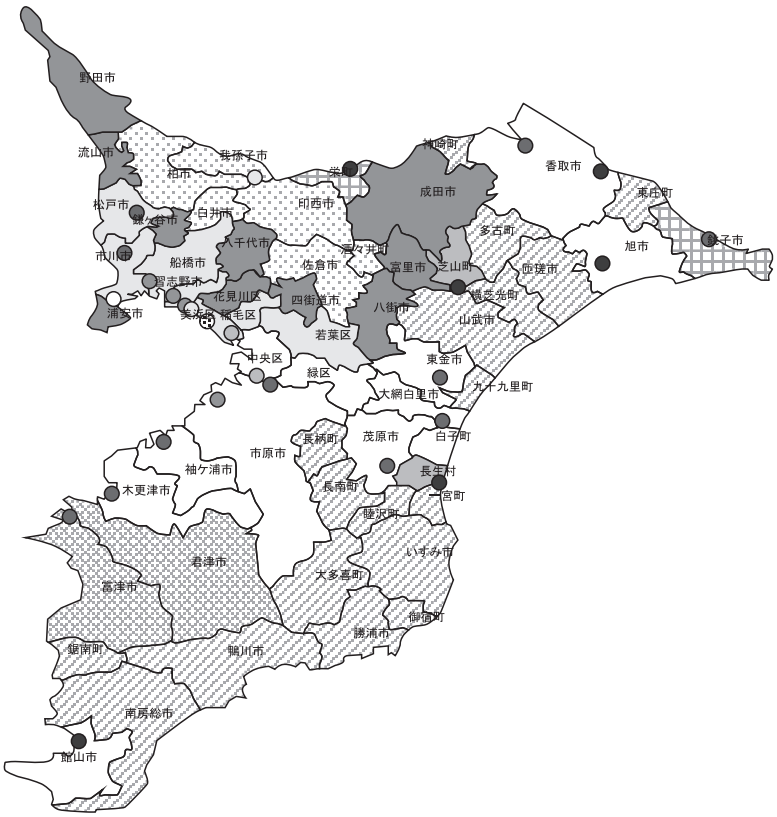
(a) ごみ焼却施設

当該施設における晴天時1日最大処理量（m³/D）

- 1,000～10,000
- 10,000～50,000
- 50,000～100,000
- 100,000～200,000
- 200,000～300,000
- 300,000～400,000
- 400,000～500,000

下水流域

- 流域
- 公共
- 特環
- 流域＋公共
- 特環＋公共
- 流域＋特環
- 組合
- し尿処理



(b) 下水処理施設

図２　GISによる可視化結果（千葉県）

されている「流域下水道の紹介」[9]を参照した。

2．3　GISによる可視化結果と考察

図２に千葉県の（a）ごみ焼却施設および（b）下水処理施設を可視化した結果を示す。連携可能性の高いと考えられる自治体を両図ともに白色で表示している。両図ともに白色となっている自治体を比較した結果を表３に示した。同表の「距離」は両施設間の距離を意味するが、旭市、袖ヶ浦市は0.2km程度と非常に近い距離で両施設が立地しており、物理的な連携可能性が高いと判断される。また、そのほかの自治体も両施設の距離が10km程度となっており、連携を検討するには支障がない範囲といえる。

次に、下水処理施設のうち、流域と公共の双方が立地する自治体から連携可能性が高い自治体を抽出する。連携可能性が高い判断基準は、流域と公共の処理量の割合を比較して、公共の施設も他の自治体の公共と同程度稼働している場合とした。表４に流域と公共の双方が立地する自治体を整理した。流域と公共の割合は、流域の処理量と公共の処理量の合計値から算定した値である。同表より、船橋市、習志野市、千葉市は公共の施設だけでも十分にごみ焼却施設と下水処理施設の連携が

表３　ごみ焼却施設・下水処理施設両施設とも運営している自治体

都市名	ごみ焼却施設	距離	下水処理施設
市原市	福増クリーンセンター第一工場　300（t/D）	9.5 km	菊間終末処理場　35,200（m^3/D）
	福増クリーンセンター第二工場　220（t/D）	10 km	松ヶ島終末処理場　53,200（m^3/D）
袖ヶ浦市	袖ヶ浦市クリーンセンター　120（t/D）	0.2km	袖ケ浦終末処理場　21,600（m^3/D）
旭市	旭市クリーンセンター　95（t/D）	0.2km	旭市浄化センター　3,100（m^3/D）
木更津市	木更津市クリーンセンター　140（t/D）	1.2km	木更津下水処理場　43,050（m^3/D）
館山市	館山市清掃センター　100（t/D）	7 km	館山市鏡ケ浦クリーンセンター　3,600（m^3/D）

表４　「流域」と「公共」双方が立地する自治体

都市名	流域		公共		流域：公共
	処理量（m^3/D）	処理開始年	処理量（m^3/D）	処理開始年	
市川市	464,000	1981/04/01	16,320	1972/04/01	28：1
船橋市	464,000	1981/04/01	76,500	1999/04/01	3：1
			67,000	1976/04/01	
習志野市	369,800	1994/06/01	59,600	1984/06/01	6：1
千葉市	369,800	1994/06/01	200,400	1981/04/01	1：1
			109,400	1968/06/01	

表５　船橋市・習志野市・千葉市の下水処理施設とごみ焼却施設の距離の比較

都市名	ごみ焼却施設	距離	下水処理施設
船橋市	船橋市南部清掃工場　375（t/D）	7 km	高瀬下水処理場　76,500（m^3/D）
	船橋市南部清掃工場　375（t/D）	3 km	西浦下水処理場　67,000（m^3/D）
習志野市	芝園清掃工場　219（t/D）	0.5km	津田沼浄化センター　59,600（m^3/D）
千葉市	新港清掃工場　405（t/D）	14km	南部浄化センター　200,400（m^3/D）
	北清掃工場　570（t/D）	20km	
	北谷津清掃工場　300（t/D）	15km	
	新港清掃工場　405（t/D）	2 km	中央浄化センター　109,400（m^3/D）
	北清掃工場　570（t/D）	8.8km	
	北谷津清掃工場　300（t/D）	13km	

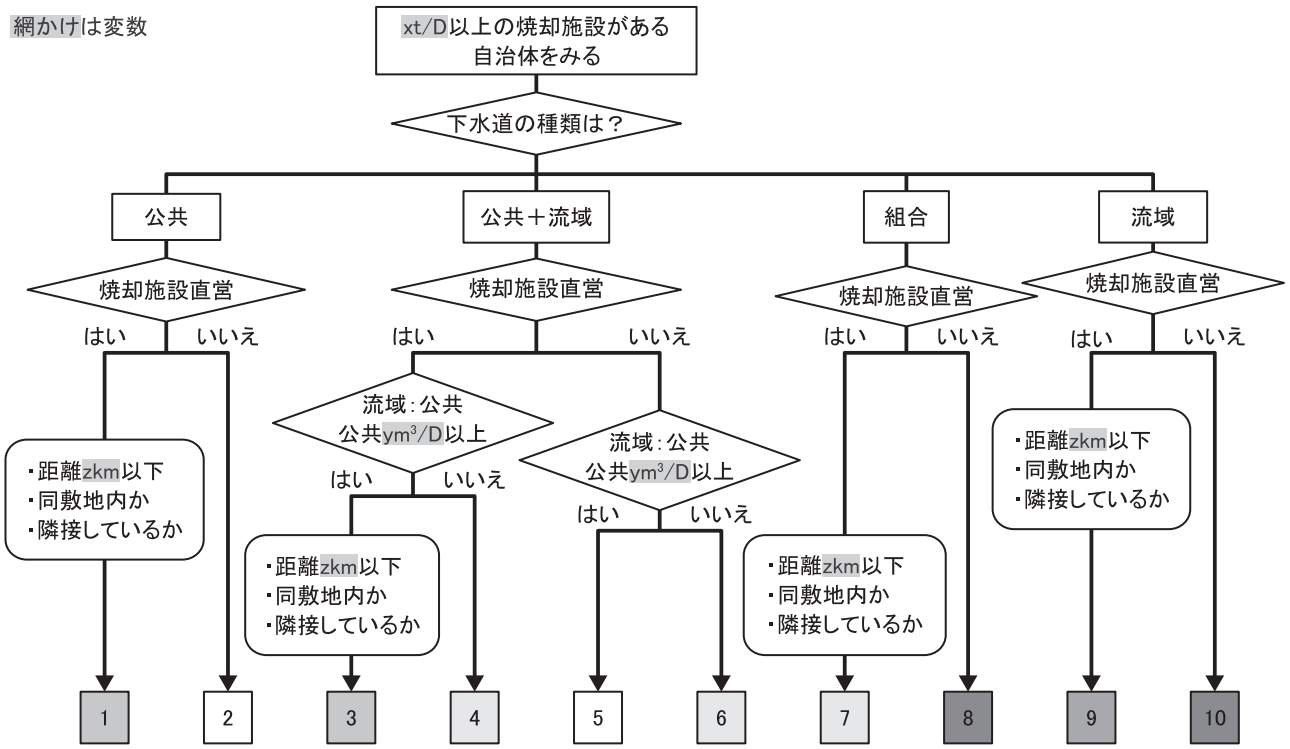


図３　GISにより連携可能性が高いごみ焼却施設と下水処理施設を抽出するフローチャート

検討できるポテンシャルを有している。表５にこの３つの自治体のごみ焼却施設と下水処理施設の距離を比較した結果を示す。同表から両施設間の距離も比較的近いといえ、十分に連携可能性があると考えられる。

以上のように連携可能性の高い自治体を抽出したが、その抽出の過程をさまざまな自治体に当てはめられるように図３に示すフローチャートとして整理した。このフローチャートでは、一定規模以上のごみ焼却施設を有する自治体をリストアップし、その自治体の下水処理施設の運営体制によって、連携可能性を判断する。そして、ごみ焼却施設が直営しているか否かを判断し、両施設間の距離等の条件を確認するという流れを想定している。千葉県の自治体にこのフローチャートを当てはめた結果、千葉県のごみ焼却施設を所持している27自治体のうち、連携可能性が高い８自治体を抽出することができた。表３、表４に示した自治体のうち、「流域」が主体の市川市を除く自治体が抽出されたこととなる。

ここでは、「距離」に着目した考察を行ったが、当然のことながら、距離だけで連携可能になるわけではない。しかしながら、ここで示した情報を広域化計画等の初期段階で有効に活用していくことで、連携の実現可能性を支援することは可能であると考える。

２．４　GISの内蔵機能を活用した連携可能性の検討

（１）フィルタ機能

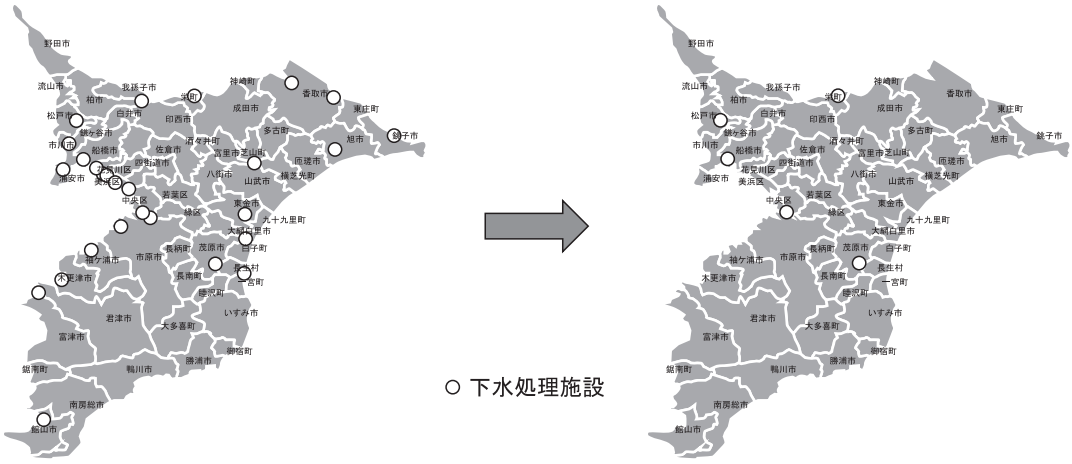
QGISには特定のデータのみを抽出して表示する機能がある。フィルタ可能な項目をごみ焼却施設、下水処理施設の内容を以下の表６に示した。下水処理施設のデータは、公共投資ジャーナル社が出版している「下水処理場ガイド2019」[10] を参照した。

この方法により、抽出した例を図４に示した。

- 同図（a）では、千葉県の下水処理施設におい

表６　フィルタ可能な項目

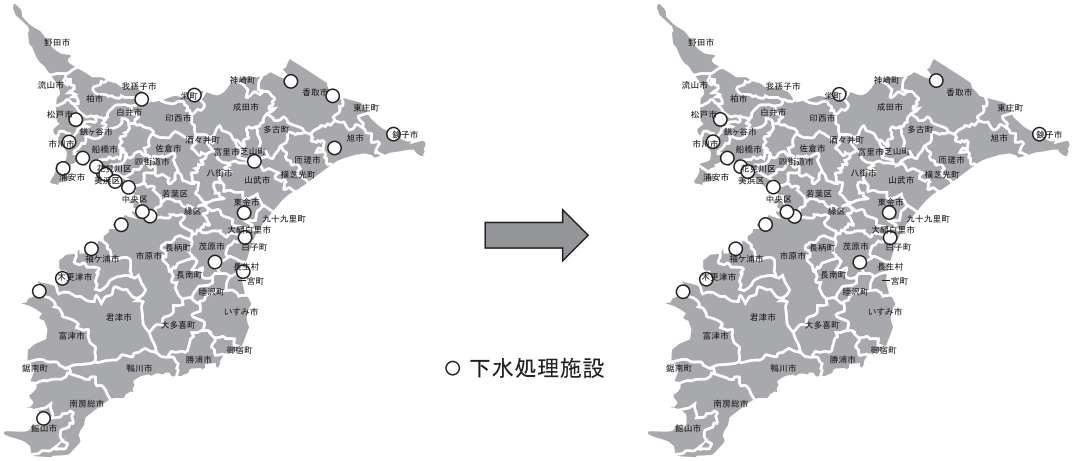
運営体制	項目
ごみ焼却施設	処理能力
下水処理施設	処理能力、処理開始年、処理方法、汚泥消化槽の有無、消化ガス発電設備の有無



千葉県の下水処理施設

千葉県の下水処理施設
条件：汚泥消化槽を保有

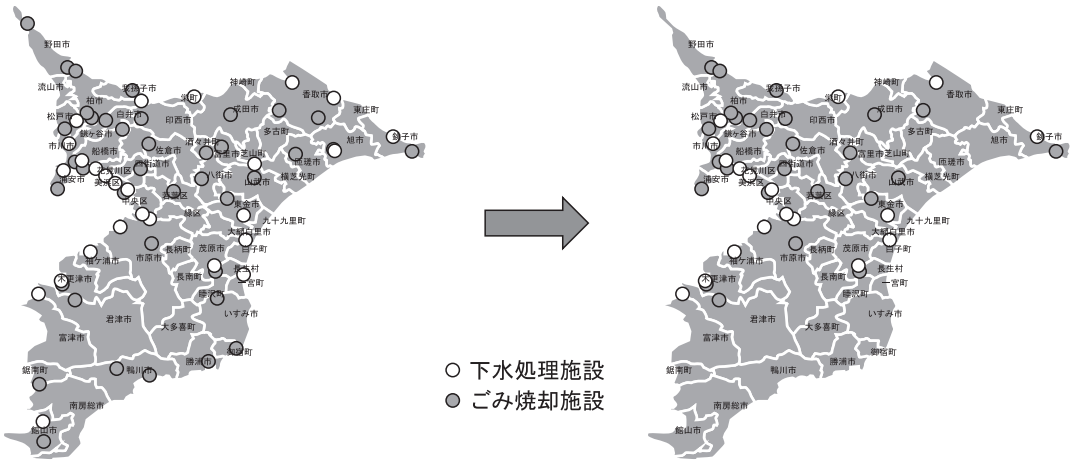
(a)汚泥消化槽を保有する下水処理施設



千葉県の下水処理施設

千葉県の下水処理施設
条件：公共かつ10,000t/D以上

(b)公共下水道かつ10,000m³/D以上の処理規模を保有する下水処理施設



千葉県の下水処理施設とごみ焼却施設

【条件】
下水処理施設：公共かつ10,000m³/D以上
ごみ焼却施設：100t/D以上

(c)下水処理施設が公共下水道かつ10,000m³/D以上でごみ焼却施設が100t/D以上の処理規模を有する施設

図４　QGISのフィルタリング機能を用いた抽出事例

て汚泥浄化槽を有する施設を抽出したものである。これより、千葉県の下水処理施設において汚泥消化槽を有する施設は27施設中５施設となり、約20％であることが確認できる。

- 同図（b）では、２つ以上のパラメータのフィルタリングを示したもので公共下水道かつ10,000m^3/D以上の処理規模を持つ施設を抽出したものである。これより、千葉県では18の施設を抽出することができた。これは千葉県全体の約67％に相当する。
- 同図（c）では、下水処理施設のデータが公共下水道かつ10,000m^3/D以上の処理規模を有する施設でごみ焼却施設に対してもフィルタリングを行い、100t/D以上の処理規模を有する施設が表示されている。同図より、千葉県のごみ焼却施設47施設のうち、27施設を抽出することができた。これは千葉県全体の約60％に相当する。

このようにさまざまな条件で該当する施設のみを表示することが可能であり、検討の目的に応じて有効に活用できる。

（２）距離によるスクリーニング

距離によるスクリーニング機能の活用例を述べる。例えば、あるごみ焼却施設を中心として、その半径内にある下水処理施設の抽出が可能である。あるごみ焼却施設にポインタを置き、半径を入力すると、図５のように入力した半径にある施設の色が変化する。同図では、浦安市にあるごみ焼却施設から10km範囲にある下水処理施設を抽出しており、該当するのは４件であった。

3. 環境性・経済性評価ツールの開発

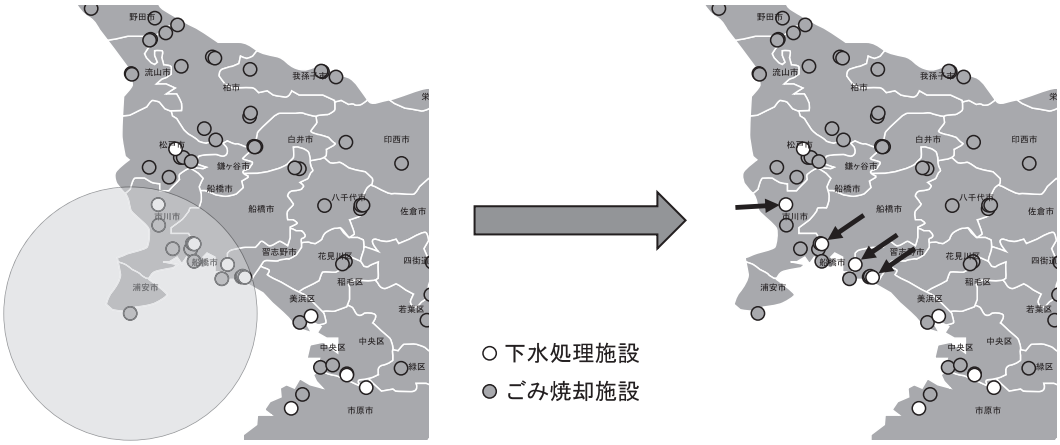
3. 1　環境性・経済性評価ツールの概要

自治体等が簡易的にごみ処理施設と下水処理施設の連携による社会コスト縮減効果の評価が行えることを目的とし、環境性・経済性の削減効果評価ツールを開発している。これにより、自治体ごとに必要とされるいくつかの情報を入力することで、自動的に連携による評価を可能とした。表７に必要とする情報をまとめる。同表において括弧を付した項目はデフォルト値が既に入力されており、評価実施者が値を変更することも可能である。それらの情報をExcelに入力すると、自動で６つの連携パターンの環境性（年間CO_2排出量：t-CO_2/Y）・経済性（年間経費：億円/Y）が算出できるようになっている。

3. 2　評価ツールによるケーススタディ

（１）評価対象

ここでは、佐賀県唐津市を例にケーススタディを行った結果を紹介する。佐賀県唐津市は、下水



ごみ焼却施設を中心に半径(R=10km)を指定

指定した範囲の中にある下水処理施設の色が変化する。

*矢印の4箇所が抽出された。矢印は、筆者が便宜上、加筆したものでQGISの機能ではない。

図５　GISの距離によるスクリーニング手法

表７　環境性・経済性評価ツールにおける入力情報

ごみ質　• 紙類 • 厨芥類 • プラスチック • その他のごみ	（• カロリー　kcal/kg） （• 三成分　%（可燃分・灰分・水分）） （• 元素組成　%） • 重量組成　%
下水汚泥成分	（• カロリー　kcal/kg） （• 三成分　%）
施設概要	• ごみ処理施設規模　t/D • 下水汚泥処理規模　t/D • 稼働日数　日/年 • 減価償却年数　年 • ごみ焼却発電の発電効率　% • メタン発酵発電の発電効率　% （• 人件費単価　万円/年） • 勤務人数　人
各種単価	• 買電単価　円/kWh • 売電単価（ごみ発電・メタン発酵発電）　円/kWh （• 上水単価　円/m^3） （• 下水単価　円/m^3） （• 工業用水単価　円/m^3） （• 灯油単価　円/L） （• 活性炭単価　円/kg） （• 消石灰単価　円/kg） （• アンモニア単価　円/kg） （• 灰処理単価　円/t）
生ごみや下水汚泥を輸送する場合の条件	• 両施設間の距離　km （• 人件費　万円/年） • 勤務人数　人

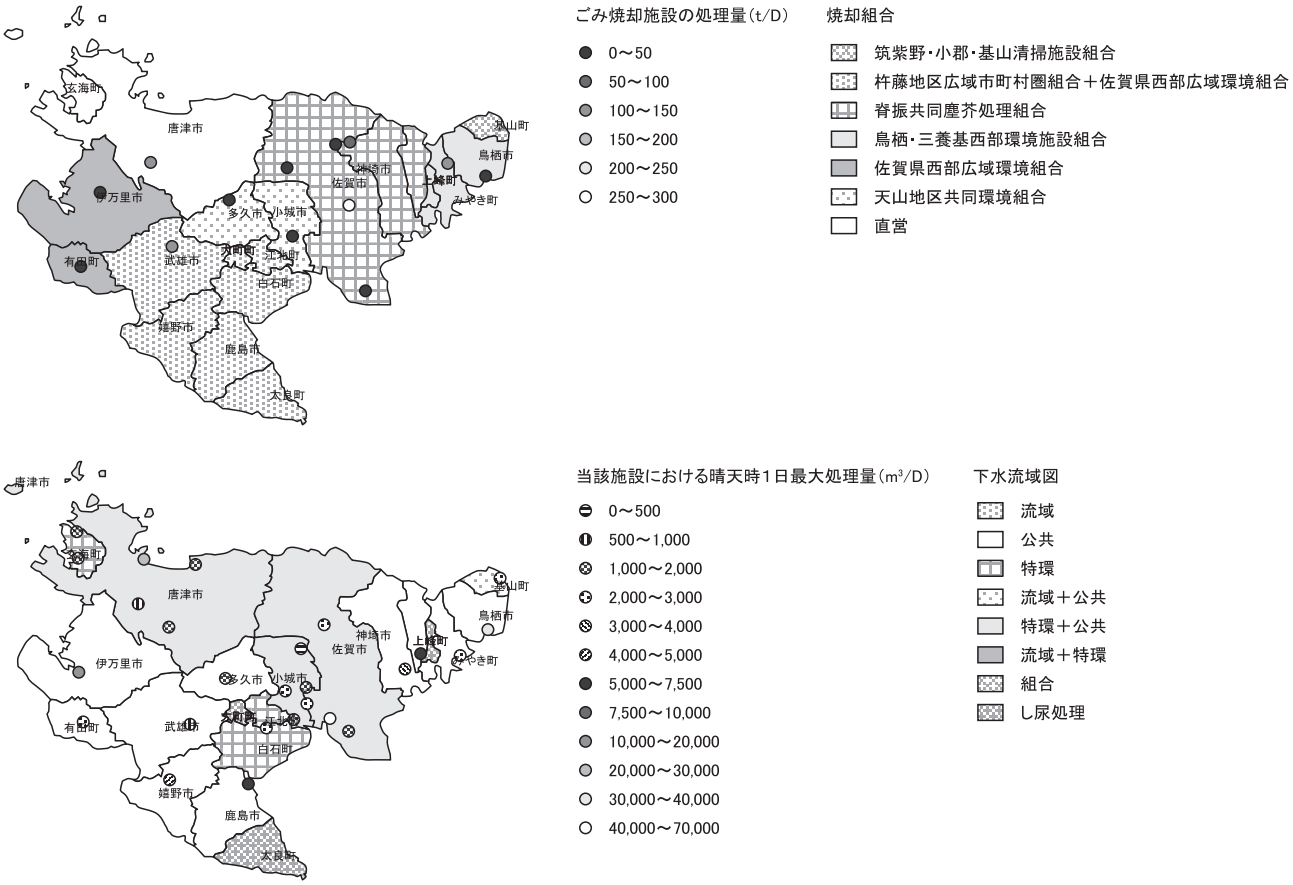


図６　GISによる可視化結果（佐賀県）

処理施設を拠点とした「唐津スマートレジリエンス拠点形成事業」[11] に取り組んでいる。

図６に、GISを用いて佐賀県のごみ焼却施設と下水処理施設を可視化した結果を示す。唐津市は、ごみ焼却施設が「直営」、下水処理施設が「直営（特環あり）」で相対的に連携がしやすい条件を有している。

（２）連携パターンの設定

図７は、唐津市に対して行ったヒアリング調査結果の概要である。エネルギー政策としては、意欲的な取り組みを行っているもののごみ焼却施設と下水処理施設の連携に関しては、積極的に行っている状況ではなかった。この結果を考慮したうえで、連携パターンの検討を行った。

図８に、ヒアリング結果も踏まえた唐津市にお

下水処理施設を活用しようとしているモデル都市を選定⇒佐賀県唐津市(人口12万人)

・GIS情報より

項目名	焼却	下水
処理量	150t/D	24,750m³/D
竣工開始年	1997/4	1983/4
処理方法	流動床	標準活性汚泥
連携パターン	1（従来）	1（従来）
施設間距離	10km	

➡ アンケート結果より連携には積極的ではない。

・9月に行った唐津市のヒアリング調査より

質問項目	焼却
生ごみを混合したメタン発酵が困難であると考える理由は？	食品残渣のみを回収することは、10年かけても無理。
	下水
	生ごみの中に骨や卵の殻等が混合しており、それを分別するのは困難と考えている。
設置できるスペースはあるか？	焼却
	ない
	下水
	ある

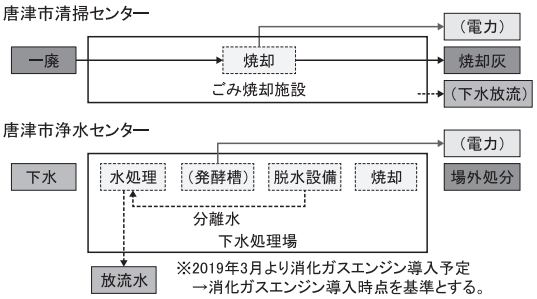
MBTシステム導入に際し、生ごみを分別収集するか、機械選別する必要がある。

⬇

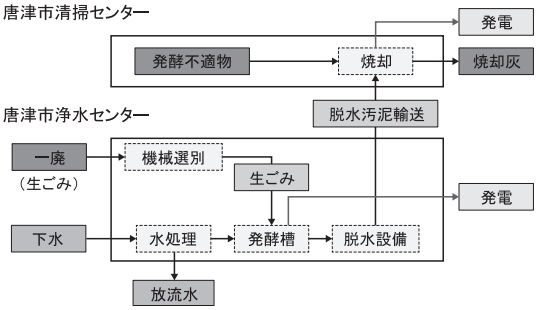
生ごみの分別回収が困難
→機械選別を提案

図７　ごみ焼却施設と下水処理施設の連携に関する唐津市へのヒアリング調査結果

①現状



②下水連携型MBTシステム

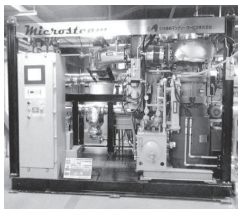


【ヒアリング調査】
焼却：立地に余裕がない。
下水：立地に余裕がある。

⬇

下水処理施設に生ごみ輸送・機械選別の導入を想定。

【唐津市清掃センター(150t/D)】



現状すべての
廃棄物エネルギー
を利用していない。

⬇

増設余地あり。

小型蒸気タービン(出力275kW)

【検討パターン】
①現状
②下水連携型MBTシステム
③下水連携型MBTシステム＋発電設備増設

図８　ケーススタディにおける連携パターンの設定

ける検討パターンを示した。検討パターンは「①現状」に加え、ヒアリング調査より、下水処理施設側に立地の余地があることがわかり、既に消化槽が導入されていることから、生ごみを下水処理施設側で受け入れるパターンを想定した（以下、「②下水連携型MBTシステム」という）。MBTに関しては、住民による分別に懐疑的な印象を持っていたため、機械選別の導入を前提とした。一方、ごみ焼却施設に現在導入されている275kWの小型蒸気タービンは、廃棄物エネルギーを有効に利用

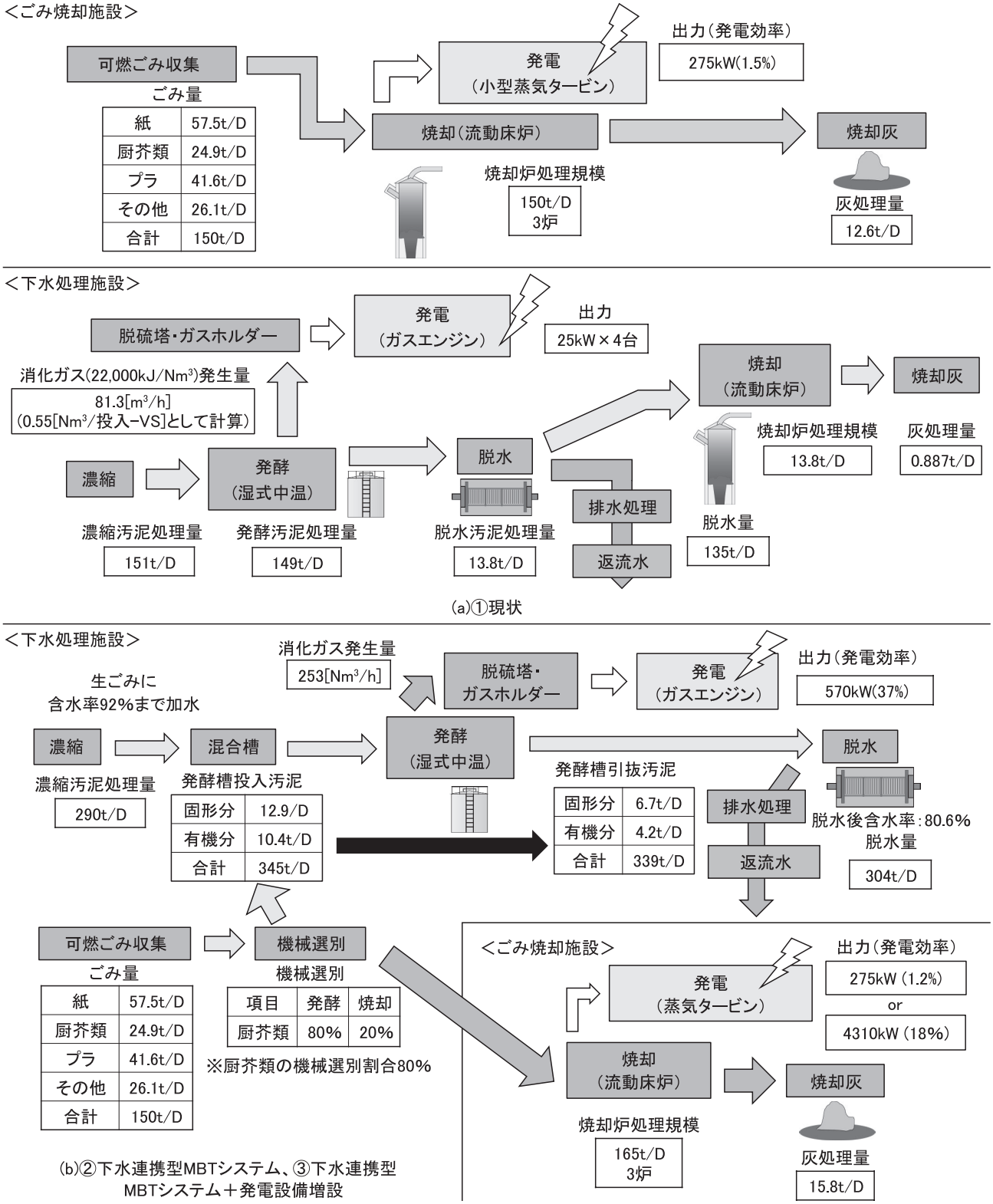


図９　評価ツールによるマテリアルバランスと発電効率

できていないため、発電設備を増設した「③下水連携型MBTシステム＋発電設備増設」の３つのケースで、感度解析を行った。この場合、②で570kW、③で4,310kWの電力を得ることができる。

（３）評価ツールへの入力データ・出力データ

入力データは、唐津市の公開情報[12]等から得られるものは実態を反映し、不明分は全てデフォルト値とした。評価ツールにより、得られた「①現状」のマテリアルバランスと発電効率を図９（a）、「②下水連携型MBTシステム」と「③下水連携型MBTシステム＋発電設備増設」のマテリアルバランスと発電効率を図９（b）に示した。なお、MBTの機械選別においては、80％の厨芥類が選別されると設定した。

（４）評価結果・感度解析

図10に、環境性・経済性の評価結果を示す。同図では、パラメータとして、厨芥類の比率を変化させている。この結果より、厨芥類を分別した「②下水連携型MBTシステム」では、現状よりコストが増加しており、メリットが得られない結果となっている。これは、ごみ焼却施設でのエネルギーが有効に利用できていないことの影響が大きい。ごみ発電を増設する「③下水連携型MBTシステム＋発電設備増設」では、年間経費が約１億円削減でき、年間CO_2排出量も約19,000t-CO_2削減することができる。この結果より、唐津市においては、中長期的な観点で、ごみ焼却施設への発電増設も視野に入れた取り組みを行うことが有効である。

4. 評価ツールの公開に向けた検討

以上のように、GISおよび環境性・経済性評価ツールは、おおむね活用可能なレベルに到達している。こうした成果をどのように公開していくかは、共同研究事業のなかで議論しているところであるが、論点としては下記の点が挙げられる。

- 公開方法：GISに関しては、Webでの公開、環境性・経済性評価ツールは、Excel形式でダウンロード可能な仕様が現実的である。
- 運用主体：こうしたツールを公開する際には、その運用・管理体制を明確にすることが肝要である。例えば、データベースの管理・更新方法を予め定めておかないとどこかの段階で

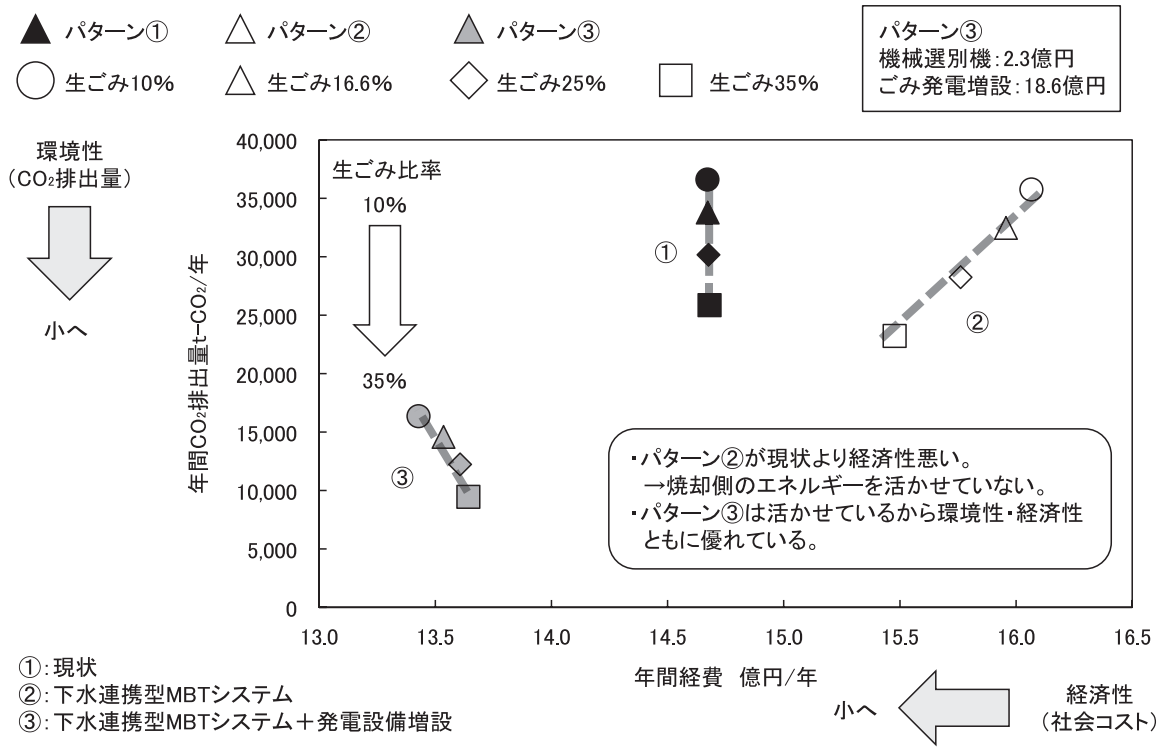


図10　唐津市における環境性・経済性評価結果

陳腐化してしまうことはいうまでもない。

- 想定ユーザー：全国の自治体の企画部・環境部やコンサルタントなど、さまざまな利用者が想定されるが、評価ツールのユーザーの専門性等によって、改良の度合いや公開方法が異なってくる。

いずれにしても、上記の内容を確定させるためには、一定の労力と時間を有するため、何らかの形で部分的にでも早期に公開できるように準備を進めていくことを計画している。

また、同時並行で自治体等と連携したケーススタディを積み重ねていくことが有効である。ごみ焼却施設と下水処理施設の連携に関しては、意欲的な自治体との連携体制を構築し、計画策定の支援に評価ツールを活用していくイメージである。具体的には、地域循環共生圏、スマートシティ等に取り組む自治体との連携が効果的であると考える。

5. おわりに

本稿では、ごみ焼却施設と下水処理施設の連携を支援することを目的としたGISおよび環境性・経済性評価ツールに関する概要および活用事例を紹介した。冒頭にも述べたように、こうした評価ツールは、計画策定の初期段階で活用することが有効である。連携に意欲的な自治体等におけるケーススタディを積み重ねながら、ツールの公開方法を具体化していきたいと考えている。

謝辞

本研究を遂行するにあたりって、廃棄物・３R研究財団における共同研究事業「MBT（メタン発酵＋SRF製造）システムの中小廃棄物処理施設におけるエネルギー回収に関する調査」の関係者の皆様、調査にご協力いただいた自治体関係者の皆様に厚く御礼申し上げる。

〈参考文献〉

１）小野田弘士：廃棄物エネルギーの利活用に向けたアプローチ（特集　廃棄物エネルギーの地産地消と新たな価値の創出）、都市清掃、72（350）、316-321（2019）
２）小川聡久、渡邉大智、胡浩、小野田弘士、渡邉洋一、山口純二：ごみ処理施設と下水処理施設の連携システムの環境性・経済性評価、日本機械学会 第29回環境工学総合シンポジウム2019
３）渡邉洋一：ごみ焼却施設と下水処理施設の連携に向けて　－共同研究の進捗状況・成果と今後への期待－、環境施設、No.160、2020.6、22-31（2020）
４）QGIS：https://qgis.org/ja/site/（閲覧日：2020年８月16日）
５）国土交通省：国土数値情報ダウンロード、https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/（閲覧日：2020年８月16日）
６）環境省：一般廃棄物処理実態調査結果（平成29年度）、
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h29/index.html（閲覧日：2019年９月30日）
７）千葉県：一部事務組合（2018）、
https://www.pref.chiba.lg.jp/shichou/kouiki/kouiki/jimukumiai/documents/ichibuzimukumiaitouichirann.pdf（閲覧日：2019年９月30日）
８）日本下水道協会：下水道統計（第72号）
９）千葉県：流域下水道の紹介（2019）、
https://www.pref.chiba.lg.jp/gesui/jigyou/gaiyou/ryuuiki.html、（閲覧日：2019年９月30日）
10）公共投資ジャーナル社：下水処理場ガイド2019
11）唐津市：唐津スマートレジリエンス拠点構築事業に関する事業報告、
https://www.city.karatsu.lg.jp/kikaku/sangyo/sangyo/energy/r２shiseisenryaku3.html（閲覧日：2020年８月16日）
12）唐津市：令和２年度唐津市一般廃棄物処理実施計画を策定しました、
https://www.city.karatsu.lg.jp/seikatsu-kankyou/kurashi/gomi/shisaku/jisshi.html（閲覧日：2020年８月16日）