

N-8 相互間距離等を考慮した下水処理施設と、都市ごみ焼却施設の連携可能性の検討

○松尾 遼¹・大下 和徹^{1*}・水野 忠雄²・高岡 昌輝¹・藤森 崇¹

¹京都市立大学大学院地球環境学学（〒615-8540京都市西京区京都大学桂Cクラスター）

²京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻（〒615-8540京都市西京区京都大学桂Cクラスター）

* E-mail: oshita.kazuyuki.6e@kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

下水処理施設および都市ごみ焼却施設は、都市の代謝施設として重要な役割を担っているが、それぞれ別々に稼働し、双方の連携は下水汚泥と都市ごみの混焼等が一部の自治体で実施されているのみである。しかし、我が国における将来的な高齢化、人口減少を考えた場合に、これらの施設は今後より一層連携し、効率的な下水、廃棄物の処理を目指していくべきである。

そこで本調査では、まず、連携方策として、下水汚泥を都市ごみ焼却施設で混焼する場合や、それに加え都市ごみ中厨芥類と下水汚泥の混合メタン発酵を想定し、施設間の連携が可能な施設数や廃棄物量ポテンシャルを明らかにする事を目的とした。具体的には、日本全国の全処理施設の位置情報や規模、処理量などを含めた基礎データを収集し、まず、そのデータをGoogle Map上にマッピングした。次に、そこから計算される施設間距離等、連携に必要ないくつかの条件を設定し、連携が可能となる施設の組み合わせをスクリーニングにより抽出し、どの程度の下水汚泥量が連携処理可能なかを明らかにした。本調査の概要を図1に示す。

2. 調査方法

(1) 基礎データの収集

まず、本調査では全国の下水処理施設 2,193 カ所、都市ごみ焼却施設 1,247 カ所について、位置情報や処理量、施設規模等の諸データ¹⁻⁴⁾をまとめ、Google Map 上にインポートすることで、それらの位置関係を把握できるようにした。マッピングした地図の一部を図2に示す。

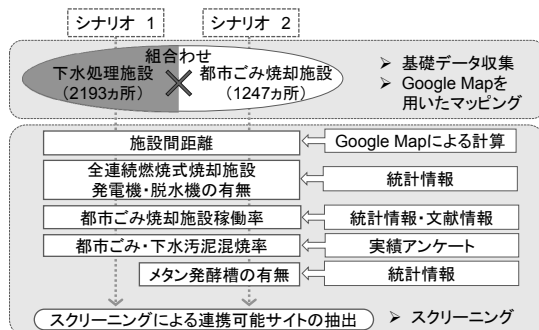


図1 本調査の概要

また、連携が可能となるサイトを全施設からスクリーニングする条件を設定するにあたって、既に、下水汚泥と都市ごみの混焼が行われている都市ごみ焼却施設を各種文献^{1),2),5)}、各自治体のウェブサイト等を参考に抽出を行った。その結果、全都市ごみ焼却施設数の 3.1%に相当する 39 施設が該当した。

次に、これらの施設を対象にアンケート調査を行い、連携実績についての詳細な情報をまとめた。表1にアンケートの結果の一部を示す。回答は休止や実績なしを含む 33 施設から得られ、回収率は 85%であった。その内、現在混焼を行っている焼却施設は 29 カ所存在し、それらの焼却炉形式に大きな偏りはないことから、連携が可能かどうかは炉形式によらないということがわかった。

(2) 設定したシナリオと、スクリーニングによる抽出

本調査では、既設の下水処理施設と都市ごみ焼却施設の 1:1 の連携を想定し、以下の 2 つのシナリオについて連携可能性の検討を行った。シナリオ 1 では下水処理施設で発生した脱水汚泥を都市ごみ焼却施設まで車両輸送して混焼するフロー、シナリオ 2 では都市ごみ焼却施設



図2 近畿近郊における Google Map へのマッピング例

(白: 下水処理施設、黒: 都市ごみ焼却施設)

表1 混焼実績がある施設を対象に行ったアンケートの内訳

実績あり	流動床式ガス化溶融炉	4
	キルン式ガス化溶融炉	2
	シャフト炉式ガス化溶融炉	9
	ストーカ炉	7
	流動床式焼却炉	6
	ロータリーキルン炉	1
実績なし		2
休止		2
回答不可		3
未回答		3
合計		39

で収集された都市ごみのうち含水率の高い厨芥類のみを分別し下水処理施設に車両輸送した後、下水汚泥と併せ混合メタン発酵を行い、その脱水残渣を再び焼却施設に輸送し都市ごみと共に混焼するフローを想定した。シナリオ 1 については、混焼による汚泥処理コストの削減と GHG 排出量の低減が期待でき⁹⁾、シナリオ 2 については、シナリオ 1 に加え、焼却施設投入ごみの含水率低下による発電効率の増加、混合メタン発酵によるエネルギー回収量の増大が見込める⁹⁾。

a) 距離によるスクリーニング

効率的な連携を行うためには 2 つの施設間距離が短いことが重要である。本調査では、“混焼実績有”とアンケートにて返答された焼却施設 29 施設が行っている 56 連携(1 焼却施設につき 2 つ以上の連携がある場合も含む)を対象に Google Map の機能を使って、2 施設間の車両運搬を想定した距離(実走距離)を計算し、その傾向から、連携可能とする基準値を設定した。連携実績のある施設間の実走距離をまとめたヒストグラムを図 3 に示す。図の分布の傾向より、まず、2 施設間の距離が近ければ、連携が実施される可能性が高いことが示された。また、10km 以内で約 6 割の連携が行われていることから、本調査では距離の基準値を 10km 以内と設定した。

その後、下水処理施設 2,193 カ所×都市ごみ焼却施設 1,247 カ所 = 2,734,671 通りの組み合わせを対象に基準値 10km 以内に近接したサイトの抽出を、Python (スクリプティング言語) と複数の施設間距離をマトリックス状に計算できる Google Maps Distance Matrix API を組み合わせたプログラムを用いたスクリーニングにより行った。

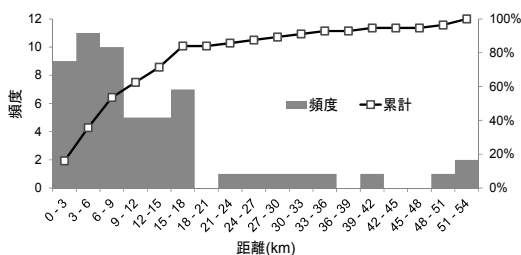


図 3 混焼実績がある 29 施設、56 連携の施設間実走距離

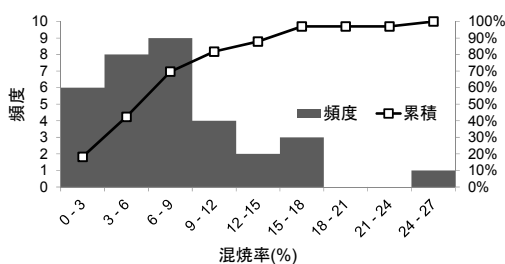


図 4 混焼を行っている 29 施設における脱水汚泥混焼率

b) 既存設備の条件によるスクリーニング

連続的に発生する脱水汚泥を都市ごみ焼却施設に受け入れるために、下水処理場は脱水プロセスを有するものに限定した。また、貯留場所や悪臭の問題から焼却施設が常時運転していることが望ましく、脱水汚泥の混焼は発電効率に影響を与えると想定されるため、焼却施設は発電機付きの全連続燃焼式に限定した。

c) 稼働率によるスクリーニング

連携において受入側である都市ごみ焼却施設では、都市ごみ焼却量と脱水汚泥量の合計が、焼却施設の規模以下でなくてはならない。そこで、本調査では、焼却施設の稼働率: α (%) を以下の式(1)で定義し、稼働率の基準値を文献⁹⁾により 83%と設定し、都市ごみ焼却量と脱水汚泥量のバランスが稼働率の基準値以下となるような連携をスクリーニングにより抽出した。

$$\alpha = \frac{Q_{win} + Q_{sin}}{A} \times 100 \quad (1)$$

ただし、 Q_{win} : 日都市ごみ処理量 (t/day), Q_{sin} : 脱水汚泥受入量 (t/day), および A : 施設の規模 (t/day)

d) 混焼率によるスクリーニング

脱水汚泥の含水率は一般的に都市ごみよりも高いため、それらの混焼を安定的に行うためには、脱水汚泥の投入量の上限值が設定されることが多い。この値を混焼率: β (%) (以下式(2)で定義する)の基準値とし、都市ごみ焼却量と脱水汚泥量のバランスが混焼率の基準値以下となるような連携をスクリーニングにより抽出した。

$$\beta = \frac{Q_{sin}}{Q_{win} + Q_{sin}} \times 100 \quad (2)$$

具体的な混焼率の基準値は、アンケート調査の結果を基に設定した。脱水汚泥混焼率についてのアンケート結果をヒストグラムにまとめたものを図 4 に示す。混焼率は、6-9%が最も多かった。唯一 25.3%の混焼を達成している施設があるが、それ以外の施設は 18%以内に分布しているため、基準値を 18%とした。

e) メタン発酵槽の有無によるスクリーニング

シナリオ 2 は厨芥類と下水汚泥の混合消化を想定しているため、下水処理施設にメタン発酵槽(消化プロセス)が既に導入されていることが条件となる。そこで、この条件を満たす連携をスクリーニングにより抽出した。

3. 結果および考察

(1) 連携可能な組み合わせのスクリーニング結果

スクリーニングの結果を図 5 に示す。まず、下水処理施設と都市ごみ焼却施設の全ての組み合わせは 2,734,671 通り考えられたが、そのうち 2 つの施設間の実走距離が 10km 以内の組み合わせは 2,015 通りであった。次に、抽出された 2,015 通りに対し施設の形式、既存設備、稼働

表 2 各都道府県の連携可能組み合わせ数(県名、県内焼却施設数、シナリオ 1 及び 2 の連携数(重複を除いた焼却施設数))

県名	施設数 (焼却)	シナ 1	シナ 2	県名	施設数 (焼却)	シナ 1	シナ 2	県名	施設数 (焼却)	シナ 1	シナ 2	県名	施設数 (焼却)	シナ 1	シナ 2
北海道	71	4 (3)	1 (1)	東京都	52	4 (4)	0 (0)	滋賀県	14	0 (0)	0 (0)	香川県	8	3 (2)	0 (0)
青森県	17	3 (2)	1 (1)	神奈川県	39	5 (5)	0 (0)	京都府	21	3 (2)	2 (1)	愛媛県	28	7 (2)	0 (0)
岩手県	21	0 (0)	0 (0)	新潟県	37	1 (1)	0 (0)	大阪府	50	6 (4)	0 (0)	高知県	14	2 (2)	0 (0)
宮城県	19	1 (1)	0 (0)	富山県	7	2 (2)	1 (1)	兵庫県	50	11 (7)	11 (7)	福岡県	28	12 (9)	4 (4)
秋田県	17	0 (0)	0 (0)	石川県	10	5 (2)	0 (0)	奈良県	26	0 (0)	0 (0)	佐賀県	14	2 (2)	0 (0)
山形県	9	3 (2)	1 (1)	福井県	11	2 (1)	1 (1)	和歌山県	22	4 (2)	0 (0)	長崎県	30	8 (4)	2 (2)
福島県	25	5 (3)	1 (1)	山梨県	11	1 (1)	0 (0)	鳥取県	15	2 (1)	0 (0)	熊本県	22	2 (2)	2 (2)
茨城県	32	12 (4)	0 (0)	長野県	26	8 (3)	2 (1)	島根県	14	1 (1)	0 (0)	大分県	14	3 (2)	0 (0)
栃木県	19	2 (1)	2 (1)	岐阜県	29	9 (4)	0 (0)	岡山県	30	8 (5)	2 (2)	宮崎県	16	0 (0)	0 (0)
群馬県	23	1 (1)	0 (0)	静岡県	43	7 (5)	1 (1)	広島県	33	10 (4)	1 (1)	鹿児島県	39	2 (2)	1 (1)
埼玉県	53	2 (1)	1 (1)	愛知県	45	16 (9)	0 (0)	山口県	14	2 (1)	2 (1)	沖縄県	31	2 (2)	2 (2)
千葉県	51	8 (4)	1 (1)	三重県	27	3 (2)	1 (1)	徳島県	20	1 (1)	0 (0)	合計	1247	195 (118)	43 (35)

スクリーニング項目	スクリーニング後組み合わせ数
施設間距離:10km	2,734,671
全連続燃焼式、 発電機・脱水機あり	2,015
稼働率:83%	494
混焼率:18%	303
メタン発酵槽あり	195 (シナリオ1)
	43 (シナリオ2)

図 5 スクリーニング結果

率、混焼率の観点からスクリーニングを行なったところ、203 通りの組み合わせが抽出された。ただし、これらには既に混焼が行われている組み合わせ 8 通りが含まれていたため、これらの施設は結果からは除外した。その後、下水処理施設におけるメタン発酵の有無によってスクリーニングを行った結果、43 通りの組み合わせが該当し、各シナリオについての連携可能数が明らかとなった。シナリオ 1、シナリオ 2 を採用して連携処理できる汚泥総量は、それぞれ 185,292 t-DS/年、65,414 t-DS/年であり、これらは我が国での発生汚泥量 2,240,000 t-DS/年⁹⁾のおよそ 8.3%と 2.9%に相当し、現在、汚泥のマテリアル利用としての割合が、燃料化が 1.9%、建設資材が 13.4%であること⁹⁾を考えると決して無視できない量である。

(2) スクリーニング結果の分析

a) 地域による傾向

シナリオ 1、2 を想定した連携可能な組み合わせについての地理的分布を表 2 に示す。ただし、県を跨いでいる連携も存在するため、焼却施設の位置を基に分布を示した。表からは、全国的に連携可能な施設が分布していることが伺えるが、特に茨城県、兵庫県、愛知県、広島県、福岡県で多くの連携が行えることが分かった。一方で、東京や大阪といった大都市では、既に、下水汚泥を送泥管等により輸送し、広域処理しているため各下水処理施設が脱水機を有していない場合や、下水処理施設の規模が大きく、供給過多になってしまう場合などの点で施設間距離が近くても、連携が不可と判断された施設が多くあった。また、地方や山間部では 2 施設が離れていることで連携が難しいということが示唆された。

シナリオ 2 についても、地域的な偏りはなく連携可能

な施設は広く分布していたが、特に兵庫では連携可能な組み合わせが 11 通りと多く、特に、メタン発酵技術が積極的に導入されていることによるものと示唆された。

b) 1:1 以外の連携

本調査では、1つの焼却施設が複数の下水処理施設と近接している場合、複数の1:1の組み合わせで抽出されていることがある。そこで、1ヵ所の都市ごみ焼却施設が複数の下水処理施設から下水汚泥を同時に受け入れる場合を想定し、シナリオ1における195通りの組み合わせの内、複数の下水処理施設と近接する30ヵ所の都市ごみ焼却施設について、受入汚泥量の合計値を、再度、稼働率、混焼率によりスクリーニングした。その結果、全施設が連携可能となり、3(1)にて算出した連携処理量がより現実的な値として裏付けられた。

稼働率、混焼率の基準を満たさなかった約300通りの連携についても、脱水汚泥発生量の一部を連携するなど、更なる連携ポテンシャルも示唆される。今後これらの値を明らかにするとともに、連携によるコスト削減量、GHG排出量の削減量がどの程度になるのか、定量的に明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報 廃棄物処理施設データ, <http://nlit.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P15.html>, 2015.09.05 参照
- 2) 廃棄物研究財団: 都市ごみ施設台帳, 2009.
- 3) (公社)日本下水道協会: 下水道統計, 2012.
- 4) 環境省: 廃棄物処理技術情報報, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h24/index.html, 2015.09.05 参照.
- 5) 日本産業工業会: エコスラグデータ, <http://www.jsim.or.jp/ecoslag/03.html>, 2015.09.15 参照.
- 6) Takaoka et al.: Effect of co-managing organic waste using municipal wastewater and solid waste treatment systems in megacities, *Water Science & Technology*, 69.6, 1159-1166, 2014.
- 7) 中久保ら: 下水処理場とごみ焼却場の連携を軸とした静脈系社会資本更新計画の立案と評価, 土木学会論文集 G(環境) 682, 152-171, 2012
- 8) (社)全国都市清掃会議: ごみ処理施設構造指針解説, p.95, 1993.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部ウェブサイト, http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html 2015.09.15 参照