

# 下水汚泥の集約・共同処理による事業性改善に関する研究

資源エネルギー循環研究室 16107981

学部 4 年 宮崎 光

指導教員 姫野 修司 小松 俊哉

## 1. 背景および目的

我が国における下水道事業は今後、人口減少に伴う収入減少と施設老朽化による更新費用の増大によって事業性が悪化することが予想されている。国交省等の各省庁は各都道府県に対し令和 4 年度までの「下水道事業の広域化・共同化計画」の策定を求めている。また、下水汚泥はバイオマスであり、これを再生可能エネルギーとして用いることで循環型社会形成を目指す試みも全国で進められている。

本研究では、新潟県内で最も下水処理施設数が多い新潟市内で集約・共同処理の検討を行った場合の事業性改善効果について評価した。また、その際に固形燃料化技術を用いることで CO<sub>2</sub> 削減効果を得られる再生可能エネルギー普及への貢献が可能かを検討した。

## 2. 実験方法および条件

### 2.1 現状調査

自治体、プラント製造事業者、発電事業者などの資料を基に固形燃料化事業の事業形態や事業規模と事業費の関係などを調査した。新潟市内における下水道事業は新潟県下水道公社及び新潟市から公表されている資料を参考に発生汚泥量や現在の脱水汚泥処分方法などを調査した。

### 2.2 新潟市内において想定される事業

市内で発生する脱水汚泥の全量固形燃料化を 2030 年から 20 年間実施した場合の検討を実施した。図 1 にある事業の枠組みで各処理場の発生する脱水汚泥を一か所に集約し固形燃料化施設で共同処理を行う。その際の検討条件および既存委託処分事業との評価については表 1 に基づき実施した。なお、有効利用先の距離は県内の

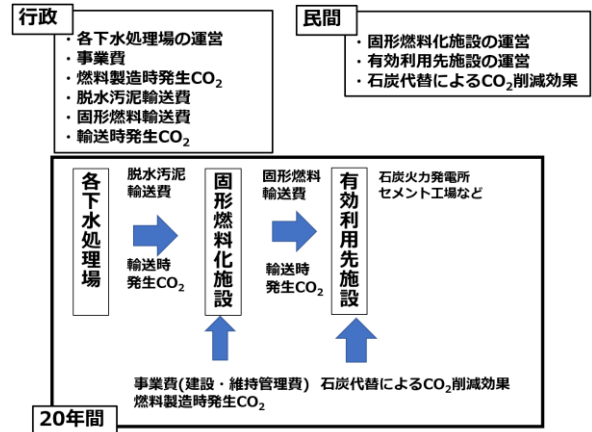


図 1 事業の枠組みと役割分担

表 1 検討条件

集約対象となる処理場	市内計 8 か所の下水処理施設
事業費	建設・維持費(輸送費を除く)
集約する脱水汚泥量	698,573t(20 年間)
固形燃料の搬送距離	100km
評価方法	経済的評価: 汚泥処分単価 環境的評価: CO <sub>2</sub> 収支(t-CO <sub>2</sub> )

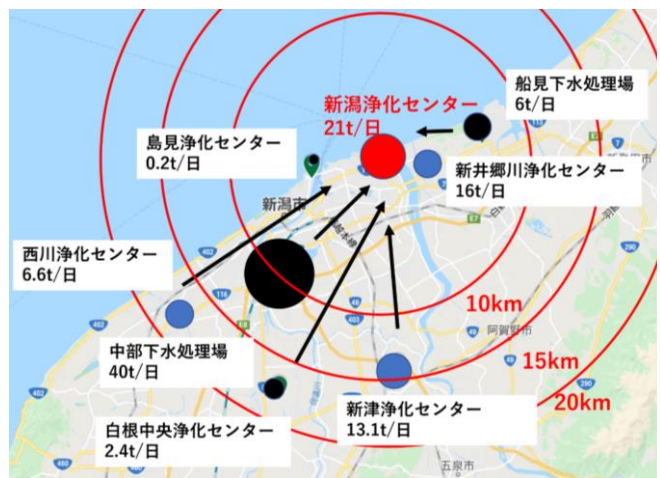


図 2 各施設の位置関係

最長距離として 100km と仮定した。製造した燃料は全量燃料利用する事とした。事業にかかった費用と集約対象の汚泥量から汚泥処分(有効利用)単価を求めた。集約拠点は複数の下水処理施設で検討したが、集約拠点の差が事業全体に与える影響が小さい事から新潟浄化センターを例として挙げた。各処理場と集約拠点の位置関係の例を図 2 に示す。

また、固形燃料製造によって代替可能な石炭が排出する CO<sub>2</sub> 削減効果については経産省のマニュアルを用いて表 2<sup>1)</sup>に基づき試算した。20 年間で集約する汚泥量を現在発生している汚泥量<sup>2)</sup>と将来人口予測<sup>3)</sup>から推定し先行例<sup>4)</sup>の固形燃料化施設

の規模と汚泥受け入れ量から平均当初稼働率を求めた。本研究の場合、処理規模は 120t/日と求められた。先行例に同規模の施設が無いいため図 3 の事業費推定近似曲線より事業費(建設・維持管理費)を推定した。先行例の事業費散布から切片を 0 とした多項近似(2次)を行い 95%予測区間と 95%信頼区間を推定したものをを用いた。

先行例の事業費の範囲の詳細が不明で輸送費を推定することが困難であったため建設・維持管理費とは別に別途、10tトラックによる輸送費及び輸送に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を試算した。試算にあたっては国交省<sup>5)</sup>及び経産省<sup>6)</sup>のマニュアルを用いた。

### 2.3 汚泥重金属の分析

下水汚泥中には有害な重金属が微量ながら含まれる。汚泥の燃料化にあたってこれらの重金属が燃料化事業に及ぼす影響を評価した。下水汚泥中の重金属の分析にあたっては県内 5 カ所の下水処理場で採取した汚泥に対して環境省<sup>7)</sup>、日本下水道協会<sup>8)</sup>の測定法でそれぞれ前処理を行い、高周波プラズマ発光分析法(ICP-AES)によって汚泥含有量試験及び灰化汚泥溶出試験を行った。汚泥は 2019 年 11 月と 12 月に 1 回ずつ採取した。灰化にあたっては下水道試験法に基

表 2 CO<sub>2</sub>削減効果

固形燃料熱量	17.5GJ/t
CO <sub>2</sub> 排出係数(石炭)	0.0247
料製造時発生 CO <sub>2</sub>	146.4kg-/tCO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 削減量(t-CO <sub>2</sub> )	燃料量 × 17.5 × 0.0247 × 44/12

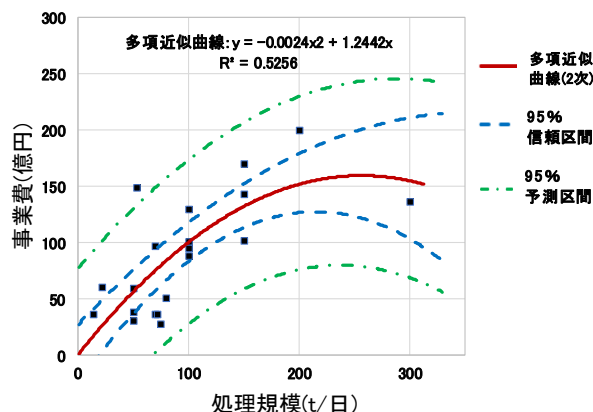


図 3 先行例の処理規模-事業費関係

表 3 事業検討結果

	委託処分(現状)	固形燃料化事業
汚泥処分単価(円/t) <sup>注1)</sup>	20,000~30,000	15,569~19,542
建設・維持管理費 <sup>注2)</sup> (億円)	0	97.6~131.8
脱水汚泥輸送距離(km/日)	1,775	124
固形燃料搬送距離(km/日)	-	144
必要トラック台数 (台/日)	7~9	2(集約) 1(搬送)
輸送費(百万円/年)	158	20.6(集約) 23(搬送)
10tトラック排出 CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> /年)	1150	172
石炭代替による CO <sub>2</sub> 削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	0	7,553
CO <sub>2</sub> 収支 (t-CO <sub>2</sub> /年)	1150	-7381

注 1) 輸送費を含めた金額

注 2) 多項近似の 95%信頼区間を用いた

づき電気炉を用い600±25℃で1時間強熱灰化処理を行った。また、基準値は含有量試験では肥料取締法に基づく下水汚泥肥料の基準値を用い、溶出試験では環境庁告示第13号に基づく特別管理産業廃棄物の基準値を用いた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 検討結果及び考察

固形燃料化事業の際にはスケールメリットが影響することが分かった。そのため汚泥集約対象地域の広域化によって一日当たりの処理量を増やす事でより事業性改善が可能である事が分かった。

表3より事業費は95%信頼区間の範囲で97.6億円から131.8億円と推定され、汚泥処分単価(輸送込)は15,569円/tから19,542円/tとなった。集約、共同処理によって処分単価は現状の委託処分費(20,000～30,000円/t)に比べ減少する。よって新潟市内の場合、現状の委託処分費を超えず集約・共同処理が事業性改善に効果的であることが分かった。総輸送距離(片道)は集約、共同処理により1775km/日から377km/日に削減可能である。現在の汚泥輸送が新潟市の汚泥処分費高額化の一因となっており集約、共同処理を行う事で輸送量の低下に伴うコスト削減が期待できる。

#### 3.3 汚泥重金属の分析結果及び考察

表4は各サンプル汚泥の蒸発残留物(TS)、強熱残留物(VS)、強熱減量(VTS)を示す。各処理場の脱水機などの設備の違いから含水率が異なっており集約・共同処理を行うにあたっては固形燃料の品質管理に留意が必要であることが分かった。

表5より肥料取締法の重金属の含有量準を超える汚泥は確認されなかった。

また、表6よりAs(ヒ素)について4か所の処理場の灰化汚泥で廃棄物処理法の溶出基準値を超える可能性がある事が分かった。

表4 各処理場の汚泥のTS,VS,VTS(11月採取)

処理場	TS(%)	VS(%)	VTS(%)
新潟浄化センター	20.3	15.8	77.8
新津浄化センター	20.6	15.9	77.1
新井郷川浄化センター	17.8	10.8	60.4
西川浄化センター	20.4	16.1	79.0
長岡浄化センター	16.7	13.0	78.1

表5 汚泥中重金属含有量試験の結果

処理場	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn
基準値(mg/kg)							
肥料取締法	50	5	500	300	100	-	-
西川(11)*	12.6	2.38	26.4	22.2	7.34	360	507
長岡(11)	10.1	1.97	40.7	9.60	3.53	376	470
新潟(11)	17.4	2.73	17.3	37.1	13.5	371	656
新井郷川(11)	25.6	2.99	48.5	13.5	8.14	424	606
新津(11)	7.55	2.99	62.1	19.1	9.90	445	667
西川(12)	8.99	1.02	75.6	77.2	9.32	291	685
長岡(12)	10.7	0.72	39.3	83.0	6.80	437	604
新潟(12)	19.3	2.35	92.6	55.0	7.05	341	530
新井郷川(12)	19.1	2.32	21.8	26.6	6.98	500	760
新津(12)	7.89	1.58	11.8	72.5	5.20	495	757

表6 灰化汚泥の溶出試験の結果

処理場	As	Cd	Cr	Pb
基準値(mg/l)				
廃棄物処理法	0.3	0.3	1.5	0.3
N.D値	0.01	0.00001	0.0002	0.001
蒸留水	N.D	2.0×10 <sup>-3</sup>	4.0×10 <sup>-3</sup>	5.0×10 <sup>-3</sup>
長岡(11)*	0.35	0.01	0.01	0.01
新津(11)	0.37	0.01	0.02	0.01
新潟(11)	0.49	0.01	0.03	0.01
新井郷川(11)	0.33	0.02	0.12	0.01
西川灰(11)	0.21	0.01	0.15	0.01
長岡灰(12)	0.36	0.01	0.21	0.02
新津灰(12)	0.18	0.01	0.15	0.01
新潟灰(12)	0.27	0.02	0.21	0.03
新井郷川灰(12)	0.28	0.02	0.23	0.01
西川灰(12)	0.14	0.02	0.39	0.02

※サンプル採取月

燃焼環境において、実際の炉内温度は 800～1,500℃であり灰色ひ素は 1 気圧下において 615℃で昇華することから、燃焼ガスに移行する。実験室の燃焼温度 (600℃) で灰化汚泥溶出試験を行うと実際の焼却灰より灰に含まれている As 濃度が実際よりも高く溶出している事が考えられる。

石炭との混焼率は熱量比 10%を超えるとボイラ内で発生するファウリング (溶融した灰の固着) に注意が必要となる<sup>10)</sup>。混焼率は本検討で想定した固形燃料の熱量の場合で質量比 17%以下にすることが妥当である。

図 4 は石炭火力発電所で使用される石炭量と本検討で製造される固形燃料の質量の割合を示したものである<sup>9)</sup>。国内の石炭火力発電所の設備容量は約 10～100 万 kW であり利用が予想される発電所で混焼した場合、下水汚泥固形燃料が全体に占める混焼率は最高でも約 2.2%と少量である。よって固形燃料の混入がボイラに与える影響は少ないと想定される。ただし、混焼灰をセメント原料化などでリサイクルする際には受入基準項目に係る分析を要する。

#### 4. まとめ

- 1) 汚泥の集約・共同処理を行う事で下水道事業の事業性改善効果が見込める。またその際に「固形燃料化技術」を用いることで CO<sub>2</sub> 削減効果を期待する事が出来る。
- 2) 下水汚泥中の重金属が固形燃料化による下水汚泥の集約、共同処理事業に与える影響は考えにくいですが混焼灰の分析は行う必要がある。  
固形燃料化技術を用いた集約、共同処理の全国的な普及によって持続可能な下水道事業と循環型社会の構築が望まれる。

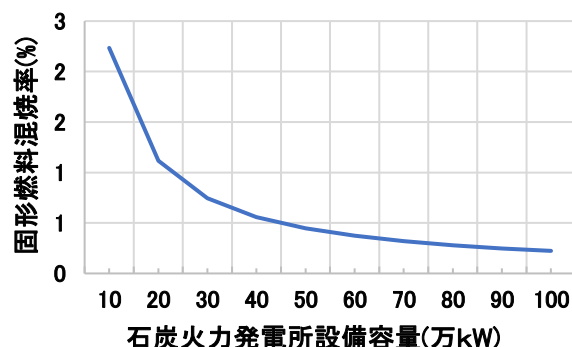


図 4 固形燃料混焼率

#### 参考文献

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁「電気事業者ごとの基礎排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について (令和元年 6 月 3 日改正)」
- 2) 公益財団法人 新潟県下水道公社 新潟県流域下水道維持管理年報 平成 28 年度(2017)
- 3) 新潟市 HP 閲覧日: 2020/1/10  
(<https://www.city.niigata.lg.jp/jyogesuido/gesui/gesuishisetsu/shori/index.html>)
- 4) 「広域化・共同化計画の検討状況」  
「下水道情報」 pp.16-17  
2019 年 10 月 22 日第 1904 号
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局  
下水道部 下水汚泥広域利活用検討  
マニュアル 資料編
- 6) 経済産業省・資源エネルギー庁「電気事業者ごとの基礎排出係数及び調整後排出係数の算出及び公表について (令和元年 6 月 3 日改正)」
- 7) 下水道試験法 (1997) 社団法人日本下水道協会
- 8) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 産業廃棄物の検定方法に係る分析操作
- 9) 電気事業連合会: 「原子力・エネルギー」図面集 2004-2005 (2004 年 12 月) pp.69
- 10) 日本下水道事業団 技術評価委員会 平成 20 年 3 月 下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書