

下水道におけるエネルギーの効率化と有効利用 ～湖西浄化センター汚泥燃料化事業より～

一色 一平¹

¹滋賀県 下水道課 建設管理第二係

下水処理の過程で発生する「汚泥」は下水処理施設で発生する最も大きな産業廃棄物であり、湖西浄化センターにおいても1日当たり平均で約30t発生している。
この「汚泥」は従来、多くのエネルギーを使用し焼却処分をしているが、湖西浄化センターでは有効な「資源」として利用するため、汚泥燃料化施設を立ち上げた。今回その施設の報告をする。

キーワード 汚泥燃料化施設, 温暖化ガス削減, DBO方式,

1. はじめに

汚泥燃料化施設とは、下水処理の過程で発生する汚泥を炭化させ、石炭などの代用として利用できる燃料化物を製造する施設である。

燃料化施設の説明の前にまず湖西浄化センターについて案内をする。

湖西浄化センターは天津市苗鹿に位置しており、北は天津市の北小松から南は天津市の際川（自衛隊演習場）までの家庭や工場等から排出される汚水を浄化した後、琵琶湖に放流している施設である。天津市の人口の約1/3の汚水を受け持っており、残りは天津市が運営管理している下水処理場と県の施設である湖南中部下水処理場で処理をしている。（図-1の斜線部が湖西区）

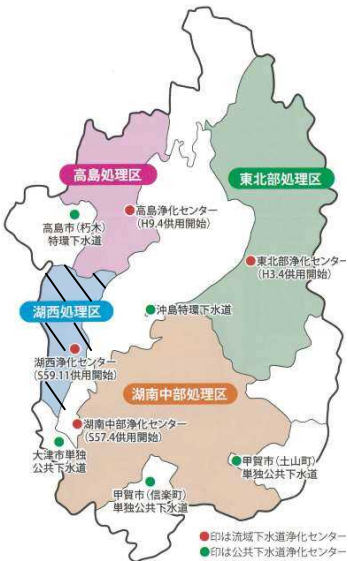


図-1 処理区域図

- 汚水は次の各工程を経て、琵琶湖に放流をされる。
- ①沈砂池：流入した汚水の中の大きなゴミおよび砂を取り除く。
 - ②ポンプ室：①を通った汚水を次の工程へ送る。
 - ③最初沈殿池：汚水を緩やかに流し、泥などの固形物を沈殿させる。
 - ④生物反応槽：空気を吹き込み、又は攪拌をさせ、微生物に汚水の中の汚物を食べさせ分解させる。分解しにくい物質であるリンは薬剤（PAC）を入れ除去する。
 - ⑤最終沈殿池：汚物を食べ、増殖した微生物を含んだ泥を底に沈める。上澄みの水に塩素を加え消毒をし、次の工程へ送る。
 - ⑥急速砂ろ過池：⑤の上澄み水を目の細かい砂の層の中に通し、浮遊物を取り除く。

その後、琵琶湖に放流をする。
汚泥とは前述の③および⑤の底に沈殿した泥のことである。（図-2の茶色部）

- 汚泥は下記の工程で水分を取り除く。
- ⑦-1 汚泥濃縮槽：固形物を沈殿させる。
 - ⑦-2 遠心濃縮機：遠心力で水分を飛ばす。
 - ⑧ベルトプレス脱水機：ローラーとローラーの間のろ布に汚泥を挟み水分を絞り出す。その後、場内の焼却施設にて焼却し、発生した灰を産業廃棄物として埋立処分している。今回下記の赤丸部を汚泥燃料化施設に変更した。

湖西浄化センターの平成26年度の実績		
	流入量	汚泥ケーキ量 (ベルトプレス脱水後の汚泥量)
	m ³	t
年間	15,211,463	10,453.9
日平均	41,675	28.6

表-1 湖西浄化センターの実績

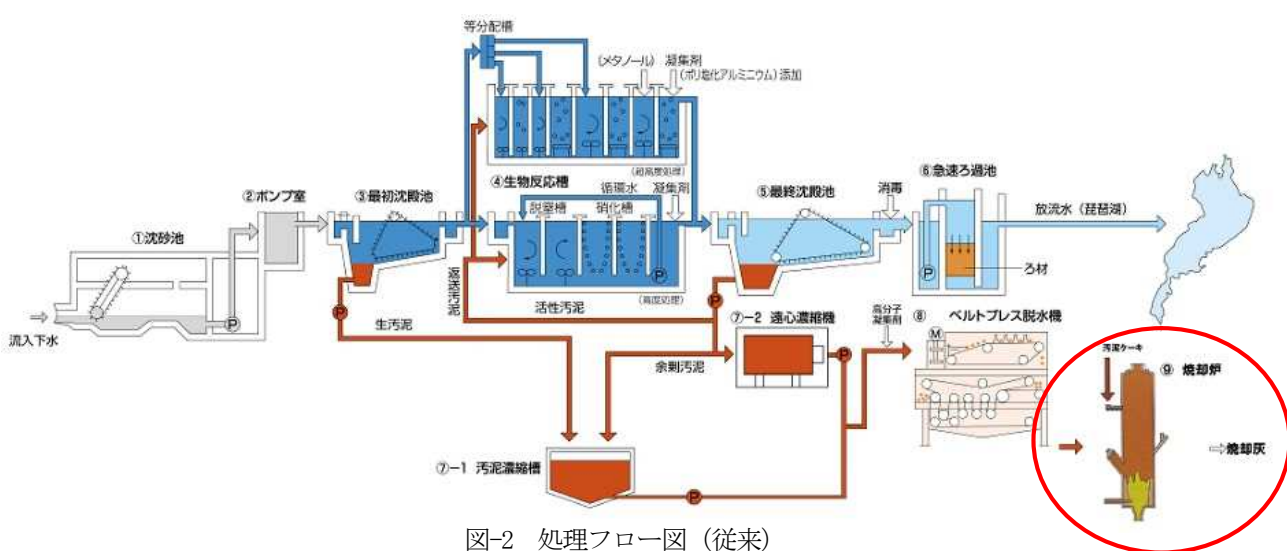


図-2 処理フロー図 (従来)

燃料化施設へ変更

2. 湖西浄化センターの汚泥処理の歴史

(1)汚泥燃料化施設以前の汚泥処理について
湖西浄化センターは1984年（昭和59年）より供用を開始したが、当初汚泥は脱水をした後、最終処分場にて埋立処分を行っていた。脱水した汚泥の一部を業者に引き取ってもらい試験的に肥料化（コンポスト化）も行っていた。

年度の経過に伴い、最終処分場の確保が困難になってきたため、汚泥の減量・安定化が切望され、汚泥の有効利用の推進が急務となった。

上記の流れの中で2001年（平成13年）より焼却熔融炉施設が完成した。脱水した汚泥をガラス質の石である熔融スラグにする施設である。脱水した汚泥を800～850℃の高温で焼却灰にする焼却炉と、焼却灰に石灰を添加し、1,400～1,450℃の高温で熱し、溶解することにより熔融スラグを生成する熔融炉からなる施設である。

熔融スラグは路盤材料や細かくし細骨材として利用することでコンクリートの二次製品やアスファルトに利用されていた。

2013年（平成25年）1月末には、熔融スラグの販売ルート確保が厳しい現状、費用が多くかかることにより、熔融施設を停止し、焼却施設のみ運転することで、脱水した汚泥を焼却灰にし、それを最終処分場で埋立処分することになった。

3. 汚泥焼却施設の更新計画

汚泥を焼却する施設を2001年（平成13年）より稼働しているが、焼却施設が標準耐用年数10年を迎えたこと、また大津市が運営する下水処理場（大津水再生センター：大津市由美浜）の汚泥を焼却していた大津市汚泥焼却施設（大津市大石）が耐用年数を迎え、地元協議により施設を解体・廃止することになり、その汚泥処理を湖

西浄化センターが受けることになったことから、新たな焼却施設を建設する計画が立ち上がった。

2009年（平成21年）1月に汚泥の処理方式について検討するための委員会が発足し、検討の結果、経済性、環境性を考慮し「汚泥燃料化方式」が採用となった。

検討委員会の結果を受け、平成22,23年度に発注方式の選定および仕様書・契約書の内容を検討する業務を行った。

発注の方式はDBO方式（設計建設維持管理一括方式：設計から工事、維持管理までを一つの業者が行う）を採用し、平成24年度に契約をし、設計業務を経て2015年（平成27年）9月に工事が完了し、10月より試運転を開始している。2016年（平成28年）1月には本格運転を開始した。

なお、本業務は2036年(平成48年)3月31日までの維持管理業務が含まれている。

湖西浄化センターの汚泥処理の歴史							
設備機械	年号	1980	1990	2000	2010	2020	2040
焼却熔融炉				2001(H13)		2015(H27)	
燃料化炉					2015(H27)		2036(H48)
処理方法							
埋立処分(一部肥料化)		1984(S59)		2001(H13)			
熔融スラグ				2001(H13)	2013(H25)		
焼却灰					2013	2015	
燃料化物						2015(H27)	2036(H48)

表-2 湖西浄化センターの汚泥処理の流れ

4. 汚泥燃料化方式への決定

汚泥の処理方式を決定するための方式として、次の候補があがった。

- ①焼却炉方式
- ②汚泥ガス化システム
- ③肥料（コンポスト化）方式
- ④燃料化方式

この中で④が汚泥を燃焼して固形燃料物を生成するのに対し②はガスを生成し、それを発電利用するものである。建設費および環境性に優れていたが、下水での実績がないため、最終候補には上がらなかった。

③は汚泥を発酵させて肥料化にするとともに発酵の過程で発生したガスを発電等に利用できるなどのメリットが挙げられるが、下記の理由により採用にはならなかった。

- ・発酵の過程で臭気が発生し、民家に近い本浄化センターでは難しい。
- ・発酵作業を行うには広大な土地が必要となる。
- ・処理の過程で使用している薬剤(PAC)の中に含まれるアルミニウムが作物の育成阻害を及ぼす。
- ・下水汚泥肥料が立入検査により重金属の基準値を超えた事案が散見されている。
- ・需要先の確保が難しい
- ・発酵の過程で発生する濃縮水を処理系統にもどすと放流水質に悪影響を及ぼす。

最終的には①焼却炉方式と④の燃料化方式が残った。

①については従来は埋立処分をしているが、灰からリンを採取する技術が確立され始めていること、またそれによってリンが含まれているため再利用できなかったセメントの原料などにも再利用できる可能性が出てきたことなど環境によい面もでてきた。①、④ともに経済性についてはほど差異がみられなかったが、温室効果ガスの低減という環境性において④燃料化方式が優れているため、採用となった。

2012年(平成24)年5月にDBOの入札公告を行うと、プラントメーカー大手数社の応募があった。20年間の維持管理を含む一大事業であるため、各社とも熱が入っており、分厚い提案書はどれも工夫を凝らした独自性のあるものであった。燃料化の方式においても「乾燥汚泥」「中温炭化」「低温炭化」など様々な提案が寄せられた。

期間中述べ500件以上もの質問が寄せられ、担当者は毎日その返答作成に多忙を極めた。その後県担当職員によるヒアリング、技術対話を通じて確定した技術提案書により、12月には入札が実施された。

有識者等による検討委員会での議論を経て、メタウォーター(株)の流動床式炭化炉による中温炭化の案が採用された。他にも県内産材を多量に使用するなど目を引く提案もあったが、価格その他を含めた総合的な評価で決定案が採用されることになった。

5. 汚泥燃料化施設の工程

汚泥燃料化施設は大きく分けて次の工程に分かれている。

(1)汚泥乾燥機

水分約77%の脱水汚泥を乾燥し、水分約15%の乾燥汚泥とする。後述の汚泥燃焼の際の排熱を利用するため、補助燃料は必要としない。



写真-1 汚泥乾燥機

(2)炭化炉

乾燥汚泥を低空気比で500℃程度の温度で熱し、炭化物を取り出す炉。高温の砂を炉内で巻き上げることにより、より効率よく熱分解反応をさせる。完全に燃焼させないため、灰にする既存の焼却炉の温度800～850℃と比較して低い。

(3)炭化サイクロン

炭化炉にて生成された粉末状の炭化物とガスとを遠心力により分解し、粉末状の炭化物を回収する。

(4)炭化物冷却コンベヤ

炭化サイクロンにて回収した炭化物を冷却、搬送する。

(5)造粒機

炭化物を加湿・造粒し飛散防止を図ることで、運搬・使用しやすくする。



写真-2 造粒機

(6)炭化物ホッパー

完成した炭化物を一時貯留する。安全性を考慮し、炭化物の発熱防止のため、上部に冷却器を設置している。

(7)再燃炉

炭化炉から排出されるガスの二次燃焼および乾燥空気中の燃焼脱臭を行う。高温で熱することで臭気や有害物質を分解する。

(8)熱交換器

再燃炉から出た燃焼排ガスが持っている熱量を汚泥乾燥機へ行く循環ガスへ渡す。

(9)乾燥用熱風炉

熱交換器にて熱した循環ガスで乾燥に必要な熱量が不足する場合、所定温度まで加熱する。

(10)冷却塔

排ガスの温度を低下させ、バグフィルタでの集塵に適した温度に調節する。

(11)バグフィルタ

排ガス中のダストを集塵除去する。

(12)排煙処理塔

排ガス中の酸性ガス(SOX,HCL等)を除去する。苛性ソーダ(NaOH)を添加した水を排ガスに接触させ、中和反応により除去する。

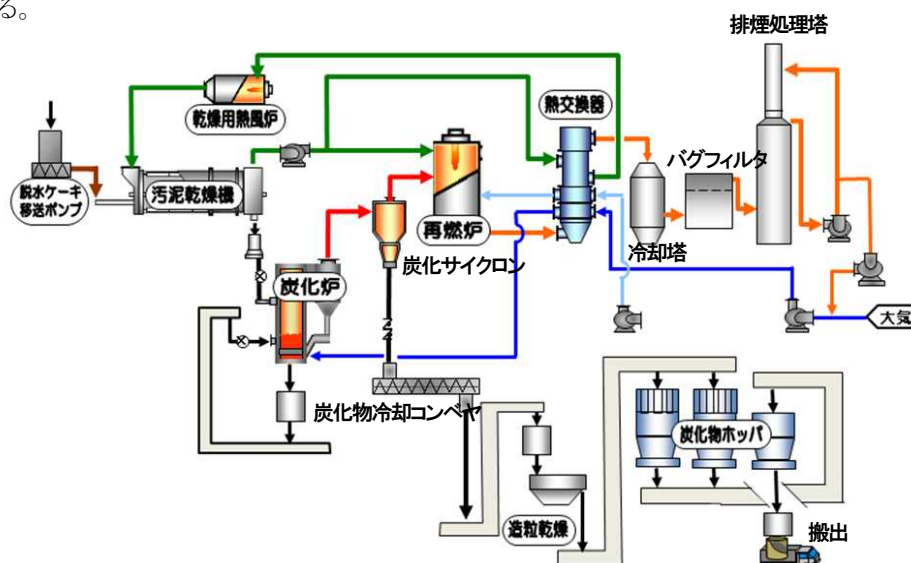


図-3 燃料化施設フロー図

原 理

炭化炉に投入された処理物（下水汚泥）は、400～600℃に保たれた炉内の砂層で熱分解され炭化物と熱分解ガスになります。

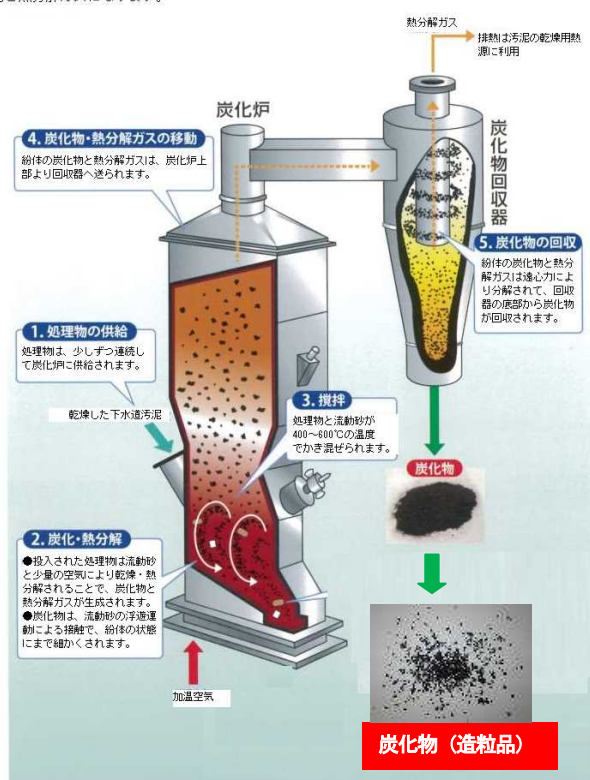


図-4 燃料化施設の仕組み

6.燃料化物とは

汚泥燃料化施設は80t/日の汚泥に対して燃料化物約7t/日製造される。この燃料化物は100円/t（税抜）で燃料化事業者へ県が売却をする。事業者はさらに販売先へ売却をするが、セメント工場の自家発電燃料や、製鉄所

の電気炉の燃料として利用される予定である。なお、燃料化物の販売ルートの確保、販売は受注業者が行う。燃料化物の発熱量は12.4GJ/tである。ちなみに石炭の発熱量は25.7GJ/t¹⁾、木材の発熱量は14.4GJ/t²⁾である。写真-3において左側が完成品（造粒品）、右側は造粒前の炭化物。粉末状の炭化物を造粒するのは運搬・使用時の飛散防止を図るためである。



写真-3 炭化物

7. 特徴

(1)温室効果ガスの削減

既存の焼却施設と比較し、燃料化施設は温室効果ガス年間削減量はCO₂換算で約6,500 t/年である。また、製造した炭化物は石炭の代替燃料として利用することで、石炭由来の温室効果ガスも削減することができ、年間削減量はCO₂換算で約3,100t/年である。合計で約9,600t/年の年間削減ができ、一般家庭約3,200世帯/年の排出量に相当する。表-3参照。

温室効果ガスを削減できる理由として二酸化炭素(CO₂)の310倍温室効果が高いとされる一酸化二窒素(N₂O)を既存の焼却施設より削減できるからである。

炭化により汚泥から排ガス中に移行する窒素分が少ない点、排ガス中に移行した窒素分が再燃炉（図-3のフロー図参照）により窒素（N₂）まで完全燃焼されてN₂Oが残りにくい点があげられる。

図-5のとおり燃焼温度が高くなるにつれ、N₂Oの排出量は減少する。既存の焼却施設の炉内温度が800～850℃、汚泥燃料施設の再燃炉はN₂Oの排出量0.0386kgN₂O/t以下に抑えるため、約1/5以上の削減が可能である。

項目	焼却設備（既存施設）	汚泥燃料化施設
	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年
都市ガス	2,095	374
電力	1,172	729
N ₂ O由来	4,596	275
合計	7,863	1,378

表-3 CO₂排出量の比較

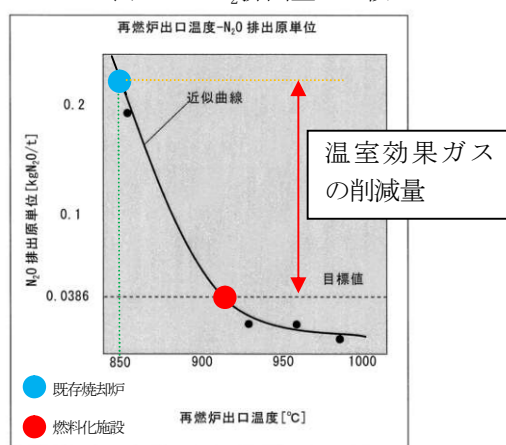


図-5 N₂Oと燃焼温度の関係

(2)燃料費の削減

炭化炉内の温度は、汚泥の一部を部分燃焼することでまかなっているため補助燃料の大幅な削減が可能となった。

また、系統内で発生する熱源を汚泥乾燥機の熱源として再利用することにより省エネをはかっている。

(3)工事費の削減

大津市下水処理場から排出される汚泥と湖西浄化センターの汚泥を併せて湖西浄化センターで集約して処理することにより、大津市が単独で汚泥焼却設備を建設する費用約25億円の削減ができた。

また、排煙設備関係は既存の焼却設備のものを流用することにより建設費を抑えた計画となった。設計から維持管理までの一括した事業費は50.5億円である。参考に既存の焼却炉の建設費は55億円である。工事から維持管理費を含めた金額で比較すると44.5億円の削減となる。

項目	焼却設備（既存施設）	汚泥燃料化施設
建設費	55億円	50.5億円
維持管理費	2億×20年=40億	
合計	95億	50.5億円

※維持管理費は平成28年1月～平成48年3月までの費用である。

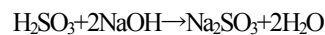
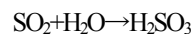
表-5 工事費と維持管理費の比較

(4)環境への配慮

大気汚染防止法および滋賀県公害防止条例、大津市条例によって定められている規制値より厳しい管理値を設け、遵守することで環境に配慮する。表4参照

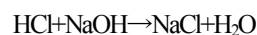
①硫黄酸化物

苛性ソーダ(NaOH)水溶液にて除去する



②塩化水素

同様に苛性ソーダで除去



③窒素酸化物

空気量および燃焼温度を一定に保つ、またO₂の濃度を監視し、N分と残存O₂が結合しないようにする。

④ばいじん

サイクロンおよびバグフィルタにて捕集

⑤ダイオキシン

燃焼温度を850℃以上に、また滞留時間を2秒以上確保することで不完全燃焼を防止し、ダイオキシンの発生を抑える。

項目	規制値	運転管理値
硫黄酸化物	K=8.76	K=1以下
窒素酸化物	250ppm以下	150ppm以下
ばいじん	0.08g/m ³ N以下	0.03g/m ³ N以下
塩化水素	700mg/m ³ N以下	100mg/m ³ N以下
ダイオキシン	1ng-TEQ/m ³ N	0.1ng-TEQ/m ³ N

表-4 排ガスの規制値と管理値

8. 課題

これまでは汚泥焼却に係るユーティリティ（電力・ガス・薬品等）は全て県が負担してきたが、DBOには委託料にこれも含まれることになる。原料である汚泥の含水率などの成分、量によりユーティリティが大きく変動し金額に影響するため、今後は供給する汚泥に対しての要求がよりシビアになることが想定される。

県の下水道では初めてのDBOによる事業であるため、わからないことばかりであるが、一つ一つ課題をクリアしていきたい。

9. 終わりに

滋賀県は近畿の水がめである琵琶湖を有していることもあり、環境に対する意識が非常に高い県である。このため、滋賀県の下水道は全国に先駆けて富栄養化の原因となる窒素・リンの除去ができる「高度処理」を初めて採用した県である。30年ほど前の話ではあるが、この発表会を通して、滋賀県の下水道は今も環境意識を高く持ち、常に新しい技術を積極的に採用しているということをしる多くの方に知ってもらえればと思う。

参考文献

1)2)環境省、経産省「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル



写真-4 施設全景