

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・松本 寛²

¹南部流域下水道事務所 湖西担当

²南部流域下水道事務所 湖西担当

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（脱水後）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，D B O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の概要を紹介する。

湖西浄化センターは天津市苗鹿に位置しており、北は大津市の北小松から南は大津市の際川（自衛隊駐屯地）付近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、大津市の人口の約1/3の汚水を受け持っている。大津市には、湖西浄化センターのほかに大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浄化センター、さらに一部は京都市で処理をしている区域がある。（図-1の斜線部が湖西処理区）



図-1 処理区域図

汚水は次の各工程を経て、琵琶湖に放流される。

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。

ポンプ室： を通った汚水を最初沈殿池へ送る。

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。

生物反応槽：空気を吹き込み、又は攪拌をさせ、微生物により汚水の中の有機物、窒素を除去し、リンは薬剤（PAC）を添加し化学的に除去する。

最終沈殿池：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、急速砂ろ過池へ送る。

急速砂ろ過池： の上澄み水を目の細かい砂の層に通し、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 および 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。

- 1 汚泥濃縮槽：固形物を沈殿させる。
- 2 遠心濃縮機：遠心力で水分を飛ばす。

ベルトプレス脱水機：ローとロ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。

表-1 湖西浄化センターの実績

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

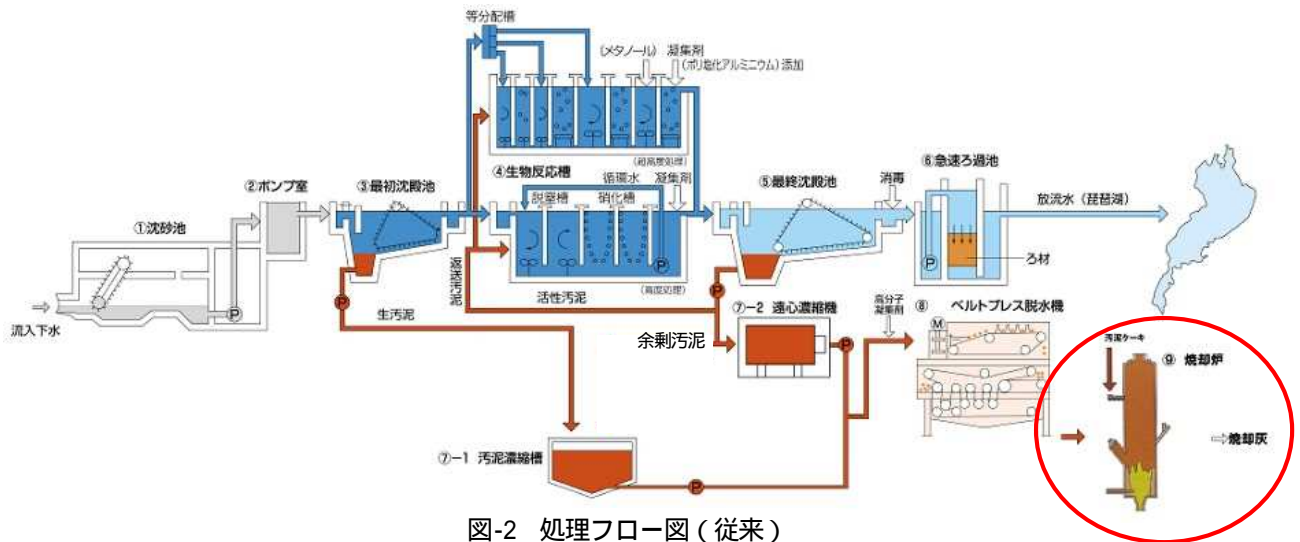


図-2 処理フロー図（従来）

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）に供用を開始したが、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）に焼却溶融炉施設が完成した。脱水した汚泥を溶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、焼却灰を1,400～1,450 の高温で熱し、溶解固化することにより溶融スラグを生成する溶融炉からなる施設である。

溶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、溶融スラグの販売ルート確保が厳しい現状、溶融炉老朽化とともに費用が多くかかることにより、溶融施設を停止し、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をすることになった。

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

西浄化センターにおいて流域汚泥処理事業として実施することになったことをうけ、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学識経験者からなる委員会を設置し、この委員会での検討を受け、経済性、環境性等を考慮し「汚泥燃料化方式」を採用することとした。

この結果を受け、平成22,23年度に発注方式の選定および要求水準書・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年度に事案公告・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、契約した業務には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。

4. 汚泥燃料化方式の決定

表-2 湖西浄化センターの汚泥処理の歴史

湖西浄化センターの汚泥処理の歴史		1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040
設備機械	年号					現在		
焼却溶融炉				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)				
溶融スラグ					2001(H13)	2013(H25)		
焼却灰						2013, 2015		
燃料化物							2015(H27)	2036(H48)

検討委員会では、汚泥の処理方式を決定するための方式として、主に次のような候補を検討対象とした。

焼却方式

汚泥ガス化システム

肥料（コンポスト化）方式

燃料化方式

この中で が汚泥を乾燥、炭化等により固形燃料物を生成するのにに対し、 は高温でガスを生成するもので、生成したガスを発電利用するものであるが、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。

は汚泥を発酵させて肥料化するとともに、消化と組み合わせることにより発生した消化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可能性がある。
- ・需要先の確保が難しい。
- ・発酵の過程で発生する濃縮水を水処理システムに戻すと放流水質に悪影響を及ぼす可能性がある。

最終的には 焼却方式と の燃料化方式が残った。

については従来は灰を埋立処分をしているが、灰からリンを抽出する技術が確立されていること、またリンを抽出することで、リンが含まれているため再利用に制限のあ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り面もでてきた。 、ともに経済性についてはほぼ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優れていること、燃料化物の需要先確保が拡大しつつあることから、燃料化方式を採用することとなった。

本件は高度技術提案型総合評価方式を採用しており、2012年(平成24年)5月にDBOによる入札公告を行うと、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」「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。

総合評価では、本県が示した技術要件への対応をすることとともに、価格面（工事費、維持管理費）、温室効果ガス排出量、県内からの材料調達などの地域貢献等を評価項目とし総合的に評価した結果、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。

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12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。



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)炭化物回収サイクロン

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離し、粉末状の炭化物を回収する。

(4)炭化物冷却コンベヤ

炭化物回収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の燃焼脱臭を行う。850 以上の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と熱交換する。

(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(SO_x、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。

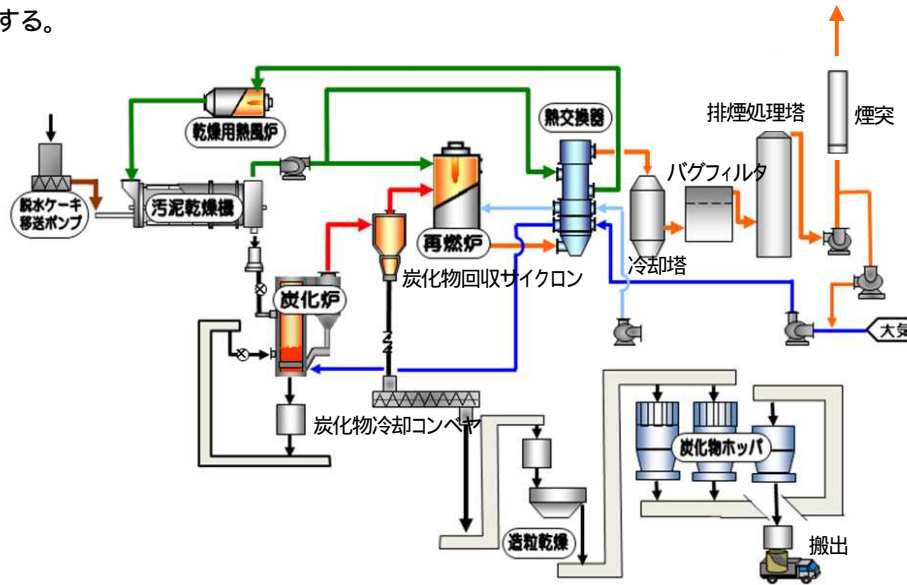


図-3 燃料化施設フロー図

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。

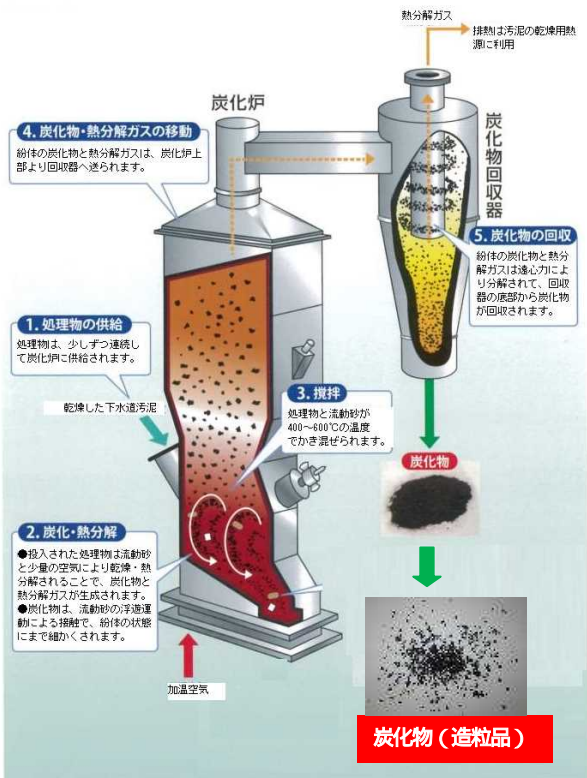


図-4 燃料化施設の仕組み

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/日が製造される。この燃料化物は76円/t(税抜)で県が燃料化事業者へ売却をする。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確保、販売は事業者が行う。燃料化物の発熱量は約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)、右側は造粒前の粉末状の炭化物。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。

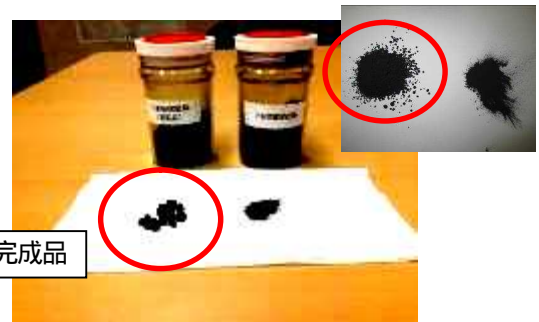


写真-3 炭化物

7. 特徴

(1)温室効果ガスの削減

既存の焼却施設と比較し、燃料化施設の温室効果ガス年間削減量はCO₂換算で約6,500t/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-3,4参照。

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。

これは炭化により污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。また、燃料化物自身にもN₂O排出の原因となる物質は含まれるが、引取先の炉内温度は1,000以上の高温で使用するため、N₂Oの発生は極めて少ない。

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、污泥燃料化施設の再燃炉は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（従来施設）	污泥燃料化施設
	t-CO ₂ /年	t-CO ₂ /年
都市ガス	2,095	374
電力	1,172	729
N ₂ O	4,596	275
合計	7,863	1,378

表-3 CO₂排出量の比較（既存施設との比較）

項目	使用量・排出量	排出係数	CO ₂ 削減量	
石炭削減	住友大阪セメント向け	石炭805t/年	2.33kg-CO ₂ /kg	1,876t-CO ₂ /年
	山口鋼業向け	コークス400t/年	2.33kg-CO ₂ /kg	1,268t-CO ₂ /年
	小計			3,144t-CO ₂ /年
輸送	住友大阪セメント向け	9,991L-軽油/年	2.62kg-CO ₂ /L	-26t-CO ₂ /年
	山口鋼業向け	1,869L-軽油/年	2.62kg-CO ₂ /L	-5t-CO ₂ /年
	小計			-31t-CO ₂ /年
合計			3,113t-CO ₂ /年	

住友大阪セメント、山口鋼業は燃料化物の受入先

表-4 燃料化物の石炭代替によるCO₂削減量

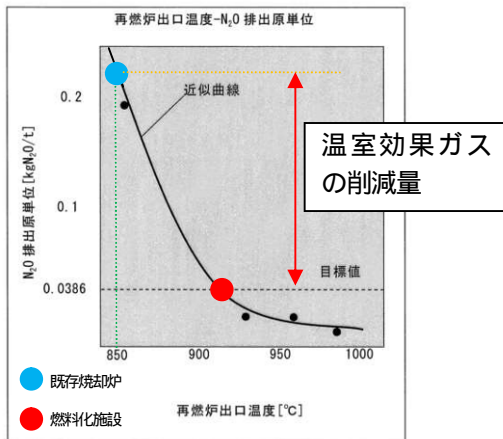


図-5 N₂Oと燃焼温度の関係

(2)燃料費の削減

炭化炉内の温度は污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污泥乾燥機の熱源として再利用することにより省エネを図っている。

(3)工事費の削減

大津市下水処理場から排出される污泥と湖西浄化センターの污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、大津市が単独で污泥焼却設備を建設する場合に比較して約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結果、設計から維持管理（20年間）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55億円であり、工事から維持管理費を含めた金額で比較すると71.5億円の削減となる。

項目	焼却設備（既存施設）	污泥燃料化施設
建設費	55億円	16億円
維持管理費	3.3億×20.25年=67億	34.5億円
合計	122億	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-6参照

硫黄酸化物

苛性ソーダ(NaOH)水溶液にて除去する



塩化水素

同様に苛性ソーダで除去



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。ばいじん

サイクロンおよびバグフィルタにて捕集

ダイオキシン

再燃炉での燃焼温度を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。また、バグフィルタを採用することにより再合成を抑制する。

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-6 排ガスの規制値と管理値

8. 課題

これまでは污泥焼却に係るユーティリティ（電力・ガス・薬品等）は委託料とは別に全て県が直接支払してきたが、DBOには委託料にこれも含まれることになる。原料である污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、今後は供給する污泥に対してのリスク負担は県が負うことになる。

県の下水道では初めてのDBOによる事業であるため、課題も出てくると思われるが、一つ一つクリアしていきたい。

9. 終わりに

滋賀県は近畿1,450万人の水源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」

を採用した県である。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こでも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