特集2・有機汚泥の乾燥／炭化技術と有効利用

汚泥の直接炭化と利用システム

馬場 淳一*・藤田 雅人*

1. はじめに

近年、資源循環型社会の構築が叫ばれ、その具体的な推進策が望まれている。有機性汚泥に関しても、汚泥再生処理センターや下水道法の見直し（下水道管理者による、汚泥有効利用策定の義務化）に代表されるように、汚泥を資源化することが環境行政において必須条件となりつつある。このような状況の中、下水汚泥はその60%近くが焼却灰や堆肥化、溶融スラグなど種々の形態にて有効利用されている¹⁾。またし尿処理分野では、汚泥再生処理センターでの汚泥資源化を一層促進するために、メタン発酵や堆肥化に加え炭化処理等新たな処理方法も検討に含まれつつある²⁾。

炭化処理とは大まかに言って乾燥と焼却の中間的な位置づけの処理で、無酸素もしくは低濃度酸素下で汚泥を加熱して「蒸し焼き」にする操作をいう。汚泥を加熱することで最初に水分や吸着ガスを放出し、続いて汚泥が熱分解されてガス（乾留ガス）が放出され、炭化物が生成される（図-1参照）。乾

留ガスは炭化水素等の可燃分を含み、適切に燃焼させることで脱臭・無害化される。また炭化物は固定炭素および灰分を主体とし、下記のようなメリットを有している。

- (1) 臭気が極めて少なく、腐敗せず衛生的である
- (2) 水分量が少なく、長期間の保存が可能になる
- (3) 減容化が図れ、輸送費、処分費が安価になる
- (4) 有効利用用途が多い（建設資材、緑農地利用、エネルギー利用等）

本報では下水・し尿脱水汚泥の直接炭化に関する実証試験結果を中心に、炭化物性状や運転条件、有効利用方法に関する検討事例等について述べる。

2. 炭化装置

今回の実証試験では、機器点数を減らし運転を容易にするため、乾燥機を設けない脱水汚泥の直接炭化を行った。また炭化装置には外熱式ロータリーキルン型炭化炉を用いた。その概略図を図-2に示す。

原料となる脱水汚泥は投入機からスクリーフイーダにてキルンに送り込まれる。キルンは内筒と外筒

図-1 炭化処理概念図

*株式会社 Jun-ichi BABA, Masato FUJITA

図－2 炭化装置概略フロー

の二重構造となっていて、内筒は緩速回転するとともに出口側が若干低くなるよう勾配がついている。汚泥は内筒内を回転しながら出口側に運ばれ、その間に壁面から熱を受けて熱分解が進み、炭化物となって出口から排出される。

熱分解の際に発生する乾留ガスは、押込ブロワを経て熱風炉に導かれる。熱風炉では必要に応じて重油、灯油やLPG等での助燃を行い、乾留ガスを850℃以上で完全燃焼および完全脱臭する。熱風炉での燃焼排ガスはキルン外筒に送られ、内筒壁面から汚泥を間接加熱して排出される。このように燃焼排ガスを汚泥加熱に用いることで、省エネルギーを図っている。

3. 実証試験

3.1 試験概要

実証試験は延べ2ヶ月間、写真1に示す炭化装置を設置して行った。その主な仕様を表1に示す。なお炭化装置はバッチ運転とし、毎日立ち上げ・立ち下げを行った。

炭化処理の原料として用いた各種汚泥について、表2にまとめた。また一部の試験では、し尿系脱水汚泥を加温して含水率40％程度に乾燥した後に炭化処理を行った。

3.2 汚泥減量・減容化

表3に、し尿系・下水系各々での炭化処理による、

写真1 実験装置外観

表1 炭化装置主仕様

項目	仕様
キルン内筒	φ 300×3,000 mm
炉設置スペース	約2 m×約4 m
脱水汚泥処理量	20 kg/hr
補助燃料	LPG（灯油・重油も可）
電動機出力	1.75kW
キルン傾斜	ジャッキにより可変

表2 供試汚泥

項目	し尿系	下水系
流入水	し尿・浄化槽汚泥	分流式下水
水処理方式	高負荷膜分離 脱窒素方式	標準活性汚泥法
汚泥種類	余剰汚泥	混合生汚泥
脱水機	フィルタープレス	遠心脱水機
凝集剤	硫酸バンド＋ 高分子凝集剤	高分子凝集剤

表3 炭化による減少率

項目	し尿系	下水系
重量(脱水汚泥ベース)	92%	95%
重量(固形物ベース)	65%	70%
体積	85%	79%

写真2 下水汚泥炭化物

重量および容積減少率を示す。この時、炭化温度は内筒内雰囲気温度で350～400℃、キルン内滞留時間は約60分であった。炭化処理では汚泥中の揮発分が一部ガス化されるため、固形物ベースでも高い減少率が得られていることがわかる。

写真2に、下水汚泥の炭化物を示す。写真からもわかる通り炭化物は黒色・粒状で、また無臭かつ軽量であるため保管や運搬が容易であるとみられる。

3.3 炭化物分析

表4に、脱水汚泥および炭化物の成分分析結果を示す。し尿系、下水系共に脱水汚泥は熱分解によって揮発分の多くが乾留ガスとして揮発し、炭化物は灰分と固定炭素を主体としている。

この分析より、炭化物中にダイオキシン類は殆ど存在しないことが確認された。また炭化物は13,000～15,000 kJ/kg-dry程度の熱量を持つため、燃料としてのエネルギー利用も十分可能性がある。ただし比表面積等の吸着材的性質については、活性炭ほどの性状は得られなかった。

図-3に、下水系脱水汚泥の直接炭化および乾燥汚泥の炭化によって得られた炭化物の粒度分布を示す。図-3からわかる通り、脱水汚泥の直接炭化では粒径1～5mmの範囲が全体の6割程度を占め、微小な粉じんはほとんど見られなかった(写真2参照)。これは脱水汚泥がキルン内を熱を受けながら転がる際に、ある種の自己造粒を起こしていると考えられ、この現象はし尿系脱水汚泥の直接炭化でも確認されている。一方乾燥汚泥の炭化では乾燥時に汚泥が微細化するため、炭化物の大部分が1mm以下の微粉状になり、粉じんの飛散等が懸念される。これより、本装置で脱水汚泥を直接炭化して得られる炭化物は、顆粒状で取扱いが容易であるという利点を持つことがいえる。

重金属類に対する溶出試験(環告46号)の結果を表5に示すが、各項目とも土壤環境基準を満足して

表4 成分分析結果

項目	単位	し尿系		下水系	
		脱水汚泥	炭化物	脱水汚泥	炭化物
含水率	%	78.4	<0.1	81.5	3.5
揮発分	%-dry	65.0	12.1	75.0	13.5
灰分	%-dry	21.0	53.8	13.0	45.1
固定炭素	%-dry	14.0	34.1	12.0	41.4
かさ比重	—	0.62	0.38	0.83	0.22
C	%-dry	37.7	34.2	44.3	41.4
H	%-dry	5.8	1.8	6.3	1.8
O	%-dry	20.6	6.2	31.7	6.2
N	%-dry	6.0	3.9	4.2	5.2
T-S	%-dry	1.1	0.6	0.52	0.21
T-Cl	%-dry	0.16	0.11	0.09	0.08
P	%-dry	2.5	6.9	1.9	6.1
低位発熱量	kJ/kg-dry	17,390	12,700	19,060	15,300
比表面積	m ² /g	—	12.9	—	42.4
細孔容積	mL/g	—	0.065	—	0.06
メチレンブルー吸着量	mL/g	—	4.4	—	6.0
ダイオキシン類	ng-TEQ/g	—	5.7×10 ⁻⁵	—	0.1×10 ⁻⁵

図-3 炭化物の粒度分布

表5 炭化物溶出試験結果

項目	単位	炭化物	土壤環境基準
鉛	mg/L	0.002	<0.01
カドミウム	mg/L	<0.001	<0.01
総水銀	mg/L	0.0001	<0.0005
ヒ素	mg/L	0.008	<0.01
セレン	mg/L	<0.001	<0.01
六価クロム	mg/L	<0.01	<0.05
全シアン	mg/L	ND	ND

表6 排ガス分析結果

項目	単位	測定値	備考
水分	%-wet	18.8	
ばいじん	g/m ³ N	0.006	O ₂ 12%換算
一酸化炭素	v/v ppm	<5	O ₂ 12%換算
窒素酸化物	v/v ppm	58	O ₂ 12%換算
硫黄酸化物	v/v ppm	320	
塩化水素	mg/m ³ N	33	O ₂ 12%換算
シアン	v/v ppm	<0.1	
ダイオキシン類	ng-TEQ/m ³ N	0.017	O ₂ 12%換算

いることが確認された。炭化物はかさ比重が小さく、透水性や通気性も良好とみられる³⁾ため、土壤改良材等としての有効利用が期待される。

3.4 排ガス分析

表6に燃焼・キルン加熱後の排ガス分析結果を示す。炭化炉内は無酸素もしくは低酸素状態であるため、乾留ガス中には一酸化炭素やシアン、アンモニア等が多く含まれるが、熱風炉で完全燃焼させることで各項目とも十分に低下していることがわかる。特にばいじんやダイオキシン類はほとんど存在せず、排ガス処理の簡素化が可能とみられる。

3.5 運転条件

炭化が進むと汚泥中の揮発分が減少することか

図-4 処理温度と炭化物揮発分の関係

図-5 滞留時間と炭化物揮発分の関係

ら、炭化の指標として汚泥中の揮発分を測定して運転条件検討の参考にした。

図-4に炭化処理温度と炭化物揮発分の関係を、また図-5にキルン内滞留時間と揮発分の関係をそれぞれ示す。図-4より、処理温度を上げていくことで揮発分が低下し炭化が進むことがわかる。燃料費との関係にもよるが、概ね360℃以上の処理温度を確保することで良好な炭化物が得られるとみられる。また図-5より、滞留時間を短くすると揮発分が炭化物中に残留してしまう結果となり、適正な滞留時間は60分程度とみられる。また、乾燥汚泥の炭化と脱水汚泥直接炭化で揮発分の値に大きな差はみられず、脱水汚泥直接炭化でも滞留時間を若干長くすることで、乾燥汚泥処理と同等の結果を得ることができた。

4. 炭化物の有効利用について

汚泥の乾燥や炭化などの資源化処理において、生

産される製品の再利用先の確保は資源化処理全体の成否を左右する重要な問題である。炭化物に限らず、再資源化物はコスト面等から長距離輸送が困難で、利用先が処理施設近傍に限られる場合が多い。このため、有効利用を進めるには地域の実情を把握し、それに応じた利用方法を提案していくことが重要である。この点において汚泥炭化物は堆肥化副資材⁴⁾、土壤改良材⁵⁾、脱水助剤⁶⁾、吸着剤⁷⁾等多種多様な用途に有効利用可能という報告があり、この多様性が再利用時の大きな利点になるとみられる。

また当社では、今回の実証試験結果を基に、当社製炭化装置にて生産される炭化物の引取保証システムを構築した。これは処理場にて生産される炭化物を当社にて定期的に買い取る契約を結び、炭化物は当社の責任の下で流通ルートを確保し、有効利用を行う事業で、突然の引取中止のない契約とすることで量的に安定した汚泥資源化・有効利用を可能にしている。契約は基本的に自動更新され、問題のない限り引取保証は継続されるが、法律・規制等では炭化物の利用が不可能になった場合はやむを得ず保証を中止する場合がある。引取可能な炭化量は地域や情勢、汚泥の質等により異なり、有効利用用途の開発によりその量は増加するとみられるが、当面は土壤改良材用途等を視野に検討を進めている。

5. ま と め

汚泥炭化処理に関する実証試験から、外熱式ロータリーキルンによる脱水汚泥の直接炭化によって、有効利用に適した炭化物を得られることを確認し、炭化物の引取保証システムを構築した。今後は有効利用用途の開発や炭化処理自体の高効率化に関して、検討を行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 松田尚之：下水汚泥の処理処分と有効利用の動向，産業と環境，31 (6)，71-76 (2002)
- 2) 八木美雄，森山雄嗣：施設整備計画としての「汚泥再生処理センター」，都市清掃，54 (11)，22-27 (2001)
- 3) 照沼誠：炭化汚泥の有効利用，再生と利用，21 (78)，50-56 (1998)
- 4) 例えば三羽宏明，照沼誠：炭化汚泥のコンポスト化への適用に関する調査，第37回下水道研究発表会講演集，888-890 (2000)
- 5) 例えば清水健司，梅田義浩，辻秀之：下水汚泥炭化物の混入が苗木等の育成に及ぼす影響，日本緑化工学会誌，27 (1)，165-167 (2001)
- 6) 例えば大場康久，照沼誠：炭化汚泥を脱水助剤とした汚泥脱水の改善，第35回下水道研究発表会講演集，1041-1043 (1998)
- 7) 例えば楠田浩雅，永易弘三，澤井正和：下水汚泥から製造する炭化物の用途について，第37回下水道研究発表会講演集，918-920 (2000)

製品ニュース

コネクション構造採用「宅内排水用ポンプユニット」

新明和工業株式会社は、新型予旋回槽を標準装備した「宅内排水用ポンプユニット」を開発した。

このユニットでは、従来のポンプ接続装置（コネクション）が予旋回槽底部の平坦な部分に取り付けられており、この部分に旋回流があたるため、発生した流れを阻害する要因になっていたという問題点を解決すべく、業界で初めてコネクションを仕切壁の頂部に設置する構造を採用した。

ユニット内の水位検知には「気泡式」を採用した本ユニット専用のコントローラを開発、また、

排水中の水位の変化を監視する「コントローラ」を開発、残水の排出にかかる時間を予測して確実に汚水を排水する「延長タイム予測制御機能」を備えているため、異物堆積や悪臭発生の防止にも有効。

主な用途：圧力式下水道システム，小規模下水における汚水の移送，農業集落の排水処理施設への汚水の移送，個人住宅の下水，生活雑排水の移送

発売開始日：平成14年10月1日

問い合わせ先 新明和工業(株)営業統括本部 (吉川博志)

〒230-0003 横浜市鶴見区尻手3丁目2-43 TEL：045-575-6411 FAX：045-575-2286

URL <http://www.shinmaywa.co.jp/>