

下水汚泥炭化処理技術に 関する研究

1. 研究の背景と目的

下水汚泥の発生量は、流入下水量の増大や処理の高度化により、一層の増大が予想される。

一方、廃棄物最終処分場においては、廃棄物量の増大、最終処分場の新規立地の困難さ等により、残余空間が極めて逼迫している状況にある。

平成13年度における下水汚泥の有効利用の状況を見ると、下水汚泥総発生量の56%（固形物量ベース）が有効利用されているが（「汚泥有効利用に関するデータベース」（平成14年3月31日現在、国土交通省都市・地域整備局下水道部））、膨大な量の汚泥の減量化を図り、より一層、有効利用を推進していくことが必要である。

このような中で、下水汚泥の炭化は、焼却や溶融と比較して一般的に排ガス発生量が少なく、生成物が木炭に似た物性を持つことから、多くの有効利用先が考えられ、新しい資材として注目されている。

本研究では、炭化製品の特徴、有効利用先、炭化システムに関する研究状況について調査し、炭化製品を製造するための留意点を明確にすることを目的とした。さらに、炭化製品の性状、成分および性能を把握するとともに、炭化システムおよび炭化製品の安全性や経済性についても確認し、技術資料としてまとめることを目的とする。

2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構と以下の14社との共同研究体制により実施した。

(株)荏原製作所、川崎重工業(株)、(株)神鋼環境ソリューション、三機工業(株)、住友重機械工業(株)、大同特殊鋼(株)、(株)タクマ、月島機械(株)、巴工業(株)、(株)西原環境テクノロジー、日本ガイシ(株)、JFEエンジニアリング(株)、日立プラント建設(株)、(株)明電舎

3. 研究内容

3.1 炭化製品の性状等について

3.1.1 性状・成分

一般的に、消化汚泥の炭化製品は、OD法余剰汚泥や混合生汚泥の炭化製品と比較して、強熱減量、発熱量、炭素含有量が低い。また、いずれの炭化製品も、炭素含有量、発熱量、比表面積等は木炭と比較して小さい値を示す（表-1）。

3.1.2 炭化製品の安全性

(1) 有害成分の含有量

炭化製品に含まれる有害成分含有量の例（3例）と、肥料取締法における規制値（最大値）を表-2に示す。

炭化製品中の重金属含有量は、脱水汚泥に含まれる重金属の量や、炭化温度等の運転状況により

表-1 炭化製品の性状・成分例

項目	単位	炭化原料			木炭	
		OD法 余剰汚泥	標準法混合 生汚泥	消化汚泥		
強熱減量	%	46~53	40~55	15~26	60~90	
発熱量	kJ/kg	13,000~	12,000~	8,000~	25,000~	
		17,000	16,000	8,200	33,000	
元素分析	C	%	43~47	33~42	15~21	90~95
	H	%	1.1~1.8	1.2~3	0.2~0.8	0.1~3
	O	%	2.3~3.1	0.2~0.7	0.1~1.8	2~7
	N	%	4.2~6	2~5	0.3~1.7	0.1~0.7
	S	%	0.2~0.4	0.1~0.3	0.2	~0.3
pH	—	7.1~7.8	7.6	7.4	9~10	
比表面積	m ² /g	4.4~100	20~140	25~120	200~400	
嵩比重	g/cm ³	0.3~0.44	0.38~0.52	—	0.1~0.5	

表-2 炭化製品に含まれる有害成分含有量例

項目	単位	規制値	炭化製品の含有量例		
砒素	ppm	50	3.9	2.1	8.5
カドミウム	ppm	5	<0.5	4.2	4.6
水銀	ppm	2	<0.01	0.046	<0.05
ニッケル	ppm	300	65	73	45
クロム	ppm	500	68	160	40
鉛	ppm	100	10	68	95

影響を受ける。そのため、下水汚泥の性状によっては、炭化製品の重金属含有量が規制値を超えるケースがあるため、事前確認が必要である。

3.2 炭化製品の有効利用について

3.2.1 有効利用の事例

炭化製品の有効利用の事例には、以下のものがある。

(1) 土壌改良材および園芸用土壌

肥料取締法に基づき、普通肥料として以下の2ヵ所で登録されている（肥料の種類：焼成汚泥肥料）。

① 長野県

川西衛生センター

② 山形県

鶴岡市浄化センター

(2) 脱水助剤

炭化製品は、汚泥と混合することにより脱水助剤として働き、含水率の低減、処理性能の向上、脱水汚泥の脱臭効果が期待できる。表-3に、脱水助剤として使用した場合の一例を示す。

表-3 脱水助剤の効果の目安例

脱水機機種	凝集剤	炭化製品添加率の目安	効果の検証目安
ベルトプレス スクリュープレス 遠心	高分子系	10~30%-DS程度	含水率 約1~3% 低下

(3) 融雪材

炭化製品は、黒色性、光エネルギーの吸収性（吸熱性）を有するため、融雪材として使用されている。

融雪効果確認試験結果を図-1に示す。

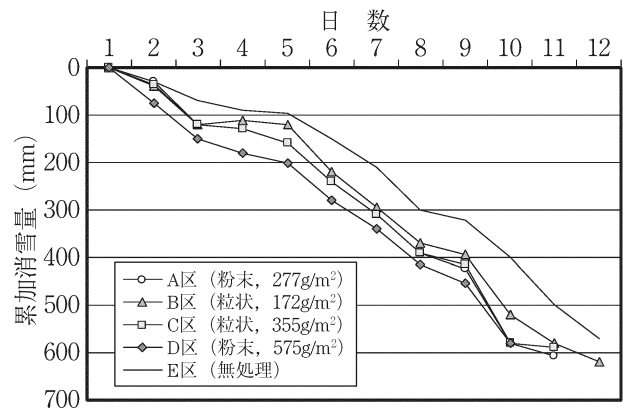


図-1 融雪効果確認試験結果

(4) 吸着材

混合生汚泥の脱水ケーキに賦活処理を施した炭化製品（以下、活性炭化製品）は、吸着性能が高く、80%程度のダイオキシン類除去率が得られる。表-4に、焼却場の排ガス除去を目的として炭化製品を使用した場合の効果を示す。

表-4 焼却場排ガス中における炭化製品の効果

測定場所		電気集塵機入口	煙突		
炭化製品 噴霧量	kg/hr		4.6	0	5.1
	mg/m ³ N	0		195	532
ダイオキシン類	ng-TEQ/m ³ N	4.6	3.2	0.85	0.97
	除去率%	—	30.4	81.5	78.9

(5) 吸水性陶管原料

吸水性陶管原料への炭化製品（OD汚泥を炭化）の利用は、下水汚泥中の無機分の組成が、陶管原料である粘土の組成に似ていること、および有機分が焼成過程で揮散し、陶管の多孔性が高められることに着目したもので、地域の地場産業に適応した、炭化製品の継続的かつ全量有効利用が見込まれる事例である。試作した吸水性陶管を写真-1に示す。



写真-1 試作吸水性陶管

表-5 炭化システムごとの特徴

システム	熱伝達方式	搬送方法	特徴
乾燥炭化システム	乾燥有	外熱式	スクリュー 1) 外熱式のため、乾燥汚泥と加熱用ガスが直接接触せず、ばいじんの飛散が少ない。 2) 各スクリューの速度を変えることができ、炭化時間の調整が容易。 3) スクリューは縦に配置され炉がコンパクトである。
		内熱式	ロータリキルン 1) 外熱式のため、乾燥汚泥と加熱用ガスが直接接触せず、ばいじんの飛散が少ない。 2) 乾燥装置で脱水汚泥の水分を効率的に除去しているため、直接炭化システムの同方式と比較して炉の大きさが小さくなる。
	乾燥無	内熱式	ロータリキルン 1) 外熱式ロータリキルンと比べて構造がシンプルである。 2) 乾燥装置で脱水汚泥の水分を効率的に除去しているため、直接炭化システムの同方式と比較して炉が小さくなる。
直接炭化システム	乾燥有	外熱式	ロータリキルン 1) 外熱式のため、乾燥汚泥と加熱用ガスが直接接触せず、ばいじんの飛散が少ない。 2) 乾燥装置がなく維持管理の効率化が図れる。
	乾燥無	内熱式	ロータリキルン 1) 外熱式ロータリキルンと比べて炉の構造がシンプルである。 2) 乾燥装置がなく維持管理の効率化が図れる。 3) 全体として最もシンプルなシステムである。

3.3 炭化システムについて

特徴、構造、物熱収支、公害防止と安全性、計画汚泥性状・処理規模の考え方について検討した。ここでは、炭化システムの分類と特徴について示す。

3.3.1 炭化システムの特徴

炭化システムを、乾燥機の有無、熱伝達方式、炭化炉の搬送方式により5パターンに分類し、特徴を整理した。システムごとの特徴を表-5に示す。

3.4 導入効果について

ユーティリティー費用、CO₂発生量、有効利用によるエネルギー削減効果について検討した。ここでは、CO₂発生量の検討結果について示す。

3.4.1 CO₂発生量について

以下に、炭化システムと汚泥焼却炉の比較検討結果を示す。

1) 検討条件

① 対象処理規模

炭化システムは、実績より処理量20t/日にて検討した。汚泥焼却炉は、処理量20t/日、およ

び導入実績として平均的な規模である50t/日の2ケースについて検討し、単位処理量当たりのCO₂排出量を算出した。

② 係数

CO₂排出係数、地球温暖化係数は、「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案ver1.4）平成15年7月」（環境省地球環境局）を参照した。

③ エネルギー投入量

炭化システムの電力および灯油の投入量は、実績値を使用した。汚泥焼却炉の電力およびA重油投入量は「循環式流動汚泥焼却炉技術資料-2003年3月-」（財下水道新技術推進機構）を参照した。

2) 炭化システム

① 施設運転時のエネルギー消費に伴う排出量

実施の運転実績から、処理量20t/日の炭化システムの電力投入量を70kWh/t、灯油投入量を90ℓ/tとし、CO₂排出量を算出した。算出結果を表-6に示す。

表-6 炭化システムのエネルギー消費に伴うCO₂排出量

項目	投入量	CO ₂ 排出係数 (kg-CO ₂ /kWh)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
電力	70 kWh/t	0.378	26
灯油	90 ℓ/t	2.49193	224
合計			250

② 施設運転に伴う処理プロセスからの排出量
 実施施設の運転実績より、炭化システムのメタン (CH₄) 排出量を0.043kg/t、一酸化二窒素 (N₂O) の排出量を0.146kg/tとし、CO₂排出量を算出した。算出結果を表-7に示す。

表-7 炭化システムの処理プロセスからのCO₂排出量

項目	温室効果ガス排出量 (kg/t)	地球温暖化係数 (CO ₂ 換算)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
CH ₄	0.043	21	1
N ₂ O	0.146	310	45
合計			46

③ 排出量 (脱水汚泥量当たり)
 炭化システムCO₂総排出量 (脱水汚泥量当たり)
 = 250kg-CO₂/t + 46kg-CO₂/t
 = 296 kg-CO₂/t

3) 汚泥焼却炉

① 施設運転時のエネルギー消費に伴う排出量
 処理量20t/日の流動汚泥焼却炉の電力投入量を172kwh/t, A重油投入量を37ℓ/t, 処理量50t/日の場合の電力投入量を100kwh/t, A重油投入量を25ℓ/tとし、CO₂排出量を算出した。算出結果を表-8に示す。

表-8 汚泥焼却炉のエネルギー消費に伴うCO₂排出量

項目	温室効果ガス排出量 (kg/t)	地球温暖化係数 (CO ₂ 換算)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)
CH ₄	0.0097	21	1
N ₂ O	0.903	310	280
合計			281

② 施設運転に伴う処理プロセスからの排出量
 温室効果ガス排出量算出結果を表-9に示す。

表-9 汚泥焼却炉の処理プロセスからのCO₂排出量

項目	投入量	CO ₂ 換算係数 (kg-CO ₂ /kWh)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /t)	
20t/日	電力	172 kWh/t	0.378	65
	A重油	37 ℓ/t	2.70963	100
合計			165	
50t/日	電力	100 kWh/t	0.378	38
	A重油	25 ℓ/t	2.70963	68
合計			106	

③ 総排出量 (脱水汚泥量当たり)
 汚泥焼却炉CO₂総排出量 (脱水汚泥量当たり)
 = (106~165) kg-CO₂/t + 281kg-CO₂/t
 = (387~446) kg-CO₂/t

4) 検討結果

脱水汚泥量当たりのCO₂排出量は、炭化システムが 296kg-CO₂/t, 汚泥焼却炉が387 (50t/日) ~ 446 (20t/日) kg-CO₂/tと算出された。

20t/日規模の炭化システムの場合、焼却炉20~50t/日規模よりもCO₂排出量が少ない結果となった。

これは、施設運転に伴う処理プロセスから発生する、地球温暖化に与える影響が大きい一酸化二窒素量の違いによるものである。したがって、炭化システムは、汚泥焼却炉と比較して地球温暖化に与える影響が小さいシステムといえる。

図-2に、炭化システムと汚泥焼却炉のCO₂排出量を示す。

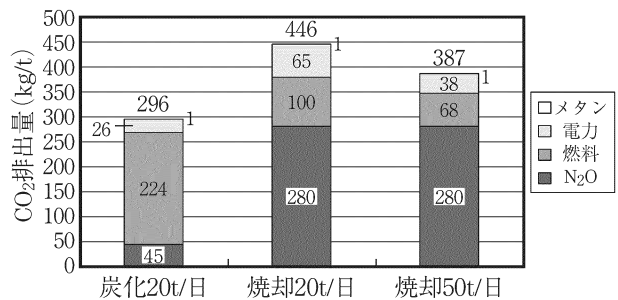


図-2 CO₂排出量の比較

3.5 維持管理等について

3.5.1 維持管理について

日常点検と定期点検に分けて点検項目、点検頻度等について検討を行い、各々の点検リストをとりまとめた。

3.5.2 関連法規について

(1) 届出資料について

炭化システムを設置するにあたって、必要となる許可申請や届出について整理し、表にとりまとめた。

(2) 測定・記録義務について

炭化システムを運用するにあたって、測定・記録義務のある項目について整理し、表にとりまとめた。

4. 技術資料の構成

本研究では、下水汚泥を対象とした炭化システムについて、技術概要、特徴、構造等を整理し、炭化システムを計画する上での技術的事項、留意すべき事項についてとりまとめ、技術資料を作成した。

本技術資料の構成を以下に示す。

[本 編]

第1章 総 則

第1節 目 的

第2節 適用範囲

第3節 用語の定義

第2章 炭化技術の概要

第1節 下水汚泥の現状

第2節 炭化技術の概要

第3章 炭化製品

第1節 炭化製品の性状・成分

第2節 炭化製品の安全性

第4章 炭化製品の有効利用

第1節 有効利用の事例

第2節 有効利用における留意点

第5章 炭化システム

第1節 炭化システムの特徴

第2節 炭化炉の構造

第3節 炭化炉の物熱収支

第4節 炭化システムの公害防止と安全性について

第5節 適用汚泥性状・処理規模の考え方

第6章 導入効果

第1節 炭化システムの導入効果

第7章 維持管理

第1節 維持管理

第2節 関連法規

[資料編]

1. 現状の実機運転および実証運転状況
2. 炭化システムの例
3. 資料の問い合わせ先

5. まとめ

本研究は、下水汚泥処理技術の一つとして炭化技術に着目し、炭化製品の特徴、安全性、有効利用用途、炭化システムの特徴、および導入効果等について整理を行い、計画、設計などに関する技術的事項や留意点を明確にすることを目的に進めてきた。

本技術資料が、わが国の下水汚泥の効率的、かつ経済的な有効利用推進のための一助となれば幸いである。

●この研究を行ったのは

研究第二部長

研究第二部総括主任研究員

研究第二部主任研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

高橋 隆一
桐原 隆
松田 博希
鎌田 浩三
伊藤 貴浩

●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長

研究第二部総括主任研究員

研究第二部主任研究員

研究第二部研究員

高橋 隆一
桐原 隆
永田 壽也
仲元寺宣明