

小規模下水汚泥直接炭化技術による吸水性陶製品への資源化に関する性能評価研究

1. 研究目的

新潟県安田町では、平成9年度における浄化センター供用開始以来、脱水汚泥を産業廃棄物として業者委託処分を行っている。しかし、委託処分費の上昇や処分地確保の問題から、将来にわたる永続的な汚泥処分の安定性が懸念され、地域特性に合わせた汚泥の有効利用方法として、地場産業である吸水性陶管製造に着目し、基本調査を実施した。その結果、製造原料として炭化物が全量有効利用可能であることが確認され、設備の実用化を目指して平成13年度に本実用化研究を実施した。

2. 研究内容

2.1 技術の概要および特徴

従来の下水汚泥炭化技術は、主に炭化物の炭素含有量や表面積、吸着能に比重を置いたものであり、主として脱水助剤や脱臭用炭化物としての利用を目指したものである。鉢植用資材または法面の緑化基盤材としての用途を除けば、最終的には廃棄物として処分されるものであった。

今回の有効利用技術は、吸水性陶管製造用原料としての炭化物の灰分と、炭化物中の有機分のカロリーと揮発現象の双方を利用するものであり、その全量が有効利用可能である。

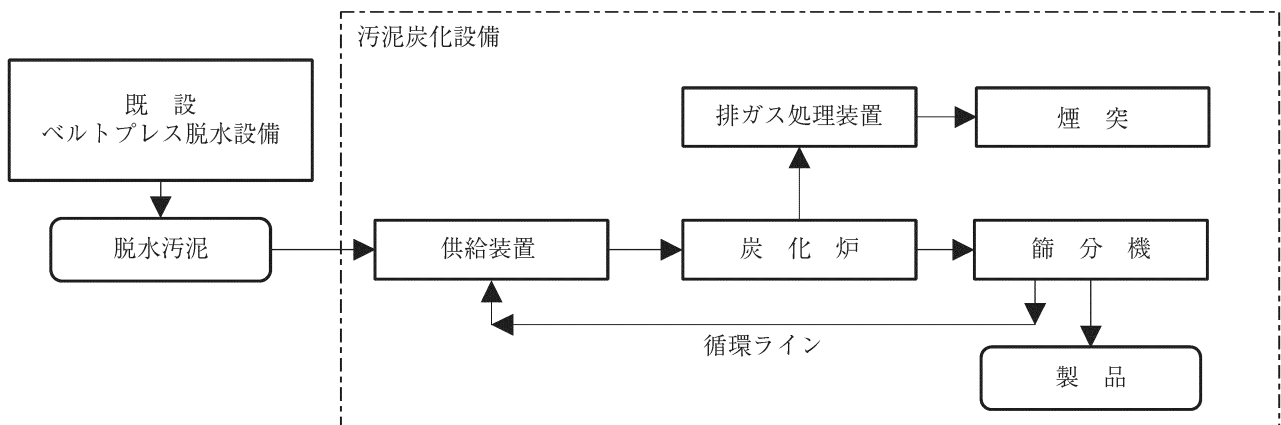


図-1 基本フロー

本技術では、小規模（約200kg-cake/hr）向けとして日中運転（間欠運転）を基本とし、経済的な建設・運用を図るため乾燥設備がなく、炭化炉は汎用的な内熱式ロータリーキルンを用い、また脱水汚泥には炭化物を循環添加することで、脱水汚泥の分散と水分調整等を図り、製品である陶管原料（炭化物）を一定の品質で生成させるものである。

2.2 設備概要

水処理方式：オキシデーションディッチ方式
 汚泥処理方式：重力濃縮→ベルトプレス脱水方式
 汚泥種類：高分子系汚泥
 設備規模：200kg/h（脱水汚泥）
 運転時間：日中運転
 炭化方式：乾燥無し+汚泥直接炭化



写真-1 炭化炉 外観

2.3 性能目標

実用化研究時に得られた成果を性能目標とした。

2.3.1 炭化炉操作条件

- (1) 炭化温度
炭化温度は、700～800℃程度であること。
- (2) 炭化時間
炭化時間は、約60分程度であること。
- (3) 循環比
[脱水汚泥：炭化物] = 3：1程度であること。

2.3.2 炭化物性状

上記の炭化条件において、以下の性状であることとした。

- (1) 強熱減量
含水率、粒径等の品質を満たす条件である強熱減量45%以下であること。
- (2) 加湿後水分
陶管材料である粘土の含水率（約30%）以下であること。

2.3.3 環境への影響

設備の定格負荷運転時における排ガス性状が規制値以下であること。

2.3.4 経済性

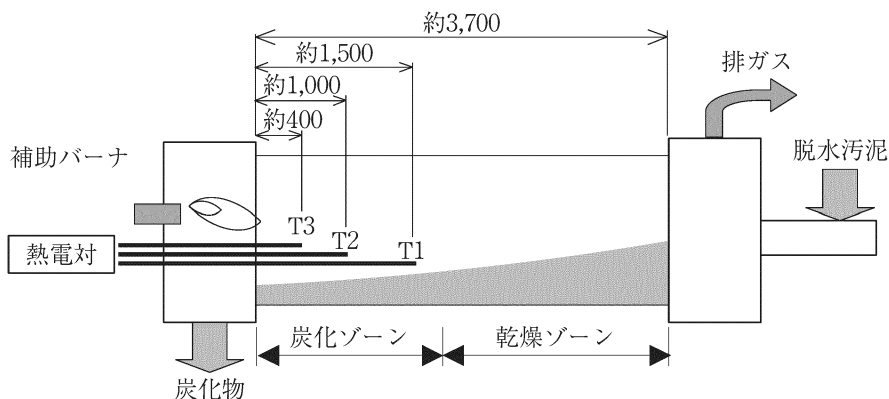
実用化研究時に想定された脱水汚泥処理費と同程度であること。

2.3.5 炭化物の維持管理指針の確立

炭化物の安全な維持管理をするための炭化物性状、保管、運搬方法等の運転指針を確立すること。

2.3.6 炭化物の陶管原料としての適用

陶管に炭化物を添加した場合、吸水率、陶管強度、有効長が新潟県規格値を満足すること。



今回システムは乾燥無し直接炭化システムのため、炭化炉内は概ね入口側半分が乾燥ゾーン、出口側半分が炭化ゾーンとに分かれている。

炭化炉内温度は、図-2に示す各熱電対（温度計）により管理している。

- ・熱電対T3：炭化温度として約800℃を基本設定温度として自動制御。
- ・熱電対T2：約300℃を下回ると、炭化製品に若干の臭いが感じられるため、管理温度300℃以上と設定。
- ・熱電対T1：炉内の炭化ゾーンと乾燥ゾーンを安定的に維持するため、管理温度200℃以下と設定。

図-2 炭化炉内熱電対温度計位置

3. 研究結果

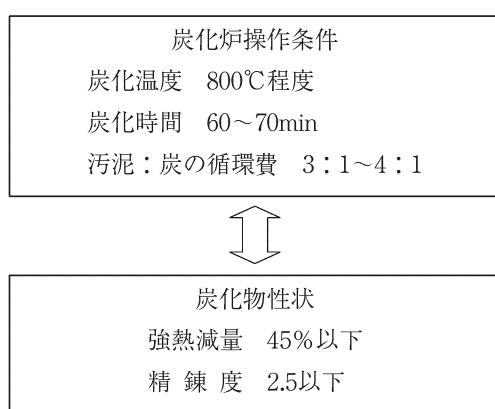
3.1 炭化炉操作条件および炭化物性状

(1) 脱水汚泥性状

脱水汚泥性状は、年間を通じて平均の含水率84.6%（計画値83.5%）、強熱減量84.0%程度で安定しており、炭化炉での200kg/hの定格処理が可能であった。

(2) 炭化炉操作条件および炭化物性状

炭化炉操作条件および炭化物性状ともほぼ目標値を満足した。



3.2 環境への影響

設備の定格負荷運転時における排ガス測定結果を表-1に示す。炭化設備の排ガスは、いずれも規制値以下であった。

3.3 経済性

定格負荷運転における設備ユーティリティより設備維持管理費等を算出し、経済性評価を行った。総建設費については、実用化研究時の算出値とほぼ同程度であった。維持管理費（燃料+電力+補修費+人件費+販売費）は実用化研究時38,750円/wet-1,000kg に対し、実設備においては40,500円/wet-1,000kg（日中運転）と5%程度上昇したが、ほぼ同等であった。

3.4 炭化物の維持管理指針の確立

(1) 炭化物性状の管理指針

図-3～5に精錬度と炭化温度、発火点、強熱減量の関係を示す。また、表-2に炭化物の安全性試験結果を示す。

図-4より発火点と精錬度は相関が強く、炭化物の安全性評価として精錬度を管理することが有効であることを確認した。また、図-5より強熱減量の低下とともに精錬度の値は下がるが、灰分がある一定以上多くなると、精錬度は逆に上昇に転じることが確認された。

したがって、炭化物の品質管理および安全性確保のための運転管理指針として、精錬度を管理するものとした。精錬度2.5以上の場合には強熱減量を測定し、35～45%程度にあることを確認することとした。

(2) 炭化物の貯留・運搬における管理指針

① 炭化の進行程度の測定管理

表-2に示すように、炭化の進行程度が低い（精錬度が高い）ほど炭化物の発火点が低い。

表-1 排ガス性状

	測定値	規制値	備考
ばいじん	<0.001g/m ³ N	0.15g/m ³ N以下 (O ₂ 12%換算)	大防法
窒素酸化物	42ppm	250ppm以下 (O ₂ 12%換算)	大防法
硫黄酸化物	0.071m ³ N/h	K値=17.5 (9.64m ³ N/h以下)	大防法
塩化水素	<3g/m ³ N	700mg/m ³ N以下 (O ₂ 12%換算)	大防法
ダイオキシン類	N.D.	5ngTEQ/m ³ N以下	廃掃法
(参考)臭気濃度	230	1,000以下 (第1種区域の場合)	悪臭防止法 規制地域外

表－2 炭化物の安全性試験結果

項目	通常運転中			起動工程中	停止工程中
	試料A	試料B	試料C	試料D	試料E
精 鍊 度 ^{※1}	3.9	2.3	1.7	3.4	2.6
灰 分 (wt%DB)	54.07	57.39	61.56	75.28	67.45
揮 発 分 (%)	12.99	8.75	7.29	6.20	7.91
固定炭素 (%)	32.94	33.86	31.15	18.52	24.64
H/C (原子数比)	0.531	0.365	0.346	0.341	0.374
発 火 点 (℃) ^{※2}	256 ×	281 ○	306 ○	326 ○	295 ○
自己発熱性 ^{※3}	無し ○	無し ○	無し ○	無し ○	無し ○
評 価	△	○	○	○	○

※1：「精鍊度」は炭化の進行度合いを把握するための指標で、木炭精鍊度計を用いてサンプルの電気抵抗値（10⁴Ω/cm）を測定した時のtの値をいう。精鍊度の値が小さいほど炭化の進行程度が大きい炭化物である。

※2：発火点【試験方法】試験方法は、「炭化物自己発熱特性評価試験マニュアル（案）」にある「発火点試験方法」（活性炭法を改良した電気加熱式試験）による。

【試験結果の判定方法】発火点280℃未満：自己発熱特性有り

※3：自己発熱特性【試験方法】試験方法は、「危険物輸送に関する国連勧告に基づく自己発熱性物資試験，所定温度：140℃」による。
【試験結果の判定方法】温度ピーク150℃以上：自己発熱特性有り

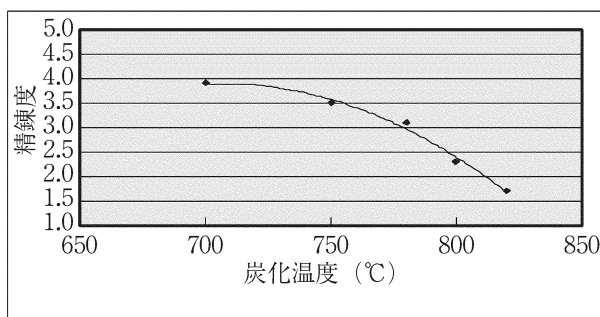
前項安全性の評価試験結果を基に、炭化の進行程度を精鍊度にて把握し、精鍊度の管理値を2.5以下と定め運用する。

② 加湿水分の管理

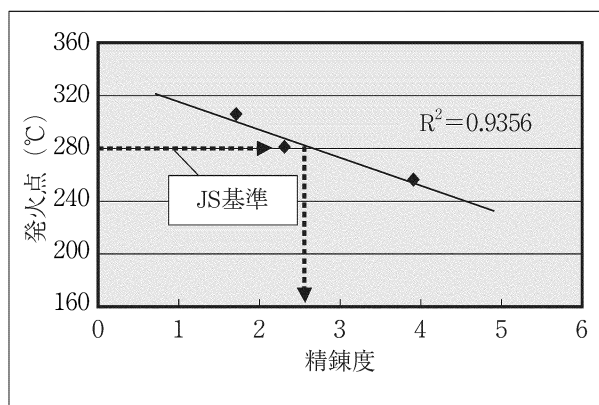
陶管出荷用の炭化物は利用先の要望（取扱い性）から、加湿水分は20～30%とし、これを日常管理する。なお、本システムでは循環用炭化物の貯留ホッパも設けられ、再度炉へ供給するため、加湿水分を多くできない。循環用の炭化物は現状、水分5%前後で運用されている。

③ ホッパ表面の定期巡回時異常有無確認

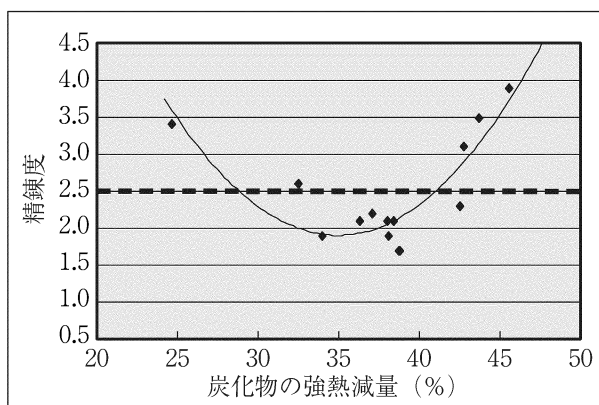
ホッパーには、温度計が6個設置されているが、炭化物の発熱は局部的に発生するため、ホッパ表面に温度監視用のサーモテープを貼り付け、日常の設備巡回点検時に異常が無いかを面的にチェックすることとした。



図－3 炭化温度と精鍊度



図－4 精鍊度と発火点



図－5 強熱減量と精鍊度

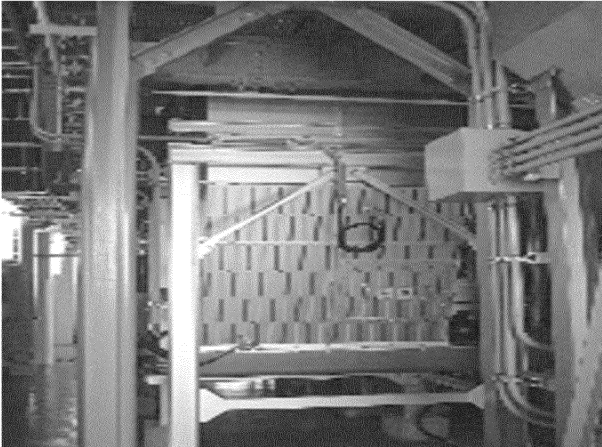


写真-2 サーマテープ貼付状況
(黄色: 50℃, 赤色: 70℃検知)

表-3 陶管焼成試験条件

RUN-No	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
添加率	0.6%	1%	1.5%	2%	3%	5%
備考	・現状の炭化物生成量の陶管添加率 (0.6%) ・最大炭化物生成量の陶管添加率 (1.3%)					

これまで、サーモテープの変色 (50℃および70℃検知) は確認されていない。

④ 貯留日数

ホッパ内には長時間 (5日間以上) 満杯貯留するのを極力避ける。

⑤ 設備的にとられている措置

ホッパには温度センサが要所に取り付けられ、連続的に測定監視されている。温度異常を検知した場合は、自動的にシャワーリングが作動する構造がとられている。

また、ホッパ下部にはブリッジ防止用に、エア吹き込み式ではなく機械的な攪拌装置が取り付けられている。また、点検口は空気の流入が極力無いように、必要時以外に開放しないようマニュアル化されている。

⑥ 運搬時の対策

炭化物は、約20~30%に加湿され、酸素カットの目的で、100ℓのドラム缶にフタをして詰められ、陶管業者工場まで運搬される。

⑦ 仮置き場所

出荷先でのドラム缶の仮置き場所は、内部温度が上昇しないよう直射日光を避けた場所としている。その後、ドラム缶は使用時に必要分だけを開封取り出しとする。

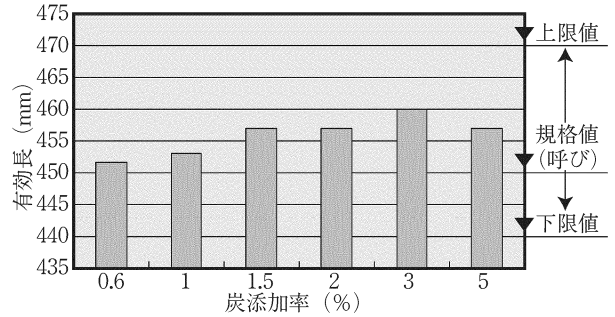


図-6 陶管焼成試験結果 (有効長)

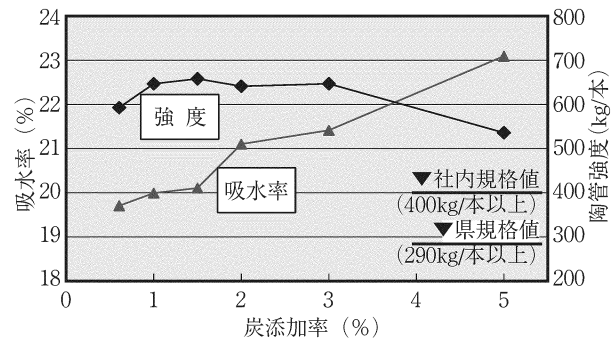


図-7 陶管焼成試験結果 (吸水率)

3.5 炭化物の陶管原料としての適用

(1) 陶管焼成確認試験結果

表-3に示すように、陶管に炭化物を1~5%の範囲で添加したときの吸水率、陶管強度、有効長の試験結果を図-6, 7および表-4に示す。図より、炭化物の添加率が5%の範囲では、吸水率、陶管強度、有効長とも新潟県規格を満足した。

なお、炭化物の添加率を上げるほど陶管の吸水率は上昇したが、添加率が3%を超えると陶管強度が低下する傾向にあった。

(2) 陶管利用状況

炭化設備建設前の安田浄化センターでは、脱水汚泥の業者委託処分が天候や他の産廃処理事情によって影響を受けることが稀にあり、汚泥処分の安定性が懸念されてきた。現在、炭化設備では発生脱水汚泥全量が安定処理され、汚泥処分の面で非常に安定的な運用につながっている。

ユーザー (陶管業者) 要望は、ヒアリングなどにより定期的に確認しており、これまで炭化物加湿水分を調整して出荷するなどの対応がとられている。また、陶管業者においては、吸水性能等の向上、バイオソリッドを資源循環利用するという観点から、他社との差別化が図れるとの評価を得ている。

表-4 陶管焼成確認試験結果

試料		陶管					
RUN-No.		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
添加率 (%)		0.6	1	1.5	2	3	5
吸水率 [※]		19.7	20.0	20.1	21.1	21.4	23.1
陶管強度 [※] kg/本 (kN/本)	①	620 (6.1)	640 (6.3)	630 (6.2)	670 (6.6)	670 (6.6)	540 (5.3)
	②	590 (5.8)	580 (5.7)	670 (6.6)	680 (6.7)	580 (5.7)	550 (5.4)
	③	570 (5.6)	720 (7.1)	670 (6.6)	570 (5.6)	690 (6.8)	520 (5.1)
	平均	593 (5.8)	647 (6.3)	670 (6.6)	640 (6.3)	647 (6.3)	537 (5.3)
主寸法 [※] 長さ (mm)	①	453	454	457	457	460	458
	②	451	452	456	457	460	457
	③	451	453	458	457	460	456
	平均	452	453	457	457	460	457

※) 吸水率試験方法: JIS R 1201「陶管 吸水試験」
・規格値なし

※) 強度試験方法: 小田製陶所内強度試験装置にて測定 (検体数n=3)
・新潟県規格 290kg/本 (2.8kN/本) 以上
・陶管業者自主規格 400kg/本 (3.9kN/本) 以上

※) 主寸法規格: 新潟県規格 長さ440~470mm, 内径71~79mm, 管厚10~13mm

4. まとめ

- (1) 乾燥無しの直接炭化設備は、安定した運転が可能であった。
- (2) 炭化物は、全て吸水性陶管に利用されている。
- (3) 炭化物の品質管理、貯留、輸送における安全管理のための運転管理指針を作成した。
- (4) 経済性は、wet-1,000kg脱水汚泥当たり約40,000円であった。
- (5) 炭化物を陶管に5%まで添加した範囲では、陶管の有効長、強度、吸水率とも新潟県規格を満足した。安田浄化センターの全体計画時の最大添加率は1.3%であり、将来にわたって汚泥の有効利用が可能であると考えられる。

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

田中 修司
駒井 篤
国分 剛

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

堀江 信之
駒井 篤
国分 剛