

リン酸肥料原料を確保するための 下水汚泥炭化技術に関する共同研究

研究第一部 研究員
藤川 征宏



1 はじめに

群馬県では汚泥の炭化等処理技術について公募を行い、低温域における炭化技術について将来性が高いと判断し、平成14年度より基礎調査研究を開始した。その結果、約500℃の炭化温度にて生成される炭化品が、緑農地に使われるク溶性リンや可溶性リンなどを5%以上含有し、肥料原料である熔成珪酸リン肥と同等の成分を持つことが確認された。また、通常低温炭化操作では植物の生育阻害となるタールについて対策が必要となるが、「炭化」+「タール除去」の二段炭化システムを採用することにより、タールの問題を解決した。

平成18年度は、新世代下水道支援事業制度の機能高度化促進事業（新技術活用型）の採択を受け、実用化研究に着手し、以下にその結果を報告する。

2 研究内容

2.1 技術の概要

本研究のシステムフローを図-1に示す。

乾燥工程では、有効態リン酸を炭化品中に効率的に濃縮させるため、熱風乾燥機により脱水汚泥を乾燥し、粒状にする。炭化工程では、二段炭化を採用しており、一段目の間接加熱型キルンで通常炭化を行い、二段目の間接加熱型スクリー式の炉で炭化品中のタール成分を分離、除去することを目的としている。なお、炭化炉から発生する乾留ガスは、再燃炉で完全燃焼させた後、排ガスの廃熱回収を行い、乾燥工程で熱利用することで燃費低減している。排ガス処理設備では冷

却塔・集塵機により、ばいじんやダイオキシンなどの有害物質を規制値以下にして環境対策を図っている。

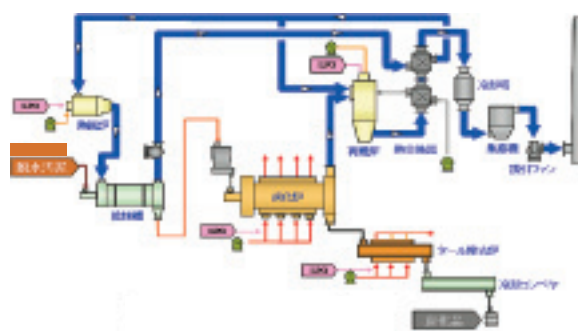


図-1 パイロットプラントフロー

2.2 性能目標値

本研究での性能目標値を以下に示す。

2.2.1 リン酸肥料原料としての炭化品性状

(1) 炭化品のク溶性リン酸濃度

炭化品に含まれるク溶性リン酸濃度が5%以上含まれること。

(2) 炭化品のタール含有

エタノール抽出試験において、着色が0.5以下の濃度であること。

(3) 炭化品の粒径

粒径は5mm以下であること（肥料製造時に支障を来さない）。

2.2.2 炭化品製造設備としての性能

(1) 設備の安定性

乾燥・炭化システム一連のパイロットプラントにおいて、安定した運転が可能であること。

(2) 設備の安全性

騒音、振動、排出ガス等環境影響項目について関連法規に抵触しないこと。

2.3 設計諸元の確定

本研究では四季変動調査を通じて、上記性能目標値を満たすべく、設計諸元を確定し、本研究以降の設備建設に必要な基本条件をまとめる。

2.4 処理コストの試算

実機規模（40ton/日）を想定した炭化設備における脱水汚泥処理コストを評価する。

3 研究成果

3.1 炭化温度と原料汚泥性状の確認

供試汚泥の炭化温度に対するリン酸含有量変化の基礎特性を把握するために、電気炉を用いた基礎試験を行った。

全リン酸濃度は、採取時期によらず炭化温度の上昇に伴い増加する傾向が見られた。（図-2）ク溶性リン酸濃度では、春期汚泥では炭化温度500～700℃の温度域でほぼ一定であったが、夏期から冬期にかけては400～500℃でほぼ一定であり、それ以上の温度では減少する傾向が見られた。年間を通じて安定した炭化品中のク溶性リン酸濃度を確保するためには、炭化温度が寄与する結果が得られた。（図-3）

これらの結果から、群馬県が実施した基礎調査研究結果と同様に、炭化品中にク溶性リン酸濃度を効率よく回収するためには最適な炭化温度が存在することが確認された。（図-4）

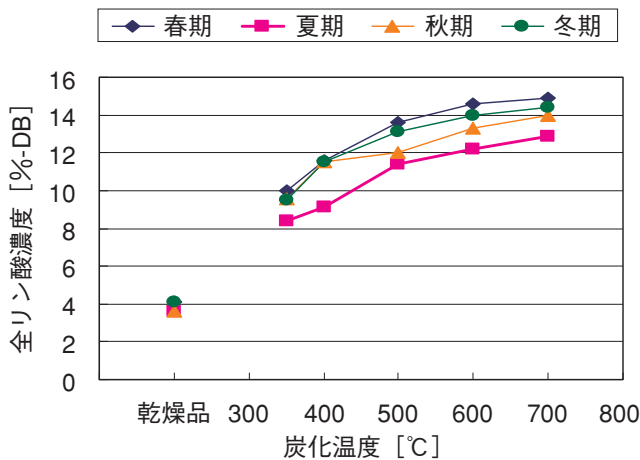


図-2 電気炉基礎試験における全リン酸濃度の変化

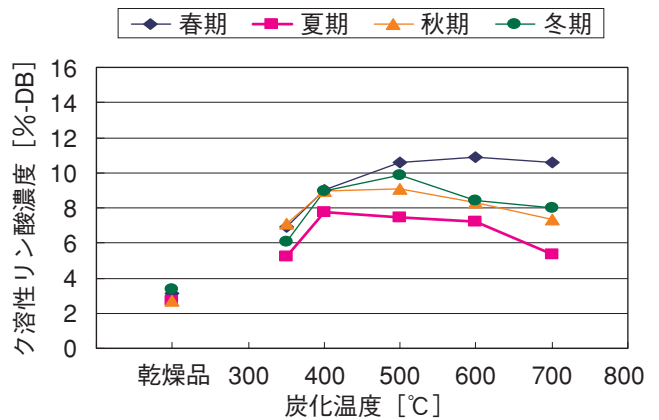


図-3 電気炉基礎試験におけるク溶性リン酸濃度の変化

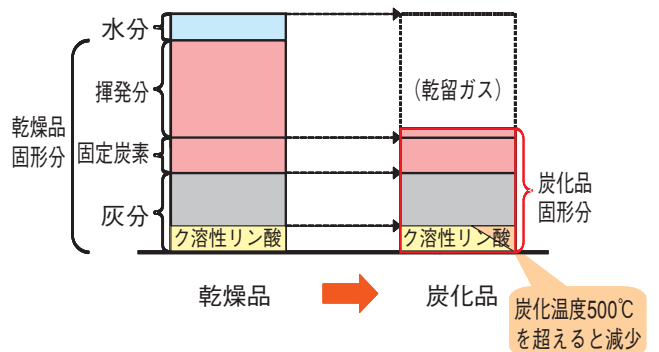


図-4 炭化過程におけるク溶性リン酸の回収に関する概念図

また、パイロットプラント（7 ton/日）における試験結果を図-5に示す。

ク溶性リン酸濃度は全ての温度域において目標値である5%以上を満足することができた。

また、炭化温度とク溶性リン酸濃度との関係について、基礎調査研究同様の傾向が得られた。

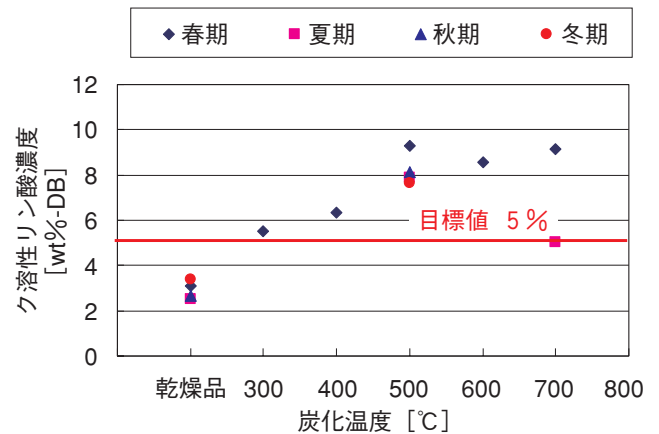
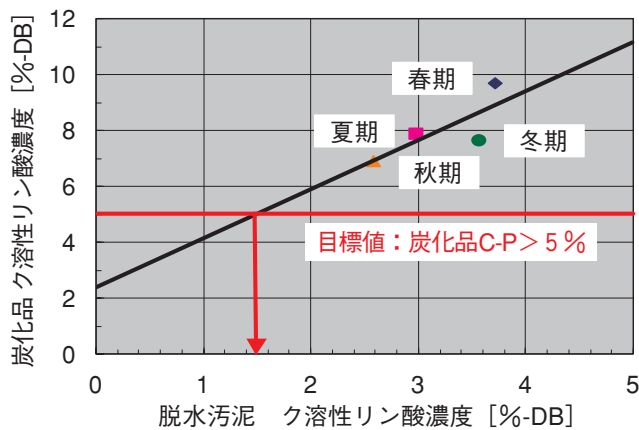


図-5 パイロットプラントにおけるク溶性リン酸濃度の変化

図一6にて、四季の脱水汚泥と500℃炭化品のク溶性リン酸濃度の関係を示す。

これより、性能目標であるク溶性リン酸濃度5%-DB以上を確保するためには、脱水汚泥中に最低1.5%-DB以上のク溶性リン酸を含んでいる必要があることがわかった。

また、年間を通した脱水汚泥中のリン酸含有量を調査した結果、当該浄化センターの平成18年度の脱水汚泥中のク溶性リン酸濃度は、年間変動幅2.5~3.7%-DBの範囲にあるため、年間を通して炭化品中にク溶性リン酸を安定確保できると考えられる。



図一6 脱水汚泥と500℃炭化品のク溶性リン酸濃度の関係

3.2 炭化品のタール除去について

本研究では、炭化品に付着したタール分を除去するためのタール除去炉適正運転条件を把握するための調査を行った。評価項目を以下に示す。

- ①タール除去炉加熱温度
- ②タール除去炉滞留時間
- ③炭化炉～タール除去炉圧力

①タール除去炉加熱温度の評価

春期試験では、タール除去炉の加熱温度が300℃以上で炭化品のタール分を除去することができたが、夏期試験では430℃以上の加熱温度が必要とされた。

なお、加熱温度については、炭化温度以上では、乾留ガスの発生が予測されるため、炭化温度以下の加熱温度範囲での確認としている。

以上より、タール除去炉の適正加熱温度は430℃以上（ただし炭化温度以下）とした。

②タール除去炉滞留時間の評価

タール除去炉の滞留時間を20~60min, 0 min（炭化炉出口にて採取の炭化品）と変化させたときの、炭化品のタール分の有無について評価した。

夏期、秋期試験とも、炭化炉出口抜き出し炭化品はタール分が除去できておらず、二段炭化（タール除去炉）の必要性を確認した。

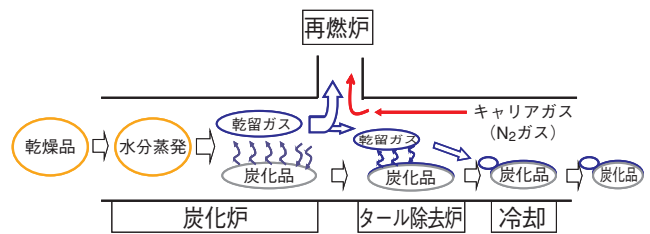
滞留時間20min以上において、タール分を除去できた。

③炭化炉～タール除去炉の炉内圧力の評価

本研究ではタール除去炉の加熱温度が十分であったにも関わらず、タール分が除去できない条件があった。炉内圧力の影響が懸念されたため、追加調査を実施した。

その結果、炉内圧力が-0.1~0 kPaの微負圧ではタール分を除去できたが、2.8kPaの正圧時にはタール分を除去できなかった。これは図一7に示すように、乾留ガスが正圧時にタール除去炉へ流れ込むことで、製品側の炭化品に付着し汚染されたと推測される。

以上より、炉内圧力は-0.1~0 kPa以下の微負圧に保ち、炭化品へのタール分の再付着・凝縮を防ぐ。



図一7 炉内正圧時の炭化品汚染概念図

3.3 乾燥品の粒径

分析結果より、炭化品粒径の性能目標値5 mm以下に対してほぼ満足できる結果となった。(図一8)

本研究において、乾燥品の最大粒径が10mm以下のとき、性能目標である粒径5 mm以下の炭化品を得ることができた。

3.4 炭化品の安全性について

炭化品の有害物質分析結果を表一1に示す。

有害物質の含有量、溶出量はすべて規制値以下であるものの、鉛の含有量については、比較的高い値を示している。

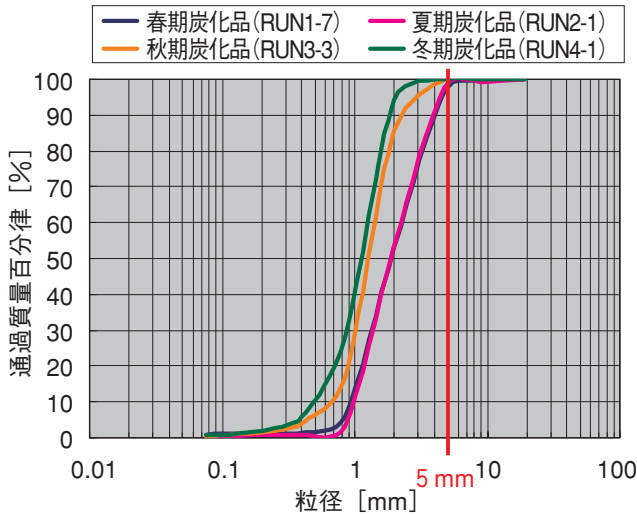


図-8 炭化品の粒度分布

表-1 炭化品有害物質分析結果

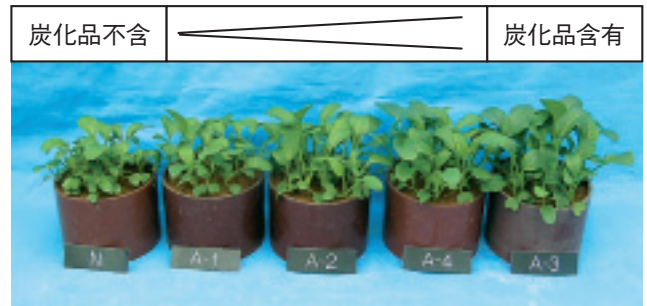
炭化温度		秋期	規制値
		RUN3-5-3 500℃	
<有害物質の含有量>			肥料取締法
カドミウム	mg/kg	1.8	5
鉛	mg/kg	36	100
ヒ素	mg/kg	< 0.5	50
総水銀	mg/kg	< 0.01	2
ニッケル	mg/kg	35	300
全クロム	mg/kg	33	500
六価クロム	mg/kg	< 0.5	—
銅	mg/kg	310	—
亜鉛	mg/kg	800	—
<有害物質の溶出量 (13号)>			産廃基準
カドミウム	mg/L	< 0.03	0.3
鉛	mg/L	< 0.03	0.3
六価クロム	mg/L	< 0.5	1.5
ヒ素	mg/L	< 0.03	0.3
総水銀	mg/L	< 0.0005	0.005
セレン	mg/L	< 0.03	0.3
<有害物質の溶出量 (46号)>			土壌基準
カドミウム	mg/L	< 0.001	0.01
鉛	mg/L	0.006	0.01
六価クロム	mg/L	< 0.04	0.05
ヒ素	mg/L	< 0.005	0.01
総水銀	mg/L	< 0.0005	0.0005
セレン	mg/L	< 0.002	0.01
<その他>			産廃基準
ダイオキシン類	ngTEQ/g	0	3

3.5 炭化品の肥効試験

最適炭化条件を決定する項目の一つとして、炭化品の肥効性について炭化温度の異なる過程で製造された炭化品で確認を行った。

同一ク溶性リン酸施用量でもコマツナの吸収率には差が生じており、炭化品では500℃生成品のほうが

700℃生成品に比べて利用率が高かった。(図-9)



N: 無施用
 A-1: 20mg-(T-P₂O₅)/pot A-2: 50mg-(T-P₂O₅)/pot
 A-3: 100mg-(T-P₂O₅)/pot A-4: 200mg-(T-P₂O₅)/pot

図-9 500℃炭化品の肥効試験結果

4 実設備の経済性評価

本研究のパイロットプラント運転結果より試算した40ton/日を想定した実設備の経済性試算結果を以下に示す。

炭化方式 : 二段炭化

設備規模 : 40ton/日

処理コスト: 脱水汚泥当たり

14,240円/ton

ク溶性リン酸あたり

1,870円/kg

5 まとめ

炭化品の品質目標である、ク溶性リン酸濃度、タール分、粒径とも、年間を通じて品質目標を満足することができ、肥料原料として適していることが確認できた。

また、乾燥/炭化一体実証試験では、汚泥投入開始～停止までの間はシステムを安定運転でき、各種排ガス規制値を満足することが確認できた。

本研究結果は、産学官で構成された委員会によって審議し、新技術で実用化に値するとの結論を得ることができた。

今後、今回得られた設計諸元をもとに、群馬県が40t/日規模の施設を建設し、実機を用いた性能評価研究を実施する予定である。