

〈ノート〉

汚泥熱分解燃料化システムの開発

今井 正¹⁾, 林 幸司²⁾, 小峰 英明³⁾, 安部 裕宣⁴⁾¹⁾ 株式会社 水・環境エンジニアリングセンター (〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1 E-mail: tadashil.imai@toshiba.co.jp)²⁾ 株式会社 水・環境エンジニアリングセンター (〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1 E-mail: koji.hayashi@toshiba.co.jp)³⁾ 株式会社 水・環境エンジニアリングセンター (〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1 E-mail: hideaki.komine@toshiba.co.jp)⁴⁾ 株式会社 水・環境エンジニアリングセンター (〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1 E-mail: hironobu.abe@toshiba.co.jp)

概要

再生可能な資源として各種バイオマスの利活用が社会的要請となっており、これを受けて様々なバイオマス利用技術が研究開発されている。

著者らは、化石燃料の使用量削減と温室効果ガスの発生抑制を特徴とした汚泥熱分解燃料化システムを開発した。このシステムでは、下水汚泥を炭化した時に発生する可燃ガスを燃料の一部として利用する。また間接加熱式乾燥機を採用して熱損失を抑制している。このシステムの有効性を実証試験により確認したので報告する。

キーワード：下水汚泥, 熱分解, 炭化, 固体燃料化, バイオマス

原稿受付 2010.8.23

EICA: 15(2・3) 229-236

1. はじめに

再生可能な資源として各種バイオマスの利活用が社会的要請となっている。これまで大量消費されてきた化石資源の代替として未利用バイオマスを有効活用するための技術開発は、資源枯渇や地球温暖化防止の観点から循環型社会を目指す我が国にとって重要な施策として位置づけられている。

バイオマスの利活用推進に関する具体的取組や行動計画は「バイオマス・ニッポン総合戦略」(2002年12月閣議決定, 2006年3月改定)に基づき推進されているが、このうち下水汚泥は廃棄物系バイオマスに位置づけられ、これまで利活用を中心だった製品としてのマテリアル利用だけでなく、他のバイオマスとの混合処理やエネルギー利用の進展により、いっそうの効率的な利活用が期待されている。

ここで、わが国の下水道最終処分汚泥量は、2005年度には223万t(乾燥ベース)に達しており、焼却・溶融処理後の建設資材利用や脱水・乾燥処理後の緑農地利用を中心に汚泥固形分の約7割が回収利用されているが、エネルギー利用された割合は約1割に過ぎず、また、下水道分野における温室効果ガス排出量は2004年度において695万t-CO₂に達している¹⁾。

一方、化石資源のうち石炭は可採埋蔵量が多く、地球上に広く分布しており、価格も安価なことから、エネルギーの安定確保の観点からも、今後とも一定の役割を担い続けるものと考えられる。このため、石炭の一部をバイオマス由来燃料に入れ替える、いわゆる石

炭代替燃料は、化石資源の有効活用と地球温暖化防止の観点からも長期にわたって安定的な需要が見込まれる。

下水汚泥のエネルギー利用については、メタン発酵による消化ガス化、焼却時の廃熱利用、熱分解ガス化、固体燃料化等があるが、石炭代替燃料としては固体燃料化が望ましいと考えられる。下水汚泥の固体燃料化方法を大別すると、下水汚泥を乾燥させる乾燥方式と、炭化を進行させる炭化方式があるが、このうち、炭化方式については、下水汚泥を500℃で炭化し火力発電所で利用する事業が行われており、250~350℃の低温で炭化燃料を製造する事業が2012年より予定されている²⁾。

炭化方式は、汚泥中の有機物を熱により分解させて乾留ガス(以下、本稿では熱分解ガスとする)を生成し、この熱分解ガスを燃料の一部として利用することにより化石燃料の消費を抑制できる利点がある。汚泥の炭化特性については各種研究³⁻⁷⁾が進められているが、得られる固体燃料の性状等の燃料使用者側の立場で論じたものが多く、燃料製造者側にとって重要な、汚泥性状や運転方法が燃料化システムの経済性に与える影響について論じたものは少ない。

このような背景から、環境負荷が小さく、高効率かつ経済的に下水汚泥を新たなエネルギー資源に変換し活用する中温炭化方式(炭化温度約400~600℃)での燃料化システムの開発を進めてきた⁸⁾。同システムは、熱分解ガスを燃料として積極的に利用し、また熱分解ガスは高温燃焼させることにより温室効果ガスの1つ

である亜酸化窒素（以下、 N_2O ）を抑制する等の特長を有しており、熱分解ガスの積極利用の観点から特に汚泥熱分解燃料化システムと呼び、炭化炉は熱分解炉と呼称している。

本稿は、同システムの運転特性調査の結果から、各種汚泥性状や炭化条件が同システムの運転特性に与える影響を評価し、燃料使用者および燃料製造者の双方にとって、経済性に優位のある固体燃料製造システム、およびその運用方法を提案することを目的とする。

2. 調査方法

下記①～③に示した実験装置を実験の目的により使い分けて実証実験を行い、下水汚泥の炭化特性、炭化物の安全性、システムの安定性について調査した。

① ラボ試験装置

種々の処理場から採取した脱水汚泥の炭化特性を簡易に測定することを目的として、容量 0.3 L の回分式反応器を用いて炭化温度 500℃ で炭化を行い、得られた炭化物を分析した。実験装置の模式図を Fig. 1 に示す。

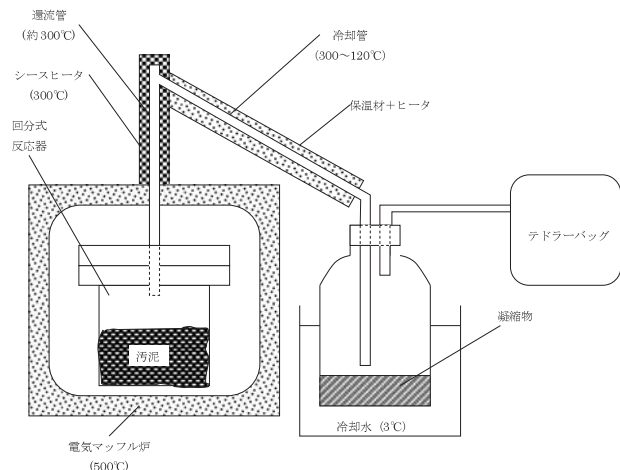


Fig.1 The Bach Reactor for measurement of carbonization

② 実証試験設備

システムの環境性評価やエネルギー使用量の測定、システム安定性の評価を行うことを主な目的として、汚泥熱分解燃料化システムを構成する主要構成機器を組み合わせた Fig. 2, Fig. 3 に示す実証試験設備にて評価実験を行った。なお、実機を想定した Fig. 2 では、廃熱回収ボイラを記載しているが、実証試験設備では廃熱ボイラを設置しても回収熱量が不足して正確な評価が行えないため、廃熱ボイラは省略した。

- ・熱分解炉処理容量：約 2t-脱水汚泥/日
- ・熱分解炉形式：ロータリーキルン方式

③ 乾燥炭化装置

連続式反応器の炭化特性を簡易に測定することを目

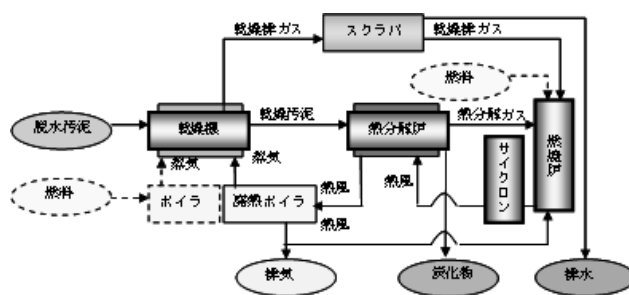


Fig.2 Outline flow of sewage sludge Fuelization system



Fig.3 The demonstration plant

的として、市販の乾燥炭化装置を用いて評価実験を行い炭化特性を測定した。

- ・乾燥炭化装置：(株)明和工業製 乾燥炭化装置
 - ・型式：MES20-MC
 - ・容量：20 kg/h
 - ・炭化炉形式：スクリーフィーダ方式
- 乾燥炭化装置のフロー図を Fig. 4 に示す。

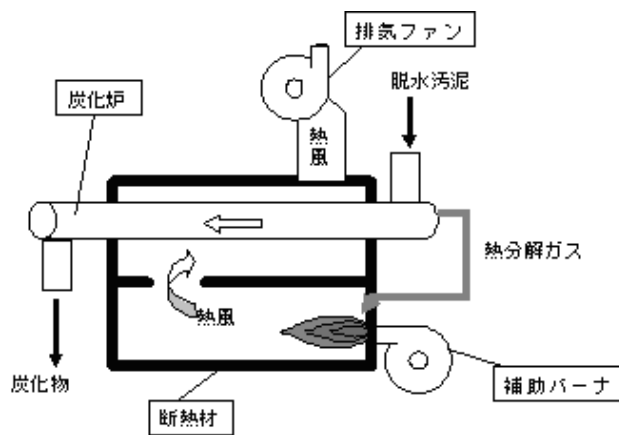


Fig. 4 Outline flow of Carbonizing machine

2.1 熱分解ガスによる燃料削減効果の調査

熱分解ガスによる燃料削減効果は、熱分解ガスの発

熱量を直接計測してシステム内での利用状況を明確にできれば把握できる。熱分解ガスは温度が低下すると凝縮する可燃成分（以下、タールとする）を含んでいるが、森の報告⁹⁾では下水汚泥を500℃で炭化したときの熱分解ガスの発熱量のうち、液体成分（タール）の発熱量は気体成分（可燃性ガス）の9倍以上となっているため、熱分解ガス中のタール濃度を測定することが重要になる。しかしながら、実証試験設備で熱分解ガスを採取すると、発熱量の高いタールが配管や治具に付着して採取困難となる問題があった。このため、実証試験設備を用いた実証実験では熱分解ガスの発熱量は直接計測せず、乾燥汚泥と炭化物の熱量から推定した。なお、上記推定値はシステム全体の熱・物質収支と矛盾しない事を確認することとした。

2.2 炭化特性評価

下水汚泥の炭化特性として、椎屋らの報告³⁾によれば、炭化温度100~300℃の範囲では炭化物の発熱量は変化せず、炭化温度が300~500℃の間では炭化温度が高くなるにつれて発熱量が低下するとしている。また、山本らの報告⁴⁾では、炭化温度300℃のときは脱酸素反応が多く起きて炭化物の発熱量は原料の脱水汚泥よりも増加し、炭化温度500℃および700℃では炭素や水素の脱離により炭化物の発熱量は脱水汚泥並みに低下するとしている。上田らの報告⁵⁻⁷⁾によれば、炭化物への酸素の残存率や可燃分発熱量は、H/Cに依存性があるとしている。

ここで、下水汚泥の炭化特性としては、脱水汚泥の分析データ等の原料の性状から、製造物である炭化物の性状を推定できれば事業評価を行いやすい。このため、Table 1に示すA~F処理場の種々の脱水汚泥について、炭化温度500~600℃における炭化実験をラボ試験装置と実証実験設備を用いて行い、脱水汚泥と炭化物の元素組成を比較して、各元素ベースでの炭化特性を求めた。

Table 1 Sewage Sludge Sample for carbonization

処理場	排除方式	消化・未消化の別	採取季節	実験装置
A 処理場	合流	未消化	2008年度 春, 夏, 秋, 冬	実証試験設備
			2008年度 春	ラボ試験装置
		混合(消化+未消化)	2008年度 春	実証試験設備
B 処理場	分流	消化	2008年度 春	ラボ試験装置
C 処理場	分流	消化	2008年度 春	ラボ試験装置
D 処理場	分流	消化	2008年度 春	ラボ試験装置
E 処理場	分流	消化	2008年度 春	ラボ試験装置
F 処理場	分流	未消化	2008年度 夏, 秋, 冬 2009年度 春	実証試験設備

また、一定の性状の炭化物を得るための運転管理の指標は、炭化温度等のリアルタイムで計測可能な測定項目が便利である。このため、炭化温度による炭化特性の違いについて、Table 2に示すG~I処理場の汚

泥に対し、炭化温度300~600℃の範囲にて乾燥炭化装置と実証試験設備を用いた炭化実験を行い、同様に元素ベースでの炭化特性を調査した。

Table 2 Sewage Sludge Sample for carbonization

処理場	排除方式	消化・未消化の別	汚泥性状	採取季節	実験装置
G 処理場	分流	消化	脱水汚泥	2009年度 夏	乾燥炭化装置
H 処理場	分流	消化	脱水汚泥	2009年度 夏	乾燥炭化装置
I 処理場	合流	未消化	乾燥汚泥	2009年度 夏	実証試験設備

2.3 炭化物の臭気評価

乾燥汚泥の臭気特性については山田らの報告¹⁰⁾があり、また炭化物や乾燥汚泥の定性的な臭気比較は小菅らの報告¹¹⁾がある。しかしながら、乾燥汚泥と炭化物を直接比較した定量的な臭気の比較結果は少ないため、2009年度夏季に採取したF処理場分流未消化汚泥の乾燥汚泥と炭化物を実証試験設備を用いて製作し、下記の方法で臭気比較を行った。

- ① 実証試験設備で実験中に乾燥汚泥と炭化物を同時に1Lガラス瓶にそれぞれ採取し、氷冷却のクーラーボックスで輸送、5℃の冷蔵庫で一時的保管した
- ② 保管した乾燥汚泥を取り出し、固形試料用におい袋に80gを入れた
- ③ そのにおい袋に無臭空気10Lを封入した
- ④ 上記の方法で、乾燥汚泥を詰めたにおい袋を合計4個作成した
- ⑤ 同様に炭化物を詰めたにおい袋を合計4個作成した
- ⑥ 上記におい袋計8個を室温(25℃に設定)にて1時間放置し、炭化物と乾燥汚泥各1個ずつのにおい袋の気相部分を全て空のにおい袋に移し、これを臭気試料とした
- ⑦ 12, 24, 72時間放置したにおい袋からも同様に臭気試料を作成した
- ⑧ 平成8年3月環境庁：臭気指数測定マニュアル臭気強度測定方法(当面の方法)に準じて、採取した臭気試料の臭気濃度を測定した

2.4 炭化物の安全性評価

2008年度夏季にF処理場分流未消化汚泥から作成した炭化物に対し、熱分析、自然発火性試験、自己発熱性試験、ASTM式発火試験、粉塵爆発性試験を行い、乾燥汚泥や他の炭化方式で作成した炭化物の文献値(「改質乾燥による下水汚泥のバイオマス燃料化技術マニュアル 2009年3月」, (財)下水道新技術推進機構)と比較した。

2.5 燃焼排ガスの環境性評価

熱分解炉やボイラの加熱に利用した熱風は、燃焼排

ガスとして大気放出する。燃焼排ガスへの環境対策の必要の有無や、温室効果ガス排出量を測定するため、環境対策前の燃焼排ガスに対して NO_x (JIS K 0104 (2000)), SO_x (JIS K 0103 (2005)), HCl (JIS K 0107 (2002)), 煤塵 (JIS Z 8808 (1995)), O₂ (JIS K 0301 (1998)), N₂O (GC-ECD による亜酸化窒素分析法) を測定した。

2.6 システムの安定性評価

乾燥排ガスや熱風中の煤塵は、配管や機器に堆積、付着して閉塞や伝熱阻害を生じることがある。このため、2008年8月~2009年8月までの実証試験設備による実証実験が終了した後、各部の点検を行い堆積や付着状況を確認した。

また、熱分解炉で製造された熱分解ガスはタールを含むが、このタールが凝縮して配管閉塞を起こすことがある。このため、熱分解炉と燃焼炉間の配管に対し、配管加熱方法や温度によってタール凝縮に差が生じるかを調査した。

3. 調査結果

3.1 熱分解ガスによる燃料削減効果の調査

熱収支の一例として、2008年度冬季試験におけるF処理場分流未消化汚泥のヒートバランスを Fig. 5 に示す。

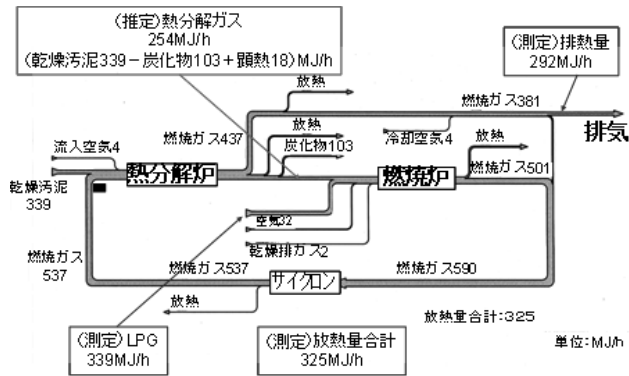


Fig. 5 Heat Balance of demonstration plant at 2008 Winter

Fig. 5 で、熱分解ガスの熱量は、乾燥汚泥熱量から炭化物熱量を差し引き、顕熱を加えたものとして 254 MJ/h と推定した。上記推定値を用いてシステム全体の熱収支を計算したが、LPG 熱量、放熱量、排熱などの測定値と矛盾は生じなかったため、熱分解ガス熱量は Fig. 5 の推定式で算出できるといえる。

Fig. 5 の場合、燃料として使用した LPG の熱量 339 MJ/h に対し、熱分解ガスは約 250 MJ/h であり、システムに必要な熱量のうち、約半分弱は熱分解ガスで賅っていた。

3.2 炭化特性評価

Table 1 に示した種々の脱水汚泥に対し炭化温度 500~600℃ の炭化実験を行い、得られた脱水汚泥と炭化物の組成分析データを得た。分析データから、脱水汚泥中の元素量を横軸に、この脱水汚泥中の元素のうち炭化物に残った元素量を縦軸にして、汚泥種類や使用した実験装置では区別しないでデータをグラフ上にプロットした。結果を Fig. 6 に示す。

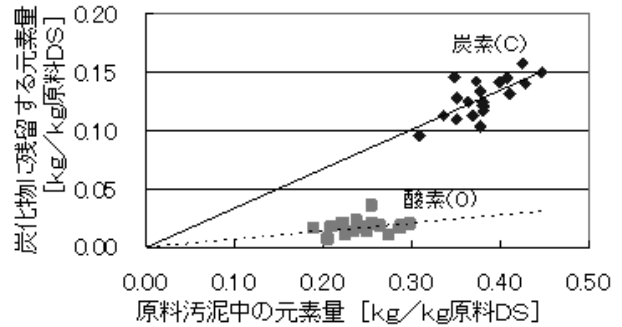


Fig. 6 Carbonization characteristic of sewage sludge

Fig. 6 より、炭素および酸素が炭化物に残る割合は、汚泥種類等に依存しない傾向にあった。窒素、水素についても同様に分析結果を整理したところ、汚泥種類に依存性は認められなかった。各元素が炭化物に残る割合が汚泥の種類に依存しないことから、脱水汚泥の組成が判明すれば炭化物の組成も推定可能になる。例えば Fig. 6 より、原料汚泥 1 kg-DS 中の炭素量が 0.30 kg のとき、炭化物には炭素が約 0.10 kg 残留する。

各元素ごとのグラフの傾き (以下、炭化物残留率と記す) と脱水汚泥組成から、炭化物組成を推定し、分析値と比較した。結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 の項目で例えば「08春 A 混合 実証」とあるのは、「2008年度春季試験, A 処理場, 混合汚泥 (消化+未消化), 実証試験設備試験結果」を指す。また、「ラボ」は「ラボ試験装置」を指す。Fig. 7 で、同一項目の左側を推定値、右側を分析値として並べて比較したが、両者は比較的良く一致している。このことから、炭化物残留率を把握していれば、脱水汚泥の組成から炭化物の組成をある程度推測できる事がわかった。

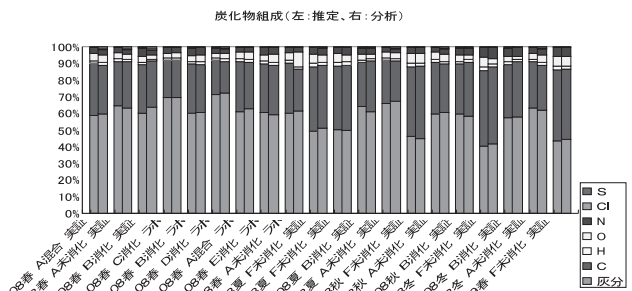


Fig. 7 Comparison between estimated result and analysis result of Carbonization sludge

ここで、Fig. 7において計算に使用した炭化物残留率は、炭化温度 500~600℃の範囲で測定した値である。炭化物残留率の温度依存性を確認するために、Table 2の脱水汚泥に対して、乾燥炭化装置および実証試験設備で炭化実験を行い炭化物残留率を求めた。結果を Fig. 8 に示す。

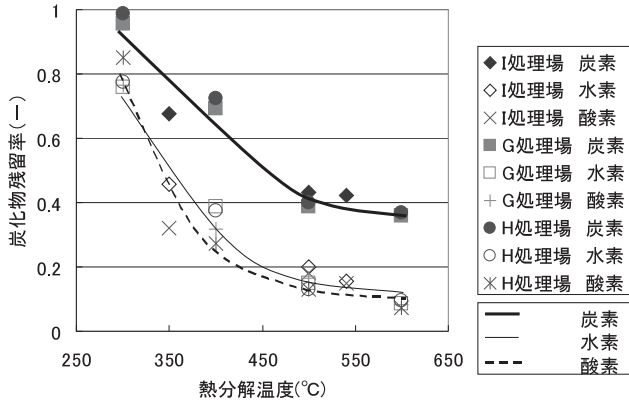


Fig. 8 Temperature dependence of carbide residual rate

Fig. 8 より、炭化物残留率は、炭化温度 300℃ から 500℃ の範囲では温度上昇と共に暫減し、炭化温度 500℃ から 600℃ の範囲ではほとんど変わらない傾向にあった。よって、炭化温度 500℃ 以下の領域では、炭化温度によって炭化物残留率は異なることがわかった。

3.3 炭化物の臭気評価

2009 年度夏季に採取した F 処理場分流未消化汚泥の乾燥汚泥と、その乾燥汚泥を炭化温度約 550℃ で炭化した炭化物の臭気濃度を時系列的に測定した。結果を Table 3 に示す。

Table 3 Result of the odor concentration comparison

経過時間	乾燥汚泥 臭気濃度	炭化物 臭気濃度
1 時間後	79,000	16 未満
12 時間後	100,000	16
24 時間後	40,000	16 未満
72 時間後	160,000	40

炭化により、臭気濃度は千分の 1 のオーダーまで減少していることを確認した。

3.4 炭化物の安全性評価

2008 年度夏季に F 処理場分流未消化汚泥の炭化物安全性評価結果を Table 4 に示す。

Table 4 より、炭化物の熱分析の反応開始温度は 250℃、自然発火性試験と ASTM 式発火試験結果は 100℃ 以上であり、室温付近では発火せず、粉塵爆発

Table 4 Safety evaluation result

試験項目	汚泥熱分解	改質	造粒	低温	高温
	燃料化 システム	乾燥	乾燥	炭化	炭化
熱分析 (TG-DTA)					
開始温度 DTA (°C)	250	309.8	121.0	123.0	283.1
100°Cでの減量率 TG (%)	4.8	10.5	2.4	2.5	4.4
自然発火性試験 (SIT)					
発熱開始設定温度 (°C)	130	140	80	130	250
誘導時間 (min)	263	153	1,244	378.4	593.8
自己発熱性試験 (ワイヤレス)					
発熱開始設定温度 (°C)	120	140	130	140	250
ASTM 式発火試験					
最低発火点温度 (°C)	681	458	-	-	-
粉塵爆発試験					
爆発下限濃度 (mg/l)	発火なし	790	-	-	-

性もない。一方、発熱開始温度は 120℃ と比較的低温であり、保管や輸送に関しては冷却等の安全措置を講じる必要がある。安全性評価結果は、既存技術である高温・低温炭化や乾燥とほぼ同程度であった。

3.5 燃焼排ガスの環境性評価

環境対策前の燃焼排ガスの測定結果を Table 5 に示す。煤塵および NO_x 濃度は、12% 酸素換算値を記載し、大気汚染防止法上の規制値と比較した。

Table 5 Concentration of air pollutant in exhaust gas

項目	単位	2008 年度 冬季			2009 年度 春季	2009 年度 夏季	規制値
		A 処理場 合流未消化 汚泥	B 処理場 分流消化 汚泥	F 処理場 分流未消化 汚泥	F 処理場 分流未消化 汚泥	F 処理場 分流未消化 汚泥	
煤塵	g/m ³	0.055	0.084	0.044	0.071	0.086	0.04
SO _x	ppm	24	120	81	100	140	K 値規制 による
NO _x	ppm	530	680	530	580	630	250 ~ 700
HCl	ppm	1.6	9.7	3.9	5.9	9.5	80~ 700
N ₂ O	ppm	1.4	15	0.6	0.7	0.6	-

煤塵、NO_x は濃度が高く環境負荷が高いことから、集塵装置や脱硝設備等を設置する必要がある。また、汚泥性状によっては脱硫設備も設置を検討する必要がある。

温室効果ガスである N₂O については、燃焼炉を高温燃焼 (実証試験では 900℃ 以上) させることにより、最大でも 15 ppm 以下の濃度とすることができた。

3.6 システムの安定性評価

実証実験終了後、各部の開放点検を行い、煤塵等の堆積や付着状況を確認した。結果を Fig. 9 に示す。

熱風系統は、サイクロン下流であっても弁体や熱分解炉の伝熱面等の流れの澱み点に灰が付着していた。定期的な清掃やブロー等の対策とともに、熱交換器類には設計上の余裕を見込む必要があると考えられる。

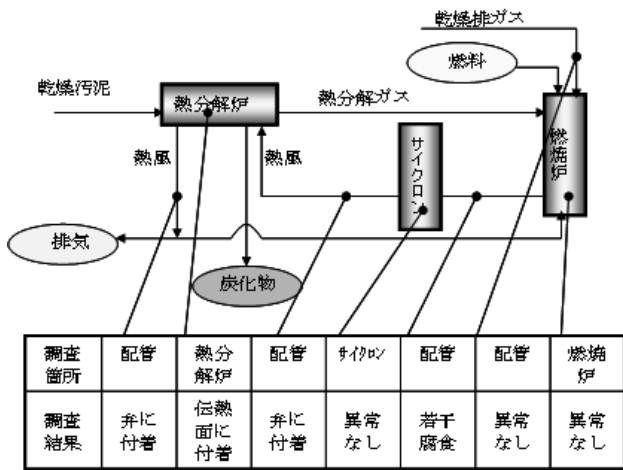


Fig.9 Results overhaul

熱分解炉と燃焼炉間の配管には、熱分解ガス中のタールが凝縮する可能性がある。このため、配管の一部を約 300℃ に加温したケースと、配管を全面的に 500℃ に加温したケースの比較実験を行った。結果を Fig. 10 に示す。

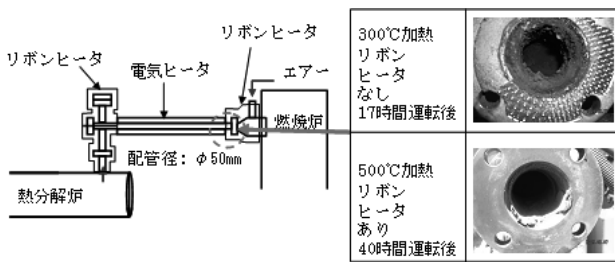


Fig.10 Effect of temperature on tar condensation

配管の一部を 300℃ に加温した場合、加熱部分であってもタールが凝縮した。特に保温施工のみだったフランジ部は、凝縮量が多く、実証試験設備の場合、17 時間の運転で閉塞気味となった。

保温施工のみだったフランジ部にもリボンヒータを設置して、全面を 500℃ で加温したケースでは、図のようにタール凝縮は認められなかったが、配管中に粉塵が堆積していた。熱分解ガスとともに運ばれた炭化物の一部が堆積したものと考えられる。加温方法や温度の調節によりタール凝縮は防止できると考えられるが、粉塵の堆積が認められたことから、機械的掻き取り等との組み合わせが有効と思われる。

3.7 調査結果のまとめ

下水汚泥を用いた実証実験により、下水汚泥の炭化特性や炭化物の特性、システムの安定性について調査した。

汚泥の炭化特性については、汚泥中有機成分について、各元素を炭化物残留率で整理した。炭化物残留率

は、汚泥種類や処理場への依存性があまり見られず、炭化温度 300~500℃ の範囲で温度依存性があり、500~600℃ の範囲では炭化物残留率は変化が小さい傾向にあった。各温度での炭化物残留率を把握することにより、脱水汚泥組成から炭化汚物の組成を推定可能な見通しが得られた

炭化物の特性として、乾燥汚泥に比較し臭気が減少することを確認し、また安全性については、既存技術である高温・低温炭化や乾燥と同程度であることを確認した。

燃焼排ガスの環境性調査として、熱分解ガスを高温燃焼することにより、N₂O の排出抑制が可能であることを確認し、一方、煤塵や NO_x 濃度が高いため、脱硝設備や集塵装置等の除害設備が必要な見込みとなった。

システムの安定性評価として、煤塵等の付着状況、熱分解ガス中のタールの凝縮調査を実施した。煤塵が付着しやすい部位を特定し、また温度によるタール凝縮状況の差異を確認した。

4. ユーティリティ使用量評価

実証試験設備を用いた炭化実験では、各機器およびシステムの熱特性および反応特性データを収集し、熱収支、物質収支を得た。ここで得られた機器特性、システム特性を使用して、1日当たりの脱水汚泥処理量 50 t 規模の汚泥熱分解燃料化システムのユーティリティ使用量を試算し、汚泥性状や運用方法がシステムの経済性に与える影響を評価する。

4.1 ユーティリティ使用量試算結果

Fig. 2 に示したシステムフローで、下記脱水汚泥処理条件化で、想定した単価でのユーティリティ使用量と経費を試算した。

- 脱水汚泥処理量：50 t/日
- 脱水汚泥含水率：78%
- 汚泥中可燃分濃度：82.7% (乾燥重量に対し)
- 脱水汚泥発熱量：18 MJ/kg
- 年間稼働日数：310 日

結果を Table 6 に示す。

試算結果ではユーティリティ費のうち、経費比率が最も高いのは補助燃料費であり、およそ半分を占めている。したがって、補助燃料費を削減できれば、システムの経済性は向上する。消化ガス等の安価な燃料を使用できる場合、システムの経済性は向上すると見込まれる。

4.2 汚泥性状が燃料使用量に及ぼす影響

消化ガス等の安価な燃料を使用できない場合、補助

Table 6 Utility estimation results(Amount of sludge dewatering: 50t/D)

項目	使用量	単価	費用 (千円/日)	備考
補助燃料費	1,694 ℓ/日	61円/ℓ	103	A重油
電力費	5,832 kWh/日	9.32円/kWh	54	
用水費	16 m ³ /日	154円/m ³	2	ボイラ用水, 冷却水(水道水)
	1,560 m ³ /日	0円/m ³	0	乾燥排ガススクラバ (場内処理水)
薬品費	310 kg/日	50円/kg	16	苛性ソーダ
	120 kg/日	90円/kg	11	尿素水
			11	清缶剤他
活性炭	2,000 kg/年	700円/kg	5	
合計			202	

燃料使用量がシステムの経済性に影響する。このため、脱水汚泥の性状が補助燃料使用量に与える影響を試算した。脱水汚泥の発熱量と含水率をパラメータとして、脱水汚泥処理量 50 t/日規模のシステムにおける補助燃料使用量を試算した結果を Fig. 11 に示す。

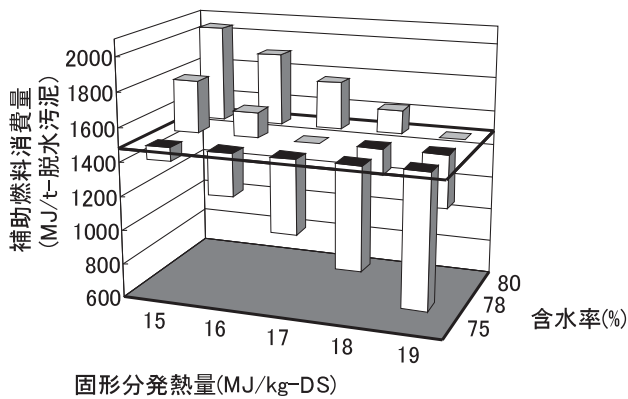


Fig. 11 Effect of sludge dewatering properties of the auxiliary fuel consumption(Amount of sludge dewatering: 50t/D)

システム全体の熱負荷では、脱水汚泥を乾燥させる乾燥機の負荷が大きい。このため、脱水汚泥の含水率が低ければ補助燃料消費量は減少する。また、脱水汚泥中の固形分の発熱量が高ければ熱分解ガス熱量が増加するため、補助燃料使用量が低下する。したがって、含水率が低く、発熱量の多い汚泥ほど、経済性は向上する傾向にある。

4.3 炭化温度が燃料使用量に及ぼす影響

Fig. 8 より、炭化物残留率は炭化温度 500℃未満では減少し、熱分解ガス熱量が低下する。このため、炭化温度は補助燃料使用量に影響する。このとき、炭化物の製造量と発熱量も変動する。4.1 項の条件下で、炭化温度 500℃と 400℃のときの補助燃料使用量、炭化物製造量と発熱量を試算した。結果を Table 7 に示す。

Table 7 Effect of carbonization temperature

炭化温度	400℃	500℃
補助燃料使用量	3,480 ℓ/日	1,694 ℓ/日
炭化物製造量	136 kg/t-脱水汚泥	79 kg/t-脱水汚泥
炭化物発熱量	19 MJ/kg	15 MJ/kg

炭化温度を低下させると、補助燃料使用量は増加するが、炭化物の製造量と発熱量は増加する。脱水汚泥の発熱量が少ない場合、炭化物発熱量も低下して固形燃料としての価値が低下することが考えられる。こういった場合、補助燃料費は増大するが、炭化物の臭気を抑えられる範囲で炭化温度を低下させ、炭化物の発熱量を増大させることも可能である。

4.4 ユーティリティ使用量評価まとめ

脱水汚泥処理量 50 t/日規模の汚泥熱分解燃料化システムのユーティリティ使用量と経費を試算した。1日のユーティリティ経費のうち補助燃料費の占める割合が大きく、このため消化ガス等の安価な燃料が使用可能な場合、経済性は向上すると見込まれる。また、補助燃料使用量は、汚泥の性状や炭化温度にも依存するため、その影響を試算し、特に炭化温度については炭化物性状に与える影響も評価した。含水率が少なく、発熱量が高い脱水汚泥ほど補助燃料費は削減でき、また、炭化温度を下げると補助燃料使用量は増加するが、炭化物の発熱量、製造量は増加する傾向にあることを把握した。

5. ま と め

本稿では、中温炭化方式（炭化温度約 400～600℃）での汚泥熱分解燃料化システムについて、実証試験を元に、各種汚泥性状や炭化条件が同システムの運転特性に与える影響を評価し、また安全性については、既存技術である高温・低温炭化や乾燥と同程度であることを確認した。

実証実験により得られたシステム、機器特性を使用して、1日当たり脱水汚泥処理量 50 t 規模の汚泥熱分解燃料化システムのユーティリティー使用量を試算し、含水率や発熱量といった脱水汚泥性状や炭化温度がシステムのユーティリティ使用量に与える影響を、補助燃料使用量の観点から整理した。

謝 辞

本研究は、(財)下水道新技術推進機構 (JIWET) との

共同研究により実施し、汚泥処理技術共同研究委員会の委員各位、JIWET 担当者の指導、助言のもとに研究を遂行した。

また、実証実験においては脱水汚泥の提供等、各自自治体の方々にもご協力をいただいた。

ここに、心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：資源・エネルギー循環の形成（地球温暖化と下水道）
<http://www.mlit.go.jp/crd/sewage/sesaku/09shigen.html>
(参照 2010-04-12)
- 2) 汚泥の処理とリサイクル技術, エヌ・ティー・エス, pp. 344-345 (2010)
- 3) 椎屋光昭, 他：石炭火力発電所に適した下水汚泥燃料化技術の開発, 第 44 回下水道研究発表会講演集平成 19 年度, pp. 361-363 (2007)
- 4) 山本博英, 他：バイオマス固形燃料の燃料特性について, 第 44 回下水道研究発表会講演集平成 19 年度, pp. 109-111 (2007)
- 5) 上田厚志, 他：石炭火力発電所に適した下水汚泥燃料化技術の開発 (第 2 報その①), 第 45 回下水道研究発表会講演集平成 20 年度, pp. 154-156 (2008)
- 6) 椎屋光昭, 他：石炭火力発電所に適した下水汚泥燃料化技術の開発 (第 2 報その②), 第 45 回下水道研究発表会講演集平成 20 年度, pp. 157-159 (2008)
- 7) 上田厚志, 他：石炭火力発電所に適した下水汚泥燃料化技術の開発 (第 3 報), 第 46 回下水道研究発表会講演集平成 21 年度, pp. 245-247 (2009)
- 8) 今井 正, 他：バイオマス資源の高度回収・再利用技術, 東芝レビュー, 第 63 巻, 第 5 号, pp. 731-734 (2008)
- 9) 森影 宏：種々の下水汚泥の熱分解特性と残渣および生成ガスの利用に関する研究, 京都大学工学研究科修士論文 (2006)
<http://epsehost.env.kyoto-u.ac.jp/pdf/m2006mori.pdf> (参照 2010-04-12)
- 10) 山田真樹, 他：下水汚泥低温造粒乾燥物の臭気と燃料化率特性, 第 45 回下水道研究発表会講演集平成 21 年度, pp. 133-135 (2008)
- 11) 小菅博明, 他：消化汚泥の燃料化技術への適用性について, 第 44 回下水道研究発表会講演集平成 19 年度, pp. 364-366 (2007)

The solid fuel production system from sewage sludge by pyrolysis

Tadashi Imai¹⁾ and Koji hayashi²⁾ and Hideaki Komine³⁾ and Hironobu Abe⁴⁾

¹⁾ Environmental Systems Division, Toshiba Corporation

²⁾ Environmental Systems Division, Toshiba Corporation

³⁾ Environmental Systems Division, Toshiba Corporation

⁴⁾ Environmental Systems Division, Toshiba Corporation

† Correspondence should be addressed to Tadashi Imai :

(Environmental Systems Division, Toshiba Corporation E-mail : tadashi1.imai@toshiba.co.jp)

Abstract

The effective utilization of various biomass is a social request. In order to maintain a sustainable society, a variety of biomass utilization technologies have been developing and researching.

We had developed a system for producing solid fuel from sewage sludge. This system are characterized by inhibition of greenhouse gas reductions and fossil fuel usage. This system uses the flammable gas generated in the pyrolysis of the sewage sludge as a fuel. Moreover, loss of heat is decreased by using the indirect heating type dryer. The effectiveness of this system was confirmed by the proof examination.

Key words : sewage sludge, pyrolysis, carbonization, solid fuel production, biomass