

〈研究発表〉

下水汚泥の炭化特性

今井 正¹⁾, 安部 裕宣²⁾, 呉 倍莉³⁾

- 1) 東芝 水・環境プロセス技術部 (〒105-8001 東京都港区芝浦 1-1-1, E-mail:tadashi1.imai@toshiba.co.jp)
 2) 東芝 水・環境プロセス技術部 (〒105-8001 東京都港区芝浦 1-1-1, E-mail:hironobu.abe@toshiba.co.jp)
 3) 東芝 水・環境プロセス技術部 (〒105-8001 東京都港区芝浦 1-1-1, E-mail:beili.wu@toshiba.co.jp)

概要

再生可能な資源として各種バイオマスの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、下水汚泥を再資源化して燃料として活用する下水汚泥炭化燃料化システムを開発した。このシステムでは、炭化温度等を制御することにより、得られる炭化物の特性を変化させることが出来る。今回、炭化温度等を変化させた時の、炭化物の臭気、自然発火性等の特性変化を調査したので報告する。

キーワード: 下水汚泥、炭化、特性、臭気、発熱性 (5 語以内)

1. はじめに

再生可能な資源として各種バイオマスの活用が社会的要請となっている。

未利用バイオマスのうち、下水汚泥は廃棄物系バイオマスに位置づけられ、平成 17 年度の下水道最終処分汚泥量は 223 万 t(乾燥ベース)に達し、焼却・熔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。しかしながら、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⁾。

ここで、下水汚泥のエネルギー利用方法のひとつとして、下水汚泥を熱分解させて乾留ガス(以下、本稿では熱分解ガスとする)を放出させ炭化を進行させる炭化方式がある。

炭化方式は、得られる燃料が固体のため貯蔵が容易で、熱分解ガスも処理に必要な熱源の一部として利用できるため、処理時に消費する燃料が少なく済むという利点がある。このため、報告者は臭気が少ない固体燃料を製造できる中温炭化方式(炭化温度約 400~600°C)での汚泥熱分解燃料化システムの開発を進めてきた²⁾。

中温炭化システムでは、炭化温度等を制御することにより、得られる炭化物の特性を変化させることが出来るが、本稿では、炭化時に添加ガスとして水蒸気を添加した時の、炭化物の臭気、自然発火性等の特性変化を調査したので報告する。

2. 調査方法

2.1 実験装置

実験に使用した回分式の炭化装置を Fig. 1 に示す。

炭化装置は下水汚泥を熱分解するステンレス製の熱分解炉、これを加熱するための温度調節器付き電気マッフル炉、熱分解ガスを還流するための還流管(外側からシースヒータで加熱)、熱分解ガスを放冷するための冷却管(自然放冷式)、留出物を回収するドレン瓶、ドレン瓶を冷却する冷却槽 1、2 およびガス回収用のテドラーバッグで構成した。また、添加ガスによる炭化特性の変化を把握するため、メスシリンダー、定量ポンプ、ヒータで構成される水蒸気添加装置を熱分解炉に接続し、約 200°C に加熱した水蒸気を添加できる構造とした。

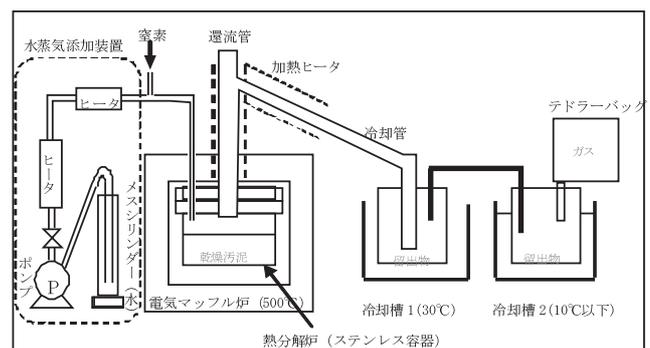


Fig.1: Carbonization laboratory equipment

2.2 下水汚泥の炭化方法

平成 23 年 2 月、B 処理場のベルトプレス脱水設備より混合生汚泥の脱水汚泥を採取し、冷蔵輸送後、115°C 恒温槽にて含水率 1%以下まで乾燥して乾燥汚泥とし、Fig. 1 の熱分解炉に、全容積の約半分量の乾燥汚泥(約 400g)を充填した。乾燥汚泥内には熱電対を差し込み、内部温度を計測できるようにした。乾燥汚泥を充填した熱分解炉は電気マッフル炉内に設置し、熱分解炉内

を窒素パージ後、電気マッフル炉を所定の温度（炭化温度とする）に設定して昇温し下記(1)～(3)の炭化方法で炭化を行った。炭化終了後、電気マッフル炉は速やかに降温・冷却し、留出物、ガス、および熱分解炉内の炭化物を採取して重量測定した。炭化物については、後述の臭気測定や分析を行い評価した。

(1) 通常炭化試験

炭化温度 300, 400, 500℃の3条件で炭化を行った。乾燥汚泥内に差し込んだ熱電対が炭化温度となった時間を炭化温度到達時間とし、炭化温度到達後 10 分間その温度を維持し、その後降温・冷却した。上記方法による炭化試験を、以後、通常炭化試験とする。

(2) 蒸気添加試験

炭化温度 300, 400, 500℃の3条件で炭化を行った。炭化温度到達後、その温度を保持したまま 5 分間にわたり約 1g/min の流量で水蒸気を添加し、その後、更に 5 分間経過した後、降温・冷却した。

なお炭化温度 300℃の試験のみ、水蒸気添加時間 30 分間の試験も実施した。上記方法による炭化試験を、以後、蒸気添加試験とする。

(3) 蒸気乾燥・炭化試験

炭化温度 300, 400, 500℃の3条件で炭化を行った。昇温中、乾燥汚泥内の熱電対が 100℃以上となったら水蒸気を約 1g/min の流量で添加し、炭化温度到達後、その温度を保持したまま 5 分間に水蒸気添加は停止し、更に 5 分間経過した後、降温・冷却した。上記方法による炭化試験を、以後、蒸気乾燥・炭化試験とする。

各試験条件を Table. 1 に示す。

試験 No.	炭化条件			設定温度到達後			水蒸気添加量 (g)	
	試験方法	設定温度 (°C)	水蒸気添加(昇温時)	水蒸気添加		設定温度保持時間 (min)		
				時間(min)	温度(°C)			
1	通常炭化	300°C	なし	0	-	10	0	
2		400°C						
3		500°C						
4	蒸気添加	300°C	なし	5	200	35	6	
5		300°C		30			32	
6		400°C		5			10	6
7		500°C						
8	蒸気乾燥・炭化	300°C	100°C～設定温度	5			152	
9		400°C					108	
10		500°C					73	

Table.1: Experimental conditions

2.3 評価方法

(1) 収率及び発熱量変化

炭化終了後、降温・冷却して留出物、ガス、および熱分解炉内の炭化物の重量を測定し、回収率を求めた。

また、炭化物については、JIS N 8814 により発熱量を分析し、下記の方法で臭気分析と、SIT(spontaneous ignition tester：自然発火装置)を使用した自然発火性

試験(SIT 試験)を実施した。

(2) 臭気分析

臭気は、炭化物を無臭空气中に配置して空气中に臭気を移し、その空気(臭気試料)の臭気を測定した。臭気試料作成方法を Fig. 2 に示す。採取した臭気試料の臭気濃度は、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)に準じて測定した。

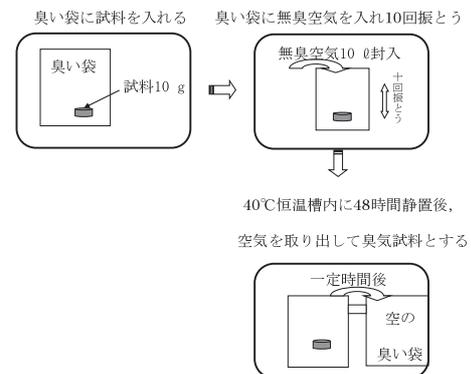


Fig2: Method of making odor sample

(3) SIT 試験

炭化物を、(株)島津製作所製 SIT-2 試験装置に数 g 装填し、所定の温度にて窒素雰囲気下で断熱制御し、試料の発熱挙動を観察した。24 時間以内に 60℃以上の温度上昇が認められない場合、その温度では自己発熱性がないとし、試料を詰め替えて設定温度を変更し、自己発熱性を示す限界温度を求めた。

3. 調査結果

3.1 収率及び発熱量変化の調査結果

熱分解炉に装填した原料の重量および添加した水蒸気量に対し、回収した炭化物、留出物、ガス重量から回収率を求めた。結果を Table.2 に示す。回収率は 99～101%であり、ほぼ全量を回収できていた。

試験 No.	乾燥汚泥重量 (g)	水蒸気添加量 (g)	炭化物重量 (g)	留出物重量 (g)	ガス重量 (g)	回収率 (%)
1	427.55	0	301.09	101.3	22.4	99%
2	432.2	0	220.1	177.89	32.2	100%
3	435.55	0	194.34	191.26	54.0	101%
4	428.63	5.79	301.23	107.62	24.1	100%
5	435.44	32.22	290.92	150.12	27.4	100%
6	432.27	5.83	218.4	186.85	29.4	99%
7	432.61	5.56	190.92	195.35	51.0	100%
8	434.27	152.24	284.97	275.07	21.7	99%
9	432.32	108.35	212.22	294.36	30.6	99%
10	432.22	73.45	187.26	264.53	49.1	99%

Table2: Result of Recovery percentage

炭化温度 300, 400, 500℃における各試験方法ごとの発熱量変化を Fig.3 に示す。なお、蒸気添加試験では、水蒸気添加時間は5分とした。

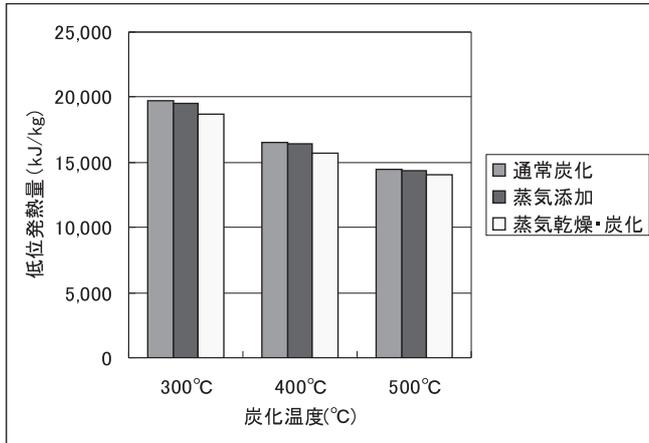


Fig3: Changes in Calorific value by difference of carbonization method

Fig. 3 に示したように、蒸気添加試験あるいは蒸気乾燥・炭化試験のように蒸気を添加すると、通常炭化試験よりも炭化物の発熱量は若干低下する。しかしながら、炭化温度をあげた場合と比較すると、発熱量の低下はごく軽微なものとなった。

炭化温度 300℃における蒸気添加試験で、蒸気添加時間 (= 蒸気添加量) を変化させた時の発熱量変化を測定した。結果を Fig. 4 に示す。

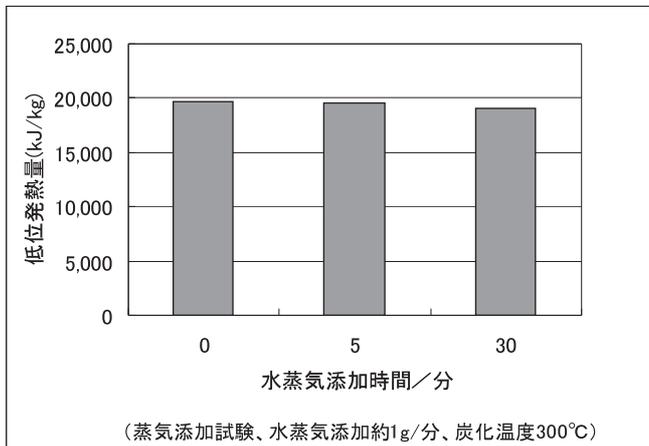


Fig4: Effect of steam addition amount of Calorific value

Fig. 4 に示したように、蒸気添加時間を増加させると、発熱量が低下する傾向にあるが、その変化は微量であった。

3.2 臭気分析結果

各試験方法で炭化温度 300, 400℃にて製造した炭化物の臭気分析結果を Fig.5 に示す。炭化温度 500℃で製造した炭化物の場合については、ほぼ無臭(臭気

濃度数十~百)であったため比較対象としなかった。なお、蒸気添加試験では、水蒸気添加時間は5分とした。

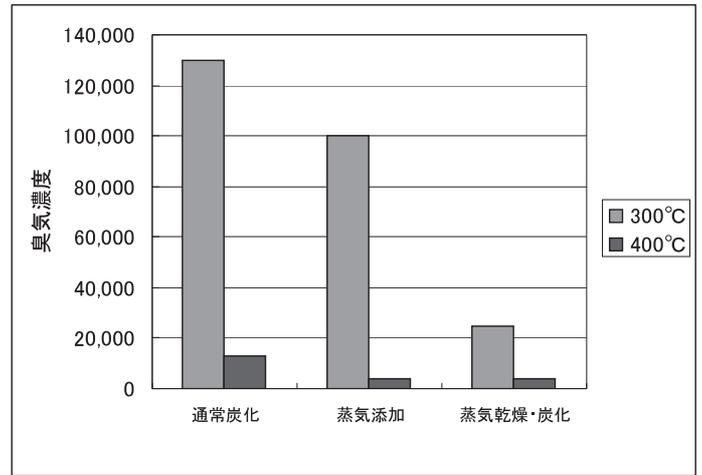


Fig5: Changes in odor concentration by difference of carbonization

Fig. 5 に示したように、通常炭化試験に比較して蒸気添加試験あるいは蒸気乾燥・炭化試験は、臭気低下効果が認められ、特に炭化温度 300℃における蒸気乾燥・炭化試験の効果が大きかった。

蒸気乾燥・炭化試験の効果が蒸気添加試験よりも臭気低減効果が高い理由として、水蒸気添加時間 (= 水蒸気添加量) が長いことが考えられる。このため、蒸気添加試験で水蒸気添加時間を変化させた時の臭気濃度変化を測定した。結果を Fig. 6 に示す。

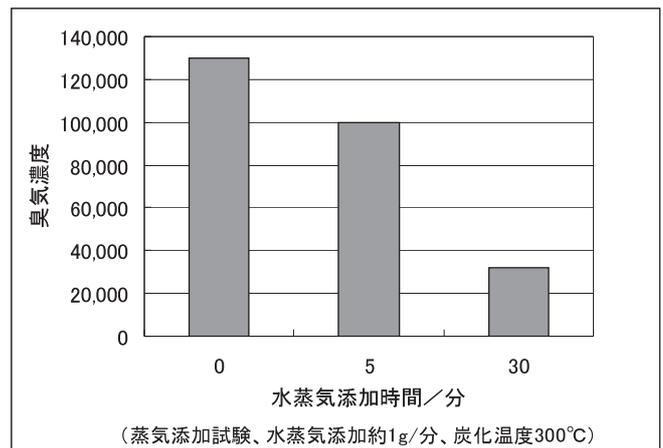


Fig6: Effect of steam addition amount of odor concentration

Fig.6 に示したように、蒸気添加時間を増加させると、臭気濃度は低下し、30分添加した場合、ほぼ蒸気乾燥・炭化試験と同等な臭気濃度まで低下した。

3.3 SIT 試験結果

SIT 試験によって得られる自然発火温度とは、その温度で保管した場合、自己発熱が開始して温度が上昇

し、やがては発火に至る危険がある温度を示す。今回、通常炭化試験で得られた自然発火温度は概ね 150℃以上であり、比較的低温で発火の危険がある炭化物は、炭化温度 300℃で製造した自然発火温度 100℃のもののみであった。このため、別途 J 処理場の混合生汚泥を使用して通常炭化試験により比較的自然的発火温度が低い炭化物を製造した。炭化温度 500℃で製造した炭化物の自然発火温度は 90℃であった。同様に、蒸気添加試験あるいは蒸気乾燥・炭化試験で製造し、炭化物の自然発火温度を SIT 試験にて計測した。比較結果を Table. 3 に示す。

	自然発火温度	
	B 処理場 炭化物 (炭化温度 300℃)	J 処理場 炭化物 (炭化温度 500℃)
通常炭化試験	100℃	90℃
蒸気添加試験 (水蒸気添加時間 5 分)	160℃	190℃
蒸気乾燥・炭化試験	150℃	実施せず

Table3: Changes in Spontaneous ignition temperature by difference of carbonization method

Table.3 に示したように、蒸気添加試験、蒸気乾燥・炭化試験とも、通常炭化試験に比較して自然発火温度が上昇し、より安全な炭化物を製造できる効果が認められた。

4. まとめ

B 処理場及び J 処理場の混合生汚泥の脱水汚泥を用いて、回分式炭化装置による炭化試験を行い、得られた炭化物の発熱量、臭気、自然発火温度を比較した。

この結果、炭化温度到達後数分間蒸気を添加した炭化試験や、汚泥内部温度が 100℃を超えた段階から炭化温度に到達するまで水蒸気を添加した炭化試験で得た炭化物は、水蒸気を添加しない通常の炭化試験で得た炭化物に比較し、発熱量は若干低下するが、臭気濃度が低下し、自然発火温度は上昇するなど、ハンドリング性が向上することがわかった。

今後、より実機に近い連続式の炭化炉を用いて、添加ガスの効果を把握する予定である。

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/sewerage/sesaku/09shigen.html>(参照 2011-05-23)
- 2) 今井正, 他: 汚泥熱分解燃料化システムの開発. 環境システム計測制御学会誌, Vol.15, No.2・3, pp.229-237 (2010)