

技術資料



Technical Paper

下水汚泥炭化物のバイオマス燃料利用

志村 進*, 甲 忠敏*, 北林 誠*, 清水健司*

Biomass Fuel Use of Carbonized Sewage Sludge

Susumu Shimura, Tadatoshi Kabuto, Makoto Kitabayashi, and Kenji Shimizu

Synopsis

As the treatment process of sewage sludge, we had already developed a new technology, carbonization, taking place of conventional processes such as compost, incineration and melting.

Daido's carbonizing process produces a carbonized sludge adequate to utilization as a standby of soil or charcoal by the character of chemical contents, porous surface, and grain size etc.

In recent years, the electric power industry was obliged to use a fixed quantity of new energy including biomass fuel by the enforcement of renewable portfolio standard.

Carbonized sludge has also high calorific value and the field of electric power industry has a large potential of using carbonized sludge as biomass fuel.

So we researched the additional application of utilizing it for biomass fuel and we introduce the results herewith.

1. はじめに

下水汚泥処理プロセスの代表的なものには、従来技術としてのコンポスト化、焼却、熔融などがあるが、これまで設備費やランニングコストの問題だけでなく、各プロセスより製造される生成物の安定した有効利用先を確保することが困難な場合も多くあった。そこで、新しい汚泥の有効利用の確立に向け、炭化技術に着目し、日本下水道事業団との共同研究により、下水汚泥から炭化物（以下「炭化製品」）を製造する技術を開発し、既に国内で4基の受注実績を持つに至った。

炭化製品の有効利用用途としては、Fig.1に示すようなものが考えられるが、これまで土壌改良材、脱水助剤の用途が中心であった。これに対し、近年、電気事業者による新エネルギーなどの利用に関する特別措置法（*RPS法：Renewable Portfolio Standard）の施行に伴い、電力業界では新エネルギー（化石燃料代替エネルギー）の一定量の利用が義務付けられた。下水汚泥を原料とした燃料は、その集積性と安定供給性から、他のバイオマスと比較し、発電用

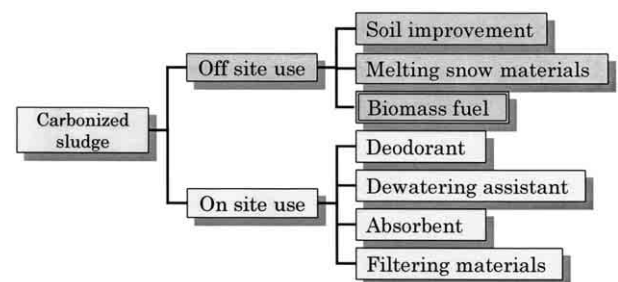


Fig.1. Utilization examples of carbonized sludge.

補助燃料として注目を集めている。

発電における燃料使用量は多く、ユーザ近隣の下水処理場から発生する下水汚泥炭化処理に期待される規模も大きくなることから、大同特殊鋼(株)の保有技術である下水汚泥炭化システムの新たな有効利用用途として、燃料利用は非常に有望なものといえる。本報では、炭化製品をバイオマス燃料として利用するために、下水汚泥炭化処理プロセスと炭化製品の特性について、基礎調査として高温炭化製品に対する検討を実施した結果を紹介する。

*RPS 法：2002 年 6 月公布，2003 年 4 月 1 日施行．風力，太陽光，地熱，小規模水力発電，バイオマスを熱源とする熱，バイオマスの焼却による発電などを対象エネルギーとし，自然・再生可能エネルギーの利用拡大を目指したものの．

2. 下水汚泥の炭化処理

2. 1 下水汚泥炭化システム

(1) 基本プロセス

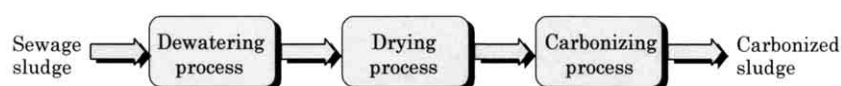


Fig.2. Basic flow of carbonizing treatment process.

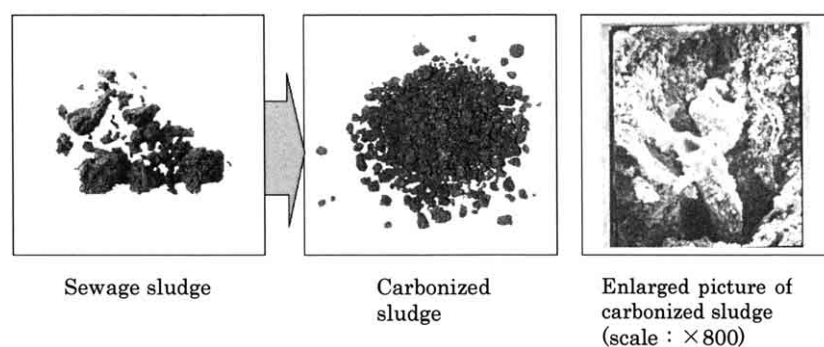


Fig.3. Appearance of carbonized sludge.

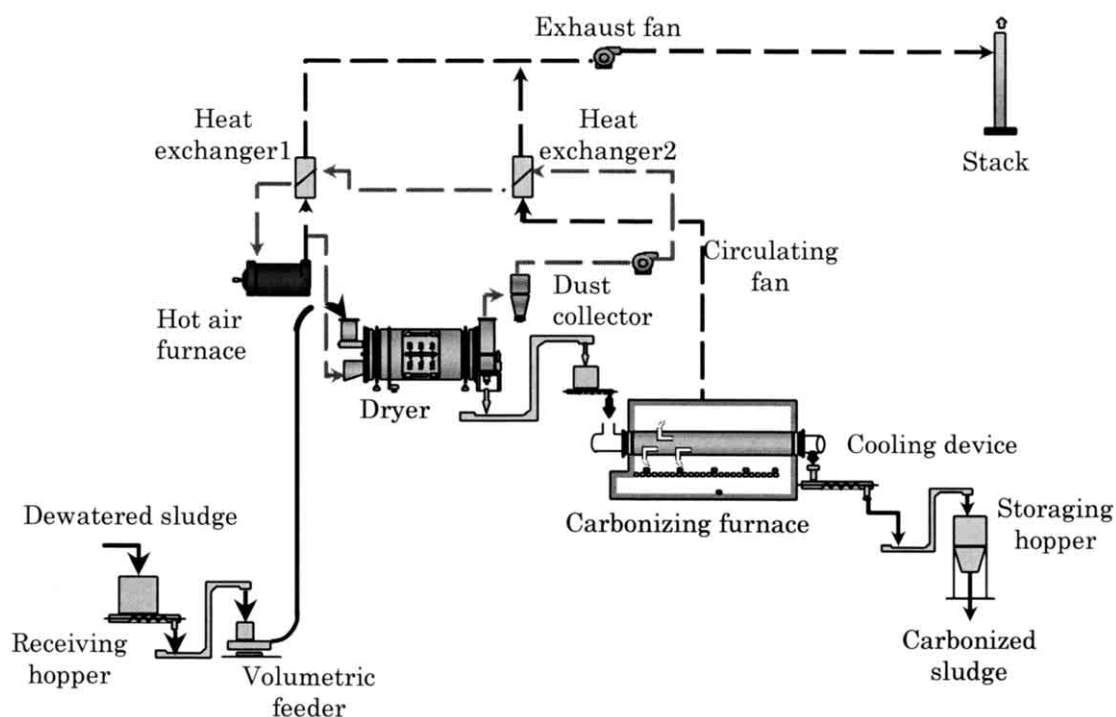


Fig.4. System flow of carbonization.

炭化技術の基本プロセスを Fig.2 に示す．乾燥プロセスを経た乾燥汚泥を炭化するプロセスが主となる．また，乾燥機の導入は，炭化炉の熱回収という観点からだけではなく，炭化炉に投入する乾燥汚泥の粒度，それによる炭化製品の粒度調整が可能な機種として選定している．

得られる炭化製品の外観例を Fig.3 に示す．

(2) システムフロー

炭化システムフローを Fig.4 に示す．搬入されてきた脱水汚泥（含水率 80 % 前後）を適度な含水率まで乾燥後，

炭化炉に投入し炭化処理を行う。排ガス中のばい塵除去のための集塵機と、乾燥用熱源発生と排ガスの脱臭の機能をかねた熱風発生炉、余熱利用のための熱交換器などを配置している。

炭化システムの中核をなす炭化炉の構造断面図を Fig.5 に示す。構成は下記のとおり。

- ①炭化処理を実施する外熱室と、乾留ガスの完全燃焼と脱臭を実施する排ガス処理室の2室より構成され、それらが直結一体化した炉構造である。
- ②外熱室をキルンが貫通し、そのキルン内を乾燥汚泥が通過する間に外部より間接加熱処理され炭化される。
- ③キルンは傾斜しており、かつ回転することにより乾燥汚泥が炭化処理されながら出口へ移動する。
- ④外熱室には起動時用のバーナ（複数本）、排ガス処理室には二次燃焼用のバーナ（1本）が設置されている。
- ⑤キルンには乾留ガス吹き出しノズルが付属しており、そのノズルより吹き出した乾留ガスが燃焼し、この熱とバーナの燃焼熱が乾燥汚泥への加熱源になる。乾留ガスの燃焼による昇温状態が安定すると、起動用バーナは停止する。これにより、低燃費運転が可能となる。
- ⑥キルンは空気侵入を防止する堅固なシール構造を有し、キルン内を低酸素雰囲気状態に維持している。

2. 2 炭化製品の基本性状

炭化処理した下水汚泥（炭化製品）の基本性状を、処理

前の下水汚泥性状と比較して、Table 1 に示す。

炭化により、汚泥中の有機分のうち、揮発成分や熱分解成分が減少し、固定炭素主体の有機分に変化する。また、発熱量も、減少した有機分相当の発熱量が消失し、石炭の約半分に当たる 14.4 MJ 程度が残存している。粒度は、前工程の乾燥機での調整により、中心粒径 3 mm 程度のものが得られる。

3. 炭化製品のバイオマス燃料利用検討

3. 1 炭化製品の燃料利用制約条件

炭化製品を発電用燃料として利用するにあたり、炭化製品が粉粒体であることから、石炭火力発電所での混焼用燃料（数 % 程度を石炭と混焼）に利用することを想定し、制約条件を検討した。

(1) 炭化燃料性状の設定

Table 2 に、電力会社より調査した、石炭火力発電所において受入れ・燃焼利用できる代替燃料（バイオマス燃料）目標性状の一例を示す。

炭化製品発熱量は、12.6 MJ/kg 以上で、石炭代替燃料としての価値を有している。また、炭化製品の硫黄分、塩素分は、受入れ炭化製品の目標性状を達成しており、ボイラ設備への摩耗性・腐食性も低いことが確認できる。しかし、炭化製品は原料となる脱水汚泥発生処理場によって、

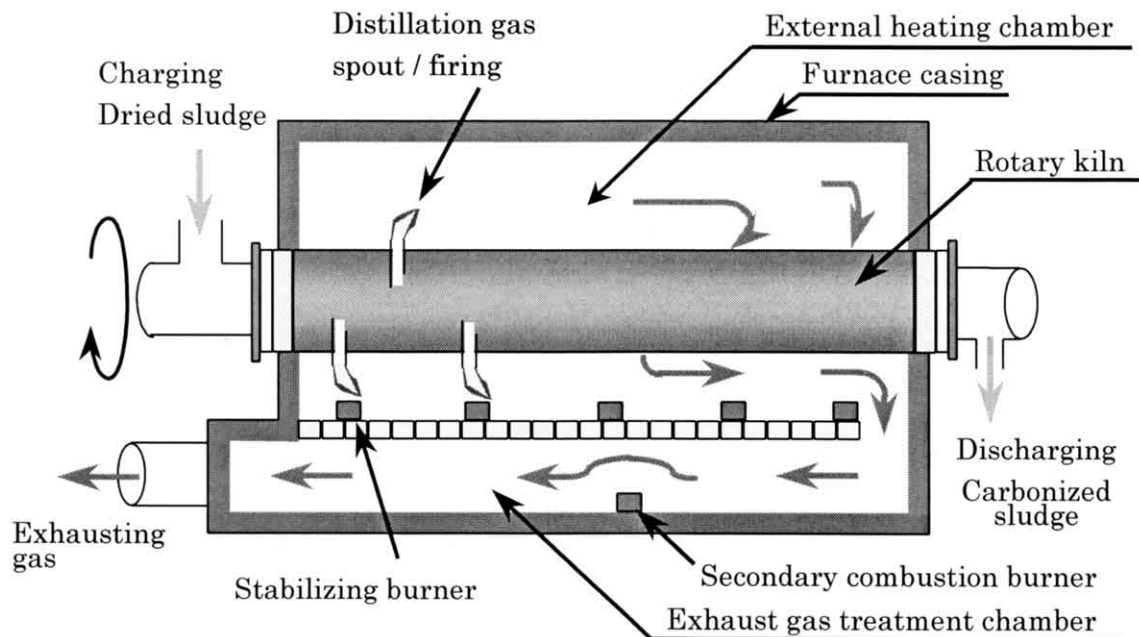


Fig.5. Cross-section of carbonizing furnace.

Table 1. Basic characteristics of sewage sludge and carbonized sludge.

Item	Unit	Sewage sludge	Carbonized sludge
Calorific value	MJ/kg(dry)	19.8	14.4
	kcal/kg(dry)	4730	3430
Volatile content	wt%(dry)	—	9.7
C	wt%(dry)	41.8	39.9
H	wt%(dry)	6.7	1.2
N	wt%(dry)	3.4	3.4
O	wt%(dry)	—	4.5
Total-S	wt%(dry)	1.0	0.23
Total-Cl	wt%(dry)	0.1	<0.01
Grain distribution			
~ 0.07 mm	wt%	—	2.7
~ 0.2 mm		—	1.3
~ 0.3 mm		—	0.8
~ 0.6 mm		—	2.1
~ 1.2 mm		—	9.8
~ 3.3 mm		—	71.5
~ 4.7 mm		—	10.9
4.7 mm ~		—	0.8

Table 2. Regulated items of using biomass fuel in fire plant.

Item	Evaluation point	Regulated value
Shape & grain size	Conveyer Coal mill	Grain size : ≤ 50 mm (entrance size of coal mill) Dust in conveyer transport is less than coal handling case.
Calorific value	Combustion characteristics in a boiler	Yearly average : ≥ 12.6 MJ/kg (3000 kcal/kg)
Sulfur content	Corrosion of boiler tube Environmental regulation	≤ 1.2 %
Chlorine content	Corrosion of boiler tube	≤ 1.0 %

その性状が大きく影響を受けることから、具体的な適用場所に応じ、ケースごとの確認が必要であろう。

(2) 適用対象下水汚泥の設定

脱水汚泥の諸特性および由来（含水率、可燃分、汚泥種）と炭化製品発熱量との関係を、Fig.6 に示す。これまでの各下水処理場発生汚泥の炭化試験結果より、炭化製品発熱量は脱水汚泥含水率および脱水汚泥可燃分に大きく影響を受ける傾向がみられ、元来汚泥中可燃分が少ない消化汚泥については石炭火力発電所の受入れ条件発熱量を満足することができない。したがって、燃料利用適用対象の下水汚泥としては未消化汚泥が妥当である。

4. 燃料利用炭化システムの構築

4. 1 炭化製品の安全性への対応

炭化製品を燃料利用するにあたり、その安全性およびハ

ンドリング性は重要なファクターとなる。

安全性については、炭化製品貯留時の自己発熱対策が重要である。Fig.7 は、炭化製品の炭化進行程度と自己発熱特性の関係を示した、自己発熱性試験結果である。図中数値は下水汚泥の炭化進行程度（精錬度）を示している。自己発熱性試験は、国連勧告バケット法で測定し、140℃の恒温槽中での炭化製品の温度上昇の観察により確認する方法である。

炭化は、進行が進むにつれて電気を伝えやすくなる。つまり、電気抵抗値が低くなる。この性質を利用して、木炭の炭化の進み具合を評価するものとして、電気抵抗測定値の累乗値で表す「精錬度」があり、下水汚泥炭化製品の評価にも用いている。

自己発熱性試験の結果、炭化進行程度が低い炭化製品（精錬度が高い）は自己発熱特性を示し、炭化進行程度が

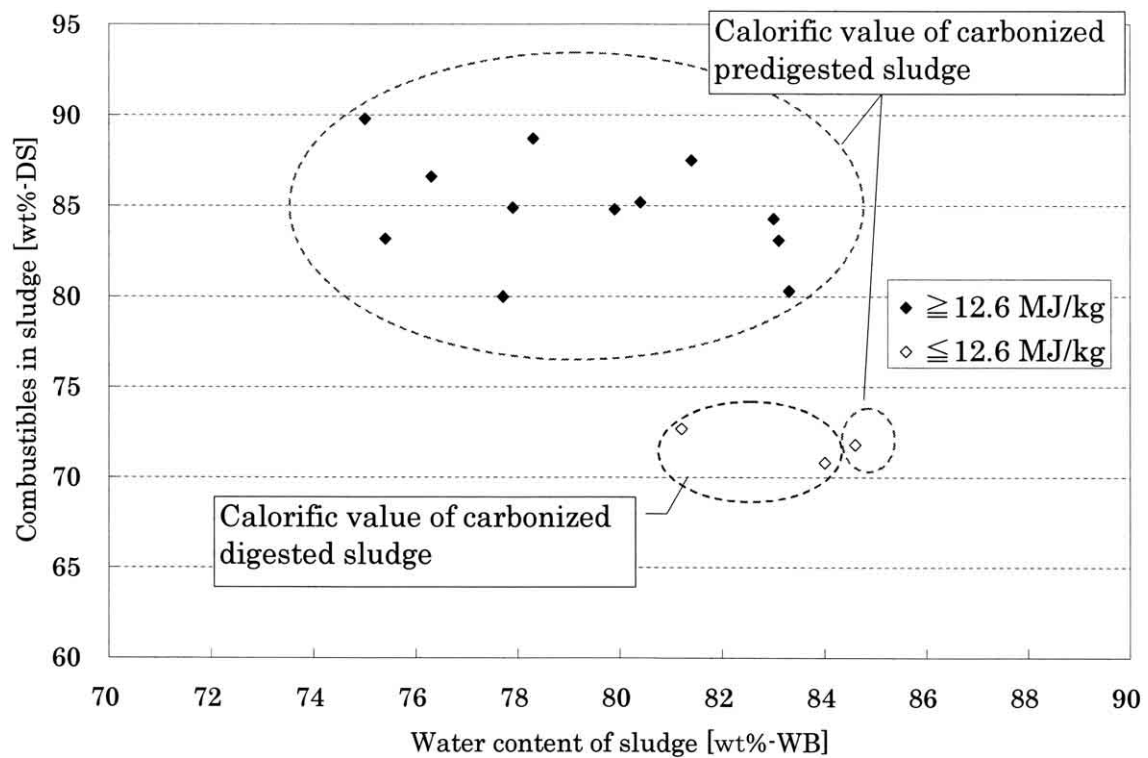


Fig.6. Relationship between combustibles and water content in sludge.

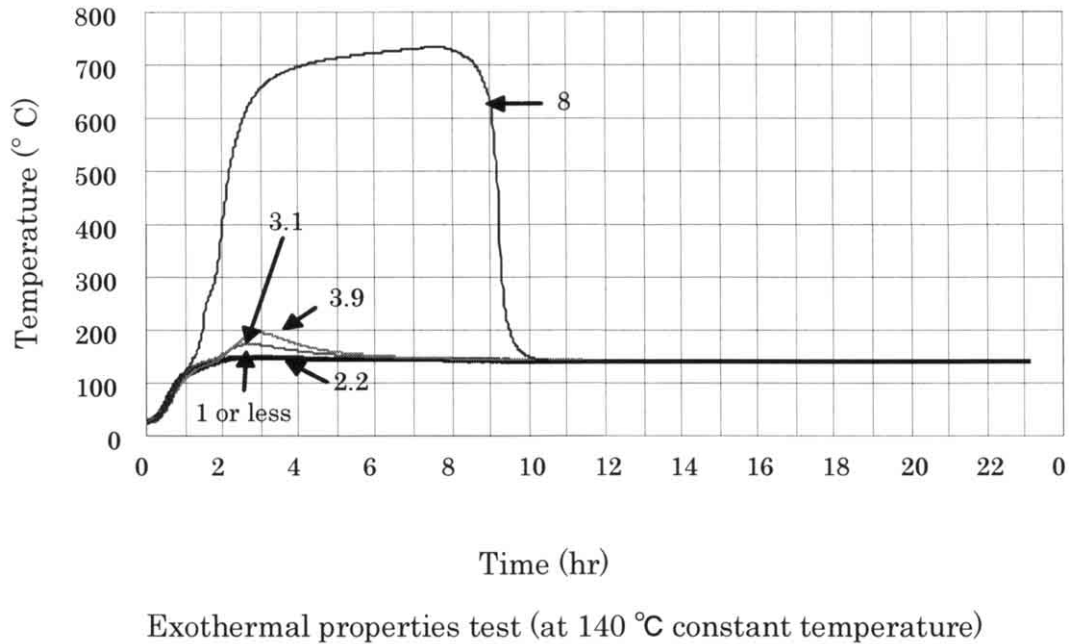


Fig.7. Result of exothermal properties test.

進むにつれて自己発熱特性が抑制されることを確認した。炭化進行程度は炭化炉キルン内温度（炭化温度）、および滞留時間に大きく影響されるため、炭化温度および滞留時

間を一定以上確保するように運転管理することで、炭化製品の自己発熱抑制を実現できる。

4. 2 炭化製品のハンドリング性への対応

ハンドリング性としては、炭化製品の粉塵飛散対策と臭気が重要である。炭化製品の貯留・搬送および石炭との混合時に、粉塵が発生せず、臭気影響がないように考慮するものである。

炭化製品の粉塵飛散対策として、炭化炉出口に炭化製品加湿ラインを設け、炭化製品を一定の含水率まで水分調整することにより、炭化製品の粉塵飛散対策を実施している。あわせて、炭化製品を袋詰めすることにより、さらにハンドリング性を向上させることも可能である。

臭気については、臭気成分が分解する温度で処理しているため、炭化製品への残存臭気は認められない。残存臭気の確認は、「臭気指数および臭気排出強度の算出の方法」(平成7年9月13日環境庁告示第63号)に従い、官能試験を実施した。Table 3 に脱水汚泥、乾燥汚泥、炭化製品の残存臭気測定結果を示す。脱水汚泥、乾燥汚泥と比較し、本設備から生成される炭化製品について、臭気の残存は認められなかった。(炭化製品数値は、臭気官能試験における定量下限値以下を意味する。)

5. 燃料利用時の温室効果ガス排出量抑制効果

下水処理場における従来焼却対比の温室効果ガス削減効果、および石炭火力発電所において石炭代替燃料として炭化製品を利用した場合の温室効果ガス削減効果を Table 4 に示す。

下水汚泥由来の炭化製品は、「地球温暖化対策の推進に関する法律」(環境省 1998 年 10 月制定)によりカーボンニュートラルな燃料とされているため、下水汚泥由来の炭化製品利用にともなう石炭使用量の削減は、温暖化ガス排

出量を削減することと同義である。

よって、炭化システムの採用により、下水処理場および石炭火力発電所において、温室効果ガスの排出量低減に大きく貢献できることを確認できた。

6. おわりに

下水汚泥炭化製品は、その性状から幅広い利用の可能性があり、下水汚泥炭化処理方式の採用を検討する地方公共団体も増えてきている。今後の炭化処理方式の拡大のために、炭化製品の燃料利用はぜひとも推進していくべき用途である。現在、より低温での高発熱量炭化製品の製造と、より低燃費での炭化処理の達成に向けて、日本下水道事業団と共同で次世代の燃料用炭化システムの開発にとりこんでおり、炭化製品燃料利用の促進に向けた努力を今後も進めていく所存である。最後に、本報で紹介した研究の共同研究者である日本下水道事業団技術開発部に深く感謝の意を表します。

Table 3. Result of odor sensory test.

Sample	Odor index	Odor concentration
Sewage sludge	61	1300000
Dry sludge	44	25000
Carbonized sludge	<12	<16

Table 4. Reducing effect of greenhouse gas discharge.

	Greenhouse gas discharge [t-CO ₂ /y]	
	Sewage treatment plant	Electric power plant
Carbonizing furnace	3960	Quantity of reduction by fuel conversion
Incinerator	5190	
Quantity of reduction	▲ 1230(24 %)	▲ 2520
	Total ▲ 3750	

Case reference;

Processing capacity of sewage sludge: 100 [t/d]

Operation rate of one year: 80 [%](300 days)