下水汚泥のバイオソリッド燃料化および燃焼特性*

安田 俊彦^{*1}, 金田 聡^{*2}, 中村 紀之^{*2}, 北野 徳之^{*2}

Production of Biosolid Fuel from Sewage Sludge and Combustion Characteristics

Toshihiko YASUDA^{*1}, Satoshi KANEDA, Noriyuki NAKAMURA and Noriyuki KITANO^{*1} HITACHI ZOSEN CORPORATION, 2-11, Funamachi 2-chome, Taisyō-ku, Osaka, 551-0022 Japan

We have developed the sewage sludge drying and pelletizing process that transforms sewage into low water content (less than 10%) and spherical pellet. This report introduces the description of the sewage sludge drying and pelletizing process, quality of dried sludge pellets, the basic results of the co-firing test of dried sludge pellets with coal in pulverized coal-fired furnace and municipal solid waste incinerator. It is concluded that dried sludge pellets had low water content and about 1/2~2/3 of heat value of coal. Also, co-firing of dried pellet results in good operation in pulverized coal-fired furnace and municipal solid waste incinerator.

Key Words : Sewage, Biosolid, Fuel, Dryer, Pelletize

1. 緒 言

近年, 地球温暖化ガス排出量の削減対策として各種バイオマスの燃料利用が注目されている. バイオマスを燃料として利用した場合, カーボンニュートラルとみなし二酸化炭素の増減に影響を与えないとされている. バイオマスの一つである下水汚泥は全国の下水処理場から毎日大量に排出されており, セメント原料, 建設資材, 堆肥等に再利用されているが, 一部は埋立処分されている. 下水汚泥燃料化装置は, 脱水機等で含水率 80%程度まで脱水された下水汚泥(脱水汚泥)を原料とし, 脱水汚泥が有する熱量を損なうことなく含水率 10%以下かつ直径数ミリ程度の粒状に乾燥造粒できる性能を有する. 本装置にて製造したバイオソリッド燃料の一例を図 1 に示す. また, 下水処理場における本装置の概念図を図 2 に示す. バイオソリッド燃料の利用先は, 主に石炭火力発電所等の微粉炭ボイラを対象としていたが, 都市ごみ焼却炉における代替燃料利用について検討を行った.

Fig.1 Biosolid fuel from sewage sludge

Fig.2 Conceptual diagram of production of biosolid fuel

* 原稿受付 2011 年 8 月 29 日

^{*1} 正員, 日立造船(株) 事業・製品開発本部 (〒551-0022 大阪府大阪市大正区船町 2-2-11)

^{*2} 日立造船(株) エンジニアリング本部
E-mail: yasuda_to@hitachizosen.co.jp

2. 装置の概要

本装置は熱媒体として熱媒油を使用した間接加熱型の乾燥方式であり、含水率 80%程度の脱水汚泥を含水率 10%以下まで乾燥する機能と、直径数ミリ程度の粒状に造粒する機能を併せ持つ装置である。本装置の概略フローは図3に示すとおり、主に3つの機器で構成される。

①熱媒加熱装置：熱媒体である熱媒油を加熱するとともに、乾燥造粒装置の排ガスを取込み、燃焼脱臭を兼用する。

②乾燥造粒装置：間接加熱方式により脱水汚泥の乾燥および造粒を同時に行う。

③スクラバ：乾燥造粒装置排ガスの冷却除湿を行う。

なお、熱媒油加熱器に必要な燃料分を入力したエネルギーとした場合、原料の脱水汚泥の発熱量にもよるが、約 1.3 倍⁽¹⁾のエネルギーを持つバイオソリッド燃料を得ることができる。

Fig.3 Process Flow

3. バイオソリッド燃料の特長

3・1 発熱量

脱水汚泥から製造したバイオソリッド燃料の低位発熱量の分析例を表1に示す。バイオソリッド燃料は、脱水汚泥中の有機分を損なうことなく乾燥造粒することで、石炭の低位発熱量の約半分～2/3 に相当する高い発熱量を有する。

Table 1 Characteristics of Biosolid fuel

Item	Unit	Biosolid fuel A	Biosolid fuel B	Coal (for ref.)
Moisture	%	4.0	4.8	2.6
Ash	%	25.1	13.9	13.8
Volatile matter	%	60.5	74.8	28.2
Fixed carbon	%	10.4	6.5	55.4
High calorific value	MJ/kg (Dry base)	17.1	19.8	28.7
Low calorific value	MJ/kg (Dry base)	15.8	18.3	27.7

3・2 安全性

バイオソリッド燃料貯留時の安全性を検証するために、自然発火性および吸湿性の試験を実施した。自然発火性試験では初期温度 140℃、150℃とも 24 時間経過後も温度上昇はみられなかった。乾燥造粒装置で約 120℃まで加熱されたバイオソリッド燃料は、冷却機で 40℃まで急速冷却されるため、貯留時に発火する危険性は低い。また、吸湿性試験では初期含水率が約 4%のバイオソリッド燃料を温度 28℃、湿度 90%の恒温状態で 90 日間保管した結果、一般的に発酵する可能性は低いことが知られている含水率 20%以下の低水分⁽²⁾を十分に保持できた。

4. 石炭との混焼試験

4・1 試験概要

石炭火力発電所等での微粉炭ボイラにおけるバイオソリッド燃料の利用を想定し、バイオソリッド燃料と石炭の混焼試験を財団法人電力中央研究所エネルギー技術研究所の石炭燃焼試験炉（燃料投入量：約 100kg/h）にて実施した。使用した燃焼試験装置は長さ 8m、内径 1m の鋼板製横置円筒型水冷炉で、低 NOx 燃焼が行えるよう、流れ方向に二段燃焼用空気（二次空気）注入ポートが設置されている。燃焼試験は石炭に対し 5%（発熱量ベース）の割合でバイオソリッド燃料を混合した混合燃料と石炭単独の 2 ケースにて実施した。また、試験に使用したバイオソリッド燃料と石炭（豪州産）の分析結果および混合燃料の計算値を表 2 に示す。

Table 2 Results of Analysis

Item	Unit	Biosolid fuel	Coal	(Biosolid+Coal)
Moisture	%	2.1	2.6	2.6
Ash	%	33.6	13.8	15.7
Volatile matter	%	58.9	28.2	31.2
Fixed carbon	%	5.4	55.4	50.5
Carbon	%(dry base)	35.0	73.7	69.96
Hydrogen	%(dry base)	5.0	4.51	4.56
Nitrogen	%(dry base)	6.01	1.58	2.00
Oxygen	%(dry base)	18.4	5.8	7.02

4・2 試験結果

4・2・1 火炉内の温度分布

図 4 に火炉中心軸上における温度分布（二次空気注入位置：バーナ端から 2.99m）を示す。バーナ近傍では、石炭にバイオソリッド燃料を混合し燃焼した混焼時の温度が、石炭のみを燃焼した石炭専焼時に比べて低下する。これは、バイオソリッド燃料の発熱量が石炭の半分程度なので、混焼時の方が石炭専焼時よりも燃料投入量が多くなるが、A/C（一次空気量/燃料流量）は一定なので、混焼時のバーナ吹き出し流速が速くなり、酸素濃度の低下により温度が低下するものと考えられる。しかし、混焼時および石炭専焼時のいずれの場合も、最高温度が 1,400℃に達し、変化傾向もほぼ同じことから、混焼によって温度分布に大きな影響は与えないことがわかる。よってボイラ効率への影響もほとんど無いと予測される。

4・2・2 排ガス性状

バイオソリッド燃料は石炭と比較して窒素含有率が高いため、バイオソリッド燃料が NOx 濃度に与える影響を検討した。図 5 に、二次空気比（二次空気量/総空気量）を変化させたときの炉出口における NOx 濃度の測定結果を示す。二段燃焼率が 10%以上においては、混焼時の方が専焼時に比べて NOx が低下する。バイオソリッド燃料の揮発分が石炭に比べて多く、揮発分中の NOx 還元物質（アンモニア等）の放出量が多いことが考えられる。また、前述の図 4 より火炉内の温度分布において混合燃料の方が若干低い傾向にあり、サーマル NOx が低くなったことが考えられる。SOx 濃度は測定していないため、燃料中の燃焼性硫黄が全量 SO₂ に転換したものと仮定すると、石炭専焼時で 185ppm、混焼時で 271ppm と試算される。

Fig.4 Temperature at the distance from the burner.

Fig.5 Relationship between secondary air ratio and NOx concentration

5. 都市ごみ焼却炉における混焼試験

5・1 試験概要

都市ごみ焼却炉において、都市ごみに比べ高発熱量のバイオソリッド燃料を代替燃料として混焼することで次のような利点がある。

- ・地産地消
- ・全国的に利用可能な施設が増える。
- ・ボイラ発電付の場合、発電量が増える。
- ・ごみの熱量が低い焼却炉の補助燃料を低減できる。
- ・地球温暖化ガス排出量の削減に寄与する。

試験を実施した都市ごみ焼却炉は処理能力 135t/日（一炉当り）のガス化熔融炉で、バイオソリッド燃料は、都市ごみ投入量に対し 5.6～6.7%の割合で定量的に投入した。

5・2 試験結果

5・2・1 蒸気流量と発電電力量

図6に混焼試験前後の蒸気流量と発電電力量の測定値および平均値を示す。混焼試験開始後、蒸気量は 3.7～9.3%（0.7～1.7t/h）、発電電力量も 3.8～8.8%（0.21～0.48MW）増加した。混焼試験前後の入熱量を運転データより試算すると、混焼前で 8.5MJ/kg（湿ベース）、混焼中は 9.3～10MJ/kg となり、0.8～1.5MJ/kg の増加となる。バイオソリッド燃料の低位発熱量（15.7MJ/kg）より入熱量を試算した場合、0.8～1.1MJ/kg（投入割合：5.6～6.7%）の増加となり、これはほぼ運転データと一致することから、蒸気流量と発電電力量の増加はバイオソリッド燃料によるものと予測される。

5・2・2 排ガス性状

表3に混焼試験前後の NOx および SOx 濃度の測定値を示す。NOx 濃度にほとんど変動はみられないが、SOx 濃度は約 10ppm の上昇がみられた。バイオソリッド燃料中の硫黄が全量 SOx に転換した場合、約 60ppm の上昇になるが、一部が硫化物や硫酸化合物として飛灰に移行しているものと予測される。

Fig.6 Transition of steam throughput and electric power generation

Table 3 Characteristics of Flue gas with/without Biosolid fuel

Item		Municipal solid waste (without Biosolid fuel)	Municipal solid waste with Biosolid fuel
SOx (ppm)	measured value	4.5	14.1
	corrected at 12% O ₂	2.4	8.6
NOx (ppm)	measured value	207	225
	corrected at 12% O ₂	137	138
ratio of O ₂ (%)		7.4	6.3

6. 結 言

下水汚泥燃料化装置は、下水汚泥を乾燥および造粒することで、高い発熱量を有する取扱性の優れた「バイオソリッド燃料」を製造することができる。製造したバイオソリッド燃料は、石炭と混焼することで石炭の使用量を削減し、地球温暖化ガス排出量の削減に寄与することができる。バイオソリッド燃料の燃焼性について、石炭との混焼および都市ごみ焼却炉における混焼実験を実施し良好な結果が得られた。都市ごみ焼却炉を新たなバイオソリッド燃料の利用先にできれば、ほぼ全国各地にて利用先を確保でき、地産地消を確立することが可能となる。

文 献

- (1) 日立造船株式会社（技術提案者）、LOTUS Project スラッジ・ゼロ・デイスチャージ技術 下水汚泥のバイオソリッド燃料化に係る技術評価書、下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会, p. 87.
- (2) 藤田賢二, コンポスト技術－廃棄物有効利用のテクノロジー－, 技報堂出版, p. 66.