研究室規模の加圧流動層燃焼炉による 下水汚泥の排ガス特性に及ぼす圧力の影響

Effect of Operating Pressure on Flue Gas Characteristics of Sewage Sludge in a Laboratory-scale Pressurized Fluidized Bed Combustor

村上高広*・鈴木善三*

Takahiro MURAKAMI and Yoshizo SUZUKI

(Received September 18, 2009)

Annual production of sewage sludge in Japan increased to 2.17 million tons (d.b.) in 2004. About 70% of sewage sludge is incinerated. The nitrogen content of the sludge is considerably higher than that of other fuels, such as coal and wood. Thus the emissions of NO_x and N_2O are anticipated to be high. Our previous studies have been reported the proposed fluidized bed incinerator with the turbocharger (FBIT), which is a new type of incineration plant consisting of a pressurized fluidized bed combustor coupled with a turbocharger, can achieve not only energy recovery but also a low environmental impact. The objectives of this work were to clarify the effect of wide range of operating pressure on flue gas characteristics in a laboratory-scale pressurized fluidized bed combustor (PFBC). As the results, CO and NO_x emissions depend on the pressure in the combustor, and these emissions decreased with increasing operating pressure. N_2O emission was strongly depended on the freeboard temperature in the combustor.

Key Words: Sewage Sludge, Pressurized Fluidized Bed Combustor, Flue Gas Characteristics, NO_x , N_2O

1. 緒言

これまでに、下水汚泥を燃料として用い、燃焼炉を加圧流動層とし、その後段に過給機を設置して、排ガスによりそれを駆動させることで燃焼空気を生成させる過給式流動層システム¹⁾の燃焼特性について報告した¹⁾。本報では、加圧流動層燃焼炉に着目し、下水汚泥の排ガス特性に及ぼす圧力の影響について実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験装置および方法

Fig. 1 に加圧流動層燃焼システムの全体構成を示す。本システムの詳細はこれまでの報告による^{2), 3)}。バブリング流動層燃焼炉 (Fig. 2) を加圧容器 (Fig. 3) 内に設置し、コンプレッサーで製造された加圧空気を、本容器内へ所定の圧力条件になるまで供給した。流動層実験装置内の空気量を計測するために、その配管を一旦容器外に導き、マスフローメーターで計量した後、再び容器内に戻し、装置下部へ接続して供給する構造とした。運転中の温度は、熱電対により砂層内 (T_{b1} : 50 mm, T_{b2} : 300 mm) およびフリーボード (T_{fb1} : 800 mm, T_{fb2} : 1200 mm) で各 2 点測定した (括弧内の数値は分散板からの距離を示す)。燃料はモノポ

Fig. 1 Schematic diagram of a lab-scale PFBC system.

ンプにより、所定温度に到達後、装置最上部の垂直投入管より連続供給した。流動媒体には 7 号硅砂 (平均粒径: 約 0.24 mm) を使用し、静止層高で 300 mm となるように充填した。

実験方法として、燃料は実脱水汚泥を使用した。操作圧力は 0.2、0.3 および 0.6 MPa の 3 条件とした。砂層温度 1000 ~ 1200 K、流動条件は最小流動化速度の約 3 倍とした。

* (独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 クリーンガスグループ (〒 305 - 8569 茨城県つくば市小野川 16-1)
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Energy Technology Research Institute, Clean Gas Group
(16-1, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan)

Fig. 2 Schematic diagram of a bubbling fluidized bed combustor.

Fig. 3 Schematic diagram of a pressure vessel.

Table 1 De-watered sludge properties

		De-watered sludge
Proximate analysis [dry, wt%]	Moisture	78.0
	VM	13.9
	FC	1.8
	Ash	6.3
Ultimate analysis [dry, wt%]	C	29.8
	H	4.0
	N	5.0
	Comb. S	1.1
	O	21.4
Heating value (HHV) [MJ/kg] (dry)		17.1

燃焼後の排ガスは、セラミックフィルタで脱塵し大気圧まで減圧した後、ガス中の水蒸気をインピンジャーにより凝縮除去させ、 O_2 、 CO 、 CO_2 および NO は赤外線ガス分析計（IR400、横河電機株）により分析し、 N_2O はガスクロマトグラフ（G2891A, Hewlett Packard）により分析した。脱水汚泥の性状を Table 1 に示す。本表より、脱水汚泥は可燃分の約 90 wt% が揮発分であり、乾燥ペースで、灰分は約 30 wt%、窒素分は 5.0 wt% と他の燃料よりも高いことが特徴である。

3. 実験結果および考察

3.1 CO 排出特性

排ガス中の CO 濃度と O_2 濃度との関係を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 Relationship between CO emission and O_2 concentration in the flue gas.

砂層温度は 1000 ～ 1100 K で整理した。本図より、排ガス中の O_2 濃度が高いほど CO 濃度は低くなり、燃焼が進行しているといえる。また同じ O_2 濃度で比較すると、圧力の依存性が明らかである。これは、圧力が高いほど燃焼が促進されるため CO 濃度は低くなるといえる。ただし、0.6 MPa、 O_2 濃度：5% の条件でも数百 ppm の CO 濃度が生成しているが、これは本燃焼炉内のフリーボードでのガス滞留時間が短いためであるといえる。

3.2 NO_x 生成特性

排ガス中の NO_x 濃度と O_2 濃度との関係を Fig. 5 に示す。操作圧力：0.3 MPa で整理した。本図より、排ガス中の O_2 濃度が 5 ～ 7% の範囲で NO_x 濃度は最小値となり、さらに O_2 濃度が低下すると NO_x 濃度は増加した。本来 O_2 濃度が

Fig. 5 Relationship between NO_x emissions and O_2 concentration in the flue gas.

Fig. 6 Relationship between NO_x emissions in the flue gas and operating pressure.

Fig. 7 Relationship between N_2O emission and freeboard temperature.

増加するに連れて、 NO_x 濃度は増加する傾向にあるが⁴⁾⁻⁶⁾、本結果は逆の結果が得られた。さらに、石炭燃焼場での NO_x 放出濃度よりも低濃度となった⁷⁾⁻⁹⁾。汚泥中の水分はと

ても高いため、 O ラジカルや OH ラジカル濃度に影響を与え、 NO 生成反応を抑制する効果がある¹⁰⁾。さらに、加圧条件により水蒸気分圧が高くなるので、 NO_x 抑制効果も大きくなると推測できる。

排ガス中の NO_x 濃度と圧力との関係を Fig. 6 に示す。本図より、圧力の依存性が明らかであり、圧力が高くなるに連れて、 NO_x 濃度は低くなっている。これは石炭燃焼の場合と同じである¹¹⁾。石炭燃焼では、層内でチャーによる NO の還元効果があり、流動層内の圧力の個数密度が、圧力が高くなるに連れて増大するためであると考えられる。本研究で使用した揮発分の燃焼が主体である脱水汚泥の燃焼においても、高水蒸気濃度による抑制効果に加え、このような加圧の効果があるといえる。

3.3 N_2O 生成特性

排ガス中の N_2O 濃度とフリーボード温度との関係を Fig. 7 に示す。本実験は、炉内の温度を電気炉により制御したため、圧力条件が異なってもフリーボード温度の分布はほぼ同等となるように制御した。本図より、 NO_x - N_2O のトレードオフの関係より、圧力が高くなるに連れて、 N_2O 濃度は高くなる傾向にあるが、フリーボード温度に強い依存性を示した。フリーボード温度が高くなるに連れて、 N_2O 濃度は低くなっている。したがって、脱水汚泥の燃焼では、燃焼炉内のフリーボード温度で排ガス中の N_2O 濃度を整理できるといえる^{12), 13)}。

今後、 N 分の素反応モデルを組み込んだシミュレーションを実施することにより、 NO_x および N_2O 排出特性における圧力の影響を理論的に明らかにし、実験結果と比較・考察する。

4. 結 論

研究室規模の加圧流動層燃焼炉により、下水汚泥の排ガス特性における圧力の影響を明らかにした。得られた結果を以下に示す。

- 1) 排ガス中の CO および NO_x 濃度は、圧力の依存性が明らかであり、同じ O_2 濃度では、圧力が高いほどそれらの濃度は低くなった。
- 2) 排ガス中の N_2O 濃度は、燃焼炉内のフリーボード温度分布が同等であれば、圧力が高くなるに連れて増加する傾向にあるが、フリーボード温度に強い依存性を示す。

謝 辞

本研究は、月島機械株式会社および三機工業株式会社との共同研究において実施した成果の一部である。ここに記して、謝意を表する。

引用文献

- 1) 村上高広、鈴木善三、長沢英和、山本隆文、小関多賀美、廣瀬均、

- 岡本誠一郎：高温学会誌、35 (2009) 81-84.
- 2) 村上高広、鈴木善三、長沢英和、山本隆文、小関多賀美、廣瀬均、落修一：高温学会誌、34 (2008) 166-170.
- 3) T. Murakami, S. Suzuki, H. Nagasawa, T. Yamamoto, T. Koseki, H. Hirose and S. Ochi : 3rd Intl. Symp. on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Taiwan (2008), paper number C3-4-57.
- 4) M. Sanger, J. Werther and T. Ogada : Fuel 80 (2002) 167-177.
- 5) J. R. Pels, M. A. Wojtowicz, F. Kapteijn and J. A. Moulijn : Energy & Fuels 9 (1995) 743-752.
- 6) B. Leckner : Prog. Energy Combust. Sci. 24 (1998) 31-61.
- 7) B. Leckner, L. E. Amand, K. Lucke and J. Werther : Fuel 83 (2004) 477-486.
- 8) K. Svoboda and M. Pohorely : Fuel 83 (2004) 1095-1103.
- 9) A. T. Atimtay and B. Kaynak : Fuel Proc. Tech. 89 (2008) 183-197.
- 10) M. Shoji, T. Yamamoto, S. Tanno, H. Aoki and T. Miura : Energy 30 (2005) 337-345.
- 11) 鈴木善三、幡野博之、守富寛：日本エネルギー学会誌、84 (2005) 773-779.
- 12) T. Murakami, S. Suzuki, H. Nagasawa, T. Yamamoto, T. Koseki, H. Hirose and S. Okamoto : Fuel Proc. Tech. 90 (2009) 778-783.
- 13) T. Murakami, A. Kitajima, S. Suzuki, H. Nagasawa, T. Yamamoto, T. Koseki, H. Hirose and S. Okamoto : 20th Intl. Conf. on Fluidized Bed Combustion 2 (2009) 877-882.