

下水汚泥焼却炉における二段燃焼制御の適用事例

Similar case of the 2-stage combustion control in Sewage Sludge Incinerator

嶋田 治* 、 OSAMU SHIMADA*	伊藤泰弘* 、 YASUHIRO ITO*	村上佳史** 、 YOSHIFUMI MURAKAMI**	西口力哉** 、 RIKIYA NISHIGUCHI**
烏山 勝*** 、 MASARU KARASUYAMA***	宮本博司****、 HIROSHI MIYAMOTO****	和泉一也****、 KAZUYA IZUMI****	
久野貴洋****、 ATSUHIRO KUNO****	林田敏卓****、 TOSHITAKA HAYASHIDA****	○鳥居寛章****、 HIROAKI TORII****	

* (財)神戸市下水道公社 向洋管理事務所 / 〒658-0031 神戸市東灘区向洋町東2-1-1
Koyo Management Office, Kobe City Sewage Corporation /

2-1-1, Koyo-cho-higashi, Higashinada-ku, Kobe, Hyogo 658-0031, Japan

** 横河電機株式会社 / 〒564-0063 吹田市江坂町1-23-101

Yokogawa Electric Corporation / 1-23-101, Esaka-cho, Suita, Osaka 564-0063, Japan

*** テクノシステム九州株式会社 / 〒806-0046 北九州市八幡西区森下町 26-30

Techno Systems Kyushu Corporation / 26-30, Morishita-cho, Yawatanishi-ku,
Kitakyushu, Fukuoka 806-0046, Japan

**** (株)神戸製鋼所 / 〒657-0845 神戸市灘区岩屋中町 4-2-15

Kobe Steel Ltd. / 4-2-15, Iwaya-nakamachi, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-0845, Japan

Abstract

Fluidized-bed incinerators are widely used for sewage sludge incineration in Japan.

We additionally equipped existing fluidized-bed sewage sludge incineration facility with a 2-stage combustion system. After this reconstruction, secondary air which is a part of the preheated combustion air can be fed into the freeboard space. As a result of the 2-stage combustion experiment, we confirmed that CO concentration and NO_x concentration in the flue gas were reduced compared with the previous incineration facility.

We will report the control method of the furnace temperature using a 2-stage combustion and the relationship between air pollutants in the flue gas and the furnace temperature.

Key words: sewage sludge, 2-stage combustion, fluidized-bed

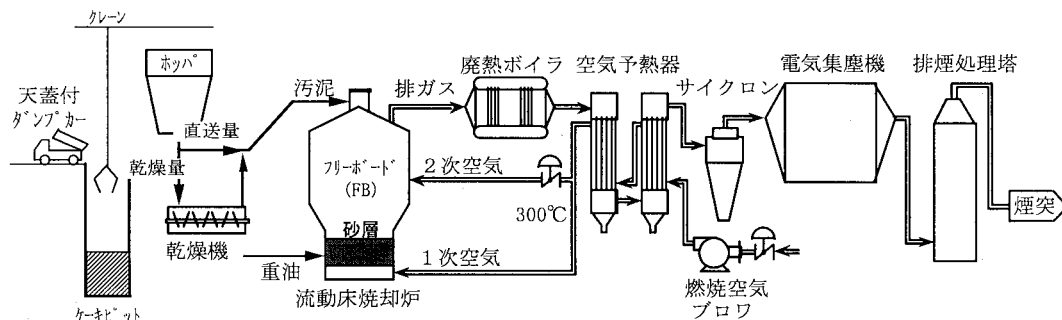


図 1 東部スラッジセンターフローシート

1. はじめに

神戸市では、市内各下水処理場で発生した汚泥は、減量化および安定化を目的として、東部スラッジセンター（以下では TSC と呼ぶ）において集中焼却処理を行っている。TSC では、乾燥機付きの流動床焼却炉を 3 基保有しており、脱水ケーキ処理量は 1 日あたり 180～230 t 程度である。筆者らは、二段燃焼方式を用いて炉内温度制御を実運転に適用し、良好な運転結果を得たので報告する。

2. 設備概要

TSC の概略フローを図 1 に示す。汚泥は、市内の 7 箇所の下水处理場から密閉構造（天蓋付）のダンプカーでほぼ毎日搬入され、ケーキピットに一旦貯留される。ケーキピットからクレーンで取り出された汚泥は、ホッパに入れられ、直接焼却炉に投入される汚泥と乾燥機に投入される汚泥に分けられた後、再び混合されて焼却炉に投入される。

ダンプカーで搬入される汚泥の含水率は、各処理場により異なるが、80%程度である。乾燥機に投入された汚泥の含水率は 40%程度まで乾燥されるため、最終的に焼却炉に供給される汚泥の平均含水率は 70%程度となる。

直接焼却炉に投入される汚泥の量（以下では直送量と呼ぶ）と乾燥機で処理された後に焼却炉に投入される汚泥の量（以下では乾燥量と呼ぶ）の投入重量の比率（以下では直乾比と呼ぶ）を適切に調整することにより、補助燃料をほとんど使用しないで焼却炉を運転することが可能であり、補助燃料の使用コストを削減するための重要な要素となっている。

汚泥は流動床焼却炉において 850℃程度の高温で焼却される。焼却後の排ガスからは廃熱ボイラーと空気予熱器を用いて十分な熱回収を行い 250～280℃まで冷却される。また排ガスはサイクロンと電気集塵機でダストが捕集されたのち、排煙処理塔で SO_x、HCl 等の酸性ガスが除去され、煙突より排出される。

3. 二段燃焼実験の結果と実炉の特徴

二段燃焼とは、図 1 に示すように約 300℃に予熱した流動空気を分岐して焼却炉に供給する方法である。

なお、筆者らの実験によりすでに次のことが確認されている。¹⁾

- ①砂層に供給する流動空気（以下では一次空気と呼ぶ）を減らすことで砂層での燃焼割合を抑え、フリーボード部に分岐して吹き込む流動空気（以下では二次空気と呼ぶ）を増やして炉内での燃焼割合を高めることで、補助燃料を増加させることなくフリーボードを高温化し、有害物質の分解を促進できる。
- ②二次空気に常温ではなく予熱した空気を用いることによって、炉内の温度低下を防ぐとともに、空気の膨張によって吹き込み流速を上昇させ、炉内のガス混合性を向上させ、より一層の燃焼促進を図ることができる。
- ③総燃焼空気比 1.3 のもとで二段燃焼を行い、一次空気比を減少させてゆくと砂層の温度が低下し、砂層で発生した未燃分がフリーボードでの二次空気の吹き込みによって炉内で燃焼する。

図 2 は、一次空気比と炉内温度の関係を示したものである。この図より、砂層温度は、一次空気比によって制御できることがわかる。

また、図3は、一次空気比とCO濃度の関係を示したものである。この図より、CO濃度は、一次空気比と二次空気比が、1.1対0.2付近でもっとも低くなることがわかる。

④砂層温度とCO濃度、およびNOx濃度の関係を図4、図5に示す。砂層温度が約750℃以下となるとCO濃度は上昇する。また、砂層温度が約800℃以上となるとNOx濃度は急激に上昇する。すなわち、砂層温度を760℃～790℃の間で制御すれば良好な排ガス性状が得られる。

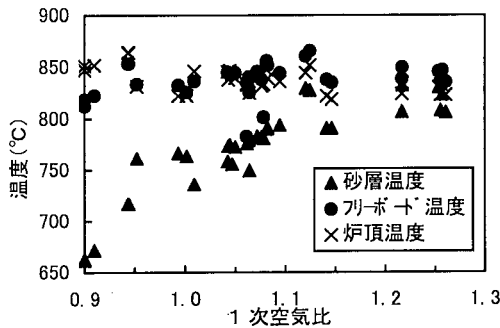


図2 1次空気比と炉内温度の関係

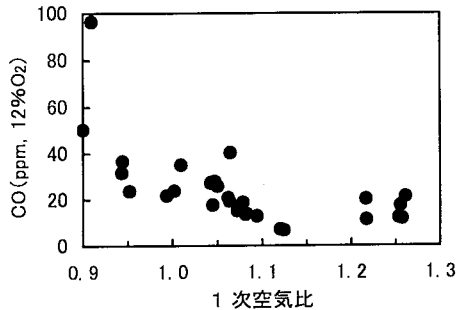


図3 1次空気比とCO濃度の関係

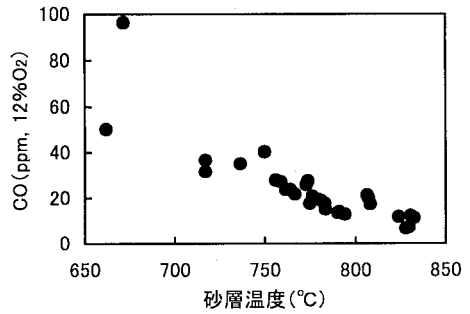


図4 砂層温度とCO濃度の関係

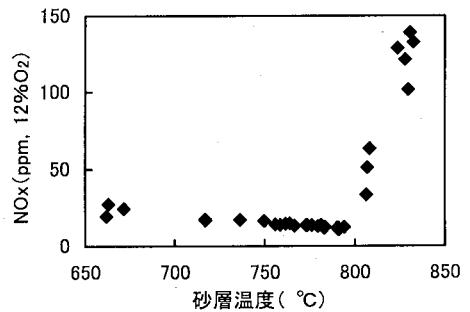


図5 砂層温度とNOx濃度の関係

4. 実炉に適用した二段燃焼制御

実炉に適用している二段燃焼制御フローを図6に示す。二段燃焼制御は次の3つのPID制御で構成される。

- ① 燃焼空気流量制御
- ② 補助燃料制御
- ③ 二次空気流量制御

4.1 燃焼空気流量制御

炉内の燃焼空気比が常に1.3程度に保たれるように、炉出口の酸素濃度が湿ベースで3%程度となるように、燃焼空気調節弁を制御している。また、補助燃料が炉内に急激に投入されたときに炉出口の酸素濃度による制御が間に合わず、不完全燃焼を起こして、排ガス中のCO濃度が高くなるのを防ぐために、補助燃料調節弁へのMV値の時間的変化量(増加のみ)も燃焼空気調節弁の制御の補正值として加えている。

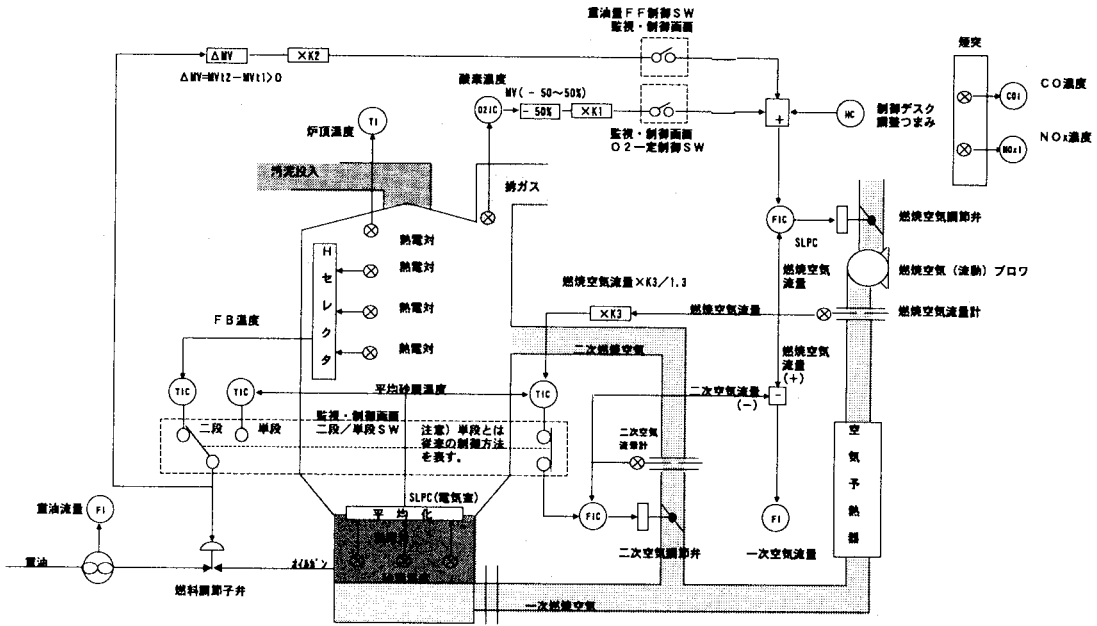


図6 東部スラッジセンター二段燃焼制御フロー

4.2 補助燃料制御

TSC では、重油を補助燃料として用いている。補助燃料調節弁を温度により PID 制御しており、設定された温度よりも低い場合に重油が供給されるようになっている。なお、温度制御には次の 2 種類の温度を切替選択して用いている。

(1) 平均砂層温度による制御 (従来法)

従来より既設の焼却炉の補助燃料調節弁の制御に用いられていた方法であり、3 個所の砂層温度の平均値を用いて制御する方法である。

(2) フリーボード温度による制御

炉の高さ方向に 3 個所設置されているフリーボード温度温度計のうち一番温度が高いものを用いて制御する方法である。

4.3 二次空気流量制御

二次空気流量は調節弁によって制御されるが、流量制御と温度制御の 2 種類があり、切替選択して用いている。

(1) 流量一定制御

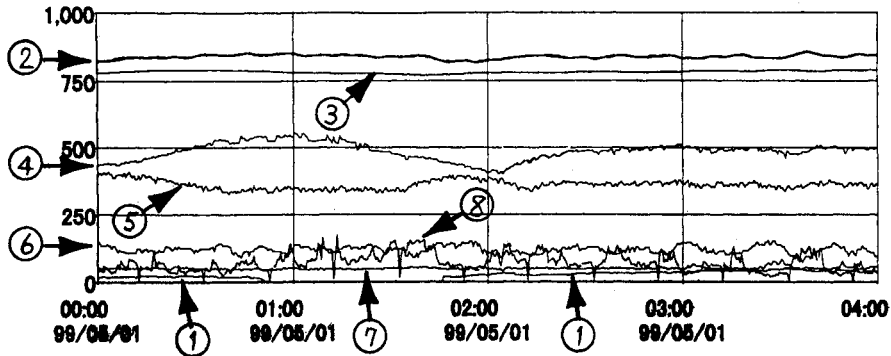
筆者らの実験により、一次空気比と二次空気比が、1.1 対 0.2 付近で CO 濃度が低くなることを、前節で述べたが、二次空気比を設定して、一次空気比と二次空気比が常に一定に保たれるように、二次空気調節弁の流量制御を行う方法である。

このとき、二次空気流量の設定値は次式で決定する。

$$\begin{aligned} & \text{二次空気流量設定値} \\ & = \text{燃焼空気実流量} \times \text{設定二次空気比} / 1.3 \dots (1) \end{aligned}$$

(2) 温度制御

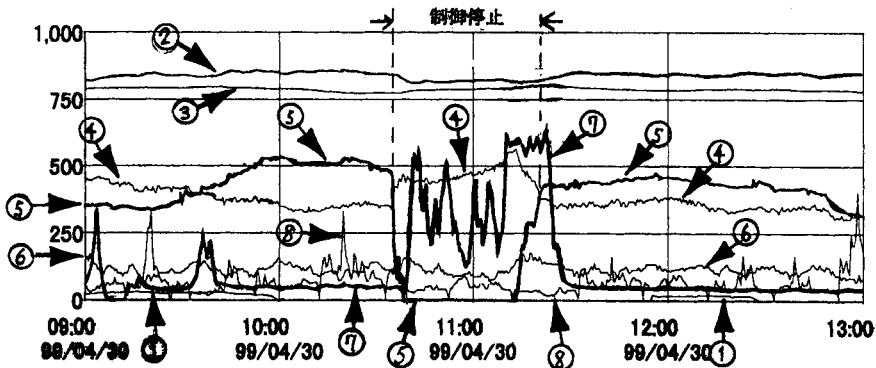
砂層部の水平方向に 3 個所取り付けられた砂層温度の平均値により二次空気流量をカスケード制御する方法である。平均砂層温度が設定値よりも高い場合は、二次空気流量を増加させるように二次空気流量調節弁を開動作させ砂層での燃焼割合を下げる。平均砂層温度が設定値よりも低い場合は、二次空気流量を減少させるように二次空気流量調節弁を開動作させ砂層での燃焼割合を高めるように制御する。



番号	名称	単位	図7の縦軸目盛 0~1000を次のように表示する。	データ取得時間(4時間)		
				平均値	最大値	最小値
①	補助燃料使用量	リッター/h	0~800	17.3	37.3	0.0
②	フリーボート温度	℃	0~1000	853	861	847
③	砂層温度	℃	0~1000	782	790	769
④	一次空気流量	Nm ³ /h	0~15000	5,439	6,149	4,923
⑤	二次空気流量	Nm ³ /h	0~4000	1,949	2,218	1,610
⑥	炉出口酸素濃度	% 湿ベース	0~25	3.00	3.80	1.80
⑦	NOx 濃度	ppm 12%O ₂ Base	0~200	11.00	16.00	8.80
⑧	CO 濃度	ppm 12%O ₂ Base	0~200	18.40	27.80	0.40

汚泥投入条件 直送量:4.0t/h、乾燥量:3.5t/h 汚泥処理量 180t/day
(定格200t/dayに対し、約90%の負荷運転である。)

図7 低負荷時における二段燃焼制御を用いた焼却炉運転結果



番号	名称	単位	図8の縦軸目盛 0~1000を次のように表示する。	データ取得時間(4時間)		
				平均値	最大値	最小値
①	補助燃料使用量	リッター/h	0~800	6.1	22.4	0.0
②	フリーボート温度	℃	0~1000	839	860	812
③	砂層温度	℃	0~1000	787	800	772
④	一次空気流量	Nm ³ /h	0~15000	5,785	8,474	4,545
⑤	二次空気流量	Nm ³ /h	0~4000	1,442	2,139	12
⑥	炉出口酸素濃度	% 湿ベース	0~25	2.90	4.40	1.60
⑦	NOx 濃度	ppm 12%O ₂ Base	0~200	27.90	132.00	0.30
⑧	CO 濃度	ppm 12%O ₂ Base	0~200	16.70	101.10	0.60

汚泥投入条件 直送量:3.8t/h、乾燥量:3.5t/h 汚泥処理量 175t/day
(定格200t/dayに対し、約88%の負荷運転である。)

図8 二段燃焼制御に外乱を与えた場合の排ガス性状

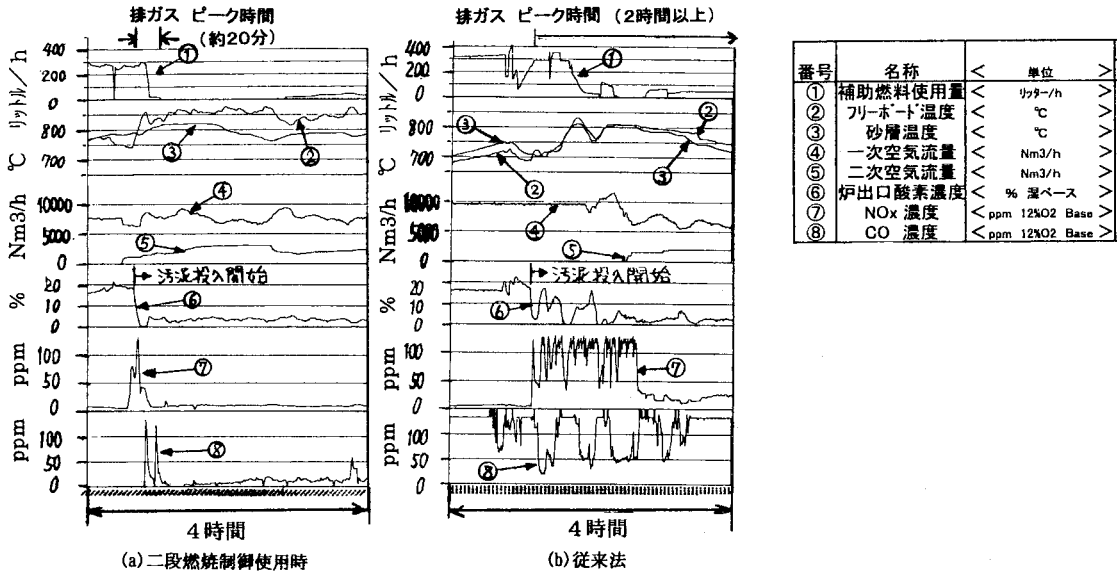


図9 焼却炉昇温後の汚泥投入前後における二段燃焼制御の効果

5. 運転結果

TSC における運転結果を次の 3 つの場合について示す。

- ① 低負荷時において二段燃焼制御を用いた場合
- ② 二段燃焼制御に外乱を与えた場合の排ガス性状
- ③ 汚泥の投入開始時における二段燃焼制御の効果

5.1 低負荷時において二段燃焼制御を用いた場合

図 7 に低負荷時における二段燃焼制御を用いた焼却炉の運転結果を示す。汚泥の直送量と乾燥量が適切に調節されているため、補助燃料をほとんど使用せずに運転されている。なお汚泥の投入量は、定格に対して約 90% の低負荷運転であるが、炉内温度の変動も少なく、排ガス性状も良好な状態で安定運転されている。このときの CO 濃度は平均 18.4ppm (12% O₂ 換算、従来は 30~40ppm 程度)、NOx 濃度は平均 10.1ppm (12% O₂ 換算、従来は 20~30ppm 程度) であった。

5.2 二段燃焼制御に外乱を与えた場合の排ガス性状

図 8 は、低負荷時において二段燃焼制御を用いた運転中に強制的に二段燃焼制御を一旦停止した後に再び二段燃焼制御を開始した場合の運転結果を示したものである。

二段燃焼制御停止中の二次空気流量は、ほぼ 0 Nm³/h であり、炉内での燃焼割合が下がるため、フリーボード温度が約 810℃まで低下し、砂層温度が約 800℃まで上昇する。その結果、NOx 濃度が急激に高くなっているのがわかる。二段燃焼制御を再び開始した後は、フリーボード温度が再び上昇し、砂層温度が低下するため、Nox

濃度は低くなり良好な値を示すようになった。

5.3 汚泥の投入開始時における二段燃焼制御の効果

図 9 (a) は、焼却炉昇温後に二段燃焼制御開始後に汚泥を投入した場合の運転結果を示したものであり、(b) は、二段燃焼制御を用いずに従来の運転方法で汚泥を投入した場合の運転結果を示したものである。CO 濃度および NOx 濃度のピークが発生する時間は、二段燃焼制御を汚泥投入前に開始するほうが 20 分程度と短く、従来法では、2 時間以上と長く続くことがわかる。

6. まとめ

実炉において下水汚泥の二段燃焼制御を適用した結果、以下のことが明らかとなった。

直乾比を変更して補助燃料をほとんど使用しないで運転する場合に二段燃焼は有効である。また、二段燃焼を行うことによって CO、NOx の低減が可能である。

汚泥の性状の変動が比較的少ない東部スラッジセンターでは、二段燃焼制御として、フリーボード温度で補助燃料を、砂層温度で 1 次・2 次空気比を制御することにより、フリーボード温度、砂層温度とも安定に設定値を維持することが可能である。

参考文献

1) 嶋田・ほか3名: 下水汚泥焼却炉における2段燃焼制御、学会誌 EICA, Vol.3 No.2, 7-10 (1998)