

〈研究発表〉

焼却4号炉ファジィ制御の検証

小平浩二^{1)*}, 一ノ間哲郎¹⁾, 小林宏行¹⁾, 遠藤和広²⁾

¹⁾ 東京都下水道サービス(株) 葛西事業所 (〒134-0086 江戸川区臨海町1-1-1 *E-mail: koji-kohira@tgs-sw.co.jp)

²⁾ 東京都下水道サービス(株) 施設管理課 (〒100-0004 千代田区大手町2-6-2 日本ビル3階)

概要

東京都下水道局では、温室効果ガス排出削減対策及び省エネルギー対策として、平成23年度改良工事で焼却4号炉のファジィ制御化を行い、平成24年4月から運用することとなった。

ファジィ制御では、設定した砂層温度及びフリーボード温度をある範囲内に保つよう都市ガス量、流動空気温度及び流動空気量をあらかじめ決められたルールのもとに変化させ、適正な空気比による効率的な燃焼と最小限の補助燃料での炉内温度の維持を行い、低CO₂排出と省エネルギーを図るものである。

キーワード：砂層温度，フリーボード温度，都市ガス量，流動空気温度，流動空気量

1. はじめに

東京都下水道局は、CO₂やN₂Oなどの温室効果ガス排出削減及び省エネルギー対策として、葛西水再生センター汚泥焼却炉4号のファジィ制御化を行った。本調査は、ファジィ制御について運転状況やその効果を調査するとともに、課題について整理したものである。

2. 概要

ファジィ制御は、最適な空気比による効率的な燃焼と最小限の補助燃料での炉内温度の維持を行い、省エネルギーと低CO₂排出を図る制御である。

従来の焼却炉内温度制御は、フリーボード温度（以下、「FB温度」という）又は砂層温度（以下、「SB温度」という）をもとに補助燃料供給量又は流動空気温度を操作していた。

一方、ファジィ制御は、FB温度とSB温度の両方に基づいて、助燃時は補助燃料供給量及び流動空気量、自燃時は流動空気温度及び流動空気量を同時に操作する。さらに排ガスのO₂濃度を検出して流動空気量を補正し、空気比を常に適正に保つ機能を持つ。

Table 1 にFB温度制御とファジィ制御の制御端・操作端を示す。なお、葛西水再生センターで従来使用されていた焼却炉内温度制御はFB温度制御である。

Table1: Controlled object and operational object of free board temperature control and fuzzy control

		FB温度制御	ファジィ制御
制御端(SV)		FB温度	SB温度 FB温度 O ₂ 濃度
操作端(MV)	助燃	補助燃料供給量	補助燃料供給量 +流動空気量
	自燃	流動空気温度	流動空気温度 +流動空気量
流動空気量(Nm ³ /h)		17,500 (固定)	16,000~19,000 (可変)

3. 調査概要

3.1 調査対象と汚泥性状

本調査の対象と、その仕様及び処理している汚泥の性状を**Table 2**に示す。

Table2: The subject of research and the properties of sludge

対 象	葛西水再生センター汚泥焼却炉4号	
形 式	流動層型	
処理能力	300 wet- t /day	
補助燃料	都市ガス (13A)	
汚泥性状 (年平均値)	含水率	77.5%
	固形分	22.5%
	可燃分	81.0%
	灰 分	19.0%
	発熱量 (低位)	600J/g 程度

3.2 システムフロー

汚泥焼却炉4号のファジィ制御システムフローをFig.1に示す。

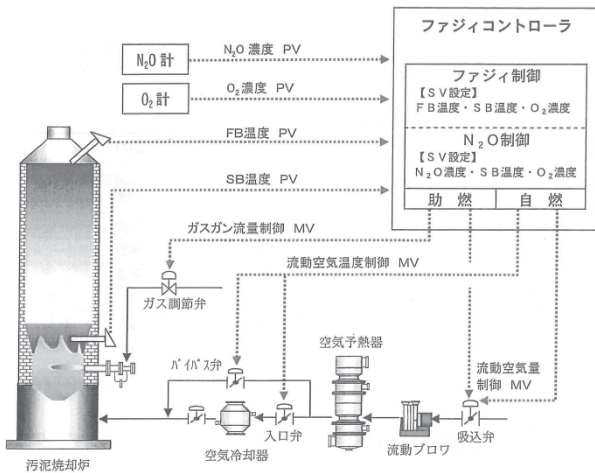


Fig.1: Fuzzy control system flow of the sludge incinerator (Source: "Fuzzy control unit instruction manual")

3.3 調査期間

平成24年3月14日～平成24年12月13日

調査期間は、焼却炉4号の整備点検終了後のケーキ投入開始日から次の整備点検のための運転停止日までである。この間には、短時間のケーキ投入停止の期間が含まれる。

Fig.2及びTable3に、平成24年3月14日から12月13日の焼却炉4号の運転状況を示す。Fig.2及びTable3での「停止」はケーキ投入をしていない日、「運転 (FB温度制御)」及び「運転 (ファジィ制御)」は、それぞれの制御でケーキ投入運転をしていた日を示している。

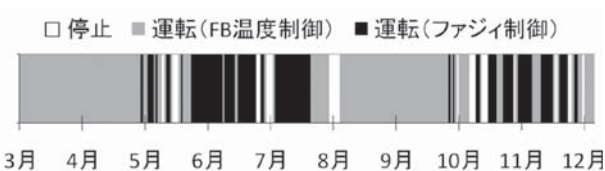


Fig.2: Operation state diagram of the sludge incinerator (2012)

Table3: The operation days of the sludge incinerator

停止	44
運転 (FB 温度制御)	143
運転 (ファジィ制御)	88

3.4 調査方法

汚泥焼却炉4号をファジィ制御で運転し、脱水ケーキの焼却処理を行った。その間に監視制御設備に自動的に蓄積される帳票データ等から運転状況等について調査した。

3.5 調査内容

- (1) ファジィ制御での運転時のエネルギー消費状況と排ガス状況を帳票データにより検証した。
- (2) 脱水ケーキ投入量及び含水率の変動に対するファジィ制御の応答状況を帳票データにより検証した。
- (3) 炉内硅砂抜き出し時等に炉内のクリンカ発生状況を調べ、流動状況等の確認を行った。

4. ファジィ制御の運用状況

平成24年度工事にて導入

平成24年5月11日 運用開始

平成24年8月02日 ファジィ制御の制御装置にて制御状態が助燃と自燃の両方に認識される現象が発生したため、ファジィ制御の運転を休止してプログラムの修正を行った。その後、助燃と自燃の両方の状態と認識される現象は修正されたが、新たに助燃と自燃どちらでもない状態があることが判明した。この現象の対応を検討するため、ファジィ制御の運転休止を継続した。

平成24年10月 助燃状態では制御の問題が発生しないことから、修正されるまでの当面の措置としてファジィ制御の運転を再開した。

平成24年10月25日 プログラムの修正を再度行い、運転を行った。

5. 調査結果

5.1 流動空気量の推移

調査期間内の流動空気量の推移をFig.3に示す。

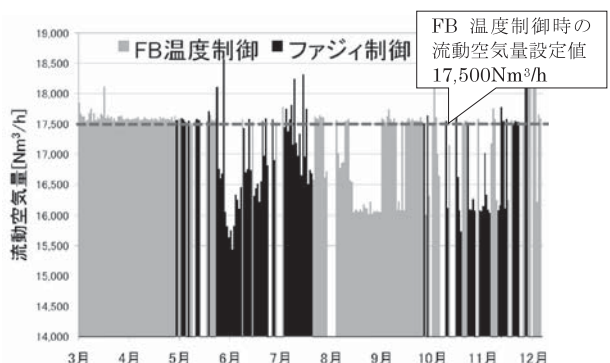


Fig.3: Change of the quantity of flow air (from March 14, 2012 to December 13, 2012)

Fig. 3 から、流動空気量がFB 温度制御期間中は設定値である $17,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ であり、ファジィ制御期間中はほぼ常時 $17,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ を下回っていたことが分かる。流動空気量の平均値はFB 温度制御期間中が $17,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 、ファジィ制御期間中は $16,284 \text{ Nm}^3/\text{h}$ であった。これらのことから本調査期間におけるファジィ制御は、流動空気量を減少させる操作を主に行っていたと言える。

なお、Fig. 3 中の8月末から9月初旬にかけて流動空気量が $16,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 程度に減少している。これは、プレナム室圧力と、流動空気予熱器入口空気圧力の上昇が見られたため、機器の保護措置として流動空気量の設定値を下げていたためである。その後、硅砂の抜き出しを行い、プレナム室圧力と、流動空気予熱器入口空気圧力の低下を確認したため、流動空気量の設定値を通常の $17,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ に戻している。

ファジィ制御では、炉内状況によっては流動空気量が $17,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ よりも増加する場合もあるが、本調査期間内ではそのような状況は発生しなかった。

5.2 FB 温度制御とファジィ制御とのエネルギー消費状況の比較

調査期間内において比較的長期にわたり連続してファジィ制御運転を行っていた7月14日から7月30日の期間と、連続してFB 温度制御運転を行っていた7月31日から8月8日の期間における、電力量原単位、都市ガス量原単位を比較した。その結果を Fig. 4 に示す。

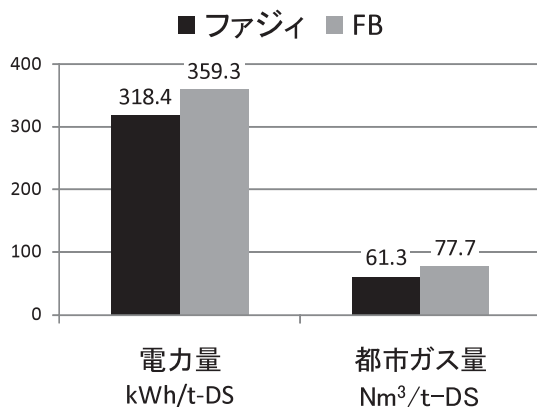


Fig.4: Comparison of energy consumption situation between free board temperature control and the fuzzy control

Fig. 4 から、電力量は 11.3% 減少、都市ガス量は 21.1% 減少し、ファジィ制御による効果が確認できた。

ファジィ制御では、炉内状況によって、流動空気量がFB 温度制御を行う場合よりも増加する状況もある。

しかし、本調査期間内ではそのような状況は発生しなかった。そのため、ファジィ制御で流動空気量が増加する状況について効果や影響等の検証はできなかった。

5.3 排ガス状況

FB 温度制御運転中とファジィ制御運転中との、排煙処理塔入口 CO 、 O_2 濃度、煙突入口 SO_x 、 NO_x 、 HCl 濃度を Table 4 に示す。

Table4: Comparison of exhaust gas in each controlled period of time

項目	排ガスの単位	FB温度制御期間	ファジィ制御期間
排煙処理塔入口 CO 濃度	ppm	8.9	7.1
排煙処理塔入口 O_2 濃度	%	9.4	8.1
煙突入口 SO_x 濃度	ppm	0.9	1.6
煙突入口 NO_x 濃度	ppm	7.9	5.4
煙突入口 HCl 濃度	ppm	0	0

Table 4 から、排ガス性状に大きな違いは見られない。ファジィ制御による排ガスへの影響はないと言える。

5.4 ファジィ制御の応答状況

(1) 脱水ケーキ投入量変動時

ファジィ制御で運転中であった7月26日、脱水ケーキ投入量を 15:20 に 12.5 t/h から 10.0 t/h へと変更し、同日 22:20 に再び 12.5 t/h へと戻した。その前後の時間である7月26日 10:00 から7月27日 1:00 までの炉内状況を Fig. 5 に示す。

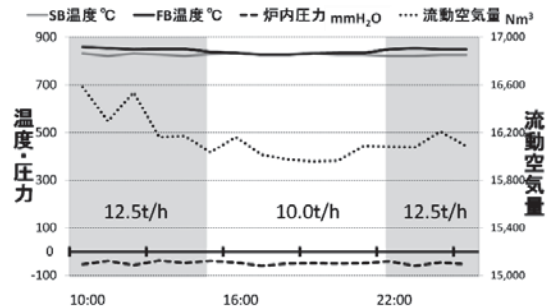


Fig.5: The state in the incinerator at the time of the input change

Fig. 5 から、炉内温度、炉内圧力に特に大きな変動は見られず、投入量の変化に問題なく追従していることが確認できる。

(2) 含水率変動時

ファジィ制御で運転中であった7月19日の9:00 から7月20日の9:00 にかけて、脱水ケーキの含水率が時間経過とともに 75.9% から 82.7%、78.8% と変化した。その前後の時間である7月19日の1:00 から7月20日の17:00 までの炉内の状況を Fig. 6 に示す。この間の投入量は 12.5 t/h で一定であった。

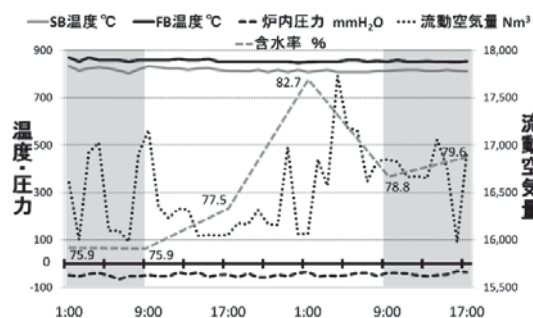


Fig.6: The state in the incinerator at the time of the water content change

Fig. 6 から、炉内温度、炉内圧力に特に大きな変動は見られず、含水率の変動に問題なく追従していることが確認できる。

5.5 クリンカの発生状況

炉内のクリンカ等の発生状況について、焼却炉4号が整備点検期間に入り炉内硅砂を抜き出した際に確認した。

クリンカは炉内硅砂中に数十個程度、量として数リットル程度混入していることが確認されたが、従来の運転時の生成量に比べて特段の変化は見受けられなかった。

クリンカの発生量に変化がなかった一方、炉内に大量の未燃物が残留している状況が確認された。その状況を Photo. 1 に示す。

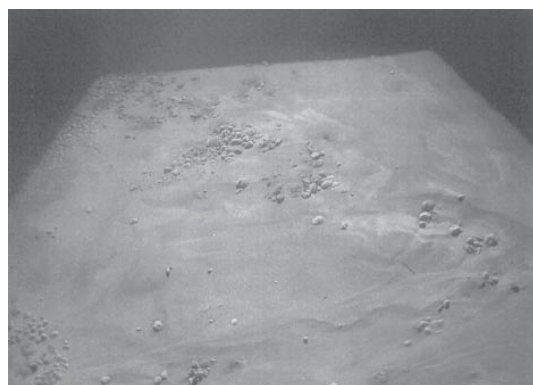


Photo.1: The residual state of unburned matter

Photo. 1 は焼却炉整備点検のため硅砂を 2/3 程度抜き出したときに、炉点検窓から撮影した写真である。硅砂の中に石のように見える物が未燃物である。未燃物の写真を Photo. 2 に示す。

抜き出した硅砂をふるい分けして未燃物を分離し計量したところ、未燃物の総量は約 300 kg に達した。

この未燃物は、焼却炉の停止時に、点検窓から炉内を確認した際には視認することが出来ず、点検時に硅砂を 2/3 程度抜き出した際に、発見した。このことか



Photo.2: Unburned matter

ら、未燃物は、砂層内に沈降していたものと推察される。

6. ファジィ制御の課題

焼却炉をファジィ制御で運転したところ、炉内に大量の未燃物が発生した。今後の運転で、この未燃物への対応を考慮した運転を行わなければならない。

- ① 未燃物の生成をさせない
- ② 未燃物が生成した場合、完全燃焼させる
- ③ ファジィ制御の連続運転時の未燃物の炉外への排出方法

などが課題となる。

7. ま と め

ファジィ制御運転と FB 温度制御運転とを比較した結果、以下のことが確認できた。

- ① ファジィ制御では、焼却電力量、都市ガス使用量が減少した。
- ② 排ガス性状に大きな違いは見られず、ファジィ制御は排ガス性状に影響を与えなかった。
- ③ ファジィ制御運転中にケーキ投入量、含水率が変化した場合の炉の状況を検証したところ、ファジィ制御はケーキ投入量、含水率の変動時にも問題なく追従し、安定運転ができた。
- ④ ファジィ制御運転を行ってもクリンカ発生量に変化はなかった。

以上の結果から、ファジィ制御による運転は、概ね良好であることが判った。

しかし、今年度の運転では、流動空気量が増加する状況は発生しなかったため、その効果や影響等については検証できていない。

また、未燃物が堆積する現象は、原因の解明がされていない。今後の運転では、原因を解明するとともに、未燃物の堆積に対する考慮した運転を行う必要がある。