

ストーカ炉における排ガス 再循環シミュレーション

Simulation Analysis on Flue Gas Recirculation in Grate Incinerator



技術本部操業技術部施設管理室
伊 藤 正
Tadashi Ito

(株)神戸製鋼所 技術開発本部
機械研究所流熱技術研究室
多 田 俊 哉
Toshiya Tada

当社は、2000年6月に下関市よりストーカ式都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、順調に運転を継続している。本施設は高温燃焼・高効率熱回収に加えて、焼却灰、飛灰の熔融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであるが、さらなる総空気比の低減をめざして、汎用熱流体解析プログラムをもちいたシミュレーション解析により、排ガス再循環をおこなった場合の効果について評価した。その結果、排ガスを再循環することによって、大気中に放出される排ガス流量およびNO_x濃度の双方の低減を達成できることが予想された。

The plant in Shimonoseki City is composed of a grate incinerator featuring high-temperature incineration with air ratio of 1.6, a high-efficiency heat recovery process, and an ash melting process. The effect of flue gas recirculation has been evaluated aiming at the reduction of a further total air ratio by the simulation analysis using a 3D CFD code. The analysis results show that both the reduction of the NO_x density and flue gas will be achieved.

Key Words :

都 市 ご み
ストーカ式焼却炉
低 空 気 比
排 ガ ス 再 循 環
シミュレーション解析

Municipal solid waste
Grate incinerator
Low air ratio
Flue gas recirculation
Simulation analysis

ま え が き

当社は、2000年6月に下関市よりストーカ式都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、順調に運転を継続している。本施設は高温燃焼・高度排ガス処理に加えて、焼却灰、飛灰の熔融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであるが、さらなる環境負荷の低減をめざして2004年11月より総空気比1.4における低空気比燃焼運転をおこなっている。

さらに総空気比を低減し、総空気比1.3以下を達成するためには、炉内温度の局所高温化にともなうクリンカの付着・成長やNO_x発生量の増加といっ

た課題を解決する必要があるが、その対応策としては炉内に燃焼排ガスの一部を導入・再循環する方法があげられる。本報では汎用熱流体解析プログラムをもちいた数値解析により、ストーカ炉において排ガス再循環をおこなった場合の効果について評価した結果について報告する。

1. ストーカ炉概要

当社ストーカ炉の模式構造図を図1に示す。炉の火格子は対向摺動式と並行摺動式を組合わせたコンバインドストーカ、主燃焼室は全メンブレンボイラ壁構造としている。また、二次燃焼室は炉中央部に位置する直交流型で、一次燃焼室出口に絞り部を設

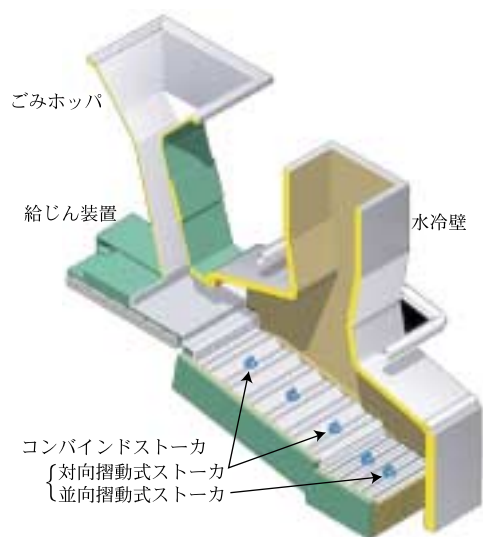


図1 模式構造図

表1 計算条件

3 成 分		
水 分	%	42.5
可 燃 分	%	50.4
灰 分	%	7.1
低位発熱量	kJ/kg	9 712
可燃物中の元素割合		
C	%	61.2
H	%	7.5
N	%	1.9
O	%	29.4
S	%	0
Cl	%	0
合 計	%	100
理論空気量	m ³ _N /kg	3.26
運 転 条 件		
供 給 量	kg/h	7 500
一次空気流量	m ³ _N /h	27 700
空気比		1.13
二次空気流量	m ³ _N /h	12 000
空気比		0.49

け、さらに二次空気を前後方向から吹込む構造となっている。

2. 解析方法と条件

2.1 評価対象および項目

数値解析にもちいたストーカ炉の形状（計算領域）は実際の180 t/d 炉を忠実に再現した左右対称の1/2モデルを採用しており、メッシュ数は約11万要素である。また、ごみ性状、ごみ処理量、燃焼空気量分配などの計算条件は2003年3月（10日、15日、19日、24日、26日の5日間の平均的な数値）の実炉運転実

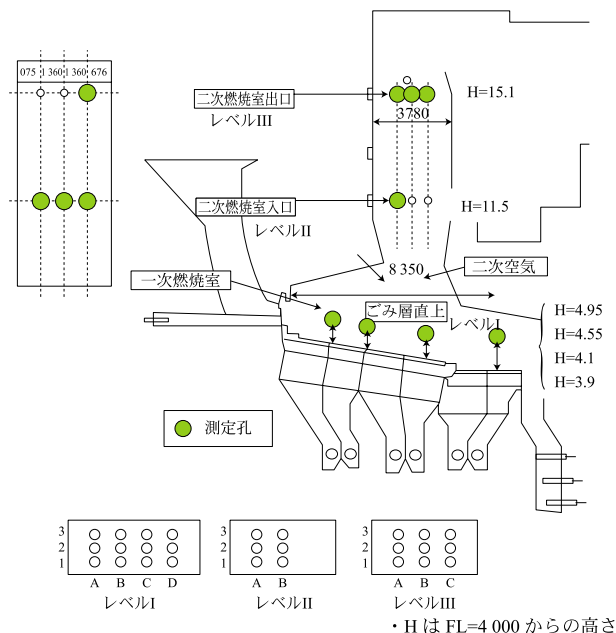


図2 炉内ガス測定位置

績を模擬した。表1に計算条件を示す。同日に炉内ガス組成・温度を実測しており、数値解析の比較データとした。図2にその測定位置について示す。

排ガス再循環に関する評価としては、とくにNO_x 発生量に着目した。一方、評価項目としては、

- ① 排ガス再循環率の影響
- ② 空気比と排ガス再循環の影響
- ③ 二次空気吹き込み流速の影響
- ④ 二次空気配分の影響
- ⑤ 二次空気ノズル配置の影響

の5項目をかかげた。

2.2 数値解析モデル

数値解析は汎用熱流体解析プログラム“Fluent ver. 6. 1. 22”でおこない、評価にはNO_x モデルを採用した。このNO_x モデルでは事前にえられた流れ場と燃焼の解析結果に基づいてNO_x 生成に関連する化学種の輸送方程式を解いている。なお、今回おこなった数値解析ではNO_x 生成機構として、サーマルNO_x、プロンプトNO_x、フューエルNO_xの生成を考慮している。また、乱流モデルにはk-εモデルを採用している。

2.3 計算条件

火格子上で発生する燃焼ガスの条件は以下のような手順で決定した。

- ① 考慮したガス種は、CH₄、CO、H₂、CO₂、O₂、N₂、H₂Oの7種類であり、ガス組成は各ゾーンでの物質収支が成り立つようにした上で、実測データの近似値となるように調整した。

表 2 火格子から発生するガス条件

		流 速	温 度	CH ₄	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	Total
		m/s	K	mass frac.	mass frac.	mass frac.	mass frac.	mass frac.	mass frac.	mass frac.	mass frac.
乾燥帯	I	0.0306	788	0.00824	0.08862	0.00684	0.10435	0.08485	0.58332	0.12379	1.00000
	II	0.8989	788	0.00824	0.08862	0.00684	0.10435	0.08485	0.58332	0.12379	1.00000
燃焼帯	I	1.9205	788	0.00824	0.08862	0.00684	0.10435	0.08485	0.58332	0.12379	1.00000
	II	1.1754	788	0.00411	0.03994	0.00335	0.05695	0.17168	0.72123	0.00273	1.00000
後燃焼帯	I	0.4815	735	0.00285	0.01471	0.00032	0.00000	0.22544	0.75668	0.00000	1.00000
	II	0.1241	735	0.00285	0.01471	0.00032	0.00000	0.22544	0.75668	0.00000	1.00000

表 3 二次空気条件

	流量	温度	空気比	排ガス 再循環率	ごみ入口側ノズル			ごみ出口側ノズル			ガス組成			
					径	本数	流速	径	本数	流速	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O
	m ³ /h	K		Vol %	mm		m/s	mm		m/s	Vol %	Vol %	Vol %	Vol %
Case1	12 300	293	1.65	0	68	9	59	68	8	59	21	79		
Case2	4 100	293	1.30	0	68	9	20	68	8	20	21	79		
Case3	8 898	293	1.30	15	68	9	43	68	8	43	10	75	9	6
Case4	8 898	293	1.30	15	63	9	50	63	8	50	10	75	9	6
Case5	8 898	293	1.30	15	58	9	60	58	8	60	10	75	9	6
Case6	8 898	293	1.30	15	74	9	43	61	8	43	10	75	9	6
Case7	8 898	293	1.30	15	61	13	43	61	8	43	10	75	9	6
Case8	8 898	293	1.30	15	75	9	35	75	8	35	10	75	9	6
Case9	8 898	293	1.30	15	58	9	43	78	8	43	10	75	9	6
Case10	8 898	293	1.30	15	61	8	43	61	13	43	10	75	9	6
Case11	8 898	293	1.30	15	68	9	31	68	8	31	14	77	6	4
Case12	11 961	293	1.30	22.5	68	9	58	68	8	58	7	75	10	8

② 火格子をごみの入出方向に乾燥帯，燃焼帯，後燃焼帯として各 2 分割，計 6 分割するとともに入口から 3：1：2 の割合で計 3 種類のガス組成を設定した。

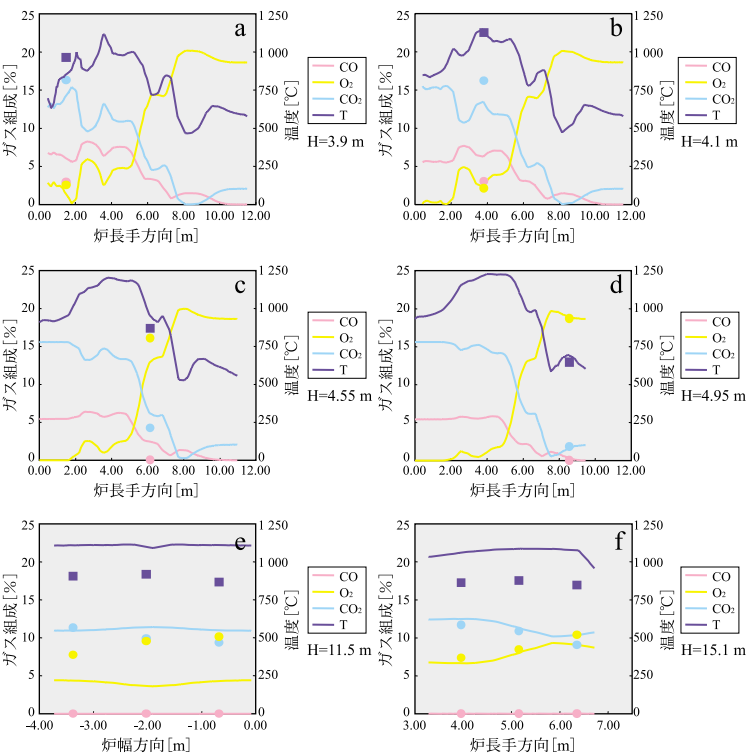
③ ガス組成と温度を仮設定した入力値で燃焼解析を実施し，実測結果（ガス温度と CO，CO₂，O₂ 組成）に近くなるか確認をおこなった。

上記の手順で最終決定した火格子境界から流入するガス組成と温度を表 2 に示す。前述の 5 項目を評価できるように設定した二次空気に関する条件を表 3 に示す。なお，今回の数値解析では，排ガス再循環は二次空気のみにおこなうものとしている。

3. 結果と考察

3. 1 実測ガス組成との比較

Case1 は 2003 年 3 月炉内ガス実測時の平均的な運転条件を模擬した解析をおこなっている。炉内ガス組成（CO，CO₂，O₂）・温度の実測値と計算結果の比較を図 3 に示す。火格子上的 CO 濃度が若干高く，二次燃焼部の温度が高くなっている。ただ，計



・ a~d は火格子上，e~f は 2 次燃焼部
・ 炉長手方向は 0 m がごみ入口
・ ガス組成は乾ベース

図 3 実測値との比較

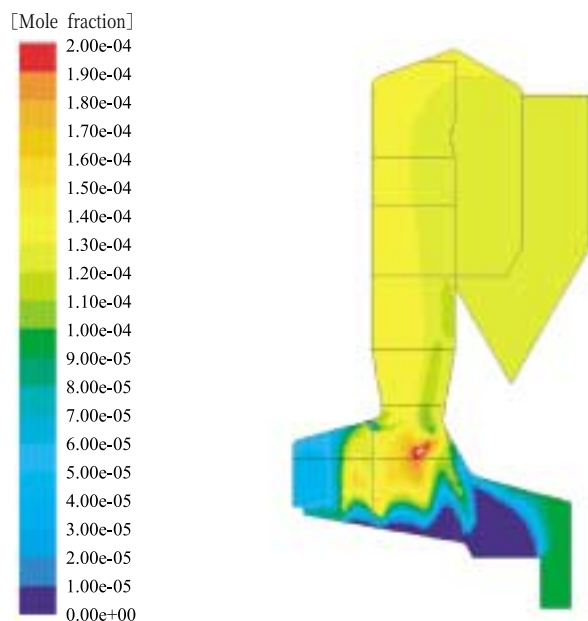


図4 NOx コンター図 (Case1)

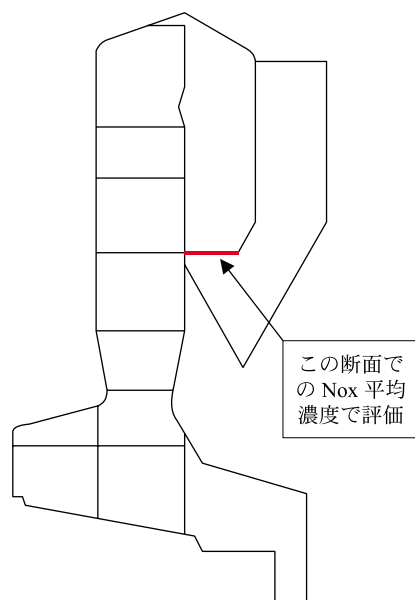
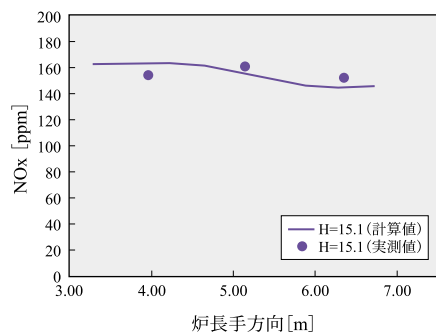
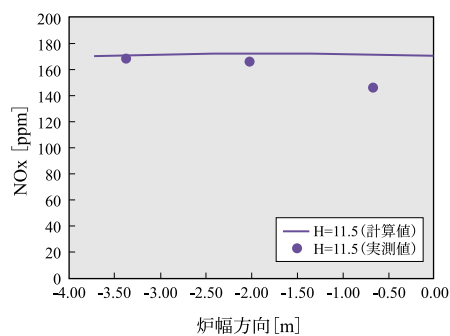
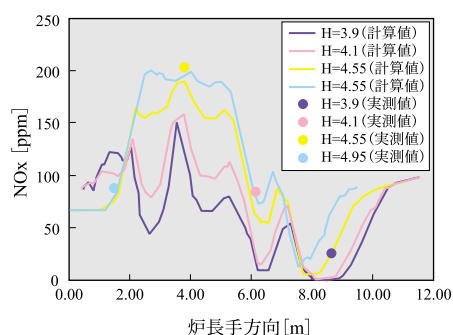


図6 NOx 平均濃度算出断面



- ・ 炉長手方向は0m がごみ入口
- ・ ガス組成は乾ベース

図5 NOx の実測値との比較

算条件と実機の運転条件は完全に一致していないことや排ガス再循環とノズル形状の効果を把握することに主眼をおくべきと考えて、本条件をベースとして検討を進めることにした。

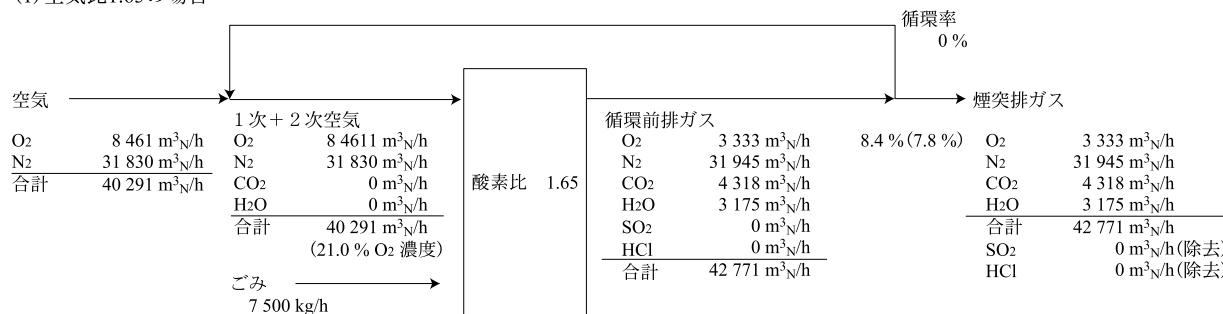
Case1 における NOx 濃度のコンター図を図4に示す。また、計算値と実測値の比較を図5に示す。計算における火格子上の NOx 濃度は位置による変動が大きい傾向は合っていると思われる。また、二次燃焼部における比較でもおおむね良好であると考えられる。

実測値と比較した結果から本入力条件で実測値を概ね表現できたと判断して、排ガス再循環とノズル形状の効果を評価した。ここで、評価にもちいた NOx 濃度は図6に示す位置での断面平均濃度である。これは火格子上部の二次燃焼部やモデル出口では偏流があり、評価に適さないと判断したためである。

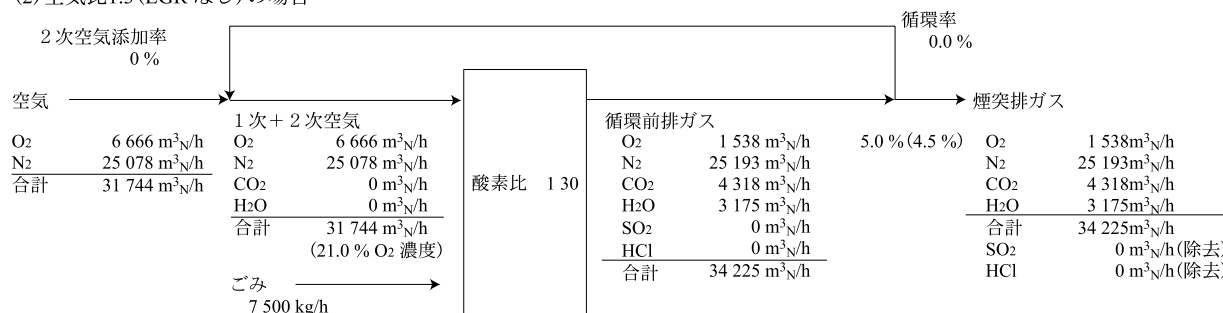
3.2 空気比と排ガス再循環の影響

空気比1.65の場合 (Case1), 排ガス再循環なしで空気比1.3の場合 (Case2), 排ガス再循環率15%で空気(酸素)比1.3の場合 (Case3) の各条件での発生する排ガス量の計算結果を図7に示す。また、各条件での NOx 濃度の計算結果を図8に示す。図7に示すように、空気比1.65では炉出口排ガス量が43 000 m³_N/h 程度であり、空気比を1.3にすることで排ガス量を34 000 m³_N/h に低減することができるが、図8に示すように、NOx 濃度が上昇することが予想される。一方、排ガス再循環をおこなうことで、排ガス量を33 000 m³_N/h まで低減しつつ、NOx 濃度

(1) 空気比1.65の場合



(2) 空気比1.3 (EGR なし) の場合



(3) 空気比1.3 (EGR 率15 %) の場合

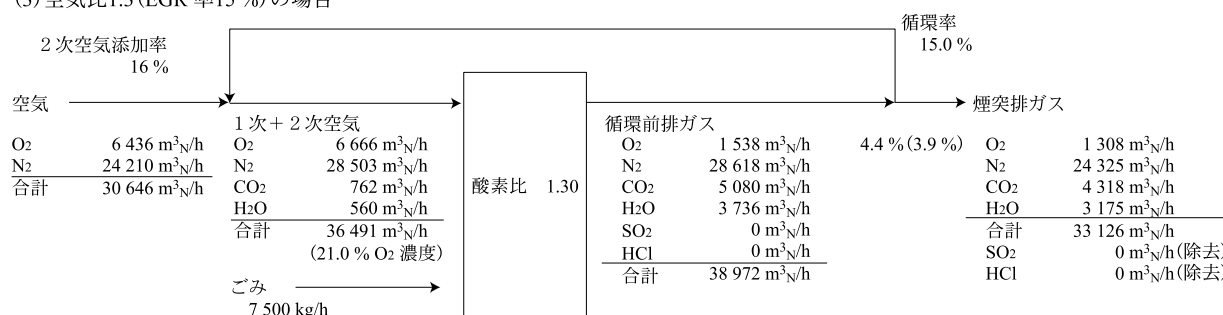


図7 排ガス量低減効果

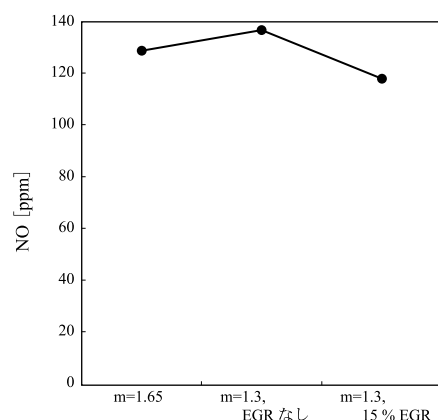


図8 空気比, 排ガス再循環の影響

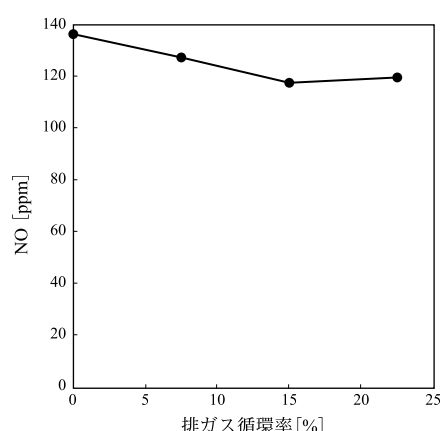


図9 排ガス再循環率の影響

も低減できることが予想された。

3.3 排ガス再循環率の影響

排ガス再循環率を変化させた場合の NO_x 低減にあたる影響について図9に示す。排ガス再循環率が15 %までは NO_x 低減効果があるが、それ以上の

排ガス再循環率では低減効果は認められなかった。また、今回の数値解析では二次空気にも排ガス再循環をおこなっており、二次燃焼室における未燃ガスの燃焼反応を考慮した場合、実炉における二次空気中の O₂ 濃度を18 %以下に下げることにはリスク

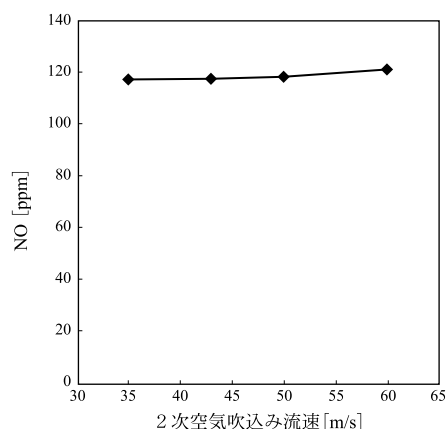


図10 二次空気吹込流速の影響

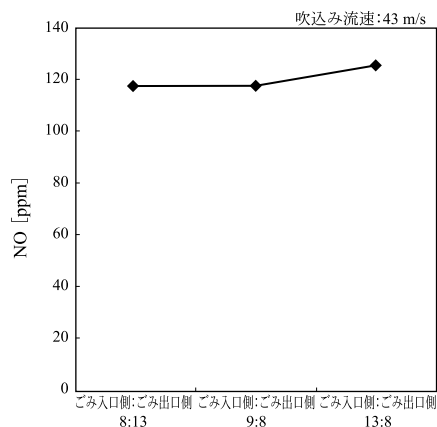


図12 二次空気ノズル配置の影響

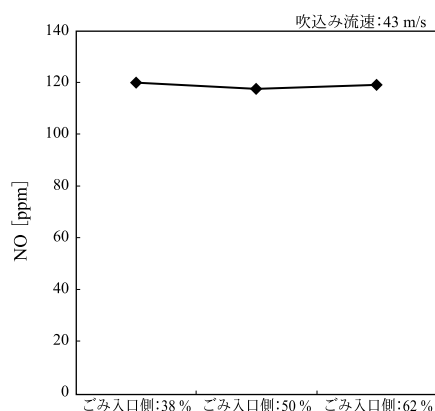


図11 二次空気配分の影響

があると考えられる。したがって、排ガス再循環率は15 %が上限と判断した。

3. 4 二次空気吹込み流速の影響

火格子上のNOx発生濃度が比較的高いことから、二次空気流速不足による吹抜けを懸念して吹込み流速の影響について検討した。検討結果について図10に示す。吹込み流速の速いほうが若干NOx濃度が上昇しているが、この差は大きいものとはいえず、今回検討した範囲では二次空気吹込み流速の影響は少ないと考えられる。

3. 5 二次空気配分の影響

表2に示したように、実炉においてはごみ入口側の火格子から発生する排ガス量の方が多い。ここでは、対向する2次燃焼空気の配分を、吹込み流速43 m/s一定の条件で、不均等化した場合の影響につい

て調べた。検討結果を図11に示す。今回検討した範囲ではNOx濃度に有意な差は認められず、二次空気配分の影響は少ないと考えられる。

3. 6 二次空気ノズル配置の影響

3. 5と同様の条件で、二次空気ノズル配置（本数）の影響について調べた。検討結果を図12に示すが、この場合もNOx濃度に有意な差は認められなかった。

む す び

180 t/d 実炉形状・ノズル配置をベースにして、排ガス再循環に関する数値解析をおこなった結果、以下の知見がえられた。

- ① 二次空気に排ガスを再循環することによって、排ガス流量の低減とNOx濃度低減の両方を達成できることが予想された。
- ② NOx濃度低減効果と二次空気中のO₂濃度を考慮して、排ガス再循環率は15 %程度が上限と予想された。
- ③ 二次空気の吹込み流速、空気配分、ノズル配置を変更することによるNOx濃度低減に対する大きな改善効果は認められず、とくに設計変更の必要がないことが予想された。

今後はさらに実炉データ点数を増やし、数値解析による予測精度を向上させる予定である。

【参考文献】

- 1) 樋口豪, 伊藤正, 前田知幸: 神鋼環境ソリューション技報「ストーカ式焼却炉における低空気比燃焼運転」, Vol.2 (2), p.19-25, (2006)