

流動床式焼却炉における低 NO_x 燃焼技術の開発

Development of Low NO_x Combustion in Fluidized-bed Incinerator



砂田浩志*
Hiroshi Sunada



井上尚子**
Naoko Inoue



多田俊哉**
Toshiya Tada



伊藤 正*
Tadashi Ito



木下民法*
Taminori Kinoshita

ごみ焼却施設では、各種脱硝プロセスを設けることにより、焼却炉で生成した NO_x を低減しているが、低 NO_x 燃焼が実現できればそれら設備の簡素化が期待できる。我々は流動床式焼却炉において、燃焼空気比等の運転条件の最適化を図り、空気比1.5では NO_x 濃度を50 ppm 程度まで低減することができた。さらに排ガス再循環（EGR）を採用することで、安定した低空気比運転を実現することができ、空気比1.3では NO_x 濃度を40 ppm まで低減することができた。

Denitration process has been adopted in MSW plants to reduce NO_x emission generated from incinerator. Low NO_x combustion can simplify the facilities. We optimized the air supply distribution ratio between primary air and secondary air in fluidized-bed incinerator, and found that NO_x can be reduced to 50 ppm at excess air ratio = 1.5. Exhaust gas recirculation (EGR) system is able to stabilize a low excess air ratio operation, NO_x have been reduced to 40 ppm at excess air ratio = 1.3.

Key Words :

流動床式焼却炉
低 NO_x 燃焼
低空気比運転

Fluidized-Bed Incinerator
Low NO_x Combustion
Low Excess Air Ratio Operation

【セールスポイント】

流動床式焼却炉において、燃焼空気比などの運転条件を最適化することで低 NO_x 燃焼が可能となる。加えて、排ガス再循環を用いた低空気比運転を行うことで、さらなる低 NO_x 燃焼を実現することができる。

ま え が き

近年の環境負荷低減に対する意識の高まりから、窒素酸化物（NO_x）に関しても管理目標値を厳しく定めている施設は増加しており、それらの施設では触媒反応塔を用いて脱硝を行うプロセスを備えていることが多い。一方、低 NO_x 燃焼によって触媒反応塔を不要とすることができれば、設備構成が簡素化できるだけでなく、排ガス再加熱器用の蒸気を発電に利用できることに加え、機器圧損が少なくなる

ため誘引送風機動力も削減されるなど、エネルギー回収の点でもメリットがある。

ストーカ式焼却炉では、NO_x 低減技術として、排ガス再循環（EGR）を併用した低空気比燃焼が知られている^{1), 2)}。本報告では、流動床式焼却炉における押込空気、二次空気の各空気比による NO_x 発生特性を把握するとともに、EGR を併用して低空気比運転を実現することにより NO_x 削減効果を確認したので、以下に報告する。

1. 燃焼空気の空気比と NO_x 発生特性

1.1 実機試験概要

流動床式焼却炉の二段燃焼は、砂層部での一次燃焼とフリーボード部での二次燃焼に分けることができる。それぞれの燃焼空気の吹込条件に加え、今回以下の3項目について NO_x 発生に与える影響を検討した。

- ① 砂層温度
- ② 空気比
- ③ 燃焼室温度

実機試験を実施した A 施設の概要を表 1 に示す。なお、本施設では無触媒脱硝および触媒脱硝プロセスはいずれも採用していない。

表 1 A 施設概要

処 理 方 式	流動床式焼却炉
処 理 規 模	117 t/d (58.5 t/d × 2 炉)
排ガス冷却方式	水噴射式
排ガス処理方式	バグフィルタ

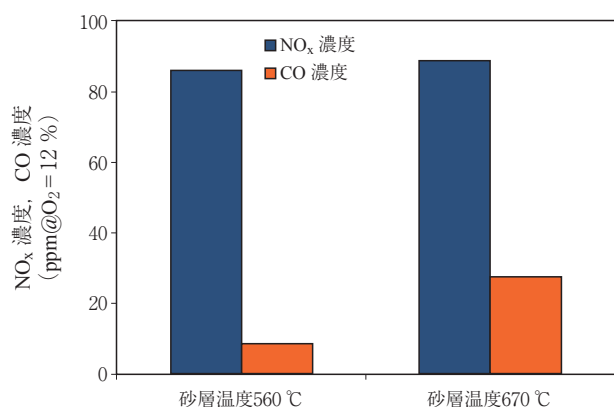


図 1 砂層温度による NO_x および CO への影響

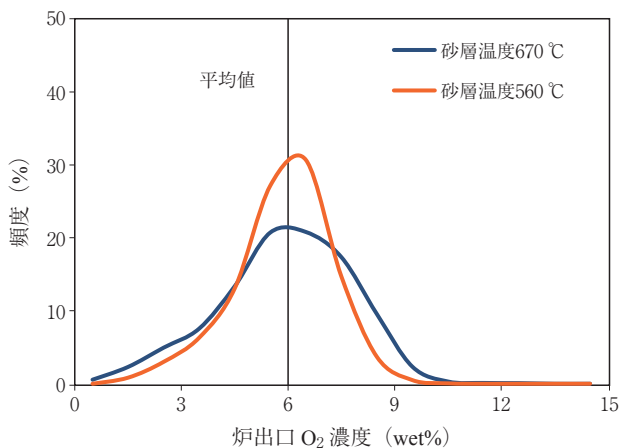


図 2 砂層温度による炉出口 O₂ 濃度のばらつきへの影響

1.2 試験結果

1.2.1 砂層温度の影響

砂層温度が NO_x 発生に与える影響を確認するため、砂層温度を 560 °C、670 °C に変更した場合の排ガスを測定した。砂層温度は砂層部への注水量にて調整し、炉出口空気比 1.6、押込空気比 0.5 の条件で運転した。図 1 に、バグフィルタ出口で測定した NO_x および CO 濃度を示す。NO_x 濃度に関しては、ほぼ変わらない結果となり、今回の運転条件では砂層温度による影響は認められなかった。一方、CO 濃度に関しては、砂層温度を低下させることで大幅に低減することができた。砂層温度の低温化による CO 濃度の低下、すなわち燃焼安定性の評価として、図 2 に炉出口 O₂ 濃度の度数分布を示す。砂層温度を下げることで、炉出口 O₂ 濃度のばらつきが抑制されていることが示されており、砂層部での燃焼緩慢化により燃焼の安定化を図ることができた結果、CO 濃度の低減に繋がったと考えられる。

このため以降の試験は、砂層温度を 560 °C 以下に下げた条件で実施した。

1.2.2 空気比の影響

炉出口空気比を 1.6 に固定し、押込空気量と二次空気量の割合を変化させた。焼却に伴い発生する NO_x として、バグフィルタ出口の NO_x 濃度に加え、一次燃焼によって発生する NO_x も確認するため、二次空気吹込前の炉内 NO_x 濃度も測定した。二次空気吹込前およびバグフィルタ出口 NO_x 濃度を押込空気比で整理した結果を図 3、4 に示す。

押込空気比 0.7 以下では、二次空気吹込前 NO_x 濃度 (図 3) はほぼ一定であるのに対し、バグフィルタ出口 NO_x 濃度 (図 4) は同じ押込空気比 0.7 以下の範囲ではその増加に伴い低下する傾向が見られた。図 3、4 の測定結果は各測定点での O₂ 濃度で換算しているが、燃焼空気が NO_x 発生に及ぼす影響を把握するため、各測定点でのごみトンあたりの NO_x 量を算出し図 5 に示す。横軸には押込空気比とともに二次空気比も示す。二次空気吹込前の NO_x 量は押込空気比 0.7 以下の範囲ではほぼ一定であるのに対し、バグフィルタ出口の NO_x 量は押込空気の減少すなわち二次空気の増加に従い増加する様子が見られた。一方、押込空気比 0.7 以上の範囲では測定位置による差が小さく砂層部での発生が支配的であることがわかった。

炉出口空気比を下げるため、押込空気比を 0.5 まで下げて固定し、炉出口空気比を変化させた際のバグフィルタ出口 NO_x 濃度を図 6 に示す。炉出口空

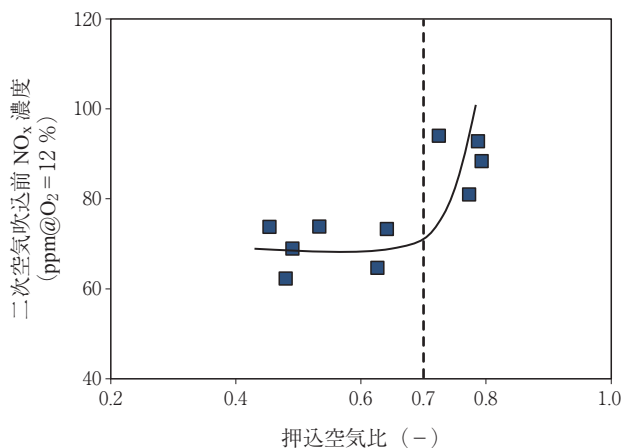


図3 押込空気比と二次空気吹込前
NO_x 濃度の関係 (炉出口空気比1.6)

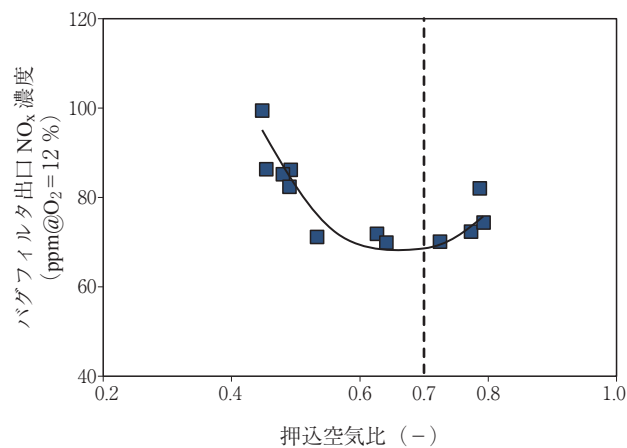


図4 押込空気比とバグフィルタ出口
NO_x 濃度の関係 (炉出口空気比1.6)

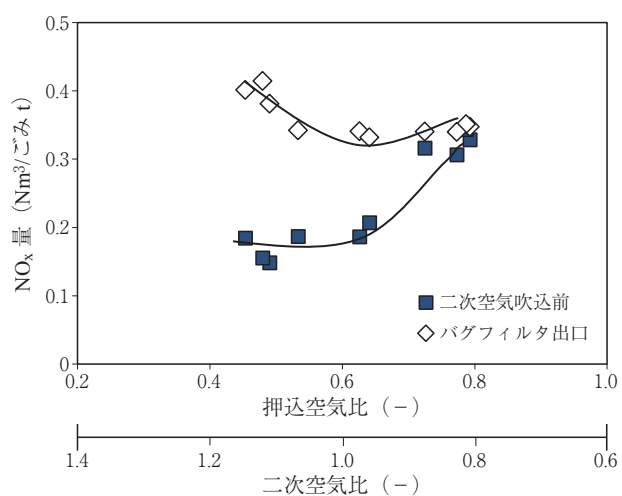


図5 押込空気比／二次空気比と NO_x 量との関係

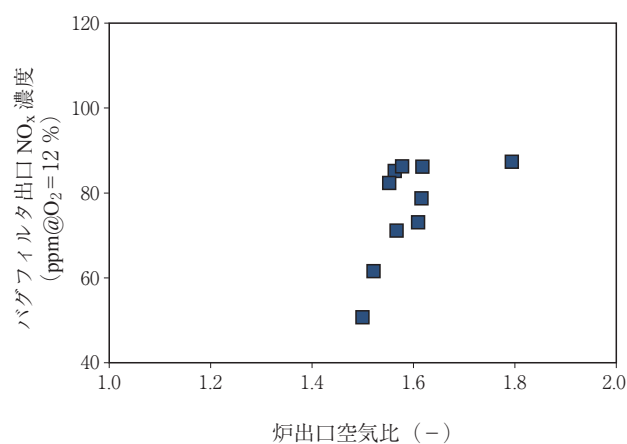


図6 炉出口空気比とバグフィルタ出口
NO_x 濃度の関係 (押込空気比0.5)

気比の低下に伴い NO_x 濃度を下げることができ、炉出口空気比1.5の場合、NO_x 濃度は50 ppm (O₂ = 12 %換算) 程度まで低減することが確認できた。

1.2.3 燃焼室温度の影響

燃焼室温度による NO_x への影響を確認するため、押込空気比を0.5に固定し、二次空気比を増減させることで、炉出口空気比および燃焼室温度を変化させた。運転条件と、その際の炉内温度およびバグフィルタ出口 NO_x 濃度を表2に示す。二次空気比を増やすことで燃焼室温度は低下するものの、NO_x 濃度は増加した。このことから都市ごみ焼却炉の燃焼温度である900℃程度の温度域では、燃焼温度の上昇より二次空気比の増加が NO_x 生成を促進させると考えられる³⁾。

2. 低空気比運転による NO_x 抑制効果

上述したように低空気比運転により、NO_x 発生が

表2 燃焼室温度によるバグフィルタ出口 NO_x 濃度への影響

項 目	Run1	Run2
総 空 気 比	1.5	1.8
押 込 空 気 比	0.5	0.5
二 次 空 気 比	1.0	1.3
砂 層 温 度	560℃	560℃
燃 焼 室 温 度	940℃	880℃
バグフィルタ 出口 NO _x 濃度	51 ppm (O ₂ 12 %換算)	87 ppm (O ₂ 12 %換算)

抑制されることが示されたが、単に燃焼空気量を削減して空気比を低減すると、炉内温度が上昇するため、長期運転が困難となる。このため排ガス再循環 (EGR) による炉内高温化抑制を併用して、さらなる低空気比化を実現し、NO_x の削減を確認した。

2.1 数値シミュレーションによる EGR 吹込み方法の検討

EGR 設備計画にあたって吹込み位置および循環率による炉内温度低減効果を数値シミュレーションで検討した。解析には熱流体解析ソフト ANSYS FLUENT を用いた。表 3 にシミュレーション条件を示す。EGR が無い場合 (Run1) の炉内温度分布を予想し、EGR を用いることで炉内での局所的な高温化を抑制できる排ガス循環率および吹込み位置 (Run2) を決定した。

シミュレーション結果を図 7 に示す。高さ方向に炉内温度の水平断面平均をとって比較すると、EGR が無い場合は燃焼室で 1 100 ℃ を超える高温部が広く発生するが、EGR の採用によって最高温度で 1 050 ℃ まで抑制できることが確認できた。

2.2 実機試験概要

実機試験を実施した B 施設の概要を表 4 に示す。今回、施設の 1 系列を改造し、バグフィルタ出口排

ガスを炉内に導入する EGR 設備を設置した。さらに、安定した低空気比運転を行うため、砂層部での緩慢燃焼を目的とする高炉床負荷化 (炉床径の縮小) に加え、炉出口に応答性の速いレーザ式 O₂ 計を設置し、O₂ 濃度が設定値になるよう二次空気量を制御した。また、燃焼室出口温度および主蒸気流量が一定となるよう給じん量を制御し、EGR による循環率は一定とした。なお、本施設では触媒脱硝プロセスを採用しているため、脱硝反応塔前で測定した NO_x 濃度を用いて評価した。

2.3 試験結果

2.3.1 低空気比運転

さらなる低空気比を実現するため、押込空気比は 0.34 まで低減し、炉出口空気比 1.32 の運転条件における焼却炉炉内温度を図 8 に、各種排ガス性状を図 9 に示す。EGR を用いた低空気比運転において、砂層温度は 550 ℃ 程度、燃焼室出口温度は 940 ℃ 程度に維持するとともに、CO 濃度 (O₂ = 12 % 換算、4 時間平均) を 10 ppm 未満に抑制することができ、安定した燃焼状態で運転することができた。

2.3.2 NO_x 発生特性

炉出口 O₂ 濃度設定値を変更し、空気比による NO_x 発生特性を確認した。EGR 併用では排ガスによる希釈効果に加え、O₂ 濃度換算により見かけ上 NO_x 濃度が低下する。そこで NO_x 発生量にて評価した。

表 3 シミュレーション条件

	Run1	Run2
ごみ発熱量	10 MJ/kg	
押込空気比	0.35	
炉出口空気比	1.3	
排ガス循環率	0 %	12 %

表 4 B 施設概要

処 理 方 式	流動床式焼却炉
処 理 規 模	138 t/d (46 t/d × 3 炉)
排ガス冷却方式	水噴射式 + ボイラ
排ガス処理方式	バグフィルタ + 脱硝反応塔

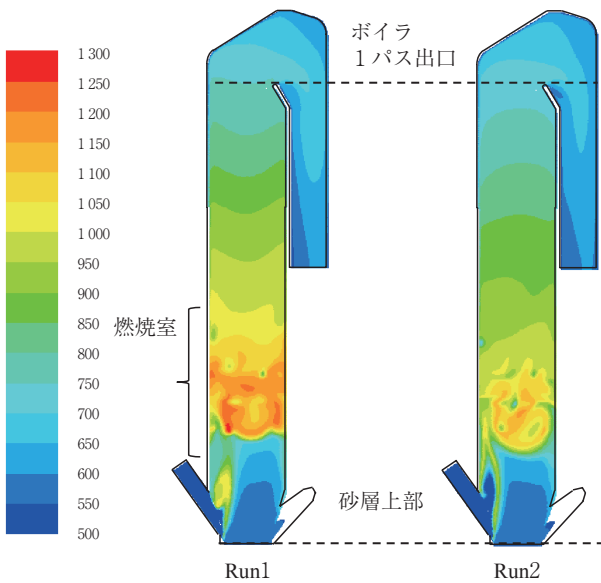


図 7 断面温度分布図 (単位: ℃)

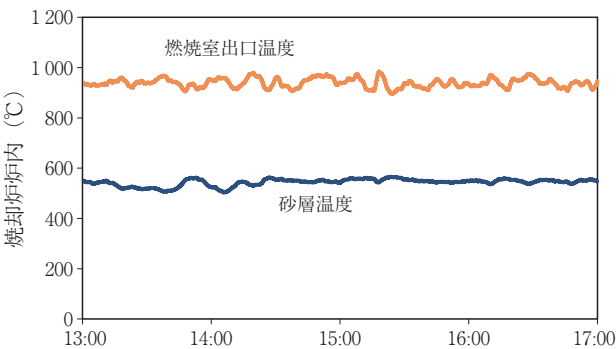


図 8 焼却炉炉内温度

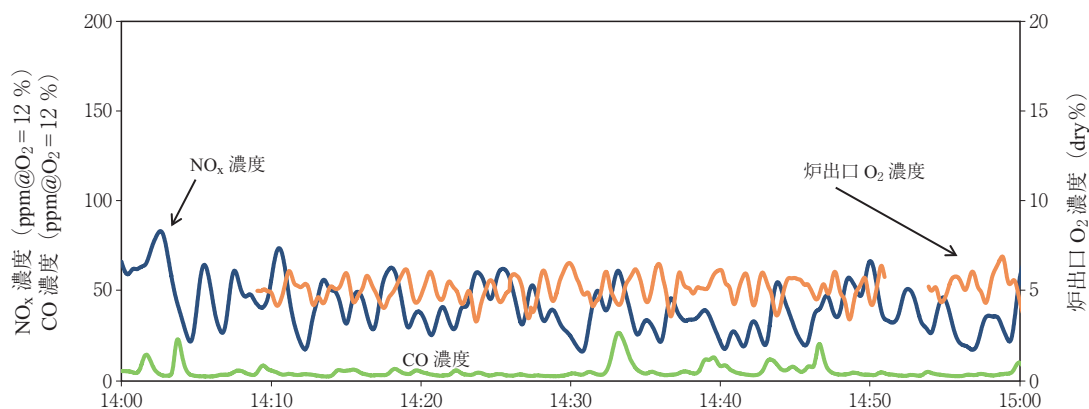


図9 排ガス性状

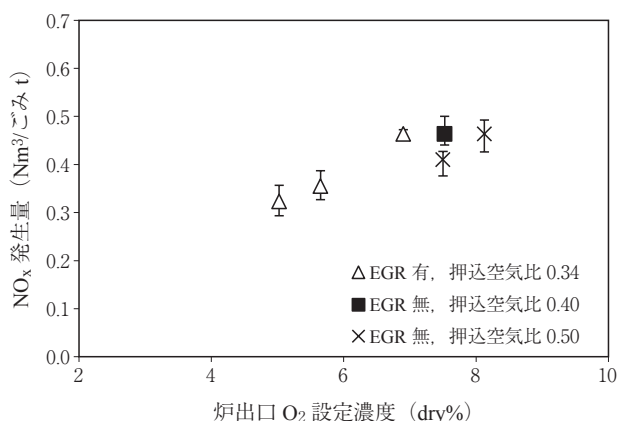


図10 炉出口O₂濃度設定値とNO_x発生量の関係

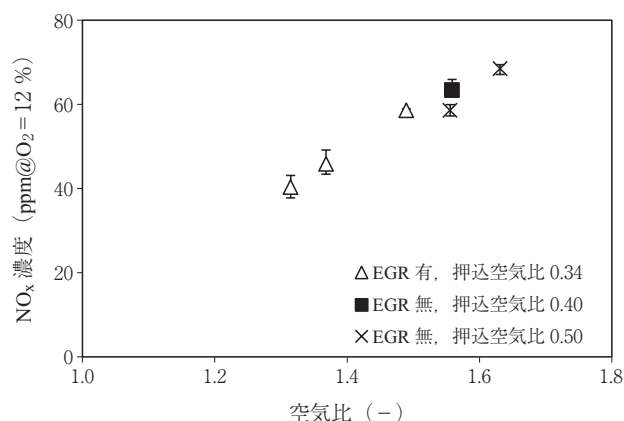


図11 空気比とNO_x濃度の関係

押込空気比をパラメータとして炉出口O₂濃度設定値とごみ1tあたりのNO_x発生量の関係を、図10に示す。図に示されるように、炉出口O₂濃度すなわち空気比が一定であれば、押込空気比の増加とともにNO_x発生量が低下する傾向であった。これは図4で示めされる押込空気比0.7以下の範囲で見られる傾向と同様である。しかし、押込空気比を低減し、EGRの設置を併用して低空気比化することで、NO_x発生量を低減できることが示された。

排ガス規制値はO₂=12%換算値であることから、炉出口空気比とO₂=12%で換算したNO_x濃度の関係を図11に示す。図に示されるように、押込空気比やEGRの有無に関係なく、炉出口空気比の低下に伴いNO_x濃度は低下し、炉出口空気比1.3においてNO_x濃度を40 ppm (O₂=12%換算) まで低減できることがわかった。

むすび

流動床式焼却炉において、燃焼空気比などの運転条件を最適化することでNO_x濃度を低減できるこ

とが確認できた。さらに、EGRを用いた低空気比運転を実施することによりNO_x濃度は低下し、炉出口空気比1.3においてNO_x濃度40 ppmを実現することができた⁴⁾。

本報告はEGRを併用した低空気比のみによるNO_x抑制手法であり、尿素やアンモニアなどを用いた無触媒脱硝プロセスを導入することで、さらなる低NO_x運転が可能になると考えられる。今後も低NO_x化を始めとする環境負荷の低減を目指し、精力的に取り組んでいく所存である。

[参考文献]

- 1) 澤本嘉正ほか：第25回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿, pp.323-324 (2014)
- 2) 木ノ下誠二ほか：第32回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp.215-217 (2011)
- 3) 砂田浩志ほか：第36回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp.216-218 (2014)
- 4) 砂田浩志ほか：第26回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿, pp.319-320 (2015)