

清掃工場排ガスの窒素酸化物低減対策について

辰市祐久 岩崎好陽 中浦久雄
(大気保全部)

谷川 昇
(東京都清掃研究所)

1 はじめに

ごみ焼却炉より排出される窒素酸化物(以下 NO_x)は大気汚染防止法によって新設の焼却炉では、昭和52年6月以降、既設の炉では昭和54年8月以降 O_2 12%換算 NO_x 濃度として250ppmの基準値が定められた。その後昭和56年6月の大気汚染防止法施行令の一部改正により、東京都においても昭和60年3月より総量規制制度が導入され、 NO_x の排出量をさらに削減することとなった。又住民協定によっては100ppm以下の値が決められている場合もある。このため、 NO_x 低減対策が都内の清掃工場が進められてきている。

NO_x の発生原因には、燃焼物中の窒素化合物が酸化された場合(Fuel- NO_x)と、空気中の窒素が酸化された場合(Thermal- NO_x)がある。都市ごみを酸素とアルゴンを使って燃焼した実験から、ごみ焼却炉においてはFuel- NO_x が主体であるという報告がなされている¹⁾。清掃工場に搬入されるごみ中の窒素分は湿重量で約0.47%であり、繊維、ちゅう芥等の可燃物に多く含まれている。そのため窒素が多く含まれるごみのみを分別するなどの焼却前の対策は困難である。焼却過程で NO_x の発生量を抑制するためには窒素の NO_x への転換を減らし、発生した NO_x を炉の乾燥、熱分解過程等から生ずる NH_3 、 CO 、炭化水素等の還元性ガスによって還元する方法(自己脱硝反応)が有効である。こうした脱硝法には燃焼空気を減らして焼却を行う低酸素燃焼があるが、燃焼温度が上昇し、炉を損傷したりクリンカーが生成するために燃焼ガス温度を下げる必要がある。

その方法には炉内に水を噴霧したり(炉内水噴霧法)温度が低下した燃焼排ガスを再び炉内にもどす方法(排ガス再循環法、以下EGR法)がある。また自己脱硝反応を積極的に行う方法に還元二段燃焼³⁾があり、燃焼ガス

を乾燥ストーカからの還元性ガスと混合する方法である。

これらの燃焼制御による方法は経済的に優れているが、既設の焼却炉に適用する場合に炉やボイラー等の形式、能力による制限や運転操作上の問題があるとされている。

その他、炉内に NH_3 等の還元剤を吹き込む無触媒脱硝法、触媒を用いて NH_3 を吹き込む触媒脱硝法、 NO を酸化剤で酸化して水溶液に吸収する湿式吸収法があるが、無触媒脱硝法については NH_3 の残留、その他、薬剤使用によるコストアップ等の問題を残している。

今回の調査は低酸素燃焼による炉内水噴霧法とEGR法を使って実験場で脱硝対策を行っている清掃工場をそれぞれ1つずつ対象に選び、各種運転条件で NO_x の排出濃度測定と低減効果について検討を行った。

2 調査方法

(1) 炉内水噴霧法による脱硝法

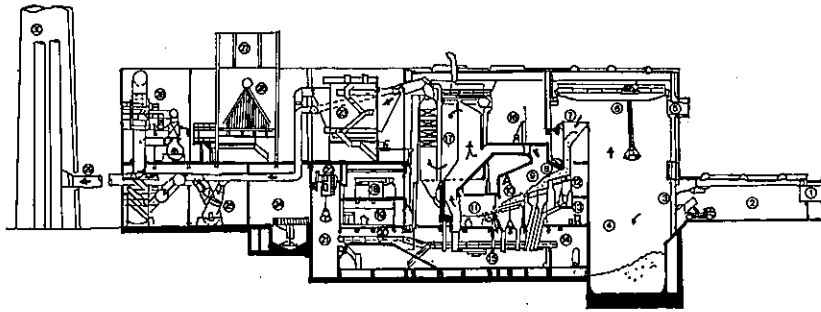
調査は都内S清掃工場において実施した。

図1に工場全体のフローシートを示す。焼却炉は日本鋼管製フェルト式であり、乾燥ストーカ、燃焼ストーカ、回転キルンを備えた、焼却能力300t/dの連続炉である。

排ガス処理は電気集塵器、湿式の塩化水素除去装置を備えている。水の噴霧は図1のA点より行われた。この調査では工場側の協力を得て水噴霧量を変化させて NO_x 濃度との関係を調べた。工場の NO_x の設計基準値は150ppmであるが、水噴霧のないときのデータをとれなかったため除去効率の値は計算できなかった。排ガスの採取は洗煙出口の横煙道より連続して行った。

つぎに各排ガスの測定項目及び分析法を示す。

NO_x 紫外線吸収法



| | | | | | | | | | |
|---|----------|---|-----------|---|-----------|---|--------|---|----------|
| ① | ゲート操作室 | ⑦ | ごみ投入ホッパ | ⑬ | ストーカ駆動装置室 | ⑰ | 中央制御室 | ⑳ | 誘引ファン |
| ② | プラット・ホーム | ⑧ | 第1段乾燥ストーカ | ⑭ | 純水装置 | ⑱ | 灰コンベア | ㉑ | 蒸気復水器 |
| ③ | パンカ・ゲート | ⑨ | 第2段乾燥ストーカ | ⑮ | 灰冷却水そう | ㉒ | 灰パンカ | ㉒ | しゃ音壁 |
| ④ | ごみパンカ | ⑩ | 燃焼ストーカ | ⑯ | 副煙道ダンパ | ㉓ | 灰クレーン | ㉓ | 塩化水素除去装置 |
| ⑤ | クレーン操作室 | ⑪ | 回転キルン | ⑰ | ボイラ | ㉔ | 電気集じん器 | ㉔ | 煙道 |
| ⑥ | ごみクレーン | ⑫ | 押込ファン室 | ⑱ | 電気室 | ㉕ | 汚水処理室 | ㉕ | 煙突 |

図1 S清掃工場フローシート

SO₂ 紫外線吸収法
O₂ 磁気式

(2) EGR法

調査は都内A清掃工場において実施した。

工場の燃焼排ガス関係のフローシートを図2に示す。焼却炉の形式は乾燥ストーカ、燃焼ストーカ、後燃ストーカを備えたデロール式のもので、250t/dの焼却能力を持っている。この焼却炉の場合、電気集塵器前から誘引ファン（IDF）後とを結ぶバイパスダクトがあったため、このダクトの途中から排ガス再循環ファン（RDF）を通して燃焼ストーカ下2ヶ所、ストーカ上部1ヶ所に導くダクトが設けられ、EGR運転を行うことができた。

この調査では、工場側の協力を得てEGR率を変化させてNO_x濃度との関係を調べた。運転条件は燃焼用空

気を送る押し込みファン（FDF）の送風量が7万Nm³の場合と、送風量を4万Nm³に制限し燃焼ストーカ下やストーカ上部へのEGR率を変えた場合の運転を行った。

運転条件の詳細を表1に示した。この中で運転条件Bは工場で通常稼働しているEGR運転条件であり、条件Gは排ガスのO₂濃度が12%となる一般的な清掃工場の運転条件で、条件Aは低酸素運転でEGRを行わない場合であり、他はEGRの運転条件を変えた場合である。

測定はIDF後の煙道より排ガスを吸引して行った。つぎに各排ガスの測定項目及び分析法を示す。

NO_x 化学発光法

O₂ 磁気式

CO 赤外線吸収法（バックサンプリングによる）

T-HC FID法（バックサンプリングによる）

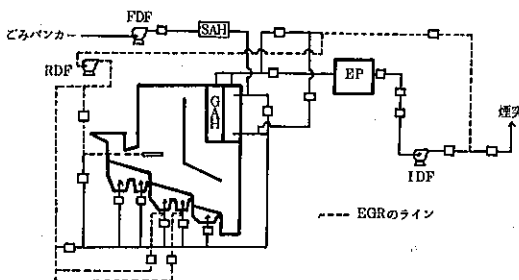


図2 A清掃工場ガス関係フローシート

表1 EGR関係の運転条件

| 運転条件 | A | B | C | D | E | F | G |
|-------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 排ガス中の酸素 % | 7~8 | | | | | | 12 |
| EGR率 % | 0 | 20 | | | 7 | 15 | 0 |
| 炉上部吹込率 % | 0 | 50 | 20 | 80 | 50 | 50 | 0 |
| ストーカ下A吹込率 % | 0 | 20 | 40 | 10 | 20 | 20 | 0 |
| ストーカ下B吹込率 % | 0 | 30 | 40 | 10 | 30 | 30 | 0 |

その他運転条件

燃焼空気量 A~F 40000Nm³/H, G 70000Nm³/H

蒸発量 35t/H

焼却量 10.5t/H

3 結果及び考察

(1) 炉内水噴霧法

炉内への水噴霧量を0.7, 1.5, 2.0t/Hと変えて排ガスの測定を行った。NO_x, O₂等の連続測定の結果は1時間平均値で求めた。

焼却量は定格12.5t/H前後の値であったが、水噴霧量を0.7t/Hに設定した場合は炉温の上昇を避けるため11.6t/Hと定格よりいくらか少ない量になっていた。

水噴霧量を変えた場合の測定結果を表2に示した。

ア NO_xについて

表2より調査工場の通常の水噴霧量 2t/HにおいてはNO_x濃度は平均86ppmとなり、清掃工場の一般的な排ガスNO_x値120～150ppmに比べ大幅に低減されていた。

O₂ 12%換算NO_x (以下換算NO_x) 濃度と水噴霧量の関係を図3に示した。この場合負の相関関係となり、噴霧量の多いほどNO_x濃度が低くなっていて、さらに噴霧量を増やせばNO_xがさらに低減する可能性を示していた。

図4は水噴霧量別の排ガス中のO₂濃度に対する換算NO_x濃度の分布を表している。O₂濃度が高いほど換算NO_x濃度が高くなる傾向となり、噴霧量が多い程、低酸素濃度の運転が行えていたことを示す。また水の水噴霧自体にNO_xの発生を抑制する働きがある。

ただし噴霧量があまり多くなると、炉温が低下し過ぎて、未燃ガスの発生や燃焼速度の低下などの現象を生じやすくなったり、炉壁レンガを傷めたりするので水を多量に噴霧することはできない。

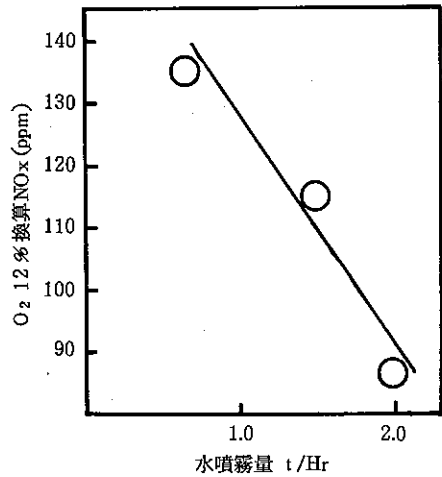


図3 換算NO_xと水噴霧量の関係

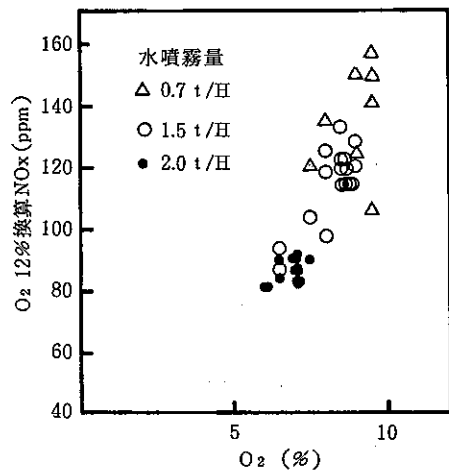


図4 水噴霧量別の換算NO_xとO₂の関係

表2 NO_xの測定結果

| 水噴霧量 t/H | 0.7 | 1.5 | 2.0 |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 焼却量 t/H | 11.6 (5.99~15.1) | 13.7 (9.49~17.7) | 12.4 (10.1~15.3) |
| 測定時間 H | 8 | 18 | 17 |
| NO _x 濃度 ppm | 161 (135~200) | 162 (140~185) | 135 (130~145) |
| O ₂ 濃度 ppm | 8.9 (7.5~9.5) | 8.2 (6.5~9.0) | 6.8 (6.0~7.5) |
| 換算NO _x 濃度 ppm | 135 (106~157) | 115 (87~133) | 85.9 (81~90) |
| S O ₂ 濃度 ppm | 5以下 | 5以下 | 5以下 |

(最小~最大)

イ SO₂について

SO₂の排出濃度は全て5 ppm以下でほとんど検出されなかった。排ガス中のSO₂は送風量を減少する低酸素運転によって濃度が増加することが考えられるが、HCI用の湿式除去装置によってSO₂も同時に除去されているものと思われる。一般的に燃焼炉排ガス中のSO₂は20～50 ppmとされているので、工場の排ガス処理装置全体として除去効果が認められた。

ただし水噴霧前の測定を行っていないため除去率は求められなかった。

(2) EGR法

調査期間中に測定時間が最も長かったのは、運転条件Bの118時間であり、他の条件では3.5～6時間と短時間であった。NO_x、O₂、換算NO_x、ストーカ上部温度、炉上部温度、火格子温度、燃焼空気量の連続測定用のチャートを使って、条件Bでは1時間平均値、それ以外の条件では30分間平均値により解析した。

運転条件A～GにおけるNO_x低減運転における各測定項目の平均値を表3に示した。また検知管によるCO、及びバックサンプリングによるCO、THCの濃度を表4に示した。

焼却量は定格10.5t/Hであるが、今回の調査期間中は平均値で10.2～13.0t/Hになっていた。この中で運転条件Dは焼却量の平均値が13.0t/Hで特に高かった。

実際の焼却の状況は投入から燃えるまでの時間の遅れやごみ質などに影響されるので、焼却量の代わりにボイラーの蒸発量からも燃焼状態を推定することができる。

蒸発量では条件Dを含めて大部分が35 t/Hであり、

蒸発量からみると、調査期間中の実際の焼却状態は比較的一定であったと考えられる。

ア EGR運転によるNO_xの低減

EGR率20%の運転条件Bで換算NO_x濃度は約84 ppmとなり、従来の運転方法Gに比べて約30%低減されていた。また条件Bの度数分布(表5)を見ると約40～100 ppmの間に分布し、最高値でも102 ppmであった。調査施設のNO_x総排出基準値は平均的な排ガス量から濃度に換算すると117 ppm程度となるため、条件Bのすべての平均値は基準値以内であった。

他の条件の低減率は条件Fが21%と低いほか、いずれも28%以上で低酸素運転によりNO_xが低減されていた。

イ O₂と換算NO_xの関係

全データのO₂濃度と換算NO_x濃度の散布図を図5に示した。図5よりO₂濃度が高いほど換算NO_x濃度が高くなる傾向がみられるが、相関係数は0.59と多少ばらついていた。図5のなかでO₂濃度12%付近のプロットはいずれも条件Gであり、O₂濃度6～9%のプロット

表4 A清掃工場測定結果(CO, THC)

| 運転条件 | CO ppm | THC ppm | 備考 |
|------|--------|---------|------------|
| E | 100 | | COの分析は検知管法 |
| D | 120 | | |
| (C) | 60 | | |
| F | 40 | ND | バックサンプリング |
| D | 780 | 79 | |
| A | 250 | 17 | |
| (C) | 30 | ND | |

* NDは2 ppm以下を表わす

表3 A清掃工場の測定結果

| 運転条件 | 調査時間 H | 焼却量 t/H | 送风量 10Nm ³ /H | 蒸気量 t/H | 温度 (°C) | | | O ₂ 濃度 % | NO _x 濃度 ppm | 換算NO _x 濃度 ppm |
|------|--------|-----------------|--------------------------|---------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| | | | | | ストーカ上部 | 炉上部 | 火格子 | | | |
| A | 4.0 | 10.8 (10~13) | 43 (40~45) | 35 (33~38) | 1070 (930~1200) | 1040 (950~1070) | 470 (400~515) | 7.2 (6.5~8.7) | 118 (93~138) | 79 (59~100) |
| B | 118 | 11.2 (7~16) | 42 (39~45) | 35 (33~37) | 1000 (880~1140) | 930 (850~1070) | 400 (300~595) | 8.3 (6.0~9.5) | 116 (69~148) | 84 (44~102) |
| C | 5.0 | 10.2 (9~11) | 42 (40~44) | 35 (33~37) | 1040 (970~1090) | 930 (880~955) | 340 (285~355) | 7.9 (7.5~8.4) | 118 (103~137) | 85 (71~99) |
| D | 5.5 | 13.0 (11~16) | 43 (40~46) | 34 (30~35) | 960 (890~1030) | 870 (800~935) | 370 (310~450) | 7.2 (6.0~8.8) | 105 (73~135) | 73 (45~102) |
| E | 5.0 | 10.4 (8~12) | 40 (37~43) | 35 (33~36) | 1010 (960~1065) | 930 (915~940) | 410 (380~450) | 7.8 (7.5~8.1) | 111 (103~129) | 80 (75~93) |
| F | 3.5 | 11.8 (10~15) | 42 (39~45) | 35 (33~37) | 1030 (960~1125) | 930 (900~960) | 370 (330~430) | 7.6 (7.3~8.0) | 133 (126~143) | 94 (87~100) |
| G | 6.0 | 11.3 (8~13) | 60 (55~70) | 35 (33~36) | 1100 (1045~1145) | 930 (895~970) | 490 (415~550) | 12.0 (11.8~12.2) | 119 (113~127) | 119 (113~127) |

(最小~最大)

表5 条件Bの換算NO_x度数分布

| 階級 (ppm) | 度数 (%) | 累積度数 (%) |
|----------|-------------|-------------|
| 40 | 1 (0.8) | 1 (0.8) |
| 45 | 1 (0.8) | 2 (1.7) |
| 50 | 0 (0.0) | 2 (1.7) |
| 55 | 3 (2.5) | 5 (4.2) |
| 60 | 3 (2.5) | 8 (6.8) |
| 65 | 3 (2.5) | 11 (9.3) |
| 70 | 8 (6.8) | 19 (16.1) |
| 75 | 15 (12.7) | 34 (28.8) |
| 80 | 18 (15.3) | 52 (44.1) |
| 85 | 20 (16.9) | 72 (61.0) |
| 90 | 26 (22.0) | 98 (83.1) |
| 95 | 15 (12.7) | 113 (95.8) |
| 100 | 5 (4.2) | 118 (100.0) |
| 合計 | 118 (100.0) | |

トと比べ高い換算NO_x値を示していた。またO₂濃度6~9%のプロットのうちEGR率0%の条件Aは他のEGR運転を行った時のプロットと大体重なり合い、有意の差は認められなかった。

ウ EGR率と換算NO_xの関係

条件A~Fの平均値を使ってEGR率を0~20%の範囲で変えた時、換算NO_x濃度はEGR率の高低にかかわらず73~94ppm程度に分布しており(図6)、換

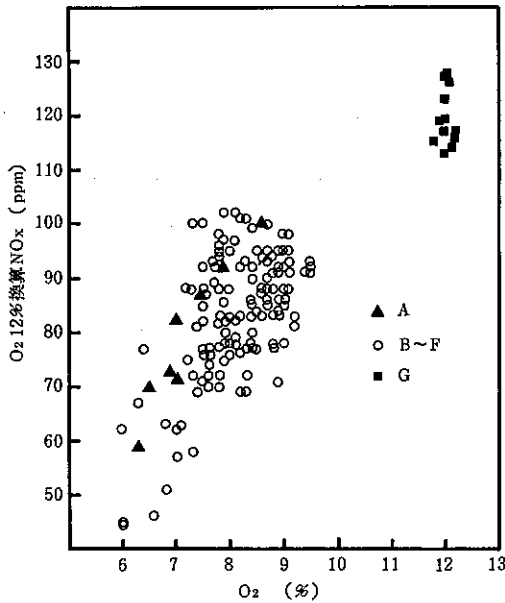


図5 EGR運転におけるNO_xとO₂の関係

算NO_x濃度はEGRによる顕著な違いが見られなかった。

ただし、NO_xはO₂と正の相関を持つためにO₂の平均値が多少低い条件Aと条件Dでは換算NO_x値が低くプロットされ、逆にO₂の高い条件Bは高めにプロットされているものと考えられる。

従来のEGRによるNO_x削減の調査では、EGR率が高いほど換算NO_x濃度を低くできた報告がある。ただし、EGR率約40%まで高くして運転されており、EGR率を幅広く取って運転しなければその差がでにくいと思われる。今回の調査では、工場の送風機的能力から20%以下に抑えられていたためEGRの効果が明確に示されなかったものと考えられる。

エ ストーカ上部温度と換算NO_xの関係

ストーカ上部温度はごみが燃えて立ち昇った炎の温度を直接測定しているため、EGRによるストーカ下からの冷却効果が明確に現れる。EGRを行っていない条件Aにおいて、温度が上昇し、一時的には1200°C以上にもなり、平均では1070°Cを示した。EGRを行った他の条件では最高値でも1140°Cであり、条件Bの平均が1000°Cであり、EGRによる冷却効果を示していた。

全データのO₂グループ別のストーカ上部温度と換算NO_x濃度の散布図を図7に示した。このデータも同じO₂濃度の中では温度が高いほど換算NO_x濃度が高くなる傾向を示していた。O₂濃度が11%以上のグループはすべて条件Gであり、ストーカ上部温度、換算NO_x

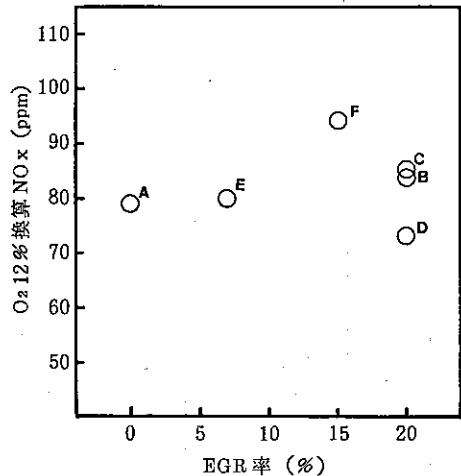


図6 NO_xとEGR率の関係

濃度ともに高かった。O₂濃度が7%以下のグループ内には条件Aが比較的多く存在していた。

オ EGR率とストーカ上部温度及び炉上部温度の関係

ストーカ上部におけるEGR率と各条件の平均温度の関係を図8に示した。図8からEGRを行わない条件Aが平均1070°Cであったのに対して、EGRを行った他の条件では1030°C以下と冷却効果がみられた。ただしEGR率を高くしても温度は直線的な低下傾向は示さなかった。また同じ20%EGR率の条件B、C、Dはストーカ下からの送風量の少ない条件D、B、Cの順でストーカ上部温度が上昇した。条件Dは排ガス中のCOとTHCの濃度を測定した時、他の条件よりも高濃度で検出されていた。

カ 炉上部温度と換算NO_xの関係

炉上部温度はストーカ上部温度と同様ストーカ下及びストーカ上部からのEGRの影響を受けて冷却効果が見られた。炉上部の場合も条件Aが最も高く、平均1040°Cであり、他はEGRによって低下し約930°Cとなっていた。

全データのO₂グループ別の炉上部温度と換算NO_x

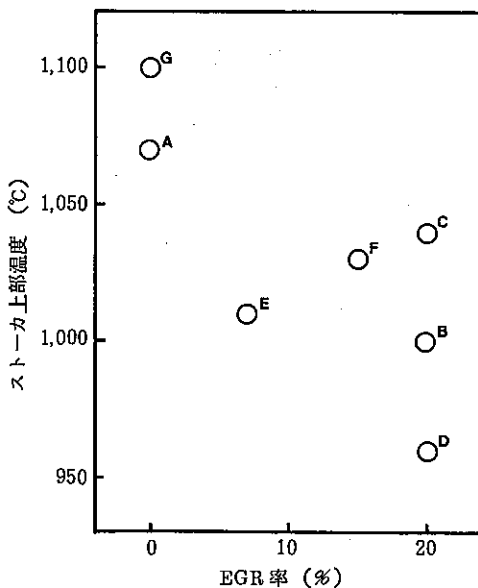


図8 ストーカ上部温度とEGR率の関係

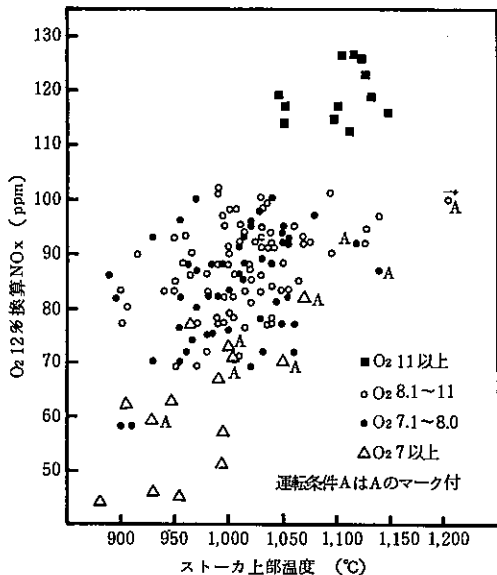


図7 EGR運転におけるNO_xとストーカ上部温度の関係

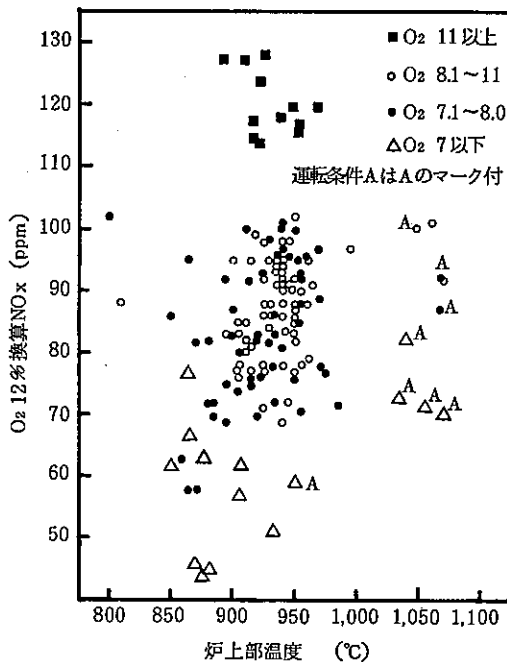


図9 EGR運転におけるNO_xと炉上部温度の関係

濃度の散布図を図9に示した。図9でも炉上部温度が高くなるほど換算NO_x濃度が高くなる傾向を示していた。O₂濃度 11%以上の条件Gは換算NO_x濃度が高いにもかかわらず、吹き込み空気量が多いため、炉上部温度が低くなっていた。また条件Aは炉上部温度が他の条件より特に高くなっていた。これはEGR運転を行った条件B～Fにおいて還元域がストーカ上部から炉上部まで拡大したため炉温が低下したものと考えられる。

キ 火格子温度とEGRについて

火格子温度は火格子の摩耗と関係し、450℃以下が管理目標となっている。条件Gは平均490℃、EGRを行わない条件Aは平均470℃であったが、EGRを行った場合いずれも平均値で450℃以下となって火格子温度についても冷却効果がみられた。

4 まとめ

(1) 調査工場の通常の運転条件で水噴霧を行って低酸素運転した場合は換算NO_x濃度が約86ppmとなり、EGRを行って低酸素運転した場合は換算NO_xが約84ppmとEGRを行わない時に比べ約30%低減されていた。

(2) 水噴霧運転において12.5t/Hのごみに対して0.7t/Hから2.0t/Hまで水を噴霧した所、噴霧量が多いほどO₂濃度を下げることができ、かつNO_x濃度を下げることが可能であった。

(3) EGR運転を行うことによってストーカ上部温度、炉上部温度、火格子温度が低くなり、排ガス中のO₂

濃度が7～8%の低酸素運転を行えた。この時O₂濃度が高いほど、また炉温が高いほどNO_x濃度が高くなる傾向を示していた。

排ガスを炉内に吹き込む場合、ストーカ上部への割合の高い条件では未燃ガスが発生した。これは投入量に対してストーカ下部とストーカ上部へ吹き込み風量のバランスが必要なことを示していた。

(4) 水噴霧とEGRの両方式のNO_x低減対策は、今回の調査条件において充分有効なものであると考えられる。

しかしNO_x低減設備の選定に当たっては燃焼の安定性、炉の耐久性、発熱量や焼却量の変化等の要因を総合的に判断し、検討していく必要がある。

なお本EGRによるNO_x低減対策調査は東京都環境保全局大気規制課と共同で実施した。

また、測定にあたって、清掃工場職員の御協力により調査できたことを感謝致します。

参考文献

- 1) 赤池 繁他：都市ごみ焼却炉におけるNO_xの発生について、第2回全国都市清掃研究発表会、(1981)
- 2) 中村 豊他：昭和60年度ごみ質調査、東京都清掃研究所研究報告、昭和60年度
- 3) 厚生省：窒素酸化物及び残渣低減のためのごみ安定化燃焼技術に関する研究、58年度 環境保全成果集
- 4) 吉野 昇他：排ガス再循環法によるごみ焼却炉のNO_x削減実験、清掃技報、10、昭和60年