

汚泥焼却炉からの汚染質の排出実態について

中 浦 久 雄 岩 崎 好 陽 福 島 悠
 (公害局多摩公害事務所)
 矢 島 恒 広 石 黒 辰 吉

1 はじめに

東京都では、公害規制の強化等により、大規模な発生源は移転あるいは縮小等減少の傾向にある。反面、都市廃棄物を処理する清掃工場および下水処理場においては、処理量が年々増加している。清掃工場では「ゴミ」を、下水処理場では「汚泥」を焼却処分しているが、ともに埋立地の確保が困難なための減量化などの理由によるところが大きい。しかし焼却処分にともない、大気中への汚染質の排出が問題となる。下水処理場では汚泥焼却により、有害ガスの排出とともに汚泥に濃縮された重金属の排出もある。汚泥焼却炉には多段炉、流動層炉等があり、そこから排出される汚染質については、いくつかの報文があるが^{2) 3) 4) 5) 6)}、都区内に設置されているような1日の焼却能力が300tクラスの大型炉についての報文はほとんどない。

筆者らは汚泥焼却炉から排出される有害ガスや、重金属類および悪臭等について実態調査を行い、汚泥焼却炉の問題点について検討を行ったので報告する。

2 調査の実施内容

都区内にある8か所の下水処理場では、脱水汚泥(以下スラッジケーキという)が1日に約3,360t(1978年)発生しており、そのうちの約半分を3か所の下水処理場で焼却処分している。

本調査は、これら3か所の下水処理場の汚泥焼却炉について実施したもので、調査内容を表1に示す。

新河岸処理場は1977年の調査時に、1, 2号炉の交互運転を行っていたが、1978年は1, 2号炉同時運転をしており、一部小台処理場のスラッジケーキも焼却していた。また、小台処理場は1~4号炉の排ガスを集合処理しているが、1, 2号炉はオーバーホールのため休止していた。排ガスの測定は各処理場とも処理装置の入口と出口で行い、処理装置の除去効率についても検討した。

(1) 測定方法

ア 有害ガス

SO₂, NO_x, CO …… 赤外線吸収法

表1 調 査 内 容

| 処理場名 | 調査年月 | 調 査 内 容 | | | 汚 泥 の 脱水方法 | 排ガス処理装置 |
|-------|-------------|---------|------------|--|---------------|-------------------------|
| | | 焼却炉 | 焼却能力 | 主 な 調 査 項 目 | | |
| 新 河 岸 | 1977年10月11月 | 1号炉 | t/日 200 | SO ₂ , NO _x , THC, CO, O ₂ , CO ₂ 重金属, 悪臭 | 真空脱水 遠心脱水 | スクラバ, 酸アルカリ洗浄 電気集じん機 |
| | 1978年11月12月 | 2号炉 | 300 | HCl, NH ₃ , HCN, 悪臭 HC成分, 重金属 | 遠心脱水 | |
| 小 台 | 1977年10月11月 | 3号炉 | 180 | SO ₂ , NO _x , THC, CO, O ₂ , CO ₂ 重金属, 悪臭 | 真空脱水 | スクラバ, アルカリ洗浄 |
| | | 4号炉 | 180 | | | |
| 砂 町 | 1977年10月11月 | 5号炉 | 300 | 重金属, 悪臭 | 真空脱水 | スクラバ, 酸アルカリ洗浄 電気集じん機 |

- THC …… F I D法
- HCl …… チオシアン酸第二水銀法
- NH₃ …… インドフェノール法
- HCN …… ビリジン・ピラゾロン法

イ 重金属類

- ダスト …… 蛍光X線法
- スラッジケーキ } …… 蛍光X線法 (試料を粉末化して
焼却灰 } 濾紙上に均一に付着させ分析)
- } 原子吸光法
- ガス状水銀 …… 原子吸光法 (0.3%KMnO₄
と(1+15)H₂SO₄等量の吸収液で捕集し循環還元気化法で分析)

ウ 悪臭

三点比較式臭袋法 (都条例告示法)

(2) 調査施設

ア スラッジケーキの生成

下水処理場で発生した汚泥は、脱水して含水率約80%のスラッジケーキとなる。脱水方法には真空脱水と遠心脱水があり、真空脱水は凝集性および剝離性を高めるため塩化第二鉄および消石灰を添加し、遠心脱水は高分子凝集剤を添加している。新河岸処理場は1977年に真空脱水と遠心脱水で行っているが、その割合は6:4であった。そして1978年には、すべて遠心脱水で行っていた。

イ 炉の構造および排ガス処理装置

汚泥焼却炉の構造および排ガス処理装置について新河岸処理場の2号炉を例として図1に示す。

立型多段炉の構造は8~11段の棚を有する円筒状の炉で、スラッジケーキは上部から連続投入される。スラッジケーキは乾燥段(100~400℃)から燃焼段(500~900℃)へと落ち、冷却段をへて、焼却灰として炉の底部へ排出される。一方、炉の上部から排出される排ガスは、処理装置で処理された後、煙突から大気中へ放出されている。

3 調査結果

(1) 有害ガス

測定結果を表2に示す。

新河岸処理場のSO₂, NO_x, THC, CO, O₂, CO₂については、連続測定で行い、結果は1時間値の平均値で示した。また小台処理場はバッグに同時サンプリング(約10分間)して連続測定機で分析した値である。

HCl, NH₃, HCNについては、同時サンプリングで2~5回測定した結果を平均したものである。

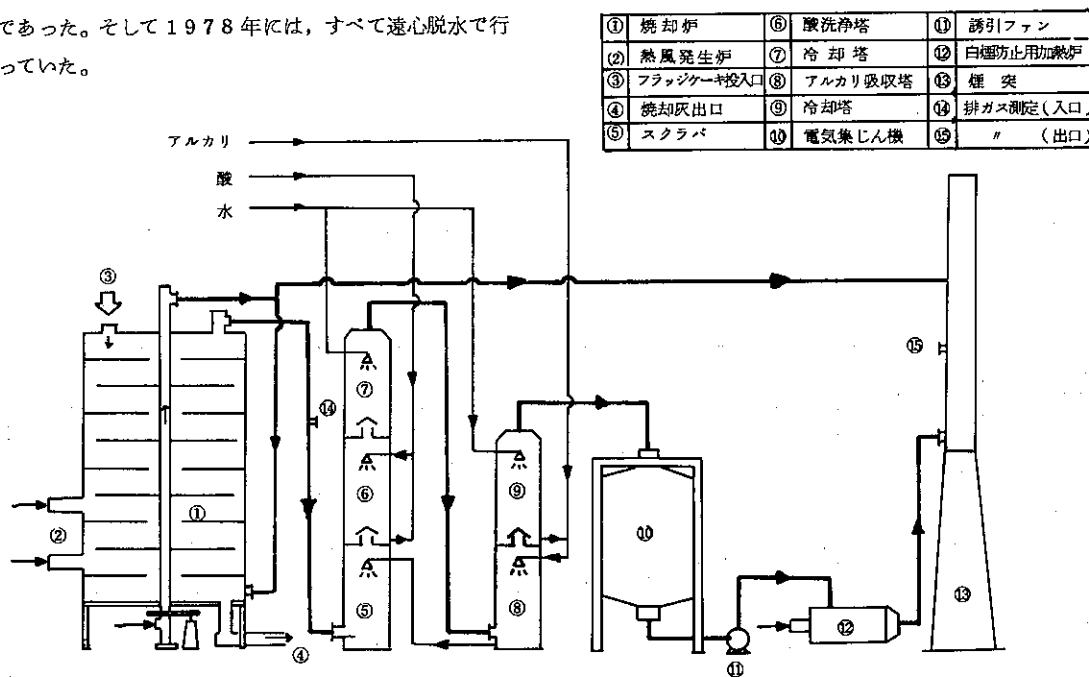


図1 汚泥焼却炉の構造および排ガス処理装置(新河岸処理場2号炉)

表2 有害ガス濃度

1977年 単位 ppm

| 処理場 | 測定場所 | SO ₂ | NO _x | THC | CO | O ₂ | CO ₂ | HCl ※ | NH ₃ ※ | HCN ※ |
|-------------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|
| 新 河 岸 | 1号炉 処理装置 入口 | 38 (5~130) | 52 (10~80) | 130 (25~230) | 500 (150~870) | 16.6 (14.0~19.0) | 2.3 (0.5~4.5) | 185 (184~186) | 130 (80~180) | 18 (12~23) |
| | 1号炉 処理装置 出口 | 5.2 (0~15) | 5.3 (3.5~7.0) | 9.4 (4.5~33.0) | 620 (340~1800) | 15.5 (13.5~19.5) | 3.2 (1.5~5.0) | 6 (4~7) | 5 (2~7) | 2 (1~2) |
| | 2号炉 処理装置 入口 | 18 (0~75) | 101 (75~115) | 130 (95~170) | 570 (350~1000) | 14.6 (14.0~16.5) | 4.0 (3.0~5.0) | 108 (101~112) | 128 (70~180) | 35 (24~41) |
| | 2号炉 処理装置 出口 | 3.0 (0~15) | 8.0 (6.5~9.0) | 6.5 (5.5~7.0) | 490 (370~670) | 15.2 (14.5~16.0) | 3.5 (3.0~4.5) | 7 (6~8) | 0.5 (0.2~0.8) | 3 (3~4) |
| 小 台 | 3号炉 処理装置 入口 | 38 (10~75) | 60 (35~95) | 950 (150~2200) | 1670 (600~2850) | 11.0 (10.0~13.0) | 6.3 (5.5~7.5) | — | — | — |
| | 4号炉 処理装置 入口 | 70 (40~95) | 90 (75~110) | 130 (115~150) | 790 (650~1000) | 13.1 (11.5~14.0) | 5.1 (4.0~6.0) | — | — | — |
| | 1~4号炉 集合口 | 30 (20~40) | 52 (45~60) | 390 (120~900) | 870 (400~1600) | 15.8 (14.5~17.0) | 3.2 (2.5~3.5) | — | — | — |
| | 1~4号炉 処理装置 出口 | 17 (5~30) | 4.3 (3.5~5.0) | 3.20 (75~770) | 900 (400~1600) | 15.7 (14.5~17.0) | 3.3 (3.0~3.5) | — | — | — |

注 ※ 1978年測定
()内は最小・最大

ア SO₂, NO_x, THC, CO

SO₂濃度は小台4号炉処理装置入口が最も高く70ppmであり、NO_x濃度は新河岸2号炉処理装置入口が高く101ppmであるが、松井ら¹⁾は小型炉でSO_x153ppm、NO_x171ppmと報告しており、今回の測定値はこれらに比べやや低い値であった。

THCとCOの濃度は高く、特に小台3号炉処理装置入口で10分間値の最高値は、THC2200ppm、CO2850ppmと高濃度を検出した。THCとCOの高濃度の原因は多段炉の構造に起因していると推定される。すなわち、燃焼排ガスが乾燥空気として使われており、それが未燃ガスとして排出されているためと思われる。

排ガス処理装置の除去効率はSO₂については新河岸1、2号炉では80%以上であるが、小台3、4号炉はやや悪く約40%であった。また、NO_x, THCおよびCOはSO₂に比べ除去効率は低く、特にCOはほとんど除去されていない。

イ HCl, NH₃, HCN

HClおよびNH₃の濃度は処理装置入口において、小

型多段炉でHCl 48ppm、NH₃ 17ppmとの報告¹⁾があるが、今回の調査では、これらよりかなり高濃度であった。HCl濃度は処理装置入口では、1号炉の方が高い値であるが、これは1号炉で焼却しているスラッジケーキが真空脱水であり、凝集剤として塩化第二鉄が含まれているためと思われる。

処理装置での除去効率はよく、それぞれ90%以上であった。

ウ 有害ガス濃度と炉内温度の関係

THCが高濃度を記録した際の排出状況と炉内温度との関係を図2のチャートで示す。

図にはTHCの他にSO₂, NO_xについてもあわせて示した。CO濃度はTHC濃度より高い値であったが、パターンがほとんど同じであるため省略した。炉内温度は変動の大きい乾燥段として5段目を、燃焼段として7段目を示した。

この図からもわかるとおり、THC濃度はいくつかのピークがあるが、一番高いピーク時は5段目の炉内温度が上昇し始める時である。この時、5段目の炉内温度は

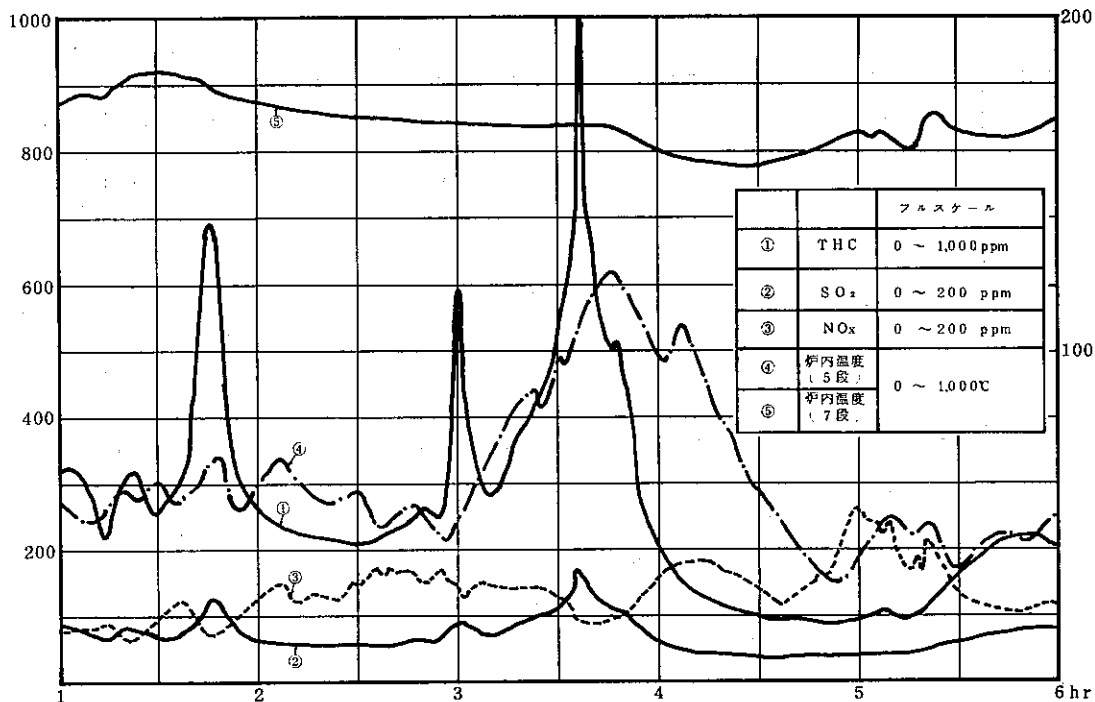


図2 有害ガスと炉内温度 (新河岸1号炉処理装置出口 1977. 10. 19)

通常の2倍近い温度まで上昇しており、一方7段目の炉内温度はほとんど変動がなく、THC濃度との関係はみられない。このことから、THCの高濃度現象は乾燥段の状態に大きく依存しているものと思われる。

SO₂濃度はTHC濃度ほど大きなピークではないが、同じ様なパターンである。一方NO_x濃度はこれとは逆のパターンを示していた。

エ 炭化水素 (HC) の成分

HCが高濃度で排出されているため、その成分について分析を行った。

ガスクロマトグラフの分析条件は次のとおりである。

C₁ ~ C₅ …… カラム1m, 充てん剤 ポラパック Q
 : T = 1 : 1 室温, キャリヤーガス He
 C₆ ~ …… カラム3m, 充てん剤 APGL, 濃縮
 (550 ml) 180°C, キャリヤーガス N₂

分析結果を表3に示す。

処理装置入口および出口とも、ほぼ同じ成分パターンであり、メタンが多く次いでエタン、アセチレンの順であった。

(2) 重金属類

下水処理場には生活廃水とともに工場廃水が流入しており、そこに含まれる重金属類がスラッジケーキ中に濃縮される。さらに、スラッジケーキ中の重金属は焼却により焼却灰、ダストおよびガス状物質として炉外に排出される。

今回の調査では、スラッジケーキ、焼却灰およびガス状水銀について測定を行い、汚泥焼却にもなる重金属の挙動について検討した。

ア スラッジケーキ、焼却灰

スラッジケーキに含まれる重金属濃度は処理場によ

表3 炭化水素成分 (新河岸処理場)

1978年 単位 ppm

| | THC (ppm·c) | メタン | エチレン | アセチレン | エタン | プロパン + プロピレン | ベンゼン | トルエン |
|--------|----------------|-----|------|-------|-----|--------------------|------|------|
| 処理装置入口 | 625 | 152 | 74 | 39 | 2 | 13 | 8 | — |
| 処理装置出口 | 425 | 136 | 63 | 33 | 1 | 9 | 8 | — |

って異っていると思われる。そこで各処理場別にスラッジケーキ中の重金属濃度を比較すると表4に示すようであった。

表4 スラッジケーキ中の重金属 1977年
ドライベース単位 mg/kg

| 処理場名 | Ti | Cr | Mn | Fe% | Ni | Cu | Zn |
|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 新河岸 | 2500 | 610 | 460 | 6.5 | 380 | 910 | 6000 |
| 小台 | 3400 | 260 | 620 | 6.0 | 180 | 870 | 3100 |
| 砂町 | 1300 | 1200 | 500 | 4.8 | 170 | 950 | 2700 |

新河岸処理場では Zn が他の処理場に比べ約2倍高い値であり、小台処理場は Cr が低く、また砂町処理場は Cr が高く、Fe が低い値であった。

次に、スラッジケーキと焼却灰中の重金属濃度を同時に測定した結果を表5に示す。(新河岸処理場、1978年)

調査時は2号炉で新河岸処理場の遠心脱水ケーキを、1号炉で小台処理場の真空脱水ケーキを焼却していた。一般的に、遠心脱水ケーキ中の重金属の方が真空脱水ケーキより濃度が高く、特に、Zn、PbおよびCdが3~5倍高い値であった。焼却灰もスラッジケーキと同様の重金属パターンであるが、Pb、Cdが6~7倍遠心脱水ケーキの方が高かった。しかし、もとの汚泥中の重金属濃度が異なるため、一概に遠心脱水ケーキと真空脱水ケーキの比較をすることはできない。

表5 スラッジケーキ・焼却灰中の重金属 (新河岸処理場) 1978年 単位mg/kg

| | 焼却炉 | Ti | Cr | Mn | Fe% | Ni | Cu | Zn | Pb※ | Cd※ | Hg※ |
|---------|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----|------|-------|
| スラッジケーキ | 1号 | 2,000 | 400 | 690 | 6.6 | 170 | 590 | 2,000 | 37 | 1.6 | 0.40 |
| | 2号 | 3,600 | 530 | 900 | 6.7 | 470 | 1,300 | 6,700 | 120 | 7.4 | 0.58 |
| 焼却灰 | 1号 | 3,500 | 650 | 1,200 | 14.1 | 300 | 1,100 | 3,300 | 160 | 4.1 | 0.011 |
| | 2号 | 8,600 | 1,300 | 1,700 | 15.2 | 1,100 | 2,700 | 15,000 | 970 | 28.5 | 0.005 |

注 無印は蛍光X線法(ドライベース) ※印は原子吸光法(ウェットベース)

スラッジケーキを焼却した際の焼却灰中に残存する重金属類の割合について検討した。

スラッジケーキは含水率約80%であり、焼却による灰の発生は約12%である。これより、焼却灰中への重金属の残存率を試算すると、Hgが一番少なく、1%以下であり、ついでCdが約30~45%、Pbは50~97%であり、他の重金属はほとんど灰に残存していた。換言すれば、HgおよびCdは飛散しやすい金属であるといえよう。

イ ダスト

ダスト濃度およびダスト中の重金属濃度を表6に示す。

ダスト濃度についてみると、処理装置入口は各処理場とも、大体同じ濃度であるが、処理装置出口は小台処理場が電気集塵機を設置していないため、他の処理場より濃度は高かった。

重金属濃度は処理装置入口でFe、Zn、PbおよびCu等が濃度が高く、処理装置出口はZnおよびPbの濃度が高い。

処理場別にみると、ダスト濃度同様小台処理場が高く、特に、ZnおよびPbの濃度が高かった。

処理装置による除去効率は、ダスト濃度については、新河岸処理場と砂町処理場で約99%と高いが、小台処理場は約90%とやや低い。また重金属濃度については、一般的にFeの除去効率が高かった。

表6 ダスト濃度およびダスト中の重金属濃度

1977年 単位 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$

| 処理場名 | 採取場所 | ダスト(g/NM^3) | Ti | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | Pb |
|--------------|--------|-------------------------------|-----|-----|----|-------|----|-------|--------|-------|
| 新河岸 (1号炉) | 処理装置入口 | 0.466 | 350 | 85 | 60 | 8,400 | 85 | 610 | 3,900 | 6,700 |
| | 処理装置出口 | 0.035 | 0 | 8 | 0 | 37 | 3 | 7 | 75 | 130 |
| 小台 (4号炉) | 処理装置入口 | 0.432 | 350 | 35 | 65 | 1,000 | 30 | 440 | 16,000 | 2,900 |
| | 処理装置出口 | 0.044 | 8 | 5 | 10 | 190 | 18 | 140 | 2,400 | 1,300 |
| 砂町 (5号炉) | 処理装置入口 | 0.555 | 310 | 200 | 25 | 7,700 | 50 | 1,600 | 6,900 | 6,400 |
| | 処理装置出口 | 0.007 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 44 | 200 | 250 |

ウ ガス状水銀 (Hg)

重金属類の灰への残存率のところでも述べたがHg (b.p 357℃), Cd (b.p 764℃)は沸点が低く、焼却温度が600~900℃であることから考えると、Hg, Cdが気化しやすい金属であるといえよう。

排ガス中のHg濃度を表7に示す。

新河岸処理場の1978年に測定した値はやや低いが、この時は、焼却負荷量が4~6割と少なかったためと思われる。ガス状Hgは処理装置ではほとんど除去されていないため、Hgに対する処理装置の検討が必要であろう。

(3) 悪臭

三点比較式臭袋法による測定結果を表8に示す。

東京都の悪臭に係る規制基準値は工業地域で臭気濃度1,000であるが、新河岸処理場ではその値を越えていた。また、小台処理場は規制基準値以下であるが、測定時に1,2号炉が止っており、(1~4号炉集合処理)すべての炉が稼動すれば、さらに高い値になると推定される。

多段炉では炉の構造上、乾燥段での未燃ガスがそのま

ま排出することにより、臭気濃度が高くなることは避けられない。そして、現在設置されている処理装置では、規制基準値以下にすることはむずかしいと思われる。

砂町処理場では1979年に、アンモニアの触媒還元方式による脱硝装置を設置し、NOxと同時に臭気を除去する方法が試みられており、この装置の除去効果に期待もたれる。

4 おわりに

汚泥焼却炉の問題点を以下にまとめる。

①HC, COおよび悪臭が高濃度で排出されていた。これは多段炉の構造に起因していると思われ、燃焼条件および排ガス処理方法の検討が必要であろう。

②重金属類の排出、特に、ガス状Hgは処理装置でほとんど除去されずに排出されていた。

なお、今後は、流域下水道等の下水処理場に設置されている流動層炉について調査を行う予定である。

表7 排ガス中の水銀濃度

| 処 理 場 | 新 河 岸 | | | | | 小 台 | | 砂 町 |
|-------------------------|------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|----------|-----------|
| | 1号炉処理装置入口 | | 1号炉処理装置出口 | | 2号炉処理装置出口 | 4号炉処理装置入口 | 集合処理装置出口 | |
| 測定年月日 | 1977.10.14 18 | 1978.12.1 | 1977.10.19 | 1978.12.1 | 1978.11.30 | 1977.10.27 | | 1977.11.2 |
| 濃度(mg/Nm ³) | 0.072 | 0.053 | 0.071 | 0.050 | 0.051 | 0.147 | 0.112 | 0.146 |

表8 臭気濃度

| 処 理 場 | 新 河 岸 | | | | 小 台 | | | 砂 町 |
|-------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|------------|
| | 1号炉処理装置入口 | 1号炉最終口 | 2号炉処理装置入口 | 2号炉処理装置出口 | 4号炉処理装置入口 | 1~4号集合口 | 最終排気口 | |
| 測定年月日 | 1977.11.29 | | 1978.12.4 | | 1977.12.1 | | | 1977.11.29 |
| 臭気濃度 | 7,300 | 1,700 | 7,300 | 7,300 | 5,500 | 1,700 | 970 | 1,700 |

参 考 文 献

- 1) 松井三郎ほか：下水道協会誌，vol 11, No 124, 1974/9
- 2) 田中 and 夫ほか：下水道協会誌，vol 11, No 125, 1974/10
- 3) 東京都公害研究所ほか：江東区新砂地区における大気汚染総合調査結果，昭和53年3月
- 4) 近藤準子ほか：科学，vol 42, No 5, May 1972
- 5) 平岡正勝ほか：環境技術，vol 3, No 3, 1974
- 6) 中西準子ほか：公害研究，vol 7, No 1, July 1977