

固定発生源における凝縮性ダストの排出状況について

Study on Condensible Dust Emissions from Stationary Sources

| | | |
|--------|-----------|---------|
| 井上俊明 | Toshiaki | INOUE |
| 広瀬健二 | Kenji | HIROSE |
| 安藤仁 | Hitoshi | ANDO |
| 大嶋道孝 | Michitaka | OHSHIMA |
| 山田健二郎* | Kenjiro | YAMADA |

キーワード：凝縮性ダスト，都市ゴミ焼却炉，成分分析
 Key words : condensible dust emissions, municipal incinerator, elemental composition

1 はじめに

各種発生源における浮遊粒子状物質の削減対策を進める上で、固定発生源対策は最も重要な対策の一つである。現在、固定発生源から排出されるばい煙の中には、粒子状物質として排出される一次粒子及びガス状物質として排出された後に光化学反応等により粒子化する二次生成粒子の他に、現行のばいじん測定法では測定できない物質で煙突から大気中に排出された直後に粒子化するいわゆる「凝縮性ダスト」の存在が知られている。また、この「凝縮性ダスト」が従来のばいじん排出量の数十パーセントから施設によっては数倍も占めることから、浮遊粒子状物質削減対策上の課題として顕在化してきている。そこで、ここではばい煙発生施設とりわけ都市ごみ焼却炉における「凝縮性ダスト」の排出実態調査を行い、その排出状況の知見を得ることにより、今後の浮遊粒子状物質削減対策のための基礎資料とするものである。

2 調査方法

2.1 採取法

凝縮性ダストを含むばいじんを測定できる測定法の一つである「水-間接冷却法」（図1参照）でJIS Z 8808に基づく等速吸引により調査を行った。

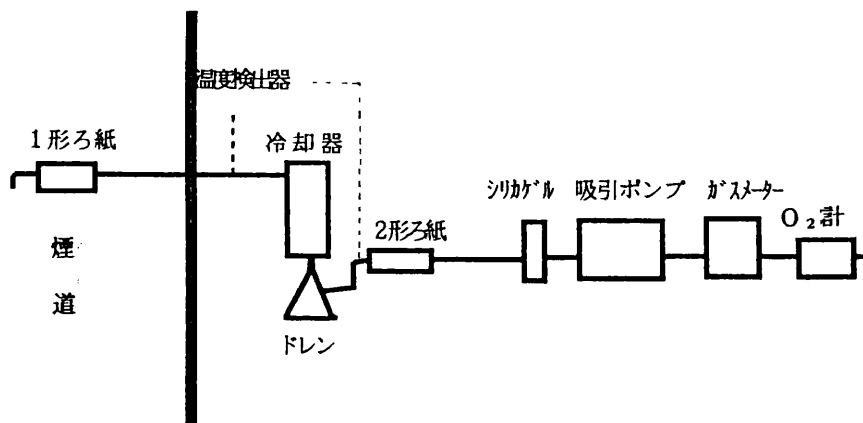
使用する紙は、円筒ろ紙（toyo 88RH 25X90mm）及び円形ろ紙（2500QAST42mmφ）を用いた。

2.2 分析法

(1) ダスト重量

ろ紙（円筒及び円形）：110℃で1時間乾燥し、デシケーター中で放冷後秤量した。

ドレン：冷却管洗液を加えて100～200mlにメスアップした試料を水浴上（80℃）で蒸発乾固し、デシケーター中で乾燥放冷後秤量した。



* 川崎市環境保全局公害部大気課

図1 水-間接冷却法の構成

(2) 金属成分 (Al, Ca, Zn, Cd, Cr, Fe, Cu, Pb, Ni, V, Mn)

ろ紙：フッ酸-硝酸-過塩素酸分解後、原子吸光法で分析定量した。

ドレン：水浴上で蒸発乾固した試料を硝酸-過塩素酸分解後、原子吸光法で分析定量した。

(3) イオン成分 (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)

ろ紙：超音波30分で水抽出し、マイクスGS (0.22 μm) でろ過後、イオンクロマト法 (YOKOGAWA IC-7000P) で分析した。

ドレン：①定量にメスアップしたドレン試料の一部を分取し、マイクスGS (0.22 μm) でろ過後、イオンクロマト法で分析した。

②ドレンを水浴上で蒸発乾固後質量を計量した試料を、50mlの蒸留水で抽出し、マイクスGS (0.22 μm) でろ過後、イオンクロマト法で分析した。

(4) 炭素分析 (C_t , C_{org} , C_{ele})

ろ紙：円筒ろ紙を切り開き底面及び側面をポンチ (10mm Φ) で打ち抜いた試料を2セット作成し、CHN計 (YANACO MT-3 熱分離法) の分析に供した。ただし、円形ろ紙の場合は、1/2に分割した試料を2セット作成し分析に供した。

ドレン：水浴上で蒸発乾固後質量を計量した試料を少量の水で再溶解し、石英トレーに全量移し、さらに水分を除去した試料を2セット用意しCHN計の分析に供した。

一つ目の試料で、全炭素 (C_t) を900 $^{\circ}\text{C}$ He- O_2 で求める。次に二つ目の試料を350 $^{\circ}\text{C}$ 30分間加熱し有機炭素 (C_{org}) を除いた後 C_t と同様の操作で元素炭素 (C_{ele}) を求め、有機炭素は、 $\text{C}_{org} = \text{C}_t - \text{C}_{ele}$ より求めた。

3 結果と考察

1995年に本市で行った凝縮性ダストの実態調査における5施設の調査結果 (表1~表2及び図2参照) によると、図2のダストの重量比率でみるとNO.1施設を除いたNo.2~No.5の4施設において凝縮性ダスト (ドレン+2形) が70~100%を占めている。また、凝縮性ダストの成分組成割合としては、表2から明らかなようにそのほとんどが水溶性成分とりわけ SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^- で占められている。このことから凝縮性ダストの排出状況を把握するためには、この3物質に注目する必要がある。そこで今回は、1995年度に新設された都市ゴミ焼却施設について、凝縮性ダストの水溶性成分及びガス状成分を中心に調査を行った。また、当該調査施設の排ガス処理施設概要を図3に示した。

表1 1995年度調査施設の概要

| 施設No. | 施設名 | 規模 | 燃料 | 排ガス処理施設 |
|-------|-------|----------|-------|-----------------------|
| 1 | ボイラー1 | 125T/H | 重油・軽油 | EP-排煙脱硝-湿式排煙脱硫 |
| 2 | 焼結炉 | 600T/H | Cガス | EP-排煙脱硝-湿式排煙脱硫-湿式EP |
| 3 | ボイラー2 | 400T/H | ガス・重油 | EP |
| 4 | 石油加熱炉 | 1000KL/H | ガス・重油 | 排煙脱硝 |
| 5 | 焼却炉1 | 10T/H | 都市ゴミ | 炉内脱硝-EP+脱塩 (排煙洗浄スカーバ) |

表2 ダスト成分分析結果 (1995年度調査分)

| 施設名 | 捕集部 | 金属成分 | 水溶性成分 | 炭素成分 |
|-------|-----------------|---|--|--|
| ボイラー1 | 1形 ドレン 2形 | 3.4%, V, Ni, Fe, Al 2.3%, Ca, Fe, Al - | 47.0%, SO_4 , Ca, NH_4 46.8%, SO_4 , NH_4 , Ca - | - 1.0%, Ce 18.0%, Co |
| 焼結炉 | 1形 ドレン 2形 | 3.9%, Pb, Fe, Zn, Cu 0.2%, Al, Fe 2.5%, Cu | 70.7%, SO_4 , NH_4 , Cl 92.4%, NH_4 , SO_4 , Cl 100%, SO_4 , Cl | 8.1%, Ce > Co 2.3%, Ce > Co 8.5%, Ce |
| ボイラー2 | 1形 ドレン 2形 | 7.3%, Fe, Ni, Cu 0.4%, Ca, Al 2.8%, Cu | 100%, SO_4 , Cl 46.7%, SO_4 100%, SO_4 , Cl | 85.3%, Ce 0.8%, Ce > 13.2%, Ce > Co |
| 加熱炉 | 1形 ドレン 2形 | - - 1.1%, Cu | - 37.2%, SO_4 , Ca 100%, SO_4 , Cl, Ca | - 0.5%, Ce > Co 25.3%, Ce > Co |
| 焼却炉1 | 1形 ドレン 2形 | 10.6%, Zn, Ca, Al 0.2%, Fe, Al 5.1%, Fe, Cu, Cr | 79.4%, Cl, Na, K, SO_4 99.4%, Cl, NH_4 , SO_4 100%, SO_4 , Ca, Cl | 10.2%, Ce < Co 0.2%, Ce = 0.8%, Ce |

(-): 成分不検出

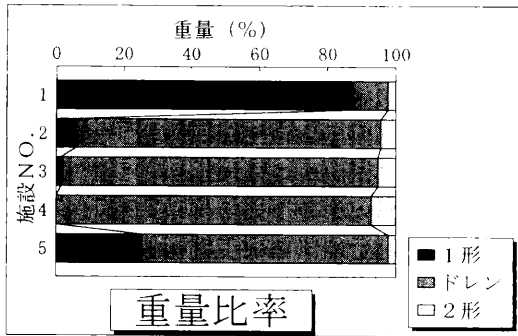


図2 ダストの重量比率

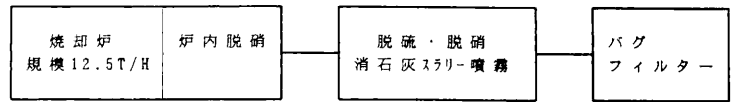


図3 都市ゴミ焼却炉（1996年稼働）の排ガス処理施設

3.1 ダスト濃度結果

今回の調査対象である新設の都市ゴミ焼却炉における「水-間接冷却法」によるダスト濃度測定結果を表3及び図4に円筒、円形ろ紙種類別にそれぞれ示した。

ここで、1形捕集部において捕集される従来形のダストは、円筒・円形ろ紙とも全く捕集されなかった。従ってこの施設は、凝縮性ダストが100%であり、その90%以上がドレン中に捕集されたものであった。また、円筒ろ紙と円形ろ紙とで凝縮性ダスト濃度に差が生じているが、これは採取時間の違いにより、煙道条件が変わった（水分量が20.6%→18.2%）ためと思われる。

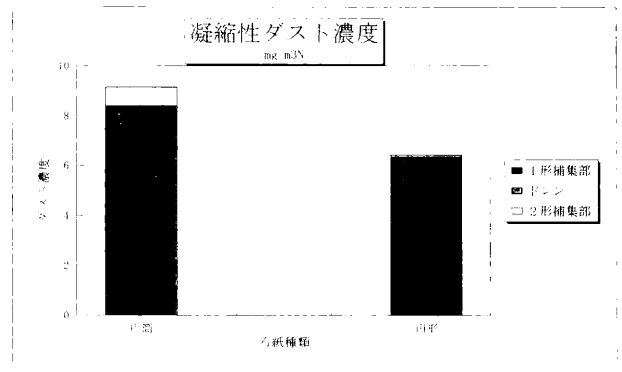


図4 ダスト濃度測定結果

表3 「水-間接冷却法によるダスト濃度測定結果

| ろ紙種類 | 吸引量 LN | 排ガス条件 | | | 1形捕集部 | | 2形捕集部 | | | | 全ダスト濃度 mg/m³N | | | |
|------|-----------|----------|-----------|---------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|-------|------|
| | | 温度 °C | 流速 m/s | 水分 % | 排ガス中 酸素濃度 % | ダスト濃度 mg/m³N | 全ダスト濃度 に対する割合 % | ドレン ダスト濃度 mg/m³N | 全ダスト濃度 に対する割合 % | 2形ろ紙 ダスト濃度 mg/m³N | | 全ダスト濃度 に対する割合 % | | |
| 円筒 | 379.2 | 180 | 13 | 20.6 | 11.7 | 0.00 | 0.0 | 8.39 | 91.7 | 0.76 | 8.3 | 9.15 | 100.0 | 9.15 |
| 円形 | 889.3 | 180 | 13 | 18.2 | 12.9 | 0.00 | 0.0 | 6.35 | 98.8 | 0.08 | 1.2 | 6.43 | 100.0 | 6.43 |

3.2 ダストの水溶性成分結果

ダストの水溶性成分分析結果を表4に示した。

表4のドレンについては、蒸発乾固後ダスト重量を秤量したのち再溶解して分析したものを<ドレン（乾固）>とし、定量にメスアップしたドレンを分取しそのまま分析したものを<ドレン（未処理）>として表示した。

「水-間接冷却法」における凝縮性ダストのドレンのダスト重量は、蒸発乾固後の秤量値で求めるので、ドレンの蒸発乾固の影響による成分組成の違いを見るためにドレンの（乾固）・（未処理）の成分比較を行った。

成分別にみるとSO₄²⁻、NH₄⁺については変化はなかったが、Cl⁻については99%が気散し、その他Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺等の陽イオンについても減少がみられた。また、ドレン（乾固）の成分のうちSO₄²⁻、NH₄⁺、Cl⁻についてモル比でみると（NH₄）₂SO₄とNH₄Clの塩として残っているものと思われる。これらの塩は排ガス冷却直後に生成されたいわゆる凝縮性ダストの一部と思われるが、これらの成分はドレンダスト重量の50%弱であり、その他の未解明成分については、今後さらに塩生成時の結晶水等の影響も含め詳細な検討を行う必要があると思われる。

表4 ダストの水溶性成分分析結果

| 施設名 | 捕集部 | ダスト捕集量 (μg) | 水溶性成分 | | | | | | | | |
|-----------|------------|-------------|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | 合計 (μg) | Ca ²⁺ (μg) | Mg ²⁺ (μg) | Na ⁺ (μg) | K ⁺ (μg) | Cl ⁻ (μg) | NO ₃ ⁻ (μg) | SO ₄ ²⁻ (μg) | NH ₄ ⁺ (μg) |
| 焼却炉2 | 1形 | 0 | 180 | tr | tr | tr | tr | tr | 180 | tr | tr |
| | ドレン (5650) | 5650 | 2666 | 44 | 16 | 44 | 112 | 560 | tr | 1200 | 690 |
| | ドレン (未処理) | 69490 | 69490 | 360 | 70 | 1250 | 320 | 65600 | tr | 1200 | 690 |
| | 2形 | 70 | 0 | tr | tr | tr | tr | tr | tr | tr | tr |
| | 定量下限 (μg) | | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 25 | 10 |
| ろ紙ブラ (μg) | | | 12 | 0 | 17 | 68 | 10 | 34 | 96 | 0 | |
| 試薬ブラ (μg) | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

tr: 定量下限値以下, (-): 分析不能
 ドレン (乾固): 蒸発乾固後再溶解して分析したもの
 ドレン (未処理): 未処理のドレンを分取しそのまま分析したもの

3.3 ガス状成分の物質収支

凝縮性ダストは、ガス状成分の一部が冷却直後に粒子化するものである。そこで、ガス状成分としてHCl、SO₂、NH₃、NO_xについて「水-間接冷却法」の採取前後における排ガス中のこれらガス成分濃度測定を行い、さらにドレン中の水溶性成分と併せてガス状成分の動向をみた。試料採取位置を図5に示し、ガス状成分の物質収支を表5に示した。

表5よりHCl濃度は、①の煙道内排ガスが50ppm、②の「水-間接冷却法」による2形ろ紙採取後の排ガス濃度が0.4ppmで①-②が49.6ppmとなりこれをCl⁻重量に換算すると69,900μgとなる、またドレン中のCl⁻成分の分析値は65,600μgであったので、HClについてはそのほとんどがドレン中に捕集されていることが分かる。

SO₂については、①が12ppm、②が16ppmと濃度が逆転しているがこれは煙道内の濃度が低めに計測されたもので①から②での濃度低下はなかった。しかし、ドレン中のSO₄²⁻成分は1,200μg検出されたが、これは煙道内のSO₃やSO₄²⁻ミストなどがドレン中に捕集されたものと思われる。NH₃濃度は、①煙道内1ppm、②採取後は不検出であった。①-②が1ppmでNH₄⁺重量換算すると710μgで、ドレン中のNH₄⁺成分が690μgであったのでガス状NH₃についてもほとんどがドレン中に捕集されている。NO_xについては、①と②で1ppmの差があったが、ドレン中のNO₂やNO₃⁻が検出されなかったのでガス状NO_xのドレンへの溶け込みはほとんどないものと思われる。また、サンプリング中のO₂濃度の変化はなかった。

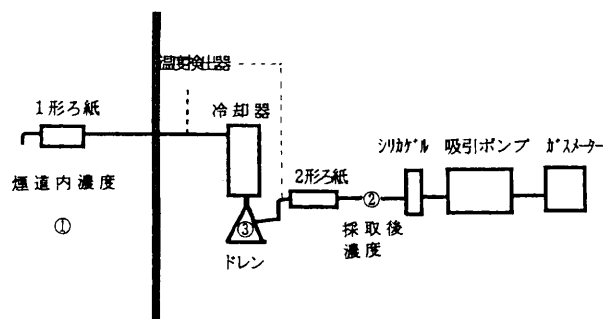


図5 ガス成分採取位置

表5 ガス状成分の物質収支

| ガス状成分 | ① | ② | ①-② 差引換算重量 μg | ③ | 蒸発乾固後の 水溶性成分 μg |
|-------------------|---------------|----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 煙道内 濃度 ppm | 採取後の 濃度 ppm | | ドレン中の 水溶性成分 μg | |
| HCl | 50 | 0.4 | 69900 (Cl) | 65600 | 560 |
| SO ₂ | 12 | 16 | 0 (SO ₄) | 1200 | 1200 |
| NH ₃ | 1 | tr | 710 (NH ₄) | 690 | 690 |
| NO _x | 43 | 42 | 1190 (NO) | tr (NO _x) | tr (NO _x) |
| O ₂ 濃度 | 12.1% | 12.2% | | | |

4 まとめ

「水-間接冷却法」におけるガス状物質の動向は、次のようにまとめられる。

- (1) HClは、ほとんどがドレン中に捕集されるが、蒸発乾固の過程で塩を生成した残分を除いて全て気散する。
- (2) SO₂は、ドレンには捕集されず、煙道内のSO₂やSO₃ミストなどが冷却過程でNH₃などの陽イオンと塩を生成しドレン中に捕集されるものと思われ、蒸発乾固後も全て残っている。
- (3) NH₃は、ほとんどがドレンに捕集され、蒸発乾固過程でも陰イオンのカウンターパートとして全て残ることが確認された。
- (4) NO_xについては、ドレン中のNO₂やNO₃等のイオンは検出されず、ドレン中にはガス状NO_xは捕集されないことが分かった。

文 献

- 1) 井上俊明, 安藤仁, 佐藤静雄, 山田健二郎: ばい煙発生施設における凝縮性ダストの排出状況について, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 293(1996)
- 2) 井上俊明, 安藤仁, 佐藤静雄, : 簡易焼却炉における凝縮性ダストの排出状況について, 第36回大気汚染学会年会講演要旨集, 340(1995)
- 3) 広瀬健二, 安藤仁, 井上俊明, 佐藤静雄, : 都市ゴミ焼却炉における凝縮性ダストの調査, 川崎市公害研究所年報, 22, 5~10(1996)
- 4) 石井克己: 水-間接冷却法における採取・分析条件が凝縮性ダスト濃度に与える影響について, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 291(1996)
- 5) 谷本高敏: 凝縮性ダストを含む発生源ダストの測定(Ⅱ), 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 294(1996)
- 6) 小暮信之, 白波瀬雅明, 田中学, 大井明彦: 固定発生源から排出される凝縮ダストの排出特性-化学成分と排ガス温度の関係-, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 295(1996)
- 7) (財)日本品質保証機構: 平成7年度環境庁委託事業, 凝縮性ダストを含むばいじん測定法検討調査報告書, (1996)
- 8) 中田利明, 石井克己, 依田彦太郎, 星野充, 伊藤章夫: 水-間接冷却法による凝縮性ダストを含むばいじん排出実態調査, 第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 292(1996)
- 9) 大塚英幸, 秋山雅行, 岩田理樹, 酒井茂克: 固定発生源からの凝縮性ダストを含むばいじん排出調査第37回大気汚染学会年会講演要旨集, 290(1996)
- 10) 広瀬健二, 安藤仁, 井上俊明, 佐藤静雄, : 都市ゴミ焼却炉における凝縮性ダストの調査, 第22回環境保全・公害防止研究発表会講演集, 51(1995)