

廃棄物焼却炉から排出される化学物質について

- クロロベンゼン類と揮発性有機化合物(VOC)を中心に -

大気環境担当 唐牛聖文

1 はじめに

廃棄物焼却炉からは、様々な化学物質が排出されている。窒素酸化物、硫黄酸化物、塩化水素等はその代表的なものであり、これらには排出基準が定められている。また近年、ダイオキシン類に関する問題が大きく取り上げられるようになり、それに伴って緊急な対策が講じられた結果、国内の総排出量は減少傾向にある。その一方で、排出規制が行われていない化学物質も数多く存在する¹⁾。今回は、その中からいくつかの化学物質に注目して、その排出状況を把握することを目的とした。なお、焼却排ガスは、その稼働状況により濃度範囲が広くなることが想定されるため、サンプリング方法、分析方法の検討も併せて行った。

2 調査方法

2.1 対象物質

焼却排ガス中に含まれる化学物質の中から、どの化合物を選択するかを検討した結果、今回の調査では、まず燃焼の状況を反映しうるものとして、揮発性有機化合物を対象とした。燃焼室内のごみの燃焼状況を判断する指標として、一般に一酸化炭素が用いられるが、他の化合物との関連で見ると、例えばダイオキシン類の排出濃度を推定するための指標には必ずしも適切でないことがわかっている。今回行ったすべての調査において、塩素数が4以上のダイオキシン類の測定を同時に行っているため、この測定データを有効に利用するために、塩素を含む揮発性有機化合物も対象物質とした。

さらに、塩素を含む化学物質としてクロロベンゼン類を対象とした。クロロベンゼン類には、塩素数の異なる同族体が12種存在するが、各々の物性は大きく異なっている。これらを一齐に測定することにより、その焼却炉における排出状況を概観することを目的とした。同時に、ダイオキシン類の前駆体として知られるこれら一群の測定を行うことにより、ダイオキシン類との挙動の類似性についての検討を行った。

2.2 測定方法

2.2.1 揮発性有機化合物(VOC)

焼却排ガス中の揮発性有機化合物(以下「VOC」と表記)は、焼却施設の種類やごみの性状、さらに焼却炉の燃焼状態により濃度レベルが大きく変化する可能性がある。吸着剤が充填された捕集管を使った場合に問題となるのが、採取された対象物質が採取中に捕集剤から脱着してしまうという、いわゆる「破過」現象である。このことを考慮した結果、今回の調査では、容積が1Lのガラス製真空ピンを用いて排ガスを5分間で採取し、任意の量をGC/MSに導入することにより、試料中のVOCの濃度レベルに応じた分析を行った。試料の濃縮には、Tekmer社のAutoCanを用いた。これは、液体窒素と吸着剤を使用することにより試料ガスを2段階にわたって濃縮し、GC/MSに導入する「試料濃縮導入装置」である。この装置を用いることにより、40成分に及びVOCを約1時間で分析することができる。分析はscanモードで行うことにより、ピークの誤認の可能性を極めて低くした。

2.2.2 クロロベンゼン類(CBs)

クロロベンゼン類(以下「CBs」と表記)の12種ある同族体の中で、塩素数が1ないし2の同族体は常温で液体であり揮発性が高く、VOCに分類される。塩素数が3以上のものは、常温で液体または固体で、蒸気圧は塩素数の増加とともに小さくなる。今回の調査では、これら性質の異なる12種の同族体を一齐に測定することを目標とした。

試料採取には、スチレン-ジビニルベンゼン共重合体からなるXAD-2捕集剤が150mg充填された外径8mm、長さ100mmの捕集管と、活性炭が150mg充填された外径6mm、長さ70mmの捕集管を1本ずつ用

いた。配列は、排ガスの流入側にXAD-2捕集管、流出側に活性炭捕集管が位置するようにした。活性炭捕集管の後ろにダイヤフラム式ポンプを設置し、ポンプの出口に積算流量計を配した。積算流量計の直前には、通気ガスの温度を測定するための温度計を設置した。200mL/minで1時間採取することを原則としたが、焼却炉の運転状況に応じて採取時間を適宜変化させた。対象物質が捕集管から破過していないかを確認するため、捕集管内で2層になっている捕集剤を必要に応じて個別に分析した。捕集剤からの抽出は、XAD-2にはヘキサン3mLを、活性炭には二硫化炭素を2mL用い、超音波抽出法により行った。抽出後に定容とし、内部標準物質を添加後、GC/MS-SIMにより分析を行った。

3 結果と考察

3.1 焼却炉の諸元について

調査を行った施設は全部で23施設である。そのうち22施設が産業廃棄物焼却炉である。調査対象施設を燃焼能力別に分類すると、表1のようになる。ごみの投入方式は、バッチ式が20施設、連続投入式が3施設である。燃焼方式による分類法にはいくつかあるが、ここではごみを高温で燃焼させる方式(便宜的に「一般炉」と表記)と、低温で未燃ガスを発生させた後に、高温の別室で未燃ガスを燃焼させる「ガス化燃焼炉」(以下「ガス化炉」と表記)の2種に大別した。前者は15施設、後者は8施設であった。

表1 調査施設の燃焼能力
単位:kg/h

燃焼能力	施設数
~ 100	3
100 ~ 500	7
500 ~ 1000	7
1000 ~ 5000	5
5000 ~	1

排ガスの処理方法別で分類すると、表2のようになる。サイクロンを設置した施設が最も多く、次いでバグフィルターが多い。電気集じん機は、燃焼能力が1000kg/h以上の大型焼却炉に設置されているケースが多かった。

表2 排ガス処理装置
(複数設置を含む、のべ数)

装置名	装置数
スクラパー	5
サイクロン	10
電気集じん機	4
バグフィルター	6

3.2 揮発性有機化合物(VOC)の調査結果

図1に、一般炉におけるVOCの測定結果を示す。施設名は、測定したVOCの総濃度が高い順にA~Oとした。A及びBは、総VOC濃度が約30000~35000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、C~Eは約1000~2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、F~Oは約30~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

ベンゼン、トルエンの比率が総じて高いが、総VOC濃度が高いと、ベンゼンの比率が高くなり、総VOC濃度が低くなると、トルエンの比率が高くなる例が比較的多く見られた。個々の施設について見てみると、施設Bでは、他の施設ではほとんど検出されなかった1,3-ブタジエンやスチレンの比率が非常に高い結果となった。この施設は、木く

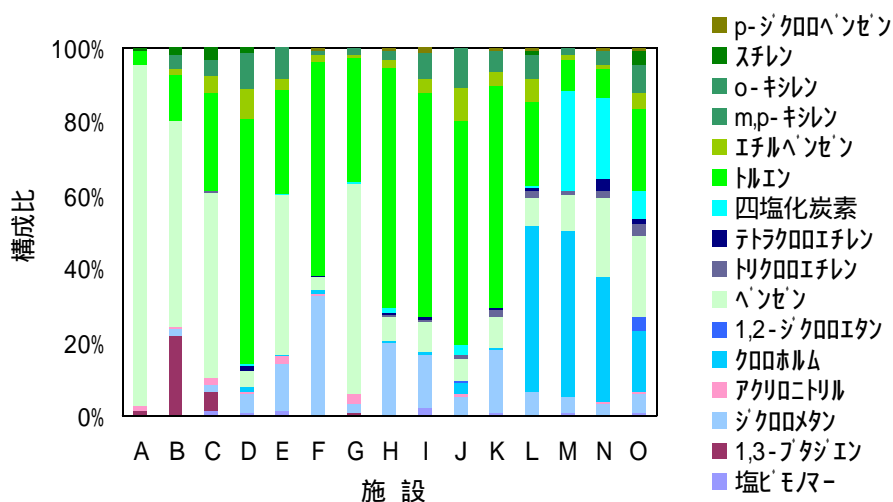


図1 一般炉におけるVOCの構成比

ずを焼却する、燃焼能力90kg/hの小型バッチ式焼却炉である。VOC採取時の平均CO濃度は、約1500ppmであり、今回調査をした施設の中で最も高い数値であった。このことから、施設Bでは不完全燃焼が起きている時間帯が少なからず存在しており、結果的にこれら2物質の濃度比率を高める要因となったと考えられる。

図2に、燃烧室温度とトルエン、テトラクロロエチレンの濃度の関係を示す。一般炉では、燃烧室温度が 500 前後で、トルエン、テトラクロロエチレンとも濃度が大きく異なっていることがわかる。また、CO 濃度との関係を調べたところ、CO 濃度が高くても総 VOC 濃度が高くないケースがあったため、燃烧の仕方だけでなく、燃烧室の温度も VOC の濃度に影響を及ぼしていることが考えられる。先にあげた施設Bの燃烧室温度は、400～620 で推移していたため、CO濃度が高く、さらに燃烧室温度が低かったことが、VOC濃度が高くなった原因と考えることができる。また、ガス化炉の場合では、トルエン、テトラクロロエチレンとも低い濃度範囲にとどまった。調査を行ったいずれの施設も、二次燃烧室温度が 800

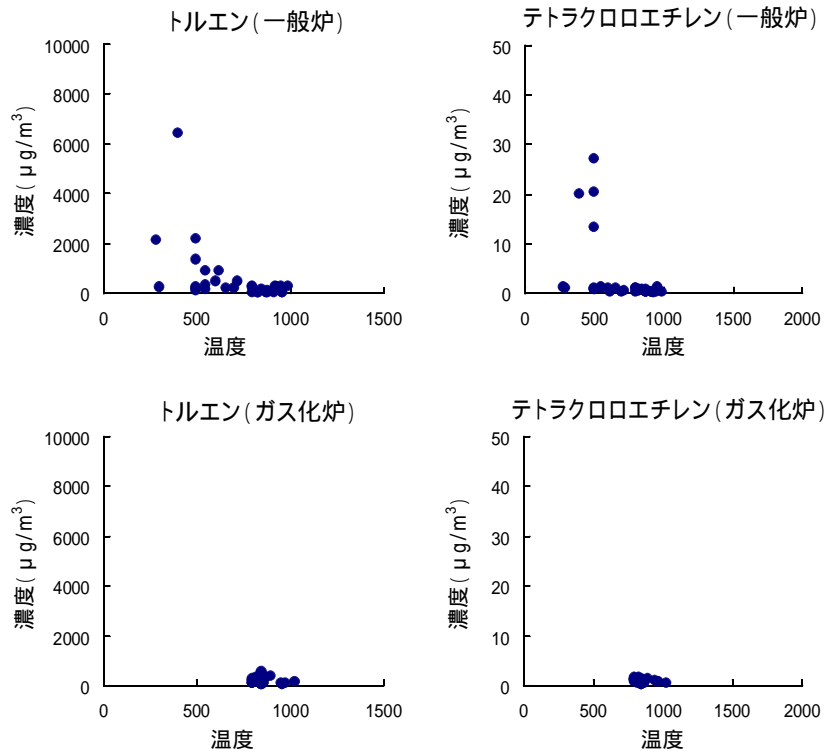


図2 燃烧室温度とVOC濃度の関係

以上で稼働しており、一次燃烧室で発生した未燃ガスが、二次燃烧室で効率良く燃烧していると言うことができる。今回調査を行った全てのガス化炉において、総 VOC 濃度は 90 ~ 1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、一般炉と比較すると最高値でも20分の1と、非常に低いことがわかった。

3.3 クロロベンゼン類 (CBs) の調査結果

一般炉における CBs の濃度を図3に示す。横軸の施設は、図1と同様に総 VOC 濃度が高い順に並んでいる。A～Oのどの施設においても、Mono-CB と Di-CB を合わせると、全体の6割から9割を占めていることがわかる。総 CBs 濃度は、最も高い施設Eが 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、最も低い施設Hが 2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。総 VOC 濃度の順位と比較すると、総じて類似した傾向を持つが、施設C、E、H等で大きく異なっていた。

図4に、ダイオキシン類実濃度とCBs濃度との関係を示す。CBsはダイオキシン類の前駆体として知られており、その関係については様々な研究が行われている。以前筆者らは、同一炉において、その燃烧条件等を変化させてダイオキシン類、CBs等の排出濃度を調査したことがある²⁾。その結果、Penta-CBとダイオキシン類濃度との間に良い相関関係があることを見出した。本調査は焼却炉をすべて変えているため、直接比較することはできないが、塩素数の多い

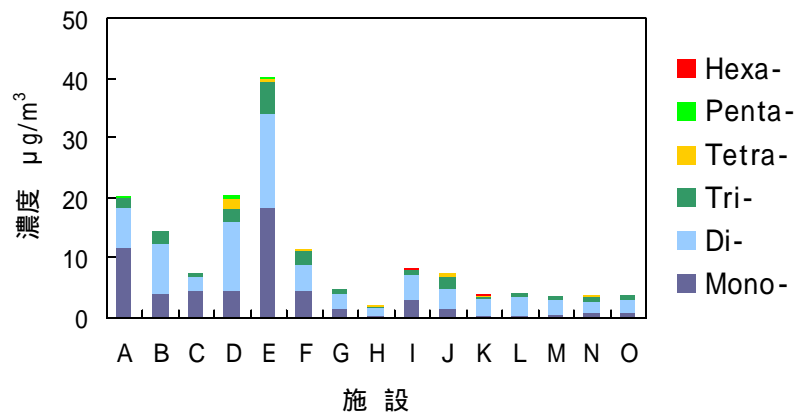


図3 一般炉におけるクロロベンゼン類の濃度

い CBs のうち、Penta-CB とダイオキシン類との間に良い相関関係が見られることがわかる。このように、異なる焼却炉において両者の排出濃度に同じような傾向が見られるということから、Penta-CB 濃度が、

塩素数4以上の総ダイオキシン類の排出傾向を反映すると考えられる。一方、塩素数が少ないCBsについては、ダイオキシン類との間に良い相関関係は見られなかった。これは、ダイオキシン類との物性の違いが大きいため、両者の挙動に大きな差異があるためと考えられる。

図5に、CO濃度とMono-CB / Total-CBs比の関係を示す。これより、CO濃度とMono-CBのTotal-CBsに占める存在比の間に良い相関関係が見られることがわかり、Mono-CBの存在比は、不完全燃焼の指標として見る事ができる。また、一般炉とガス化炉を比較すると、CO濃度の低い領域で両者のMono-CBの存在比に差が見られ、挙動の違いが示唆された。

4 おわりに

廃棄物焼却炉から排出される揮発性有機化合物及びクロロベンゼン類の調査を行った。その結果、揮発性有機化合物は、燃焼室の温度によって濃度が大きく異なることがわかった。また、クロロベンゼン類は、CO濃度によって構成比が変わり、モノクロロベンゼンが総クロロベンゼンに占める濃度の割合と、CO濃度との間には良い相関関係があることがわかった。

さらにペンタクロロベンゼン濃度とダイオキシン類の実濃度との間に、良い相関関係が見られることがわかり、ペンタクロロベンゼンを測定することにより、ダイオキシンの排出状況を把握できることがわかった。現在、対象物質の範囲を大幅に拡大して、焼却炉周辺の大気も含めた調査を、複数の担当グループから構成されたチームで行っている。

参考文献

- 1) 例えば、尹順子ら：都市ごみ焼却施設（流動床炉）における微量有機化合物の発生実態、第28回大気汚染学会年会
- 2) 唐牛聖文, 竹内庸夫, 植野裕：廃棄物焼却炉から排出されるダイオキシン類及び指標物質の排出特性, 埼玉県公害センター研究報告, 26, 1-8(1999)

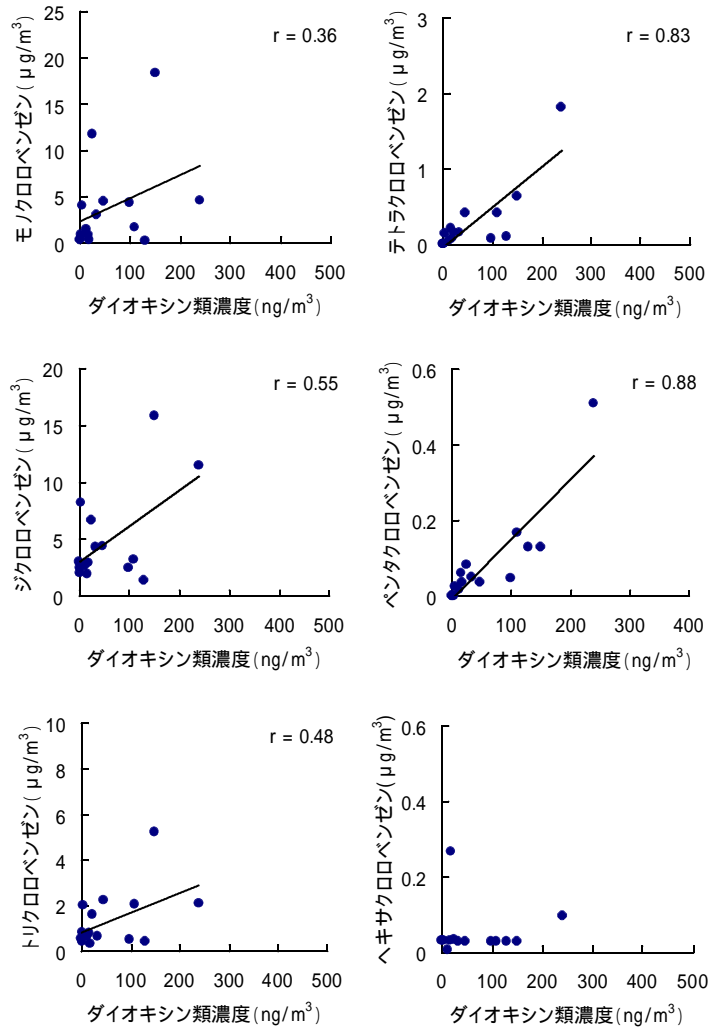


図4 ダイオキシン類実濃度とクロロベンゼン類濃度の関係

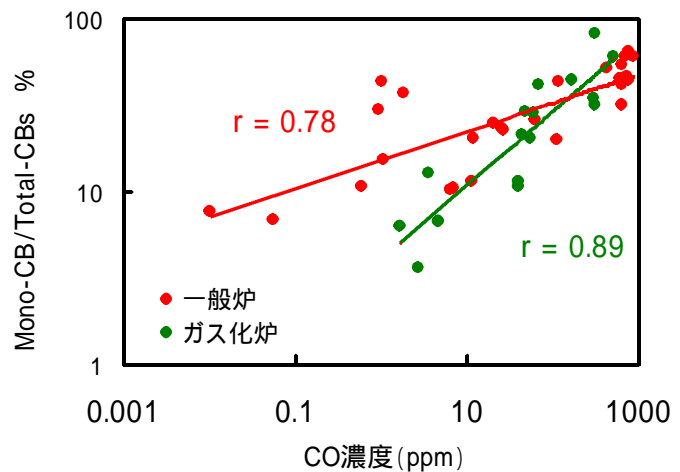


図5 CO濃度とMono-CB / Total-CBsの関係

