小型焼却炉におけるダイオキシン類の 簡易監視法

山下 正純, 本田 克久*

三浦工業株式会社三浦環境科学研究所 (〒799-2430 愛媛県北条市辻864-1)

*愛媛大学農学部 (〒790-8566 愛媛県松山市樽味3-5-7)

[平成15年2月3日受理]

A Simplified Method for the Monitoring of Dioxins on Small Size Incinerator

Masazumi YAMASHITA and Katsuhisa HONDA *

Miura CO., LTD. Miura Institute of Environmental Science
(864-1 Tsuji, Hojo, Ehime 799-2430)

* Faculty of Agriculture, Ehime University
(3-5-7 Tarumi, Matsuyama, Ehime 790-8566)

[Received February 3, 2003]

Summary

In order to devise a simplified monitoring method of dioxins, the concentrations of chlorobenzenes (CBz), chlorophenols (CPh) and carbon monoxide (CO) were compared to the concentration of dioxins. The concentrations of CBz and CPh, that are dioxin analogues, were approximately correlated to one of dioxins, and therefore it was considered to be efficient in monitoring dioxins for small size incinerator. A significant positive correlation ($n=12$, $r=0.845$, $p<0.01$) was also found between concentrations of CO and dioxins at early time from ignition, indicating that indirectly measurement of CO by using smoke tester is useful to see if burning at early time from ignition is good or not.

Key words: Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, Polychlorinated dibenzofurans, Carbon monoxide, Smoke scale, Dioxin analogues

1. はじめに

ダイオキシン類の排出を未然に防止するためには排ガス中のダイオキシン類濃度を継続的に監視する必要がある。しかし、JISで定められている「排ガス中のダイオキシン類およびコプラナーPCBの測定方法」(JIS K0311¹⁹⁹⁹, 以下JIS法と略す)¹⁾に例示されたインピンジャを用いた従来法では、

1) 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計等の高価な

分析機器を必要とすること

2) 抽出から分析までの操作が煩雑で時間を要する(約1ヶ月余り)こと

3) 高度な分析技術を要すること

4) 測定コストが高い(一般に数十万円/検体)こと
といった問題があり、この方法によって日常的な排出状況を迅速に把握することは困難である。

そこで本研究では、大型施設の排ガス中ダイオキシン類の監視方法として、現在検討が進められつつある簡易

分析法^{3,9)}や代替指標による間接的なダイオキシン類濃度の推定等の手法⁹⁻¹⁰⁾が、大型施設に比べごみ質や燃焼状況が不安定とされる小型焼却炉においても適用可能であるかの考察、確認を行うと共に、排ガス中ダイオキシン類の排出状況を現場で日常的に確認可能な方法として、ばいじんの簡易測定法¹⁰⁾として用いられているスモークテスターの適用可能性について検討を行った。

2. 実験用小型焼却炉およびダイオキシン類の試料採取と分析方法

以下に本研究で用いた小型焼却炉と排ガス中ダイオキシン類の試料採取と分析方法について述べる。

2. 1 実験用小型焼却炉

小型焼却炉本体としては二次燃焼バーナ内蔵型の一般雑芥炉A、一般雑芥炉B(株式会社ヲサメ工業製、処理能力45kg/hr、火床面積0.49m²、通風方式は押し込み通風)および一次、二次燃焼バーナ内蔵型のガス化燃焼炉(株式会社ヲサメ工業製、処理能力45kg/hr、火床面積0.49m²)の計3台を使用した。

2. 2 排ガス試料中のポリ塩化ジベンゾパラジオキシン、ポリ塩化ジベンゾフラン、コプラナーPCB(以下ダイオキシン類と略す)採取方法

焼却開始の着火、立ち上げから火炎がなくなる立ち下げ時間までの全運転期間に渡って、2次燃焼室出口側に設けたサンプリング口より排ガス試料を採取した。なお、以下の排ガス中のダイオキシン類濃度等測定値については、特に断らない場合、酸素濃度12%換算を行った値で示している。

排ガス試料の採取方法は、「排ガス中のダイオキシン類およびコプラナーPCBの測定方法」(JIS K 0311₁₉₉₉)¹⁾、「廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定分析マニュアル」²⁾に倣った。つまり、排ガス試料は、ガラス製採取プローブに円筒ろ紙(88RH:Toyo Roshi Kaisha, Ltd)、インピンジャー(吸収液:ヘキサン洗浄水、ジエチレングリコール)、XAD-2樹脂を接続したものをを用いて採取を行った。試料は採取後遮光し、分析を行うまで冷暗所にて保存した。

2. 3 試料の分析方法

排ガス試料の分析方法は「排ガス中のダイオキシン類およびコプラナーPCBの測定方法」(JIS K 0311₁₉₉₉)¹⁾、「廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定分析マニュアル」に倣った。以下にその概略を示す。

排ガス試料について、採取プローブに付着した残渣、円筒ろ紙は塩酸処理後ソックスレー抽出を、採取プローブの洗液およびインピンジャーの吸収液は、トルエンに

て振とう抽出を、XAD-2樹脂はソックスレー抽出を行い、それぞれの抽出液をあわせ、粗抽出液とした。

粗抽出液は、定容後、ダイオキシン類分析用として分取し、多層シリカゲルカラム(硝酸銀シリカゲル、硫酸シリカゲル、KOHシリカゲル)および、活性炭埋蔵シリカゲルでクリーンアップおよび分画を行った。測定は、分析用カラムとしてSP-2331、SPB-50(Supelco)、DB-5MS(J&W)を装着したHRGC-HRMS(JMS-700, SX-102A:日本電子株式会社)で、設定分解能10000で測定した。

なお、分析における精度は内標準法により回収率を計算し、50~120%以内であることを確認した。

3. ダイオキシン類の簡易測定(1)(直接定量による方法)

3. 1 採取フィルタ法

ダイオキシン類対策特別措置法において焼却能力50kg/h以上の小型焼却炉においても、年1回の排ガス中のダイオキシン類測定が義務付けられ、従来に比べ分析検体数が大幅に増加することが予想される。また分析コストの負担軽減といった背景から今後さらに、迅速かつ経済的な簡易測定法が求められる状況にあると言える。

著者ら^{3,7)}は、JIS法で例示されたインピンジャを用いた従来法に比べ採取や分析の効率化が図れる採取フィルタ法について報告している。この方法で用いる採取フィルタは、Fig.1に示すように、インピンジャを用いた従来法に比較して、構造が単純であるため、現場での採取作業が容易になると同時に、粗抽出液を得るまでの分析工程も大幅に簡素化されることから、小型焼却炉での迅速かつ経済的な簡易測定法として有効な手段になると考えられる。

3. 2 OCDD濃度からの推定

JIS法では、毒性等量の算出にあたって4塩素から8塩素体にわたって数多くの異性体別濃度を個別に定量する必要があるため、分析にあたって煩雑な前処理工程が必要となると同時に、最終の検出器として高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計等の高価な分析機器が必要である。

広田ら⁸⁾は、検出器としてポータブルガスクロマトグラフ(SAW/GC)を用いて、ダイオキシン類の一異性体であるOcta-chlorodibenzo-*p*-dioxin(以下OCDDと略す)濃度を測定し、あらかじめ求めておいた全ダイオキシン類の毒性等量との関係から、全ダイオキシン類の毒性等量を推定する方法について報告している。この方法では、OCDDのみの分離定量ができればよいため、JIS法に比べ前処理が簡略化でき、検出器もより簡易な装置で検出可能となるため、現場での短時間測定が可能になる

と考えられる。

また、広田らは、飛灰中のダイオキシン類について検討を行い良好な相関が得られたとしているが、本検討では、小型焼却炉の排ガスについて OCDD 濃度と全ダイオキシン類濃度との相関が得られるかどうかの確認を行った。使用した焼却炉の運転条件を Table 1 に、OCDD 濃度と全ダイオキシン類 (PCDD/DF 合計) 濃度の測定結果を Fig. 2-1(一般雑芥炉 A の排ガス, 測定数12, 相関係数0.913, 危険率1%で相関あり), Fig. 2-2(ガス化燃焼炉の排ガス, 測定数4, 相関係数0.993, 危険率1%で相関あり) に示す。

ガス化燃焼炉の方が、OCDD の割合が大きい点は異なるものの、同一の焼却炉で同一の調製ごみで運転した場合には、良好な相関が得られている。この関係と前述した採取フィルタによる採取を組み合わせることで、たとえば、採取フィルタに採取された OCDD 濃度を広田らの方法⁸⁾で前処理、検出すれば、短時間でダイオキシン類の推定値を得ることが可能となるため、日常もしくは定期的な燃焼管理を迅速に行う上で有効な手段になるものと考えられる。

4. ダイオキシン類の簡易測定 (2) (間接定量による方法)

3. 1~2 項では、ダイオキシン類を直接定量する方法について述べたが、大型の都市ごみ焼却施設でリアルタイムに燃焼管理を行う方法として、一酸化炭素 (以下 CO と略す) を不完全燃焼の程度を示す管理指標として用いたり、クロロフェノール類 (以下 CPh と略す) やクロロベンゼン類 (以下 CBz と略す) のような前駆体物

質、有機ハロゲン化合物といったダイオキシン類濃度に相関の強いと考えられる物質をダイオキシン類の代替物質として間接的に定量する方法の検討が進められている⁹⁻¹⁰⁾。

ここでは、小型焼却炉の排ガスについて、それら前駆体 (CPh, CBz) 濃度や CO 濃度とダイオキシン類濃度との相関を把握すると共に、その関係を利用した日常もしくは定期的な燃焼状態を簡易的に把握・監視する方法について検討を行った。

4. 1 前駆体濃度からの推定

日常もしくは定期的な管理においては、必ずしもダイオキシン類の絶対的な濃度の定量が必要ではなく、ダイオキシン発生的に見た場合の燃焼の良否判定ができればよい。管理指標となりうる物質があれば、その監視によって運転管理を行うことが可能となる。

本検討では、小型焼却炉の排ガスについてダイオキシン類の代表的な前駆体とされるクロロフェノール類 (CPh)、クロロベンゼン類 (CBz) の濃度と全ダイオキシン類濃度との相関を確認し、それらが管理指標となりうるかどうかの検討を行った。使用した焼却炉の運転条件を Table 1 に、塩素数が同じ同族体別の CPh, CBz 濃度と全ダイオキシン類 (PCDD/DF 合計) 濃度の測定結果を Fig. 3-1(一般雑芥炉 B 焼却炉の排ガス, CBz 合計で測定数4, 相関係数0.926, 危険率10%で相関あり), Fig. 3-2(一般雑芥炉 B 焼却炉の排ガス, CPh 合計で測定数4, 相関係数0.959, 危険率5%で相関あり) に示す。CPh, CBz の分析方法は、廃棄物処理におけるダイオキシン類測定分析マニュアル¹⁰⁾の CBz, CPh 分析フ

Fig. 1 The conventional impinger method and the new sampling filter

ローの例によった。いずれの同族体についても同一の焼却炉で同一の調製ごみで運転した今回のケースでは、良好な相関が得られている。この関係からダイオキシン類の管理指標として CPh, CBz を活用することで、たとえば、現場で即座に結果が得られる検知管（約200～500円/回程度）で採取・定量を行ったり、ポータブルの連続測定器（数百万円/台）で連続測定すれば、オンタイムで測定値が得られるため、燃焼調整等を含んだ日常的な燃焼管理を行う上で有効な手段になるものと考えられる。

4. 2 CO 濃度からの推定

従来、ダイオキシン類の代替指標として、CO 濃度の有効性を示すものとしては、同一の焼却プラントにおいては CO 濃度とダイオキシン類濃度の間に強い相関が見

られるデータ¹⁶⁾や、CO 濃度を 5 ppm 以下にすればボイラ出口のダイオキシン類濃度を 1 ng-TEQ/Nm³程度に低減可能であることを示すデータ¹⁷⁾等が報告されている。しかし、その一方で、CO 濃度が 10ppm 以下の領域では良好な相関が必ずしも得られないといった報告¹⁸⁾もあり、CO 濃度の高低が直接的にダイオキシン生成に関わっているとは単純に考えられないため、代替指標として用いる場合にも、その適応限界について十分な考慮が必要と考えられる。

ダイオキシン類濃度を直接連続測定する技術はまだ確立されていないため、CO 濃度とダイオキシン類濃度の相関は、瞬間濃度ではなく、それぞれの平均濃度についての相関を確認することになる。その際、採用した平均濃度が燃焼過程のどの時間帯についてのものであるかということが相関の有無にずれを生じさせる大きな要因の

Table 1 Specification of each small size incinerator and condition of experiments

equipment	type of incinerator	the number of experiment times	items of measurement	refuse sample	sampling time
A	direct combustion [only burning refuse]	12	PCDD/DF CO	paper(18kg) PVC(2kg)	about 90min
B	gasification [gasifying and burning refuse]	4	PCDD/DF CO smoke scale no.	paper(35kg) polyethylene(12.5kg) PVC(2.5kg)	about 150min
C	direct combustion [only burning refuse]	4	PCDD/DF Chlorobenzenes Chlorophenols	wood chip(48.5kg) PVC(1.5kg)	about 90min

Fig. 2-1 Relationship between OCDD concentration and PCDD/DF concentration (equipment A: direct combustion type)

Fig. 2-2 Relationship between OCDD concentration and PCDD/DF concentration (equipment B: gasification type)

一つとして考えられる。

バッチ処理で廃棄物を焼却した場合のCO濃度の測定チャートの例をFig. 4に示す。COの変化で特徴的なピークが現れるのは廃棄物が多く存在する燃焼初期の段階であり、やがて火炎がほとんど無くなり焼却物が炭から灰になる段階を迎えるがその段階においては、CO濃度の大きなピークは現れない。また、ダイオキシン類生

成の材料物質と考えられる炭化水素類や塩化水素ガス等の多くは燃焼初期の段階で発生すると考えられることから、そうした燃焼初期の段階でのCO濃度の大小、すなわち燃焼状態の良否がダイオキシン発生量の大小に影響するのではないかと考えられる。

本検討では、その点に着目し、着火、焼却開始から灰になる運転中を通しての平均CO濃度（運転中）に加え、

Fig. 3-1 Relationship between CBz concentration and PCDD/DF concentration (equipment C: direct combustion type)

Fig. 3-2 Relationship between CPh concentration and PCDD/DF concentration (equipment C: direct combustion type)

Fig. 4 Illustration of CO measurement on small size incinerator

廃棄物の全体に火が回り火炎がほとんど無くなるまでの平均 CO 濃度（初期15分）について全ダイオキシン類（PCDD/DF 合計）濃度との相関を確認した。

使用した焼却炉の運転条件を Table 1 に、平均 CO 濃度（運転中）と全ダイオキシン類（PCDD/DF 合計）濃度の測定結果を Fig. 5 に、平均 CO 濃度（初期15分）との比較を Fig. 6（装置 A の排ガスで測定数12，相関係数 0.845，危険率 1% で相関あり，装置 B の排ガスで測定数 4，相関係数 0.911，危険率 10% で相関あり）に示す。CO の連続分析計としては，株式会社堀場製作所製ポータブルガス分析計 PG-230，非分散形赤外線吸収法（測定範囲 0-2000ppm，試料採取流量約 0.4リットル/分）を用いた。

Fig. 5 のように運転中を通しての平均 CO 濃度とダイオキシン類濃度との間には正の相関は見られるものの強い相関があるとは言いがたい。一方，Fig. 6 のように燃焼初期15分の CO 濃度とダイオキシン類濃度との間には強い相関が認められ，燃焼初期段階での CO 濃度がダイオキシン類の発生量と大きく関わりがあることが示唆される結果を得た。従って，小型焼却炉において CO 濃度をダイオキシン類の代替指標として扱う場合，廃棄物が多量に存在する燃焼初期の CO 濃度に着目して燃焼の良否判定を行う方法が有効と考えられる。また，ダイオキシン類対策特別措置法等で定められる排出基準は，毒性等量に換算された TEQ 値で定められているが，Fig. 7 に示すように，毒性等量に換算前の ng 値と換算後の ng-TEQ 値両者の間には，直線関係があることから，TEQ 値をベースとしたダイオキシン類の排出濃度管理においても燃焼初期の CO 濃度を監視することが有効であると考えられる。

Fig. 5 Relationship between average * of CO conc. and PCDD/DF conc.
(* : average through sampling time)

今回，異なる 2 種の焼却炉での結果を Fig. 5，6 にプロットしたが，装置 A（一般雑芥炉）と装置 B（ガス化燃焼炉）を比較した場合，装置 B の方が CO 濃度に対して PCDD/DF 濃度が低い傾向が見られた。今回用いた 2 種の焼却炉では，二次燃焼室の設定温度 800℃ は同一ながら，調製ごみや燃焼方式，二次燃焼室の排ガスの滞留時間（装置 A が 0.6~0.7 秒に対して装置 B で 0.75~0.85 秒），燃焼時間等において違いがあり，これらの燃焼条件は，ダイオキシン類の発生濃度に大きく関わることから，今後さらに燃焼条件との関わりについて検討を重ねていく必要がある。

Fig. 6 Relationship between average * of CO conc. and PCDD/DF conc.
(* : average for 15min from ignition)

Fig. 7 Comparison ng value with ng-TEQ value on PCDD/DF conc. of exhaust gas

4. 3 スモークテスターを用いた方法

環境庁が取りまとめた「ばい煙簡易測定法指針」¹⁰⁾の中でばいじんの簡易測定法としてスモーク・テスターが用いられている。スモーク・テスターは白いフィルタに排ガスを吸引通過させ、そのフィルタの色を Fig. 8 のようなスケールと比較してスモーク度を求めるもので、ボイラーのばいじん量の確認用に使用されており、原理が単純であるため取り扱いが容易でかつ安価に測定が可能である。

一般に燃焼状態が悪くなると CO 濃度が上昇するとともにばいじん量も増加すると考えられるため、スモーク度と CO 濃度との間には正の相関があると考えられる。そこで、CO 濃度の測定に替わるものとしてスモーク度が適応可能かどうかを確認するため、Table 1 のガス化燃焼炉で燃焼をする際、CO 濃度と同時にスモーク・テスターにてスモーク度を測定し両者の相関を確認した。その結果を Fig. 9 に示す。燃焼末期（燃焼開始から 60～150 分）においては、排ガス中のばいじん量が少ないため強い相関は得られないが、燃焼初期（0～15 分）においては、強い相関が得られた（測定数 38、相関係数 0.946、危険率 1 % で相関あり）。

Fig. 8 Smoke scale No. in smoke tester

これより燃焼初期において、スモーク・テスターでスモーク度が低いことを確認すれば、間接的ではあるが、CO 濃度が低いことを、すなわち、燃焼状態の良否を、取り扱いが容易なため簡単にかつ安価（約 10 円/回程度）に判定することが可能となる。

5. まとめ

本報では、ダイオキシン類の排出を未然に防止するために不可欠な技術として、小型焼却炉での適用が可能な簡易測定、監視方法の検討・具体化を目指して、各種指標とダイオキシン類濃度との相関を確認した。その結果とその指標の小型焼却炉への適用例を Table 2 に示す。

小型焼却炉においても、大型の都市ごみ焼却施設同様にダイオキシン類の前駆体であるクロロフェノール類やクロロベンゼン類濃度、OCDD 濃度がダイオキシン類濃度と相関があることが確認され、これらを代替指標とすることで、より迅速にダイオキシン類の推定値が得られ、日常もしくは定期的な燃焼管理が可能となると考えられる。

また、小型焼却炉のようにバッチで単発的に運転される場合、その燃焼初期段階での CO 濃度がダイオキシン類の発生量と大きく関わりがあることが示唆される結果が得られた。従って、小型焼却炉において CO 濃度をダイオキシン類の代替指標として扱う場合、燃焼初期の CO 濃度に着目して燃焼の良否判定を行う方法が有効と考えられる。また、それを間接的に確認する方法として、スモーク・テスターでスモーク度が低いことを確認する方法が有効と考えられる。

Fig. 9 Relationship between smoke scale No. and CO conc. of measurement (equipment B)

Table 2 Correlation between PCDD/DF conc. and index on exhaust gas and illustration of monitoring on small size incinerator

index	the number of experiment times	correlation coefficient	Illustration of monitoring on small size incinerator
average of CO conc. for 15min from ignition	12	0.845***	measure CO conc. indirectly by smoke tester or gas detector before 15min from ignition ,and judge good or bad of burning
	4	0.911*	
OCDD conc.	12	0.913***	sample Dioxins in gas by the new sampling filter instead of the conventional impinger method ,and measure PCDD/DF conc. indirectly by OCDD conc.
	4	0.993***	
chlorobenzenes conc.	4	0.926*	measure chlorobenzenes conc. or chlorophenols conc. by gas detector ,and judge good or bad of burning
chlorophenols conc.	4	0.959**	

*significant at $P < 0.10$

**significant at $P < 0.05$

***significant at $P < 0.01$

要 約

本研究では、小型焼却炉で適用が可能な排ガス濃度の簡易測定、監視方法の具体化を目的として、ダイオキシン類の前駆体であるクロロベンゼン、クロロフェノールやCO濃度とダイオキシン類濃度との相関を確認した。その結果、大型の焼却炉同様に、小型炉においてもそれら前駆体がダイオキシン類の代替指標として有効と考えられた。また、燃焼初期段階でのCO濃度とダイオキシン類との相関が強かった ($n=12$, $r=0.845$, $p<0.01$) ことから、現場向きの方法として、燃焼の初期段階においてCO濃度をスモークテスターで間接的に測定し、燃焼の良否を判定する方法が特に有効と考えられた。

文 献

- 1) 日本規格協会：JIS K0311排ガス中のダイオキシン類及びコプラナーPCBの測定方法，東京（1999）
- 2) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課：廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定分析マニュアル，東京（1997）
- 3) 本田克久，濱田典明：ダイオキシン類測定の技術標準，知財管理，**48**，No.9，1427-1433（1998）
- 4) 中村裕史，山下正純，濱田典明，本田克久，梶川修，松元敦実，藤井孝友：排ガス中ダイオキシン類の新採取フィルターの開発，pp62-63，第8回環境化学討論会講演要旨集（1999）
- 5) 山下正純，中村裕史，濱田典明，本田克久，梶川修，松元敦実，藤井孝友：排ガス中ダイオキシン類の新採取フィルター吸脱着特性，pp188-189，第8回環境化学討論会講演要旨集（1999）
- 6) 濱田典明，山下正純，中村裕史，本田克久，梶川修，松元敦実，藤井孝友：排ガス中ダイオキシン類の新採取フィルターサンプリングへの応用および従来法との比較，pp190-191，第8回環境化学討論会講演要旨集（1999）
- 7) 中村裕史，山下正純，大内宗城，本田克久，梶川修，藤井孝友：排ガス中ダイオキシン類の新採取フィルター，pp28-29，第9回環境化学討論会講演要旨集（2000）
- 8) 広田健，仁科幸法，山本学，脇本忠明，有田佳彦：SAW/GC（表面弾性波検出/ガスクロマトグラフィー）によるダイオキシン類の簡易測定，pp292-293，第9回環境化学討論会講演要旨集（2000）
- 9) 川本克也，佐藤淳，米田主，加藤正滋：都市ご

- み焼却炉排ガス中のダイオキシン類代替指標の開発，クボタテクニカルレポート，No.34，106-111 (1998)
- 10) 川本克也：TOX: 排ガス中ダイオキシン類および有害物指標としての有用性，pp791-793，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1999)
 - 11) 市岡耕二，永野英樹：ごみ焼却炉排ガス中のクロロベンゼン類の自動連続測定装置，pp788-790，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1999)
 - 12) 名久井博之，野口嘉一，大和田稔，島村裕志：ダイオキシン連続モニタリングシステムの開発，pp688-690，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (2000)
 - 13) 山田益義，橋本雄一郎，管 正男，高田安章，平林集，坂入 実，田中真二，水元 守，吉井泰雄，阪本将三，橋本宏明，本田穰慈：燃焼排ガス中のダイオキシン前駆体のオンライン計測，pp667-669，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (2000)
 - 14) 本田穰慈，上野良明：ダイオキシン前駆体のリアルタイム測定技術，地球環境，1，124-127 (2001)
 - 15) 有害廃棄物の分析手法に関する国際比較研究委員会，有機ハロゲン化合物分析技術小委員会：廃棄物処理におけるダイオキシン類測定分析マニュアル (1995)
 - 16) 平岡正勝：廃棄物焼却に伴うダイオキシン類の生成とその対策，pp108-109，第32回大気汚染学会講演要旨集 (1991)
 - 17) Shibuya, E., Yamagishi, M: DIOXIN'89. COM07 (1989)
 - 18) 吉田 裕，石川龍一，溝口行生：流動床式焼却施設におけるダイオキシン類の挙動，pp815-818，第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1993)
 - 19) 宮崎正信：固定発生源での簡易測定法の概要，環境技術，Vol.19, No.4, 214-217 (1990)