

平成10年度厚生科学研究費補助金（生活安全総合研究事業）

火葬場からのダイオキシン類
排出抑制対策の検討

1999年3月

目次

1. 研究要旨	1
2. 研究目的	3
3. 研究方法	6
3.1 対象施設	6
3.2 測定項目および測定方法	6
3.3 排ガス採取方法	7
3.4 ダイオキシン類・コプラナー PCBs の分析	8
4. 結果および考察	20
4.1 排ガス中のダイオキシン類濃度	20
4.2 排ガス中のコプラナー PCBs 濃度	22
4.3 集じん灰・残骨灰中のダイオキシン類・コプラナー PCBs 濃度	23
4.4 他のガス濃度とダイオキシン類濃度の関係	24
4.4.1 ダスト濃度	25
4.4.2 一酸化炭素、酸素、窒素酸化物濃度	25
4.4.3 塩化水素濃度	26
4.5 火葬状況と運転条件・設備による影響	27
4.5.1 性別および年齢	27
4.5.2 温度の影響	27
4.5.3 集じん装置の影響	28
4.5.4 炉構造の影響	29
4.5.5 燃料の影響	30
4.5.6 排気方式	31
4.5.7 建設または改造年代	31
4.6 火葬炉からのダイオキシン類総排出量	31
5. 棺および副葬品の燃焼実験	158
5.1 実験条件	158
5.2 実験結果および考察	158
5.2.1 ダイオキシン類濃度	158
5.2.2 他のガスおよび温度との関係	159
5.2.3 火葬への棺および副葬品燃焼の寄与	159
6. 結論	176
参考文献	178
付録	179
謝辞	204

火葬場からのダイオキシン類排出抑制対策の検討

研究班構成：

主任研究者 武田信生（京都大学大学院工学研究科環境工学専攻）

1. 研究要旨

これまで、火葬場から排出されるダイオキシン類については国内外を問わずあまり調査されてこなかった。昨年度に厚生科学特別研究事業として初めて本格的な火葬場から排出されるダイオキシン類の実態調査が始まった。本年度は昨年度の調査結果を受けて、さらなる実態調査の積み重ねと火葬炉からのダイオキシン類排出抑制対策について検討することを目的とした。

全国の火葬場から 17 施設を選定し、1 施設あたりに 2 御遺体の火葬時の排ガスをサンプリングするとして計 34 サンプル、および集じん灰 5 サンプル、残骨灰 4 サンプルについて、ダイオキシン類およびコプラナー PCBs の濃度を調査した。

火葬炉排ガス中のダイオキシン類濃度は、酸素 12% 換算濃度で 4.9~1200ng/m³N、毒性等量で 0.064~24ng-TEQ/m³N の範囲であった。毒性等量の算術平均値は 2.4ng-TEQ/m³N、幾何平均値は、1.0ng-TEQ/m³N であった。1 施設における 2 回のサンプリングで両方とも 1.0ng-TEQ/m³N を下回っていたのは 17 施設中 6 施設であった。集じん灰中のダイオキシン類毒性等量は、0.0046~62ng-TEQ/g、残骨灰中の毒性等量は 0.00017~0.0021ng-TEQ/g であった。残骨灰の濃度は低いので問題は生じないが、集じん灰についてはごみ焼却飛灰中の濃度と比べても高いものがあり、今後は別途処理が必要であると考えられた。コプラナー PCBs の毒性等量は、排ガス中において 0.000034~1.2ng-TEQ/m³N の範囲であった。ダイオキシン類毒性等量と非常に高い相関があり、ダイオキシン類に対して約 4.4%の毒性等量に値した。

今回の調査では、御遺体の性別、年齢などの個体差によりやや傾向が現れたが、それよりも集じん装置の設置の有無や主燃焼室および再燃焼室の温度による影響が大きいとの結果が現れた。主燃焼室、再燃焼室ともに温度が高くなるほどダイオキシン類濃度が低くなる傾向があった。火葬中の主燃焼室平均温度、再燃焼室平均温度を常時 800℃以上に保つことによって、ダイオキシン類濃度は酸素換算濃度で 50ng/m³N（毒性等量で 1ng-TEQ/m³N）以下にすることが可能であると示唆された。飛灰中の濃度が高いことから、排ガス中のダイオキシン類は粒子に付着している方が多いと考えら

れ、簡易的な集じん装置ではダスト濃度の低減効果が小さく、高度な集じん装置を設置する必要があると考えられた。また、排ガス温度とダイオキシン類濃度の関係から、集じん装置部分でのダイオキシン類の再合成を防ぐために、排ガスの低温化が必要であることが示唆された。測定データから現時点での年間排出量を推定すると、1.8～3.8g-TEQ/年となった。将来的には死亡者数の増加により本研究で得られた原単位を用いると、平成 48 年には 3.2～6.9g-TEQ/年となり、相対的に大きな寄与を占めることが予想され、早急な排出抑制対策が必要であると考えられた。

棺および副葬品の燃焼からは、0.087～0.31ng-TEQ/m³N 程度のダイオキシン類濃度が排出された。今回の調査からは棺、副葬品の材質については言及できなかった。棺および副葬品の燃焼が 1 火葬当たりのダイオキシン類排出量のうち 10～90%を占めることがわかった。これは人体の燃焼由来のダイオキシン類も発生していることを意味し、火葬前半だけでなく、すべての時間にわたって燃焼状態の管理が必要であることが示唆された。

2. 研究目的

平成 9 年末の日本の火葬率は 98.8%であり、世界中で最も高い率である¹⁾。しかしながら、ごく最近まで火葬場からのダイオキシン類の排出実態は全くといってよいほど把握されておらず、ダイオキシン類の排出抑制対策についても検討されていない。海外においても火葬場からのダイオキシン類の排出濃度に関する報告は非常に少ない。ドイツでは 1995 年における火葬率は 35.8%であるが¹⁾、火葬場がダイオキシン類の発生源として考えられて調査がなされており、ドイツ政府の大気汚染防止技術小委員会のワーキンググループは、排ガス中のダイオキシン類濃度が 0.1~14.4ng-TEQ/m³N の範囲にあることを報告している²⁾。この他に同じドイツの O. Hutzinger らが 8ng-TEQ/m³N の排出濃度を報告している³⁾。日本での火葬場からのダイオキシン類排出濃度は武田らが 1996 年の国際ダイオキシン会議で報告した 0.14~2.56ng-TEQ/m³N というデータ⁴⁾があるのみで、昨今のダイオキシン汚染の問題が大きくなる中で、火葬場からの排出実態の早急な把握が必要となっている。

このような背景のもと、昨年度の厚生科学特別研究事業において、武田らは全国の火葬場から施設規模、建設または改造年代、炉構造、排ガス処理方式、使用燃料などを考慮して、10 施設を選定し、実態調査を行った。その結果、排ガス中のダイオキシン類濃度の最も高い施設で 6.5ng-TEQ/m³N、最も低い施設で 0.0099ng-TEQ/m³N であることが報告された。遺体の性別、年齢などの個体差よりも施設間の違いが大きく、炉の構造などの影響が大きいと考えられた。1 つの再燃焼炉に対していくつかの主燃焼炉が設置されている施設では、一体当たりのダイオキシン類濃度に換算しても濃度は高い傾向にあり、炉の構造としては 1 つの主燃焼炉に対して 1 つの再燃焼炉を設置することが望ましいと考えられた。再燃焼炉温度を 850℃以上に保っている施設についてはダイオキシン類の濃度が低い傾向があった。燃料の違い、集じん装置の有無について明確な傾向が把握できなかったが、ダスト濃度が 50mg/m³N 以下の施設ではダイオキシン類濃度が低かったことから、集じん装置はバックアップ装置として必要不可欠であると考えられた。測定データの平均値から年間排出量を推定すると、8.9g-TEQ/年(定量下限を考慮した排出量 11g-TEQ/年)となり、ごみ焼却(4,300g-TEQ/年)の約 1/500 であることを報告した⁵⁾。本研究は、昨年度の緊急調査のデータを吟味し、さらなる実態調査を行うことによって火葬場からのダイオキシン類排出抑制対策を検討し、現状および将来の年間排出量の算出、火葬場排ガス中のダイオキシン類測定方法の確立などを目的とした。具体的には、火葬場からのダイオキシン類排出抑制対策を講じるために必要な以下の 4 つの点を明らかにすることを目的とした。

1) 施設の構造に注目して、データを積み重ねることにより、運転条件とダイオキシン類の発生および排出の因果関係を明らかにする。また、排ガスだけでなく残骨灰、集じん灰中のダイオキシン類濃度についても調査する。

昨年は 10 施設 22 体の御遺体の火葬から排出されるガス中ダイオキシン類濃度を測定したが、やや規模が大ききなところに偏っており、全て再燃焼炉が付設されている施設であった。全体の統計からみると、火葬炉数の少ない施設（1～5 基）は全体の 90% 近くを占め、約 25% は再燃焼炉の無い施設があることから、本研究では、火葬炉数の少ない施設（6 施設）、再燃焼炉の無い施設（1 施設）を含む 17 施設において、34 体の御遺体の火葬から排ガスサンプリングを行った。ガスサンプル以外の残骨灰および集じん灰についても、それぞれ 4 施設、5 施設（1 施設は重力沈降灰）からのサンプリングを行い、その濃度を調べた。これらのデータの積み重ねから、昨年度の報告書で提言されている再燃焼炉に対する主燃焼炉の数やダスト濃度、再燃焼炉温度との関係を検証し、排出抑制対策について検討した。さらに、昨年度に試算された日本の火葬場からのダイオキシン類の年間排出量の見直しおよび将来人口動態から将来推計を行った。

2) 火葬場からの排ガス中ダイオキシン類測定方法の確立について検討する。

昨年度の実態調査においては、排ガス中のダイオキシン類濃度の測定には廃棄物研究財団マニュアルおよび USEPA の Method23 に準拠した。ごみ焼却のような濃度の高い場合においても、4 時間の吸引が原則であるが、火葬炉においては、火葬時間の長いところで 2 時間弱、短いところで 1 時間弱とサンプリングできる時間が短い。また、炉内においては冷却用空気の吹き込み量が大きく、煙突出口濃度はかなり低くなることから定量下限以下の濃度が数多く見られた。このことから、昨年度の実態調査時の分析方法および結果を改めて吟味し、火葬炉排ガス中のダイオキシン類測定方法を検討し、確立することを目的とした。

3) コプラナー PCBs の排出についての実態調査を行う。

PCBs は、ビフェニル骨格を持ち、1～10 個の水素原子が塩素置換する構造を有する。PCBs は塩素数および置換位置により 209 種の異性体をもつ。このうち、オルト位に置換塩素をもたない PCBs (Non-ortho PCBs) とオルト位に 1 個の置換塩素をもつ PCBs (Mono-ortho PCBs) をコプラナー PCBs といい、さらにこれらのうちの 12 種はダイオキシン類に匹敵するほどの毒性を有しているため、これらの毒性評価をダ

イオキシソ類に加える提案がなされている。ゆえに、本研究では火葬炉から排出されるコプラナー PCBs の実態を把握し、ダイオキシソ類に対してどの程度の毒性負荷を示すかを調査した。

4) 棺や副葬品の燃焼実験を行い、ダイオキシソ類濃度への影響を確かめる。

火葬する際に棺、副葬品などが燃焼する序盤に一酸化炭素濃度が上昇する傾向を示す施設が多く、棺や副葬品の材質、種類はダイオキシソ類生成に影響を及ぼす可能性がある。このことから、ドイツでは棺に使用される材質や副葬品になるべく塩素を含有しないものを使用するように指導している。しかし、現在の日本においては、棺の材質や副葬品についての指導や規制ができる状況にないこと、また、これらについて正確にヒアリングすることは困難であることから、一般的な模擬副葬品および棺の燃焼実験によってダイオキシソ類濃度を把握し、棺や副葬品の影響を考察した。

これらの点が明らかになれば、火葬場から排出されるダイオキシソ類濃度について正確に評価できることになり、さらにダイオキシソ類排出抑制対策を立案することができ、排出量を削減できると考えられる。

3. 研究方法

3.1 対象施設

今回の調査の対象とした火葬場は 17 施設であり、その火葬場の一覧表を表 3.1 に示した。以下施設名については、施設番号 (No.1、No.2 等) で記述する。選定した施設の代表性について検証するため、平成 7 年度に (社) 日本環境斎苑協会によってなされた火葬場実態調査結果と比較した¹⁾。図 3.1~3.7 に、火葬場の規模別の施設数、火葬件数、火葬炉の建設または改造年代、使用燃料、再燃焼炉の設置の有無、排気方式、集じん装置の種類別に施設数の割合を円グラフによって示した。同図中には調査対象とした施設数を各分類の中に示した。現在、全国に市町村が管理する火葬場は 1607 施設存在する。調査対象の 17 施設は全体の 1.1% に過ぎないが、火葬件数からみると、17 施設で全体の 4.6% (昨年度は 10 施設で 4.0%) を占めた。これにより、今回の調査対象とした施設は、昨年度の緊急実態調査よりもやや規模の小さい施設を選んだといえる。建設または改造年代では昨年度の実態調査結果より、1990 年代以降に建設あるいは改造された施設では、ダイオキシン類濃度が低い傾向があったので、約半数の 8 施設を 1990 年代以降の施設とした。再燃焼室の有無については、現状では 25% が設置されていないが、設置されていない施設の規模は小さく、新たに測定孔をあけることによる実運転の不都合などの物理的な理由から協力が得られる施設が少なく、1 箇所においてのみ測定が可能であった。また、集じん装置は現在 70% 程度が設置されておらず、今回の調査でも約半数の 8 施設は設置していないところを選んだ。また、昨年度の実態調査と比較するため、5 施設については本年度も調査を行った。昨年度との対応は以下のとおりである。

No.1 → 施設 B (昨年度の実態調査)

No.3 → 施設 C (昨年度の実態調査)

No.5 → 施設 J (昨年度の実態調査)

No.8 → 施設 D (昨年度の実態調査)

No.9 → 施設 E (昨年度の実態調査)

3.2 測定項目および測定方法

17 箇所の火葬場を対象に、一つの火葬場で 2 回の排ガスサンプリングを行った。No.1、No.4、No.8、No.9 の施設では、集じん灰 (集じん装置で捕集された灰) と残骨灰 (収骨後に残った灰の一部) を採取した。また、No.2 の施設は集じん装置がないので、主燃炉から再燃炉への煙道に付着した灰 (重力沈降した灰) について採取した。測定

項目および測定方法の一覧を表 3.2 に示した。本研究では、ダイオキシン類以外に、コプラナー PCBs、ダスト、塩化水素、一酸化炭素、酸素、窒素酸化物の濃度を測定した。サンプリング時間は一工程の燃焼時間全てとし、再燃焼バーナの点火時より主燃焼バーナの消火時までとした。再燃焼バーナが既に点火されている場合や使用していない場合などは、主燃焼バーナの点火時をもって測定開始とした。複数の主燃焼室に対して一つの再燃焼室が設置されている施設や排気系列が 2 炉 1 系列となっている施設では、最初の 1 体目の火葬の終了時もしくは最後 (2、3 体目) の火葬の終了時を測定終了とした。塩化水素は、火葬開始から約 20 分後までと 20 分後から火葬終了後までの 2 回に分けて測定した。一酸化炭素、酸素、窒素酸化物は連続分析計により測定した。ダイオキシン類、コプラナー PCBs の測定は「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」に準拠した⁶⁾。以下に、火葬炉排ガスの採取、試料分析に関して留意した点について記した。また、同時に燃焼の温度管理を把握するため主燃焼室温度、再燃焼室温度、排ガス温度を測定した。主燃焼室温度および再燃焼室温度は、施設に設置されている温度計を 5 分間隔で読みとった。排ガス温度はサンプリング時間中連続的に熱電対により測定した。

3.3 排ガス採取方法

排ガス中のダイオキシン類(PCDDs、PCDFs)、コプラナー PCBs は、粒子状物質とガス状物質 (蒸気状) とに分けて捕集した。粒子状物質は円筒ろ紙、ガス状物質はインピンジャーと吸着カラム (XAD-2 樹脂) により捕集した。捕集装置は米国 EPA の 5 連インピンジャー方式に準じた。捕集装置の略図を図 3.8 に示す。採取系は排ガス中の濃度が低い場合、テフロン配管などへの吸着による損失が考えられたため、ジョイント部分を除いてすべてガラス製の器具を使用した。また、排ガスの採取は等速吸引で行ったが、火葬炉は排ガス流量の時間変動が通常のごみ焼却炉などに比べて大きい場合、時間変動に合わせて排ガス吸引量を調整し、等速吸引に配慮した。試料採取後、それぞれの捕集液、捕集剤は密栓した。なお、採取器材、接続チューブは適量のメタノールついでジクロロメタンで洗浄し、洗液とした。

火葬炉には測定孔が設置されていないところも多く、いくつかの施設については、煙道部分に測定孔を新たに設置したところもあった。No.5 については、再燃焼炉からあまり距離のないところにしか測定孔を設置することができず、排ガス温度データもかなり高くなっており、最終的な煙突出口での濃度を反映していない可能性があった。他の施設については、やや排ガス温度が高いところもあるが、ほぼ煙突出口濃度

を反映していると考えられた。

3.4 ダイオキシン類・コプラナー PCBs の分析

前処理方法については、図 3.9 に排ガスサンプルの前処理方法のフローを図 3.10 に集じん灰・残骨灰の前処理方法のフローを示した。前処理方法では、濃縮操作において最終検液を一律 30 μ L 程度まで慎重に濃縮することによって感度をあげた。また、注入方法はオンカラム注入法で 2 μ L とした。

分析はガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC-MS) にて SIM (Selected Ion Monitoring) 法により行った。表 3.3 にダイオキシン類の分析条件および表 3.4 にコプラナー PCBs の分析条件を示した。

ダイオキシン類の定性および定量は、各 PCDDs, PCDFs のイオン強度の強い M^+ 、 $(M+2)^+$ 、 $(M+4)^+$ のイオンの内、2 つをモニターし、すべての PCDDs、PCDFs 異性体の溶出する位置に相当するピークで、各 2 つのイオンの比率が標準品とほぼ同じで、塩素の天然同位体比の理論値に対しても $\pm 15\%$ 以内のものを PCDDs/PCDFs として定性し、内標準法により S/N 3 以上のピークについてピーク面積で定量した。分析結果は、2378-位置換異性体についてはそれぞれの $^{13}C_{12}$ -異性体の回収率で補正し、その他の異性体については各置換塩素数ごとに対応する $^{13}C_{12}$ -異性体の回収率 (複数の場合は平均値) でそれぞれ補正した。また、カラムにより異性体の分離特性があるため 2 種類のカラムを使用し、17 種の異性体によりそれぞれ最適な分離が得られたカラムの方の値を採用した。2 種類のカラムを使用することは精度管理上においても役に立った。定性、定量に用いた標準品は Cambridge Isotope Laboratories 製または Wellington Laboratories 製で表 3.5 に示した。

コプラナー PCBs の定性および定量は、PCBs のイオン強度が強い M^+ 、 $(M+2)^+$ 、 $(M+4)^+$ のイオンの内、各塩化物ごとに Native 成分と $^{13}C_{12}$ -内標準について各々 2 つをモニターし、各々の対応する標準品、あるいは内標準と保持時間がほぼ一致するものをコプラナー PCBs と定性した。分析結果は、同位体希釈法により定量し、それぞれの対応する $^{13}C_{12}$ -異性体の回収率で補正した。なお、これらの $^{13}C_{12}$ -異性体について回収率の妥当性を確認した。定性、定量に用いた標準品は Wellington Laboratories Inc. 製で表 3.6 に示した。他に commercial PCBs である カネクロール混合物 (KC-300:KC-400:KC-500:KC-600 1:1:1:1) を定性用に用いた。

今回の試料の定量下限値は以下に示す値となり、マニュアルに記載されている定量下限値の約 1/4 程度まで下げることができた⁶⁾。これは、濃縮操作における最終検液量を小さくしたことが最も大きな要因と考えられた。このことから、サンプリング時間が短かつ比較的濃度が低い火葬炉排ガスサンプルに対しても十分対応できることが示された。報告数値については有効数字 2 桁で表した。

排ガス：4～5 塩素化物； 0.002ng/m³N
6～7 塩素化物； 0.005ng/m³N
8 塩素化物； 0.01 ng/m³N
コプラナー PCBs； 0.01 ng/m³N
灰： 4～5 塩素化物； 0.0001ng/g
6～7 塩素化物； 0.0002ng/g
8 塩素化物； 0.0005 ng/g
コプラナー PCBs； 0.001 ng/g

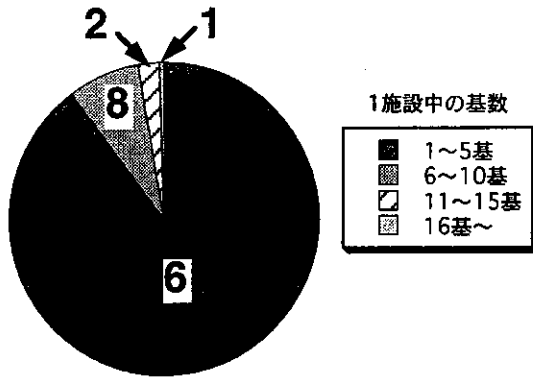


図3.1 規模別施設数
平成6年度実績：1607施設
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

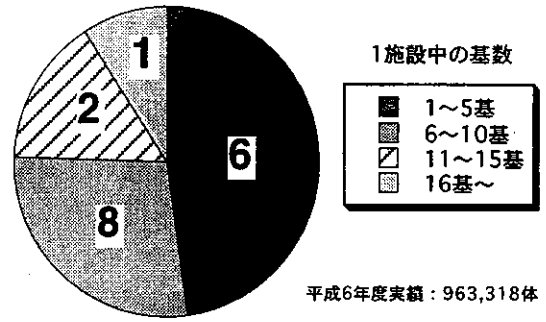


図3.2 規模別の火葬件数
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

平成6年度実績：963,318体

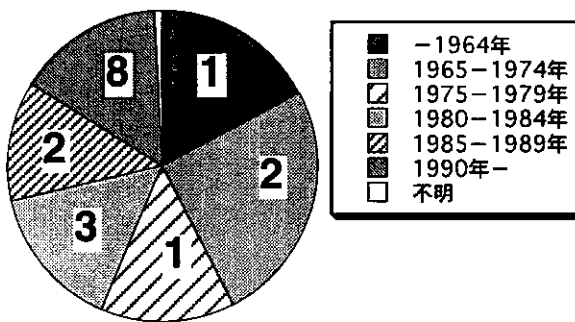


図3.3 建設または改造年代別施設数
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

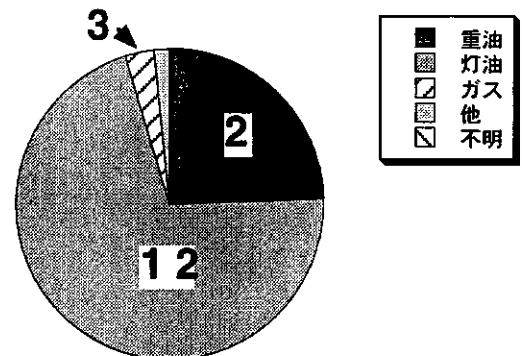


図3.4 主燃焼炉の使用燃料
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

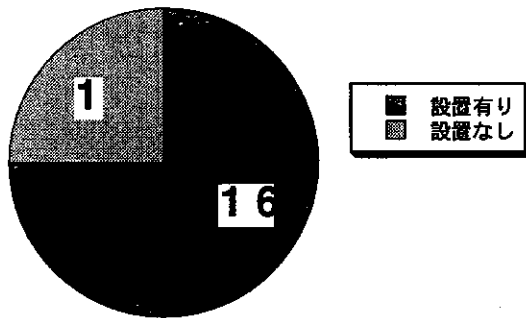


図3.5 再燃焼炉の設置の有無
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

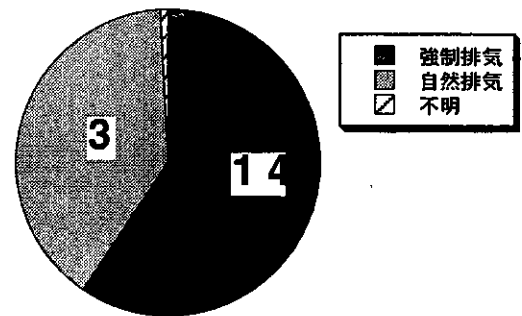


図3.6 排気方式
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)

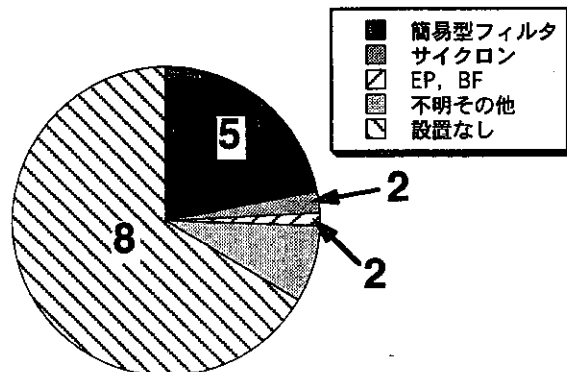
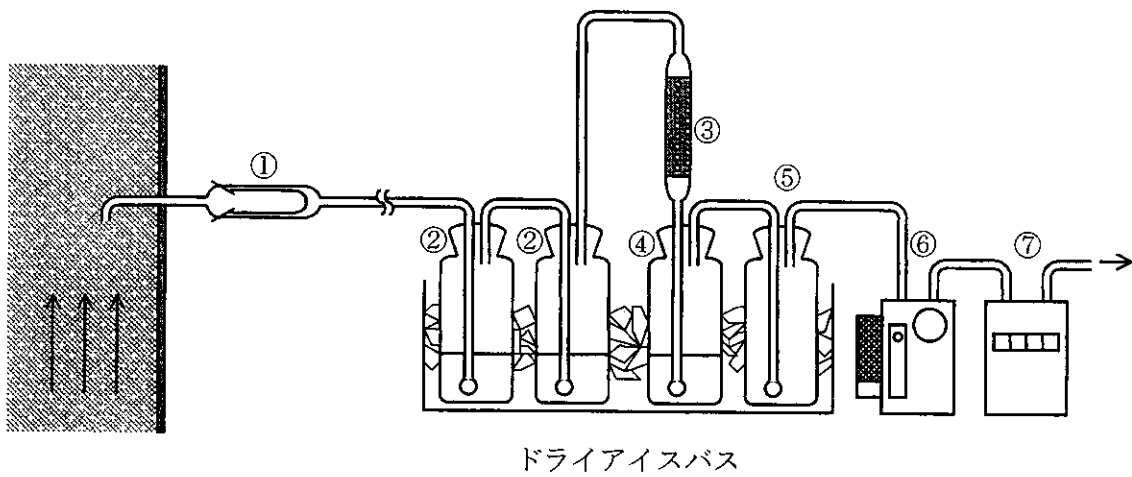


図3.7 集じん装置
(図中の数字は調査対象とした施設の数を示す)



- ①円筒ろ紙
- ②インピンジャー(水)
- ③XAD-2 樹脂
- ④インピンジャー(ジエチレングリコール)
- ⑤インピンジャー(空)
- ⑥真空ポンプ
- ⑦ガスメーター

図3.8 排ガス採取装置

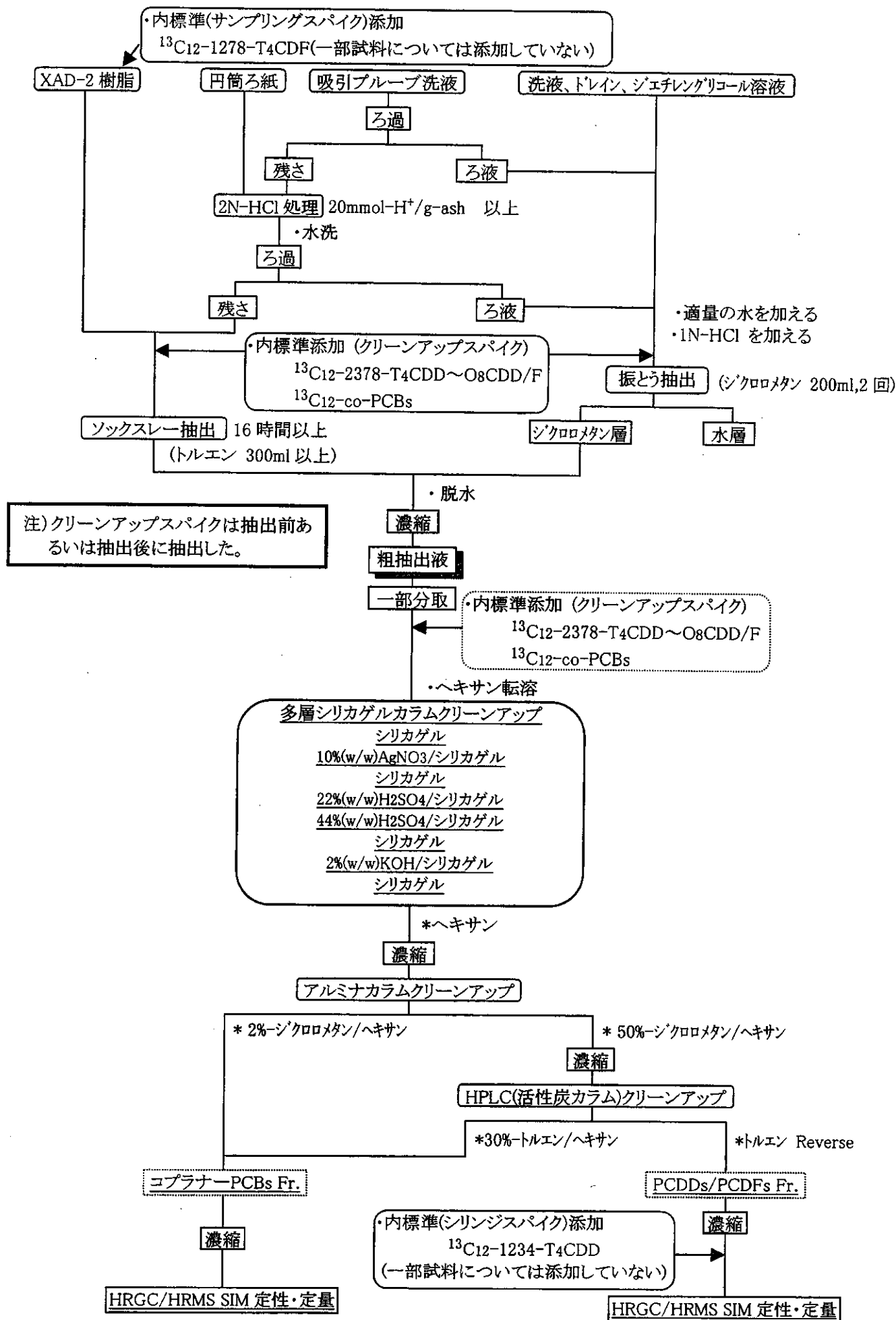


図3.9 排ガスサンプルの前処理方法のフローチャート

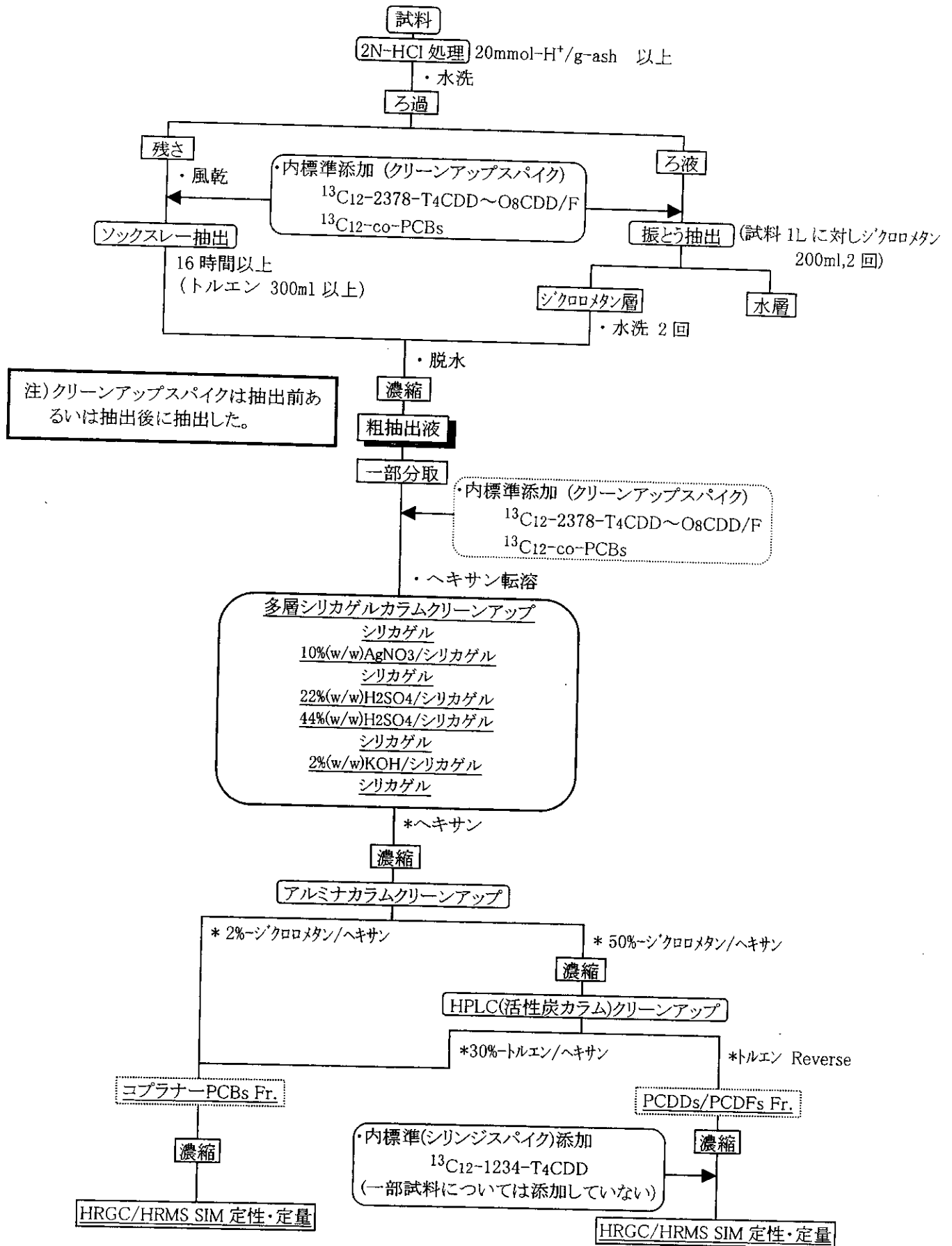


図 3.10 集じん灰および残骨灰サンプルの前処理方法のフローチャート

表3.1 調査対象施設一覧表

火葬場No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
再燃焼炉	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	無	有	有	有	有
主燃焼室：再燃焼室	1対1	2対1	4対1	1対1	3対1	1対1	1対1	1対1	1対1	1対1	4対1	1対1	1対0	1対1	1対1	1対1	1対1
集じん機	有	無	無	有	無	有	有	有	有	無	無	有	無	無	有	有	無
排気方式 (炉：系列)	強制	自然	強制	強制	自然	強制	強制	強制	強制	強制	強制	強制	自然	強制	強制	強制	強制
燃料	2:1 都市 ガス	2:1 灯油	4:1 灯油	1:1 灯油	3:1 A重油	1:1 灯油	1:1 都市 ガス	1:1 都市 ガス	6:1 灯油	1:1 灯油	4:1 灯油	1:1 灯油	1:1 A重油	2:1 灯油	1:1 灯油	1:1 灯油	1:1 灯油
温度	有	無	有	無	無	無	有	無	有	無	無	有	無	無	有	有	有
測定1 回目	48 女	72 女	74 女	64 男	107 男 女	72 男	50 男	87 男	54 女	71 女	85 女	63 女	97 男	53 女	89 男	72 女	67 男
年齢	95	90	77	81	83 86	76	76	61	87	87	82	91	76	88	66	85	72
火葬遺体数*	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
測定時間	59	104	60	87	114	66	50	75	66	99	104	74	66	113	67	77	61
性別	男	女	女	男	男 男	女	男	女	男	男	男	男	女	男 女	女	女	男
年齢	63	83 61	73 81	61	71 62 91	59	79	87	56	84	76	81	74	71 55	88	80	92
火葬遺体数*	1	2	1.95	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

*：再燃焼炉、煙道が共通になっているものについては、その測定における一体当たりの平均火葬時間を求めたうえで、火葬の重なりについては測定時間内の各火葬時間を考慮して、何体分の火葬に相当するかを推定した。

表 3.2 測定項目及び方法

測定項目	測定方法
ダイオキシン類 コプラナーPCBs	ガスクロマトグラフィー質量分析法 「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」 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課(平成9年2月)準拠
ダスト濃度	JIS Z 8808 円形ろ紙または円筒ろ紙法
HCl	JIS K 0107 イオンクロマトグラフ法
CO	JIS K 0098 赤外線吸収法(連続測定)
NOx	JIS K 0104 化学発光方式(連続測定)
O ₂	JIS K 0301 ジルコニア方式(連続測定)
排ガス温度	JIS Z 8808 熱伝対による連続測定
排ガス流量	JIS Z 8808 ピトー管法

表 3.3 ダイオキシン類の分析条件

分析機器名	(1) SHIMADZU/KRATOS 製ガスクロマトグラフー質量分析計 CONCEPT32 TYPE 1-S GC部 SHIMADZU GC-14A
	(2) MICROMASS 社製 ガスクロマトグラフー質量分析計 AUTOSPEC ULTIMA GC部 HEWLETT PACKARD HP-6890

GC部操作条件

分離カラム(1) SP-2331(SUPELCO) fused silica capillary column 60m×0.32mm(id)0.20μm
 カラム温度(1) 180 °C → 220 °C → 260 °C
 (3min hold) (5 °C/min) (0min hold) (3 °C/min) (25min)

分離カラム(2) DB-17HT (J&W) fused silica capillary column 60m×0.32mm(id)0.15μm
 カラム温度(2) 150 °C → 200 °C → 300 °C
 (1min hold) (20 °C/min) (0min hold) (4 °C/min) (5min)

オンカラム注入法

MS部 条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	35~40V
イオン化電流	500μA
加速電圧	8kV
インターフェース温度	285 °C
イオン源温度	270 °C
分解能	M/ΔM >10,000 (10% valley)

設定質量数

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺
T ₄ CDDs	319.8965	321.8936	
P ₅ CDDs	353.8576	355.8546	357.8516
H ₆ CDDs		389.8157	391.8127
H ₇ CDDs		423.7766	425.7737
O ₈ CDD		457.7377	459.7348
T ₄ CDFs	303.9016	305.8987	
P ₅ CDFs		339.8597	341.8567
H ₆ CDFs		373.8208	375.8178
H ₇ CDFs		407.7818	409.7789
O ₈ CDF		441.7428	443.7399
¹³ C ₁₂ -T ₄ CDDs	331.9368	333.9339	
¹³ C ₁₂ -P ₅ CDD	365.8978	367.8949	369.8919
¹³ C ₁₂ -H ₆ CDDs		401.8559	403.8530
¹³ C ₁₂ -H ₇ CDD		435.8169	437.8140
¹³ C ₁₂ -O ₈ CDD		469.7779	471.7750
¹³ C ₁₂ -T ₄ CDF	315.9419	317.9389	
¹³ C ₁₂ -P ₅ CDFs		351.9000	353.8970
¹³ C ₁₂ -H ₆ CDFs		385.8610	387.8580
¹³ C ₁₂ -H ₇ CDFs		419.8220	421.8191
¹³ C ₁₂ -O ₈ CDF		453.7830	455.7801

表 3.4 コプラナーPCBs の分析条件

分析機器名	日本電子製 ガスクロマトグラフ-質量分析計 JMS-700 (MStation) GC 部 HEWLETT PACKARD HP-6890
GC 部 操作条件	
分離カラム	DB-5MS fused silica capillary column 60m×0.32mm(id)0.25μm
カラム温度	150℃————→ 185℃————→ 245℃————→ 290℃ (1min hold)(20℃/min) (2℃/min)(3min hold)(6℃/min)

MS部 条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	40V
イオン化電流	500μA
加速電圧	8KV
インターフェース温度	295℃
イオン源温度	270℃
分解能	M/ΔM >10,000 (10% valley)

設定質量数

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺
T4CBs	289.9224	291.9195	
P5CBs		325.8805	327.8776
H6CBs		359.8415	361.8386
H7CBs		393.8025	395.7996
¹³ C ₁₂ -T4CB	301.9626	303.9597	
¹³ C ₁₂ -P5CBs		337.9207	339.9178
¹³ C ₁₂ -H6CB		371.8817	373.8788
¹³ C ₁₂ -H7CB		405.8428	407.8398

表 3.5 ダイオキシン類の定性、定量に用いた標準物質

標準物質		
T4CDDs	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
P5CDDs	1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
H6CDDs	1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
	1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
H7CDDs	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
O8CDD	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	
T4CDFs	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran	
P5CDFs	1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofuran	
	2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran	
H6CDFs	1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofuran	
	1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	
	1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofuran	
	2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	
H7CDFs	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofuran	
	1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofuran	
O8CDF	1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzofuran	
内標準物質		添加量
¹³ C ₁₂ -T4CDDs	¹³ C ₁₂ -1,3,6,8-Tetrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4-Tetrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin★	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -P5CDD	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -H6CDDs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -H7CDD	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -O8CDD	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxin	4ng(2ng)
¹³ C ₁₂ -T4CDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,7,8-Tetrachlorodibenzofuran★★	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -P5CDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -H6CDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -H7CDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofuran	2ng(1ng)
¹³ C ₁₂ -O8CDF	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-Octachlorodibenzofuran	4ng(2ng)

★;シリジスパイク、★★;サンプリングスパイク、その他の内標準物質はクリーンアップスパイク
注)内標準物質添加量の()は抽出後添加の場合の添加量。