

ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル

平成 21 年 3 月

環境省水・大気環境局土壌環境課

目 次

はじめに	1
1 用語・略語の定義	1
1.1 調査の分類	1
1.2 分析に係る用語、略語の定義	1
2 対象物質	4
3 調査・測定方法	5
3.1 調査・測定方法の概要	5
3.2 試料の目標検出下限・目標定量下限	6
4 調査方法	7
4.1 調査の進め方	7
4.2 試料採取	14
4.3 分析試料の調製	16
4.4 その他の情報	16
5 測定分析方法	18
5.1 測定分析方法の概要	18
5.2 試薬	19
5.3 器具及び装置	23
5.4 抽出	24
5.5 クリーンアップ	25
5.6 シリンジスパイクの添加、GC/HRMS 測定用試料の調製	31
5.7 測定	32
5.8 同定及び定量	37
5.9 検出下限及び定量下限、回収率の確認	40
5.10 結果の報告	42
6 測定精度の管理	47
6.1 標準作業手順（SOP）	47
6.2 測定データの信頼性の確保	47
6.3 測定操作における留意事項	48
6.4 精度管理に関する記録保管・報告	50
7 安全管理	54
7.1 試料採取	54
7.2 施設（分析室）	54
7.3 分析室等の立入規制	54
7.4 換気システム	54
7.5 その他の設備	54
7.6 分析室内での業務について	54
7.7 標準物質の取り扱い	54
7.8 試料の取扱い	55
7.9 分析中の事故の場合	55
7.10 廃棄物の保管処分等	55
7.11 作業記録	55
7.12 健康診断	55
参考資料 1	56
参考資料 2	61
参考資料 3	64
参考資料 4	65

はじめに

本マニュアルは、「ダイオキシン類による大気汚染、水質汚濁及び土壌汚染に係る環境基準について」（平成11年環境庁告示第68号。以下「告示」という。）により土壌汚染に係る環境基準（以下「環境基準」という。基準値：1,000pg-TEQ/g以下）及びその測定方法が示されたことを踏まえ、土壌中のダイオキシン類について調査測定を実施する場合に活用されるよう、既往の知見や実地調査結果等を踏まえ、調査の進め方と、試料採取及び分析の技術的手法を示したものである。

ダイオキシン類に係る土壌の調査は、まず土壌中のダイオキシン類の概況を地域概況調査により把握する。地域概況調査は、調査の目的に応じて、一般環境把握調査、発生源周辺状況把握調査及び対象地状況把握調査に分類できる。いずれの場合も、あらかじめ、土地利用状況等を資料等により調査したうえで土壌の調査地点を選定する。具体的に土壌の調査地点が選定されれば、試料を採取し、分析を行うことにより、土壌中のダイオキシン類の測定を行う。

地域概況調査の結果を環境基準に照らして評価し、その結果に応じてさらに調査指標確認調査や範囲確定調査を実施する。

土壌中ダイオキシン類の調査測定に当たっては、地域や対象地の状況に応じて、これら一連の作業について本マニュアルを基にあらかじめ調査計画を策定し、実施する。

また、今後、科学的知見の集積等によって、必要に応じ本マニュアルの改定があり得るものである。

1 用語・略語の定義

1.1 調査の分類

本マニュアルでは、「ダイオキシン類に係る土壌の常時監視に係る調査測定について」（平成12年1月14日付け環水土第11号環境庁水質保全局長通知）に基づき、土壌中のダイオキシン類の調査を、目的に応じて、次のように分類する。

- (1) **地域概況調査**：土壌中のダイオキシン類の概況を把握するために実施する調査。一般環境把握調査、発生源周辺状況把握調査、対象地状況把握調査に分類される。
 - a) **一般環境把握調査**：一般環境における土壌中のダイオキシン類濃度の状況を把握するため、特定の発生源の影響をあらかじめ想定せずに実施する調査。
 - b) **発生源周辺状況把握調査**：ダイオキシン類を発生し排出する施設が、一般環境の土壌に及ぼす影響を把握するため、発生源の周辺において実施する調査。
 - c) **対象地状況把握調査**：既存資料等の調査によりダイオキシン類による汚染のおそれが示唆される対象地における土壌中のダイオキシン類濃度の状況を把握するため、実施する調査。
- (2) **調査指標確認調査**：地域概況調査の結果、告示別表備考3に示す250pg-TEQ/g（以下「調査指標値」という。）以上の地点が判明した場合、その周辺における土壌中のダイオキシン類濃度を把握するため実施する調査。
- (3) **範囲確定調査**：(1)又は(2)の調査の結果、告示に定める土壌の環境基準を超える地点が判明した場合、環境基準を超える土壌の範囲及び深度を確定するため実施する調査。
- (4) **対策効果確認調査**：汚染の除去等の対策を実施した場合、その効果を確認するため実施する調査。
- (5) **継続モニタリング調査**：調査指標値以上の地点について、土壌中のダイオキシン類濃度の推移を把握するため、3～5年の期間をおいた後に実施する調査。

1.2 分析に係る用語、略語の定義

本マニュアルの中で記載する用語・略語の定義を次のように定める。

- (1) **ダイオキシン類**：本マニュアルでは、テトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベン

ゾ-パラ-ジオキシン、テトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベンゾフラン並びにコプラナーPCBsを合わせた総称とする。

- (2) **異性体**：塩素の置換数が同じで、置換位置だけを異にする化合物を指す。
- (3) **同族体**：本マニュアルでは、基本骨格が同じで、塩素の置換数だけを異にする一群の化合物を指す。
- (4) **PCDDs**：ポリクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン（ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins)）。本マニュアルでは、テトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシンとする。
- (5) **TeCDDs**：テトラクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン
(四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(Tetrachlorodibenzo-p-dioxins))
- (6) **PeCDDs**：ペンタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン
(五塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(Pentachlorodibenzo-p-dioxins))
- (7) **HxCDDs**：ヘキサクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン
(六塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(Hexachlorodibenzo-p-dioxins))
- (8) **HpCDDs**：ヘプタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン
(七塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(Heptachlorodibenzo-p-dioxins))
- (9) **OCDD**：オクタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン
(八塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(Octachlorodibenzo-p-dioxin))
- (10) **PCDFs**：ポリクロロジベンゾフラン（ポリ塩化ジベンゾフラン(Polychlorinated dibenzofurans)）。本マニュアルでは、テトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベンゾフランとする。
- (11) **TeCDFs**：テトラクロロジベンゾフラン
(四塩化ジベンゾフラン(Tetrachlorodibenzofurans))
- (12) **PeCDFs**：ペンタクロロジベンゾフラン
(五塩化ジベンゾフラン(Pentachlorodibenzofurans))
- (13) **HxCDFs**：ヘキサクロロジベンゾフラン
(六塩化ジベンゾフラン(Hexachlorodibenzofurans))
- (14) **HpCDFs**：ヘプタクロロジベンゾフラン
(七塩化ジベンゾフラン(Heptachlorodibenzofurans))
- (15) **OCDF**：オクタクロロジベンゾフラン
(八塩化ジベンゾフラン(Octachlorodibenzofuran))
- (16) **2,3,7,8-位塩素置換体**：本マニュアルでは、2,3,7,8-位に置換塩素したテトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン（7化合物）とテトラ、ペンタ、ヘキサ、ヘプタ及びオクタクロロジベンゾフラン（10化合物）の計17化合物で以下に示すものである。
- 2,3,7,8-テトラクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(2,3,7,8-TeCDD)
1,2,3,7,8-ペンタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(1,2,3,7,8-PeCDD)
1,2,3,4,7,8-ヘキサクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(1,2,3,4,7,8-HxCDD)
1,2,3,6,7,8-ヘキサクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(1,2,3,6,7,8-HxCDD)
1,2,3,7,8,9-ヘキサクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(1,2,3,7,8,9-HxCDD)
1,2,3,4,6,7,8-ヘプタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(1,2,3,4,6,7,8-HpCDD)
オクタクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン(OCDD)
2,3,7,8-テトラクロロジベンゾフラン(2,3,7,8-TeCDF)
1,2,3,7,8-ペンタクロロジベンゾフラン(1,2,3,7,8-PeCDF)
2,3,4,7,8-ペンタクロロジベンゾフラン(2,3,4,7,8-PeCDF)
1,2,3,4,7,8-ヘキサクロロジベンゾフラン(1,2,3,4,7,8-HxCDF)
1,2,3,6,7,8-ヘキサクロロジベンゾフラン(1,2,3,6,7,8-HxCDF)

- 1,2,3,7,8,9-ヘキサクロロジベンゾフラン(1,2,3,7,8,9-HxCDF)
- 2,3,4,6,7,8-ヘキサクロロジベンゾフラン(2,3,4,6,7,8-HxCDF)
- 1,2,3,4,6,7,8-ヘプタクロロジベンゾフラン(1,2,3,4,6,7,8-HpCDF)
- 1,2,3,4,7,8,9-ヘプタクロロジベンゾフラン(1,2,3,4,7,8,9-HpCDF)
- オクタクロロジベンゾフラン(OCDF)

- (17) PCBs : ポリクロロビフェニル (ポリ塩化ビフェニル(Polychlorinated biphenyls))
- (18) TeCBs : テトラクロロビフェニル (四塩化ビフェニル(Tetrachlorobiphenyls))
- (19) PeCBs : ペンタクロロビフェニル (五塩化ビフェニル(Pentachlorobiphenyls))
- (20) HxCBs : ヘキサクロロビフェニル (六塩化ビフェニル(Hexachlorobiphenyls))
- (21) HpCBs : ヘプタクロロビフェニル (七塩化ビフェニル(Heptachlorobiphenyls))
- (22) コプラナーPCBs(Co-PCBs) : ポリクロロビフェニル (ポリ塩化ビフェニル(PCBs)) のうち、オルト位 (2,2',6 及び 6') に置換塩素をもたない化合物 (ノンオルト体) 及びオルト位に置換塩素が 1 個ある化合物 (モノオルト体) の中の次に示すもの。なお、Co-PCBs はダイオキシン様ポリクロロビフェニル (Dioxin-like PCBs :DL-PCBs) とも呼ばれる。

a) ノンオルト体 :

- 3,4,4',5'-テトラクロロビフェニル[3,4,4',5'-TeCB(IUPAC^{註(1)} No. 81(#81))]
- 3,3',4,4'-テトラクロロビフェニル[3,3',4,4'-TeCB(IUPAC No. 77(#77))]
- 3,3',4,4',5'-ペンタクロロビフェニル[3,3',4,4',5'-PeCB(IUPAC No. 126(#126))]
- 3,3',4,4',5,5'-ヘキサクロロビフェニル[3,3',4,4',5,5'-HxCB(IUPAC No. 169(#169))]

b) モノオルト体 :

- 2,3,3',4,4'-ペンタクロロビフェニル[2,3,3',4,4'-PeCB(IUPAC No. 105(#105))]
- 2,3,4,4',5'-ペンタクロロビフェニル[2,3,4,4',5'-PeCB(IUPAC No. 114(#114))]
- 2,3',4,4',5'-ペンタクロロビフェニル[2,3',4,4',5'-PeCB(IUPAC No. 118(#118))]
- 2',3,4,4',5'-ペンタクロロビフェニル[2',3,4,4',5'-PeCB(IUPAC No. 123(#123))]
- 2,3,3',4,4',5'-ヘキサクロロビフェニル[2,3,3',4,4',5'-HxCB(IUPAC No. 156(#156))]
- 2,3,3',4,4',5'-ヘキサクロロビフェニル[2,3,3',4,4',5'-HxCB(IUPAC No. 157(#157))]
- 2,3',4,4',5,5'-ヘキサクロロビフェニル[2,3',4,4',5,5'-HxCB(IUPAC No. 167(#167))]
- 2,3,3',4,4',5,5'-ヘプタクロロビフェニル[2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(IUPAC No. 189(#189))]

- (23) 装置の検出下限 : 測定に使用する GC/HRMS で検出できる最小量。
- (24) 測定方法の検出下限 : 前処理から GC/HRMS による測定までの一連の操作において検出できる最小量。
- (25) 試料における検出下限 : 検出できる試料中の最小濃度。
- (26) 試料測定時の検出下限 : 実際の試料の測定時における検出できる試料中の最小濃度。
- (27) 装置の定量下限 : 測定に使用する GC/HRMS で定量が可能な最小量。
- (28) 測定方法の定量下限 : 前処理から GC/HRMS による測定までの一連の操作において定量が可能な最小量。
- (29) 試料における定量下限 : 定量が可能な試料中の最小濃度。
- (30) 試料測定時の定量下限 : 実際の試料の測定時における定量が可能な試料中の最小濃度。
- (31) TEF : 2,3,7,8-TeCDD 毒性等価係数 (2,3,7,8-TeCDD Toxicity Equivalency Factor)
- (32) TEQ : 2,3,7,8-TeCDD 毒性等量 (2,3,7,8-TeCDD Toxicity Equivalency Quantity)
- (33) RRF : 相対感度係数 (Relative Response Factor)
- (34) PFK : ペルフルオロケロセン (Perfluorokerosene)
- (35) GC/MS : ガスクロマトグラフ質量分析計
- (36) GC/HRMS : 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計
- (37) SIM : 選択イオン検出法 (Selected Ion Monitoring)。機器によっては SIR (Selected Ion

- Recording)、あるいは SID (Selected Ion Detection) という呼称が用いられることがある。
- (38) SOP : 標準作業手順 (Standard Operation Procedure)
 - (39) %(v/v) : 体積百分率
 - (40) % : 重量百分率
 - (41) μg : マイクログラム (100 万分の 1g ; 10^{-6}g)
 - (42) ng : ナノグラム (10 億分の 1g ; 10^{-9}g)
 - (43) pg : ピコグラム (1 兆分の 1g ; 10^{-12}g)

注(1) International Union of Pure and Applied Chemistry の略。

2 対象物質

本マニュアルの対象物質は土壌中のダイオキシン類とする。

3 調査・測定方法

3.1 調査・測定方法の概要

試料を採取し、ダイオキシン類を抽出後、クリーンアップして高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/HRMS）で同定、定量する。この試料採取から測定の流れを図-1に示す。

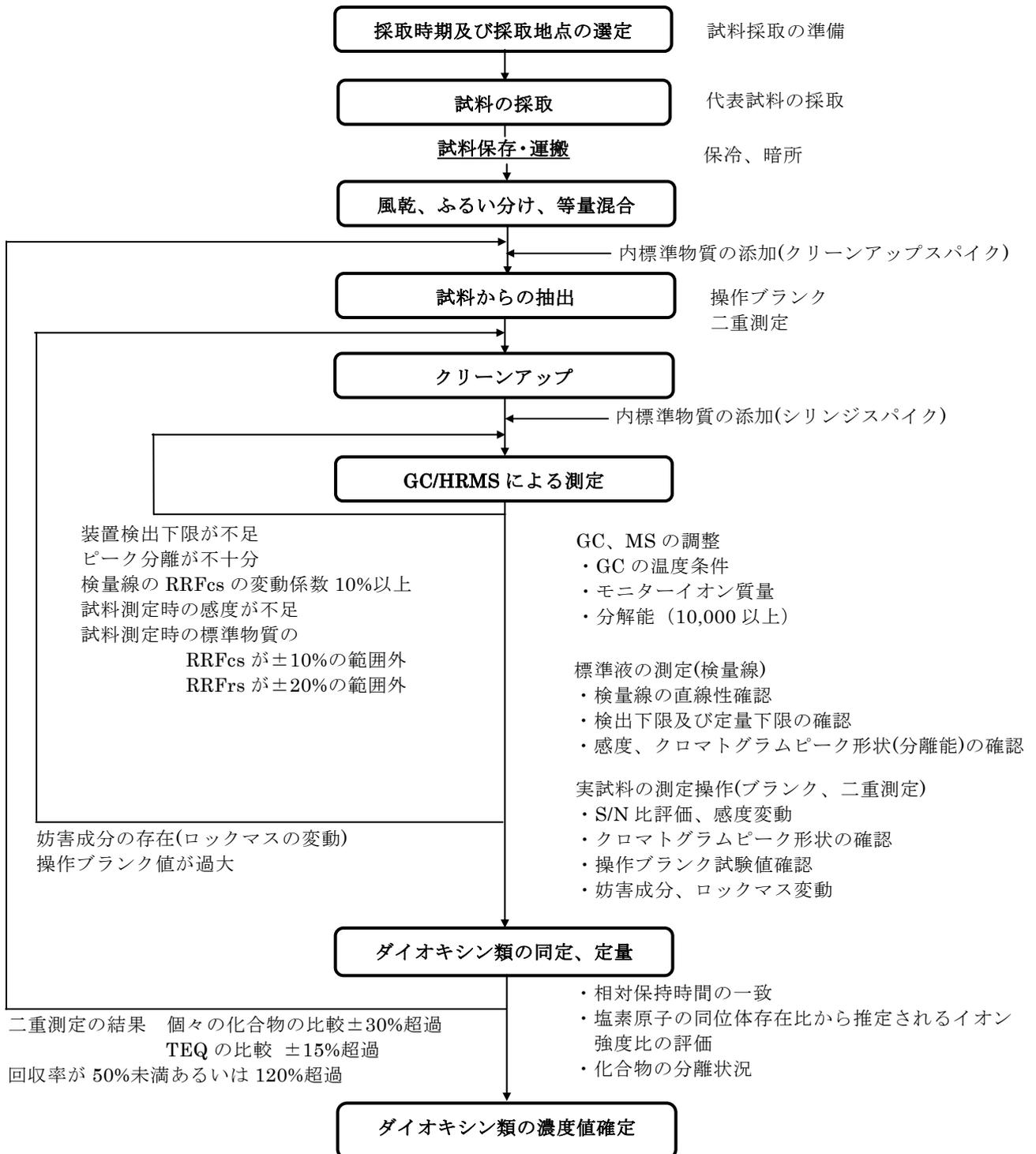


図-1. 試料の採取から測定の流れ

3.2 試料の目標検出下限・目標定量下限

本マニュアルにおいては、操作ブランク値等の許容性を判断する基準として、「目標検出下限・目標定量下限」を導入した。目標検出下限・目標定量下限は、分析の目的等に照らして決定されるが、本マニュアルにおいては原則として、表-1に示すとおりとした。

表-1 ダイオキシン類の目標検出下限・目標定量下限

	TeCDDs,PeCDDs TeCDFs,PeCDFs	HxCDDs,HpCDDs HxCDFs,HpCDFs	OCDD OCDF	Co-PCBs
目標検出下限	0.3 pg/g	0.6 pg/g	1.5 pg/g	0.6 pg/g
目標定量下限	1.0 pg/g	2.0 pg/g	5.0 pg/g	2.0 pg/g

4 調査方法

4.1 調査の進め方

土壌中のダイオキシン類の調査の進め方は次のとおりであり、その流れを図-2に示す。なお、調査地点の選定に当たっては、対象地及びその周辺地の状況、汚染の程度や広がり、影響の態様等に応じて本マニュアルに示す以外の適切な方法を用いてもよい。

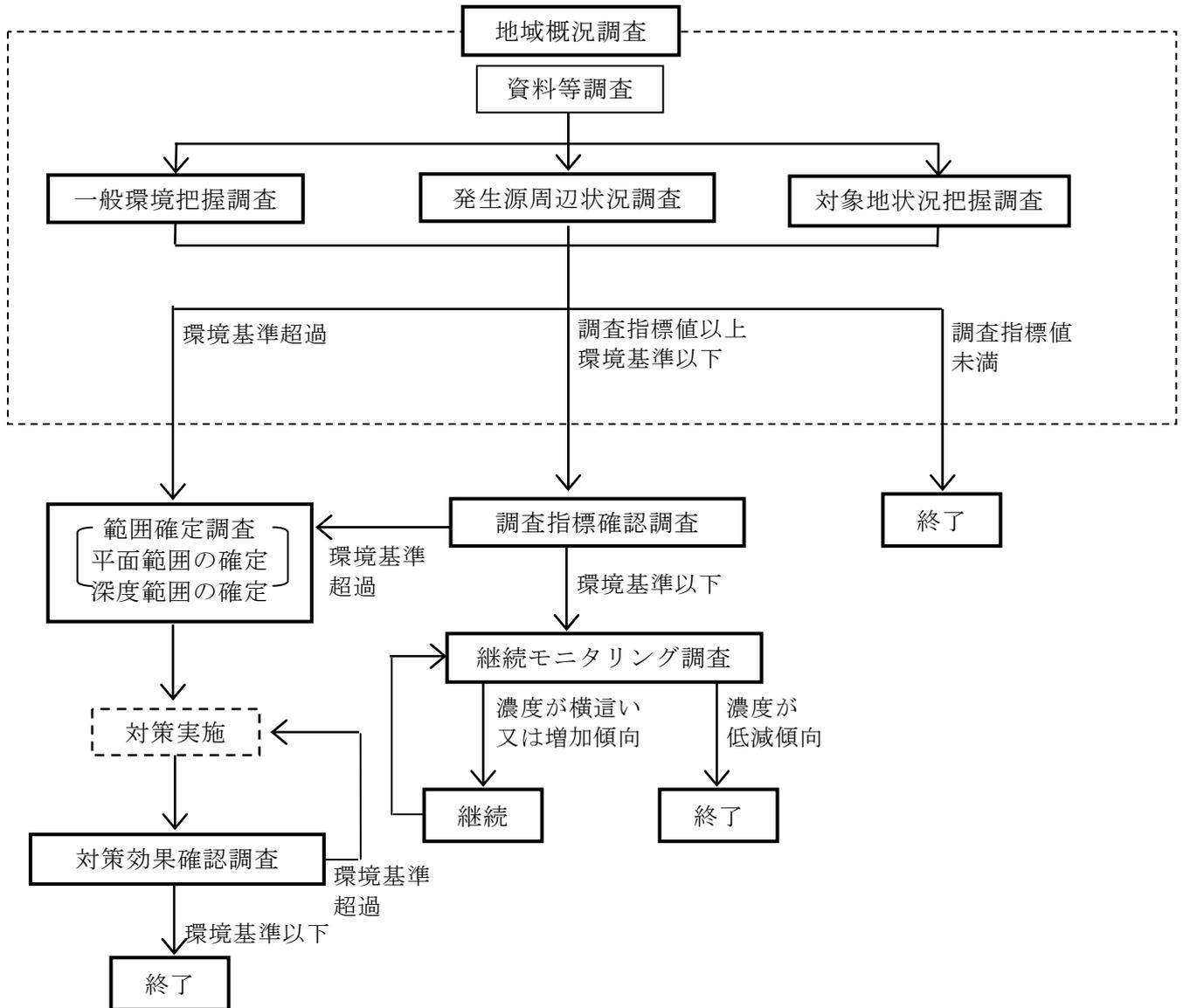


図-2. 土壌中のダイオキシン類の調査の進め方

(1) 地域概況調査

ダイオキシン類に係る土壌の調査を行う場合には、まず、地域概況調査を行う。地域概況調査は、目的に応じて、一般環境把握調査、発生源周辺状況把握調査及び対象地状況把握調査に分類できる。いずれの場合も、あらかじめ、土地利用状況等を資料等により調査（「資料等調査」という。）を行ったうえで測定地点を選定する。

a) 資料等調査

土壌中ダイオキシン類の調査の実施に当たっては、まず、対象地及びその周辺について、資料調査、聞き取り調査、現地調査等を必要に応じて行い、測定地点に係る概況を調査し、記録する。

調査は次の項目について実施する。

- ① 土地利用及び管理状況の履歴（人為的攪乱、客土の実施、資材（農薬等）施用の可能性等）
- ② 土地の起伏、想定される風の流路等の周辺状況
- ③ 土壌の種類（国土調査法に基づく土地分類調査等を参考）
- ④ 発生源近傍の場合は、発生源からの距離、発生源からの排出状況、排出経路（事故等の場合はダイオキシン類の漏出の可能性、時期、場所、漏出物質名及び漏出量 等）

b) 一般環境把握調査

一般環境における土壌中のダイオキシン類濃度の状況を把握するため、特定の発生源の影響をあらかじめ想定せずに実施する調査である。

調査に当たっては、数年程度で都道府県の区域内の全市町村（政令市にあつては主要な地域）において調査が実施されるよう年次計画を立て、調査地点を選定する。また、人口や土地利用の状況等を勘案して、多数の人の健康に影響を及ぼす可能性がある地域及び汚染の可能性が高い地域を優先的に選定する。

具体的な試料採取地点は、あらかじめ資料等調査により地域全体の現在及び過去の土地利用状況、ダイオキシン類の発生源の状況等について把握し、土地の履歴等を明らかにする。

また、行政区分によらずに調査を行う場合には、調査対象となる地域を等間隔で方眼状に区分し、その各々の区画の中心付近において試料を採取する。また、区分の間隔は、対象範囲の広さや調査目的に応じて適切に設定することとする（図-3）。

試料の採取はいずれも表層において5地点混合方式により行う（4.2参照）。

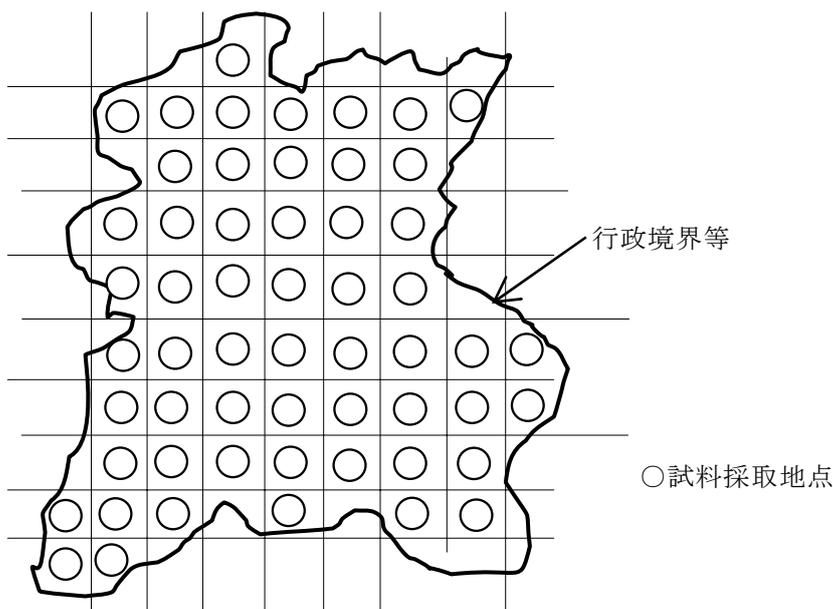


図-3. 地域の区分による一般環境把握調査の例

c) 発生源周辺状況把握調査

ダイオキシン類を発生し排出する施設が、一般環境の土壤に及ぼす影響を把握するため、発生源の周辺において実施する調査である。ここでは、大気に対する固定発生源を対象とする。

調査に当たっては、数年程度で区域内の主要な発生源が選定されるよう年次計画を立て、周辺の一般環境における土壤中のダイオキシン類濃度の概況が把握できるよう対象となる発生源を選定する。

それぞれの発生源に対する具体的な試料採取地点は、基本的に、気象データ等を基にシミュレーションを行い、発生源からの影響を最も受けると予想される場所（最大着地濃度発生地点）を求め、その地点及び周辺地域とする。

シミュレーションは不確実性を内包するものであることから、具体的には、以下の地点において試料採取を行うこととする（図-4）。

- ① 発生源とシミュレーションにより求めた^{注(2)}最大着地濃度発生地点を結ぶ直線上において、以下の4地点。
 - ア 最大着地濃度発生地点 A
 - イ 発生源と最大着地濃度発生地点の間地点 B
 - ウ 発生源からの距離が最大着地濃度発生距離（発生源から最大着地濃度発生地点までの距離）の2倍の地点 C
 - エ 発生源からの距離が最大着地濃度発生距離の3倍の地点 D
- ② 最大着地濃度発生地点を通り、発生源を中心とする円上で、最大着地濃度発生地点の近傍の地点（2地点） E、F
- ③ 発生源及び最大着地濃度発生地点を通る直線と、この直線と発生源において直交する直線上において、発生源からの距離が最大着地濃度発生距離にある3地点 G、H、I

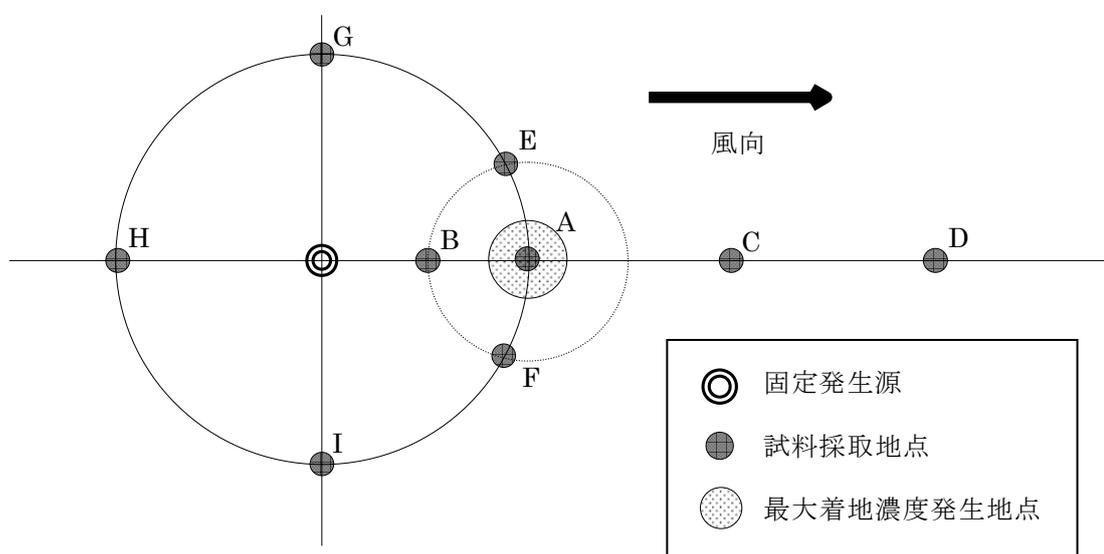


図-4. 発生源周辺状況把握調査における調査地点の設定

注(2) 「ごみ焼却施設周辺環境におけるダイオキシン類濃度シミュレーション調査結果」（平成9年5月環境庁ダイオキシンリスク評価検討会報告）で算出した代表的なごみ焼却施設より排出されるダイオキシン類の最大濃度発生距離（参考資料1）を参考として、年平均風向より試料採取地点を選定してもよい。

なお、農用地等、耕作等による攪拌を行い、人為的に資材等（農薬等）を施用する土地につい

ては、燃焼系発生源を主とする影響の調査地点とはしない。

また、山間部等でシミュレーションモデルの適用が困難な場合にあっては、人への影響を調査する目的で発生源近傍の集落等において試料採取を行う方法のほか、風向・風速等のデータを考慮し、風下方向において重点的に調査地点を選定する等により、効率的な試料採取を行う。

なお、樹木、建築物等により、大気からの降下物が遮られるおそれのある場所及び他の発生源の影響が懸念される場所は、目的とする発生源周辺の正確なモニタリングに障害があることも考えられることから、地点の設定に当たって可能な限り避ける。

d) 対象地状況把握調査

既存資料等の調査により、過去に行われた廃棄物の野焼きや不法投棄の跡地、ダイオキシン類を発生するおそれのある事業場跡地等であること等により汚染の可能性が示唆される対象地における土壌中のダイオキシン類濃度の状況を把握するため実施する調査である。

調査に当たっては、既存資料等の調査によりダイオキシン類による汚染のおそれが高い対象地を優先的に選定し、その対象地における土壌中のダイオキシン類濃度の概況が把握できるよう調査地点を選定する。

具体的な試料採取地点は、対象地の現況や資料等調査並びに必要なに応じて行う聞き取り調査及び現地状況等から、対象地内において土壌汚染のおそれのある範囲が推定できる場合にあっては、汚染のおそれのある範囲及びその周辺地域において重点的に調査地点を設定する。

汚染の可能性が示唆される対象地ではあるが、当該対象地内の汚染のおそれのある範囲が明らかでない場合には、対象地を等間隔で方眼状に区分し、その各々の区画の中心付近において5地点混合方式により試料を採取し、分析試料とする。なお、対象地状況把握調査においては、試料採取地点の設定をあらかじめ4.1(3)範囲確定調査と同様に設定し、これら2つの調査を兼ねることもできる。

e) 地域概況調査の結果の評価

一般環境把握調査、発生源周辺状況把握調査及び対象地状況把握調査の結果、環境基準を超過する又は調査指標値以上の地点が判明した場合には、当該地点を中心に、さらに詳細な資料等調査（聞き取り調査及び現地調査を含む）を行い、原因を推定する。その際、検出されたダイオキシン類の同族体又は化合物の構成比を参考とすることができる。

環境基準を超過した場合で汚染源が推定できた場合には、当該汚染源を踏まえた範囲確定調査を行う。汚染源が推定できなかった場合には、汚染判明地点を中心に範囲確定調査を行う。

また、調査の結果、環境基準を満たしているが、調査指標値以上のダイオキシン類の蓄積が判明した場合には、調査指標確認調査を行う。

(2) 調査指標確認調査

4.1(1)地域概況調査の結果、調査指標値以上のダイオキシン類濃度を示す地点の存在が判明した場合には、まず、ダイオキシン類が蓄積した原因の推定に係る資料等調査を実施する。また、周辺の土壌中のダイオキシン類濃度が環境基準を超えるおそれがあるので、資料等調査の結果や周辺の状況に応じて土壌の追加調査を行う。周辺の大気、水等に係るダイオキシン類の資料等調査（必要に応じて調査測定）を実施し、当該地域におけるダイオキシン類による環境への影響を把握する。

a) 土壌の追加調査を行う場合の調査地点の選定

原因の推定に係る資料等調査や周辺の大気、水等に係る調査の結果、調査指標値以上の地点の周辺において環境基準を超えるおそれがある場合には、発生源の立地や周辺の土地利用の状況等を勘案して土壌の追加調査の地点を選定する。

① 一般環境把握調査で調査指標値を超えた場合

原因が推定できない場合には、調査指標値を超過していることが判明した地点を中心に、25～50mを目安にして適当な距離をおいた4方位に試料採取地点を設定する。距離は周辺の状況

により変更してよい。測定の結果、いずれか1地点以上でなお調査指標値以上のダイオキシン類の蓄積が見られる場合には、調査指標値未滿となるまで等距離で試料採取地点を設定し、調査する。

原因が推定できた場合には、原因の種類に応じて、次の4.1(2)a)②に準じて試料採取地点を選定する。

② 発生源周辺状況把握調査又は対象地状況把握調査で調査指標値を超えた場合

調査指標値以上の地点の周辺において環境基準を超えるおそれがある場合には、発生源の立地や周辺の土地利用の状況等を勘案して土壌の追加調査地点を選定する。

b) 調査指標確認調査の結果の評価

調査指標値以上となった原因の推定や周辺の大気、水等の状況から発生源が把握できた場合には、状況に応じて所要の発生源対策等を講じる。

また、土壌の追加調査の結果、環境基準を超える地点が判明した場合には、範囲確定調査を行う。周辺の土壌で環境基準を超えるおそれがない、または土壌の追加調査の結果、環境基準を満たしている場合には継続モニタリング調査を行う。

(3) 範囲確定調査

地域概況調査又は調査指標確認調査の結果、土壌の環境基準を超える地点が判明した場合は、汚染原因を推定するとともに、環境基準を超える土壌の平面範囲及び深度を確定するため、範囲確定調査を実施する。

a) 平面範囲の確定

① 調査地点の設定

環境基準を超過した地点を中心にして、対象地の現況や資料等調査並びに必要なに応じて行う聞き取り調査及び現地状況等から、環境基準を超えるおそれのある範囲が推定できる場合にあっては、汚染のおそれのある範囲及びその周辺地域において重点的に調査地点を設定する。

環境基準を超えるおそれのある範囲が推定できない場合には、環境基準を超過した地点の周辺を等間隔で調査し、さらに、汚染の広がりが認められる場合は、環境基準を満たすまで調査範囲を広げて調査する(図-5)。

逆に、いずれの地点でも汚染が見られない場合には、必要に応じ間隔をせばめて調査を実施する。

なお、試料採取地点は概ね1,000m²につき1地点程度を原則とするが、区分の間隔は対象地域の広さや調査目的に応じて適切に設定する。

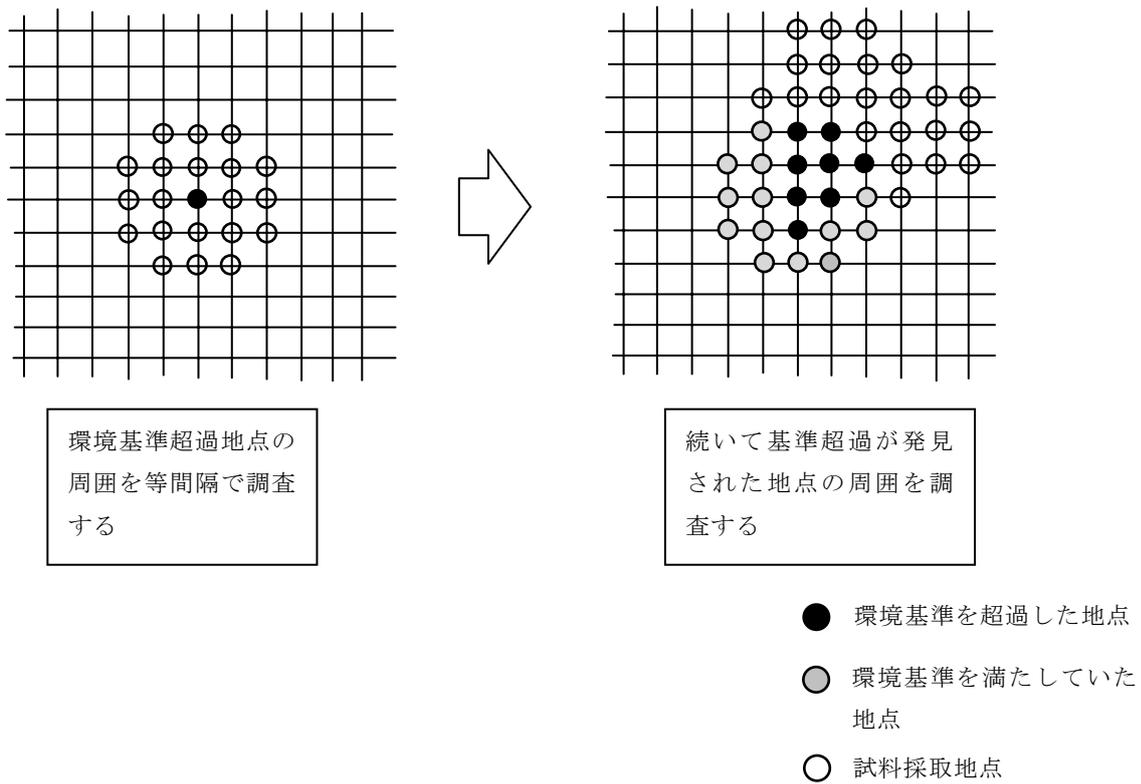


図-5. 汚染範囲確定調査の試料採取地点の設定例
(環境基準を超えるおそれのある範囲が推定できない場合)

② 調査結果の評価と平面汚染範囲の確定

環境基準超過地点と近接する環境基準を満たす地点とを直線で結び、その中間点より垂線を引き、各垂線の交点で結ばれた多角形を汚染範囲とする。

平面汚染範囲の確定の考え方の例を図-6に示す。

<対策範囲の確定>

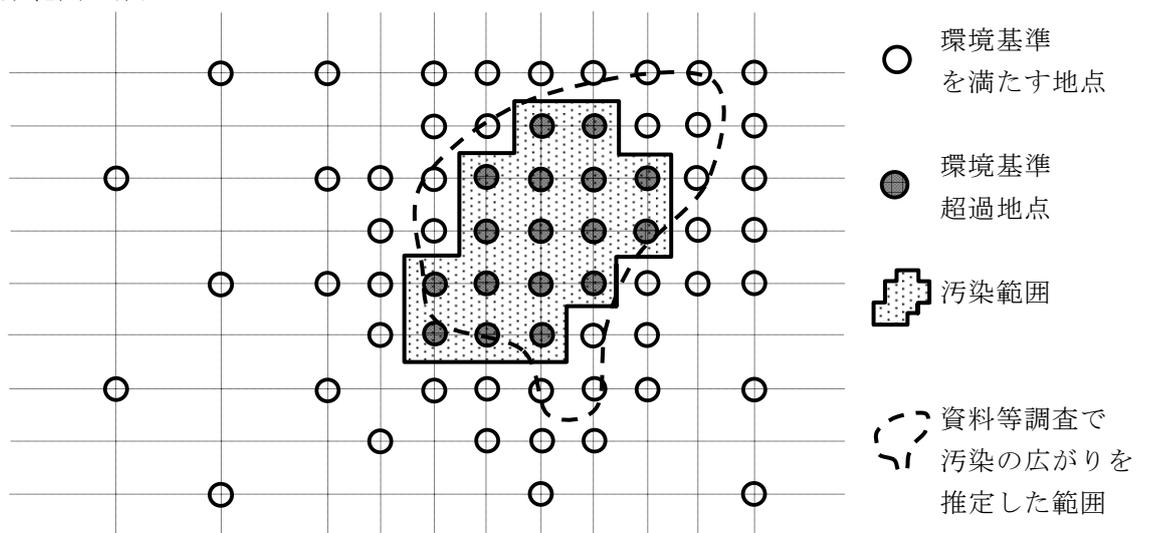


図-6. 汚染範囲確定のための調査の例

b) 深度範囲の確定

① 調査深度

表層土壌で環境基準を超過していることが判明した場合には、対策手法の選定や対策を実施すべき土壌の深度の確定に資するため、基本的に地表で最も高濃度のダイオキシン類が検出された地点において、土壌の深度別のダイオキシン類を測定する。なお、下層に汚染のおそれがあり、当該土壌を掘削するおそれがある場合等にも必要に応じて実施する。

調査の深度は、表層から 5cm までの調査に加え、5～10cm、10～15cm、15～20cm の深度で各々層別の試料の採取を行うことを基本とするが、資料等調査により汚染深度が推測できる場合はこの限りではない。

また、調査した深度でなお環境基準を超過している場合には、環境基準以下になると予想される深度まで適当な間隔をおいて深度方向の調査を実施する。

なお、表層で汚染の見られた範囲の多くの地点で深度調査を行えば、対策範囲を的確に設定できる。

② 調査結果の評価と深度範囲の確定

調査の結果、環境基準を超過する層と近接する環境基準を満たす層の間を境界として設定する。

(4) 対策効果確認調査

環境基準を超える土壌について対策を実施した場合に、その効果を確認するため、対策効果確認調査を実施する。

a) 土壌の掘削除去対策を実施した場合

ダイオキシン類による汚染土壌の対策として当該土壌の掘削除去を実施した場合には、掘削除去の取り残しがないことを確認するため、掘削除去された後の底面及び側面の土壌について、対策の範囲を勘案しつつ土壌試料を採取する。底面については、中心及び4方位の5地点を基本とし、掘削除去を実施した範囲の広さに応じて適宜試料採取地点を追加して、環境基準を満たすことを確認する。

b) 土壌の原位置浄化対策を実施した場合

ダイオキシン類による汚染土壌の対策として当該土壌の原位置浄化を実施した場合には、原位置浄化が適正に行われたことを調査し確認するため、最も高濃度でダイオキシン類が検出されていた地点及び汚染範囲の外縁を含んで、対策した範囲が環境基準を満たすことを確認する。

c) 覆土・植栽等による被覆対策を行った場合

ダイオキシン類による汚染土壌の対策として覆土・植栽等による被覆対策を実施した場合には、一般環境と汚染土壌を結ぶ曝露経路が適切に遮断されていることを確認するため、当該覆土等の表面の中心及び汚染範囲の外縁で土壌試料を採取し、環境基準を満たすことを確認する。なお、アスファルト等の土壌以外の材料による被覆の場合は必要ない。

d) 結果の評価

環境基準を超過する土壌がなおみられる場合は、必要に応じて試料採取地点を増加し、環境基準を超過する範囲を確定した上で追加対策を行い、再度対策効果確認調査を行う。

(5) 継続モニタリング調査

調査指標値以上のダイオキシン類濃度を示す地点の存在が判明した場合には、必要に応じて、土壌中のダイオキシン類の濃度の推移を把握するため、3～5年の期間をおいた後に継続モニタリング調査を実施する。

なお、複数の地点を一つの対象地と見なすことができるときは、適宜、その代表的な1地点を選定し、調査を実施することとしても差し支えない。

継続モニタリング調査の結果、土壌中の濃度が低減する傾向にあれば、調査を終了する。土壌中の濃度が横這い又は増加傾向にある場合は、モニタリング調査を継続するとともに、その原因を資料等調査等により把握する。

4.2 試料採取

土壌試料の採取は、調査地点において、原則として、表層 5cm の土壌について 5 地点混合方式で行う。なお、範囲確定調査で深度範囲の確定を行う場合には 1 地点の柱状試料を採取する。

(1) 試料採取

土壌試料の採取は、調査地点において、原則として、表層 5cm の土壌について次に示す 5 地点混合方式で行う。ただし、範囲確定調査で深度範囲の確定を行う場合には 4.1(3)b)①によることとし、1 地点の柱状試料を採取する。

また、採取した試料の性状として、含水率、強熱減量、土性等を調査する。

- a) 試料の採取に当たっては、既存資料等の調査により土地の履歴が明らかな場所を選定する。
- b) 試料の採取に当たっては、10～20m 四方程度の裸地で、落ち葉等で覆われていない場所を選定する。表層に落ち葉等の被覆物がある場合には、それらを除去する。やむを得ず草地等で採取する場合には、植物体の地上部を鎌等で刈り取り、除去した後、土壌を根茎を含んだ状態で採取する。
- c) 原則として、5 地点混合方式により試料採取を行う。すなわち、調査地点 1 地点につき、中心及び周辺の 4 方位の 5～10m までの間からそれぞれ 1 箇所ずつ、合計 5 箇所（地点）で試料を採取し（図-7参照）、これを等量混合する。

なお、調査地点の状況により、5 地点混合方式の間隔が十分にとれない場合は、間隔を小さくして 5 箇所（地点）から採取するか、または、中心及び 4 方位以外で、調査地点の代表性が確保できる 5 地点を設定し、試料を採取してもよい。

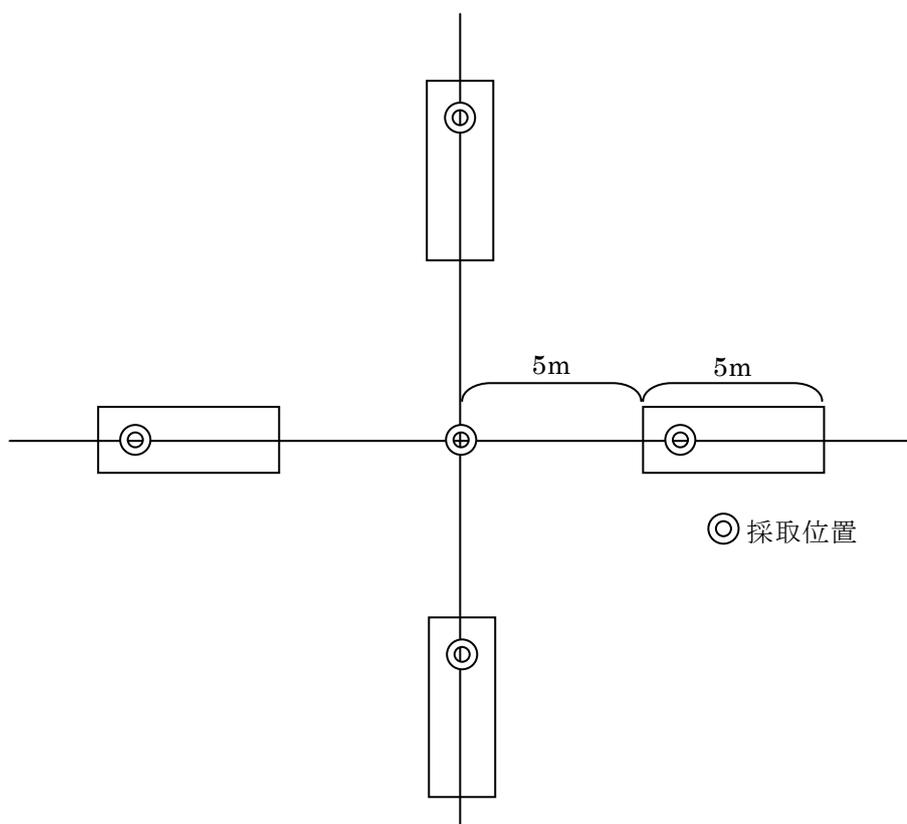


図-7. 5 地点混合方式の参考例

- d) 試料採取深度は、地域概況調査については、地表面から 5 cm までの部分を採取する。(参考資料 2) なお、農用地等人為的な攪拌を伴う土地において調査する場合の試料採取深度は地表面から 30 cm までの部分を採取する。
- e) 試料採取は、原則として直径 5 cm 程度、長さ 5 cm 以上の柱状試料を採取し (図-8 参照)、そのうち上部 (地表面) より 5 cm までの部分を試料として採取する。農用地等、人為的な攪拌のある土壌については、同様に上部より 30 cm までの部分を採取する。

その際、試料採取量は分析試料として必要な量、すなわち乾重で 100g 程度確保する (長さ 5 cm、直径 5 cm 以上の柱状試料を採取すると、試料採取量は概ね 150g 以上となる)。

なお、砂質土壌等で柱状の採取ができない場合は、シャベル、スコップ等を用いて、所定の深さの土壌を採取する。

採取に使用する採土用具は金属製のものとし、採取に当たっては、ダイオキシン類の他試料からの汚染を防ぐため、他地点の採取時に付着した土壌等を完全に除去する (必要に応じて洗浄を行う)。

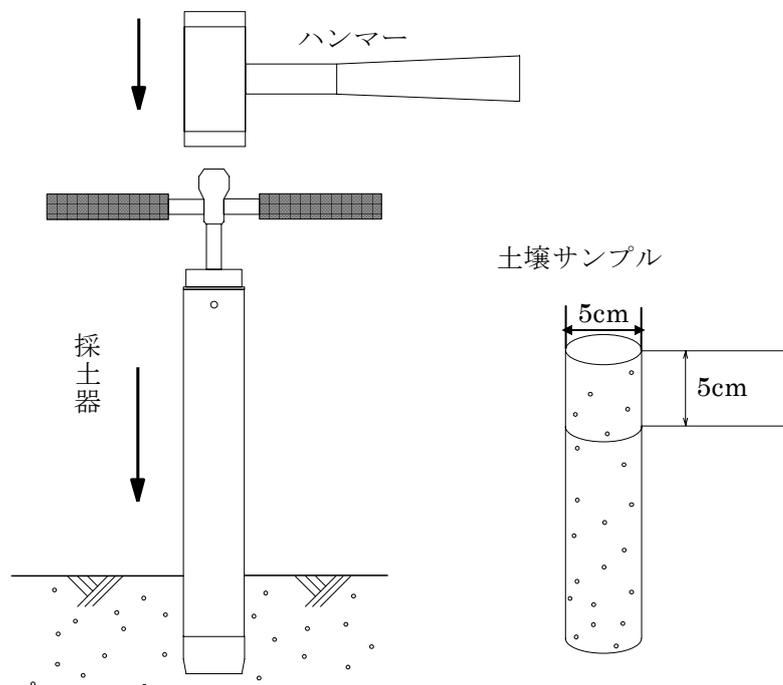


図-8. 土壌採取の一例

- f) 採取した土壌は、ステンレス製等でダイオキシン類が吸着しにくく、密封が可能で遮光性がある容器^{註(3)}に収める。分析は試料採取後直ちに行う。分析を直ちに行えない場合には、冷暗所 (4℃ 程度) に保存し、できるだけ速やかに分析を行う。分析に用いた試料 (等量混合したもの) の残りを長期保存する場合は冷凍保存 (-5℃ 以下) する。
- g) 採取した土壌の状況は、現地で土性の判定を行い、記録する。土性については、野外土性の判定方法 (参考資料 3) を参照し行う。また、土色についても、肉眼またはマンセル表色系等を用いて判定、記録する。
- h) 試料採取時の記録として、少なくとも下記の情報を記録し、整理・保管する。
- ① 試料採取に使用した器具の種類及び状況
 - ② 採取地点付近の建築物や立ち木等の有無と位置、日照等の周辺状況
 - ③ 採取地点上の枯れ葉等の被覆物の有無
 - ④ 採取方法、採取地点間の距離
 - ⑤ 採取試料の性状 (土性・土色等)

注(3) ブランク試験によって、測定に支障がないことを確認する。試料容器のブランク値を分析値に影響がないよう十分低くなるように管理しておけば毎回行わなくてもよいが、試料容器の種類の変更があった場合には、その都度ブランク値を確認する。(また、市販品の保証がある場合でも、ブランク値の確認を行っておく。)

4.3 分析試料の調製^{注(4)}

(1) 採取試料の風乾

採取した土壌は、金属製のバット等に入れて、金属製のヘラ等でかたまりを押しつぶして砕きほぐし、秤量した後、ほこり等が入らないようアルミホイル等^{注(5)}で覆い、時々混ぜながら室内で数日間放置して自然乾燥^{注(6)}する。この際、室温以上の加熱、送風等を行ってはならない^{注(7)}。また、相互の試料間の汚染等が起こらない状態にする。

注(4) 注(14)のソックスレー・ディーンスターク形抽出器により抽出を行う場合は、この操作を行わず、注(14)により試料の調製を行う。

注(5) アルミホイルを使用する場合は、有機溶媒等で洗浄する。また、直接試料の上に被せると、風乾しにくくなるため、直接被せるのではなく、山折りにして被せるとよい。布等を使用する場合は、使用する布等からの汚染にも十分注意することとし、必要に応じて有機溶媒等で十分に洗浄する。乾燥時間を速めるために、凍結乾燥やデシケーターを用いてもよい。

注(6) 2～3日ごとに秤量して、水分の減少がなくなったことを確かめる。

注(7) 空気を入れ換えるための、試料が吹き散らされないような緩やかな換気は行ってもよい。

(2) ふるい操作

風乾した土壌は、中小礫、木片、植物残渣等を除き^{注(8)}、土塊、団粒を破碎後、2mmの目のふるいを通させる(参考資料4)。その際、ふるい上の礫等の重量についても測定し、ふるい操作の歩留りを記録する。

注(8) 腐植(落葉等が分解し、植物組織が判然としなくなっているもの)等は、前もって除去しない。

(3) 等量混合

5地点混合方式により採取した5つの試料の等量混合に当たっては、上記の操作により得られた試料をそれぞれ等量(重量)ずつ十分混合し、分析用の試料とする。

保存する場合は、等量混合後のものとする。

4.4 その他の情報

採取した土壌から4.3に従い分析試料を調製し、その一部を用いて分析試料の含水率及び強熱減量を求め、記録する。

含水率については、試料5g以上をはかり取り、105～110℃で約2時間乾燥する。デシケーター内で放冷後、秤量する。その重量の差から、含水率を算出する。また、強熱減量については試料5g以上をはかり取り、600±25℃で約2時間強熱する。デシケーター内で放冷後、秤量し、その重量差から強熱減量を算出する。これらの操作の詳細は「底質調査方法」の、乾燥減量及び強熱減量の測定方

法に従う。

含水率及び強熱減量に用いた分析試料はダイオキシン類分析に使用しない。

5 測定分析方法

5.1 測定分析方法の概要

(1) 前処理方法

分析試料をはかり取り、内標準物質を添加した後、有機溶媒により抽出を行う。抽出後、必要に応じて分取し、硫酸処理-シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフィを行い、その後、活性炭カラムクロマトグラフィ、アルミナカラムクロマトグラフィのいずれか又はこれらを組合せたクリーンアップを行う。試料中に鉱物油等の油分が多いとき等は、必要に応じてゲル浸透クロマトグラフィ（GPC）又はヘキサン・ジメチルスルホキシド（DMSO）分配を加えてもよい。これらの操作によってクリーンアップされた試料を高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/HRMS）によって測定する。図-9に試料の前処理から測定までのフローの例を示す。

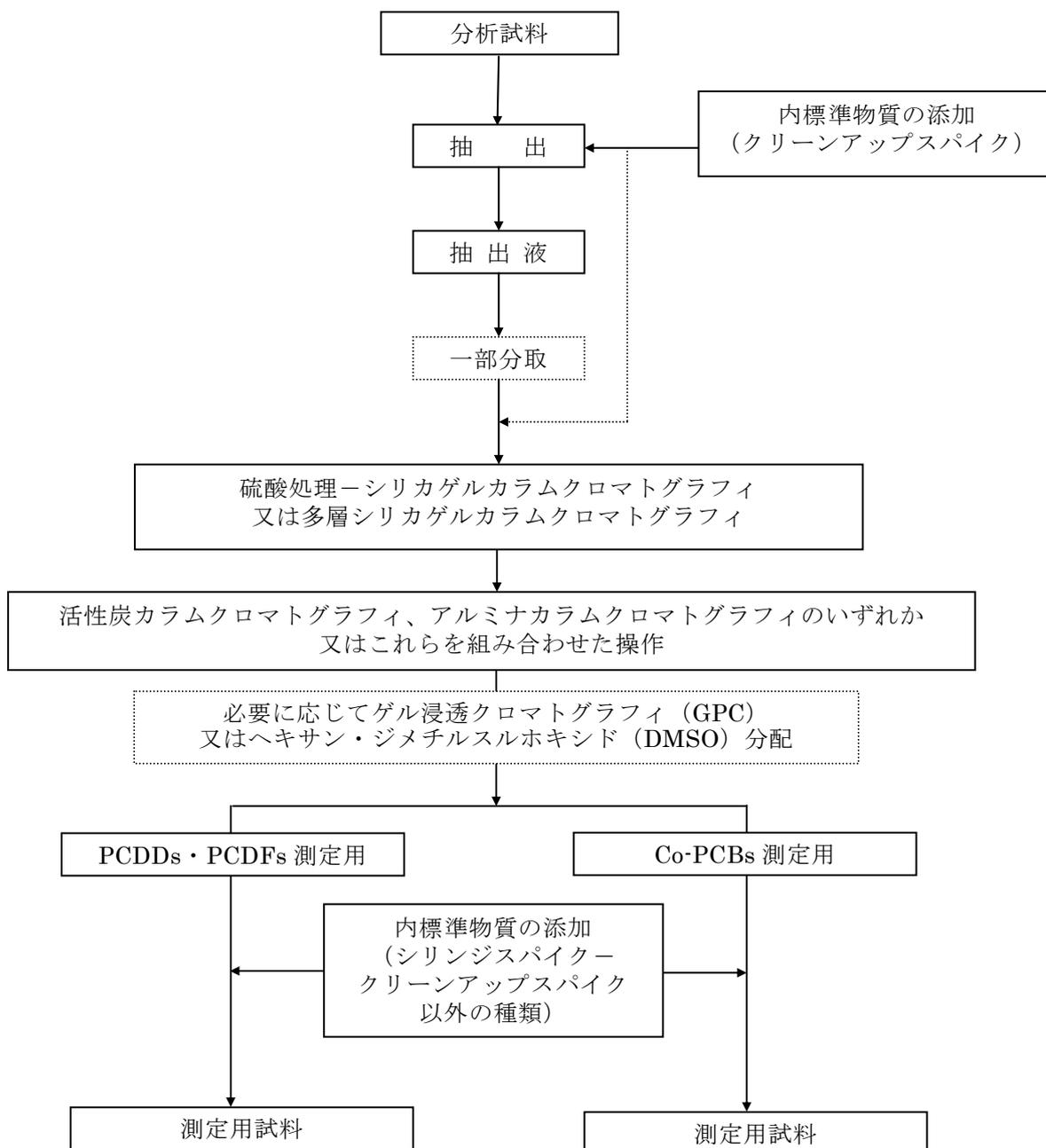


図-9. 試料の前処理から測定までのフローの例

(2) 同定及び定量の概要

ダイオキシン類の同定及び定量は、キャピラリーカラムを用いるガスクロマトグラフ (GC) と二重収束型質量分析計 (MS) を用いる高分解能ガスクロマトグラフ質量分析 (GC/HRMS) 法によって行う。分解能は 10,000 以上が要求されるが、使用する内標準物質によっては 12,000 が必要である。10,000 以上の高分解能での測定を維持するため、質量校正用標準物質を測定用試料と同時にイオン源に導いて測定イオンに近い質量のイオンをモニターして質量の微少な変動を補正するロックマス方式による選択イオン検出法 (SIM 法) で検出し、保持時間及びイオン強度比からダイオキシン類であることを確認した後、クロマトグラム上のピーク面積から内標準法によって定量を行う。

5.2 試薬

全ての試薬類にはダイオキシン類の測定分析に影響を及ぼす妨害成分が含まれていないことが要求される^{注(9)}。

- (1) 水 : JIS K 0557 に規定する A4 (又は A3) の水。
- (2) メタノール : JIS K 8891 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (3) アセトン : JIS K 8040 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (4) ヘキサン : JIS K 8825 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (5) トルエン : JIS K 8680 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (6) ジクロロメタン : JIS K 8117 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (7) ジメチルスルホキシド (DMSO) : JIS K 9702 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (8) シクロヘキサン : JIS K 8464 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (9) デカン : 測定に支障のない品質のもの。
- (10) イソオクタン : 測定に支障のない品質のもの。
- (11) ノナン : 測定に支障のない品質のもの。
- (12) 硫酸 : JIS K 8951 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (13) 硫酸ナトリウム : JIS K 8987 に規定するもの、又は同等の品質のもの。使用前にヘキサンで洗浄するか、450℃にて数時間加熱処理する。
- (14) 水酸化カリウム : JIS K 8574 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (15) 硝酸銀 : JIS K 8550 に規定するもの、又は同等の品質のもの。
- (16) ヘキサン洗浄水 : (1)の水を(4)のヘキサンで十分洗浄したもの。
- (17) 25 %(v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 : ジクロロメタンとヘキサンを体積比 25:75 でよく混合したもの。
- (18) 2 %(v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 : ジクロロメタンとヘキサンを体積比 2:98 でよく混合したもの。
- (19) 50 %(v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 : ジクロロメタンとヘキサンを体積比 50:50 でよく混合したもの。
- (20) 5 %(v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 : ジクロロメタンとヘキサンを体積比 5:95 でよく混合したもの。
- (21) 30 %(v/v) トルエン・ヘキサン混合液 : トルエンとヘキサンを体積比 30:70 でよく混合したもの。
- (22) 50 %(v/v) ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液 : ジクロロメタンとシクロヘキサンを体積比 50:50 でよく混合したもの。
- (23) 活性化シリカゲル : カラムクロマトグラフ用シリカゲル (粒子径 60~220 μm) をビーカーに入れてメタノールで洗浄し、メタノールを十分揮散させる。これを層の厚さを 10mm 以下になるように蒸発皿又はビーカーに入れ、一定の条件で活性化させる (例 : 130℃で約 18 時間加熱した後、デシケーター中で約 30 分間放冷等)。調製後、密閉できる容器に入れ、デシケーター中に保存する。

シリカゲルの活性化条件及び保存条件はカラムクロマトグラフの分画パターンに影響するため、あらかじめ使用する活性化・保存条件にて分画試験を行うこと。

- (24) **2%水酸化カリウムシリカゲル**：(23)の活性化シリカゲル 100g に対して、(14)の水酸化カリウムで調製した水酸化カリウム溶液 (50g/L) 40mL を加えた後、ロータリーエバポレーターを用いて約 50°C で減圧脱水し、水分のほとんどを除去した後、温度を 50°C から 80°C に上げてさらに約 1 時間減圧脱水を続けて粉末状にしたもの。調製後、密閉できる試薬ビンに入れ、デシケーター内で保存する。
- (25) **22%硫酸シリカゲル**：(23)の活性化シリカゲル 100g に対して、(12)の硫酸 28.2g を添加後、十分振とうし粉末状にしたもの。調製後、密閉できる試薬ビンに入れデシケーター内で保存する。
- (26) **44%硫酸シリカゲル**：(23)の活性化シリカゲル 100g に対して、(12)の硫酸 78.6g を添加後、十分振とうし粉末状にしたもの。調製後、密閉できる試薬ビンに入れデシケーター内で保存する。
- (27) **10%硝酸銀シリカゲル**：(23)の活性化シリカゲル 100g に対して、(15)の硝酸銀で調製した硝酸銀溶液 (400g/L) 28mL を加えた後、ロータリーエバポレーターで水分を完全に除去したもの。硝酸銀シリカゲルは褐色フラスコを使用して極力遮光して調製し、調製後は、密閉できる褐色ビンに入れ、デシケーター内で保存する。
- (28) **活性化アルミナ**：カラムクロマトグラフ用アルミナ（塩基性、活性度 I）は、あらかじめ活性化したものが入手できる場合はそのまま使用してもよい。活性化する必要がある場合には、ビーカーに層の厚さを 10mm 以下にして入れ、一定の条件で活性化させる（例：130°C で約 18 時間乾燥、ペトリ皿に層の厚さを約 5mm 程度にして入れて 500°C で約 8 時間加熱処理した後、デシケーター内で約 30 分間の放冷等）。活性化後は、速やかに使用する。
- (29) **銅粉又は銅チップ**：銅粉はあらかじめアセトン及びトルエンで洗浄する。銅チップは濃塩酸で表面の酸化皮膜を洗浄した後、水、アセトン、トルエンの順で洗浄する。
- (30) **液体クロマトグラフ用活性炭カラム**：液体クロマトグラフ用のグラフアイトカーボンカラム。又はそれと同等の分離性能をもつもの。
- (31) **活性炭カラム充てん剤**：活性炭を含浸又は分散させたシリカゲル、又はこれと同等の分離性能をもつもの。
- (32) **質量校正用標準物質**：ペルフルオロケロセン（PFK）等の質量分析用高沸点成分を使用する。
- (33) **標準物質**：内標準法による同定及び定量に使用する標準物質を表-2に示す。
- (34) **内標準物質**：炭素又は塩素原子が ^{13}C 又は ^{37}Cl でラベルされた PCDDs、PCDFs 及び Co-PCBs のうち適正な種類及び濃度のものを用いる。表-3に内標準物質の一例を示す。内標準物質には、以下の 2 種類があり、それぞれ別の化合物を用いる。
- a) **クリーンアップスパイク用内標準物質**：試料の抽出からクリーンアップまでの前処理操作全体の結果を確認し、PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs を定量するための基準となるために添加する内標準物質である。ノナン^{注(10)}又はトルエン溶液のものを添加する。
- b) **シリンジスパイク用内標準物質**：GC/HRMS への試料液の注入を確認するために添加する内標準物質で、クリーンアップスパイク用で使用したもの以外の内標準物質を用いる。ノナン^{注(10)}又はトルエン溶液のものを添加する。
- (35) **検量線作成用標準液**：(33)の標準物質と(34)a)のクリーンアップスパイク及び(34)b)のシリンジスパイクの内標準物質（TeCDDs～HpCDDs、TeCDFs～HpCDFs 及び Co-PCBs を 50～100ng/mL、OCDD 及び OCDF では 100～200ng/mL の濃度程度になるように）を混合して、GC/HRMS の定量範囲内で、GC/HRMS の検出下限の 3 倍程度の低濃度から 5 段階以上（範囲は機器の感度、測定対象の濃度範囲によるが、概ね 0.2ng/mL～1,000ng/mL 程度）をノナン^{注(10)}又はトルエンで希釈して調製する。

注(9) 精製により PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の測定分析に影響を及ぼす成分が含

まれていないことが確認されれば使用できる。
 注(10) デカン又はイソオクタンでもよい。

表-2 測定に用いる標準物質

		PCDDs		PCDFs		
PCDDs, PCDFs	TeCDDs	2,3,7,8-TeCDD	TeCDFs	2,3,7,8-TeCDF		
	PeCDDs	1,2,3,7,8-PeCDD	PeCDFs	1,2,3,7,8-PeCDF 2,3,4,7,8-PeCDF		
	HxCDDs	1,2,3,4,7,8-HxCDD 1,2,3,6,7,8-HxCDD 1,2,3,7,8,9-HxCDD	HxCDFs	1,2,3,4,7,8-HxCDF 1,2,3,6,7,8-HxCDF 1,2,3,7,8,9-HxCDF 2,3,4,6,7,8-HxCDF		
	HpCDDs	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	HpCDFs	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		
	OCDD	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF		
Co-PCBs						
Co-PCBs	TeCBs	3,3',4,4'-TeCB(#77)*				
		3,4,4',5'-TeCB(#81)*				
	PeCBs	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)**				
		2,3,4,4',5'-PeCB(#114)**				
		2,3',4,4',5'-PeCB(#118)**				
		2',3,4,4',5'-PeCB(#123)**				
		3,3',4,4',5'-PeCB(#126)*				
	HxCBs	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)**				
		2,3,3',4,4',5',5'-HxCB(#157)**				
		2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)**				
		3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)*				
	HpCBs	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)**				

注* ノンオルト体を示す。

注** モノオルト体を示す。

表-3 測定に用いる内標準物質の例

		PCDDs	PCDFs	
PCDDs, PCDFs	TeCDDs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4-TeCDD $^{12}\text{C}_6^{13}\text{C}_6$ -1,2,3,4-TeCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,3,6,8-TeCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TeCDD $^{37}\text{Cl}_4$ -2,3,7,8-TeCDD	TeCDFs	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TeCDF $^{12}\text{C}_6^{13}\text{C}_6$ -2,3,7,8-TeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4-TeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,7,8-TeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,3,6,8-TeCDF
	PeCDDs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PeCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7-PeCDD	PeCDFs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,7,8-PeCDF $^{12}\text{C}_6^{13}\text{C}_6$ -2,3,4,7,8-PeCDF
	HxCDDs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8-HxCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,6,7,8-HxCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8,9-HxCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7-HxCDD	HxCDFs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8-HxCDF $^{12}\text{C}_6^{13}\text{C}_6$ -1,2,3,4,7,8-HxCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,6,7,8-HxCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8,9-HxCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,6,7,8-HxCDF
	HpCDDs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	HpCDFs	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF $^{12}\text{C}_6^{13}\text{C}_6$ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF
	OCDD	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	OCDF	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF
Co-PCBs				
Co-PCBs	TeCBs	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,2',5,5'-TeCB(#52)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4',5'-TeCB(#70)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4'-TeCB(#77)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -3,4,4',5'-TeCB(#81)		
	PeCBs	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4'-PeCB(#105)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,4',5'-PeCB(#114)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4,4',5'-PeCB(#118)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2',3,4,4',5'-PeCB(#123)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4',5'-PeCB(#126)		
	HxCBs	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)		
		$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)		
	HpCBs	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)		

5.3 器具及び装置

試料の前処理に用いる器具及び装置は、メタノール（アセトン）及びトルエン（ヘキサン）で十分洗浄するか、さらに 450℃で数時間加熱処理し用いる。これらの手順は操作ブランク試験によって測定に支障がないことを確認する。

(1) 前処理用器具

- a) **ガラス器具**：JIS R 3503 及び JIS R3505 に規定するもの又はそれと同等の性能のもの。コックの部分にフッ素樹脂製のものも用いてよい。
- b) **ソックスレー抽出装置**：JIS R 3503 に規定するもの又はそれと同等の性能のもので、接続部にグリースを使用してはならない。必要な試料量が入るものを選択する。
- c) **濃縮器**：クデルナ-ダニッシュ (KD) 濃縮器又はロータリーエバポレーターで、接続部にグリースを使用してはならない。
- d) **乾燥器**：ガラス器具及び試薬類を加熱処理する。450℃程度で連続使用可能なもの。
- e) **電気炉**：セラミック製品（主に GC/HRMS のイオン源部品等）を加熱処理する。1,000℃程度で連続使用可能なもの。
- f) **カラムクロマトグラフ管**：内径 10～15mm、長さ 100～300mm のカラムクロマトグラフ管、ダイオキシン類の吸着及び混入、妨害物質の溶出等がないガラス製又はこれと同等の材質を用いる。
- g) **活性炭カラムクロマトグラフ器具**：内径 10～15mm、長さ 100mm の直管、及び管と溶離液の投入用分液ロートとその連結器具。ダイオキシン類の吸着及び混入、妨害物質の溶出等がないガラス製又はこれと同等の材質を用いる。溶液が流れやすいよう両端が斜めに切断されたものがよい。市販されている活性炭シリカゲル及び硫酸ナトリウムを充てんしたものを用いてもよい。
- h) **高速液体クロマトグラフ**：流路切替えバルブを装備したもので、溶離液の捕集が可能なもの。
- i) **円筒ろ紙**：ガラス又は石英繊維製のものを使用する。使用に先立ってアセトン洗浄し、さらにトルエンでソックスレー抽出器を用いて、予備洗浄する。石英繊維製の場合は、450℃で数時間加熱処理し用いてもよい。

(2) 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/HRMS)

a) ガスクロマトグラフ (GC)

- ① **試料導入部**：スプリットレス方式、オンカラム方式又は大量注入方式（温度プログラム気化注入方式、カラムスイッチングークライオフォーカス方式等）^{注(11)}で、250～280℃で使用可能なもの。

注(11) 大量注入方式の場合、GC 注入部の設定条件によっては、例えば OCDD と HpCDDs の濃度差が非常に大きい場合 OCDD の脱塩素が HpCDDs の定量値に影響を与えることがあるので GC 注入部の設定条件は十分に検討した上で設定する必要がある。

- ② **カラム**：内径 0.1～0.52mm、長さ 25～60m の熔融シリカ製のキャピラリーカラム。

PCDDs 及び PCDFs の測定では、使用する温度条件において 2,3,7,8-位塩素置換体が可能な限り単離でき、かつ、すべての化合物についてクロマトグラム上における溶出順位の判明しているカラムを使用し、2,3,7,8-位塩素置換体すべてを単独に定量することが望ましい。すべての 2,3,7,8-位塩素置換体を他の異性体と完全に分離できるカラムは報告されていないので、溶出順位の異なる 2 種以上のカラムを併用することとする。単独に定量できない 2,3,7,8-位塩素置換体がある場合、重なっている異性体の影響が無視できず、測定結果に大きく影響することがあるので注意する。

Co-PCBs の測定では、使用する温度条件において、12 種類の Co-PCBs が他の PCBs 化合

物と可能な限り単離でき、かつ、4 塩化物から 10 塩化物のすべての PCBs 化合物についてクロマトグラム上における溶出順位の判明しているカラムを使用する。

- ③ キャリヤーガス：純度 99.999% (v/v) 以上の高純度ヘリウム。
- ④ カラム恒温槽：温度制御範囲が 50～350℃であり、測定対象物質の最適分離条件の温度に調節できるような昇温プログラムが可能なもの。

b) 質量分析計 (MS)

- ① 方式：二重収束方式
- ② 分解能：10,000 以上 (10%谷)。ただし、内標準物質として $^{13}\text{C}_{12}\text{-OCDF}$ を使用する場合、キャピラリーカラムの選択によっては 12,000 程度が必要となる。
- ③ イオン検出方法：質量校正用標準物質を用いたロックマス方式による選択イオン検出 (SIM) 法
- ④ イオン化法：電子衝撃イオン化 (EI) 法
- ⑤ イオン源温度：250～340℃
- ⑥ イオン化電流：500～1000 μA
- ⑦ 電子加速電圧：30～70V
- ⑧ イオン加速電圧：5～10kV

5.4 抽出

(1) 内標準物質の添加 (クリーンアップスパイク)

抽出前の試料に、クリーンアップスパイクとして内標準物質^{注(12)}を一定量添加する。添加量は、通常、四から七塩化物では 0.4～2ng、八塩化物では 0.8～4ng、Co-PCBs では 0.4～2ng である。試料中の PCDDs・PCDFs 又は Co-PCBs の濃度が非常に高く、通常の内標準物質の添加量では定量範囲を超えてしまうことが予想される場合には、この範囲の上限以上に添加してもよい。

ただし、試料中の PCDDs・PCDFs 又は Co-PCBs の濃度が予想できず、内標準物質の添加から再度行う可能性が考えられる場合には、試料からの抽出操作によって得られた抽出液を一定量にした後、その適量を正確に分取してから^{注(13)}、クリーンアップスパイク用内標準物質を添加してもよい。

注(12) クリーンアップスパイク用内標準物質は、PCDDs・PCDFs については 2,3,7,8-位塩素置換体 17 種類、Co-PCBs についてはノンオルト体及びモノオルト体の 12 種類をそれぞれ添加する。添加する内標準物質は、シリンジスパイクとは別の化合物を用いるが、内標準物質によっては、GC/HRMS の測定条件により測定に妨害を与える場合があるので、その使用に際しては、十分に検討・確認をしておく。表-3 にダイオキシン類の内標準物質の例を示す。

クリーンアップスパイクで添加した内標準物質の回収率は、シリンジスパイクとした内標準物質を基準にして求め、50～120%の範囲内でなければならない。その範囲内でない場合には、再度前処理をやり直す。

注(13) 残りの抽出液は、再測定をする場合に備えて一定期間冷暗所に保存する。

(2) 抽出

試料 10～50g を円筒ろ紙にはかり取り、内標準物質を添加し、トルエンを用いて 16 時間以上ソックスレー抽出^{注(14)}を行う。この抽出液を濃縮器で濃縮し、10～50mL の全量フラスコに入れ、トルエンを標線まで加えて一定量とする。

注(14) 風乾をせずに試料からの抽出を行う場合、次の方法を用いることもできる。

ソックスレー・ディーンスターク形抽出器を用いる方法

採取した土壌試料を4.3(2)に準じてふるい操作を行い、5地点混合方式により採取した5つの試料を4.3(3)の等量混合(乾燥重量当たり)し、分析用の試料とする。分析試料10~50g(乾燥重量当たり)を円筒ろ紙にはかり取り、内標準物質を添加する。試料をソックスレー・ディーンスターク形抽出器に入れ、トルエンを用いて16時間以上抽出を行う。この抽出液を濃縮器で濃縮し、10~50mLの全量フラスコに入れ、トルエンを標線まで加えて一定量とする。

5.5 クリーンアップ

抽出液は(1)硫酸処理—シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフィの後、(2)活性炭カラムクロマトグラフィ、アルミナカラムクロマトグラフィのいずれか又はこれらを組合せたクリーンアップを行う。必要に応じて、(3)ゲル浸透クロマトグラフィ(GPC)又はヘキサン・ジメチルスルホキシド(DMSO)分配を加えてもよい。クリーンアップ法と期待される効果について表-4に示す。

表-4 クリーンアップの概要

クリーンアップ法	主な効果
硫酸処理— シリカゲルカラムクロマトグラフィ	大部分のマトリックスの分解除去。 着色物質、多環芳香族炭化水素、強極性物質の除去
多層シリカゲルカラムクロマトグラフィ	フェノール類、酸性物質、脂質、タンパク質、 含硫黄化合物、脂肪族炭化水素類、強極性物質、 着色物質、多環芳香族炭化水素の除去
アルミナカラムクロマトグラフィ	低極性物質、有機塩素化合物の除去
高速液体クロマトグラフィ	PCDDs及びPCDFs、Co-PCBsの分離精製
活性炭カラムクロマトグラフィ	PCDDs及びPCDFs、Co-PCBsの分離精製
ゲル浸透クロマトグラフィ(GPC)	脂質、鉱物油、その他高分子化合物の除去
ヘキサン・ジメチルスルホキシド (DMSO)分配	脂肪族炭化水素等の低極性物質の除去

(1) 硫酸処理—シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフィ

硫酸処理—シリカゲルカラムクロマトグラフィの代わりに、多層シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は硫酸処理—多層シリカゲルカラムクロマトグラフィを行ってもよい。なお、ここに示す手順は標準的なものを記載しており、カラムクロマトグラフィで十分な精製効果を得ることが可能であれば、本マニュアルの溶離条件通りにしなくてもよい。ただし、あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行い確認しておく。

a) 硫酸処理

- ① 5.4によって得られた抽出液の適量を分取して^{注(15)}、濃縮器で約5mL程度に濃縮し、次いで窒素気流によりトルエンを除去し^{注(16)}、約500 μ Lとする。
- ② この溶液を分液ロート(300mL)にヘキサン50~150mLで洗い込みながら移し入れ、硫酸10~20mLを加え、穏やかに振とうし、静置後、硫酸層を除去する。この操作を硫酸層の着色が薄くなるまで3~4回繰り返す^{注(17)}。
- ③ ヘキサン層をヘキサン洗浄水50mLで洗浄後の洗浄水がほぼ中性になるまで繰り返し洗浄し、硫酸ナトリウムで脱水後、濃縮器で約2mLに濃縮し、シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフィに供する。

注(15) 再測定が必要な場合があるため、抽出液の一部を保存しておくことが望ましい。

注(16) 窒素気流による濃縮操作によって目的物質の損失を招かないように、溶液の表面が動いているのがようやく見える程度に窒素気流を調節して溶液が飛散しないように注意し、また、完全に乾固させてはならない。溶液に大きな渦ができるほど窒素を吹きつけたり、完全に乾固させると、目的物質の損失を招くことがある。

注(17) 濃硫酸の添加は、硫酸と有機物の反応による溶媒の突沸に十分注意し、数 mL 程度から始め、着色の度合いにより徐々に添加する。また、必ず手袋やマスク等の保護具を使用すること。

b) シリカゲルカラムクロマトグラフィ^{注(18)}

- ① 内径 10mm、長さ 300mm のカラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め^{注(19)}、ヘキサン 10mL で管内を洗浄し、石英ウール上部までヘキサンを残す。硫酸ナトリウムを約 10mm の厚さになるようにのせ、少量のヘキサンで管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。硫酸ナトリウム層上部までヘキサンを入れ、カラムクロマトグラフ管を揺らす、弱くたたく等して硫酸ナトリウム層中の空気を除く。活性化シリカゲル 3g をヘキサン 10mL を入れたビーカーにはかり取り、ガラス棒でゆるやかにかき混ぜて気泡を除き、カラムクロマトグラフ管に充てんする。ヘキサンを流下させ、シリカゲル層を安定させた後、その上に硫酸ナトリウムを約 10mm の厚さになるようにのせ、ヘキサン数 mL で管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。
- ② ヘキサン 50mL を流し、充てん物を洗浄し、液面を硫酸ナトリウムの上面まで下げ、5.5(1)a) で調製した溶液をカラムに静かに移し入れ、ヘキサン 1mL で数回洗い込み、液面を硫酸ナトリウム面まで下げる。ヘキサン 150mL の入った滴下用分液ロートをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約 2.5mL/min (毎秒 1 滴程度) の速度で展開溶出させる^{注(20)}。
- ③ 溶出液を濃縮器で約 2mL に濃縮し、活性炭カラムクロマトグラフィ又はアルミナカラムクロマトグラフィに供する。充てん部の着色がひどい場合は、同様の操作を繰り返す。

注(18) 試料に硫黄分が多量に含まれる場合は、抽出液（ヘキサン溶液）中に銅チップ（塩酸処理した銅線を細かく切ったもの）を黒色の硫化銅が生成しなくなるまで加え、ろ過する等の硫黄分除去を硫酸処理の後に行う。

あるいは硝酸銀シリカゲル又は銅チップをカラムに詰めて試料液を通過させる。硝酸銀シリカゲル又は銅チップのカラム全体が着色した場合は、再度やり直す。

注(19) 底部にガラスフィルターがあるカラムクロマトグラフ管の場合、石英ウールを詰める必要はない。ガラスフィルターのあるカラムクロマトグラフ管を使用する場合、フィルター部に試料液が残り、二次汚染を引き起こすことがあるので、アセトン及びヘキサン等で超音波洗浄を行う等、器具による操作ブランク値の上昇を起こさない洗浄を行うこと。

注(20) カラムクロマトグラフィにおける PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の溶出条件は、飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って確認しなければならない。

c) 多層シリカゲルカラムクロマトグラフィ

- ① 5.4あるいは5.5(1)a)によって得られた溶液の適量を分取して^{注(15)}、濃縮器で約 2mL 程度に濃縮する。溶液がトルエンであった場合、次いでヘキサン約 100mL を追加してさらに濃縮器で約 2mL 程度に濃縮する。
- ② 内径 12~15mm、長さ 300mm のカラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め^{注(19)}、石英ウール上部までヘキサンを残す。硫酸ナトリウムを約 10mm の厚さになるようにのせ、少

量のヘキサンで管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。硫酸ナトリウム層上部までヘキサンを入れ、カラムクロマトグラフ管を揺らす、弱くたたく等して硫酸ナトリウム層中の空気を除く。シリカゲル 0.9g、2%水酸化カリウムシリカゲル 3g、シリカゲル 0.9g、44%硫酸シリカゲル 4.5g、22%硫酸シリカゲル 6g、シリカゲル 0.9g、10%硝酸銀シリカゲル 3g 及び硫酸ナトリウム 6g、銅粉又は銅チップ 1g を順次充てんする^{註(21)}。このカラムの一例を図-10に示す。

- ③ ヘキサン 50mL を流し、充てん物を洗浄し、液面を銅粉の上面まで下げる。
- ④ ①で調製した溶液をカラムに静かに移し入れ、ヘキサン 1mL で数回洗い込み、液面を銅粉面まで下げる。
- ⑤ ヘキサン 1mL で抽出液の容器を洗浄し、洗液はカラム内壁を洗いながら入れる。この洗浄操作を 2~3 回繰り返す。
- ⑥ ヘキサン 120mL の入った滴下用分液ロートをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、ヘキサンを約 2.5mL/min (毎秒 1 滴程度) の速度で展開溶出させる^{註(20)}。
- ⑦ 溶出液を濃縮器で約 2mL に濃縮し、活性炭カラムクロマトグラフィ又はアルミナカラムクロマトグラフィに供する。充てん部の着色がひどい場合は、同様の操作を繰り返す。

注(21) 硫酸処理と同様な効果は硫酸シリカゲルだけを用いた処理で得られるため、試料によっては硫酸シリカゲルカラムクロマトグラフィを用いてもよい。また硫黄分の多い試料に対してはさらに硝酸銀シリカゲル、または、銅粉又は銅チップ 1g をカラム上部に置く。

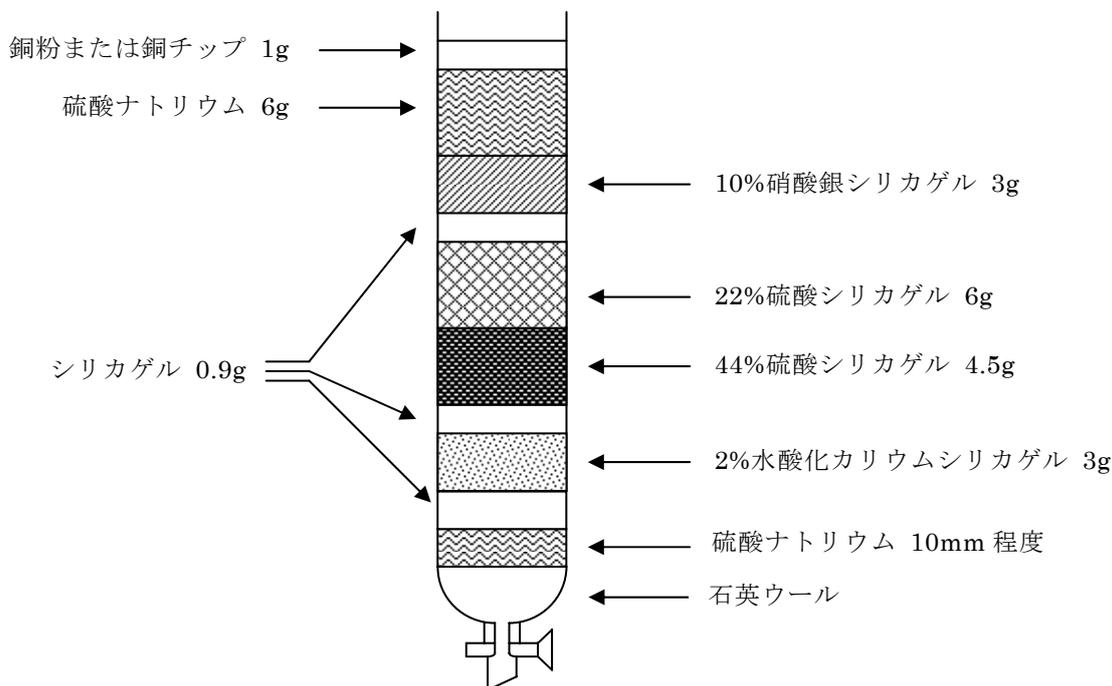


図-10. 多層シリカゲルカラムの例

(2) 活性炭カラムクロマトグラフィ又はアルミナカラムクロマトグラフィ

5.5(1)で調製した試験溶液に対して活性炭シリカゲル、高速液体クロマトグラフ用活性炭カラムのいずれかを用いた活性炭カラムクロマトグラフィ又はアルミナカラムクロマトグラフィあるいはそれらの組合せで精製を行い、PCDDs 及び PCDFs 測定用並びに Co-PCBs 測定用の濃縮液を調製する。なお、ここに示す手順は標準的なものを記載しており、カラムクロマトグラフィで十分な精製効果を得ることが可能であれば、本マニュアルの分離条件通りにしなくてもよい。ただし、あらかじめ飛灰

等の抽出液を用いて分画試験を行い確認しておく。

a) 活性炭カラムクロマトグラフィ

・活性炭シリカゲルを使用する場合

- ① 内径 10mm、長さ 100mm のカラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め、その上に硫酸ナトリウムを 3g、活性炭シリカゲルを 1g、硫酸ナトリウム 3g を積層し、上部に石英ウールを充てんする。
- ② 5.5(1)で調製した試料をカラムに静かに移し入れ、少量のヘキサンで洗い込み、液面を硫酸ナトリウム面まで下げた状態で約 15 分静置する。ヘキサン 30mL の入った滴下用分液ロートとアダプターをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約 2.5mL/min (毎秒 1 滴程度) の速度で展開溶出させる(第 1 画分)^{注(20)}。この画分は測定が終了するまで保管する。
- ③ 25%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液 40mL の入った滴下用分液ロートとアダプターをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約 2.5mL/min (毎秒 1 滴程度) の速度で展開溶出させる^{注(20)}。この第 2 画分にはノンオルト体以外の PCBs が含まれる。
活性炭カラム及びアダプターの一例を図-11に示す。
- ④ 滴下用分液ロート及びアダプターを取り外し、カラムの上下を逆転させる^{注(22)}、トルエン 60mL の入った滴下用分液ロート及びアダプターを装着し、溶出する^{注(20)}。この第 3 画分には PCDDs・PCDFs 及びノンオルト体 PCBs が含まれる。
- ⑤ 25%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液(第 2 画分)を濃縮器で約 5mL に濃縮し、更に窒素気流により溶媒を揮散除去したものを、GC/HRMS 測定用溶液とする。
- ⑥ トルエン溶離液(第 3 画分)を濃縮器で約 5mL に濃縮し、更に窒素気流により溶媒を揮散除去したものを、GC/HRMS 測定用溶液とする。
- ⑦ 第 2 画分と第 3 画分の濃縮液の一部を正確に分取混合して Co-PCBs 測定試料とする。第 3 画分の濃縮液の一部を分取して PCDDs・PCDFs 測定試料とする。

注(22) 適切に PCDDs、PCDFs、及び Co-PCBs の画分が得られるのであれば、カラムを逆転させなくてもよい。この場合、トルエン溶離液(第 3 画分)の量がより多く必要になることが多い。あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行い確認しておく。カラムを逆転させないのであればカラム上部の石英ウールは必要ない。

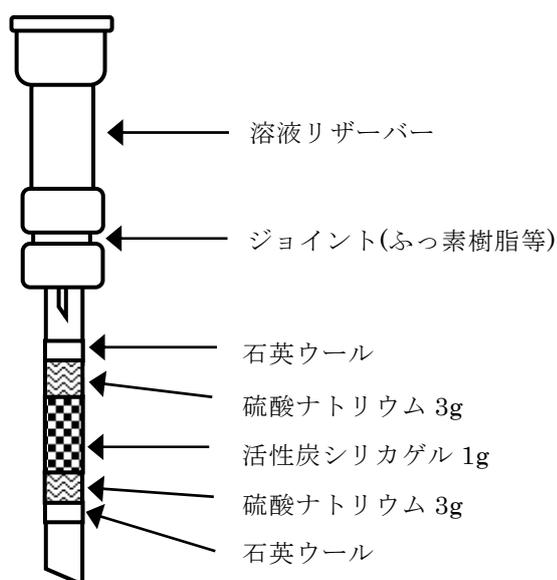


図-11. 活性炭シリカゲルカラムの例

・高速液体クロマトグラフ用活性炭カラムを使用する場合

高速液体クロマトグラフィは、次の手順による。ここで示す操作条件は、使用する機器、カラム等によって若干異なってくるので、あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って確認しなければならない。

- ① 流路切替えバルブを装着した高速液体クロマトグラフに活性炭カラムを移動相の流れの向きが切り替えられるように装着し、溶離液流量を 2mL/min に設定する。検出器として吸光光度検出器を接続し、検出器出口から溶出液を分取できるようにしておく。
- ② 溶離液をトルエンとして通常の流れの向きで流し、十分にカラムを洗浄した後、溶離液をヘキサンに代えてカラム及び装置の流路内をヘキサンの置換する。検出器の指示値の変化でヘキサンに置換したかどうかを判断するのがよい。
- ③ 5.5(1)で調製した試料を濃縮し、0.1~0.5mL のヘキサン溶液としておく。濃縮液を更に窒素気流によって 100 μ L 程度に濃縮する。この液を高速液体クロマトグラフに注入し、溶離液をヘキサンのままで 4 分間流し、溶出液 8mL を分取して第 1 画分とする。ここには、Co-PCBs 以外の PCBs が含まれている。
- ④ 次に、溶離液を 50 % (v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液として 20 分間流し、溶出液 40mL を分取して第 2 画分とする。ここには、Co-PCBs のモノオルト体が含まれている。
- ⑤ さらに、溶離液を 30 % (v/v) トルエン・ヘキサン混合液として 20 分間流し、溶出液 40mL を分取して第 3 画分とする。ここには、Co-PCBs のノンオルト体が含まれている。
- ⑥ 最後に、オーブンを 50 $^{\circ}$ C に加熱し、カラムでの溶離液の流れの向きを逆にしてトルエンを 15 分間流し、溶出液 30mL を分取して第 4 画分とする。ここには、PCDDs 及び PCDFs が含まれている。
- ⑦ 第 1~第 4 までの画分をそれぞれ濃縮器で約 1mL に濃縮し、これを GC/HRMS 測定用溶液とする。第 2 画分と第 3 画分とを 1 つにし、Co-PCBs 測定用として濃縮器で約 2mL に濃縮し、第 4 画分を PCDDs 及び PCDFs 測定用として同様に濃縮する。

b) アルミナカラムクロマトグラフィ

5.5(1)で調製した試料を 2 分割し、PCDDs・PCDFs と Co-PCBs 用測定試料をそれぞれ調製する^{注(23)}。

① PCDDs・PCDFs 用測定試料

- i) 内径 10mm、長さ 300mm のガラス製カラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め^{注(19)}、ヘキサン 10mL で管内を洗浄し、石英ウール上部までヘキサンを残す。硫酸ナトリウムを約 10mm の厚さになるようにのせ、少量のヘキサンで管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。硫酸ナトリウム層上部までヘキサンを入れ、カラムクロマトグラフ管を揺らす、弱くたたき等して硫酸ナトリウム層中の空気を除く。活性化アルミナ^{注(24)} 10g をヘキサン 10mL を入れたビーカーにはかり取り、ガラス棒でゆるやかにかき混ぜて気泡を除き、カラムクロマトグラフ管に充てんする。ヘキサンを流下させ、アルミナ層を安定させた後、その上に硫酸ナトリウムを約 10mm の厚さになるようにのせ、ヘキサン数 mL で管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。ヘキサン 50mL を流し、充てん物を洗浄し、液面を硫酸ナトリウムの上面まで下げる。
- ii) 5.5(1)で調製した試料液の適量を静かに移し入れ、ヘキサン 1mL で数回洗い込み、液面を硫酸ナトリウム面まで下げる。2 % (v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 100mL の入った滴下用分液ロートをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約 2.5mL/min (毎秒 1 滴程度) の速度で展開溶出させ、第 1 画分を得る^{注(20)}。この画分は測定が終了するまで保管する。
- iii) さらに、50 % (v/v) ジクロロメタン・ヘキサン混合液 150mL を約 2.5mL/min (毎秒 1 滴

程度)で流し、第2画分を得る^{注(20)}。

iv) 第2画分を濃縮器で約5mLに濃縮し、GC/HRMS測定用溶液とする。

② Co-PCBs用測定試料

- i) 内径10mm、長さ300mmのガラス製カラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め^{注(19)}、ヘキサン10mLで管内を洗浄し、石英ウール上部までヘキサンを残す。硫酸ナトリウムを約10mmの厚さになるようにのせ、少量のヘキサンで管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。硫酸ナトリウム層上部までヘキサンを入れ、カラムクロマトグラフ管を揺らす、弱くたたき等して硫酸ナトリウム層中の空気を除く。活性化アルミナ^{注(24)}10gをヘキサン10mLを入れたビーカーにはかり取り、ガラス棒でゆるやかにかき混ぜて気泡を除き、カラムクロマトグラフ管に充てんする。ヘキサンを流下させ、アルミナ層を安定させた後、その上に硫酸ナトリウムを約10mmの厚さになるようにのせ、ヘキサン数mLで管壁に付着している硫酸ナトリウムを洗い落とす。ヘキサン50mLを流し、充てん物を洗浄し、液面を硫酸ナトリウムの上面まで下げる。
- ii) 5.5(1)で調製した試料液の適量を静かに移し入れ、ヘキサン1mLで数回洗い込み、液面を硫酸ナトリウム面まで下げる。ヘキサン40mLの入った滴下用分液ロートをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約2.5mL/min(毎秒1滴程度)の速度で展開溶出させ、鎖状炭化水素等を溶出させる^{注(20)}。
- iii) 5%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液120mLを約2.5mL/min(毎秒1滴程度)で流し、第1画分を得る。第1画分にCo-PCBsが含まれる^{注(20)}。
- iv) 更に50%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液150mLを約2.5mL/min(毎秒1滴程度)で流し、第2画分を得る^{注(20)}。第2画分にPCDDs・PCDFsが含まれる。原則としてこの画分は測定しないが、分析終了まで保管する。
- v) 第1画分を濃縮器で約5mLに濃縮し、GC/HRMS測定用溶液とする。

注(23) 同定及び定量の操作条件によっては、濃縮液を分けないで行うことも可能である。その場合の手順はこの限りではない。(ただし、飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って確認する。)

注(24) アルミナの活性は製造ロットや開封後の保存期間によってかなり変化が認められる。活性の低下したものでは、1,3,6,8-TeCDD及び1,3,6,8-TeCDF等が第1画分に溶出する。また、八塩化物が50%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液の規定量では第2画分に溶出しない場合もあるため、飛灰等の抽出液を用いた分画試験で活性度を確認する。

(3) その他のクリーンアップ

a) ゲル浸透クロマトグラフィ(GPC)

ゲル浸透クロマトグラフィ(GPC)は、次の手順による。この操作は、脂質、鉍物油、その他高分子化合物の除去を目的として行うものであり、PCDDs及びPCDFs測定用、Co-PCBs測定用に分けることはできないので、他の精製操作と組み合わせて行う。なお、ここに示す手順は標準的なものを記載しており、カラムクロマトグラフィで十分な精製効果を得ることが可能であれば、本マニュアルの溶離条件通りにしなくてもよい。ただし、あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行い確認しておく。

- ① 内径25~30mm、長さ50~70cmのガラス製カラムクロマトグラフ管の底部に石英ウールを詰め^{注(19)}、ヘキサン10mLで管内を洗浄し、石英ウール上部までヘキサンを残す。ゲル浸透クロマトグラフィ用カラム充てん剤50gをジクロロメタン100mLを入れたビーカーにはかり取り、ガラス棒でゆるやかにかき混ぜて気泡を除き、カラムクロマトグラフ管に充てんする。ジク

ロロメタンを流下させ、ゲル浸透クロマトグラフ用カラム充てん剤を安定させた後、50%(v/v)ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液 100mL を流し、充てん物を洗浄し、液面をゲル浸透クロマトグラフ用カラム充てん剤の上面まで下げる^{注(25)}。

- ② 試料液の適量を静かに移し入れ、50%(v/v)ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液 20mL で試料容器ならびにカラム壁面を洗い込み、液面をゲル浸透クロマトグラフ用カラム充てん剤の上面まで下げる。50%(v/v)ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液 20mL の入った滴下用分液ロートをカラムクロマトグラフ管の上部に装着し、約 5mL/min (毎秒 2 滴程度) で流してカラムを洗う (溶離液は捨てる)。
- ③ 50%(v/v)ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液 150mL を約 5mL/min (毎秒 2 滴程度) で流し、溶離液を得る。溶離液を濃縮器で乾固させないように注意しながら約 5mL まで濃縮し前処理液とする。

以上の操作は市販の液体クロマトグラフ装置ならびに専用のカラムで行ってもよい。その場合、樹脂量やカラムの大きさ、溶離液の種類、確保する溶離液の溶出位置等は装置の付属品ならびに推薦条件に合わせるものとする。

注(25) 一度使ったゲル浸透クロマトグラフ用カラム充てん剤を再利用する際は、カラム上部の着色部分を除去後、ビーカーに取り出してジクロロメタン (樹脂全体を浸して薬さじ等で攪拌するのに足りる程度の量) を加え、樹脂を壊さないよう注意しながらゆっくり攪拌後、ブフナーロート等で溶媒を吸引ろ過する。その際吸引しすぎて樹脂を乾固させないように注意すること。この操作を 5 回以上繰り返したあと、溶媒を 50%(v/v)ジクロロメタン・シクロヘキサン混合液にかえて懸濁、吸引ろ過を 2 回繰り返し、同じ溶媒に懸濁してカラムに充てんし、再びクリーンアップ操作に用いる。再使用前に、懸濁、ろ過した液を濃縮して測定する、あるいは充てんしたカラムのブランク試験を行う等、充てん剤からの汚染がないことを確認する。

b) ヘキサン・ジメチルスルホキシド (DMSO) 分配

ヘキサン・ジメチルスルホキシド (DMSO) 分配は、次の手順による。この操作は、脂肪族炭化水素等の低極性物質の除去を目的として行うものであり、PCDDs 及び PCDFs 測定用、Co-PCBs 測定用に分けることはできないので、他の精製操作と組み合わせて行う。

- ① 分液漏斗にヘキサン飽和の DMSO 25mL を入れ、これに濃縮液をヘキサンで洗浄しながら移し入れ、振とう抽出を 4 回行って得られた合計約 100mL の DMSO 抽出液に、ヘキサン 40mL を加え、洗浄する。
- ② 分液漏斗にヘキサン 75mL 及びヘキサン洗浄水 100mL を入れ、①の操作で得られた DMSO 抽出液約 100mL を加え、振とう抽出を 3 回行う。ヘキサン抽出液約 225mL を得る。
- ③ 得られた合計約 225mL のヘキサン抽出液を分液漏斗に入れ、2mol/L 水酸化カリウム水溶液 10mL による洗浄を行う。さらに、水 25mL で 2 回洗浄し、硫酸ナトリウムで脱水した後、濃縮器で 2mL に濃縮する。

5.6 シリンジスパイクの添加、GC/HRMS 測定用試料の調製

5.5におけるクリーンアップ操作が終了したならば、シリンジスパイク用内標準物質^{注(26)}を検量線作成用標準液と同濃度になるように添加して、ノナン^{注(10)}を加え、窒素気流等で一定量 (20~100 μL) になるまで濃縮する。濃縮したものを GC/HRMS 測定用容器に移し、GC/HRMS 測定用溶液とする。シリンジスパイクには、クリーンアップスパイクで使用した以外の内標準物質を用いる。シリンジスパイクは GC/HRMS 測定において測定毎に最低 1 種類使用する。

注(26) 注入量の補正を行うためシリンジスパイクを行う。

5.7 測定

(1) GC/HRMS の分析条件の設定と機器の調整

GC/HRMS 分析条件の一例を参考として示す。これを参考にして適宜設定する。

a) ガスクロマトグラフ (GC)

PCDDs 及び PCDFs、Co-PCBs のガスクロマトグラフの操作条件は、次による。

- ① PCDDs 及び PCDFs の測定においては、クロマトグラム上における 2,3,7,8-位塩素置換体のピークが他の化合物のものと良好な分離が得られ、各塩化物の保持時間が適切な範囲にあり、安定した応答が得られるようにガスクロマトグラフの条件を設定する。設定した条件における各化合物の分離状況を飛灰等の抽出液の試料を測定して確認しておく。
- ② Co-PCBs においては、Co-PCBs のクロマトグラム上でのピークが他の化合物のものと良好な分離が得られ、各塩化物の保持時間が適切な範囲にあり、安定した応答が得られるようにガスクロマトグラフの条件を設定する。設定した条件における各化合物の分離状況を飛灰等の抽出液の試料を測定して確認しておく。

表-5にガスクロマトグラフの測定条件設定例を示す。ここで記載する商品名は、このマニュアル使用者の便宜のために一般に入手できるものとして例示したが、これらを推奨するものではない。

b) 質量分析計 (HRMS)

質量分析計は、次を満足するような条件に設定する。

① 分解能

分解能は 10,000 以上とする。ただし、内標準物質として $^{13}\text{C}_{12}$ -OCDF を使用する場合、ガスクロマトグラフのカラムの選択によっては 12,000 程度が必要になる。

② 検出方法

質量校正用標準物質を用いたロックマス方式による選択イオン検出 (SIM) 法を用いる。

③ 測定質量/電荷数 (m/z)

試料及び内標準物質の塩化物ごとに、2 つ以上の選択イオンの質量/電荷数とロックマス用の選択イオンの質量/電荷数 (m/z) を設定する^{注(27)}。設定質量/電荷数の例を表-6に示す。

注(27) キャピラリーカラムによって得られるピークの幅は 5~10 秒間程度であるが、1 つのピークに対して十分な測定点を確保するため、クロマトグラムにおける単独成分のピークの最も幅の狭いピークであってもそのピークを構成する測定点が 7 点以上となるように選択イオン検出のサンプリングの周期を設定しなければならない。1 回の測定で設定可能なモニターチャンネルの数は、要求される感度との兼ね合いとなるので、十分に検討した上で設定する必要がある。

クロマトグラム上の各ピークの保持時間を考慮して、時間分割によるグルーピング方式によって測定してもよいが、この場合にはグループごとに、適切な内標準物質ピークが出現するように条件の設定を行う必要がある。

表-5 ダイオキシン類分析用ガスクロマトグラフ測定条件の例

カラム	長さ (m)	内径 (mm)	膜厚 (μm)	昇温条件	測定対象物質
BPX-DXN (SGE)	60	0.25	非公開	130°C (1min) \rightarrow (15°C/min) \rightarrow 210°C \rightarrow (3°C/min) \rightarrow 310°C \rightarrow (5°C/min) \rightarrow 320°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, HpCDDs, OCDD, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs, HpCDFs, OCDF, TeCBs, PeCBs, HxCBs, HpCBs
CPS-1 (Quadrex)	50	0.25	0.25	120°C (1min) \rightarrow (30°C/min) \rightarrow 180°C \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 230°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
CP-Sil 88 (Chrompack)	50	0.22	0.20	150°C (0min) \rightarrow (30°C/min) \rightarrow 180°C \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 230°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
DB-17 (J&W)	30	0.32	0.25	120°C (1min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 160°C \rightarrow (3°C/min) \rightarrow 280°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
DB-210 (J&W)	30	0.32	0.25	120°C (0min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 160°C \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 240°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
DB-225 (J&W)	30	0.32	0.25	120°C (0min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 160°C \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 240°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
DB-5 (J&W)	30	0.32	0.25	120°C (1min) \rightarrow (50°C/min) \rightarrow 180°C \rightarrow (3°C/min) \rightarrow 280°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
DB-5ms (J&W)	60	0.32	0.25	150°C (1min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 185°C (3min) \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 245°C (3min) \rightarrow (6°C/min) \rightarrow 290°C	TeCBs, PeCBs, HxCBs, HpCBs
HT8 (SGE)	50	0.22	0.25	130°C (1min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 220°C \rightarrow (5°C/min) \rightarrow 320°C	TeCBs, PeCBs, HxCBs, HpCBs
HT8-PCB (SGE)	60	0.25	非公開	130°C (1min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 220°C \rightarrow (5°C/min) \rightarrow 320°C	TeCBs, PeCBs, HxCBs, HpCBs
OV-17 (Quadrex)	50	0.32	0.25	120°C (1min) \rightarrow (20°C/min) \rightarrow 160°C \rightarrow (3°C/min) \rightarrow 280°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs
RH-12ms (Inventx)	60	0.25	非公開	130°C (1min) \rightarrow (15°C/min) \rightarrow 210°C \rightarrow (3°C/min) \rightarrow 310°C \rightarrow (5°C/min) \rightarrow 320°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, HpCDDs, OCDD, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs, HpCDFs, OCDF, TeCBs, PeCBs, HxCBs, HpCBs
SP-2331 (Supelco)	60	0.25	0.20	120°C (1min) \rightarrow (50°C/min) \rightarrow 200°C \rightarrow (2°C/min) \rightarrow 260°C	TeCDDs, PeCDDs, HxCDDs, TeCDFs, PeCDFs, HxCDFs

表-6 設定質量/電荷数 (モニターイオン) *の例

塩素置換体	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺
TeCDDs	319.8965	321.8936	
PeCDDs	353.8576	355.8546	357.8517**
HxCDDs	387.8186	389.8156	391.8127**
HpCDDs		423.7767	425.7737
OCDD		457.7377	459.7348
TeCDFs	303.9016	305.8987	
PeCDFs		339.8597	341.8568
HxCDFs		373.8207	375.8178
HpCDFs		407.7818	409.7788
OCDF	439.7457	441.7428	443.7398
¹³ C ₁₂ -TeCDDs	331.9368	333.9339	
³⁷ Cl ₄ -PeCDDs	327.8847		
¹³ C ₁₂ -PeCDDs	365.8978	367.8949	369.8919
¹³ C ₁₂ -HxCDDs	399.8589	401.8559	403.8530
¹³ C ₁₂ -HpCDDs		435.8169	437.8140
¹³ C ₁₂ -OCDD		469.7780	471.7750
¹³ C ₁₂ -TeCDFs	315.9419	317.9389	
¹³ C ₁₂ -PeCDFs		351.9000	353.8970
¹³ C ₁₂ -HxCDFs		385.8610	387.8580
¹³ C ₁₂ -HpCDFs		419.8220	421.8191
¹³ C ₁₂ -OCDF	451.7860	453.7830	455.7801
TeCBs	289.9224	291.9194	293.9165
PeCBs	323.8834	325.8804	327.8775
HxCBs	357.8444	359.8415	361.8385
HpCBs	391.8054	393.8025	395.7995
¹³ C ₁₂ -TeCBs	301.9626	303.9597	305.9567
¹³ C ₁₂ -PeCBs	335.9237	337.9207	339.9178
¹³ C ₁₂ -HxCBs	369.8847	371.8817	373.8788
¹³ C ₁₂ -HpCBs	403.8457	405.8428	407.8398
質量校正用 標準物質(PFK)	PCDDs 及び PCDFs 330.9792 (TeCDDs, TeCDFs, PeCDDs, PeCDFs 測定用) 380.9760 (PeCDDs, PeCDFs, HxCDDs, HxCDFs 測定用) 430.9729 (HpCDDs, HpCDFs, OCDD, OCDF 測定用) 442.9729 (HpCDDs, HpCDFs, OCDD, OCDF 測定用)		
	Co-PCBs 292.9824 (TeCBs 測定用) 304.9824 (TeCBs 測定用) 330.9792 (PeCBs 測定用) 380.9760 (HxCBs 測定用, HpCBs 測定用)		

* : 質量/電荷数は、IUPAC, Element by element review of their atomic weight, Pure Appl Chem., 56, [6] p.695-768(1984)を基にして算出した。

** : この測定質量/電荷数は PCB による質量妨害を受ける。試料中の PCBs 濃度が高い場合で、カラムクロマトグラフィによる GC/HRMS 測定溶液の調製方法、測定時間分割による GC/HRMS 測定におけるグルーピング方式及びガスクロマトグラフのカラムの選択の組合せによってはこの質量/電荷数を用いてはならない。

c) 質量分析計の調整

質量分析計の調整は、装置が作動している状態で必要な項目の条件を設定した後、質量校正用

標準物質（PFK 等）を導入し、質量校正用プログラムにより行う。質量目盛、分解能等を測定目的に応じて所定の値に校正する。特に、分解能は測定する全試料が測定質量範囲全域で所定の条件以上となるように調整しなければならない。通常、一連の測定の最初に行う。

d) SIM 測定操作

- ① GC/HRMS を所定の条件に設定する。
- ② 質量校正用標準物質を導入し、そのロックマスの応答を確認する。ロックマスは、ロックマスチャンネルとロックマスモニターチャンネル（精度確認チャンネル）を設定する^{注(28)}。
- ③ ロックマスの応答が安定したら、標準物質を測定し、装置の感度、保持時間の範囲、測定対象物質の分離、ピーク形状等の基本的な確認を行う。確認条件に問題がなければ、試料の測定を行う。
- ④ 設定した各塩化物の質量／電荷数についてクロマトグラムを記録する。
- ⑤ 測定終了後、データ処理作業に入る前に個々の試料ごとに質量校正用標準物質のモニターチャンネル、妨害成分の有無、2,3,7,8-位塩素置換体及び Co-PCBs の分離の確認を行う^{注(29)}。

注(28) 質量校正用標準物質は導入量が多いとノイズの原因になる。

注(29) 質量校正用標準物質のモニターチャンネルのクロマトグラム上で、定量対象化合物の出現時間において応答に±20%以上の変動が認められた場合には、その化合物については定量してはならない。原因としては、試料の精製が不十分であったり、質量校正用標準物質のモニターチャンネルの質量/電荷数の選択が適切でないこと等が考えられる。試料の精製を再度行う、あるいは質量校正用標準物質のモニターチャンネルの質量/電荷を変更する等して、質量校正用標準物質のモニターチャンネルのクロマトグラムの応答の変動を範囲内に抑える必要がある。

(2) 検量線の作成

a) 標準液の測定

各検量線作成用標準液を 1 濃度に対して最低 3 回 GC/HRMS に注入し、SIM 測定操作を行って、全濃度領域で合計 15 点以上のデータを得る。

b) ピーク面積の強度比の確認

得られたクロマトグラムから、各標準物質の対応する 2 つの質量／電荷数のイオンのピーク面積の強度比を求め、塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比と±15 %以内で一致することを確認する。

c) 相対感度係数の算出

- ① 各標準物質及び内標準物質のピーク面積を求め、各標準物質の対応するクリーンアップスパイク内標準物質に対するピーク面積の比及び注入した標準液中のその標準物質と内標準物質の濃度の比を用いて検量線を作成し、検量線が原点付近を通る直線になっていることを確認する。

相対感度係数（RRF_{cs}）は、式(1)によって測定ごとに求め、得られた全濃度域合計 15 点以上のデータを平均する。この場合、データの変動係数が 5 %を目安に可能な限り小さくなるようにし、変動係数が 10 %を超える化合物があってはならない。変動係数が 10 %を超える場合は、GC/HRMS の状態を確認して必要ならば再調整し直したり、直線性のある範囲に定量範囲を狭める等の処置を行って検量線を作成し直す。

ここで用いるピーク面積は、一方の測定チャンネルのピーク面積、両測定チャンネルのピーク面積の合計値、又は両測定チャンネルのピーク面積の平均値のいずれかとし、試料の測定までのすべての測定において同じものを用いなければならない。

$$RRF_{cs} = \frac{Q_{cs}}{Q_s} \times \frac{A_s}{A_{cs}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、RRF_{cs}：測定対象物質のクリーンアップスパイク内標準物質との相対感度係数

Q_{cs}：標準液中のクリーンアップスパイク内標準物質の量(pg)

Q_s：標準液中の測定対象物質の量(pg)

A_s：標準液中の測定対象物質のピーク面積

A_{cs}：標準液中のクリーンアップスパイク内標準物質のピーク面積

- ② 同様にして、クリーンアップスパイク内標準物質のシリンジスパイク内標準物質に対する相対感度係数 (RRF_{rs}) を式(2)により算出する。クリーンアップスパイク内標準物質とシリンジスパイク内標準物質との対応の例を表-7に示す。

$$RRF_{rs} = \frac{Q_{rs}}{Q_{cs}} \times \frac{A_{cs}}{A_{rs}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、RRF_{rs}：クリーンアップスパイク内標準物質のシリンジスパイク内標準物質との相対感度係数

Q_{rs}：標準液中のシリンジスパイク内標準物質の量(pg)

Q_{cs}：標準液中のクリーンアップスパイク内標準物質の量(pg)

A_{cs}：標準液中のクリーンアップスパイク内標準物質のピーク面積

A_{rs}：標準液中のシリンジスパイク内標準物質のピーク面積

表-7 クリーンアップスパイク内標準物質とシリンジスパイク内標準物質との対応の例

クリーンアップスパイク内標準物質	対応するシリンジスパイク内標準物質
¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4-TeCDF 又は ¹³ C ₁₂ -1,3,6,8-TeCDF
¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7-HxCDD 又は ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,8,9-HpCDF
¹³ C ₁₂ -3,3',4,4'-TeCB(#77) ¹³ C ₁₂ -3,4,4',5'-TeCB(#81) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4'-PeCB(#105) ¹³ C ₁₂ -2,3,4,4',5'-PeCB(#114) ¹³ C ₁₂ -2,3',4,4',5'-PeCB(#118) ¹³ C ₁₂ -2',3,4,4',5'-PeCB(#123) ¹³ C ₁₂ -3,3',4,4',5'-PeCB(#126) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5',5'-HxCB(#157) ¹³ C ₁₂ -2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167) ¹³ C ₁₂ -3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	¹³ C ₁₂ -2,2',5,5'-TeCB(#52) 又は ¹³ C ₁₂ -2,3',4',5'-TeCB(#70)

(3) 試料の測定

a) 検量線の確認

ある一定の周期（1日に1回以上）で、検量線作成用標準液の中から中間程度の濃度のものを選び、5.7(1)d)のSIM測定操作に従って測定し、5.7(2)と同様にして各化合物のそれに対応したクリーンアップスパイク内標準物質に対する相対感度係数（RRF_{cs}）を求める。さらに、クリーンアップスパイク内標準物質のそれに対応したシリンジスパイク内標準物質に対する相対感度係数（RRF_{rs}）を求める。

これらの相対感度係数が、5.7(2)で求めた検量線作成時の相対感度係数（RRF_{cs}及びRRF_{rs}）に対してRRF_{cs}については±10%以内、RRF_{rs}±20%以内であれば、5.7(2)c)で求めた相対感度係数を用いて測定を行う。これを超えて相対感度係数が変動する場合は、その原因を取り除き、試料の再測定を行うか、再度検量線を作成する。

さらに、保持時間についても、その変動を調べ、保持時間が一日に±5%以上、内標準物質との相対保持比が±2%以上変動する場合には、その原因を取り除き、その直前に行った一連の試料の再測定を行う。

b) 試料の測定

5.6で調製したGC/HRMS測定用試料を5.7(1)d)のSIM測定操作に従って測定し、各塩化物の質量／電荷数についてクロマトグラムを得る^{注(30)}。

注(30) 試料によっては、化合物の濃度が大きく異なる場合があるので、検量線の最高濃度の応答を超えないようにする。

5.8 同定及び定量

(1) ピークの検出

a) ピークの検出

クロマトグラム上において、ベースラインのノイズ幅（N）に対して3倍以上のピーク高さ（S）であるピーク、すなわち、ピーク高さでS/N=3以上となるピークについて、次の同定・定量の操作を行う^{注(31)}。

なお、得られたクロマトグラムのベースラインは、必ず装置のゼロ点よりも高くならなければノイズを計測することはできないので、測定に先立ってベースラインを確認、必要に応じてオフセット等を適切に調節しなければならない。

b) ピーク面積の算出

a)で検出されたピークについて、そのピーク面積を求める。調製した測定用試料中のシリンジスパイク内標準物質のピーク面積が標準液におけるシリンジスパイク内標準物質のピーク面積の70%以上であることを確認する。この範囲から外れた場合は、原因を調査し、その原因を取り除いて再度測定する。

注(31) ここで、ノイズ幅（N）及びピーク高さ（S）は、一般に次のようにして求める。まず、ピークの近傍（ピークの半値幅の10倍程度の範囲）のノイズを計測し、その標準偏差の2倍をノイズ幅（N）とするか、経験的にノイズの最大値と最小値との幅はおおよそ標準偏差の5倍となるため、その幅の2/5をノイズ幅（N）とする。一方、ノイズの中央値をベースラインとし、ベースラインのノイズを基にピークトップを決めてこの幅をピーク高さ（S）とする。

(2) PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の同定

a) PCDDs・PCDFs の同定

モニターした 2 つ以上のイオンにおけるクロマトグラム上のピーク面積の比が標準物質のものと同様であり、表-8に示す塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比に対して ±15%以内（定量下限以下の濃度では ±25%）であれば、そのピークは PCDDs・PCDFs によるものであるとする。2,3,7,8-位塩素置換体以外の化合物の同定は、文献等を参考にして行う。

b) 2,3,7,8-位塩素置換体の同定

2,3,7,8-位塩素置換体は、クロマトグラム上のピークの保持時間が標準物質と同様であり、対応する内標準物質との相対保持時間が標準物質と一致することで同定する。

c) Co-PCBs の同定

Co-PCBs の各化合物は、モニターした 2 つ以上のイオンにおけるクロマトグラム上のピーク面積の比が標準物質のものと同様であり、表-8に示す塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比に対して ±15%以内（定量下限以下の濃度では ±25%）であり、さらにピークの保持時間が標準物質と同様であり、対応する内標準物質との相対保持時間が標準物質と一致することで同定する。

表-8 塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比
各塩素数毎に存在比が最も高い質量/電荷数の存在比を 100 として示してある。

	M	M+2	M+4	M+6	M+8	M+10	M+12	M+14
TeCDDs	77.43	100.00	48.74	10.72	0.94	0.01		
PeCDDs	62.06	100.00	64.69	21.08	3.50	0.25		
HxCDDs	51.79	100.00	80.66	34.85	8.54	1.14	0.07	
HpCDDs	44.43	100.00	96.64	52.03	16.89	3.32	0.37	0.02
OCDD	34.54	88.80	100.00	64.48	26.07	6.78	1.11	0.11
TeCDFs	77.55	100.00	48.61	10.64	0.92			
PeCDFs	62.14	100.00	64.57	20.98	3.46	0.24		
HxCDFs	51.84	100.00	80.54	34.72	8.48	1.12	0.07	
HpCDFs	44.47	100.00	96.52	51.88	16.80	3.29	0.37	0.02
OCDF	34.61	88.89	100.00	64.39	25.98	6.74	1.10	0.11
TeCBs	76.67	100.00	49.11	10.83	0.93			
PeCBs	61.42	100.00	65.29	21.43	3.56			
HxCBs	51.22	100.00	81.48	35.51	8.75	1.17		
HpCBs	43.93	100.00	97.67	53.09	17.38	3.43		

(3) PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の定量

a) 各化合物の定量

2,3,7,8-位塩素置換体又は Co-PCBs の量 (Q_i) は、それに対応するクリーンアップスパイク内標準物質の添加量を基準にして、内標準法で式(3)によって全抽出液中の量として求める。他の化合物についても同様にして求める。測定対象の標準物質とそれに対応する内標準物質の例を表-9に示す。

$$Q_i = \frac{A_i}{A_{csi}} \times \frac{Q_{csi}}{RRF_{cs}} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 Q_i : 全抽出液中の化合物の量 (pg)

A_i : クロマトグラム上の化合物のピーク面積

A_{csi} : 対応するクリーンアップスパイク内標準物質のピーク面積

Q_{csi} : 対応するクリーンアップスパイク内標準物質の添加量^{注(32)}(pg)

RRF_{cs} : 対応するクリーンアップスパイク内標準物質との相対感度係数^{注(33)}

注(32) 試料を抽出後、分取し、内標準物質を添加した場合はその補正をする。

注(33) 2,3,7,8-位塩素置換体以外の化合物については、各塩化物毎に 2,3,7,8-位塩素置換体の相対感度係数の平均値を用いる。

表-9 各化合物の定量における測定対象物質、標準物質及びクリーンアップスパイク内標準物質の対応例

測定対象物質	標準物質	対応するクリーンアップスパイク内標準物質
2,3,7,8-TeCDD その他の TeCDD	2,3,7,8-TeCDD	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD
2,3,7,8-TeCDF その他の TeCDF	2,3,7,8-TeCDF	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF
1,2,3,7,8-PeCDD その他の PeCDD	1,2,3,7,8-PeCDD	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD
1,2,3,7,8-PeCDF 2,3,4,7,8-PeCDF その他の PeCDF	1,2,3,7,8-PeCDF 2,3,4,7,8-PeCDF 1,2,3,7,8-PeCDF と 2,3,4,7,8-PeCDF の相対感度係数の平均値	¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF
1,2,3,4,7,8-HxCDD 1,2,3,6,7,8-HxCDD 1,2,3,7,8,9-HxCDD その他の HxCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDD 1,2,3,6,7,8-HxCDD 1,2,3,7,8,9-HxCDD 1,2,3,4,7,8-HxCDD~1,2,3,7,8,9-HxCDD の相対感度係数の平均値	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDD
1,2,3,4,7,8-HxCDF 1,2,3,6,7,8-HxCDF 1,2,3,7,8,9-HxCDF 2,3,4,6,7,8-HxCDF その他の HxCDF	1,2,3,4,7,8-HxCDF 1,2,3,6,7,8-HxCDF 1,2,3,7,8,9-HxCDF 2,3,4,6,7,8-HxCDF 1,2,3,4,7,8-HxCDF~2,3,4,6,7,8-HxCDF の相対感度係数の平均値	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD その他の HpCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF その他の HpCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF と 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF の相対感度係数の平均値	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF
3,3',4,4'-TeCB(#77) 3,4,4',5'-TeCB(#81) 2,3,3',4,4'-PeCB(#105) 2,3,4,4',5'-PeCB(#114) 2,3',4,4',5'-PeCB(#118) 2',3,4,4',5'-PeCB(#123) 3,3',4,4',5'-PeCB(#126) 2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156) 2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157) 2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167) 3,3,4,4',5,5'-HxCB(#169) 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	3,3',4,4'-TeCB(#77) 3,4,4',5'-TeCB(#81) 2,3,3',4,4'-PeCB(#105) 2,3,4,4',5'-PeCB(#114) 2,3',4,4',5'-PeCB(#118) 2',3,4,4',5'-PeCB(#123) 3,3',4,4',5'-PeCB(#126) 2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156) 2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157) 2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167) 3,3,4,4',5,5'-HxCB(#169) 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	¹³ C ₁₂ -3,3',4,4'-TeCB(#77) ¹³ C ₁₂ -3,4,4',5'-TeCB(#81) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4'-PeCB(#105) ¹³ C ₁₂ -2,3,4,4',5'-PeCB(#114) ¹³ C ₁₂ -2,3',4,4',5'-PeCB(#118) ¹³ C ₁₂ -2',3,4,4',5'-PeCB(#123) ¹³ C ₁₂ -3,3',4,4',5'-PeCB(#126) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157) ¹³ C ₁₂ -2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167) ¹³ C ₁₂ -3,3,4,4',5,5'-HxCB(#169) ¹³ C ₁₂ -2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)

注) 2,3,7,8-位塩素置換体以外の化合物の定量において、各塩化物毎に 2,3,7,8-位塩素置換体の相対感度係数の平均値を用いる。

b) 濃度の算出

得られた各化合物の量から、試料中の濃度を式(4)によって算出し、特に指定がない場合は JIS Z 8401 の規定によって数値を丸め、有効数字を 2 桁とする。

$$C_i = (Q_i - Q_t) \times \frac{1}{W} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 C_i : 試料中の化合物の濃度 (pg/g)
 Q_i : 全抽出液中の化合物の量 (pg)
 Q_t : ブランク試験での化合物の量 (pg)
 W : 試料採取量 (乾燥重量) (g)

5.9 検出下限及び定量下限、回収率の確認

(1) 装置の検出下限及び定量下限

最低濃度 (各標準物質をそれぞれ四塩化物及び五塩化物で 0.1~0.5pg、六塩化物及び七塩化物で 0.2~1.0pg、八塩化物で 0.5~2.5pg、Co-PCBs で 0.2~1.0pg 含む) の検量線作成用標準液を GC/HRMS で測定し、各 2,3,7,8-位塩素置換体を定量する。この操作を 5 回以上繰り返し、得られた測定値から式(5)によって標準偏差を求め、その 3 倍を装置の検出下限、10 倍を装置の定量下限とする。ここでは、測定値の丸めは行わずに標準偏差を算出し、得られた検出下限は有効数字 1 桁とし、定量下限は、検出下限と同じ桁までで丸める。

ここで得られた装置の検出下限が、四塩化物及び五塩化物で 0.1pg、六塩化物及び七塩化物で 0.2pg、八塩化物で 0.5pg、Co-PCBs で 0.2pg より大きいときには、器具、機器等をチェックして、これらの値以下になるように調整する。

この装置の検出下限及び定量下限は、使用する GC/HRMS の状態等によって変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、使用する GC/HRMS や測定条件を変更した場合等には必ず確認する。

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 s : 標準偏差
 X_i : 個々の測定値 (pg)
 \bar{X} : 測定値の平均値 (pg)
 n : 測定回数

(2) 測定方法の検出下限及び定量下限

測定に用いるのと同量の抽出溶媒の濃縮液に式(6)により算出した量の標準物質を添加し、前処理、GC/HRMS 測定及び同定・定量を行う。これを 5 回以上行い、得られた測定値の標準偏差を式(5)によって求め、その 3 倍を測定方法の検出下限、10 倍を測定方法の定量下限とする。ここでは測定値の丸めは行わずに標準偏差を算出し、得られた検出下限は有効数字 1 桁とし、定量下限は検出下限と同じ桁までで丸める。

$$Q = QL' \times \frac{v}{v_i} \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 Q : 標準物質の添加量(pg)
 QL' : 装置の定量下限(pg)
 v : 測定用試料の液量(μ L)
 v_i : GC/HRMS 注入量(μ L)

この測定方法の検出下限及び定量下限は、前処理操作や測定条件により変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、前処理操作や測定条件を変更した場合等には必ず確認する。

(3) 試料における検出下限及び定量下限

試料における検出下限及び定量下限は、試料採取量等により、異なってくるため、式(7)及び(8)によって試料ごとに求める。

$$C_{DL} = DL \times \frac{v}{v_i} \times \frac{V_E}{V'_E} \times \frac{1}{W} \dots \dots \dots (7)$$

$$C_{QL} = QL \times \frac{v}{v_i} \times \frac{V_E}{V'_E} \times \frac{1}{W} \dots \dots \dots (8)$$

ここに、 C_{DL} : 試料における検出下限(pg/g)
 C_{QL} : 試料における定量下限(pg/g)
 DL : 測定方法の検出下限(pg)
 QL : 測定方法の定量下限(pg)
 v_i : GC/HRMS 注入量(μ L)
 v : 測定用試料の液量(μ L)
 W : 試料採取量(g)
 V_E : 抽出液量(mL)
 V'_E : 抽出液の分取量(mL)

(4) 試料測定時の検出下限及び定量下限の確認

実際の試料の測定において、2,3,7,8-塩素置換体及び Co-PCBs の中でピークが検出されなかったものについては、そのクロマトグラム上において、検出下限を以下の手順で求める。

試料測定クロマトグラム上において、ピークの近傍（ピークの半値幅の 10 倍程度の範囲）のベースラインのノイズを計測し、その標準偏差の 2 倍をノイズ幅 (N) とするか、経験的にノイズの最大値と最小値との幅はおよそ標準偏差の 5 倍となるため、その幅の 2/5 をノイズ幅 (N) とする。一方、ノイズの中央値をベースラインとし、ベースラインのノイズを基にピークトップを決めてこの幅をピーク高さ (S) とする。

ノイズ幅に対して 3 倍 (S/N=3) に相当する高さに相当するピークの面積を標準液のクロマトグラムから推定する。そのピーク面積を用いて定量式より Q_i を求め、式(4)に代入して、試料測定時の検出下限を算出する (Q_t=0 とする)。

同様にしてノイズ幅の 10 倍 (S/N=10) に相当する高さのピーク面積を推定し、そのピーク面積から試料測定時の定量下限を算出する。

ここで算出されたそれぞれの値は、試料における検出下限及び定量下限以下でなければならない。それぞれの値が試料における検出下限及び定量下限を超える場合は、前処理操作、測定操作に問題が

なかったかどうかを確認し、再測定する。

(5) 回収率の確認

クリーンアップスパイク内標準物質のピーク面積とシリンジスパイク内標準物質のピーク面積の比及び対応する相対感度係数（RRF_{rs}）を用いて式(9)によって回収率を計算し、クリーンアップの回収率を確認する。

このクリーンアップの回収率が 50%以上 120%以下の範囲からはずれるときは再度前処理を行い、再測定する。

$$R_c = \frac{A_{csi}}{A_{rsi}} \times \frac{Q_{rsi}}{RRF_{rs}} \times \frac{100}{Q_{csi}} \dots \dots \dots (9)$$

- ここに、
- R_c : クリーンアップ回収率(%)
 - A_{csi} : クリーンアップスパイク内標準物質のピーク面積
 - A_{rsi} : 対応するシリンジスパイク内標準物質のピーク面積
 - Q_{rsi} : 対応するシリンジスパイク内標準物質の添加量(pg)
 - RRF_{rs} : 対応するシリンジスパイク内標準物質との相対感度係数
 - Q_{csi} : 対応するクリーンアップスパイク内標準物質の添加量^{注(34)}(pg)

注(34) 内標準物質添加後の分取・分割の補正をする。

5.10 結果の報告

(1) 結果の表示方法

a) PCDDs・PCDFs

2,3,7,8-位塩素置換体の各化合物の濃度^{注(35)}、四塩化物から八塩化物（TeCDDs~OCDD 及び TeCDFs~OCDF）の各同族体濃度及びそれらの総和を記載する。

各化合物の濃度は、試料における定量下限以上の値はそのまま記載し、試料における検出下限以上定量下限未満のものは、定量下限以上の値と同等の精度が保証できない値であることがわかるような表示方法（例えば、括弧付きにする等）で記載する。試料における検出下限未満のものは、検出下限未満であったことがわかるように記載する。

単独で定量できなかった 2,3,7,8-位塩素置換体については、単独で定量できていないことが分かるように結果表の 2,3,7,8-位塩素置換体の欄に重なっている異性体の名称を明記する。例えば、1,2,3,7,8-PeCDF に 1,2,3,4,8-PeCDF が重なっている場合、1,2,3,7,8-PeCDF の欄に “1,2,3,7,8+1,2,3,4,8-PeCDF” と記載する。

各同族体濃度及びそれらの総和は、検出された化合物の濃度で算出する。

これらの表示方法は表-10のとおりとし、試料における検出下限及び定量下限も明記する。また、5.10(3)の毒性等量（TEQ 濃度）を求めて結果をまとめる場合には、表-12を参考にするとよい。

注(35) 汚染源を推定する場合等、必要に応じて、1,3,6,8-TeCDD、1,3,7,9-TeCDD、1,2,7,8-TeCDF 等の化合物の濃度も定量し記載する。

b) Co-PCBs

Co-PCBs 各化合物の濃度とそれらの総和をa)と同様に記載する。表示方法は表-11のとおりと

し、試料における検出下限及び定量下限も明記する。また、5.10(3)の毒性等量 (TEQ 濃度) を求めて結果をまとめる場合には、表-12を参考にするとよい。

(2) 濃度の単位

PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の実測値は、乾燥重量当たりの pg/g で表示する。

(3) 毒性等量 (TEQ) への換算

2,3,7,8-位塩素置換体及び Co-PCBs の濃度を毒性等量に換算する場合は、測定濃度に毒性等価係数 (TEF) を乗じて pg-TEQ/g として表示する。

a) 毒性等価係数 (TEF)

2,3,7,8-位塩素置換体については表-13に、Co-PCBs については表-14に、それぞれ示す TEF を使用して毒性等量を求める (WHO-TEF2006 を採用)。

b) 毒性等量(TEQ)の算出

各化合物の毒性等量を算出し、その合計を毒性等量とする。その算出方法は、次のとおりとする。

定量下限以上の値はそのままその値を用い、定量下限未満で検出下限以上の値と検出下限未満のものは0 (ゼロ) として各化合物の毒性等量を算出し、それらを合計して毒性等量を算出する。

あわせて、定量下限以上の値と定量下限未満で検出下限以上の値は、そのままその値を用い、検出下限未満のものは試料における検出下限の 1/2 の値を用いて各化合物の毒性等量を算出し、それらを合計して求めた値を参考値として付記する。

(4) 数値の取り扱い

濃度の表示における数値の取り扱いは、次による。

a) 濃度については、JIS Z 8401 によって数値を丸め、有効数字を 2 桁として表し、検出下限未満の場合には検出下限未満であったことを表示する。ただし、試料における検出下限の桁までとし、それより下の桁は表示しない。

b) 検出下限については、JIS Z 8401 によって数値を丸め、有効数字を 1 桁として表示する。

c) 毒性等量の算出に当たっては、各化合物の毒性等量を計算し、その合計の値をもって有効数字 2 桁でa)と同様に数値を丸める。つまり、個々の化合物の毒性等量については丸めの操作は行わない。

表-10 PCDDs・PCDFsの同族体及び化合物の表示方法

PCDDs		PCDFs	
	化合物		化合物
TeCDDs	2,3,7,8-TeCDD Total TeCDDs	TeCDFs	2,3,7,8-TeCDF Total TeCDFs
PeCDDs	1,2,3,7,8-PeCDD Total PeCDDs	PeCDFs	1,2,3,7,8-PeCDF 2,3,4,7,8-PeCDF Total PeCDFs
HxCDDs	1,2,3,4,7,8-HxCDD 1,2,3,6,7,8-HxCDD 1,2,3,7,8,9-HxCDD Total HxCDDs	HxCDFs	1,2,3,4,7,8-HxCDF 1,2,3,6,7,8-HxCDF 1,2,3,7,8,9-HxCDF 2,3,4,6,7,8-HxCDF Total HxCDFs
HpCDDs	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD Total HpCDDs	HpCDFs	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF Total HpCDFs
OCDD	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF
Total PCDDs	Total PCDDs	Total PCDFs	Total PCDFs
Total PCDDs + PCDFs			

表-11 Co-PCBsの化合物の表示方法

	ノンオルト体	モノオルト体
TeCBs	3,3',4,4'-(#77) 3,4,4',5-(#81)	
PeCBs	3,3',4,4',5-(#126)	2,3,3',4,4'-(#105) 2,3,4,4',5-(#114) 2,3',4,4',5-(#118) 2',3,4,4',5-(#123)
HxCBs	3,3',4,4',5,5'-(#169)	2,3,3',4,4',5-(#156) 2,3,3',4,4',5-(#157) 2,3',4,4',5,5'-(#167)
HpCBs		2,3,3',4,4',5,5'-(#189)
	全ノンオルト体	全モノオルト体
Total Co-PCBs		

表-13 PCDDs・PCDFsの毒性等価係数

化合物		WHO-TEF2006
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	1
	1,2,3,7,8-PeCDD	1
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.0003
	その他	0
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	0.1
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.03
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.3
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.0003
	その他	0

表-14 Co-PCBsの毒性等価係数

化合物		WHO-TEF2006
ノンオルト体	3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.0001
	3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.0003
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	0.1
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.03
モノオルト体	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.00003
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	0.00003
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	0.00003
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	0.00003
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	0.00003
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	0.00003
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	0.00003
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	0.00003

6 測定精度の管理

ダイオキシン類の測定は、極めて低濃度の測定であるため、測定精度の管理を十分に行う必要がある。測定精度の管理は、次による。

6.1 標準作業手順 (SOP)

試験機関においては以下の項目等について作業手順を設定しておく。この作業手順は具体的で分かりやすいこと、及び関係者に周知徹底しておくことが必要である。

- (1) 試料採取用器具等の準備、メンテナンス、保管及び取扱い方法。
- (2) 前処理用試薬類の準備、精製、保管及び取扱い方法。
- (3) 分析用試薬、標準物質等の準備、標準液の調製、保管及び取扱い方法。
- (4) 分析機器の分析条件の設定、調整、操作手順。
- (5) 分析方法全工程の記録 (使用するコンピュータのハード及びソフトを含む)。

6.2 測定データの信頼性の確保

(1) 内標準物質の回収率

クリーンアップスパイク内標準物質の回収率を確認し、各クリーンアップスパイク内標準物質の回収率が 50～120%の範囲内でない場合には、再度抽出液からクリーンアップをやり直す。

(2) 検出下限及び定量下限の確認

a) 装置の検出下限及び定量下限

最低濃度 (各標準物質をそれぞれ四塩化物及び五塩化物で 0.1～0.5pg、六塩化物及び七塩化物で 0.2～1.0pg、八塩化物で 0.5～2.5pg、Co-PCBs で 0.2～1.0pg 含む) の検量線作成用標準液を GC/HRMS で測定し、各 2,3,7,8-位塩素置換体を定量する。この操作を 5 回以上繰り返し、得られた測定値から標準偏差を求め、その 3 倍を装置の検出下限、10 倍を装置の定量下限とする。

ここで得られた装置の検出下限が、四塩化物及び五塩化物で 0.1pg、六塩化物及び七塩化物で 0.2pg、八塩化物で 0.5pg、Co-PCBs で 0.2pg より大きいときには、器具、機器等をチェックして、これらの値以下になるように調整する。

この装置の検出下限及び定量下限は、使用する GC/HRMS の状態等によって変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、使用する GC/HRMS や測定条件を変更した場合等には必ず確認する。

b) 測定方法の検出下限及び定量下限

測定に用いるのと同量の抽出溶媒の濃縮液に GC/HRMS への注入量が装置の定量下限と同じ量になるように標準物質を添加し、前処理、測定及び同定・定量を行う。これを 5 回以上行い、得られた測定値の標準偏差を求め、その 3 倍を測定方法の検出下限、10 倍を測定方法の定量下限とする。

この測定方法の検出下限及び定量下限は、前処理操作や測定条件により変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、前処理操作や測定条件を変更した場合等には必ず確認する。

c) 試料における検出下限及び定量下限

試料における検出下限及び定量下限は、試料採取量等により、異なってくるため、各試料ごとに求める。

d) 試料測定時の検出下限及び定量下限の確認

実際の試料の測定において、2,3,7,8-位塩素置換体及び Co-PCBs の中でピークが検出されなかったものについては、そのクロマトグラム上において、ピーク近傍のベースラインのノイズ幅から、試料測定時の検出下限を推定し、その値から算出された試料における濃度が試料における検

出下限以下でなければならない。

その値が試料における検出下限を超える場合は、前処理操作、測定操作に問題がなかったかどうかを確認し、その原因を除いて再測定する。

(3) 操作ブランク試験

操作ブランク試験^{註(36)}は、試料の前処理及び GC/HRMS への導入操作等に起因する汚染を確認し、測定に支障のない測定環境を設定するために行うもので、試料の前処理に用いるのと同じ試薬を同じ量用いて前処理操作及び GC/HRMS 測定を試料と同様に行う。

操作ブランク試験は、特に断らない限り試料数の 10%程度の頻度で行う。

この試験は、試薬のロットが変わるとき等に行い、操作時の汚染等に対して十分に管理をしなければならない。さらに、次の場合には測定に先立って行い、操作ブランク試験の結果が十分低くなるようにする。

- a) 新しい試薬又は機器を使用したり、修理した機器を使用する等の前処理操作に大きな変更があった場合。
- b) 試料間汚染が予想されるような高い濃度の試料を測定した場合。

注(36) 操作ブランク試験値が大きいと測定方法の検出下限及び定量下限が悪くなるばかりでなく、測定値の信頼性が低下するため、操作ブランク試験値は極力低減を図らなければならない。そのため、必要に応じてクリーンドラフトの中で前処理操作を行う等、操作ブランク値の低減に努める。

(4) 二重測定

試料採取後、風乾、等量混合した分析用試料について前処理操作及び GC/HRMS 測定操作における総合的な信頼性を確保するために、同一試料から 2 つ以上の測定試料について同様に測定し、2,3,7,8-位塩素置換体の各化合物（17 化合物）及び Co-PCBs の定量下限以上の測定値について、その平均値を求め、個々の測定値が平均値の±30%以内であることを確認する。

また、毒性等量について平均値を求め、それぞれの毒性等量が平均値の±15%以内であることを確認する。

差が大きい場合には、測定操作を細かく確認して原因を究明し、改善した後、再度測定を行う。

二重測定は、特に断らない限り試料数の 10%程度の頻度で行う。

(5) 標準物質、内標準物質

測定値は、採取試料と標準物質の測定結果を内標準物質を使用して比較することによって得られるため、測定値の信頼性を確保するためには、可能な限りトレーサビリティの保証された標準物質を用いる必要がある。また、これらの標準物質及び内標準物質は、溶媒の揮散等によって濃度変化がないようにガラス製の密閉容器に入れて冷暗所にて保管し、厳重な管理下で保管する。

6.3 測定操作における留意事項

(1) 試料の採取：試料の採取においては、次の点に注意する。

- a) 試料採取器具、試料容器の準備と保管：使用する採取用器具、試料容器は、十分に洗浄を行ってから使用する。また、洗浄後、外部からの汚染を受けないよう保管する。
- b) 試料の代表性の確保：目的とする調査対象に対して代表試料の採取が適切に行われなければならない。
- c) 試料の保管・運搬：採取後の試料は、外部からの汚染や分解等を防ぐため、密封・遮光できる容

器に入れ、保管・運搬する。また、測定に用いた試料の残りを長期間保存する場合は凍結保存する。

- d) **分析用試料の調製**：採取した土壌試料の風乾にあたっては、他試料からの汚染に十分に注意するとともに、2～3日ごとに秤量して水分の減少がなくなることを確認する。また、ふるい分けに当たっては、土塊、団粒を十分に粗砕する。土壌試料の等量混合に当たっては、混合を十分に行う。

(2) 前処理操作：前処理操作においては、次の点に注意する。

- a) **試料からの抽出**：試料からの抽出には、次の点に注意する。

- ① ソックスレー抽出においては、抽出を行う円筒ろ紙は十分に乾いていることを確認する。
- ② 光による分解を防ぐため、試料に強い光の当たることを避ける。特に、ソックスレー抽出等で光が長時間当たる場合には遮光して行う。

- b) **硫酸処理—シリカゲルカラムクロマトグラフィ又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフィ**

- ① 硫酸処理においては、抽出液の着色がうすくなったことを確認する。
- ② カラムクロマトグラフィにおいては、分画条件は使用する充てん剤の種類や活性度、あるいは溶媒の種類及び量によって異なるので、あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って条件を確認しておく。

- c) **アルミナカラムクロマトグラフィ**：アルミナの極性は製造ロットや開封後の保存状態及び保存期間によってかなり変化が認められる。活性の低下したものでは、PCDDs・PCDFsの場合、1,3,6,8-TeCDDや1,3,6,8-TeCDF等が第1画分に溶出したり、八塩化物が50%(v/v)ジクロロメタン・ヘキサン混合液の規定量では溶出しなかつたりすることがあり、Co-PCBsの場合、一部がヘキサン溶出画分に溶出することがあるので、あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って条件を確認しておく。

- d) **活性炭カラムクロマトグラフィ**：あらかじめ飛灰等の抽出液を用いて分画試験を行って条件を確認しておく。

(3) 同定及び定量

- a) **高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/HRMS)**：使用するGC/HRMSは目的に応じて測定条件を設定し、試料の測定が可能のように機器を調整する。この際、応答の直線性、安定性等のほか、測定の誤差となる干渉の有無及びその大きさ、その補正法等、十分信頼できる測定ができるかどうか確認しておく。

- ① **MSの調整**：MSに質量校正用標準物質（ペルフルオロケロセン:PFK等）を導入し、MSの質量校正用プログラム等によってマスパターン及び分解能（10,000以上、10%谷）等の校正を行うとともに、装置の感度等の基本的な確認を行う。

- ② **GCの調整**：カラム槽温度、注入口温度、キャリアーガス流量等の条件を設定し、応答が安定していること、各塩化物の保持時間が適切な範囲にあり、かつ、ピークが十分に分離されていること等を確認する。スプリットレスの時間、パージガス流量等を適切な値に設定する。

キャピラリーカラムは、測定対象成分と他成分との分離が十分でない場合には新品と交換する^{注(37)}。

- ③ **GC/HRMSの操作条件**：キャピラリーカラムによって得られるピークの幅は、5～10秒程度であるが、1つのピーク当たりの測定点を十分確保するため、クロマトグラムにおける単独成分ピークの最も幅の狭いピークであってもそのピークを構成する測定点が7点以上となるように選択イオン検出のサンプリングの周期を設定しなければならない。1回の測定で設定可能なモニターチャンネルの数は、要求される感度との兼ね合いとなるので、十分に検討した上で設定する必要がある。

クロマトグラム上の各ピークの保持時間を考慮して、時間分割によるグルーピング方式によ

って測定してもよいが、この場合にはグループごとに、適切な内標準物質ピークが出現するように条件の設定を行う必要がある。

④ **装置の維持管理**:GC/HRMS の性能を維持するには、日常的な保守管理を欠かしてはならない。特に、GC とのインターフェイス及びイオン化室内の汚れは、感度及び分解能、測定精度の低下に大きく影響するので、適宜洗浄する必要がある。

b) **装置の感度変動** : 1日1回以上、定期的に検量線の間程度濃度の標準液を測定して、内標準物質の感度が検量線作成時に比べ大きく変動していないことを確認する。

また、PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の各塩素置換体と内標準物質の相対感度係数の変動が、検量線作成時の相対感度係数(RRFcs 及び RRFrs)に対して RRFcs については±10%以内、RRFrs では±20%以内であれば求めた相対感度係数を用いて測定を行う。これを超えて相対感度係数が変動する場合は、その原因を取り除き、試料の再測定を行うか、再度検量線を作成する。

さらに、保持時間については、分離カラムの劣化等の場合のように徐々に保持時間が変動する場合には、必要に応じて対応をとればよいが、比較的短い間に変動(通常、1日に保持時間が±5%の範囲外、内標準物質との相対保持比が±2%の範囲外)する場合には、その原因を取り除き、それ以前の試料の再測定を行う。

c) **検量線の作成** : 検量線は、測定をはじめて開始するときに作成し、その後、標準液が更新される時、分析条件が変更されたとき等測定上の変更があった場合又は感度が大きく変動した場合に作成し直す。

測定の精度を維持するためには、上記以外のときでも定期的に更新する。どの程度の周期で更新するかは、測定条件、装置の稼動状況等によって異なってくるので、感度変動等の状況から一定の期間又は一定の測定試料数で決めておく。

注(37) キャピラリーカラムを 300mm 程度切断(両端又は片端)することによって測定対象物質と他成分との分離に問題がなければ交換しなくてもよい。

(4) **異常値の取扱い** : 測定機器の感度の変動が大きい、操作ブランク値が大きい、二重測定の結果が大きく異なる等の場合には、測定値の信頼性に問題があるため、再測定を行わなければならない。このような問題が起こると、多大な労力、時間、経費がかかるだけでなく、調査結果全体の評価に影響を及ぼすことになるため、事前の確認等を十分に行い、異常値を出さないように注意しなければならない。また、異常値が出た経緯を十分に検討し、記録に残して、以後の再発防止に役立てることが重要である。

6.4 精度管理に関する記録保管・報告

精度管理に関する以下の情報を記録保管し、必要があれば測定分析結果表と共に報告する。

(1) 現場調査

a) **現場使用調査機材等の記録** : 使用した調査機材に関する情報を記録する。

- ① 器材の名称
- ② メーカー名
- ③ 品名、型式、製造番号等の識別
- ④ 洗浄記録

b) **現場調査の記録**

- ① 現場調査の担当責任者の所属及び氏名
- ② 試料採取場所：試料を採取した場所の略図、緯度経度等
- ③ 調査日時：現場調査を行った日時
- ④ 試料採取日時：各試料に関して試料を採取した日時
- ⑤ 採取した試料媒体
- c) 採取試料数：各媒体に関する試料数。
- d) 試料採取時の写真：印画紙の原本でなくてもよい（カラーコピーあるいはデジタル画像の印刷物でもよい）。

(2) 試料確認の記録

試料採取後、試験機関に試料が入る段階（試料の受付）における試料の確認を記録。これには次の内容が含まれていること。

- a) 試料を確認した日時
- b) 試料を確認した職員の所属と氏名
- c) 試料が搬送された手段。
- d) 試料が搬送された状態：例えば、遮光、冷蔵、冷凍等の情報。
- e) 試料の媒体：元来の試料の媒体名称。
- f) 試料の形状
- g) 試料の入っていた容器の種類・性状・サイズ
- h) 保管する場合、その保管場所・保管方法
- i) 運送業者を利用した場合、その配送伝票の複製
- j) 試料の測定分析検体としての識別

(3) 測定分析

- a) 分析室の管理記録：どのような分析室環境で測定分析が行われたかが判明するように分析室の構造等を記載した書類を保管する。また、測定分析が行われた分析室環境を客観的に判断可能な記録、例えば、使用する分析室の清浄度や温度を、測定器を用い計測し記録したもの等。
- b) 使用器具：測定分析に使用した器具（ガラス器具類等）に関して次の内容を記載する。
 - ① 器具の精度のトレーサビリティに係わる内容（証明書、校正記録等）
 - ② 洗浄方法等の準備方法
- c) 使用機器・装置：測定分析に使用した機器・装置（天秤、乾燥器、濃縮器、GC/HRMS 等）に関して次の内容を記載する。
 - ① メーカー名
 - ② 品名、型式、製造番号等の識別
 - ③ 仕様概略
- d) 使用試薬：使用した試薬類（各種試薬、円筒ろ紙等）に関して次の内容を記載する。
 - ① メーカー
 - ② 製品名
 - ③ 等級
 - ④ 精製・調整等をおこなった場合はその方法
- e) 標準物質及び内標準物質：使用した標準物質及び内標準物質に関して次の内容を記載する。

- ① メーカー名
- ② 製品名 (Product No.等)
- ③ 製造番号 (Lot No.等)
- ④ 希釈、混合の記録

f) **分析前処理の記録**：行われた分析操作に関して次の内容を記載する。

- ① 試料の名称等の識別 (管理番号等)
- ② 各前処理工程における担当分析者の所属・氏名
- ③ 分析の各段階における操作日時
- ④ 分析に供した量とその状態 (湿重量か乾燥重量か)
- ⑤ 各使用試薬の量
- ⑥ 添加した内標準物質の種類、濃度及び量

g) **GC/HRMS の記録**

- ① **GC/HRMS 日常点検記録**：GC/HRMS の日常点検結果 (冷却水、真空ポンプ、真空度、水漏れ、オイル漏れ、振動、臭い等の基本的な事項) の記録。
- ② **GC/HRMS 保守管理記録**：GC/HRMS に関して日常点検の範囲を超える点検・調整事項 (修理、磁場調整等日常的には発生しない事柄) が存在すればその記録。
- ③ **GC/HRMS 測定分析条件の記録**：GC/HRMS の測定分析条件に関して次の内容を記録する。
GC 昇温条件、モニターイオン質量、イオン源温度、イオン化電流、電子加速電圧等
- ④ **使用 GC カラムの記録**：測定に使用した GC キャピラリーカラムに関して次の内容を記録する。
メーカー名、製品名、液相の種類、カラム長さ、カラム内径、液相膜厚
- ⑤ **GC/HRMS 使用状況記録**：GC/HRMS の使用状態 (各種消耗品の交換、イオン源の交換、GC カラムの交換、GC カラムエージング、フライトチューブベーキング、イオン源ベーキング、測定検体数等、どの様な状況で使用されたか) の記録。
- ⑥ **MS 分解能の記録**：測定時に必要な MS 分解能が得られていることを確認できる記録。
- ⑦ **透過率の記録**：設定分解能時のイオン透過率の記録。
- ⑧ **GC 分離能の記録**：測定時に必要な GC カラム分離能が得られていることを確認できるクロマトグラムの記録を使用したキャピラリーカラム毎に保管する。分離を確認する化合物の組み合わせ、分離能等に関しては測定機内で基準を決めておくこと。この基準と共にクロマトグラムを保管すること。
- ⑨ **GC/HRMS 感度の記録**：測定時に目標とする検出下限あるいは定量下限に対して必要な感度が得られていることを確認できる記録 (クロマトグラム等)。
装置の検出下限付近の濃度の標準溶液を 5 回以上測定し、その面積値の標準偏差から感度を確認する。又は、クロマトグラムから S/N 比を確認できること。ただし、各測定質量/電荷数のレスポンスデータ取り込みに関してスムージング等の処理を行っている GC/HRMS の場合は、S/N 比を求めることができない。
- ⑩ **標準物質の塩素同位体比の確認**：測定した標準物質中の各化合物に関して、各標準物質の対応する 2 つの質量/電荷数のイオンのピーク面積の強度比を求め、塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比とを比較・確認できる記録。塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比に対して $\pm 15\%$ 以内 (定量下限以下の濃度では $\pm 25\%$) であること。
- ⑪ **測定順の記録 (Injection List)**：GC/HRMS による測定の順番の記録。標準溶液、ブランク、操作ブランク、試料、二重測定 (同一バイアルからの GC/HRMS 測定)、二重測定 (試料採取からの二重測定) 等試料の測定順番の記録。同一の報告書に含まれない試料に関する測定が存在する場合、その測定に関しては示す必要はない。GC/HRMS に付属するソフトウェアから加工することなしに印刷したもの。
- ⑫ **クロマトグラムの記録**：標準溶液、最終溶媒ブランク、操作ブランク、試料のクロマトグラム

の保管。測定した全ての質量／電荷数に関してクロマトグラムを保管する。

- ⑬ **ロックマスモニターの記録**：質量校正に用いるロックマスのモニタークロマトグラムの保管。質量校正用標準物質のモニターチャンネルのクロマトグラム上で、定量対象化合物の出現時間において応答に±20%以上の変動が認められた場合には、その化合物については定量してはならない。原因としては、試料の精製が不十分であったり、質量校正用標準物質のモニターチャンネルの質量/電荷数の選択が適切でないこと等が考えられる。試料の精製を再度行う、あるいは質量校正用標準物質のモニターチャンネルの質量/電荷を変更する等して、質量校正用標準物質のモニターチャンネルのクロマトグラムの応答の変動を範囲内に抑える必要がある。
- ⑭ **RRF の記録**：検量線作成時の標準溶液濃度における RRFcs 及び RRFrs と試料測定時の標準溶液における RRFcs 及び RRFrs との比較結果を保管する。PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の各塩素置換体と内標準物質の相対感度係数の変動が、検量線作成時の RRFcs 及び RRFrs に対して、RRFcs については±10%以内、RRFrs では±20%以内であることを確認する。

(4) 計算

- a) **計算工程の記録**：標準溶液の濃度、内標準物質の添加量、GC/HRMS 測定面積値、試料採取量から最終濃度までの計算過程がトレース可能である記録。
- b) **塩素原子の同位体比の確認記録**：試料中の各化合物に関して、2つの質量／電荷数のイオンのピーク面積の強度比を求め、塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比（あるいは同じ測定グループ内で測定された標準物質の2つの質量／電荷数のイオンのピーク面積の強度比）との差が判明する記録。上記計算の工程に含まれていてもよい。各化合物塩素同位体比が標準物質のものとはほぼ同じであり、塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比に対して±15%以内（定量下限以下の濃度では±25%）であること。
- c) **回収率の確認記録**：シリンジスパイクを用いて補正したクリーンアップ回収率の計算結果を確認できる記録。上記計算の工程に含まれていてもよい。回収率は17種類のPCDDs・PCDFsの各2,3,7,8-位塩素置換体及び12種類のCo-PCBsにおいて有効数字2桁で各々50～120%の範囲であること。

(5) ブランク試験

- a) **内標準物質に含まれるダイオキシン類ブランクレベルの検査記録**：使用する内標準物質中に存在するダイオキシン類が、用いる添加量で定量に影響を与えないことを確認した記録。使用する内標準物質全てについて行う。内標準物質を新たに調整した場合は新たに検査を行う。
- b) **操作ブランク試験の記録**：操作ブランクは試験分析検体数の10%程度の頻度で行う。

(6) 二重測定

- a) **二重測定**：前処理操作及びGC/HRMS測定操作における総合的な信頼性を確保するために、同一試料から二つ以上の測定試料について同様に測定し、2,3,7,8-位塩素置換の各化合物（17化合物）及びCo-PCBsの定量下限以上の測定値について、その平均値を求め、個々の測定値が平均値の±30%以内であることを確認する。また、毒性等量について平均値を求め、それぞれの毒性等量が平均値の±15%以内であることを確認する。
二重測定は、試験分析検体数の10%程度の頻度で行う。
- b) **GC/HRMS 二重測定**：GC/HRMSによる二重測定を、分析検体数の10%程度の頻度で行う。GC/HRMSによる二重測定は試料媒体毎に行う必要はない（異なったどのような媒体の組み合わせでも同一のGC/HRMSの測定検体数の10%程度の頻度で行えばよい）。

7 安全管理

ダイオキシン類は非常に有害性が高いので、吸入や直接皮膚への接触を避け、かつ、前処理室や分析室の換気及び廃液や廃棄物の管理は十分に行う。

ダイオキシン類だけでなく、分析に使用する薬品、溶媒等は吸入や飲み込みにより分析者の健康を損なうものがあるので、取り扱いには慎重に行い、かつ、分析室の十分な換気に注意する。

以下に当面の管理指針を示す。

7.1 試料採取

- (1) 高濃度汚染の可能性のある地点では手袋、防塵マスクを使用し汚染試料の皮膚接触、吸入を防ぐ。必要に応じ保護衣等も着用し、また調査時に使用した器具、着用した衣類は分別してポリ袋等に入れ、洗浄する等、汚染土壌の拡散を防ぐ。また、調査地点によってはダイオキシン類以外の重金属、化学物質等によって汚染されている場合もある。土地の利用状況等からこれらの汚染が懸念される場合にも同様の防護措置を行う。

7.2 施設（分析室）

- (1) 分析室は、専用の分析室とする。
- (2) 高濃度の汚染試料を取扱う分析室は、可能であれば2～3のエリアに仕切った方がよい。その場合の各エリアの役割は下記の通りである。
 - a) 試料の分解、抽出、精製及び濃縮を行うエリア。
 - b) 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/HRMS）による分析を行うエリア。
- (3) 共用のGC/HRMSを用いるときは、一定期間をダイオキシン類分析専用とするとともに、本体及び周辺の汚染のないように分析を行う。

7.3 分析室等の立入規制

- (1) 分析室への立入りは、関係者に限定する。
- (2) 分析室のドアには、関係者以外立入らないよう表示を行う。

7.4 換気システム

- (1) 分析室は、ドラフトチャンバーにより排気を行う。
- (2) 排気された空気は、活性炭フィルター等の処理装置により処理したのち排出する。

7.5 その他の設備

(1) 排気

GC/HRMSに付属するすべてのポンプ排気は、ドラフトチャンバーのダクトのように活性炭フィルター等の処理装置を通じて排気する。

7.6 分析室内での業務について

- (1) 分析室内では、専用の実験衣及び靴を着用する。
- (2) 作業中は、手袋を着用する。
- (3) 液体の採取はシリンジ等を使用する。ピペットを用いる場合には、安全ピペッター等を用い、決して口で吸い上げてはならない。
- (4) 高濃度汚染試料を取扱う分析においては、防じんマスクを着用する。

7.7 標準物質の取り扱い

- (1) すべての標準溶液の目録を作成する。

- (2) すべての標準溶液は、二重栓式試料ビン等に入れ冷蔵庫に保管する。高濃度の標準物質及び標準溶液は、カギのかかる保管庫に保管し、使用のたびごとに使用量及び残量を記録する。

7.8 試料の取扱い

- (1) 濃縮した抽出液は、密閉できるミニサンプルビン等に入れ冷蔵庫に保管する。
- (2) 長期間の保管が予想されるときは、褐色アンプル中に封入し、破損しないように保護したのち、冷蔵庫または冷凍庫中で保管する。
- (3) 不必要になった試料液は、適切に処分する。
- (4) ダイオキシン類を含む試料を運搬する場合は、密閉型のプラスチックコンテナに入れて運ぶ。

7.9 分析中の事故の場合

環境試料中のダイオキシン類の分析は、取扱量が微量であることから、特段危険が高いとは考えられないが、分析中の事故等の場合は、分析室を使用する者に連絡するとともに、以下に示す対処を行う。

- (1) ダイオキシン類を含む抽出液等を分析中に浴びる等の皮膚接触が起きた時は、直ちに接触部位を石鹼で洗う。
- (2) 分析室内でこぼし事故があった場合は、汚染した部位を、水でしめらせた紙タオルで拭き、ついでその部位をアルコールまたはトルエン等の有機溶媒で拭き取る。

7.10 廃棄物の保管処分等

- (1) ダイオキシン類に汚染された廃棄物（手袋、マスク、紙タオル、測定済み試料溶液、GC/HRMSの真空ポンプの廃オイル等）は、専用密閉容器等で適切に保管し、処分する。
- (2) 廃水は、活性炭等により適切に処理した後、排水する。

7.11 作業記録

- (1) 分析室立入者の記録をする。
- (2) 作業日報を作成し、分析従事者の作業時間等を記録する。
- (3) 標準溶液は、物質名、数量、濃度及び入手先や、供与先等を記録し、使用状況も記録する。
- (4) 廃棄物の保管状況や処理状況を記録する。
- (5) その他必要と考えられる事項を記録する。

7.12 健康診断

本マニュアルに示した分析では、有機溶媒等も使用するため、労働安全衛生法に定められた特定化学物質に係る定期的健康診断を実施する。

参考資料1 大気拡散シミュレーションモデルを利用した試料採取地点の選定に関する検討

1. 主旨

焼却施設を発生源とした場合の土壌試料採取地点の選定は、煙突から排出されたダイオキシン類の拡散状況を、気象データ等をもとにシミュレーションすることにより、発生源からの影響を最も受けると予想される場所（最大着地濃度発生地点）を求め、その地点及び周辺地域において重点的な採取を行うことによって、効率的に行うことが可能である。

焼却施設からのガス状物質の拡散のシミュレーションは、プルーム・パフモデル（平均化モデル）（「窒素酸化物総量規制マニュアル」〔改訂版〕（環境庁））を用いて行うのが一般的である。ダイオキシン類が粒子状物質に吸着して拡散すると仮定した場合のシミュレーションは、このモデルに粒子の重力沈降を考慮した拡散モデルを使用する必要があるが、粒子の粒径及び密度を求めることが困難であるとともに、重力沈降を考慮した場合でも最大着地濃度発生距離（発生源から最大着地濃度発生地点までの距離）は、考慮しない場合と数パーセントしか変わらないことから、煙突からのダイオキシン類の拡散のシミュレーションは、プルーム・パフモデルを用いて行うことが妥当であると考えられる。

2. 実証試験による検討

焼却施設を発生源とした場合の土壌試料採取地点の効率的な選定に、プルーム・パフモデルを用いた大気拡散シミュレーションを利用することの妥当性について、検討するため、2地域の焼却施設において、実証試験を実施した。

実証に当たって、焼却施設からのダイオキシン類の拡散について、シミュレーションを実施し、最大着地濃度発生地点を予測するとともに、施設周辺の任意の地点における土壌中ダイオキシン類濃度の分析を行い、シミュレーション結果と実測値の比較検討を行った。

なお、ダイオキシン類の拡散シミュレーションの実施には、以下に示すデータが必要であり、気象データについては、極力、焼却施設に近い地点での測定データを使用した。

また、本参考資料1では、ダイオキシン類のうち、PCDDs及びPCDFsを対象としている。

<発生源関連データ>

- ① 煙突実体高さ
- ② 単位時間当たりの排出ガス量
- ③ 排出ガス密度
- ④ 排出ガス温度

<気象データ>

- ① 時間別風向の年間データ
- ② 時間別風速の年間データ
- ③ ①、②の測定点の地表面からの高さ
- ④ 時間別気温の年間データ
- ⑤ 時間別日射量の年間データ
- ⑥ 時間別放射収支量の年間データ

3. 検討結果

(1) 平面図における検討

2地域でのシミュレーション結果及び実測値を平面図（図A）に示す。シミュレーション結果をもとに、予想されるダイオキシン類濃度を等高線で表した。図中の斜線部分が最大着地濃度発生地点である。また、実測値については、TEQ換算した濃度を、最大濃度の地点を100とする相対値で表した。

シミュレーションの結果は、A地域、B地域とも、主風向の風下方向に最大着地濃度発生地点が予想された。

実測値の結果についても主風向の風下方向において最大値の発生が確認されたが、発生源からの距離は、予想された最大着地濃度発生距離とは若干のズレがみられた。

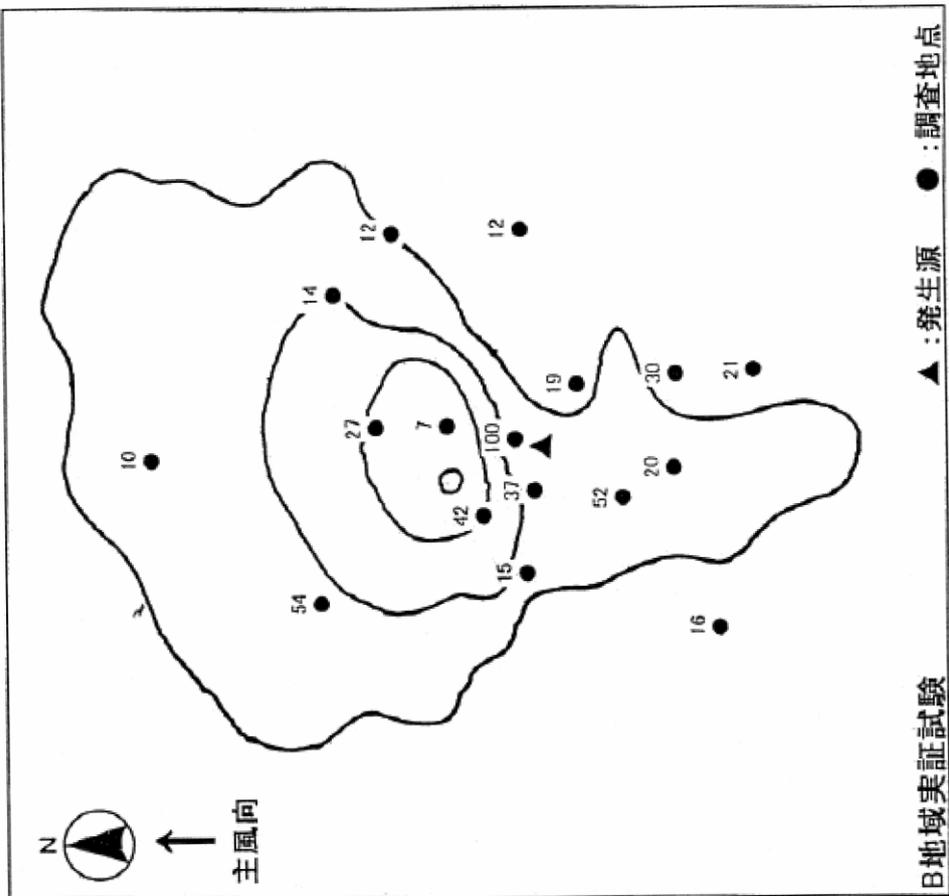
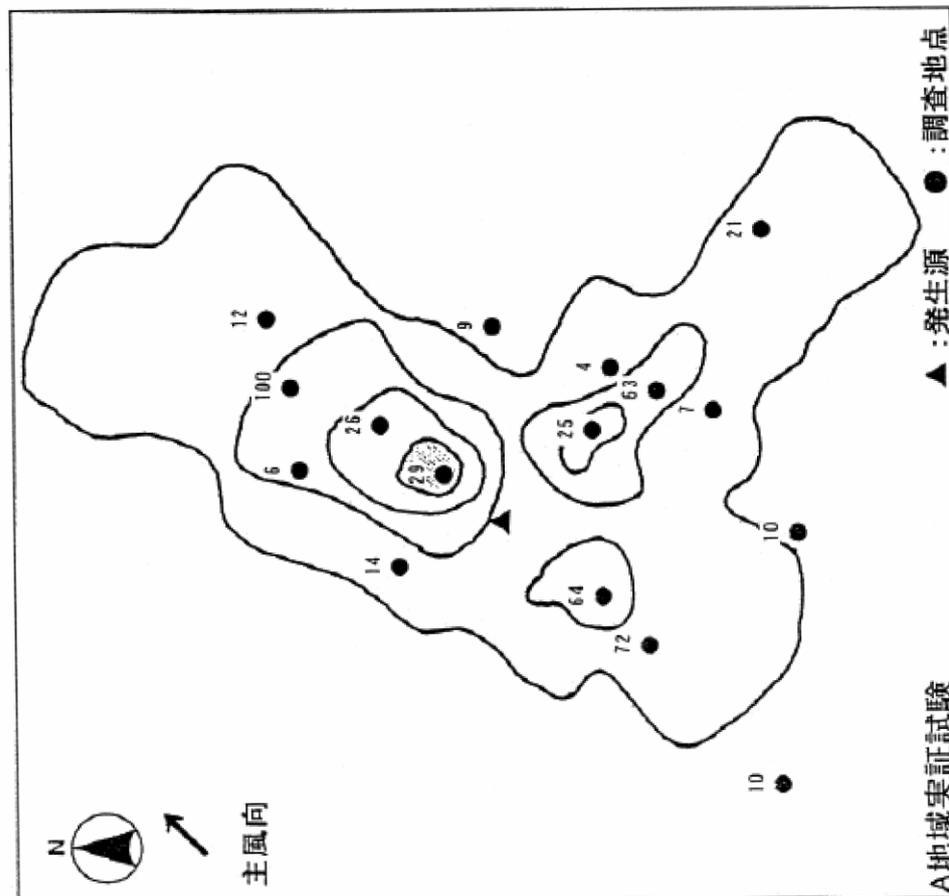
(2) 主風向における検討

シミュレーションによる最大着地濃度発生距離と実測値の最大値発生地点の発生源からの距離について検討を行うため、主風向方向のダイオキシン類濃度と発生源からの距離の関係について、シミュレーション結果、実測値とも、最大濃度を100とする相対値で表した（図B）。

この結果、シミュレーションによって求められた最大着地濃度発生地点の概ね1/2倍から3倍までの範囲に実測値の最大値が発生することから、この範囲において試料採取を行うことにより、施設周辺の最高値を捕捉することができると考えられている。

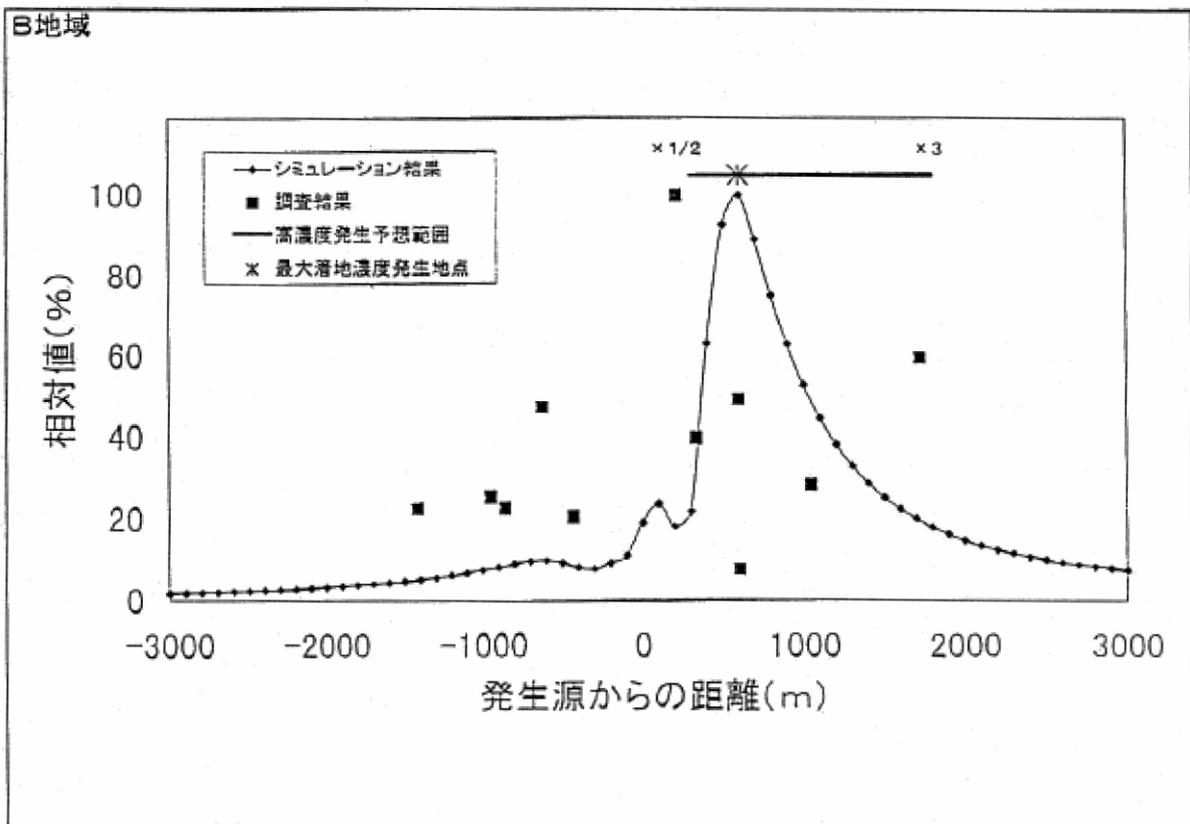
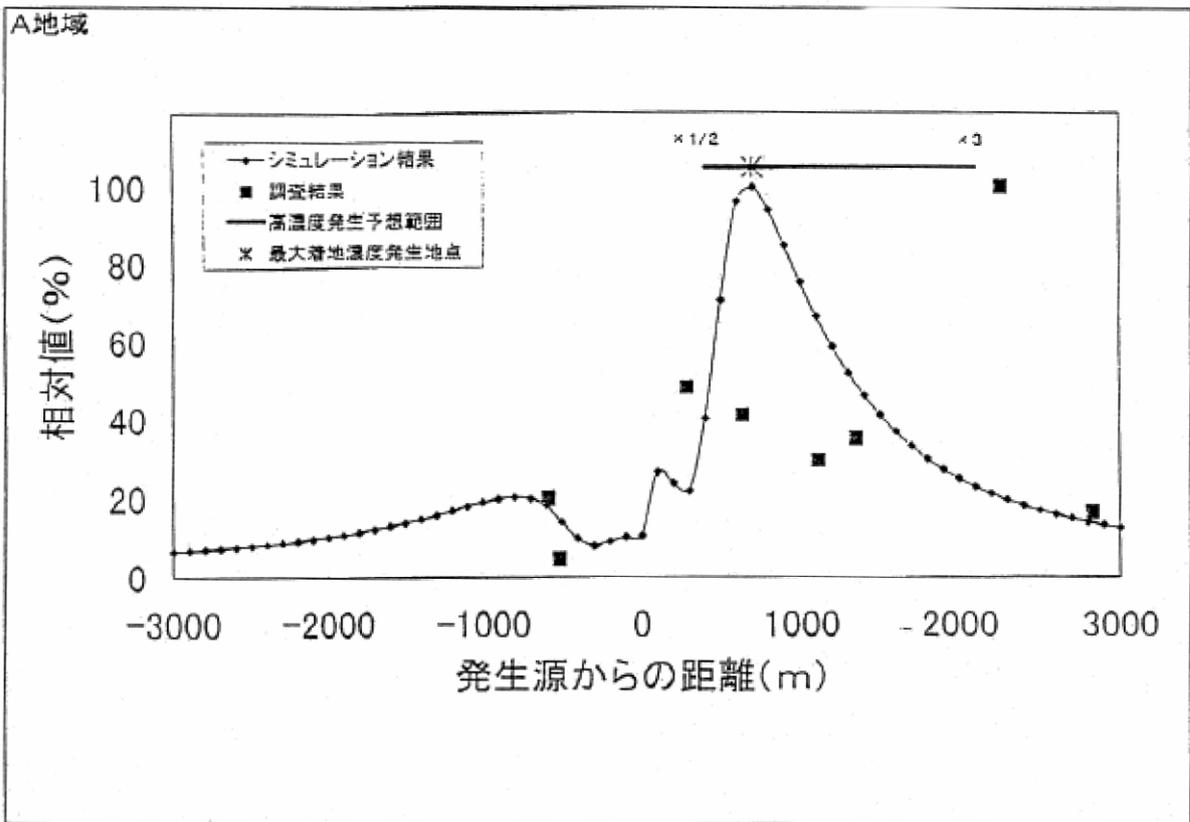
4. 簡便的な試料採取地点の選定

試料採取地点の選定には、シミュレーションモデルの適用が有効であることが示唆されたが、シミュレーションの実施には、気象条件や発生源に関するデータに基づく複雑な計算が必要であることから、簡便法として、「ダイオキシンリスク評価検討会報告書」（平成9年5月、環境庁）の「参考資料2：ごみ焼却施設周辺環境におけるダイオキシン類濃度シミュレーション調査結果」において示されている年平均最大着地濃度発生距離を参考として作成した別表1「代表的なごみ焼却施設より排出されるダイオキシン類の最大濃度発生距離」を参照し、簡便的に最大着地濃度発生距離を予測する方法もある。



図A シミュレーション結果と実証調査の比較例

(注) 図中の数字は最高濃度を100とした時の調査地点における相対値(%、乾重当)。等高線は、大気拡散シミュレーションモデルによる大気降下物の推定濃度の分布を示したものの。斜線部分は推定される最大着地濃度発生地点のエリア。



図B シミュレーション結果と実測濃度(相対値)の比較

別表1 代表的なごみ焼却施設より排出されるダイオキシン類の最大濃度発生距離

処理量 (t/日)	焼却炉形式			排ガス 処理方式	煙 突		最大濃度 発生距離 (m)
					実体高 (m)	形式	
1200	全連続	ストーカ	ボイラー	電気集塵	100	独立	約 900
				バグフィルタ	100	独立	約 800
400	全連続	ストーカ	ボイラー	電気集塵	59	独立	約 600
				バグフィルタ	59	集合	
			水噴射	電気集塵	59	独立	約 600
					59	集合	約 700
				バグフィルタ	59	独立	約 600
					59	集合	
300	全連続	流動床	ボイラー	電気集塵	59	独立	約 600
				バグフィルタ	59	集合	
			水噴射	電気集塵	59	独立	約 600
					59	集合	
				バグフィルタ	59	独立	
					59	集合	
200	准連続	ストーカ 又は 流動床	水噴射	電気集塵	59	独立	約 400
					59	集合	約 600
				バグフィルタ	59	独立	約 200
60	機械化 バッチ	ストーカ	水噴射	電気集塵	40	独立	約 400
						集合	
20 又は 10	固定 バッチ	ストーカ	水噴射	マルチサイクロン 又は 電気集塵	30	集合	約 400

- (備考) 1 最大濃度発生距離とは、発生源を起点として、拡散計算より算出した最大着地濃度が発生する地点までの距離をいう。
 2 本シミュレーションでは、排ガスの放出前に再加熱を行う施設を想定している。

(出典) 「ダイオキシンリスク評価検討会報告書」ダイオキシンリスク評価検討会、平成9年5月

参考資料 2 試料採取深度に関する検討

土壌中のダイオキシン類濃度の調査に当たっては、調査目的や採取地点の土地利用状況等を考慮し、適切な採取深度を設定する必要がある。

なお、本参考資料 2 で示している事例等は、ダイオキシン類のうち、PCDDs及びPCDFsを対象としている。

1 ダイオキシン類の土壌表層への蓄積

ダイオキシン類の土壌中への蓄積の最も典型的な例として、焼却場等に起因して大気拡散により広域的に発生する場合が想定されるが、大気経由で土壌中に蓄積するダイオキシン類は、一般には表層部分に多く存在し、米国ミシガン州及びグアムにおける調査では、全ての事例で、土壌中の全ダイオキシン類の80%以上が表層から深さ15cmまでの間に存在していた（図C）。

2 適切な採取深度

(1) 諸外国の例

焼却施設の影響を調査しようとする場合、表層部分の土壌中ダイオキシン類濃度を測定することが重要であると考えられる。諸外国の例を見ると、地表面から5 cmまでの土壌を調査していることが多い（別表2）。

(2) 我が国の調査事例

我が国における過去の調査では、同一県内の複数地域で採取深度0～2 cm及び0～5 cmについてダイオキシン類濃度を調査した事例がある（図D）。この事例では0～2 cmの測定結果が0～5 cmの測定結果より高い傾向が認められるが、調査地点によっては逆のケースもある。

両者の平均値は、それぞれ44 pg-TEQ /g(0～2 cm)、32 pg-TEQ /g(0～5 cm)であり、その差は30%程度であった。この差は、分析の精度を考慮すると、あまり大きいものではないと考えられる。

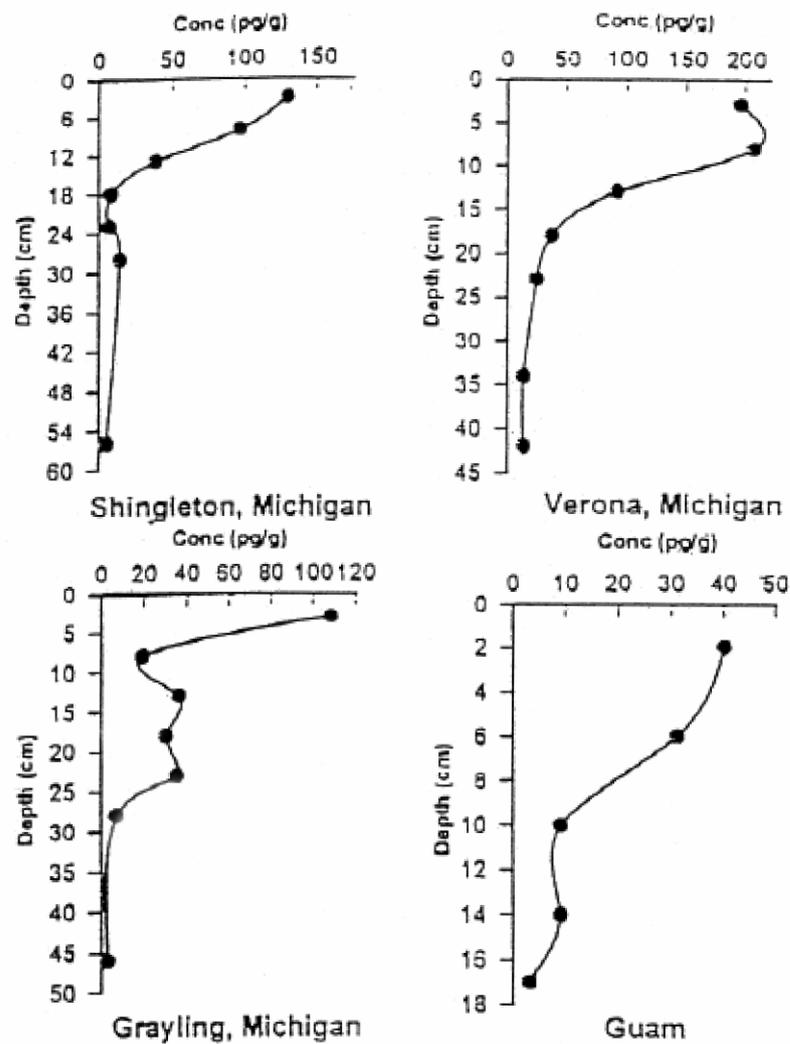
(3) 再現性・安定性

実際の試料採取に当たっては、精度管理の点から、再現性が高く、安定した採取が求められる。草地や芝地等から試料を採取する場合、植物体の存在により土壌表層が判然とせず、採取深度の測定誤差が生ずることがあるが、採取深度を浅く設定すると、採取深度に占める誤差の割合が大きくなることから、試料採取量の相対的なバラツキが大きくなり、再現性が担保されなくなることが懸念される。また、根茎の存在により、採取した柱状試料を地表面から安定的に浅い位置で切り取ることは容易ではない。

(4) 試料採取深度

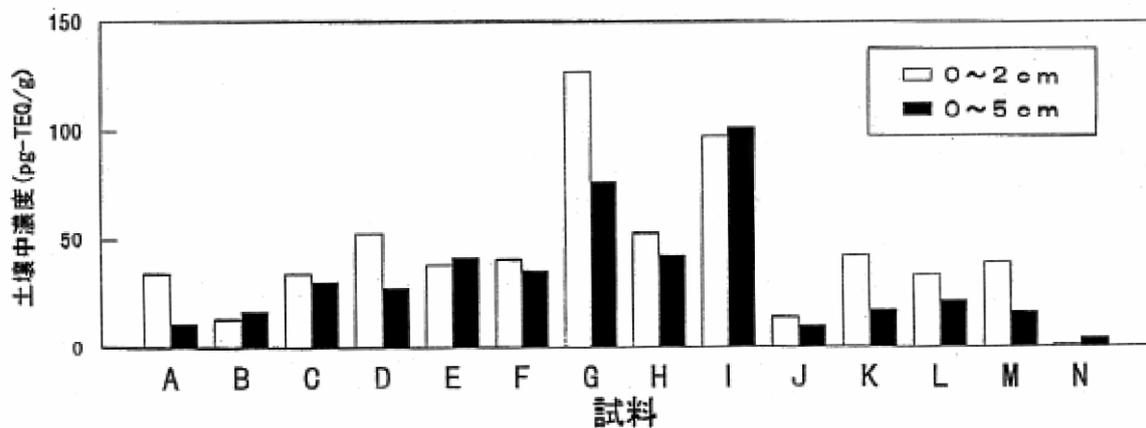
以上の検討を踏まえ、一般的な土壌を調査する場合には、諸外国においても実績があり、表層付近と同程度の濃度を示すと考えられ、作業の安定性の高い、地表面から5 cmまでの試料を採取することが妥当であると考えられる。

また、農耕地における採取深度は、ドイツでは地表面から30cmまでの土壌試料を採取して調査が行われており、我が国の一般的耕耘深度（耕作に伴う攪拌の範囲）及び作物の根圏等を考慮し、地表面から30cmまでの試料を採取することが妥当と考える。



図C 土壤表層部へのダイオキシン類の局在

(資料: Brzuzy, L.P., Hites, R.S. (1995), Environmental Science & Technology 29, No.8)



図D 試料採取深度と土壤中ダイオキシン類濃度の関係

別表2 土壌試料採取深度に関する海外の事例

国	場 所	サンプリングの深さ	出 典
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ・耕地、攪乱された土地(基礎調査) ・牧草地、攪乱されていない土地(基礎調査) 	<p>0～30cm</p> <p>0～10cm</p>	UBA(ドイツ環境庁, 1992)
オランダ	<ul style="list-style-type: none"> ・オランダ全土に40kmの格子をかけ、交点近くで選定(バックグラウンド測定) ・20年間耕作されていない耕地 	<p>0～5cm 及び 5～10cm</p>	RIVM(オランダ国立公衆衛生環境研究所, 1994)
アメリカ	ミシガン州、インディアナ州等(土地の用途不明)	<p>0～30cm, 30～60cm 60～90cm</p>	Brzuzy, L. P., Hites, R. S. (1995) Environmental Science & Technology 29, No. 8
	ミネソタ州内、非耕作地	<p>0～2.5cm (1インチ)</p>	Reed, L. ほか(1990) Chemosphere 21, No. 1/2
イギリス	ドンカスター州(できるだけ土壌の攪乱のない地点)	<p>0～5cm</p>	Stenhouse, I. A. ほか(1990) Chemosphere 21, No. 4/5

参考資料3 野外土性の判定

土性は、粒径の異なる個々の土壌粒子の占める割合を表すものであるが、ダイオキシン類の土壌中での挙動が、土性によって影響されることも考えられることから、採取試料の土性を把握することは重要である。

正確な土性の判定に当たっては、実験室において粒径分析を行う必要があるが、現場で手ざわりや肉眼的観察によって、おおよその判定（野外土性という）を行うこともできる。

野外土性を判定するには、可塑性が最大になるように少量の水でしめらせたのち、親指と人差指の間や手のひらの上で人さし指を使ってこねて、砂の感触の程度、ねばり具合、付着の程度、またどの程度まで細く長くのばせるかなどを調べ、別表3に示した目安に従って判定する。

別表3 野外土性の判定の目安

判 定 法	土性と略号
ほとんど砂ばかり（砂85%以上）で、ねばり気を全く感じない。	砂土（S）
砂の感じが強く（砂65～85%）、ねばり気はわずかしかない。	砂壤土（SL）
ある程度砂を感じ（砂40～65%）、ねばり気もある。 砂と粘土が同じくらいに感じられる。	壤土（L）
砂はあまり感じないが、サラサラした小麦粉のような感触（シルト45%以上）がある。	シルト質壤土 （SiL）
わずかに砂を感じるが、かなりねばる（粘土15～25%）。	埴壤土（CL）
ほとんど砂を感じないで、よくねばる（粘土45%以上）。	重埴土（HC）

（参考文献）ペドロジスト懇談会編：土壌調査ハンドブック、博友社

（参考）

野外土性の判定にはかなり熟練を要するため、粒径分析によって土性が明らかにされている数種類の標準試料（注）を携行し、これを参考にすればよい結果が得られる。

（注）日本土壌協会編：土性練習用土壌標本（富士平工業K.K.）。

参考資料4 試料調製時のふるいのサイズ

試料調製時のふるいは、土壌試料から小石や植物体等の夾雑物を除くために重要な工程であるが、ふるいのメッシュのサイズによって試料の粒径（すなわち単位重量あたりの土壌粒子の表面積）や分析試料の歩留りが変わることから、分析結果や試料の代表性に影響することも考えられる。このため、適切なふるいのメッシュのサイズについて検討を行うことは重要であると考えられる。

一般的な土壌試料を0.5mm、1.0mmおよび2.0mmのメッシュのふるいを用いてふるい分けを行った後、試料中のPCDDs及びPCDFs濃度を分析した結果、一般的土壌では今回検討した3種類のメッシュのサイズでは、総ダイオキシン類濃度及び同族体の組成に明確な違いは見られなかった（別表4）。

ふるい分け後の試料重量を比較すると、ふるいをかける以前の試料重量を100とした場合、2.0mmメッシュでは、74%、1.0mmメッシュでは52%、0.5mmメッシュでは31%という結果が得られたことから、メッシュのサイズの小さいものでは、分析試料の歩留まりが低くなり、試料の代表性が損なわれることが懸念された。

また、一般的な土壌汚染を調査する場合の指針である「土壌の汚染に係る環境基準について（平成3年8月23日環境庁告示第46号）」では、ふるいの工程で2.0mmのメッシュのふるいを採用されていることから、ダイオキシン類の調査を行う場合も、2.0mmのメッシュのふるいを採用することが妥当と考えられる。

別表4 ダイオキシン類分析結果及び試料の歩留りに関するメッシュのサイズの影響

Mesh	0.5mm	1.0mm	2.0mm
TeCDDs	0.9	0.8	0.8
PeCDDs	1.0	0.8	1.0
HxCDDs	2.9	2.7	3.2
HpCDDs	8.5	8.2	8.3
OCDD	78.8	68.9	76.3
TeCDFs	1.4	1.3	2.2
PeCDFs	1.4	1.4	1.5
HxCDFs	3.3	3.0	2.7
HpCDFs	4.0	4.2	2.5
OCDF	1.8	1.6	1.6
PCDDs	92.2	81.4	89.5
PCDFs	11.9	11.4	10.5
PCDDs+PCDFs	104.1	92.9	100.0
試料重量	31	52	74

unit:%

- 注) 1 表中の同族体濃度は、2.0mmメッシュのふるいを用いた試料の総ダイオキシン類濃度を100とした時の各々の相対値。
 2 試料重量は、篩いをかける以前の試料重量を100とした時の各々の篩い後の重量の相対値。