

土壤のダイオキシン類  
簡易測定法マニュアル

令和4年3月

環境省水・大気環境局土壤環境課

## 目次

### はじめに

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	1
3	簡易測定法の適用範囲	2
4	土壌の調査方法	3
4.1	調査の進め方	3
4.2	簡易測定法による調査の進め方	4
5	ダイオキシン類簡易測定法の概要	10
5.1	調査・測定方法の概要	10
5.2	目標定量下限	11
6	試料採取及び分析試料の調製	11
7	試料からの抽出・クリーンアップ	11
7.1	高圧流体抽出	13
7.2	クリーンアップ	13
8	高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-HRMS）法	14
8.1	試薬	14
8.2	器具及び装置	16
8.3	測定操作	16
8.4	検量線の作成	19
8.5	試料の測定	20
9	ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計（GC-QMS）法	20
9.1	試薬	20
9.2	器具及び装置	21
9.3	測定操作	21
9.4	検量線の作成	23
9.5	試料の測定	23
10	ガスクロマトグラフタンデム質量分析計（GC-MS/MS）法	23
10.1	試薬	23
10.2	器具及び装置	23
10.3	測定操作	23
10.4	検量線の作成	26
10.5	試料の測定	26
11	同定及び定量	26
11.1	ピークの検出	26
11.2	ピーク面積の算出	26
11.3	ダイオキシン類の同定	26
11.4	ダイオキシン類の定量	27
11.5	濃度の算出	27
11.6	定量下限	27
11.7	回収率の確認	28
12	結果の報告及び評価	28
13	測定精度の管理	33
13.1	標準作業手順（SOP）	33
13.2	測定データの信頼性の確保	33
13.3	測定操作における留意事項	34
13.4	精度管理に関する記録保管・報告	35
14	安全管理	38

## はじめに

土壌中のダイオキシン類の環境基準の達成状況を調査するための測定は、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) (以下「土壌マニュアル」という。)により行われているが、土壌マニュアルによる調査測定は、測定に多大な時間と費用を要することから、測定の効率化が課題となっている。ダイオキシン類による大気の汚染、水質の汚濁及び土壌の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。)が平成 21 年 3 月に改正され、土壌中のダイオキシン類の測定方法が追加された。本マニュアルは、告示の改正で追加された測定方法等について、具体的な測定手法等を定めたものである。また、本マニュアルに定めた方法(以下「簡易測定法」という。)は、土壌マニュアルに定めた測定方法(以下「土壌マニュアル法」という。)に比べ、土壌中のダイオキシン類を低廉かつ迅速に測定できるものの、その測定値は土壌マニュアル法による測定値と差が生じる場合もあることから、本マニュアルでは、導入できる調査の種類や測定結果の扱い方についても定めている。

ダイオキシン類に係る土壌の調査に当たっては、土壌マニュアルを基本としつつ、調査の効率化等の観点から、必要に応じて本マニュアルに基づいて調査を行うこととする。

今般、前回改定(平成 21 年 3 月)から 13 年が経過し、マニュアル運用の中で得られた知見や課題を踏まえ、本マニュアルの改訂を行った。また、今後も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訂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

本マニュアルの調査の分類は土壌マニュアルと同じである。

### 1.2 分析に係る用語、略語の定義

以下の用語、略語以外は、土壌マニュアルと同じである。

- (1) **ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計(GC-QMS)**: 四重極形のガスクロマトグラフ質量分析計。
- (2) **ガスクロマトグラフタンデム質量分析計(GC-MS/MS)**:  $m/z$  によって選択されたイオンに対するプロダクト若しくはプリカーサーのマススペクトル、又は特定の  $m/z$  の増減が生じたプリカーサーイオンのマススペクトルを取得する装置。二つ以上の質量分析部を備えた装置を用いる空間的タンデム質量分析及びイオントラップタイプの装置を用いる時間的タンデム質量分析がある。
- (3) **SRM 法**: 選択反応検出法(Selected Reaction Monitoring)(MRM 法: 多重反応検出法(Multiple Reaction Monitoring)ともいう。)。特定の**前駆イオン(Precursor Ion)**を第一のアナライザー(MS1)で選択し、そのイオンを不活性ガスと衝突させて活性化しフラグメンテーションを起こさせた後、生じた生成イオン(Product Ion)のいくつかを選んで第二のアナライザー(MS2)で分離、検出する方法。三次元四重極形(イオントラップ形)は、同一のアナライザー内で時間経過とともに連続的に行われる。

なお、本マニュアルにおいて、土壌マニュアルを参照している箇所、土壌マニュアル中の「GC-HRMS」は、「GC-HRMS、GC-QMS 又は、GC-MS/MS」と読み替えるものとする。

## 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(2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs に限る。)とする。

### 3 簡易測定法の適用範囲

簡易測定法を適用できる調査の種類を表-1に示す。各調査の具体的な進め方は「4.2 簡易測定法による調査の進め方」に示す。継続モニタリング調査<sup>注(1)</sup>には簡易測定法は適用しない。

表-1. ダイオキシン類簡易測定法を適用する土壌調査

調査分類		調査内容・目的等
地域概況調査	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。
	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。
	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に実施する調査。
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250 pg-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に実施する調査。
範囲確定調査 (概略範囲調査)		環境基準を超える地点が判明した場合、汚染の原因の推定とともに環境基準を超える平面及び深度の汚染範囲を絞り込むために実施する概略範囲調査。
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に実施する調査。

注(1) 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年～5年の期間をおいた後に実施する調査

## 4 土壌の調査方法

### 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、土壌マニュアルに定められている。土壌調査の進め方を図-1に示す。簡易測定法は、地域概況調査（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）、調査指標確認調査、範囲確定調査（概略範囲調査）及び対策効果確認調査に適用できる。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。

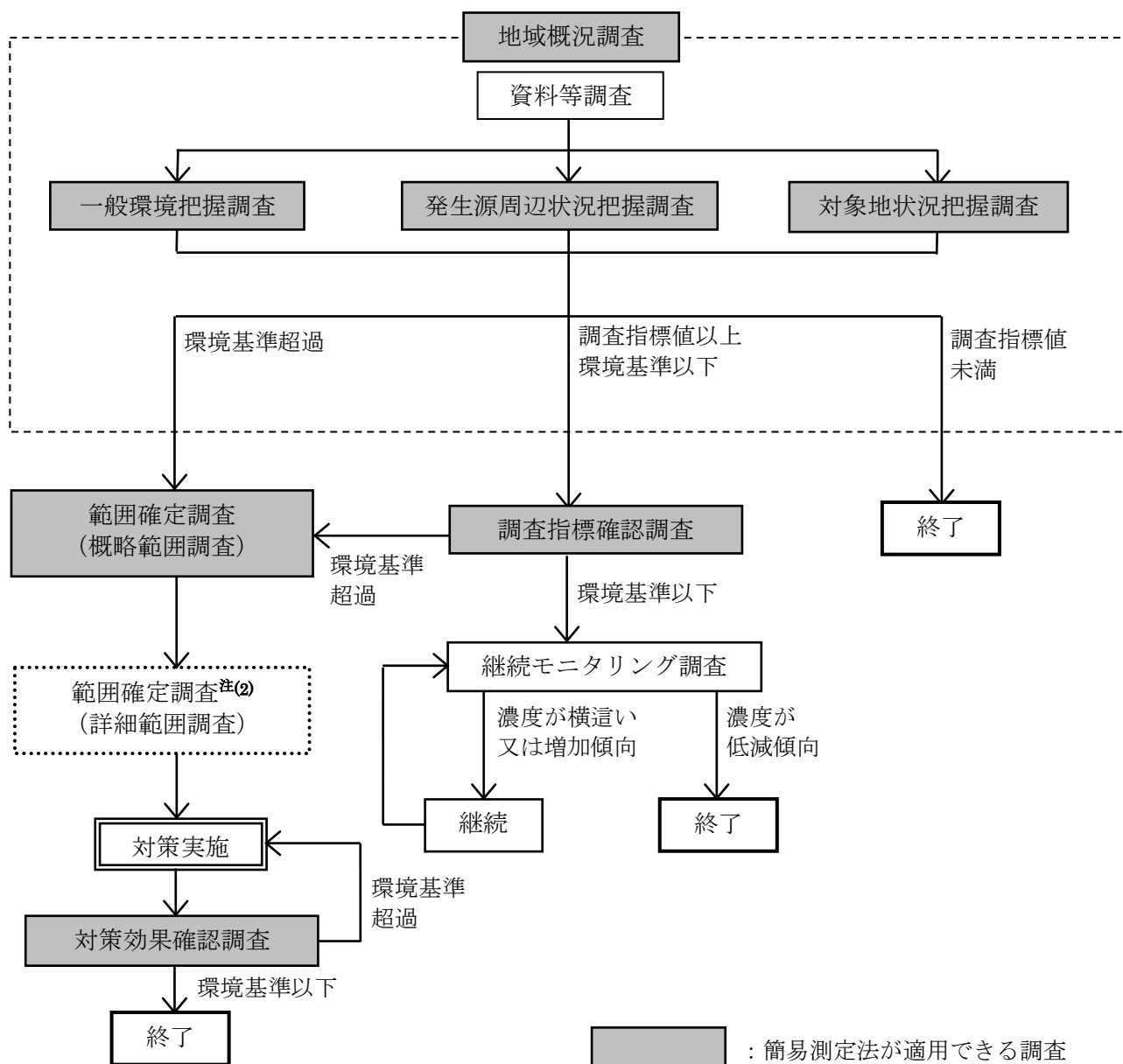


図-1. 土壌中のダイオキシン類の調査の進め方

注(2)簡易測定法による範囲確定調査（概略範囲調査）で汚染の範囲が確定できなかった場合に土壌マニュアル法により汚染範囲を確定する調査

## 4.2 簡易測定法による調査の進め方

### (1) 簡易測定法による調査の進め方

簡易測定法による調査の進め方を図-2、図-3に示す。なお、簡易測定法による測定結果の評価は、「12 結果の報告及び評価 (5) 結果の評価」に示す。

地域概況調査の結果が「調査指標値未満」以外であった場合は、土壌マニュアル法による再測定又は土壌マニュアル法若しくは簡易測定法による調査指標確認調査若しくは範囲確定調査を実施する。

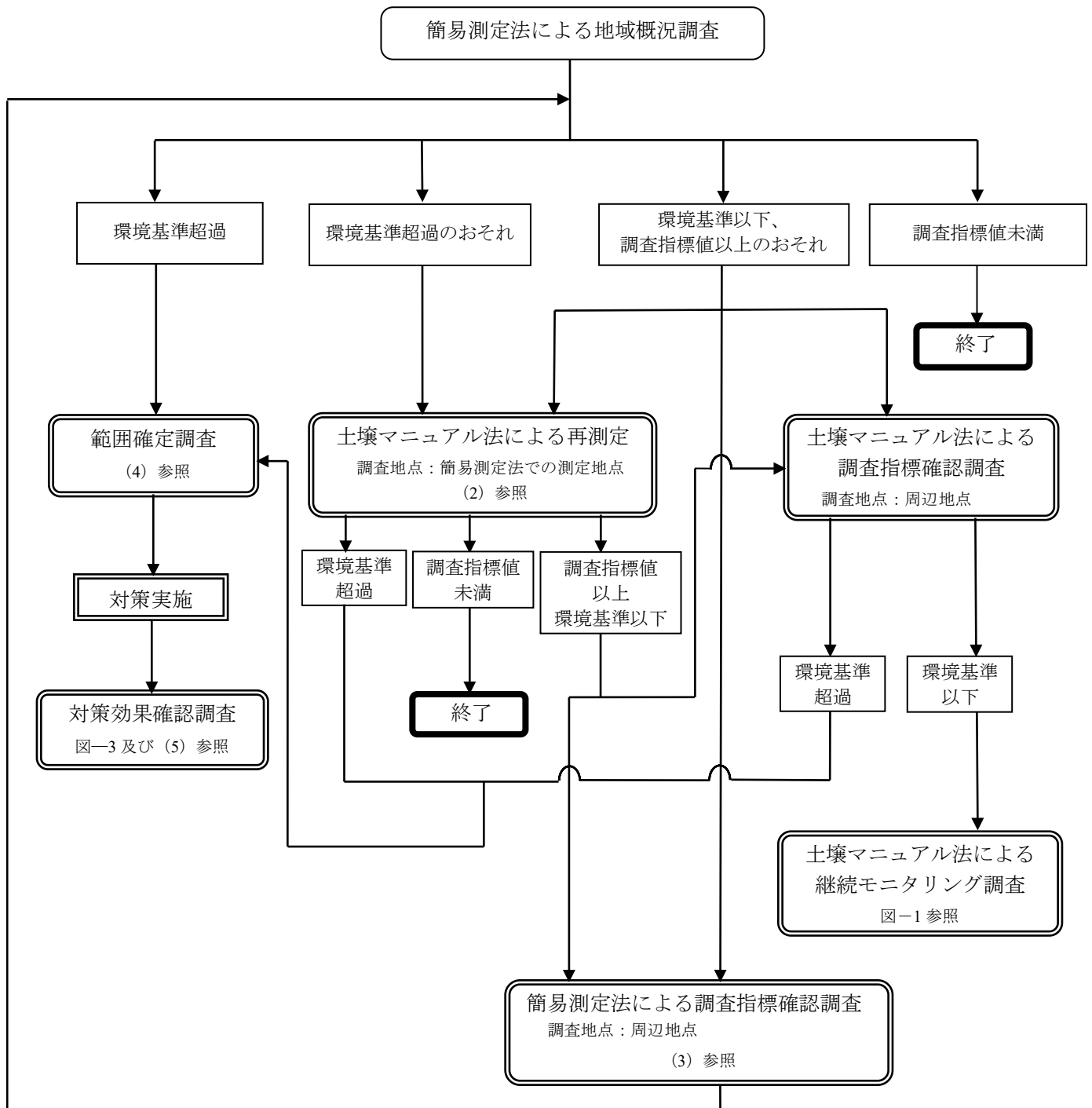


図-2. 簡易測定法による調査の流れ

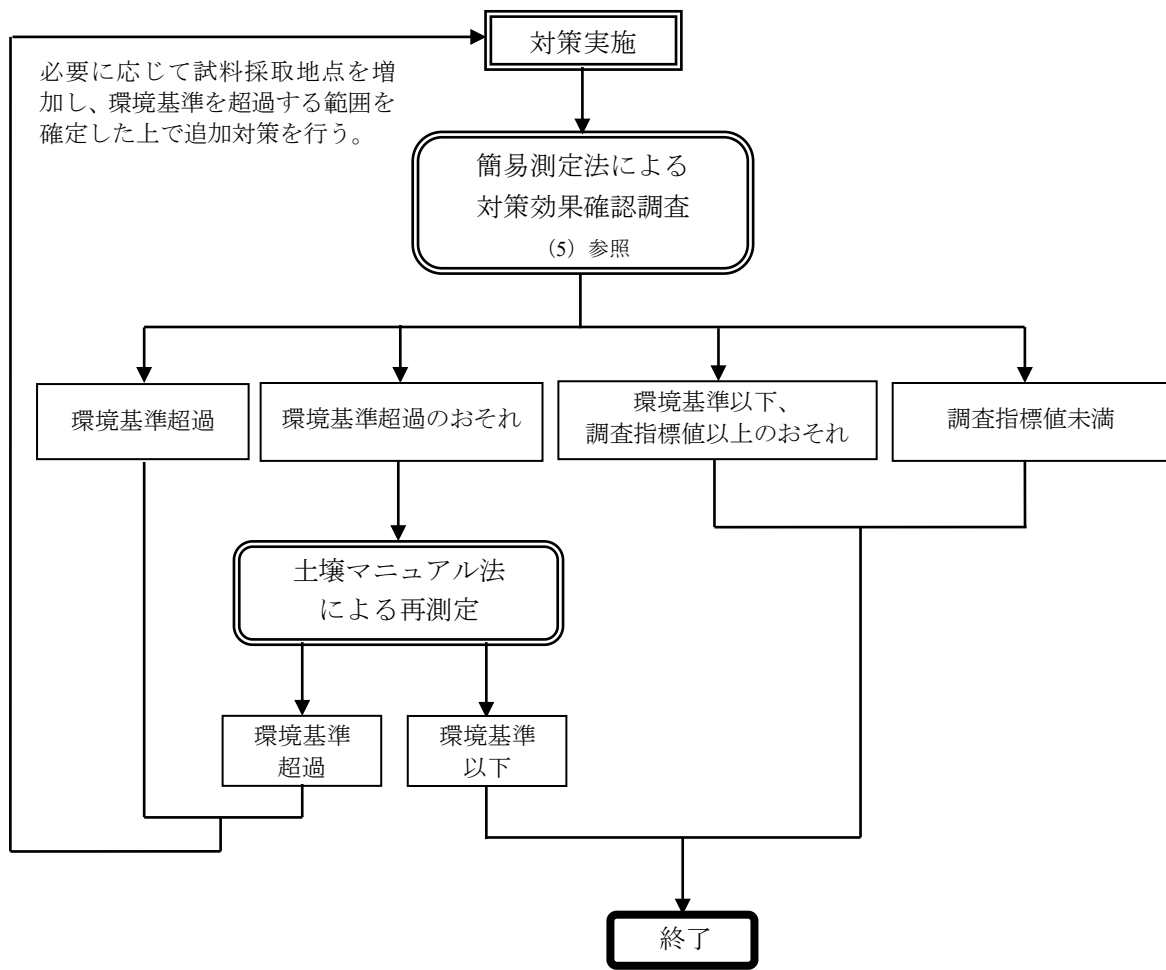


図-3. 簡易測定法による対策効果確認調査の流れ

## (2) 土壌マニュアル法での再測定

簡易測定法における地域概況調査及び調査指標確認調査の測定結果が「環境基準超過のおそれ」であった場合は、土壌マニュアル法による再測定を行う。再測定の結果が環境基準を超過した場合は範囲確定調査を行い、環境基準以下であったが調査指標値以上であった場合は、調査指標確認調査を行う。この場合の範囲確定調査及び調査指標確認調査は土壌マニュアル法と簡易測定法のどちらで行ってもよい。

また、簡易測定法における地域概況調査及び調査指標確認調査の測定結果が「環境基準以下、調査指標値以上のおそれ」であった場合は、簡易測定法若しくは土壌マニュアル法による調査指標確認調査又は土壌マニュアル法での再測定を行う。土壌マニュアル法で再測定した結果が調査指標値以上であった場合は、土壌マニュアル法又は簡易測定法による調査指標確認調査を行い、調査指標値未満であった場合は、調査を終了する。

## (3) 簡易測定法を使った調査指標確認調査の進め方の例

簡易測定法における地域概況調査の測定結果が「環境基準以下、調査指標値以上のおそれ」であった場合の簡易測定法による調査指標確認調査の一例を図-4に示す。調査実施地点は、25m～50mを目安に適切に距離をおいて設定する。

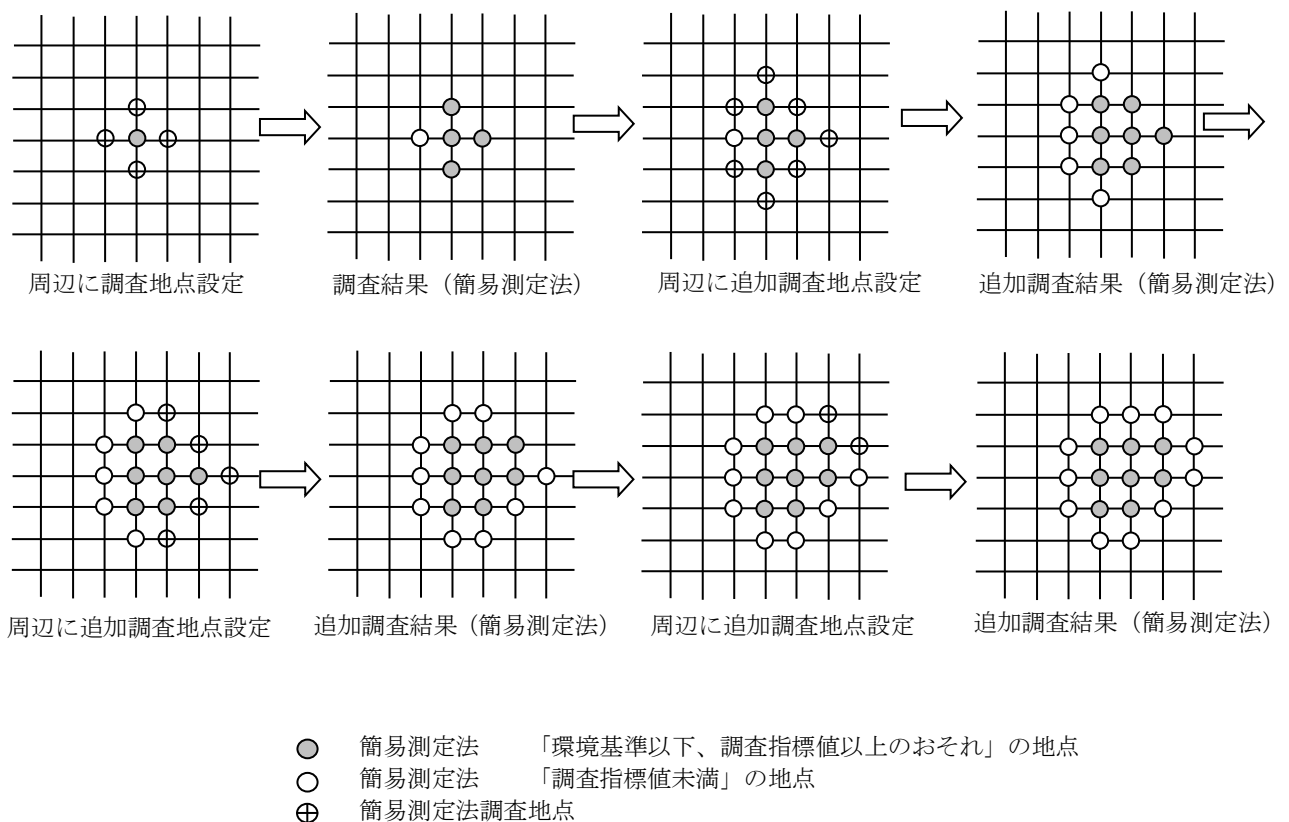


図-4. 「環境基準以下、調査指標値以上のおそれ」であった場合の簡易測定法による調査指標確認調査の実施例

## (4) 簡易測定法を使った範囲確定調査の進め方の例

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、簡易測定法又は土壌マニュアル法により範囲確定調査を実施する。簡易測定法を使った範囲確定調査の進め方の例を以下に示す。簡易測定法の結果が、「環境基準超過のおそれ」であった場合は、土壌マニュアル法により再測定する。

### a) 環境基準を超えるおそれがある範囲が推定できる場合の調査の進め方の例

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。図-5に概略調査から詳細調査への一例を示す。

土壌マニュアルでは、範囲確定調査の試料採取地点は概ね1,000 m<sup>2</sup>につき1地点程度を原則にして



いるが、簡易測定法による概略の範囲確定調査では、汚染範囲を絞り込むために、広い間隔で調査を行ってもよい。

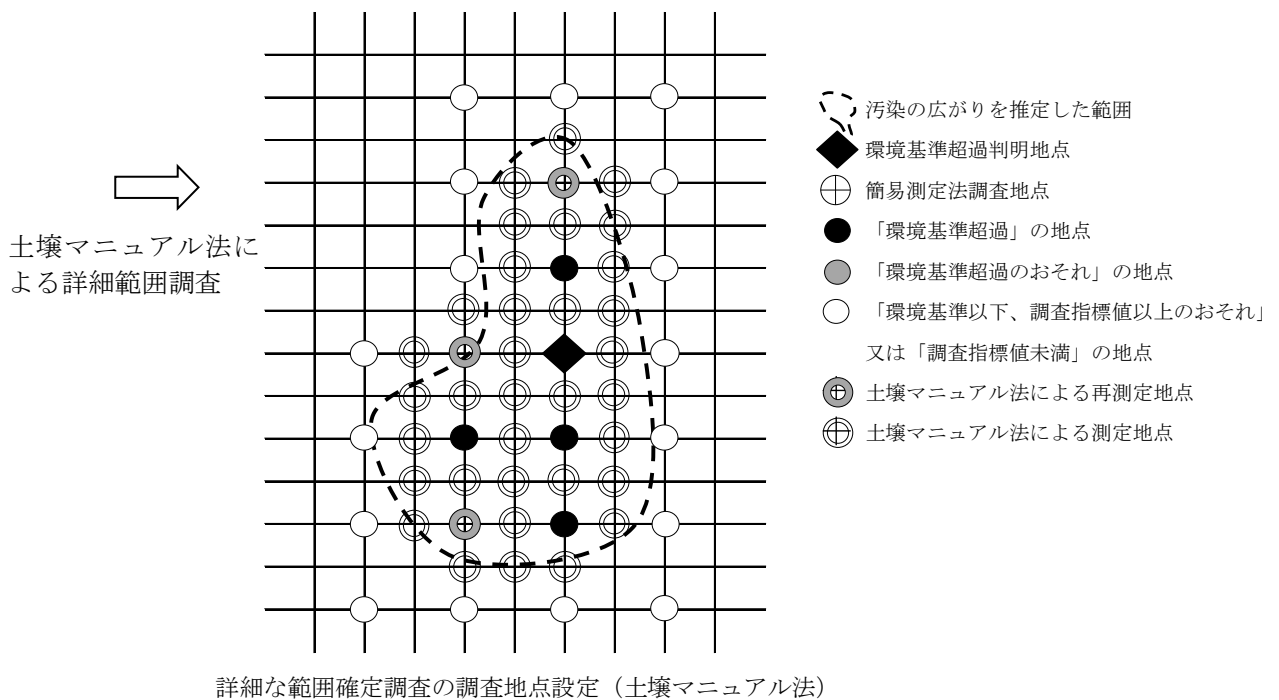
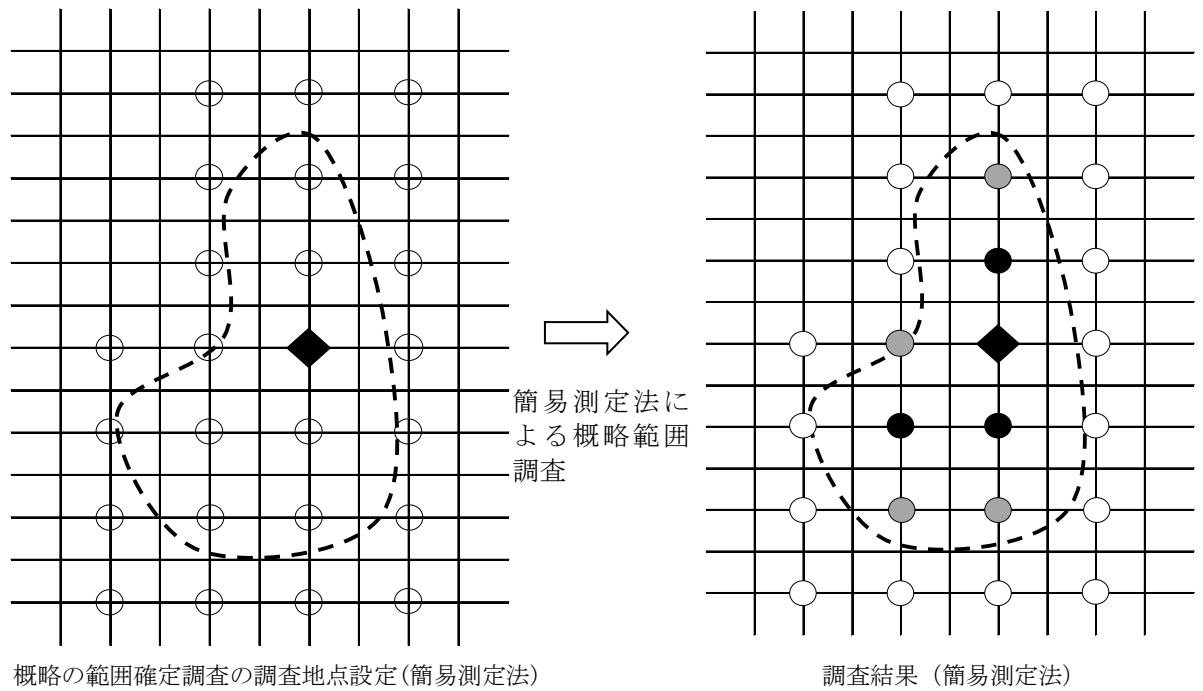


図-5. 環境基準を超えるおそれがある範囲が推定できる場合の概略範囲調査から詳細範囲調査への例

**b) 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の調査の進め方の例**

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には、図-6 のように環境基準を超過した地点の周辺を等間隔で調査する。調査の結果、汚染の広がりが認められる場合には、環境基準を満たすまで、調査範囲を広げて調査する。

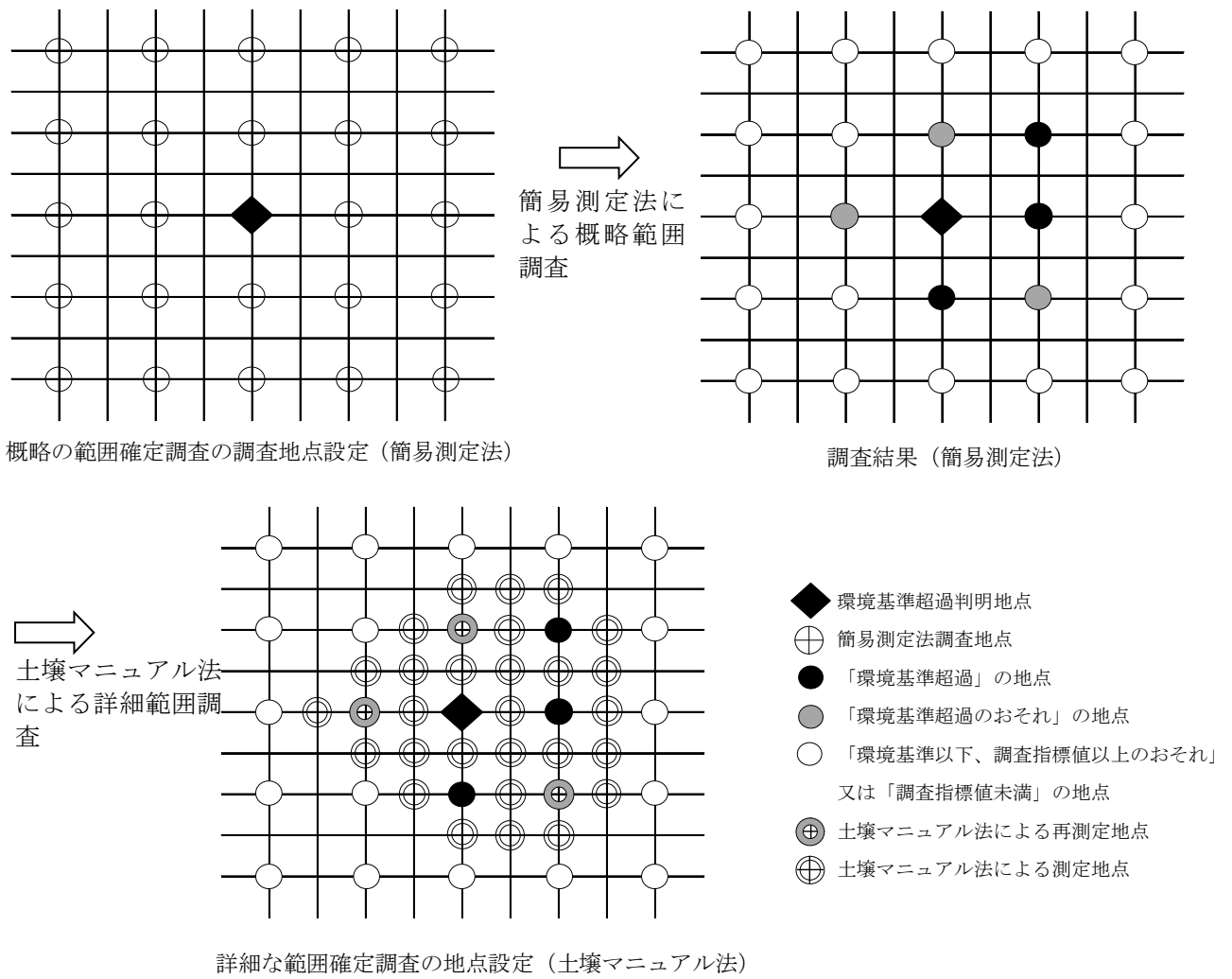


図-6. 環境基準を超えるおそれのある範囲が推定できない場合の概略範囲調査から  
詳細範囲調査の例

### c) 深さ方向の調査の進め方の例

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、図-7のように環境基準を超過した地点の深さ方向に調査する。さらに下層に汚染のおそれがある場合には、環境基準を満たすまで、適当な間隔をおいて深さ方向の調査を実施する。

資料等調査により汚染深度が推測できる場合は、汚染が推測できる深度を中心に調査を行う。

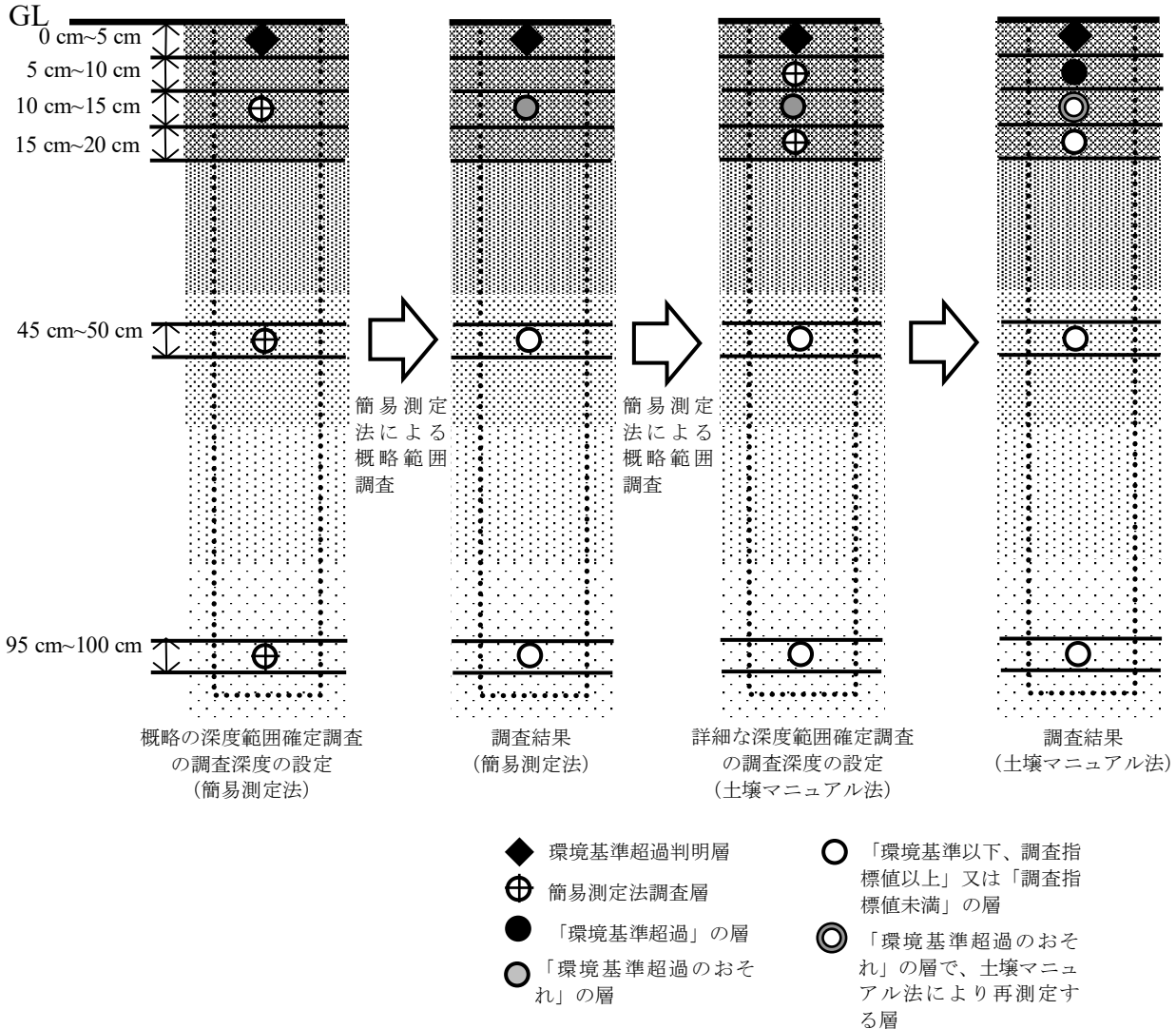


図-7. 深さ方向の調査の進め方の例

### d) 汚染範囲の確定

土壌マニュアルと同様に、環境基準を超過している地点と近接する環境基準を満たす地点との中間を境界として汚染の範囲を確定する。

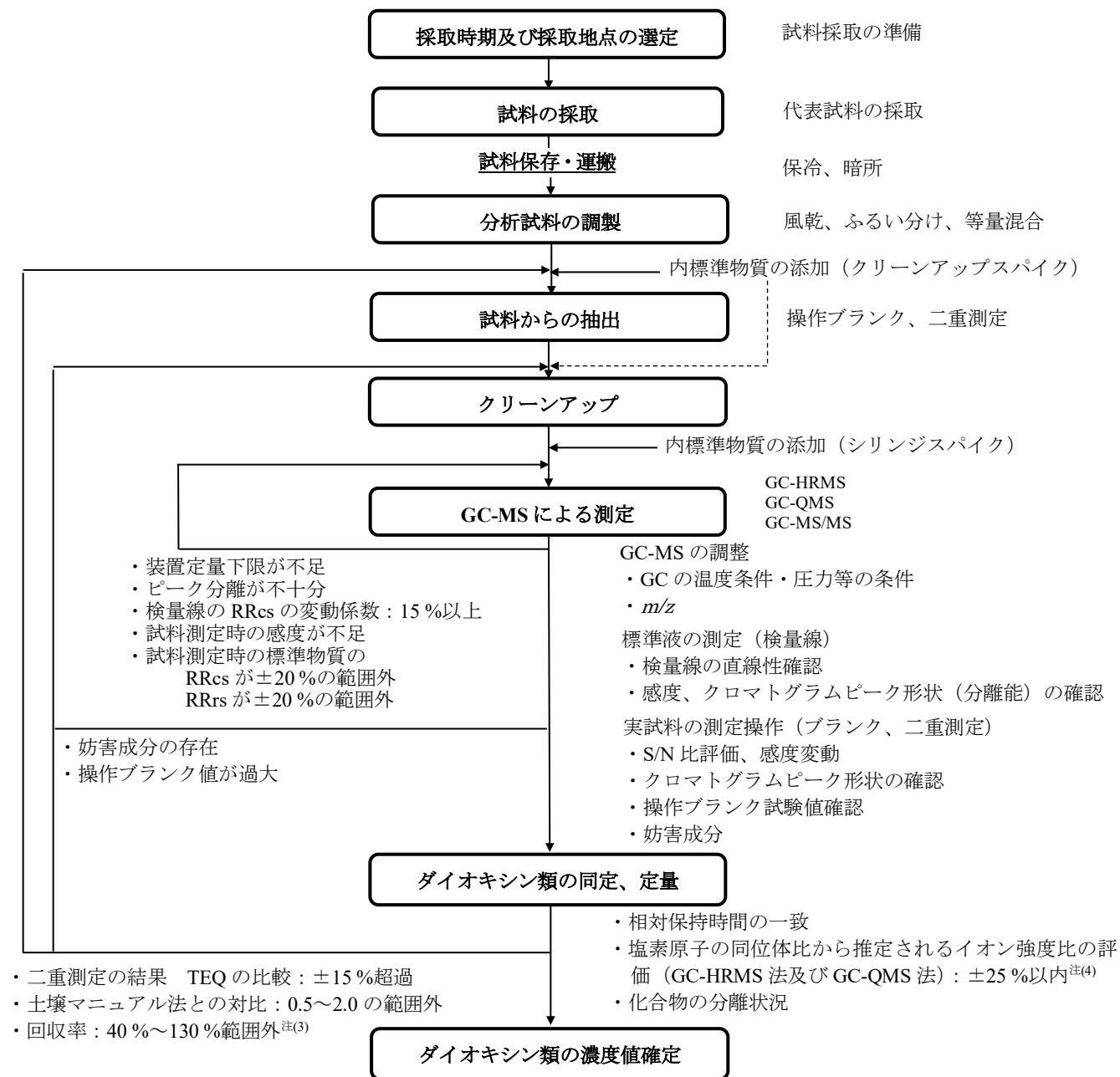
### (5) 簡易測定法を使った対策効果確認調査

簡易測定法による対策効果確認調査の結果が「環境基準超過」であった場合は、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う。「環境基準超過のおそれ」であった場合は、土壌マニュアル法により再測定し、その結果が環境基準を超過していた場合には、同様に追加調査、追加対策を行う。「調査指標値未満」又は「環境基準以下、調査指標値以上のおそれ」であった場合は、環境基準を満たしていることから、対策を終了する。

## 5 ダイオキシン類簡易測定法の概要

### 5.1 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ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) で同定、定量する。簡易測定法として、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-HRMS)、ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計 (GC-QMS) 及びガスクロマトグラフタンデム質量分析計 (GC-MS/MS) を用いることができる。この試料採取から測定の流れを図-8 に示す。



注(3)GC-QMS・GC-MS/MS法については、すべての化合物が40%~130%の範囲に入ることが基本であるが、回収率の平均が40%~130%の範囲外の際に、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い、再測定する。

注(4)GC-QMS法においては±25%を超過しても実測濃度を算出するが、±25%超過した化合物の実測濃度にTEFを乗じて算出した毒性等量の合計がトータルの毒性等量に対し50%を超えた場合には、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い再測定する。

## 5.2 目標定量下限

2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs の目標定量下限は表-2 に示すとおりとする。

表-2. ダイオキシン類の目標定量下限<sup>注(5)</sup>

	TeCDDs,PeCDDs TeCDFs,PeCDFs	HxCDDs,HpCDDs HxCDFs,HpCDFs	OCDD OCDF	Co-PCBs
目標定量下限	8 pg/g	16 pg/g	40 pg/g	16 pg/g

注(5) 土壤マニュアルの目標定量下限変更に伴い見直しを行った。

## 6 試料採取及び分析試料の調製

試料採取及び分析試料の調製は土壤マニュアルと同様の操作を行うものとする。

## 7 試料からの抽出・クリーンアップ

試料からの抽出及びクリーンアップは土壤マニュアルに準じて行う。抽出は土壤マニュアルで定めている方法に加え、高圧流体抽出を用いることができる。

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操作又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフ操作を行い、その後、活性炭カラムクロマトグラフ操作、アルミナカラムクロマトグラフ操作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操作 (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) 法、ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計 (GC-QMS) 法又はガスクロマトグラフタンデム質量分析計 (GC-MS/MS) 法によって測定する。

図-9 に試料の前処理から測定までのフローの例を示す。

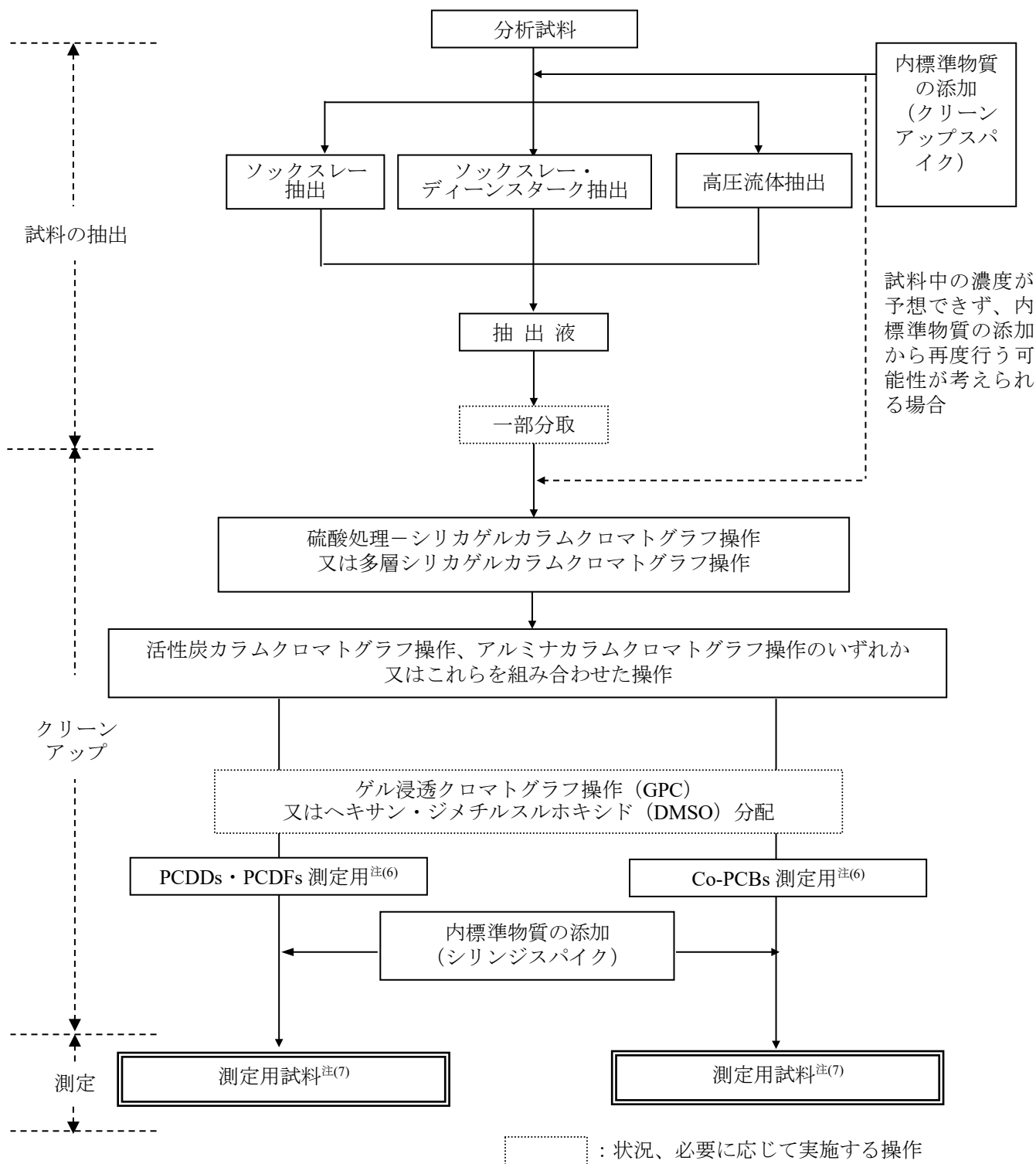


図-9. 試料の前処理から測定までのフローの例

注(6)GC-HRMS 測定の場合、PCDDs・PCDFs 画分と Co-PCBs 画分を同時に溶出する条件で溶出し、濃縮して PCDDs・PCDFs・Co-PCBs の混合測定用溶液を調製してもよい。

注(7)GC-HRMS 測定の場合、PCDDs・PCDFs 測定用と Co-PCBs 測定用の一定量から、その一部を正確に分取・混合・濃縮し、PCDDs・PCDFs・Co-PCBs の混合測定用溶液を調製してもよい。

## 7.1 高圧流体抽出

本マニュアルでは、土壌マニュアルで定められている抽出法のほか、高圧流体抽出も抽出法として選択できる。

### (1) 試薬

以下に示す試薬以外は、土壌マニュアルと同様のものを使用する。

- a) 珪藻土：測定に支障のない品質のもの。
- b) ガラスビーズ：測定に支障のない品質のもの。

### (2) 器具及び装置

以下に示す装置以外は、土壌マニュアルと同様のものを使用する。

高圧流体抽出装置：高温、高圧下で溶媒による抽出ができる装置。

### (3) 試料の抽出

#### a) 内標準物質の添加

内標準物質は土壌マニュアルと同様に添加する。

#### b) 高圧流体抽出<sup>注(8)</sup>

試料<sup>注(9)</sup>10 g～50 g をはかり取り、内標準物質を添加し、抽出容器に入れ<sup>注(10)</sup>、高圧流体抽出装置に装着し、抽出を行う。高圧流体抽出装置の抽出条件を次に示す。

[高圧流体抽出装置の抽出条件]

容器	:	33 mL 又は 99 mL
溶媒 <sup>注(11)</sup>	:	アセトン及びトルエン
温度	:	アセトン 120 °C、トルエン 160 °C
加熱時間	:	アセトン 6 min、トルエン 8 min
圧力	:	10.3 MPa (1,500 psi)
時間	:	20 min
抽出サイクル	:	アセトン 1 回及びトルエン 2 回
溶媒置換総量	:	抽出容器の 50 %
窒素パーシ	:	0.9 MPa for 150 sec

注(8) 高速溶媒抽出、高圧液体抽出又は加圧流体抽出とも呼ばれている。

注(9) 湿試料の場合は、試料に約 3 倍量～10 倍量の珪藻土を加え、良く攪拌しながら、脱水、粉末状にする。珪藻土の量は試料の水分量に応じて調製する。また、珪藻土の代わりにシリカゲルを用いてもよい。

注(10) 抽出容器の下部にろ紙を敷き、次に試料を入れ、空隙が生じる場合には、ガラスビーズを充てんする。

注(11) 風乾試料の場合、抽出溶媒はトルエンだけでもよい。この場合、抽出サイクルはトルエン 2 回でよい。

## 7.2 クリーンアップ

クリーンアップは、土壌マニュアルと同様の操作を行う。

ただし、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-HRMS) 法の場合は、土壌マニュアルで定められている試料調製のほか、以下の操作により試料を調製してもよい。

- ・土壌マニュアルの活性炭シリカゲルカラムクロマトグラフ操作、アルミナカラムクロマトグラフ操作において、PCDDs・PCDFs 画分と Co-PCBs 画分をそれぞれ一定量とし、その一部を正確に分取・混合・濃縮し、PCDDs・PCDFs・Co-PCBs の混合測定用溶液を調製する。
- ・土壌マニュアルの活性炭シリカゲルカラムクロマトグラフ操作、アルミナカラムクロマトグラフ操作において、PCDDs・PCDFs 画分及び Co-PCBs 画分を同時に溶出する条件で溶出し、濃縮して PCDDs・PCDFs・Co-PCBs の混合測定用溶液を調製する。
- ・混合測定用溶液には、土壌マニュアルと同様にシリンジスパイクを添加する。

## 8 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-HRMS) 法

調製された PCDDs・PCDFs 測定用試料、Co-PCBs 測定用試料のそれぞれを GC-HRMS 法で測定、あるいは、PCDDs・PCDFs・Co-PCBs の混合測定用試料を GC-HRMS 法で測定する。

### 8.1 試薬

測定に用いる試薬は、次による。

- (1) **校正用標準試料**：ペルフルオロケロセン (PFK)、ペルフルオロトリブチルアミン (PFTBA) 等の質量分析用高沸点成分を使用する。校正用標準試料は使用する質量分析計に適切なものを用いる。
- (2) **標準物質**：内標準法によるダイオキシン類の同定及び定量に使用する標準物質を表-3 に示す。
- (3) **内標準物質**：クリーンアップスパイク及びシリンジスパイクに用いる内標準物質。炭素又は塩素原子が  $^{13}\text{C}$  又は  $^{37}\text{Cl}$  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-4 に内標準物質の一例を示す。
- (4) **検量線作成用標準液**：GC-MS の定量範囲内で、4 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 0.2 ng/mL～1,000 ng/mL 程度）を調製する。検量線作成用標準液には、「7 試料からの抽出・クリーンアップ」で用いたクリーンアップスパイク及びシリンジスパイクの内標準物質 (TeCDDs～HpCDDs、TeCDFs～HpCDFs 及び Co-PCBs を 50 ng/mL～100 ng/mL、OCDD 及び OCDF では 100 ng/mL～200 ng/mL の濃度程度になるように) を混合する。

表-3. ダイオキシン類の同定及び定量に使用する標準物質

		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	OCDD	OCDF	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'-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-4. 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	$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD	OCDF	$^{13}\text{C}_{12}$ -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) **			

注\* ノンオルト体を示す。

注\*\* モノオルト体を示す。

## 8.2 器具及び装置

測定に用いる器具及び装置は、以下による。

### (1) ガスクロマトグラフ (GC)

#### a) 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-クライオフォーカス方式等）で、注入口温度が 250 °C～300 °C で使用可能なもの。採用する装置と注入法の組合せから支障なく測定できることをあらかじめ確認しておくこと。

#### b) カラム

内径 0.25 mm～0.30 mm、長さ 30 m 以上の溶融シリカ製のキャピラリーカラムを使用する。

GC カラムは次の要件を満足すること。

- ① 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-位塩素置換異性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であること。
- ② 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、四から十塩素化物のすべての 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であること。
- ③ 無極性の液相でないこと。
- ④ PCDDs 及び PCDFs の測定において、すべての 2,3,7,8-位塩素置換異性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、土壌マニュアル法では溶出順位の異なる 2 種以上のカラムを併用することとしているが、簡易測定法では①と③の要件を満たす 1 種類のカラムを用いてもよい。また、PCDDs 及び PCDFs と Co-PCBs の混合測定用試料を GC-HRMS 法で測定する場合には、①～③の要件を満たすカラムを選択すること。なお、これらの場合には、重なる化合物の影響が小さいカラムを選択すること。

#### c) キャリヤーガス

純度 99.999 % (v/v) 以上の高純度ヘリウム。

#### d) カラム恒温槽

温度制御範囲が 50 °C～350 °C 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の可能なもの。

### (2) 質量分析計 (MS)

#### a) 方式：二重収束方式

#### b) 分解能：10,000 以上（10 %谷）

#### c) イオン検出方法：校正用標準試料を用いたロックマス方式による選択イオンモニタリング (SIM) 法

#### d) イオン化方法：電子イオン化 (EI) 法

#### e) イオン源温度：250 °C～340 °C

#### f) イオン化電流：500 $\mu$ A～1,000 $\mu$ A

#### g) 電子加速電圧：30 V～70 V

#### h) イオン加速電圧：5 kV～10 kV

## 8.3 測定操作

### (1) 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計の分析条件の設定

#### 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

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-位塩素置換異性体のピークが他の化合物のものと良好な分離が得られ、各塩素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

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、各塩素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。

なお、PCDDs 及び PCDFs と Co-PCBs の混合測定用試料を測定する場合においては、①と②を満足する条件とする。

## b) 質量分析計 (MS)

質量分析計は、次のことを満足する条件に設定する。

### ① 分解能

分解能は 10,000 以上とする。

### ② 検出方法

選択イオンモニタリング (SIM) 法を用いる。

### ③ $m/z$

試料及び内標準物質の塩素化物ごとに、2 つ以上の選択イオンの  $m/z$  とロックマス用の選択イオンの  $m/z$  を設定する<sup>注(12)</sup>。PCDDs 及び PCDFs と Co-PCBs の設定  $m/z$  の例を表-5 に示す。

注(12) キャピラリーカラムによって得られるピークの幅は 5 秒～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モニタリング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。

## (2) 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、校正用標準試料 (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。

## (3) SIM 測定操作

GC-HRMS を「8.3(1)高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計の分析条件の設定」の条件に設定し、「8.3(2)質量分析計の調整」の調整を行う。

校正用標準試料を導入し、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<sup>注(13)</sup>。

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及び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。

設定した各塩素化物の  $m/z$  についてクロマトグラムを記録する。

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校正用標準試料のモニターチャンネル、妨害成分の有無、2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs の分離の確認を行う<sup>注(14)</sup>。

注(13) 校正用標準試料は導入量が多いとノイズの原因になる。

注(14) 校正用標準試料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、校正用標準試料のモニターチャンネルの  $m/z$  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、あるいは校正用標準試料のモニターチャンネルの  $m/z$  を変更する等して、校正用標準試料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。

表-5. GC-HRMS 測定における設定  $m/z$  (モニターイオン) \*の例

測定対象物質	$M^+$	$(M+2)^+$	$(M+4)^+$
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	—
$^{37}Cl_4$ -TeCDDs	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
校正用標準試料 (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)		

注\*  $m/z$  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。

注\*\* この  $m/z$  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操作による GC-HRMS 測定用溶液の調製方法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  $m/z$  を用いてはならない。

## 8.4 検量線の作成

### (1) 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、「8.3(3)SIM 測定操作」の測定操作を行って、全濃度領域で合計 12 点以上のデータを得る。

### (2) 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  $m/z$  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 $\pm 25\%$ 以内で一致することを確認する。

### (3) 相対感度の算出

- a) 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用内標準物質に対するピーク面積の比と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 (RR<sub>cs</sub>) は、式 (A) によって測定ごとに求め、得られたデータを平均する。この場合、データの変動係数が 15 %を超える化合物があってはならない。変動係数が 15 %を超える場合は、GC-MS 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。

$$RR_{cs} = \frac{Q_{cs}}{Q_s} \times \frac{A_s}{A_{cs}} \quad (A)$$

ここで、

RR<sub>cs</sub> : 測定対象物質のクリーンアップスパイク用内標準物質との相対感度

Q<sub>cs</sub> : 標準液中のクリーンアップスパイク用内標準物質の量 (pg)

Q<sub>s</sub> : 標準液中の測定対象物質の量 (pg)

A<sub>s</sub> : 標準液中の測定対象物質のピーク面積

A<sub>cs</sub> : 標準液中のクリーンアップスパイク用内標準物質のピーク面積

- b) 同様に、クリーンアップスパイク用内標準物質のシリンジスパイク用内標準物質に対する相対感度 (RR<sub>rs</sub>) を式 (B) によって算出する。クリーンアップスパイク用内標準物質とシリンジスパイク用内標準物質との対応を表-6 に示す。

$$RR_{rs} = \frac{Q_{rs}}{Q_{cs}} \times \frac{A_{cs}}{A_{rs}} \quad (B)$$

ここで、

RR<sub>rs</sub> : クリーンアップスパイク用内標準物質のシリンジスパイク用内標準物質との相対感度

Q<sub>rs</sub> : 標準液中のシリンジスパイク用内標準物質の量 (pg)

Q<sub>cs</sub> : 標準液中のクリーンアップスパイク用内標準物質の量 (pg)

A<sub>cs</sub> : 標準液中のクリーンアップスパイク用内標準物質のピーク面積

A<sub>rs</sub> : 標準液中のシリンジスパイク用内標準物質のピーク面積

表-6. クリーンアップスパイク用内標準物質とシリンジスパイク用内標準物質との対応の例

クリーンアップスパイク用内標準物質	対応するシリンジスパイク用内標準物質
$^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TeCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8-TeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PeCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,7,8-PeCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,4,7,8-PeCDF	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4-TeCDF 又は $^{13}\text{C}_{12}$ -1,3,6,8-TeCDF
$^{13}\text{C}_{12}$ -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 $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8-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 $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF $^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD $^{13}\text{C}_{12}$ -OCDF	$^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,7-HxCDD 又は $^{13}\text{C}_{12}$ -1,2,3,4,6,8,9-HpCDF
$^{13}\text{C}_{12}$ -3,3',4,4'-TeCB (#77) * $^{13}\text{C}_{12}$ -3,4,4',5-TeCB (#81) * $^{13}\text{C}_{12}$ -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) * $^{13}\text{C}_{12}$ -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) * $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (#189) **	$^{13}\text{C}_{12}$ -2,2',5,5'-TeCB (#52) 又は $^{13}\text{C}_{12}$ -2,3',4',5-TeCB (#70)

注\* ノンオルト体を示す。

注\*\* モノオルト体を示す。

## 8.5 試料の測定

### (1) 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、「8.3(3) SIM 測定操作」に従って測定し、各化合物のそれに対応したクリーンアップスパイク用内標準物質に対する相対感度（RRcs）を求める。さらに、クリーンアップスパイク用内標準物質のそれに対応したシリンジスパイク用内標準物質に対する相対感度（RRrs）を求める。

これらの相対感度が、「8.4(3)相対感度の算出」で求めた検量線作成時の相対感度（RRcs 及び RRrs）に対して±20%以内であれば、「8.4(3)相対感度の算出」で求めた相対感度を用いて測定を行う。これを超えて相対感度の変動する場合は、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時間が±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。

### (2) 試料測定

調製した GC-MS 測定用試料を「8.3(3) SIM 測定操作」に従って測定し、各塩素化物の  $m/z$  についてクロマトグラムを得る。

## 9 ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計（GC-QMS）法

土壤マニュアルと同様の操作を行い、調製した PCDDs・PCDFs 測定用試料、Co-PCBs 測定用試料のそれぞれを測定する。

### 9.1 試薬

測定に用いる試薬は、「8.1 試薬」と同様のものを使用する。

## 9.2 器具及び装置

測定に用いる器具及び装置は、以下による。

### (1) ガスクロマトグラフ (GC)

ガスクロマトグラフは、「8.2(1)ガスクロマトグラフ (GC)」と同様のものを使用する。

### (2) 質量分析計 (MS)

- a) 方式：四重極方式
- b) イオン検出方法：選択イオンモニタリング (SIM) 法
- c) イオン化方法：電子イオン化 (EI) 法
- d) イオン源温度：機器の最適条件にする。
- e) 電子加速電圧：70 V

## 9.3 測定操作

### (1) ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計の分析条件の設定

#### 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、「8.3(1)a)①」及び「8.3(1)a)②」と同じである。

#### b) 質量分析計 (MS)

質量分析計は、次のことを満足する条件に設定する。

##### ① 検出方法

選択イオンモニタリング (SIM) 法を用いる。

##### ② $m/z$

試料及び内標準物質の塩素化物ごとに、2 つ以上の選択イオンの  $m/z$  を設定する<sup>注(12)</sup>。PCDDs 及び PCDFs と Co-PCBs の設定  $m/z$  の例を表-7 に示す。

### (2) 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、校正用標準試料を導入し、質量校正用プログラムにより行う。通常、一連の測定の最初に行う。

### (3) SIM 測定操作

測定操作は、次による。

- a) GC-QMSを「9.3(1)ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計の分析条件の設定」の条件に設定し、「9.3(2)質量分析計の調整」の調整を行う。
- b) 設定した各塩素化物に対応する $m/z$ について、クロマトグラムを記録する。
- c) 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妨害成分の有無、2,3,7,8-位塩素置換異性体及びCo-PCBsの分離状況の確認を行う。

表-7. GC-QMS 測定における設定  $m/z$  (モニターイオン) \*の例

測定対象物質	$M^+$	$(M+2)^+$	$(M+4)^+$
TeCDDs	320	322	—
PeCDDs	354	356	358
HxCDDs	388	390	392
HpCDDs	—	424	426
OCDD	—	458	460
TeCDFs	304	306	—
PeCDFs	—	340	342
HxCDFs	—	374	376
HpCDFs	—	408	410
OCDF	440	442	444
$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCDDs	332	334	—
$^{37}\text{Cl}_4$ -TeCDDs	328	—	—
$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCDDs	366	368	370
$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCDDs	400	402	404
$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCDDs	—	436	438
$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD	—	470	472
$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCDFs	316	318	—
$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCDFs	—	352	354
$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCDFs	—	386	388
$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCDFs	—	420	422
$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDF	452	454	456
TeCBs	290	292	294
PeCBs	324	326	328
HxCBs	358	360	362
HpCBs	392	394	396
$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCBs	302	304	306
$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCBs	336	338	340
$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCBs	370	372	374
$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCBs	404	406	408

注\*  $m/z$  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。



## 9.4 検量線の作成

### (1) 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-QMS に注入し、「9.3(3) SIM 測定操作」の測定操作を行って、全濃度領域で合計 12 点以上のデータを得る。

### (2) 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  $m/z$  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 $\pm 25\%$ 以内で一致することを確認する。

### (3) 相対感度の算出

相対感度は、「8.4(3)相対感度の算出」と同様に算出する。

## 9.5 試料の測定

### (1) 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、「9.3(3) SIM 測定操作」に従って測定し、各化合物のそれに対応したクリーンアップスパイク用内標準物質に対する相対感度（RRcs）を求め、さらに、クリーンアップスパイク用内標準物質のそれに対応したシリジンスパイク用内標準物質に対する相対感度（RRrs）を求め、

これらの相対感度が、「9.4(3)相対感度の算出」で求めた検量線作成時の相対感度（RRcs 及び RRrs）に対して $\pm 20\%$ 以内であれば、「9.4(3)相対感度の算出」で求めた相対感度を用いて測定を行う。これを超えて相対感度の変動する場合は、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 $\pm 5\%$ 以上、内標準物質との相対保持時間が $\pm 2\%$ 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。

### (2) 試料測定

調製した GC-MS 測定用試料を「9.3(3) SIM 測定操作」に従って測定し、各塩素化物の  $m/z$  についてクロマトグラムを得る。

## 10 ガスクロマトグラフタンデム質量分析計（GC-MS/MS）法

土壤マニュアルと同様の操作を行い、調製した PCDDs・PCDFs 測定用試料、Co-PCBs 測定用試料のそれぞれを測定する。

### 10.1 試薬

測定に用いる試薬は、「8.1 試薬」と同様のものを使用する。

### 10.2 器具及び装置

測定に用いる器具及び装置は、以下による。

#### (1) ガスクロマトグラフ（GC）

ガスクロマトグラフは、「8.2(1)ガスクロマトグラフ（GC）」と同様のものを使用する。

#### (2) 質量分析計（MS）

a) 方式：タンデム質量分析計（MS/MS）

b) イオン検出方法：選択反応検出（SRM）法

c) イオン化方法：電子イオン化（EI）法を用い、前駆イオンの分解では、衝突誘起解離（CID）<sup>注(15)</sup>を用いる。

d) イオン源温度：機器の最適条件にする。

e) 電子加速電圧：70V

注(15) 衝突誘起解離（CID）とは、運動エネルギーを持ったイオンがターゲットガスと衝突し、衝突エネルギーの一部が内部エネルギーに変換され励起することでイオンの解離が起こる現象。

### 10.3 測定操作

#### (1) ガスクロマトグラフタンデム質量分析計の分析条件の設定

##### 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、「8.3(1)a)①」及び「8.3(1)a)②」

と同じである。

#### b) 質量分析計 (MS)

質量分析計は、次のことを満足する条件に設定する。

##### ① 検出方法

選択反応検出 (SRM) 法を用いる。

##### ② $m/z$

定量対象化合物及び内標準物質の塩素化物ごとに、先駆イオンを選択し、先駆イオンに対応する2つ以上の生成イオンを設定する<sup>註(12)</sup>。PCDDs 及び PCDFs の設定  $m/z$  の例を表-8 に、Co-PCBs の設定  $m/z$  の例を表-9 にそれぞれ示す。

#### (2) 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、校正用標準試料を導入し、質量校正用プログラムにより行う。通常、一連の測定の最初に行う。

#### (3) SRM 測定操作

測定操作は、次による。

- a) GC-MS/MSを「10.3(1)ガスクロマトグラフタンデム質量分析計の分析条件の設定」の条件に設定し、「10.3(2)質量分析計の調整」の調整を行う。
- b) 設定した各塩素化物に対応する $m/z$ について、クロマトグラムを記録する。
- c) 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妨害成分の有無、2,3,7,8-位塩素置換異性体及びCo-PCBsの分離状況の確認を行う。

表-8. GC-MS/MS 測定における設定  $m/z$  (モニターイオン) \*の例  
(PCDDs/PCDFs)

	測定対象物質	先駆イオン	生成イオン	
分析対象物質	TeCDDs	322	257	259
	PeCDDs	356	291	293
	HxCDDs	390	325	327
	HpCDDs	424	359	361
	OCDD	460	395	397
	TeCDFs	306	241	243
	PeCDFs	340	275	277
	HxCDFs	374	309	311
	HpCDFs	408	343	345
	OCDF	444	379	381
内標準物質	$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCDDs	334	268	270
	$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCDDs	368	302	304
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCDDs	402	336	338
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCDDs	436	370	372
	$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD	472	406	408
	$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCDFs	318	252	254
	$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCDFs	352	286	288
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCDFs	386	320	322
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCDFs	420	354	356
	$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDF	456	390	392

注\*  $m/z$  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。

表-9. GC-MS/MS 測定における設定  $m/z$  (モニターイオン) \*の例  
(Co-PCBs)

	測定対象物質	先駆イオン	生成イオン	
分析対象物質	TeCBs	292	220	222
	PeCBs	326	254	256
	HxCBs	360	288	290
	HpCBs	394	322	324
内標準物質	$^{13}\text{C}_{12}$ -TeCBs	304	232	234
	$^{13}\text{C}_{12}$ -PeCBs	338	266	268
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HxCBs	372	300	302
	$^{13}\text{C}_{12}$ -HpCBs	406	334	336

注\*  $m/z$  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。

## 10.4 検量線の作成

### (1) 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-MS/MSに注入し、「10.3(3)SRM測定操作」の測定操作を行って、全濃度領域で合計12点以上のデータを得る。

### (2) 相対感度の算出

相対感度は、「8.4(3)相対感度の算出」と同様に算出する。

## 10.5 試料の測定

### (1) 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、「10.3(3)SRM測定操作」に従って測定し、各化合物のそれに対応したクリーンアップスパイク用内標準物質に対する相対感度(RRcs)を求める。さらに、クリーンアップスパイク用内標準物質のそれに対応したシリンジスパイク用内標準物質に対する相対感度(RRrs)を求める。

これらの相対感度が、「10.4(2)相対感度の算出」で求めた検量線作成時の相対感度(RRcs及びRRrs)に対して±20%以内であれば、「10.4(2)相対感度の算出」で求めた相対感度を用いて測定を行う。これを超えて相対感度が変動する場合は、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時間が±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。

### (2) 試料測定

調製したGC-MS測定用試料を「10.3(3)SRM測定操作」に従って測定し、各塩素化物の $m/z$ についてクロマトグラムを得る。

## 11 同定及び定量

### 11.1 ピークの検出

#### (1) シリンジスパイク用内標準物質の確認

測定用試料中のシリンジスパイク用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用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<sup>注(16)</sup>。

注(16) GC-MSへの注入が正常に行われていることを確認することが目的であるので、測定用試料を希釈した場合など、割合に応じて注入されていることが確認できればよい。

#### (2) 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、次の同定及び定量の操作を行う。

### 11.2 ピーク面積の算出

検出されたピークについて、そのピーク面積を算出する。

### 11.3 ダイオキシン類の同定

次の条件を満足することによって検出されたクロマトグラム上のピークをダイオキシン類と同定する。

#### (1) GC-HRMS法・GC-QMS法の場合

- クロマトグラム上のピークの保持時間が標準物質とほぼ同じであること。
- 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。
- 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-10に示す塩素原子の同位体存在比から推定される $m/z$ 強度比に対して±25%以内<sup>注(17)</sup>であること。

注(17) GC-QMS法においては±25%を超過しても実測濃度を算出するが、±25%超過した化合物の実測濃度にTEFを乗じて算出した毒性等量の合計がトータルの毒性等量に対し50%を超えた場合には、再度前処理(試料からの抽出又はクリーンアップ)を行い再測定する。

## (2) GC-MS/MS 法の場合

- クロマトグラム上のピークの保持時間が標準物質とほぼ同じであること。
- 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。

表-10. 塩素原子の同位体存在比から推定される  $m/z$  強度比\*

	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			
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		

注\* 塩素数ごとに存在比が最も高い  $m/z$  の強度比を 100 として示す。

注\*\* M は、最小  $m/z$  の同位体を示す。

### 11.4 ダイオキシン類の定量

全抽出液中の同定された 2,3,7,8-位塩素置換異性体又は Co-PCBs の量 ( $Q_i$ ) は、その化合物に対応するクリーンアップスパイク用内標準物質の添加量を基準にして、内標準法で式 (C) によって求める。

$$Q_i = \frac{A_i}{A_{csi}} \times \frac{Q_{csi}}{RR_{cs}} \quad (C)$$

ここで、

$Q_i$  : 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用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用内標準物質の添加量<sup>注(18)</sup> (pg)

$RR_{cs}$  : 対応するクリーンアップスパイク用内標準物質との相対感度

注(18) 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。

### 11.5 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 (D) によって算出する。

$$C_i = (Q_i - Q_t) \times \frac{1}{W} \quad (D)$$

ここで、

$C_i$  : 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)

$W$  : 試料量 (土壌マニュアル4.4に示された方法で算出した含水率で補正した値) (g)

### 11.6 定量下限

#### (1) 装置の定量下限

最低濃度の検量線作成用標準液を GC-MS で測定し、各 2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs 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 (E) によって標準偏差を求め、その 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、得られた定量下限は有効数字 1 桁とする。

この装置の定量下限は、使用する GC-MS 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-MS や測定条件を変更した場合等には必ず確認する。

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

ここで、

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) 目標定量下限

本マニュアルでは目標定量下限という概念を用いる（「5.2 目標定量下限」参照）。試料量、GC-MS 測定用試料の最終溶媒液量、GC-MS への注入量などから、装置の定量下限の試料換算濃度を求め、目標定量下限を満足していることを確認する。

## (3) 試料の定量下限

実際の試料の測定において、2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs に対応するピークの近傍のベースラインのノイズを計測し、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定量下限を算出する。

## 11.7 回収率の確認

クリーンアップスパイク用内標準物質のピーク面積とシリンジスパイク用内標準物質のピーク面積の比及び対応する相対感度 (RRrs) を用いて、式 (F) 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。

クリーンアップの回収率が 40%~130% の範囲内でない場合には、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い再測定する<sup>注(19)</sup>。

注(19) GC-QMS 法及び GC-MS/MS 法については、すべての化合物が 40%~130% の範囲に入ることが基本であるが、回収率の平均が 40%~130% の範囲外有的时候に、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い再測定する。

$$R_c = \frac{A_{csi}}{A_{rsi}} \times \frac{Q_{rsi}}{RR_{rs}} \times \frac{100}{Q_{csi}} \quad (F)$$

ここで、

$R_c$  : クリーンアップの回収率 (%)

$A_{csi}$  : クリーンアップスパイク用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用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用内標準物質の添加量 (pg)

$RR_{rs}$  : 対応するシリンジスパイク用内標準物質との相対感度

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

## 12 結果の報告及び評価

### (1) 実測濃度の表示方法

#### a) PCDDs・PCDFs

2,3,7,8-位塩素置換異性体の各化合物の濃度を記載する。

単独で定量できなかった 2,3,7,8-位塩素置換異性体については、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-位塩素置換異性体の欄に重なっている異性体の名称を明記する。

#### b) Co-PCBs

Co-PCBs 各化合物の濃度を記載する。

単独で定量できなかった Co-PCBs 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 Co-PCBs の欄に重なっている異性体の名称を明記する。

## (2) 濃度の単位

PCDDs・PCDFs 及び Co-PCBs の実測値は、土壌マニュアル 4.4 に示された方法で算出した含水率で補正した量当たりの pg/g で表示する。

## (3) 毒性等量 (TEQ) への換算

2,3,7,8-位塩素置換異性体及び 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-位塩素置換異性体については表-11 に、Co-PCBs については表-12 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。試料の定量下限以上の値はそのままその値を用い、試料の定量下限未満のものは 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。

## (4) 数値の取扱い

濃度の表示における数値の取扱いは、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、試料の定量下限未満の場合には試料の定量下限未満であったことを表示する。ただし、試料の定量下限の桁までとし、それより下の桁は表示しない。
- b) 試料の定量下限については、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。

## (5) 結果の評価

簡易測定法は、土壌マニュアルに定めた測定方法と比べてその測定値は土壌マニュアル法による測定値と差が生じる場合もある。このため、分析結果の評価は、次のとおりとする。

毒性等量に 2 を乗じた値を上限値、毒性等量に 0.5 を乗じた値を下限値として、分析結果を表-13 のとおりに評価する。上限値、下限値の数値は丸めない。分析結果の評価の例を表-14 に示す。

## (6) 結果の表示例

簡易測定法による測定結果の表示等については (1) から (5) に示すとおりであり、分析結果の表記例を表-15 に示す。

表-11. 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
	OCDD	0.0003
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
	OCDF	0.0003

表-12. 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



表-13. 簡易測定法による分析結果の評価

分析結果	分析結果の評価
下限値が 1,000 pg-TEQ/g を超過	環境基準超過
上限値が 1,000 pg-TEQ/g を超過、かつ、下限値が 1,000 pg-TEQ/g 以下	環境基準超過のおそれ
上限値が 250 pg-TEQ/g 以上、かつ、1,000 pg-TEQ/g 以下	環境基準以下、調査指標値以上のおそれ
上限値が 250 pg-TEQ/g 未満	調査指標値未満

表-14. 簡易測定法の評価結果の例

毒性等量	上限値	下限値	分析結果の評価
100 pg-TEQ/g	200 pg-TEQ/g	50 pg-TEQ/g	調査指標値未満
200 pg-TEQ/g	400 pg-TEQ/g	100 pg-TEQ/g	環境基準以下、調査指標値以上のおそれ
600 pg-TEQ/g	1,200 pg-TEQ/g	300 pg-TEQ/g	環境基準超過のおそれ
1,200 pg-TEQ/g	2,400 pg-TEQ/g	600 pg-TEQ/g	環境基準超過のおそれ
2,400 pg-TEQ/g	4,800 pg-TEQ/g	1,200 pg-TEQ/g	環境基準超過

表-15. ダイオキシン類測定分析結果の表記例

検体の識別 (調査名, 地点名, 検体名等)		NS-1
試料採取日時		〇〇年〇〇月〇〇日 〇〇時
測定分析方法	土壌のダイオキシン類簡易測定法マニュアル	
前処理方法	抽出方法	<input type="checkbox"/> ソックスレー抽出 ( <input type="checkbox"/> 乾燥試料 ) <input type="checkbox"/> ソックスレー・ディーンスターク抽出 ( <input type="checkbox"/> 乾燥試料, <input type="checkbox"/> 湿試料 ) <input checked="" type="checkbox"/> 高圧流体抽出 ( <input checked="" type="checkbox"/> 乾燥試料, <input type="checkbox"/> 湿試料 )
	抽出溶媒	<input checked="" type="checkbox"/> トルエン <input type="checkbox"/> アセトン <input type="checkbox"/> その他 ( )
	精製方法	<input type="checkbox"/> 硫酸処理 <input type="checkbox"/> シリカゲル <input checked="" type="checkbox"/> 多層シリカゲル <input type="checkbox"/> アルミナ <input checked="" type="checkbox"/> 活性炭シリカゲル <input type="checkbox"/> DMSO <input type="checkbox"/> GPC
測定方法	質量分析計	<input checked="" type="checkbox"/> GC-HRMS <input type="checkbox"/> GC-QMS <input type="checkbox"/> GC-MS/MS
	カラム	BPX-DXN (PCDDs 及び PCDFs と Co-PCBs 測定)

化合物の名称等		実測濃度 (pg/g)	定量下限 (pg/g)	毒性等価係数 (TEF)	毒性等量 (pg-TEQ/g)
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	N.D.	3	× 1	0
	1,2,3,7,8-PeCDD	8	3	× 1	8
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	16	2	× 0.1	1.6
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	20	2	× 0.1	2
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	20	2	× 0.1	2
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	320	4	× 0.01	3.2
	OCDD	600	3	× 0.0003	0.18
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	4	2	× 0.1	0.4
	1,2,3,7,8-PeCDF	12	2	× 0.03	0.36
	2,3,4,7,8-PeCDF (+1,2,3,6,9)	42	2	× 0.3	12.6
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	65	2	× 0.1	6.5
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	110	2	× 0.1	11
	1,2,3,7,8,9-HxCDF (+1,2,3,4,8,9)	20	3	× 0.1	2
	2,3,4,6,7,8-HxCDF (+1,2,3,6,8,9)	320	2	× 0.1	32
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1200	2	× 0.01	12
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	250	2	× 0.01	2.5
OCDF	1400	6	× 0.0003	0.42	
Co-PCBs	3,4,4',5'-TeCB #81	N.D.	4	× 0.0003	0
	3,3',4,4'-TeCB #77	18	5	× 0.0001	0.0018
	3,3',4,4',5'-PeCB #126	22	5	× 0.1	2.2
	3,3',4,4',5,5'-HxCB #169	13	2	× 0.03	0.39
	2',3,4,4',5'-PeCB #123	4	4	× 0.00003	0.00012
	2,3',4,4',5'-PeCB #118 (+#106)	230	4	× 0.00003	0.0069
	2,3,3',4,4'-PeCB #105 (+#127)	85	4	× 0.00003	0.00255
	2,3,4,4',5'-PeCB #114 (+#122)	12	4	× 0.00003	0.00036
	2,3',4,4',5,5'-HxCB #167 (+#128)	60	2	× 0.00003	0.0018
	2,3,3',4,4',5'-HxCB #156	42	2	× 0.00003	0.00126
	2,3,3',4,4',5'-HxCB #157	18	3	× 0.00003	0.00054
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB #189	24	4	× 0.00003	0.00072
合計		—	—	—	99
上限値		—	—	—	198
下限値		—	—	—	49.5
分析結果の評価					調査指標値未満

- 備考
1. 実測濃度中の "N.D."は、定量下限未満であることを示す。
  2. 毒性等価係数は、WHO-TEF2006 を適用した。
  3. 毒性等量は定量下限未満のものは0 (ゼロ) として算出した値である。
  4. 上限値は合計×2、下限値は合計×0.5 の値。
  5. 表中の (+1,2,3,6,9) 等は、重なっている異性体を示す。

## 13 測定精度の管理

測定精度の管理は、次による。

### 13.1 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) 分析方法の全工程の記録（使用するコンピュータのハード及びソフトを含む）

### 13.2 測定データの信頼性の確保

#### (1) 簡易測定法導入時等の確認試験

簡易測定法による測定を新たに導入する際や測定方法を変更する際には、あらかじめ、汚染原因の異なる複数の土壌を用いて本マニュアルに従って 10 試料程度の確認試験を実施し、毒性等量が土壌マニュアル法<sup>注(20)</sup>との比で 0.5~2.0 の範囲に入り、かつ、同一試料による 5 回以上の繰り返し試験を実施し、毒性等量の変動係数が 30 %以内であることを確認してから、実試料の測定を開始する。その範囲に入っていない場合には、測定操作を細かく確認して原因を究明し、確認試験結果が改善するまで、測定を実施してはならない。

また、採用した GC のカラムで単独定量できない 2,3,7,8-位塩素置換異性体及び Co-PCBs について、重なっている化合物の影響を大きく受けていないことを確認する。

#### (2) 土壌マニュアル法との比較試験

同一試料による土壌マニュアル法<sup>注(20)</sup>と簡易測定法の比較試験を実施し、毒性等量が土壌マニュアル法との比で 0.5~2.0 の範囲内であることを確認する。土壌マニュアル法との比較試験は特に断らない限り、試料数の 5 %程度の頻度で行う。

注(20) 土壌マニュアル法の測定は、外部機関で実施してもよい。

#### (3) 内標準物質の回収率

- a) GC-HRMS 法：クリーンアップスパイク用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用内標準物質の回収率が 40 %~130 %の範囲内でない場合には、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い、再測定する。
- b) GC-QMS 法及び GC-MS/MS 法：クリーンアップスパイク用内標準物質の回収率を確認し、40 %~130 %の範囲内であることを確認する。なお、すべての化合物が 40 %~130 %の範囲に入ることが基本であるが、回収率の平均が 40 %~130 %の範囲外のときに、再度前処理（試料からの抽出又はクリーンアップ）を行い、再測定する。

#### (4) 定量下限の確認

試料の定量下限は、試料量等により、異なってくるため、試料ごとに求める。

ピークの近傍のベースラインのノイズを計測し、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定量下限を算出する。

#### (5) 操作ブランク試験

操作ブランク試験<sup>注(21)</sup>は、試料の前処理及び GC-MS 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-MS 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。

注(21) 操作ブランク試験値が大きいと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。

## (6) 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-MS 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 つ以上の測定用試料について同様に測定し、毒性等量を算出し、その平均値を求め、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。

## (7) 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。

## 13.3 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当たっては、他試料からの汚染に十分に注意するとともに、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燥し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操作又は多層シリカゲルカラムクロマトグラフ操作
  - 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操作においては、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操作：アルミナの活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、八塩素化物がジクロロメタン（体積分率 50 %）を含むヘキサン混合液の規定量では溶出しなかったりすることがある。また、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操作：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) ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）：使用する GC-MS は目的に応じて測定条件を設定し、試料の測定が可能な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 に校正用標準試料（ペルフルオロケロセン（PFK）、ペルフルオロトリブチルアミン（PFTBA）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等の調整を行うとともに、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、各塩素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、ペ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(22)。

- ③ **GC-MS 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 秒～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モニタリング (SIM) 又は選択反応検出法 (SRM) 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-MS 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 の各塩素置換異性体と内標準物質の相対感度の変動が、検量線作成時の相対感度 (RRcs) に対して、±20 %以内であれば、求めた相対感度を用いて測定を行う。これを超えて相対感度の変動する場合は、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時間が±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とき、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用試料数で決めておく。

注(22) キャピラリーカラムを 300 mm 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。

### 13.4 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**：現場調査に関する情報を記録する。

- 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を記録する。
- 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、試験機関に試料が搬入される段階（試料の受付時）における試料の確認状況を記録する。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管理状況（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）を記録する。
- 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-MS等）に関して以下を記録する。
  - 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）に関して以下を記録する。
  - ① メーカー
  - ② 製品名
  - ③ 等級
  - ④ 精製・調製等を行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以下を記録する。
  - 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以下を記録する。
  - 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-MS の記録

- ① **GC-MS 日常点検記録**：GC-MS 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）を記録する。
- ② **GC-MS 保守管理記録**：GC-MS に関して日常点検の範疇を超える点検・調整事項（修理、磁場調整等日常的には発生しない事柄）が存在すればその保守管理を記録する。
- ③ **GC-MS 測定分析条件の記録**：GC-MS の測定分析条件（GC 昇温条件、 $m/z$ 、イオン源温度、イオン化電流、電子加速電圧等）を記録する。
- 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のメーカー名、製品名、液相の種類、カラム長さ、カラム内径、液相膜厚を記録する。
- ⑤ **GC-MS 使用状況記録**：GC-MS 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、どのような状況で使用されたか）を記録する。
- 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記録する。
- ⑦ **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ごとに保管する。分離を確認する化合物の組合せ、分離能等に関しては測定機関内で基準を決め、この基準と共にクロマトグラムを保管する。
- ⑧ **GC-MS 感度の記録**：測定時に目標とする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）を保管する。

装置の定量下限付近の濃度の標準液を 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  $m/z$  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-MS の場合は、S/N 比を求めることができない。
- ⑨ **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  $m/z$  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を比較・確認できる記録を保管する。（GC-HRMS 法及び GC-QMS 法に限る。）
- ⑩ **測定順の記録 (Injection List)**：GC-MS による測定の順番（標準液、ブランク、操作ブランク、試料、二重測定等試料の測定順番）を記録する。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-MS 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でよい。
- ⑪ **クロマトグラムの記録**：標準液、操作ブランク、試料のクロマトグラムを保管する。測定したすべての  $m/z$  に関してクロマトグラムを保管する。
- ⑫ **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を保管する。（GC-HRMS 法に限る。）
- ⑬ **RR の記録**：検量線作成時の標準液濃度における RR と試料測定時の標準液における RR との比較結果を保管する。

#### (4) 計算

- a) **計算工程の記録**：標準液の濃度、内標準物質の添加量、GC-MS 測定面積値、試料量から最終濃度までの計算過程をトレースできるように記録する。
- b) **塩素原子の同位体比の確認記録**：塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比（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  $m/z$  のイオンのピーク面積の強度比）との差が判明するように、試料中の各化合物に関して、2 つの  $m/z$  のイオンのピーク面積の強度比を計算し、記録する。（GC-HRMS 法及び GC-QMS 法に限る。）上記計算の工程に含まれていてもよい。
- c) **回収率の確認記録**：シリ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。

#### (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するために、内標準物質に含まれるダイオキシン類のブランク試験の実施及びその結果を記録する。
- b) **操作ブランク試験の記録**：操作ブランクを試験分析検体数の 10 %程度の頻度で行ったことを確認するため、操作ブランク試験の実施及びその結果を記録する。

#### (6) 二重測定

前処理操作及び GC-MS 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

測定用試料について同様に測定し、記録する。

**(7) 簡易測定法導入時の確認試験**

簡易測定法による測定を新たに導入する際に実施した確認試験の結果を記録する。

**(8) 土壌マニュアル法との比較試験**

同一試料による土壌マニュアル法との比較試験の結果を記録する。

**14 安全管理**

土壌マニュアルと同様の安全管理を行う。



土壌のダイオキシン類簡易測定法マニュアル改訂検討会委員名簿

(五十音順、敬称略)

氏名	所属
大塚 宜寿	埼玉県環境科学国際センター 研究推進室 化学物質・環境放射能担当 担当部長
先山 孝則	大阪市立環境科学研究センター 研究主幹
四ノ宮 美保	埼玉県立大学共通教育科 准教授
橋本 俊次	国立研究開発法人 国立環境研究所 環境リスク・健康領域 応用計測化学研究室 室長
濱田 典明	国立大学法人愛媛大学大学院 農学研究科 研究員