

ダイオキシン類に関する話

話題提供者 八木 孝夫

前職 株式会社 島津テクノリサーチ

分析本部 副本部長

資格 博士 (工学)

環境計量士

ダイオキシン公害防止管理者

他

1. ダイオキシン類とは
2. ダイオキシン類の毒性の強さ
3. 微量な量を表す単位
4. ダイオキシン類の種類
5. TEF (毒性等価係数) とは
6. TEQ (毒性等量) とは
7. 許容一日摂取量 (TDI)
8. ダイオキシン類の環境基準
9. ダイオキシン類の排出基準
10. ばいじん等の処理基準
11. 排ガス (飛灰) の影響 (大気、水質、土壌、農作物汚染)
12. 食物連鎖による濃縮
13. 人体汚染と蓄積 (血液、母乳)
14. 人体への影響 (歴史的被爆事例)
15. ダイオキシン類の測定方法

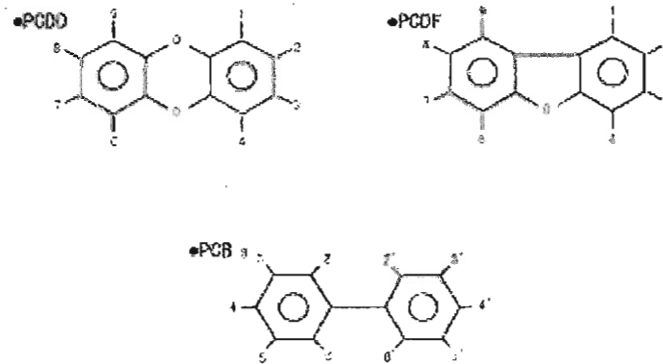
以上

ダイオキシン類

(1) ダイオキシン類とは

ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(PCDD)、ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)及びコプラナーポリ塩化ビフェニル(コプラナーPCB)をまとめてダイオキシン類と呼んでいます。

ダイオキシン類の構造式



図のように1～4と6～9の位置に塩素がついたものがダイオキシン類ですが、その数や位置によって多くの仲間(「異性体」と呼びます)があります(PCDDには75種類、PCDFには135種類、コプラナーPCBは14種類の異性体があります)。

毒性は異性体によって大きく異なるので、毒性を評価するときには、最も毒性の強い「2,3,7,8-四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(2,3,7,8-TCDD)」「(2,3,7,8の位置に塩素が付いたダイオキシン)の毒性を1として、他のダイオキシン類の毒性の強さを換算して評価します。毒性があるとされる、PCDD7種類、PCDF10種類、コプラナーPCB12種類の異性体には、毒性等価係数(Toxicity Equivalency Factor, TEF)がそれぞれ決められていて、ダイオキシン類として量を表すときは、それぞれの重さにTEFを掛けた毒性等量(Toxicity Equivalency quantity; TEQ)として表示するのが普通です。

ダイオキシン類はきわめて微量でも測定する必要があるので、用いられる重さの単位は次のようなものが用いられます。

pg(ピコグラム) 1兆分の1グラム

ng(ナノグラム) 10億分の1グラム

(2) ダイオキシン類の毒性

ダイオキシン類について

ダイオキシン類は、毒性が強いことで知られていますが、物の焼却の過程などで自然に生成されてしまう物質です。そのため、環境中には広く存在しています。しかし、量については非常に微量といえます。

市民のみなさんの中には、ダイオキシン類について様々な不安や疑問を持っている方がいるのではないかと思います。

そこで、このページでは、ダイオキシン類に関する用語を中心に理解を深めるための情報を掲載してありますので参考としてください。

■トピックス ダイオキシン類とは ダイオキシン類の毒性の強さ 微量な量を表す単位 ダイオキシン類の種類 TEF(毒性等価係数)とは TEQ(毒性等量)とは 耐用一日摂取量とは
■基準と届出 ダイオキシン類の環境基準 ダイオキシン類 特定施設の届出
■対策 私たちができる対策は
■市内の状況 平成10年度調査結果 平成11年度調査結果 平成12年度調査結果 平成13年度調査結果 平成14年度調査結果 平成14年度自主測定結果 平成15年度調査結果 平成15年度自主測定結果 平成16年度調査結果 平成16年度自主測定結果 平成17年度調査結果 平成17年度自主測定結果
※ダイオキシン類についてもっと詳しい情報を知りたい方は、環境省のホームページをご覧ください。 ● 環境省: http://www.env.go.jp/

■ダイオキシン類とは

平成11年 7月16日に公布されたダイオキシン類対策特別措置法において、

- (1) ポリ塩化ジベンゾ-パラジオキシン(PCDD)
 - (2) ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)
 - (3) コプラナーポリ塩化ビフェニル(コプラナーPCB)
- の3種類が“ダイオキシン類”と定義されました。

[このページのトップへ](#)

■ダイオキシン類の毒性の強さ

ダイオキシン類の中で最も毒性が強い物質である2,3,7,8-四塩化ジベンゾジオキシンを使った動物実験では、毒物として名高いサリンの約2倍、青酸カリの約1000倍の毒性があるといわれています。

[このページのトップへ](#)

②

■微量な量を表す単位

ダイオキシン類の毒性は非常に強いため、ダイオキシンの重さや濃度を表す単位は、特殊な単位が使われます。よく使われる重さの単位が pg(ピコグラム)で、これは1グラムの 1兆分の1の重さです。

また、濃度を表すときは、[pg/g][ppt ピーピーティー]という単位を使います。重さの単位と濃度の単位を比較すると、次のようになっています。

重さの単位		濃度の単位	
kg (キログラム)			
g (グラム)			
mg (ミリグラム)	10^{-3} g (1000分の1グラム)		
μg (マイクログラム)	10^{-6} g (100万分の1グラム)	μg/g (ppm)	(100万分の1)
ng (ナノグラム)	10^{-9} g (10億分の1グラム)	ng/g (ppb)	(10億分の1)
pg (ピコグラム)	10^{-12} g (1兆分の1グラム)	pg/g (ppt)	(1兆分の1)
fg (フェムトグラム)	10^{-15} g (1000兆分の1グラム)	fg/g (ppq)	(1000兆分の1)

[このページのトップへ](#)

■ダイオキシン類の種類

毒性があるのは:29種類

ダイオキシン類には 3つの種類があると前に述べましたが、それぞれにたくさんの化合物があります。ダイオキシン類は、ベンゼン環の1~4と6~9の位置に塩素(Cl) が付いた化合物ですが、塩素がいくつ付いているか、どの位置に付いているかによって、いくつかのパターンがあります。このパターンの数だけ化合物があるのです。

パターンの数は、ポリ塩化ジベンゾジオキシン(PCDDs)で75種類、ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDFs)で135種類あり、これらを合わせると 210種類の化合物があることとなります。このうち、毒性があるとされているものはポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシンで7種類、ポリ塩化ジベンゾフランで10種類です。

また、コプラナーPCBsのうち毒性があるとされているものは12種類です。

[このページのトップへ](#)

■TEF(毒性等価係数)とは

ダイオキシン類には、29種類に毒性がありますが、それらの毒性の強さは同じではありません。このため、ダイオキシンの影響を比較したり評価したりするときには、毒性の強さの表し方を統一しておく必要があります。

そこで、最も毒性が強いとされている「2,3,7,8-四塩化ジベンゾジオキシン (TeCDD)」の毒性を1とした場合に、他のダイオキシン類の毒性の強さを換算したTEF(Toxic Equivalency Factor 毒性等価係数)を定めています。

ダイオキシン類には多くの異性体があり、これらの異性体毎に毒性が異なるため、異性体の中で最強の毒性を有する2,3,7,8-TeCDDの毒性を1としたときの他の異性体の相対的な毒性を毒性等価係数(TEF: Toxicity Equivalency Factor)が示されており、これを用いて異性体の毒性を2,3,7,8-TeCDDの等量(TEQ: Toxicity Equivalency Quantity)として換算して表示することが一般的である。

a) PCDD及びPCDF

PCDD, PCDF	WHO-TEF (1998)	I-TEF (1988)
2,3,7,8-TeCDD	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.0001	0.001
2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.0001	0.001
他のPCDD,PCDF	0	0

b) コプラナーPCB

	異性体	WHO-TEF (1998)
ノンオルト (Non-ortho)	3,4,4',5-TeCB	0.0001
	3,3',4,4'-TeCB	0.0001
	3,3',4,4',5-PeCB	0.1
	3,3',4,4',5,5'-HpCB	0.01
	2',3,4,4',5-PeCB	0.0001
	2,3',4,4',5-PeCB	0.0001

モノオルト (Mono-ortho)	2,3,3',4,4'-PeCB	0.0001
	2,3,4,4',5-PeCB	0.0005
	2,3',4,4',5,5'-HxCB	0.00001
	2,3,3',4,4',5-HxCB	0.0005
	2,3,3',4,4',5'-HxCB	0.0005
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	0.0001

たとえば、1,2,3,4,7,8-六塩化ジベンゾジオキシン(HxCDD)のTEFは0.1ですから、毒性の強さは、2,3,7,8-四塩化ジベンゾジオキシンの10分の1ということになります。
TEFは、1997年WHO(世界保健機構)より提案され、1998年に専門誌に掲載されたものが使われます。

[このページのトップへ](#)

■TEQ(毒性等量)とは

⑥

ダイオキシン類の濃度を調べる時、化合物によって毒性の強さが違うと評価が非常に難しくなります。そこで、測定した化合物の濃度にTEF(毒性等価係数)を掛け、2,3,7,8-四塩化ジベンゾジオキシン(TeCDD)の量に換算して表します。これがTEQ(Toxic Equivalents 毒性等量)です。

たとえば、測定した1,2,3,4,7,8-六塩化ジベンゾジオキシン(HxCDD)の濃度が10ピコグラムなら、TEQはTEF 0.1を掛けた1ピコグラム となります。一般的にダイオキシン類の濃度を表すときは、このTEQに換算した数値を使います。例えば水質であれば1pg-TEQ/L、大気であれば1pg-TEQ/m³、土壌、底質であれば1pg-TEQ/gというように表します。

[このページのトップへ](#)

■耐容一日摂取量(TDI)

⑦

ダイオキシン類は私たちの体の中に、どのようにしてどれだけ取り込まれているのでしょうか。

一般的な環境のもとで、私たちがダイオキシン類を体内に取り込む主な経路は、食品、水、大気、土壌の4つが考えられています。環境庁が行った調査(平成10年度)によると、日本人の平均的なダイオキシン類の摂取量は、約2.1pg-TEQ/kg/日と推定されています。

なお、この数値は、環境庁が安全基準として定めた耐容一日摂取量(TDI)4pg-TEQ/kg/日を下回っており心配ありませんが、一時的に多少超過したとしても、長期間での平均摂取量以内であれば健康に影響を与えるものではないそうです。

TDIとは、生涯にわたって毎日摂取し続けた場合でも、健康に悪い影響を及ぼさない安全な1日の摂取量を意味し、体重1キログラム当たり1日の量で表します。

[このページのトップへ](#)

[環境対策課のトップページへ](#)

ダイオキシン類基準値一覧

1 環境基準 ⑧

表1 環境基準

媒体	環境基準
大気	年平均値 0.6pg-TEQ / m ³
水質	年平均値 1pg-TEQ / l
底質	150pg-TEQ / g
土壌	1,000pg-TEQ / g

2 排出基準 ⑨

(1) 大気関係

表2 ダイオキシン類対策特別措置法に基づく大気排出基準 (単位: ng-TEQ/m³)

大気基準適用施設			新設施設	既設施設		
番号	施設の種類の種類	規模		H12.1 ~ H13.1	H13.1 ~ H14.11	H14.12 ~
1	焼結鉄の製造の用に供する焼結炉	原料の処理能力 1t/h 以上	0.1	基準の適用を 猶予	2	1
2	製鋼の用に供する電気炉	変圧器定格容量 1000KVA 以上	0.5		20	5
3	亜鉛の回収の用に供する焙焼炉、焼結炉、溶鉄炉、溶解炉及び乾燥炉	原料の処理能力 0.5t/h 以上	1		40	10
4	アルミニウム合金の鑄の用に供する焙焼炉、乾燥炉 同 溶解炉	原料の処理能力 0.5t/h 以上 容量 1t 以上	1		20	5
5	廃棄物焼却炉(合算値： 火床面積 0.5 m ² 以上又は 焼却能力 50kg/h 以上)	4t/h 以上 2 ~ 4t/h 2t/h 未満	0.1 1 5		80	1 5 10

注1 廃棄物焼却炉については排ガス中の残存酸素濃度 12 %補正、焼結施設については排ガス中の酸素濃度 15 %補正を行うこととする。

2 既設施設のうち、大気汚染防止法に基づき指定物質抑制基準が定められているものについては、法の施行後1年間は、引き続きこの大気汚染防止法に基づく基準を存続させることとする。

(2) 水質関係

表3 ダイオキシン類対策特別措置法に基づく水質排出基準 (単位: pg-TEQ/l)

番号	水質基準対象施設	水質排出基準	
		新設施設	既設施設
1	硫酸塩パルプ(クラフトパルプ)又は亜硫酸パルプ(サルファイトパルプ)の製造の用に供する塩素又は塩素化合物による漂白施設		
2	カーバイド法アセチレンの製造の用に供するアセチレン洗浄施設		10
3	硫酸カリウムの製造の用に供する施設のうち、廃ガス洗浄施設		
4	アルミナ繊維の製造の用に供する施設のうち、廃ガス洗浄施設		
5	塩化ビニルモノマーの製造の用に供する二塩化エチレン洗浄施設		10 (20)
6	カプロラクタムの製造(塩化ニトロシルを使用するものに限る。)の用に供する施設のうち、次に掲げるもの イ 硫酸濃縮施設 ロ シクロヘキサン分離施設 ハ 廃ガス洗浄施設		
7	クロロベンゼン又はシクロロベンゼンの製造の用に供する施設のうち、次に掲げるもの イ 水洗施設 ロ 廃ガス洗浄施設	10	10
8	8・18-ジクロロ-5・15-ジエチル-5・15-ジヒドロジインドロ[3・2-b:3'・2'-m]トリフェノジオキサジン(別名ジオキサジンバイオレット)の製造の用に供する施設のうち、次に掲げるもの イ ニトロ化誘導体分離施設及び還元誘導体分離施設 ロ ニトロ化誘導体洗浄施設及び還元誘導体洗浄施設 ハ ジオキサジンバイオレット洗浄施設 ニ 熱風乾燥施設		
9	アルミニウム又はその合金の製造の用に供する焙焼炉、溶解炉又は乾燥炉から発生するガスを処理する施設のうち、次に掲げるもの イ 廃ガス洗浄施設 ロ 湿式集じん施設		10 (20)
10	亜鉛の回収(製鋼の用に供する電気炉から発生するばいじんであって、集じん機により集められたものからの亜鉛の回収に限る。)の用に供する施設のうち、次に掲げるもの イ 精製施設 ロ 廃ガス洗浄施設 ハ 湿式集じん施設		10

表3 ダイオキシン類対策特別措置法に基づく水質排出基準

(単位: pg-TEQ/l)

番 号	水 質 基 準 対 象 施 設	水 質 排 出 基 準	
		新 設 施 設	既 設 施 設
1 1	廃棄物焼却炉から発生するガスを処理する施設のうち次に掲げるもの及び当該廃棄物焼却炉において生ずる灰の貯留施設であって汚水又は廃液を排出するもの イ 廃ガス洗浄施設 ロ 湿式集じん施設		10 (50)
1 2	廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第7条第12号の2及び13号に掲げる施設 (廃PCB等又はPCB処理物の分解施設 PCB汚染物又はPCB処理物の洗浄施設)		10
1 3	下水道終末処理施設(1から5まで及び7に掲げる施設に係る汚水又は廃液を含む下水を処理するものに限る。)		
1 4	1から12までに掲げる施設を設置する工場又は事業場から排出される水の処理施設(6に掲げるものを除く。)		

注1 廃棄物焼却炉規模要件は大気基準適用施設と同じ。

2 () 内は、規制の施行後3年間(平成15年1月14日まで)適用する暫定基準値。

3 ばいじん等の処理基準等

⑩

ダイオキシン類対策特別措置法では、ばいじん等(ばいじん及び焼却灰その他の燃え殻をいう。)に含まれるダイオキシン類の量に係る基準及びダイオキシン類による環境汚染防止の観点からの最終処分場の維持管理基準を設定することとされています。

(1) ばいじん等の処理基準

ア ダイオキシン類の含有量が、3ng-TEQ/g 以下の場合は、管理型最終処分場へ埋め立てる。

イ ダイオキシン類の含有量が、3ng-TEQ/g を超える場合は、特別管理廃棄物として取り扱う。

(2) 最終処分場の維持管理基準

ア 即日覆土等、飛散防止措置を講じること。

イ 放流水中のダイオキシン類を水質排出基準(10pg-TEQ/l)以下にすること。

ウ 周辺の地下水が環境基準(1pg-TEQ/l)を超えてダイオキシン類に汚染されないこと。

5-16 食物連鎖と生物濃縮とはどんなことですか。

ダイオキシン摂取が圧倒的に食品からであることがわかりましたが、なぜ食品がダイオキシンに汚染されているのでしょうか。

野菜類など、大気中あるいは土壌や水中のダイオキシン類が付着したりして汚染されている場合があります。

ヨーロッパでは、ダイオキシンに汚染された草を牛が食べて、牛の体内に蓄積し、牛乳や肉類、バターやチーズなどの酪農製品が汚染されるルートが問題になりました。そこで、牛乳の規制値を決め、基準を超えた牛乳は廃棄処分にし、農家には政府画家飼う保証するという政策が早くから取られました。その結果、補償費がたいへんだということもあり、政府によるダイオキシン対策が画期的にすすんだという経緯があります。

日本では、魚介類の高濃度汚染は食物連鎖と生物濃縮という生態系の構造から起こっています（図*、表*参照）。

生物濃縮の例：西部太平洋の外洋生態系における有機塩素化合物

濃度・濃縮率	PCB	DDT	BHC
表層水(ppb)	0.00028	0.00014	0.0021
動物プランクトン(ppb)	1.8	1.7	0.26
濃縮率(倍)	6,400	12,000	120
ハダカイワシ(ppb)	48	43	2.2
濃縮率(倍)	170,000	310,000	1,000
スルメイカ(ppb)	68	22	1.1
濃縮率(倍)	240,000	160,000	5,200
スジイルカ(ppb)	3,700	5,200	77
濃縮率(倍)	13,000,000	37,000,000	37,000

【引用文献・参考文献】 保田仁資, 「やさしい環境科学」, p.83, 化学同人(1996)

《元データ：立川 涼, 水質汚濁研究, 11, 2(1988)

表*にしめす、PCB、DDT、BHCはダイオキシン類と有機芳香族塩素系加賀物質として同じような性質をもつので、ダイオキシン類でも当然高い生物濃縮が、食物連鎖を通じて起こっていると考えられます。

(食物連鎖と生物濃縮の図——ピラミッド型に濃縮される図)

食物連鎖で体内に入るダイオキシン類

現在、地球上には8万種類以上といわれる化学物質がばらまかれています。これらの化学物質が、人間の体にどのような影響をあたえているのかまだよく把握できていません。アレルギー性皮膚炎や花粉症、子宮内膜症などが増え、人の精子の数も減っているという報告もあります。それらの異常の発生に、ダイオキシン類が関連している可能性がとて高いと考えられています。

ダイオキシン類は、超微量で毒性をもち、生命にとってとても危険な物質です。しかも、物理化学的に安定していて、環境中に放出されたあとほとんど分解されず、最終的にはその大半が食物連鎖をとおして人体を汚染します。

生きもの世界は、食べる、食べられるという食物連鎖の関係でなりたっています。ダイオキシン類で汚染されたエサを食べた生きものは、汚染されたエサで自分の体をつくることとなります。つぎつぎに別の生きものに食べられることにより、ダイオキシン類はしだいに濃くなって生き物の体に蓄積されていきます。生物濃縮といわれる現象です。

ダイオキシン類が非常にやっかいな化学物質なのは、分解しにくいことにあります。環境中では微量だったものが、肉食動物の体では何万倍以上の濃さになってしまうのです。

体に入るダイオキシン類の98%が、食べ物からだといわれています。日本の場合、魚介類によるダイオキシン類の摂取が60%をしめています。これは、ゴミなどの焼却によって発生したダイオキシン類が、大気や河川をへて発生源近くの沿岸に流れ、海水を汚染しているためです。

海まで汚染するダイオキシン類の問題は、自治体のゴミ焼却施設にかぎらずほかの発生源の実態も調査し、個人的な対策だけでなく、企業、行政・国がダイオキシン類を出さないための対策をたてる必要があります。

レベルであると述べた上で、この暴露レベルにおいても微細な影響は生じているかもしれないが、現時点では明確な毒性影響の発現は報告されておらず、また、観察されている影響についても他の化学物質の影響が否定できないことから、1～4 pgTEQ/kg/日が当面の耐容できる値であると考察している。その上で、結論として、4 pgTEQ/kg/日を当面の最大耐容摂取量 (maximal tolerable intake on a provisional basis) とし、究極的には摂取量が1 pgTEQ/kg/日未満となるよう努めるべき、と記されている。

3. 暴露の状況

⑬ - 1

(1) 通常レベルの暴露

(1) 欧米諸国

通常生活における暴露のほぼ90%以上は食事を通じて生じ、なかでも肉や乳製品等の動物性食品が主要な摂取源である。主要な工業国での調査によれば、一般にダイオキシン類と呼ばれているポリ塩化ジベンゾ-パラジオキシン(PCDD)とポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)の暴露量は、1～3 pgTEQ/kg/日とされる。なお、ダイオキシン類と同様な性質を有するコプラナーポリ塩化ビフェニル(コプラナーPCB)を加えると、2～6 pgTEQ/kg/日とされている⁵⁾。

(2) 日本

我が国での平均的な暴露量は、欧米諸国のレベルとほぼ同程度ないし低いレベルにある。

厚生省の食品調査(1997年度(平成9年度)、マーケットバスケット方式)では、ダイオキシン類への暴露は0.96pgTEQ/kg/日となっており、また、3種類のコプラナーPCBを含めると2.41pgTEQ/kg/日である⁶⁾。なお、飲料水からの暴露はほとんど無視できるほど小さい。

大気からのダイオキシン類の暴露量は、1997年度に環境庁及び地方公共団体が実施したモニタリング調査結果⁷⁾の平均値0.55pgTEQ/m³をもとに、1997年度ダイオキシンリスク評価検討会報告書⁴⁾等の試算方法に準じて計算すると、0.17pgTEQ/kg/日である。また、コプラナーPCBについては、現状ではデータが少ないが、1997年度の環境庁の調査結果⁸⁾における濃度範囲は0.044～0.026pgTEQ/m³であり、ダイオキシン類の濃度に比べて低いため、12種類のコプラナーPCBを加えても、暴露量は0.17pgTEQ/kg/日と変わらない。

土壌からの暴露量は、全国的な土壌中濃度の現状、土壌の摂取量や土壌中ダイオキシン類の吸収率等必要な情報が必ずしも十分でなく、正確な推定が困難であるが、環境庁調査(1997年度)⁹⁾をもとに、土壌中のダイオキシン類の濃度を20pgTEQ/g、コプラナーPCBの濃度を2.2 pgTEQ/gとすると、ダイオキシン類の暴露量は0.0022～0.019 pgTEQ/kg/日程度、12種類のコプラナーPCBを加えた暴露量は0.0024～0.021 pgTEQ/kg/日程度が見込まれる。

これらの各経路からの暴露量を合計すると、ダイオキシン類で1.15pgTEQ/kg/日程度、コプラナーPCBを加えると2.60pgTEQ/kg/日程度が日本人の平均的な暴露量と考えられる。(図1)

このような暴露の結果として、人体の残留レベルは体脂肪中に10～30pgTEQ/g脂肪(体重では2～6 ngTEQ/kgに相当)になっていると考えられる⁵⁾。このレベルも主要工業国と同程度である。

(3) 母乳中のダイオキシン

母乳を飲む乳児の一日摂取量は、諸外国のデータによれば体重当たりになると成人と比較して大きく、我が国での最近の調査によれば、平均的にはダイオキシン類で概ね60

新利根町・焼却場周辺住民血液から高濃度ダイオキシン

摂南大学の宮田秀明教授らによると、茨城県新利根町のごみ焼却場周辺の住民の血液から、最高値で通常の20倍とこれまでに例のない高濃度のダイオキシンが検出されたという。これは、1996年3月、城取清掃工場の周辺2km以内に住む住民60人から血液を採取したうち、ダイオキシン濃度の測定を行った、男性13人、女性5人の結果が報告されたものである。

これによると、最高で463pg/g(血液中脂肪1g当たり)、平均値で男性が81pg/g、女性が149pg/g。当該人に何らかの障害が発生しているか、及びダイオキシン摂取経路は不明である。(98.6.4)

なお、血液中ダイオキシンのデータは、測定例が少なく、国内では、埼玉県所沢市の35人のデータで平均8.21pg/g(最高で29pg/g)。94年の福岡県保健環境研究所のデータで34人平均20.8pg/g。海外では、ドイツで19pg/g(94年)、アメリカで27pg/g(96年)というデータが存在するという。これまでの測定値は20~30pg/g、これまでの欧米を含めた通常環境での最高濃度は約50pg/gであり、今回のデータは極めて高いダイオキシン濃度を示している。

城取清掃工場周辺住民18人の血液中のダイオキシン類濃度

(単位:pg/g(血液中脂肪1g当たり))

男性		女性	
20代	81.2	30代	463.3
30代	69.7	40代	136.6
30代	98.9	50代	76.0
40代	200.0	70代	47.5
40代	46.9	30代	21.6
40代	83.9		
40代	49.2		
40代	94.1		
50代	56.9		
60代	80.3		
40代	102.0		
40代	34.2		
50代	53.5		

注意しなければならないのが、今回のデータで、女性1人が460pg/gと突出しているため、女性の平均値が高く計算され報道されていることである。これは誤解をまねく可能性がある。平均値をとるというデータ処理の仕方は、通常、データに突出した値がないことが前提である。

この場合、概ね、男性は70.9pg/g、女性は70.4pg/g。ただし男性で1人200.0pg/g、女性で1人463.3pg/gという極めて高い濃度が検出された、というのが正しい報道ではないだろうか。

新利根町住民血液調査、追加データ

新利根町のごみ焼却場に係るダイオキシン類汚染問題で、摂南大学宮田秀明教授は、住民34人(うち16人分が新規データ)の血液検査結果を発表した。これによると、全平均が76.5pg/g(脂肪)。うち、男性は22人平均67.9pg(脂肪)、女性は12人平均85.1pg/g(脂肪)。なお、20~30pg(脂肪)が一般値で、これに比較して2~3倍の濃度になる。18人分については6月に発表しており、今回新たに16人のデータを追加したもの。(98.9.30)

pgTEQ/kg/日程度である¹⁰⁾。

一方、母乳中のダイオキシン濃度は過去20年間で低下しているという報告がいくつかの国でなされており、我が国においても、厚生科学研究による大阪府の保存母乳サンプルの調査結果では、1973年から1996年の間にダイオキシン類及び3種類のコプラナーPCBで半分以下に低減している。(図2)

(2) 事故による暴露及び職業暴露

事故による暴露や職業暴露により、通常レベルよりはるかに高い暴露を受けることがある。

(1) 事故による暴露

地域的な事故汚染例として、米国・タイムズビーチの汚染やイタリア・セブソにおける化学品工場爆発事故等が知られている。セブソにおいては、2,3,7,8-TCDDの血清レベルは最大56,000pgTEQ/g脂肪であり、Aゾーン(高汚染地域)及びBゾーン(中汚染地域)でのそれぞれの中央値は450pgTEQ/g脂肪及び126pgTEQ/g脂肪である¹²⁾。

食品のPCB汚染による中毒が、日本(1968年)及び台湾(1978年)において発生している。いずれも熱媒体として用いられたPCBとともに、極少量のダイオキシン類が食用油に混入したことによると言われている^{13, 14)}。

(2) 職業暴露

職業暴露の事例としては、2,4,5-トリクロロフェノール(2,4,5-TP)及びその誘導体の合成と使用にかかわる化学工場内での2,3,7,8-TCDDの暴露による中毒例が知られている。これらの事例の疫学調査において高濃度暴露労働者の血中2,3,7,8-TCDD濃度のレベルを推定すると、140~2,000pgTEQ/g脂肪とされている¹⁵⁾。この推計値は通常人口集団の血中レベルの10~100倍である。

廃棄物焼却に伴う、ダイオキシン類への労働者の過剰暴露の事例としては、欧米での顕著な事例の研究が見当たらないが、最近我が国において行われた大阪府能勢町の廃棄物焼却施設に関連した調査では、比較的高い値が示されている¹⁶⁾。

注) ダイオキシンの毒性等量は、I-TEF(1988)、WHO-TEF(1993)、WHO-TEF(1997)など用いる毒性等価係数により若干異なるが、本文中には各引用文献に記載されていた毒性等量をそのまま表記している。

4. ヒトに対する影響

14

(1) 事故による中毒や職業的暴露の影響

ヒトに対する影響についての知見が得られているのは、事故による中毒や職業暴露の事例であり、代表的なものは、次のとおりである。

(1) 2,4,5-T等製造作業等における暴露の影響

農薬の一種である2,4,5-T等の製造業者におけるダイオキシン類への暴露は、主として2,4,5-T製造工程での工場災害に起因している。工場災害事例に共通して認められた非がん症状は、クロルアクネ(塩素ざ瘡)の発生である^{17~22)}。クロルアクネ以外の非がん症状としては種々の症状が記述されているが^{19, 23~36)}、工場災害事例に共通して指摘されている症状は乏しい。工場災害事例あるいは撤布作業に伴って暴露を受けた集団での全がん死亡率の上昇が報告されており^{37~42)}、報告例によっては部位別に呼吸器がん^{40~}

42)、非ホジキンリンパ腫^{40~42)}、軟部組織肉腫^{39, 40, 43, 44)}等の発生率の上昇が観察されている。

(2) セベソの工場災害による暴露の影響

工場災害に起因するダイオキシン類暴露が一般住民に及んだセベソの住民において、最も顕著に認められた非がん所見は、クロルアクネで、ことに子供に多く観察された^{45~50)}。0~14歳児におけるクロルアクネ発生頻度は、地区別にみた2,3,7,8-TCDDの汚染レベルと対応していた^{48, 49)}。災害の発生した1976年から1991年に至る追跡調査では、Aゾーンに比して汚染レベルはやや低い被災者数の多いBゾーンにおいて、災害10年以後に発生したがんについて解析すると、男子(直腸がん、リンパ造血系のがん及び白血病)、女子(消化器がん、胃がん、リンパ造血系のがん及び多発性骨髄腫)ともに各種部位別でのがん死亡の増加が認められた^{51, 52)}。また暴露レベルの高いAゾーンの住民で、1977年4月(災害9ヶ月後)から翌年12月までの間に出産をみた74例では、出産児の性は女子に偏っていた⁵³⁾。

(3) ベトナム戦争の退役軍人における暴露の影響

ベトナム戦争でオレンジ剤(2,4,5-Tが主成分)の撤布に従事した米国退役軍人を対象にした調査によれば、糖尿病等糖質代謝障害と2,3,7,8-TCDD暴露との関連性が指摘された⁵⁴⁾。死因としては帰還後1年間に自動車事故、自殺等の事故の増加が指摘されたが、それ以降の死亡パターンは一般人口と変わらなくなった^{55~57)}。

(4) 油症患者における暴露の影響

1968年(昭和43年)に、福岡、長崎両県を中心に発生した油症では、原因となった米ぬか油及び患者の血液や脂肪組織から、PCBとともに極少量のダイオキシン類が検出された⁵⁸⁾。

油症においては、面皰、毛孔の著明化、眼脂の増加、皮膚の色素沈着、爪の変形着色、クロルアクネ(塩素ざ瘡)などの所見が認められた。

なお、1968年から1990年間の調査では、男子において肝がんによる死亡の有意な増加がみられるが、知見として確立するためには、今後の更なる研究が必要との報告がある⁵⁹⁾。

(2) 通常レベルの暴露

食事等による通常レベルの暴露において明らかな健康影響を示す知見は報告されていない。通常生活における暴露のうち、特に、母乳経由のダイオキシン暴露による乳児の健康影響、あるいは胎児期における胎内暴露による健康影響については、いくつかの国で免疫系及び甲状腺機能などに関する研究が進められている。

また、母乳哺育については、乳児の身体的発育や神経発達への有益な影響なども示されており、WHOの今回の専門家会合の議論においても、母乳中のダイオキシン濃度を下げようとする努力が必要であるとしつつ、母乳推進の立場をとることに変更はなかった。

5. 実験動物における影響

ダイオキシン類には多くの同族体が存在するが、毒性試験には、主に、最も毒性が強いとされる2,3,7,8-TCDDを被験物質として用いている。

(1) 発がん性

実験動物に対する2,3,7,8-TCDDの発がん性については、Kocibaらがラットの試験により、100 ng/kg/日(2年間の連続投与)の投与量で、肝細胞がんの発生を観察、報告している⁶⁰⁾(表1の番号23)が、その他に、マウスやラットを用いた長期試験で甲状腺濾胞腺腫、口蓋・鼻甲介・舌及び肺の扁平上皮がん、リンパ腫の誘発が、ともに、投与量71ng/kg/日(2年間の連続投与)(表1の番号22)において認められている⁶¹⁾。

なお、発がんメカニズムについては、遺伝子傷害性を検出するための複数の試験系で陰性の結果が得られ、マウスやラットを用いる二段階発がんの試験系でプロモーション作用が証明されている¹⁵⁾。

(2) 肝毒性

肝毒性としては、グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミナーゼ、グルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼの上昇やポルフィリン症、高脂血症等の生化学的変化に加え、病理学的には肝細胞の肥大や脂質代謝異常などが観察されている。

(3) 免疫毒性

免疫毒性に関連する試験において、2,3,7,8-TCDDは動物に胸腺萎縮や細胞性及び体液性免疫異常を引き起こし、ウイルス感染に対する宿主抵抗性や抗体産生能の抑制も認められている⁶⁴⁾(表1の番号15)。また、母ラットへ投与すると、児動物に遅延型過敏反応の抑制⁶⁵⁾や抗体産生能の抑制⁶⁶⁾がみられている(表1の番号12)。これらの影響は、単回投与で投与量100 ng/kg以上から発現しており、明確な用量依存性が認められている。

マウスへの10 ng/kgの単回投与により、ウイルス感染性が増大するとの報告があるが、用量依存性は示されていない⁶³⁾(表1の番号3)。

(4) 生殖毒性

生殖毒性試験では、母動物よりも胎児及び出生後の児動物への影響が強く現れ、妊娠中及び授乳中の投与により、以下のような影響が発現する。

(1) 児の口蓋裂、水腎症等

生殖毒性試験においては、高用量の連続投与(投与量として500 ng/kg/日から)の2,3,7,8-TCDDの投与によって、ラットに腎形成異常⁶⁷⁾、マウスに口蓋裂や水腎症が引き起こされる^{67, 68)}ことが報告されている(表1の番号19、25)。母動物よりも次世代への影響が強く発現し、ラットでの繁殖性試験では、次世代以降に受胎率の低下が認められている⁶⁹⁾。

(2) 児の雌性生殖器系への影響

妊娠15日に母ラットに2,3,7,8-TCDDを単回投与した場合には、雌児動物における生殖器の形態異常が、投与量200 ng/kg(表1の番号13)からみられている⁷⁰⁾。

(3) 児の雄性生殖器系への影響

妊娠ラットに2,3,7,8-TCDDを投与した場合には、児動物における精巣中の精子細胞数の減少、精巣上体尾部精子数減少、射精精子数減少などが認められたとされている。

Faqiら(1998)の試験では、母ラットに交配2週間前から離乳まで皮下投与を行ったところ、低用量群(25 ng/kgを初回投与後、5ng/kg/週を投与)以上で精巣中の精子細胞数が用量依存的に減少している(表1の番号7)ほか、高用量群では血清中テストステロン濃度低下、

また排泄にもヒトと実験動物との間に大きな差異が認められます。例えば、ヒトにおける2,3,7,8-TCDDの半減期はラットの100倍以上も長く、サルの半減期はヒトと他の実験動物の中間の値となります。

○ 一般毒性

急性毒性試験結果において、致死毒性は、種差が極めて大きく現れています。感受性の最も高いモルモット(雄)の半数致死量は600ng/kgであり、最も感受性が低いとされるハムスター(雄)は、5,000,000ng/kgと報告されています。

また、毒性の発現は雌雄差があり、特に雌の方に毒性が現れやすい傾向があります。亜慢性毒性試験結果から、無毒性量(NOEL)はラット、マウス、モルモットに対してそれぞれ10ng/kg/日、100ng/kg/日、0.6ng/kg/日と推定されます。慢性毒性試験結果から、雌の方が雄よりも致死毒性や肝臓毒性に対する感受性が高い傾向が認められています。

スイス系マウスに2,3,7,8-TCDDを経口的に摂取させた1年間の試験ではアミローシスと皮膚炎が観察されており、1ng/kg/日が最小毒性量とみなされます。

ダイオキシン類のヒトへの暴露の事例として、米国で発生した工場廃液の環境の汚染に伴う事例、工場や研究室における汚染事故、イタリアのセブソにおける汚染事故、ベトナム戦争における枯れ葉剤作戦による退役軍人に見られる影響などがあります。

2,3,7,8-TCDDに暴露したヒトや実験動物の場合に観察される兆候と症状には、体重減少、胸腺萎縮、肝臓代謝障害、心筋障害、性ホルモンや甲状腺ホルモン代謝並びにコレステロール等脂質代謝への影響、皮膚症状として塩素ざそう(クロロアクネ)、更に学習能力の低下をはじめ中枢神経症状などがあります。

○ 発がん性

実験動物を使用した長期試験では、ラット、マウス及びハムスターなどの動物種で2,3,7,8-TCDD及び類縁化合物の発がん性が示されています。

ラットにおいては、Kocibaら(1978)が肝細胞の過形成結節及び肝細胞がん、硬口蓋及び鼻甲介、肺の扁平上皮がんの有為な増加を、NTP(1982)は、肝の腫瘍結節、甲状腺濾胞細胞腺腫の増加を報告しています。

ラット及びマウスの肝臓、肺と皮膚の二段階発がんモデルにおいて、ダイオキシン類のプロモーター作用が認められています。このプロモーター作用にはEGF受容体及びエストロゲン受容体との相互作用の関与が示唆されています。

2,3,7,8-TCDDには、間接的なDNA障害は認められますが、直接的な結合は認められず、各種の変異原性試験等においても陰性を示す結果が多く、遺伝毒性はないものと総合的に判断されます。また、ダイオキシン類のプロモーター作用と併せて考慮すると2,3,7,8-TCDDの発がん機構には閾値があることが示唆されます。

ダイオキシン類の疫学データに関しては、職業暴露者や事故の被災者及びベトナム戦争の枯れ葉剤作戦の退役軍人に関する各種の疫学調査がなされています。

その結果から、高濃度暴露を受けた人の集団において特に部位を特定せずに広範な部位にがんを発生させる可能性を持つ物質であることが示唆されています。この中でも特に軟部組織肉腫についてはそのリスクの増加が示唆されます。

しかし、これらの疫学データにおける暴露の評価には不確実な点も多く、今後の検討課題です。

○ 生殖毒性

実験動物に対する2,3,7,8-TCDDの毒性は、母体よりも胚や胎児の段階で強く現れます。

代表的な催奇形性としてマウスにおける口蓋裂、水腎症があります。

ダイオキシン類は妊娠率の低下、出生仔の低体重及び姓周期に影響を与えます。ラットを用いた3世代実験では、その影響は第0(F0)世代では、100ng/kg/日で、第1(F1)および第2(F2)世代では10ng/kg/日で見られています。

アカゲザルでは、5ng/kg、25ng/kgの2,3,7,8-TCDDを含む飼料で4年間飼育したとき、それぞれ71%、86%の子宮内膜症が見られました。

動物実験において、妊娠中及び授乳中の2,3,7,8-TCDDの暴露による仔の生殖機能、甲状腺機能、免疫機能への影響が低レベルで認められています。Mablyらは、付属生殖器間の重量、精子形成の現象を64ng/kgのダイオキシンを含む飼料の一回投与という極めて低いレベルで認めています。この濃度での追試による確認はされていません。

人による生殖・発生への影響の観察が事故などによりダイオキシン類の暴露を受けた集団等において行われています。ダイオキシン類と同様の毒性を持つPCDFの影響を調べた台湾油症の研究によると、子供の成長の遅延、行動上の問題、知力の不足等が認められており、また生殖機能への影響も報告されています。

バックグラウンドレベルの暴露を受けている集団でも母乳中のダイオキシン類濃度と子供の甲状腺ホルモンや免疫機能の異常との関連、ダイオキシン類の摂取量と低体重児との関連などが示唆されています。さらにベトナム戦争退役軍人の枯れ葉剤暴露とその子供の二分脊椎のリスクの増加との関連について限られているが示唆的な証拠があるとされています。

○ 免疫毒性

2,3,7,8-TCDDは未熟な胸腺細胞の減少を伴う胸線の萎縮を生じさせます。マウスへの投与試験の結果では100ng/kg/日で胸腺細胞の有意な減少が観察されています。

ウイルス、細菌、寄生虫に対する感染防御機構は、2,3,7,8-TCDDの投与に対して鋭敏に反応し、致死率増加や寄生虫排除の遅れが見られています。

マウスへの2,3,7,8-TCDD単回投与試験の結果では、無毒性量(NOEL)が5ng/kg/日でした。2,3,7,8-TCDDは、抗体産生を抑制させ、また、リンパ球の変動を生じさせます。生殖免疫反応への影響として、妊娠マウスへの2,3,7,8-TCDD投与により新生児マウスの胸腺細胞数の変化を示す結果が得られています。

ヒトの免疫系への影響については疫学でT細胞レベルの変動が示唆する報告が見られますが、統一的な結論を導くためにはまだ知見が不十分と考えられます。

○ 毒性等価換算について

毒性についての報告が得られているダイオキシン類としては、2,3,7,8-TCDDが主たるものであり、他のものについては限られた情報しか得られていません。

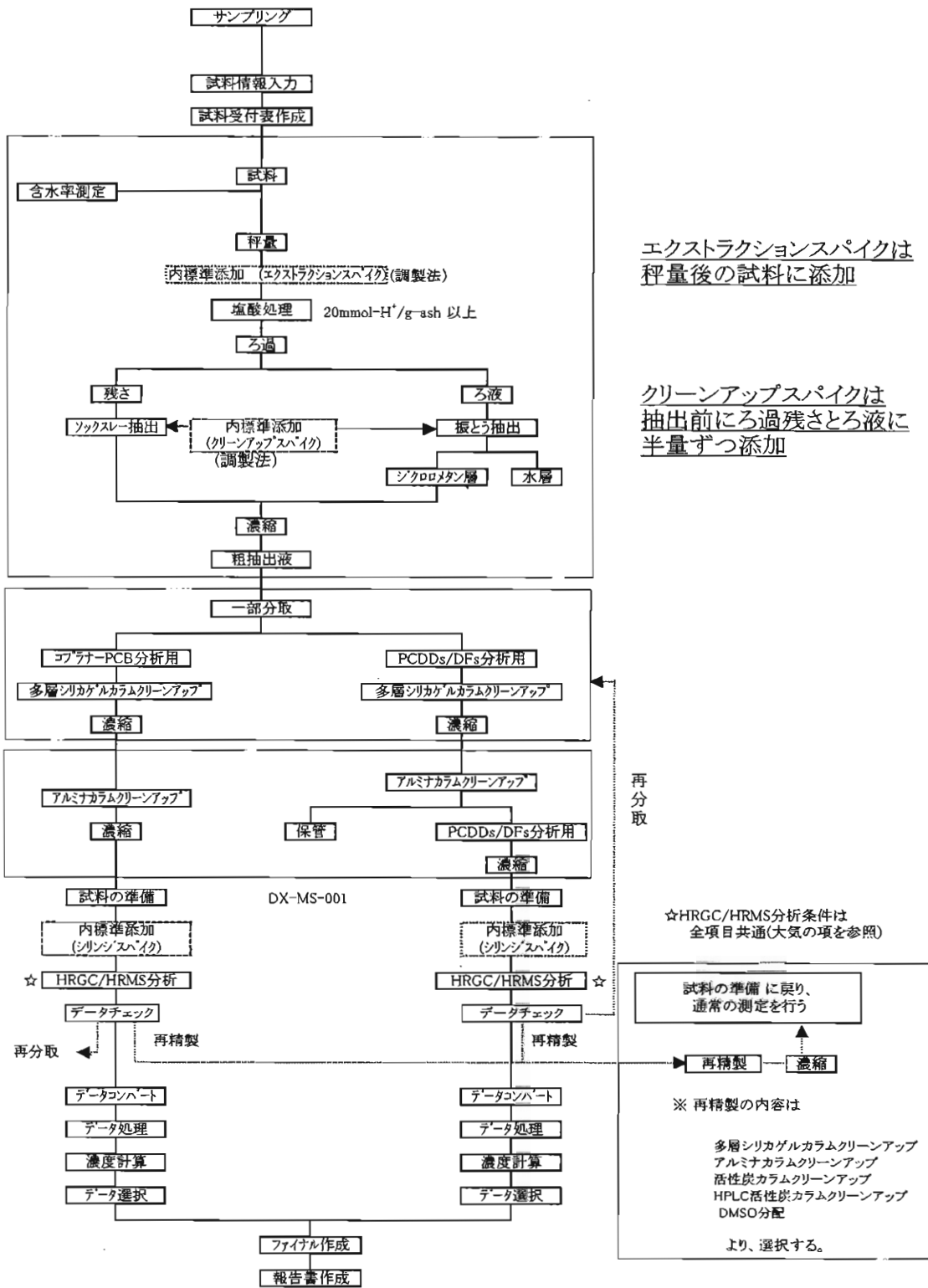
ダイオキシン類の毒性は、その分子骨格についての塩素の置換数と置換位置によって支配されており、その毒性のかなりの部分は、受容体との結合等と密接に関連していると考えられています。受容体との結合等を勘案して、2,3,7,8-TCDD以外のダイオキシン類(塩化ダイオキシン、塩化ジベンゾフランの異性体)の毒性を、2,3,7,8-TCDDの毒性として力価換算します。即ち、2,3,7,8-TCDD以外のダイオキシン類の濃度に対して表1に示す2,3,7,8-TCDD毒性等価係数(TEF)を乗じ、2,3,7,8-TCDD毒性等価量(TEQ)を算出し、ダイオキシン類の総和を用いて評価を行います。

○ 毒性等の総括

環境省の「ダイオキシンリスク評価検討会」は、毒性等の総括として下記の見解を示しています。

動物実験の結果から、ダイオキシン類は、急性毒性、慢性毒性、発がん性、生殖毒性、催奇形性、免疫毒性等多岐にわたる毒性を有しています。これらの毒性の全ては単一の動物種で認められるものではなく、生物種、系統、年齢、性別等により異なっている。

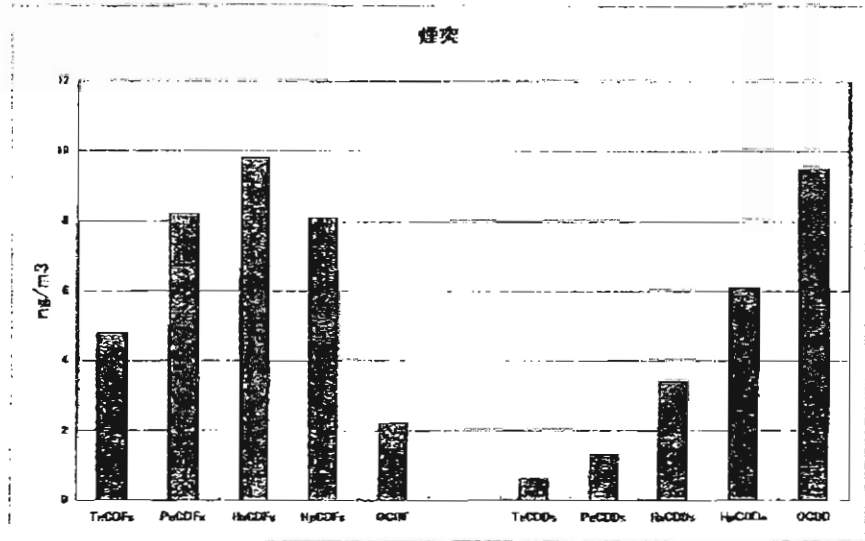
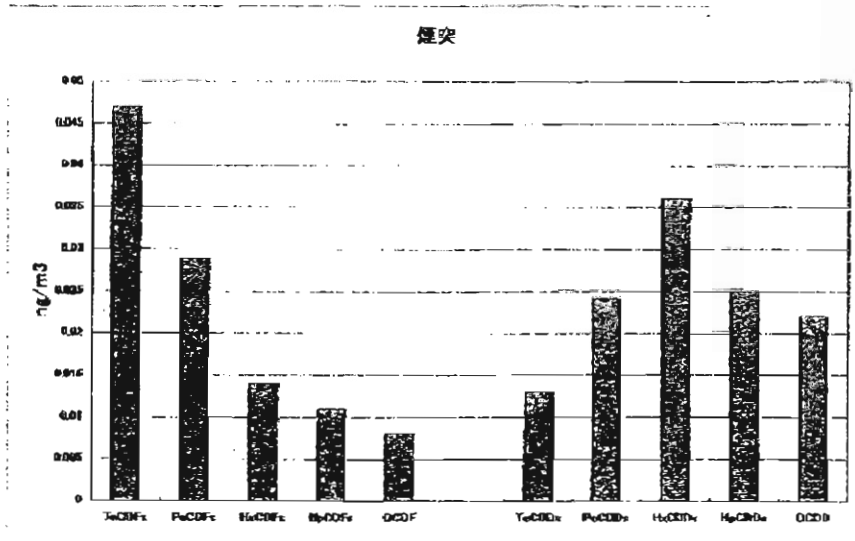
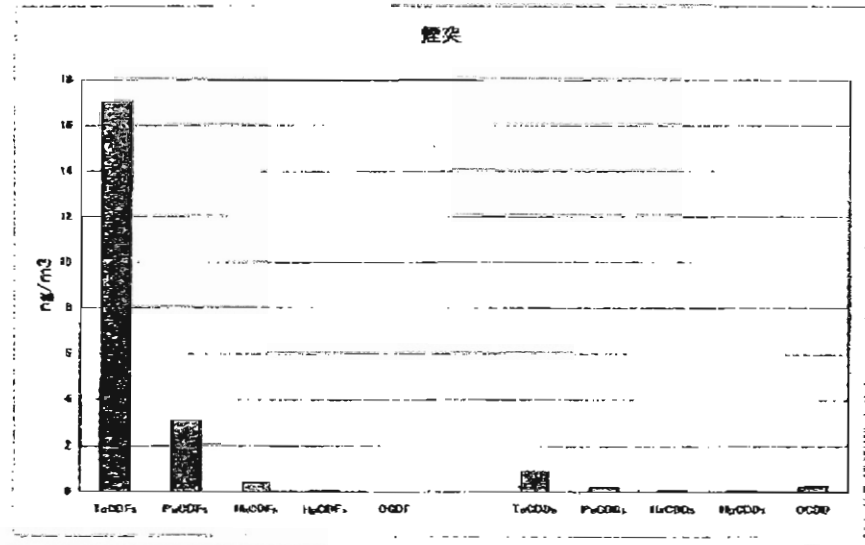
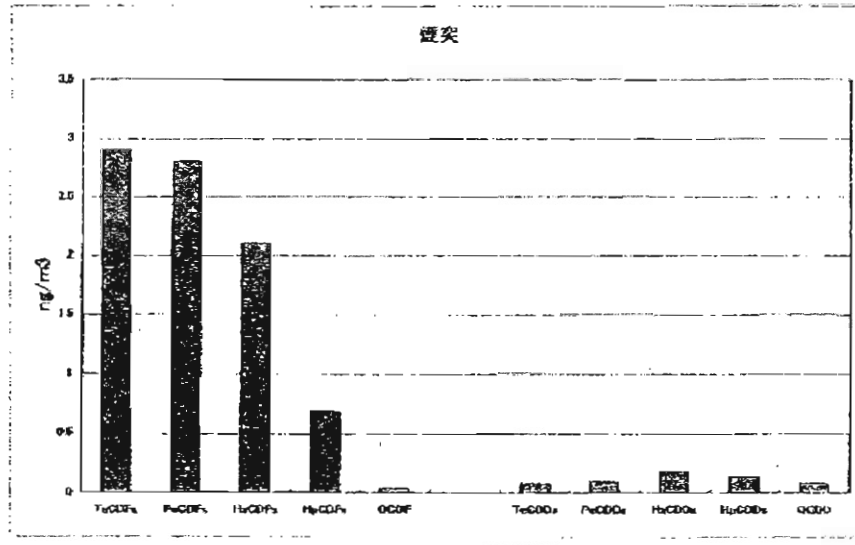
人の疫学調査の結果からは、ダイオキシン類は、クロロアクネを除いては人の健康影響に関する明確な結論は得られておらず、発がん性、生殖毒性及びその他の健康影響の有無に関しても正確に論証した報告がないのが現状である。なお、発がん性については、国際がん研究機関(IARC)が最近までダイオキシン類を2B(人に対して発がん性の可能性のある物質)と評価していましたが、ダイオキシン類のうち2,3,7,8-TCDDのみは、人に対して発がん性があると分類し(グループ1)、その他の異性体は現時点では分類できない(グループ3)との見解を発表しました。当検討会では、



DXNs分析フロー例

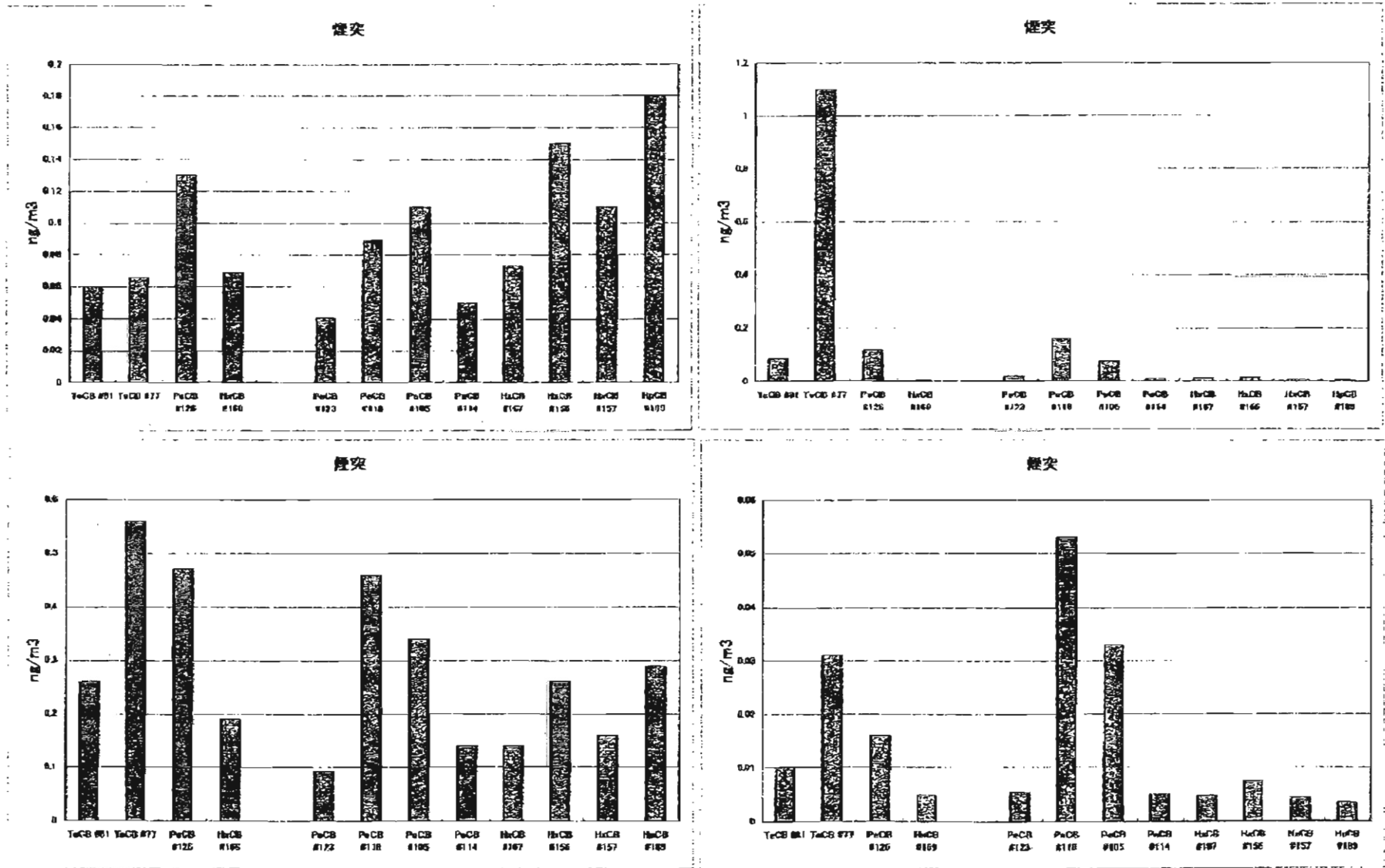
品質管理

PCDD/DF 同族体グラフ



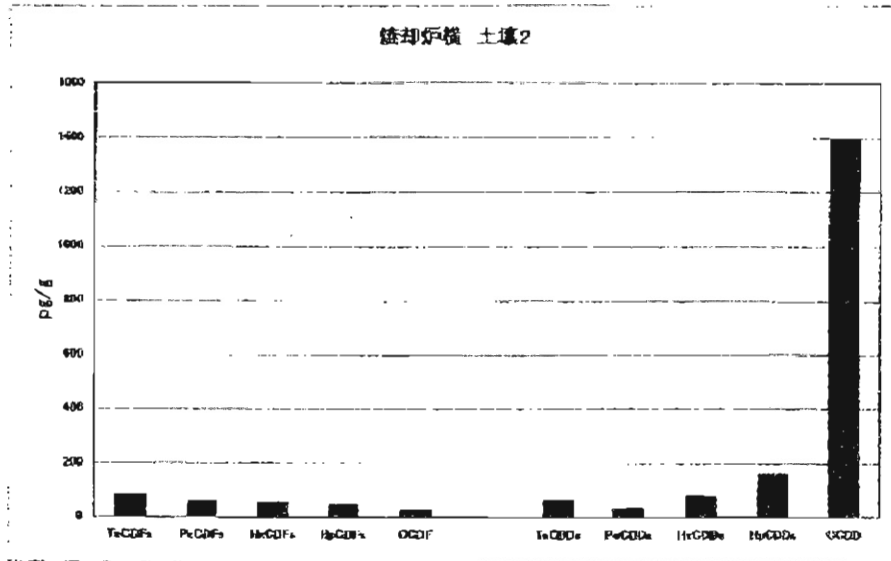
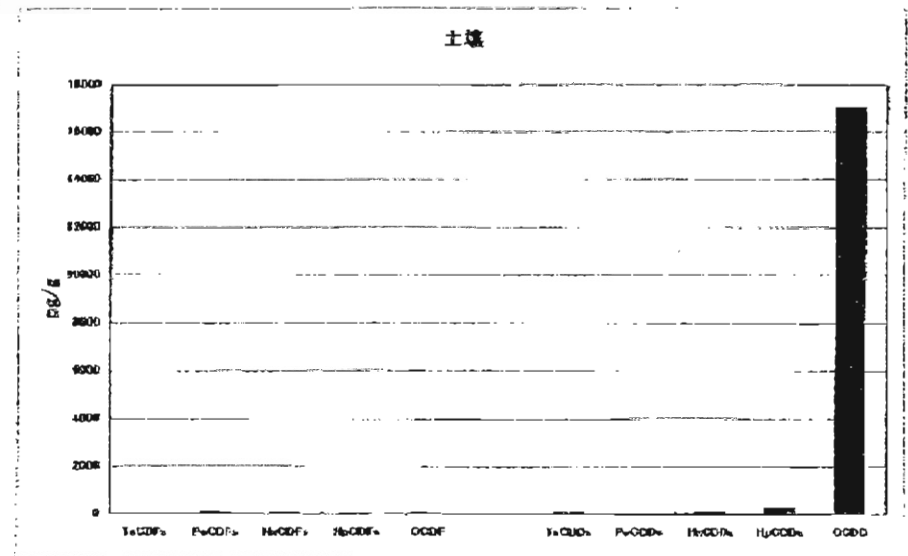
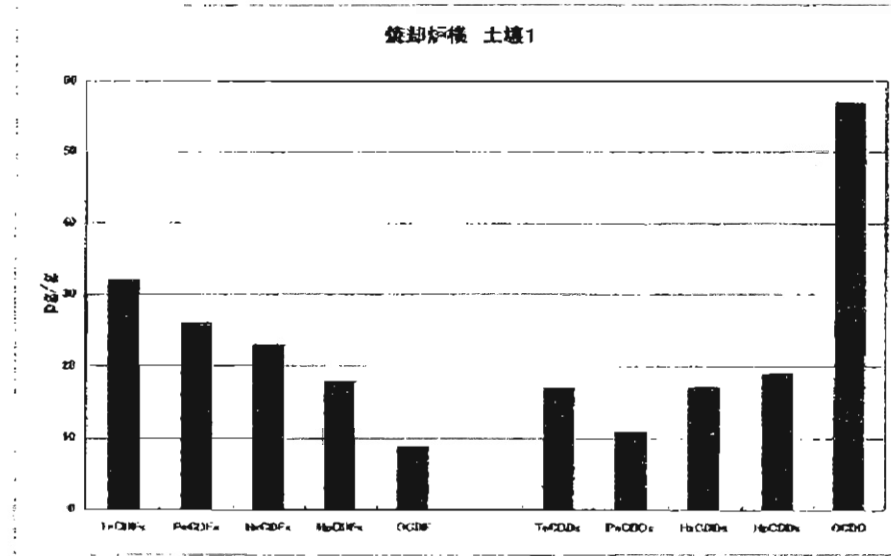
煙突排ガス中DXN分析例(同族体パターン)

PCB 異性体グラフ



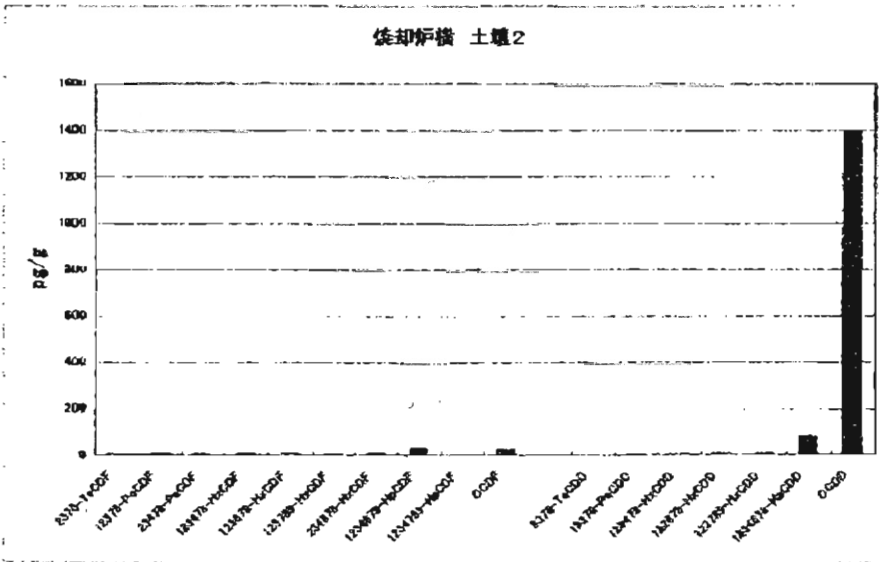
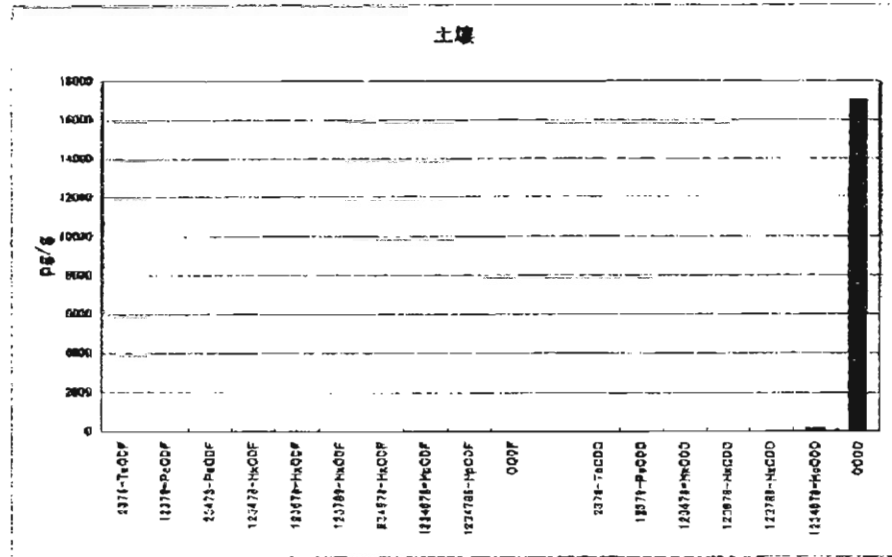
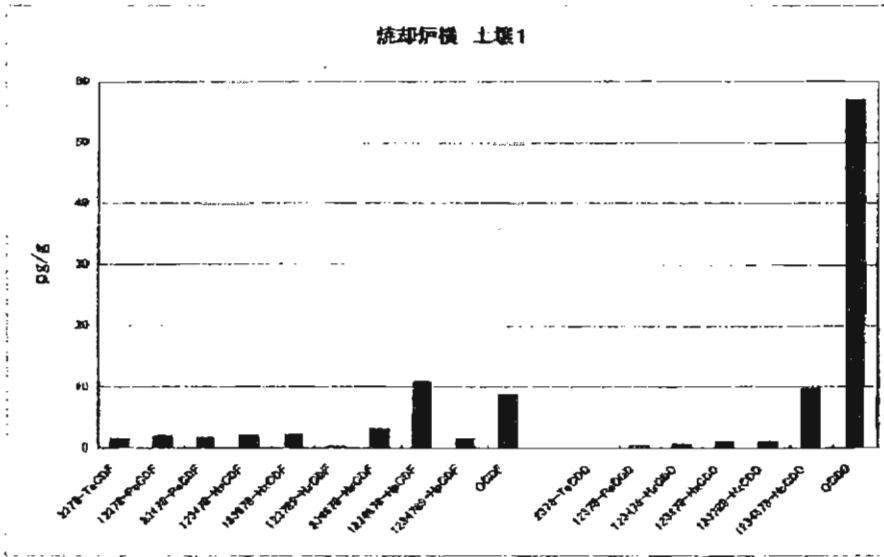
煙突排ガス中PCB分析例(異性体パターン)

PCDD/F 同族体グラフ



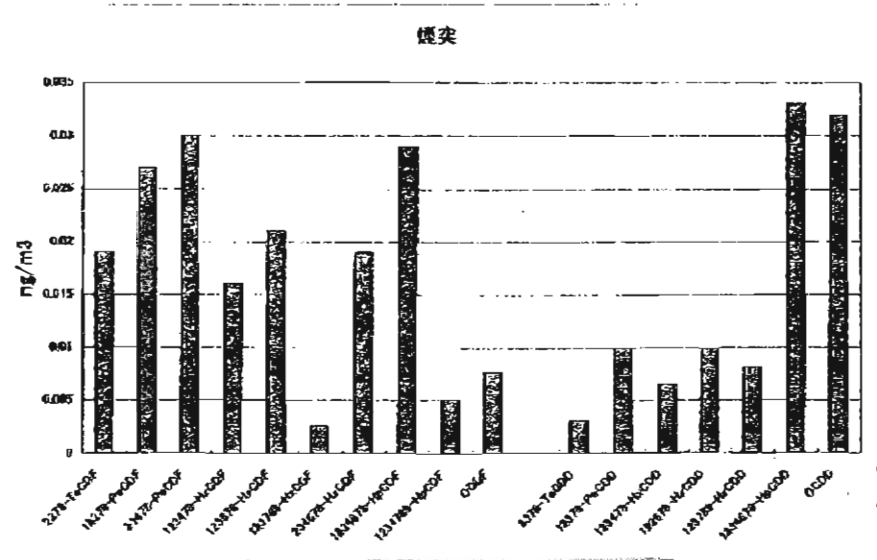
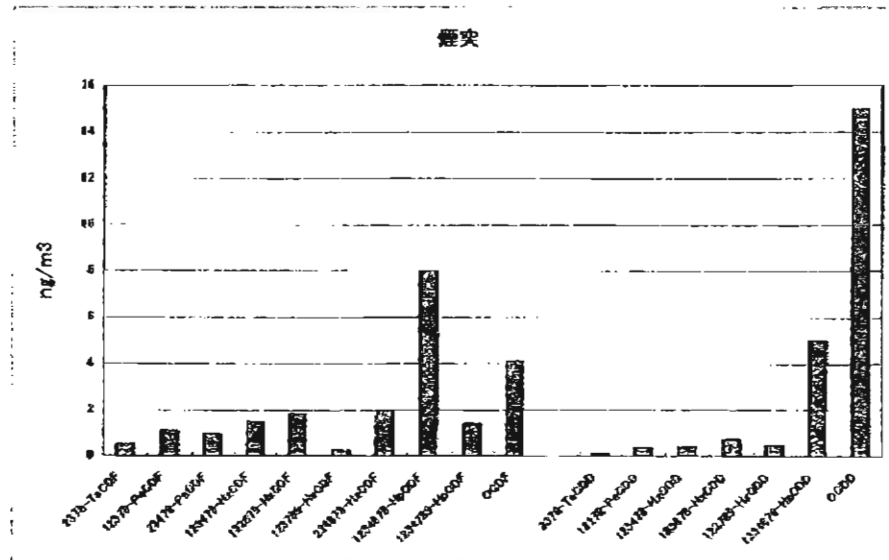
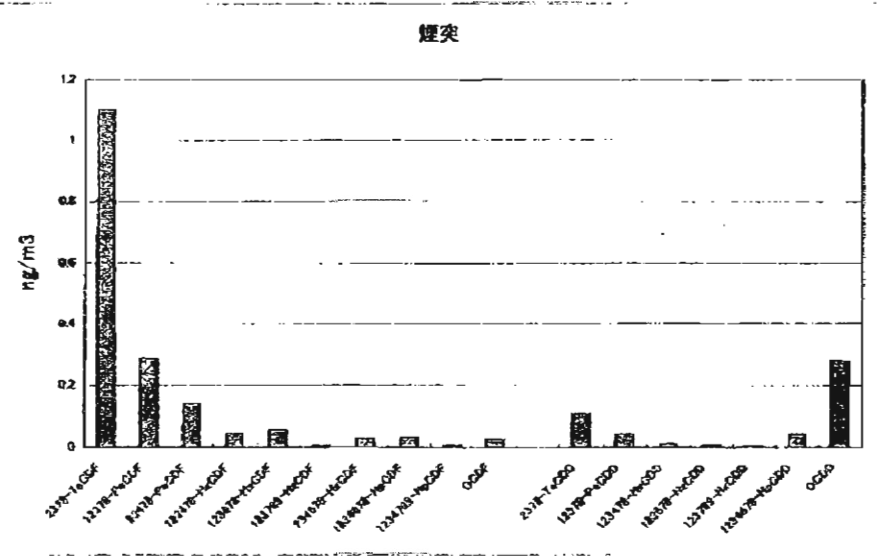
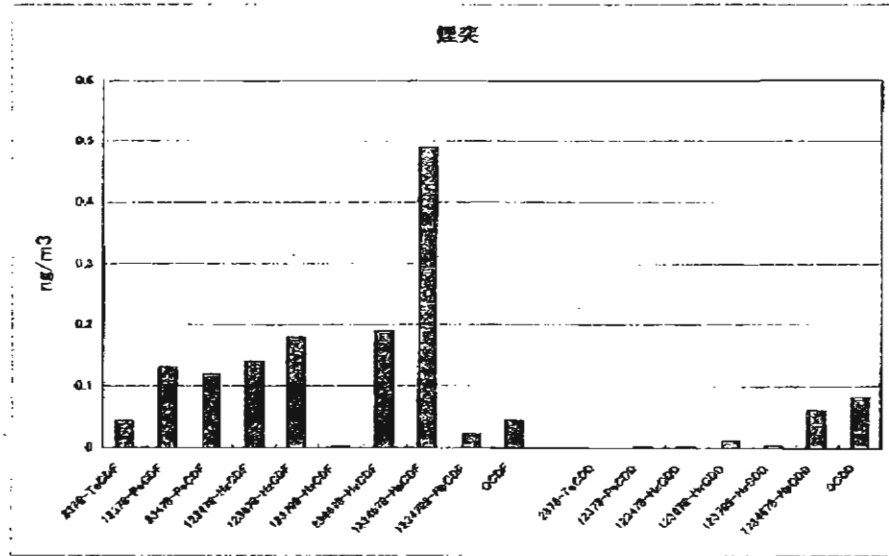
焼却炉横 土壌中DXN分析例(同族体/ナーン)

PCDD/DF 異性体グラフ



焼却炉横土壤中DXN分析例(異性体パターン)

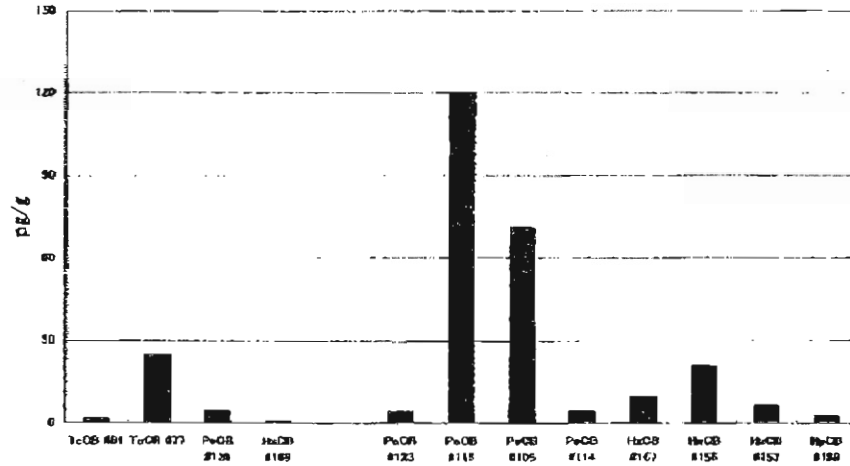
PCDD/DF 異性体グラフ



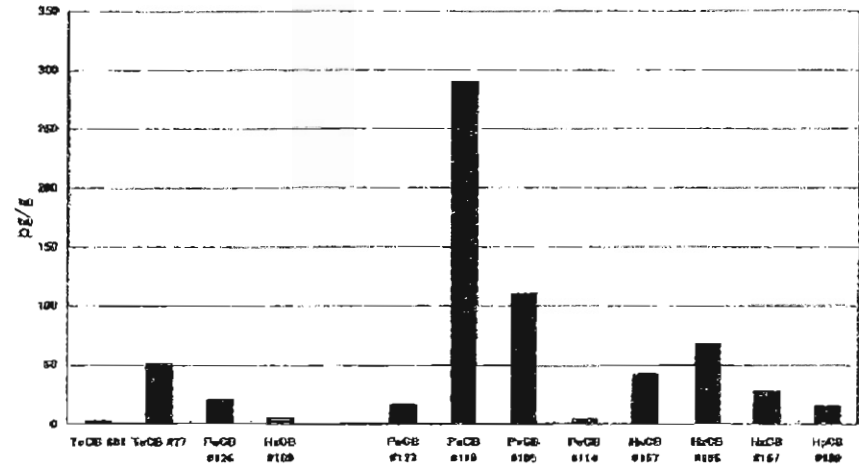
煙突排ガス中DXN分析例 (異性体パターン)

PCB 異性体グラフ

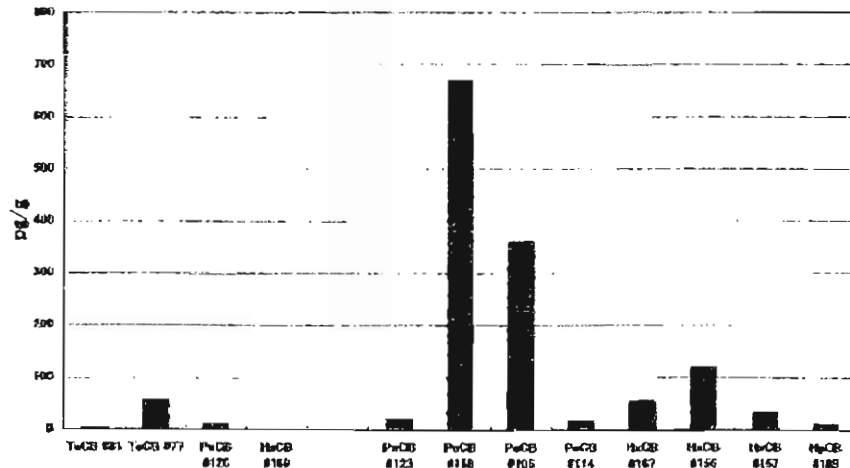
焼却炉横 土壌1



土壌



焼却炉横 土壌2



焼却炉横土壤中PCB分析例(異性体パターン)

