

図 2-2-3 代表的な都市ごみ焼却炉における PCDD/PCF 同属体の排出

(1) パターンの数学的評価

代表的な三種の加熱設備である都市ごみ焼却炉、有害廃棄物焼却炉、鉄鋼業炉 (ISI) から 109 個のサンプルを採取し、ポリ塩化ジベンゾ・P・ダイオキシン (ダイオキシン) とジベンゾフランの一般的なパターンとを比較評価した。三つの加熱設備からの全サンプルの中で、Cl<sub>8</sub>DD が最も多い。Cl<sub>8</sub>DD の平均濃度は、鉄鋼業炉の試料で 15%、有害廃棄物焼却炉の試料で 33% である (図 2.2.4 参照)。しかしながら、毒性当量 (I-TEQ) に最も寄与するものは 2,3,4,7,8-Cl<sub>5</sub>DF であった。I-TEQ の 30% 以上は都市ごみ焼却炉と有害廃棄物焼却炉の試料中のこの同属体の存在によるもので、45% は鉄鋼業炉試料中の同属体の存在によるものである (図 2.2.5 参照)。分類体系的な集合分析によると、鉄鋼業炉 (ISI) からの排出物のパターンは廃棄物焼却炉からの排出物のパターンとは僅かに違うことが判った。廃棄物焼却炉の中では都市ごみ焼却炉と有害廃棄物焼却炉の排出物の間に相違は認められなかった。

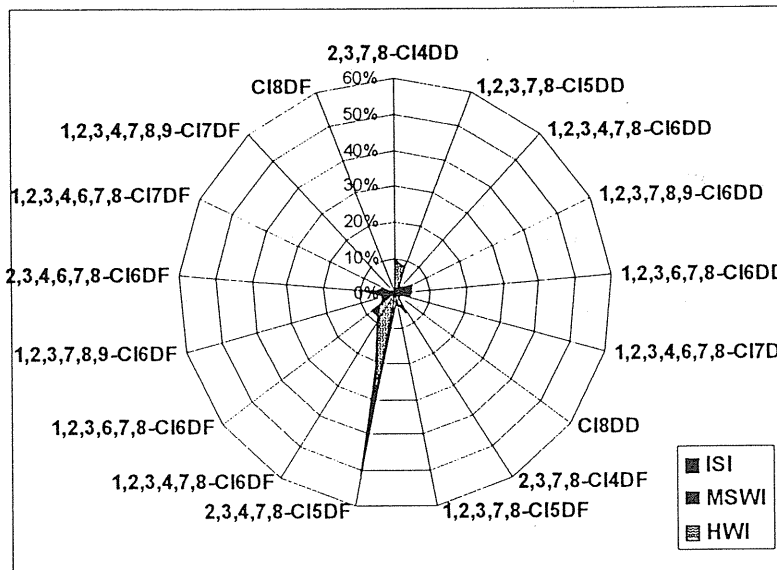


図 2-2-4 2,3,7,8-置換同属体全体の中での、個々の2,3,7,8-置換同属体の寄与率

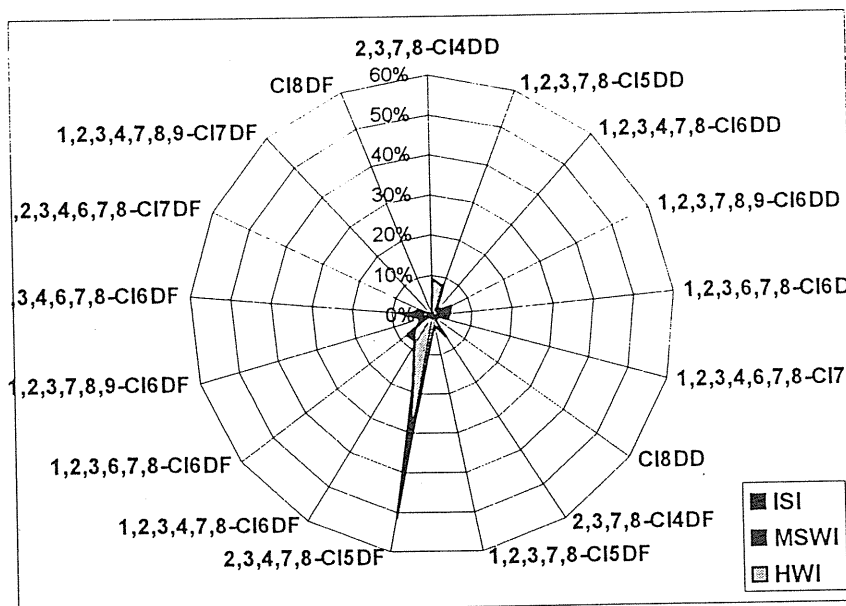


図 2-2-5 I-TEQ に及ばず個々の2,3,7,8-置換同属体の寄与率

## 5. ドイツとヨーロッパ連合における都市廃棄物焼却について

### 1) ドイツの処理施設数と能力

1998年で53の都市ごみ焼却炉と1つの熱分解設備を含め全体で140の焼却施設が操業中である。

稼動施設の全許容量は1,190万t/年で、3,240万人（全人口の約40%）の人口に貢献している。ドイツの連邦環境（LIBA）の見積りによると廃棄物の処理能力に占める都市ごみ焼却施設の比率は今後2～3年間は増加を続けるだろう。焼却能力の増加は有害廃棄物処理施設にも予想される（表2-2-3、2-2-4参照）。

表 2-2-3 ドイツにおける熱処理される都市ごみの推移

年	施設数	処理量 (1000t/y)	人 口		施設当り処理量 (1000t/y)
			1000 人	%	
1980 <sup>1)</sup>	42	6,343	17,730	28.9	151
1985 <sup>1)</sup>	46	7,877	20,630	33.7	171
1990	48	9,200	21,600	27.4	191
1995	52	10,870	24,300	30.0	209
1998	54	11,900	32,400	40.0	225
2000 <sup>2)</sup>	63	13,933	32,000	60.0	222

<sup>1)</sup> 旧連邦のみの数値 <sup>2)</sup> 推定値

表 2-2-4 ドイツでの有害廃棄物焼却の推移 (UBA 1995)

年	地域数 <sup>1)</sup>	施設数	焼却能力 t/y
1970	10	15	222,000
1975	13	22	382,000
1980	21	34	620,000
1985	23	38	740,000
1990	30	51	1,010,000
1993	30	52	1,044,000
1995	32	55	1,120,000
2000	35	59	1,300,000

<sup>1)</sup> 私営、公営      <sup>2)</sup> 推定値

現在操業中の施設の稼働許容量は、地域的な廃棄物の管理条件、例えば廃棄物処理契約の期間、集荷面積の広さ、契約価格や条件などに影響されて大きな差異がある。大多数の施設の稼働率は60～80%で中には100%の所も数ヶ所ある。多くの施設で許容量一杯の操業ができない理由は、廃棄物循環処理法に関する法令により、過去数年間に実施された廃棄物の再利用などの努力によるものである。ドイツの廃棄物の全量は1990年で3億7400万tであったのが、1993年には3億3700万tになり10%減少し、そのうち家庭ごみだけではその間に5000万tから4300万tに減少した。また、熱処理の費用が上昇しているために、費用の安い埋め立てにかなりの量が回されている。焼却費用はトン当たり190ドイツマルクから650ドイツマルクの範囲である。

連邦環境庁の推算によると、将来の国民1人1年当たりの廃棄物の量はわずか約200kg

で処理すべき全廃棄物量は 1600 万 t / 年となるだろう。2005 年までに熱処理能力は約千 4 百万 t になると見積もられる。廃棄物の生物処理能力が 170 万 t と見積もられるので、それを加えると 1570 万 t もの処理能力が得られる。熱処理許容量の不足分は 30 万 t / 年と生物処理残渣 (130 万 t) を加えたものになるだろう。

#### (1) 排煙洗浄システム

焼却とは複雑な化学処理過程である。その主反応は酸化反応で、その代表的な焼却生成物は一酸化炭素、炭酸ガス、水蒸気、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、塩化水素、弗化水素、微粒子、重金属、そしてダイオキシンとフランである。利用される排ガス処理技術は第 17 回 BI m SchV で決められた基準値に適合するものでなければならない。排出物を削減する第 1 の基準では、廃棄物に伴われて施設に搬入される汚染物質の熱分解と、焼却炉や蒸気発生器の中での有害物質の生成防止に係るものである。この基準は焼却施設を建設する際の細部も含んでいる。第 2 の基準は、排ガス中の有害物質を減少し、取り除き、そして分解するためにすべてのステップをカバーしている。

排ガス処理技術は次の様に分類される。

- ・ 粉塵を取り除くための集じん器 (静電フィルター、バグフィルター)
- ・ 塩化水素、HF、SO<sub>x</sub>、Hg (水銀) などを取り除くための吸着技術
- ・ 酸性ガス、有機汚染物質、重金属などを取り除くための乾式吸着技術
- ・ NO<sub>x</sub> の除去 (触媒法 [SCR]、非触媒法 [NSCR])

排煙の洗浄システムは単純な成分を選択的に取り除くだけでなくほかの汚染物質にも効果を持っている。したがって各処理段階がダイオキシンの排出率を、程度は異なるが、減少させることに貢献している。各種処理方法の能力を表 2-2-5 に示した。規制に適合させるためには、各処理方法を組み合わせることが可能であり、それによるダイオキシン類の除去効率が Mayer らによって整理されている (表 2-2-6)。

(Mayer 等 1996, Johnke 1998)

表 2-2-5 第 17 回 BimSchV の要求を満たす排煙の清浄法の能力 (Kozmiensky 1994)

清浄法	酸化ガス	Nox	PCDD/PCD	重金属
乾燥法	0	-	0	0
吹き付け吸引	0/+	-	0	0
気体洗浄装置	+	-	-	0
SCR	-	+	+/0	-
SNCR	-	0	-	-
活性炭(移動台)	0*	0	+	+
活性炭 (繊維フィルター)	0*	-	+	+

- : 適合せず      0 : 適合+限定的に適合した      \* : 残留量のみ

表 2-2-6 各種排ガス処理の組み合わせによるダイオキシン削減率

排ガス処理	削減率 (%)
静電気フィルター (180°C)	35-68
噴霧吸収 (石灰) + 静電気フィルター	51-82
噴霧吸収 (石灰) + コークス(460mg/m <sup>3</sup> ) + 静電気フィルター	94-99
噴霧吸収 (石灰) + 繊維フィルター	80
噴霧吸収 (石灰) + 活性炭(50mg/m <sup>3</sup> ) + 繊維フィルター	96.7-99.7
噴霧吸収 (石灰) + コークス(70-500mg/m <sup>3</sup> ) + 繊維フィルター	95.7-98.7
噴霧吸収 (石灰) + コークス(400-500mg/m <sup>3</sup> ) + 繊維フィルター	95-98
サイクロン + 乾燥吸収 + 繊維フィルター	99
洗浄器 (放射状または円柱状洗浄器)	5-33
洗浄器 + 静電気フィルター	5-97
洗浄器 + 湿式静電気フィルター	30
洗浄器 + 活性炭 + 湿式静電気フィルター	48
洗浄器 + 活性炭 (乾燥したもの) + 湿式静電気フィルター	86.4

## (2) 触媒による選択的NO<sub>x</sub>削減

触媒によるダイオキシンの削減は NO<sub>x</sub> 削減と連動している。NO<sub>x</sub> 削減のために本質的に2つの技術的方法が処理工場に組み込まれる。それは選択的非触媒削減 (SNCR) 技術と選択的触媒削減 (SCR) 技術である。この双方とも、NO<sub>x</sub> を還元して N<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>O にするための還元剤としてアンモニアやアンモニア溶液を使用する。

SNCR プロセスの場合には、削減剤は 850~1000℃の温度の燃焼室に注入される。化学量論的な係数により、効率は 50~90%になる。80%以上の効率を得るためには化学量論的な係数を2以上にする必要がある。ダイオキシンのデノボ合成は、NH<sub>3</sub> が明瞭に抑制剤の作用をするために抑制される (Lurgi GmbH 1992)。SNCR システムはSCR に比べて建設費が安いのと敷地面積が少なくて済むという特徴がある。

SCR の場合には、NH<sub>3</sub> と空気が化学量論的に NO<sub>x</sub> に相当する割合で排煙に添加される。NH<sub>3</sub> が混合された排煙は反応温度をできるだけ下げるために数段に配置された触媒層を通過する。適当な操作温度は 320 ~380 °C で、還元反応は 180 °C でもよい。触媒の主成分は二酸化チタンであるが、それ以外に酸化バナジウムや酸化タングステンあるいは活性点を持つ他の金属を含んでいる。触媒の活性は操作温度、ガス速度、酸素濃度と触媒の成分と表面積に関係する。

現在使用されているのは次の3つの方法である。

- ・ 165~220℃の排煙洗浄システムの最終段階で使用する低温触媒。

この触媒は SO<sub>2</sub> の残留量に非常に鋭敏である。ダイオキシンの酸化触媒として併用することは不可能である。

- ・ 280~350℃の排煙の洗浄方式の下流で使用する高温触媒は SO<sub>2</sub> には鈍感である。ダイオキシンの酸化触媒として添加することは可能である。2次バーナーが必要となる。
- ・ 集塵機 (10mg dust/Nm<sup>3</sup> 以下) の下流の高温触媒で、2次バーナーは不必要である。アンモニアの割合を決める操作は、NO<sub>x</sub> の還元設備の上流と下流で NO<sub>x</sub> の量に合わせて行う。

NO<sub>x</sub> の還元段階で使用されるタイプの触媒を用いるダイオキシンのフランの反応挙動を調べる目的で行われた実験結果から、この種の触媒はダイオキシンのフランの酸化反応にも貢献していることが分かった。酸化物を分解されるのに最適な NO<sub>x</sub>-触媒と同様の触媒を用いることで焼却工場の下流でダイオキシンのフラン濃度を 0.1ng TEQ/m<sup>3</sup> まで減少

させることが可能になる。

しかしこの目的を達成するためには、操作温度を 320 ~ 350 °C の間に維持しかつ SCR 反応器は数段の触媒層を増加しなければならない。これにより洗浄効果は 90% 以上 (95 ~ 99%) にすることができる。NO<sub>x</sub> の還元が完了し、触媒の活性点が酸化反応への準備を完了したら、有機成分の酸化が始まる。

表 2-2-7 NO<sub>x</sub> 酸化触媒でのダイオキシン削減

流 量	反応温度	備 考	PCDD/PCDF (ng-TEQ/m <sup>3</sup> )	
			上昇気流	下降気流
2 x 70,000	320	1. Nox削減層 2. 酸化層 3. 酸化層	1.16-2.69	0.04-0.05
2 x 45,000 1 x 90,000	280	1. Nox削減層 2. 酸化層 3. 酸化層	2.1-3.4	0.01-0.05

## 2) EU諸国における廃棄物焼却の現状

欧州委員会は 1994 年の危険廃棄物焼却に関する指令により、欧州連合 (UE) の加盟 15 ヶ国の有害廃棄物焼却炉の煙突出口での限界濃度を 0.1ngI-TEQ/m<sup>3</sup> とする指令を公布した。EU の全ての国はこの規制に従う法律を制定するものと思われる。EU の指令は各国の法律に盛り込まなければならない最低の要求事項を定めている。オーストリア、ドイツ、オランダなど数ヶ国は、すべての廃棄物焼却施設の基準値として 0.1ngI-TEQ/m<sup>3</sup> と制定しており、EU の要求を上回っている。

EU の焼却能力に関しては、総合的なデータは取れない。それほど広い範囲の焼却炉が区別もできない多種多様の廃棄物を焼却しているということである。さらに注意すべきことは、廃棄物の処理技術が急速に発達し、多くの国で焼却炉が新たに建設されると同時に古い工場が改築されたり、閉鎖されたりしていることである。

政令の草案を評価する調査で、EU における都市廃棄物の焼却炉の現存数に関する情報が調べられた。欧州委員会が TNO により実施した 1990 年代初期のデータでは、スイスとノルウェイを含めて 485 基で、その能力は 1 年当たり 43,140kt であった。TNO の調査では、都市ごみの焼却施設は EU の中で平均的に分布していない。表 2-2-8 は 1980 年代後期から 1990 年代初期における都市ごみ焼却データを示している。都市ごみ焼却に関する 2 つの政令にはまだ完全には適合していないが、完全に適合した状況を考慮すること



が重要となる。経済評価試算で、EUの焼却炉は2000年以降には、必要な性能向上と閉鎖が完了すると見込まれる。厳重な排出基準が課せられるために、EUの焼却炉の能力はより大規模になり、コスト効率の高いものとなると思われる。その場合の焼却工場数は363で、その能力は56,512kt/年になると予想される。特別な施設や混焼炉によって焼却される幅広い廃棄物に対して提案されている指令に係るすべての焼却施設の数を確認することは困難である。更に下水汚泥や医療廃棄物焼却分野への指令案のコストと利益についての分析が実施されて来た。医療廃棄物の焼却の分野では、小規模の病院付属の焼却工場が閉鎖され、大型の集約化された工場に置換えられるために焼却炉の数が大きく変化した。EUでは毎年2Mtの下水汚泥と1.3Mtの病院関係の廃棄物を焼却している。

表 2-2-8 ヨーロッパの都市ごみ焼却(1990)

国	焼却容量 (kt/年)	焼却率 (%)	施設数
オーストリア	340	11	2
ベルギー	2240	54	24
デンマーク	2310	74	31
フィンランド	70	2	1
フランス	11330	42	225
ギリシャ	0	0	0
ドイツ	12020	36	49
アイルランド	0	0	0
イタリア	1900	16	28
ルクセンブルグ	170	75	1
オランダ	3150	35	10
ノルウェイ	500	22	18
ポルトガル	0	0	0
スペイン	740	6	14
スウェーデン	1860	47	21
スイス	2840	59	30
イギリス	3670	8	31
EU総計	39800		437

## 6. PVCと火災

### 1) デュッセルドルフ空港の火災

1996年4月11日にデュッセルドルフ空港で起きた火災事故について簡単に説明する。ここでは、事故後に測定されたPCDD/PCDF濃度、勧告と改善結果を要約して述べる。詳細な報告書はStaatskanzlei Nordrhein-Westfalen社により出版されている。

#### (1) 1996年4月11日の火災事故の分析

1996年4月11日にデュッセルドルフラインルール空港の主要建物の中で火災が発生し、7人が死亡、80人が負傷した。可燃性の断熱材があったことと、いくつかの安全基準違反があったために、火災は急激に広がり、煙が建物全部に充満した。その結果、直ちに空港の大部分は閉鎖され救援活動が行われた。当日のサンプルから火災の激しさが推定され、改善計画を立案するために分析された。1996年6月に火災調査委員会が発足した。火災の原因は伸縮継手の溶接であった。不完全な溶接操作に他の欠点が重なって大災害となった。270mの長さの伸縮継手は、出発用の平地にある接近坂路と、隣の駐車場との間の到着用平地の天井に置かれていた。下にある鋼鉄の構造部分が、溶接部位にさらされていた。導水性のシートがPVC製の樋の中へ下向きに伸びていた。強化屋根の下はつるし屋根で、保護羊毛と金属ウールから構成されていた。天井の上の空間は架設、ケーブル、空調ダクト、パイプなどの通路として使われていた。60cmの厚さのポリスチレンの硬質フォームがコンクリートの天井と接触していた。アルミ箔がその下で蒸気遮断材として接触していた。ポリスチレンフォームの板は到着用の平地の、ドライブウェイの強化コンクリート天井と接着剤とピンにより接合されていた。元来の建設基準に反して1971年と1975年に到着ホールの天井に断熱材としてポリスチレンが取り付けられた。

委員会に提出された報告書によると火災は次のように発展したと考えられる。伸縮継手の溶接の間に溶接くずが開いた継ぎ目に落ち、次にゴム状物質で造られた導水性シートに当たった。ドイツの建築基準ではこのシートは普通の可燃性に分類されていた。このようにしてそのシートが最初に発火して、その熱で隣のポリスチレンのフォーム板が溶け、それが発火したようである。

最初火が出た時には建物内に約2,000人おり、72人が負傷しそのうち2人が重傷であった。16人が煙を吸い込み即死し、17人目は煙の中毒で5週間後に死亡した。一酸化炭素が火災の煙の中の致命的な物質であることはよく知られているが、火災はCO以外にも多くの有害な物質を発生し、建物の大部分を汚染する。この災害の重要な原因は、

- ・天井裏に可燃性材料や可燃性の設備が存在した（主にポリスチレン）。
- ・この可燃性材料が不適切な溶接作業で発火した。
- ・多量の煙が、特にポリスチレンの燃焼で発生した。
- ・煙探知器がなくて、検知されない間に、煙が拡大した。
- ・早期かつ有効な消火活動がなかった。
- ・到着ホールの吊り天井の部分的な崩壊による急速な煙の拡大。
- ・駐車場から空き地への人を運ぶエレベーターに煙が充満した。
- ・階段や出口が煙で充満した。

## （２）火災規模と燃焼による有害物質

この火災の燃焼物体の総量は約 24,000kg で、このうちポリスチレンが 11,400kg（全体の約 50％）でPVCが 5,900kg（約 24％）である。

この火災で発生した汚染物質は空港会社や官庁の要請で、専門家によって徹底的に分析された。火災残渣中の多環芳香族炭素化水素（PAH）とPCDD／PCDFの濃度は現行のドイツの最高許容濃度を超えていた。それゆえに火災の煤が積もった火災現場と隣接した区域は完全に洗浄する必要があるがあった。人体の保護と建物や屋外環境のこれ以上の汚染を防ぐために注意深く浄化と改善の作業が実施された。しかし、測定された汚染物質の濃度は燃焼物質、特にPVCなどを考慮に入れたり、又は他の大災害や最高許容濃度と比較した場合、異常に高い値とは考えられない。

火災後の考察で、ケーブルが火災の拡大にどのような影響を与えたかとか、ポリスチレンの硬質フォームの燃焼がない場合も同じ範囲まで拡大したのかどうかとか、又はPVCの燃焼性質から局所的な初期火災が消えたかどうかなどを決定するのは困難である。しかしながら、ハロゲンを含まず、燃えやすい成分を含有する普通のケーブルも、PS硬質フォームの燃焼によって完全に燃えたということは確かである。難燃剤の利用が、この火災の消火に本質的に貢献したということは、認められないようである。

表 2-2-9 ドイツの最大許容濃度と比較した、火災後の汚染物質測定値

化合物	単位	測定値	指針値
PCDD/PCDF			
混合試料：同属25種の合計	$\mu\text{g}/\text{kg}$	377	100
表面試料（拭き取り試料）	$\text{ng-BGA-TEQ}/\text{m}^2$	32	10
空気試料(ガス+微粒子)[		0.99	50
PAH			
混合試料：[BPAによる16PAH]	$\text{mg}/\text{kg}$	5000	
合煤煙試料中のベンゾピレン（BaP）	$\text{mg}/\text{kg}$	260	50
表面試料（拭き取り見本）	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	50,000	100
空気試料(ガス+微粒子)[	$\text{ng}/\text{m}^3$	1,400	2,000

煙は、火災の初期で建物の広い範囲に急速に拡大するために、最重要の問題点である。ポリスチレンの燃焼では、特に高密度の煙を発生させ、PVCケーブルの燃焼はターミナルビル全体を煙で充満させる役割を果たした。火災の際に見通しが良くて煙に毒性成分の含有量が少ないなどの好条件によって逃げ出すことが出来ていたら、死亡した16人は助かることができたはずである。

火災結果の解析から、消防隊の消火活動を救援活動、火災安全に関する法律、火災予防の建設基準などに関する約120項目の勧告がなされた。その中で委員会が出した最重要勧告を次にまとめる。それらは、この報告の包括的見解の中に入念に作成された議論内容と共に詳細に書かれている。

要約すると、委員会はこの大火災の根本的な原因と影響を明確に説明している。防火活動を改善するために120項目の勧告がなされた。これらの勧告は、防火活動に関する法律や制令の改正、空港再建のための建築上、業務上、組織上の防火対策に向けられている。

## 7. ダイオキシン発生源一覧

### 1) ドイツ

ドイツでは、1980年代からPCDD/PCDFの大気中への放出量の測定を行ってきた。

特に重視されたのは都市固形廃棄物と有害廃棄物の焼却によって放出される量であった。最近の調査結果は連邦環境省（UBA 1998）と欧州委員会が推進する事業により実施された。その報告は政府機関（LUA-NRW 1997）で出版され、内容は政府機関や研究所の研究結果から集められた。

1990年代初期からの、廃棄物焼却炉のダイオキシン排出量の動向と各施設間のダイオキシンの分布とが表 2-2-10 に示されている。全国の都市ごみ焼却炉で実施されたダイオキシン測定値は排煙中の濃度で大きな広がりを見せた。排ガス中のPCDD/PCDFの平均濃度が8ngTEQ/m<sup>3</sup>であることが1988/89年に決定され、その値から1990年の西ドイツで稼動している全都市ごみ焼却炉から出るPCDD/PCDFの全生成量は約400gTEQ/年であると推定された。第17回BimSchVの要請によると、廃棄物焼却によって放出されるダイオキシンは顕著な減少を見せている。1998年では、ドイツの工場全部を改築することで、廃棄物焼却によって出るダイオキシンの全排出量は4gTEQ/年以下（平均濃度：0.05ngTEQ/m<sup>3</sup>、処理量：1360万t/年）と推定できる。

表 2-2-10 ドイツのMWIにおけるPCDD/PCDF排出量動向（Johnke 1998）

	1980	1985	1990	1995	2000 <sup>1)</sup>
市町村ごみ焼却 平均濃度(ng I-TEQ/m <sup>3</sup> ) 年間排出量(g I-TEQ/m <sup>3</sup> )	10 no data	10 400	8 400	0.5 30	0.05 1.3
有害ごみ焼却 平均濃度(ng I-TEQ/m <sup>3</sup> ) 年間排出量(g I-TEQ)			0.5 1	0.1-0.2	
医療ごみ焼却 平均濃度(ng I-TEQ/m <sup>3</sup> ) 年間排出量(g I-TEQ/m <sup>3</sup> )			15 2	0.1-1 <0.1	
下水汚泥焼却 平均濃度(ng I-TEQ/m <sup>3</sup> ) 年間排出量(g I-TEQ/m <sup>3</sup> )			<0.1 0.1	<0.1 0.1	

1) (推定値)

UBAは過去と将来のPCDD/PCDF排出源の一覧を公開した(表 2-2-11)。排出量は各分野で劇的に低下している。都市ごみ焼却炉の分野ではこの排出量は1990年で約30%、1995年で10%減少している。全ダイオキシン排出量の中で廃棄物焼却の分野が2000年までに約2%(全体70g/年中の1.3g/年)、濃度:0.015ng TEQ/m<sup>3</sup>、全処理量:10,590万t/年)と推定している。

表 2-2-11 ドイツの大気中へのPCDD/PCDF排出量 (Johnke 1998)

量 (g I-TEQ/y)	1989/90	1994/95	1999/2000 <sup>1)</sup>
ごみ焼却	400	32	<<4(<2)
金属生成と仕上げ	750	220	<40
合計	25	18	<1
二次アルミニウム	3	2	<2
硝子工場、鑄造所	575	158	<20
焼結炉	5	4	<3
スチール-酸素設備	30	5	<2
スチール-電気炉	112	33	<12
発電所	5	3	<3
産業、中小企業の燃焼	20	15	<10
その他の熱処理過程	1	<1	<1
埋葬	4	2	<1
交通機関	10	4	<1
家庭暖房	20	15	10
合計	1210	291	<<70

1) 推定値

1980年代で、ドイツ連邦共和国内のPCDD/PCDFの排出量は1～2 kg I-TEQ/年で、1990年代初期からダイオキシンの排出量は顕著に減少している。1990年始めの量は1 kg I-TEQ/年程度であったと思われるが、1994～95年では0.3～0.5kg I-TEQ/年に減少しと思われる。ダイオキシン排出量は2000年までには更に減少して0.07kg I-TEQ/年程度になるとと思われる。

## 2) その他の国々のPCDD/PCDF発生源

### (1) 大気中への排出

UNEP ケミカルズがPCDD/PCDFの国家的な発生源一覧から得られた初期の発見をまとめ集計した報告を提供している (Fiedler 1999)。その報告はまだ原稿の段階であるが、そこで見出された調査結果からいくつかの結論を引き出すことが出来る。

多くの国がPCDD/PCDFの大気中への排出量の推定は行っているが、水中または土壌中への排出量のデータはあまり持っていない。現在のPCDD/PCDFの、環境中への排出の大部分は焼却過程で出ている。現在利用できるデータと、1995年頃の参考資料をもとに計算すると、年間のPCDD/PCDF排出量の推定中間値は約10,500g I-TEQ/年で、低めにみた推定値は8,300g I-TEQ/年であり、高めにみた値は29,000g I-TEQ/年である。いくつかの国が、1990年代初期に報告している高めのPCDD/PCDF排出推定値は、主に上記の数字を用いている。これらの国は年間排出量の比較的古い数値を用いている。(図2-2-6参照)

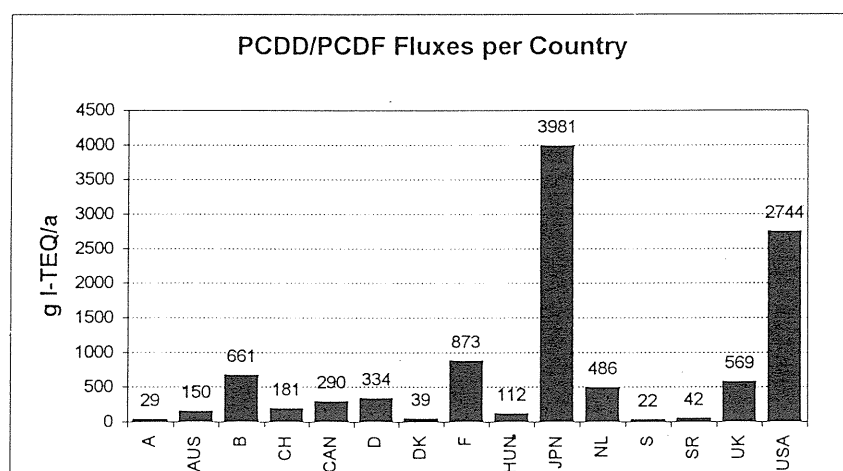


図 2-2-6 大気中へのPCDD/PCDF年間排出量 (1995)

(既存発生源からの合計排出量は 10,500gI-TEQ/年)

図 2-2-6 の数字は E U 加盟国のために作成された目録や T N O の目録と比較することができ、それらの目録は 2 つともより広い地域にわたるものである。E U の報告書は 17 ヶ国を取り上げ約 5,800g I-TEQ/年の排出量を推定している。しかし著者等は不確実性が高いとみなしており、17 ヶ国から大気に排出される量が約 20,000gI-TEQ になるとする高い推定値を除き得ていない。

T N O の研究は、P C D D / P C D F の発生源が明瞭でなく、1990 年の年間排出量を 1,300g I-TEQ と見積っている。最後に、Brzuzy 等は比較的少ない仮説を用いて（詳細な排出量の測定値に基づいてはいないが）全世界の P C D D / P C D F 排出量を 50,000g I-TEQ/年と推定している。

国別の目録から、重要な発生源を比較するために、P C D D / P C D F の排出量を、次の様に 7 つに大きく分類した。

鉄・鋼	鉄・鋼作業所、鋳造所、焼却所、石炭の工場 (多くの国で、石炭は製鉄所で使用されている)
非鉄金属	銅、アルミ、亜鉛、鉛の一次及び二次施設
発電所	石炭、ガス、石油、木材等を使用する発電施設
産業用燃焼施設	石炭、ガス、石油、下水汚泥、バイオマスなど
小規模燃焼施設	殆どが石炭、石油、ガス等を燃やす家庭用ストーブ、煙突
廃棄物焼却	都市固形廃棄物、危険廃棄物、下水汚泥、医療廃棄物、廃材、火葬場を含む焼却
道路交通	加鉛または非加鉛ガソリンまたはディーゼル油を燃料とする自動車
窯業	セメント、石灰、ガラス、煉瓦などの製造設備
その他	裁断機、アスファルトミキサー、飼料の乾燥機、木材チップパー、化学工場、消防施設、指定燃焼施設

図 2-2-7 で見られる通り、どの国でも大部分は廃棄物焼却によるものである。例外はオーストリア、オーストラリア、ドイツである。これら 14 ヶ国を基準に世界的に見た一覧の中で廃棄物焼却の大部分はほぼ 50% である。日本においては、廃棄物焼却部門による P C D D / P C D F 排出の大部分が都市ごみ焼却炉に起因するものである。この



排出源だけでPCDD/PCDF全排出量のほぼ40%を占めている。それに反して、都市ごみ焼却や有害廃棄物焼却によるPCDD/PCDF排出を厳重に規制している国、例えば1990年代初期から規制を開始したEU加盟国では、廃棄物の焼却による寄与率は低い。

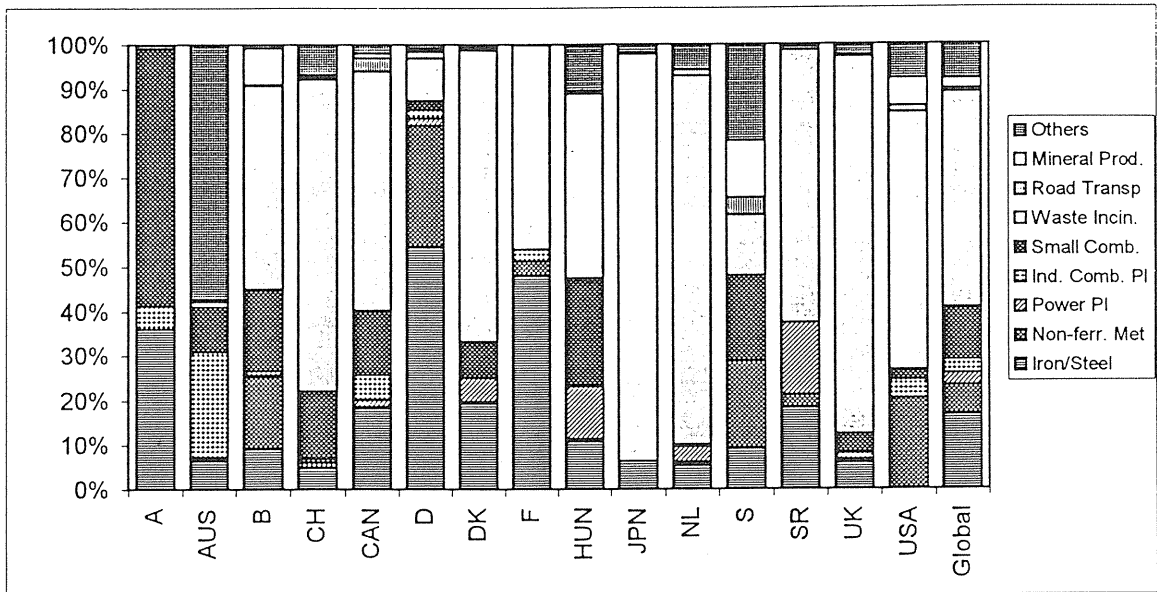


図 2-2-7 : 部門別、国別の大気中へのPCDD/PCDF排出源 (1995)

PCDD/PCDFの現在の発生源の状況を以下にまとめる。

- ・現在の各国のPCDD/PCDF発生源は非常に少ない。(国のデータによると15)
- ・既存のPCDD/PCDF発生源は、圧倒的に大気中への排出源である。しかしかなりの量が2,4,5-三塩化フェノキシ酢酸(2,4,5-T)、木材処理に使用される五塩化フェノール(PCP)、熱媒やコンデンサに使用されたのポリクロロビフェニール(PCB)など“古い薬品”に含有されているダイオキシンとフランにあると考えられる。それ以外にも埋立地やごみ収集所の土壌や堆積物に蓄積されている。
- ・有用なデータの多くは西欧と北米からのものであるが、米国の目録はまだ原稿段階である。アジアでは日本の目録だけがある。南半球からはオーストラリアだけが文献から得た排出係数から毎年の排出量を推定している。アフリカ、中南米からのデータは全くない。

- ・何ヶ国かで自国以外の排出係数を用いて自国の排出量を推定している。いくつかの発生源、たとえばごみの野焼きや埋立物の火災などに関する排出係数は分かっていない。

現在の発生源目録からは次の様な結論が出せる。

- ・発生源の中では、都市固形廃棄物焼却炉での煙突排出物の分析値とその稼働率についての最良のデータが存在する。この分野では、急速な技術の進歩によりPCDD/PCDF排出係数と排出量が大きく変化している。  
その結果、最新の技術と厳重な法的規制により各国で急速な低下傾向が実現している。
- ・有害廃棄物焼却については各国が同じような状態で、どの国にも重要な排出源は存在しない。
- ・鉄鋼業分野には限られた情報しか利用できない。欧州の何ヶ国かでは、その国の重要なダイオキシン発生源はこの分野であると言っている。アメリカとカナダはこの分野のことに気づいているが、しかし今までの所、1件も測定を実施していない。現在、信頼できるデータを得るのが急務である。
- ・ダイオキシンとフランの水中、地中、製品などへの排出量に関するサンプルは、わずかにパルプと紙の産業排水のものだけである。製品の汚染は五塩化フェノール(PCP)に限られ、PCB中のPCDFは無視されている。
- ・何ヶ国かについては、現状を更に把握するためと、特に厳しい規制が制定された場合には発生源目録を見直し、更新する必要がある。
- ・現在、各国のPCDD/PCDF目録のデータを作成し、査定するための調和のとれた方法が存在しない。更に発生源の範囲が国によっては異なる。イギリスやアメリカのような国では、PCDD/PCDFの埋立てと土地を含む一定の範囲に限定している。またある国では、ダイオキシン類の排出量を低めの推定値と高めの推定値との幅のある推定をしているし、他の国では中間値と平均値によって推定している。整合性のあるデータの採取と評価がきわめて必要であり、それは、各国のダイオキシン発生源目録をよりよく比較するために役立つことになる。
- ・最後に、煙道ガス、水、土壌などのサンプリングとその分析方法を標準化することが強く望まれる。

現在の報告を、単にPCDD/PCDF排出の一面として見るのではなく、この化合物の環境への全排出量を推定しなければならない。更にPCDD/PCDFの大部分は大気中に排出されていることも同意が得られている。しかしこれまで認められず、測定されていないPCDD/PCDF発生源で、その地域にデータがないようなものが存在するかもしれない。また、先進国に確立された排出係数をそのまま後進国には適用できないことも念頭におく必要がある。

## (2) 土壌や水への排出

### カナダ

水中への排出については表 2-2-12 に示した。パルプ紙分野でのPCDD/PCDF排出量は 1995 年の発生源の目録をもとにした。ブリティッシュコロンビア州の工場からの排出量が多いのは、太平洋沿岸地域の工場からの廃棄物の性質によるものである。それらのデータは特定の同属体の濃度の高いことが示されている。これらの同属体のパターンは塩分の多い木材片を燃焼するボイラーの操業に関係があり、そこでは廃棄物の灰が廃棄物処理工場に堆積されている。またそのパターンはPCPで処理されたチップをパルプにすることに関係があるという意見もある。これらの研究は内陸ブリティッシュコロンビアの工場やその他の場所の工場には関係がない。この太平洋沿岸地域の工場の特殊な環境が同業で他地方の工場よりも多量の同属体を製造する原因となっている。

土壌へのPCDD/PCDFの直接排出は、農薬や下水汚泥の使用が原因だと考えられる。害虫管理者 (PMRA) は最近PCDD/PCDFの排出量が農薬の使用量と相関関係があることを認めた。下水汚泥がPCDD/PCDFの発生源となることは確認されているが、土壌への排出量は測定されていない。研究が進むにつれて更に明らかになるだろう。それ以外の発生源として、使用中の木材 (ポールや鉄道の枕木) が考えられる。結果を表 2-2-13 にまとめた。

土壌に排出されることになる製品中のPCDD/PCDF量の報告値は、ブリティッシュコロンビア州の塩含有木材の焼却と処理木材の処分から得られたものである。1990年と1999年のPCDD/PCDFの全量は変化がないと思われる (表 2-2-14)。ブリティッシュコロンビア州のパルプ、紙工業はボイラーから出る灰中のPCDD/PCDFの量と濃度を測定したが、その濃度は0.009~3.7ng-TEQ/g ashであった。

表 2-2-12 カナダ：工場排水中のPCDD/PCDF

	年間排出量 (g-TEQ/y)			基準値
	1990	1997	1999	
パルプ、紙廃液*	450.0	4.7	4.7	for 2, 3, 7, 8-TCDD < 15pg/l for 2, 3, 7, 8-TCDF < 50pg/l
化学薬品、下水汚泥	3.7	0.0	0.0	
合計	454	5	5	

\* 450gTEQ/年を下回るもの

表 2-2-13 : カナダ：土壌中のPCDD/PCDF

	年間排出量 (g-TEQ/y)		
	1990	1997	1999
Utility poles	9	9	9
Railroad ties	164	164	164
合計	173	173	173

表 2-2-14 : カナダ：製品中のPCDD/PCDF (g-TEQ/y)

	年間排出量 (g-TEQ/y)		
	1990	1997	1999
パルプ、紙：塩処理木材のボイラー焼却	137	137	137
処理木材の埋立	89	89	89
合計	226	226	226