

## 論文

## 微量PCBを含有する燃料の燃焼時の安全性の検討

(キーワード PCB、絶縁油、熱分解、燃焼排出物、塩化ダイオキシン)

— 1993.5.17 受理 —

資源環境技術総合研究所 竹内 正雄\*<sup>1</sup>, 今川 隆\*<sup>2</sup>, 宮崎 章\*<sup>2</sup>, 荻須 吉洋\*<sup>1</sup>

## 1. 緒言

最近、電力会社の柱上変圧器の一部に、微量の塩化ビフェニル（以下 PCB）を含有する再生絶縁油が使用されていることが明らかになった。この PCB は、絶縁油の再生行程で混入したと考えられており、50ppm 以下と低濃度であるが、量が多いため処理方法が問題となっている。

PCB は、毒性と発ガン性がある<sup>1)</sup>ことから、製造、使用が禁止されている。したがって、その取扱いは法律に基づいて行う必要があるが、この例のように微量の PCB を含有する物質の取扱いについては、わが国の法令では定めがない。また、PCB に代表される有機塩素化合物は、焼却条件によっては塩化ジベンゾダイオキシン (PCDD)、塩化ジベンゾフラン (PCDF) などの PCDD 類を生成する可能性があることが知られている<sup>2)</sup>。

PCB に限らず有害化学物質を高濃度に含有する物質を細心の注意を払って処理することは当然である。しかし、有害物質が低レベルの場合には、通常の燃焼により処理が可能な場合があり、高濃度汚染物質とまったく同様な処理を行うことが必要であるかは検討が必要である。例えば、微量の汚染物質が混入した廃油などを、単純に高度処理の対象とすることは、限られた資源の浪費となる場合も考えられる。そこで、PCB を含めて低濃度汚染物質については、安全性を確認することを前提条件として、燃料などに有効利用する道を開いておくことが必要と思われる。このような処理基準の柔軟性は外国においては既に見られる。例えば米国では、廃油中に含まれる PCB が 50ppm 以下の場合には、ボイラなどによる熱回収のための燃焼が

認められている。また 50ppm 以上であっても、500ppm 以下のものについては認可された焼却炉、またはそれと同等の性能を持つと証明されたボイラによる燃焼が可能である<sup>3)</sup>。

わが国では PCB が高濃度に含有される廃油については燃焼試験<sup>4)</sup>が行われており、実際に焼却処理の実例<sup>5)</sup>があるが、微量の PCB を含有する物質の燃焼に関しては研究例が無い。従って、米国のように微量 PCB 含有廃油を燃料として使用するためには、燃焼時の安全性を慎重に検討する必要がある。本研究は、このような観点から、前述した微量 PCB 含有絶縁油を、燃料として使用した場合の安全性を検討する基礎研究として、流通型反応器による酸素過剰条件での熱分解実験（以下、熱分解実験と呼ぶ）と、予混合バーナによる燃焼実験を行った。

熱分解実験は、化学物質の燃焼時の高温での分解評価のために行うもので、温度と組成を厳密に管理した条件で分解特性と生成物質を調べることができる。著者らはこれまでクロルデン<sup>6)</sup>、フロン 113<sup>7)8)</sup>などの熱分解実験を、この分野では多く用いられている Rubey ら<sup>9)</sup>の装置に近い構造の流通式熱分解装置で実施している。また有機塩素系化合物の熱分解の研究は、Duvall ら<sup>10)</sup>による PCB 純物質に関する実験を含め、多数の物質<sup>11)12)</sup>に関する研究があり、物質同士の比較が比較的容易であるという特徴がある。

燃焼実験は、実際の燃焼時に火炎の存在が PCB の分解に与える影響を知るために実施した。また、低 NO<sub>x</sub> 燃焼の影響と燃焼器後部の低温部での PCDD 類の生成の可能性についても調べた。低濃度 PCB を対象としたこの種の基礎燃焼実験はこれまでほとんど行われたことがない。

なお、本研究におけるすべての実験は、周辺環境に

\* 1 熱エネルギー利用技術部

\* 2 水圏環境保全部 茨城県つくば市小野川16-3

対する影響が無いように配慮した専用実験施設<sup>13)</sup>内で実施した。本施設は、実験により生成する排ガスを、実験室内の空気とともに付属の排ガス処理施設で高温燃焼処理を行うことにより、外部に対して有害物質を一切排出しない設計になっている。

## 2. 実験

### 2.1 実験試料

実験試料として、使用済みの絶縁油、およびこれに純粋な PCB を添加して PCB 濃度を高めた試料などを用意した。Table 1 に、使用した試料の PCB 含有量および塩素数の比率を示す。

試料 A は、実際に電力会社の柱上トランスで使用されていた、PCB を含有する絶縁油で、主として熱分解実験に用いた。試料 B は、試料 A に純粋な PCB (カネクロール KC-300~600) を添加して PCB 濃度

を高めたもので、これも熱分解実験で用いた。この濃度は試料 A の入手時点で、実際に絶縁油から検出されたとされる最高濃度を上回るように調製したものである。その後、絶縁油中の PCB の分析法が整備された結果、現在はこの濃度の絶縁油は存在しないと見られているが、熱分解への濃度の影響を見るためそのまま使用した。試料 C は、未使用の絶縁油に PCB 試料を添加したもので、燃焼実験に用いた。ここで未使用油を使用したのは、燃焼実験では試料の使用量が多いため、使用済み絶縁油中の無機成分などが、実験装置の閉塞の原因となるのを避けるためである。この試料の調製にあたっては、試料中の PCB の各塩素数の比率が、元の使用済み絶縁油中の PCB とほぼ等しくなるように考慮した配合方法<sup>14)</sup>を用いた。

なお、本研究で使用した絶縁油は、直鎖の炭化水素が主で、炭素数は平均して 17 程度、比重 0.865g/cm<sup>3</sup> であった。

試料中の PCB は、前処理を行いガスクロマトグラフ質量分析計 (日立 M80B, 以下 GC-MS) で定量した。また、絶縁油の組成も GC-MS により測定した。

### 2.2 熱分解実験

熱分解実験を行った管型反応装置を Fig.1 に示す。本装置はクロルデン、フロン 113 (CFC-113) などの熱分解実験<sup>6)~8)</sup>に使用した装置と基本的に同一である。反応管は長さ 2000mm、内径 12mm の透明石英管で、長さ 700mm の予熱部と 1000mm の反応部を持つ環状電気炉の中心軸上に設置する。電気炉の発熱体は、予熱部を軸方向に 3 分割、反応部を同じく 4 分割してあり、

Table 1 PCBs compositions in samples

PCBs composition (%)	Sample A (27ppm*)	Sample B (252ppm*)	Sample C (226ppm*)
Tri-chlorobiphenyls	7.4	17.5	18.5
Tetra-	42.4	41.9	54.3
Penta-	29.8	21.1	15.3
Hexa-	11.8	11.6	10.9
Hepta-	7.1	6.6	1.0
Octa-	1.5	1.4	0.0

\* Total weight contents of PCBs in a sample

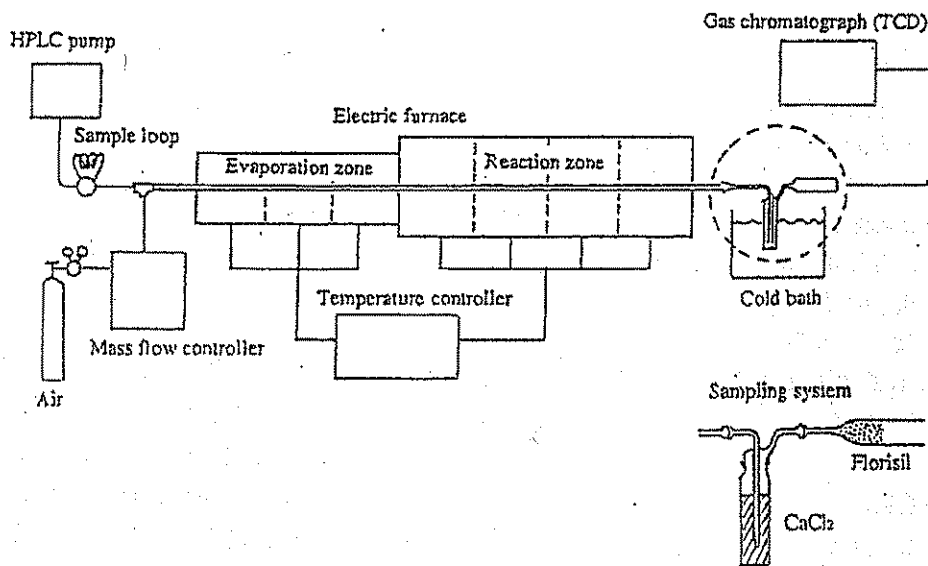


Fig.1 Schematic diagram of oxidative pyrolysis facilities

それぞれ独立に自動温度調節器で制御する。反応管の軸方向温度分布は、熱分解実験時と同一流量の  $N_2$  を流して線径0.1mmのR熱電対で測定した。その結果、温度分布が設定温度の $\pm 4K$ 以内に入るのは、約770mmの範囲であるため、滞留時間の計算にはこの値を用いた。

試料供給には、プランジャーポンプ (島津 LC-5A) を用いた。試料はサンプルループ (2.0ml) にマイクロシュリンジより注入し、内径0.3mmのSUS導管を通じて反応管予熱部 (設定温度553K) 中央付近に送った。予熱部で蒸発した試料はポンペより供給した乾燥空気と混合しながら反応部に流入し、ここで熱分解する。なお、サンプルループ内の試料を押し出す搬送流体としては蒸留水を使用した。

反応管出口にはサンプリング系を接続し、供給側圧力により反応後のガス全量を通し、熱分解生成物質の高沸点成分を捕集した。一段目の捕集びんの  $CaCl_2$  (10g) は、排ガス中の水分を吸収して捕集剤を保護するもので、加熱処理して不純物を揮発させて使用した。2段目の捕集剤はフロリジル (3g) を使用し、活性を高めるため453Kで12時間乾燥後使用した。また、捕集剤で吸着されない低沸点の成分は、サンプリング装置の出口で採取し、TCDガスクロマトグラフで、 $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ および $C_2$ までの炭化水素を定量した。

### 2.3 燃焼実験

Fig.2に示す燃焼実験炉は、焼却炉内の温度履歴に近い温度条件を模擬することが出来るように設計したもので、火炎の後流が電気炉により高温に保たれ、また滞留時間も比較的長く取ることが出来る。ただし、小型のバーナで噴霧燃焼を行うことは、蒸発時間を確保することが困難なため、燃焼方法は試料をあらかじめ蒸発させて空気と混合させる予混合燃焼とした。

バーナは、出口径13mm、絞り比9.47の絞りノズルタイプで、内径150mm、高さ140mmのバイレックス円筒の燃焼室内に設置してある。バーナポートには出口幅1mmの環状パイロットバーナを設け、理論混合比の予混合メタン-空気炎により、主バーナ火炎の安定化と、バーナポート部からの未燃ガス漏れの防止を図った。燃焼用空気は、試料蒸気による汚染を防ぐため、別室に設置したオイルレスコンプレッサから供給し、バーナ周囲には内径48mm、外径116mmの空気供給ポートを設け、ガラス繊維ろ紙を通して低速 (2cm/sec以下) で二次空気を供給した。主バーナで絶縁油のみを燃焼した場合は安定燃焼範囲が狭くなるため、補助燃料として市販の燃料用メタン (純度99.9%以上) を使用

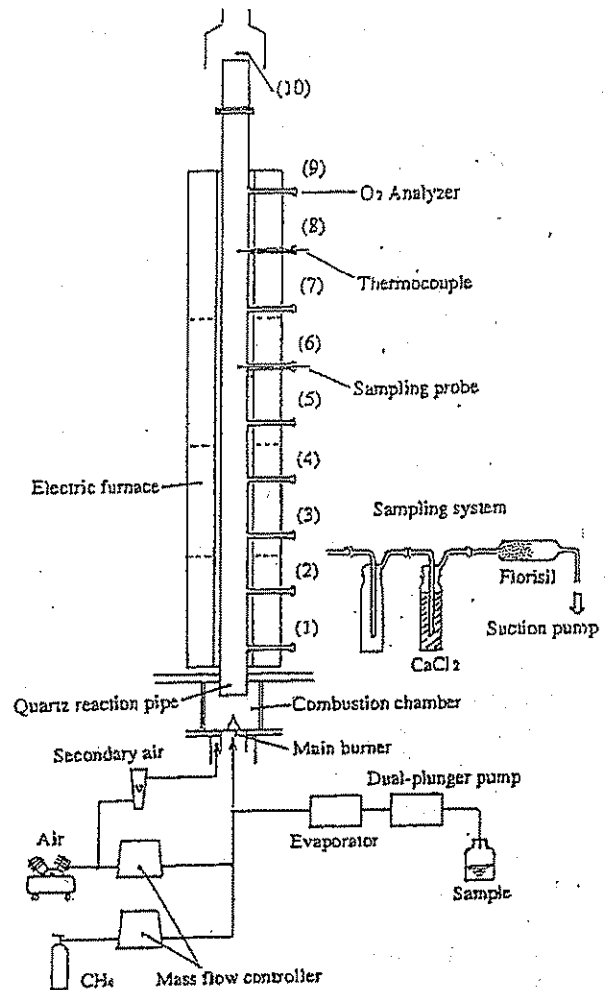


Fig.2 Schematic diagram of the combustion furnace  
Numbers in parentheses are indicate sampling positions

した。

試料はダブルプランジャーの無脈動ポンプ (日本精密科学 NP-FX-6) により蒸発器に供給した。蒸発器は内容量約1lのバイレックス製で、蒸発温度を543Kに保った。また、蒸発器以降の流路とバーナはすべて473K以上に保ち、試料の凝縮を防いだ。補助燃料を使用する場合は、蒸発器の後流で混合して燃焼器に供給した。

実験開始は燃焼室側面に設けた点火ポートよりパイロット火炎を燃焼室内に挿入し、補助燃料のメタンの予混合気点火した。試料の導入はバーナおよび火炎温度の影響を受ける電気炉の温度が安定するまで約1時間程度待って行った。

燃焼室上部に設置した保温用電気炉は、内径100mm、全長1300mm、最高使用温度が約1500Kであり、軸方向

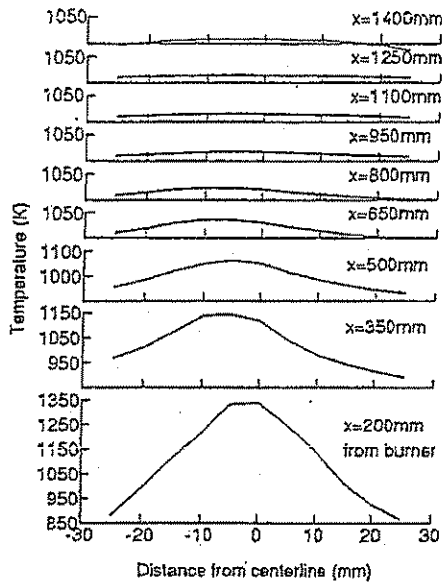


Fig.3 Profiles of temperature distributions in the combustion furnace

に4分割して温度制御した。電気炉中心軸上に設置した反応管は、内径85mm、全長1530mmの透明石英製で、150mm間隔で9本のサンプリング用枝管を設けた。さらに、反応管出口に全長200mmのバイレックス延長管を取り付けることにより滞留時間を延長することが出来る。反応管内の温度分布は線径0.1mmのR熱電対を枝管から挿入し、メタンのみを実験時とほぼ同じ発熱量で燃焼させた状態で測定し、所定の温度設定にできるだけ近くなるように調節した。Fig.3に炉内温度分布の測定例を示す。

燃焼実験におけるガスサンプリングは、枝管より外径4mm、内径2mmの石英サンプリング管を反応管中央部に挿入し、これにFig.2に示すサンプリング系を接続して行った。サンプリング系は、基本的に熱分解実験で用いたものと同じであるが、CaCl<sub>2</sub>の捕集管の前に、サンプリング管以降で凝縮する水分などをトラップする空の捕集管を設けた。また、燃焼実験では反応管内はほぼ大気圧であるので、捕集管の後部よりポンプで吸引し、サンプル量はマスフローメータにより計量した。

最上部の枝管には磁気ダンベル式酸素計 (Servomex OA250) を設置し、炉出口酸素濃度を計測した。

#### 2.4 分析

採取試料の分析方法の概略は、以下の通りである。サンプリング管、捕集びんおよびサンプリング系のガラス配管を、まずメタノール約10mlで洗浄し、次にエタノール約10mlで洗浄した。捕集管内のCaCl<sub>2</sub>を、あ

Table 2 Specifications of chemical analysis system

Instrument :	Hitachi M-80B
Ion source temperature :	433K
Ionization method :	70eV electron impact
Column :	glass, i.d.=3mm, 1m
Stationary Phase :	1% Silicone OV-1
Support :	Chromosorb W (80/100)
Temperature :	Initial 373K (433K), final 513K, 8K/min

らかじめヘキサンで洗浄した純水約100mlに溶かし、先に捕集びん洗浄したメタノールとエタノールを合わせ、これを試料とした。次に、試料にヘキサン5mlを加えて分液ロートを用いて5分間激しく振とう抽出し、ヘキサン層を分離した。同様の抽出操作を3回くり返した後、分離したヘキサン層を合わせて、20mlに定容した。吸着剤のフロリジルは、アセトンで脱着、抽出し、10mlに定容した。さらに、それぞれ定容した抽出液の半分ずつを合わせてウォーターバスで加熱して500 $\mu$ l程度まで濃縮し、これをGC-MSで分析した。

分析対象物はPCB (3-8塩化物)、PCDF (2-8塩化物)、PCDD (2-8塩化物)であり、塩素数別に分析し、合計して総量を求めた。検出限界は、SN比=2以上とした。

分析条件をTable 2に示す。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 熱分解実験

熱分解実験の実験条件の設定は次のようにした。酸素濃度は大気濃度とし、試料中の水蒸気-塩素比(H/Cl)はもともと極めて大きいので調整せず、滞留時間は従来の研究と同様に2秒以上とした。さらに試料供給量は、反応管内の試料濃度から以下のように決定した。絶縁油試料はPCB濃度が250ppm以下と極めて低いのにに対し、分析の検出限界は一定であるので、PCBの分解効率を精度良く測定するためには、相当量の試料を供給する必要がある。しかし、CFC-113の熱分解実験<sup>7)</sup>では、反応管内の試料濃度が高い場合は、着火によりと見られる生成物濃度の急減が観察された。そこで、PCBを含有しない絶縁油を用いた実験で目視による観察を行い、着火が起きない供給速度を選定した。その結果、試料供給速度は極めて低速とせざるを得ず、必要なサンプル量を得るため

Table 3 Results of chemical analysis of oxidative pyrolysis products

Exposure temperature (K)	Sample A			Sample B		
	873	923	973	873	923	973
Remaining PCBs ( $mg/Nm^3$ )	0.0970	0.0004	ND (<0.0002)	0.376	0.0004	ND (<0.0002)
Destraction Percentages of PCBs	53.8	99.79	>99.92	80.2	99.98	>99.992
PCDFs ( $mg/Nm^3$ )	0.0135	0.0001	ND (<0.0002)	0.0122	0.0004	ND (<0.0003)
PCDDs ( $mg/Nm^3$ )	ND (<0.005)	ND (<0.0002)	ND (<0.0003)	ND (<0.0003)	ND (<0.0003)	ND (<0.0003)

Air flow rate: 0.57 l/min    Residence time (sec): 2.7 (873K), 2.6 (923K), 2.4 (973K)  
 Total sample supply: 2.0ml (0.5ml for 873K)    Sample supply rate: 0.005ml/min

に1条件につき7時間程度の実験時間を必要とした。なお、その他の実験条件は、従来の研究<sup>6)-8)</sup>と同一とした。

熱分解実験の実験条件と結果を Table 3 に示す。筆者らの従来の研究<sup>6)-8)</sup>では、クロルデン、CFC-113などの有機塩素化合物の分解は、滞留時間が2秒以上で酸素が十分に供給され、試料中のH/Clが1より大きければ、973K前後の温度で急速に進行する。また、Duvallら<sup>10)</sup>の高濃度PCBの熱分解実験の結果から、滞留時間約2秒の場合、1000K程度でPCBの分解がほぼ終了することが明らかになっている。そこで本研究では、PCBの分解が相当程度進行すると予想される973Kの熱分解温度で実験を開始した。その結果、PCBの残留およびPCDD類の生成が見られないため、順次50Kずつ設定温度を下げ、相当量のPCBが残留した873Kで実験を終了した。

973Kでは試料A、試料BともPCB、PCDD類ともまったく検出されなかった。Table 3の括弧内に示した検出限界は、前述の通り試料供給速度および実験時間に制限されたため、比較的低い値しか得る事ができなかった。但し、PCBの分解率は99.92%または99.992%と比較的低い値となった。これは元々試料中のPCB濃度が極めて少ないため、絶対濃度としては十分に低いものとなっている。また、分解率の値が試料により異なるのは、検出限界はほぼ同じであるのに対し、試料中のPCB濃度が異なるためである。ここで、Table 3で不検出の場合(NDと表示)のかっこ内はその条件での検出限界である。本研究では、前述の通りサンプリング量はPCBの分解率を明らかにする必要量を最低限満足する程度であり、特にPCDD、PCDFの分析には不十分と言える。従ってPCDD、PCDFの検出限界は最近のごみ焼却装置等の目標値に対して、必ずしも満足すべきものではないが、

本研究の目的であるPCBの分解特性を検証することは可能と考える。

設定温度を下げて923Kとすると、微量のPCB、PCDFが検出された。さらに872Kでは、試料A、Bとも相当量のPCBが残留し、PCDFも検出された。PCDDはいずれの条件でも検出されなかった。この結果から、少なくともこの濃度範囲では、PCB濃度による分解特性の顕著な差は見出せない。

なお、923Kでの試料AからのPCDFの濃度は、他の条件での検出限界よりも低い値となっている。これは各塩素数毎の定量の結果、すべての塩素数で不検出の場合には各塩素数での検出限界の合計を全体の検出限界とするのに対し、特定の塩素数の成分が検出された場合には、その検出成分のみの濃度の合計を全体の濃度値としたため、低濃度の場合は検出限界の方が数値的に高くなる場合が有り得る。また、872KでのPCDDの検出限界が特に高いのは、分析試料中のPCB濃度が他の条件より高く、これが妨害したためである。

Fig. 4に、Table 3に示した実験結果の内、PCB濃度をPCBの残留率に換算して示す。図には、Duvallら<sup>10)</sup>による高濃度PCB(4塩化物のみを示す)の熱分解特性を同時に示した。図から明らかなように、低濃度PCBの熱分解温度は、高濃度の場合に比べ80~90K程度低い。Duvallらの装置は反応管内径が0.8mmと細く、反応管の前後を冷却しているため、流れ方向の温度分布は本研究の装置と若干違う。しかし、Duvallらとほぼ同様な装置により測定されたCFC-113の熱分解温度<sup>11)</sup>は、筆者らの実験と良い一致を示している<sup>2)</sup>ため、実験装置の差は小さいものと考えられる。従って、Fig. 4における分解温度の差は、主として試料の組成差によるもの影響と考えるのが妥当であろう。有機塩素化合物の酸化反応の機構は、塩

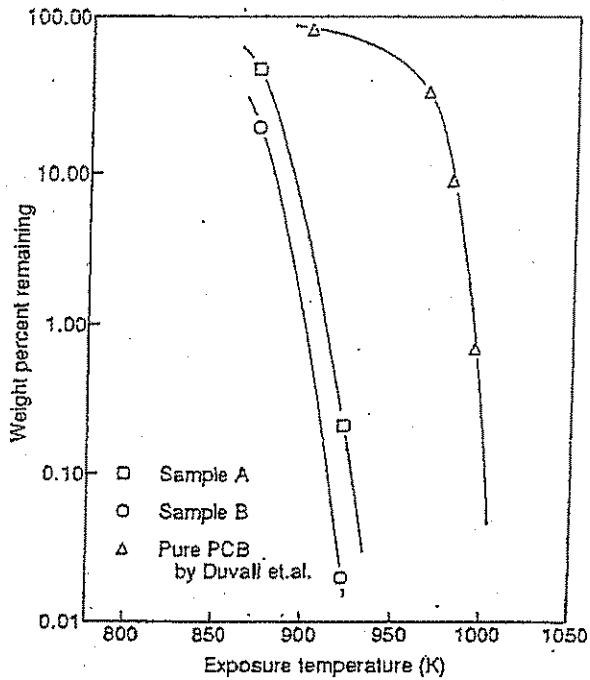


Fig. 4 Thermal decomposition characteristics of PCBs in oxidative pyrolysis

化メタンなど単純なものを除いてほとんど明らかでないため、低濃度の場合に熱分解温度が低下する理由は不明であるが、炭化水素中に低濃度含有された PCB の分解温度は、高濃度 PCB の場合よりも低い可能性が高いことがわかった。

### 3.2 燃焼実験

前項の熱分解実験では PCB 含有絶縁油の分解性を明らかにしたが、実際の燃焼においては、噴霧燃焼に伴う諸問題を除いても、燃焼場での急速な反応に伴う反応速度の影響や局所的な高温場の存在、それに低 NO<sub>x</sub> 燃焼による炉内での部分的な酸素不足などの影響により、熱分解とは異なった分解挙動となることが予想される。しかし、燃焼反応では複雑な要素が絡み合っており分解特性に影響することが予想されるため、ここでは火炎の存在の分解特性に対する影響、燃焼場での酸素不足の影響、後流での温度低下による PCDD 生成の可能性の 3 点を明らかにすることに絞って燃焼実験を行った。

Table 4 に実験条件を示す。本研究では、排ガス処理施設が完備しているため、周辺環境に対する影響は考慮する必要は無いものと考えられるが、PCB を始

Table 4 Experimental conditions of combustion experiments

No.	Residual O <sub>2</sub> (%)	Equivalence ratio	CH <sub>4</sub> addition	Furnace temp. (K)	Sampling position
1	2	1.2	yes	973	(1)
2	2	1.2	yes	973	(3)
3	2	1.2	yes	973	(5)
4	2	.98	yes	973	(2)
5	2	.98	yes	973	(4)
6	2	1.2	yes	873	(5)
7	2	.98	no	973	(2)
8	2	.98	no	973	(4)
9	2	1.2	yes	1273-553	(1)
10	2	1.2	yes	1273-553	(2)
11	2	1.2	yes	1273-553	(4)
12	2	1.2	yes	1273-553	(0)
13	1	1.2	yes	1273-553	(1)
14	1	1.2	yes	1273-553	(0)

Supply rate to the main burner

sample : 0.57 ml/min (0.72 ml/min for No. 7 & 8).

methane : 0.29 l/min (0.17 l/min for No. 4 & 5). air : 7.0 l/min

めとする各種の有害物質を取り扱うことによる研究者への影響を出来るだけ減らすために、実験条件を次のように設定し、実験回数が最少になるように配慮した。

実験条件 No.1~8 は炉の温度条件を熱分解実験と同一として火炎の存在の影響を調べた。ただし、Fig.3 に示すように、炉内温度は火炎の影響を受けて、特に火炎の近くで高温となっている。温度設定は No.6を除き 973K とした。燃焼条件は燃焼炉で低 NO<sub>x</sub> 燃焼を行う場合を考慮して、No.1~3 ではバーナでの当量比を  $\phi=1.2$  とし、二次空気を加えて炉出口の酸素濃度を 2% とした。No.4, 5 はこれと比較するために当量比を  $\phi=0.98$  とし、酸素不足とならないようにした。No.6 は電気炉の温度設定を 873K とした以外は No.3 と同条件として、温度設定の影響を調べた。No.7, 8 では補助燃料であるメタンの影響を知るために、No.4, 5 と同じ条件で絶縁油のみでの燃焼とした。なお、同一条件で複数回行う実験は、サンプリング位置を変えて滞留時間の影響を調べている。

実験条件 No.9~14 は、燃焼器後流の低温部での、PCDD 類の生成の可能性について調べた。都市ごみの焼却装置では、燃焼器後部の電気集じん器などの低温部で PCDD が生成する可能性が極めて高いと考えら

れている<sup>2)</sup>。ボイラなどの一般の燃焼装置では、都市ごみ焼却炉に比べて燃焼率が高く、触媒となる金属類の混入もないため、燃焼後の PCDD 類の生成の可能性は低いものと思われるが、確認のために実際の燃焼器を摸した温度分布を設定し、燃焼実験を行った。炉内温度は、1273K ~ 553K まで後流に行くに従って温度が低下する条件とした。また、反応管の後部に延長管を接続し、滞留時間が約 5 秒程度となるようにした。実験条件 No.9~12 はサンプリング位置を変えた場合であり、No.13, 14 は炉出口酸素濃度を 1% とし、燃焼条件を更に悪くした条件である。

Table 5 に実験結果を示す。設定した実験条件では、何れの条件でも PCB, PCDD, PCDF は不検出であった。

電気炉の温度設定条件を、熱分解と同一に設定した場合も、PCB などがすべて不検出となるのは、火炎近傍の局所的な高温により、PCB の分解が大幅に促進されたためと思われる。また、滞留時間が短い (0.3秒以下) 採取位置(1)においても、PCB などがまったく不検出であることから、PCB の分解は火炎の高温部において完了するのは明らかである。この事と、火炎の存在しない熱分解実験においても、分解温

Table 5 Results of chemical analysis of combustion products

No.	Remaining PCBs (mg/Nm <sup>3</sup> )	Destruction % of PCBs	PCDFs	PCDDs
1	ND (<0.004)	>99.96	ND (<0.002)	ND (<0.002)
2	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.002)
3	ND (<0.002)	>99.98	ND (<0.002)	ND (<0.002)
4	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.002)
5	ND (<0.002)	>99.98	ND (<0.002)	ND (<0.003)
6	ND (<0.002)	>99.98	ND (<0.002)	ND (<0.002)
7	ND (<0.003)	>99.98	ND (<0.002)	ND (<0.003)
8	ND (<0.002)	>99.98	ND (<0.002)	ND (<0.002)
9	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.003)
10	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.002)
11	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.002)
12	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.001)
13	ND (<0.003)	>99.97	ND (<0.002)	ND (<0.003)
14	ND (<0.002)	>99.97	ND (<0.003)	ND (<0.003)

\*Data in parentheses are detection limits in mg/Nm<sup>3</sup>

度が973Kであればほぼ完全な分解が実現されている事から見て、少なくとも燃料などに含まれる低濃度のPCBは、気化して空気と十分に混合した状態で燃焼反応を経た場合は、ほぼ完全に分解するものと考えられる。

また、燃焼場の後流で温度を低温とした条件においても、PCDDなどはまったく不検出であるので、火炎における分解が完全に行われ、有機物がほとんど存在しない条件では、後流の低温部でのPCDDなどの生成の可能性は非常に低いものと思われる。

#### 4. 結 言

微量のPCBを含有する絶縁油を、燃料として使用する場合の安全性検討のための基礎研究として、熱分解実験と燃焼実験を行った。

酸素を十分に供給した熱分解においては、973Kでほぼ完全な分解がなされ、高濃度PCB含有廃液よりも低温でPCBの分解が進行する事がわかった。また、予混合火炎を用いた燃焼実験では、設定した全ての実験条件でPCB、PCDD類ともに不検出であり、火炎の存在により分解が大幅に促進されることがわかった。

その結果、燃料中に含まれる微量のPCBは、現状では気化して空気に十分混合した状態で燃焼反応を経るとの条件付きではあるが、通常の燃焼条件ではほぼ完全に分解可能であり、PCDD類の生成も見られないことが明らかとなった。

#### 文 献

- 1) Rappe, C., *Environ Sci Tech.*, 18; (3), 78A (1984)
- 2) 平岡正勝, 廃棄物学会誌, 1, (1), 20 (1990)
- 3) 米国官報, 46 (1980)
- 4) 河村良男, 鳥羽安三, 荻須吉洋, 田中芳雄, 公害, 10, (2), 58 (1975)
- 5) 環境庁大気保全局大気規制課, 産業公害, 22, (5), 36 (1986)
- 6) Imagawa, T., Takeuchi, M., Miyazaki, A. and Tanaka, T., *Chemosphere*, 19, (1-6), 717 (1989)
- 7) 竹内正雄, 今川 隆, 宮崎 章, 田中敏之, 公害, 25, (2), 97 (1990)
- 8) 竹内正雄, 今川 隆, 宮崎 章, 田中敏之, 公害, 27, (2), 117 (1992)
- 9) Rubey, W. A. and Carnes, R. A., *Rev Sci Instrum.*, 56, (9), 1795 (1985)
- 10) Duvall, D. S. and Rubey, W. A., EPA-600/2-77-288 (1977)
- 11) Graham, J. L., Hall, D. L. and Dellinger B., *Environ Sci Technol.*, 20, (7), 703 (1986)
- 12) Taylor, P. H., Dellinger, B. and Lee, C. C., *Environ Sci Tech.*, 24, (3), 316 (1990)
- 13) 荻須吉洋, 今川 隆, 田中敏之, 宮崎 章, 岩崎潤二, 安全工学, 24, (3), 150 (1985)
- 14) 今川 隆, 公害, 26, (5), 325 (1991)