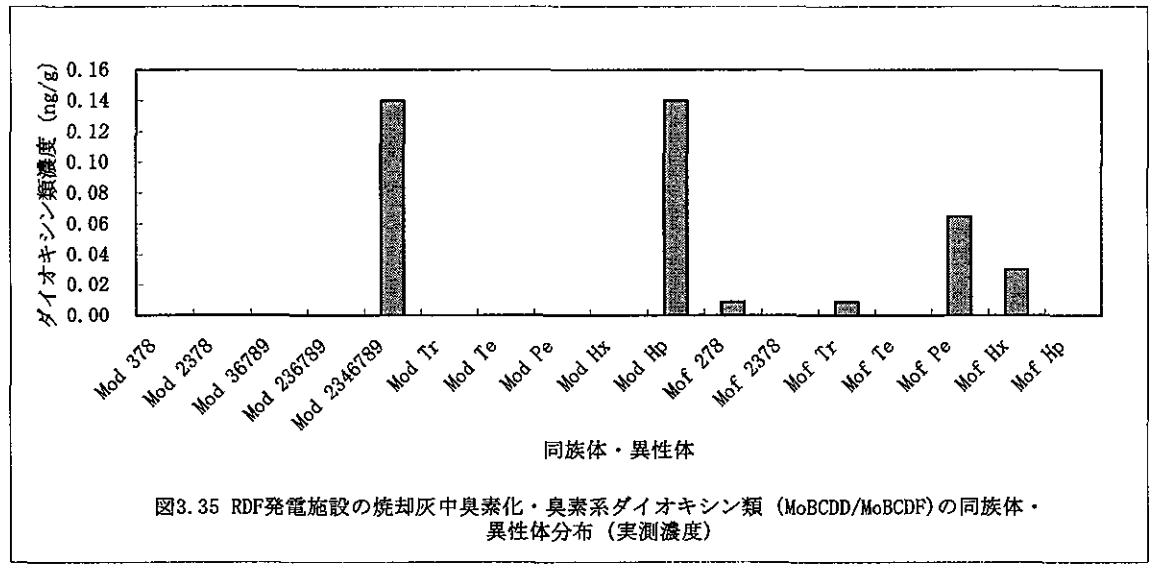
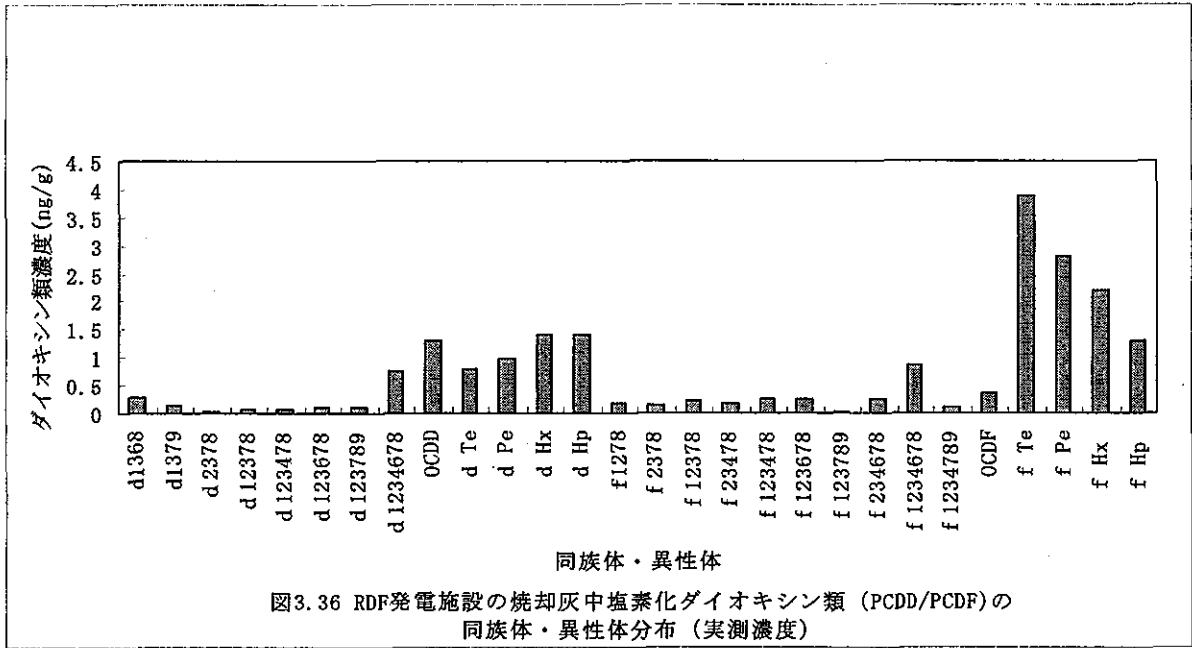


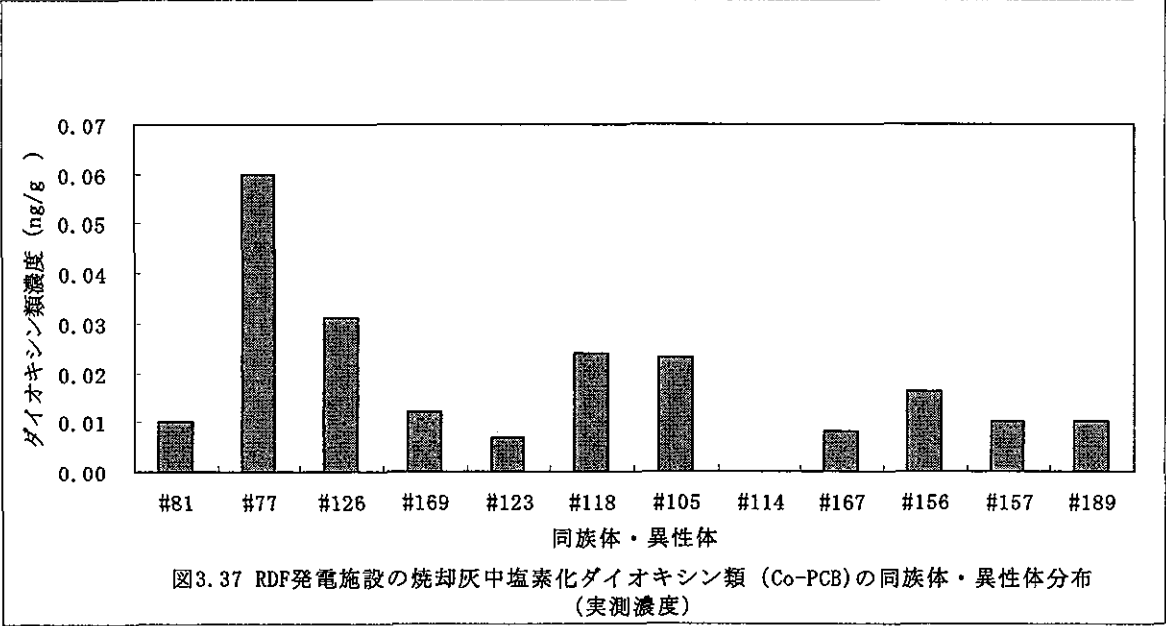
<注> d 2378 : 2,3,7,8-TeBDD, d 12378 : 2,3,7,8-PeBDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxBDD, d 123456789 : 1,2,3,4,5,6,7,8,9-OBDD, d Te : TeBDDs, d Pe : PeBDDs, d Hx : HxBDDs, d Hp : HpBDDs, d O : OBDDs, f 2378 : 2,3,7,8-TeBDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeBDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeBDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpBDF, f Te : TeBDFs, f Pe : PeBDFs, f Hx : HxBDFs, f Hp : HpBDFs, f O : OBDF



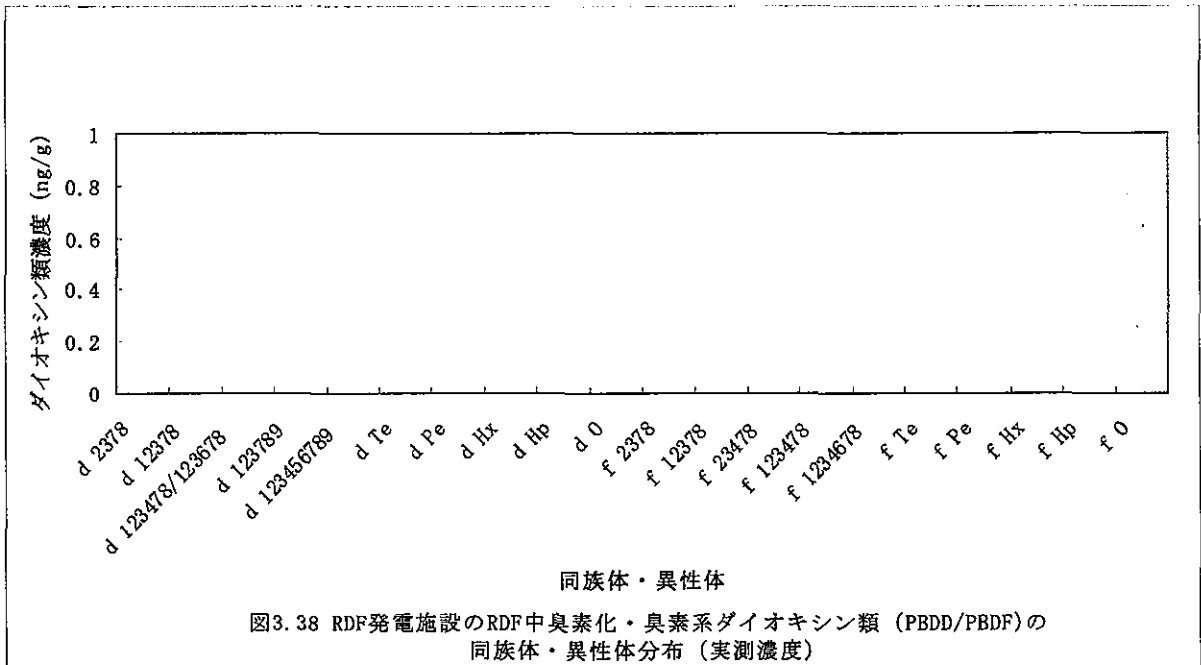
<注> Mod 378 : 2-MoB-3,7,8-TrCDD, Mod 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDD, Mod 36789 : 2-MoB-3,6,7,8,9-PeCDD, Mod 236789 : 1-MoB-2,3,6,7,8,9-HxCDD, Mod 2346789 : 1-MoB-2,3,4,6,7,8,9-HpCDD, Mod Tr : MoB-TrCDDs, Mod Te : MoB-TeCDDs, Mod Pe : MoB-PeCDDs, Mod Hx : MoB-HxCDDs, Mod Hp : MoB-HpCDDs, Mof 278 : 3-MoB-2,7,8-TrCDF, Mof 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDF, Mof Tr : MoB-TrCDFs, Mof Te : MoB-TeCDFs, Mof Pe : MoB-PeCDFs, Mof Hx : MoB-HxCDFs, Mof Hp : MoB-HpCDFs



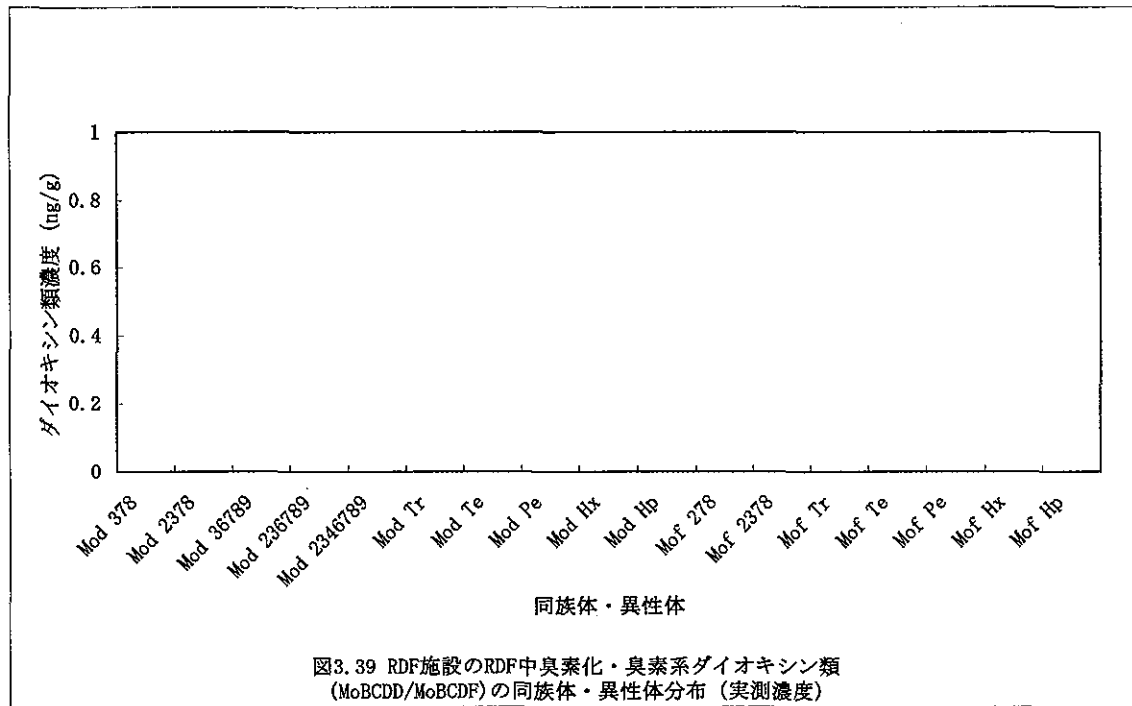
<注> d1368 : 1,3,6,8-TeCDD, d1379 : 1,3,7,9-TeCDD, d2378 : 2,3,7,8-TeCDD, d12378 : 1,2,3,7,8-PeCDD, d123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDD, d123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDD, d123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDD, d1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, dTe : TeCDDs, dPe : PeCDDs, dHx : HxCDDs, dHp : HpCDDs, f1278 : 1,2,7,8-TeCDF, f2378 : 2,3,7,8-TeCDF, f12378 : 1,2,3,7,8-PeCDF, f23478 : 2,3,4,7,8-PeCDF, f123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDF, f123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDF, f123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDF, f234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HxCDF, f1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, f1234789 : 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, fTe : TeCDFs, fPe : PeCDFs, fHx : HxCDFs, fHp : HpCDFs,



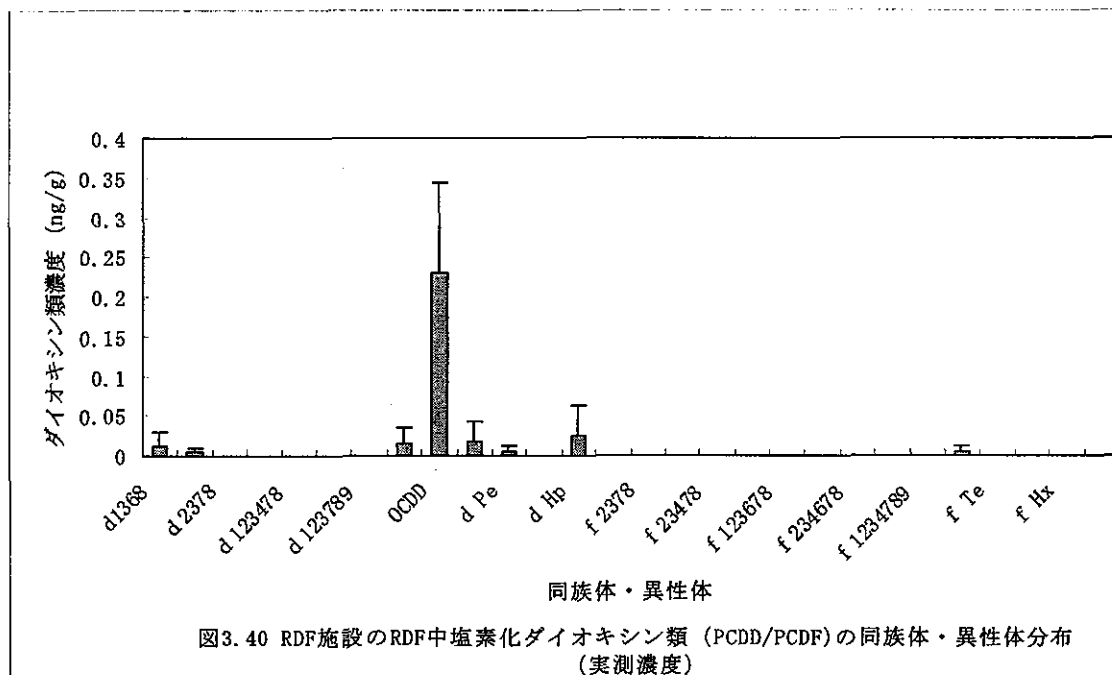
<注> #81 : 3,4,4',5'-TeCB, #77 : 3,3',4,4'-TeCB, #126 : 3,3',4,4',5'-PeCB, #169 : 3,3',4,4',5,5'-HxCB, #123 : 2',3,4,4',5'-PeCB, #118 : 2,3',4,4',5'-PeCB, #105 : 2,3,3',4,4'-PeCB, #114 : 2,3,4,4',5'-PeCB, #167 : 2,3',4,4',5,5'-HxCB, #156 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #157 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #189 : 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB



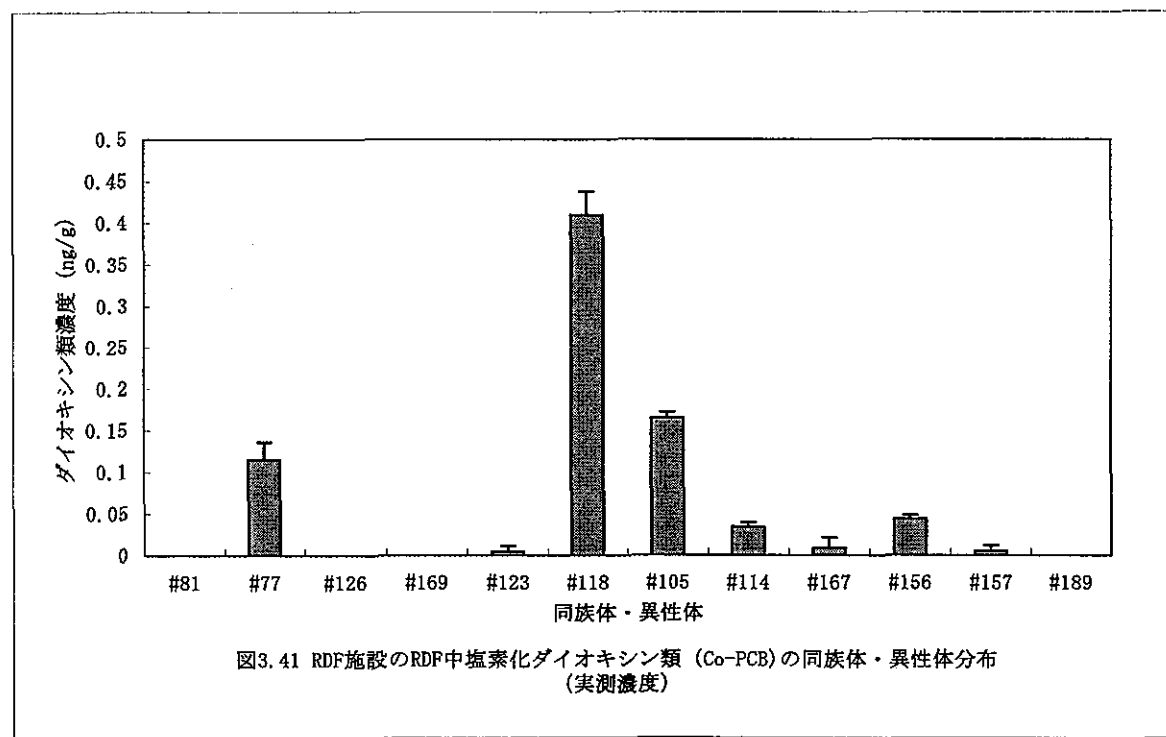
<注> d 2378 : 2,3,7,8-TeBDD, d 12378 : 2,3,7,8-PeBDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxBDD, d 123456789 : 1,2,3,4,5,6,7,8,9-OBDD, d Te : TeBDDs, d Pe : PeBDDs, d Hx : HxBDDs, d Hp : HpBDDs, d O : OBDDs, f 2378 : 2,3,7,8-TeBDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeBDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeBDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpBDF, f Te : TeBDFs, f Pe : PeBDFs, f Hx : HxBDFs, f Hp : HpBDFs, f O : OBDF



<注> Mod 378 : 2-MoB-3,7,8-TrCDD, Mod 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDD, Mod 36789 : 2-MoB-3,6,7,8,9-PeCDD, Mod 236789 : 1-MoB-2,3,6,7,8,9-HxCDD, Mod 2346789 : 1-MoB-2,3,4,6,7,8,9-HpCDD, Mod Tr : MoB-TrCDDs, Mod Te : MoB-TeCDDs, Mod Pe : MoB-PeCDDs, Mod Hx : MoB-HxCDDs, Mod Hp : MoB-HpCDDs, Mof 278 : 3-MoB-2,7,8-TrCDF, Mof 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDF, Mof Tr : MoB-TrCDFs, Mof Te : MoB-TeCDFs, Mof Pe : MoB-PeCDFs, Mof Hx : MoB-HxCDFs, Mof Hp : MoB-HpCDFs



<注> d 1368 : 1,3,6,8-TeCDD, d 1379 : 1,3,7,9-TeCDD d 2378 : 2,3,7,8-TeCDD, d 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDD, d 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDD, d 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, d Te : TeCDDs, d Pe : PeCDDs, d Hx : HxCDDs, d Hp : HpCDDs, f1278 : 1,2,7,8-TeCDF, f 2378 : 2,3,7,8-TeCDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeCDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDF, f 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDF, f 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDF, f 234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, f 1234789 : 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, f Te : TeCDFs, f Pe : PeCDFs, f Hx : HxCDFs, f Hp : HpCDFs,



<注> #81 : 3,4,4',5'-TeCB, #77 : 3,3',4,4'-TeCB, #126 : 3,3',4,4',5'-PeCB, #169 : 3,3',4,4',5,5'-HxCB, #123 : 2',3,4,4',5'-PeCB, #118 : 2,3',4,4',5'-PeCB, #105 : 2,3,3',4,4'-PeCB, #114 : 2,3,4,4',5'-PeCB, #167 : 2,3',4,4',5,5'-HxCB, #156 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #157 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #189 : 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB

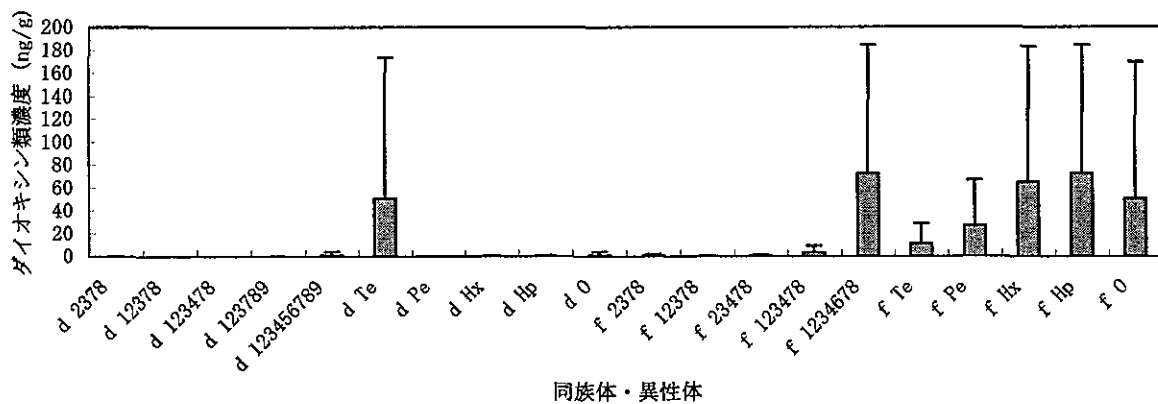


図3.42 家電リサイクル事業場の固形物中臭素化・臭素系ダイオキシン類 (PBDD/PBDF)の同族体・異性体分布 (実測濃度)

<注> d 2378 : 2,3,7,8-TeBDD, d 12378 : 2,3,7,8-PeBDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxBDD, d 123456789 : 1,2,3,4,5,6,7,8,9-OBDD, d Te : TeBDDs, d Pe : PeBDDs, d Hx : HxBDDs, d Hp : HpBDDs, d O : OBDDs, f 2378 : 2,3,7,8-TeBDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeBDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeBDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpBDF, f Te : TeBDFs, f Pe : PeBDFs, f Hx : HxBDFs, f Hp : HpBDFs, f O : OBDF

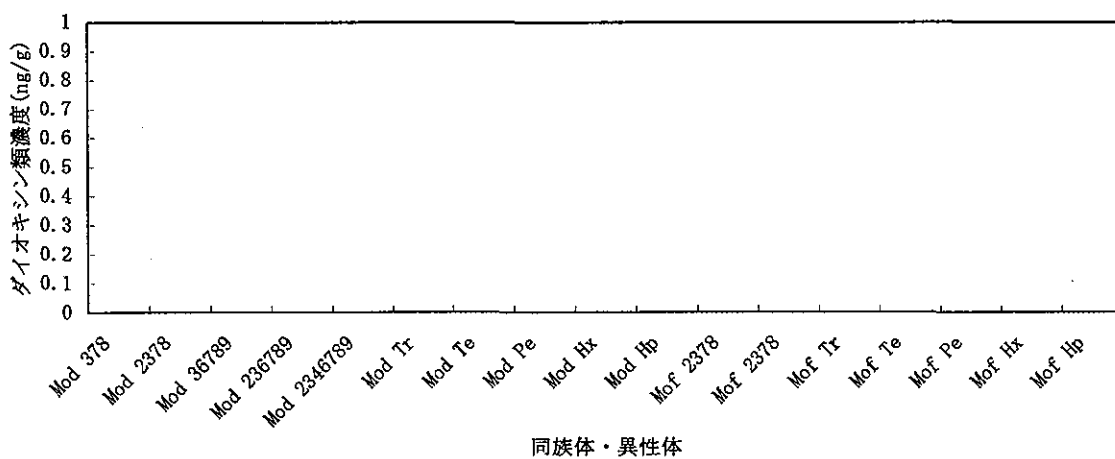


図3.43 家電リサイクル事業場の固形物中臭素化・臭素系ダイオキシン類 (MoBCDD/MoBCDF)の同族体・異性体分布 (実測濃度)

<注> Mod 378 : 2-MoB-3,7,8-TrCDD, Mod 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDD, Mod 36789 : 2-MoB-3,6,7,8,9-PeCDD, Mod 236789 : 1-MoB-2,3,6,7,8,9-HxCDD, Mod 2346789 : 1-MoB-2,3,4,6,7,8,9-HpCDD, Mod Tr : MoB-TrCDDs, Mod Te : MoB-TeCDDs, Mod Pe : MoB-PeCDDs, Mod Hx : MoB-HxCDDs, Mod Hp : MoB-HpCDDs, Mof 278 : 3-MoB-2,7,8-TrCDF, Mof 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDF, Mof Tr : MoB-TrCDFs, Mof Te : MoB-TeCDFs, Mof Pe : MoB-PeCDFs, Mof Hx : MoB-HxCDFs, Mof Hp : MoB-HpCDFs

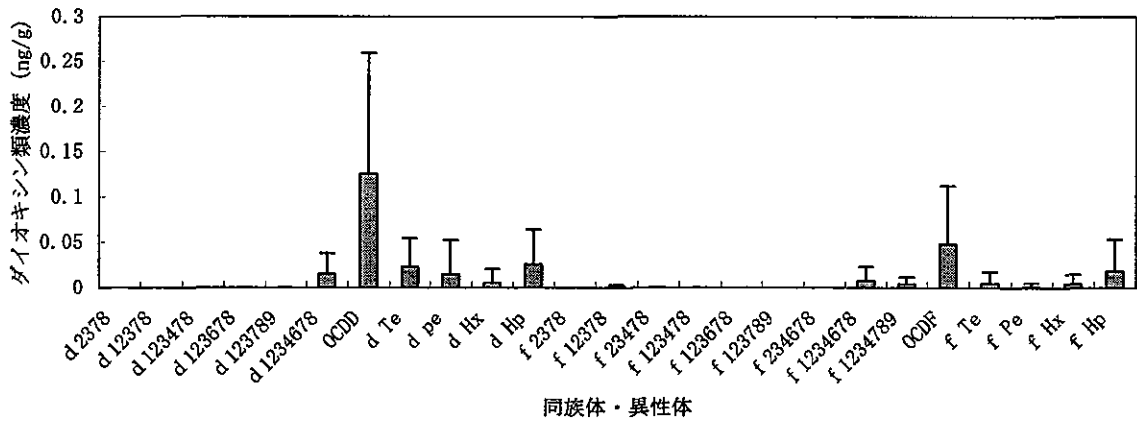


図3.44 家電リサイクル事業場の固形物中塩素化ダイオキシン類 (PCDD/PCDF) の同族体・異性体分布 (実測濃度)

<注> d 2378 : 2,3,7,8-TeCDD, d 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDD, d 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDD, d 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, d Te : TeCDDs, d Pe : PeCDDs, d Hx : HxCDDs, d Hp : HpCDDs, f 2378 : 2,3,7,8-TeCDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeCDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDF, f 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDF, f 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDF, f 234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HxCDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, f 1234789 : 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, f Te : TeCDFs, f Pe : PeCDFs, f Hx : HxCDFs, f Hp : HpCDFs,

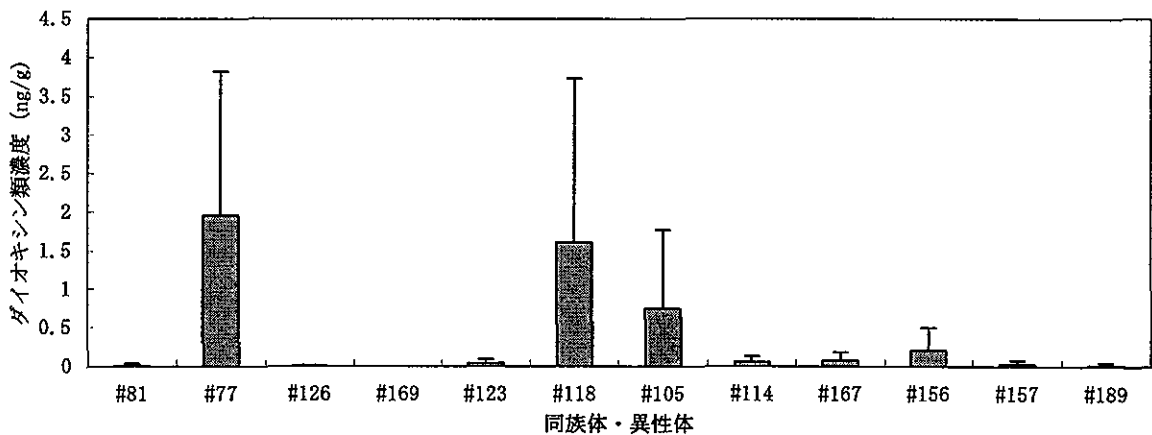
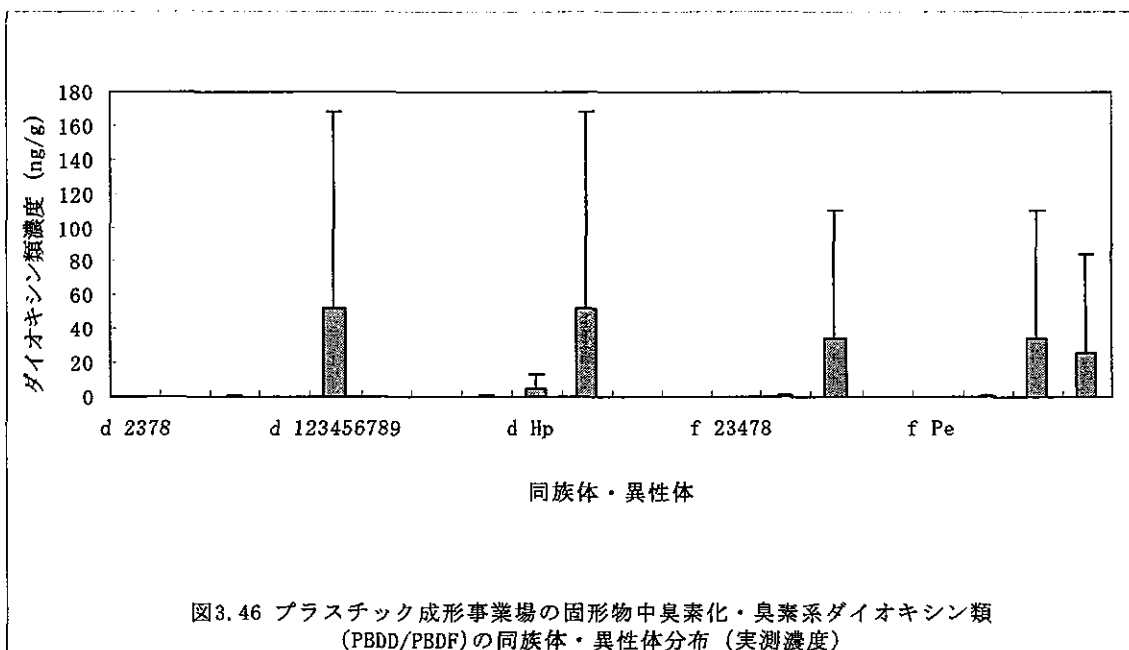
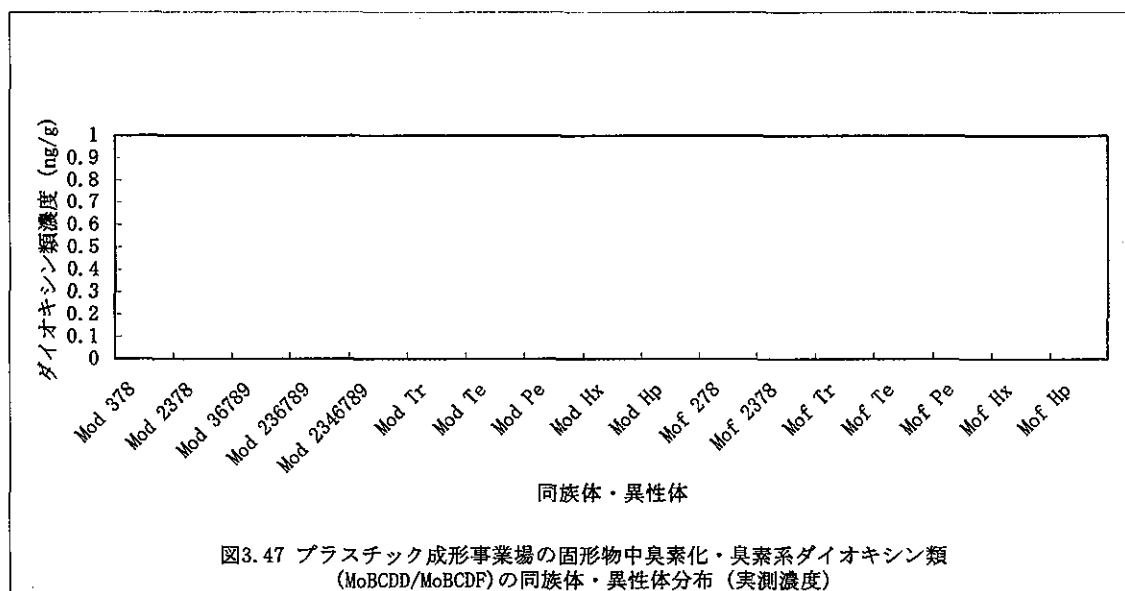


図3.45 家電リサイクル事業場の固形物中塩素化ダイオキシン類 (Co-PCB) の同族体・異性体分布 (実測濃度)

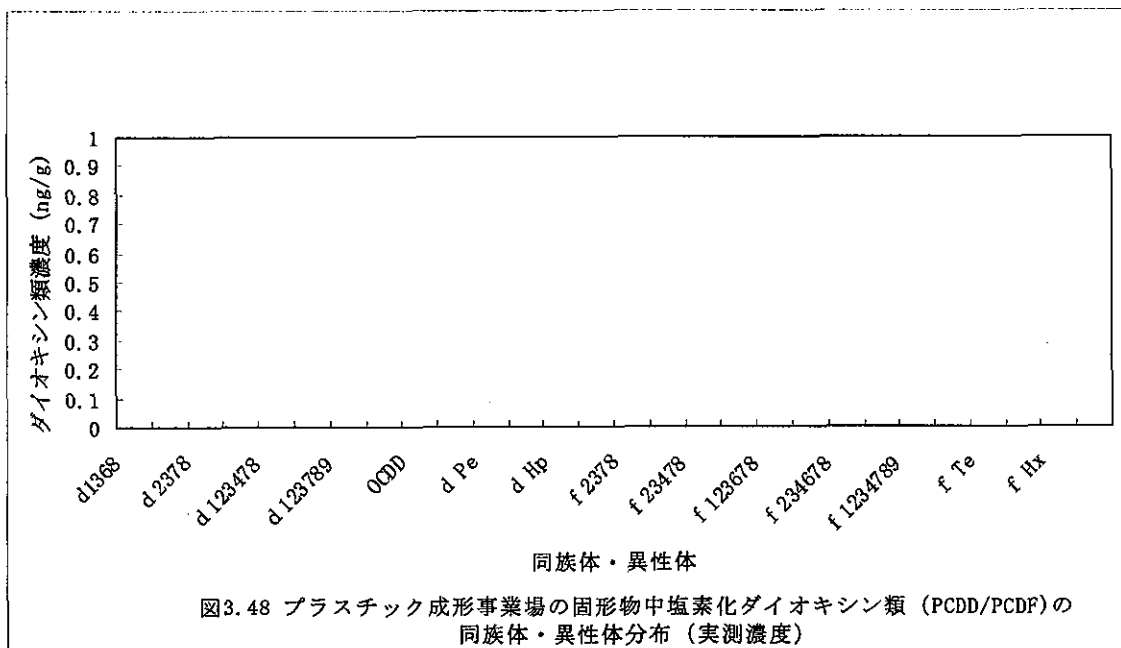
<注> #81 : 3,4,4',5'-TeCB, #77 : 3,3',4,4'-TeCB, #126 : 3,3',4,4',5'-PeCB, #169 : 3,3',4,4',5,5'-HxCB, #123 : 2',3,4,4',5'-PeCB, #118 : 2,3',4,4',5'-PeCB, #105 : 2,3,3',4,4'-PeCB, #114 : 2,3,4,4',5'-PeCB, #167 : 2,3',4,4',5,5'-HxCB, #156 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #157 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #189 : 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB



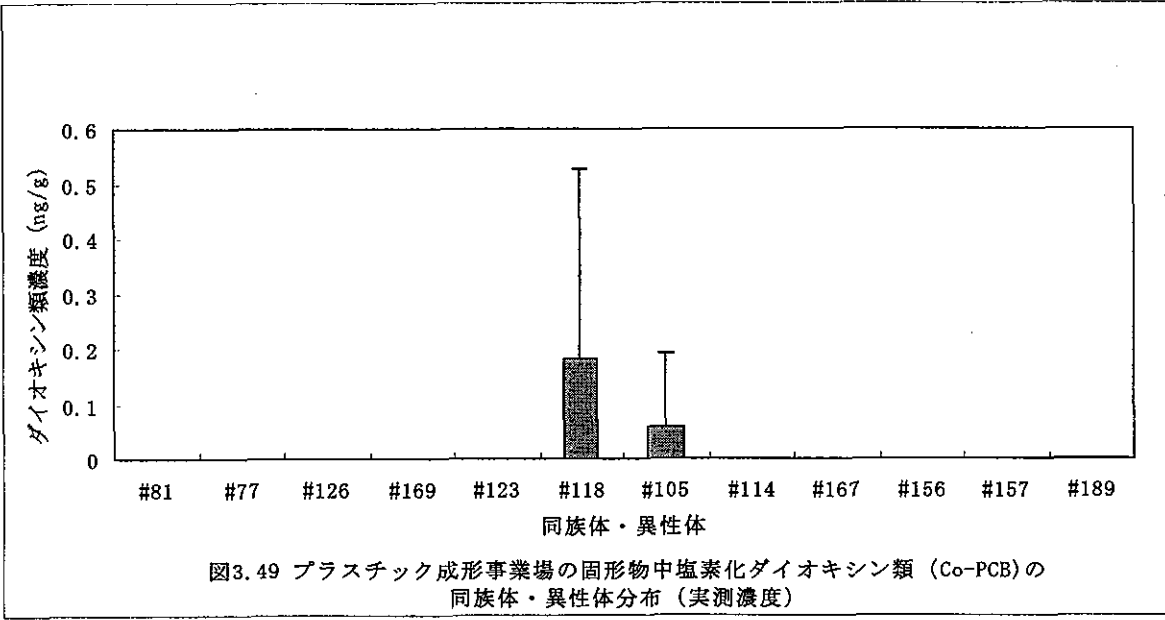
<注> d 2378 : 2,3,7,8-TeBDD, d 12378 : 2,3,7,8-PeBDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxBDD, d 123456789 : 1,2,3,4,5,6,7,8,9-OBDD, d Te : TeBDDs, d Pe : PeBDDs, d Hx : HxBDDs, d Hp : HpBDDs, d O : OBDDs, f 2378 : 2,3,7,8-TeBDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeBDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeBDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxBDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpBDF, f Te : TeBDFs, f Pe : PeBDFs, f Hx : HxBDFs, f Hp : HpBDFs, f O : OBDF



<注> Mod 378 : 2-MoB-3,7,8-TrCDD, Mod 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDD, Mod 36789 : 2-MoB-3,6,7,8,9-PeCDD, Mod 236789 : 1-MoB-2,3,6,7,8,9-HxCDD, Mod 2346789 : 1-MoB-2,3,4,6,7,8,9-HpCDD, Mod Tr : MoB-TrCDDs, Mod Te : MoB-TeCDDs, Mod Pe : MoB-PeCDDs, Mod Hx : MoB-HxCDDs, Mod Hp : MoB-HpCDDs, Mof 278 : 3-MoB-2,7,8-TrCDF, Mof 2378 : 1-MoB-2,3,7,8-TeCDF, Mof Tr : MoB-TrCDFs, Mof Te : MoB-TeCDFs, Mof Pe : MoB-PeCDFs, Mof Hx : MoB-HxCDFs, Mof Hp : MoB-HpCDFs



<注> d 1368 : 1,3,6,8-TeCDD, d 1379 : 1,3,7,9-TeCDD d 2378 : 2,3,7,8-TeCDD, d 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDD, d 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDD, d 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDD, d 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDD, d 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, d Te : TeCDDs, d Pe : PeCDDs, d Hx : HxCDDs, d Hp : HpCDDs, f1278 : 1,2,7,8-TeCDF, f 2378 : 2,3,7,8-TeCDF, f 12378 : 1,2,3,7,8-PeCDF, f 23478 : 2,3,4,7,8-PeCDF, f 123478 : 1,2,3,4,7,8-HxCDF, f 123678 : 1,2,3,6,7,8-HxCDF, f 123789 : 1,2,3,7,8,9-HxCDF, f 234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HxCDF, f 1234678 : 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, f 1234789 : 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, f Te : TeCDFs, f Pe : PeCDFs, f Hx : HxCDFs, f Hp : HpCDFs,



<注> #81 : 3,4,4',5'-TeCB, #77 : 3,3',4,4'-TeCB, #126 : 3,3',4,4',5'-PeCB, #169 : 3,3',4,4',5,5'-HxCB, #123 : 2',3,4,4',5'-PeCB, #118 : 2,3',4,4',5'-PeCB, #105 : 2,3,3',4,4'-PeCB, #114 : 2,3,4,4',5'-PeCB, #167 : 2,3',4,4',5,5'-HxCB, #156 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #157 : 2,3,3',4,4',5'-HxCB, #189 : 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB

第二編 清掃工場労働者における臭素化ジフェニルエーテルの曝露状況

分担研究者	小川康恭	独立行政法人産業医学総合研究所作業条件適応研究部
研究協力者	大場謙一	北里大学医療衛生学部衛生技術科環境衛生学研究室
	吉田吏江	国立がんセンターがん予防・検診研究センター予防研究部
	松本由紀	北里大学医療衛生学部医療系大学院
	毛利一平	独立行政法人産業医学総合研究所有害性評価研究部
	北村文彦	独立行政法人産業医学総合研究所有害性評価研究部
	斉藤宏之	独立行政法人産業医学総合研究所有害性評価研究部
	平田 衛	独立行政法人産業医学総合研究所企画調整部

1. 概要

現在難燃剤は建材、家具、電化製品等数百に及ぶ製品類に幅広く使われている。この難燃剤は大きく 3 種類に分類できる。それらは無機剤、ハロゲン化剤、有機リン剤であり全世界での生産量は体積比でそれぞれ 50%、25%、20%である (OECD,1994)。ハロゲン化剤には臭素化剤と塩素化剤があるが、生産量は重量比で約 3 対 1 の割合となっている (OECD,1994)。ハロゲン化剤の中では一般的に芳香族臭素化剤が最も熱に安定である。臭素化難燃剤は四臭素化ビスフェノール A (TBBPA) と臭素化ジフェニルエーテル (PBDE) が主として使用されている。使用量は TBBPA が 31,000 トン、PBDE が 4,700 トンと推定されている (1999 年)。

ペンタとオクタの PBDE は甲状腺ホルモン分泌を抑制する作用がある一方、PBDE は高熱が発生する状況においては臭素化ダイオキシン類生成における基質として重要である。臭素化ダイオキシン類へ曝露する可能性の高い集団として難燃剤を高温で使う職場、もしくは難燃剤を含む製品が高温となる職場で働く労働者と考えられる。

そこで燃焼作業に従事している一般ごみ焼却工場労働者、産業廃棄物焼却処理工場及び高速回転粉砕器により難燃剤を含んだプラスチック類が高温となる家電製品リサイクル工場労働者の塩素化ダイオキシン類及び PBDE 曝露状況を調べると共に健康状況を調査し、臭素系難燃剤特に PBDE の健康影響を解析することにより臭素化ダイオキシン類の健康影響を推測することにした。

対象は一般廃棄物焼却処理工場 3 カ所で働く労働者 72 人、男性 69 人、平均年齢 45.2 歳 (22~64 歳)、女性 3 人、平均年齢 47.0 歳 (32~55 歳)、産業廃棄物焼却処理工場働く男性労働者 23 人、平均年齢 43.6 歳 (24~58 歳)、家電製品リサイクル工場働く男性労働者 11 人、平均年齢 42.0 歳 (21~67 歳)、合計 106 人であった。調査に先立ち調査説明会を行い、全員から調査協力同意書に署名を得た。

調査当日の朝、空腹状態で 70 - 90 ml 採血し、その後職歴・作業歴の聴取を行った。職歴・作業歴調査より飛灰曝露作業従事期間を算定した。採取した血液は、血液・生化学・内分泌検査及び塩素化ダイオキシン類・PBDE 測定に用いた。塩素化ダイオキシン類は

WHO-TEQ が示されている塩素化ジベンゾジオキシン (PCDD) 7 種類、塩素化ジベンゾフラン (PCDF) 10 種類、コプラナーPCB (cPCB) 12 種類の 29 種類を測定し、PBDE は 25 種類を測定した。

その結果、TEQ 換算値でみると血液中塩素化ダイオキシン類濃度は最小値 4.8 pgTEQ/g - lipid、最大値 56.0 pgTEQ/g - lipid、平均 21.4 pgTEQ/g - lipid となっており過去に報告されている一般住民及び清掃工場労働者の値と比べて差は認められなかった。血液中 PBDE に関しては、三から六臭素化物の合計で最小値 774 pg/g - lipid、最大値 8839 pg/g - lipid、平均 2133.1 pg/g - lipid となっており、血液中総 cPCB レベルである最小値 1880 pg/g - lipid、最大値 69902 pg/g - lipid、平均 18283.3 pg/g - lipid と比較すると少し低いレベルと考えられる。

三業種間の比較において産業廃棄物焼却処理集団は他の二集団と比較して 12378PeCDD、123678HxCDD、123789HxCDD、23478PeCDF、123478HxCDF、123678HxCDF、234678HxCDF、1234678HpCDF が高く、33'44'TeCB、22'4TrBDE、33'4TrBDE、23'44'TeBDE、33'44'TeBDE、23'44'5PeBDE、22'44'55'HxBDE が低かった。家電製品リサイクル集団は他の二集団もしくは何れかの集団より 33'44'TeCB、233'44'PeCB が高かった。一方、血液中ダイオキシン類及び PBDE 濃度間の相関関係は、ダイオキシン類間では相関係数が高かったが、ダイオキシン類と PBDE 間では一部有意な相関関係が認められたものもあったが相関係数はそれほど高くはなかった。また、ダイオキシン類は年齢と高い相関関係を示していたが、PBDE 異性体の一部に有意な相関関係が認められたものの相関係数はそれほど高くはなかった。その上、年齢と有意な相関があった PBDE 異性体はダイオキシン類とも有意な相関を示した。他方、家電製品リサイクル集団で高くなっていた PBDE 異性体は何れも年齢と相関関係が認められなかった。これらの結果を考慮すると、ダイオキシン類は主として日常生活からの曝露であるのに対して、PBDE は一部の異性体を除くと日常生活以外からの曝露が疑われる。特に 33'44'TeCB、233'44'PeCB に関しては家電製品リサイクル工場での曝露が疑われる。

血液・生化学・内分泌検査値と血液中ダイオキシン類、PBDE 濃度との関係は、年齢、血液中ダイオキシン類濃度、血液中 PBDE 濃度相互間に複雑な相関関係があるため、重回帰分析で得られた結果を考察する。寄与率が 15%以上で線型モデル式を当てはめることができたのが白血球数、ヘマトクリット値、血小板数、 γ -GTP、血糖、クレアチニン、総コレステロール、LH、FSH、Estradiol、Testosterone であった。しかし、係数に一定の傾向を示したのは、血小板数に対して PCDF、cPCB、PBDE が低下方向へ働いていたのと、 γ -GTP に対して PBDE が上昇方向へ働いていた場合だけであった。これらの結果より、ダイオキシン類、PBDE が生体に影響を及ぼしていることを示唆する結果が得られたが、どの物質がどのような影響を及ぼしているかを結論づけるためにはまだ十分なデータではないと考えられる。

2. 目的

現在難燃剤は建材、家具、電化製品等数百に及ぶ製品類に幅広く使われている。この難燃剤は大きく3種類に分類できる。それらは無機剤、ハロゲン化剤、有機リン剤であり全世界での生産量は体積比でそれぞれ50%、25%、20%である(OECD,1994)。ハロゲン化剤には臭素化剤と塩素化剤があるが、生産量は重量比で約3対1の割合となっている(OECD,1994)。ハロゲン化剤の中では一般的に芳香族臭素化剤が最も熱に安定である。臭素化難燃剤は四臭素化ビスフェノール A (TBBPA) と臭素化ジフェニルエーテル (PBDE) が主として使用されている。使用量は TBBPA が 31,000 トン、PBDE が 4,700 トンと推定されている(1999年)。

ペンタとオクタの PBDE は甲状腺ホルモン分泌を抑制する作用がある一方、PBDE は高熱が発生する状況においては臭素化ダイオキシン類生成における基質として重要である。臭素化ダイオキシン類へ曝露する可能性の高い集団として難燃剤を高温で使う職場、もしくは難燃剤を含む製品が高温となる職場で働く労働者と考えられる。

そこで燃焼作業に従事している一般ごみ焼却工場労働者、産業廃棄物焼却処理工場及び高速回転粉砕器により難燃剤を含んだプラスチック類が高温となる家電製品リサイクル工場労働者の塩素化ダイオキシン類及び PBDE 曝露状況を調べると共に健康状況を調査し、臭素系難燃剤特に PBDE の健康影響を解析することにより臭素化ダイオキシン類の健康影響を推測することにした。

3. 対象

対象は一般廃棄物焼却処理工場3カ所で働く労働者72人、男性69人、平均年齢45.2歳(22~64歳)、女性3人、平均年齢47.0歳(32~55歳)、産業廃棄物焼却処理工場働く男性労働者23人、平均年齢43.6歳(24~58歳)、家電製品リサイクル工場働く男性労働者11人、平均年齢42.0歳(21~67歳)であった。調査に先立ち調査説明会を行い、全員から調査協力同意書に署名を得た。

3-1 調査対象となった工場の概要

1) 一般廃棄物焼却処理工場 A

当工場の操業の歴史は表の通りである。

1975年	操業開始
1985年	電気集塵器新設
1997年	ダイオキシン対策 (EP入口温設定変更)
2002年	プラントの清掃整備を外部委託

1975年から準連続式ストーカ型炉2基で稼働を開始している。炉はそれぞれマルチサイクロン1基を伴っていた。1985年にはマルチサイクロンから電気集塵器につけ替えてい

る。処理能力は2基で75 ton/8hrsである。1997年にダイオキシン対策として電気集塵器入口温を350℃から280℃へ下げる対策を施している。職員は事務系6名、現業正規職員9名、臨時職員8名の合計17名である。

2) 一般廃棄物焼却処理工場 B

当工場の操業の歴史は表の通りである。

1973年	焼却炉2基で操業開始
1987年	焼却炉1基増設
2002年	ダイオキシン類対策工事完了 バグフィルタ集塵器に置き換える

1973年より処理能力が1基で150 ton/24hrある全連続式ストーカ型炉2基で稼働を開始している。それぞれ燃焼ガス冷却装置、電気集塵器を伴っていた。1987年には処理能力が150 ton/24hrある全連続式ストーカ型炉と電気集塵器を各1基増設すると共に3炉分の塩化水素ガス除去装置を新設する。2002年にダイオキシン対策として排ガス減温器、活性炭噴霧用の有害ガス除去装置を排煙経路に新設すると共に電気集塵器をバグフィルタ集塵器に置き換え、飛灰処理のための飛灰混練機を新設した。職員は正規・臨時を含めて事務系4名、現業運転部門職員20名、計量・プラットフォーム部門5名の合計29名である。

3) 一般廃棄物焼却処理工場 C

当工場の操業の歴史は表の通りである。

1985年	2炉で操業開始
2002年	ダイオキシン対策で旧炉廃止 新設2炉で操業開始
2003年	1炉増設

1985年より処理能力が1基で120 ton/24hrある全連続式ストーカ型炉2基で稼働を開始している。それぞれ電気集塵器を伴っていた。2002年にダイオキシン対策として旧炉を廃止し処理能力が90 ton/24hrある全連続式ストーカ型炉とバグフィルタ集塵器を各2基新設し稼働を開始する。2003年にはさらに同様の全連続式ストーカ型炉とバグフィルタ集塵器を各1基増設した。職員は正規・臨時を含めて事務系12名、現業運転部門職員20名、管理・計量・プラットフォーム部門12名の合計44名である。

4) 産業廃棄物処理工場

当工場の操業の歴史は表の通りである。

1978年	操業開始
1987年	1号炉完成
1990年	医療系廃棄物焼却炉完成
1991年	2号炉完成 (ロータリーキルン)
1998年	3号炉完成 (熔融型ロータリーキルン)
	1号炉閉炉
	前処理自動化設備完成
2002年	2号炉ダイオキシン類対策工事完了

1991年から稼働している2号炉はロータリーキルン、廃液炉、二次燃焼炉、ドラム缶炉、ガス冷却塔、乾式電気集塵器、急冷塔、洗浄塔からなり、処理能力は一日240トンである。1998年から稼働している3号炉は熔融型ロータリーキルン、廃液・二次燃焼炉、急冷塔、バグフィルタ集塵器からなり、処理能力は一日260トンである。2002年に2号炉のダイオキシン類対策工事として湿式電気集塵器、予熱器、活性炭吸着塔の増設が完了する。1998年に完成した前処理自動化設備は廃プラスチック破砕機、廃液吸引設備、中和設備、油水分離設備からなっている。現在取り扱っている主要な産業廃棄物は汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類である。

従業員は管理職を含めて68名からなる。現場担当はそのうち39名で、炉のオペレーター、受入・前処理、設備担当に分かれている。オペレーターは4直3交替を組んでいる。

5) 家電製品リサイクル工場

当工場は2001年に操業を開始している。工場へ入荷したテレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン等の製品は先ず手分解工程により断熱材フロン、プラスチック、筐体、鉄類、ウレタン、偏向ヨーク、プリント基板組品、銅線・銅パイプ、ブラウン管等へ分別・選別され、引き続き堅型衝撃破砕機により破砕された後鉄類は磁力選別機により選別される。ほとんどの処理物質は再利用のため他工場へ運搬される。当工場では焼却処理は行われていない。

従業員は32名でその内管理職を含む事務部門は6名である。全員日勤勤務である。

3-2 調査対象の特性

性別、年齢構成を表3-2-1に示す。

表 3-2-1

年齢階級	一般廃棄物処理 工場		産業廃棄物 処理工場	家電製品 リサイクル 工場	合 計
	男	女	男	男	
20-29	11	0	6	4	21
30-39	13	1	3	2	19
40-49	18	0	4	1	23
50-59	24	2	10	2	38
60-	3	0	0	2	5
合 計	69	3	23	11	106

4. 方法

調査当日の朝、空腹状態で70-90 ml採血し、その後職歴・作業歴の聴取を行った。職歴・作業歴調査より飛灰曝露作業従事期間を算定した。採取した血液は、血液・生化学・内分泌検査及び塩素化ダイオキシン類・PBDE測定に用いた。塩素化ダイオキシン類はWHO-TEQが示されている塩素化ジベンゾジオキシン(PCDD)7種類、塩素化ジベンゾフラン(PCDF)10種類、コプラナーPCB(cPCB)12種類の29種類を測定し、PBDEは健康影響上問題となりうるペンタとオクタPBDEを25種類測定した。

4-1 ダイオキシン類

測定したダイオキシン類は以下の29種類である。

1) 塩素化ジベンゾジオキシン(PCDD)7種類

- 2 3 7 8 四塩素化ジベンゾジオキシン (2378TeCDD)
- 1 2 3 7 8 五塩素化ジベンゾジオキシン (12378PeCDD)
- 1 2 3 4 7 8 六塩素化ジベンゾジオキシン (123478HxCDD)
- 1 2 3 6 7 8 六塩素化ジベンゾジオキシン (123678HxCDD)
- 1 2 3 7 8 9 六塩素化ジベンゾジオキシン (123789HxCDD)
- 1 2 3 4 6 7 8 七塩素化ジベンゾジオキシン (1234678HpCDD)
- 八塩素化ジベンゾジオキシン (OCDD)

2) 塩素化ジベンゾフラン(PCDF)10種類

- 2 3 7 8 四塩素化ジベンゾフラン (2378TeCDF)
- 1 2 3 7 8 五塩素化ジベンゾフラン (12378PeCDF)
- 2 3 4 7 8 五塩素化ジベンゾフラン (23478PeCDF)
- 1 2 3 4 7 8 六塩素化ジベンゾフラン (123478HxCDF)
- 1 2 3 6 7 8 六塩素化ジベンゾフラン (123678HxCDF)
- 2 3 4 6 7 8 六塩素化ジベンゾフラン (234678HxCDF)
- 1 2 3 7 8 9 六塩素化ジベンゾフラン (123789HxCDF)
- 1 2 3 4 6 7 8 七塩素化ジベンゾフラン (1234678HpCDF)
- 1 2 3 4 7 8 9 七塩素化ジベンゾフラン (1234789HpCDF)
- 八塩素化ジベンゾフラン (OCDF)

3) コプラナー型塩素化ビフェニール(Coplanar PCB)12種類

ノンオルト(non-ortho)

- | | |
|--------------------------------------|------|
| 3 3' 4 4' 四塩素化ビフェニール (33'44'TeCB) | #77 |
| 3 4 4' 5 四塩素化ビフェニール (344'5TeCB) | #81 |
| 3 3' 4 4' 5 五塩素化ビフェニール (33'44'5PeCB) | #126 |

3 3' 4 4' 5 5' 六塩素化ビフェニール (33'44'55'HxCB)	#169
モノオルト (mono-ortho)	
2 3 3' 4 4' 五塩素化ビフェニール (233'44'PeCB)	#105
2 3 4 4' 5 五塩素化ビフェニール (2344'5PeCB)	#114
2 3' 4 4' 5 五塩素化ビフェニール (23'44'5PeCB)	#118
2' 3 4 4' 5 五塩素化ビフェニール (2'344'5PeCB)	#123
2 3 3' 4 4' 5 六塩素化ビフェニール (233'44'5HxCB)	#156
2 3 3' 4 4' 5' 六塩素化ビフェニール (233'44'5'HxCB)	#157
2 3' 4 4' 5 5' 六塩素化ビフェニール (23'44'55'HxCB)	#167
2 3 3' 4 4' 5 5' 七塩素化ビフェニール (233'44'55'HpCB)	#189

4-2 臭素化ビフェニールエーテル

測定した臭素化ビフェニールエーテル (PBDE) は以下の 25 種類である。2 4 4' 三臭素化ビフェニールエーテル (244' TrBDE) と 2' 3 4 三臭素化ビフェニールエーテル (2'34 TrBDE) はピークを分離できなかつたのでまとめて定量した。

2 4 6 三臭素化ビフェニールエーテル (246 TrBDE)	#30
2 4' 6 三臭素化ビフェニールエーテル (24'6 TrBDE)	#32
2 3' 4 三臭素化ビフェニールエーテル (23'4 TrBDE)	#25
2 2' 4 三臭素化ビフェニールエーテル (22'4 TrBDE)	#17
2 4 4' 三臭素化ビフェニールエーテル (244' TrBDE)	#28
2' 3 4 三臭素化ビフェニールエーテル (2'34 TrBDE)	#33
3 3' 4 三臭素化ビフェニールエーテル (33'4 TrBDE)	#35
3 4 4' 三臭素化ビフェニールエーテル (344' TrBDE)	#37
2 4 4' 6 四臭素化ビフェニールエーテル (244'6 TeBDE)	#75
2 3' 4' 6 四臭素化ビフェニールエーテル (23'4'6 TeBDE)	#71
2 2' 4 5' 四臭素化ビフェニールエーテル (22'45' TeBDE)	#49
2 2' 4 4' 四臭素化ビフェニールエーテル (22'44' TeBDE)	#47
2 3' 4 4' 四臭素化ビフェニールエーテル (23'44' TeBDE)	#66
3 3' 4 4' 四臭素化ビフェニールエーテル (33'44' TeBDE)	#77
2 2' 4 4' 6 五臭素化ビフェニールエーテル (22'44'6 PeBDE)	#100
2 3' 4 4' 6 五臭素化ビフェニールエーテル (23'44'6 PeBDE)	#119
2 2' 4 4' 5 五臭素化ビフェニールエーテル (22'44'5 PeBDE)	#99
2 3 4 5 6 五臭素化ビフェニールエーテル (23456 PeBDE)	#116
2 3' 4 4' 5 五臭素化ビフェニールエーテル (23'44'5 PeBDE)	#118
2 2' 3 4 4' 五臭素化ビフェニールエーテル (22'344' PeBDE)	#85

3 3' 4 4' 5 五臭素化ビフェニールエーテル (33'44'5PeBDE)	#126
2 2' 4 4' 6 6' 六臭素化ビフェニールエーテル (22'44'66'HxBDE)	#155
2 2' 4 4' 5 6' 六臭素化ビフェニールエーテル (22'44'56'HxBDE)	#154
2 2' 4 4' 5 5' 六臭素化ビフェニールエーテル (22'44'55'HxBDE)	#153
2 2' 3 4 4' 5' 六臭素化ビフェニールエーテル (22'344' 5'HxBDE)	#138
2 3 4 4' 5 6 六臭素化ビフェニールエーテル (2344'56HxBDE)	#166

4-3 血液検査

検査した項目は白血球数 (WBC)、赤血球数 (RBC)、血色素量 (Hb)、ヘマトクリット (Ht)、血小板数 (Plt) である。

4-4 生化学検査

検査した項目は直接ビリルビン (D-BIL)、間接ビリルビン (I-BIL)、総タンパク量 (TP)、GOT、GPT、G-GTP、血糖値 (BS)、尿酸値 (UA)、クレアチニン量 (Cre)、尿素窒素量 (UN)、中性脂肪量 (TG)、リン脂質量、総コレステロール量 (T-CHO)、高比重コレステロール量 (HDL)、低比重コレステロール量 (LDL) である。

4-3 内分泌検査

黄体化ホルモン (LH)、卵胞刺激ホルモン (FSH)、トリヨードサイロニン (T3)、サイロキシン (T4)、エストラジオール (E2)、テストステロンである。

5. 結果

5-1 集計結果

5-1-1 血液中ダイオキシン類、臭素化ジフェニールエーテルの測定結果

TEQ 換算による血液中ダイオキシン類濃度と血液中 PBDE の合計濃度を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1

	度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
PCDD+PCDF TEQ	106	12.70	6.92	3.7	36.0
coPCB TEQ	106	8.687	6.436	0.93	27.41
Total TEQ	106	21.36	12.52	4.8	56.0
Total PBDE	106	2133.1	1212.2	774	8839

ダイオキシン類、PBDE の各異性体別血液中濃度に関しては、一般廃棄物焼却処理工場の男性労働者の結果を表 5-1-1-A1、女性労働者の結果を表 5-1-1-A2 に示す。また、産業

廃棄物焼却処理工場の結果を表 5-1-1-B、家電製品リサイクル工場の結果を表 5-1-1-C に示す。

5-1-2 血液・生化学・内分泌検査測定結果

一般廃棄物焼却処理工場の男性労働者の結果を表 5-1-2-A1、女性労働者の結果を表 5-1-2-A2 に示す。また、産業廃棄物焼却処理工場の結果を表 5-1-2-B、家電製品リサイクル工場の結果を表 5-1-2-C に示す。

5-2 関連性の解析

5-2-1 血液中ダイオキシン類、臭素化ジフェニルエーテル測定結果間の相関関係

PCDD と PCDF 間の相関関係を表 5-2-1-A に示す。互いに高い相関関係が認められる。年齢との間には軽度から中等度の相関関係がある。PCDD/PCDF と cPCB/PBDE 間の相関関係を表 5-2-1-B に示す。PCDD/PCDF と cPCB 間には高い相関関係が認められるが、PCDD/PCDF と PBDE 間では一部を除いて相関関係は認められなかった。PCDD/PCDF と PBDE 間では一部を除いて相関関係は認められなかった。cPCB と PBDE との間の相関関係を表 5-2-1-C に示す。23'46'TeBDE、22'44'TeBDE、23'44'TeBDE、22'44'6PeBDE、22'44'66'HxBDE、22'44'56'HxBDE、22'44'55'HxBDE で中等度の相関関係が認められた以外は相関関係が認められなかった。cPCB は年齢との間には中等度から高度の相関関係が認められたが、PBDE は PCDD/PCDF もしくは cPCB と相関関係が認められるものを除いて年齢との間には相関関係が認められなかった（例外：23'44'TeBDE）。

5-2-2 血液中ダイオキシン類、臭素化ジフェニルエーテル測定結果の三集団間比較

血液中ダイオキシン類、PBDE 測定結果の三集団間比較を表 5-2-2 に示す。本解析においては男性のみを対象とした。産業廃棄物焼却処理集団が他の二集団と比較して高かったのは 12378PeCDD、123678HxCDD、123789HxCDD、23478PeCDF、123478HxCDF、123678HxCDF、234678HxCDF、1234678HpCDF であり、他の何れかの集団より低かったのが 33'44'TeCB、22'4TrBDE、33'4TrBDE、23'44'TeBDE、33'44'TeBDE、23'44'5PeBDE、22'44'55'HxBDE であった。家電製品リサイクル集団が他の二集団もしくは何れかより高かったのは 33'44'TeCB、233'44'PeCB であった。

5-2-3 血液・生化学・内分泌検査測定結果の三集団間比較

血液・生化学・内分泌検査測定結果の三集団間比較を表 5-2-3 に示す。本解析においては男性のみを対象とした。一般廃棄物焼却処理集団が産業廃棄物焼却処理集団より高かったのがヘマトクリット値と Estradiol であった。家電製品リサイクル集団が他の二集団より高かったのが GOT であった。

5-2-4 血液中ダイオキシン類、臭素化ジフェニルエーテル測定結果と血液・生化学・内分泌検査測定結果とのあいだの相関関係

血液・生化学・内分泌検査測定結果と PCDD とのあいだの年齢で調整した偏相関係数を表 5-2-4-A に示す。本解析においては男性のみを対象とした。間接ビリルビン、総蛋白質、 γ -GTP が複数の同族体と有意な相関を認めた。血液・生化学・内分泌検査測定結果と PCDF とのあいだの年齢で調整した偏相関係数を表 5-2-4-B に示す。血小板数、総蛋白質、 γ -GTP、LH、FSH が複数の同族体と有意な相関を認めた。血液・生化学・内分泌検査測定結果と cPCB とのあいだの年齢で調整した偏相関係数を表 5-2-4-C に示す。血小板数、直接ビリルビン、間接ビリルビン、総蛋白質、 γ -GTP、血糖、LH が複数の同族体と有意な相関を認めた。血液・生化学・内分泌検査測定結果と PBDE とのあいだの年齢で調整した偏相関係数を表 5-2-4-D に示す。GOT、 γ -GTP、血糖、尿酸、リン脂質、HDL コレステロール、LH が複数の同族体と有意な相関を認めた。

5-2-5 血液・生化学・内分泌検査測定値を従属変数とし、年齢、血液中ダイオキシン類、臭素化ジフェニルエーテル測定値を独立変数とした多重回帰分析

各血液・生化学・内分泌検査測定値を従属変数とし、年齢、血液中ダイオキシン類、PBDE 測定値を独立変数とした多重回帰分析をステップワイズ法で行った。本解析においては男性のみを対象とした。計算は SPSS を用いた。その結果を表 5-2-5 に示す。調整済み寄与割合が 0.15 以上になったものは WBC、ヘマトクリット、血小板、 γ -GTP、血糖、クレアチニン、総コレステロール、LH、FSH、Estradiol、Testosterone であった。WBC に対しては PCDD が上げる方向へ PCDF と PBDE が下げる方向へ寄与し、ヘマトクリットに対しては cPCB と PBDE が関与していたが方向は一定せず、血小板に対しては PCDF、cPCB、PBDE 何れもが下げる方向へ寄与し、 γ -GTP に対しては PBDE が上げる方向へ寄与し、血糖に対しては cPCB が関与していたが方向は一定せず、PBDE は上げる方向へ寄与し、クレアチニンに対しては PCDD が上げる方向へ、cPCB が下げる方向へ寄与し、PBDE は一定せず、総コレステロールに対しては PCDD が上げる方向へ寄与し、cPCB は一定せず、LH に対しては年齢が上げる方向へ、PBDE は下げる方向へ寄与し、cPCB は一定せず、FSH に対しては、年齢と cPCB が上げる方向へ、PCDF と PBDE が下げる方向へ寄与し、Estradiol に対しては cPCB と PBDE は下げる方向へ寄与し、PBDF は一定せず、Testosterone に対しては PBDE が上げる方向へ寄与し、cPCB は一定せずであった。

6. 考察

三年間の調査により一般廃棄物焼却処理工場の労働者 72 人、産業廃棄物焼却処理工場の労働者 23 人、そして家電製品リサイクル工場の労働者 11 名、合計 106 人の調査を行った。TEQ 換算値でみると血液中塩素化ダイオキシン類濃度は最小値 4.8 pgTEQ/g - lipid、最大値 56.0 pgTEQ/g - lipid、平均 21.4 pgTEQ/g - lipid となっており過去に報告されて

いる一般住民及び清掃工場労働者の値と比べて差は認められなかった。血液中 PBDE に関しては、三から六臭素化物の合計で最小値 774 pg/g - lipid、最大値 8839 pg/g - lipid、平均 2133.1 pg/g - lipid となっており、血液中総 cPCB レベルである最小値 1880 pg/g - lipid、最大値 69902 pg/g - lipid、平均 18283.3 pg/g - lipid と比較すると少し低いレベルと考えられる。

三業種間の比較において産業廃棄物焼却処理集団は他の二集団と比較して 12378PeCDD、123678HxCDD、123789HxCDD、23478PeCDF、123478HxCDF、123678HxCDF、234678HxCDF、1234678HpCDF が高く、33'44'TeCB、22'4TrBDE、33'4TrBDE、23'44'TeBDE、33'44'TeBDE、23'44'5PeBDE、22'44'55'HxBDE が低かった。家電製品リサイクル集団は他の二集団もしくは何れかの集団より 33'44'TeCB、233'44'PeCB が高かった。一方、血液中ダイオキシン類及び PBDE 濃度間の相関関係は、ダイオキシン類間では相関係数が高かったが、ダイオキシン類と PBDE 間では一部有意な相関関係が認められたものもあつたが相関係数はそれほど高くはなかった。また、ダイオキシン類は年齢と高い相関関係を示していたが、PBDE 異性体の一部に有意な相関関係が認められたものの相関係数はそれほど高くはなかった。その上、年齢と有意な相関があつた PBDE 異性体はダイオキシン類とも有意な相関を示した。他方、家電製品リサイクル集団で高くなつていた PBDE 異性体は何れも年齢と相関関係が認められなかった。これらの結果を考慮すると、ダイオキシン類は主として日常生活からの曝露であるのに対して、PBDE は一部の異性体を除くと日常生活以外からの曝露が疑われる。特に 33'44'TeCB、233'44'PeCB に関しては家電製品リサイクル工場での曝露が疑われる。

血液・生化学・内分泌検査値と血液中ダイオキシン類、PBDE 濃度との関係は、年齢、血液中ダイオキシン類濃度、血液中 PBDE 濃度相互間に複雑な相関関係があるため、重回帰分析で得られた結果を考察する。寄与率が 15%以上で線型モデル式を当てはめることができたのが白血球数、ヘマトクリット値、血小板数、 γ -GTP、血糖、クレアチニン、総コレステロール、LH、FSH、Estradiol、Testosterone であつた。しかし、係数に一定の傾向を示したのは、血小板数に対して PCDF、cPCB、PBDE が低下方向へ働いていたのと、 γ -GTP に対して PBDE が上昇方向へ働いていた場合だけであつた。これらの結果より、ダイオキシン類、PBDE が生体に影響を及ぼしていることを示唆する結果が得られたが、どの物質がどのような影響を及ぼしているかを結論づけるためにはまだ十分なデータではないと考えられる。

7. まとめ

一般廃棄物焼却処理工場 3 カ所で働く労働者 72 人、産業廃棄物焼却処理工場働く労働者 23 人、家電製品リサイクル工場働く男性労働者 11 人、合計 106 人を対象として、塩素化ダイオキシン類及び PBDE の曝露状況ならびに健康影響指標の調査を行った。

その結果、TEQ 換算値でみると血液中塩素化ダイオキシン類濃度は過去に報告されてい

る一般住民及び清掃工場労働者の値と比べて差は認められなかった。血液中 PBDE に関しては、三から六臭素化物の合計で血液中総 cPCB レベルと比較すると少し低いレベルと考えられた。

三業種間の比較において産業廃棄物焼却処理集団は他の二集団と比較して PCDD、PCDF が高く、PBDE が低かった。家電製品リサイクル集団は他の二集団もしくは何れかの集団より cPCB が高かった。また、ダイオキシン類は主として日常生活からの曝露であるのに対して、PBDE は一部の異性体を除くと日常生活以外からの曝露が疑われ、特に 33'44'TeCB、233'44'PeCB に関しては家電製品リサイクル工場での曝露が疑われた。

血液・生化学・内分泌検査値と血液中ダイオキシン類、PBDE 濃度との関係より、ダイオキシン類、PBDE が生体に影響を及ぼしていることを示唆する結果が得られたが、どの物質がどのような影響を及ぼしているかを結論づけるためにはまだ十分なデータではないと考えられる。