

ガス化溶融炉周辺のマツの針葉に含まれる PBDE(ポリ臭素化ジフェニル・エーテル)類の濃度について

池田こみち・鷹取敦・朝原真実（環境総合研究所）
青山貞一（武蔵工業大学環境情報学部）

1. 調査の目的

PBDEs（ポリ臭素化ジフェニル・エーテル類）は、臭素系難燃剤の中で最も一般的に使用される難燃剤の一種であり、今日までに大量に使用されてきた。しかし、その一方で、この化合物がもたらす環境や健康への影響について、我が国では十分な調査研究が行われてこなかったことも事実である。PBDE類は、繊維製品、電気電子機器類などのプラスチック製品や消火剤（泡製品）に多く使われてきた。

先行する独立行政法人産業技術総合研究所¹の研究によると、マツを生物指標としてPBDEを測定したところ、大規模清掃工場が集中する東京湾岸地域（湾奥エリア）のマツが吸収しているPBDE濃度が房総半島先端部の農村地域（湾口エリア）に比べて6倍高いという結果が報告されている。

PBDE類の中では、デカ-BDE、オクタ-BDEsそれにペンタ-BDEsの三種類が難燃剤として市場に出回っているが、日本では、業界の自主規制により、1991年以降は毒性の低いデカ-BDEのみが使用されていることとなっている。²低臭素化合物（テトラ-BDEsやペンタ-BDEsなど）は毒性が強いとされているが、これらの化合物が大気中からも検出されている。それにもかかわらず、日本政府はPBDEのリスクについて関心が低く、国内では十分なモニタリングすら行われていないのが実態である。

環境総合研究所においては、過去9年間にわたり、市民参加によってマツの針葉を生物指標としたダイオキシン類（PCDD/PCDF）のモニタリングデータを800検体以上も蓄積してきた。^{3,5}その中で、マツを用いた大気中のダイオキシン類の測定が広域を対象とした場合も、焼却炉周辺を対象とした場合にも非常に有効であることを示してきた。そこで、この経験をふまえて、PBDE類についてもダイオキシン類と同様の方法により、マツを用いた測定を行い国内の大気中の汚染の実態を把握することとした。

本調査は、国内でも先端的なゴミ処理技術とされるガス化溶融炉周辺にターゲットを絞り、パイロット調査として実施されたものである。1000度以上の高温処理が行われ、気化した金属類の排出が危惧されるガス化溶融炉周辺でのPBDE濃度の監視の一助となることを目的としている。

2. 調査の概要

本調査においては、ダイオキシン類の測定活動に参加している市民グループが採取した松葉試料を一部取り分けて、PBDE類の分析に当たった。対象地域は表-1に示した通りである。発生源周辺としては、ガス化溶融炉の周辺地域からの採取に絞った。

表-1 松葉の採取エリア一覧

対象地域	県
1. 室蘭市白鳥台（ガス化溶融炉風下地域）	北海道
2. 伊達市南黄金地区（ガス化溶融炉風上地域）	
3. 川口市南平地区（ガス化溶融炉周辺地域）	埼玉県
4. 春日井市東部（広域平均）	愛知県
5. 春日井市西部（広域平均）	
6. 福山市全域（広域平均）	広島県
7. 古賀清掃工場周辺（ガス化溶融炉周辺地域）	福岡県
8. 古賀市筵内（ガス化溶融炉近傍特定地域）	
9. 古賀市全域（広域平均）	
10. 島田市伊太田代（ガス化溶融炉近傍）*	静岡県
11. 宗像清掃工場周辺（ガス化溶融炉近傍）*	福岡県

* 上記の内、10と11はアカマツによる調査。

また、10の島田市伊太田代地区はガス化溶融炉が本格稼働する前の背景濃度として調査した。

なお、対象となっているガス化溶融炉の排ガス中ダイオキシン類濃度を表-2に示した。これらはいずれも年に1回の測定結果であり、これらガス化溶融炉の定常的な排ガスの状態を示したものとは言えない。

(1) 測定分析機関

Maxxam Analytics Inc. (オンタリオ州、カナダ)

(2) 測定項目

本調査においては、PBDE の異性体別濃度 (モノからデカ) 及び総 PBDE 濃度を測定し比較した。

(3) 分析方法

分析方法は、米国環境保護庁 (EPA) が定め国際的に用いられている “DBE-E-3430 and UEPA draft method 1614 方法に準拠するとともに、Maxxam 社の開発した SOP “BRL SOP-00413, 00414” (標準操作手順) に従って実施されている。

表-2 対象となっているガス化溶融炉における排ガス中のダイオキシン類濃度

ガス化溶融施設	処理能力 (t/day)	排ガス処理装置のタイプ	稼働開始年月日	排ガス中ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/m ³ N)	測定年月日
1. 西胆振広域連合メルトタワー 1号炉	105	BF	04/01/2003	0.00092	2004/11/12
1. 西胆振広域連合メルトタワー 2号炉	105	BF	04/01/2003	0.0036	2004/08/06
3. 川口市朝日環境センター 1号炉	140	BF	12/01/2002	0.00012	2004/11/02
3. 川口市朝日環境センター 2号炉	140	BF	12/01/2002	0.000081	2004/08/19
3. 川口市朝日環境センター 3号炉	140	BF	12/01/2002	0.0000046	2004/11/04
7. 古賀清掃工場 1号炉	130	BF	04/01/2003	0.0012	2004/07/14
7. 古賀清掃工場 2号炉	130	BF	04/01/2003	0.0012	2004/07/14
11. 宗像クリーンセンター 1号炉	80	BF	06/10/2003	0.0032	2004/10/22
11. 宗像クリーンセンター 2号炉	80	BF	06/10/2003	0.000021	2004/10/22

注) BF: バグフィルター

3. 調査結果

PBDE の分析結果を表-3 と図-1 に示した。

(1) 総 PBDE 類の濃度

今回測定を行った地域のなかで最も PBDE の濃度が高かったのは埼玉県川口市の「朝日環境センター (流動床式ガス化溶融炉)」周辺地域と古賀市の「古賀清掃工場 (キルン式ガス化溶融炉)」周辺地域であった。そして、第3位が古賀市筵内地区となり、いずれもガス化溶融炉周辺 1km 以内の地域となった。

一方、濃度が低かった地域は、静岡県島田市伊太田代地区であり、ガス化溶融炉が稼働する前のバックグラウンド濃度であった。なお、広島県福山市の広域平均が比較的高い濃度となっているのは、市内の一般廃棄物焼却炉に加えて、大規模な産業廃棄物処理施設 (RDF 製造や溶融施設等) が存在していることも結果に影響したものと考えられる。広域を対象とした地域については、エリア内の発生源について詳細を把握する必要があることは当然のことである。

しかしながら、一般廃棄物処理施設 (ガス化溶融炉) 周辺地域においては、PBDE 類の濃度が広域平均地域に比べて高いことが明らかになった。

(2)PBDE の各種異性体別濃度の状況

業界の自主規制により、デカ-BDE を除く PBDE 類の使用を禁止したにもかかわらず、マツの針葉に含まれる PBDE 類はデカばかりではなく、ペンタ、テトラなどその他の異性体も多数検出された。ほとんどの試料において、デカ-BDE よりもペンタ-BDEs やテトラ-BDEs といったより毒性が強く、残留性の高い化合物の濃度が高かった点は注目すべき結果といえる。

テトラ、ペンタなどの低臭素化合物は、デカ-BDE が焼却炉等で熱を加えられたことにより、化学変化したことにより分解されて生成された可能性も考えられる。デカ-BDE の割合に着目すると、総 PBDE 濃度の高かった3つの地域では、デカ-BDE の濃度が他の地域に比べて低かった。また、同時に、この3地域のデカ-BDE の濃度そのものは、宗像市の焼却炉周辺 (11 地域の中で2番目に低い値だった) を除いて、他の地域よりも高かった。

本パイロット調査が対象とした地域は少なく、データも限られているが、総 PBDE 濃度が低かった地域においては、溶融炉におけるデカ-BDE の分解が進んでいなかったと推定することもでき

る。それに対して、総 PBDE 濃度の高かった地域においては、デカ-BDE が毒性の強い低臭素化合物に分解され、テトラやペンタ-BDE の濃度が高くなったと考えられる。

表-4 には、対象とした地域について、松葉で測定したダイオキシン類 (PCDD/PCDF) の総 PBDE 濃度を示した。両者の間には明確な相関は見られていない。

本調査研究においては、対象としたサンプル数、地域数が少なく限定されているため、今後とも対

照地域やサンプル数を増やして継続的なデータの蓄積をはかり、解析を行っていく必要がある。それによって、松葉中の PBDE 濃度と大気中 PBDE 濃度の相関も明らかにされることが期待されている。

大気中の汚染レベルとの関係が明らかになれば、ダイオキシン類同様に、年に 1 回の調査により、PBDE の監視活動を展開することが可能となり、市民参加型調査としても活用することが可能となるだろう。

表-3(1)マツの針葉に含まれる PBDE 類の濃度 (単位 : ng/g)

PBDEs		1.室蘭市 白鳥台 (工場風下)	2.伊達市 南黄金地区 (工場風上)	3.川口市 南平地区清掃 工場周辺	4.春日井 市東部地域 B.G.	5.春日井 市西部地域 B.G.	6.福山市 全域 B.G.
Deca-BDE		1.0	1.4	0.87	0.86	1.6	2.0
Tri	2,2',4	0.0054	ND	0.026	0.011	0.012	0.0068
	244'+2'34	0.018	0.019	0.063	0.052	0.040	0.026
Tetra	2,2',4,4'	1.1	1.1	2.6	1.1	1.2	1.3
	2,3',4,4'	0.033	0.036	0.086	0.041	0.020	0.016
	22'45'+23'4'6	0.034	0.037	0.096	0.041	0.050	0.043
Penta	2,2',3,4,4'	0.11	0.14	0.30	0.11	0.13	0.14
	2,2',4,4',5	1.6	2.0	4.6	1.6	1.8	2.0
	2,2',4,4',6	0.34	0.38	0.94	0.37	0.38	0.39
Hexa	22'344'5'+2344'56	0.030	0.038	0.093	0.014	0.032	0.030
	2,2',4,4',5,5'	0.16	0.23	0.44	0.031	0.17	0.21
	2,2',4,4',5,6'	0.16	0.21	0.41	0.14	0.17	0.19
Hepta	2,2',3,4,4',5',6	0.0060	0.0096	0.025	ND	0.013	0.0097
	2,3,3',4,4',5,6	ND	ND	ND	ND	0.0021	ND
Total		4.6	5.6	11	4.4	5.6	6.4
Tri-BDEs		0.023	0.019	0.089	0.063	0.052	.033
Tetra-BDEs		1.2	1.2	2.8	1.2	1.3	1.4
Penta-BDEs		2.1	2.5	5.8	2.1	2.3	2.5
Hexa-BDEs		0.35	0.48	0.94	0.19	0.37	0.43
Hepta-BDEs		0.0060	0.010	0.025	0	0.015	0.010
Deca-BDE		1.0	1.4	0.87	0.86	1.6	2.0

注) 有効数字 2 桁で表示

表-3(2)マツの針葉に含まれるPBDE類の濃度 (単位: ng/g)

PBDEs		7.古賀清掃工場周辺	8.古賀市筵内清掃工場周辺	9.古賀市全域 B.G.	10.島田市伊太田代地区 B.G.	11.宗像清掃工場周辺
Deca-BDE		0.34	0.31	0.63	2.2	0.58
Tri	2,2',4	0.012	0.015	0.0090	0.0070	0.0076
	244'+2'34	0.066	0.065	0.046	0.028	0.031
Tetra	2,2',4,4'	2.8	2.1	1.1	0.48	0.71
	2,3',4,4'	0.085	ND	0.042	0.023	0.024
	22'45'+23'4'6	0.081	0.083	0.039	0.023	0.028
Penta	2,2',3,4,4'	0.34	0.24	0.13	0.038	0.040
	2,2',4,4',5	4.9	3.2	1.8	0.58	0.66
	2,2',4,4',6	1.1	0.62	0.39	0.12	0.14
Hexa	22'344'5'+2344'56	0.069	0.054	0.028	ND	0.0067
	2,2',4,4',5,5'	0.44	0.31	0.15	0.060	0.060
	2,2',4,4',5,6'	0.45	0.31	0.15	0.056	0.058
Hepta	2,2',3,4,4',5',6	0.022	0.022	0.017	0.0062	ND
	2,3,3',4,4',5,6	ND	ND	ND	ND	ND
Total		11	7.3	4.5	3.6	2.3
Tri-BDEs		0.078	0.080	0.055	0.035	0.039
Tetra-BDEs		3.0	2.2	1.2	0.53	0.76
Penta-BDEs		6.3	4.1	2.3	0.74	0.84
Hexa-BDEs		0.96	0.67	0.33	0.12	0.12
Hepta-BDEs		0.022	0.022	0.017	0.0062	0
Deca-BDE		0.34	0.31	0.63	2.2	0.58

注) 有効数字2桁で表示

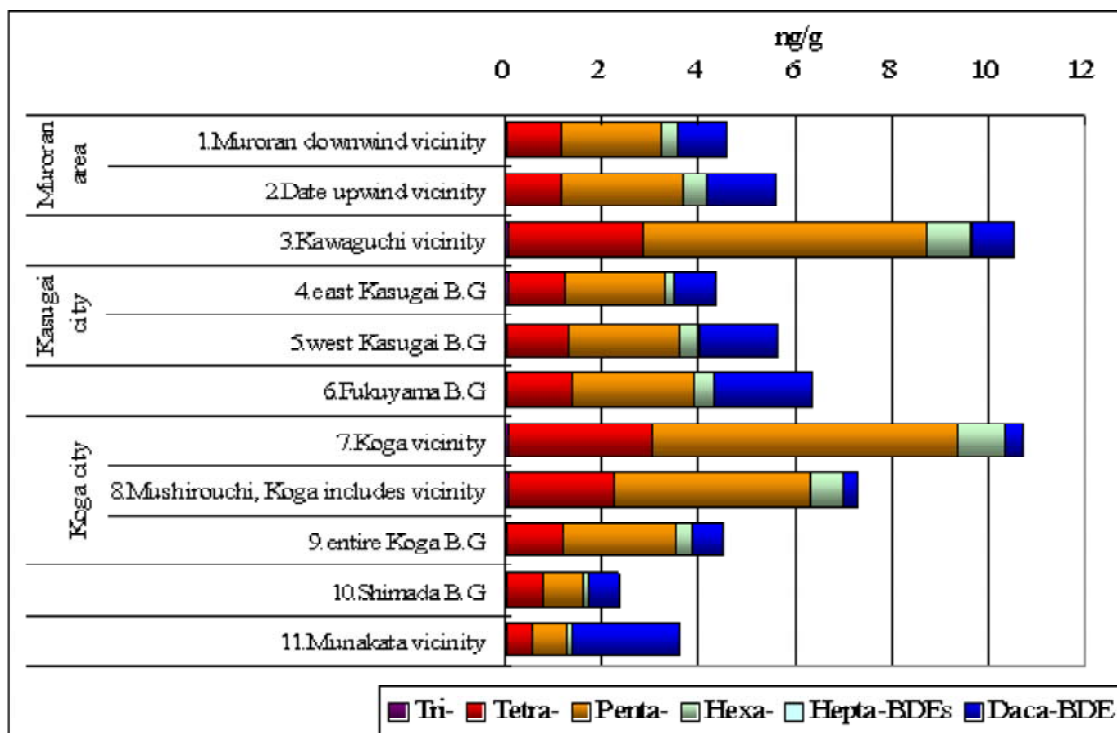


図-1 測定地域別、PBDE類の濃度

表-4 マツに含まれるPBDE濃度とPCDD/PCDF濃度の関係(PBDE濃度順.)

対象地域	総 PBDE 濃度 (ng/g)	ダイオキシン類 (PCDD/PCDF) (pg-TEQ/g)
7.古賀市清掃工場周辺地域	11	0.41
3.川口市南平地区 (ガス化溶融炉周辺地域)	11	-
8.古賀市筵内 (清掃工場周辺)	7.3	0.36
6.福山市全域 (広域平均)	6.4	0.44
5.春日井市西部地域 (広域平均)	5.6	1.3
2.伊達市南黄金地区 (ガス化溶融炉風上)	5.6	0.32
1.室蘭市白鳥台地区 (ガス化溶融炉風下)	4.6	0.32
9.古賀市全域 (広域平均)	4.5	0.44
4.春日井市東部地域 (広域平均)	4.4	1.2
11.宗像市ガス化溶融炉周辺地域(アカマツ)	3.6	0.22
10.島田市伊太田代地区 (ガス化溶融炉稼働前) (アカマツ)	2.3	0.32

注) 有効数字 2 桁で表示

4 謝辞

本調査は、室蘭市、川口市、島田市、春日井市、福山市、宗像市、古賀市などの市民グループの協力によって実現したものであり、この場を借りて、採取にご協力いただいた各位に改めて感謝の意を表したい。これらの各地域の市民グループはこれまでも地域の環境保全、廃棄物対策（減量化・資源化等の促進など）に熱心に取り組んでこられた。また、本調査の実施に当たり、ご指導を頂いた、摂南大学薬学部の宮田秀明教授、そして、分析業務に献身的に取り組んだ Maxxam 社 Burlingon のにも改めて感謝の意を表すものである。

5 参考文献

- Okazawa T, *24th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Pops*; 3725:3729, Vol.66
- Flame Retardant Chemicals Association of Japan, *BSEF JAPAN NEWS No.2*; 1
- Ikeda K, Aoyama T, Takatori A, Miyata H, *21st International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Pops*; 5:8, 84:87, 88:91, Vol.51
- Ikeda K, Takatori A., Aoyama T, Vrzic B, *24th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Pops*; 18:25, Vol.66
- Takatori A., Ikeda K, Aoyama T, *25th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and Pops*; 2107:2110
- Ministry of Environment, *Dioxin concentration in exhaust gas of garbage disposal facilities installed by municipal governments*