

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号＝循環資源・廃棄物中の有機臭素化合物及びその代謝物管理のためのバイオアッセイ／モニタリング手法の開発（K1608, K1724, K1836）

国庫補助金精算所要額（円）＝99,363,000

研究期間（西暦）＝2004-2007

代表研究者名＝滝上英孝（国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター）

共同研究者名＝酒井伸一（京都大学）、高橋 真（愛媛大学）、森 千里、深田秀樹、小宮山政敏（千葉大学）、鈴木 剛（国立環境研究所）

研究目的＝有機臭素系難燃剤を使用してきた経緯と生体や環境への蓄積濃度増加傾向を考慮すると、その主たる曝露要因としては難燃剤の使用やリサイクル、廃棄プロセスが考えられる。廃棄物のリサイクルや減容に関連する破碎圧縮工程や焼却等の廃棄物処理工程、室内使用過程での有機臭素化合物の排出実態について重要なケースを抽出、調査を行い物質循環・廃棄物処理の面から事実確認を進め、排出制御方策の提案を行うことを目的とする。また、臭素化合物の生体代謝物が多様な毒性ポテンシャルを有する可能性があり、親化合物、代謝物の毒性を取りこぼしなく検出できる包括的なバイオアッセイ／化学分析統合モニタリングツールの開発に取り組んで実態調査に適用するほか、ヒトの有機臭素化合物への曝露状況を把握し、有機臭素化合物の化学毒性リスク評価／制御に資する知見獲得もねらいとする。

研究方法＝上記の研究目的を達成するために、以下の内容の研究に取り組んだ。

1) 有機臭素化合物及びその代謝物の *in vitro* スクリーニング法の開発

循環・廃棄過程に関連する有機臭素化合物、その代謝物の有する毒性作用等を整理し、モニタリングツールとして適した *in vitro* バイオアッセイのセットを提案し、標準品を用いたバリデーションを行った。

2) 有機臭素化合物およびその代謝物の化学分析手法の開発

臭素系難燃剤ポリ臭素化ジフェニルエーテル類（PBDEs）の水酸化代謝物（OH-PBDEs）の標準物質を合成し、ガスクロマトグラフィー質量分析計（GC-MS）によりマススペクトル解析による代謝物の同定手法を開発した。また、GC-MS による水酸化 PCBs（OH-PCBs）の分析法や液体クロマトグラフィータンデム型質量分析計（LC-MS-MS）による臭素系難燃剤ヘキサブロモシクロドデカン（HBCD）の異性体分析法を開発し、生物試料等の分析に適用した。

3) 有機臭素化合物の化学分析に係る相互検定研究

臭素系難燃剤やダイオキシン類縁化合物の測定精度や信頼性を評価するため、複数の分析機関に均一に調製した共通試料（「廃 TV ケーシング」と「動物脂肪」）の分析を依頼し、有機臭素化合物の測定に係る相互検定を実施した。測定対象として、①臭素化ダイオキシン類（PBDD/DFs）、②モノ臭素化ポリ塩素化ダイオキシン類（MoBPCDD/DFs）、③PBDEs、④その他臭素系難燃剤（TBBPA、TBP、HBCD）の4つの物質群を選択した。また、動物脂肪では比較のため塩素化ダイオキシン類（PCDD/DFs, DL-PCBs）も測定対象物質とした。

4) 有機臭素化合物及びその代謝物の生体における曝露評価

有機臭素系化合物のヒトへの曝露評価法を確立するため、まず、人体組織中の有機臭素化合物の測定法を確立し、曝露濃度を明らかにした。特に、次世代影響を重視するという視点から、胎児への移行性を調べた。人体組織中の有機臭素系難燃剤（PBDEs）および塩素化ダイオキシン類（PCDD/DFs, DL-PCBs）の濃度を、出産時における母児の母体血、臍帯血、臍帯をサンプルとして測定した。初年度は測定法を確立するため2組の混合試料で測定し、2～3年度は個別検体で測定した。

5) 有機臭素化合物のトキシコゲノミクスによる毒性評価

有機臭素系化合物のヒトへの毒性を網羅的に解析するため、実験的に曝露させたヒト培養細胞を用いて DNA マイクロアレイによるトキシコゲノミクス解析を行い、有機臭素系化合物濃度と遺伝子発現の関連性を調べた。ヒトへの影響を培養ヒト臍帯静脈内皮細胞（HUVEC）に、臭素化ダイオキシン（2,3,7,8-TetraBDD）、塩素化ダイオキシン（2,3,7,8-TetraCDD）あるいは、臭素化ジベンゾフラン（2,3,7,8-TetraBDF）、（0.01, 0.1, 1 nM）、有機臭素系難燃剤製剤（PBDEs）として DE71、DE79、DE83（4, 40 μM）を添加し、24時間あるいは48時間後に総 RNA を抽出し、マイクロアレイに供した。アレイには 54,675 個のプロンプが載った Human Genome U133 Plus 2.0（Affymetrix 社）を用い、各サンプルにおける遺伝子発現レベルを解析した。

6) ハウスダストのバイオアッセイ／化学分析統合評価

室内空気やハウスダスト中の PBDEs は、家電製品や繊維製品などに由来する可能性が指摘されており、室内媒体は重要な曝露ルートとなりうる。そこで、バイオアッセイ／化学分析を用いてハウスダストに含有される有機臭素化合物に焦点を当て、濃度把握と毒性評価を行った。具体的には、国内の一般家庭および事業所で採取したダスト 34 検体を対象として、PBDEs 濃度レベルを調査するとともに、有機臭素化合物に起因する毒性を検索すべく、バイオアッセイを用いて Ah レセプター結合活性（ダイオキシン様活性）およびヒト甲状腺ホルモン運搬タンパク（TTR ; Transthyretin）結合活性についても併せて測定した。アッセイ値を用いて、ハウスダストを介した曝露リスクについて評価し、バイオアッセイで得られた活性の寄与物質を化学分画により同定しようとした。

7) 物質循環・廃棄過程における有機臭素化合物の排出実態調査とアッセイ／化学分析の適用

廃棄物リサイクル、処理工程の基本プロセスである破碎や圧縮過程について模擬粗大ご

みを用いたプラント試験を行い、排ガス系試料について化学分析／バイオアッセイによる統合評価を行った。排ガス処理工程での有機臭素化合物をはじめとするダイオキシン類縁化合物の挙動把握、アッセイ包括指標による毒性の定量評価を実施し、有機臭素化合物の排出制御方策を検討する基礎情報を得ようとした。

また、臭素系難燃剤を含有するテレビ等の解体、破碎を行う家電リサイクル施設を対象とした調査を実施し、作業環境やプロセス排ガス中の有機臭素化合物濃度について、化学分析／バイオアッセイによる統合評価を行った。テレビ内部ダストの除去や集塵機の利用といった防塵技術による作業環境、環境排出濃度の低減効果の把握を試みて、その有効性を検証した。さらに、テレビ内部に蓄積したダストとテレビ部材（ケーシング、基板）試料中の有機臭素系難燃剤や PBDD/DFs 等について分析を行い、試料間の関連性について考察を行った。

結果と考察＝

1) *In vitro* バイオアッセイとして、Ah レセプター結合細胞アッセイ（ラット細胞を用いた DR-CALUX、ヒト細胞を用いた P450HRGS）と TTR 結合アッセイの適用性について検討した。Ah レセプター結合アッセイでは、臭素化ダイオキシン類について、同じ置換位の塩素化ダイオキシン類に対応する比活性値（REPs）が得られたが、ヒト細胞はラット細胞に比べ REPs がやや高い傾向にあった。PBDEs（40 異性体）については、アッセイにおいて活性の検出された異性体が数種類と少なく、しかも REPs は 10^4 以下と弱いものであった。TTR 結合アッセイでは、OH-PCB 91 異性体について結合性を調べた結果、パラ位に水酸基を有する異性体や、水酸基に塩素基が隣接する構造の異性体に結合性が高い傾向がみられた。また、ラット S9 を用いた代謝活性化手法の検討を行い PBDEs の評価を行ったところ、代謝活性化を受け TTR 結合能を獲得する異性体が見受けられた。PBDEs 用のイムノアッセイについてバリデーションを実施した結果、4 臭素化物である BDE 47 に対して強い親和性を有し（ $IC_{50}=0.15$ ppb）、5 臭素化物である BDE49, 99、5 臭素化物を主体とする製剤である Bromkal 70-5、DE-71 についても同程度の親和性を持っていることが分かった。

2) 生態系から高い頻度で検出されているオルソ位水酸化の PBDEs（6-OH-BDE-47, 6-OH-BDE-99, 6'-OH-BDE-49）と動物の代謝実験等により検出が報告されているパラ位水酸化の PBDEs（4'-OH-BDE-49）、合計 4 物質の標準品合成を行った。またこれら OH-PBDEs について、ジアゾメタン又は硫酸ジエチルによる誘導体化の後、GC-MS 測定を行い、各物質の保持時間を把握するとともに、electron impact (EI) および negative chemical ionization (NCI) 法によるマススペクトルの解析を行った。まず EI 法のマススペクトルの解析により水酸基の置換位置によるフラグメントイオンの生成パターンの違いを把握した。さらに NCI 法で得られるマススペクトルから各ジフェニル環に置換する臭素数を特定し、代謝物の構造を同定する手法を提案した。また、OH-PCBs の分析法を開発し、鯨類の脳について測定を行った結果、分析したすべての試料から OH-PCBs が検出され、野生生物の脳における残留が初めて明らかとなった。OH-PCBs 濃度（20-330 pg/g wet wt）は親化合物の PCBs 濃度

に比べ 2-3 桁低く、その蓄積パターンは鯨類の種によって異なることが示された。さらに LC-MS-MS による HBCDs の分析法を堆積物や魚介類、野生高等動物の試料測定に適用した結果、全ての試料から HBCDs が検出され、生態系におけるその汚染の広がりが見られた。また、HBCD 異性体のうち、堆積物では γ 異性体、海棲の高等動物では α 異性体が卓越し、タヌキでは異性体組成が大きくばらつくことが示された。

3) 有機臭素化合物の測定に係る相互検定研究では、共通試料の「廃 TV ケーシング」から Deca-BDE (BDE#209) が %オーダーで検出され、PBDD/DFs についても PBDFs を中心に ppm レベルで検出された。機関間のデータのばらつき (相対標準偏差, %RSD) は、PBDD/DFs が 14~33% ($n=5$)、PBDEs が 10~39% ($n=4$) であり、風乾底質を用いた既報の相互検定研究の結果と同程度であった。またクロマトグラムの解析から、異性体ピークの Co-elution が測定値のばらつき要因となっていることが推察された。「動物脂肪」からは PBDEs、HBCD および DL-PCBs (Co-PCBs) などが比較的高い濃度で検出された。機関間のデータのばらつきは、PBDEs が 11~33% ($n=7-10$) であったが、PCDFs や DL-PCBs の一部異性体では 50% を超えるばらつきがみられた。クロマトグラムの解析の結果、これら塩素化ダイオキシン類の測定値がばらつき要因として、鯨類脂肪中に高濃度で存在する PCBs や塩素化ジフェニルエーテル類による干渉が示唆された。図 1 に既報および本研究で対象とした共通試料の測定結果のばらつき (機関間 %RSD) をまとめる。「混合標準溶液」では、PBDD/DFs、MoBPCDD/DFs、PBDEs の測定値に関するばらつきは概ね 20% 以下、最大でも 30% 以下であった。一方、実試料である「風乾底質」「廃 TV ケーシング」「動物脂肪」では大きなばらつきがみられ、PBDD/DFs、MoBPCDD/DFs、PBDEs の測定値に関するばらつきは概ね 20% 台であり、大きなものでは 30% 台であった。

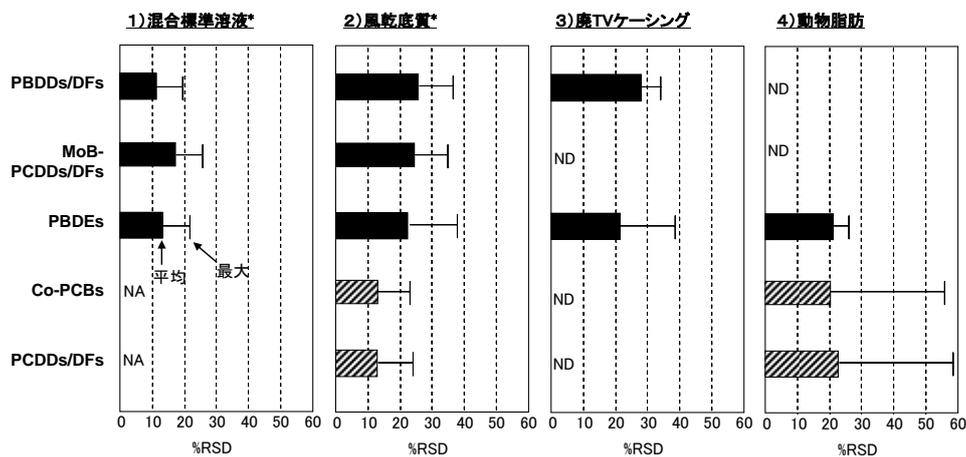


図 1 各共通試料における測定結果のばらつき(機関間%RSD)に関するまとめ (各物質群における平均と最大値. NA は未測定, ND は検出限界以下). *既報 (Takahashi et al. 2006, Chemosphere, 64, 234-244) からの引用データ.

4) ヒト生体分析では、臍帯 16 検体、臍帯血 8 検体、母体血 16 検体、さらに母乳 8 検体を個別測定した。PBDEs の濃度は、湿重量当たりでは臍帯=臍帯血<母体血<母乳であった。

脂肪重量当たりではどの組織でもおおむね同レベルであった（表1）。また、個人間や同一個人の組織間で同族体組成の変動があった。一方、PCBsの濃度は湿重量当たりでは臍帯<臍帯血<母体血<母乳であった。脂肪重量当たりでは臍帯血と臍帯がやや低かった（表2）。個人間や同一個人の組織間での変動は小さかった。PBDEsもPCBsもともに、各組織間の濃度は母体血濃度と相関していることがわかった（図2）。

表1 PBDEsの曝露状況（個別測定の結果）

試料名	検体数	PBDEs濃度			PBDEs濃度			脂肪量		
		(pg/g-wet)		母体血を1とした相対濃度	(ng/g-fat)		母体血を1とした相対濃度	(mg/g)		母体血を1とした相対濃度
		平均	SD		平均	SD		平均	SD	
臍帯	16	3.1	3.1	0.17	3.7	3.8	1.1	0.93	0.18	0.17
臍帯血	8	4.8	6.5	0.19	1.8	2.4	0.55	2.5	0.35	0.46
母体血	16	18	22	1.0	3.3	3.9	1.0	5.5	0.87	1.0
母乳	8	140	220	7.8	4.8	6.6	1.4	33	11	6.1

（相対濃度は対応する試料のみを平均した数値から求めた）

表2 PCBsの曝露状況（個別測定の結果）

試料名	検体数	PCBs濃度			PCBs濃度			脂肪量		
		(pg/g-wet)		母体血を1とした相対濃度	(ng/g-fat)		母体血を1とした相対濃度	(mg/g)		母体血を1とした相対濃度
		平均	SD		平均	SD		平均	SD	
臍帯	16	55	30	0.10	65	34	0.63	0.93	0.18	0.17
臍帯血	8	120	5.2	0.21	46	18	0.44	2.5	0.35	0.46
母体血	16	560	270	1.0	100	51	1.0	5.5	0.87	1.0
母乳	8	3800	2100	6.9	120	50	1.1	33	11	6.1

（相対濃度は対応する試料のみを平均した数値から求めた）

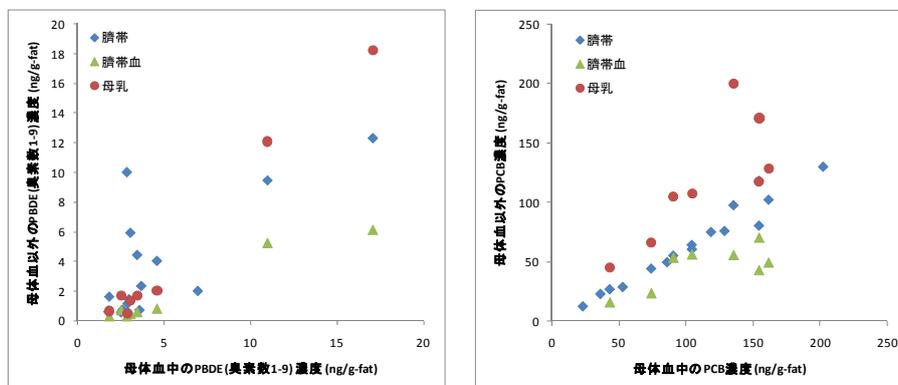


図2 PBDEsとPCBsの母体血中濃度に対する臍帯、臍帯血、母乳中の濃度の関係

5) DNA マイクロアレイで得られた成果として、2,3,7,8-TetraCDD、2,3,7,8-TetraBDD、2,3,7,8-TetraBDF 曝露による HUVEC 細胞における遺伝子発現パターンは非常に類似していた。一方、臭素系難燃剤 (PBDEs) による遺伝子発現変化は、ダイオキシン類と比較して小さかった。PBDEs 製剤のうち DE71 と DE79 は HUVEC の遺伝子発現パターンが類似していたが、DE83 は DE71 や DE79 より影響が弱かった。

6) ハウスダスト分析の結果、PBDEs や PBDD/DFs の濃度レベルは、底質や下水汚泥の既報告値と比較して同等以上であることが示された。ハウスダスト中の PBDEs 濃度レベルは、北米と欧州での分析報告値の中間に位置していた (図 3)。バイオアッセイにより、ダイオキシン様活性及び、TTR 結合活性が全てのダストにおいて検出された。本研究で得られたダイオキシン様活性レベルを港湾底質と比較すると (図 4)、ダストの活性レベルは底質と同等以上であることが示された。TTR 結合活性についても、底質よりも 2 オーダー程度高いレベルにあることが示された (図 4)。ダストを介した両活性物質の曝露リスクを評価した。ダイオキシン様活性物質については、ハウスダストを介した一日摂取量を推定して食品由来のダイオキシン類一日摂取量と比較した。TTR 結合活性物質については、ハウスダストを介して摂取した活性物質の体内負荷量を推定して体内甲状腺ホルモン (T4) 量と比較した。評価の結果、ダイオキシン様活性物質については食品由来のダイオキシン類一日摂取量を上回る場合があること、TTR

結合物質については体内 T4 量に影響を及ぼす可能性があることが示され、ハウスダストがヒトの重要な曝露源となることが推定された。高活性を示すハウスダストを HPLC 等の化学分画に適用して活性寄与物質の分離/同定を試みた結果、ダイオキシン様活性物質については、本研究で分析対象とした PBDD/DFs が総活性の 10~30%程度を占めており主要な活性寄与物質であると考えられるものの、未同定の活性寄与物質の存在も示唆される結果が得られた。TTR 結合活性物質については、2,4,6-トリブロモフェノール、2,3,4,6-テトラクロロフェノール及び 2,3,4,5,6-ペンタクロロフェノールが活性寄与物質として同定された。これらの物質は全てのハウスダスト試料で検出された。

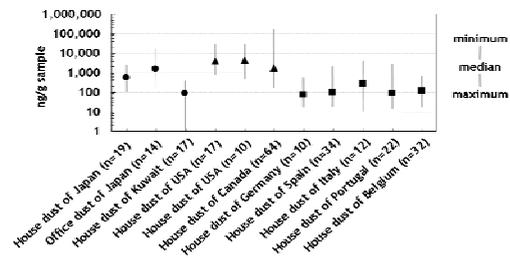


図 3 本研究と諸外国におけるハウスダスト試料中の PBDEs レベルの比較

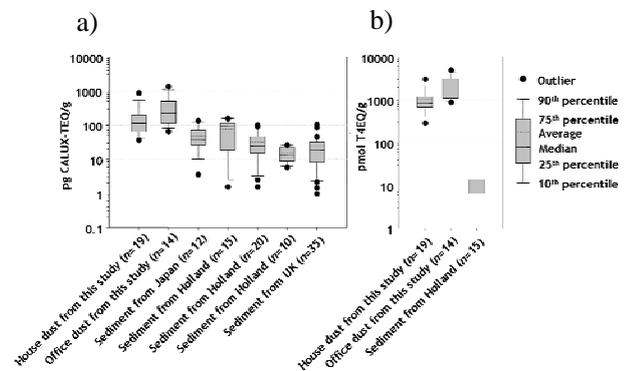


図 4 ハウスダストと底泥の活性レベル。
a) ダイオキシン様活性, b) TTR 結合活性

7) 模擬粗大ごみ3種類（木質系廃棄物、木質とプラスチック系廃棄物の混合物、パーティクルボードと臭素系難燃剤含有プラスチックの混合物）を用いた破碎、圧縮工程における排ガス処理過程での有機臭素化合物の挙動について、ミニプラントを用いて調査した（表3）。排ガス試料としては、破碎、圧縮直後のガス、バグフィルタ及びHEPA/活性炭フィルターを経た処理排ガスをそれぞれ採取、分析した。難燃剤含有プラスチックを含むごみを破碎、圧縮処理した直後のガス中濃度は、臭素化ダイオキシン類及び臭素系難燃剤ともに非常に高く、破碎過程よりも圧縮時に排出量が多い傾向にあった。しかし、破碎、圧縮工程のいずれの場合も、排ガス処理とともに濃度が大きく低減し、粒子成分の除去が有機臭素化合物の制御に有効である知見を得た。臭素化ダイオキシン類やTBBPAはバグフィルタ通過後に不検出レベルになり、PBDEsについてはバグフィルタ、HEPA/活性炭フィルターを経るにしたがって減少し、最終的に周辺大気濃度レベルにまで減少した。また、Ahレセプター結合アッセイ（DR-CALUX）によるダイオキシン類縁化合物の包括評価を行った結果、有機臭素化合物のダイオキシン様作用を相応に検出できることが分かり、最終排ガス中から活性は検出されず、化学分析値と対応する結果が得られた。

表3 破碎、圧縮実験（試料：難燃プラスチック+木材）の排ガス試料における有機塩素／臭素化合物濃度

実験	破碎工程			圧縮工程			周辺大気
	生ガス	バグ後	最終排ガス	生ガス	バグ後	最終排ガス	
	A点	B点	C点	D点	E点	F点	
単位	pg/m ³ N						
PCDDs	350	2.1	ND(<1.0)	1100	4.9	0.9	0.69
PCDFs	220	2.6	0.36	640	16	0.84	1
Co-PCBs	250	18	3.5	1500	49	3.8	2.7
Σ(PCDD/Fs+Co-PCBs)	820	23	3.9	3200	70	5.5	4.4
単位	pg/m ³ N						
PBDDs	170	ND(<4.0)	ND(<4.0)	3300	ND(<4.0)	ND(<4.0)	ND(<4.0)
PBDFs	70000	ND(<4.0)	ND(<4.0)	270000	ND(<4.0)	ND(<4.0)	ND(<4.0)
ΣPBDD/Fs	70000	ND(<4.0)	ND(<4.0)	270000	ND(<4.0)	ND(<4.0)	ND(<4.0)
単位	ng/m ³ N						
PBDEs	21000	39	0.52	160000	7.5	0.76	0.44
TBBPA	760	3.2	ND (<2.0)	35000	ND (<2.0)	ND (<2.0)	22

家電リサイクル施設における調査の結果、テレビ手解体ラインにおける作業環境中の有機臭素化合物（PBDEs、PBDD/DFs）濃度はテレビ内部ダストの除去や集塵機の導入によって1桁低減し、バイオアッセイ（Ahレセプター結合活性）によっても低減が裏付けられ、防塵対策の有効性が確認できた（図5）。実際に集塵機の吸排気ガスを分析すると、排気ガスにおける粒子態の有機臭素化合物の濃度低減が顕著であり、除塵効果が反映されていた。また、テレビの内部ダストと集塵機で捕捉されたダストでは、有機臭素化合物の濃度、組成が極めて類似しており、作業環境における有機臭素化合物の発生源はテレビの内部ダストであることが示唆された。テレビ内部ダスト試料では、PBDEsとPBDFsが高濃度になるものがあり、ハウスダスト中の既報報告濃度と比較して2~3桁高い試料が見受けられた。

テレビ内部ダスト試料 PBDEs の濃度や組成をテレビ部材と比較すると、基板試料やプラスチックキャビネットに類似するケースがあり、部材からダストへ移行している可能性が示唆された。

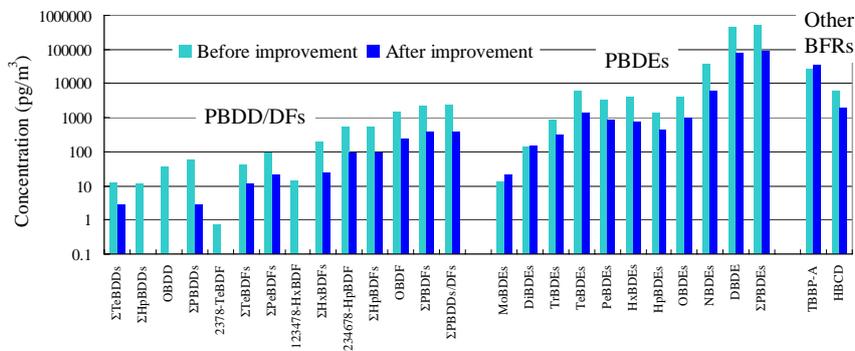


図5 TV手解体ライン作業環境の改善による臭素化ダイオキシン類及び難燃剤濃度の低減

結論＝上記のように、1)～3)では有機臭素化合物及びその代謝物の化学分析法のバイオアッセイの開発とバリデーションを実施し、4)、5)においては、有機臭素化合物のリスク評価（ヒトの曝露蓄積量と遺伝子レベル毒性の評価）、6)、7)では住環境や廃棄物処理／リサイクル過程における有機臭素化合物の挙動評価と制御に焦点を当てて研究を進めた。各研究項目別に結論を記す。

1) Ah レセプター結合アッセイで検出できるダイオキシン様作用に加えて、多様な代謝物を生成する可能性のある臭素化合物の別の毒性をモニタリングすべく、TTR 結合アッセイを導入した。これらのアッセイを併用することは有機臭素化合物の代謝物を含めた総括毒性評価に有効であると考えられた。

2) OH-PBDEs 異性体の標準物質4種が合成され、GC-MS-EI および NCI におけるマススペクトルの特徴が解析された。本研究の成果は今後未知の OH-PBDEs を同定し、構造解析を行うための有力なツール・手がかりとなる。また、OH-PCBs の分析法開発と生物試料への適用により、鯨類の脳における OH-PCBs の残留が、初めて明らかとなった。上記 OH-PCBs と OH-PBDEs の分析法を統合すれば、ヒトや野生生物における有機ハロゲン化合物の代謝パターンを詳細に解析することが可能となる。さらに PBDEs に加え、HBCD 異性体の分析法が確立され、生態系における新たな臭素系難燃剤汚染の実態が明らかとなった。

3) 本相互検定研究で得られた結果は、臭素系難燃剤や PBDD/DFs に関する国際相互検定研究と比較しても概して良好であった。また、本研究を通して測定値のばらつきに関する要因の一部が解明され、分析手法の改善、改良が提案、実施されるとともに、その成果が確認された。本研究の成果は、臭素系難燃剤やダイオキシン類縁化合物の測定値の信頼性評価や測定技術の向上にとって有用な知見を与えるものと期待される。

4) ヒトは臭素化難燃剤 (PBDEs) や PCBs に曝露しており、主要な曝露源は食品であると考えられているが、PBDEs ではその同族体組成が個人によって異なる場合があることから、

食品以外の曝露源があると推定された。また、胎児組織からも母体血濃度に関連して検出されており、感受性の高い胎児への影響が懸念される。胎児臍帯血は脂肪重量当たりでは、PBDEs と PCBs とともに臍帯より低い値を示し、臍帯血を用いた胎児の化学曝露評価は実際の曝露を過小評価する可能性が示された。

5) HUVEC 細胞における曝露実験及びマイクロアレイによって得られた遺伝子発現パターンの類似性から、塩素化ダイオキシン類の 2,3,7,8-TetraCDD と臭素化ダイオキシン類の 2,3,7,8-TetraBDD の毒性は類似していると推測された。臭素系難燃剤 (PBDEs) の遺伝子発現の度合いはこれらのダイオキシン類に比較すると弱いですが、胎児期にも確実に曝露していることが分かっているので、留意が必要である。

6) ハウスダスト評価研究においては、ダスト試料から PBDEs のみならず、PBDD/DFs が、また、ダイオキシン様活性および TTR 結合活性が高濃度 (高活性) で検出された。活性物質については室内ダスト摂取経路による曝露とそれに伴うリスクが高い可能性が示唆された。また、バイオアッセイ/化学分析統合手法によって、バイオアッセイ値に關与する潜在的な毒性物質の一部が有機臭素化合物であることが明らかになった。

7) 物質循環・廃棄過程における排出実態調査は、同時に有機臭素化合物の分解、制御性について評価、考察するものであり、ごみ破碎圧縮過程では粒子態成分の除去が排ガス中の有機臭素化合物制御につながる事が明らかとなった。家電リサイクル施設における調査においても、有機臭素化合物は粒子態として作業環境中に存在し、集塵 (ダストの除去) がその制御に有効であることが確認できた。このことは作業環境や生活環境における難燃剤曝露を抑制するための知見としても重要と考えられた。テレビ内部ダストと部材中の有機臭素化合物の分析を行った結果、ダスト中の有機臭素化合物は、プラスチックキャビネットや基板等、種々の高濃度部材からの移行を受けることが示唆された。

英語概要

研究課題名 = 「Development of bioassay/chemical monitoring methods for brominated flame retardants and their metabolites in recycle materials and wastes」

研究代表者名及び所属 = Hidetaka Takigami (National Institute for Environmental Studies)

共同研究者 = Shin-ichi Sakai (Kyoto University), Shin Takahashi (Ehime University), Chisato Mori, Hideki Fukata, Masatoshi Komiyama (Chiba University) and Go Suzuki (National Institute for Environmental Studies)

要旨 = Taking note of the hazard and risk of polybrominated organic compounds, such as polybrominated diphenylethers employed primarily for their usefulness for flame retardation, their occurrence, process behaviors and control measures were tried to be clarified during waste treatment and recycle processes with an integrated approach using chemical analysis and bioassay. Analytical and bioassay methods were established for the brominated flame retardants (BFRs), their metabolites and impurities, and applied to actual surveys. As actual surveys, we focused on the behavior of BFRs and related compounds during comminution and compression processes of wastes and recycling (dismantling and shredding) process of electronics (television sets). The results obtained suggested that collection of small particles (dust) leads to an effective control of BFRs and related compounds in the gas. This would be basic but important information to take a countermeasure to protect human exposure to these compounds through inhalation in the home or working environment.

キーワード = bioassay, brominated flame retardants, brominated dioxins, recycle, waste