

【概要】

高懸念物質のライフサイクルリスク評価に必要な情報整備と考え方の構築を目的として、本プラットフォームを利用した HBCD のライフサイクル評価の事例結果を記載する。

1. ライフサイクルリスク評価の必要性と手順

化学物質の製造から加工製品の製造、使用、廃棄に至る化学物質のライフサイクルには事故による漏えい等の非定常排出及び通常の生産・輸送活動における定常排出があり、それに伴い爆発・火災、労働災害、ヒト健康や環境への影響等のさまざまなリスクが潜在している。したがって化学物質管理において、製造から使用、リサイクル・廃棄に至るライフサイクル全体のリスクを把握することで、どの段階でリスクを管理するのが最も効率的かというライフステージごとの管理や、リスクのある用途では使用しないという用途ごとの自主規制も可能となる。ライフサイクルに亘ってリスクを評価し、リスク削減手法の選択によって効率的に最小化するために、ライフサイクルでどのように取り扱われ、ヒトへの曝露量や環境中への放出量を可能な限り定量的に把握することが望ましい。

そこで本プロジェクトでは、ライフサイクルに亘るリスク評価を行うにあたって図 1 に示す手法を設定し、事例物質(HBCD と PFOS)についてその評価に必要な情報の整理と課題の抽出を目的とした調査をおこなった。その結果の一例をこちらに示す。

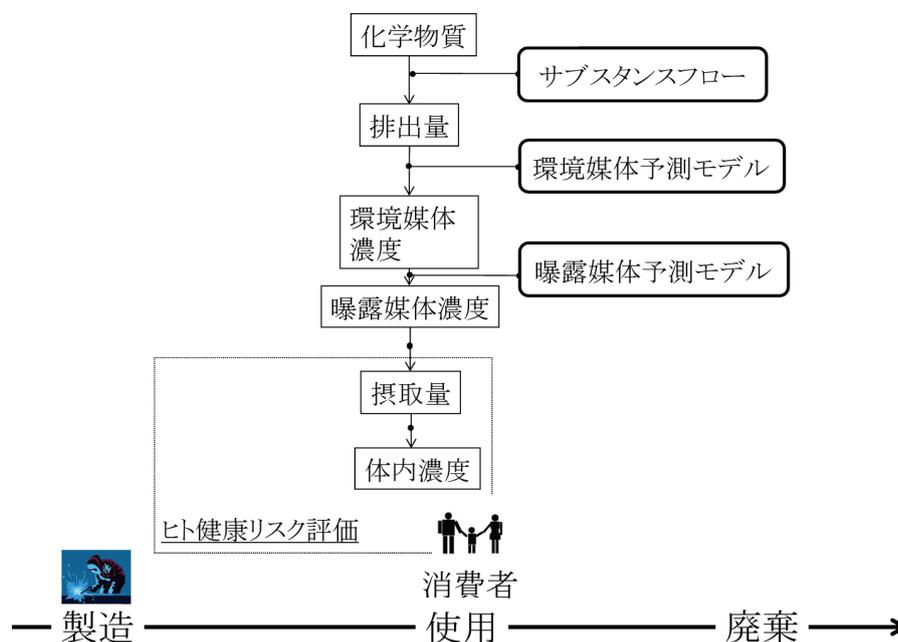


図 1 ライフサイクルに亘るリスク評価手法の事例

2. サブスタンスフロー作成による排出量の推計**2.1) HBCD サブスタンスフローの作成**

はじめに HBCD の製造プロセス、使用製品の取扱(用途)情報、製品のリサイクルや廃棄に関する情報、及び環境中への排出経路を関係業界へのヒアリングと既存情報をもとに収集し HBCD のライフサイクルを調査した(図 2: 情報は http://www.anshin.ynu.ac.jp/renkei/test_risk/infoplat_riskinfo_substance_hbcd_lifecycle.html を参照)。

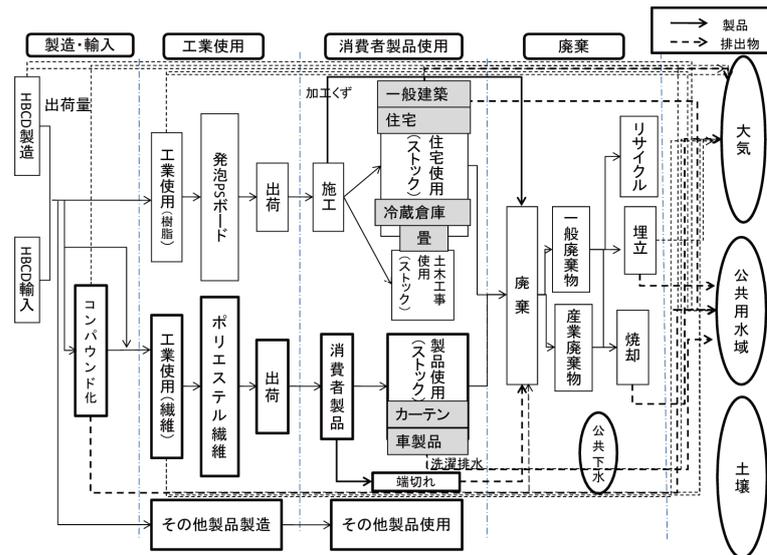


図2 HBCDのライフサイクルフロー

次に、HBCDのライフサイクルに亘るフローをもとに我が国の環境排出量をステージ毎に推定し、サブスタンスフローを作成した。HBCDのサブスタンスフローは各ステージにおける流入量、移動量(図2の実線矢印)及び環境排出量(図2の破線矢印)からなる物質収支に基づいている。尚、自然発生や副産物としてのHBCDの生成は無視できるものと仮定し、諸外国からの製品輸入に伴うHBCDの流入は対象外とした。製品に含有した後の分解については考慮していない。またシナリオとして以下の2つを想定した。

- ① 繊維メーカーの90%が2009年を境にHBCDの使用を段階的に削減し、2013年までに使用を中止する。一方で樹脂用へのHBCDの使用はこのまま使い続けるとした。
- ② 焼却過程でHBCDは全て分解する。また埋立からの排出は1年間で安定し排出がなくなる

製造過程への流入量は国内生産量、工業使用過程への流入量は樹脂、繊維の用途別に配分した国内需要量(2001年までの報告値)に基づいている。2001年以降の国内需要量に関しては過去のトレンドから外挿した。工業使用以降のステージへの流入量は前ステージからの移動量に相当している。移動量は移動係数によって算出し、その値は定数とした。ただし消費者製品使用のステージから廃棄過程への移動は使用製品の耐用期間に応じたストック(残存率)を考慮している(表1)。各ライフステージにおける環境排出量は流入量と排出係数を乗じて算出した(図3)。排出係数はEU Risk Assessment Reportに記載されている値(表2)、OECDのESD(Emission scenario document)、本プロジェクトでの調査結果を用いた(表3)。

表1 各ライフステージの流入量推定に用いたデータ

項目	用途比率	ワイブル分布用耐用年数	廃棄割合
樹脂	0.8		
一般建築	0.275	45年	リサイクル 0.15 焼却 0.13
住宅	0.451	40年	埋立て 0.72
冷蔵倉庫	0.045	30年	
畳	0.229	9年	
繊維	0.2	7.2年	
カーテン	0.8		
カーファブリック	0.2		

表 2 EU リスク評価書に基づく排出係数

Life stage	process	Environmental media	Emission factor	Type
Production	Production	atmosphere	3.00E-07	measurement
		hydrosphere	1.00E-06	measurement
	Micronising	atmosphere	3.00E-07	measurement
		hydrosphere	3.00E-07	measurement
Industrial use	Polystyrene	atmosphere	5.80E-05	expert judgement
		hydrosphere	2.60E-06	expert judgement
	Textile	atmosphere	7.00E-07	expert judgement
		hydrosphere	5.00E-05	expert judgement
Private use	Use of end products	atmosphere	2.40E-07	measurement
		hydrosphere	0.00E+00	measurement
	Use of end products	atmosphere	2.30E-04	empirical
		hydrosphere	1.00E-05	empirical
Disposal	Landfill	atmosphere	2.40E-05	measurement
		hydrosphere	1.00E-05	empirical

表3 ライフステージ別排出係数

ステージ	経路	係数	値	参照	調査物質	因子の分類		調査年	
						地域	方法		
製造	HBCD製造	大気	大気排出係数	0.0000003	RA	HBCD	EU	measurement	2006
		大気	大気排出係数	0.00001	ヒアリング(マナック)	HBCD	日本	measurement	2008
		水域	水域排出係数	0.000001	RA	HBCD	EU	measurement	2006
		土壌	土壌排出係数	報告値なし					
	廃棄物	廃棄物	廃棄物移動係数	0					
		廃棄物	廃棄物移動係数	0.0001	ヒアリング	HBCD	日本	measurement	2008
	HBCDコンパウンド	大気	大気排出係数	0.0000003	RA	HBCD	EU	measurement	2006
		水域	水域排出係数	0.0000003	RA	HBCD	EU	measurement	2006
		土壌	土壌排出係数	報告値なし					
		廃棄物	廃棄物移動係数	0					
工場使用	樹脂(XPS)製品工場	大気	大気排出係数	0.000058	RA	HBCD	EU	worst case/site specific data	2006
		水域	水域排出係数	0.0000026	RA	HBCD	EU	worst case/site specific data	2006
		土壌	土壌排出係数	報告値なし					
		製品	製品移動係数	0.75	カネカヒアリング	HBCD	日本	Questionnaire/site specific	2007
	廃棄物	廃棄物移動係数	0/リサイクル	カネカヒアリング	HBCD	日本	Questionnaire/site specific	2008	
	繊維製品工場	大気	大気排出係数	0.0000007	RA	HBCD	EU	worst case/site specific data	2006
		水域	水域排出係数 (no STP)	0.0085	RA	HBCD	EU	Questionnaire/site specific data	2006
		水域	水域排出係数 (沈降、デカント)	0.00005	RA	HBCD	EU	Questionnaire/site specific data	2006
		水域	水域排出係数 (凝集沈殿、デカント)	0.0000005	RA	HBCD	EU	Questionnaire/site specific data	2006
		水域	水域排出係数 (凝集沈殿、デカ)	0.01	繊維業界報告書	HBCD	日本	worst case	2007
水域		水域排出係数	0.0328-0.10	環境省	HBCD	日本	measurement	2007	
土壌		土壌排出係数	報告値なし						
製品		製品移動係数	0.54	繊維業界報告書	HBCD		関係式		
廃棄物	廃棄物	廃棄物移動係数	0						
	廃棄物	廃棄物移動係数	0.42	繊維業界報告書	HBCD	日本	worst case	2007	
樹脂施工	大気	大気排出係数	0.0000025	RA	HBCD	EU	measurement	2006	
	水域	水域排出係数	0.0000025	RA	HBCD	EU	measurement	2006	
	土壌	土壌排出係数	報告値なし						
	製品	製品移動係数	0.95	1-Σ排出	PSボード		関係式		
廃棄物(焼却)	廃棄物	廃棄物移動係数	0.05	小松	PSボード	日本	naire/site spec	1995	
	製品	製品移動係数	0.95	1-Σ排出					
繊維加工	廃棄物(焼却)	廃棄物移動係数	0.05	ヒアリング	カーテン	日本			
消費者使用	樹脂使用 (1/year)	大気	大気排出係数	0.000024	RA	HBCD	EU	measurement	2006
		大気	大気排出係数	0.0005	ESD				
		大気	大気排出係数	0.0035-0.084	palm et al				
		水域	水域排出係数	なし	RA	HBCD	EU	measurement	2006
	水域	水域排出係数	0.0005	ESD					
	土壌	土壌排出係数	なし						
繊維使用 (1/year)	大気	大気排出係数	2.33333E-05	RA	HBCD	EU	Empirical	2006	
	大気	大気排出係数	0.00000045-0.055	palm et al					
	水域	水域排出係数	0.00001	RA	HBCD	EU	Empirical	2006	
廃棄	リサイクル	大気	大気排出係数						
		水域	水域排出係数						
	焼却	大気	大気排出係数	21 μg/ゴミ1トン	浅利ら	樹脂	日本	measurement	2006
		水域	水域排出係数						
	廃棄物(埋立)	廃棄物	廃棄物移動係数	0.0001					
		埋立 (1/year)	大気	大気排出係数	0.000024	樹脂使用中の放出量	HBCD	measurement	
水域	水域排出係数	0.00001	水を流した時の放出量	HBCD	Empirical				
水域	水域排出係数	0.01-0.1/100年	RA	PSボード		Worst case			

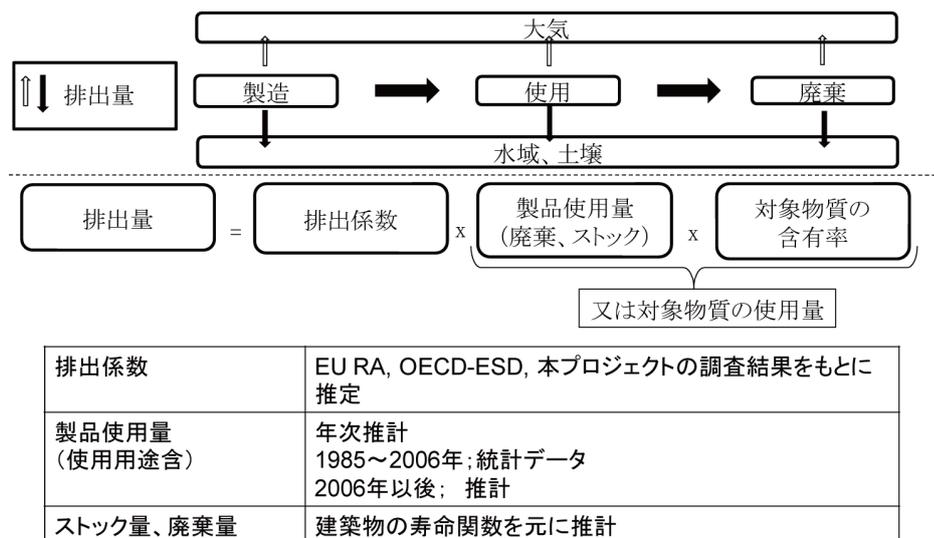


図3 ライフサイクルにおける物質の排出量推定

2.2) HBCD の環境排出量

HBCD の国内需要量の推移を示す(図4)。HBCD の国内需要量は2010年に約2,800トンで最大となったが、繊維に配分されるHBCDの需要量が2011年を境に減少し、最終的に2030年には約2,600トンと推定された。これは繊維業界が2013年までにHBCDの使用を取りやめることを表明しておりそのシナリオを反映させた結果である。

図5~図7に2000年におけるHBCDのサブスタンスフロー例を示す。国内需要量2,000トンに対し、約80%が断熱材に、20%が繊維用として使用されている。最終製品として使用された断熱材中HBCDは75%が埋立に移行する。また繊維中HBCDは58%が最終製品に移行し、残りが汚泥として処分されると推定された。最終製品としてのHBCDの蓄積量は、統計処理をした分布(ワイブル分布)から計算すると2000年時には16048トンとなった。埋立に移行したHBCD量が2170トンであるので計18218トンが存在すると見積もられる。一方、1986年から2000年時までの国内需要量の総計は18500トンとなるので、本研究における統計処理を用いた推移計算手法は妥当であると判断される。

環境排出量は乗じた排出係数(EU Risk Assessment Reportに記載されている値、OECDのESD、本プロジェクトでの調査結果)により値が異なった。現段階では本プロジェクトの消費者製品及び廃棄段階からの排出量の推計をおこなっていないが、それぞれの結果を比較するとOECDのESD、本プロジェクトでの調査結果に基づく推計は、水環境中への排出量が大気への排出量よりも多く、EU Risk Assessment Reportは逆となった。ライフステージ毎に見ると本プロジェクトでの調査結果に基づく推計では繊維に使用されるHBCDの水環境中への排液からの寄与が最も多い結果となった。一方で、U Risk Assessment Reportでは消費者製品からの寄与が、OECDのESDでは製造段階からの排出量が最も多いと推定された。

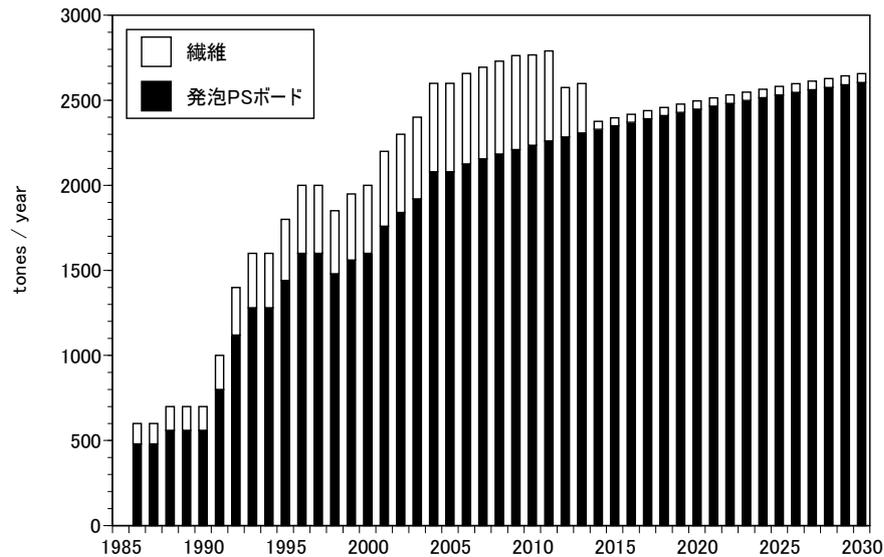


図4 HBCDの需要量の推移

・ 動的サブスタンスフロー

HBCDの将来的な排出量推定をおこなった。ストック量(製品使用量)は経時的に増加傾向を示し、2030年には約43,000トンがストックされると推定された。また廃棄過程で埋め立てられたHBCD量は2030年に34,000トン程度となった。この量は対象期間内(1986年～2030年)における累計国内需要量(95,000トン)の36%に相当する。比較として、2000年では累計国内需要量に対して、埋め立てられた量は約10%と計算され、経年的に増加傾向を示した。本研究では廃棄過程における焼却、埋立やリサイクル処理方法は一定の割合を仮定しており、将来における変化を考慮しているわけではない。しかし変化がない場合、下流側(廃棄過程)の寄与が今後大きくなることが想定される。

大気、水域における環境排出量を図8に示す。HBCDは水域への排出よりも大気への排出量が多かった。また大気への排出量は、2011年を境に減少傾向を示し2030年には最終的に225kgと推定された。この値はHBCDの国内需要量の約0.01%に相当し、残りは最終埋立や分解されることが示唆された。環境媒体(大気、水域)毎に発生源を見ると大気への排出は繊維製品からの寄与が相対的に大きく、一方水域への排出は繊維工場での工業使用と製品使用からの寄与が大きい結果となった。そのため両媒体(大気、水域)とも、繊維用HBCDの使用削減により、HBCD国内需要量の増加にかかわらず排出量が減少していくことが示唆された。

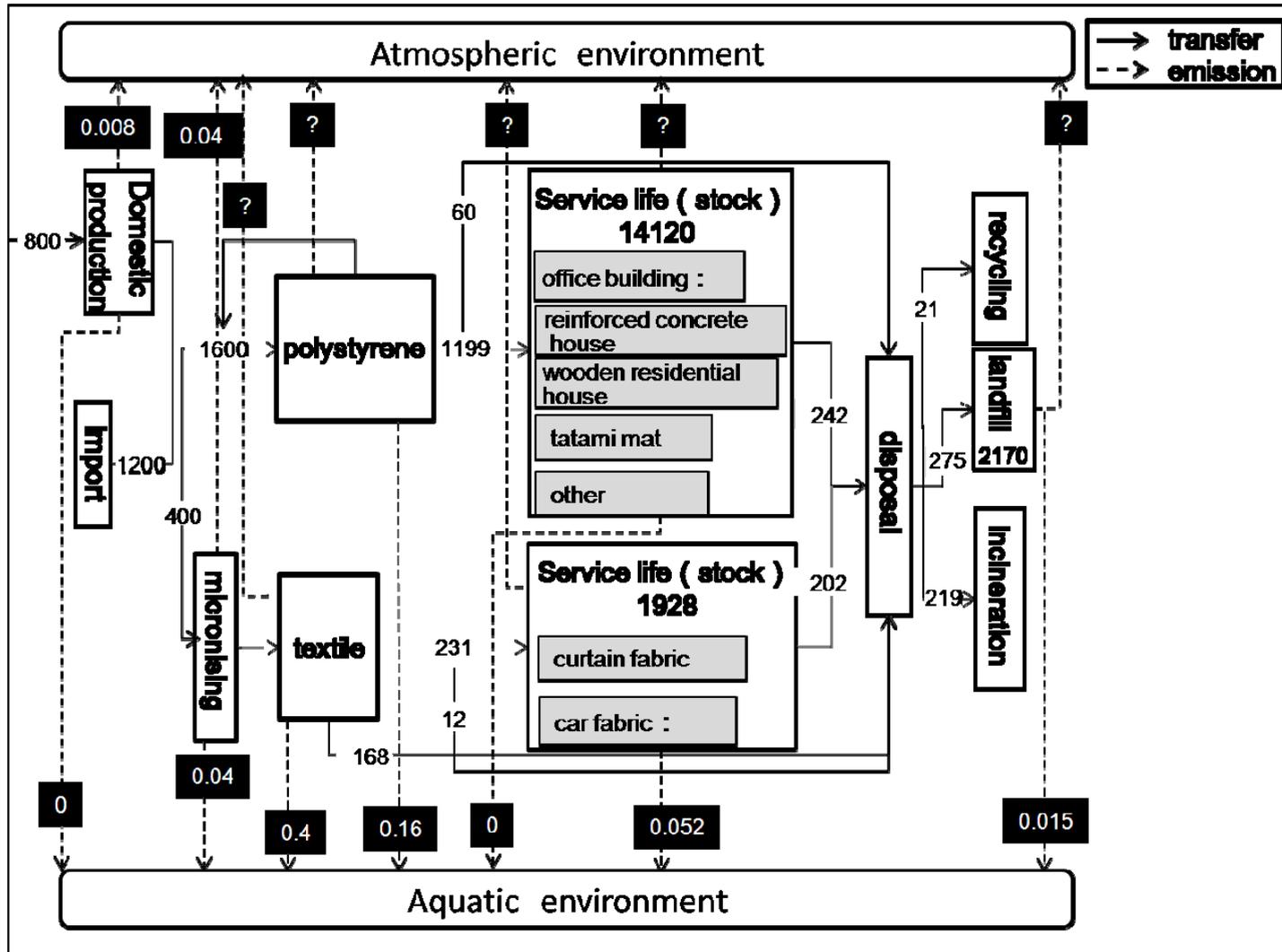


図5 本プロジェクトによる調査結果をもとに推定した2000年のHBCDの環境排出量(トン/年)
 実線は移動量、点線は排出量を示す。

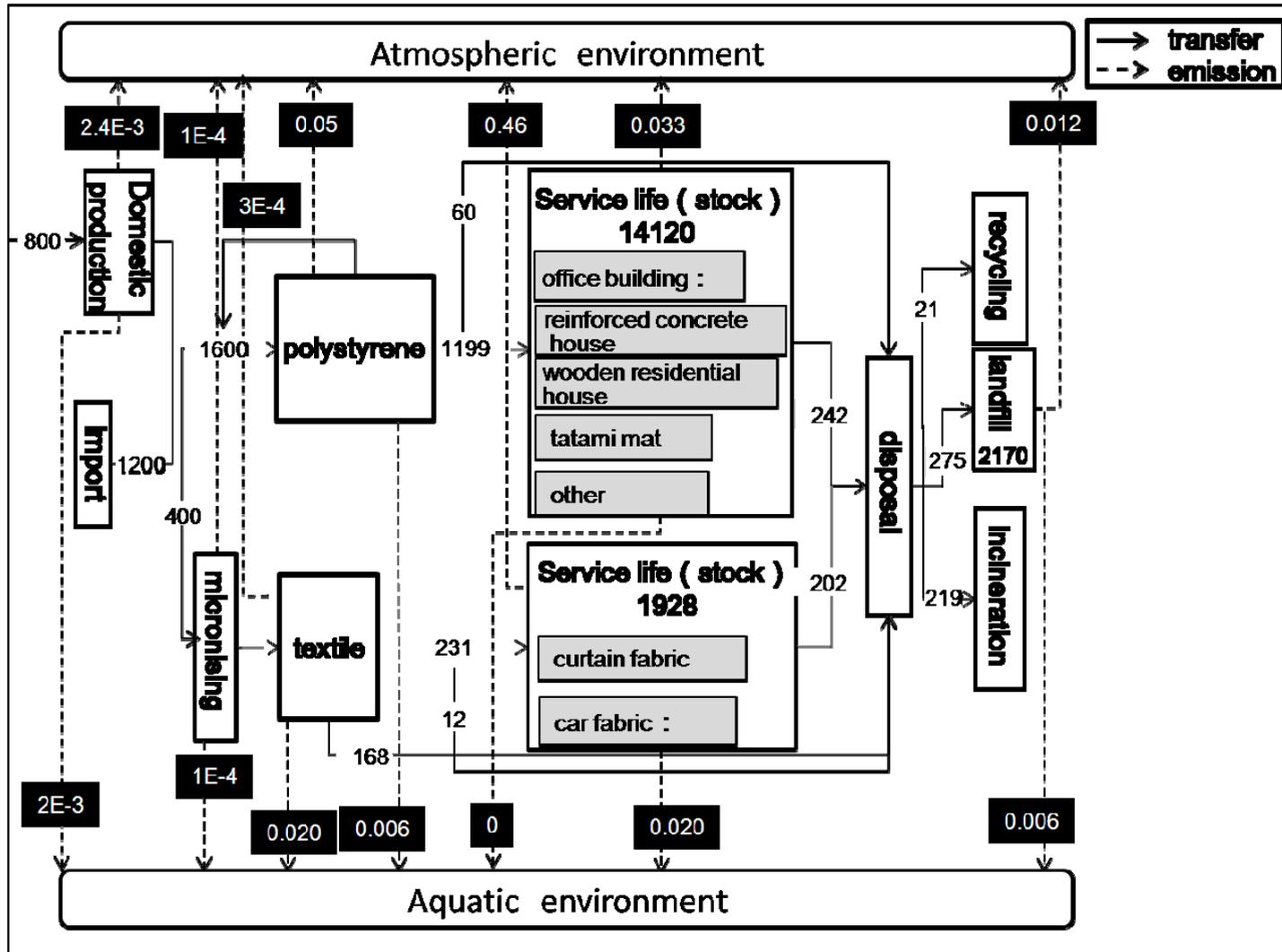


図 6 EU Risk assessment Report をもとに推定した 2000 年の HBCD の環境排出量(トン/年)
 実線は移動量、点線は排出量を示す。

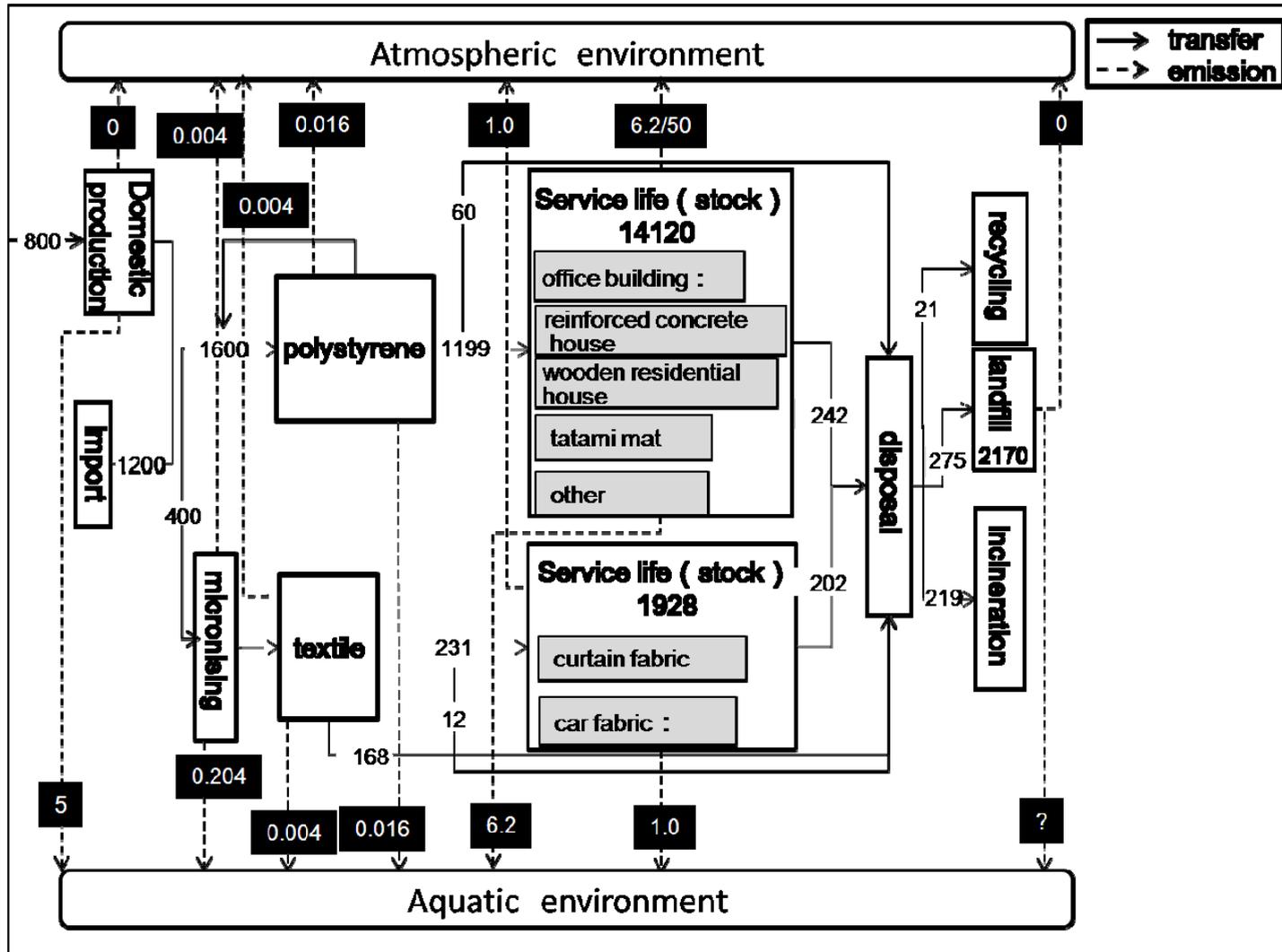


図 7 OECD の Emission Scenario Document をもとに推定した 2000 年の HBCD の環境排出量(トン/年)
 実線は移動量、点線は排出量を示す

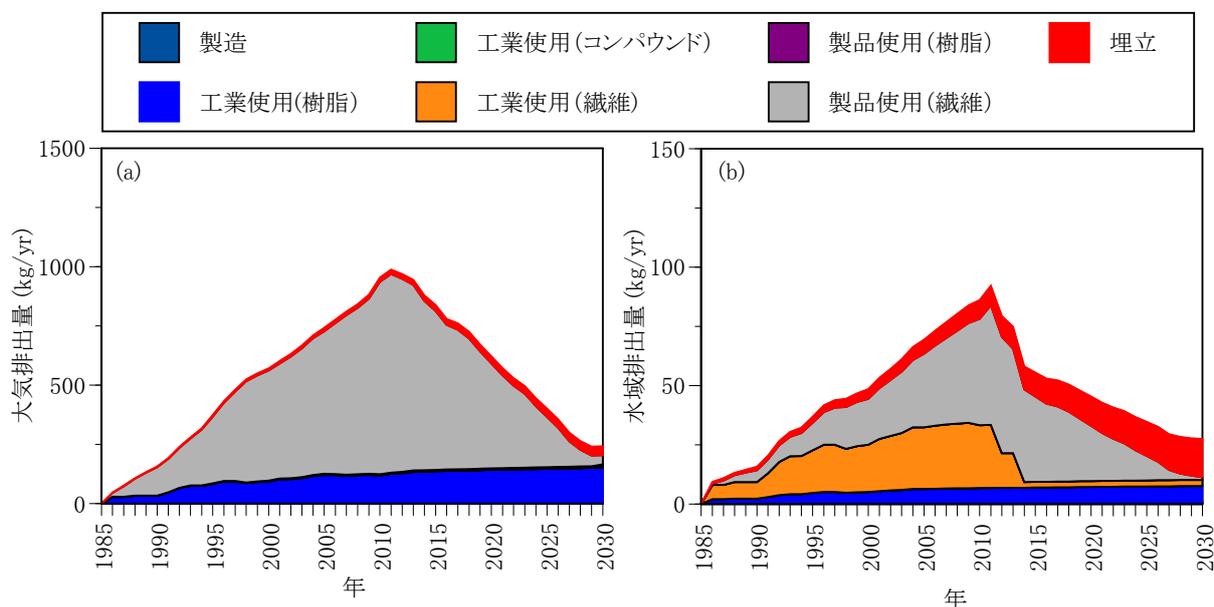


図 8 HBCD の環境排出量の推移

3. 環境媒体中の濃度推定

3.1) 一般環境濃度の測定

環境媒体中の濃度測定は、環境中に放出された化学物質が環境中にどのように分布するかを知る上で重要な情報となる。また、排出源を特定するためにも有用な情報となる。そのため、モニタリング情報の不足している地域において測定を行い、排出量からの推定値と比較した。

① 調査の意図

HBCD は水環境中の堆積物や室内環境中のダスト等広い範囲から検出される。これらの結果は工業使用過程や日常生活など複数の経路から環境中へ排出されていることを示唆している。しかしこれまで我が国においては都市河川での調査報告が主で、想定される排出源と環境中濃度を関連付けて評価した知見は少ない。HBCD の排出経路や寄与率を詳細な観測結果から把握することは、排出源に基づく適切な管理・対策をする上での基礎データを提供すると考えられる。

そこで本研究では、HBCD の使用状況や排出経路に関する情報を元に排出が想定される河川を複数選定し、排出源の違いが河川の底質中濃度に与える影響を調査した。

②方法

研究対象試料として、河川底質、流入下水、二次処理後の放流水、及び活性汚泥を採取した。調査対象地点は、神奈川県・鶴見川(n=4)、建築用断熱材を排出源に想定した河川として大阪府・淀川(n=6)、繊維染色工場を排出源に想定した河川として福井県・九頭竜川及び日野川(n=8)を選定し、2008年10月から12月に底質試料を採取した。また2008年10月に、神奈川県内の水再生センターにて流入下水、二次処理後の放流水(24時間コンポジット)及び活性汚泥試料をそれぞれ採取した。

採取した試料は凍結乾燥し、高速溶媒抽出装置(ASE)にて抽出した。シリカゲルカラムクロマトグラフィーにて精製・分画した後、メタノールに転溶し、高速液体クロマトグラフィータンデム質量分析計

(LC-MS/MS; Micromass)にて同定・定量をおこなった。尚、前処理操作における回収率補正の為¹³C₁₂-γ-HBCDを、定容時にLC-MS/MSのイオン化サプレッションによる回収率補正の為^d₁₈-γ-HBCDをそれぞれ添加した。

③ 結果と考察

各河川におけるHBCDの総濃度分布を図9に示した。全ての地点でHBCDが検出され、HBCDの使用が想定される流域で広く分布していることが示された。鶴見川で検出されたHBCDの濃度範囲(0.8~4.8 ng/g-dry)は欧米各国の都市河川中の濃度と同程度であった。都市河川への流入源として下水処理場からの寄与が報告されているため、処理場内でのHBCDの挙動を調査した。流入水及び放流水中のHBCD濃度を比較すると、減少傾向が観測された。活性汚泥粒子中にもHBCDを高濃度で検出したことから、除去機構として活性汚泥による吸着が考えられる。但し、放流水中にもHBCDが一部残存することから、河川におけるHBCDの流入源として下水処理水の寄与が示唆された。

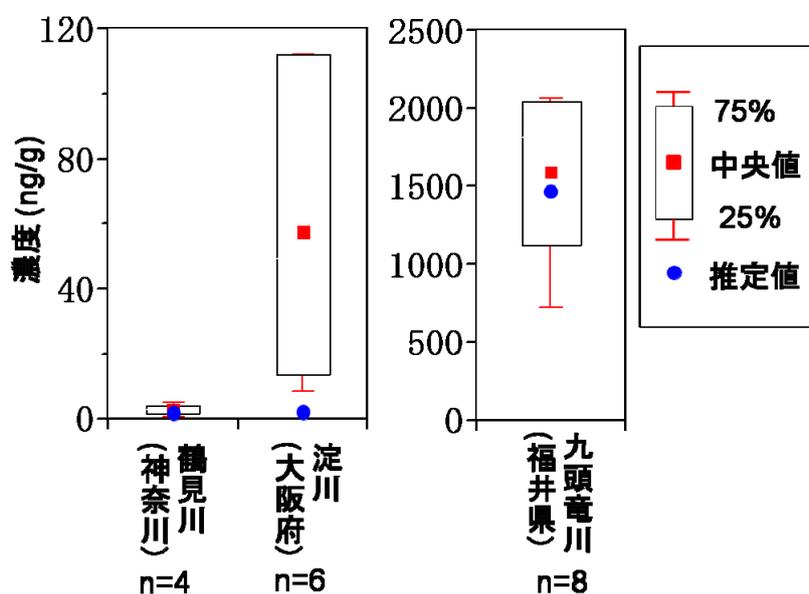


図9 河川堆積物中の総 HBCD 濃度

●は ChemCAN による推定値

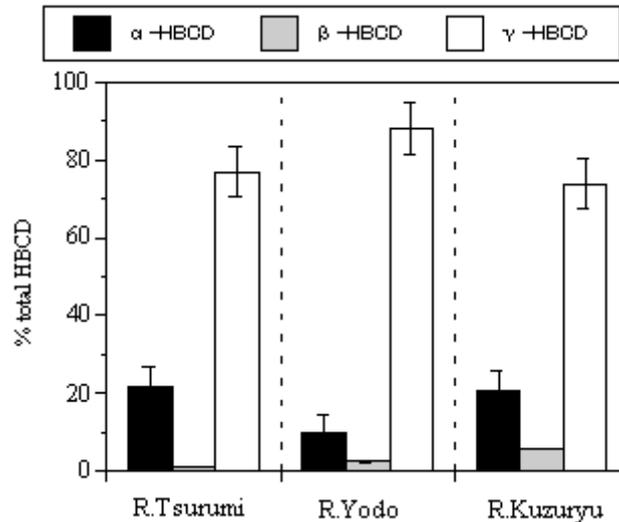


図 10 河川堆積物中の HBCD 異性体組成

一方、河川ごとに濃度を比較すると、九頭竜川が最も高く 134～2060 ng/g-dry の濃度範囲で検出された。この濃度範囲は世界各国の河川底質から検出される濃度と比較して非常に高いレベルにあった。河川の流域人口（鶴見川 184 万人、淀川 1100 万人、九頭竜川 66 万人）との関連性は低いことから、淀川や九頭竜川で検出された HBCD は日常生活行為に起因した下水処理水による寄与だけではないことが示唆された。本研究において想定した建築用断熱材や繊維染色工場からの排出が寄与している可能性が考えられる。また、HBCD は建築用断熱材に対する利用が約 8 割を占めるが、環境中においては 2 割の用途の繊維難燃加工からの排出がある流域でより高濃度であったことが特徴的である。異性体別に見ると(図 10)、 γ 体の比率が高いのは既往研究と同様であったが、都市河川・繊維染色工場付近流域の底質試料中では α 体の比率が相対的に見てやや高めの数値であった(鶴見川; α 22.1%、 γ 76.9%、淀川; α 9.8%、 γ 87.2%、九頭竜川; α 20.7%、 γ 73.7%、いずれも平均値)。これらを総合すると濃度差及び異性体比の差は各用途製品の製造工程における異性体熱変換や HBCD の利用形態から考えられる排出シナリオの差異に起因するものと考えられる。

④結論

流域人口の多い都市河川流域に比べ HBCD 使用工場等の排出源を持つと想定される河川流域で 1～2 オーダー高濃度の HBCD が検出された。このことは工場等の排出源としての寄与の重要性を示唆している。また、HBCD の異性体組成は物理的・化学的性質に加え、排出源の違いによって異なるパターンを示すことが考えられる。今後は、地域的な差異を考慮したリスク評価をおこなっていく必要がある。

3.2) カーテンからの発じん・放散試験

室内環境から HBCD が検出され、その発生源としてカーテンが想定されている。一方で我々の調査結果から、カーテンから放出される HBCD 量に関する情報が著しく不足していることが明らかになった。そこでリスク評価に使用可能な定量的データを収集することを目的に、横浜国立大学で約 10 年間使用した難燃カーテン(川島織物製; 表 4)を使用し、以下の 3 つの調査を行った。

表 4 カーテン寸法(単位:mm)

高さ	2000
上底	1800
下底	3400
厚さ	0.30

- ・フィルタ捕集による繊維形状の確認及び、ダスト中の HBCD 濃度測定。
- ・ハイボリュームエアサンプラ(HVA)によるカーテン開閉時の HBCD 発生量調査。
- ・繊維からのガス状 HBCD 放散量調査。

① ダスト中の HBCD 濃度測定結果

真空ポンプ(DOP-40D)ULVAC 製にメンブランフィルタ(0.2 μ m、PTFE ADVANTEC 製)をセットしたフィルターフォルダを取り付け、カーテン生地表面を吸引した。吸引面積は、固定に用いたバインダーの内部(225mm \times 173mm)とした。

フィルタはデジタルマイクロスコープ(VH-8000、キーエンス製)を用いてダストの形状を確認した。また、そのフィルタをヘキサフルオロイソプロパノール(HFIP)で抽出した。この溶液の一部を分取し、サロゲート物質(γ -HBCD-¹³C)を添加した。次にメタノールで希釈した後、5%塩化ナトリウム溶液及びヘキサンを入れた分液ロートに移し、振とう溶媒抽出を行った。ヘキサン層をロータリーエバポレーターで濃縮後、あらかじめコンディショニングを行ったフロリジルカートリッジに負荷し、10%ジエチルエーテル/ヘキサン溶液で溶出した。溶出液をロータリーエバポレーター及び窒素気流下で濃縮乾固した後、内標準物質(α -HBCD-¹³C)入りメタノール/水(8/2)溶液に転溶し、液体クロマトグラフ質量分析計(LC/MS)に供した。

ダスト中の各異性体濃度を表 5 に示す。また、カーテン単位面積当たりの濃度に換算したものも示す。

表 5 ダスト中の各異性体濃度

	α -HBCD	β -HBCD	γ -HBCD	定量下限
検出量(ng)	< 5.0	< 5.0	5.6	5.0
単位面積当たりの HBCD 量 (ng/cm ²)	< 0.013	< 0.013	0.014	0.013

ろ紙に採取したダスト中の異性体として γ -HBCD のみ検出された。得られた値は、定量下限値付近の値であった。カーテン 1 枚は、プリーツを解いた場合、200cm(高さ) \times 340cm(幅)=68000cm²であるのでカーテン一枚あたりの発じんによる HBCD の推定値は、約 980ng/枚となった。

② ハイボリュームエアサンプラ(HVA)によるカーテン開閉時の HBCD 発生量調査結果

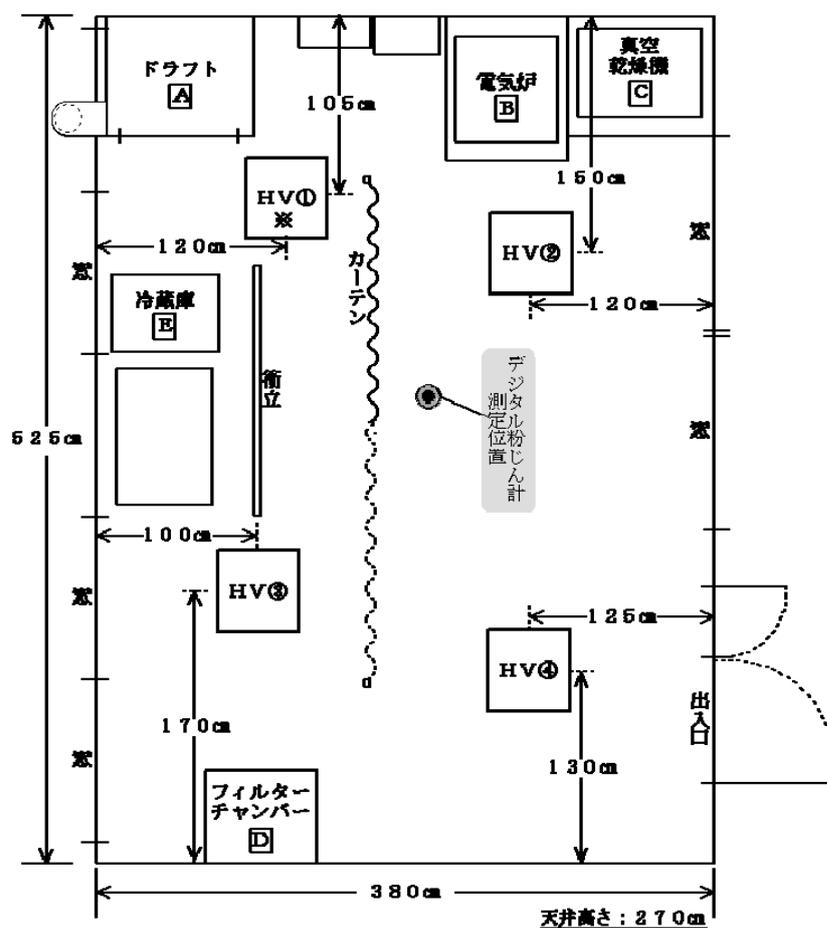
清浄空気供給が可能な部屋を使用し、防災カーテンを、天井からのカーテンレールにつるした。カーテンの 4 角にハイボリュームエアサンプラ(HV-700F、柴田科学製)を設置した。部屋の中央には、デジタル粉じん計 LD-3K2 を設置し、ダストのモニターを行った。

カーテン及びハイボリュームエアサンプラの設置位置の模式図を図 11 に示す。供給空気は HEPA フィルタおよび活性炭フィルタで処理された空気である。カーテンをつるす前に予め、清浄空気を供給しなが

ら、HV を稼動させ、室内の清浄化を行った。その後、空気の供給を止め、ハイボリュームエアサンプラー (HV) を稼動し、石英繊維製フィルタとポリウレタンフォームにより 700mL/min の流量で 60 分間試料採取を行った。カーテンは、5 回の開閉を行った。

そのとき、カーテンを開閉する試験従事者付近の空気を可搬式 HV (HV-500F、柴田科学製) を使用して、1 分間だけ石英繊維ろ紙及びポリウレタンフォームに採取した。試料採取後、石英繊維ろ紙は、ジクロロメタンで抽出し、PUF はアセトンで抽出した。抽出液を混合した後、サロゲート物質(γ -HBCD- ^{13}C) を添加しヘキサンに転溶した。ロータリーエバポレーターで濃縮後、あらかじめコンディショニングを行ったフロリジルカートリッジに負荷し、10% ジエチルエーテル/ヘキサン溶液で溶出した。溶出液をロータリーエバポレーター及び窒素気流下で濃縮乾固した後、内標準物質(α -HBCD- ^{13}C) 入りメタノール/水(8/2)溶液に転溶し、液体クロマトグラフ質量分析計(LC/MS)に供した。

また、開閉の際、手に付着するダストを採取し、これらダスト中の HBCD を分析した。は、カーテン開閉後、手に付着ダストを精製水で洗浄し試験液とした。



[寸法] …幅×奥行×高さ (cm) ※HV①～④: ハイボリュームエアサンプラー
A: 90×75×230
B: 60×75×70
C: 78×55×57
D: 68×57×200
E: 48×56×118

図 11 カーテン発じん試験施設模式図

この試験液をヘキサンを入れた分液ロートに移し、振とう溶媒抽出を行った。ヘキサン層をロータリーエバポレーターで濃縮後、あらかじめコンディショニングを行ったフロリジルカートリッジに負荷し、10% ジエ

チルエーテル/ヘキサン溶液で溶出した。溶出液をロータリーエバポレーター及び窒素気流下で濃縮乾固した後、内標準物質(α -HBCD- ^{13}C)入りメタノール/水(8/2)溶液に転溶し、液体クロマトグラフ質量分析計(LC/MS)に供した。

カーテンの開閉中に手に付着した各異性体濃度を表 6 に示す。

表 6 ダスト中の各異性体濃度

	α -HBCD	β -HBCD	γ -HBCD	定量下限
1 回目検出量 (ng/回)	<5.0	<5.0	<5.0	5.0
2 回目検出量 (ng/回)	<5.0	<5.0	<5.0	5.0
3 回目検出量 (ng/回)	<5.0	<5.0	<5.0	5.0

ダスト中の HBCD は定量限界値以下となった。今回使用したカーテンからは HBCD がほとんど放出されないことが示唆された。今回の結果は欧州の室内中ダストから検出される HBCD の値と大きく異なっており、ヨーロッパ産のカーテンと日本産のカーテンで排出量に差があることが想定される。このことは排出量を推計する際にヨーロッパで用いられる値をそのまま日本に当てはめることが適当でないことを意味する。

③ 繊維からのガス状 HBCD 放散量調査結果

カーテンから試料をメスで切り取り、重量測定後、ヘッドスペース用バイアルに封入した。恒温槽に試料約 0.5g が封入されたバイアルを挿入し、高純度窒素を通気して、HBCD を捕集剤 (ABS Elut Nexas 200mg、6mL、バリアン製) に採取した。捕集剤にサロゲート物質を加えアセトンで抽出し、液体クロマトグラフ質量分析計(LC/MS)に供した。

表 7 HBCD 放散量調査結果 単位:ng/g

加熱温度(°C)	α -HBCD	β -HBCD	γ -HBCD
90(1 回目)	<89	<89	<89
90(2 回目)	<89	<89	<89
80	<94	<94	<94
70	<89	<89	<89
60	<91	<91	<91
50	<89	<89	<89

単位は繊維 1 グラムあたりの HBCD 放散量

実験結果を表 7 に示す。今回の試験条件では、加熱温度(50°C~90°C)にかかわらず HBCD は定量限界値以下となり、HBCD の放散の影響は極めて小さいことが示唆された。

4. 曝露評価ツールを用いた環境濃度の推定

4.1) 一般環境濃度の推定

2 に記載した環境への排出量の推定値から、曝露シナリオデータベースに搭載された曝露評価ツール及びツールのテクニカルガイダンスを使用して曝露解析をおこない、ヒトへの摂取量の推定をこころみた。本項でははじめに環境中の濃度推定値について報告する。

HBCD の環境中濃度の推定には多媒体モデル(Chem CAN)を用い、環境媒体として大気、水質、底質、土壌を対象とした。モデルに入力した HBCD の物性値は EU リスク評価書に記載された値を用いた。

さらにモデルの検証をおこなうために本調査で採取した試料の実測値(福井県・九頭竜川)と比較をおこなった。解析結果例を図 12 に示す。モデルによる底質中濃度は 1436 ng/g と推定された。一方福井県九頭竜川の底質中から検出された HBCD の総濃度範囲は 134~2060 ng/g (平均 1200 ng/g) である(図 10) ので、実測値/推定値は 0.84 ± 0.53 となった。実測値については、採取した底質形状の違い(砂質、泥質)により濃度範囲に幅がある。しかしながら、おおむね実測値と推定値との関係は一致しており、このモデルで整合的に推定されると判断された。

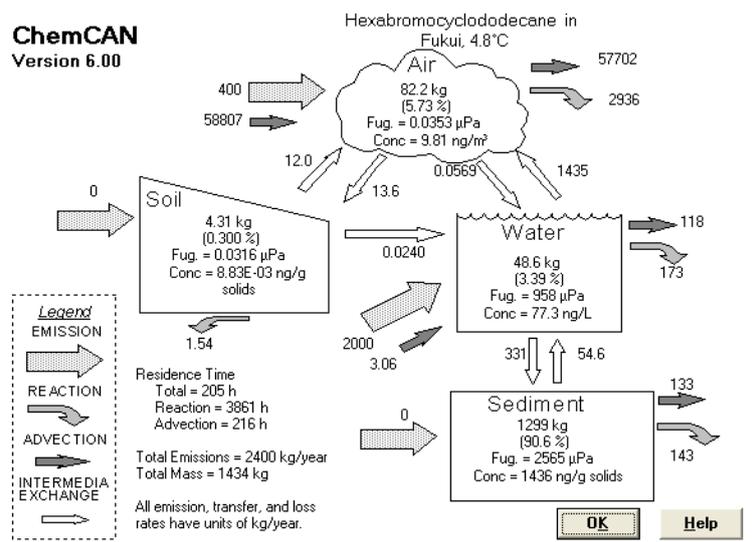


図 12 環境濃度予測値

5. 潜在リスクの洗い出し

マテリアルフローを用い、HBCD の製造プロセス及び HBCD を使用した製品製造プロセスからフィジカルリスク、ヒト健康影響に関する潜在リスクを網羅的に抽出した。HBCD の製造プロセスを図 13 に、難燃繊維の加工プロセスを図 14 に示す。HBCD の製造プロセスでは原料も含め、事故等により化学物質の作業環境及び一般環境への漏出の可能性、定常時の排出箇所とその推定量を検討した。

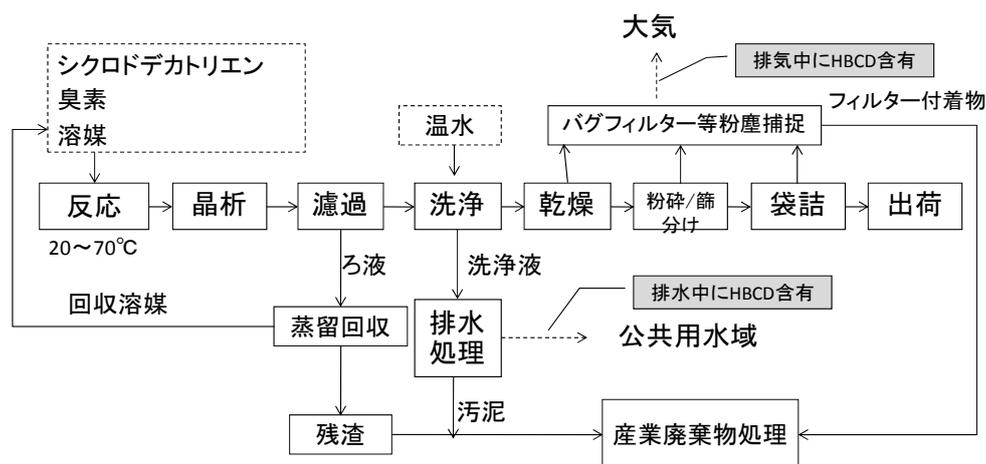


図 13 HBCD 製造プロセス

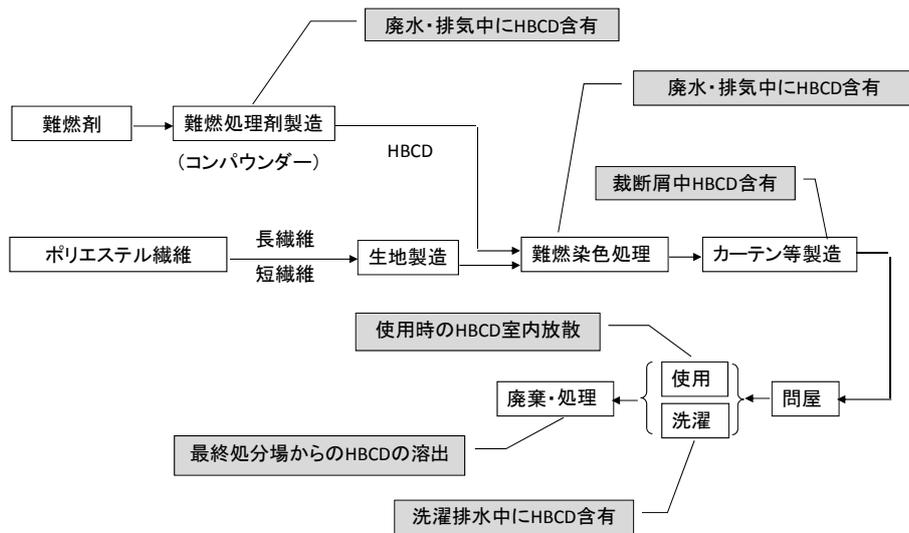


図 14 難燃繊維加工プロセス

6. 事故及び曝露シナリオの作成

マテリアルフローと推定排出量等の曝露情報、物理化学的性質および環境中での挙動を考慮し、ヒトへの曝露の可能性の高い工程を中心に事故・曝露シナリオを作成した。

- 工場労働者及び周辺住民:HBCD 製造工場のバルブの破損等の事故による臭素の漏えい(吸入曝露)
- 工場労働者:HBCD を扱う工程での吸入・経皮曝露、手を経由した経口曝露
- 廃棄物処分場及びリサイクル施設の労働者:解体作業等で発生した HBCD 含有粉じんの吸入曝露、作業時の経皮曝露、手を経由した経口曝露
- 消費者(室内曝露):断熱材、カーテン、畳等からの放散による吸入曝露、カーテン等の HBCD 含有粉じんの吸入曝露、カーテン等の接触による経皮曝露、手を経由した経口曝露
- 一般の住民(環境経由):大気、飲料水、食事(特に魚等に蓄積しているデータがある)の摂取による曝露

7. 事故・曝露シナリオの妥当性の検証

国内における既存の事故事例から事故シナリオの妥当性をチェックする。CDT 及び HBCD に関する事故事例は調査した範囲内では見つかっていない。HBCD の製造事業所ではないが、臭素の取り扱いでは 36 年間で 17 件の事故が報告されている。事故事例データベース等から入手・整理した結果を表 8 に示す。

表 8 主な臭素による事故事例(1971～2007 年)

事故原因	件数	負傷者人数合計
トラック等による輸送中の交通事故による漏えい	3	100
タンク周りの配管・バルブ等からの漏えい	6	47
配管からの漏えい	4	6
反応槽からのガス漏れ	3	6
その他	1	2

直近では、受入タンクから計量槽へ移送する際にポンプのパッキン部から臭素が漏えいする事故が2007年6月に起きている。事故原因の約1/3は保管タンク周辺のものである、負傷の程度は重傷1名の他は全て軽傷と報告されている。

一方、国内の環境媒体中からのHBCDの検出情報は曝露シナリオの妥当性評価の貴重な情報となる。HBCDは難燃繊維加工工場から高濃度で検出されている。室内空気からも検出されており、カーテン等からのダスト又は放散が考えられている。家電リサイクル施設の廃テレビ解体ラインからも濃度は低いが見出されており、発泡PSや難燃繊維以外の未確認の用途からと考えられる。これらの既存の実測値により成型体からのダスト又は放散によるHBCDの非意図的な放出が示唆されている。

サブスタンスフローをベースに構築中の網羅的な曝露シナリオを参考に、一例としてHBCDの曝露シナリオを作成し、曝露評価ツールを使って排出量から濃度の推定を試験的に実施した。

以上から、想定した事故・曝露シナリオはおおむね妥当と判断し、そのうち臭素の漏えい事故シナリオを用いて評価した

曝露シナリオデータベースに基づくリスク評価結果に続く
(平成21年度作業中)