

# ライフサイクルを通じた化学物質のトータルリスク評価手法の構築に向けて

## -臭素系難燃剤のリスクと温室効果ガスの比較解析-

### A basis for total risk assessment with life-cycle of chemicals

#### -Integrated analysis of the risk for Brominated Flame Retardants and GHG-

○真名垣聡<sup>\*1)</sup>、横山泰一<sup>1)</sup>、益永茂樹<sup>1)</sup>、三宅祐一<sup>2)</sup>、木村新<sup>1)</sup>、三宅淳巳<sup>1)</sup>、小林剛<sup>1)</sup>、本藤祐樹<sup>1)</sup>  
Satoshi Managaki, Yasukazu Yokoyama, Shigeki Masunaga, Yuichi Miyake, Arata Kimura, Atsumi Miyake, Takeshi  
Kobayashi and Hiroki Hondo

1) 横浜国立大学環境情報研究院, 2) 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター

\*managaki@ynu.ac.jp

#### 1. はじめに

現在、化学物質の管理方策は化学物質リスク(有害性)のみに着目した評価結果を基に決定がなされている。一方で使用用途の拡大に伴い、多くの化学物質が製品へ添加されている。そのため化学物質のリスク低減のみに着目した対策だけでなく、温室効果ガス削減や埋立処分削減などの社会的要請・政策課題とのトレードオフに留意して検討することが期待される<sup>1)</sup>。本研究は、最適な化学物質リスクの削減対策・管理政策を明らかにするため、有害性が懸念される化学物質を用いている「製品」のライフサイクルに着目して以下の2つの研究をおこなった。

(1) シナリオに基づく対象化学物質のリスク推計とライフサイクル内のトレードオフを考慮した各シナリオの比較検討。(2) 温室効果ガス排出削減など、異なる評価軸を考慮した社会的目標・政策課題とのトレードオフ解析

#### 2. 方法

##### 2.1 対象とする化学物質と製品

本研究では、臭素系難燃剤の一つヘキサブロモシクロドデカン(HBCD)を含む発泡ポリスチレン製の建築用断熱材を分析対象とした。HBCDは難燃目的で製品に添加され、約80%が建築用断熱材に使用されている。一方で、環境中での残留性への懸念から国内外で規制対象となっている(第1種監視化学物質)。本研究では、HBCDの含有断熱材の利用に伴い環境中に排出されるHBCDとCO<sub>2</sub>についてライフサイクル・インベントリ分析を実施した。

##### 2.2 前提条件とシナリオ

戸建住宅における8.8万トンの断熱材の30年間にわたる使用を機能単位とした。断熱材の使用期間は戸建住宅の平均的な耐用年数と同じとした<sup>2)</sup>。図S1(SI参照)に建築用断熱材のライフサイクル・フローを示す。本研究では、3種の処理オプションに基づいて、5種のシナリオを用意した。以下に設定したシナリオの概要を示す。

レファレンス・シナリオ(埋立処分)

現在、建築用断熱材はその多くが建設用混合廃棄物として処理され、埋立処分が約72%(2005年)を占める。そこで本研究では家屋解体から発生した使用済み断熱材が最終処分場へ埋立されるとしたこのケースをレファレンス・シナリオとした。

##### シナリオ1(マテリアルリサイクル+埋立処分)

廃棄断熱材のうち、一部を再生断熱材の原料としてリサイクルし、残りを埋立処分するシナリオを想定した。再資源化量は、現状技術で実現可能量とされる5%(シナリオ1-1)と、最大実現可能量とされる30%(シナリオ1-2)を設定した。

##### シナリオ2(マテリアルリサイクル+焼却処分)

シナリオ1-2と同様に廃棄断熱材の30%がリサイクルされるが、残りの断熱材が焼却処分されるとした。なお焼却処分においては熱回収による発電を行うとした。

##### シナリオ3(焼却処分)

廃棄された断熱材全てが焼却処理されるシナリオを設定した。

##### 2.3 ライフサイクル・インベントリ分析

各シナリオについて、ライフサイクルにわたるHBCD排出量(曝露量)とCO<sub>2</sub>排出量を求めた。HBCD排出量に関しては、EU Risk Assessment Reportに記載されている排出係数から排出量を推定した<sup>3)</sup>。曝露量は推定排出量をもとに、消費者及び労働者に分け環境動態、曝露モデルを用いて推定をおこなった(SI参照)。CO<sub>2</sub>排出量に関しては、産業管理協会(JEMAI)のLCAオンラインデータベース、およびソフトウェアJEMAI-LCA Pro等に記載された値を用いて排出量を推計した。本研究では温室効果ガスとしてCO<sub>2</sub>のみを対象とした。またインベントリ分析の実施においては、ごみ発電による電力は公共電力を代替するとして、代替される公共電力を発電する際のCO<sub>2</sub>排出量をマイナス計上した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 ライフサイクル HBCD 排出量

図1に各シナリオにおけるライフサイクルHBCD排出量をプロセス別に示す。HBCDの排出量はライフサイクルで見ると断熱材の製造、埋め立て過程からの寄与が最も多いため、廃棄断熱材をリサイクルせずに全量埋立処分するレファレンス・シナリオの排出量が最も多くなった。ライフサイクル全体で排出量をみると、廃棄断熱材のリサイクル割合の増加に伴ってHBCD排出量は減少傾向を示し、また焼却処理によりHBCD排出量が、直接埋立であるレファレンス・シナリオのそれと比べて1%程度と大幅に少なくなる。そのためリサイクルの割合を30%とし、残りを焼却処理するシナリオ2が、5種のシナリオの中で最も排出量が少なく、レファレンス・シナリオの排出量の約56%となった。

#### 3.2 HBCD と CO<sub>2</sub> の排出量のトレードオフ

HBCD排出量の推計と同一の前提条件下でライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を計算した結果を、図2にライフサイクルHBCD排出量とあわせて示す。CO<sub>2</sub>排出量に関しては、HBCD排出量とは異なり、焼却を想定したシナリオ3(全量焼却)とシナリオ2(一部焼却)のライフサイクル排出量が、埋立を想定した他の3種のシナリオのそれと比べて明らかに多い。これは、断熱材のライフサイクルにおいて、焼却からのCO<sub>2</sub>排出の寄与が最も大きいためである。燃焼熱を用いた発電による公共電力の削減に伴いCO<sub>2</sub>排出量がマイナス計上されるが、その寄与は焼却時に生じるCO<sub>2</sub>排出量の約15%に留まる。廃棄断熱材をリサイクルする場合(シナリオ1-1と1-2)、HBCD排出量と同様に、断熱材などの製造プロセスからのCO<sub>2</sub>排出量が少なくなる。しかし、ライフサイクル全体で見ると、リサイクルするか否かよりも、焼却か埋立かが大きく影響することが認められる。

HBCD排出量の削減という観点のみから、5種の想定シナリオを評価すると、リサイクルと焼却処理を組み合わせたシナリオ2が最も効果的と判断される。しかしCO<sub>2</sub>排出量の削減に関しては、このシナリオ2が必ずしも有効とは限らない可能性がある。つまり、化学物質によるリスク増減のみに着目した対策は、他の社会的要請や政策実行を阻害する可能性がある。ここでは温暖化防止を取り上げたが、埋立場所の確保なども重要な政策課題である。それ故に化学物質だけでなく複数の評価軸を加えて多面的に判断することが、「製品」中に含まれる化学物質のリスク管理にとって重要であることを本研究の推計結果は示唆している。

#### 4. まとめ

温暖化防止や資源有効利用の観点からリサイクルが進められているが、化学物質の管理という側面からの評価は多くない。今回、HBCD排出量推計においても静脈プロセスの分析が不十分であった。それ故に循環利用がなされる際の、化学物質の挙動に関するデータ蓄積が求められる。また、複数の評価軸

を加えて多面的に判断する際、温室効果ガス削減や埋立処分削減の影響と比べ化学物質のリスク削減の寄与が極めて小さいため、埋没するケースが多い。化学物質の管理方策としてはリスク削減だけでなく、使用禁止シナリオも想定される。つまり、使用禁止物質が含有する廃棄物の管理方策の検討も求められ、環境負荷の削減を目的としたシナリオ解析が当てはまらないケースがある。今後、化学物質の有するリスクと他の環境影響評価項目を統一的に評価する上でどのような点を考慮すべきか、またどのような手法が有効か更なる検討が必要と考える。

#### 5. 謝辞

本研究プロジェクトは、平成19~21年度の文部科学省科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」により実施している。

#### 6. 参考文献

- 1) 産業技術総合研究所安全科学研究部門, リスク・トレードオフ解析手法の開発, 入手先 <http://www.aist-riss.jp/projects/RTA/aboutus.html>
- 2) 財団法人建設環境・省エネルギー機構(2004), 平成15年度建材用断熱材フロン対策検討調査報告書, pp. 144-145.
- 3) Satoshi Managaki et al.,(2009). Emission load of hexabromocyclododecane in Japan based on the dynamic substance flow analysis. Organohalogen Compound, Vol. 71, pp. 2471-2476

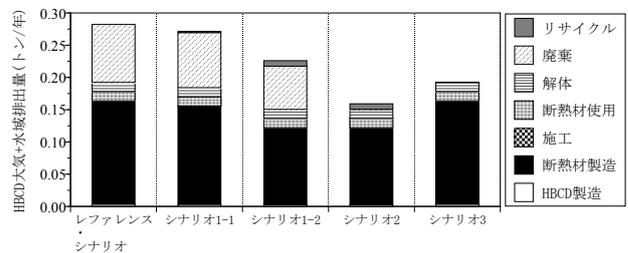


図1 ライフサイクル HBCD 排出量

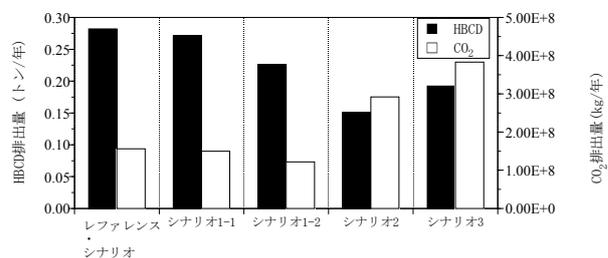


図2 HBCD と CO<sub>2</sub> のライフサイクルにわたる排出量の比較

参考情報 (Supporting Information)

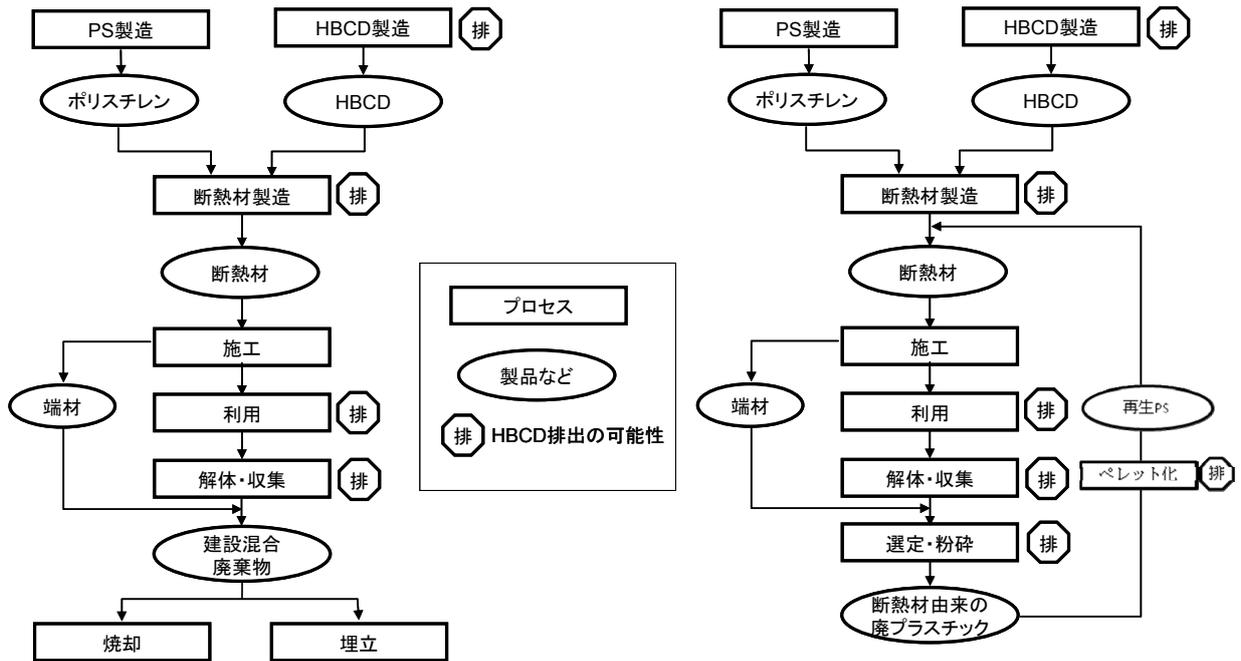


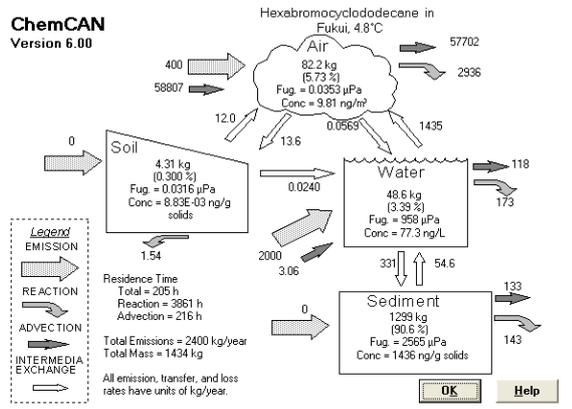
表 HBCD の排出係数

ステージ	排出先	排出係数
HBCD 製造	大気	3E-07
	水域	1E-06
	土壌	報告値なし
HBCDコンパウンド	大気	3E-07
	水域	3E-07
樹脂製品工場	大気	5.8E-05
	水域	2.6E-06
	土壌	報告値なし
繊維製品工場	大気	7E-07
	水域	9E-03
樹脂製品使用	大気	2.4E-05
繊維製品使用	大気	2.3E-05
焼却		報告値なし
埋立		2.4E-05

**曝露量推定の詳細**

**【環境排出量から環境濃度への推定】**

HBCD の環境中濃度の推定には多 体モデル(Chem CAN; 下図参照)を用い、環境 体として大気、水質、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。

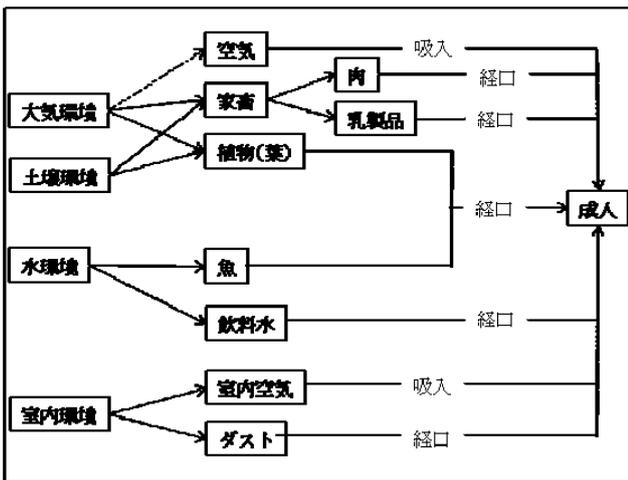


図環境濃度予測値

**【環境濃度から曝露量への試算】**

一般環境経由で曝露される HBCD 量は HBCD のサブスタンスフロー解析によって得られた推定排出量とを基に曝露解析を実施し、環境濃度から推定した(下図参照)。曝露量の推定は詳細リスク評価書シリーズ 23 デカブロモジフェニルエーテルを基に計算した。計算に用いたパラメータも同様に詳細リスク評価書シリーズを参照した。

労働者への HBCD 曝露量は ChemSteer(EPA)を用いて推定した。



図一般環境経由の曝露媒体と曝露経路

(曝露量の推定は詳細リスク評価書シリーズ 23 デカブロモジフェニルエーテルを基に計算した)