

研究課題番号: C-1003

課題名

HBCD等の製品中残留性化学物質の ライフサイクル評価と代替比較に 基づく環境リスク低減手法

研究代表者: 益永 茂樹

研究分担者: 小林 剛、本藤 祐樹、三宅 淳巳

所属: 横浜国立大学 大学院環境情報研究院

研究実施期間: 平成22～24年度

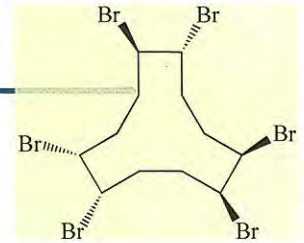
累積予算額: 72,924千円(直接経費)

研究開発目的

国際的な化学物質管理のための戦略的アプローチ(SAICM)への対応
(目標年=2020年) [ストックホルム条約、REACH、改正化審法改正]
化学物質の**全ライフサイクル**を通した**リスク評価・管理**が求められ、
有害性の指摘を受けた**物質の使用中止、代替物質へ移行**が起こっている
代替物質が真にリスク、環境性能で優っているか？

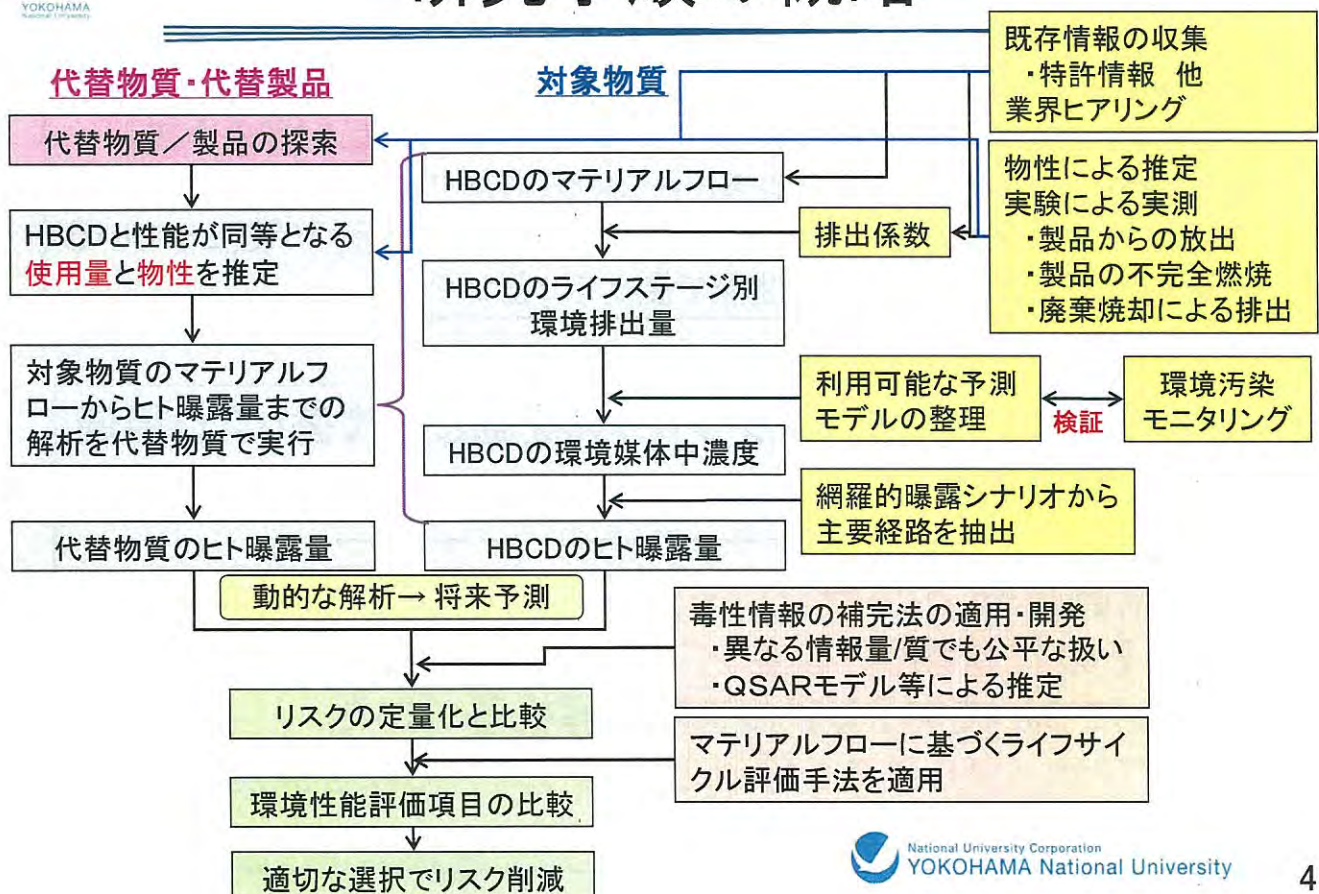
化学物質について、全ライフサイクルを通した代替リスク評価 手法を構築する

臭素系難燃剤 ヘキサブロモシクロドデカン (HBCD)を例と
して、その**代替物質・製品／プロセス**を抽出し、
それらについてマテリアルフロー解析に基づいた
全ライフサイクルリスク評価と代替リスク比較を実施し、具
体的な評価事例を提示する。



- ヘキサブロモシクロドデカン
Hexabromocyclododecane (HBCD)
- 臭素系難燃剤: **優れた難燃性能**を有し、**広く使用**されている
 - ・日本 75～80%: 建築用発泡ポリスチレン断熱材(XPSとEPSの2種)
20～25%: 繊維製品(カーテン、カーシート)
 - ・外国 強化ポリスチレン(HIPS)にも使用
 - ・国内出荷量は増加してきたが、最近は減少へ、
(日本: 3,500 ton [2006年]、2,500 ton [2009年]、世界: 22,000 ton [2003年])
- **残留性、蓄積性、毒性**は過去に規制されたPOPsと同等か低め
- スtockホルム条約の**規制対象候補物質**: POPRC8 [2012年10月]で、**廃絶対象物質**(一部用途を適用除外)への追加を締結国に勧告
- より優秀な**代替難燃剤**は知られていないが、企業は**代替を進行**
- **代替が真にリスク削減になるのか? = 早急に解明すべき課題**

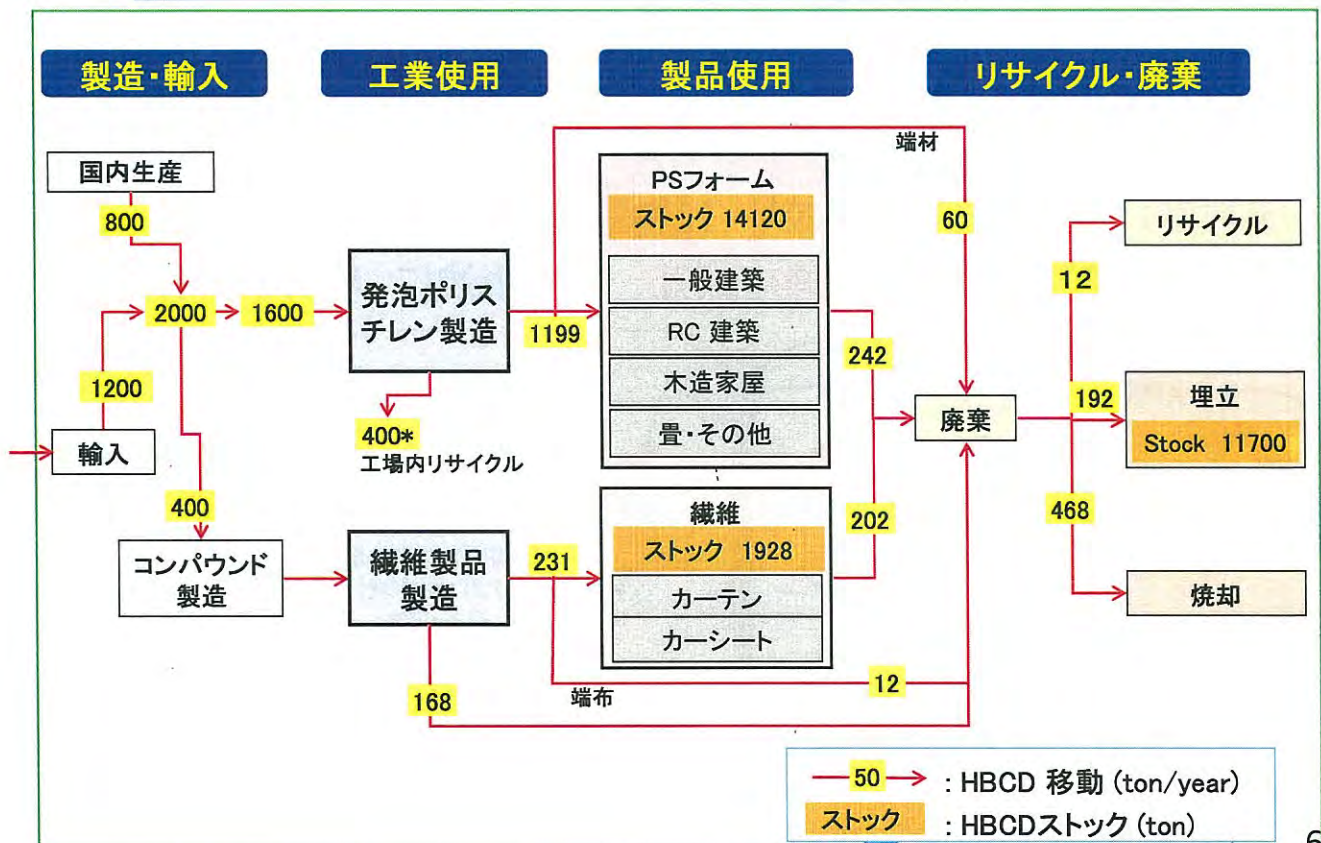
研究手順の概略



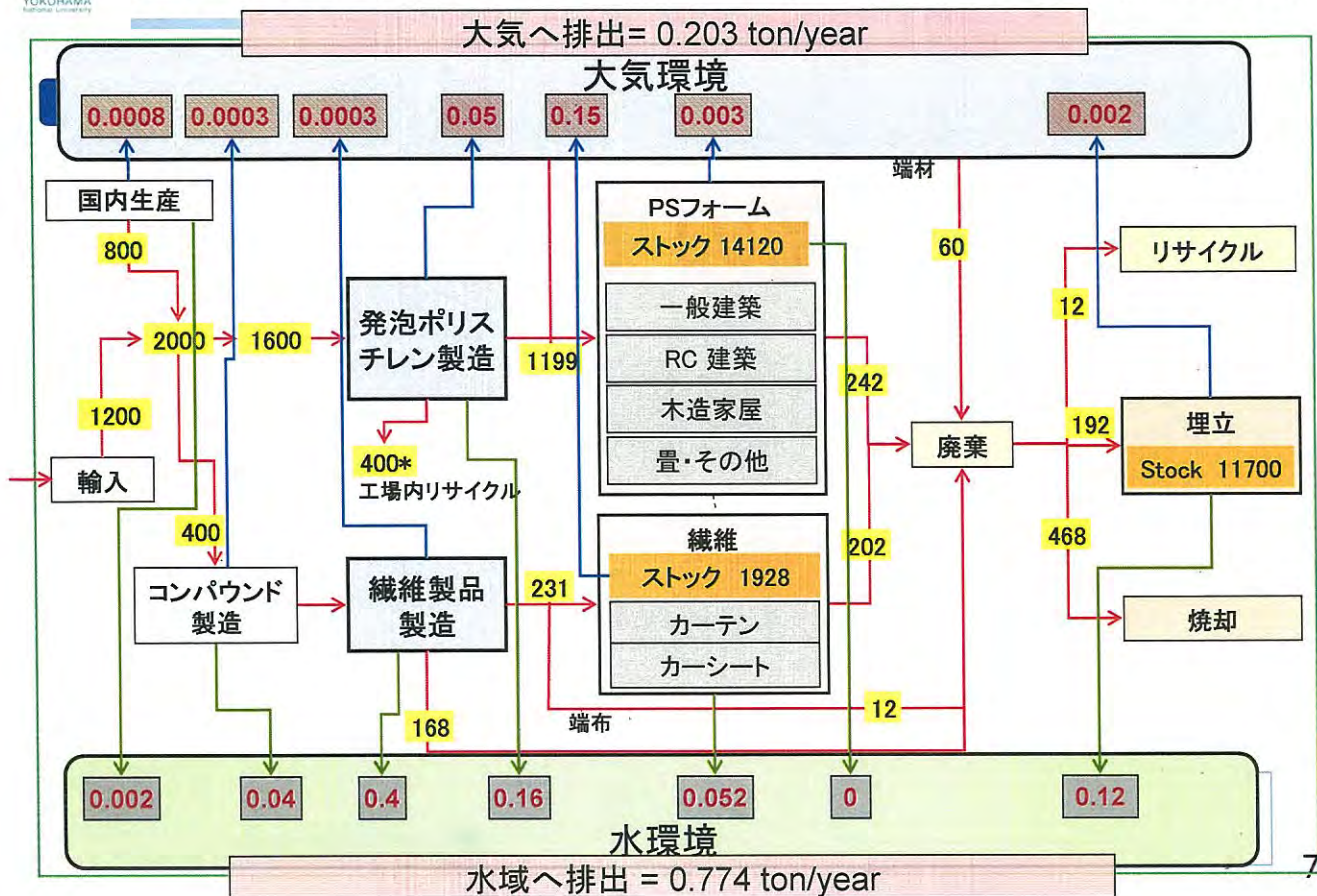
本研究の主な成果



HBCDのマテリアルフロー(日本, 2000)



HBCDのライフサイクル排出量(日本, 2000)

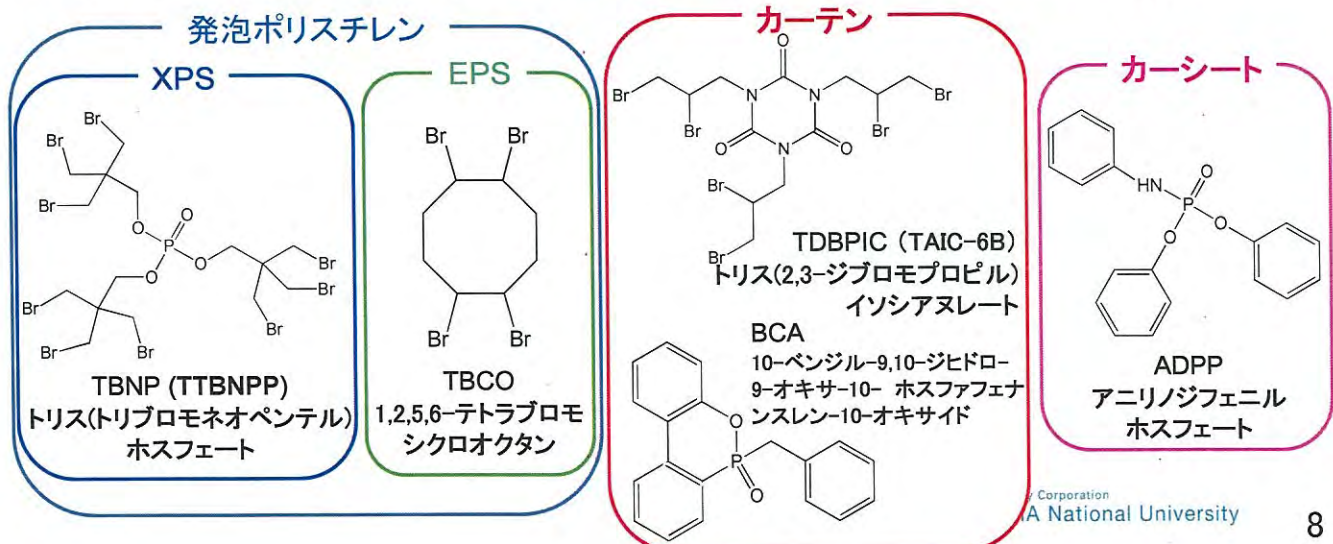


HBCD代替物質の探索

特許出願検索で、HBCD含有製品用新規難燃剤を全て抽出(2000年以降) → 138物質(樹脂用62, 繊維用76)

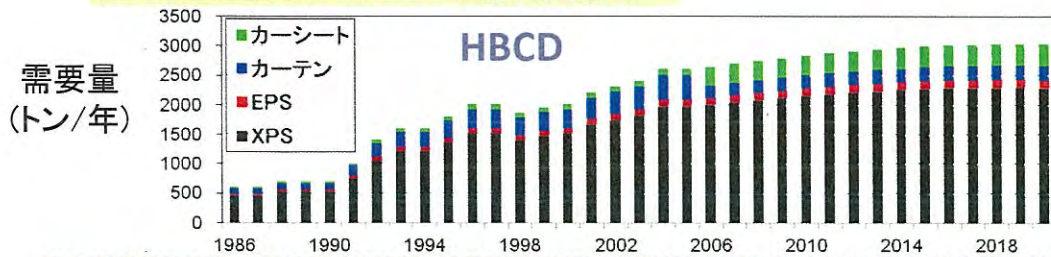
HBCD含有製品・難燃剤製造事業者、関連協会等にヒアリング(17事業者) → 候補物質を絞り 12物質(臭素系 4, リン系 8)

絞った候補物質について集中調査 → 4用途に、5物質を特定

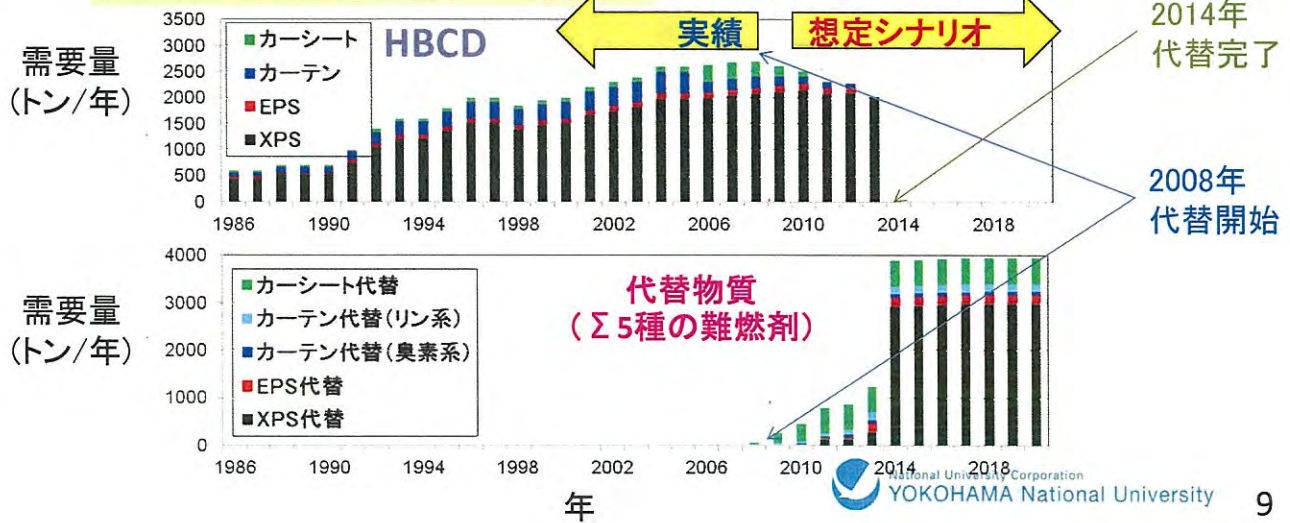


HBCDの代替シナリオ(需要の推移)

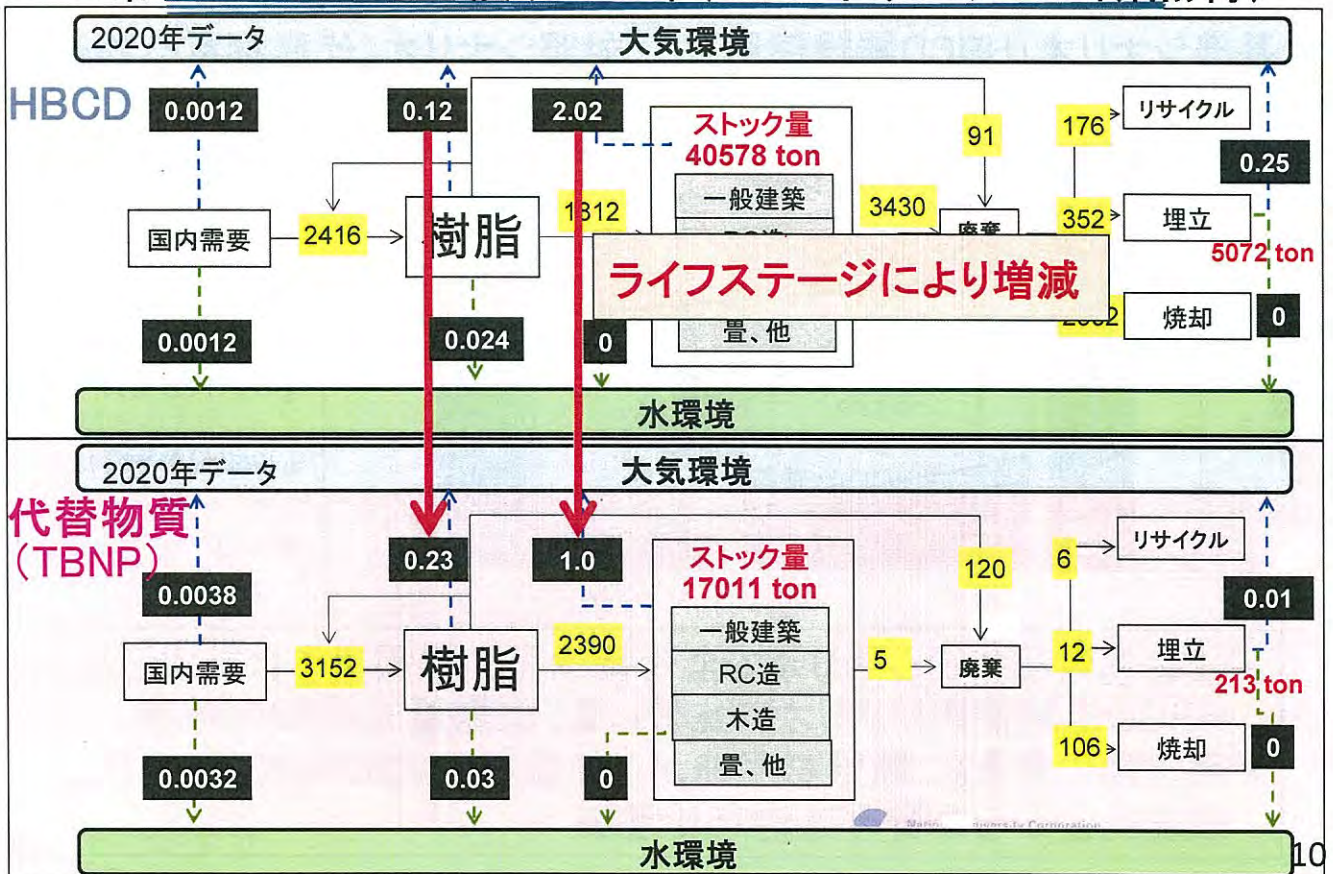
基準シナリオ: HBCDの継続使用



対照シナリオ: 代替物質へ移行

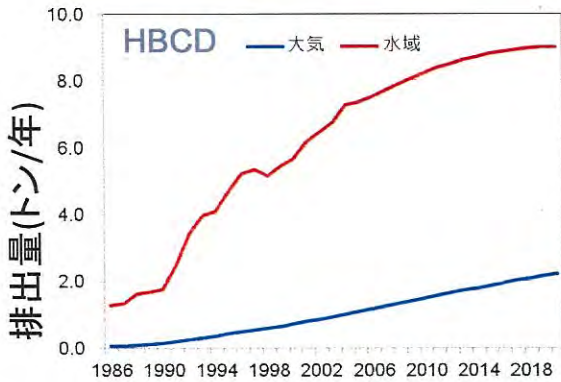


HBCD継続使用と代替物質移行における環境排出量の比較(2020年、XPSポリスチレン断熱材)



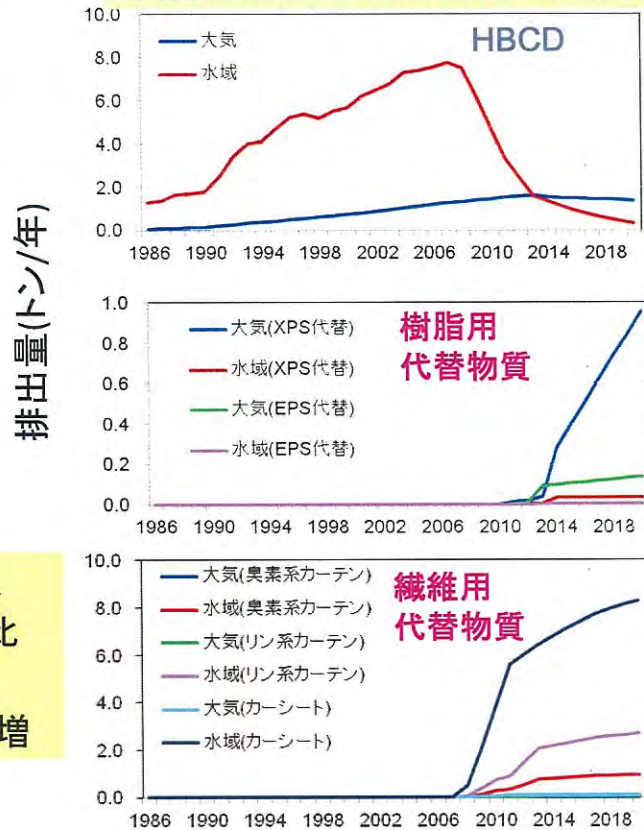
環境排出量の年次変遷予測

基準シナリオ: HBCD継続使用



- 2020年には、HBCDの使用中止により、
- HBCD排出量は継続使用シナリオに比べ80%減少
 - カーシート用代替物質の排出量が急増

代替シナリオ: 代替物質へ移行

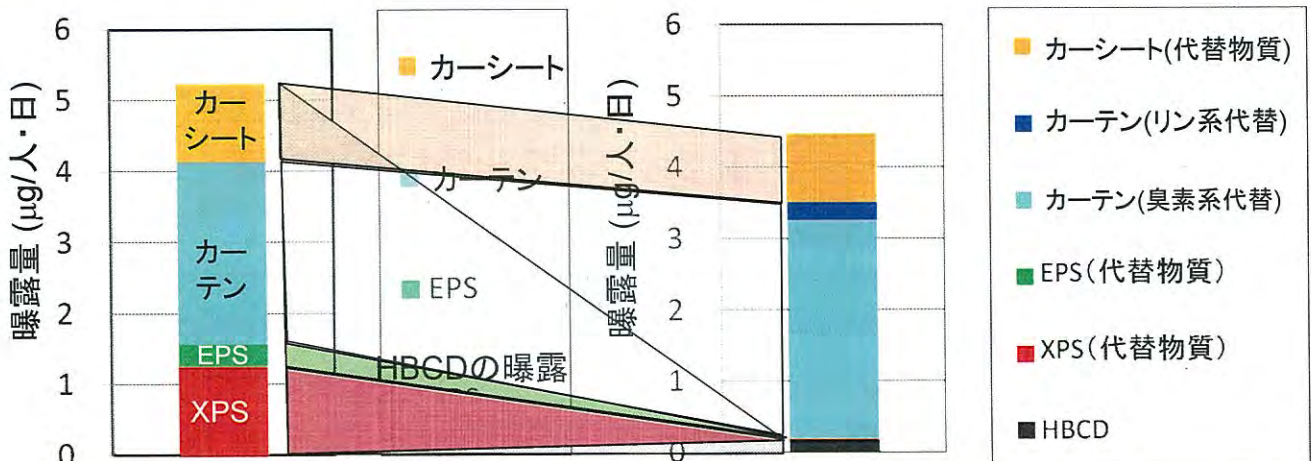


11

2020年における曝露量比較

基準シナリオ (HBCD継続使用)

対照シナリオ (代替物質へ移行)

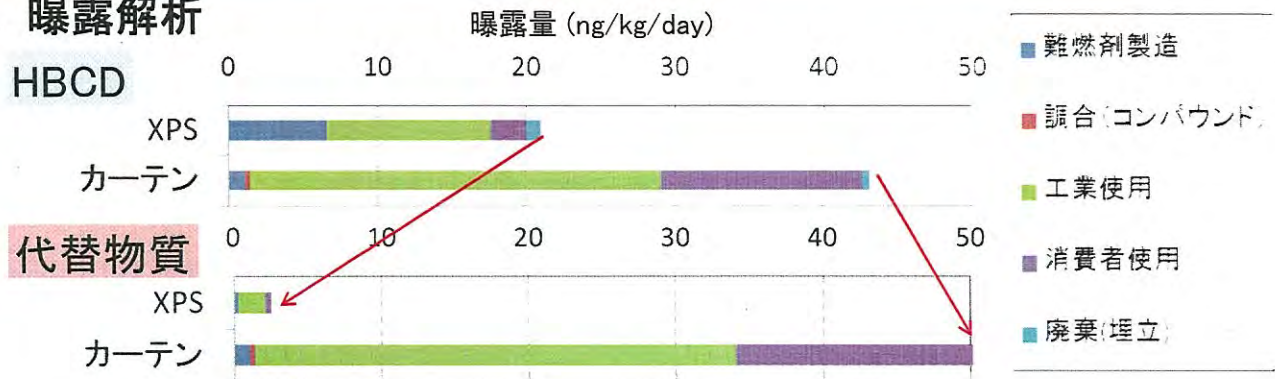


- 代替物質移行のシナリオで全代替物質の曝露量を合計すると、HBCD継続使用シナリオに比較して、曝露量は約10%減少。
- 用途別に見ると、断熱材用途からの曝露は約90%減少、他方、繊維用途からの寄与は約15%増加

12

HBBCDと代替物質のリスク比較 (1)

1. 曝露解析



2. 有害性評価

有害性評価支援システム統合プラットフォーム(HESS)を用いた構造活性相関手法による、代替物質の有害性推定結果 (ある程度の信頼性で推定できた物質のみ)

	エンドポイント	NOAEL (mg/kg/day)
HBBCD	Whole Body	76.2
XPS用代替物質 TBNP	Whole Body	30.8
カーテン用代替物質 BCA	Whole Body	22.4

HBBCDと代替物質のリスク比較 (2)

3. リスク判定 (曝露マージン: MOE)

物質	曝露評価	有害性評価	リスク評価
	曝露量 (ng/kg/day)	NOAEL (mg/kg/day)	曝露マージン (NOAEL/曝露量)
XPS用 HBBCD	22	76.2	3.46×10^6
XPS用代替物質 TBNP	2.5	30.8	1.23×10^7
カーテン用 HBBCD	43	76.2	1.77×10^6
カーテン用代替物質 BCA	51	22.4	4.39×10^5

ヒト健康リスク評価は、何れの場合もMOEは十分大きく、リスクの懸念はない。
しかし代替により、XPS断熱材ではリスク削減、カーテンではリスク増加の方向。

代替製品のシナリオ

規制前

HBCDの使用

- 樹脂、繊維製品に一定量含有

樹脂(断熱材)

繊維(カーテン、カーシート)

規制後(代替完了)

オプション1

代替化学物質の使用

- 製品中に含まれる難燃剤のみ変更
- 他の条件は同じ

オプション2

代替製品の導入

樹脂製品(断熱材)

- グラスウール(使用量はXPSの0.65倍)
- 硬質ウレタンフォーム(難燃剤ヘキサブロモベンゼン 3%含有)(XPSの0.85倍)

繊維製品(カーテン、カーシート)

- 素材難燃系(リン系難燃剤 HCA (9,10-ジヒドロ-9-オキサ-10-ホスファフェナントレン10-オキシド) 5%含有)

- 対象: 戸建住宅用断熱材(8.8万トン)と繊維製品(2万トン)のライフサイクル*
 - 評価: 化学物質(HBCDと代替難燃剤)の排出と曝露、CO₂、固体廃棄物、コスト(価格)
- * 今後30年間で廃棄される量が最も多くなる年における年間廃棄量を利用量として設定

15

検討対象となる難燃剤

発泡ポリスチレン

XPS

TBNP

トリス(トリプロモネオペンテル)ホスフェート

使用量はHBCDの1.3倍

EPS

TBCO

1,2,5,6-テトラプロモシクロオクタン

使用量はHBCDの1.4倍

カーテン

TDBPIC (TAIC-6B)

トリス(2,3-ジプロモプロピル)

イソシアヌレート

BCA

10-ベンジル-9,10-ジヒドロ-9-オキサ-10-ホスファフェナンスレン-10-オキサイド

使用量: リン系で1.5倍、臭素系で1.4倍
リン系の繊維吸着割合70%(HBCD:58%)

カーシート

ADPP

アニリノジフェニルホスフェート

使用量は1.5倍
リン系の繊維吸着割合70%

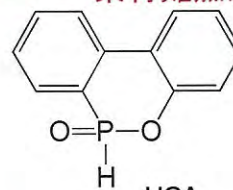
ウレタンフォーム



HBB

ヘキサブロモベンゼン

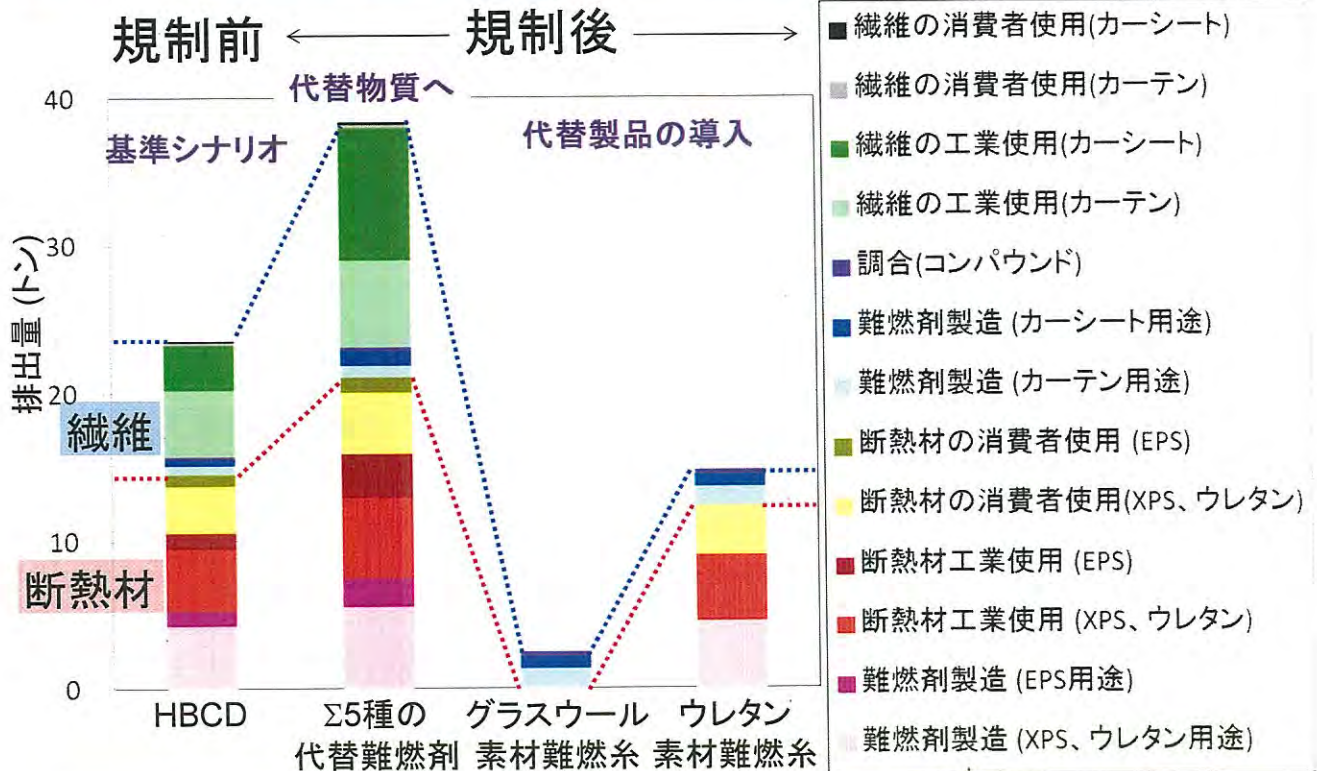
素材難燃系



HCA

9,10-ジヒドロ-9-オキサ-10-ホスファフェナントレン10-オキシド

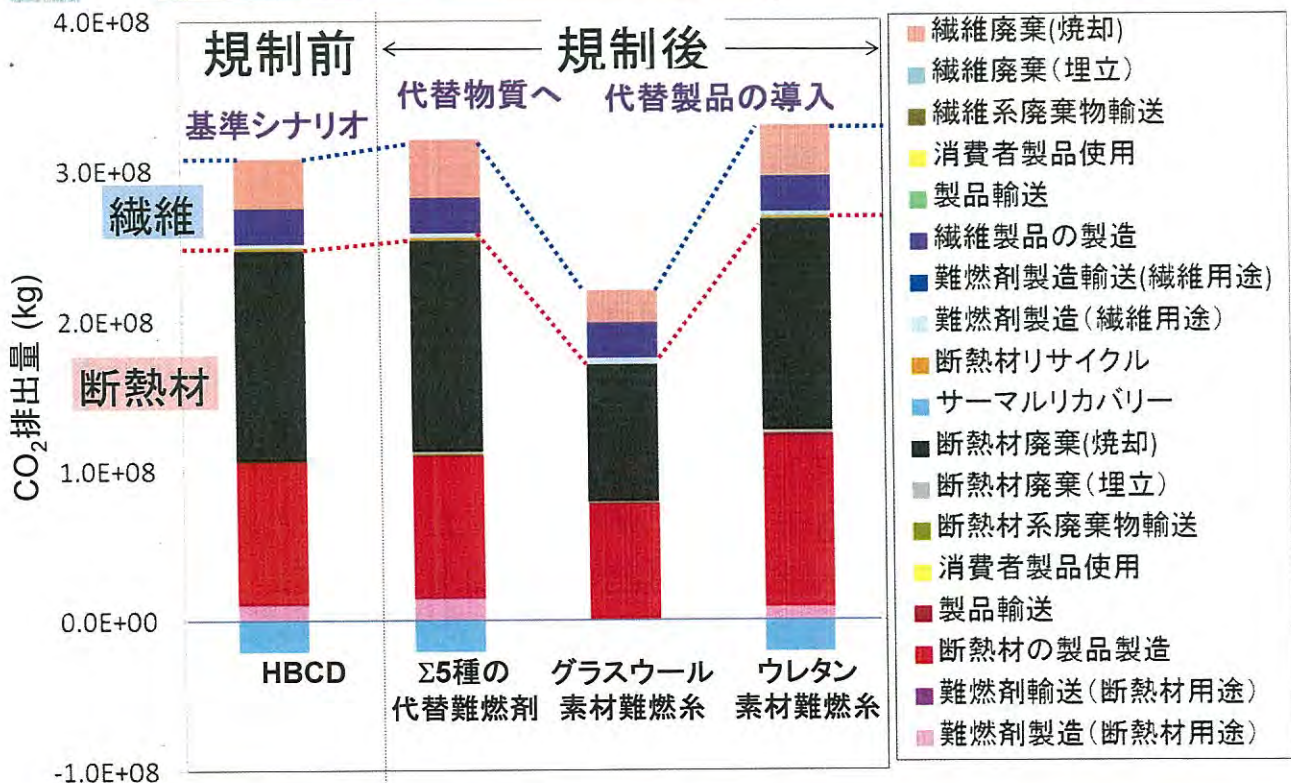
ライフサイクル難燃剤排出量



断熱材では、グラスウールに移行することで大幅に排出量を削減できる。ウレタンフォームは変化が少ない。繊維では素材難燃系の使用で排出が大幅に削減できる。

17

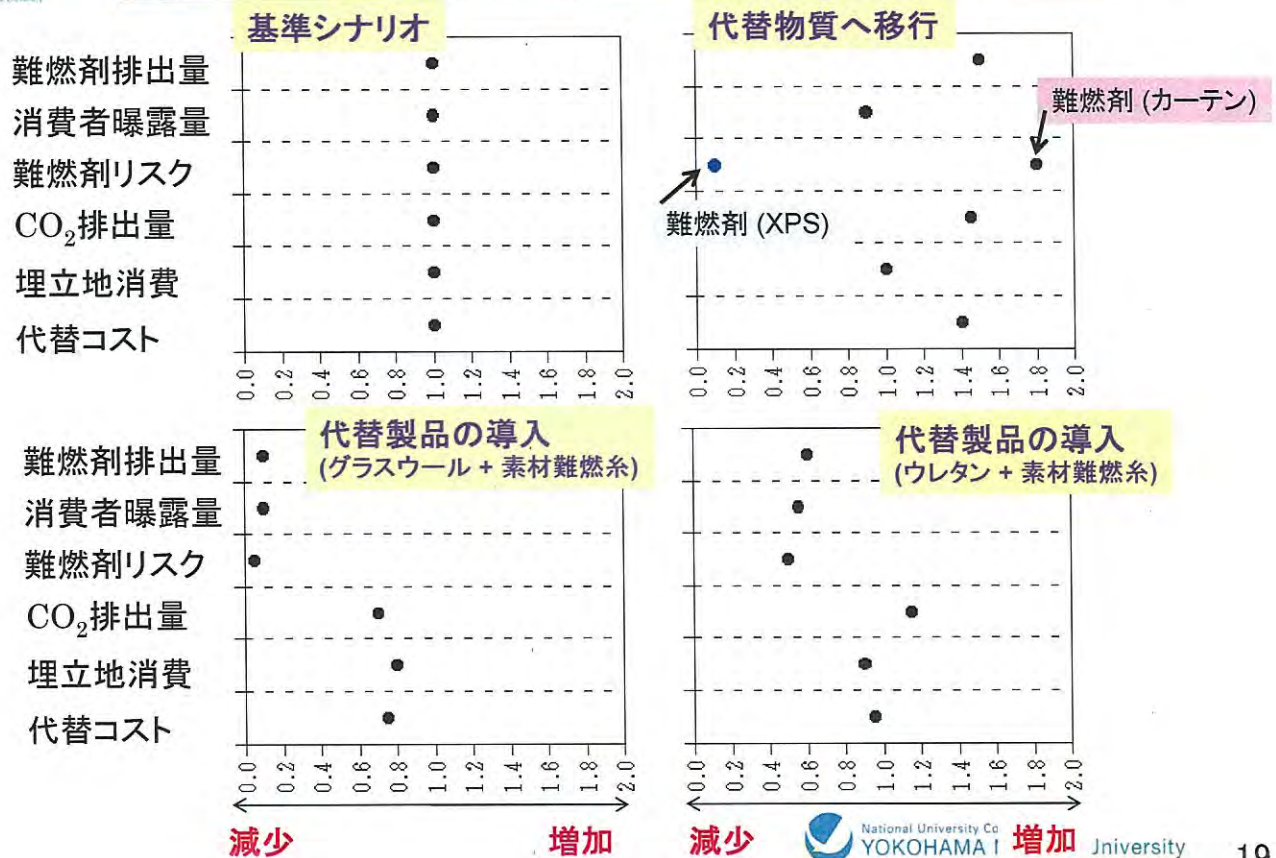
ライフサイクルCO₂排出量



繊維は、全てのシナリオが $5.9 \sim 6.2 \times 10^7$ kgの範囲で相違は少ない(製品製造と焼却廃棄が寄与)。断熱材は、 $1.1 \sim 1.7 \times 10^8$ kgでウレタン製品は増大(+12%)、グラスウールは低下(-26%)。

18

各評価項目の基準シナリオに対する変化



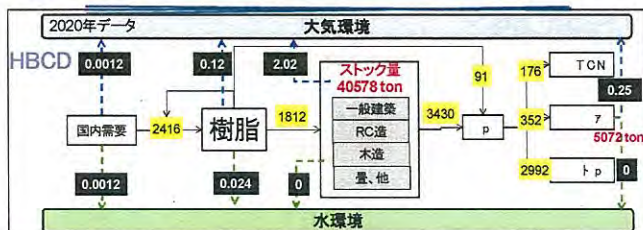
まとめ

1. **マテリアルフロー解析を基盤とした全ライフサイクルを通した化学物質のリスク評価手法**を事例研究により提示した。
これにより、以下が可能となった。
 - ・対策すべきライフステージの明確化
 - ・代替化学物質間で全ライフサイクル・リスク比較
 - ・LCA(ライフサイクル評価)と連携した環境評価項目の算出
2. **HBCDの代替動向を先取り評価**し、用途と代替物質により、リスク低減と増加の両方が起こり得ることを示した。
事前リスク評価の重要性が示された。
3. 代替物質以外の対応策として、グラスウールやウレタンフォーム、素材難燃系についてリスクと環境評価項目を比較した。
代替物質の採用より優るオプションの存在が示唆された。
4. 高性能の物質が規制された場合、いったん**多様な代替物質への移行が起こる**と想定された。**化学物質管理の面からは問題**である。
優れた代替物質の開発が進めば(臭素系ポリマー)、再統合に向かう可能性があり、今しばらく待つことも一つの考え方。

マテリアルフロー解析を基盤としたリスク評価

代替比較に基づく最適オプション選択

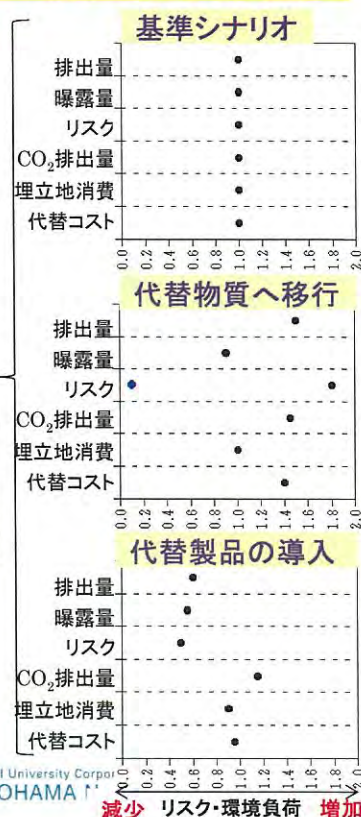
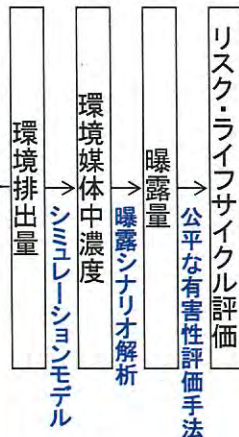
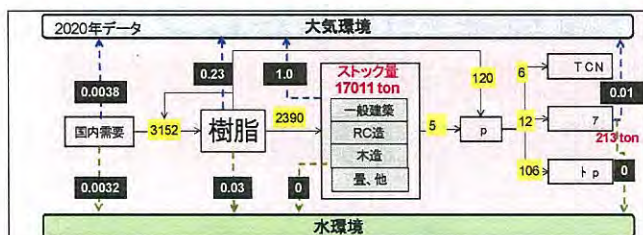
対象物質のマテリアルフローと環境排出



対象物質と同等性能を得る
代替物質の使用量と物性情報

対策すべき
ライフステージ
の特定

代替物質/製品のマテリアルフローと環境排出



マネジメント・研究体制

人的研究体制

- 専任のPDを雇用して研究を推進
- 業界・行政の化学物質安全分野の長年の経験者を技術補佐員として活用
- 産業コンサルタントを活用：業界ヒアリングのアレンジと情報収集の効率化
- 研究協力者として、三宅祐一（静岡県立大学、廃棄物燃焼排出）、吉野悟（日本大学、フィジカルハザード）と連携、院生の活用で実験を効率的に推進

研究実施体制

- アドバイザリーボードを3回実施し、アドバイスをいただいた。
(2010年8月6日、2011年7月6日、2012年8月24日)
- 学会でのシンポジウム企画、産業界などを対象としたワークショップの開催により、関連の研究者や事業者らと適宜や意見交換、情報収集を実施
(2010年9月16日、2012年9月14日、2013年3月21日)
- 毎月1～2回の打合せ会、メーリングリストの活用により、密な連携で運営。
打ち合わせ会議(計35回)。勉強会：隔週程度で開催。
- 外部委託先の活用、限られた時間で効率的に情報を収集
産業界ヒアリング 33社

科学的意義

1. 化学物質リスクをトータルに評価：
マテリアルフロー解析を基盤として、生産・加工から使用・廃棄に至る全ライフサイクルを通したリスクを評価する手法を提示。
2. 使用から、環境放出、環境濃度、ヒト曝露、そして、リスク評価へとつなぐ方法を提示し、代替物質間のリスク比較を容易にした。
3. LCA(ライフサイクル評価)の枠組みに適合しつつ、しかも、時間的、空間的なきめ細さを持ち、代替案間の比較を可能にするリスク評価手法を具体的事例で提示。



研究成果(科学的意義)(2) 論文と発表

著書

- (1) 真名垣聡、小谷健輔、益永茂樹：環境リスクから見た臭素系難燃剤とリン系難燃剤（第5章7節：分担執筆）、「難燃剤の最適処方と燃焼試験」，技術情報協会，p.541-558（2011年）
- (2) 三宅淳巳：難燃化プラスチックの熱分解影響評価（第5章7節：分担執筆）、「難燃剤の最適処方と燃焼試験」，技術情報協会，p. 531-540（2011年）

論文発表(査読有り)

- (1) Managaki S., Hondo H., Yokoyama Y., Miyake Y., Kobayashi T., Miyake A., Masunaga S.: Comparative study between life-cycle HBCD and CO₂ emissions for the risk trade-off analysis, *Organohalogen Compounds*, 72, 1691-1694 (2010).
- (2) Miyake Y., Managaki S., Zushi Y., Kobayashi T., Kameya T., Yokoyama Y., Nakai S., Hondo H., Kimura A., Nakarai T., Oka Y., Otani H., Miyake A. and Masunaga S.: A comparative study of human health risks posed by a flame, retarded curtain with hexabromocyclododecane (HBCD), *Organohalogen Compounds*, 72, 1613-1616 (2010).
- (3) Miyake Y., Tang L., Kobayashi T., Kameya T., Managaki S., Masunaga S., Fujimine Y., Horii Y. and Amagai T.: A Preliminary Study for Combustion of Hexabromocyclododecane (HBCD) and Its By-products (HBCD) and Its By-products, *Organohalogen Compounds Vol. 73*, 412-415 (2011)
- (4) Managaki S., Kobayashi T., Hondo H., Miyake A., Masunaga S.: Substance Flow Analysis of HBCD, Considering the Switch to its Alternatives, *Organohalogen Compounds Vol. 73*, 2063-2066. (August 2011)
- (5) Managaki S., Enomoto I. and Masunaga S.: Sources and distribution of hexabromocyclododecanes (HBCDs) in Japanese river sediment *Journal of Environmental Monitoring* 14[3] 901- 907 (2012) DOI: 10.1039/c2em10621c
- (6) Satoshi Managaki, Iku Enomoto and Shigeki Masunaga: *Journal of Environmental Monitoring* 14[3] 901- 907 (2012) "Sources and distribution of hexabromocyclododecanes (HBCDs) in Japanese river sediment"
- (7) Managaki S., Kobayashi T., Hondo H., Nakarai T., Miyake A., Masunaga S.: *Organohalogen Compounds Vol. 74*, 1510-1512 (2012) "Exposure of HBCD and its alternative flame retardants based on substance flow analysis"
- (8) Oh JK, Kotani K, Managaki S., Masunaga S.: *Organohalogen Compounds Vol. 74*, 596-599 (2012) "Profile for hexabromocyclododecane and its degradation product in river sediment, Japan and Korea"
- (9) 上田裕之、小林剛、亀屋隆志、高橋ゆかり：多様な有機化合物の気相を経由した油脂および脂肪性食品への移行経路の重要性のスクリーニング評価，環境情報科学論文集，Vol. 26, 79-82 (2012)

その他誌上発表

- (1) 真名垣聡：臭素系難燃剤HBCDのライフサイクルを考慮した水環境中への排出経路，水環境学会誌，33(5) 138-141 (2010)
- (2) 井上知也，真名垣聡，益永茂樹：化学物質ベネフィットの定量～臭素系難燃剤の火災リスクとヒト健康リスク，ケミカルエンジニアリング，55(6) 8-13 (2010)
- (3) 小林剛：化学物質のリスク情報基盤と多様なリスク評価の新展開，環境科学会誌，23(6) 480-483 (2010) (環境科学会シンポジウム報告)
- (4) 益永茂樹，小林剛：「環境科学会シンポジウム2012 6. 化学物質のライフサイクルを通じたリスク評価の最新研究」，環境科学会誌，25(6), 456-458 (2012) (環境科学会シンポジウム報告)

環境政策への貢献

1.環境省大臣官房 廃棄物・リサイクル対策部 産業廃棄物課 適正処理・不法投棄対策室からの委託事業として、エックス都市研究所が開催する「平成23年度POPs廃棄物国際的動向等調査検討会」に座長として参画(2011年12月～2012年3月30日)。

検討会では難燃剤HBCDの日本における利用と廃棄について調査し、本研究のHBCDマテリアルフロー解析の成果が利用された。

2.環境省 環境保健部 企画課 化学物質審査室からの請負調査として、みずほ情報総研株式会社が開催する「難分解性・高濃縮性化学物質に係る鳥類毒性検討会」(2011年12月～2012年3月30日)と「HBCDのリスク評価検討会」(2013年)に参画。

本研究プロジェクトで行ったHBCDのマテリアルフローや環境排出の成果も活用された。

3.環境省中央環境審議会環境保健部会における「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」に関連する審議や、経済産業省化学物質審議会審査部会における化審法で化学物質の安全性評価の審議など、本研究担当者が関係している化学物質管理・リスク評価に関する諸委員会において、本研究の成果に基づいて審議の深化に貢献した。

4.国内外の関係研究機関とワークショップ開催等をおこない、国際的な情報発信をした。

アウトリーチ活動

学会における特別シンポジウムの企画・運営

(社)環境科学会2010, 2012年会 シンポジウム
「化学物質のリスク情報基盤と多様なリスク評価の新展開」

2010年9月16日、東洋大学、参加者 約40名

「化学物質のライフサイクルを通じたリスク評価の最新研究」

2012年9月14日、横浜国立大学、参加者約35名

国際的な情報発信

ENFIRO 2nd Workshop 招待講演
(ECB主導の難燃剤の代替オプションに関する原型事例研究プロジェクト)

2012年11月7-8日、ベルギー ブリュッセル

国際Workshop「難燃剤とその代替物質のリスク」

2013年3月21日、東京国際フォーラム(予定)

一般向け公開講座の開催:

研究成果を活用し、実践的な公開講座を実施

2010年 198人、2011年 122人(のべ数)

情報発信WEBサイトの立ち上げ

横国大「化学物質リスクに関する情報プラットフォーム」を活用

HBCD等の製品中残留性化学物質の
ライフサイクル評価と代替比較に基づく
環境リスク低減手法

HOME NEWS 研究プロジェクト 研究者リスト 研究成果 情報プラットフォーム 業績一覧

研究について

平成22年7月に、本学のこれまでの化学物質管理の実績をもとに申請された。環境省環境研究総合推進費(HBCD等の製品中残留性化学物質のライフサイクル評価と代替比較に基づく環境リスク低減手法)が採択された。

製品中化学物質の環境リスクの最小化は、対象物質と代替物質(代替物質/プロセス)双方のライフサイクル(製造・使用・廃棄)を通じてのリスクの把握が重要で、そのためにリスク削減すべきステージの抽出(ライフサイクルリスク評価)と、代替物質のリスク比較に基づいた最適な選択手法(代替比較)の開発が必要となる。本研究室では、



横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

横浜国立大学 環境化学物質リスク自主管理の情報基盤

参考資料

ライフサイクル評価を支える 研究群 (実験結果など)

HBCD焼却時の排出係数の整備と HBCD等のリスク評価のための 多様な曝露シナリオの評価

研究概要

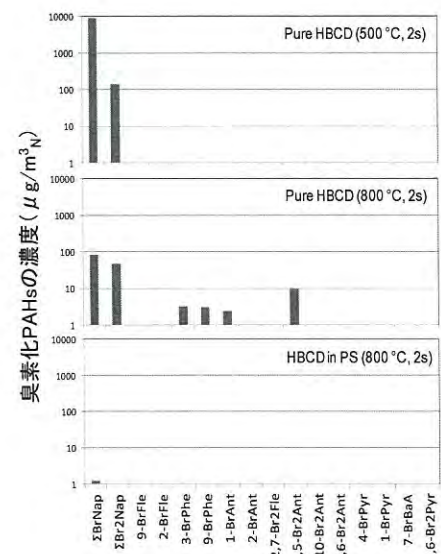
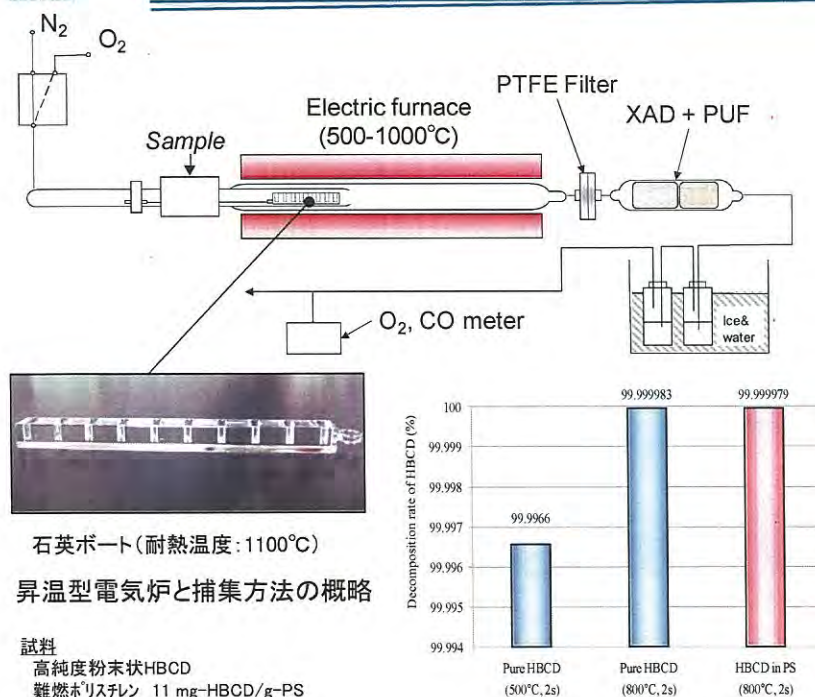
臭素系難燃剤であるHBCD含有製品の最終処分方法の一つとして焼却処理に注目し、
焼却処理によるHBCDの分解率や、副生成する有害物質の排出傾向を調査する。
副生成物質としては、臭素化した多環芳香族炭化水素(PAHs)に着目する。
(臭素化PAHsは、近年、都市大気や焼却排ガス等から検出され、一部は、
モノオルトPCBと同レベルのダイオキシン様活性を持つことが知られている。)

研究成果(平成22～24年度)

- ・ 実際の廃棄物焼却施設を模擬した燃焼実験炉の整備及び燃焼条件の検討
 - 燃焼温度500～1000℃、ガス滞留時間2～8秒の範囲に設定できるような燃焼炉の設計。
 - 燃焼雰囲気は、熱分解のみの窒素雰囲気下と、酸化分解も同時に起こる空気雰囲気下
の燃焼実験ができるように、ガス供給方法の設計。
- ・ 燃焼によって副生成する臭素化多環芳香族炭化水素等の捕集方法、分析方法の検討
 - 臭素化多環芳香族炭化水素類をロスなく捕集するための捕集装置を試作。
テフロンフィルター、XAD-2、PUFへ捕集。
 - 試料の燃焼により生成する分析妨害物質の精製・分離条件を検討。
- ・ 燃焼実験と燃焼生成物の定性・定量と考察
 - 500℃2秒で99.99%以上、800℃2秒で99.9999%以上分解することが確認。
 - HBCD含有ポリスチレンの燃焼実験を実施し、PAHsの生成を確認。
 - 建設系廃棄物焼却施設からの臭素化PAHsの排出濃度は比較的高く、HBCD含有PSの
混入が影響した可能性も示唆される。



燃焼実験炉と燃焼実験結果



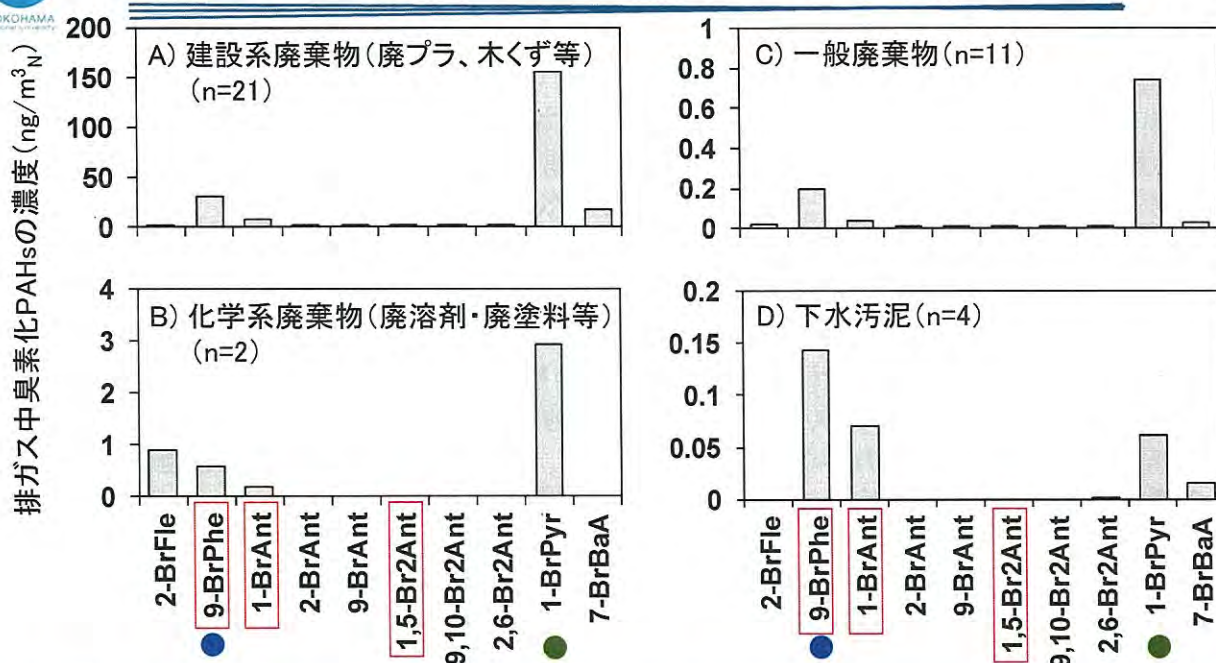
HBCD燃焼実験による臭素化多環
芳香族炭化水素の生成





各廃棄物焼却施設における通常時の排ガス中臭素化PAHsの排出実態の調査

YOKOHAMA
UNIVERSITY



- 臭素化PAHsの合計濃度は、N.D.(<0.01) $\sim$ 1000 ng/m^3 と幅広く、算術平均値は 100 ng/m^3 、中央値は 9.0 ng/m^3 であった。
- 臭素化フェナントレン(9-BrPhe)や臭素化ピレン(1-BrPyr)などが多く生成した。
- 建設系廃棄物では臭素化PAHs濃度が高い。HBCD含有PSの混入が影響している可能性も示唆される。

31



(2) ライフサイクルを通じた曝露評価手法の構築 曝露シナリオの整備と選定方法

研究概要

ライフサイクルを考慮した曝露シナリオデータベースを整備するとともに、ライフステージや曝露対象別の主要な曝露シナリオの抽出手法を検討する。

曝露シナリオのスクリーニングのイメージ

排出媒体	曝露媒体	曝露対象	曝露経路	曝露期間
大気	近傍大気	近傍住民	吸入	慢性
大気	近傍大気	近傍住民	経皮	慢性
大気	地域大気	地域住民	吸入	慢性
大気	広域大気	一般住民	吸入	慢性
大気	水道水	一般住民	経口	慢性
大気	水道水	一般住民	経皮	慢性
大気	井戸・地下水	近傍住民	経口	慢性
大気	井戸・地下水	近傍住民	経皮	慢性
大気	土壌	近傍住民	吸入	慢性
大気	土壌	近傍住民	経口	慢性
大気	土壌	近傍住民	経皮	慢性
大気	魚介類	一般住民	経口	慢性
大気	肉類	一般住民	経口	慢性
大気	乳製品	一般住民	経口	慢性
大気	農作物	一般住民	経口	慢性
大気	その他飲食品	一般住民	経口	慢性

環境動態を表す
物性値等

蒸気圧、ヘンリー定数、Pow、生分解性等
←物性予測ツール等の活用



曝露シナリオの
スクリーニング
(ランキング/スコアリング)

主要な曝露シナリオの選定

研究成果(平成22~24年度)

・曝露シナリオの整理とスコアリング、

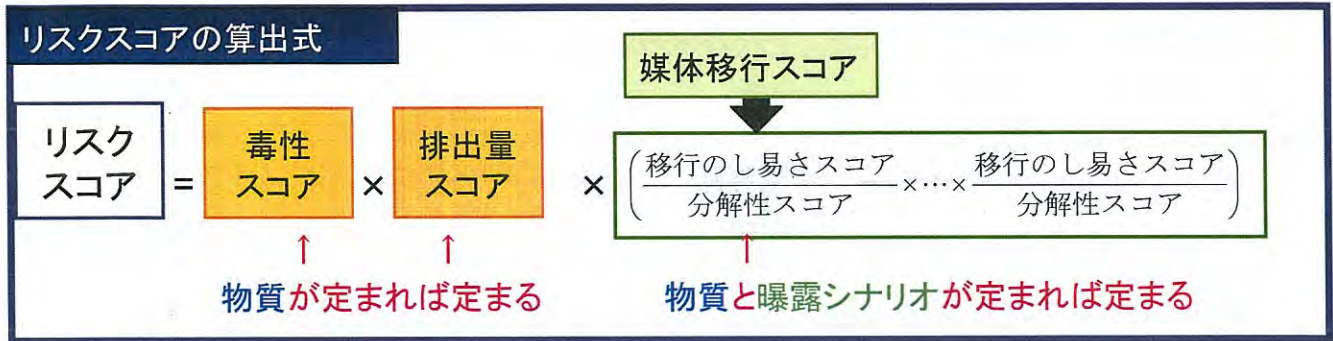
→多様なライフサイクルからの環境への排出を考慮して411の曝露シナリオに整理し、毒性スコア、排出量スコア、媒体移行スコアのスコアリングにより、リスクスコアを算出するプログラムを作成できた。

・主要な曝露シナリオの選定方法の整理

→主要な曝露シナリオの選定方法を検討し、HBCDについては、大気や水への排出後、直接摂取以外に家畜や魚類等への生物濃縮の検討が重要であることが確認できた。

32

各スコアの算出と2つの考え方



ある曝露シナリオについて、どのような物質がリスクが高いか考える場合

- ・ 定めた曝露シナリオについて、リスクスコアの相対順位の大きい物質に着目

ある物質について、どのような曝露シナリオが懸念されるか考える場合 (HBCD)

- ・ リスクスコアが大きい曝露シナリオに着目



HBCDと代替物質のスコア

	HBCD	TBNP	TBCO	TDBPIC	BCA	ADPP
①毒性スコア 1～12	5 4					
②排出量スコア 0～8	3 2					
③-1 媒体移行スコア (移行し易さのスコア) × 1～4 ○						
近傍大気、大気 → 河川・湖沼水、海水	4	4	4	4	4	4
近傍大気、大気 → 土壌	3	4	2	4	2	3
近傍大気、大気 → 農作物・牧草	4	4	3	4	4	4
河川・湖沼水、海水 → 近傍大気、大気	1	1	3	1	1	1
河川・湖沼水、海水 → 堆積物	4	4	3	4	2	2
河川・湖沼水、海水 → 魚介類	4	4	4	4	1	1
土壌 → 近傍大気、大気	1	1	3	1	1	1
土壌 → 地下水	1	1	2	1	3	3
土壌 → 河川・湖沼水、海水	1	1	1	1	2	2
土壌 → 農作物	1	1	1	1	2	2
近傍大気、大気、土壌、農作物・牧草 → 家畜	4	4	4	4	1	1
室内空気 → 油含有食品	4	4	4	4	4	4
地下水、水道水 → 室内空気	1	1	4	1	1	1
河川・湖沼水、地下水 → 家畜	4	4	4	4	1	1
河川・湖沼水、地下水 → 水道水	1	1	2	1	3	3
土壌 → 室内空気	1	1	3	1	1	1
堆積物 → 河川・湖沼水、海水	1	1	2	1	3	3
堆積物 → 魚介類	4	4	4	4	1	1
田 → 河川・湖沼水、海水	2	2	2	2	2	2
③-2 媒体移行スコア (分解し易さのスコア) × 1～4 ○						
大気中分解	1	3	1	2	2	3
水中分解	1	1	2	1	2	2
土壌中分解	2	1	2	2	2	2

→HBCDは各媒体から生体等に濃縮しやすい。TBCOは揮発性がやや高く異なる挙動34



HBCDとBCAの比較例

YOKOHAMA
National University

ある曝露シナリオについて、HBCDのリスクは相対的に高いのか

→ 各曝露シナリオのリスクスコアがPRTR対象物質の中で上位何%に位置するか？

				HBCD	BCA
例) 近傍大気	大気	家畜	吸入	29%	68%
			経口	5%以内	58%
	河川・湖沼水	水道水	経口	5%以内	58%
			経口	27%	67%
河川・湖沼水	海水	魚介類	経口	5%以内	52%
	水道水		経口	26%	68%
	家畜	乳製品	経口	7%	64%

HBCでや魚介類や家畜など、
生物濃縮が関係すると高順位

HBCDについて、どのような曝露シナリオが懸念されるか

→ リスクスコアの大きなシナリオは？

				HBCD	BCA
例) 近傍大気	大気	家畜	吸入	60	12
			経口	96	12
	河川・湖沼水	水道水	経口	96	12
			経口	24	5
河川・湖沼水	海水	魚介類	経口	64	4
	水道水		経口	32	3
	家畜	乳製品	経口	64	8

35

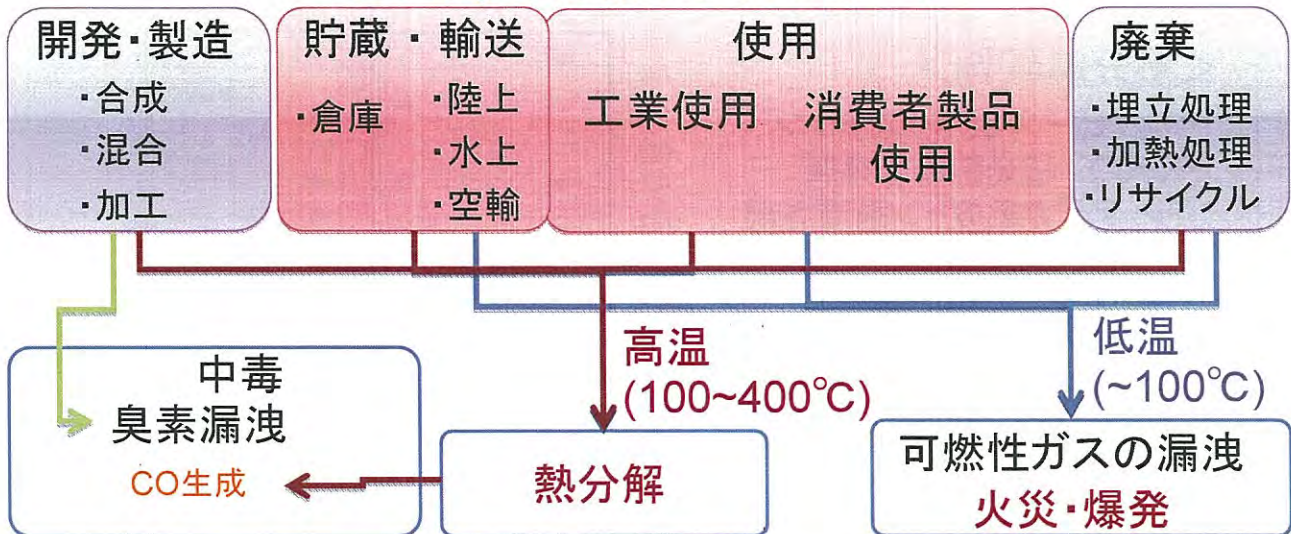


YOKOHAMA
National University

HBCD含有発泡ポリスチレンの 生成ガス分析



化学品/成形品のライフステージ



2種類の生成ガスシナリオ

- ①発泡ポリスチレンからの可燃性ガスが、倉庫などでの貯蔵時に着火して火災発生
- ②発泡ポリスチレンの火災初期に、熱分解で生成されたCOによる中毒

HBCD含有ポリスチレンからの生成ガス比較

低温と高温加熱での生成ガスの比較実験

加熱装置	温度・時間	生成ガス	実験および結果
①迅速熱解析装置(FTAI)	低温(~100°C)・1時間	可燃性ガス	・HBCD含有発泡ポリスチレンの2種類(XPS, EPS)を比較 ・EPSはXPSより、ガス発生量が少ない傾向にある
②熱分解装置	高温(~400°C)・1時間	有害ガス(CO)	・ポリスチレン/2種類の難燃剤(HBCD, リン系)混合物を比較 ・400°CでのCOガス発生量は、リン系難燃剤品の方がHBCD含有品より少ない傾向にある

<熱分解試料>

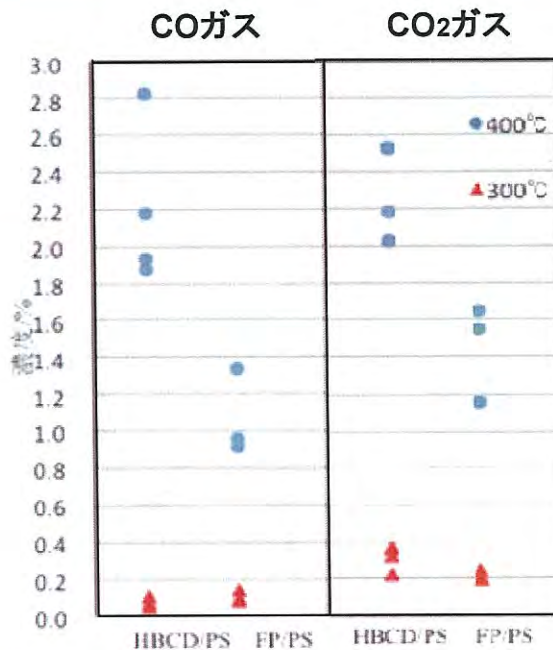
- ・PS: ビーズ状ポリスチレン
- ・HBCD: 和光純薬工業製
- ・FP: アデカ製のリン系難燃剤
FP-2200

<難燃剤の含有量>

- ・PS: HBCDなし
- ・HBCD/PS: 1wt%
- ・FP/PS: 1wt%

<備考>

- ・ビーズと粉末を混合

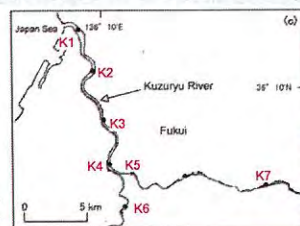


400°CでのCOガス発生量は、HBCDよりリン系難燃剤の方が少ない

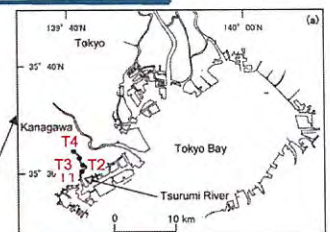
HBCDの環境モニタリング モデルによる環境媒体中濃度予測の検証

調査河川

- ・発泡ポリスチレン断熱材製造工場のある淀川
- ・繊維難燃加工業の集中する九頭竜川
- ・工業からの直接排出源のない都市河川、鶴見川

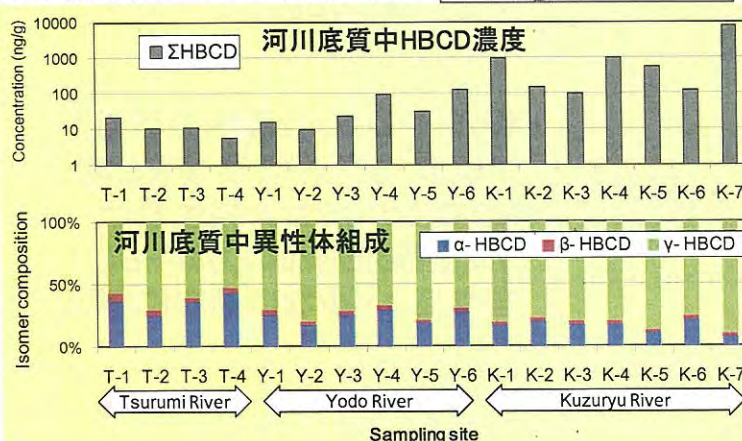


九頭竜川



鶴見川

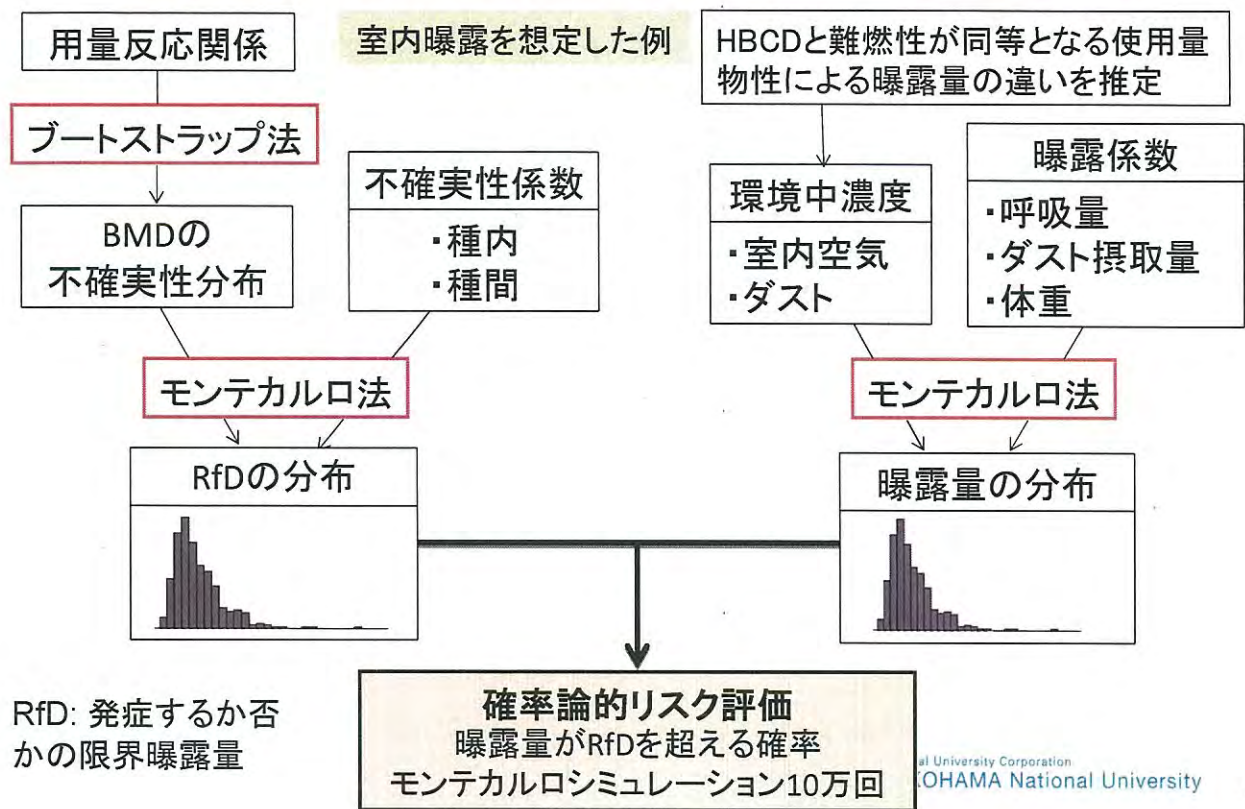
河川底質中HBCD濃度と組成



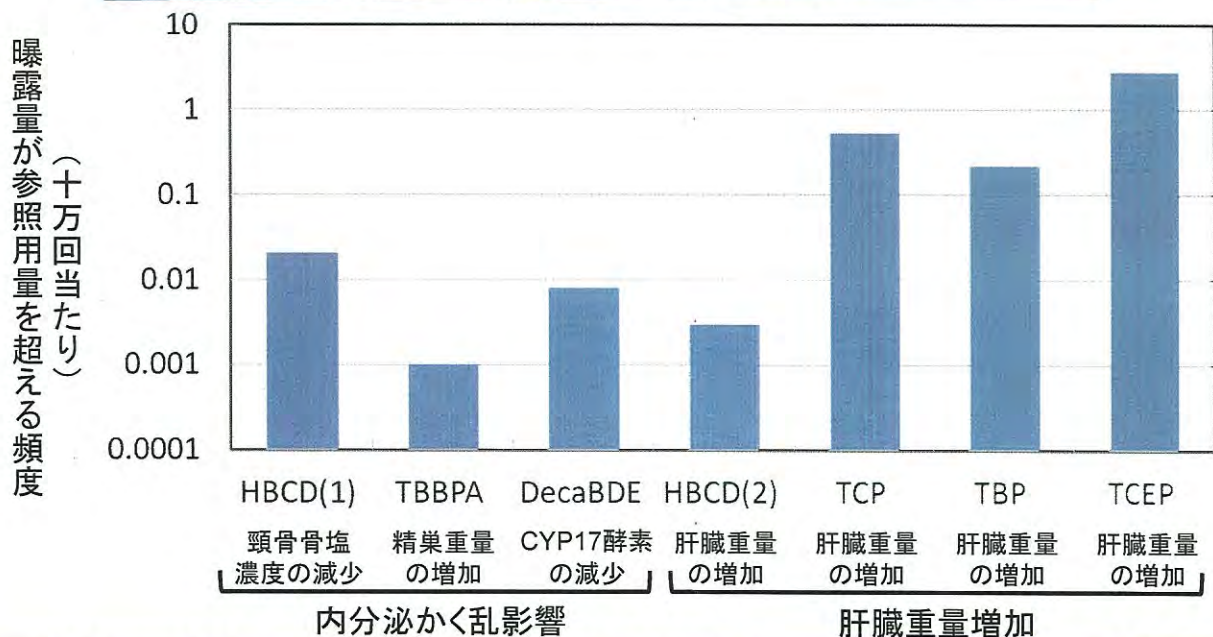
結果

- ・繊維難燃加工業の集中する九頭竜川で底質中濃度が高い。
- ・α, β, γ-異性体組成は河川で異なる
- ・光学異性体組成に偏りが見られ、生物分解を示唆(図省略)

精度の異なる用量反応関係情報が存在する場合の公平な代替物質リスク比較手法



公平な代替物質間のリスク比較の例 確率論的リスク評価



- 類似エンドポイントに対する毒性データがあれば、実験設計や不確実性を考慮したリスク比較が可能になった。
- 本事例(限定された曝露条件)では、リン系難燃剤への代替はリスクを高め、他の臭素系難燃剤への代替ではリスクを低減できる可能性が示唆された。