

## 目次

### はじめに

1	環境排出量の推定 .....	4
1.1	ライフサイクルの把握の必要性 .....	4
1.2	マテリアルフロー .....	4
1.3	マテリアルフローの一般的な作成方法 .....	6
1.4	動的マテリアルフローの作成 .....	7
1.5	マテリアルフロー解析の用途と効果 .....	8
1.6	排出量の推計方法 .....	10
1.7	事例物質のマテリアルフロー .....	11
2	曝露シナリオの作成 .....	12
2.1	排出源情報の整理 .....	12
2.2	排出後のシナリオ .....	14
3	曝露評価 .....	16
3.1	環境濃度の推定 .....	16
3.2	摂取量推定 .....	18
4	有害性評価 .....	19
5	リスク評価 .....	20
5.1	フィジカルリスク .....	20
5.2	ヒト健康リスク評価 .....	21
5.3	HBCDの評価事例 .....	21
6	リスク評価結果の総合的判断 .....	23

はじめに

本文書は、化学物質の製造から使用、廃棄に至るライフサイクルをとおした管理を徹底するため、ライフサイクルにおけるさまざまなリスクを総合的に判断する考え方と必要な情報を示すために作成する。本文書の読者は、企業の環境・安全担当者、行政の化学物質管理担当者を想定し、使用目的として、企業における新製品の開発、新規プロセスの採用または定期的見直し、顧客からの要請などに基づく評価に、行政においては新たな規制の導入に際して行われるリスク評価等に活用が期待される。

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。そのため、化学物質のライフサイクルに亘り様々な法規制が整備されている（図-1）が、市場に存在する多くの化学物質全て

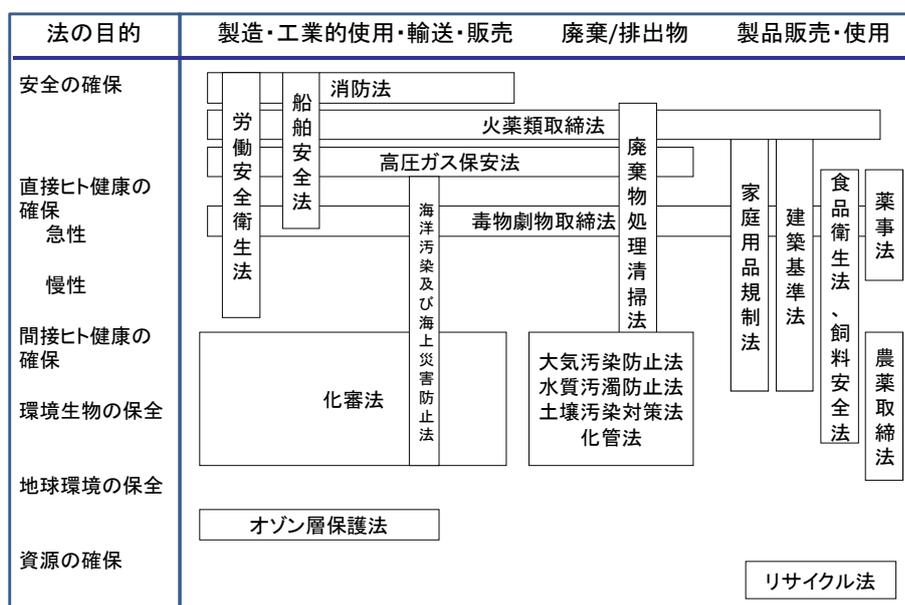


図-1 化学物質のライフサイクルに適用される法規制

の用途に適用することは不可能で、事業者の自主管理が強く求められている。そのため、事業者は、これらの様々なリスクの発現を未然に回避し、かつ、地球環境や資源問題等のグローバルな社会の要請に応えるため、ライフサイクルに亘ってリスクを適正に管理する必要がある。そのためには、ライフサイクルの視点で、さまざまなリスクと社会の要請を考慮し、科学的なリスク評価の結果に基づき、費用便益を考慮しながらリスク削減手法を選択することによってリスクを効率的に最小化するリスク管理を実施する必要がある。

従来、日本における化学物質のリスク評価は、化学物質の法体系に基づきヒト健康・環境中生物への長期毒性による影響評価が中心で、リスク削減対策を実施すると火災リスクなど別のリスクが出現（リスクトレードオフ）するケースもあり、必ずしも総合的にリスクが減少したと言えないケースも少なからず起こっている。また、作業環境や輸送段階の事故等による急性曝露や火災爆発による影響評価の事例は少なく、代替物質によるリスクトレードオフや温暖化とヒト健康影響など異種のリスクとの比較研究も始められたばかりである。LCAは製品レベルで評価されているが、ヒト健康を含め

た評価事例はまだ少ない。

このため、ライフサイクルにおけるさまざまなリスクを評価し、トレードオフの関係にあるリスクを考慮しながらライフサイクル全体のリスクを最小化する化学物質管理が求められている。

ライフサイクルリスク評価の目的としては以下が挙げられる。

＊製造化学物質の安全性の確認：流通している化学物質のライフサイクルにおける安全性を確認し、取扱者へ必要な情報を提供する（リスクコミュニケーション）ためのスクリーニング的評価

＊新製品・新プロセス開発時のリスク評価：限られた情報の中で、ライフサイクルにおける重要かもしれないリスクを拾い出す評価

＊事業所の環境安全管理：事業所で取扱う化学物質の火災・爆発によるリスク、従業員、事業所近傍、広域でのヒト健康影響評価など

＊消費者製品として家庭内で使用される化学物質によるヒト健康リスクの評価

＊行政の化学物質管理担当者については、用途又はライフサイクルのどの段階での対策が効果的かを検討する総合的なヒト健康リスクの評価

ライフサイクルのリスク評価を行うにあたり、まず、目的に応じてリスク評価の範囲と詳細度を決める。例えば、新製品開発であれば、主な用途のライフサイクルに関する情報、懸念のある化学物質の評価であれば、全ての用途の詳細なライフサイクルにおける情報が必要となる。

ライフサイクルリスク評価の手順と必要な情報を図-2 に示す。

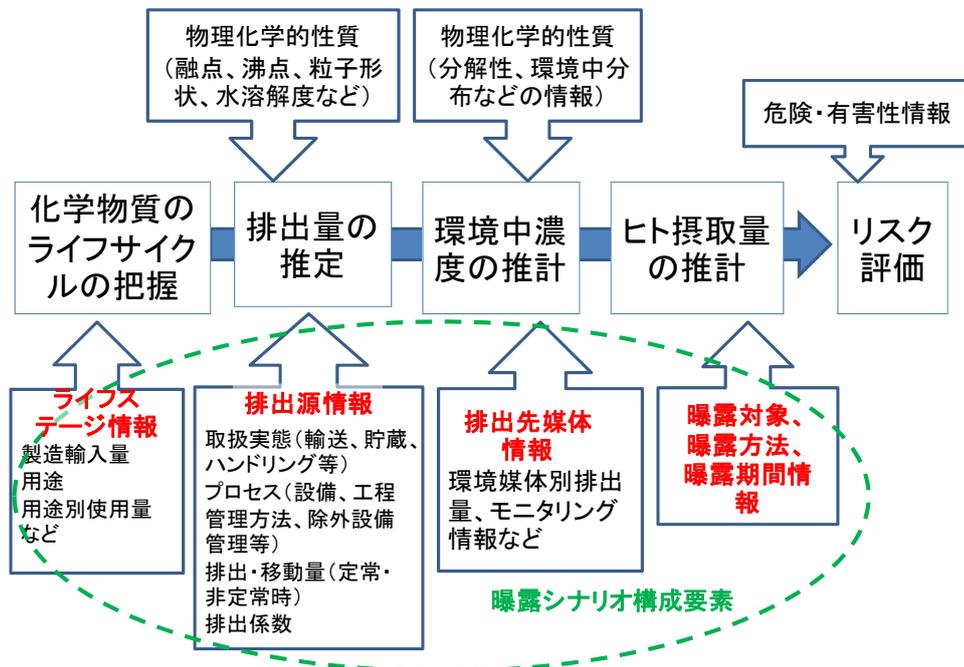


図-2 ライフサイクルリスク評価の手順と必要な情報

本ガイドラインは、ライフサイクルにおけるリスク評価に必要な情報を特定し、ツールを選択してリスク評価を実施する手法について解説する。

## 1. 環境排出量の推定

### 1. 1 ライフサイクルの把握の必要性

リスク評価に基づく化学物質管理では、製造から使用、リサイクル・廃棄に至る化学物質のライフサイクル全体でどのくらいの量が、どのように取り扱われているかを把握することが基本となる。そのため、化学物質の製造・輸入企業や化学物質を使用して製品を製造する企業は、当該化学物質がどのように使用され、廃棄されるかを考慮して、安全な取扱いに関する必要な情報を関係者へ伝達したり、製品設計を行ったりする必要がある。欧州の化学物質規制である REACH では、川上企業が川下の用途を把握し、リスク評価することが求められている。ライフサイクルをとおしたリスク評価が可能になれば、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、リスクの大きい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。特に、リスクが懸念される化学物質では、リスクが管理できる用途と管理が難しい用途を区別し、リスクと便益を考慮し、安全が確認された用途に限定して使用する管理が必要となる。また、代替化学物質・製品を選択する場合もライフサイクル全体を比較して妥当な判断をする必要がある。

そのためには、ライフサイクルをとおして化学物質が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先ず求められる。

### 1. 2 マテリアルフロー

化学物質のライフサイクルを把握し、解析する手法として、マテリアルフロー分析とサブスタンスフロー分析がある。マテリアルフロー分析 (Material flow analysis; MFA) は国、地域、産業部門などを単位として物質の流れと収支の定量化、及び資源消費や環境負荷の体系的な把握によって環境資源効率や環境への排出を改善しようという手法をさす<sup>1</sup>。これは経済活動にともなう物質の出入りの総量をとらえるものに主眼をおくアプローチである。サブスタンスフロー分析 (Substance flow analysis; SFA) は、環境面で重要性の高い特定の元素や化合物について詳細に分析するアプローチである。一般的に、この両者は区別されずに使用されることもあり、本ガイドラインでは両者を含めマテリアルフローとして使用する。

MFA や SFA により物質バランスが定量化されることは社会全体が環境負荷を考慮するための統一した考えを構築し、環境負荷の把握による化学物質の管理、製品の 3R(リデュース、リユース、リサイクル)を進めるための理論的根拠として重要な意味をもつ。

MFA、SFA に関連する先行研究としてはこれまで省資源社会、低炭素システム、リサイクルの可能性に主眼がおこなわれている。特に資源有効性、環境負荷の把握といった観点から金属元素に関する研究・報告例が多く、これらの研究は物質の出入りの総量をとらえることに目的が置かれている。一方、有機化合物や有害大気汚染物質となっている一部の重金属元素(ニッケル化合物等)は循環型社会促進、廃棄物管理に基づき特にリサイクル工場や焼却場、埋立地からの環境排出量も考慮に入れて研究が進められている。以下に、いくつかの例を紹介する。

---

<sup>1</sup> Bouman, M., R. Heijungs, E. van der Voet, J. van den Bergh, G. Huppes. Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA, and partial equilibrium models. *Ecological Economics*, 32, 195-216, 2000

先行事例で扱われている元素、化合物等

金属元素；鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛、金、銀、ニッケル、マグネシウム、クロム、マンガン、カドミウム、クロム、セレン、アンチモン等

有機化合物；High-density polyethylene (HDPE)、Low-density polyethylene (LDPE)、Polyethylene terephthalate (PET)、Polyvinyl chloride (PVC)、 Polypropylene (PP)、Polystyrene (PS)、Polyurethane (PU)、臭素系難燃剤（デカブロモジフェニルエーテル；Deca BDE 等）

その他；木材、紙、プラスチック、TV、スチール、建築資材等

銅、鉛、亜鉛、アルミニウム、金、銀、マグネシウム及びレアメタル 31 鉱種、計 40 鉱種を対象に、需給状況及び動向等を調査分析し、鉱種毎のマテリアル・フローを独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が作成し取りまとめている。

[http://www.jogmec.go.jp/mric\\_web/jouhou/material\\_flow\\_frame.html](http://www.jogmec.go.jp/mric_web/jouhou/material_flow_frame.html)

有機化合物については、ポリマーに関するLCインベントリデータ、臭素系難燃剤のマテリアルフロー<sup>2</sup>、その他については国立環境研究所のマテリアルフローデータベース<sup>3</sup>などがある。

これらのマテリアルフローは資源の需給状況及び動向等の調査分析や環境会計の基礎資料として活用されている。一方、有機化合物については金属元素と比べると研究例は少ない。信頼性の高い基礎データの蓄積という点でもさらなる研究事例が望まれる。

ここでは、先行研究から、化学物質のリスク評価に活用しているマテリアルフローの例と使用されている情報、手法について例示する。

#### 例 1. デカブロモジフェニルエーテル

デカブロモジフェニルエーテル（DecaBDE）の発生源解析、排出量推定を目的として、生産から廃棄までの動的マテリアルフロー分析を用いた排出量推定方法を構築するとともに、日本全国を対象とした DecaBDE の環境排出量を推定した（山口 治子、恒見 清孝、東海 明宏、*環境科学会誌*, Vol.19, No.4, pp291～307 (2006)、中西、東海、岩田、詳細リスク評価書シリーズ「デカブロモジフェニルエーテル」、丸善、2008）。

#### 例 2. 鉛

PRTR 制度での排出量調査とこの制度では完全に把握できていない鉛の廃棄段階での環境排出量を独自の調査で推定し、マテリアルフロー解析を行った。その結果から日本国内の鉛の排出量を推定している（中西、東野、詳細リスク評価書シリーズ「鉛」、丸善、2008）。

<sup>2</sup> Carsten Lassen, et. al., Brominated Flame Retardants –Substance Flow Analysis and Assessment of Alternatives, Environmental Project Nr. 494, 1999

<sup>3</sup> [http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/enterprise/flow/flow\\_index\\_j.html](http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/enterprise/flow/flow_index_j.html)

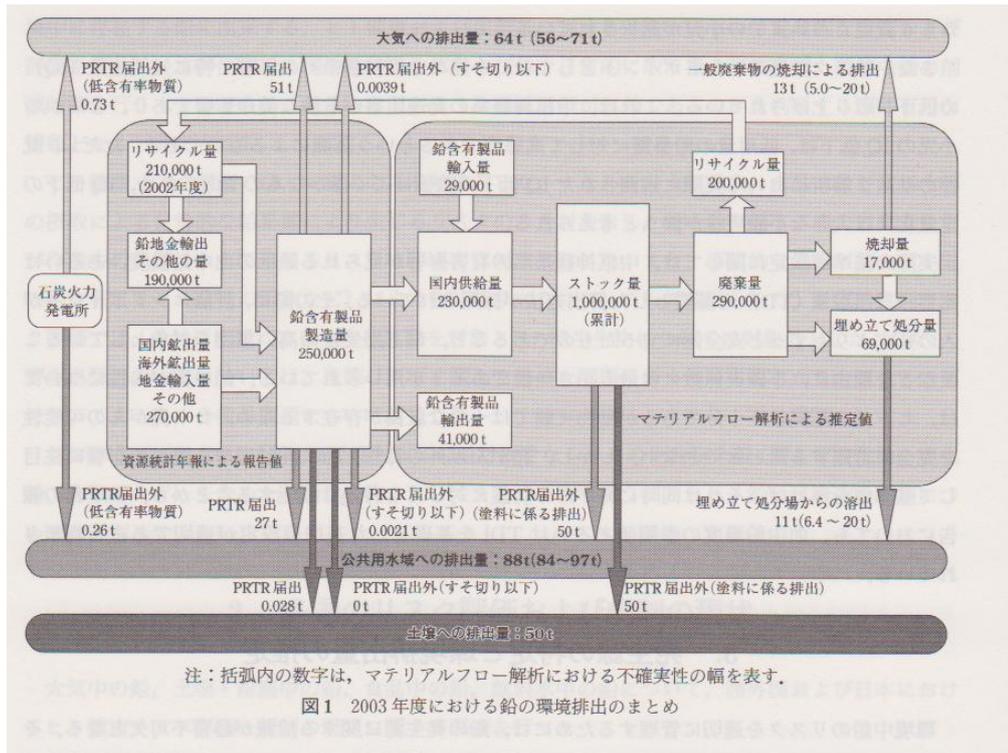


図-3 鉛のマテリアルフロー 詳細リスク評価書 (図Ⅲ.25) から

### 例 3. 短鎖塩素化パラフィン

短鎖塩素化パラフィンは、金属加工油剤やプラスチック類の可塑剤として使用され、それぞれの用途での使用量と廃棄方法からマテリアルフローを作成し、EU のリスク評価書ガイドラインなどの排出係数データを利用して環境中への排出量を推計した (中西、恒見、詳細リスク評価書シリーズ「短鎖塩素化パラフィン」、丸善、2005)。

#### 1. 3 マテリアルフローの一般的な作成方法

対象とする化学物質の製造から、各用途ごとに、工業的に使用した製品の製造、使用を経て廃棄に至るフローを作成する。マテリアルフローの様式の例を図-4 に示す。

マテリアルフロー作成に必要な情報は、生産量、輸入・輸出量、用途、用途別使用量、用途における製品製造、製品の輸出、輸入製品、消費実態 (取り扱い、使用年数)、排出量 (PRTR データ、排出係数)、移動量 (廃棄物処理方法)、リサイクルの実態などである。

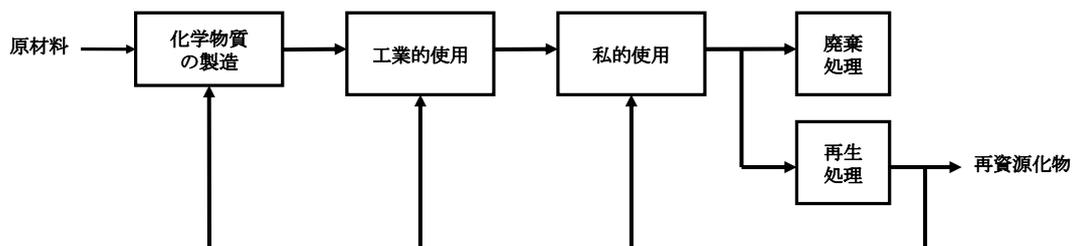


図-4 マテリアルフローの概念図

図-4 にマテリアルフローの概念図を示す。□で示したプロセスごとに物質収支を求める (図-5)。

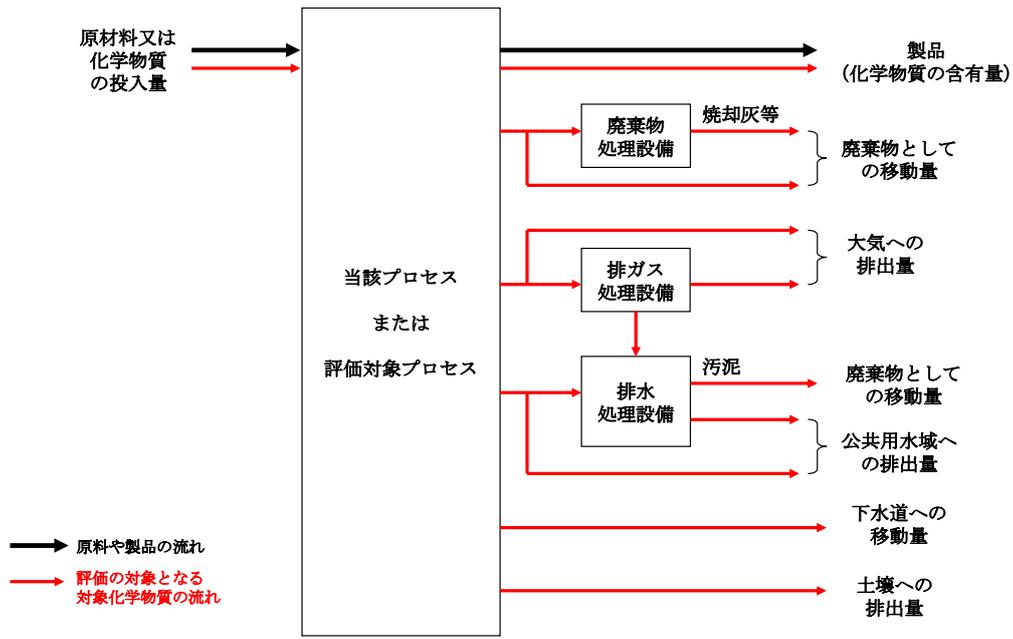


図-5 プロセスの物質収支の表し方

化学物質の用途毎にマテリアルフローを作成して、全ての用途を統合すると、図-6 で示したような、対象化学物質の関与するマテリアルフローが完成する。

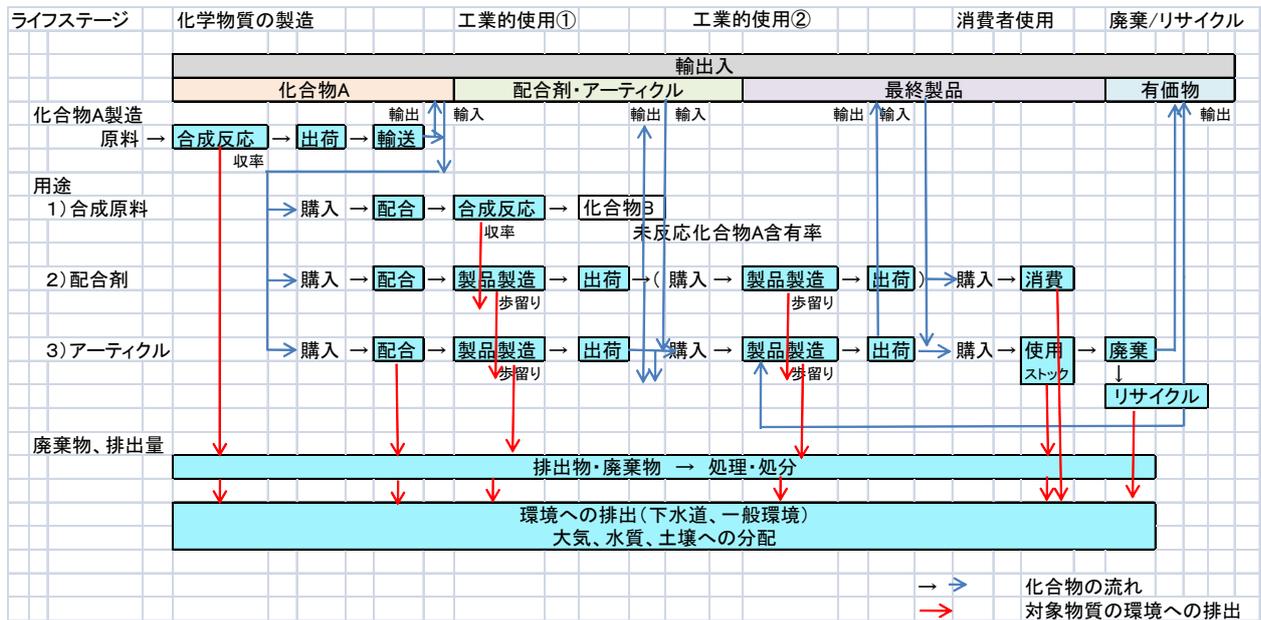


図-6 マテリアルフローの一様式

作成の手順

- 1) 用途・製品別に対象物質 (化合物 A) に関するフローを作成
- 2) 生産量、用途ごとの使用量等の定量的な情報を入れる
- 3) 環境中への排出量、廃棄物移動量をフローに重ね合わせる

#### 1. 4 動的マテリアルフローの作成

使用量等の定量的データは、マテリアルフローの時間的、空間的条件を設定して、収集する対象範囲（地域、国全体など）及び期間などを設定する。複数年のデータがあり、マテリアルフローの動向を調査したい場合は動的マテリアルフローの作成が便利である。特に、化学物質が製品に含有され、一定期間使用された後に排出物となったり、製品の試用期間中に排出がある場合は、単年度のフローでは全体の状況が把握できない。市場に存在する製品中の化学物質の量（ストック）、製品の使用年数、使用後の廃棄の方法や廃棄量に関する情報も必要となる。

製品が市場に投入された時期からの経年の生産量と、製品の使用年数から市場にストックされる量を把握し、動的マテリアルフローを作成する。将来の需要予測を入れれば将来のマテリアルフローを予測することもできる。

耐久消費財の寿命分布を説明する際に良く用いられる関数としてワイブル分布関数がある。t年度末において使用年数 y 年の製品が廃棄される割合  $Wt(y)$  は次の式で求められる。

$$Wt(y) = 1 - \exp[-(y/y_t)^b \times \{\Gamma(1+1/b)\}^b]$$

$y_t$  は平均使用年数、 $\Gamma$  はガンマ関数、 $b$  は使用年数分布を示すパラメータで自動車、テレビ、エアコン、冷蔵庫などは 3.0～4.0

#### 平均使用年数の設定（例）

一般に平均使用年数は製品の使用状況により異なり、一意に定めることは困難であるとし、小野らはカテゴリーとして平均使用年数を設定している。

表 1 平均使用年数カテゴリー

	年数	代表値（年）
非耐久消費財	0	0
短期	2～3	2.5
中期	5～10	7.5
長期	10～20	15
超長期	20年以上	25

詳細リスク評価書シリーズ「カドミウム」より

国税庁は減価償却用に耐用年数表を公開している

([https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/18386/faq/19812/faq\\_19838.php](https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/18386/faq/19812/faq_19838.php))

（参考）小口正弘・亀屋隆志・谷口昇・浦野紘平「製品特性に関する数量化分析を用いた電気・電子製品の平均使用年数の推定」廃棄物学会論文誌，Vol.18, No.3, pp.182-193, 2007 などもある。

#### 廃棄物の処理方法の設定

一般廃棄物・産業廃棄物、焼却・埋立、リサイクルなど、製品ごとにどのような処理が行われるかの情報を収集し、フローに反映させる。この段階の情報収集は難しく、データのある類似の製品に当てはめてシナリオをつくるのが効率的と考える。

1. 5 マテリアルフロー解析の用途と効果 ～何がわかるか～

マテリアルフローは化学物質の取り扱いを定量的に表せるため、製造から廃棄に至る化学物質のライフサイクルにそって、ライフステージ毎に、物流量（フロー）とストック量が把握できる。単年度のフローはもとより、過去のデータや将来の需要動向に関するデータがあれば、複数年のフロー（動的マテリアルフロー）が描け、過去からの変動や将来予測が可能となる。フローとストックから環境への排出量を推定すると排出先媒体を含めたマテリアルフローが描ける。

このようなマテリアルフローを解析することで、化学物質の物質収支から、資源や廃棄物のフロー及びストックの定量評価に基づき、資源・環境問題の実態が把握可能となる。

H16 年度にNEDO事業として「マテリアルフロー解析を用いる革新的環境評価システムに関する戦略調査研究」が実施され、鉛と塩素のマテリアルフロー解析を行い、マテリアルフローの用途と効果について調査している。その調査結果では、国レベルでのリスク管理政策検討への活用、将来的な技術や政策措置の物質フロー上の効果の分析、リスク削減プロジェクトの技術開発の方向性の検討、業界レベルでのリスク削減検討への活用等を挙げている<sup>4</sup>。

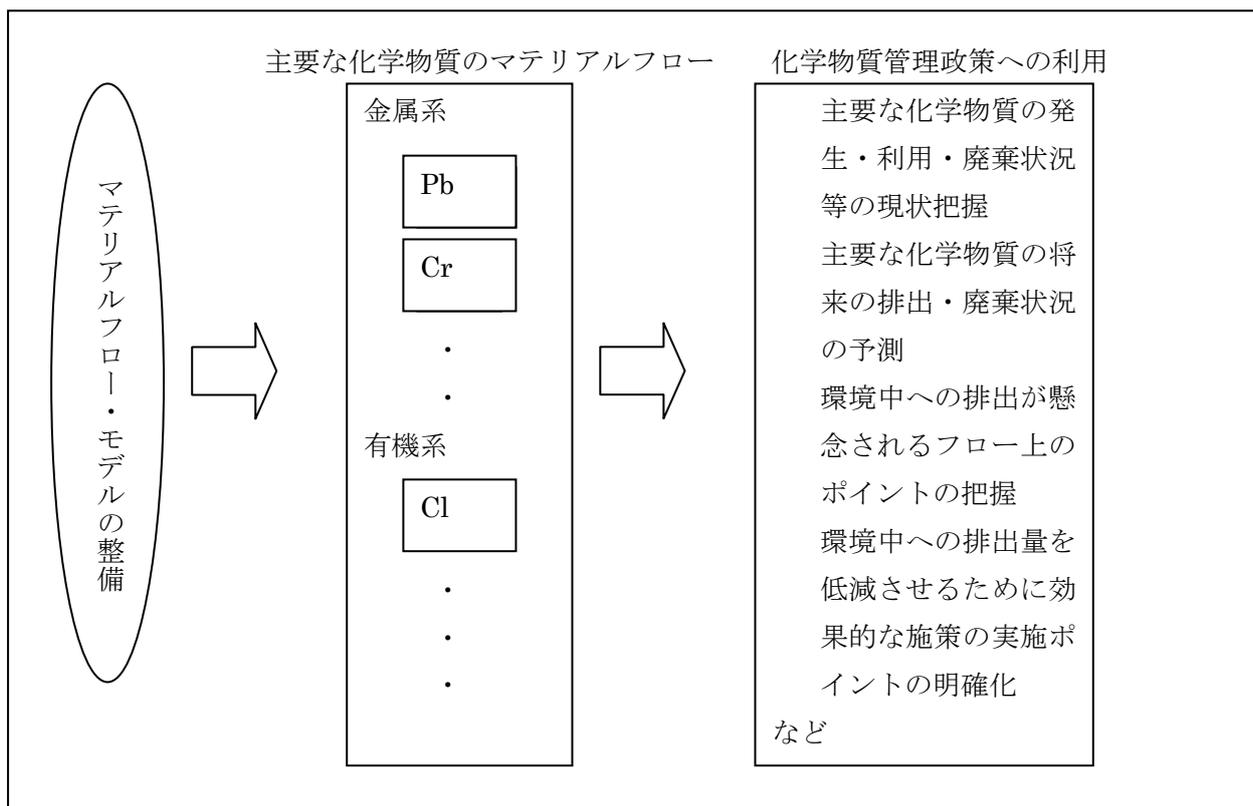


図-7 国レベルでのリスク管理政策検討への活用イメージ

「マテリアルフロー解析を用いる革新的環境評価システムに関する戦略調査研究」報告書より

<sup>4</sup> 平成16年度「マテリアルフロー解析を用いる革新的環境評価システム検討調査」報告書、新エネルギー・産業技術総合開発機構、2005年3月

## 解析結果の不確実性の考慮

マテリアルフロー解析の不確実性について評価するために、解析結果の 度解析を行う。すなわ 、マテリアルフロー作成に用いたパラメータの変動で、解析結果がどれだけ変動するかを調べる。

度解析の方法としては、用いたパラメータを 10 あるいは、1/10 に変化させ、結果がどのように変化するかを検討する。どのパラメータの影響が大きいか分かる。

## 1. 6 排出量の推計方法

排出量の推計方法にはPRTR制度で、物質収支、実測、排出係数、物性値、その他の確に 出できる方法などを例示している。業種別に排出量等 出マニュアルが作成されているので、PRTR対象物質であればこのマニュアルが活用できる (<http://www.prtr.nite.go.jp/prtr/calc.html>)。ここでは排出係数による推計方法について説明する。

排出量推計に必要な要素として以下がある。まず、これらの情報を整理する。

ライフサイクルにおけるプロセスや使用での物質の取り扱い量

排出源からの排出経 (大気、水域、土壌、廃棄物)

排出係数

排水処理設備などの排出削減手法による削減効果

排出量を推計する対象設備 (排出源) の時間的、空間的範囲 (分布状況)

設備の 働日数

排出係数は、排出量が求められていない工 について、過小評価とならないよう、デフ ルト値として設定しているもので、ECD Emission Scenario Document (ECD-ESD) 及びEuropean Chemicals Bureauの Technical Guidance Document on Risk Assessment (EC-TGD) から入手可能である。

また、EUのリスク評価書では、実測等に基づいた排出係数を使用して環境への排出量を求め、リスク評価に使用している。

一方、産業技術総合研究所では、情報が少ない物質への適用を可能にするために、 剤、プラスチック 加剤など5つの用途 について排出シナリオ文書 (Emission Scenario Document ; ESD) を作成し、排出係数を求める研究を行っている

([http://www.aist-riss.jp/projects/RTA\\_study\\_1.html](http://www.aist-riss.jp/projects/RTA_study_1.html))。

化学物質の製造や工業的使用時の取扱い実態を把握し、製造設備や 設備、廃棄処理方法に関する情報を収集して、最適な排出係数を選択すれば、各ライフステージからの環境媒体中への排出量を推計することが可能である。

化 法のリスク評価では、「化 法における 種及び 種 視科学物質に関するリスク評価の技術ガイダンス」において化 法で提出された生産、使用量に排出係数かけて排出量を推計することになっている。<http://www.safe.nite.go.jp/risk/kasinn.html>

排出係数の例を TGD から 用する。

表-3 排出係数の例

ライフステージ	排出先媒体	取扱量	蒸気圧(Pa)	排出係数			
				全てのMC	MC=1b	MC=1c	MC=3 (Default)
製造	大気		<1		0	0	0.00001
			1-10		0	0.00001	0.0001
			10-100		0.00001	0.0001	0.001
			100-1,000		0.0001	0.001	0.01
			1,00-10,000		0.001	0.005	0.05
			>10,000		0.005	0.01	0.05
	排水	<1,000t >1,000t		0.02			
				0.003			
	土壌			0.0001			
	配合	大気		<10		0.0005	0.001
10-100					0.001	0.0025	0.005
100-1,000					0.0025	0.005	0.01
>1,000					0.005	0.01	0.025
排水		<1,000t >1,000t		0.02			
				0.003			
土壌			0.0001				
	用途			排出係数			
				大気	表流水	土壌	
工業的使用	Default			0.1	0.1	0.8	
	エアゾール噴射剤			1	0	0	
	クリーニング溶剤、洗剤及び添加剤、着色剤、着香剤			0	0.1	0.4	
	肥料			0	0.05	0.95	
	食品、飼料添加剤			0	0	0.05	
	溶剤			1	0	0	

排出係数使用上の 意

排出係数採用の 先順位

実測値

PRTR データ排出量 出マニュアル

PRTR 対象物質と類似化合物の場合は に基づき推定（物理化学性状、用途、取扱方法）

デフ ルト値

可能な限り実測値あるいは根拠のある排出量 出方法を検討する。EU-Risk Assessment Report (RAR) が参考になる。これらが られない場合はデフ ルト値を設定する。デフ ルト値を採用した場合は、過大に排出量を推計する場合もあるため 意が必要と考える。

## 1. 7 事例物質のマテリアルフロー

事例物質 HBCD のマテリアルフローの例を示す。

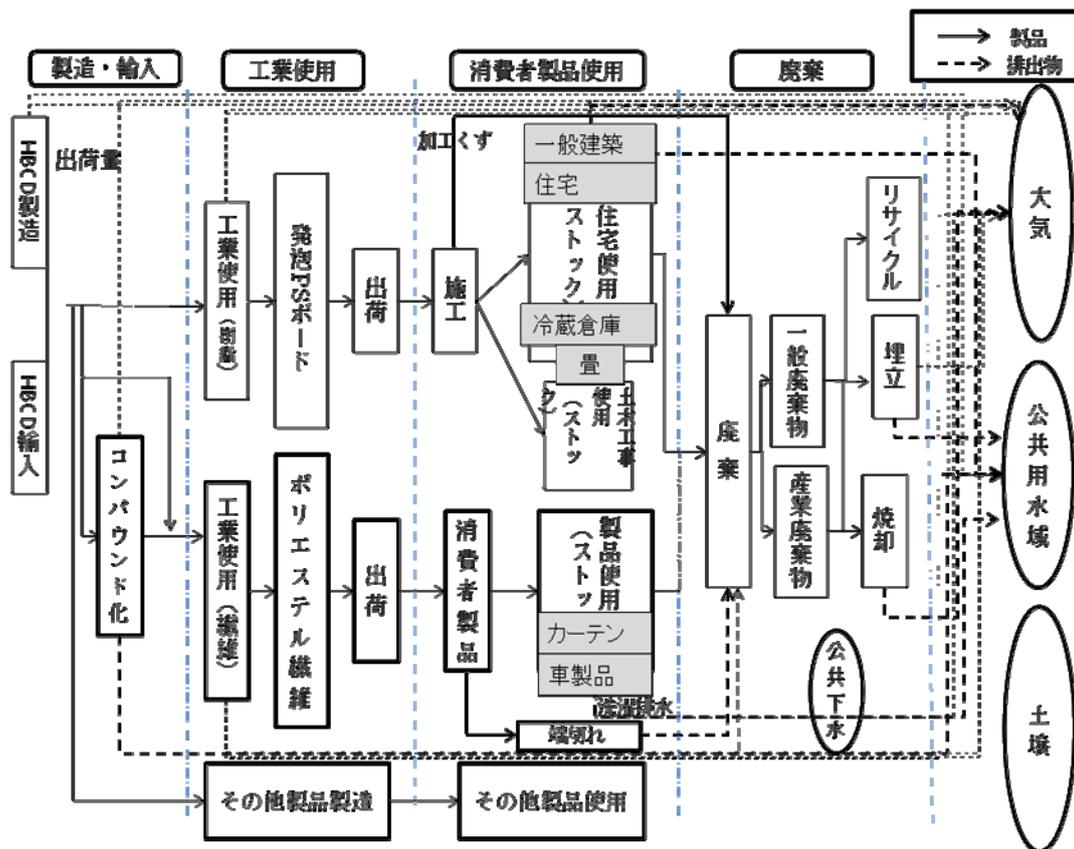


図-8 HBCD の材料フロー

## 2. 曝露シナリオの作成

### 2. 1 排出源情報の整理

材料フローに基づいて、ライフサイクルにおける対象化学物質の曝露の可能性のある工を出し、曝露シナリオを作成する。リスクを見とさないように、体系的な検討から懸念される曝露シナリオを設定する必要があり、情報プラットフォームの「体系的な曝露シナリオ情報の調査・整理」の方法を活用する。

手法としては、排出源情報と排出後の曝露シナリオ情報に分割して材料フロー作成から得られた情報を整理し、これら2つの情報を合わせて体系的な曝露シナリオを作成する。排出源は産業的なプロセスからの排出と、家庭からの排出に関する情報とに分けて整理する。

まず、産業的なプロセスでは、化学物質の製造と工業的使用の代表的工として、貯蔵、反応・混合等、機械加工、めっき、染、消毒、剤等の使用、等の工があるか、それぞれの工で化学物質の取り扱い方法、設備の使用状況等に関する情報を整理し、曝露の可能性を検討する。代表的工での排出量出事例はPRTR排出量等出マニュアルから得られる。

次に、家庭からの排出に関する情報として、化学物質が消費者製品であったり、製品中に含有され、製品の使用により化学物質への曝露が想定されるかを検討する。この場合、製品寿命等により製品が市場で使用される年数も考慮する必要がある。消費者製品の曝露シナリオ作成には

「消費者製品の推定ヒト曝露量推 マニュアル」が利用できる。 内曝露では、 内での人の行動様式が曝露シナリオ作成の参考になり「 内 露にかかわる生活・行動パターン情報」から入手できる。

例示：

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曝露の可能性のある工 を出した。HBCDの製造プロセスを図-7に、難燃 加工プロセスを図-8に示す。HBCDの製造プロセスでは原料も含め、非定常な事故等による化学物質の曝露の可能性、定常時の排出 所を検討した。

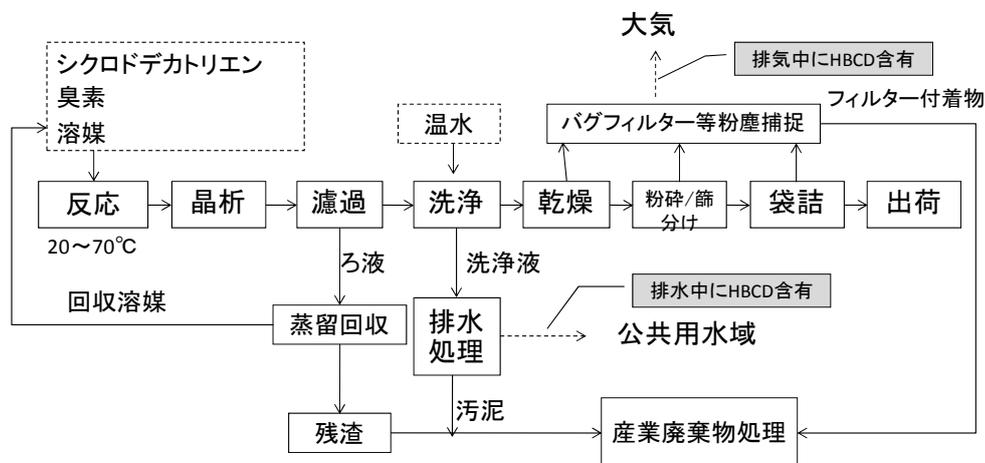


図-9 HBCD 製造プロセス

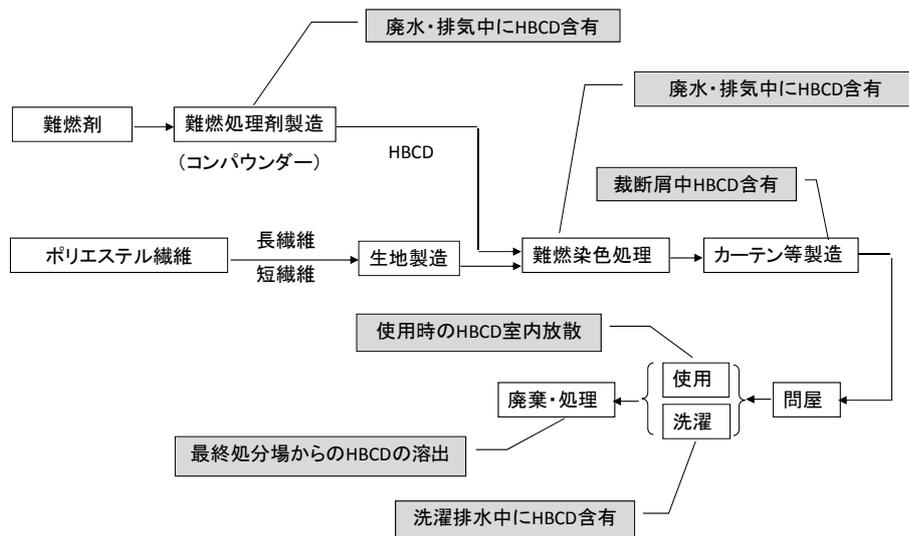


図-10 難燃 加工プロセス

## 2. 2 排出後のシナリオ

化学物質が環境中に排出された後、ヒトが摂取するまでのシナリオで、環境媒体別推定排出量から推理モデルによる計 または環境モニタリングデータから求めた環境媒体中濃度がベースとなる。この時、見 として、可能性のあるシナリオを検討する必要があり、情報プラットフォームの 的な曝露シナリオデータベースを活用する。

曝露シナリオデータベースから意味可能性のある曝露シナリオを曝露経 ごとに整理すると次の合わせとなる。

表 4 排出後の曝露シナリオ

	排出先媒体	曝露媒体	曝露対象	曝露経	曝露期間
一般環境経 曝露	大気 川・水 海水 土壌	近傍大気 広域大気	近傍 一般	入	性
	大気 川・水 海水 土壌 ・地下水 作物	水道水 ・地下水 土壌 品	近傍 一般	経口	性
	大気 ・地下水 土壌 川・水 海水	近傍大気 水道水 ・地下水 土壌 海水	近傍 一般	経	性
作業者曝露	作業環境空気 排水・廃	作業環境空気	作業者	入	急性 性
	作業環境空気 排水・廃	直 排水・廃 物	作業者	経口	急性 性
	作業環境空気 排水・廃	直 排水・廃 ・面・作業	作業者	手からの経口	急性 性
	作業環境空気 排水・廃	直 排水・廃 ・面・作業	作業者	経	急性 性
消費者曝露	内空気	内空気	内空気	入	性
	内空気	製品	消費者	経口	性

	物 家庭土壌	物 ・ 面等	子供		
	内空気	製品 ・ 面等	消費者	手からの経口	性
	内空気 類・ 等	内空気 類・ 等 ・ 面等	消費者	経	性

この排出後の曝露シナリオに2. 1の排出源情報を入れ、曝露シナリオを完成させる。  
このとき、時に、化学物質の物理化学性状から意味のある曝露経を考慮し、シナリオのり  
を行う。

例えば、気 が低い化合物では、川や海水中に排出された場合、大気へ 発する割合は非常に  
小さくなり、実質的に考慮する必要はなくなる。数理モデルを使用する場合は、この 与も計 され  
るが、数理モデルを使用しない場合は、環境中動態として把握しておくことは参考となる（ 期リス  
ク評価書参 ）。

例示：HBCD の曝露シナリオ

曝露シナリオデータベースから作成した表4をベースに、HBCDの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 を  
中心に曝露経 を検討した。

表5 HBCD の 的曝露シナリオ

	排出先媒体	曝露媒体	曝露対象	曝露経	曝露期間
一般環境経 曝露	大気	近傍大気 広域大気	近傍 一般	入	性
	大気 川・ 水 海水 土壌 作物	料水 土壌 品	近傍 一般	経口	性
	大気	近傍大気	近傍	経	性
作業員曝露	作業環境空気 排水・ 廃	作業環境空気 直	作業員	入、経口、 経	急性 性
消費者曝露	内空気	内空気、製品	消費者	入、経口、 経	性

以上の検討結果からヒト健康リスク評価用の曝露シナリオを作成した。

~~工場の作業員及び近傍：HBCD 製造工場のバルブの 等の事故による臭素の漏れ  
(入曝露)~~

- 一般の (一般環境経 )：大気、 料水、 事 (特に 等に蓄積しているデータがある) の摂取による曝露
- 工場作業員：HBCD を扱う工 での 入・経 曝露、手を経 した経口曝露
- 消費者・子供 (内曝露)：断 材、カーテン、 等からの放 による 入曝露、カーテン 等の HBCD 含有 じ の 入曝露、カーテン等の による経 曝露、手を経 した経口曝露

### 3. 曝露評価

#### 3. 1 環境濃度の推定

ではマテリアルフロー解析から環境排出量の推定と、曝露解析を実施した。次に解析した曝露経 から曝露媒体中の濃度を把握する必要がある。ここでは推定排出量と本プラットフォームに した情報 (ツール) を用いて摂取量を推定する方法について説明する。

本プラットフォームでは、各国のリスク評価書において、曝露評価やリスク評価に用いられていたツールを中心に、アメリカ、EU、日本で主に使用されているリスクアセスメントツールを収集し、利用者が目的に合わせてツールを選択できるように、一般環境曝露評価ツール、作業員曝露評価ツール、消費者曝露評価ツールが分類・整理されている。調査したリスクアセスメントツールの用途別分類の一例を図9に示す。また、分類・整理したリスクアセスメントツールを有効かつ に使用できるように、テクニカルガイダンスが できる。テクニカルガイダンスに する基本情報としては、1) ツール 、2) ツールの種類、3) 開発国、4) 開発機関 (者)、5) 入手方法、6) ツールの目的・概要となっている。利用者はこれらのツールを活用することで曝露評価に必要な環境濃度を効率よく推定することが可能となる。従って、環境濃度の推定手法や入 パラメーターについては [http://www.anshin-ynu.ac.jp/renkei/test\\_risk/tools\\_home.html](http://www.anshin-ynu.ac.jp/renkei/test_risk/tools_home.html) を参 いただきたい。以下に、HBCD をケーススタディーとしてツールの活用例を紹介する。

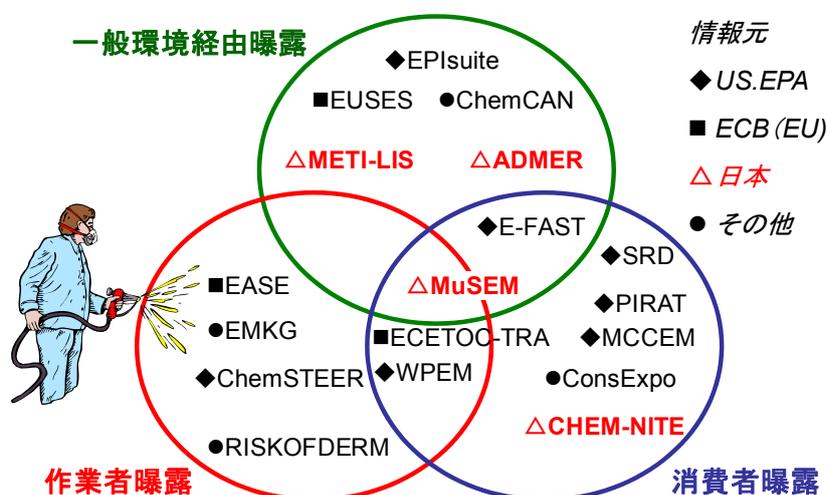


図-11 調査したリスクアセスメントツールの用途別分類例

例示：

事業所近傍及び一般環境の濃度推定

環境排出量の推定値から、曝露シナリオデータベースに 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環境中の濃度を推定した。

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 した HBCD の物性値は EU リスク評価書に された値を用いた。さらにモデルの検 をおこなうために本調査で採取した試料の実測値 ( 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 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-13) ので、実測値/推定値は  $0.84 \pm 0.53$  となった。実測値については、採取した底質

状の い ( 質、泥質) により濃度範囲に がある。しかしながら、おお ね実測値と推定値との関係は一 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。

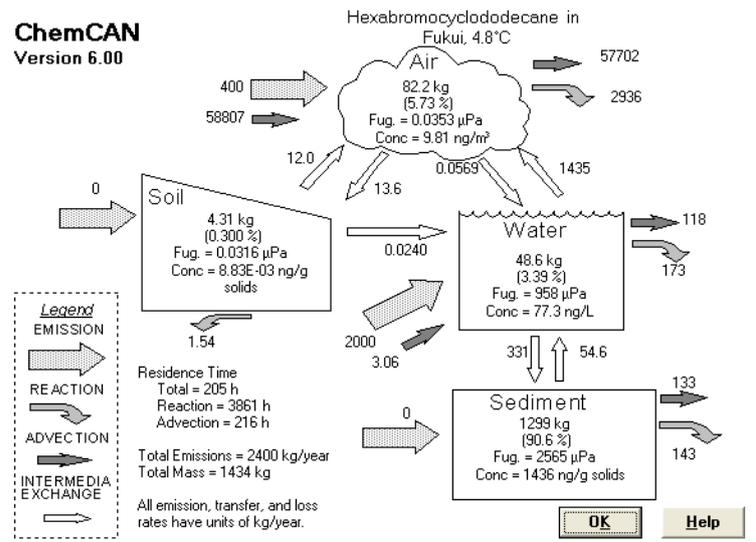


図-12 環境濃度予測値

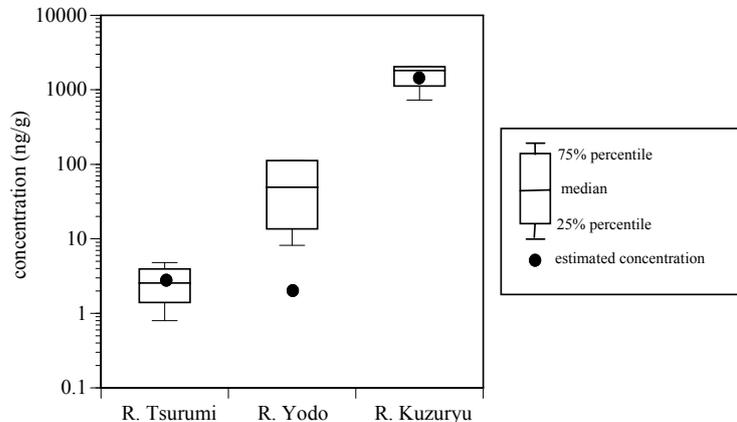


図-13 川における HBCD 濃度の実測値と予測値の関係

### 内環境における HBCD 濃度の推定

内環境における HBCD 濃度を推定するために、モデル解析をおこなった。HBCD の 内環境濃度の推定には MCCEM を用いた。モデルに入 した HBCD の物性値やパラメーターを表に示す。またダスト中の各異性体濃度と、カーテン単位面積当たりの濃度に したものを表#に示す。カーテン1 は、プリーツを解いた場合、200cm(高さ)×340cm( ) 68000cm<sup>2</sup>であるのでカーテンー あたり ( 面) の発じ による HBCD の推定値は、 625ng/ となった。

表 6 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)	0.95	0.32	2.3	0.20
単位面積当たりの HBCD 量 (ng/cm <sup>2</sup> )	0.0024	0.00083	0.0059	0.0005

) 検出下限：0.0003 ng/cm<sup>2</sup>

を用いて推定した生 日平均 露量(LADD)  $2.6 \times 10^{-6}$  mg g bw dayと推定された。HBCDの AEL、または BMDL の最小値は 0.056 mg g bw dayと報告されている。

表

**Table 3 Input parameters for calculating lifetime average daily dose (LADD, mg/kg bw/day) using MCCEM**

Input parameter		
<b>Emission model</b>		Constant
<b>Constant emission rate*</b>	mg/h	3.05E-02
<b>Duration of event</b>	min/event	1
<b>Inhalation rate</b>	m <sup>3</sup> /day	15
<b>Frequency of event</b>	event/day	2
<b>Exposure duration</b>	year	60
<b>Body weight</b>	kg	71.8
<b>Length of life</b>	year	75

\* The constant emission rate of HBCD was calculated from the observed peak concentrations after drawing the curtain described in this study.

### HBCD製造工場の濃度推定

中

### 3. 2 摂取量推定

ヒトの摂取量の推定には曝露媒体と曝露経 路を推定する必要がある。HBCD をケーススタディーと

してその例を示す。図-14 に示された曝露媒体濃度（家畜、肉、等）を推定する。曝露媒体濃度の推定手法や入パラメーターについては [http://www.anshin.ynu.ac.jp/renkei/test\\_risk/tools\\_home.html](http://www.anshin.ynu.ac.jp/renkei/test_risk/tools_home.html) を参ーいただきたい。

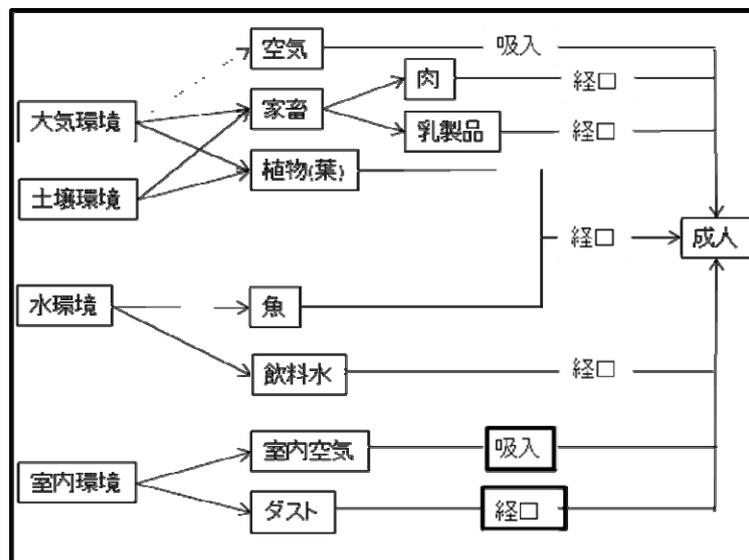


図-14 曝露媒体と曝露経

上 で推定した曝露媒体の推定値の総 をとり、ヒトの一日摂取量を推定する。

例示：

#### 4. 有害性評価

本プロジェクトの情報プラットフォームには、日本や国際機関などで信頼性が高いとされている情報源を 一的にリンクした。日本の PRTR、OECD HPV マニュアル、GHS 分類において示されたプライオリティについても表示し、より信頼性の高い情報を検 できるように 慮した。情報の入手方法と信頼性に関するテクニカルガイダンスを している。

例：HBCD の有害性情報の収集と有害性評価

HBCD のヒト健康に関する有害性情報を情報プラットフォームから、リンクしているオンラインデータベース、各国リスク評価書および文 検 データベースから検 した。

まず、製品評価技術基 機構 CHRIP からヒト健康影響に関する各国有害性評価の状況を把握。化学物質安全性評価シートにデータがあるが 2002 年公開以 新されていない。BUA に報告書があるがリンク先の報告書はインターネットから できない。IPCS の評価文書 (EHC192) には臭素系難燃剤に関する一般的な情報の はあるが、HBCD の毒性データは られなかった。

次に、CHRIP では 新されていないが EU のリスク評価書 (2008 ドラフト) から有害性データを収集した。

最後に、EU リスク評価書以 の最新の情報は文 検 (TOXLINE) から入手した。

以上の調査結果を表 8 に示す。

表 8 HBCD 有害性情報検 結果

データベース	急性・亜急性・亜慢性毒性	慢性毒性・発がん性・生殖毒性・作性
製品評価技術基 機構 CRIP	各国有害性評価情報を (BUA, ICPS サイト)	発がん性：該当せず (国際機関で評価されていない)
化学物質評価研究機構 化学物質ロードデータ集 (2002年5月)	13 間の SD ラットへの経口投与試験で 6400ppm での対重量の加 (NOAEL 3200ppm)	報告なし
IPCS		
EU リスク評価書 Final Draft, May 2008	28 日間経口投与：Wister rats の重量加に対する NOAEL 22.9 mg/kg bw/day (van den Ven, et al, 2006)	
TOXLINE		SD ラットの一代生 発生毒性試験 NOAEL : 10.2mg/kg bw/day (Ema M., et al, Reprod Toxicol. 2008, Apr; 25(3):335-51)
		Wistar rats の一代生 発生毒性試験 NOAEL : 0.056 mg/kg bw/day (van den Ven, et al, Toxicol. Letter, 2009, 185 (1): 51 – 62)
Dossier	28 日間経口：22.9 mg/kg bw/day AF：一般 40、労働者 20	生殖毒性：10 mg/kg bw/day AF：一般 100、労働者 50

これらの動物試験に関する情報から、リスク評価に採用する影響濃度 (NOAEL) 等を決定する。ここでは、最小の NOAEL 値である 0.056 mg/kg bw/day を採用する。

## 5. リスク評価

ライフサイクルにおけるフィジカルやヒト健康など々のリスクについて既存の評価手法で評価する。以下、主な評価手法を紹介するが、これらに限定されるものではなく、他の信頼性の確認された手法を使用してもかまわない。

### 5. 1 フィジカルリスク

フィジカルなリスク (爆発・火災) は起る確率に関するデータがなく、リスク評価は難しいが、害がおよび範囲と度をシミュレーションすることができる。本プロジェクトではそのツールとして CAMEO (Computer Aided Management of Emergency Operations) を推奨している。これに関

するガイドラインは本プラットフォームの「リスクアセスメント評価ツール」を参 照されたい。

## 5. 2 ヒト健康リスク評価

リスク評価に関する 既存の評価手法が提 示されている。ガイドブック等については各省が作成した ものがあるので、そ れらを参 照されたい。

- ・ 短期リスク評価（環境省<sup>5</sup>、NITE<sup>6</sup>）
- ・ 詳細リスク評価<sup>7</sup>（AIST）
- ・ 消費者 GHS表示のための消費者製品のリスク評価手法のガイダン

ス[http://www.safe.nite.go.jp/ghs\\_risk\\_consumer.html](http://www.safe.nite.go.jp/ghs_risk_consumer.html)（NITE）

・ 労働者 厚生労働省平成2 年度化学物質による労働者の健康 害 に係るリスク評価検討 会報告書（平成2 1年6月）<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2009/06/s0630-1.html>、 労働者の有 害物によるばく露評価ガイドライン<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2010/01/dl/s0115-1-a.pdf>

- ・ 事業者向けガイドブック 化学物質のリスク評価のためのガイドブック

（METI）[http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/law/prtr/pdf/guidebook\\_nyumon.p df](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/pdf/guidebook_nyumon.pdf)

[http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/law/prtr/pdf/guidebook\\_jissen.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/pdf/guidebook_jissen.pdf)

[http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/law/prtr/pdf/guidebook\\_fuzokusho.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/pdf/guidebook_fuzokusho.pdf)

## 5. 3 HBCDの評価事例

### 1) フィジカルリスク評価の例示

データベース（CAME Chemicals）、MSDSの情報を利用する。これらの情報が 得られない場合は、 閃点、燃点、火点など物理化学的性状から消 滅 物やGHS分類基 準を参考に自ら分類する。

例：CAMEO Chemicals データベースの検 索例を示す。

<http://www.cameochemicals.noaa.gov/>

Database of Hazardous Materials の ページ（図 13）が表示されるので、HBCD の物質 名かCAS 番号を入力し、Search をクリックする。

<sup>5</sup> 環境リスク 短期評価 ガイドライン [http://www.env.go.jp/chemi/risk/guideline\\_ia.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/risk/guideline_ia.pdf)

<sup>6</sup> 短期リスク評価 <http://www.safe.nite.go.jp/risk/riskhykd101.html#shihsin>

<sup>7</sup> 詳細リスク評価 成果総 報告書 <http://unit.aist.go.jp/riss/crm/menu/NEDO-1pro071023.pdf>

**Search**

Enter a chemical name or identification number to begin searching for datasheets.

[How does this search work?](#) ▶

Name (not case sensitive)

CAS Number (with or without dashes)

UN/NA Number (4-digit number)

**Other ways to find chemicals**

[Advanced Search](#)   [Browse](#)

[About](#) | [Privacy Policy](#) | [Contact Us](#)



Web site owner: [Office of Response and Restoration](#), [NOAA's Ocean Service](#), [National Oceanic and Atmospheric Administration](#).

US Government main portal: [USA.gov](#).

図-15 CAMEO Chemicals データベースの検索画面

以下が出力される。反応性と対処方法が記載されている。物理化学性状に関する情報は省略した。HBCD について、次の情報が得られた。

反応性 告：なし

空気・水との反応性：水に不

火災 性： 火点のデータは得られないが、可燃性の可能性

反応性の概要： 属 ロ ン化合物であり中 度以上の反応性があり、強 化剤との 合は

火災時の対応：

火災時以 への対応：漏 した場合の対処方法及び 管方法について

：マスクの 用

事故時の対処方法：目、 、 入、経口曝露した場合の応急処置の 方について

## 2) ヒト健康リスク評価の事例

有害性評価結果から最小の NOAEL 値である 0.056 mg/kg bw/day を採用して MOE 法 (Margin of Exposure) により、次式で MOE を求め、

$$\text{MOE} = \text{NOAEL} (\text{影響濃度}) / \text{EHI} (\text{推定ヒト摂取量})$$

不確実係数 (通常 100 (種 10× 人 10)) と比較してリスク判定する。

表 9 HBCD リスク評価結果

シナリオ	曝露データ	濃度推定手法	出
1	HBCD 製造事業所から原料の臭素が漏れ、事業所近傍が曝露 臭素 蔵タンク底部に直 3mm の から漏	CAMEO/ALOHA	
2	HBCD 使用事業所近傍に が 川の から HBCD を摂取 HBCD の 川への推定排出量 400 t ( 用の HBCD 量) x 5% (排水への移行率) x 10% (STP での 存) =2t	多媒体モデル (Chem CAN)	
3	家庭内で使用される難燃カーテンからの HBCD 放、ダストによる の健康リスク評価 難燃カーテンからの HBCD 放 度 2.24E-07 ng/h/cm <sup>2</sup> (20 )	MCCEM E-FAST	
4	HBCD 使用事業所の作業者が HBCD に曝露 作業環境モニタリングデータ	環境省 (2005b) 平成 15 年度臭素系ダイオ シン類 排出実態調査結果報告書	

No.	環境媒体中濃度	ヒト推定摂取量	MOE
1	風下300m地点の臭素濃度の経時変化から最大値が漏洩15分後に0.5ppm	吸入急性影響:鼻、気管支の刺激	
2	河川水:77 ng/L 底質:1,400 ng/g solids	魚類からの1日摂取量:77 ng/L × 5,000 L/kg (BCF) × 120 g/人(1日平均魚摂取量) =46 μg 体重1kg当たりの摂取量0.9 μg/kg bw/day	56μg/kg bw/day ÷ 0.9 μg/kg bw/day=62
3	HBCD室内空気中濃度  カーテン開閉時のダスト中のHBCD量	1.04E-10 mg/kg bw/day (MCCEM) 5.86E-04 mg/kg bw/day (E-FAST)  2.67E-7 mg/kg bw/day	5.4E8 (MCCEM)  2.1E5
4	難燃繊維加工工場の作業環境濃度 範囲 200-5,900 ng/m <sup>3</sup> 平均 1,700 ng/m <sup>3</sup>	繊維加工工場労働者の大気からの1日摂取量 5,900ng/m <sup>3</sup> × 8/24 × 5/7 × 20m <sup>3</sup> /day =28μg/day 体重1kg当たり 0.56 μg/kg bw/day	56μg/kg bw/day ÷ 0.56 μg/kg bw/day=100

## 6. リスク評価結果の総合的判断

フィジカルリスク、ヒト健康リスクなど、ライフサイクルのリスクを総合的に判断する必要がある。特に、 意したいのはトレードオフ関係にあるリスクで、安 大な代替物質や ード情報の少ない物

質への代替には 意が必要と考える。

リスクを総合的に判断する手法については、複数のリスクを評価するための と手法の開発、リスクトレードオフへの対応方法、化学物質のリスク評価に LCA を統合させる研究などが実施されている。これらについては、他の研究機関の ーム ージ、報告書などを参 されたい。

産業技術総合研究所安全化学科学研究部門の ーム ー  
ジ<http://www.aist-riss.jp/main/modules/introduction/aboutus.html>  
<http://www.aist-riss.jp/old/lca/ci/theme/index.html#1>  
<http://www.jemai.or.jp/japanese/seminar/software/lime.pdf>

、「ライフサイクル環境影響評価手法 LIME-LCA、環境会計、環境効率のための評価手法・データベース」産業環境管理 会、2005

本研究の事例物質が関係する製品でリスクトレードオフに関する事例を調査したので次に示す。

例示1：発 ポリスチレン ードの発 ガスによるリスク

発泡プラスチックは、樹脂自身の燃焼性に加え、発泡剤が地球温暖化問題のためにフロン系の不燃性ガスから可燃性ガスに変わり、従来より大きなフィジカルハザードを有するので、難燃剤の含有に加えて火災・爆発に対する注意を払うことが必要

爆発事故(1982年)<sup>8,9</sup>が紹介されており、この当時、消防庁からは注意を喚起する通達<sup>10</sup>が出されている。

<sup>8</sup> 失敗知識データベース, <http://shippai.jst.go.jp/en/Detail?fn=2&id=CC120011>

<sup>9</sup> “四日市市倉庫火災について”, 古積博, 消防輯報 第36号 25-29p, 1982

<sup>10</sup> “発泡性ポリスチレンビーズ等にかかる防火安全対策について”, 消防予第266号, 消防危第125号, 1982年12月24日