

# 我が国における非意図的生成 POPs 排出抑制対策への取組について

環境省水・大気環境局

2024年6月

## 1. スtockホルム条約と非意図的生成 POPs

### (1) 残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約

ポリ塩化ビフェニル (PCB) や DDT 等の残留性有機汚染物質 (Persistent Organic Pollutants、以下「POPs」という。) は、毒性、難分解性及び生物蓄積性を有し、大気、水及び移動性の種を介して国境を越えて移動し、放出源から遠く離れた場所に堆積して陸上生態系及び水界生態系に蓄積するという特性を有している。

POPs の廃絶、削減等は、一部の国々の取組のみでは地球規模での環境汚染防止には不十分であることから、国際的な枠組みの中でその廃絶や削減等の取組を進めるために、「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」(以下「ストックホルム条約」という。) が 2001 年 5 月に採択され、2004 年 5 月に発効した。我が国も、2002 年 8 月 30 日に締結しており、2024 年 3 月現在で、日本を含む 184 か国及び欧州連合 (EU)、パレスチナ自治区が締結している。

締約国が講ずべき事項としては、表 1 の事項が規定されている。また、ストックホルム条約では、3 つの附属書 (附属書 A : 廃絶、附属書 B : 制限、附属書 C : 非意図的生成物) に掲載されている物質が対象となり、現在の対象物質一覧は表 2 のとおりである。

表 1 スtockホルム条約の締約国が講ずべき事項

- 意図的な製造及び使用から生ずる放出を削減し、廃絶するための措置
- 意図的でない生成から生ずる放出を削減し又は廃絶するための措置 (行動計画の策定・実施を含む)
- POPs を含有する在庫及び廃棄物から生ずる放出を削減し又は廃絶するための措置
- これらの対策に関する国内実施計画の策定と実施
- その他の措置
  - ・新規 POPs の製造・使用を防止するための措置
  - ・POPs に関する調査研究、モニタリング、情報提供、教育等
  - ・途上国に対する技術・資金援助の実施

表 2 ストックホルム条約対象物質 (2024 年 3 月現在)

区分	物質名
附属書 A (廃絶)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルドリン</li> <li>・アルファーヘキサクロロシクロヘキサン</li> <li>・ベーターヘキサクロロシクロヘキサン</li> <li>・クロルデン</li> <li>・クロルデコン</li> <li>・デカブロモジフェニルエーテル</li> <li>・デクロランプラス※ 2</li> <li>・ジコホル</li> <li>・ディルドリン</li> <li>・エンドリン</li> <li>・ヘプタクロル</li> <li>・ヘキサブロモビフェニル</li> <li>・ヘキサブロモシクロドデカン</li> <li>・ヘキサブロモジフェニルエーテル</li> <li>・ヘプタブロモジフェニルエーテル</li> <li>・ヘキサクロロベンゼン (HCB)</li> <li>・ヘキサクロロブタジエン (HCBBD)</li> <li>・リンデン</li> <li>・メトキシクロル※ 2</li> <li>・マイレックス</li> <li>・ペンタクロロベンゼン (PeCB)</li> <li>・ペンタクロロフェノール、その塩及びエステル類</li> <li>・ポリ塩化ビフェニル (PCB)</li> <li>・ポリ塩化ナフタレン (塩素数 2~8 のものを含む) (PCN)</li> <li>・ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOA) とその塩及び PFOA 関連物質</li> <li>・ペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS) とその塩及び PFHxS 関連物質※ 1</li> <li>・短鎖塩素化パラフィン</li> <li>・エンドスルファン</li> <li>・テトラブロモジフェニルエーテル</li> <li>・ペンタブロモジフェニルエーテル</li> <li>・トキサフェン</li> <li>・UV-328※ 2</li> </ul>
附属書 B (制限)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1, 1, 1-トリクロロ-2, 2-ビス (4-クロロフェニル) エタン (DDT)</li> <li>・ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) とその塩, ペルフルオロオクタンスルホンルフルオリド (PFOSF)</li> </ul>
附属書 C (非意図的 生成物)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヘキサクロロベンゼン (HCB) ※ 3</li> <li>・ヘキサクロロブタジエン (HCBBD) ※ 3</li> <li>・ペンタクロロベンゼン (PeCB) ※ 3</li> <li>・ポリ塩化ビフェニル (PCB) ※ 3</li> <li>・ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン (PCDD)</li> <li>・ポリ塩化ジベンゾフラン (PCDF)</li> <li>・ポリ塩化ナフタレン (塩素数 2~8 のものを含む) (PCN) ※ 3</li> </ul>

※ 1 ストックホルム条約第 10 回締約国会議 (2022 年 6 月) にて同条約の附属書 A (廃絶) に追加することが決定された。この決定により改正される附属書の発効は、附属書への物質追加に関する情報を国連事務局が各締約国に送付してから約 1 年後。

※ 2 ストックホルム条約第 11 回締約国会議 (2023 年 5 月) にて同条約の附属書 A (廃絶) に追加することが決定された。この決定により改正される附属書の発効は、附属書への物質追加に関する情報を国連事務局が各締約国に送付してから約 1 年後。

※ 3 HCB、HCBBD、PeCB、PCB、PCN は附属書 A と重複

## (2) 非意図的生成 POPs

非意図的に生成・排出される POPs として、次の 6 種類の物質が条約附属書 C に掲げられている。

- ポリ塩化ジベンゾーパラジオキシン及びポリ塩化ジベンゾフラン（以下「PCDD/PCDF」という。）
- ヘキサクロロベンゼン（以下「HCB」という。）
- ポリ塩化ビフェニル（以下「PCB」という。）
- ペンタクロロベンゼン（以下「PeCB」という。）
- ポリ塩化ナフタレン（塩素数 2～8）（以下注記がある場合を除き、条約対象物質の「ポリ塩化ナフタレン（塩素数 2～8）」を「PCN」という。）
- ヘキサクロロブタジエン（以下「HCBd」という。）

これらの物質についてストックホルム条約では、排出量の目録作成・維持やその排出の評価等を含んだ行動計画を作成し、その計画を締約国会議に提出することを各国に求めている。また、人為的な発生源からの排出量を削減するために、排出抑制対策として、利用可能な最良の技術（BAT：Best Available Techniques）及び環境のための最良の慣行（BEP:Best Environmental Practices）の利用を促進することを義務付けており、BAT 及び BEP を適用する場合に考慮すべき指針として、非意図的生成物の排出源のそれぞれに対して BAT/BEP ガイダンスが示されている<sup>1</sup>。現行のガイダンスにおいては、PCDD/PCDF、HCB、PCB 以外の POPs は対象になっておらず、記載がある HCB、PCB についても、PCDD/PCDF と比較すると非意図的生成に関する知見は少ない。

本資料では、附属書 C 対象物質のうち、特に知見が少ないと考えられる HCB、PeCB、PCB、PCN、HCBd（以下、「非意図的生成 POPs」という。）を対象として、関連する事業者等に対して排出削減に有効な情報の普及啓発を行うことを目的に資料を取りまとめた。

---

<sup>1</sup> Stockholm Convention and UNEP, Guidelines on best available techniques and guidance on best environmental practices (2019/2021 updates, <http://chm.pops.int/Implementation/BATBEP/BATBEPGuidelinesArticle5/tabid/187/Default.aspx>)

## 2. 我が国における非意図的生成 POPs 抑制対策に関する取り組みについて

### 2.1. 国内法における位置づけ

#### (1) 製造・輸入に関連する国内法

##### ①化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律

ストックホルム条約の国内担保法の一つである「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）」において、ストックホルム条約対象物質は第一種特定化学物質に指定され、製造・輸入・使用が事実上禁止されている。また、他の化学物質を製造する際に副生される第一種特定化学物質についても、BAT の原則、すなわち第一種特定化学物質を「工業技術的・経済的に可能なレベル」まで低減すべきとの考え方で、関連する事業者に対して排出削減の措置を求めている。

#### (2) 大気排出に関連する国内法

##### ①大気汚染防止法

我が国では、大気汚染防止法に基づき、有害大気汚染物質の大気排出抑制対策を講じてきた。有害大気汚染物質は、大気汚染防止法において「継続的に摂取される場合には人の健康を損なうおそれがある物質で大気の汚染の原因となるもの」と規定されており、中央環境審議会の答申<sup>2</sup>において具体的な物質が選定されている。非意図的生成 POPs については、この答申で「有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質」とされているが、具体的な排出抑制対策については特段示されていない。

##### ②ダイオキシン類対策特別措置法

条約附属書 C 対象物質の内、PCDD/PCDF については、ダイオキシン類対策特別措置法において、PCDD、PCDF 及びコプラナーPCB をダイオキシン類と定義し、大気等へダイオキシン類を排出する施設（特定施設）に対して排出基準を設定するとともに、定期的に排出ガスの測定を義務付けることにより、環境汚染の防止を図っている。各施設の測定結果等を活用したダイオキシン類の排出量目録の作成・維持についても法的枠組みの中で実施している<sup>3</sup>。

---

<sup>2</sup> 環境省, 中央環境審議会大気環境部会「今後の有害大気汚染物質対策のあり方について（第九次答申）」（2010年10月）,  
<https://www.env.go.jp/press/13040.html>

<sup>3</sup> Ministry of the Environment Japan, ダイオキシン類の排出量の目録（排出インベントリー）,  
[http://www.env.go.jp/air/dioxin/post\\_89.html](http://www.env.go.jp/air/dioxin/post_89.html)

## 2.2. 条約に基づく国内実施計画

我が国では、2005年に「非意図的生成物の排出削減のための行動計画」を作成し、「条約に基づく国内実施計画（以下「国内実施計画」という。）」の一部として非意図的生成 POPs の排出量削減に係る措置を実施している<sup>4</sup>。その後、新たに条約へ追加された物質も対象として、2020年11月に最新版の実施計画を作成し、ストックホルム条約事務局へも報告している<sup>5</sup>。

なお、国内実施計画においては、「調査から得られた知見に基づき、事業者に対して排出削減に有効な情報の普及啓発を行うといったさらなる排出抑制対策の推進に努めます。」としており、本記述に基づき排出削減に有効な情報を取りまとめている。

## 2.3. 国内実施計画に基づく取組の概要

我が国における非意図的生成 POPs 対策に係る措置は、図1の枠組みに基づき、(a) 排出実態調査、(b) 排出量推計、(c) 排出抑制対策 の取り組みを実施している。

(a)は、(b)(c)を踏まえて立案実施しており、(a)～(c)の取り組みや検討内容を踏まえて、国内実施計画を作成している。

### (a) 排出実態調査

非意図的生成 POPs の排出実態を把握するために、国内の実稼働施設を対象としたサンプル調査として、固定発生源における排出ガス中の非意図的生成 POPs の濃度測定を実施する。

### (b) 排出量推計

排出実態調査で得られた実測値を基に排出係数を算出し、物質別に全国排出量推計を行い、非意図的生成 POPs の大気排出インベントリーを作成する。

### (c) 排出抑制対策

排出量推計から優先的に取り組む発生源を特定し、排出実態調査で得られたデータを用いた解析等を実施し、非意図的生成 POPs の排出抑制対策について検討を行う。

---

<sup>4</sup> Ministry of the Environment Japan, The National Implementation Plan of Japan under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (2020), <https://www.env.go.jp/en/chemi/pops/index.html>

<sup>5</sup> Stockholm Convention, National Implementation Plans, <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/NIPTransmission/tabid/253/Default.aspx>

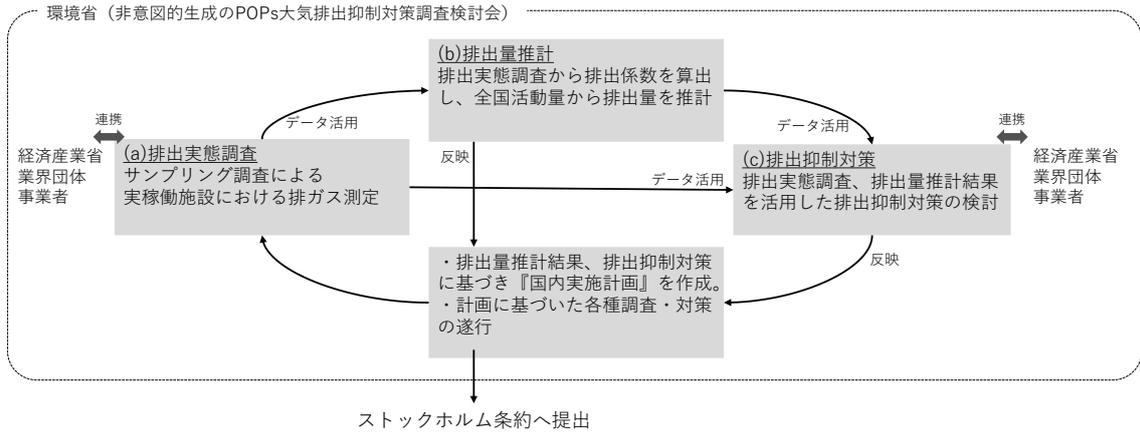


図 1 日本における非意図的生成 POPs 対策の枠組み

### 3. 我が国の非意図的生成 POPs の大気排出の状況

#### 3.1. 非意図的生成 POPs の大気排出インベントリー

##### (1) 大気排出インベントリー

2021 年度における発生源毎の HCB・PeCB・PCB・PCN・HCBD 排出量の推計結果は表 3 のとおりである。

表 3 発生源毎の HCB・PeCB・PCB・PCN・HCBD 大気排出量推計結果 (kg/2021 年度)

発生源種類		HCB	PeCB	PCB*	PCN**	HCBD	
廃棄物 焼却炉	一般廃棄物焼却施設	13	46	1.2	3.2	0.99	
	産業廃棄物焼却施設	38	70	2.4	7.5	0.58	
	小型廃棄物焼却炉	0.30	NE	0.39	NE	NE	
	し尿処理施設汚泥焼却炉等	0.14	NE	2.4	NE	NE	
セメント焼成炉		12	73	250	300	2.3	
冶金工業 における 熱工程	鉄鋼業の焼結炉	7.3	29	35	19	0.95	
	アルミニウムの 二次製造	乾燥炉	0.062	0.11	0.056	NE	NE
		焙焼炉	0.0024	NE	0.0093	NE	NE
		溶解炉	1.5	1.8	5.1	2.9	0.34
		塩素系処理	0.46	0.43	0.019	NE	NE
	圧延業,スクラップ 溶解	0.073	NE	0.24	NE	NE	
亜鉛二次製造施設	5.7	15	14	27	0.65		
第 2 部に 規定して いない 冶金工業 における 熱工程	鉛回収施設	0.25	0.57	7.4	3.6	0.051	
	製鋼用電気炉	29	66	42	22	1.00	
	銅一次製錬	13	8.4	1.5	0.17	0.060	
	鉛一次製錬	0.052	0.030	1.8	NE	NE	
	亜鉛一次製錬	0.86	NE	0.78	NE	NE	
伸銅品製造施設	4.0	0.20	1.1	NE	NE		
化石燃料 バイオマス	火力発電所	0.25	NE	0.75	NE	NE	
	パルプ製造 KP ボイラー	0.026	NE	0.21	NE	NE	
	木質バイオマス	4.2	NE	0.47	NE	NE	
	バイオマスメタン	<0.00012	NE	0.00055	NE	NE	
特定の 化学物質 製造工程	塩ビモノマー製造施設	0.19	NE	0.024	NE	NE	
	カプロラクタム製造施設	0.000060	NE	0.00015	NE	NE	
	クロロベンゼン製造施設	0.000007	NE	0.000017	NE	NE	
	四塩化炭素製造施設	0.000005	NE	0.0040	NE	NE	
	PCE 製造施設	0.049	NE	0.00015	NE	NE	
火葬場	0.18	NE	0.51	NE	NE		
銅製のケーブルの焙焼		0.37	NE	0.074	NE	NE	
自動車	自動車排ガス (ディーゼル)	0.023	NE	0.28	NE	NE	
	自動車排ガス (ガソリン)	0.023	NE	0.69	NE	NE	
その他	瓦製造施設	0.022	NE	0.0	NE	NE	
	石灰製造施設	0.060	NE	0.80	NE	NE	
	鑄鍛鋼製造施設	0.17	NE	1.6	NE	NE	
	貴金属回収施設	0.0055	0.0050	0.00063	0.0010	0.000027	
	アルミナ繊維製造施設	0.28	NE	0.31	NE	NE	
	アルミ鑄造施設	0.38	NE	0.17	NE	NE	
	コークス製造	NE	NE	NE	0.20	NE	
計 (大気)		131	310	371	385	6.9	

NE: Not Estimated

\*PCB は全異性体の合計値

\*\*PCN は塩素数 2~8 の異性体の合計値

非意図的 POPs の主要な排出源は、HCB では冶金工業における熱工程や廃棄物焼却炉、セメント焼成炉、PCB ではセメント焼成炉や冶金工業における熱工程、PeCB では廃棄物焼却炉や冶金工業における熱工程、PCN ではセメント焼成炉である。

また、HCBBD に関しては、POPs 条約に関する国際会議において、廃棄物焼却施設やセメント焼成炉などの熱燃焼工程以外にも化学物質の製造工程からの非意図的生成の可能性が挙げられていることから、実態把握に向けて実測調査を開始しており、データが蓄積された段階においてインベントリーへも追加することを予定している。

## (2) 大気排出量の推移

推計を開始した 2002 年からの HCB、PCB、PeCB の排出量推移を図 2～図 6 に示す (PCN 及び HCBBD については、近年推計を開始したため、排出量推移を示していない)。

HCB の排出量は、2002 年から 2008 年頃にかけて削減され、それ以降は横ばいで推移していると推計されている。また、2021 年の排出量は、2002 年に比べて約 31%削減されたと推計された。PCB の排出量は、2002 年から 2021 年にかけて、約 33%削減していると推計されている。なお、PCB の排出量は、全異性体 (209 種) の測定結果を用いて推計している。PCB のうち、ダイオキシン様 PCB (dl-PCB)<sup>6</sup>と、塩素数 3～7 の PCB 同族体 (T3CB～H7CB) の排出量については、長期的に低下傾向にあると推計された。PeCB の排出量は、推計が安定したと考えられる 2012 年以降は、おおむね横ばいで推移していると推計されている。

なお、我が国においては、PCB 廃棄物を所有する事業者等に保管状況等の届出や一定期間に適正に処分することを義務付ける「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」に基づき、国内の PCB 廃棄物は適切に処理推進されてきており、PCB 廃棄物の市中在庫量は着実に減少傾向にある。(高濃度 PCB：令和 5 年 3 月 31 日をもって処分期限終了、低濃度 PCB：令和 9 年 3 月 31 日までに処分)

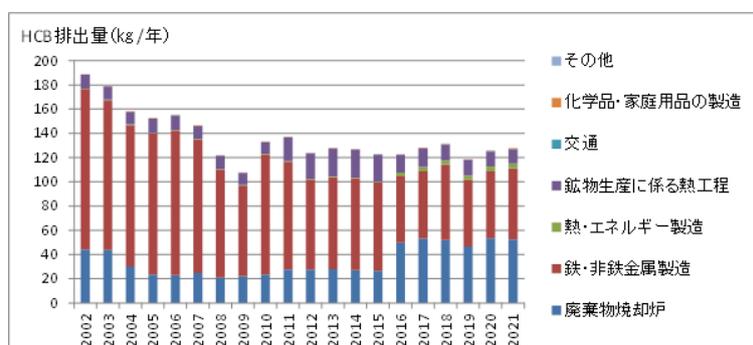


図 2 HCB の大気排出量の推移

<sup>6</sup> PCB の中でベンゼン環が同一平面上にあって扁平な構造を有し、PCDD や PCDF と同様の毒性を示す物質。ダイオキシン類対策特別措置法では、PCDD 及び PCDF に dl-PCB を含めて“ダイオキシン類”と定義している。

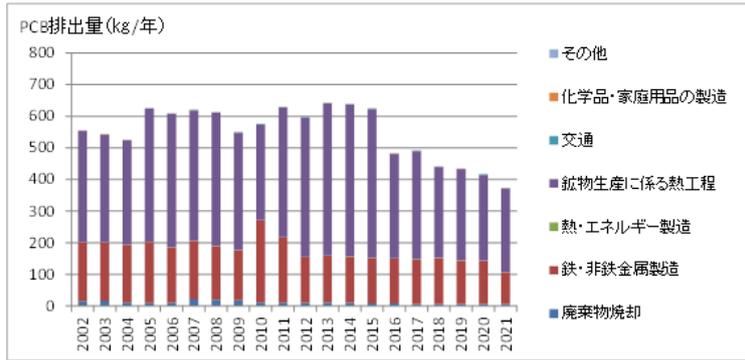


図3 PCBの大気排出量の推移 ※全異性体の合計値

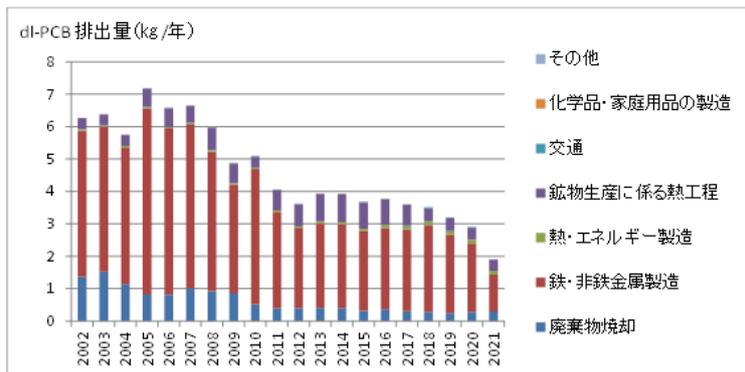


図4 dl-PCBの大気排出量の推移

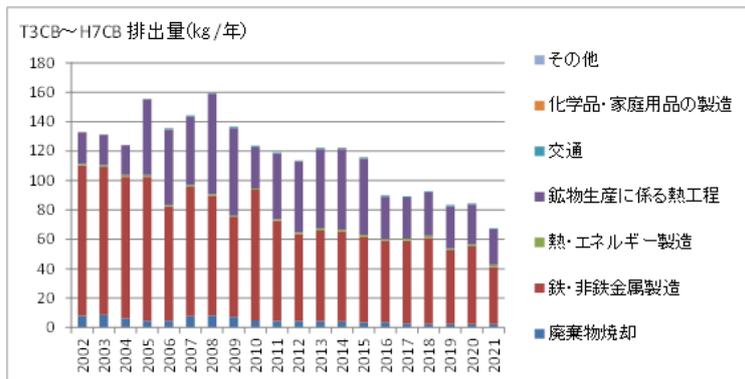


図5 塩素数3~7のPCB同族体(T3CB~H7CB)の大気排出量の推移

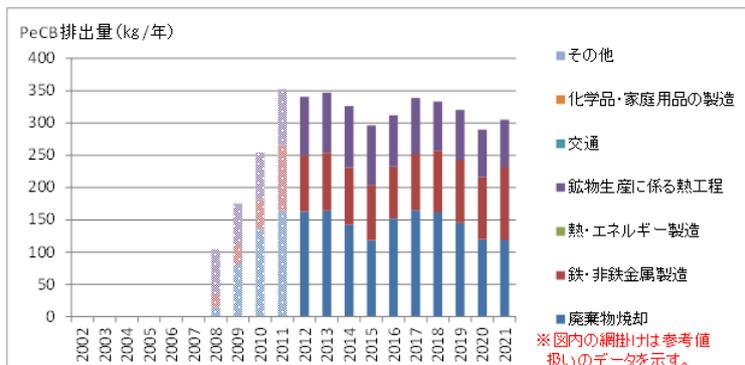


図6 PeCBの大気排出量の推移

### 3.2. 主要な発生源における排出濃度

主要な7発生源における2012年度～2022年度の間に測定した排出実態調査結果を表4に示す。表に掲げる発生源について、HCB、PeCB、PCN、HCBDでは、亜鉛の二次製造施設における測定結果（平均値）が最も高い値となり、それぞれHCB：1,700ng/m<sup>3</sup>N、PeCB：7,600ng/m<sup>3</sup>N、PCN：9,200ng/m<sup>3</sup>N、HCBD：250ng/m<sup>3</sup>Nであった。また、PCBでは、セメント焼成炉における測定結果（平均値）が最も高く、2,300ng/m<sup>3</sup>Nであった。

また、同族体別の推計結果について、セメント焼成炉とそれ以外の発生源では傾向が異なっていた。セメント焼成炉以外の発生源では、比較的どの発生源でも同族体割合の傾向は類似していたため、一般廃棄物焼却施設を例に、セメント焼成炉とPCBとPCNの同族体別濃度を比較した（図7～図10）。セメント焼成炉では、PCB、PCNともに1塩素化物質が突出して存在割合が高くなっており、次いで2塩素化物質の割合が高くなっていった。PCNについては、一般廃棄物焼却施設でも1塩素化物質の割合が高くなっていったが、セメント焼成炉の方がその傾向は顕著であった。

以上のことから、セメント焼成炉とそれ以外の発生源では、PCB、PCNの生成や排出抑制の傾向が異なること示唆された。

表4 主要な発生源における排出ガス中非意図的生成 POPs 濃度実態調査結果の概要  
(2012年度～2022年度測定) (濃度単位：ng/m<sup>3</sup>N)

発生源	HCB		PeCB		PCB		PCN		HCBD	
	濃度	データ数	濃度	データ数	濃度	データ数	濃度	データ数	濃度	データ数
一般廃棄物 焼却施設	100 (ND-1,500)	28 (28)	390 (ND-4,400)	28 (28)	7.0 (ND-42)	28 (28)	23 (0.006-300)	27 (27)	7.3 (0.9-24)	14 (14)
産廃廃棄物 焼却施設	140 (ND-2,400)	31 (31)	280 (ND-4,000)	31 (31)	18 (ND-150)	31 (31)	40 (ND-470)	30 (30)	4.4 (ND-15)	18 (18)
セメント 焼成炉	150 (ND-4,000)	81 (48)	540 (0.91-4,600)	81 (48)	2,300 (ND-29,000)	81 (48)	2,500 (14-12,000)	28 (28)	15 (2.0-150)	17 (17)
鉄鋼業の焼結 炉	39 (1.0-160)	21 (21)	150 (1.9-810)	21 (21)	210 (5.6-2,400)	21 (21)	92 (2.7-390)	21 (21)	5.0 (ND-12)	21 (21)
アルミニウム の二次製造	93 (1.1-490)	23 (23)	160 (1.7-540)	23 (23)	220 (0.98-750)	23 (23)	140 (3.7-290)	17 (17)	17 (3.9-35)	11 (11)
亜鉛の二次製 造	1,700 (0.29-27,000)	29 (20)	7,600 (0.25-160,000)	29 (20)	2,100 (1.3-29,000)	29 (20)	9,200 (2.5-89,000)	12 (12)	250 (1.6-1,900)	9 (9)
製鋼用電気炉	140 (ND-980)	32 (32)	390 (ND-3,500)	32 (32)	330 (ND-3,600)	32 (32)	180 (1.8-1,400)	21 (21)	6.1 (0.4-25)	16 (16)

注)データ数は10年間の延べ測定回数。( )内は、測定施設数を示す。濃度は平均値、NDはゼロとして算出した。( )内は、最小・最大を幅で示す。

PCBは全異性体の合計値。PCNは塩素数2～8の異性体の合計値。

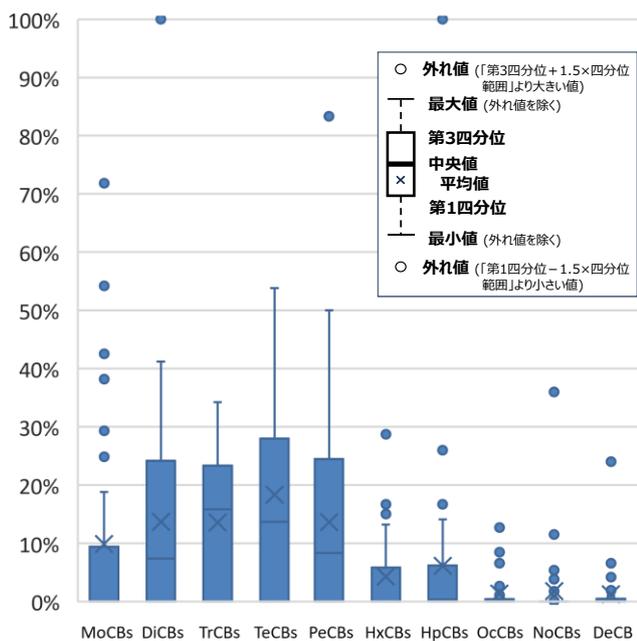


図7 PCB同族体別濃度割合（一般廃棄物）

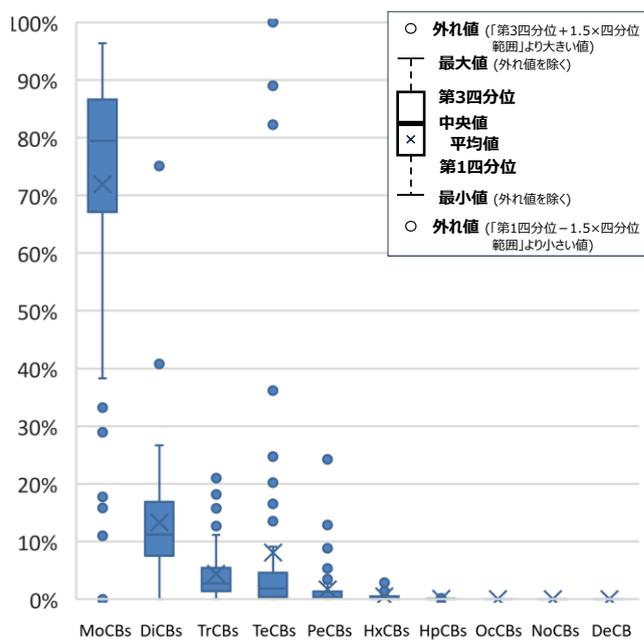


図8 PCB同族体別濃度割合（セメント）

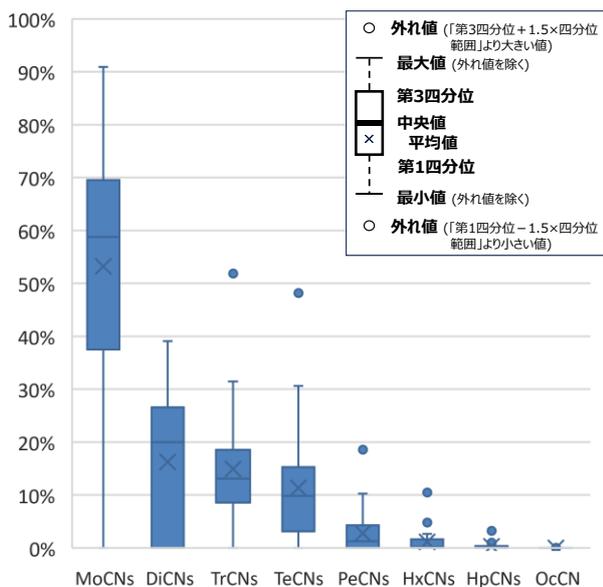


図9 PCN同族体別濃度割合（一般廃棄物）

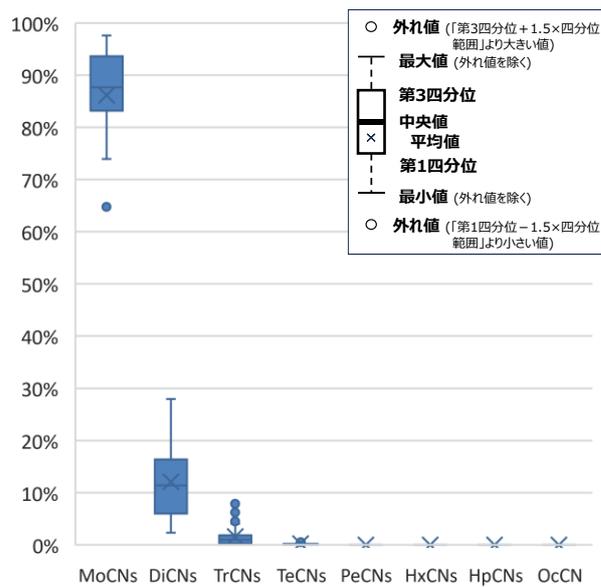


図10 PCN同族体別濃度割合（セメント）

MoCBs:1 塩化ビフェニル、DiCBs:2 塩化ビフェニル、TrCBs:3 塩化ビフェニル、TeCBs:4 塩化ビフェニル、PeCBs:5 塩化ビフェニル、HxCBs:6 塩化ビフェニル、HpCBs:7 塩化ビフェニル、OcCBs:8 塩化ビフェニル、NoCBs:9 塩化ビフェニル、DeCB:10 塩化ビフェニル  
 MoCNs:1 塩化ナフタレン、DiCNs:2 塩化ナフタレン、TrCNs:3 塩化ナフタレン、TeCNs:4 塩化ナフタレン、PeCNs:5 塩化ナフタレン、HxCNs:6 塩化ナフタレン、HpCNs:7 塩化ナフタレン、OcCNs:8 塩化ナフタレン

注) 全異性体の和に占める各塩素数別の同族体割合。使用したデータは2012年度～2022年度に測定したデータ。

PCB：一般廃棄物焼却施設(n=38)、セメント焼成炉(n=81) PCN：一般廃棄物焼却施設(n=26)、セメント焼成炉(n=28)

PCNは、ストックホルム条約の対象外である塩素数1の異性体も含めて示している。

### 3.3. 主要な発生源における排出係数

主要な7発生源における2021年度を対象として推計した排出係数を表5に示す。表に掲げる発生源について、HCB、PeCB、PCB、PCN、HCBDの全てにおいて、亜鉛の二次製造施設における排出係数が最も高い値となり、それぞれHCB：5,600 $\mu\text{g}/\text{t}$ 、PeCB：15,000 $\mu\text{g}/\text{t}$ 、PCB：12,000 $\mu\text{g}/\text{t}$ 、PCN：27,000 $\mu\text{g}/\text{t}$ 、HCBD：670 $\mu\text{g}/\text{t}$ であった。

なお、UNEPによって提供されている簡易的に排出量を推計するためのツールキット（UNEP Toolkit 2013<sup>7</sup>）と比較すると、亜鉛の二次製造施設に関して、HCBとPCBの排出係数が示されており、それぞれHCB：50,000 $\mu\text{g}/\text{t}$ 、PCB：0.1～100 $\mu\text{g}\text{-TEQ}/\text{t}$ <sup>(注)</sup>であった。

(注)UNEP Toolkit 2013において、PCBの排出係数は、一部のPCB異性体の毒性等量換算を用いて算出された値であり、日本の排出係数（PCB全異性の実測値による合計値）とは単純に比較できない。

表5 主要な発生源における排出係数の概要（2021年度対象）（排出係数単位： $\mu\text{g}/\text{t}$ ）

発生源		HCB		PeCB		PCB*		PCN**		HCBD	
種類	活動量指標	排出係数	データ数	排出係数	データ数	排出係数	データ数	排出係数	データ数	排出係数	データ数
一般廃棄物焼却施設	廃棄物焼却処理量	400	28	1,500	28	38	28	100	27	32	14
産廃廃棄物焼却施設	廃棄物焼却処理量	1,600	31	3,000	31	100	31	320	30	24	17
セメント焼成炉	セメントクリンカ生産量	250	48	1,500	48	5,300	48	6,200	28	48	17
鉄鋼業の焼結炉	焼結鉱生産量	79	21	320	21	380	21	210	21	10	21
アルミニウムの二次製造	製品生産量	1,100	39	1,200	24	3,500	39	2,000	17	230	11
亜鉛の二次製造	電炉ダスト処理量	5,600	23	15,000	23	12,000	23	27,000	12	670	9
製鋼用電気炉	電炉鋼生産量	1,200	31	2,700	31	1,700	31	880	21	41	16

注) データ数は排出係数の算出したデータ数。

\*PCBは全異性体の合計値

\*\*PCNは塩素数2～8の異性体の合計値

<sup>7</sup> Stockholm Convention and UNEP, Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, <http://toolkit.pops.int/>

## 4. 非意図的生成 POPs の排出抑制対策について

### 4.1. 非意図的生成 POPs の排出抑制対策の考え方

日本では、2000年にダイオキシン類対策特別措置法が施行され、ダイオキシン類対策特別措置法第33条の規定に基づいて、「我が国における事業活動に伴い排出されるダイオキシン類の量を削減するための計画<sup>8</sup>」を作成するなど、ダイオキシン類対策を推進してきた。その取り組みの成果として、ダイオキシン類の排出総量は年々減少しており、2021年度の推計では、2003年から約74%減少（1997年からは約99%減少）し、98～100g-TEQ/年と推計されている<sup>9</sup>。また、ダイオキシン類と排ガス中のHCB濃度、PCB濃度には高い相関関係が認められており<sup>10, 11, 12</sup>、PeCB、PCN、HCBdについても、ダイオキシン類と同様、燃焼やその他の熱プロセスおよび工業プロセスの意図しない副産物として生成されるため、ダイオキシン類の非意図的な排出抑制対策の多くが、PeCB、PCN、HCBdの排出抑制にも繋がると、ストックホルム条約残留性有機汚染物質検討委員会において報告されている<sup>13, 14, 15</sup>。

上記を踏まえて、日本では、ダイオキシン類の排出抑制対策を推進することにより、非意図的生成 POPs の対策も推進することとして行動計画を作成している<sup>4</sup>。

### 4.2. 非意図的生成 POPs とダイオキシン類の相関について

これまでの排出実態調査から得られた有効データを活用し、主要な7発生源について非意図的生成 POPs とダイオキシン類との相関を確認した（図11～図15）。

全体の傾向として、HCB、PeCB、PCB、PCNでは、ダイオキシン類濃度の低い施設ではそれぞれのPOPs濃度が低いことが確認された。また、対数値に基づいて相関関係を検定したところ、発生源で区分しない全データについて、HCB、PeCB、PCB、PCNでは有意水準1%で正の相関が得られ、HCBdでは有意水準5%で正の相関が確認された。次に、発生源別にみると、HCB、PeCB、PCBでは、全ての個別発生源においても有意な正の相関が確認された。HCBdについては、データ数が少ないことに留意は必要であるが、どの個別発生源においても有意な相関が確認されなかった。

以上のことから、非意図的生成 POPs についてもダイオキシン類について講じられている対策と同様の発生・排ガス管理等を行うことが一定程度有効であると期待され

<sup>8</sup> 環境省, 我が国における事業活動に伴い排出されるダイオキシン類の量を削減するための計画(2012年8月), <http://www.env.go.jp/press/files/jp/20450.pdf>

<sup>9</sup> 環境省, ダイオキシン類の排出量の目録(排出インベントリー)(2023年3月), <https://www.env.go.jp/content/000123883.pdf>

<sup>10</sup> 蒲敏幸, 小松正幹, 余座敏和, 矢野治彌: ごみ焼却施設におけるダイオキシン類の生成要因の検討(II), 京都府衛公研年報, Vol.37, pp.39-45(1992)

<sup>11</sup> Oberg, T. and Bergstrom, J. G. T.: Hexachlorobenzene as an indicator of dioxin production from combustion, Chemosphere, 14, pp: 1081-1086(1985)

<sup>12</sup> 田中勝: ヘキサクロロベンゼン(HCB)とダイオキシン類の相関性に関する検討, 第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集 II, pp.694-696(2000)

<sup>13</sup> Risk management evaluation for pentachlorobenzene, UNEP-POPS-POPRC.4-15-Add.2

<sup>14</sup> Draft risk management evaluation: chlorinated naphthalenes, UNEP/POPS/POPRC.9/4

<sup>15</sup> Draft risk management evaluation: hexachlorobutadiene, UNEP/POPS/POPRC.9/5

る一方で、一部発生源や物質種類では非意図的生成 POPs の排出抑制対策としてダイオキシン類対策だけでは十分ではない可能性が考えられた。

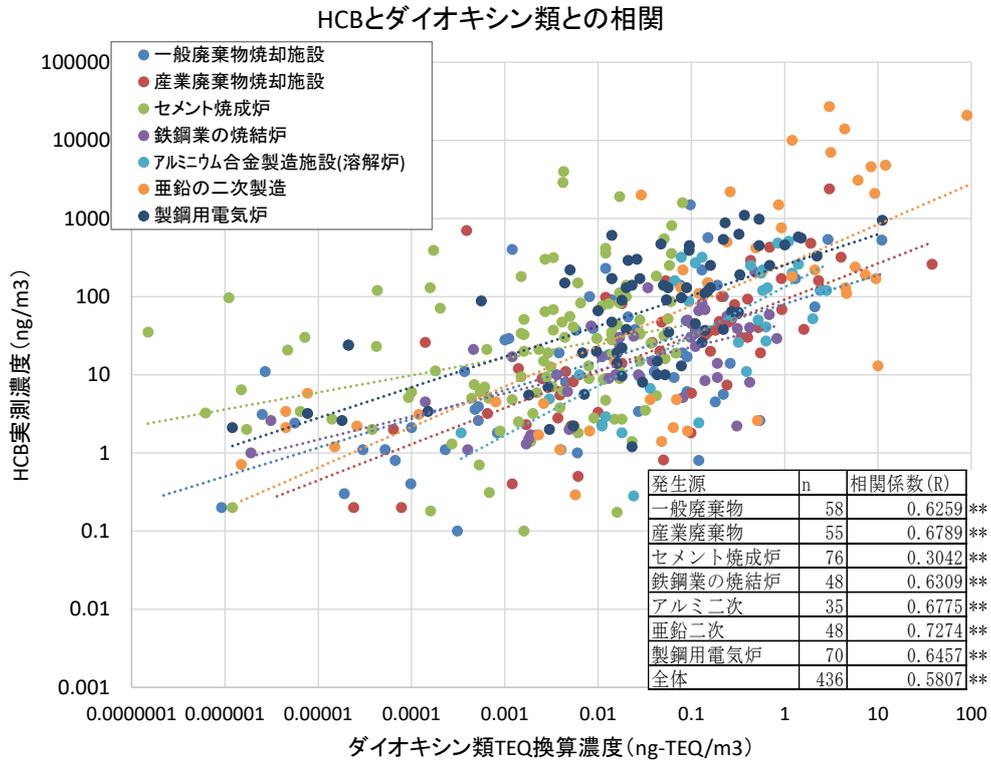


図 11 HCB 濃度とダイオキシン類濃度の関係

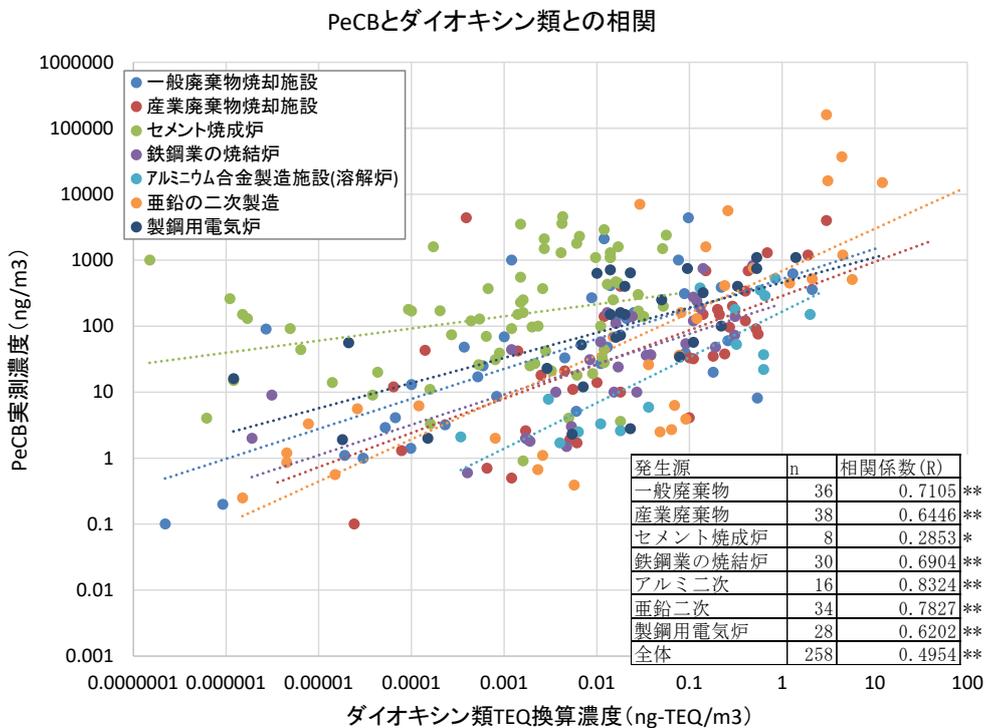


図 12 PeCB 濃度とダイオキシン類濃度の関係

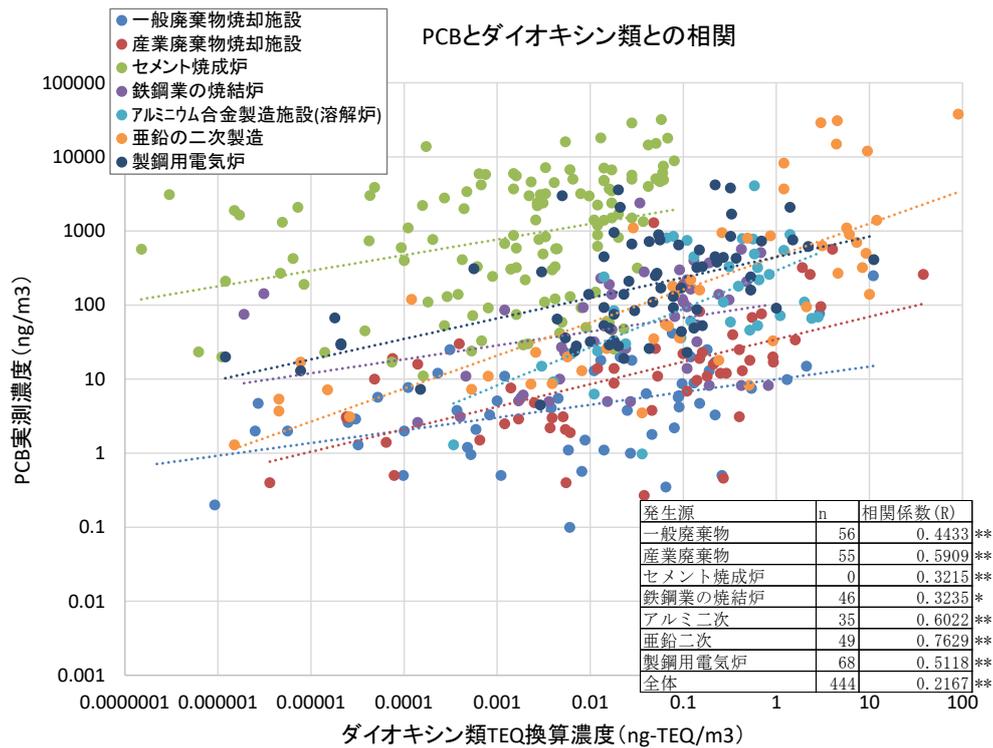


図 13 PCB\*濃度とダイオキシン類濃度の関係 \*全異性体の合計値

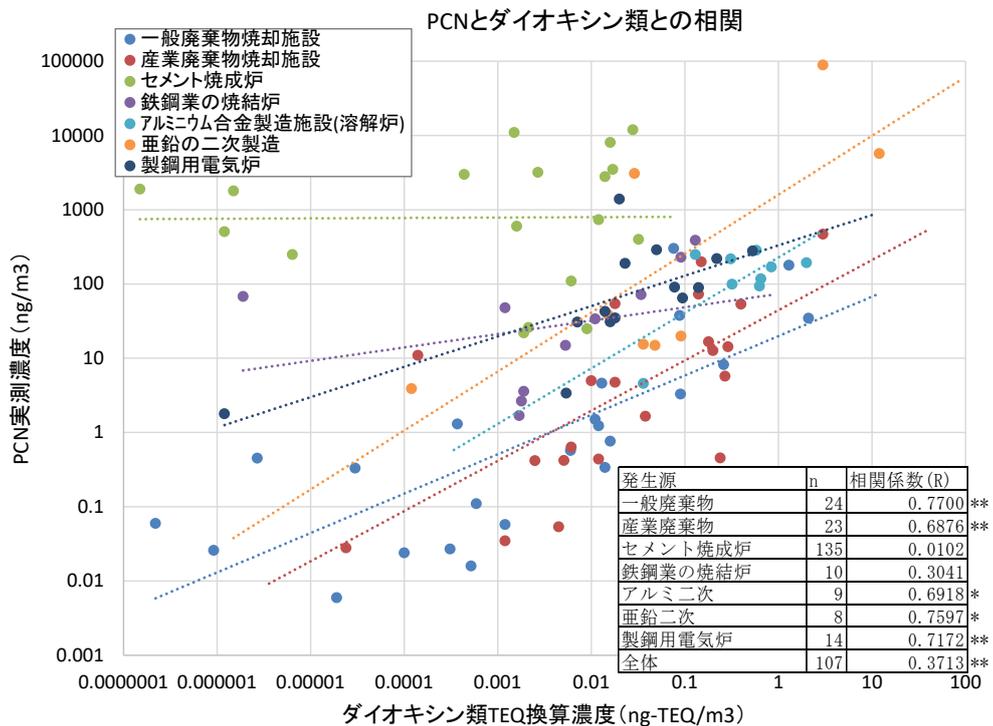


図 14 PCN\*濃度とダイオキシン類濃度の関係 \*塩素数 2~8 の異性体の合計値

HCBDとダイオキシン類との相関

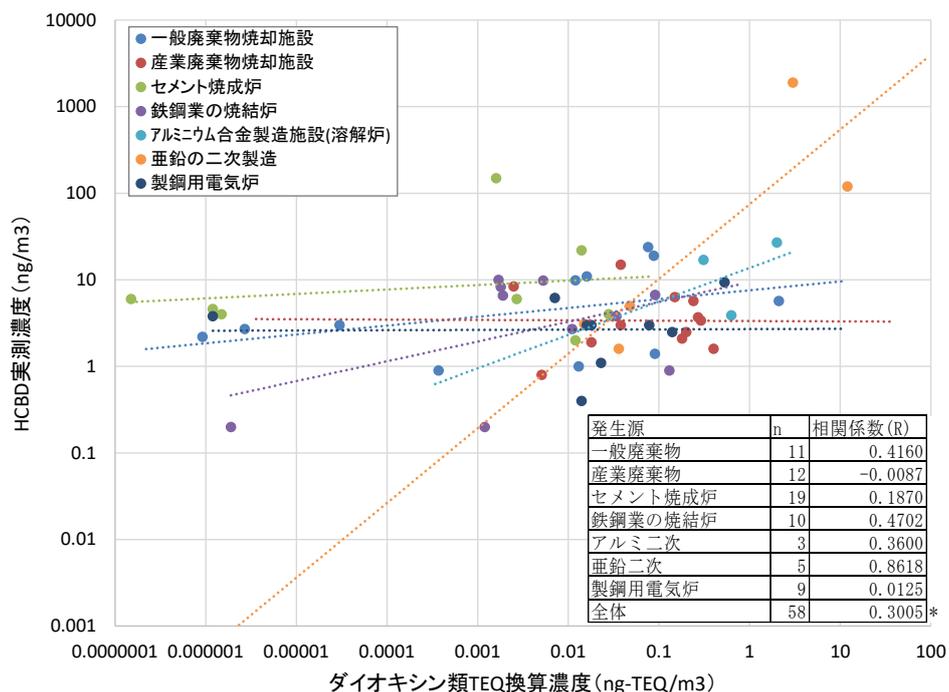


図 15 HCBd 濃度とダイオキシン類濃度の関係

(注) 図 11～図 15 の集計にあたっては、2001 年以降に測定された全ての有効データを活用。

データ数は各図内に記載のとおり。

ダイオキシン類の濃度は、PCDD、PCDF、dl-PCB の合計値を示す。

非意図的生成 POPs の測定データは対数正規分布に従うため、対数値に基づいて相関関係を確認した。

図表内の\*は、それぞれ  $p < 0.05$ 、 $**p < 0.01$  を示す。

### 4.3. 排出抑制対策の実施状況

#### (1) ダイオキシン類対策による非意図的生成 POPs の排出抑制対策

我が国の廃棄物焼却施設には、廃棄物の処理及び清掃に関する法律等に基づく構造基準と維持管理基準が定められている<sup>16</sup>。我が国の廃棄物焼却施設を例に、排出ガス中の有害物質及びダイオキシン類の排出抑制のために導入されている対策技術について整理した（表 6）。廃棄物焼却炉では、廃棄物の焼却炉内での完全燃焼によるダイオキシン類の分解、排ガス冷却によるダイオキシン類の再合成の抑制、排ガス処理によるダイオキシン類除去を基本とした対策が実施されている。

表 6 我が国の廃棄物焼却炉において導入されているダイオキシン類対策例

項目	対策内容	
焼却炉内での完全燃焼	廃棄物を完全燃焼させるために、廃棄物焼却施設の構造基準として、燃焼室温度 800°C以上（POPs 条約 BAT/BEP ガイダンスでは 850°C）で 2 秒以上滞留できる燃焼室の設置が義務付けられている。なお、「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン <sup>17</sup> 」では、新規に設置する炉に対して、「850°C以上（900°C以上の維持が望ましい）」としている。	
排ガスの冷却	集じん機に流入する燃焼ガスの温度を概ね 200°C以下に冷却できる冷却設備の設置が義務付けられている。排ガス冷却の主な目的は、排ガス温度を下げることで、ガス状物質を粒子化し、集じん機での捕集効率を上げることと、集じん機内でダイオキシン類等の再合成*を防ぐことの 2 点である。 *焼却炉からの排出ガスは、未燃炭素粒子や多環芳香族の存在下では、一定条件下でダイオキシン類が合成するとされている（デノボ合成）。反応温度は 200～500°C程度であり、このような合成反応を抑えるためには排ガス温度を低減することが有効であると考えられている <sup>18,19</sup> 。	
排ガス処理	排ガス集じん	排ガス中の粒子状物質を除去するために集じん機が設置されている。廃棄物焼却施設では、過去には電気集じん機が主流であったが、ダイオキシン類対策特別措置法施行以降では、除去性能がより優れるバグフィルターの設置が多い（バグフィルターのほうがより微細な粒子を捕集できること、バグフィルター手前で薬剤を噴霧することでろ布付ダスト層での吸着反応による様々な有害物質の同時除去が可能等の理由による）。
	触媒処理	触媒処理では、ダイオキシン類の分解活性が見られる触媒上で、ダイオキシン類が分解される。ダイオキシン類分解触媒としては、様々な触媒が存在し性能についても様々である。
	吸着処理	活性炭を代表とする吸着物質による処理が行われている。活性炭に有害物質を吸着させることにより、排ガス中の有害物質を除去している。

<sup>16</sup> 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令(昭和四十六年政令第三百号)

<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=346CO0000000300>

<sup>17</sup> ごみ処理に係るダイオキシン削減対策検討会、ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン-ダイオキシン類削減プログラム-(1997年) [https://www.env.go.jp/recycle/kosei\\_press/h970123a/h970123a-1.html](https://www.env.go.jp/recycle/kosei_press/h970123a/h970123a-1.html)

<sup>18</sup> 安原昭夫, ダイオキシン類の生成機構と物性, エネルギー・資源, 20 (1), 55-60 (1999)

<sup>19</sup> R.Addink, K.Olie, Mechanisms of Formation and Destruction of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofuran in Heterogeneous Systems, Environ. Sci. Tech., 29, 6, 1425-1435(1995)

## (2) ダイオキシン類対策以外の非意図的生成 POPs の排出抑制対策

非意図的生成 POPs の排出量削減のための措置として、ダイオキシン類の排出抑制対策と同様の発生・排ガス管理等を行うことが有効と期待されているため、ダイオキシン類対策を推進することで排出量の削減を図ってきたところである。しかしながら、3.2で示したとおりセメント焼成炉では PCB、PCN の生成や排出抑制の傾向が異なると示唆されたことや、4.2に示したとおり一部発生源や物質種類ではダイオキシン類と有意な相関が確認できなかったことから、非意図的生成 POPs の排出抑制対策としてダイオキシン類対策に加えた対策が必要であると考えられる。

そのため、非意図的生成 POPs の大気排出インベントリーの排出量上位の発生源（セメント、亜鉛二次製造施設）については、関係事業者及び業界団体にも協力をいただき、非意図的生成 POPs のさらなる排出量削減を目的として、原材料が与える影響や製造工程における非意図的生成 POPs の生成・移動機構について複数施設を対象として調査・解析を実施している。

当該調査結果を活用し、非意図的生成 POPs の性状に起因する影響、発生源及び個別施設の製造工程や原料等の特徴に起因する影響に着目し、既存のダイオキシン類対策以外の排出抑制対策の具体的手法について検討を進めているところである。

◇セメント製造施設における排出抑制対策の検討について◇

- ◆ セメント製造工程内における非意図的生成 POPs の生成・移動機構について検討するために、複数のセメント製造施設を対象として、製造工程中の原材料やガス等を複数の地点において採取し、PCB 等の実測調査を実施した。
- ◆ 現時点では、以下の対策について、PCB 等の排出量低減に寄与する可能性がある知見が得られている（表7）。

表7 我が国のセメント製造工程において PCB 等の排出量低減に寄与する可能性がある対策例

対策の種類	概要
排ガス温度低下によるガス状 PCB の凝集・吸着促進	排ガス温度が低下することにより、ガス状 PCB が凝集し、原料ミル内での原料への PCB 吸着が促進されることによって、煙突からの排出量も低減されると考えられる。排ガス温度の低下に有効な対策としては、排熱ボイラーの設置が考えられる。原料への PCB 吸着効果は、一般に、従来型のチューブミルよりも原料とガスの接触効率が高い竪型ミルの方が有効と考えられる。
粒子状 PCB の集じん	集じん機の効率を高めることで、粒子状 PCB の集じん効率が高まることが期待される。例えばダイオキシン類対策においては、電気集じん機（EP）よりもバグフィルター（BF）の方が集じん効率は高いとされている。
系内を循環する塩素量の削減	セメント焼成炉系内を循環する塩素量を低減させることで、PCB 等の副生成が抑制されると考えられる。セメントキルン内での塩素濃度を低減するシステムとしては、塩素バイパスが有効であると考えられる。

<低減事例1>

排熱ボイラーを設置したことにより、原料ミル入口のガス温度が低下し、煙突からの排出量が低減された可能性がある。

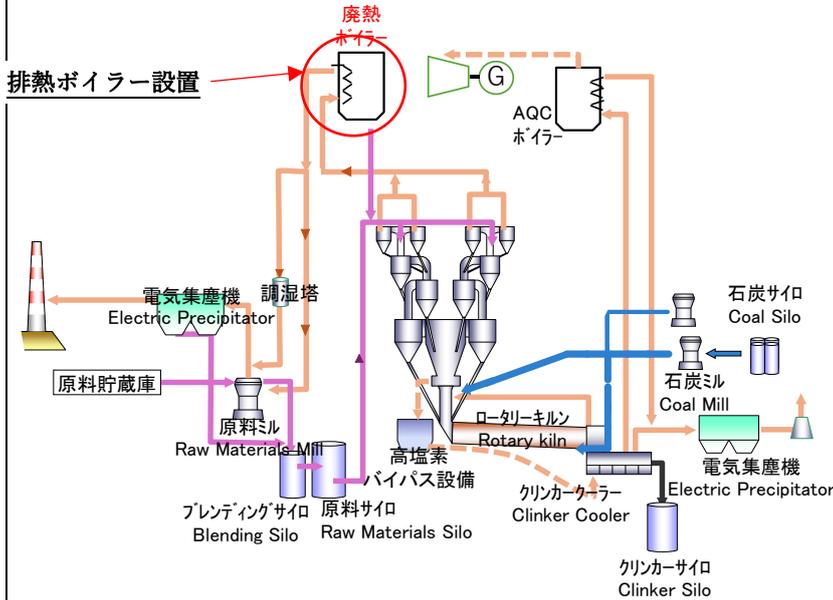


図 16 排熱ボイラーの設置イメージ

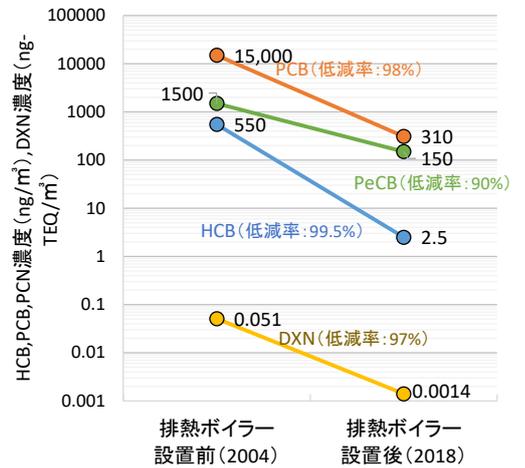


図 17 排熱ボイラー設置前後の濃度比較

<低減事例②>

全国施設で排熱ボイラー設置別の濃度を比較すると、排熱ボイラーありの方が低濃度になる傾向が見られた。

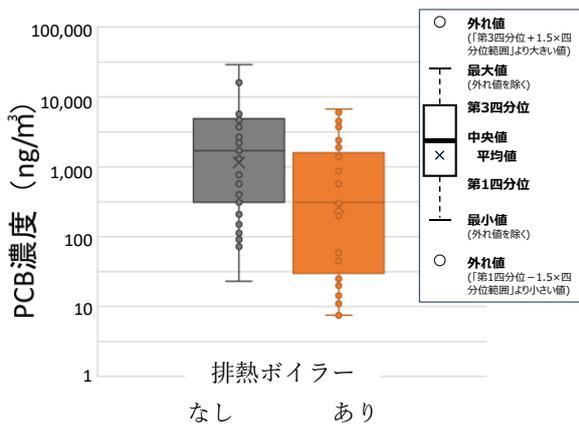


図 18 排熱ボイラーの設置有無による濃度比較 (PCB)

\*PCB は全異性体の合計値

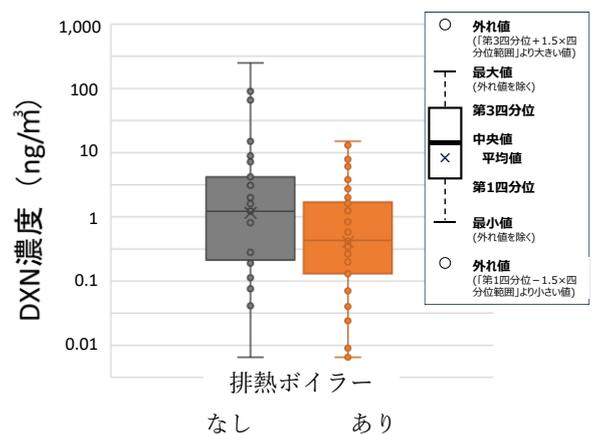


図 19 排熱ボイラーの設置有無による濃度比較 (DXN 実測)

## 5. まとめ及び今後の非意図的生成 POPs 排出抑制対策への取り組み

我が国では、非意図的生成 POPs 排出抑制対策への取り組みとして、国内の実稼働施設を対象としたサンプル調査として排出ガス中非意図的生成 POPs の濃度測定を実施しており、その結果から排出係数を算出し、大気排出インベントリーを作成している。その結果、2021 年度の年間排出量は、HCB : 131kg、PCB : 371kg、PeCB : 310kg、PCN : 385kg、HCBd : 6.9kg と推計されている。

また、排出抑制対策としては、ダイオキシン類の排出抑制対策を推進することにより非意図的生成 POPs の対策も推進することとしている。排出実態調査の結果からは、ダイオキシン類濃度の低い施設では非意図的生成 POPs の濃度も低いことが確認されており、従来のダイオキシン類対策が非意図的生成 POPs 対策にも有効である可能性が考えられている。一方で、ダイオキシン類と挙動が異なる物質・発生源についても確認されているため、それらの物質や発生源については、物質特有の生成機構や発生源特有の排出抑制対策について、検討を進めているところである。

今後我が国としては、非意図的生成 POPs の排出係数の見直しや排出抑制対策の検討を進めるとともに、これらの知見を国内外へと発信することで、世界全体での非意図的生成 POPs の排出量削減へと寄与したいと考えている。国内の関連する業界団体や事業者等におかれては、本資料等も参考に引き続き非意図的生成 POPs の排出抑制対策へと取り組んでいただくことを期待する。

(参考資料1)

## 大気排出量の推計方法

### (1) 大気排出量の推計方法

非意図的生成 POPs の大気排出量は、排出実態調査で得られた国内の測定データに基づき算出する排出係数と統計値等から得られる全国の年間活動量を用いて、(i)式により調査対象とする年ごとの排出量を推計している。必要なデータの収集方法は(3)以降に示す。

[年間排出量] =  $\Sigma$  発生源の種類 ([排出係数] × [年間活動量]) ……………(i)式

### (2) 発生源区分及び調査対象施設

調査対象とする発生源区分は、POPs 条約附属書 C の第 2 部及び第 3 部に掲げられている発生源及び国内外で非意図的生成 POPs の排出が確認されているその他の発生源を対象とする。

調査対象とする施設数は、排出量や排出係数の大小によって優先順位を定め、中長期的な調査計画を作成して決定しており、各年度に約 20～30 施設を調査している。2020 年度の対象発生源区分と施設数を例に挙げると、一般廃棄物焼却施設：6 施設、産業廃棄物焼却施設：4 施設、セメント焼成炉：5 施設、製鋼用電気炉：3 施設、亜鉛の二次製造施設：1 施設、銅一次製錬：1 施設、鉄鋼業の焼結炉：9 施設、鉛回収施設：2 施設において調査を行った。

### (3) 排出量の実測データ収集

国内の実稼働施設を対象としたサンプル調査として、固定発生源における排出ガス中の非意図的生成 POPs の濃度測定を実施する。排出ガス中の非意図的生成 POPs の試料採取、分析は、環境省において取りまとめた「排出ガス中の POPs 測定方法マニュアル<sup>20</sup>」に従い、分析機関によって実施する。また、排出実態調査では、排出ガス中の非意図的生成 POPs の濃度測定に加えて、測定結果の評価や排出量推計、排出抑制対策効果の検証に資する情報についても調査する(表 8)。なお、実測データの収集にあたっては、環境省・経済産業省による調査の他、関係事業者及び業界団体にも協力をいただき調査を実施している。

調査対象物質は、実態調査開始時(2001年)には HCB 及び PCB を対象としており、その後 POPs 条約附属書 C へ新たに物質が追加されたことを受けて、PeCB(2009

---

<sup>20</sup> 環境省水・大気環境局大気環境課、「排出ガス中の POPs (ポリ塩素化ビフェニル、ヘキサクロロベンゼン、ペンタクロロベンゼン、ポリ塩化ナフタレン、ヘキサクロロブタジエン) の測定方法マニュアル」(2019年3月)  
<https://www.env.go.jp/air/osen/manual2/index.html>

年～)、PCN (2015 年～)、HCB (2017 年～) についても調査対象物質として追加している。なお、PCB 及び PCN については、全異性体を対象として測定している。

表 8 排出実態調査における調査事項

調査対象物質	○排出ガス中の HCB、PCB※、PeCB、PCN※、HCB (2017 年～) 及びダイオキシン類濃度 ※全異性体を対象として測定。
その他調査項目	○排出ガス測定に付随する項目 (温度、水分、ばいじん濃度、酸素濃度、一酸化炭素濃度及び塩化水素濃度等) ○施設に関する情報 (年間活動量、年間稼働時間、施設規模 (処理能力)、施設活動開始年、炉等の内部温度、製造製品の種類・製造量、排水量、運転状況の詳細など) ○排ガス処理の概要 (排ガス処理フロー、集じん機の形式・入口温度、ろ布面積、活性炭・消石灰等の使用の有無と使用している場合の頻度や使用量、排ガス処理残渣の発生量等)

#### (4) 排出係数の算定

排出係数は、表 9 の考え方にに基づき、調査年度までに収集した全実測データの中から有効な実測データを選定し、以下の式で算出する。

$$[\text{排出係数}] = \Sigma \text{ 調査対象施設 } \{ [\text{対象物質のガス濃度}] \times [\text{年間排ガス量}^*1] \} \div \Sigma \text{ 調査対象施設 } [\text{年間活動量}^*2]$$

\*1 [年間排ガス量] = 実測時の単位時間あたりの排ガス量 × 年間運転時間

\*2 活動量の指標は、発生源の種類により異なる。(例：廃棄物焼却施設：焼却量、セメント焼成炉：セメントクリンカ製造量)

表 9 有効な実測データ選定の考え方

基本的な考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃止された施設のデータは使用しない。</li> <li>・ 10 年以内に測定したデータを使用する。(データ数が少なく推計カバー率が低い発生源については、この限りではない)。</li> </ul>
10 年以内に同一施設で再測定した場合の考え方	<p>【設備・原燃料・運転方法等が変更された場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備等変更後の実測データは、変更した年まで遡って使用する (設備等変更前の実測データは、変更した年*1の前年まで使用する)。</li> <li>・ 変更した年を特定できない場合は、新しい実測データを測定した年の推計から使用する。</li> </ul> <p>【設備・原燃料・運転方法等が変わらないまたは不明な場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 過去データとの平均値を算出し、測定した年の推計から使用する。</li> </ul>

#### (5) 年間活動量の収集

年間活動量は、発生源ごとに国の統計資料等から、調査対象年度の値を収集する。

(参考資料2)

令和5年度非意図的生成のPOPs大気排出抑制対策調査検討会  
委員名簿

氏名	所属・役職
梶原 夏子	国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域 主幹研究員
酒井 伸一	公益財団法人 京都高度技術研究所 副所長
柴田 康行	前 東京理科大学 環境安全センター 副センター長
田邊 潔	国立研究開発法人国立環境研究所 環境リスク・健康領域 客員研究員
中野 武	大阪大学 環境安全研究管理センター 招へい教授
藤森 崇	龍谷大学 先端理工学部 准教授
益永 茂樹	横浜国立大学 名誉教授
水川 葉月	愛媛大学大学院 農学研究科 准教授