

PCB 含有感圧複写紙処理における 詰め替え作業中の作業環境測定事例

遠藤允泰*, 大岡幸裕**, 小泉晃一*, 田邊真一*

*株式会社クレハ分析センター, **株式会社クレハ環境

10%以下の可燃性 PCB 廃棄物の無害化処理認定事業場での作業環境測定および改善事例を報告する。当該事業場では、感圧複写紙の小分け作業がプッシュプル換気装置内で行われており、感圧複写紙を容器に小分けして封をする作業と、封をした容器をフォークリフトで搬出する作業が行われていた。単位作業場所は、換気装置の位置と作業内容の違いにより、プッシュプル換気装置の風上側、風下側で分け、それぞれ「PCB」、「DXNs」、「粉じん」の作業環境測定を行った。測定の結果、PCB および粉じんは第1管理区分であったが、DXNs は第3管理区分であった。プッシュプル換気装置からの排出ガスと併行測定の DXNs のパターン比較、粒子状・ガス状の DXNs を分離分析した結果、感圧複写紙の粉じんがプッシュプル換気装置から漏れ出ていることがわかった。プッシュプル換気装置からの粉じんの飛散を抑制する対策を施すことで、DXNs の作業環境を第1管理区分に改善することができた。

キーワード：PCB, DXNs, 粉じん, 作業環境測定, 改善対策

1. 緒 言

感圧複写紙（ノーカーボン紙）は一般に筆圧によって発色する感圧発色型の複写用紙であり、上用紙、中用紙、下用紙の3枚を組み合わせ使用し、上用紙、中用紙の裏面には染料と有機溶剤からなるカプセルオイルを封入したマイクロカプセルが塗布されている。圧力によりこのマイクロカプセルが破壊され、カプセルオイルが中用紙、下用紙に転移すると、中用紙、下用紙に塗布してある顕色剤と反応し、発色する原理となっている。感圧複写紙は日本国内では1962年ごろから生産・

販売が開始され、初期の製品にはカプセルオイルとして PCB が使用されていたが1972年には製造が中止されている¹⁾。また、一般に感圧複写紙では KC-300 が使用されていたことが知られている²⁾。

国内における PCB 廃棄物は「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」（平成13年法律第65号）および「ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理基本計画」に基づき処理が行われている。当初は0.5%以下の PCB 廃棄物が「低濃度 PCB 廃棄物」、0.5%超の PCB 廃棄物が「高濃度 PCB 廃棄物」と区分され、低濃度 PCB

廃棄物は環境省の認定を受けた民間事業者が、高濃度 PCB 廃棄物は JESCO（中間貯蔵・環境安全事業株式会社）が処理を行ってきた。しかしながら近年、国内に廃感圧複写紙など 0.5% 超の PCB 廃棄物が当初の処理計画を上回り存在することが判明し、2019 年には 0.5%～10% の可燃性の PCB 汚染物が低濃度 PCB 廃棄物に追加された。この 0.5%～10% の可燃性の PCB 汚染物は従来の認定制度に加えて設立された環境省の認定を取得した無害化処理認定事業者においても処理が可能となった。

今回、作業環境測定を行った廃棄物処理事業者である株式会社クレハ環境は、従来までの 0.5% 以下の低濃度 PCB 廃棄物の認定に加えて 0.5%～10% の可燃性の PCB 汚染物に対しても認定を取得し、無害化処理事業を 2020 年 4 月より開始した。無害化処理の方法は焼却炉による高温（1100℃）での焼却処理である。株式会社クレハ環境が有する焼却設備は焼却炉へ廃棄物を少量ずつ間欠的に投入する構造のため、0.5%～10% の可燃性の PCB 汚染物は 10～40 L のメディカルペールに小分けした後、焼却炉へ投入している。このメディカルペールへの小分け作業は専用の作業室内で行われている。

本事例報告では、0.5%～10% の可燃性の PCB 汚染物である廃感圧複写紙の小分け作業時の作業環境測定を通じて、得られた知見を報告する。

2. 方 法

2.1 測定項目

測定項目は PCB および Co-PCB が含まれるダイオキシン類（以下、「DXNs」）と粉じんとした。

測定方法は表 1 に示すとおりである。定量下限は管理濃度の 10 分の 1 を下回るように測定条件を設定した。また、DXNs は石英ろ紙に粒子状の DXNs が、ポリウレタンフォーム（PUF）にガス状の DXNs が捕集されるため、形態別に DXNs を定量した。ただし、相対濃度指示法で用いる換算係数（D 値）は粒子状とガス状の合算値を用いた。

2.2 対象作業場

小分け作業室での作業概要は以下のとおりである。

- ① フォークリフトで廃感圧複写紙入りのフレコンバッグを室内に持ち込む。
- ② プッシュプル換気装置内にフレコンバッグを設置後、作業者が刃物でフレコンバッグを開袋し、廃感圧複写紙を取り出す。
- ③ 取り出した廃感圧複写紙は小さく粉砕し、メディカルペールに所定の容量まで詰め込み、メディカルペールを密封する。
- ④ 密封したメディカルペールはパレットに積み上げ、所定の数量が溜まった後、フォークリフトで室外へ搬出する。

発生源は廃感圧複写紙を取扱う作業であり、労働者は、廃感圧複写紙の粉砕作業は固定作業、メディカルペールをパレットに積み上げる作業は移動しながら行なっている。なお、ばく露防止対策として労働者はエアラインマスクや化学防護手袋、ディスポーザブルの化学防護服を装備し作業を行なっている。廃感圧複写紙の 1 日の平均的な処理量は約 500 kg である。

2.3 気流の状況

小分け作業室内には窓は無く、入口側のビニー

表 1 作業環境測定の採取、分析方法

項目	採取方法	分析方法	管理濃度
PCB	液体捕集法 捕集液：ノルマルヘキサン	ガスクロマトグラフ分析法 (GC (ECD) 法)	001 mg/m ³
DXNs	ろ過捕集法 ろ材：石英ろ紙, PUF	ガスクロマトグラフ-質量分析法 (GC/HRMS 法)	25 pg-TEQ/m ³
粉じん	相対濃度指示法	重量法	300 mg/m ³

表 2 単位作業場の設定理由

作業内容	作業位置	予想濃度	単位作業場所
廃感圧複写紙を直接取り扱わず、密封済のメディカルペールを一定量貯まった後、フォークリフトで搬出する作業。	風上	低	入口側
プッシュプル換気装置内でフレコンバッグから廃感圧複写紙を直接取り出し粉碎、メディカルペールに詰め封をする作業。	風下	高	プッシュプル換気装置側

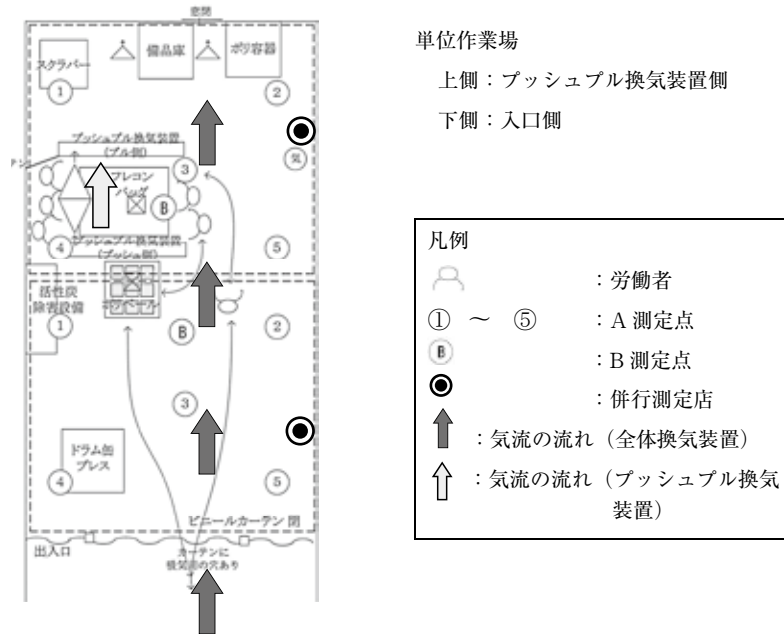


図 1 小分け作業場の概要図

ルカーテンに設けられたスリットから外気を取り込み、室内奥側の全体換気装置に向けて空気が流れている。また、プッシュプル換気装置のプッシュフードからブルフードへ向けて空気が流れている。

2.4 その他の考慮事由

小分け作業室内はフレコンバッグ等の運搬のため定期的にフォークリフトが往来し、エアラインマスクのラインが走行に巻き込まれた場合、重大事故に発展する危険性があるため、エアラインマスクの使用範囲を最小限としたいとの要望があったため、単位作業場所の決定の際に考慮した。

2.5 単位作業場所の設定

単位作業場所の設定は、表 2 に示すとおり、作業内容と作業位置（風上側、風下側）から室内の

ダイオキシン類および粉じんの拡散を予想し、「入口側」と「プッシュプル換気装置側」の 2 作業場に分けることとした。小分け作業場の図面は図 1 に示すとおりである。

3. 測定結果

3.1 評価の概要

廃感圧複写紙の小分け作業時に作業環境測定を行なった結果は表 3-1～表 3-3 に示すとおりである。PCB と粉じんについては A 測定、B 測定ともに第 1 管理区分となったが、DXNs については A 測定、B 測定ともに第 3 管理区域となった。

3.2 DXNs の定量結果

DXNs の定量結果についてはポリ塩化ジベンゾパラジオキシン (PCDDs) やポリ塩化ジベンゾ

表 3-1 作業環境測定結果 (PCB)

単位作業場所	幾何平均 (mg/m ³)	幾何 標準偏差	第一評価値 (mg/m ³)	第二評価値 (mg/m ³)	B 測定 (mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価
入口側	0002	1.95	0.006	0002	0002	001	第 1
プッシュプル換気装置側	0002	2.00	0.007	0003	0002	001	第 1

表 3-2 作業環境測定結果 (粉じん)

単位作業場所	幾何平均 (mg/m ³)	幾何 標準偏差	第一評価値 (mg/m ³)	第二評価値 (mg/m ³)	B 測定 (mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価
入口側	0.03	1.98	0.08	0.03	0.03	300	第 1
プッシュプル換気装置側	0.02	2.01	0.07	0.03	0.03	300	第 1

表 3-3 作業環境測定結果 (DXNs)

単位作業場所	幾何平均 (pg- TEQ/m ³)	幾何 標準偏差	第一評価値 (pg- TEQ/m ³)	第二評価値 (pg- TEQ/m ³)	B 測定 (pg- TEQ/m ³)	管理濃度 (pg- TEQ/m ³)	評価
入口側	54	1.98	16.7	6.9	7.0	25	第 3
プッシュプル換気装置側	4.3	2.01	13.7	5.5	6.0	25	第 3

表 4 DXNs の定量結果

異性体	入口側		プッシュプル換気装置側		検出下限 (pg/m ³)		
	粒子状 (pg/m ³)	ガス状 (pg/m ³)	粒子状 (pg/m ³)	ガス状 (pg/m ³)			
Non-ortho Co-PCB	TeCB	# 81	140	< 0.04	130	35	0.04
		# 77	2900	430	2800	350	0.04
	PeCB	# 126	25	< 0.05	24	< 0.05	0.05
		HxCB	# 169	0.08	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Mono-ortho Co-PCB	PeCB	# 123	110	46	100	43	0.03
		# 118	3600	1300	3600	1400	0.03
		# 105	2400	460	2500	440	0.02
		# 114	170	69	150	67	0.03
	HxCB	# 167	88	1.3	110	1.9	0.04
		# 156	260	1.5	320	2.1	0.03
		# 157	60	0.13	74	0.17	0.02
		HxCB	# 189	13	< 0.05	14	< 0.05
PCDDs	TeCDDs	0.38	< 0.02	0.14	< 0.02	0.02	
	PeCDDs	< 0.03	< 0.03	0.08	< 0.03	0.03	
	HxCDDs	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05	
	HpCDDs	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05	
	OCDD	0.6	< 0.1	0.6	< 0.1	0.1	
PCDFs	TeCDFs	5.6	< 0.04	5.1	< 0.04	0.04	
	PeCDFs	1.9	< 0.02	1.8	< 0.02	0.02	
	HxCDFs	0.42	< 0.03	0.47	< 0.03	0.03	
	HpCDFs	0.21	< 0.04	0.23	< 0.04	0.04	
	OCDF	0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	0.1	

注) 定量値については有効数字を 2 桁とし、表記は検出下限値までの桁とした。また、「<」の付く項目は検出下限未満を示す。

6

フラン（PCDFs）はほぼ検出されず，Co-PCB が多く検出される結果となった。Co-PCB は特に粒子状で多く検出された。詳細な結果は表 4 に示すとおりである。また，図 2 に示すように，粒子状の Co-PCB の異性体パターンは KC-300 の異性体パターンと類似した。

DXNs の測定結果を毒性等量（TEQ）に換算した結果は表 5 に示すとおりである。毒性等量に関しては Co-PCB #126 の寄与率が非常に高く，Total TEQ の 8 割近くを占めていた。また，入

口側とプッシュプル換気装置側ではほぼ同様の測定結果となった。

4. 作業環境上の課題と対策

4.1 改善対策

DXNs の測定結果から作業環境改善のための優先課題は「粒子状の DXNs の室内濃度を抑えること」と考えた。測定結果から粒子状の DXNs の Co-PCB の異性体パターンは KC-300 と類似したため，DXNs の作業環境が悪化した原因は

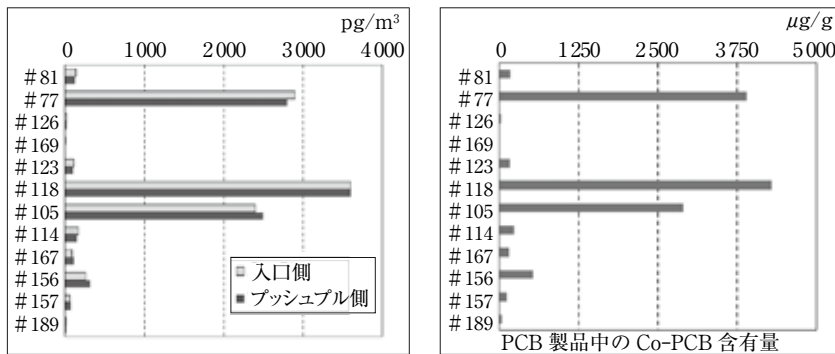


図 2 併行測定の結果（粒子状）と KC-300 の異性体パターン³⁾
（左：併行測定，右：KC-300）

表 5 DXNs の毒性等量一覧

異性体			TEF	入口側		プッシュプル換気装置側	
				粒子状 (pg- TEQ/m ³)	ガス状 (pg- TEQ/m ³)	粒子状 (pg- TEQ/m ³)	ガス状 (pg- TEQ/m ³)
Non-ortho Co-PCB	TeCB	#81	0.0003	0.042	0.000006	0.039	0.0105
		#77	0.0001	0.29	0.043	0.28	0.035
	PeCB	#126	0.1	25	0.0025	2.4	0.0025
		HxCB	#169	0.03	0.0024	0.00045	0.0009
Mono-ortho Co-PCB	PeCB	#123	0.00003	0.0033	0.00138	0.003	0.00129
		#118	0.00003	0.108	0.039	0.108	0.042
		#105	0.00003	0.072	0.0138	0.075	0.0132
		#114	0.00003	0.0051	0.00207	0.0045	0.0020
	HxCB	#167	0.00003	0.00264	0.000039	0.0033	0.000057
		#156	0.00003	0.0078	0.000045	0.0096	0.000063
		#157	0.00003	0.0018	0.0000039	0.00222	0.0000051
		HpCB	#189	0.00003	0.00039	0.00000075	0.00042
PCDDs + PCDFs			-	0.14186	0.047180	0.13006	0.047180
Total TEQ			-	32	0.15	3.1	0.15

注) 毒性等量の数値の取扱いについて，各異性体は定量値（表 4）に TEF を積算した数値とし，Total TEQ は有効数字 2 桁とした。

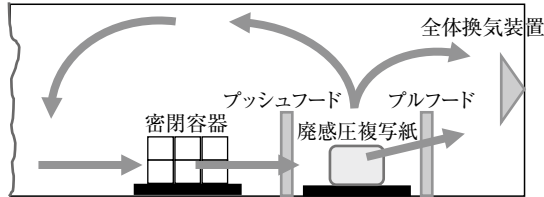


図3 小分け作業室の気流の流れ（現況）



図4-1 対策①：プッシュフード上の天幕

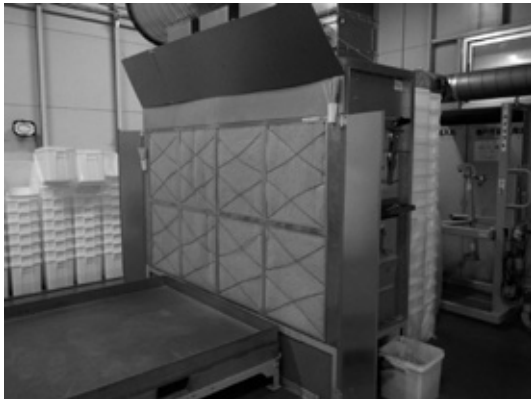


図4-2 対策②：プルフード横のフランジ



図4-3 対策③：ミスト噴霧器

「廃感圧複写紙由来の粉じんがプッシュプル換気装置の外へ拡散した影響」と判断した。次に、入口側とプッシュプル換気装置側の測定結果が同等であることから、プッシュプル換気装置内に設置された廃感圧複写紙由来の粉じんが何らかの経路により入口側へ拡散していることが示唆された。以上から「入口側への粉じんの拡散経路の遮断」と「廃感圧複写紙のプッシュプル換気装置からの漏れ出し抑制」を具体的な作業環境改善の対策とした。

4.2 気流の実態調査

入口側への粉じんの拡散経路を調査するため、スモークテスターを用いて室内空気の流れを再確認した。当初、いずれの高さにおいても入口側から奥へ向けて気流が流れていると考えていたが、図3に示すように床上では室内入口側から奥へ向

けての気流が確認できたが、室内上方では天井などを伝って風上側へも空気が流れていることが判明した。このことが入口側の作業環境が悪化した原因と考えた。

4.3 改善内容

入口側への粉じんの主な拡散経路を遮断するために改善対策を行った。プッシュフードの直上に天幕を設け、室内奥側から入口側への空気の流れを遮断した（図4-1）。人の動きによるプッシュプル換気装置側部への粉じん漏れ出し抑制のため、プルフード側部へフランジの設置（図4-2）や、粉じんを湿潤させ発じん抑制を行うためにミスト噴霧器を設置した（図4-3）。これらを含めた改善対策のまとめは表6に示すとおりである。

4.4 改善後の測定結果

改善対策後の再度作業環境測定を実施した結果

表6 作業環境改善対策一覧

目的	考えられる原因	対策
入口側の作業環境改善	室内上空へ飛散した紙粉が天井などを伝って風上側へ逆流.	プッシュプル換気装置のプッシュフード上に天幕を設け、入口側へ向かう気流を遮断.
粉じんの漏れ出し抑制	プッシュプル換気装置の条件設定が不適切.	プッシュプル換気装置のプルフードの出力を増強.(40% → 50%)
	作業に伴い、プッシュプル換気装置近辺の気流が乱れている.	プルフードの上、横にフランジを設置.
再発じん防止	プッシュプル換気装置から漏れ出した紙粉の再発じん.	ミスト噴霧機を設け、漏れ出た粉じんは湿潤させ、再発じんを防止.
	作業者の行動範囲が広く、作業中の動作が激しい.	作業者の役割を明確に分けて行動範囲を狭めるように作業手順を変更.

表7-1 作業環境測定結果 (PCB)

単位作業場所	幾何平均 (mg/m ³)	幾何標準偏差	第一評価値 (mg/m ³)	第二評価値 (mg/m ³)	B測定 (mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価
入口側	0001	1.95	0.003	0.001	0.001	0.01	第1
プッシュプル換気装置側	0001	1.95	0.003	0.001	0.001	0.01	第1

表7-2 作業環境測定結果 (粉じん)

単位作業場所	幾何平均 (mg/m ³)	幾何標準偏差	第一評価値 (mg/m ³)	第二評価値 (mg/m ³)	B測定 (mg/m ³)	管理濃度 (mg/m ³)	評価
入口側	0.01	1.97	0.02	0.01	0.01	3.00	第1
プッシュプル換気装置側	0.01	1.98	0.02	0.01	0.01	3.00	第1

表7-3 作業環境測定結果 (DXNs)

単位作業場所	幾何平均 (pg- TEQ/m ³)	幾何標準偏差	第一評価値 (pg- TEQ/m ³)	第二評価値 (pg- TEQ/m ³)	B測定 (pg- TEQ/m ³)	管理濃度 (pg- TEQ/m ³)	評価
入口側	0.53	1.97	1.63	0.67	0.49	2.5	第1
プッシュプル換気装置側	0.61	1.98	1.86	0.76	0.41	2.5	第1

は表7-1から表7-3に示すとおりである。対策の結果、DXNsの作業環境は第1管理区域に改善された。また、図5に示すとおり、対策の前後で作業室内の総Co-PCB濃度は減少し、一方でプッシュプル換気装置の排出ガス中に含まれる総Co-PCB濃度は増加した。実施した改善対策の効果により、プッシュプル換気装置の集じん効果が高まった結果と考えられた。

5. 結論

0.5%～10%の可燃性のPCB汚染物である廃感圧複写紙の小分け作業時のPCB、粉じん、DXNsの作業環境測定を実施した結果、PCBや粉じんは良好な作業環境と言える結果が得られた。しかしながらDXNsでは感圧複写紙に含まれるCo-PCBの#126の影響が大きく、通常のばく露防止対策のみでは室内環境は不満足な状態であった。形態別の分析によりCo-PCBの#126が粒子状

作業環境

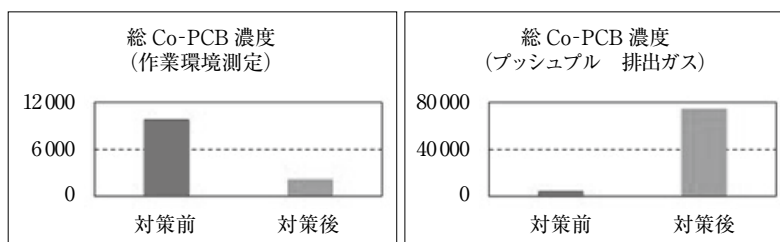


図5 対策の前後による総Co-PCB濃度の推移
(左：作業環境測定（併行測定），右：プッシュプル換気装置排出ガス）

のDXNsから検出され、ガス状のDXNsには殆ど含まれていなかった。作業室内の気流を把握し適切な対策を施すことにより、プッシュプル換気装置内に廃感圧複写紙由来の粉じんを封じ込めることにより、DXNsについても良好な作業環境を得ることができた。

PCB廃棄物を期限内に処理するためには、処理量を減らすことなく、かつ良好な室内環境を維持し作業を行っていく必要がある。今回の測定事例で廃感圧複写紙を処理する際に注意すべき知見を得られたことは有意義な結果と考える。

参 考 文 献

- 1) 西久保俊文(1992)「ノーカーボン紙について」(色材, 65(1), 33-39)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/shikizai1937/65/1/65_33/_pdf/-char/ja
- 2) 環境省(2020)「低濃度PCB廃棄物の処理に対するガイドライン(焼却処理編)」
<https://www.env.go.jp/content/900535522.pdf>
- 3) 滋賀県(2011)「PCBの含有量調査について」
<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/50757.pdf>