

報告書

職場に於ける4,4'-イソプロピリデンジフェノール
(ビスフェノールA;BPA)の大気モニタリング
データ分析



エグゼクティブサマリー

本報告書は、欧州のポリカーボネート(プラスチック・ヨーロッパのPC/BPAグループ)及びエポキシ樹脂(CEFICセクターグループであるエポキシ・ヨーロッパ)生産者による自主的取り組みの結果を示しています。

本報告書はBPAの製造及びポリカーボネートやエポキシ樹脂への転換に関わる職場施設に於ける入手可能な大気曝露データをまとめたものです。BPAの大部分(98%)は、ポリカーボネート及びエポキシ樹脂の製造に使用されています。

欧州では、前述の業界団体会員企業でBPAを取り扱う工場は合計22カ所あります。そのうち9工場がBPAを、5工場がポリカーボネートを、8工場がベースエポキシ樹脂を生産しています。この22工場のうち、17工場(BPA製造工場7工場、ポリカーボネート製造工場5工場全て、エポキシ樹脂製造工場5工場)が本報告書向けに曝露測定データを提供しました。

本データ収集にはポリカーボネートまたはエポキシ樹脂のさらに下流工程に於ける使用に伴う曝露データは、含まれていません。

関係施設では、BPA取り扱い作業中の大気サンプリングを含む定期的な曝露測定が実施されています。作業シフト全期間(8時間)に亘って個人用モニターを使用する事で、時間加重平均(TWA)曝露量の正確な算定が可能となり、リスク評価への入力情報が提供され、局所排気装置 (LEV) などの適切な工学的制御の選択につながる他、必要に応じて、粉塵形成により高い曝露が起こり得る固体BPA の取り扱いなどの特定の作業では呼吸用保護具 (RPE) の使用が可能になります。

1997年から2023年にかけて、306件の個別職場での大気測定データを収集しました。データは以下の製造工程を網羅しています：

- BPA製造：211件 (69%)
- ポリカーボネート製造及びコンパウンディング：49件 (16%)
- エポキシ樹脂製造：36件 (12%)
- 実験室でのBPA分析のための使用：10件 (3%)

データは、様々な活動を含む複数の情報源から提供され、様々なサンプリングおよび分析手法が用いられています。データセットの大半は個人用サンプリング(89%)で、定常サンプリング(11%)も含まれます。大半のデータはダストサンプラーによる採取後、BPAの定量分析を実施しています。サンプラーや直接読み取り装置による簡易粉塵モニタリングも実施しました。

職場での測定結果の報告値にはある程度のばらつきが認められます。調査対象となった活動は、主に以下の2つの曝露カテゴリーに大別できます。(表1も参照のこと)：

- 1) **低曝露**(幾何平均 $\leq 0.01 \text{ mg/m}^3$)は閉じた系で稼働するプロセス、制御室、サンプリング時、及び実験室での作業者の活動(REACHプロセスカテゴリー(PROCs)1、2、3、15に相当)で観察されました。関連する活動はEUの拘束力のある職業曝露限界値(OEL)である 2 mg/m^3 を遥かに下回っています。これらの作業では必要に応じて、呼吸用保護具(RPE)を補助的に使用します。
- 2) **高曝露**(幾何平均 $0.02 \sim 0.4 \text{ mg/m}^3$)はBPAの清掃、袋詰め、投入、バルク移送など、固体BPAを取り扱い、粉塵が発生する可能性のある活動(REACH PROC 4、8b、9 に対応)で観察されます。粉塵対策として、手作業による取り扱い作業全般で運転員のさらなる保護を目的とした呼吸用保護具(RPE)の使用が報告されており、最も一般的なのはFFP2およびFFP3粒子用マスクです。

対象となる全活動・プロセスを総合的に検討すると、現行のEU職業曝露限界値(OEL)である8時間加重平均(TWA)である 2 mg/m^3 と比較して、提供されたデータはBPA粉塵・蒸気・エアロゾルへの曝露がこれらの施設では概ね適切に管理されていることを示しています。

表1：活動別大気測定データのまとめ

活動	幾何平均 (GM) [mg/m ³]	95パーセンタイル値 [mg/m ³]	グループ分け
投入	0.4	9.65	「高」曝露
フレコン充填	0.34	2.5	
バルク移送	0.13	5.83	
固体BPA処理	0.03	3	
清掃及びメンテナンス	0.019	6.75	
PROC 2 – サンプリング	0.011	1.19	「低」曝露
PROC 1 – 閉じた系	0.004	0.29	
PROC 2 – 作業員	0.004	0.14	
実験室での使用	0.003	0.22	

目次

エグゼクティブサマリー	2
目次	4
表のリスト	5
図のリスト	5
背景	6
データ収集	6
方法論	9
データ分析	12
すべての活動	12
大気測定値	12
局所排気装置の種類と効率	15
個人用保護具(PPE)	17
サンプリングの種類と方法	18
分析方法	19
閉じた系	19
管理された曝露(PROC 2)ーサンプリング	21
管理された曝露(PROC 2)ー運転員	23
清掃及びメンテナンス	25
投入	27
バルク移送	29
フレコン充填	31
固体BPA取り扱いーその他	33
実験室での使用	35
考察と結論	36
参考文献	38

表のリスト

表1:活動別大気測定データのまとめ	3
表2:提供された自由記述に基づく活動区分	11
表3:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³)	12
表4:各活動に於ける幾何平均(GM)、95パーセンタイル値、70%上限信頼限界(UCL)のまとめ[mg/m ³]	14
表5:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³)	20
表6:大気曝露測定値の統計量計算値(mg/m ³)	21
表7:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - 41個のデータに基づく運転員への管理された曝露(PROC 2)	23
表 8:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - 清掃及びメンテナンス(45 データセット)	25
表 9:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - 投入 (全 31 データ)	27
表 10:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - バルク移送(全 20 データ)	29
表 11:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - フレコン充填(全 21 データ)	31
表12:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - 袋詰め作業 - その他(全80データ)	33
表 13:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m ³) - 実験室使用(全 18 データ)	35

図のリスト

図1:欧州連合に於けるBPAの使用用途	7
図2:本報告書で対象とした曝露データを示したBPAバリューチェーン	8
図3:全BPA大気測定値の分布(n=306)	13
図4:活動区分別BPA大気中濃度測定値(表2参照)－EU職業曝露限界値(2 mg/m ³)との比較－95パーセンタイル未満の値(n=290)	14
図5:表2に記載の活動間に於ける幾何平均値の比較	15
図6:全活動に於ける局所排気装置(LEV)のタイプ(n=306)	15
図7:全活動に於ける呼吸用保護具(RPE)のタイプの報告状況(n=306)	17
図8:全活動に於ける皮膚保護方法の報告状況(n=306)	17
図9:個人曝露測定と定常作業環境測定(n=306)	18
図10:全活動に適用したサンプリング手法(n=306)	18
図11:全活動に対して適用した分析方法	19
図12:閉じた系－データ分布(n=24)	20
図13:管理された曝露(PROC 2)サンプリング－データ分布(n=26)	21
図14:局所排気装置のタイプ－管理された曝露(PROC 2)サンプリング	22
図15:呼吸用保護具－管理された曝露(PROC 2)サンプリング	22
図16:運転員への管理された曝露(PROC 2)－データ分布(n=41)	23
図17:局所排気装置のタイプ－運転員への管理された曝露(PROC 2)	24
図18:呼吸用保護具のタイプ－運転員への管理された曝露(PROC 2)	24
図19:清掃及びメンテナンス－データ分布(n=45)	25
図20:局所排気装置のタイプ－清掃及びメンテナンス	26
図21:呼吸用保護具のタイプ－清掃及びメンテナンス	26
図22:投入－データ分布－(n=31)	27
図23:局所排気装置のタイプ－投入	28
図24:呼吸用保護具のタイプ－投入	28
図25:バルク移送 - データ分布(n=20)	29
図26:局所排気装置のタイプ－バルク移送	30
図27:呼吸用保護具のタイプ－バルク移送	30
図28:フレコン充填 - データ分布(n=21)	31
図29:局所排気装置のタイプ－フレコン充填	32
図30:呼吸用保護具のタイプ－フレコン充填	32
図31:固体BPA取り扱い－その他－データ分布(n=80)	33
図32:局所排気装置のタイプ－固体BPA取り扱い－その他	34
図33:呼吸用保護具のタイプ－固体BPA取り扱い－その他	34
図34:実験室での使用－データ分布(n=18)	35

背景

2022年3月以降、BPAはEU指令(EU)2022/431に基づき、8時間加重平均(TWA)で2 mg/m³の拘束力のある職業曝露限界値(OEL)が設定されています。EU加盟国は2024年4月5日までにこのOELを遵守しなければなりません。これ以前にドイツ、スイス、フィンランド、オーストリアでは5 mg/m³のOELが適用され、オランダでは3.3mg/m³のOELが設定されていました。デンマークでは有機粉塵に対する一般的な国家OELに基づき、BPAに対して3 mg/m³のOELを適用していました。本報告書ではEUの拘束力のあるOEL値である2 mg/m³が基準値として用います。

2023年3月17日、欧州化学物質庁(ECHA)は、BPAのEUの拘束力のあるOELの見直し可能性を評価するプロセスを正式に開始しました。

CEFICセクターグループであるエポキシ・ヨーロッパと、プラスチック・ヨーロッパのPC/BPAグループは、関連する職業曝露データを収集・分析するための技術タスクフォースを設立しました。このグループの目的の一つは、タスクフォースメンバーの工業用BPA製造、加工、調合施設に於ける現在のBPA職業曝露レベルについて共通認識を得ることです。これらは欧州に於けるBPA、ポリカーボネート、及びベースエポキシ樹脂を生産する工場の相当な割合を占めています(詳細は後述)。データ管理責任者として外部コンサルタントを任命し、会員企業から入手可能な曝露データを収集・分析しました。本報告書ではその結果を報告し、様々なBPA取り扱い作業に於ける典型的な曝露レベルの概要を企業名を伏せて示します。

データ収集

第一段階として会員企業に対し、収集に合意したデータ項目を記載したExcel調査質問票を提供しました。このExcelシートは、会員企業の現場に於ける個々の労働者/運転員のモニタリングによって収集した産業衛生データに基づいて記入することになっていました。要求データは、大気モニタリング及び皮膚データを対象とし、バイオモニタリングデータ(尿サンプル中のBPA)は除外しました。データは欧州競争ガイドラインに厳格に準拠してデータ管理責任者が取り扱いました。

各運転員について要求されたデータは以下の通りです。:

- サンプル年/分析年
- REACH曝露シナリオ(ES)及びプロセスカテゴリー(PROCs)に基づくタスクの記述。自由記述欄に活動詳細を記載すること。
- 実施中の管理措置(例:局所排気装置(LEV)、使用する呼吸用保護具(RPE)の種類、皮膚保護具の種類)。

- 使用した大気サンプリング方法及び定量下限界(LoQ)の明示を含む分析方法
- 大気測定データ(サンプリング時間、流量(L/min)、サンプリングタイプ(個人曝露測定/作業環境測定)、発生源温度、曝露測定値と単位(mg/m³または µg/m³)を含む)
- 皮膚サンプリングデータ(サンプリング方法及びLoQを含む分析方法、サンプリング源温度、最高表面濃度と単位(皮膚面積あたりの質量)を含む)

CEFICのセクターグループであるプラスチック・ヨーロッパのPC/BPAグループ及びエポキシ・ヨーロッパの会員企業7社の17工場を代表した回答済みのアンケートが返送されました。データは欧州のBPA製造工場9工場中7工場、ポリカーボネート製造工場5工場全て、ならびにエポキシ樹脂製造工場8工場中5工場を網羅しています。本データはBPA製造工程に於ける曝露、ポリカーボネート製造に於けるモノマーとしてのBPAの使用及び下流のコンパウンド工程、ならびにエポキシ樹脂(主にBADGE(ビスフェノールAジグリシジルエーテル))製造用BPAモノマー使用を代表しています。したがってデータはBPAの主要用途を広く代表するものです(図1及び図2)。ポリカーボネートの下流用途、すなわち射出成形や押出成形による製品加工に於ける曝露データは、本データの収集対象には含まれていません。ただし、これらの工程ではBPA自体を取り扱うことはなく、残留BPAが微量に含まれるポリカーボネートを取り扱うのみです。

エポキシ用途では、バリューチェーン内にBPAを取り扱う別の下流事業者が存在します。これらの別の下流用途はデータ収集対象には含みません。

本報告書に記載された活動は表1にまとめられ、図2に詳細が示されています。2020年の欧州に於けるビスフェノールAの生産量は約95万トンでした(図1)。

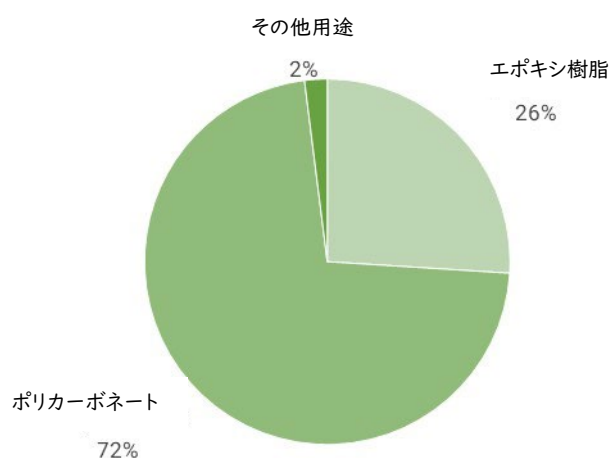


図1: 欧州連合に於けるBPAの用途

出典: IHS Markit (2022)

図2はBPAの用途と、各用途に於けるBPAの使用量・含有量を示しています。使用量データは欧州連合を対象としており、「欧州に於けるポリカーボネートの社会経済的価値評価」(IHS Markit, 2022)に基づいています。

主な用途であるポリカーボネート製造に於いてBPAは原料モノマーとして使用され、ポリマー中にごく少量の残留BPAが残る形でポリカーボネートが製造されます。第二の重要な用途であるエポキシ樹脂製造に於いてもBPAはモノマーとして使用され、オリゴマー中に微量のBPAのみが残留する形で複数の種類のオリゴマーエポキシ樹脂が製造されます。BPA使用量のごく一部は、エポキシ樹脂の硬化剤成分としても使用されます。本報告書で評価対象外となったその他の用途は、BPA使用量のうち約2%になります。

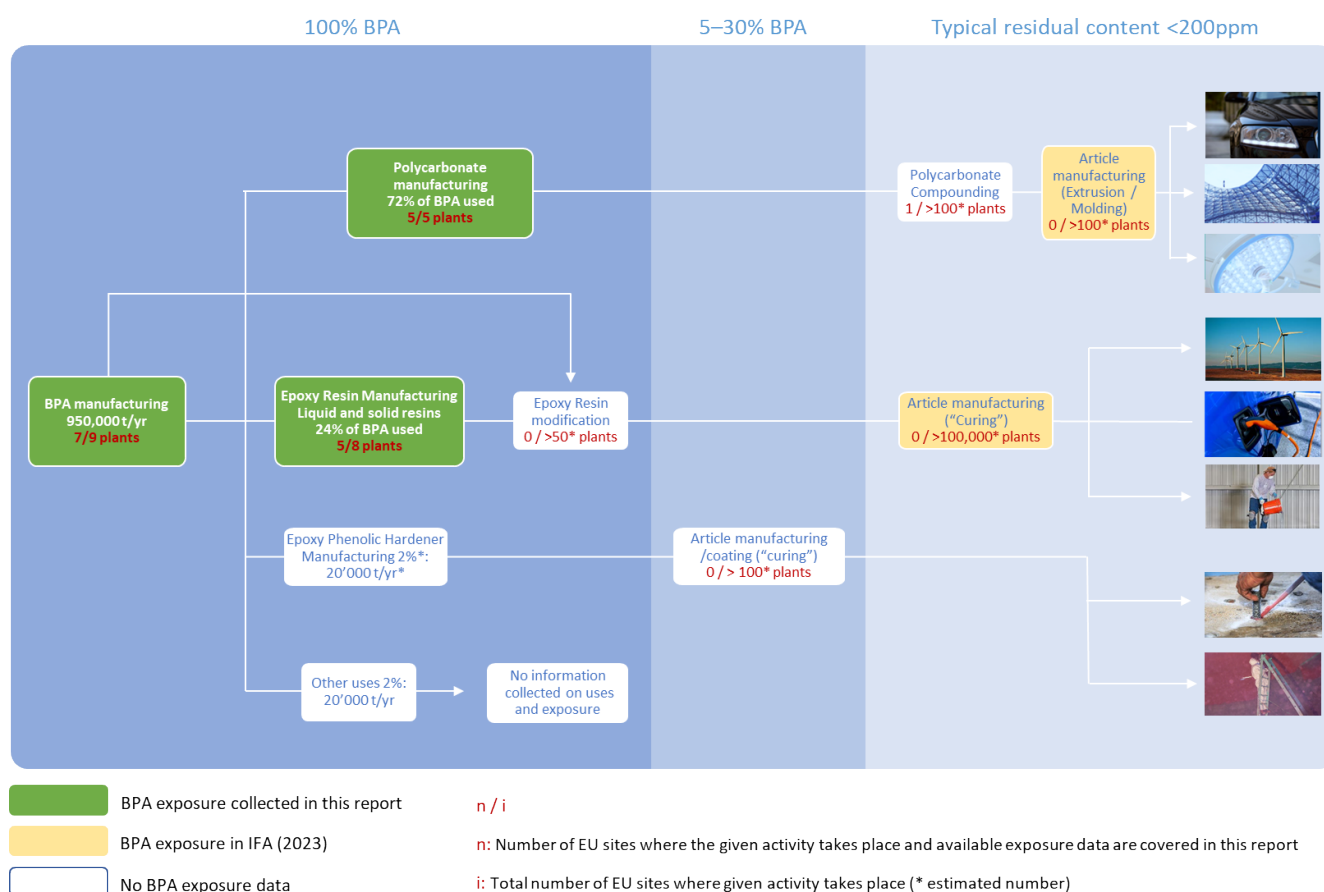


図2:本報告書で対象とした曝露データを示したBPAバリューチェーン



ポリカーボネート

ポリカーボネート製造に於いてBPAはモノマーとして使用され、熱可塑性ポリマーであるBPAポリカーボネートが生産されます。BPAは重合工程で化学的に完全に反応し、ポリマーに転換されます。技術的に避けられない極微量の未反応残留モノマーを除き、BPAはポリカーボネート中では元の形態では存在しません。純粋なポリカーボネートは通常、押出機によるコンパウンディング工程で機能性添加剤を添加し、あるいは他のポリマーとブレンドしてさらに加工されます。こうして得られる製品、コンパウンド及びブレンドはペレットとして市場に販売されます。残留BPAの含有量は通常150 ppmを大幅に下回ります。

下流の工程では、ポリカーボネートペレットは射出成形または押出成形によって製品に加工されます。どちらの工程に於いても、ポリカーボネートペレットは押出機で熔融され、その後金型に射出されるか、ダイスから押し出された後、固化されます。これらの工程では遊離BPAの取り扱いが行われません。



エポキシ樹脂

BPAはベースエポキシ樹脂を改質するためのモノマーとして使用されます。樹脂中ではBPAは極微量の残留レベル(通常200ppm未満)で存在し、粘性または固体樹脂中に存在するため曝露リスクは最小限です。BPAは一部のエポキシ硬化剤(フェノール系硬化剤)にも配合されています。エポキシ・ヨーロッパの会員企業は、特定市場の要求に応じ、BPAフリー硬化剤の再処方を完了、または進行中です。硬化後、BPAは複雑な三次元ポリマーネットワークに封入されるため、曝露の可能性は大幅に低減されます。



下流用途

本報告書で収集したデータは、ポリカーボネートの射出成形や押出成形といったポリカーボネートの下流用途、あるいは産業用途や専門施工業者によるエポキシ樹脂の下流用途は対象としていません。下流用途に於ける曝露指標値は、ドイツ社会事故保険機構のドイツ労働安全衛生研究所によって最近公表(IFA 2023)されており、様々な下流工程の活動に於ける曝露量は低く、現行のOELを大幅に下回ることが明らかになっています。

方法

1997年から2023年分のデータが提供されました。皮膚曝露データは提供されておらず、大気測定データのみが利用可能でした。

提出されたデータの品質にはばらつきがあり、各入力項目に空白部分が多数見られました。一部のデータは集計形式(1行に複数のデータポイントが存在)で提供されており、個別の行に分離する必要があります。統計解析やグラフ作成を可能にするため、さらなるデータ管理が必要でした。例えば、値が幅で示されていた場合、または特定の値未満(<)と示されていた場合、範囲の上限値を使用し、最悪ケースを示すようにした。定量下限値(LoQ)を下回る値については、デフォルト値としてLoQ/2を採用しました。この手法はCreelyら(2006)¹によるジイソシアネート分析法と整合し、複数施設で異なるサンプリング・分析手法が用いられた点を考慮した上で妥当と判断されました。このような微調整により解析可能なデータは306行となりました。

全ての値はまず共通単位であるmg/m³に変換し、これによりパーセンタイル/四分位値、平均、幾何平均、標準偏差等の最初の計算が可能となりました(表2)。

大気測定データは、Microsoft Excel を用いて各活動に於ける幾何平均(GM)の棒グラフ、対数正規分布曲線、及び活動毎の曝露の概要を示す箱ひげ図(「ボックスプロット」)により可視化しました。

幾何平均、標準偏差、95 パーセンタイル値、70% 信頼区間をデータ全体及び作業別に算出しました。

化学物質への吸入曝露の代表的な測定を実施し、職業曝露限界値(OELV)への適合性を実証するための戦略を規定した欧州規格EN 689+C1²に記載された方法を参照しました。

EN 689はまた、データセットのOEL値に対する適合性を試験するためのアプローチを推奨しています。特定の類似曝露群(SEG)の活動について少なくとも6つの曝露測定値が利用可能な場合、結果の分布に於ける70%上限信頼限界(UCL)と95パーセンタイル値を比較します。UCLがOEL値を上回る場合、許容できない超過確率が存在すると結論付けられ、OEL不適合と判断されます。UCLがOELを下回る場合、OEL値超過確率は許容可能な低水準であるとみなされ、適合と見做されます。全活動に於いて、参照値として現行EU OEL値である2mg/m³を用いました。

¹ Creely, K. S., Hughson, G. W., Cocker, J. & Jones, K. 2006. *Assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods*. Ann Occup Hyg, 50, 609-621.

² <https://connect.nen.nl/Standard/Detail/3609871>

当初、活動はREACHプロセスカテゴリー分類(PROCs)に基づいてグループ分けしました。これは、これらが定義されたSEGsと広く関連すると考えられたためです。しかし、この方法では対象となる運転員の活動を適切に説明できず、一部のPROCsが過大評価される傾向がありました。

この問題点を踏まえ、提供された自由記述の説明に基づいて活動を分割し、曝露と作業者のタスクをより「細分化された」方法で関連付ける方法を採用しました。これにより「類似曝露群」(SEG)に相当する区分が提供されました。活動は表1の基準に従って分割しました。

表2:提供された自由記述に基づく活動区分

活動	説明
閉じた系	PROC 1 活動 – 通常運転、サンプル採取
清掃/メンテナンス	PROC 2 活動 - 以下の作業を含む: 機器洗浄、保守作業、ライン/プロセス機器の洗浄、BPA集塵機清掃時の環境、PC押出機ノズルプレート交換、フィルター交換、BPAコンベアシステム開放
管理された曝露(運転員)	PROC 2 活動 – 管理された曝露条件下に於ける交替勤務者/監督者/制御室運転員の監視
管理された曝露(サンプリング)	PROC 2 活動 – 管理された曝露条件下でのサンプリング
フレコン充填	PROC 9 活動 - BPA の造粒、フレコンへの充填、ペレタイザーの交換(BPA ペレット)、サイロから屋外専用施設内のフレコンへの移送を含む
固体BPA取り扱い–その他	PROC 8b/9活動– BPAの 包装、小サンプルの袋詰め、トートバッグへの充填、袋詰め作業、密閉式自動供給ライン、手動での袋の計量ステーションへの搬送及びパレット積載
投入	PROC 3及び8b活動 – ホッパーまたはプロバンドミキサーへの25kg袋入りBPA投入、手動によるBPA袋の反応器への投入、調合、反応器へのBPA充填、造粒
バルク移送	主にPROC 8b活動 – サイロからトラックへの移送、BPAフレコンのフォークリフトによる取り扱いを含む。荷卸し装置上でのフレコンの底部からの開封。空フレコンの廃棄物コンテナへの移送、トラックからの荷卸し、保管エリアからの輸送、説明なし
実験室	PROC 15活動 – 実験室/分析作業

データ解析

全活動

大気測定値

表3:大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³)
- 全306データポイント(算出式付き)

記述子	Excelの数式	値 [mg/m ³]
最小値	=MIN(values)	< LoQ
10パーセンタイル	=PERCENTILE.INC(values,10%)	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	=PERCENTILE.INC(values,25%)	< LoQ
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	=PERCENTILE.INC(values,50%)	0.030
75パーセンタイル(第3四分位点)	=PERCENTILE.INC(values,75%)	0.300
90パーセンタイル	=PERCENTILE.INC (values,90%)	1.400
95パーセンタイル	=PERCENTILE.INC (values,95%)	3.200
最大値	=MAX (values)	12.400
算術平均(平均)	=AVERAGE (values)	0.600
幾何平均	=GEOMEAN (values)	0.025
標準偏差	=STDEV (values)	1.700
幾何標準偏差	=EXP (STDEV (LN (values/geometric mean)))	20.700
95パーセンタイルの70%信頼水準	=CONFIDENCE.T(alpha, STDEV.S(values), COUNT (values))	0.100
70%上限信頼限界 (UCL)	=Mean(Values)+70%Confidence Level	0.700

全活動に於ける大気測定データをプロットした結果、対数正規分布が明らかとなりました(図3)。

職業曝露値には下限値がある(つまり、測定した曝露値はゼロ未満にはならない)ため、サンプリングデータは右に偏る傾向があり、対数正規分布は職業曝露で頻繁に適用されます。ここでy軸は、データセット内で特定の値が発生する相対確率を表します。

変数の対数を取ることで、このような歪みを軽減できることが多い。この場合、変数の対数が正規分布しているならば、その分布は対数正規分布(または対数正規)と見なされます。

幾何標準偏差が異常に大きいのは、ごく少数の高値外れ値によって生じる非常に長い分布の裾によって説明できます。

対数正規分布
すべての大気中BPA測定値(mg/m³)

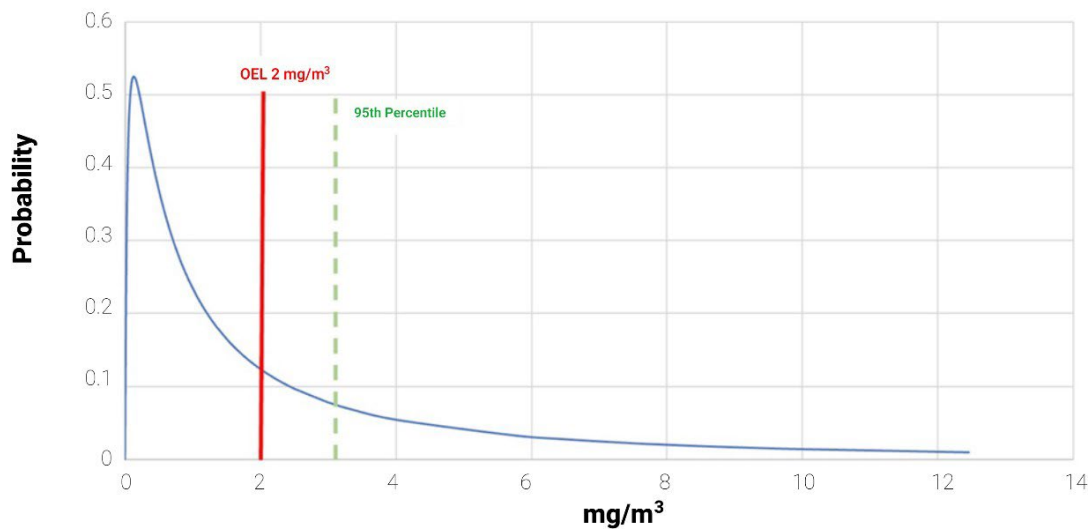


図 3: すべての BPA 大気測定値の分布 (n=306)

EUの職業曝露限界値(OEL)である2 mg/m³を参照すると、提供された大気測定値の大部分(89%)がこの値を下回っていることが明らかです。一部の加盟国が採用していた従来の OEL 値である 5 mg/m³を下回る割合はさらに大きく(93%)、さらに特に高曝露状況では個人用保護具(図 7 参照)が頻繁に使用されている点は重要です。

しかしながら、個々の活動における大気測定値を調べると、より多くのデータポイントから、OEL と記述統計量を比較するだけで明確な解釈が可能となり、より多くのことが明らかになる場合があります。したがって、図4は管理された作業が予想通り最低限の曝露を示し、適切な曝露管理が行われていることを裏付けています。BPAの手作業を伴う活動は全体的に高い曝露を示していますが、概ね適切に管理されています。これらの活動では通常、呼吸用保護具(RPE)が使用され、作業者保護の追加層を提供しています。幾何平均値の単純比較(図5)から、全活動に於いて概ね良好な曝露管理が行われていることが示唆されます。

特に、固体BPAの袋詰め、計量、バルク移送作業は、職場での曝露をさらに低減する機会について、さらなる調査の対象となることがわかります。

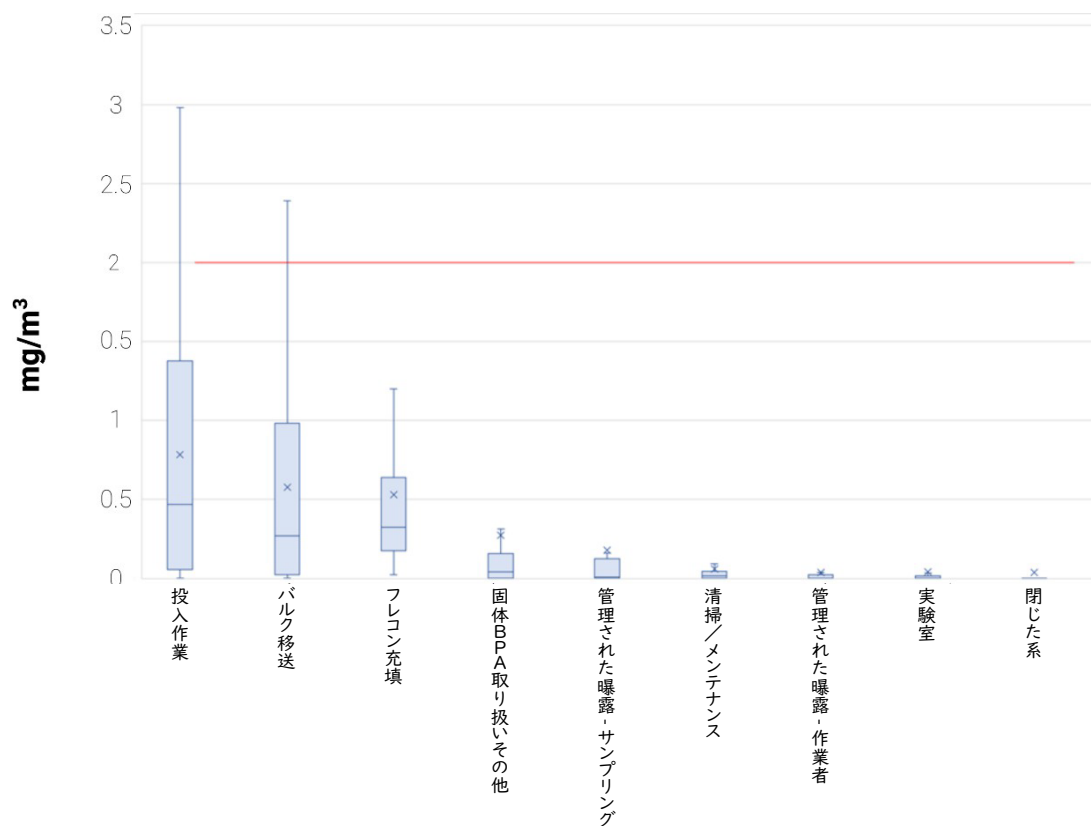


図4:活動別大気中BPA濃度測定値(表2参照)–EU職業曝露限界値(OEL:2 mg/m³)との比較–
95パーセンタイル未満値(n=290)

表4:各活動に於ける幾何平均(GM)、95パーセンタイル値、70%上限信頼限界(UCL)のまとめ[mg/m³]

活動内容	幾何平均(GM) [mg/m ³]	95パーセンタイル 値 [mg/m ³]	70%上限信頼限界(UCL) [mg/m ³]	
投入	0.4	9.65	2.40	「高」曝露
フレコン充填	0.34	2.5	0.99	
バルク移送	0.13	5.83	1.54	
袋詰め–その他	0.03	3	0.58	
清掃及びメンテナンス	0.019	6.75	0.77	
PROC 2 – サンプリング	0.011	1.19	0.216	「低」曝露
密閉系 (PROC 1)	0.004	0.29	0.047	
密閉系 (PROC 1)	0.004	0.29	0.047	
PROC 2 – 運転員	0.004	0.14	0.042	
実験室での使用	0.003	0.218	0.05	

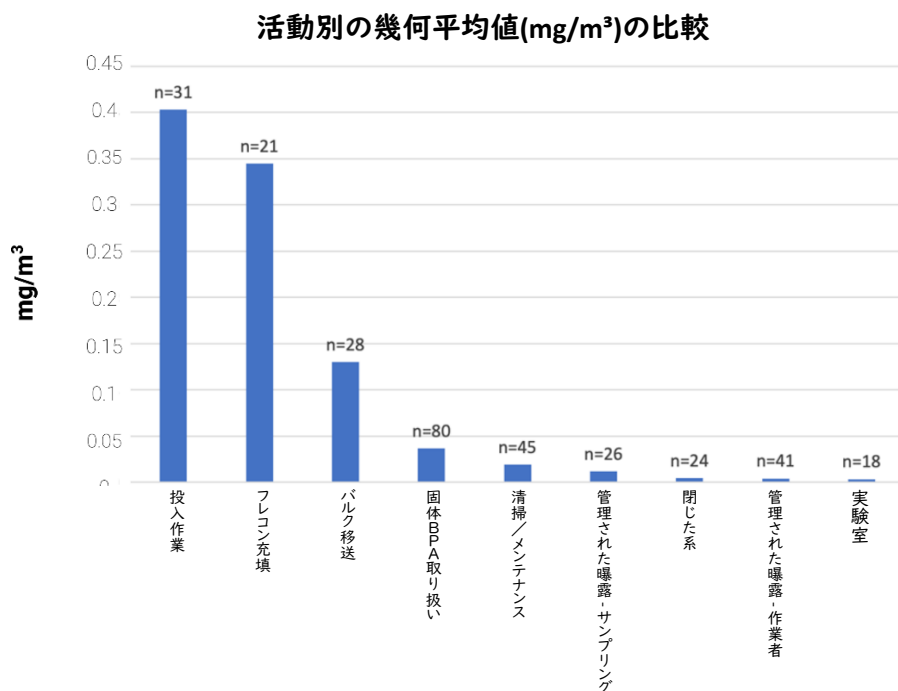


図5: 表2に記載の活動間に於ける幾何平均値の比較

局所排気装置のタイプと効率

局所排気装置(LEV)の使用率は、あらゆる作業活動に於いて予想外に低いものの、これは閉じた系(PROC1/PROC2)が広く使用されている事と、特に粉塵への曝露が予想される場合には主にLEVを使用する傾向がある事によって説明できます(図6)。実際、固体BPAの取り扱い作業では、閉じた系(図14、17、20)と比較して、これらの作業中にLEVの使用率が高くなっています(図23、26、32)。

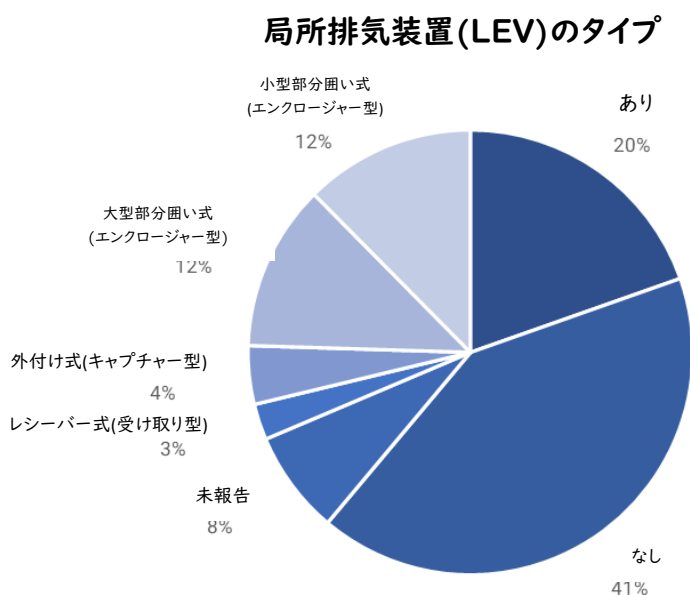
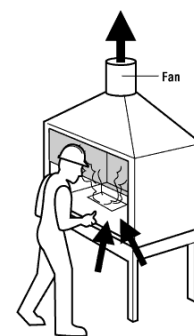
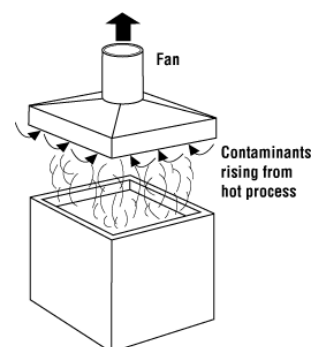


図6: 全活動に於ける局所排気装置(LEV)のタイプ(n=306)

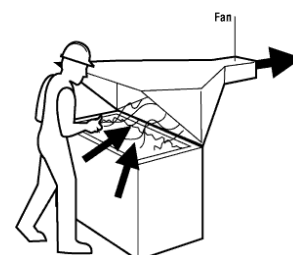
囲い式フード、または「**排気フード**」は、汚染物質が発生する工程や発生点を囲むフードを指します。完全囲いフード(全方向囲い)の例としてはグローブボックスやグラインダーフードが挙げられます。部分囲い(2面または3面囲い)フードの例としては実験室用フードや塗装ブースがあります。可能な限り囲いフードの使用が推奨されます。



受け取りフードは、ある程度の初期速度や動きを持つ発生源からの排出物を「受け取る」または捕捉するように設計されています。例えば、キャノピーフードと呼ばれるタイプの受け取りフードは、図に示すように上昇する高温の大気やガスを受け取ります。



キャプチャーフードは排出源を囲まずに隣接して設置されます。例としては、図示のようにタンク縁に沿った長方形のフード、溶接・研削作業台上のフード、手動研削盤用のダウンドラフトフードなどがあります。



各作業で使用した局所排気方式と大気測定値を比較し、LEV効率の指標を特定できるか検討しましたが、データにばらつきがあるため現時点では確固たる結論は得られていません。

個人用保護具

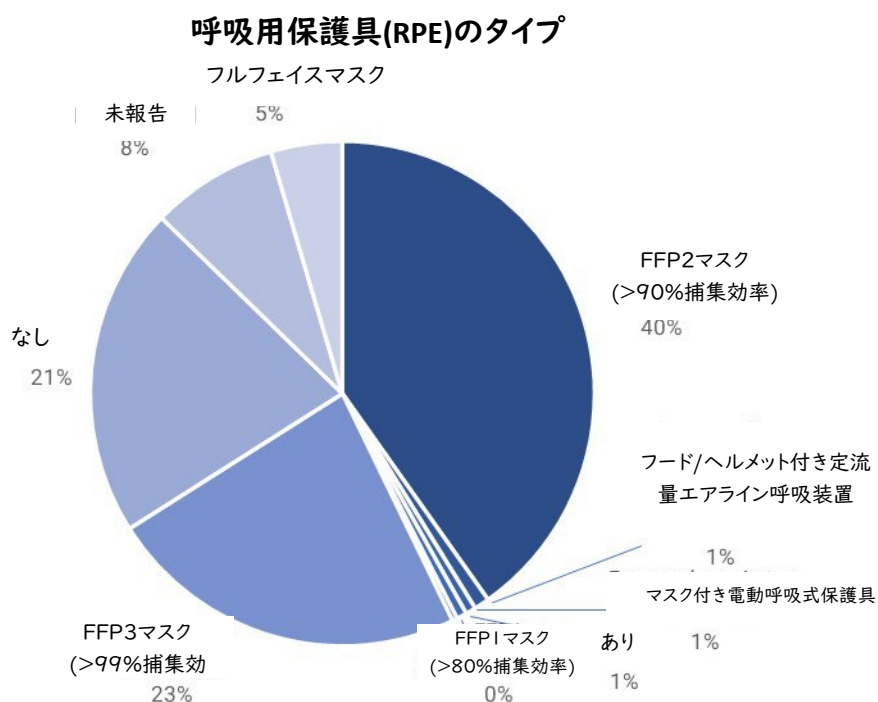


図7:全活動に於ける呼吸用保護具(RPE)のタイプの報告状況(n=306)

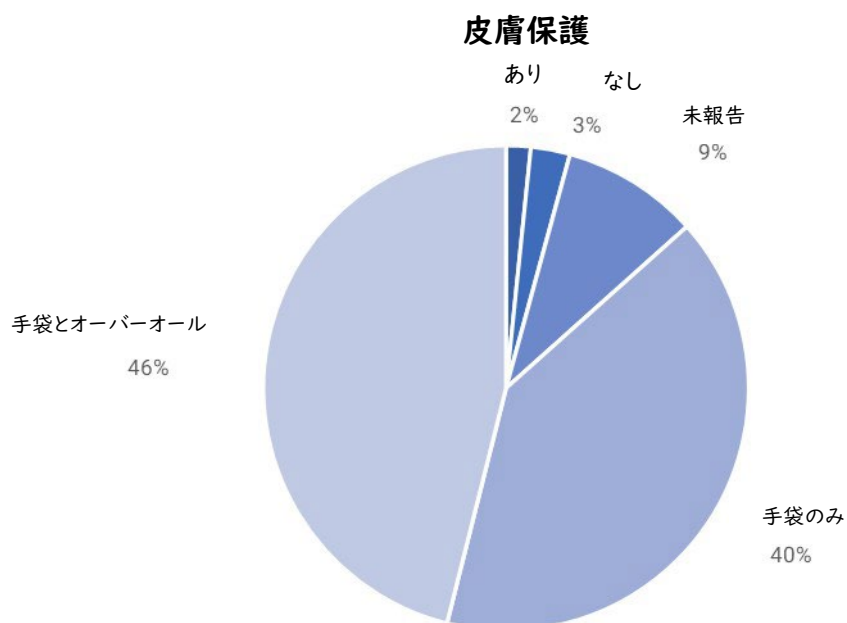


図8:全活動に於ける皮膚保護方法の報告状況(n=306)

活動全体を通じて、特に粉塵作業などで局所排気装置(LEV)による集団防護が確保できない状況に於いては、個人用保護具(呼吸用保護具(図7)及び皮膚保護(図8)の双方)は、日常的かつ一貫して使用されています。

サンプリングのタイプと方法

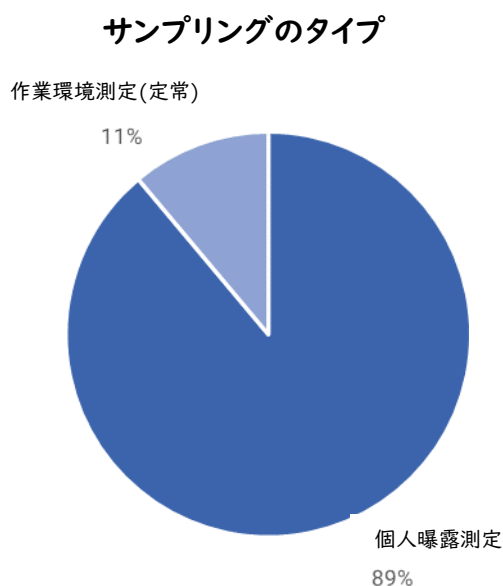


図9: 個人曝露測定と定常作業環境測定(n=306)

サンプリングは主に、粉塵、エアロゾル、蒸気用の個人用サンプリング装置を用いて実施されています(図 9)。サンプリングの大半は、ガラスまたは石英繊維フィルターで集塵した粉塵が対象であり、サンプル採取後、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)用いて分析を行います。IOM(職業医学研究所)粒子モニター³及び光散乱測定を用いたSidepack エアロゾルモニター⁴も一般的に使用されていますが、蒸気の採取は採取方法のごく一部を占めるに過ぎません(図 10)。

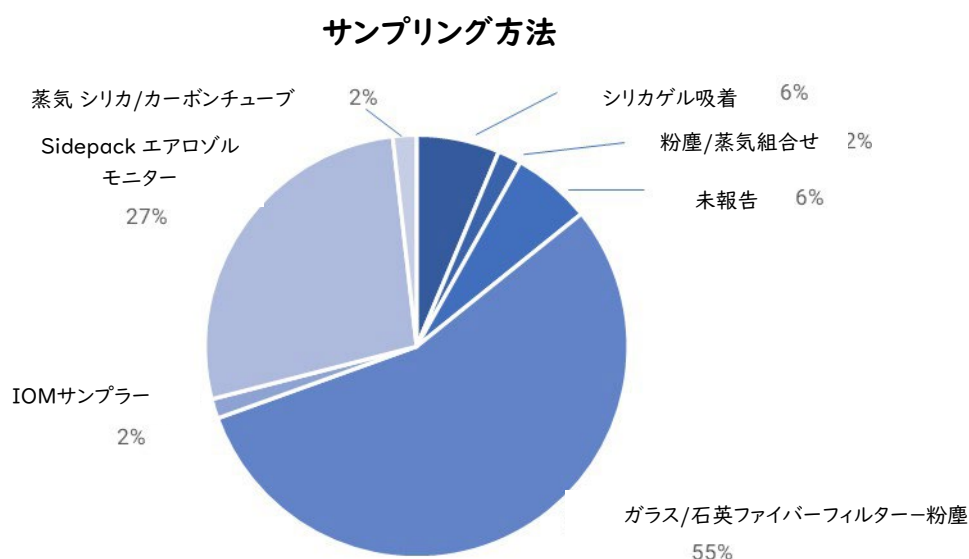


図10: 全ての活動に適用したサンプリング手法(n=306)

³ <https://www.skcltd.com/products2/sampling-heads/iom-sampler.html>

⁴ <https://tsi.com/products/aerosol-and-dust-monitors/aerosol-and-dust-monitors/sidepak%E2%84%A2-am520-personal-aerosol-monitor/>

分析方法

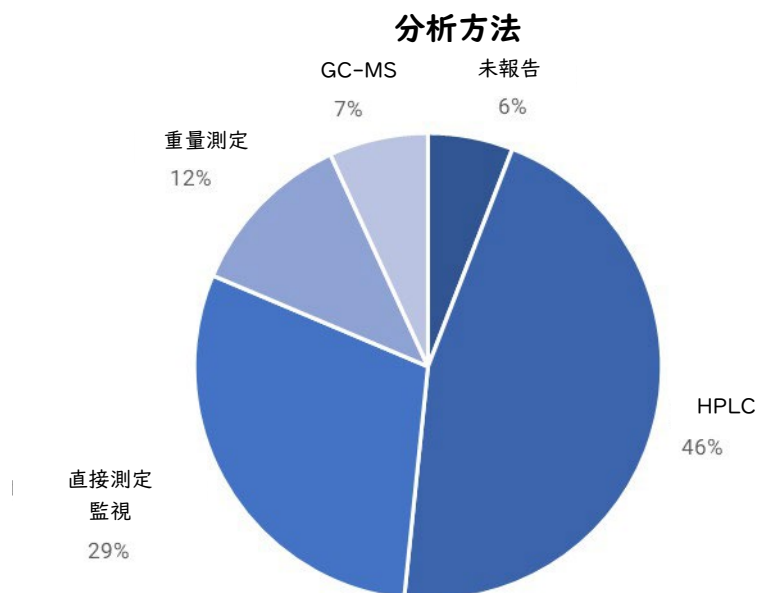


図11: 全活動に対して適用した分析方法

報告施設間、さらには同一施設内の活動間でも異なる分析方法が記載されています(図11)。例えば、総粉塵の測定には、重量測定法やフィルター捕集法が用いられ、デンマークなどの加盟国ではOEL遵守確認に一般的に採用されていました。一方、BPA自体の分析は主にHPLC測定によって行われています。定量下限界(LoQ)は施設によって異なりますが、一般的に十分な感度(0.001~0.09 mg/m³の範囲)を有しています。粒子状物質及びエアロゾルの直接測定監視も広く使用されています。

閉じた系

閉じた系とは、化学産業で適用される閉じたプロセス条件下の物質または混合物製造プロセスに於ける一般的な性質を指しています。閉じた系でのサンプリングを含むプロセス固有の閉じた系の移送が含まれます。システムの充填/排出のための開放系での移送は含まれません。

予想通り、閉じた系からの曝露は明らかに低く、記録された最大濃度は0.3mg/m³でした。

本作業は、部分囲い、呼吸用保護具(FFP3 粒子捕集効率 >99%)、皮膚保護具(手袋のみ)を使用した室温での操作が特徴であり、非常に高いレベルの保護を提供しています。

個人用サンプリング法のみが報告されていて、粉塵の重量測定にIOMサンプラーを用いるか、シリカゲル吸着後の蒸気をHPLCで測定するかどちらかの方法が使われています。

表 5:24 個のデータポイントに基づく閉じた系に於ける大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³)

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.0026
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.003
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.003
90パーセンタイル	0.16
95パーセンタイル	0.28
最大値	0.3
算術平均(平均)	0.037
標準偏差	0.09
幾何平均	0.004
幾何標準偏差	6.5
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.01
70%上限信頼限界 (UCL)	0.047

対数正規分布

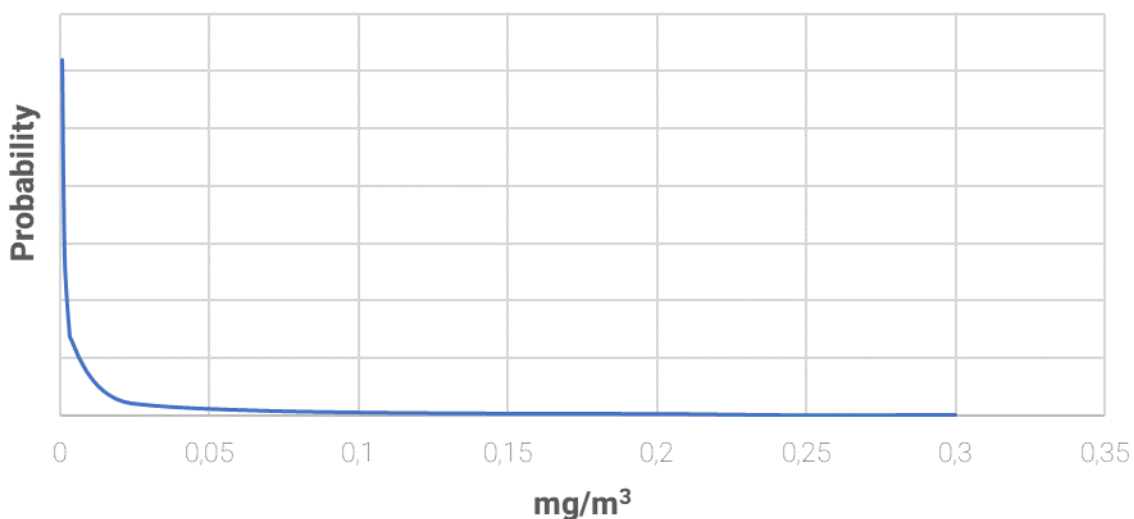


図12: 閉じた系—データ分布 (n=24)

この活動に対応する24個の個別大気測定値は、すべてEUのOELである2 mg/m³を下回っていました。計算で求めたUCL(上限信頼限界)は0.047 mg/m³でした。

管理された曝露(PROC 2)ーサンプリング

26個の個別データは、部分的に密閉された局所排気装置(LEV)の有無にかかわらず、時折制御された曝露条件下でのサンプリングを伴うPROC 2活動を記述しています(図13)。

予想される低曝露可能性が確認され、追加の呼吸用保護具(RPE)及び皮膚保護具が通常使用されています(図15)。粉塵またはエアロゾルに対する個人モニタリングはすべての事例で報告されています。

表 6: 大気曝露測定値の統計量計算値(mg/m³) - 26 個のデータポイントによる管理された曝露 (PROC 2)サンプリング

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.001
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.01
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.11
90パーセンタイル	0.57
95パーセンタイル	1.2
最大値	1.5
算術平均(平均)	0.18
標準偏差	0.4
幾何平均	0.01
幾何標準偏差	15.9
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.04
70%上限信頼限界 (UCL)	0.21

対数正規分布

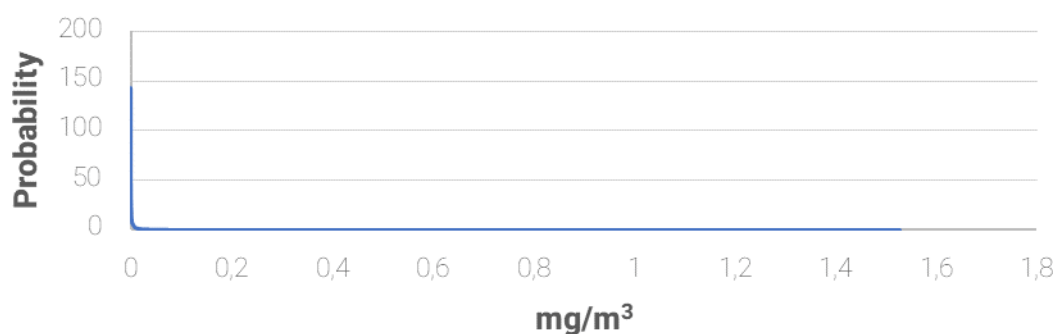


図13: 管理された曝露(PROC 2)サンプリングーデータ分布(n=26)

すべての大気測定値は、EUのOELである2 mg/m³を下回りました。計算で求めた70% UCLは0.21 mg/m³でした。

局所排気装置のタイプ—PROC2サンプリング

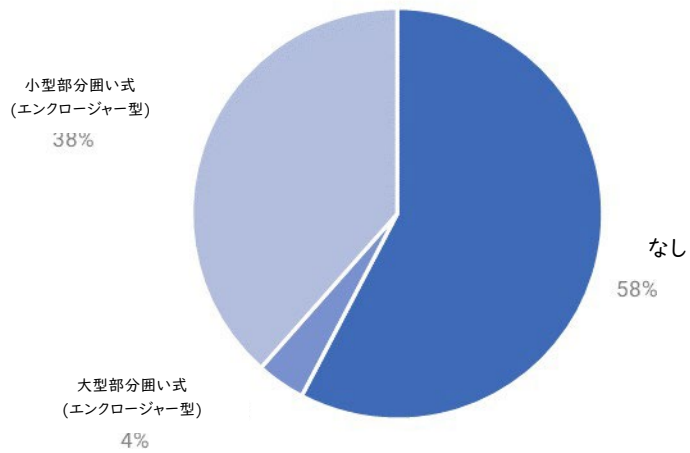


図14:局所排気装置のタイプ—管理された曝露(PROC 2)サンプリング

呼吸用保護具のタイプ—PROC2サンプリング

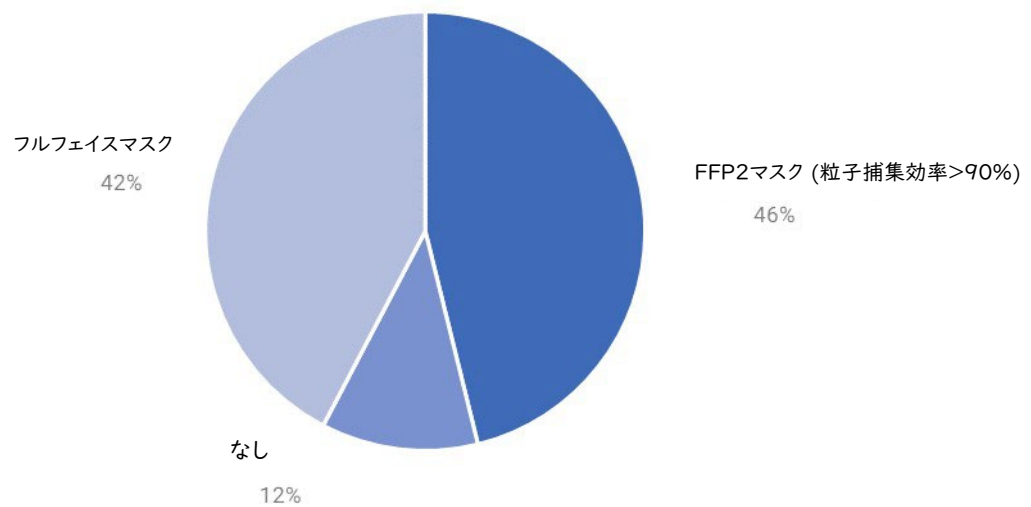


図15:呼吸用保護具—管理された曝露(PROC 2)サンプリング

管理された曝露(PROC 2) – 運転員

41個のデータポイントは、物質の製造または混合物の製造が行われるPROC 2活動(限定的な手動介入を伴う連続プロセス)をカバーしています。BPA粉塵に対する個人サンプリングと定常作業環境サンプリングの両方により、管理された曝露条件下に於ける直勤務者/監督者/制御室運転員への曝露が低い可能性を確認しています。局所排気装置及び呼吸用保護具は時折使用します。

表7: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³) - 41個のデータに基づく運転員への管理された曝露(PROC 2)

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	< LoQ
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.003
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.01
90パーセンタイル	0.09
95パーセンタイル	0.14
最大値	0.46
算術平均(平均)	0.038
標準偏差	0.09
幾何平均	0.0036
幾何標準偏差	10.6
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.0047
70%上限信頼限界 (UCL)	0.04

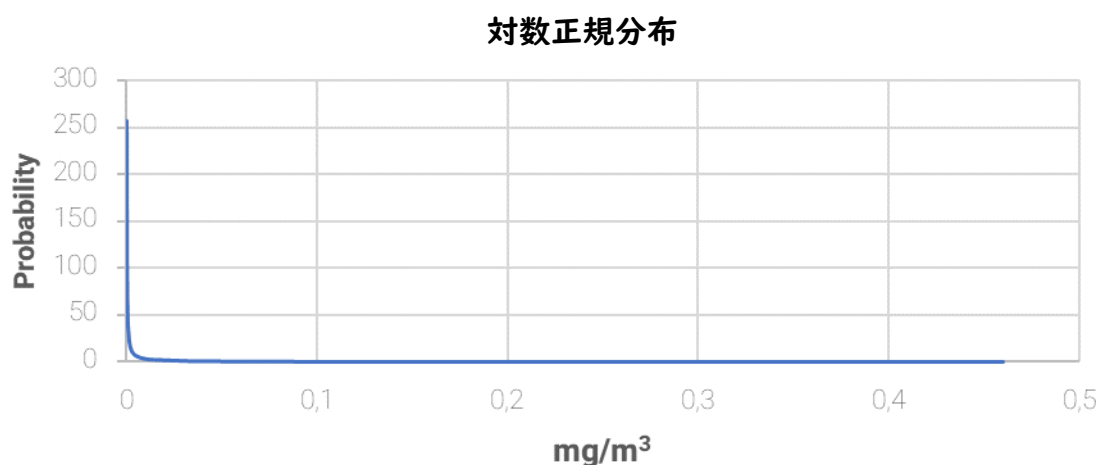


図16: 管理された曝露(PROC 2)作業員 – データ分布(n=41)

41件の測定値全てがEUのOELである2mg/m³を下回っています。70% UCLは0.04 mg/m³です。

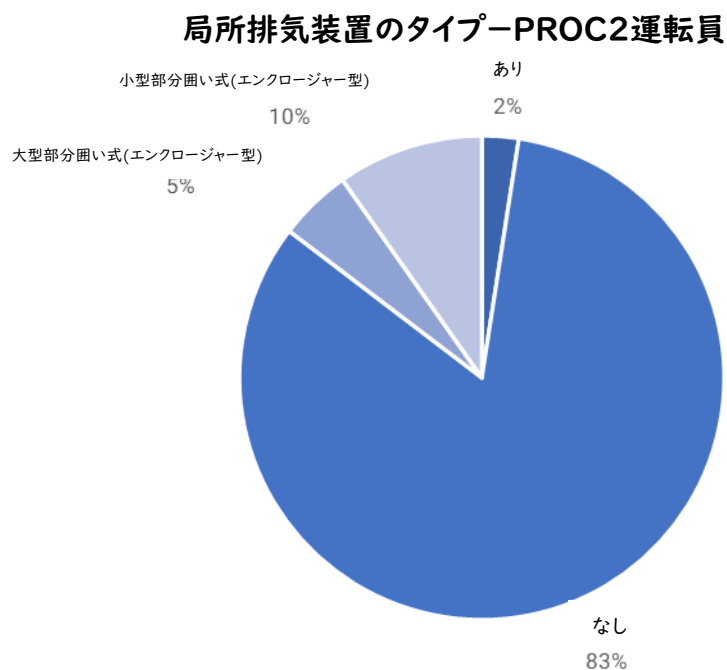


図 17:局所排気装置のタイプ-運転員への管理された曝露(PROC 2)

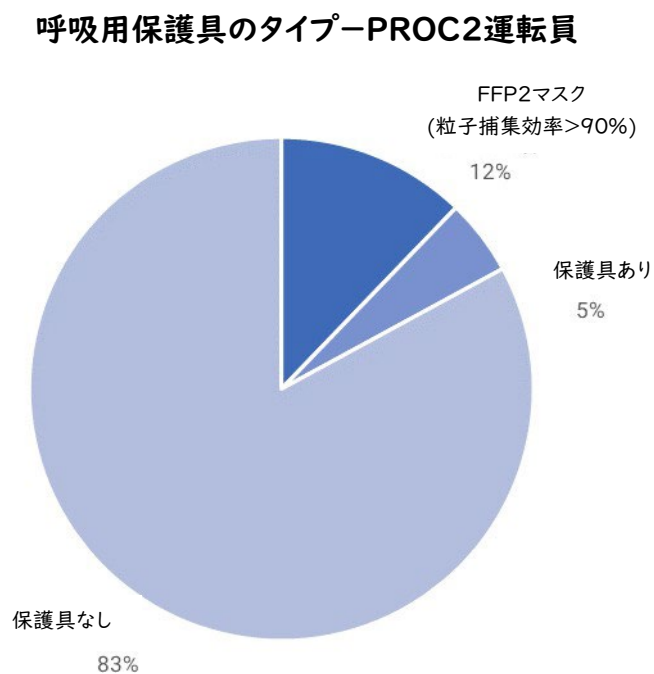


図18:呼吸用保護具のタイプ-運転員への管理された曝露(PROC 2)

清掃及びメンテナンス

PROC 2 活動を記述した 45 件のエントリには以下の内容が含まれます。: 機器洗浄、メンテナンス作業、ライン/プロセス機器の洗浄、BPA ダストセパレータ洗浄中の裏方作業、ポリカーボネート押出機のノズルプレート交換、フィルター交換、BPA コンベヤシステム開放

通常、局所排気装置(LEV)の使用は報告されていませんが、高効率の呼吸用保護具(RPE)と皮膚保護具が使用されます(図20及び21)。45個のデータのうち4つがEUのOELである $2\text{mg}/\text{m}^3$ を超過していますが、その他の測定値はすべて $1\text{mg}/\text{m}^3$ を大幅に下回っており、曝露管理が良好である事を示しています。70%上限信頼限界(UCL)は $0.77\text{mg}/\text{m}^3$ です。

表 8: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m^3) - 清掃及びメンテナンス(45 データセット)

記述子	値 [mg/m^3]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.0035
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.02
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.05
90パーセンタイル	0.54
95パーセンタイル	6.75
最大値	8.5
算術平均(平均)	0.67
標準偏差	2
幾何平均	0.019
幾何標準偏差	16.8
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.1
70%上限信頼限界 (UCL)	0.77

対数正規分布

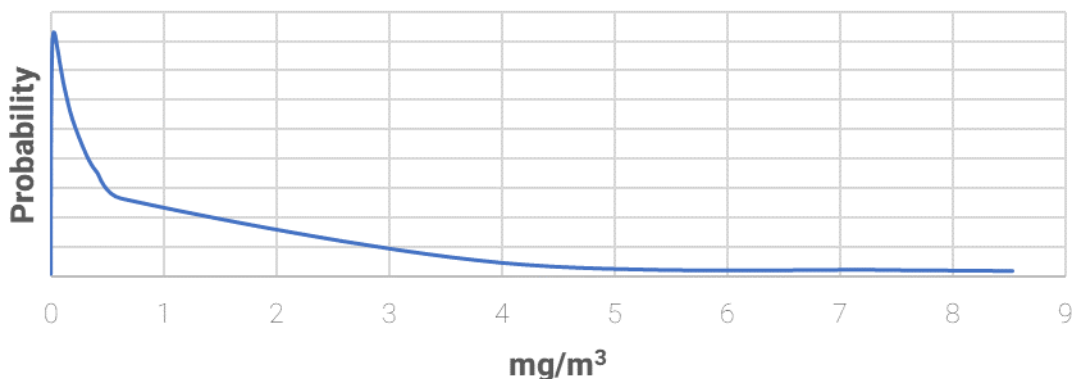


図19: 清掃及びメンテナンス - データ分布(n=45)

局所排気装置のタイプ－清掃及びメンテナンス

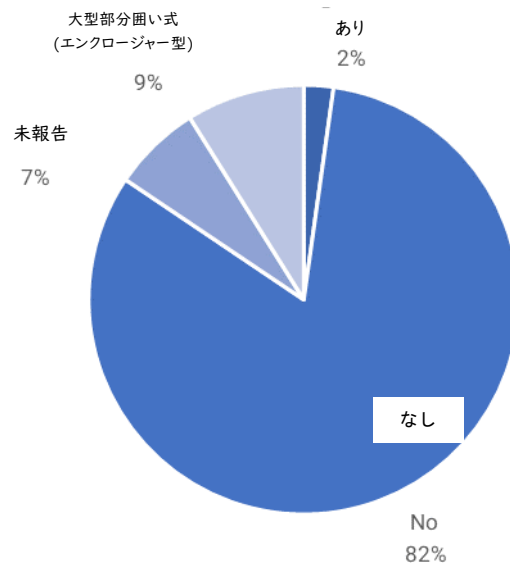


図20:局所排気装置のタイプ－清掃及びメンテナンス

呼吸用保護具のタイプ－清掃及びメンテナンス

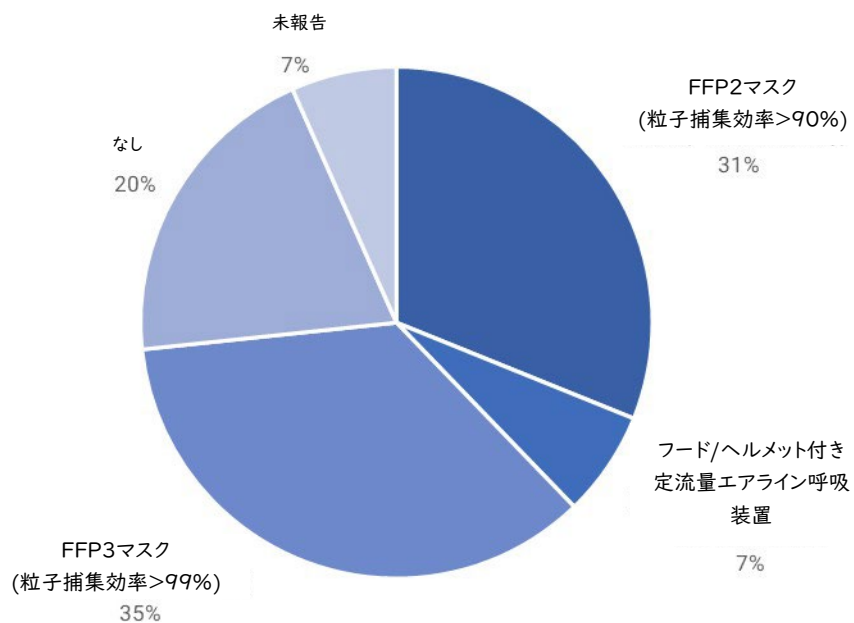


図 21:呼吸用保護具－清掃及びメンテナンス

投入

31件のデータ記録は、主にホッパーまたはプロバンドミキサーへの25kg袋入りBPAの荷揚げ、反応器へのBPA袋の手動投入、調整、反応器へのBPA充填、造粒を含むPROC 8b条件下での投入操作を表しています。

通常、粉塵対策用には小型部分囲いまたは固定式捕集フードを、呼吸用保護具(FFP2 粒子捕集効率 90%以上)またはフルフェイスマスク/電動呼吸式保護具及び手袋とともに使用します。31 件の曝露データのうち 9 件が EU OEL に達するかそれを超過しており、すべてのケースで曝露が管理されている訳ではないことを示しています。70% UCLの計算値 (2.4 mg/m³)は、OEL の 2 mg/m³を上回っています。

表 9: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³) - 投入 (全 31 データ)

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	0.03
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.09
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.72
75パーセンタイル(第3四分位点)	2.1
90パーセンタイル	6.4
95パーセンタイル	9.65
最大値	12.46
算術平均(平均)	1.9
標準偏差	3.2
幾何平均	0.4
幾何標準偏差	11.1
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.4
70%上限信頼限界 (UCL)	2.4

対数正規分布

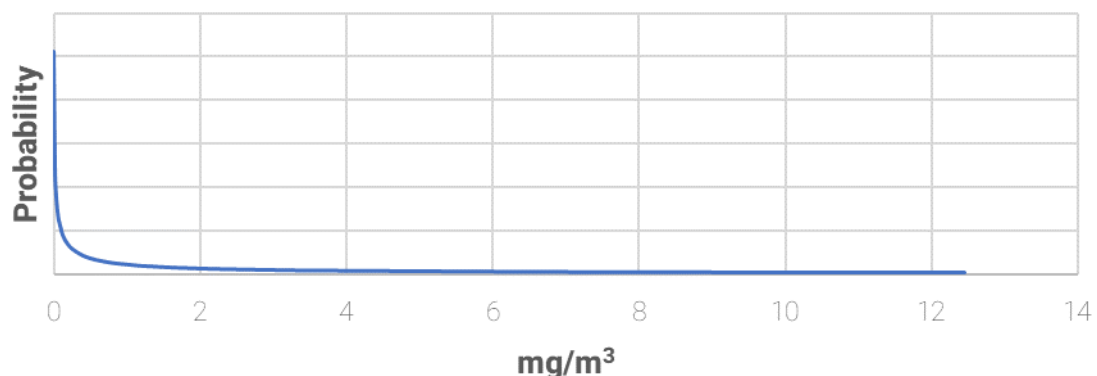


図22: 投入 – データ分布 – (n=31)

局所排気装置のタイプ投入

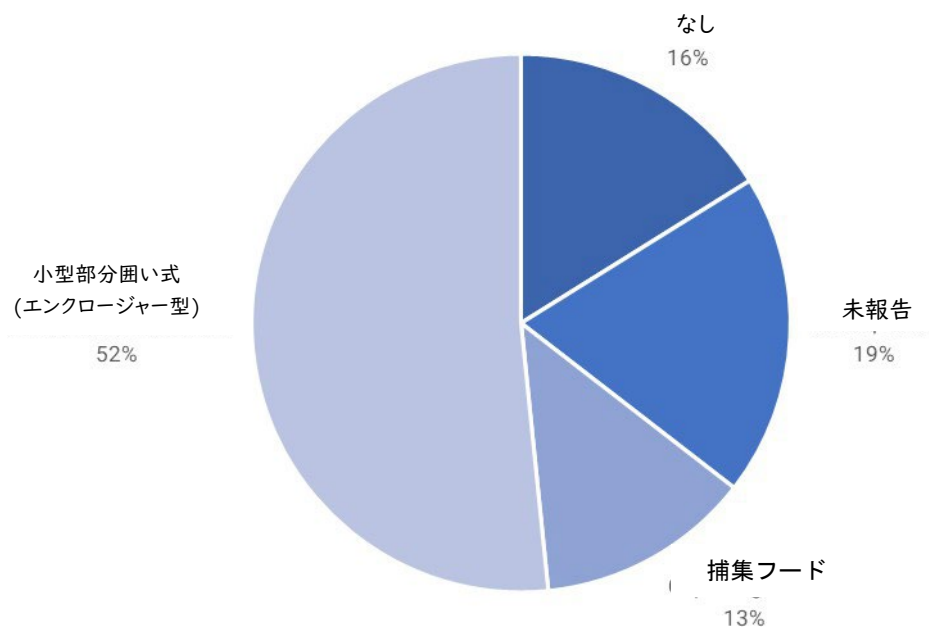


図23:局所排気装置のタイプ投入

呼吸用保護具のタイプ投入

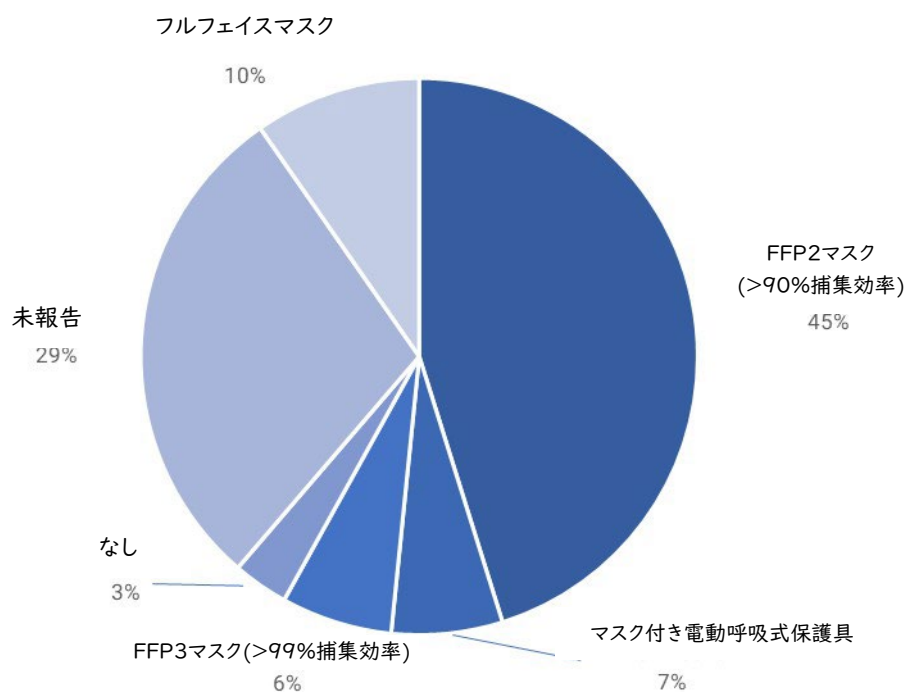


図24:呼吸用保護具のタイプ投入

バルク移送

20件の項目は、サイロからトラックへの移送、フォークリフトによるフレコン取り扱い、荷卸し装置上でのフレコン底部からの開封、空フレコンの廃棄物容器への移送、トラックからの荷卸し、保管エリアからの輸送を含む現場でのバルク輸送・取り扱いを伴うPROC 8b活動を表しています。

粉塵やエアロゾルを管理するため大型部分囲いを使用し、すべてのケースで呼吸用保護具(RPE)を併用し、皮膚保護のため手袋とオーバーオールを着用します。曝露濃度は通常 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 未満ですが、20データ中3データがEUのOELである $2\text{mg}/\text{m}^3$ を超過しています。70%上限信頼限界(UCL)は $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ です。

表10: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m^3) - バルク移送(全 20 データ)

記述子	値 [mg/m^3]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.03
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.5
75パーセンタイル(第3四分位点)	1.1
90パーセンタイル	2.7
95パーセンタイル	5.8
最大値	8.15
算術平均(平均)	1.2
標準偏差	2.1
幾何平均	0.13
幾何標準偏差	22.3
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.3
70%上限信頼限界 (UCL)	1.5

対数正規分布

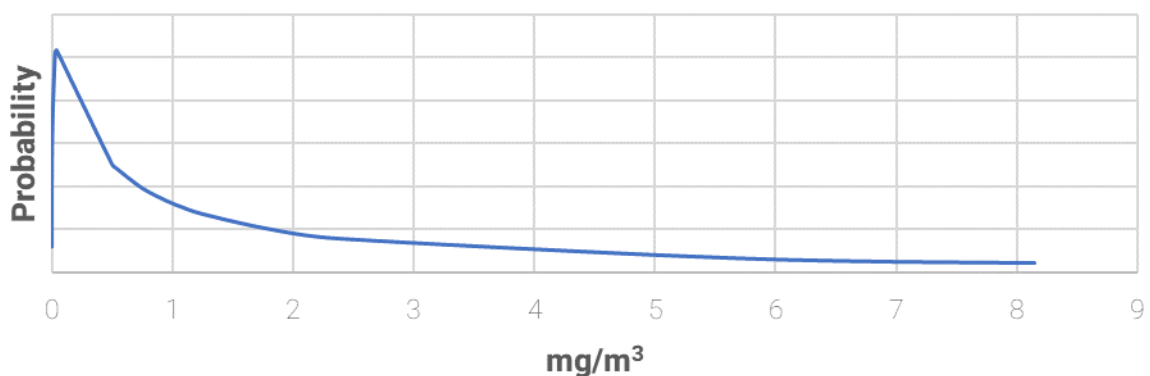


図25: バルク移送 - データ分布 (n=20)

局所排気装置のタイプーバルク移送

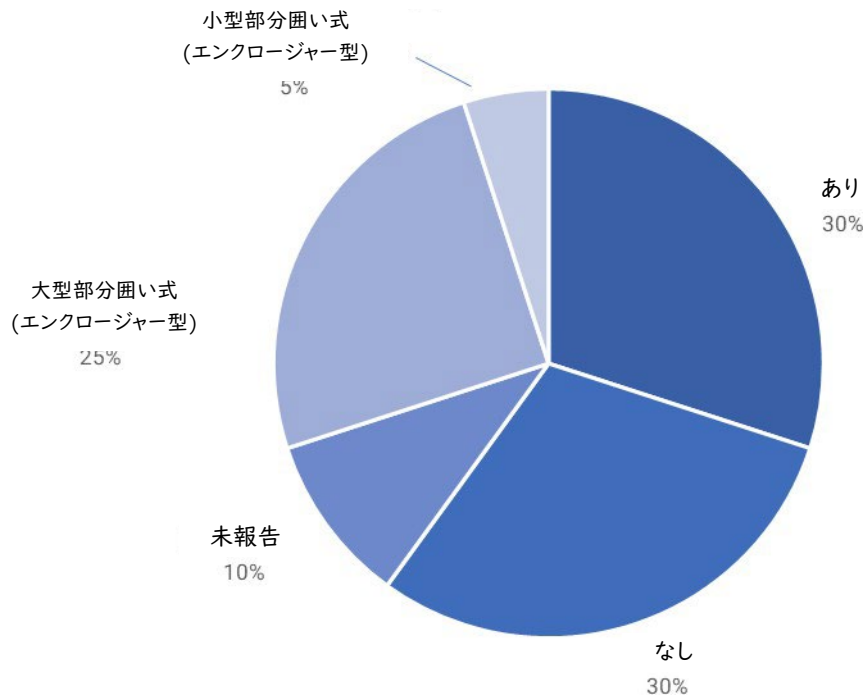


図26: 局所排気装置のタイプーバルク移送

呼吸用保護具のタイプーバルク移送

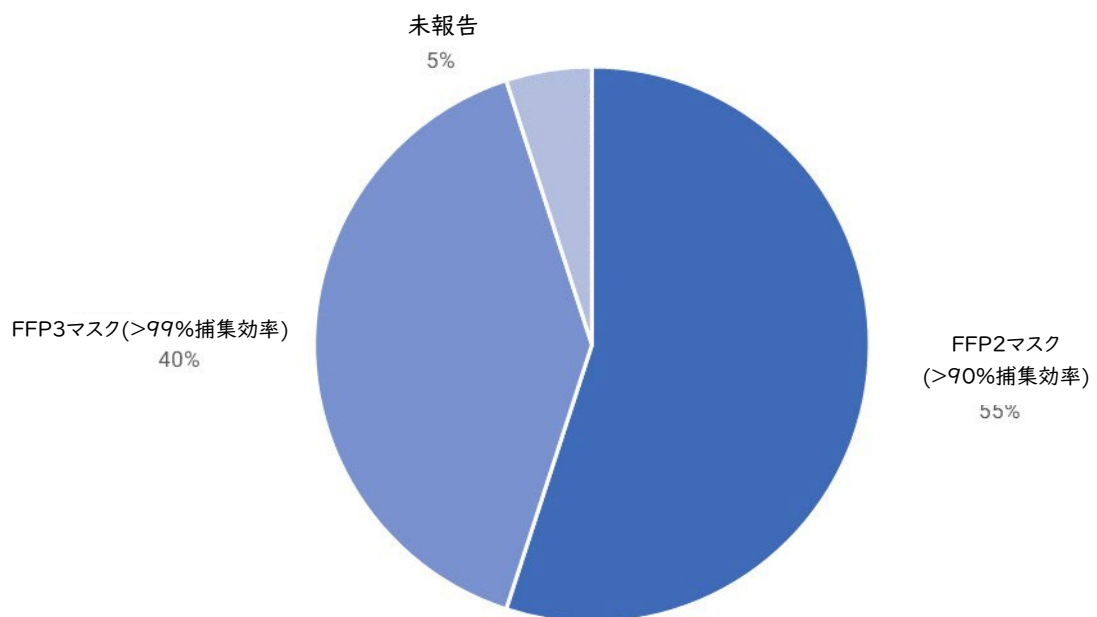


図27: 呼吸用保護具のタイプーバルク移送

フレコン充填

BPAの造粒、フレコン充填、ペレタイザー(BPAペレット)の交換、及び開放型専用施設に於けるサイロからフレコンへの移送に関連する活動で、21件の大気測定結果が提供されています。曝露レベルの管理は、一般的に部分囲い式設備の設置によって実現されていて、さらにRPE(呼吸用保護具)及び皮膚保護によって補完されています。

21の大気中濃度測定値のうち2つがEUのOELである $2\text{mg}/\text{m}^3$ を超過し、70%UCLは $0.99\text{mg}/\text{m}^3$ です。

表11: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m^3) - フレコン充填(全 21 データ)

記述子	値 [mg/m^3]
最小値	0.02
10パーセンタイル	0.04
25パーセンタイル(第1四分位数)	0.19
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.35
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.66
90パーセンタイル	1.6
95パーセンタイル	2.5
最大値	8.2
算術平均(平均)	0.9
標準偏差	1.8
幾何平均	0.35
幾何標準偏差	3.9
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.1
70%上限信頼限界 (UCL)	0.99

対数正規分布

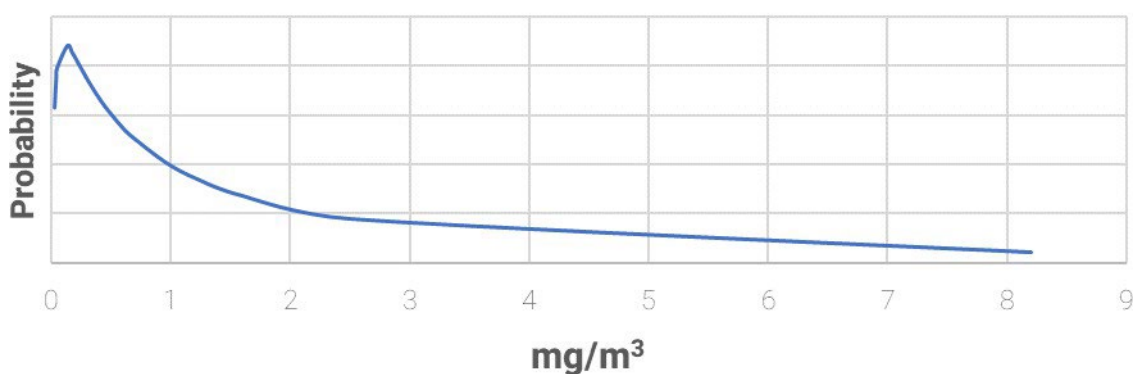


図28: フレコン充填 - データ分布 (n=21)

局所排気装置のタイプ－フレコン充填

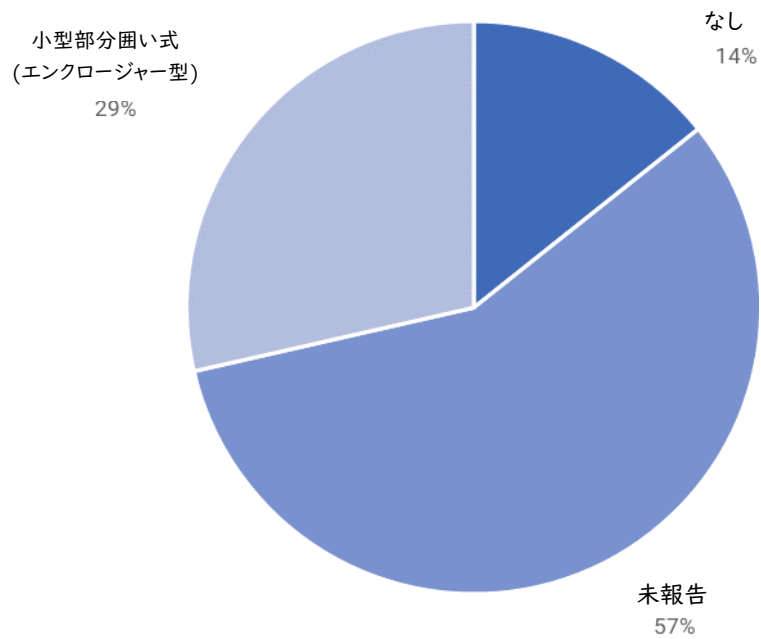


図29: 局所排気換気のタイプ－フレコン充填

呼吸用保護具のタイプ－フレコン充填

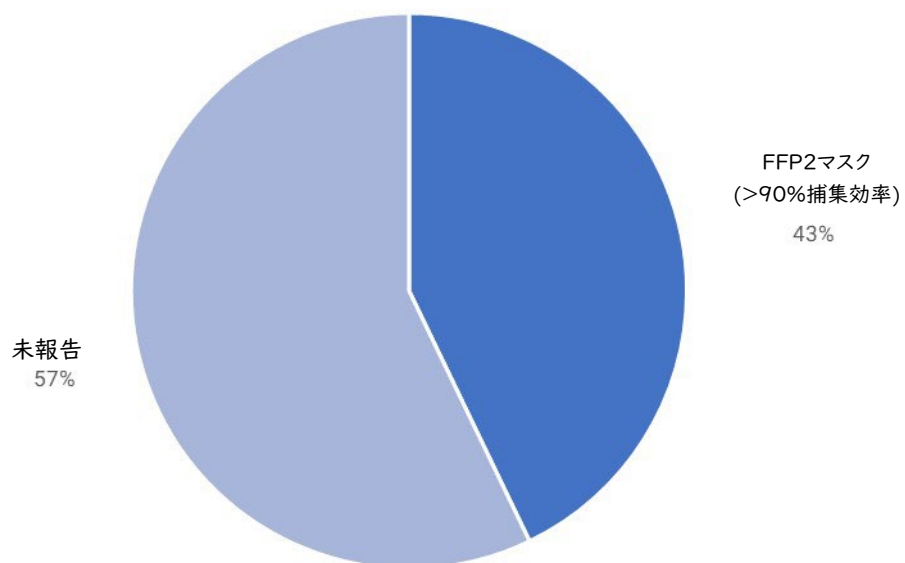


図30: 呼吸用保護具のタイプ－フレコン充填

固体BPA取り扱い - その他

固体BPA取り扱い作業(BPA充填、小サンプル袋詰め、トートバッグ充填、密閉式自動供給ライン、計量ステーションへの手動での袋持ち上げ、パレット積載)に於いて最多数(n=80)のデータが提供されました。

この作業では粉塵及びエアロゾルの大気中曝露値は広い範囲に分布していて、外れ値が相当数存在し、一般的に局所排気装置(LEV)の種類とは相関がありません。しかしながら、曝露はEUの職業曝露限界値(OEL)以下で十分に管理されているようであり、運転員の呼吸用保護具(主にFFP2(粒子捕集効率>90%))の使用及び皮膚保護に依存している。

表12: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³)- 袋詰め作業 - その他(全80データ)

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	< LoQ
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.05
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.2
90パーセンタイル	1.4
95パーセンタイル	3.1
最大値	7.3
算術平均(平均)	0.5
標準偏差	1.3
幾何平均	0.03
幾何標準偏差	18.9
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.06
70%上限信頼限界 (UCL)	0.58

対数正規分布

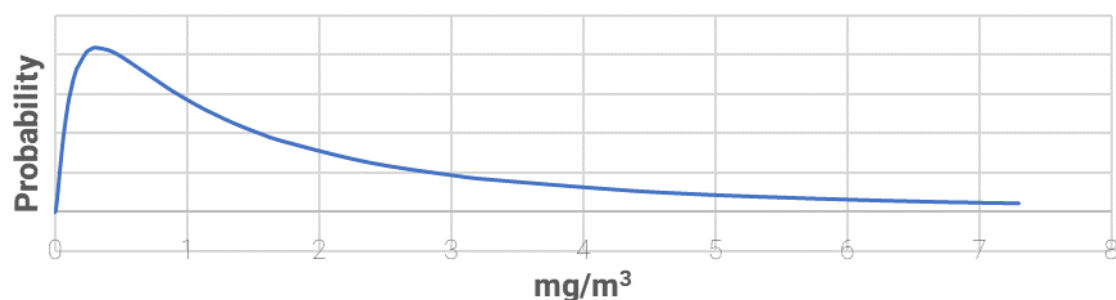


図31: 固体BPA取り扱い - その他 - データ分布(n=80)

80データ中6つがEUのOEL 2 mg/m³を超過しました。70% UCLは0.58 mg/m³です。

局所排気装置のタイプー固体BPA取り扱いーその他

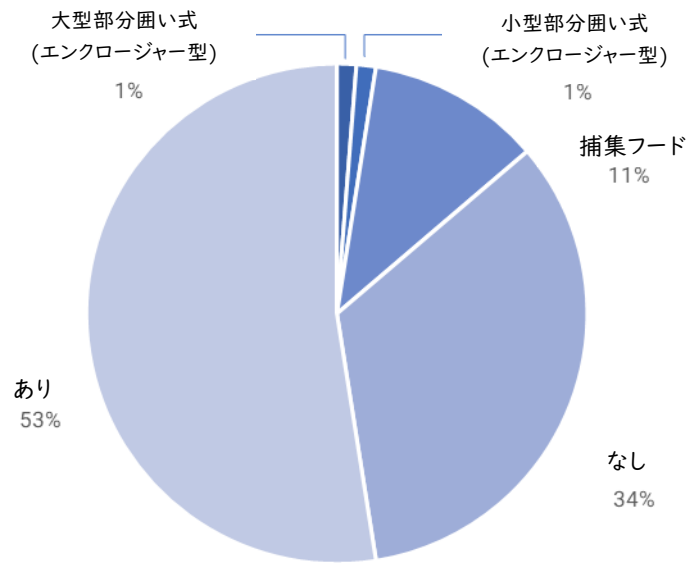


図 32: 局所排気装置のタイプー固体 BPA 取り扱いーその他

呼吸用保護具のタイプー固体BPA取り扱いーその他

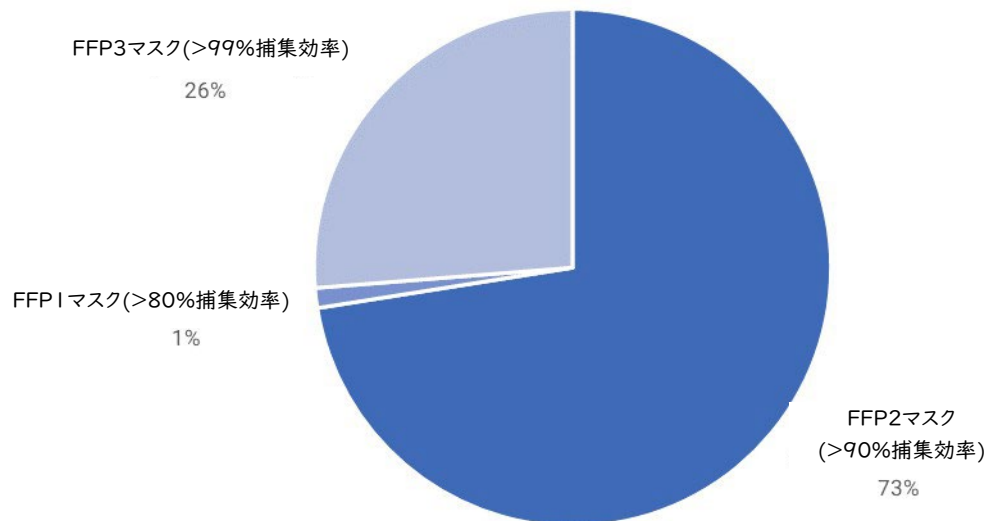


図33:呼吸用保護具のタイプー固体BPA取り扱いーその他

実験室での使用

粉塵/エアロゾルに関する18件の大気測定値から、PROC 15実験室/分析作業が十分に管理された曝露条件下で実施されていることが確認されました。

表13: 大気曝露測定値のパーセンタイル計算値(mg/m³) - 実験室使用(全 18 データ)

記述子	値 [mg/m ³]
最小値	< LoQ
10パーセンタイル	< LoQ
25パーセンタイル(第1四分位数)	< LoQ
50パーセンタイル(第2四分位点 - 中央値)	0.0015
75パーセンタイル(第3四分位点)	0.013
90パーセンタイル	0.076
95パーセンタイル	0.21
最大値	0.46
算術平均(平均)	0.04
標準偏差	0.1
幾何平均	0.003
幾何標準偏差	11
95パーセンタイルの70%信頼水準	0.01
70%上限信頼限界 (UCL)	0.05

対数正規分布

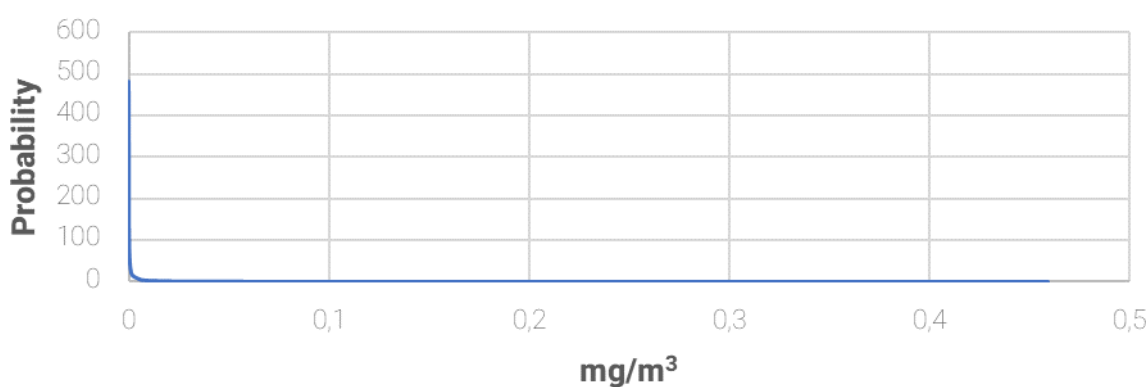


図34: 実験室での使用 – データ分布(n=18)

全ての測定値はEUのOELである2 mg/m³を大幅に下回っています。70%UCLは0.05 mg/m³です。

考察と結論

本報告書の目的は、ビスフェノールA(BPA)の製造及びその後のポリカーボネートあるいはエポキシ樹脂への転換工程に於ける職業曝露に関する入手可能なデータの概要を提供することです。

本報告書で収集したデータは、BPA製造とポリカーボネート及びベースエポキシ樹脂への転換を行う欧州の全プラントの大半から得られたものです。これらの転換プロセスはBPA全使用量の98%を占めています。ポリカーボネート及びエポキシ樹脂の下流用途については本報告書では扱いません。ポリカーボネートの下流工程、すなわち製品製造工程に於いてBPAを取り扱うことはありません。ポリカーボネートには微量の残留BPA含まれるだけです。

エポキシ用途に於いては、バリューチェーン内にBPAを取り扱うさらなる下流事業者が存在します。これらのさらなる下流用途もデータ収集の対象外です。

ポリカーボネート及びエポキシ樹脂製造以外のBPA用途(2%)によるBPA曝露は、本研究では評価の対象外です。

提供された大気測定データには、異なるサンプリング手法や分析技術を用いた複数の情報源に起因する変動が認められます。例えば、粉塵を採取してHPLC分析を行う場合もありますが、一部の測定では総粉塵量が報告されており、場合によっては曝露量が過大評価される恐れがあります。

しかしながら、全ての活動全体を総合的に見ると、これらの施設に於いてBPA粉塵/蒸気/エアロゾルへの曝露が十分に管理されていることはデータから明らかです。

ごく一部の測定値を除き、曝露量は現在のEUの職業曝露限界値(OEL)である $2\text{mg}/\text{m}^3$ を大幅に下回っています。

曝露の可能性に応じて、活動は大きく2つのカテゴリーに分類できます。

- 1) 閉じた系を含む管理された活動(PROC 1 及び PROC 2)では、低レベル曝露(幾何平均値 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 以下)が観察されます。関連する活動は明らかに安全です。これらの活動は必要に応じて、呼吸用保護具が追加されるとより強化されます。
- 2) 粉塵が発生する可能性があり、手作業による取り扱い(袋詰め、計量、バルク移送、袋/ホッパーの充填及び排出など)を必要とする活動(PROC 4、PROC 8b、及びPROC 9)に相当)では、高レベル曝露(幾何平均 $0.02\sim 0.4\text{mg}/\text{m}^3$)が観察されます。これらの作業では、より高度

な粉塵に対する呼吸用保護具の使用依存度が高く、粉塵に対する呼吸用保護具として、FFP2及びFFP3粒子用マスクが一般的に使用される点が注目されます。

EN 689規格に基づく統計的検定では、ほとんどの作業に於ける曝露量は現行EUの職業曝露限界値(OEL)を下回ると予測されます。ただし投入作業だけは例外であり、平均曝露量が最も高く、70%上限信頼限界(UCL)が現行EU OELをわずかに上回っています。ただしこれらの投入作業は通常、呼吸用保護具(RPE)を使用して行います。

測定年毎のデータを時系列的にプロットすると、全ての作業に於いて曝露量は全体的にわずかに減少している傾向が見受けられますが、この傾向は統計的に頑強なものではなく、経時的な曝露低減の全体的な傾向について確固たる結論を導くには不十分です。

結論として、BPA製造及びポリカーボネート及びエポキシ樹脂への転換工程に於ける職業曝露データは、過去及び現在の職業曝露限界値(OEL)を概ね遵守できることを示しています。固体BPAの取り扱いにより曝露の恐れが最も高まる工程に於いても、測定データの大半は現行のEUの拘束力を持つOELである2 mg/m³を下回る大気中濃度を示しました。手作業によるBPA取り扱い工程では、密閉系の採用と局所排気装置(LEV)の使用により労働者保護が容易になっています。日常的に呼吸用保護具(RPE)を使用することにより保護効果はさらに強化されます。

参考文献

Creely, K. S., Hughson, G. W., Cocker, J. & Jones, K. (2006). [Assessing Isocyanate Exposures in Polyurethane Industry Sectors Using Biological and Air Monitoring Methods.](#) 「生物学的モニタリング法と空気モニタリング法を用いたポリウレタン産業分野におけるイソシアネート曝露の評価」 Ann Occup Hyg, 50, 609-621.

ECHA (2015) *Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment* 「情報要件及び化学物質安全性評価に関するガイダンス」Chapter R.12: Use description. Version 3.0
December 2015
https://echa.europa.eu/documents/10162/17224/information_requirements_r12_en.pdf/ea8fa5a6-6ba1-47f4-9e47-c7216e180197

IFA (2023) *Bisphenol A am Arbeitsplatz Arbeitsbedingte Exposition gegenüber Bisphenol A in der einatembaren Staubfraktion.* 「職場におけるビスフェノールA 吸入可能な粉塵分画におけるビスフェノールAへの職業的曝露」 Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. https://www.dguv.de/medien/ifa/de/gestis/mega/onlinebericht_bisphenola.pdf

IHS Markit (2022) “Assessment of Socioeconomic Value of Polycarbonate in Europe” 「欧州に於けるポリカーボネートの社会経済的価値の評価」, HIS Markit, 2022. Internal report prepared for Plastics Europe.

NEN (2019) Workplace exposure - Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. 「化学物質への吸入曝露の測定 - 職業曝露限界値への適合性試験のための戦略」 NEN-EN 689:2018+C1:2019 en
<https://connect.nen.nl/Standard/Detail/3609871>

/

ありがとうございます

お問い合わせ先：

エポキシ・ヨーロッパ

amh@cefic.be

+32 494 22 57 29

プラスチック・ヨーロッパ PC/BPAグループ

jasmin.bird.consultant@plasticseurope.org

+49 (0)160 94 48 56 41