

200635014A

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

労働曝露推定モデルの開発と検証

平成 18 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 菅野誠一郎

平成 19 年 3 月

目次

I. 総括研究報告	
労働曝露推定モデルの開発と検証	1
菅野誠一郎	
II. 分担研究報告	
1. 作業環境濃度と曝露濃度との関係	6
山室 堅治、小堀 衛	
2. 曝露推定モデルの開発	19
菅野誠一郎 芹田富美雄	
3. 気中有機溶剤濃度の実測値と数値計算モデルとの比較	31
小堀 衛、山室 堅治、菅野誠一郎	
4. 添付資料	
曝露濃度測定結果	69

厚生労働科学研究費補助金 (労働安全衛生総合研究事業)

I. 総括研究報告

労働曝露推定モデルの開発と検証

主任研究者 菅野誠一郎 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所

研究要旨

安全衛生マネジメントシステムを遂行するうえで、安全衛生対策の優先順位をきめるためのリスクアセスメントは重要である。リスクアセスメントは対象物質の危険有害性情報および実際の作業での曝露データがあれば行うことができる。危険有害性情報については文献等から情報を得ることができる。曝露データについては、実際に測定を実施することが精度良くリスクアセスメントを行うためには重要であるが、危険有害性情報がある化学物質でも測定法が確立されていないものもある。また、多くの物質についての測定を実施することは多大な経費がかかるため、欧米ではいくつかの曝露推定モデルが開発されている状況である。曝露推定モデルには大きく分けて、1、物性値および経験則に基づく方法、2、気流による希釈過程を数値計算する方法、3、気流そのものを近似計算により求め、物質の輸送（拡散）を計算する方法の3種がある。

英国のEASEモデルに習い、日本での作業環境測定データを用いて濃度推定を行うモデルの開発を行い、2、3の方法及び実測値と比較することでモデルの検証を行うことを目的とした。

本年度は、以下の研究を行った。

1、作業環境濃度と曝露濃度との関係

曝露濃度の推定範囲の下限値をA測定の幾何平均値とし、曝露濃度の推定範囲の上限値を上側5%値（日間変動の項を含まない作業環境測定の第1評価値）又はB測定値の大きな方の値として、2年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、有機溶剤業務の号別区分間、換気設備の種類間、エアロゾル発生の有無間、作業環境測定の評価結果間で有意差検定を行った。その結果一部の間に有意差はあったものの、有機溶剤業務の号別区分、換気設備の種類、エアロゾル発生の有無、作業環境測定の評価結果にかかわらず、作業環境測定濃度から曝露濃度の推定範囲をA測定の幾何平均値から上側5%値（日間変動の項を含まない作業環境測定の第1評価値）又はB測定値の大きな方の値としてよいと考えられた。

作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲分布を、各単位作業場所で最も濃度の高かった溶剤をとりその濃度と幾何平均の比の分布を2年間の調査データ（n=256）の全単位作業場所について度数分布を取ると、約60%が推定下限値の3倍以内、約75%が推定下限値の5倍以内、約90%が推定下限値の10倍以内であった。

推定上限値を超えたデータのおよそ半分は、平成18年度の調査結果では作業の妨げになるためにB測定で作業者に十分に近付くことができなかつた等の理由があるデータであり、残りの半分は、部品の有機溶剤による払拭作業やプレートへのネーム入れ、印刷スクリーン、ロールの洗浄作業、FRPの積層作業といった払拭や洗浄状態、製品の状態等を確認するために発生源に呼吸域が近付く作業と考えられ、発生源とB測定点との距離が曝露測定のサンプラーとの距離よりも大きくなりがちな作業が多いと考えられた。

2年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、曝露濃度の

値は、作業環境濃度の以下に示した範囲にあると考えられた。

A 測定値の幾何平均値 \leq 曝露濃度の値 \leq 上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値

ただし、B 測定点が生産者の呼吸域から離れていると、実際の曝露濃度は推定上限値を超えることもあると考えられた。

2、曝露推定モデルの開発

曝露濃度測定結果のうち、有機溶剤作業の号別作業区分の重複が無い、つまり単一の作業のみを行っていた事例のみを抽出し、有機溶剤作業の号別作業区分および揮発性評価コードおよび管理区分 1 と管理区分 2 または 3 で分類し、それぞれの A 測定値の幾何平均値の平均値、Ea1 の平均値、Ea1 の最大値、B 測定値の最大値、曝露濃度の最大値を抽出し、前年度に作成した曝露推定モデルと比較した。平均値と幾何平均値最大値、上限値と B 測定値または曝露濃度の大きいほうを比較した結果、推定値の上限値を超える例は少なく、上限値を超える場合も B 測定値または曝露濃度のどちらかが大きく、他方は小さい場合が多く曝露濃度測定値の多くが推定上限値以下となった。号別作業区分チ（有機溶剤等を用いて行う洗浄又は払しょくの業務）については数例が上限を超えており、作業の特性から環境濃度より曝露濃度が高くなる可能性が高いことから平均値および上限値を変更した。

曝露濃度に直接関連すると思われる有機溶剤の使用量（時間当たり）および単位面積当たりの使用量と曝露濃度との相関は小さく、弱いながらも有機溶剤の蒸気圧と曝露濃度の相関が使用量等より高かった。

3、気中有機溶剤濃度の実測値と数値計算モデルとの比較

一様な気流を発生させたモデル実験場に酢酸エチルの発生源と障害物を置き、気中酢酸エチル濃度の実測値と乱流モデル及び層流モデルによる CFD 解析との比較を行った。各測定点の値及び濃度分布に完全な一致を見ることはできなかったが、層流モデル解析結果の方が実測値により近い結果を得られた。作業場の気流や濃度分布を CFD 解析する場合には、通常乱流モデル解析を行うが、今回のモデル実験場のように一様な気流を発生させているプッシュプル型換気装置を使用した作業場について CFD 解析を行う場合には、層流モデル解析で行う方が適している可能性がある。

コイルにワニスを含浸させる作業場で気中有機溶剤濃度の実測値と CFD 解析結果との比較を行い、気中有機溶剤濃度の変動傾向が一致したことを確認し、実際の作業場でも CFD 解析が曝露推定モデルとして有効であるとの一事例を示すことができた。

分担研究者

小堀 衛 (中央労働災害防止協会労働衛生調査分析センター)

山室 堅治 (中央労働災害防止協会労働衛生調査分析センター)

菅野誠一郎 (独法労働安全衛生総合研究所環境計測管理研究グループ)

芹田富美雄 (独法労働安全衛生総合研究所作業環人間工学リスク管理研究グループⅡ)

A. 研究目的

- 1、作業環境測定から、簡便な曝露濃度推定モデルを開発する。
- 2、作業環境濃度と曝露濃度の関係を明らかにする。
- 3、数値計算モデル、流体解析モデルと開発した曝露濃度推定モデルと実測値の相互比

較検討を行い、方法の特徴を明らかにし信頼性の検証を行う。

B. 研究方法

1. 昨年度に引続き、全国7ブロックにある中災防の地区安全衛生サービスセンター及び大阪労働衛生総合センター並びに各センターで定期的に作業環境測定を実施している事業場の協力を得て、平成18年9～11月の作業環境測定実施時に代表的な作業員（もともと有機溶剤蒸気に曝露されるであろうと考えられた作業員）1名に有機ガスモニター（3M社製）を装着してもらい、作業環境濃度と曝露濃度の測定調査を行った。作業環境測定のサンプリングと同時に、サンプリング時の状況も測定を行った作業環境測定士が記録した。

これらの作業環境濃度、曝露濃度及びサンプリング時の状況等のデータから作業環境濃度と曝露濃度との関係を比較検討した。

2. 中央労働災害防止協会に蓄積された作業環境調査結果のデータベースを解析することにより昨年度、作業環境測定値に基づく曝露推定モデルを作成した。今年度は、昨年度および今年度に行った曝露濃度測定結果を曝露推定モデルに当てはめ、モデルの検証および改良を行なった。曝露濃度測定結果のうち、有機溶剤作業の号別作業区分の重複が無い、つまり単一の作業のみを行っていた事例のみを抽出し、有機溶剤作業の号別作業区分および揮発性評価コードおよび管理区分1と管理区分2または3で分類し、それぞれのA測定値の幾何平均値の平均値、Ea1の平均値、Ea1の最大値、B測定値の最大値、曝露濃度の最大値を抽出し、前年度に作成した曝露推定モデルと比較した。

3. モデル実験場および作業場での実測値とCFD解析結果を比較した。長さ10.0m×幅3.5m×高さ2.5mのモデル実験場に一樣な気流を発生させ、給気口から3.5mの中央床上0.84mの位置に発生源を置き、発生源の風上に障害物を置いた。（図1参照）発生源は、直径150mm×高さ100mmのステンレスシャーレに酢酸エチルを8分目程度入れ、気流にさらした状態で酢酸エチル蒸気を発生させた。空気中の酢酸エチル濃度の測定は、図1に示した床上0.7m、0.9m及び1.1mの高さに加熱脱着分析用捕集管（PerkinElmer社製、充填剤：PorapakQ）を置き、約120分間の測定を行った。また、実験中のシャーレ重量の減少を測定することにより酢酸エチルの蒸発速度を測定した。モデル実験場内の気流や障害物の数、測定点位置を変え、表1に示した7種類の実験を行った。

CFD解析には、Flow Designer（株式会社アドバンス・ナレッジ研究所製）を使用し、実験場の大きさ、気流、発生源等の条件を入力し、一辺が100mmの立方体を要素体積として、定常解析で計算を行わせた。また、乱流モデル解析及び層流モデル解析の両方の解析方法で計算を行わせた。なお、乱流モデル解析には、 $K-\epsilon$ モデルを使用した。

作業場として、コイルにワニスを含浸させる作業場で有機溶剤濃度の実測値を測定し、CFD解析結果との比較を行った。実測値の測定は、図2に示した測定点で作業環境測定を行い、同時に床上0.9m、1.2m及び1.5mの高さに加熱脱着分析用捕集管を置き、126分間の連続測定を行った。また、作業環境測定の測定点No.5の床上1.2mにVOCモニターを置き、1分間ごとのリアルタイム連続測定を行った。

Flow Designerに作業場の大きさ、換気条件、発生源等の条件を入力し、床上2.8m以下はモデルエッジのほか一辺が約100mmの立方体を要素体積として、床上2.8m以上は水平面が一辺約100mm、高さ方向は約400mmの直方体を要素体積として気流について定常解析で計算を行わせ、その後の有機溶剤蒸気の発生に合わせて定常解析又は非定常解析を行った。なお、全て乱流モデル解析で計算を行わせた。

C. 研究結果

1. 曝露濃度の推定範囲の下限値を A 測定 of 幾何平均値とし、曝露濃度の推定範囲の上限値を上側 5% 値（日間変動の項を含まない作業環境測定 of 第 1 評価値）又は B 測定値 of 大きな方の値として、2 年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、有機溶剤業務 of 号別区分間、換気設備 of 種類間、エアロゾル発生 of 有無間、作業環境測定 of 評価結果間で有意差検定を行った。その結果一部の間に有意差はあったものの、有機溶剤業務 of 号別区分、換気設備 of 種類、エアロゾル発生 of 有無、作業環境測定 of 評価結果にかかわらず、作業環境測定濃度から曝露濃度の推定範囲を A 測定 of 幾何平均値から上側 5% 値（日間変動の項を含まない作業環境測定 of 第 1 評価値）又は B 測定値 of 大きな方の値としてよいと考えられた。

作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲分布を、各単位作業場所で最も濃度の高かった溶剤をとりその濃度と幾何平均 of 比 of 分布を 2 年間の調査データ（n=256） of 全単位作業場所について度数分布を取ると、約 60% が推定下限値 of 3 倍以内、約 75% が推定下限値 of 5 倍以内、約 90% が推定下限値 of 10 倍以内であった。

推定上限値を超えたデータ of およそ半分は、平成 18 年度 of 調査結果では作業 of 妨げになるために B 測定で作業者に十分に近付くことができなかった等 of 理由があるデータであり、残りの半分は、部品 of 有機溶剤による払拭作業やプレートへのネーム入れ、印刷スクリーン、ロール of 洗浄作業、FRP of 積層作業といった払拭や洗浄状態、製品 of 状態等を確認するために発生源に呼吸域が近付く作業と考えられ、発生源と B 測定点との距離が曝露測定 of サンプラーとの距離よりも大きくなりがちな作業が多いと考えられた。

2 年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、曝露濃度の値は、作業環境濃度の以下に示した範囲にあると考えられた。

A 測定 of 幾何平均値 ≤ 曝露濃度の値 ≤ 上側 5% 値又は B 測定値 of 大きな方の値

ただし、B 測定点が作業者の呼吸域から離れていると、実際の曝露濃度は推定上限値を超えることもあると考えられた。

2. モデルによる推定値と A 測定 of 平均値と幾何平均値 of 最大値、上限値と B 測定値または曝露濃度の大きいほうを比較した結果、推定値 of 上限値を超える例は少なく、上限値を超える場合も B 測定値または曝露濃度のどちらかが大きく、他方は小さい場合が多く曝露濃度測定値 of 多くが推定上限値以下となった。号別作業区分ち（有機溶剤等を用いて行う洗浄又は払しょくの業務）については数例が上限を超えており、作業 of 特性から環境濃度より曝露濃度が高くなる可能性が高いことから平均値および上限値を変更した。

曝露濃度に直接関連すると思われる有機溶剤 of 使用量（時間当たり）および単位面積当たりの使用量と曝露濃度との相関は小さく、有機溶剤 of 蒸気圧と曝露濃度の相関が使用量等より高かった。

3. 一様な気流を発生させたモデル実験場に酢酸エチル of 発生源と障害物を置き、気中酢酸エチル濃度 of 実測値と乱流モデル及び層流モデルによる CFD 解析との比較を行った。各測定点 of 値及び濃度分布に完全な一致を見ることはできなかったが、層流モデル解析結果の方が実測値により近い結果を得られた。作業場 of 気流や濃度分布を CFD 解析する場合には、通常乱流モデル解析を行うが、今回のモデル実験場のように一様な気流を発生させているプッシュプル型換気装置を使用した作業場について CFD 解析を行う場合には、層流モデル解析で行う方が適している可能性がある。

コイルにワニスを含浸させる作業場で気中有機溶剤濃度の実測値と CFD 解析結果との比較を行い、気中有機溶剤濃度の変動傾向が一致したことを確認し、実際の作業場でも CFD 解析が曝露推定モデルとして有効であるとの一事例を示すことができた。

F. 健康危険情報

特記事項なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

菅野誠一郎、芹田富美雄、小堀衛、山室堅治、(2006) 作業環境測定データベースによる曝露推定モデル. 第 46 回日本労働衛生工学会抄録集、p 194.

小堀衛、山室堅治、菅野誠一郎、櫻井治彦 (2006) 作業環境測定結果と EASE モデル曝露推定値の比較. 第 46 回日本労働衛生工学会抄録集、p 186

小堀衛、山室堅治、菅野誠一郎、櫻井治彦 (2006) 作業環境測定結果と EASE モデル曝露推定値の比較. 第 46 回日本労働衛生工学会抄録集、p 186

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

Ⅱ. 分担研究報告

1. 作業環境濃度と曝露濃度との関係

山室 堅治、小堀 衛

中央労働災害防止協会労働衛生調査分析センター

A. 研究目的

曝露推定モデルを構築するに当たり、実測のデータは中災防の作業環境測定データベースが利用できるが、そのデータは作業環境測定のデータである。

そこで、作業環境測定と曝露濃度測定を同時に行い、その関係を明らかにすることによって、数多くある作業環境測定のデータを曝露推定モデルの構築及び検証に活用可能とすることを研究の目的とする。

B. 研究方法

昨年度に引続き、全国7ブロックにある中災防の地区安全衛生サービスセンター及び大阪労働衛生総合センター並びに各センターで定期的に作業環境測定を実施している事業場の協力を得て、平成18年9～11月の作業環境測定実施時に代表的な作業員（もともと有機溶剤蒸気に曝露されるであろうと考えられた作業員）1名に有機ガスモニタ（3M社製）を装着してもらい、作業環境濃度と曝露濃度の測定調査を行った。作業環境測定のサンプリングと同時に、サンプリング時の状況も測定を行った作業環境測定士が記録した。（資料1参照）

これらの作業環境濃度、曝露濃度及びサンプリング時の状況等のデータから作業環境濃度と曝露濃度との関係を比較検討した。

C. 研究結果

1 調査で得られたデータの概要

この2年間の調査により256単位作業場所のデータが得られた。256単位作業場所の作業環境測定の評価結果を表1に示した。

また、表2に示した有機溶剤中毒予防規則の有機溶剤業務の号別区分ごとに単位作業場所数を集計し表3に示した。

表1 単位作業場所の評価結果

第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分	合計
205	30	21	256
(80.1%)	(11.7%)	(8.2%)	(100.0%)

表 2 有機溶剤予防規則の有機溶剤業務の号別区分

号別区分	有機溶剤業務
イ	有機溶剤等を製造する工程における有機溶剤等のろ過、混合、攪拌、加熱又は容器若しくは設備への注入の業務
ロ	染料、医薬品、農薬、化学繊維、合成樹脂、有機顔料、油脂、香料、甘味料、火薬、写真薬品、ゴム若しくは可塑剤 又はこれらのものの中間体を製造する工程における有機溶剤等のろ過、混合、攪拌又は加熱の業務
ハ	有機溶剤含有物を用いて行う印刷の業務
ニ	有機溶剤含有物を用いて行う文字の書込み又は描画の業務
ホ	有機溶剤等を用いて行うつや出し、防水その他物の面の加工の業務
ヘ	接着のためにする有機溶剤等の塗布の業務
ト	接着のために有機溶剤等を塗布された物の接着の業務
チ	有機溶剤等を用いて行う洗浄（ヲに掲げる業務に該当する洗浄の業務を除く。）又は払しょくの業務
リ	有機溶剤含有物を用いて行う塗装の業務（ヲに掲げる業務に該当する塗装の業務を除く。）
ヌ	有機溶剤等が付着している物の乾燥の業務
ル	有機溶剤等を用いて行う試験又は研究の業務
ヲ	有機溶剤等を入れたことのあるタンク（有機溶剤の蒸気の発散するおそれがないものを除く。以下同じ。）の内部における業務

表 3 有機溶剤業務の号別区分ごとの単位作業場所数（重複あり）

号別区分	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	
単位作業場所数	22 (6.3%)	3 (0.9%)	25 (7.1%)	7 (2.0%)	32 (9.1%)	42 (12.0%)	
号別区分	ト	チ	リ	ヌ	ル	ヲ	合計
単位作業場所数	23 (6.6%)	90 (25.6%)	69 (19.7%)	35 (10.0%)	3 (0.9%)	0 (0.0%)	351 (100.0%)

2 作業環境濃度と曝露濃度との関係

作業環境濃度は、A 測定と B 測定の結果から示されるが、曝露濃度は作業中の作業者呼吸域の平均的濃度であるので、平成 17 年度の本研究の報告書でその関係を単純に示すことが難しいことを述べた。¹⁾

2.1 作業環境濃度からの曝露濃度の下限值の推定

平成 17 年度及び 18 年度の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査で得られた作業環境測定の A 測定の幾何平均値及び A 測定の算術平均値を横軸に、曝露濃度を縦軸としてプロットし、図 1 及び図 2 に示した。

なお、混合有機溶剤の単位作業場所では、曝露濃度が最も高い値を示した成分のデータを採用し、各単位作業場所から 1 データのみを採用した。（以下この章では同じ。）

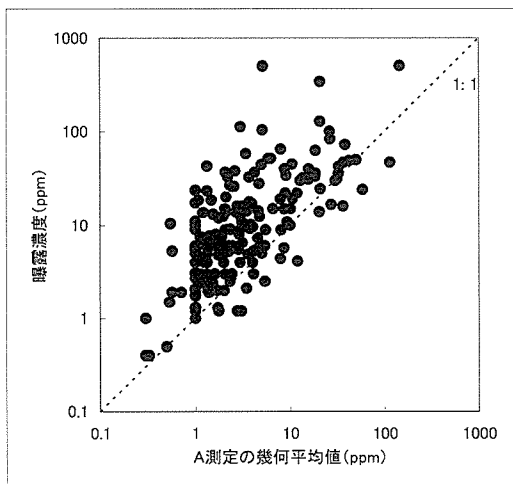


図1 A 測定 of 幾何平均値と
曝露濃度

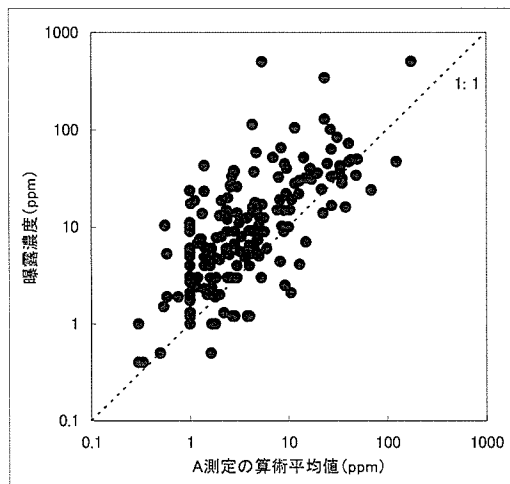


図2 A 測定 of 算術平均値と
曝露濃度

ほとんどのプロットが 1:1 の直線の左側にあることから、曝露濃度は作業環境測定で得られた A 測定 of 幾何平均値又は算術平均値以上である確率が高いことがわかる。

曝露濃度が A 測定 of 幾何平均値以上であったデータ数及び A 測定 of 算術平均値以上であったデータ数並びに全データ数に対する割合は表 4 に示したとおり、全 256 データに対して、対幾何平均値で 240 データ (93.8%)、対算術平均値で 234 データ (91.4%) であった。

なお、数多くある作業環境濃度から曝露濃度を推定し、開発した曝露推定モデルの検証に推定した曝露濃度を使用することを目的としているため、デザインによる誤差やサンプリング誤差、分析誤差を考慮すれば精密な推定を行ってもあまり意味が無いことから、各データは 0 から 100ppm 未満のデータについては有効数字 1 桁に、100ppm 以上のデータは有効数字 2 桁に四捨五入して値を丸めた。(以下この章では同じ)

表 4 曝露濃度が A 測定 of 幾何平均値又は A 測定 of 算術平均値以上のデータ数

	データ数	割合
幾何平均値以上	240	93.8%
算術平均値以上	234	91.4%

n=256

曝露濃度が A 測定 of 幾何平均値又は算術平均値未満であったデータのうち、曝露濃度の測定時間に対して有機溶剤に曝露される作業時間が短かったなどの理由があるデータ数は、対幾何平均値で 9 データ、対算術平均値で 12 データであった。測定時間に対して有機溶剤に曝露される作業時間が短かったなどの理由があるデータ数を差し引いて曝露濃度が A 測定 of 幾何平均値以上であったデータ数及び A 測定 of 算術平均値以上であったデータ数及び全データ数に対する割合は表 5 に示したとおり、対幾何平均値で 247 データに対して 240 データ (97.2%)、対算術平均値で 244 データに対して 234 データ (95.9%) であった。

これらのことから、曝露濃度の推定下限値は、推定範囲に多くのデータを含む A 測定 of 幾何平均値とすればよいと考えられる。

表 5 曝露濃度が低い理由が明らかなデータを除いた
曝露濃度が A 測定の幾何平均値又は A 測定の算術平均値以上のデータ数

	データ数	理由が明らかなデータを除いた全データ数	割合
幾何平均値以上	240	247	97.2%
算術平均値以上	234	244	95.9%

2.2 作業環境濃度からの曝露濃度の上限値の推定

平成 17 年度及び 18 年度の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査で得られた作業環境測定のア測定の幾何平均値及び幾何標準偏差から求めた単位作業場所内の濃度の分布の上側から 5% の値（以下「上側 5% 値」という。日間変動の項を含まない作業環境測定の第 1 評価値と等しい値）及び B 測定値を横軸に、曝露濃度を縦軸にとりプロットしたものを図 3 及び図 4 に示した。

いずれも 7 割程度のプロットが 1:1 の直線の右側にあるが、上側 5% 値又は B 測定値よりも大きい値の曝露濃度データが 3 割程度あることになり、上側 5% 値又は B 測定値から曝露濃度の上限を推定することはできないと考えられた。（表 6 参照）

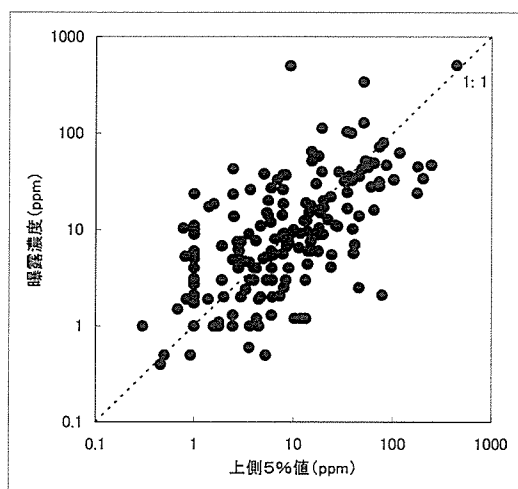


図 3 上側 5% 値と曝露濃度

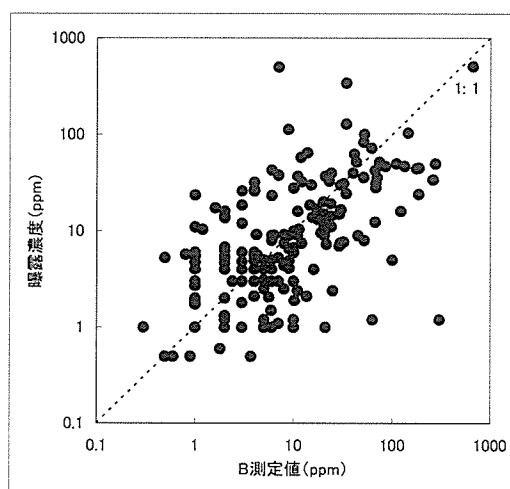


図 4 B 測定値と曝露濃度

表 6 曝露濃度が上側 5% 値又は B 測定値以下のデータ数

	データ数	割合
上側 5% 値	174	68.0%
B 測定値	177	69.1%

n=256

ここで、上側5%値又はB測定値の大きな方の値を横軸に、曝露濃度を縦軸にとりプロットし、図5に示した。

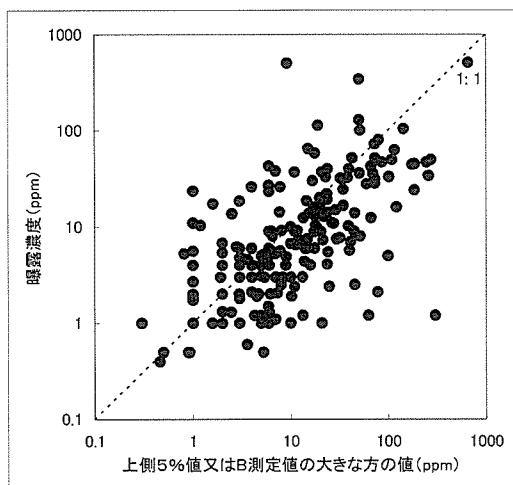


図5 上側5%値又はB測定値の大きな方の値と曝露濃度

上側5%値又はB測定値の大きな方の値と曝露濃度を比較すると、約8割のプロットが1:1の直線の右側にあった。(表7参照)

表7 曝露濃度が上側5%値又はB測定値の大きな方の値以下のデータ数

データ数	割合
201	78.5%

n=256

平成18年度の調査では、曝露濃度が作業環境濃度と大きく離れた値を示した場合には、考えられる理由をデータと一緒に報告してもらっており、曝露濃度の上限値の検討は、平成18年度のデータだけで行うこととした。

平成18年度は124データ得られたが、そのうち103データ(83.1%)で曝露濃度が上側5%値又はB測定値の大きな方の値以下であった。(表8参照)

表8 平成18年度の調査で曝露濃度が上側5%値又はB測定値の大きな方の値以下のデータ数

データ数	割合
103	83.1%

n=124

曝露濃度が上側5%値又はB測定値の大きな方の値を超えた21データ(26.9%)のうち、作業の妨げになるためにB測定で作業者に十分に近付くことができなかった等の理由があるデータ数は、13データ(10.5%)であった。また、原因不明であった8データ(6.5%)は、部品の有機溶剤による払拭作業やプレートへのネーム入れ、印刷スクリーン、ロールの洗浄作業、FRPの積層作業といった払拭や洗浄状態、製品の状態等を確認するために発生源に呼吸域を近付けて行う作業であり、発生源とB測定点との距離が曝露測定のサンプラーとの距離よりも大きくなりがちな作業であった。(表9参照)

表 9 平成 18 年度の調査で曝露濃度が上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値を越えたデータ数とその理由

曝露濃度が上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値を越えた理由	データ数
作業の妨げになるので B 測定で作業者に十分に近付けなかった	11 (8.9%)
局排のフード内に体を入れて作業が行われることがあった	1 (0.8%)
他の作業場所での有機溶剤曝露があった	1 (0.8%)
原因不明	8 (6.5%)
合計	21 (16.9%)

n=124

作業の妨げになるために B 測定で作業者に十分に近付くことができなかつた等の理由が明らかな 13 データを差し引いて曝露濃度が上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値以下であったデータ数及び全データ数に対する割合は 103 データ (92.8%) であった。(表 10 参照)

表 10 平成 18 年度の調査で曝露濃度が高い理由が明らかなデータを除いた曝露濃度が上側 5 % 値又は B 測定値の大きな値以下のデータ数

データ数	理由が明らかなデータを除いた全データ数	割合
103	111	92.8%

これらのことから、曝露濃度の上限の推定値は、上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値とすればよいと考えられる。ただし、単位作業場所外での高濃度曝露があった場合や B 測定点が何らかの理由によって作業者から離れてしまった場合などには、曝露濃度はこの推定値を超える可能性があると考えられた。

2.3 有機溶剤業務の号別区分ごとの作業環境濃度と曝露濃度との関係

作業環境測定のア測定値の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値、上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値を曝露濃度の推定上限値としたとき、この推定範囲に入る曝露濃度の実測データ数を有機溶剤業務の号別区分ごとに示すと表 11 のとおりとなった。データ数があまり多くないため、同種の業務である「イ (有機溶剤等の製造の業務)」と「ロ (有機溶剤等を使用した化成品の製造の業務)」、「ハ (印刷の業務)」と「ニ (文字の書込み又は描画の業務)」、「ヘ (接着剤の塗布の業務)」と「ト (接着の業務)」をそれぞれ合わせて集計した。「ト (接着の業務)」は全て「ヘ (接着剤の塗布の業務)」と重複していたので、「ト (接着の業務)」のみのデータ数と同じになった。

推定範囲を満足する割合を有意差検定すると、全データに対しては「チ (洗浄又は払拭の業務)」の推定下限値のデータ数の割合だけが危険率 5% で有意差ありとなった。

また、有機溶剤業務の号別区分間の有意差検定では、推定下限値のデータ数の割合で「チ (洗浄又は払拭の業務)」と「リ (塗装の業務)」の間が、推定上限値のデータ数の割合で「ハ (印刷の業務) 又はニ (文字の書込み又は描画の業務)」と「イ (有機溶剤等の製造の業務) 又はロ (有機溶剤等を使用した化成品の製造の業務)」及び「ヌ (乾燥の業務)」の間が危険率 5% で有意差ありとなった。

推定下限値で有意差ありとなった「チ（洗浄又は払拭の業務）」は、推定範囲にあるデータ数の割合が他より多いことにより有意差ありとなったことから、推定範囲は安全側にあるので、推定下限値については有機溶剤業務のいずれの号別区分でも A 測定の幾何平均値として良いと考えられる。

推定上限値で有意差ありとなった「ハ（印刷の業務）又はニ（文字の書込み又は描画の業務）」は、2.2 で述べたように印刷スクリーンやロールの状態や洗浄・払拭状態、製品の状態等を確認するために発生源に呼吸域を近付けて行う作業があると考えられ、発生源と B 測定点との距離が曝露測定のサンプラーとの距離よりも大きくなりがちな作業が多いと考えられる。ただし、全データと「ハ（印刷の業務）又はニ（文字の書込み又は描画の業務）」間では有意差がなかったことから、推定上限値については有機溶剤業務のいずれの号別区分でも上側 5% 値又は B 測定値の大きな方の値として良いと考えられる。

表 11 有機溶剤業務の号別区分ごとの曝露濃度推定範囲内にあった実測データ数

号別区分	対象データ数	曝露濃度の推定下限値以上のデータ数	曝露濃度の推定上限値以下のデータ数
イ又はロ	25	24 (96.0%)	22 (88.0%)
ハ又はニ	32	31 (96.9%)	21 (65.6%)
ホ	32	29 (90.6%)	26 (81.3%)
ヘ又はト	42	40 (95.2%)	31 (73.8%)
チ	90	89 (98.9% *)	69 (76.9%)
リ	69	60 (87.0%)	54 (78.3%)
ヌ	35	33 (94.3%)	31 (88.6%)
ル	3	3 (100%)	1 (33.3%)
ヲ	0	-	-
全データ	256	240 (93.8%)	201 (78.5%)

*は全データに対して危険率 5%で有意差あり（ただし、ルはデータ数が少ないので有意差検定を行っていない。）

2.4 換気設備の種類ごとの作業環境濃度と曝露濃度との関係

作業環境測定のア測定値の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値、上側5%値又はB測定値の大きな方の値を曝露濃度の推定上限値としたとき、この推定範囲に入る曝露濃度の実測データ数を換気設備の種類ごとに示すと表12のとおりとなった。換気設備の分類は、環境空气中に有害物質を漏えいさせないように制御する密閉設備、囲い式局所排気装置、外付け式局所排気装置、プッシュプル型換気装置を「局排等」とひとまとめとし、それ以外の一度作業場内に有害物質が発散してしまう吸引性能が十分でない局所排気装置、機械換気装置（全体換気装置）、自然換気を「全体換気」とひとまとめにした。単位作業場所の換気設備がどちらに該当するかは、調査時に作業環境測定士が判断した有害物質の制御方法の有効性によるものとした。例えば、局所排気装置等が設置されていても全ての発生源に対して有効な局所排気装置が設置されていないのであれば、「全体換気」に該当するとした。

推定範囲を満足する割合を有意差検定すると、全データに対しては、いずれの換気設備も推定下限値及び推定上限値ともに危険率5%で有意差なしであった。

また、「局排等」と「全体換気」との間でも推定下限値及び推定上限値ともに危険率5%で有意差なしであった。

したがって、作業環境濃度から曝露濃度を推定する場合には換気設備の種類にかかわらず、推定下限値をA測定値の幾何平均値とし、推定上限値を上側5%値又はB測定値の大きな方の値として良いと考えられる。

表12 換気設備の種類ごとの曝露濃度推定範囲内にあった実測データ数

換気設備の種類	対象データ数	曝露濃度の推定下限値以上のデータ数	曝露濃度の推定上限値以下のデータ数
局排等	111	107 (96.4%)	85 (76.6%)
全体換気	145	133 (91.7%)	116 (80.0%)
全データ	256	240 (93.8%)	201 (78.5%)

2.5 エアロゾル発生の有無ごとの作業環境濃度と曝露濃度との関係

作業環境測定のア測定値の幾何平均を曝露濃度の推定下限値、上側5%値又はB測定値の大きな方の値を曝露濃度の推定上限値としたとき、この推定範囲に入る曝露濃度の実測データ数をエアロゾル発生の有無ごとに示すと表13のとおりとなった。

推定範囲を満足する割合を有意差検定すると、全データに対してはエアロゾル発生の有無にかかわらず推定下限値及び推定上限値ともに危険率5%で有意差なしであった。

また、「エアロゾル発生有」と「エアロゾル発生無」との間では、推定下限値のデータ数の割合が危険率5%で有意差ありとなった。

推定下限値では、「エアロゾル発生有」と「エアロゾル発生無」との間で有意差ありとなったが、全データに対してはいずれも有意差なしであるので、エアロゾル発生の有無にかかわらずA測定値の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値として良いと考えられる。

推定上限値では、いずれの間とも有意差なしであったので、エアロゾル発生の有無にかかわらず曝露濃度の推定上限値を上側5%値又はB測定値の大きな方の値として良いと考えられる。

表 13 エアロゾル発生の有無ごとの曝露濃度推定範囲内にあった実測データ数

エアロゾルの発生	対象データ数	曝露濃度の推定下限値以上のデータ数	曝露濃度の推定上限値以下のデータ数
有	75	66 (88.0%)	59 (78.7%)
無	181	174 (96.1%)	142 (78.5%)
全データ	256	240 (93.8%)	201 (78.5%)

2.6 作業環境測定の評価結果の管理区分ごとの作業環境濃度と曝露濃度との関係

作業環境測定のア測定値の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値、上側5%値又はB測定値の大きな方の値を曝露濃度の推定上限値としたとき、この推定範囲に入る曝露濃度の実測データ数を作業環境測定の評価結果ごとに示すと表14のとおりとなった。

推定範囲を満足する割合を有意差検定すると、全データに対しては作業環境測定の評価結果にかかわらず推定下限値及び推定上限値ともに危険率5%で有意差なしであった。

また、各評価結果間の有意差検定では、推定上限値のデータ数の割合で「第1管理区分」と「第3管理区分」の間が危険率5%で有意差ありとなった。

推定下限値では、いずれの間とも有意差なしであったので、作業環境測定の評価結果にかかわらず曝露濃度の推定下限値をA測定値の幾何平均値として良いと考えられる。

推定上限値では、第3管理区分の曝露濃度の推定上限値以下にあるデータ数が多いために有意差ありとなったものであり、推定上限値は安全側にあると考えられることから、作業環境測定の評価結果にかかわらず曝露濃度の推定上限値を上側5%値又はB測定値の大きな方の値として良いと考えられる。

表 14 作業環境測定の評価結果ごとの曝露濃度推定範囲内にあった実測データ数

評価結果	対象データ数	曝露濃度の推定下限値以上のデータ数	曝露濃度の推定上限値以下のデータ数
第1管理区分	205	197 (96.1%)	155 (75.6%)
第2管理区分	30	25 (83.3%)	26 (86.7%)
第3管理区分	21	18 (85.7%)	20 (95.2% *)
全データ	256	240 (93.8%)	201 (78.5%)

*は全データに対して危険率5%で有意差あり

D. 考察

曝露濃度の推定範囲の下限値をA測定値の幾何平均値とし、曝露濃度の推定範囲の上限値を上側5%値(日間変動の項を含まない作業環境測定第1評価値)又はB測定値の大きな方の値として、2年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、有機溶剤業務の号別区分間、換気設備の種類間、エアロゾル発生の有無間、作業環境測定の評価結果間で有意差検定を行った。その結果一部の間に有意差はあったも

の、有機溶剤業務の号別区分、換気設備の種類、エアロゾル発生の有無、作業環境測定の評価結果にかかわらず、作業環境測定濃度から曝露濃度の推定範囲を A 測定に幾何平均値から上側 5% 値（日間変動の項を含まない作業環境測定の第 1 評価値）又は B 測定値の大きな方の値としてよいと考えられた。

この作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲分布を、単位作業場所ごとに最も濃度が高かった物質について下限値（幾何平均値）を 1 として 2 年間の調査データ（n=256）の度数分布を示すと図 6 のとおりとなった。曝露濃度の推定範囲は、約 60% が推定下限値の 3 倍以内、約 75% が推定下限値の 5 倍以内、約 90% が推定下限値の 10 倍以内であった。最大は推定下限値の 172 倍であった。

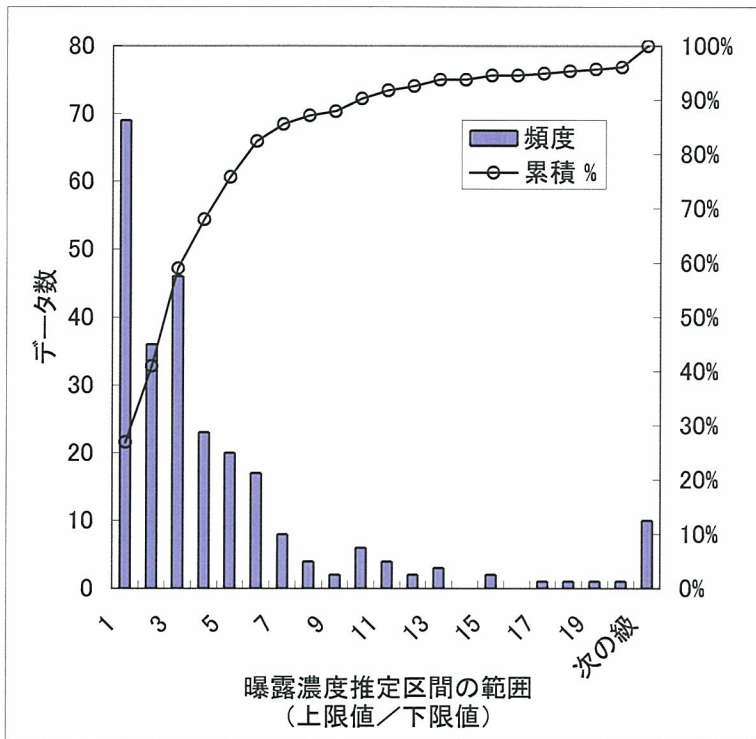


図 6 作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲の広さの分布

作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲に対する曝露濃度の実測値の位置を図 7 に示した。推定下限値と実測値と等しい値を含む推定下限値以下に約 40% のデータが、推定範囲の下側 20% までに約 50% のデータが、推定上限値以下には約 80% のデータがあった。

推定上限値を超えたデータのおよそ半分は、平成 18 年度の調査結果では作業の妨げになるために B 測定で作業者に十分に近付くことができなかった等の理由があるデータであり、残りの半分は、部品の有機溶剤による払拭作業やプレートへのネーム入れ、印刷スクリーン、ロールの洗浄作業、FRP の積層作業といった払拭や洗浄状態、製品の状態等を確認するために発生源に呼吸域が近付く作業と考えられ、発生源と B 測定点との距離が曝露測定のサンプラーとの距離よりも大きくなりがちな作業が多いと考えられた。

今後は更にデータ数を増やし、特に今回有意差ありとなった項目間の差を明らかにし、今回決定した作業環境濃度から求めた曝露濃度推定範囲の検証を行いたいと考える。

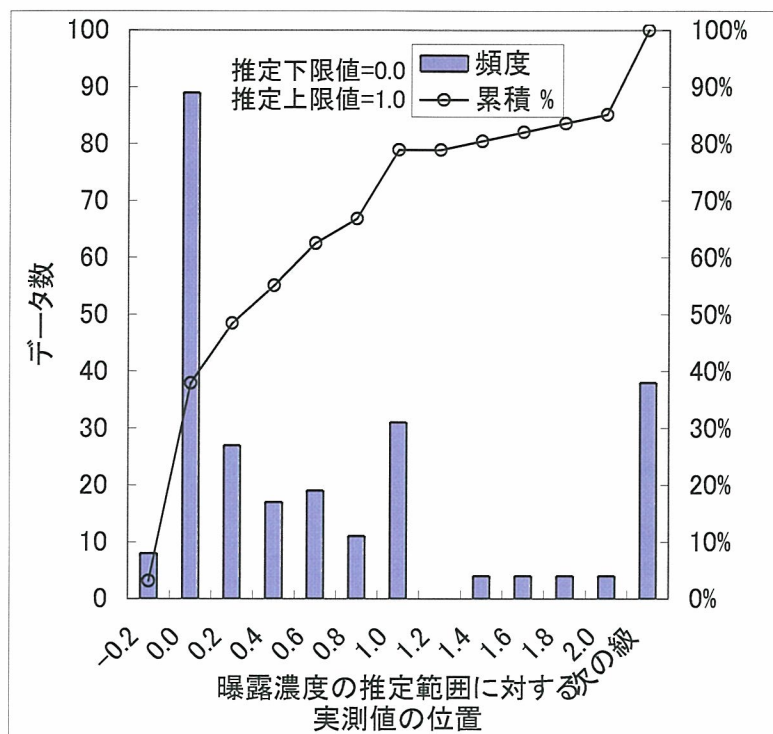


図7 作業環境濃度から得られた曝露濃度の推定範囲に対する実測値の位置

E. 結論

2年間の作業環境濃度と曝露濃度の測定調査により得られたデータから、曝露濃度の値は、作業環境濃度の以下に示した範囲にあると考えられた。

A 測定値の幾何平均値 ≤ 曝露濃度の値 ≤ 上側5%値又はB測定値の大きな方の値

ただし、B測定点が作業者の呼吸域から離れていると、実際の曝露濃度は推定上限値を超えることもあると考えられた。

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

引用

- 1 山室堅治、小堀衛：作業環境濃度と曝露濃度との関係、厚生労働科学研究費補助金 労働安全衛生総合研究事業 労働曝露推定モデルの開発と検証 平成17年度総括・分担研究報告書（主任研究者 菅野誠一郎）、57-69、2006

作業環境濃度と労働者の曝露濃度の調査票

1	作業環境測定結果 報告書番号						
2	有機則第1条第1項第6号に掲げる業務の記号		イ・ロ・ハ・ニ・ホ・ヘ・ト・チ・リ・ヌ・ル・ヲ				
3	取扱い物質の名称及び製造又は取扱量	名称					
		製造又は取扱量	/時	/時	/時	/時	
4	測定対象物質名とその含有率	物質名					
		含有率	%	%	%	%	
		物質名					
		含有率	%	%	%	%	
5	測定年月日		平成18年 月 日				
6	有害物質の制御方法とその有効性	発生源 I	制御方法	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気			
			有効性	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気 ・ ⑥無換気 ⑦その他 ()			
		発生源 II	制御方法	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気			
			有効性	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気 ・ ⑥無換気 ⑦その他 ()			
		発生源 III	制御方法	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気			
			有効性	①密閉 ・ ②局排 (囲い式) ・ ③局排 (外付け式) ④機械換気 (全体換気) ・ ⑤自然換気 ・ ⑥無換気 ⑦その他 ()			
7	エアロゾルの形成		有 ・ 無				
8	室温		℃				
9	対象物質の取扱い温度		℃				
10	測定時間に占める対象物質に曝露される可能性がある作業時間		10 ・ 20 ・ 30 ・ 40 ・ 50 ・ 60 () 分間				
11	単位作業場所外での曝露		有 ・ 無 (他の部署での曝露がないことが望ましい)				

12	曝露濃度 測定時刻	時 分 ~ 時 分			
13	曝露濃度 サンプリング時間	分間			
14	曝 露 濃 度 測定結果	物質名			
		濃 度 (ppm)			
		物質名			
		濃 度 (ppm)			
15	B 測定対象作業の分類	①移動作業 ・ ②間けつ作業 ・ ③固定作業			
16	作業環境濃度と曝露濃度の差が大きく異なった理由（作業環境測定結果と曝露測定結果が大きく異なった場合に考えられる理由を記入してください。）				

【調査票記入時の注意事項等】

- ◆ 曝露濃度を測定する作業者は、単位作業場所を代表する作業者とし、できるだけ次に該当される方としてください。
 - 対象物質又は対象物質が付着したものを直接取扱われる方
 - 単位作業場所内で作業時間が長い方
 - 他の単位作業場所での曝露がない方
- ◆ 作業環境測定結果報告書 1B～4B ページの添付をお願いいたします。報告書と重複する項目は、調査票にご記入いただかなくて結構です。
- ◆ 2の「有機則第1条第1項第6号に掲げる業務の記号」は、該当する業務すべてに○を付けてください。
- ◆ 3の「取扱い物質の名称及び製造又は取扱量」は名称と作業環境測定を行った間に使用した量を、1時間当たりの量で記入してください。
- ◆ 4の「測定対象物質名とその含有率」は、作業環境測定結果報告書 1B ページの⑰「測定対象物質の名称」及び⑱「成分指数の計算」に記入されているものをご記入ください。成分指数が計算されていない場合には、取扱い物質の名称、測定対象物質名とその含有率、その混合割合（取扱い物質を混合して使用される場合）をこの用紙の余白にご記入いただいても結構です。
- ◆ 6の「有害物の制御方法とその有効性」は、発生源ごとに記入をお願いいたします。添付をお願いしている作業環境測定結果報告書の写しの 2B ページの図面に、発生源番号の書き込みをお願いいたします。記入方法は、例えば、局排（囲い式）が設置されていても、機械換気（全体換気）程度の有効性しかなければ、制御方法の局排（囲い式）に○を付け、有効性の機械換気（全体換気）に○を付けてください。回答しにくい場合には、その他の記述による回答でも結構です。
- ◆ 7の「エアロゾルの形成」では、吹付け塗装や吹付け洗浄などが「有」に該当します。
- ◆ 15の「B 測定対象作業の分類」は、作業環境測定基準の施行通達（昭 59・4・13 基発 182 号）に示されている 3 種類の作業に対応しています。該当する作業の分類に○を付けてください。
- ◆ 16の「作業環境濃度と曝露濃度が大きく異なった理由」は、作業環境測定と曝露測定で大きく異なった結果が得られたとき（A 測定のみの場合、対象成分の A 測定の平均値×0.6≦対象成分の曝露濃度≦対象成分の A 測定の平均値×1.4 の範囲にないとき。B 測定も行われた場合には、対象成分の A 測定値の平均値≦対象成分の曝露濃度≦対象成分 B 測定値×1.4 の範囲にないとき。）にご記入願います。例えば、局排のフード内からだを入れていた。他の作業場で曝露を受けた。短時間作業であった。など・・・