

200733009B

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～平成19年度 総合研究報告書

主任研究者 菅野誠一郎

平成20(2008)年3月

目次

I. 総括総合研究報告書.....	1
菅野誠一郎	
II. 総合研究報告書	
1. 国内の作業環境測定結果とEASEモデルばく露推定値の比較のためのデータベースの作成およびその比較.....	11
小堀 衛、山室 堅治	
2. EASE モデルのばく露濃度推定値とばく露濃度実測データとの一致性.....	32
山室 堅治、小堀 衛	
3. 作業環境濃度と曝露濃度との関係.....	42
山室 堅治、小堀 衛	
4. 気中有機溶剤濃度の実測値と数値計算モデルとの比較.....	56
山室堅治、小堀 衛、菅野誠一郎	
5. 有機溶剤の蒸発速度.....	123
菅野誠一郎、芹田富美雄	
6. 混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法の提案.....	129
小堀 衛、山室堅治、菅野誠一郎	
7. 曝露推定モデルの開発.....	153
菅野誠一郎、芹田富美雄	
資料	
8. EASE モデル.....	165
9. ばく露濃度測定データ.....	195

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. 総括総合研究報告

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、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有機化合物を対象とし、日本での有機溶剤作業区分及び蒸気圧に基づきばく露濃度を推定する表（モデル）を作成した。これに伴い、作業環境濃度と曝露濃度との関係、数値計算（CFD）による曝露推定モデルに必要な蒸発速度、混合溶剤の蒸発速度を求める方法を検討し、これを用いてCFDによる作業現場とモデル実験室での曝露濃度推定を行い、その実用性を検討した。また実際の作業で用いられる有機化合物は、有機溶剤の場合と同様に混合物や溶液である場合が多いので、このような場合の蒸発速度を計算する方法についても検討した。

平成17年度から19年度に次の研究を行なった。

1. 国内の作業環境測定結果とEASEモデルばく露推定値の比較のためのデータベースの作成およびその比較

国内の作業環境測定結果とEASEモデルのばく露濃度推定値とを比較するために、中災防DBより必要な情報を抽出し、使用している化学物質の工程温度における対象物質の分圧が入った23348データのデータベースを作成した。EASEモデルのガスおよび蒸気の吸引モデルのばく露濃度推定値と国内の作業環境測定におけるA測定値の幾何平均値を比較した結果、対象物質の分圧が $V.P. \leq 0.5\text{kPa}$ 、 $0.5\text{kPa} < V.P. \leq 1.5\text{kPa}$ 、 $1.5\text{kPa} < V.P. \leq 10\text{kPa}$ 、 $10\text{kPa} < V.P. \leq 25\text{kPa}$ 、 $25\text{kPa} < V.P.$ の条件で、制御方法が局排の条件では、EASEモデルにおける、ばく露濃度推定値の範囲を超えた割合はそれぞれ29.5%、18.2%、8.9%、7.6%、0.3%であり分圧が高くなるにつれて低下した。また、同様の分圧条件において、制御方法がEASEモデルでいう隔離（発散源から2~3m離れた作業位置）の条件下では、EASEモデルのばく露濃度推定値の範囲を超えた割合はそれぞれ4.1%、4.9%、2.0%、2.6%、0%と低い割合であった。また、空気中にミストが存在する場合のばく露濃度推定値に入るデータはほとんどなかった。また、有機溶剤業務の号別区分別にばく露濃度推定値と幾何平均値を比較した結果、号別区分によって傾向がやや異なっていることから、国内のばく露モデルを構築するには作業内容の情報を入れたモデルの方がより精度が高くなることが示唆された。

2. EASEモデルのばく露濃度推定値とばく露濃度実測データとの一致性

初年度の調査で得られたばく露濃度の実測値と使用態様が非分散型使用の条件でのEASEモデルのばく露濃度推定範囲と比較することによって実測値と推定値の一致性を調べた。得られたデータが284データであり、有機溶剤業務の号別区分別などに層別化して数データで比較した場合もあり、その傾向を示すことは難しいが、次のような傾向にあった。

エアロゾルの形成がある作業（吹付け塗装作業など）では、全てのばく露濃度測定値がEASEモデルのばく露濃度推定範囲未満であり、推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。

エアロゾルの形成がない作業では、対象物質の蒸気圧及び有害物質の制御方法を選択するとEASEモデルのばく露濃度推定範囲が示される。単純に排気設備設置等の有無だけ判断した場合は、制御方法が局所排気装置のときには推定範囲を超えるものが26.4%であったが、有害物質の制御の有効性で判断すれば、推定範囲を超えるものが18.9%に改善された。エキスパートモデルを構築する場合には、有害物質の制御の有効性の基準を定め、労働衛生工学コンサルタント、作業環境測定士及び労働衛生工学衛生管理者などの労働衛生工学に対して一定以上の知識を有する者に、有害物質の制御方法の有効性を判断してもらうことが必要であると考えられた。有害物質の制御方法が全体換気及び自然換気・無換気では、約90%以上がEASEモデルのばく露濃度推定範囲未満であり、推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。

有機溶剤業務の号別区分別、物質別の分圧別、物質の取扱量別でそれぞれEASEモデルのばく露濃度推定範囲とばく露濃度実測データとの比較を行うと、①有機溶剤業務の号別区分のイ又はロでばく露推定範囲を超えるデータの割合が高かった。②物質の取扱量が10kg/hを超えるとばく露推定範囲を超えるデータの割合が高かった。③物質別の分圧が1.5kPaを超えるとほとんどのデータがばく露推定範囲未満となった。

全体的に見るとJW Cherrieらのレポート¹⁾にあるようにEASEモデルのばく露濃度推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。また、エキスパートモデルの蒸気ばく露濃度推定を決める項目には、EASEモデルにある選択項目の他に作業内容や取扱量も必要であると考えられた。

3. 作業環境濃度と曝露濃度との関係

平成17年度から19年度に、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、作業環境測定実施時に代表的な作業員（最も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）を着用してもらい、作業環境濃度と曝露濃度の測定調査を行った。

3年間の調査で353単位作業場所のデータが得られた。

曝露濃度は、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曝露濃度が低い理由が明らかなデータを除けば、320データ（95.0%）がA測定の幾何平均値以上であったことから、曝露濃度の推定下限値は、A測定の幾何平均値とすればよいと考えられる。

曝露濃度は、274データ（77.6%）がA測定の5%値（日間変動の項を含まない作業環境測定の第1評価値と等しい値）又はB測定値の大きな方の値以下であったが、平成18年度及び19年度の調査の合計221データの内、作業の妨げになるためにB測定で作業員に十分に近づくことができなかつた等、曝露濃度が作業環境濃度よりも大きくなった理由が明らかな26データを除けば、185データ（94.9%）がA測定の5%値又はB測定値の大きな方の値以下であったことから、曝露濃度の推定上限値は、A測定の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員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る。

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 A 測定の上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値として、3 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、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で推定範囲を満足する割合の有意差検定を行った。その結果、一部に有意差はあったものの、有意差があったものはいずれも推定範囲にあるデータ数の割合が多いことにより有意差があるとなったことから、推定範囲は安全側にあると考えられる。

作業環境測定の A 測定の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値としたときの、曝露濃度の実測値と推定下限値との比をとると、曝露濃度の約 40% のデータが推定下限値の 1 倍以下、約 55% のデータが推定下限値の 2 倍以下、約 95% のデータが推定下限値の 15 倍以下であった。曝露濃度の実測値と推定下限値との比が 15 倍を超えるデータは少ないが、発生源のそばで連続して作業が行われる場合の B 測定値が、A 測定の幾何平均値の 15 倍を超えた場合には、曝露濃度は、推定下限値の 15 倍を超えることを否定することはできないことから、曝露濃度の推定上限値は、A 測定の上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値という条件だけでよいと考えられる。

3 年間にわたって得られた作業環境濃度と曝露濃度の測定結果により、曝露濃度の値は、有機溶剤業務の号別区分、換気設備の種類、エアロゾルの発生の有無及び作業環境測定の評価結果にかかわらず作業環境濃度の以下に示した範囲にあると考えられた。

$$\begin{aligned} & \text{A測定の幾何平均値} \\ & \leq \text{曝露濃度の値} \leq \\ & \text{A測定の上側 5 \% 値又は B 測定値の大きな方の値} \end{aligned}$$

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員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。

4. 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、障害物を置いたモデル実験場、出入口を開放したモデル実験場及び作業場で有機溶剤濃度の測定を行い、測定結果と CFD 解析との比較を行った。

測定結果と CFD 解析との結果は、完全な一致を見ることはできなかったが、計算方法やモデルの設置条件を工夫することにより、測定結果に近い解析結果を得ることができると考えられた。

CFD 解析では、各要素体積ごとに出入りする物質やエネルギーを流体力学の基礎方程式である運動量保存式、質量保存式、エネルギー保存式、成分保存式の要素体積の連立有限体積方程式の近似解を繰返し求めながら最終的な解析結果を求めていることから、繰返し計算回数を順次増やしながら解析結果が収束しているかを確認する必要があると考えられる。

排気が行われているが強制給気が行われていない部屋について CFD 解析を行う場合には、部屋の内側のみを解析範囲として給気条件を自然流入とするよりは、部屋の外側まで解析範囲を広げ、部屋の給気気流を妨げない場所に強制給気口を設け解析を行う方法が、実測値に近い解析結果を得ることができると考えられる。

5. 有機溶剤の蒸発速度の測定

数値計算モデルによる濃度推定のために必要となる溶剤の蒸発速度の推定式を求めるために8種の溶剤について実験的に蒸発速度を測定した。その結果から蒸発速度を液面の深さが浅い場合と深い場合にわけ推定式を求めた。

有機溶剤の蒸発速度は、液面の深さが浅い場合は、次式で推定できる。

$$\text{蒸発速度 (mol/m}^2\text{/min)} = 0.002 \times \text{蒸気圧 (mmHg)} + 0.039$$

ただし、風速、口径等の影響で50%程度のばらつきがある。

液面の深さが深い場合は、実験から蒸発速度は拡散律速となることが示され、次式で推定できる。

$$\text{蒸発速度} = \text{拡散係数} \times \text{表面積} \times \text{蒸気圧} / \text{液面の深さ}$$

液面が口径よりも深い場合ほぼ拡散律速の蒸発速度と考えてよい。

6. 混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法の提案

有機溶剤職場で使用している混合溶剤の液相組成及び液温より、液表面の成分別気相組成は Antoine 式、Wilson 式を用いて、任意温度の含有成分及び空気との2成分相互拡散係数は容器内温度、Wilke-Lee の式、Le-Bass の推算法、粘度データ等を用いて、開口面出口の成分別拡散流束は使用温度、容器深さ、Stefan-Maxwell の多成分拡散式の微分方程式を数値解法で解くことにより、容器からの成分別発生量は推定拡散流束、容器開口面積、分子量より推算することとした。一様流が流れるモデル実験場で酢酸エチル、トルエン、MEK の等容量混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とした実験を行い、推算した成分別発生量の和と発生源重量減少はほぼ一致した。また、発生時の液温に近い温度で実験に用いた等容量混合溶液を入れ、各成分の濃度を測定し、濃度比を比較した結果、成分別拡散流束の比と良好一致を見た。成分別発生量、モデル実験場の3次元形状、障害物、気流情報を入力し、CFD ソフトの解析を行い成分別推定濃度分布と多成分濃度実測値はほぼ一致した。

この推算法であれば、Antoine 定数、Wilson 定数が得られていない物質であっても、混合溶剤の配合比、使用温度が分かれば使用配合比の混合溶剤を作り使用温度でのヘッドスペース法で測定することにより、液表面気相組成は測定できるため、成分別濃度分布の推定は可能と思われる。そこで、一連の手順を、混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法について提案する。

7. 曝露推定モデルの開発と検証

曝露濃度測定結果を、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測定の幾何平均値の平均値、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、上限値と曝露濃度を比較した結果、推定値の上限値を超える例は少なく、多くが推定上限値以下となった。

号別作業区分ヌ（有機溶剤等が付着している物の乾燥の業務）については複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。この変更により、3年間に測定した延べ992例の曝露濃度測定のうちおおむね90%が推定値の上限以下の値となった。

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。この結果は、揮発性コードで曝露濃度を推定することを支持する。

この曝露濃度推定法は、日本の作業環境のデータに基づいており、推定に必要なデータは、蒸気圧と作業形態だけであり非常に簡便に利用できるものとする。

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環境計測管理研究グループ)

A. 研究目的

1. 国内の作業環境測定データベースの作成し EASE モデルによるばく露推定値と作業環境測定値を比較する
2. EASE モデルのばく露濃度推定値とばく露濃度実測データとの比較
3. 作業環境濃度と曝露濃度との関係を明らかにする
4. 気中有機溶剤濃度の実測値と数値計算モデルとの比較
5. 有機溶剤の蒸発速度を測定し、蒸発速度を推定する
6. 混合溶剤を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法の提案
7. 曝露推定モデルの検証

B. 研究方法

1. 国内の作業環境測定結果とEASEモデルばく露推定値の比較のためのデータベースの作成およびその比較

小堀 衛、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

いわゆる四則と呼ばれている、有機溶剤中毒予防規則（有機則）、粉じん障害防止規則（粉じん則）、特定化学物質等障害予防規則（特化則）、鉛中毒予防規則（鉛則）および石綿障害予防規則（石綿則）において、測定法、評価法については作業環境測定基準、作業環境評価基準で定められており、基本的には変わらないが、作業環境測定結果報告書に記載する情報は作業内容、含有率等については若干異なっている。そのため、異なる規則の作業環境測定結果を単純には比較できない。そこで、ここでは作業環境測定結果データが最も多い有機則の作業環境測定結果をEASEモデルのばく露推定値と比較することとした。以下に、EASEモデルばく露推定値の求め方の概要および比較のためのデータベースの作成法について示す。

2. EASE モデルのばく露濃度推定値とばく露濃度実測データとの一致性

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

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17年9～11月の作業環境測定実施時に代表的な作業員（もっとも有機溶剤蒸気にばく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、作業環境濃度とばく露濃度の測定を行った。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 5-1 参照) 得られたばく露濃度実測データと EASE モデルのばく露推定範囲とを比較した。

3. 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

平成 17 年度から 19 年度に、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、作業環境測定実施時に代表的な作業員(最も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。

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。

。

4. 気中有機溶剤濃度の実測値と数値計算モデルとの比較

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

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

一様な気流を発生させたモデル実験場、障害物を置いたモデル実験場、出入口を開放したモデル実験場及び作業場で有機溶剤濃度の測定を行い、測定結果と Flow Designer((株) アドバンスドナレッジ研究所製)による CFD 解析との比較を行った。

5. 有機溶剤の蒸発速度の測定

菅野誠一郎 芹田富美雄

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

屋内に設置した幅 3.0m、高さ 2.5m、奥行き 10mの直方体の部屋で、部屋の断面に渡りほぼ一定の気流を流すことができる実験室で蒸発速度を測定した。

気流の速度：室内を想定し<0.05 (吸引ファン停止) 0.15、0.26 m/秒を用いた。

実験装置：実験室の中央のカート上に台秤を置き、縁からおおよそ 5mmの深さまで溶剤を入れたシャーレを置き蒸発速度を測定した。重量および溶剤の温度及び気温は、30 秒毎に記録した。気温は制御していない。

容器：シャーレは、直径 10、15、20 cmの 3 種を使用した。

用いた溶剤：エタノール、酢酸エチル、酢酸ブチル、シクロヘキサン、トルエン、キシレン、1,1,1-トリクロロエタン、2-ブタノン 8 種の有機溶剤について測定した。溶剤は、作業現場の使用頻度および、溶剤の種類を考慮して選定した。

蒸発速度：重量の測定値を 7 点の平滑化微分法を用いて微分して求めた。

6. 混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法の提案

小堀 衛、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

拡散律則容器内の溶剤蒸気分子の動きを検討し、動きの各工程の推算法を文献調査等から決定し、一様な流れのあるモデル実験場で多成分混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする実験を行い、各工程の推算法と実測値の比較検討を行った。

液面からの高さを h とし、 $h=0$ の含有する成分の液面気相組成を推定し、拡散については空気を含めた混合溶剤の相互拡散係数を推定し、多成分系拡散式より成分別拡散流束を解き、容器開口面からの成分別発生量を推定する。次に、CFD ソフトに作業場の3次元形状、障害物、気流情報、気流温度、容器開口面からの成分別発生量を入力し、CFD ソフトで数値計算を行い、体積素辺の温度、速度ベクトル、濃度等の基本物理量を数値計算し、任意面の成分別濃度分布を推定する。

各成分の開口面からの発散量を推算するためには、各成分ごとの液面気相組成、混合溶剤の相互拡散係数が必要となる。これらの推算を行うには、種々の物性値が必要であるが、必ずしも実測値がない場合も多い。そのような場合のために、液面気相組成を求める方法、2成分気液平衡データがある場合、ない場合について記した。相互拡散係数については、化学構造、分子等から相互拡散係数を推算する方法を取り入れた。最後に一様な流れのあるモデル実験場で混合溶剤を入れた拡散律則容器を発生源とし、提案した方法により容器からの発生量を推算し、CFD による各成分の推定濃度分布と実測値の比較を行った。

7. 曝露濃度推定モデルの開発と検証

菅野誠一郎 芹田富美雄

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

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し、溶剤の揮発性、作業の形態、濃度管理の良否により分類することで、作業環境測定値に基づく曝露推定モデルを作成した。ついで3年間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、曝露濃度及び作業環境濃度の上側95%推定値等を用い、作成したモデルの検証および改良を行なった。

C. 研究結果

1. 国内の作業環境測定結果とEASEモデルのばく露濃度推定値とを比較するために、中災防DBより必要な情報を抽出し、使用している化学物質の工程温度における対象物質の分圧が入った23348データのデータベースを作成した。EASEモデルのガスおよび蒸気の吸引モデルのばく露濃度推定値と国内の作業環境測定におけるA測定値の幾何平均値を比較した結果、対象物質の分圧が $V.P. \leq 0.5\text{kPa}$ 、 $0.5\text{kPa} < V.P. \leq 1.5\text{kPa}$ 、 $1.5\text{kPa} < V.P. \leq 10\text{kPa}$ 、 $10\text{kPa} < V.P. \leq 25\text{kPa}$ 、 $25\text{kPa} < V.P.$ の条件で、制御方法が局排の条件では、EASEモデルにおける、ばく露濃度推定値の範囲を超えた割合はそれぞれ29.5%、18.2%、8.9%、7.6%、0.3%であり分圧が高くなるにつれて低下した。また、同様の分圧条件において、制御方法がEASEモデルという隔離（発散源から2~3m離れた作業位置）の条件下では、EASEモデルのばく露濃度推定値の範囲を超えた割合はそれぞれ4.1%、4.9%、2.0%、2.6%、0%と低い割合であった。また、空気中にミストが存在する場合のばく露濃度推定値に入るデータはほとんどなかった。また、有機溶剤業務の号別区分

別にばく露濃度推定値と幾何平均値を比較した結果、号別区分によって傾向がやや異なっていることから、国内のばく露モデルを構築するには作業内容の情報を入れたモデルの方がより精度が高くなることが示唆された。

2 本年度の調査で得られたばく露濃度の実測値と使用態様が非分散型使用の条件での EASE モデルのばく露濃度推定範囲と比較することによって実測値と推定値の一致性を調べた。得られたデータが 284 データであり、有機溶剤業務の号別区分別などに層別化して数データで比較した場合もあり、その傾向を示すことは難しいが、次のような傾向にあった。

エアロゾルの形成がある作業（吹付け塗装作業など）では、全てのばく露濃度測定値が EASE モデルのばく露濃度推定範囲未満であり、推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。

エアロゾルの形成がない作業では、対象物質の蒸気圧及び有害物質の制御方法を選択すると EASE モデルのばく露濃度推定範囲が示される。単純に排気設備設置等の有無だけ判断した場合は、制御方法が局所排気装置のときには推定範囲を超えるものが 26.4%であったが、有害物質の制御の有効性で判断すれば、推定範囲を超えるものが 18.9%に改善された。エキスパートモデルを構築する場合には、有害物質の制御の有効性の基準を定め、労働衛生工学コンサルタント、作業環境測定士及び労働衛生工学衛生管理者などの労働衛生工学に対して一定以上の知識を有する者に、有害物質の制御方法の有効性を判断してもらうことが必要であると考えられた。有害物質の制御方法が全体換気及び自然換気・無換気では、約 90%以上が EASE モデルのばく露濃度推定範囲未満であり、推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。

有機溶剤業務の号別区分別、物質別の分圧別、物質の取扱量別でそれぞれ EASE モデルのばく露濃度推定範囲とばく露濃度実測データとの比較を行うと、①有機溶剤業務の号別区分のイ又はロでばく露推定範囲を超えるデータの割合が高かった。②物質の取扱量が 10kg/h を超えるとばく露推定範囲を超えるデータの割合が高かった。③物質別の分圧が 1.5kPa を超えるとほとんどのデータがばく露推定範囲未満となった。

全体的に見ると JW Cherrie らのレポート¹⁾にあるように EASE モデルのばく露濃度推定範囲は安全側に偏っていると考えられた。また、エキスパートモデルの蒸気ばく露濃度推定を決める項目には、EASE モデルにある選択項目の他に作業内容や取扱量も必要であると考えられた。

3. 平成 17 年度から 3 年間の調査で 353 単位作業場所のデータが得られた。

曝露濃度は、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曝露濃度が低い理由が明らかなデータを除けば、320 データ（95.0%）が A 測定の幾何平均値以上であったことから、曝露濃度の推定下限値は、A 測定の幾何平均値とすればよいと考えられる。

曝露濃度は、274 データ（77.6%）が A 測定の 5% 値（日間変動の項を含まない作業環境測定の第 1 評価値と等しい値）又は B 測定値の大きな方の値以下であったが、平成 18 年度及び 19 年度の調査の合計 221 データの内、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、曝露濃度が作業環境濃度よりも大きくなった理由が明らかな 26 データを除けば、185 データ（94.9%）が A 測定の 5% 値又は B 測定値の大きな方の値以下であったことから、曝露濃度の推定上限値は、A 測定の 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

られる。

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 A 測定の upper 5% 値又は B 測定値の大きな方の値として、3 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、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で推定範囲を満足する割合の有意差検定を行った。その結果、一部に有意差はあったものの、有意差があったものはいずれも推定範囲にあるデータ数の割合が多いことにより有意差があったことから、推定範囲は安全側にあると考えられる。

作業環境測定の A 測定の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値としたときの、曝露濃度の実測値と推定下限値との比をとると、曝露濃度の約 40% のデータが推定下限値の 1 倍以下、約 55% のデータが推定下限値の 2 倍以下、約 95% のデータが推定下限値の 15 倍以下であった。曝露濃度の実測値と推定下限値との比が 15 倍を超えるデータは少ないが、発生源のそばで連続して作業が行われる場合の B 測定値が、A 測定の幾何平均値の 15 倍を超えた場合には、曝露濃度は、推定下限値の 15 倍を超えることを否定することはできないことから、曝露濃度の推定上限値は、A 測定の upper 5% 値又は B 測定値の大きな方の値という条件だけでよいと考えられる。

3 年間にわたって得られた作業環境濃度と曝露濃度の測定結果により、曝露濃度の値は、有機溶剤業務の号別区分、換気設備の種類、エアロゾルの発生の有無及び作業環境測定の評価結果にかかわらず作業環境濃度の以下に示した範囲にあると考えられた。

$$\begin{aligned} & \text{A 測定の幾何平均値} \\ & \leq \text{曝露濃度の値} \leq \\ & \text{A 測定の upper 5\% 値又は B 測定値の大きな方の値} \end{aligned}$$

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員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。

4. 測定結果と CFD 解析との結果は、完全な一致を見ることはできなかったが、計算方法やモデルの設置条件を工夫することにより、測定結果に近い解析結果を得ることができると考えられた。

CFD 解析では、各要素体積ごとに出入りする物質やエネルギーを流体力学の基礎方程式である運動量保存式、質量保存式、エネルギー保存式、成分保存式の要素体積の連立有限体積方程式の近似解を繰り返し求めながら最終的な解析結果を求めていることから、繰り返し計算回数を順次増やしながら解析結果が収束しているかを確認する必要があると考えられる。

排気が行われているが強制給気が行われていない部屋について CFD 解析を行う場合には、部屋の内側のみを解析範囲として給気条件を自然流入とするよりは、部屋の外側まで解析範囲を広げ、部屋の給気 airflow を妨げない場所に強制給気口を設け解析を行う方法が、実測値に近い解析結果を得ることができると考えられる。

5. 有機溶剤の蒸発速度は、液面の深さが浅い場合は、拡散律速として計算した蒸発速度よりも遅く、拡散ではなく熱の供給速度が律速となる。また、蒸発速度と蒸気圧および蒸発速度と蒸気圧*拡散係数の相関係数がほとんど変わらないことからこの場合の蒸発速度に分子拡散は無関係であることがわかる。

液面が浅い場合、蒸発速度はばらつきがやや大きいものの蒸気圧から蒸発速度 (mol/m²/min) = 0.002 * 蒸気圧 (mmHg) + 0.039

で推定することができる。測定値の標準偏差が最大で 50%あることから、この推定値の 2 倍の速度を上限値の推定値とするほうが現実的であろう。

この式は、蒸気圧が 0 であっても蒸発が起こることになるが、有機化合物の液体では蒸気圧が 0 になることは無く、また飽和蒸気圧が 1 Pa では最大濃度がおよそ 10 ppm であり、蒸気圧が低い場合は、飽和濃度から暴露濃度の上限を求めることができる。

容器の口径と同程度の深さがあれば、拡散律速としての蒸発速度とほぼ一致しており溶媒の蒸発速度を拡散律速として推定することが可能である。速度は次式で表される。

$$\text{蒸発速度} = \text{拡散係数} \times \text{表面積} \times \text{蒸気圧} / \text{液面の深さ}$$

容器に溶剤を満たして行う作業がないとはいえないが多くの作業でこの条件は満たされるものと推定される。

6. 有機溶剤職場で使用している混合溶剤の液相組成及び液温より、液表面の成分別気相組成は Antoine 式、Wilson 式を用いて、任意温度の含有成分及び空気の 2 成分相互拡散係数は容器内温度、Wilke-Lee の式、Le-Bass の推算法、粘度データ等を用いて、開口面出口の成分別拡散流束は使用温度、容器深さ、Stefan-Maxwell の多成分拡散式の微分方程式を数値解法で解くことにより、容器からの成分別発生量は推定拡散流束、容器開口面積、分子量より推算することとした。一様流が流れるモデル実験場で酢酸エチル、トルエン、MEK の等容量混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とした実験を行い、推算した成分別発生量の和と発生源重量減少はほぼ一致した。また、発生時の液温に近い温度で実験に用いた等容量混合溶液を入れ、各成分の濃度を測定し、濃度比を比較した結果、成分別拡散流束の比と良い一致を見た。成分別発生量、モデル実験場の 3 次元形状、障害物、気流情報を入力し、CFD ソフトの解析を行い成分別推定濃度分布と多成分濃度実測値はほぼ一致した。

この推算法であれば、Antoine 定数、Wilson 定数が得られていない物質であっても、混合溶剤の配合比、使用温度が分かれば使用配合比の混合溶剤を作り使用温度でのヘッドスペース法で測定することにより、液表面気相組成は測定できるため、成分別濃度分布の推定は可能と思われる。そこで、一連の手順を、混合溶剤の入った拡散律則容器を発生源とする作業場内の成分別濃度分布の推算法について提案する。

7. 曝露濃度測定結果を、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 測定の幾何平均値の平均値、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、上限値と曝露濃度を比較した結果、推定値の上限値を超える例は少なく、多くが推定上限値以下となった。

号別作業区分ヌ（有機溶剤等が付着している物の乾燥の業務）については複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。この変更により、3 年間に測定した延べ 992 例の曝露濃度測定のうちおおむね 90%が推定値の上限以下の値となった。

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。この結果は、揮発性コードで曝露濃度を推定することを支持する。

この曝露濃度推定法は、日本の作業環境のデータに基づいており、推定に必要なデータは、蒸気圧と作業形態だけであり非常に簡便に利用できるものとする。

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. 総合研究報告

1. 国内の作業環境測定結果とEASEモデルばく露推定値の比較のためのデータベースの作成およびその比較

小堀 衛、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

1.1 目的

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ばく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。ばく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ばく露推定モデルが開発されている状況である。その中で、比較的広く使われている英国安全衛生庁（HSE（Health and Safety Executive））が開発しているEASEモデル（EASE（Estimation and Assessment of to Substances Exposure）model 2,0）のばく露推定値と国内の作業環境測定結果を比較するために作業環境測定結果のデータベースの作成し、その比較を行った。

1.2 研究方法

いわゆる四則と呼ばれている、有機溶剤中毒予防規則（有機則）、粉じん障害防止規則（粉じん則）、特定化学物質等障害予防規則（特化則）、鉛中毒予防規則（鉛則）および石綿障害予防規則（石綿則）において、測定法、評価法については作業環境測定基準、作業環境評価基準で定められており、基本的には変わらないが、作業環境測定結果報告書に記載する情報は作業内容、含有率等については若干異なっている。そのため、異なる規則の作業環境測定結果を単純には比較できない。そこで、ここでは作業環境測定結果データが最も多い有機則の作業環境測定結果をEASEモデルのばく露推定値と比較することとした。以下に、EASEモデルばく露推定値の求め方の概要および比較のためのデータベースの作成法について示す。

1.3 EASEモデル概要（蒸気吸引モデルを中心に）

職場での有害化学物質のばく露は吸引、経皮吸収および摂取で体内に入ることがある。EASEモデルはHSEで開発された有害物質の労働者の受けるばく露濃度を推定するモデルである。このモデルは、資料1-1の説明書の仮訳にあるように、ばく露濃度を推定する物質の工程温度、蒸気圧等の物理的データの他に物質の物理的特性、使用態様、制御方法等について、いくつかの代表的な分類から選択することによりばく露濃度が推定でき

る。

EASEモデルばく露モデルには、ガスおよび蒸気の吸引モデル、粒子状物質の吸引モデルおよび経皮吸収モデルがあるが、有機則の作業環境測定結果と比較するのでガスおよび蒸気の吸引モデルのばく露推定値の求め方の概要を示す。

EASEモデルのガスおよび蒸気の吸引モデルでばく露濃度を推定するには、まず対象物質のA. 揮発性（空中浮遊になる傾向）、B. 使用態様、C. 制御方法を区分から選択するとばく露推定値の範囲が求められる仕組みになっている。

A. 揮発性の区分（空中浮遊になる傾向）

工程温度の蒸気圧を計算し、表1-1に示した蒸気圧範囲のどの揮発性分類に属するかを選択する。説明書にはいくつかの蒸気圧の計算方法が示されている書籍等が紹介されている。

B. 使用態様

- ① 閉鎖系での使用
- ② 基質内に包含
- ③ 非分散型使用
- ④ 広範囲分散型使用

使用態様については若干説明する必要がある。① 閉鎖系での使用とは化学品が反応槽内にとどまっているか、または容器から容器へ、閉鎖式配管によって搬送される場合の工程はこの分類にはいる。② 基質内に包含とは環境空気中への放出が実質的にカットされている場合のすべての工程を指す。例えば、粉体の湿式化、ペレット化等がある。③ 非分散型使用とはある一定の作業グループのみがこれらの化学品に接触するような態様で、化学品が使用される工程をさす。この分類はリスクに匹敵するばく露を十分制御できるように仕組みられている。この分類は他の分類に割り振ることができないようなほとんどの職業的使用のために意図したものであると説明書には記載されている。

④ 広範囲分散型使用とは直接関わる工程作業員に対してのみではなく他の作業員あるいは時として、一般人に無制限のばく露を与える活動を指す。

これらの分類は既存化学物質に関する規則（EEC）No.793/93に基づくデータ収集のためのHarmonized Electronic Data Set(HEDSET)にも用いられていると説明書には記載されており、多少分かりにくいところがある。比較を試みている有機則の作業環境測定結果データではそのほとんどは ③ 非分散型使用 分類に入る。

C. 制御方法の区分は① 完全封じ込め、② 局所排気装置、③ 隔離、④ 希釈換気装置（日本では全体換気装置）+直接取扱、⑤ 直接取扱 の5つの分類がある。

① 完全封じ込め は実質閉鎖系である。この場合、対象物質の蒸気圧にかかわらず、ばく露推定濃度 = 0~0.1 ppmとなる。② 局所排気装置 は説明書には時々有効な局所排気装置（effective LEV）とあるが有効性の定義の記載はない。③ 隔離は単に発生源から離れるという意味で、2~3 m 離れると隔離の分類に入る。日本で定義している労働衛生対策という隔離とは異なることに注意する必要がある。④ 希釈換気装置+直接取扱 は、換気設備は全体換気装置だけで作業員が化学物質を直接扱っていることを指す。⑤ 直接取扱 換気設備なしで作業員が化学物質を直接取り扱っていることを指す。

B. 使用態様の分類で③ 非分散型使用を選択し、表1-1の揮発性の評価区分（A）お

よび表1-2の制御方法の区分（C）の各区分に対応している推定ばく露濃度の範囲は表1-3に示したようになる。また、対象物質が空气中でミストとして存在する場合、揮発性の評価区分は対象物質の蒸気圧に係わらず、表1-1の揮発性区分6の高位に分類される。すなわち、表1-3の下段にある濃度推定値コード18～21のばく露濃度推定値の範囲となる。ミストとして存在する場合のばく露濃度推定値の範囲は図1-1に示すように対象物質の蒸気圧に係わらず、図中右下に示した制御方法の区分(C)だけで求められる。グラフの横軸は対象物質の蒸気圧、縦軸はばく露濃度推定値である。図中、制御方法に対応した各四角形の横辺は蒸気圧の範囲、縦辺はばく露濃度推定値の範囲を示している。

対象物質が空气中にミストで存在する場合の直接取扱、およびミスト以外の各制御方法におけるばく露濃度推定値の範囲を図1-2に示した。制御方法のうち完全封じ込めについては、表1-3の上段にある濃度推定値コード1に示したように、対象物質の蒸気圧に係わらず、ばく露濃度推定値の範囲は0.1 ppm 以下と低濃度なので、図には記載しなかった。また、図1-1のミストで空气中に存在する場合については各制御方法の四角形をすべて図1-2に書き込むと煩雑になるため、制御方法は図中右下に示した□ミスト（直接取扱）だけとした。ミストで存在場合の他の制御方法である希釈換気＋直接取扱、隔離、局所排気装置のばく露濃度推定値は図1-1に示したように図1-2の右上にある各制御方法の四角形の横辺を左方に延長すればよい。グラフの横軸は対象物質の蒸気圧、縦軸はばく露濃度推定値である。図中、制御方法に対応した各四角形の横辺は蒸気圧の範囲、縦辺はばく露濃度推定値の範囲を示している。

表1-1 揮発性の評価区分

揮発性区分	揮発性分類	蒸気圧（対象物質分圧）
1	非常に低い	$V.P. \leq 0.001 \text{ kPa}$
2	低い	$0.001 < V.P. \leq 0.5 \text{ kPa}$
3	低いから中程度	$0.5 < V.P. \leq 1.5 \text{ kPa}$
4	中程度	$1.5 < V.P. \leq 10 \text{ kPa}$
5	中程度から高い	$10 < V.P. \leq 25 \text{ kPa}$
6	高い	$V.P. > 25 \text{ kPa}$

V.P.：蒸気圧

表1-2 制御方法の区分

制御方法の区分	制御方法
0	完全封じ込め
1	局排
2	隔離
3	希釈換気＋直接取扱
4	直接取扱

表1-3 各揮発性評価区分および制御方法区分のEASEばく露濃度推定値の範囲 (ppm)

濃度推定値コード	揮発性評価区分		制御方法区分		ばく露濃度推定値の範囲 (ppm)
1	1	非常に低い	0		0-0.1
2	2	低い	1	局排	0.5-1
3	2	低い	2	隔離	3-5
4	2	低い	3	直接取扱+希釈換気	10-20
5	2	低い	4	直接取扱	50-90
6	3	低いから中程度	1	局排	1-3
7	3	低いから中程度	2	隔離	5-10
8	3	低いから中程度	3	直接取扱+希釈換気	20-50
9	3	低いから中程度	4	直接取扱	70-100
10	4	中程度	1	局排	10-20
11	4	中程度	2	隔離	50-70
12	4	中程度	3	直接取扱+希釈換気	100-140
13	4	中程度	4	直接取扱	200-300
14	5	中程度から高い	1	局排	20-50
15	5	中程度から高い	2	隔離	70-100
16	5	中程度から高い	3	直接取扱+希釈換気	140-200
17	5	中程度から高い	4	直接取扱	300-500
18	6	高い	1	局排	100-200
19	6	高い	2	隔離	200-500
20	6	高い	3	直接取扱+希釈換気	500-1000
21	6	高い	4	直接取扱	>1000

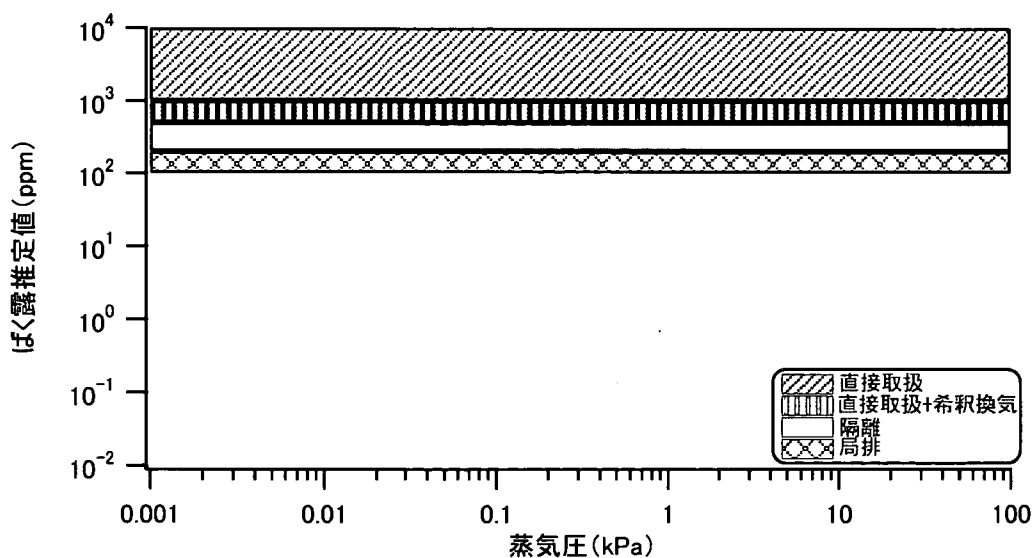


図1-1 空気中にミストで存在する場合の蒸気圧に対する各制御方法区分のばく露濃度推定値の範囲

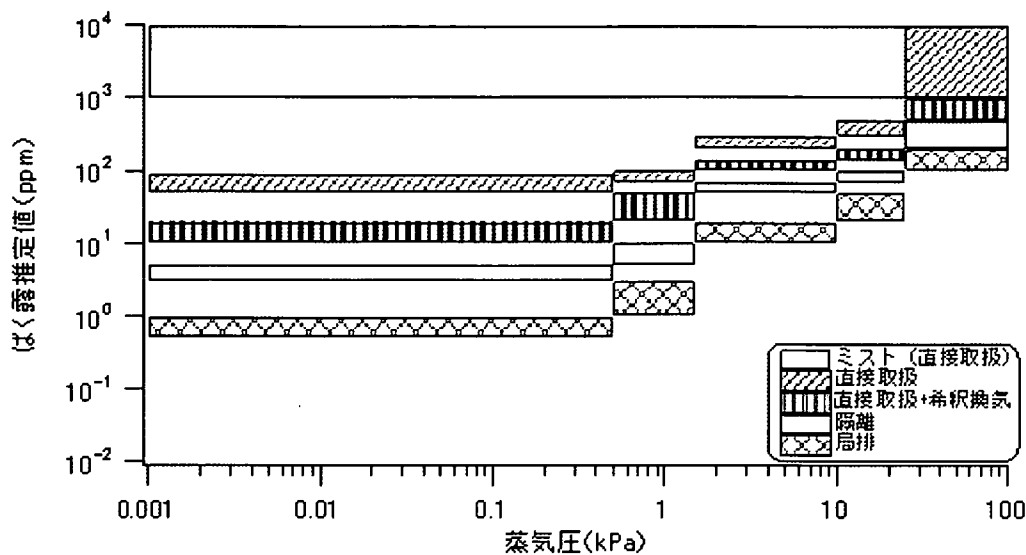


図1-2 各揮発性の評価区分および各制御方法区分の蒸気圧に対するばく露推定値の範囲

1.4 EASEばく露推定値と作業環境測定結果を比較するためのデータベースの作成

作業環境測定結果の評価において、測定値がゼロまたはN.D.の場合、使用した試料採取方法および分析方法によって求められる定量下限値を当該測定点における測定値とみなして計算を行うこととなっている（作業環境評価基準第2条第2項）。また、測定値が管理濃度の1/10に満たない測定値がある単位作業場所では、管理濃度の1/10を当該測定点における測定値とみなして、計算を行ってもよいこととなっている（作業環境評価基準第2条第3項）。従って、作業環境測定結果報告書のA測定値、B測定値は管理濃度の1/10を定量下限としているものも少なくない。有機則の作業環境測定は分析法としてガスクロ法を用いているものが多く定量下限値が低く設定されている場合が多い。ただし、検知管法の定量下限値は管理濃度の1/10も多い。表1-4に有機則測定対象物質である第一種、第二種有機溶剤の管理濃度を示す。物質コードは第一種有機溶剤を五十音順、第二種有機溶剤を五十音に並べて101～147をつけたものである。これは作成したデータベースの物質コードとして使用している。この表の数値は平成16年10月1日に改正、平成17年4月1日に施行されたものである。また、有機則の作業環境測定結果表には表1-5に示した有機溶剤業務の号別区分（以後、作業区分という）（イ～ヲ）、対象物質の使用有機溶剤中の含有率（重量%）、複数の溶剤製品を混合して使用する場合には配合比等の記載欄があることから、EASEモデルのばく露推定値と作業環境測定結果を比較する際に

層別化に役立つことが予測される。

中央労働災害防止協会（以後中災防という）で使用している作業環境測定結果報告書作成ソフトEMR2000はAccessVBAで作成した報告書帳票と過去の記入事項を累積記録したAccess表からなっている。中災防の1991年以降の作業環境測定データベースより個人情報、企業情報を除いたものを抽出して作成したデータベース（中災防DB）は中災防衛生技術職員がアクセスできるサーバーに保存されている。この中災防DBより、有機則測定対象物質別のA測定値およびB測定値、作業場室温、対象溶剤含有率（重量%）、配合比、管理濃度、A測定値の幾何平均濃度、有機溶剤業務の号別区分等を抽出した。測定対象物質の工程温度の蒸気圧の計算は、（1）式のAntoine式を用い、温度は作業場室温として蒸気圧を求めた。

$$P = A - B/(t + 273 + C) \quad (1)$$

P：飽和蒸気圧（mmHg） A、B、C：Antoine定数 t：温度(°C)

表1-6に有機則測定対象の47物質のAntoine定数を示す。定数は蒸気圧および温度の単位がbar、FであるNIST(National Institute of Standard and Technology)のデータより単位を°C、mmHgに変換したものである。エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート、酢酸プロピル、シクロヘキサノール、メチルシクロヘキサノンについては情報が収

表1-4 第一種、第二種有機溶剤の管理濃度(ppm) 平成16年10月1日改正

物質コード	物質名	管理濃度 (ppm)
101	クロホルム	10
102	四塩化炭素	5
103	1,2-ジクロエタン	10
104	1,2-ジクロエチレン	150
105	1,1,2-トリクロエタン	1
106	トリクロエチレン	25
107	二硫化炭素	10
108	アセトン	500
109	イソブチルアルコール	50
110	イソブチルアルコール	200
111	イソペンチルアルコール	100
112	エチルエーテル	400
113	エチレンジクロルモノエチルエーテル	5
114	エチレンジクロルモノエチルエーテルアセテート	5
115	エチレンジクロルモノブチルエーテル	25
116	エチレンジクロルモノメチルエーテル	5
117	オルトジクロロベンゼン	25
118	キシレン	50
119	クレゾール	5
120	クロロベンゼン	10
121	酢酸イソブチル	150
122	酢酸イソブチル	100
123	酢酸イソペンチル	100
124	酢酸エチル	200
125	酢酸n-ブチル	150
126	酢酸n-ブチル	200
127	酢酸ペンチル	100
128	酢酸メチル	200
129	シクロヘキサノール	25
130	シクロヘキサノン	25
131	1,4-ジオキサン	10
132	ジクロロメタン	50
133	N,N-ジメチルホルムアミド	10
134	スチレン	20
135	テトラクロエチレン	50
136	テトラヒドロフラン	200
137	1,1,1-トリクロエタン	200
138	トルエン	50
139	ノルマルヘキサン	40
140	1-ブタノール	25
141	2-ブタノール	100
142	メタノール	200
143	メチルイソブチルケトン	50
144	メチルエチルケトン	200
145	メチルシクロヘキサノール	50
146	メチルシクロヘキサノン	50
147	メチルブチルケトン	5

表1-5 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

集できなかった。また、異性体があるキシレン、クレゾール、1,2-ジクロロエチレンについては異性体の常温の蒸気圧を比べ、蒸気圧がやや高かったパラキシレン、オルトクレゾール、trans-1,2-ジクロロエチレンのAntoine定数とした。混合溶剤を使用している場合、対象物質の含有率（重量%）より対象物質の使用溶剤中のモル分率を求め、ラウール則が成り立つものとして、（2）式に示したように、液層モル分率を使用温度の飽和蒸気圧に乗ずることにより対象物質の分圧を求めた。

$$P_{yi} = p_i \cdot X_i \quad (2)$$

P_{yi} : i成分の分圧 p_i : i成分の飽和蒸気圧 X_i : i成分の液相モル分率

また、塗料等のように不揮発性の顔料、樹脂等が含まれる場合はこれらを除いた溶剤中の含有率を計算し直し、モル分率を求め各成分の蒸気圧に乗じて分圧を計算した。さらに、塗料およびシンナーのように複数の溶剤製品を混合して使用する場合、それぞれの製品の物質別モル分率および配合比より混合溶剤中のモル分率を算出し、各成分の蒸気圧にモル分率を乗じて分圧を求めた。