

20050/016A

厚生労働科学研究費補助金  
労働安全衛生総合研究事業

労働暴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

平成18年3月

## 目次

I. 総括研究報告	
労働暴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. 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 .....7	
小堀 衛、山室 堅治	
2. 暴露推定モデルの開発.....28	
菅野誠一郎 芹田富美雄	
3. 有機溶剤の蒸発速度の測定.....33	
菅野誠一郎 芹田富美雄	
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.....39	
小堀 衛、山室 堅治...	
5. 作業環境濃度とばく露濃度との関係.....57	
小堀 衛、山室 堅治	
資料：作業環境濃度と労働者のばく露濃度の調査票	
6. 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...70	
小堀 衛、山室 堅治	
7. 添付資料	
健康有害物質の職場での曝露の評価	
EASE (Estimation and Assessment of Substance Exposure)モデル (仮訳) ...80	

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

### 労働暴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 産業医学総合研究所

#### 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。暴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、国内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  $V.P. \leq 0.5kPa$ 、 $0.5kPa < V.P. \leq 1.5kPa$ 、 $1.5kPa < V.P. \leq 10kPa$ 、 $10kPa < V.P. \leq 25kPa$ 、 $25kPa < V.P.$ の条件で、制御方法が局排では、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、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、同様の分圧条件で、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%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、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、作業環境管理、物質の揮発性、作業内容から作業環境濃度を推定するモデルを作成した。常温で液体の有機化合物で、ミストの発生を伴わない場合に限られるが、蒸気圧と作業内容及び管理方法が分かれば推定値が求められる。
- 3、数値計算モデルに必要な溶剤の蒸発速度の推定法を開発するために実験的に蒸発速

度の測定を行い、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。

蒸発速度 (mol/m<sup>2</sup>/min) = 0.002 \* 蒸気圧 (mmHg) + 0.039

ただし、風速、口径等の影響で 50%程度のはらつきがある。液面の深さが深い場合は、蒸発速度は拡散律速となり、次式で推定できる。

蒸発速度 = 拡散係数 \* 表面積 \* 蒸気圧 / 液面の深さ

この蒸発速度は、液面が口径よりも深い場合ほぼ上限の蒸発速度と考えてよい。

4、モデル実験場で溶剤を蒸発させ、近傍の濃度を測定し、数値解析ソフトでの計算結果と比較したところ、実測値が 1ppm 以上の測定点を見ると、実験場の気流及びトルエンの蒸発速度が安定した実験開始約 1 時間経過後であっても、トルエン濃度実測値の変動係数が 22~156%と大きなばらつきを持っている。一方、数値計算ソフトでは、理想的な状態での計算が行われているため、一様な気流を発生させたこの実験場の計算結果は、3 分程度経過すれば、各測定点のトルエンの濃度は一定の濃度に収束している。実測値が大きなばらつきを持っていることを考慮すれば、数値解析ソフトによる気中濃度の計算結果のほとんどが実測値の分布の 95%の範囲内であったことから、一定の条件下の作業場の発生源、気流、温度等のデータを入力することによって、数値解析ソフトによる計算によってその作業場の気中濃度の推定が可能であると考えられる。

5、作業環境測定と並行して個人暴露濃度の測定を行い、暴露濃度と環境濃度の比較を行った。A 測定の幾何平均値とばく露濃度との間には、正の弱い相関が見られたが、B 測定値とばく露濃度との間には正の相関が見られなかった。

ばく露濃度と A 測定の幾何平均値との比は、対数正規分布に近い分布をしており、ばく露濃度と A 測定の幾何平均値との比の対数の分布の上側 90%の値を求めると、全データでは 4.8 が得られた。これは、ばく露濃度の 90%が A 測定の幾何平均値の 4.8 倍以内にあることを示している。ばく露濃度と A 測定の幾何平均値との比の分布の上側 90%の値は、有機溶剤作業区分、A 測定の幾何平均値の範囲又は有害物質の制御方法の有効性によって、それぞれ最大 1.8 倍、3.4 倍及び 1.7 倍の差があるため、作業環境濃度とばく露濃度との関係を単純に示すことができない。

6、上記の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、有機溶剤作業区分別など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ある作業では、有害物質の制御方法により EASE モデルのばく露濃度推定範囲が示されているが、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対象作業の有害物質の制御方法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。

有機溶剤作業区分別、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ったが、有機溶剤作業区分のイ

又は口で、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くなり、物質別の分圧が 1.5kPa を超えるとほとんどのデータが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<sup>1)</sup>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、作業内容や取扱量もエキスパートモデルのばく露濃度推定を決める項目には必要であると考えられた。

#### 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 (独法産業医学総合研究所作業環境計測研究部)  
芹田富美雄 (独法産業医学総合研究所作業環境計測研究部)

#### A. 研究目的

- 1、作業環境測定から、簡便な暴露濃度推定モデルを開発する。
- 2、作業環境濃度と暴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暴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. 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）、粉じん障害予報規則（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）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。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、有機溶剤業務の号区分等を抽出した。この測定対象物質の分圧の計算が可能な23348データのデータベースをEASEモデルのばく露推定値との比較に使用した。

2. 暴露推定モデルの開発

菅野誠一郎 芹田富美雄

独法産業医学総合研究所作業環境計測研究部

1で作成した作業環境測定データベースには、A/B測定値、幾何平均、算術平均、管理区分、溶剤の種類、有機溶剤作業区分、混合溶剤のモル分率、評価値、揮発性評価コードがある。モデルの作成には、A測定濃度の幾何平均をモル分率で補正した濃度、管理

区分、有機溶剤の号別作業区分を用い、揮発性評価コード、管理区分、有機溶剤作業の号別区分ごとに濃度の幾何平均、最大濃度の推定を行って号別区分及び揮発性評価コードにより期中濃度の推定を行うモデルを作成した。

### 3. 有機溶剤の蒸発速度

菅野誠一郎 芹田富美雄

独法産業医学総合研究所作業環境計測研究部

実験室内で気流一定の条件下で有機溶剤を蒸発させ、その蒸発速度を測定した。

実験室：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、長手方向の壁のほぼ全面に空気の取り入れ口及び反対側に吸引口がある。取り入れ口、および吸引口にはハニカムがたの整流器が設置してあり、ファンで空気を吸引することにより部屋の断面に渡りほぼ一定の気流を流すことができる。また、気流の速度はインバータで、ファンの回転数を変えることにより設定できる。

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。

### 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

モデル実験場内でトルエン蒸気を一定速度で発生させ、実験場内の気中濃度の実測値と数値計算ソフトのシミュレーション結果との比較を行った。

長さ 10.0m×幅 3.5m×高さ 2.5m のモデル実験場に  $0.04$  m/s の一様な気流を発生させ、長さ 10.0m×幅 3.5m×高さ 2.5m のモデル実験場に  $0.04$  m/s の一様な気流を発生させ、給気口から 4.0m の中央床上 0.84m の位置に発生源を置いた。発生源はステンレスシャーレにトルエンを 8 分目程度入れ、ヒーターで  $31.6^{\circ}\text{C}$  に保ちながらトルエン蒸気を発生させた。トルエン濃度の測定は、発生源より風下の床上 1.2m の高さに VOC モニター（RAE SYSTEMS 社製 pbb RAE PGM-7240）を置き、10 秒毎の連続測定を行った。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トルエンの発生速度は測定した。

数値計算ソフトは、Flow Designer（アドバンス・ナレッジ（株）製）を使用し、実験場の広さ、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、気流については定常解析で、トルエン濃度については非定常解析で計算を実施した。

### 5. 作業環境濃度とばく露濃度との関係 及び

### 6. 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（もともと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。（資料参照）

得られた暴露濃度実測データと A 測定値、B 測定値の比較を行った。また、EASE モデルのばく露推定範囲とを比較した。

### C. 研究結果

1、国内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  $V.P. \leq 0.5kPa$ 、 $0.5kPa < V.P. \leq 1.5kPa$ 、 $1.5kPa < V.P. \leq 10kPa$ 、 $10kPa < V.P. \leq 25kPa$ 、 $25kPa < V.P.$ の条件で、制御方法が局排では、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、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、同様の分圧条件で、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%であった。また、空气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、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、作業環境管理、物質の揮発性、作業内容から作業環境濃度を推定するモデルを作成した。常温で液体の有機化合物で、ミストの発生を伴わない場合に限られるが、蒸気圧と作業内容及び管理方法が分かれば推定値が求められる。

3、数値計算モデルに必要な溶剤の蒸発速度の推定法を開発するために実験的に蒸発速度の測定を行い、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。  
蒸発速度 (mol/m<sup>2</sup>/min) = 0.002 \* 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、蒸発速度は拡散律速となり、次式で推定できる。

蒸発速度 = 拡散係数 \* 表面積 \* 蒸気圧 / 液面の深さ  
この蒸発速度は、液面が口径よりも深い場合ほぼ上限の蒸発速度と考えてよい。

4、モデル実験場で溶剤を蒸発させ、近傍の濃度を測定し、数値解析ソフトでの計算結果と比較したところ、実測値が 1ppm 以上の測定点を見ると、実験場の気流及びトルエンの蒸発速度が安定した実験開始約 1 時間経過後であっても、トルエン濃度実測値の変動係数が 22~156%と大きなばらつきを持っている。一方、数値計算ソフトでは、理想的な状態での計算が行われているため、様な気流を発生させたこの実験場の計算結果は、3 分程度経過すれば、各測定点のトルエンの濃度は一定の濃度に収束している。実測値が大きなばらつきを持っていることを考慮すれば、数値解析ソフトによる気中濃度の計算結果のほとんどが実測値の分布の 95%の範囲内にあったことから、一定の条件下の作業場の発生源、気流、温度等のデータを入力することによって、数値解析ソフトによる計算によってその作業場の気中濃度の推定が可能であると考えられる。

5、作業環境測定と並行して個人暴露濃度の測定を行い、暴露濃度と環境濃度の比較を行った。A 測定の幾何平均値とばく露濃度との間には、正の弱い相関が見られたが、B 測定値とばく露濃度との間には正の相関が見られなかった。

ばく露濃度とA測定 of 幾何平均値との比は、対数正規分布に近い分布をしており、ばく露濃度とA測定 of 幾何平均値との比の対数の分布の上側90%の値を求めると、全データでは4.8が得られた。これは、ばく露濃度の90%がA測定 of 幾何平均値の4.8倍以内にあることを示している。ばく露濃度とA測定 of 幾何平均値との比の分布の上側90%の値は、有機溶剤作業区分、A測定 of 幾何平均値の範囲又は有害物質の制御方法の有効性によって、それぞれ最大1.8倍、3.4倍及び1.7倍の差があるため、作業環境濃度とばく露濃度との関係を単純に示すことができない。

6、上記の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、有機溶剤作業区分別など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ある作業では、有害物質の制御方法により EASE モデルのばく露濃度推定範囲が示されているが、単純に排気設備設置等の有無だけ判断した場合は、有害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対象作業の有害物質の制御方法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。

有機溶剤作業区分別、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ったが、有機溶剤作業区分のイ又はロで、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くなり、物質別の分圧が 1.5kPa を超えるとほとんどのデータが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<sup>1)</sup>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、作業内容や取扱量もエキスパートモデルのばく露濃度推定を決める項目には必要であると考えられた。

D. 健康危険情報  
特記事項なし

E. 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（2005）有機溶剤の蒸発速度の測定、  
第 45 回日本労働衛生工学会 P74-75、高松

F. 知的財産権の出願・登録状況  
なし



## II. 分担研究報告

### 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モデルはばく露モデルには、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の高いに分類される。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

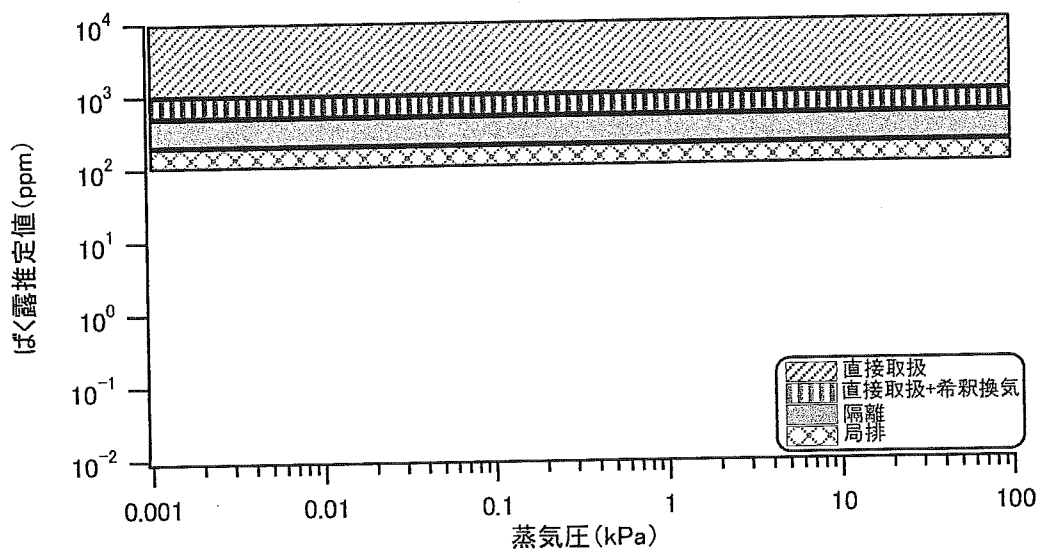


図1-1 空気中にミストで存在する場合の蒸気圧に対する各制御方法区分のばく露濃度推定値の範囲

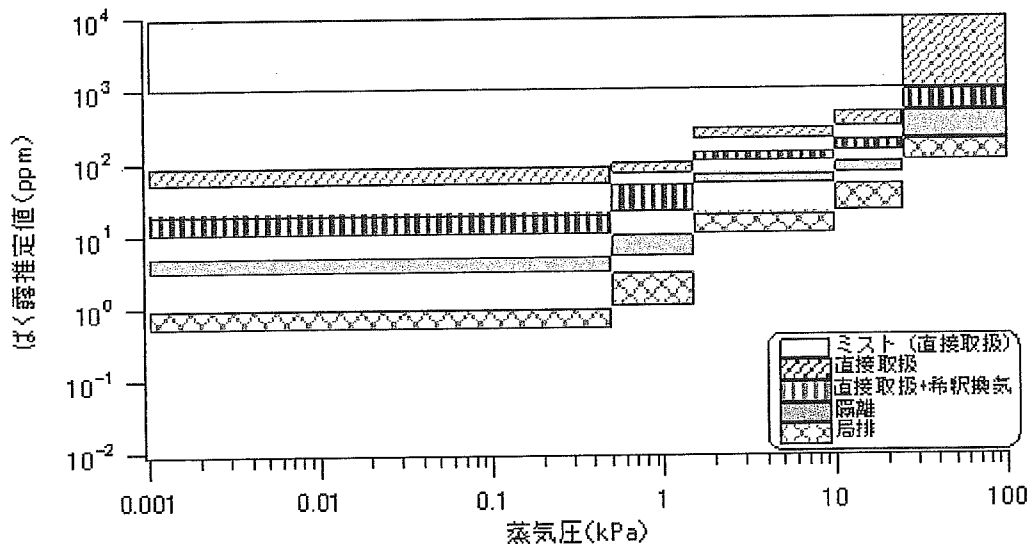


図1-2 各揮発性の評価区分および各制御方法区分の蒸気圧に対するばく露推定値の範囲

#### 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-ジクロロエタン	10
104	1,2-ジクロロエチレン	150
105	1,1,2,2-テトラクロロエタン	1
106	トリクロロエチレン	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	エチレンジクロロモノエチルエーテル	5
114	エチレンジクロロモノエチルエーテルアセテート	5
115	エチレンジクロロモノブチルエーテル	25
116	エチレンジクロロ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	酢酸プロピル	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。



表1-6 有機則測定対象物質のAntoine定数

物質コード	物質名	アントワン定数		
101	クロホルム	6.95795	1172.67	226.418
102	四塩化炭素	6.9339	1242.43	230
103	1,2-ジクロロエタン	7.12815	1334.167	230.235
104	1,2-ジクロロエチレン	6.81724	1064.35	222.806
105	1,1,2,2-テトラクロロエタン	6.63169	1228.06	179.942
106	トリクロロエチレン	6.428	974.34	187.32
107	二硫化炭素	6.85145	1122.5	236.46
108	アセトン	7.13296	1218.78	230.537
109	イソブチルアルコール	7.52766	1353.852	183.641
110	イソプロピルアルコール	9.177172	2202.526	267.2302
111	イソペンチルアルコール	7.82654	1616.21	196.198
112	エチルエーテル	7.32536	1333.45	265.603
113	エチレングリコールモノエチルエーテル	6.9893	1230.16	171.88
114	エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート	—	—	—
115	エチレングリコールモノブチルエーテル	6.95659	1399.9	172.154
116	エチレングリコールモノメチルエーテル	8.3077	2157	273.16
117	オルトジクロロベンゼン	7.070384	1649.55	213.214
118	キシレン	7.14367	1540.697	223.595
119	クレゾール	7.82102	2040.73	222.588
120	クロロベンゼン	6.95773	1424.941	216.648
121	酢酸イソブチル	7.411964	1625.875	240.656
122	酢酸イソプロピル	7.017745	1244.854	212.32
123	酢酸イソペンチル	7.955674	1932.043	244.452
124	酢酸エチル	7.103294	1245.702	217.961
125	酢酸n-ブチル	7.142	1439.26	211.69
126	酢酸プロピル	7.050177	1302.699	210.9139
127	酢酸ペンチル	—	—	—
128	酢酸メチル	7.07874	1164.43	220.46
129	シクロヘキサノール	8.5796	2430.06	265.416
130	シクロヘキサノン	6.97851	1495.58	209.559
131	1,4-ジオキサソ	7.43995	1559.164	240.706
132	ジクロルメタン	7.40916	1325.94	252.616
133	N,N-ジメチルホルムアミド	7.3438	1624.7	216.2
134	スチレン	6.33786	1169.257	186.086
135	テトラクロロエチレン	6.97683	1386.91	217.526
136	テトラヒドロフラン	7.00759	1209.339	227.077
137	1,1,1-トリクロロエタン	6.87645	1195.65	225
138	トルエン	7.06719	1404.946	225.362
139	ノルマルヘキサソ	6.86918	1166.702	223.797
140	1-ブタノール	7.63185	1452.725	188.31
141	2-ブタノール	7.24438	1179.058	170.702
142	メタノール	7.89732	1474.106	229.133
143	メチルイソブチルケトン	6.82808	1254.09	201.613
144	メチルエチルケトン	6.864604	1150.207	209.246
145	メチルシクロヘキサノール	—	—	—
146	メチルシクロヘキサソ	—	—	—
147	メチルブチルケトン	7.028504	1395.8	208.98

作業場室温（℃）、各成分の含有率（重量%）、配合比の記載位置が報告書の所定の位置に記載されていない、テキストスタイルの記述位置または報告書のまとめ等に記載された場合は、中災防DBに抽出されないため、これらの情報は中災防DBでは欠損となる。表1-7に有機則測定対象47物質の全データ数、作業場室温およびAntoine定数が得られ蒸気圧の計算が可能なデータ数、純粋溶剤または対象物質の含有率（重量%）、配合率の情報が得られ、測定対象物質のモル分率の計算が可能なデータ数、蒸気圧・モル分率の計算値があり対象物質の分圧が計算可能なデータ数を測定対象物質別に示した。純粋化学物質を使用している場合は分圧ではなく蒸気圧であるが、データの集計上、分圧のデータ列に入れたデータベースとした。

この測定対象物質の分圧の計算が可能な23348データのデータベースをEASEモデルのばく露推定値との比較に使用することとした。

表1-7 対象物質別データ数

物質コード	物質名	条件なし	蒸気圧可	モル分率可	分圧計算可
101	クロホルム	98	49	55	33
102	四塩化炭素	36	7	35	6
103	1,2-ジクロロエタン	19	10	13	7
104	ジクロロエチレン	0	0	0	0
105	1,1,2,2-テトラクロロエタン	0	0	0	0
106	トリクロロエチレン	767	364	693	337
107	二硫化炭素	0	0	0	0
108	アセトン	1711	1034	929	668
109	イソブチルアルコール	1965	1302	1104	223
110	イソプロピルアルコール	3527	2064	1951	929
111	イソペンチルアルコール	1	1	1	0
112	エチルエーテル	298	131	91	52
113	エチレンジクロールモノエチルエーテル	388	225	232	24
114	エチレンジクロールモノエチルエーテルアセテート	723	0	257	0
115	エチレンジクロールモノブチルエーテル	1484	873	709	219
116	エチレンジクロールモノメチルエーテル	37	13	10	0
117	オルトジクロロベンゼン	160	120	119	92
118	キシレン	8336	5400	4981	3303
119	クレゾール	73	0	3	0
120	クロロベンゼン	33	16	4	2
121	酢酸イソブチル	1470	944	913	59
122	酢酸イソプロピル	5	5	5	0
123	酢酸イソペンチル	4	1	1	0
124	酢酸エチル	5379	3645	2974	2767
125	酢酸 n-ブチル	3636	2597	2219	106
126	酢酸プロピル	17	9	14	0
127	酢酸ペンチル	12	0	1	0
128	酢酸メチル	526	455	364	183
129	シクロヘキサノール	0	0	0	0
130	シクロヘキサノン	969	625	377	215
131	1,4-ジオキサン	203	16	9	1
132	ジクロロメタン	1302	711	856	503
133	N,N-ジメチルホルムアミド	100	65	82	69
134	スチレン	490	347	288	225
135	テトラクロロエチレン	412	274	322	546
136	テトラヒドロフラン	100	60	24	7
137	1,1,1-トリクロロエタン	989	60	602	39
138	トルエン	10287	6533	5665	10168
139	ノルマルヘキサン	1085	641	428	518
140	1-ブタノール	2043	1343	836	59
141	2-ブタノール	48	30	20	0
142	メタノール	3634	2382	2096	925
143	メチルイソブチルケトン	3185	2076	1526	473
144	メチルエチルケトン	2520	1645	1134	590
145	メチルシクロヘキサノール	0	0	0	0
146	メチルシクロヘキサノン	0	0	0	0
147	メチルブチルケトン	7	0	0	0
計		58079	36073	31943	23348

## 1.5 EASEモデルばく露推定値と作業環境測定結果の比較

EASEモデルのばく露濃度推定値の範囲と作業環境測定結果の物質別A測定値の幾何平均値とB測定値を比較してみた。

1.3で各揮発性の評価区分および各制御方法区分の分圧の対するばく露推定値の範囲を示した図1-1に1.4で作成したデータベースより、測定対象別の分圧 (kPa) に対する測定対象物質別A測定値の幾何平均値 (ppm) および測定対象物質別B測定値 (ppm) をプロットしたものを図1-3、図1-4に示す。作業場で混合有機溶剤を使用した場合もかなりあるため、グラフの横軸は分圧とした。図中、+印のプロットは、分析法が検知管法のもので、図中+印が集中しているいくつかの部分は検知管の定量下限値である。・印のプロットは分析法がガスクロ法のもので、大部分はガスクロー水素炎イオン化検出器 (GC-FID法) による分析であるが、濃度が1ppm未満のものについてはガスクロー質量分析計 (GC-MS法) による分析も含まれている。また、1ppm、0.5ppm の濃度にプロットが相当数重複しているのは、GC-MS法の報告書での定量下限値を1ppm、0.5ppmとしているデータがかなりあるためである。

有機則で作業環境測定の義務のある作業場では、表1-4に示した第一種有機溶剤、第二種有機溶剤を使用しており、有機則第5条で「当該作業場所に、有機溶剤の蒸気の発散源を密閉する設備、局所排気装置又はプッシュプル型換気装置を設けなければならない。」と事業者が義務づけているため作業環境測定を行った単位作業場所のほとんどに局所排気装置又はプッシュプル型換気装置が設置されている。EASEモデルでは有効な局所排気装置 (Effective LEV) と説明書には時々記載されているが、作業環境測定を実施した作業場の局所排気装置の有効性については作業環境測定結果のデータベースからは情報は得られない。そこで、制御方法の区分は局所排気装置、隔離 (EASEの隔離は発散源から2、3m離れた作業位置) 程度まで広げる必要があるかもしれない。

これらのことを考慮して図1-3のEASEモデルのばく露推定値の濃度範囲と作業環境測定結果の測定対象物質別のA測定値の幾何平均値を比較してみると、分圧が0.5 kPa未満、0.5~1.5 kPaではEASEモデルの管理方法である隔離の範囲を超えたプロットもあるが、かなりのプロットがEASEモデルの隔離、局所排気装置の範囲に入っている。分圧が1.5 kPa 以上ではEASEモデルの局所排気装置のばく露濃度推定値の範囲を超えるデータは少なくなっており、この傾向は分圧が高くなるにつれて如実になっている。これは、揮発度分類6 (25kPa<V.P.) にはガスも含まれるため推定ばく露濃度の範囲は高めに設定しているのではないかと思われる。

各揮発性評価区分において、各制御方法のばく露濃度推定値の範囲を超えるデータ数および各評価区分別の百分率を表1-8に示した。対象物質の分圧がV.P.≤0.5kPa、0.5kPa<V.P.≤1.5kPa、1.5kPa<V.P.≤10kPa、10kPa<V.P.≤25kPa、25kPa<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、局所排気装置のばく露濃度推定範囲を超えるデータの割合が低くなっていることが分かる。また、同様の分圧条件で、管理方法が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。