

### 2.3.3 物質別分圧に対する 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一致性

物質別分圧に対する EASE モデルのばく露濃度推定範囲とばく露濃度実測値との一致性は、ばく露濃度推定範囲未満、範囲内、範囲超のデータがそれぞれある程度揃っている局所排気装置等のデータで比較し検討することとした。

物質別分圧に対する EASE モデルのばく露濃度推定範囲内外に該当するばく露濃度の実測値のデータ数を表 2.4 に示した。

それぞれの物質別分圧の範囲別で3~27 データとデータ数が少ないため、その傾向を述べることは難しいが、対象物質の分圧が 1.5kPa を超えると、90%を超えるデータが、EASE モデルのばく露濃度推定範囲未満となった。

表 2.4 物質別分圧に対する EASE モデルばく露濃度推定範囲内外に該当するばく露濃度の実測値のデータ数  
(局所排気装置等、エアロゾル形成なし)

分圧	推定範囲未満	推定範囲内	推定範囲超	合計
$P_i \leq 0.001 \text{kPa}$	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
$0.001 < P_i \leq 0.5 \text{kPa}$	0 (0.0%)	18 (78.3%)	5 (21.7%)	23 (100.0%)
$0.5 < P_i \leq 1.5 \text{kPa}$	4 (22.2%)	9 (50.0%)	5 (27.8%)	18 (100.0%)
$1.5 < P_i \leq 10 \text{kPa}$	25 (92.6%)	1 (3.7%)	1 (3.7%)	27 (100.0%)
$10 < P_i \leq 25 \text{kPa}$	3 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (100.0%)
$P_i > 25 \text{kPa}$	7 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (100.0%)
合計	39 (50.0%)	28 (35.9%)	11 (14.1%)	78 (100.0%)

### 2.3.4 物質の取扱量別の 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一致性

物質の取扱量別の EASE モデルのばく露濃度推定範囲とばく露濃度実測値との一致性は、ばく露濃度推定範囲未満、範囲内、範囲超のデータがそれぞれある程度揃っている局所排気装置等のデータで比較し検討することとした。

物質の取扱量別の EASE モデルのばく露濃度推定範囲内外に該当するばく露濃度の実測値のデータ数を表 2.5 に示した。物質の取扱量は、1 時間当たりの有機溶剤等の使用量に物質の含有率を乗じて求めた。(例：トルエン 10%含有するシンナーを 1kg/h 使用するのであれば、トルエンの取扱量は 0.1kg/h)

それぞれの物質の取扱量の範囲別で 9~32 データとデータ数が少ないため、その傾向を述べることは難しいが、物質の取扱量 10kg/h を超えると、EASE モデルのばく露濃度推定範囲を超えるデータの割合が高くなった。

表 2.5 物質の取扱量別の EASE モデルばく露濃度推定範囲に対するばく露濃度の実測値のデータ数 (局所排気装置等、エアロゾル形成なし)

物質の取扱量	推定範囲未満	推定範囲内	推定範囲超	合計
$A \leq 100\text{g/h}$	15 (46.9%)	14 (43.8%)	3 (9.4%)	32 (100.0%)
$100 < A \leq 1000\text{g/h}$	12 (60.0%)	6 (30.0%)	2 (10.0%)	20 (100.0%)
$1 < A \leq 10\text{kg/h}$	7 (77.8%)	2 (22.2%)	0 (0.0%)	9 (100.0%)
$10 < A \leq 106\text{kg/h}$	5 (29.4%)	6 (35.3%)	6 (35.3%)	17 (100.0%)
合計	39 (50.0%)	28 (35.9%)	11 (14.1%)	78 (100.0%)

## 2.4 まとめ

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<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、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。

## 引用

- 1 JW Cherrie, Evaluation and further development of the EASE model 2.0, HSE(2003)

### 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

#### 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、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できるようにするために、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し、作業環境濃度から曝露濃度を推定可能とすることを研究の目的とする。

#### B. 研究方法

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。（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

平成17年度から3年間にわたる調査により353単位作業場所のデータが得られた。353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
277 (78.5%)	43 (12.2%)	33 (9.3%)	353 (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	36 (7.4%)	4 (0.8%)	37 (7.6%)	8 (1.7%)	43 (8.9%)	61 (12.6%)	
号別区分	ト	チ	リ	ヌ	ル	ヲ	合計
単位作業場所数	29 (6.0%)	126 (26.0%)	88 (18.2%)	48 (9.9%)	4 (0.8%)	0 (0.0%)	484 (100.0%)

## 2 作業環境濃度と曝露濃度との関係

### 2.1 作業環境濃度からの曝露濃度の下限値の推定

平成17年度から3年間にわたる作業環境濃度と曝露濃度の測定結果で得られた作業環境測定のア測定値の幾何平均値及びア測定値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。）

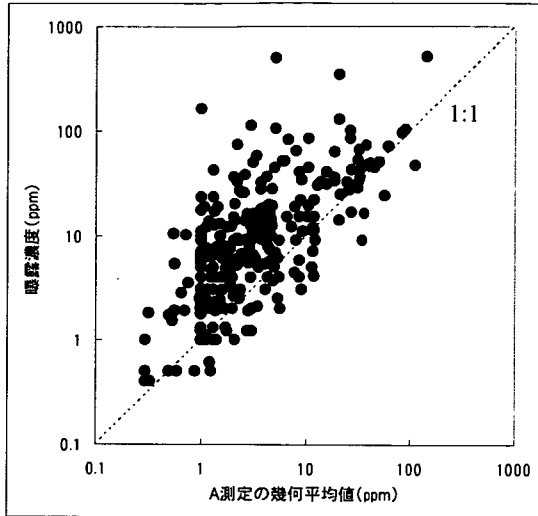


図1 A測定の幾何平均値と曝露濃度

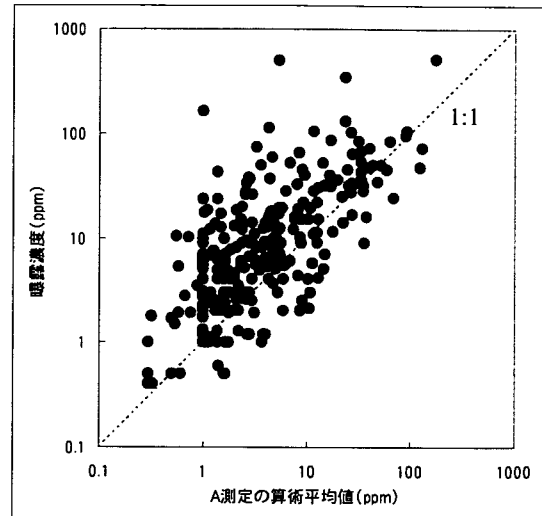


図2 A測定の算術平均値と曝露濃度

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測定の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測定の幾何平均値以上であったデータ数及びA測定の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353データに対して、対幾何平均値で320データ（90.7%）、対算術平均値で311データ（88.1%）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	割合
幾何平均値以上	320	90.7%
算術平均値以上	311	88.1%

n=353

曝露濃度がA測定の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16データ、対算術平均値で23データであった。曝露濃度がA測定の幾何平均値以上であったデータ数並びにA測定の算術平均値以上であったデータ数、曝露濃度がA測定の幾何平均値又は算術平均値未満であったデータのうち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でないデータを除いたデータ数及びその割合を表5に示した。対幾何平均値で337データに対して320データ（95.0%）、対算術平均値で330データに対して311データ（94.2%）であった。

これらのことから、曝露濃度の推定下限値は、推定範囲により多くのデータを含むA測定の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 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	理由が明らかなデータを除いたデータ数	割合
幾何平均値以上	320	337	95.0%
算術平均値以上	311	330	94.2%

## 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年度から3年間にわたる作業環境濃度と曝露濃度の測定結果で得られた作業環境測定 of A測定 of 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「A測定の上側5%値」という。日間変動の項を含まない作業環境測定 of 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、A測定の上側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割程度あった。（表6参照）

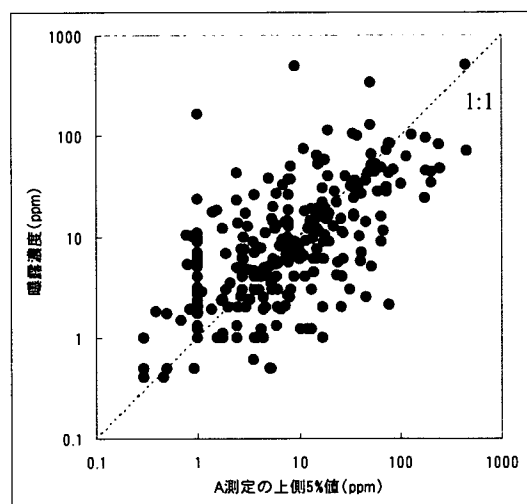


図3 A測定の上側5%値と曝露濃度

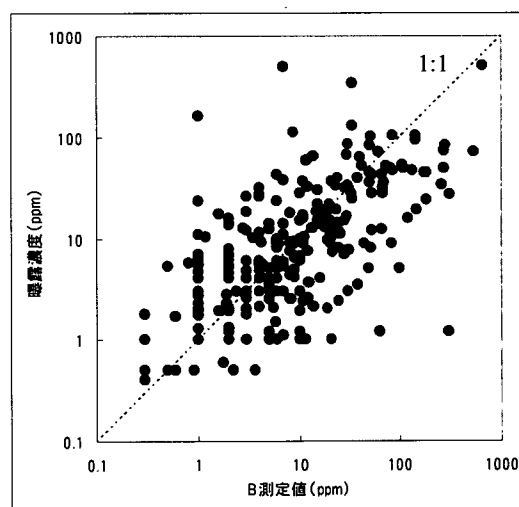


図4 B測定値と曝露濃度

表 6 曝露濃度がA測定の上側5%値又はB測定値以下のデータ数

	データ数	割合
A測定の上側5%値	238	67.4%
B測定値	241	68.3%

n=353

ここで、A測定の上側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。

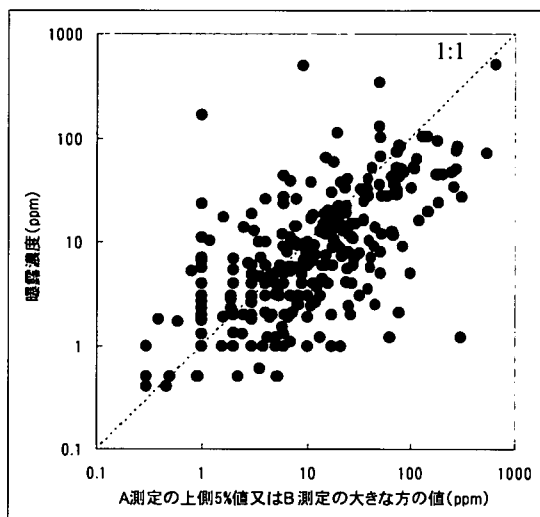


図 5 A測定の上側5%値又はB測定値の大きな方の値と曝露濃度

A測定の上側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
274	77.6%

n=353

平成18年度及び19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、平成17年度のデータを除いて曝露濃度の上限値の検討を行うこととした。

平成18年度及び19年度は221データが得られたが、そのうち185データ(83.7%)で曝露濃度がA測定の上側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 年度及び 19 年度の調査で曝露濃度が A 測定の上側 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
185	83.7%

n=221

曝露濃度が A 測定の上側 5 % 値又は B 測定値の大きな方の値を超えた 36 データ (16.3%) 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、26 データ (11.8%) であった。また、原因不明であった 10 データ (4.5%) 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や作業者が移動しながら行う作業であり、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 年度及び 19 年度の調査で曝露濃度が A 測定の上側 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	23 (10.4%)
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	2 (0.9%)
他の作業場所での有機溶剤曝露があった	1 (0.5%)
原因不明	10 (4.5%)
合計	36 (16.3%)

n=221

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明らかな 26 データを除いた 195 データの A 測定の上側 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 6 に示した。195 データに対して曝露濃度が A 測定の上側 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は、185 データ (94.9%) であった。(表 10 参照)

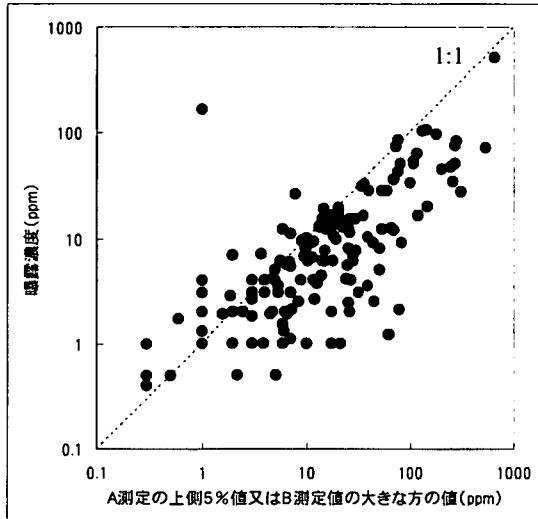


図6 平成18年度及び19年度の調査で曝露濃度が高い理由が明らかなデータを除いたA測定の上側5%値又はB測定値の大きな方の値と曝露濃度

表10 平成18年度及び19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A測定の上側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データ数	割合
185	195	94.9%

これらのことから、曝露濃度の上限の推定値は、A測定の上側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測定点は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。

#### D. 考察

##### 1 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、A測定の上側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。

「ロ（有機溶剤等を使用した化成品の製造の業務）」及び「ニ（文字の書込み又は描画の業務）」は、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）」及び「ハ（印刷の業務）」と「ニ（文字の書込み又は描画の業務）」とをそれぞれ合わせて集計した。また、「ヘ（接着剤の塗布の業務）」と「ト（接着の業務）」は、重複しているデータが多いため、2つの業務を合わせて集計した。

推定範囲を満足する割合を有意差検定すると、曝露濃度の推定下限値の以上のデータ数の割合では、「ハ（印刷の業務）」と「ニ（文字の書込み又は描画の業務）」及び「チ（洗浄又は払拭の業務）」が全データに対して危険率5%で有意差があった。また、推定上限値の以下のデータ数の割合では、「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)」が全データに対して危険率 5%で有意差があった。

推定下限値で有意差があった「ハ（印刷の業務）」と「ニ（文字の書込み又は描画の業務）」及び「チ（洗浄又は払拭の業務）」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。

推定上限値で有意差があった「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）」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ので、推定上限値についても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。

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  
(重複あり)

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	40	35 (87.5%)	37 (92.5% *)
ハ又はニ	45	44 (97.8% *)	33 (73.3%)
ホ	43	35 (81.4%)	38 (88.4%)
ヘ又はト	90	81 (90.0%)	76 (84.4%)
チ	126	122 (96.8% *)	98 (77.8%)
リ	88	78 (88.6%)	62 (70.5%)
ヌ	48	43 (89.6%)	38 (79.2%)
ル	4	4 (100%)	1 (25.0%)
ヲ	0	-	-
全データ	484	442 (91.3%)	383 (79.1%)

\*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 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、A測定の上側 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、環境空気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

置ら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、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%では有意差はなかった。

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 of 幾何平均値とし、推定上限値を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	149	137 (91.9%)	112 (75.2%)
全体換気	204	183 (89.7%)	162 (79.4%)
全データ	353	320 (90.7%)	274 (77.6%)

### 3 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 of A測定値の幾何平均値を曝露濃度の推定下限値、A測定の上側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%では有意差はなかった。

したがって、エアロゾル発生の有無にかかわらずA測定 of 幾何平均値を曝露濃度の推定下限値として、推定上限値をA測定 of 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	90	79 (87.8%)	66 (73.3%)
無	263	241 (91.6%)	208 (79.1%)
全データ	353	320 (90.7%)	274 (77.6%)

### 4 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 of A測定 of 幾何平均値を曝露濃度の推定下限値、A測定の上側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、全データに対して作業環境測定の評価結果にかかわらず推定下限値は危険率5%では有意差はなかった。また、推定上限値で有意差があった「第3管理区分」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ので、推定上限値についても

作業環境測定の評価結果にかかわらずA測定の上側5%値又はB測定値の大きな方の値をとっ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	277	256 (92.4%)	205 (74.0%)
第2管理区分	43	37 (86.0%)	37 (86.0%)
第3管理区分	33	27 (81.8%)	32 (97.0% *)
全データ	353	320 (90.7%)	274 (77.6%)

\*は全データに対して危険率5%で有意差あり

### 5 曝露濃度の実測値と推定下限値との比の分布

作業環境測定のア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の分布を図7に示した。

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%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の最大は、実測値が推定下限値の165倍であった。(表15参照)

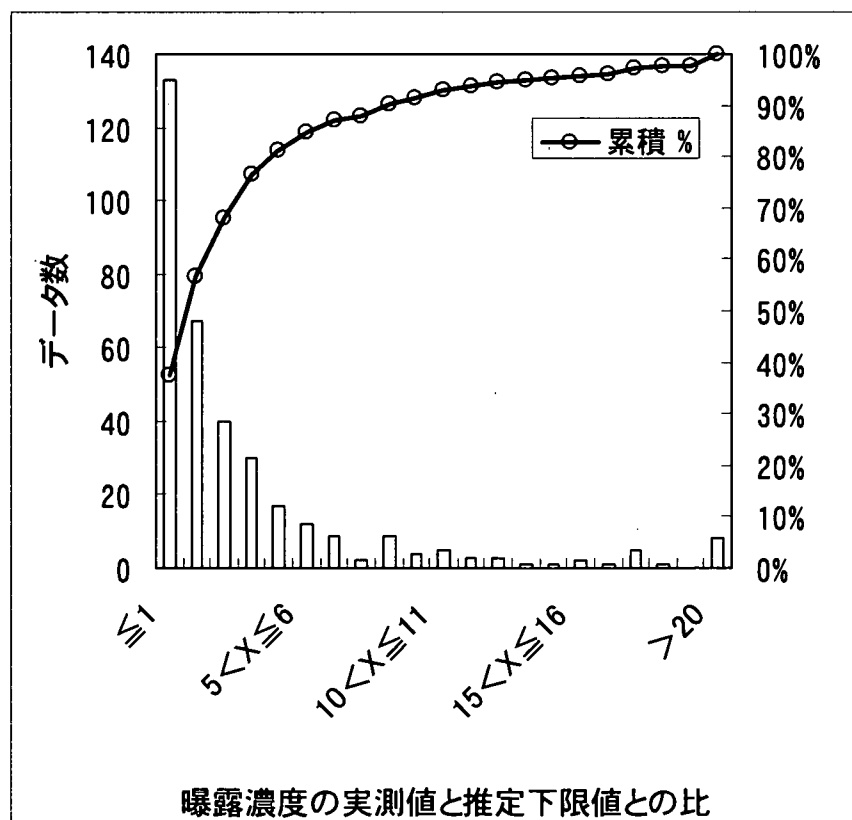


図7 曝露濃度の実測値と推定下限値との比の分布

表 15 曝露濃度の実測値と推定下限値との比

曝露濃度の実測値 と推定下限値との比	データ数	累積 %	曝露濃度の実測値 と推定下限値との比	データ数	累積 %
≤1	133	37.7%	11<X≤12	3	93.8%
1<X≤2	67	56.7%	12<X≤13	3	94.6%
2<X≤3	40	68.0%	13<X≤14	1	94.9%
3<X≤4	30	76.5%	14<X≤15	1	95.2%
4<X≤5	17	81.3%	15<X≤16	2	95.8%
5<X≤6	12	84.7%	16<X≤17	1	96.0%
6<X≤7	9	87.3%	17<X≤18	5	97.5%
7<X≤8	2	87.8%	18<X≤19	1	97.7%
8<X≤9	9	90.4%	19<X≤20	0	97.7%
9<X≤10	4	91.5%	>20	8	100.0%
10<X≤11	5	92.9%	合計	353	

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 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。

#### E. 結論

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。

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

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

山室堅治、小堀衛、菅野誠一郎、櫻井治彦、有機溶剤業務の作業環境濃度とばく露濃度の関係について、第 28 回作業環境測定研究発表会、p58-59、2007

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
- 2 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18年度総括・分担研究報告書（主任研究者 菅野誠一郎）、6-30、2007

## 平成 19 年度 作業環境濃度と労働者のばく露濃度の調査票

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
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 19 年 月 日			
6	有害物質の制 御方法とその 有効性	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	ばく露濃度測定中の労働者が対象物質にばく露された時間		10 ・ 20 ・ 30 ・ 40 ・ 50 ・ 60 ( ) 分			
11	単位作業場所外でのばく露		有 ・ 無 ( 他の部署でのばく露がないことが望ましい )			
12	ばく露濃度測定時刻		時 分 ~ 時 分			
13	ばく露濃度サンプリング時間		分間			



14	ばく露濃度測定結果	物質名				
		濃度 (ppm)				
		物質名				
		濃度 (ppm)				
15	B 測定対象作業の分類	① 動作業 ・ ②間けつ作業 ・ ③固定作業				
16	作業環境濃度とばく露濃度の差が大きく異なった理由(作業環境測定結果とばく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】

- ◆ ばく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（最もばく露が高いであろうと考えられる労働者）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ばく露がない方
- ◆ 作業環境測定結果報告書 3B 及び 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、作業環境測定結果に一番影響を及ぼしたと考えられる発生源について記入してください。（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「作業環境濃度とばく露濃度が大きく異なった理由」は、作業環境測定とばく露測定で大きく異なった結果が得られたとき（対象成分のばく露濃度がA測定値の幾何平均値未満のとき、又は、ばく露濃度が対象成分のA測定値の幾何平均値と幾何標準偏差から求めた分布の上側から5%の値又はB測定値のいずれかを超えた場合。）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。他の作業場でばく露を受けた。短時間作業であった。など・・・

#### 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

##### A. 目的

作業者の呼吸位置の高さの水平面における気中有害物質の濃度分布が推定でき、作業者の行動が分かれば、労働者の曝露濃度は推定できる。近年、数値計算モデルは、数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）の解析ソフトが伸展してきており、計算速度が格段に速くなってきた。濃度分布を計算するためには作業場及び障害物の3次元の形状、発生源の形状、対象物質の蒸発速度、気流の情報等が必要であるが、一度これらのデータが入力されていれば、異なる位置で別の化学物質が使用されていたとしてもその化学物質の蒸発速度が分かれば、濃度分布の計算は容易にできる。また、気流、濃度が3次元で計算できるため、作業場の工学的対策にも有用である。発生源の濃度については、蒸気圧データ及び使用温度で推定できるが、蒸発速度の推定は困難である。また、モデル実験場では発生源の形状、気流の状況及び温度条件等を固定することができるが、実際の作業現場では発生源の形状、気流の状況及び温度条件等をどのような値をとれば実態に合うか分かっていない。

本研究では、作業環境測定結果や個人曝露濃度測定結果等の実測値と CFD 解析によって得られた気中対象物質濃度を比較することで、CFD 解析による曝露推定を行う際により実態に合致したモデルの設定条件や解析条件等を明らかにし、CFD 解析を有効に利用するための基礎情報を提供することを目的とする。

##### B. 研究方法

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。

##### 1 一様な気流を発生させたモデル実験場での測定結果と CFD 解析結果との比較

###### 1.1 発生源 1ヶ所での測定結果と CFD 解析結果との比較

長さ 10.0m×幅 3.5m×高さ 2.5m のモデル実験場に 0.04m/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。（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トルエンを 8 分目程度入れ、ヒーターで 31.6℃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、発生源より風下の図 1 に示した床上 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を測定した。

CFD 解析には、図 1 にある実験場の広さ、気流、発生源等の条件を Flow Designer に入力し、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行った。

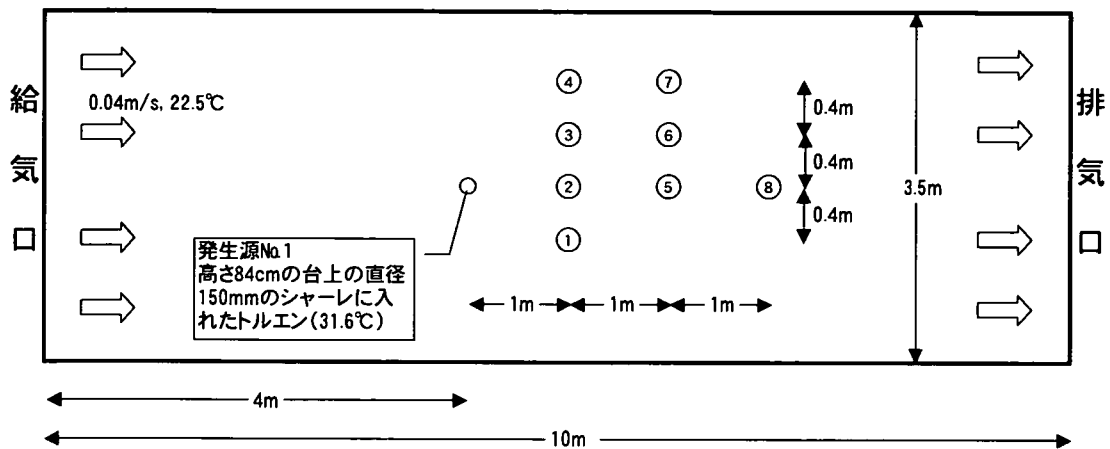
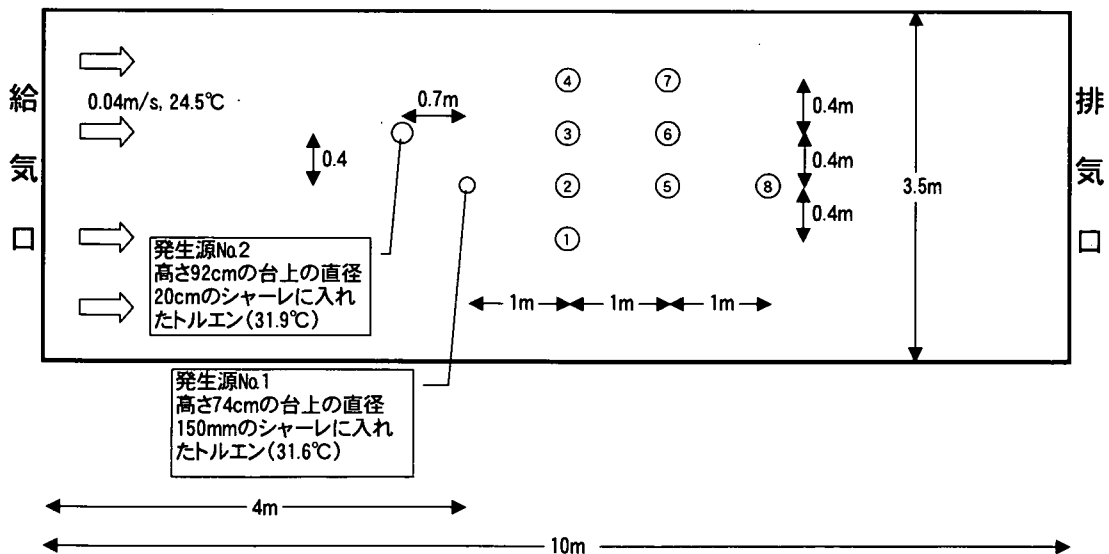


図1 発生源1ヶ所するときのモデル実験場の平面図と測定点

### 1.2 発生源2ヶ所での測定結果とCFD解析結果との比較

図1に示したモデル実験場の発生源No.1の風上0.70mの中央から図面上側に0.40mずれた床上0.92mの位置に、トルエンの発生源No.2を置いた。発生源No.2は、直径200mm×高さ40mmの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32.1°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、図1と同じ測定点の床上1.2mとし、VOCモニターによる10秒毎の連続測定を行った。(図2及び写真1参照)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を測定した。

CFD解析には、図2にある実験場の広さ、気流、発生源等の条件をFlow Designerに入力し、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行った。



①, ②, ③…… : トルエン濃度測定点 (高さ 1.2m)

図2 発生源2ヶ所するときのモデル実験場の平面図と測定点

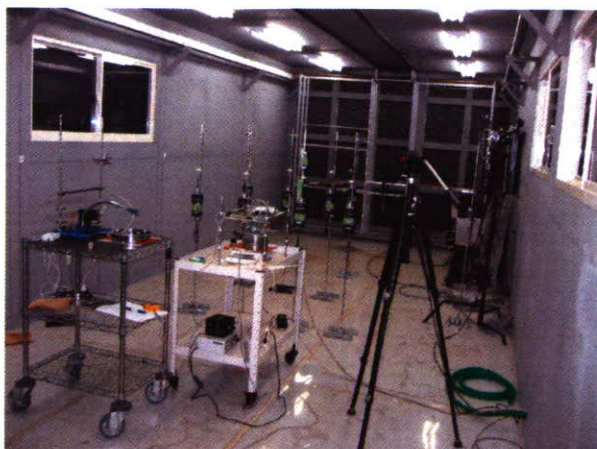
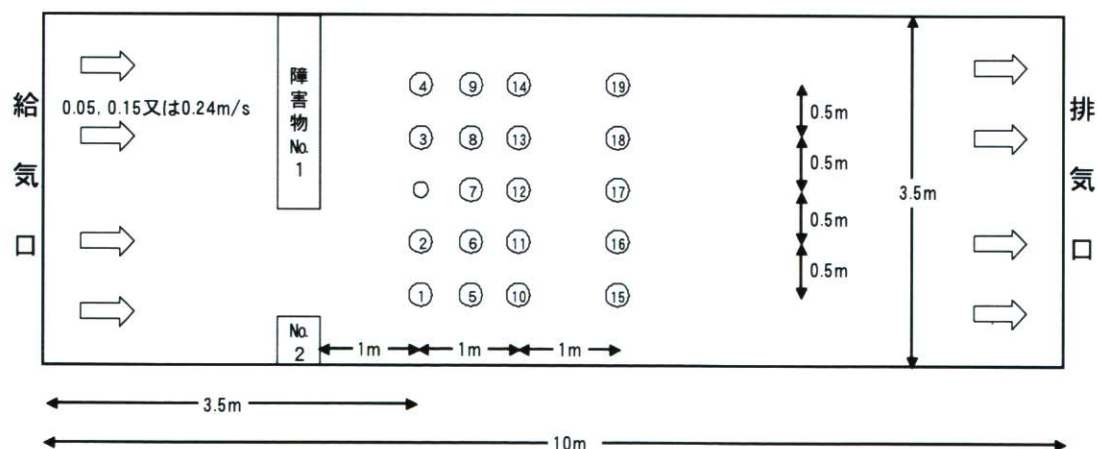


写真1 発生源2ヶ所の際のモデル実験場の写真

## 2 障害物を置いたモデル実験場での測定結果とCFD解析結果との比較

長さ10.0m×幅3.5m×高さ2.5mのモデル実験場に一様な気流を発生させ、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3参照) 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、充填材: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、図3及び表1にある実験場の大きさ、気流、発生源等の条件をFlow Designerに入力し、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-εモデルを使用した。



①, ②, ③…… : 酢酸エチル濃度測定点 (各測定点高さ 0.7, 0.9 及び 1.1m)

○ : 発生源、高さ 84cm の台上の直径 20mm のシャーレに入れた酢酸エチル

□ : 障害物、No.1 は長さ 2m×幅 0.4m×高さ 2m、No.2 は長さ 0.5m×幅 0.4m×高さ 2m

図3 障害物を置いたモデル実験場の平面図と測定点