

日本リスク研究学会第27回年次大会  
講演論文集 (vol.27, Nov.28-30, 2014)

作業環境リスク評価におけるばく露推定モデル活用に関する検討  
Application of exposure modeling tools in evaluation of occupational risk

片桐律子, 石井 聡子, 北村 公義, 霜島 雅明

Ritsuko KATAGIRI, Satoko ISHII, Kimiyoshi KITAMURA, Masaaki SHIMOJIMA

一般財団法人化学物質評価研究機構  
(Chemicals Evaluation and Research Institute, Japan)

# 作業環境リスク評価におけるばく露推定モデル活用に関する検討

## Application of exposure modeling tools in evaluation of occupational risk

○片桐律子\*, 石井 聡子\*, 北村 公義\*, 霜島 雅明\*

Ritsuko KATAGIRI, Satoko ISHII, Kimiyoshi KITAMURA, Masaaki SHIMOJIMA

**Abstract.** Predictive modeling is an available tool to assess worker exposure to a variety of chemicals in different industries and product-use scenarios. The ECETOC TRA model is one of the recommended tools under the European Union's Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals (REACH) initiative. In this study, The ECETOC TRA model was evaluated for comparison with measured occupational exposures to bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) obtained in some workplace in Japan. The ECETOC TRA model overestimated the 8-h TWA airborne concentration of DEHP in the three of the four scenarios indicating that this model produced the conservative estimate of exposure. Selection of appropriate process categories of this model developed using the descriptor system were evaluated.

**Key Words:** exposure modeling tool, occupational exposure, ECETOC TRA, phthalate esters

### 1. はじめに

平成26年6月の労働安全衛生法の改正に伴い、労働現場における化学物質のリスクアセスメントが義務化（平成28年6月までに施行予定）され、中小企業が簡便に個人ばく露濃度を把握できる推定モデルの整備が必要となってきた。

ECETOC TRA<sup>1)</sup>は、欧州でREACH規則に対応するためのスクリーニング評価を目的として、ECETOC（欧州化学物質生態毒性及び毒性センター）が開発した推定モデルである。REACHガイドランスでは、化学品安全性評価（CSR）のために欧州化学品庁が推奨する第1段階目（Tier 1）のばく露推定モデルとして、ECETOC TRAが記載されている。しかし本ガイドランス中に、推定ばく露濃度とばく露濃度の実測値の比較等に関しては記載されていない（ECHA, 2012）。

本研究では、ばく露推定モデルであるECETOC TRAから得られる推定値と、実測値との比較検証を行い、ECETOC TRAの国内での適用性について

検証を行った。また、モデルへの入力パラメータのうち推定結果を大きく左右する項目について検討した。さらに、入力パラメータの1つであり、作業の種類を表すプロセスカテゴリー（以下PROCとする）の選択による推定値の変化についても検証を行った。

### 2. 試料及び方法

#### 2.1 評価対象物質

厚生労働省の初期リスク評価<sup>2)</sup>が実施された物質の中からばく露実態調査の対象物質を選定し、実態調査にて個人ばく露濃度の実測値が米国産業衛生専門家会議（ACGIH）及び日本産業衛生学会のTLV-TWA（時間加重平均の許容濃度）の0.01以上で検出された、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（以後、DEHPとする）を対象とした。図1にDEHPの構造式を、表1にDEHPの基本情報を示す。

\* 一般財団法人化学物質評価研究機構（Chemicals Evaluation and Research Institute, Japan）

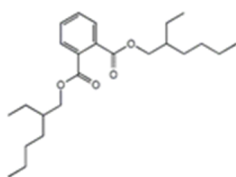


図1 DEHPの構造

表1 DEHPの基本情報

項目	値	出典
分子量	390.57	EU, 2008
外観	無色粘稠性液体	EU, 2008
沸点	385°C	EU, 2008
水溶解度	0.003 mg/L (25°C)	EU, 2008
蒸気圧	0.000034 Pa (20°C)	EU, 2008
分配係数	log Kow : 7.74	EU, 2008
生分解性	良分解性	通商産業省, 1975
許容濃度等	TWA : 5 mg/m <sup>3</sup>	ACGIH
	5 mg/m <sup>3</sup>	日本産業衛生学会

## 2.2 対象とした作業

DEHP を取り扱う事業場では、機能的樹脂の可塑剤、硬質ウレタンフォーム、断熱材等の用途で DEHP を製造あるいは加工のために使用している。有害物ばく露作業報告のあったこれらの事業場の中から、シート製品製造事業場 A における「A1：混練加熱」及び「A2：成型」、チューブ類の製造を行う事業場 B における「B1：混練」及び「B2：成型」の計 4 作業を対象とした。

## 2.3 個人ばく露濃度の測定

ばく露実態調査では、「労働者の有害物によるばく露評価ガイドライン（化学物質のリスク評価検討会ばく露評価小委員会, 2009, 以下、ガイドラインとする）」に基づき、個人ばく露濃度の測定、作業環境測定（A 測定）及びスポット測定の 3 種類の測定を実施した。個人ばく露濃度の測定は、ばく露が高いと思われる作業に従事している作業者について実施した。サンプラーを作業者の襟元、胸ポケットなどに取り付け、ポンプで呼吸域空気を吸引して空気中の対象物質を捕集した。個人ばく露濃度の測定結果には、ガイドラインに基づき、

8 時間加重平均濃度（8 時間 TWA）を算出した。なお、A 測定及びスポット測定結果は、国が行う初期リスク評価の際に、高濃度ばく露の作業に関する発生源近傍や作業場全体の状況把握のために利用される。



図2 個人サンプラー（装着した状態）

### 【測定分析法】

- ・ サンプリング：  
ガラスファイバーフィルター+TENAX TA 捕集管
- ・ 分析法：  
ガスクロマトグラフ-質量分析（GC-MS）法

## 2.4 ECETOC TRA への入力条件

ECETOC TRA を用いた労働者ばく露濃度の推定に必要な入力項目は、作業形態、PROC、物質の性状、飛散性（揮発性）、1 日の作業時間、換気条件、製品中の対象物質含有量、呼吸用保護具及び手袋の使用状況である。多くの入力項目は、選択肢から選べるようになっており、詳細な情報が得られない場合でも推定が可能である。本研究における実測値との比較検証では、作業者の呼吸域における呼吸用保護具の外側の気中濃度を測定しているため、呼吸用保護具は「なし」を選択した。A1：混練加熱及び A2：成型は混練・加熱してロールによりシート状に成型する工程であり、PROC はいずれも 5 を選択した。B1：混練及び B2：成型は射出成型機によってチューブ製品を製造する工程であり、PROC は 14 とした。

表 2 に、対象とした作業の ECETOC TRA への入力条件を示す。

表2 ECETOC TRA への入力条件

	A1 : 混練加熱	A2 : 成型	B1 : 混練	B2 : 成型
作業形態	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial
PROC	5 : 混合及び 混和	5 : 混合及び 混和	14 : 打錠、加 圧、押出、 造粒など	14 : 打錠、加 圧、押出、 造粒など
性状	液体*1	液体*1	液体*1	液体*1
揮発性(Pa)	0.000049	0.000054	0.000041	0.000050
作業時間	>4 時間	>4 時間	>4 時間	>4 時間
換気条件	室内 LEV*2	室内 LEV*2	室内 自然換気	室内 自然換気
製品中 含有量	>25%	>25%	>25%	>25%
呼吸用 保護具	なし	なし	なし	なし
手袋	なし	なし	なし	なし

\*1 : 揮発の可能性を考慮し、液体を選択した。

\*2 : LEV ; Local Exhaust Ventilation (局所排気装置)

### 3. 結果

#### 3.1 個人ばく露濃度の実測値

表3に個人ばく露濃度の実測値を示す。A1 : 混練加熱、A2 : 成型、B1 : 混練、B2 : 成型の4作業とも、TLV-TWA の  $5 \text{ mg/m}^3$  と比較して十分低い濃度であった。

#### 3.2 ECETOC TRA による推定値

表3に、ECETOC TRA による個人ばく露濃度の推定値を示す。推定ばく露濃度は  $0.16 \sim 0.68 \text{ mg/m}^3$  であった。

#### 3.3 推定値と実測値の比較

表3に、ECETOC TRA による個人ばく露濃度の推定値の、実測値との比率を示す。

4作業のうち3つの作業で、実測値より高濃度の推定結果が得られた。

#### 3.4 推定値に影響がある入力項目

表3に示した4作業の中でA1 : 混練加熱の作業に着目し、PROC、換気条件、作業時間及び製品中含有量の4つの項目について、選択できる条件を全て選び、推定値の比較を行うことにより、推定

値への影響について考察した。

表3 個人ばく露濃度の実測値と ECETOC TRA による個人ばく露濃度の推定値

	A1 : 混練加熱	A2 : 成型	B1 : 混練	B2 : 成型
実測値 ( $\text{mg/m}^3$ )	0.48	0.071	0.43	0.33
実測値の TLV-TWA との比率	0.096	0.014	0.086	0.066
推定値( $\text{mg/m}^3$ )	0.16	0.16	0.68	0.68
推定値の 実測値との比率	0.33	2.25	1.58	2.06

検討項目は、①PROC、②換気条件、③1日の作業時間、④対象物質含有量、の4項目である。各項目を変更した場合の推定ばく露濃度を、図3から6に示す(破線で、実際の条件を示す)。

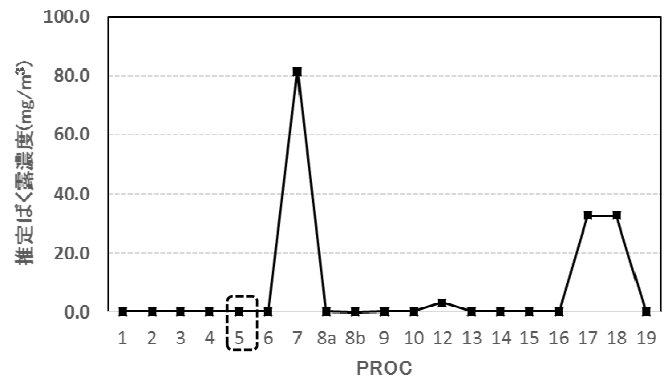


図3 PROC を変更した場合の推定値

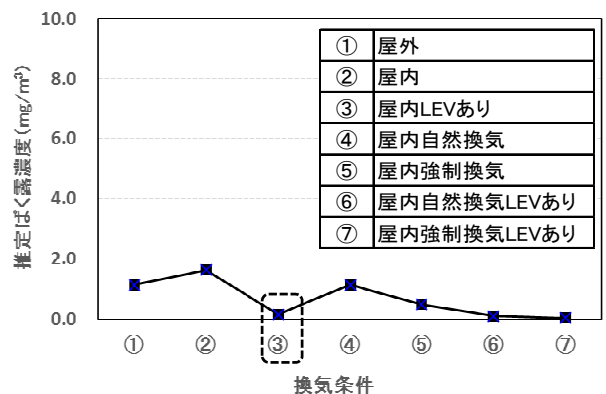


図4 換気条件を変更した場合の推定値

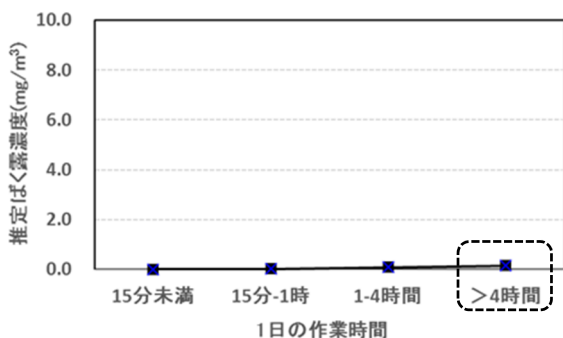


図5 作業時間を変更した場合の推定値

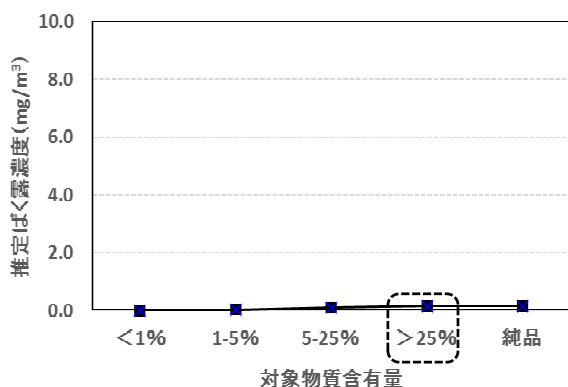


図6 対象物質含有量を変更した場合の推定値

図3から6に示したように、推定ばく露濃度に最も影響する入力項目はPROCであった。DEHPは特に作業温度における蒸気圧が、揮発性のバンドを決定するため、「7：工業的スプレー作業」のPROCを選択した場合には、非常に高濃度の推定値が得られた。

#### 4. 考察

本研究におけるばく露実態調査で用いた主なPROC、推定値の傾向と、考えられる主な要因について表4に示す。また、各対象作業について、選択する可能性のあるPROCと、推定ばく露濃度を表5に示す。今回の結果から、類似のPROCを選択して推定を行った場合、本検討の対象作業は全て、同じ推定結果が得られた。したがって、A1：混練加熱については、類似のPROCを用いた場合でも実測値との比率は0.33と、実測値より低濃度の推定結果が得られた。その他の3作業については、類似のPROCを選択した場合でも推定結果は

表4 ばく露実態調査で用いた主なPROC

PROC	作業内容	推定値の傾向	考えられる要因
2~3	閉鎖系連続プロセス	低濃度	閉鎖系によりばく露の機会が限られる
4~6、14	混合、練肉、打錠などの高エネルギー作業	高濃度	外からのエネルギーによるばく露
7	工業的スプレー	非常に高濃度	ミストの影響が正確に計算できない
8a、8b、9	投入、サンプリング、充填など、製品等の移送に関する作業	高濃度	システムが開放系になる部分のばく露

表5 PROCの選択と推定ばく露濃度

作業	PROC	推定ばく露濃度 (mg/m³)	実測値 (mg/m³)	推定値/実測値
A1	5	0.16	0.48	0.33
	6	0.16		0.33
	4	0.16		0.33
A2	5	0.16	0.071	2.25
	6	0.16		2.25
	4	0.16		2.25
B1	14	0.68	0.43	1.58
	4	0.68		1.58
	5	0.68		1.58
B2	14	0.68	0.33	2.06
	4	0.68		2.06
	5	0.68		2.06

変わらず、全て実測値より高濃度の推定結果が得られた。このことから、本検討における対象作業では、PROCを選択することによる推定結果への影響は小さいと考えられた。

ECETOC TRAはECHAのREACHガイダンスにも記載されているとおり、Tier 1のモデルとしてまず1段階目に使用される。したがって、スクリーニング評価としての役割から、より「安全側」

の結果、すなわち実測値より高濃度側の推定結果が得られることが望ましい。非工業的スプレー作業に関する報告 (Hofstetter et al, 2012) など、ECETOC TRA を用いて実測値よりも高濃度側の推定結果が得られたといういくつかの報告がある。本検討の対象とした4作業のうち、1作業において実測値より低濃度側の推定結果となった。しかしながら、本検討の対象作業については、個人ばく露濃度の実測値が全て0.5 mg/m<sup>3</sup>未満と、DEHPのTLV-TWAが5 mg/m<sup>3</sup>であるのに対して十分に低濃度であり、推定結果が実測値を下回ったとしても、健康影響の懸念の有無という点では、大きな影響はない。今後、個人ばく露濃度がある程度高濃度である作業について更に検討する予定である。

なお、日本国内でばく露実態調査が実施できる事業場の多くは、リスク削減措置が実施され、個人ばく露濃度はTLV-TWAと比較して低濃度であることが予想される。したがって、モデル推定値と実測値との比較検証をより確実に実施するためには、高濃度作業を仮定するなどの工夫が必要であり、発生源近傍における長時間作業など、実際には作業者がいない場所での長時間作業を想定し、ばく露推定モデルによる推定を実施することが推奨された。

## 5. 要約

日本国内の化学物質取扱事業場における個人ばく露濃度に関して、ばく露実態調査による実測値とECETOC TRAによる推定ばく露濃度の比較検証を実施した。個人ばく露濃度の実測結果は、多くの作業についてTLV-TWAより十分低濃度であり、作業場としては問題のないレベルであった。TRAモデルを用いた推定の結果、4作業のうち3

作業において、実測値よりも高濃度側の推定ばく露濃度が得られた。ECETOC TRAへの入力項目で推定値に最も影響を与えるのはPROCの選択であったが、類似のPROCを選択して推定を実施した場合でも、本検討の対象作業においては推定値の変化はみられなかった。

## 謝辞

本研究は、平成25年度厚生労働省化学物質取扱事業場における適正管理支援事業(ばく露推定モデル活用)の成果の一部である。本研究成果を発表することにご承諾いただいた厚生労働省に感謝の意を表します。

## 参考文献

- ECHA (2012) Guidance on information requirements and chemical safety assessment. In Occupational exposure estimation.
- EU, European Union Risk Assessment Report (2008) bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), European Commission, EUR 23384 EN.
- Hofstetter, E. et al. (2012) Evaluation of Recommended REACH exposure modeling tools and Near-Field, Far-Field model in assessing occupational exposure to toluene from spray paint. Ann. Occup. Hyg., 57(2), 210-220.
- 化学物質のリスク評価検討会ばく露評価小委員会 (2009) 労働者の有害物質によるばく露評価ガイドライン
- 通商産業省 (1975) 通商産業公報 (1975年8月27日)

1) 以下のweb頁より無償ダウンロード可能

[<http://www.ecetoc.org/tra>]

2) 以下の厚労省HPにて公表されている

[<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc09.htm>]