

日本リスク研究学会第 28 回年次大会  
講演論文集 (Vol.28, Nov.20-22, 2015)

**ECETOC TRA を用いたエチルベンゼンの  
個人ばく露濃度の推定に関する検討**  
**Evaluation of the ECETOC TRA model for workplace inhalation  
exposure to ethylbenzene in Japan**

石井 聡子, 片桐 律子, 北村 公義, 霜島 雅明, 和田 丈晴

Satoko ISHII, Ritsuko KATAGIRI, Kimiyoshi KITAMURA,  
Masaaki SHIMOJIMA, Takeharu Wada

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

# ECETOC TRA を用いたエチルベンゼンの 個人ばく露濃度の推定に関する検討

## Evaluation of the ECETOC TRA model for workplace inhalation exposure to ethylbenzene in Japan

○石井 聡子\*, 片桐律子\*, 北村 公義\*, 霜島 雅明\*, 和田 丈晴\*

Satoko ISHII, Ritsuko KATAGIRI, Kimiyoshi KITAMURA, Masaaki SHIMOJIMA, Takeharu WADA

**Abstract.** The measured values and the estimated values of ethylbenzene obtained by using ECETOC TRA were compared, and applicability of ECETOC TRA to the Japanese workplace was studied. The process categories (PROC) most suited for evaluation were painting and manufacturing work. The estimated values of painting work (PROC 7 and 10) below the measured values were observed in 27 of 85 tasks. In particular, it was observed that the estimated values were below the measured values in 22 of 38 tasks for roller painting work where PROC 10 was selected. On the other hand, the results showed that most of the estimated values of manufacturing work such as PROC 8a and 8b were above the measured values, and just 3 of 52 tasks were below the measured values. ECETOC TRA can be adequately utilized as a Tier 1 model for performing independent risk assessment at work places in Japan engaged in the production of ethylbenzene.

**Key Words:** ECETOC TRA, ethylbenzene, exposure modeling tool, occupational exposure

### 1. はじめに

労働安全衛生法改正による、労働現場における化学物質のリスクアセスメント義務化に伴い、簡易に労働者のばく露濃度やリスクの程度を推定できる、「推定モデル」の整備が重要となってきた。近年、欧州では簡易に労働者のばく露を推定する「ばく露推定モデル」が提案されており、その一つである ECETOC TRA は、欧州域内の REACH 規則に対応するため、ECETOC (欧州化学物質生態毒性及び毒性センター) が開発した数理モデルであり、作業者の吸入及び経皮の個人ばく露濃度を算出することができる (ECETOC, 2009;2012)。個人ばく露濃度を算出するための入力情報が少なく、情報が入手できない場合にはデフォルト値を用いた安全側の評価ができることから、コントロールバンディングに並ぶ、スクリーニング評価のための Tier 1 モデルに位置づけられている (ECHA, 2010; Monay et al., 2014; Riedmann et al., 2015)。ECETOC TRA の最大の特徴は、カテ

ゴリーと言われる記述子を使用することにより、作業者のばく露では、欧州の作業環境データに基づく 25 種以上のプロセスカテゴリー (以下、PROC) と呼ばれるカテゴリーから、ばく露シナリオに応じて PROC を選定する。PROC の選定は、個人ばく露濃度の推定に影響を及ぼすといわれ、PROC 選定に伴う推定結果の妥当性等について、海外の作業環境で検証を行った例が報告されている (IOM, 2014a;2014b; Kupczewska-Dobecka et al., 2011; 2012; Vink et al., 2010)。しかし、日本の事業場への適用性について検証した例はほとんど入手できないのが現状であり、著者らは、日本における自主的な作業環境改善に役立てるよう、日本の事業場における ECETOC TRA の活用のための検討を行っている (片桐ら, 2014)。本検討では、エチルベンゼンを対象とし、実測値と ECETOC TRA から得られる推定値との比較を行い、ECETOC TRA の国内の事業場への適用性について検証した。

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


## 2. 試料および方法

### 2.1 対象物質

表1にエチルベンゼンの基本情報を示す。エチルベンゼンは、蒸気密度が高く、適切な換気が行われない場合、蒸気が滞留しやすいことから、蒸気の吸入ばく露により健康に有害性影響を及ぼす可能性がある (ACGIH, 2011)。国が平成21年度に初期リスク評価を、平成22年度に詳細リスク評価を実施した結果、エチルベンゼンを塗料の溶剤として使用し塗装を行う事業場において、高濃度ばく露が生じており、適切なばく露低減措置の対策を講じる必要があるとされ (厚生労働省, 2010;2011)、平成25年1月、エチルベンゼンは特定化学物質となり、屋内作業場等の塗装業務が規制対象となった。

エチルベンゼンの許容濃度としては、2011年 (平成23年) にACGIHが再評価によって勧告したTLV-TWA 20 ppm (ACGIH, 2011) や、日本産業衛生学会の50 ppm (日本産業衛生学会, 2001) がある。

表1 エチルベンゼンの基本情報

項目	情報等	出典
CAS 番号	101-41-4	—
分子量	106.2	—
構造		—
外観	無色の液体	NITE/CERI, 2007
沸点	136.25°C	NITE/CERI, 2007
水溶解度	152 mg/L (20°C)	NITE/CERI, 2007
蒸気密度	3.66 (空気=1)	NITE/CERI, 2007
蒸気圧	0.9 kPa (20°C)	NITE/CERI, 2007
分配係数 (Log Kow)	3.15	NITE/CERI, 2007
許容濃度等 (8時間 TWA)	20 ppm 50 ppm	ACGIH, 2011 日本産業衛生学会, 2001

### 2.2 個人ばく露濃度 (実測値) の収集

表2にエチルベンゼンの吸入経路の個人ばく露濃度 (以下、実測値) の情報源を示す。実測値とその作業内容は、国が平成21年度と平成22年度に実施したばく露実態調査と、本検討のために実施したばく露実態調査から、「塗装」と「製造等」に関連した137件の作業より収集した。「塗装」に関連する作業としては、エチルベンゼン含有の塗料を用いた作業が、「製造等」に関連した作業とし

ては、エチルベンゼンの製造におけるサンプリング、分析作業、エチルベンゼン含有シンナーやシンナーを用いた塗料等の製造における分析、充填作業がある。なお、エチルベンゼンを取り扱う作業として、「塗装」と「製造等」以外に「ガソリンスタンドの給油等」が考えられたが、ガソリン中に含有するエチルベンゼンによるばく露は小さいとの情報 (厚生労働省, 2011) から、対象外とした。

表2 エチルベンゼンの実測値の情報源

情報源	件数	出典
平成21年度ばく露実態調査	79	厚生労働省, 2010
平成22年度ばく露実態調査	40	厚生労働省, 2011
本検討のための調査 (平成26年10月~27年3月)	18	—

国が実施したばく露実態調査については、調査報告書と個人ばく露測定に伴う作業記録 (いずれも非公表) をもとに、塗装と製造に関する作業の実測値を抽出し、8時間加重平均濃度 (以下、8時間 TWA) として整理した。

本検討のために実施したばく露実態調査については、「労働者の有害物によるばく露評価ガイドライン」 (厚生労働省, 2009) に基づき、塗装と製造に関係してエチルベンゼンを取り扱う9事業場で個人ばく露測定を実施した。測定に当たっては、ばく露が高い作業に従事している作業者を対象とし、サンプラー (球状活性炭チューブ No.258 (ガステック製)) を作業者の襟元、又は胸ポケットに取り付け、ポンプで呼吸域空気を吸引し空気中のエチルベンゼンを捕集した。エチルベンゼンの分析は、ガスクロマトグラフ-質量分析 (GC-MS) 法により行った。得られた実測値は上記のガイドラインに基づき、8時間 TWA を算出した。算出に当たっては、作業者が1日の作業時間の中で当該物質の作業以外の作業がある場合にはその時間を、ばく露がないと仮定し取り扱うこととし、複数の作業者に対して測定を行った際には8時間 TWA の算術平均値を採用した。

### 2.3 ECETOC TRA による推定

収集した実測値に対して、ECETOC TRA により推定値を求めるために、PROC をはじめとする入力項目を、調査報告書と個人ばく露測定に伴う作業記録を参考にしながら整理した。表3に137件

の PROC の種類と内訳を示す。85 件の塗装作業では、工業的スプレー作業 (PROC 7) と工業的ローラー塗布等の作業 (PROC 10) のいずれかを選択した。52 件の製造に関する作業では、PROC 2、3、4、5、14、8a、8b、9、13、15 を選択した。

表 4 に ECETOC TRA への入力項目 (例) を示す。ECETOC TRA への入力項目は PROC の他に、作業形態、性状、蒸気圧、作業時間、局所排気装置の有無、含有量、呼吸用保護具の有無がある。ECETOC TRA では、蒸気圧、性状に関する情報から、Fugacity (フガシティ；液体又は固体から気中への出やすさ) の程度が表され、PROC と作業形態を考慮して初期ばく露濃度が設定される。この初期ばく露濃度に、上述の入力項目に基づくばく露修正因子等に乗じることによって得られた値が 8 時間吸入ばく露濃度である。エチルベンゼンは、20°C で 0.9 kPa の蒸気圧を有する液体であることから、Fugacity は中程度に分類される。例えば PROC 7 の工業的スプレー塗装の場合、初期ばく露濃度 12.5 ppm となり、図 1 に示すばく露修正因子を考慮して、8 時間吸入ばく露濃度は 7.5 ppm と推定された。

## 2.4 実測値と推定値の比較

2.2 と 2.3 に示した、ばく露実態調査による実測値と ECETOC TRA による推定値を比較した。ECETOC TRA は、前述のとおり、スクリーニング評価のための Tier 1 モデルの位置づけにあることから、推定値が実測値を上回ることで、すなわち、過大評価となるかどうかを判断基準とした。

## 3. 結果

### 3.1 個人ばく露濃度

図 2 にエチルベンゼンの実測値を PROC 別に表したグラフを示す。塗装作業 (PROC 7、PROC 10) の実測値は、他の作業に比べて著しく大きかった。また、ACGIH の TLV-TWA である 20 ppm を超える作業が PROC 7 では 47 件中 10 件、PROC 10 では 38 件中 14 件あり、主として船舶の建造過程における船体ブロック等の塗装作業であった。製造等の作業では 20 ppm を超える作業はなかった。

### 3.2 ECETOC TRA による推定

図 2 の PROC 別エチルベンゼンの実測値に、ECETOC TRA より求めた推定値を重ね合わせたグラフを図 3 に示す。製造等の作業の推定値は実測

値を上回る傾向がみられるのに対し、塗装作業 (PROC 7、PROC 10) の一部の推定値で、実測値を下回った。

表 3 本評価で採用した PROC の種類と件数

種類	PROC	件数
塗装作業 (85 件)	7 工業的スプレー塗装	47
	10 工業的ローラー塗布等	38
製造等の作業 (52 件)	2 閉鎖的連続プロセス、一時的なばく露あり	2
	3 閉鎖式バッチプロセス (合成及び調合時)	2
	4 連続したバッチプロセス、ばく露の可能性あり	1
	5 混合及び混和	5
	8a 専用でない大型容器への移し替え	16
	8b 専用の大型容器への移し替え	7
	9 小型容器への物質又は調剤の移送	11
	13 浸漬又は注ぎ込み	4
	14 打錠、押出、加圧、造粒	1
	15 研究用としての試薬の使用	3

表 4 ECETOC TRA への入力項目 (例)

入力項目	入力値等
性状	液体
蒸気圧	0.9 kPa
PROC	7
作業形態	Industrial
局所排気装置の有無	有
作業時間	1~4 時間
呼吸用保護具の有無	無
含有量	>25%

初期ばく露推定	12.5 ppm
性状：液体	} Fugacity*1：中程度
蒸気圧：0.9 kPa	
PROC：7	
局所排気装置：有	
作業形態：Industrial	

\*1：蒸散性、液・固体から気中への出やすさ

ばく露修正因子		
作業時間：>4 時間	1	
呼吸器保護具：無	1	
含有量(%)：5-25%	0.6	

8 時間吸入ばく露濃度	7.5 ppm
-------------	---------

図 1 ECETOC TRA の出力 (例)

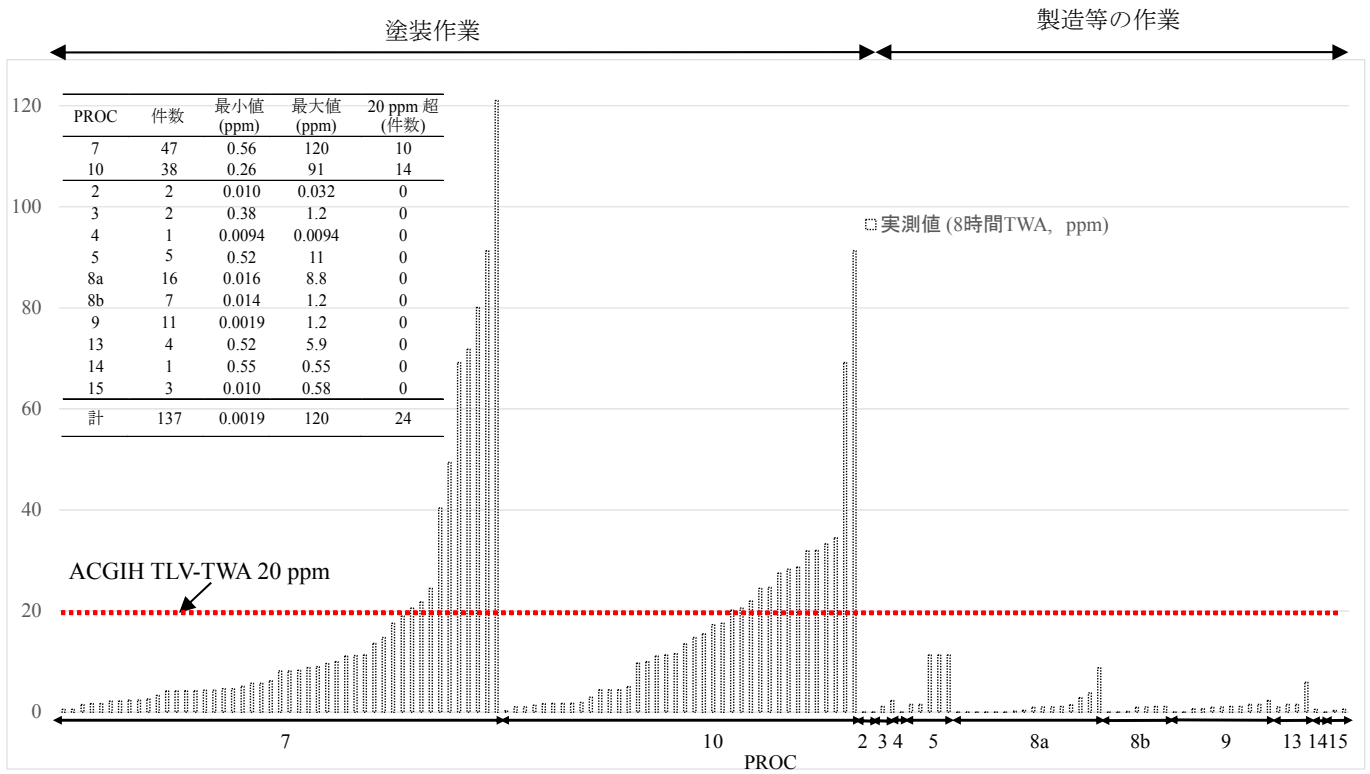


図2 エチルベンゼンの実測値 (PROC 別, 全 137 件)

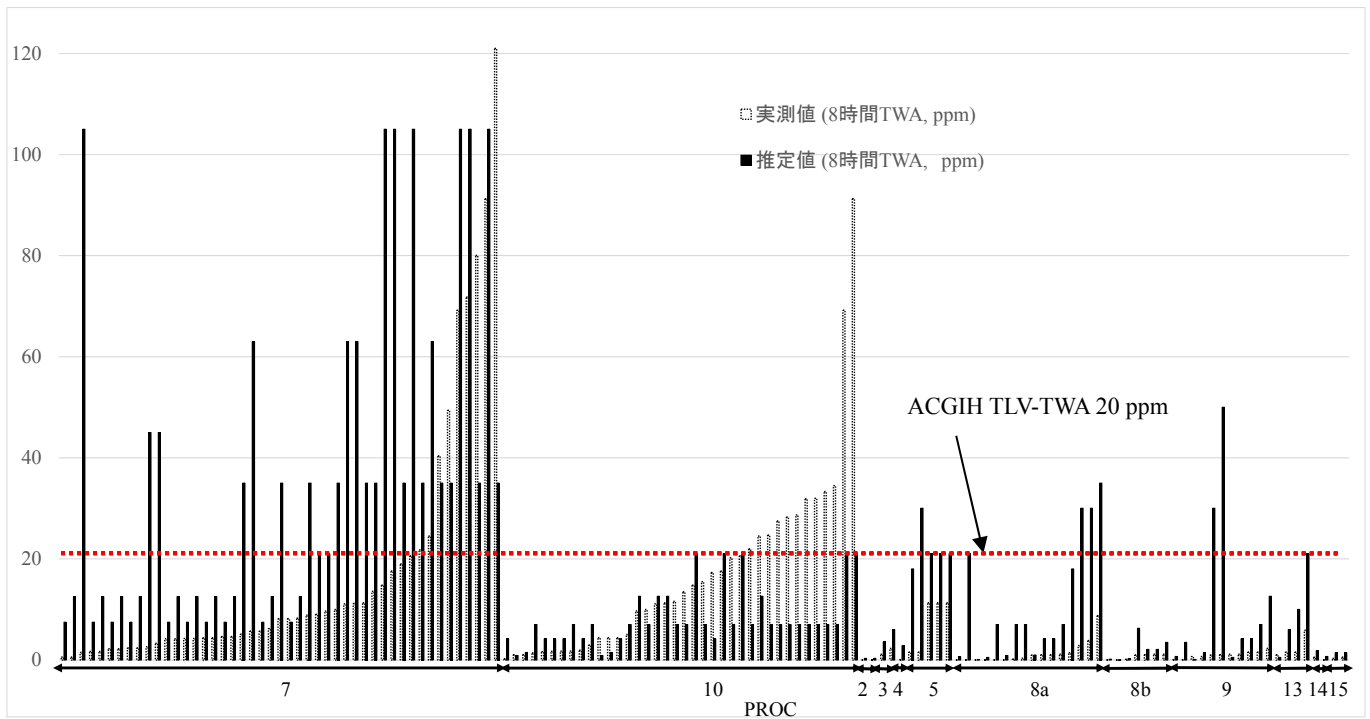


図3 エチルベンゼンの実測値と推定値 (PROC 別, 全 137 件)

### 3.3 実測値と推定値の比較

表5にPROC別実測値と推定値との比較を示す。塗装作業 (PROC 7、PROC 10) の推定値で、実測値を下回っている作業がみられ、それらの件数はPROC 7とPROC 10各々、47件中5件、38件中22件であった。一方、製造等の作業の推定値で、実測値を下回っているPROCは、PROC 9の11件中2件とPROC 13の4件中1件のみであった。

また、推定値が実測値を下回っている作業は20 ppmを超える作業で多くみられた。表6に示すとおり、20 ppmを超える実測値を有するPROCはPROC 7とPROC 10のみであり、PROC 7では10件中4件、PROC 10では14件中13件が、推定値を下回った。これらの実測値を推定値が下回った作業は、上述の船舶の建造過程における船体ブロック等の塗装作業であった。

表5 PROC別実測値と推定値との比較

PROC	作業数		
	件数	推定値 $\geq$ 実測値	推定値 $<$ 実測値
<b>塗装作業</b>			
7	47	42	5
10	38	16	22
	85	58 (68%)	27 (32%)
<b>製造等の作業</b>			
2	2	2	0
3	2	2	0
4	1	1	0
5	5	5	0
8a	16	16	0
8b	7	7	0
9	11	9	2
13	4	3	1
14	1	1	0
15	3	3	0
	52	49 (94%)	3 (6%)
計	137	107 (78%)	30 (22%)

表6 20 ppm超の実測値と推定値

PROC	20 ppm超の実測値 (24件)		
	件数	推定値 $\geq$ 実測値	推定値 $<$ 実測値
7	10	6 (60%)	4 (40%)
10	14	1 (9%)	13 (91%)
計	24	7 (29%)	17 (71%)

### 4. 考察

欧州でスクリーニング評価のためのTier 1モデルに位置づけられているECETOC TRAが、日本の事業場において利用できると、事業者の自主的な作業環境改善に寄与できる。本検討では、エチルベンゼンを対象とし、実測値とECETOC TRAから得られる推定値との比較を行い、ECETOC TRAの国内の事業場への適用性について検証した。本検討で収集したエチルベンゼンの実測値の作業の種類は、塗装作業と製造等であったため、それらに最適な塗装と製造に関するPROCを選定し、推定値を求め、実測値と比較した。その結果、製造等の作業の推定値のほとんどが実測値を上回り、実測値を下回ったのは52件中わずか3件であった。したがって、エチルベンゼンの製造、又はエチルベンゼンを原料とした製品の製造を行う事業場において、ECETOC TRAは、十分活用できると考えられる。

一方、塗装作業の推定値は、85件中27件実測値を下回った。特にPROC 10を選択したローラー等の塗装作業において38件中22件と推定値が実測値を下回った作業が多くみられた。また、推定値が実測値を下回った作業はACGIH-TLVの20 ppmを超える作業で多くみられ、PROC 7では10件中4件、PROC 10では14件中13件であった。一般に塗装作業に対するECETOC TRAの推定値は過大評価の傾向があると報告されている。吹き付け塗料に含有するトルエンに対し、非工業的スプレー作業 (PROC 11) を選択しECETOC TRAにより求めた結果、推定値30 mg/m<sup>3</sup>は、実測値8.3 mg/m<sup>3</sup>に比べて過大評価になったと報告されている (Hofstetter et al., 2013)。また、コーティング剤と洗浄剤に含まれる1-メトキシプロパン-2-オールを対象物質として、同じく非工業的スプレー作業 (PROC 11) を選択し推定した結果、想定される実測値に比べ推定値は著しく高かったと報告されている (Vink et al., 2011)。それらの報告に対して、本検討における塗装作業の一部で過大評価にならなかったのは、造船事業における船体ブロックの塗装等であり、塗装の対象が大きく、高ばく露が生じていた作業 (厚生労働省, 2011) のためECETOC TRAのPROC 10の想定をはるかに超えた塗装作業であったことが要因と考えられた。なお、エチルベンゼンは、平成25年に屋内作業場等の塗装業務が規制対象となり、低減対策が進められてきたところであり、本検討で評価したような

高ばく露の環境下での作業は改善がなされたと予想される。

以上、エチルベンゼンの製造、又はエチルベンゼンを原料とした製品の製造を行う事業場については、エチルベンゼンによるばく露リスクが比較的低いと考えられるものの、引き続き、事業者による自主的なリスクアセスメントと管理が必要である。本検討の結果、ECETOC TRA は、日本のエチルベンゼンの製造に関わる事業場において自主的なリスク評価を行うための Tier 1 モデルとして、十分活用できると考えられた。

## 謝辞

本研究は、厚生労働省の委託業務「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）」で得られた研究成果である。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表す。

## 参考文献

- ACGIH (2011) Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Ethyl Benzene.
- ECETOC (2009) Addendum to ECETOC technical risk assessment report no. 93. Technical Report No. 107.
- ECHA (2010) Guidance on information requirements and chemical safety assessment. In Occupational exposure estimation. 2nd ed. Helsinki: European Chemicals Agency pp. 4-42.
- ECETOC (2012) Technical report No.114. ECETOC TRA version 3: Background and rationale for the Improvements.
- Hofstetter, E., Spencer, J.W., Hiteshew, K., Coutu, M. and Nealley, M. (2013) 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, 210-220.
- IOM, Institute of occupational medicine (2014a) Eteam Project; Results of external validation exercise.
- IOM, Institute of occupational medicine (2014b) Eteam Project; Implications from the results and practical recommendations for model developers, users and regulators.
- Kupczewska-Dobecka, M., Czerczak, S. and Jakubowski, M. (2011) Evaluation of the TRA ECETOC model for inhalation workplace exposure to different organic solvents for selected process categories. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 24, 208-217.
- Kupczewska-Dobecka, M., Czerczak, S. and Brzeźnicki, S. (2012) Assessment of exposure to TDI and MDI during polyurethane foam production in Poland using integrated theoretical and experimental data. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 34, 512-518.
- Money, C., Schnoeder, F., Noij, D., Chang, H.Y. and Urbanus, J. (2014) ECETOC TRA version 3: capturing and consolidating the experiences of REACH. *J. Environ. Sci. Process Impacts*, 16, 970-977.
- NITE/CERI (2007) 化学物質の初期リスク評価書 Ver. 1.0 No. 72 エチルベンゼン.  
[http://www.safe.nite.go.jp/japan/sougou/data/pdf/risk/pdf\\_hyoukasyo/040riskdoc.pdf](http://www.safe.nite.go.jp/japan/sougou/data/pdf/risk/pdf_hyoukasyo/040riskdoc.pdf)
- Riedmann, R.A., Gasic, B. and Vernez, D. (2015) Sensitivity analysis, dominant factors, and robustness of the ECETOC TRA v3, Stoffenmanager 4.5, and ART 1.5 occupational exposure models. *Risk Anal.*, 35, 211-225.
- Vink, S.R., Mikkers, J., Bouwman, T., Marquart, H. and Kroese, E.D. (2010) Use of read-across and tiered exposure assessment in risk assessment under REACH-a case study on a phase-in substance. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 58, 64-71.
- 片桐律子, 石井聡子, 北村公義, 霜島雅明 (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, 日本リスク研究学会第27回年次大会講演論文集, 27.
- 厚生労働省 (2009) 化学物質のリスク評価検討会ばく露評価小委員会労働者の有害物質によるばく露評価ガイドライン.  
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2010/01/dl/s0115-4a.pdf>
- 厚生労働省 (2010) 化学物質のリスク評価検討会初期リスク評価書 No.43 (初期) エチルベンゼン  
<http://www.mhlw.go.jp/stf2/shingi2/2r9852000000e8q1-att/2r9852000000ehk0.pdf>
- 厚生労働省 (2011) 化学物質のリスク評価検討会詳細リスク評価書 No.43 (詳細) エチルベンゼン  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001iz7t-att/2r9852000001izrw.pdf>
- 日本産業衛生学会 (2001) 許容濃度等の提案理由, エチルベンゼン.