

事業者の自主管理に資する確率論を援用したヒト曝露評価モデルの開発

東海明宏¹・山口治子²・佐藤尚機¹ 1.大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻 2.国立医薬品食品衛生研究所

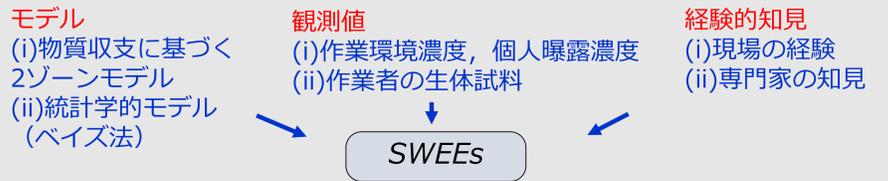
1.本研究の目的

欧州の労働曝露を対象とした確率論的曝露評価ツール (ART : Advanced REACH Tool) をひな形に, 日本の作業場に適用可能な曝露推定システム **SWEES** (integrated Score-based Workplace Exposure Estimating system) を開発し, 曝露事象に応じた自主管理の実現を支援すること。
 今期の課題 : SWEES ver.1.0β版の限定配布を通じた事業者ニーズの把握, および, フィードバックを通じた更なる検証。

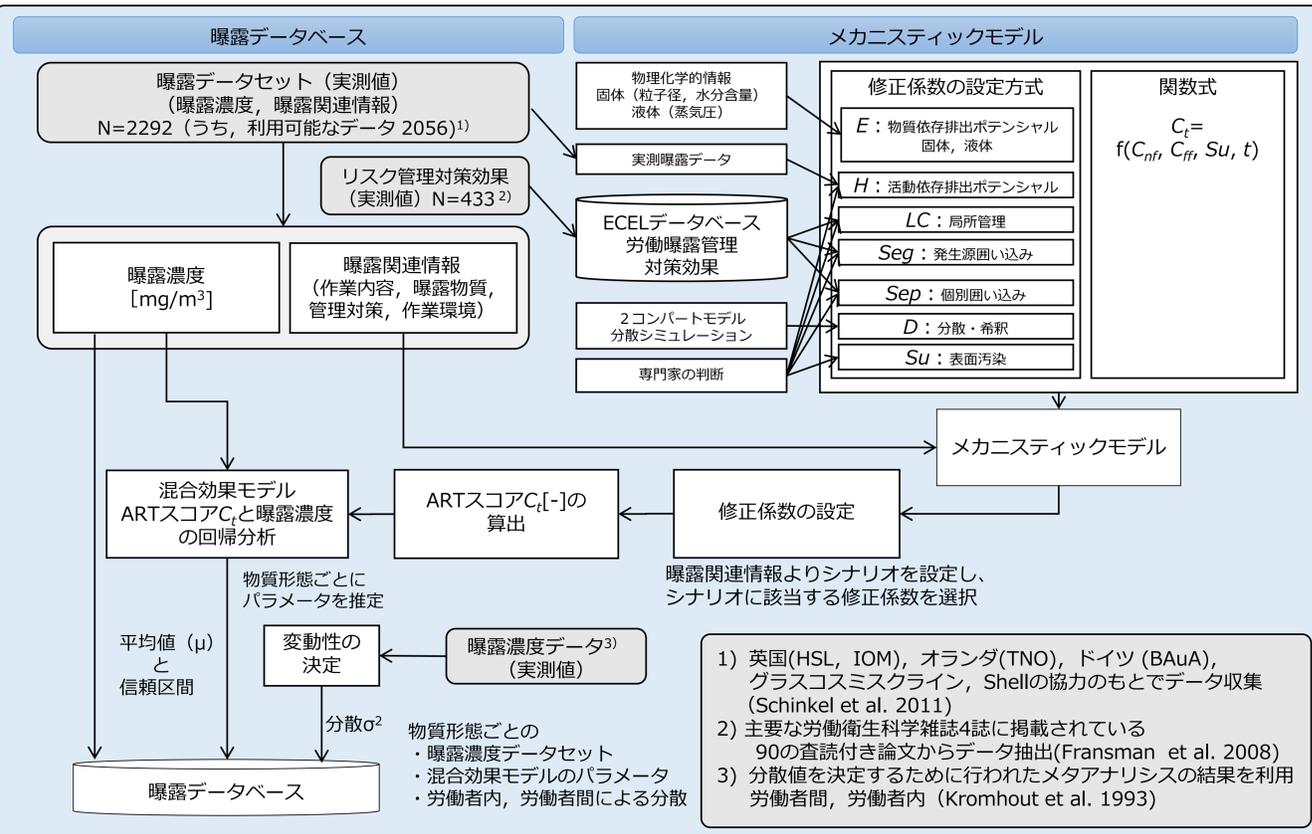


対象OS : Windows7

- 方針1 3つの異なるタイプの知見を統合する (右図)。
 方針2 ユーザーフレンドリーなインターフェイスの開発。
- ・川中, 川下のユーザーの曝露レベルの推定支援。
 - ・事業所における作業中の化学物質曝露過程の理解促進。



2.SWEESの内部構造と理論



SWEESの内部構造と理論 (欧州ARTに依拠)

メカニスティックモデルの関数式

ARTスコアC_t

$$C_t = \frac{1}{t_{total}} \sum_{tasks} \{ t_{exposure} \times (C_{nfr} + C_{ff} + Su) \}$$
 ... 式1
 C_{nfr}: 近接場, 非近接場ARTスコア[-]
 C_{ff}: 表面汚染にかかわる修正係数[-]
 t_{exposure}, t_{total}: 曝露時間 [min], 労働時間 [min]

近接場・非近接場ARTスコアC_{nfr}, C_{ff}

$$C_{nfr} = (E_{nfr} \times H_{nfr} \times LC_{nfr1} \times LC_{nfr2}) \times D_{nfr}$$
 ... 式2

$$C_{ff} = (E_{ff} \times H_{ff} \times LC_{ff1} \times LC_{ff2} \times Seg_{ff}) \times D_{ff} \times Sep$$
 ... 式3

修正係数
 E: 物質依存排出ポテンシャル, H: 活動依存排出ポテンシャル,
 LC₁: 一つ目の局所管理, LC₂: 二つ目の局所管理,
 Seg: 発生源囲い込み, D: 分散・希釈, Sep: 個別囲い込み
 (添え字: nfrは近接場 (Near Field), ffは非近接場 (Far Field) の値)

混合効果モデル

$$\ln(Y_{ijk}) = \ln(\alpha) + \ln(C_t) + \delta_i + c_{ij} + \epsilon_{ijk}$$
 ... 式4
 Y_{ijk}: i番目のシナリオ, j番目の企業, k番目の測定における曝露濃度 [mg/m³]
 ln(α): 混合効果モデルの切片
 δ_i: i番目のシナリオのランダム効果
 c_{ij}: i番目のシナリオのj番目の企業のランダム効果
 ε_{ijk}: 残差誤差

3.SWEESの検証

検証 I. オフセット印刷工場

(社)日本印刷産業連合会 (2014)「オフセット印刷工場の作業調査報告書」を元に, 調査対象とされた5事業所 (作業所イ, 作業所ロ, 作業所ハ, 作業所ニ, 作業所ホ) における, 洗浄作業での洗浄剤からの曝露濃度の推定を行った。すべての事業所において, 近接場と非近接場の両方を計算した。トリメチルベンゼンと1-メトキシ-2-プロパノールは破線の範囲に収まっているが, 他の物質は過大評価となった。全体的に過大推定の傾向を示しているが, Factor10に収まる物質もある。実測値と推定値の比較からおおよそ4グループにわかれたことから, (削除)修正係数の更なる調整を通じて改善が見込めることが示唆された。過大推定の原因としては, 下記の点が考えられる。

- Eの値に関しては洗浄剤の成分比が不明であったことから, モル分率を混合物に対して同等であると仮定したことが影響を及ぼしている可能性がある。
- 洗浄方法 (手洗浄と自動洗浄) を区別しなかった。自動洗浄での曝露の場合, Hはより小さな値にする必要があると考えられる。
- 作業時間について, 一回の作業時間が8分と仮定したが, 実際の作業の平均時間とずれがある可能性がある

検証 II 愛知県内10か所の作業現場

「愛知県在住の産業衛生コンサルタントの方を通じて, 塗料工場の「作業環境測定結果評価書」を入手した。この報告書には, 作業環境測定値と曝露関連情報 (物質名, 温度, 作業内容, 作業場の面積, 作業場の図面) が記載されていることからSWEESの検証に活用した。」
 推定を行った結果, 過大推定となった場合があった。その理由としては, 次の2つの原因が考えられる。

- 混合有機溶剤の揮発速度は, 液体中の物質間の相互作用があるため, 単物質での揮発速度と異なる。
- 局所排気装置に設定された修正係数の値が欧州と日本とでかい離がある可能性がある。

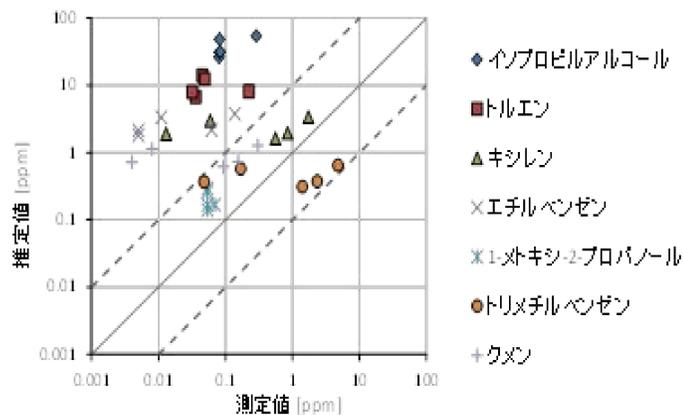


Fig1: 作業環境測定値と推定値との比較

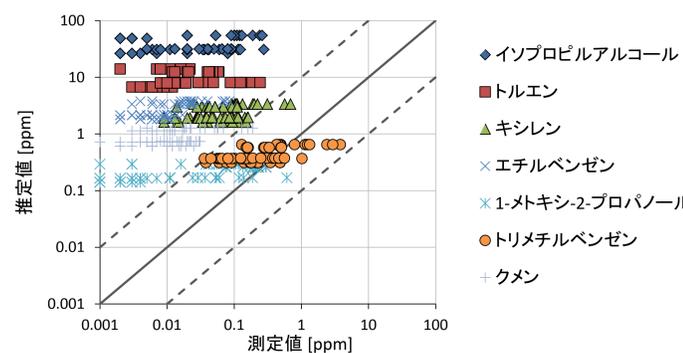


Fig2: 個人曝露濃度と推定値との比較

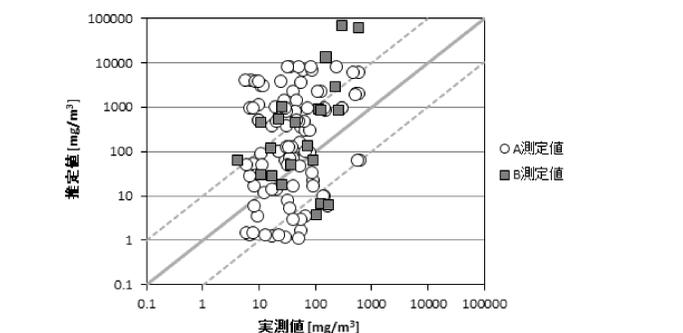


Fig3: 愛知県10ヶ所の作業場のデータを用いたSWEESによる推定値と実測値の比較

4.SWEEsの機能拡張に向けた検討

I. 混合有機溶剤の評価

● 混合物の蒸気圧補正モデルの組み込み：混合気体の活量係数の推算モデル（UNIFAC）、気液平衡理論と物質移動速度論に基づく。ARTでは活量係数を入力しなければならないが、SWEEsでは、UNIFACモデルをモデル内に内蔵し、作業内容、作業時間から活量係数およびモル分率を推定可能とする混合物曝露モデルを開発し組み込んだ。

→UNIFACモデル：溶液の物性をその化学的基団どうしの相互作用の総和で推算するモデル。活量係数 γ_i を推算する。

ラウールの法則の活量係数による補正式

$$P_{i,mix} = x_i \times \gamma_i \times P_i$$

$P_{i,mix}$ ：物質 i の混合物中の蒸気圧

x_i ：物質 i の混合物中のモル分率

γ_i ：物質 i の混合物中の活量係数

P_i ：物質 i の純物質での飽和蒸気圧

*ARTでは活量係数を入力しなければならない。SWEEsでは、UNIFACモデルをモデル内に内蔵し、作業内容、作業時間から活量係数およびモル分率を推定可能とする混合物曝露モデルを開発する。

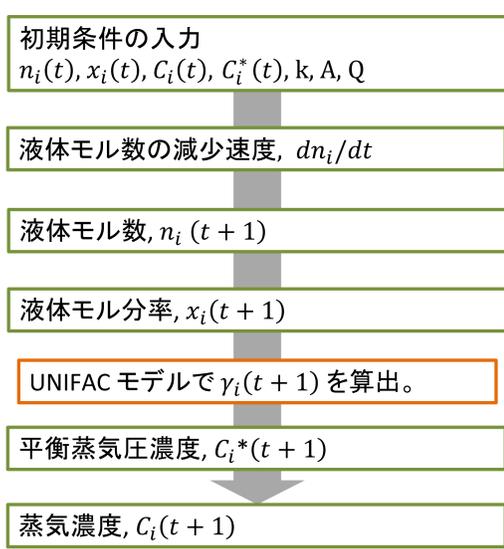


Fig4:本研究で用いた混合有機溶剤の濃度予測モデル

方程式

$$\frac{dn_i}{dt} = kA(C_i - C_i^*) \quad (1)$$

$$x_i(t) = \frac{n_i(t)}{\sum n_i(t)} \quad (2)$$

$$C_i^*(t) = \frac{\gamma_i(t) \times x_i(t) \times P_i^{sat}}{1.013 \times 10^5} \quad (3)$$

$$C_i(t) = \frac{C_i^*(t)}{\frac{Q}{24.46 k_i A} + 1} \quad (4)$$

変数

k : 物質移動係数

[mol/min/mm²]

A : 蒸発面積[m²]

Q : 空気流量 [l/min]

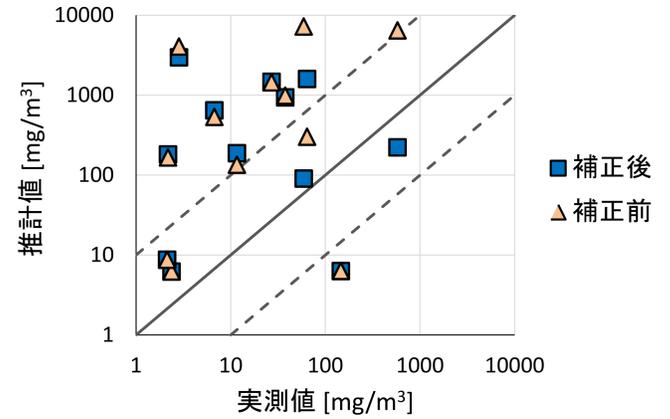


Fig5:補正前と補正後の推定値と実測値の比較

II. 修正係数の見直し

混合物の蒸気圧補正で十分ではなかった地点に対して、局所排気装置に係る修正係数の見直しを行った。プッシュプル型の修正係数LCを0.2から0.0003と設定した。その結果、推定値と実測値の比が1000倍から3倍まで改善され、全体としては±3のオーダーから±2のオーダーまで改善することができた。このことは、今後、日本の作業場に適切な局所排気装置に係る修正係数の設定が必要になることを示唆している。

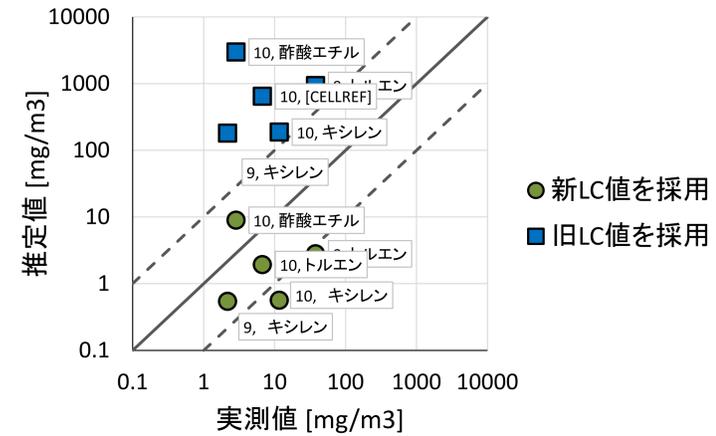


Fig6:LCの修正によるSWEEsによる推定値と実測値による比較

5.事業者ニーズの調査と今後の計画

● 調査の目的：次の2点を明らかにするため、SWEEs ver. 1.0 βの限定配布とともにアンケート調査を実施。

- ①本ツールに対する不具合や事業者のニーズを把握すること
- ②ツール開発に協力していただける事業者を募ること

● 調査の概要

実施時期：2013年8月30日～2014年2月14日

第1回目 2013年8月30日～9月27日

第2回目 2013年9月15日～11月29日、2014年1月20日～2月14日

配布先と配布数

第1回目：LRI担当課題評価委員会関連会社20社

第2回目：一般社団法人日本化学工業協会会員企業希望会社26社

回答数：15社（うち、会員企業希望会社14社）

回答事業所のうち、コンサルタント業務に携わっている事業者は2社、その他は、実際に化学物質を扱う事業者であった。

回答率：32.6%（会員企業希望会社、53.8%）

● PBPKモデルとの連動化、更なる検証の継続とツールの改訂

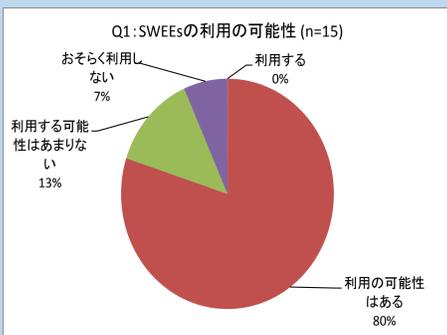


Fig7:SWEEsの利用可能性に対する回答

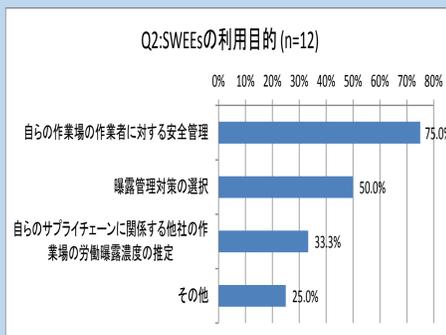


Fig8:SWEEsの利用目的に対する回答

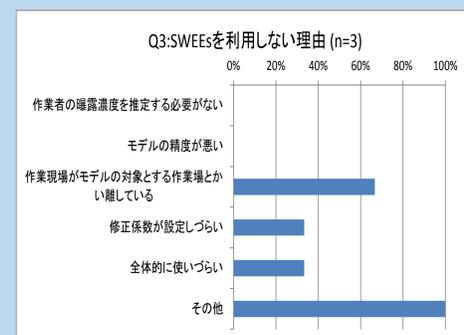


Fig9:SWEEsを利用しない理由に対する回答

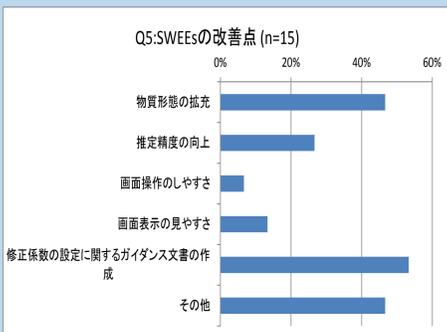


Fig10:SWEEsの改善点に対する回答の結果

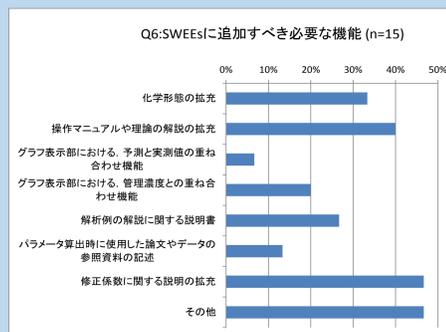


Fig11:SWEEsに必要な追加機能

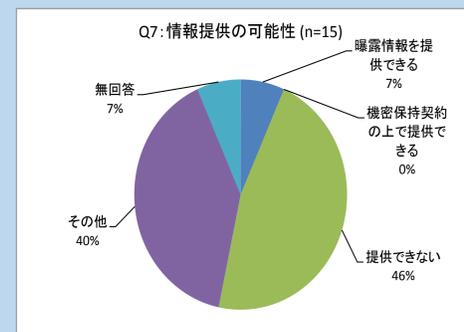


Fig12:SWEEsへの情報提供の可能性