

室内環境を対象とした化学物質リスクアセスメント 手法の高精度化に向けた数値解析技術の開発研究

牟田, 諒太

<https://hdl.handle.net/2324/5068290>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 論文博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 牟田 諒太

Name

論文名 : 室内環境を対象とした化学物質リスクアセスメント手法の高精度化に向けた
数値解析技術の開発研究

Title

区 分 : 乙

Category

論 文 内 容 の 要 旨

Thesis Summary

現代社会において、我々の生活の利便性向上のために幅広い範囲で化学物質が使用されているが、化学物質の不適切な管理・使用に伴う室内環境中での空気質汚染問題や曝露による健康リスクが顕在化している。化学物質による健康リスク低減のためには、化学物質の危険性を予測し、予測結果をもとに適切な管理・使用を行うリスクアセスメントの実施が必須である。我が国においては、H26年より労働安全衛生法が改正され事業者は安全データシート(SDS)が交付されている化学物質を使用する際、事前評価を行う化学物質リスクアセスメントの実施が義務化されている。化学物質リスクアセスメントでは、化学物質の有害性(ハザード)を認識した上で、化学物質の曝露量を予測することが必要になる。特に使用する化学物質の有害性が事前に把握出来ている場合には、化学物質使用過程に応じた個人曝露量を精緻に予測評価する手法の開発が非常に重要となる。高精度の曝露濃度予測・曝露量予測の結果として、適切な曝露量低減措置の検討が可能となる。

このような背景のもと、本研究では、室内環境中での化学物質使用過程に応じた化学物質曝露防止・リスク低減に向けて、計算流体力学CFD(Computational Fluid Dynamics)の技術を基盤とした化学物質の個人曝露量評価の高精度予測法の開発を目的としている。

本研究は、以下に示す7章構成となっており、各章の内容を以下に要約する。

第1章では、序論として研究背景・目的を整理している。化学物質曝露による健康リスク低減のためには、適切な化学物質管理やリスクアセスメントを実施し、曝露量予測を行うことが極めて重要になる。そのため、化学物質の使用環境や使用過程に応じた曝露量予測を行い、曝露防止のための対策を検討していく重要性を述べ、取り組むべき課題を明確化している。

第2章では、本研究で開発する個人曝露量評価技術の基盤となる計算流体力学の基礎に関して整理している。特に、流れ場の基礎方程式や乱流モデル、汚染物質スカル輸送方程式について概説した上で、個人曝露量評価のための数値人体モデル、数値気道モデルの概要についても整理している。

第3章では、化学物質リスク低減措置の工学的対策として使用される局所排気装置のうち、大学実験室で一般的に導入されているドラフトチャンバー(Fume hood)捕集性能について、数値解析手法によって様々な環境条件変化が捕集性能に与える影響を定量的に議論した結果を整理している。ドラフトチャンバーは、ドラフトチャンバー出荷段階での性能試験合格後の製品が実験室に納入され、実使用条件におけるドラフトチャンバー捕集性能の定量的なデータは、我々使用者側には多くは公表されていない。そこで本章では、九州大学総合理工学研究院に実在する実験室空間と空調設備、ドラフトチャンバーの幾何形状を再現し、Computer Simulated Person(CSP)を作業者と想定することで、ドラフトチャンバーの捕集性能に影響を与える要因特定のための数値解析を実施している。その結果、排気風量とドラフトチャンバー前面の作業者の存在が捕集性能に一定の影響を与えることを定量的に示している。また、不適切な排気風量におけるドラフトチャンバー捕集性能評価を実施し、労働安全衛生法に準拠する排気風量での使用の重要性を議論している。

第4章では、第3章で示したドラフトチャンバー捕集性能に影響を与える要因である、ドラフトチャンバー排気風量と作業者の存在に着目し、ドラフトチャンバーのより詳細な局所排気性能評価を実施した結果を整理している。実使用条件に近づけるために、作業員である数値人体モデルの腕を曲げたモデルを再現し、作業員の作業姿勢による捕集性能評価も同時に実施している。換気効率指標3種(Age of Air, Net Escape Velocity(NEV), Local-Purging Flow Rate(L-PFR))を使用し、ドラフトチャンバー周辺環境における汚染物質の輸送メカニズムを詳細に総合的に評価している。特に、ドラフトチャンバー開口面付近における汚染物質輸送メカニズムを、移流風速だけでなく乱

流拡散に伴う汚染物質輸送速度を重ね合わせた NEV 解析を行うことで、Age of Air や L-PFR の解析では明らかにならない、ドラフトチャンバー開口面付近における汚染物質輸送メカニズムを示している。

第 5 章では、一般住宅における化学物質曝露量予測手法開発の観点から、巨視的に化学物質の広がりを評価できる Material Flow Analysis(MFA)と、室内環境中において人体曝露を微視的に評価可能な CFD-CSP 連成解析を統合させる新たなフレームワークの適用可能性について例証的に検討している。評価対象物質を住宅環境建材中の可塑剤として使用されるフタル酸ジ 2-エチルヘキシル (DEHP) とし、MFA よりに日本における経年的な蓄積量の推計、さらには平均的な 1 住宅あたりの蓄積量の推計を行っている。また、CFD の境界条件へ適用するために、一般的に流通している DEHP 含有製品からの DEHP 放散量測定を JIS A1904 で規定されるマイクロチャンバー実験法により行い、DEHP 放散量データを取得している。これら MFA 結果とマイクロチャンバー実験結果を CFD-CSP 連成解析の境界条件へ適用し、個人曝露量予測のためのケーススタディを実施している。本フレームワークより得られた室内平均濃度と数値人体モデルと数値気道モデルを用いた曝露量の計算値を、既往研究による一般住宅における DEHP 室内平均濃度と動物実験より得られる DEHP 耐用一日摂取量 (TDI) と比較することで精度検証を実施している。

第 6 章では、意図的に化学物質を閉鎖空間に放出することで一定の濃度場を形成し、空間除染を行う場合を想定し、閉鎖型チャンバー内におけるガス状過酸化水素(VHP)の表面除染効果の数値予測を実施した結果を整理している。閉鎖空間内に除染作業者が入室した場合の除染剤曝露量を低減するために、VHP を非定常に放出した場合の閉鎖空間内の VHP 濃度変化を精緻に予測する数値解析モデルの検討を行った上で、ケーススタディを実施している。閉鎖空間内での VHP 輸送現象は、移流・拡散と気中での自己減衰の他、固体表面に対する沈着現象までを再現している。特に本章では、N95 マスクを再利用する場合の除染を想定した検討を行っている、N95 マスク素材の VHP の反応確率 (Reaction Probability) をパラメトリックに変化させた場合の除染効率の差異を議論している。

第 7 章では、本論文全体で得られた結果を総括し、学術的・工学的な貢献に関して言及すると共に、今後の課題を整理している。