

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	室内浮遊粒子へのSVOC吸着挙動解析と空気中からヒトへの曝露評価に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	近藤恒佑
Author(English)	Kousuke Kondou
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12431号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鍵直樹,横山裕,湯浅和博,浅輪貴史,大風翼
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12431号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	建築学 建築学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	近藤 恒佑		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	鍵 直樹 教授
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

フタル酸エステル類などの準揮発性有機化合物(SVOC)は、可塑剤や難燃剤として多くの建材や家庭製品に含まれており、室内には発生源が数多く存在する。さらに、いくつかの物質で喘息やアレルギー、生殖異常などのリスクを上げることが報告されており、SVOC による室内空気質の汚染が懸念されている。

SVOC は沸点が高いため一度ガスとして揮発したものが空気中の浮遊粒子に吸着し、“粒子態”となってガスとともに混在している。したがって、室内空気中の SVOC の適切な濃度評価や除去にはガスと粒子態との分配を正確に把握することが重要となるが、存在状態が不安定であるためその測定自体も容易ではない。また、同様の理由から環境を統制しての実験も困難であり、温度や浮遊粒子濃度、浮遊粒子の滞留時間 (換気回数) といった室内の環境要因が SVOC 吸着挙動に及ぼす影響についてはこれまで十分な検討がなされていなかった。

本研究は「室内浮遊粒子への SVOC 吸着挙動解析と空気中からヒトへの曝露評価に関する研究」と題し、以下の全 6 章から構成される。

第 1 章「序論」では、SVOC による室内空気質汚染の現状を述べるとともに、空気中における SVOC 粒子態の存在とガス-粒子態間の分配ならびにその後のヒトへの曝露に関して、挙動解明の必要性を整理したうえで本研究の目的を述べている。

第 2 章「浮遊粒子への SVOC 吸着モデルのレビューと吸着挙動実験系の構築」では、室内空気中における SVOC に関する先行研究をレビューのうえ、特に浮遊粒子への SVOC 吸着挙動モデルを整理し、特徴と課題を抽出した。さらに、浮遊粒子へのフタル酸ジエチルヘキシル(DEHP)の吸着挙動を検証するための実験系を構築し、その性能評価を行った。結果として、標準試験粒子からなる模擬浮遊粒子を安定して発生できること、DEHP のガスと粒子態を分離・定量できることなどを把握した。さらに、試験粒子の比表面積・表面特性なども併せて評価している。

第 3 章「浮遊粒子への SVOC 吸着挙動実験」では、室内環境におけるいくつかのパラメータ (空間温度、浮遊粒子濃度、浮遊粒子の表面特性および滞留時間) に着目し、浮遊粒子への DEHP 吸着実験を行うことで、その違いが浮遊粒子への DEHP 吸着挙動に及ぼす影響を実際に検討している。結果として、温度の上昇はガス濃度の上昇及び粒子態割合  $\phi$  の低下につながることで、浮遊粒子表面積濃度と粒子態濃度の間に単調増加の関係があることなどを定量的に明らかにした。さらに、それらの挙動は既存モデルのうち Junge 式によく一致することを把握した。そのほか、設定した  $0.5 \sim 8.0 \text{ h}^{-1}$  の換気条件では滞留時間の影響はほぼ認められないこと、浮遊粒子表面積濃度を評価する際には微細孔まで考慮することの重要性を述べている。以上から、空間のガス濃度を考慮して Junge 式を修正し実験値と比較することで、室内環境において修正式を使用することでさらに精度よく粒子態割合  $\phi$  を推定で

きる可能性を示し、浮遊粒子への SVOC 吸着予測モデルを提案した。

第 4 章「人体表面への浮遊粒子沈着挙動に関する基礎的検討」では、知見の少ない人体への浮遊粒子沈着挙動について、疑似的な人体としてサーマルマネキン、粒子を沈着させる対象面としてシリコンウエハを使用した実験から評価した。さらに、実験により得た粒径ごとの沈着速度を既往の人体への粒子沈着モデルと比較してモデルの妥当性を検証した。マネキンの発熱の有無をパラメータに沈着挙動を比較した結果、発熱を与える条件において、特にサブミクロン粒子の沈着速度が熱泳動の影響により小さくなることを定量的に明らかにした。対象とした  $0.01\sim 1\mu\text{m}$  の粒径においてはマネキンの身体部位ごとの大きな違いは認められないことも確認している。一方、重力沈降がより強く作用する粗大粒径側では部位ごとの差が顕著に見られた。既往の人体への粒子沈着モデルによる沈着速度の理論値と実験値は、粒径ごとに多少の違いは見られるものの、値のオーダーや傾向はおおむね一致し、モデルの妥当性を確認した。

第 5 章「空気中からヒトへの SVOC 曝露評価」では、第 3 章、第 4 章の知見に基づき、ガス・粒子態の吸入・経皮曝露をターゲットとした曝露評価を行った。DEHP を対象に検討を行い、ガスの経皮曝露、粒子態の吸入曝露の曝露総量への寄与が大きいことを示すとともに、空間の温度や浮遊粒子濃度などの各パラメータの影響を定量的に示した。粒子態の多くは呼吸器において深部の肺胞まで到達することも示し、その評価の意義を曝露量以外の観点からも述べている。さらに、空気中の粒子態を除去するための複数のシナリオを設定し、粒子態への対策が DEHP 曝露量低減に及ぼす効果を定量的に示している。

第 6 章「結論」では、第 5 章までの知見をまとめ、本研究の成果を述べるとともに、今後の課題を整理している。

以上より、本研究は実験と理論両面から、未だ知見の限られた室内空気中における SVOC ガスの浮遊粒子への吸着挙動、人体表面への浮遊粒子沈着挙動を検討している。さらに、それら知見と曝露モデルを組み合わせた曝露評価により、室内空気中の SVOC 分配挙動と曝露挙動、ならびに粒子態除去による曝露量低減効果を定量的に明らかにしたものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 建築学 系  
Department of Graduate major in 建築学 コース  
学生氏名： 近藤 恒佑  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of

指導教員 (主)： 鍵 直樹 教授  
Academic Supervisor(main)

指導教員 (副)：  
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

This study focuses on Semi-volatile organic compounds (SVOCs) such as phthalates, which are ubiquitous in indoor environments. SVOCs have a low vapor pressure and are adsorbed to airborne particles in the air and intermingled with those gases. Because of this characteristic, SVOCs are difficult to measure, and their behavior has not yet been clarified. In this study, the SVOCs partitioning behavior between gaseous and particulate phase in indoor air and their exposure to occupants from the air were investigated both experimentally and theoretically.

Specifically, di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) was selected as one of the representative SVOCs found indoors, and an experimental system was designed to investigate SVOCs adsorption behavior on airborne particles. Furthermore, by examining environmental parameters such as temperature, particle concentration and so on, the effects of these factors were quantitatively shown and existing SVOCs adsorption models for atmosphere were modified for indoor environments. The experiments confirmed the tendency for the gas concentration to increase and the particulate-phase ratio to decrease with high temperature, and the proportional relationship between the airborne particle surface concentration and DEHP particulate concentration.

In addition, in order to evaluate the dermal exposure behavior of particulate-phase SVOC in detail, an experimental system was designed to directly evaluate the deposition behavior of airborne particles on the human body surface, and the influence of thermophoresis and the deposition velocity for each particle size were quantitatively shown. Based on the experimental results, the validity of the existing model was also verified.

Based on the findings from the above experiments, exposure of phthalates from the air were evaluated, and quantify the amount of exposure from each phase and each exposure pathway from the air. Furthermore, the effect of reducing exposure by removing the particulate SVOC from the air was also clarified.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).