

〔論文〕

掃除方法による床面 SVOC 物質の除去率

金 炫兌^{*1}

Study on contaminant removal rate on the floor by cleaning method

Hyuntae KIM^{*1}

Abstract

Recent trends imply an increased use of PVC building materials as flooring, which contain phthalate plasticizers. These phthalates release and adhere to surfaces of building materials and house dust, potentially posing greater indoor contamination risk to infant than in adults. There is evidence linking phthalates in house dust to asthma and allergies in children. Additionally, customary Japanese practice of sitting or lying on floor increases the need for effective floor cleaning. This study investigates the quantity of semivolatile organic compounds and fungi on floor surfaces, assessing the effectiveness of various cleaning methods in removing these contaminants. The findings indicate varying removal rates across cleaning methods. Wipes (dry), vacuum cleaners (without brushes), and a combination of vacuum cleaners and wipes were less effective in removing phthalates. Conversely, vacuum cleaners (with brushes) and steam cleaners demonstrated superior effectiveness. Moreover, steam cleaners were particularly effective against fungal microorganisms.

Key Words :PVC, SVOC, Cleaning method, Phthalates

1. 研究背景と目的

室内には多くの汚染物質が存在する。その汚染物質には外部から侵入してくる花粉やカビなどの微生物、浮遊粉塵などがある^{1,2)}。また、室内の仕上げ材から放散する化学物質などが指摘されている。準揮発性有機化合物（SVOC）は気中ではほとんど検出されないが、ハウスダストに付着することが報告されている³⁻⁶⁾。ハウスダスト中に多く含まれている SVOC 物質は DEHP（フタル酸ジ-2-エチルヘキシル）であることが分かっている⁷⁾。子供がハウスダストの摂取によってフタル酸エステルを摂取しており、ハウスダスト中のフタル酸の濃度と子供の喘息やアレルギーには相関があると報告されている⁸⁻¹⁶⁾。

最近では床に PVC 建材を使用する住宅が多くなっている。また、日本は西洋とは生活習慣が異なり、床に座ったり乳幼児が床を這ったりすることが多いため、床面の汚染物質濃度は在室者の健康に大きな影響を与えられらる。

本研究では、床表面に堆積する SVOC 物質や真菌数に着目し、様々な掃除方法で掃除を行い、掃除後の床に残った SVOC 濃度と真菌数を測定した。

2. 測定概要

図 1 に実験室平面図を示す。測定場所は大学内の実験棟である。実験室の床面積は 51 m²、容積は 122 m³ である。実験室の換気は第 3 種換気システムで、換気扇が設置されており、換気回数は約 16.4 回/h である。

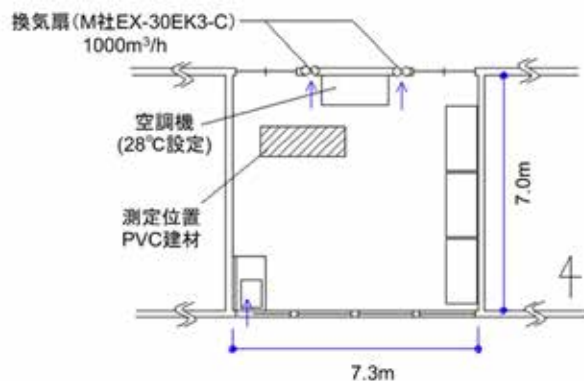


図 1 実験室の平面図

^{*1} 建築・設備工学科
令和 5 年 09 月 22 日受理

2.1. 測定条件

図2に床面の測定イメージを、表1に測定条件を示す。実験室にPVC床材を敷き、0日目に床面を綺麗に掃除し、3日後、様々な掃除方法を用いてPVC建材の表面を掃除した。その後、床面表面に残留するSVOC濃度や、真菌のコロニー数を測定した。以下にSVOC濃度測定方法と表面真菌測定方法の詳細を述べる。

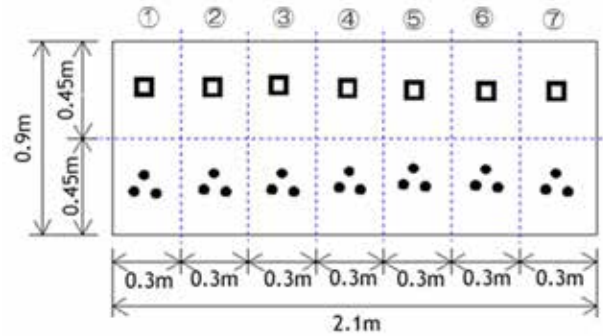


図2 床面の測定イメージ図

表1 測定条件

項目	①掃除前	②雑巾	③雑巾w*	④掃除機	⑤掃除機B*	⑥掃除機+雑巾w	⑦S・C
SVOC物質	1か所	1か所	1か所	1か所	1か所	1か所	1か所
カビ	3か所	2か所	3か所	3か所	2か所	3か所	3か所

S・C：スチームクリーナー、*W…水で濡らして絞ったもの、B…ブラシあり

・SVOC濃度測定法

図3にPVC試験材の表面を拭き取る様子と石英ウールをマイクロチャンバーに入れた様子を示す。表2にチャンバー加熱脱着条件を示す。各条件の掃除を行った後、石英ウールを用いてPVC試験材の表面を拭き取った。0.1m×0.1mの四角枠を床材の上に設置し、その内側の面を綺麗に拭き取った。拭き取った後の石英ウールは、そのままマイクロチャンバーに入れ、加熱脱着装置を用いて加熱することで、SVOC物質を捕集した。捕集管はTenax TA管を用いた。加熱脱着装置はMSTD-258M-B（GLサイエンス社）を用いた。



図3 PVC試験材の表面を拭き取る様子と石英ウールをマイクロチャンバーに入れた様子

表2 チャンバー加熱脱着条件

加熱脱着温度	30°C (5min)-(20°C /min)-220°C (40min)
供給ガス流量(He)	90 ml/min
吸引流量	60 ml/min
サンプリング時間	60 min
捕集管	Tanex TA(60/80 mesh)

・表面真菌測定方法

図4にスタンプ培地を用いた表面真菌採集の様子と培養の様子を示す。試験用のPVC床材の表面に付着している真菌の初期濃度を最低化するため、0日目に実験用PVC床材の上をエタノールで綺麗に掃除した。3日後、試験体の表面を各掃除方法により掃除をした後、スタンプ式培地を用いて表面に付着している真菌を捕集した。真菌は25℃で3～5日間培養し、各培地に発育したコロニーを数えた。培地表面積は25 cm²である。



図4 スタンプ培地を用いた表面真菌採集の様子と培養の様子

2.2. SVOCの分析条件

分析対象物質は、各種樹脂添加剤のDBP（フタル酸ジ-n-ブチル）、DEHP（フタル酸ジ-2-エチルヘキシル）、DEP（フタル酸ジエチル）、TBP（リン酸トリブチル）、TCEP（リン酸トリス）、TPP（リン酸トリフェニル）、D6（シロキサン6量体）、BHT（ブチル化ヒドロキシトルエン）、DBA（アジピン酸ジブチル）、DOA（アジピン酸ジオクチル）のSVOC10物質とSVOCより沸点が低く、DEHPの加水分解物質である2E1H（2-エチル-1-ヘキサノール）の合計11物質である。表3にGC/MSの加熱脱着の条件を、表4にGC/MSの分析条件を示す。

表3 Tenax TA 捕集管の加熱脱着装置と条件

使用機器	GERSTEL TDS A
加熱脱着条件	280 °C (10 min)
トラップ温度	-60 °C
注入温度	325 °C (5 min)

表4 GC/MSの分析条件

使用機器(GC/MS)	Agilent 6890N / 5973 inert
カラム	Inert Cap 1MS 30m×0.25mm×0.25μm df
GC オープン温度	50°C(2min)→10°C/min→320°C(5min)
スプリット比	低濃度：splitless, 高濃度：50：1
測定モード	SCAN
SCAN パラメータ	m/z 29(Low)~550(High)
検出器温度	230°C

3. 測定結果及び考察

3・1 表面SVOC濃度

今回の実験で分析した化学物質は11物質であるが、検出頻度が高いDBP、TPP、DEHPの3物質のみ考察することとした。図5にDBP濃度を示す。①掃除前の表面DBP濃度は4 μg/m²であった。②雑巾、④掃除機、⑤掃除機（ブラシあり）、⑥掃除機＋雑巾と⑦スチームクリーナーの表面DBP濃度は①掃除前の表面濃度とほぼ同じであった。③雑巾（水あり）の場合は掃除後のDBPの表面濃度が1.8 μg/m²で、①掃除前の濃度より低くなっていることがわかった。

図 6 に TPP 濃度を示す。①掃除前の表面 TPP 濃度は $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。②雑巾（水なし）の表面 TPP 濃度は $18 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、約 2 倍となっている。これは雑巾に付着していたものが表面に付着して濃度が高くなったと考えられる。③雑巾（水あり）、④掃除機（ブラシなし）、⑥掃除機+雑巾の条件で検出された表面 TPP 濃度は $8.1 \sim 9.1 \mu\text{g}/\text{m}^2$ の範囲で測定され、掃除前の表面濃度とほぼ同じであった。一方、⑤掃除機（ブラシあり）、⑦スチームクリーナーを用いた条件では $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、他の掃除条件に比べて約 40%削減されていることが分かった。

図 7 に DEHP 濃度を示す。①掃除前の表面 DEHP 濃度は $11000 \mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。③雑巾（水あり）の場合は $7600 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、初期の DEHP 濃度より約 30%削減されていることが確認出来た。また、⑤掃除機（ブラシあり）の条件は $5300 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 、⑥掃除機+雑巾の条件は $6100 \mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。②雑巾（水なし）、④掃除機（ブラシなし）の場合は表面 DEHP 濃度が $9000 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 、 $9300 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、①掃除前の条件に比べ、約 15%しか削減出来なかった。一方、⑦スチームクリーナーの条件の表面 DEHP 濃度は $4500 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、除去率約 60%を示した。

今回の実験により、雑巾水なしより水ありの方が汚染物質をよく除去できると考えられる。また、掃除機のみで床面に付着している SVOC 汚染物質を削減することは難しいが、掃除機ブラシなしよりブラシありの方が削減できると考えられる。さらに、床面に堆積しているダストのみではなく、表面に堆積ブリードアウトされた SVOC 物質を除去するためには、掃除機と雑巾を一緒に使用するか、スチームクリーナーなどを用いるとより効果的であると考えられる。現在、SVOC 物質の中 DDEHP、DBP が室内の気中濃度ガイドラインが規制されているが、SVOC 物質は気中の放散されることより室内の表面や堆積ハウスダストに付着される。また、PVC 建材などから染み出た可塑剤が建材の表面にそのまま残り、床表面の SVOC 濃度が高くなることが確認されている。そのため、室内の気中濃度のみではなく、室内の床表面 SVOC 濃度を削減することは幼児の健康リスク低減が可能であると考えられる。

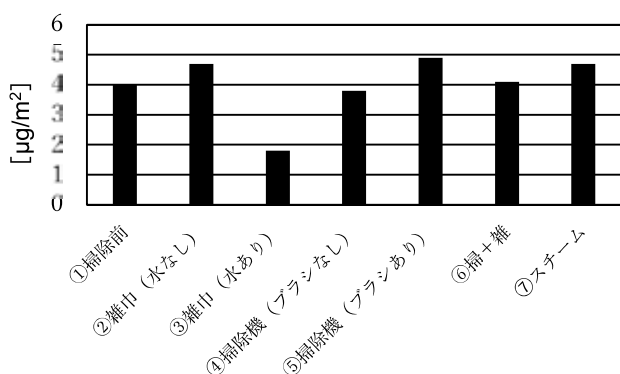


図 5 DBP 濃度

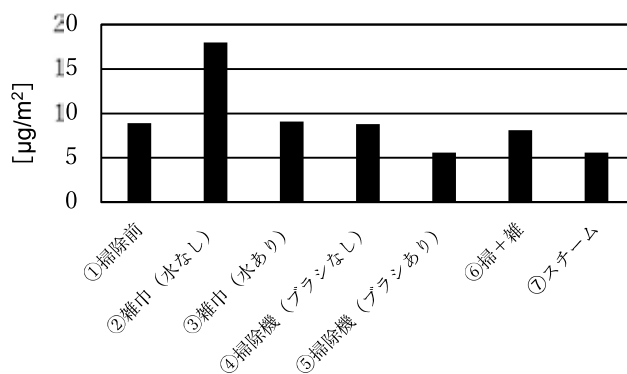


図 6 TPP 濃度

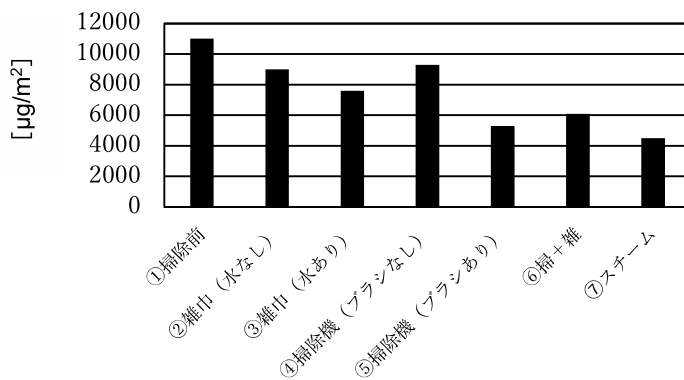


図 7 DEHP 濃度

3・2 表面真菌コロニー数

表5に表面真菌濃度を、図8にスタンプ式培地の培養の様子を示す。除菌後の表面濃度はスタンプ式の培地（25cm²）から0～2コロニーが培養された。除菌後から3日目の掃除前の条件では、面積当たり平均値で87200コロニーであった。この結果は各掃除方法による掃除後の結果と比較を行う際、初期の表面真菌濃度として取り扱うこととした。④掃除機（ブラシなし）の場合は初期真菌濃度に比べ、20%しか削減できず、表面真菌の除去率が低く測定された。しかし、②掃除機（ブラシあり）と④掃除機+雑巾はそれぞれ90～97%まで除去されている。また、②雑巾（水なし）、⑦スチームクリーナーの場合は滅菌後の初期真菌濃度とほぼ同じ数値であった。現在、室内における気中真菌数の規制は定められているが、床表面真菌コロニー数に関する規制などは設定されていない。しかし、幼児は床面生活が長く、指などを舐める習慣を持つため、床表面の汚染物質が健康に悪影響を与える可能性が高い。そのため、床面の掃除方法による汚染物質の削減は幼児の健康リスク削減に繋がると考えられる。

表5 表面真菌濃度

測定箇所	1回目	2回目	3回目	平均値	[CFU/m ²]
除菌後	2	0	1	1	0～400
①掃除前	240	223	191	218	87200
②雑巾	1	0		0.5	0～200
③雑巾 w	20	22	25	22	8800
④掃除機	180	160	177	172	68800
⑤掃除機 B	5	5		5	2000
⑥掃+雑 w	7	7	3	6	2400
⑦スチーム	1	0	0	0	0～400

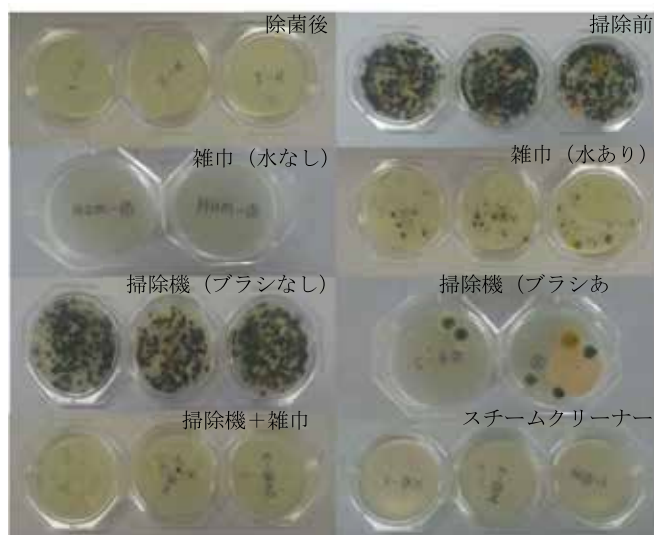


図8 スタンプ式培地の培養の様子

4. まとめ

本研究では、床表面に堆積するSVOC物質や真菌数に着目し、様々な掃除方法を用いて試験体の表面を掃除し、掃除後の床面上に残留するSVOC濃度と真菌数を測定した。

- 1) 表面DBP濃度の場合、掃除前の濃度と雑巾（水なし）、掃除機（ブラシなし）、掃除機（ブラシあり）、掃除機+雑巾とスチームクリーナーの表面DBP濃度はほぼ同じで、雑巾（水あり）の条件は掃除前の濃度より低く検出された。

- 2) 掃除前の表面 TPP 濃度 $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^2$ に対して、雑巾（水なし）の表面 TPP 濃度は $18 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、掃除前の濃度より高く検出された。雑巾（水あり）、掃除機（ブラシなし）、掃除機+雑巾の条件で検出された表面 TPP 濃度は掃除前の表面濃度とほぼ同じであった。一方、掃除機（ブラシあり）、スチームクリーナーを用いた条件では、他の掃除条件に比べて約 40%削減されていることが分かった。
- 3) 掃除前の表面 DEHP 濃度は $11000 \mu\text{g}/\text{m}^2$ であった。雑巾（水あり）の場合は初期の DEHP 濃度より約 30%削減されていることが確認されたが、雑巾（水なし）、掃除機（ブラシなし）の場合は他の掃除方法より DEHP 濃度の削減が少なかった。一方、スチームクリーナーの条件の場合、表面 DEHP 濃度は $4500 \mu\text{g}/\text{m}^2$ で、除去率が約 60%を示した。
- 4) 今回の測定では、表面真菌数の結果も SVOC 濃度の結果と同様の傾向が見られた。掃除機（ブラシなし）の条件の場合、他の掃除方法より低い除去率を示した。
- 5) 今回の実験により、掃除機のみで床面に付着している SVOC や真菌を削減することは難しいと考えられる。また、床面に堆積しているダストのみではなく、表面に堆積した SVOC 物質を除去するためには、掃除機と雑巾を一緒に使用するか、スチームクリーナーなどを用いた方がより効果的であると考えられる。

文 献

- (1) 日本空気清浄協会, 「室内空気清浄便覧」, オーム社, 2000
- (2) M. Wensing · E. Uhde · T. Salthammer : Plastics additives in the indoor environment-flame retardants and plasticizers; Science of the Total Environment, Vol.339, pp.19-40, 2005
- (3) 金炫兌, 田辺新一, 岡田厚太郎, 日本・韓国の住宅におけるハウスダスト中 DEHP 濃度の測定, 日本建築学会環境系論文集, Vol.75, No.654, pp. 713-720, 2010.8
- (4) 岡田厚太郎, 金炫兌, 金勲, 柏原誠一, 吉田和之, 吉野博, 田辺新一, 半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究, その 10 日本国内の住宅におけるハウスダスト中 SVOC 濃度測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.785-786, 2009.9
- (5) 金炫兌, 岡田厚太郎, 金勲, 田辺新一, 半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究, その 11 韓国住宅におけるハウスダスト中 SVOC 濃度測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.787-788, 2009.9
- (6) 川村聡宏, 岡田厚太郎, 金炫兌, 田辺新一, 半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究, その 12 日本の実住宅におけるハウスダスト中 SVOC 濃度測定結果の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.913-914, 2010.9
- (7) 金炫兌, 川村聡宏, 岡田厚太郎, 田辺新一, 半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究, その 13 拭き取り法を用いた床面付着 SVOC 濃度測定に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.915-916, 2010.9
- (8) 川村聡宏, 井口侑香, 金炫兌, 田辺新一, 半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究, その 17 マイクロチャンバー法と海外測定法比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.643-644, 2011.8
- (9) H. Fromme · T. Lahrz · M. Piloty · H Gebhart · A. Oddoy · H. Ruden : Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin(Germany), Indoor air Vol.14, pp.188-195,2004
- (10) C. Bergh · R. Torgrip · G. Emenius · C. Östman : Organophosphate and phthalate esters in air and settled dust – a multi-location indoor study, Indoor Air, Vol.21, pp.67-76, 2010
- (11) Fay, M · Donohue, J.M. and De Rosa, C: ATSCR evaluation of health effects of chemicals. VI. Di(2-ethylhexyl) phthalate. Agency for toxic substances and disease registry, Toxicol. Ind. Health, 15, pp. 651-746, 1999.
- (12) Guo, Y. and Kannan, K: Comparative assessment of human exposure to phthalate esters from house dust in China and the United States, Environ. Sci. Technol, Vol.45, pp.3788-3794, 2011
- (13) Langer, S · Weschler, C.J · Fischer, A · Beko, G · Toftum, J. and Clausen, G: Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers, Atmos. Environ., 44, pp.2294-2301, 2010.
- (14) Abb, M · Heinrich, T · Sorkau, E. and Lorenz W: Phthalates in house dust, Environ. Int., Vol.35, pp.965-970, 2009.
- (15) Bornehag, C.G · Lundgren, B · Weschler, C.J · Sigsgaard, T · Hagerhed-Engman, L. and Sundell, J: Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics, Environ. Health. Perspect., Vol.113, pp.1399-1404, 2005.
- (16) Becker, K · Seiwert, M · Angerer, J · Heger, W · Koch, H.M · Nagorka, R · Rosskamp, E · Schluter, C · Seifert, B. and Ullrich, D:DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust, Int. J. Hyg. Environ. Health, Vol.207, pp.409-417, 2004.