

令和7年度 厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）
分担研究報告書

室内空気汚染化学物質対策の推進に資する総合的研究

室内空气中化学物質の標準試験法の整備

汎用型空気清浄機を用いたハウスダスト中
ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤の捕集法の検討

研究分担者 酒井 信夫 国立医薬品食品衛生研究所 食品添加物部 室長
研究協力者 吉富 太一 神奈川県衛生研究所 理化学部 主任研究員
西 以和貴 神奈川県衛生研究所 理化学部 主任研究員
上村 仁 神奈川県衛生研究所 理化学部 専門研究員
田原麻衣子 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長

本研究は、室内環境中のハウスダスト（HD）に含まれるベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤（BUVs）の実態把握を目的として、汎用型空気清浄機のプレフィルター（PF）を用いた新たな捕集手法（PF法）の有用性を検討したものである。BUVsはプラスチックや繊維等に広く使用される一方、環境中での残留性や生物蓄積性が懸念されており、室内環境における曝露評価の重要性が指摘されている。しかし、国内におけるHD中BUVsの実態把握は十分ではなく、従来の掃除機法には混入リスクや発生源特定の困難性といった課題があった。

PF法の妥当性評価として実施した添加回収試験では、対象8成分において回収率80～111%、相対標準偏差3.2～6.3%と良好な精度および再現性が得られ、既存の前処理法が適用可能であることを確認した。また、住宅10軒における実態調査の結果、約1か月間の捕集により定量に必要なHD量を確保可能であり、捕集量は床材や生活様式により大きく変動することが示された。PF法と掃除機法の比較では、PF法により得られたBUVsの濃度および検出頻度はいずれも高い傾向を示した。これは、不織布フィルターがBUVsを多く含有する繊維片や樹脂粒子などの浮遊粒子を効率的に捕集したためと考えられる。特に、規制対象外であるUV-326が高濃度で検出され、規制物質の代替としての使用進展が示唆された。

以上より、PF法は室内環境中のBUVsの実態把握に有効な手法であり、曝露評価および化学物質管理に資する基盤的手法として有用であると結論された。

A. 背景と目的

紫外線吸収剤は1950年代以降、プラスチック、塗料、繊維等の材料に添加され、紫外線による劣化防止を目的として広く利用されてきた。なかでもベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤(BUVs)は、300–400 nmの紫外線を吸収し、熱および光に対して高い安定性を有することから、各種高分子材料に汎用されている。一方で、近年、環境試料および生体試料からの検出事例が報告されており、難分解性および生物蓄積性に起因する環境残留性が懸念されている。このため、一部のBUVsは国内外で規制対象物質とされている^{1),2)}。

室内環境においても、フィリピンおよびノルウェーの一般居住住宅において、室内空気およびハウスダスト(HD)中からBUVsが検出されており^{3),4)}、我が国で化審法第一種特定化学物質に指定されているUV-320やUV-328を含む複数成分が高頻度で検出されている。しかしながら、国内におけるHD中のBUVsの実態把握は十分に進んでおらず、汚染状況に関する知見は限られている。

我々はこれまでに、LC-MS/MSを用いた分析法を確立し、掃除機を用いて採取したHD中から複数のBUVsを検出した(以下、掃除機法)。その結果、UV-PSおよびUV-320を除く6成分において100%の検出率が得られ、BUVsが国内の室内環境に広く存在する可能性が示唆された⁵⁾。一方で、掃除機法は大量のHDを採取可能であるものの、装置由来の混入や発生源の特定が困難といった課題を有している。

そこで本研究では、より浮遊粒子に由来するHDを反映した試料採取法として、イオン発生や加湿機能を有しない汎用型空気清浄機に着目し、そのプレフィルター(PF)に捕集されたHDを試料とする新たな採取手法(プレフィルター法:PF法)を検討した。本報では、PF法により得られたBUVsの濃度および検出傾向を掃除機法と比較し、その室内環境調査への適用可能性を評価することを目的とする。

B. 実験方法

1. 試薬および分析装置

標準品には、UV-P, UV-PS, UV-234, UV-326, UV-327, UV-328 および UV-329 (東京化成工業製, 純度 98% 以上), ならびに UV-320 (AccuStandard Inc 製, 純度 100%) を使用した。溶媒には、残留農薬・PCB 試験用および高速液体クロマトグラフ用(富士フイルム和光純薬製)を用いた。固相抽出カートリッジ(SPE)には Sep-Pak Alumina B Plus (Waters 製) を使用した。分析装置および測定条件は **Table 1** に示す。

2. PF を用いた添加回収試験

空気清浄機の PF を 3.5 cm 角に切断し、BUVs 混合標準液 (1,000 ng/mL) 0.05 mL を添加した。添加後、室温で乾燥させた PF をガラス製遠沈管に移し、アセトン 15 mL を加えて 15 分間の超音波抽出を行った。この抽出操作を 2 回繰り返し、得られた抽出液を回収した。

抽出液は減圧下で 2-3 mL まで濃縮した後、目盛付試験管に移し、窒素気流下で 1 mL まで濃縮した。これにヘキサンを 9 mL 加えて溶液を調製し、Sep-Pak Alumina B に負荷した。カートリッジを窒素ガスで乾燥した後、バックフラッシュにより 2-プロパノール/水 (6:4, v/v) 混液 5 mL で溶出し、分析試料とした。本試験は 7 併行 (n=7) で実施した。

3. 空気清浄機を用いた実態調査

空気清浄機は VeSync 社製装置を用い、HD の捕集には空気清浄フィルター外部に装着されている不織布製 PF 部分を使用した (**Fig. 1a-c**)。サンプリングは 2025 年 6 月から 10 月にかけて実施し、リビングや寝室等に設置した空気清浄機を約 1 か月間連続運転した。HD の捕集量は、サンプリング前後の PF の質量差から算出した。

HD を捕集した PF は切断後、500 mL ビーカーに移し、アセトン 250 mL を加えて超音波抽出 (15 分間) を 2 回行った。得られた抽出液は PTFE 製

メンブレンフィルター（Millipore 製）でろ過し、減圧濃縮により溶媒を除去した後、乾固した残渣をアセトンに再溶解した。この際、HD 濃度が概ね 0.1 g/mL となるよう調製した。

再溶解液 1 mL を正確に分取し、ヘキサン 9 mL を加えて希釈した後、予めコンディショニングした Sep-Pak Alumina B に負荷した。カートリッジを窒素ガスで乾燥した後、逆向きに接続してバックフラッシュを行い、2-プロパノール/水 (6:4, v/v) 混液 5 mL で溶出したものを分析試料とした。

本実態調査は、先行研究における掃除機法と同一の住宅 10 軒を対象として実施した。

C. 結果および考察

1. 空気清浄機の PF を用いた添加回収試験

PF を用いた添加回収試験において、BUVs 8 種の平均回収率は 80~111%，相対標準偏差は 3.2~6.3% であり、いずれも良好な再現性が得られた (Table 2)。この結果から、掃除機法で用いている Sep-Pak Alumina B による精製手順は、PF 由来マトリクスの影響を受けることなく適用可能であることが確認された。

また、PF ブランクの分析では、UV-P および UV-326 が検出された。そこで、3.5 cm 角に切断した PF および PF 全体から得られたブランク濃度を、それぞれの面積で除して正規化した。その結果、切断 PF では UV-P が 0.262 ng/cm²、UV-326 が 0.408 ng/cm²、PF 全体では UV-P が 0.321 ng/cm²、UV-326 が 0.336 ng/cm² となり、両者のブランクレベルは概ね同程度であった。

以上より、PF 由来のブランク寄与は面積当たりで一定とみなせることから、実態調査においては UV-P および UV-326 についてブランク値を差し引いて濃度を算出することとした。

2. PF 法による HD の捕集量

空気清浄機を住宅内に設置し、PF 法による HD の捕集量を評価した。PF に捕集された HD 量は 118~1,601 mg であり、捕集日数で補正した 1 日

あたりの捕集量は 3.4~48.5 mg/日と、住宅間で大きなばらつきが認められた (Table 3)。

掃除機法で一般的に用いられる HD 量 0.1 g を基準として定量下限値を算出した結果、分析対象 8 成分のうち UV-P が 14.32 ng/g と最も高い値を示した。この値に基づき必要な HD 捕集量を見積もったところ、捕集量が最小であった住宅 A (3.37 mg/日) においても約 30 日で 0.1 g に到達することが確認された。したがって、本研究で設定した約 1 か月間の捕集期間は妥当であり、すべての住宅において BUVs の定量に十分な試料量を確保可能であることが示された。

HD 捕集量に影響を与える因子としては、床材の種類、部屋の用途および居住者の生活様式が関与していることが示唆された。特に、ラグやカーペットを使用している住宅では、フローリング主体の住宅に比べて HD の捕集量が多い傾向が認められた (Table 3)。また、聞き取り調査の結果から、単なる居住人数よりも、小児やペットの有無、生活行動の頻度、部屋間の往来の多さといった要因が、HD の空中への飛散および床面からの再浮遊に強く影響している可能性が示唆された。

3. PF 法による HD 中の BUVs 実態調査

PF 法によって捕集した HD 中の BUVs 濃度を、先行研究における掃除機法 (250 μm ふるい分級)⁵⁾と比較したところ、最大値、中央値および検出頻度のいずれにおいても PF 法の方が高い傾向を示した (Table 4, Table 5)。この差異は、PF 法が床面近傍の空気を連続的に吸引し、不織布製フィルターにより浮遊粒子を効率的に捕集したことに起因すると考えられる。一般に不織布は繊維が絡み合った構造を有し、数 μm 以上の粒子を効率的に捕集できることが知られている⁶⁾。そのため、摩耗した繊維片や樹脂片など、BUVs を高濃度に含有する可能性のある粒子が選択的に捕集されたと推察される。

一方、掃除機法では床面に沈降した粒子を広く回収するため、BUVs を含まない無機粒子等も多

く混在し、ふるい分級後においても相対的に濃度が希釈された可能性がある。すなわち、PF法は浮遊粒子に富む成分を反映する一方、掃除機法は床面堆積粒子の平均的組成を反映する方法であり、両者の特性差が濃度として現れたものと考えられる。

個別成分の挙動としては、PF法で得られたHD中においてUV-326の濃度が他のBUVsに比べて顕著に高かった。一方、UV-320は掃除機法と同様に低濃度であった。UV-320は2007年に化審法第一種特定化学物質に指定され、使用が大きく制限されているのに対し、UV-326は現時点で規制対象外であり、経済産業省の報告書においてUV-320およびUV-328の代替候補物質として挙げられている⁷⁾。

以上より、本研究でUV-326が高濃度で検出されたことは、規制物質の代替としての使用が進行している可能性を示唆するものであり、今後の室内環境中におけるBUVsの監視において重要な知見であると考えられる。

D. まとめ

本研究では、汎用型空気清浄機のPFを用いたHDの新たな捕集手法を検討し、PF法により得られたHD中のBUVsの実態を評価した。

その結果、PFを用いた添加回収試験において、対象8成分すべてで良好な回収率および再現性が得られ、先行研究の掃除機法と同一の精製手順が適用可能であることが確認された。また、PF法では約30日間の捕集によりBUVsの定量に必要なHD量を確保でき、捕集量には床材や居住者の生活行動などの影響が大きいことが示唆された。

さらに、PF法により捕集したHD中のBUVsは、掃除機法と比較して検出頻度および濃度が高い傾向を示した。これは、不織布製PFが繊維片や樹脂片など、BUVsを高濃度に含有する浮遊粒子を効率的に捕集したためと考えられる。

とりわけ、現時点で規制対象外であるUV-326が高濃度で検出されたことから、規制が強化され

たBUVsの代替物質として使用されている可能性が示唆された。以上より、PF法は室内環境中のBUVsの実態把握に有効な手法であり、今後の曝露評価および化学物質管理に資する基盤的知見を提供するものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 独立行政法人製品評価技術基盤機構製品含有化学物質のリスク評価UV-328 (2023).
- 2) Nakao T, Yuzuriha T, Kakutani T. Benzotriazole ultraviolet absorber contamination in breast milk and the infant health risk. BPB reports, 7(2), 61-65 (2024).
- 3) Kim J-W, Isobe T, Malarvannan G, Sudaryanto A, Chang K-H, Prudente M, Tanabe S. Contamination of benzotriazole ultraviolet stabilizers in house dust from the Philippines: Implications on human exposure. Sci.Total Environ., 424, 174-178 (2012)..
- 4) Schlabach M, Halse AK, Kringstad A, Nikiforov V, Nizzetto PB, Pfaffhuber KA, Reid M, Rostkowski P, Vogelsang C. Screening program 2018, Volatiles, Gd, BADGE, UV filters, Additives, and Medicines. Norwegian Institute for Air Research (NILU) report. <<https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/oktober-2019/screening-program-2018/>>
- 5) 吉富ら, 室内環境学会学術大会講演要旨集, pp 161-162 (2024).
- 6) 木場ら, 繊維と工業., 51(5), 206-210 (1995).
- 7) 令和5年度化学物質規制対策(規制化学物質に関する国際的な動向調査) https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2023FY/000041.pdf.

E. 健康危機情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Taichi Yoshitomi, Iwaki Nishi, Fumi Nakano, Hitoshi Uemura, Maiko Tahara, Shinobu Sakai: Occurrence of benzotriazole-based UV absorbers in Japanese household dust, BPB Reports, 9, 8-14 (2026)

2. 書籍等刊行物

- 1) 酒井信夫：環境化学物質 室内濃度指針値，実例から学ぶレギュラトリーサイエンス，レギュラトリーサイエンス研究会，194-197：株式会社じほう(2025)

3. 学会発表

- 1) 田中礼子，村木沙織，田原麻衣子，酒井信夫：「室内空气中化学物質の測定マニュアル（統合版）」の揮発性有機化合物の測定方法 第2法に示される捕集管の検証，第33回環境化学討論会，山形，2025年7月
- 2) 酒井信夫，田原麻衣子：規制の最前線 シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会の新たなフェーズ，室内環境学会 車室内環境分科会，東京，2025年8月
- 3) 酒井信夫：室内空气中化学物質に関するレギュラトリーサイエンス研究，名古屋市衛生研究所講演会：生活環境衛生分野のレギュラトリーサイエンス研究，名古屋，2025年9月
- 4) Shinobu Sakai: Regulatory Science for Indoor Air Chemicals in Japan, 2025 Asian Indoor Environment Forum, Seoul, September (2025)
- 5) 高木規峰野，大嶋直浩，酒井信夫，内山奈穂子，

千葉真弘，西堀祐司，涌井玲，大槻良子，熊谷貴美代，草原紀子，大竹正芳，角田徳子，上村仁，田中礼子，高居久義，三宅崇弘，堀井裕子，望月映希，羽田好孝，山本優子，若山貴成，和田拓樹，吉田俊明，古市裕子，吉野共広，伊達英代，別役由香，島田友梨，出口雄也，田崎盛也：令和6年度室内空気環境汚染に関する全国実態調査，第62回全国衛生化学技術協議会年会，群馬，2025年11月

- 6) 高木規峰野，田原麻衣子，酒井信夫：3種捕集法における放散化学物質のプロファイル比較ーサンプリングバッグ法・超小形チャンバー法・直接脱離法ー，2025年室内環境学会学術大会，北九州，2025年12月
- 7) 田原麻衣子，村木沙織，松本幸一郎，吉富太一，西以和貴，千葉真弘，市村天，大貫文，小澤敦揮，若山貴成，六鹿元雄，高木規峰野，酒井信夫：LC/MSを用いた室内空气中SVOCの標準試験法の開発（第3報），2025年室内環境学会学術大会，北九州，2025年12月
- 8) 吉富太一，西以和貴，田原麻衣子，上村仁，酒井信夫：汎用型空気清浄機によるハウスダスト中ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤の捕集法の検討，2025年室内環境学会学術大会，北九州，2025年12月

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

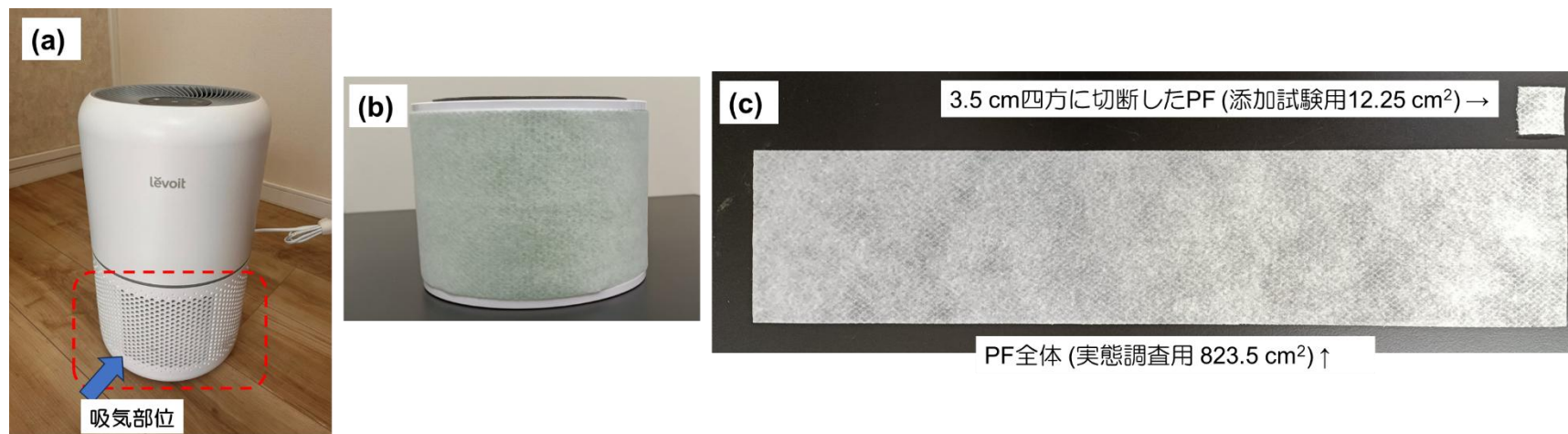


Fig. 1 HD 捕集に用いた汎用型空気清浄機とフィルター類

(a) 空気清浄機本体 (吸気高さ: 床から 3-17 cm), (b) 捕集フィルター本体, (c) PF

Table 1 本研究で使用した LC-MS/MS 分析条件等の詳細

Liquid Chromatograph		
Instrument	Nexera LC-40D _{XR}	
Column	InertCore Plus C18 2.1 x 100 mm, 2.6 μm	
Mobile phase	A: Water, B: Methanol	
Gradient program	70%B(6.5 min)-90%B(9.5 min)-93%B(14 min)-93%B(18 min)-100%B(18.01 min)-100%B(24 min)-70%B(24.01 min)-70%B(30 min)	
Flow rate	0.25 ml/min	
Injection volume	10 μL	
Column oven	40°C	
Mass Spectrometry		Monitor ion (<i>m/z</i>) [CE (V)]
Instrument	LCMS-8050	UV-P, 226>107 [-21]
Ionization	APCI (positive)	UV-PS, 268>212 [-21]
Interface temperature	350°C	UV-234, 448>370 [-23]
Desolvation temperature	600°C	UV-320, 324>268 [-22]
DL temperature	200°C	UV-326, 316>260 [-20]
Heat block temperature	200°C	UV-327, 358>302 [-24]
Nebulizing gas	3 L/min	UV-328, 352>282 [-24]
Drying gas	5 L/min	UV-329, 324>57 [-28]

Table 2 空気清浄機の PF を用いた添加回収試験

回収率	UV-P	UV-PS	UV-234	UV-320	UV-326	UV-327	UV-328	UV-329
添加_1	115	122	84	85	84	89	84	114
添加_2	108	115	77	78	77	82	75	108
添加_3	109	117	76	76	82	81	74	110
添加_4	106	106	85	86	85	89	85	104
添加_5	105	108	80	85	84	84	83	106
添加_6	101	105	83	82	82	84	81	103
添加_7	104	103	84	83	82	83	81	101
平均	107	111	81	82	82	84	80	107
標準偏差	4.2	6.9	3.7	4.0	2.6	3.2	4.4	4.4
RSD%	4.0	6.3	4.5	4.9	3.2	3.8	5.4	4.1

Table 3 PF 法による HD の捕集量, 日数, 設置部屋など詳細

住宅	捕集量(mg)	1日あたりの捕集量(mg/日)	捕集期間(日数)	設置部屋	床材質	設置部屋の最大人数
A	118	3.4	6月3日-7月7日(35日)	リビング	フローリング	3
B	800	22.9	6月3日-7月7日(35日)	リビング	フローリング, ラグ	4
C	201	5.4	6月19日-7月25日(37日)	寝室	フローリング	1
D	932	28.2	7月16日-8月17日(33日)	子供部屋	フローリング, ラグ	1
E	1601	48.5	7月16日-8月17日(33日)	リビング	フローリング	5(ペット1)
F	480	15.0	8月23日-9月24日(33日)	リビング	フローリング	4(ペット1)
G	876	27.4	8月23日-9月24日(32日)	リビング	カーペット	4
H	411	11.4	8月19日-9月23日(36日)	リビング	フローリング	3(ペット1)
I	216	6.8	8月25日-9月25日(32日)	リビング	フローリング	3
J	968	28.5	8月29日-10月1日(34日)	リビング	フローリング	5(ペット1)

Table 4 PF 法を用いた HD 中 BUVs の実態調査 (ng/g)

住宅	UV-P	UV-PS	UV-234	UV-320	UV-326	UV-327	UV-328	UV-329
A	503.2	52.4	869.2	39.8	16143.0	245.4	4905.9	2124.9
B	9987.6	56.6	381.8	18.3	49328.5	179.4	943.4	13265.9
C	717.4	ND	149.5	23.6	8629.5	705.9	469.1	8009.4
D	665.6	9.8	189.9	20.8	12454.9	19504.7	506.5	1382.8
E	ND	ND	488.9	ND	14954.9	244.0	314.2	1608.1
F	ND	ND	406.0	21.3	12977.7	1921.9	510.1	2319.4
G	10055.4	7.5	230.6	ND	86221.0	113.5	2787.4	9614.2
H	1121.3	8.0	599.9	12.8	22792.3	ND	117.1	4887.4
I	8429.6	52.1	750.4	13.9	41908.7	178.3	884.7	22390.5
J	4767.7	6.4	352.1	35.3	15664.5	153.6	7780.5	10695.2
Max	10055	56.6	869.2	39.8	86221.0	19504.7	7780.5	22390.5
Median	2944.5	9.8	393.9	21.0	15903.8	244.0	697.4	6448.4
Min	503.2	6.4	149.5	12.8	8629.5	113.5	117.1	1382.8
Detection frequency (%)	80	70	100	80	100	100	100	100

Table 5 先行研究の掃除機法を用いた HD 中 BUVs の実態調査 (ng/g) ※

住宅	UV-P	UV-PS	UV-234	UV-320	UV-326	UV-327	UV-328	UV-329
A	134.3	ND	71.6	ND	270.3	16.4	40.0	143.2
B	205.9	ND	181.2	ND	553.0	16.6	36.6	197.1
C	352.7	ND	312.0	ND	6539.4	32.6	122.9	147.9
D	601.6	ND	471.8	ND	516.4	6317.4	60.3	312.7
E	100.2	ND	413.5	ND	496.2	22.2	66.8	218.6
F	292.4	ND	365.6	ND	844.2	25.0	1207.0	101.8
G	311.2	ND	343.7	ND	662.6	11.2	136.4	233.6
H	441.4	ND	2121.9	ND	1626.1	8.6	88.1	661.3
I	841.4	ND	937.4	ND	8115.5	22.3	317.4	4507.1
J	241.1	ND	449.3	ND	1611.5	38.4	403.7	575.4
Max	841.4	ND	2121.9	ND	8115.5	6317.4	1207.0	4507.1
Median	301.8	ND	389.6	ND	753.4	22.2	105.5	226.1
Min	100.2	ND	71.6	ND	270.3	8.6	36.6	101.8
Detection frequency (%)	100	0	100	0	100	100	100	100

※ 本データは 2023 年に掃除機法で実施し、A-J の各住宅から得られた HD をそれぞれ n=3 で測定した濃度の平均値である。