

平成31年度～令和2年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担総合研究報告書

6. SVOC の多経路多媒体曝露を考慮した居住者の健康リスク評価

研究分担者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授

研究要旨

これまでシックハウス症候群は、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOCs) やアルデヒド類が原因とされてきており、室内空気中濃度の指針値策定等の対策が行われてきた。しかし近年、VOCs よりも揮発性が低く吸着性の高い準揮発性有機化合物 (Semi-Volatile Organic Compounds: SVOC) による健康影響が懸念されている。SVOC は、VOCs に比べて蒸気圧が低いいため、室内環境中では空気中のみならず、物体表面やダスト表面にも付着して存在している。従って、室内に居住する居住者の体内への侵入経路としては、室内空気中から吸入曝露する経路、室内ダストをマウシング等で経口摂取する経路、飲食物や食器に付着または混入したダストや SVOC を経口摂取する経路、室内空気中から経皮吸収する経路、室内ダストや SVOC 含有製品に接触して経皮吸収する経路が存在し、室内環境で居住者は多経路多媒体曝露を複合的に受けている。そこで本研究では、SVOC の中でもフタル酸エステル類とリン酸エステル類に着目し、日本の家屋における室内ダストと室内空気中におけるフタル酸エステル類とリン酸エステル類の実態調査を行い、居住者の健康リスク評価を行うことを目的とした。はじめに、フタル酸エステル類 10 物質およびアジピン酸エステル類 2 物質とその代替物質 5 物質の合計 17 物質、リン酸エステル類 14 物質に関する有害性情報を収集し、健康リスク評価に必要な耐容一日摂取量をとりまとめた。また、一般家屋 162 世帯から採取したダスト中のこれらの物質の濃度に基づき、健康リスク評価を行った。その結果、DEHP と DnBP については、ダストのみでもリスクが懸念されるレベルにあると考えられ、飲食物等の他の摂取経路を考慮すると、総じて調査全体の数%程度はリスクが懸念されるレベルにあるかもしれないと考えられた。その他の物質では、DIDP、DiBP、TCEP、TCIPP、TDCIPP、TCsP において、低年齢層での曝露マージンが小さくなっており、飲食物等の他の経路からの摂取量がダストと同程度以上ある場合は、リスクが懸念されるレベルと考えられた。ダスト、室内空気、飲食物等の摂取経路を同時に調査した包括的な SVOC の健康リスク評価研究が必要と考えられる。

A 研究目的

これまでシックハウス症候群は、揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOCs) やアルデヒド類が原因とされてきており、室内空気中濃度の指針値策定等の対策が行われてきた。しかしながら近年、VOCs よりも揮発性が低く吸着性の高い準揮発性有機化合物 (Semi-Volatile Organic Compounds: SVOC) による

健康影響が懸念されている。

SVOC の中でもフタル酸エステル類は、主に塩化ビニル樹脂の可塑剤として、建材や生活用品等に幅広く利用されており、リン酸エステル類は、樹脂や繊維に難燃性を付与する目的で同様に幅広く利用されている。いずれの物質も、VOCs に比べて蒸気圧が低いいため、室内環境中では空気中のみならず、物体表面やダスト表面

にも付着して存在している。従って、室内に居住する居住者の体内への侵入経路としては、室内空気中から吸入曝露する経路、室内ダストをマウシング等で経口摂取する経路、飲食物や食器に付着または混入したダストや SVOC を経口摂取する経路、室内空気中から経皮吸収する経路、室内ダストや SVOC 含有製品に接触して経皮吸収する経路が存在し、室内環境で居住者は多経路多媒体曝露を複合的に受けている。

そこで本研究では、室内ダストに着目し、日本の家屋における室内ダスト中におけるフタル酸エステル類とリン酸エステル類の実態調査を行い、居住者の健康リスク評価を行うことを目的とする。

本研究で得られた成果は、一般家屋における生活衛生上の課題を明らかにするものであり、今後の生活衛生行政における施策の立案に寄与するものである。

B 研究方法

B.1 有害性情報の収集とリスク評価値の検討

フタル酸エステル類とリン酸エステル類に関して、一般毒性、神経毒性、生殖発生毒性、

発がん性等に関する有害性情報およびこれらの有害性に関する量反応関係に関する科学的知見が記載された国際機関や諸外国の評価文書等を網羅的に収集するとともに、Pubmed や TOXLINE 等のデータベース検索を行い、各物質の有害性情報をとりまとめた。特に、各物質の評価値の導出に必要なエンドポイント及び NOEL や LOAEL 等の情報収集を行うとともに、各評価機関が導出した耐容一日摂取量 (TDI) または経口摂取量評価値 (RfD) を調査した。

フタル酸エステル類に関する日本と欧州の規制状況を表 6-1 に示す。厚生労働省が室内濃度指針値を策定しているフタル酸エステル類は、フタル酸ジ-2 エチルヘキシル (DEHP) とフタル酸ジ-n-ブチル (DnBP) の 2 物質である。一方、内閣府食品安全委員会 (以下、食品安全委員会) が食品衛生法で規制しているのは、フタル酸ジ-2 エチルヘキシル (DEHP)、フタル酸ジ-n-ブチル (DnBP)、フタル酸ベンジルブチル (BBP)、フタル酸ジ-イソノニル (DINP)、フタル酸ジ-イソデシル (DIDP)、フタル酸ジ-n-オクタール (DNOP) の 6 物質である。

表 6-1 日本と欧州における規制状況

所管	基準値設定	対象物質
厚生労働省	室内濃度指針値	フタル酸ジ-2 エチルヘキシル (DEHP) フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)
内閣府食品安全委員会	食品衛生法による器具及び容器包装の規格基準	フタル酸ジ-2 エチルヘキシル (DEHP) フタル酸ジ-n-ブチル (DBP) フタル酸ベンジルブチル (BBP) フタル酸ジ-イソノニル (DINP) フタル酸ジ-イソデシル (DIDP) フタル酸ジ-n-オクタール (DNOP)
欧州連合	RoHS (電子電気機器での有害	フタル酸ジ-2 エチルヘキシル (DEHP)

	物質の使用制限 REACH（化学品の登録、評価、認可及び制限に関する規則）	フタル酸ジ-n-ブチル（DBP） フタル酸ベンジルブチル（BBP） フタル酸ジ-イソブチル（DIBP）
--	----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

従って、これら 6 物質が国内で使用されているフタル酸エステル類であり、本調査の評価対象物質とした。なお、欧州連合ではフタル酸ジ-イソブチル（DiBP）が規制されており、DiBP は DnBP の異性体であることから評価対象物質とした。また、揮発性が高いフタル酸ジメチル（DMP）とフタル酸ジエチル（DEP）、フタル酸ジシクロヘキシル（DCHP）も汎用のフタル酸エステル類であることから評価対象物質とした。また、欧州では、DEHP から Di(isononyl)cyclohexane-1,2-dicarboxylate（DINCH）へと代替されていることが明らかとなっている。DINCH は BASF 社が開発した非フタル酸系可塑剤（Hexamoll®DINCH®）である。また、Di(2-ethylhexyl)terephthalate（DEHTP）も代替物質として欧州では使用されている。そこで、この 2 物質も評価対象物質とした。さらに、フタル酸エステル類と構造が類似しているアジピン酸エステル類も既往研究の実態調査でフタル酸エステル類と共通の室内環境や消費者製品から検出されており、アジピン酸ジ-2 エチルヘキシル（DEHA）とアジピン酸ジ-イソノニル（DINA）も評価対象物質とした。またさらに、acetyl tributyl citrate（ATBC）、Tris(2-ethylhexyl)Trimellitate（TOTM）、Dibutyl sebacate（DBSb）の非フタル酸系可塑剤も代替物質として加えた。従って、フタル酸エステル類 10 物質およびアジピン酸エステル類 2 物質とその代替物質 5 物質の合計 17 物質となる。

リン酸エステル類に関しては、汎用性のある

リン系難燃剤として、Trimethyl phosphate（TMP）、Triethyl phosphate（TEP）、Tripropyl phosphate（TPP）、Tris(isobutyl) phosphate（TIBP）、Tris(2-butoxyethyl) phosphate（TBOEP）、Tris(2-ethylhexyl) phosphate（TEHP）、Tris(2-chloroethyl) phosphate（TCEP）、Tris(2-chloroisopropyl) phosphate（TCIPP）、Tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate（TDCIPP）、Triphenyl phosphate（TPHP）、Tricresyl phosphate（TCsP）、Tri-N-butyl phosphate（TNBP）、Cresyl diphenyl phosphate（CsDPP）、2-Ethylhexyl diphenyl phosphate（EHDPP）の合計 14 物質とした。

B.2 一般家屋における室内ダストと室内空气中 SVOC 濃度および健康状態の実態調査(全国規模の横断調査)

B.2.1 調査対象と調査手順

本調査は、既存のインターネット調査会社である株式会社マクロミルに委託し、そのモニター会員を調査対象とした。本研究は、人体から採取された試料を用いない観察研究である。

ダストの収集にあたっては、在室時間が長く、掃除機を使用する頻度が多い専業主婦を対象とした。そして、対象世帯に対して、室内ダストの採取、室内環境に関する世帯アンケート調査、世帯員全員に対する健康に関する個人アンケート調査を実施することとした。従って、マクロミルのモニターのうち、調査対象者の包含基準として、女性、年齢 20 歳～69 歳、5 地域（北

海道、関東、中部、関西、九州)、専業主婦、既婚とした。

これらの対象者に対して、第一ステップとして、職業、同居家族人数、自宅の部屋数、居間と寝室の存在状況、掃除機の種類と使用頻度、ダスト採取の協力可否に関する事前スクリーニング調査を行った。事前スクリーニング調査によって、調査関連業種と一人暮らしの世帯を排除した。また、配偶者と同居していること、居間と寝室が独立して存在することを包含基準とした。なお、掃除機の中のダストを回収してダスト採取量を確保するために、「紙パック式のキャニスター」、「サイクロン式のキャニスター」、「コード付きスティックタイプ」、「コードレススティックタイプ」のいずれかの掃除機を使用していることを包含基準とし、ハンディタイプの掃除機とロボット掃除機の利用者は除外した。これらの基準を満たしたもののなかから最終的な調査対象者を無作為抽出し、北海道 26 名、関東 52 名、中部 26 名、関西 26 名、九州 26 名の合計 156 名をダスト採取およびアンケート調査の対象者とした。

続いて第二ステップとして、事前スクリーニング調査で抽出した 156 名に対して、アンケート調査（世帯調査票、個人調査票（同居世帯人全員）とダスト採取（居間と寝室の 2 カ所、掃除機のダストパック内のダスト）依頼を行った。事前スクリーニング調査、アンケート調査およびダスト採取は 2019 年 10 月～11 月、2020 年 10 月～11 月の 2 回実施した。なお、2020 年～2021 年にかけて、マクロミルによるリクルート以外に、個別に調査依頼を行った。

B.2.2 自記式調査票

世帯調査票と個人調査票を独自に作成した。世帯調査票における設問項目は、住まいの周辺環境、建物の基本属性、窓の種類と構成、リフォーム歴、居室の内装材、冷暖房、換気、ダンプネスやカビの状況、加湿器などとした。健康に関する個人調査票では、基本属性、診断・治療歴、喫煙歴、シックハウス症候群に関連する自覚症状に関する項目とした。自覚症状については、米国環境保護庁¹⁾、米国国立労働安全衛生研究所²⁾、欧州共同研究³⁾によるシックビルディング症候群の質問票を参照した。

B.2.3 ダスト中 SVOC の健康リスク評価

室内で床のダストをマウシングなどによって経口摂取する経路、室内での活動で皮膚に付着した床ダストからダスト中 SVOC が経皮吸収される経路の 2 経路を考慮した。室内での曝露評価モデルとしては、既往の評価モデル^{4),5)}を使用し、各パラメータには可能な限り日本人のデータを用いた。室内の床から採取したダスト中の SVOC 濃度から、ダストからの経口摂取量と皮膚に付着したダストからの経皮吸収量をそれぞれ算出し、これらの摂取量を合計してダストからの総摂取量とした。

ダスト中 SVOC 濃度は、本研究班の分担研究者らが定量分析した結果を用いた。なお、ダストの粒径は、100 μm 以下、100～250 μm の 2 つの粒径分布別に測定されている。既往の報告によると、250 μm 以上の粒径のダストはヒトの皮膚に付着しないため健康リスク評価には適しておらず⁶⁾、ヒトの手から採取したダストの粒径はおおよそ 200 μm 未満であり⁷⁾、150 μm 未満の粒径のダストが皮膚に付着したとすると、104.7～150、44～104.7、9.25～44、9.25

μm 未満の粒径の割合は、それぞれ 5.1%、42.5%、43.6%、8.8%と報告されている⁸⁾。そこで健康リスク評価にあたっては、 100μ 以下のダストを95%、 $100\sim 250\mu\text{m}$ のダストを5%の付着率とし、それぞれの粒径範囲のダスト中SVOC濃度を加重平均した濃度を用いた。

健康リスク評価にあたっては、総摂取量を有害性評価で得られたTDIで割り算したHQ (Hazard Quotient: ハザード比)を算出して行った。HQが1と同等か大きい、すなわち総摂取量がTDIを超える場合は「リスクの懸念あり」と評価し、HQが1より小さい、すなわち総摂取量がTDIを超えない場合は「リスクの懸念なし」と評価する。また、DnBP、DiBP、DEHP、BBP、DINPについては、類似の生殖毒性をエンドポイントとしてTDIが導出されており、EFSAは相加則を用いた混合曝露評価を勧告している。従って、これらの4物質のHQを加算してHI (Hazard Index: 有害性指標)を導出した。HQと同様に、HIが1より小さい、すなわち類似の影響を有する物質の総HQが1を超えない場合は「リスクの懸念なし」と評価し、混合曝露の総リスクを判断する。

(倫理面での配慮)

本調査は、国立保健医療科学院研究倫理審査委員会の承認(承認番号NIPH-IBRA#12251)および近畿大学医学部倫理委員会の承認(承認番号31-103)を得て実施した。

C 研究結果および考察

C.1 有害性情報の収集とリスク評価値の検討

フタル酸エステル類およびその代替物質、リン酸エステル類のTDIを表6-1-1及び1

ー2にまとめた。それぞれの内容と出典は、各年度の分担研究報告書に概説しており、ここでは省略する。

C.2 一般家屋における室内ダストと室内空気中SVOC濃度および健康状態の実態調査(全国規模の横断調査)

C.2.1 アンケート調査結果

本研究期間の2年間を合計すると、173名の世帯調査票、543名の個人調査票、174世帯からダストを回収した。表6-2-1に回答者の基本属性、図6-2-1に住居の基本データ、図6-2-2に回答者の疾病の状況、図6-2-3に住環境関連症状および日常生活での症状全般の有症率を示す。

C.2.2 ダスト中SVOCの健康リスク評価

ダスト中フタル酸エステル類とリン酸エステル類の定量分析結果から、曝露評価モデルを用いて体内負荷量を算出し、健康リスク評価を実施した(表6-3-1、表6-3-2、表6-3-3)。DEHTPについては、分析が終了しておらず、評価を実施しなかった。TDIが導出できなかったDBSbとTPPについても健康リスク評価ができなかった。なお、皮膚吸収係数が実験等で確認されていない、DCHP、DINA、DINCH、ATBC、TOTM、TMP、TEP、TIBP、TBOEP、TEHP、TPHP、TCsP、TNBP、CsDPPH、EHDPPについては、ダストからの経皮吸収量を算出できず、ダストからの経口摂取量のみでHQを算出して健康リスク評価を行った。

フタル酸エステル類とその代替物質の健康リスク評価の結果、DEHPの3歳児と11歳児、DnBPの3歳児でダストのみの最大値でHQが1を超えており、ダストのみでリスクが懸念さ

れるレベルであった。なお、95パーセンタイル値では、DEHPの3歳児でHQが0.82、11歳児で0.31、成人で0.1であった。DnBPでも95パーセンタイル値が3歳児で0.3、11歳児で0.11であった。従って、曝露マージンが10倍未満であり、DEHPではダストに比べて飲食物からの摂取量が同程度以上、DnBPでは飲食物からの摂取量がダストの数倍程度あるとの報告がなされていることから（食品安全委員会報告書）、飲食物等の他の摂取経路からの摂取量を考慮すると、リスクが懸念されるレベルと考えられ、DEHPとDnBPについては、総じて調査全体の数%程度はリスクが懸念されるレベルにあるかもしれないと考えられた。

その他の物質では、DIDPの3歳児と11歳児、DiBPの3歳児でダストのみの最大値でHQが0.1を超えていた。従って、曝露マージンが10倍未満であることから、飲食物等の他の摂取経路からの摂取量がダストと同程度以上ある場合は、リスクが懸念されるレベルと考えられた。

その他の物質では、HQが0.1未満であり、リスクの懸念は大きくはなかった。

リン酸エステル類の健康リスク評価の結果では、ダストのみの最大値でHQが1を超えた物質はなかった。ただし、TCEPの3歳児、TCIPPの3歳児、TDCIPPの3歳児、TCsPの3歳児と11歳児でダストのみの最大値でHQが0.1を超えていた。従って、曝露マージンが10倍未満であることから、飲食物等の他の経路からの摂取量がダストと同程度以上ある場合は、リスクが懸念されるレベルと考えられた。

その他の物質では、HQが0.1未満であり、リスクの懸念は大きくはなかった

DnBP、DiBP、DEHP、BBP、DINPについて、同時混合曝露によるHIを算出した結果は、

前述のように、DEHPとDnBPのリスクが懸念されるレベルとなったことから、同様の結果となり、総じて調査全体の数%程度はリスクが懸念されるレベルにあるかもしれないと考えられた。

D 総括

フタル酸エステル類10物質およびアジピン酸エステル類2物質とその代替物質5物質の合計17物質、リン酸エステル類14物質に関する有害性情報を収集し、健康リスク評価に必要な耐容一日摂取量を取りまとめた。また、一般家屋162世帯から採取したダスト中のこれらの物質の濃度に基づき、健康リスク評価を行った。その結果、DEHPとDnBPについては、ダストのみでもリスクが懸念されるレベルにあると考えられ、飲食物等の他の摂取経路を考慮すると、総じて調査全体の数%程度はリスクが懸念されるレベルにあるかもしれないと考えられた。その他の物質では、DIDP、DiBP、TCEP、TCIPP、TDCIPP、TCsPにおいて、低年齢層での曝露マージンが小さくなっており、飲食物等の他の経路からの摂取量がダストと同程度以上ある場合は、リスクが懸念されるレベルと考えられた。ダスト、室内空気、飲食物等の摂取経路を同時に調査した包括的なSVOCの健康リスク評価研究が必要と考えられる。

なお、ダスト中SVOC濃度と住環境関連症状やアレルギー症状との関係については、今後解析を行う予定である。

E 参考文献

1. US Environmental Protection Agency: A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings.

Washington, D.C., US Environmental Protection Agency, 2003.

2. National Institute for Occupational Safety and Health: Indoor Air Quality and Work Environment Symptoms Survey, NIOSH Indoor Environmental Quality Survey. Washington, DC: NIOSH, 1991

3. Andersson K: Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air* 4 (suppl): 32–39, 1998.

4. Bekö G, Weschler CJ, Langer S, et al. Children's phthalate intakes and resultant cumulative exposures estimated from urine compared with estimates from dust ingestion, inhalation and dermal absorption in their homes and daycare centers. *PLoS One* 23:8(4):e62442, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0062442.

5. Little JC, Weschler CJ, Nazaroff WW. Rapid methods to estimate potential exposure to semivolatile organic compounds in the indoor environment. *Environ Sci Technol* 16:46(20):11171–11178, 2012.

6. Cao et al. Particle size: a missing factor in risk assessment of human exposure to toxic chemicals in settled indoor dust. *Environ Int* 49:24–30, 2012.

7. Cao et al Mechanisms influencing the BFR distribution patterns in office dust and implications for estimating human exposure. *J Hazard Mater* 252-253:11–8, 2013.

8. Kefeni and Okonkwo. Distribution of polybrominated diphenyl ethers and dust particle size fractions adherent to skin in indoor dust, Pretoria, South Africa. *Environ*

Sci Pollut Res Int 21:4376–86, 2014.

F 研究発表

F.1 論文発表

1. Azuma K, Jinno H, Tanaka-Kagawa T, Sakai S. Risk assessment concepts and approaches for indoor air chemicals in Japan. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 225, 113470, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113470>, 2020.

2. 東 賢一. 健康リスクの立場からみた環境過敏症の予防について. *室内環境*; 22(2), 203–208, 2019.

3. 東 賢一. 今後の室内化学物質汚染. *空気清浄*; 57(2), 15–20, 2019.

4. 東 賢一. 室内化学物質汚染の現状と対策. *クリーンテクノロジー*; 30(2), 41–45, 2020.

5. Glorennec P, Shendell DG, Rasmussen PE, Waerber R, Egeghy P, Azuma K, Pelfrène A, Le Bot B, Esteve W, Perouel G, Pernelet Joly V, Noack Y, Delannoy M, Keirsbulck M, Mandin C. Towards setting public health guidelines for chemicals in indoor settled dust? *Indoor Air* 31(1):112–115, 2021.

F.2 書籍

1. Azuma K. Guidelines and Regulations for Indoor Environmental Quality, Indoor Environmental Quality and Health Risk toward Healthier Environment for All. Springer, Singapore, pp.303–318, 2019.

2. 東 賢一. [対策] 室内汚染対策／室内環境指針値、[物質編] マンガン及びその化合物. *大気環境の事典*. 朝倉書店, 東京, 2019.

F.3 学会発表

1. Azuma K, Inaba Y, Kim H, Bekki K, Hayashi M, Uchiyama I, Kunugita N. Health risk assessment of human exposure to phthalates-contaminated indoor dust in the environment of homes. 31st annual conference of the International Society for Environmental Epidemiology, Utrecht, The Netherlands, 25-28 August 2019.

2. 東 賢一、稲葉洋平、金 勲、戸次加奈江、林 基哉、内山巖雄、櫻田尚樹. 一般住宅の室内ダストに含まれるフタル酸エステル類による居住者の健康リスク評価. 第90回日本衛生学会学術総会, 盛岡, 2020年3月26日-28日.

3. 東 賢一、戸次加奈江、稲葉洋平、金 勲. 一般住宅の床ダスト中準揮発性有機化合物による健康リスク評価のためのアンケート調査. 第91回日本衛生学会学術総会, 富山, 2021年3月6日-8日.

4. Azuma K, Bekki K, Inaba Y, Kim H. Questionnaire survey for health risk assessment of exposure to semi-volatile organic compounds-contaminated floor dust in housing: preliminary survey on prevalence. 33th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference, New York, USA, 23-26 August 2021. (in submission)

G 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

<詳細データ>

C1 有害性情報の収集とリスク評価値の検討

表6-1-1. フタル酸エステル類およびその代替物質のTDI (μg/kg/day)

	食品安全委員会		EFSA		WHO		ATSDR		USEPA IRIS		Others	Ref.
	TDI	設定年	TDI	設定年	TDI	設定年	TDI	設定年	TDI	設定年	TDI	
DEHP	<u>30</u>	2013	50	2005								
DnBP	<u>5</u>	2014	10	2005								
DiBP	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		5	Koch (2011), Beko (2013)
BBP	<u>200</u>	2015	500	2005								
DINP	<u>150</u>	2015	150	2005								
DIDP	<u>150</u>	2016	150	2005								
DNOP	<u>370</u>	2016	n.a.									
DMP	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>375</u>	Giovanoulis (2016), Gray (2000)
DEP	n.a.		n.a.		<u>5000</u>	2003	6000	1995	800	1987		
DCHP	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>16</u>	環境省 (2004)から 導出
DEHA	n.a.		300 (EU)	2000	<u>280</u>	2004			600	1992		
DINA	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>850</u>	ECHA (2020)
DINCH	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>700</u>	Bhat (2014)
DEHTP	n.a.		<u>1000</u>	2008	n.a.		n.a.		n.a.			
ATBC	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>1000</u>	ECHA (2020)
TOTM	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		<u>1130</u>	ECHA (2020)
DBSb	n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.		n.a.	

※ 黒字下線の数値をリスク評価に使用

表6-1-2. リン酸エステル類のTDI

化合物	略称	CAS	TDI (ng/kg/day)	Endpoint	References
Trimethyl phosphate	TMP	512-56-1	<u>10000</u>	ラットの体重増加の抑制	USEPA PPRTV 2010
Triethyl phosphate	TEP	78-40-0	<u>1000000</u>	ラットの腎臓と肝臓重量増加	ECHA 2020
Tripropyl phosphate	TPP	513-08-6	—	—	—
Tris(isobutyl) phosphate	TIBP	126-71-6	<u>10000 (TnBP)</u>	ラットの流涎症 (コリン作動性の毒性)	USEPA PPRTV 2010
			80000 (TnBP)	ラットの膀胱過形成	ATSDR 2012
			2400 (TnBP)	ラットの発がん影響	Pharmaco (2014) cited in Van de Eede (2011)
Tris(2-butoxyethyl) phosphate	TBOEP	78-51-3	<u>90000</u>	ラットの肝細胞の空胞変性	ATSDR 2012
			1500	ラットの肝毒性	Monsanto (1987) cited in Van de Eede (2011)
Tris(2-ethylhexyl) phosphate	TEHP	78-42-2	<u>100000</u>	マウスの濾胞上皮細胞の過形成	USEPA PPRTV 2002
Tris(2-chloroethyl) phosphate	TCEP	115-96-8	<u>7000</u>	ラットの肝臓と腎臓重量の増加	USEPA PPRTV 2009
			200000	ラットの腎尿細管上皮過形成	ATSDR 2012
			2200	ラットの肝臓と腎臓重量の増加	Matthews (1990) cited in Van de Eede (2011)
Tris(2-chloroisopropyl) phosphate	TCIPP	13674-84-5	<u>10000</u>	マウスにおける肝細胞肥大	USEPA PPRTV 2012
			8000	動物における肝臓重量の増加と体重増加の抑制	Stauffer (1981) cited in Van de Eede (2011)
Tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate	TDCIPP	13674-87-8	<u>20000</u>	ラットの腎尿細管上皮過形成	ATSDR 2012
			1500	マウスの肝臓重量の増加	Kamata (1989) cited in Van de Eede (2011)
Triphenyl phosphate	TPHP	115-86-6	<u>160000</u>	体重増加の抑制	環境省 (2005) から導出 (ラットの NOAEL 161 mg/kg/day に不確実

					係数1000(種差、個体差、短試験期間)を適用)
			7000	動物における肝臓重量の増加と体重増加の抑制	Stauffer (1981) cited in Van de Eede (2011)
Tricresyl phosphate	TCsP	1330-78-5	<u>20000</u>	ラットの卵巣における病変	ATSDR 2012
			1300	副腎、卵巣、肝臓における病変	NTP (1994) cited in Van de Eede (2011)
Tri-N-butyl phosphate	TNBP	126-73-8	10000	雌雄のラットの流涎症(コリン作動性の毒性)	USEPA PPRTV 2010
Cresyl diphenyl phosphate	CsDPPH	26444-49-5	20000	ラットの副腎の腫大と皮質の空胞化、コリンエステラーゼ活性低下、肝腫大、肝臓、腎臓、胸腺における病理組織学的変化	UKEA 2009
2-Ethylhexyl diphenyl phosphate	EHDPP	1241-94-7	36000	雄ラットにおける肝臓の酵素活性の増加と肝臓相対重量の減少	ECHA 2019

※ 黒字下線の数値をリスク評価に使用

C.2 一般家屋における室内ダストと室内空气中 SVOC 濃度および健康状態の実態調査

C.2.1 アンケート調査結果

表 6-2-1 基本属性

	n/N (%)
性別	
男性	266 (49.0)
女性	277 (51.0)
年齢層	
10代未満	91 (16.8)
10代	68 (12.5)
20代	38 (7.0)
30代	103 (19.0)
40代	118 (21.7)
50代	74 (13.6)
60代以上	51 (9.4)
喫煙	
なし	406 (75.2)
過去にあり	79 (14.5)
時々	5 (0.9)
毎日	50 (9.2)
無回答	3 (0.6)

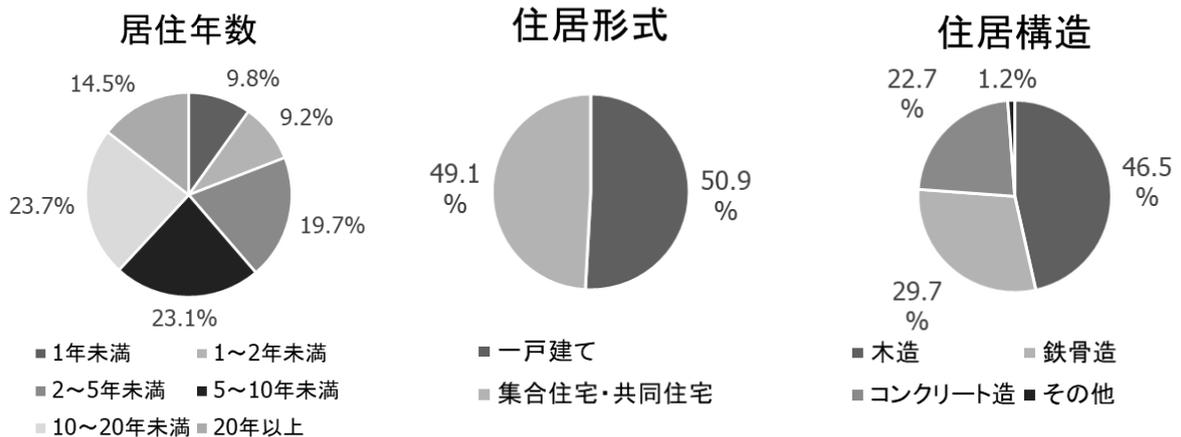


図 6-2-1. 住居の状況 (N=173)

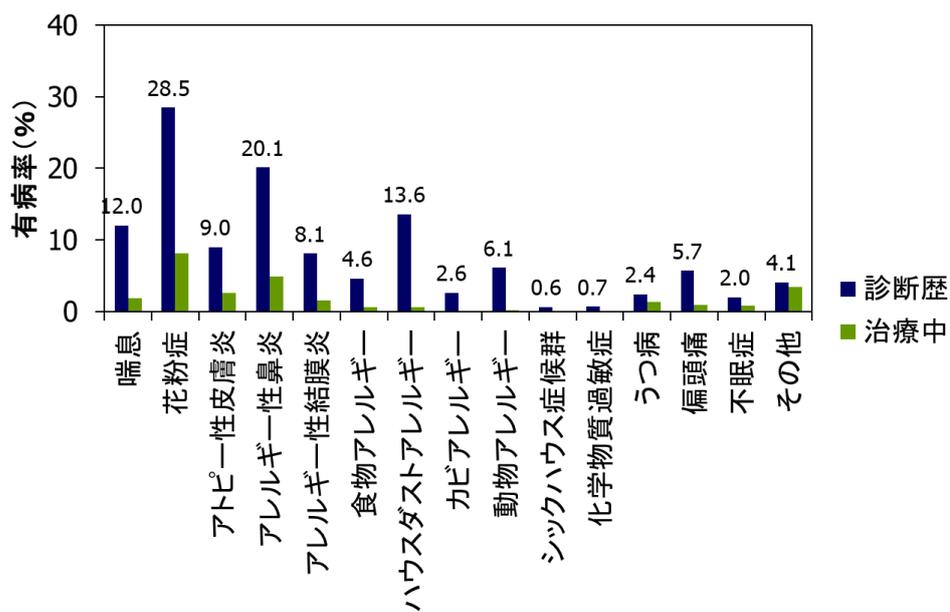
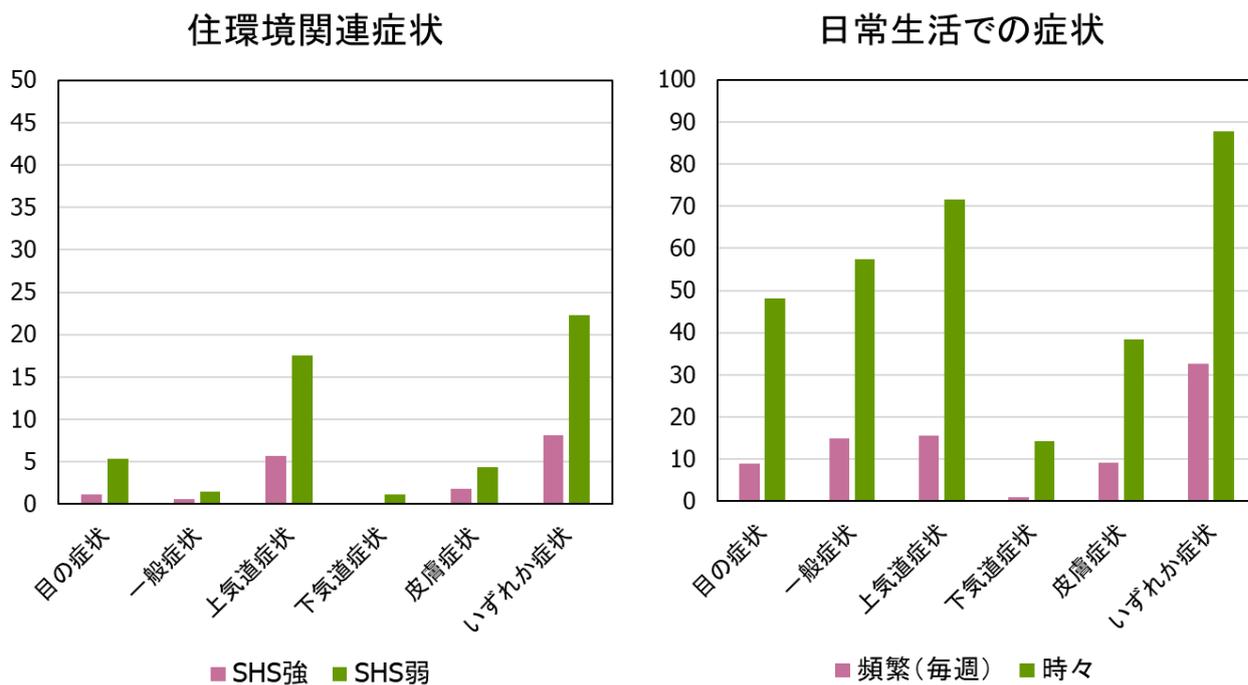


図6-2-2. 疾病の状況 (N=543)



※住環境との関係強い (SHS 強) : 頻繁 (毎週) / 住宅の環境が関連
 住環境との関係弱い (SHS 弱) : 時々 / 住宅の環境が関連

図6-2-3. 住環境関連症状および日常生活での症状全般の有症率 (N=543)

C.2.2 ダスト中 SVOC の健康リスク評価結果

Bekö ら及び Little らのモデルをもとに、既報の厚生労働科学研究（平成29年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）総括・分担研究報告書「半揮発性有機化合物をはじめとした種々の化学物質曝露によるシックハウス症候群への影響に関する検討」）で開発した図6-3-1に示す曝露評価モデルを用いた。この曝露評価モデルを用いて床ダストによる総体内摂取量を算出し、健康リスク評価を行った。なお、いずれの物質もダストの分析が終了している162試料の結果を評価した。

y (ug/m3)	0.02	ガス気中濃度	
F (ug/m3)	1.39	粒子気中濃度	
Cdust (ug/g)	17334.41	ダスト中濃度	

↓

	小児(3歳)	成人		
InhR (m3/d)	9.55	17.30	呼吸量	
EDair (h/d)	24.00	15.80	室内空気への曝露時間	日本人のデータ使用
EDdust (h/d)	14.11	8.38	ダストへの曝露時間(Beko 2013)	
BW (kg)	14.2	59.7	体重	
IngR (mg/d)	60.0	30.0	ダスト経口摂取量	
SA (m2)	0.61	1.58	皮膚表面積	
fSAair	1.00	1.00	皮膚の曝露割合(空気)	
fSA dust	0.25	0.25	皮膚の曝露割合(ダスト)	
Ms (g/m2)	9.20	9.20	皮膚への付着量	USEPAより
f1	0.0021	0.0011	皮膚から体内への吸収割合(物質で異なる)Wormuth 2006より	

Exposure Pathway	ug/kg/day	ug/kg/day	
Inhalation (air)	0.015	0.004	ガスの吸入摂取
Inhalation (particles)	0.93	0.26	粒子の吸入摂取
Inhalation (total)	0.95	0.27	全吸入摂取量
Ingestion (dust)	73.24	8.71	ダストの経口摂取
Dermal Sorption (from air)	0.13	0.05	空気からの経皮吸収
Dermal Sorption (from dust adhered skin)	0.319	0.061	皮膚に付着したダストからの経皮吸収
Total Daily Exposure	74.64	9.09	全摂取量

図6-3-1 多媒体曝露評価モデルと参考値

表6-3-1 フタル酸エステル類とその代替物質の健康リスク評価結果 (N=162)

	年齢	ダスト中濃度		経口摂取量		ダストからの経皮吸		ダストからの総摂		TDI ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	HQ			
		(ug/g dust)		($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)		収量($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)		収量($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)			(ug/kg/day)	中央値	95th	最大値
		中央値	最大値	中央値	最大値	中央値	最大値	中央値	最大値					
DEHP	3歳	1444	22946	6.1	97.0	0.03	0.42	6.13	97.38	30	0.20	0.82	3.25	
	11歳	1444	22946	2.3	36.2	0.01	0.12	2.29	36.35	30	0.08	0.31	1.21	
	成人	1444	22946	0.7	11.5	0.01	0.08	0.73	11.61	30	0.02	0.10	0.39	
DnBP	3歳	29	1491	0.12	6.30	0.01	0.41	0.13	6.71	5	0.03	0.30	1.34	
	11歳	29	1491	0.05	2.35	2.3E-03	0.12	0.05	2.47	5	0.01	0.11	0.49	
	成人	29	1491	0.01	0.75	1.5E-03	0.07	0.02	0.82	5	3.2E-03	0.04	0.16	
DiBP	3歳	4.0	200	0.02	0.85	8.4E-04	0.04	0.02	0.89	5	3.5E-03	0.03	0.18	
	11歳	4.0	200	0.01	0.32	2.5E-04	0.01	0.01	0.33	5	1.3E-03	0.01	0.07	
	成人	4.0	200	2.0E-03	0.10	1.5E-04	0.01	2.1E-03	0.11	5	4.3E-04	4.1E-03	0.02	
BBP	3歳	0.2	678	6.6E-04	2.87	2.0E-05	0.08	6.8E-04	2.95	200	3.4E-06	4.5E-04	0.01	
	11歳	0.2	678	2.5E-04	1.07	5.7E-06	0.02	2.5E-04	1.10	200	1.3E-06	1.7E-04	0.01	
	成人	0.2	678	7.8E-05	0.34	3.5E-06	0.02	8.2E-05	0.36	200	4.1E-07	5.5E-05	1.8E-03	
DINP	3歳	200	1301	0.84	5.50	2.3E-03	0.01	0.85	5.51	150	0.01	0.02	0.04	
	11歳	200	1301	0.32	2.05	6.6E-04	4.3E-03	0.32	2.06	150	2.1E-03	0.01	0.01	
	成人	200	1301	0.10	0.65	3.8E-04	2.5E-03	0.10	0.66	150	6.7E-04	0.00	4.4E-03	
DIDP	3歳	35	12832	0.15	54.22	4.9E-04	0.18	0.15	54.40	150	9.8E-04	0.01	0.36	
	11歳	35	12832	0.05	20.26	1.4E-04	0.05	0.06	20.31	150	3.7E-04	0.01	0.14	
	成人	35	12832	0.02	6.45	8.9E-05	0.03	0.02	6.48	150	1.2E-04	1.7E-03	0.04	
DNOP	3歳	0.4	160	1.8E-03	0.68	8.0E-06	2.9E-03	1.8E-03	0.68	370	5.0E-06	5.5E-05	1.8E-03	
	11歳	0.4	160	6.8E-04	0.25	2.3E-06	8.6E-04	6.9E-04	0.25	370	1.9E-06	2.1E-05	6.9E-04	
	成人	0.4	160	2.2E-04	0.08	1.5E-06	5.6E-04	2.2E-04	0.08	370	5.9E-07	6.6E-06	2.2E-04	
DMP	3歳	0.1	34.8	5.3E-04	0.15	2.1E-05	5.9E-03	5.5E-04	0.15	375	1.5E-06	3.0E-05	4.1E-04	
	11歳	0.1	34.8	2.0E-04	0.05	6.1E-06	1.7E-03	2.0E-04	0.06	375	5.4E-07	1.1E-05	1.5E-04	
	成人	0.1	34.8	6.2E-05	0.02	3.8E-06	1.1E-03	6.6E-05	0.02	375	1.8E-07	3.7E-06	4.9E-05	
DEP	3歳	0.3	18.9	1.2E-03	0.08	1.1E-04	6.9E-03	1.3E-03	0.09	5000	2.7E-07	2.5E-06	1.7E-05	
	11歳	0.3	18.9	4.6E-04	0.03	3.1E-05	2.0E-03	4.9E-04	0.03	5000	9.9E-08	9.1E-07	6.4E-06	
	成人	0.3	18.9	1.5E-04	0.01	1.9E-05	1.3E-03	1.7E-04	0.01	5000	3.3E-08	3.1E-07	2.2E-06	
DCHP	3歳	0.6	23.7	2.7E-03	0.10	n.a.	n.a.	2.7E-03	0.10	16	1.7E-04	1.2E-03	0.01	
	11歳	0.6	23.7	9.9E-04	0.04	n.a.	n.a.	9.9E-04	0.04	16	6.2E-05	4.6E-04	2.3E-03	
	成人	0.6	23.7	3.2E-04	0.01	n.a.	n.a.	3.2E-04	0.01	16	2.0E-05	1.5E-04	7.4E-04	
DEHA	3歳	5.8	108	0.02	0.46	0.000102	1.9E-03	0.02	0.46	280	8.8E-05	7.8E-04	1.6E-03	
	11歳	5.8	108	0.01	0.17	2.99E-05	5.5E-04	9.3E-03	0.17	280	3.3E-05	2.9E-04	6.1E-04	
	成人	5.8	108	2.9E-03	0.05	1.87E-05	3.5E-04	3.0E-03	0.05	280	1.1E-05	9.3E-05	2.0E-04	
DINA	3歳	0	106	0	0.45	n.a.	n.a.	0	0.45	850	0	5.4E-05	5.2E-04	
	11歳	0	106	0	0.17	n.a.	n.a.	0	0.17	850	0	2.0E-05	2.0E-04	
	成人	0	106	0	0.05	n.a.	n.a.	0	0.05	850	0	6.4E-06	6.2E-05	
DINCH	3歳	5.1	1629	0.02	6.88	n.a.	n.a.	0.02	6.88	700	3.1E-05	9.1E-04	0.01	

	11 歳	5.1	1629	0.01	2.57	n.a.	n.a.	0.01	2.57	700	1.1E-05	3.4E-04	3.7E-03
	成人	5.1	1629	2.5E-03	0.82	n.a.	n.a.	2.5E-03	0.82	700	3.6E-06	1.1E-04	1.2E-03
DEHTP	3 歳	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1000	n.a.	n.a.	n.a.
	11 歳	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1000	n.a.	n.a.	n.a.
	成人	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1000	n.a.	n.a.	n.a.
ATBC	3 歳	10.1	567	0.04	2.40	n.a.	n.a.	0.04	2.40	1000	4.3E-05	3.9E-04	2.4E-03
	11 歳	10.1	567	0.02	0.90	n.a.	n.a.	0.02	0.90	1000	1.6E-05	1.5E-04	9.0E-04
	成人	10.1	567	0.01	0.29	n.a.	n.a.	0.01	0.29	1000	5.1E-06	4.7E-05	2.9E-04
TOTM	3 歳	15.0	214	0.06	0.90	n.a.	n.a.	0.06	0.90	1130	5.6E-05	3.0E-04	8.0E-04
	11 歳	15.0	214	0.02	0.34	n.a.	n.a.	0.02	0.34	1130	2.1E-05	1.1E-04	3.0E-04
	成人	15.0	214	0.01	0.11	n.a.	n.a.	0.01	0.11	1130	6.7E-06	3.6E-05	9.5E-05
DBSb	3 歳	0.3	9.5	1.4E-03	0.04	n.a.	n.a.	1.4E-03	0.04	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	11 歳	0.3	9.5	5.3E-04	0.02	n.a.	n.a.	5.3E-04	0.02	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	成人	0.3	9.5	1.7E-04	4.8E-03	n.a.	n.a.	1.7E-04	4.8E-03	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a.: fl 経皮吸収率のデータ無し

n.a.: TDI 設定できず

表 6-3-2 生殖毒性の HI 評価結果 (DnBP、DiBP、DEHP、BBP、DINP)

年齢	HI		
	中央値	95th	最大値
3 歳	0.27	1.29	3.27
11 歳	0.10	0.48	1.22
成人	0.03	0.15	0.39

表 6-3-3 結果 (N=162)

	年齢	ダスト中濃度 (ug/g dust)		経口摂取量 (ug/kg/day)		ダストからの経皮吸 収量(ug/kg/day)		ダストからの総摂 収量(ug/kg/day)		TDI (ug/kg/day)	HQ		
		中央値	最大値	中央値	最大値	中央値	最大値	中央値	最大値		95 th	最大値	
		TMP	3 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0
	11 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0	0	0
	成人	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0	0	0
TEP	3 歳	0	0.09	0	0.0004	n.a.	n.a.	0	0.0004	1000	0	0	3.8E-07
	11 歳	0	0.09	0	0.0001	n.a.	n.a.	0	0.0001	1000	0	0	1.4E-07
	成人	0	0.09	0	0.0000	n.a.	n.a.	0	0.0000	1000	0	0	4.5E-08
TPP	3 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	11 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	成人	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
TIBP	3 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0	0	0
	11 歳	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0	0	0
	成人	0	0	0	0	n.a.	n.a.	0	0	10	0	0	0
TBOEP	3 歳	8.12	317.9	0.0343	1.3434	n.a.	n.a.	0.0343	1.3434	90	3.8E-04	5.1E-03	0.01

	11 歳	8.12	317.9	0.0128	0.5020	n.a.	n.a.	0.0128	0.5020	90	1.4E-04	1.9E-03	5.6E-03
	成人	8.12	317.9	0.0041	0.1598	n.a.	n.a.	0.0041	0.1598	90	4.5E-05	6.1E-04	1.8E-03
TEHP	3 歳	0	15.2	0	0.0641	n.a.	n.a.	0	0.0641	100	0	2.2E-05	6.4E-04
	11 歳	0	15.2	0	0.0240	n.a.	n.a.	0	0.0240	100	0	8.4E-06	2.4E-04
	成人	0	15.2	0	0.0076	n.a.	n.a.	0	0.0076	100	0	2.7E-06	7.6E-05
TCEP	3 歳	0.43	224.5	0.0018	0.9486	0.0008	0.4090	0.0026	1.3575	7	3.7E-04	2.0E-02	0.19
	11 歳	0.43	224.5	0.0007	0.3545	0.0002	0.1194	0.0009	0.4739	7	1.3E-04	6.9E-03	0.07
	成人	0.43	224.5	0.0002	0.1128	0.0001	0.0746	0.0004	0.1874	7	5.1E-05	2.7E-03	0.03
TCIPP	3 歳	4.35	157.0	0.0184	0.6634	0.0133	0.4785	0.0316	1.1419	10	3.2E-03	6.5E-02	0.11
	11 歳	4.35	157.0	0.0069	0.2479	0.0039	0.1397	0.0107	0.3876	10	1.1E-03	2.2E-02	0.04
	成人	4.35	157.0	0.0022	0.0789	0.0024	0.0873	0.0046	0.1662	10	4.6E-04	9.5E-03	0.02
TDCIPP	3 歳	3.52	580.2	0.0149	2.4517	0.0115	1.8903	0.0264	4.3420	20	1.3E-03	0.13	0.22
	11 歳	3.52	580.2	0.0056	0.9161	0.0034	0.5520	0.0089	1.4682	20	4.5E-04	4.5E-02	0.07
	成人	3.52	580.2	0.0018	0.2916	0.0021	0.3449	0.0039	0.6365	20	1.9E-04	2.0E-02	0.03
TPHP	3 歳	0.82	13.8	0.0034	0.0582	n.a.	n.a.	0.0034	0.0582	160	2.2E-05	1.1E-04	3.6E-04
	11 歳	0.82	13.8	0.0013	0.0218	n.a.	n.a.	0.0013	0.0218	160	8.0E-06	4.3E-05	1.4E-04
	成人	0.82	13.8	0.0004	0.0069	n.a.	n.a.	0.0004	0.0069	160	2.6E-06	1.4E-05	4.3E-05
TCsP	3 歳	0.57	1996.3	0.0024	8.4351	n.a.	n.a.	0.0024	8.4351	20	1.2E-04	4.8E-03	0.42
	11 歳	0.57	1996.3	0.0009	3.1521	n.a.	n.a.	0.0009	3.1521	20	4.5E-05	1.8E-03	0.16
	成人	0.57	1996.3	0.0003	1.0032	n.a.	n.a.	0.0003	1.0032	20	1.4E-05	5.7E-04	0.05
TNBP	3 歳	0	0.13	0	0.0006	n.a.	n.a.	0	0.0006	10	0	0	5.6E-05
	11 歳	0	0.13	0	0.0002	n.a.	n.a.	0	0.0002	10	0	0	2.1E-05
	成人	0	0.13	0	0.0001	n.a.	n.a.	0	0.0001	10	0	0	6.7E-06
CsDHPH	3 歳	0.17	12.9	0.0007	0.0545	n.a.	n.a.	0.0007	0.0545	20	3.6E-05	5.6E-04	2.7E-03
	11 歳	0.17	12.9	0.0003	0.0204	n.a.	n.a.	0.0003	0.0204	20	1.4E-05	2.1E-04	1.0E-03
	成人	0.17	12.9	0.0001	0.0065	n.a.	n.a.	0.0001	0.0065	20	4.3E-06	6.7E-05	3.2E-04
EHDPP	3 歳	0	8.7	0	0.0369	n.a.	n.a.	0	0.0369	36	0	1.5E-04	1.0E-03
	11 歳	0	8.7	0	0.0138	n.a.	n.a.	0	0.0138	36	0	5.8E-05	3.8E-04
	成人	0	8.7	0	0.0044	n.a.	n.a.	0	0.0044	36	0	1.8E-05	1.2E-04

n.a.: f1 経皮吸収率のデータ無し

n.a.: TDI 設定できず