

4. 室内空气中 SVOC 濃度の実態

研究代表者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

本研究では一般住宅における空气中SVOC濃度の実態調査を行う。SVOCは空气中濃度が低いため、空気捕集は大流量で長時間サンプリングを行うことが多いが、現場測定の合理性や利便性を考えると長くて1～2時間程度のサンプリングが望ましい。そのため、まず現場サンプリング時間の比較検討からサンプリング時間を2時間（空気吸引量12L）と決定し、23家屋（46ヶ所）に対する空气中濃度測定を行った。

結果、定性定量した9成分のうち、実住宅の空気からはDEP、DnPP、DIBP、DBP、DEHPの5成分が検出された。濃度平均として最も高く検出されたのはDIBPであり、次いでDEHP、DBP、DEP、DnPPの順となった。DEHP及びDBPは全住宅で満遍なく検出され、両物質ともに偏差が小さく比較的均一な濃度分布を示していた。DEHPは空气中濃度が低いとされ、今回の対象住宅では $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の濃度が多かったが、6ヶ所からは $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の濃度が観察された。同一住宅におけるリビングと寝室間の濃度差は大きくなかった。

TDIに対する摂取割合としてはDIBP及びDBPが最も高く、DIBPに対する1歳乳児の空気からの平均摂取割合は4.7%、DBPは3.6%であった。他の物質はTDIが高いため摂取割合としては小さく、DEHPはTDIに対して0.7%となった。しかし、最大値から試算するとDIBP 28.0%、DBP 14.3%、DEHP 2.0%とDIBP及びDBPは高くなる。

環境中VOCsに比べると、いずれのSVOC成分も空气中濃度は低いレベルであるが、乳児の場合は成人に比べ空気から摂取する割合が多くなることには注意が必要である。

A 目的

SVOCは蒸気圧が低く吸着性が強いいため、空气中でガス状としては微量しか存在せず、ほとんどが室内の表面やダストの表面に吸着して存在するとされている。SVOCの摂取経路を評価するためには、吸入・経口・経皮曝露量を把握しなければならない。本研究では、住宅内での曝露経路としてダストによる経口摂取、空気からの吸入摂取を評価している。

SVOCは空气中濃度が低いため、空気捕集は大

流量で長時間サンプリング（1日～1週間程度）がよく使われてきた。しかし、現場測定の合理性や利便性を考えると1～2時間以内のサンプリングが望ましいことから、本研究では現場サンプリング時間の比較検討と一般住宅における空气中SVOC濃度の実態調査を行う。

B 研究方法

現場測定の合理性や利便性を考えると1～2時間以内のサンプリングが望ましいことから、1年

目には100mL/minの吸引流量で2時間及び4時間のサンプリングを行い、サンプリング時間の検討を行った。また、そこから得られた知見に基づいて2時間サンプリングを採用し、一般住宅での濃度測定を行った。1年目は8軒（16ヶ所）、2年目は15軒（30ヶ所）で空気測定を実施した。

B.1 空気サンプリング時間の検討

空気サンプリング条件を表 4-1 に示す。室内空気中から低濃度で検出される DEHP を検出する目的で長いサンプリング時間を取ることが多く、本研究グループによる先行研究では8時間の空気サンプリングを行った結果を示している¹⁾。しかし、現場測定で8時間は測定者と居住者共に非常に負担が大きいため、分析可能な量が捕集できる範囲でなるべくサンプリング時間を短くすることを目的にサンプリング時間の検討を行った。

今回は同室において、2時間（100mL * 120min=12L）と4時間（100mL * 240min=24L）のサンプリングを行った。

B.2 住宅における空気中SVOC濃度測定

空気サンプリング条件は表 4-1 と同様である。

「B.1」で行った検討試験から、2時間サンプリング（100mL/min * 120min=12L）でも十分定量可能な事が示されたため、一般住宅を対象に初年度（2019年度）は8軒（16ヶ所）、2年目（2020年度）は15軒（30ヶ所）の計23軒（46カ所）空気測定を行った。

B.3 成分分析

GC-MS の分析条件を表 4-2 に示す。国内可塑性生産量からDEHP及びDINPが最も量が多く²⁾、特にDEHPは建材や生活用品に長い間使われてきているためレガシー量（既存蓄積量）が多いことが懸念されている。国内でのDEHP生産量が徐々に減っている一方でDINPの生産量が増える傾向にある。しかし、DEHPは使用期間が長く生産量も膨大であったため既存生産分と生活中の残存

分は大きいと考えられる。

DINPは生産量が急激に拡大しているDEHPの代替物質であり、本研究においてもハウスダスト中濃度の成分分析を行っているが、先行研究で固体吸着-GC-MS法ではDINP及びDIDPはピークが広域に広がり定量が難しいことが報告している¹⁾。

そのため、本研究の空気中成分として分析対象にした物質はDEP、DnPP、DIBP、DBP、DPenP、DHexP、BBP、DCHP、DEHPの9成分である。

C 結果及び考察

C.1 空気サンプリング時間の検討試験

サンプリング時間によるSVOC濃度測定結果を図 4-1 に示す。定性定量した9物質のうち、測定から検出されたのはDEP、DnPP、DIBP、DBP、DEHPの5成分であり、他の4成分は検出されなかった。気中濃度が高いのはDBP、DIBPであり、DEHPとDEPは同程度の濃度を示しているが、いずれにしても小数点1桁以下の低濃度であった。DnPPは微量の検出となった。

同時に行ったサンプリング結果における大きな濃度差は見られなかった。

Bedroom A_1st、Bedroom A_2nd及びTatami roomの結果から、2時間/4時間いずれのサンプリング時間でも結果はほぼ同じであり、DEHPまでの分析に問題はないと判断された。今後の現場測定には2時間サンプリングを基本とする。

C.2 実住宅におけるSVOC濃度

実住宅23軒（46カ所）を対象にした空気中SVOC濃度の測定結果を図 4-2 に、濃度集計を表 4-3 に示す。

定性定量した9成分（DEP、DnPP、DIBP、DBP、DPenP、DHexP、BBP、DCHP、DEHP）の内、検出された物質はDEP、DnPP、DIBP、DBP、DEHPの5成分であり、他の4成分は検出されなかった。また、DnPPは23軒のうち、7軒のみから検出されその濃度も0.01~0.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低い。

濃度平均として最も高く検出されたのは DIBP であり、次いで DEHP、DBP、DEP、DnPP であった。

DIBP は $1.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高い濃度を示す 3 住宅が存在し、他の住宅ではさほど高くなかった。DEHP 及び DBP は全住宅で満遍なく検出されているが、両物質ともに偏差が小さく比較的均一な濃度分布を示している。

DIBP は 3 住宅の 5 ヶ所で $1.23\sim 2.85\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高く、DBP、DEHP、DEP も最大値は $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。DEHP は空气中濃度が低いとされているが今回の対象住宅では 6 ヶ所から $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の濃度が観察された。他の測定個所では $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の濃度が多かった。

環境中 VOC に比べると、いずれの SVOC 成分も空气中濃度は低いレベルである。一方、同じ住宅においてリビングと寝室の濃度差が大きかったのは R2_02、R2_05、R2_08 の 3 軒であり、その他の 20 軒では大きな差は見られない。

殆どの住宅で室間の濃度に差異が大きく見られないのは、空气中 SVOC 濃度は内装材や生活用品の影響を短時間で直接的に受けにくい或いは空气中濃度が低いため建材や用品から放散されても空気濃度としては大きく反映されないためと解釈できる。濃度差が大きく出た 3 軒は両空間の遮断性が高い可能性や換気経路が一定に形成されて空間から他の空間への流れが決まってしまう可能性などが考えられる。

C.3 吸入摂取量の推定

実住宅での測定結果から、室内空気から呼吸による摂取する量（吸入摂取量）を試算すると表 4-4（1 歳男児）及び表 4-5（成人男性）になる。

呼吸量（図 7-2）は年齢別に異なり、現代人は 1 日のうち 80~90% を車両を含む室内で過ごしていることから、1 歳の幼児は $5.2\text{ m}^3/\text{日}$ 、成人男性は $22.2\text{ m}^3/\text{日}$ の空気を呼吸により肺に取り込んでいる³⁾。

呼吸量は乳児が成人の 1/4.3 倍、体重は 1/6.1 倍

であるため、同室に同じ時間滞在すると体重当たりの吸入摂取量は 1 歳児が 1.4 倍多くなる。

更に、乳児はほぼ 1 日中室内で暮らすため室内空気からの摂取量はより多くなる。成人男性の室内滞在時間は 15.8 時間と計算すると、総合的には乳児が成人より室内空気による影響は約 2.2 倍大きくなる。

ここでは、TDI 値及び 1 歳男児及び 20 歳成人男性の室内滞在時間は 2019 年度の報告書「5. 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」⁴⁾ のデータを用いている。平均体重はそれぞれ 10.5kg、64.4kg である⁵⁾。

住宅内濃度として、DEP $0.02\sim 1.54\mu\text{g}/\text{m}^3$ （平均 0.25 ± 0.33 ）、DnPP $0.01\sim 0.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ （平均 0.06 ± 0.07 ）、DIBP $0.04\sim 2.85\mu\text{g}/\text{m}^3$ （平均 0.48 ± 0.60 ）、DBP $0.05\sim 1.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ （平均 0.37 ± 0.31 ）、DEHP 定量下限以下 $\sim 1.22\mu\text{g}/\text{m}^3$ （平均 0.40 ± 0.32 ）であり、平均濃度としても濃度範囲としても DIBP が最も高い値を示した。次いで DEHP、DBP の順であった。

住宅の測定結果から乳児（1 歳男児）の吸入摂取量は DIBP $0.018\sim 1.399\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.237 ± 0.295 ）、DBP $0.025\sim 0.713\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.182 ± 0.152 ）、DEHP $\sim 0.598\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.197 ± 0.156 ）である。

成人（20 歳男性）の場合は、DIBP $0.008\sim 0.646\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.109 ± 0.136 ）、DBP $0.012\sim 0.329\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.084 ± 0.070 ）、DEHP $\sim 0.276\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ （平均 0.091 ± 0.072 ）である。

TDI に対する摂取割合として DIBP および DBP が最も量が多く、DIBP に対する乳児の空気からの平均摂取割合は 4.7%、DBP は 3.6% だった。他の物質は TDI が高いため摂取割合としては小さく、DEHP は TDI に対して 0.7% である。一方、最大値から試算すると DIBP 28.0%、DBP 14.3%、DEHP 2.0% と DIBP 及び DBP は高くなる。

成人男性の場合は、DIBP に対する平均摂取割合は 2.2%、DBP は 1.7%、DEHP は 0.3% となる。最大摂取割合は DIBP 12.9%、DBP 6.6%、DEHP 0.9% である。

D 結論

本研究では比較試験から有効な空気サンプリング時間を決め、23家屋46ヶ所における空気中SVOC濃度測定を行った。

- 1) 既存の測定に比べて短時間・小流量である2時間（100mL*120min=12L）／4時間（100mL*240min=24L）いずれのサンプリング時間でも結果はほぼ同等となり、DEHPを含む分析が可能であることを確認し、現場実測では2時間のサンプリングを採用することとした。
- 2) 標準液9成分の定性定量を行い、実住宅の空気からはDEP、DnPP、DIBP、DBP、DEHPの5成分が検出された。
- 3) 気中濃度が最も高く検出されたのはDIBPであり、次いでDEHP、DBP、DEP、DnPPであった。DEHP及びDBPは全住宅で満遍なく検出され、両物質ともに偏差が小さく比較的均一な濃度分布を示していた。DEHPは空気中濃度が低いとされているが今回の対象住宅では6ヶ所から1µg/m³前後の濃度が観察された。他の測定ヶ所では0.5µg/m³未満の濃度が多かった。
- 4) 同一住宅におけるリビングと寝室間の濃度差は大きくなかった。
- 5) TDIに対する摂取割合としてDIBPおよびDBPが最も量が多く、DIBPに対する乳児の空気からの平均摂取割合は4.7%、DBPは3.6%だった。他の物質はTDIが高いため摂取割合としては小さく、DEHPはTDIに対して0.7%である。一方、最大値から試算するとDIBP 28.0%、DBP 14.3%、DEHP 2.0%とDIBP及びDBPは高くなる。
- 6) 環境中VOCに比べると、いずれのSVOC成分も空気中濃度は低いレベルであるが、乳児の場合は成人に比べ空気から摂取する割合が多くなることには注意が必要である。

E 引用文献

- 1) 金勲, 樺田尚樹 他: 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「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」(研究代表者: 樺田尚樹) 平成29年度分担・総合研究報告書, 2018.3, pp.16-19, pp.25-40
- 2) 塩ビ工業・環境協会: 可塑剤出荷量統計データ, http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_6.html#cc (参照: 2018.09.15.)
- 3) 放射線審議会基本部会: 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係わる技術的指針, p.28、1999.4
- 4) 東賢一 他, 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「半揮発性有機化合物(SVOC)によるシックハウス症候群への影響評価及び工学的対策の検証に関する研究」(研究代表者: 金勲, 課題番号: 19LA1007) 令和元年度分担・総合研究報告書, 2020.3
- 5) 政府統計の総合窓口: 国民健康・栄養調査一 身長・体重の平均値及び標準偏差 - 年齢階級、身長・体重別、人数、平均値、標準偏差 - 男性・女性、1歳以上〔体重は妊婦除外〕、<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003224177> (参照: 2020年、3月20日)

F 研究発表

無し

G 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 4-1 空気サンプリング条件

| | |
|------|--|
| 捕集管 | Gerstel Tube、ガラス、L 180mm、φ 6mm |
| 吸着剤 | Tenax-TA 60/80 |
| 吸引量 | 100mL * 120 min = 12L (実態調査) 100mL * 240 min = 24L (サンプリング時間比較検討) |
| 測定箇所 | Living room、Room (Bedroom) |

表 4-2 GC-MS 分析条件

| | |
|--------|--|
| カラム | 5MS/Sil、30m / 250um / 0.25um |
| スプリット比 | Splitless |
| 昇温条件 | 40°C (5min hold) → 300°C (at 10°C/min) → 5min hold |
| 分析モード | SIM (m/z = 129, 149, 167) and SCAN |

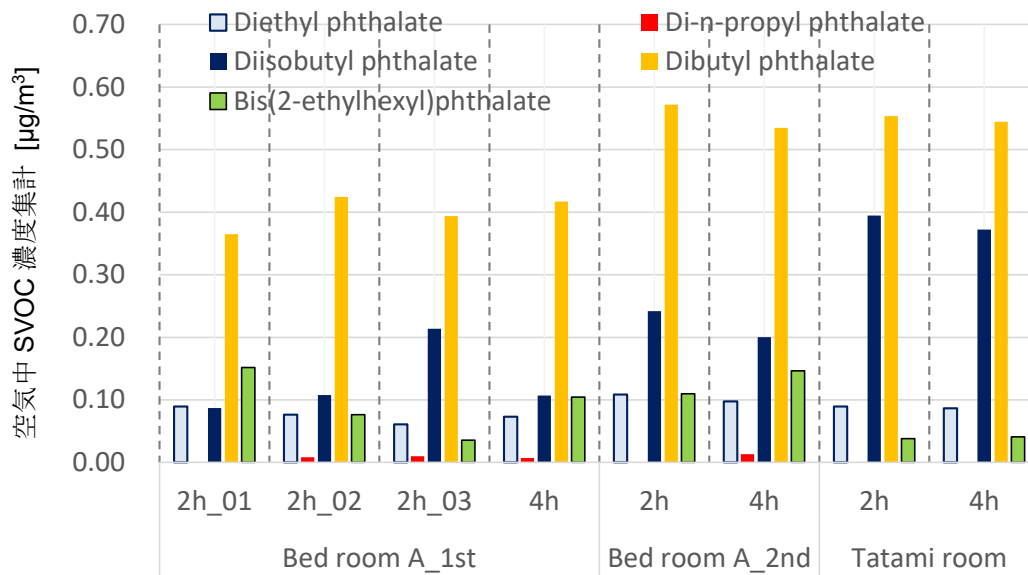


図 4-1 サンプリング時間による SVOC 濃度測定結果 (2h/4h サンプリング)

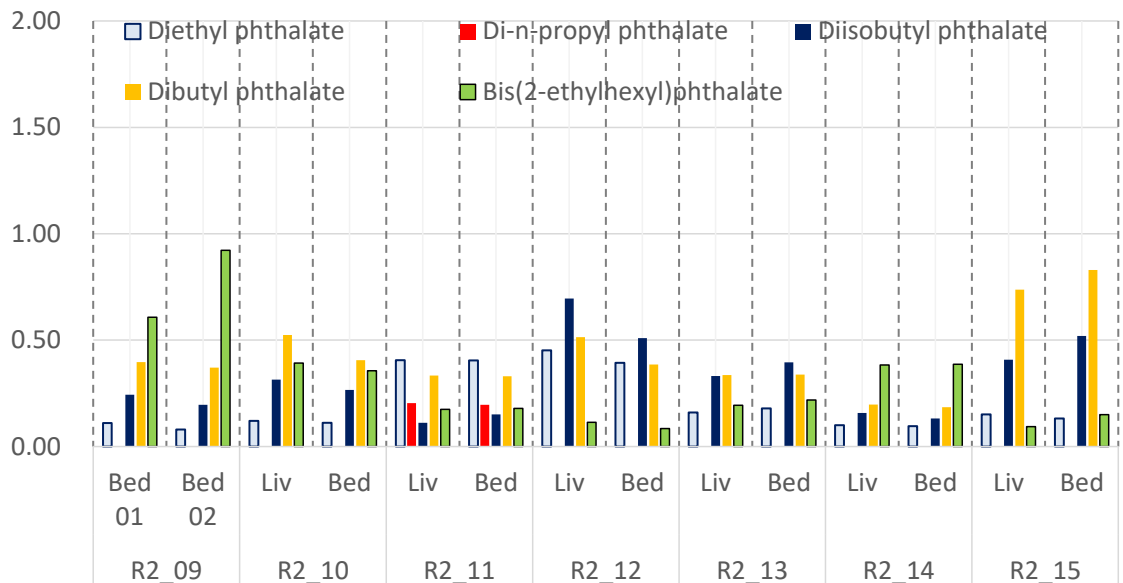
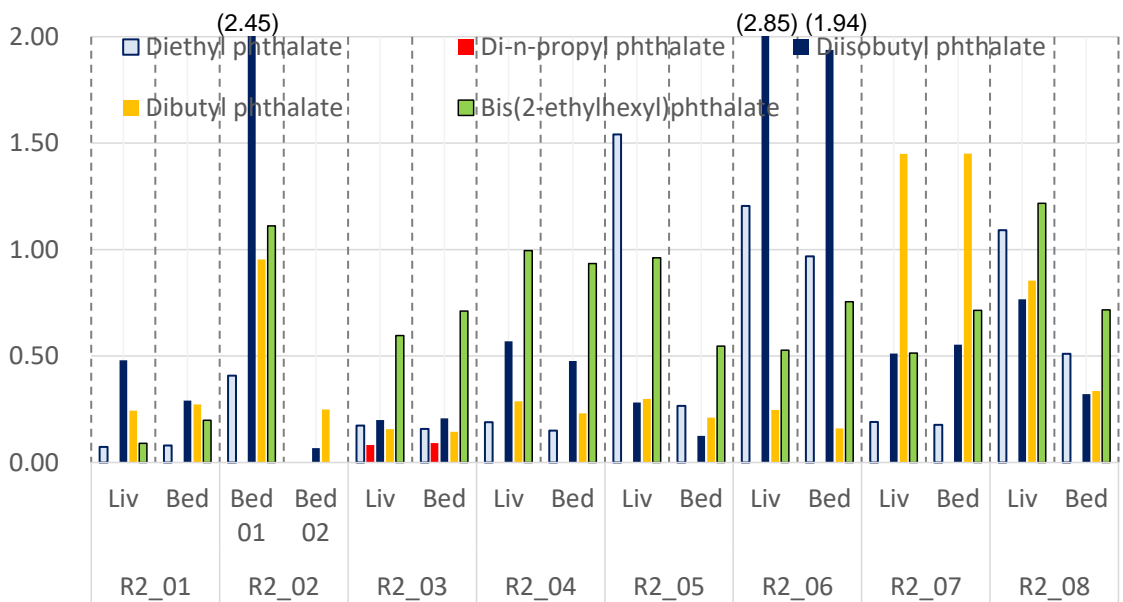
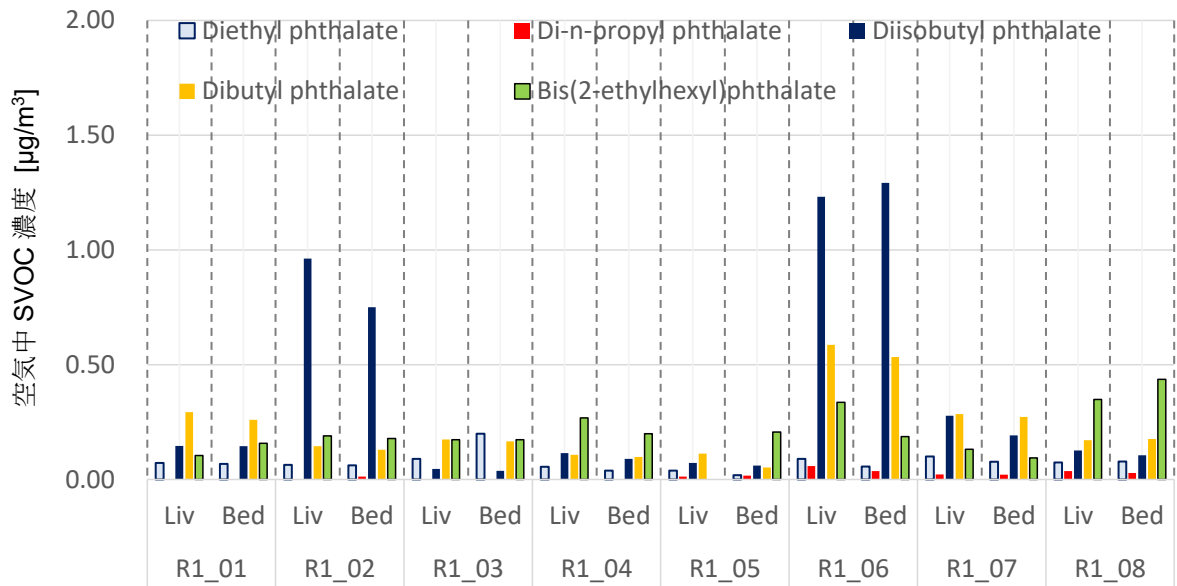


図 4-2 実住宅における空气中 SVOC 濃度測定結果

表 4-3 空气中 SVOC 濃度集計 [単位 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

| | | Mean | S.D. | Max | 90%ile | Median | 10%ile | Min |
|----------------------------|--------------|------|------|------|--------|--------|--------|---------|
| Diethyl phthalate | DEP | 0.25 | 0.33 | 1.54 | 0.69 | 0.12 | 0.06 | 0.02 |
| Di-n-propyl phthalate | DnPP | 0.06 | 0.07 | 0.20 | - | 0.04 | - | 0.01 |
| Diisobutyl phthalate | DIBP | 0.48 | 0.60 | 2.85 | 1.25 | 0.28 | 0.07 | 0.04 |
| Dibutyl phthalate | DBP | 0.37 | 0.31 | 1.45 | 0.84 | 0.28 | 0.12 | 0.05 |
| Di-n-pentyl phthalate | DPenP | | | | | | | |
| di-n-hexyl phthalate | DHexP | | | | | | | |
| n-butyl benzyl phthalate | BBP | | | | | | | |
| Dicyclohexyl phthalate | DCHP | | | | | | | |
| Bis(2-ethylhexyl)phthalate | DEHP | 0.40 | 0.32 | 1.22 | 0.95 | 0.27 | 0.09 | < 0.001 |

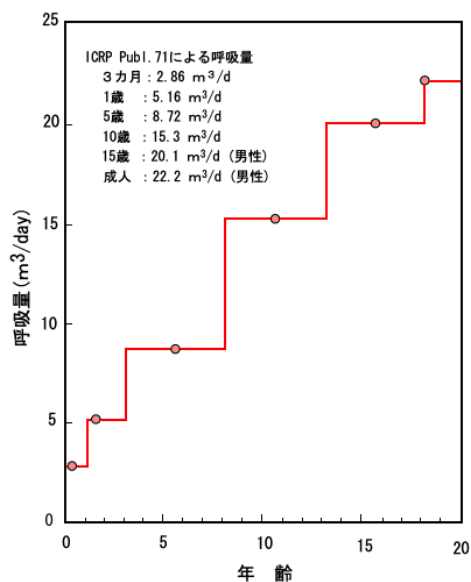


図 4-3 年齢別呼吸量³⁾

表 4-4 1 歳男児の吸入摂取量推算値 [単位 : $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$]

| | | Mean | S.D. | Max | 90%ile | Median | 10%ile | Min | TDI |
|----------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|
| Diethyl phthalate | DEP | 0.123 | 0.162 | 0.757 | 0.341 | 0.059 | 0.027 | 0.009 | 5000 |
| Di-n-propyl phthalate | DnPP | 0.031 | 0.032 | 0.100 | - | 0.018 | - | 0.006 | |
| Diisobutyl phthalate | DIBP | 0.237 | 0.295 | 1.399 | 0.614 | 0.137 | 0.035 | 0.018 | 5 |
| Dibutyl phthalate | DBP | 0.182 | 0.152 | 0.713 | 0.411 | 0.137 | 0.061 | 0.025 | 5 |
| Di-n-pentyl phthalate | DPenP | | | | | | | | |
| di-n-hexyl phthalate | DHexP | | | | | | | | |
| n-butyl benzyl phthalate | BBP | | | | | | | | 200 |
| Dicyclohexyl phthalate | DCHP | | | | | | | | |
| Bis(2-ethylhexyl)phthalate | DEHP | 0.197 | 0.156 | 0.598 | 0.465 | 0.132 | 0.046 | < 0.001 | 30 |

表 4-5 20 歳成人男性の吸入摂取量推算値 [単位 : $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$]

| | | Mean | S.D. | Max | 90%ile | Median | 10%ile | Min | TDI |
|----------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|------|
| Diethyl phthalate | DEP | 0.057 | 0.075 | 0.350 | 0.157 | 0.027 | 0.013 | 0.004 | 5000 |
| Di-n-propyl phthalate | DnPP | 0.014 | 0.015 | 0.046 | - | 0.008 | - | 0.003 | |
| Diisobutyl phthalate | DIBP | 0.109 | 0.136 | 0.646 | 0.284 | 0.063 | 0.016 | 0.008 | 5 |
| Dibutyl phthalate | DBP | 0.084 | 0.070 | 0.329 | 0.190 | 0.063 | 0.028 | 0.012 | 5 |
| Di-n-pentyl phthalate | DPenP | | | | | | | | |
| di-n-hexyl phthalate | DHexP | | | | | | | | |
| n-butyl benzyl phthalate | BBP | | | | | | | | 200 |
| Dicyclohexyl phthalate | DCHP | | | | | | | | |
| Bis(2-ethylhexyl)phthalate | DEHP | 0.091 | 0.072 | 0.276 | 0.215 | 0.061 | 0.021 | < 0.001 | 30 |