

室内空气中VOC濃度の推奨値及び要監視濃度の提案

瀬戸 博*, 斎藤 育江*, 大貴 文*, 竹内 正博*, 土屋 悦輝*

Recommended Value and Warning Level of VOC Concentration in the Indoor Air

HIROSHI SETO*, IKUE SAITO*, AYA ONUKI*, MASAHIRO TAKEUCHI* and YOSHITERU TSUCHIYA*

Keywords: 室内空気 indoor air, 揮発性有機化合物 volatile organic compound, 推奨値 recommended value

緒 言

住宅の高気密化や新建材の普及にともない、室内空気汚染が原因と考えられる「新築病」あるいは「シックハウス症候群」と呼ばれるような身体の変調を訴える人が増えている。当研究所でも、このような人々からの相談や検査依頼が持ち込まれるようになった。依頼される分析項目の中には、室内空気環境の基準あるいは指針値が設定されていないものがあり、分析結果をどう評価するか、依頼者にどう説明するかという問題が生じている。ここでは、この問題に関する現状の整理を行い、現場での当面の対応に参考となる望ましい濃度範囲や早急に改善を要する濃度の推定を試みた。

基準値または指針値設定の現状

住宅室内空气中のホルムアルデヒド濃度については、平成9年6月に厚生省¹⁾がWHO欧州地域専門家委員会²⁾の指針値すなわち、30分平均値で $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下(0.08ppm)を追認する形で、指針値を設定している。その他の揮発性有機化合物(VOC)については、「個別に健康影響評価を行い、その結果に基づいて必要なガイドライン値を設けていくことが望ましい」としながらも、「ガイドライン設定には膨大なデータが必要なため、短期間に実施することは困難である」としている。また、「ガイドラインの設定されていない代替物質による新たな健康被害の可能性」を指摘し、代わりに、室内空気の汚れの指標として総揮発性有機化合物(TVOC)の概念の導入を提言している。TVOCは健康への影響を直接的に評価する指標ではないが、VOC汚染を全体として低減させるための補完的指標とするという考え方である。

パラジクロロベンゼンについては、平成9年8月に厚生省(家庭用品専門家会議、毒性部会)が耐容平均気中濃度(人が生涯吸引しても毒性作用が発現しない濃度)を $0.59\text{mg}/\text{m}^3$ (0.1ppm)と設定し、「室内濃度指針値の設定については、今後検討することが必要」と提言している³⁾。

しかし、依然として室内空气中の化学物質による健康被害が続いているとして厚生省は「シックハウス問題検討会」を設け、基準値の策定作業を行い、表1のような指針値(案)を設定した(平成12年6月26日)。対象物質はまだ4物質と少なくとも100種類以上と言われる室内空气中のVOCの大部分は未規制のままである。

以上、現在における室内空气中の化学物質に対する厚生省の対策を述べたが、その他にも関連する基準があるので簡単に述べておこう。

一部の有害化学物質については、環境庁が定めた大気環境基準がある(表2)。しかし、この値を室内空気質に適用することは一般に行われておらず参考にする程度である。

表1. 室内環境指針値案(厚生省)

物質名	設定値($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ホルムアルデヒド	100
トルエン	260
キシレン	870
パラジクロロベンゼン	240

新築住宅においては、30分換気後、対象室内を5時間以上密閉し、その後、概ね30分間空気を採取する。居住住宅においては、平常時に24時間採取する。

* 東京都立衛生研究所環境保健部環境衛生研究科
169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

* The Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health
3-24-1, Hyakunincho, Shinjuku-ku, Tokyo, 169 Japan

表2. 大気環境基準(環境庁)と室内濃度 n=19

物質名	設定値(μg/m ³)	室内濃度(μg/m ³)
トリクロロエチレン	200	2.0
テトラクロロエチレン	200	1.2
ベンゼン	3	3.3

室内濃度は都内及び近郊の住宅室内における24時間幾何平均値

WHOでは生体影響や疫学のデータをもとに揮発性有機化合物(VOC)のガイドライン⁴⁾を設定している(表3)。外気と室内空気を区別して提案しなかったのは、いろいろな場所で空気汚染物質のタイプや濃度を変えて暴露しても、それが量-反応関係に直接影響しない、つまり暴露される場所がどこであろうと「量-反応関係」は左右されないためである。

一方、悪臭防止法では、22種類の特定悪臭物質に対して敷地境界線における規制基準を定めている。一部を表4に示した。この表の数値範囲は臭気強度2.5から3.5に対応している。参考に臭気閾値のデータも合わせて表示

した。臭気は直接、健康影響と関係するわけではないが、異臭・悪臭を放置すれば感覚心理的な不健康をまねき、場合によっては重大な健康被害に遭遇することもありうる。悪臭防止法の各物質の設定濃度(表4)は、中程度に匂う濃度であって、通常の室内濃度よりもかなり高い。経済効率を考慮し、耐容の意味合いが強い本法と一般住宅の空気質を比較するのは適当ではない。

労働衛生分野の基準としては、日本産業衛生学会の勧告値やACGIH(アメリカ政府産業衛生医会議)が定めた許容濃度(TLV)、OSHA(米国労働安全保健機構)が定めた許容暴露限界(PEL)等があるが、一般に室内環境の濃度レベルに比べて高濃度に設定されている(表5)。日本産業衛生学会は、勧告値を一般室内空気に適用してはならないとしている。

以上、室内空気中の化学物質に関する基準値設定の状況について述べた。結局は、個々のVOCごとに健康影響評価を行い、その結果に基づいて必要な室内空気質が

表3. WHOのVOCに関するガイドライン(1999)

物質名	根拠	指針値
アセトアルデヒド	ラット鼻のがん ラットがん関連の炎症	(1.5-9)×10 ⁻⁷ (μg/m ³) ⁻¹ , IARC 2B 50μg/m ³ , 年平均(TC)
ベンゼン	ヒトに対する発がん性(白血病)	UR: 4.4~7.5×10 ⁻⁶ (μg/m ³) ⁻¹
ベンゾ(a)ピレン	ヒト肺がん	UR: 8.7×10 ⁻⁵ (ng/m ³) ⁻¹ , IARC 1
ジクロロメタン	カルボキシヘモグロビン生成	3mg/m ³ , 24時間平均
エチルベンゼン	臓器重量増加	22mg/m ³ , 24時間平均
ホルムアルデヒド	ヒト鼻喉への刺激	0.1mg/m ³ , 30分平均
フタル酸ジ-n-ブチル	発生/生殖毒性	66μg/kg·d(ADI)
スチレン	神経行動への影響 臭気閾値	260μg/m ³ , 週平均 70μg/m ³ , 30分平均
トルエン	中枢神経系への影響	260μg/m ³ , 週平均
テトラクロロエチレン	ヒト腎への影響	250μg/m ³ , 日平均
トリクロロエチレン	ラット精巣に対する発がん性	UR: 4.3×10 ⁻⁷ (μg/m ³) ⁻¹ , IARC 2A
キシレン	ラット神経毒性	870μg/m ³ , 年平均

UR: Unit risk, TC: Tolerable concentration, ADI: Acceptable daily intake

表4. 悪臭防止法施行規則別表(部分)

物質名	規制基準の範囲 (ppm)	臭気閾値* (ppm)
アセトアルデヒド	0.05-0.5	0.21
キシレン	1-5	0.47(p-キシレン)
酢酸エチル	3-20	-
スチレン	0.4-2	0.047-0.1
トルエン	10-60	2.18-4.68
2-ブタノール	0.9-20	-
メチルイソブチルケトン	1-6	0.47

*: 衛生試験法より

表5. 日本産業衛生学会の勧告値(部分)

物質名	許容濃度 (ppm)	許容濃度 (mg/m ³)
アセトアルデヒド	50	90
エチルベンゼン	100	430
キシレン(全異性体)	100	430
スチレン	50	210
トリメチルベンゼン	25	120
トルエン	50	188
1-ブタノール	50	150

イドライン値を設けることが理想なのだが、現状では早急な進展は期待できそうにない。厚生省案でもトルエン、キシレン、パラジクロロベンゼンがガイドライン値に追加されたものの、これら以外にも問題がありそうな物質は多い^{5,6)}と推察される。さらに、ガイドライン値自体が高すぎるのではないかとの意見や安全性の追求を求める意見が寄せられている（平成12年6月26日公開厚生省「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」）。

そこで、現状での次善の策として「VOC個々の汚染程度を統計的に表現する」ことを提案したい。すなわち、通常の住まい方による住宅室内空気中のVOC濃度のデータを無作為に収集し、分布の解析から「正常範囲」を求めるもので、あくまでも健康影響を直接考慮したものではない。

住宅室内空気中VOC濃度分布の解析

データが図1のような正規分布をしていたとすると、平均値（M）と中央値（Md）は等しく、 ± 3 の範囲に99.7%が含まれる。最小値を0とすれば、2Mまたは2Mdの範囲内に大部分が収まる。ところが、一般に室内空気中のVOC濃度の度数分布は、四塩化炭素など一部例外を除き、高濃度側に裾を引いた歪んだ形をとるのが普通である。この歪んだ部分は、近傍にある人為的な汚染を反映しているとみなされる。分布はほぼ対数正規分布曲線で近似できるが、なお高濃度側に裾を引く例も見られる（図2～4）。このような標本の場合、算術平均及び標準偏差のみで記述することは適当ではない。極めて高い数値があるために平均値が引き上げられ大多数の住宅の状況を反映しているとは言えないからである。中央値（Md）や幾何平均値（G）のほうが平均的なレベルを良く反映する。ホルムアルデヒド及び7種類のVOCの統計値を表6に示した。

特別強力な汚染源がない大多数の住宅の汚染レベルの

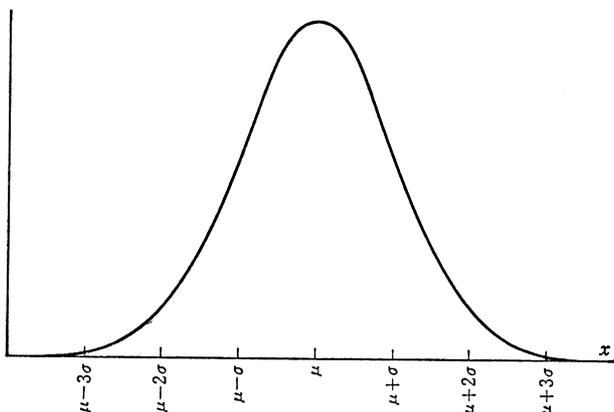


図1．正規分布の例

範囲を「通常の濃度範囲」と仮定し、便宜的に2Md値をリミットとする。そこから高濃度側に逸脱した部分を異常に高いケースとして検出するためである。

「自分の住宅の汚染レベルは、適正な範囲をこえては

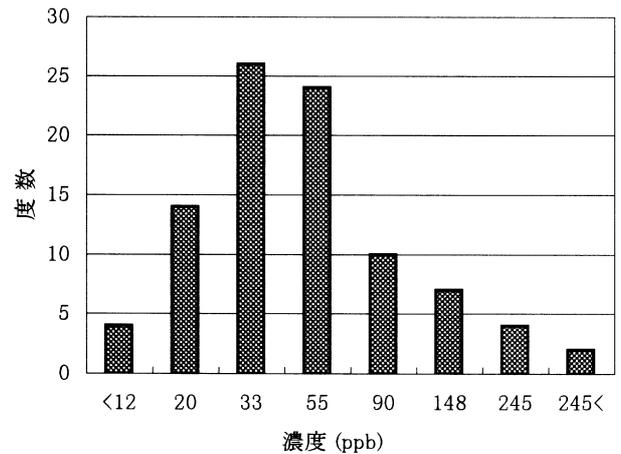


図2．室内ホルムアルデヒド濃度分布

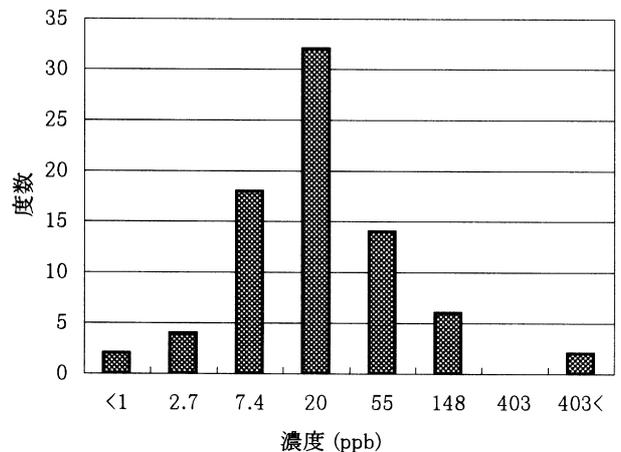


図3．室内トルエン濃度分布

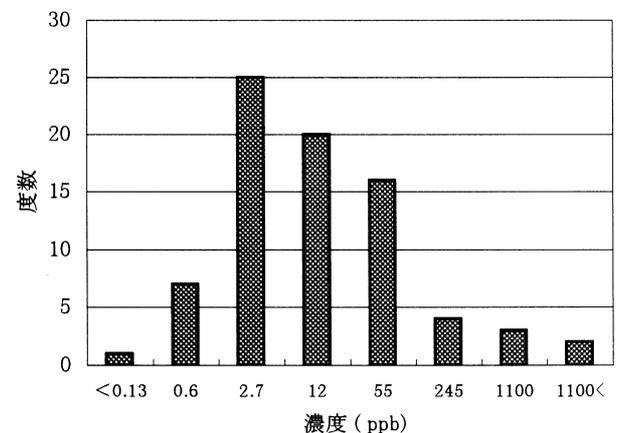


図4．室内パラジクロロベンゼン濃度分布

表6．室内ホルムアルデヒド及びVOC濃度の統計値

単位 ppb

	HCHO	トルエン	エチルベンゼン	キシレン類	スチレン	p-DCB	ナフタレン	ブタノール
標本数	91	78	60	60	78	78	57	54
最大値	261	494	207	317	12.2	1517	60.0	57.3
最小値	4.4	0.24	0.32	0.58	0	0.03	0.07	0.43
平均値	52.7	29.2	9.2	15.8	1.7	61.0	2.4	5.9
標準偏差	54.0	72.9	29.3	46.6	2.7	221	8.9	11.7
幾何平均値	37.7	11.6	2.4	4.5	0.62	5.2	0.46	2.3
中央値	33.4	10.3	1.9	3.2	0.54	4.1	0.32	1.9
中央値×2	66.8	20.6	3.8	6.3	1.08	8.2	0.64	3.7
90パーセンタイル	100	50	12.4	21.4	6.0	107	1.7	10
95パーセンタイル	170	80	24.0	55.0	8.5	250	5	30

東京及び近郊での通常の住まい方による24時間の平均値・平均築後年数7.5年。

ホルムアルデヒドの測定は、AHMT法またはDNPH高速液体クロマトグラフ法⁸⁾で行った。

VOCの測定は、加熱脱着チューブ(TenaxTA)を用いてパッシブ法⁹⁾により行った。

いないだろうか、一般的な住宅の汚染レベルと比べてどうなのか」ということは検査依頼者が知りたい情報の一つで、行政の検査機関や指導機関はこの疑問に答える必要がある。測定対象物質の指針値が設定されている場合には、これを提示し比較することができる。指針値がないVOCの場合には、中央値(Md)及び2Md値を提示することで汚染レベルの評価に役立てることができよう。2Md値は、室内に人為的な汚染要因が少なければ、大多数の住宅がこのレベル以下に収まるべき濃度で「通常の濃度範囲」の最大値である。したがって、「このレベル以下であることが望ましい濃度」に相当する濃度で、これを「推奨値」とする。なお、統計値という性格上、集団の選定や社会・環境条件の変化によって数値が変動することは当然である。

次に、住宅によっては室内化学物質濃度が極めて高い場合がある。このような住宅では早急に対策をとり改善する必要があるケースも考えられる。その際の目安になる値として「要監視濃度」が設定されていれば指導の際に有用である。各住宅の室内化学物質濃度を濃度順にプロットすると図5～7のような累積度数分布図が得られる。高濃度側10%の範囲は、S字曲線の右上部で急激に濃度が高まり、中心部に比べると異常な累積度数分布を示している。

高濃度側10%の値すなわち90パーセンタイル値を「要監視濃度」として提案したい。「要監視濃度」以上の住宅は、全体の10%と少数であり、何らかの原因によって集団の中心からずれているのである。各住宅に応じた効果的な対策をとることで集団の中心への回帰すなわち推奨濃度範囲内への回帰が可能であろう。表7に推奨値及び要監視濃度の一覧を示した。

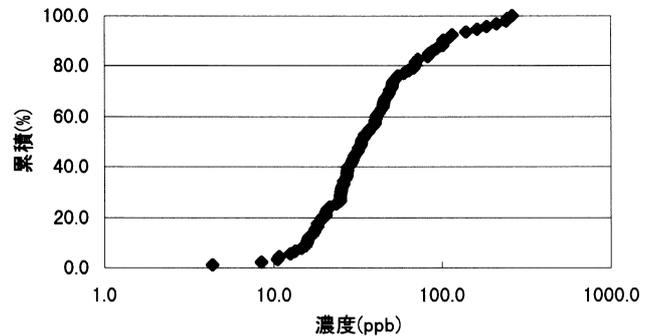


図5．ホルムアルデヒド累積度数分布

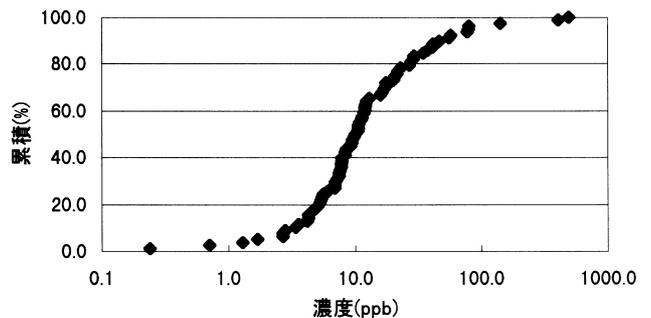


図6．トルエン累積度数分布

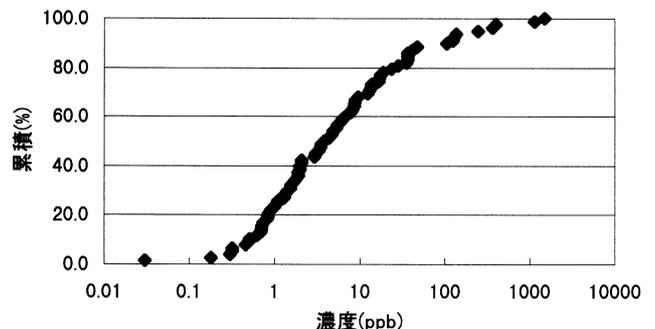


図7．パラジクロロベンゼン累積度数分布

表7. 住宅室内空气中VOC濃度の推奨値及び要監視濃度

項目	単位 ppb及び()内 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20 , 1013hPa 換算						
	トルエン	エチルベンゼン	キシレン類	スチレン	p-DCB	ナフタレン	ブタノール
推奨値	20(77)	4(18)	6(27)	1(4.3)	8(49)	0.6(3.2)	4(12)
要監視濃度	50(190)	12(53)	20(88)	6(26)	100(610)	2(11)	10(31)

推奨値とはこれ以下であることが望ましい濃度レベル。

要監視濃度とは早急に対策をとり改善することが望ましい濃度レベル。

この表に記載されていない物質については厚生省の全国調査結果⁷⁾が参考になる。但し、90パーセンタイル値については示されていない。

ホルムアルデヒドについては、既に指針値が設定されていることから推奨値及び要監視濃度の記載を省略したが、表6に示すように2Md値(66.8ppb)と90パーセンタイル値(100ppb)が近接しており厚生省の指針値(80ppb, $100\mu\text{g}/\text{m}^3$)は両者の中間に位置する。

なお、表6に示した住宅調査で本推奨値をこえたケースは、トルエン28%、エチルベンゼン25%、キシレン33%、スチレン30%、パラジクロロベンゼン39%、ブタノール26%であった。

同様に厚生省の指針値案(表1)をこえたケースは、ホルムアルデヒド及びトルエンでは各18%、キシレンで2%、パラジクロロベンゼンで14%であった。キシレンの指針値は汚染実態からみると高すぎると思われる。

「推奨値及び要監視濃度」の使用上の注意点をあげると本推奨値等は、統計的な解析から得られたもので、毒性データから健康影響を考慮したものではない。したがって推奨値の範囲内でも症状が発現する可能性を否定できない。

東京及び近郊の住宅において、通常の住まい方をしている場合で、居間、寝室またはこれらに準ずる部屋の空間中央部付近で測定した24時間平均値に適用される。

測定方法及びその精度は、当所で行っている方法と同等またはそれ以上であることが必要である。

住宅をとりまく今後の社会情勢の変化やデータの蓄積により、推奨値及び要監視濃度の値は変更される場合がある。

結 論

多数の住宅室内VOC濃度を統計的に解析することにより、これ以下であることが望ましい濃度の範囲すなわ

ち「推奨値」及び早急に改善することが望ましい「要監視濃度」を推定した。なお、本結果は、最近の東京及び近郊での通常の住まい方による24時間平均値のデータから得られたもので住宅以外の建築物、他の地域や異なった測定条件で計測されたケースにそのまま適用できるものではなく、定期的な見直しも必要である。また、健康影響を直接考慮したものではないことも十分に理解していただきたい。

なお、本稿の一部は、地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第11回理化学部会(1999)で発表した。

文 献

- 1) 厚生省、快適で健康的な住宅に関する検討会議:健康住宅関連基準策定専門部会化学物質小委員会報告書, 1997.
- 2) WHOヨーロッパ事務局: Updating and revision of the air quality guidelines for Europe, Report on a WHO working group on volatile organic compounds. 1995.
- 3) 厚生省、パラジクロロベンゼンに関する家庭用品専門家会議(毒性部会)報告書, 1997.
- 4) WHO: Guidelines for Air Quality. WHO, Geneva, 1999.
- 5) 瀬戸 博, 斎藤 育江, 竹内 正博他: 第39回大気環境学会, 1998.
- 6) 斎藤 育江, 瀬戸 博, 竹内 正博他: 東京衛研年報, 49, 225, 1998.
- 7) 厚生省: 居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査(平成9-10年度), 1999.
- 8) 斎藤 育江, 瀬戸 博, 多田 宇宏他: 東京衛研年報, 48, 250, 1997.
- 9) 瀬戸 博, 斎藤 育江, 竹内 正博他: 東京衛研年報, 50, 240, 1999.