

(別添 3)

2000 年 9 月 25 日

厚生省生活衛生局生活化学安全対策室
シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会事務局
(2000 年 12 月 15 日改訂)

総揮発性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds: TVOC) の 空気質指針策定の考え方について

[はじめに]

シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会では、個別の VOC について、国内外の知見に基づき、順次室内濃度指針値の策定を進めているところ。一方 TVOC とは、複数の VOC 混合物の濃度レベルのことであり、第 3 回検討会（2000 年 6 月 26 日）においては、個別の VOC による汚染を全体として低減させ、より快適な室内環境を実現するための補完的指標としての導入に向けて、TVOC の指針値の策定方法を検討することが必要とされた。

事務局では、これを受けて、OECD 加盟 29 ヶ国及び欧州委員会に対し、TVOC の取扱状況等を調査したところ、20 ヶ国から回答を得た。その多くは、TVOC の導入については未定か若しくは予定がないということであったが、いずれも日本における取り組みへの大きな期待を寄せていた。

一方、EC 合同研究センターのような国際機関においては、以前から TVOC 策定方法の例について発表してきており、今回の調査においても、その報告書が参考文献として提示されているケースが見られた。

今回の調査は各国行政庁への調査であり、必ずしも各国の民意と一致していることにはならない点に留意すべきである。実際我が国では、パブリックコメントで、TVOC の導入を強く求める意見が散見されている。一方、科学的知見が限られている中、TVOC の早期導入にはその影響を考えると問題があるとの意見も見られる。

これらを踏まえ、*毒性学的知見に基づいた TVOC 指針値設定は現時点では困難ではあるが、現時点で得られる室内 VOC 実態等の調査結果を最大限活用し、合理的に達成可能な範囲で、空気質の状態の目安としての暫定目標値と暫定策定方法を提示することは、室内空気質の状態を向上し、居住者の健康を確保する上で、有効であると考えられるのではないか、と判断した。*

なお、TVOC については、個別の VOC のリスク評価や混合毒性の評価、あるいは測定法での改良を待たないと、指針値としては明確には定められないことは明らかであり、今後の調査研究や海外での状況を把握しながら、必要な見直しをしていくことが必要である。

[要旨]

室内空気質の TVOC 暫定目標値を $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とする。この数値は、国内家屋の室内 VOC 実態調査の結果から、ある仮定（2.参照）に基づいて、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定した値であり、室内空気質の状態の目安として利用されることが期待される。TVOC 暫定目標値は、毒性学的知見から決定したものではなく、含まれる物質の全てに健康影響が懸念されるわけではない。また、個別の VOC 指針値とは独立に扱われなければならない。今後 TVOC については、実施される必要な調査研究によって、リスク評価に基づいた指針の策定が必要である。また発生源や換気に注意し、住宅の構造や日常の住まい方の改善によって、室内空気質の状態を向上させる取組みが不可欠である。

個別 VOC 指針値と TVOC 暫定目標値について

個別 VOC 指針値はリスク評価に基づいた健康指針値であり、その濃度以下であれば通常の場合その VOC は健康への悪影響は起さないと推定された値である。しかしその濃度以下であればその空気質が快適で安全ということでは決してなく、実際には複数の VOCs が存在することから、他の VOC についても順次健康指針値を決めていかなければならない。しかしそれには多大な時間を有すること、またその間に指針値を決めていない有害物質による汚染の進行を未然に防ぐ目的から、VOC 全体としての空气中濃度の目安を示して、個別 VOC 指針値を補足することが重要であると判断した。その際、TVOC としてのリスク評価を行うにはデータが不足していることから、国内における室内 VOC 濃度の実態調査の結果を用いて、合理的に達成可能な限り低い範囲において暫定目標値を決定した次第である。従って個別 VOC 指針値と TVOC 暫定目標値は、現時点ではそれぞれ独立して扱われるべきものである。

将来リスク評価に基づく TVOC 指針値が設定された場合には、個別 VOC 濃度と TVOC 濃度の双方がそれぞれの指針値を満たしていないと、その空気質は安全であるとは言えない。従って、関係者においては、暫定目標値が将来指針値として設定し直されたときのことを今から念頭におくと同時に、その間、暫定目標値を室内空気質の状態をモニタリングする際の目安として、是非とも快適で安全な室内空間の確保を目指していっそうの努力をしていただきたい。

測定結果の評価方法について

この暫定目標値は、竣工後居住を開始してある程度時間が経過した状態における目安であって、竣工後入居してしばらくの間は、暫定目標値を超える場合も予測される。

また TVOC に含まれる物質の全てに健康影響が懸念される訳ではないこと、

またその中には日常の居住環境で用いられる発生源に由来する物質が含まれることに留意すべきである。

従って、測定された *TVOC* 値が暫定目標値を超える結果が得られた場合には、測定時期や、その中に含まれる物質の種類や由来を確認した上で、個々の良否の評価を行うべきである。例えば、天然材を用いた住宅のような場合は、特定の天然成分が高濃度で測定される可能性が高いことから、特別な配慮が必要であろう。

この点は、本検討会中間報告書（2000年6月26日）において、背景因子の異なる個々の測定値と指針値との関係について更なる検討を進めることの重要性に言及している通りである。

1. OECD 加盟国に対する調査結果の概要

1-1 TVOC 又は個別の VOC について指針値又はこれに類するものが設定若しくは検討されているか

オーストラリアでは、1992 年に、健康状態に基づく基準により、TVOC を、単一の化合物が全体の 50%を超えない範囲において、 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と勧告している。ただし個別の VOC の指針値を勧告するにはデータが不十分であり、TVOC が $250 \sim 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ のレベルで呼吸器過敏症が報告されていることを指摘し、最新のデータを用いて新たな基準を設定すべきとしていた。現在、VOC に係る暴露モニタリング研究が実施されている他、2000 年 10 月には、室内空気質に関する報告書の最終案をとりまとめる予定との回答であった。

ノルウェーでは、旧指針(1990 年)で TVOC を $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としていたが、科学的データに基づくものではないので説得性に欠けており有効ではないとして、新指針(1999 年)では削除され、個別の VOC の評価がなされている。

オーストリア及びドイツでは、TVOC 及び個別の VOC に関する指針値設定に関して共同研究を進めており、そのガイドラインの草案が来年 1 月に出来上がる予定とのことであるが、現時点で具体的な設定方法の説明は困難との回答であった。

カナダでは、室内空気質ガイドラインにおいて、アルデヒド類等幾つかの個別の VOC について指針値を定めている。TVOC に関する指針値策定の優先度は高くないが、将来考慮の対象になることはあり得るとしている。

ハンガリーでは、室内空気質の指標設定の努力がされているところではあるが、まだ承認に至っていないとの回答であった。

ポーランドでは、室内空気質の指標として、35 の個別の化合物について基準が設けられているが、TVOC に関する指針値は設定されていない。

米国からは、室内空気質ガイドラインの検討はされていないが、将来の指標設定に不可欠な健康及び暴露に関する基礎調査を行っているところであるとの回答があった。

英国からの回答は、VOCs の健康影響について検討を行ったが、室内空気質の指針を示すには疫学的なデータが不十分であること、しかし平均的な TVOC 濃度 ($0 \sim 1\text{mg}/\text{m}^3$) 下で何らかの健康影響が認められた場合は家庭内の VOC 発生源に注意し暴露の削減を図るべきと指摘している。具体的なスケジュールは未定であるが、今後指針の設定の検討を行うとの回答であった。

オランダからは、2000 年 5 月の保健議会において、室内の VOCs 濃度が $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ を超えないことが望ましいこと、発がん性や生殖発生毒性並びに感作

性を有する物質の建材への使用を避けることなどが勧告されている、との回答であった。

EC からは、環境総局としての検討は行っていないものの、EC 共同研究センターにて室内空気質の研究が進められているとの回答であった。

TVOC 及び個別の VOC に関する室内空気質の指針の設定若しくは検討がされていない、という回答の場合、その主たる背景は、人体への毒性影響が明確に立証されなければ指標の設定はできない（米、チェコ、ポルトガル）、室外大気中の濃度基準が存在する（EC、ニュージーランド）、事業活動や職域あるいは建材等からの排出基準のほうが重要な課題である（EC、ニュージーランド、韓国、アイルランド、ポルトガル）、などであった。

1-2 TVOC に関する指針を考える上で、参考にできるような研究報告や文献等があるか

欧州委員会共同研究センター環境研究所による「室内空気質とヒトへの影響－報告書 No.19：室内空気質の検討における総揮発性有機化合物(TVOC)(1997年)」(“Indoor Air Quality & Its Impact on Man－Report No.19: Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, European Commission Joint Research Center Environment Institute 1997”) 以外には、特に新たな知見は見い出せず、現時点では、この報告書が、TVOC の指針値策定の可能性を提供する唯一の文献と考えられる。

すなわち、この報告書では、TVOC の決定方法について、今までに報告されている TVOC 値は、分析方法や個別の VOC の合計方法が異なるため、比較ができないとした上で、以下の実際的な手順を提案している。

TVOC 決定手順の考え方

TVOC の決定には、次の 3 つを考慮すること。すなわち、

1. TVOC 値を構成する個別の化合物が明確に定義されなければならない。
2. TVOC 値は、採取空気中の全 VOC 濃度出来る限り近いものとなるべきである。
3. TVOC 値は、室内空気質の評価に出来る限り有益となる方法で構築されるべきである。

そのためには、次の要件を満たすこと。すなわち、

- 採取空気中の出来る限り多くの化合物を同定すること、及び少なくとも検出上位 10 物質を同定すること
- TVOC の計算に含める VOCs リスト。すなわち、
 - 分析範囲 (*analytical window*)
 - 室内空気中に現れる各種 VOC のうち、必須な各化学分類を代表する化合物のリスト
 を明かにすること

勧告手順

上記の考え方に従って、TVOC 値の決定には、次の手順を勧告する。

1. 空気の採取には、Tenax TA 吸着体を使用する。同水準の吸着と脱着が確保できる場合は、他の吸着体を用いてもよい。
2. 加熱脱着により、採取した VOCs を吸着体から GC カラムに移す。
3. 分析には不活化された非極性の GC カラムを使用する。その分析システムは、トルエン及び 2-ブトキシエタノールの検出限界をそれぞれ少なくとも $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで許容しなければならない。
4. クロマトグラムでは、n-ヘキサンから n-ヘキサデカンまでの部分に見られる化合物を考慮すること。
5. 個別の検出ピークに基づいて、できるだけ多くの VOC を定量すること。その際には、少なくとも、別途示す必須 VOCs リストに含まれる化合物及び検出上位 10 ピークにそれぞれ該当する化合物を定量すること。同定された各化合物の合計濃度 S_{id} を計算する。
6. 未同定の各 VOC のピークについては、トルエンの検出量に換算して、合計濃度 S_{un} を決定する。
7. 手順 5 及び 6 の結果、 S_{id} が $S_{\text{id}} + S_{\text{un}}$ の合計の $2/3$ 量に達していれば、VOCs の特定は許容できる水準にあると言える。 $S_{\text{id}} + S_{\text{un}}$ の合計が $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満のときは、 S_{id} が $S_{\text{id}} + S_{\text{un}}$ の合計の $1/2$ 量に達していれば十分である。
8. $S_{\text{id}} + S_{\text{un}}$ の合計が TVOC 値と定義される。
9. たくさんの化合物ピークが手順 4 で示した VOC 範囲の外に観察される場合は、その旨注釈を付けること。

なお、上記の手順で決定された TVOC 値は、室内空気中の全 VOC を含む訳ではないことに留意すべきである。TVOC 値には反映されない、室内空気質に深く係る汚染物質が存在する。特に低分子のアルデヒド類はその代表例で、通常、TVOC とは別途、望ましくは DNPH 法を用いて測定される。

必須 VOCs リスト

○芳香族炭化水素

ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、*n*-プロピルベンゼン、
1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、2-エチルトルエン、
スチレン、ナフタレン、4-フェニルシクロヘキセン

○脂肪族炭化水素 (*n*-C6～C16)

n-ヘキサン、*n*-ヘプタン、*n*-オクタン、*n*-ノナン、*n*-デカン、*n*-ウンデカン、
n-ドデカン、*n*-トリデカン、*n*-テトラデカン、*n*-ペンタデカン、
n-ヘキサデカン、2-メチルペンタン、3-メチルペンタン、1-オクテン、
1-デセン

○環状アルカン

メチルシクロペンタン、シクロヘキサン、メチルシクロヘキサン

○テルペン

3-カレン、 α -ピネン、 β -ピネン、リモネン

○アルコール

2-プロパノール、1-ブタノール、2-エチル-1-ヘキサノール

○グリコール／グリコールエーテル

2-メトキシエタノール、2-エトキシエタノール、2-ブトキシエタノール、
1-メトキシ-2-プロパノール、2-ブトキシエトキシエタノール

○アルデヒド

ブタナール、ペンタナール、ヘキサナール、ノナナール、
ベンズアルデヒド

○ケトン

メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、シクロヘキサノン、
アセトフェノン

○ハロゲン化炭化水素

トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、
1,4-ジクロロベンゼン

○酸

ヘキサン酸

○エステル

酢酸エチル、酢酸ブチル、酢酸イソプロピル、酢酸 2-エトキシエチル、
テキサノールイソブチレート

○その他

2-ペンチルフラン、テトラヒドロフラン

上記の報告書によれば、VOC 混合物のリスク評価について、VOC 混合物による暴露実験や疫学的な調査による幾つかの試みがなされているものの、TVOC と健康影響の首尾一貫した関係は未だ明かにされておらず、TVOC に係る明確な指針は存在しないとして、ALARA (as low as reasonably achievable: 合理的に達成可能な限り低く) の原則を勧告している。

そして、VOC 混合物の暴露－効果関係に係るより多くの情報と注意深くデザインされた疫学研究の必要性を指摘し、その結果として、例えば個別の VOC の生物反応性に基づく加重補正値を合計するような、より優れたモデルが確立される可能性を示唆している。

また、本報告書の中では、TVOC 決定の新しい勧告手順に先立って、従来利用されている、個別検出ピークの同定は行わない、水素炎イオン化法(FID)などの直接読取法による TVOC 測定法を紹介している。この方法は、ある 1 物質 (通常はトルエンか *n*-ヘキサン) についてのみ補正を行って、全ピークをその物質換算値に置き換えて TVOC を算出する方法である。この方法は、上記の勧告手順の中で、未同定ピークの定量にも利用することができる方法である。

両方法によって得られる TVOC はそれぞれ意味が異なるので、いくつかのサンプルを用いて両者の関係を検証しなければ、単純な数値の比較はできない。これを踏まえ、報告書では、例えば、この直接読取法をスクリーニング目的で使用して、ある一定以上の数値が得られた場合には、新しい勧告手順に従って詳細な分析を行うやり方を勧めている。

なお、本報告書の中では、これまで室内空気中の TVOC に係る指針の設定について、TVOC の定義と方法の異なる以下の 2 通りのアプローチが提案されたことを紹介している。

Molhave (1990) の方法

空気質毒性の健康影響に関する文献値から、影響が増す順に 4 段階の暴露レベル (測定は GC/FID) を示唆した。すなわち、快適レベル (<0.2mg/m³)、多因子性暴露レベル (0.2~3mg/m³)、不快レベル (3~25mg/m³)、毒性レベル (>25mg/m³)。

Seifert (1990) の方法

ドイツの家屋を対象にした実地試験の経験から、TVOC の上限値を推測した。すなわち、実地試験の平均値である 300 μg/m³ が容易に達成可能なレベルであ

るので、これを超えないものとした。またこの TVOC を異なる化学分類に割り振る場合は、次の通りとした。脂肪族炭化水素 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、芳香族炭化水素 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、テルペン $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ハロゲン化炭化水素 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エステル $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アルデヒド／ケトン（ホルムアルデヒドを除く） $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、その他 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。さらに個別の VOC 濃度に関して、該当する化学分類の平均値の 50%を超えている VOC が存在しないこと、及び測定された TVOC 値の 10%を超える VOC が存在しないこと、とした。これらの数値は、全て、毒性学的データから求めたものではなく、合理的に達成可能なレベルとして判断されたものである。

2. TVOC 指針値策定の可能性とその方法

現時点で得られている情報から、TVOC の指針値（暫定値）設定のアプローチをするとした場合、少なくとも下記の手順を踏むことが必要となる。

- 実態調査における測定値（例えば中央値）に基づき、合理的に達成可能なレベルを設定すること
- 測定の際には、日本版の必須 VOCs リストを準備すること
- リスト化された物質については、標準的な測定法が存在すること

そこで、1-2 で示された手順に沿って、厚生省の「居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査」の結果をもとにシミュレーションをしてみると、以下の通りとなる。

2-1 調査時の測定対象物質と S_{id} の計算

調査時の測定対象物質リスト

(芳香族炭化水素)

ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、
1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、
1,2,3-トリメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン

(脂肪族炭化水素)

n -ヘキサン、 n -ヘプタン、 n -オクタン、 n -ノナン、 n -デカン、 n -ウンデカン、
 n -ドデカン、 n -トリデカン、 n -テトラデカン、 n -ペンタデカン、
 n -ヘキサデカン、2,4-ジメチルペンタン、2,2,4-トリメチルペンタン
 α -ピネン、リモネン

(オキシ化炭化水素)

1-ブタノール、ノナナール、デカナール、メチルエチルケトン、
メチルイソブチルケトン

(ハロゲン化炭化水素)

トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、
1,4-ジクロロベンゼン、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、
1,2-ジクロロプロパン、四塩化炭素、クロロジブロモメタン

(その他)

酢酸エチル、酢酸ブチル

S_{id} の計算

本調査では、全家屋数205戸に対し、新築住宅を竣工後1又は3ヶ月以内の建物、それ以外を中古住宅と定義して、いずれの場合も、居住・平常時の24時間連続空気採取にて行われたものであり、室内空気200試料を採取、41VOCsについて濃度測定(n=177~201)を行っている。その結果は、対象家屋全体の物質毎の実測値データとしてとりまとめられており、各物質濃度の中央値が求められている。またいくつかの背景因子別(新築/中古、夏/冬、症状あり/なし)に層別解析した場合の物質毎の実測値データもまとめられており、同様に各物質濃度の中央値が求められている。

TVOC の計算では、個別の調査家屋のチャートを再解析する必要があるが、ここでは、便宜上、既にとりまとめられた物質ごとの測定データを用いて算出する。

実態調査における各 VOC 濃度の実測値分布は、全般的に低濃度領域に大きな母集団があり、高濃度領域にいくつかの特別に高濃度の汚染事例が散見する分布を示したことから、合理的に達成可能な限り低い範囲で TVOC 値を決定するには、分布上、より真の平均に近いと考えられる中央値を用いることによって、算出することとした。

下記の表は、これら中央値の総和を示したものである。

特定 VOC 濃度の中央値の総和(S _{id})	153 μ g/m ³
新築1ヶ月	436
新築3ヶ月	468
中古1ヶ月	178
中古3ヶ月	165
夏の場合	134
冬の場合	175
症状なし	154
症状あり	157

(平成10年度の調査結果より計算)

2-2 S_{un} 及び TVOC (=S_{id}+S_{un}) の計算

未同定 VOC 量 S_{un} については、元のチャートを再解析しないと推測できないが、ここでは便宜上、S_{id}+S_{un} が 1mg/m³ 未満であると想定すると、S_{id} は S_{id}+S_{un} の 1/2 量でよいことになる。TVOC (=S_{id}+S_{un}) を計算すると、下記の表の通りとなった。

TVOC (=S _{id} +S _{un})	306 μ g/m ³
新築 1 ヶ月	872
新築 3 ヶ月	936
中古 1 ヶ月	356
中古 3 ヶ月	330
夏の場合	268
冬の場合	350
症状なし	308
症状あり	314

算出された数値は、200～400 μ g/m³の間（特に中古 1 ヶ月の場合で 356 μ g/m³、冬の場合で 350 μ g/m³）にあることから、TVOC 暫定目標値を、以下の通りとした。

TVOC 暫定目標値	400 μ g/m ³
------------	----------------------------

注）この暫定目標値は、竣工後居住を開始してある程度時間が経過した状態における目安であって、竣工後入居してしばらくの間は、暫定目標値を超える場合も予測される。また TVOC に含まれる物質の全てに健康影響が懸念される訳ではないこと、またその中には日常の居住環境で用いられる発生源に由来する物質が含まれることに留意すべきである。

3. 今後の進め方

上記の TVOC 暫定目標値は、限られたデータからの仮定に基づいて算定された数値であり、その TVOC の構成は、採取空気の構成に近いものとは言えない。しかし、一定の目安を与えることは、快適な室内空間の確保に一役を買うものと期待する。今後以下の検討を進めて、より採取空気の構成に近い必須 VOCs リストの作成、健康影響が起これうる TVOC 濃度域の調査と TVOC リスク評価に基づく指針の策定をしなければならない。

- 本格的 TVOC 実態調査の実施（健康影響調査も同時）。必須 VOCs リストの完成（特に、グリコール、環状アルカン、フラン体、低分子アルデヒド類、有機リン系化合物、フタル酸エステル類の追加等。VOCs（Very Volatile Organic Compounds）、SVOCs（Semi-volatile Organic Compounds）の区別を含む）。健康影響が起これる TVOC 濃度域の特定と TVOC のリスク評価。TVOC 指針値の策定。

- 詳細な測定手順の作成。既存標準測定法の測定範囲の特定。その方法ではカバーできない物質の測定法の確立。
- TVOC を化学分類に割り振った場合の生物反応性に基づく加重の方法の調査研究。各化学分類の目標値及び指針値の策定。
- 継続的なモニタリングによる、TVOC 目標値／指針値の見直し。

なお、詳細な TVOC 測定手順を作成・公表するまでの間、現時点のスキームは、1-2 で紹介した欧州委員会共同研究センターの報告書による勧告手順を参考にし、以下の通りとしたい。

採取と分離

- ・ 固層吸着／加熱脱着法とガスクロマトグラフ法の組合せにて行う。少なくとも 2 本の捕集管に空気を採取する。

検出と定量

- ・ まず、TVOC 値のスクリーニングのために直接読取法にて、指定範囲内のピーク面積をトルエン換算値として求める。
- ・ スクリーニングにて暫定目標値を超過するような場合は、GC/MS 法により出来る限り個別物質の同定及び定量を行う。
- ・ 定量した物質に相当するチャート上のピークのトルエン換算値を差し引き、代わりに厳密に定量した値を加える。この定量値の合計を TVOC とする。
- ・ 同定すべき個別物質については暫定的にリストに掲載されているが、実態調査を含め、現在精査・検討中である。

同定が必要な VOC の代表例

- ・ 芳香族炭化水素：トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンなど
- ・ 脂肪族炭化水素：ノナン、デカン、トリデカン、テトラデカンなど
- ・ オキシ化炭化水素：1-ブタノール、ノナナール、メチルエチルケトンなど
- ・ ハロゲン化炭化水素：トリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタンなど
- ・ その他：酢酸エチル、酢酸ブチルなど