

平成 17 年度厚生労働科学研究補助金（厚生労働科学特別研究事業）

総揮発性有機化合物(TVOC)に関する研究
(H17－特別－031)

総 括 報 告 書

平成 18 年 3 月

主任研究者
早稲田大学理工学術院建築学科
田辺 新一

【総括研究報告書】 概要版

主任研究者

研究者 ID 2030188362

主任研究者氏名 (漢字) 田辺 新一

主任研究者氏名 (フリガナ) タナベ シンイチ

所属機関名 早稲田大学 理工学部建築学科

職名 教授

研究課題

報告書区分 総括

研究年度 平成 17 (2005) 年度

研究開始年度 平成 17 (2005) 年度

研究終了予定年度 平成 17 (2005) 年度

研究課題名 総揮発性有機化合物 (TVOC) に関する研究

文献番号 200500128A

研究分野名 行政政策研究分野

研究事業名 厚生労働科学特別研究

交付決定額 (A) + (B) 2,000 千円

研究費 (A) 2,000 千円

間接費 (B) 0 千円

	研究者 ID	研究者氏名	所属機関名
主任研究者	2030188362	田辺 新一	早稲田大学 理工学部建築学科
分担研究者	2090100057	池田 耕一	国立保健医療科学院 建築衛生部
分担研究者	2020151897	内山 巖雄	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
分担研究者	2060168044	安藤 正典	武蔵野大学 薬学部薬学科
分担研究者	2010179096	神野 透人	国立医薬品食品衛生研究所

概要版

研究目的 本研究では、厚生労働省シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会において、平成 12 年に公表された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以降の知見を整理し、TVOC 指針値の再検討に必要な基礎データを提供することを目的とする。

研究方法 以下の項目に関する研究を行った。

- 1) 国際動向の調査
- 2) TVOC の定義と算出方法に関する検討
- 3) 室内空気実態調査結果の検討

- 4) 測定方法に関する検討
- 5) TVOC の健康影響に関する調査の検討

結果と考察 平成 12 年時点において、OECD 加盟 29 ヶ国及び欧州委員会において、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。また、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おりその報告書が参考文献として提示されていることが多かった。一方、日本工業規格 (JIS) の「JIS A1901 小形チャンバー法」においては、TVOC に関して定義が行われている。国内では平成 12 年度以降室内空気質に関する研究は大きく進展している。また、建材・施工剤においても厚生労働省シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会が発表した 13 の指針値物質以外の化学物質が代用として使用されることも多くなってきている。総揮発性有機化合物量 (TVOC) が低ければ相対的なリスクは低くなると考えられ、我が国では日本建築学会アカデミックスタンダードや JIS (日本工業規格) 案策定の過程で TVOC の導入を求める意見も散見されている。一方、厚生科学研究費田辺班の測定によれば、日本の伝統的な木造住宅において、TVOC 暫定目標値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越える状況が見られ、個々の化学物質に関して重み付けを行っていない TVOC は同様の製品などの評価には良い指標にはなるが、科学的根拠 (毒性評価等) に基づいた TVOC 指針値設定には問題のあることも指摘されている。以上のように、TVOC の指針値に関する合理的な再検討を行うことは社会的に必要とされていることがわかった。

結論 本研究により、TVOC についての新たな知見を収集することによって、総合的な化学物質対策の基礎資料を取りまとめることが出来た。TVOC に関する国際動向の調査結果、TVOC の定義と算出方法に関する知見、室内空気実態調査結果の動向、簡易測定法の開発、健康影響に関する知見の整理などの成果が得られた。室内化学物質濃度の総合的な低減対策のためには、総合的に評価する指標として TVOC は重要である。しかし、詳細に分析を行えば TVOC 濃度が高く算出される場合があること、定義が研究者や使用機器により異なり、再現性があり精度の高い方法を示すことに問題が懸念される。現段階で TVOC の基準値として、再現性や精度の高い測定方法を含めて値を定めることは困難であると考えられる。一方、平成 13~16 年度までに行われた厚生労働省の実態調査結果に基づき、日本版の必須 VOC70 成分が選定されている。この必須 VOC の定量値の和を Sum of VOCs とする考え方が示されている。これらの知見及び TVOC と健康影響の関係が明確になるまで、TVOC の暫定目標値を $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ としていくことには意義があると考えられる。

申請内容

主分野 (コード) 0706 (重点研究分野名) 社会基盤
(研究区分名) 有害危険・危惧物質等安全対策

副分野 (コード) 0303 (重点研究分野名) 環境
(研究区分名) 環境リスク
(コード) 0304 (重点研究分野名) 環境

(研究区分名) 循環型社会システム
(コード) 0504 (重点研究分野名) エネルギー
(研究区分名) 省エネルギー・エネルギー利用技術

研究開発の性格 基礎研究

研究キーワード (コード) 082 (キーワード) 有害化学物質
(コード) 087 (キーワード) 環境分析
(コード) 091 (キーワード) 環境調和型都市基盤整備・建築
(コード) 200 (キーワード) 生活空間
(コード) 145 (キーワード) 省エネルギー

【目次】

概要版 1
1. 本研究の目的と概要	
1-1 研究目的 7
1-2 国際動向の調査 7
1-3 TVOC の定義と算出方法に関する検討 7
1-4 室内空気実態調査結果の検討 8
1-5 測定方法に関する検討 8
1-6 TVOC の健康影響に関する調査の検討 8
2. TVOC の定義	
2-1 厚生労働省の定義 9
2-2 ECA レポートの定義	... 10
2-3 JISA1901 小形チャンバー法における定義	... 12
2-4 北京室内空気質国際会議におけるヒアリングと海外の文献に見る TVOC	... 13
2-5 諸外国における室内 TVOC ガイドラインと建材ラベリング	... 15
2-6 安藤班による実態調査における TVOC の定義と測定法	... 17
2-7 田辺班による実態調査	... 23
2-8 岸班による実態調査における TVOC の定義と測定法	... 26
2-9 秋田杉住宅における TVOC 測定の例	... 27
2-10 国内における TVOC 使用の例	... 29
2-11 まとめ	... 30
3. TVOC と健康影響	
3-1 岸班平成 15 年度の研究	... 33
3-2 岸班平成 16 年度の研究	... 33
3-3 各地域における TVOC 気中濃度と健康影響	... 34
3-4 岸研究班の平成 15 年度～16 年度の研究結果のまとめ	... 35
4. 総括	... 37
参考資料	... 41

1. 本研究の目的と概要

1-1 研究目的

厚生労働省シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会において、平成 12 年に「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、国内家屋の汚染実態調査の結果から、ある仮定に基づいて、合理的に達成可能な限り低い値を推測したものであり毒性学的知見から決定したものではない。今後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、室内空気汚染を低減する取組みが不可欠である。」とする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が発表された。本研究では、この考え方が公表されて以降の最新の知見を整理し、TVOC 指針値に関する再検討のために必要な基礎データを提供する目的とする。

以下の項目に関する研究を行った。

1-2 国際動向の調査

TVOC の定義、測定方法、規制への取り込みに関する考え方等における各国の動向を調査した。また、TVOC と健康影響に関する文献調査による各国の研究状況を整理した。TVOC に関する国際動向の調査は、平成 12 年に厚生労働省シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会において知見が整理されている。それ以降国内で池田班などによって海外の規制状況などが整理されている。また、JIS（日本工業規格）における定義との比較を行った。2005 年 9 月に北京で行われた室内空気質国際会議などにおいて有識者にヒアリング調査を行った。

1-3 TVOC の定義と算出方法に関する検討

国内における研究及び国際動向調査より TVOC の定義と算出方法に関する知見をとりまとめた。安藤班における研究成果及び H15～16 年度の全国実態調査結果に関して検討を行った。平成 12 年時点において、OECD 加盟 29 ヶ国及び欧州委員会において、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。また、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おりその報告書が参考文献として提示されていることが多い。一方、日本工業規格（JIS）の「JIS A1901 小形チャンバー法」においては、TVOC に関して定義が行われている。国内では平成 12 年度以降室内空気質に関する研究は大きく進展している。また、建材・施工剤においても厚生労働省シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会が発表した 13 の指針値物質以外の化学物質が代用として使用されることも多くなってきている。総揮発性有機化合物量（TVOC）が低ければ相対的なリスクは低くなると考えられ、我が国では日本建築学会アカデミックスタンダード、主任研究者が参加したシンポジ

ウム、講演会等でTVOCの導入を求める意見も散見されている。

1-4 室内空気実態調査結果の検討

室内空気実態調査に関しては、平成12年度以降、厚生労働省予算事業によって平成15及び16年度で日本国内の室内空気実態調査が実施されている。過去の厚生労働省による調査実施結果(平成9及び10年度の結果)との比較・考察を行った。加えて全国の様々な形態の住宅をその構造を明確にした上で、田辺班が平成13～15年度厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業によって調査を行っている。日本の伝統的木造住宅でTVOC値が高い理由及び居住者の状況に関する詳細な解析が行われている。日本の伝統的な木造住宅において、TVOC暫定目標値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越える状況が見られ、個々の化学物質に関して重み付けを行っていないTVOCは同様の製品などの評価には良い指標にはなるが、科学的根拠(毒性評価等)に基づいたTVOC指針値設定には問題のあることが指摘されている。

1-5 測定方法に関する検討

従来より各国で様々な方法で測定が行われており、測定値の比較が困難になっている。一方、費用や実施効率の観点から、簡易測定法の開発が望まれている。測定方法に関しては、平成13年度厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業において、化学物質過敏症等室内空气中化学物質に関わる疾病と総化学物質の存在量の検討と要因解明に関する研究(主任研究者:安藤正典)が行われている。また、継続して全国実態調査が行われている。当該研究において、日本における室内空気の実態調査を行い、測定法の案及び対象とするべきVOCリスト案が作成されている。現状では、室内空気中のすべてのVOCを一括して測定する手法は開発されておらず、TVOC濃度として測定されるVOCの範囲は測定法によって異なる。これらの知見を元に測定方法に関して検討を行った。同じ住宅でサンプリングを行った捕集管を複数の分析機関で分析を行い、TVOC値の比較を行った。

1-6 TVOCの健康影響に関する調査の検討

TVOCの健康影響に関する厚生科学研究費による岸班の調査結果を引用するとともに、国内外における他の知見を整理している。疫学調査により、調査項目の一つとしてTVOCと健康影響の関係を検討している。TVOCの毒性学的評価にあたっては個別の毒性評価を実施するとともに、複合影響等についても検討をする。これらの知見を整理した。

2. TVOC の定義

2-1 厚生労働省の定義

本章では TVOC（総揮発性有機化合物）の様々な定義に関して取り纏めた。厚生労働省の定義に関しては、シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会により取り纏められたものである。

採取と分離

- ・シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書—第1回～第3回のまとめ（平成12年6月26日）の室内空気中化学物質の採取方法に基本的に従っている。少なくとも2本の捕集管に空気を採取する。

室内空気中化学物質の採取で対象とする住宅は、新築住宅と居住住宅とを区別して採取する。新築住宅における室内空気中化学物質の測定は、室内空気中の揮発性有機化合物の最大濃度を推定するためのもので、30分換気後に対象室内を5時間以上密閉し、その後概ね30分間採取の濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）で表す。採取の時刻は揮発性有機化合物濃度の日変動で最大となると予想される午後2時～3時頃に設定することが望ましい。居住住宅における室内空気中化学物質の測定は、居住、平常の生活条件下における揮発性有機化合物の存在量や暴露量を推定するためのもので、24時間採取における濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）で表す。

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、平成12年時点では現在精査・検討中としている。

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、ノナンール、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

2-2 ECA レポートの定義

厚生労働省において TVOC 暫定指針値を策定した時点で、「TVOC 指針値策定の可能性を提供する唯一の文献と考える」としているのが ECA レポート No.19 (欧州委員会共同研究センター環境研究所による研究報告書“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) である。この報告書では、次のように TVOC を定義している。

1. サンプルングには Tenax TA を使用すること。他の吸着剤は Tenax TA と同様またはそれ以上の保持・溶出性能が保証された場合に使用可能である。
2. 吸着剤から GC カラムへの VOC の捕集には熱脱着を使用すること。
3. 分析には不活性で非極性の適切な GC カラムを使用すること (固定相: 純メチル—シリコンまたはフェニルシリコンの付加が 8%以下のメチルシリコン)。システム検出限界 (ノイズレベルの 3 倍) は、トルエンと 2-ブトキシエタノールそれぞれの $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること。
4. n-ヘキサンから n-ヘキサデカンまでに検出される化合物について考慮すること。特定の化合物に関しては、分析範囲 (analytical window) の定義によって沸点範囲の置き換えでわずかに修正される。
5. 個々の検出ピークに基づき、可能な限り多くの VOC を定量すること。この際、少なくとも同定が必要な化合物、及び、最も高いピークを示した 10 物質を定量すること。同定が必要な化合物については、以下のリストを参照のこと。また、同定された化合物の濃度の和 $S_{\text{id}}[\text{mg}/\text{m}^3]$ を計算すること。
6. 同定されなかった VOC については、トルエンの検出量に換算して、濃度合計 $S_{\text{un}}[\text{mg}/\text{m}^3]$ を決定すること。
7. 手順 5、6 の後に S_{id} の値が S_{id} と S_{un} の和の 2/3 を占めるならば、同定の許容可能レベルは達成される。この和が $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下ならば、 S_{id} と S_{un} が同じ値でも良い。
8. S_{id} と S_{un} の和が、TVOC 濃度または TVOC 値として定義される。
9. 多数または多量の化合物が VOC 範囲 (手順 4) の外に 4 点以上検出された場合は、この情報について注を付記すること。

同定が必要な化合物のリスト

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

この報告書によれば、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計画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、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。

2-3 JIS A1901 小形チャンバー法における定義

JIS A1901（建築材料の揮発性有機化合物（VOC）、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法—小形チャンバー法）において、TVOC については以下のように定義づけられている。

TVOC：ガスクロマトグラフにおいて分析した、n-ヘキサンから n-ヘキサデカンまでの範囲で検出された VOC。ここでは、ピーク面積の総和を用いてトルエンに換算して求めた値を示す。

備考1 TVOC は捕集した空気中の VOC 濃度の合計に近い値となる。

備考2 GC/MS を用いる場合は、全イオン検出器（TIM）で測定し、全イオンクロマトグラフ（TIC）から検出した VOC の値を用いる。

この解説として、以下のように記されている。

理論的には、TVOC は捕集した空気中の VOC 濃度の合計値であるが、実際の測定では、全種類の VOC を同定し定量化することは不可能であるので、現状に則した測定方法を採用する必要がある。JIS A1901 では、ガスクロマトグラフで分析された n-ヘキサンから n-ヘキサデカンまでの範囲で検出された VOC のピーク面積の総和のトルエン換算値を TVOC とした。TVOC は、捕集した空気中の VOC 濃度の合計に近い値となる。しかし、ISO/DIS 16000-6 には、“TVOC は捕集方法や分析条件に依存する。”と記されている。例えば、カラムの種類が異なり分離の状況が異なれば、定量値は異なってしまふ。あくまでもトータルのピーク面積の換算値であり、個別の化合物の定量値の足し算ではない。また、トルエンのレスポンスに対し、個々の物質のレスポンスが様々なことから、トルエンによる定量は“半定量値”である、とも記されている。

GC/MS で TVOC 測定を行う場合は、質量分析計の設定質量範囲を走査する方法（SCAN 法）で、全フラグメントイオンのカウント数の合計（トータルイオン）として測定する必要がある。選択イオン検出（SIM）法では、選択したイオンの強度が化合物によって大きく異なり、SCAN 法で求めた TVOC 値との差が大きくなってしまふ。

質量検出器の設定範囲は、空気や水分由来のバックグラウンドを下げるため、 $m/z=35\sim 350$ 程度で良いと思われる。JIS A1901 は、マススペクトルを用いた化合物定性を主眼としていないため、 $m/z=34$ 以下はあまり重要性が無く、対象とする化合物の沸点範囲から考えて 350 を超える高質量も必要がない。設定範囲を極端に広くしたり、狭くしたりすると、GC/FID による TVOC 値とかけ離れてしまふ場合がある。ISO/DIS 16000-6 には、標準スペクトルチューンのパラメーター（又はこれと同等のパラメーター）を用いるべきとの記載もある。他のパラメーターを用いると、フラグメントイオン強度が変わり、定量値に影響する。

GC-FID を用いてトルエン換算定量を行う場合、FID 検出器におけるレスポンスは hidrocarbon (HC) のカーボン数に比例するため、トルエン換算であっても感度面から TVOC を考察しやすい。

（以下略）

2-4 北京室内空気質国際会議におけるヒアリングと海外の文献に見る TVOC

北京で開催された Indoor Air 2005 において国際的な有識者にヒアリングを行った。また、関連する事項をこれらの有識者から別途得た。ここでは、その結果をまとめた。

TVOC の提唱者であるデンマークの Mølhavé は、TVOC は室内空気の汚れの指標として有効であるが、リスク評価においてはスクリーニングツールとしてのみ用いられるべきであると報告している。(2003, Organic compounds as indicators of air pollution, Indoor Air, Vol.13, suppl.6, pp.12-19) 北京での室内空気質国際会議においてヒアリングを行った。Mølhavé は TVOC の提唱者であるが、その当時は個別の物質を分析することが非常に難しく、GC/FID などでの面積が広ければ、相対的な問題は大きいという認識であった。その後、デンマークのアパートで有名な暴露実験が行われた。しかし、TVOC を構成する化学物質が異なればリスクも変わるはずで、空気の汚れの指標と考えるのが適切であろう。(田辺の講演を指して) 日本では 28℃ オフィスが推奨されているようであるが、換気量に関してはどのように考えているのか。室温が高くなれば VOC 放散が高くなるが問題はないかと質問が行われた。

ヒアリングを行ったデンマークの Wolkoff は、TVOC は空気汚染の一部のみを示す値で限界があるとし、リスク評価指標として SVOC や粉塵、オゾン、微生物の影響など、室内空気汚染物質を総合的に評価する OCIA を提案している。(2003, Trends in europe to reduce the indoor air pollution of VOCs, Indoor Air, Vol.13, suppl.6, pp.5-11) Wolkoff は、TVOC の無効性を主張する学者の急先鋒である。学問的に突き詰めれば、TVOC と健康影響には関係がないとしている。これは、TVOC の範囲が狭いことによる。現在では TVOC 値が高くなることを避けるために、SVOC や VVOC が多量に使用されている建材、施工材などがある。これらを含めた評価が必要であると述べているのである。しかし、その概念である OCIA は測定の大変さからまだ一般的に受け入れられているとは言い難い。Wolkoff (2003) や、Moschandreas 及び Sofuoglu (2003) は、室内空気汚染の指標に対する考え方を記している。(Wolkoff, 2003, Are we ready for indoor air pollution indices?, Indoor Air, Vol.13, pp.371-372) (Moschandreas, and Sofuoglu, 2003, What indices of indoor air pollution can – and can't – do, Indoor Air, Vol.13, pp.375-376) ここで TVOC を室内空気汚染のリスク評価指標として使用することに反対している。これは、TVOC の定義に含まれるのは、室内空気中に存在する化学物質の一部でしかないこと、それぞれの揮発性有機化合物のリスクが重みづけられていないことによると述べている。

2002 年 Indoor Air の大会長でもある環境建築の研究者である Hal Levin は、ヒアリングに答えて科学者としては TVOC と健康影響に関しての厳格な関係を見いだすことは難しいと思うが、建材や家具を作成している人たちにとっては製品の化学物質放散の大小に関する良い評価手法になると述べた。カリフォルニア州立建物に関しては、化学物質放散量を入札の条件にしている。

北京の国際会議ではヒアリングが出来なかったが、ドイツの B.Seifert には別途ご意見を伺った。

B.Seifert は、ドイツにおける室内空気質対策のパイオニアである。室内空気質に関する一連の ISO、EN、CEA レポートのもととなった VDI (ドイツ技術者規格) を作成した。TVOC に関しては空気の汚れの指標と考えており、概ね $200\sim 300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $300\sim 2000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上としており、問題は少ない、問題がある可能性がある、問題があると大きく区分をしている。しかし、一般的にはこの区分をリジッドに考え、例えば $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ を $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ でも越えていることで訴訟やトラブルが生じている。逆に日本ではどのような運用を行っているのかを説明して欲しいとの意見があった。また、同じ建材などを開発する場合は TVOC は有効であろう。また、TVOC を避けるために、SVOC も使用されており、これらは低放散であるが長時間放散続き、TVOC が低いからと言って安心ではない状況もある。日本でもこのような状況になることが予測されるため、今後の対策はよく考えた方がよい。

また、米国の Weschler は、室内空気質向上のためには、特定の物質を排除するだけでなく、化学反応によって生じる成分も考慮すべきであることを報告している。(2004, Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium, Indoor Air, Vol.14, suppl.7, pp.184-194)。加えて Tunga Salthammer は Weschler とともにワークショップを開催して、2次汚染に関する注意を行っている。

文献では、米国の Hodgson は、TVOC の測定法に関して、GC/FID と GC/MS の比較検討を行っており、比較的よい相関が得られていることを報告している。(1995, A review and a limited comparison of methods for measuring total volatile organic compounds in indoor air, Indoor Air, Vol.5, pp.247-257)

また、朴及び池田 (2004, Exposure to the mixtures of organic compounds in homes in Japan, Indoor Air, Vol.14, pp.413-420) は日本の室内空気質実態調査を報告しており、定性・定量された VOC 17 成分の合計として TVOC という用語を用いている。

ヒアリングにより判明したのは、TVOC と健康リスクの直接的な関係を学問的に結びつけるのは難しいが、空気の汚れの指標にはなる可能性があるということである。しかし、これらのことを理解できない人々にとっては、暴露影響に基づいた指針値と混同されることがあり TVOC の $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ の過多でトラブルや訴訟になる例も報告されていることである。

2-5 諸外国における室内 TVOC ガイドラインと建材ラベリング

海外においては、室内空気質の規制としてTVOCを規制している国は多くはないが、自主規制として、建材ラベリングに多く用いられている。

平成 16 年度に、国立保健医療科学院建築衛生部長の池田耕一を主任研究者として行われた“諸外国における室内空気質規制に関する研究”において調査された諸外国における室内空気質ガイドライン値 (TVOC) に関して表 2-1 に示す。

表 2-1 諸外国における TVOC のガイドライン

ドイツ	連邦環境庁 (1996-2004)	RW I 注) RW II	10000~25000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (改装時の一時) 1000~3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満 (長期間の居住時) 200~300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (最大長期平均目標)
フィンランド	室内空気質気候学会 (2001)	S1 : 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ S2 : 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ S3 : 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(最良な室内空気質 : アレルギーや呼吸器系疾患等を有する居住者の要求を満たす濃度) (良質な室内空気質) (満足できる室内気候)
ノルウェー	厚生省 (1999)		不必要な暴露を避ける
イギリス	保健省 (2004)		1 mg/m^3 以上の値と感覚や刺激の症状が報告された場合は汚染源調査と対策を実施
オーストラリア	国立保健医療研究審議会 (1979-1995)		500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均暴露時間=1 時間)
シンガポール	環境省 (1996)		3ppm (光イオン化検出器で測定、トルエン基準)
中国	香港特別行政区 (2003)		最良質 : 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均暴露時間=8 時間) 良質 : 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均暴露時間=8 時間)
	環境保健総局 (2002)		600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均暴露時間=8 時間)
韓国	環境部 (2003)		500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (大規模店舗等) 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (医療機関等) 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (室内駐車場)

【注】RW I : 長時間暴露でも健康影響を引き起こす十分な科学的根拠はないが、健康上望ましくない平均暴露濃度よりも高いため、予防のために行動する必要がある濃度で、不確実係数 10 で RW II を除した値
RW II : 既存の毒性・疫学的知見をベースとした健康影響に関連した濃度

また、建材等において、TVOCに関する放散が規定されている諸外国のラベリング制度の例を表2-2に示す。また、ヨーロッパでは、ドイツのAgBB手法が建材ラベリングの手法として注目されている。この手法は、チャンバー法によりTVOCやSVOC、発ガン性物質などを各段階において測定し、規定値を満足しなければラベルを受けられない仕組みであり、不明な成分が含まれているほど評価は低くなるという建材から放散される成分を包括的に評価する手法である。AgBBでは、TVOCを始め対象物質の気中濃度を示しているが、それは建材の放散速度の基準値を定めるために用いる目的のみを対象とする。しかし、一般的には気中濃度のガイドラインと混同する人も多くいるとドイツ研究者より聞いている。

表 2-2 建材における諸外国の TVOC に関するラベリング制度の例

国	名称	ラベル	対象材料	TVOC 値
ドイツ	Der Blaue Engel		接着剤	3 日後 $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 28 日後 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$
	GEV-EMICODE		プライマー	10 日後 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$
			レベリング等	10 日後 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$
			床用接着剤等	10 日後 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$
GUT		カーペット	3 日後 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$	
フィンランド	RTS (M ラベル)		床材、壁材、 塗料、接着剤、 建具等	28 日後 (70%以上の成分を定性・定量) ・ M1: $0.2\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ・ M2: $0.4\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ・ M3: M2 以上のもの
アメリカ	GREENGUARD		一般建材、 オフィス家具、 オフィス機器等	・ フローリング: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ・ 接着剤: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ・ 断熱材: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ・ 塗料: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ・ 織物、壁紙: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ・ オフィス家具: $0.25\text{mg}/\text{m}^3$
	CRI-Green Label		カーペット クッション 接着剤	・ カーペット: $0.5\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ・ クッション: $1.00\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ・ 接着剤: $10.00\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$

2-6 安藤班による実態調査における TVOC の定義と測定法

平成 13 年～平成 14 年度にかけて、国立医薬品食品衛生研究所環境衛生化学部長（当時）安藤正典を主任研究者として、“化学物質過敏症等室内空气中化学物質に係わる疾病と総化学物質の存在量の検討と要因解明に関する研究”というテーマで研究が行われた。安藤班では、化学物質過敏症を低減化させる有効な指標として TVOC の測定方法について項目を挙げて検討された。

日本では、高温多湿によるカビや最近に対する国民の関心が高いことから、エタノールの使用量も多く、エタノールの室内濃度が高いことが指摘されており、日本における TVOC 測定に関しては、エタノールを除くことが妥当であると結論づけられている。

平成 13 年度及び 14 年度の安藤班の実態調査において、対象物質とされた VOC の一覧を表 2-3 に示す。この結果、分析法による比較や捕集管の比較などから、エタノールを差し引くことや VOC 成分を限定することにより TVOC を有効な指標とすることが提案された。

表 2-3 安藤班にて検討された VOC 成分

分類	物質名	Cas. No.	測定対象物質	
			平成 13 年度	平成 14 年度
Aromatic Hydrocarbons	Benzene	71-43-2	○	○
	Toluene	108-88-3	○	○
	Ethylbenzene	100-41-4	○	○
	m-Xylene, or m,p-Xylene	108-38-3 / 106-42-3	○	○
	o-Xylene	95-47-6	○	○
	Isopropylbenzene	98-82-8	○	○
	1-Propenylbenzene	637-50-3	○	—
	n-Propylbenzene	103-65-1	○	○
	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	○	○
	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	○	○
	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8	○	○
	1,2,4,5-Tetramethylbenzene	95-93-2	○	○
	1-Methyl-2-propylbenzene	1074-17-5	○	—
	1-Methyl-3-propylbenzene	1074-43-7	○	○
	n-Butylbenzene	104-51-8	○	○
	1,3-Diisopropylbenzene	99-62-7	○	○
	1,4-Diisopropylbenzene	100-18-5	○	○
	2-Phenyloctane	777-22-0	○	—
	5-Phenyldecane	4537-11-5	○	—
	5-Phenylundecane	4537-15-9	○	—
	Ethynylbenzene	536-74-3	○	○
	o-Methylstyrene	611-15-4	○	—
	m/p-Methylstyrene	100-80-1 / 622-97-9	○	○
	alpha-Methylstyrene	98-83-9	○	○
2-Ethyltoluene	611-14-3	○	○	
Styrene	100-42-5	○	○	

	Naphthalene	91-20-3	○	○
	4-Phenylcyclohexene	31017-40-0	○	○
Aromatic Hydrocarbons	n-Hexane	110-54-3	○	○
	2-Methylhexane	591-76-4	○	○
	3-Methylhexane	589-34-4	○	○
	n-Heptane	142-82-5	○	○
	n-Octane	111-65-9	○	○
	n-Nonane	111-84-2	○	○
	2-Methyloctane	3221-61-2	○	○
	3-Methyloctane	2216-33-3	○	○
	2-Methylnonane	871-83-0	○	○
	3,5-Dimethyloctane	15869-93-9	○	○
	n-Decane	124-18-5	○	○
	2,4,6-Trimethyloctane	62016-37-9	○	—
	4-Methyldecane	2847-72-5	○	—
	n-Undecane	1120-21-4	○	○
	Isododecane	31807-55-3	○	—
	4,5-Diethylnonane	-	○	—
	2,2,4,6,6,-Pentamethylheptane	30586-18-6	○	—
	n-Dodecane	112-40-3	○	○
	n-Tridecane	629-50-5	○	○
	n-Tetradecane	64036-86-3	○	○
	n-Pentadecane	629-62-9	○	○
	n-Hexadecane	544-76-3	○	○
	2-Methylpentane	107-83-5	○	○
	3-Methylpentane	96-14-0	○	○
	1-Octane	111-66-0	○	○
	1-Decene	872-05-9	○	○
	2,4-Dimethylpentane	108-08-7	—	○
	2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	—	○
Cycloalkanes	Methylcyclopentane	96-37-7	○	○
	Cyclohexane	100-82-7	○	○
	1,4-Dimethylcyclohexane(C&T)	70688-47-0	○	○
	cis-1-Methyl-4-methylcyclohexane	6069-98-3	○	○
	trans-1-Methyl-4-methylcyclohexane	1678-82-6	○	○
	Methylcyclohexane	108-87-2	○	○
Terpenes	3-Carene	13466-78-9	○	○
	alpha-Pinene	80-56-8	○	○
	(+/-)-Camphene	79-92-5	○	○
	beta-Pinene	181172-67-3	○	○
	Longifolene	475-20-7	○	○
	alpha-Cedrene	469-61-4	○	○
	Turpentine	9005-90-7	○	—
	Caryophyllene	87-44-5	○	—
	Limonene	138-86-3	○	○
	Camphor	76-22-2	—	○
	Menthol	89-78-1	—	○
Alcohols	1-Propanol	71-23-8	○	○
	2-Propanol	67-63-0	○	○

	2-Methyl-2-propanol	75-65-0	○	○
	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	○	○
	1-Butanol	71-36-3	○	○
	1-Pentanol	771-41-0	○	○
	1-Hexanol	111-27-3	○	○
	Cyclohexanol	108-93-0	○	○
	1-Octanol	111-87-5	○	○
	1-Ethyl-2-hexanol	104-76-7	○	○
	Phenol	108-95-2	○	○
	Texanol	025265-77-4	○	○
	2,6-Di-t-butyl-4-methylphenol(BHT)	128-37-0	○	○
	Methyl-t-butylether	1634-04-4	○	○
	Ethanol	64-17-5	—	○
Glycols/ Glycoethers	Propylene glycol	57-55-6	○	○
	Dimethoxymethane	109-87-5	○	○
	Dimethoxyethane	110-71-4	○	○
	2-Methoxyethanol	109-86-4	○	○
	2-Ethoxyethanol	110-80-5	○	○
	2-Butoxyethanol	111-76-2	○	○
	1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	○	○
	2-Butoxyethoxyethanol	112-345	○	○
	2-(2ethoxyethoxy)ethanol	112-34-5	○	○
Ketones	Acetone	67-64-1	○	○
	2-Butanone	78-93-3	○	—
	3-Methyl-2-butanone	563-80-4	○	○
	4-Methyl-2-butanone	108-10-1	○	—
	Cyclopentanone	120-92-3	○	—
	2-Methylcyclohexanone	583-60-8	○	—
	Methylethylketone	78-93-3	○	○
	Methylisobutylketone	108-10-1	○	○
	2-Methylcyclopentanone	1120-72-5	○	—
	Cyclohexanone	108-94-1	○	—
	Acetophenone	98-86-2	○	○
Halocarbons	Dichloromethane	75-09-2	○	○
	Carbon tetrachloride	56-23-5	○	○
	1,2-Dichloroethane	107-06-2	○	○
	Trichloroethylene	79-01-6	○	○
	Tetrachloroethylene	127-18-4	○	○
	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	○	○
	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	○	○
	1,2-Dichloropropane	78-87-5	○	○
	Chlorodibromomethane	124-48-1	○	○
	Chloroform	67-66-3	○	○
Esters	Methylacetate	79-20-9	—	○
	Vinylacetate	108-05-4	○	○
	Butylformate	592-84-7	○	○
	Isobutylacetate	110-19-0	○	○
	Ethylacetate	141-78-6	○	○
	Propylacetate	106-60-4	○	○

	Butylacetate	123-86-4	○	○
	Isopropylacetate	108-21-4	○	○
	2-Methoxyethylacetate	110-49-6	○	○
	2-Ethoxyethylacetate	111-15-9	○	○
	2-Ethylhexylacetate	103-09-3	○	○
	Linaloolacetate	115-95-7	○	○
	Methacrylic acid methyl ester	80-62-6	○	○
	TXIB	6846-50-0	○	○
Phthalates	Dimethyl phtalate	131-11-3	○	○
	Dibutyl phtalate	84-74-2	○	○
	Alkyl phtalate	-	○	-
Other	1,4-Dioxane	123-91-1	○	○
	n-Methyl-2-pyrrolidone	872-50-4	○	-
	Caprolactam	105-60-2	○	○
	Indene	95-13-6	○	○
	2-Penylfuran	3777-69-3	○	○
	THF(tetrahydropuran)	109-99-9	○	○
合計			135	120

安藤班の実測結果に引き続き、平成 15 年度及び平成 16 年度にも実態調査が行われた。この調査結果を基に、「何れかの年度の調査において 50%以上の頻度で検出された揮発性有機化合物」として表 2-4 に示す 70 物質の選定案が示された、この必須 VOC の定量値の和を Sum of VOCs とする考え方が示された。

表 2-4 日本版必須 VOC リスト (案)

Aromatic Hydrocarbons	1	Benzene
	2	Toluene
	3	Ethylbenzene
	4	<i>o</i> -Xylene
	5	<i>m, p</i> -Xylene
	6	<i>n</i> -Propylbenzene
	7	<i>iso</i> -Propylbenzene
	8	2-Ethyltoluene
	9	1,2,3-Trimethylbenzene
	10	1,2,4-Trimethylbenzene
	11	1,3,5-Trimethylbenzene
	12	<i>n</i> -Butylbenzene
	13	1-Methyl-3-propylbenzene
	14	1,2,4,5-Tetramethylbenzene
	15	Styrene
	16	α -Methylstyrene
	17	Naphthalene
Aliphatic Hydrocarbons	18	<i>n</i> -Hexane
	19	2-Methylpentane
	20	3-Methylpentane
	21	<i>n</i> -Heptane
	22	2-Methylhexane
	23	3-Methylhexane
	24	2,4-Dimethylpentane
	25	<i>n</i> -Octane

	26	2,2,4-Trimethylpentane
	27	<i>n</i> -Nonane
	28	2-Methyloctane
	29	3-Methyloctane
	30	<i>n</i> -Decane
	31	2-Methylnonane
	32	3,5-Dimethyloctane
	33	<i>n</i> -Undecane
	34	<i>n</i> -Dodecane
	35	<i>n</i> -Tridecane
	36	<i>n</i> -Tetradecane
	37	<i>n</i> -Pentadecane
	38	<i>n</i> -Hexadecane
Cycloalkanes	39	Methylcyclopentane
	40	Cyclohexane
	41	Methylcyclohexane
	42	<i>cis-/trans</i> -1,4-Dimethylcyclohexane
Terpenes	43	Limonene
	44	α -Pinene
	45	β -Pinene
	46	3-Carene
	47	(+/-)-Camphene
	48	Camphor
Alcohols/Phenols	49	2-Propanol
	50	1-Butanol
	51	Phenol
Glycols/Glycoethers	52	1-Methoxy-2-propanol
Ketones	53	Acetone
	54	Methylethylketone
	55	Methylisobutylketone
Halocarbons	56	Dichloromethane
	57	Chloroform
	58	Carbon tetrachloride
	59	1,1,1-Trichloroethane
	60	Trichloroethene
	61	Tetrachloroethene
	62	1,4-Dichlorobenzene
	63	1,3,5-Trichlorobenzene
Esters	64	Methyl acetate
	65	Ethylacetate
	66	Butylacetate
	67	Isobutylacetate
	68	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate (TXIB)
Ethers	69	2-Pentylfuran

図 2-1 は Sum of VOCs に対する今回選定した 70 物質の寄与率を表したものであり、大部分の試料 (147/150) において、70 種類の揮発性有機化合物で Sum of VOCs の 80%以上を説明できるものと考えられる。