床仕上げ剤を想定した単体 VOC 及び混合 VOCs による空気汚染の 知覚空気質評価に関する研究

—脂肪族炭化水素系の VOCs の場合—

ASSESSMENT ON PERCEIVED AIR POLLUTION FROM INDIVIDUAL VOC AND MIXTURE OF VOCs EMITTED FROM WOOD STAIN

—VOCs of aliphatic hydro carbons—

岩下 剛*
Go IWASHITA

The relationship between the concentration of individual VOC and the perceived air quality voted by sensory panel of eight judges was determined in the experiment type 1 with five VOCs, i.e., octane, nonane, decane, undecane, and dodecane emitted from wood stain. Consecutively the relationship between the VOC concentration in the mixture of the five VOCs and the perceived air quality had been investigated in the experiment type 2. The predicted odor intensity in the experiment type 2, which was calculated by the sum of odor intensity determined from the relations of the individual VOC concentration and odor intensity obtained in the experiment type 1, was compared with the value of the actually voted odor intensity. The actually voted odor intensity was smaller than the predicted odor intensity, and became almost equal to the highest odor intensity predicted from single VOC concentration.

Keywords: Volatile Organic Compounds, Odor Intensity, Perceived Air Quality, Olfactory Panel

揮発性有機化合物、臭気強度、知覚空気質、嗅覚パネル

1. はじめに

近年、ホルムアルデヒドや揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: 以下 VOCs) に代表される化学物質による室内空気汚染が、シックビルディングシンドロームの原因として問題視され、日本においても、厚生労働省のシックハウス問題に関する検討会¹⁾により、個別の数種の VOCs について指針値が策定されている。一方、室内空気汚染という観点からの建材評価としては、建材から放たれる VOCs の時系列の濃度を調査することにより、建材のラベリングを行うというプログラムがデンマークで提案されており²⁾、発生される VOCs の濃度が臭気の閾値の半分以下になるために要する時間などが評価指標になっている。しかし、建材から発生される全ての VOCs の濃度を時系列に測定することは困難であり、実際には、限られた数の、どの VOCs を測定対象とするかが考慮すべき点となる。個々の VOC 濃度は、その閾値レベルを下回ったとしても、複数の VOCs の複合作用により、不快感が増大する可能性が考えられる一方、マスキング効果により臭気強度が低下することも考えられる。このように複数の VOCs が存在している空間を評価するには、まず人間の感覚を用いて評価する方法が有用と考えられる。しかし、個々の VOC が単独で存在している空気に曝露された時の感覚と、複数の VOCs が混合されて

いる空気に曝露された時の感覚との違いを、個々の VOC の濃度と関連付けて時系列に調べた例は少ない。そこで、本研究では、単体の VOC によって汚染されている空気を、異なる濃度段階において被験者に嗅がせ、単体 VOC 濃度と知覚空気質の評価値との関係を求める実験 (実験タイプ 1) 及び、5 種類の VOCs が混合して発生している空気を被験者に嗅がせて、混合 VOCs 内の各単体 VOC 濃度と知覚空気質評価値との関係を求める実験 (実験タイプ 2) を行った。

2. 実験方法

2-1. 実験設備

実験は、1998 年秋季に鹿児島大学構内にある地域共同研究センター第 5 実験室内クリーンルームにおいて行った。このクリーンルームはクラス 10000 であり、捕集効率 99.97% 以上 (粒径: 0.3 μ m) の HEPA フィルターが設置されている。クリーンルーム内の空気温度は、25°C に保たれており、その中に、図 1 に示す容積 0.28m³ のシリンダー型の SUS 製チャンパー (換気回数: 1 回/h) を設置した。実験タイプ 1 では、1 種類の VOC の純液を、タイプ 2 では、5 種類の VOC 純液の混合をベトリ皿に入れ、これをチャンパー内に入れた。チャンパー

* 鹿児島大学工学部建築学科 助教授・博士 (工学)

Assoc. Prof., Dept. of Arch., Faculty of Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.

内で発生した VOCs ガスは、排気ファンによってテフロンチューブを介して、チャンバーの外に設置したジャーに供給される。嗅覚パネルは、ジャー内空気を吸引するコーンに鼻をあてることにより、ジャー内空気を嗅ぎ、空気質を評価した。

2-2. 測定方法

チャンバー内 VOC 濃度は、排気ダクトから空気をポンプによって吸引し、チャコールチューブ（柴田科学）に吸着させた後、GC/FID 法により分析した。この GC/FID 法による測定は、嗅覚パネルの申告時とほぼ一致するように間欠的に行った。また、光音響法マルチガスモニター（B&K 社、type 1302）を用いてトルエン等価の TVOC（Total Volatile Organic Compounds）濃度の連続測定を行った^{注1)}。この TVOC 濃度は、欧州共同体 ECA のガイドライン³⁾に定義されている TVOC 濃度ではなく、マルチガスモニター内の光学フィルター（B&K 社、UA0987）で測定されるトルエン濃度であり、これには干渉成分の VOC 濃度も含まれている。光音響法による TVOC 濃度は絶対値としては扱わず、濃度変化の度合いを算定するための相対的な濃度として扱う。

図1 VOCを発生させるスモールチャンバー

2-3. 実験条件

単体 VOC を用いた実験タイプ1では、オクタン、ノナン、デカン、ウンデカン、ドデカンそれぞれ対象 VOCs として用い、被験者に、各単体 VOC で汚染された空気を嗅がせた。これら5種の VOCs は床仕上げ剤に含まれる主要成分であると仮定して実験に用いた^{注2)}。実験に用いた VOCs の沸点及び、VOCBASE⁴⁾による臭気閾値を表1に示す。

表1 実験に用いた VOC の化学式、沸点、臭気閾値

VOC	化学式	沸点(°C)	臭気閾値 (mg/m³)
オクタン	C ₈ H ₁₈	125.7	27.5
ノナン	C ₉ H ₂₀	150.8	6.76
デカン	C ₁₀ H ₂₂	174.2	4.37
ウンデカン	C ₁₁ H ₂₄	195.9	7.76
ドデカン	C ₁₂ H ₂₆	216.3	14.5

嗅覚パネルは T&T 式オルファクトメーター法に基づくパネルスクリーニングテストを受け、正常な嗅覚を有すると判断された20代日本人8名（男6、女2）である。実験タイプ1では、嗅覚パネルが嗅いだ単体 VOC の濃度と、嗅覚パネルが申告した知覚空気質との関係を得ることを主な目的とした。各実験日には上記5種の VOCs のうち1種類の VOC のみをチャンバーに設置した。したがって5種類の VOCs 全てについて実験タイプ1を実施するには5日間を要した。チャン

バーに設置する VOC 純液の量は沸点及び表1の臭気閾値を考慮して、オクタンの場合は3mL、ノナンは12mL、デカン18mL、ウンデカン27mL、ドデカン18mL をペトリ皿に入れた。

図2 実験タイプ1の手順

図2に示す実験タイプ1の実験手順にあるように、嗅覚パネルはチャンバー内のペトリ皿より発生される VOC ガスをジャーをとおして嗅ぎ、図3に示すアンケート用紙を用いて、図2の実験手順に示された時間に知覚空気質を評価した。なお、図3の申告用紙は、質問1の環境庁（当時）の臭気強度表示スケールと、質問2の快・不快度スケールからなる⁵⁾。VOC 純液をチャンバーに入れた後、チャンバー内 VOC 濃度は徐々に上昇していくため、嗅覚パネルはその間に、異なる知覚空気汚染レベルに曝露されることになる。

質問1：この空気のおいについてどう感じますか？以下のスケールの上に印をつけて下さい

質問2：この空気はどの程度快適ですか、または不快ですか？以下のスケールの上に印をつけて下さい

図3 知覚空気質申告用紙

図4に実験タイプ2の実験手順を示す。混合 VOCs を用いた実験タイプ2では、上記5物質をオクタン2mL、ノナン4.5mL、デカン10mL、ウンデカン5.5mL、ドデカン3mLの割合でペトリ皿に入れて混合し、チャンバーに設置した。この混合比率は、調査した床仕上げ剤に含まれる比率に基づいて決めた。ペトリ皿からの混合 VOCs の発生が始まると、嗅覚パネルは実験タイプ1と同様にジャーからの空気を嗅ぎ、図3の用紙を用いて知覚空気質を評価した。実験タイプ2は、建材（床仕上げ剤）から放たれる VOCs 濃度を測定してラベリングを行う作業を想定し、VOCs 濃度と知覚空気質を時系列に継続して測定

するため、7日間かけて行った。

図4 実験タイプ2の手順

3. 実験結果

3-1. 実験タイプ1

実験タイプ1において8名の嗅覚パネルが単体VOCを嗅いだ時に申告した臭気強度の平均値と各VOC濃度との関係を図5に示す。図5中のVOC濃度はGC/FID法により分析した値である。ここでいうVOC濃度とは、嗅覚パネルが空気を嗅ぐ、ジャーの位置における気中濃度を指している。また、臭気強度とは図3の申告用紙の質問1に対する申告結果である。1名の嗅覚パネルが1回の申告に要する時間は1分~2分程度であり、被験者は8名から成るため、1回の申告セッション(1番目のパネルの申告から、最後のパネルの申告まで)に要する時間は約10分である。解析においては、8名の申告の平均値が、1回の申告セッションの中間の時間において得られたと考えている。同様にVOC濃度分析のための空気サンプリングについても、ポンプサンプリング期間の中間の時間が申告セッションの中間の時間に対応するようにした。図5をみると、ウンデカン、ドデカンのように沸点の高いVOCの方が回帰直線の傾きが大きいことがわかる。

図5 実験タイプ1における各単体VOC濃度と臭気強度との関係

臭気強度の平均申告値が「2(何のにおいであるかわかる弱いにおい)」になるときの各VOC濃度を表2に示す。今回の実験における臭気の認知閾値と考えた、平均臭気強度が2となる時の濃度は、図5中に示した各VOCの回帰直線から求めたものである。表2をみると、臭気強度が2のときの濃度はドデカンを除くと、表1に示したVOCBASEの閾値よりも高い値になっていることがわかる。ここで、臭気強度が1「やっと感知できるにおい」になるときの濃度を検知閾値と考え、平均臭気強度が1の値をとる時の各VOCの濃度も表2に示した。ウンデカンについては、VOCBASEの閾値の値よりもまだ高い値を示しているが、それ以外はほぼ表1の臭気閾値と近い値を示している。

ている。

表2 臭気強度の平均申告が「2」および「1」になる時のVOCs濃度(実験タイプ1)

VOC	臭気強度「2」の時の濃度 [mg/m³]	臭気強度「1」の時の濃度 [mg/m³]
オクタン	30.7	4.2
ノナン	26.5	4.2
デカン	49.7	8.1
ウンデカン	35.2	16.1
ドデカン	9.3	5.1

図6に実験タイプ1における、快・不快度申告平均値と各VOC濃度との関係を示す。快・不快度申告とは、図3に示した申告用紙の質問2の申告結果である。図5においても述べたように、沸点の高いVOCにおいて、回帰直線の傾きが高くなっている。

図6 実験タイプ1における単体VOC濃度と不快度との関係

3-2. 実験タイプ2

実験タイプ2における5種類の各VOC濃度の経時変化を図7に示す。図7における各VOC濃度はGC/FID法による分析結果である。これを見ると、沸点の低いオクタン、ノナンなどは他のVOCsよりも濃度の上昇・減衰が時期的に早いことがわかる。反対に沸点の高いドデカンは実験の後半の約77時間後に濃度のピークを迎えている。

図7 各VOC濃度の経時変化

図8に実験タイプ2における臭気強度の経時変化およびTVOC濃度の経時変化を示す。図8中のTVOC濃度は、GC/FID法で測定した5種類のVOCsの各濃度の合計値であり、混合VOCs濃度と呼ぶべきものであるが、本実験では、上記の5種類のVOCs以外の発生物質は無いため、TVOC濃度という用語を用いた。以下の文で、TVOC濃度という用語を用いる場合は、この5種類の混合VOCs濃度を意味する。図8において、臭気強度の平均申告値は前述したように1回の申告セッションの中間の時間にプロットされている。混合VOCs溶液のチャンパーへの設置後、臭気強度およびVOCs濃度は上昇し、5～10時間後から減衰していく。これは典型的なwetな建材から発生するVOCsの挙動である。ピーク時からの臭気強度の減衰の度合いは、TVOC濃度の減衰に比べ緩やかである。これは後半に発生が顕著であるウンデカンやドデカンが、図5で示したように、低濃度でも高い臭気強度を知覚するためと考えられる。

図8 臭気強度及びTVOC濃度の経時変化

表3 実験タイプ2における快・不快度申告値及び不快者率

申告時間 (h)	快・不快度申告 平均値	不快者率[%] 計算値
0.22	0.09	47.9
0.47	-0.34	58.6
0.72	-0.53	63.1
0.97	-0.88	71.5
1.47	-1.25	80.6
3.22	-1.31	82.1
5.72	-1.81	94.2
29.22	-0.81	69.9
53.18	-0.75	68.4
76.72	-0.44	60.8
144.23	-0.16	54.0

表3に実験タイプ2における、嗅覚パネルの快・不快度申告の各申告セッションにおける平均値を示す。快・不快度についても、経過時間が3～5時間の期間に、最も不快な値となっている。また、表3には快・不快度申告から想定される不快者率の値も示してある。この不快者率の算出には、Peijtersen and Fanger⁶⁾が提案した式(1)を用いた。彼らは、図3の質問2に記述した、+4から-4の9段階のカテゴリー尺度を持つ快・不快度スケールではなく、+1(明らかに受入れられる)から、0(どちらでもない)を経て、-1(明らかに受入れられない)に至る3段階の尺度をもつ許容度スケールを用いているため、厳密な意味では、今回の研究において、式(1)を用いるの

は適当ではないが、知覚空気質評価単位 decipol を用いて解析を行うことを想定して、試験的に式(1)を使用した。なお、3段階からなる許容度スケールを用いる場合は、式(1)中の最後の項において、申告値(DCV)を4で除する必要は無い。

$$PD = 50.2 - 97.2 \times (DCV / 4) \quad (1)$$

ここで

PD: 不快者率 [%] DCV: 快・不快度申告値

4. 考察

4-1. 実験タイプ1の結果から予測される臭気強度

実験タイプ1で求めた、各VOC濃度と臭気強度との回帰式から予測した実験タイプ2における臭気強度の値の経時変化を図9に示す。

図9 実験タイプ1で得られた単体VOC濃度と臭気強度の回帰式(図5)から予測される実験タイプ2における臭気強度

ここで、実験タイプ2における臭気強度の予測値 POI_i とは式(2)に示すように、実験タイプ2の各時間における、混合VOCs中の単体VOC_iの濃度 C_i から、求められるものである。本実験では、5種類のVOCsを用いているため、オクタン濃度から予測される臭気強度、ノナンから予測される臭気強度、デカンから予測される臭気強度、ウンデカンからの臭気強度、ドデカンからの臭気強度の5種類の臭気強度が計算される。すなわち、 POI_i は、5種類のVOCsのうち、 i というVOCだけが、嗅覚パネルの感覚に影響していたと仮定した場合に、得られるであろう臭気強度と考えることができる。なお、図9には、実際に実験タイプ2において8名の嗅覚パネルによって申告された平均臭気強度の値も併記してある。

$$POI_i = f_i(C_i) \quad (2)$$

ここで、

POI_i : 単体VOC_iの濃度から予測される実験タイプ2における臭気強度
 f_i : 実験タイプ1で求めた、単体VOC_iの濃度と臭気強度の回帰式
 C_i : 実験タイプ2における、単体VOC_iの濃度

図9をみると、各時間において、申告された臭気強度は、単体VOC濃度から予測された臭気強度の最も大きな値にほぼ近い値になっていることがわかる。今回用いたVOCsは全て脂肪族炭化水素で、似た

ようなタイプの臭いの質（米国国立労働安全衛生研究所 NIOSH の chemical hazards⁷⁾ 及び Matheson's MSDS Online⁸⁾ によると、ガソリン臭）を有していると思われるが、これらの VOCs が同時に存在した場合、それを嗅いだ時の知覚は、一つの支配的な VOC 臭気成分の感覚によって表現される可能性がある。また、これは各 VOC の沸点の違い及び VOC 純液量の違いにより、嗅覚パネルの各申告時に、発生が顕著で濃度が高い VOCs は数個に限定されていることにも依っている。

図 10 に、実験タイプ 2 における各 VOC の臭気指数の経時変化を示す。臭気指数は式(3)のように、単体 VOC の濃度を、その VOC の臭気閾値で除したものである⁹⁾ であるが、ここでは臭気閾値として、実験タイプ 1 において求めた回帰直線から、臭気強度の「1」が得られる時の濃度を用いた。ここで臭気指数を用いたのは、異なる VOCs が、等しい濃度で存在していても、個々の VOC の人間の嗅覚への影響は、各 VOC の臭気閾値の差異によって異なると考えたからである。

$$O.I._i = C_i / C_{on} \quad (3)$$

ここで

$O.I._i$: i という単体 VOC の臭気指数

C_i : 実験タイプ 2 における i という単体 VOC の濃度

C_{on} : 実験タイプ 1 で得られた、 i という単体 VOC の濃度と臭気強度との関係から求めた臭気閾値の濃度（表 2 に示した、臭気強度が 1 になる時の VOC 濃度）

図 10 臭気指数の経時変化

図 10 をみると、実験タイプ 2 の開始後、約 10 時間後までは、オクタン、ノナンの臭気指数が非常に高いが、これらは 30 時間頃を過ぎると、臭気指数が 1 を下回る一方、デカンは最も長期間に渡って、臭気指数が、1 以上の値になっていることがわかる。

4-2. 知覚空気質評価値の加法的性

単体 VOC に曝露された実験タイプ 1 の結果から予測された個々の単体 VOC の知覚空気質評価値を合計したものと、混合 VOCs の知覚空気質評価値との関係を考察するために、知覚空気質評価の単位として Fanger の提案した decipol を用いる¹⁰⁾。実験タイプ 2 の各申告時における 8 名のパネルの快・不快度申告平均値を式 (1) で不快者率に変換し、これを Fanger が提案した式(4)に代入して decipol 単位に

したものを混合 VOCs に曝露された時の知覚空気質評価値とする。また、実験タイプ 2 の各申告時における混合 VOCs 中の各単体 VOC 濃度から、実験タイプ 1 で得られた「各 VOC 濃度-快・不快度申告値」の関係式を用いて、単体 VOC 濃度から予測される快・不快度を求め、これを不快者率、そして decipol 値に変換する。単体 VOC 濃度から予測される decipol 値を 5 つの VOCs について合計したものを単体 VOC の知覚空気質評価値の総和とする。図 11 に混合 VOCs の知覚空気質評価値 (x 軸) と単体 VOC の知覚空気質評価値の総和 (y 軸) との関係を示す。

$$PAQ = 112 \times \{\ln(PD) - 5.98\}^{-4} \quad (4)$$

ここで

PAQ : 知覚空気質 [decipol] PD : 不快者率 [%]

図 11 混合 VOCs に曝露された時の知覚空気質申告値と単体 VOC 濃度から予測した知覚空気質評価との関係

一点鎖線で示した混合 VOCs の知覚空気質評価値と単体 VOC の知覚空気質評価値の総和との関係を表す回帰直線は、実線で示した「 $y = x$ 」の直線よりもかなり上回っている。これは、単体 VOC の知覚空気質評価値を合計したものが、実際の混合 VOCs の知覚空気質評価値よりも大きめに見積もることを表している。

比較のために図 11 には、5 つの単体 VOC 濃度から予測される知覚空気質評価値のうち、最も decipol 値の高い VOC の値 (y 軸) と混合 VOCs の知覚空気質評価値 (x 軸) との関係も示しており、その回帰直線は点線で表されている。これをみると、最も decipol 値の高い単体 VOC の知覚空気質評価値を予測値として用いた方が、 $y = x$ の直線に近い回帰直線になっており、混合 VOCs に曝露された場合でも、人間の知覚に影響を及ぼす度合いの大きい単体の VOC が他の VOCs をマスキングしていることが考えられる。この結果は、異なる建材から

の知覚空気汚染源強度の加法性を検討した Bluysen らの研究結果¹¹⁾ともほぼ一致している。Bluysen らは床クロス、カーペット、リノリウム、合板等の建材を、換気されている小さな瓶に個々に入れ、その瓶の中から放たれる空気の汚染度を嗅覚パネルに decipol 単位を用いて申告させ、その後、これらの建材を2つ組みあわせて瓶の中に入れ、それをまた嗅覚パネルに評価させている。彼らの研究では、2種類の混合であるのに対し、本研究では5種類の混合であることに違いがあるが、Bluysen らは、混合状態で測定した decipol 値は、単体で測定した各建材の decipol 値を加算したものよりも、小さくなる傾向があると述べている。また、混合した2つの建材の内で、単体で測定した時の decipol 値が高い方の建材の decipol 値と、混合状態で測定した時の decipol 値との相関が高いことを報告している。本研究で用いた5つの VOCs は、1つの建材(床仕上げ剤)の構成要素として扱われており、加法性の評価単位は構成要素の各 VOC である。一方、Bluysen らは、建材そのものを評価単位として扱って加法性を検討している点に本研究との違いがある。

今回は、臭気の質が似ていると考えられる VOCs を同時に存在させた時の知覚空気質評価について検討したが、これとは異なる VOCs の組み合わせについては、本実験と異なる結果が得られることが考えられる。今後、多様な臭気の質の VOCs の組み合わせによる研究が必要である。

5. まとめ

- 1) 床仕上げ剤の成分である5種類の単体の VOC (オクタン、ノナン、デカン、ウンデカン、ドデカン) を嗅覚パネルに曝露した実験タイプ1から、パネルの申告する臭気強度と単体 VOC 濃度との関係を求めた。
- 2) 5種の混合 VOCs を嗅覚パネルに曝露した実験タイプ2では、臭気強度申告値のピーク値からの減衰の度合いは、TVOC 濃度のピーク値からの減衰に比べ緩やかであった。これは実験後半に発生が顕著であるウンデカンやドデカンが、低濃度でも高い臭気強度を知覚するためと考えられる。
- 3) 実験タイプ2の混合 VOCs を嗅いだ時に申告した知覚空気質評価値と、混合 VOCs 中の個々の単体 VOC 濃度から予測される知覚空気質評価値の総和(予測値)とを比較したところ、予測値の方が申告値を大幅に上回る結果となった。
- 4) 混合 VOCs を嗅いだ時に申告した知覚空気質評価値(decipol 値)は、その時の単体 VOC 濃度から予測される知覚空気質評価値の最大値に近い値となった。
- 5) 臭気の質が似ていると思われる5種の VOCs を嗅いだ時の知覚は、一つの支配的な VOC 臭気成分の感覚によって表現されると考えられる結果が得られたが、様々な臭気の質の VOCs の組み合わせについての研究が必要である。

【注】1) 光音響法マルチガスモニターに取り付けられた光学フィルター(B&K 社、UA0987)の中心波長は 2950cm^{-1} 、波長幅は 180cm^{-1} である。この光学フィルターを TVOC 濃度測定の際に使用する理由として Hodgson は、多くの炭化水素化合物の赤外線吸収域は 3000cm^{-1} 近くにあるためと述べており¹²⁾、彼はこの光学フィルターをトルエン

で校正し使用している。

2) ある市販の床仕上げ剤のサンプルをダイナミックヘッドスペース法にて分析した結果、この5種類の VOCs の含有率が高かった。

【謝辞】本研究は、科学技術庁科学技術振興調整費(生活・社会基盤研究 生活者ニーズ対応研究「室内化学物質空気汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」)に基づいて設けられた建築学会学術委員会・室内化学物質空気汚染調査研究委員会(委員長:村上周三 慶応義塾大学教授)の活動の一環として実施したものである。関係者各位に深甚なる謝意を表する次第である。また、床仕上げ剤のヘッドスペース分析はお茶の水女子大学生活科学部の久保田紀久枝教授のご協力を得た。本実験の実施は、当時鹿児島大学学生であった清藤義浩氏、神宮寺華代氏、当時鹿児島大学大学院生であった佐藤剛氏の労によるところが大きい。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省シックハウス問題に関する検討会中間報告書、厚生労働省ホームページ、<http://www.mhlw.go.jp>、2001
- 2) Wolkoff, P. and Nielsen, P.A.: Indoor Climate Labeling of Building Materials: The Experimental Approach for a Prototype, Characterizing Sources of Indoor Air Pollution and related Sink Effects, ASTM STP 1287, pp.331-349, 1996
- 3) European Collaborative Action (ECA), Indoor Air Quality & its Impact on Man, Report No. 19, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, 1997
- 4) Jensen, B. and Wolkoff, P.: VOCBASE. Odor Thresholds, Mucous Membrane Irritation Thresholds and Physio-Chemical Parameters of Volatile Organic Compounds. Nat. Inst. Occup. Health. Denmark. 1996
- 5) 悪臭公害研究会、悪臭と官能試験、1980
- 6) Pejtersen, J., and Fanger, P.O., Measurement of Air Pollution Sources in Buildings, CIB Proceedings, Publication 163, CIB W77, Research on Indoor Air Quality and Climate, pp.3-8, 1994
- 7) NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Dept. of Health and Human Services, 1994
- 8) Matheson Tri-Gas Inc. : Matheson's MSDS Online, <http://www.matheson.com/>
- 9) Jensen, B., Wolkoff, P., and Wilkins, C.K.: Characterization of Linoleum. Part 2: Preliminary Odor Evaluation, Indoor Air, Vol.5, pp.44-49, 1995
- 10) Fanger, P.O. : Introduction of the Olf and the Decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors, Energy and Buildings, Vol.12, pp.1-6, 1988
- 11) Bluysen, P.M. and Cornelissen, H.J.M.: Addition of Sensory Pollution Loads -Simple or Not?, Proc. of Healthy Buildings '97, Vol.2, pp.213-218, 1997
- 12) Hodgson, A.T.: A Review and a Limited Comparison of Methods for Measuring Total Volatile Organic Compounds in Indoor Air, Indoor Air, Vol.5, pp.247-257, 1995

(2001年6月8日原稿受理, 2001年11月8日採用決定)