

論文・解説

18

## 車室内におけるVOCの低減 Reduction of in-Cabin VOC

松井 恵子<sup>\*1</sup> 市川 智士<sup>\*2</sup>  
Keiko Matsui Satoshi Ichikawa

### 要約

当社では、健康に配慮した自動車を提供するため、車室内の揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compounds）の低減に取り組んできた。VOCの低減には、主要な発生源（部品）の特定やそれぞれの部品が車室内のVOCに影響する度合いを明らかにすることが必要となる。そこで、VOC発生量の多い部品をふるい分けするためのスクリーニング試験方法（20L小形チャンバ法）と、部品の影響する度合いを明確にするための部品試験方法（2m<sup>3</sup>大形チャンバ法）の2手法を独自に確立した。

これらの試験方法を用いて、新型デミオと新型アテンザの車室内VOC濃度を社団法人日本自動車工業会（以下自工会）の自主取り組みに適合させた。

### Summary

MAZDA has worked on the reducing of in-cabin VOC (Volatile Organic Compounds) to offer a health-conscious automobiles. It is necessary to identify the main source of VOC and to clarify the extent of the effects of each part/component to in-cabin VOC in order to reduce VOC. MAZDA established two evaluation methods. One is screening method by 20L small chamber and the other is 2m<sup>3</sup> large chamber method that can clear the contribution for in-cabin VOC from arising each interior parts VOC.

In-Cabin VOC of new DEMIO and ATENZA has been suited to a JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.) Voluntary Action Program by using these evaluation methods.

### 1. はじめに

近年、建築物内装材から発生するVOCがシックハウス症候群の一原因として問題視されている。自動車の内装部品にも建築物内装材と同様の素材が使用されていることから、自工会では車室内も居住空間の一部と考え、2005年2月に「車室内VOC低減に対する自主取り組み」<sup>1)</sup>を発表し、2007年4月以降に発売される新型乗用車から適用している（トラック・バスを含む商用車については2008年4月より適用される）。この取り組みは、厚生労働省によって室内濃度指針値が定められた13物質（Table 1）<sup>2)</sup>に対し、所定の試験条件（Table 2, Fig.1）で指針値を満足させるとともに、車室内VOCの低減に努めるものである。

自動車内装の近年の傾向として、質感向上のため部品に

塗装や表皮張りなどの加飾を施し、防音のために天井やフロアに吸音材を設けるなどしており、それらの影響で車室内VOCは増加する傾向にある。また、リサイクル材料、バイオプラスチックなど新しい素材の使用、更に、部品の調達先も全世界へと広がり、使用される材料の種類も増えている。したがって、VOCを低減し健康に配慮した自動車を提供するためには、VOCの発生源（部品）を迅速かつ正確に把握できる試験方法を開発し、効果的な低減メニューを選択して新型車へ技術導入することが重要である。

なお、チャンバとは試験槽あるいは試験容器と定義する。

### 2. VOC対策を考慮しない自動車の現状

VOC対策を考慮していない小型から大型の普通乗用車10台に対して、Table 2, Fig.1に示した自工会の自主取り

\*1, 2 技術研究所  
Technical Research Center

Table 1 Indoor Concentration Guideline for 13 Substances Formulated by Ministry of Health, Labour and Welfare (As of Dec.2004)

Substance	Indoor Concentration Guideline <sup>*1</sup>
Formaldehyde	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)
Toluene	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)
Xylene	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)
Paradichlorobenzene <sup>*2</sup>	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
Ethylbenzene	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)
Styrene	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)
Chlorpyrifos <sup>*2</sup>	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppb) 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007ppb) for children
Di-n-butyl phthalate	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)
Tetradecane	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
Di-n-ethylhexyl phthalate	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)
Diazinon <sup>*2</sup>	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)
Acetaldehyde	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03ppm)
Phenobucarb <sup>*2</sup>	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)

\*1 : Converted to values at 25°C ;ppb=1/1000ppm  
 \*2 : The following chemicals have been excluded from in-cabin VOC, because repellants for ants and insects are used mainly at home but not used in automobiles: Paradichlorobenzene, Chlorpyrifos, Diazinon, and Phenobucarb.

Table 2 JAMA Test Method

Item	Test Condition
Test Vehicle	The normal production process, and kept for not more than 4weeks (preferably 14 to 28 days)
Temperature of Passenger Compartment	40±2°C (approximately at the position of the driver's nose)
Measuring Mode	Closed and left-as-is mode : on the short-term impact for formaldehyde Driving mode : on the long-term impact for other chemicals

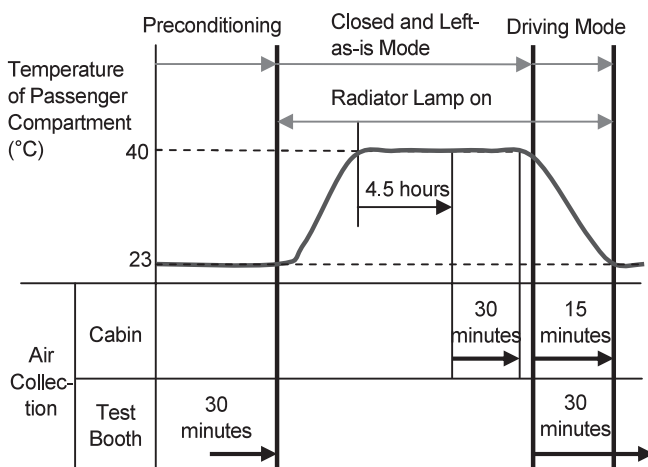


Fig. 1 Test Schedule

組みの試験条件に従いVOCを捕集し、また、厚生労働省「室内空气中化学物質の採取方法と測定方法」<sup>(2)</sup>に準拠した分析条件（以降、この論文中に示される全てのデータは、この分析条件で評価している）で車室内VOCを評価した結果、Table 1に示す13物質のうち、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの4物質のいずれかの室内濃度指針値を満足しない車種が数台あった<sup>(3)</sup>。その他の9物質については、全ての車種において室内濃度指針値を満足している。したがって、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの4物質に対し特に対策が必要と判断した。

### 3. VOC主要発生源の特定

#### 3.1 スクリーニング試験方法の検討

車室内を構成する内装部品は様々な形状で複雑な材料構成であり、また、部品点数も約300種類と多い。このうち、どの部品が前述の4物質の主要発生源であるか特定するためには、VOC発生量の多い部品をふるい分けする必要がある。

現在、社団法人自動車技術会では国際規格化をめざして自動車用内装部品のVOC試験方法を策定中である。しかし、技術開発に取り組んだ当初は、国内に公的な自動車用内装部品のVOC試験方法はなく、唯一ドイツ自動車工業協会（VDA）規格があるのみであった。更に、VOC試験方法では先行していた建築材料のVOC試験方法の中から、物質伝達率概念を採用し精度や再現性の向上した日本工業規格（JIS）のVOC放散試験方法（JIS A1901）もVDA規格と併せて参考とし、加熱促進試験をベースとしたスクリーニング試験方法の確立に取り組んだ（Table 3, 4）。

なお、試験設備の構成をFig.2に示す。

Table 3 Reference Standard

Standard	Object Substance	Method	Testing Temperature (°C)	Sample Size
VDA275	Formaldehyde	Flask	60	40 X 100mm X Thickness
VDA276	VOC	1m <sup>3</sup> -Chamber	65	Component
VDA277	Total VOC	Head-space Vial	120	Pieces of 10-25mg
VDA278	VOC	Tube	90	10-60mg
JISA1901	VOC +Carbonyl Compound	20-1000L Chamber	28	Part or Small Piece

Table 4 Test Method

	VDA276	JIS A1901
Chamber Volume	1m <sup>3</sup> (1000L)	20~1000L (±5%)
Test Temperature	65°C	28±1°C
Relative Humidity	45% at 23 °C or 5% at 65 °C	50%±5%
Air Exchange Rate	0.5 per hour	0.5±0.05 per hour
Sampling Timing	2.5 hour	1day, 3day, 7day, 14±1day, 28±2day

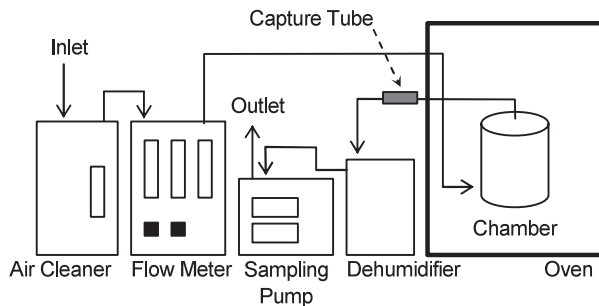


Fig.2 Evaluation Equipments (20L Chamber)

### 3.2 スクリーニング試験条件

#### (1) 試験容器

試験容器の材質としては、ステンレス、フッ化ビニールバッグ、ガラスなどがある。容器自身からVOCを発生しない、大容積にも対応可能であることからステンレス製のチャンバを選択した。容器の容積は試験片の採取箇所によるばらつきを考慮すると大物部品が丸ごと入る大きさが良いが、容積が大きすぎると空気の置換・加熱・安定までに時間がかかり効率的ではない。したがって20Lのものを選択した。

#### (2) 試験温度と相対湿度

VOC発生量の多い部品のふるい分けが目的なので、Table 2に示す車室内VOC試験温度の40より高い温度に設定した。日本における車室内の最も厳しい温度条件は、真夏の昼間の密閉した車室内空間であり、その時の平均的な車室内温度は65である。これはドイツ連邦教育芸術研究技術省のレポートでも同様の報告がされている<sup>(4)</sup>。したがって、試験温度は65を選択した。また、温度が高いと湿度制御が困難になり、水分の影響を受けやすいアルデヒド類の測定値のばらつきも発生しやすくなるため、再現性を考慮して乾燥空気を使用する。

#### (3) 換気回数とVOC捕集条件

Table 2, Fig.1に示す自工会の自主取り組みの密閉モード評価を模擬するためVDA276やJIS A1901のような換気は行わず、チャンバは密閉とする。チャンバ内温度が65に安定(約30分後)してから1h保持した後、チャンバ内に清浄空気を導入しながら、VOC用捕集管に捕集速度0.1L/minで1L採取し再び密閉する。10分間経過後、再び

チャンバ内に清浄な乾燥空気を導入しながら、アルデヒド・ケトン用捕集管に捕集速度1L/minで10L採取する。

#### (4) 試験片のはかり取り量

車室内容積は車種により異なるが、約2~4m<sup>3</sup>(2,000~4,000L)である。試験容器はステンレス製の20Lチャンバであり、最小車室内容積の約1/100のサイズである。したがって、チャンバを車室内と見立て部品も容積の1/100を切り出すのが適切と考えた。しかしながら、複雑な形状の自動車の内装部品に対し、容積の1/100を正確に切り出すのは非常に困難であるため、VOC発生にはほとんど影響のない金属を除いた部品重量の1/100のはかり取りで代用することにした。

### 3.3 スクリーニング試験方法の再現性確認<sup>(5)</sup>

#### (1) 繰り返し再現性

当社保有の試験設備を用いて、3.2の試験条件で、同一ロットの実験用樹脂混合サンプル(ポリプロピレンのペレット50g+ポリアセタールのペレット2g)から放散するVOC(トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒド)をn=5回評価した。測定値のばらつきは、どの物質でも同様な傾向であり、代表としてFig.3にトルエンの例を示す。トルエン濃度の変動係数(CV値)は6.8となり、ばらつきが小さく再現性の高い試験方法であることが確認できた。

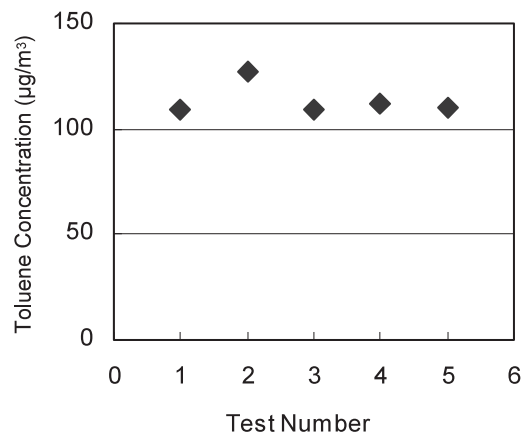


Fig.3 Repeatability of VOC Chamber Test

#### (2) 国内分析機関との相関性

自動車の内装部品やその材料は数が多いので、当社保有の設備がトラブルなどで使用できなくなった場合、VOC低減の取り組みに支障をきたす恐れがある。そこで、代替手段の確保のため、Fig.2に示す試験設備を保有する国内の7つの分析機関の試験設備と当社の試験設備とのコリレーション(相関性検証)評価を行った。

コリレーション評価の内容は以下の2つである。

- 1) 同一標準試薬の分析値の比較による分析装置の相関性確認
- 2) 実験用樹脂混合サンプルを使った試験設備の相関性確認

1) の評価結果では、各分析機関の測定値のばらつきは標準偏差( )で1 内であり、分析装置の相関性はあると判断した。

2) の評価は公定法ではないため、当社の分析値を正として相関性を判断した。その結果、一部の分析機関の測定値が当社の測定値と乖離のあることが分かった。試験条件(加熱温度、加熱時間、昇温速度など)を検討した結果、オープン内部の温度分布のばらつきと昇温速度の違いが、測定値の乖離原因と判明した。これらの条件を当社の試験設備と合わせることで、Fig.4のトルエンの例で示した通り、標準偏差を1 内に納めることができた。したがって、試験設備も相関性があると判断した。なお、サンプルは(1)と同じ樹脂混合サンプルであるが(1)とは別ロットのため、VOC濃度は異なる。

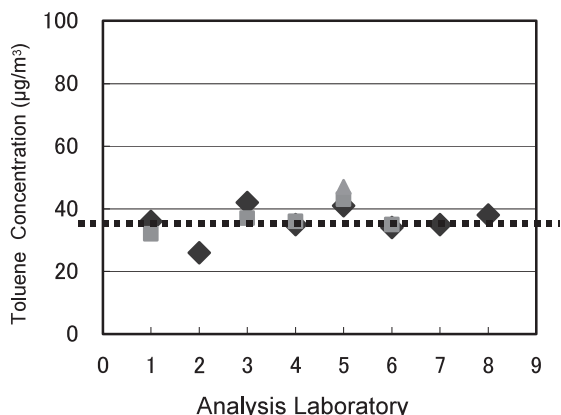


Fig.4 Result of Correlation (Toluene)

3.4 内装部品のVOC試験結果

開発したスクリーニング試験方法で内装部品のVOCを採取し評価した結果、2章に示す4物質の主要発生源は、定性的な表現ではあるがTable 5に示した部品・材料であることが分かった。

トルエン、キシレンは、塗装や接着剤など含まれる溶剤、アルデヒド類はポリアセタール(POM)樹脂やウレタン類が主な発生源である。

4. VOCの低減策とその効果確認

一般的にVOCを低減する方法は以下の4つが考えられる。

- 1) 材料の見直しや工法を変更する
- 2) 材料や部品を加熱処理する
- 3) 部品にVOC除去材を添加する
- 4) エアコンフィルタにVOC低減機能を付加する

これらのうち、部品から発生する元々のVOC濃度が高いと3)と4)の手法を選択しても低減効果には限界があるため、技術的に困難な場合を除き、まずは1)の源流からのVOC削減をマツダの基本方針とした。

代表的なVOC発生源に対して行った低減策の例を以下に示す。なお、低減効果の確認はスクリーニング試験方法を用いた。

Table 5 Source of VOC of 4 Substances

Source of VOC (Parts / Material)	Ratio of Effect Extent (◎:High, ○:Middle, △:Low)			
	Toluene	Xylene	Form- aldehyde	Acet- aldehyde
Sealer	◎	◎		○
Painted Panel	◎	◎		○
Painted Door Trim	◎	◎		
Other Paintings	◎	◎		○
Window Glass Bond	◎	◎		
Bond of Trims	◎	○	○	○
Adhesive Tapes	◎			
Leather Steering	◎	△		
Base Material (PP)	○	○		
Dash Insulator	○	○	△	◎
Harness	◎			
Polyacetal Resin			◎	○
Urethane	○	△	◎	◎
Floor Mat	○		◎	
Top Ceiling	○		◎	

(1) 塗装部品(インストゥルメントパネル、ドアトリムなど)

塗装材料や工程内でVOCの発生源となりうるのは、①希釈溶剤、②塗料樹脂の不純物、③製造設備の洗浄溶剤である。そこで、希釈溶剤中のトルエン、キシレンの全廃と塗料樹脂の改良で①と②を対策した。しかし、低減効果が十分ではなかったため、最終的には③に対しても、トルエン、キシレン以外の溶剤に変更することで、両物質をほぼ100%低減できた。

(2) 接着剤/粘着剤(ウインドウガラス接着剤、粘着テープなど)

接着剤でVOCの発生源となりうるのは、①材料中に含まれる溶剤と②製造設備の洗浄溶剤である。シート表皮に対しては、①と②のどちらも使用しないフレームラミ接着法(加熱して溶着する)にすることで、トルエンとキシレンをほぼ100%低減できた。

なお、フレームラミ接着法を使えないものに関しては、溶剤成分からトルエン、キシレンを低減することと、量産設備の洗浄溶剤を他の溶剤に変更することで、トルエン、キシレンをほぼ100%削減できた。

(3) POM樹脂

POMはその原材料がホルムアルデヒドであることから、VOCの発生源は、①重合時に未反応で残ったホルムアルデヒドと、②重合した後の不安定な末端基の切断により発

生したホルムアルデヒドになる。これらについては、材料メーカーが、POMの骨格の安定化、主鎖分解を抑制する安定剤、およびホルムアルデヒドガスを補足する添加剤の添加等を施すことで、①と②の対策を行っている。この対策材料に変更することで、ホルムアルデヒドは約80%の低減が可能になった。

### 5. 車室内VOCへの影響度合いを考慮した低減メニューの検討

#### 5.1 大形チャンバを使用した部品VOC試験方法

3章および4章で、VOCの主要な発生源(部品)の特定、および低減策の効果の確認はできた。しかし、それぞれの部品から発生するVOCの車室内VOCに影響する度合いが明確になっていない。

そこで、容積がより車室内空間に近い2m<sup>3</sup>の大形チャンバを用い、部品を裁断せずに丸ごと評価することで、それぞれの部品が車室内のVOCに影響する度合いを明らかにする部品の試験方法を開発した。試験設備の外観をFig.5に示す。



Fig.5 Test Equipments (2m<sup>3</sup> Chamber)

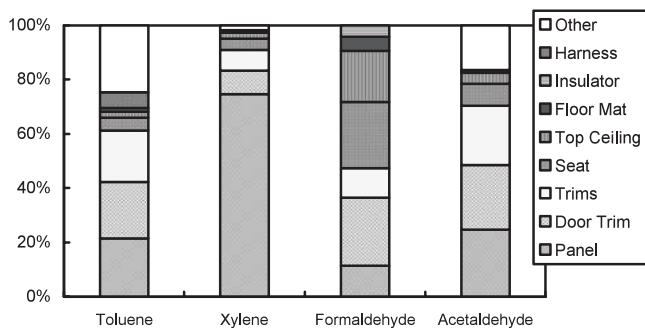


Fig.6 Effect Extent for in-Cabin VOC

評価は以下の手順で行う。まず始めに主要内装部品すべてをチャンバに入れて評価(車室内VOC評価を模擬)し、次に部品を1点ずつ個別に評価する。これらの評価結果を

比較することで、車室内VOCに対するそれぞれの部品の影響度合いを明らかにした。小型の普通乗用車の事例をFig.6に示す。構成部品の仕様の違いで車種毎に影響度合いは異なるが、事例ではインスツルメントパネルやドアトリムなどの影響が大きい。

開発した大形チャンバ試験の試験条件については、ノウハウに関わるので、ここでは割愛する。

#### 5.2 VOC低減メニューの決定と実車での検証

大形チャンバ試験結果によるそれぞれの部品の車室内VOCへの影響度合いをもとに、車種別に効果的なVOC低減メニューを決定した。具体的には以下の操作を行った。

- 1) Table 5に示す主要発生源の中から、車室内VOCへの影響度合いの高い部品を重点的に選択する
- 2) 1)で選択した旧型モデルの部品のVOC値に4章で述べた低減策を用いた時のVOC低減率を乗じる。
- 3) VOC低減策を折り込んだ部品と折り込んでいない部品全てのVOC値を積算し、室内濃度指針値以内にならなければ、低減策を施す部品を追加する。

以上の手続きを踏まえて決定した低減メニュー(新型モデルの車室内VOCの予測値)と実際の車室内VOCの測定値を比較したのが、Fig.7である。Fig.7は、代表として、小型の普通乗用車におけるトルエンとホルムアルデヒドの結果を示している。いずれのグラフも横軸左端が旧型モデルの車室内VOCの実測値、中央が低減策を折り込んだ新型モデルの車室内VOCの予測値、右端が低減策を折り込んだ新型モデルの車室内VOCの実測値である。また、縦軸は旧型モデルの車室内VOCの実測値を100%とした時の値を示している。

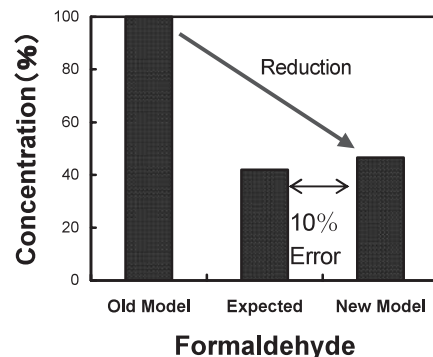
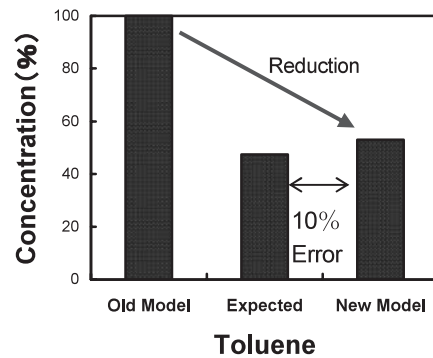
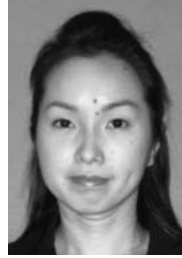


Fig.7 Expected and Measured Value of VOC in Cabin

旧型モデルと新型モデルの実測値の比較より、新型モデルは室内濃度指針値以下に車室内VOCが低減できていることを確認できた。また、諸条件によりばらつきが大きいVOCに対して、大形チャンバを使用した部品VOC評価から予測した新型モデルの値は、実測値の約10%の誤差に納まっており、大形チャンバを使用した部品VOC試験方法はVOC低減メニューの決定に対して有効なツールである。

なお、新型デミオおよび新型アテンザの車室内VOCは、上記の手法によって、自工会の自主取り組みに適合した。今後の新型車開発に対しても、この手法を順次適用していく。

#### 著者



松井恵子



市川智士

## 6. まとめ

より健康に配慮した自動車づくりをめざしVOC低減に取り組んできた結果、以下の成果を得た。

- 1) 内装部品の試験片を用いたスクリーニング試験方法を独自に開発し、VOC主要発生源の特定と低減策の効果を確認した。
- 2) 車室内VOCへの影響度合いを明らかにするための部品VOC試験方法を確立した。これにより効果的なVOC低減メニューの決定が可能になった。
- 3) これらの試験方法を用いて、新型乗用車の車室内VOCを自工会の自主取り組みに適合させた。

## 参考文献

- (1) 日本自動車工業会：車室内VOC（揮発性有機化合物）低減に対する自主取り組み，JAMA Report，No.98（2005）
- (2) 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中間報告書 - 第1回～第3回まとめ（2000年6月26日），第4回～第5回まとめ（2000年12月22日），第6回～第7回まとめ（2001年7月24日），第8回～第9回まとめ（2002年2月8日）
- (3) 鶴賀ほか：車室内VOC測定法に関する研究，自動車技術会学術講演会前刷集，No.116-04，p.13-16（2004）
- (4) Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie und Forschungsvereinigung Automobilforschung e.v.：Emissionen im Kraftfahrzeuginnenraum（1998）
- (5) 市川ほか：車室内部品から発生するVOCの計測法，自動車技術会学術講演会前刷集，No.106-07，p.11-14（2007）