

厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）
R5 年度終了報告書

家庭用品中有害物質の試験法及び規制基準設定に関する研究

未規制揮発性有機化合物の実態調査

エアゾール製品中の塩化ビニルの妥当性評価に向けた試験法の検討

研究分担者 河上 強志 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長
研究協力者 菅谷 なえ子 横浜市衛生研究所 理化学検査研究課 専門研究員

要旨

エアゾール製品中の塩化ビニル試験法について、想定される規制基準値案に合わせた方法を検討した。先行研究で開発した VC の分析方法の改良法、すなわち噴射ガスをサンプリングバッグに捕集しシリンジで 5 mL のガスを採取し、VC を DMSO に捕集して HS-GC/MS 法で分析する方法について、検量線、標準ガス分析における回収率及び再現性を検討した。検量線は 4~200 $\mu\text{g/L}$ 及び 40~2000 $\mu\text{g/L}$ の 2 本を検討した結果、いずれも相関係数 0.9999 以上の良好な直線性を示した。VC160 $\mu\text{g/L}$ の標準ガスを分析した結果、加圧注入することにより平均濃度 153.9 $\mu\text{g/L}$ 、相対標準偏差 5.1%、回収率 96%と良好な結果が得られた。また、VC を添加したエアゾール試料（噴射ガス中の推定 VC 濃度は試料 A で 37.7 $\mu\text{g/L}$ 、試料 B で 18.8 $\mu\text{g/L}$ 、試料 C で 3.77 $\mu\text{g/L}$ ）を試作し分析した結果、平均濃度及び相対標準偏差は、試料 A で 24.6 $\mu\text{g/L}$ 及び 7.2%、試料 B で 13.7 $\mu\text{g/L}$ 及び 0.78%、試料 C で 3.01 $\mu\text{g/L}$ （検量線範囲外）及び 7.0%であった。作製したエアゾール試料は均一性が高く、また、本方法は噴射剤である DME や多くの溶剤の影響を受けない、再現性の高い分析法であることが示されたが、回収率は VC 濃度が高くなるほど低下する現象が見られた。今後、エアゾール試料から捕集バッグまでのライン上での損失を低減する検討が必要と考えられた。妥当性評価試験で使用するエアゾール試料については、主溶剤の揮発性が回収率の算出の基となる VC 濃度の試算に影響を与えた可能性があるため、主溶剤を揮発性の低い溶剤に切り替えるなどエアゾール試料の更なる検討が必要と考えられた。

国内の室内空気における揮発性有機化合物（VOC）について近年の検出状況について過去 10 年以内に発表された文献の調査を行い、VOC9 物質を中心に検討を行った結果、それぞれの研究で検出された濃度の中央値に大きな違いはなく、室内濃度指針値（指針値設定のないベンゼンを除く）と比較しても 1/3 から 1/10 程度と低い値であった。しかし、最大検出値は中央値の 100 倍から 1000 倍以上となる報告があることから、これらの物質は個人の生活様式が大きく室内濃度に影響し、室内で使用し

ている化学製品などの特有の発生源が存在する可能性が示唆された。室内の VOC 発生源についての文献調査では、主成分分析による報告でトルエン、*m, p*-キシレン、*o*-キシレン及びエチルベンゼンは塗料、インク、接着剤及びガソリンと、またベンゼン及びアセトアルデヒドは酢酸、香水、染料及び薬などの消費生活用品との高い相関 ($r > 0.4$) を示し、パラジクロロベンゼンは防虫剤と強い相関 ($r = 0.96$) を示した。先行の家庭用エアゾール製品中の未規制 VOC の実態調査ではトルエン及びベンゼンの検出率が高く、トルエンについては検出濃度も高かったため、家庭用エアゾール製品の使用が室内濃度を高める要因の一つとなることが示唆された。また、靴用補修剤が室内空気汚染原因であった事例の報告もあったことから、エアゾール以外の製品について、メタノール、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンを含む未規制 VOC の実態調査を行う必要があると考えられた。

A. 研究目的

塩化ビニル (VC) について現行の有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律 (家庭用品規制法)¹⁾ でエアゾール製品の噴射剤に含まれないこととして規制しているが、規制値は設定されておらず、試験方法も定性試験法で定量ができない。先行研究ではエアゾール製品中の VC 分析法を開発し、VC の実態調査及びリスク評価を行った^{2,3)}。本研究では想定される規制基準値案に合わせた VC の通知試験法の確立を目的に、本年度は検量線等の試験方法を検討し、妥当性評価試験用試料を作製した。

また、日本では家庭用エアゾール製品を対象に揮発性有機化合物 (VOC) のメタノール、トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンが家庭用品規制法¹⁾ により規制されている。一方、欧州では Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) 規制⁴⁾ により上記 3 種以外にクロロホルムやジクロロメタンを含む塩素系の溶剤やシクロヘキサン、ベンゼン、トルエンなどの非

塩素系溶剤がエアゾール製品のみならず塗料剥離剤、接着剤、塗料等で規制されている。本研究ではこれら未規制の物質及び製品について実態を把握することを目的に、本年度は国内の室内空気からの VOC の検出状況や発生源について文献調査を行った。

B. 研究方法

B1. エアゾール製品中の塩化ビニルの妥当性評価に向けた試験法の検討

B1-1. 試料及び試薬類

妥当性評価試験試料の検討では、表 1 に示した溶液 (500 g) を作製し、そこに VC を 10 mg (試料 A)、5 mg (試料 B)、1 mg (試料 C) を添加して原液を作製した。その原液 50 g とジメチルエーテル (DME) 50 g を用いてエアゾール試料を作製した。

メタノールは関東化学製残留農薬・PCB 用 5000、ジメチルスルホキシド (DMSO) は関東化学製残留溶媒試験用を用いた。VC 標準液はシグマアルドリッチ製 2000 µg/ml をメタノールで適宜希釈して用い、VC-d₃ 標準液はシグマアルドリッチ

チ製 1000 µg/ml を用いた。窒素ガスは 99.99%を用いた。

HS オートサンプラーは日本電子製 S-trap HS を、GC/MS はアジレントテクノロジー製 7890B 及び 5977B を用いた。キャピラリーカラムはアジレントテクノロジー製 CP-PoraBOND Q PT (パーティクルトラップ一体型) の長さ 55 m (パーティクルトラップ 5 m を含む)、内径 0.32 mm、膜厚 5 µm を用いた。捕集バッグ (1L) は GL サイエンス製アルミニウムバッグ CEK-1 を窒素で 2 回洗浄して用いた。

B1-2. 試験方法

以下の試験方法の検討は、室温 25±2°C の環境で行った。

B1-2-1. 検量線

図 1-a の通り、窒素 100 mL/分を通気しているライン上にシリンジでサロゲート標準液 (VC-d₃1000 µg/ml) 5 µL を注入して 1 分間通気し、20、200 及び 2000 µg/ml の VC 標準液を 1、2.5 及び 5 µL を各々注入して再び 1 分間通気して DMSO 25 mL に捕集した。この DMSO 5 mL を HS-GCMS で表 2 の分析条件で分析した。この検量線はガス 5 mL を分析した時のガス濃度として 4~2000 µg/L に相当する。

B1-2-2. 標準ガス分析

2 kPa 以下まで減圧した 125 mL 真空捕集瓶に VC 2000 µg/mL 標準液を 10 µL 注入したのち窒素を大気圧までサンプリグバッグから注入して試料ガスを調製した。この標準ガスは VC のガス濃度 160 µg/L となる。

図 1-a の通り、窒素 100 mL/分を通気しているライン上にサロゲート標準液 5 µL を注入して 1 分間通気し、真空捕集瓶内のガスをバルブ付きガスタイトシリンジで 5 mL 採取し、バルブを閉じて 3 mL 程度までバレルを押し込み加圧し、ラインに注入後 1 分間通気して DMSO 25 mL に捕集した。この DMSO 5 mL を検量線と同様に分析し、検量線 (40、100、200 µg/L の 3 点) より濃度を算出した。

B1-2-3. 妥当性評価試験試料の分析

エアゾール試料を図 1-b の通り 100 mL ガス洗浄瓶及び 1 L 捕集バッグにつなぎ、エアゾール試料を噴射させて噴射ガスを捕集バッグに捕集した。この捕集したガスを抜き、再びガスを捕集して抜く作業を行うことによりライン上を噴射ガスに置換させたのち、分析用のガスを捕集した。

図 1-a の通り、窒素 100 mL/分を通気しているライン上にサロゲート標準液 5 µL を注入して 1 分間通気し、捕集バッグのセプタム付き採取口からガスをバルブ付きガスタイトシリンジで 5 mL 採取し、バルブを閉じて 3 mL 程度までバレルを押し込み加圧し、注入後 1 分間通気して DMSO 25 mL に捕集した。DMSO 5 mL を検量線と同様に分析し、検量線 (4、10、20、40 の 4 点) より濃度を算出した。

B2. 未規制 VOC の実態に関する文献調査

B2-1. 調査方法

過去 10 年以内に発表された国内の室内空气中 VOC 濃度に関する文献を調査し

た。また、室内空気中 VOC の発生源に関する文献を調査した。

C. 結果及び考察

C1. エアゾール製品中の塩化ビニルの妥当性評価に向けた試験法の検討

C1-1. 検量線

4~200 µg/L 及び 40~2000 µg/L の 2 つの検量線を検討した結果、いずれも 0.9999 以上の相関係数が得られ、良好な直線性を示した (図 2)。

C1-2. 標準ガス分析

VC160 µg/L の標準ガスを 6 本作製し、図 1-a における DMSO での液体捕集の際に加圧せずにガス 5 mL を注入し、それぞれの回収率を求めた結果、5 本目の回収率が 29% と極端に低かった (表 3 右)。5 本目を除いた測定結果は平均ガス濃度 155.7 µg/L、相対標準偏差 4.8%、平均回収率 97% と良好であったことから、ガスが拡散しライン上に入らない等の物理的な要因により、安定した分析ができていないことが考えられた。

そこで、採取した 5 mL のガスを「B2-2-2. 標準ガス分析」で示した通り、ライン上加圧して注入した結果、8 本の標準ガスの分析で、平均ガス濃度 153.9 µg/L、相対標準偏差 5.1%、平均回収率 96% と良好な結果が得られた (表 3 左)。

以上の結果より、安定した分析のためにはガス注入時の加圧が必要であることが明らかとなった。また、回収率が 96% と良好であったことから、標準溶液をライン上に直接注入して作製した検量線試料による定量に問題ないことが確認され

た。

C1-3. 妥当性評価試験試料の検討

作製した試料 A、B 及び C の各 4 本について検討した方法により分析した結果、平均濃度及び相対標準偏差は、試料 A は 24.6 µg/L 及び 7.2%、試料 B は 13.7 µg/L 及び 0.78%、試料 C は 3.01 (検量線範囲外) 及び 7.0% であった (表 4)。作製したエアゾール試料は均一性が高く、また、本方法は噴射剤である DME や多くの溶剤の影響を受けない、再現性の高い分析法であることが示された。

回収率を算出するため、以下の通り噴射ガス中の VC 濃度 (µg/L) を推算した。なお、DME の蒸気圧は 25°C の時 4450 mmHg⁵⁾ と大気圧 (760 mmHg) と比較して高いため、噴射剤としてすべてガス化すると仮定した。

$$\text{VC 濃度 (}\mu\text{g/L)} = \frac{\text{VC 量 (}\mu\text{g)} \times \text{DME}_{MW}}{\text{DME 量 (g)} \times V}$$

DME_{MW} (DME のモル質量) を 46.07 g/mol⁵⁾、 V (1 mol、25°C の理想気体の体積) を 24.45 L、DME 量を 50 g、VC 量を試料 A は 1000 µg、試料 B は 500 µg、試料 C は 100 µg としたとき、VC 濃度は試料 A で 37.7 µg/L、試料 B で 18.8 µg/L、試料 C で 3.77 µg/L と推算された。この推定値を基に回収率を計算すると、試料 A は 65%、試料 B は 73%、試料 C は 80% となった。回収率は VC 濃度が高くなるほど低下した。VC は 25°C の時の蒸気圧は 2980 mmHg⁶⁾ と高く、25°C の環境では DME と同様にガス化していると考えられるため、エアゾール試

料から捕集バッグまでのライン上のつなぎ目等からの漏れが回収率低下の一つの要因であると考えられた。今後分析法においてはエアゾール試料から捕集バッグまでのライン上の漏れを低減する検討が必要であると考えられた。

また、エアゾール試料の原液成分には揮発性の高いものも含まれ、特に主溶剤であるアセトンの蒸気圧は 231 mmHg⁷⁾と比較的高いため、回収率の算出の基となる VC 濃度の試算に影響を与えた可能性がある。今後、妥当性評価試験試料の主溶剤を揮発性の低い溶剤に切り替えなどエアゾール試料の更なる検討が必要であると考えられた。

C2. 未規制 VOC の実態に関する文献調査

現在、厚生労働省により室内濃度指針値が 13 物質及び総揮発性有機化合物量 (TVOC) で示されている (表 5)⁸⁾。近年の国内の一般居住環境における VOC 室内濃度状況を調査するため、大規模に調査された報告を中心に、Chau-Ren Jung ら⁹⁾、大貫ら¹⁰⁾、田中ら¹¹⁾、吉田ら¹²⁾、Takaguchi ら¹³⁾及び Uchiyama ら¹⁴⁾の 6 報の文献を調査した。6 報の文献で測定された VOC はそれぞれ異なるが、今回は Chau-Ren Jung ら⁹⁾が行った約 5000 人の子供の住居における研究で測定されたベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、*m, p*-及び *o*-キシレン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドを中心に検討を行った。上記 9 物質のそれぞれの報告におけるデータを表 6 に示した。Chau-Ren Jung ら⁹⁾

は VOC のいずれの物質も屋外より室内の濃度が高く、室内濃度の高い物質はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンであったと報告し、トルエン、キシレン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドで室内濃度指針値の超過がみられた。大貫ら¹⁰⁾は東京都内の住宅 10 戸 18 か所において 77 物質を測定した結果、指針値を超過した物質はなかったが、室内からホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエンが 80%以上の高い検出率で検出したと報告している。田中ら¹¹⁾は横浜市及びその周辺地域の住宅 77 戸について VOC、無機ガス等を分析し、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、*p*-ジクロロベンゼン及び TVOC に指針値の超過が見られたと報告している。吉田ら¹²⁾は札幌市周辺の 40 戸について VOC、無機ガス等を分析した結果、アセトアルデヒド及び *p*-ジクロロベンゼンに指針値の超過が見られ、Takaguchi ら¹³⁾は千葉の住宅 154 戸について 48 物質を測定した結果、同様にアセトアルデヒド及び *p*-ジクロロベンゼンに指針値の超過が見られた。大貫ら¹⁰⁾、田中ら¹¹⁾、吉田ら¹²⁾及び Uchiyama ら¹⁴⁾の報告では Chau-Ren Jung ら⁹⁾と同様に、VOC を含む多くの物質で屋外より室内の濃度が高かった。それぞれの報告において、9 物質の中央値に大きな違いはなく、室内濃度指針値 (指針値設定のないベンゼンを除く) と比較しても 1/3 から 1/10 程度と低い値であった。しかし、最大検出値は中央値の 100 倍から 1000 倍以上となる報告もあることから、これらの物質は個人の生活様式が大きく

室内濃度に影響し、室内で使用している化学製品などの特有の発生源が存在する可能性が示唆された。

室内の VOC 発生源について、Chau-Ren Jung ら⁹⁾は主成分分析により、トルエン、*m*、*p*-キシレン、*o*-キシレン及びエチルベンゼンは塗料、インク、接着剤及びガソリンと、またベンゼン及びアセトアルデヒドは酢酸、香水、染料及び薬などの消費生活用品との相関 ($r > 0.4$) を示し、パラジクロロベンゼンは防虫剤と強い相関 ($r = 0.96$) を示した。吉田ら¹²⁾は、冬季の屋内ではヘプタンとオクタン、オクタンと *m*、*p*-キシレン等の VOC 間で強い正の相関がみられ、これは暖房等に使用される灯油に由来するものと示唆している。一方、大貫ら¹⁵⁾は室内空気より高濃度のテトラクロロエチレンが検出された住宅における発生源調査を行い、家庭用品である靴用補修剤がテトラクロロエチレンの発生源であることを明らかにした。

以上の文献調査から、室内空気中の VOC 濃度が高くなる要因として個人の生活様式があり、塗料、接着剤、染料などの家庭用品がトルエン、ベンゼン、テトラクロロエチレンを含む VOC の発生源として高い相関が認められた。先行の家庭用エアゾール製品中の未規制 VOC の実態調査¹⁶⁾ではトルエン及びベンゼンの検出率が高く、トルエンについては検出濃度も高かったため、家庭用エアゾール製品の使用が室内濃度を高める要因の一つとなることが示唆された。また、靴用補修剤が室内空気汚染原因であった事例があったことから、エアゾール以外の製品について、メタノール、トリクロロエチレン、テ

トラクロロエチレンを含む未規制 VOC の実態調査を行う必要があると考えられた。

D. まとめ

エアゾール製品中の塩化ビニル試験法については、想定される規制基準値に合わせた方法を検討した。先行研究で開発した VC の分析方法の改良法について、検量線、標準ガス分析における回収率及び再現性を検討した結果、検量線は良好な直線性を示し、標準ガス分析では加圧注入することにより相対標準偏差 5.1%、回収率 96%と良好な結果が得られた。また、VC を添加したエアゾール製品（噴射ガス中の推定 VC 濃度は試料 A で 37.7 $\mu\text{g/L}$ 、試料 B で 18.8 $\mu\text{g/L}$ 、試料 C で 3.77 $\mu\text{g/L}$) を試作し分析した結果、平均濃度及び相対標準偏差は、試料 A で 24.6 $\mu\text{g/L}$ 及び 7.2%、試料 B で 13.7 $\mu\text{g/L}$ 及び 0.78%、試料 C で 3.01 $\mu\text{g/L}$ (検量線範囲外) 及び 7.0%であった。作製したエアゾール試料は均一性が高く、また、本方法は噴射剤である DME や多くの溶剤の影響を受けない、再現性の高い分析法であることが示されたが、回収率は VC 濃度が高くなるほど低下する現象が見られたため、今後エアゾール試料から捕集バッグまでのライン上での損失を低減する検討が必要と考えられた。妥当性評価試験におけるエアゾール試料の作製については、主溶剤の揮発性が回収率の算出の基となる VC 濃度の試算に影響を与えた可能性があるため、今後、主溶剤を揮発性の低い溶剤に切り替えるなどエアゾール試料の更なる検討が必要であると考えられた。

未規制 VOC の実態調査において、近年の国内の室内空気中 VOC 濃度及び発生源に関する文献を調査した結果、室内空気中の VOC 濃度が高くなる要因として個人の生活様式があり、塗料、接着剤、染料などの家庭用品がトルエン、ベンゼン、テトラクロロエチレンを含む VOC の発生源として高い相関が認められた。先行の家庭用エアゾール製品中の未規制 VOC の実態調査¹⁶⁾ではトルエン及びベンゼンの検出率が高く、トルエンについては検出濃度も高かったため、家庭用エアゾール製品の使用が室内濃度を高める要因の一つとなることが示唆された。また、靴用補修剤が室内空気汚染原因であった事例があったことから、エアゾール以外の製品について、メタノール、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンを含む未規制 VOC の実態調査を行う必要があると考えられた。

E. 研究発表

E.1 学会発表

- 1) 菅谷 なえ子・田原 麻衣子・河上 強志: 家庭用エアゾール製品中の未規制揮発性有機化合物の実態調査、第 60 回全国衛生化学技術 回全国衛生化学技術協議会年会 (2023. 11)

F. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

G. 引用文献

- 1) 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律、昭和四十八年法律第百十二号
- 2) Naeko Sugaya, Kaoru Inoue, Maiko Tahara, Tsuyoshi Kawakami: Analysis and risk assessment of vinyl chloride emitted from aerosol products, *J. Environ. Sci. Health A*, 58, 284-294, 2023.
- 3) 河上 強志、菅谷 なえ子: 厚生労働行政推進調査事業費補助金 (化学物質リスク研究事業)、家庭用品中の有害物質の規制基準に関する研究 (20KD2001) R2~4 年度終了報告書、家庭用品中の揮発性有機化合物の実態に関する研究、13-37、2023
- 4) REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC
- 5) National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 8254, Dimethyl Ether. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/comp>

- ound/Dimethyl-Ether. Accessed Mar. 15, 2024.
- 6) National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 6338, Vinyl Chloride. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Vinyl-Chloride>. Accessed Mar. 15, 2024.
 - 7) National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 180, Acetone. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetone>. Accessed Mar. 15, 2024.
 - 8) 室内空气中化学物質の室内濃度指針値について、平成31年1月17日、薬生発0117第1号、厚生労働省医薬・生活衛生局長通知
 - 9) Chau-Ren Jung, Yukiko Nishihama, Shoji F. Nakayama, Kenji Tamura, Tomohiko Isobe, Takehiro Michikawa, Miyuki Iwai-Shimada, Yayoi Kobayashi, Makiko Sekiyama, Yu Taniguchi, Shin Yamazaki, the Japan Environment and Children's Study Group: Indoor air quality of 5,000 households and its determinants. Part B: Volatile organic compounds and inorganic gaseous pollutants in the Japan Environment and Children's study, *Environmental Research*, 197, 111135, 2021
 - 10) 大貫 文、角田 徳子、菱木 麻佑、大久保 智子、斎藤 育江、小西 浩之、守安 貴子、阿部 圭美、熊野 眞理、牧 倫郎、佐藤 弘和: 居住環境における空气中化学物質濃度と発生源について、*東京健安研セ年報*、68、239-247、2017
 - 11) 田中 礼子、内山 茂久、稲葉 洋平、櫻田 尚樹: 横浜市周辺の公共建築物と一般住宅における室内環境中化学物質濃度、*環境化学*、26 (1)、9-19、2016
 - 12) 吉田 勤、内山 茂久、武口 裕、宮本 啓二、宮田 淳、戸次 加奈江、稲葉 洋平、中込 秀樹、櫻田 尚樹: 4種の拡散サンプラーを用いる札幌市における屋内外のガス状化学物質の実態調査、*分析化学*、64、55-63、2015
 - 13) Kohki Takaguchi a, Hiroko Nakaoka, Kayo Tsumura, Akifumi Eguchi, Keiichi Shimatani, Yoshitake Nakayama, Takafumi Matsushita, Takahiro Ishizaka, Ayato Kawashima, Chisato Mori, Norimichi Suzuki: The association between clustering based on composition of volatile organic compound in indoor air and building-related symptoms, *Science of the Total Environment*, 917, 170197, 2024
 - 14) Shigehisa Uchiyama, Takuya Tomizawa, Asumo Tokoro, Manami Aoki, Mayu Hishiki, Tomomi Yamada, Reiko Tanaka, Hironari Sakamoto, Tsutomu Yoshida, Kanae Bekki, Yohei Inaba, Hideki Nakagome, Naoki Kunugita: Gaseous chemical compounds in indoor and outdoor air of 602 houses throughout Japan in winter and summer, *Environmental Research*, 137, 364-372, 2015

- 15) 大貫 文、斎藤 育江、瀬戸 博、上原 眞一、藤井 孝: 室内空気汚染発生源の推定事例－靴用補修剤からのテトラクロロエチレンの発生－、東京衛研年報、52、217-220、2001
- 16) 河上 強志、菅谷 なえ子: 厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）、家庭用品中の有害物質の規制基準に関する研究（20KD2001）R4 年度終了報告書、家庭用品中の揮発性有機化合物の実態に関する研究、11-20、2023

表 1 妥当性評価試験試料における VC 注入前の溶液組成

	目標濃 (w/w%)	比重 (g/mL)	500 g 中重量 (g)	体積 (mL)
アセトン	90	0.79	450	571.1
メタノール	0.8	0.79	4	5.00
メチルイソブチルケトン	1.0	0.80	5	6.24
酢酸イソブチル	1.0	0.87	5	5.75
酢酸 n-ブチル	1.0	0.88	5	5.67
酢酸エチル	1.0	0.90	5	5.56
メチルエチルケトン	1.0	0.81	5	6.21
エタノール	1.0	0.79	5	6.34
1-プロパノール	1.0	0.81	5	6.21
2-プロパノール	1.0	0.79	5	6.37
1-ブタノール	1.0	0.81	5	6.17
メチルシクロヘキサン	0.1	0.77	0.5	0.65
イソブタノール	0.1	0.80	0.5	0.62

表 2 分析条件

HSオートサンプラー	
加熱温度及び時間	30°C、30分
注入方式	ループ法 (1mL)
バルブブロック及びトランスファー温度	100 °C、190 °C
GC-MS	
オープン温度	50°C (2分) →10°C/分→250°C (5分)
注入口温度及び注入法	200°C、スプリット (1:5)
キャリアガス	ヘリウム 2 mL/min (定流量モード)
イオン化法及びイオン化電圧	EI、70 eV
インターフェース及びイオン源温度	200°C、230°C
測定イオン	VC: 62 <i>m/z</i> (定量)、64 <i>m/z</i> (定性) VC-d ₃ : 67 <i>m/z</i> (定量)、65 <i>m/z</i> (定性)

表3 標準ガスの分析結果

	加圧サンプリングあり		加圧サンプリングなし	
	濃度 (µg/L)	回収率 (%)	濃度 (µg/L)	回収率 (%)
1 本目	164.7	103	150.5	94
2 本目	166.5	104	165.1	103
3 本目	149.6	94	158.7	99
4 本目	154.7	97	146.1	91
5 本目	153.1	96	46.9	29
6 本目	144.7	90	158.1	99
7 本目	148.2	93		
8 本目	149.8	94		
平均	153.9	96	137.6	86
標準偏差 (自由度 n-1)	7.83		44.93	
相対標準偏差 (%)	5.1		32.7	

表4 作製したエアゾール試料の分析結果

	濃度 (µg/L)
A-1	24.7
A-2	24.5
A-3	26.8
A-4	22.4
平均	24.6
標準偏差	1.77
相対標準偏差 (%)	7.2
B-1	13.6
B-2	13.8
B-3	13.7
B-4	13.8
平均	13.7
標準偏差	0.107
相対標準偏差 (%)	0.78
C-1	2.87
C-2	3.18
C-3	3.20
C-4	2.79
平均	3.01
標準偏差	0.212
相対標準偏差 (%)	7.0

表 5 室内濃度指針値

揮発性有機化合物(VOC)	毒性指標	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	ヒト吸入曝露における鼻咽頭粘膜への刺激	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.08 ppm)
アセトアルデヒド	ラットの経気道曝露における鼻咽頭嗅覚上皮への影響	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.03 ppm)
トルエン	ヒト吸入曝露における神経行動機能及び生殖発生への影響	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.07 ppm)
キシレン	ヒトにおける長期間職業曝露による中枢神経系への影響	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.05ppm)
エチルベンゼン	マウス及びラット吸入曝露における肝臓及び腎臓への影響	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.88 ppm)
スチレン	ラット吸入曝露における脳や肝臓への影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	ビーグル犬経口曝露における肝臓及び腎臓等への影響	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.04 ppm)
テトラデカン	C ₈ —C ₁₆ 混合物のラット経口曝露における肝臓への影響	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.04 ppm)
クロルピリホス	母ラット経口曝露における新生児の神経発達への影響及び新生児脳への形態学的影響	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.07 ppb)
		但し小児の場合は 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
フェノブカルブ	ラットの経口曝露におけるコリンエステラーゼ活性などへの影響	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(3.8 ppb)
ダイアジノン	ラット吸入曝露における血漿及び赤血球コリンエステラーゼ活性への影響	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(0.02 ppb)
フタル酸ジ— <i>n</i> —ブチル	ラットの生殖・発生毒性についての影響	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(1.5 ppb)
フタル酸ジ—2—エチルヘキシル	ラットの雄生殖器官系への影響	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		(6.3 ppb)(注 1)
総揮発性有機化合物量(TVOC)	国内の室内 VOC 実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定	暫定目標値
		400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (注 2)

注 1：フタル酸ジ—2—エチルヘキシルの蒸気圧については $1.3 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (25°C)～ $8.6 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ (20°C)など多数の文献値があり、これらの換算濃度はそれぞれ 0.12～8.5 ppb 相当である。

注 2：この数値は、国内家屋の室内 VOC 実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定した値である。

TVOC 暫定目標値は室内空気質の個別の揮発性有機化合物(VOC)を総合的に考慮した目安として利用されることが期待されるものであるが、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。

表6 日本の住居における VOC9 物質の室内濃度比較 (µg/m³)

引用論文	地域	試験採取期間	試験回数	統計パラメーター	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m-p-Xylene	o-Xylene	Styrene	p-Dichlorobenzene	Formaldehyde	Acetaldehyde
Chan-Ren Jung 等, 2021	日本	2014年11月 - 2016年9月	4843	Median (25%ile - Max)	2.2 (1.4 - 130)	11 (6.7 - 530)	3.7 (2.1 - 570)	3.6 (1.9 - 210)	1.3 (0.7 - 98)	2.9 (1.4 - 2000)	0.95 (0.39 - 4900)	11 (7.7 - 100)	12 (7.7 - 150)
				Mean (SD)	2.2 (2)	11 (2.1)	3.9 (2.4)	4.5 (3.2)	1.7 (3.3)	3.2 (3.2)	1.4 (6.4)	11 (1.8)	12 (2)
大貫ら, 2017	東京	2016年4月 - 2017年12月	4623	Median (25%ile - Max)	1.7 (1.1 - 150)	9.7 (6.3 - 680)	3.5 (2.1 - 210)	3.3 (1.8 - 210)	1.2 (0.66 - 92)	2.4 (1.2 - 1300)	1.1 (0.48 - 3400)	15 (9.6 - 290)	12 (7.7 - 170)
				Mean (SD)	1.8 (2)	9.9 (2.1)	3.8 (2.4)	4 (2.9)	1.5 (3)	2.7 (3.1)	1.6 (6.3)	14 (1.9)	12 (1.9)
田中ら, 2016	横浜及び その周辺 地域	2012年12月 - 2013年3月	77	Median (Max)	1.5 (10)	6.0 (53)	1.9 (6.5)	3.3 (16)	1.2 (7.4)	-	1.7 (1600)	11 (36)	16 (140)
				Mean	1.6	8.3	2.2	4.5	1.8	-	29	13	20
吉田ら, 2015	札幌	2012年7月 - 9月	77	Median (Max)	1.0 (6.5)	9.0 (330)	2.5 (110)	3.6 (63)	1.8 (19)	-	5.6 (2200)	32 (220)	14 (210)
				Mean	1.2	20	6.7	6.3	2.7	-	85	40	21
Takaguchi 等, 2024	千葉	2012年1月 - 3月	40	Median (Max)	2.4 (14)	6.1 (31)	2.8 (23)	4.9 (70)	2.2 (33)	-	< DL (2200)	14 (53)	16 (1700)
				Mean	3.2	7.9	3.9	8.2	3.8	-	12	17	23
Uchiyama 等, 2015	日本	2012年7月 - 9月	40	Median (Max)	1.4 (3.7)	5.8 (28)	2.2 (24)	2.4 (60)	1.3 (27)	-	< DL (2500)	22 (81)	11 (59)
				Mean	1.5	7.4	3.7	5.4	2.3	-	17	27	13
Takaguchi 等, 2024	千葉	2022年1月 - 3月	154	Median (Min - Max)	< DL (< DL - 15)	5.4 (< DL - 40)	2.1 (< DL - 35)	1.4 (< DL - 100)	0.57 (< DL - 64)	< DL (< DL - 44)	< DL (< DL - 280)	5.6 (1.7 - 35)	7.7 (0.59 - 120)
				Mean (SD)	0.38 (1.8)	7.6 (7.3)	3.3 (4.5)	4 (10)	1.9 (6)	0.8 (4.2)	9.3 (38)	6.9 (4.8)	13 (14)
Uchiyama 等, 2015	日本	2012, 2013, 2014年1月-3月	602	Median (Max)	1.7 (19)	6.8 (760)	2.2 (710)	3.7 (430)	1.5 (120)	-	1.4 (2100)	11 (58)	15 (230)
				Mean	2.3	11	5.6	8.3	3.4	-	31	13	22
Uchiyama 等, 2015	日本	2012, 2013, 2014年7月-9月	602	Median (Max)	1.0 (14)	6.4 (330)	2.3 (240)	2.9 (180)	1.4 (77)	-	4.3 (13000)	27 (220)	13 (210)
				Mean	1.3	12	4.4	5.8	2.6	-	120	34	17

DL: 検出下限値、SD: 標準偏差、*: キンレンとして、-: データがない

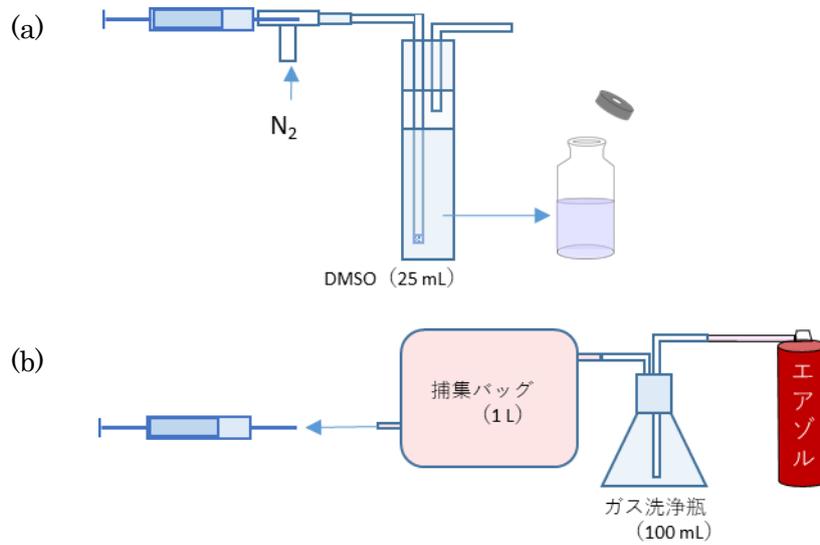


図1 VCの分析方法

(a) : 液体捕集による試験溶液の作製方法、(b) : エアゾール製品からの噴射ガスの捕集及び採取方法

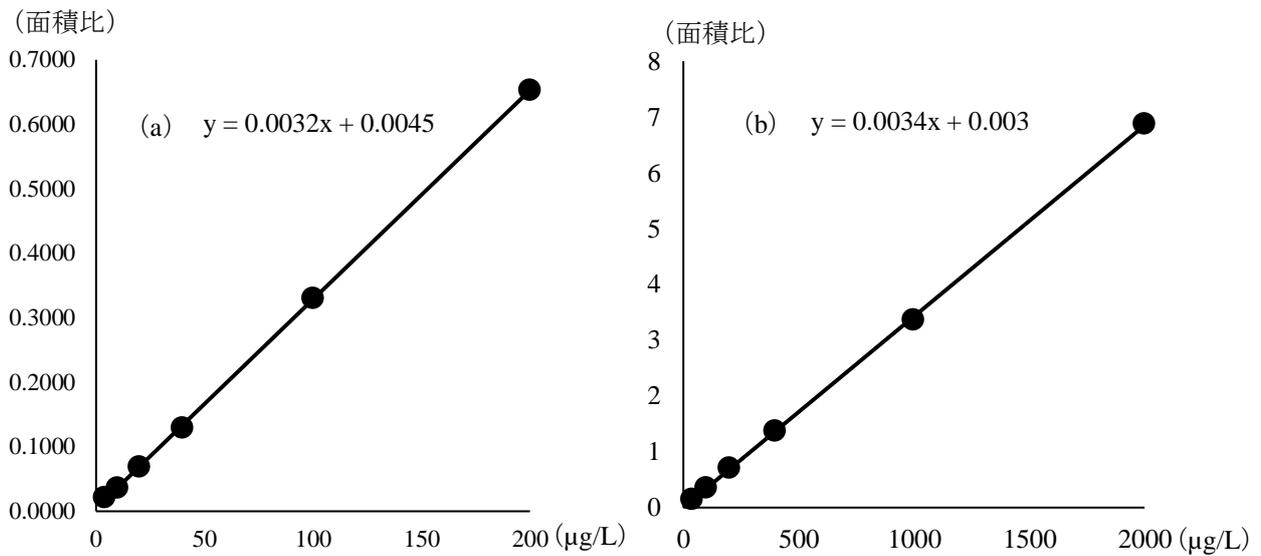


図2 検量線

(a) : 4~200 µg/L、(b) : 40~200 µg/L