

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）
分担研究報告書

室内濃度指針値見直しスキーム・曝露情報の収集に資する
室内空气中化学物質測定方法の開発

室内空气中揮発性有機化合物及び準揮発性有機化合物試験法の開発
溶媒抽出法による揮発性有機化合物の添加回収試験

研究分担者 酒井 信夫 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 田原麻衣子 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官
斎藤 育江 東京都健康安全研究センター 課長補佐
大貫 文 東京都健康安全研究センター 主任研究員

空气中的総揮発性有機化合物 (Total volatile organic compounds, TVOC) の測定法として、固相吸着-溶媒抽出-GCMS 法 (溶媒抽出法) を用いた場合の基礎的なデータを得るため、複数の捕集管について、添加回収試験を行った。測定対象物質は、脂肪族炭化水素 13 物質、芳香族炭化水素 11 物質、ハロゲン化炭化水素 9 物質、テルペン類 2 物質、エステル類 3 物質、カルボニル類 3 物質、アルコール類 3 物質の、合計 44 物質とした。検討した捕集管は、活性炭系 4 種及び中極性のアクリルエステル樹脂 1 種の計 5 種で、相対湿度 30%、50% 及び 80% に調整した清浄空気を通気した。

添加回収試験の結果、活性炭系捕集管の結果は類似しており、湿度が高くなるほど、回収率が良好な物質数は減少する傾向が見られた。一方、湿度 30% の低湿度条件であっても、回収率の低い物質が複数見られた。いずれの活性炭系捕集管を用いても、湿度 80% の条件において回収率 70% 以上を満たさなかったのは、スチレン、ナフタレン、ノナール、デカナール及びブタノールの 5 物質であった。これらを効率良く回収するための方法としては、適した細孔構造を持つ吸着剤の探索、抽出溶媒の検討などが考えられた。また、d 体添加による回収率補正も、正確な測定値を得るために有効と考えられた。樹脂系捕集管については、いずれの湿度条件においても活性炭系捕集管より、回収率が良好な物質数は少なかった。なかでもハロゲン化炭化水素の回収率は低く、良好な回収率が得られたのは、湿度 50% 以下で、p-ジクロロベンゼンのみであった。一方、いずれの湿度条件でも良好な回収率が得られた物質も複数あり、活性炭系捕集管では回収率が低かったナフタレン、ノナール及びデカナールや、室内空気汚染 (シックハウス) 問題に関する検討会で指針値設定が検討されている 2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート及び 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレートの回収率は良好であった。

A. 研究目的

空気中の総揮発性有機化合物 (Total volatile organic compounds, TVOC) の暫定目標値は、個別の指針値が設定されていない物質が、新たな健康被害を引き起こす可能性を考慮し、個別の VOC 指針値を補完する空気汚染の指標として設定されたものである。TVOC の定義は「ガスクロマトグラフにおいて分析された 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」¹⁾であり、TVOC 濃度を正確に測定するためには、これらの範囲に検出される物質を網羅的に測定する必要がある。TVOC の測定法については、現在、シックハウス問題に関する検討会において、多くの物質を高率で回収できると考えられる Tenax TA を充填剤とした固相吸着-加熱脱離-GCMS 法(加熱脱離法)が検討されており²⁾、また当研究班においても同法を用いた試験法の検討が進められている。

加熱脱離法は、分析前の処理が簡便であることや、抽出溶媒が GCMS に導入されないため、沸点の低い物質も分析できる等の利点がある一方、専用の加熱脱離装置を必要とする。この加熱脱離装置は高価であり、また汎用性も低いため、装置を導入している自治体の測定機関は 3 割未満との調査結果もある(国立医薬品食品衛生研究所調べ)。したがって、その他の機関では、加熱脱離装置を必要としない固相吸着-溶媒抽出-GCMS 法(溶媒抽出法)を採用していると考えられる。

そこで本研究では、溶媒抽出法を TVOC 測定法として用いた場合の基礎的なデータを得るため、VOC 類 44 物質についての添

加回収試験を行い、主に湿度による影響を検討することとした。溶媒抽出法の標準的測定法においては、吸着剤にヤシガラ等の活性炭を用いることが一般的だが、活性炭系吸着剤は、高湿度条件における捕集効率の低下が指摘されている^{3, 4)}。したがって、活性炭系捕集管では、どのような VOC が湿度による影響を受けやすいのかを調査し、その対応策について考察したので報告する。

B. 研究方法

1. 捕集管

溶媒抽出用捕集管は、活性炭系吸着剤を充填した捕集管 4 種と、中極性のアクリルエステル樹脂を充填した捕集管 1 種の、計 5 種を用いた(図 1)。活性炭系捕集管は、柴田科学社製のチャコールチューブ (C1) 及びカーボンビーズアクティブ(C2)、GASTEC 社製の活性炭チューブ No.251S-20 (C3) 及び活性炭チューブ No.258-20 (C4) で、それぞれの充填剤は、C1 及び C3 はヤシガラ活性炭、C2 及び C4 は球状活性炭、充填量は前段 100 mg、後段 50 mg であった。樹脂系捕集管は、スペルコ社製の ORBO-615 (R1)で、充填剤及び充填量はアンバーライト XAD-7、前段 60 mg、後段 30 mg であった。

2. 試薬

標準物質は、室内環境測定用 VOCs 混合標準原液(45 種混合、関東化学社製)、2-エチル-1-ヘキサノール(和光純薬工業社製)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート(テキサノール)(Alfa Aesar 社製)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタ

ンジオールジイソブチレート(TXIB)、東京化成工業社製)、ナフタレン(GLサイエンス社製)を用いた。VOCs 混合標準原液以外の物質は、メタノール(和光純薬工業社製)で1 mg/mLに調製した。内部標準物質には、トルエン-d₈(ACROS ORGANICS社製)を用いた。抽出溶媒は、二硫化炭素(作業環境測定用、和光純薬工業社製)及びジクロロメタン5000(和光純薬工業社製)を用いた。

3. 測定対象物質

測定対象のVOC類44物質を表1に示す。内訳は、脂肪族炭化水素13物質、芳香族炭化水素11物質、ハロゲン化炭化水素9物質、その他11物質(テルペン類2物質、エステル類3物質、カルボニル類3物質、アルコール類3物質)であった。

4. GCMS分析条件

カラムはDB-1(60 m×0.25 mm i.d., 膜厚1 μm, アジレント・テクノロジー社製), カラム温度は40 °C(5 min) - 10 °C/min - 270 °C(4 min), 注入口温度は200 °C, キャリアーガスはヘリウム(23.8 cm/sec), 注入量は1 μL(スプリット10:1), イオン源温度は250 °C, 検出法はSCAN法(m/z = 45-450)とした。

5. 添加回収試験

各捕集管に標準物質を10 μg添加し、清浄空気を0.1 L/minで24時間(144 L)通気した。通気に用いた清浄空気は、図2のように、乾燥空気と加湿空気とを混合し、相対湿度30%、50%及び80%に調製した。通気後、捕集管内の全充填剤(前段及び後段)

を試験管に移し、活性炭系吸着剤(C1-C4)には二硫化炭素1 mLを、樹脂系吸着剤(R1)にはジクロロメタンを1 mL加え、1時間、振とう抽出(180 rpm)した。抽出液に内部標準物質を添加し、GCMS分析後、回収率の平均値及び変動係数を算出した(n = 3)。なお、回収率が70%以上120%以下の範囲にあり、かつ変動係数20%以下を満たした結果を良好と判断した。

6. 倫理面への配慮

該当事項なし

C. 研究結果

1. 添加回収試験結果

各湿度条件において、良好な回収率(回収率70%以上かつ変動係数20%以下)が得られた物質数を表2~6に示す(詳細なデータは資料1~3を参照)。

表2の全44物質については、C3を除くすべての捕集管において、回収率が良好な物質数は湿度30%で最も多く、湿度が高くなるほど、その数は減少した。しかし、湿度30%の低湿度条件であっても、回収率の低い物質が複数見られた。また、活性炭系捕集管(C1 - C4)と樹脂系捕集管(R1)とを比較すると、いずれの湿度条件においても、R1の方が良好な物質数が少なかった。

表3の脂肪族炭化水素13物質について、C1 - C4では、いずれの湿度条件においても全物質の回収率が良好であった。

表4の芳香族炭化水素11物質について、C1 - C4では、ほとんどの物質は湿度の影響を受けなかったが、2物質(スチレン及びナフタレン)の回収率が低かった。

両物質について、各湿度条件における回

収率を図 3 に示す。

スチレンについて、C1-C4 では湿度 30% では回収率 67~77%であったが、湿度 80% では回収率 46~55%で、湿度が高くなると約 20%低下した。R1 においても、湿度 50% 以下では回収率 80%以上と良好だったが、湿度 80%では激減し、ほとんど回収されなかった。

ナフタレンについては、C1 - C4 では湿度 30%でも回収率 20~40%と低かった一方、R1 ではいずれの湿度条件においても良好な回収率が得られた。

表 5 のハロゲン化炭化水素 9 物質については、同じ活性炭系捕集管においても差が見られ、C3 ではいずれの湿度条件において全物質の回収率が良好であったが、C1, C2 及び C4 では、湿度 80%でクロロホルムの回収率が 27~50%に低下した(図 4)。また、R1 では、良好な回収率が得られたのは湿度 50%以下で 1 物質のみ(p-ジクロロベンゼン)であった。

表 6 のその他 11 物質について、C1 - C4 で、いずれの湿度条件においても良好な回収率が得られたのは、テルペン類、エステル類及びメチルイソブチルケトンの 6 物質であった。残りのアルデヒド類 2 物質及びアルコール類 3 物質についての回収率を図 5 に示す。C1 - C4 では、湿度が高くなるほど、ほとんどの物質の回収率は低下したが、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレートについては捕集管によって差が見られ、C2 及び C4 では、湿度 80%でも良好な回収率が得られた。また、R1 では、いずれの湿度条件においても、リモネン、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート、ノナナール、デカナール、

2-エチル-1-ヘキサノール及び 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレートの回収率が良好であった。

D. 考察

本研究で検討した活性炭系捕集管 4 種(C1 - C4) の添加回収試験結果は類似しており、脂肪族炭化水素、芳香族炭化水素、ハロゲン化炭化水素、テルペン類、エステル類は、いずれの湿度条件においても良好な結果が得られた。なかでも C3 及び C4 の回収率は良好で、高湿度条件においても 44 物質中 38 物質の回収率が 70%以上であった。しかし、C3 または C4 を用いても、スチレン、ナフタレン、ノナナール、デカナール及びブタノールの 5 物質については、回収率が 70%以下であった。

これら 5 物質は、回収率と湿度との関係が一樣ではなく、ナフタレンは湿度に関係なく低回収率であったが、スチレン、ノナナール、デカナール及びブタノールの 4 物質は、高湿度になるほど回収率が低下した(図 3, 5)。

まず、ナフタレンについて、低回収率の原因を考察した。

活性炭系捕集管ではいずれも回収率が低く、加えて、この回収率は無通気でも低かった(C2 : 35%。無通気の結果は示していない)。このことから、C1 - C4 におけるナフタレンの低回収率は、通気及び湿度の影響ではなく、まず抽出効率の低さが推測され、抽出溶媒を変更するなどの検討が必要であると考えられた。

なお、今回検討した樹脂系捕集管(R1)では、いずれの湿度条件においても良好な回収率が得られたため、活性炭系捕集管と R1

とを併用する方法も対応策として有効であると考えられた。

次に、湿度が高くなるほど回収率が低下した4物質について考察した。

このうち、スチレンについては、抽出時間の長さや吸着熱によって促進される重合反応によって、回収率が低下することが指摘されている⁵⁾。この対応策として、脱着効率が高い細孔構造の吸着剤を用い、抽出温度を低温に維持する方法が報告されている⁶⁾。これは、メソ孔含有率30%以上または活性炭素繊維等の吸着剤を用いることで、スチレンの回収率を向上させる方法だが、その一方、相対的に減少するミクロ孔によって低沸点VOCの保持が弱くなる可能性も示唆されており、理想的な細孔構造を有する吸着剤を探索する必要がある。

通常使用している吸着剤を用いた場合の対応策としては、スチレンの重水素置換体(d体)を用いる方法が報告されている⁷⁾。回収率が抽出時間や温度によって変動することを考慮すると^{6,7)}、d体による回収率補正法は有効な対応策の一つと考えられた。

残りの3物質については、それぞれの双極子モーメントが、ノナールが2.84 D、デカールが2.50 D、ブタールが1.66 Dで、いずれも極性を持つ物質であった^{6,8)}。

高湿度条件下では活性炭表面に水蒸気が吸着すると考えられ、極性物質であるこれらの3物質が、その水分に何らかの影響を受けることで、抽出効率が低下したと推測された。この対応策としては、抽出溶媒として用いている二硫化炭素(非極性)の極性を上げる方法が報告されている⁶⁾。また、R1では、ノナール及びデカールについて、いずれの湿度条件においても良好な回収率

が得られ、ナフタレンの場合と同様にR1を併用する方法も有効であると考えられた。

E. 結論

溶媒抽出法をTVOC測定法に用いた場合の基礎的なデータを得るため、複数の捕集管について、湿度条件を変えながら、添加回収試験を行った。

検討した捕集管は、ヤシガラ活性炭(C1, C3)、球状活性炭(C2, C4)及び中極性のアクリルエステル樹脂(R1)の計5種であった。

測定対象物質は、GCでヘキサンからヘキサデカンの範囲に検出されるVOC類44種で、内訳は、脂肪族炭化水素13物質、芳香族炭化水素11物質、ハロゲン化炭化水素9物質、その他11物質(テルペン類2物質、エステル類3物質、カルボニル類3物質、アルコール類3物質)であった。

添加回収試験の際、清浄空気は相対湿度30%、50%及び80%に調整し、流速0.1 L/minで24時間通気した。

添加回収試験の結果、活性炭系捕集管の結果は類似しており、ヤシガラ活性炭と球状活性炭による差は少なかった。いずれの捕集管においても、湿度が高くなるほど、回収率が良好な物質数は減少した。活性炭系捕集管においては、高湿度条件における捕集効率の低下が指摘されており^{3,4)}、本研究結果においても、指摘通りの結果が得られた。これに加え、湿度30%の低湿度条件であっても、回収率の低い物質が複数見られた。

4種の活性炭系捕集管を用いても、高湿度条件において回収率70%以上を満たさなかったのは、スチレン、ナフタレン、ノナ

ナール、デカナール及びブタノールの 5 物質であった。このうち、ナフタレンについては湿度に関係なく低回収率で、抽出効率の低さが原因と考えられた。この対応法としては、より効率よく抽出できる溶媒の検討が考えられた。

ナフタレン以外の 4 物質は、高湿度になるほど回収率が低下した。

スチレンについては、吸着剤表面での重合反応による減少が考えられ、この対応策としては、適した細孔構造を持つ吸着剤の探索や d 体添加による回収率補正が考えられた。

ノナナール等の 3 物質については、いずれも極性を持つ物質であり、高湿度空気の通気によって活性炭表面に吸着した水蒸気による影響が考えられた。この対応策としては、抽出溶媒(二硫化炭素)の極性を上げる方法が考えられた。

また、樹脂系捕集管については、いずれの湿度条件においても活性炭系捕集管より、回収率が良好な物質数は少なかった。なかでもハロゲン化炭化水素の回収率は低く、良好な回収率が得られたのは、湿度 50%以下で p-ジクロロベンゼンのみであった。一方、いずれの湿度条件でも良好な回収率が得られた物質も複数あり、活性炭系捕集管では回収率が低かったナフタレン、ノナナール及びデカナールが良好に回収できた。ほかに、現在、シックハウス問題に関する検討会で指針値が検討されている 2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート及び 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレートが良好に回収できた。

今後は、測定対象物質全てを良好に回収

できるよう、活性炭系捕集管のみ、あるいは、活性炭系捕集管と樹脂系捕集管との併用について、さらなる検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 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 4 回～第 5 回のまとめについて、平成 12 年 12 月 22 日。
- 2) 厚生労働省：第 21 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会、平成 29 年 4 月 19 日。
- 3) JIS：空气中的揮発性有機化合物(VOC)の吸着捕集/溶媒抽出/キャピラリーガスクロマトグラフ法によるサンプリング及び分析-ポンプサンプリング、JIS A 1968:2005
- 4) 姫野修司、亀井英子、浦野紘平、他：大気環境学会誌、36(2)、99-113, 2001。
- 5) J. Bartulewicz, E. Burtulewicz, J. Gawlowski, et. Al. : Chem. Anal., 41, 743-752, 1996.
- 6) 石坂閣啓、川嶋文人、渡邊春香、他：環境化学、27(4)、111-119, 2017。
- 7) 長谷川あゆみ、竹田菊男：日本建築学会大会学術講演梗概集、873-874、2007。
- 8) R. D. Nelson Jr., D. R. Lide, A. A. Maryott : NSRDS-NBS10, 1967.

F. 健康機器情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 大貫文、菱木麻佑、千葉真弘、大泉詩織、香川(田中)聡子、上村仁、神野透人、田原麻衣子、酒井信夫、斎藤育江、小西浩之、守安貴子：溶媒抽出法を用いた TVOC 測定法の検討、平成 29 年度室内環境学会学術大会（2017.12）
- 2) 大貫文、菱木麻佑、斎藤育江、小西浩之、守安貴子：固相吸着/溶媒抽出法を用いた TVOC 分析における湿度の影響、平成 29 年度地方衛生研究所全国協議会 関東甲信静支部 第 30 回理化学研究部会総会・研究会（2018.2）

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

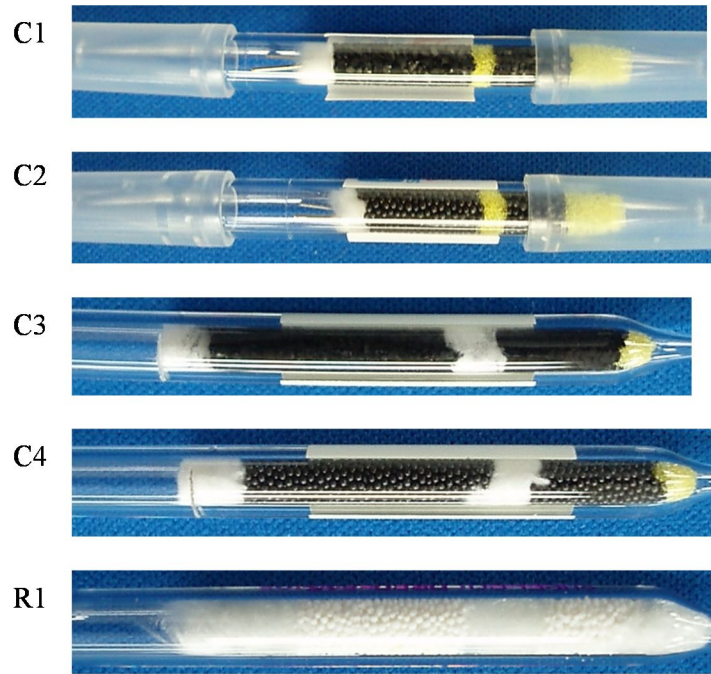


図1. 溶媒抽出用捕集管

吸着剤は、C1、C3はヤシガラ活性炭、C2、C4は球状活性炭、R1はアンバーライトXAD-7

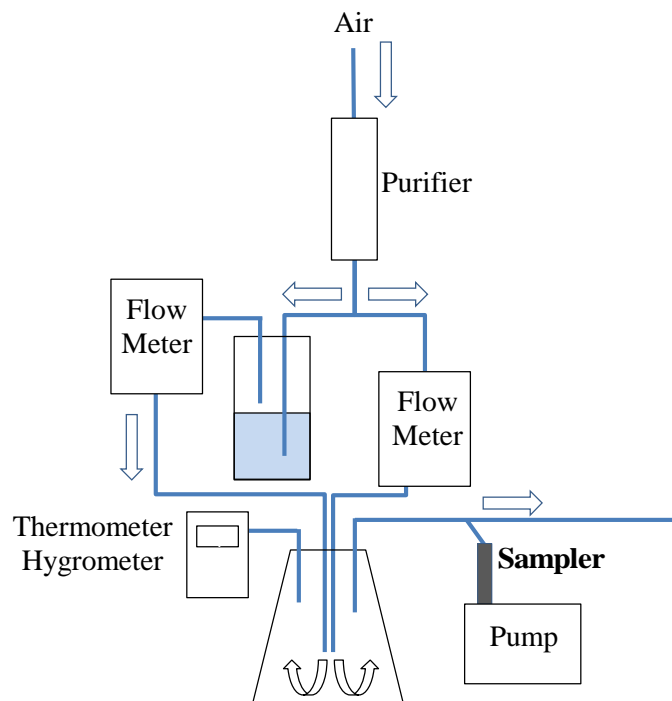


図2. 通気装置の模式図

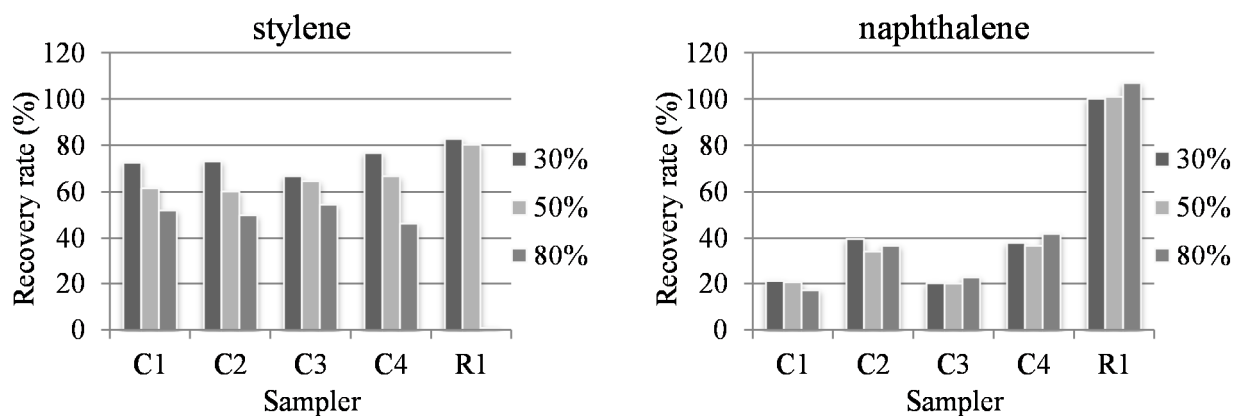


図3. スチレン及びナフタレンの添加回収率

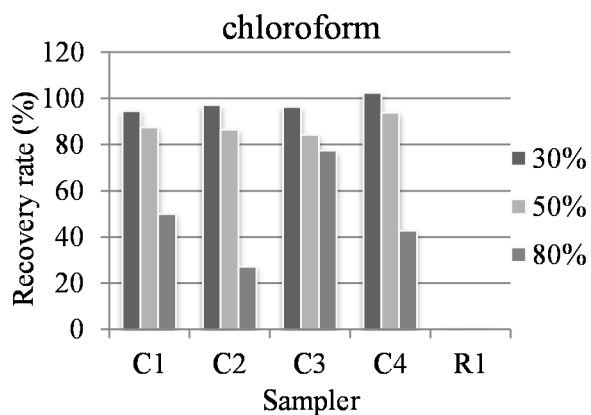


図4. クロロホルムの添加回収率

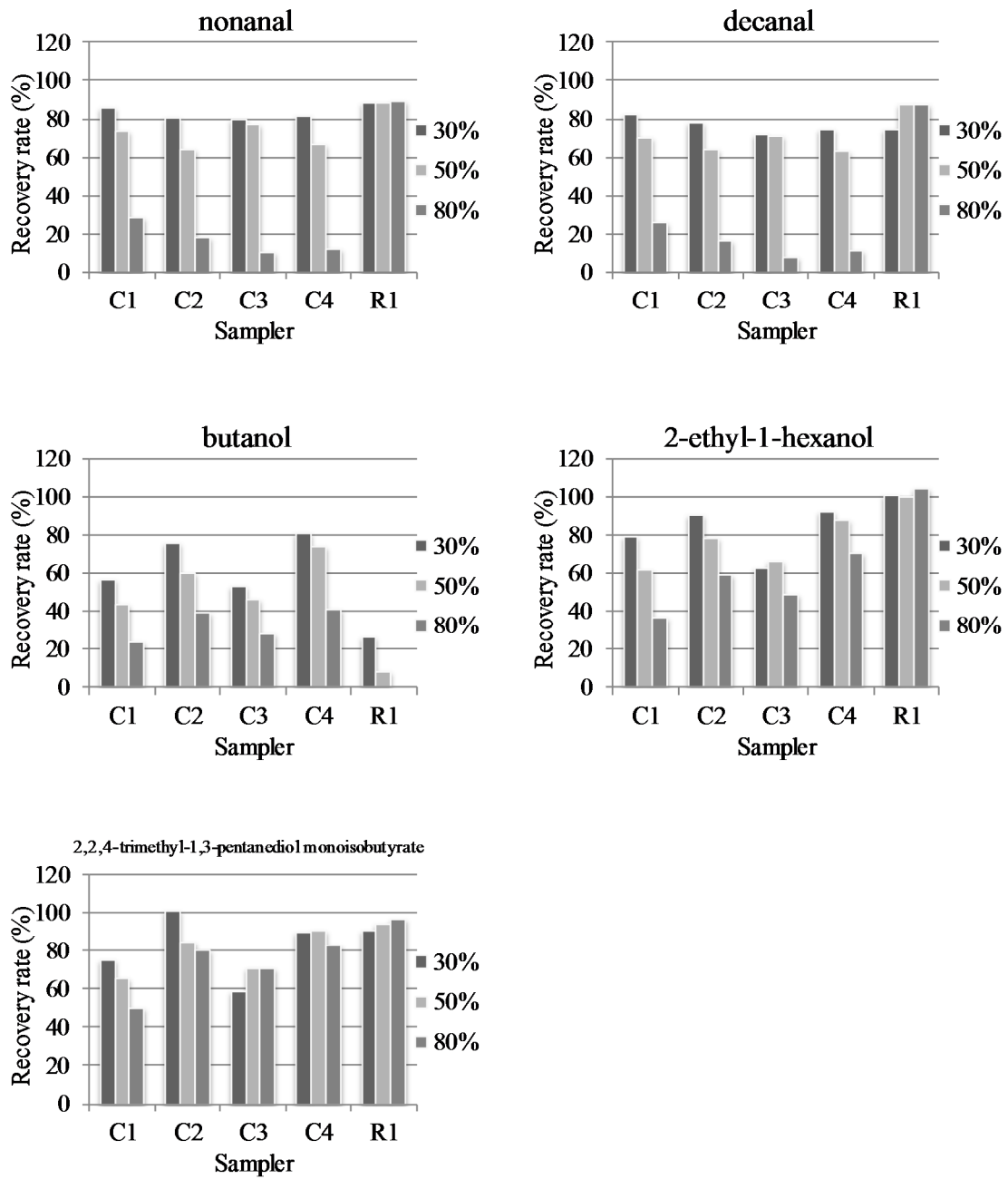


図5. アルデヒド類及びアルコール類の添加回収率

表1. 測定対象VOC類の内訳

脂肪族炭化水素(13)	芳香族炭化水素(11)	ハロゲン化炭化水素(9)	その他(11)
hexane	benzene	trichloroethylene	<i>a</i> -pinene
heptane	toluene	tetrachloroethylene	limonene
octane	ethylbenzene	chloroform	ethylacetate
nonane	<i>m,p</i> -xylene	1,1,1-trichloroethane	butylacetate
decane	<i>o</i> -xylene	1,2-dichloroethane	2,2,4-trimethyl-1,3-pentane diol
undecane	styrene	1,2-dichloropropane	diisobutyrate
dodecane	1,3,5-trimethylbenzene	<i>p</i> -dichlorobenzene	methylisobutylketone
tridecane	1,2,4-trimethylbenzene	carbon tetrachloride	nonanal
tetradecane	1,2,3-trimethylbenzene	chlorodibromomethane	decanal
pentadecane	1,2,4,5-tetramethylbenzene		butanol
hexadecane	naphthalene		2-ethyl-1-hexanol
2,4-dimethylpentane			2,2,4-trimethyl-1,3-pentane diol
2,2,4-trimethylpentane			monoisobutyrate

表2. 良好な回収率*が得られた物質数(TVOC)

相対湿度	C1	C2	C3	C4	R1
30%	42	43	39	43	28
50%	39	39	40	40	24
80%	36	34	38	38	15

*回収率70%以上、120%以下、変動係数20%以下
VOC44物質

表3. 良好な回収率*が得られた物質数(脂肪族炭化水素)

相対湿度	C1	C2	C3	C4	R1
30%	13	13	13	13	9
50%	13	13	13	13	8
80%	13	13	13	13	7

*回収率70%以上、120%以下、変動係数20%以下
脂肪族炭化水素13物質

表4. 良好な回収率*が得られた物質数(芳香族炭化水素)

相対湿度	C1	C2	C3	C4	R1
30%	10	10	9	10	9
50%	9	9	9	9	7
80%	9	9	9	9	2

*回収率70%以上、120%以下、変動係数20%以下
芳香族炭化水素11物質

表5. 良好な回収率*が得られた物質数(ハロゲン化炭化水素)

相対湿度	C1	C2	C3	C4	R1
30%	9	9	9	9	1
50%	9	9	9	9	1
80%	8	5	9	8	0

*回収率70%以上、120%以下、変動係数20%以下
ハロゲン化炭化水素9物質

表6. 良好な回収率*が得られた物質数(その他)

相対湿度	C1	C2	C3	C4	R1
30%	10	11	8	11	9
50%	8	8	9	9	8
80%	6	7	7	8	6

*回収率70%以上、120%以下、変動係数20%以下
その他11物質

資料1. 相対湿度30%における各捕集管の添加回収率と変動係数 (n=3)

	C1		C2		C3		C4		R1	
	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV
hexane	98.5	13.2	106	3.3	98.6	1.5	106	5.4	0.1	-
heptane	101	12.2	105	2.8	98.7	1.0	106	5.8	0.0	-
octane	102	11.4	106	2.3	98.5	1.4	104	5.5	72.8	11.1
nonane	104	10.0	106	1.4	95.8	2.5	104	6.4	82.0	4.3
decane	104	8.8	106	0.5	94.5	2.8	104	6.7	87.4	1.7
undecane	104	8.5	109	1.1	94.2	3.1	104	7.2	89.5	1.4
dodecane	104	8.6	108	1.4	94.9	3.0	104	7.4	90.6	3.1
tridecane	103	8.8	107	0.7	95.3	3.1	103	7.2	92.6	5.2
tetradecane	102	9.2	106	0.6	93.8	2.5	102	6.8	91.8	6.3
pentadecane	102	9.1	105	0.9	96.1	4.5	106	3.9	89.8	7.5
hexadecane	99.1	9.1	103	0.5	86.3	5.3	97.6	7.8	83.2	7.6
2,4-dimethylpentane	101	13.2	106	3.0	99.6	0.7	106	5.8	0.0	-
2,2,4-trimethylpentane	101	11.8	106	2.7	101	1.3	106	5.6	16.7	13.0
benzene	87.9	13.9	93.9	2.6	92.3	0.9	99.7	5.7	0.0	-
toluene	97.0	11.6	100	2.2	94.1	2.6	99.7	5.3	3.1	30.4
ethylbenzene	100	10.6	103	1.8	94.6	2.4	101	5.5	80.4	6.9
<i>m,p</i> -xylene	97.0	9.9	101	1.6	92.2	2.4	98.0	5.7	81.3	6.2
<i>o</i> -xylene	91.4	10.2	97.8	1.2	87.4	3.0	94.4	6.1	82.8	5.0
styrene	72.5	10.6	73.2	1.6	66.8	3.7	76.8	5.7	82.9	5.5
1,3,5-trimethylbenzene	98.7	7.9	103	0.6	91.5	2.9	99.1	6.7	88.0	1.4
1,2,4-trimethylbenzene	93.3	8.3	99.1	0.5	87.5	3.8	95.7	6.3	89.6	1.3
1,2,3-trimethylbenzene	85.9	8.0	94.1	0.8	81.7	3.5	90.2	6.6	90.1	2.5
1,2,4,5-tetramethylbenzene	89.8	7.6	97.0	0.1	84.3	3.4	92.2	6.7	93.7	2.7
naphthalene	21.4	13.4	39.7	3.7	20.4	9.4	38.1	6.9	100	3.7
trichloroethylene	97.4	13.1	101	4.0	96.1	2.8	102	4.9	0.0	-
tetrachloroethylene	97.4	11.6	98.6	2.4	93.6	2.9	98.0	6.1	0.4	-
chloroform	94.5	13.6	97.2	1.5	96.3	1.5	102	6.6	0.6	85.7
1,1,1-trichloroethane	98.7	12.8	104	4.3	97.8	1.9	104	6.1	0.0	-
1,2-dichloroethane	93.5	13.2	99.2	3.9	95.7	0.7	101	6.5	0.0	-
1,2-dichloropropane	98.9	13.3	102	3.3	97.9	1.0	102	5.1	1.2	18.7
<i>p</i> -dichlorobenzene	82.7	8.9	91.7	1.1	76.7	4.5	87.7	6.2	89.4	1.5
carbon tetrachloride	97.1	13.3	99.8	4.7	98.0	1.2	103	6.5	0.0	-
chlorodibromomethane	94.6	13.2	97.6	2.6	92.8	3.2	98.3	5.4	22.4	14.2
α -pinene	102	10.2	104	0.5	94.1	2.7	101	5.9	84.8	4.2
limonene	99.6	8.3	104	0.5	91.9	2.7	101	5.8	90.2	2.7
ethylacetate	94.1	13.2	105	2.1	96.2	1.4	103	5.9	0.0	-
buthylacetate	99.0	12.4	102	2.2	94.1	1.5	103	6.0	84.2	8.0
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol										
diisobutyrate	105	10.4	107	2.7	87.9	5.5	96.3	10.5	83.2	8.5
methylisobutylketone	96.2	13.6	101	2.0	92.2	1.8	99.7	5.5	83.0	6.9
nonanal	85.5	9.4	80.2	3.6	79.4	3.1	81.5	7.0	88.2	2.3
decanal	82.3	9.0	77.9	2.0	72.1	5.5	74.8	9.8	74.6	4.3
butanol	56.5	14.4	75.8	1.2	52.7	2.8	81.2	6.5	26.4	16.8
2-ethyl-1-hexanol	79.0	11.2	90.1	1.1	62.2	7.5	92.3	6.2	101	4.4
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol										
monoisobutyrate	75.1	10.4	101	4.2	58.9	7.1	89.6	9.7	90.7	5.7

資料2. 相対湿度50%における各捕集管の添加回収率と変動係数 (n=3)

	C1		C2		C3		C4		R1	
	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV
hexane	93.6	15.0	92.9	2.6	88.2	4.8	98.9	5.4	0.0	-
heptane	93.7	13.0	93.4	3.9	94.2	5.4	100	6.7	0.0	-
octane	95.8	11.2	96.6	3.2	97.2	5.7	101	7.9	37.9	17.2
nonane	95.3	11.0	98.6	3.5	98.7	6.5	101	8.7	84.4	3.4
decane	98.6	10.4	99.7	3.8	100	7.2	102	8.8	90.4	1.6
undecane	96.8	10.7	99.1	3.1	94.1	7.4	102	9.1	94.6	3.6
dodecane	96.5	10.5	98.6	2.4	99.4	8.1	102	9.2	97.8	3.8
tridecane	95.3	11.5	97.4	2.2	98.9	9.1	103	8.7	100	3.9
tetradecane	95.3	10.8	95.4	2.0	99.2	8.4	103	8.8	99.2	3.7
pentadecane	95.9	11.3	95.4	1.2	107	6.9	105	8.6	95.1	4.6
hexadecane	95.4	10.4	93.5	2.0	94.4	7.4	99.8	8.5	88.5	7.7
2,4-dimethylpentane	94.8	13.4	92.2	3.0	90.7	5.0	101	5.4	0.0	-
2,2,4-trimethylpentane	94.2	12.6	94.8	3.0	93.6	5.4	102	6.8	1.8	16.4
benzene	83.1	12.7	81.4	2.8	85.8	4.8	85.4	7.5	0.0	-
toluene	88.8	11.0	92.2	2.8	90.5	5.1	96.7	7.4	0.0	-
ethylbenzene	92.2	10.5	95.6	3.3	95.3	5.9	98.3	7.5	58.0	11.4
<i>m,p</i> -xylene	89.4	10.4	93.7	3.9	92.7	6.0	96.4	7.1	66.1	9.1
<i>o</i> -xylene	84.1	10.6	91.1	3.4	88.2	6.1	93.0	7.7	73.7	5.3
styrene	61.6	10.4	60.2	0.7	64.6	6.7	66.7	7.0	80.4	4.2
1,3,5-trimethylbenzene	91.1	9.9	94.7	3.6	94.7	7.3	97.9	7.4	90.7	3.1
1,2,4-trimethylbenzene	86.4	10.5	91.4	3.2	90.3	7.1	94.1	8.2	91.5	3.1
1,2,3-trimethylbenzene	80.2	10.5	86.9	3.4	83.9	7.7	88.9	8.2	93.7	3.5
1,2,4,5-tetramethylbenzene	84.2	9.8	87.5	3.0	87.3	7.4	91.0	8.5	95.7	4.4
naphthalene	20.8	9.2	34.3	2.9	20.2	8.8	36.8	8.8	101	5.6
trichloroethylene	88.3	12.8	88.7	3.6	89.0	4.8	98.6	6.9	0.0	-
tetrachloroethylene	91.4	10.8	92.2	2.8	92.5	6.4	95.4	7.9	0.0	-
chloroform	87.4	15.8	86.5	2.3	84.2	4.8	93.8	4.7	0.2	-
1,1,1-trichloroethane	89.9	13.7	88.3	2.7	89.0	4.3	98.3	5.4	0.0	-
1,2-dichloroethane	86.8	15.4	88.2	2.8	85.3	4.7	93.6	5.6	0.0	-
1,2-dichloropropane	90.2	11.8	92.3	3.0	90.6	4.3	97.5	5.7	0.0	-
<i>p</i> -dichlorobenzene	76.1	11.3	84.1	3.3	79.8	7.5	86.0	7.4	91.0	3.0
carbon tetrachloride	89.6	13.7	89.2	2.7	88.5	4.4	97.0	6.5	0.0	-
chlorodibromomethane	86.4	11.1	90.3	2.8	91.5	4.6	97.3	6.7	2.7	42.7
α -pinene	92.9	10.0	97.2	2.3	97.1	6.7	101	8.0	84.0	2.3
limonene	91.4	10.0	95.3	2.9	95.7	6.5	99.4	8.1	91.2	2.3
ethylacetate	91.1	15.2	91.9	3.8	84.1	4.0	97.5	5.5	0.0	-
buthylacetate	91.3	10.7	92.9	3.3	94.6	5.6	98.2	7.9	85.3	4.1
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol	97.7	9.6	93.6	2.0	91.2	17.2	93.0	7.9	88.6	7.4
diisobutyrate										
methylisobutylketone	88.8	12.2	90.4	2.8	90.0	5.1	95.8	6.8	59.2	14.5
nonanal	73.6	10.4	64.0	2.5	77.1	10.7	66.7	5.1	88.7	4.9
decanal	70.0	9.6	63.6	0.9	70.9	12.0	63.5	5.8	87.2	3.8
butanol	43.2	13.2	60.0	4.3	46.4	2.8	73.6	5.8	7.6	40.5
2-ethyl-1-hexanol	61.5	9.3	78.0	0.7	66.1	6.2	87.6	10.5	99.8	5.0
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol										
monoisobutyrate	65.6	7.8	84.2	2.0	70.5	10.4	91.0	6.0	93.9	6.0

資料3. 相対湿度80%における各捕集管の添加回収率と変動係数 (n=3)

	C1		C2		C3		C4		R1	
	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV	Ave.	CV
hexane	91.2	7.6	104	6.2	99.9	6.2	98.1	8.8	0.1	-
heptane	94.0	7.2	104	9.2	103	6.6	98.3	8.5	0.0	-
octane	95.3	6.8	102	7.7	107	5.4	101	7.6	0.0	-
nonane	92.0	7.4	102	7.4	110	5.0	102	7.4	0.0	-
decane	89.3	7.5	101	7.9	113	3.4	102	7.5	87.2	8.4
undecane	86.8	7.7	102	9.0	107	2.9	101	7.3	98.4	7.0
dodecane	85.9	7.6	100	7.8	111	2.7	101	7.4	99.9	6.4
tridecane	85.2	7.0	100	6.7	113	3.5	102	6.2	102	6.1
tetradecane	84.0	6.8	98.9	5.1	110	2.3	102	6.2	98.2	5.0
pentadecane	82.5	7.2	100	6.0	111	2.2	101	5.3	96.6	4.0
hexadecane	81.4	6.8	96.6	3.7	104	1.7	97.8	5.3	95.3	2.4
2,4-dimethylpentane	91.9	7.4	104	6.3	100	5.9	99.4	8.8	0.0	-
2,2,4-trimethylpentane	92.9	6.5	105	7.1	102	5.9	100	7.7	0.2	-
benzene	80.0	8.5	91.8	7.7	94.6	6.4	88.9	8.8	0.0	-
toluene	88.0	7.3	98.3	7.3	100	5.7	96.3	7.4	0.7	47.3
ethylbenzene	89.9	7.2	99.8	6.5	105	5.2	100	6.6	0.1	-
<i>m,p</i> -xylene	87.4	7.1	96.7	6.9	103	5.2	97.2	6.6	0.1	-
<i>o</i> -xylene	81.5	6.5	93.5	6.5	98.1	5.0	93.2	6.3	0.3	-
styrene	52.0	6.8	50.0	6.9	54.6	3.2	46.3	3.7	0.2	-
1,3,5-trimethylbenzene	84.3	7.1	97.6	7.5	106	4.3	97.0	6.6	27.4	26.0
1,2,4-trimethylbenzene	80.1	7.6	94.0	8.1	102	3.7	93.8	6.4	47.8	19.2
1,2,3-trimethylbenzene	74.4	7.3	88.5	7.7	94.8	4.0	89.0	6.7	63.3	13.6
1,2,4,5-tetramethylbenzene	74.9	7.8	90.2	7.8	98.2	3.7	90.2	7.2	98.3	6.7
naphthalene	17.3	6.9	36.8	11.4	22.8	2.7	42.0	6.5	107	6.0
trichloroethylene	87.6	7.4	96.3	5.3	98.6	7.0	96.6	8.8	0.0	-
tetrachloroethylene	90.9	6.3	97.3	7.7	100	5.2	95.5	7.6	0.0	-
chloroform	50.0	6.0	27.1	20.3	77.5	3.9	42.8	1.6	0.1	-
1,1,1-trichloroethane	79.6	7.3	65.8	0.8	95.3	6.4	73.3	6.2	0.0	-
1,2-dichloroethane	80.1	7.6	53.8	22.3	93.1	6.7	80.9	3.7	0.0	-
1,2-dichloropropane	89.1	7.2	95.8	1.7	98.1	6.1	98.0	7.4	0.0	-
<i>p</i> -dichlorobenzene	70.0	7.9	85.7	8.0	89.0	4.2	85.7	6.5	55.6	14.5
carbon tetrachloride	82.4	8.1	69.1	3.4	97.4	6.3	75.3	6.1	0.0	-
chlorodibromomethane	86.8	7.9	94.6	6.9	97.6	5.6	93.5	7.1	0.0	-
α -pinene	85.6	7.1	93.5	5.7	100	4.7	95.4	6.3	4.1	14.9
limonene	81.6	7.5	92.3	6.5	99.9	3.5	93.3	6.6	80.8	9.6
ethylacetate	84.2	8.9	99.2	5.8	92.5	5.0	93.2	7.2	0.0	-
buthylacetate	91.2	7.4	97.7	8.4	103	5.2	96.7	6.2	0.0	-
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol	77.0	5.8	99.1	13.0	104	2.0	108	6.3	90.5	3.5
diisobutyrate										
methylisobutylketone	83.8	7.0	90.3	10.3	87.0	6.3	87.4	6.9	0.0	-
nonanal	28.7	8.8	18.0	65.8	10.0	5.4	11.9	58.3	89.6	7.5
decanal	25.5	11.4	16.3	66.4	8.0	4.0	11.4	70.0	87.4	7.7
butanol	23.6	9.6	39.3	4.1	27.9	2.9	40.7	6.1	0.0	-
2-ethyl-1-hexanol	37.0	10.6	58.8	4.9	48.7	4.1	70.4	5.6	105	6.0
2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol										
monoisobutyrate	49.5	7.7	80.3	16.4	70.7	1.8	82.9	6.4	97.1	4.4