

オフィス環境に存在する化学物質の調査

萩原正義*1, 齊藤宏之*2, 3, 澤田晋一*4, 5, 安田彰典*6, 岡 龍雄*2, 3, 田井鉄男*7, 坂本龍雄*8, 榎本ヒカル*9, 加部 勇*10, 幸地 勇*10, 佐藤裕司*11, 瀧上知恵子*11, 土肥紘子*11, 長埜庸子*12, 門田美子*12, 村上朋子*12

近年オフィスビルにおけるシックハウス症候群 (SHS) と同様の健康障害がシックビル症候群 (SBS) として注目されているが、欧米では SHS より前に SBS が社会問題となったのに対し、我が国ではその症例報告や実態調査は限られている。そこで我々は、我が国におけるオフィス環境の SBS の実態を把握するため、首都圏にある 6 カ所の大型オフィスビル内の事業所で、室内空気中の揮発性有機化合物 (VOC) の調査を行った。固体捕集法—ガスクロマトグラフ質量分析法 [GC/MS] で VOC 濃度を測定した結果、想定される物質のうち、ベンゼンやトルエンなどの芳香族炭化水素、*n*-ドデカンや *n*-トリデカン、*n*-テトラデカンなどの脂肪族炭化水素が低濃度で存在したが、多くが定量下限未満であり、ただちに健康影響のあるレベルではなかった。また、化学実験室から悪臭がするという相談を受けたので、その調査を行い、原因物質の推定と対策案の提供を行った。

キーワード: オフィス環境, 第三次産業, 揮発性有機化合物 (VOC), 作業環境, GC/MS

1 はじめに

今日では労働者の 2/3 以上が第三次産業に属しており、そこに働く労働者の健康を守るためには、オフィスビルの作業環境ならびに室内空気質の改善と適切な管理が不可欠である。我が国では、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」(ビル管法)や「事務所衛生規準規則」(事務所則)といった法令に基づいて大型オフィスビルの室内環境の維持管理が図られてきた。しかし近年、建物の高気密・高断熱化や化学物質を放散する建材等の使用といった建築様式の変化が起こっているが、その変化がもたらす室内環境中の健康有害因子ならびにその健康影響の実態は十分に解明されていない。欧米では、住宅で問題となっているシックハウス症候群 (SHS) と同様の健康影響が近代的大型オフィスビル内においても発生すると報告がなされており^{1,2)}、現代版のシックビル症候群 (SBS) として大規模な調査研究 (米国環境保護庁 BASE プロジェクト, 2008) が進められている³⁾。

SHS や SBS の原因としては、ホルムアルデヒドや有機溶剤等の揮発性有機化合物 (VOC)^{4,5)}の他、微生物由来の VOC (MVOC)、さらにカビやアレルゲン (ダニ、ペット等) などの生物学的因子^{6,7)}も注目されているが、

我が国のオフィス環境においてはこれらの化学的・生物学的因子の実態調査はほとんど行われていない。

そこで我々は、オフィスビルの室内環境の実態を把握するため VOC の調査を、固体捕集法—ガスクロマトグラフ質量分析法 [GC/MS] で行った。また、化学物質を扱う事業所で行った、悪臭の原因調査についても報告する。

2 対象と方法

1) 調査対象

調査は首都圏にあるオフィスビル内の事業所 6 カ所で行った。A 事業所は 10 階建て大型オフィスビルで、6,7,8,9,10 階を対象とした。B 事業所は高層ビルで、28 階を対象とした。C 事業所は 9 階建てオフィスビルで、2 階を対象とした。D 事業所は 10 階建てオフィスビルで、4,5,6 階を対象とした。E と F は同じ工場内にある別々の建物で、それぞれ 5 階建ての 5 階と 3 階建ての 3 階を対象とした。

2) 調査時期

A 事業所は 2011 年 6 月 27 日、B 事業所は 2011 年 7 月 4 日、C 事業所は 2011 年 7 月 6 日、D 事業所は 2011 年 6 月 15 日、E および F の事業所は 2011 年 6 月 29 日に実施した。

3) 試料採取方法

室内空気中の VOC の捕集は、定流量吸引ポンプ (Pocket Pump, SKC 社製) に捕集管 (活性炭チューブ No.258, ガステック社製) を接続し、毎分 200mL の流速で 10 分間吸引して行った。

4) 分析方法

(1) 試薬

二硫化炭素: 作業環境測定用, 和光純薬。

内部標準物質: トルエン-*d*₈"100%" (D, 99.94%), 和光純薬。

*1 労働安全衛生総合研究所 環境計測管理研究グループ

*2 同 研究企画調整部

*3 同 有害性評価研究グループ

*4 同 国際情報・研究振興センター

*5 同 人間工学・リスク管理研究グループ

*6 同 健康障害予防研究グループ

*7 同 作業条件適応研究グループ

*8 山口大学医学部

*9 東京福祉大学

*10 古河電工株式会社

*11 富士通株式会社

*12 日本ヒューレット・パッカード株式会社

VOC 標準品: 室内環境分析用 VOCs 混合標準原液(45 種混合, 各 1mg/mL 二硫化炭素溶液. ただし, m-キシレンおよび p-キシレンのみ各 0.5mg/mL), 関東化学. 含まれる成分を以下に示す.

- ・脂肪族炭化水素 (13 物質)
n-ヘキサン, 2,4-ジメチルペンタン, 2,2,4-トリメチルペンタン (イソオクタン), 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
- ・芳香族炭化水素 (11 物質)
ベンゼン, トルエン, エチルベンゼン, m-キシレン, p-キシレン, o-キシレン, スチレン, 1,3,5-トリメチルベンゼン, 1,2,4-トリメチルベンゼン, 1,2,3-トリメチルベンゼン, 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン
- ・テルペン類 (2 物質)
2-ピネン, リモネン
- ・ハロゲン類 (10 物質)
ジクロロメタン, トリクロロエチレン, テトラクロロエチレン, クロロホルム, 1,1,1-トリクロロエタン, 1,2-ジクロロエタン, 1,2-ジクロロプロパン, p-ジクロロベンゼン, 四塩化炭素, クロロジプロメタン
- ・エステル類 (2 物質)
酢酸エチル, 酢酸ブチル
- ・ケトン類 (3 物質)
アセトン, 2-ブタノン (メチルエチルケトン), メチルイソブチルケトン (4-メチル-2-ペンタノン)
- ・アルコール類 (2 物質)
エタノール, n-ブタノール
- ・アルデヒド類 (2 物質)
1-デカナール, 1-ノナナール

(2) 装置および分析条件

GC/MS : Trace GC 2000 - Polaris Q, サーモ フィッ

シャー サイエントフィック社.

キャピラリーカラム: DB-624 (内径 0.25 mm, 長さ 60m, 膜厚 1.4 μm), J&W 社.

注入口: 250°C, スプリットレス方式.

キャリアガス; ヘリウム, 1.3mL/min 流量一定.

カラムオープン温度; 40°C (1min hold) → 5°C/min → 50°C → 2.5°C/min → 100°C → 10°C/min → 250°C (9min hold)

イオン源; 250°C

検出方法; SCAN 測定および SIM 測定

(3) 検量線の作製

まず二硫化炭素 1L 中にトルエン-d₈が 1mg 含まれるよう調製し, これを標準物質の希釈および捕集剤 (活性炭) からの溶媒脱着に用いた.

VOCs 混合標準原液を二硫化炭素で希釈して 10, 5, 1, 0.5, 0.1, 0.05 μg/mL を調製し, 各 1 μL を直接 GC/MS に注入して検量線を作成した. 0.05 μg/mL の標準液を 5 回測定し, その標準偏差の 3 倍を検出限界, 10 倍を定量下限とした.

(4) 試験溶液の調製 (溶媒脱着)

試料を採取した捕集管内の活性炭を全て取出し, 予め内部標準物質を添加しておいた二硫化炭素 1mL を加えて 1 時間放置し試験液を調製した. この試験液 1 μL を GC/MS で測定した.

3 結果

オフィスの室内空気から採取した VOCs を GC/MS (SCAN モード) で測定した結果, 化合物のほとんどは検出されなかったが, 芳香族炭化水素と長鎖の脂肪族炭化水素が微量に検出された. そこで, さらに高感度でピークを検出し, 定量的に分析するため, SIM モードで GC/MS の測定を行い, 精査した. クロマトグラムの一例を図 1 に示す.

その結果, 多くのサンプルから 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン, n-ドデカン, n-テトラデカンを検出, ベンゼ

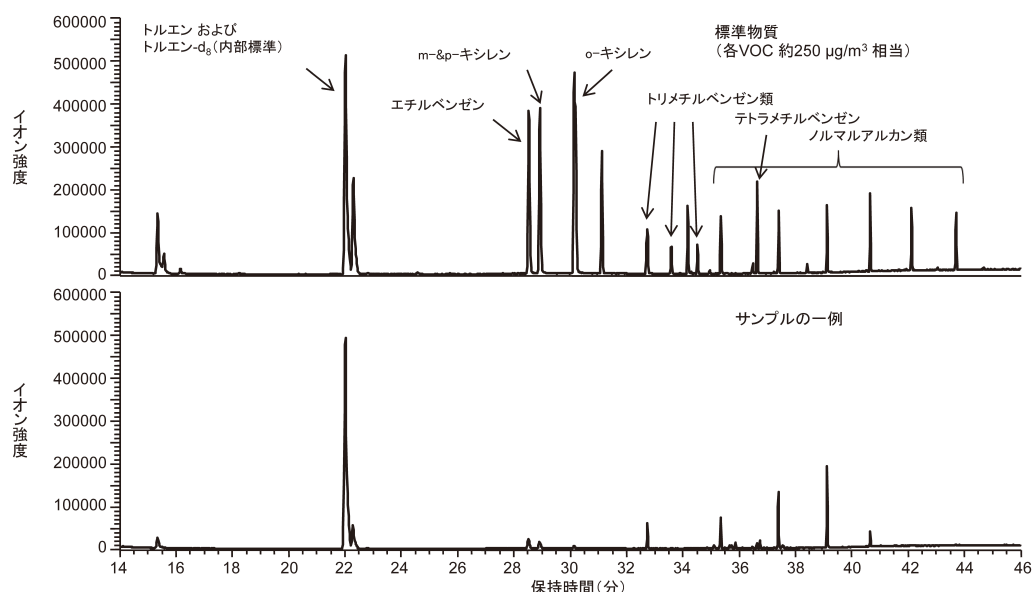


図 1 標準物質とサンプルのトータルイオンクロマトグラム (TIC)

ンおよびトルエン、n-トリデカンについては全てのサンプルから検出された。また一部のサンプルからはエチルベンゼン、キシレン、n-デカン、n-ウンデカンを検出・定量することができた（表1）。なお、m-キシレンとp-キシレンはGC/MSでピークが分離できなかったため、合計値として定量した。

4 考察

厚生労働省による「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」で定められた室内空気汚染物質の指針値⁸⁾（トルエン：260，エチルベンゼン：3800，キシレン：870，スチレン：220，テトラデカン：330 μg/m³）と比べると、今回検出された化合物のうち、比較的高濃度で検出されたトルエンでもその1/2程度であった。その他の物質はいずれもかなり低く、多くが定量下限未満であり、ただちに健康影響のあるレベルではなかった。

室内空気中のVOC濃度は屋外の発生源からの影響も受けていると考えられる⁹⁾。今回、芳香族が多く検出されたことは、調査した事業所のほとんどが都市部にあり、バックグラウンドとして自動車の排気ガスによる影響も無視できない^{10,11)}。特に、長鎖の脂肪族炭化水素が種類

も多く高濃度で検出されたEおよびFの事業所は工業地帯の中にあり、大型トラックが数多く走っていることも主な理由の一つと考えられる。また東日本大震災の際、近くの石油コンビナートで数日間も燃え続けるような大規模な火災事故が発生してから数カ月が経過してはいるが、そのことも影響している可能性もある。しかしこれらについては、建物の気密性や空調の外気の取り入れ具合なども考慮する必要があるうえに、今回の調査では外気の捕集は行ってこなかったため、他と比較することやその関連性を明確にすることは出来ない。

5 化学実験室からの悪臭についての調査

1) 経緯

VOCsの調査を行ったある会社から、今回とは別の事業所（G）で“化学物質を扱う実験室から悪臭がする”という相談を受けた。これに対応するため、室内環境測定に同行し、その原因調査を行った。G事業所は事務作業と研究部門などが混在したオフィスビルである。

2) 方法

当該実験室で扱っている薬品リストと匂いから想定される物質を絞り、実験室内（薬品庫の上）およびその薬

表1 オフィス環境中のVOCs濃度（μg/m³）[LOQ：定量下限，LOD：検出限界，<Q：定量下限未満，ND：不検出]

| サンプル名 | 2,4-ジメチルベンタン | ベンゼン | 2,2,4-トリメチルペンタン | n-ヘプタン | トルエン | エチルベンゼン | m- & p-キシレン | o-キシレン | スチレン | 1,3,5-トリメチルベンゼン | n-デカン | 1,2,4-トリメチルベンゼン | 1,2,3-トリメチルベンゼン | n-ウンデカン | 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン | 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 |
|-------|--------------|------|-----------------|--------|------|---------|-------------|--------|------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|---------|--------------------|--------|---------|----------|----------|----------|
| A6 | ND | 72.7 | ND | ND | 93.3 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 17.1 | 23.8 | 220 | 47.0 | ND | <Q |
| A7 | ND | 69.2 | ND | ND | 94.9 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 28.0 | 46.0 | 418 | 58.6 | ND | ND |
| A8 | ND | 73.6 | ND | ND | 95.9 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 20.7 | 34.2 | 308 | 52.9 | ND | ND |
| A9 | ND | 73.7 | ND | ND | 96.2 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 28.1 | 45.6 | 430 | 54.8 | ND | ND |
| A10 | ND | 69.7 | ND | ND | 91.6 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 13.3 | 21.8 | 174 | 30.3 | ND | ND |
| B-1 | ND | 71.5 | ND | ND | 53.4 | ND | <Q | <Q | ND | ND | <Q | ND | ND | ND | 19.0 | 33.9 | 371 | 70.1 | ND | ND |
| B-2 | ND | 73.6 | ND | ND | 55.3 | ND | <Q | <Q | ND | ND | <Q | ND | ND | ND | 15.3 | 23.3 | 227 | 29.1 | ND | ND |
| B-3 | ND | 72.5 | ND | ND | 55.3 | <Q | <Q | ND | ND | ND | <Q | ND | ND | ND | 16.1 | 24.4 | 306 | 42.3 | ND | ND |
| B-4 | ND | 71.6 | ND | ND | 51.2 | ND | <Q | ND | ND | ND | <Q | ND | ND | ND | 17.3 | 28.9 | 327 | 58.0 | ND | ND |
| B-5 | ND | 72.1 | ND | ND | 53.1 | ND | <Q | ND | ND | ND | <Q | ND | ND | ND | 21.2 | 33.7 | 352 | 67.8 | ND | ND |
| C-1 | ND | 77.3 | ND | ND | 77.3 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 11.0 | <Q | 130 | 26.6 | ND | ND |
| C-2 | ND | 79.0 | ND | ND | 79.3 | <Q | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 9.6 | <Q | 117 | 16.1 | ND | ND |
| C-3 | ND | 81.2 | ND | ND | 77.4 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | <Q | <Q | 110 | <Q | ND | ND |
| C-4 | ND | 72.0 | ND | ND | 76.2 | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 11.7 | <Q | 158 | 24.4 | ND | ND |
| C-5 | ND | 82.5 | ND | ND | 80.1 | <Q | <Q | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | ND | <Q | <Q | 124 | 18.6 | ND | ND |
| D4-1 | ND | 74.2 | ND | ND | 134 | <Q | <Q | <Q | ND | ND | <Q | ND | ND | <Q | 31.9 | 34.1 | 315 | 60.1 | ND | ND |
| D4-2 | ND | 73.3 | ND | ND | 153 | <Q | <Q | <Q | ND | ND | <Q | ND | ND | <Q | 24.4 | 31.9 | 318 | 56.8 | ND | ND |
| D4-3 | ND | 77.2 | ND | ND | 114 | <Q | 9.1 | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | 9.2 | 19.9 | 25.4 | 265 | 44.0 | ND | ND |
| D5 | ND | 78.0 | ND | ND | 127 | <Q | 13.4 | <Q | ND | ND | <Q | ND | ND | <Q | 31.6 | 44.9 | 409 | 79.4 | ND | ND |
| D6 | ND | 77.6 | ND | ND | 140 | <Q | 9.1 | <Q | ND | ND | ND | ND | ND | <Q | 34.0 | 47.3 | 380 | 65.8 | ND | ND |
| E-1 | ND | 73.6 | ND | ND | 109 | 16.6 | 16.0 | <Q | ND | ND | 40.0 | ND | ND | 16.3 | 19.9 | 65.4 | 282 | 99.9 | ND | ND |
| E-2 | ND | 75.9 | ND | ND | 111 | 17.5 | 16.7 | <Q | ND | ND | 27.3 | ND | ND | 16.6 | 19.9 | 70.1 | 311 | 95.9 | ND | <Q |
| F-1 | ND | 74.9 | ND | ND | 79.9 | 29.2 | 20.6 | <Q | ND | ND | 166 | ND | ND | 204 | 14.0 | 359 | 365 | 62.3 | ND | ND |
| F-2 | ND | 77.4 | ND | ND | 101 | 25.6 | 18.9 | <Q | ND | ND | 205 | ND | ND | 248 | 21.1 | 410 | 501 | 82.8 | ND | <Q |
| LOQ | 33.2 | 11.0 | 8.9 | 3.0 | 7.5 | 13.7 | 8.3 | 7.6 | 7.0 | 19.6 | 11.4 | 7.9 | 9.0 | 5.4 | 9.6 | 15.8 | 12.4 | 15.1 | 19.1 | 21.9 |
| LOD | 10.0 | 3.3 | 2.7 | 0.9 | 2.3 | 4.1 | 2.5 | 2.3 | 2.1 | 5.9 | 3.4 | 2.4 | 2.7 | 1.6 | 2.9 | 4.7 | 3.7 | 4.5 | 5.7 | 6.6 |

品が入った容器内部の空気をそれぞれ活性炭チューブで捕集した。測定方法は 2 に従った。

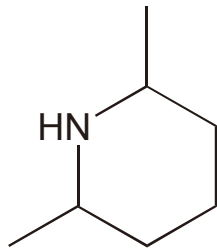
3) 結果

分析の結果を、過去のデータを蓄積したライブラリと比較検索することで、臭いの元と思われる化合物を推定した。

一つは、『2-メチルアジリジン』(別名：プロピレンイミン) [C₃H₇N, 構造式：下図参照]。



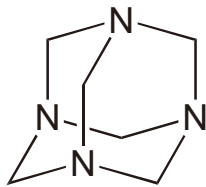
もう一つは、『2,6-ジメチルピペリジン』(別名：ナノフィン, 2,6-ルペチジン, ヘキサヒドロ-2,6-ルチジン他) [C₇H₁₅N, 構造式：下図参照]。



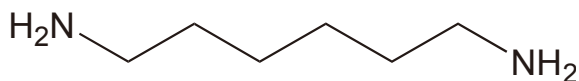
これらの結果は、質量分析計で得られたマススペクトルの開裂パターンをライブラリと比較しただけなので、断定はできないが、可能性は高いと思われる。なぜなら、有機化学の実験室で使われるピペリジン（上記構造式のうち NH を含む六角形の輪）は悪臭の元として良く知られている。

4) 考察

これらの結果を踏まえつつ、薬品リストの中の化合物から、『ヘキサメチレンテトラミン』(別名：1,3,5,7-テトラアザアダマンタン, ヘキサミン, メテナミン, ウロトロピン他) [C₆H₁₂N₄, 構造式：下図参照] が悪臭の原因だと判断した。



あるいは、『ヘキサメチレンジアミン』[C₆H₁₆N₂, 構造式：下図] も同様の悪臭がし、こちらもしくはその両方の可能性も高いと考えられる。



5) 対策と検討課題

現場の作業員の方に話を伺ったところ、これらの薬品は実験室内の薬品庫に入れて保管しているようで、実験室にドラフトチャンバーや排気装置等は特に見当たらなかった。実験室そのものも気密性が高いとは思えず、臭いの強い薬品を扱えば、周りの部屋まで臭うであろうことは容易に想像がつく。

もともと化学実験は有害な物質を取り扱う可能性が高く、特に揮発性の高い物質の場合、作業者の安全のためにもドラフトチャンバーは必要であるので、積極的に検討して頂くよう強くお願いした。

文 献

- 1) Skov P, Valbjorn O, Pedersen BV. (1990) Influence of indoor climate on the sick building syndrome in an office environment. The Danish Indoor Climate Study Group. *Scand. J. Work Environ. Health* 16: 363-371.
- 2) Redlich CA, Sparer J, Cullen MR (1997) Sick-building syndrome. *Lancet* 349: 1013-1016.
- 3) 米国環境保護庁(EPA). Building Assessment Survey and Evaluation (BASE) Study. <http://www.epa.gov/iaq/base/>
- 4) 松村年郎, 安藤正典 (1995) 有害化学物質による室内空気汚染とヒトへのばく露影響. *資源環境対策*. 31: 1103-1110.
- 5) 円藤陽子, 池田浩己, 笹川征雄 他 (2001) シックハウス症候群が疑われる患者の住宅環境および臨床的調査. *臨床環境医学*. 10: 3-10.
- 6) Takigawa T, Wang BL, Sakano N, et. al. (2009) A longitudinal study of environmental risk factors for subjective symptoms associated with sick building syndrome in new dwellings. *Sci. Total Environ.* 407: 5223-5228.
- 7) Araki A, Kawai T, Eitaki Y, et. al. (2010) Relationship between selected indoor volatile organic compounds, so-called microbial VOC, and the prevalence of mucous membrane symptoms in single family homes. *Sci. Total Environ.* 408: 2208-2215.
- 8) 厚生労働省医薬品局化学物質安全対策室 シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会. 室内濃度指針値一覧. <http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/situnai/hyou.html/>
- 9) 力 寿雄, 岩本眞二, 吉村健清 (2009) 揮発性有機化合物(VOC)による室内空気汚染の実態—室内/屋外濃度, 発生源および曝露について—. *日本衛生学雑誌* 64: 683-688.
- 10) 白砂祐一郎 (2003) 自動車排ガス中の有害物質調査. *横浜市環境科学研究所報* 27: 36-41.
- 11) Schauer JJ and Cass GR (2000) Source apportionment of wintertime gas-phase and particle-phase air pollutants using organic compounds as tracers. *Environ. Sci. Technol.* 34: 1821-1832.