

時間通気した。活性炭チューブの上流部と下流部の活性炭を別々のバイアル瓶に入れ、数回の振とうを行いながら2時間の抽出を行い、分析試料とした。抽出終了後に上流部と下流部の分析試料をガスクロマトグラフィーにより定性・定量分析を行った。

3. 実験結果

VOCとホルムアルデヒドの発生についての測定結果の一例を示す。

3.1 ホルムアルデヒドの発生について

表-6、図-2にチェンバー内のホルムアルデヒド濃度を示す。電気毛布は洗濯済で使用するよりも、購入直後に使用した場合にホルムアルデヒドがより多く発生することが分かった。また、本実験ではコタツヒーターユニットから最も高い濃度(449ppb)を測定した。

3.2 VOC(揮発性有機化合物)の発生について

各試験体から発生した主な成分に関して、検出されたVOCを表-7に示す。また各試験体のTVOC濃度を図-3に示す。

3-2-1 電気敷毛布からのVOCの発生

洗濯行為や使用時の温度上昇(電源ON・OFF)が電気毛布から発生するVOCに及ぼす影響を調べた。洗濯済の毛布(電源ON)からの発生濃度は、洗濯なし(電源ON)よりも低く、低減効果が認められた。

表-6 ホルムアルデヒド濃度(単位:ppb)

試験体	単位(ppb)			機器運転状況
	1回目	2回目	3回目	
電気毛布(洗濯済)	57.6	40.1	53.4	電源ON
電気毛布(洗濯無)	65.5	24.0	10.2	電源OFF
電気毛布(洗濯無)	158	59.8	45.5	電源ON
コタツヒーターのユニット	449	400	418	電源ON

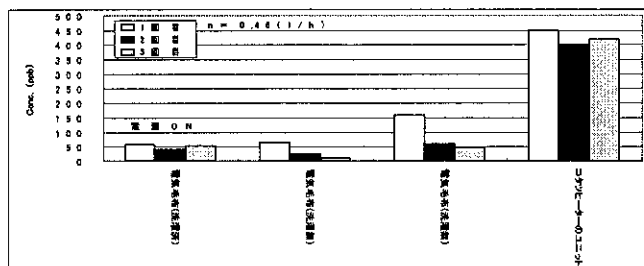


図-2 チェンバー内のホルムアルデヒド濃度

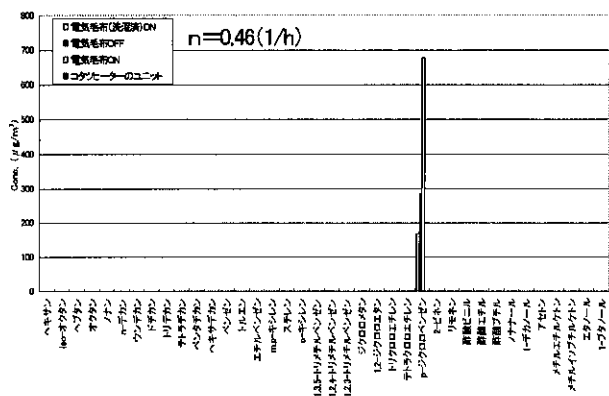


図-3 各試験体のTVOC濃度

表-7 電気敷毛布とコタツヒーターからのVOC発生濃度 単位(µg/m³)

揮発性有機化合物	電気毛布(洗濯済)ON	電気毛布OFF	電気毛布ON	コタツヒーターのユニット
ヘキサン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカン	0	0	0	0
エチルベンゼン	0	0	0	0
トルエン	0	0	0	0
キシレン	0	0	0	0
1,2-ジクロロベンゼン	0	0	0	0
1,2,4-トリクロロベンゼン	0	0	0	0
1,2,3-トリクロロベンゼン	0	0	0	0
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
トリクロロエタン	0	0	0	0
テトラクロロエタン	0	0	0	0
ペンクロロベンゼン	188	285	678	0
エチレン	0	0	0	0
プロパン	0	0	0	0
酢酸エチル	0	0	0	0
酢酸メチル	0	0	0	0
酢酸ブチル	0	0	0	0
アセトン	0	0	0	0
メチルアセトン	0	0	0	0
エチルアセトン	0	0	0	0
ブチルアセトン	0	0	0	0
ヘキサン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカン	0	0	0	0
エチルベンゼン	0	0	0	0
トルエン	0	0	0	0
キシレン	0	0	0	0
1,2-ジクロロベンゼン	0	0	0	0
1,2,4-トリクロロベンゼン	0	0	0	0
1,2,3-トリクロロベンゼン	0	0	0	0
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
トリクロロエタン	0	0	0	0
テトラクロロエタン	0	0	0	0
ペンクロロベンゼン	188	285	678	0
合計	188	285	678	0
TVOC(µg/m³)	188	285	678	0

4. 考察

小型チェンバーを用いて電気敷毛布とコタツヒーターユニットについて化学物質の発生実験を行った。VOCはコタツヒーターユニット使用時に最も高い発生濃度が予想されたが、本実験では電気毛布を購入直後に使用したものが最高値を示した。電気敷毛布について、洗濯前後の使用において発生するVOC濃度に違いが生じた。これは洗濯に使用したことによりVOCが減少したと考えられる。また電気コタツは経験的に使用時間の増大に伴い発生臭気が減少していくことから、VOC成分も減少していくことと考えられる。今後この問題についても明らかにする必要がある。また今回測定した製品はほんの一例であり、家電製品の中によりVOC発生量の大きい製品もあると考えられる。今後は様々な製品についての実験を行い実態を把握することが重要であると思われる。

5. 謝辞

本研究を遂行するに当たり、直接ご指導頂いた野崎淳夫助教授(東北文化学園大学)、ならびに関係各位に深謝致します。

6. 参考文献

- 1)財団法人ベターリング:化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材性能証明試験要領 ver2、2002年
- 2)野崎他:室内空気対策研究会試験評価法WG報告書、2003年3月
- 3)野崎他:シックハウス総プロ、設計施工部会報告書、2003年3月

第7章 家電製品からの化学物質の発生に関する研究

野崎淳夫(東北文化学園大学)

2.7.1 序論

(1) 研究の背景

1970年代に二度にわたる石油ショックを受けて欧米では、冷暖房費を節約するため、建築物の省エネルギー化が進められた。1980年代の初め頃から、欧米各地のいわゆる省エネビルにおいて、めまい、吐き気、頭痛、平衡感覚の失調、眼、鼻、喉の痛み、粘膜や皮膚の乾燥感、ゼイゼイする、喉が渴れるなどの呼吸器系の諸症状等、体の不調を訴える居住者からの苦情が多数、ビル所有者や国、州などの公共団体に出されるようになった。これらの症状は、「ビル病」や「シックビル症候群」(Sick Building Syndrome:SBS)と呼ばれていた。日本では「シックハウス症候群」という言葉が一般的になっているが、これは「シックビル症候群」に倣った和製英語で、住宅(ハウス)における「シックビル症候群」であることをわかるようにしたためと思われる。

SBSは、原因としての当該建築物の換気不足、各種汚染質(単一または複数)の発生量の増大がベースにあって、それらがその他の物理化学的要因と結びついた時に、様々な症状として表れる。

日本では、1970年に建築物の衛生的環境の確保に関する法律(ビル衛生管理法)が定められ、空気環境について6項目の管理基準が決められました。さらに、必要換気量の規定が設けられており、欧米のような大きな問題には至っていない。しかし、化学物質を含む建材が多用される新築ビルでは、SBS問題がまったくないわけではなく、常に換気に留意する必要がある。

シックハウス症候群や化学物質過敏症に関してホルムアルデヒドや揮発性有機化合物(以下、VOC:Volatile Organic Compounds)などの化学物質が大きく関与していることが研究で指摘されている。

ホルムアルデヒドについては、高い社会的関心に対応し、97年度に厚生省によって指針値(室内30分平均値…80ppb)が示され、大学、関連省庁、各種研究機関により、様々な研究が進められるようになった。

建材や家具、室内に持ち込まれる様々な物から室内に発生するガス状汚染物質が、人体に深刻な影響を及ぼすことは、以前より指摘されており、信頼度の高い室内濃度予測法の確立が急務とされている。

(2) 既往の研究

生活用品・電化製品に関する既往の研究については、数例の研究しか見出すことができない。以下の2例の研究についてその概要を示す。

(a) 小型チャンバーADPACを用いた電化製品・生活用品の測定

この研究は電化製品からの化学物質を測定したもので、パソコンやリモコンなど居住者が室内に持ち込むことにより放散源となり得る製品について化学物質放散速度の測定を行い、データを収集したものである。

対象とした機器はノートパソコン、テレビリモコン、低周波マッサージ器、携帯電話、写真雑誌(フルカラー)である。

舟木理香、中川貴文、田中博、田辺新一:日本建築学会学術講演梗概集、p863～864、2002年

(b) 建材、家電製品からのSVOC拡散量の測定

この研究は発生量測定手法であるチェンバー内吸着-加熱脱着法を用いて、室内環境における建材や家電製品からの難燃剤の有機リン酸化合物、可塑剤のフタル酸エステルなどのSVOCsを対象とし、ある室温条件下のガス放散速度を測定したものである。

朱清宇、加藤信介、星野邦広、安宅勇二、安福勝:日本建築学会学術講演梗概集、p859～860、2002年

(3) ホルムアルデヒドについて

シックハウス症候群の主な原因物質されるホルムアルデヒドは、無色で刺激臭を有し、常温ではガス体である。水によく溶け、35～37%の水溶液は通常「ホルマリン」と呼ばれている。ホルムアルデヒドは殺菌作用があり、従来より温室や土壌の燻蒸剤に利用されるほか、標本保存用、消毒用、防腐剤として用いられている。室内における発生源は、喫煙、暖房器具の使用、家庭用品及び建材等である。特に尿素-ホルムアルデヒド系接着剤として多く使用されており、合板・パーティクルボードの接着剤の原料や壁紙、壁紙用接着剤の防腐剤としても利用されている。

ホルムアルデヒドの人に対する影響は、主に目、鼻及び喉等に対する刺激作用です。空気中の濃度が0.08ppmを超えると目、鼻の粘膜等に刺激を感じる人がいる。97年に厚生省が定めた室内指針値も同じ数値の0.08ppmである。

(4) VOCについて

常温で揮発しやすい化合物のことで、VOCとはVolatile Organic Compoundsの略である。トリクロロエチレンやテトラクロロエチレン、ホルムアルデヒド、トルエン、ベンゼン、キシレンなどさまざまな物質がある。

油脂類の溶解能力が高く、分解しにくく安定していて燃えにくい性質から、1970年代には理想の洗浄剤として産業界で普及したが、吸入による頭痛やめまい、腎傷害などの有害性や発ガン性など可能性が指摘されている。大気・水域、特に地下水汚染の原因となるほか、住宅の室内空気汚染物質としても注目され、TVOC（総揮発性有機化合物）という概念も提唱されている。

(5) 化学物質による健康影響

化学物質過敏症とは、大量の化学物質に接触した後、または微量な化学物質に長期に接触した後に発症してくる神経系を中心とした過敏反応を示す疾患である。

環境ホルモンとは異なり、この症状は、動物が体調の異常を言葉で示すことができないため、動物実験で客観的に証明することが困難である。そのため、世界的にも「化学物質過敏症」の存在あるいは化学物質との関連を裏付ける証拠がないとされている。しかし、最近マスコミでも取り上げられているように、ある時期より急に、微量の化学物質に曝露するだけで、体調異常の症状を引き起こす人々が増えている。化学物質過敏症の主症状を表-2.7.1に示す。

(6) 家電製品について

(a) 家電製品の分類

本研究では家電製品について実験を行うので、家電製品を項目毎に大別した。これを表-2.7.2に示す。

(b) 暖房器具の発熱原理（電気毛布、ひざ掛け）

現在、市販されている電気毛布等はコードヒーターと呼ばれ0.1～0.2mm巾の極めて細い金属リボン数十メートルの長さに蛇行して入れてある。

導電性物質を非導電性物質に塗布し、両側に電極を設け通電させ発熱する。その熱が発熱体に蓄積されるが、その際導電性物質は膨張せず非導電性物質が膨張する。その膨張差を利用して安定した恒温を引き出している。発熱温度は発熱面積のワット密度並びにヒーターの設置状態等によって決まる。

(7) 目的

本研究では、4省庁合同の室内空気対策研究会 試験評価法WG（主査野崎淳夫）で検討されている製品の新たな試験評価法を用いて、電気敷毛布やコタツなど居住者が室内に持ち込む製品についてホルムアルデヒドとVOCの発生量を明らかにすることを目的とするものである。

表-2.7.2 家電製品の分類

表-2.7.1 化学物質過敏症の主症状について

自律神経障	発汗異常、手足の冷え、頭痛、易疲労
精神障害	不眠、不安、うつ状態、不定愁訴
気道障害	咽頭痛、口渇
消化器障害	下痢、便秘、悪心
眼科的障害	結膜の刺激障害、調節障害、視力障害
内耳障害	めまい、ふらつき、耳鳴り
運動器障害	筋力低下、筋肉痛、関節痛、振せん
循環器障害	動悸、不整脈、循環障害
免疫障害	皮膚炎、喘息、自己免疫異常

調冷暖房機器	家電品	視聴覚・音響・通信放送機器
石油ストーブ	衣類乾燥機	液晶プロジェクター
ガスストーブ	オープントースター	テレビ・カラーモニター
エアコン	オープンレンジ	スクリーン
換気扇	コタツ	OHP・OHC
空気清浄機	照明器具	スライド映写機
除湿器	炊飯器	ビデオ・ビデオ関連機器
		プレーヤー（CD、LD、DVD他）
加湿器	洗濯機	電光掲示板
ポイラー	扇風機	放送設備（音声調整卓など）
その他空調冷暖房機器	掃除機	音響設備（ステレオなど）
	電気ストーブ	マイクロホン
	ふとん乾燥機	スピーカー
	ポット	ミキサー
	ホームランドリー	携帯電話
	ミキサー	無線機
	ラジオ	その他視聴覚機器等
	冷蔵庫	
	その他家電製品	

2.7.2 家電製品からの化学物質の発生

(1) 実験概要

(a) 測定対象機器

本実験対象の家電製品は、電気敷毛布（写真-2.7.1参照）とコタツヒーターユニット（写真-2.7.2参照）である。

表-2.7.3、表-2.7.4、表-2.7.5に測定対象機器の仕様と発熱量を示す。但し、この発熱量（Wh）はカタログに記載されたもので実際の使用における発熱量と必ずしも同一ではない。

表-2.7.3 電気敷毛布の仕様

寸法	約140×85cm
質量	約0.9kg(コントローラー含む)
発熱体	コードヒーター(温度過昇防止設計)
毛布生地	綿100%

表-2.7.4 電気敷毛布の発熱量

ダイヤル目盛	(強)	(適)
表面温度	50°C	約33°C
消費電力量(1時間あたり)	約36Wh	約20Wh

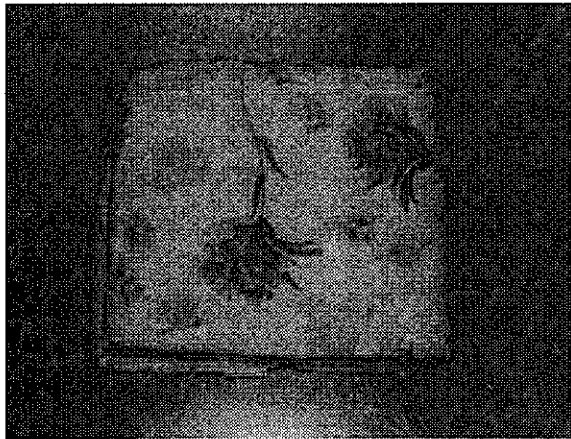


写真-2.7.1 電気敷毛布

表-2.7.5 コタツのヒーターユニットの仕様

寸法	約29×29×4.5cm
質量	約1.9kg(コントローラー含む)
発熱体	石英管ヒーター 300W×2本
温度制御	電子リモコン・サーモスタット
安全装置	温度ヒューズ(129°C-10A)

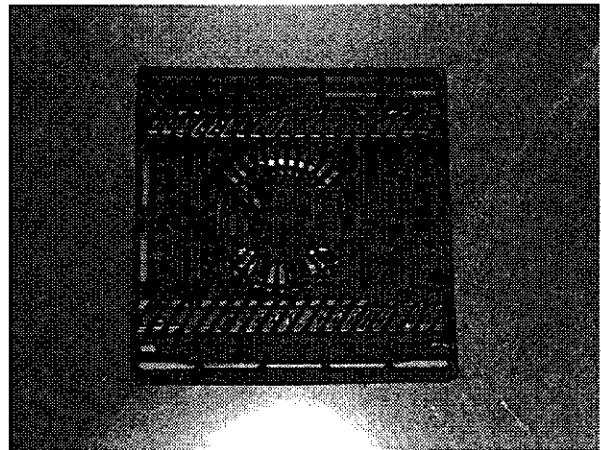


写真-2.7.2 コタツのヒーターユニット

(b) 測定項目

本実験では、次の機器を用いてホルムアルデヒドとVOC測定を行った。

- ・積算流量計 (写真-2.7.3 参照)・・・シナガワ社製、形式:DC-1A 形
- ・定流量ポンプ (写真-2.7.4 参照)・・・柴田機器工業、型式MP-2N 型

①ホルムアルデヒド

- ・DNPH カートリッジ (写真-2.7.5 参照)・・・Waters 社製、DNPH シリカゲル充填量:0.35 (g)、粒径:18 ~ 35 メッシュ

②VOC

表-3.7.6 に対象とするVOCの分類、化学式、分子量、沸点、比重を示す。

- ・活性炭チューブ (写真-2.7.6 参照、図-2.7.1 参照)・・・柴田機械工業、活性炭充填量 (上流側):400 (mg)、活性炭充填量 (下流側):200 (mg)、粒径:20 ~ 40 メッシュ
- ・ATD チューブ (写真-2.7.7 参照)・・・パーキンエルマー

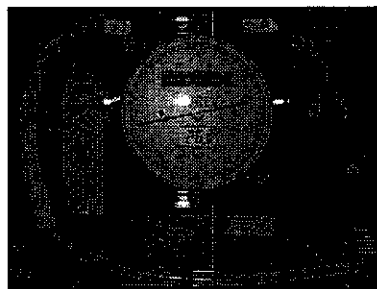


写真-2.7.3 積算流量計

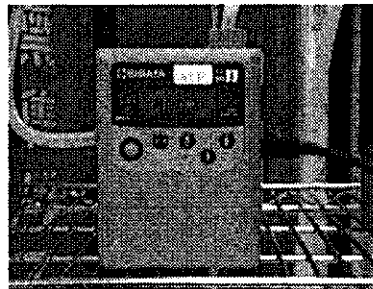


写真-2.7.4 定流量ポンプ

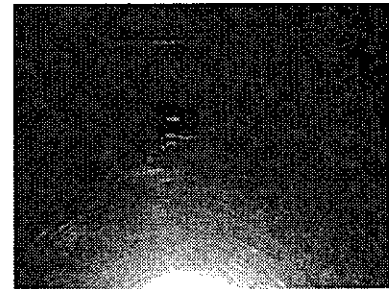


写真-2.7.5 DNPH カートリッジ

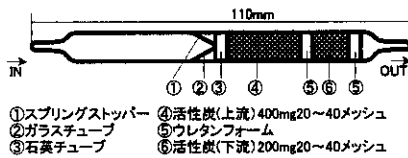


図-2.7.1 活性炭チューブ

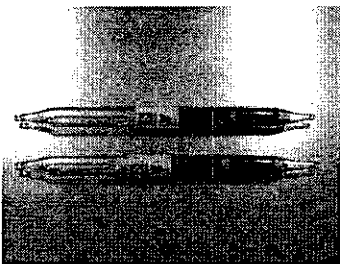


写真-2.7.6 活性炭チューブ

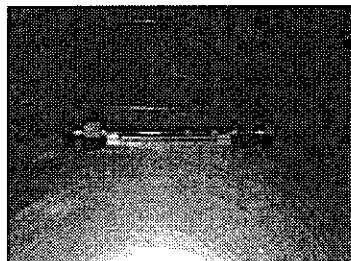


写真-2.7.7 ATD チューブ

表-2.7.6 対象とするVOC

分類	VOC	化学式	分子量	沸点	比重
脂肪族炭化水素	n-ヘキサン	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃	86.18	68.74	0.6594
	n-ヘプタン	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃	100.2	98.43	0.6837
	n-オクタン	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₃	114.23	125.6	0.7026
	n-ノナン	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH ₃	128.26	150.7	0.722
	n-デカン	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₃	142.28	174.0	0.7298
	n-ウンデカン	CH ₃ (CH ₂) ₉ CH ₃	156.31	195.6	0.7402
	n-ドデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₃	170.34	213.0	0.7490
	n-トリデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ CH ₃	184.37	225.5	0.7550
	n-テトラデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CH ₃	198.40	253.5	0.7653
	n-ペンタデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ CH ₃	212.42	270.5	0.776
	n-ヘキサデカン	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CH ₃	226.45	286.5	0.7734
	2,2,4-トリメチルペンタン	(CH ₃) ₂ CCH ₂ CH(CH ₃) ₂	114.23	-	-
	芳香族炭化水素	ベンゼン	C ₆ H ₆	78.11	80.1
トルエン		C ₆ H ₅ CH ₃	92.13	110.7	0.866
エチルベンゼン		C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	106.16	136.2	0.867
m-キシレン		1,3-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	138.8	0.8684
p-キシレン		1,4-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	138.5	0.8611
o-キシレン		1,2-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	144	0.880
1,3,5-トリメチルベンゼン		C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120.19	164.6	0.863
1,2,4-トリメチルベンゼン		C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120.19	236	0.957
1,2,3-トリメチルベンゼン		C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	120.19	176	0.8944
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン		C ₆ H ₂ (CH ₃) ₄	120.19	196	0.838
ハロゲン	ジクロロメタン	CH ₂ Cl ₂	84.93	40.1	1.335
	トリクロロエチレン	CHCl:CCl ₂	131.38	86.7	1.456
	テトラクロロエチレン	Cl ₂ C:CCl ₂	165.82	121	1.625
	p-ジクロロベンゼン	C ₆ H ₄ Cl ₂	146.99	173.7	1.458
テルペン	2-ピネン	C ₁₀ H ₁₆	136.23	160	0.8620
	リモネン	C ₁₀ H ₁₆	136.24	176.4	0.8422
エステル	酢酸ビニル	CH ₃ COOCH:CH ₂	85.1	73	0.9345
	酢酸エチル	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88.1	77	0.8945
	酢酸ブチル	CH ₃ COOC ₄ H ₉	116.16	126.3	0.8826
ケトン	アセトン	CH ₃ COCH ₃	58.08	56.2	0.792
	メチルエチルケトン	CH ₃ COCH ₂ CH ₃	72.11	79.6	0.805
	メチルイソブチルケトン	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃	100.16	115.8	0.8042
アルコール	エタノール	C ₂ H ₅ OH	46.07	78.3	0.816
	ブタノール	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH	74.12	117.7	0.8109
アルデヒド	1-ノナール	C ₉ H ₁₇ CHO	146.24	-	0.830
	1-デカール	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₂ OH	160.29	232.9	0.829

(c) 実験チェンバーの概要

本実験室は、内部が4.98(m³)の気積を有し、内壁はステンレス製である。計測室からの監視用窓には無色透明の強化ガラスが用いられている。また、給排気ファンで強制排気ができるようになっており、任意の換気回数を得られる仕様となっている。また、室内にはミキシングファンが設置され、室内空気を一様拡散状態が再現できる。その中に本実験装置を設置した。本実験では、スモールチェンバー(本体:ステンレス製、容積:65(l)、写真-2.7.8参照)を人工気象室内に設置し、チェンバー内の温度、湿度、及び空気清浄度の制御を行った。

また、スモールチェンバー内の一様拡散状態を得る為に、チェンバー内に小型拡散ファンを設置した。この時のチェンバー内の気流は0.3~0.5(m/s)である。換気量は、給気側と排気側の流量を調節することにより行い、換気回数nを0.46±0.01(1/h)と設定した。実験装置の概要図を図-2.7.2、表-2.7.7に試験体の設置状況を示す。

(d) 環境条件

チェンバー内の環境条件を表-2.7.8に示す。

(e) 捕集・分析方法

①ホルムアルデヒドの捕集・分析法(DNPHカートリッジ・固体捕集-高速液体クロマトグラフ(HPLC)法)

ホルムアルデヒドはDNPHカートリッジに0.5(l/min)の流量で60分間採取し、試料空気とした。DNPHカートリッジに捕集されたホルムアルデヒドは、アセトニトリルで5(ml)で5分間溶出後(溶出速度:1(ml/min))、高速液体クロマトグラフ(分析条件と写真を表-2.7.9と写真-2.7.9に示す)に10(μl)導入し、定性・定量分析を行った。

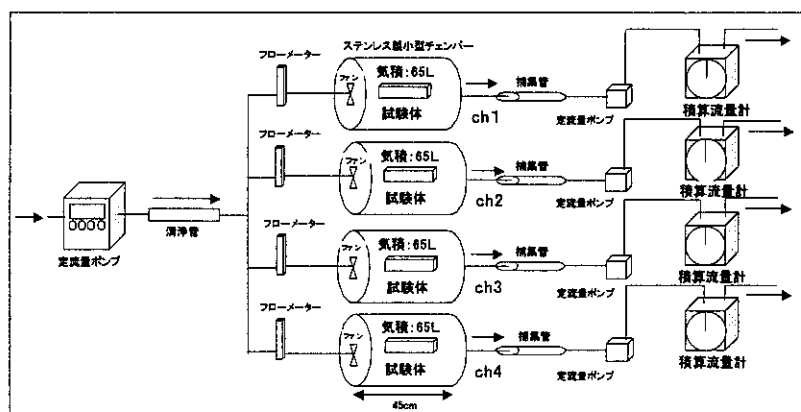


図-2.7.2 実験装置の概要図

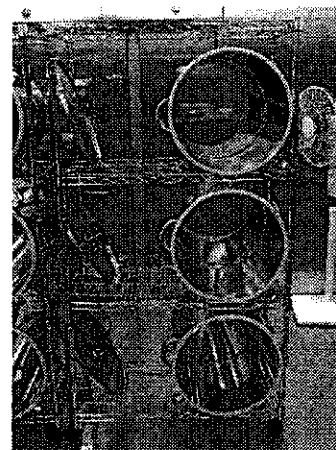


写真-2.7.8 スモールチェンバー

表-2.7.7 実験状況

チェンバー	測定対象機器	洗濯の有無	電源
ch	電気毛布	有(済)	ON
ch	電気毛布	無	OFF
ch	電気毛布	無	ON
ch	コタツのヒーターユニット部		ON

表-2.7.8 チェンバー内の環境条件

気積(L)	65
換気回数(1/h)	0.5±0.05
設定温度(°C)	28±1
設定相対湿度(%)	50±1
気流(m/s)	0.2~0.3

表-2.7.9 高速液体クロマトグラフの分析条件

HPLC	日立社製、Model:L-7000
カラム	ODS-3、内径4.6mm×長さ250mm
カラム温度	50°C
移動層	アセトニトリル:水/70:30
流量	1.0ml/min
検出器	UV検出器(波長:360nm)

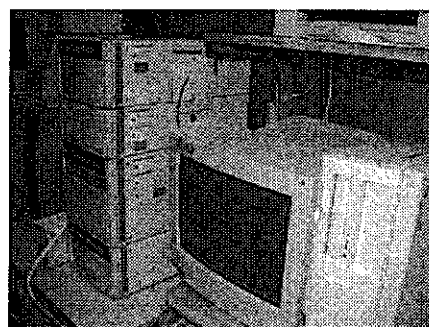


写真-2.7.9 高速液体クロマトグラフ

② VOCの捕集・分析方法

・固体捕集-溶媒抽出-GC法

活性炭チューブに試料空気を0.5 (l/min)の流量で5時間通気した。上流部と下流部の活性炭を別々のバイアル瓶に入れ、栓をした後に軽く振とうした。その後、数回の振とうを行いながら2時間の抽出を行い、分析試料とした。抽出終了後に上流部、下流部の分析試料をGC (写真-2.7.10 参照)による定性、定量分析 (分析条件表-2.7.10 参照)を行った。また、TVOC濃度はGC分析による同定物質濃度の総和に未同定物質のピーク面積値をトルエン換算した濃度を加えたものである。

表-2.7.10 GCの分析条件

HPLC	日立社製、Model:L-7000
カラム	ODS-3、内径4.6mm×長さ250mm
カラム温度	50°C
移動層	アセトニトリル:水/70:30
流量	1.0ml/min
検出器	UV検出器(波長:360nm)

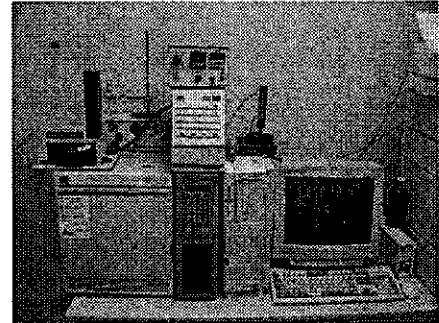


写真-2.7.10 GCによる分析システム

③固体捕集-加熱導入-GC/MS法

ATD捕集管に試料空気を50 (ml/min)の流量にて30分間採取しこれを分析試料とした。捕集されたVOCは加熱導入装置を用いてGC/MSに導入し、定量分析を行った。分析条件は表-2.7.11に、分析装置を写真-2.7.11に示す。

表-2.7.11 GC/MSの分析条件

加熱導入装置	Turbo matrix ATD
GC/MS	Turbo mass gold
加熱前バージ時間	1(min)
チューブ	加熱温度:300(°C)、加熱時間:10(min)
加熱バルブ温度	280(°C)
トランスファー	温度290(°C)
トラップ	捕集温度:10(°C)、加熱温度:350(°C)、加熱保持時間:30(min)
キャリアガス流量	17(psi)
脱着流量	30(ml/min)
スプリット流量	Inlet:15(ml/min)、Outlet:10(ml/min)
カラム	SPB-1、内径:0.25(mm)、膜厚:1(μm)、長さ:60(m)
カラム昇温	50-300(°C)
インタフェース温度	270(°C)
イオン源温度	250(°C)
スキャンモード	m/z 40~250

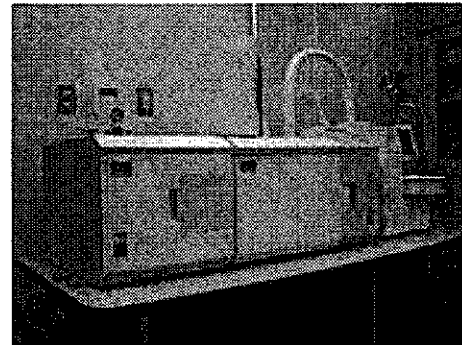


写真-11 GC/MSによる分析システム

(f) 実験手順

人工気象室 (屋内条件試験室) 内にスモールチェンバー (ステンレス製、容積:65 (l)、写真-2.7.11 参照) を用いて、以下の手順により発生実験を行った。

- 1) 人工気象室内にスモールチェンバーを設置する。
- 2) チェンバー内に一定の換気条件を構築する。(温度 28 ± 1 (°C)、湿度 50 ± 1 (%))、換気回数 $n0.46 \pm 0.05$ (1/h)、気流 $0.2 \sim 0.3$ (m/s) 人工気象室、及びチェンバー内の空気は、拡散ファンを用いて一様拡散させる。
- 3) 清浄管に500 (ml/min)の空気を通気させ清浄空気をチェンバー内に供給する。
- 4) 試験片をチェンバー内に挿入してホルムアルデヒド、VOC、温度、湿度の測定を行う。
- 5) 活性炭チューブに試料空気を0.5 (l/min)の流量で5時間通気する。
- 6) DNPHカートリッジに試料空気を0.5 (l/min)の流量で30分通気する。
- 7) ATDチューブに試料空気を0.05 (l/min)の流量で30分通気する。
- 8) 実験中のチェンバー内の温度を測定する。

2.7.3 実験結果

本実験で測定対象機器から発生したホルムアルデヒドとVOCの測定結果を示す。また購入直後のコタツから発生するホルムアルデヒドとVOCについて実測調査を行ったのでその結果も示す。

(1)ホルムアルデヒドの濃度

表-2.7.12、図-2.7.3 に試験体のホルムアルデヒド濃度の測定結果を示す。

本実験ではコタツヒーターユニットからの発生が最も大きく27時間使用した後に測定を行った機器が449 (ppb)であった。電気毛布に関しては、洗濯無しで電源をONにした機器が特に大きく158 (ppb)であった。しかし34時間使用した後に測定した機器に関しては、あまり大きな差は見られなかった。

表-2.7.12 チェンバー内におけるホルムアルデヒド濃度

試験体	単位 (ppb)			機器運転状況
	27時間使用	34時間使用	41時間使用	
電気毛布(洗濯済)	57.6	40.1	53.4	電源ON
電気毛布(洗濯無)	65.5	24.0	10.2	電源OFF
電気毛布(洗濯無)	158	59.8	45.5	電源ON
コタツヒーターのユニット	449	400	418	電源ON

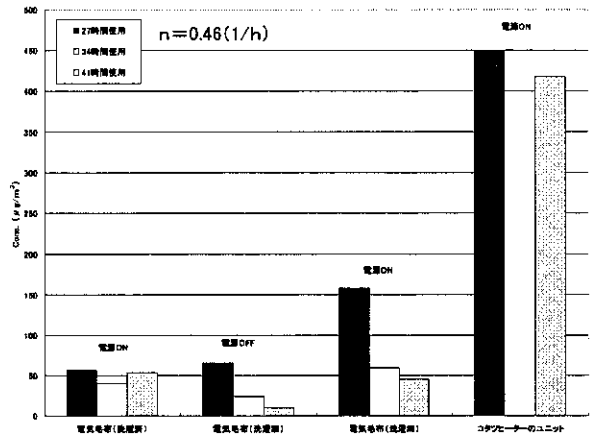


図-2.7.3 チェンバー内におけるホルムアルデヒド濃度

(2)ホルムアルデヒドの濃度(実測調査)

実測調査では1日に2回の測定を行った結果を表-2.7.13、図-2.7.4に示す。

実測調査では1日目の1回目が最も大きく63.1 (ppb)を示した。1日目の2回目では50.8 (ppb)で約10 (ppb)減少していた。また2日目の測定でも37.1 (ppb)から27.2 (ppb)と減少していた。

表-2.7.13 実測調査によるホルムアルデヒド濃度

	単位 (ppb)		
	1日目	2日目	3日目
1回目	63.1	37.1	24.8
2回目	50.8	27.2	17.1

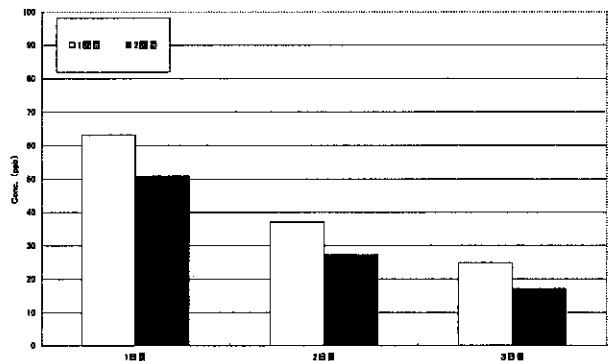


図-2.7.4 実測調査によるホルムアルデヒド濃度

(3) GC法によるVOC測定結果

固体捕集-溶媒抽出-GC法によるVOC測定結果を表-2.7.14~2.7.16、図-2.7.5~2.7.7に示す。

表-2.7.14 27時間使用の各試験体のVOC濃度

単位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

揮発性有機化合物 電着	電気毛布(洗濯済)		コタツヒーターのユニット	
	ON	OFF	ON	ON
ヘキサン	0	0	0	0
iso-オクタン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカリン	0	0	0	0
ウンデカン	0	0	0	0
ドデカン	0	0	0	0
トリデカン	0	0	0	0
テトラデカン	0	0	0	0
ペンタデカン	0	0	0	0
ヘキサデカン	0	0	0	0
ベンゼン	0	0	0	0
トルエン	0	0	0	0
エチルベンゼン	0	0	0	0
m-キシレン	0	0	0	0
o-キシレン	0	0	0	0
1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,3,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,2,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,1-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエチレン	0	0	0	0
1,2-ジクロロベンゼン	168	285	678	0
チルベン	0	0	0	0
リネン	0	0	0	0
酢酸ビニル	0	0	0	0
酢酸エチル	0	0	0	0
酢酸ブチル	0	0	0	0
アルコール	0	0	0	0
1-プロパノール	0	0	0	0
アセトン	0	0	0	0
メチルエチルケトン	0	0	0	0
メチルイソブチルケトン	0	0	0	0
エタノール	0	0	0	0
1-ブタノール	0	0	0	0
固定物質合計	168	285	678	0

表-2.7.16 41時間使用の各試験体のVOC濃度

単位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

揮発性有機化合物 電着	電気毛布(洗濯済)		コタツヒーターのユニット	
	ON	OFF	ON	ON
ヘキサン	0	0	0	0
iso-オクタン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカリン	0	0	0	0
ウンデカン	0	0	0	0
ドデカン	0	0	0	0
トリデカン	0	0	0	0
テトラデカン	0	0	0	0
ペンタデカン	0	0	0	0
ヘキサデカン	0	0	0	0
ベンゼン	0	0	0	0
トルエン	0	0	0	0
エチルベンゼン	0	0	0	0
m-キシレン	0	0	0	0
o-キシレン	0	0	0	0
1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,3,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,2,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,1-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエチレン	0	0	0	0
1,2-ジクロロベンゼン	61.3	79.7	257	0
チルベン	0	0	0	0
リネン	0	0	0	0
酢酸ビニル	0	0	0	0
酢酸エチル	0	0	0	0
酢酸ブチル	0	0	0	0
アルコール	0	0	0	0
1-プロパノール	0	0	0	0
アセトン	0	0	0	0
メチルエチルケトン	0	0	0	0
メチルイソブチルケトン	0	0	0	0
エタノール	0	0	0	0
1-ブタノール	0	0	0	0
固定物質合計	61.3	79.7	257	0

表-2.7.15 34時間使用の各試験体のVOC濃度

単位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

揮発性有機化合物 電着	電気毛布(洗濯済)		コタツヒーターのユニット	
	ON	OFF	ON	ON
ヘキサン	0	0	0	0
iso-オクタン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカリン	0	0	0	0
ウンデカン	0	0	0	0
ドデカン	0	0	0	0
トリデカン	0	0	0	0
テトラデカン	0	0	0	0
ペンタデカン	0	0	0	0
ヘキサデカン	0	0	0	0
ベンゼン	0	0	0	0
トルエン	0	0	0	0
エチルベンゼン	0	0	0	0
m-キシレン	0	0	0	0
o-キシレン	0	0	0	0
1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,3,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
1,2,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,1-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエタン	0	0	0	0
1,1,2,2-テトラクロロエチレン	0	0	0	0
1,2-ジクロロベンゼン	102	134	393	0
チルベン	0	0	0	0
リネン	0	0	0	0
酢酸ビニル	0	0	0	0
酢酸エチル	0	0	0	0
酢酸ブチル	0	0	0	0
アルコール	0	0	0	0
1-プロパノール	0	0	0	0
アセトン	0	0	0	0
メチルエチルケトン	0	0	0	0
メチルイソブチルケトン	0	0	0	0
エタノール	0	0	0	0
1-ブタノール	0	0	0	0
固定物質合計	102	134	393	0

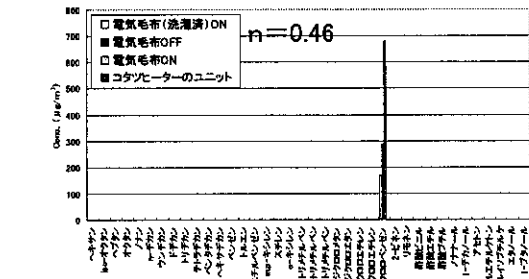


図-2.7.5 27時間使用の各試験体のVOC濃度

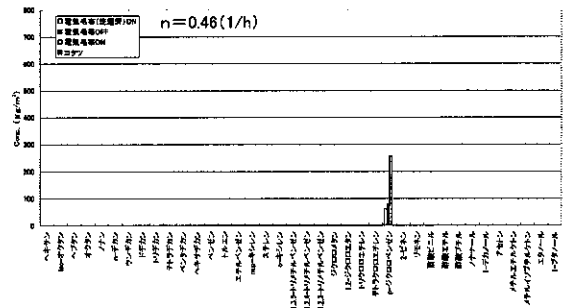


図-2.7.6 34時間使用の各試験体のVOC濃度

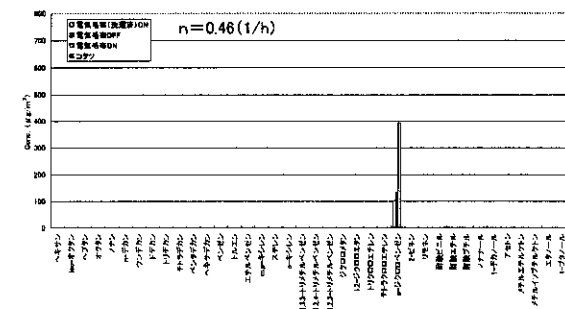


図-2.7.7 41時間使用の各試験体のVOC濃度

(4) GC法による実測調査VOC濃度(実測調査)
 固体捕集-溶媒抽出-GC法によるVOC実測結果を表-2.7.17、図-2.7.8~2.7.12に示す。

表-2.7.17 実測調査によるVOC濃度
 単位(μg/m³)

揮発性有機化合物	1日目	2日目	3日目	5日目
ヘキサン	0	0	0	0
iso-オクタン	0	0	0	0
ヘプタン	0	0	0	0
オクタン	0	0	0	0
ノナン	0	0	0	0
デカカン	13.5	12.6	0	0
ウンデカン	8.8	10.6	12.7	9.48
ドデカン	0	0	0	0
トリデカン	0	0	0	0
テトラデカン	35.6	50.9	34.3	34.6
ペンタデカン	0	6.57	27.6	56.0
ヘキサデカン	0	0	0	0
小計	58.2	80.7	74.7	100
ベンゼン	0	0	0	0
トルエン	53.0	46.6	47.1	0
エチルベンゼン	6.40	0	0	0
m,p-キシレン	11.6	9	5.72	0
スチレン	0	0	0	0
o-キシレン	0	0	0	0
1,3,5-トリメチルベンゼン	59.0	35.0	35.6	38.8
1,2,4-トリメチルベンゼン	34.2	35.3	13.3	30.4
1,2,3-トリメチルベンゼン	72.0	62.1	34.8	35.8
小計	233	188	141	106
ジクロロメタン	0	0	0	0
1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0
トリクロロエチレン	0	0	0	0
テトラクロロエチレン	0	0	0	0
p-ジクロロベンゼン	42.5	48.6	0	0
小計	42.5	48.6	0	0
α-ピレン	21.2	24.1	16.7	0
リモネン	0	0	0	0
小計	21.2	24.1	16.7	0
酢酸ビニル	0	0	0	0
酢酸エチル	0	0	0	0
酢酸ブチル	263	229	256	251
小計	263	229	256	251
アルデヒド	0	0	0	0
1-ブチノール	0	0	0	0
1-ペンタノール	0	0	0	0
小計	0	0	0	0
ケトン	0	0	0	0
メチルエチルケトン	0	0	0	0
メチルイソブチルケトン	0	0	0	0
小計	0	0	0	0
アルコール	0	0	0	0
1-ブタノール	0	0	0	0
小計	0	0	0	0
固定物質合計	618	589	480	457
その他(非同定物質を含む)	420	350	413	448
TVOC	1038	819	903	803

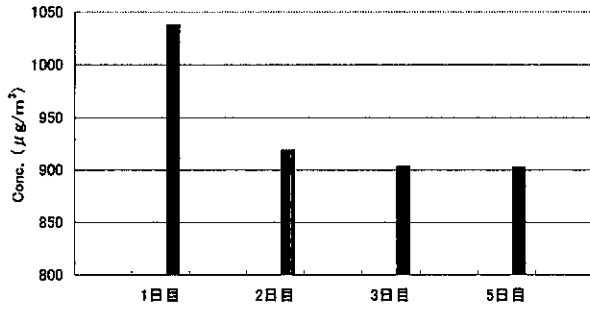


図-2.7.8 コタツから発生するTVOC濃度

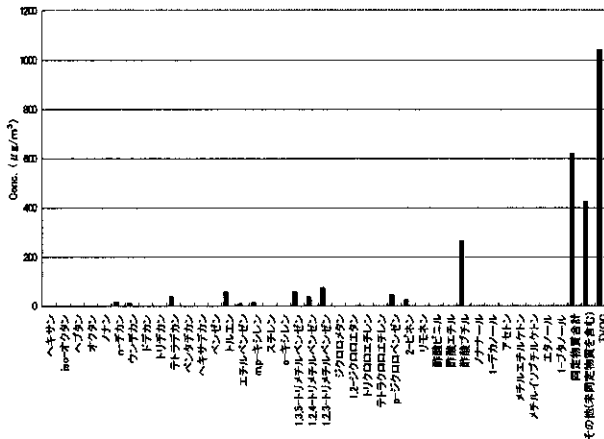


図-2.7.9 実測結果1日目の濃度

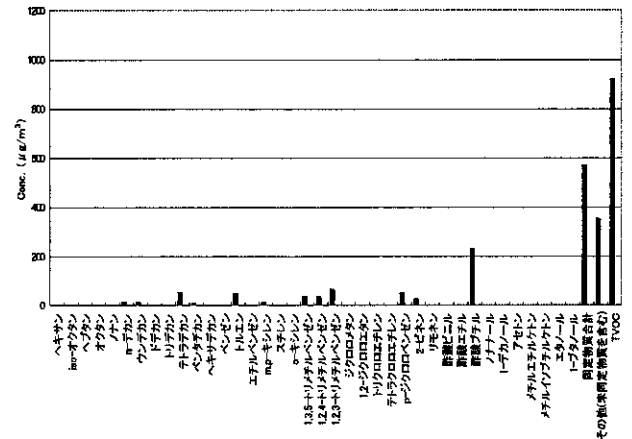


図-2.7.10 実測結果2日目の濃度

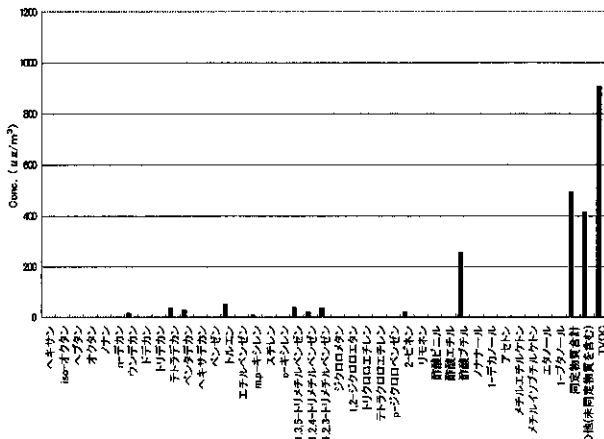


図-2.7.11 実測結果3日目の濃度

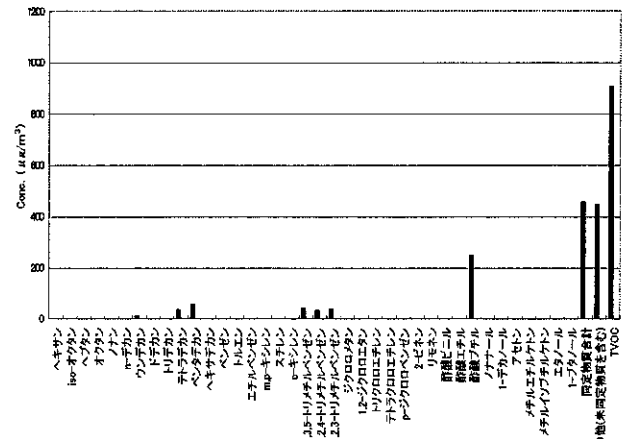


図-2.7.12 実測結果5日目の濃度

(5) GC/MS法によるVOC測定結果

固体捕集-加熱着-GC/MS法により測定したVOCの結果を表-2.7.18~2.7.21、図-2.7.13~2.7.27に示す。

表-2.7.18 27時間使用による各試験体のVOC濃度
単位(μg/m³)

Name	電気毛布(洗濯済)	電気毛布(洗濯無)	電気毛布(洗濯無)	コタツヒーターユニット
物質	ON	OFF	ON	ON
ethanol				
acetone				
2-propanol			56.3	
dichloromethane				
methyl ethyl ketone				
ethyl acetate	3.95	9.08	0.07	5.48
hexane				
chloroform				
1,2-dichlorobenzene				
2,4-dimethylpentane				
1,1,1-trichloroethane				
butanol				526
benzene				
carbon tetrachloride				
1,2-dichloropropane	0.17	0.48	0.09	0.16
bromochloromethane				
trichloroethylene				0.55
2,2,4-trimethylpentane				
heptane				
methoxybutyl ketone	0.70	2.15	1.40	0.64
dicumylchloromethane				31.8
butyl acetate				
octane				
tetrachloroethylene				
ethylbenzene				
m,p-xylene				
styrene	5.25	5.27	0.81	
o-xylene				
nonane				
propene				
m,p-methyltoluene				
1,3,5-trimethylbenzene				
c-ethyltoluene				
l-pinene	0.83			
1,2,4-trimethylbenzene				
decane				
p-dichlorobenzene	1.15	1.16	1.65	
1,2,3-trimethylbenzene				
limonene			1.78	
undecane	13.2	2.54	1.88	6.55
1,2,4,5-tetramethylbenzene				
decanal				
dodecane				
tridecane				
tetradecane				
pentadecane				
hexadecane				
TVOC(μg/m ³)	25.2	20.7	64.0	574

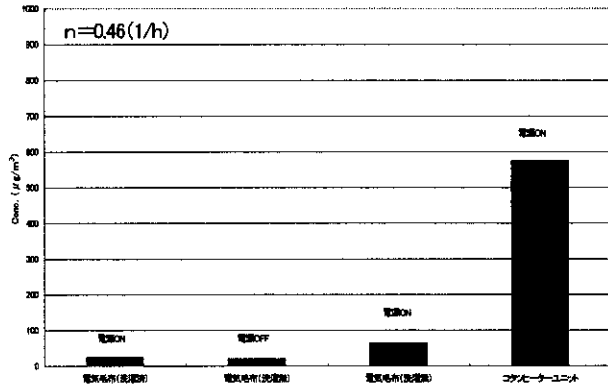


図-2.7.13 27時間使用の各試験体のTVOC濃度

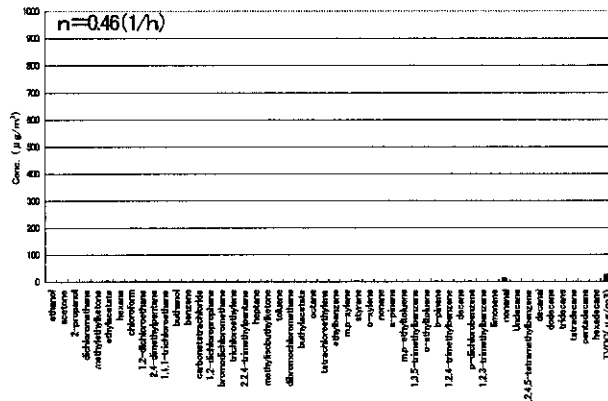


図-2.7.14 27時間使用による電気毛布(洗濯済)(電源ON)のVOC濃度

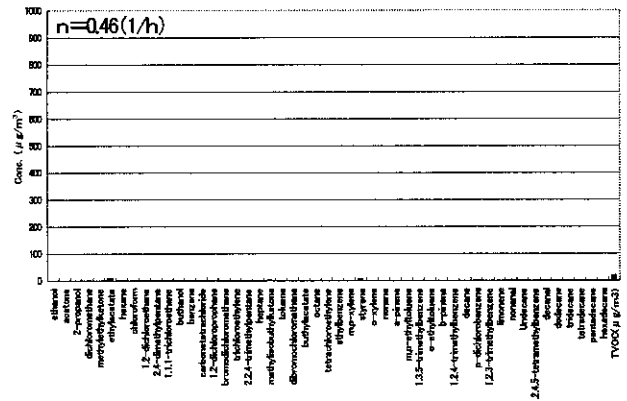


図-2.7.15 27時間使用による電気毛布(洗濯無)(電源OFF)のVOC濃度

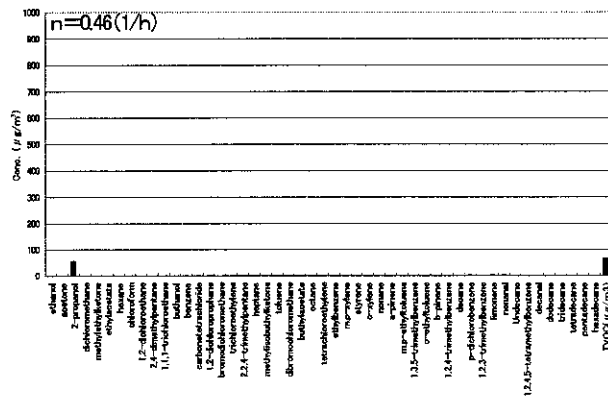


図-2.7.16 27時間使用による電気毛布(洗濯無)(電源ON)のVOC濃度

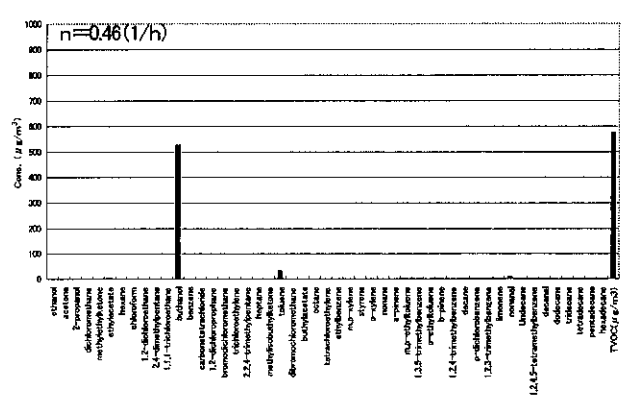


図-2.7.17 27時間使用によるコタツヒーターユニットのVOC濃度

表 2.7.19 34 時間使用による各試験体の VOC 濃度
単位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Name	電気毛布(洗濯済) ON	電気毛布(洗濯済) OFF	電気毛布(洗濯無) ON	コタツヒーターのユニット ON
ethanol				
acetone				
2-propanol			11.4	
dichloromethane				
methylglyoxal				
ethylacetate	1.99	2.41	2.80	
hexane				
chloroform				
1,2-dichloroethane				
2,4-dimethylbenzene				
1,1,1-trichloroethane				
butanol				820
benzene				
carbon tetrachloride				
1,2-dichloropropane	2.96	2.24	0.16	
bromodichloromethane				
trichloroethylene				
2,2,4-trimethylpentane				
heptane				
methylisobutyl ketone	0.48	0.51	0.46	0.39
toluene				21.5
dicromochloromethane				
butylacetate				
octane				
tetrahydrofuran				
styrene				
styrene	1.61	0.91	2.37	
o-xylene				
nonane				
m-pine				
m-ethyltoluene				
1,3,5-trimethylbenzene				
o-ethyltoluene				
p-xylene	0.31			
1,2,4-trimethylbenzene				
decane				
p-dichlorobenzene	1.24	0.56	1.04	
1,2,3-trimethylbenzene				
limonene				1.13
nonanal	14.8	2.24	6.11	17.1
Undecane				
1,2,4,5-tetramethylbenzene				
decanal				
dodecane				
tridecane				
tetradecane				
pentadecane				
hexadecane				
TVOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23.4	8.88	25.3	959

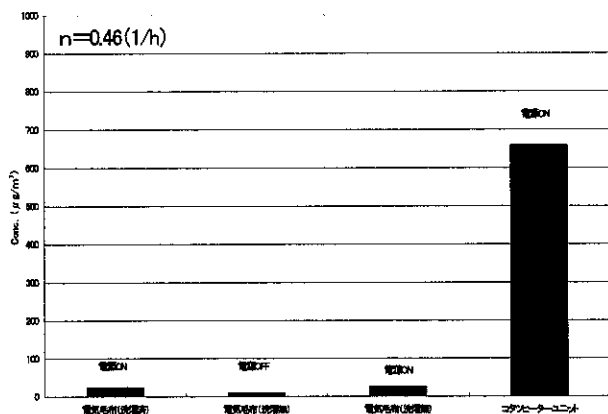


図-2.7.18 34 時間使用の各試験体の TVOC 濃度

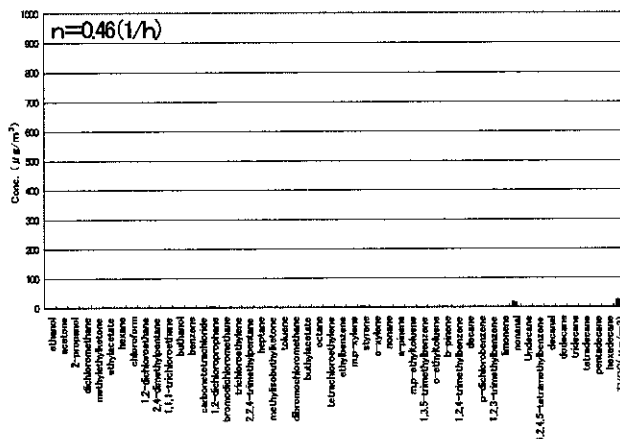


図-2.7.19 34 時間使用による電気毛布 (洗濯済) (電源 ON) の VOC 濃度

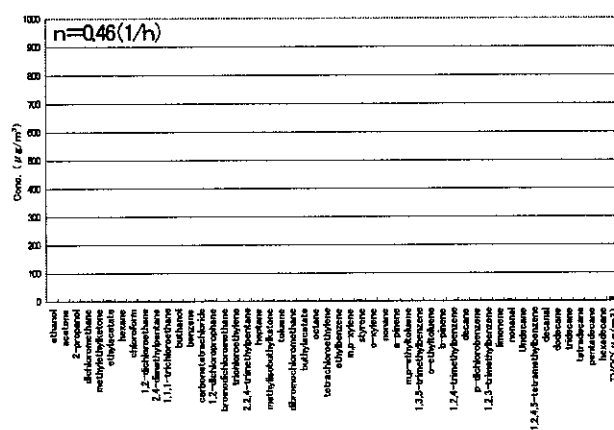


図-2.7.20 34 時間使用による電気毛布 (洗濯無) (電源 OFF) の VOC 濃度

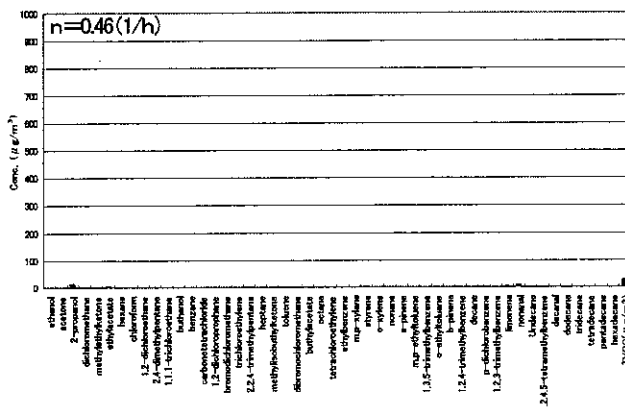


図-2.7.21 34 時間使用による電気毛布 (洗濯無) (電源 ON) の VOC 濃度

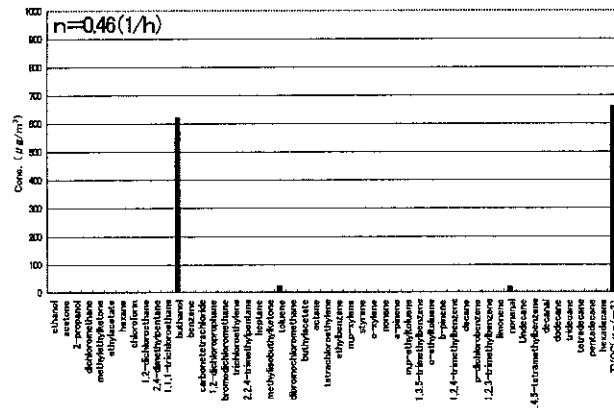


図-2.7.22 34 時間使用によるコタツヒーターユニットの VOC 濃度

表-2.7.20 41時間使用による各試験体のVOC濃度 単位(μg/m³)

Name	電気毛布(洗濯済)	電気毛布(洗濯無)	電気毛布(洗濯無)	コタツヒーターのユニット
電機	ON	OFF	ON	ON
ethanol				
acetone				
2-propanol			4.38	
dichloromethane				
methylmethyleketone				
ethylacetate	1.48	0.75	2.03	1.83
hexane				
chloroform				
1,2-dichloroethane				
2,4-dimethylpentane				
1,1,1-trichloroethane				
butanol				888
benzene				
carbon tetrachloride				
1,2-dichloropropane	0.36	8.79	0.75	3.73
bromochloromethane				
trichloroethylene				0.40
2,2,4-trimethylpentane				
heptane				
methylisobutylketone	0.42	0.18	0.37	0.45
toluene				25.8
dibromochloromethane				
butylacetate				
octane				
tetrachloroethylene				
ethylbenzene				
m-xylene				
styrene	1.41		3.55	
o-xylene				
nonane				
α-pinene				
m-p-ethyltoluene				
1,3,5-trimethylbenzene				
α-ethyltoluene				
β-pinene	0.24			
1,2,4-trimethylbenzene				
decane				
p-dichlorobenzene	0.81	0.12	1.37	
1,2,3-trimethylbenzene				
limonene				1.07
nonanal	12.2	2.71	6.57	20.8
Undecane				
1,2,4,5-tetramethylbenzene				
decanal				
dodecane				
tridecane				
tetradecane				
pentadecane				
hexadecane				
TVOC(μg/m ³)	17.0	10.8	22.1	942

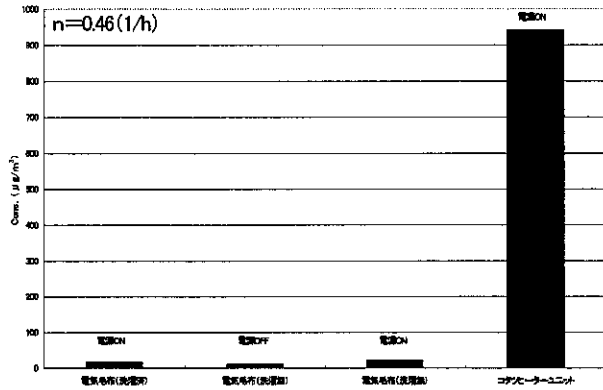


図-2.7.23 41時間使用の各試験体のTVOC濃度

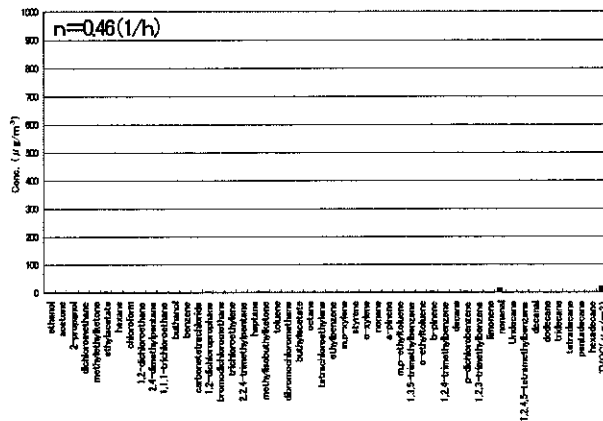


図-2.7.24 41時間使用による電気毛布(洗濯済)(電源ON)のVOC濃度

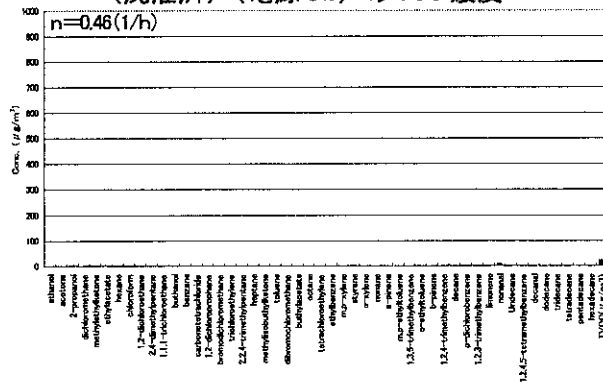


図-2.7.26 41時間使用による電気毛布(洗濯無)(電源ON)のVOC濃度

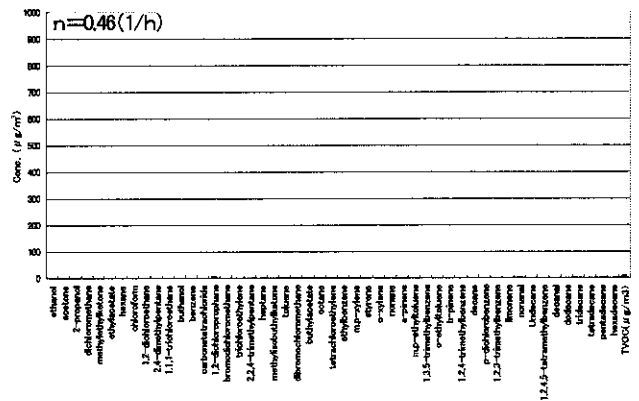


図-2.7.25 41時間使用による電気毛布(洗濯無)(電源OFF)のVOC濃度

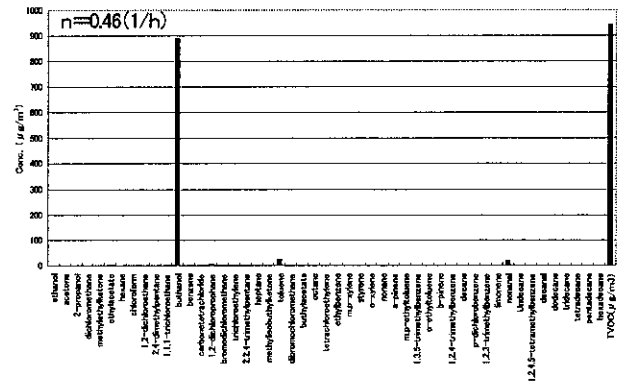


図-2.7.27 41時間使用によるコタツヒーターユニットのVOC濃度

2.7.4 考察

(1)ホルムアルデヒドの濃度について

電気毛布(洗濯無)で電源を付けた状態と電気毛布(洗濯済)で電源を付けた状態のものをを比較すると、電気毛布(洗濯済)で電源を付けた状態よりも、洗濯を施していないものを使用した場合の方が、ホルムアルデヒドがより多く発生することが分かった。また、本実験ではコタツヒーターのユニットから最も高い濃度449(ppb)を測定した。コタツヒーターユニットからは27、34、41時間使用した全ての試験体において400ppbを超える高い濃度が検出された。今回は全ての対象機器で27、34、41時間使用して測定を行った。結果としては測定を行うにつれて濃度が小さくなっていく傾向が見られた。本実験では洗濯済の電気毛布電源ONと洗濯していない電気毛布電源ONを比較した。洗濯していない電気毛布は洗濯済の電気毛布よりも大きいホルムアルデヒド濃度が示された。これは洗濯したことによりホルムアルデヒドが減少したのではないかと考えられる。今回の実験では使用時間が増大するに従って濃度が減少していく傾向がみられた。

(2)ホルムアルデヒドの濃度(実測調査)について

今回の実測調査で1日目の1回目と3日目の2回目を比較すると、1日目の1回目は63.1(ppb)で3日目の2回目は17.1(ppb)で46(ppb)減少していた。今回の測定では使用時間が増大するにしたがって、ホルムアルデヒドの濃度は小さくなっていった。

(3)GC法によるVOC測定結果について

本実験で測定されたVOCは電気毛布を購入直後に使用したものが最も大きかった。電気毛布について、洗濯後の電気毛布は洗濯前の電気毛布に比べて濃度が小さかった。これは洗濯行為によって濃度が減少したもと考えられる。今回検出されたパラジクロロベンゼンは防虫剤などに含まれている物質であるために購入直後に高い濃度が検出されたのだと思う。

(4)GC法による実測調査VOC濃度(実測調査)について

今回の実測調査では1日目に1038($\mu\text{g}/\text{m}^3$)と高い濃度を示した。しかし2日目の測定では919($\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。VOCでもホルムアルデヒドと同様に使用するにしたがって濃度が減少する傾向が見られた。しかし3日目と5日目ではTVOCは減少していなかった。それは使用するに従って減少する成分と、新たに発生する成分があったためであると思われる。発生した成分を比較みると、発生1日目と2日目ではパラジクロロベンゼンが検出されているのに対して3日目と5日目の調査では検出されなかった。しかし1日目では測定されなかったペンタデカンが2日目に検出され、その後増加していった。

(5)GC/MS法によるVOC測定結果について

GC/MS法ではコタツヒーターユニットから発生するVOC濃度が大きかった。成分をみてみるとブタノールとノナナールで高い濃度が検出された。またこの2つの成分は使用時間が増加するにしたがって増加していく傾向がみられた。電気毛布について、GC法での測定ではパラジクロロベンゼンが多く発生していたがGC/MS法ではあまり高い濃度をしめさなかった。

2.7.5 まとめ

本実験では分析方法の違いによりVOC濃度に違いがでた。これは捕集時間帯の違いなどにも影響されているかもしれない。すなわち、GC法では、試料を設置したチェンバー内濃度を5時間にわたって捕集するのに対し、ATDチューブを用いたGC/MS法では、定常状態の試料空気を30分間の捕集期間で捕集した違いがある。コタツヒーターユニットはホルムアルデヒドで高い濃度が測定された。電気コタツは経験的に使用時間の増大に伴い発生臭気が減少していくことから、VOC成分も減少していくことと考えていた。結果としては、実験と実測調査においてホルムアルデヒドもVOCも使用時間が増大するにしたがって濃度が減少していった。しかし逆に減少しないで増加する成分もあった。電気毛布は洗濯行為によってVOC成分がより減少することも分かった。これは防虫剤などに含まれているパラジクロロベンゼンが洗濯行為により減少したためと思われる。今回測定した製品はほんの一例であり、家電製品の中によりVOC発生量の大きい製品もあると考えられる。今後は様々な製品についての実験を行い対策法を講じることが重要であると思われる。

2.7.6 謝辞

本研究を遂行するに当たり、協力を頂いた浅野康明君（当時東北文化学園大学卒論生）、ならびに関係各位に深謝致します。

2.7.7 参考文献

- 1) 財団法人ベターリング：化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材性能証明試験要領 ver2、2002 年
- 2) 野崎他：室内空気対策研究会試験評価法 WG 報告書、2003 年 3 月
- 3) 野崎他：シックハウス総プロ、設計施工部会報告書、2003 年 3 月

要約

第8章 事務機器からの化学物質の発生に関する研究

野崎淳夫（東北文化学園大学）

1. 研究の背景と目的

コピー機、レーザプリンタ、インクジェットプリンタからの、オゾンの発生が明らかにされている。また、住宅、医療、社会福祉施設内では、オゾンを利用して消臭、殺菌装置が使用されている。このうち、高電圧、紫外線を利用したものは、有害なオゾンガスを発生する。オゾンによる人体への影響が明らかにされており、オゾンの人体曝露により、呼吸器系の機能低下、めまい、頭痛、倦怠感等の諸症状の発生が報告されている。

そこで、本研究では、オゾンのみならずVOCの機器発生量に関する理論的検討を行い、コピー機、レーザプリンタ、インクジェットプリンタ等からの当該物質発生特性及び発生量を明らかにするものである。これにより適確な化学物質の室内濃度予測が可能となり、室内化学物質汚染防止対策が講ぜられることになる。

2. 実験概要

2-1 実験方法

実験チェンバー内に事務機器（コピー機、レーザプリンタ、インクジェットプリンタ）を設置し、機器使用に伴うチェンバー内のオゾンとVOCについての測定を行うものである。（印刷条件として、文字：「あ」、文字サイズ：「8pt」、用紙サイズ：「A4」、フォント：「明朝体」、合計文字数：「4896字」。）

2-2 実験装置

図-1に示す実験システムを作製した。実験チェンバーは、機械換気装置により任意の換気量が得られ、4.977m³（1.8m×1.6m×1.7m）の気積を有するものである。

チェンバーには試料ガスを採取するためのサンプリング孔が設けられている。尚、チェンバー内に一様拡散ファンを設置し、汚染物質濃度が均一になるようにする。

2-3 測定機器・分析機器

①オゾン

- ・紫外線吸収式オゾン濃度計（ダイレック社製、Model：1200型）
- ・除湿装置（ダイレック社製、Model：A-718EC-95P型）

②VOC

- ・光音響法測定器（マルチガスモニタ、B&K社製 Model：1302型）
- ・GC/MS（ガスクロマトグラフ、Perkin Elmer社製、Model：Turbo Mass Gold）
- ・VOC捕集管、ATDチューブ（Spelco社製、ATD用）
- ・定流量ポンプ（GLサイエンス社製、Model：1312型）
- ・積算流量計（シナガワ社製、Model：SP-206AC型）

2-4 実験対象機器

汎用の印刷系事務機器を実験対象とした。実験対象機器仕様は、表-1に示される。

2-5 実験手順

実験手順を以下のように提案する。

①実験チェンバー内を十分に換気・清浄した後、表-2に示

される環境条件が制御されたチェンバー内に事務機器を設置する。

②事務機器を運転させ、室内空気を一様拡散ファンで拡散しつつ、チェンバー内の化学物質濃度のモニタリングを行う。

③事務機器運転開始から対象汚染物質が定常濃度に達するまで、マルチガスモニタで確認しつつ、30分毎にチェンバー内の空気を捕集し分析する。

2-6 VOCの捕集・分析方法

VOCの捕集は、ATDチューブを用いて行い、捕集流量は50（ml/min）で採取時間は15（min）とし、これを分析試料とした。ATDチューブに捕集されたVOCは、加熱導入装置を用いてGC/MSに導入し、表-3に示される分析条件にて定性・定量分析を行った。

表-1 実験対象機器の仕様

記号	機器	印刷	形式	感光体種類	複写方式	現像方式	定着方式	ウォームアップタイム	電源
PC-1	コピー機	白黒	床成型	OPC有機感光体	間接静電複写方式	乾式現像	ヒートローラー	130秒以下（20℃）	DC24V±5%
PC-2	コピー機	白黒	床成型	OPC有機感光体	レーザーゼログラヒー方式	乾式二成分現像	ヒートローラー	標準：35秒（20℃） 暖機：9秒以下（20℃、被写RAM未装着時）	100V・15A
LP-1	レーザプリンタ	白黒	デスクトップ型	ベージプリンタ	記録なし	電子写真方式	記録なし	オンデマンド	100V
LP-2	レーザプリンタ	白黒	デスクトップ型	ベージプリンタ	記録なし	電子写真方式	記録なし	オンデマンド	100V
MP-1	カラー								50（81Hz）

表-2 測定時のチェンバー内環境条件

気積	4.977 m ³
気流	0.3 ~ 0.4 (m/s)
換気回数	0.2 (1/h)
温度	28 ± 1 (°C)
湿度	50 ± 1 (%)

表-3 GC/MSの分析条件

加熱導入装置	Perkin Elmer社製、Model：Turbo Matrix ATD
GC/MS	Perkin Elmer社製、Model：Turbo Mass Gold
加熱前バース時間	1 (min)
チューブ加熱温度	加熱温度：300(°C)、加熱時間：10(min)
加熱バルブ時間	温度：250(°C)
トランスラナー	温度：250(°C)
トラップ	捕集温度：10(°C)、加熱温度：350(°C)、加熱保持時間：30(min)
キャリアガス流量	17 (psl)
脱着流量	30 (ml/min)
スプリット流量	Inlet：15 (ml/min)、Outlet：10 (ml/min)
カラム	SPB-1、内径：0.25 (mm)、膜厚：1 (µm)、長さ：60 (m)
ガズム昇温	50 ~ 300 (°C)
インターフェイス温度	270 (°C)
スキャンモード	Scan：40 ~ 250

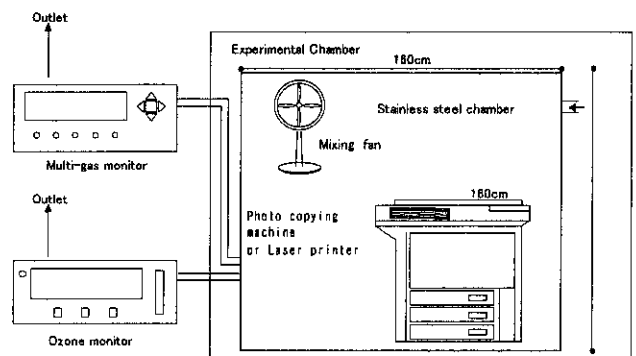


図-1 実験チェンバー

2-7 VOC 発生量と室内濃度予測¹⁾

コピー機、レーザープリンタ1枚印刷時におけるVOC発生量の算出には、以下の理論式を用いて行った。

図-2に示す様に、ある短時間(Δt)におけるチャンパー内の濃度変位(ΔC)を測定する事により、発生源発生量 M を(5)式を求める事が出来る。

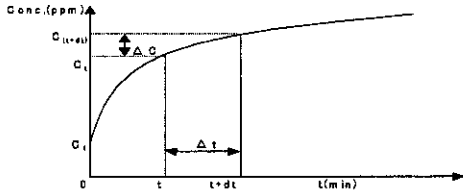


図-2 事務機器を有する室内のVOC濃度上昇パターン

室内濃度構成を検討した。ある限られた短時間における室内VOCのマスバランスは、次式(1)で表される。

$$dt(M + QC_0 - QC - \alpha SC - Q_e C + M') = R \Delta C \quad (1)$$

ここで、

C_0 : 外気VOC濃度 (ppm)、 Q : 室換気回数 (1/h)、 M : 機器VOC発生量 (ml/h)、 M' : 再放出量 (ml/h)、 R : 室の気積 (m^3)、 t : 時間 (h)、 a : 吸着速度 (m/h)、 Q_e : 発生源機器VOC除去率 (m^3/h)、 C : 室VOC濃度 (ppm)、 S : 室内における全吸着面積 (m^2)とする。

$M' = 0$ とし、 $t=0$ 時の室内濃度を C_1 として、(1)式を解くと、次の室内オゾン濃度予測式(2)が得られる。

$$C = C_1 e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{aS}{R} + \frac{Q_e}{R}\right)t} + \frac{M + QC_0}{(Q + aS + Q_e)} \left(1 - e^{-\left(\frac{Q}{R} + \frac{aS}{R} + \frac{Q_e}{R}\right)t}\right) \quad (2)$$

ここで、 $m = \left(\frac{Q}{R} + \frac{aS}{R} + \frac{Q_e}{R}\right)$ とすると、

$$C = C_1 e^{-mt} + \frac{M + QC_0}{mR} (1 - e^{-mt}) \quad (3)$$

また、 Δt 後の室内濃度は次式(4)で表される。

$$\Delta C + C = C_1 e^{-m(t+\Delta t)} + \frac{M + QC_0}{mR} (1 - e^{-m(t+\Delta t)}) \quad (4)$$

(2)式と(4)式から次式(5)が得られ、機器発生量 M が求められる。

$$M = \frac{\Delta C m R}{e^{-mt} (1 - e^{-m\Delta t})} + m R C_1 - Q C_0 \quad (5)$$

3. 実験結果

事務機器における室内化学物質濃度上昇特性を図-3~7に示す。

1) インクジェットプリンタ

図-3からVOC濃度が定常状態に達するまで、5時間程度の機器運転時間を要した。この時、印刷枚数は116枚であ

った。既報¹⁾によるとインクジェットプリンタからはオゾン発生が認められなかったことが指摘されている。本実験ではこの報告と同様に、オゾン発生は認められなかったがVOCの濃度上昇は確認できた。

2) レーザプリンタ

図-4.5から、VOCが定常濃度に達することが確認できた

が、オゾンは定常濃度に達することができなかった。図-8~10からも確認できる。オゾン濃度が著しく低下したのは、コピー用紙の補給が原因である。

3) コピー機

コピー機では、換気回数を0.5 (1/h) に設定したことでVOC・オゾンが定常濃度に達した時間は早かった。

ホルムアルデヒドは、図-3~7から、濃度変化は確認できなかった。

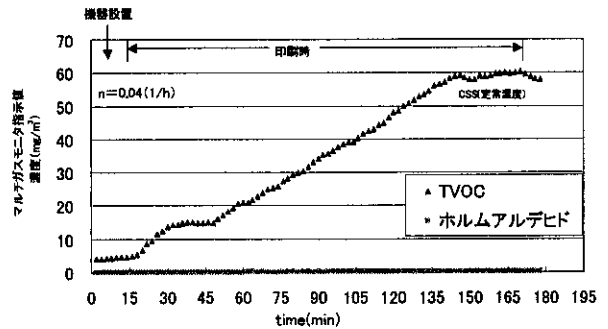


図-3 インクジェットプリンタの運転に伴うホルムアルデヒドとTVOCの経時変化(IJP-1)

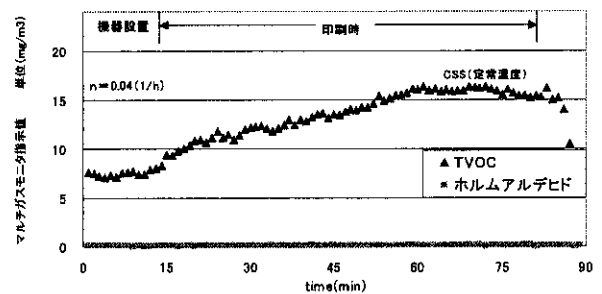


図-4 レーザプリンタの運転に伴うTVOCとホルムアルデヒドの経時変化(LP-2)

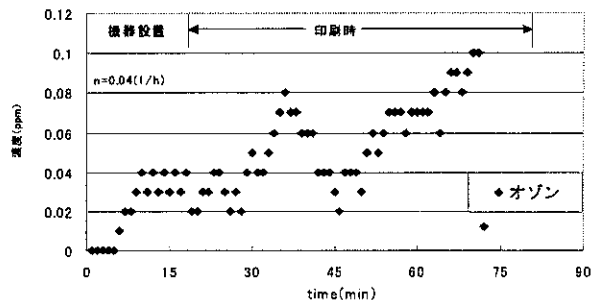


図-5 レーザプリンタの運転に伴うオゾンの経時変化(LP-2)

図-8～10は精密測定法（GC/MS）によるVOC濃度の測定結果を示したものである。

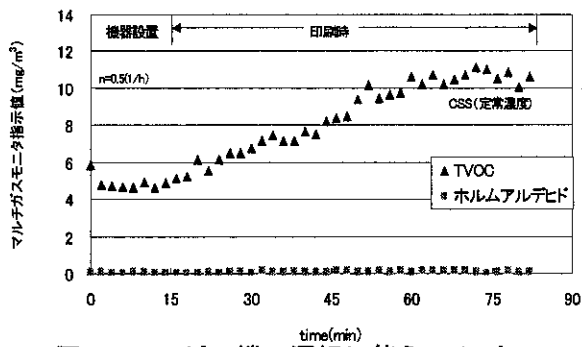


図-6 コピー機の運転に伴うTVOCとホルムアルデヒドの経時変化 (PC-1)

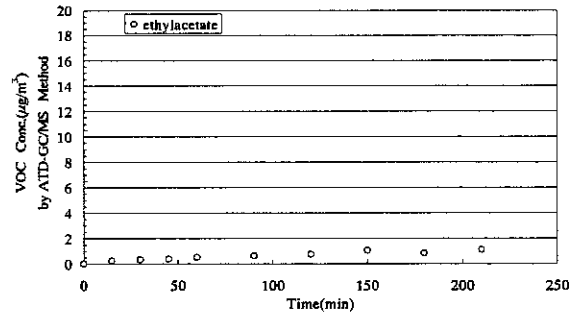


図-10 レーザプリンタの運転に伴う酢酸エチルの経時変化 (LP-2)

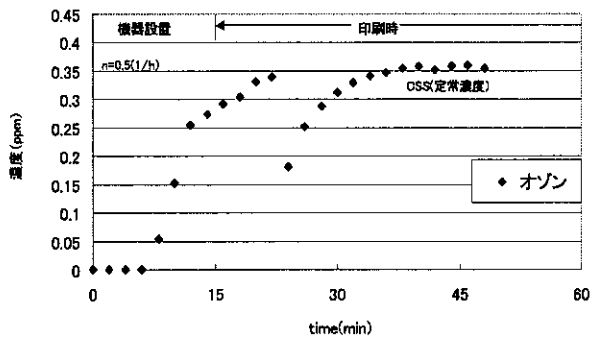


図-7 コピー機の運転に伴うオゾンの経時変化 (PC-1)

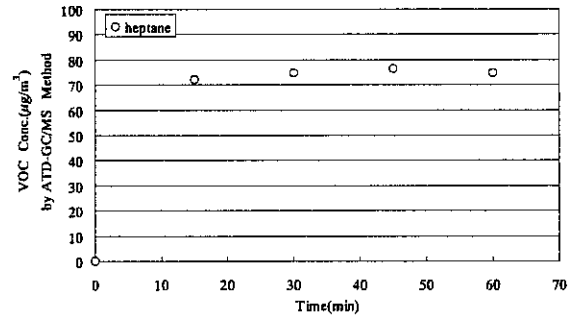


図-11 コピー機の運転に伴うヘプタンの経時変化 (PC-1)

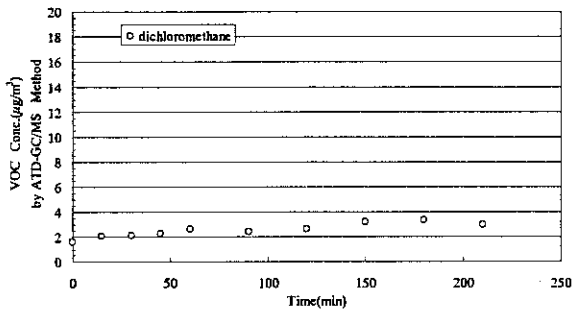


図-8 レーザプリンタの運転に伴うジクロロメタンの経時変化 (LP-2)

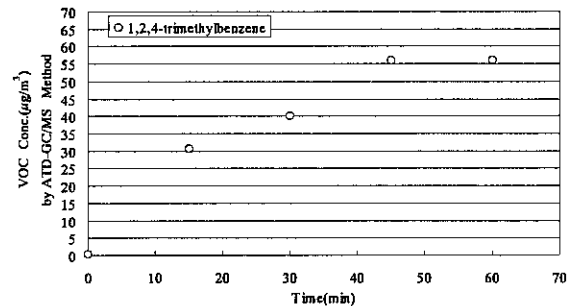


図-12 コピー機の運転に伴う1,2,4-トリメチルベンゼンの経時変化 (PC-1)

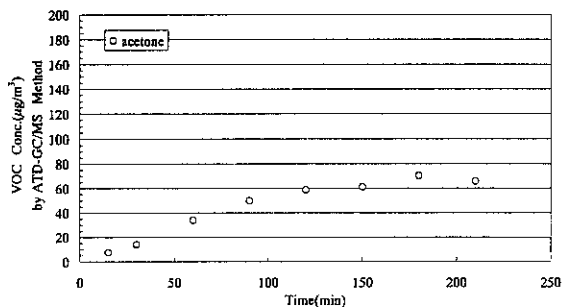


図-9 レーザプリンタの運転に伴うアセトンの経時変化 (LP-2)

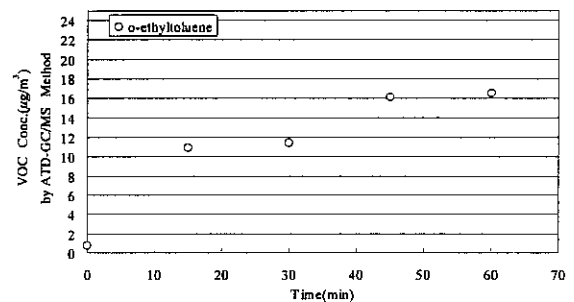


図-13 コピー機の運転に伴うo-エチルトルエンの経時変化 (PC-1)

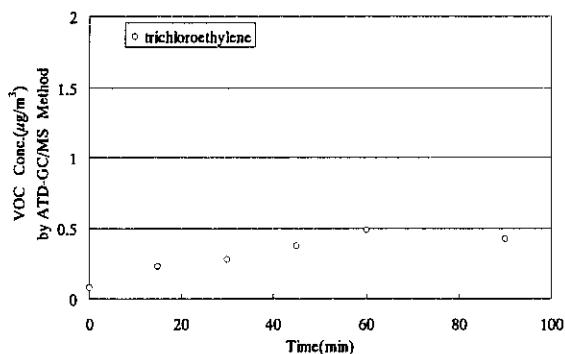


図-14 インクジェットプリンタの運転に伴うトリクロロエチレンの経時変化 (IJP-1)

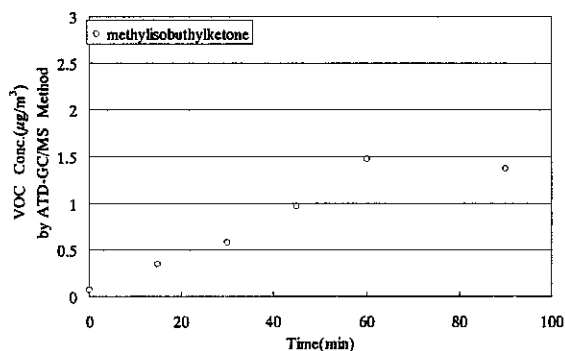


図-15 インクジェットプリンタの運転に伴うメチルイソブチルケトンの経時変化 (IJP-1)

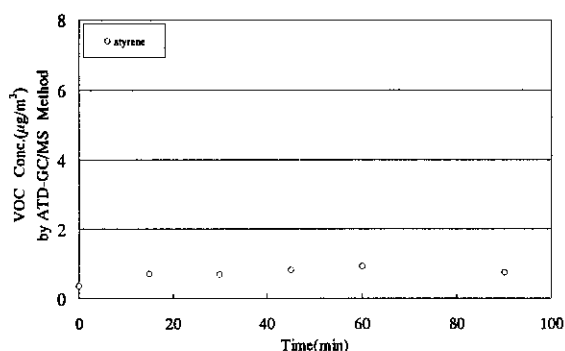


図-16 インクジェットプリンタの運転に伴うスチレンの経時変化 (IJP-1)

表-4 機器使用に伴う VOC の発生量

IJP-1	
n(1/h)	0.04
V(m ³)	4.98
C _{SS} (µg/m ³)	1556
C ₀ (µg/m ³)	185
M(µg/h)	274
M(µg/h・1枚)	0.277

表-5 機器使用に伴う VOC の発生量

PC-1	
n(1/h)	0.5
V(m ³)	4.98
C _{SS} (µg/m ³)	31085
C ₀ (µg/m ³)	2776
M(µg/h)	70772
M(µg/h・1枚)	48.4

4. 考察

コピー機、レーザープリンタ、からのオゾン発生が確認されている。¹⁾発生したオゾンがVOCと化学反応を起こすことが考えられるので、機器のVOC発生量を求めるためには、この問題についても十分な検討が必要である。図-7からオゾンが定常濃度に達したのを確認したのは、印刷開始から40分後だったが、オゾンの定常濃度からみると、20分後には定常濃度に達したと予測できる。コピー用紙の補給方法を改善することでより正確な実験結果を得られると考えられる。

表-4.5から、IJP-1とPC-1では発生量の明瞭な差が確認できた。これは、コピー時、PC-1の印刷速度がIJP-1より速く、印刷枚数に差ができるのが原因だと予測できる。

5. まとめ

本研究では、事務機器からの化学物質発生量を求めるため、チェンバー内に事務機器を設置し、印刷時の化学物質濃度の測定を行った。実験結果から、VOC発生状況を確認できた。

今後の課題としては、より多くの事務機器のVOC濃度上昇特性を確認し、これらの機器VOC発生量について求めること、コピー用紙補給時によるオゾン濃度の著しい低下をを改善していくこと等が挙げられる。

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、直接御指導頂いた野崎淳夫助教授(東北文化学園大学)、並びに関係者各位に深謝致します。

7. 参考文献

- 1) 野崎淳夫他：室内オゾン汚染に関する研究(2)、各種オゾン発生源とオゾン発生量、日本建築学会講演梗概集、pp975～pp976、2002年
- 2) 野崎淳夫他：室内オゾン汚染に関する研究(3)、各種オゾン発生源とオゾン濃度予測、日本建築学会講演梗概集、pp977～pp978、2002年

第8章 事務機器からの化学物質の発生に関する研究

野崎淳夫（東北文化学園大学）

2.8.1 緒言

(1) 研究の背景

近年、事務機器（コピー機、レーザープリンタ、インクジェットプリンタ）からの、オゾンの発生が明らかにされている。このうち、高電圧、紫外線を利用したものは、有害なオゾンガスを発生する。オゾンによる人体への影響が明らかにされており、オゾンの人体曝露により、呼吸器系の機能低下、めまい、頭痛、倦怠感等の諸症状の発生が報告されている。同様に、事務機器からのVOC発生も明らかにされている。

(2) 既往の研究

室内では、光化学反応を生じさせるほどの紫外線量は無く、オゾンが発生することは、稀である。オゾンが発生する室内発生源は、事務機器（コピー機、レーザープリンタ、インクジェットプリンタ）、脱臭装置などである。事務機器からはVOCの発生も明らかにされている。20年ほど前に、Allen¹⁾、Sutton²⁾、Selway³⁾らは、空気清浄機とコピー機の発生量を求めている。国内においては、野崎²⁾らが社会福祉施設におけるオゾン濃度の実測を行っている。対象施設には、オゾン脱臭機やオゾン脱臭設備が導入されており、室内濃度は外気濃度を上回っていたことを報告している。

しかしながら、これらの報告を用いて、室内濃度を正しく予測し、効果的な室内汚染防止対策を講ずることはきわめて困難な状況にある。特に、コピー機に関しては、近年の機種におけるオゾン・VOC発生量に関する報告は見当たらない現状にある。また、温度、湿度、気流などの室内環境条件が器具のオゾン発生量・特性に与える影響も不明である。

(3) 本研究事業による前年度までの経過

前年度においては、温度、湿度、換気量の制御できるステンレスチェンバーを使用し、各種オゾン発生源から換気条件毎のオゾン発生濃度及び発生量・特性を明らかにした。また、ある条件下における各種オゾン利用装置の汚染物質除去率を求める基礎的実験を行った。

(4) 研究の目的

本研究では、オゾンのみならずVOCの機器発生量に関する理論的検討を行い、コピー機、レーザープリンタ、インクジェットプリンタ等からの当該物質発生特性及び発生量を明らかにするものである。またこれらの機器を有する室内におけるVOC濃度予測に関する理論的除去を行い、室内濃度予測法の提案を行うものである。これにより適確な化学物質の室内濃度予測法が可能となり、室内化学物質汚染防止対策が講ぜられることになる。

(5) 研究の構成と今後の展開

本年度においては、前年度に得られた知見を基に、更なる実験的研究を展開し、各種VOC発生装置からのVOC発生特性を定常的に得るものである。また、理論的に室内濃度構成メカニズムについて解明し、高精度の室内VOC濃度予測法を確立する。

(6) VOCの基礎知識と健康被害

VOCは、WHO（世界保健機関）によると50℃～260℃までまでの蒸気圧のある有機化合物としている。また、TVOC（Total Volatile Organic Compounds）とは、個々のVOC濃度の合計値とされており、室内空気汚染を評価する上での1つの指標である。接着剤、断熱材、油性ペイント、水性ニス、ビニールクロス、カーペット、ワックス、木材防腐剤、家庭用品や防虫剤等に使われている。最近の研究報告から事務機器

人体に対する影響として、疲労、頭痛、めまい、眠気、視界のぼやけ、弱視化、皮膚刺激、目・気道刺激等があげられ、特に過敏に反応する人もいる。からも発生することが明らかにされている。

(7) オゾンについて

オゾンは漂白・殺菌・脱臭の作用がある。オゾン発生装置は、水産会社、食肉センター、給食センター、食品加工会社、スーパーマーケット、ゴミ焼却場、し尿処理場、下水処理場等で臭気制御や水の浄化、室内殺菌に使用されている。

オゾンは細菌の細胞壁を破壊することから、殺菌効果がある。

空気中にもオゾンは存在し、その濃度は0.005ppm（ 5×10^{-9} g/mL）と極微量ですが、伝染病が蔓延した後、一時的に終息するのはオゾンの効果とも言われる。オゾンを発生させる方法は、無声放電法、紫外線法、