

第2章 PFT法による換気量の測定

Measurement of Ventilation Rate by PFT Method

Indoor air concentration has the large influence of ventilation volume. So, when indoor air quality is evaluated, it needs to comprehend ventilation volume. In this study, PFT method that is the measuring method for ventilation volume by the passive technique was examined. The method needs neither large-scale equipment nor operation knowledge. First, the tracer gas source that emits perfluorocarbon tracer gas by diffusion was manufactured. Second, ventilation volume was measured by active sampling in the large chamber whose ventilation volume was known. And as the results, availability of the tracer gas source was investigated. Third, ambient temperature dependency on emission amount was found. Moreover, diffusive samplers for the concentration measurement for VOCs were selected, and those sampling rates of PFT were searched by an experiment. Finally, a calculation formula of ventilation volume by PFT method was given using these experiment data. However, the data for searching sampling rates were vary widely. So, much more data are needed, and sampling rate for Tenax tube with diffusive cap should be measured.

KEYWORDS: PFT Method, Ventilation, Measurement, Passive

2-1 はじめに

建物の換気量を必要以上に増加させることは冷暖房費等の増加につながり、省エネの観点からも好ましくない。一方、換気は室内空気の温度や有害な汚染物質濃度を制御する主要な手段であり、良好な室内空気質の維持のためには適切な換気量を確保しなければならない。従って、建物の室内空気質を評価する上で換気量の測定を行うことが重要である。

そこで、本研究では、大掛かりな装置や操作知識を必要とせず、生活状態での測定が可能なパッシブ法による換気量測定法であるPFT法を用いた。拡散によりPFTを放散するトレーサーガス源を製作し、換気量既知の実験室においてアクティブサンプリングによる比較を行った。加えて、放散量と周辺温度との相関を検討した。また、PFTを捕集するVOC気中濃度測定用のパッシブサンプラーを選定し、サンプリングレイトを算出した。これにより、PFT法による換気量算出式を導いた。

2-2 PFT法概要

換気量測定方法には大きく分けて、風量測定法、二酸化炭素濃度測定法、トレーサーガス法の3種類がある。さらに、トレーサーガス法には一定量のガスを放出した後、放出をやめてガスの減衰から算出する濃度減衰法、ガスを測定期間中連続的に一定量発生させる定常発生法、トレーサーガス濃度を一定に保つ定常濃度法の3種類があり、トレーサーガスとして二酸化炭素、SF₆などが用いられている。

PFT (Perfluorocarbon Tracer) 法^{1,2)}は、トレーサーガスとして過フッ化炭素類を用いる定常発生法の一つである。これまでのトレーサーガス法は、現場実測ではトレーサーガスを放散させるガスボンベや、ポンプによるサンプリング等を行っていたことから費用や手間などがかかる上、短時間の測定のみであったため、気象や生活状態などの変化による影響を受ける等の問題があった。

そこで、容易で確実な方法が必要となり、Brookhaven 国立研究所の Dietz らが測定キット“Brookhaven National Laboratory Air Infiltration Measurement System (BNL/AIMS)”を開発した³⁾。キットは、小型のPFT放散源とパッシブサンプラーからなり、非常に安価で、再利用可能であり、取り扱いも容易である。また、数日または数ヶ月以上にわたる測定を行うことが可能なので、長期間の平均換気量を測定することができる。原理は、測定したい空間毎に異なるトレーサーガスを充填したPFT源を設置し、常温・常圧で液体のPFTを、隔膜を通して拡散させる。一方で、人間の座位での呼吸位置付近に、吸着剤を充填したパッシブサンプラーを設置し、蒸散したPFTを捕集する。吸着したPFTを脱着後、GCを用いて分析を行う。換気量は、既知のトレーサーガスの時間あたり放散量と、パッシブサンプラーから検出された捕集量とサンプラーのサンプリングレイトから得られる気中濃度によって式(2-1)を用いて算出される。

$$Q = \frac{M}{C} \quad \dots (2-1)$$

Q: 換気量 [m³/h]

M: トレーサーガスの時間あたり放散量 [μg/h]

C: トレーサーガス気中濃度 [μg/m³]

2-3 トレーサーガス源の検討

2-3-1 トレーサーガスの選定

PFT法を含むトレーサーガス法では、ガスの放散速度、気中濃度によって換気量を測定するが、使用するガスには以下の条件が要求される。

- ・人体に無害で、環境に影響を与えない。
- ・室内および周囲の空気における濃度が無視できるほど小さい。
- ・化学的、物理的に安定である（例えば、建材に吸着されず水に溶解しにくい）。
- ・ある程度の揮発性を持ち、固体で捕集できる。
- ・低濃度でも、ガスクロマトグラフや検出器で検出できる。
- ・商業的に適正価格で入手できる。

これらの条件を満たすものとして、PFT類には、ペルフルオロシクロアルカン族の完全にフッ素化された有機化合物が用いられる。広く一般にPFT法による換気量測定を行っているPentIAQ社で用いているトレーサーガス⁴⁾を参考にし、本研究では、比較的分子量の小さいオクタフルオロトルエン (C₇F₈)、ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆) の2種類のPFTを用いることとした。表2-1にこの2物質の基本的な化学的性質⁵⁾を示す。

2-3-2 トレーサーガス源の概要

本研究で使用するトレーサーガス源としては以下の2種類のPFT充填源を検討した。

① バイアルを用いたPFT充填源

Fiskらが用いたトレーサーガス源⁶⁾を参考にし、バイアルにPFTを充填したトレーサーガス源を製作した。透明ガラス製スクリートップバイアルに液体のPFTを充填し、隔膜を装着した穴開きキャップを閉める。バイアルは、外形12mm、長さ32mm、容量2mLで、隔膜は厚さ0.5mmのシリコンを用いた。キャップはポリプロピレン製で、中央に開いた直径約5.5mmの穴から、シリコン膜を通じてPFTを拡散させる。図2-1に製作したPFT充填源の構成を示す。

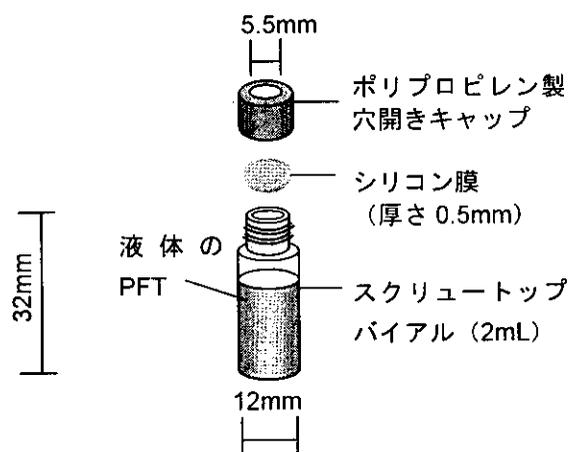
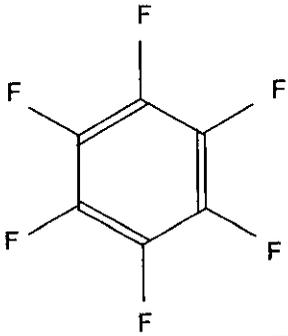
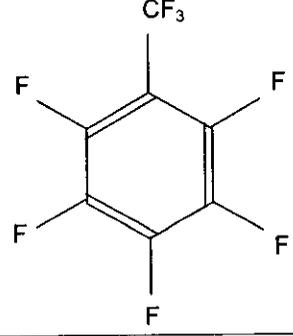


図2-1 バイアルを用いたPFT充填源の構成

表2-1 本研究で用いたPFTの性質

物質	Hexafluorobenzene (C ₆ F ₆)	Octafluorotoluene (C ₇ F ₈)
異名	Perfluorobenzene	Perfluorotoluene, Pentafluorobenzene
構造式		
分子量	186.0564	236.0642
CAS登録番号	392-56-3	434-64-0
融点 [°C]	3.7~4.1	-65.6
沸点 [°C]	81~82 (743mmHgにおいて)	104
密度 [g/cm ³]	1.612	1.666

② パーミエーションチューブを用いたPFT充填源
 ガステック製のパーミエーションチューブ⁷⁾を応用したPFT充填源である。パーミエーションチューブは、分析機器の校正や測定方法の評価のために必要な校正用ガスを調整するための発生源となるもので、一定品質のフッ素樹脂管に高純度の液化ガスや液体を封入したものである。これを恒温低湿に保つと、液化ガスが単位時間に管壁を浸透拡散してくる量が一定になる。従って、そこに希釈ガスを一定流量で送ることにより、校正用ガスを得ることができる。

これを応用し、ポリエチレン製のチューブに液体のPFTを充填してトレーサーガス源とした。周囲温度と同じ温度で安定していれば、放置した状態であっても、管壁からほぼ一定の割合（ヘキサフルオロベンゼン：0.03g/day前後、オクタフルオロトルエン：0.003g/day前後）でPFTが拡散する仕組みである。図2-2に概要を示す。

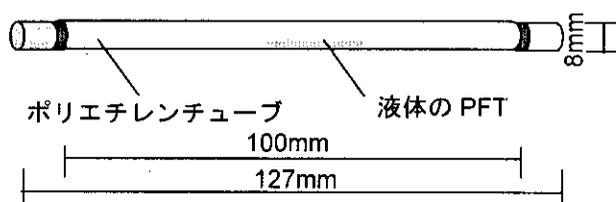


図2-2 パーミエーションチューブを用いたPFT充填源概要

2-3-3 アクティブサンプリングによる検討実験

(1) 実験目的

製作した2種類のPFT充填源の有効性を確認するため、換気量既知の大型チャンバーにおいてアクティブサンプリングによる換気量測定を行い、規定値と比較検討した。

(2) 実験概要

室内温湿度、換気量を設定することのできる温熱環境室において、バイアルとパーミエーションチューブを用いたPFT充填源を使用し、トレーサーガスを放散させ、換気量を測定した。トレーサーガスの捕集はTenax TAを吸着剤として充填したTenax管を用い、アクティブ法を用いた。

トレーサーガスはヘキサフルオロベンゼン(C₆F₆)、オクタフルオロトルエン(C₇F₈)の2種類を同時に用いた。放散量は、電子天秤を用いて計量することにより得られるPFT充填源の質量変化から求めた。

実験室は、温湿度の制御が可能となっている。天井吹き出し、床吸い込みのエアハンドリングユニットにより空調を行った。また、トレーサーガスとしてSF₆を用いた定常発生源による事前の測定結果から、換気

回数は1.9回/hであることがわかっている。

PFT充填源からの放散が安定し、また、室内のPFT濃度が一定になるよう、予め、PFT充填源を室内に設置した。十分な時間(18時間)をおいた後、ポンプを用いて空気を吸引するアクティブサンプリングを32分間ずつ2度行った。なお、ヘキサフルオロベンゼン、オクタフルオロトルエンの2種類のPFTは同時に設置することとし、これらの測定をバイアル、パーミエーションチューブそれぞれのPFT充填源毎に行った。表2-2に測定条件を示す。

表2-2 測定条件

実験日	2001年11月14日~18日
実験場所	温熱環境槽(概形:3600×2700×H2600、換気回数:1.9回/h)
設定温度	25°C
設定湿度	50%RH
温湿度測定器具	ESPEC THERMO RECORDER RS-11
PFT	Hexafluorobenzene Octafluorotoluene
PFT充填源	バイアルを用いたPFT充填源 パーミエーションチューブを用いたPFT充填源
サンプラー	Tenax TA
流量	100mL/min
吸引量	3.2L
捕集時間	32min
定性定量	GC-MS

(3) 実験結果および考察

表2-3にそれぞれのPFT充填源の放散量計量結果を示す。計量は計3回行った。

表2-3 PFT源放散量結果

PFT充填源	設置時間	PFT	減少量 [g]	放散量 [mg/h]
バイアル	17時間18分	C ₆ F ₆	0.2001	11.57
		C ₇ F ₈	0.0616	3.56
	24時間00分	C ₆ F ₆	0.2815	11.73
		C ₇ F ₈	0.0870	3.63
パーミエーションチューブ	18時間57分	C ₆ F ₆	0.0395	2.08
		C ₇ F ₈	0.0052	0.27
	24時間00分	C ₆ F ₆	0.0517	2.15
		C ₇ F ₈	0.0058	0.24

表2-4 アクティブサンプリングによる平均換気量測定結果

PFT 充填源	PFT	放散量 [μg/h]	濃度 [μg/m ³]	換気量 [m ³ /h]
バイアル	Hexafluorobenzene	11729	249.5	47.0
	Octafluorotoluene	3625	64.8	55.9
パーミエーションチューブ	Hexafluorobenzene	2154	47.2	45.6
	Octafluorotoluene	242	4.5	53.8

2回に分けて放散量を測定したが、放散は安定していた。従って、換気量算出の際に用いる値としては、表2-3中で24時間設置の値を用いることとした。

また、2種のPFT充填源を比較すると、バイアルを用いたPFT充填源の方がパーミエーションチューブを用いたPFT充填源よりも放散量が多かった。PFTの種類毎に見ると、オクタフルオロトルエンよりもヘキサフルオロベンゼンの方が多く放散しており、バイアルを用いたPFT充填源で約3.2倍、パーミエーションチューブを用いたPFT充填源で約9倍であった。

サンプラーの捕集量を吸引量(3.2L)で除すことによって得られるアクティブサンプリングによるPFT濃度を求め、表2-3のPFT放散量から換気量を算出した。表2-4に結果を示す。事前の測定で得られた換気回数1.9回/hと、実験室容積3.6m×2.7m×2.6m=25.3m³から換気量を求めると、48.0m³/hとなる。これとアクティブサンプリングにより得られた値とを比較すると、ヘキサフルオロベンゼンをPFTとして用いた場合には、バイアルを用いたPFT充填源、パーミエーションチューブを用いたPFT充填源のいずれも、事前の測定値とほぼ一致した。

しかし、オクタフルオロトルエンを用いた場合は、いずれも事前の測定値より換気量がやや多くなった。どちらのPFT充填源も同様の結果が得られ、また、放散量は重量変化から得ているため誤差は少ないことから、Tenax TAのオクタフルオロトルエンに対する捕集能力が劣っている可能性が考えられる。また、オクタフルオロトルエンが吸着しやすいということも考えられる。

以上のことから、製作した2種類のPFT充填源の有効性を確認することができた。

2-3-4 放散量と周囲温度との関係

(1) 実験目的

住宅における実測において、換気量はPFTの放散量と気中濃度から求められる。PFTの放散量はトレーサーガス源から放散される単位時間あたりの重量と定義され、放散量は理論上、トレーサーガスの温度、トレーサーガス源内と室内空気中の濃度差、ガス源隔膜の厚さ、質によって決まる。

従って、これら3つの要素が特定されれば、放散量は一定であると考えられ、その値を予想することができる。トレーサーガス源から放散されるPFT量を特定することを目的とし、PFT充填源の放散量および周囲温度による放散量の変化を検討した。

(2) 実験概要

バイアルとパーミエーションチューブを用いたトレーサーガス源を恒温槽内に設置し、複数回にわたり質量変化を測定し、1時間あたりの放散量を算出した。

計量には最小表示0.1mgの電子天秤を用いた。恒温層の設定温度は、一年間の居住状態を想定して、15°C、25°C、35°Cの3条件とした。ただし、パーミエーションチューブを用いたPFT充填源に関しては、上記の3条件に20°C、30°Cの条件も加え、全5条件とした。

(3) 実験結果および考察

① バイアルを用いたPFT充填源

バイアルを用いたPFT充填源の結果を表2-5、6、図2-3に示す。Fiskらによると、2物質の温度1°Cあたりの放散速度増加率は約4%とされているが、実験値はこれに一致した。

表2-5 PFT充填源重量変化(バイアル: C₆F₆)

設定温度 [°C]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	放散時間 [h]	減少量 [mg]	放散量 [mg/h]
15	14.9	63	67.0	486.5	726
25	24.8	40	48.0	535.9	116
35	35.0	19	21.0	314.3	150

表2-6 PFT充填源重量変化(バイアル: C₇F₈)

設定温度 [°C]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	放散時間 [h]	減少量 [mg]	放散量 [mg/h]
15	14.8	74	72.1	0.1777	24.6
25	24.6	41	138.0	0.5359	37.4
35	34.9	16	48.0	0.2669	55.6

第2章 PFT法による換気量の測定

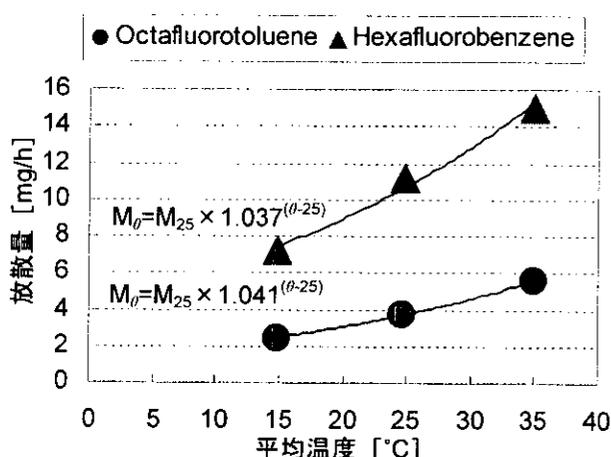


図2-3 PFT 充填源重量変化 (バイアル)

以上の結果から、バイアルを用いた PFT 充填源の放散量算出式を式 (2-2), (2-3) に示す。

ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆)

$$M_{\theta} = M_{25} (=10.7\text{mg/h}) \times 1.04^{(\theta-25)} \quad \dots (2-2)$$

オクタフルオロトルエン (C₇F₈)

$$M_{\theta} = M_{25} (=3.75\text{mg/h}) \times 1.04^{(\theta-25)} \quad \dots (2-3)$$

θ : 温度 [°C] M_{θ} : 温度 θ °C の時の放散量 [mg/h]

M_{25} : 25°C の時の放散量 (C₆F₆: 10.7mg/h, C₇F₈: 3.75mg/h)

一般的な住宅の個室として、室容積 25m³、換気回数 0.5 回/h の部屋を仮定し、この PFT 充填源を使用した

場合、測定室の PFT 気中濃度は表 2-7 のように予想される。この程度の濃度であれば、活性炭を使用したパッシブサンプラーによって測定可能であるが、非常に高濃度の場合、人体への影響も懸念される。また、バイアル中のトレーサガス減少量が速く、放散を維持できる時間が短くなった。シリコン膜を厚くするなど、放散速度を遅くする必要があると考えられる。

表 2-7 予想気中濃度 (バイアル)

室内温度 [°C]	予想気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	C ₆ F ₆	C ₇ F ₈
15	578	203
25	856	300
30	1041	365

② パーミエーションチューブを用いた PFT 充填源

パーミエーションチューブを用いた PFT 充填源の結果を表 2-8、図 2-4 に示す。温度上昇による放散量の増加は、ヘキサフルオロベンゼンが 1°C あたり 10.5%、オクタフルオロトルエンが 12.4% となり、バイアルを用いた時と比べ、温度上昇による放散量増加率が大きくなっていった。

表 2-8 PFT 充填源重量変化 (パーミエーションチューブ)

設定温度 [°C]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	放散時間 [h]	減少量 [mg]		放散量 [mg/h]	
				C ₆ F ₆	C ₇ F ₈	C ₆ F ₆	C ₇ F ₈
15	15.0	44	17.0	11.9	1.2	0.70	0.07
	15.0	44	7.0	4.6	0.5	0.66	0.07
	15.0	44	17.0	11.1	1.2	0.65	0.07
20	19.9	20	16.0	19.5	1.8	1.22	0.11
	19.9	21	8.0	9.0	1.4	1.13	0.17
	19.9	27	16.0	19.5	1.7	1.22	0.11
	19.8	43	8.0	9.3	1.2	1.16	0.15
25	25.7	50	24.1	50.1	5.4	2.08	0.22
	25.7	50	24.1	49.4	6.1	2.05	0.25
	25.7	50	24.1	49.5	5.9	2.06	0.25
	25.7	50	24.1	50.0	5.8	2.08	0.24
	25.6	50	24.0	50.9	5.9	2.12	0.25
	25.6	50	24.0	51.3	6.1	2.14	0.25
	25.6	50	25.0	52.2	6.0	2.09	0.25
	25.6	50	24.0	50.6	6.4	2.11	0.27
	25.6	50	24.0	51.3	6.3	2.14	0.26
	25.6	51	24.0	52.3	7.8	2.18	0.32
30	30.6	50	24.0	84.3	11.1	3.51	0.46
35	34.9	10	24.2	134.4	17.7	5.55	0.73

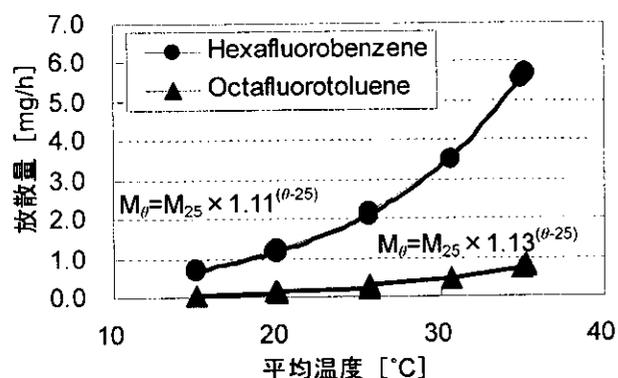


図 2-4 PFT 充填源重量変化 (パーミエーションチューブ)

以上の結果から、バイアルを用いた PFT 充填源の放散量算出式を式 (2-4)、(2-5) に示す。

ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆)

$$M_{\theta} = M_{25} (=1.97\text{mg/h}) \times 1.11^{(\theta-25)} \quad \dots (2-4)$$

オクタフルオロトルエン (C₇F₈)

$$M_{\theta} = M_{25} (=0.24\text{mg/h}) \times 1.13^{(\theta-25)} \quad \dots (2-5)$$

θ : 温度 [°C] M_{θ} : 温度 θ °C の時の放散量 [mg/h]
 M_{25} : 25°C の時の放散量 (C₆F₆: 1.97mg/h, C₇F₈: 0.24mg/h)

バイアルを用いた PFT 充填源と同様に、PFT 気中濃度を予想すると、表 2-9 のようになる。パーミエーションチューブを使用した場合にも、ヘキサフルオロベンゼンの濃度は高くなっている。

表 2-9 予想気中濃度 (パーミエーションチューブ)

室内温度 [°C]	予想気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	C ₆ F ₆	C ₇ F ₈
15	56	5.7
20	94	10.4
25	158	19.2
30	266	35.4
35	447	65.2

2-4 パッシブサンプラーの検討

2-4-1 パッシブサンプラーの選定

PFT 法で用いるパッシブサンプラーは、一般的にガラスチューブが用いられている。しかし、本研究では、将来的に室内の VOC 濃度測定と同時に、PFT 濃度測定ができることを目標としているため、VOC 捕集用のパッシブサンプラー3種類を検討した。

また、サンプラーの構造によって捕集時間は異なるため、換気量測定の目的が異なる。

(1) 1日の内の特定時間帯

ポンプを用いて十分な量の空気を吸引すれば、数時間の捕集でも PFT の測定は可能である。この場合、1

日の中の換気量変動を測定することができる。

(2) 24時間

特定の日々の平均換気量を測定することができる。

(3) 1週間

1週間の平均換気量が測定できるので、休日、平日を含めた1つのライフサイクルの平均換気量を測定することができる。

本研究では捕集時間を 24 時間と 1 週間の 2 種類を想定し、24 時間の捕集時間では VOC-TD, SD (第 1 章参照) を用い、1 週間では Tenax-TA を充填したステンレスチューブに拡散キャップを装着したものをを用いることとした。VOC-TD に関しては、気中濃度 2 時間測定用であり、サンプリングレートが 2 時間で算出されている。従って、PFT のサンプリングレート算出の際には 2 時間と 24 時間を比較検討した。

2-4-2 PFT サンプリングレート算出実験

(1) 実験目的

拡散された PFT をパッシブサンプラーによって捕集し、室内気中濃度を算出するためには、パッシブサンプラーの相当吸引速度 (サンプリングレート) を求める必要がある。そこで、換気回数が既知の空間内において PFT を拡散させ、パッシブサンプラーによって捕集し、その捕集量と気中濃度の関係から相当吸引速度を求めた。

(2) 実験概要

換気回数既知で温湿度制御可能な実験室内に、条件を変えて PFT 充填源を設置し、PFT を拡散させ、パッシブサンプラーで捕集した。PFT 充填源の放散量とサンプラーの捕集量、チャンバーの換気量からサンプリングレートを算出した。

実験は、アクティブサンプリングによる PFT 充填源の検討実験でも利用した実験室において換気量を 48.0m³/h として実験を行った。実験室容積は 25.3m³ である。PFT 充填源には放散速度が適当なパーミエーションチューブを用い、ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆)、オクタフルオロトルエン (C₇F₈) の 2 種類の PFT を同時に用いた。PFT 充填源を 1~4 本と変更し、温度を変化させることにより、気中濃度を変化させた。

PFT の放散条件と放散量を、ヘキサフルオロベンゼン、オクタフルオロトルエンそれぞれについて表 2-10 に示す。PFT の測定期間中の放散量は電子天秤による計量に基づき、質量変化によって算出した。2 時間の質量計測では大きなばらつきが見られた。計測器の最小単位が 0.1mg であったことが、ばらつきに影響していると考えられ、2 時間の放散量は 24 時間のものを 2 時間あたりに換算して適用することとした。

表 2-10 PFT 放散条件

条件	捕集時間 [h]	PFT 源本数	設定温湿度条件	平均温度 [°C]	平均湿度 [%RH]	放散量 [mg/h]	
						C ₆ F ₆	C ₇ F ₈
1	24	4	25°C, 50%RH	25.7	50	8.27	0.96
2		3		25.6	50	6.35	0.75
3		2		25.6	50	4.25	0.53
4		1		25.6	51	2.18	0.32
5		1	30°C, 50%RH	30.6	50	3.51	0.46
6	2	4	25°C, 50%RH	25.8	50	6.70	1.10
7		3		25.7	50	6.40	1.25
8		2		25.6	51	4.00	0.45
9		1		25.7	50	2.08	0.15
10		1	30°C, 50%RH	30.7	51	3.44	0.72

サンプラーにはパッシブサンプラー VOC-TD, VOC-SD を使用した。捕集時間は VOC-TD を 2 時間と 24 時間、VOC-SD を 24 時間とした。

パッシブサンプラーのサンプリングレイトは事前に設定された換気量と PFT 源の重量変化によって求めた気中濃度によって算出する。式 (2-6), (2-7) から、式 (2-8) が導き出される。

$$C = \frac{M}{Q} \quad \dots (2-6)$$

$$C = \frac{W}{k \times t} \quad \dots (2-7)$$

$$k = \frac{Q \times W}{M \times t} \quad \dots (2-8)$$

C: 気中濃度 [µg/m³]

M: 放散量 [µg/h]

Q: 換気量 (=48.0m³/h)

W: パッシブサンプラーの捕集量 [µg]

k: サンプラーのサンプリングレイト [mL/h]

t: サンプラーの捕集時間 (=2 or 24h)

(3) 実験結果および考察

パッシブサンプラー VOC-TD に捕集された 2 種の PFT と、表 2-10 の放散量から算出された実験の気中濃度結果を、ヘキサフルオロベンゼンについて、表 2-11、図 2-5, 6 に、オクタフルオロトルエンについて表 2-12、図 2-7, 8 に示す。なお、パッシブサンプラー VOC-SD に関しては、分析の結果、検出限界以下であり、捕集量を得ることができなかった。

それぞれの結果から算出されたサンプリングレイトを表 2-13 に示す。これは図 2-5~8 の直線の傾きと 2, 24 時間という捕集時間から求めたものである。ヘキサフルオロベンゼンでは 2 時間値の方が大きく、オクタフルオロトルエンでは 24 時間値の方が大きかった。

捕集量と気中濃度との関係にはばらつきがあり、特に 2 時間捕集の値で大きかった。PFT の放散量が微量であるため、2 時間という短時間の換気量測定は難しいと考えられる。従って、24 時間測定や、Tenax 管をサンプラーとして用いた 1 週間測定を検討する必要がある。また、サンプリングレイト算出実験において n 数を増やすことや、人の出入りのない密閉度の高いチャンパーでの実験など、精度の向上を次年度の研究で行う。

表 2-11 ヘキサフルオロベンゼン気中濃度と捕集量

条件	捕集時間	気中濃度 [µg/m ³]	捕集量 [µg]
1	24h	172	4.4
		172	4.6
132		3.7	
132		3.7	
89		3.4	
2	24h	89	3.3
		45	2.5
45		2.4	
73		3.1	
73		3.1	
3	24h	140	0.94
		140	0.81
133		0.62	
133		0.61	
83		0.58	
4	2h	83	0.59
		43	0.32
43		0.30	
72		0.40	
72		0.39	

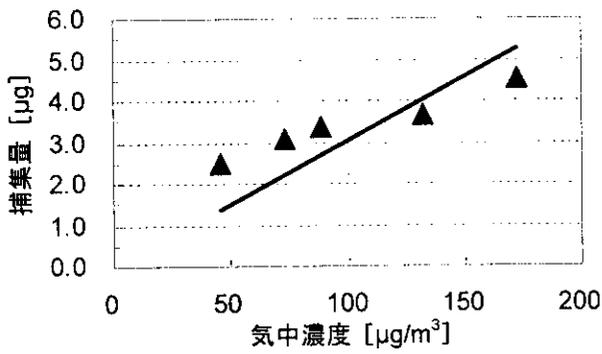


図 2-5 ヘキサフルオロベンゼン捕集量と気中濃度の関係 (24h)

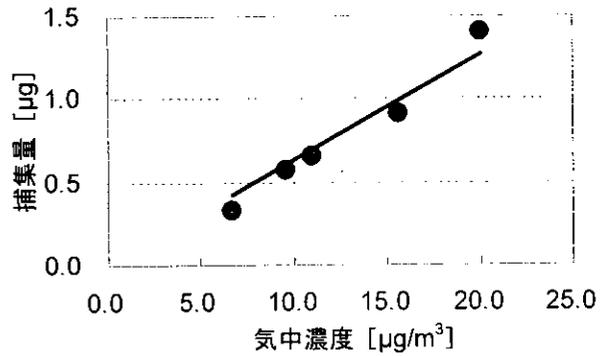


図 2-7 オクタフルオロトルエン捕集量と気中濃度の関係 (24h)

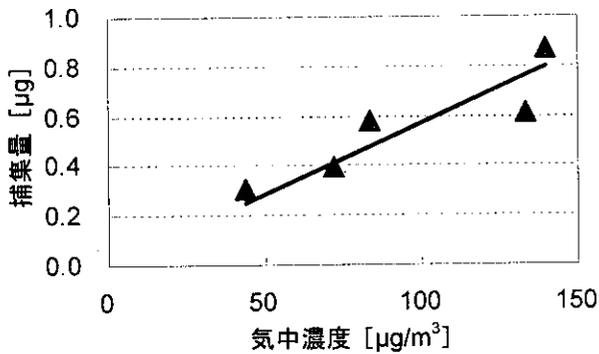


図 2-6 ヘキサフルオロベンゼン捕集量と気中濃度の関係 (2h)

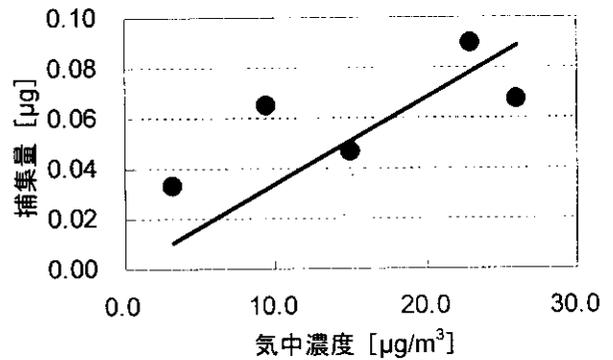


図 2-8 オクタフルオロトルエン捕集量と気中濃度の関係 (2h)

表 2-12 オクタフルオロトルエン気中濃度と捕集量

条件	捕集時間	気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	捕集量 [μg]
1	24h	20.0	1.36
		20.0	1.44
2		15.6	0.91
		15.6	0.92
3		11.0	0.68
		11.0	0.64
4		6.7	0.33
		6.7	0.31
5		9.6	0.57
		9.6	0.57
6	2h	22.9	0.095
		22.9	0.084
7		26.0	0.067
		26.0	0.067
8		9.4	0.064
		9.4	0.065
9		3.1	0.034
		3.1	0.032
10		15.0	0.046
		15.0	0.046

表 2-13 パッシブサンプラー-VOC-TD の PFT サンプリングレイト

捕集時間	ヘキサフルオロベンゼン (C_6F_6)	オクタフルオロトルエン (C_7F_8)
24h	21.9mL/min (0.00127m ³ /h)	43.9mL/min (0.00264m ³ /h)
	2h	47.2mL/min (0.00283m ³ /h)

2-5 PFT法による換気量算出式

以上の実験によって求めたトレーサーガス放散量とパッシブサンプラーのサンプリングレイトによって、式 (2-10) , (2-11) に示す換気量算出式を得た。その前提として、式 (2-8) から以下の式 (2-9) が得られる。

$$Q = \frac{M \times k \times t \times 60 \times 10^{-3}}{W} \quad \dots (2-9)$$

Q : 換気量 [m^3/h]

M : 放散量 [mg/h]

k : サンプラーのサンプリングレイト [mL/min]

t : サンプラーの捕集時間 [h]

θ : 温度 [$^{\circ}\text{C}$]

W : パッシブサンプラーの捕集量 [μg]

- ① ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆) を用いた場合の換気量算出式

$$Q = \frac{1.97 \times 1.11^{(9-25)} \times k \times t \times 60 \times 10^{-3}}{W} \dots (2-10)$$

- ② オクタフルオロトルエン (C₇F₈) を用いた場合の換気量算出式

$$Q = \frac{0.24 \times 1.13^{(9-25)} \times k \times t \times 60 \times 10^{-3}}{W} \dots (2-11)$$

5) Chemfinder.com, “Database and Interest Searching”, <http://chemfinder.cambridgesoft.com/>

6) William J. Fisk, David Faulkner, Alfred T. Hodgson, “The Pollutant Control Index, A New Method of Characterizing Ventilation in Commercial Buildings”, Indoor Air '93, vol. 5, pp. 9-14, 1993

7) 株式会社ガステック、“パーミエーションチューブ取扱説明書”

2-6 まとめ

- 1) 生活状態における簡易な換気量測定法としてパッシブ法である PFT 法を検討した。
- 2) バイアル及びパーミエーションチューブを利用した 2 種類のトレーサーガス源を製作した。それらの PFT 充填源を用い、アクティブサンプリングによる換気量測定を行った結果、規定値とほぼ一致し、PFT 充填源の有効性を確認できた。
- 3) 恒温槽内で PFT 充填源の放散への周囲温度の影響をみた結果、一定の温度依存性が得られた。
- 4) VOC 捕集用パッシブサンプラーの PFT のサンプリングレイトを求める実験を行った。その結果、パッシブサンプラーの捕集量と理論上の気中濃度との関係にはばらつきが見られ、n 数を増やすことやさらに検討が必要であると考えられた。
- 5) パッシブサンプラー VOC-TD の 2 時間、24 時間のサンプリングレイトを求めたが、2 時間では捕集量が少なく測定が難しかった。今後は、パッシブで捕集する Tenax 管の 1 週間のサンプリングレイトも求める必要があると考えられた。

【参考文献】

- 1) Russell N. Dietz, Robert W. Goodrich, Edgar A. Cote, Robert F. Wieser, “Detailed Description and Performance of a Passive Perfluorocarbon Tracer System for Building Ventilation and Air Exchange Measurements”, ASTM STP 904, pp. 203-264, 1986
- 2) Jorma O. Säteri, “The Measurement of Ventilation Using Integrating Tracer Techniques”, NBS · I, The Development of the PFT-Method in the Nordic Countries, Chapter 1, pp. 11-32, 1991
- 3) Hans Stymne, Antina Eliasson, “Development of a New PFT-method for Ventilation Rate Measurements”, NBS · I, The Development of the PFT-Method in the Nordic Countries, Chapter 3, pp. 37-48, 1991
- 4) PentIAQ, “Description and accuracy of the PFT - homogeneous emission technique. The method of Pentiaq.”, 1998

第3章 パッシブ法によるA邸の実測

第3章 パッシブ法によるA邸の実測

Investigation of Indoor Air Quality in the House A with Passive Method

All factors connected with indoor air quality must be investigated to examine the causes of the indoor air pollution. Investigation of indoor air quality in detached house A was carried out in summer and winter. In this study, air concentration, emission rates from building materials and ventilation volume were examined using the passive measurement techniques. ADSEC was used to measure emission rates and PFT method was used to measure ventilation volume. In addition, the questionnaires about house outline and lifestyle were filled out. The indoor air quality of that house was evaluated and it was examined what had the influence on the air quality. The relationship of air concentration with emission source and ventilation volume was also considered. Furthermore, the difference depend on season was investigated. As the result, air concentrations of aldehyde were under guideline in both seasons. And the main emission source of Formaldehyde was floor materials. The predicted value of air concentration was approximately consistent with measurement value for Formaldehyde. It was confirmed that passive techniques were available for investigations on indoor air quality.

KEYWORDS: Passive Method, Investigation, Emission Rate, Ventilation, Concentration

3-1 はじめに

実住宅における室内空気汚染の原因究明には、室内空気質に影響を与える因子を測定する必要がある。しかし、ポンプで空気を吸引するアクティブ法では大掛かりな装置とその操作知識を要し、簡便とはいえない。また、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」において、建物での実測値に基づく性能表示が規定されるなど、空気質測定に対する必要性が高まっており、現場で一度に多数のサンプリングが可能なパッシブ簡易測定法が有用である。

室内空気質に関する指針値は、汚染物質の気中濃度で定義されている。吸着を考慮しない場合、定常状態における室内の気中濃度は式(3-1)で表せる。

$$C = C_0 + \frac{M}{Q} \quad \dots (3-1)$$

C : 室内気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] C_0 : 外気濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

M : 放散量 [$\mu\text{g}/\text{h}$] Q : 換気量 [m^3/h]

室内における化学物質の汚染度は室内気中濃度 C の測定で評価できるが、外気濃度 C_0 や、化学物質放散量 M 、換気量 Q を同時に評価することができれば、汚染原因の特定が可能である。 M には床、壁、天井、建具といった建材からの放散によるものと、家具や生活用具などの居住者の持ち込み物からの放散によるものが含まれる。以上から、本研究における調査項目を以下のとおりとした。

- ① 外気・室内の気中濃度測定
- ② 床・壁・天井からの放散速度測定
- ③ 生活で発生する化学物質の把握
- ④ 換気量測定

実測は、実住宅で日常生活状態において夏季、冬季の二度、パッシブ法を用いて行った。住宅の気中濃度を測定することにより、住宅の室内空気質を評価するとともに、ADSEC¹⁾を用いた床・壁・天井各面の建材からの放散速度測定、PFT法による換気量測定、アンケートによる生活活動調査を併せて行うことにより、化学物質の放散源、住宅の汚染物質排除能力、それぞれの関係性を検討した。また、夏季・冬季の比較を行い、季節による違いを検討した。

3-2 実測概要

3-2-1 実測対象住宅

1997年10月竣工で千葉県船橋市に立地する在来軸組戸建木造2階建て住宅を実測対象とし、2階の子供部屋を測定室とした。図3-1にA邸平面図を、表3-1に測定室概要を示す。

実測は日常の生活状態において、2001年8月25～26日(換気量測定のみ8月22日～9月25日)の夏季、2002年1月24～26日の冬季に行った。居住者は4人で、夏季調査時において、築後3年10ヶ月、入居後3年9ヶ月程であった。

(4) 生活活動調査

アンケートを用いて、居住者4名に対する生活活動調査を行った。アンケートは代表者としてサンプリング者に対するものと、居住者全員に対するものの2種類を用いた。

代表者に対するアンケートでは、シックハウスに対する意識、周囲環境、住宅・測定室概要、測定室での日常および測定時の生活を質問項目とした。また、居住者全員に対するアンケートでは、年齢、性別などの個人情報や健康状態、住宅内外における空気の知覚を質問項目とした。

(5) 温湿度測定

メモリー式温湿度計 (TABAI ESPEC CORP. THERMO RECORDER RS-11) を用いて、換気量測定期間中の空気温度・相対湿度、化学物質測定期間中 (24時間) の屋外及び測定対象室の空気温度・相対湿度、床・壁・天井の表面付近の温度を測定した。いずれも測定間隔は5分とした。

3-3 実測結果および考察

3-3-1 生活活動調査

サンプリング者が回答した居住環境についてのアンケート結果を表3-2a~eに示す。また、居住者全員が回答した住まい手についてのアンケート結果を表3-3に示す。

(1) シックハウスに対する意識について

シックハウスという言葉を入居以前から知っており、またシックハウスに対してかなり関心がある。このことも関係して、入居前に住居全体を換気しており、この換気が気中濃度低減に大きな効果をもたらしていると考えられる。

(2) 周囲環境について

住居地域であり、近くに農地や工場のばい煙、ごみ焼却施設などはない。しかし、近隣の自動車量が多いため、排気ガスが比較的多いことが考えられる。また、ごみ集積場がすぐ近くにあることから、集荷日には周囲空気が汚れていると思われる。

(3) 住居について

構造は木造であり、比較的隙間が多いと類推される。また、築後2年以上経っていることから、新築時の気中濃度が高い状態ではないと考えられる。

(4) 測定室について

内装材は、壁と天井がクロスであるのに対して、床は複合フローリングが用いられている。一般的に複合フローリングなどの木質からはホルムアルデヒドが多く放散していることが多い。また、日常用いられている床ワックスや防虫剤、化粧品も化学物質の発生源となっていると考えられる。その一方で、日常から意識的に換気を行っており、夏季測定期間中は窓開け換気を18時間以上していることから、換気量が多く室内空気汚染に対してプラスの効果が期待できる。

(5) 住まい手について

居住者は40、50代の夫婦と、その子供、20代の女性、10代の男性である。4人ともアレルギー体質ではなく、また、住居内外で特別な体調の変化はないので、シックハウス症候群や、化学物質過敏症ではないと言える。

空気に対する感覚については、4人とも周囲空気が排気ガスにより少し汚れていると答えている。排気ガス以外の汚れとして、住居への滞在時間が最も長い40、50代女性が、近所のごみにより汚れており、それにより、不快なおいもすると答えている。これは一時的な汚れやおいと考えられ、滞在時間が長いことからこのように感じる機会が多いと考えられる。測定対象室となった寝室の空気に対する感覚については、やはり、40、50代女性が化粧品により少し汚れていると答えている。一方で、当該測定室で就寝している20代女性は、汚れていないと感じている。この違いは、20代女性は化粧品の汚れに慣れてしまっていることから生じているものと考えられる。このように、同じ住宅に住んでいても、空気質に対する感覚は人それぞれ異なることが確認できた。

表3-2 居住環境についてのアンケート結果

a シックハウスに対する意識について (夏季・冬季とも同回答)

質問	回答
「シックハウス」という言葉	知っている (新築計画以後、入居前から)
入居前の意識的換気	有 (住居全体)
入居前のペイクアウト	無
「シックハウス」への関心度	かなりある

第3章 パッシブ法によるA邸の実測

b 周囲環境について（夏季・冬季とも同回答）

質問	回答
住まいのおおよその地域区分	住居地域
住まいの近隣を走る自動車の交通量	やや多い
近くの農地	半径 20m 以上離れている
工場のばい煙	無
ごみの集積場までの距離	0~10m
近くのごみ焼却施設	半径 100m 以上離れている
庭での除草剤散布	無

c 住居について（夏季・冬季とも同回答）

質問	回答
住居のタイプ	一戸建て
住居の構造	木造
住居の築年数	2年以上
住居に入居してからの年数	2年以上
6か月以内の防蟻処理	無
住んでいる方の家族構成（性別と年代）	男性（40、50代）、女性（40、50代）、 女性（20代）、男性（10代）
ペット	無

d 測定室での日常の生活について（夏季・冬季とも同回答）

質問	回答
部屋のある階	2階
部屋の広さ	7.0帖
床の仕上げ（外表面）	フローリング
壁の仕上げ（外表面）	クロス
天井の仕上げ（外表面）	クロス
部屋にある製造2ヶ月以内の 木製またはプラスチック製の家具の個数	0
押し入れ	無
窓の方位	東、南
日常の清掃の頻度	週1~2回
日常の清掃で使用する用具	掃除機、モップ
床ワックスの使用	有
日常の意識的換気	有
日常、タバコを吸われる方はいるか	無
日常、アルコール類を飲まれる方はいるか	無
日常の殺虫剤使用	無
防虫剤の使用	有
消臭・芳香剤の使用	無
日常の化粧品使用	頻繁に使用する

e サンプリングをした寝室での測定時の生活について

質問	回答	
	夏季	冬季
測定期間中、4時間以上在室された方の人数	1人	1人
使用した冷暖房器具と、その総使用時間	無	無
使用した換気設備	窓開け換気	窓開け換気
総換気時間	18時間以上	6時間未満
空気清浄機の使用	無	無
燃焼器具（ガスコンロなど）の使用	無	無
測定期間中のタバコを吸われた方はいるか	無	無
測定期間中、アルコール類を飲まれた方はいるか	無	無
測定期間中の清掃	無	無
測定期間中の殺虫剤使用	無	無
測定期間中の化粧品使用	有	有
有機系溶剤使用	無	無
測定期間中の室温をどう感じたか	高い	低い
測定期間中の部屋の湿度をどう感じたか	高い	丁度良い

表 3-3 住まい手についてのアンケート結果（夏季・冬季とも同回答）

質問	回答			
	男性	女性	女性	男性
性別				
年齢	40、50代	40、50代	20代	10代
家の滞在時間 [時間]	平日	6~11	20~24	12~19
	休日	12~19	20~24	12~19
アレルギー体質	無	無	無	無
家に帰ると何らかの症状がでるか	無	無	無	無
家の外で何らかの症状がでるか	無	無	無	無
家の周囲（屋外）の空気が汚れていると感じるか	少し汚れている	少し汚れている	少し汚れている	少し汚れている
どんな汚れか	排気ガス	排気ガス 近所のごみ	排気ガス	排気ガス
家の周囲（屋外）の不快なおい	無	少しする	無	無
寝室の測定はあなたの寝室で行われたか	No	No	Yes	No
寝室の空気が汚れていると感じるか	汚れてない	少し汚れている	汚れてない	汚れてない
どんな汚れか	—	化粧品	—	—
寝室の不快なおい	無	無	無	無

3-3-2 温湿度測定

表 3-4 に夏季における屋外及び測定室内の空気温度・相対湿度、測定室の床・壁・天井の各表面付近温度測定結果を、表 3-5 に冬季における測定結果を示す。なお、値はいずれも 5 分間隔で 24 時間測定した結果である。

空気温度、相対湿度に関しては、外気の変動が大きく、測定期間中の最高気温と最低気温の差は夏季で 13℃、冬季で 14℃ 近かった。また、相対湿度も 60% 近くの差があり、温湿度の変動に応じて、化学物質

の濃度も変動していると考えられる。床・壁・天井の表面温度は、夏季、冬季とも平均値、最高値、最低値のいずれもが、床よりも壁、壁よりも天井と位置が高くなるほど高くなっていった。床表面と壁表面の差は平均値で夏季 0.5℃、冬季 0.3℃ であるが、壁表面と天井表面は 1℃ 前後の差があった。測定室が 2 階だったこともあり、屋根が受けた熱の影響を天井面が受けやすいことや、温まった空気は上昇し、冷えた空気は下降して対流が起きていることが原因として考えられる。

夏季と冬季を比較すると、外気では 20°C 以上、室内と各部位表面では、約 16°C の差があり、化学物質の気中濃度や放散速度に影響があると考えられる。

表 3-4 温湿度測定結果 (夏季)

測定箇所	温度 [°C]			相対湿度 [%RH]		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低
外気	28.2	36.1	23.5	78	99	38
室内空気	30.6	34.5	27.2	64	78	46
床表面	30.1	33.7	26.7	—	—	—
壁表面	30.6	33.8	28.0	—	—	—
天井表面	31.5	36.4	28.0	—	—	—

表 3-5 温湿度測定結果 (冬季)

測定箇所	温度 [°C]			相対湿度 [%RH]		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低
外気	4.8	12.7	-1.4	48	81	24
室内空気	14.6	22.5	9.2	47	57	27
床表面	14.0	18.9	9.3	—	—	—
壁表面	14.3	19.6	9.6	—	—	—
天井表面	15.6	23.6	9.6	—	—	—

3-3-3 換気量測定

夏季における PFT 法による生活状態での換気量測定結果は、換気回数で 0.60 ± 0.06 回/h であった。これは室容積から換気回数に換算すると、 $16.3 \pm 1.6 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。この値は 8 月 22 日～9 月 25 日までの 801 時間にわたる測定期間中の平均値である。このため、期間中の温湿度変動があることから、化学物質の測定を行った 8 月 25 日～26 日は気温が高く、9 月中旬から涼しくなり、窓を開放しなくなったことを考慮すると、化学物質測定期間中の換気回数は測定結果よりも大きいと考えられる。

冬季における同様の換気量測定結果は、換気回数で 0.46 回/h、換気量換算で $12.6 \text{ m}^3/\text{h}$ であった。

アンケートによると、夏季は測定期間中に窓を長時間、開放していたのに対し、冬季はほぼ閉じていた。しかし、夏季の測定は長期間に及んでいたため、測定値では季節による差があまり見られなかった。

3-3-4 気中濃度測定

夏季におけるアルデヒド類の気中濃度測定結果を図 3-4 に、冬季における結果を図 3-5 に示す。分析対象物質はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、アクロレイン、プロピオンアルデヒドの 5 物質としたが、いずれのサンプルからもプロピオンアルデヒドは検出されなかった。

夏季、冬季ともにプロピオンアルデヒド以外は外気濃度よりも室内濃度の方が高く、室内での発生を確認することができた。プロピオンアルデヒドは印

刷工場などのばい煙に含まれていると言われる⁵⁾が、アンケート結果と比較すると、A 邸の周辺にそのような工場はなく、可能性のある原因として、自動車の排気ガスが挙げられる。

夏季における室内濃度は、ホルムアルデヒドが 4 物質の中で最も高く、 $36.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。しかし、高温であったにも関わらず、この値は厚生労働省の指針値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく下回っていた。アンケート結果から補足すると、室内における発生源として考えられるものに内装材の複合フローリングやビニルクロス、床ワックス、防虫剤、化粧品などが挙げられる。

冬季の室内濃度は、アセトンが最も高く、 $52.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。ホルムアルデヒドは $25.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドは $23.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、いずれも厚生労働省の指針値を下回っていた。

室内濃度に関して測定時期を比較すると、ホルムアルデヒド、プロピオンアルデヒドは温湿度の高い夏季から冬季になると減少していた。いずれも外気濃度も低くなってはいるが、換気量は冬季の方が小さかったことから、温湿度の影響と考えられる。一方で、アセトアルデヒド、アセトンは夏季よりも冬季の方が高い傾向にあった。アンケートからのみでは特定することはできないが、冬季におけるアセトアルデヒド、アセトンの新たな放散源の存在も考えられる。

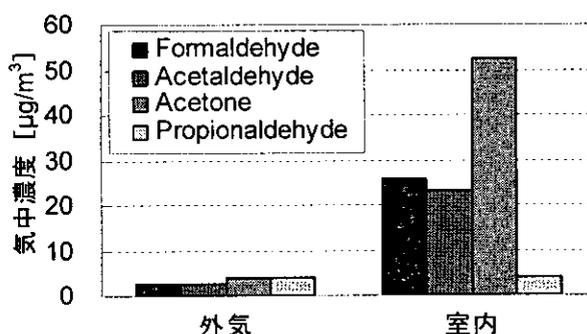


図 3-4 気中濃度測定結果 (夏季)

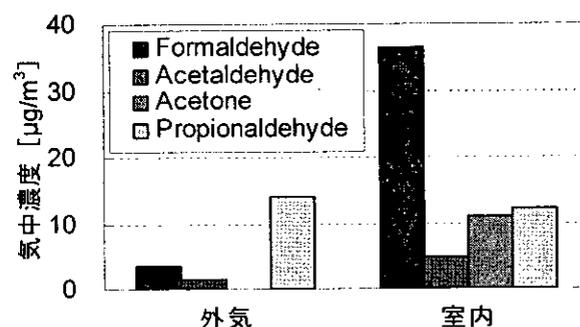


図 3-5 気中濃度測定結果 (冬季)

夏季と冬季では表 3-4, 3-5 に示した通り、室内温度 16°C、室内湿度 17%の差があった。化学物質の挙動は温湿度の影響を受けることから、気中濃度を単純に比較することはできない。そこで、温湿度を同条件にして測定時期による違いを見るため、式 (3-3) に示す井上の式⁶⁾において $t_0=25$ 、 $h_0=50$ として、気中濃度測定値を 25°C、50%RH に換算した。値はホルムアルデヒドの室内濃度を用いた。結果を図 3-6 に示す。

$$C_{t,h} = C_{t_0,h_0} \times 1.09^{(t-t_0)} \times \frac{55+h}{55+h_0} \quad \dots (3-3)$$

$C_{t,h}$: 周囲温度 t °C、周囲湿度 h %RH の濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_{t_0,h_0} : 周囲温度 t_0 °C、周囲湿度 h_0 %RH の濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

温湿度条件を一定にすると、夏季よりも冬季の方が高濃度になった。倍以上の違いがあり、冬季の換気量が夏季よりも小さいことを考慮しても、必ずしも両者が一致することはなかった。

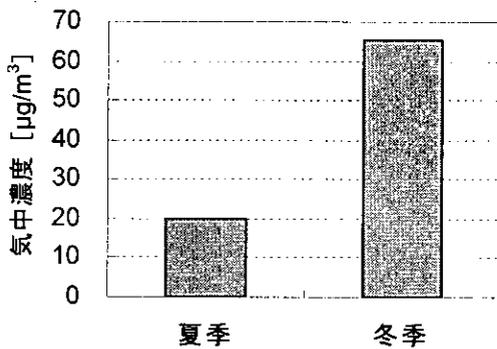


図 3-6 ホルムアルデヒド室内気中濃度結果 (25°C, 50%RH 換算値)

3-3-5 部位別放散速度測定

夏季におけるアルデヒド類の床・壁・天井面からの放散速度測定結果を図 3-7 に、冬季における結果を図 3-8 に示す。分析対象物質は気中濃度と同様としたが、いずれのサンプルからもプロピオンアルデヒドは検出されなかった。

夏季のホルムアルデヒドに関して各部位を比較すると、床の表面温度が最も低かったにもかかわらず、壁、天井に比べて大きく、壁の約 11 倍、天井の約 5 倍の値であった。これは内装材の違いによるものと考えられる。床の仕上げ材は複合フローリング、壁・天井の仕上げ材はビニルクロスであるためである。また、床面、壁面、天井面と内装材の位置によって、放散特性が異なっていた。

冬季では、ホルムアルデヒドに関して、夏季と同様に、表面温度が最も低い床の放散速度が壁、天井に

比べて大きかった。他の物質に関しては、各部位による差はあまり見られなかった。

測定時期を比較すると、いずれの部位も冬季のホルムアルデヒド放散速度が夏季から減少している傾向にあった。特に床面の減少量が著しく、 $48.7\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ から $10.3\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ に減少していた。夏季に比べ、冬季の表面温度が低かったことが原因として考えられる。

そこで、温度条件を一定にして比較するため、式 (3-4) に示す ADSEC の温度換算式を用いてホルムアルデヒド放散速度測定値を 25°C に換算した。換算後の結果を図 3-9 に示す。

$$EF_t = EF_{25} \times 1.08^{(t-25)} \quad \dots (3-4)$$

EF_t : 温度 t °C における放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_{25} : 温度 25°C における放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

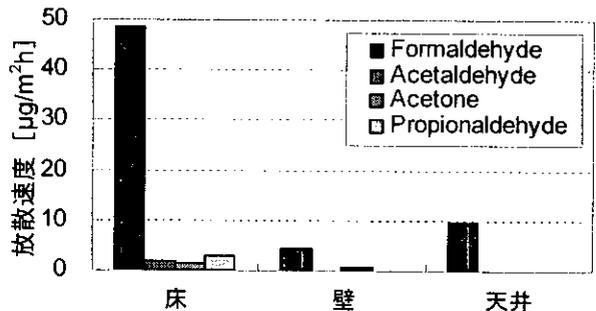


図 3-7 部位別放散速度測定結果 (夏季)

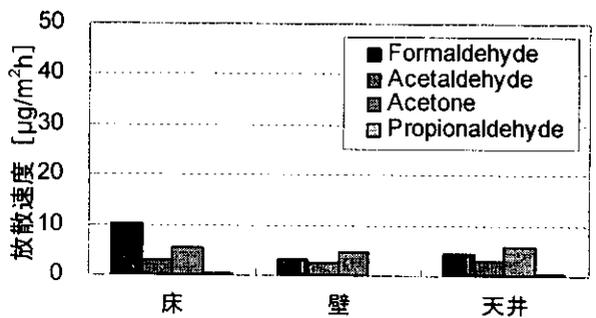


図 3-8 部位別放散速度測定結果 (冬季)

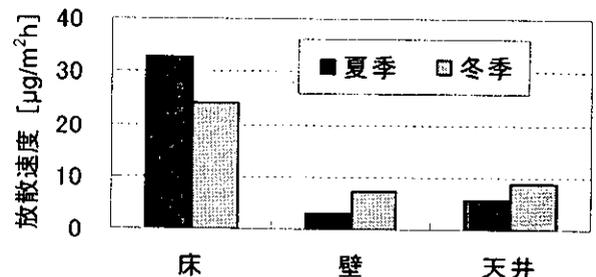


図 3-9 部位別ホルムアルデヒド放散速度結果 (25°C 換算値)

温度条件を一定にすると、床に関しては季節による差が小さくなり、壁、天井に関しては夏季よりも冬季の方が大きくなった。壁、天井の内装材からの冬季における新たな放散や、吸着していた物質の二次放散が考えられる。

放散速度は単位面積、単位時間当たりの放散量と定義されている。部位により表面積が異なるので、主放散源を検討するため、各部位の寄与率を求めた。最も放散速度測定値が大きく、吸着影響が大きいと考えられるホルムアルデヒドを対象とした。寄与率は、式(3-5)のように各部位の放散速度に表面積を乗じ、床・壁・天井面からの合計放散量に対する各面の放散量とした。図3-10に夏季のホルムアルデヒド寄与率を、図3-11に冬季の寄与率を示す。

$$CR_A = \frac{EF_A \times S_A}{EF_F \times S_F + EF_W \times S_W + EF_C \times S_C} \times 100 \quad \dots (3-5)$$

CR_A : A面の寄与率 [%]

EF_A : A面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_F : 床面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_W : 壁面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_C : 天井面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

S_A : A面の表面積 [m^2] S_F : 床面の表面積 [m^2]

S_W : 壁面の表面積 [m^2] S_C : 天井面の表面積 [m^2]

夏季では、床の寄与率が72%に上り、放散速度と同様、3部位の中で最も大きな値となった。放散速度は天井が壁の約2倍であったが、壁の表面積が天井の約2倍であるため、寄与率では壁と天井はほぼ同じ割合となった。このことから、A邸におけるホルムアルデヒドの気中濃度に与える影響は、床が最も大きく、壁と天井は同程度であることがわかった。

一方、冬季は床の放散速度が減少したことから、床の寄与率は48%となったが、依然として3部位の中で最大であった。また、夏季と同程度であったが、天井よりも壁の値が大きくなった。

以上のことから、夏季、冬季ともにA邸におけるホルムアルデヒドの主放散源は床である。

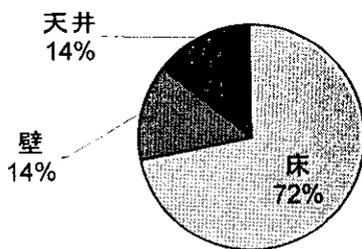


図3-10 ホルムアルデヒド寄与率結果 (夏季)

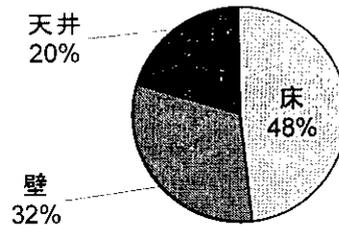


図3-11 ホルムアルデヒド寄与率結果 (冬季)

3-3-6 気中濃度予測

気中濃度、放散量、換気量には式(3-1)に示した関係が成り立つ。ADSECを用いた測定によって得られる床、壁、天井からの放散量を M とすると、式(3-1)から気中濃度 C を算出し、測定値と比較することで、床、壁、天井以外からの放散を確認することができる。すなわち、式(3-1)によって得られる気中濃度 C が測定値よりも小さければ、建材以外からの放散が考えられることになる。

そこで、化学物質の発生源や本調査の有効性を確認するため、換気量と放散速度から気中濃度を予測し、測定値との比較を行った。ADSECによって測定された各部位の放散速度と表面積から放散量を求め、その値と換気量、外気濃度から式(3-6)により気中濃度予測値を算出した。夏季の測定値との比較を図3-12に、冬季の比較を図3-13に示す。

$$C = C_0 + \frac{EF_F \times S_F + EF_W \times S_W + EF_C \times S_C}{n \times V} \quad \dots (3-6)$$

C : 室内気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] C_0 : 外気濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

EF_F : 床面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_W : 壁面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

EF_C : 天井面からの放散速度 [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]

S_F : 床面の表面積 [m^2] S_W : 壁面の表面積 [m^2]

S_C : 天井面の表面積 [m^2]

n : 換気回数 [回/h] V : 室容積 [m^3] (27.2 m^3)

夏季は、ホルムアルデヒドとプロピオンアルデヒドの予測値が測定値を上回った。ホルムアルデヒドに関しては、測定値 $36.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対し、予測値 $50.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ と測定値の1.4倍近い値になった。予測値を求める際は、化学物質の放散源が床、壁、天井のみと仮定したが、実際には、その他の建材や生活用品からの放散があると思われる。従って、本来ならば、予測値の方が測定値よりも小さくなると思われるが、より大きな値となった。これは、換気回数の影響ではないかと考えられる。夏季に測定された換気回数は8月下旬から9月下旬までの34日間の平

均値であった。夏から秋へと季節の変わり目を挟んでおり、機械換気ではなく、自然換気のみである測定室では、窓やドアの開放時間が徐々に減少していったと思われる。従って、総換気時間が24時間の測定期間中18時間以上というアンケート結果からも、高温多湿であった化学物質の測定日の換気量は、34日間の平均値よりも大きかったと推測できる。実際の換気量が測定値よりも大きな値であれば、予測値はより小さな値となり、測定値に近づく。

一方、アセトアルデヒドとアセトンは予測値が測定値を下回った。前述のように化学物質測定時の換気量が換気量測定値よりも大きかったであろうことを考慮すると、この2物質に関しては生活用品などの建材以外からの放散が考えられる。アンケート結果と比較すると、放散源として考えられる生活用品には化粧品などが挙げられる。しかし、プロピオンアルデヒドも含め、これらの物質は放散速度が小さかったため、予測値の精度の問題もある。

冬季は、ホルムアルデヒドとプロピオンアルデヒドに関しては予測値と測定値がある程度、一致していた。プロピオンアルデヒドを除いて、予測値が測定値を下回る傾向にあり、建材以外からの放散の可能性が考えられる。また、アンケート結果によると測定中、測定室のドアや窓をほぼ閉じていたことから、生活状態におけるPFT法による換気量測定値が化学物質測定時の値よりも大きくなっていったことも考えられる。

以上のことから、放散量と気中濃度の関係性を検討するためには、正確な換気量の算出が不可欠である。換気量を測定する際には、可能な限り、化学物質測定と同時期に測定する方が気中濃度、放散量、換気量の関係を考察しやすいと考えられる。

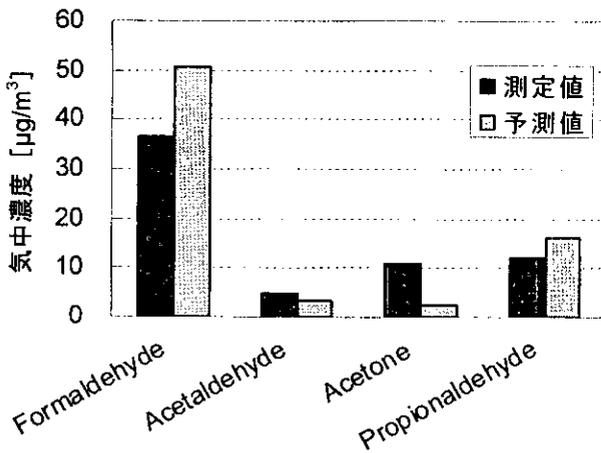


図3-12 気中濃度予測値と測定値との比較（夏季）

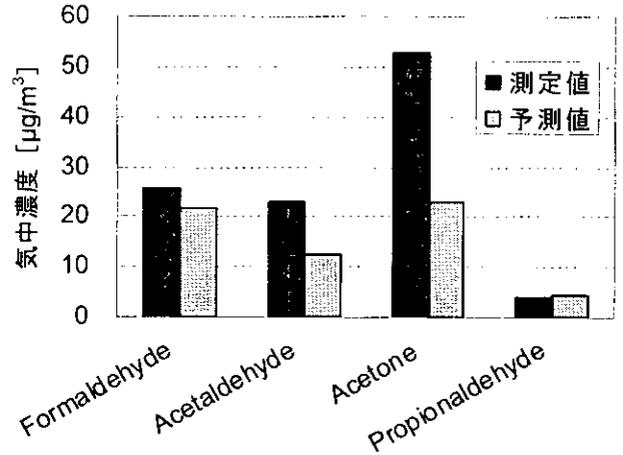


図3-13 気中濃度予測値と測定値との比較（冬季）

3-4 まとめ

- 1) 実住宅において生活状態における室内空気質の実測を夏季、冬季に行い、パッシブ法を用いて気中濃度、床・壁・天井からの放散速度、換気量を測定し、同時に居住者の生活活動を調査した。気中濃度測定にはパッシブサンプラー、放散速度測定にはADSEC、換気量測定にはPFT法を用いた。
- 2) 気中濃度はいずれの季節も、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドともに厚生労働省の指針値以下であった。
- 3) ホルムアルデヒドの放散速度は、壁や天井に比べて床が大きく、各部位の放散量から求めた寄与率も床が最大であったことから、床が主放散源であることが得られた。
- 4) 測定された放散速度、換気量、外気濃度から室内気中濃度を予測した結果、床、壁、天井以外からの放散の可能性や、測定時期の関係で換気量測定値が化学物質測定時の実際の値とやや異なっていた。しかし、冬季のホルムアルデヒドの場合にはある程度の一致をみた。

【参考文献】

- 1) 田辺新一、熊谷一清、阿久津太一、青木龍介、松本仁、建材から発生するアルデヒド類のパッシブ測定法 (ADSEC) の開発 (その 1 ADSEC による測定方法の検討) ; 空気調和・衛生工学会、学術講演会論文集、vol. II、pp. 677-680、2001
- 2) Jorma O. Säteri, “The Measurement of Ventilation Using Integrating Tracer Techniques” , NBS・I, The Development of the PFT-Method in the Nordic Countries. Chapter 1, pp. 11-32, 1991
- 3) Hans Stymne, Antina Eliasson, “Development of a New PFT-method for Ventilation Rate Measurements” , NBS・I, The Development of the PFT-Method in the Nordic Countries, Chapter 3, pp. 37-48, 1991
- 4) PentIAQ, “Description and accuracy of the PFT-homogeneous emission technique. The method of Pentiaq.” , 1998
- 5) 北九州市環境局環境保全部環境管理課、北九州市の環境 第6章 悪臭の現況と対策、pp. 96-98、2001
- 6) 井上明生、ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策 ; 木材工業 VOL.52、NO.1、pp. 9-14、1997