

新築集合住宅における室内の化学物質濃度の比較測定例

村江 行忠*¹浦田 裕司*²
船岡 弘之*³

概 要

社会問題化したホルムアルデヒドやトルエンなど揮発性有機化合物による室内化学汚染（シックハウス）問題への対応として、建築工事においても室内の濃度測定を求められるケースが多くなってきている。しかしながら、現状では空気中の化学物質濃度の測定法に関しては多くの方法があるが、実務レベルでの精度などについて十分な検証がなされていないのが現状である。本報は、実際の新築集合住宅において、21種類の測定法により濃度測定を行い、比較検討を行った結果である。

Filed study on Comparison of a Measuring method of Indoor Chemical Pollutants Concentration in a New-building Apartment

Yukitada MURAE*¹
Yuji URATA*²
Hiroyuki FUNAOKA*³

The cases where it can ask for indoor concentration measurement also in construction work as correspondence to the indoor chemistry pollution (sickhouse) by volatile organic compounds, such as formaldehyde, toluene, etc. which were social-problem-ized, are also increasing in number. However, although there are many methods about the measuring method of the chemistry substance concentration in air in the present condition, verification sufficient about the accuracy in a business level etc. is not made. This paper is the result of performing concentration measurement with 21 kinds of measuring methods, and performing comparison examination in an actual new-building apartment

*¹技術研究所 *²建築工事技術部 *³株環境リサーチ*¹Technical Research Institute *²Architectural Engineering Dept. *³Environmental Research Co.

新築集合住宅における室内の化学物質濃度の比較測定例

村江 行忠*1
 浦田 裕司*2
 船岡 弘之*3

1. はじめに

化学物質による室内化学汚染（シックハウス）問題に対応するため、施主等からの要求の他に施工者側のリスク管理としても室内濃度測定が必要になってきている。しかしながら、化学物質濃度の測定については多くの方法があるため、実際の測定においてはそれぞれの特性を把握しておくことが必要である。今回、新築集合住宅において、複数の測定法によって化学物質濃度を測定して比較する機会を得たのでその概要を報告する。

ラフ質量分析（GC/MS）や高速液体クロマトグラフ（HPLC）により化学的な分析を行って定量する方法である。これには、サンプリングにポンプを用いて室内空気を一定量吸引して捕集するアクティブ法と、ポンプを用いずに自然（拡散）吸着によってサンプリングするパッシブ法がある。

アクティブ法については捕集量が一定に保てることなどから、様々な測定において精度が高いと認められて公的に用いられている。一方パッシブ法については、多くのサンプラーが利用されているが、その精度については実空間レベルでは十分に確認されているとは言い難いのが現状である。

今回の測定では、これらのパッシブ用サンプラーによる方法に簡易法として広く用いられている検知管を加え、アクティブ法と比較することとした。今回用いた測

2. 測定法の概要

室内の化学物質濃度測定法のうち、濃度指針を定めた厚生労働省や国土交通省で認められ、また広く用いられている方法は、固体のサンプラーに室内化学物質を吸着（サンプリング）させた後、持ち帰ってガスクロマトグ

表-1 測定方法・測定条件および測定数

対象	記号	吸着剤（メーカー）	サンプリング				分析方法		測定物質数	測定数			
			方法	時間 [min]	流量 [L/min]	捕集量 [L]	前処理	定量		住戸1 LDK	住戸1 寝室	住戸2 LDK	住戸2 寝室
揮発性有機化合物 (VOC)	A	TenaxTA (a社)	アクティブ	30	0.10	3	加熱脱着	GC/MS	44	2	1	2	1
	B	活性炭 (b社)	アクティブ	30	0.50	15	溶媒抽出	GC/MS	44	3	3	3	3
	C	活性炭 (a社)	アクティブ	30	0.50	15	溶媒抽出	GC/MS	44	3	3	3	3
	D	活性炭 (b社)	アクティブ	1440	0.34	500	溶媒抽出	GC/MS	44	3	3	3	3
	E	活性炭 (a社)	アクティブ	1440	0.37	530	溶媒抽出	GC/MS	44	3	3	3	3
	F	グラファイトカーボン (a社)	パッシブ	120	—	—	加熱脱着	GC/MS	22	3	3	3	3
	F'	グラファイトカーボン (a社)	パッシブ	1440	—	—	加熱脱着	GC/MS	22	—	—	3	—
	G	カーボンモレキュラーシーブ (a社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	GC/MS	32	3	3	3	3
	H	活性炭 (b社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	GC/MS	21	3	3	3	3
	I	活性炭 (c社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	GC/MS	24	3	3	3	3
	J	活性炭 (d社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	GC/MS	4	1	1	1	1
K	トルエン用検知管 (e社)	アクティブ	20	0.20	4	—	—	1	1	—	1	—	
アルデヒド類	L	DNPH (a社)	アクティブ	30	1.00	30	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	M	DNPH (f社)	アクティブ	30	1.00	30	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	N	DNPH (a社)	アクティブ	1440	0.32	460	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	O	DNPH (f社)	アクティブ	1440	0.38	550	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	P	DNPH (a社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	Q	DNPH (f社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	HPLC	2	3	2	3	3
	R	DNPH (b社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	HPLC	2	3	3	3	3
	S	DNPH (d社)	パッシブ	1440	—	—	溶媒抽出	HPLC	2	1	1	1	1
	T	ホルムアルデヒド用検知管 (e社)	アクティブ	30	0.3	9	—	—	1	1	—	1	—

*1技術研究所 *2建築工事技術部 *3環境リサーチ

定方法（サンプラー）の種類、捕集条件・分析方法などを表-1に示す。

3. 測定対象の概要

測定対象室は表-2に示す通りであり、東京都内に立地する竣工直前の集合住宅の2住戸各2室（計4室）である。本建物は住宅品確法設計性能表示における空気環境関連で最高等級（4等級、当時）を得ており、内装には低ホルムアルデヒドタイプの建材を使用し、換気回数約0.5換気/hの常時小風量（24時間）換気システムを備えている。

4. 測定条件

測定条件として、サンプリングのスケジュールを表-3に示す。住戸2においては、厚生労働省指針および国土交通省の基準¹⁾に準じ、強制換気として窓、ドア、物入れなど全ての開口部を解放してレンジフードを30分運転し、開口部を閉めて常時換気システムのみを運転した状態を維持し5時間後に、サンプリングを開始した。住戸1では住戸2との濃度差をつけるために上記のような換気操作は行わず、前日から密閉状態を維持したまま、常時換気システムも運転しない状態とした。

各室で用いたサンプリング方法および測定数は表-1に示す通りであり、できるかぎり複数（n=3）サンプリングを実施するものとした。またスケジュール（表-3）に示すように住戸ごとに同時にサンプリングを開始し、所

定時間経過後に回収し、各サンプラーの取り扱い説明書に準じて、前処理および分析・定量を行った。

なお、サンプリング中は小形データログを用いて温湿度を10分間隔で測定し、サンプリング時間中の平均温湿度を求めた（表-4）。

5. 測定結果および考察

5.1 主要VOCについて

測定結果の一部として、「住宅品確法」や「学校環境の衛生基準」などで、濃度測定を求められるケースが多い物質として、揮発性有機化合物（VOC）5物質（トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、パラジクロロベンゼン）、の測定結果を図-1～5に示す。

なお、測定値が体積濃度（ppm）で得られるものは、平均温度と分子量から換算して重量濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を求め、分析上の測定限界値（ $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）以下のものは便宜上0（ゼロ）とした。また、図では各測定室において複数測定したものはその平均値を棒グラフで表し、各測定値は棒グラフ上に○で表している。以下、結果について考察する。

トルエンはこれまでの測定結果でも指針値（ $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過するケースがみられるため、重要な測定対象物質である。今回の測定においても、条件や測定方法により、指針値を超過している。測定結果（図-1）を見ると、30分のアクティブ法については、高分子系吸

表-2 測定対象室の概要

住戸	タイプ	床面積	室	面積	内装仕様（共通）
住戸1	3LDK	79.3m ²	LDK	24.8m ²	・LDK 床：複合フローリング（Fc0） 壁：石膏ボード+ビニル壁紙 天井：石膏ボード+ビニル壁紙（オレフィン） ・洋室 床：複合フローリング（Fc0） 壁：石膏ボード+ビニル壁紙 天井：石膏ボード+ビニル壁紙（オレフィン）
			寝室	12.0m ²	
住戸2	2LDK	71.4m ²	LDK	26.9m ²	
			寝室	13.0m ²	

表-3 サンプリングスケジュール

住戸	室	測定	1日目							2日目													
			9	10	11	12	13	14	15	16	17	12	13	14	15								
住戸1	LDK・寝室	(換気)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		アクティブ(30分)																					
		アクティブ(24時間)																					
		パッシブ(2時間)																					
住戸2	LDK・寝室	(換気)	×	×	○	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	▷	
		アクティブ(30分)																					
		アクティブ(24時間)																					
		パッシブ(2時間)																					

凡例 黄色× 密閉 青○ 強制換気 青▷ 常時換気 黒● サンプリング

表-4 測定時の平均温度湿度

住戸	測定質	30分平均		2時間平均		24時間平均	
		温度[℃]	湿度[%]	温度[℃]	湿度[%]	温度[℃]	湿度[%]
住戸1	LDK	23.4	82	22.8	74	21.7	68
	寝室	23.7	78	23.2	71	22.2	62
住戸2	LDK	23.5	74	22.6	71	21.1	61
	寝室	22.9	76	22.6	71	21.4	61

着剤 (TenaxTA) を用いたAが活性炭のもの (B,C) よりやや高め傾向であり、活性炭については24時間のアクティブ法 (D,E) においてもメーカーによる違いはほとんど見られなかった。なお、30分と24時間では、環境条件の変化等により濃度差が生まれるものと思われる。

パッシブ法については、24時間のもの (F',G,H,I,J) はいずれも24時間のアクティブ法 (D,E) との相関性が高く。2時間が推奨されているFについては30分のアクティブ法 (A~C) と近い結果であった。

また、検知管 (K) については、アクティブ法と比べて、3倍程度の高い数値を示した。今回用いた検知管はトルエン用であるが、換算することでキシレンとエチルベンゼンの濃度を求められるため、これらの物質にも反応しているものと考えられ、アクティブ法におけるこれらの物質の合計値と同程度の値を示している。

キシレン (図-3) に関しては、いずれの方法でも厚生労働省指針値 (870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下の濃度であった。アクティブ法に関してはTeanaxTA (A) の濃度が活性炭のもの (B,C) より低めの傾向であり、パッシブ法にお

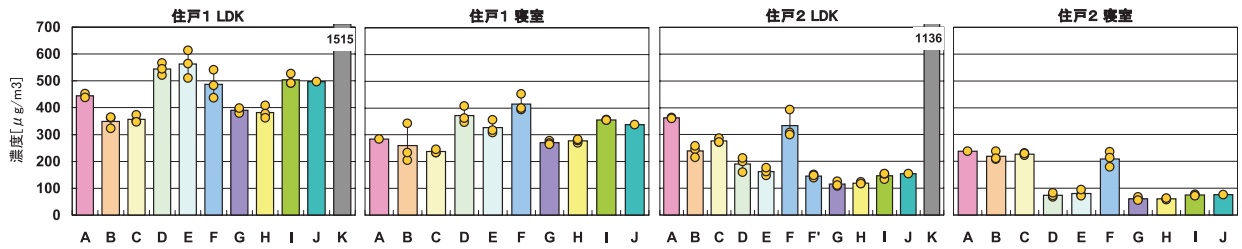


図-1 トルエン濃度

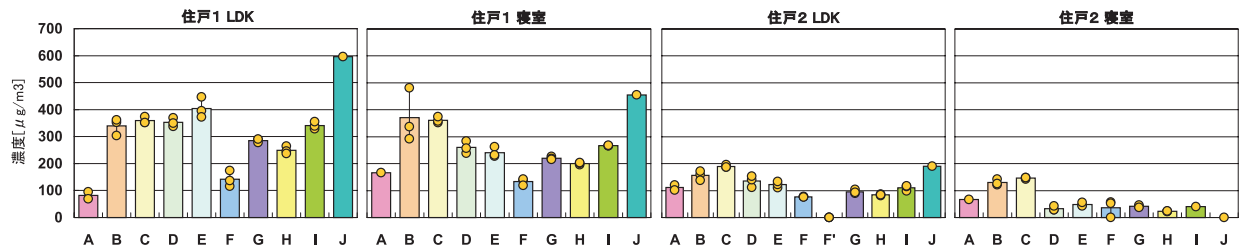


図-2 キシレン濃度

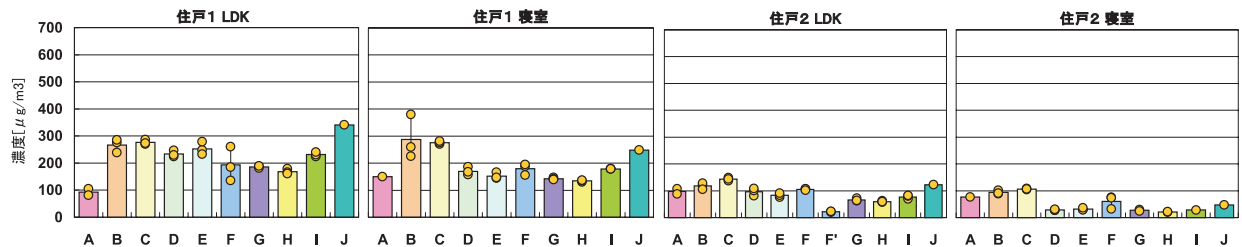


図-3 エチルベンゼン濃度

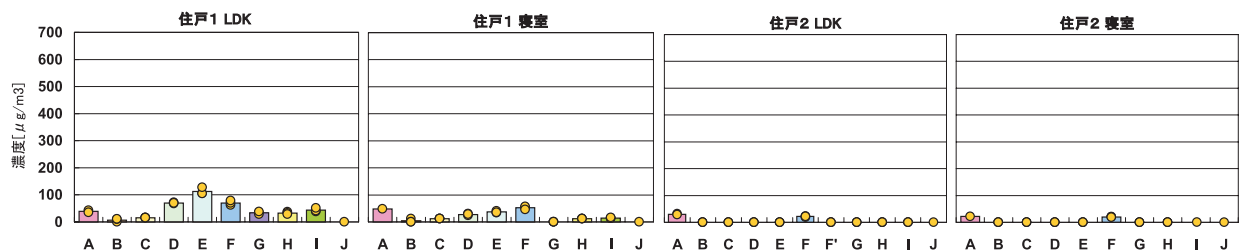


図-4 スチレン濃度

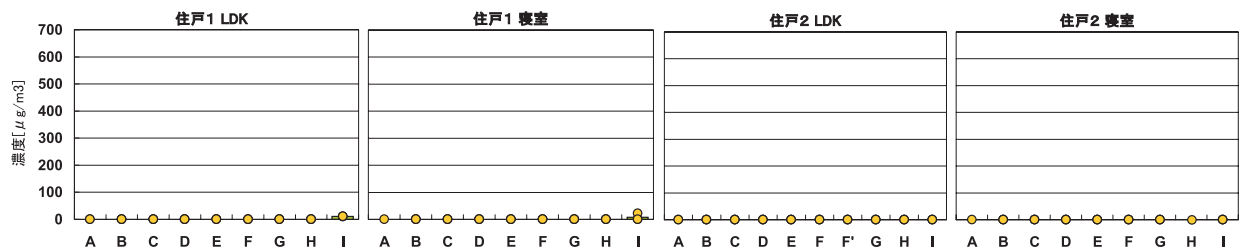


図-5 パラジクロロベンゼン濃度

いては、Fが低めの傾向を示した。どちらのサンプラーも、分析時の前処理が加熱脱着であることから、分析上の特性であると思われる。その他パッシブ法ではJの濃度が高めであった。

エチルベンゼン（図-4、指針値=3,800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）についても、キシレンと同様の傾向が見られ、加熱脱着によるもの（A,F）がやや低めであり、Jについてはやや高めであった。

スチレン（図-5、指針値：220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）とパラジクロロベンゼン（図-6、指針値：240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）については、ほとんどが測定限界以下であり、明確な差は見られなかったが、加熱脱着用用のAとFの感度が高いようである。

5.2 その他のVOCについて

その他のVOCに関する測定結果のとして、24時間サンプリングを行ったD、E、G、H、I、Jによる18物質（Jは4物質）の濃度を図-6に、アクティブ法であるA,B,C,D,Eによる43物質および加熱脱着用パッシブサンプラーFによる21物質の濃度を図-7に示す。（いずれも平均値）

図-6はいずれも24時間サンプリングを行った溶媒抽出用のサンプラーによる結果であり、別途指定の分析機関で分析定量を行ったJを除いては大きな差異は見られず、パッシブ法とアクティブ法の差もほとんど見られなかった。

加熱脱着用パッシブサンプラーであるFは図-7に示す通り、同じく加熱脱着用アクティブサンプラーであるAと傾向が似ており、溶媒抽出によるもの（B、C、D、E）とは傾向が異なっていた。前述した主要VOC以外では、溶媒抽出に比べメチルエチルケトン、酢酸エチル、ヘキサン、1,2,4-トリメチルベンゼン、n-デカン、n-ウンデカンなどでは加熱脱着のほうが高めの数値を示し、アセトン、 α -ピネンについては溶媒抽出のほうが高めの値を示した。また、溶媒抽出においては、サンプリング時間が同じBとC、DとEの差はほとんどなかったが、サンプリング時間が異なると物質によっては若干差が見られた。これはサンプリング中の室温などの環境変化が濃度影響を及ぼしているものと考えられる。

5.3 アルデヒド類について

アルデヒド類2物質（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）の測手結果を図-8、9に示す。

ホルムアルデヒド（図-8、指針値=100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）は測定を求められる機会が多岐にわたる物質である。アクティブ法に関しては30分（L,M）および24時間（N,O）とも、メーカーによる差異はあまり見られなかった。パッシブ法については、PとSが24時間のアクティブ法と比べるとやや高めであり、30分のアクティブ法に近い濃度であった。検知管（T）に関しては、アクティブ法の2倍程度の値を示しており、トルエンの場合と同じようにアセトアルデヒドなど他の物質にも反応しているものと考えられる。

アセトアルデヒド（図-9）は住宅品確法から除外されたものの、濃度が指針値（48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を越える場合が

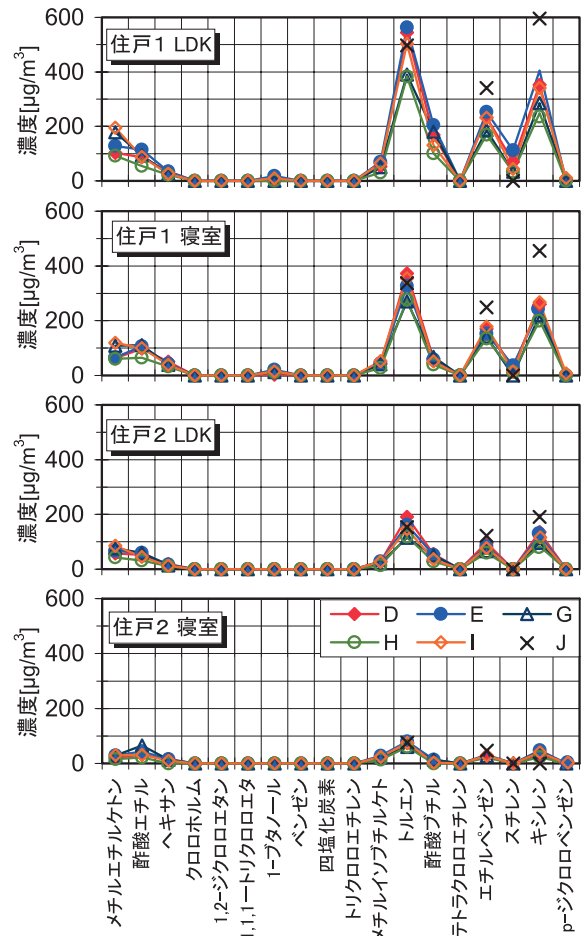


図-6 パッシブ法によるVOC（18物質）測定結果

ある物質であるが、Sの結果がかなり高くなっている他は、明確な差異は見られなかった。

6. まとめ

上記の結果から、化学的な分析をともなう測定であっても、サンプラーの種類などの測定法により、かなり結果が違うことがわかった。比較的簡易なパッシブ法は、施工者によるリスク管理に有効と思われるが、そのためにはアクティブ法を下回らない精度が必要であり、揮発性有機化合物についてはF、アルデヒド類はPが妥当であると思われる。今後はさらに測定データを蓄積することにより、有効な測定方法を示していきたい。

【謝辞】 本測定を実施するにあたり、東京支店建築部加賀所長にご協力頂いた。また、本データの一部は国土交通省総合技術研究開発プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」室内空気環境詳細調査部会によるものである。さらに本報をまとめるにあたり建築本部地球環境分科会室内空気中化学物質対策小委員会の助言を得た。関係各位にここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課他、改正建築基準法に対応した建築物のシックハウス対策マニュアルー建築基準法・住宅性能表示制度の解説および施工管理マニュアルー、工学

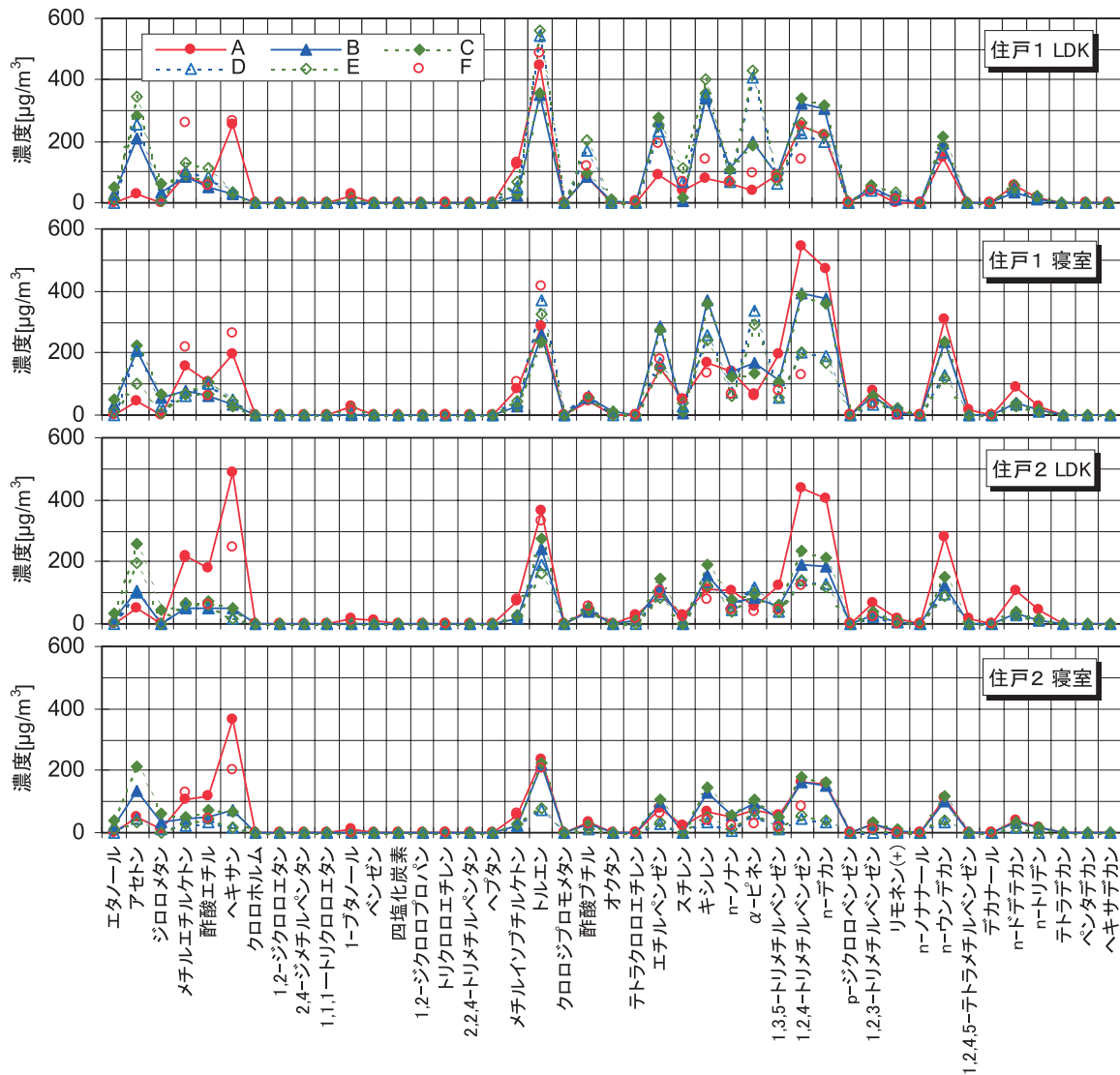


図-7 アクティブ法によるVOC (43物質) 測定結果

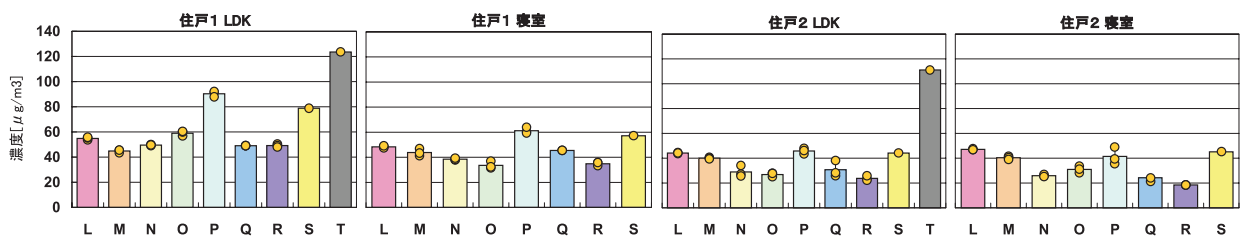


図-8 ホルムアルデヒド濃度

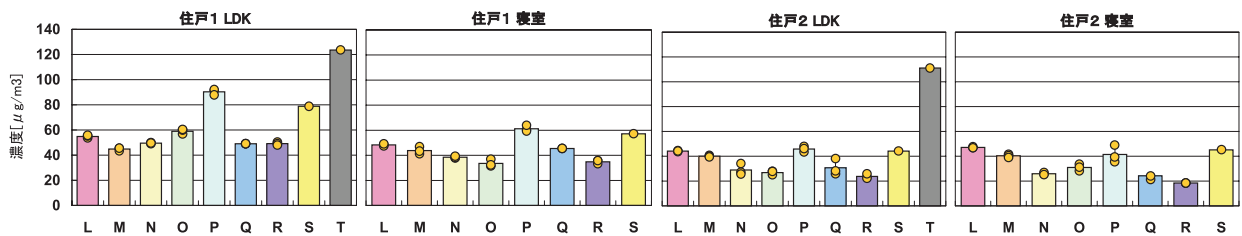


図-9 アセトアルデヒド濃度

図書、2003

- 2) 吉野他、学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究 その3、建築学会大会学術講演梗概集、2003
- 3) 吉野他、シックハウスにおける室内空気質と居住者の健康

状況に関する調査研究 その7、建築学会大会学術講演梗概集、2003

- 4) 村江他、室内の化学物質濃度測定法に関する検討-新築集合住宅における比較測定例一、室内環境学会、2003