

北海道における住宅の室内空気質の調査

石井 誠	秋津 裕志 ^{*1}	伊佐治信一 ^{*1}
朝倉 靖弘 ^{*2}	松本久美子 ^{*3}	鈴木 昌樹 ^{*4}
糸毛 治 ^{*5}	村田さやか ^{*5}	小林 智 ^{*6}

Research on the Indoor Air Quality in New Houses in Hokkaido

Makoto ISHII	Hiroshi AKITSU	Shin'ichi ISAJI
Nobuhiro ASAKURA	Kumiko MATSUMOTO	Masaki SUZUKI
Osamu ITOGE	Sayaka MURATA	Satoshi KOBAYASHI

It was researched on the indoor air quality in new houses in Hokkaido. At that time, it was measured their airtightness and ventilation volume. Their results were as follows:

- 1) The results of the measurements of the VOC (volatile organic compounds) in some houses showed that the concentrations of formaldehyde, acetaldehyde, toluene and tetradecane exceeded the guideline values of the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan (MHLW). The concentrations of other VOCs that had the guideline values were low. Acetaldehyde was distributed uniformly from low to high concentrations.
- 2) Airtightness performance of measured houses met the standard of the equivalent opening area of 2.0cm²/m² for areas I and II in the energy-saving standard.
- 3) There were some houses that had insufficient ventilation rates under usual operation.
- 4) The volumes of the VOCs like toluene, xylene and ethylbenzene that deffused from building materials for which MHLW has shown the guidelines were few. There were many houses that had high volumes of methylethylketone, ethylacetate and butylacetate.
- 5) The concentrations of the VOCs used as solvents became sufficiently low when after ventilation for one month.

Key words: indoor air quality, VOC, airtightness, ventilation
室内空気質, VOC, 気密性能, 換気

平成15年の建築基準法改正以降に北海道内で新築された住宅の室内空気質を測定した。また、あわせて住宅の気密性能、換気量を測定した。その結果、次のような結果が得られた。

- 1) 新築住宅のVOC(揮発性有機化合物)を測定した結果、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、テトラデカンが一部の住宅で厚生労働省の指針値を超過していたが、指針値が示されているその他のVOCは低い濃度であった。アセトアルデヒドの濃度別出現頻度は低濃度から高濃度まで幅広く分布していた。

- 2) 住宅の気密性能は、ほとんどの住宅で省エネルギー基準におけるI、II地域の相当隙間面積の基準(2.0cm²/m²)を満たしていた。
- 3) 換気装置が通常運転の状態では換気量が少ない住宅が見られた。
- 4) 建材から放散するVOCは、トルエン、キシレン、エチルベンゼンなどの指針値が定められている化学物質の濃度は低くなっているが、メチルエチルケトン、酢酸エチル、酢酸ブチルなどの指針値がない化学物質の濃度が高い住宅が多く見られた。
- 5) 溶剤として使用されているVOCは、1か月程度で十分低濃度になるため、養生時にしっかりと換気を行う必要がある。しかし、ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドについては、短期間に低減しない住宅があった。

1. はじめに

室内中のVOC(揮発性有機化合物)は、平成14年1月に示された厚生労働省の室内濃度に関する指針値¹⁾(以下指針値)に基づいて基準値などが設定されている。建物に関する規制は、平成15年7月に建築基準法が改正され、ホルムアルデヒドを規定以上に放散する材料の使用制限、クロルピリホスの使用禁止および換気装置の設置が義務づけられた。また、学校環境衛生の基準の改正²⁾に伴って学校内の空気環境で規制されたトルエン、キシレンなどの溶剤を使用しない塗料、接着剤が開発・普及された。これらのことから、近年の建物内の室内空気質は、建築基準法等の改正前に比べて変化しているものと思われる。

国土交通省では、平成12年度から毎年、全国を対象にして新築1年以内の住宅において6種類の化学物質(ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、アセトアルデヒド)について、室内濃度の調査を継続して行っている³⁾。その結果から、近年の住宅の室内空気質は、アセトアルデヒドを除いてかなり改善されていることが示された。

しかし、指針値が定められていないVOCに関する検討はあまり行われていない。特に、問題意識が高いホルムアルデヒド、トルエンなどの使用を抑制するための代替成分について、室内濃度の実態は明らかではない。

そこで、平成15年から16年に北海道で新築された住宅の室内空気質、気密性能、換気量の測定を行った。また、塗料や接着剤に使われているVOCは時間とともに減衰することから、その経時的濃度変化について検討した。

2. 測定方法

2.1 測定住宅の概要

測定住宅は、新築未入居で家具等の搬入がされていない状況で、一般住宅78戸(192室)、集合住宅3戸(7室)であった。

測定住宅の構造別の割合は、木造軸組構法(74%)、枠組壁工法(23%)、鉄骨プレハブ造(1%)、鉄筋コンクリート造(2%)であった。また測定住宅の床面積は、100~175m²の住宅が全体の約83%を占めており、平均で145.7m²であった。

2.2 室内空気質の測定

2.2.1 測定のスケジュール

測定の手順は、室内空気質の測定を行う前日の夕方、開口部を30分間開放後閉鎖し、測定日の午後から室内空気を捕集した。

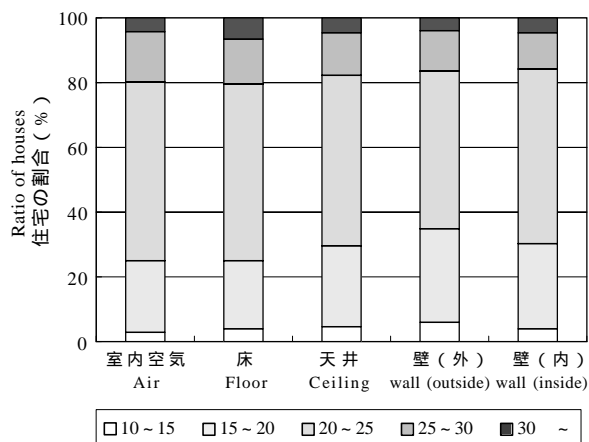
2.2.2 温度の測定

室内空気を捕集した際、部屋の空気温度(床から1.2m高さで測定)を温湿度記録計(エスベック製)で、また床、天井、壁(外)(外部に面した壁)と壁(内)(間仕切り壁)の表面温度を放射温度計(キーエンス製)で測定した。測定温度の出現頻度を第1図に示す。

室内の空気温度および表面温度は、ほとんどの住宅で15~30℃であり、空気捕集条件としては、適切なものであった。また、部位別表面温度から部分的な高温条件のものは見られなかった。そのため、建材からのVOC放散条件として、特殊なものではなかった。

2.2.3 室内空気の捕集

室内空気の捕集には、アクティブサンプリング法を用いた。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドにはDNPHカートリッジを用い、その他のVOCには



第1図 測定住宅の室内空気温度と表面温度の頻度

壁(外): 外部に面した壁
壁(内): 間仕切り壁

Fig. 1. Frequencies of the indoor air temperature and the surface temperature of the rooms of measured houses ().

wall (outside): wall bordered outside door
wall (inside): partition wall

TenaxTA/Carboxen1000 を充填した捕集管を用いて行った。これらを室内に設置し、サンプリングポンプ (GLサイエンス製) を用いて、30 分間かけて空気の捕集を行った (第2図)。捕集量は、アルデヒド類については30L (1L/min)、VOC については3L (100mL/min) と0.3L (10mL/min) とした。

2.2.4 室内空気の分析

アルデヒド類の分析には高速液体クロマトグラフ (HPLC: 日立製) を使用し、その他の VOC の分析には、加熱脱着ガスクロマトグラフ質量分析器 (加熱脱着装置: Chrompack 製, GC/MS: 島津製) を用いた。なお、分析条件は既往の研究^{4,5)} で報告したも



第2図 空気捕集の状況
Fig. 2. Air sampling condition.



第3図 気密性能測定の様子
Fig. 3. Airtightness measuring system.



第4図 換気量測定時の様子
Fig. 4. The method used for the ventilation test.

のとした。

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの定量には、標準試薬としてホルムアルデヒド DNPH およびアセトアルデヒド DNPH (スペルコ製) を使用した。その他の VOC の定量には、室内大気分析用標準試薬 (52 成分) (スペルコ製) を使用した。

2.3 気密性能測定

住宅の気密性能の測定は、「送風機による住宅の気密性能試験方法 (JIS A 2201)」に準拠し、住宅気密測定器 (コーナー札幌製) を用いて行った (第3図)。なお、気密性能の測定は室内空気質測定後にを行った。

2.4 換気量測定

測定住宅は平成 15 年度の建築基準法の改正に基づき、機械換気が設置されていた。そこで、測定住宅の機械換気の換気量を測定した。

測定は、機械換気による排出空気量 q (m^3/h) を風量測定器 (コーナー札幌製) で測定し (第4図)、換気回数 n (回/h) を算出した。今回の測定では、部屋の高さを 2.6m と仮定し、それに気密性能測定時に算出した延べ床面積 S (m^2) を乗ずることによって住宅の気積を求め、次式から換気回数を算出した。

$$n = \frac{q}{2.6 \times S} \quad (1)$$

なお、第1種換気 (機械給排気) 方式では屋外の排気口の排出空気量を測定し、第3種換気 (自然給気機械排気) 方式では室内の排気口の空気量を測定し、排気口が複数個ある場合にはその値を合計して

排出空気量とした。

機械換気装置に風量の切替えがある場合には、「通常生活時に使用する風量（通常風量時）」と、「機械の最大風量（最大風量時）」の2条件で行った。

3. 試験結果

3.1 室内空気質測定結果

測定住宅のVOC分析結果を第1表、第5図に示した。一部の物質については、検出される濃度が高く、定量値を算出することができなかつたため、「 >1000 」（ $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い濃度）とした。

測定を行った物質の中で、指針値が示されている物質は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチルベンゼン、トルエン、キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンである。これらの物質と暫定的に指針値が定められているノナールの指針値を超過した部屋の割合を第6図に示す。

ホルムアルデヒドについて、指針値を超過した割合は4%であったが、全体的に低い値であった。

トルエン、テトラデカンの濃度についても同様の傾向があり、一部の指針値を超えている部屋を除くと概ね低い値を示した。この2物質については上述のように、いくつかの部屋において測定上限以上の高濃度で検出されたため、定量値を算出することができず平均値を求めることはできないが、中央値では、トルエンは $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、テトラデカンは $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と全体的に低い濃度であった。

アセトアルデヒドについては、検出された最大の濃度が $497 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と、指針値の約10倍の値を示した。また濃度別頻度は、他のVOCとは異なり、低濃度から高濃度まで幅広く分布していた。

暫定指針値が示されているノナールについては、一部高濃度に検出される例がみられたものの、全体的には暫定指針値近くに多く検出された。この物質については、分析を行う上でピークの判別が難しく、分析方法の再検討も必要と思われた。

なお、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼンは指針値を超過した部屋はなかった。

本研究で対象とした指針値が示されていない物質の中で、最大値が $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値を示した

物質についての濃度分布を第7図に示した。この結果、p-ピネンは個々の物質だけでも厚生労働省が示している補完的指標であるTVOC濃度の $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度の住宅が17%、それ以外の物質では10%未満で見られた。

3.2 気密性能測定結果

気密測定を行った住宅数は74棟であった。床面積と総相当隙間面積の関係を第8図に示す。ほとんどの住宅が住宅の省エネルギー基準におけるI、II地域の相当隙間面積（C）の基準値 $2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ を下回っていた。相当隙間面積が $0.5 \sim 1.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ の範囲にある住宅が最も多く、また $1.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下の住宅が全体の7割を占めていた。

3.3 換気量測定結果

換気量の測定を行った住宅数は68戸であった。測定住宅の機械換気の種類別構成比は、第1種換気方式が16%、第2種換気方式が3%、第3種換気方式が80%、その他が1%であった。

第9図に換気システムの通常風量時における床面積と換気量の関係を示す。その結果、この換気設定ではほとんどの住宅で建築基準法で定められている換気回数 0.5 回/hを満たしていなかった。また、最大風量時の床面積と換気量の関係を第10図に示す。この場合には 0.5 回/hを超える測定例が増加したが、依然として約7割の住宅が基準を満たしていなかった。

住宅によっては、台所レンジファンやトイレ・浴室等の局所換気装置を動かすことによって 0.5 回/hの換気量を設計している場合もあることから、今回の測定結果から必要換気量を満たしていないとは判断できない。しかしながら、実生活においては、このような局所換気を連続して使用する可能性は低いと考えられる。

室内空気質の測定結果では、このような換気条件でもほとんどの住宅において指針値があるVOC濃度については低い状態となっていた。これは、建材のVOC対策が進んだためであると考えられるが、一部の住宅では依然高いVOC濃度であった。また居住者が持ち込む家具によっては、VOC濃度が増加する可能性がある。これらのことから、居住者に対して、新築直後および家具等の搬入後には換気装置の風量を

北海道における住宅の室内空気質の調査

第1表 VOC分析結果

Table 1. Results of analysis for VOC.

化学物質名 VOC		最小値 ^{*)} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Min. ^{*)}	最大値 ^{**)} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Max. ^{**)}	平均値 ^{***)} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Mean ^{***)}	中央値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Median	厚生労働省 指針値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Guideline value of MHLW
芳香族炭化水素類 Aromatic Hydrocarbons	トルエン Toluene	n.d.	>1000	-	36	260
	エチルベンゼン Ethylbenzene	n.d.	608	23	8	3800
	キシレン Xylene	n.d.	431	28	14	870
	エチルトルエン Ethyltoluene	n.d.	551	31	15	
	スチレン Styrene	n.d.	120	11	7	220
	1,3,5-トリメチルベンゼン 1,3,5-Trimethylbenzene	n.d.	147	11	6	
	1,2,4-トリメチルベンゼン 1,2,4-Trimethylbenzene	n.d.	510	35	14	
	1,2,3-トリメチルベンゼン 1,2,3-Trimethylbenzene	n.d.	132	10	5	
脂肪族炭化水素類 Alkanes	ヘプタン Heptane	n.d.	59	4	2	
	オクタン Octane	n.d.	85	6	3	
	ノナン Nonane	n.d.	398	25	14	
	デカン Decane	n.d.	750	85	44	
	ウンデカン Undecane	n.d.	>1000	-	54	
	ドデカン Dodecane	n.d.	764	48	17	
	トリデカン Tridecane	n.d.	683	23	11	
	テトラデカン Tetradecane	n.d.	>1000	-	9	330
テルペン類 Terpenes	-ピネン -Pinene	n.d.	>1000	-	120	
	β -ピネン β -Pinene	n.d.	97	21	16	
	リモネン Limonene	n.d.	>1000	-	25	
アルコール類 Alcohols	エタノール Ethanol	n.d.	752	79	57	
	2-プロパノール 2-Propanol	n.d.	288	23	11	
	1-ブタノール 1-Butanol	n.d.	330	28	12	
ケトン類 Ketones	アセトン Acetone	n.d.	>1000	-	70	
	メチルエチルケトン Methyl ethyl ketone	n.d.	995	114	63	
	メチルイソブチルケトン Methyl isobutyl ketone	n.d.	230	24	10	
ハロゲン類 Halocarbons	ジクロロメタン Dichloromethane	n.d.	745	46	19	
	クロロホルム Chloroform	n.d.	37	8	1	
	1,1,1-トリクロロエタン 1,1,1-Trichloroethane	n.d.	3	3	3	
	四塩化炭素 Carbon tetrachloride	n.d.	9	2	1	
	1,2-ジクロロエタン 1,2-Dichloroethane	n.d.	13	7	4	
	トリクロロエタン Trichloroethane	n.d.	282	67	1	
	1,2-ジクロロプロパン 1,2-Dichloropropane	n.d.	8	2	1	
	ブロモジクロロメタン Bromodichloromethane	n.d.	9	4	4	
	テトラクロロエチレン Tetrachloroethylene	n.d.	5	2	1	
	ジブロモクロロメタン Dibromochloromethane	n.d.	0.4	0.4	0.4	
	p-ジクロロベンゼン p-Dichlorobenzene	n.d.	38	2	1	240
	エステル類 Esters	酢酸エチル Ethylacetate	n.d.	>1000	-	42
酢酸ブチル Butylacetate		n.d.	>1000	-	31	
アルデヒド類 Aldehydes	ノナナル Nonanal	n.d.	980	47	30	41 (暫定) (provisional)
	デカナル Decanal	n.d.	58	11	7	
	ホルムアルデヒド Formaldehyde	6	224	35	26	100
	アセトアルデヒド Acetaldehyde	4	497	72	53	48

*) n.d.: 定量下限値以下の値。**) >1000: 高濃度のため定量値を算出できなかった。***) -: 平均値を算出できなかった。

*) n.d.: Value under minimum limit of fixed quantity. **) >1000: Unable to calculate fixed quantity due to high concentration.

***) -: Unable to calculate mean value.

増やしたり、定期的な窓あけによる換気を行う等の
住まい方への提言を行う必要があるといえる。また、
また、施工者に対しても、風量測定器等を用いた換気

量の確認の推奨等を通じて換気工事への意識の向上
を促すことが重要である。

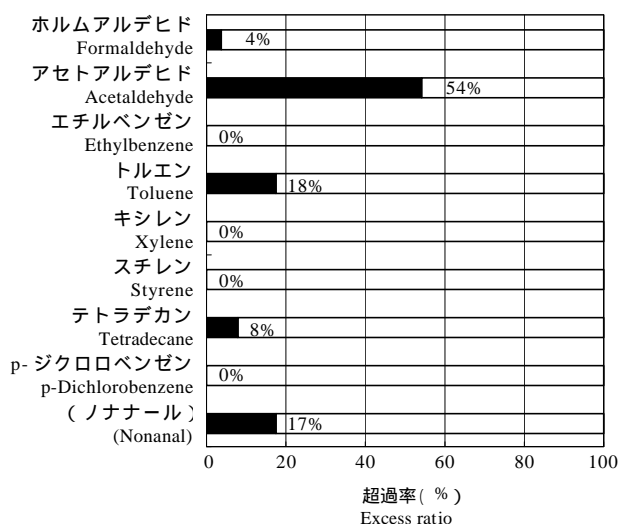
Research on the Indoor Air Quality in New Houses in Hokkaido



第5図 VOCごとの濃度別頻度分布

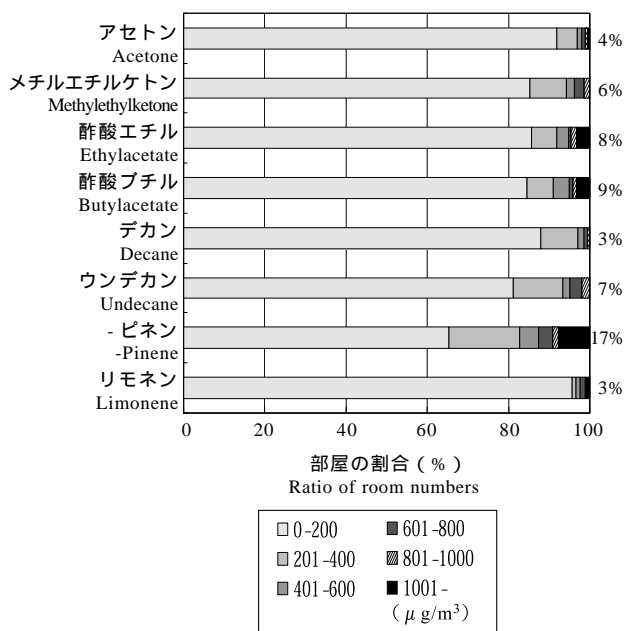
Fig. 5. Frequency distribution of the concentrations of the respective VOCs.

北海道における住宅の室内空気質の調査



第6図 厚生労働省が定めた室内濃度指針値を超過した部屋の割合

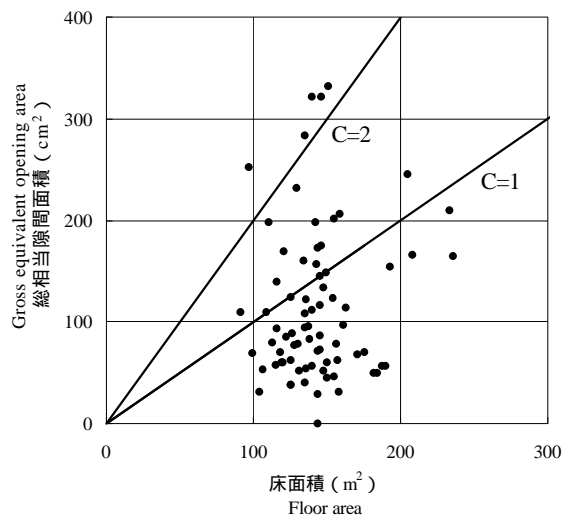
Fig. 6. Excess ratios against the guideline values for indoor air provided by the MHLW.



第7図 高濃度に検出された物質の濃度別頻度分布

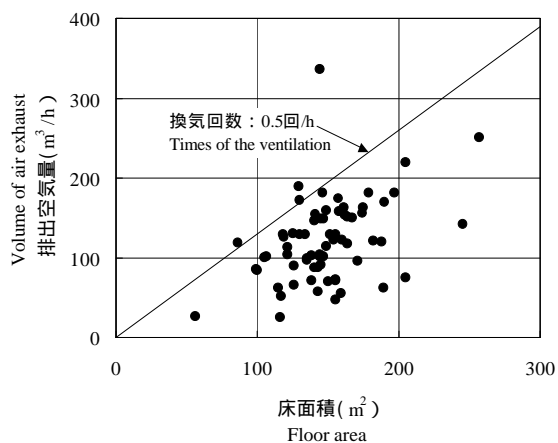
Fig. 7. Frequency distribution of the concentrations of the VOCs detected in large amounts.

右端の値は $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TVOC 厚生労働省補完的指標) 以上の部屋の割合
 Percentage values on the right are rates of room numbers exceeded $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



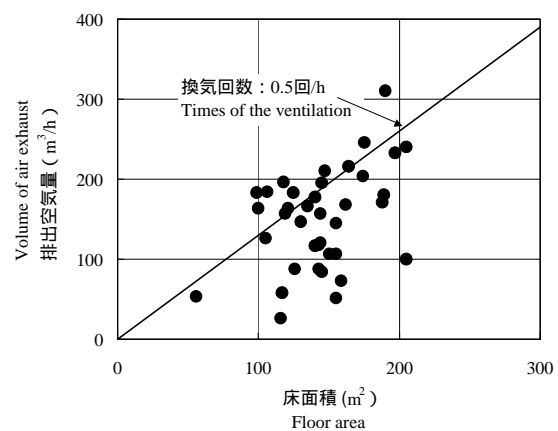
第8図 床面積と総相当隙間面積の関係

Fig. 8. Relationship between floor area and gross equivalent opening area.



第9図 床面積と排出空気量の関係 (通常風量時)

Fig. 9. Relationship between floor area and volume of air exhaust from house (normal operation).



第10図 床面積と排出空気量の関係 (最大風量時)

Fig. 10. Relationship between floor area and volume of air exhaust from house (maximum operation).

4. 工務店の調査結果

4.1 同一工務店が施工した住宅のVOC濃度の傾向
 自然系素材を多用した工務店（A工務店）と一般的な内装建材を使用した工務店（B工務店）について、室内空気質の測定例を示す。

4.1.1 A工務店の場合

A工務店が施工した6戸の新築住宅について、内装仕上げ材料を第2表に示す。

室内空気質を測定した結果（第3表）、33%の部屋でホルムアルデヒドが指針値を超過していた。また、アセトン、トルエン、メチルエチルケトン、デ

カン類、 α -ピネンが高濃度で検出された。

4.1.2 ホルムアルデヒド放散源の推定

高濃度のホルムアルデヒドが検出されたことから、放散源を推定するために、A-2を用いて、推定手法の検証を行った。この住宅の部屋ごとのホルムアルデヒド濃度を第4表に示す。住宅全体が高い傾向にあるが、特に1階洋室（容積 $S=27\text{m}^3$ ）が高いことから、この部屋を対象室（以下対象室）として検討した。

この部屋と他の部屋の違いは、収納式の本棚がある点であった。そのため、使用されていた本棚用合

第2表 A工務店が施工した住宅の内装仕上げ

Table 2. Interior finish of the houses built by construction company A.

	床 Floor	塗料 Painting	壁 Wall	天井 Ceiling
A-1	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系塗料 Natural painting	珪藻土 Diatom	合板 Plywood
A-2	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系塗料クリア Natural clear color painting	珪藻土 Diatom	合板 Plywood
A-3	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系ワックス Natural wax	珪藻土 Diatom	合板 Plywood
A-4	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系塗料 Natural painting	珪藻土 Diatom ウッドチップ壁紙 Woodchip wall paper	珪藻土 Diatom ウッドチップ壁紙 Woodchip wall paper
A-5	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系塗料クリア Natural clear color painting	珪藻土 Diatom ウッドチップ壁紙 Woodchip wall paper	珪藻土 Diatom ウッドチップ壁紙 Woodchip wall paper
A-6	木製ムクフローリング Wooden flooring	自然系塗料クリア Natural clear color painting	珪藻土 Diatom	珪藻土 Diatom

第3表 A工務店が施工した住宅の室内空気質の概要

Table 3. Outline of indoor air quality of houses built by construction company A.

化学物質名 VOC	最小値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Min.	最大値*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Max*)	平均値**) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Mean**)	厚生労働省指針値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Guideline value of MHLW	超過室数 Numbers of rooms exceeded guideline value	超過割合 (%) Percent exceeded guideline value
ホルムアルデヒド Formaldehyde	38	224	91	100	6	33
アセトアルデヒド Acetaldehyde	47	223	127	48	17	94
エタノール Ethanol	19	217	69			
アセトン Acetone	0	619	148			
メチルエチルケトン Methyl ethyl ketone	32	944	276			
トルエン Toluene	33	>1000	-	260	10	56
デカン Decane	7	236	108			
ウンデカン Undecane	0	332	100			
テトラデカン Tetradecane	48	>1000	-	330	14	78
α -ピネン α -pinene	234	>1000	-			
リモネン Limonene	72	694	256			

*) >1000: 高濃度のため定量値を算出できなかった。**) -: 平均値を算出できなかった。

*) >1000: Unable to calculate fixed quantity due to high concentration. **) -: Unable to calculate mean value.

板から放散しているホルムアルデヒドの放散量測定を第11図の装置を用いた小形チャンバー法によって行い、その結果から室内濃度の増分を算出し、実測値と比較した。

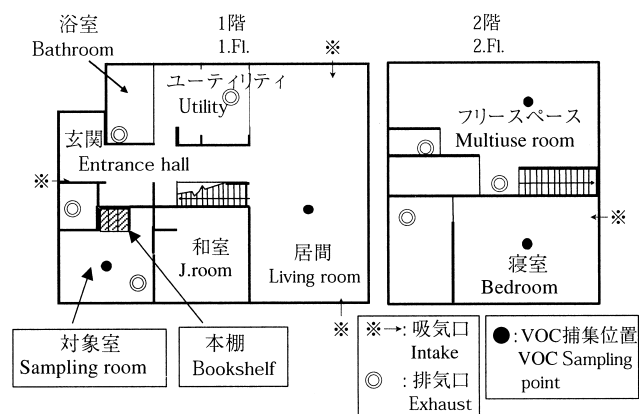
A-2の住宅の平面図を第12図に、合板が使用されていた本棚の写真を第13図に示した。

第5表に合板のホルムアルデヒド放散量測定結果を示す。 C_s は小形チャンバー法(JIS A1901準拠:換気回数0.5回/h, 試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$), C_e はテドラーバッグ法(10L)による平衡濃度である。

両者からHBF式⁶⁾に基づいて算出した吸収係数 k は 0.26m/s であり、既往の研究^{7,8)}に近い数値となった。なお、対象室には吸気口がなく排気口(排気量 $27\text{m}^3/\text{h}$)のみ設置されていたことから、この部屋の空気はすべて室内ドアのアンダーカットを通過して流入する独立した部屋と仮想すると、換気回数は 1.0 回/hとなった。鈴木ら⁹⁾は、室内にあらかじめホルムアルデヒドが存在した場合の家具による濃度増分の予測手法を検討している(式2)。

$$C_c = (nC_a + kL C_e) / (n + kL) \quad (2)$$

ここで、 C_c : 室内濃度の予測値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 C_a : あらかじめ存在する室内空気の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 L : 家具の部屋に対する試料負荷率 (m^2/m^3)
 ただし、 $L=A/S$ (3)
 A : 家具の面積 (m^2)
 S : 部屋の容積 (m^3)



第12図 住宅の平面図(A-2)
 Fig. 12. Plan of house A-2.

第4表 室内のホルムアルデヒド濃度(A-2)
 Table 4. Concentration of formaldehyde in the rooms (house A-2).

部屋 Room	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Concentration of Formaldehyde
1階洋室(対象室) 1.Fl. sampling room	130
1階居間 1.Fl. living room	76
2階フリースペース 2.Fl. multiuse room	102
2階寝室 2.Fl. bedroom	109



第13図 対象室の本棚(A-2)
 Fig. 13. Bookshelf in sampling room of house A-2.



第11図 小形チャンバー
 Fig. 11. Small chamber system.

第5表 本棚用合板のホルムアルデヒド放散量
 Table 5. Amount of formaldehyde diffusion from plywood that the bookshelf was made of.

	放散量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Diffusion amount
C_s	171
C_e	201

C_s : スモールチャンバー法による測定結果
 Result of the test using small chamber method
 C_e : テドラーバッグ法による測定結果
 Result of the test using tedlarbag method

Ca は、他の部屋の平均濃度を使用した。今回の計算に使用した数値を第 6 表に示す。計算の結果、Cc は 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、実測値の 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に近い値となった。このことから、室内濃度が他室より高かった原因は本棚に使われた合板である可能性が示唆された。

第 6 表 計算に使用した物性値
Table 6. Constant values used in calculation.

	物性値 Constant value
Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	96
Ce ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20
n (times/h)	1.0
A (m^2)	61
S (m^3)	27
L (m^2/m^3)	2.3
k (m/h)	0.26

Ca : あらかじめ存在する室内空気の濃度
Concentration of formaldehyde in the existent indoor air
Ce : テドラーバッグ法による測定結果
Result of the test using tedlarbag method
n : 換気回数
Times of the ventilation
A : 家具の面積
Area of the furniture
S : 部屋の容積
Volume of the room
L : 家具の部屋に対する試料負荷率
Load factor of the test piece of the furniture against the room
k : 吸収係数
Absorption factor

4.1.3 B 工務店の場合

次に、床に複合フローリング、壁・天井にビニルクロスの一般的な内装を施工している B 工務店の新築住宅 5 戸について測定を行った。結果を第 7 表に示す。

B 工務店では、ホルムアルデヒドは低濃度であったが、酢酸エチル、酢酸ブチル、トルエン、エチルメチルケトン、エチルベンゼン、ウンデカンなど溶剤として使用される化学物質が高濃度であった住宅が見られた。その中でトルエンについては、これらの住宅の内装仕上げ表からは、これを使用した建材が見られなかったため、放散源を推定することができなかった。

4.2 高濃度で VOC が検出された住宅の再測定結果

高濃度で VOC が検出された場合、最も有効な改善方法は換気であると思われる。しかし、窓を開けるなどして換気を行ったとしても、すぐに低濃度になるわけではなく、閉鎖したときから再び VOC 濃度は上昇することが予想できる。そこで、どのくらいの時間経過で VOC の放散がなくなるかを知るために、比較的高濃度で VOC が検出された住宅の追跡調査を行った。

第 7 表 B 工務店が施工した住宅の室内空気質の概要

Table 7. Outline of indoor air quality of the houses built by construction company B.

化学物質名 VOC	最小値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Min.	最大値*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Max*)	平均値**) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Mean**)	厚生労働省 指針値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Guideline value of MHLW	超過室数 Numbers of rooms exceeded guideline value	超過割合 (%) Percent exceeded guideline value
ホルムアルデヒド Formaldehyde	17	98	38	100	0	0
アセトアルデヒド Acetaldehyde	39	178	85	48	10	83
エタノール Ethanol	9	255	104			
アセトン Acetone	31	185	86			
ジクロロメタン Dichloromethane	0	745	124			
メチルエチルケトン Methyl ethyl ketone	12	751	303			
酢酸エチル Ethylacetate	1	>1000	-			
トルエン Toluene	2	>1000	-	260	4	33
酢酸ブチル Butylacetate	6	>1000	-			
エチルベンゼン Ethylbenzene	2	608	118	3800	0	0
キシレン Xylene	2	307	89	870	0	0
エチルトルエン Ethyltoluene	2	551	104			
1,2,4-トリメチルベンゼン 1,2,4-Trimethylbenzene	3	510	86			
ノナン Nonane	1	398	69			
デカン Decane	4	627	140			
ウンデカン Undecane	3	>1000	-			
-ピネン -Pinene	2	247	75			

*) >1000 : 高濃度のため定量値を算出できなかった。**) - : 平均値を算出できなかった。
*) >1000: Unable to calculate fixed quantity due to high concentration. **) -: Unable to calculate mean value.

調査対象は、ホルムアルデヒド、トルエンが高濃度で検出された住宅（A-3）で竣工1か月後に、メチルエチルケトンやデカン類が高濃度で検出された住宅（C）で3か月後にそれぞれ再測定を行った。

また、アセトアルデヒドが高濃度で検出された住宅2戸（D、E）については1年以上経過した段階で測定を行った。

4.2.1 1か月経過の住宅（A-3）の場合

住宅A-3は、竣工後2週間は人が入居していたが、その後留守にしている住宅であった。留守中の温湿度は、15℃、30%RH前後で安定していた。

室内空気質の測定結果（第8表）から、竣工直後に高かったVOCは1か月後にはα-ピネンを除く物質で非常に低濃度になっていた。

4.2.2 3か月経過の住宅（C）の場合

住宅Cは、居住者が入居後そのまま生活しているものであった。入居直前は、メチルエチルケトン、デカン類が高濃度であったが、3か月後にはほとんどの化学物質で低濃度になっていた（第9表）。

4.2.3 短期間でVOCが低濃度になった場合のまとめ

住宅A-3、Cの測定結果から、表面蒸散型の放散をする塗料、ワックスなどの溶剤として使われていたVOCが、時間とともに急速に放散量を減少していったものと考えられる。そのため、塗料、ワックスに使用されている溶剤から放散するVOCは1か月程度で十分低濃度となるため、新築住宅に入居する際は1か月程度は多めの換気を行うことが望まれる。

4.2.4 1年以上経過の住宅（D、E）の場合

第8表 竣工1か月後に測定した住宅A-3のVOC測定結果

Table 8. Indoor air quality of house A-3 measured one month after the inhabitants have moved in.

化学物質名 VOC	竣工直前 Before moving in			竣工1か月後 After one month		
	a室 Room a (15.3℃)	b室 Room b (15.2℃)	c室 Room c (15.2℃)	a室 Room a (15.3℃)	b室 Room b (25.2℃)	c室 Room c (24.2℃)
ホルムアルデヒド Formaldehyde	156	224	183	23	29	47
アセトアルデヒド Acetaldehyde	92	111	210	17	19	28
トルエン Toluene	378	328	333	15	15	13
酢酸ブチル Butylacetate	72	195	61	6	9	8
デカン Decane	7	222	50	9	9	13
ドデカン Dodecane	145	214	55	8	9	13
テトラデカン Tetradecane	>1000	>1000	>1000	86	82	197
α-ピネン α-Pinene	>1000	>1000	>1000	580	277	578
リモネン Limonene	517	548	694	17	23	29

括弧内は室内温度。

Parenthetic values are room temperatures.

(単位：μg/m³)

(Unit: μg/m³)

第9表 竣工3か月後に測定した住宅CのVOC測定結果

Table 9. Indoor air quality of house C measured three months after the inhabitants have moved in.

化学物質名 VOC	竣工直前 Before moving in				竣工3か月後 After three months			
	a室 Room a (20.7℃)	b室 Room b (21.9℃)	c室 Room c (19.2℃)	d室 Room d (20.0℃)	a室 Room a (22.4℃)	b室 Room b (26.5℃)	c室 Room c (21.3℃)	d室 Room d (22.4℃)
ホルムアルデヒド Formaldehyde	18	28	35	36	13	23	24	30
アセトアルデヒド Acetaldehyde	58	122	137	141	10	37	44	41
メチルエチルケトン Methyl ethyl ketone	350	995	243	499	10	24	24	27
酢酸エチル Ethylacetate	35	371	93	21	2	7	11	9
デカン Decane	54	102	265	34	5	8	9	8
ウンデカン Undecane	83	174	528	70	6	9	11	10
ドデカン Dodecane	80	213	764	311	9	16	20	18
トリデカン Tridecane	62	168	683	99	10	21	26	23
テトラデカン Tetradecane	40	95	338	63	9	19	23	21

括弧内は室内温度。

Parenthetic values are room temperatures.

(単位：μg/m³)

(Unit: μg/m³)

住宅DのVOC測定結果を第10表に示す。

この住宅は、木材を内装に多用し、集成材の梁などを現して使用している住宅であった。新築時にはアセトアルデヒドが高濃度であったが、1年以上経過した段階ではアセトアルデヒド濃度は低下していた。しかし、塗料の溶剤等に使用される表面蒸散型のVOCに比べて低減量は少なかった。

住宅EのVOC測定結果を第11表に示す。住宅D

第10表 竣工後1年以上経過した住宅DのVOC測定結果

Table 10. Indoor air quality of house D measured 13 months after the inhabitants have moved in.

化学物質名 VOC	竣工直前 Before moving in		竣工13か月後 After 13 months	
	a室 Room a (26.5)	b室 Room b (27.2)	a室 Room a (25.3)	b室 Room b (25.9)
ホルムアルデヒド Formaldehyde	55	52	34	39
アセトアルデヒド Acetaldehyde	497	461	124	130
メチルエチルケトン Methylethylketone	307	515	3	65
トルエン Toluene	198	394	15	148
ノナン Nonane	171	421	2	-
-ピネン -Pinene	246	462	270	328
リモネン Limonene	48	296	31	35
ウンデカン Undecane	228	785	0	0

括弧内は室内温度。 (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Parenthetic values are room temperatures. (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

第11表 竣工後1年以上経過した住宅EのVOC測定結果

Table 11. Indoor air quality of house E measured 13 months after the inhabitants have moved in.

化学物質名 VOC	竣工直前 Before moving in		竣工13か月後 After 13 months	
	a室 Room a (21.3)	b室 Room b (22.6)	a室 Room a (27.4)	b室 Room b (29.8)
ホルムアルデヒド Formaldehyde	23	23	38	46
アセトアルデヒド Acetaldehyde	256	250	189	200
トルエン Toluene	106	148	15	16
-ピネン -Pinene	270	328	94	148

括弧内は室内温度。 (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Parenthetic values are room temperatures. (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

同様、竣工直後にはアセトアルデヒドが高濃度であり、1年以上経過した段階でもかなり高い濃度を維持していた。

4.2.5 長期間VOCが高濃度で持続した場合のまとめ

住宅D、Eで1年以上高濃度で持続していたアセトアルデヒドの放散源は明らかではないが、内部拡散型の放散をしているものと考えられることから、今後もかなり長い期間放散する可能性がある。

5. 塗料のVOC放散の経時的減衰

竣工直後の住宅の室内空气中に塗料などの溶剤に使用されたとされるVOCが多く見られたことから、塗装してからどの程度時間が経過すると十分に低い濃度になるかを検討するために、合成塗料より養生時間が長い自然系塗料から放散されるアルデヒド類およびVOCの経時的減衰を測定した。

5.1 試験方法

5.1.1 試験体

自然系塗料には2種類の塗料(LC, LK)を1:1で混合したものを用いた。基材には、ナラフローリングを用いた。メーカーによる塗料の構成成分表示を第12表に示す。

第12表 自然系塗料の構成成分(メーカー表示)
Table 12. Constituents of natural paint provided by the manufacturer.

商品 Products	構成成分 Constituent
LC	アマニオイル, アマニスタンドオイル天然樹脂エステル, アマニウッドスタンドオイル, 酸化鉄, 天然樹脂グリセリンエステル, アマニスタンドオイル, オレンジピールオイル, イソアリファアテ, マイクロワックス, パインオイル, ローズマリーオイル, 無鉛乾燥剤 Linseed oil, Linseed/stand oil/natural resin ester, Linseed/wood oil/stand oil, Iron oxide, Natural resin glycerol ester, Linseed stand oil, Orange peel oil, Isoaliphate, Microwax, Pine oil, Rosemary oil, Lead-free drying agents
LK	アマニスタンドオイル天然樹脂エステル, アマニオイル, アマニスタンドオイル, アマニウッドスタンドオイル, オレンジピールオイル, マイクロワックス, イソアリファアテ, 土壌鉱物系顔料(無毒), アルミナ, 無鉛乾燥剤 Linseed/stand oil/natural resin ester, Linseed oil, Linseed stand oil, Linseed/wood oil/stand oil, Orange peel oil, Microwax, Isoaliphate, Mineral pigments, Alumina, Lead-free drying agents

ナラフローリングは8 × 16cmのものを2枚はぎ合わせて16 × 16cmとし、試験に使用した。

塗料の塗布は2回行い、1回目の塗布と2回目の塗布の間は28 で24時間養生し、2回目の塗布後は28 でおよそ6時間養生して試験に供した。

5.1.2 放散物質の測定および分析

試験体にシールボックスを装着して、20Lの小形チャンパー内に設置した。このときの試料負荷率は2.2m²/m³とし、温度28、相対湿度50%に調節された清浄空気を、換気回数0.5回/h(流量167mL/min)で流した。

放散物質の捕集は、チャンパー内に試験体を設置後、1, 3, 7, 14, 28日間経過後に行った。アルデヒド・ケトン類にはDNPHアクティブサンプラー(スペルコ製)を用い、流量167mL/minで5.0L捕集し、その後HPLCで分析した。VOC類は、捕集剤としてTenax-TA/Carboxen 1000を用い、流量10mL/minおよび100mL/minでそれぞれ0.1Lおよび1.0Lの2条件で捕集し、加熱脱着-GC/MSで分析した。

5.2 試験結果

第13表に塗布後1日目のVOC放散量測定結果を示す。試験に供した自然系塗料は塗布直後には多くのVOCが放散していた。

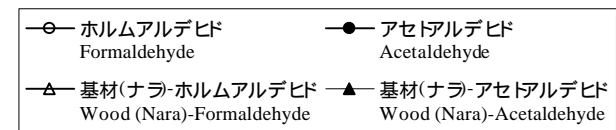
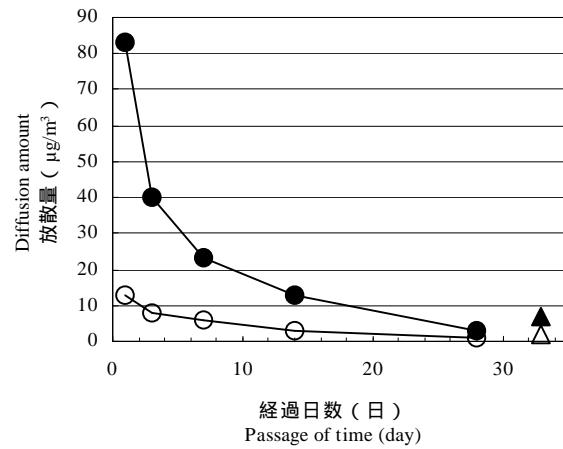
第14図にアルデヒド類と経過日数との関係を示した。アセトアルデヒドは塗布3日後には40 μg/m³の高い放散量を示したものの、塗布7日後には23 μg/m³、塗布14日後には13 μg/m³と放散量は日数が経過するにつれて大きく低下していき、28日後にはほとんど放散が見られなかった。ホルムアルデヒドに関しては、塗布直後においても放散値が13 μg/m³、すなわち放散速度においてもおよそ3 μg/m²hと問題のない値であった。

第15図にVOCの放散量の経時変化を示した。なお、今回はそれぞれの測定時に放散量の多かったもの上位10物質の放散量の総量をVOC₁₀として表示した。VOC₁₀は塗布直後および3日後では、顕著な放散が見られたが、塗布後7日目以降、その放散量は大きく低下した。この結果から、この塗料については1か月程度でTVOCが十分低く減衰することが示された。

第13表 塗布後1日目のVOC放散量

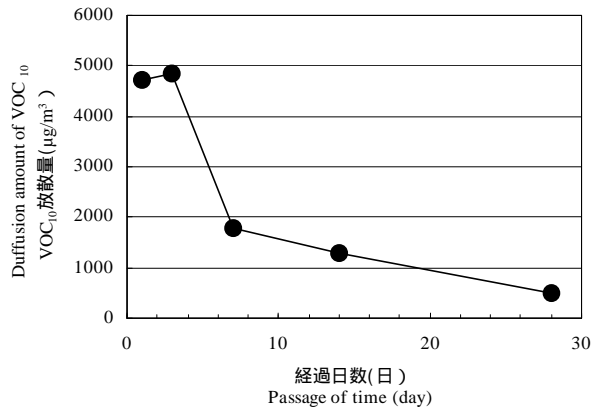
Table 13. VOC diffusion one day after painting.

化学物質名 VOC	放散量 (μg/m ³) diffused amount
テトラデカン Tetradecane	2829
アセトン Acetone	435
リモネン Limonene	353
2-プロパノール 2-Propanol	219
デカン Decane	212
ドデカン Dodecane	199
メチルエチルケトン Methyl ethyl ketone	139
ヘプタン Heptane	129
オクタン Octane	102
エタノール Ethanol	43
ヘキサン Hexane	25
ノナン Nonane	18
トリデカン Tridecane	17
1,2,4-トリメチルベンゼン 1,2,4-Trimethylbenzene	15
o-エチルトルエン o-Ethyltoluene	13
ベンゼン Benzene	12
1-ブタノール 1-Butanol	11
m-,p-エチルトルエン m-,p-Ethyltoluene	10
メチルイソブチルケトン Methylisobutylketone	9
1,3,5-トリメチルベンゼン 1,3,5-Trimethylbenzene	4
ヘキサデカン Hexadecane	4



第14図 アルデヒド類放散量の経時変化

Fig. 14. Relationship between amount of aldehyde diffusion and the passage of time.



第 15 図 VOC₁₀ の放散量の経時変化
Fig.15. Relationship between amount of VOC₁₀ diffusion and the passage of time.

6. まとめ

測定結果をまとめると、次のようになる。

- 1) 新築住宅のVOCを測定した結果、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、テトラデカンが一部の住宅で指針値を超過していたが、指針値が示されているその他のVOCは低い濃度であった。アセトアルデヒドは低濃度から高濃度まで幅広く分布していた。こういった過程でアセトアルデヒドが生成されるかについては、今後さらに検証する必要がある。
- 2) 住宅の気密性能は、ほとんどの住宅で省エネルギー基準におけるI,II地域の相当隙間面積の基準(2.0cm²/m²)を満たしていた。
- 3) 換気装置が通常運転の状態では換気量が少ない住宅が見られた。このような住宅は、新築時に十分な窓開けなどによる換気を行う必要がある。
- 4) 建材から放散するVOCは、トルエン、キシレン、エチルベンゼンなどの指針値が定められている化学物質の濃度は低くなっているが、メチルエチルケトン、酢酸エチル、酢酸ブチルなどの指針値がない化学物質の濃度が高い住宅が多く見られた。
- 5) 溶剤として使用されているVOCは、表面蒸散型の放散をしていることから、1か月程度で十分低

濃度になる。そのため、養生時にしっかりと換気を行う必要がある。

- 6) ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドについては、短期間に低減しないものがあった。これは、内部拡散型の放散をしているためと予想される。この場合は、長期間にわたって十分な換気を行う必要がある。

文 献

- 1) 厚生労働省医薬局審査管理課，化学物質安全対策室：“シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討中間報告書 - 第8回～第9回のまとめについて - ”，2002 .
- 2) 文部科学省青少年局学校健康教育課：“学校環境衛生の基準”，2004 .
- 3) (財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター：“平成17年度室内空気に関する実態調査 報告書 概要版”，2006 .
- 4) 秋津裕志，伊佐治信一，朝倉靖弘，平林靖，梅原勝雄：林産試験場報 20(3)，8-13(2006) .
- 5) 伊佐治信一，折橋健，秋津裕志，石井誠：林産試験場報 19(3)，7-12(2005) .
- 6) J. J. Hoetjer: Rept. Methanol Chemi Nederland, 1978.
- 7) 井上明生：木村工業 52(1)，9-14 (1997) .
- 8) 山田裕巳，上原浩二，林基哉：日本建築学会計画系論文集 第543号，57-63(2001) .
- 9) 鈴木昌樹，朝倉靖弘，秋津裕志，石井誠：日本木材学会支部講演集 第36号，札幌，2004 pp.15-18 .

- 性能部長 -

- *1：性能部 接着塗装科 -

- *2：性能部 性能開発科 -

- *3：技術部 合板科 -

- *4：技術部 成形科 -

- *5：道立北方建築総合研究所 -

- *6：道立衛生研究所 -

(原稿受理：07.3.30)