

# アルデヒド類・VOCs による室内空気汚染に関する 実験室及び現場測定による基礎的研究

## A Basic Study on Indoor Air Pollution of Aldehyde Compounds and VOCs by Laboratory and Field Measurements

平成 14 年 2 月 8 日

February 8, 2002

名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻

Department of Geotechnical and Environmental Engineering, Nagoya University

山口紀宏

Norihiro YAMAGUCHI

### 要 旨

本研究はチャンバー、FLEC を用いて建材、家具からのアルデヒド類・VOCs 放散速度を測定し、一方、実験住宅で気中濃度を測定することで室内空気汚染の実態を把握するとともに、建材、家具での測定結果から予測式を用いて現場測定気中濃度を予測した。チャンバー法に関しては、測定方法が未成熟でよい知見が得られなかった。一方、FLEC 法での放散速度測定結果は瞬時一様拡散モデルを用いると現場測定気中濃度と相関関係が認められ、瞬時一様拡散モデルは VOCs に関しては有用であることが確認された。しかし、ホルムアルデヒドに関しては VOCs と同じ手法では説明できず、瞬時一様拡散モデルを基に再吸着などを考慮に入れて検討する必要がある。

### ABSTRACT

This paper grasped the actual condition of indoor air pollution by measuring Aldehyde compounds and VOCs emission rate from building materials and furniture using a chamber and FLEC and their air concentrations in experimental residence, and predicted their air concentrations from results of emission rate. There wasn't a good result of measurements with a chamber because measurement method wasn't come on. However, predictive concentrations calculated from emission rate to measure with FLEC find correlation relationships with concentrations of field measurements for VOCs. But, Formaldehyde can't be explained in the same way to VOCs, therefore it is necessary to consider including reabsorption.

## 目 次

1	序章	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	2
1.3	既往の研究	2
1.4	研究の概要	3
2	測定対象揮発性有機化合物および測定方法	4
2.1	測定対象揮発性有機化合物	4
2.2	測定方法	4
2.3	捕集剤	4
2.4	分析方法	5
3	実験室でのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定	5
3.1	はじめに	5
3.2	チャンバーを用いたアルデヒド類・VOCs 放散量の測定	6
3.2.1	実験施設	6
3.2.2	建材からのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定	7
3.2.2.1	測定概要	7
3.2.2.2	測定結果	7
3.2.3	家具からのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定	8
3.2.3.1	測定概要	8
3.2.3.2	測定結果	8
3.3	FLEC を用いたアルデヒド類・VOCs 放散量の測定	9
3.3.1	FLEC について	9
3.3.2	RC 造実験住宅 1	10
3.3.2.1	測定概要	10
3.3.2.2	測定結果	11
3.3.3	RC 造実験住宅 2	11
3.3.3.1	測定概要	11
3.3.3.2	測定結果	11
3.3.3.3	測定方法および経時変化に関する考察	12
3.4	パッシブ法のアクティブ法との比較実験	13
3.4.1	測定概要	13
3.4.2	測定結果	13

4	実験住宅での現場測定	14
4.1	はじめに	14
4.2	木造戸建実験住宅	14
4.2.1	測定対象	14
4.2.2	測定条件	15
4.2.3	測定結果	15
4.3	RC造実験住宅1	18
4.3.1	測定対象	18
4.3.2	測定条件	18
4.3.3	測定結果	19
4.4	RC造実験住宅2	22
4.4.1	測定対象	22
4.4.2	測定条件	22
4.4.3	測定結果	23
4.5	パッシブサンプラーを用いた現場測定	25
4.5.1	測定概要	25
4.5.2	測定結果	25
5	簡易予測式を用いた考察	26
5.1	はじめに	26
5.2	RC造実験住宅1	27
5.3	RC造実験住宅2	28
5.4	家具の搬入に伴う濃度上昇予想	29
6	終章	30
6.1	まとめ	30
6.2	今後の課題	32
	謝辞	33
	参考文献	34
	付録	

# 1 序章

## 1.1 研究の背景

近年、シックビル・シックハウス\*などの室内空気汚染が新聞などのマスコミでよく取り上げられている。図-1.1<sup>1)</sup>に室内空気質問題の背景を示すが、これまで住宅内での室内空気汚染といえば古くは火鉢から開放式燃焼器具に至る窒素酸化物や一酸化炭素、二酸化炭素による汚染やカビやダニなどが知られていたが、最近では建材、接着剤などに含まれるホルムアルデヒドや VOCs ( Volatile Organic Compounds、揮発性有機化合物) による有機性の化学物質による汚染が大きな問題になっている。図-1.2<sup>2)</sup>に 1998 年に財団法人ベターリビングの住宅部品 PL センターに寄せられた相談をキーワードで分類したものであるが VOC 被害に関するものが 36% を占めている。これらの化学物質を使うことによって建材の品質を容易に均一に確保でき、接着剤を使うことにより工期を短縮し、熟練工をあまり必要としないというメリットがあるものの、わずかでも放出されることによって人体に表-1.1<sup>3)</sup>に示すような影響を与える可能性がある。

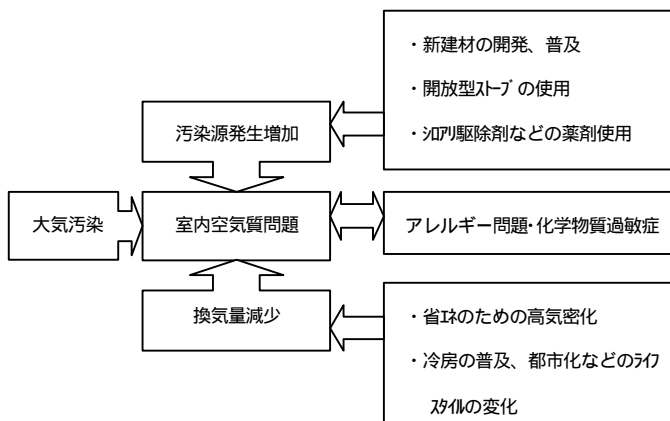


図-1.1 室内空気質問題の背景 1)

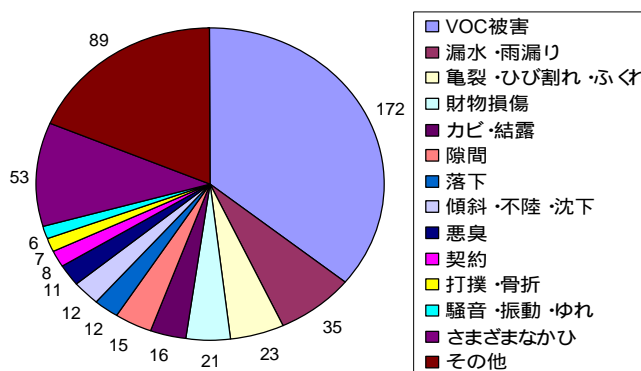


図-1.2 相談件数 2)

さらに近年、地球環境問題の観点から建物の高気密、高断熱化が急速に進むことによって換気量が不足するケースも多く室内空気質問題をより深刻なものにしている。

日本では、1996年に新進党、平田米男議員(当時)の国会でのシックハウスに関する質問趣意書がきっかけとなり、1997年より現在までに厚生労働省がホルムアルデヒド等の化学物質に関して室内濃度指針値<sup>5)</sup>を表-1.2に示すように11物質について定めており、今後もWHO空気質ガイドライン<sup>7)</sup>に掲載されている物質数である、50物質程度を目標に、年間8物質程度づつ、整備していく予定がある<sup>8)</sup>。また、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づいて住宅性能表示制度では居室に使用される木質建材からのホルムアルデヒド放散量や室内の化学物質濃度について評価の対象となっている<sup>9)</sup>。しかし、実際には室内濃度指針値を大幅に越えている例も多く存在している。また、仮に十分注

表-1.1 人体に与える影響

化学物質過敏症の症状 <sup>3)</sup>
自律神経障害: 発汗異常、手足の冷え、易疲労性
精神障害: 不眠、不安、うつ状態、不定愁訴
末梢神経障害: 運動障害、四肢末端の知覚異常
気道障害: 喉の痛み、乾き
消化器障害: 下痢、便秘、悪心
眼科的障害: 結膜の刺激症状
循環器障害: 心悸亢進
免疫障害: 皮膚炎、ぜん息、自己免疫疾患
WHO定義によるシックビルディング症候群の症状 <sup>4)</sup>
1.眼、特に球結膜、鼻粘膜および喉の粘膜刺激症状
2.粘膜の乾燥
3.皮膚の紅斑、じん麻疹、湿疹
4.易疲労感
5.頭痛、頻発する気道感染
6.息が詰まる、喘鳴
7.非特異的な過敏症
8.めまい、吐気、嘔吐

表-1.2 室内濃度指針値<sup>5)</sup>

Compounds	指針値
ホルムアルデヒド	100
トルエン	260
キシレン	870
パラジクロロベンゼン	240
イソクロロベンゼン	3800
スチレン	220
クロロホルム	0.10
フタル酸ジ-n-ブチル	220
トランス	330
フタル酸ジ-2-エチルキサンチン	120
ダイアジン	0.29
アトアルデヒド	48 <sup>(e1)</sup>
フェルカルブ	33 <sup>(e1)</sup>
ナール	41 <sup>(e2)</sup>
TVOC	400 <sup>(e3)</sup>

単位は μg/m<sup>3</sup> \*1:現在提案中  
\*2:現在審議中 \*3:暫定目標値

\*付録 A1 参照

意されて計画・設計・施工がなされても、汚染物質は建材やクロスの接着剤等だけでなく、家具や電化製品からも発生しており、対策の進んできた建材に比べて家具は対策が遅れている場合があり、主要な汚染源となる可能性があり、居住者の生活方法によっても室内空気質に大きな影響を引き起こすことがある。

## 1.2 研究の目的

本研究では実験室でのチャンバーや FLEC を用いて建材や家具からの化学物質放散量を測定するとともに実際にその建材や家具が使用されている実験住宅で現場測定することによって実態を把握し、実験室測定の結果から簡易な予測式を用いて気中濃度を予測し、現場測定と比較することで濃度予測の可能性について基礎的検討を行なうことを目的とする。

## 1.3 既往の研究

室内空気質に関する研究は 1996 年以降、多くの研究が行われており、住宅での現場測定やチャンバーを使った建材からの放散速度の測定だけでなく、意識調査や化学物質の低減・除去技術など多岐に渡っている。ここでは本研究に関連のある既往の研究の概要を以下に示す。

### (1) 建材・家具の測定

建材・家具の測定はデシケータや様々なチャンバーを用いて数多くの研究が行なわれている。土橋ら<sup>10)</sup>は市販家具 10 種類、作り付け家具 19 品についてチャンバーを用いてホルムアルデヒドの放散速度を測定している。使用建材が F1\*、E0\*を使用しているものは放散速度が低く、大変効果があると報告している。また、布施ら<sup>11)</sup>はデシケータ法を用いて 9 種類の内装部材(クロス 3 種類(RAL\*認定、ISM\*認定、規格外)、フローリング 2 種類(F1、F2)、合板 2 種類(F1、F2)、パーティクルボード 2 種類(E0、E1))について放散速度を測定し瞬時一様拡散と仮定し測定した放散速度を用いて濃度予測を行なっている。予測式は気中濃度=放散量総和÷換気回数÷気積となっている。また、同時に 10 戸で実測調査を行ない濃度予測と実測結果とを比較している。ホルムアルデヒドに関して、計算濃度は実測濃度の約 4 倍程度大きくなる傾向が見られ、この原因として部材から放出されたホルムアルデヒドが内装部材に再吸着したことを挙げている。TVOC に関して、計算濃度と実測濃度が近い値を示した。田辺<sup>12)</sup>は 1998 年 3 月に竣工した化学物質汚染低減化対策を行なった実験戸建住宅で 1998 年 6 月、8 月、10 月の 3 度にわたって気中濃度と FLEC を用いて床、壁、天井、扉等を測定している。ホルムアルデヒドに関して気中濃度は厚生労働省ガイドライン値の 0.1mg/m<sup>3</sup>以下であった。放散速度は 0.04~0.01mg/m<sup>2</sup>h で従来の F2 床材と比較してかなり低い結果となったと報告している。浅井や伴野ら<sup>13)14)</sup>は新築集合住宅や実大モデルルームで FLEC を用いて部位別放散速度を測定し、ホルムアルデヒドや TVOC\*の部位別寄与率(寄与率=ある部位の放散量÷総放散量×100)や気中濃度の算出(気中濃度=放散量総和÷換気回数÷気積)を行なっており、ホルムアルデヒドの主な発生源は床であると報告している。また、TVOC の濃度予測値と実測値は近似していたと報告している。

### (2) 住宅での現場測定

住宅での現場測定もまた換気方式や測定方法による気中濃度の違いについてや経時変化による濃度変化など多くの研究が行われている。瀧ヶ崎ら<sup>15)16)</sup>は集合住宅の実大実験を行っており、竣工後のホルムアルデヒド濃度の測定や換気方式によるホルムアルデヒド濃度の比較を行っている。FANAT\*や DNPH や検知管を用いて測定を行ない、換気方式の違いによるホルムアルデヒド濃度の差異について述べており、機械換気(3種、1種)時の濃度は自然換気時より濃度が低くなる傾向があることを報告している。また、桑沢ら<sup>17)18)</sup>は完成直後の居住開始前の集合住宅や施工中、完成後の木造住宅において空気質測定を行っている。ここでは完成直後の集合住宅では室の特徴により濃度が異なると報告している。また、内装の表面材や換気の関係が大きいと述べている。木造住宅での調査ではトルエンと  $\alpha$ -ピネンの濃度が他の化学物質に比べ高濃度であった。クロス貼り前後を比較するとホルムアルデヒド濃度が上昇していることが確認されてい

る。熊谷ら<sup>19)</sup>が築10年以上経過したRC造集合住宅を用いて夏期と冬期に既存の内装を撤去した後に3種類の内装材仕様について施工中から施工後2ヶ月間測定を行なっている。内装完了時の濃度はホルムアルデヒドの放散が多いと予想されたA室では冬期227mg/m<sup>3</sup>、夏期111mg/m<sup>3</sup>、一般的に使用されている材料を使用したB室では冬期151mg/m<sup>3</sup>、夏期85mg/m<sup>3</sup>、ホルムアルデヒドの放散が少ないと予想されたC室で冬期127mg/m<sup>3</sup>、夏期17mg/m<sup>3</sup>という結果となり、C室のホルムアルデヒドはいずれの段階でも最も濃度が低くホルムアルデヒド放散についての対策が施されている材料を使用することは有効であるという結果となった。また、24時間換気はホルムアルデヒド濃度が高い場合、効果はないが工事完了以後は効果が高かったことを報告している。坊垣ら<sup>20)</sup>は中部地方のRC造集合住宅を対象に内装工事が始まる段階から引き渡し直前までに合計11回にわたってアルデヒド類を24時間の連続測定を行なっている。連続測定の結果、夜間の密閉時がもっとも高濃度で朝になり作業が始まるとともに濃度が低下するという結果となった。

#### 1.4 研究の概要

図-1.3に研究の概要を示すが、本研究は6章からなり、第1章では研究の背景、目的について述べ、既往の研究を紹介している。第2章では本研究で対象とした揮発性有機化合物を示すとともに用いた測定方法、捕集剤、分析方法について述べている。第3章では実験室を中心にチャンバーやFLECを用いて建材、家具からのアルデヒド類、VOCs放散量の測定とパッシブサンプラーのアクティブ法との比較実験について報告している。第4章では木造実験住宅とRC造実験住宅2棟について現場測定した結果を報告している。第5章では3章で得られたデータを基に瞬時一様拡散と仮定し濃度予測を行ない4章で得られた結果との比較を行なっている。第6章では終章として、本研究で行なった現場測定、実験室測定での知見をまとめ、濃度予測の可能性、および今後の課題について述べる。

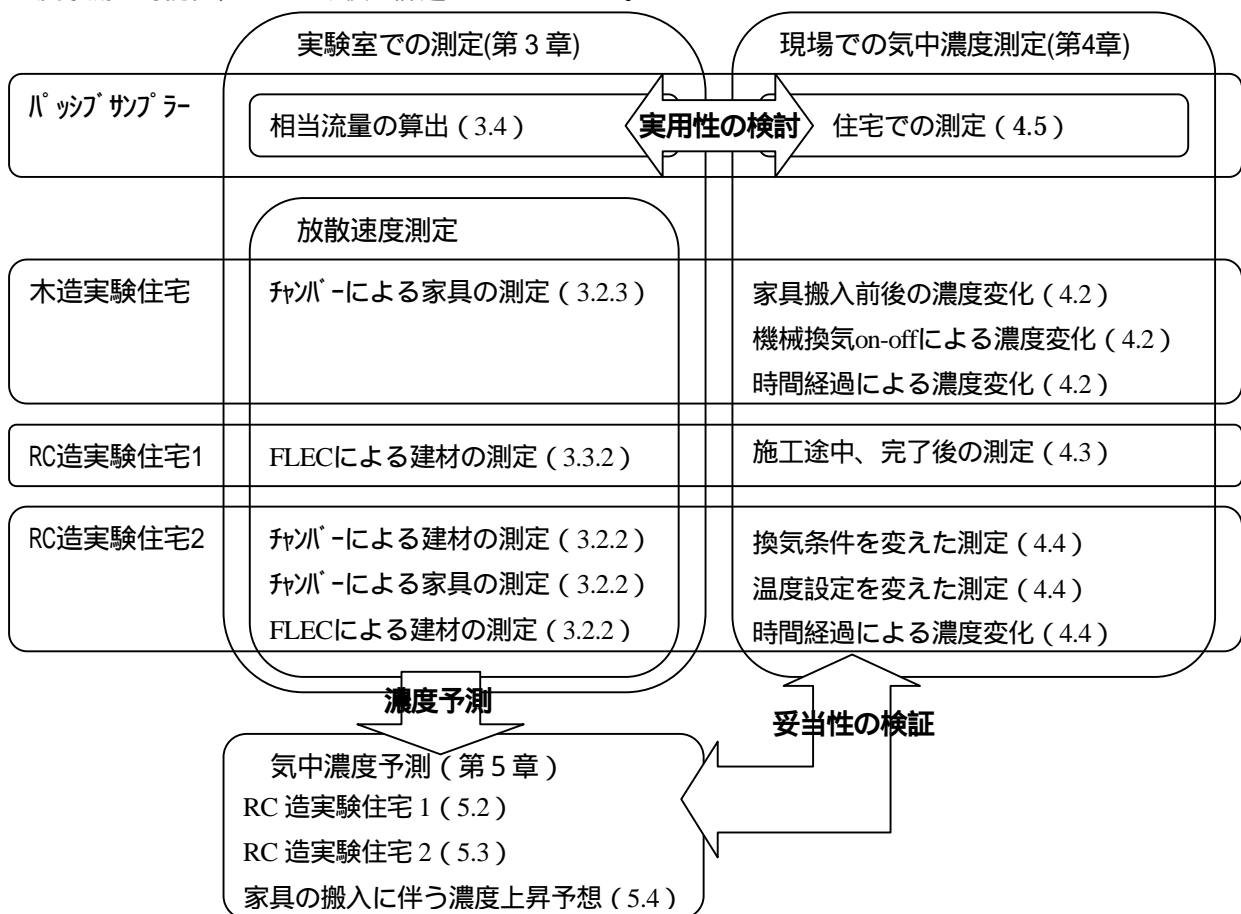


図-1.3 本研究の流れ

## 2 測定対象揮発性有機化合物および測定方法

### 2.1 測定対象揮発性有機化合物

本研究で取り上げる化学物質を表-2.1に示す。本研究ではホルムアルデヒド、アセトアルデヒドのアルデヒド類とその他の物質とで捕集剤・分析方法が異なるのでホルムアルデヒド、アセトアルデヒドをアルデヒド類、その他の物質をVOCsと呼称する。なお、本研究では主にホルムアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、m,p-キシレン、o-キシレン、スチレンを取り上げる。それぞれの化学物質に関するデータは付録A2を参照。

表-2.1 対象化学物質

分類	化学物質
アルデヒド類	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド
芳香族炭化水素類	トルエン、m,p-キシレン、o-キシレン、スチレン、ベンゼン、エチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,3-トリメチルベンゼン、1,2,4-トリメチルベンゼン
脂肪族炭化水素類	メタン、エタン、プロパン、ブタン、ペンタン
テルペン類	リモネン、ピネン
ハロゲン類	パーフルオロベンゼン

### 2.2 測定方法

アルデヒド類、VOCsの測定方法にはアクティブ法、パッシブ法、グラブ法が挙げられる。アクティブ法は捕集管にポンプを接続して空気を吸引し、対象物質を捕集する方法で積算流量計を用いることにより正確な吸引量を求めることができる。一般的に使用されることが多い方法である。パッシブ法はポンプを使用しないため捕集は簡便であるが、捕集速度が不明なので相当捕集速度をあらかじめアクティブ法との比較実験により求める必要がある。本研究ではVOCsのパッシブサンプラーについてアクティブ法との比較実験を行った。(3.4参照)グラブ法はステンレスまたはアルミニウムキャニスターを真空にした後に、そのキャニスター内に空気試料を捕集する方法である。この方法は容器の再利用が可能であるが、試料採取装置が高価な上、捕集のたびに容器の洗浄を必要とするなど扱いが煩雑である。本研究ではアルデヒド類、VOCsともにアクティブ法を採用した。使用したポンプはアルデヒド類がGASTEC製GSP-2LFTとSHIBATA製MP-300、VOCsはGASTEC社製GSP-250FTとSHIBATA製MP-30である。

### 2.3 捕集剤

捕集剤はアルデヒド類とVOCsとでは異なったものを使用し、本研究ではアルデヒド類はSep-Pak DNPH Silica Cartridge (Waters社製、写真-2.1参照)を使用した。この捕集剤はアルデヒド、ケトン類の測定には広く使用されており、DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine) がアルデヒド、ケトン類に対して誘導体を生じさせることによって捕集する。本研究では捕集後、捕集管にシリンジを取り付け、アセトニトリル 5ml を用いて抽出し、この溶液 20μl を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)に導入して分析した。VOCs に関して本研究では捕集管に活性炭の一種であるCarbopack BとCarboxen 1000を充填して使用した(写真-2.1参照)。この他の捕集媒体として試薬の着色の程度により短時間でガス濃度を読み取る検知紙・検知管、VOCsの捕集に多用されている2,6-Diphenyl-p-phenylene oxide ベースのTenax TA等がある。



写真-2.1 捕集剤

(上: Sep-Pak DNPH Silica Cartridge)

(下: Carbopack B, Carboxen 1000)

## 2.4 分析方法

本研究ではアルデヒド類の分析は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を用いた。分析条件を表-2.2 に示す。一方、VOCs は捕集後、加熱脱着装置に装着し、加熱脱着後、ガスクロマトグラフィー質量分析計(GC/MS)に導入した。ガスクロマトグラフィー質量分析計の分析条件を表-2.3 に示す。定量用標準ガスには高千穂化学工業製 38 種混合標準ガスを用いた。

表-2.2 HPLC 分析条件

Instrument	Separation module: Waters2690 Dual Absorbance Detector: Waters2487
Column	SHINWA CHEMICAL INDUSTRIES, LTD STR ODR- 4.6mmI.D. × 150mmL
Oven Temp.	40
Carrier	CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O=60:40
Flow Rate	0.9ml/min
Injection Volume	20 μl
Detection	360nm

表-2.3 GC/MS 分析条件

Instrument	SATURN2000
Column	J&W SCIENTIFIC 122-5562 DB5MS Length 60m ID 0.25mm Film 0.25um
Oven Temp.	35 (10min) 5 /min 250 20 /min 300 (10min)
Carrier Gas	N <sub>2</sub>

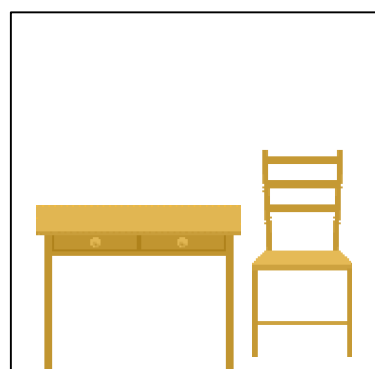
## 3 実験室でのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定

### 3.1 はじめに

本章では実験室で行った測定について報告する。実験室で行われるアルデヒド類・VOCs 放散量の測定方法として、素材測定法(パーティラップ法)、デシケータ法、チャンバー法などが挙げられる<sup>1)</sup>。素材測定法は材料を粉砕することにより成分を方法、デシケータ法は JAS で採用されている方法でデシケータ中に水を張り内部に材料を設置し、水に溶けたホルムアルデヒド濃度を測定する方法である(写真-3.1 参照)。チャンバー法は小型 2 種類と大型の計 3 種類からなり、図-3.1 に示すように小型は材料表面にチャンバーを設置する方法とチャンバー内に材料を設置する方法、大型は家具などの大きな材料が内部に設置できるチャンバー法である。本研究ではチャンバー法を用いているが 3.2 ではステンレスチャンバー(小型 2 と大型に相当)を用いて建材と家具についてアルデヒド類・VOCs の放散量を測定した。建材は 4 章で現場測定を行った RC 造実験住宅 2 で使用されている建材のカットモデルを測定し、家具は RC 造実験住宅 2 で使用されている靴箱、システムキッチン、洗面化粧台と木造戸建実験住宅で使用している書棚と食器棚について化学物質放散量の測定を行った。3.3 では FLEC(小型 1 に相当)を用いて RC 造実験住宅 1 と RC 造実験住宅 2 に使用されている建材の化学物質放散量の測定を行った。(RC 造実験住宅 1 は現場で測定)また、RC 造実験住宅 2 の建材についてチャンバー法と FLEC 法の比較や放散速度の経時変化について考察を行なう。3.4 では VOCs 用のパッシブサンプラーについて相当吸引速度を求めるため、アクティブ法との比較実験を行った。



写真-3.1 デシケータ<sup>2)</sup>



大型

図-3.1 チャンバー法

### 3.2 チャンバーを用いたアルデヒド類・VOCs 放散量の測定

#### 3.2.1 実験施設

表-3.1 チャンバー概要<sup>3)</sup>

本研究では温度・湿度・換気量等が制御可能な大小2つのステンレス製チャンバーを用いて測定を行った。それぞれのチャンバーの概要<sup>2)</sup>を表-3.1に、使用したチャンバーを写真-3.2に示す。

	ラージチャンバー	スモールチャンバー
容積	54m <sup>3</sup> (5×4×2.7m)	0.5m <sup>3</sup>
気温	10~35 (±0.5)	10~35 (±1.0)
湿度	20~80% (±5.0%)	30~80% (±5.0%)
空気量	1.7~8.5m <sup>3</sup> /h (±3.0%)	0~10m <sup>3</sup> /h (±5.0%)

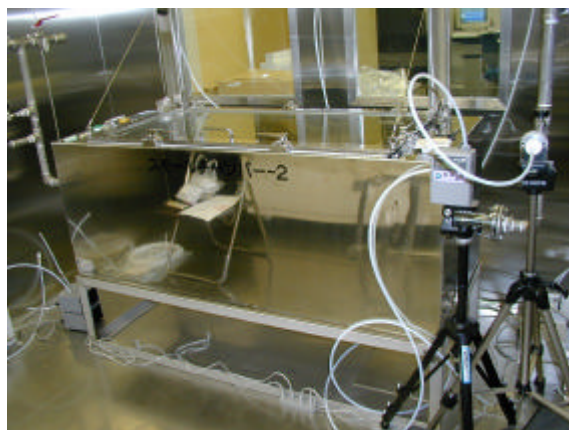


写真-3.2 実験施設 (左:スモールチャンバー、右:ラージチャンバー)

#### 3.2.2 建材からのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定

##### 3.2.2.1 測定概要

RC造実験住宅2で使用されている建材について、30cm角の試験体を作成しスモールチャンバー2を用いて2000年6月から8月にかけてと一部の建材に関しては2001年8月から9月にかけてそれぞれ測定を行った。付録A3に試験体概要を示しているが、A室、B室、居間は、23種類の建材で構成されており、2000年はそれぞれについて温度23℃、相対湿度50%、換気回数1回/hの条件で、捕集は試験体をチャンバー内へ搬入する前と搬入5時間後と6時間後に搬入前が給気口と排気口の2箇所、搬入後は排気口のみでアルデヒド類は500ml/minで30リットル、VOCsは167ml/minで10リットル行った。2001

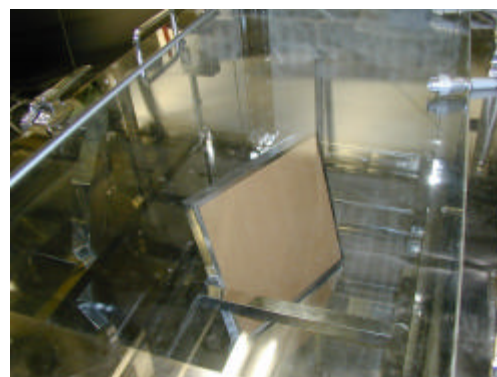


写真-3.3 測定風景

年は温度25℃、相対湿度50%、換気回数0.5回/hの条件で測定を行ない、アルデヒド類は1l/minで30リットル、VOCsは100ml/minで30リットルを建材搬入24時間後に捕集を行った。試験体はRC造実験住宅2の施工と同時期の1999年12月に作成され、化学物質が表面のみから放散されるように2組を裏面同士で合わせ、サイドはテフロンテープを用いてシールし、チャンバーに隣接した室で他の材料の影響を受けないよう保管された。また、建材No.19のふすまは測定しなかった。放散速度は以下の式を用いて求めた。

$$EF = \frac{(C - C_0) \times Q}{A} \quad (3.1)$$

EF: 放散速度 [ μg/m<sup>2</sup>・h ]    A: 試験体面積 [ m<sup>2</sup> ]

C: チャンバー出口平均濃度 [ μg/m<sup>3</sup> ]

C<sub>0</sub>: チャンバー入口濃度 [ μg/m<sup>3</sup> ]

Q: 換気量 [ m<sup>3</sup>/h ]

### 3.2.2.2 測定結果

#### (1) 2000年

表-3.2 に 2000 年 6~8 月にかけて行なったチャンバー試験結果を示す。床材である建材 1、2、3、4、5 を見ると、F1 合板（現在は F<sub>CO</sub>）である No.4 のホルムアルデヒド放散速度が床材の中で最も高い値となった。壁材に注目すると、建材 12 では対象とした化学物質すべてが、建材 11 はホルムアルデヒドをのぞく全てが検出されなかった。仕上げ材が建材 12 と同じである建材 7 と 15 をみると 15 はホルムアルデヒドが検出されたが、アセトアルデヒドや VOCs は検出されなかった。7 は 5 物質が検出され、中でもトルエンの放散速度は測定した 22 建材の中でも高い部類に入った。建具は他の部材に比べ放散速度の高い傾向にあり、特に建材 22 と建材 23 の放散速度が高かった。23 はホルムアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、*o*-キシレンで 22 建材中最も高い値を示したほか *m,p*-キシレンも測定した建材の中では高い値を示している。建材 22 のそれぞれの放散速度は建材 23 ほどではないものの *m,p*-キシレンが測定建材中最も高い値を示した。この結果より、建材 22、23 が使用されている B 室ではホルムアルデヒドが室総放散量の 54%、定量した VOCs が室総放散量の 87% が室表面積の 1 割弱しか占めていない建具から放散しており、表面積が小さくても主要な放散源になりえるので注意が必要である。

表-3.2 建材チャンバー試験結果（2000年6~8月）

建材 NO.	ホルムアルデヒド	アセトアルデヒド	トルエン	エチルベンゼン	<i>m,p</i> -キシレン	スズレン	<i>o</i> -キシレン
1	9.83	10.9	1.74	7.95	5.26	5.46	1.52
2	6.17	ND	1.92	13.5	19.8	22.5	5.92
3	13.8	3.72	ND	ND	ND	ND	ND
4	19.0	1.74	7.46	0.670	0.690	2.11	0.291
5	3.93	ND	29.4	0.198	0.311	0.132	0.086
6	0.758	6.68	2.07	ND	ND	ND	ND
7	3.73	0.352	23.9	ND	1.16	3.67	ND
8	5.06	19.5	0.245	ND	ND	ND	ND
9	13.2	22.2	4.65	0.158	0.171	1.53	0.136
10	9.36	ND	ND	0.008	0.017	0.293	0.145
11	0.935	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13	5.68	17.9	1.72	0.012	0.545	0.134	ND
14	0.437	1.80	2.02	0.360	0.862	0.965	0.877
15	1.88	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16	9.19	1.39	ND	0.680	1.44	ND	0.821
17	1.68	1.66	3.84	1.73	5.01	1.76	1.08
18	3.02	0.827	6.81	15.2	23.8	0.991	5.50
20	ND	16.2	ND	0.036	ND	ND	ND
21	24.1	ND	1.63	0.417	1.03	0.323	ND
22	16.3	4.27	35.0	48.1	190	1.18	31.8
23	124	ND	161	82.3	189	6.53	94.2

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ND:検知せず

#### (2) 2001年

表-3.3 に 2001 年 8~9 月にかけて行なったチャンバー試験結果を示す。ホルムアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレン、スズレンに関して 2000 年の結果と比べると、建材 No.11 は全ての物質で、建材 No.1、6、14 はトルエンを除く全ての物質で 2001 年の方が放散速度は高い結果となった。原因として 試験体の保管方法、チャンバーシステムの汚染等が挙げられるが、同じ試験体に関して 3.3 で FLEC を用いて測定を行っており、FLEC の結果との比較を含めて 3.4 の考察で述べる。

表-3.3 建材チャンバー試験結果(2001年8月~9月)

建材 No.	1	11	6	14
ホルムアルデヒド	17.68	7.62	4.15	7.63
トルエン	0.67	0.41	0.45	1.58
エチルベンゼン	9.66	0.23	0.24	1.25
<i>m,p</i> -キシレン	15.18	0.31	0.43	3.57
<i>o</i> -キシレン	5.09	0.01	0.17	1.44
スズレン	5.51	0.28	0.43	1.58
ナフ	ND	0.61	ND	ND
ビネ	0.24	0.28	0.21	0.28
1,3,5-トリメチルベンゼン	0.03	ND	ND	0.08
1,2,4-トリメチルベンゼン	0.13	0.13	0.13	0.13
デカ	ND	1.17	0.03	3.75
1,2,3-トリメチルベンゼン	0.07	ND	ND	ND
ウンデカ	0.51	ND	ND	ND
ドデカ	ND	1.31	0.32	ND

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ND:検知せず

### 3.2.3 家具からのアルデヒド類・VOCs 放散量の測定

#### 3.2.3.1 測定概要

2000年7月～8月にわたって、ラージチャンバーを用いてRC造実験住宅2で使用されているものと同種の靴箱、システムキッチン、洗面化粧台、2001年3月～4月にわたって木造戸建実験住宅で使用されている書棚と食器棚からのアルデヒド類、VOCsの放散量を測定した。写真-3.5にシステムキッチン、写真-3.6に洗面化粧台、写真-3.7に書棚、写真-3.8に食器棚の実験風景を示す。なお、書棚は同じ書棚を背中合わせにして測定を行った。靴箱、システムキッチン、洗面台については温度23℃、相対湿度50%、換気回数1回/hの条件で測定を行ない、アルデヒド類は500ml/minで30l、VOCsは167ml/minで10リットルの捕集を行った。一方、書棚、食器棚は温度25℃、相対湿度50%、換気回数1回/hの条件で測定を行ない、アルデヒド類は1l/minで30リットル、VOCsは100ml/minで30リットルの捕集を行った。また、全ての測定においてアルデヒド類、VOCsともに給気口、排気口の2ヶ所で捕集を行った。



写真-3.4 システムキッチン

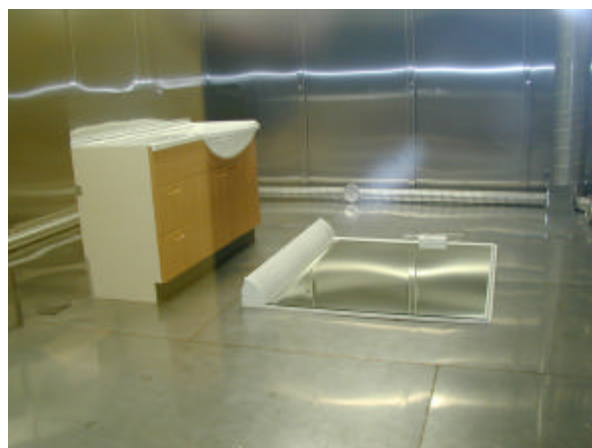


写真-3.5 洗面化粧台



写真-3.6 書棚



写真-3.7 食器棚

#### 3.2.3.2 測定結果

家具全体としての放散量は単位面積ではなく全体として扱い以下の式を用いて求めた。

$$M = (C - C_0) \times Q \quad (3.2)$$

M: 放散量 [  $\mu\text{g}/\text{h}$  ]

C: チャンバー出口濃度 [  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ]

$C_0$ : チャンバー入口濃度 [  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ]

Q: 換気量 [  $\text{m}^3/\text{h}$  ]

図-3.2 に測定結果を示す。靴箱、システムキッチン、洗面化粧台の結果を見ると、ホルムアルデヒドの放散量が最も高い結果となった。靴箱は表面積が小さいにも関わらずシステムキッチン、洗面化粧台に比べてトルエン、m,p-キシレンの放散量が 2 倍以上と高かった。これは、靴箱は搬入直前に組み立てを行なったが、その際に接着剤を使用しておりその接着剤の影響で放散量が高くなったと考えられる。また、洗面化粧台はエチルベンゼンが他の靴箱やシステムキッチンより 3 倍以上の高い値を示した。エチルベンゼンは接着剤や塗料に含まれており、洗面化粧台は接着剤や塗料が多量に使用されていた可能性がある。

書棚と食器棚の結果を見ると、書棚と食器棚ともにホルムアルデヒド放散量が最も高い結果となった。書棚 OPEN（書棚の扉が開いた状態で測定）と書棚 CLOSE（書棚の扉が閉まった状態で測定）とを比較すると、アセトアルデヒドを除き書棚を閉じた状態のほうの放散量が 4% ~ 40% 低い結果となった。これは扉を閉じることによって引出しの中など家具内部にアルデヒド類や VOCs が留まっていたと考えられる。また、書棚から検出されなかったスチレンが食器棚から多く放散していた。スチレンはポリスチレン樹脂、合成ゴム、ABS 樹脂などの原料として使用されており、引出し内にあるスプーン等を載せるトレイから放散していたことが考えられる。

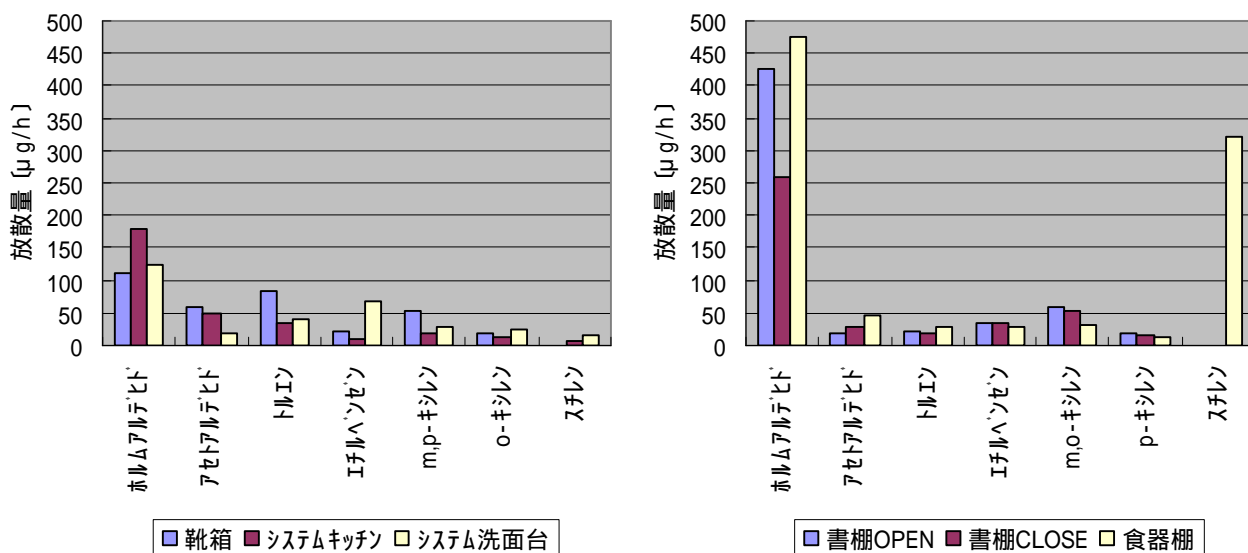


図-3.2 家具 放散速度測定結果

### 3.3 FLEC を用いたアルデヒド類・VOCs 放散量の測定

#### 3.3.1 FLEC について

FLEC<sup>4)</sup> (Field and Laboratory Emission Cell) はデンマーク国立労働衛生研究所の Peder Wolkoff 博士によって開発され、建材を壊さずに測定できるため、現場で建材から放散する化学物質を測定するのに非常に有効な手段とされている。FLEC は FLEC CELL (図-5.1 参照)、Air Control、空気清浄器からなり、測定方法は FLEC CELL を測定対象の建材に取り付け、空気清浄器からの清浄空気を Air Control で相対湿度を約 50% に加湿し、480ml/min の流量で CELL 内に導入する。そして試料採取口に Sep-Pak DNPH Silica Cartridge と VOCs 捕集管を接続し、それぞれの出口側にポンプを接続し測定を行った。

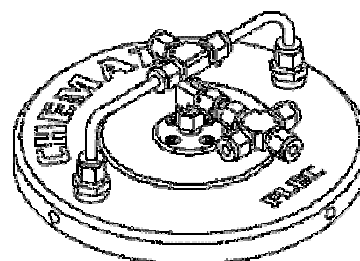


図-3.3 FLEC CELL

### 3.3.2 RC 造実験住宅 1

#### 3.3.2.1 測定概要

3.2 で現場測定を行った建築研究所 RC 造実験住宅で実際の現場で LDK、和室、2つの洋室の床、壁、天井について FLEC を用いて測定を行った。測定は 2001 年 10 月 31 日から 11 月 7 日にかけて行ない、アルデヒド類は 300ml/min で 18 リットル、VOCs が 100ml/min で 6 リットル捕集した。写真-3.8、写真-3.9 に測定風景、表-3.4 に RC 造実験住宅 1 の概要、表-3.5 に測定概要を示す。

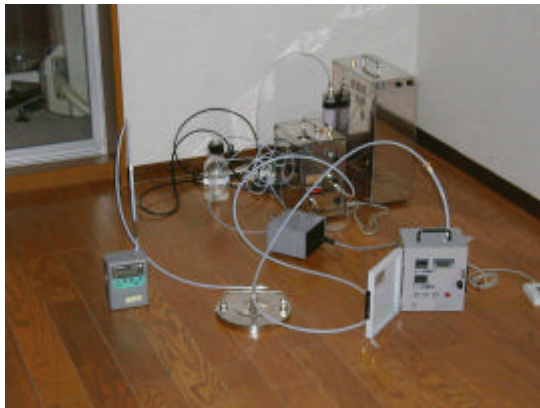


写真-3.8 FLEC 床測定風景

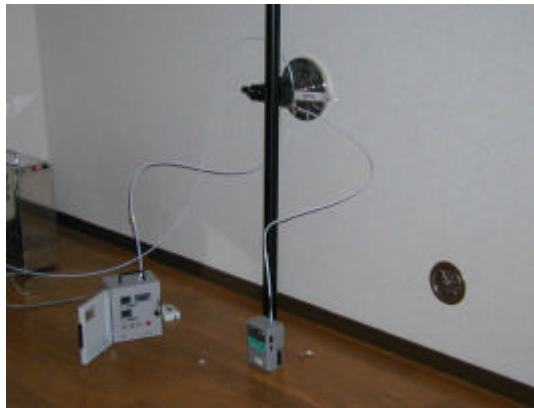


写真-3.9 FLEC 壁測定風景

表-3.4 建物概要

実験住宅概要			
構造	RC 造	住戸数	9 戸
階数	3 階	建物高さ	9.6m
床面積	956.16m <sup>2</sup>	202 室床面積	72.75 m <sup>2</sup>
内装仕様 ( )内は下地材			
	床	壁	天井
居間	70-リッパ (合板)	ビニル壁紙 (石膏ボード)	ビニル壁紙 (石膏ボード)
洋室 1・2	カーペット (フェルト、珪砂)	ビニル壁紙 (石膏ボード)	ビニル壁紙 (石膏ボード)
和室	科学芯畳	ビニル壁紙 (石膏ボード)	化粧石膏ボード

・70-リッパ、合板類は全て JIS F<sub>C0</sub> タイプ を使用

表-3.5 RC 造実験住宅 1 測定概要

室名	部位	測定開始時間	供給空気量 [ m <sup>3</sup> ]	供給空気 平均温度 [ °C ]
居間	床	10/31 14:22	0.02868	20.6
	壁	10/31 15:34	0.02852	20.3
	天井	11/01 14:04	0.02847	19.9
洋室 1	床	11/02 13:48	0.02849	19.6
	壁	11/02 15:00	0.02870	19.5
	天井	11/01 15:30	0.02852	19.3
洋室 2	床	11/05 14:30	0.02831	18.6
	壁	11/05 15:39	0.02859	18.7
	天井	11/06 14:23	0.02848	18.9
和室	床	11/06 15:41	0.02817	18.8
	壁	11/07 13:22	0.02835	18.2
	天井	11/07 14:48	0.02834	18.4

#### 3.3.2.2 測定結果

表-3.6 に測定結果を示す。それぞれの放散速度は右の式から求めた。CELL 内を正圧にするために CELL への供給空気量は捕集量より約 2 割多く供給した。また、EF<sub>0</sub> とは FLEC システム自体からの化学物質放散量で、ここではあらかじめオープンで一晩焼いてアルデヒド類、VOCs を揮発させたアルミニウム板の結果を用いた。

ホルムアルデヒドは大部分が LDK の床から放散している。LDK はホルムアルデヒド、ドデカンを除き天井からの放散が最も大きかった。洋室はほとんどの物質で床からの放散速度が最も大きく次いで天井が大きく、壁からは床に比べ放散量が微量であった。また、洋室 1 と 2 は同種の建材を使用しているが壁、天井は比較的近い値を示したが、

$$EF = \frac{m \times q}{v \times 0.0177 \times t} - EF_b \quad (3.3)$$

EF : 放散速度 [ μg/m<sup>2</sup>h ]

m : 吸着剤への吸着質量 [ μg ]

q : CELL への供給空気量 [ m<sup>3</sup> ]

v : 捕集量 [ m<sup>3</sup> ]

0.0177 : 測定部分表面積 [ m<sup>2</sup> ]

t : 捕集時間 [ h ]

EF<sub>0</sub> : ブランク値 [ μg/m<sup>2</sup>h ]

壁はドデカンを除き洋室 1 の方が高い値を示した。これは CELL への供給空気が洋室 1 の方が若干高かったためと推測される。

表-3.6 建築研究所 RC 造実験住宅 FLEC 測定結果

	LDK			洋室 1			洋室 2			和室		
	床	壁	天井	床	壁	天井	床	壁	天井	床	壁	天井
ホルムアルデヒド	46.0	ND	3.80	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.05
ベンゼン	0.026	ND	0.063	0.062	1.13	0.034	0.082	0.032	0.030	0.043	0.024	0.243
トルエン	14.4	0.425	30.7	20.8	1.28	5.26	9.79	0.718	3.66	13.8	6.36	4.02
エチルベンゼン	1.98	0.140	9.48	12.20	1.12	2.59	7.60	0.532	2.83	2.86	2.30	0.903
m,p-キシレン	2.72	0.056	10.38	14.58	0.805	4.38	12.41	0.511	4.88	3.66	3.86	1.56
o-キシレン	0.903	0.191	8.82	10.54	0.373	3.23	8.02	0.291	3.74	2.17	2.64	0.750
スチレン	0.847	0.076	18.23	11.60	0.240	5.96	6.11	0.175	4.79	4.74	6.62	1.40
七〇六	0.039	0.000	0.397	1.06	ND	0.266	0.832	ND	0.233	0.723	1.07	0.948
1,3,5-トリメチルベンゼン	0.063	0.060	0.489	0.398	0.060	0.248	0.441	0.056	0.282	0.113	0.240	0.066
1,2,4-トリメチルベンゼン	0.214	0.196	1.81	1.23	0.240	0.897	1.28	0.219	1.07	0.358	0.931	0.257
デカ	0.209	0.303	1.66	2.24	3.33	2.12	2.61	1.28	1.67	0.598	2.48	1.64
1,2,3-トリメチルベンゼン	0.081	0.052	0.563	0.338	0.160	0.324	0.474	0.116	0.413	0.096	0.335	0.148
ウンデカ	0.227	0.173	1.07	2.20	1.22	1.83	3.59	1.13	1.43	0.685	2.89	0.848
ドデカ	3.85	2.12	1.37	2.97	1.27	1.18	6.39	2.16	1.37	0.603	0.732	0.463

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ND:検知せず

### 3.3.3 RC 造実験住宅 2

#### 3.3.3.1 測定概要

3.2.2 で測定を行なった建材のカットモデルを用いてここでは FLEC を用いて放散速度を測定した。一部類似している建材については代表 1 つを選び測定を行なった。測定は 2001 年 10 月から 12 月にかけて行ない、アルデヒド類は 300ml/min で 18l、VOCs が 100ml/min で 6l 捕集した。表-3.7 に測定概要を示す。なお、建材に関する詳細は付録 A1 を参照。

表-3.7 RC 造実験住宅 2 測定概要

室名	部位	建材	測定開始時間	供給空気量 [ $\text{m}^3$ ]	供給空気 平均温度[ $^{\circ}\text{C}$ ]
居間	床	1	10/19 17:11	0.02859	25.3
	壁	6	10/29 13:55	0.02776	25.3
	建具 1	18	10/29 15:11	0.02761	25.3
A 室	床	2	10/30 16:26	0.02754	25.3
	壁	7	10/30 17:40	0.02742	25.3
	建具 1	20	12/2 16:14	0.02888	24.9
	建具 2	21	12/2 17:22	0.02868	25.3
A 収	床	4	11/21 14:38	0.02864	25.3
	壁	9	11/21 15:58	0.02858	25.4
B 室	床	3	11/13 14:45	0.02870	25.4
	壁	8	11/13 15:57	0.02894	25.6
	建具 1	22	12/3 12:17	0.02874	25.3
	建具 2	23	12/313:27	0.02861	25.4
B 収	床	5	11/22 14:47	0.02840	25.6
	壁	10	11/22 16:06	0.02812	25.4

#### 3.3.3.2 測定結果

表-3.8 に測定結果を示す。なお、放散速度は 3.3.2 と同様の方法で求めた。まず、床材である建材 1、2、3、4、5 を見ると、トルエンを除き居間の床からの放散速度がもっとも大きかった。特にホルムアルデヒドの放散速度が大きく A 室の 28 倍であった。次に壁材である 6、7、8、9、10 を見ると、6 を除きホルムアルデヒドが検出されなかった。建具である 18、20、21、22、23 を見ると、ホルムアルデヒドの放散速度が大きかった。建具は室表面積に占める割合が小さいが主要な放散源となりうる可能性があることが分かった。

表-3.8 RC 造実験住宅 2FLEC 放散速度測定結果

建材No.	ホルムアルデヒド	アセトアルデヒド	トルエン	エチルベンゼン	m,p-キシレン	o-キシレン	スレン
1	37.6	7.13	0.011	1.38	2.70	0.882	0.539
2	1.33	ND	ND	0.166	0.299	0.120	0.282
3	ND	ND	0.211	0.074	0.186	0.061	0.207
4	0.708	33.2	0.001	0.004	ND	ND	0.177
5	5.12	ND	0.119	0.005	ND	ND	0.072
6	16.7	ND	ND	0.009	0.004	ND	ND
7	ND	ND	0.092	0.205	0.314	0.140	0.123
8	ND	18.0	0.069	0.034	0.029	0.009	0.111
9	ND	23.8	ND	ND	ND	ND	0.023
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.112
18	9.87	ND	3.71	0.014	ND	0.017	ND
20	26.9	ND	0.444	0.191	0.392	0.214	0.250
21	22.0	ND	ND	0.001	ND	0.004	0.063
22	22.8	ND	0.620	0.299	0.780	0.233	0.298
23	6.90	ND	0.681	0.196	0.408	0.267	1.12

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ND:検知せず

### 3.3.3.3 測定方法および経時変化に関する考察

ここでは RC 造実験住宅 2 の建材放散速度測定結果について 2001 年に測定を行なった（チャンバー法:2001年8月、FLEC法:2001年10月）チャンバー法と FLEC 法について比較を行なう。表-3.9 を見るとホルムアルデヒド放散速度は FLEC 法がチャンバー法より 2~4 倍高い結果となった。一方、VOCs は FLEC 法がチャンバー法より 0.18~0.009 倍と極端に小さい値を示した。さらに、2000 年のチャンバー法の結果と 2001 年のチャンバー法、FLEC 法の結果を比較すると、ホルムアルデヒドはチャンバー法、FLEC 法ともに 2000 年に行ったチャンバー試験より放散速度が大きくなっており保管中にホルムアルデヒドに汚染された可能性がある。一方、VOCs は 2000 年に行ったチャンバー試験と比べ FLEC 法はほとんどの物質が減衰しているのに対し、2001 年に行なったチャンバー法は増大していた。このことから 2001 年のチャンバー実験はチャンバーの汚染（供給空気の汚染、過去の測定のチャンバー壁への VOCs の残留）が考えられる。

表-3.9 チャンバー法と FLEC 法の比較

建材 No.	建材 1			建材 6		
	チャンバー法	チャンバー法	FLEC 法	チャンバー法	チャンバー法	FLEC 法
測定時期	2000年6月	2001年8月	2001年10月	2000年7月	2001年8月	2001年10月
ホルムアルデヒド	9.83	17.7	37.6	0.758	4.15	16.7
トルエン	1.74	0.667	0.0108	2.07	0.453	ND
エチルベンゼン	7.95	9.66	1.38	ND	0.245	0.00850
m,p-キシレン	5.26	15.2	2.70	ND	0.432	0.00383
o-キシレン	1.52	5.09	0.882	ND	0.165	ND
スレン	5.46	5.51	0.539	ND	0.426	ND

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ND:検知せず

### 3.4 パッシブサンプラーのアクティブ法との比較実験

#### 3.4.1 測定概要

アクティブ法とは別に VOCs に関しては、パッシブ法についても検討を行った。パッシブ法はポンプが不要で取り扱いが容易ということが特長で本研究では加熱脱着用パッシブサンプラー(スベルコ社製 高性能パッシブサンプラー VOC-TD)についての検討を行った。この加熱脱着用パッシブサンプラーの使用方法は(1)サンプラーをアルミ製保存袋から取り出す。(2)保護キャップを取り外し、サンプラーを露出し捕集を開始する。そのときスタート時刻を記録する。(3)保護キャップを取り付け捕集が終了したら、終了時刻を記録しておく。(4)サンプラーをアルミ製保存袋へ収納する。分析は、アクティブ法と同様、GC/MS を用いる。

検討方法は図-3.3 に示す。検討は5回行ない測定時間を30分、1時間、2時間について行なった。

30L テドラーバッグ内に標準ガスと窒素ガスを用いて任意の VOCs 濃度のガスを作成 (写真3.10 参照)

アクティブ法で30Lテドラーバッグ内の VOCs 濃度を測定 (写真3.11 参照)

2ヶ口の10Lテドラーバッグ内にパッシブサンプラーを入れ、片方の口には30Lテドラーバッグをつなぎ VOCs ガスを供給し、もう一方の口にはポンプを接続し100ml/minでガスを排出した。(写真3.12 参照)

再度、アクティブ法で30Lテドラーバッグ内の VOCs 濃度を測定

アクティブ法と同様に GC/MS に導入する。



写真-3.10 測定風景 1



写真-3.11 測定風景 2



写真-3.12 測定風景 3

図-3.3 検討方法

#### 3.4.2 測定結果

表-3.9 に検討結果を相当流量で示す。相当流量の求め方は以下に示す。なお、供給ガス VOCs 濃度は実験の前後に2度アクティブ法で測定した結果の平均値を用いた。

$$F = \frac{m \times 1000}{C_a \times t} \quad (3.4)$$

F: 相当流量 [l/min]      m: 吸着質量 [μg]

$C_a$ : 供給ガス濃度 [μg/m<sup>3</sup>]      t: 測定時間 [min]

表-3.10 での参考値とはメーカーより示されている値<sup>1)</sup>であるが、その参考値と比べ、検討結果はトルエンの平均値は参考値と近い値を示したが、他の物質に関しては平均値/参考値の値が0.5前後のものが多く、デカンに至っては0.18と参考値に比べ相対流量が低くなっている。この理由として使用した分析機器の条件によって値が大きく異なることが考えられる。また、酢酸ブチルは3度とウンデカンは2度検出されなかった。未検出時の酢酸ブチルとウンデカンのアクティブ法で測定した濃度は他の物質と同程度であり、このパッシブサンプラーに用いられている捕集剤と相性が悪い可能性が考えられる。この実験から求めた相当流量を用いて4.5で実際に住宅で測定を行ない、実用性を検討する。

表-3.10 検討結果

測定時間	10/25 1時間	10/30 1時間	11/6 1時間	11/12 2時間	11/22 0.5時間	平均	標準偏差	参考値	平均/参考値
ベンゼン	0.0237	0.0296	0.0167	0.0241	0.0334	0.02548	0.0063	0.05498	0.46
メチルイソブチレン	0.0246	0.0255	0.0031	0.0268	0.0177	0.01954	0.0098	0.03397	0.58
トルエン	0.0263	0.0425	0.0339	0.0363	0.0548	0.03875	0.0107	0.04045	0.96
キシレン	0.0260	0.0206	0.0112	0.0259	0.0332	0.02338	0.0081	データなし	
酢酸ブチル	0.0122	ND	ND	0.0235	ND	0.01786	0.0080	0.03009	0.59
エチルベンゼン	0.0249	0.0276	0.0183	0.0256	0.0348	0.02625	0.0060	0.03620	0.73
m,p-キシレン	0.0249	0.0274	0.0174	0.0242	0.0338	0.02554	0.0059	0.03700	0.69
o-キシレン	0.0241	0.0331	0.0171	0.0288	0.0328	0.02720	0.0067	データなし	
スチレン	0.0196	0.0282	0.0180	0.0229	0.0348	0.02470	0.0068	0.04020	0.61
ナフテン	0.0177	0.0422	0.0062	0.0207	0.0355	0.02445	0.0144	0.03564	0.69
ヒネン	0.0172	0.0183	0.0100	0.0173	0.0210	0.01677	0.0041	0.03342	0.50
1,3,5-トリメチルベンゼン	0.0175	0.0235	0.0143	0.0197	0.0339	0.02176	0.0076	0.03886	0.56
1,2,4-トリメチルベンゼン	0.0110	0.0127	0.0077	0.0133	0.0223	0.01340	0.0054	0.03783	0.35
デカン	0.0054	0.0234	0.0132	0.0106	0.0561	0.02175	0.0203	0.12363	0.18
p-ジクロロベンゼン	0.0170	0.0240	0.0158	0.0207	0.0435	0.02420	0.0112	0.05830	0.42
1,2,3-トリメチルベンゼン	0.0087	0.0110	0.0059	0.0090	0.0173	0.01038	0.0043	0.04108	0.25
リネン	0.0210	0.0130	0.0073	0.0109	0.0333	0.01709	0.0104	0.04281	0.40
ウンデカン	0.0035	ND	ND	0.0017	0.0094	0.00485	0.0040	データなし	
ドデカン	0.0128	0.0070	0.0080	0.0065	0.0219	0.01122	0.0065	0.05305	0.21

単位:l/min ND:検知せず

#### 4 実験住宅での現場測定

##### 4.1 はじめに

本章では木造1棟、RC造2棟の計3棟の実験住宅を対象に現場で気中濃度の測定を行った。木造戸建住宅では家具搬入前後での濃度変化や1年の時間経過後の濃度変化を測定した。RC造実験住宅では施工中、施工完了後の濃度変化や温度、換気条件を変えた場合における濃度変化を測定した。

##### 4.2 建築研究所木造戸建実験住宅

###### 4.2.1 測定対象

調査対象住宅は茨城県つくば市の建築研究所内に建設された木造戸建実験住宅である。図-4.1に対象建物平面図、写真-4.1に建物外観、表-4.1に各部屋の主な内装・搬入家具・電化製品の一覧を示す。

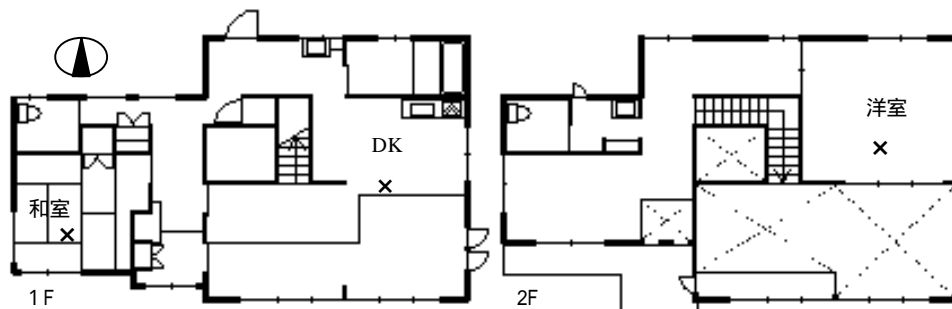


図-4.1 木造戸建実験住宅平面図

表-4.1 内装、搬入家具・電化製品一覧

	部位	下地材	仕上げ材	搬入家具	搬入電化製品
DK	天井	プラスタボード	ビコルク	ダイニングボード カウンター	テレビ(25型) 炊飯器 ポット
	壁	プラスタボード	ビコルク	ダイニングテーブル ダイニングチェア2脚	コーヒーメーカー オープンレンジ
	床	床バ 札(合板)	ビコルク	ガーデンテーブル ガーデンチェア4脚	冷蔵庫
和室	天井	プラスタボード	ビコルク	座イス4脚	
	壁	プラスタボード	ビコルク	座布団5枚	
	床	構造用合板	畳	テーブル	
洋室	天井	プラスタボード	ビコルク	書棚	オーディオセット
	壁	プラスタボード	ビコルク	コンピュータ机	
	床	構造用合板	フローリング	L型デスク	



写真-4.1 木造戸建住宅外観

#### 4.2.2 測定条件

写真-4.2 に測定風景を示す。測定は 2000 年と 2001 年の夏に行い 2000 年夏は電化製品、家具搬入前後でアルデヒド類、VOCs の測定を 4 回行なった。測定日は以下の通りである。電化製品は 1、2 回目の間に搬入し、家具は 3、4 回目の間に搬入した。

- 1 回目(8/21)：家具・電化製品無し、機械換気 off
- 2 回目(9/5)：電化製品有り、機械換気 off
- 3 回目(9/14)：電化製品・家具有り、機械換気 on
- 4 回目(9/26)：電化製品・家具有り、機械換気 off



写真-4.2 測定風景

測定当日は午前 9 時から 9 時 30 分まで建物全ての窓、扉を開放し換気を行い、その後 5 時間閉鎖放置し、その後測定を行った。また、日射の影響を抑えるため、雨戸、ブラインドを使用した。サンプリングはアルデヒド類が 0.5l/min で 10l、VOCs が 0.15l/min で 3l(3、4 回目は 0.3l/min で 6l)で行った。温度・相対湿度はそれぞれの場所で閉鎖中を含め T&D 社製サーモレコーダ TR-72S を用いて 10 分間隔で計測を行った。なお、機械換気は外気取り入れ量約 100m<sup>3</sup>/h で、搬入した家具・電化製品は一般に市販されているものを用い、電化製品は搬入後コンセントにつないで利用可能状態にあった。

一方、2001 年夏に行った測定では、家具や電化製品が入った状態、機械換気 off の状態で 8 月 27、28、29 日の 3 回測定を行った。測定手順は 2000 年夏と同様であるが、アルデヒド類が 1.0l/min で 30l、VOCs が 0.1l/min で 3l のサンプリングを行った。8 月 27 日の洋室と屋外はポンプの調子が悪かったため捕集に失敗した。

#### 4.2.3 測定結果

##### (1) 2000 年

表-4.2 に結果を示す。温度・湿度に関して、1 回目が比較的高く 28 前後であるが他の測定時は 25 前後であった。天候は 2 回目の測定時は降雨状態にあったがその他の日は晴れ、もしくは曇りであった。気中濃度結果を見ると、1 回目の測定は他の回に比べほとんどの物質が高い値を示し、ホルムアルデヒド、トルエンは 3 室とも、キシレンは洋室で厚生労働省のガイドライン値(ホルムアルデヒド：100 μg/m<sup>3</sup>、トルエン：260 μg/m<sup>3</sup>、キシレン：870 μg/m<sup>3</sup>)を超えた。これは、平均気温が他の測定日より高かったのに加え、補修工事の影響と考えられる。2、3、4 回目を見ると 1 回目と同様にホルムアルデヒドが 4 回目の DK を除き厚生労働省のガイドライン値である 100 μg/m<sup>3</sup> を超えた。家具搬入前後(2 回、4 回)を見ると、多くの家具を搬入した

DK でドデカンの気中濃度が約 27 倍に上昇した。アルデヒド類とトルエンを除きその他の物質も気中濃度が 1.2 ~ 6.1 倍に上昇した。機械換気 on-off による気中濃度の違い (3 回、4 回) を見るとアルデヒド類が機械換気を行っていた第 3 回の方が高いという結果となった。これは 4 回目の測定が 3 回目から少し期間があり、搬入した家具・電化製品の放散速度が下がった事が一因と考えられる。その他の物質に関して、DK、洋室ではほとんどの物質で機械換気を off にすることで 1.1 ~ 4.2 倍に気中濃度が上昇した。一方、和室は約半数の物質で気中濃度が下がり、機械換気効果が小さいことが考えられる。

表-4.2 木造戸建実験住宅 測定結果 (2000 年 8,9 月)

	第1回				第2回				第3回				第4回			
	DK	和室	洋室	屋外	DK	和室	洋室	屋外	DK	和室	洋室	屋外	DK	和室	洋室	屋外
閉鎖時平均温度	27.8	29.0	28.7	29.6	24.6	24.2	24.1	21.4	26.8	26.3	26.5	28.6	25.4	24.4	25.0	23.8
閉鎖時平均湿度	73	71	67	75	63	63	63	93	73	73	72	76	62	66	62	66
捕集時平均温度	29.1	31.9	29.8	31.1	25.0	24.7	24.5	20.9	27.9	27.3	27.7	27.8	27.1	25.9	26.3	24.2
捕集時平均湿度	69	69	64	69	60	61	60	96	70	72	69	86	61	64	60	65
ホルムアルデヒド	<b>100</b>	<b>123</b>	<b>112</b>	10.5	<b>123</b>	<b>111</b>	<b>133</b>	10.7	<b>141</b>	<b>191</b>	<b>163</b>	4.3	50.4	<b>107</b>	<b>133</b>	46.7
アセトアルデヒド	91.4	115	111	29.5	75.1	48.5	79.7	23.2	93.9	116	111	114	18.0	33.8	70.0	23.7
メチルメチルケトン	457	398	527	ND	5.91	ND	8.9	ND	6.74	5.82	11.9	ND	8.46	8.06	11.0	ND
トルエン	<b>1310</b>	<b>2010</b>	<b>908</b>	38.5	155	118	155	18.9	158	164	201	10.2	153	78.7	224	15.6
酢酸ブチル	4240	4830	4300	ND	56.6	34.4	87.6	ND	73.8	67.7	117	ND	141.4	102	220	ND
エチルベンゼン	408	412	594	11.7	14.1	5.08	20.2	ND	18.3	18.0	28.5	0.4	30.3	12.0	55.8	0.700
m,p-キシレン	624	603	<b>956</b>	14.0	12.3	4.22	20.6	ND	17.3	15.8	29.4	ND	25.8	11.0	61.5	0.774
o-キシレン	187	171	<b>259</b>	4.35	3.76	1.30	6.48	ND	5.36	4.75	8.65	ND	8.19	3.73	18.0	ND
スチレン	31.6	30.2	32.9	1.67	10.1	5.95	12.8	1.00	10.4	10.4	13.1	ND	12.5	7.33	23.3	0.638
ナフ	162	188	174	18.3	4.63	ND	5.32	ND	3.34	2.79	6.02	ND	6.47	3.87	7.74	ND
ビネン	1130	1290	1300	2.17	99.0	94.8	115.2	ND	143	178	187	ND	604	168	688	ND
1,3,5-トリメチルベンゼン	13.1	13.2	14.6	ND	1.40	0.702	1.73	ND	2.21	1.86	2.23	ND	4.90	2.19	5.66	0.445
1,2,4-トリメチルベンゼン	54.1	53.7	55.4	1.81	5.02	2.61	6.87	ND	7.04	6.77	8.70	ND	17.8	7.55	23.6	0.965
デカリン	460	365	567	57.1	13.0	5.22	16.3	ND	10.6	11.1	13.2	ND	25.9	11.8	35.9	1.76
1,2,3-トリメチルベンゼン	27.9	28.2	27.9	0.493	1.64	0.99	2.47	ND	3.04	4.26	4.42	ND	5.69	2.58	7.87	0.401
リネン	3970	4650	4160	ND	93.6	67.1	82.5	ND	71.8	74.9	65.6	ND	210	88.9	197	ND
ウンデカリン	1280	990	2580	51.4	26.5	14.7	48.4	ND	35.7	25.6	30.4	ND	84.2	30.7	114	4.01
ドデカリン	48.2	54.9	59.1	ND	19.7	15.1	52.7	ND	184	104	86.6	ND	526	120	202	ND

・単位は温度・湿度を除き  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ・NDは検知せず

・太字で示されている部分は厚生労働省のガイドライン値を超えていることを示している

## (2) 2001 年

表-4.3 に 2001 年の結果を示す。温度・相対湿度に関して、温度は 28 ~ 29 台、相対湿度は 60 ~ 70% 台と 3 日間とも同じような温湿度環境であった。

気中濃度結果を見ると、ホルムアルデヒドが屋外を除く全ての測定地点で厚生労働省のガイドライン値を超えていた。部屋別に見ると全ての VOCs の気中濃度に関して、和室が他の 2 部屋よりトルエンは約 1/2、エチルベンゼンは約 1/3 ~ 1/4 など低い値となった。その一方でホルムアルデヒドは 27 日と 29 日で最も高い値を示し、28 日も他の 2 室とあまり変わらない結果となった。2000 年の家具搬入後の結果 (第 4 回測定) と 2001 年の結果とを比較すると (アセトアルデヒド、ベンゼンは一方にしかデータが無かったため比較を行なえなかった) 2001 年の平均気温が約 4 高いにもかかわらず、ホルムアルデヒドを除いてほとんどの測定点で 0.5 倍以下に気中濃度が低下していた。一方、ホルムアルデヒドは約 1.2 倍 ~ 3 倍と気中濃度が増大していた。そこで濃度が上昇したホルムアルデヒドに関して、同じ温度・湿度の状態と比較するために井上式<sup>1)2)</sup>と呼ばれる換算式を用いて(3)で述べる。

表-4.3 木造戸建実験住宅 測定結果 (2001年8月)

	8月27日				8月28日				8月29日			
	DK	和室	洋室	屋外	DK	和室	洋室	屋外	DK	和室	洋室	屋外
測定開始時刻	15:50	14:40	15:10	14:30	14:30	14:40	15:15	15:50	15:30	14:40	14:40	15:20
閉鎖時平均温度	29.0	28.3	29.3	28.6	28.9	28.0	29.5	29.2	29.6	28.5	29.6	29.9
閉鎖時平均湿度	67.4	70.0	65.1	74.1	67.5	70.4	64.6	70.2	63.2	68.4	62.0	62.7
捕集時平均温度	30.1	29.5	30.4	29.7	30.6	29.7	31.0	30.9	31.0	30.1	31.1	31.0
捕集時平均湿度	64.7	68.7	62.0	68.7	63.1	68.0	62.7	62.7	62.0	67.7	61.0	59.0
ホルムアルデヒド	135	176	153	8.0	171	167	181	9.9	164	177	168	11.6
ベンゼン	ND	0.65			ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.79	ND
メチルイソブチルケトン	ND	ND			2.73	ND	ND	ND	3.48	ND	ND	ND
トルエン	48.9	20.8			42.5	21.0	43.1	1.27	46.6	20.1	40.4	1.79
酢酸ブチル	46.3	17.8			61.4	20.1	70.9	ND	60.5	12.6	61.3	ND
エチルベンゼン	17.4	5.05			18.0	4.84	24.6	ND	16.9	3.78	21.5	ND
m,p-キシレン	17.4	4.74			16.8	4.69	24.4	ND	16.8	3.77	24.3	ND
o-キシレン	6.82	1.58			7.24	2.51	10.7	ND	6.42	1.18	10.6	ND
スチレン	11.5	3.11			10.9	2.54	10.8	ND	12.3	1.93	10.7	ND
ナフテン	3.19	ND			2.90	ND	ND	ND	2.57	ND	ND	ND
ヒネン	147	86.1			143	100	125	ND	134	85.0	116	ND
1,3,5-トリメチルベンゼン	1.27	ND			1.26	ND	1.27	ND	1.23	ND	1.39	ND
1,2,4-トリメチルベンゼン	5.26	1.87			5.71	2.08	5.76	ND	5.35	2.23	6.20	ND
デカリン	13.9	ND			11.9	4.95	12.9	ND	10.9	ND	9.42	ND
1,2,3-トリメチルベンゼン	1.30	ND			1.38	ND	1.45	ND	1.27	ND	1.52	ND
リネン	61.2	32.4			60.8	35.5	74.3	ND	65.2	33.4	41.0	ND
ウンデカン	21.4	7.05			15.3	7.03	25.1	ND	18.0	5.83	16.6	ND
ドデカン	22.4	18.7			29.2	19.0	25.0	ND	22.0	13.4	22.8	ND

・単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ・ND:検知せず ・太字で示されている部分は厚生労働省のガイドライン値を超えていることを示している

(3) 井上式を用いた濃度換算による比較

ここでは1997年に井上氏が提案した<sup>1)2)</sup>ホルムアルデヒドに関する数学モデルを用いて温度・相対湿度条件を統一して2000年と2001年のホルムアルデヒドの結果を比較する。井上氏の換算式を右に示す。基準温度25、基準相対湿度50%とし、実測温度・相対湿度は捕集時の平均温度・相対湿度を用いた。

$$C_0 = C \times \frac{1.09^{(T_0 - T)}}{1 + 0.01(H - H_0)} \quad (4.1)$$

$C_0$ : 換算後のホルムアルデヒド気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$C$ : 実測ホルムアルデヒド濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$T_0$ : 基準温度 [ ]  $H_0$ : 基準相対湿度 [%]

$T$ : 実測温度 [ ]  $H$ : 実測相対湿度 [%]

図-4.2に換算後の気中濃度を示す。2000年の結果を見ると、1回目から2回目にかけて、すなわち電化製品を搬入することによって換算気中濃度が約2倍に上昇した。2回目と3回目を比較すると、DKと洋室では換算気中濃度が3回目のほうが低くなっており、機械換気によって家具搬入による濃度上昇分に加え、約  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  気中濃度が低減された。和室は3回目のほうが換算気中濃度は高くなっており、換気効果が小さいと考えられる。一方、4回目は機械換気を行なっておらず4回行なった測定の中で最も気中濃度が高くなると予想されたが3室とも2、3回目に比べ低い結果となった。これは4回目の測定が3回目から少し期間があり、搬入した家具・電化製品の放散速度が下がった事が一因と考えられる。家具、電化製品有り、機械換気 off の条件で行なった2000年の第4回測定と2001年の結果を比較すると、2001年のVOCs気中濃度が2000年の50%以下に減衰していたのに対し、ホルムアルデヒドに関して、洋室はわずかに減衰していたが、DK、和室では上昇していた。これは、この実験住宅では普段、ユニバーサルデザインや高齢社会対応型住宅に関する実験が行なわれており、実験機器等の搬入による放散源の増加によるものと考えられる。

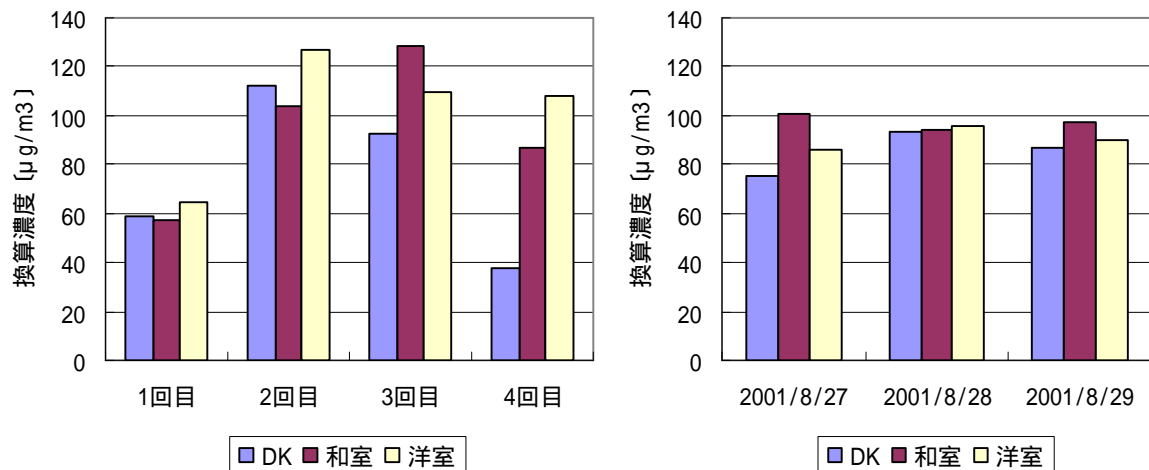


図-4.2 井上式を用いたホルムアルデヒド換算気中濃度 (左:2000年、右:2001年)

### 4.3 RC造実験住宅1

#### 4.3.1 測定対象

調査対象住宅は茨城県つくば市の建築研究所内に建設されたRC造実験住宅では施工途中(内装工事)から測定をはじめ、2001年6月末の施工完了後から12月に至るまで定期的に測定を行った。写真-4.3に建物外観、写真-4.4に測定風景を示しているが、全9戸からなる集合住宅である。図-4.3に平面図、表-4.4に実験住宅の概要を示す。



写真-4.3 RC造実験住宅1外観

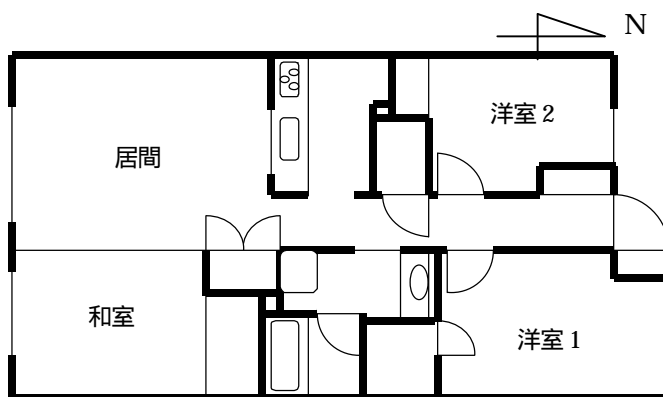


図-4.3 RC造実験住宅1平面図

#### 4.3.2 測定条件

測定は毎回午前7時より施工途中(6/5~6/16)が2階真中の住戸202号室の居間と北側洋室(6/9より測定)202号室の隣室である内装工事を行っていない203号室で行い、施工後(6/27~12/6)は202号室の居間と北側の2つの洋室で行った。各部屋の中心床上約1.2mでアルデヒド類が1l/minで30l、VOCsが0.1l/minで3l採取を行った。また、採取位置近傍でT&D社製サーモレコーダTR-72Sを用いて温湿度も測定した。写真-3.2に測定風景を示す。なお竣工後は常時、トイレと浴室の換気扇が作動しており、扉は開放されていた。



写真-4.4 測定風景

#### 4.3.3 測定結果

図-4.4 に施工中、図-4.5 に施工後の測定結果を示す。図-4.4 の施工中に関するグラフは上段が 202 号室居間、中段が 202 号室洋室 1、下段が 203 号室で、左から縦軸の最大値が 18000、4000、500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  となっている。202 号室をみると測定を始めた 6/5～9 にかけては徐々に減衰していたが、内装工事が始まることにより、気中濃度がトルエンで約 10 倍、エチルベンゼンで約 15 倍に上昇した。物質で見ると、接着剤等に多く含まれているトルエンの濃度が特に高く、202 号室は全て厚生労働省の指針値 260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を大きく超えていた。最高で 16100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  と指針値の約 60 倍を記録した。次に濃度が高かったのはキシレン、エチルベンゼンで、キシレンは 6/12 以降全て厚生労働省の指針値 870  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超えた。203 号室は多くの物質で 6/9 にピークがあり、202 号室とは異なった濃度変化を示した。さらに 202 号室と異なる点として、トルエンが 202 号室に比べて気中濃度が低かったことや、木材に多く含まれる  $\alpha$ -ピネンは検出されなかったことが挙げられる。ホルムアルデヒドをはじめ、その他の物質に関しては大きな相違点が見られなかった。図-3.5 の施工後のグラフは上から居間、洋室 1、洋室 2 で左側が縦軸の最大値が 8000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、右側が 800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  となっている。図よりほとんどの物質で施工直後である 6/27(居間に関して 6/27 は捕集に失敗したため 6/29) の気中濃度が最も高く、時間が経つに従い施工直後濃度の 0.16 倍～0.01 倍に減衰している。8/8、9/21、10/12 はそれぞれの前の測定より気中濃度が約 2.5 倍～10 倍上昇しているが、これは外気に面する南北面を環境調整チャンバーで覆うための工事の影響で上昇したと考えられる。厚生労働省に指針値を指定されている物質を見ると、ホルムアルデヒドは居間で施工直後から 8/8 まで(7/10、27、8/3 を除く) 施工後から 1 月以上の間、厚生労働省の指針値を超えていた。最大で 7/5 に指針値の約 3 倍の 299  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を記録している。洋室 2 でも施工完了直後から 7/5 の測定まで厚生労働省の指針値を超えた。トルエンは測定 3 地点全て施工完了から 7 月の初旬まで厚生労働省の指針値を超えていた。洋室 2 では 6/27 に指針値の約 30 倍に当たる 7830  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を記録している。スチレンやエチルベンゼンは指針値を超えることはなかった。また、居間において内装工事時(6/12) 完成直後(6/29) と完成から約 5 ヶ月後(12/6) のホルムアルデヒド、VOCs の成分構成を見ると、内装工事時や完成直後はトルエンの比率が 70% 近くあったのが、完成 5 ヶ月後 21% とトルエンの比率が落ちていた。これは洋室でも同様の傾向でトルエンが急速に減衰していることが分かる。

また、付録 A4 に竣工後の結果についての回帰曲線を示す。回帰は減衰の激しい竣工後最初の測定日である 6/27～7/13 までのデータを使用し、指数近似を行なった。また、定数項として環境調整チャンバーの工事の影響がないと思われる 8/31 のデータを用いた。さらにホルムアルデヒドは分布形状から判断して 6/27～9/13 までのデータを用いて指数近似を行なった。なお、横軸は竣工後最初の測定日 6/27 からの日数で表示している。これらの結果を見ると、ホルムアルデヒドは VOCs に比べ減衰がゆっくりであることが分かる。また、竣工直後、厚生労働省の指針値を超えていたトルエンは回帰式を用いると、6/27 より洋室 1 は 17 日で、洋室 2 は 16 日で、居間は 20 日で指針値を下回ると予測された。このことから、竣工後、約 1 ヶ月間は入居を控えたほうがよいと思われる。

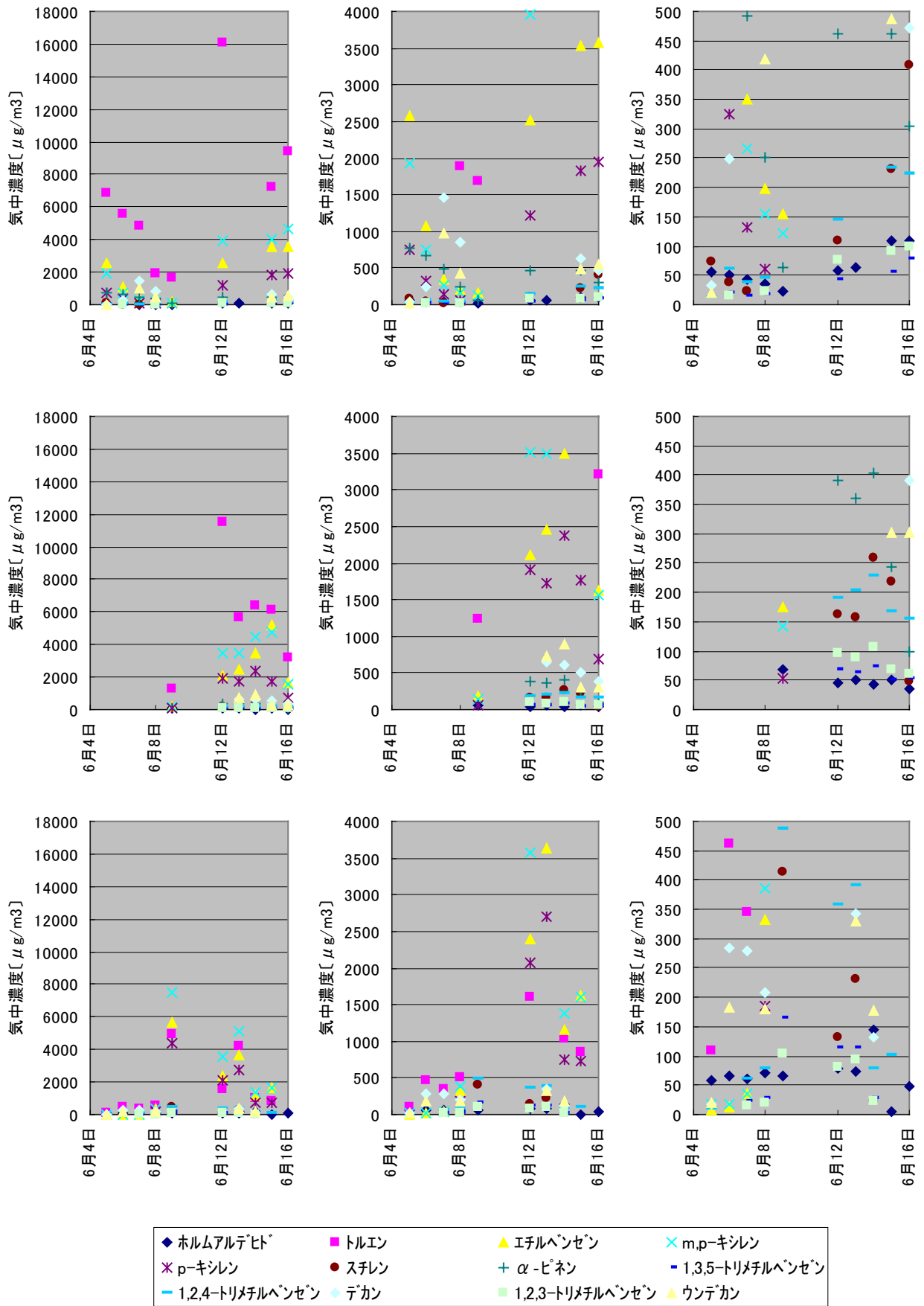


図-4.4 施工中気中濃度変化（上段:202号室居間、中段:202号室洋室、下段:203号室）

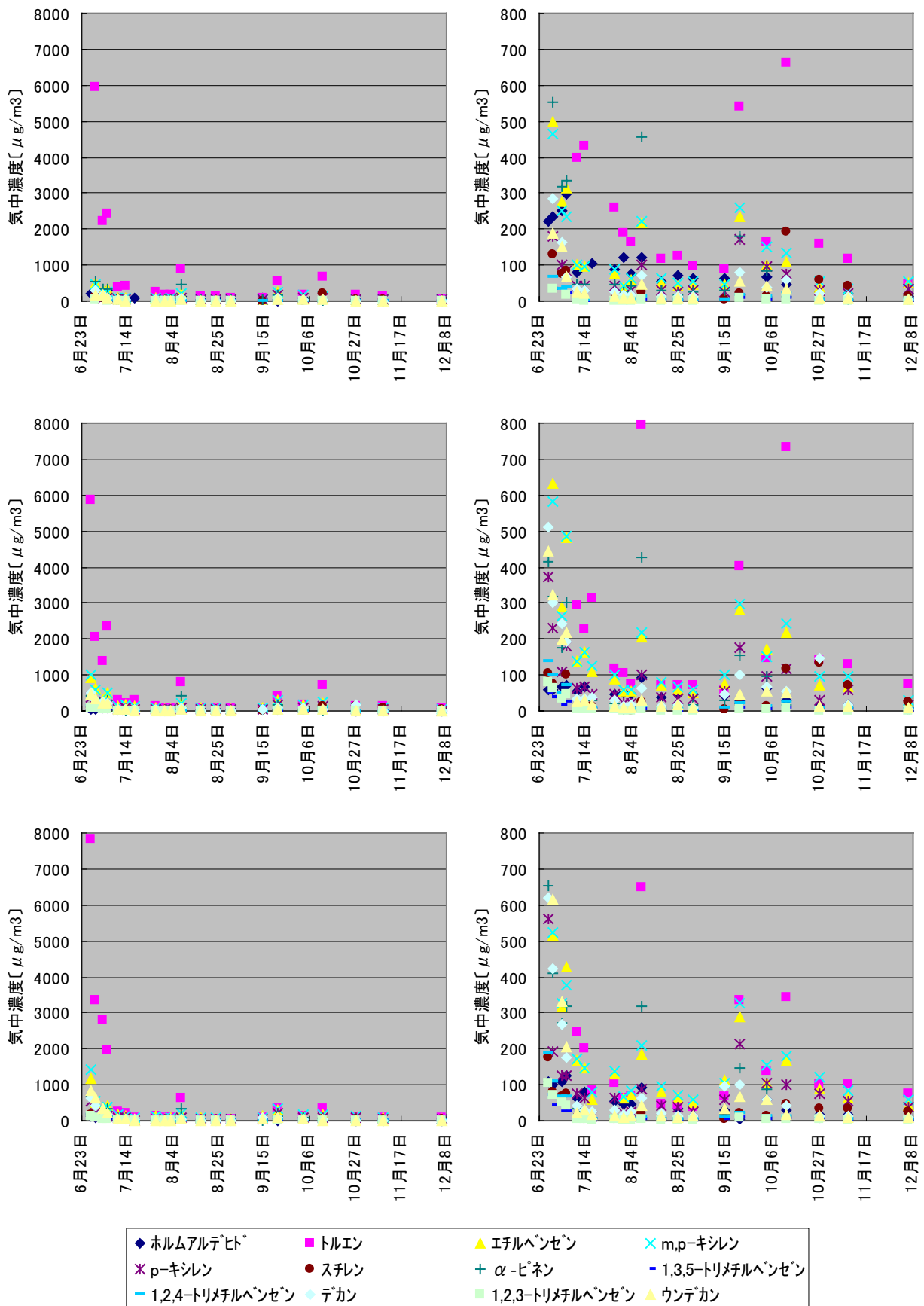


図-4.5 施工後気中濃度変化（上段:居間、中段:洋室 1、下段:洋室 2）

#### 4.4 RC 造実験住宅 2

##### 4.4.1 測定対象

調査対象は茨城県内にある RC 造実験住宅で集合住宅再現している。実験住宅は居間、和室、2 つの洋室に台所、フロ、トイレ、洗面所からなり、本研究では居間、和室、2 つの洋室の計 4 箇所について測定が行われた。表-4.5 に建物、内装材の概要を示す。なお、A 室と B 室は左右対称になっており、建材の違いによる気中濃度の変化をみることができるようになっている。

表-4.5 RC 造実験住宅 2 概要

建物概要				
構造：RC 造（壁 ALC）1 層分				
床面積：72.25m <sup>2</sup> （8.5m×8.5m）				
空調：家庭用エアコンを居間、A 室、B 室に設置				
換気：自然換気、3 種 24 時間換気、1 種 24 時間換気方式を導入				
	床	壁	天井	収納
居間	70-リング (ハードボード)	石膏 (石膏ボード)	石膏 (石膏ボード)	
和室	畳 (ハードボード)	石膏 (石膏ボード)	石膏 (石膏ボード)	ハードボード
A 室	70-リング (E1 パチ)	ビニルクロス (石膏ボード)	ビニルクロス (石膏ボード)	F1 合板
B 室	ハードボード (ハードボード)	珪藻土塗料 (ハードボード)	珪藻土塗料 (ハードボード)	ハードボード

( )内は下地材

##### 4.4.2 測定条件

測定は 2000 年 8 月から 9 月かけてと 2001 年 2 月に行われ、換気方式 3 パターンと空調設定温度 2 パターンについて測定を行なった。採取量はアルデヒド類が 500ml/min で 10l、VOCs は 150ml/min で 3l であった。それぞれ表-4.6 と表-4.7 に測定概要を示す。VOCs に関して、2000 年夏季は分析機器の故障のため定量に失敗した。また、2001 年冬季は 2/1 と 2/15 のみ A 室収納を除き測定を行った。空調設定温度は 20 と 30 となっているが夏季の場合、設定が 20 のとき実測値は 18.1 ~ 24.3 に分布し、設定が 30 のとき実測値は 26.7 ~ 28.7 と 30 より低い値を示した。冬季の場合、設定 20 のとき 14.4 ~ 22.9、設定 30 の時、22.4 ~ 29.9 であった。相対湿度は夏季がほとんど 70、80% 台と高湿なのに対し、冬季は 20、30% 台が多く低湿であった。

表-4.6 2000 年夏季測定概要

測定日	換気方式	空調 設定温度	項目	室名				
				A 室	A 収納	B 室	居間	和室
8/29	自然換気	20	平均温度 ( )	18.8	22.0	18.5	20.3	24.3
			平均湿度 (%)	72.2	59.1	72.6	62.3	55.1
8/30	自然換気	30	平均温度 ( )	28.2	28.2	28.0	28.7	28.6
			平均湿度 (%)	80.8	78.3	76.6	77.9	74.6
8/31	3 種換気	30	平均温度 ( )	28.3	28.7	28.2	28.3	28.7
			平均湿度 (%)	86.1	82.5	81.4	84.3	79.5
9/1	3 種換気	20	平均温度 ( )	18.8	22.0	18.1	19.7	23.3
			平均湿度 (%)	72.5	65.5	75.1	67.8	62.6
9/5	1 種換気	20	平均温度 ( )	20.5	22.7	19.0	19.2	23.4
			平均湿度 (%)	86.0	76.6	80.8	74.9	69.5
9/6	1 種換気	30	平均温度 ( )	26.7	27.0	26.7	27.0	27.0
			平均湿度 (%)	81.1	77.9	78.2	81.3	78.7

表-4.7 2001 年冬季測定概要

測定日	換気方式	空調 設定温度	項目	室名				
				A 室	A 収納	B 室	居間	和室
2/1	自然換気	20	平均温度 ( )	22.0	16.4	22.1	20.4	14.4
			平均湿度 (%)	46.3	64.0	48.9	47.1	64.1
2/15	3 種換気	20	平均温度 ( )	22.0	18.5	22.4	21.6	17.3
			平均湿度 (%)	22.1	31.2	28.2	26.2	36.5
2/17	3 種換気	30	平均温度 ( )	29.9	25.2	29.5	28.9	22.4
			平均湿度 (%)	17.4	27.4	21.9	20.6	33.0
2/20	1 種換気	20	平均温度 ( )	22.8	19.4	22.9	21.7	18.7
			平均湿度 (%)	30.5	38.1	32.4	33.8	37.9

#### 4.4.3 測定結果

##### (1) 2000年夏季

図-4.6 にアルデヒド類の結果を示す。(左:ホルムアルデヒド、右:アセトアルデヒド)空調設定温度は20と30の2種類について行なっているが、換気条件が同じで温度が約10上がることによってホルムアルデヒドは1.04倍~7.76倍、アセトアルデヒドは1.15倍~5.17倍気中濃度が上昇した。次に換気方式の違いに注目してみると、第1種換気時の気中濃度が和室を除いて自然換気の時より高くなっている。既往の研究では機械換気システムを使用することによって気中濃度を低減できると多数報告されており、何か濃度上昇を引き起こす要因があった可能性が高い。A室とB室について比較すると、A室の方が温度、換気条件に関わらず高い結果となった。特にホルムアルデヒドは高温状態(空調設定温度30)のとき、濃度差が顕著に表れた。

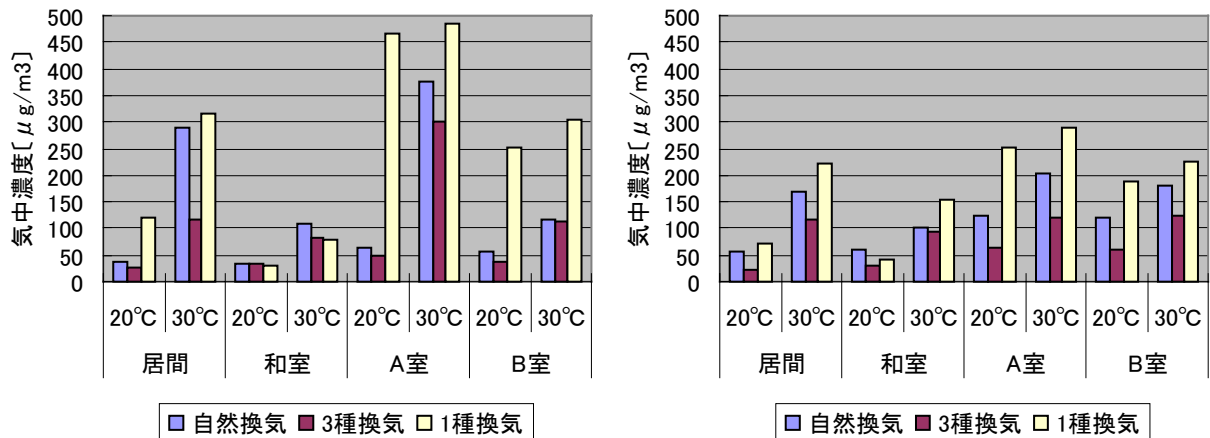


図-4.6 RC造実験住宅2 測定結果(左:ホルムアルデヒド、右:アセトアルデヒド)

##### (2) 2001年冬季

図-4.7、図-4.8 にアルデヒド類の2001年冬季の結果を示す。図-4.7 は設定温度の違いによる気中濃度の比較を示しているが(換気方式は第3種換気、左:ホルムアルデヒド、右:アセトアルデヒド)温度が約10上昇することにより1.2倍~1.8倍気中濃度が上昇した。次に換気条件別(図-4.8参照、この時空調設定温度20)にみると、どの部屋も自然換気が最も高く機械換気システムを使用することによって気中濃度が10~46%低減された。A室とB室について比較すると、2000年と同様にA室のほうが高い値を示した。図-4.9 にVOCsの結果を示す(左上:居間、右上:和室、左下:A室、右下:B室)。B室の-ピネンは自然換気も3種換気もほぼ同じ値を示したが、その他は3種換気を用いることにより気中濃度が5割以下に低減された。

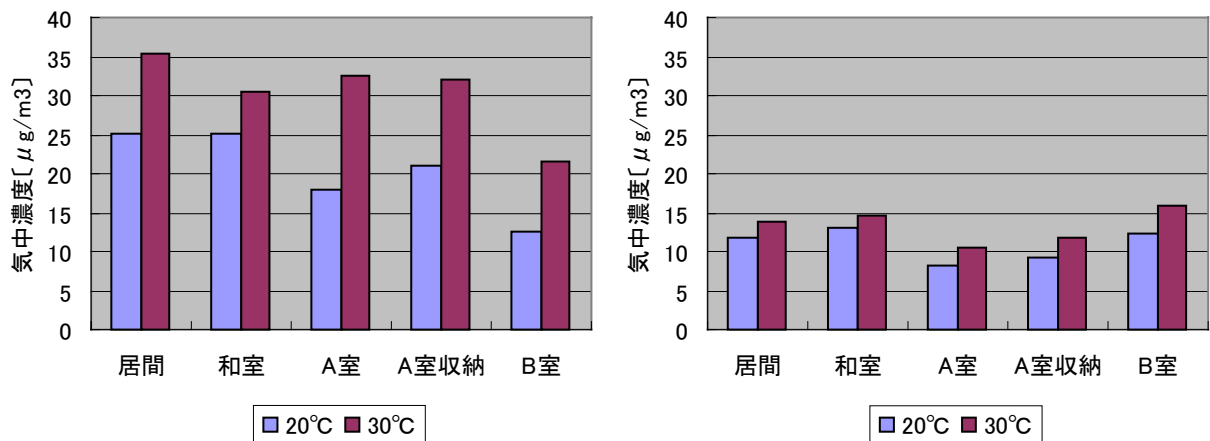


図-4.7 設定温度の違いによる結果(第3種換気、左:ホルムアルデヒド、右:アセトアルデヒド)

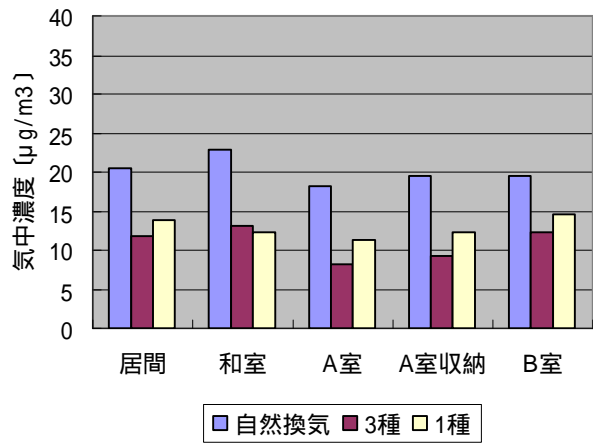
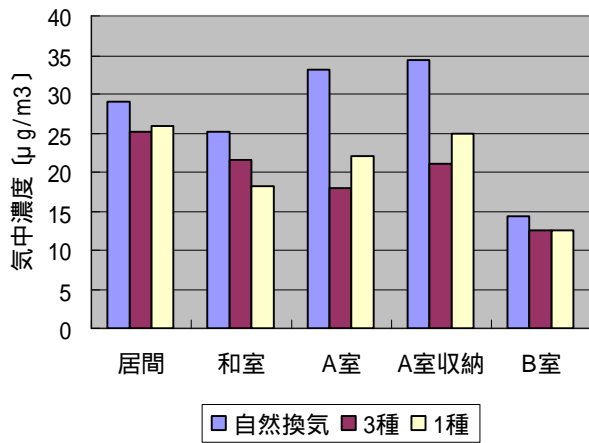


図-4.8 換気方式の違いによる結果（空調設定温度 20 、左:刺アジド、右:アトアジド）

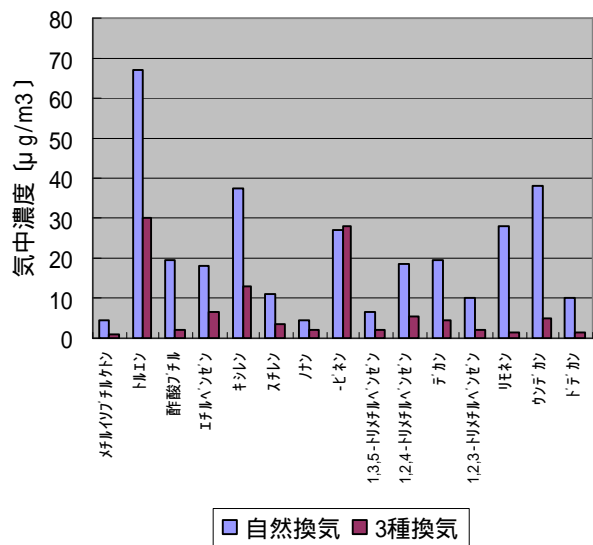
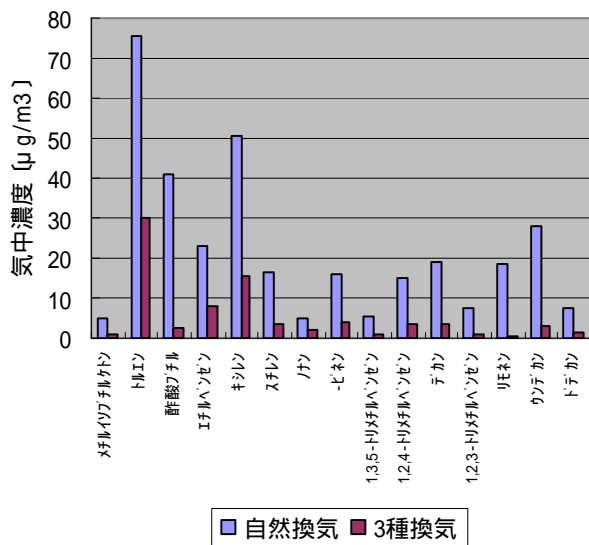
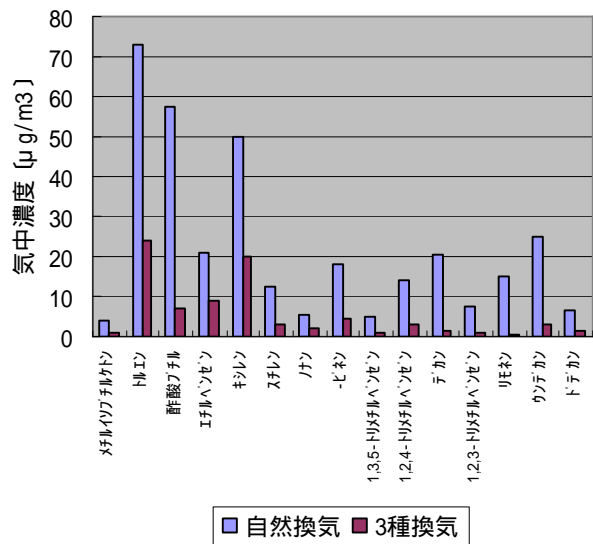
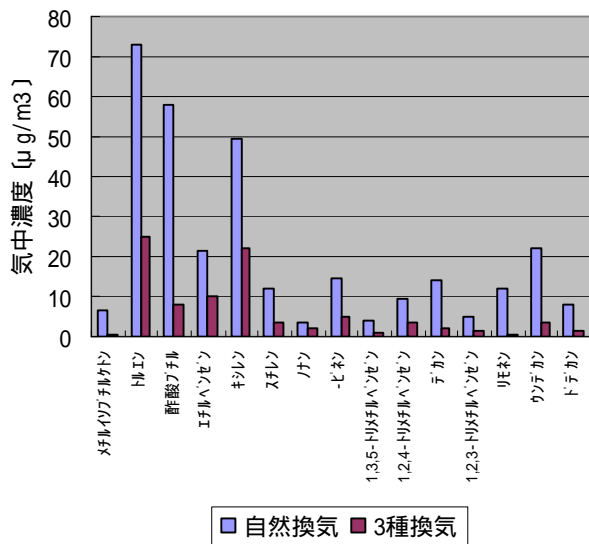


図-4.9 換気方式の違いによる VOCs 結果（空調設定温度 20 、左上:居間、右上:和室、左下:A室、右下:B室）

### (3) 経時変化

図-4.10 に2000年夏季と2001年冬季を比較したものを示す。時間が5ヶ月経過することによって0.97～0.05倍に減衰した。特に2000年夏季に気中濃度の高かったものの減衰率が大きく、2000年夏季は条件によって気中濃度に最大約9.2倍の差があったが2001年冬季は最大でも約1.8倍と条件が異なることによる気中濃度の差が小さくなるという結果となった。

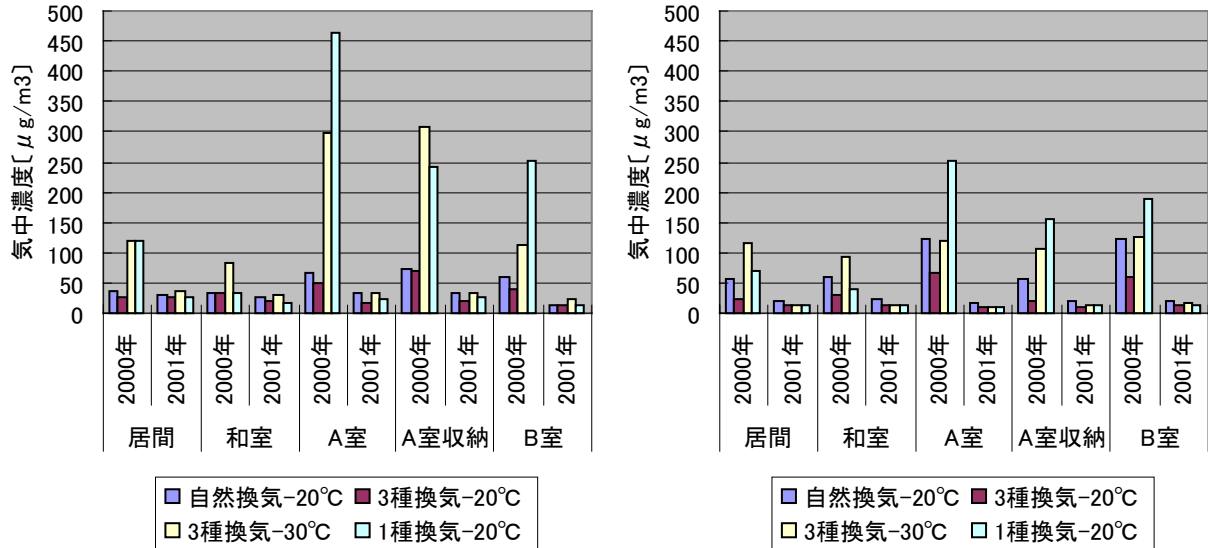


図-4.10 経時変化（左:ホムアルビト、右:ベトアルビト）

## 4.5 パッシブサンプラーを用いた現場測定

### 4.5.1 測定概要

ここでは3.4で実験に使用したパッシブサンプラーを用いて、実際に人が居住している住宅で測定が行い、このパッシブサンプラーの実用性を検証した。測定は2001年11月に行い、測定時間は約24時間であった。

### 4.5.2 測定結果

表-4.8に測定結果を示す。信頼性の高いアクティブ法から算出された濃度と3.4で求めたパッシブサンプラーの相当流量から算出した気中濃度を比較すると、ベンゼンを除きアクティブ法より高い値を示した。特に $\alpha$ -ピネンが高く居間でアクティブ法の68倍という結果となった。その他の物質ではメチルイソブチルケトン、酢酸ブチル、ウンデカンがアクティブ法と比べ5倍以上の結果となったが、多くの物質は2倍前後であった。3.4で求めた相当流量から算出した気中濃度とメーカーが参考値として示している相当流量から算出した気中濃度を比較するとベンゼン、ドデカンを除き（オクタン、*o*-キシレン、ウンデカンはメーカー参考値がないため比較できず）メーカー参考値の方がアクティブ法に近い値を示した。しかしながら比較実験、現場測定とも、データ数がまだ少なく、今後さらに実験、現場測定を行なって比較検討する必要があると思われる。

表-4.8 パッシブサンプラーを用いた住宅測定結果

室名	室1			室2		
	パッシブ法		アクティブ法	パッシブ法		アクティブ法
	実験平均	参考値		実験平均	参考値	
ベンゼン	2.3	1.1	3.4	2.74	1.27	4
メチルベンゼン	5.7	3.3	ND	4.82	2.77	0.8
トルエン	48.7	46.6	47	48.28	46.26	58
酢酸ブチル	5.0	ND	2.2	3.30	ND	1.8
エチルベンゼン	50.6	30.0	5.9	35.48	21.06	6.7
m,p-キシレン	18.2	13.2	12	14.42	10.45	12.3
o-キシレン	24.1	16.6	14	19.37	13.37	15
スチレン	9.5	ND	6.1	7.70	ND	6
ナフテン	10.0	6.1	2.8	8.33	5.12	3.3
ヒネン	10.7	7.3	5	7.03	4.82	4.3
1,3,5-トリメチルベンゼン	148.6	74.5	2.2	112.39	56.39	2
1,3,5-トリメチルベンゼン	8.2	4.6	1.7	6.36	3.56	1.6
1,2,4-トリメチルベンゼン	21.3	7.6	6	16.18	5.73	5.7
デカリン	18.8	3.3	7.7	16.82	2.96	6.8
p-ジメチルベンゼン	5.4	2.2	1.9	4.56	1.89	2.5
1,2,3-トリメチルベンゼン	8.6	2.2	1.8	6.48	1.64	1.7
フィレン	24.0	9.6	12	39.27	15.68	15
ウンデカリン	33.1	ND	5.8	27.32	ND	5.3
ドデカリン	8.4	1.8	5.9	8.66	1.83	5.3

5 簡易予測式を用いた考察

5.1 はじめに

本章では 3 章で行った建材放散速度のデータを基にした濃度予測の可能性に関する基礎的検討を行なう。濃度予測に際し、図-5.1 のような室を考える。この時、アルデヒド類、VOCs は室内空間では瞬時に一様に拡散すると仮定し、微小時間 dt における化学物質の室に対する流出入バランスを考えると以下の式になる。

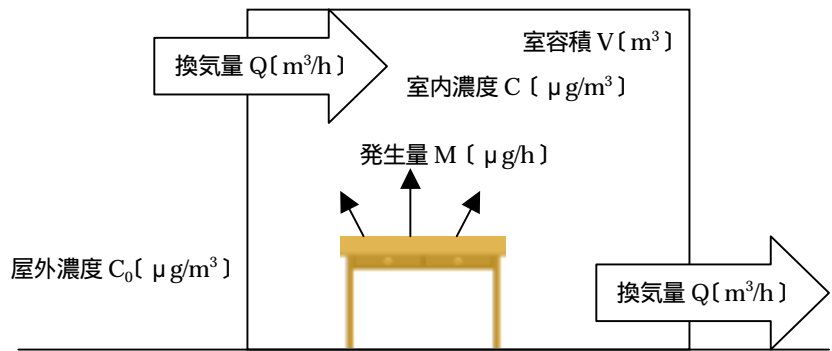


図-5.1 室における流出入バランス

$$C_0 Q dt + M dt - C Q dt = V dC \quad (5.1)$$

この時、C:室内濃度 [ µg/m³ ]、C<sub>0</sub>:屋外濃度 [ µg/m³ ]、Q:換気量 [ m³/h ]、M:室内総発生量 [ µg/h ]、V:室容積 [ m³ ] である。これを初期条件 t=0 で C=C<sub>s</sub> [ C<sub>s</sub>:室内の初期濃度 ] として解くと

$$C = C_0 + (C_s - C_0) e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{M}{Q} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad (5.2)$$

この式で定常状態、すなわち t → ∞ で、

$$C = \frac{M}{Q} + C_0 \quad (5.3)$$

$$M = \sum_i^n (EF_i \times A_i) \quad (5.4)$$

と表される。この時、 $EF_{i,j}$  番目の部材の放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]、 $A_{i,j}$  番目の部材の面積 [ $\text{m}^2$ ] である。この式を用いて RC 造実験住宅 1、RC 造実験住宅 2 濃度予測を行なう。木造戸建住宅は建材の放散速度データがないため、家具の放散速度データを用いて家具搬入による濃度上昇についての考察を行なう。なお、RC 造実験住宅 1、RC 造実験住宅 2 濃度予測を行なう際に外気濃度データがないため外気濃度  $C_0$  は 2001 年夏に行った木造戸建住宅の屋外濃度の平均値を用いた。

## 5.2 RC 造実験住宅 1

ここでは 3.3.2 で FLEC を用いて測定した放散速度を用いて濃度予測を行った。濃度予測は居間、洋室 1、洋室 2 について行い、和室は居間との間のふすまが無く開放状態にあったので居間に含めて計算を行った。このとき、建具は壁

表-5.1 RC 造実験住宅 1 概要

	居間	和室	洋室 1	洋室 2
床面積 [ $\text{m}^2$ ]	16.9	10.1	11.5	8.54
壁面積 [ $\text{m}^2$ ]	29.4	23.0	34.4	30.5
天井面積 [ $\text{m}^2$ ]	17.9	10.1	12.1	8.54
気積 [ $\text{m}^3$ ]	41.4	25.2	28.3	21.4

とみなして計算を行った。さらに、実際の RC 造実験住宅 1 の換気回数が不明なため換気回数は 0.1 回/h と 0.5 回/h と仮定して計算を行った。表-5.1 に計算に用いた各室の気積と部材の表面積を示す。

表-5.2 に計算値と実際の測定値を示す。また図-5.2 に実測値と計算値の比較を示す。ここで計算値との比較に用いた実測値は FLEC を用いた測定を行った前後の現場測定結果の平均値を用いた。居間・和室に関して、VOCs の換気回数 0.1 回/h の計算値は実測値の 0.88 倍～2.1 倍と換気回数 0.5 回/h に比べ近い値となった。このことから、測定時の RC 造実験住宅 1 の換気量は 0.1 回/h に近いものと推測される。また、図-5.2 を見ると VOCs に関して実測濃度と計算濃度との間に高い相関関係が認められ、本研究で取り扱った VOCs に関しては同一の式を用いて予測できることがわかった。一方、ホルムアルデヒド（黄色で表示）に関して、VOCs とは異なった傾向を示し、換気回数 0.1 回/h の計算値は実測値の 5.9 倍となった。これは、ホルムアルデヒドが主として居間から放散しており、現場測定時は扉が開いていたため他室にホルムアルデヒドが流出したことに加え、既往の研究でも指摘しているホルムアルデヒドの内装部材への再吸着性が強いと考えられる。洋室 1 を見ると、ベンゼンに関して換気回数 0.1 回/h の計算値が実測値の 6.2 倍であったが他は 0.55 倍～2.9 倍と居間・和室同様、換気回数 0.5 回/h に比べ近い値となった。ホルムアルデヒドは洋室 1 の建材からは検出されなかったにもかかわらず実測濃度は屋外濃度より高かったことから居間・和室からの流入したと考えられる。洋室 2 も他の室同様、換気回数 0.1 回/h の計算値と実測値が近い値を示した。

表-5.2 RC 造実験住宅 1 における計算値と実測値

換気回数	居間・和室			洋室1			洋室2		
	計算値		実測値	計算値		実測値	計算値		実測値
	0.1回/h	0.5回/h		0.1回/h	0.5回/h		0.1回/h	0.5回/h	
ホルムアルデヒド	140	35.9	23.7	9.84	9.84	17.8	9.84	9.84	18.0
ベンゼン	0.755	0.151	0.927	14.2	2.84	2.28	0.913	0.183	2.05
トルエン	171	35.5	145	124	26.1	141	65.6	14.3	96.6
エチルベンゼン	44.7	8.94	31.0	74.4	14.9	58.1	49.3	9.87	61.2
m,p-キシレン	56.3	11.3	45.8	88.0	17.6	80.4	76.5	15.3	83.8
o-キシレン	40.3	8.07	28.3	61.4	12.3	40.3	51.2	10.2	52.4
スリソ	83.6	16.7	56.0	75.7	15.1	84.4	46.1	9.22	34.0
ヒノキ	7.39	1.48	6.47	5.47	1.09	7.31	4.26	0.852	7.64
1,3,5-トリメチルベンゼン	2.84	0.568	1.74	3.42	0.685	1.95	3.70	0.740	2.06
1,2,4-トリメチルベンゼン	10.4	2.08	5.55	11.8	2.36	5.91	12.5	2.51	6.37
デカリン	18.3	3.65	15.9	58.7	11.7	58.4	35.5	7.09	15.0
1,2,3-トリメチルベンゼン	3.48	0.695	1.69	4.71	0.943	1.76	5.20	1.04	1.94
ウンデカリン	16.5	3.30	8.05	31.7	6.34	11.1	36.1	7.23	9.24

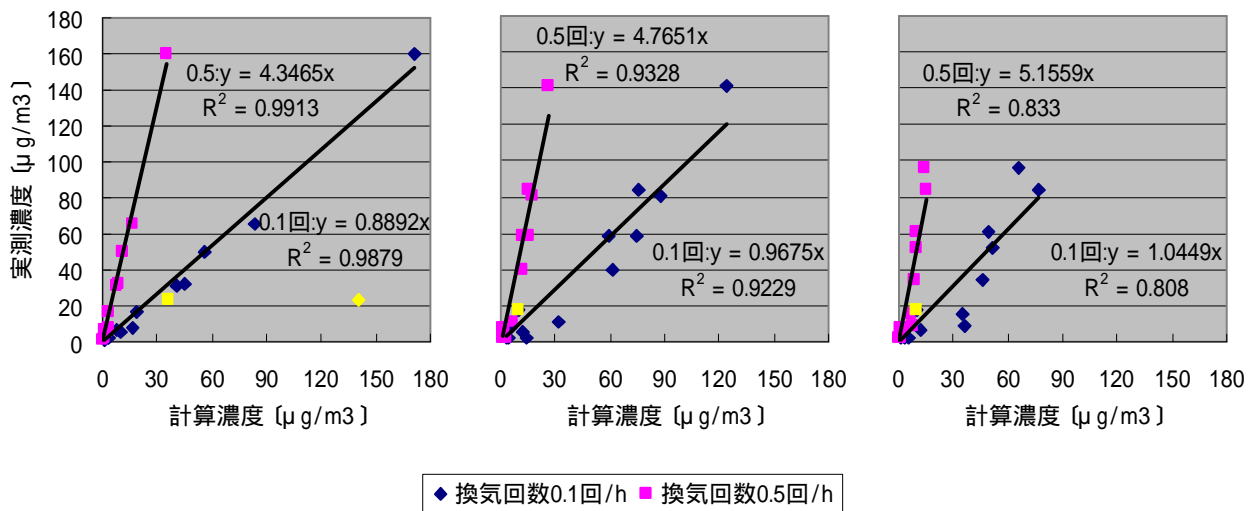


図-5.2 計算濃度と実測濃度の比較 (左:居間・和室、中:洋室1、右:洋室2)

### 5.3 RC造実験住宅2

ここでは、3.2、3.3で測定して求めた建材の放散速度を用いて気中濃度予測を行なった。2000年夏に行ったチャンバー実験の結果は2000年夏に行われた現場測定の結果と居間、A室、B室、A室収納について比較する。2001年に行ったチャンバー実験とFLECの結果は測定時期が異なるが2001年冬に行った現場測定の結果と比較を行なう。実際のRC造実験住宅2の換気回数は自然換気時と第3種換気時の換気回数は不明であったが、第1種換気時において居間が0.3回/h、A、B室が0.6回/hであったため第3種換気時も居間が0.3回/h、A、B室が0.6回/hと仮定して計算を行なった。また、自然換気時の換気回数は0.1回/hと仮定した。表-5.3に計算に用いた各室の気積と部材の表面積を示す。この時、各室の天井高は不明だったため、壁面積より推測し2.5mと仮定した。

表-5.3 RC造住宅2室概要

	居間	A室	B室	A収
床面積 [m <sup>2</sup> ]	19.2	9.25	9.25	1.90
壁1面積 [m <sup>2</sup> ]	16.6	12.7	12.7	2.20
壁2面積 [m <sup>2</sup> ]	14.0	10.3	10.3	7.33
天井面積 [m <sup>2</sup> ]	19.2	13.0	13.0	1.90
建材1面積 [m <sup>2</sup> ]	1.62	1.33	1.33	3.23
建材2面積 [m <sup>2</sup> ]		3.23	3.23	
気積 [m <sup>3</sup> ]	34.9	25.8	25.8	4.75

#### (1) 2000年チャンバー測定

図-5.3にホルムアルデヒドの計算濃度と実測濃度の関係を示す。このときのホルムアルデヒド濃度は計算、実測ともに井上式を用いて設定温度25、設定相対湿度50%に換算を行った。図を見ると、計算濃度は100 μg/m<sup>3</sup>前後に集中しているが実測濃度は計算濃度に関係なく50~500 μg/m<sup>3</sup>広く分布しており、計算値と実測値の間には高い相関関係は認められなかった。

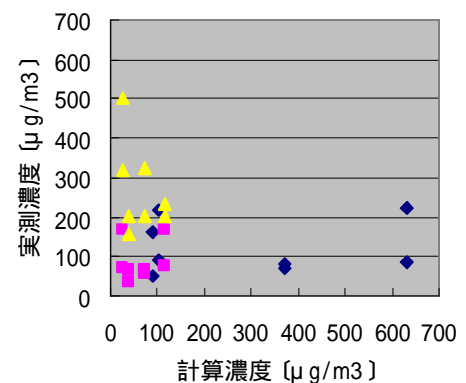


図-5.3 ホルムアルデヒド計算濃度と実測濃度の比較

#### (2) 2001年チャンバー測定

図-5.4にVOCsの計算濃度と実測濃度の関係を示す。黄色はトルエンを示しているが、トルエンを除くことによって3種換気ときは比較的高い相関関係にあったが自然換気ときはあまり高くはなかった。これは計算濃度と実測濃度との間には高い相関関係が認められなかった。これは、3章で述べたようにチャンバーの汚染によるものと考えられる。

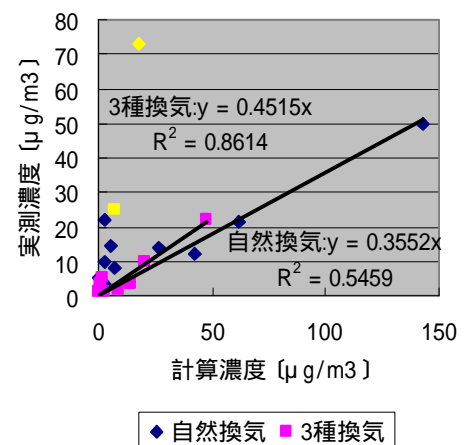


図-5.4 VOCs計算濃度と実測濃度の比較

(3) 2001年FLEC測定

図-5.5にホルムアルデヒドの計算濃度と実測濃度の関係、図-5.6にVOCsの計算濃度と実測濃度の関係を示す。このときのホルムアルデヒド濃度は計算、実測ともに井上式を用いて設定温度25、設定相対湿度50%に換算を行った。ホルムアルデヒドに関して、図を見ると全体的に計算濃度の方が実測濃度より高くなる傾向が見られた。

VOCsを見ると、居間、A室ではトルエン(黄色で表示) B室ではスチレン(緑色で表示)を除けばRC造実験住宅1同様、高い相関関係にあった。居間、A室では建材以外からトルエンが発生していたと考えられる。しかし、RC造実験住宅1に比べ実測濃度と計算濃度の差が大きかった。これは、実測値は2001年2月に測定したものであり、計算値に使用したFLECの測定は2001年10月~12月にかけて行ったものであり、測定時期に約9ヶ月の差があることに加え、FLECの測定に用いた試験体は換気回数の高い室で保管されていたため試験体の放散量が実験住宅に使用されている建材より早く減衰したためと考えられる。

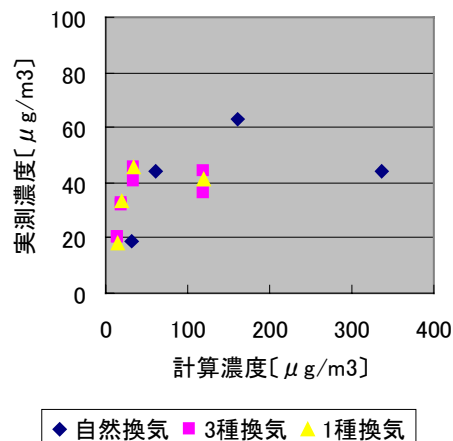


図-5.5 ホルムアルデヒド計算濃度と実測濃度の比較

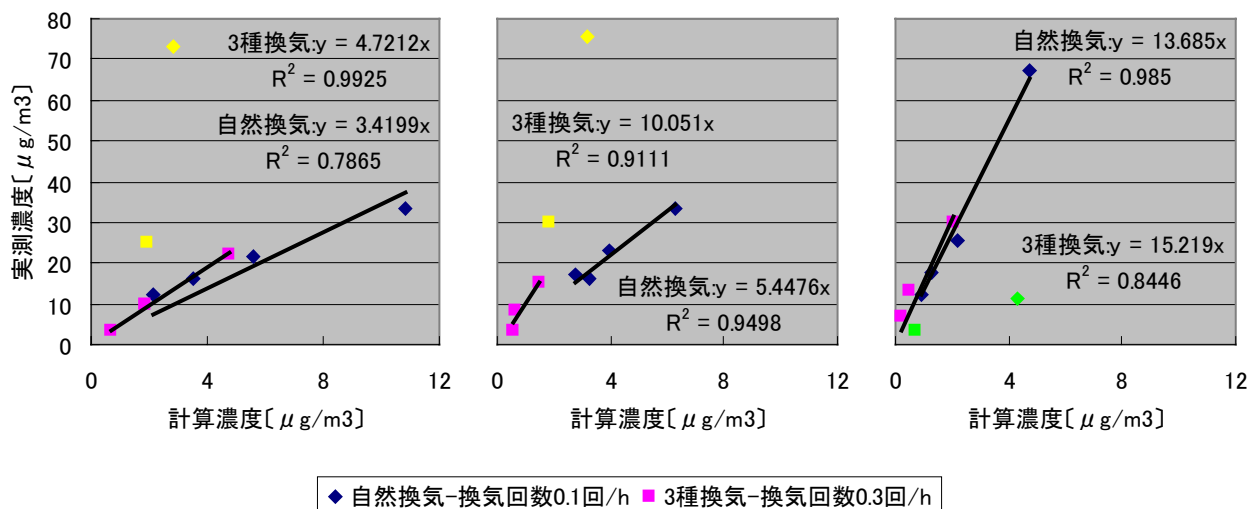


図-5.6 VOCs 計算濃度と実測濃度の関係 (左:居間、中:A室、右:B室)

5.4 家具の搬入に伴う濃度上昇予想

ここでは3.2.3の家具からの放散速度測定データを用いて、家具搬入による気中濃度上昇について考察する。今回対象としたのは3章で測定した書棚と食器棚で、書棚は洋室に、食器棚はLDKに搬入すると仮定して計算を行った。表-5.は書棚2本搬入による上昇濃度予想、表-5.は食器棚搬入による上昇濃度予想である。これらを見る限り、ホルムアルデヒドの予想上昇濃度が大変大きい結果となった。これらの家具を搬入することによって換気回数0.1回の室だとこれらの家具の放散分だけでホルムアルデヒドの厚生労働省の指針値は100 μg/m³に近い値になる可能性がある。しかも実際の生活では書棚に加え机や椅子など様々な家具を搬入することも考えられ、建材だけでなく、家具の影響も考える必要がある。

表-5.4 書棚搬入による予想上昇濃度

換気回数	ホルムアルデヒド*		トルエン		エチルベンゼン		m,p-キシレン		o-キシレン	
	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回
木造戸建 洋室	41.9	8.38	3.10	0.621	5.49	1.10	8.48	1.70	2.74	0.547
RC造1 洋室1	91.3	18.3	6.76	1.35	11.97	2.39	18.5	3.70	5.96	1.19
洋室2	121	24.2	8.95	1.79	15.85	3.17	24.5	4.90	7.89	1.58
RC造2 A室	112	22.4	8.27	1.66	14.63	2.94	22.6	4.54	7.29	1.46

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表-5.5 食器棚搬入による予想上昇濃度

	ホルムアルデヒド*		トルエン		エチルベンゼン		m,p-キシレン		o-キシレン		スチレン	
	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回	0.1回	0.5回
木造戸建 居間	27.7	5.54	1.67	0.334	1.63	0.326	1.82	0.365	0.741	0.148	18.7	3.75
建研RC 居間	71.4	14.3	4.31	0.861	4.21	0.842	4.70	0.941	1.91	0.383	48.3	9.66
RC2 居間	99.1	19.8	5.97	1.19	5.84	1.17	6.52	1.30	2.65	0.530	67.0	13.4

単位は  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 6 終章

### 6-1 まとめ

本研究は実験室測定、現場測定を行なうことによって、建材、家具からの化学物質放散量、実際の住宅内での化学物質気中濃度の実態を把握し、実験室測定の結果から簡易な予測式を用いて気中濃度を予測し、現場測定と比較することで濃度予測の可能性の基礎的検討を行なうことを目的として行なった。

以下、各章で得られた結果をまとめる。

第1章では室内空気汚染の背景を述べ、その中でも建材由来による化学物質が大きな問題になっていることを挙げ、本研究の目的である実験室でのチャンバーや FLEC を用いて建材や家具からの化学物質放散量を測定するとともに実際にその建材や家具が使用されている実験住宅で現場測定することによって実態を把握し、実験室測定の結果から簡易な予測式を用いて気中濃度を予測し、現場測定と比較することで濃度予測の可能性について基礎的検討を行なうことの重要性について述べ、さらに本研究に関する既往の研究についてまとめている。

第2章では対象とする化学物質を示し、アルデヒド類、VOCs 濃度の測定方法、捕集媒体、分析方法についてまとめ、本研究で採用した測定方法、捕集媒体、分析方法を示した。

第3章ではチャンバーや FLEC を用いて建材、家具からの化学物質放散量を測定した。また、あるパッシブ法に関してアクティブ法との比較実験を行った。RC造実験住宅1で使用されている建材に関して、ホルムアルデヒドは居間の床から大量に放散されていた。部位別では床、天井の放散速度が大きく、壁からの放散は少なかった。

RC造実験住宅2で使用されている建材に関して、部位に関係なくホルムアルデヒドの放散量が高かった。また、室表面積に占める割合は低い、建具からの放散量が多く、主要な発生源となっていた。1年の時間経過による放散速度の変化については良い知見が得られなかった。チャンバー法と FLEC 法を比較すると、チャンバー法の VOCs 放散速度が高くチャンバーシステムが VOCs に汚染されている可能性があった。家具に関しても、ホルムアルデヒドの放散量が多かった。靴箱は表面積が小さい割には放散量が多かった。食器棚はホルムアルデヒドだけでなくスチレンの放散量も多かった。

第4章では3棟の実験住宅を対象に現場測定を行なった。また、3章で比較実験を行ったパッシブサンプラーを用いて実際の住宅で測定を行ないアクティブ法との比較を行った。

木造戸建住宅では家具の搬入前後の濃度変化、機械換気システム on-off による濃度変化、経時変化によ

る濃度変化について測定を行なった。家具を搬入することによってほとんどの VOCs 濃度は上昇した。また、機械換気システムを on から off にすることによっても多くの VOCs で気中濃度が上昇した。しかしながら、ホルムアルデヒドは、家具搬入、機械換気どちらに関してもあまりよい知見は得られなかった。さらに、1 年の時間経過にともなう濃度変化を見ると、VOCs は 1 年前の 50% 以下に減衰していたが、ホルムアルデヒドはあまり濃度が変化していなかった。

RC 造実験住宅では施工中、施工後の濃度変化について測定を行なった。施工中はトルエン濃度が特に高く厚生労働省の指針値である  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を大きく超え最高で  $16100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と指針値の約 60 倍を記録した。その他の物質ではキシレン、エチルベンゼンが高濃度であった。ホルムアルデヒドは工事期間中あまり変動しなかった。施工後はどの物質も施工直後が最も高濃度で時間の経過とともに約 0.01 ~ 0.16 倍に減衰した。特にトルエンの減衰が大きく、施工中、施工直後、トルエンは VOC の 7 割を占めていたが、竣工から 5 ヶ月後には 2 割まで下がっていた。

RC 造実験住宅 2 では温度・換気方式の違いによる気中濃度の変化や経時変化による気中濃度変化について測定された。2000 年夏の測定では、換気条件が同じで温度が約 10 上昇することによって気中濃度はホルムアルデヒドが 1.04 ~ 7.76 倍、アセトアルデヒドが 1.15 ~ 5.17 倍に上昇した。換気方式の違いに注目すると、3 種換気時は自然換気時に比べ気中濃度は低減されたが、1 種換気時は逆に自然換気時より高くなるという結果となった。2001 年冬の測定では温度が約 10 上昇することによってアルデヒド類の気中濃度は 1.2 ~ 1.8 倍上昇した。また、1 種、3 種換気を行なうことによって自然換気時よりアルデヒド類は 10 ~ 46% 気中濃度が低減された。VOCs に関してはほぼすべての物質で気中濃度が 5 割以下に低減された。5 ヶ月の時間経過にともなう濃度変化を見ると、0.97 ~ 0.05 倍に減衰した。また、2000 年夏は換気、温度条件の違いによって最大 9.2 倍の気中濃度の差があったが、2001 年冬では最大 1.8 倍と時間が経過することによって換気、温度による影響が小さくなった。

3 章で比較実験を行なったパッシブサンプラーを用いた実際の住宅で測定ではアクティブ法と 3 章の結果から算出したパッシブ法の気中濃度では物質によって大きな隔りがあり、今後更に実験を行う必要がある。

第 5 章では第 3 章で行った建材の放散速度測定結果を基に簡易な予測式を用いて濃度予測を行った。チャンバーで測定した放散速度結果を用いるとホルムアルデヒド、VOCs とともによい知見が得られなかった。

FLEC を用いて測定した放散速度結果を用いると計算濃度と第 4 章で測定を行った実測濃度との間に VOCs に関しては高い相関関係が認められた。現場で FLEC 測定を行った RC 造実験住宅 1 は VOCs の計算濃度と実測濃度が比較的近い値を示したと推測されたが、実験室でカットモデルを用いて測定を行った RC 造実験住宅 2 は VOCs の計算濃度が実測濃度の 1/10 以下になったものが多く、施工からある程度時間経過があるものは試験体の保管方法により放散速度が大きく変化することが分かった。また、家具の放散速度結果より家具搬入に伴う気中濃度上昇量を試算したが、家具搬入によって大きな影響があることが分かった。

以上より実験室および現場における測定を行なった結果、チャンバー法に関して、供給空気の汚染や過去の実験で放散された化学物質のチャンバー壁への残留等のチャンバーシステム自体の問題でよい知見が得られなかった。チャンバー法は温度、湿度、換気回数などをコントロールでき、大変有用でなので原因を早急に究明する必要がある。一方、FLEC 法での放散速度測定結果は瞬時一様拡散モデルを用いると現場測定気中濃度と相関関係が認められ、この簡易モデルは VOCs に関しては有用であることが確認された。しかし、ホルムアルデヒドに関して、VOCs とは傾向が異なっており、瞬時一様拡散モデルを基に再吸着などを考慮に入れて検討する必要がある。

## 6-2 今後の課題

本研究に関連して、今後の検討・解決すべき問題を以下に挙げる。

- ・ チャンバー法の再検討

今回の測定ではチャンバーシステムの汚染などが問題となったが、現在、シックハウスに関して法制化が検討されており、今後、設計段階で濃度をある程度予測しておくことが非常に重要になってくると思われる。そこで温度、湿度、換気回数などをコントロールできるチャンバー法の整備が重要であり、早急に再検討する必要がある。

- ・ 換気回数を含めた検討

今回、現場測定では換気回数の測定ができなかったため詳細な検討が行えなかった。今後は換気回数の測定し、より詳細な分析を行なう必要がある。

- ・ ホルムアルデヒドに関する濃度予測式の開発

今回の検討ではよい知見が得られなかったため、瞬時一様拡散モデルを基に再吸着などを考慮に入れて検討する必要がある。

- ・ パッシブサンプラー

パッシブサンプラーに関しては比較実験 5 例、現場測定 2 例とまだまだデータ数が少ないため、今後も測定を行ない、データを蓄積し再度検討する必要がある。

## 謝辞

本研究を行なうにあたり、名古屋大学 辻本 誠教授には大変お世話になりました。この論文をまとめることができましたのは、なかなか作業の進まない私に叱咤激励し、温かく見守っていただいた先生のご指導の賜物であり、ここに厚く御礼申し上げます。

独立行政法人建築研究所 坊垣和明研究調整官には共同研究の機会を与えていただき、多くの測定の機会を得ました。ここに深く感謝を申し上げます。

国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 桑沢保夫主任研究官には物覚えの悪い私に測定方法、分析方法を一から丁寧に教えていただいただけでなく、本研究をまとめるにあたり多大なるご助言をいただきました。また、私のつくば滞在時には公私にわたり多くのサポートをいただきました。ここに心より御礼申し上げます。

国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部 大沢元毅部長はじめ住宅研究部 三木保弘氏、中山朋絵氏、西田ゆかり氏には測定、分析のお手伝いをしていただいたり、励ましの言葉をかけていただいたりしました。つくばという右も左も分からない場所での生活は当初、とても心細かったのですが、その励ましの言葉によって大変勇気づけられました。ここに厚く御礼申し上げます。

独立行政法人建築研究所住宅・都市研究グループ 布田健氏には現場測定の際に多大なご協力をいただきました。独立行政法人建築研究所材料研究グループ 今井誠弘氏には実験室の測定や分析の際、多くの技術的なご助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。また、測定に関わってくださった全ての方に深く御礼申し上げます。

独立行政法人建築研究所防火研究グループ 河野守氏にはつくば滞在時に公私にわたりサポートしていただきました。この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

また、辻本研究室や名古屋大学環境学研究科都市環境学専攻建築学系環境設備工学講座の皆さんには数多くの助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

最後に、卒業論文の指導教官である名古屋大学 齋藤輝幸助教授には卒業論文に引き続いて本研究に関しても熱心にご指導していただきました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

### 第1章

- 1) 「健康的な居住環境形成技術の開発」A 課題:室内環境実態調査平成10年度報告書
- 2) 田辺新一,(財)ベーターリビングに寄せられた危害情報の調査,住宅における生活環境の衛生問題の実態調査総合報告書, pp.15-23, 2001
- 3) 難波龍人,化学物質過敏症,建築雑誌/Vol113/1998年4月号, pp.26-27, 1998
- 4) 吉川翠;阿部恵子;小峯裕己;松村年郎,住まいQ&A 室内汚染とアレルギー, pp.40, 1999
- 5) 厚生労働省ホームページ,シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会中間報告書-第6回~第7回のまとめについて <http://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1.html>
- 6) 厚生労働省ホームページ,01/10/11 第8回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会(議事録) <http://www.mhlw.go.jp/shingi/0110/txt/s1011-4.txt>
- 7) WHO ホームページ, <http://www.who.int/peh/air/Airqualitygd.htm>
- 8) 厚生労働省ホームページ,室内空気汚染に係るガイドライン(案)に対する意見の募集結果について <http://www.mhlw.go.jp/public/kekka/p0727-1.html>
- 9) 国土交通省ホームページ「住宅の品質確保の促進等に関する法律」のポイント」 <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/hinkaku/gaiyou/g01.htm>
- 10) 土橋芳郎;于穎;中川雅至;本田純司;小林康彦,建材や家具からのホルムアルデヒド放散速度の測定に関する研究 その6.ラージチャンバーによる家具実験の結果,1999年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)D-2 環境工学, pp.717~718, 1999
- 11) 布施幸則;鈴木道哉;山口一;成富隆昭;梶間智明;岡建雄,集合住宅の主な内装部材からのホルムアルデヒド,揮発性有機化合物の発生速度の定量化と濃度予測に関する基礎的検討,日本建築学会計画系論文集第533号, pp.29-35, 2000
- 12) 田辺新一,化学物質汚染低減化対策を行なった実験住宅のアルデヒド類、VOCの測定,1999年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)D-2 環境工学, pp.739-740, 1999
- 13) 浅井靖史;田辺新一;野本岳志;吉川聡雄;萩谷宏三,新築集合住宅におけるアルデヒド類、VOCの気中濃度と部位別放散速度実測,1999年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)D-2 環境工学, pp.751-752, 1999
- 14) 伴野正幸;浅井靖史;村江行忠;田辺新一,実大モデルルームを用いた室内化学物質濃度・放散速度に関する研究(その2 部位別寄与率・気中濃度の予測),2001年度日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2 環境工学, pp.867-868, 2001
- 15) 瀧ヶ崎薫;江口清;牧野真之;坊垣和明;大沢元毅;桑沢保夫,集合住宅の室内空気質に関する実大実験 その1 竣工後のホルムアルデヒド濃度測定結果,2000年度日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)D-2 環境工学, pp.759~760, 2000
- 16) 瀧ヶ崎薫;江口清;牧野真之;坊垣和明;大沢元毅;桑沢保夫,集合住宅の室内空気質に関する実大実験 その2 換気方式によるホルムアルデヒド濃度の比較,2001年度日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2 環境工学, pp.919~920, 2001
- 17) 桑沢保夫;坊垣和明,完成直後の集合住宅における室内空気質の調査,2001年度日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2 環境工学, pp.917-918
- 18) 桑沢保夫;坊垣和明,建設中の木造住宅における空気質測定,平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.657-660, 2001
- 19) 熊谷一清;坊垣和明;池田耕一;堀雅宏;松村年郎;飯倉一雄;吉澤晋,実大実験住宅の施工中および直後における室内揮発性有機化合物濃度に関する研究,日本建築学会計画系論文集第542号, pp.77-83, 2001

- 20) 坊垣和明;広川美子;佐藤重幸;大沢元毅;桑沢保夫, RC 集合住宅の施工現場におけるアルデヒド類の濃度の測定, 1999 年日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) D-2 環境工学, pp.755-756, 1999

### 第3章

- 1) 馬郡文平;熊谷一清;由岐中聡美;吉田仁美, 住宅内の化学物質に関する基礎知識, 建築雑誌/Vol113/1998年4月号, pp52-57, 1998
- 2) 財団法人日本化学繊維検査協会ホームページ カケン News Vol.49 [ 2000.1.1 ] デシケータ法 [http://www.kaken.or.jp/news/2000/vol49\\_4.html](http://www.kaken.or.jp/news/2000/vol49_4.html)
- 3) 建築研究所建築環境実験棟パンフレット
- 4) P. Wolkoff et al., "Field and Laboratory Emission Cell: FLEC", IAQ 91 Healthy Buildings, pp.160-165, 1991

### 第4章

- 1) 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年
- 2) 于穎「温度、相対湿度が変化した場合のホルムアルデヒド気中濃度の換算」日本建築学会大会(東北)梗概集、D-2pp.845-846, 2000

付録 A1 用語解説

- ・ シックビル…アメリカの退役軍人パーティで参加者の多くが中毒症状を訴える事件があり、それは後に空調由来のレジオネラ菌によるものと分かったが、この事件以降、ひとつのビルで多くの人々が異常を訴える現象をシックビル症候群と呼ぶようになった<sup>1)</sup>。
- ・ シックハウス…シックハウスを考える会 代表 上原裕之さんが作った造語で、室内環境研究会でこの名前を公表したとされている。この時は厚生省の担当者から「シックハウスという名前はないからシックビルに改めるように」といわれたが、平田米男議員(当時)が国会でシックハウスに関する質問趣意書がきっかけで現在通名となっている<sup>1)</sup>。
- ・ F1…日本農林規格(JAS)により定められている木質材料におけるホルムアルデヒド放散区分。合板、構造用パネル、フローリング、集成材などについて定められている。以前は F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub> と表示されていたが現在は F<sub>C0</sub>、F<sub>C1</sub>、F<sub>C2</sub> となり基準値も変更された。表-A1.1 に JAS ホルムアルデヒド放散区分を示す<sup>2)3)</sup>。

表-A1.1 JAS ホルムアルデヒド 放散区分 (旧)			表-A1.2 JAS ホルムアルデヒド 放散区分 (新)		
表示区分	基準値 (平均)	基準値 (最大)	表示区分	基準値 (平均)	基準値 (最大)
F1	0.5 mg/l 以下	0.7 mg/l 以下	Fc0	0.5mg/l 以下	0.7mg/l 以下
F2	5.0 mg/l 以下	7.0 mg/l 以下	Fc1	1.5mg/l 以下	2.1mg/l 以下
F3	10 mg/l 以下	12 mg/l 以下	Fc2*	5.0mg/l 以下	7.0mg/l 以下

\*集成材は平均 3.0 mg/L 以下、最大 4.2 mg/L 以下

- ・ E0…日本工業規格 (JIS) により定められている繊維板、パーティクルボードのホルムアルデヒド放散規格。繊維板では MDF (中比重繊維板) については JIS A 5905 で、パーティクルボードに関しては JIS A 5908 で、デシケータ法によるホルムアルデヒドの放散量に関して表-A1.3 に示すように規定されている。

表-A1.3 JIS ホルムアルデヒド 放散区分	
表示区分	ホルムアルデヒド 放散量
E0	0.5mg/l 以下
E1	1.5mg/l 以下
E2	5.0mg/l 以下

- ・ RAL 規格…1990年、ドイツの壁紙メ - カ - が「壁紙品質保証協会」を設立し RAL(ドイツ商品安全表示協会)と協力して「品質検査規定 (RAL-GZ479)」を作成した規格。この規格はモノ塩化ビニル、ホルムアルデヒド、重金属の量に基準値を設けて有害な物質が室内に放出されないように配慮されており、世界的にも高く評価されている。表-A1.4 に検査基準を示す。



図-A1.1 RAL マーク

- ISM 規格...Interior Safety Material の略称で、環境と健康・人の生命・身体または財産を損なわないよう、壁装材料協会が制定した安全規定です。RAL 規格同様モノ塩化ビニル、ホルムアルデヒド、重金属の量に基準値を設けている。表-A1.3 に検査基準を示す<sup>4)</sup>。



図-A1.2 ISM マーク

表-A1.4 RAL 規格、ISM 規格の検査基準

項目	基準値および規制	
	RAL	ISM
(1)モノ塩化ビニル	0.2 ppm 以下	0.2 ppm 以下
(2)ホルムアルデヒド	0.05 ppm 以下	0.05 ppm 以下
(3)重金属		
バリウム	-	500 mg/kg 以下
鉛	30 mg/kg 以下	90 mg/kg 以下
クロム	20 mg/kg 以下	60 mg/kg 以下
アンチモニー	-	20 mg/kg 以下
ヒ素	5 mg/kg 以下	8 mg/kg 以下
カドミウム	5 mg/kg 以下	25 mg/kg 以下
水銀	2 mg/kg 以下	20 mg/kg 以下
セレンウム	10 mg/kg 以下	165 mg/kg 以下
(4)安定剤	鉛・カドミウム含有は使用不可	鉛・カドミウムは含まないこと
(5)発泡剤	クロロフルオロカーボン類は使用不可	クロロフルオロカーボン類を使わないこと
(6)溶剤	-	壁紙製造工程において希釈や洗浄に塩素系および芳香族系の溶剤を不使用(1998年までに TVOC 排出量を 50g/m <sup>3</sup> 以下とする)
(7)可塑剤	蒸気圧:25 で 10 <sup>-2</sup> Pa 以下 沸点:1013mb で 300 以下	極めて蒸気圧の低い分子量 300g/mol 以上の難揮発性可塑剤のみを使用
(8)残留 VOC	VOC:100 μg/g 以下 TEX 芳香族:10 μg/g 以下	-
(9)接着剤	-	壁張りに用いる接着剤は、揮発性有機化合物ならびに人の健康に害悪を及ぼす化学薬品を含まないものを使用する。

- TVOC...Total Volatile Organic Compounds(総揮発性有機化合物)の略で、複数 VOC 混合物の濃度レベルのことである。厚生労働省では以下のように定めている<sup>5)</sup>。
  1. 空気の採取には、Tenax TA 吸着体を使用する。同水準の吸着と脱着が確保できる場合は、他の吸着体を用いてもよい。
  2. 加熱脱着により、採取した VOCs を吸着体から GC カラムに移す。
  3. 分析には不活化された非極性の GC カラムを使用する。その分析システムは、トルエン及び 2-ブトキシエタノールの検出限界をそれぞれ少なくとも 0.5μg/m<sup>3</sup>、2.5μg/m<sup>3</sup> まで許容しなければならない。
  4. クロマトグラムでは、n-ヘキサンから n-ヘキサデカンまでの部分に見つけられる化合物を考慮すること。
  5. 個別の検出ピークに基づいて、できるだけ多くの VOC を定量すること。その際には、少なくとも、下に示す必須 VOCs リストに含まれる化合物及び検出上位 10 ピークにそれぞれ該

- 当する化合物を定量すること。同定された各化合物の合計濃度 Sid を計算する。
6. 未同定の各 VOC のピークについては、トルエンの検出量に換算して、合計濃度 Sun を決定する。
  7. 手順 5 及び 6 の結果、Sid が Sid + Sun の合計の 2/3 量に達していれば、VOCs の特定は許容できる水準にあると言える。Sid + Sun の合計が 1mg/m<sup>3</sup> 未満のときは、Sid が Sid + Sun の合計の 1/2 量に達していれば十分である。
  8. Sid + Sun の合計が TVOC 値と定義される。
  9. たくさんの化合物ピークが 4 で示した VOC 範囲の外に観察される場合は、その旨注釈を付けること。なお、上記の手順で決定された TVOC 値は、室内空気中の全 VOC を含む訳ではないことに留意すべきである。TVOC 値には反映されない、室内空気質に深く係る汚染物質が存在する。特に低分子のアルデヒド類はその代表例で、通常、TVOC とは別途、望ましくは DNPH 法を用いて測定される。

### **必須 VOCs リスト**

#### ○芳香族炭化水素

ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、n-プロピルベンゼン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、2-エチルトルエン、スチレン、ナフタレン、4-フェニルシクロヘキセン

#### ○脂肪族炭化水素 (n-C6 ~ C16)

n-ヘキサン、n-ヘプタン、n-オクタン、n-ノナン、n-デカン、n-ウンデカン、n-ドデカン、n-トリデカン、n-テトラデカン、n-ペンタデカン、n-ヘキサデカン、2-メチルペンタン、3-メチルペンタン、1-オクテン、1-デセン

#### ○環状アルカン

メチルシクロペンタン、シクロヘキサン、メチルシクロヘキサン

#### ○テルペン

3-カレン、 $\alpha$ -ピネン、 $\beta$ -ピネン、リモネン

#### ○アルコール

2-プロパノール、1-ブタノール、2-エチル-1-ヘキサノール

#### ○グリコール/グリコールエーテル

2-メトキシエタノール、2-エトキシエタノール、2-ブトキシエタノール、1-メトキシ-2-プロパノール、2-ブトキシエトキシエタノール

#### ○アルデヒド

ブタナール、ペンタナール、ヘキサナール、ノナナール、ベンズアルデヒド

#### ○ケトン

メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、シクロヘキサノン、アセトフェノン

#### ○ハロゲン化炭化水素

トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,4-ジクロロベンゼン

#### ○酸

ヘキサン酸

#### ○エステル

酢酸エチル、酢酸ブチル、酢酸イソプロピル、酢酸 2-エトキシエチル、テキサノールイソブチレート

○その他

2-ペンチルフラン、テトラヒドロフラン

- ・ FANAT...ホルムアルデヒド専用のポータブル分析計。持ち運びが容易でその場で測定結果が分かるという利点を持つ。

## 付録 A2 化学物質

### ホルムアルデヒド(Formaldehyde)

HCHO

分子量:30.0

沸点: - 20

融点: - 92

比重(水 = 1):0.8

相対蒸気密度(空気 = 1):1.08

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%の水溶液はホルマリンとして知られている。分子量は30.03であり、常温での蒸気密度\*は約1.08である。これは、空気と比較してほぼ同じ重さである。

ホルムアルデヒドは合板、パーティクルボード、壁紙用接着剤等に用いられる尿素(ユリア)系、メラミン系、フェノール系等の合成樹脂や接着剤の原料となるほか、一部ののり等の防腐剤や繊維の縮み防止加工剤等、さまざまな用途の材料として用いられている。

室内空気汚染の主な原因として推定されるのは、合板や内装材等の接着剤として使用されているユリア系、メラミン系、フェノール系等の接着剤からの放散(未反応物もしくは分解物)である。建材だけでなく、これらを使用した家具類も同様である(木製家具、壁紙、カーペット等)。また、喫煙や石油やガスを用いた暖房器具の使用によっても発生する可能性がある。

健康への影響は短期暴露では0.08ppmあたりに臭いの検知閾値があるとされ、これが最も低い濃度での影響である。0.4ppmあたりに目の刺激閾値、0.5ppmあたりに喉の炎症閾値があるとされ、3ppmでは目や鼻に刺激が起こり、4～5ppmでは流涙し呼吸器に不快感が生じる。31ppmあたりで重篤な症状が起こり、104ppmあたりでは死亡する。

厚生労働省の定める指針値は100 $\mu$ g/m<sup>3</sup>であり、臭いの検知閾値周辺の0.08ppmであるが、これはその他の健康影響が観察された濃度に安全率を加味したものよりも低い値である。海外におけるホルムアルデヒドの指針値を表-A2.1に示す。

\*空気(主に窒素、酸素等の混合物である)と比較したときに、同体積の気体がどれだけ重いかの指標になる。この値が大きいほど空気に比べて重くなる。

表-A2.1 海外におけるホルムアルデヒド指針値

世界保健機構(WHO)	0.08ppm
米国	
カリフォルニア州	0.05ppm
ウィスコンシン州	0.2ppm
空調冷凍衛生協会	0.1ppm
カナダ	0.05ppm(目標値)
	0.1ppm(行動値)
オーストリア	0.08ppm
オーストラリア	0.1ppm
オランダ	0.1ppm
スウェーデン	0.1ppm
デンマーク	0.12ppm
ドイツ	0.1ppm
フィンランド	0.13ppm

### アセトアルデヒド(Acetaldehyde)



C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O/CH<sub>3</sub>CHO

分子量:44.1

沸点:21

融点: - 123

比重:0.78

相対蒸気密度:1.5

アセトアルデヒドの純品は無色の液体で刺激臭があり、薄い溶液では果実様の芳香がある。その臭いの

閾値は  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$  との報告がある。分子量は 44.1 で、常温における蒸気密度は約 1.5、蒸気圧は 98.6kPa であり、揮発性は高い。空気より重い、対流等により拡散した空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になる。

アセトアルデヒドはエタノールの酸化により生成され、ヒト及び高等植物における中間代謝物でもあるため、様々な食物やアルコールを含むもの、またヒトそのものも発生源になり得る。また、喫煙により発生することも知られている。ホルムアルデヒド同様一部の接着剤や防腐剤に使用されている他、写真現像用の薬品としても使用される。

健康への影響はいわゆる二日酔いの原因物質の一つとして知られる。蒸気は目、鼻、のどに刺激がある。目に侵入すると結膜炎や目のかすみを起こす。長期間の直接接触により発赤、皮膚炎を起こすことがある。高濃度蒸気の吸入による中毒症状として、麻酔作用、意識混濁、気管支炎、肺浮腫等があり、初期症状は慢性アルコール中毒に似ている。

厚生労働省の指針値案は、 $48\mu\text{g}/\text{m}^3(0.03\text{ppm})$  で、安全性の観点から影響が認められる可能性がある濃度のうち最も低い濃度を与える実験として、ラットに対する経気道暴露試験に関する知見から、鼻腔嗅覚上皮に影響を及ぼさないと考えられる無毒性量を基に、不確実計数を加味して設定している。

## トルエン (Toluene)

$\text{C}_7\text{H}_8/\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$

分子量 92.13

沸点:111

融点: - 95

比重:0.87

相対蒸気密度:3.2



トルエンは無色でベンゼン様の芳香をもつ、常温では可燃性の液体。分子量は 92.13 で、常温での蒸気圧は約 2.9kPa、蒸気密度は約 3.2 である。従って揮発性は高いが、空気より重く、高濃度の蒸気は低部に滞留する性質があると考えられる。しかしながら、通常は対流によって拡散し、空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になると思われる。

トルエンは接着剤や塗料の溶剤及び希釈剤等として、通常は他の溶剤と混合して用いられる。アンチノッキング剤として、ガソリン中に添加されることがある。

室内空気汚染の主な原因として推定されるのは、内装材等の施工用接着剤、塗料等からの放散である。建材だけでなく、これらを使用した家具類も同様である。

健康への影響に関しては労働環境における許容濃度\*として 100ppm が勧告されている。480ppb あたりに臭いの検知閾値があるとされる。高濃度の短期暴露で目や気道に刺激があり、精神錯乱、疲労、吐き気等、中枢神経系に影響を与えることがある。また意識低下や不整脈を起こすことがある。生物学的半減期は約 6 時間前後と推定されている。また、比較的高濃度の長期暴露により、頭痛、疲労、脱力感等の神経症状へ影響を与えることがあり、心臓に影響を与え不整脈を起こすことがある。発がん性の指摘はない。

厚生労働省の指針値は、 $260\mu\text{g}/\text{m}^3(0.07\text{ppm})$  で、安全性の観点から影響が認められた濃度のうち最も低くなる、ヒトの神経行動機能及び自然流産率に影響が認められた濃度を採用し、これに安全率を加味して設定している。

\*一般的に、労働者が当該物質に暴露された場合に、空気中の濃度がこれ以下であれば健康影響が見られないとされる濃度で、通常 1 日 8 時間、週 40 時間程度の労働時間中に、肉体的に激しくない労働に従事する場合を想定して定められている。但し、感受性は個々人によって異なるので、この値以下でも、不快、既存の健康影響の悪化、あるいは職業病の発生を防止できない場合があると勧告されている。

## エチルベンゼン (Ethylbenzene)

$C_8H_{10}/C_6H_5-C_2H_5$

分子量:106.2

沸点:136

融点: - 95

比重:0.9

相対蒸気密度:3.7

エチルベンゼンは無色で特有の芳香を持つ、常温では可燃性の液体。分子量は 106.16 で、常温での蒸気圧は約 0.9kPa、蒸気密度は約 3.7 である。従って揮発性は高いが、空気より重く、低部に滞留する性質があると考えられる。しかしながら、通常は対流により拡散し、空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になると思われる。

エチルベンゼンは接着剤や塗料の溶剤及び希釈剤等として、また燃料油に混和して、通常は他の溶剤と混合して用いられる。キシレンの市販品は通常エチルベンゼンも含んでいる。

室内空気汚染の主な原因として推定されるのは、合板や内装材等の接着剤、塗料等からの放散である。建材だけでなく、これらを使用した家具類も同様である。

エチルベンゼンの臭い自体は 10ppm 以下でも感知できるといわれている。健康への影響として、短期暴露では、蒸気が喉や目に刺激がある。数千 ppm といったかなりの高濃度になると、目眩や意識低下等の中枢神経系に影響がある。また、長期間皮膚に接触すると皮膚炎を起こすことがある。発がん性の指摘はない。

現在の厚生労働省の指針値は、 $3,800\mu\text{g}/\text{m}^3(0.88\text{ppm})$ で、安全性の観点から影響が認められる可能性がある濃度のうち最も低くなる、マウス及びラットの肝臓及び腎臓への無作用量を基に、安全率を加味して設定している。

## キシレン (Xylene)

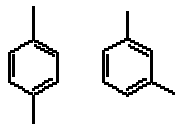
$C_8H_{10}/C_6H_4(\text{CH}_3)_2$

分子量:106.2

CAS 番号:108-38-3

沸点:139

融点: - 48



キシレンは無色でベンゼン様の芳香を持つ。常温では可燃性の液体。分子量は 106.16 で、常温での蒸気圧は約 1.3kPa(0.8 ~ 2.2kPa の混合)、蒸気密度は約 3.7 であり、従って揮発性は高い。空気より重い、通常は対流により拡散し、空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になると思われる。

キシレンは接着剤や塗料の溶剤及び希釈剤等として、通常は他の溶剤と混合して用いられる。キシレンの市販品は通常エチルベンゼンも含んでいる。トルエンと同様、ガソリンのアンチノッキング剤として添加されることがある。

室内空気汚染の主な原因として推定されるのは、内装材等の施工用接着剤、塗料等からの放散である。建材だけでなく、これらを使用した家具類も同様である。

健康への影響としてトルエンと同様、労働環境における許容濃度として 100ppm が勧告されている。また高濃度の短期暴露の影響はトルエンと類似している。蒸気はのどや目を刺激し、頭痛、疲労、精神錯乱を起こすことがあるという。200ppm 程度の濃度で明らかに目、鼻、喉が刺激され、労働者の中に作業反応時間の延長するものが出るといわれている。生物学的半減期は 4 ~ 7 時間と推定されている。

また、比較的高濃度の長期暴露により頭痛、不眠症、興奮等の神経症状へ影響を与えることがあるとい

われている。発がん性の指摘はない。

現在の厚生労働省の指針値は、870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)で、安全性の観点から影響が認められた濃度のうち最も低くなる、ラットの中枢神経系への影響が認められた濃度を採用し、これに安全率を加味して設定している。

### p-ジクロロベンゼン (1,4-Dichlorobenzene)

$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$

分子量:147.0

沸点:174

融点:53

比重:1.2

相対蒸気密度:5.08



パラジクロロベンゼンは通常、無色又は白色の結晶で特有の刺激臭を有し、常温で昇華する。分子量は147.01で、常温での蒸気圧は約0.17kPa、蒸気密度は約5.1であり、空気より重く、蒸気は低部に滞留する性質があると考えられる。しかしながら、通常は対流により拡散し、空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になると思われる。

パラジクロロベンゼンは家庭内では衣類の防虫剤やトイレの芳香剤等として使用されている。

パラジクロロベンゼンは15～30ppmで臭気を感じ、80～160ppmでは大部分のヒトが目や鼻に痛みを感じる。このように高濃度の短期暴露で目、皮膚、気道が刺激される。また、肝臓及び腎臓に影響を与え、機能低下及び損傷を生じることがある。

また、比較的高濃度の長期暴露により、肝臓、腎臓、肺、メトヘモグロビン形成に影響を与えることがある。平成8年11月にマウスに対するがん原性があるという結果が報告されたが、「種特異的な高感受性の結果によるものであり、人へのリスク評価に反映させることは困難である」とされている。

現在の厚生労働省の指針値は、240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)で、安全性の観点から影響が認められた濃度のうち最も低くなる、ビーグル犬における肝臓や腎臓への影響が認められた濃度を採用し、これに安全率を加味して設定している。

### スチレン (Styrene)

$\text{C}_8\text{H}_8/\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$

分子量:104.1

沸点:145

融点: - 30.6

比重:0.9

蒸気圧:0.7 kPa(20 )

相対蒸気密度:3.6



スチレンは無色ないし黄色を帯びた特徴的な臭気のある、常温では油状の液体。分子量は104.14であり、常温での蒸気圧は約0.7kPa、蒸気密度は約3.6である。従って揮発性は高いが、空気より重く、高濃度の蒸気は低部に滞留する性質があると考えられる。しかしながら、通常は対流により拡散し、空気との混合気体は相対的に空気と同じ密度になると思われる。

スチレンはポリスチレン樹脂、合成ゴム、不飽和ポリエステル樹脂、ABS樹脂、イオン交換樹脂、合成樹脂塗料等に含まれる高分子化合物の原料として用いられている。これらの樹脂を使用しているもの(断熱材、浴室ユニット、畳心材等の他様々な家具、包装材等)に未反応のモノマーが残留していた場合には、

室内空気中に揮散する可能性がある。

スチレンの労働環境における許容濃度として 20ppm が勧告されている。60ppm 程度で臭気を感じはじめ、200ppm を超えると強く不快な臭いを感じるという。600ppm 程度で目や鼻に刺激、800ppm 程度になると目や喉に強い刺激を感じ、眠気や脱力感を感じるようになる。

比較的高濃度の長期暴露により、肺や中枢神経系に影響を与え、眠気や目眩を生じることがある。ヒトにおける発がん性や遺伝子傷害性を示唆する証拠は得られていない。

現在の厚生労働省の指針値は、 $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)で、安全性の観点から影響が認められる可能性がある濃度のうち最も低くなる、ラットの吸入毒性試験において脳や肝臓に影響が認められる最小毒性量を採用し、安全率を加味して設定している。

### リモネン (D-Limonene)



$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$

分子量:136.23

沸点: 178

融点: - 75

比重: 0.84

蒸気圧: 0.4 kPa(14.4 )

相対蒸気密度: 4.7

リモネンは木に含まれる自然由来の化学物質で、短期暴露することによって眼、皮膚をわずかに刺激する。また、この物質が酸化している場合、反復または長期の接触により、皮膚が感作されることがある。

### n-デカン (Decane)



$\text{C}_{10}\text{H}_{22}/\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$

分子量: 142.3

沸点: 174.2

融点: - 29.7

比重:0.7

蒸気圧:0.17 kPa(25 )

相対蒸気密度:4.9

デカンはこの液体を飲み込むと、肺に吸引されて化学性肺炎を起こす危険がある。また、この液体を長期的または反復して暴露することによって皮膚の脱脂を起こす。

### 酢酸ブチル (Butyl Acetate)



$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2 / \text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$

分子量:116.2

沸点:126

融点: - 77

比重:0.88

蒸気圧:2 kPa(25 )

相対蒸気密度:4.0

酢酸ブチルは特徴的な臭気があり、短期暴露することによって眼、気道を刺激され、許容濃度をはるかに超えて暴露すると、意識が低下することがある。

## メチルイソブチルケトン ( Methyl Isobutyl Ketone )



Ketone )

$C_6H_{12}O$  /  $CH_3COCH_2CH(CH_3)_2$

分子量:100.2

沸点:117 ~ 118

融点: - 84.7

比重:0.80

蒸気圧:2.1 kPa(20 )

相対蒸気密度:3.45

この物質は特徴的な臭気のあり、この物質およびこの物質の蒸気は眼、皮膚、気道を刺激し、高濃度で中枢神経系に影響を与え、昏迷を生じることがある。また、反復または長期の皮膚への接触により、皮膚炎を起こすことがある。

## ベンゼン ( Benzene )



$C_6H_6$

分子量:78.1

沸点:80

融点:6

比重:0.9

蒸気圧:10 kPa(20 )

相対蒸気密度:2.7

ベンゼンは特徴的な臭気のあるこの物質は皮膚、気道を刺激し、この液体を飲み込むと肺に吸引され、化学性肺炎を起こす危険がある。この物質は中枢神経系に影響を与えることがあり、許容濃度ををはるかに超えると意識を喪失することがある。さらに、長期または反復暴露することによって造血器官、肝臓、免疫系に影響を与えることがあり、人で発がん性を示す。

## トリメチルベンゼン ( Trimethylbenzene )

$C_9H_{12}$  /  $C_6H_3(CH_3)_3$

分子量:120.2

沸点:176

融点: - 25

蒸気圧:0.18 kPa(20 )

相対蒸気密度:4.1

この物質は、1,2,3-、1,2,4-、1,3,5-の3つの異性体がある。特徴的な臭気のあり、眼、皮膚、気道を刺激し、中枢神経系に影響を与えることがある。また、この液体を飲み込むと、肺に吸引されて化学性肺炎を起こす危険がある。

## ノナン ( Nonane )

$C_9H_{20}$  /  $CH_3(CH_2)_7CH_3$

分子量:128.2

沸点:150.8

融点: - 51

比重:0.7

蒸気圧:0.42 kPa(20 )

相対蒸気密度:4.4

この物質は特徴的な臭気のあり、短期的に暴露すると眼、皮膚、気道を刺激し、この液体を飲み込むと、肺に吸引されて化学性肺炎を起こす危険がある。また、中枢神経系に影響を与えることがあり、蒸気に暴露すると、意識が低下することがある。

### ドデカン (Dodecane)

$C_{12}H_{26}$  /  $CH_3(CH_2)_{10}CH_3$

分子量:170

沸点:214.5

融点: - 12

### -ピネン ( -Pinene )

$C_{10}H_{16}$

分子量:136

沸点:155 ~ 156

融点: - 57

-ピネンは、リモネン同様、木に含まれる自然由来の化学物質で特異なにおいのある物質である。用途として塗料の溶剤などがある。

付録 A3 RC 造実験住宅 2 使用建材

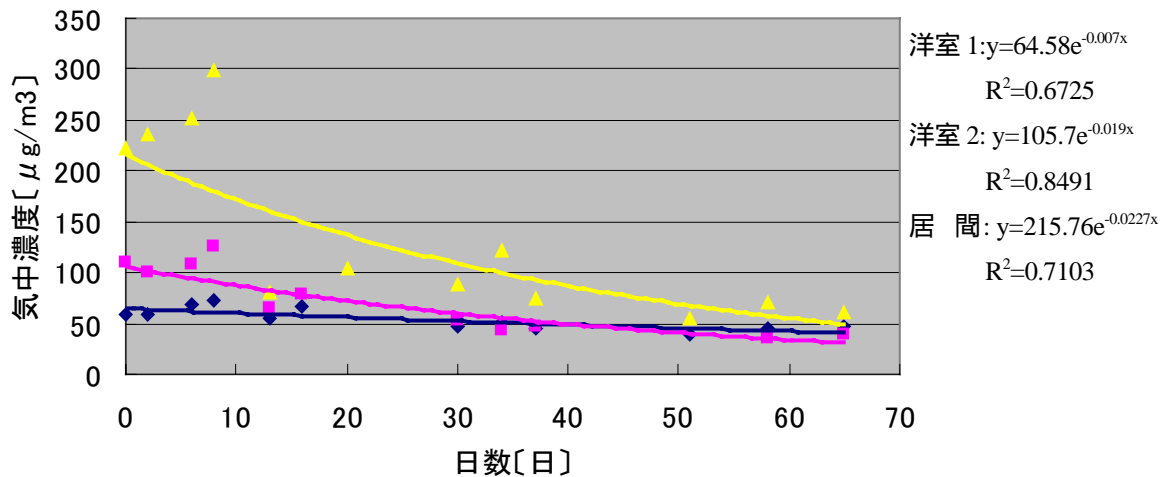
表-A3.1 RC 造実験住宅 2 使用建材

室名	部位	構成材料	No.	室名	部位	構成材料	No.
	床	ワックス フローリング(基材ハードボード) 接着剤(+くぎ) ハードボード 置床 コンクリート	1		床	ワックス フローリング(基材F1合板) 接着剤(+くぎ) E1パーティクルボード 置床 コンクリート	2
	間仕切壁	クロス 接着剤 プラスターボード くぎ LGS	6		間仕切壁	ビニールクロス 接着剤 プラスターボード くぎ LGS	7
	外壁・界壁	クロス 接着剤 プラスターボード GLボンド 発泡ウレタン(外壁のみ) ALC	11		外壁・界壁	ビニールクロス 接着剤 プラスターボード GLボンド 発泡ウレタン(外壁のみ) ALC	12
	天井	クロス 接着剤 プラスターボード LGS コンクリート	14		天井	ビニールクロス 接着剤 プラスターボード LGS コンクリート	15
	建具:廊下	(基材ハードボード)	18		建具:廊下	(基材F1合板)	20
	建具:和室	ふすま	19		建具:収納	(基材MDF)	21

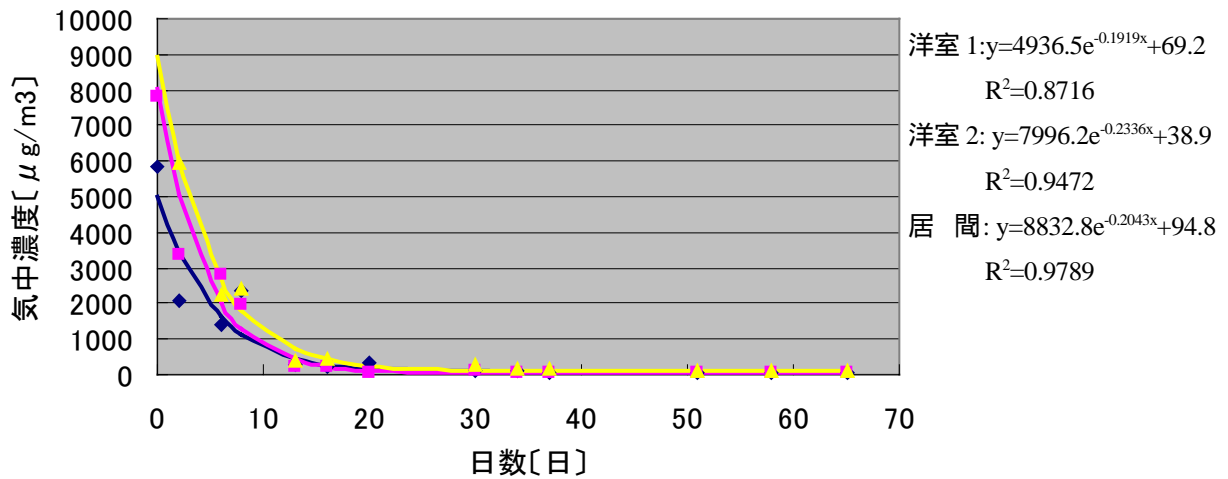
室名	部位	構成材料	No.
B室	床	ワックス ハードボード 接着剤(+くぎ) ハードボード 置床 コンクリート	3
B室	外壁・界壁	塗装 ハードボード くぎ 木下地 発泡ウレタン(外壁のみ) ALC	8
B室	天井	塗装 ハードボード くぎ LGS コンクリート	16
B室	建具:廊下	(基材ハードボード)	22
B室	建具:和室	(基材ハードボード)	23

室名	部位	構成材料	No.
A収納	床	F1合板 くぎ E1パーティクルボード 置床 コンクリート	4
A収納	間仕切壁	F1合板 くぎ LGS	9
A収納	外壁・界壁	F1合板 くぎ プラスターボード GLボンド ALC	13
B収納	床	ハードボード 接着剤(+くぎ) ハードボード 置床 コンクリート	5
B収納	外壁・界壁	ハードボード くぎ 木下地 発泡ウレタン(外壁のみ) ALC	10
B収納	天井	ハードボード くぎ LGS コンクリート	17

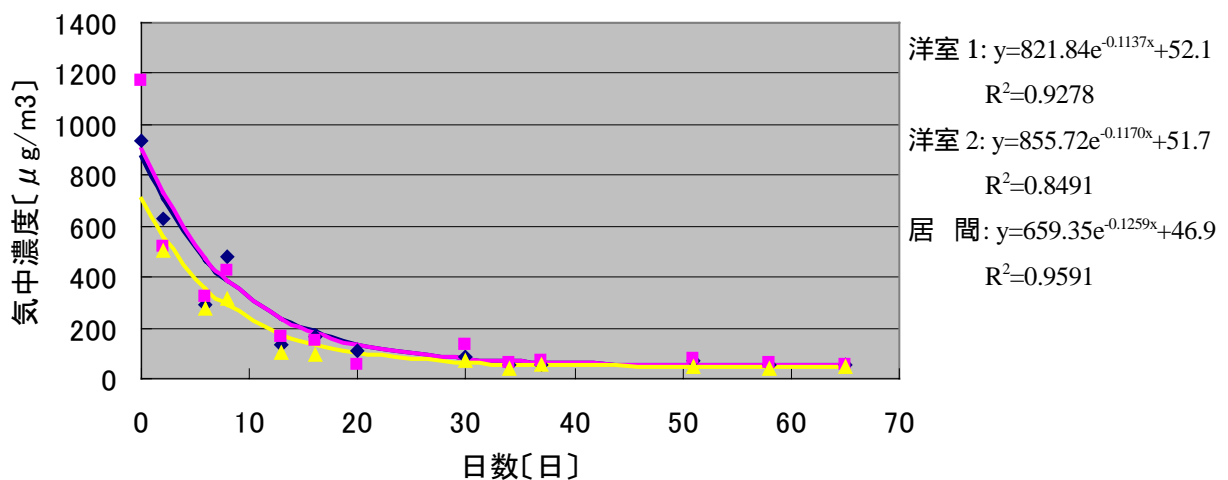
付録 A4 RC 造実験住宅 1 回帰分析結果



◆ 洋室1 ■ 洋室2 ▲ 居間  
 図-A4.1 ホルムアルデヒド測定結果



◆ 洋室1 ■ 洋室2 ▲ 居間  
 図-A4.2 トルエン測定結果



◆ 洋室1 ■ 洋室2 ▲ 居間  
 図-A4.3 エチルベンゼン測定結果

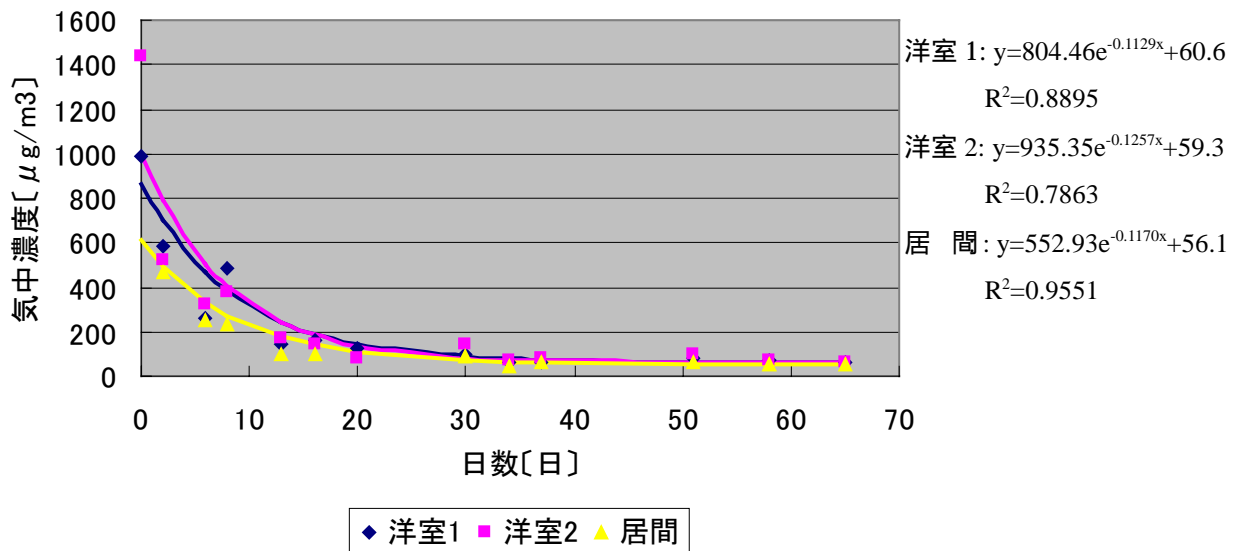


図-A4.4 m,p-キシレン測定結果

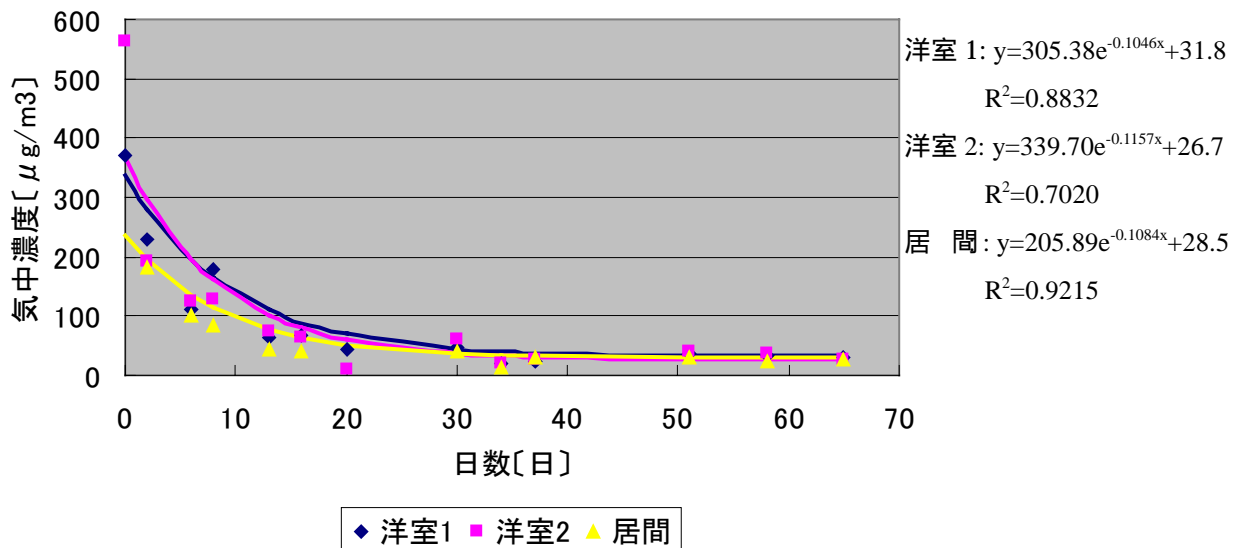


図-A4.5 o-キシレン測定結果

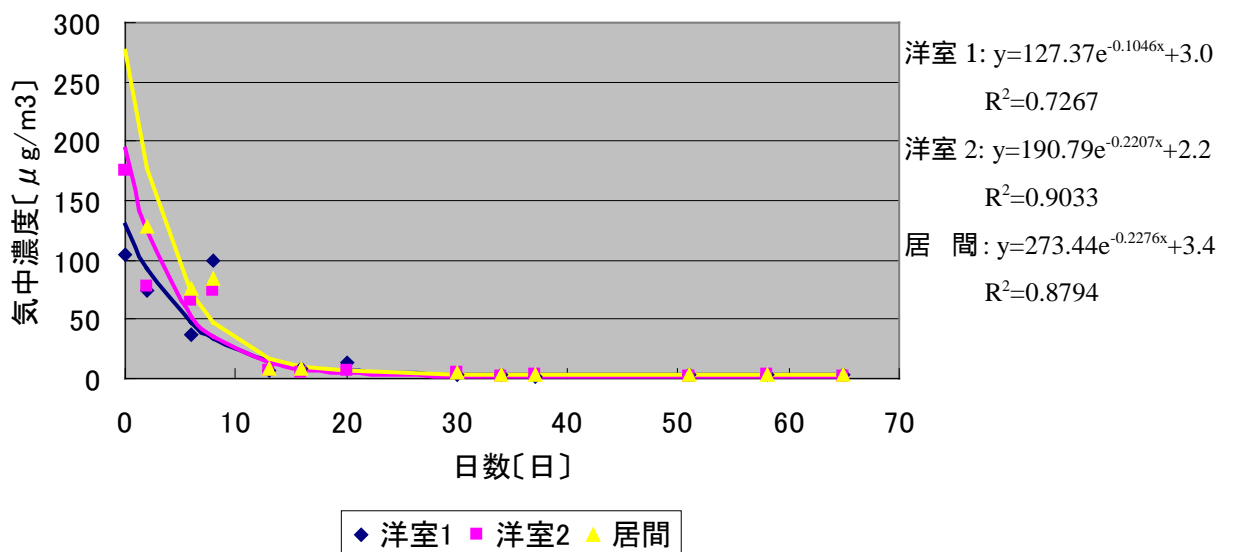


図-A4.6 スチレン測定結果

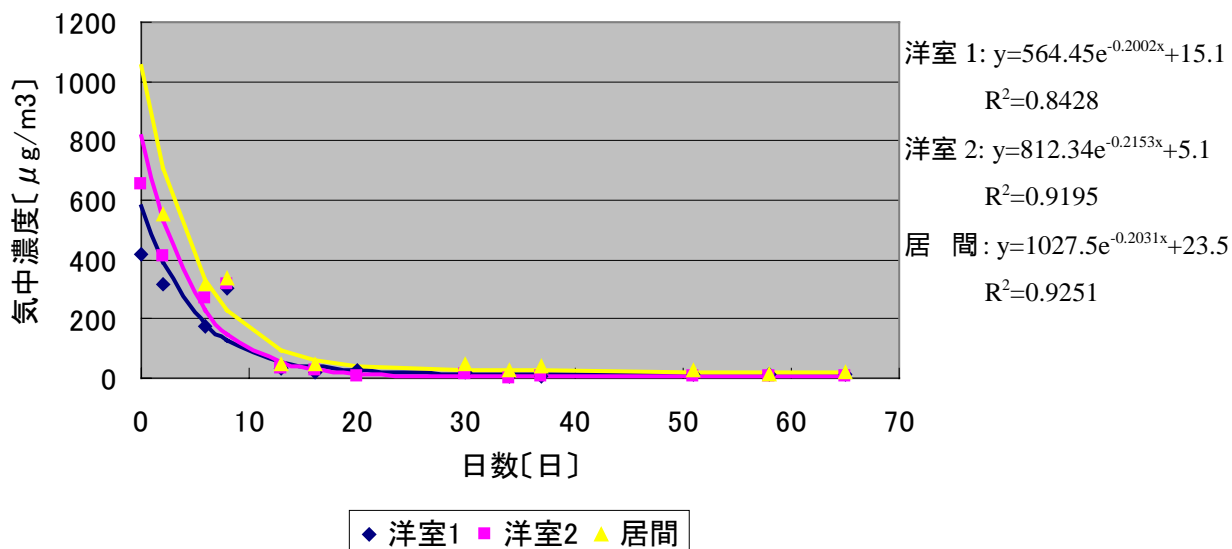


図-A4.7 -ピネン測定結果

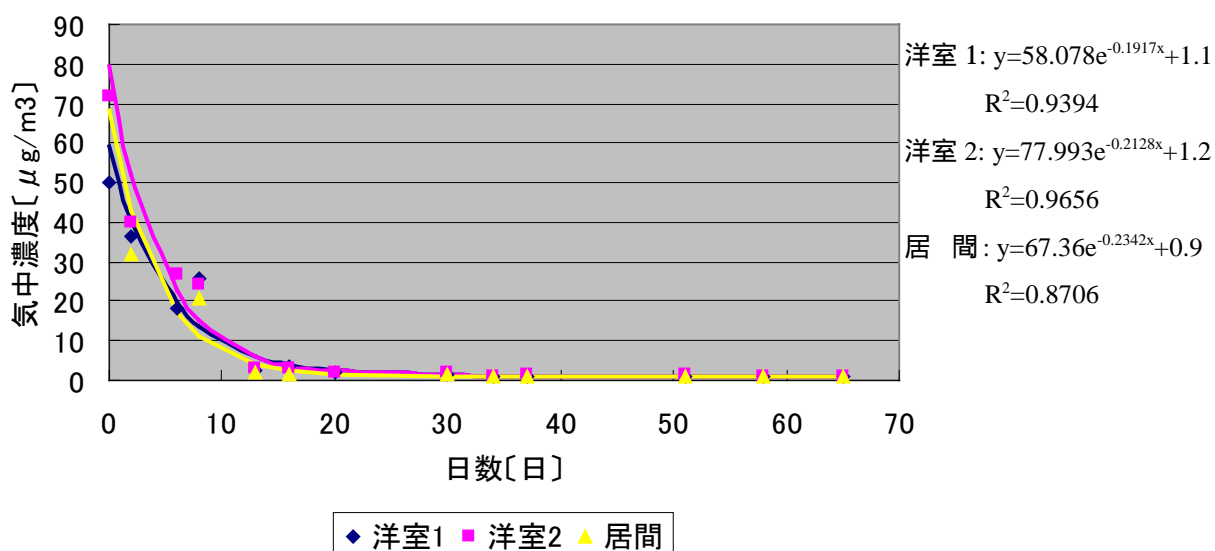


図-A4.8 1,3,5-トリメチルベンゼン測定結果

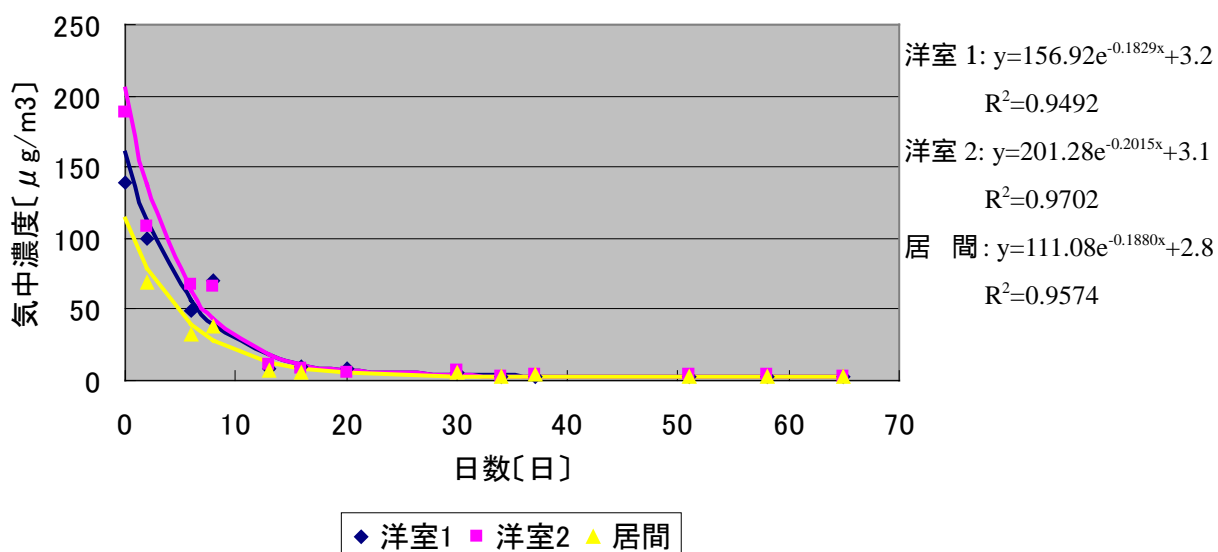


図-A4.9 1,2,4-トリメチルベンゼン測定結果

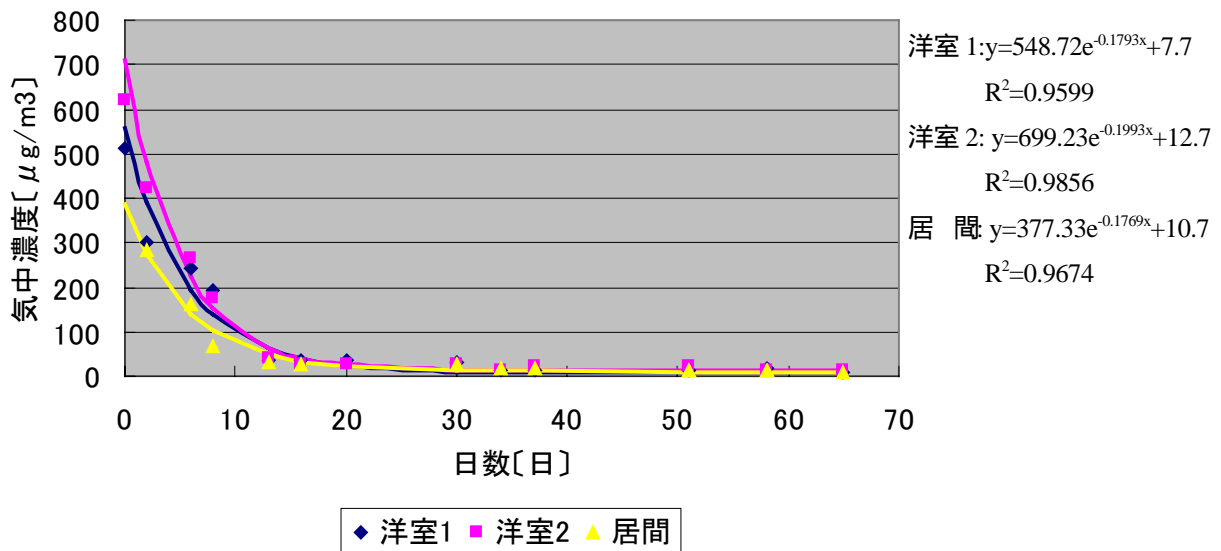


図-A4.10 デカン測定結果

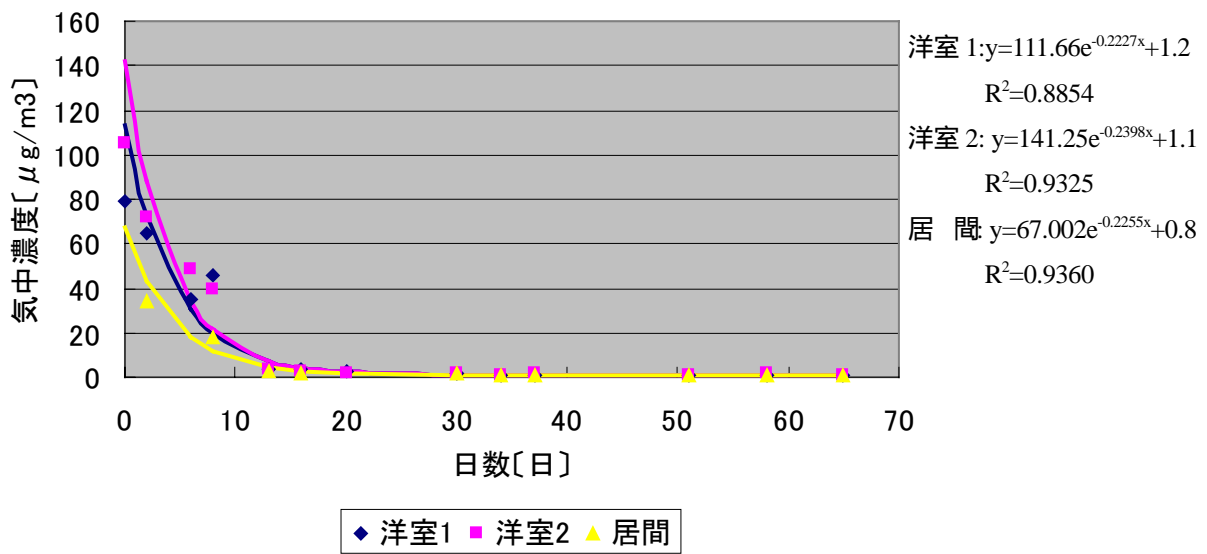


図-A4.11 1,2,3-トリメチルベンゼン測定結果

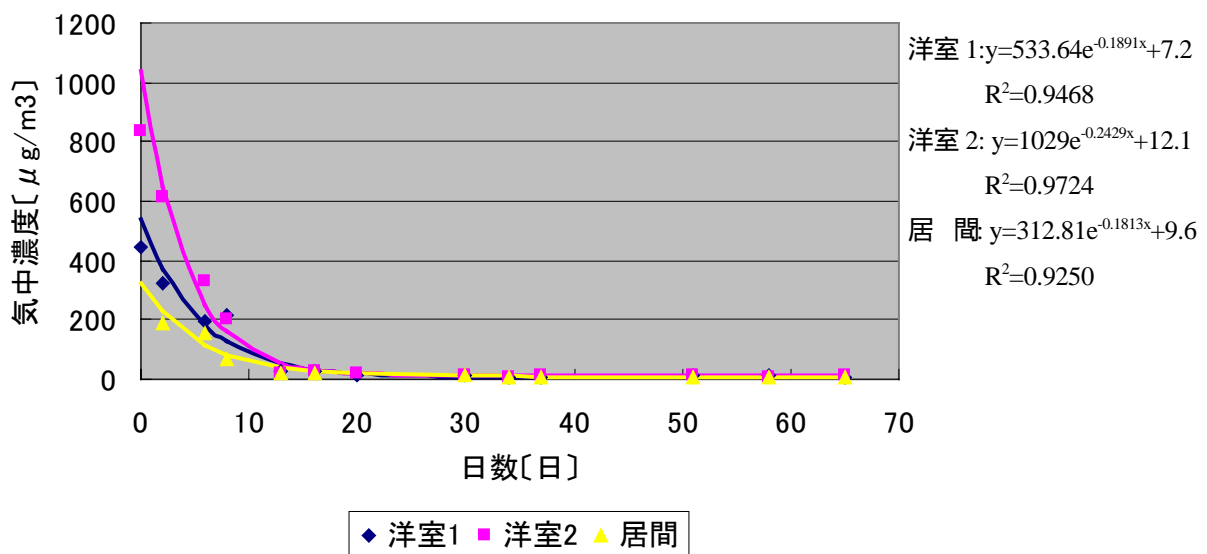


図-A4.12 ウンデカン測定結果

## 参考文献

### A1

- 1) 石森屋材木店ホームページ, <http://www.ishimori.co.jp/sick/index.asp>
- 2) 株式会社マルヒホームページ, 合板のホルムアルデヒド J A S 規格値と室内気中濃度の関係, [http://www.maruhi-plywood.co.jp/jas\\_forma.htm](http://www.maruhi-plywood.co.jp/jas_forma.htm)
- 3) 本橋健司, 建築材料についての規格にはどのようなものがありますか?, シックハウス事典, pp.57-58, 2001
- 4) 久保田紀久枝, 壁紙の規格にはどのようなものがありますか?, シックハウス事典, pp.76-78, 2001
- 5) 厚生労働省ホームページ, シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会中間報告書 - 第4回~第5回のまとめについて, [http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1212/h1222-1\\_13.html](http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1212/h1222-1_13.html)

### A2

国際化学物質安全性カード(ICSC)ホームページ, <http://www.nihs.go.jp/ICSC/>

厚生労働省ホームページ, シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会中間報告書 - 第6回~第7回のまとめ について, <http://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1d.html>