

# 新築集合住宅の室内空気質の実態調査とシミュレーションシステムの開発

—室内ダニ、ホルムアルデヒドおよび揮発性有機化合物濃度の測定と予測—

山口 一 成富 隆昭 富岡 一之 岡田 博 矢川 明弘 新 武康 奥山 博康  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (設計本部) (技術研究所)

## Measurement of Indoor Air Quality (IAQ) in New-built Apartment Buildings and Development of IAQ Simulation System

—Mite Activity, HCHO and VOCs in Indoor Analysis System—

by Makoto Yamaguchi, Takaaki Naritomi, Kazuyuki Tomioka, Hiroshi Okada, Akihiro Yagawa,  
Takeyasu Shin and Hiroyasu Okuyama

### Abstract

Indoor air quality in residential spaces has recently become a problem. The problem is bio-allergens such as mites and molds, and formaldehyde (HCHO) and volatile organic compounds (VOCs) emitted by building materials. These chemical substances are believed to be responsible for multiple chemical sensitivity (MCS) and sick house syndrome. We have been studying the control of the bio-allergens, HCHO and VOCs. To make healthy residential spaces a reality, this paper presents the development of measurement method of IAQ, the application of this method in newly built apartment buildings, and the development of mite activity, HCHO and TVOC (total VOC) in indoor analysis system.

### 概要

ダニ・カビなどが原因のアレルギー疾患や、建材等から発生するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（VOC）が原因の化学物質過敏症などが問題となっている。我々は、室内におけるダニ・カビなどのアレルゲンやホルムアルデヒド・VOCを制御するための研究開発を行ってきた。本報では、これらを効果的に制御するため、当社独自の測定診断システムを構築し、新築集合住宅の実態調査、および計画・設計時に居住空間におけるダニの活動度やホルムアルデヒド・総揮発性有機化合物（TVOC）濃度を予測できるシステムを構築したので報告する。

### § 1. はじめに

近年、居住環境における室内空気質（Indoor Air Quality、以下 IAQ と略す）の問題が顕在化している。日本の住宅は、その使用建材、構工法の改良によって、ますます住宅の気密化・断熱化性能を高め、西欧式の閉鎖性の高い住宅スタイルに移行してきた。日本人は、1日の約80%を住宅やオフィスビル等で過ごしており、このような断熱・気密化された住宅で、適切な換気がされない場合、室内湿度の上昇、結露等の問題が生じ、ダニ・カビ・ハウスダスト等による「アレルギー疾患」、および建材・什器・備品等から発生するホルムアルデヒド（以下 HCHO と略す）や揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds、以下 VOC と略す）による「化学物質過敏症」や「シックハウス症候群」等が問題となっている<sup>1,2)</sup>。

我々は、健康で快適な居住空間を実現するため、室内のダニ・カビ等のアレルゲンや HCHO・VOC

対策のための研究・開発を行ってきた（図-1）<sup>3-8)</sup>。本報では、これらを効果的に制御するため、当社独自の測定診断システムを構築し、新築集合住宅の実態調査を実施した。さらに、計画・設計時に居住空間におけるダニの生息や HCHO および総揮発性有機化合物（Total VOC、以下 TVOC と略す）濃度を

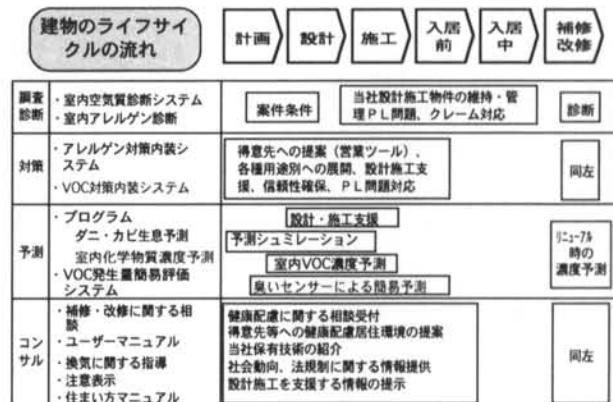


図-1 室内環境分野技術と取り組み

予測できるシステムを構築し、これらの性能評価を系統的に実施したので報告する。建物全体を考慮して室内のダニや化学物質濃度を予測できるシステムは皆無であった。

## § 2. 測定方法

### 2.1 実住戸での測定

#### 2.1.1 測定住戸

測定住戸の概要を表-1に示す。建物Aは地上19階、地下1階、塔屋1階で、竣工は11月初旬であり、測定は、同年11月初旬に、3F未入居の一戸戸a1(4LDK)の居間兼食堂で実施した(図-2)。建物Bは地上13階、地下1階で、竣工は11月下旬であった。測定は、同年12月初旬に3F、7F、11Fの未入居の三戸戸b1、b2、b3(3LDK)の居間兼食堂で実施した。建物A、B共に共同(集合)住宅であった。

建物	A	B
所在地	東京都	
用途	共同住宅	
構造	SRC	
部屋	居間・食堂	
専有面積	a1 21m <sup>2</sup>	b1 23m <sup>2</sup> b2 23m <sup>2</sup> b3 23m <sup>2</sup>
体積	53m <sup>3</sup>	62m <sup>3</sup> 60m <sup>3</sup> 58m <sup>3</sup>
階数	3F	3F 7F 11F
内装	床 フローリング※ 巾木 木製 壁 ビニルクロス貼(下地:P.B.) 天井 ビニルクロス貼(下地:P.B.)	

a1室のみ床暖房

表-1 対象住宅の概要

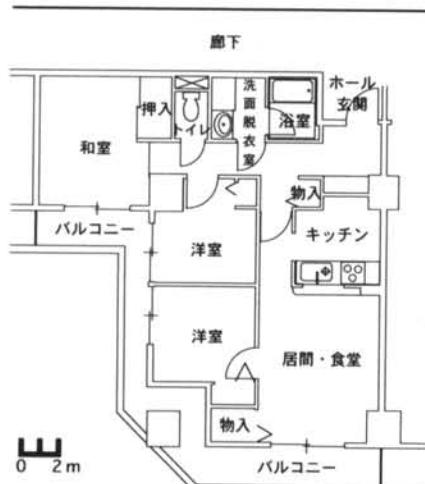


図-2 a1室平面図

#### 2.1.2 住戸での測定条件

実測は、まず室内を充分換気してIAQを外気レベル

にまで低下させた後、窓等開口部を締切り、約1日間IAQの変化を経時的(0時間、2.5時間、5.0時間および一晩)に追った。隣室および廊下との間仕切部は、脱脂綿で目張りし、他室よりのHCHO・VOC等の侵入出を防いだ。サンプリング地点は、対象室の中央からやや窓開口部よりで、床部より750mmの高さとし、以下に示すIAQ関連の各種データを取得した(写真-1、図-3)。

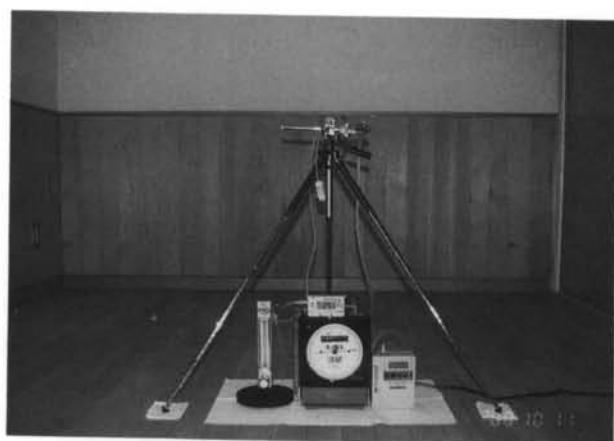


写真-1 現場実験

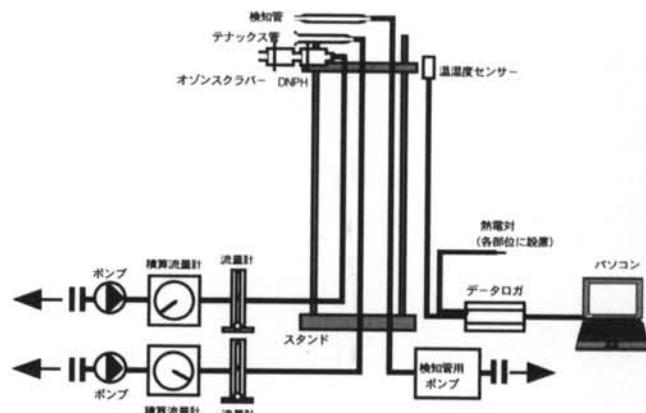


図-3 現場実験フロー図

#### 2.1.3 測定および分析方法

##### (1) 湿温度

温湿度センサー(おんどとり、TR-72S、ティアンドディ)を室内に数ヶ所、室外のベランダに一ヶ所設置し、経時的にデータを収集した。

##### (2) TVOC濃度とVOC種類の定性分析

TVOC濃度については、テナックス管に室内空気を10L吸引し、ガスクロマトグラフ(GC、島津製作所GC-17A)にて分析・定量した(固相吸着/加熱脱着-GC法)。VOC種類の定性分析は、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS、島津製作所QP-5000)にて分析・同定した。なお、TVOC濃度はVOCの総量をトルエン換算した。

### (3) HCHO およびアセトアルデヒド濃度

カートリッジとしてDNPH (2,4-ジニトロフェニルドラジン) サンプラー (Waters製) を用いて22.5 lの室内空気をサンプリングし、高速液体クロマトグラフ (HPLC、HP1100 ; Hewlett Packard) にて分析・定量した (DNPH-HPLC法)。

### (4) 風速

サンプリング地点付近等の風速をTR式微風速計を用いて測定した。

### (5) 換気回数

対象室の換気回数を算出するため、CO<sub>2</sub>ガスおよびCO<sub>2</sub>モニタを用い、CO<sub>2</sub>ガス濃度の減衰を実測した (JIS A 1406に準じた)。

## 2.2 予測プログラム用データベースの確立

### 2.2.1 画像処理を利用したダニの温湿度生息試験

我々が開発したダニ画像処理システムを応用し<sup>9-11</sup>、主な室内的アレルゲンであるチリダニ (*Pyroglyphidae*) 科のヤケヒヨウヒダニ (*Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dp*) とコナヒヨウヒダニ (*Dermatophagoides farinae*, *Df*) を用い、ダニの温湿度試験を実施した。具体的には、培

養ダニを特定な容器に封入し、種々の条件の温湿度下で、定期的にCCDカメラを介して画像を取り込み、この画像を処理して得た解析値(累積値)を、3次多項式近似相関式を用いて、ダニ活動度に変換した。

温度は、ダニ培養容器を収納した試験槽を恒温槽 (インキュベーター (冷凍機付) MIR-553 SANYO) 内に静置して、設定温度に保持した。また、ダニ培養容器を収納した試験槽内の湿度は、塩類飽和溶液調湿法 (常圧下) により調整した。

### 2.2.2 建材からの化学物質放散速度の測定 (チェンバー試験)

チェンバー (1,000 × 1,000 × 500mm, 0.5m<sup>3</sup>; SUS304製) を用い、チェンバー内にサンプルを実際の室内と同様な負荷率 (LF) で静置した。0.5回/時間の換気回数で、活性炭を通過させた清浄空気で通気し、一晩 (約20時間) 経時にチェンバー内空気を採取した。なお、チェンバー内の温湿度は一定に保持した (写真-2、図-4)。

### 2.2.3 HCHO およびVOC 濃度

建材等から放散する HCHO・TVOC 濃度および VOC 種については、上記の 2.1.3 項と同様に測定・分析した。

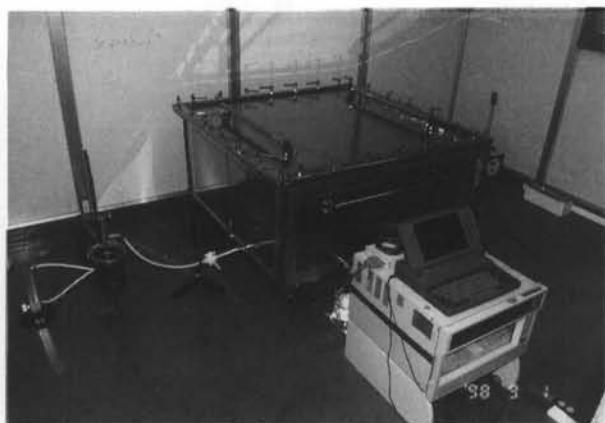


写真-2 チェンバー実験

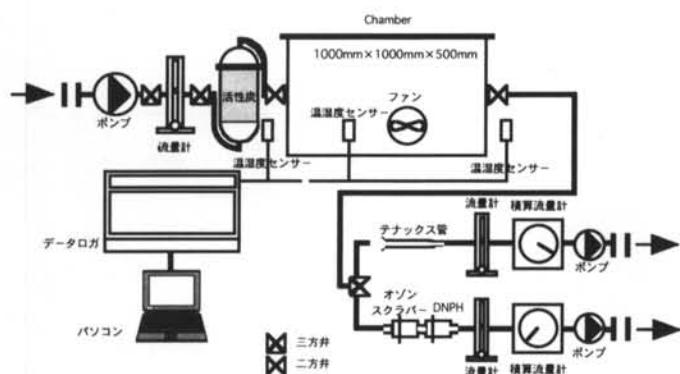


図-4 チェンバー実験フロー図

## § 3. 実住戸の測定・分析結果

### 3.1 建物 A の 1 住戸 (a1 室) の結果

実測中数日間の測定対象部屋の温湿度の推移を図-5に示す。温度は、日中ベランダからの日照により晴天の日には14:00頃に30°C付近にまで上昇したが、曇りの日には21°C前後の上昇に留まった。また、相対湿度は、約30%～60%の間を推移し温度上昇に対応した変化をしたが、平均的には40%RH前後であった。

DNPH-HPLC法により求めた室内のHCHO濃度

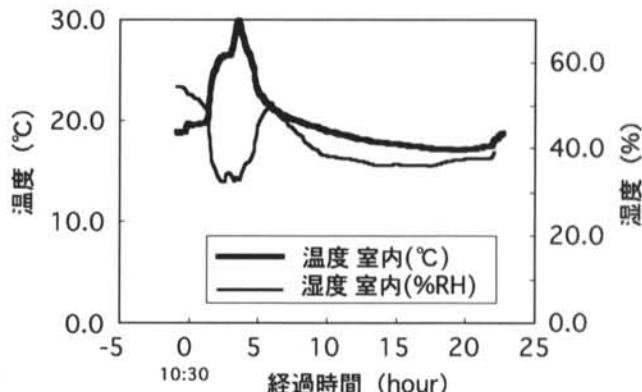


図-5 a1 室の温湿度

は、実態調査を通じて厚生省およびWHOの勧告値<sup>12,13)</sup> 0.08 ppmを超えることは無かった(図-6)。

GC分析結果より求めたTVOC濃度の推移を図-6に示す。換気後、窓を閉め切ってからの経過時間において、TVOC濃度は最も高いところで382  $\mu\text{g C}_7\text{H}_8/\text{m}^3$ であった。WHOの勧告値300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をほぼ満足していた。VOC種類については、測定22時間後の結果を示す。ここでは、上位約20種類のピークを示した化学物質の同定を行った。芳香族の炭化水素系物質が顕著に検出された(図-7)。a1室のみの換気回数は、0.40回/時間であった。

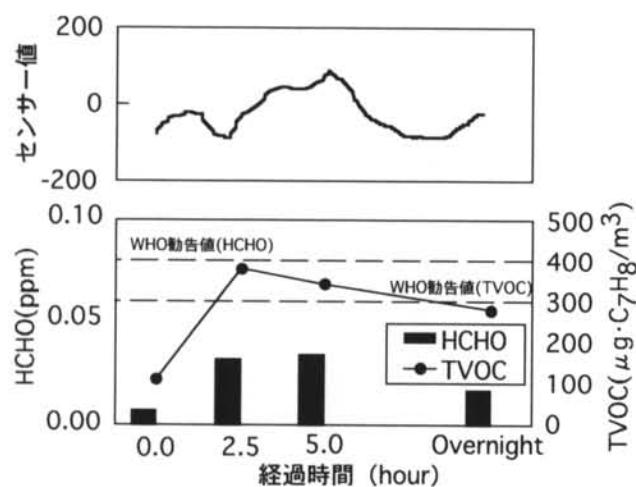


図-6 a1 室内の空気質の変化

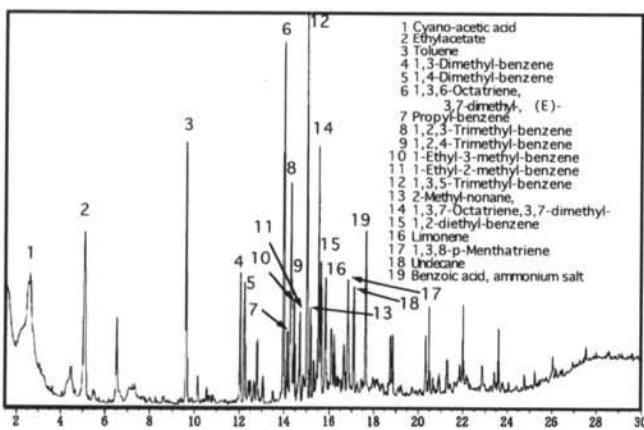


図-7 a1 室におけるGC/MS結果 (一晩後)

### 3.2 建物Bの3住戸(b1、b2およびb3室)の結果

日中の温度は10°C前後と変動が少なく、湿度は30%RH~60%RHであった。外気の温度は室内より0.5~3.8°C低く、相対湿度は逆に若干高めであった。電気ストーブにより室内を加温した場合は20°C

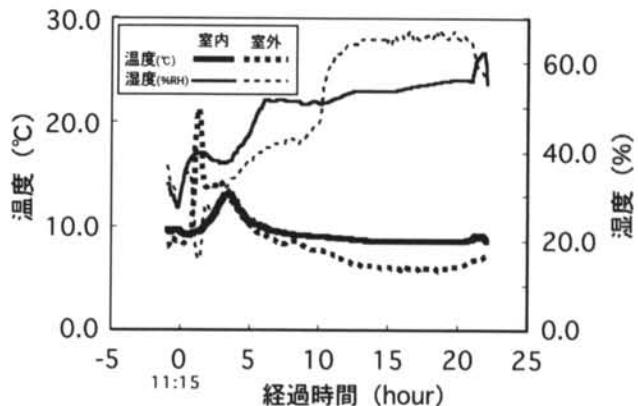


図-8 b1 室の温湿度

~25°Cに室温が上昇し、相対湿度は30%RH前後にまで減少した(図-8)。

DNPH-HPLC法において測定したHCHO濃度の経時変化を図-9に示す。WHOの勧告値に比較して非常に低い値となった。ただ、電気ストーブにより加温した場合は、b2室で5.0時間後に0.05ppmと若干高めの値となったが、WHOの勧告値よりも低く、b3室およびb1室においては加温しない場合と同様であった。また、アセトアルデヒド( $\text{CH}_3\text{CHO}$ )はすべての測定において検出限界以下であった。

TVOC濃度の経時変化を図-9に示す。換気後窓

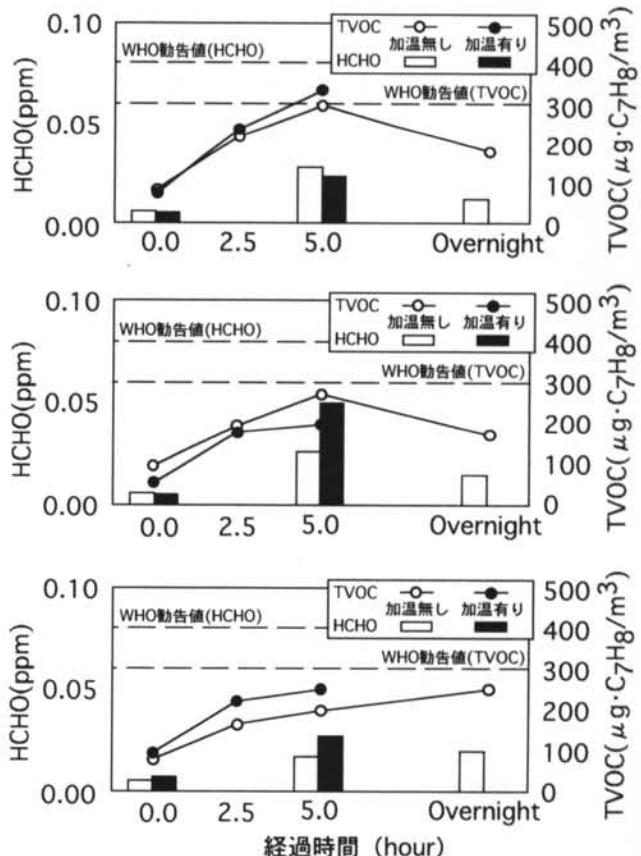


図-9 建物B室内の空気質変化

を閉め切ってから、一般的にTVOC濃度は時間の経過とともに上昇したが、b3室およびb2号室においては一晩経過後、TVOC濃度の減少が観測された。各部屋の最大値は、 $298 \mu\text{gC}_7\text{H}_8/\text{m}^3$  (b3室;5時間後)、 $272 \mu\text{gC}_7\text{H}_8/\text{m}^3$  (b2室;5時間後) および $254 \mu\text{gC}_7\text{H}_8/\text{m}^3$  (b1室;一晩後) であったが、いずれもWHO勧告値 ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を下回っており、階数による濃度の違いも今回認められなかった。

電気ストーブにより加温した場合は、b3室において約10%、b1室において約30%TVOC濃度が上昇したが、b2室においては逆に2.5時間後で約9%、5.0時間後で約27%減少した。値としては、最も高い値を示したb3室においても5.0時間後で $335 \mu\text{gC}_7\text{H}_8/\text{m}^3$ と、WHO勧告値を僅かに上回り、他の住戸データと比較しても低値であった。

VOC種類をストーブで室温を約 $20^\circ\text{C}$ まで上昇させた場合と、ストーブ無しの成り行きの温度(約 $10^\circ\text{C}$ )で測定した5.0時間後の居室空気のGC/MSチャートをb1室を代表例として示す。ここでは、上位約15種類のピークを示した化学物質の同定を行った(図-10)。ストーブによる加温の有無にかかわらず、検出されたVOCのピークは大きな変化

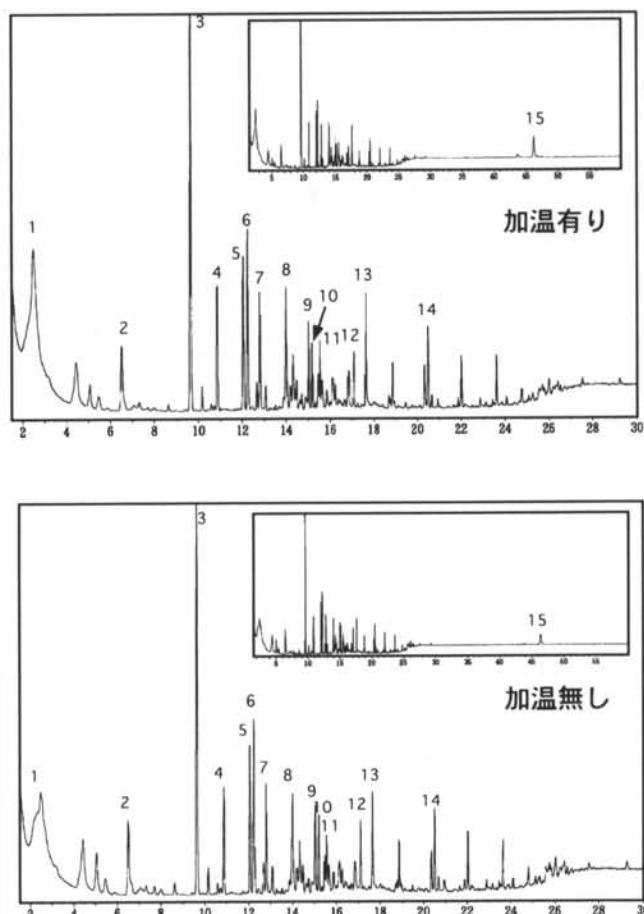


図-10 b1室におけるGC/MS結果 (5時間後)

加温有り				
NO.	M.W.	分子式	化合物名	類似度
1	84	$\text{C}_3\text{H}_7\text{N}_2\text{O}$	Acetamide, 2-cyano-	91
	44	$\text{C}_3\text{H}_8$	Propane	84
2	74	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1-Butanol	95
3	92	$\text{C}_7\text{H}_8$	Toluene	95
4	164	$\text{C}_2\text{C}_4$	Tetrachloroethylene	96
5	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,3-dimethyl-	91
6	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,4-dimethyl-	96
7	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,2-dimethyl-	97
8	136	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (E)-	93
9	120	$\text{C}_9\text{H}_{12}$	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	93
10	128	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	Nonane	95
11	136	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	1,3,7-Octatriene, 3,7-dimethyl-	93
12	170	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	2-Hexene, 1-(pentyloxy)-, (E)-	81
	130	$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	3-Heptanol, 4-methyl-	81
13	139	$\text{C}_7\text{H}_6\text{NO}_2$	Benzoic acid, ammonium salt	96
	122	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	Benzoic acid	94
14	184	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	Dodecane, 2-methyl-	95
	170	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	Decane, 2,9-dimethyl-	95
15	390	$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	82

加温無し				
NO.	M.W.	分子式	化合物名	類似度
1	41	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	Acetonitrile	83
2	74	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1-Butanol	96
3	92	$\text{C}_7\text{H}_8$	Toluene	95
4	164	$\text{C}_2\text{C}_4$	Tetrachloroethylene	95
5	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,3-dimethyl-	91
6	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,4-dimethyl-	96
7	106	$\text{C}_8\text{H}_{10}$	Benzene, 1,2-dimethyl-	97
8	136	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (E)-	94
9	120	$\text{C}_9\text{H}_{12}$	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	93
10	128	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	Nonane	96
11	136	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	1,3,7-Octatriene, 3,7-dimethyl-	91
12	142	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	Nonane, 2-methyl-	83
	156	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	Undecane	82
	170	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	2-Hexene, 1-(pentyloxy)-, (E)-	80
13	139	$\text{C}_7\text{H}_6\text{NO}_2$	Benzoic acid, ammonium salt	96
	122	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	Benzoic acid	95
14	156	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	Undecane	97
	198	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	Tetradecane	95
	184	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	Dodecane, 2-methyl-	95
15	390	$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	87

表-2 b1室GC/MS定量分析

を示さなかった。もっとも高いピークを示したものは、接着剤・塗料の溶剤や可塑剤の原料等用途の広いトルエン、3種類キシレン異性体(*m*-xylene, *p*-xylene, *o*-xylene)およびテトラクロロエチレンであった(表-2)。また、b2室、b3室ともに検出されたVOCに大きな変化はなく、部屋や階数による違いはなかった。換気回数は、3室共に約0.2回/時間であった。

### 3.3 HCHOおよびVOCの継続的モニタリング

本報では、室内のHCHOおよびTVOC濃度は、上記のように機器分析によって測定・分析した。これらの手法は、定期的にサンプルを収集し、その時点での室内濃度を把握するだけであり、室内を締め切ってからの室内濃度の経時変化を連続的に知ることはできない。我々は、半導体センサーの中から、特にTVOCに反応性の高い数種のセンサーを選出し、現場測定にて経時的にセンサーの値を取得し、その

有用性について検討してきた<sup>4-6)</sup>。a1室ばかりでなくb1、b2およびb3室で機器分析の値と良好な相関が得られた(図-6、上図)。半導体センサーにおける継続的な測定については、機器分析の補助的なツールとして役立て、種々の干渉物質の影響についても考慮していきたい。

今回測定した2件のケースでは、室内のHCHO・VOCは、共に比較的低濃度であった。測定は、秋季から冬季ではあったが、上記のように、建物A・建物B(ストーブ加温時)での温湿度の影響だけによるとは考えられない。内装材については、床材の台板、下地材の合板はF1レベル、天井材・壁装材(接着剤)RAL規格に準拠したものであった。今後もデータを蓄積し、室内のHCHO・VOC対策の一助としたい。

a1、b2およびb3室では、部屋を締め切ってから一晩後に、HCHO・VOC濃度の低下が認められた。これらのケースは、全体濃度も低レベルであり、一旦平衡に達した室内のTVOC濃度が、温湿度変化により建材に再吸着されたためか、自然換気による希釈作用等の原因が考えられる。

#### §4. シミュレーションシステムの構築

第3章において、入居前の新築住戸における室内の化学物質の濃度と経時変化についての実態調査を実施した。本章では、計画・設計時に、室内の化学物質濃度の予測とアレルギーの主な原因であるダニの生息予測を同時に試みた。

##### 4.1 原単位の取得

###### 4.1.1 建材の化学物質放散速度

チェンバー試験(上記2.2.2項参照)で、主に

集合住宅で施工する内装材について、各々の建材のホルムアルデヒド放散速度( $\text{mg}/\text{h} \cdot \text{m}^2$ )およびTVOC放散速度( $\mu\text{g}/\text{h} \cdot \text{m}^2$ )を算出した。

##### 4.1.2 ダニの生息温湿度マトリックス

累代培養においてダニ数がほぼ飽和に達した培養物を実験に供した。試験温度域を-18°Cから45°C、試験相対湿度域を45%RHから100%RHに設定し継続して培養し、一定期間毎に画像処理し、ダニの活動をモニタリングした。ダニの培養至適条件(25°C、75%RH)のダニ数を基準として、その他の諸条件の結果を相対ダニ数に変換した。代表例として、4週間後のDpおよびDfの結果を図-11に示す。-18°Cおよび45°Cにおいて、ダニの活動は、温度要因の絶対的な影響を受け、全ての湿度域で短時間に失活した。4°Cから36°Cの温度範囲では、温度が高い程、相対湿度の影響が早期に現れた。また、高温条件においては、初期にはダニは活発に活動するが、その後カビの増殖との競合と考えられる活動の減少が確認された。また、ダニの種間については、Dfの温度適応範囲が狭いこと、並びにDpが低湿度域で生存できることが明確になり、各温湿度マトリックスでのダニ活動度を把握した。

##### 4.2 システムの概要

室内のダニ生息予測およびHCHO・TVOC濃度の予測のため、多数室の温度、換気量、圧力、ガス濃度等を非定常解析できるプログラムである熱・換気回路網計算プログラム(NETS)<sup>14)</sup>を使用した(図-12)。NETSは、室内温湿度変動の予測、自然換気効果の検討、室内汚染質濃度の予測、超高層建物の煙突効果対策の検討等、熱移動・換気・ガス流動の現象を回路網モデルで解析する広範囲な用途に活用できるシステムである。しかし、NETSによる解析を実施するためには、建物を回路網モデルに置き

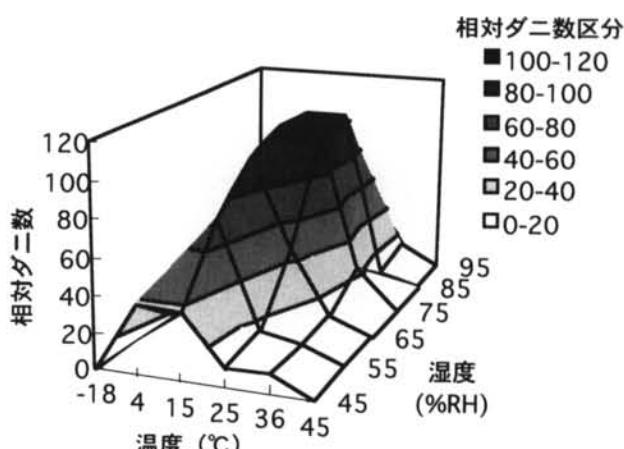
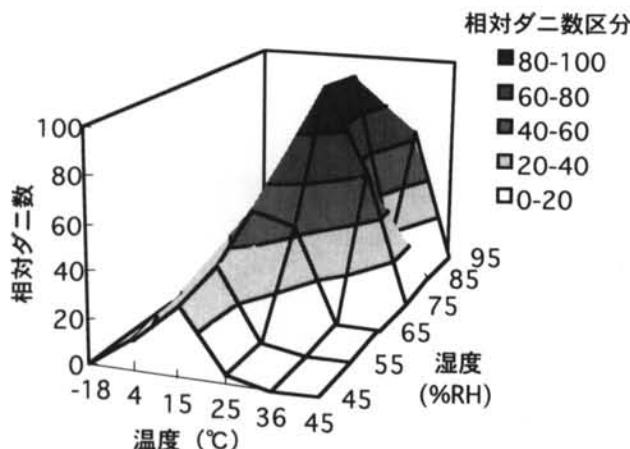


図-11 ダニの活動に与える温湿度の影響(4週間後 左図; Dp、右図; Df)

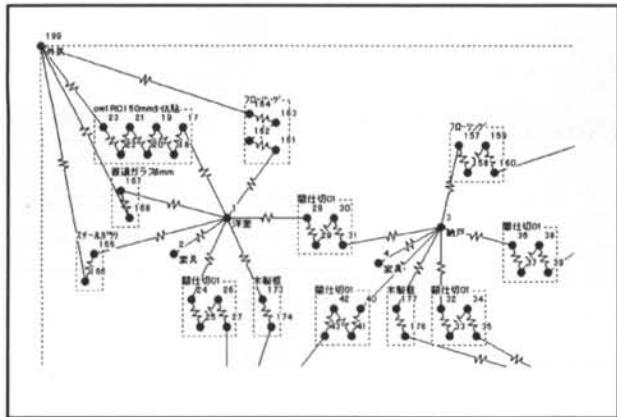


図-12 热・換気回路網

換える作業が必要であり、そのための知識と技術が要求された。

したがって、建築設備設計の知識が有れば、NETSによる解析が可能な、伝熱・換気解析システム（以下Visual NETSと呼ぶ）<sup>15)</sup>を応用し、実際の予測を行った。本システムは、NETSをソルバーに使用し、プリプロセッサー、ライブラリー、CADデータ連動機能、ポストプロセッサーを有している（図-13）。

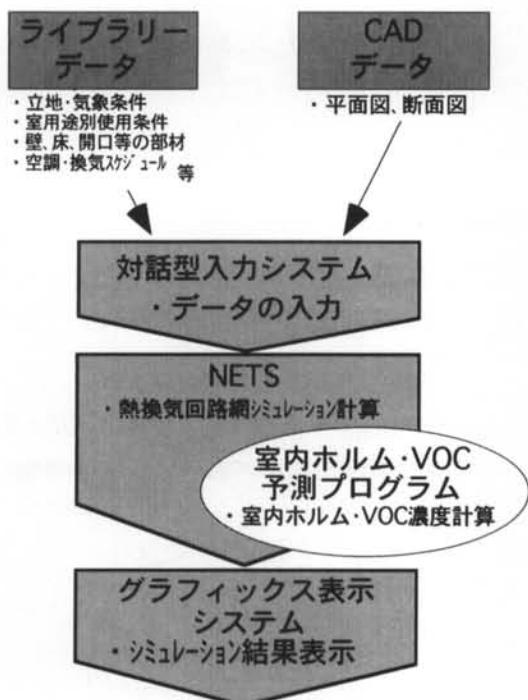


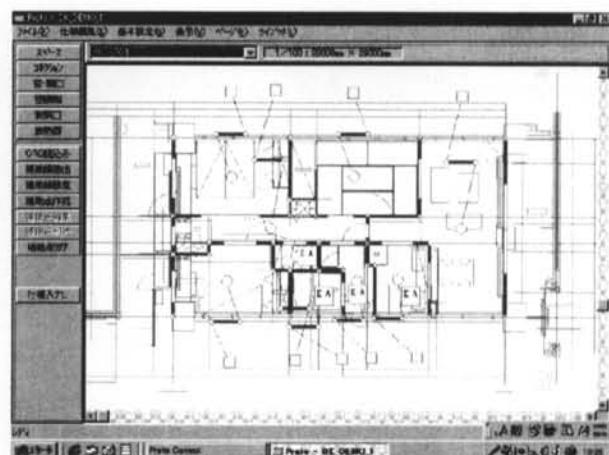
図-13 シミュレーションシステムのフロー

基本的な入力操作は、CAD的な入力機能で住宅の間取り、各部屋の床・壁・天井の内装材種類、窓・扉・外壁換気口等の位置と面積、換気設備の給排気口の位置と風量、等の住宅の条件を入力する。窓や扉の開け閉めの時間帯、換気ファンのON-OFFの時間帯、各部屋の人数と在室時間帯、照明W数と点灯時

間帯、エアコンの能力と使用時間帯、等の住宅の使われ方の条件を入力する。住宅が建設される都市名と検討したい月日を入力し、その都市・季節の外気温度や風向・風速が条件となる（図-14）。以上の条件により各部屋の温度、窓や換気口による室内外の換気量、部屋と部屋の間の換気量、換気設備による換気量、および各部屋の化学物質濃度が時間変動を追って解析される。

ダニの活動度は、NETSより算出した各部位の温湿度を基に、本報で算出した原単位を用い予測した。室内のHCHOおよびTVOC濃度は、床・壁・天井等の仕上材の仕様や各々の設置面積等の入力項目を追加することで予測が可能となった。これら化学物質の室内濃度は、基本的には、各々の建材からの放散量と建物の換気量から計算することで求められる（図-15）。

#### 4.3 室内化学物質およびダニ生息予測の試行



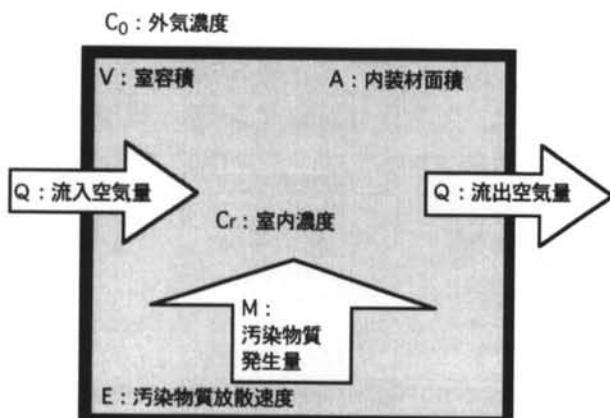
##### ■入力項目

オブジェクト(要素名) 仕様の項目

スペース	内装仕様 室内条件 天井・壁・床部品 底部品 日射条件 風圧係数
コネクション	窓開口部品 換気条件 底部品 ガラス日射特性 風圧係数 開閉スケジュール
窓・開口	機器種類・運転スケジュール
空調機	機器種類・運転スケジュール
制気口	機器種類・運転スケジュール
放熱器	機器種類・運転スケジュール

立地条件 予測期間 予測場所

図-14 本システムの入力項目



$$M = E_{\text{床}} \times A_{\text{床}} + E_{\text{壁}} \times A_{\text{壁}} + E_{\text{天井}} \times A_{\text{天井}} + \dots \\ = \sum E_i A_i \dots (1)$$

M : ホルムアルデヒド発生量 (mg/h)

Ei : 建材iのホルムアルデヒド放散速度 (mg/m<sup>2</sup>/h)

Ai : 建材iの放散面積 (m<sup>2</sup>)

$$Q = n \times V \dots (2)$$

Q : 換気量 (m<sup>3</sup>/h) , n : 換気回数 (回/h)

V : 室容積 (m<sup>3</sup>)

$$C_r = C_0 + M/Q (1 - e^{-nt}) \dots (3)$$

C<sub>r</sub> : 室内濃度 (mg/m<sup>3</sup>) , C<sub>0</sub> : 外気濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

t : 時間 (h)

t → ∞ では、e<sup>-nt</sup> → 0 のので、式 (3) は

$$C_r = C_0 + M/Q$$

図-15 室内化学物質濃度の基本予測式

一般的な RC 造の集合住宅の間取りである 3LDK (延床面積約 66m<sup>2</sup>、天井高約 2.5m) の 1 住戸をモデルとした (表-3、図-16)。内装材として、床材は F1 フローリング、天井・壁装材は下地材がプラスチックボード、仕上げ材が低ホルムアルデヒドクロスであった。立地条件、建物仕様、各室における室内条件、内装仕様、換気条件、建具等の開閉スケジュール、室内使用スケジュール、機器運転スケジュールおよび予測期間等を入力することにより、室内のダニの活動度および HCHO・TVOC 濃度を予測した。一例として、内装仕上げ材の入力画面を示す (図-17)。また、予測例として、上記 2-3 「現住戸での実証」で記した測定条件の 10 月下旬において、換気後全ての開口部を閉鎖した直後、2.5 時間後、5 時間後の室内の温度、HCHO 濃度、TVOC 濃度を示す (図-18)。また、図-19 にダニ活動度の予測結果を示す。このように、Visual NETS のポストプロセッサーでの結果表示は、プリプロセッサーで入力した図形上に、室内の空気温湿度、圧力、ダニ活動度、HCHO および TVOC 濃度等を色で分類し、各部位での結果を数値表示で確認できる。また、窓・開口での換気方向と換気量を矢印で、時間変動の様子を各室毎に変化する色と矢印で表示できる。さら

所在地	東京都			
用途	共同住宅			
構造	RC 造			
部屋	居間・食堂	寝室	洋室 1	洋室 2
専有面積	17.2m <sup>2</sup>	9.8m <sup>2</sup>	9.6m <sup>2</sup>	6.6m <sup>2</sup>
天井高	2.6m	2.5m	2.5m	2.5m
階数	6F			
内装	床	フローリング		
	巾木	木製		
	壁	ビニルクロス貼 (下地: P.B.)		
	天井	ビニルクロス貼 (下地: P.B.)		

表-3 モデル住戸の仕様

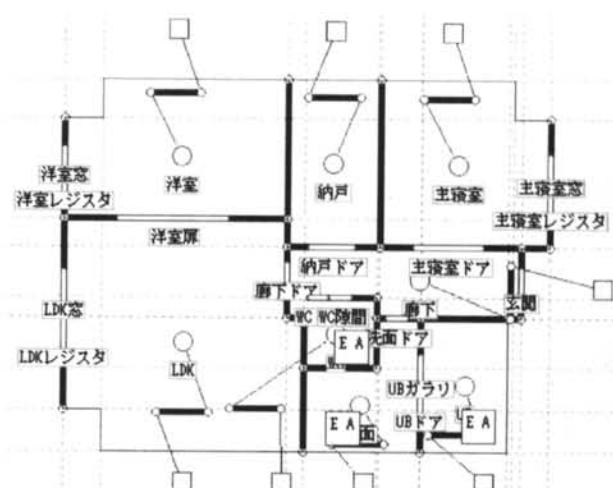


図-16 モデル住戸の間取り

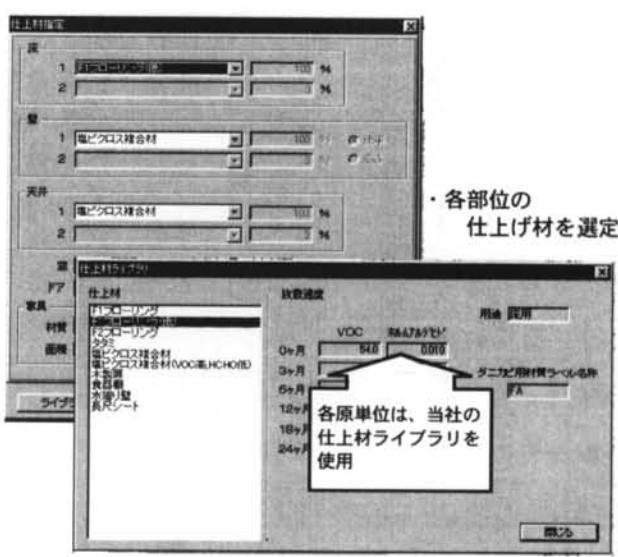


図-17 入力画面 (仕上材)

に、時系列のデータは温度、風量、風速等の項目別に CSV データで出力されるので、一般の表計算ソフトでグラフ化できる。

図-20 に、LDK と寝室における HCHO 濃度の

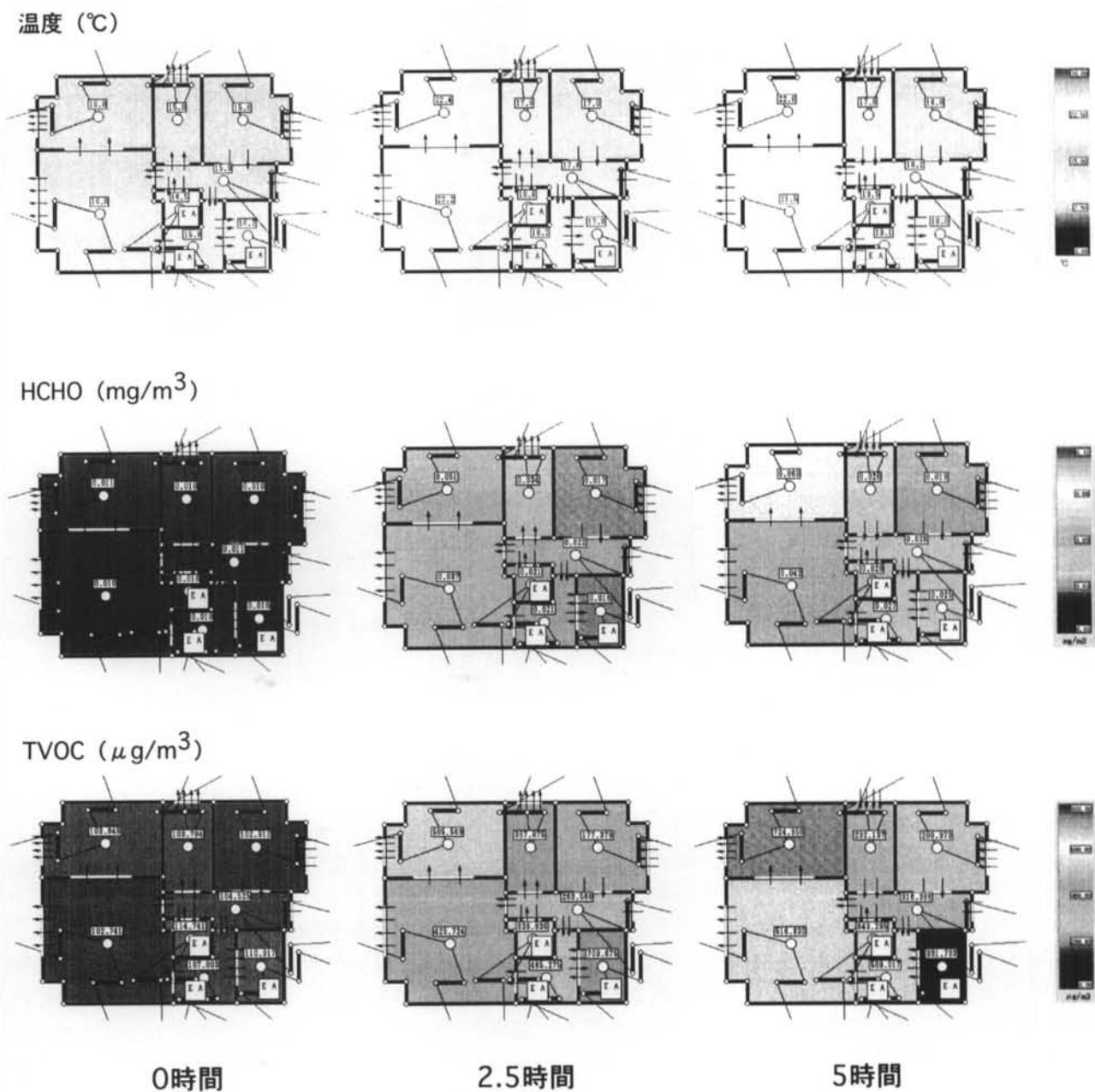


図-18 各室の温度、HCHO濃度、TVOC濃度予測

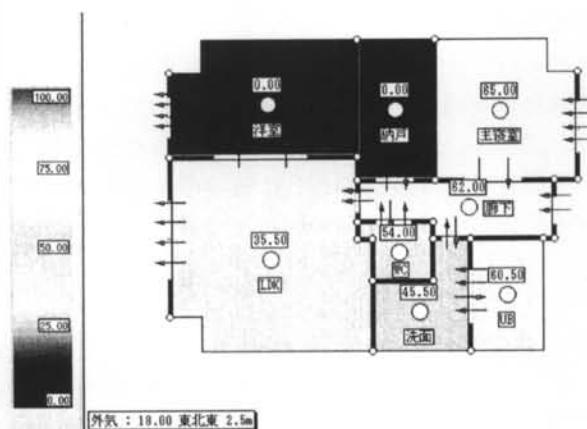


図-19 各室のダニ活動予測（ダニ指数）

経時的变化について、換気有り・無し時(0.5回/時)の予測データと実際の測定の結果を比較した。本報の条件下では、両者の相関はよく、良好な予測結果を得ることができたと思われる。また、室内空気汚染を減少させるには換気が重要であるが、住宅のプランニングや換気システムの方式により換気の良し悪しが決まり、ランニングコストにも影響する。本システムでは、室内の化学物質濃度の比較検討を実施しながら、プランニングや換気システムの計画や仕様の変更を容易に行うことができる。したがって、適正な性能を確保しつつ経済性にも優れ、住まい手の快適性と健康性に配慮した住宅の提案ができると考えられる。

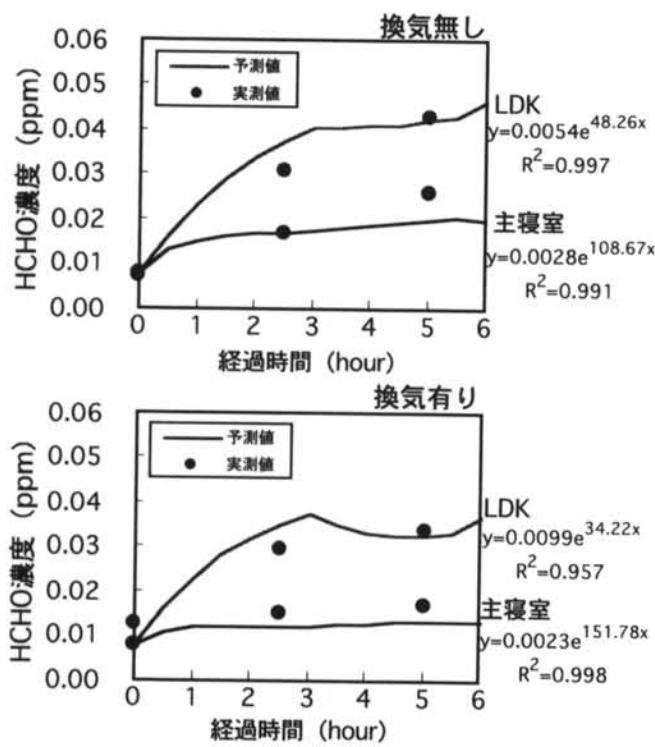


図-20 予測値と実測値の比較 (HCHO濃度)  
(厚生省勧告値; 0.08ppm)

## § 5 . 考察

本報では、室内の HCHO 濃度を DNPH-HPLC 法、TVOC 濃度を固相吸着／加熱脱着-GC 法、および VOC 種類を GC/MS で同定できる測定診断システムと TVOC 濃度を経時にモニタリングできる半導体センサーの簡易システムを構築した。これらのシステムを使用し、低 HCHO 建材を使用した 2 件の新築住宅において、種々の条件下での HCHO および VOC 濃度の実態調査を実施した。今回の調査では、HCHO および VOC 濃度は低値であった。特に、HCHO 濃度は、F2 合板や E2 パーチィクルボード等の HCHO を含有した建材を使用した建物に比較し、1 オーダー以上低い値であり<sup>16-18)</sup>、低ホルム建材使用による効果が明確であった。しかし、建物によっては、たとえ低 HCHO 建材を使用した場合でも、その間取りや換気等の状態によって、室内の HCHO 濃度が、厚生省の室内濃度指針値 (0.08ppm) を上回る可能性もあり、設計段階において室内の化学物質濃度が予測できれば、的確な対策が施せると考えられた。しかし、建物全体を考慮して室内の化学物質濃度を予測できるシステムの構築は非常に困難であった。

我々は、長期間の検討の末、室内の温湿度および化学物質濃度等をパソコンで予測できる高機能な解析システムを構築した。本システムでは、アレル

ギーの原因である室内ダニの生息についても予測できる。これまでに蓄積した室内ダニの生息条件および種々の建材（内装材）の HCHO・TVOC 放散速度データベースに、Visual NETS を応用し、パソコンに住宅の間取りと住戸の使用条件等を入力することで、室内のダニの活動度や室内化学物質濃度を予測できる解析システムとした。

室内空気を汚染する化学物質に関する関連法規・ガイドラインをまとめると、HCHOについては、平成 9 年に、厚生省から室内濃度指針値として、0.1mg/m<sup>3</sup> (0.08ppm) が発表され、WHOからは 80ppb のガイドライン値が提案されている。また、TVOCについては、WHO ヨーロッパが、アルカン、芳香族炭化水素、テルペン、ハロカーボン、エステル、アルデヒド・ケトン類、その他の合計濃度として、300 μg/m<sup>3</sup> のガイドライン値を提示している<sup>12,13)</sup>。さらに、平成 12 年には、厚生省から、新たに室内のトルエン、キシレンおよびパラジクロロベンゼン濃度が基準化される予定であり<sup>19)</sup>、室内 TVOC の基準値は、WHO の基準を上回ると予想される。厚生省により新たに基準値が設定されたトルエン、キシレン、パラジクロロベンゼンについては、現時点では放散速度のデータベースはできていないが、放散速度データを設定すれば室内濃度予測が可能になる。また、新製品や輸入品などデータベースにない建材についても、化学物質放散量をチェンバー試験装置 (2.2.2 項参照) で迅速に測定し、そのデータに基づいた濃度予測が可能である。

本システムは、計画・設計時に、室内環境の状態が予測でき、効率良く、各々の条件に適した建材、換気条件、住まい方等を選別できる。したがって、室内のダニ対策および化学物質の低減化が容易に実施でき、健康に配慮した居住空間の創造のための有効なツールとして期待される。さらに、住宅だけなく、医療・福祉施設等、健康への配慮が求められる建物に適用できる。

実際の住戸内の HCHO および TVOC 濃度は、使用された建材の種類、材齢、構工法、季節、部屋の種類、気密性、温度、湿度等により大きく異なることが予想され、今後は、さらに種々の条件に適合したシステムに改良していく予定である。

## § 6 . まとめ

- (1) 室内の HCHO 濃度・TVOC 濃度の測定、および VOC 種類を同定できる精密機器による測定診断システムと TVOC 濃度を経時にモニタリングで

- きる半導体センサーの簡易システムを構築した。
- (2)低HCHO建材を使用した2件の新築住宅において、上記のシステムを使用し、種々の条件下でのHCHO・VOC濃度の実態調査を実施した。今回の調査では、HCHO・VOC濃度は低値であった。
- (3)住宅プランニングや窓・扉の開閉、換気システムの運転スケジュールや換気量等を考慮して、外気と室内間および各室間の換気を住宅全体で解析し、実際に住宅が使われている状態での、室内の温湿度、ダニ活動度および化学物質濃度等をパソコンで予測できる高機能な解析システムを構築した。
- (4)本システムは、室内ダニの活動度および種々の建材(内装材)のHCHO・VOCの放散速度(放散量)のデータベースと、熱換気回路網法プログラム(NETS)を基に開発したもので、集合住宅での実測データと予測値を検証し有効性を確認した。

- (5)設計段階で、化学物質濃度を予測しながら建物の計画・設計を行うことが可能となり、より的確に室内空気汚染の少ない建物を提供できる。
- (6)今回作成したデータベースにない建材についても、化学物質放散量をチェンバー試験装置で迅速に測定し、そのデータに基づいた濃度予測が可能なので、新製品や輸入品など種々の建材への対応が可能である。

### 謝辞

本報告の一部は、通商産業省「生活価値創造住宅技術開発プロジェクト」の「健康配慮技術の研究・開発に関する研究」に関する研究成果の一部である。また、本研究に御助力頂いた清水建設(株)設計本部の芝沼安氏、技術研究所の波多あゆり氏、他多数の方に深謝致します。

### 参考文献

- 田辺新一：“住宅におけるホルムアルデヒド・VOCによる室内空気汚染に関する基礎的研究”，空気調和衛生工学会学術講演会論文集, pp.49-52, 1977
- 小峯裕己：“住宅における室内空気質汚染に起因する健康影響”，住宅総合研究財団研究年報, No.23, pp.5-17, 1996
- 山口一, 岡田博, 富岡一之, 成富隆昭：“新築集合住宅のIAQ(室内空気質)の測定”，空気調和衛生工学会学術講演会論文集, pp.553-556, 1998
- 山口一, 岡田博：“室内空気質の簡易計測法、臭いセンサーの応用”，臭気と研究, Vol.30, No. 1, pp.23-33, 1999
- 山口一, 岡田博, 布施幸則, 富岡一之, 鈴木道哉：“臭いセンサーを活用した室内空気質(IAQ)の簡易計測法”，室内環境学会誌, Vol. 1, No. 1, pp.27-34, 1998
- 山口一, 岡田博, 富岡一之, 布施幸則, 成富隆昭：“住宅におけるホルムアルデヒドおよび揮発性有機化学物質(VOC)による室内空気汚染とその測定法”，環境と測定技術, Vol.26, No.7, pp.63-75, 1999
- 布施幸則, 鈴木道哉, 山口一, 梶間智明, 岡建雄：“集合住宅における建築的対応による揮発性有機化合物、ホルムアルデヒドの低減と濃度予測に関する検討”，日本建築学会計画系論文集, No.522, pp.53-59, 1999
- 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, No.533, pp.29-35, 2000
- 山口一, 岡田博, 竹内啓五, 富岡一之：“画像処理によるダニアレルゲン同定評価システムの開発”，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp.969-972, 1996
- 山口一, 岡田博, 富岡一之：“画像処理によるダニアレルゲン同定評価システムの開発Ⅱ”，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp.417-420, 1997
- 岡田博, 山口一, 富岡一之：“画像処理システムを用いたダニ活動度評価、防ダニ効果の種間の相違及び活動に与える温湿度の影響”，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp.1293-1296, 1998
- 田辺新一：“室内化学汚染”，講談社新書, 1998
- 健康住宅研究会：“室内空気汚染の低減に関する調査研究報告書”，1998
- 奥山博康：“建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究”，博士号学位論文, 1987
- 矢川明弘, 新武康, 奥山博康：“室内環境シミュレーションシステムの開発(その2)伝熱・換気解析システム(Sim-Prets)の概要”，日本建築学会学術講演集, pp.981-982, 2000
- 布施幸則, 鈴木道哉, 山口一, 岡田博, 梶間智明：“新築集合住宅における揮発性化学物質の気中濃度と発生速度に関する調査”，日本建築学会技術報告集, No. 5, pp.178-182, 1997

- 17) 熊谷一清, 池田耕一, 堀雅宏, 松村年郎, 野崎淳夫, 木村洋, 飯倉一雄, 吉澤晋：“居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査”, 日本建築学会計画系論文集, No.522, pp.45-52, 1999
- 18) 厚生省：“快適で健康的な住宅に関する検討会報告書”, 1998
- 19) 厚生省生活衛生局企画課生活化学安全対策室：“第2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”, 2000