

## 2. 2 モニタリング併用型換気システム開発のための調査

### 1 化学物質放散挙動の測定

#### 1-1 構成材料の揮発性有機化合物放散の境界条件の設定

ここでの化学物質放散挙動把握の検討では、室内における対象物質の化学反応（2次放散物質）については考慮しない。

吸着については考慮して境界条件の設定を行う。

なお、17年度は化学物質のうち建築基準法にも規制の項目がある「ホルムアルデヒド」について優先して検討をおこなった。

測定用のチャンバーにおいて放散挙動を測定する際は、室内の気流に影響を与える熱的な挙動と化学物質放散量の両方の測定を行なった。

#### 1-2-1 テレビ台の測定

##### 【測定条件】

測定温度	: 28℃、
測定湿度	: 50%
測定チャンバー容積	: 2 m <sup>3</sup>
換気回数 (n)	: 0.5 回/h
換気量	: 1 m <sup>3</sup> /h
サンプル表面積	: 6.7 m <sup>2</sup>
試料負荷率(L)	: 3.35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
n/L値	: 0.15



写真1. 試料を大形チャンバーに設置した写真 (正面から)



写真2. 試料を大形チャンバーに設置した写真 (横から)

添付資料 5

図Ⅲ-2-2-1

大形チャンバーによるテレビ台の測定

【測定結果ホルムアルデヒド】

バックグラウンド濃度 :  $2 \mu\text{g} / \text{m}^3$  以下

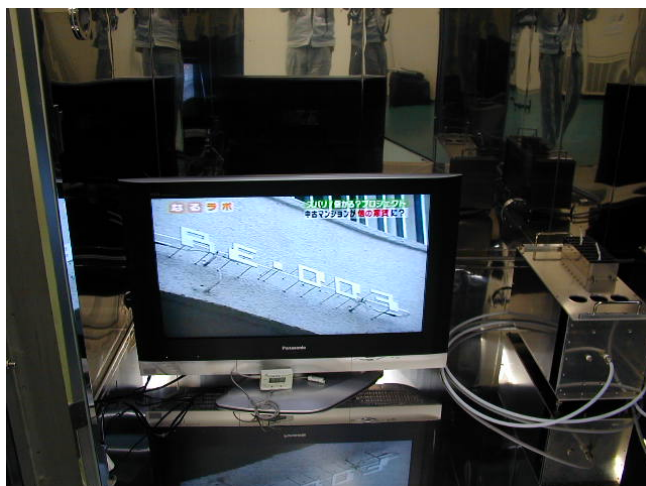
放散速度 (7日目) :  $5.97 \mu\text{g} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

ホルムアルデヒドを放散する材料では  $n / L$  値の違いによりホルムアルデヒドの放散速度が変化することが報告されている。

建築基準法で定めるホルムアルデヒドに関する放散速度基準値 (☆☆☆☆) は  $5 \mu\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$  であるがこれは  $n / L$  値が  $0.05$  の時の値となっている。

今回の測定では  $n / L$  値が  $0.15$  としたため、 $n / L$  値を  $0.05$  に合わせると放散速度は  $5 \mu\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$  を下回るものと考えられる。

1 - 2 - 2 液晶テレビの測定



図Ⅲ-2-2-2 大形チャンバーによる液晶テレビの測定

【測定条件】

化学物質測定用の 5 m<sup>3</sup>のチャンバーにより稼働状態で測定をおこなった。

測定温度 : 28℃、

測定湿度 : 50%

チャンバー容積 : 5 m<sup>3</sup>

換気量 : 2.5 m<sup>3</sup> / h

稼働状態 : DVDで再生した信号を端子から取り込み映像、音声とも出力

【測定結果】

表Ⅲ-2-2-1 液晶テレビ測定結果

ブランク測定値 : 2 μg / m<sup>3</sup> 以下

気中濃度(μg/m <sup>3</sup> )		5hr	24hr	48hr
液晶テレビ(32型)	ホルムアルデヒド	18	11	9
	トルエン	34	29	25
	スチレン	36	13	9
	TVOC	598	296	218

測定開始後24時間

一台当たりのホルムアルデヒド放散速度 : 28 μg / h · unit

面積当たりのホルムアルデヒド放散速度 : 29 μg / m<sup>2</sup> · h

1 - 2 - 3 プラズマテレビの測定



図Ⅲ-2-2-3大形チャンバーによるプラズマテレビの測定

【測定条件】

化学物質測定用の5 m<sup>3</sup>のチャンバーにより稼働状態で測定をおこなった。

測定温度 : 28℃、

測定湿度 : 50%

チャンバー容積 : 5 m<sup>3</sup>

換気量 : 2.5 m<sup>3</sup> / h

稼働状態 : DVDで再生した信号を端子から取り込み映像、音声とも出力

表Ⅲ-2-2-2 プラズマテレビの測定結果

ブランク測定値 : 2 μg / m<sup>3</sup> 以下

気中濃度(μg/m <sup>3</sup> )		5hr	24hr	48hr
プラズマテレビ(42型)	ホルムアルデヒド	34	22	17
	トルエン	93	58	52
	スチレン	82	38	28
	TVOC	1240	1038	753

測定開始後24時間

一台当たりのホルムアルデヒド放散速度 : 55 μg / h · unit

面積当たりのホルムアルデヒド放散速度 : 34 μg / m<sup>2</sup> · h

## 2 数値解析

設定した境界条件をもとに、数値解析を乱流モデルの一つである低  $Re$  型  $k-\varepsilon$  モデルに基づき、下記手順で数値解析、すなわち放散挙動のシミュレーションを行った。

### 2-1 室内空气中、建材中の VOC 輸送方程式の設定

空気移動（化学物質輸送）についての設定、材料、素材の化学物質放散量とその熱的、時間的な挙動変化の数値化を行った。

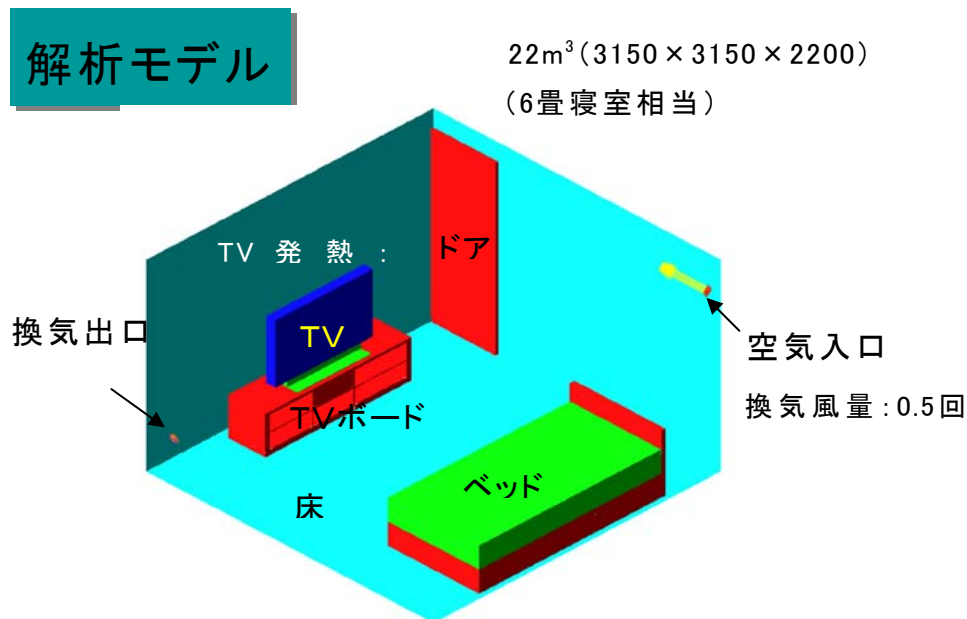


図 III-2-2-4 解析モデル概略図

### 2-2 吸脱着面に関する支配方程式設定

建築基準法が定める放散速度には下記のクラスがあり建材における推定を目安としている。過去における知見からパラメーターを推定した。

F☆☆☆☆ :  $5 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

F☆☆☆ :  $5 \sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

F☆☆ :  $20 \sim 120 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

F☆☆相当部材の当社測定結果

部材内部平衡濃度  $C_e = 760 \mu\text{g}/\text{m}^3$

部材内部物質拡散係数  $k_g = 0.16\text{m}/\text{h}$

を基に、F☆☆☆、F☆☆☆☆部材の物性値を推測設定した。

表Ⅲ-2-2-3 物質放散の境界条件（推定値）

クラス	Ce (μg/m <sup>3</sup> )	kg (m/h)
F☆☆	760	0.16
F☆☆☆	251	0.080
F☆☆☆☆	151	0.033

一方、テレビボードやベッドなどは上記のような知見がないことから実測値からパラメーターを導いた。

表Ⅲ-2-2-4 ベッド、TVボードのホルムアルデヒド放散量測定結果

※放散速度はともに木部材の露出面の面積を用いて算出した。

		ベッド		TVボード
気中濃度測定結果	μg/m <sup>3</sup>	9	12	40
換気風量	m <sup>3</sup> /h	11	5.5	1
放散面積	m <sup>2</sup>	3.85		4.94
放散速度	μg/m <sup>2</sup> ・h	25.7	17.1	8.1
		平均値21.4		

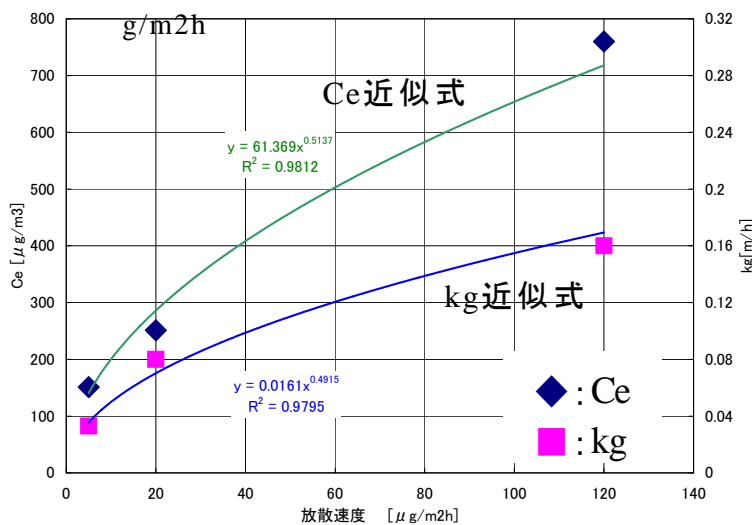
上記の推定と図②-2-6に基づき、放散速度に対するCe、kgの近似式を求め、今回のベッドとTVボードの放散条件を設定した。また、HBF式により気中濃度の推定を行った。

ベッド : Ce=296 μg/m<sup>3</sup>、kg=0.073m/h

TVボード : Ce=180 μg/m<sup>3</sup>、kg=0.045m/h

TVボード ベッド

8.1 μg/m<sup>2</sup>h 21.4 μg/m<sup>2</sup>h



図Ⅲ-2-2-5 ベッド、TVボードの放散条件の設定

### HBF式

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\alpha C_e} \times \frac{n}{L} + \frac{1}{C_e}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_e} \left( \frac{1}{\alpha} \times \frac{n}{L} + 1 \right)$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{kg} + \frac{1}{ko}$$

$\alpha$  : 吸収係数

$C$  : チャンバー気中濃度

$C_e$  : 平衡濃度

$n$  : 換気回数

$L$  : 試料負荷率

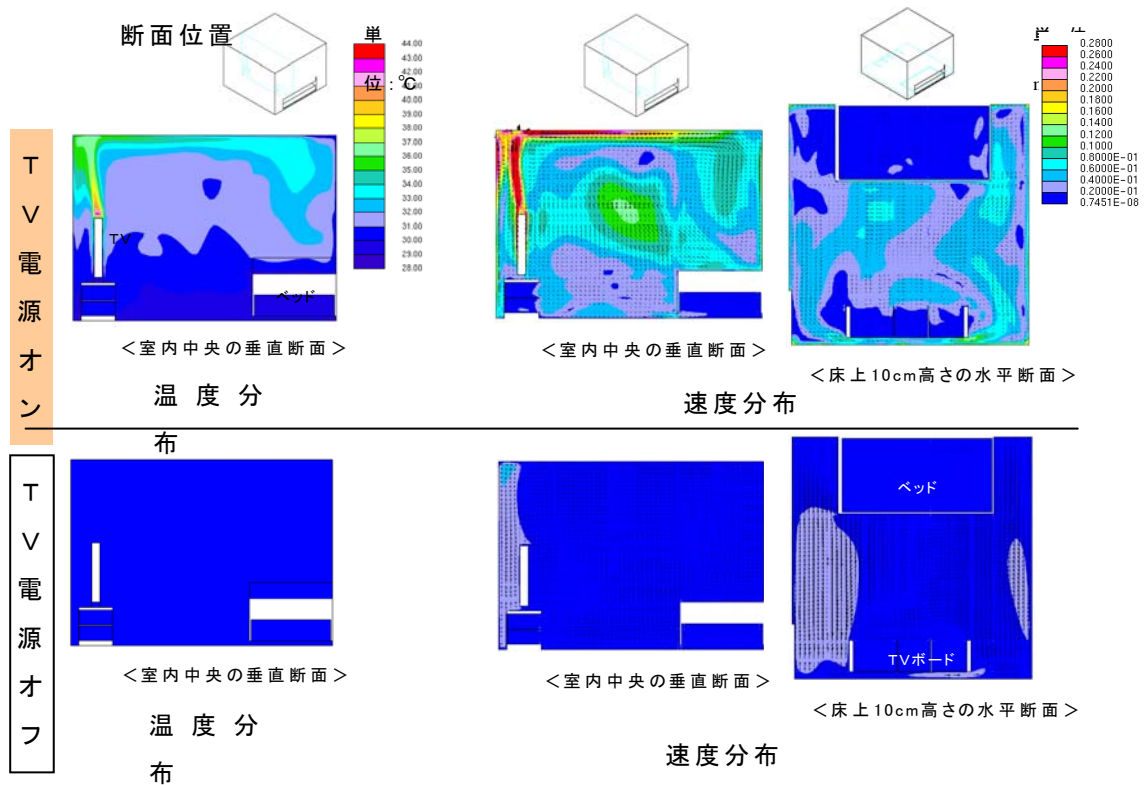
$kg$  : 建材内部から表面までの物質熱伝達率

$ko$  : 表面近傍の気中物質熱伝達率

## 2-3 化学物質放散挙動の表現

パラメーターを入力することにより、化学物質放散挙動を解析し、室内の化学物質分布を可視化できるシミュレーションを実施した。テレビは熱放散が比較して大きいプラズマテレビを想定した。

シミュレーション結果を図Ⅲ-2-2-6に示す。



図Ⅲ-2-2-6 シミュレーション結果（温度、風速）

テレビの電源オンの際は上昇気流の発生によって部屋全体の空気が攪拌されていることがわかった。

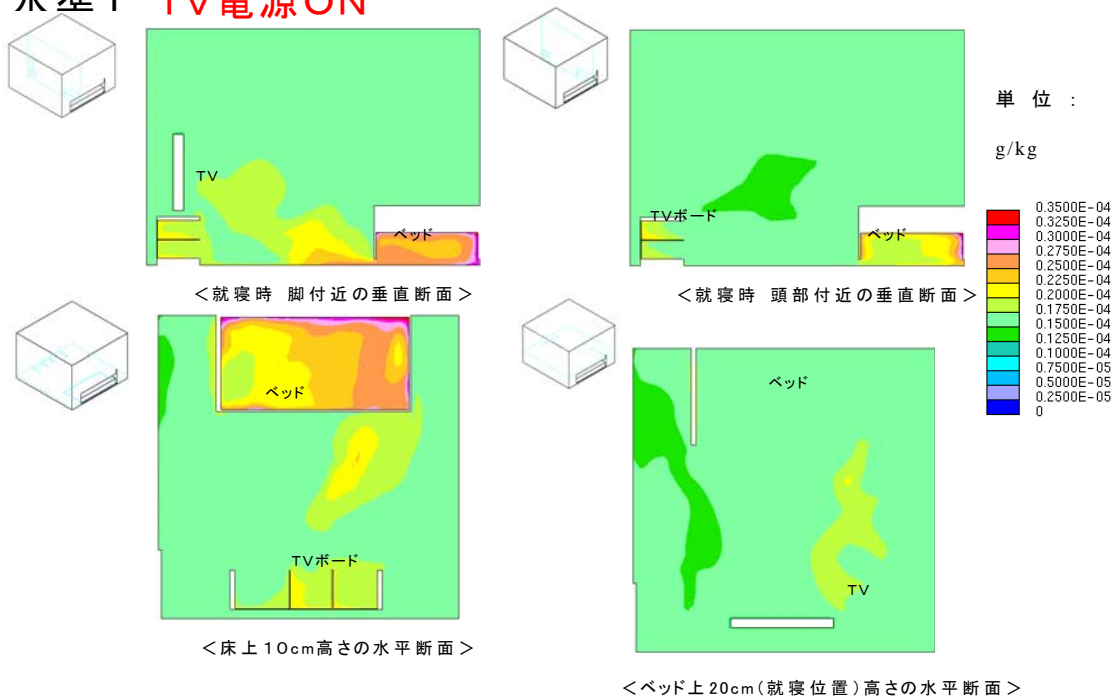


2-4-1 ホルムアルデヒドの室内濃度分布の推定（1）

テレビの電源を投入した際の室内濃度シミュレーションの結果を図Ⅲ-2-2-7に示す。テレビからの熱放散によって比較的均質な状態になっているのがわかる。

ベッド付近とTVボード近くでやや濃度が濃い場所がある。

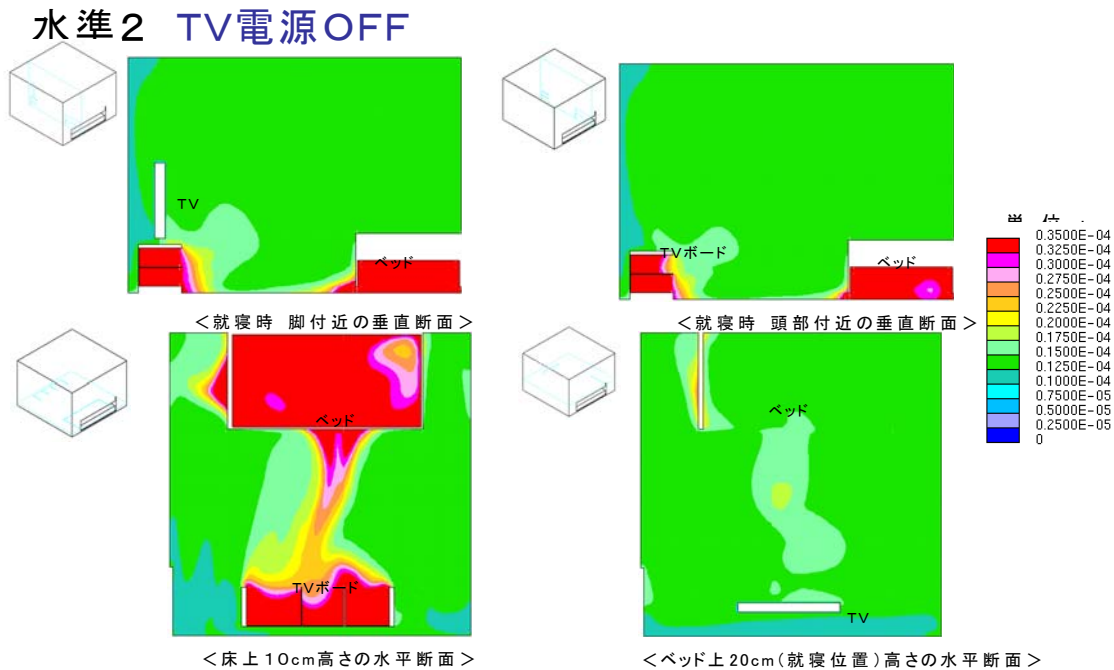
水準1 TV電源ON



図Ⅲ-2-2-7 シミュレーション結果（ホルムアルデヒド濃度1）

#### 4-1-2 ホルムアルデヒドの室内濃度分布の推定（2）

テレビの電源を投入しない場合の室内濃度シミュレーションの結果を図Ⅲ-2-2-8に示す。ホルムアルデヒドの濃度の高いところと低いところの差が大きくなっている。ベッドやTVボードに近いところでは非常に濃度が高くなっている。



図Ⅲ-2-2-8 シミュレーション結果（ホルムアルデヒド濃度2）

・ 数値計算より推定したホルムアルデヒド出口濃度

水準1	TV電源ON	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
水準1	TV電源ON	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (テレビの放散含む)
水準2	TV電源OFF	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

● TV発熱による対流を考慮（TV電源ON）した場合、考慮しない（TV電源OFF）場合に比べチャンバー出口濃度は、約1.35倍（テレビ放散を含む場合約1.5倍）となった。

このことから、発熱体からの自然対流により、部材表面からの物質放散が促進されたと考えられる。

### 3 実測による数値解析検証

#### 3-1 大型チャンバーおよび実大住宅による実測検証

数値解析シミュレーションは実現象を簡易にモデル化している部分が多いため実現象との対応の検証が必要である。検証と数値解析を繰り返すことによりシミュレータの精度向上を図る。検証は、大型チャンバーおよび実大住宅を用いて実施する。外部環境の影響を受けにくい大型チャンバーによる検討を先行して進め、大型チャンバーの測定と対応させる形で一部を実大住宅で検証する。大型チャンバーを利用し、表面風速、物質伝達率、化学物質濃度を直接測定し、計算された化学物質濃度と比較することにより精度の検証と改善を行う。

17年度は大型チャンバーにて検証実験を行うための評価用のセンサについて調査をおこなった。(東京大学との共同実施)

国立大学法人東京大学は、室内化学物質発生源、発生物質、放散挙動調査の中で、数値解析検証として実大実験チャンバー内での化学物質の空間濃度分布を測定するにあたり、使用する市場流通品のセンサの仕様調査し、そのスクリーニング調査を行ない、今後行う市場流通品センサの本担当分の適応性を明らかにすることを目的とした。

#### 実施概要

本調査を推進するに当たり以下の項目について検討を行った。

1. カタログによる市場流通品の TVOC 計のデータ比較
2. 選択した TVOC 計の文献調査
3. 室内フィールドにおける TVOC センサの特性
4. 屋外フィールドにおける TVOC センサの特性

#### 実施内容

カタログによる市場流通品の TVOC 計のデータ比較

TVOC 計により表示される値の意味

カタログにより市場で流通している TVOC センサを調査したところ、TVOC 計センサというものは市場には存在せず、多くの場合炭化水素の総量を測定するモニタであることがわかった。ここで、TVOC と炭化水素の違いであるが、TVOC は室内 VOCs の総量を表し、国内では指針値が策定されている 13 物質以外の VOCs 総量規制の指標として用いられている。その定義は対象範囲を C<sub>6</sub> から C<sub>16</sub> としその中の同定物質および未同定物質の濃度の和を意味する。これに対し、総炭化水素は、屋外大気や水質の分野で用いられている手法である。屋外大気の場合は存在するほとんどの炭化水素がメタンであることから、メタンを除いた VOCs の炭素数を体積濃度比で表す非メタン炭化水素 (Non-Methane Hydro Carbon、以下 NMHC) という指標を用いる。水質の分野では総有機炭素 (Total Organic Carbon、以下 TOC) を用いる。この指標は水中の有機物質を熱分解し有機体の炭素を二酸化炭素にし、その濃度を測定することにより炭素量を求めたものである。市場に流通する 13 種類のセンサのうち TVOC 計として市販されて

いるセンサは上記の NMHC 計あるいは TOC 計であった（表Ⅲ-2-2-5 参照）。

#### センサ選定基準

表Ⅲ-2-2-5 に示した 13 種類のセンサのうち本研究で数値計算の検証用に使用するセンサに要求される項目として、実験室内あるいは本プロジェクトで後に行う実環境中での濃度変動を測定できること、自動的な測定およびその後の解析をするためにコンピュータに接続できること、さらに空間分布が測定できることが要求される。

以上より、本プロジェクトで使用するセンサの選定基準を下記の 4 点とした。

1. 連続モニタリングが可能
2. 外部出力がある
3. 持ち運び可能
4. 多点同時計測が可能

表Ⅲ-2-2-5 市場流通品 TVOC 計一覧

●TVOC簡易測定法

検出方式	メーカー名	名称・型式	表示単位	測定範囲(ppm)					測定精度/分解能	測定時間	重量	その他
				0.01	1	100	10000	1000000				
FID 水素炎イオン化検出器	1 PHOTOVAC (輸入・伯東)	Micro-FID	ppm				0.5-50,000ppm		検出限界 メタン0.5ppm	2sec.	3.7Kg	
PID 光イオン検出器	2 PHOTOVAC (輸入・伯東)	2020-PRO	ppm				0.5-20,000ppm			2sec.	0.8Kg	
	3 Rae systems (輸入・横河電機)	PGM7600	ppm				0-10,000ppm	±2ppm 分解能 0.1ppm	3sec. (90%応答)	0.55Kg		
	4 Rae systems (輸入・横河電機)	VM30	ppm				0-2,999ppm	±2ppm 分解能 0.1ppm	10sec. (90%応答)	0.18kg		
	5 Rae systems (輸入・松下テクトレーディング)	ppbRAE plus	ppbまたはppm ・172物質をトルエン換算 ・レンジ切替(ppm)				0-9,999ppm 10-99.9ppm 100-20,000ppm	分解能 1ppb " 0.1ppm " 1ppm	5sec. (90%応答)	0.553kg		
PAS 光音響法	6 INNOVA社 (輸入・松下テクトレーディング)	1312型				0.5-500 ppm		検出能力: 1ppm				光学フィルターで5種類まで定量可能
半導体式検出器	7 MK Scientific	VOC計 C-21					50-100ppm	10%			0.14kg	
	8 フィガロ技研	FTVR-01	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ・レンジ切替( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1000/10000/100000				~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.3ppm) ~10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 2.7ppm) ~100000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 28.9ppm)					
	9 新コスモス電機	XP-339V	無単位 (指示値 0-1000)								0.55kg	

●ポータブルガスクロマトグラフィー(TVOC、VOC)

検出方式	メーカー名	名称・型式	表示	測定範囲(ppm)					測定精度/分解能	測定時間	重量	その他
				0.01	1	100	10000	1000000				
PID 光イオン検出器	10 PHOTOVAC (輸入・伯東)	Petro-Pro	ppbまたはppm				ベンゼン 0.05-100ppm トルエン 0.05-200ppm エチルベンゼン 0.1-200ppm m-キシレン 0.05-100ppm			30-250sec.	6.6kg	ベンゼン,トルエン,エチルベンゼン,m-キシレン
半導体式検出器	11 ジエイエムエス	JHV-1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				10-1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.03-0.3ppm)	再現性±5%F.S.	10min.	9kg		トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン パラジクロロベンゼン,TVOC
	12 アビリット	EGC-2	ppmまたは $\mu\text{g}/\text{m}^3$				19-4340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.005-1.2ppm)		8min.	5.8kg		トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン
	13 新コスモス電機	XG-100V	ppbまたは $\mu\text{g}/\text{m}^3$				4-3700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.001-1.0ppm)	指示濃度誤差±5%	30min.	9kg		トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン

表Ⅲ-2-2-5 に示したセンサの中から上記の選定基準を満たすセンサとして、光音響分光法 (Photo Acoustic Spectroscopy、以下 PAS 法) による Innova 社のマルチガスモニター、および光イオン化検出器法 (Photo Ionization Detector、以下 PID 法) による Rae Systems 社の ppb RAE Plus を本プロジェクトで使用する測定器とした。なお、これ以外のセンサはいずれかの選定条件が欠けることから仕様検討の時点で除外した。

選択した TVOC センサの文献調査

PAS 法の Innova 社製マルチガスモニター

基本原理

PAS 法では、光学フィルターを通過した測定対象分子固有の赤外吸収波長の赤外光を試料ガスに照射し、対象分子に運動エネルギーとして吸収させる。分子が運動エネルギーを吸収すると気体の温度が上昇する。温度の上昇は、圧力一定の場合には気体の体積を膨張させ、或いは容積が一定の場合には圧力を上昇させる。圧力の変動をマイクロフォンで音として検出する方法が、光音響分光法の原理である。本装置には 25 種類の光学フィルターが用意されていて、その中には炭化水素の総量をあらわす TOC の他、本プロジェクトで開発が進められている Formaldehyde、Toluene、Styrene などの物質の測定も可能である。

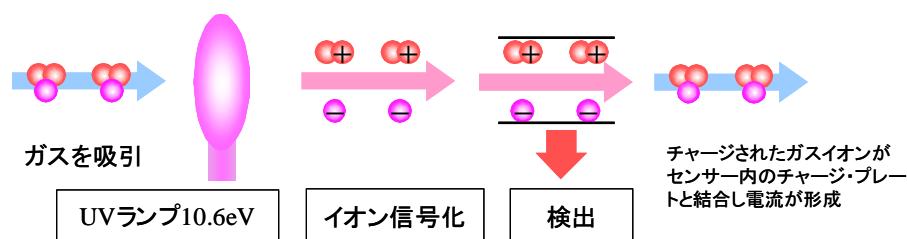
PAS 法の Innova 社製マルチガスモニターの特性

PAS 法の Innova 社製マルチガスモニターの特性について検討した文献を検索したが適当な文献を探し出すことはできなかった。

PID 法の Rae Systems 社 ppb RAE Plus

基本原理

PID モニタ検出部は、イオン化装置 (UV ランプ)、イオン検出器 (PID センサー) から構成されている。UV ランプが照射するエネルギー (10.6eV) よりも低いイオン化ポテンシャルを持つ VOCs がイオン化され、検出器に導入される。イオン化ガスの電荷量を単一ガス濃度に換算して表示する。物質ごとに相対感度を基準とする補正係数 (Collection Factor) が用意されており、測定値に補正係数を掛けることで任意の VOCs 換算濃度が求まる。表示される測定値は、各種 VOCs の中で相対感度が中程度のイソブチレンが標準として用いられている (図Ⅲ-2-2-10 参照)



図Ⅲ-2-2-10 測定原理

野崎ら 1) は、GC/MS と PID モニタを用いて、36 成分 VOC 混合ガスの TVOC 濃度を測定・比較した。結果、両者の値には R2 が 0.999 以上と高い相関が確認され、PID の測定性能が実験室レベルで示された。平野ら 2) は、改正大気汚染防止法に係る測定法を決める際の検討として、簡易測定法の中から FID、触媒酸化-NDIR、PID を用い、トルエンを基準とした各 VOC 成分の相対感度調査を行った。その結果、FID、触媒酸化-NDIR は様々な VOC に対して一様な感度を有している一方、PID は脂肪族炭化水素やアルコール類など、一部の VOC に対しては感度が低いと報告している。

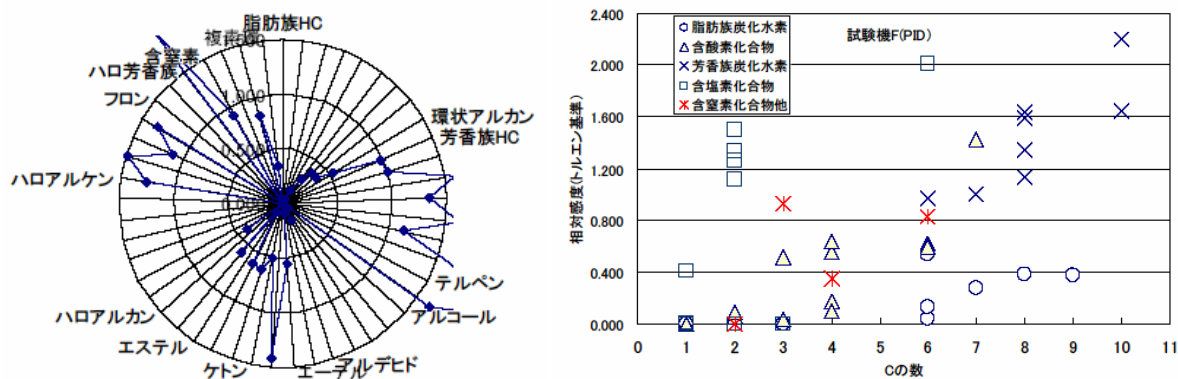


図 III-2-2-11 (左：族別，右：炭素数別)

### 室内フィールドにおける TVOC センサの特性の検討

#### 目的

実環境ではさまざまな物質が存在することや、水蒸気などの干渉が考えられることから、フィールドにおいて本センサを使用し精密法と比較することにより、多成分共存下における各センサの特性とその影響に関するデータを蓄積することを目的とした。

### 測定概要

測定は2006年1月から2月の間に、住宅12軒、事務所3軒、作業環境5箇所の測定を行った。それぞれの環境で、PAS法、PID法とレファレンスとなる精密法による同時測定を行った。詳細は表2に記した。ただし、本測定においてはPAS法のマイクが不安定であったことが測定後判明したためPAS法による測定結果は欠測とした。

表 III-2-2-6 定義 捕集・分析条件

	精密法	簡易法(PAS)	簡易法(PID)
捕集法	吸着剤捕集 Carbopack B 200g充填チューブ	直接導入 多点測定時: Innova Multi Point Sampler Doser 1303	直接導入 ppbRAE plus (PGM7240)
前処理	TD: Perkin Elmer ATD 400 Primary Desorption: 300°C(10min.)	-	-
定性・定量	GC/MS Hewlett Packard 6890 Hewlett Packard 5973	PAS Innova Multi Gas Monitor 1312	PID Rae Systems ppbRAE plus (PGM7240)
分離条件	分離カラム HP5-MS 30m x 0.25mm x 0.25µm	光学フィルター: UA0987(2950cm <sup>-1</sup> )	イオン化ランプ: 10.6eV
昇温プログラム	40°C (4min.) - 10°C/min. - 280°C(0 min)	-	-
キャリアー, 流速	He, 1mL/min.	120mL/min.	500mL/min.



### 実測による精密法と選定センサの関係

測定結果のうち住宅に関するものを図②-2-12に示す。横軸には精密法による値を、縦軸にはPIDによる測定結果を示す。これより、実環境でも精密法とPID法によるTVOC値の間には相関関係が存在する可能性が確認できた。またそれぞれの住宅における傾きを比較したところ、近い値を示したことから用途が似通った環境では一定の換算係数を用いることができると考えられた。ただし、それぞれの相関式の切片にはばらつきが見られること今後はデータを蓄積することにより、それぞれの測定法を関連付ける式1に示すような補正式を提案することができる。

$$C = kC_m + b \quad (\text{式 1})$$

C : 精密法による TVOC の値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

k : 換算係数

$C_m$  : 簡易モニターによる TVOC 値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

b : 切片

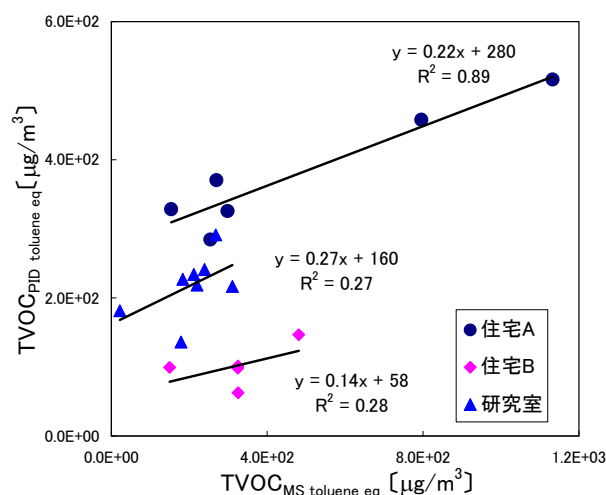


図 III-2-2-11 精密法と PID 法の関係

## まとめ

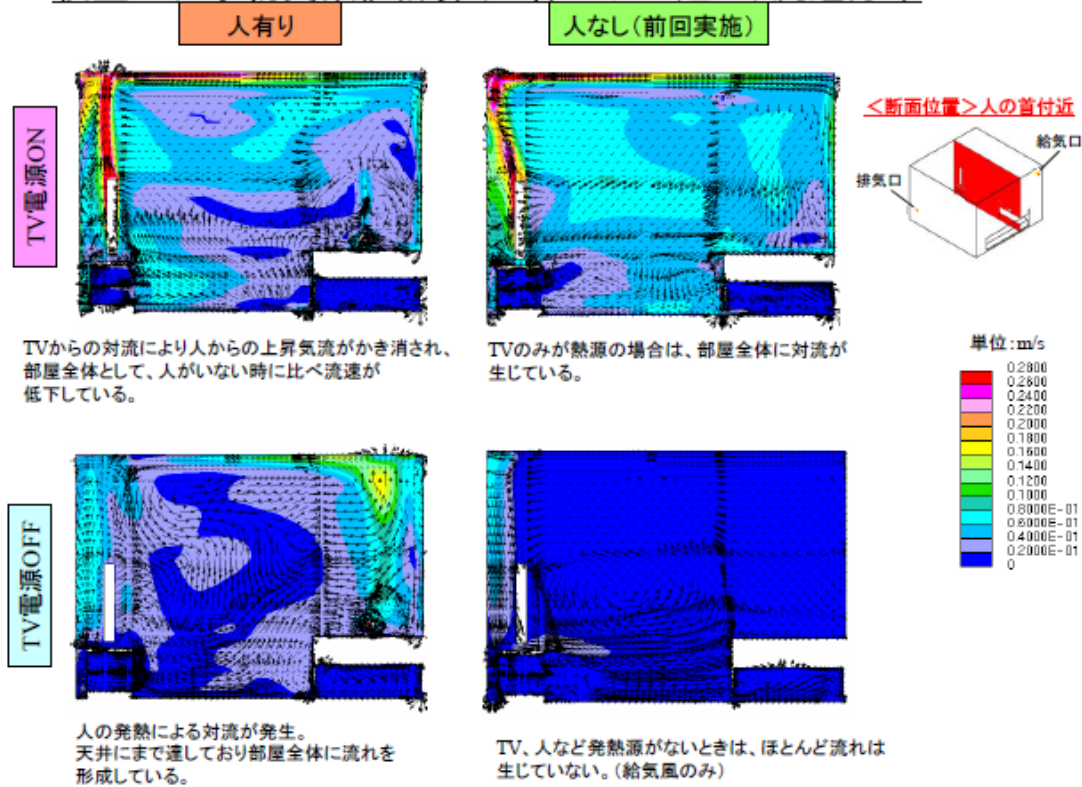
- ・ 市場流通品 TVOC センサの調査を行った。
- ・ 本プロジェクトで使用するセンサの仕様を比較検討した結果、PAS 法の Innova 社のマルチガスモニターと PID 法の Rae Systems 社の ppb RAE Plus を選定した。
- ・ 文献調査から、PAS 法の文献は検索できなかった。
- ・ 文献調査および実験から、PID 法は一般環境中に存在する単一物質については精密法とよい相関があることが分かった。
- ・ PID 法は物質により相対感度が異なることが分かった。
- ・ PID 法には、応答に若干の遅れが確認されたが、本プロジェクトで必要とされる応答性能は十分に満たしていた。
- ・ 複数の成分が存在する一般環境下で精密法と PID 法の測定結果を比較した結果相関がある可能性を確認した。
- ・ 一般環境下における精密法と PID 法による時系列データとの比較により、精密法では確認できなかった濃度変動が生活行為により引き起こされることが確認され、PID 法によりこの濃度変化が的確に把握できることが確認された。
- ・ 外気の VOC 濃度は換気システムの運転状況を左右する因子であるため、採用モニタを使用して外気 TVOC 濃度の実測を行ったが、測定日が偶然低濃度であったため、十分な検証を行うことはできなかった。

## 参考文献：

- 1) 野崎 敦夫，PID モニタにおける室内 VOC 濃度の測定性に関する研究，室内環境学会 平成 14 年 12 月，(2002)
- 2) 平野 耕一郎，「明らかになった VOC 規制」VOC の測定方法，大気環境学会関東支部総会講演会 平成 17 年 8 月 8 日，(2005)

3 - 2 寝室の人影響の数値解析

寝室の化学物質数値計算(人体モデル追加)流速分布



図Ⅲ-2-2-12 寝室のシミュレーション結果  
 寝室のシミュレーション結果を図Ⅲ-2-2-12に示した。  
 人の発熱によって対流がおこることが確認された。

### 各条件での流れパターンの考察

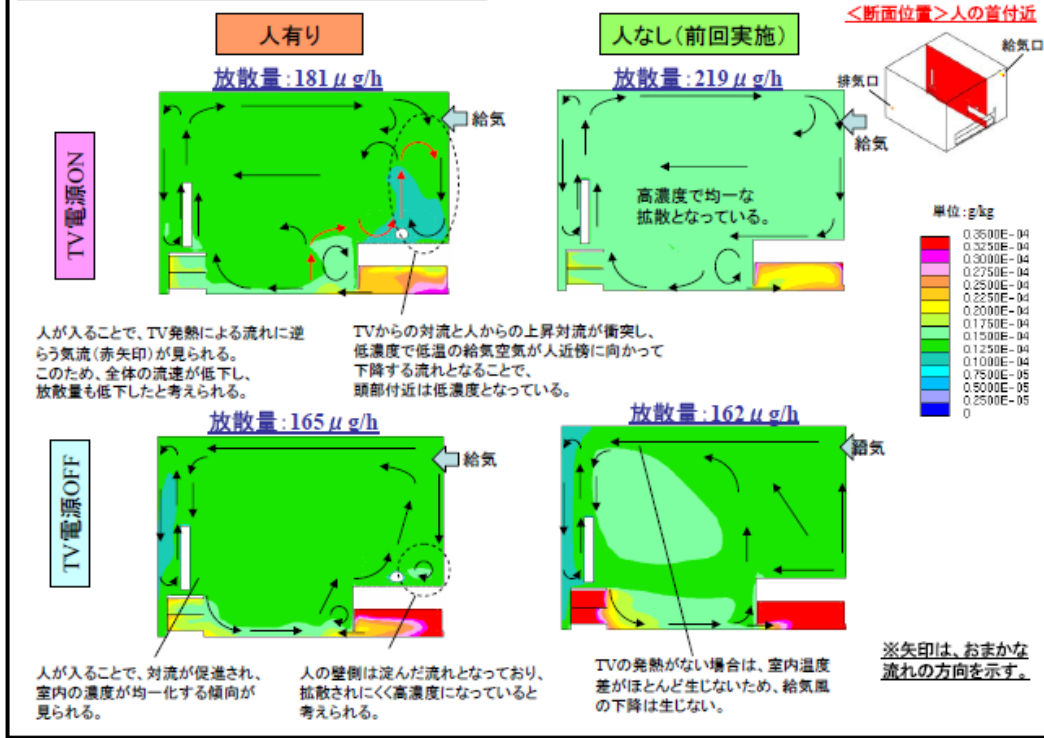


図 III-2-2-13 寝室のシミュレーション流れパターン考察

寝室のシミュレーションの空気の流れパターンを考察したものを図 III-2-2-13 に示す。  
 テレビと人の発熱により複雑な空気の流れが生じているのがわかる。

#### 4 換気システム開発のための調査

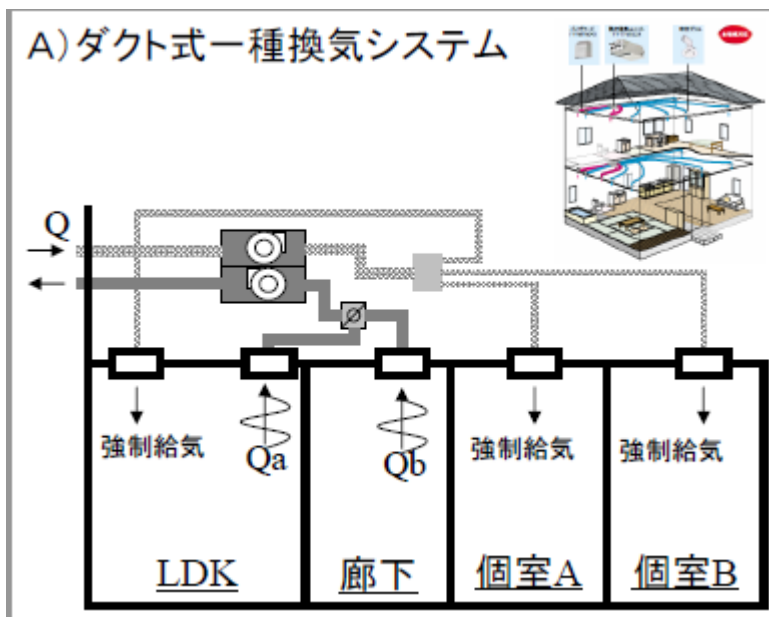
##### 4-1 制御法の調査

##### 4-1-1 換気システムの概略

省エネと化学物質対策のベストバランスを実現するために以下の条件を設定した。

- ・化学物質発生源付近から排出する。
- ・少ないセンサ（できれば1個）で検知制御を行う。
- ・現状の換気システムから適応できる換気システムを選択し改良を加えることで制御の実用化を図る。

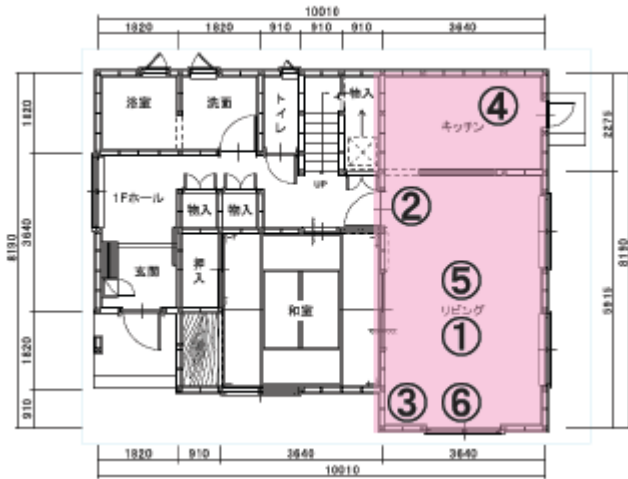
これらの条件を考慮して下記換気システムを提案した。(図Ⅲ-2-2-14)



図Ⅲ-2-2-14 換気システム概要

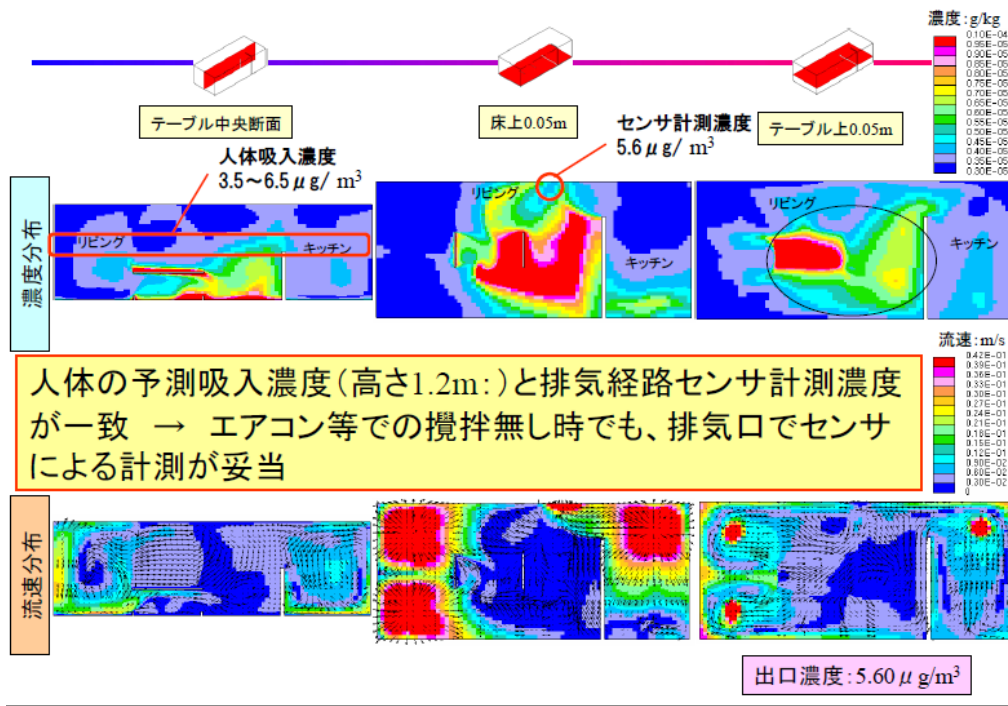
#### 4-1-2 センサ設置位置の検討

室内の化学物質を検知するセンサの最適な設置位置をもとめるため室内の化学物質濃度のシミュレーションを行った。設置場所は住宅のリビングダイニングを想定して発生源を床とテーブルとしてシミュレーションを行った。設定条件を図Ⅲ-2-2-15 に示す。



図Ⅲ-2-2-15 検討対象設定条件

- ① 発生部付近
- ② 換気出口(ドア下部)
- ③ 給気部
- ④ 部屋台所側
- ⑤ 部屋中央
- ⑥ 部屋窓側



図Ⅲ-2-2-16 センサ設置位置の検討

センサ設置位置のシミュレーションを図Ⅲ-2-2-16に示す。

濃度分布の色から人体の吸入と排気口の位置で大きく濃度がことならないことがわかった。

#### 4-1-3 化学物質吸着現象の影響

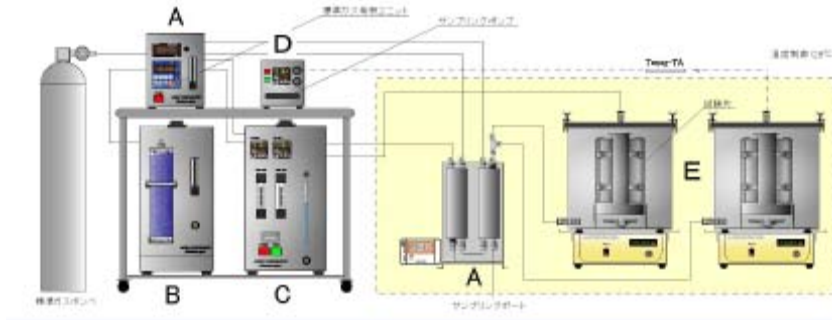
室内の化学物質濃度を検知して制御するために化学物質が室内の建材などへ吸着する現象について調査しておく必要がある。

##### 吸着現象測定法

J I S A 1 9 0 5 - 1、- 2 に基づき一般的な建材の吸着性能測定を行った。

装置はアドテック社製、A-4 M I Xを使用した。

概念図を図Ⅲ-2-2-17に示す。



図Ⅲ-2-2-17 化学物質吸着性能測定装置概略図

この測定のポイントは①建材の表面風速を詳細にコントロールすることと②供給ガス濃度を一定に保つこと。であり、

① 20 L の小型チャンバーでも精密に風速をコントロールするために内部構造を工夫し、

ファンを作動させた。

② ガス濃度が 1 ppm のガスボンベを購入し、1 / 10 にクリーンガスで希釈することによって約 0.1 ppm のガスを供給する。

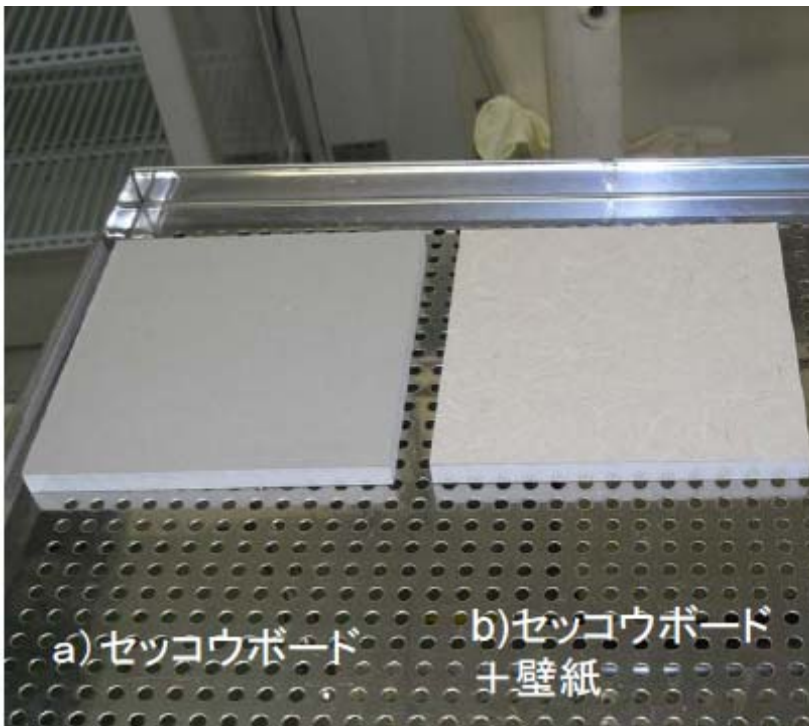
などの対策を行い。また、同時に 4 系統の測定ができるのでリファレンスとして空のチャンバーを同時に稼働させ測定サンプルデータと比較した。





ADPAC-A4  
ADPAC-SYSTEM 恒温器一体型

図Ⅲ-2-2-18 吸着性能測定装置



図Ⅲ-2-2-19 吸着性能測定サンプル

表Ⅲ-2-2-1 吸着性能測定結果

温度 (°C)	湿度 (%)	基材	捕集量 (L)	トルエン 定量値 (ng)	濃度 ( $\mu\text{g}$ / $\text{m}^3$ )	トルエンガ ス( $\mu\text{g}$ / $\text{m}^3$ )	時間 (hr)	トルエンガス%
15	25	セッコウボード	3.2	203	63	323	1	20
15	25	セッコウボード	3.2	228	71	323	2	22
15	25	セッコウボード	3.2	280	88	323	4	27
15	25	セッコウボード	3.2	311	97	323	6	30
15	25	セッコウボード	3.2	461	144	323	24	45
25	25	セッコウボード	3.2	259	81	328	1	25
25	25	セッコウボード	3.2	292	91	328	2	28
25	25	セッコウボード	3.2	378	118	328	4	36
25	25	セッコウボード	3.2	413	129	328	6	39
25	25	セッコウボード	3.2	589	184	328	8	56
35	25	セッコウボード	3.2	287	90	325	1	28
35	25	セッコウボード	3.2	337	105	325	2	32
35	25	セッコウボード	3.2	410	128	325	4	39
35	25	セッコウボード	3.2	502	157	325	6	48
35	25	セッコウボード	3.2	805	252	325	24	77
15	25	セッコウボード +壁紙	3.2	355	111	323	4.5	34
25	25	セッコウボード +壁紙	3.2	344	107	328	1.5	33
25	25	セッコウボード +壁紙	3.2	395	123	328	2.5	38
25	25	セッコウボード +壁紙	3.2	429	134	328	4.5	41
25	25	セッコウボード +壁紙	3.2	455	142	328	7.5	43
35	25	セッコウボード +壁紙	3.2	504	157	325	4.5	48

表Ⅲ-2-2-2 吸着性能測定結果

温度 ℃	湿度 %	基材	捕集量(L)	トルエン 定量値 (ng)	濃度 ( $\mu\text{g}$ / $\text{m}^3$ )	トルエンガス ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	時間(hr)	トルエン ガス%
25	50	セッコウボード	2.4	308	128	292	2	44
25	50	セッコウボード	2.4	425	177	292	3	61
25	50	セッコウボード	2.4	494	206	292	4	70
25	50	セッコウボード	2.4	542	226	292	5	77
25	50	セッコウボード	2.4	671	279	292	8	96
25	25	セッコウボード	3.2	259	81	328	1	25
25	25	セッコウボード	3.2	292	91	328	2	28
25	25	セッコウボード	3.2	378	118	328	4	36
25	25	セッコウボード	3.2	413	129	328	6	39
25	25	セッコウボード	3.2	589	184	328	8	56

まとめ

小形チャンバーおよび大形チャンバーを使用した室内での化学物質吸着現象について以下のことがわかった。

- ・トルエンの吸着は温度変化よりも湿度変化に敏感であった。
- ・アセトアルデヒドの吸着は壁紙を使用したものが大きく壁紙を使用しないものは小さかった。壁紙を接着している接着剤に含まれるキャッチャー剤の影響が考えられるが詳細な原因は不明であった。
- ・大形チャンバーの測定では小型チャンバーの時のような吸着量が発生しなかった。

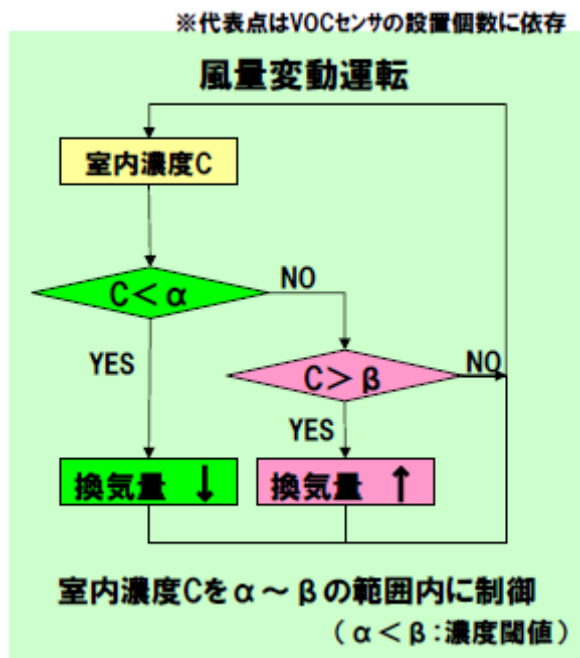
大形チャンバーでは表面の風速などはコントロールできないため吸着性能に影響がでたものと考えられる。

- ・室内のシミュレーションをする場合は室内の建材表面の風速が重要なポイントとなると考えられる。

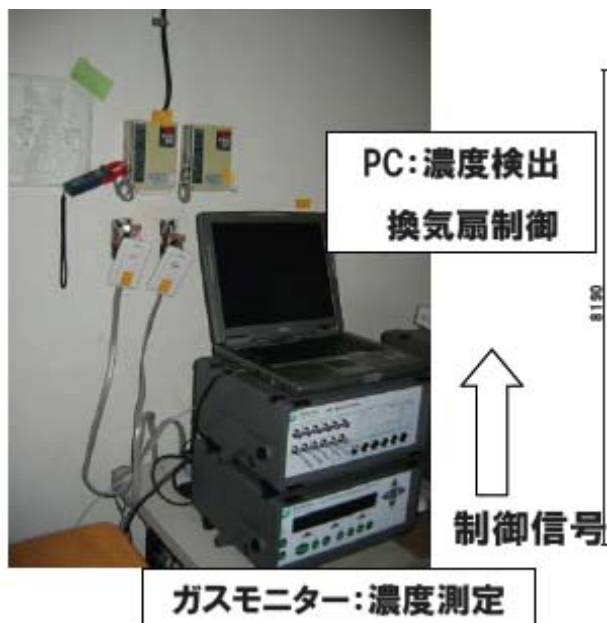
#### 4-2-1 換気システム制御アルゴリズム (19年度検討内容)

プロジェクトで開発中の高感度化学物質検出器を利用した住宅用の換気システムの

基本的なアルゴリズムについて検討を行った。



図Ⅲ-2-2-20 換気システム制御アルゴリズム

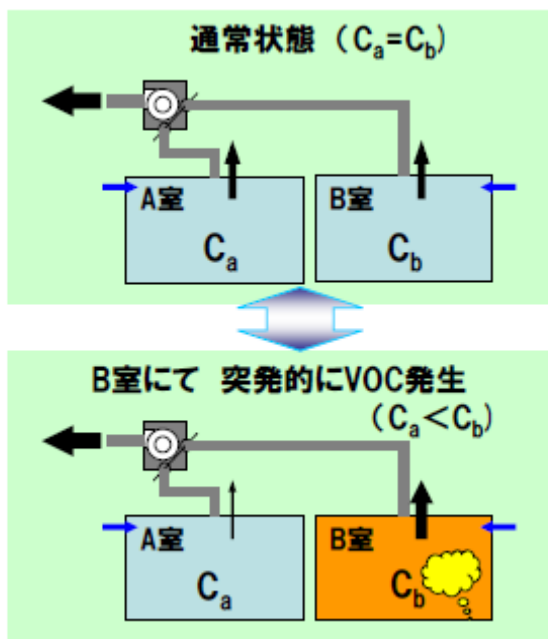


図Ⅲ-2-2-21 換気システム検知制御システム

#### 4-2-2 換気経路制御アルゴリズム (20年度検討内容)

19年度の検討において住宅の化学物質の発生の傾向が建材などの全体的な発生から部屋ごとの突発的な発生に問題があることがわかってきた。

部屋ごとの化学物質濃度と検知し、その情報をもとに新たな換気システムを提案した。



図Ⅲ-2-2-22 換気システム換気経路制御

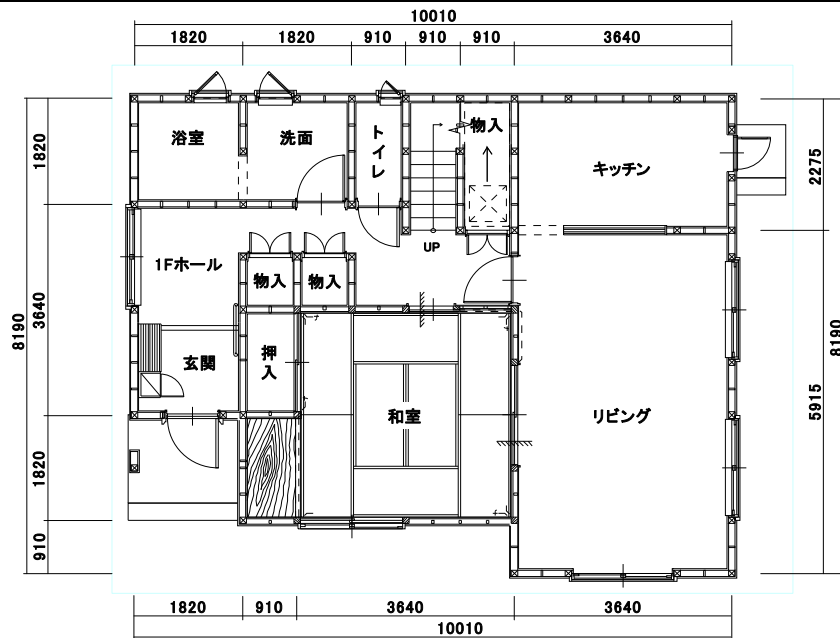
#### 4-3 実証法

##### 4-3-1 モデル住宅の概要

モデル住宅は、財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センター内に設置されている在来軸組構法木造2階建実大実験住宅を用いる。実験住宅の基本仕様を平面図および立面図を図Ⅲ-2-2-23～図Ⅲ-2-2-25に、写真を図Ⅲ-2-2-26に示す。

表Ⅲ-2-2-3 実験住宅の基本仕様

項目	仕様
構法	木造 在来軸組構法
階数	2階
床面積(m <sup>2</sup> )	延床面積 130.83 (m <sup>2</sup> )、1階 72.87 (m <sup>2</sup> )、2階 57.96 (m <sup>2</sup> )
断熱性能	次世代省エネルギー基準のⅢ地域



図Ⅲ-2-2-23 実験住宅平面図（1階）

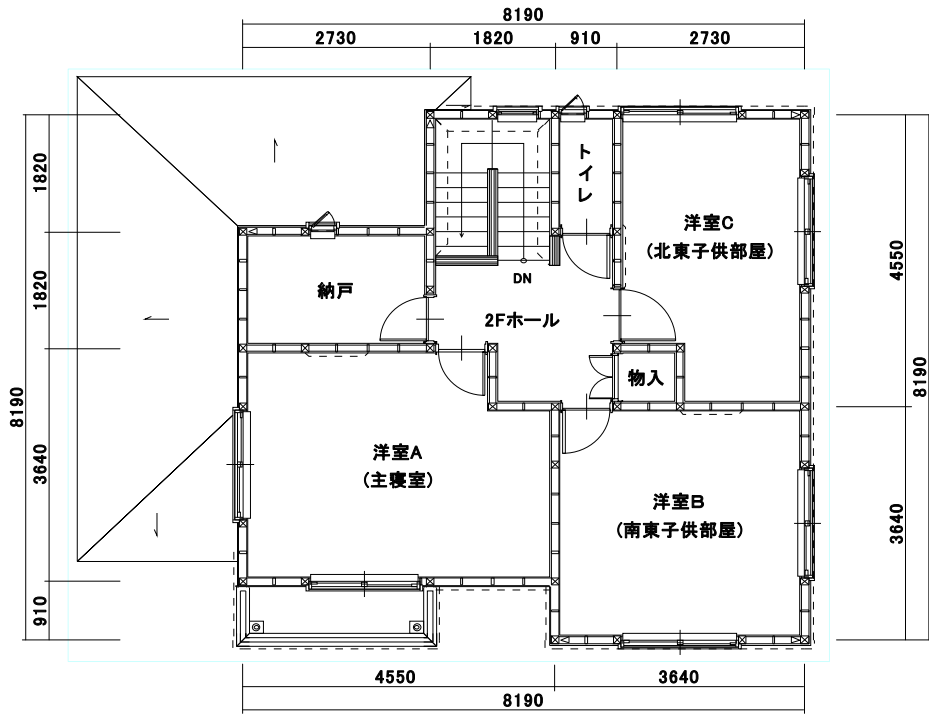


図 III-2-2-24 実験住宅平面図 (2階)

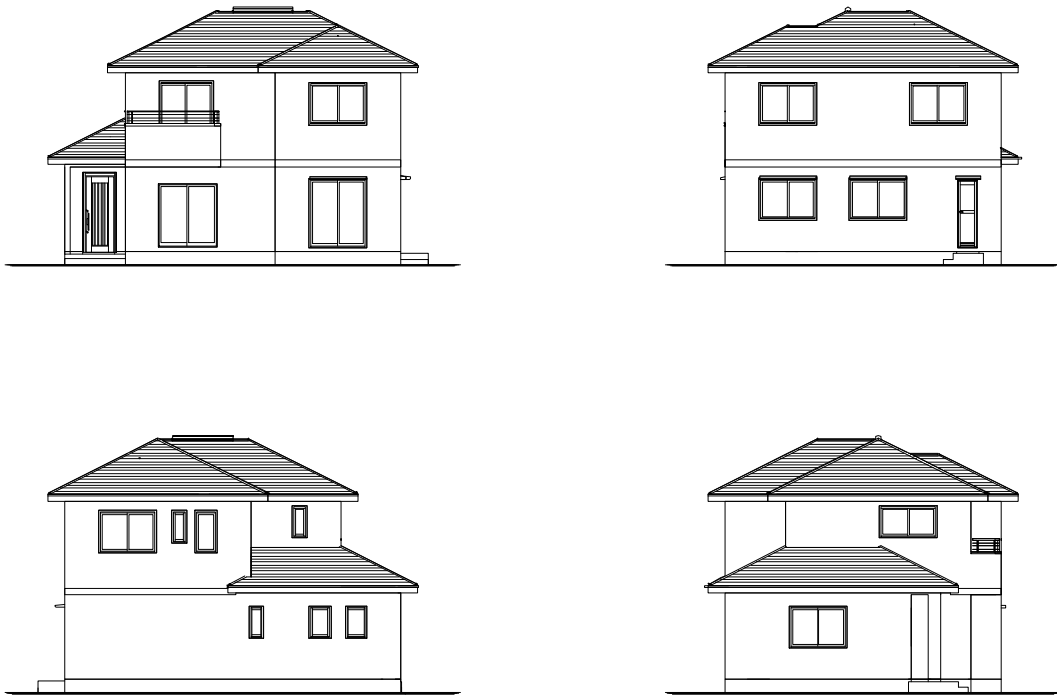


図 III-2-2-25 立面図



図Ⅲ-2-2-26 実験住宅外観

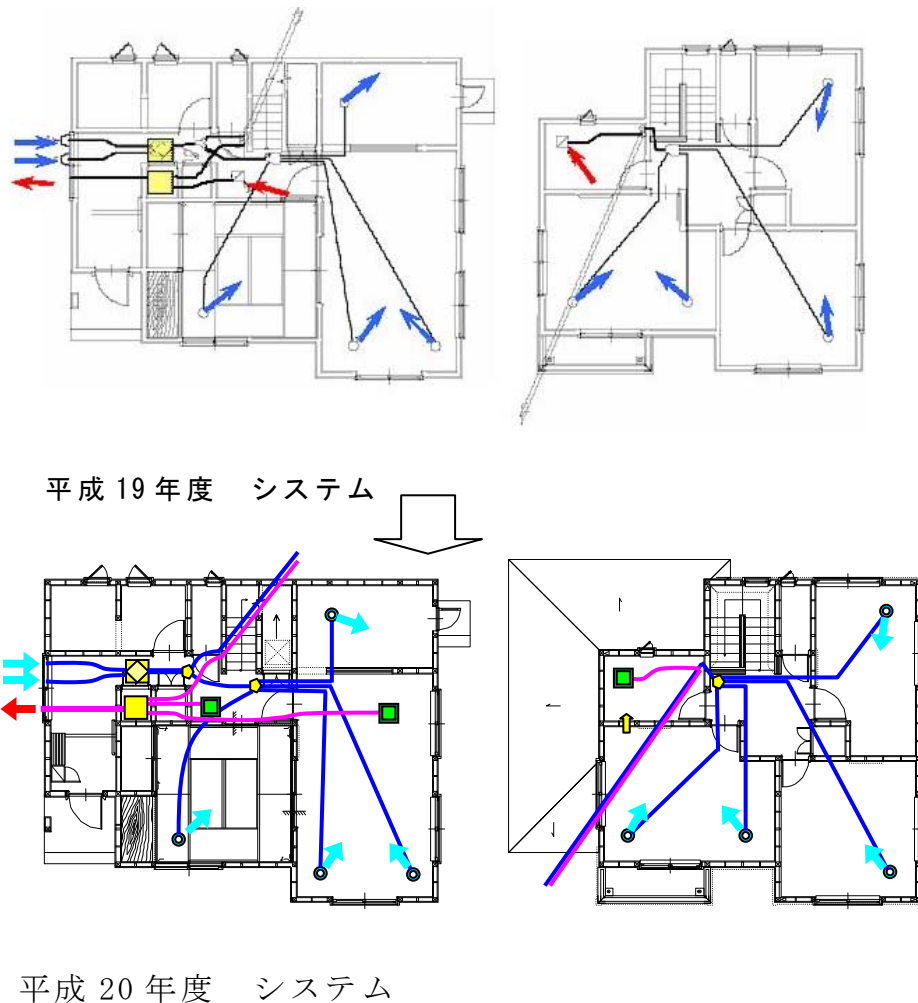


#### 4-3-2 システム制御の実証

実験住宅に設置されていた既存ダクト式換気システムのダクト及び室内グリルはそのままに、風量コントローラー部と給気ファン、排気ファンの取り替えを行い、第一種ダクト式換気システムを設置した。

第一種ダクトシステムは給気ファンと排気ファンが2系統に分かれている。排気換気扇の端部に補助排気ファンを取り付け、汚染源が室内に発生した場合、補助排気ファンの風量を変化させることで、換気システム全体の消費電力を抑えかつ効率よく室内濃度を低減させる方法を検討する。

図Ⅲ-2-2-27 に換気システムの変更部分を示す



排気グリル（■部 1階廊下、1階リビング、2階納戸3カ所）に補助排気ファンを増設

図Ⅲ-2-2-27 第一種ダクト式換気システム 補助ファン設置改良状況



図Ⅲ-2-2-28 リビングへの補助排気ファン増設



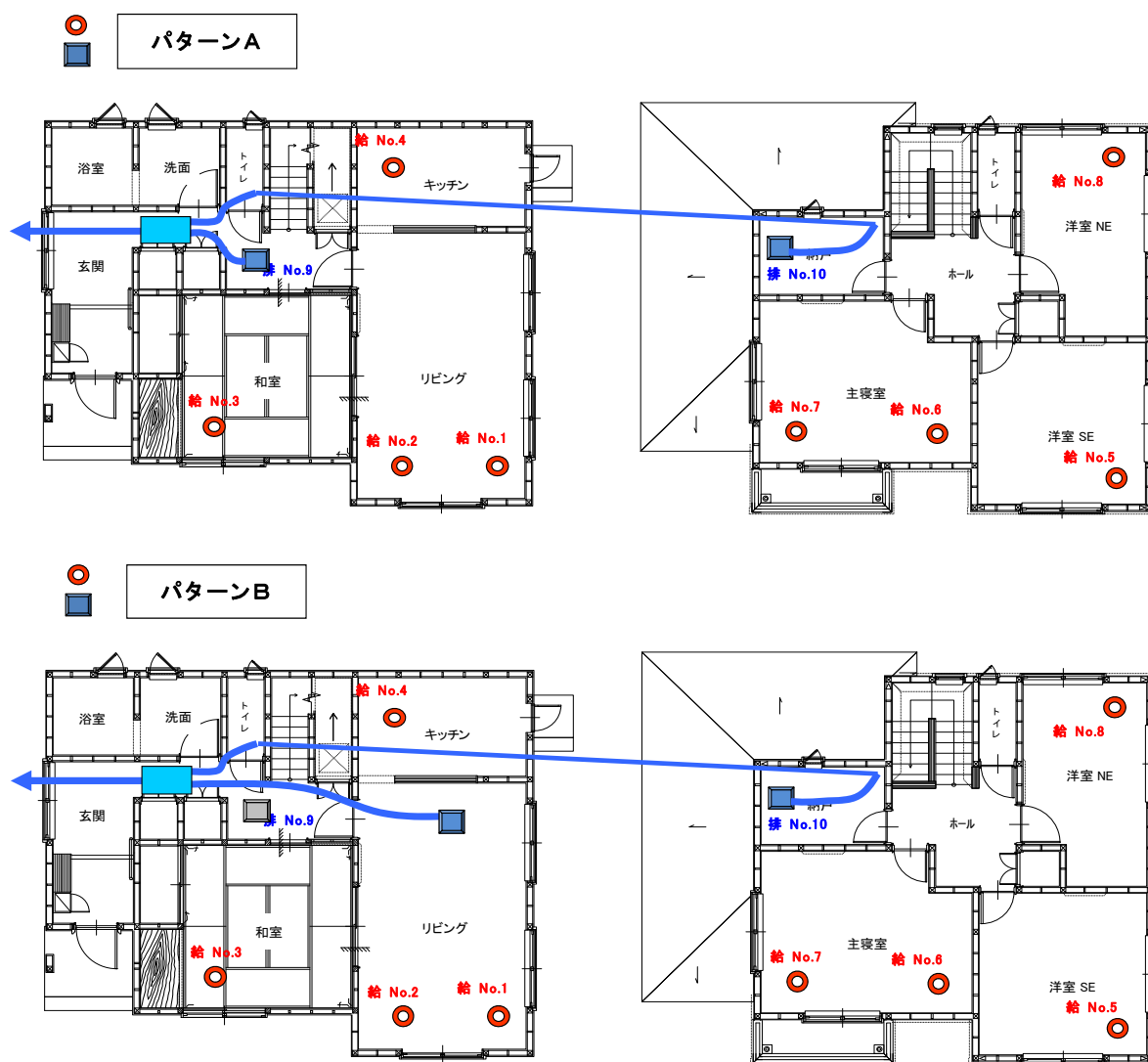
図Ⅲ-2-2-29 1階廊下（左写真）、2階納戸（右写真）への補助排気ファン増設



図Ⅲ-2-2-30 2階納戸と2階主寝室との通気グリル設置

20年度提案の換気システムを検証するため2通りの換気経路を選択できるように改造を行った。

第一種ダクト式換気システムは、排気ファンに接続する1階排気口の違いにより、パターンAとパターンBの2種類に分ける。パターンAは、一階廊下天井の排気口を排気ファンに接続するパターンである。パターンBは、一階リビング天井の排気口を排気ファンに接続するパターンである。



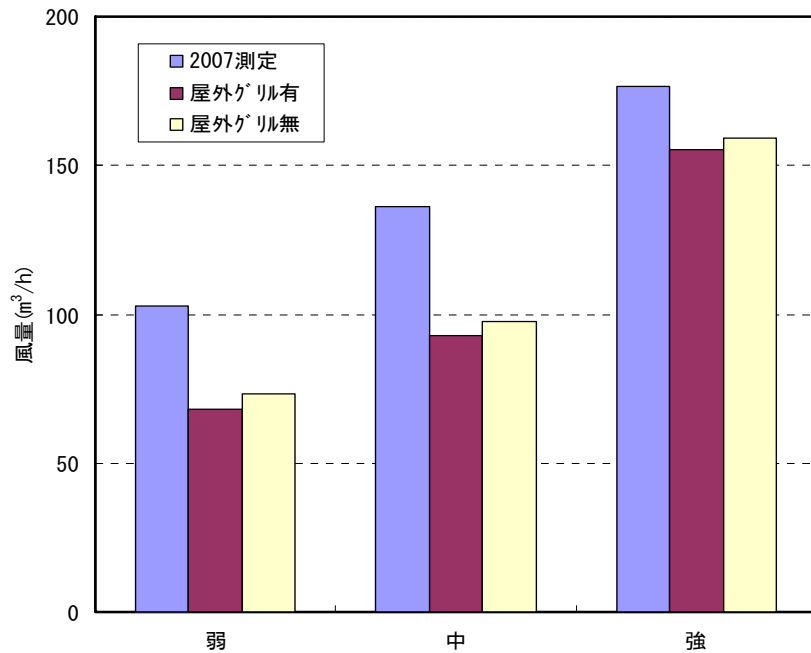
図Ⅲ-2-2-31 風量測定を実施した第一種ダクト式換気システムのダクト配管パターン

## 第一種ダクト式 給気ファンの風量測定

第一種ダクト式の給気風量と排気風量を平衡させるため、給気側風量測定を実施した。測定結果を表Ⅲ-2-2-4、図Ⅲ-2-2-32 に示す。なお給気グリル風量測定時における排気側風量設定は同一ノッチとした。

表Ⅲ-2-2-4 第一種ダクト式換気 給気風量測定結果

	測定位置	インバーター周波数 60Hz		
		2007 測定	屋外グリル有	屋外グリル無
弱	1F リビング東	13.9	9.1	9.8
	1F リビング西	13.2	9.0	9.7
	1F 和室	13.9	9.8	10.5
	1F キッチン	18.1	9.5	10.2
	2F 洋室SE	9.6	6.6	7.1
	2F 主寝室東	10.0	7.5	8.1
	2F 主寝室西	11.2	7.7	8.3
	2F 洋室NE	12.8	8.8	9.5
	合計	102.7	68.1	73.2
中	1F リビング東	18.4	12.5	13.2
	1F リビング西	17.5	12.4	13.0
	1F 和室	18.0	12.9	13.6
	1F キッチン	24.0	14.2	14.9
	2F 洋室SE	13.0	8.6	9.1
	2F 主寝室東	13.7	10.5	11.1
	2F 主寝室西	14.4	10.3	10.8
	2F 洋室NE	17.2	11.4	12.0
	合計	136.2	92.8	97.7
強	1F リビング東	26.6	21.6	22.2
	1F リビング西	22.0	20.6	21.1
	1F 和室	23.9	22.1	22.7
	1F キッチン	29.4	21.5	22.1
	2F 洋室SE	15.7	13.6	13.9
	2F 主寝室東	16.6	17.2	17.6
	2F 主寝室西	18.8	17.6	18.0
	2F 洋室NE	23.5	21.1	21.6
	合計	176.5	155.2	159.2

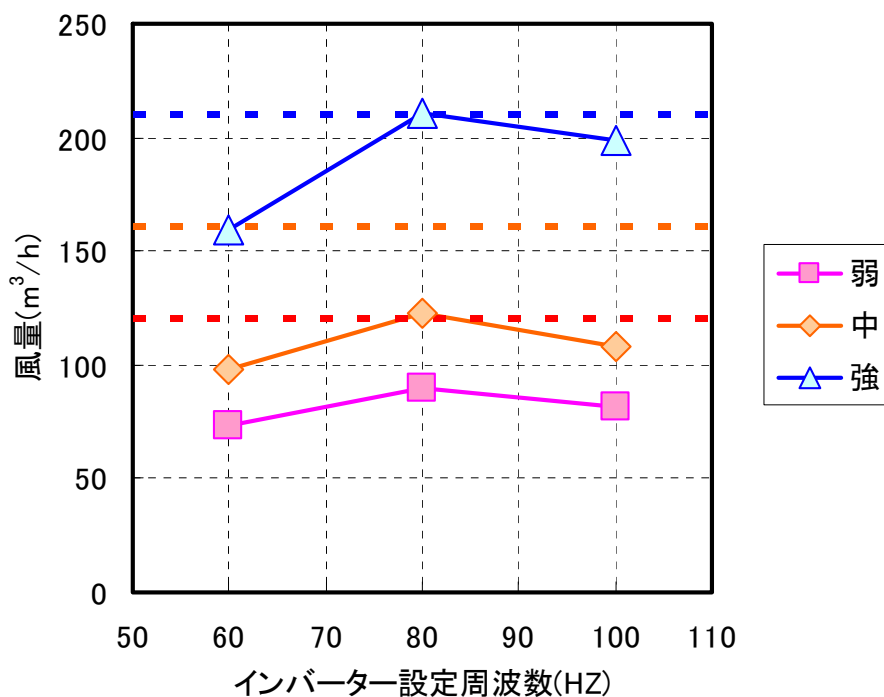


図Ⅲ-2-2-32 第一種ダクト式 給気風量合計の比較

換気設備設置当初(2007 年度)測定した給気側風量に比べ、今回の測定結果は弱運転で 66%、中運転で 68%、強運転で 88%の結果となった。屋外グリルの目詰まりによる圧力損失が増大することが考えられるため、屋外グリルを取り外して状況を確認した。防虫金網部に土を含む汚れが付着し圧力損失が増大したことが原因と考えられたため、屋外グリルを取り外した状態で風量測定を行った。屋外グリルを外した状態での給気風量は多少増加したものの、昨年度の風量に比べると弱運転で 71%、中運転で 72%、強運転で 90%の結果となった。給気ファンの送風機の能力低下が考えられる。給気ファンのフィルター目詰まりも確認したが、特に異状はなかった。

第一種ダクト式における建物全体の排気風量（補助ファン停止状態）と風量測定結果より弱運転で 120(m<sup>3</sup>/h)、中運転で 160(m<sup>3</sup>/h)、強運転で 210(m<sup>3</sup>/h)とし、給気風量測定結果との対応を図Ⅲ-2-2-33に示す。

この結果、第一種ダクト式における排気弱運転での風量 120(m<sup>3</sup>/h)と給気風量を平衡させるためには、給気ファンの設定を中とし、かつインバーターで作動周波数を 80Hz とすることで対応できる結果となった。



図Ⅲ-2-2-33 インバーター設定周波数と給気風量の関係  
(図中点線は排気風量を示す。)

一定濃度法による換気量測定（定常運転）

測定方法

一定濃度法の測定原理は瞬時一様拡散の仮定で式 1 のように説明できる。式 1 は  $i$  室におけるトレーサーガス濃度の変化量と流量および  $i$  室内で発生するトレーサーガス総量の関係式である。

左辺が  $i$  室におけるトレーサーガス総量の変化を、右辺は第 1 項が  $i$  室における発生量を第 2 項が外気を含む他室から流入してくるトレーサーガス総量を表している。

$$m_i \frac{dC_i}{dt} = S_i + \sum_{j=0}^N (C_j - C_i) Q_{ij} (1 - \delta_{ij}) \quad \text{式 1}$$

$S_i$ : トレーサーガスの  $i$  室における発生量 [kg/h]

$m_i$ :  $i$  室の総空気量 [kg]

$C_i$ :  $i$  室のトレーサーガス濃度 [kg/m<sup>3</sup>]

$Q_{ij}$ :  $j$  室から  $i$  室に流入する総空気量 [kg/h]

$t$ : 時間 [h]

$\delta_{ij}$ : クロネッカーのデルタ ( $i=j$  で  $\delta_{ij}=1$ 、 $i \neq j$  で  $\delta_{ij}=0$ )

一定濃度法は外気を除いた全室で同濃度となるように制御を行うため、右辺第 2 項の  $(C_j - C_i)$  部分が  $j \neq 0$  (外気以外) において 0 となる。また濃度が時間的に変化しないように制御するため、制御のタイムラグや外乱の変動による濃度変化が無視できるような場合には濃度変化の項が 0 となり左辺が 0 となる。そのため式 2 のように整理できる。

$$0 = S_i + (C_i - C_0) Q_{i0} \quad \text{式 2}$$

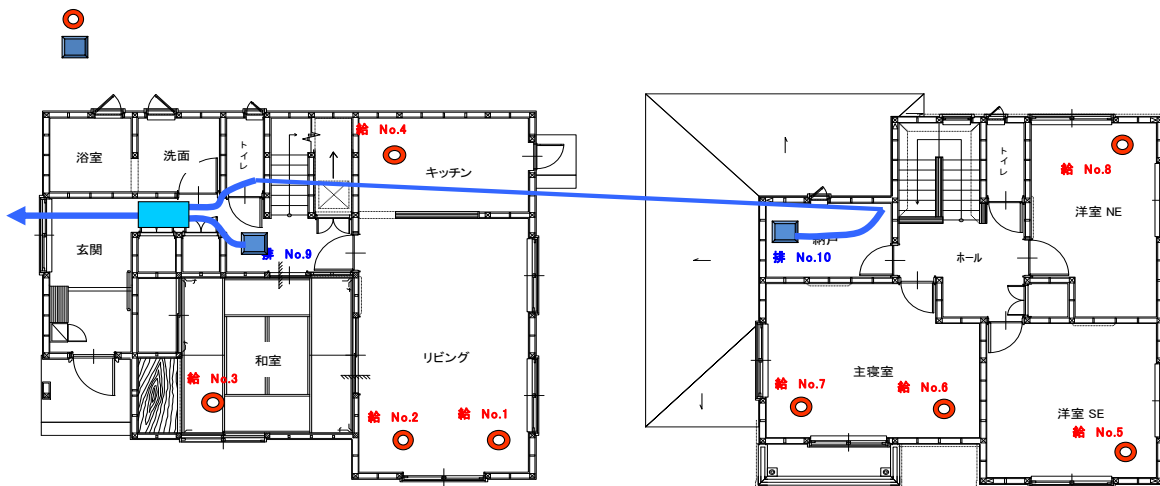
外気から  $i$  室に流入する空気量  $Q_{i0}$  について整理すると換気量が式 3 のようになり、各室におけるトレーサーガス発生量と外気および  $i$  室のトレーサーガス濃度が既知である場合、直接新鮮外気量が求められる。

$$Q_{i0} = \frac{S_i}{C_i - C_0} \quad \text{式 3}$$

トレーサーガスを用いた一定濃度法は、実験棟内を6つのブロックに分割し、マルチガスモニタを用い、トレーサーガスを一種類  $\text{SF}_6$ （六フッ化硫黄）とした実験と、 $\text{SF}_6$ と  $\text{N}_2\text{O}$ （亜酸化窒素）の二種類のトレーサーガスを同時にドーピングした実験の2条件を行った。実験条件を表Ⅲ-2-2-5に、実験棟ブロック分割を図Ⅲ-2-2-34に、実験仕様詳細を表Ⅲ-2-2-6に示す。

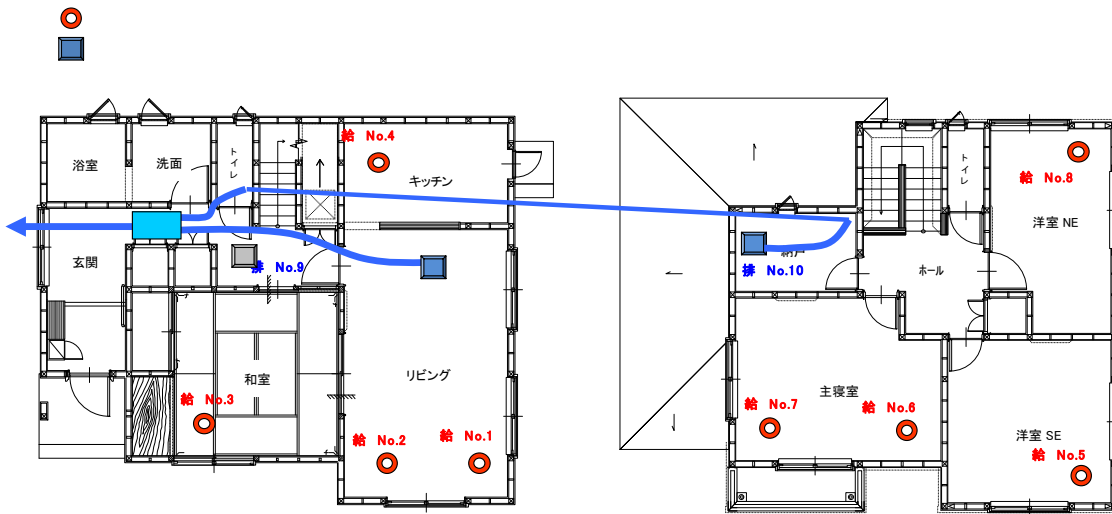
表Ⅲ-2-2-5 トレーサーガスを用いた一定濃度法 実験条件

換気システム		パターン	
		A（廊下排気）	B（リビング排気）
第一種ダクト式 （補助ファン停止）	強	$\text{SF}_6$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 同時測定	$\text{SF}_6$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 同時測定
	中	//	//
	弱	//	//

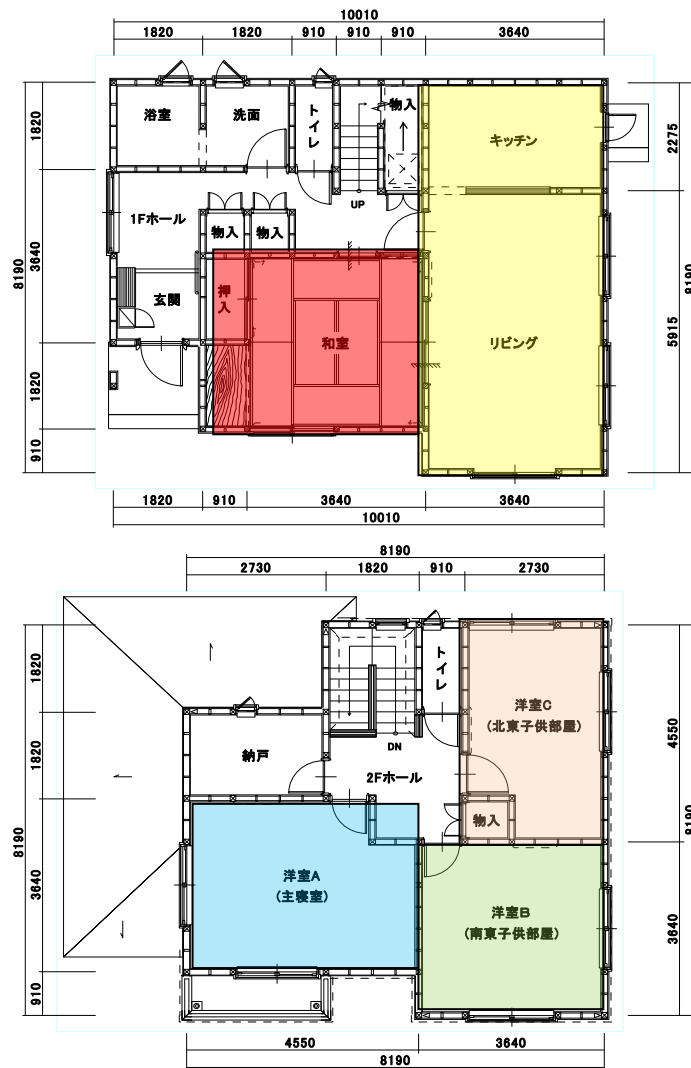


図Ⅲ-2-2-34 第一種ダクト式 パターンA（廊下排気）





図Ⅲ-2-2-35 第一種ダクト式 パターンB (リビング排気)



図Ⅲ-2-2-36 6ブロック分割による一定濃度法測定

表Ⅲ-2-2-6 ブロック分割による一定濃度法 ブロック詳細

	対象室	床面積 A(m <sup>2</sup> )	気積 V(m <sup>3</sup> )
6ブロック分割	1 和室	15.9	38.10
	2 リビング	29.8	71.50
	3 2階主寝室	15.8	37.80
	4 2階南東洋室	13.3	31.80
	5 2階北東洋室	11.6	27.80
	6 玄関・階段・納戸	28.8	69.00
	計	112.5	269.9

備考： ・床面積には、トイレ、洗面、浴室は含まない。

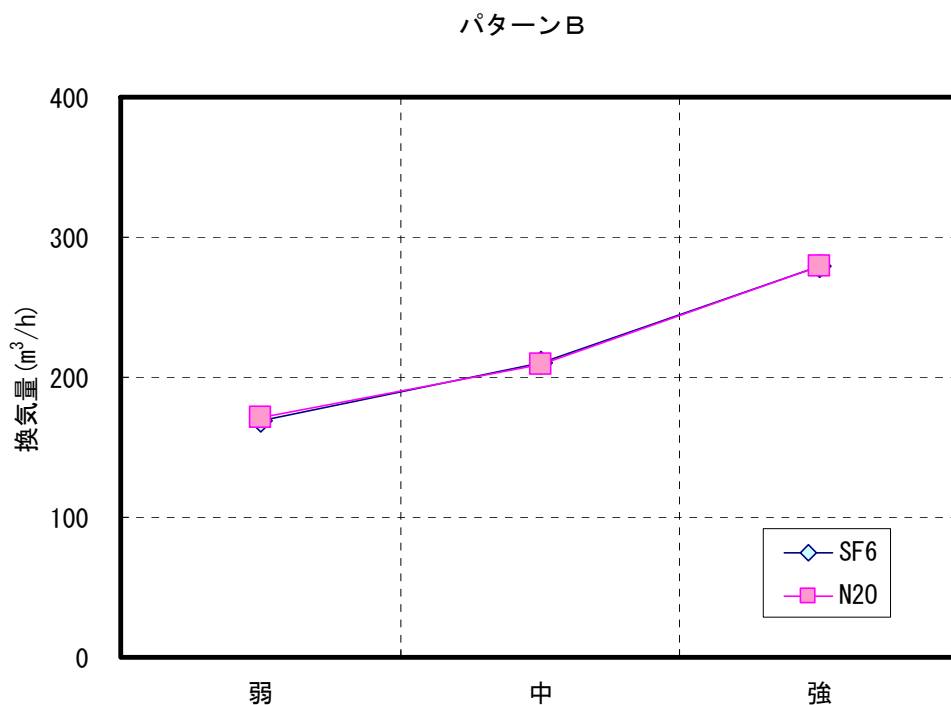
マルチガスモニタを用いた一定濃度法測定状況及びリビングにおけるドーザー、サンプラーチューブ及びトレーサーガス攪拌用ファン設置状況を図Ⅲ-2-2-37に示す。トレーサーガス攪拌用ファンは、居室及び廊下に設置し、発生させたトレーサーガスが居室内で均一となるよう、ドーザーチューブを攪拌ファンの風上側に設置し、天井側に向けて攪拌を行った。また一定濃度法での換気量測定は、24時間測定を原則とし、実験住宅内の濃度が一定となった状態で換気量を算出した。



図Ⅲ-2-2-37 マルチガスモニタを用いた一定濃度法測定状況及びリビングにおけるドーザー、サンプラーチューブ及びトレーサーガス攪拌用ファン設置状況

## 測定結果

設定排気風量と建物全体の換気量の関係を図Ⅲ-2-2-38 に示す。



図Ⅲ-2-2-38 設定と排気風量の関係

### 変動換気システム運転時の換気量測定

#### 計測システム

一定濃度法で用いた 2 種類のトレーサーガスのうち、N<sub>2</sub>O（亜酸化窒素）を汚染源と仮定し居室に発生させ、そのときの換気量（外気導入量）の変化を、SF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）をトレーサーガスとした一定濃度法で測定する。

一定濃度法での測定は、4 章で記載した測定方法と同様である。N<sub>2</sub>O を汚染源とした一定発生法は、マルチガスモニタを用いた。

N<sub>2</sub>O 発生位置は、リビングと 2 階主寝室の 2 条件、発生量は 1 秒間に 3mL の流量を持つバルブ (ch2) のバルブ開放度を 20%と設定することを原則としているが、バルブ開放度を変化させ室内濃度を確認する実験も行った。

変動換気システムの濃度検出部は、一定発生で N<sub>2</sub>O を発生させる同一の部屋とし、発生側チューブを攪拌ファンの風上側に設置し、濃度検出側チューブ (変動換気制御用) を攪拌ファンの風下側に設置した。

#### N<sub>2</sub>O ガスの発生方法と測定条件

各換気システムにおいて、汚染源と仮定した N<sub>2</sub>O の一定発生量を 20%に設定した。N<sub>2</sub>O ガスの発生は、8 時間一定発生 16 時間停止を 1 サイクルとし、連続 3 サイクルの測定を行い室内濃度を計測した。測定条件を表 III-2-2-7 に示す。

表 III-2-2-7 測定条件

測定条件	換気システム	給気・排気ファン	補助ファン	N <sub>2</sub> O 発生対象部屋	N <sub>2</sub> O ガスの発生
条件 1	パターン A	弱運転	停止	リビング	8 時間一定発生、 16 時間停止
条件 2			弱運転		
条件 3			中運転		
条件 4			強運転		
条件 5	パターン B		停止	リビング	
条件 6			弱運転		
条件 7			中運転		
条件 8			強運転		
条件 9	パターン A		停止	主寝室	
条件 10			弱運転		
条件 11			中運転		
条件 12			強運転		

測定結果パターン A リビング N2O ガス 8 時間一定発生 16 時間停止条件での換気量測定

a).1 階廊下補助ファン停止 2 階納戸補助ファン停止の場合

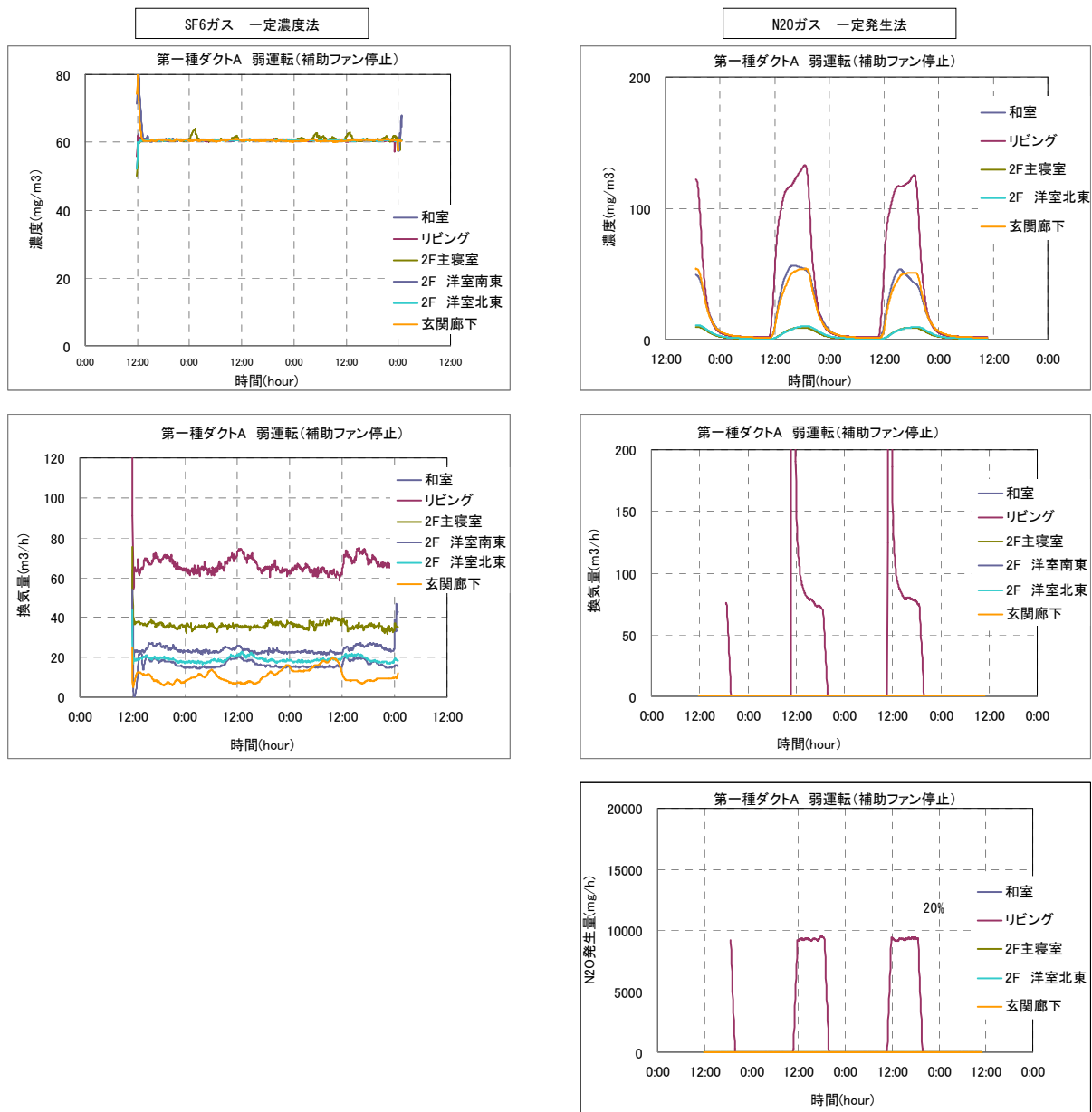


図 III-2-2-39 変動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果 (1 階廊下補助ファン停止)

b).1 階廊下補助ファン弱運転 2階納戸補助ファン停止の場合

N2Oガス 一定発生法

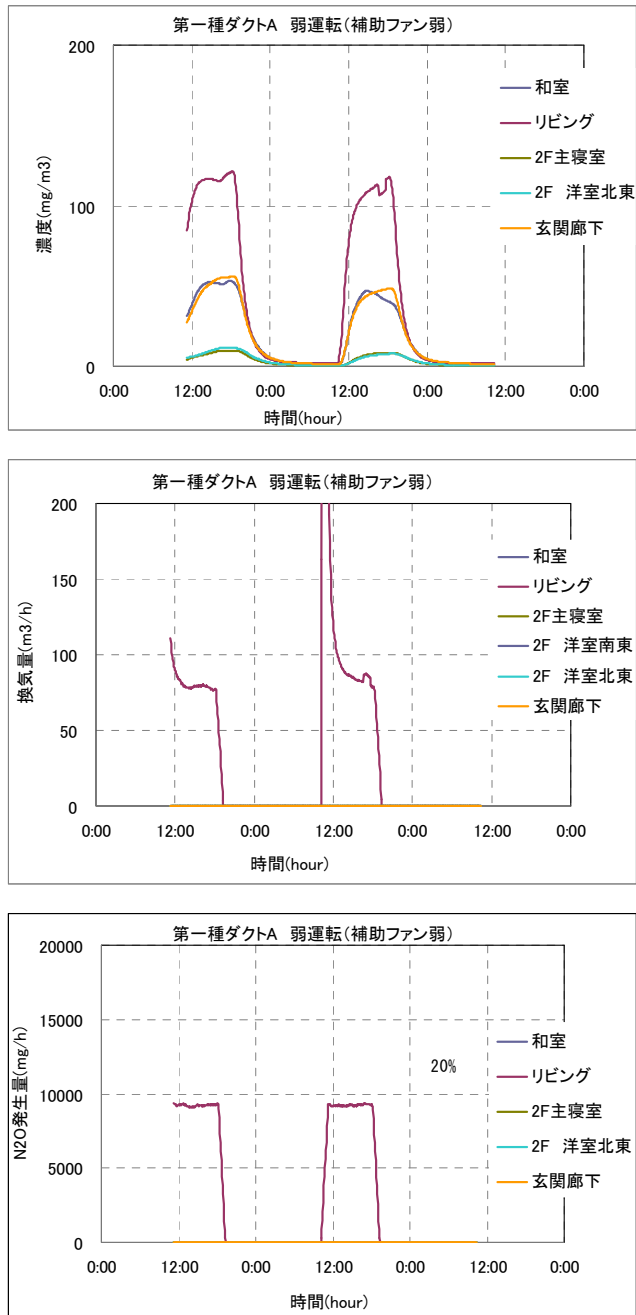


図 III-2-2-40 変動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果  
(1 階廊下補助ファン弱運転)

c).1 階廊下補助ファン中運転 2階納戸補助ファン停止の場合

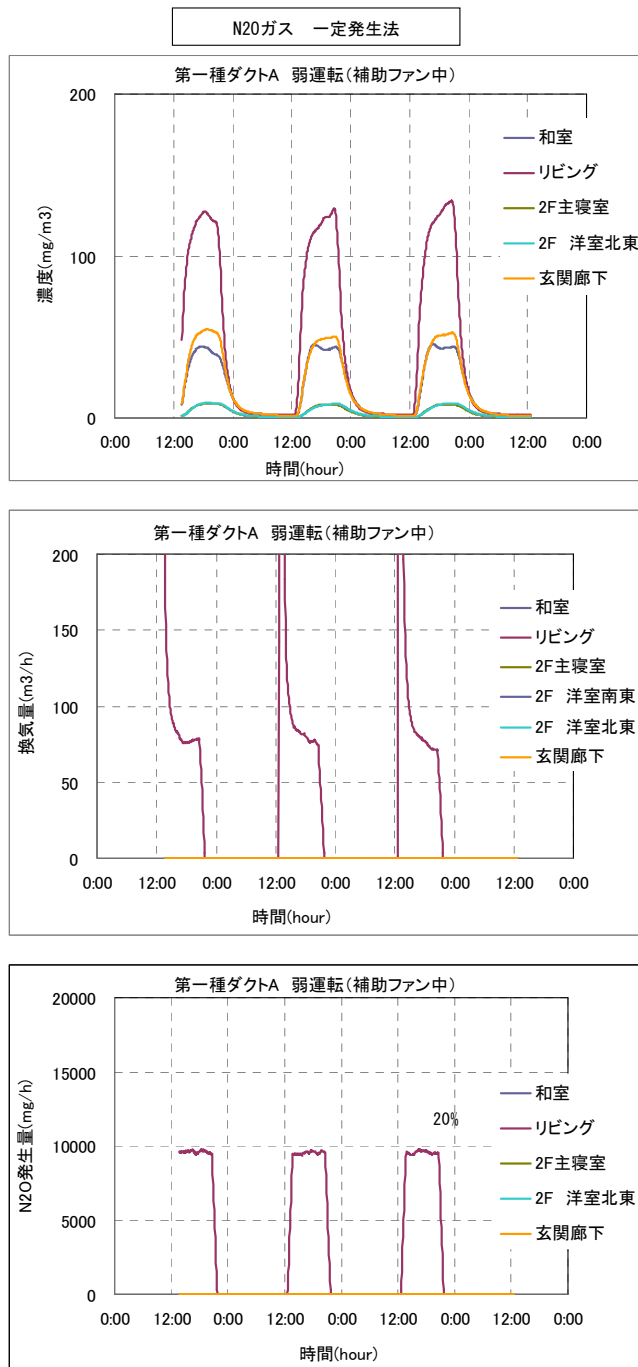


図 III-2-2-41 変動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果  
(1 階廊下補助ファン中運転)

d).1 階廊下補助ファン強運転 2階納戸補助ファン停止の場合

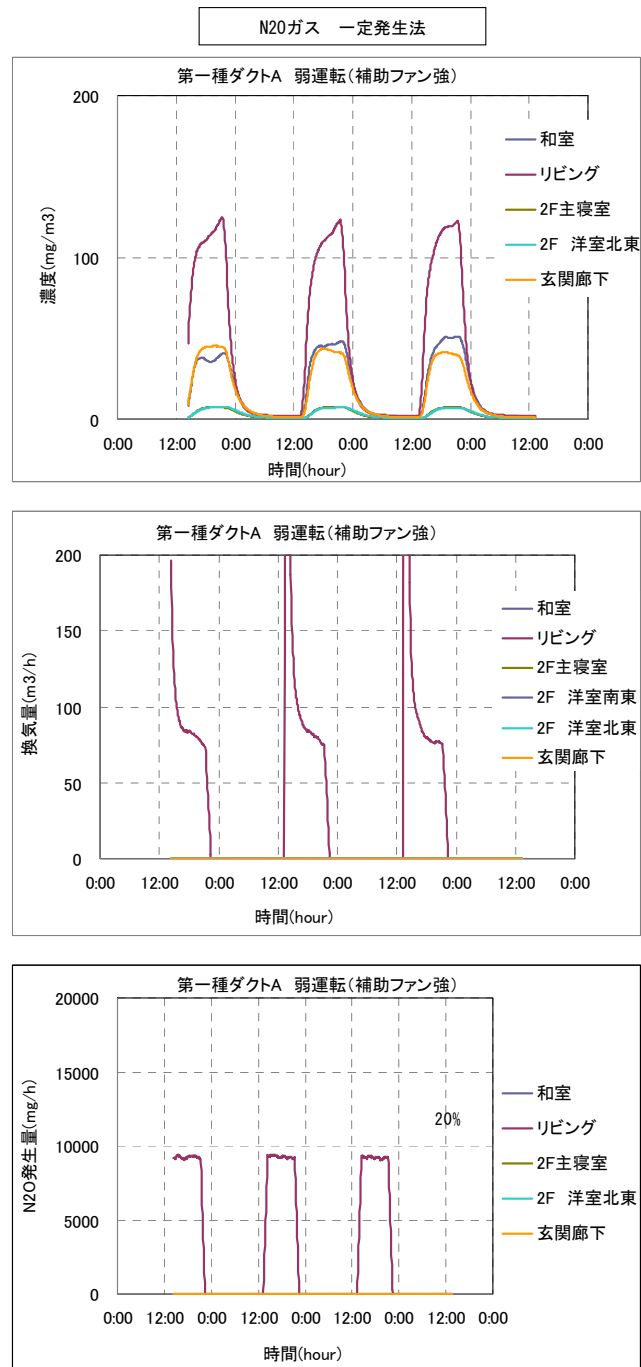


図 III-2-2-42 変動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果  
(1 階廊下補助ファン強運転)



パターン B リビング N2O ガス 8 時間一定発生 16 時間停止 条件での換気量測定

a).1 階リビング補助ファン停止 2 階納戸補助ファン停止の場合

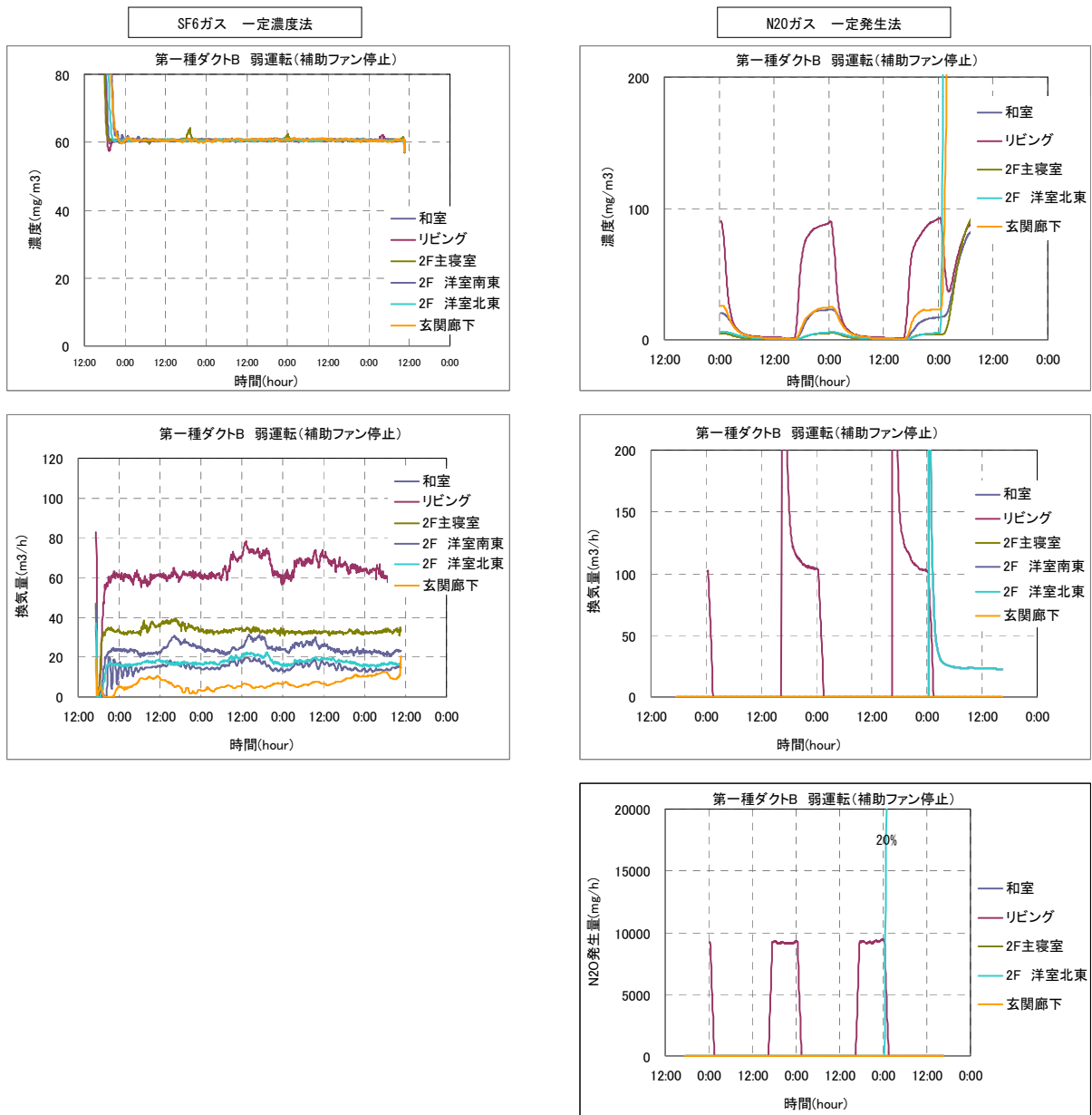


図 III-2-2-43 換気システムのパターン B 弱運転時の室内濃度測定結果 (リビング補助ファン停止)

b).1 階リビング補助ファン弱運転 2階納戸補助ファン停止の場合

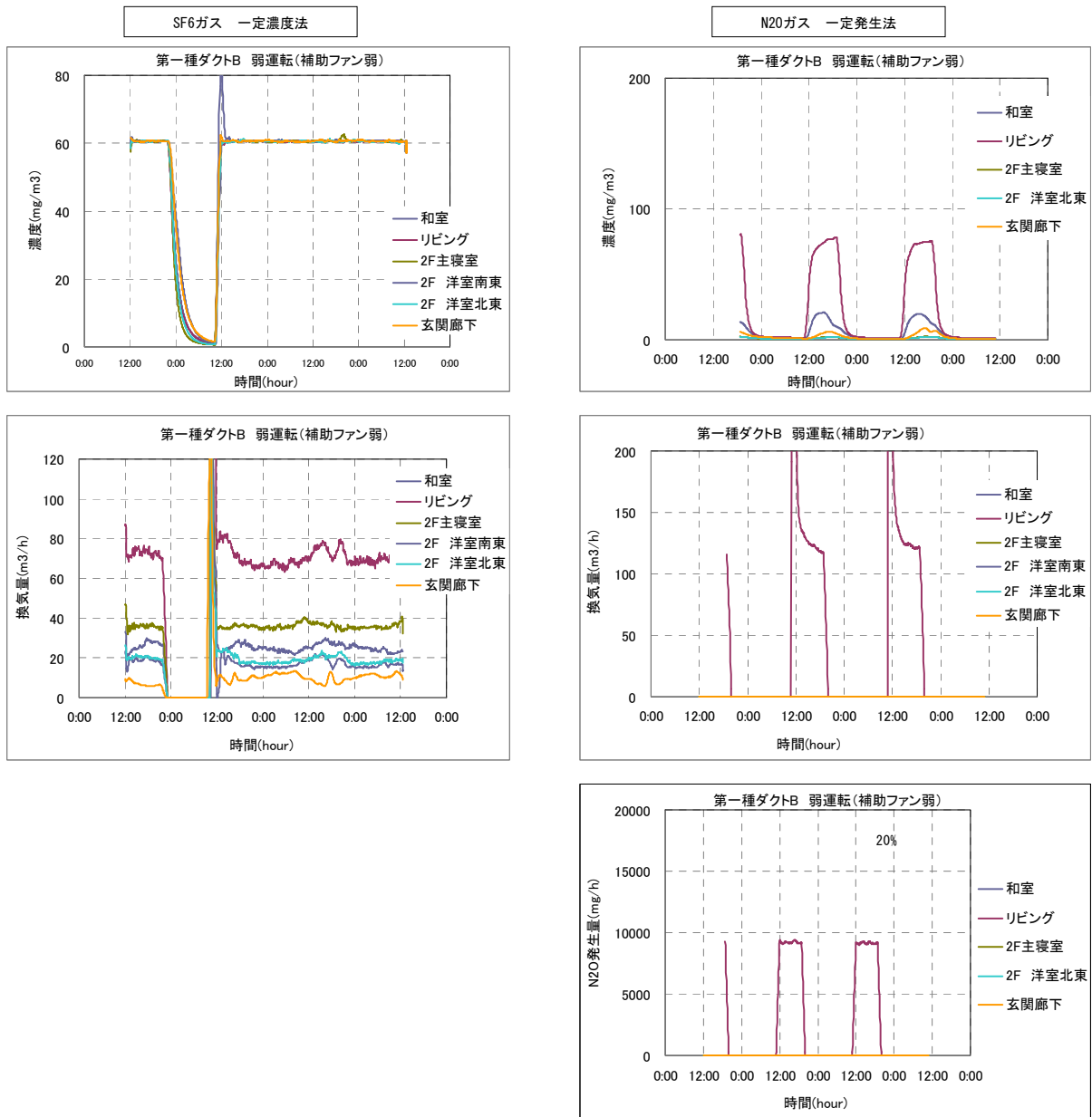


図 III-2-2-44 換気システムのパターン B 弱運転時の室内濃度測定結果 (リビング補助ファン弱運転)

c).1階リビング補助ファン中運転 2階納戸補助ファン停止の場合

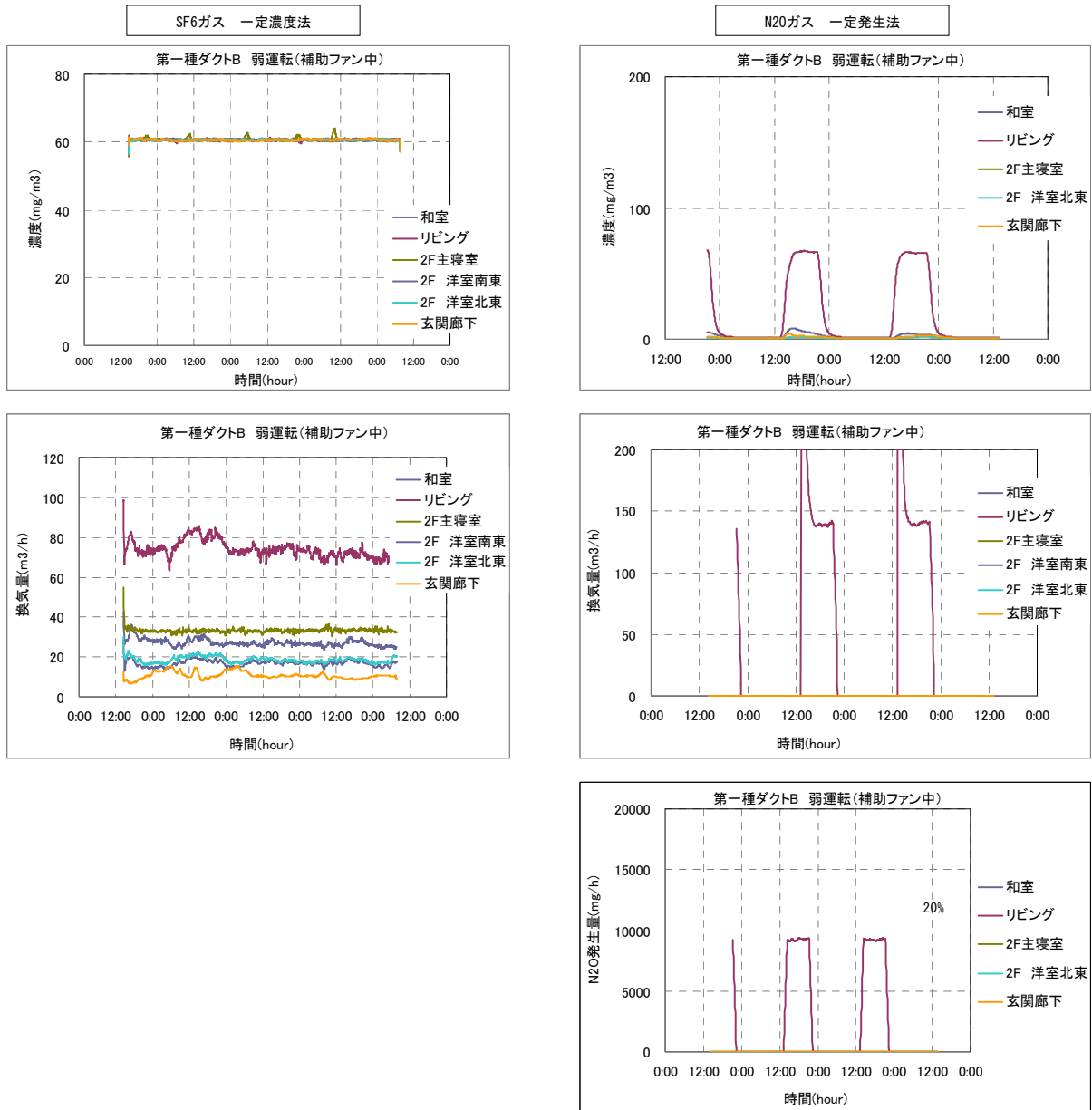


図 III-2-2-45 動換気システムのパターン B 弱運転時の室内濃度測定結果  
(リビング補助ファン中運転)

d).1 階リビング補助ファン強運転 2階納戸補助ファン停止の場合

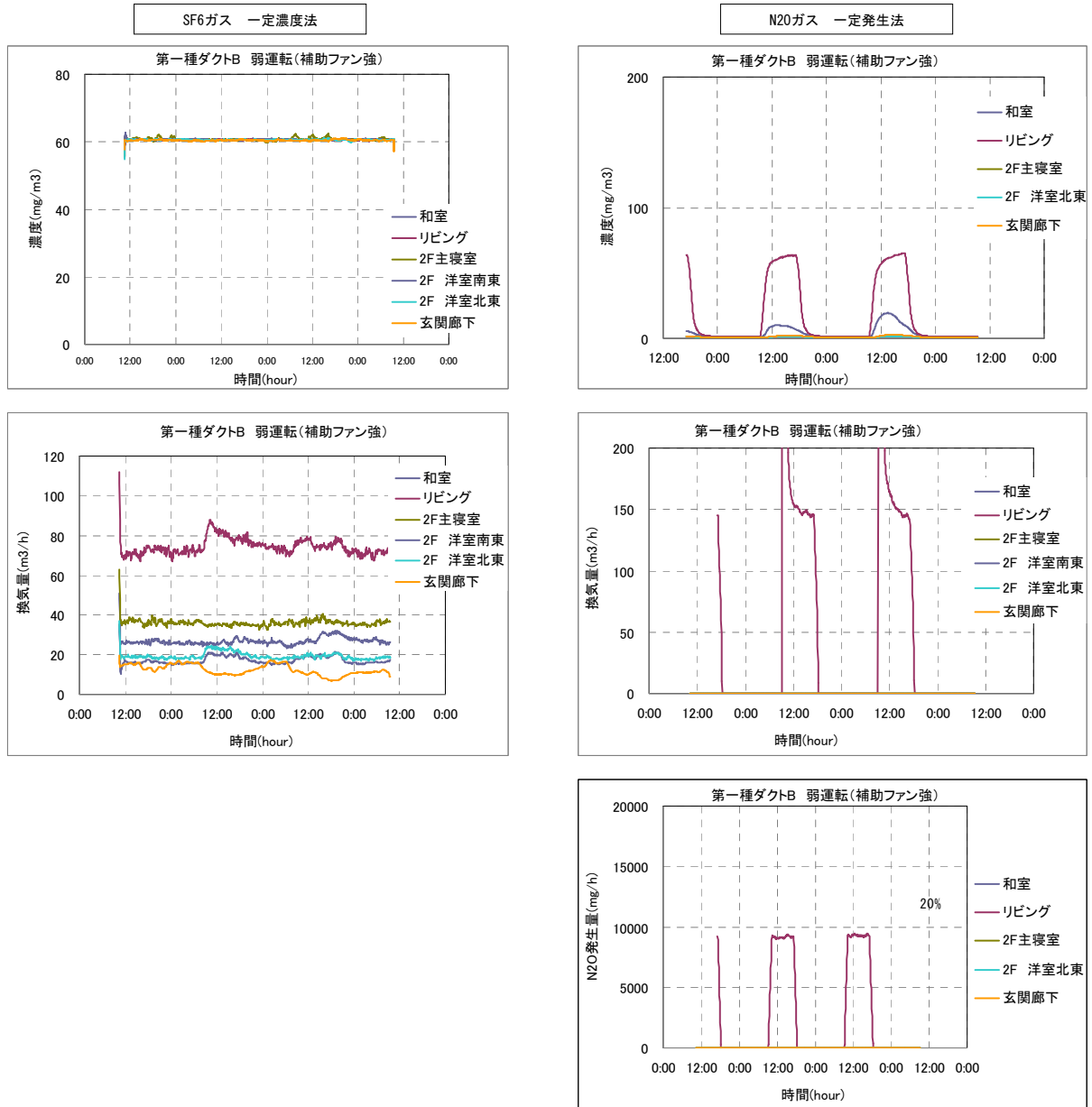


図 III-2-2-46 変動換気システムのパターン B 弱運転時の室内濃度測定結果  
(リビング補助ファン強運転)

パターン A 主寝室 N2O ガス 8 時間一定発生 16 時間停止条件での換気量測定

a). 1 階廊下補助ファン停止 2 階納戸補助ファン停止の場合

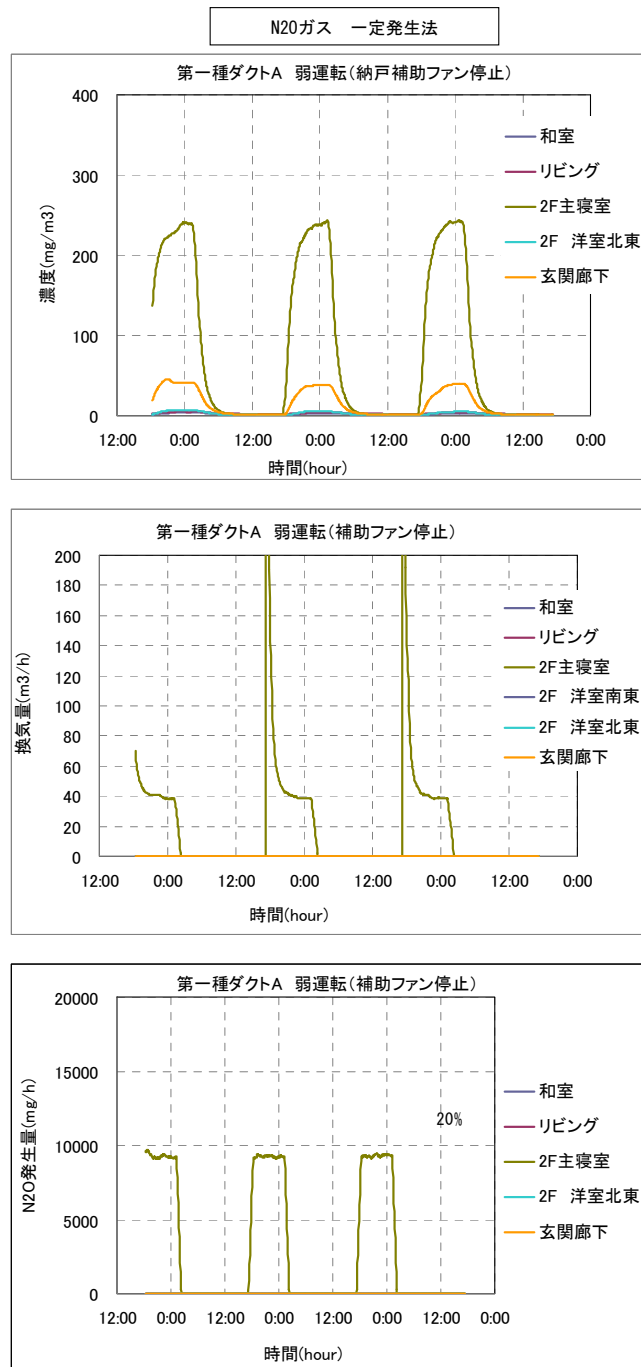


図 III-2-2-47 動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果 (納戸補助ファン停止)

b). 1階廊下補助ファン停止 2階納戸補助ファン弱運転の場合

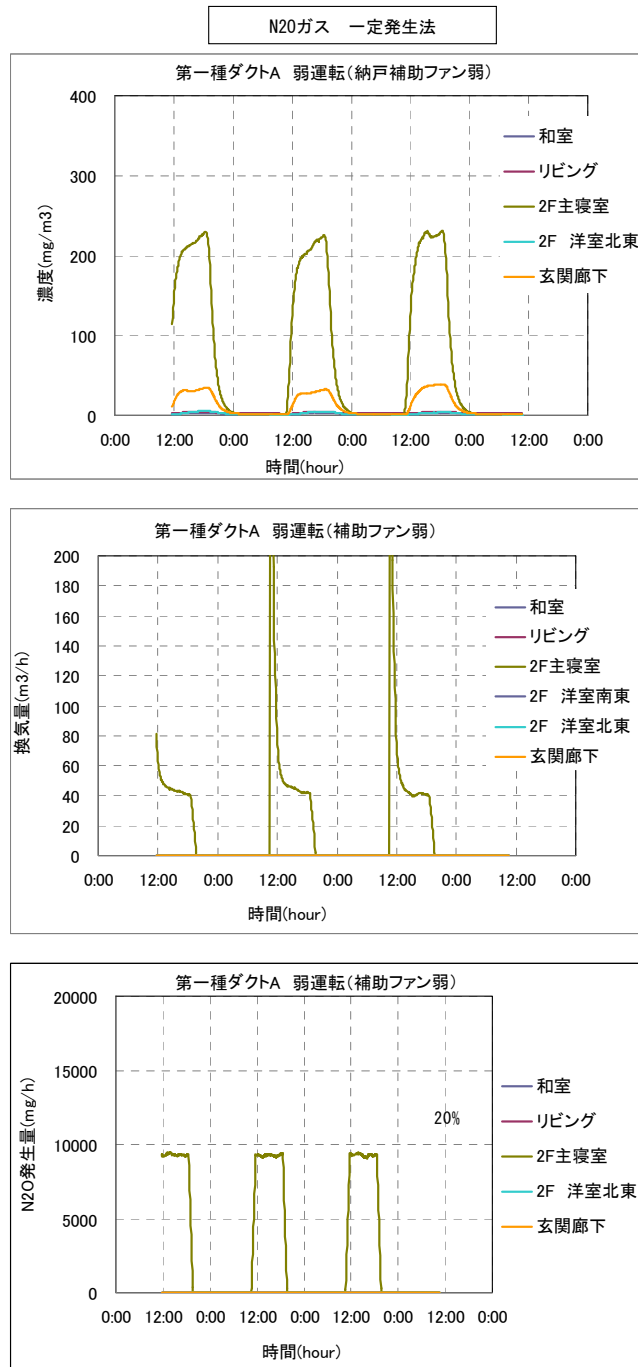


図 III-2-2-48 動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果  
(納戸補助ファン弱運転)

c). 1階廊下補助ファン停止 2階納戸補助ファン中運転の場合

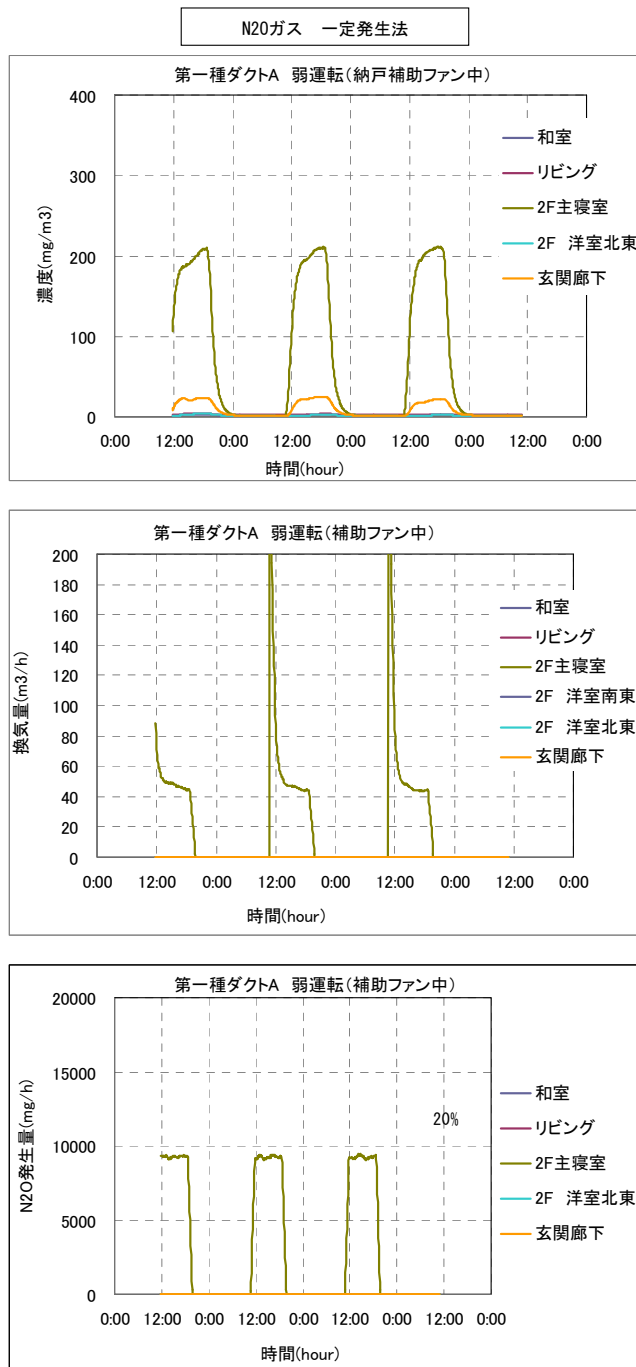


図 III-2-2-49 変動換気システムのパターン A 弱運転時の室内濃度測定結果  
(納戸補助ファン中運転)

## まとめ

本研究は、つくば市内の実大二階建て木造住宅において、室内空気質の向上と換気にかかるエネルギー消費削減に着目し実施された。住宅構造および設置された換気システムの基本的な性能の確認を行い、トレーサーガスを汚染物質と見なし第一種ダクト式換気システムのパターン A とパターン B について換気量と室内濃度測定を行った。本実験の結果により以下のような結果を得た。

- 1) 第一種ダクト式換気システムの換気量測定結果から、1 階の廊下天井に排気口を設置したパターン A と汚染源ガスが発生するリビングに排気口を設置したパターン B では、建物全体の換気量がほぼ同じであることが確認できた。
- 2) 汚染源ガスと仮定した N<sub>2</sub>O ガスの室内濃度測定結果から、換気システムの風量設定が同じ条件の場合は、パターン B の室内濃度がパターン A の室内濃度より低く推移することが確認できた。



モニタリング併用型換気システム開発のための調査開発目標達成度

最終目標	研究開発成果	達成度
<p>室内の化学物質の放散、吸着挙動について調査し、検出器位置の導出を行う。</p>	<p>室内における化学物質の発生源とメカニズムの調査を行って検出器を設置する位置を決定した。</p>	<p>達成</p>
<p>VOC センサを利用した換気システムの提案と実用化のための課題抽出を行う。</p>	<p>VOC センサ利用の換気システム（全体換気風量制御、換気経路制御）の提案を行い、実大住宅で検証を行って効果を確認することができた。実用化への課題の抽出を行った。</p>	<p>達成</p>

## 2. 3 室内環境のモニタリングを利用した性能評価法の調査

### 1 住宅の多様性を考慮した化学物質発生実態と関連因子の調査

#### 1-1 概要

本調査は、汚染発生状況の資料の乏しい鉄骨造等の住宅の、室内及び壁等の躯体内部における空気環境について実測調査を行ない、居住者の健康に影響が指摘されている揮発性有機物質発生状況の予測と削減方策検討に資するデータを収集するものである。

#### 1-2 調査対象住宅の概要

表Ⅲ-2-3-1 に調査住宅の一覧を示す。調査対象は、戸建て住宅については、埼玉県、群馬県と栃木県内のハウスメーカーから紹介を受けて調査に協力を得られた住宅 15 件である。集合住宅については、神奈川県横浜市内のマンション 2 件と栃木県内のマンション 2 件の合計 4 件である。

戸建て住宅の工法は、木造枠組壁（2×4）が 7 件、木造在来が 1 件、軽量鉄骨造が 2 件、鉄骨造が 5 件である。2×4 工法の住戸は相当隙間面積が  $1\text{cm}^2/\text{m}^2$  以下と非常に高气密であり、軽量鉄骨造の住戸は  $2\sim 5\text{ cm}^2/\text{m}^2$  と一般的水準にある。集合住宅の工法は、RC 造が 2 件（同一棟）、鉄骨造が 2 件（同一棟）である。

各住宅とも機械換気設備が設置されており、第 1 種機械換気方式が 10 件、第 3 種機械換気方式が 8 件であるが、第 3 種機械換気方式の住戸のうち、L 邸はハイブリッド換気システムである。

表Ⅲ-2-3-1：調査住宅の一覧

ID	所在地	竣工年月	床面積 [m <sup>2</sup> ]	工法	換気方式	居住人数	気密性能 [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	備考
A	群馬県藤岡市	2006年8月	121.75	2×4	第1種機械換気*1	4	0.92	
B	群馬県前橋市	2006年12月	143.83	2×4	第1種機械換気*1	4	0.85	
C	群馬県太田市	2006年10月	273.00	2×4	第1種機械換気*1	4	0.99	
D	群馬県太田市	2006年10月	138.25	2×4	第1種機械換気*1	2	0.58	
E	群馬県藤岡市	2007年6月	139.59	2×4	第1種機械換気*1	3	0.56	
F	栃木県足利市	2006年9月	57.75	鉄骨	第3種機械換気*2	1	未測定	同一棟の 別住戸
G	栃木県足利市	2006年9月	57.75	鉄骨	第3種機械換気*2	未入居	6.23	
H	群馬県高崎市	2007年5月	136.43	2×4	第1種機械換気*1	4	0.48	
I	神奈川県横浜市	2006年8月	144.23	RC造	第3種機械換気*2	4	未測定	同一棟の 別住戸
J	神奈川県横浜市	2006年8月	48.72	RC造	第3種機械換気*2	1	〃	
K	栃木県足利市	2007年9月	161.79	2×4	第1種機械換気*1	4	0.57	
L	栃木県佐野市	2004年11月	148.92	軽量鉄骨	第3種機械換気*3	4	2.89	
M	栃木県足利市	2008年3月	126.16	軽量鉄骨	第3種機械換気*2	未入居	4.24	一部施工中
N	埼玉県さいたま市	2008年2月	104.81	鉄骨	第1種機械換気*1	3	3.88	
O	埼玉県さいたま市	2008年4月	142.11	鉄骨	第1種機械換気*1	4	2.41	
P	埼玉県上尾市	2009年1月	109.69	鉄骨	第3種機械換気	2	3.79	
Q	栃木県宇都宮市	2005年12月	145.86	鉄骨	第1種機械換気*1	3	4.48	
R	群馬県高崎市	2003年8月	125.71	鉄骨	局所排気	4	5.11	
S	栃木県足利市	2005年8月	152.93	木造在来	第3種機械換気	3	4.16	

\*1：セントラル給排気（熱交換無し）

\*2：各室個別給気，トイレ・洗面所・浴室排気

\*3：ハイブリッド換気

1-3 調査方法

1-3-1 調査項目

調査項目を以下に示す。

- (1) 気中化学物質濃度（カルボニル化合物・VOC）
  - ① 居間、寝室における気中濃度
  - ② 壁体内・押入内における気中濃度
- (2) 気密性能・換気量
  - ① 住宅全体の気密性能
  - ② 給排気口における換気風量
- (3) 室内における温湿度・CO<sub>2</sub>濃度の経時変動
  - ① 居間、寝室における空気温度・相対湿度
  - ② 居間、寝室におけるCO<sub>2</sub>濃度
- (4) 住宅・居住者の情報
  - ① 住宅・居住者に関するアンケート調査
  - ② 住まい方に関するヒアリング調査
  - ③ 測定対象室における観察調査

表Ⅲ-2-3-2 に分析対象の気中化学物質を、表Ⅲ-2-3-3 に各住宅において実施した調査項目を示す。

表Ⅲ-2-3-2 分析対象の気中化学物質

カルボニル化合物	ホルムアルデヒド	脂肪族炭化水素	テトラデカン	テルペン類	α-ピネン
	アセトアルデヒド		n-ヘキサン		β-ピネン
	アセトン		2,4-ジメチルペンタン		リモネン
	アクロレイン		iso-オクタン	ハロゲン類	p-ジクロロベンゼン
	プロピオンアルデヒド		ヘプタン		四塩化炭素
	クロトンアルデヒド		n-オクタン		トリクロロエチレン
	n-ブチルアルデヒド		ノナン		テトラクロロエチレン
	ベンズアルデヒド		デカン		1,2-ジクロロプロパン
	iso-バレルアルデヒド		ウンデカン		1,2-ジクロロエタン
	バレルアルデヒド		ドデカン		ブromoジクロロメタン
	p-トルアルデヒド		トリデカン	エステル類	酢酸エチル
	m,o-トルアルデヒド		ペンタデカン		酢酸ブチル
	ヘキサアルデヒド		ヘキサデカン	アルデヒド類・ケトン類	ノナナール
	2,5-ジメチルペンツアルデヒド		トルエン		4-メチル-2-ペンタノン
	2-ブタノン		キシレン	アルコール類・その他	デカナール
			エチルベンゼン		2-プロパノール
	スチレン	エタノール			
	ベンゼン	2-エチル-1-ヘキサノール			
	3-エチルトルエン				
	4-エチルトルエン				
	1,3,5-トリメチルベンゼン				
	2-エチルトルエン				
	1,2,4-トリメチルベンゼン				
	1,2,3-トリメチルベンゼン				
	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン				

### 1-3-2 測定方法

#### (1) 気中化学汚染物質濃度（カルボニル化合物・VOC）

##### ① 居間、寝室における気中濃度

カルボニル化合物については、DNPH カートリッジ（GL-Pak Mini AERO DNPH, ジーエルサイエンス製）を用いて、ミニポンプ（MP-Σ30, 柴田科学製）により流量 0.1ℓ/min で 24 時間空気の捕集を行った。

VOC については、活性炭チューブ（Charcoal Tubes 8015-054, 柴田科学製）を用いて、ミニポンプ（MP-Σ30, 柴田科学製）により流量 0.1ℓ/min で 24 時間空気の捕集を行った。

なお、空気の捕集は、居間、寝室共に床上約 1.1m の高さで行い、サンプラーの分析は、東スリーエス株式会社に依頼し、溶媒抽出 GC/MS 及び HPLC により行った。

##### ② 壁体内・押入内における気中濃度

カルボニル化合物については、DNPH カートリッジ（GL-Pak Mini AERO DNPH, ジーエルサイエンス製）を用いて、ミニポンプ（MP-Σ300, 柴田科学製）により流量 1.0ℓ/min で 30 分間空気の捕集を行った。

VOC については、活性炭チューブ（Charcoal Tubes 8015-054, 柴田科学製）を用いて、ミニポンプ（MP-Σ30, 柴田科学製）により流量 0.2ℓ/min で 30 分間空気の捕集を行った。

なお、空気の捕集は、外壁面のコンセントボックスのカバーを外し、テフロンチューブを挿入して行った。サンプラーの分析は、東スリーエス株式会社に依頼し、溶媒抽出 GC/MS 及び HPLC により行った。

#### (2) 気密性能・換気量

##### ① 住宅全体の気密性能

住宅用気密測定器（KNS-4000, コーナー札幌製）を用いて、減圧法により行った。なお、給排気口のシールは行わず、開閉が可能な場合には、閉じた状態で測定を行った。

##### ② 給排気口における換気風量

各給排気口において熱線式の風量測定器（KNS-233 型, コーナー札幌製）を用いて約 10 秒間の平均風量を測定した。

#### (3) 室内における温湿度・CO<sub>2</sub>濃度の経時変動

##### ① 居間、寝室における空気温度・相対湿度

床上約 1.1m の高さに温湿度計付き小型データロガー（TR-72S, ティアンドディ社製）を設置して、5 分間隔で空気の温度、相対湿度を測定した。

外気温・湿度は、温湿度計付き小型データロガー（HOB0 H8 Pro, Onset 社製）を日射の当たらないベランダなどに設置して、5 分間隔で測定した。なお、都合により外気温・湿度が計測できなかった住宅については、最寄りの気象台のデータを掲載する（前橋市、渋川市：前橋）。

##### ② 居間、寝室における CO<sub>2</sub>濃度

床上約 1.1m の高さに CO<sub>2</sub> モニター（Telair 7001, Onset 社製）を設置して、5 分間隔で室内の CO<sub>2</sub> 濃度を測定し、電圧データロガー（VR-71, ティアンドディ社製）に記録した。

#### (4) 住宅・居住者の情報

測定期間中の換気設備の運転，窓の開閉，暖房器具の使用状況，室内空気の湿度感，普段の生活状況（窓の開閉，在宅時間など）に関するアンケート調査用紙の記入を居住者に依頼した。また，住宅の竣工年月，所有する暖房器具と使い方，居住者の情報に関するヒアリング調査を行った。その他，測定対象室について仕上げ材，家具・什器などの観察調査を行い，調査用紙に記入した。

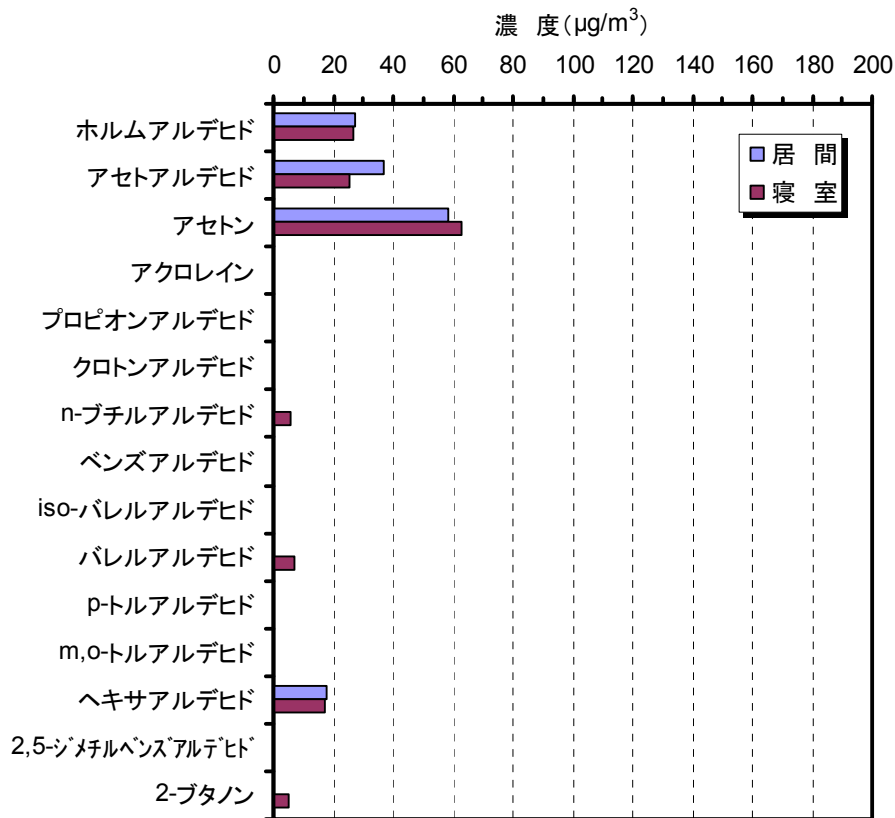
#### 1-4 各住宅における調査結果

(A 邸以外は(5)所見のみを示す。)

##### 1-4-1 A 邸における測定結果

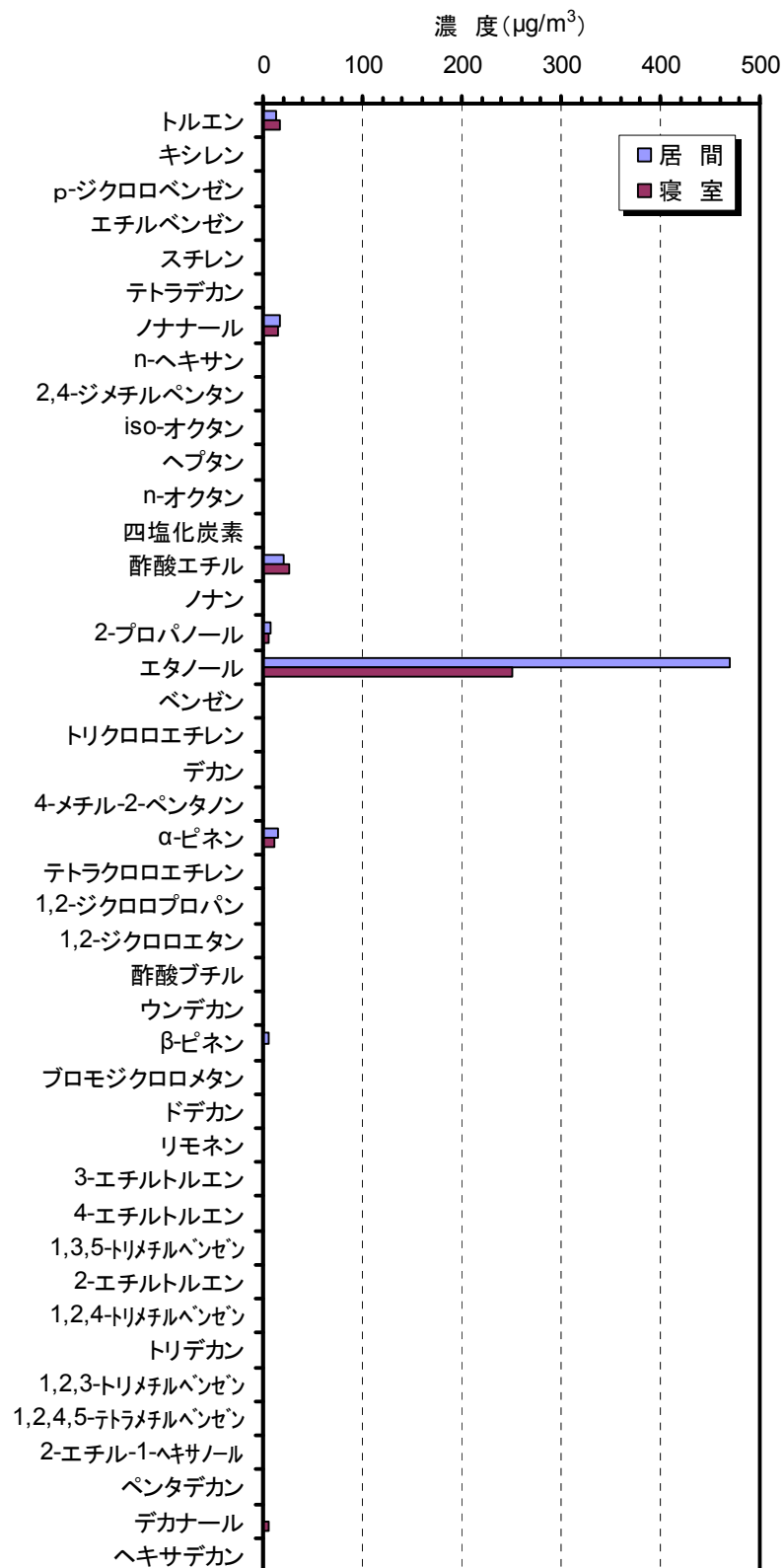
(1) 気中化学物質濃度（カルボニル化合物・VOC）

##### ① カルボニル化合物



図Ⅲ-2-3-1：A 邸におけるカルボニル化合物濃度

② 揮発性有機化合物 (VOC)



図Ⅲ-2-3-2 : A 邸における揮発性有機化合物 (VOC) 濃度

(2) 気密性能・換気量

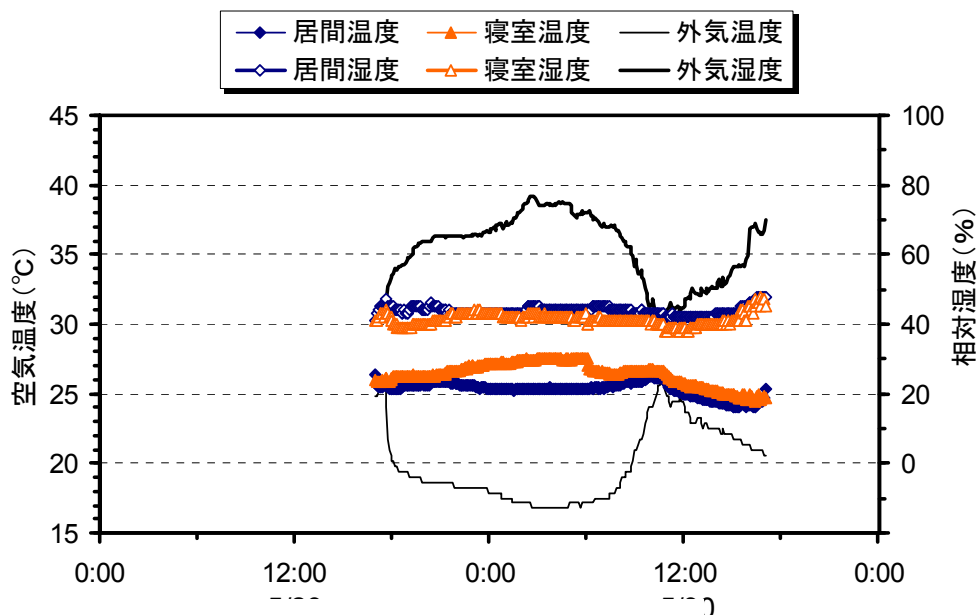
① 住宅全体の気密性能

- ・ 単位床面積当たりの隙間相当開口面積：0.92 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]

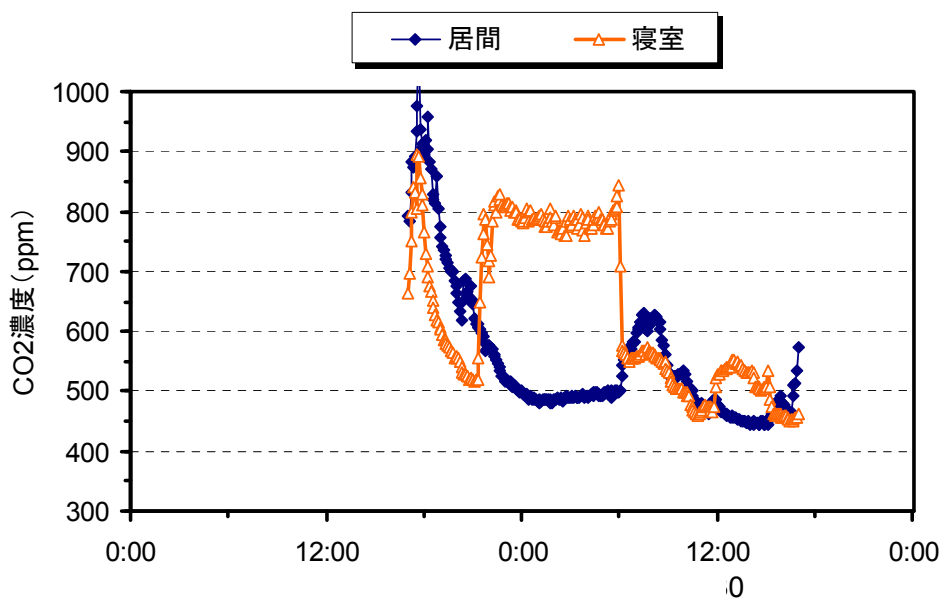
② 給排気口における換気風量

- ・ 給排気口の位置・形状の問題により測定不可能

(3) 室内における温湿度・CO<sub>2</sub>濃度の経時変動



図Ⅲ-2-3-3：A邸における温湿度変動



図Ⅲ-2-3-4：A邸におけるCO<sub>2</sub>濃度変動



(4) 住宅・居住者の情報

- ・冷暖房設備は、換気装置と一体化しており、全館空調を行っている。
- ・測定期間中、24時間機械換気システムは、常時運転している。
- ・家族構成は、夫婦と子供2人である。

(5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOCについては、エタノール濃度が居間で  $470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で  $251 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と高いが、それ以外の物質の濃度は低い。
- ・室内の温度は  $25\sim 28^\circ\text{C}$ 、相対湿度は 40%RH 程度で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は 1000ppm を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

1-4-2 B 邸における測定結果

(5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、アセトン濃度が  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOCについては、酢酸エチル、エタノールの濃度が  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度検出されている他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $26\sim 28^\circ\text{C}$ 、相対湿度は 40～60%RH で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は 1000ppm を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

1-4-3 C 邸における測定結果

(5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、アセトン濃度が  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOCについては、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $25\sim 27^\circ\text{C}$ 、相対湿度は 60%RH 程度で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は 1000ppm を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

1-4-4 D 邸における測定結果

(5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、アセトン濃度が  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度である他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOCについては、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $26\sim 29^\circ\text{C}$ 、相対湿度は 50～80%RH の範囲で変動しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は 1000ppm を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

1-4-5 E 邸における測定結果

(5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、アセトン濃度が  $100\sim 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、また、居

間のアセトアルデヒド濃度が厚生労働省の指針値である  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を超えている。

- ・ VOC については、エタノール濃度が居間で  $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で  $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、その他、酢酸エチル、 $\alpha$ ピネンなどが検出されているが、高濃度ではない。
- ・ 室内の温度は  $25\sim 30^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $50\sim 60\%RH$  で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は  $1000\text{ppm}$  を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

#### 1-4-6 F 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・ カルボニル化合物については、アセトン濃度が  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、また、アセトアルデヒド濃度が居間、寝室ともに厚生労働省の指針値である  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  をちょうど超えている。
- ・ VOC については、2-プロパノール、エタノールの濃度が  $300\sim 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と高く、また、パラジクロロベンゼンが  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度検出されている。
- ・ 室内の温度は  $11\sim 13^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $50\sim 90\%RH$  の範囲で変動しており、特に 0 時付近で寝室の相対湿度が急激に上昇するのは、在室者か加湿器の運転による影響だと考えられる。
- ・ 室内の  $\text{CO}_2$  濃度は居間では  $1000\text{ppm}$  を超えることはないが、寝室で  $1500\text{ppm}$  程度まで上昇する。

#### 1-4-7 G 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・ カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、2-ブタノンが僅かに検出されているのみであり、特に高濃度な物質はみられない。
- ・ VOC については、トルエン、エタノール、ノナナールが僅かに検出されているのみであり、特に高濃度な物質はみられない。
- ・ カルボニル化合物、VOC ともに気中濃度と壁体内濃度の間に大きな差は見られない。
- ・ 未入居であるため、室内の温度は  $5\sim 10^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $40\sim 50RH$  程度で安定している。

#### 1-4-8 H 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・ カルボニル化合物については、アセトンが  $80\sim 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・ VOC については、エタノールが  $450\sim 689 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と高濃度で検出されているが、その他の物質の濃度は低い。
- ・ 室内の温度は、 $20\sim 25^\circ\text{C}$  で安定しており、相対湿度は  $30\sim 60\%RH$  の範囲で変動し、特に寝室で 0 時付近に急激に  $60\%RH$  まで上昇するのは、居住者の話から加湿器の使用を確認している。
- ・ 室内の  $\text{CO}_2$  濃度は、在室者が存在する部屋では  $1000\sim 1400\text{ppm}$  まで上昇することが確認できる。

#### 1-4-9 I 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、アセトアルデヒド濃度が  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と厚生労働省の指針値である  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を大きく上回っている。
- ・VOC については、エタノール濃度が  $1460 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と高濃度であり、また、 $\alpha$ ピネンが  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度である他は、低濃度である。
- ・室内の温度は  $16\sim 25^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $40\sim 60\%RH$  の範囲で変動している。
- ・室内の  $\text{CO}_2$  濃度は在室者がいる時間帯は、 $1300\sim 1500\text{ppm}$  まで上昇する。

#### 1-4-10 J 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOC については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $15^\circ\text{C}$  程度、相対湿度は  $25\%RH$  程度で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は測定機器を設置した直後のみ  $1000\text{ppm}$  程度であったが、その後は不在であったため  $500\text{ppm}$  程度まで減衰している。

#### 1-4-11 K 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOC については、パラジクロロベンゼンが居間で  $610 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で  $688 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と高く、また、エタノールが  $130\sim 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $18\sim 23^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $30\sim 40\%RH$  程度で安定しており、室内の  $\text{CO}_2$  濃度は  $1000\text{ppm}$  を超えることはなく、適切な換気が行われているものと考えられる。

#### 1-4-12 L 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOC については、居間のエタノール濃度が高い他は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内の温度は  $15\sim 22^\circ\text{C}$ 、相対湿度は  $30\sim 50\%RH$  程度で安定している。
- ・室内の  $\text{CO}_2$  濃度は、在室者がいる時間帯では  $1500\sim 2000\text{ppm}$  まで上昇するが、不在時は  $500\text{ppm}$  まで減衰する。

#### 1-4-13 M 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、居室においてアセトンと2-ブタノンの濃度が高く、特に寝室の濃度が高い。壁体内については、特に高濃度な物質はみられない。
- ・VOCについては、居間と壁体内では、特に高濃度な物質はみられないが、寝室においては、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、ノナン、デカンなど全体的に高濃度であるが、これは、寝室のある2階吹抜け部の鉄骨梁（剥き出し）のペンキ塗装が測定期間中に行われたことによる影響である。
- ・室内の温度は12～15℃、相対湿度は40～60%RH程度で安定している。

#### 1-4-14 N 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドは厚生労働省の指針値を下回り、アセトンが居間で $58.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で $80.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である以外は、特に高濃度な物質はみられない。ベンズアルデヒドのみが気中より壁体内の濃度が高くなっている。
- ・VOCについては、エタノール濃度が居間で $246 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である以外は、特に高濃度な物質はみられない。
- ・室内温度は、居間では13～18℃、寝室では13℃前後で安定している。相対湿度は、居間では40～60%RH、寝室では50～80%RHで変動しており、寝室では就寝時に高くなっている。室内CO<sub>2</sub>濃度は、居間では500～1200ppmで変動しており、特に高濃度にはならないが、寝室では就寝時に2500ppmまで上昇しており、24時間機械換気システムを運転していないことが原因と考えられ、換気量が不足していると思われる。

#### 1-4-15 O 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、寝室のアセトン濃度が $43.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である他は、特に高濃度な物質はみられない。A邸と同様にベンズアルデヒドのみが気中より壁体内の濃度が高くなっている。
- ・VOCについては、すべての物質で $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であり、高濃度な物質はみられない。
- ・室内温度は、居間では15～20℃、寝室では12～18℃で変動している。相対湿度は、居間、寝室ともに30～60%RHの範囲で変動している。室内CO<sub>2</sub>濃度は、居間では測定期間中の殆どの時間帯で1000ppmを超えることはないが、寝室では就寝中に2000ppmまで上昇しており、換気量が不足していることが考えられる。

#### 1-4-16 P 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- ・カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドは厚生労働省の指針値を下回り、アセトンが居間で $58.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室で $80.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である以外は、特に高濃度な物質はみられない。ベンズアルデヒドのみが気中より壁体内の濃度が高くなっている。

働省の指針値を下回り、居間のアセトン濃度が  $60.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である他は、特に高濃度な物質はみられない。

- VOC については、エタノール濃度が高く、居間では  $556 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室では  $311 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である。その他は、特に高濃度な物質はみられない。
- 室内温度は、居間では間欠暖房により  $13\sim 24^\circ\text{C}$  の範囲で大きく変動しており、寝室では  $15\sim 20^\circ\text{C}$  で安定している。相対湿度は、居間、寝室ともにおおむね  $40\sim 60\%RH$  で安定しているが、1日目の13時頃に一時的に低下しているのは、窓を開放した影響と考えられる。室内  $\text{CO}_2$  濃度は、居間では  $1000\text{ppm}$  を超えることはないが、寝室では就寝時に  $1400\text{ppm}$  まで上昇する。

#### 1-4-17 Q 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの3種類のみが検出されたが、いずれも  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  未満である。
- VOC については、居間ではエタノール濃度が  $266 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったが、その他の物質は相対的に低濃度である。
- 室内温度は、居間では間欠暖房により  $15\sim 27^\circ\text{C}$  の範囲で大きく変動しており、寝室ではおおむね  $12\sim 15^\circ\text{C}$  で安定しているが、2日目の6時頃に一時的に  $25^\circ\text{C}$  まで上昇している。相対湿度は、居間、寝室ともに  $30\sim 50\%RH$  の範囲で安定している。室内  $\text{CO}_2$  濃度は、室内温度の変動と対応しており、開放型ガスストーブの影響により暖房時は  $2000\sim 4000\text{ppm}$  まで上昇する。

#### 1-4-18 R 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、ヘキサアルデヒドが検出されており、寝室のアセトン濃度が  $41.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、それ以外は  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度であり、ヘキサアルデヒド濃度は  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  程度である。なお、壁体内はサンプラーの不備により測定できていない可能性が高い。
- VOC については、エタノール濃度が居間では  $607 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室では  $237 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、その他の物質は相対的に低濃度である。
- 室内温度は、居間では  $15\sim 22^\circ\text{C}$ 、寝室では  $13\sim 17^\circ\text{C}$  で変動している。相対湿度は、居間では  $20\sim 35\%$ 、寝室では  $20\sim 55\%RH$  で変動している。室内  $\text{CO}_2$  濃度は、居間では  $1000\text{ppm}$  を超える程度であるが、寝室では就寝中に  $2500\text{ppm}$  程度まで上昇し、十分な換気量が得られていない可能性がある。

#### 1-4-19 S 邸における測定結果

##### (5) 所見（邸別）

- カルボニル化合物については、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの3種類のみが検出されたが、いずれも  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  未満である。
- VOC については、いずれの物質も  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  未満であり、高い濃度の物質はみられ

ない。

- ・ 室内温度は、居間では 13～19℃、寝室では 12～20℃で変動している。相対湿度は、居間、寝室ともに 20～40%RH の範囲で変動している。室内 CO<sub>2</sub> 濃度は、居間では 500～2000ppm、寝室では 500～1500ppm の範囲で変動しており、在室時に濃度が高くなっていることが考えられる。

## 1-5 調査結果のまとめ

### 1-5-1 室内温度・相対湿度・CO<sub>2</sub>濃度

- ・ 室内の温度については、各住戸で調査時期が異なるが、殆どの住戸で外気と比較して変動幅が小さく安定し、また、居間と寝室の温度差も小さいことから、今回調査した住戸の断熱気密性能の高さが伺える。
- ・ 室内の相対湿度については、各住戸で調査時期が異なるが、殆どの住戸で外気と比較して変動幅が小さく安定している。
- ・ 室内の CO<sub>2</sub> 濃度については、一部の住戸で 1500～2000ppm まで上昇するが、殆どの住戸で 1000ppm を超えることはなく、また、不在時には 500ppm 程度まで減衰することから、適切な換気が行われているものと考えられる。

### 1-5-2 気中・壁体内における化学汚染物質濃度

#### 【カルボニル化合物】

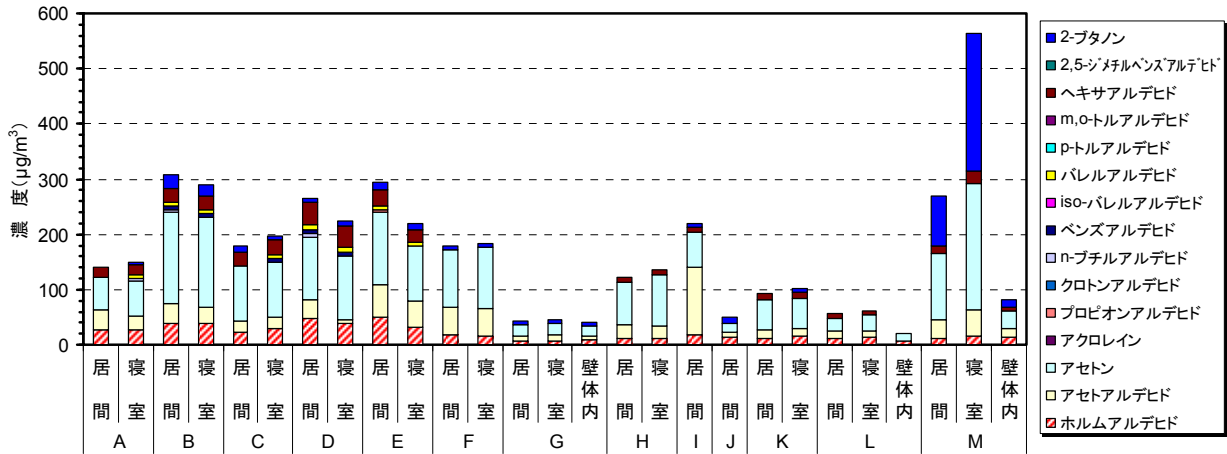
- ・ カルボニル化合物については、A～F 邸までの 5 件で全体的に高い傾向にあるが、これは気温の高さが影響しているものと思われる。
- ・ ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンは、全住宅で検出され、特にアセトンの濃度が最も高い傾向にある。それ以外では、ヘキサアルデヒド、2-ブタノンが検出されている住戸が多い。
- ・ アセトアルデヒドについては、厚生労働省の指針値を超過した住戸が 4 件 5 室（E 邸、F 邸、I 邸、M 邸）でみられ、特に I 邸は 122 μg/m<sup>3</sup> と高い。
- ・ 壁体内の測定を実施した 3 件（G 邸、L 邸、M 邸）では、壁体内で特に濃度が高い傾向はみられなかった。
- ・ M 邸は、2 階吹抜け部の鉄骨梁（剥き出し）のペンキ塗装が測定期間中に行われたことから、他の住戸と比較して全体的に濃度が高い。

#### 【VOC】

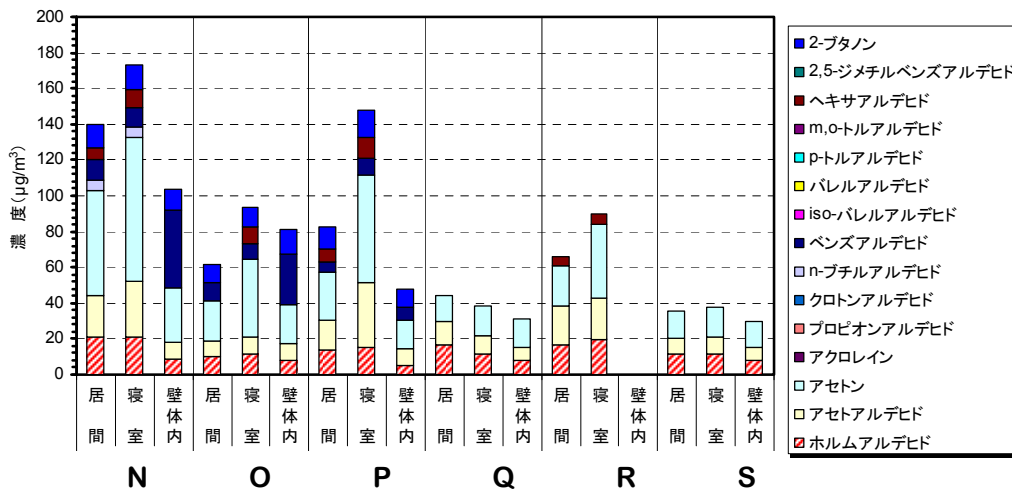
- ・ VOC については、厚生労働省の暫定目標値である 400 μg/m<sup>3</sup> を超過した住戸が 10 件 15 室でみられ、K 邸ではパラジクロロベンゼン、M 邸ではノナン、デカンなどの濃度が高いことが原因である。
- ・ カルボニル化合物と同様に、壁体内の測定を実施した 3 件（G 邸、L 邸、M 邸）では、壁体内で特に濃度が高い傾向はみられなかった。
- ・ カルボニル化合物と同様に、M 邸は、2 階吹抜け部の鉄骨梁（剥き出し）のペンキ塗装が測定期間中に行われたことから、他の住戸と比較して全体的に濃度が高い。

### 1-5-3 VOC 濃度の組成比

- VOC 濃度の組成比は、B 邸、C 邸、D 邸、H 邸、M 邸、S 邸以外では、エタノールの割合が高い。
- B 邸、C 邸、D 邸では、エステル類（酢酸エチル）とテルペン類（ $\alpha$ -ピネン）の割合が高いが、これらは同一メーカーの住宅であり、同じく E 邸でもその傾向はみられる。

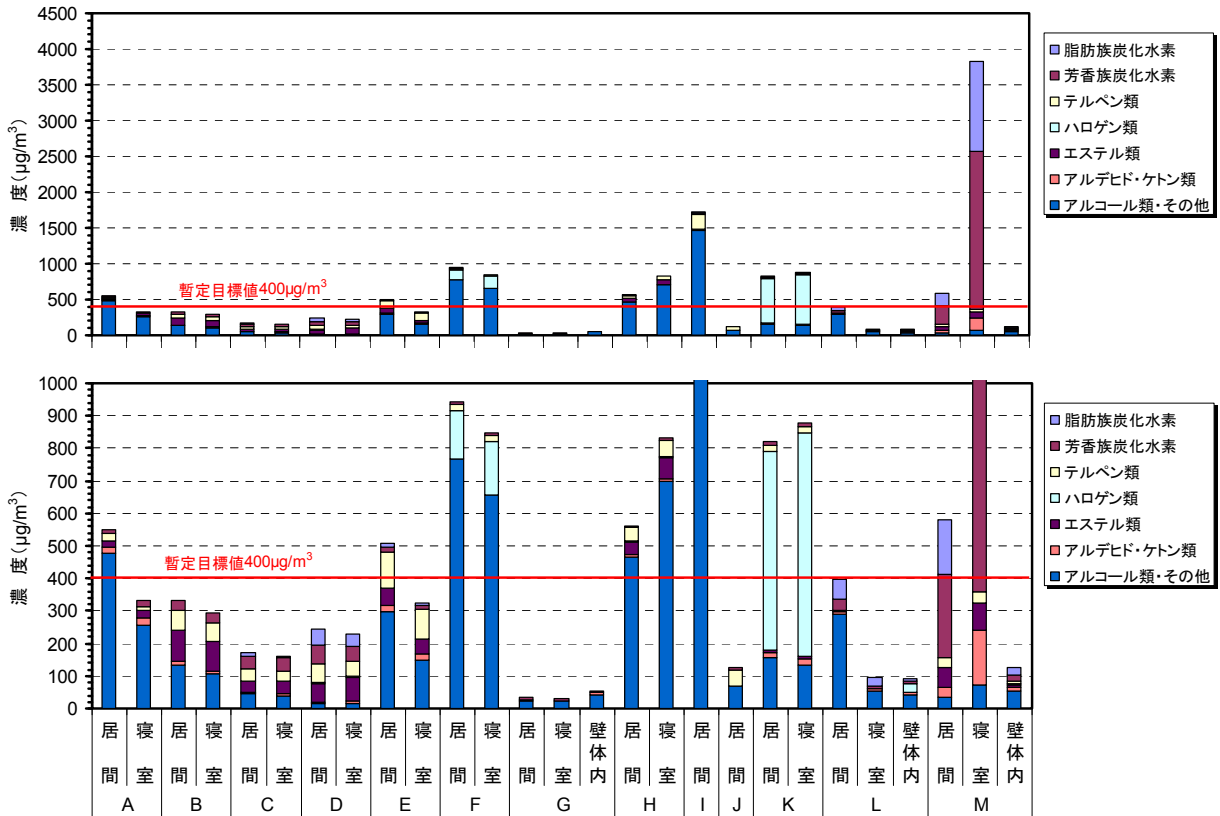


図Ⅲ-2-3-5：カルボニル化合物濃度の比較

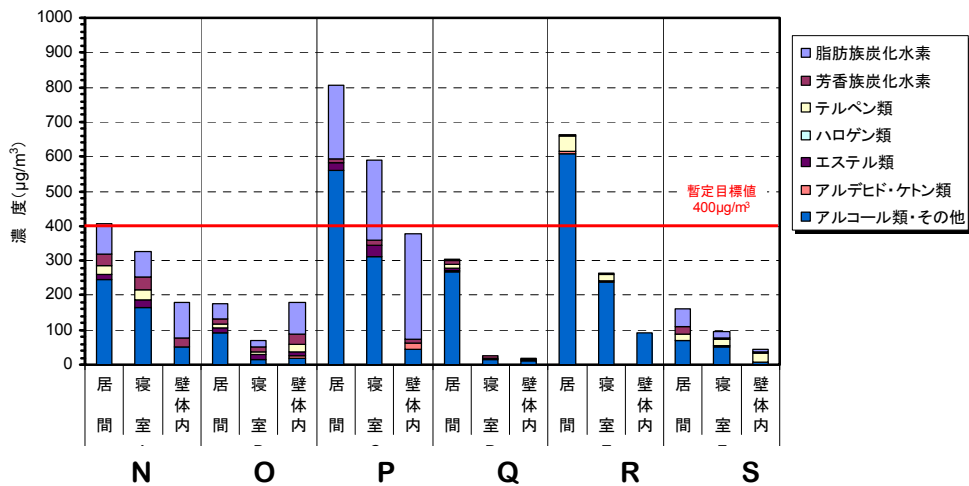


図Ⅲ-2-3-6：カルボニル化合物濃度の比較

※ E 邸の壁体内は、サンプラーに不備があり、正確に測定できなかった可能性がある

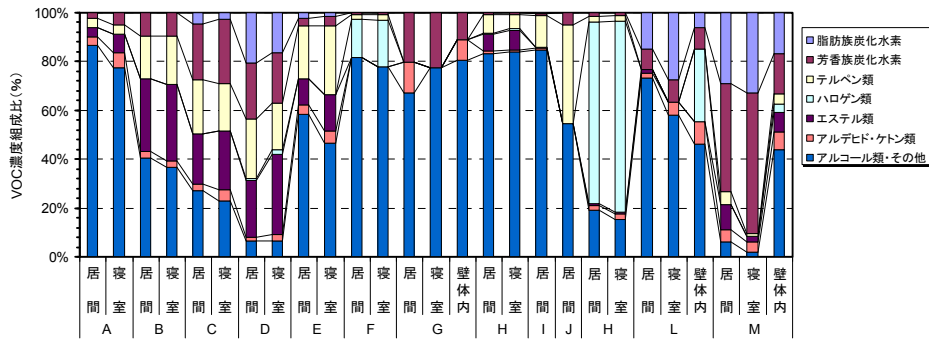


図Ⅲ-2-3-7：族別の揮発性有機化合物（VOC）濃度の比較  
 （下図は上図を0～1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で拡大）

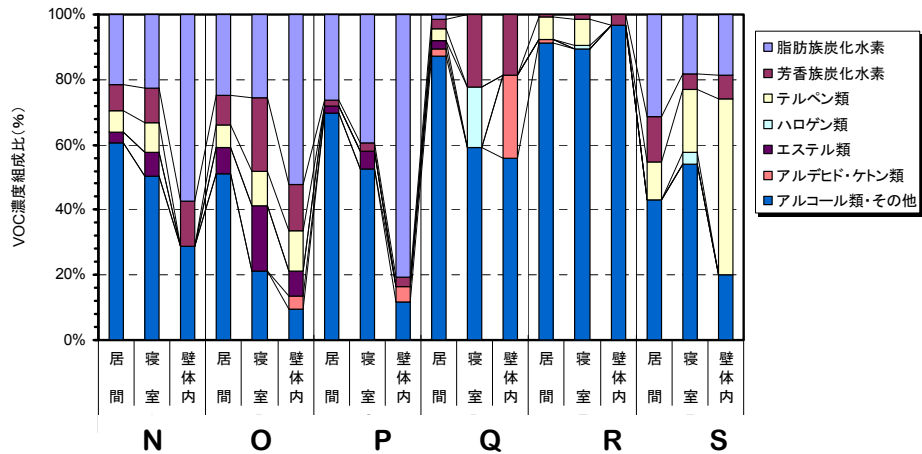


図Ⅲ-2-3-8：族別の揮発性有機化合物（VOC）濃度の比較





図Ⅲ-2-3-9 : VOC 濃度の組成比



図Ⅲ-2-3-10 : VOC 濃度の組成比

1-6 まとめ

- ・カルボニル化合物について今回調査した殆どの住戸で検出された物質は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、ヘキサアルデヒド、2-ブタノンである。
- ・VOCについて今回調査した殆どの住戸で検出された物質は、トルエン、ノナナール、酢酸エチル、エタノール、 $\alpha$ ピネン、 $\beta$ ピネン、リモネンがあげられ、特に酢酸エチルについては、同一メーカーの住戸（2×4工法）で共通して検出されている傾向がみられる。
- ・ホルムアルデヒドやトルエンなどの代表的な指針値の定められている汚染物質については、高濃度で検出される住戸は殆どみられないが、アセトアルデヒドやパラジクロロベンゼンについては、指針値を超える濃度で検出される住戸もいまだに見られる。
- ・現状で指針値の定められていない高濃度な物質としては、カルボニル化合物ではアセトン、VOCではエタノール、 $\alpha$ ピネンなどがあげられる。
- ・これまでの調査結果を通じて、検出される汚染物質の種類や組成比などの傾向は捉えられたが、それらの汚染物質の発生源については、ピネンやパラジクロロベンゼンなどを除いては特定が難しく、今後、指針値の有無に寄らず高濃度な物質については、生活由来と建材由来のどちらなのかについて特定することが重要となる。

## 2 実大住宅における実験評価環境の整備と仮想汚染質を用いた換気システム評価実験 (1)

### 2-1 概要

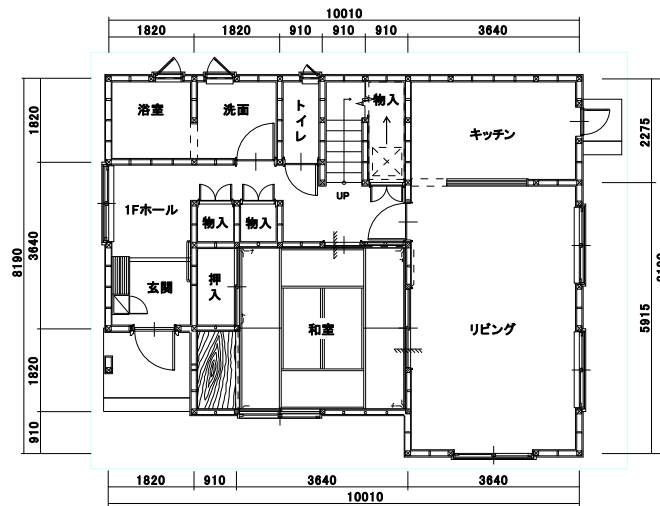
本研究は、つくば市内の実大二階建て木造住宅において、室内空気質の向上と換気にかかるエネルギー消費削減に着目し以下の項目を実施した。

- (1) 住宅構造及び設置された換気システムの基本的な性能の確認
- (2) トレーサーガスを汚染物質と見なして換気システムの制御が行えるように調整
- (3) 制御系及び測定システムの整備

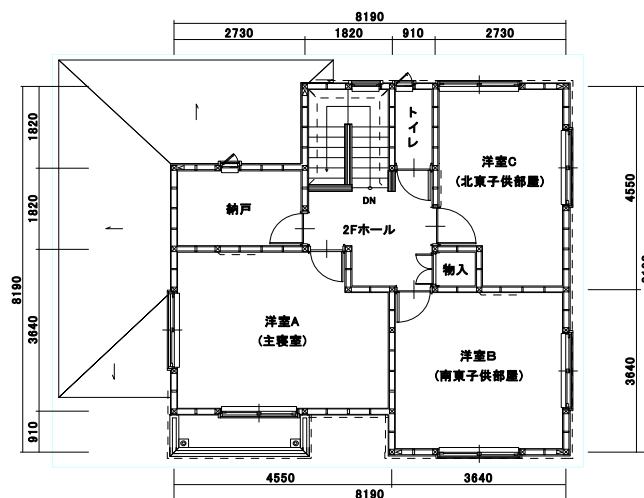
### 2-2 実験住宅と換気設備

#### 2-2-1 実験住宅

実験住宅は、財団法人ベターリビング筑波建築試験センター内に設置されている在来軸組構法木造2階建実大実験を用いる。実験住宅の基本仕様を表Ⅲ-2-3-3、平面図を図Ⅲ-2-3-11～図Ⅲ-2-3-12に示す。



図Ⅲ-2-3-11 実験住宅平面図 (1階)



図Ⅲ-2-3-12 実験住宅平面図 (2階)

表Ⅲ-2-3-3 実験住宅の基本仕様

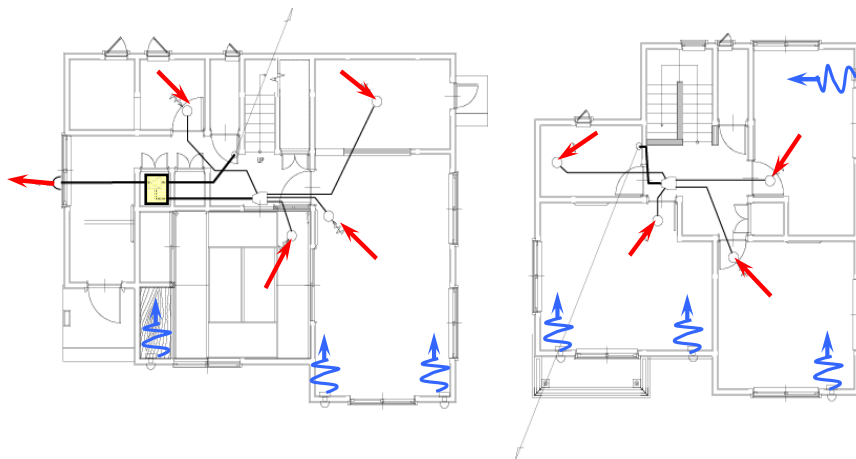
項目	仕様
構法	木造 在来軸組構法
階数	2
床面積 (m <sup>2</sup> )	延床面積 130.83 (m <sup>2</sup> )、1階 72.87 (m <sup>2</sup> )、2階 57.96 (m <sup>2</sup> )
断熱性能	次世代省エネルギー基準のⅢ地域

2-2-2 換気システム

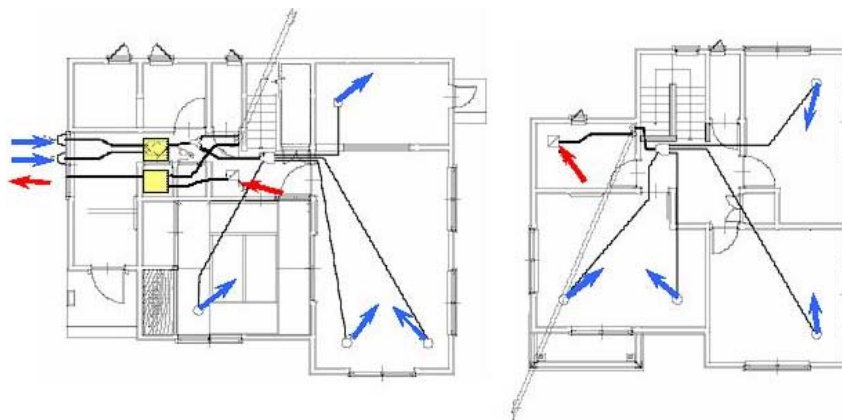
実験住宅に設置されていた既存ダクト式換気システムのダクト及び室内グリルはそのままに、風量コントローラー部と給気ファン、排気ファンの取り替えを行い、第三種ダクト式換気システムと第一種ダクト式換気システムの2種類の換気システムを設置した。

第一種ダクトシステムは給気送風機と排気送風機が2系統に分かれ、排気送風機は、第三種ダクト式換気システムに用いる送風機のダクトの接続を変更することで対応する。

換気システムのシステム図を 図Ⅲ-2-3-13～図Ⅲ-2-3-14 に示す。また換気量の設定は、強・中・弱の3ノッチ設定とし、換気システムの作動周波数は、インバーターを用い 60Hz設定とした。さらに別途濃度感知型変動換気システムを運転する場合は、濃度モニターによる制御を行う。



図Ⅲ-2-3-13 第三種ダクト式システム システム図



図Ⅲ-2-3-14 第一種ダクト式システム システム図

### 2-2-3 換気量変動システム

室内化学物質濃度に応じた換気量変動システムを実験住宅に設置した。変動換気システムは、濃度測定部と換気量制御部の2つからなり、その両者をパーソナルコンピュータで制御するものである。

濃度測定部は、光音響ガスモニタ（INOVA 1412）を用いた。このガスモニタには、濃度測定フィルターとして  $N_2O$ （亜酸化窒素）、 $SF_6$ （六フッ化硫黄）を持っている。光音響ガスモニタで測定した濃度で、換気量制御部に信号を送り、濃度毎に換気量の強・中・弱の制御をパーソナルコンピュータに設置したPIOボードを経由し行う。

## 2-3 実験住宅の基本特性

### 2-3-1 実験住宅の気密性

換気システム設置工事前後で住宅の気密性を測定した。測定方法は、JIS A 2201：送風機による住宅等の気密性能試験方法に準拠し、減圧法とした。換気システム施工後の気密性測定結果を表Ⅲ-2-3-4に示す。

表Ⅲ-2-3-4の結果から、換気システム施工により実験住宅の気密性は変化していないこと、併せて十分な気密性を有し本実験対象として問題がないことが確認された。

表Ⅲ-2-3-4 換気システム設置施工前後での実験住宅の気密性変化

測定条件	隙間特性 $n$	相当隙間面積 $\alpha A$ (cm <sup>2</sup> )	単位相当隙間面積 $\alpha A'$ (cm <sup>2</sup> )
換気システム施工前	1.50	209.06	1.60
換気システム施工後	1.61	199.06	1.52

備考 延床面積 130.83 (m<sup>2</sup>)

### 2-3-2 風量測定

実験住宅に設置した第一種ダクト式換気システム及び第三種ダクト式換気システムの風量を、換気システムの端末部材において風量測定器を用いて測定した。

表Ⅲ-2-3-5に第三種ダクト式換気システムの風量測定結果の例を示す。なお屋外軒下排気口ベントキャップは、防虫網付で圧力損失が大きく、換気システムの設計風量を満足することができなかつたため、ベントキャップを取り外した状態で測定した。また今後の実験ではすべてベントキャップは取り外している。

表Ⅲ-2-3-6には第一種ダクト式換気システムの風量測定結果の例を示す。

表Ⅲ-2-3-5 風量確認測定結果（三種換気 風量設定 中運転）

測定対象端末(排気口)		測定条件					風量測定結果(m <sup>3</sup> /h)				端末風量の合計(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)
番号	位置	給気ファン	排気ファン	インバーター	風量設定	端末開閉状況	1回目	2回目	3回目	平均		
No.1	1F リビング	OFF	ON	60	中	全開	21.1	21.1	20.9	21.0	154.8	0.57
No.2	1F 和室						20.6	20.6	20.2	20.5		
No.3	1F キッチン						18.8	19.1	19.2	19.0		
No.4	1F 洗面						21.7	21.2	21.6	21.5		
No.5	2F 洋室SE						18.0	17.9	17.7	17.9		
No.6	2F 主寝室						21.1	21.0	21.0	21.0		
No.7	2F 洋室NE						16.3	16.2	16.2	16.2		
No.8	2F 納戸						17.6	17.7	17.7	17.7		

表Ⅲ-2-3-6 風量確認測定結果（第一種換気 風量設定 中運転）

測定対象端末		測定条件					風量測定結果(m <sup>3</sup> /h)				端末風量の合計(m <sup>3</sup> /h)	換気回数(回/h)	
番号	位置	給気ファン	排気ファン	インバーター	風量設定	端末開閉状況	1回目	2回目	3回目	平均			
給気口	No.1	1F リビング 東	ON	ON	60	中	全開	18.3	18.6	18.3	18.4	136.3	0.49
	No.2	1F リビング 西						17.9	17.4	17.1	17.5		
	No.3	1F 和室						18.8	17.5	17.8	18.0		
	No.4	1F キッチン						23.7	24.6	23.8	24.0		
	No.5	2F 洋室SE						12.9	13.3	12.9	13.0		
	No.6	2F 主寝室 東						13.7	13.4	14.0	13.7		
	No.7	2F 主寝室 西						13.9	15.0	14.4	14.4		
	No.8	2F 洋室NE						16.9	17.6	17.2	17.2		
排気口	No.9	1F 廊下					100.4	101.1	102.0	101.2	172.1	0.62	
	No.10	2F 納戸					71.0	70.7	71.1	70.9			

### 2-3-3 温湿度測定及び風向・風速測定

風向・風速の測定は、超音波三次元風速計を用いた。超音波風速計を実験住宅に隣接する実験棟（高さ 7.3m）の屋根に長さ 3m のポールを設置し地上高約 10m での風向・風速測定を行った。実験は冬季に行われ、外気温が 0℃を下回る状況においてもリビングや主寝室の室内温度は、も 10℃前後の値を示した。実験期間中のリビング平均温度は 15.1℃、2階主寝室の平均温度は 11.4℃、外気平均温度は 5.4℃であった。また外部風は 10m/s を超える状況も観測され、風向は西風が中心となっている。

### 2-4 一定濃度法による換気量測定（定常運転）

#### 2-4-1 測定方法

実験棟内を 6 つのブロックに分割し、マルチガスモニタを用い、トレーサーガスを一種類 SF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）とした実験と、SF<sub>6</sub> と N<sub>2</sub>O（亜酸化窒素）の二種類のトレーサーガスを同時にドーピングした一定濃度法の実験の 2 条件を行った。

マルチガスモニタを用いた一定濃度法測定では、トレーサーガス攪拌用ファンは、居室及び廊下に設置し、発生させたトレーサーガスが居室内で均一となるよう、ドーナチューブを攪拌ファンの風上側に設置し、天井側に向けて攪拌を行った。また一定濃度

法での換気量測定は、24 時間測定を原則とし、実験住宅内の濃度が一定となった状態で換気量を算出した。

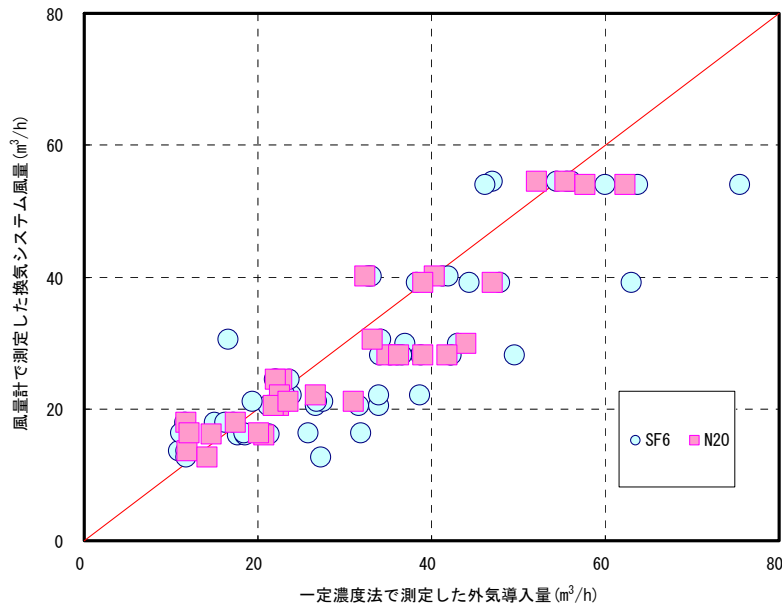
#### 2-4-2 測定結果

一定濃度法による実験住宅換気量（外気導入量）測定結果を表Ⅲ-2-3-7 に示す。トレーサーガスを用いた外気導入量と風量計で測定した風量には高い相関が見られ、今回使用した二種類のトレーサーガスでは、結果が大きく異なることはなかった。また第三种ダクト式換気システムと第一種ダクト式換気システムにおいても、外気導入量と風量計で測定した風量には相関が見られた。

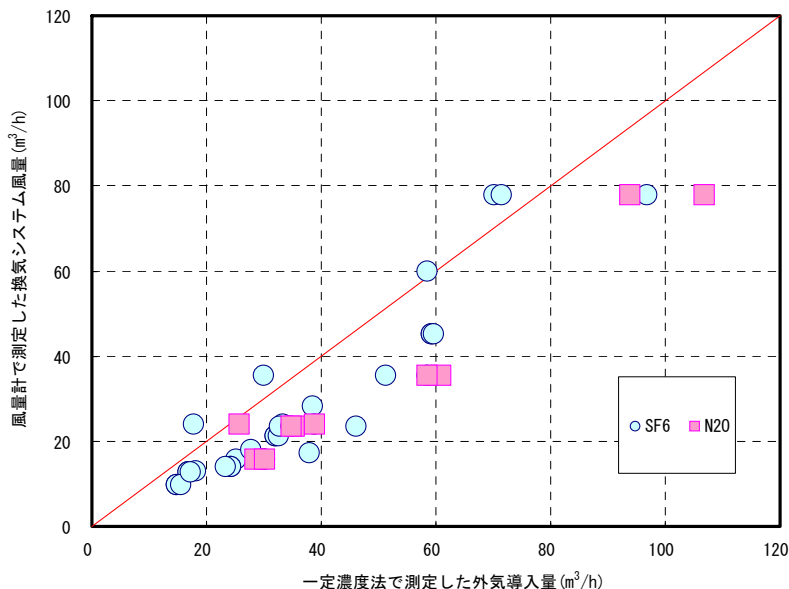
表Ⅲ-2-3-7 一定濃度法による実験住宅換気量測定結果

		測定日	一定濃度法での換気量 (m <sup>3</sup> /h)		風量計での風量 (m <sup>3</sup> /h)		
			SF6	N20	排気①	給気②	MAX(①、②)
第三种ダクト	強	2007/11/16	230.2		211.2		211.2
	中	2007/11/17	168.2		154.8		154.8
	弱	2007/11/18	127.4		118.7		118.7
第一種ダクト	強	2007/11/20	258.7		240.4	176.6	240.4
	中	2007/11/21	201.8		172.1	136.3	172.1
	弱	2007/11/22	161.3		131.5	102.8	131.5
	弱	2007/11/26	161.3		131.5	102.8	131.5
	弱	2007/11/27	161.8		131.5	102.8	131.5
	強	2007/11/28		274.5	240.4	176.6	240.4
第三种ダクト	強	2007/11/30	245.2	241.0	211.2		211.2
	中	2007/12/1		182.7	154.8		154.8
	弱	2007/12/3	140.6	138.7	118.7		118.7
	中	2007/12/4	186.4	178.5	154.8		154.8
	強	2007/12/5	243.5	232.6	211.2		211.2
	中	2007/12/6	140.8	140.6	154.8		154.8
	強	2007/12/16	264.4		211.2		211.2
	中	2007/12/17	205.4		154.8		154.8

一定濃度法では、6つのブロックごとの換気量(外気導入量)を求めることができる。ブロックごと(和室、リビング、2階主寝室、2階洋室A、2階洋室B)での外気導入量と換気量の関係を 図Ⅲ-2-3-15、図Ⅲ-2-3-16 に示す。建物全体での比較と同様、第三種ダクト式換気システム、第一種ダクト式換気システムともブロックごとの比較において、一定濃度法による外気導入量と風量計で測定した風量には高い相関が見られた、一定濃度法での外気導入量が大きい傾向を示すのは、機械換気での外気導入以外に、外部風、温度差による外気導入が影響している。

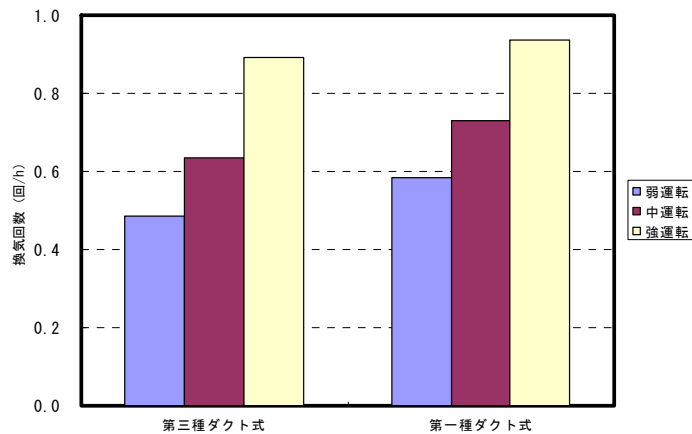


図Ⅲ-2-3-15 ブロックごとの外気導入量と風量計で測定した風量の関係 (第三種ダクト式換気システム)

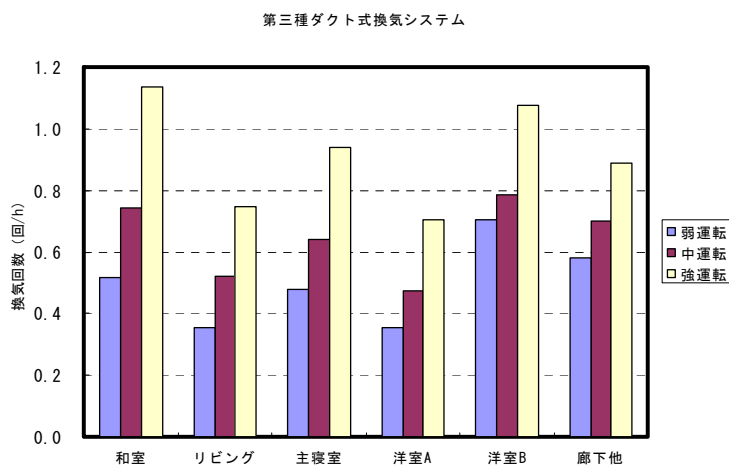


図Ⅲ-2-3-16 ブロックごとの外気導入量と風量計で測定した風量の関係 (第一種ダクト式換気システム)

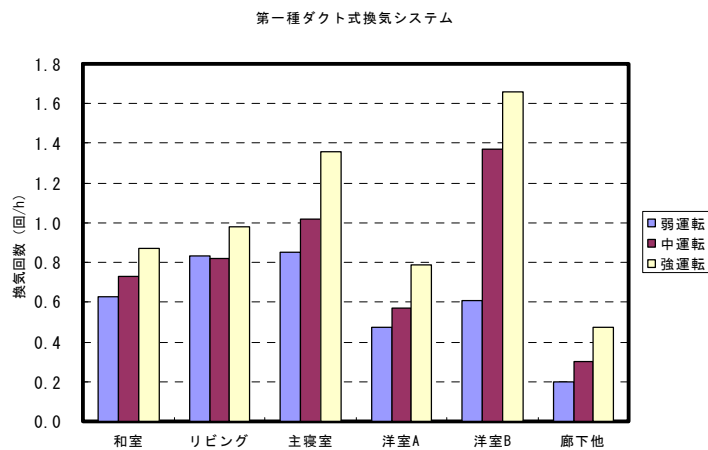
一定濃度法で求めた換気量（外気導入量）を気積で除して換気回数を算出し 図Ⅲ-2-3-17 に示す。またブロックごとの換気回数を 図Ⅲ-2-3-18、図Ⅲ-2-3-19 に示す。今回設置した換気システムは、建物全体での換気回数を算出した場合、弱運転で0.5回/hを確保し、強運転では0.8回/hを超える性能を有していることを確認した。またブロック毎の換気回数は必ずしも一定にはなっていないことも確認した。



図Ⅲ-2-3-17 換気システム毎の換気回数（実験住宅全体）



図Ⅲ-2-3-18 換気システム毎の換気回数（第三種ダクト式換気システム）



図Ⅲ-2-3-19 換気システム毎の換気回数（第一種ダクト式換気システム）



## 2-5 変動換気システム運転時の換気量測定

### 2-5-1 測定方法

#### 2-5-1-1 計測システム

一定濃度法で用いた 2 種類のトレーサーガスのうち、N<sub>2</sub>O（亜酸化窒素）を汚染源と仮定し居室に発生させ、そのときの換気量（外気導入量）の変化を、SF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）をトレーサーガスとした一定濃度法で測定する。N<sub>2</sub>O を汚染源とした一定発生法は、マルチガスモニタを用いた。

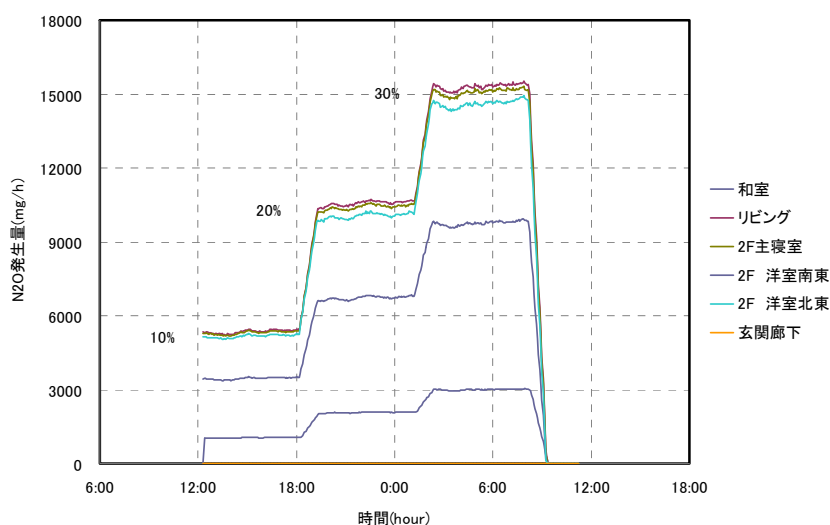
N<sub>2</sub>O 発生位置は、リビングと 2 階主寝室の 2 条件、発生量は 1 秒間に 3mL の流量を持つバルブ（ch2）のバルブ開放度を 20%と設定することを原則としているが、バルブ開放度を変化させ室内濃度を確認する実験も行った。

変動換気システムの濃度検出部は、一定発生で N<sub>2</sub>O を発生させる同一の部屋とし、発生側チューブを攪拌ファンの風上側に設置し、濃度検出側チューブ（変動換気制御用）を攪拌ファンの風下側に設置した。

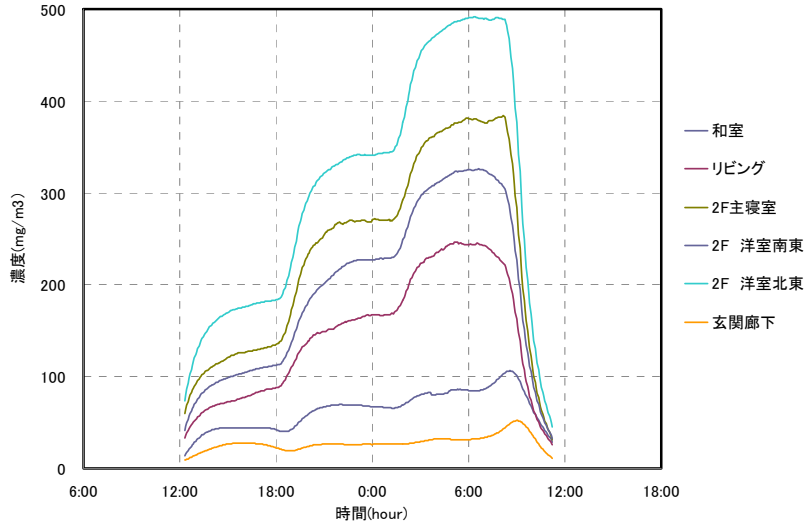
#### 2-5-1-1 変動換気システムの閾値

予備実験は、第三種ダクト式換気システムにおいて、N<sub>2</sub>O 発生量を 10%、20%、30%と変化させた場合の室内濃度測定を行った。予備実験の結果から、N<sub>2</sub>O 発生量と室内濃度との関係を求め、変動換気システムでの閾値を予備実験の結果から決定した。

図Ⅲ-2-3-20 にバルブ開放度設定毎のN<sub>2</sub>O発生量の関係を、図Ⅲ-2-3-21 にN<sub>2</sub>O室内濃度測定結果を示す。第三種ダクト式換気システムを弱で連続運転した場合、リビングでは開放度 20%の一定発生により、濃度は 150mg/m<sup>3</sup> を超える値となった。また主寝室は開放度 20%の一定発生により、濃度は 200mg/m<sup>3</sup> を超える値となった。



図Ⅲ-2-3-20 バルブ開放度設定ごとの N<sub>2</sub>O 発生量（第三種ダクト式 弱連続運転）



図Ⅲ-2-3-21 バルブ開放度設定ごとの N20 室内濃度 (第三種ダクト式 弱連続運転)

以上の結果から、変動換気システムの閾値を表Ⅲ-2-3-8のように決定した。なおこの値は、今回の実験では発生室をリビングから主寝室に変えた場合も同様の値を用いた。

表Ⅲ-2-3-8 変動換気システム 閾値設定

	弱運転	中運転	強運転
N20 濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	100 未満	100 以上 150 未満	150 以上

## 2-5-2 測定結果

### 2-5-2-1 第三種換気 リビング一定発生時の変動システム換気量測定(24 時間測定)

弱運転では、室内 N20 濃度が  $200 (\text{mg}/\text{m}^3)$  を超えているのに比べ、変動換気システムでは、閾値上限の  $150 (\text{mg}/\text{m}^3)$  前後の濃度を示した。弱運転に比べ変動換気システムは、換気量が大きく、このことで室内濃度が減少している。変動換気での実験では、実験開始から 18 時間経過後室内濃度が減少する現象を示しているが、これは温度差や外部風の影響により機械換気システム以外から外気が室内に流れ込んだ可能性が高い。この現象により室内濃度が閾値上限の  $150 (\text{mg}/\text{m}^3)$  を下回ったため、換気量も変化している。

### 2-5-2-2 第三種換気 リビング 8 時間一定発生 16 時間停止条件での変動システム換気量測定

弱運転の場合、リビングの濃度は  $150 (\text{mg}/\text{m}^3)$  を超える結果となったが、変動運転では閾値上限の  $150 (\text{mg}/\text{m}^3)$  を大きく超えることはなかった。リビングの換気量を一定濃度法で測定した結果、閾値を超えることで換気量が増加していることから、変動換気システムが設定通り作動していることがわかる。

### 2-5-2-3 第三種換気 主寝室 8 時間一定発生 16 時間停止条件での変動システム換気量測定

発生を 2 階主寝室とした場合、リビングに比べ換気量が少ない主寝室では濃度が高くなる傾向を示した。そのため変動換気といえ、閾値上限の  $150(\text{mg}/\text{m}^3)$  を超える結果となったが、弱連続運転に比べて室内濃度は低い値であった。換気量も変動運転では室内濃度に応じて変化する結果が得られた。

### 2-5-2-4 第一種換気 リビング 8 時間一定発生 16 時間停止条件での変動システム換気量測定

第一種ダクト式換気システムを用い発生をリビングとした場合、変動換気では閾値上限の  $150(\text{mg}/\text{m}^3)$  となったが、弱運転では  $150(\text{mg}/\text{m}^3)$  を超え  $200(\text{mg}/\text{m}^3)$  に近い濃度となった。第一種ダクト式の場合も換気量は変動運転において濃度に応じて変化する結果が得られた。

### 2-5-2-5 第一種換気 主寝室 8 時間発生 16 時間停止条件での変動システム換気量測定

第一種ダクト式換気システムを用い発生を主寝室とした場合、変動換気では閾値上限の  $150(\text{mg}/\text{m}^3)$  を多少超える濃度となったが、弱運転では  $300(\text{mg}/\text{m}^3)$  を超える濃度となった。第一種ダクト式の場合も換気量は変動運転において濃度に応じて変化する結果が得られた。

## 2-6 SRF を用いた室内濃度と省エネルギー性評価

Supply Rate Fulfillment: 必要新鮮空気量充足度指標を用い室内濃度を評価する。一般に SRF 指標は設計換気量に対する実測換気量で表される (式 1)

$$SFR = \frac{Q_{ms}}{Q_{ds}} \quad \text{式 1}$$

N20一定発生M時の室内濃度Cと換気量Qの関係は、式 2 で表されることから発生量Mが一定であればSRF指標は式 3 で表すことができる。

$$Q = \frac{M}{C} \quad \text{式 2}$$
$$SFR = \frac{Q_{ms}}{Q_{ds}} = \frac{M/C_{ms}}{M/C_{ds}} = \frac{C_{ds}}{C_{ms}} \quad \text{式 3}$$

すなわち  $C_{ms}$  (測定濃度) に対する  $C_{ds}$  (閾値上限) の比率となる。

発生量が一定の場合、室内濃度を下げるためには換気量を増加させる必要があるが、換気量増加に伴い、機械換気システムの消費電力も増加する。室内濃度指標 SRF と、基準消費電力に対する実測消費電力の比率を省エネルギー指標とし、室内濃度指標 SRF に乗ずることで、濃度と省エネルギー性の両方を考慮した指標となる。

ここでは、基準消費電力を $P_s$ とし、換気システム運転時の消費電力 $P$ に対する比率とし、式 4 に示すような形で評価した。

$$SRF \times \frac{P_s}{P} = \frac{C_{ds} \times P_s}{C_{ms} \times P}$$

式 4

なお換気システムの消費電力は、電力計を用いて測定した。電力測定結果を 表 III-2-3-9 に示す。今回の実験では、第三種ダクト式、第一種ダクト式とも基準消費電力 $P_s$ を弱運転時の消費電力とした。

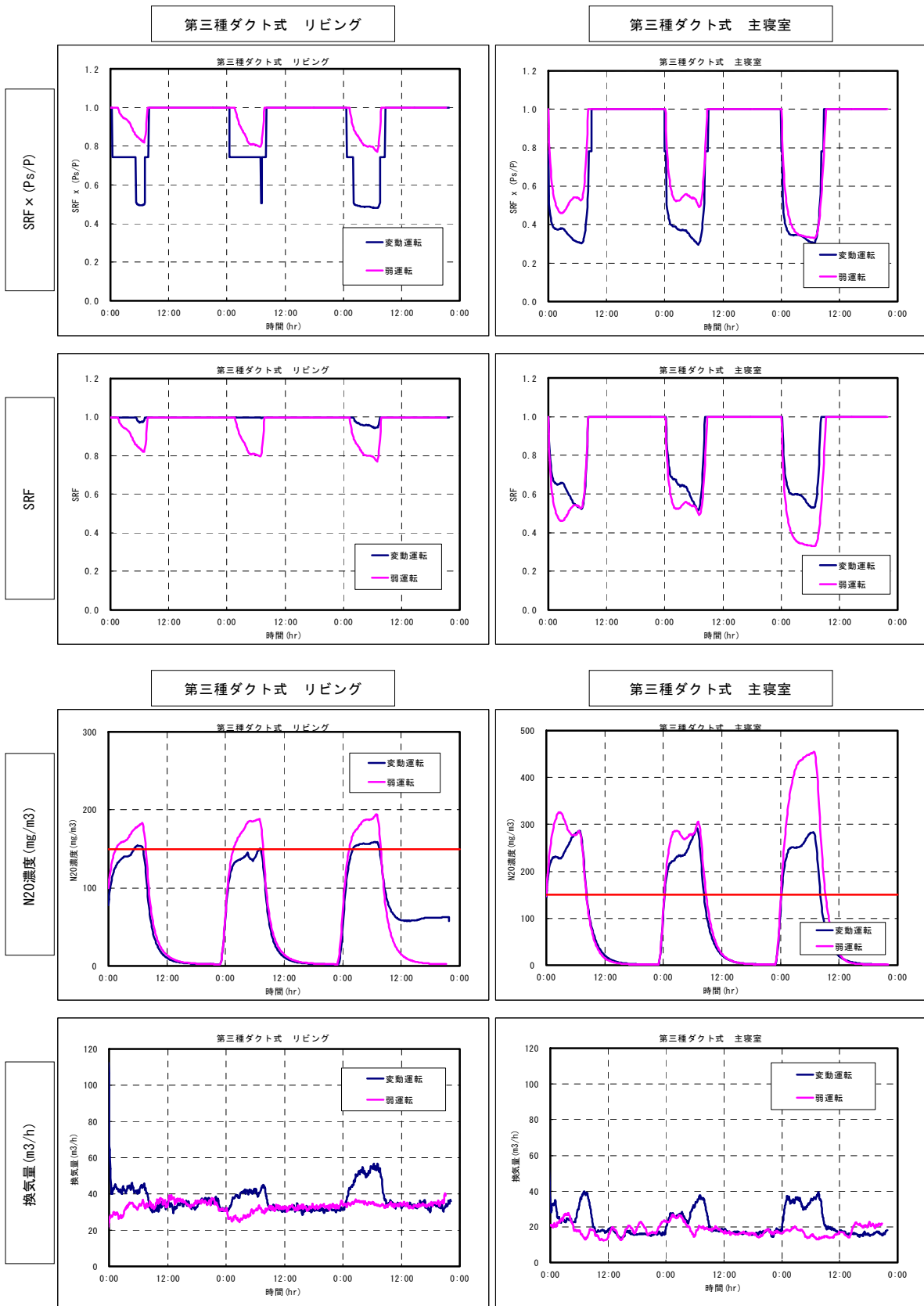
表 III-2-3-9 換気システム電流測定結果及び消費電力算出

	電力(W)		弱運転 に対する比率	
	第三種 ダクト式	第一種 ダクト式	第三種 ダクト式	第一種 ダクト式
弱	32	63	1.0	1.0
中	43	83	1.4	1.3
強	63	117	2.0	1.9

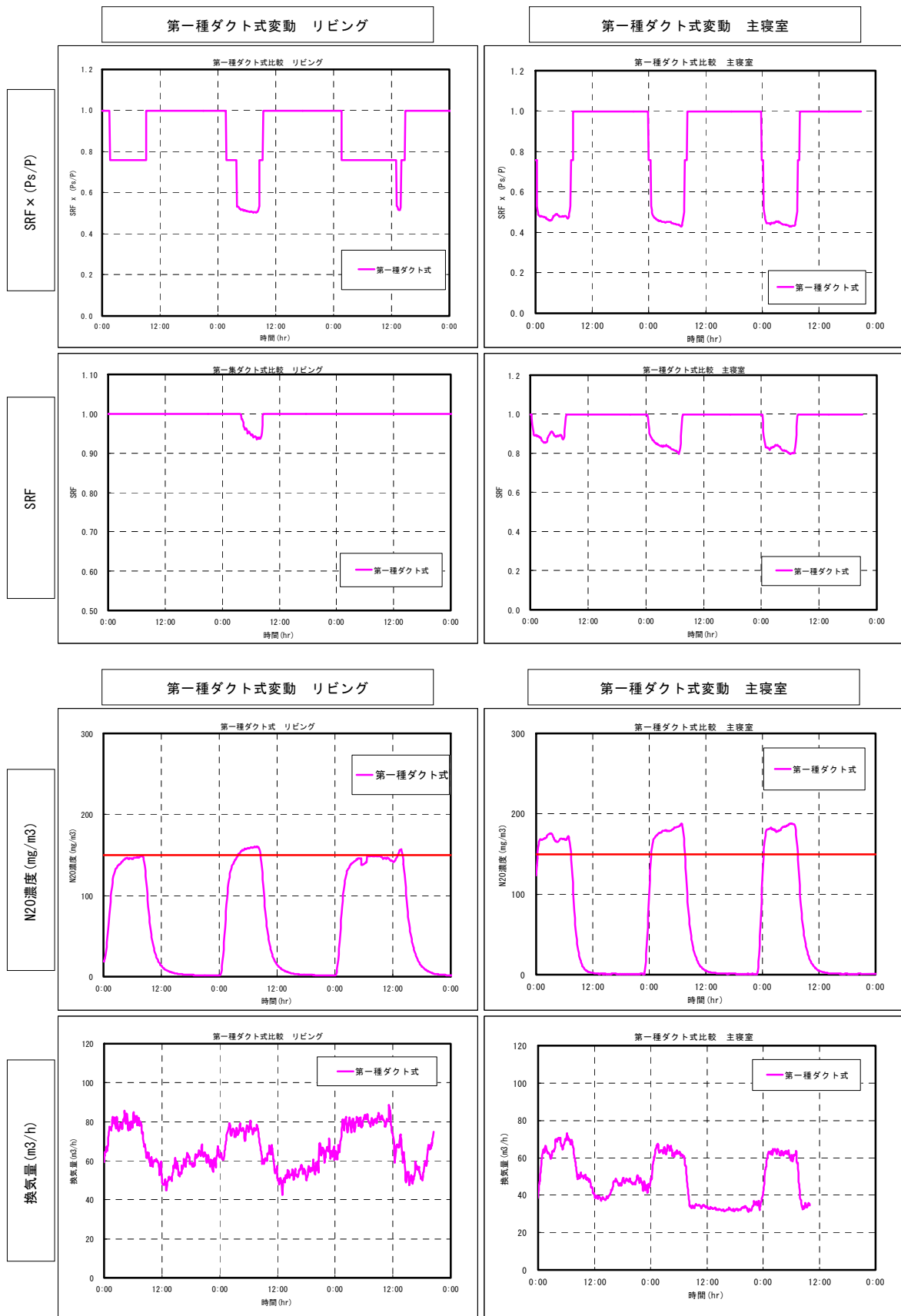
備考 第一種ダクト式は、給気ファンと排気ファンの合計で電力を計算した。

図 III-2-3-22、図 III-2-3-23 から SRF 評価は変動換気システム運転時の方が高い値を示し、室内濃度は設計値（閾値上限）に近くなることからわかる。またリビングは発生量に対して換気量が十分であることから、濃度が閾値上限で安定しているため、SRF 評価も 1.0 に近づくが、主寝室では発生量に対し換気量が少ないことから、変動換気システムを運転しても、閾値上限を超える結果となり、SRF 評価ではリビングよりも低い値となった。

消費電力を考慮した SRF 評価では、弱での連続運転の方が変動換気運転時よりも良い値を示した。換気量の三段階設定ごとに消費電力は比例的に増加する結果に対し、室内濃度の現象は反比例の関係になっていないことが原因と思われる。しかし居住者の健康と省エネルギー性の重み付けを現在の評価では同等としているが、重み付けを変えることで評価は変わる可能性がある。いずれにしても省エネルギー型換気システムの開発は重要となる。



図Ⅲ-2-3-22 第三種ダクト式における変動運転と弱運転 SRF 評価及び電力考慮した SRF 評価



図Ⅲ-2-3-23 第一種ダクト式変動運転での SRF 評価及び電力考慮した SRF 評価

## 2-7 まとめ

つくば市内にある実大の二階建て木造住宅において、室内空気質の向上と換気にかかるエネルギー消費削減について調査を実施した。住宅構造及び設置された換気システムの基本的な性能(住宅の気密性、換気システムの端末部材における風量など)の確認を行うとともに、VOCを模したトレーサーガス(N<sub>2</sub>O)を用いて制御ができる状態に調節し、当該実験用換気システムの制御系システムを整備した。また、汚染物質として用いたN<sub>2</sub>Oの発生量を変動させて室内汚染物質濃度、外気導入量及び消費電力量を収集して、本評価法を換気システム制御のための濃度測定を行っている居室に適用して評価を行うとともに、モニター換気システム運転時の実効性と課題を明らかにした。

### 3 実大住宅における実験評価環境の整備と仮想汚染質を用いた換気システム評価実験 (2)

#### 3-1 概要

本研究は、検知した室内の VOC（揮発性有機化合物）濃度データを用いて換気量を増減させる手法により、室内空気質の維持・向上と省エネルギー性の両立を図ることをめざして、換気量変動型換気システムの最新改良型（以下、「改良型換気システム」）を設置した実大実験住宅に、生活行動を再現した換気システムの運転、エアコン運転、汚染ガスを模したトレーサーガスの発生など、複数の条件を課して実験を行い、実働的な性能の評価に用いる資料を得ることを目的とする。

#### 3-2 実験住宅と換気設備

##### 3-2-1 実験住宅

実験住宅は、財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センター内に設置されている在来軸組構法木造 2 階建実大実験住宅を用いる。（第 2 章に示したのと同じ住宅である。）

##### 3-2-2 換気システム

第一種ダクト式換気システムと局所換気システムの 2 種類を設置した。第一種ダクト式換気システムは、汚染対象となるリビングから排気するシステムとしている。

局所換気は、キッチンレンジフード、トイレ、脱衣室、浴室の 4 箇所に設置し、タイマーにより運転時間を制御できるように改良した。

#### 3-3 実験住宅の基本特性の測定

##### 3-3-1 実験住宅の気密性

換気システム設置工事前後で住宅の気密性を測定した。測定方法は、JIS A 2201：送風機による住宅等の気密性能試験方法に準拠し、減圧法とした。換気システム施工後の気密性測定結果を表Ⅲ-2-3-10 に示す。

表Ⅲ-2-3-10 の結果から、今回の局所換気システム施工により実験住宅の気密性は単位相当隙間面積  $\alpha A$  ‘において  $2.0(\text{cm}^2/\text{m}^2)$  以下となり大きく変化していないこと、併せて十分な気密性を有し本実験対象として問題ないことが確認された。

##### 3-3-2 温湿度測定及び風向・風速測定

実験期間中温湿度は 1 分インターバルで測定した。

風向・風速の測定は、超音波三次元風速計を用いた。超音波風速計を実験住宅に隣接する実験棟（高さ 7.3m）の屋根に長さ 3m のポールを設置し地上高約 10m での風向・風速測定を行った。



表Ⅲ-2-3-10 換気システム設置施工前後での実験住宅の気密性変化

測定条件		隙間特性 n	相当隙間面積 $\alpha A$ (cm <sup>2</sup> )	単位相当隙間面積 $\alpha A'$ (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
2007 年度	換気システム 施工前	1.50	209.06	1.60
	換気システム 施工後	1.61	199.06	1.52
2008 年度 前半	第一種ダクト 換気システム 排気口施工後	1.57	203.78	1.56
2008 年度 後半	局所換気 システム 施工後	1.58	233.37	1.78

備考 延床面積 130.83 (m<sup>2</sup>)

### 3-3-3 風量測定

実験住宅に設置した第一種ダクト式換気システム及び局所換気の風量を、換気システムの端末部材において風量測定器を用いて測定した。

室内排気グリルでの風量測定は 10 秒平均で測定した。第一種換気システムの給気及び排気側の主換気装置の設定は、強・中・弱の 3 条件とした。それぞれの条件において、補助排気ファンを停止、弱、中、協の設定で、排気側の風量測定を行った。

局所換気は、設定ノッチ毎の風量を測定した。なお第一種ダクト式換気は停止した状態で、局所換気の風量測定を実施している。

#### 3-3-3-1 第一種ダクト式換気システム風量測定

第一種ダクト式換気システムの風量測定から、弱ノッチで換気回数が 1 時間当たり 0.44 回、中ノッチで 0.57 回という結果となった。

#### 3-3-3-2 局所換気の風量測定

改良工事を行った局所排気ファンの風量測定結果を 表Ⅲ-2-3-11 に示す。

表Ⅲ-2-3-11 局所換気扇の風量測定結果

設置位置	風量設定	風量(m <sup>3</sup> /h)			
		1回目	2回目	3回目	平均
キッチン	微	141.3	143.0	143.0	142.4
	弱	179.4	179.2	180.0	179.5
	中	207.2	207.1	206.5	206.9
	強	228.4	228.0	228.4	228.3
トイレ	弱	44.1	42.8	42.8	43.2
	中	77.6	78.9	79.3	78.6
	強	114.4	110.9	114.4	113.2
洗面	弱	48.1	48.6	48.3	48.3
	中	73.2	73.1	70.2	72.2
	強	108.9	109.1	109.8	109.3
浴室	弱	51.6	51.3	50.8	51.2
	中	75.7	75.8	74.8	75.4
	強	93.9	93.0	92.5	93.1

3-3-4 生活行動を再現した局所換気の風量設定及び運転時間の設定

住宅金融支援機構監修の木造住宅工事仕様書（平成20年度改訂/フラット35記述基準対応）等の既往の報告を参考に、レンジフードでは、朝、昼が15分運転、夜が45分運転を想定、浴室は入浴及び入浴後の乾燥を想定し4時間、トイレは積算で90分、洗面所は、朝1時間、夜1時間の合計2時間を想定した。実験棟に設置した局所換気のノッチ及び運転時間を表Ⅲ-2-3-12に示す値に設定とした。

表Ⅲ-2-3-12 実験時の風量設定ノッチと風量測定結果

室名	ノッチ	風量結果 (m <sup>3</sup> /h)	運転時間 <sup>(1)</sup>	
			朝	夜
キッチンレンジフード	強	228	朝 15分 昼 15分 夜 45分	1.25 時間
浴室	強	93	夜 4 時間	4 時間
洗面所	中	72	朝 15分 夜 45分	1 時間
トイレ	弱	43	積算で 90分 1回 15分	1.5 時間

(1) 田島他：住宅用換気設備の使用方法に関する調査、日本建築学会大会梗概集41641，2008

### 3-3-5 換気量測定

トレーサーガスを用いた一定濃度法は、実験棟内を6つのブロックに分割し、マルチガスモニタを用い、トレーサーガスを一種類  $\text{SF}_6$ （六フッ化硫黄）とした実験と、 $\text{SF}_6$  と  $\text{N}_2\text{O}$ （亜酸化窒素）の二種類のトレーサーガスを同時にドージングした実験の2条件を行った。

マルチガスモニタを用いた一定濃度法測では、トレーサーガス攪拌用ファンは、居室及び廊下に設置し、発生させたトレーサーガスが居室内で均一となるよう、ドーズチューブを攪拌ファンの風上側に設置し、天井側に向けて攪拌を行った。また一定濃度法での換気量測定は、24時間測定を原則とし、実験住宅内の濃度が一定となった状態で換気量を算出した。なお計測機器は、和室に設置している。

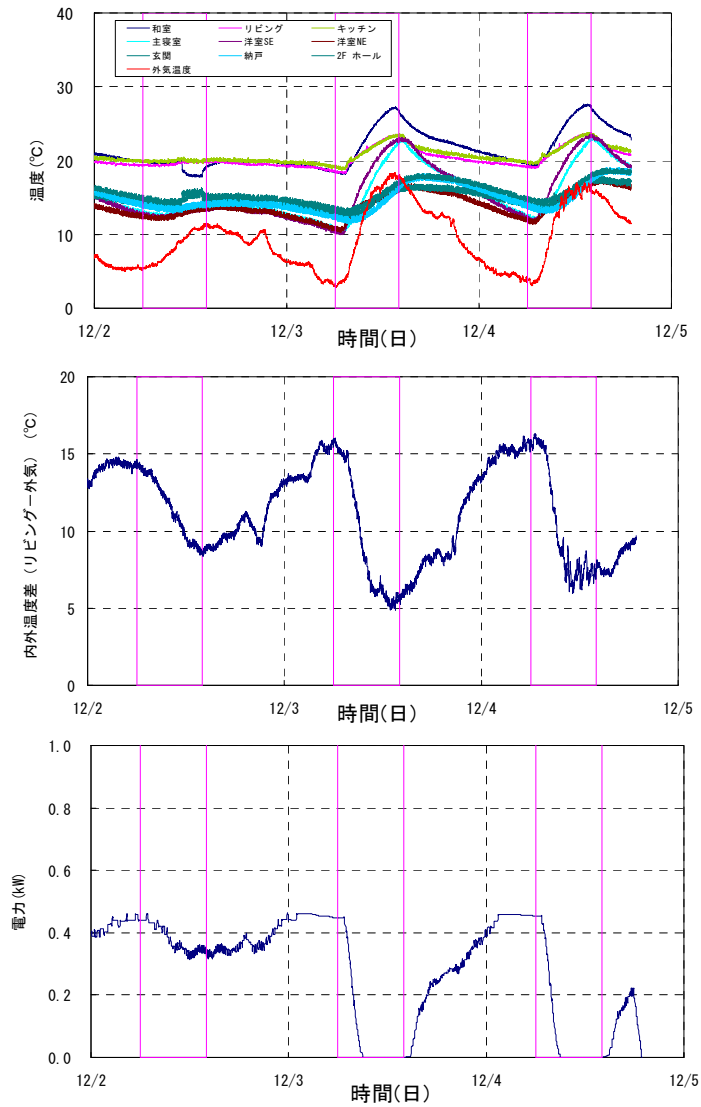
### 3-3-6 エアコン運転と消費エネルギーモニター

リビング中心に生活することを想定し、リビングのエアコンを暖房運転  $20^\circ\text{C}$  設定で一定とする。運転時間は一定運転と生活行動を再現した変動運転の2種類を設定する。

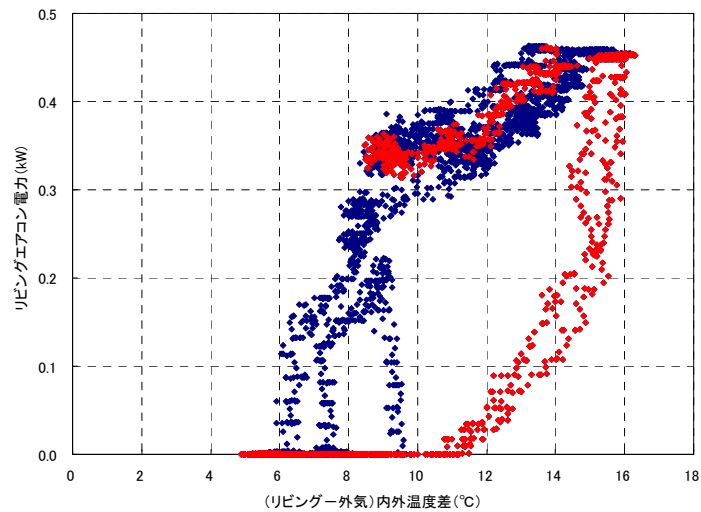
生活行動を再現したエアコン暖房変動運転は、23:00 就寝、6:00 起床の生活パターンを想定し、23時にエアコンを停止、朝5時にエアコン運転開始とした。なお昼間は、気温上昇とともにエアコン不要の条件も想定されるが、設置したエアコンはインバーター制御により室温が設定温度以上となるとファンが停止し、電力消費がゼロとなるため、昼間はエアコンを切らずに実験を行うことにした。

消費エネルギーは分電盤に設置した多回路エネルギーモニターによりブロック毎の電力(kW)を測定した。

内外温度差とリビングに設置したエアコン消費電力の傾向を調べるため、1日を外気温が上昇し最高に達するまでの期間（グループ1：6:00～14:00）と外気温が下がる期間（グループ2）に分け、室内及び外気の経時変化、リビングー外気内外温度差、及びエアコン電力の経時変化を図Ⅲ-2-3-24に示す。図Ⅲ-2-3-25に内外温度差と消費電力の関係を示す。内外温度差と消費電力の関係はヒステリシス現象を示し、明け方から午後2時までは下に凸のカーブを、午後2時から明け方までは上に凸のカーブを示している。



図Ⅲ-2-3-24 室内及び外気の経時変化、リビング-外気内外温度差、及びエアコン電力の経時変化



図Ⅲ-2-3-25 内外温度差と消費電力の関係 (赤プロット 6:00~14:00 までのデータ)

### 3-4 汚染物質を想定したトレーサーガスの発生

#### 3-4-1 トレーサーガス発生装置

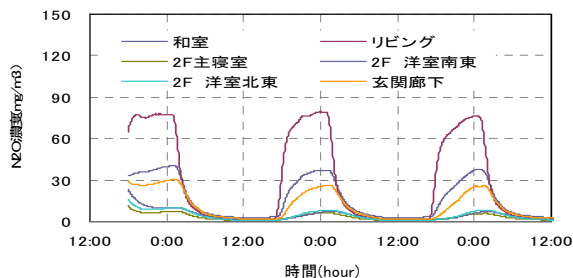
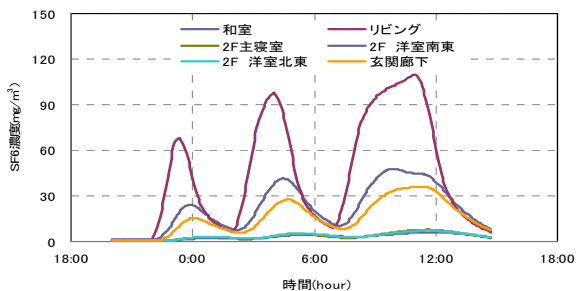
汚染物質を想定し、トレーサーガスには亜酸化窒素 ( $N_2O$  分子量 44) を用いた。この  $N_2O$  ガスを一定発生法によりリビングに発生させた。発生量は、マルチガスモニターの 3mL/sec バルブで開放度 20%とした。発生位置は、リビング中央に設置した攪拌ファンの風上側とし、マルチガスモニターのドーズバルブからチューブを介して設置した。なお  $N_2O$  濃度検出側チューブは、攪拌ファンの風下側に設置した。発生時間は、24 時間一定発生と 8 時間発生 16 時間停止の 2 条件とした。

#### 3-4-2 トレーサーガス発生量、発生時間の設定のための予備試験

発生室となるリビングの換気量と発生量の関係を求めるため、 $N_2O$  発生装置の発生量を 10%、20%、30%と発生装置のバルブ開放度設定を変化させ、各 6 時間一定発生させた場合の室内濃度測定を行った。

この実験における換気システムは第三種ダクト式換気システムを弱連続運転とした。トレーサーガス発生装置のバルブ解放度を変化させると、発生量は比例的に増加する。また各部屋の換気量は連続運転で一定であるため、室内濃度も発生量に応じて比例的に増加することが確認できた。この結果からリビングに汚染源を想定してトレーサーガスを発生させる場合、発生装置のバルブ開放度は 20%の一定発生とすることで、リビング濃度も精度良く測定が行われることが確認できた。

汚染源を想定したトレーサーガス発生時間を変化させた場合の室内濃度の測定結果を図Ⅲ-2-3-26、図Ⅲ-2-3-27 に示す。この実験は、汚染源を想定したトレーサーガスを  $SF_6$  とし、リビングにバルブ開放度 20%で一定発生させた結果である。発生は、最初の 3 時間停止状態で室内濃度が安定することを確認し、その後 1 時間発生-3 時間停止、2 時間発生-3 時間停止、4 時間発生-3 時間停止とした。換気システムは第一種ダクト式換気 (リビング排気型) とし、風量設定は弱運転としている。1 時間発生、2 時間発生では、リビング濃度上昇は直線的であるのに対し、4 時間発生では濃度上昇の勾配が 2 時間を過ぎたあたりから緩やかになっている。しかし、まだ平衡状態にはなっていない。図Ⅲ-2-3-27 に 8 時間発生-16 時間の 24 時間を 1 サイクルとし、3 サイクル繰り返しを行った場合のリビング濃度の関係を示す。なおトレーサーガスは  $N_2O$  を用いた。第一種ダクト式換気システム弱運転では、8 時間発生でリビング濃度がほぼ平衡状態となっていることから、今回の実験では、昼間の 8 時間汚染物質が発生することを基本として実験を進める。



図Ⅲ-2-3-26, 汚染源を想定したトレーサー発生時間と室内濃度の関係

図Ⅲ-2-3-27 汚染源を想定したトガスレーサーガス発生8時間発生繰り返しと室内濃度の関係

### 3-5 局所換気運転時のリビング濃度低減効果確認実験

局所換気は、調理、入浴・洗面、トイレを使用した場合の水蒸気やにおいを除去することが主な目的であるが、局所換気を利用することで、汚染物質が発生した部屋の濃度をどの程度低減することが可能であるかを検討した。そのため局所換気扇を運転した場合の建物全体の換気量及び汚染物質発生源の換気量変化と汚染濃度減少などの測定を実施した。

換気システム運転設定により実験は表Ⅲ-2-3-13に示す7条件とし、汚染物質発生対象は居住者が長時間生活するリビングを想定した。換気は主換気と局所換気の2種類とし、主換気は第一種ダクト式換気システムの弱運転、局所換気は、レンジフード、浴室、洗面、トイレ(1階)の4箇所を想定している。汚染物質発生室となるリビングは、エアコン暖房運転20℃で一定とし、エアコンの消費電力をモニターした。

表Ⅲ-2-3-13 実験条件毎の換気システム運転設定

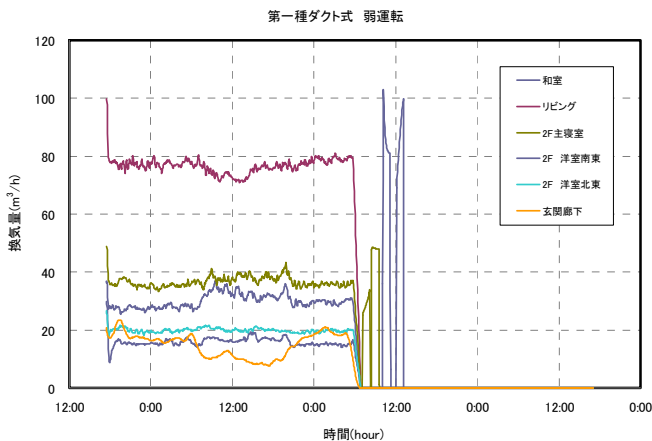
実験条件	主換気	局所換気		運転スケジュール
		箇所	強弱	
1	第一種ダクト式弱運転	レンジフード	強	3hr 停止→15分運転→3hr 停止→30分運転→3hr 停止→45分運転→3hr 運転
2		浴室	強	3hr 停止→2hr 運転→3hr 停止→4hr 運転→3hr 停止
3		洗面	中	3hr 停止→15分運転→3hr 停止→30分運転→3hr 停止→45分運転→3hr 運転
4		トイレ	弱	3hr 停止→15分運転→3hr 停止→15分運転→3hr 停止→15分運転→3hr 運転
5		浴室	強	3hr 停止→15分運転→3hr 停止→30分運転→3hr 停止→45分運転→3hr 運転
		洗面	中	
		トイレ	弱	
6	すべて			生活行動再現運転
7	停止	すべて		生活行動再現運転

生活行動再現運転：

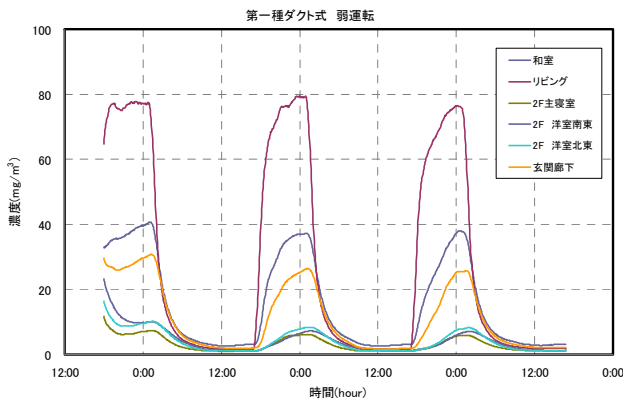
- レンジフード 強運転 7:00→7:15、12:00→12:15、18:00→18:45 3回 合計 1.25 時間
- 浴室換気 強運転 19:00→23:00 1回 4 時間
- 洗面換気 中運転 7:15→7:30、19:00→19:15、20:00→20:15、21:00→21:15 4回  
合計 1 時間
- トイレ換気 弱運転 7:15→7:45、10:00→10:15、13:00→13:15、16:00→16:15  
20:00→20:15、22:45→23:00 6回 合計 1.5 時間

### 3-5-1 第一種ダクト式換気システム運転時の換気量とリビング濃度

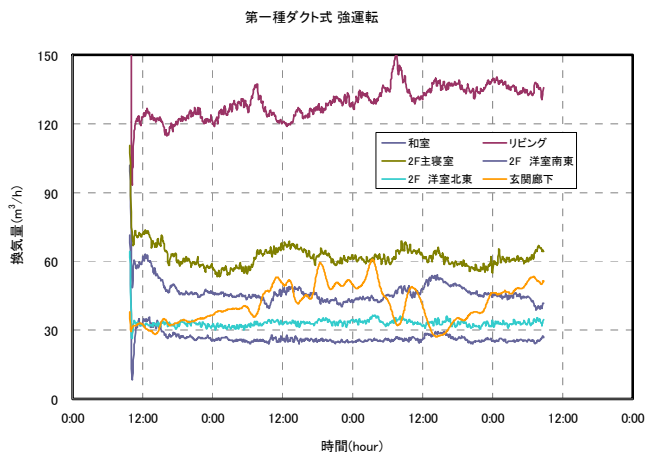
第一種ダクト式換気システムを弱連続運転した場合の経時一換気量曲線を 図Ⅲ-2-3-29 に、またそのときのリビングN<sub>2</sub>O一定発生における各部屋濃度を 図Ⅲ-2-3-30 に示す。また第一種ダクト式換気システムを強連続運転した場合の経時一換気量曲線を 図Ⅲ-2-3-31 に、またそのときのリビングN<sub>2</sub>O一定発生における各部屋濃度を 図Ⅲ-2-3-32 に示す。換気運転モード毎及び停止した場合の一定濃度法による換気量測定結果を表Ⅲ-2-3-14 に、リビングにN<sub>2</sub>Oを8時間一定発生16時間停止で3サイクル行った場合の各部屋最大N<sub>2</sub>O濃度を表Ⅲ-2-3-15 に示す。またリビング換気量とリビング濃度の関係を 図Ⅲ-2-3-32 に示す。



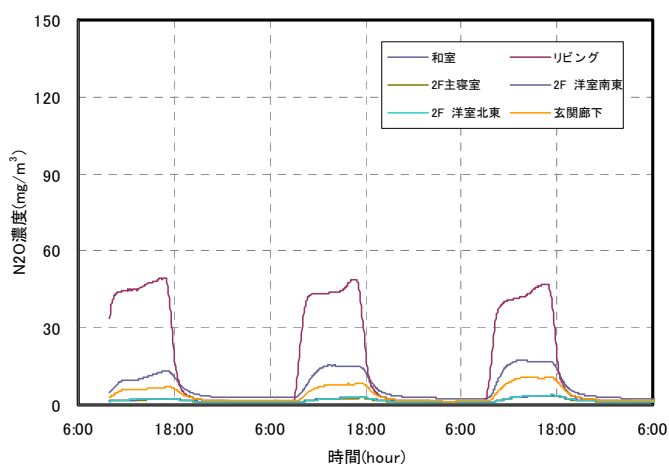
図Ⅲ-2-3-28 第一種ダクト式換気システム 弱連続運転 経時一換気量曲線  
(実験途中でトレーサーガスが無くなったため、途中で換気量測定は中断となる。)



図Ⅲ-2-3-29 リビング N<sub>2</sub>O 一定発生における各部屋濃度 (弱運転時)



図Ⅲ-2-3-30 第一種ダクト式換気システム 強連続運転 経時一換気量曲線



図Ⅲ-2-3-31 リビング N<sub>2</sub>O 一定発生における各部屋濃度 (強運転時)

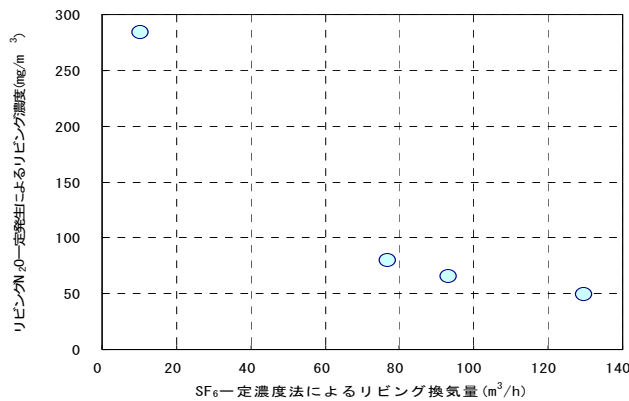
表Ⅲ-2-3-14 一定濃度法による第一種ダクト式換気システムの換気量測定結果

		SF <sub>6</sub> 一定濃度法による換気量(m <sup>3</sup> /h)						合計
		和室	Living	主寝室	洋室 SE	洋室 NE	廊下納戸	
第一種 ダクト式	停止	3.9	10.5	1.5	1.5	1.7	12.9	32.0
	弱	30.0	76.7	36.6	15.9	19.9	15.1	194.2
	中	36.7	93.3	47.3	20.3	24.7	21.4	243.8
	強	46.7	129.8	61.9	26.5	33.1	41.6	339.6

表Ⅲ-2-3-15 リビング N<sub>2</sub>O 一定発生時の各部屋の N<sub>2</sub>O 濃度

		実験期間内最大 N <sub>2</sub> O 濃度(mg/m <sup>3</sup> )					
		和室	リビング	主寝室	洋室 SE	洋室 NE	廊下納戸
第一種 ダクト式	停止	227	284	147	137	146	193
	弱	41	79	12	23	16	31
	中	31	65	5	6	6	20
	強	17	50	4	4	4	11



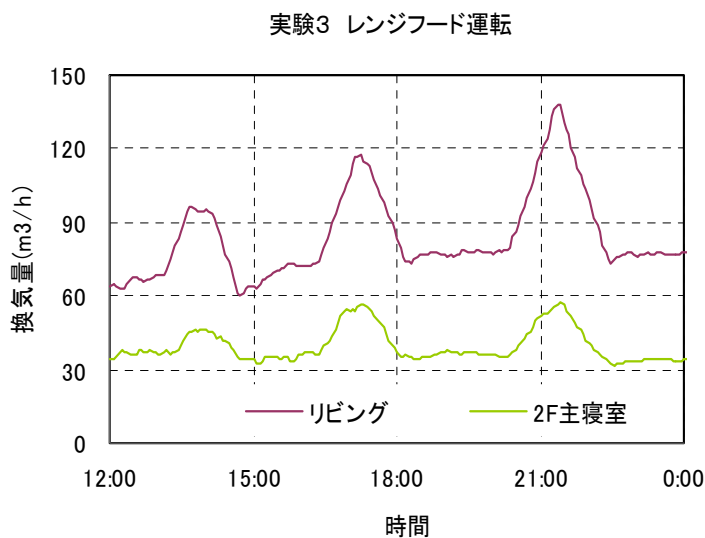


図Ⅲ-2-3-32 リビング換気量とリビング N<sub>2</sub>O 濃度の関係

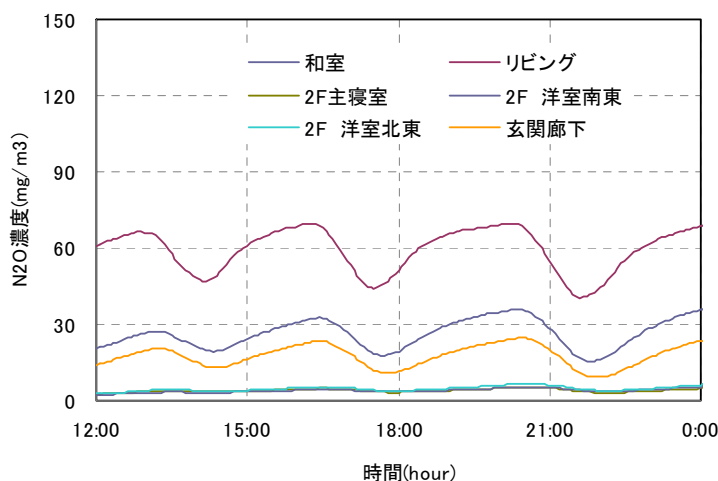
### 3-5-2 レンジフード 変動運転時

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気としてレンジフードを運転時間を30分、45分、60分の3段階とした場合の経過時間－換気量の関係を図Ⅲ-2-3-33に、室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-34に示す。なおレンジフード運転の間隔は3時間とした。

キッチンに設置したレンジフードファンは、リビングと一体化した空間であり、かつレンジフードファンの風量が強運転で200m³/hを超えることから、換気量も大きく変化している。また2階主寝室もキッチンのレンジフードファンを運転することで換気量が増加していることから、建物全体として負圧となっていることが予想される。レンジフード運転による換気量の増加に伴い、実験期間内一定発生しているリビングトレーサーガス N<sub>2</sub>O 濃度は低下した。



図Ⅲ-2-3-33 レンジフード局所換気運転時の換気量経時変化

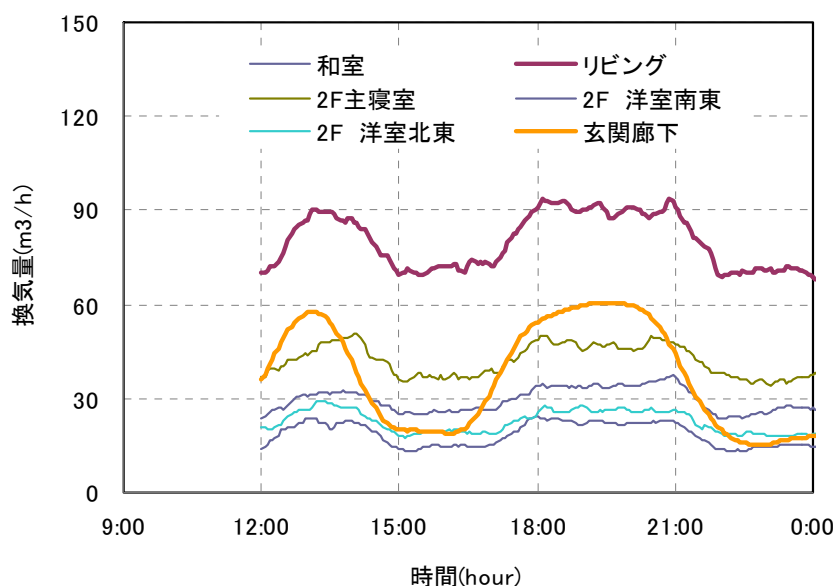


図Ⅲ-2-3-34 レンジフード局所換気運転時のリビング濃度変化

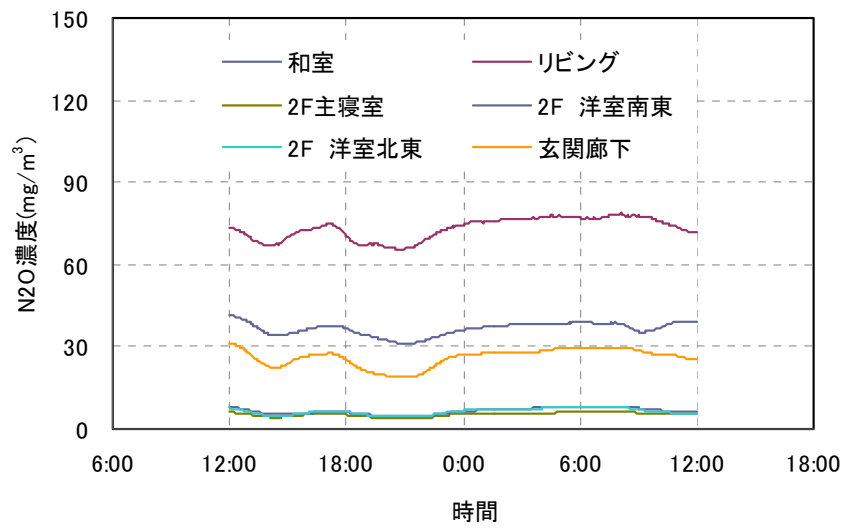
### 3-5-3 浴室換気 変動運転時

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気として浴室換気を2時間及び4時間の2段階変動させた場合の経過時間－換気量－室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-35に、室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-36に示す。なお浴室換気の運転間隔は3時間とした。

浴室に設置した換気扇は、洗面所、廊下を介してリビングとつながっているため、換気量測定を行った廊下エリアに浴室が含まれる。したがって廊下の換気量は大きく増加したが、リビングの換気量増加は20m<sup>3</sup>/h程度であった。この結果汚染源を想定したトレーサーガスのリビング濃度減少は小さい結果となった。



図Ⅲ-2-3-35 浴室 局所換気運転時の換気量経時変化

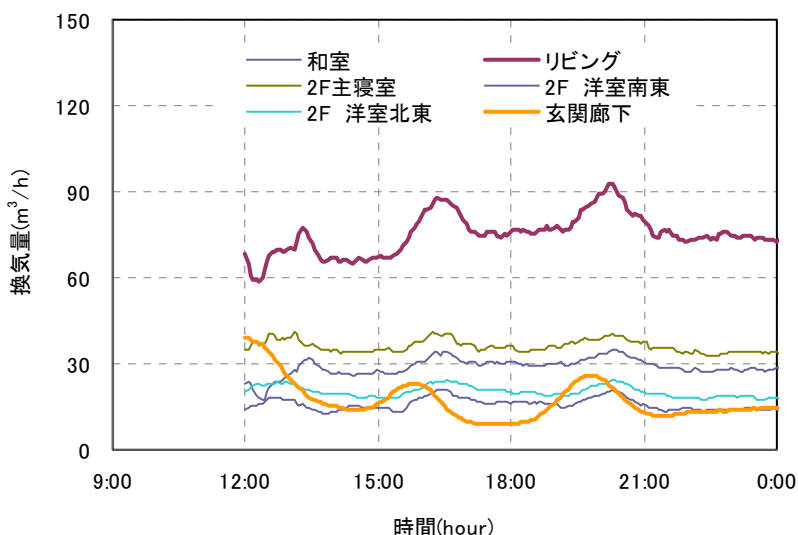


図Ⅲ-2-3-36 浴室局所換気運転時のリビング濃度変化

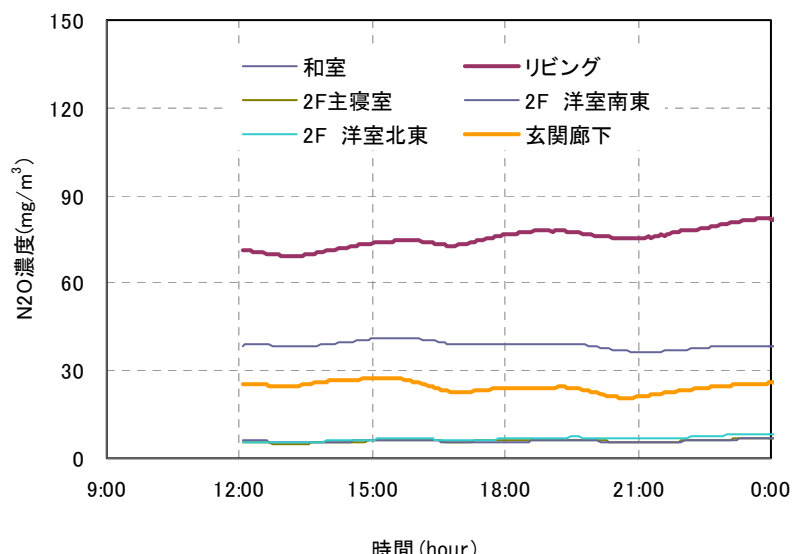
### 3-5-4 洗面局所換気 変動運転時

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気として洗面所の局所換気を運転時間を30分、45分、60分の3段階とした場合の経過時間－換気量の関係を図Ⅲ-2-3-37に、室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-38に示す。なお洗面局所換気運転の間隔は3時間とした。

洗面所に設置した局所換気も浴室と同様、廊下を介してリビングとつながっているため、換気量測定を行った廊下エリアに洗面所が含まれる。また洗面所の換気風量設定は中としていることから、浴室の強設定に比べ風量が小さい。したがって廊下の換気量は増加したが、リビングの換気量増加は $10\text{m}^3/\text{h}$ 程度であった。この結果汚染源を想定したトレーサーガスのリビング濃度減少は小さい結果となった。



図Ⅲ-2-3-37 洗面所 局所換気運転時の換気量経時変化

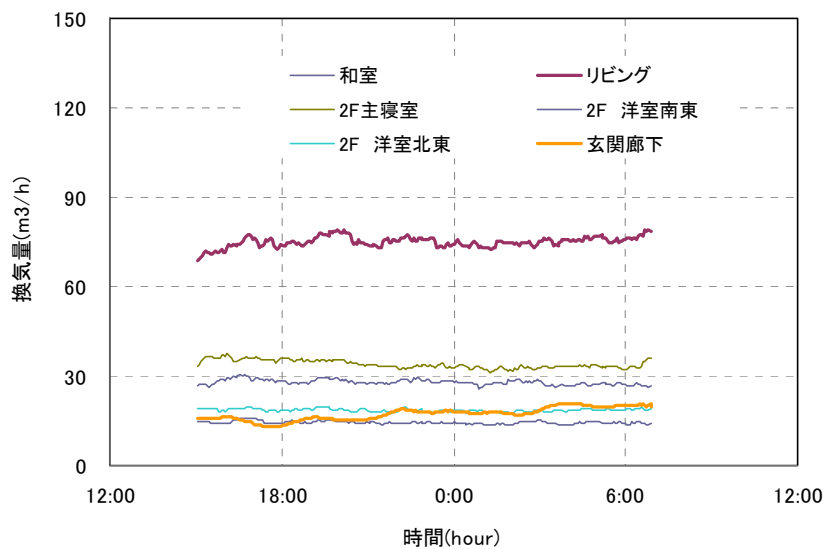


図Ⅲ-2-3-38 洗面所 局所換気運転時のリビング濃度変化

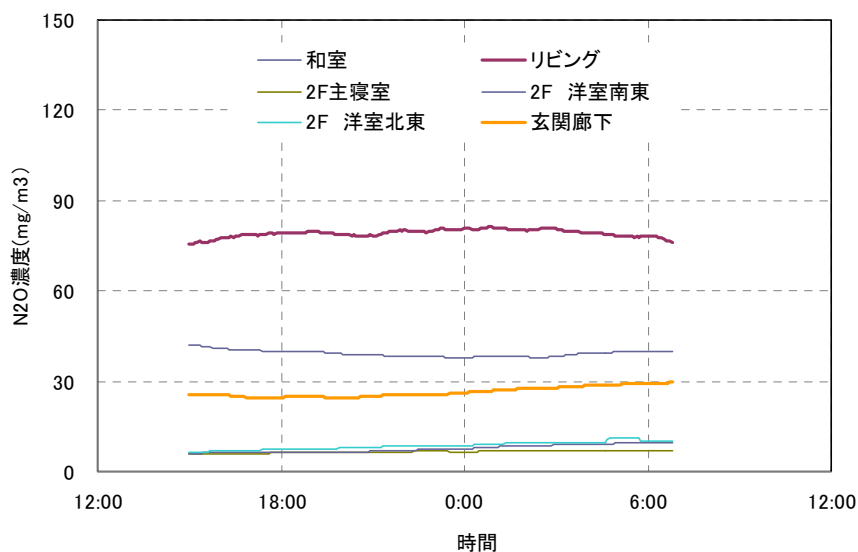
### 3-5-5 トイレ

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気としてトイレの局所換気を運転時間を15分ずつ3回運転した場合の経過時間－換気量の関係を図Ⅲ-2-3-39に、室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-40に示す。なおトイレ局所換気運転の間隔は3時間とした。

トイレに設置した局所換気も、廊下を介してリビングとつながっているため、換気量測定を行った廊下エリアに洗面所が含まれる。またトイレの換気風量設定は弱としていることから、浴室や洗面所の設定に比べ風量が小さい。したがって廊下の換気量もほとんど増加せず、リビングの換気量増加はほとんど確認できなかった。このため汚染源を想定したトレーサーガスのリビング濃度減少はほとんどみられなかった。



図Ⅲ-2-3-39 トイレ 局所換気運転時の換気量経時変化

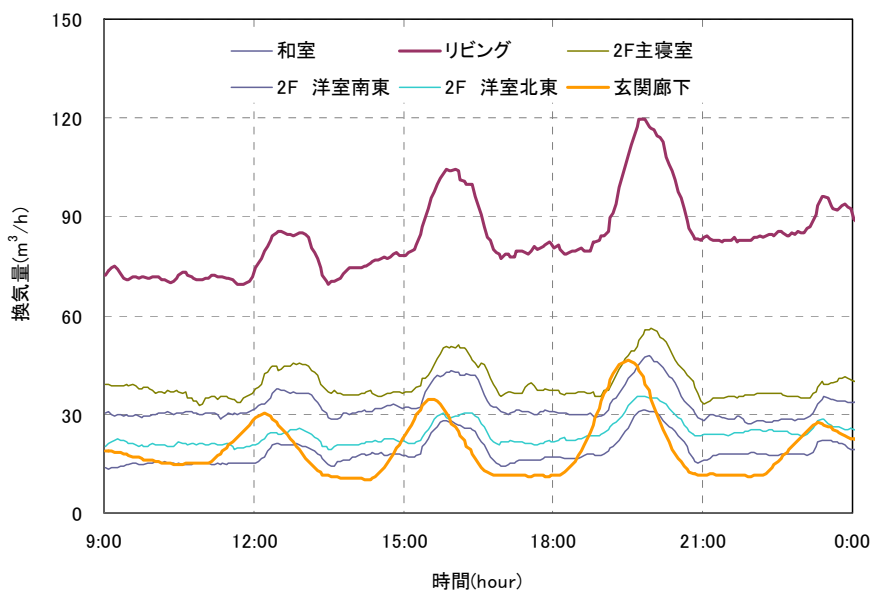


図Ⅲ-2-3-40 トイレ 局所換気運転時のリビング濃度変化

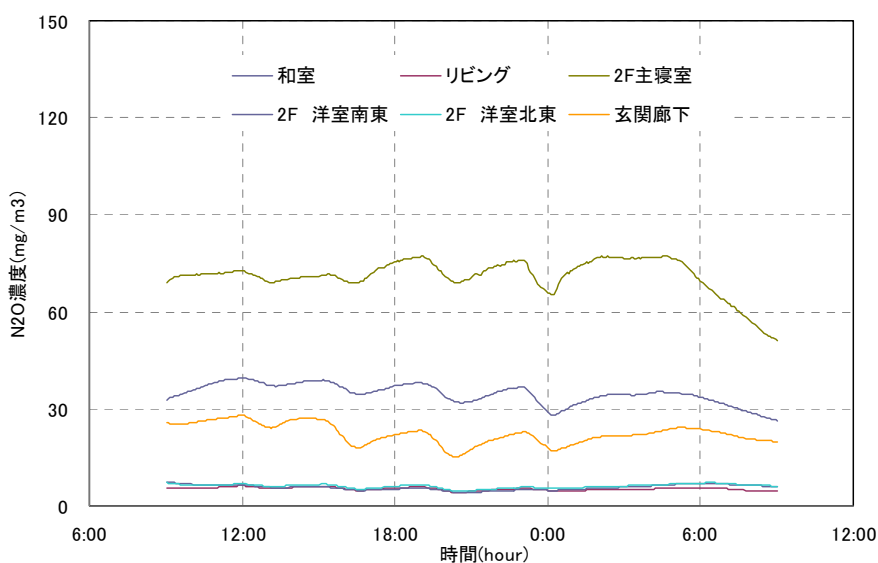
### 3-5-6 浴室・洗面・トイレ同時運転

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気として浴室・洗面・トイレの局所換気を同時に運転とし、運転時間は15分、30分、45分の3段階とした場合の経過時間－換気量の関係を 図Ⅲ-2-3-41 に、室内濃度の関係を 図Ⅲ-2-3-42 に示す。なお局所換気運転の間隔は3時間とした。

浴室・洗面・トイレに設置した局所換気は、廊下を介してリビングとつながっているため、換気量測定を行った廊下エリアに含まれる。浴室・洗面・トイレ同時運転では廊下の換気量変化が大きく、リビングも局所同時運転時の換気量増加は比較的大きい結果となったが、リビング濃度の減少は小さい結果となった。リビングに導入された外気がリビングの濃度を希釈することなく、廊下へ流れていく換気経路となったのではないかと予想する。



図Ⅲ-2-3-41 浴室・洗面・トイレ 同時局所換気運転時の換気量経時変化

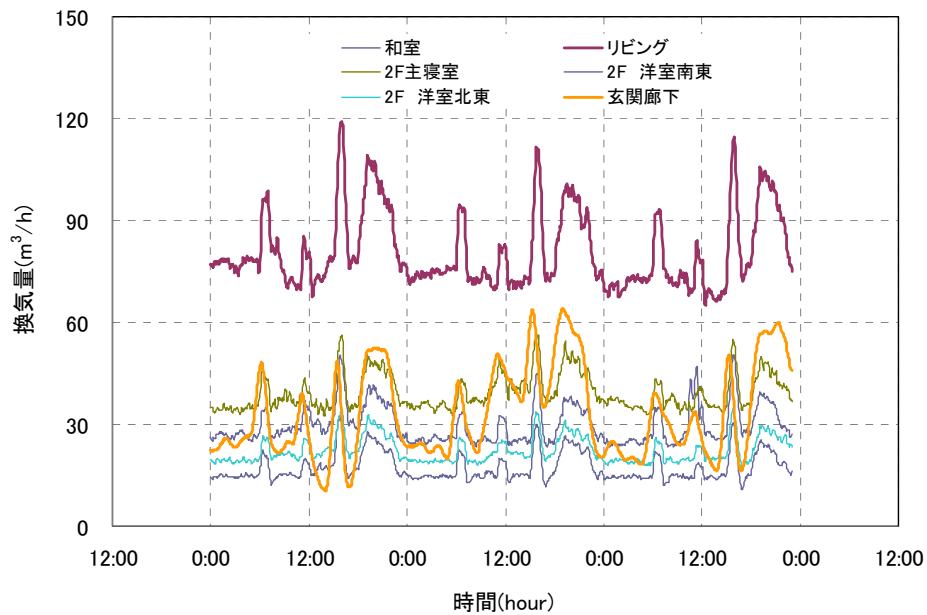


図Ⅲ-2-3-42 浴室・洗面・トイレ 同時局所換気運転時のリビング濃度変化

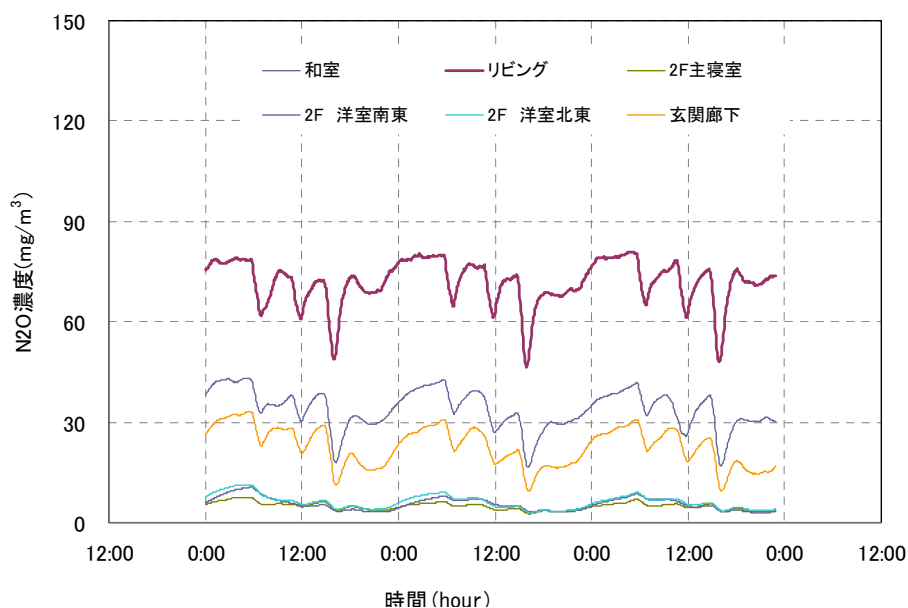
### 3-5-7 生活行動再現実験（第一種ダクト式換気弱運転）

主換気システムは、第一種ダクト式換気システム弱連続運転とし、局所換気は生活行動を再現したパターンを想定し、実験6の設定で運転を行った。経過時間－換気量の関係を図Ⅲ-2-3-43に、室内濃度の関係を図Ⅲ-2-3-44に示す。

個々の局所換気が動くごとに換気量は変動し、汚染源発生を想定したリビング濃度も変化している。短時間に風量が多いレンジフードが運転される条件よりも、浴室換気扇のように比較的長時間運転を続けた方が、リビング濃度減少は大きな傾向が見られた。



図Ⅲ-2-3-43 生活行動再現 局所換気運転時の換気量経時変化

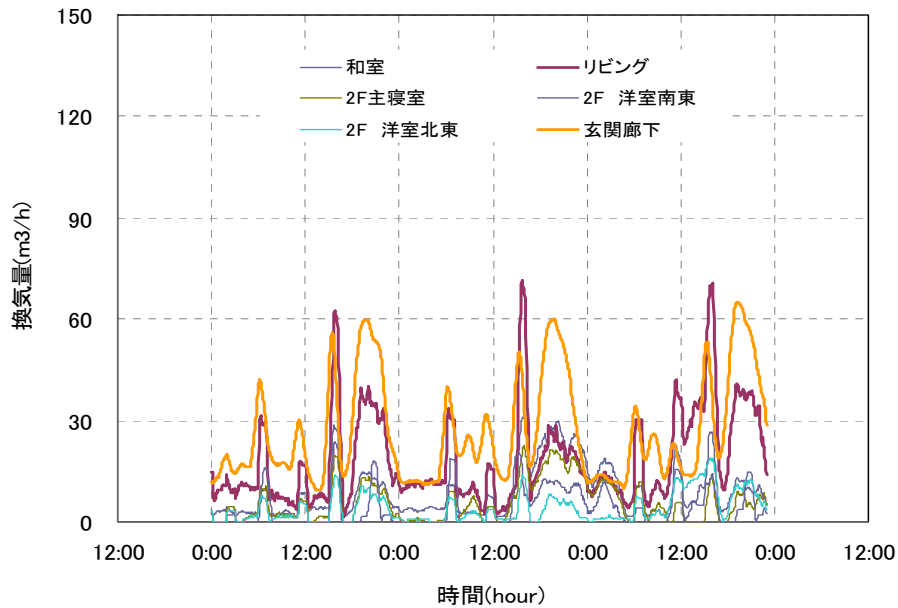


図Ⅲ-2-3-44 生活行動再現 局所換気運転時のリビング濃度変化

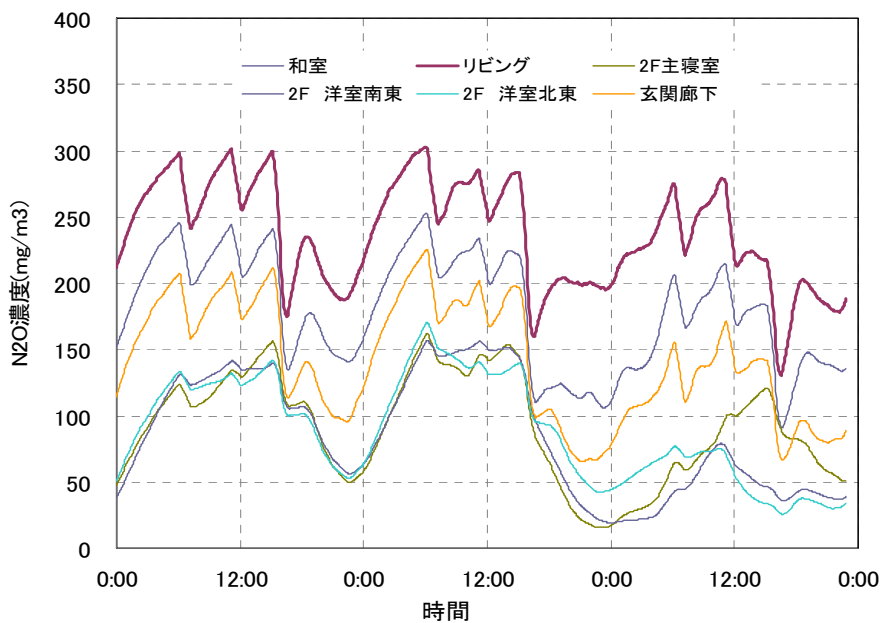
### 3-5-8 生活行動再現実験（第一種ダクト式換気停止状態）

主換気システムである第一種ダクト式換気システムを停止した状態で、局所換気は生活行動を再現したパターンを想定し、実験7の設定で運転を行った。経過時間－換気量の関係を 図Ⅲ-2-3-45 に、室内濃度の関係を 図Ⅲ-2-3-46 に示す。

主となる第一種ダクト式換気を停止することで、建物全体の換気量が減少する。したがって局所換気を断続的に運転するだけでは、室内汚染濃度は減少しない。またリビングで汚染物質が発生しているのに、1階和室、廊下さらに2階の部屋までもが高濃度となる結果となった。



図Ⅲ-2-3-45 生活行動再現 局所換気運転時の換気量経時変化（第一種ダクト式停止）



図Ⅲ-2-3-46 生活行動再現 局所換気運転時のリビング濃度変化（第一種ダクト式停止）



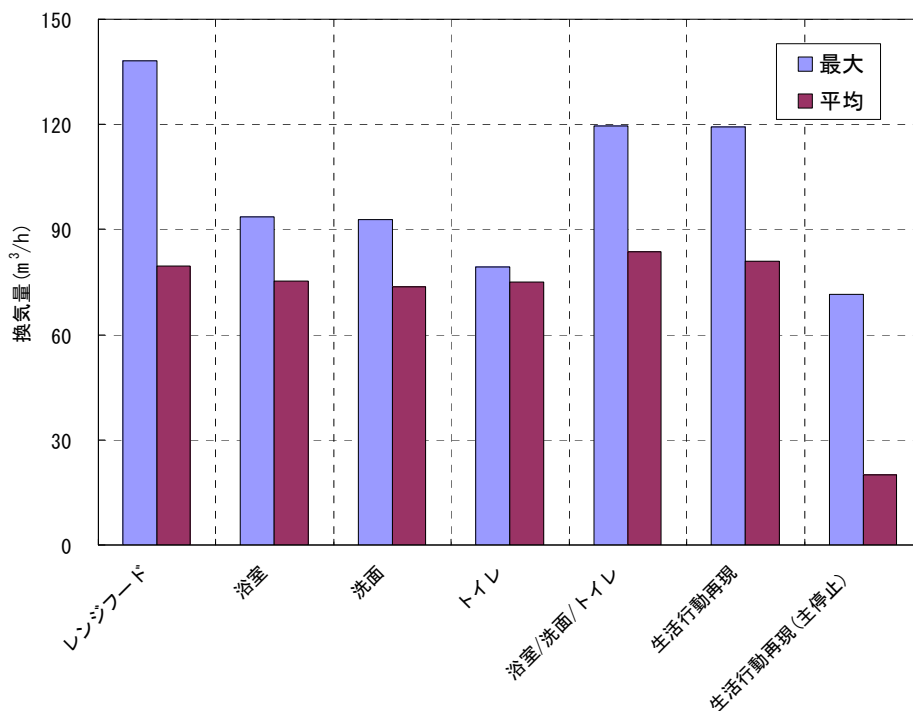
### 3-5-9 局所換気併用運転時の換気量及び濃度測定結果まとめ

局所換気併用運転時の換気量測定結果を 表Ⅲ-2-3-16 に、またリビングの換気量比較を 図Ⅲ-2-3-47 に示す。実験条件 1～6 までは、第一種ダクト式換気システムが弱で連続運転しているため、換気量の平均値はおおむね一定となっているが、局所換気運転により最大値は異なる結果となった。

局所換気によりリビング換気量が大きく増加するのは、レンジフードであり、トイレはリビングの換気量増加にはほとんど寄与していない結果となった。生活行動再現実験は、複数の局所換気が断続的に運転されることから最大値はレンジフードの最大値と一致することが予想されたが、生活行動再現実験では比較的短時間でレンジフードの運転を停止するため、換気量の最大値が多少低くなっている。主換気を停止し、局所換気のみ運転すると、平均換気量は極端に小さくなった。

表Ⅲ-2-3-16 局所換気併用運転時の換気量測定結果

実験条件	主第一種ダクト	局所	SF <sub>6</sub> 一定濃度法による換気量(m <sup>3</sup> /h)							
				和室	リビング	主寝室	洋室SE	洋室NE	廊下納戸	合計
	弱			30.0	76.7	36.6	15.9	19.9	15.1	194.2
1	弱	レンジフード	最大	54.1	138.2	57.3	34.3	36.3	85.6	405.7
			平均	28.5	79.7	37.6	16.4	20.9	29.3	212.5
2	弱	浴室	最大	37.5	93.6	50.5	24.1	29.4	60.7	295.7
			平均	27.7	75.2	39.2	16.6	21.1	28.5	208.2
3	弱	洗面	最大	35.2	92.8	40.9	20.7	24.2	42.3	256.1
			平均	28.4	73.7	35.3	15.1	19.7	17.7	190.0
4	弱	トイレ	最大	30.5	79.2	37.7	16.0	19.8	21.9	205.1
			平均	28.0	75.0	34.0	14.4	18.6	17.2	187.1
5	弱	浴室/洗面/トイレ	最大	48.0	119.6	56.1	31.1	35.6	55.4	345.8
			平均	32.8	83.8	39.4	18.7	24.1	19.6	218.5
6	弱	生活行動再現	最大	50.4	119.2	56.4	32.3	34.5	75.7	368.5
			平均	29.8	80.9	39.4	17.4	22.4	33.3	223.1
7	停止	生活行動再現	最大	31.0	71.5	22.4	22.7	19.0	68.8	235.5
			平均	10.5	19.8	6.6	5.2	4.5	27.4	74.0



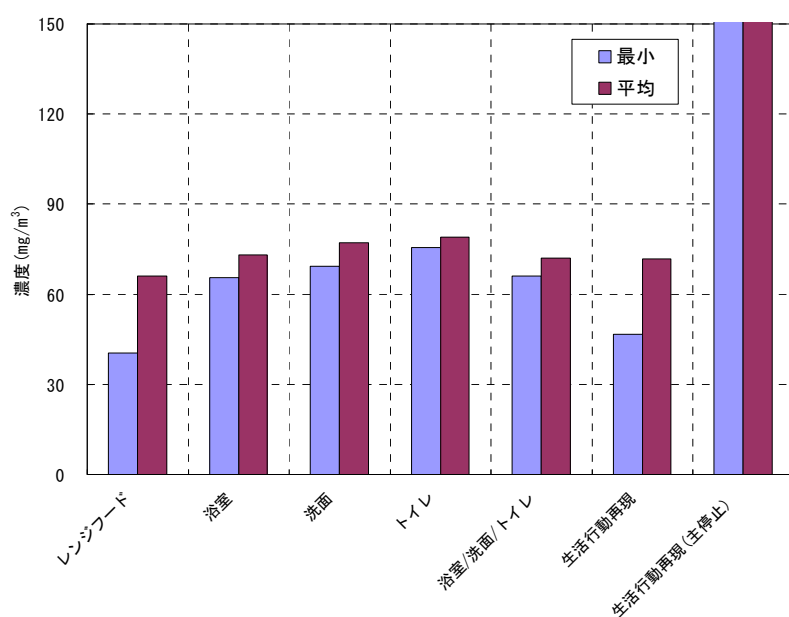
図Ⅲ-2-3-47 局所換気併用運転時のリビング平均換気量と最大換気量

局所換気併用運転時のリビング濃度測定結果を表Ⅲ-2-3-17に、またリビングの濃度比較を図Ⅲ-2-3-48に示す。実験条件1～6までは、第一種ダクト式換気システムが弱で連続運転しているため、リビング $N_2O$ 濃度の平均値はおおむね一定となっているが、第一種ダクト式換気システムを停止するとリビング濃度は大きくなる結果となった。

局所換気によりリビング濃度が大きく減少するのは、レンジフードであり、トイレはリビングの換気量増加にはほとんど寄与していない結果となった。生活行動再現実験は、複数の局所換気が断続的に運転されることから最小値はレンジフードの最小値と一致することが予想されたが、生活行動再現実験では比較的短時間でレンジフードの運転を停止するため、濃度の最小値が多少高くなっている。主換気を停止し、局所換気のみ運転すると、平均濃度は極端に大きくなった。

表Ⅲ-2-3-17 局所換気併用運転時の各部屋 N20 濃度

実験条件	主 第一種 ダクト	局所	リビング N <sub>2</sub> O 一定発生時の各部屋濃度 (mg/m <sup>3</sup> )						
				和室	リビング	主寝室	洋室 SE	洋室 NE	廊下納戸
	弱			41	79	12	23	16	31
1	弱	レンジ フード	最大	15	41	2	2	3	9
			平均	34	66	5	6	7	24
2	弱	浴室	最大	31	65	4	4	4	19
			平均	37	73	5	7	6	26
3	弱	洗面	最大	35	69	5	6	5	21
			平均	38	77	6	7	7	25
4	弱	トイレ	最大	38	76	6	6	6	24
			平均	39	79	7	8	9	26
5	弱	浴室/洗 面 /トイレ	最大	30	66	4	4	5	15
			平均	36	72	5	5	6	23
6	弱	生活行動 再現	最大	16	47	3	3	3	9
			平均	34	72	5	6	6	23
7	停止	生活行動 再現	最大	245	301	156	142	142	212
			平均	221	274	122	125	124	186



図Ⅲ-2-3-48 局所換気併用時のリビング N20 濃度

### 3-6 窓開けによるリビング濃度変化確認実験

#### 3-6-1 実験方法

機械換気運転とは異なり、窓開けにより直接外気を室内に取り込む生活行動も考えられる。冬季では比較的短時間の窓開けとなることから、窓開け時間を15分で一定とし、リビング南側掃き出し窓1箇所を開放した場合と、さらに南側掃き出し窓と北東側窓の2カ所を開放した場合の2条件を想定する。

窓開け実験の対象はリビングの南面及び東面の窓とした。

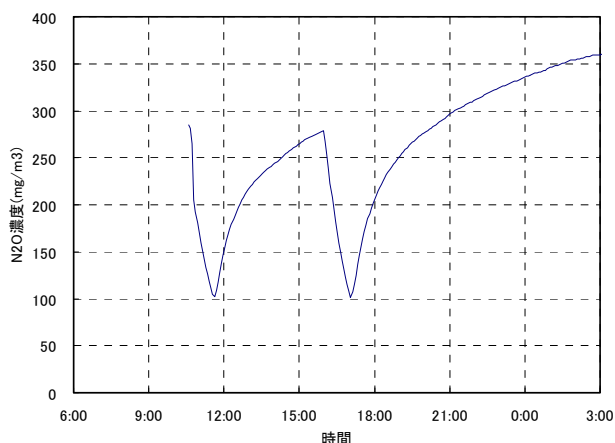
窓開け時間は、午前中11:30～11:45の15分間及び夕方17:00～17:15までの15分間の2回行った。また換気システムは第一種ダクト式換気及び局所換気とも停止状態での実験とした。リビングに一定発生法で $N_2O$ トレーサガスを発生し続け、窓開け実験期間中、 $SF_6$ トレーサガスを用いて一定濃度法により換気量測定も行った。

#### 3-6-2 窓開けによるリビング濃度実験結果

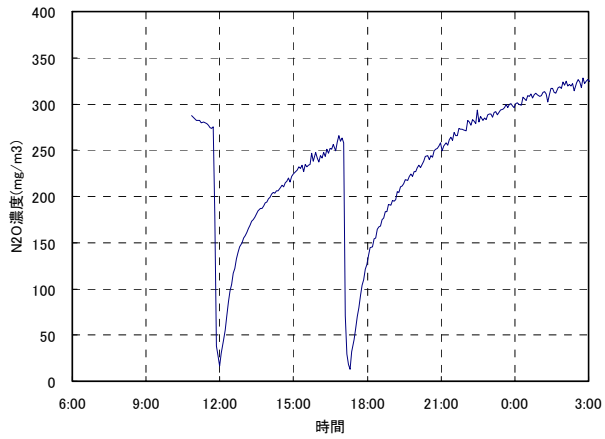
図Ⅲ-2-3-49に南側掃き出し窓のみ開放した一方向開放時のリビング濃度変化を、図Ⅲ-2-3-50に南側掃き出し窓と北東窓の二方向開放時のリビング濃度変化を示す。また図Ⅲ-2-3-51に時間軸をほぼ一致させた場合の窓開け条件ごとのリビング濃度比較を示す。

二方向窓開けでは、リビング濃度は一方向窓開けに比べ急激に低下することが確認できた。一定濃度法による換気量測定では、あまりに急激な濃度変化に発生が間に合わず、室内濃度が一定とならなかったが、一定発生法によるリビング濃度減衰を図Ⅲ-2-3-52に、換気量結果を表Ⅲ-2-3-18に示す。

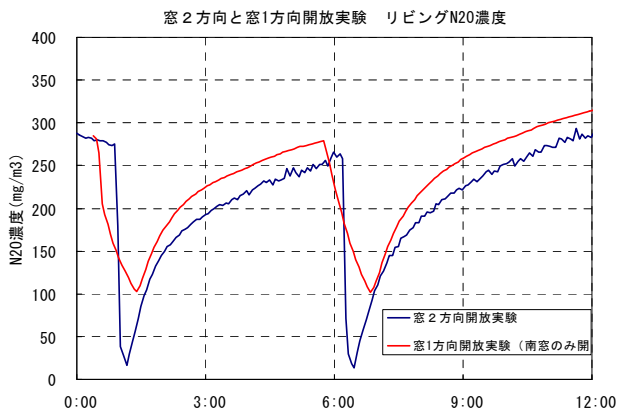
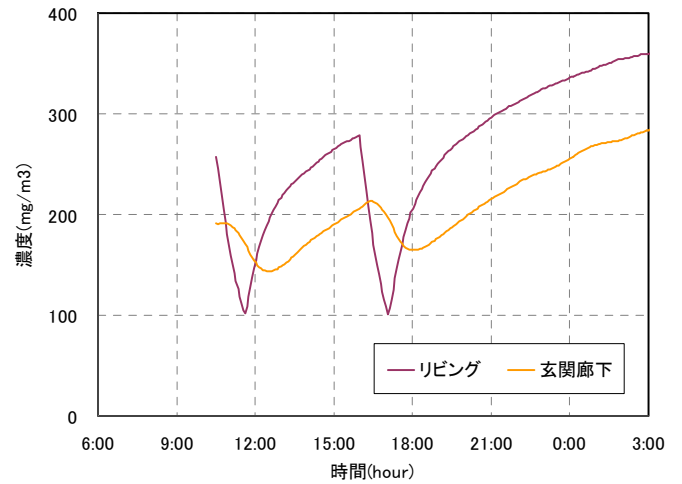
また南側掃き出し窓一方向開放の場合のリビング濃度・温度・電力量の関係を図Ⅲ-2-3-53に示す。



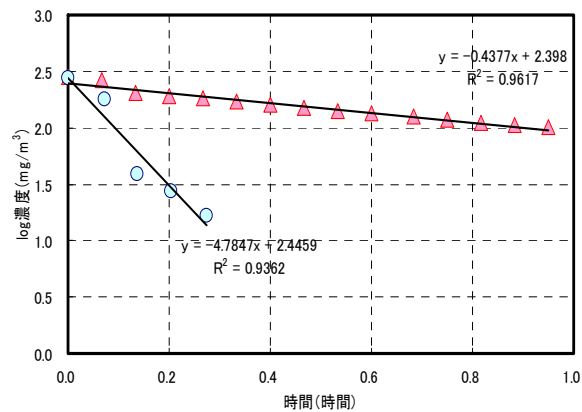
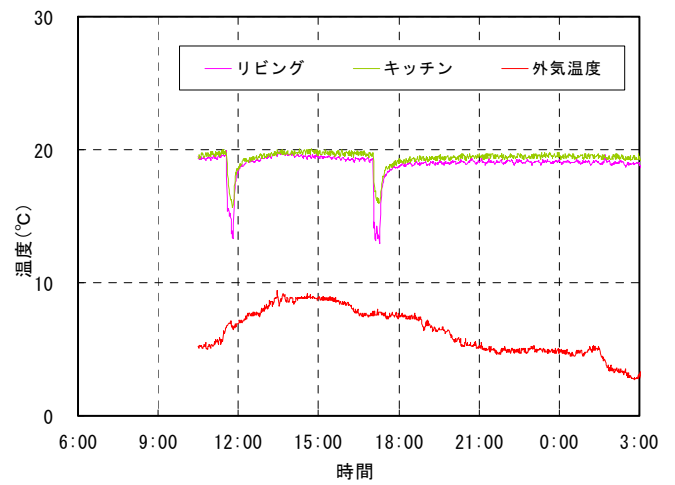
図Ⅲ-2-3-49 南側掃き出し窓 一方向開放時 リビング濃度変化



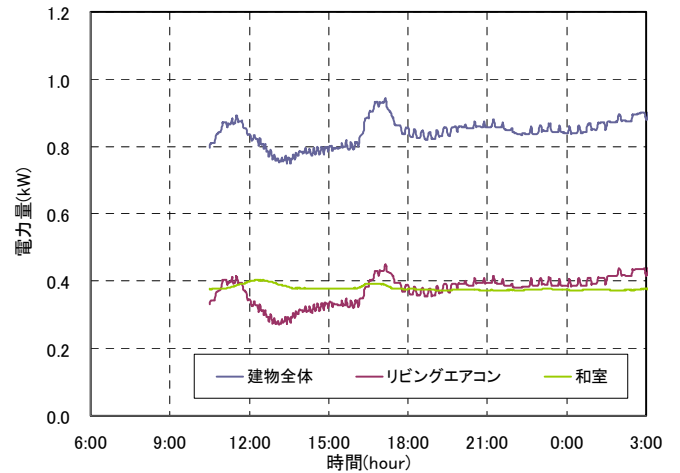
図Ⅲ-2-3-50 南側掃き出し窓+北東窓  
二方向開放時 リビング濃度変化



図Ⅲ-2-3-51 時間軸を一致させた場合  
の窓開放実験比較



図Ⅲ-2-3-52 リビング濃度減衰 対数  
濃度と時間の関係



図Ⅲ-2-3-53 南側掃き出し窓 一方向  
開放時 リビング濃度・温度・電力の関係

表Ⅲ-2-3-18 窓開けによる濃度減衰から求めた換気量

窓開け条件	傾き	換気回数
一方向	-0.4733	1.00
二方向	-4.7847	11.02

### 3-7 省エネルギー性を考慮したエアコン、換気システムの運転

#### 3-7-1 実験条件の設定

リビングでの快適な生活と省エネルギー性のバランスを検討するため、居住者のリビングでの生活時間を6:00～23:00の17時間と設定し、また汚染物質発生時間設定を10:00～18:00の8時間とした場合の、エアコン運転条件及び第一種ダクト式換気運転条件によりリビング室内濃度と消費電力を測定する。なお1実験は24時間を基本とする。表Ⅲ-2-3-19に実験条件一覧を示す。

表Ⅲ-2-3-19 省エネルギー性を考慮したエアコン、換気システムの運転条件

実験	エアコン運転	換気システム
1	24時間連続 暖房20℃設定	第一種ダクト式 弱 連続
2	5:00～23:00 まで18時間 暖房20℃設定	第一種ダクト式 弱 連続
3	5:00～10:00 18:00～23:00 10時間 暖房20℃設定	第一種ダクト式 弱 連続
4	5:00～10:00 18:00～23:00 10時間 暖房20℃設定	第一種ダクト式 弱 8:00～19:00 10時間運転
5	エアコン停止	第一種ダクト式 弱 8:00～19:00 10時間運転

備考 : 居住者のリビング生活時間は6:00～23:00の17時間

リビングでの汚染物質発生は昼間の10:00～18:00の8時間を想定

#### 3-7-2 測定項目

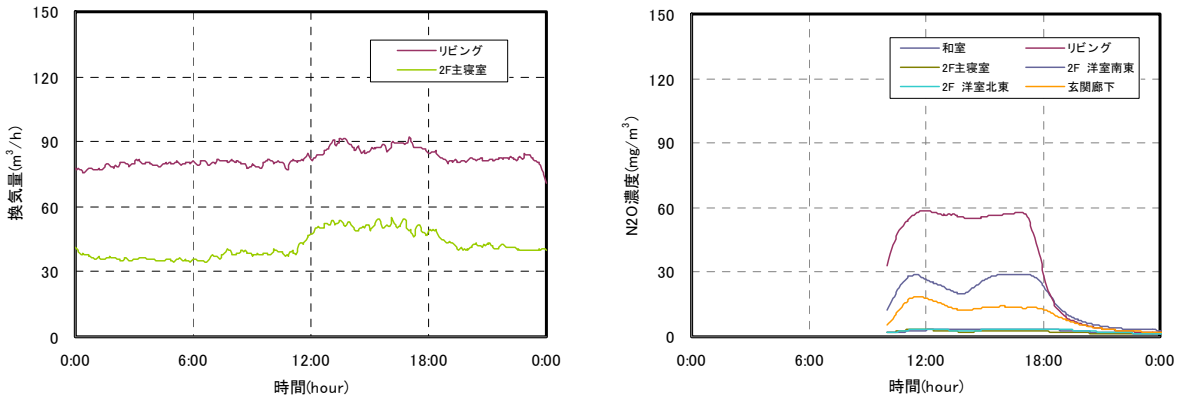
省エネルギー性を考慮したエアコン、換気システム運転実験では、以下の測定を連続して行った。

- ①一定濃度法による換気量測定
- ②各部屋の温湿度測定
- ③外気温湿度測定
- ④外部風速・風向
- ⑤リビング電力測定（エアコン含む）及び建物全体の電力測定

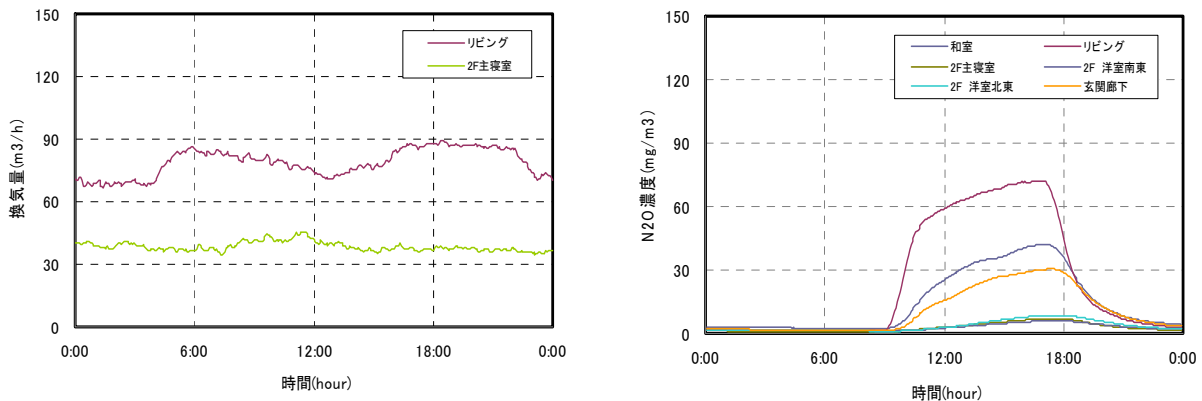
### 3-7-3 測定結果

#### 3-7-3-1 換気量とリビング濃度

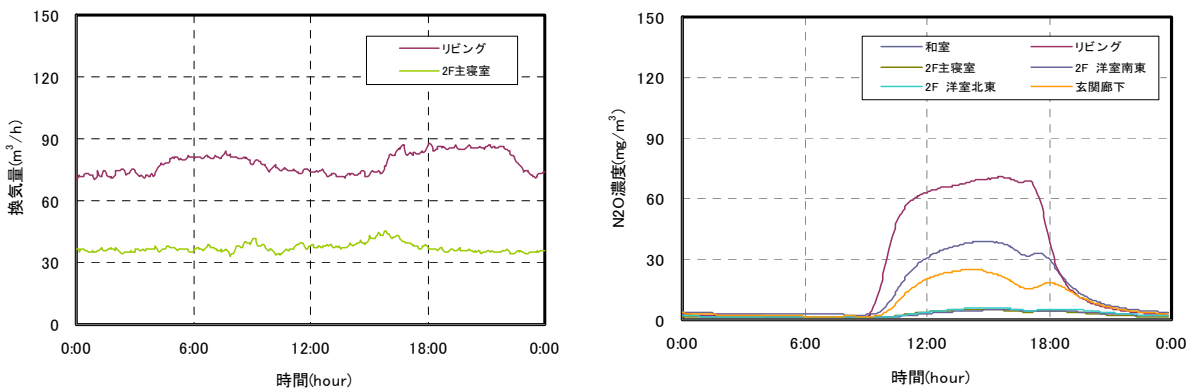
実験条件ごとの換気量測定結果を 図Ⅲ-2-3-54～図Ⅲ-2-3-58 に示す。換気システム連続運転では、室内濃度はおおむね一定で  $80(\text{mg}/\text{m}^3)$  の値を示している。汚染物質発生終了と同時に換気システムを停止する実験 4 では、リビング内に汚染物質が残留し、濃度低下が遅れる傾向が見られた。



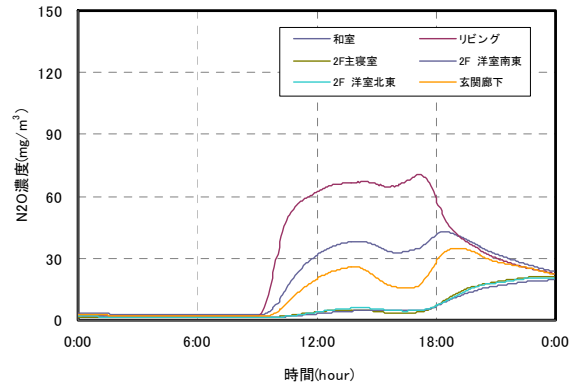
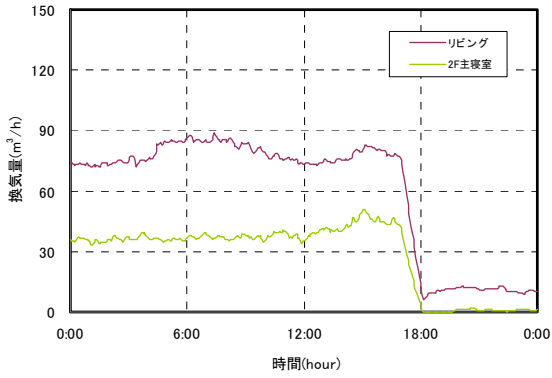
図Ⅲ-2-3-54 実験 1 (2回目) エアコン連続・換気システム連続運転



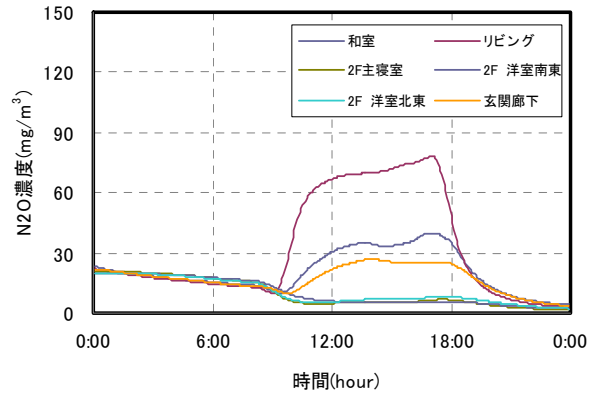
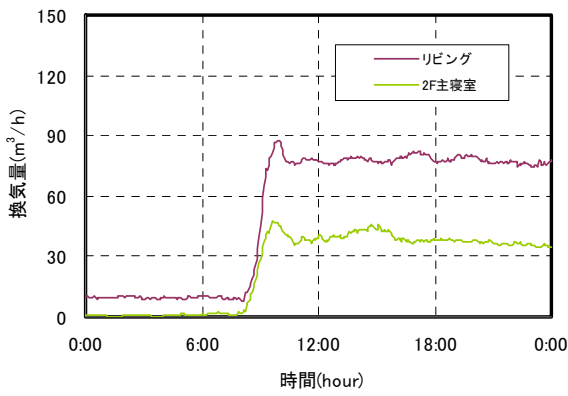
図Ⅲ-2-3-55 実験 2 (1回目) エアコン 18 時間・換気システム連続運転



図Ⅲ-2-3-56 実験 3 (1回目) エアコン 10 時間・換気システム連続運転



図Ⅲ-2-3-57 実験4 (1回目) エアコン10時間・換気システム10時間運転



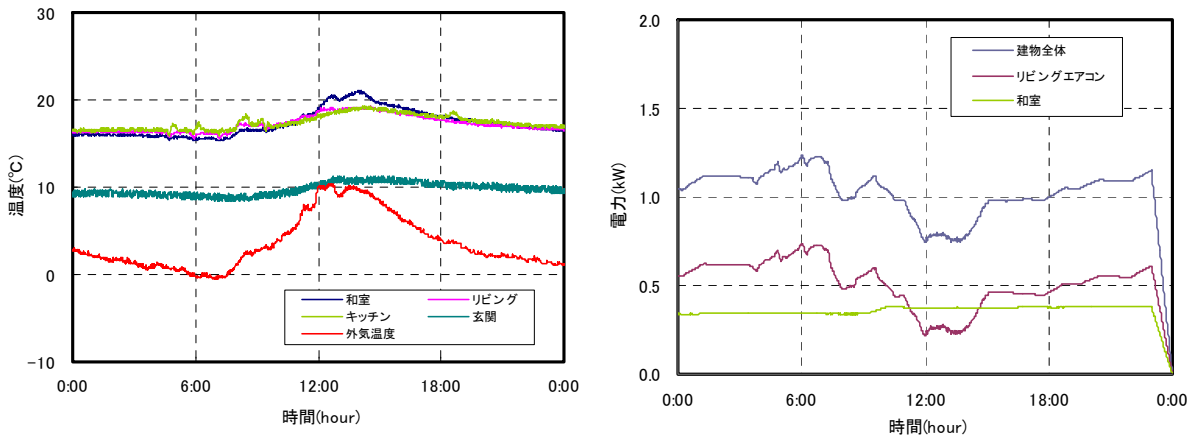
図Ⅲ-2-3-58 実験5 (1回目) エアコン停止・換気システム10時間運転



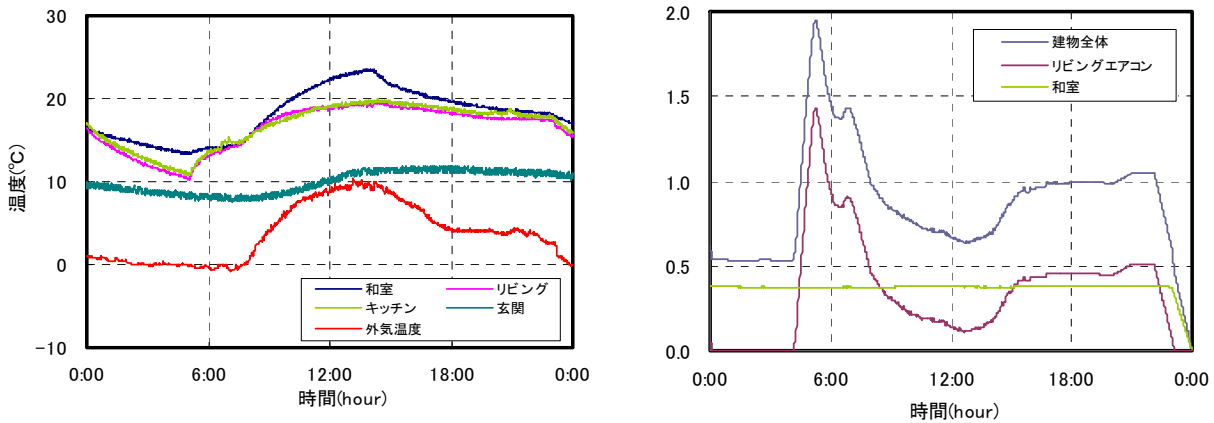
### 3-7-3-1 温度と消費電力

実験条件ごとの温度と電力の測定結果を

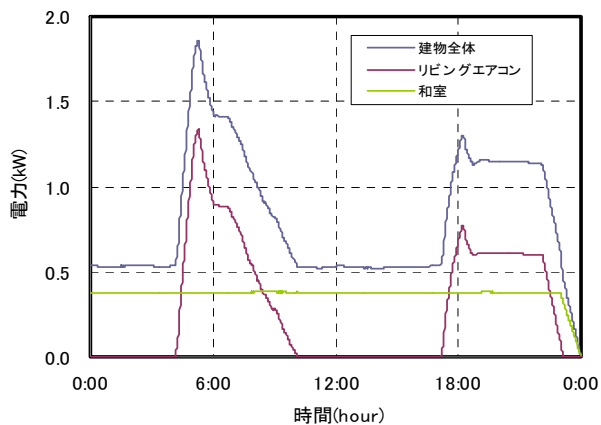
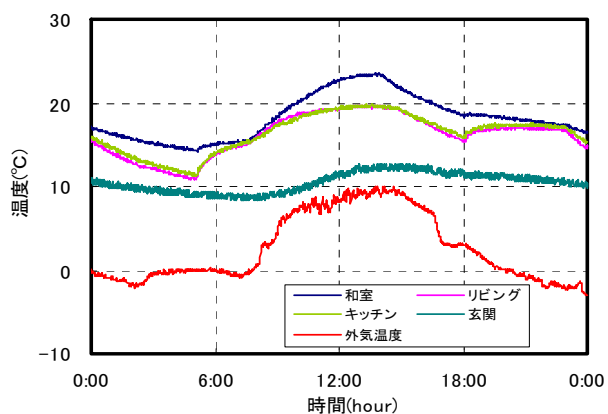
図Ⅲ-2-3-59～図Ⅲ-2-3-63 に示す。エアコン連続運転では、リビング温度は一定となり、消費電力もおおむね一定の値を示している。エアコンON-OFFで運転時間を変化させると、エアコン立ち上がりには大きな電力を消費する傾向が見られた。またエアコンOFFにより、リビング温度は 10℃程度まで低下する。エアコンを停止すると、電力消費は減少するが、室内温度は外気と近づく結果となった。



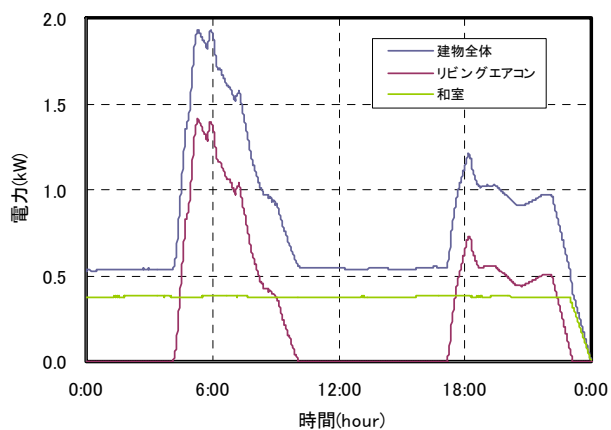
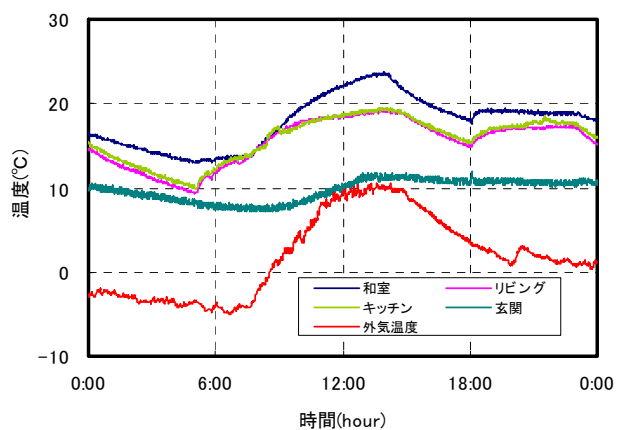
図Ⅲ-2-3-59 実験 1 (1回目) エアコン連続・換気システム連続運転



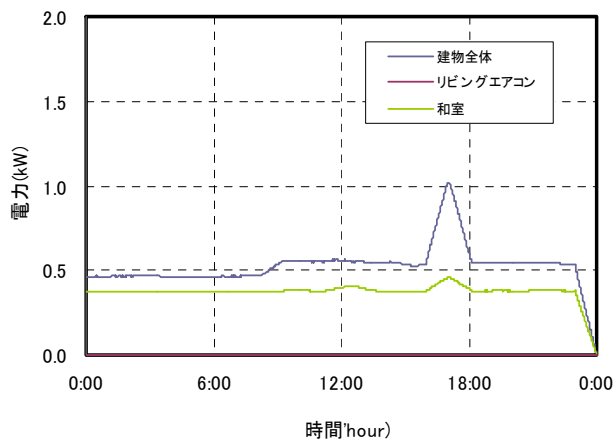
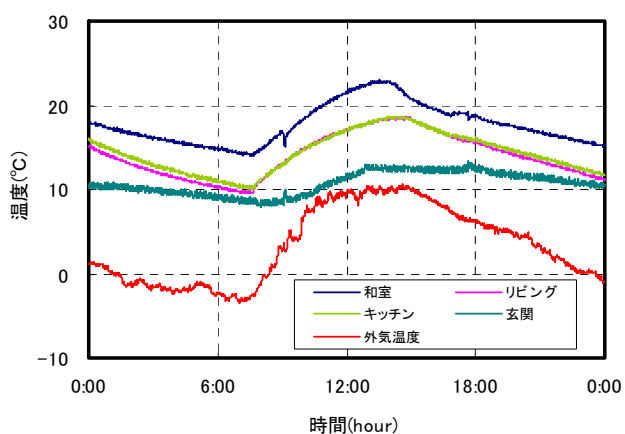
図Ⅲ-2-3-60 実験 2 (1回目) エアコン 18 時間・換気システム連続運転



図Ⅲ-2-3-61 実験3 (1回目) エアコン10時間・換気システム連続運転

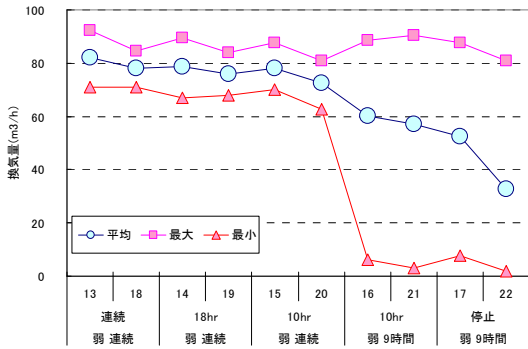


図Ⅲ-2-3-62 実験4 (1回目) エアコン10時間・換気システム10時間運転

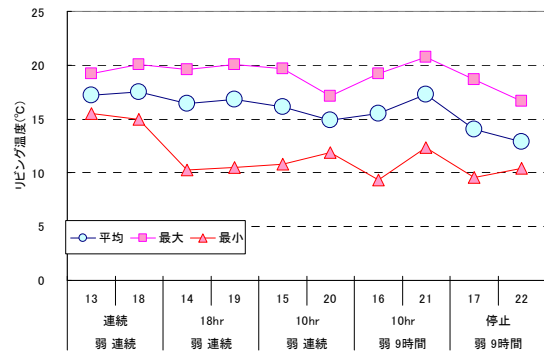


図Ⅲ-2-3-63 実験5 (1回目) エアコン停止・換気システム10時間運転

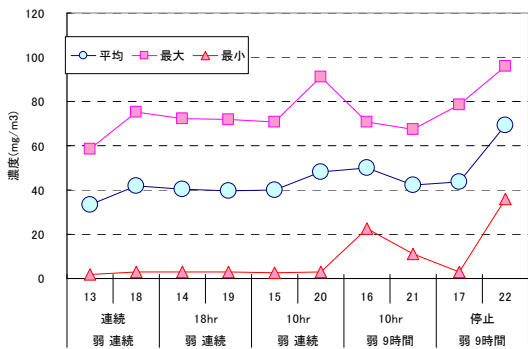
実験条件ごとの換気量の平均・最大・最小値比較を 図Ⅲ-2-3-64 に、リビング濃度の平均・最大・最小値比較を 図Ⅲ-2-3-65 に示す。またリビング換気量と濃度の関係を 図Ⅲ-2-3-66 に示す。換気システム連続運転と断続運転では実験期間内の換気量が異なるが、汚染物質を想定したガス発生時に換気システムを運転することを原則としていることから、リビング濃度は大きく上昇することはなかった。



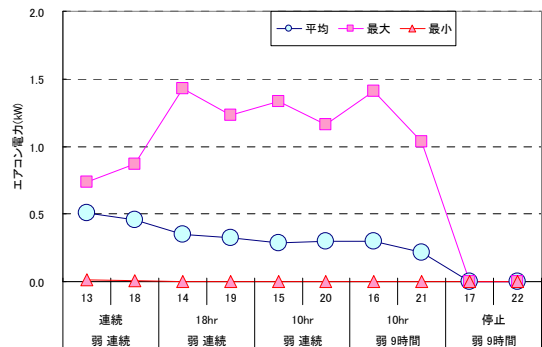
図Ⅲ-2-3-64 実験条件毎のリビング換気量比較



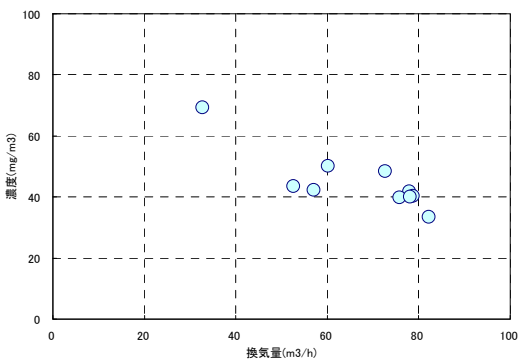
図Ⅲ-2-3-67 実験条件毎のリビング温度 平均・最大・最小値



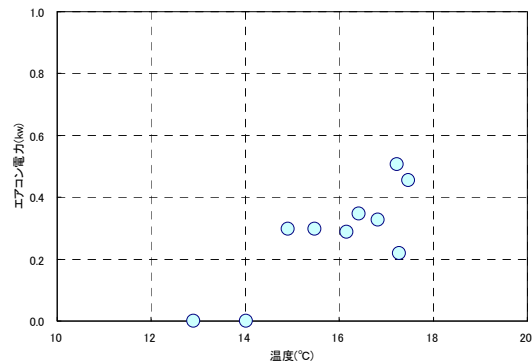
図Ⅲ-2-3-65 実験条件毎のリビング濃度比較



図Ⅲ-2-3-68 実験条件毎のリビングエアコン消費電力 平均・最大・最小値



図Ⅲ-2-3-66 リビング換気量と濃度の関係



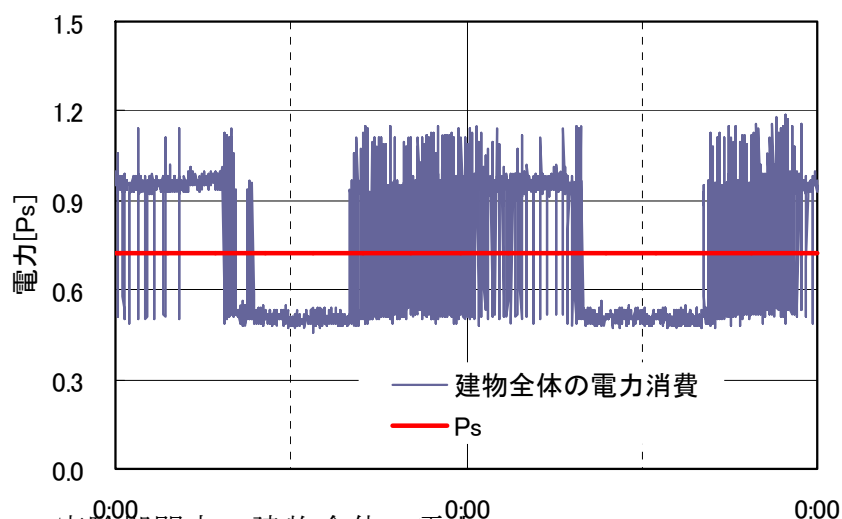
図Ⅲ-2-3-69 リビング温度とエアコン消費電力の関係

図Ⅲ-2-3-67 に実験条件毎のリビング温度を、図Ⅲ-2-3-68 にエアコン消費電力を示

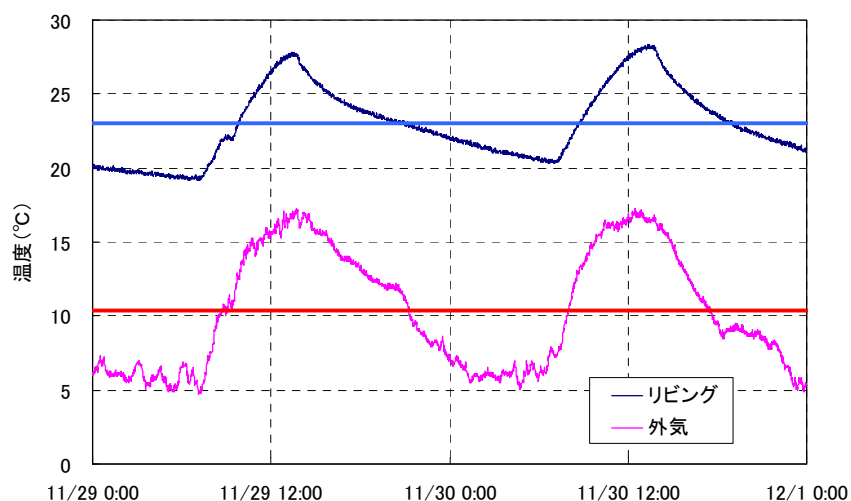
す。また 図Ⅲ-2-3-69 にリビング温度とエアコン消費電力の関係を示す。エアコン運転時間を短くすると、最低温度が低くなるが、この実験住宅の場合、エアコン停止状態で10℃程度であった。またエアコン消費電力の平均値はエアコン運転時間減少とともに低下するが、最大値は断続運転が大きな結果となった。断続運転するため、エアコン立ち上がり次に大きな電力を消費することが確認できた。リビング温度とエアコン消費電力は正の相関が見られた。リビング温度を高めるため、エアコンを運転するため、消費電力が大きな値となった。

### 3-7-4 省エネルギーの検討

第一種ダクト式換気システムを弱連続運転し、かつリビング 20℃暖房運転した際の実験期間内の建物全体の電力を 図Ⅲ-2-3-70 に示す。この実験は 11/29 0:00～11/30 24:00 に掛けて行われたもので、外気温の平均は、10.4℃であった。図Ⅲ-2-3-71 に実験期間内のリビング温度と外気温を示す。建物全体の平均電力を基準電力 $P_s$ とし、省エネルギー性を検討する。なお実験期間内平均電力は 0.73(kW)であり、その内訳を 表Ⅲ-2-3-20 に示す。



図Ⅲ-2-3-70 実験期間内の建物全体の電力  
(第一種ダクト式 弱連続運転、エアコン 20℃暖房設定)



図Ⅲ-2-3-71 実験期間内のリビング温度及び外気温

表Ⅲ-2-3-20 基準電力算出時の建物電力内訳

	電力 (kW)	比率 (%)
1F 和室の電灯・コンセント	0.37	50.9%
1F リビング エアコン	0.22	29.7%
1F 給気ファン	0.04	5.5%
1F 排気ファン	0.03	3.7%
1F 玄関・廊下の電灯・コンセント	0.02	3.1%
1F 食堂の電灯・コンセント	0.02	2.7%
2F 廊下・トイレの電灯・コンセント	0.02	2.7%
1F 電子レンジ用のコンセント	0.01	1.6%
建物全体の電力消費	0.73	100.0%

1階和室の電灯・コンセントが50%となっているのは、計測機器を和室に集中させているためである。計測機器は24時間安定作動していることから、電力0.37(kW)は一定となっている。

1F 給気ファン、排気ファンは、第一種ダクト式換気システムの給気側と排気側ファンの電力を示している。またその他の電力は、居室内トレーサーガス攪拌用ファンの消費電力となっている。攪拌ファンも24時間一定運転のため、電力は一定である。

基準電力  $P_s$  に対し、各実験で求めた建物全体の電力  $P$  の比率をエネルギーに関する指標とする。

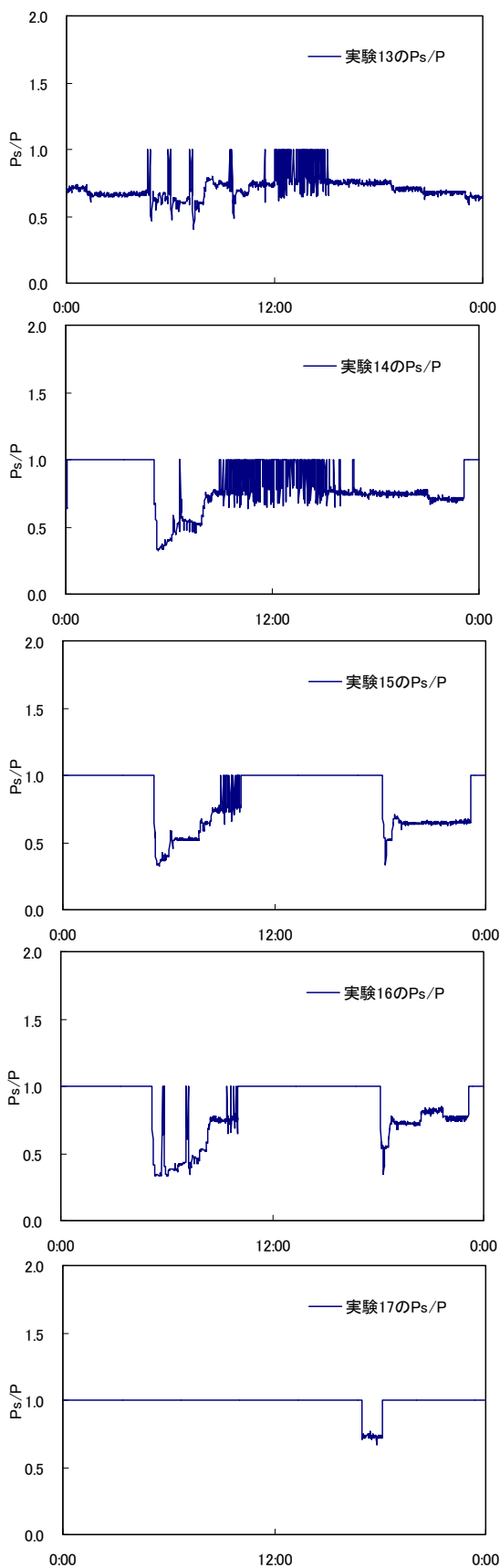
$$\text{エネルギー指標} = \frac{P_s}{P}$$

なお  $P_s > P$  の場合はエネルギー指標を1.0とした。

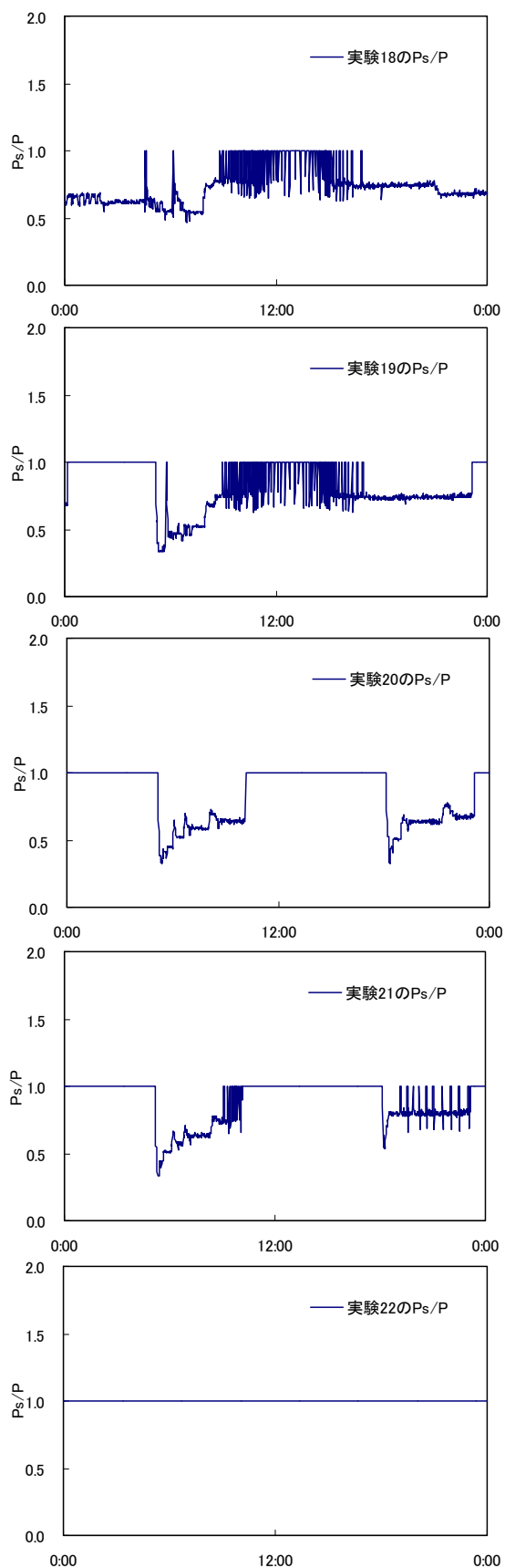
省エネルギー性を考慮した実験1～実験5までの結果（1回目、2回目）の電力に対する基準電力  $P_s$  の比率を 図Ⅲ-2-3-72、 図Ⅲ-2-3-73 に示す。なお通し実験番号としているため、実験13～実験17が実験1～実験5に対応する。また実験条件を表Ⅲ-2-3-21に示す。

表Ⅲ-2-3-21 省エネルギー性を考慮した実験1～実験5 概要

No.	実験	換気 設定条件	エアコン設定条件	N20 発生条件
13	省エネ 確認実験 1	弱・連続	暖房 20℃ 24hr 連続	8hr 発生 16hr 停止
14		弱・連続	暖房 20℃ 18hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
15		弱・連続	暖房 20℃ 10hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
16		弱・9時間運転	暖房 20℃ 10hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
17		弱・9時間運転	停止	8hr 発生 16hr 停止
18	省エネ 確認実験 1	弱・連続	暖房 20℃ 24hr 連続	8hr 発生 16hr 停止
19		弱・連続	暖房 20℃ 18hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
20		弱・連続	暖房 20℃ 10hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
21		弱・9時間運転	暖房 20℃ 10hr 運転	8hr 発生 16hr 停止
22		弱・9時間運転	停止	8hr 発生 16hr 停止



図Ⅲ-2-3-72 電力に対する基準電力  $P_s$  の比率(1回目 実験 13(1)～実験 17(5))

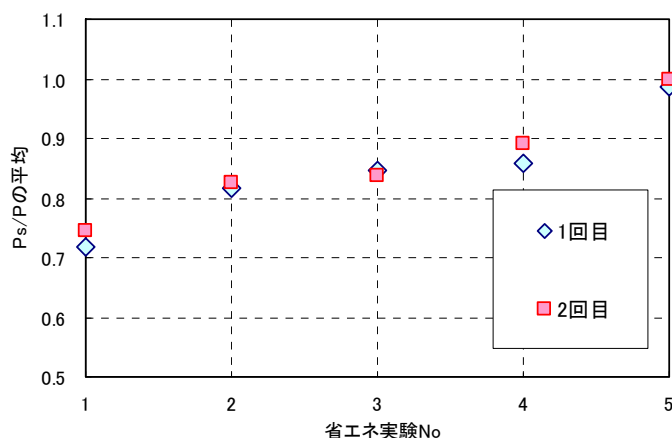


図Ⅲ-2-3-73 電力に対する基準電力  $P_s$  の比率(2回目 実験 18(1)～実験 22(5))

表Ⅲ-2-3-22、図Ⅲ-2-3-74に実験条件毎の $P_s/P$ 指標の比較を示す。実験番号が大きくなるにつれて、エネルギー指標 $P_s/P$ は1.0に近づく傾向を示している。

表Ⅲ-2-3-22 実験条件毎の省エネルギー指標  $P_s/P$  の平均、最大、最小、標準偏差

		電力 (kW)			
		平均	最大	最小	標準偏差
1回目	実験 13	0.72	1.00	0.41	0.10
	実験 14	0.82	1.00	0.33	0.18
	実験 15	0.85	1.00	0.32	0.20
	実験 16	0.86	1.00	0.33	0.20
	実験 17	0.99	1.00	0.67	0.06
2回目	実験 18	0.74	1.00	0.47	0.14
	実験 19	0.83	1.00	0.33	0.18
	実験 20	0.84	1.00	0.32	0.20
	実験 21	0.89	1.00	0.33	0.16
	実験 22	1.00	1.00	1.00	0.00



図Ⅲ-2-3-74 実験条件毎の  $P_s/P$  指標比較

### 3-8 まとめ

改良型換気量変動式換気システムを設置した実験住宅での換気量、濃度、温度、電力測定を行った結果、以下の結果を得た。

- (1) 第一種ダクト式換気システムを連続運転した状態で局所換気を併用すると、汚染物質発生室に設置されている局所換気の効果は見られる。しかし汚染室からの距離が遠くなる局所換気は、汚染室の濃度を大きく低下させる効果は見られなかった。
- (2) 窓開けにより換気量は増加し、室内汚染物質濃度は低下した。特に二方向窓開けを行い、通風が良くなることで、換気回数に換算すると10回を超える結果となった。ただし換気量増加に伴い、室内温度低下も大きく、また温度が急激に下がることで、その後のエアコン消費電力は急激に増大した。
- (3) 省エネルギーを考慮した実験において、省エネルギー指標  $P_s/P$  を用いることで、主エネルギー性を表すことが可能であることが示唆された。



## 4 住宅の多様性による空気環境とエネルギー消費削減効果への影響に関する検討（1）

### 4-1 概要

多数室系を対象とした換気シミュレーションにより、住宅の機械換気量を変動させたときの各室の空気質評価及び暖冷房消費エネルギーの変動について明らかにした。空気質はSRF等の評価指標を用いて検討した。暖冷房消費エネルギー計算については、本研究課題における実験・調査部分で整理された多様性因子に加え、特に暖冷房消費エネルギーに影響を与えると考えられる因子、例えば暖冷房パターン等についてもバリエーションを設けた。暖冷房消費エネルギーについては、具体的に暖冷房機器にルームエアコンディショナを想定し、暖冷房負荷に期間消費電力を計算するロジックを追加して計算した。暖冷房の設定温度等の暖冷房方法ごとに、換気量の増減が年間暖冷房負荷に与える影響について把握した。

### 4-2 検討対象住宅の概要

計算対象の住宅の概要及び平面図を示す。

#### 4-2-1 集合住宅

- ・建設地 : 茨城県つくば市
- ・構造 : RC造
- ・プラン : 自立循環型集合住宅実験棟、最上階妻側住戸（東側）、図Ⅲ-2-3-75参照

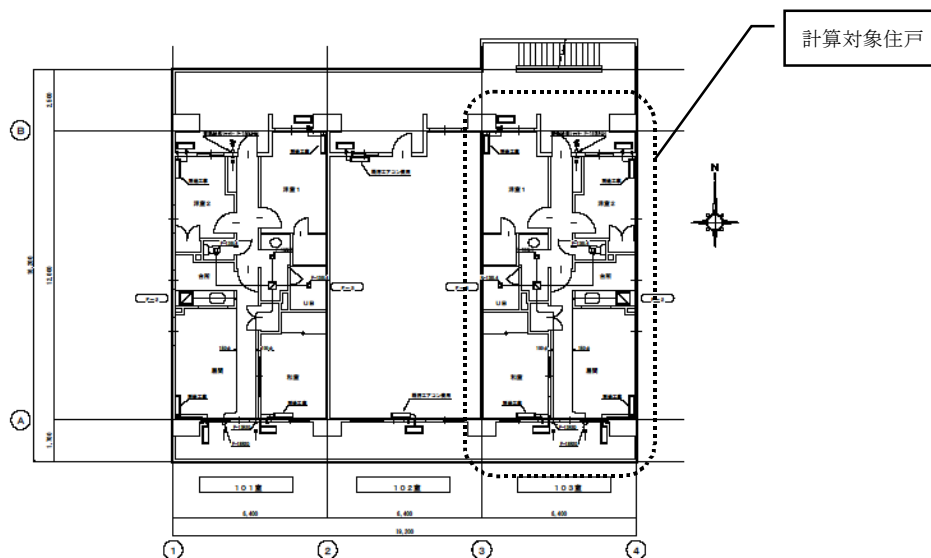
#### ・断熱仕様

屋根 : 外断熱、押出法ポリスチレンフォーム1種  $t = 70$

壁 : 内断熱、吹付け硬質ウレタンフォーム  $t = 35$

窓 : アルミサッシ、普通複層ガラス(空気層6mm)入り

玄関ドア : 金属製 ( $K = 4.65\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )



図Ⅲ-2-3-75 集合住宅の平面プラン

#### 4-2-2 戸建住宅

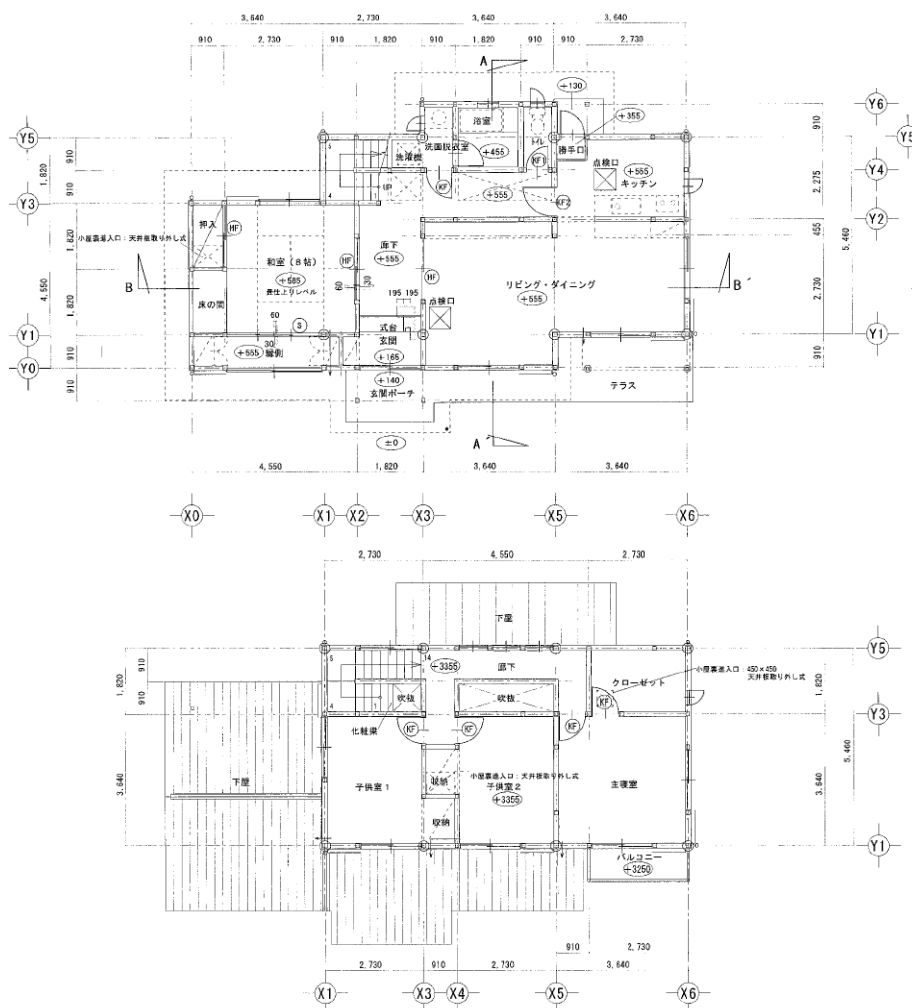
- ・ 建設地 : 茨城県つくば市
- ・ 構造 : 木造(在来軸組み)
- ・ プラン : 断熱改修実験棟、図Ⅲ-2-3-76 参照
- ・ 断熱仕様 : H4省エネ基準のR値基準に適合する厚さを5ミリ単位で設定。

天井 : 吹込用グラスウール GW-1 t=100 R=1.92 (基準 1.8 以上)

壁 : 住宅用グラスウール 10K t=60 R=1.2 (基準 1.2 以上)

窓 : アルミサッシ、単板ガラス入り

玄関ドア : 金属製引き違い戸 (K=6.51W/m<sup>2</sup> K)



図Ⅲ-2-3-76 戸建て住宅の平面プラン

#### 4-3 空気質評価

本研究課題で提案する、高感度濃度検出器により汚染物質濃度を検出し、動的に換気システム風量を制御するシステムでは、実際の住宅においては各室の換気量は外部風や内外温度差の影響を受けるため変動が生じる。本研究で提案するシステムでは、これらの影響による各室換気量及び濃度の変動に対応し安全側となるような制御を行う必要がある。

この章では、換気システム風量を制御した場合に、外部風・内外温度差の影響を受けて実際の室においてどのような汚染物質濃度環境が形成されるかに着目した。

まず、換気回路網計算プログラム VentSim を用いて室間の換気量計算を行い、その結果を用いて各室における汚染物質濃度、SRF（新鮮空気量充足度）を計算し、さらに住宅の居室全体における平均濃度・最大濃度・OSRF（SRF の累乗平均）を算出した。ここでは主に各条件における SRF 及び OSRF の結果について示す。

##### 4-3-1 換気回路網計算の概要

各室及び各開口部・換気システムの風量の計算には、換気回路網計算プログラム VentSim を使用した。

VentSim は、室を計算点（いわゆる節点（ノード））とし、室間の開口部・換気システムを通気抵抗をもつ回路とみなし、電気回路に模した回路網（換気回路網）を形成して全体の連立方程式を解くプログラムである。

換気の駆動力としては建物外皮に加わる外部風圧力、室間・室内外温度差による浮力、及び換気システムにより加えられる圧力を考慮できる。計算結果として、各換気部品を通過する風量、及びそれらを集計しての各室への流入・流出風量が得られる。

計算において着目した主なポイントは以下の 3 点である。

- ①外部風の風向・風速の変化が室の換気量に与える影響
- ②建物外皮の気密性能が室の換気量に与える影響
- ③換気システムの種類が室の換気量に与える影響

計算用の建物モデルとして、集合住宅（1 住戸）と戸建住宅それぞれ 1 つずつモデルを用意し、集合住宅モデルを用いて①③を、戸建住宅モデルを用いて②③を考慮した計算を行った。

## 4-3-2 集合住宅の計算条件

### 4-3-2-1 計算モデル

集合住宅の計算モデル(室分割)を右に示す。

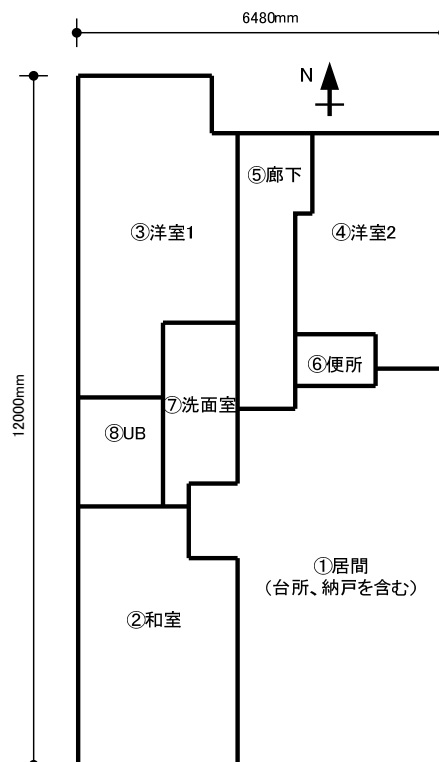
各室とも天井高は2400mmとした。

住戸全体の位置としては、東西は隣接住戸がある状況を想定して開口部無しとし、南北面にみに換気口等が設置されているものとした。

また、建物全体として0.5cm/m<sup>2</sup>の隙間が存在するものとし、玄関ドアがそのうち2.0cm<sup>2</sup>の隙間に相当すると想定して、残りの隙間を南北壁面に各面面積比率に応じて割り振った。

各室の床面積・容積、外皮面積、隙間面積等をまとめて以下に示す。

図Ⅲ-2-3-77 平面プラン



No.	室名	床面積 [m <sup>2</sup> ]	天井高 [m]	室容積 [m <sup>3</sup> ]	外皮面積 [m <sup>2</sup> ]	外皮隙間 面積[cm <sup>2</sup> ]	備考
1	居間	24.74	2.40	59.37	8.64	8.98	台所、納戸を含む
2	和室	11.85	2.40	28.45	6.72	6.98	押入れを含む
3	洋室1	13.51	2.40	32.43	9.12	9.48	WICを含む
4	洋室2	9.32	2.40	22.36	5.28	5.49	クローゼットを含む
5	廊下	5.36	2.40	12.86	3.31	3.44	
6	便所	1.26	2.40	3.02	0.00	0.00	
7	洗面室	3.62	2.40	8.68	0.00	0.00	PSを含む
8	UB	3.09	2.40	7.41	0.00	0.00	
合計		72.75		174.59	33.07	34.38	

外皮隙間面積は、総量を

$$72.75[\text{m}^2] \times 0.5[\text{cm}^2/\text{m}^2] - 2.0[\text{cm}^2] = 34.38[\text{cm}^2]$$

とし、これをNo.1~No.5の各室の外皮面積に応じて配分している。

また、これ以降で「居室」という場合はNo.1~No.4の「居間」「和室」「洋室1」「洋室2」を指すものとする。

4-3-2-2 隙間配置等の詳細

No.	位置概要	外皮隙間		ドア隙間		備考
		$\alpha A$ [cm <sup>2</sup> ]	n	$\alpha A$ [cm <sup>2</sup> ]	n	
1	居間外壁隙間	9.0	1.60			窓隙間を含む
2	和室外壁隙間	7.0	1.60			窓隙間を含む
3	洋室1外壁隙間	9.5	1.60			窓隙間を含む
4	洋室2外壁隙間	5.5	1.60			窓隙間を含む
5	玄関外壁隙間	3.4	1.60			ドア隙間を除く
6	玄関ドア			2.0	1.00	
7	居間入口ドア			100.0	1.87	
8	和室入口襖			100.0	1.87	
9	洋室1入口ドア			100.0	1.87	
10	洋室2入口ドア			100.0	1.87	
11	便所入口ドア			100.0	1.87	第三種計算で考慮
12	洗面室入口ドア			100.0	1.87	第三種計算で考慮
13	浴室入口ドア			100.0	1.87	第三種計算で考慮
14	居間レジスタ			10.0	2.00	第三種計算で考慮
15	和室レジスタ			10.0	2.00	第三種計算で考慮
16	洋室1レジスタ			10.0	2.00	第三種計算で考慮
17	洋室2レジスタ			10.0	2.00	第三種計算で考慮

No. 14～No. 17 のレジスタは、第三種換気の計算時に考慮する。

$\alpha A$  は、隙間を

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

で表現する場合の値（ただし式中での  $\alpha A$  の単位は [m<sup>2</sup>]）であるが、今回の計算では指数部分を  $n \neq 2$  とするため次式

$$Q = A' (\Delta P)^{1/n} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

を用いる（ $\Delta P$  の単位は [mmAq]）。そのため、計算にあたっては

$$A' = 1.452 \alpha A$$

という換算を行う。

4-3-2-3 計算パラメータ（変化させる条件）

変化させる条件は以下のとおりである。

① 気システム風量

換気システムの風量は、右に示す 6 とおりで変化させる。

No.	換気回数 [回/h]	風量 [m <sup>3</sup> /h]
1	0.3	54.0
2	0.4	72.0
3	0.5	90.0
4	0.6	108.0
5	0.7	126.0
6	1.0	180.0

値は、室容積の和  $174.59\text{m}^3 \times 0.5 \div 90 \text{ m}^3/\text{h}$  を基準として設定している。

②風圧係数

以下に示す9とおりで変化させる。

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
風向	北	北	北	北	無風	南	南	南	南
風圧係数(南面)	-1.692	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174	0.489	0.974	1.000
風圧係数(北面)	1.000	0.973	0.508	0.217	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.237

②換気システム種類（給気及び排気を行う空間）

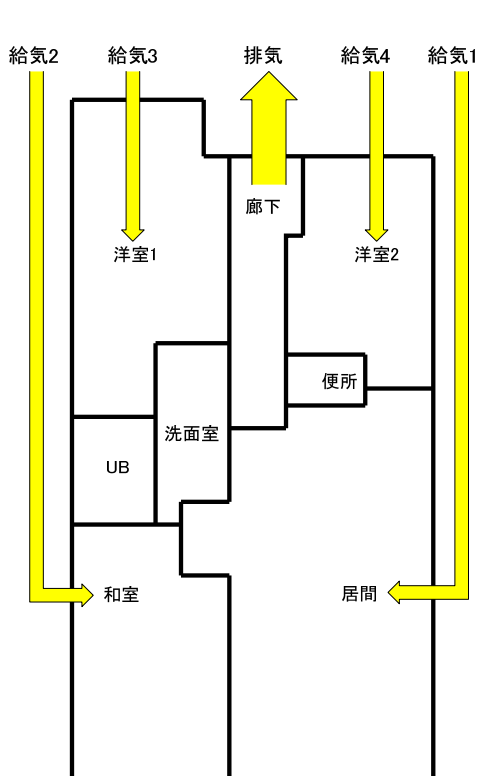
第一種及び第三種の2とおりとし、それぞれ以下のように設定した。

■全館空調換気（第一種）

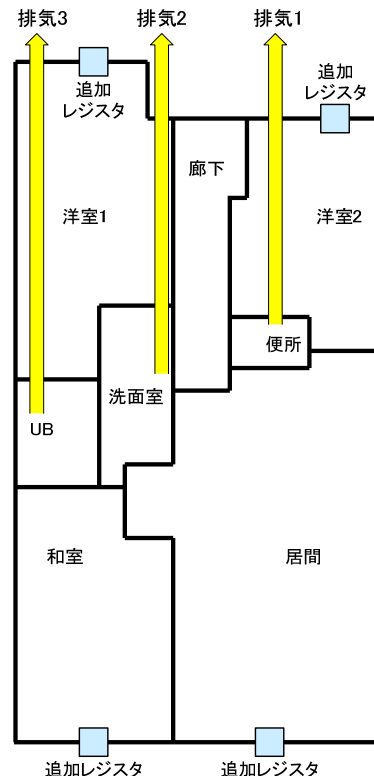
- ・各居室に設定風量の1/4ずつを給気
- ・廊下から設定風量の100%を排気
- ・給気口・排気口とも北面にあるものとする
- ・ダクトによる抵抗は考慮しない
- ・便所・洗面室・UBは空気の入口が一つしか無いいため、換気回路網計算では換気経路から外れる

■サニタリー換気（第三種）

- ・便所・洗面室・UBから設定風量の1/3ずつを排気
- ・排気口は北面にあるものとする
- ・ダクトによる抵抗は考慮しない
- ・各居室の外皮に $\alpha A=10\text{cm}^2$ 、 $n=2.0$ のレジスタを追加する



全館空調換気（第一種）



サニタリー換気（第三種）

#### 4-3-2-4 計算結果

汚染物質濃度の計算に関しては、各室の換気量に加え、各室における汚染物質発生量や吸着量などの設定が必要になる。ここでは汚染物質の発生量に大・中・小の3レベル、さらにそれぞれに壁面等における吸着の有無を想定し、計6ケースの汚染物質発生・吸着に関する状況を想定した。

次ページ以降にその計算結果を示す。グラフの横軸は南北圧力差を示し、風圧係数の設定 (No. 1~No. 9) に対応している (原点左側が北風、右側が南風、それぞれ原点から離れるほど強風を示す)。

#### ① 第一種

##### ■ OSRF

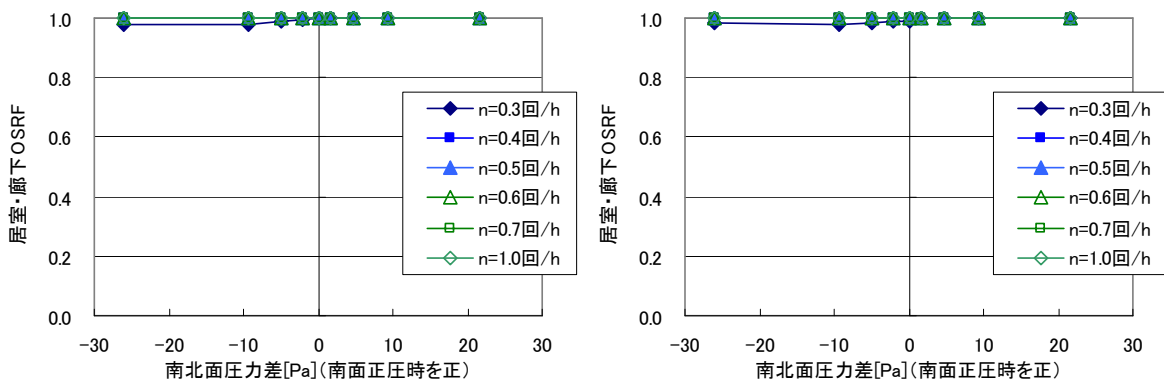


図 III-2-3-78 OSRF (発生量：小、左：吸着無し、右：吸着有り)

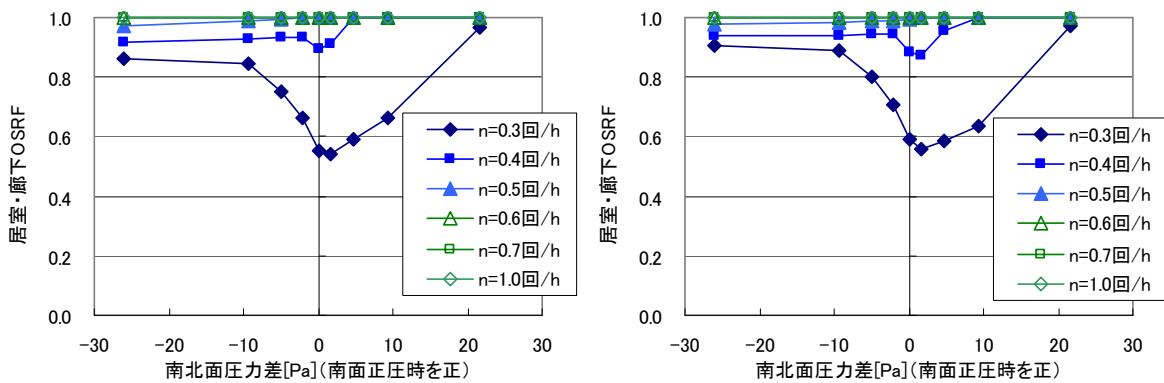


図 III-2-3-79 OSRF (発生量：中、左：吸着無し、右：吸着有り)

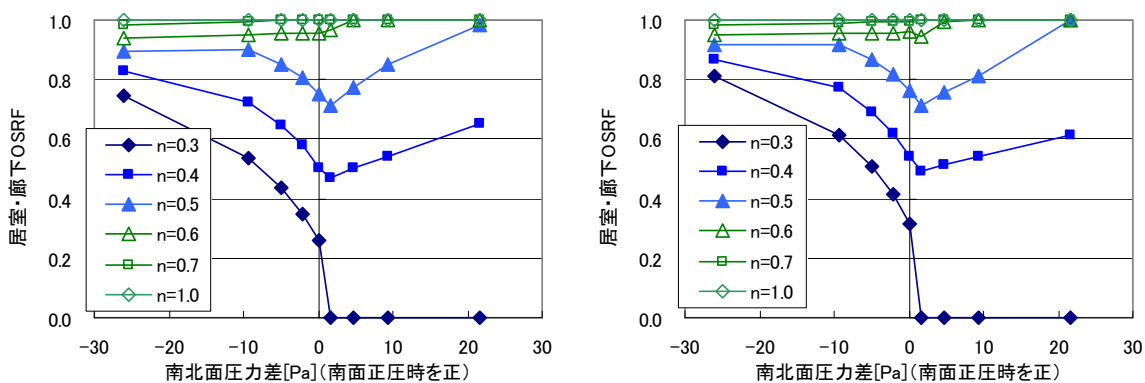


図 III-2-3-80 OSRF (発生量：大、左：吸着無し、右：吸着有り)

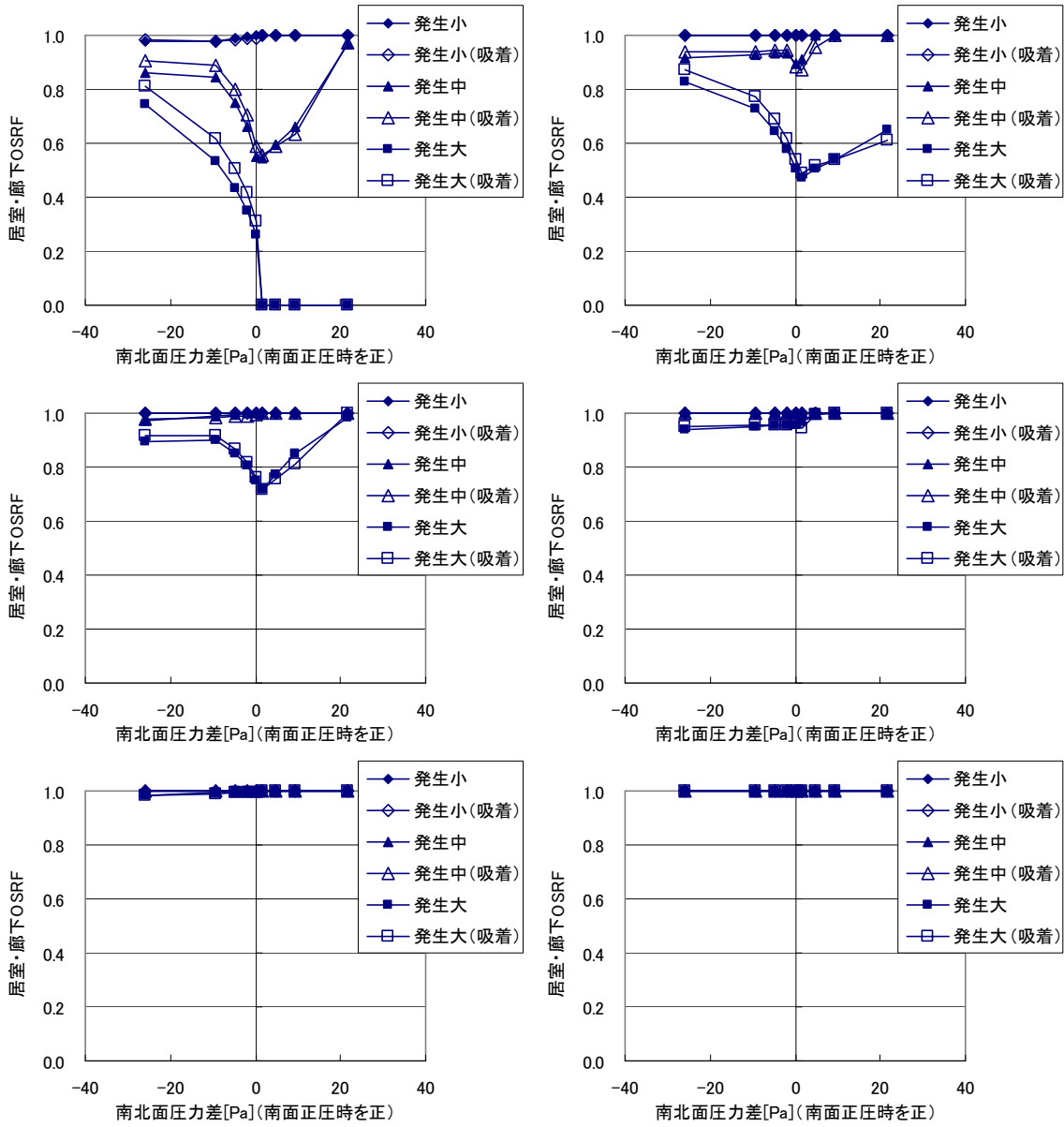


図 III-2-3-81 OSRF (発生量・吸着による比較。左上：0.3回、右上：0.4回、右下：1.0回)



② 第三種

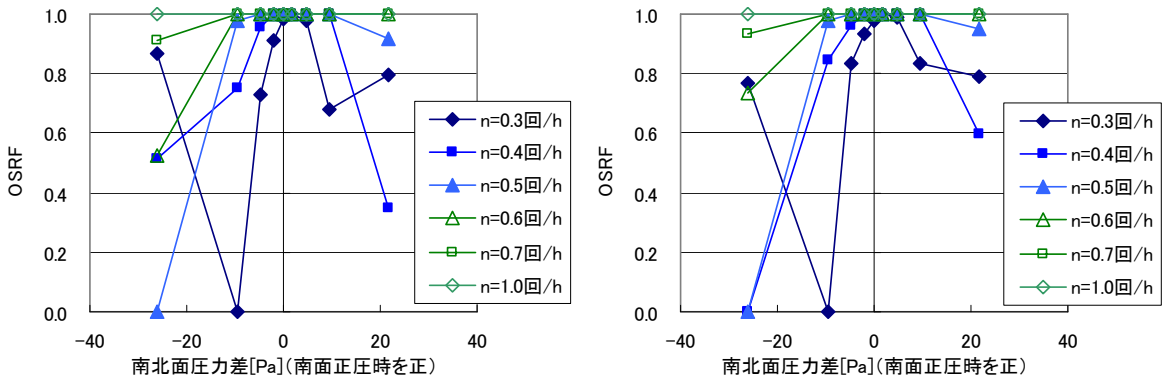


図 III-2-3-82 OSRF (発生量：小、左：吸着無し、右：吸着有り)

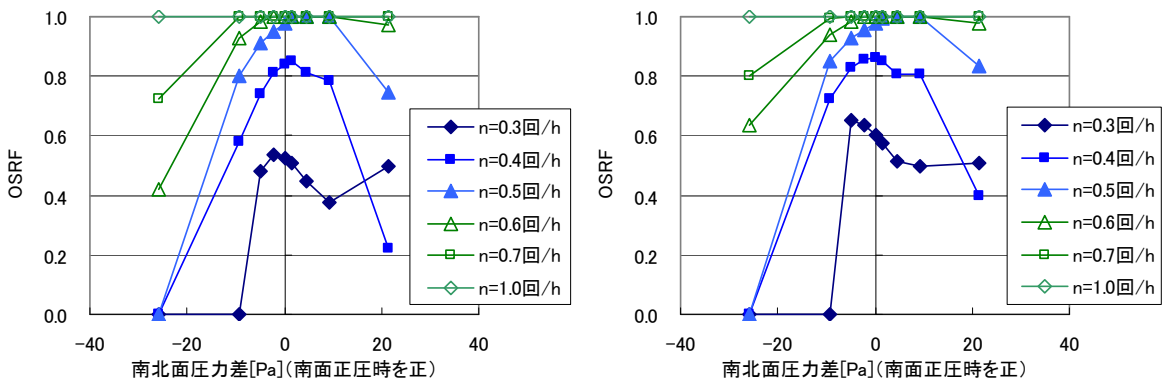


図 III-2-3-83 OSRF (発生量：中、左：吸着無し、右：吸着有り)

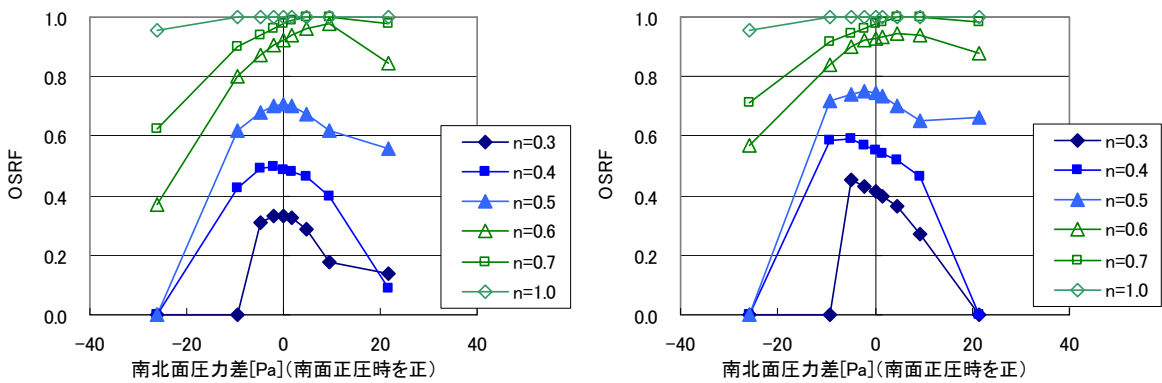
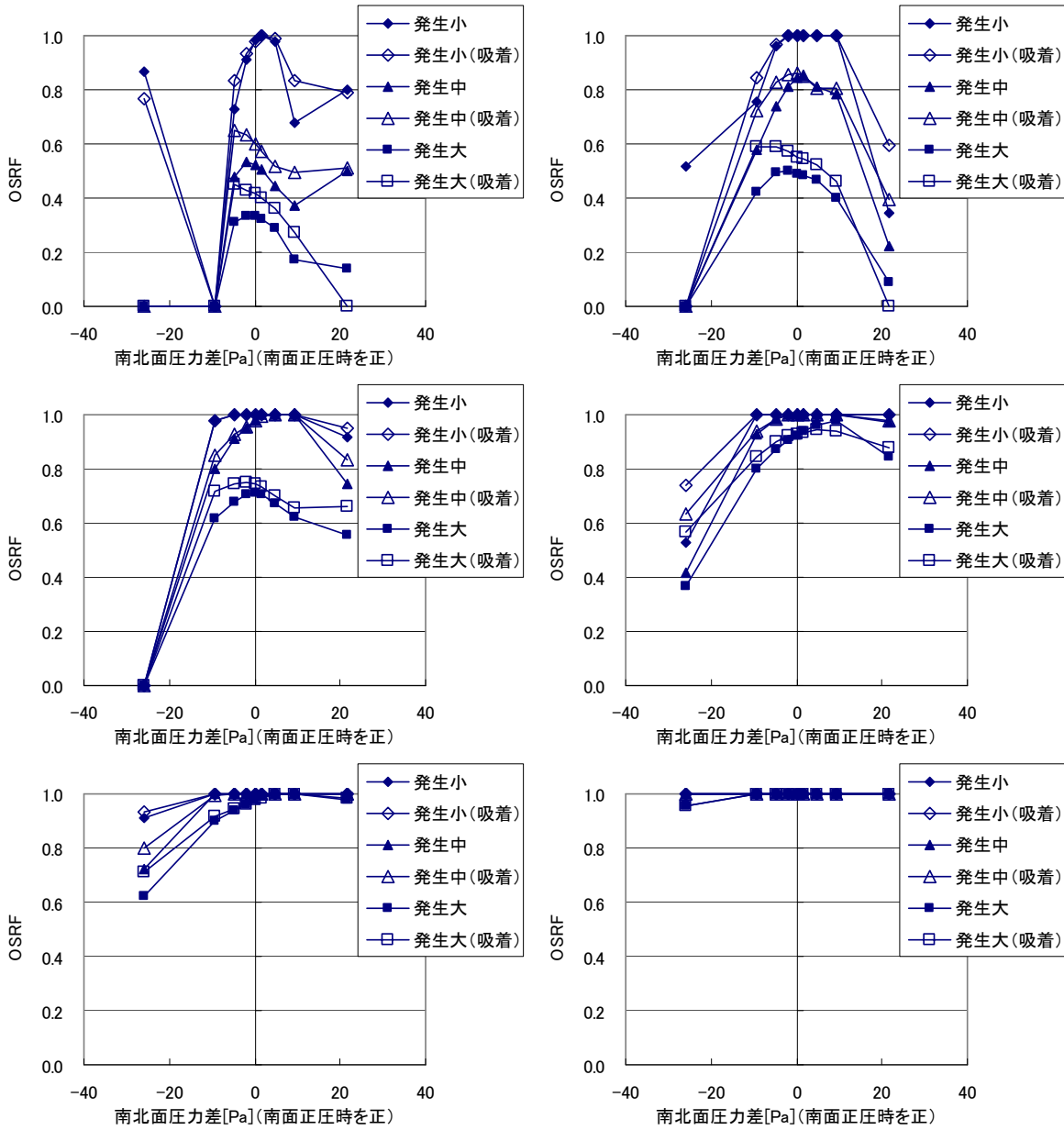


図 III-2-3-84 OSRF (発生量：大、左：吸着無し、右：吸着有り)

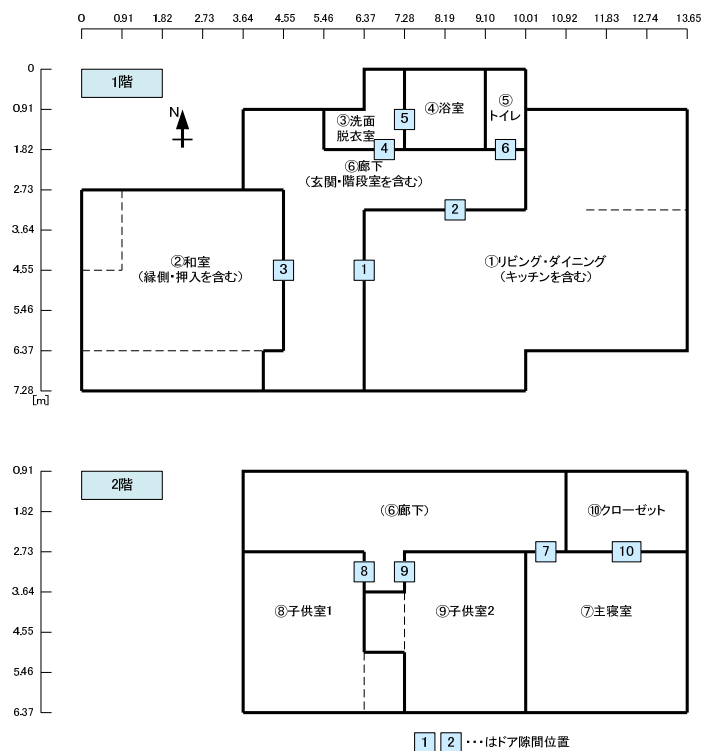


図Ⅲ-2-3-85 OSRF (第三種、発生量・吸着比較。左上：0.3回、右上：0.4回、右下：1.0回)

### 4-3-3 戸建住宅の計算条件

#### 4-3-3-1 計算モデル

戸建住宅の計算モデル（室分割）及び建具等の配置状況を以下に示す。



図Ⅲ-2-3-86 戸建て住宅平面プラン

#### 4-3-3-2 隙間配置等の詳細

各室の床面積・容積、外皮面積、隙間面積等をまとめて以下に示す。

No.	室名	床面積 [m <sup>2</sup> ]	天井高 [m]	室容積 [m <sup>3</sup> ]	外皮面積 [m <sup>2</sup> ]	備考
1	リビング・ダイニング	34.78	2.40	83.47	41.50	キッチンを含む
2	和室	20.29	2.40	48.69	29.48	押入、縁側を含む
3	洗面脱衣室	2.48	2.40	5.96	6.55	
4	浴室	3.31	2.40	7.95	4.37	
5	トイレ	1.66	2.40	3.97	4.37	
6	廊下(1F部分)	17.80	2.40	42.73	14.20	玄関・階段室を含む
	廊下(2F部分)	14.08	2.40	33.79	21.84	
7	主寝室	13.25	2.40	31.80	17.47	
8	子供室1	11.18	2.40	26.83	6.55	
9	子供室2	11.18	2.40	26.83	17.47	
10	クローゼット	4.97	2.40	11.92	10.92	
合計		134.98		323.95	174.72	

室内建具による隙間を以下のように設定した。

No.	位置概要	接続	ドア隙間	
			$\alpha A[\text{cm}^2]$	n
1	リビング・ダイニング入口ドア(1)	リビング・ダイニング⇔廊下	100.0	1.87
2	リビング・ダイニング入口ドア(2)	リビング・ダイニング⇔廊下	100.0	1.87
3	和室ふすま	和室⇔廊下	200.0	1.87
4	洗面脱衣室入口ドア	洗面脱衣室⇔廊下	100.0	1.87
5	浴室入口ドア	浴室⇔洗面脱衣室	100.0	1.87
6	トイレ入口ドア	トイレ⇔廊下	100.0	1.87
7	主寝室入口ドア	主寝室⇔廊下	100.0	1.87
8	子供室1入口ドア	子供室1⇔廊下	100.0	1.87
9	子供室2入口ドア	子供室2⇔廊下	100.0	1.87
10	クローゼット入口ドア	クローゼット⇔主寝室	100.0	1.87

集合住宅の計算と同様、

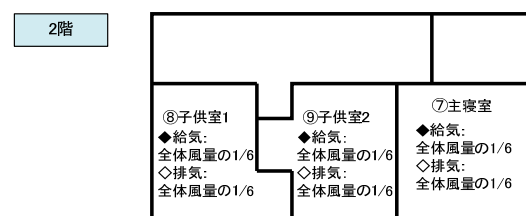
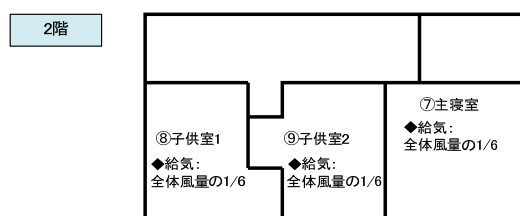
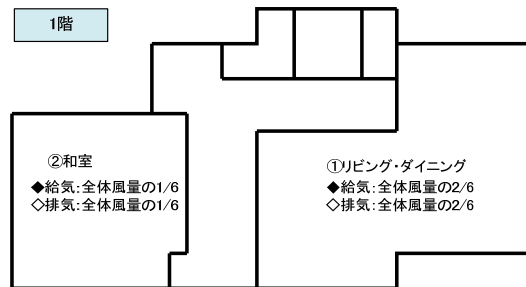
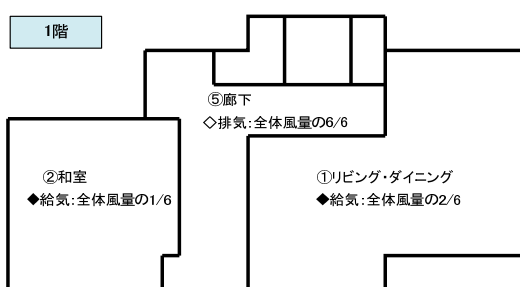
$$Q = A'(\Delta P)^{1/1.87} [\text{m}^3/\text{h}]$$

で計算するため (n=1.87)、集合住宅と同様  $A'=1.452\alpha A$  の換算を行う。

なお、戸建住宅の計算ではすべての壁面の風圧係数をゼロとする。

#### 4-3-3-3 計算パラメータ (変化させる条件)

①「 気システム種類 (給気及び排気を行う空間) : 以下に示す 2 とおりとした  
 No.1 : 全館空調換気 (第一種)    No.2 : 個別空調換気 (各居室で第一種換気)



※給排気高さは各室天井高さ(廊下は1階天井高さ)とする

※給排気高さは各室床上1.6mとする

②換気システム風量：右に示す6とおり

No.	換気回数 [回/h]	風量 [m <sup>3</sup> /h]
1	0.3	96.0
2	0.4	128.0
3	0.5	160.0
4	0.6	192.0
5	0.7	224.0
6	1.0	320.0

※室容積の和 323.95m<sup>3</sup>×0.5≒160 m<sup>3</sup>/h を基準とし、  
他は換気回数の比に応じて設定

③外皮隙間量：以下に示す4とおり

隙間No.	室名	外皮隙間							
		No.1 C=0.50		No.2 C=1.00		No.3 C=2.00		No.4 C=5.00	
		αA [cm <sup>2</sup> ]	隙間A' 換算値	αA [cm <sup>2</sup> ]	隙間A' 換算値	αA [cm <sup>2</sup> ]	隙間A' 換算値	αA [cm <sup>2</sup> ]	隙間A' 換算値
1~5	リビング・ダイニング	16.03	4.65	32.06	9.31	64.12	18.62	160.29	46.55
6~10	和室	11.39	3.31	22.78	6.61	45.56	13.23	113.89	33.07
11~15	洗面脱衣室	2.53	0.73	5.06	1.47	10.12	2.94	25.30	7.35
16~20	浴室	1.69	0.49	3.37	0.98	6.75	1.96	16.87	4.90
21~25	トイレ	1.69	0.49	3.37	0.98	6.75	1.96	16.87	4.90
26~30	廊下(1F部分)	5.48	1.59	10.97	3.18	21.93	6.37	54.84	15.92
31~35	廊下(2F部分)	8.44	2.45	16.87	4.90	33.75	9.80	84.36	24.50
36~40	主寝室	6.75	1.96	13.50	3.92	27.00	7.84	67.49	19.60
41~45	子供室1	2.53	0.73	5.06	1.47	10.12	2.94	25.31	7.35
46~50	子供室2	6.75	1.96	13.50	3.92	27.00	7.84	67.49	19.60
51~55	クローゼット	4.22	1.22	8.44	2.45	16.87	4.90	42.18	12.25
合計[cm <sup>2</sup> ]		67.49		134.98		269.96		674.90	

※延床面積は 134.98m<sup>2</sup>

※外装ドアの隙間を含んだ値とみなす

④内外温度差：以下に示す4とおり

No.	室内空気温度
1	外気温に等しい
2	外気温+5℃
3	外気温+10℃
4	外気温+20℃

ただし、個別空調換気の場合は No.1 の条件は省略した。この場合、各居室はファンによる給気と排気で換気が完結し、室間の換気量は(計算上)ゼロとなる。

#### 4-3-3-4 計算結果

汚染物質濃度の計算に関しては、集合住宅の計算と同様に発生量大・中・小、それぞれ吸着の有無で計6ケースを設定した。

#### ■ OSRF

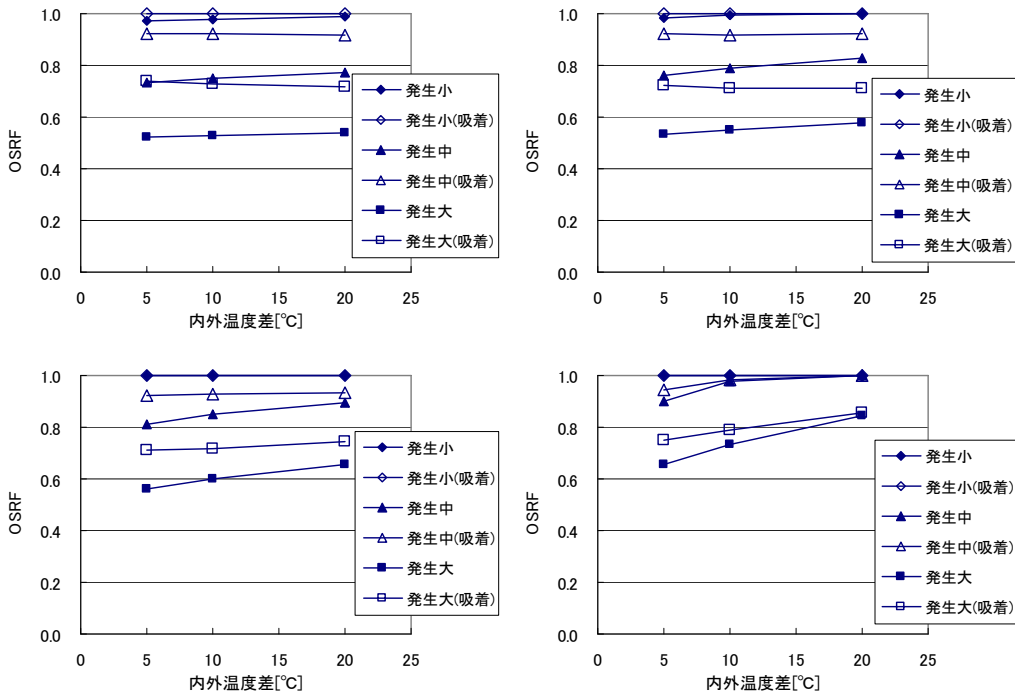


図 III-2-3-87 OSRF (換気回数 0.3 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)

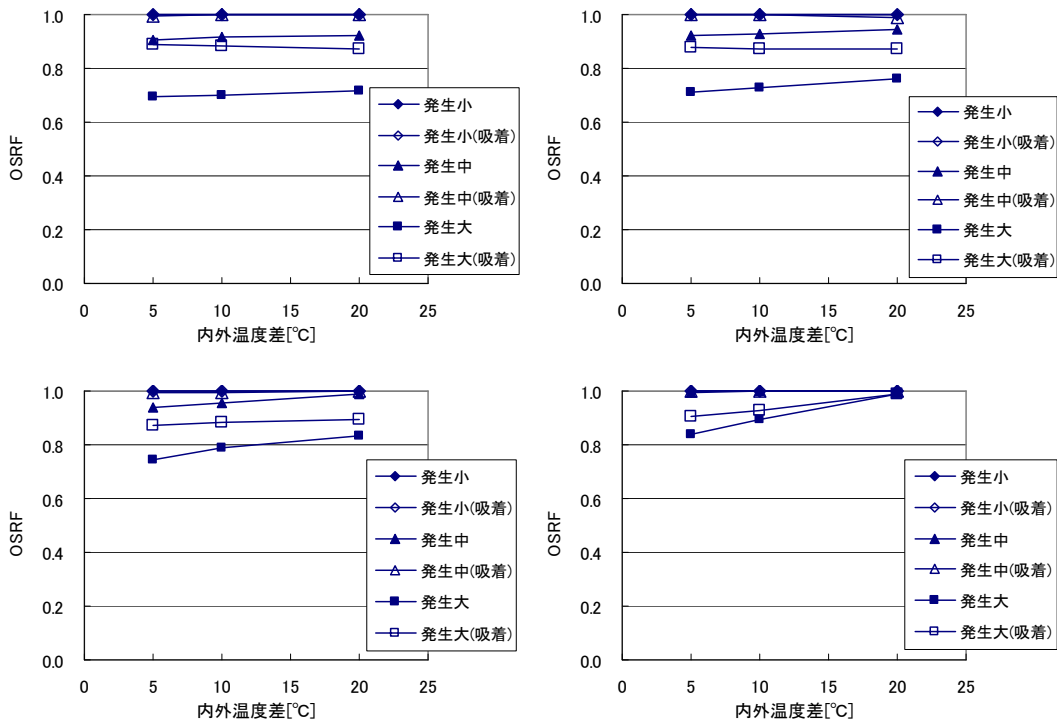


図 III-2-3-88 OSRF (換気回数 0.4 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)

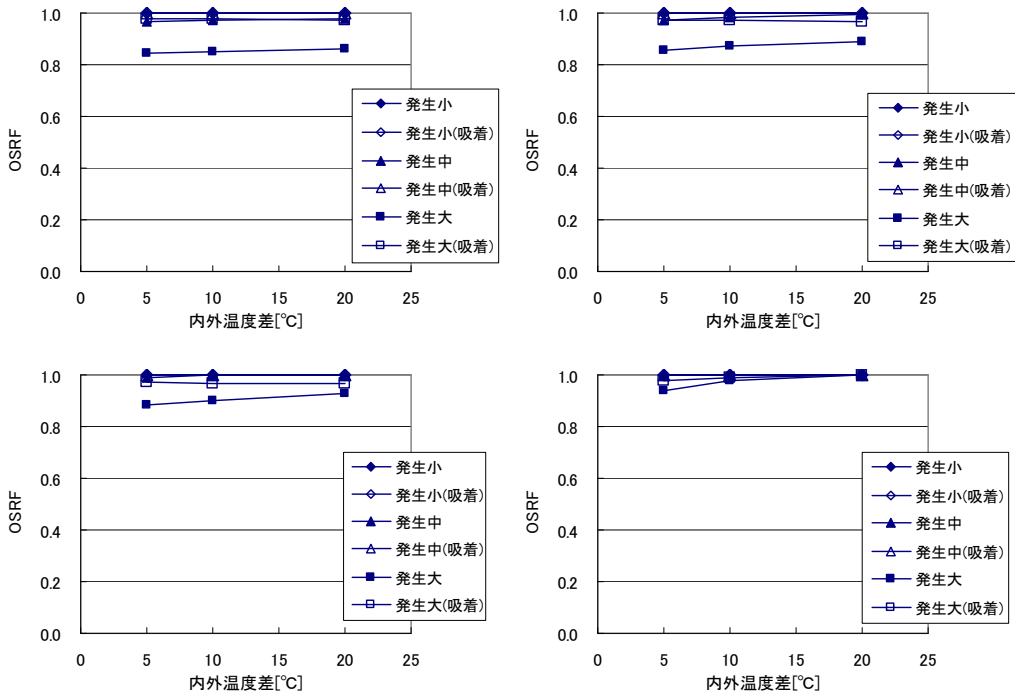


図 III-2-3-89 OSRF (換気回数 0.5 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)

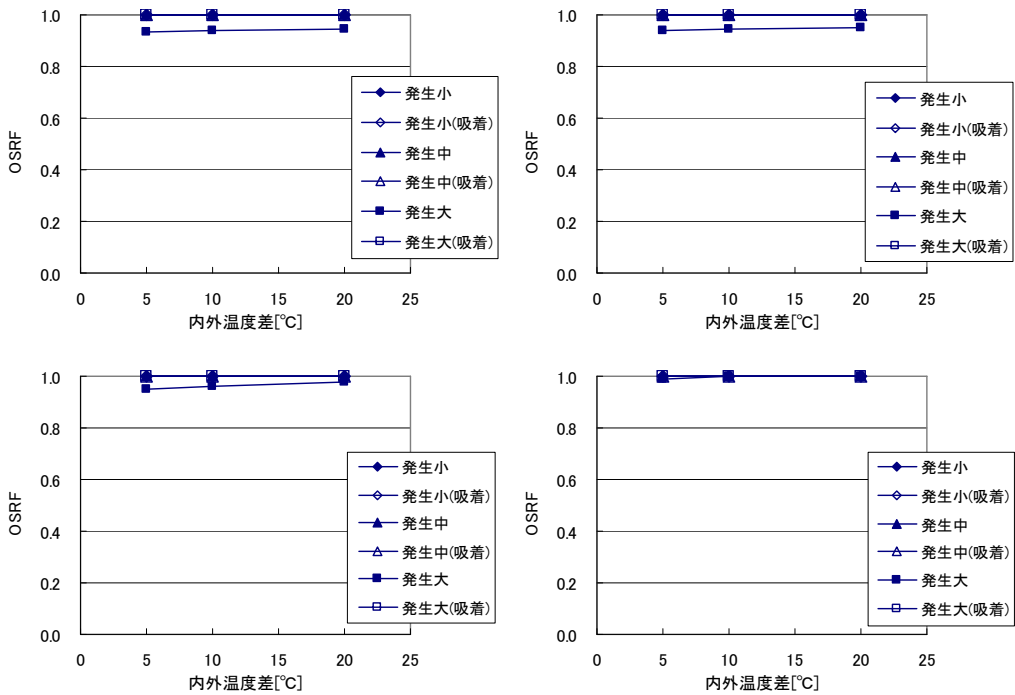


図 III-2-3-90 OSRF (換気回数 0.6 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)

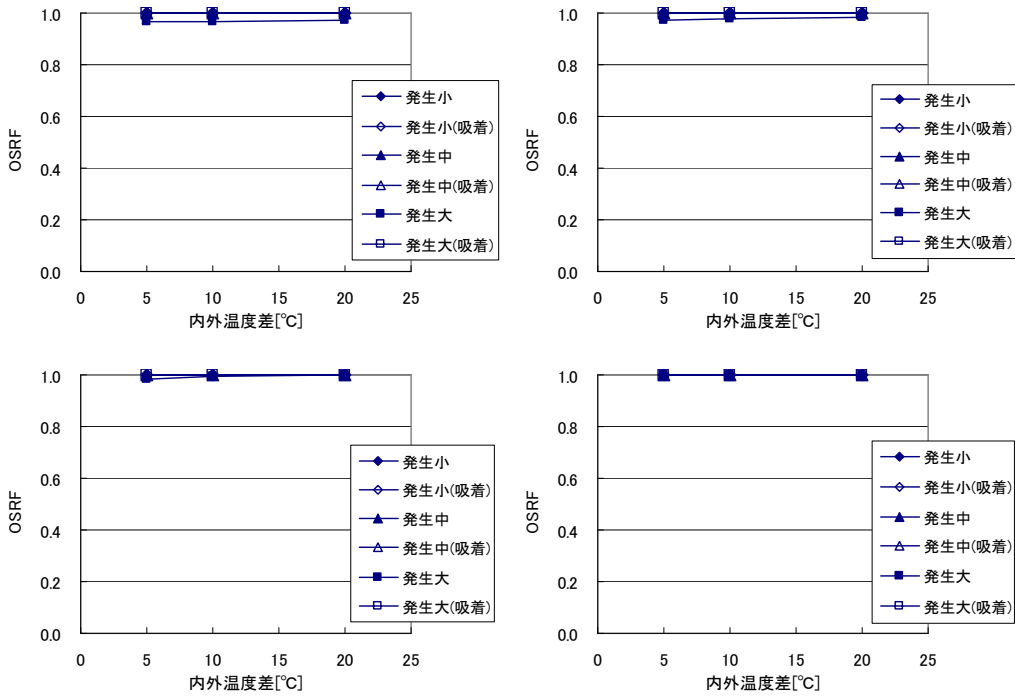


図 III-2-3-91 OSRF (換気回数 0.7 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)

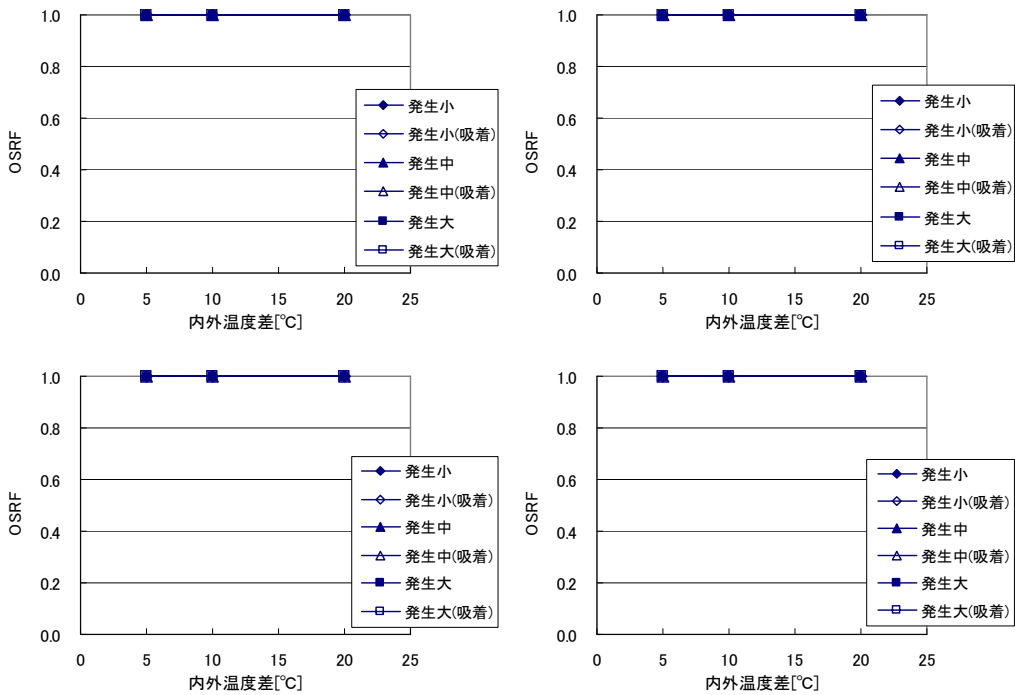


図 III-2-3-92 OSRF (換気回数 1.0 回。左上 : C=0.5、右上 : C=1.0、右下 : C=2.0)



#### 4-4 暖冷房負荷計算及びエネルギー消費計算

##### 4-4-1 計算の概要

集合住宅及び戸建住宅における暖冷房設定温度、換気回数、熱交換換気の有無の暖冷房負荷に与える影響を、建築環境シミュレーション用の汎用入力インターフェイス「AE-CAD」、及び温熱環境シミュレーションプログラム「AE-Sim/Heat」を用いて暖冷房負荷を求め、検証する。

##### 4-4-2 計算条件

###### 4-4-2-1 各部位層構成

###### ①集合住宅

部位	材料名	熱伝導率 (W/(m・K))	厚さ(mm)	備考
屋根 *外断熱	セメント・モルタル	1.5	60	
	押出法ポリスチレンフォーム3種	0.028	70	
	鉄筋コンクリート	1.6	250	防水層省略
	密閉空気層	R=0.09	—	→天井裏は、空間としてモデル化する。
	石膏ボード	0.22	12.5	→天井部位として設定
天井	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
外壁 (妻側=東西壁) *内断熱	鉄筋コンクリート	1.6	250	
	吹付け硬質ウレタンフォーム	0.026	35	
	密閉空気層	R=0.09	25	
	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
外壁 (桁側=南北壁) *内断熱 注:柱は無視	鉄筋コンクリート	1.6	160	
	吹付け硬質ウレタンフォーム	0.026	35	
	密閉空気層	R=0.09	25	
	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
戸境壁	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
	密閉空気層	R=0.09	25	
	鉄筋コンクリート	1.6	250	
	密閉空気層	R=0.09	25	
間仕切壁	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
	密閉空気層	R=0.09	65	
	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
床板	合板	0.16	12	
床板	畳	0.11	55	
	合板	0.16	12	
床スラブ	鉄筋コンクリート	1.6	250	

②戸建住宅

部位	材料名	熱伝導率 (W/(m・K))	厚さ(mm)	備考
屋根	合板	0.16	9	屋根葺き材、防水紙省略
天井(2F)	吹込用グラスウールGW-1	0.052	100	
	石膏ボード	0.22	12.5	防湿フィルム省略、ビニルクロス省略
天井(1F)	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
外壁	サイディング	0.17	20	木片セメント板の物性値を採用
	通気層	-	18	防止層省略
	密閉空気層	R=0.09	40	
	住宅用グラスウール10K	0.05	60	
	石膏ボード	0.22	12.5	防湿フィルム省略、ビニルクロス省略
外壁 (下屋に接する)	住宅用グラスウール10K	0.05	60	
	石膏ボード	0.22	12.5	防湿フィルム省略、ビニルクロス省略
間仕切壁	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
	密閉空気層	R=0.09	100	
	石膏ボード	0.22	12.5	ビニルクロス省略
床(2F)	合板	0.16	12	
床(1F)	合板	0.16	12	
	住宅用グラスウール10K	0.05	45	
床(1F和室)	畳	0.11	55	
	合板	0.16	12	
	住宅用グラスウール10K	0.05	45	
土間床	コンクリート	1.6	150	無断熱
基礎壁	コンクリート	1.6	150	

4-4-2-2

4-4-2-3 窓、玄関ドア仕様（外表面に設置する開口部品）

①集合住宅

No.	設置空間	サイズ		方位	床面からの高さ		仕様				
		(幅)	(高さ)		窓下端	窓上端	窓K値 (W/m <sup>2</sup> K)	ガラス種類	ガラス物性値		
									透過率	反射率	遮蔽 係数
1	居間	2,200	1,940	S	0	1,940	4.65	普通複層ガラス*1	73.7%	13.4%	0.9
2	和室	1,600	1,940	S	0	1,940	4.65	普通複層ガラス*1	73.7%	13.4%	0.9
3	洋室1	1,450	1,150	N	790	1,940	4.65	普通複層ガラス*1	73.7%	13.4%	0.9
4	洋室2	1,150	1,150	N	790	1,940	4.65	普通複層ガラス*1	73.7%	13.4%	0.9
5	廊下	800	1,900	N	0	1,900	4.65	金属製ドア			

※ 全窓レースカーテンあり

\*1: 空気層 6mm

開閉パターン 冬季、中間季: 日中は開、夜間は閉(居室)

夏季: 終日閉

## ②戸建住宅

No.	設置空間	サイズ		方位	床面からの高さ		仕様				
		(幅)	(高さ)		窓下端	窓上端	窓K値 (W/m <sup>2</sup> K)	ガラス種類	ガラス物性値		
									透過率	反射率	遮蔽係数
1	LDK	1,650	1,800	S	0	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
2	LDK	1,650	1,800	S	0	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
3	LDK	1,650	1,100	E	700	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
4	LDK	360	900	E	900	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
5	LDK	650	1,830	N	0	1,830	4.65	勝手口アルミドア*2			
6	和室	2,560	1,800	S	0	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
7	和室	1,650	1,300	N	500	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
8	洗面脱衣室	360	900	W	900	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
9	浴室	740	700	N	900	1,600	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
10	トイレ	360	900	N	900	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
11	廊下	1,690	2,330	S	0	2,330	6.51	玄関アルミ製引違戸*3			
12	廊下(2F)	1,650	500	N	1,000	1,500	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
13	廊下(2F)	740	700	N	1,100	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
14	廊下(2F)	740	700	N	1,100	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
15	廊下(2F)	740	700	N	1,100	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
16	主寝室	1,650	1,800	S	0	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
17	主寝室	1,650	1,100	E	700	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
18	子供室1	1,650	1,100	S	700	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
19	子供室1	1,650	900	W	1,100	2,000	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
20	子供室2	1,650	1,100	S	700	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0
21	クローゼット	360	900	E	900	1,800	6.51	単板ガラス入り	85.6%	7.7%	1.0

※ 全窓レースカーテンあり

開閉パターン 冬季、中間季：日中は開、夜間は閉(居室)  
夏季：終日閉

\*2: 勝手口アルミドア(フラッシュ構造)

\*3: 玄関アルミ製引き違い戸

### 4-4-2-4 気象データ

拡張アメダス気象データ (HASP形式) / 日本建築学会

気象データ地点 : 長峰 (No. 319)

### 4-4-2-5 暖冷房期間

暖房期(冬季) 10月14日～5月13日 (日平均気温 15℃以下)

冷房期(夏季) 7月1日～8月31日 (日最高気温 23℃以下)

### 4-4-2-6 換気回数

0.3回/時、0.5回/時、0.7回/時

4-4-2-7 在室者スケジュール：集合住宅、戸建住宅共通

室	平日				休日在宅			
	居間	和室	洋室1	洋室2	居間	和室	洋室1	洋室2
0	0	2	1	1	0	2	1	1
1	0	2	1	1	0	2	1	1
2	0	2	1	1	0	2	1	1
3	0	2	1	1	0	2	1	1
4	0	2	1	1	0	2	1	1
5	0	2	1	1	0	2	1	1
6	0.25	1	1	1	0	2	1	1
7	1.5	0	0	0	0	1	1	1
8	1	0	0	0	1.5	0	0.25	0.5
9	0.5	0	0	0	1.25	0	1	0.75
10	0.25	0	0	0	2	0	1	1
11	0	0	0	0	2	0	1	1
12	0.5	0	0	0	1	0	0.5	0
13	0.75	0	0	0	0.5	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	1.5	0	0	1
17	1.75	0	0	0	2.5	0	0	1
18	2.5	0	0.5	0	1.5	0	0	0.5
19	1	0	0.5	0	2	0	0	0
20	2	0	0	0.75	2	0	1	1
21	2	0	0.75	0.25	2	0	1	0.25
22	1	0	1	1	1	0	1	1
23	0.75	1	1	1	0	1.75	1	1

LDK    主寝室    子供室1    子供室2                      LDK    主寝室    子供室1    子供室2

4-4-2-8 機器等による内部発熱スケジュール：集合住宅、戸建住宅共通

①平日のスケジュール

平日：その1

室	居間								
	機器	29型TV	アイロン(+電話)	照明(居間)	照明(食堂)	パソコン&プリンタ	掃除機	厨房照明	流し元照明
100%時		209.0 W	313.0 W	70.0 W	90.0 W	150.0 W	550.0 W	49.0 W	19.0 W
0		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6		3.3%	0.0%	25.0%	25.0%	0.0%	0.0%	25.0%	25.0%
7		100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	25.0%	25.0%
8		75.8%	16.7%	75.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9		51.7%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
10		27.5%	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
11		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
12		51.7%	0.0%	50.0%	75.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
13		75.8%	0.0%	75.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
14		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
16		51.7%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
17		75.8%	0.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
18		100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
19		100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
20		100.0%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
21		100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
22		51.7%	0.0%	100.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
23		51.7%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

平日：その2

室	居間				和室(主寝室)		洋室1 (子供室1)		
	機器	冷蔵庫	24時間換気 (ロスナイ)	発熱装置	発湿装置	照明(和室)	24時間換気 (ロスナイ)	14型TV	照明(洋室1)
100%時		60.0 W	17.75 W	140.0 W	100.0 g/h	70.0 W	17.75 W	50.0 W	70.0 W
0		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
1		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
2		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
3		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
4		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
5		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
6		100.0%	100.0%	13.8%	15.6%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
7		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
8		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
9		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	50.0%	100.0%	8.0%	50.0%
10		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
11		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
12		100.0%	100.0%	4.6%	5.2%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
13		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
14		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
15		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
16		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
17		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
18		100.0%	100.0%	27.7%	31.3%	0.0%	100.0%	8.0%	50.0%
19		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	50.0%
20		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
21		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	75.0%
22		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	77.0%	100.0%
23		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	31.0%	25.0%

平日：その3

室	洋室1 (子供室1)	洋室2 (子供室2)				玄関廊下		便所	
	機器	24時間換気 (ロスナイ)	MDコンポ	スタンド	照明(洋室2)	24時間換気 (ロスナイ)	廊下照明	玄関照明	トイレ照明(大 3分間)
100%時		17.75 W	48.0 W	60.0 W	70.0 W	17.75 W	114.0 W	57.0 W	57.0 W
0		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	25.0%	8.3%	15.0%
7		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	5.0%
8		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	25.0%	0.0%	0.0%
9		100.0%	31.3%	0.0%	50.0%	100.0%	50.0%	0.0%	1.7%
10		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	25.0%	8.3%	0.0%
11		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
12		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
13		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	25.0%	0.0%	0.0%
14		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
16		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	8.3%	1.7%
17		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
18		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
19		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
20		100.0%	31.3%	75.0%	75.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
21		100.0%	31.3%	25.0%	25.0%	100.0%	50.0%	0.0%	5.0%
22		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	25.0%	0.0%	0.0%
23		100.0%	100.0%	25.0%	100.0%	100.0%	25.0%	8.3%	6.7%

平日：その4

室	便所		洗面室				浴室	
	機器	トイレ照明 (小1分間)	暖房便座	ヘアードライ ヤー	洗濯機電源	洗面室照明	鏡台照明	浴室照明
100%時		57.0 W	30.0 W	650.0 W	190.0 W	57.0 W	19.0 W	54.0 W
0		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
1		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
2		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
3		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
4		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
5		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
6		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%
7		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	50.0%	50.0%	0.0%
8		0.0%	100.0%	1.0%	10.7%	25.0%	8.3%	0.0%
9		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	58.3%	8.3%	0.0%
10		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%
11		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
12		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
13		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%
14		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
15		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
16		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	8.3%	8.3%	0.0%
17		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	8.3%	8.3%	0.0%
18		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	16.7%	16.7%	0.0%
19		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%
20		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	25.0%	0.0%	25.0%
21		0.0%	100.0%	17.5%	2.6%	100.0%	50.0%	50.0%
22		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	100.0%	25.0%	75.0%
23		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%

②休日のスケジュール：在宅

休日(在宅)：その1

室	居間								
	機器	29型TV	アイロン(+電 話)	照明(居間)	照明(食堂)	パソコン&プ リンタ	掃除機	厨房照明	流し元照明
100%時		209.0 W	313.0 W	70.0 W	90.0 W	150.0 W	550.0 W	49.0 W	19.0 W
0		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8		100.0%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
9		100.0%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	75.0%	75.0%	0.0%
10		100.0%	8.3%	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
11		100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
12		100.0%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
13		27.5%	0.0%	25.0%	25.0%	0.0%	0.0%	25.0%	25.0%
14		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
16		51.7%	0.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
17		100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
18		100.0%	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
19		51.7%	0.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
20		100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
21		100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
22		51.7%	0.0%	100.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
23		3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

休日(在宅) : その2

室	居間				和室 (主寝室)		洋室1 (子供室1)		
	機器	冷蔵庫	24時間換気 (ロスナイ)	発熱装置	発湿装置	照明(和室)	24時間換気 (ロスナイ)	14型TV	照明(洋室1)
100%時		60.0 W	17.75 W	140.0 W	100.0 g/h	70.0 W	17.75 W	50.0 W	70.0 W
0		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
1		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
2		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
3		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
4		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
5		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
6		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
7		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
8		100.0%	100.0%	13.8%	15.6%	0.0%	100.0%	8.0%	25.0%
9		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	75.0%	100.0%	8.0%	100.0%
10		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	100.0%
11		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	100.0%
12		100.0%	100.0%	4.6%	5.2%	0.0%	100.0%	8.0%	50.0%
13		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
14		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
15		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
16		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
17		100.0%	100.0%	27.7%	31.3%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
18		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
19		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%
20		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
21		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
22		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%
23		100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.0%	0.0%

休日(在宅) : その3

室	洋室1 (子供室1)	洋室2 (子供室2)				玄関廊下		便所	
	機器	24時間換気 (ロスナイ)	MDコンポ	スタンド	照明(洋室2)	24時間換気 (ロスナイ)	廊下照明	玄関照明	トイレ照明(大 3分間)
100%時		17.75 W	48.0 W	60.0 W	70.0 W	17.75 W	114.0 W	57.0 W	57.0 W
0		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
4		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
6		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
7		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	75.0%	8.3%	10.0%
8		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	10.0%
9		100.0%	82.8%	75.0%	75.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%
10		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	3.3%
11		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	3.3%
12		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
13		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	8.3%	0.0%
14		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
16		100.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	50.0%	0.0%	5.0%
17		100.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	25.0%	0.0%	1.7%
18		100.0%	65.6%	0.0%	50.0%	100.0%	0.0%	8.3%	0.0%
19		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	5.0%
20		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	1.7%
21		100.0%	48.4%	25.0%	25.0%	100.0%	25.0%	0.0%	0.0%
22		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	25.0%	0.0%	5.0%
23		100.0%	31.3%	0.0%	0.0%	100.0%	25.0%	8.3%	1.7%

休日(在宅)：その4

室	便所		洗面				浴室	
	機器	トイレ照明 (小1分間)	暖房便座	ヘアードライ ヤー	洗濯機電源	洗面室照明	鏡台照明	浴室照明
100%時		57.0 W	30.0 W	650.0 W	190.0 W	57.0 W	19.0 W	54.0 W
0		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
1		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
2		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
3		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
4		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
5		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
6		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
7		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	75.0%	50.0%	0.0%
8		0.0%	100.0%	9.3%	10.7%	75.0%	50.0%	0.0%
9		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	100.0%	0.0%	0.0%
10		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
11		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	8.3%	8.3%	0.0%
12		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
13		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
14		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
15		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
16		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	50.0%	8.3%	50.0%
17		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	50.0%	25.0%	25.0%
18		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	16.7%	16.7%	0.0%
19		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
20		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
21		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	75.0%	25.0%	50.0%
22		0.0%	100.0%	1.0%	2.6%	100.0%	25.0%	75.0%
23		0.0%	100.0%	9.3%	2.6%	25.0%	25.0%	0.0%

4-4-2-9 暖冷房運転条件：温湿度、最大能力、スケジュール

\* 集合住宅、戸建住宅共通

その1

室	居間				和室			
	暖房		冷房		暖房		冷房	
	22℃	26℃50%	22℃	26℃50%	22℃	26℃50%	22℃	26℃50%
最大能力	6.1kW		3.7kW		3.6kW		2.6kW	
曜日	平日	休日在宅	平日	休日在宅	平日	休日在宅	平日	休日在宅
0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
2	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
3	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
4	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
5	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON
6	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON
7	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
8	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
9	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
10	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
11	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
12	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
13	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
16	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
17	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
18	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
19	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
20	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
21	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
22	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
23	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON



その2

室	洋室1				洋室2			
	暖房 22℃		冷房 26℃50%		暖房 22℃		冷房 26℃50%	
最大能力	3.6kW		2.6kW		3.6kW		2.6kW	
曜日	平日	休日在宅	平日	休日在宅	平日	休日在宅	平日	休日在宅
0	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
1	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
2	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
3	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
4	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
5	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
6	ON	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON
7	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
8	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
9	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
10	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
11	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
12	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
13	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
14	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
15	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
16	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
17	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
18	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
19	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
20	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
21	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
22	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
23	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON

4-4-3 計算パラメータ

集合住宅・戸建て住宅ともに、換気回数を0.3、0.5、0.7回の条件で暖冷房負荷を計算した。換気回数を増減により、暖冷房消費エネルギーを何パーセント増減させるかを検証するには、暖冷房負荷計算のみで十分である。しかし、その暖冷房消費エネルギーの絶対値を検討するには、以下に挙げるパラメータを勘案して、具体的な暖冷房方法を想定し、エネルギー消費量を算出する必要がある。以下に掲げるパラメータ以外にも、特に集合住宅では、隣室住戸の温度設定が暖冷房消費エネルギーの多寡に与える影響が大きい。このため、今回の検討では、戸建て住宅に検討対象を絞り、暖冷房エネルギー消費を算出した。

- ・暖冷房機器の種類（方法・機器能力・効率特性）
- ・設定温度
- ・暖冷房方式（部分間欠暖房・連続全館暖房・連続部分暖房 etc…）

図 III-2-3-23 戸建て住宅において検討したパラメータ

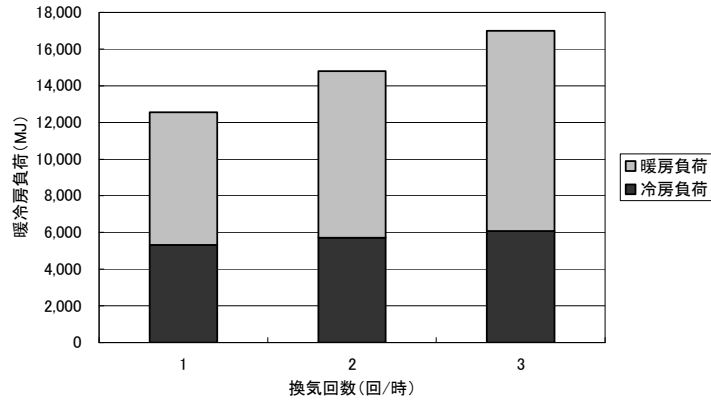
計算 番号	暖房方法		設定温度(℃)		通風としての 換気回数(回/h)	熱交換の 有無	換気回数 (回/h)
	場所	時間	暖房	冷房			
01	部分	間欠	18℃	28℃ 60%	0.0	無し	0.3
02							0.5
03							0.7
04					2.0	無し	0.3
05							0.5
06							0.7
07					5.0	無し	0.3
08							0.5
09							0.7
10					10.0	無し	0.3
11							0.5
12							0.7
13			20℃	26℃ 60%	0.0	無し	0.3
14							0.5
15							0.7
16					2.0	無し	0.3
17							0.5
18							0.7
19					5.0	無し	0.3
20							0.5
21							0.7
22					10.0	無し	0.3
23							0.5
24							0.7
25			22℃	24℃ 60%	0.0	無し	0.3
26							0.5
27							0.7
28					2.0	無し	0.3
29							0.5
30							0.7
31					5.0	無し	0.3
32							0.5
33							0.7
34					10.0	無し	0.3
35							0.5
36							0.7
37	全館	連続 (24h)	18℃	28℃ 60%	0.0	有り	0.3
38							0.5
39							0.7
40						無し	0.3
41							0.5
42							0.7
43			20℃	26℃ 60%	0.0	有り	0.3
44							0.5
45							0.7
46						無し	0.3
47							0.5
48							0.7
49			22℃	24℃ 60%	0.0	有り	0.3
50							0.5
51							0.7
52						無し	0.3
53							0.5
54							0.7

#### 4-4-4 暖冷房負荷の計算結果

##### 4-4-4-1 集合住宅の室別・月別暖冷房負荷

換気回数を変えたときの暖冷房負荷まとめを以下に示す。

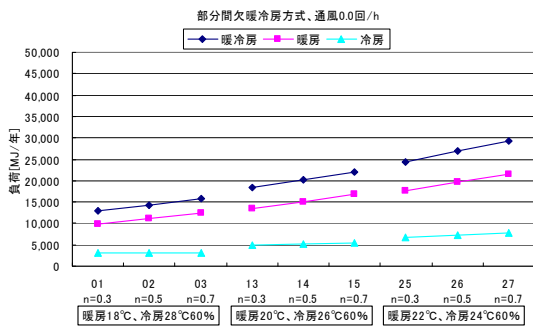
換気回数別暖冷房負荷：集合住宅



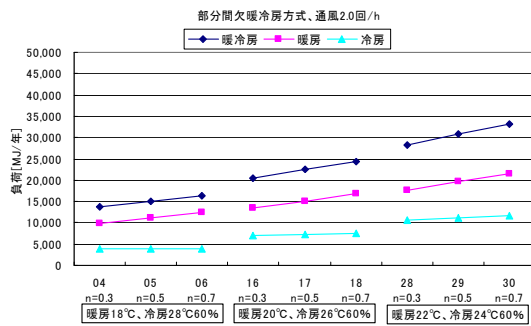
##### 4-4-4-1 戸建住宅

##### ① 部分間欠暖冷房方式の暖冷房負荷グラフ

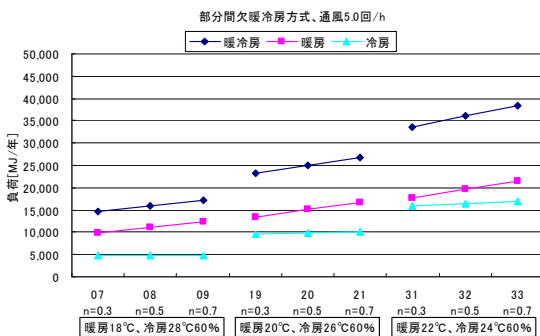
通風 0.0 回/h



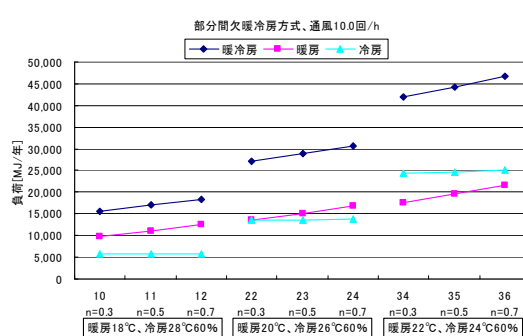
通風 2.0 回/h



通風 5.0 回/h

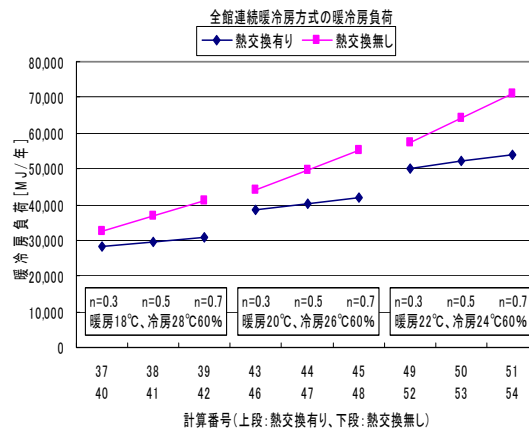


通風 10.0 回/h

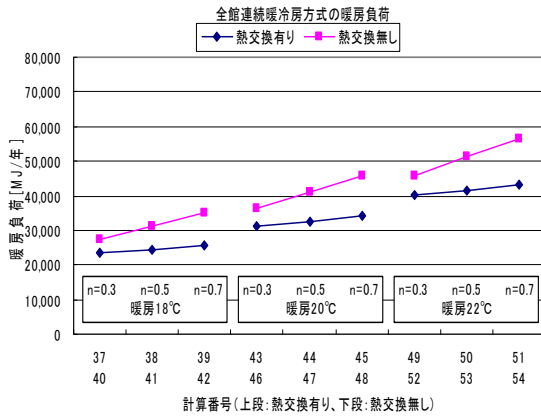


② 全館連続暖冷房方式の暖冷房負荷グラフ

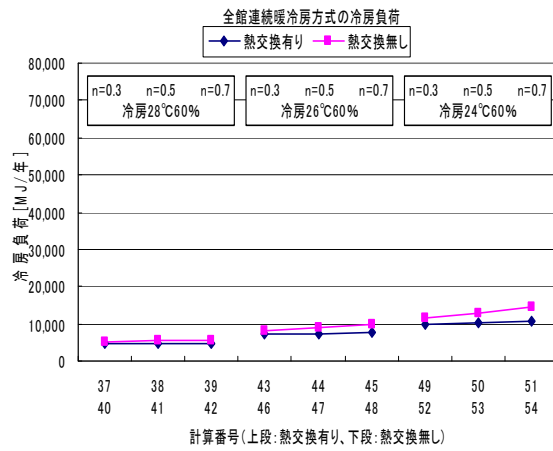
暖冷房負荷



暖房負荷

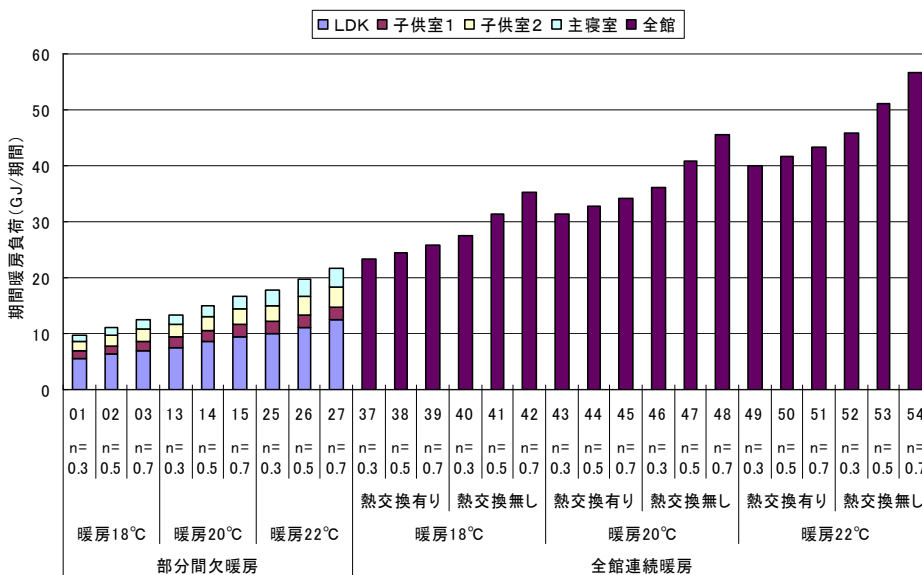


冷房負荷



③ 部屋別期間暖房負荷グラフ

夏期通風なしの計算タイプについて、部分間欠暖房方式の計算パターンについては各居室の期間暖房負荷を、全館連続暖房方式については全館の暖房負荷をグラフにした。



#### ④ 考察

##### 部分間欠暖冷房方式

- ・暖房温度 18℃、20℃、22℃では、暖房温度が低いほど暖房負荷が小さい。
- ・冷房 28℃60%、26℃60%、24℃60%では、冷房温度が高いほど冷房負荷は小さい。
- ・換気回数 0.3 回/h、0.5 回/h、0.7 回/h では、換気回数が小さいほど暖冷房負荷が小さい。
- ・暖房負荷、冷房負荷別に見ても同様の傾向である。ただし、冷房負荷においては換気回数による負荷の差はごく僅かである。

##### 全館連続暖冷房方式

- ・暖房温度は部分間欠暖冷房方式と同じく 18℃、20℃、22℃であり、暖房温度による暖冷房負荷の大小の傾向は、部分間欠暖冷房方式と同様である。
- ・冷房温度は部分間欠暖冷房方式と同じく 28℃60%、26℃60%、24℃60%であり、冷房温度による冷房負荷大小の傾向は部分間欠暖冷房方式と同様である。
- ・換気回数は部分間欠暖冷房方式と同じく 0.3 回/h、0.5 回/h、0.7 回/h であり、換気回数による暖房負荷、冷房負荷及び暖冷房負荷の大小の傾向は、部分間欠暖冷房方式と同様である。
- ・熱交換有りと無しでは、熱交換有りの方が暖冷房負荷が小さい。暖房負荷、冷房負荷別に見ても同様の傾向である。ただし、冷房負荷においては、熱交換有無による負荷の差はごく僅かである。

#### 4-4-5 エアコン暖冷房によるエネルギー消費量算出

##### 4-4-5-1 エアコン性能モデル

ルームエアコンの暖冷房エネルギー消費効率を算出する方法を以下に示す。時々刻々の暖冷房負荷及び外気温度をもとに暖冷房消費エネルギーを算出した。

ルームエアコンの冷房／暖房エネルギー消費効率  $COP_h$  (-) は以下の式によるものとする。

$$COP_h = COP_d \times c_l \times c_t \quad (1)$$

ここに、

$COP_d$  : 冷房／暖房定格 COP (-)

$c_l$  : 負荷に応じた補正係数 (-)

$c_t$  : 外気温度に応じた補正係数 (-)

暖房時の  $c_l$  は以下の式により算出する。

$L_b < 0.5 \times L_h$  の時

$$c_l = \frac{0.8 \times L_b}{0.5 \times L_h} \quad (2)$$

$0.5 \times L_h \leq L_b < L_h$  の時

$$c_l = 1 - 0.2 \times \frac{L_h - L_b}{0.5 \times L_h} \quad (3)$$

$L_h \leq L_b \leq L_d$  の時

$$c_l = 1 \quad (4)$$

$L_b > L_d$  の時

$$c_l = 1 - 0.2 \times \frac{L_b - L_d}{L_m - L_d} \quad (5)$$

冷房時の  $c_l$  は以下の式により算出する。

$L_b < L_h$  の時

$$c_l = \frac{L_b}{L_h} \quad (6)$$

$L_h \leq L_b \leq L_d$  の時

$$c_l = 1 \quad (7)$$

$L_b > L_d$  の時

$$c_l = 1 - 0.2 \times \frac{L_b - L_d}{L_m - L_d} \quad (8)$$

ここに、

$L_h$  : ルームエアコンの中間冷房／暖房能力 (kW)     $L_h = 0.5 \times L_d$

$L_d$  : ルームエアコンの定格冷房／暖房能力

$L_m$  : ルームエアコンの最大冷房／暖房能力 (kW)

$L_b$  : 冷房／暖房負荷 (kW)

$c_t$  は別表 1, 別表 2 に示す係数とする。

別表 1  $c_t$  : 外気温度に応じた補正係数 (暖房)

負荷 ( $L_b$ ) [kW]	外気温度 $\leq 2^\circ\text{C}$	$2^\circ\text{C} < \text{外気温度} \leq 7^\circ\text{C}$	$7^\circ\text{C} < \text{外気温度} \leq 12^\circ\text{C}$	$12^\circ\text{C} < \text{外気温度}$
$L_b < L_h$	0.65	0.82	1.00	1.18
$L_b = L_h$	0.65	0.82	1.00	1.18
$L_h < L_b < L_d$	$0.65 + 0.05 \times (L_b - L_h) / (L_h - L_b)$	0.82	1.00	1.18
$L_b = L_d$	0.70	0.82	1.00	1.18
$L_d < L_b < L_m$	$0.70 + 0.19 \times (L_b - L_d) / (L_m - L_d)$	$0.82 + 0.14 \times (L_b - L_d) / (L_m - L_d)$	1.00	$1.18 - 0.14 \times (L_b - L_d) / (L_m - L_d)$
$L_b = L_m$	0.89	0.96	1.00	1.04

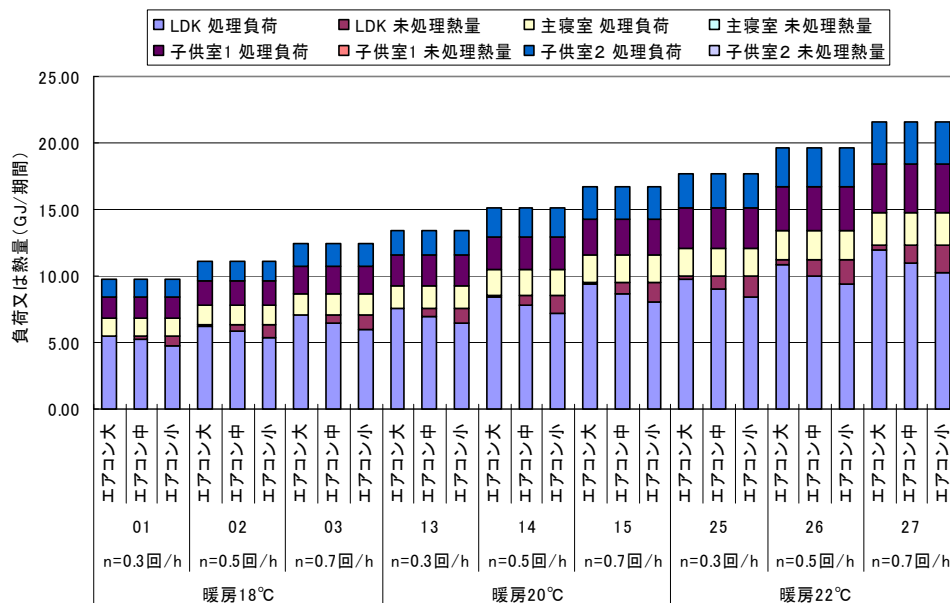
別表 2  $c_t$  : 外気温度に応じた補正係数 (冷房)

負荷 ( $L_b$ ) [kW]	$35^\circ\text{C} \leq \text{外気温度}$	$25^\circ\text{C} \leq \text{外気温度} < 35^\circ\text{C}$	外気温度 $< 25^\circ\text{C}$
$L_b < L_h$	1.00	1.16	1.30
$L_b = L_h$	1.00	1.16	1.30
$L_h < L_b < L_d$	1.00	1.16	1.30
$L_b = L_d$	1.00	1.16	1.30
$L_d < L_b < L_m$	1.00	$1.16 - 0.12 \times (L_b - L_d) / (L_m - L_d)$	$1.30 - 0.23 \times (L_b - L_d) / (L_m - L_d)$
$L_b = L_m$	1.00	1.04	1.07

#### 4-4-5-2 エアコンの能力別、居室の処理負荷と未処理熱量グラフ

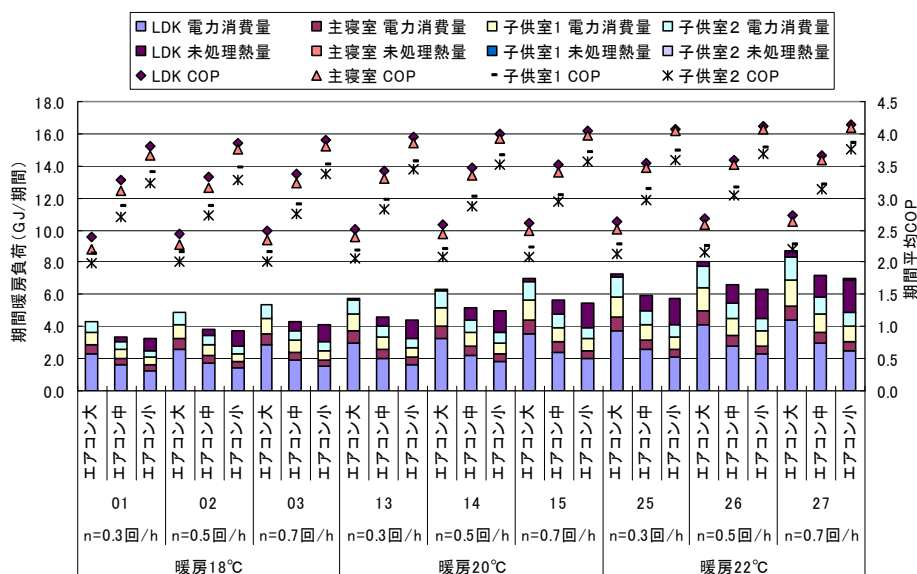
部分間欠暖房方式の暖房負荷について、エアコンの能力別に各居室の処理負荷と未処理熱量をグラフにした。エアコンの能力は、下表の大・中・小の3パターンである。

	エアコン 大	エアコン 中	エアコン 小
定格 COP	3.97	5,000	6,900
定格能力 (W)	5.00	3,600	4,800
定格出力 (W)	5.43	2,500	3,600



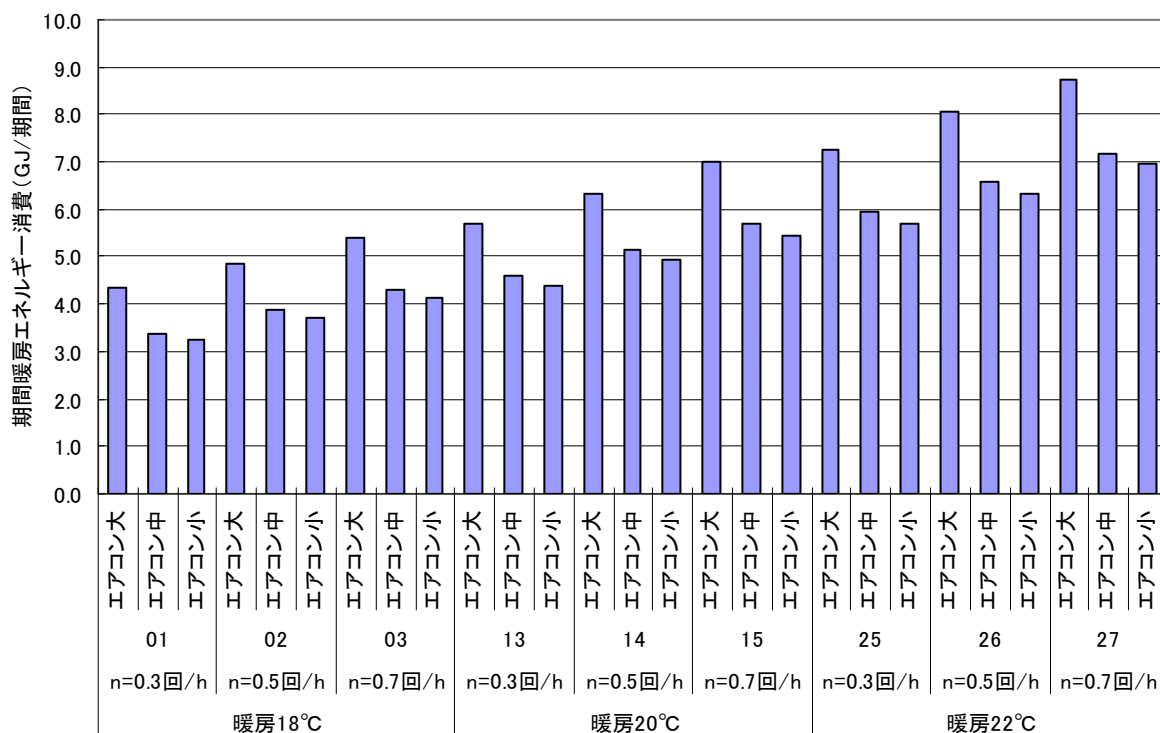
#### 4-4-5-3 エアコンの能力別、居室の処理負荷と未処理熱量グラフ

部分間欠暖房方式の暖房負荷について、エアコンの能力別に各居室の電力消費量と未処理熱量、期間平均 COP をグラフにした。エアコン大・中・小の能力は前ページと同じである。



#### 4-4-5-4 まとめ

換気回数、設定温度、エアコンの機器容量を変えた場合の期間暖房負荷を計算した。換気回数の増減が期間暖房エネルギー消費に与える影響は、設定温度や機器容量に依存するが、おおむね換気回数を 0.5 回/h から 0.3 回/h に減じると 10% の削減、0.7 回/h に増加させると 10% の増加になるという結果が得られた。



#### 4-5 まとめ

ある集合住宅及び戸建て住宅を想定し、換気システムや換気回数、外界気象条件が変わったときの室内空気質を SRF で評価した。また換気回数の増減が暖冷房負荷に与える影響について計算した。さらに、暖房機器としてエアコンを想定し、期間エネルギー消費量を算出した。

室内空気質の評価は、各室個別に SRF で評価する必要がある。OSRF で評価では、集合住宅においては、換気回数が 0.5 回/h を下回ると、南北面差圧が大きいときに OSRF 評価が低くなること、戸建て住宅においては、換気回数が 0.5 回/h を下回ると、内外温度差がつかない場合に OSRF 評価が低くなるという結果がでた。

いずれにせよ、本年度、戸建て住宅については実証実験を行っている。換気回数を 0.5 回/h より下回る場合に、内外温度差の影響が室内環境の低下にどのように影響するか、実験結果を注意深く評価する必要がある。

換気回数の増減が、暖冷房負荷に与える影響について検討した。集合住宅、戸建て住宅ともに、換気回数 0.5 回/h に対して、換気回数を 0.3 回/h にすると約



15%の暖冷房負荷の削減、換気回数を 0.7 回/h にすると約 15%の暖冷房負荷の増加、という結果になった。ただし、集合住宅の場合は隣室条件により、全暖冷房負荷に対して換気負荷が占める割合が変化することを注意する必要がある。戸建て住宅では暖冷房の設定温度を変えたときの影響も検討したが、いずれの設定温度についても、増減の割合はおおむね同じで±15%であった。

換気回数がエネルギー消費に与える影響を検討する場合は、暖冷房消費エネルギーに加え、換気動力も加算する必要がある。そのため、上記暖冷房負荷結果を用いて、暖冷房消費エネルギーを計算した。上述したとおり、戸建て住宅の暖冷房負荷は隣室住戸の条件により大幅に変わる可能性があるので、戸建て住宅のみ暖冷房エネルギー消費量を算出した。暖冷房のエネルギー消費を算出するには具体的な暖冷房方式を定める必要があるため、本検討では妥当な暖冷房能力、効率をもつエアコンを想定して計算を行った。また、暖房消費エネルギーに対して冷房消費エネルギーは非常に小さいこと、冷房消費エネルギーを求めるには通風によるエネルギー削減の効果を検討する必要があるが、現在、通風の効果を評価する妥当な方法が存在しないことから、暖房消費エネルギーを中心に算出した。その結果、暖房設定温度 20℃換気回数 0.5 回/h で暖房消費エネルギーが 5 (GJ/期間) となった。なお、この結果は、立地条件としてつくば (省エネルギー法でいうⅢ地域～Ⅳ地域に属する) を想定している。暖房エネルギー消費は外気温度に依存するため、暖房エネルギー消費と換気動力との割合は、地域によって大きく変わること留意する必要がある。

## 5 住宅の多様性による空気環境とエネルギー消費削減効果への影響に関する検討（2）

### 5-1 概要

空気環境モニタリングを利用した換気システム性能評価法を用いて、提案する換気システムに導入した場合の換気性能、汚染物質濃度及び空調負荷を計算すること、そのために必要なプログラムの改良を行うことを目的とする。

そのため、対象とする住宅の室間流量を把握するために換気回廊計算プログラムによる計算を行い、得られた室間流量をもとに換気性能、汚染物質濃度及び空調負荷の計算を行った。

### 5-2 換気回路網計算による室間流量の行列データの作成

室間流量の計算には、換気回路網計算プログラム Ventsim（以下、Ventsim）を使用した。

Ventsim は室を計算点（いわゆる節点（ノード））とし、室間の開口部・換気システムを通気抵抗をもつ回路とみなし、電気回路に模した回路網（換気回路網）を形成して全体の連立方程式を解くプログラムである。

換気の駆動力としては建物外皮に加わる外部風圧力、室間・室内外温度差による浮力、及び換気システムにより加えられる圧力を考慮できる。計算結果として、各換気部品を通過する風量、及びそれらを集計しての各室への流入・流出風量が得られる。

#### 5-2-1 換気回路網計算ソフトの精度確認

Ventsim の計算精度を確認するために、実在住宅での新鮮外気量の測定結果と Ventsim による新鮮外気量の計算結果の比較を行った。

##### 5-2-1-1 計算結果

対象住宅における住宅全体、リビング、主寝室の新鮮外気導入量の実測値と Ventsim 計算結果の比較結果を以下に示す。新鮮外気導入量の実測値が Ventsim 計算値より 10%程度多くなる傾向があるが、実際の測定には理論計算のモデルに落とし込めない外乱条件や、建物の隙間位置の偏りなどが存在するため、十分に許容範囲内の差であると考えられる。

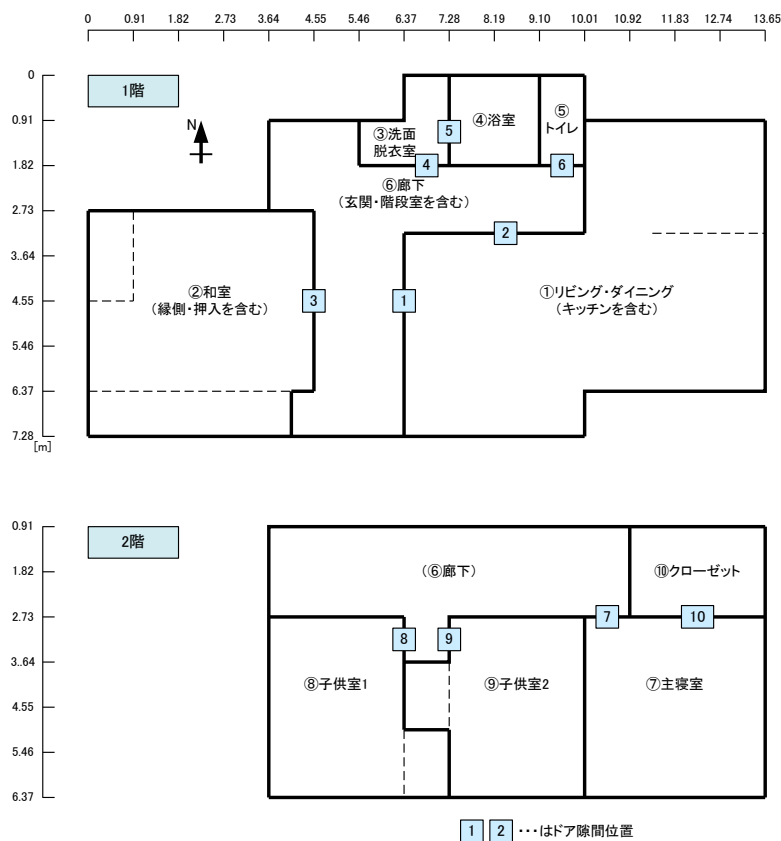
#### 5-2-2 室間流量の行列データの作成

前述の比較によって計算精度が確認された Ventsim を用いて戸建住宅における室間流量の行列データを作成する。

## 5-2-2-1 計算条件

### (1) 計算モデル

対象住宅は、木造2階建ての戸建て住宅とした。戸建住宅の計算モデル（室分割）及び建具等の配置状況を以下に示す。



図III-2-3-93 戸建住宅の室モデル

表III-2-3-24 Ventsimmモデルの室設定

No	室名	床面積	天井高	室容積	外皮面積	備考
		m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	
1	リビング・ダイニング	34.78	2.40	83.47	41.50	キッチンを含む
2	和室	20.29	2.40	48.70	29.48	押入、縁側を含む
3	洗面脱衣室	2.48	2.40	5.95	6.55	
4	浴室	3.31	2.40	7.94	4.37	
5	トイレ	1.66	2.40	3.98	4.37	
6	廊下(1階部分)	17.80	2.40	42.72	14.20	玄関、階段室を含む
	廊下(2階部分)	14.08	2.40	33.79	21.84	
7	主寝室	13.25	2.40	31.80	17.47	
8	子供部屋1	11.18	2.40	26.83	6.55	
9	子供部屋2	11.18	2.40	26.83	17.47	
10	クローゼット	4.97	2.40	11.93	10.92	
合計		134.98		323.952	174.72	

### (2) 隙間、室間開口

Ventsimモデルの室間開口の設定を以下に示す。

表 III-2-3-25 Ventsim モデルの室間開口設定

No	位置概要	接続	ドア隙間	
			$\alpha A$ cm <sup>2</sup>	n
1	リビング・ダイニング入りロドア(1)	リビング・ダイニング⇔廊下	100.0	1.87
2	リビング・ダイニング入りロドア(2)	リビング・ダイニング⇔廊下	100.0	1.87
3	和室ふすま	和室⇔廊下	200.0	1.87
4	洗面脱衣室入りロドア	洗面脱衣室⇔廊下	100.0	1.87
5	浴室入りロドア	浴室⇔洗面脱衣室	100.0	1.87
6	トイレ入りロドア	トイレ⇔廊下	100.0	1.87
7	主寝室入ロドア	主寝室⇔廊下	100.0	1.87
8	子供室1入ロドア	子供室1⇔廊下	100.0	1.87
9	子供室2入ロドア	子供室2⇔廊下	100.0	1.87
10	クローゼット入ロドア	クローゼット⇔主寝室	100.0	1.87

Ventsim モデルの隙間の設定を以下に示す。

表 III-2-3-26 Ventsim の隙間設定

No	室名	外皮隙間 C = 2.0	
		aA	隙間A'換算値
		cm <sup>2</sup>	
1	リビング・ダイニング	64.12	93.10
2	和室	45.56	66.15
3	洗面脱衣室	10.12	14.69
4	浴室	6.75	9.80
5	トイレ	6.75	9.80
6	廊下(1階部分)	21.93	31.84
	廊下(2階部分)	33.75	49.01
7	主寝室	27.00	39.20
8	子供部屋1	10.12	14.69
9	子供部屋2	27.00	39.20
10	クローゼット	16.87	24.50
合計		269.97	

### (3) 換気システムの風量

全般換気システムの制御方法及び風量を以下に示す。

全般換気システムは第1種換気システムとし、各部屋に給気用、排気用端末を設置している。

端末は各室に1組ずつ設置するが、リビングのみ2つ設置する。

「弱運転」「強運転」の場合には、給気用、排気用端末は同一の風量とする。

「リビング優先」「主寝室優先」の場合には、給気用端末のみ優先室の風量を増やし、優先室以外の室の風量を減らす。ただし、全体の風量は「弱運転」時と同一とする。

表 III-2-3-27 Ventsim の全般換気システムの風量及び制御方法

No	制御方法	風量									
		給気					排気				
		リビング m <sup>3</sup> /h	和室 m <sup>3</sup> /h	主寝室 m <sup>3</sup> /h	子供部 屋1 m <sup>3</sup> /h	子供部 屋2 m <sup>3</sup> /h	リビング m <sup>3</sup> /h	和室 m <sup>3</sup> /h	主寝室 m <sup>3</sup> /h	子供部 屋1 m <sup>3</sup> /h	子供部 屋2 m <sup>3</sup> /h
1	弱運転	53.3	26.7	26.7	26.7	26.7	53.3	26.7	26.7	26.7	26.7
2	強運転	106.7	53.3	53.3	53.3	53.3	106.7	53.3	53.3	53.3	53.3
3	リビング優先	80.0	20.0	20.0	20.0	20.0	53.3	26.7	26.7	26.7	26.7
4	主寝室優先	20.0	20.0	80.0	20.0	20.0	53.3	26.7	26.7	26.7	26.7

局所換気システムの風量は以下のように設定した。

表 III-2-3-28 Ventsim の局所換気機器の風量設定

局所換気システム	風量 m <sup>3</sup> /h
レンジフード	300
浴室	100

(4) 室内外温度差

室内外温度差は以下に示すように室温、外気温度を設定した。

表 III-2-3-29 Ventsim の温度設定

No	室内外温度差 ℃	室内温度 ℃	室外温度 ℃
1	-20	20	40
2	-10	20	30
3	0	20	20
4	5	20	15
5	10	20	10
6	15	20	5
7	20	20	0
8	40	20	-20

(5) 計算パラメータ

室間流量の行列データの計算条件の一覧を以下に示す。換気は各室に給気端末と排気端末を設置し、給気量と排気量が同量の設定とする。ただし、制御方法が「リビング優先」「主寝室優先」の場合は、給気量の比率のみ異なり、排気量は各室で同一である。

表Ⅲ-2-3-30 室間流量の行列データの設定条件一覧 (1/4)

No	室内外温度差 ℃	全般換気							局所換気			
		制御方法	換気回数 回/h	換気風量 m³/h	給気風量比					レンジフード	浴室	
					リビング	和室	主寝室	子供室1	子供室2			
	1	-20	弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
2	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
3	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
4	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
5	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
6					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
7					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
8	リビング優先		0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
9					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875			
10					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
11					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
12					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
13					主寝室優先	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
14						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
15						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
16	0.875		0.875	1.500		0.875	0.875	ON	ON			
17	-10	弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
18					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
19					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
20					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
21		強運転	1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
22					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
23					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
24		リビング優先	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
25					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875			
26					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
27					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
28					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
29					主寝室優先	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
30						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
31						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
32		0.875	0.875	1.500		0.875	0.875	ON	ON			

表Ⅲ-2-3-31 室間流量の行列データの設定条件一覧 (2/4)

No	室内外温度差 ℃	全般換気							局所換気			
		制御方法	換気回数 回/h	換気風量 m³/h	給気風量比					レンジフード	浴室	
					リビング	和室	主寝室	子供室1	子供室2			
	33	0	弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
34	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
35	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
36	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
37	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
38					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON		
39					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON	
40	リビング優先		0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON	
41					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875			
42					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
43					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
44					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
45					主寝室優先	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
46						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
47						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
48	0.875		0.875	1.500		0.875	0.875	ON	ON			
49	5		弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
50						1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
51						1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
52						1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
53			強運転	1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
54						1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
55						1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
56			リビング優先	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
57		1.500				0.875	0.875	0.875	0.875			
58		1.500				0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
59		1.500				0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
60		1.500				0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
61		主寝室優先				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
62						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
63						0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
64			0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	ON			

表Ⅲ-2-3-32 室間流量の行列データの設定条件一覧 (3/4)

No	室内外温度差 ℃	全般換気							局所換気		
		制御方法	換気回数 回/h	換気風量 m³/h	給気風量比					レンジフード	浴室
					リビング	和室	主寝室	子供室1	子供室2		
	65	10	弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
66	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
67	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000		ON
68	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
69	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
70					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
71					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
72					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
73	リビング優先		0.5	160	1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		
74					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	
75					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON
76					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON
77	主寝室優先		0.5	160	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
78					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
79					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
80					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	ON
81	弱運転		0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
82					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
83					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
84					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
85	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
86					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
87					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
88					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
89	リビング優先	0.5	160	1.500	0.875	0.875	0.875	0.875			
90				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
91				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
92				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
93	主寝室優先	0.5	160	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875			
94				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON		
95				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON	
96				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	ON	

表Ⅲ-2-3-33 室間流量の行列データの設定条件一覧 (4/4)

No	室内外温度差 ℃	全般換気							局所換気		
		制御方法	換気回数 回/h	換気風量 m³/h	給気風量比					レンジフード	浴室
					リビング	和室	主寝室	子供室1	子供室2		
	97	20	弱運転	0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
98	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
99	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000		ON
100	1.000					1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
101	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
102					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
103					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
104					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
105	リビング優先		0.5	160	1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		
106					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	
107					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON
108					1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON
109	主寝室優先		0.5	160	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		
110					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	
111					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON
112					0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	ON
113	弱運転		0.5	160	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
114					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
115					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
116					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
117	強運転		1.0	320	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
118					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	
119					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		ON
120					1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	ON	ON
121	リビング優先	0.5	160	1.500	0.875	0.875	0.875	0.875			
122				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON		
123				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875		ON	
124				1.500	0.875	0.875	0.875	0.875	ON	ON	
125	主寝室優先	0.5	160	0.875	0.875	1.500	0.875	0.875			
126				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON		
127				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875		ON	
128				0.875	0.875	1.500	0.875	0.875	ON	ON	

5-2-2-2 室間流量の行列データ

Ventsim の計算結果から整理した室間流量の行列データの例を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-34 室内外温度差：-20℃ 全般換気：0.5回/h 局所換気：なし

To	外気	リビング	和室	洗面 脱衣	浴室	トイレ	廊下	主寝 室	子供 室1	子供 室2	クロー ゼット
From	外気	54.3	27.2	0.1	0.1	0.1	13.1	36.1	30.5	36.6	5.8
リビング	71.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
和室	39.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
洗面脱衣室	2.9	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
浴室	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トイレ	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
廊下	6.3	17.0	12.4	4.6	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
主寝室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室1	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室2	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
クローゼット	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0

(単位:m<sup>3</sup>/h)

表Ⅲ-2-3-35 室内外温度差：-20℃ 全般換気：0.5回/h 局所換気：レンジ

To	外気	リビング	和室	洗面 脱衣	浴室	トイレ	廊下	主寝 室	子供 室1	子供 室2	クロー ゼット
From	外気	146.7	66.9	9.1	6.0	6.1	58.9	54.5	38.2	56.3	17.1
リビング	353.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
和室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0
洗面脱衣室	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0
浴室	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トイレ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0
廊下	0.0	206.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
主寝室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室1	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室2	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0
クローゼット	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0

(単位:m<sup>3</sup>/h)

表Ⅲ-2-3-36 室内外温度差：-20℃ 全般換気：0.5回/h 局所換気：浴室

To	外気	リビング	和室	洗面 脱衣	浴室	トイレ	廊下	主寝 室	子供 室1	子供 室2	クロー ゼット
From	外気	164.2	85.2	16.1	10.7	9.0	81.0	63.4	42.0	65.9	22.5
リビング	353.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
和室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	0.0	0.0	0.0	0.0
洗面脱衣室	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
浴室	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トイレ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0
廊下	0.0	189.1	0.0	73.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
主寝室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室1	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室2	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	0.0	0.0	0.0	0.0
クローゼット	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0

(単位:m<sup>3</sup>/h)

表Ⅲ-2-3-37 室内外温度差：-20℃ 全般換気：0.5回/h 局所換気：レンジ 浴室

To	外気	リビング	和室	洗面 脱衣	浴室	トイレ	廊下	主寝 室	子供 室1	子供 室2	クロー ゼット
From	外気	65.3	35.2	8.5	5.6	1.3	25.0	41.8	32.9	42.7	9.3
リビング	56.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0
和室	29.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0
洗面脱衣室	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
浴室	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トイレ	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
廊下	1.1	0.0	0.0	85.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
主寝室	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室1	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0
子供室2	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0
クローゼット	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0

(単位:m<sup>3</sup>/h)



### 5-3 室内濃度及び換気性能の計算ツールの開発及び換気性能評価

室内濃度及び換気性能を得るために Ventsim の計算から得られた室間流量の行列データから年間の 1 時間毎の室内濃度を計算するプログラムを作成し、そのプログラムの実行結果から得られた室内濃度と室間流量データから換気性能評価を行うプログラムを作成した。

室内濃度は計算時間の室内外温度差に対して補正を行った室間流量及び汚染物質の発生量スケジュールをもとに、汚染物質の収支式を前進差分で離散化し計算を行った。

換気性能評価指標には必要新鮮空気量の充足度 SRF（以下、SRF）を使用した。SRF は他室からの流入空気に新鮮外気のポテンシャルを評価し、室に供給される実質的な外気導入量である「有効新鮮空気量」を他室からの流入空気のポテンシャルを含めた必要新鮮空気量である「実質必要新鮮空気量」で除した値で、最大値は 1 となり、その際にその室は必要新鮮空気が充足していると評価される。また、住宅全体での SRF は OSRF として表わされる。

#### 5-3-1 計算条件

##### 5-3-1-1 換気システムの制御

全般換気システムの制御方法を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-38 全般換気システムの制御方法

制御名	制御方法
定風量制御(換気回数0.75回/h)	常に一定の風量を維持する
変風量制御(全居室均一制御)	通常は0.5回/hの風量で運転し、住宅全体の平均濃度が許容濃度を上回った場合に1.0回/hの風量で運転する。平均濃度が一定以下の濃度に下がった場合に通常運転に復帰する。(住宅の平均濃度は各居室の容積による加重平均値とする)
変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	通常は0.5回/hの風量で運転し、優先する室(本業務ではリビング、主寝室)の濃度が許容濃度を上回った場合に住宅全体で0.5回/hの風量を維持したまま、優先室の給気量を1.5倍に増加させる。排気風量は変化させない。優先室の濃度が一定以下の濃度に下がった場合に通常運転に復帰する。

##### 5-3-1-2 濃度設定

表Ⅲ-2-3-39 濃度設定

室内濃度計算における濃度設定を右に示す。

項目	設定値 mg/m <sup>3</sup>
許容濃度	0.100
通常制御へ復帰する濃度	0.075

##### 5-3-1-3 気象データ

濃度計算に用いた気象データの一覧を以下に示す。省エネルギー基準における地域区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳから代表都市を 1 都市ずつ選び、その年の標準年データを使用した。

表Ⅲ-2-3-40 気象データ

No	省エネルギー基準における地域区分	都市名	気象データの種類
1	Ⅱ	盛岡	標準年
2	Ⅲ	秋田	標準年
3	Ⅳ	東京	標準年

##### 5-3-1-4 暖冷房機器及び室温設定

濃度計算に用いた暖冷房期間及び設定温度を以下に示す。都市ごとの暖冷房負荷の比較を明確にするため、暖冷房期間は任意に設定し、中間期の室温はなりゆきとした。

表Ⅲ-2-3-41 暖冷房期間及び設定温度

種別	開始日	終了日	室温(暖冷房機器の設定温度) ℃
暖房期間	11月1日	3月31日	20
中間期(春季)	4月1日	5月31日	なりゆき
中間期(秋季)	10月1日	1月31日	
冷房期間	6月1日	9月30日	26

### 5-3-1-5 室間流量の温度補正

計算時間の室内外温度差における室間流量を求めるため、計算時間の室内外温度差に最も近い2点の室内外温度差の室間流量データに対して線形補完を行い、計算時間の室間流量データとした。

### 5-3-1-6 スケジュール

#### (1) 在室スケジュール

濃度計算に用いた在室スケジュールを以下に示す。

表Ⅲ-2-3-42 在室スケジュール

時刻	リビング	和室	主寝室	子供部屋1	子供部屋2	時刻	リビング	和室	主寝室	子供部屋1	子供部屋2
0:15			在室			12:15	在室				
0:30			在室			12:30	在室				
0:45			在室			12:45	在室				
1:00			在室			13:00	在室				
1:15			在室			13:15	在室				
1:30			在室			13:30	在室				
1:45			在室			13:45	在室				
2:00			在室			14:00	在室				
2:15			在室			14:15					
2:30			在室			14:30					
2:45			在室			14:45					
3:00			在室			15:00					
3:15			在室			15:15					
3:30			在室			15:30					
3:45			在室			15:45					
4:00			在室			16:00					
4:15			在室			16:15	在室				
4:30			在室			16:30	在室				
4:45			在室			16:45	在室				
5:00			在室			17:00	在室				
5:15			在室			17:15	在室				
5:30			在室			17:30	在室				
5:45			在室			17:45	在室				
6:00			在室			18:00	在室				
6:15			在室			18:15	在室				
6:30	在室					18:30	在室				
6:45	在室					18:45	在室				
7:00	在室					19:00	在室				
7:15	在室					19:15	在室				
7:30	在室					19:30	在室				
7:45	在室					19:45	在室				
8:00	在室					20:00	在室				
8:15	在室					20:15	在室				
8:30	在室					20:30	在室				
8:45	在室					20:45	在室				
9:00	在室					21:00	在室				
9:15	在室					21:15	在室				
9:30	在室					21:30	在室				
9:45	在室					21:45	在室				
10:00	在室					22:00	在室				
10:15	在室					22:15	在室				
10:30	在室					22:30	在室				
10:45						22:45	在室				
11:00						23:00	在室				
11:15						23:15	在室				
11:30						23:30	在室				
11:45						23:45			在室		
12:00						0:00			在室		

(2) 換気機器の運転スケジュール

換気機器の運転スケジュールを以下に示す。

表Ⅲ-2-3-43 換気機器の運転スケジュール

時刻	局所換気機器風量		時刻	局所換気機器風量	
	レンジフード m <sup>3</sup> /h	浴室 m <sup>3</sup> /h		レンジフード m <sup>3</sup> /h	浴室 m <sup>3</sup> /h
0:15			12:15	300	
0:30			12:30	300	
0:45			12:45		
1:00			13:00		
1:15			13:15		
1:30			13:30		
1:45			13:45		
2:00			14:00		
2:15			14:15		
2:30			14:30		
2:45			14:45		
3:00			15:00		
3:15			15:15		
3:30			15:30		
3:45			15:45		
4:00			16:00		
4:15			16:15		
4:30			16:30		
4:45			16:45	300	
5:00			17:00	300	
5:15			17:15		
5:30			17:30		
5:45			17:45		
6:00			18:00		
6:15			18:15		
6:30			18:30		
6:45			18:45	300	
7:00			19:00	300	
7:15	300		19:15	300	
7:30	300		19:30	300	
7:45	300		19:45		
8:00	300		20:00		
8:15			20:15		
8:30			20:30		
8:45			20:45		100
9:00			21:00		100
9:15			21:15		100
9:30			21:30		100
9:45			21:45		100
10:00			22:00		100
10:15			22:15		100
10:30			22:30		100
10:45			22:45		100
11:00			23:00		100
11:15			23:15		100
11:30			23:30		100
11:45			23:45		
12:00			0:00		

(3) 汚染物質発生量スケジュール

汚染物質の発生量を以下に示す。発生量は換気回数が0.75回/hの時に許容濃度となるように定めた。局所換気が稼働している時間帯は局所換気システムの風量を加味して発生量を定めた。

表Ⅲ-2-3-44 発生量スケジュール

時刻	発生量					時刻	発生量				
	リビング mg/h	和室 mg/h	主寝室 mg/h	子供部屋1 mg/h	子供部屋2 mg/h		リビング mg/h	和室 mg/h	主寝室 mg/h	子供部屋1 mg/h	子供部屋2 mg/h
0:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	12:15	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
0:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	12:30	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
0:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	12:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	13:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	13:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	13:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	13:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	14:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	14:15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	14:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	14:45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	15:15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	15:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	15:45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	16:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
4:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	16:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
4:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	16:45	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	17:00	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	17:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	17:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	17:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	18:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6:15	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	18:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6:30	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	18:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	18:45	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19:00	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7:15	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19:15	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7:30	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19:30	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	21:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	21:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	21:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	21:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
10:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	22:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
10:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	22:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
10:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	22:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
10:45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22:45	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
11:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23:00	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
11:15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23:15	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
11:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23:30	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
11:45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23:45	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0
12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0:00	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0

### 5-3-2 換気性能評価

換気性能評価の結果を以下に示す。定風量制御にはどの都市においても換気性能を満たしている結果となった。変風量制御時は優先制御に比べ全居室均一制御の換気性能が悪くなる傾向がある。これは全居室均一制御の場合には、全般換気システムの制御を切り替える基準となる濃度が住宅全体での平均濃度のため、リビングなどが許容濃度を上回っている場合でも他室の濃度と平均した場合に許容濃度を下回るため、全般換気システムの制御が切り替わらないため許容濃度を超える時間が増える傾向があるためである。

全体的にSRFが0.9以上を確保しており新鮮空気充足度がおおよそ満たされていると考えられる。

表Ⅲ-2-3-45 年間SRF

都市	運転制御	年間SRF					
		リビング	和室	主寝室	子供室1	子供室2	住宅全体
盛岡	定風量制御(換気回数0.75回/h)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	変風量制御(全居室均一制御)	0.980	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998
秋田	定風量制御(換気回数0.75回/h)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	変風量制御(全居室均一制御)	0.979	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	0.993	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999
東京	定風量制御(換気回数0.75回/h)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	変風量制御(全居室均一制御)	0.978	1.000	1.000	1.000	1.000	0.995
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999

### 5-4 空調負荷計算及びエネルギー消費量計算

建築環境シミュレーション用の汎用入力インターフェイス「AE-CAD」、及び温熱環境シミュレーションプログラム「AE-Sim/Heat」を用いて暖冷房負荷を求めた。

#### 5-4-1 計算条件

##### 5-4-1-1 計算モデル

図Ⅲ-2-3-76を参照。

##### 5-4-1-2 各部位層構成

AE-SimHeatモデルの窓、玄関ドアの仕様を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-46 AE-SimHeatモデルの窓、玄関ドア仕様

部位	材料名	熱伝導率 W/(m・K)	厚さ mm	備考
屋根	合板	0.16	9	
	通気層	-	100	
	合板	0.16	12.5	
	高性能グラスウール断熱材 16K相当	0.038	12.5	
天井	吹込用グラスウール断熱材2種 30K相当	0.04	100	
	石膏ボード	0.22	12.5	
外壁	木片セメント板	0.17	15	
	通気層	-	18	
	住宅用グラスウール16K	0.045	100	
	石膏ボード	0.22	12.5	
間仕切り壁	住宅用グラスウール10K	0.05	12.5	
	石膏ボード	0.22	100	
	石膏ボード	0.22	12.5	
床	密閉空気層	R = 0.09	12	
	石膏ボード	0.22	100	
土間床	合板	0.16	150	
基礎壁	高性能グラスウール断熱材 16K相当	0.038	150	
土間床	コンクリート	1.6	150	
基礎壁	コンクリート	1.6	150	

##### 5-4-1-3 窓、玄関ドア仕様

AE-SimHeatモデルの窓、玄関ドアの仕様を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-47 AE-SimHeat モデルの窓、玄関ドア仕様

No	設置空間	材料名		方位	床面からの高さ		仕様				
		幅 mm	高さ mm		窓下端 mm	窓上端 mm	窓K値 W/(m <sup>2</sup> ・K)	ガラス種類	ガラス物性値		
									透過率 %	反射率 %	遮蔽係数
1	LDK	1,650	1,800	S	0	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
2	LDK	1,650	1,800	S	0	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
3	LDK	1,650	1,100	E	700	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
4	LDK	360	900	E	900	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
5	LDK	650	1,830	E	0	1,830	4.65	勝手ロアルミドア			
6	和室	2,560	1,800	S	0	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
7	和室	1,650	1,300	N	500	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
8	洗面脱衣室	360	900	W	900	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
9	浴室	740	700	N	900	1,600	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
10	トイレ	360	900	N	900	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
11	廊下	1,690	2,330	S	0	2,330	4.65	玄関アルミ製引違戸			
12	廊下(2階)	1,650	500	N	1,000	1,500	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
13	廊下(2階)	740	700	N	1,100	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
14	廊下(2階)	740	700	N	1,100	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
15	廊下(2階)	740	700	N	1,100	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
16	主寝室	1,650	1,800	S	0	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
17	主寝室	1,650	1,100	E	700	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
18	子供室1	1,650	1,100	S	700	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
19	子供室1	1,650	900	W	1,100	2,000	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
20	子供2	1,650	1,100	S	700	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9
21	クローゼット	360	900	E	900	1,800	4.65	普通複層ガラス	73.7%	13.4%	0.9

5-4-2 年間空調負荷及び年間消費エネルギー量  
年間空調負荷の計算結果を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-48 年間空調負荷

都市	運転制御	年間空調負荷					
		リビング MJ	和室 MJ	主寝室 MJ	子供室1 MJ	子供室2 MJ	住宅全体 MJ
盛岡	定風量制御(換気回数0.75回/h)	25,427	16,339	10,660	9,647	7,916	69,990
	変風量制御(全居室均一制御)	23,108	15,256	9,546	8,509	6,769	63,189
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	23,040	15,252	9,550	8,508	6,769	63,119
秋田	定風量制御(換気回数0.75回/h)	25,309	16,203	10,957	9,766	8,024	70,259
	変風量制御(全居室均一制御)	23,106	15,129	9,870	8,673	6,918	63,696
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	23,038	15,126	9,870	8,671	6,915	63,620
東京	定風量制御(換気回数0.75回/h)	17,361	11,532	8,151	7,385	6,127	50,556
	変風量制御(全居室均一制御)	15,417	10,553	7,172	6,401	5,147	44,690
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	15,235	10,557	7,175	6,399	5,143	44,508

年間消費エネルギー量の計算結果を以下に示す。

表Ⅲ-2-3-49 年間消費エネルギー量

都市	運転制御	年間消費エネルギー量(空調負荷+全般換気)
		住宅全体 MJ
盛岡	定風量制御(換気回数0.75回/h)	22,039
	変風量制御(全居室均一制御)	18,825
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	18,807
秋田	定風量制御(換気回数0.75回/h)	22,106
	変風量制御(全居室均一制御)	18,951
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	18,932
東京	定風量制御(換気回数0.75回/h)	17,180
	変風量制御(全居室均一制御)	14,200
	変風量制御(リビング、主寝室優先制御)	14,154

## 5-5 まとめ

空気環境モニタリングを利用した換気システム性能評価法を用いて、提案する換気システムに導入した場合の換気性能、汚染物質濃度及び空調負荷を計算すること、そのために必要なプログラムの改良を行うことを目的とし、対象とする住宅の室間流量を把握するために換気回廊計算プログラムによる計算を行い、得られた室間流量をもとに換気性能、汚染物質濃度及び空調負荷の計算を行った。

まず、対象住宅における住宅全体、リビング、主寝室の新鮮外気導入量の実測値と Ventsim 計算結果を比較し、実測値が Ventsim 計算値より 10%程度多くなる傾向があるが、実際の測定には理論計算のモデルに落とし込めない外乱条件や、建物の隙間位置の偏りなどが存在するため、十分に許容範囲内の差であることを確認した。

次に、室内濃度及び換気性能を得るため室間流量の行列データを作成、これを用いて年間の 1 時間毎の室内濃度を計算するプログラムを作成し、さらにそのプログラムの実行結果から得られた室内濃度と室間流量データから換気性能評価を行うプログラムを作成した。

このプログラムによる換気性能評価により、定風量制御にはどの都市においても換気性能を満たしている結果となった。変風量制御時は優先制御に比べ全居室均一制御の換気性能が悪くなる傾向がある。これは全居室均一制御の場合には、全般換気システムの制御を切り替える基準となる濃度が住宅全体での平均濃度のため、リビングなどが許容濃度を上回っている場合でも他室の濃度と平均した場合に許容濃度を下回るため、全般換気システムの制御が切り替わらないため許容濃度を超える時間が増える傾向があるためである。しかし、全体的に SRF が 0.9 以上を確保しており新鮮空気充足度がおおよそ満たされていると考えられる。

最後に、建築環境シミュレーション用の汎用入力インターフェイス「AE-CAD」、及び温熱環境シミュレーションプログラム「AE-Sim/Heat」を用いて暖冷房負荷を求めた。その結果、今回の設定条件では、定風量制御に比べて変風量制御の方が 2 割程度消費エネルギーの少なくなることがわかった。

## 2. 4 センサ性能評価法の検討

国立大学 東京大学は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構よりの受託課題「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」の一環として、「センサ性能評価法の調査」業務を担当し、検出器に要求される測定対象成分及び応答性に係わる基礎データ収集を行うことを目的とした。

### 2. 4. 1 市販T-VOC計の選択とその特性調査

カタログによる市場流通品の T-VOC 計のデータ比較することにより、本プロジェクトに適した T-VOC 計を選択し、対象 T-VOC 計の文献調査及びフィールドにおける特性調査を目的とした。

#### 2. 4. 1. 1 T-VOC計により表示される値の意味

カタログにより市場で流通している T-VOC センサを調査したところ、T-VOC センサというものは市場には存在せず、多くの場合炭化水素の総量を測定するモニタであることがわかった。ここで、T-VOC と炭化水素の違いであるが、T-VOC は室内 VOC の総量を表し、国内では指針値が策定されている 13 物質以外の VOC 総量規制の指標として用いられている。その定義は対象範囲を  $C_6$  から  $C_{16}$  とし、その中の同定物質および未同定物質の濃度の和を意味する。これに対し、総炭化水素は、屋外大気や水質の分野で用いられている手法である。屋外大気の場合は存在するほとんどの炭化水素がメタンであることから、メタンを除いた VOC の炭素数を体積濃度比で表す非メタン炭化水素 (Non-Methane Hydro Carbon、以下 NMHC) という指標を用いる。水質の分野では総有機炭素 (Total Organic Carbon、以下 TOC) を用いる。この指標は水中の有機物質を熱分解することにより、二酸化炭素とし、その濃度を測定することにより炭素量を求めたものである。

表 III-2-4-1 に示した 13 種類のセンサのうち本研究で使用する T-VOC センサに要求される項目として、実験室内あるいは本プロジェクトで後に行う実環境中での濃度変動を測定できること、自動的な測定およびその後の解析をするためにコンピュータに接続できること、さらに空間分布が測定できることが要求される。以上より、本プロジェクトで使用するセンサの選定基準を下記の 4 点とした。

- ① 連続モニタリングが可能
- ② 外部出力がある
- ③ 持ち運び可能
- ④ 多点同時計測が可能

表 III-2-4-1 市場流通品 T-VOC 計一覧

●TVOC簡易測定法

検出方式	メーカー名	名称・型式	表示単位	測定範囲 (ppm)					測定精度/分解能	測定時間	重量	その他
				0.01	1	100	10000	1000000				
FID 水素炎イオン化検出器	1 PHOTOVAC (輸入・伯東)	Micro-FID	ppm				0.5-50,000ppm		検出限界 メタン0.5ppm	2sec.	3.7Kg	
PID 光イオン検出器	2 PHOTOVAC (輸入・伯東)	2020-PRO	ppm				0.5-20,000ppm			2sec.	0.8Kg	
	3 Rae systems (輸入・横河電機)	PGM7600	ppm				0-10,000ppm	±2ppm 分解能 0.1ppm	3sec. (90%応答)	0.55Kg		
	4 Rae systems (輸入・横河電機)	VM30	ppm				0-2,999ppm	±2ppm 分解能 0.1ppm	10sec. (90%応答)	0.18kg		
	5 Rae systems (輸入・松下テクノトレーディング)	ppbRAE plus	ppbまたはppm ・172物質をトルエン換算 ・レンジ切替 (ppm)				0-9,999ppm	分解能 1ppb	5sec. (90%応答)	0.553kg		
						10-99.9ppm	" 0.1ppm					
						100-20,009ppm	" 1ppm					
PAS 光音響法	6 INNOVA社 (輸入・松下テクノトレーディング)	1312型					0.5-500 ppm	検出能力:1ppm			光学フィルターで5種類まで定量可能	
半導体式検出器	7 MK Scientific	VOC計 C-21					50-100ppm	10%			0.14kg	
	8 フィガロ技研	FTVR-01	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ・レンジ切替 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1000/10000/100000				~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.3ppm)					
							~10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 2.7ppm)					
	9 新コスモス電機	XP-339V	無単位 (指示値 0-1000)				~100000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 26.9ppm)				0.55kg	

●ポータブルガスクロマトグラフィー(TVOC、VOC)

検出方式	メーカー名	名称・型式	表示	測定範囲 (ppm)					測定精度/分解能	測定時間	重量	その他
				0.01	1	100	10000	1000000				
PID 光イオン検出器	10 PHOTOVAC (輸入・伯東)	Petro-Pro	ppbまたはppm				ベンゼン 0.05-100ppm トルエン 0.05-200ppm エチルベンゼン 0.1-200ppm m-キシレン 0.05-100ppm			30-250sec.	6.6kg	ベンゼン,トルエン,エチルベンゼン,m-キシレン
半導体式検出器	11 ジェイエムエス	JHV-1000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				10-1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.03-0.3ppm)	再現性 ±5%F.S.	10min.	9kg	トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン パラジクロロベンゼン, TVOC	
	12 アピリット	EGC-2	ppmまたは $\mu\text{g}/\text{m}^3$				19-4340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.005-1.2ppm)		8min.	5.8kg	トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン	
	13 新コスモス電機	XG-100V	ppbまたは $\mu\text{g}/\text{m}^3$				4-3700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (トルエン換算 0.001-1.0ppm)	指示濃度誤差 ±5%	30min.	9kg	トルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン	



表Ⅲ-2-4-1 に示したセンサの中から、選定基準を満たすセンサとして、光イオン化検出器法（Photo Ionization Detector、以下 PID 法）を用いた Rae Systems 社製の ppb RAE Plus を本プロジェクトで使用する測定器とした。なお、これ以外のセンサはいずれかの選定条件が欠けることから仕様検討の時点で除外した。

## 2. 4. 1. 2 PIDの特性

### ・ 基本原理

PID モニタ検出部は、イオン化装置 (UV ランプ)、イオン検出器 (PID センサー) から構成されている。UV ランプが照射するエネルギー (10.6eV) よりも低いイオン化ポテンシャルを持つ VOCs がイオン化され、検出器に導入される。イオン化ガスの電荷量を単一ガス濃度に換算して表示する。物質ごとに相対感度を基準とする補正係数 (Collection Factor) が用意されており、測定値に補正係数を掛けることで任意の VOCs 換算濃度が求まる。表示される測定値は、各種 VOCs の中で相対感度が中程度のイソブチレンが標準として用いられている (図 Ⅲ-2-4-1 参照)。

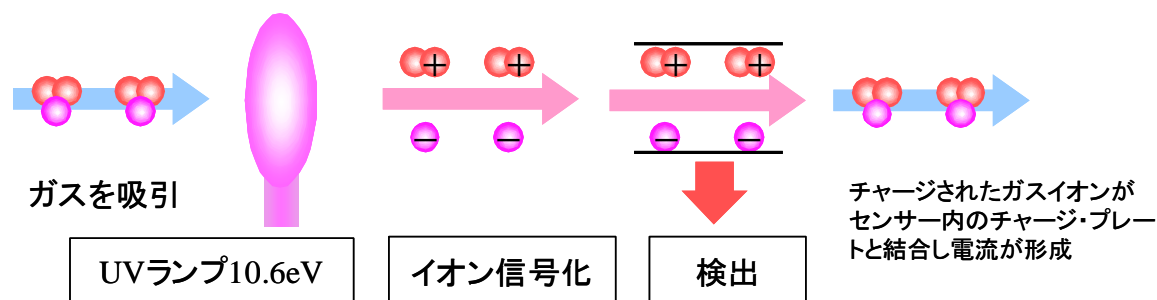


図 Ⅲ-2-4-1 PID の測定原理

### ・ 文献調査による PID 法の Rae Systems 社 ppb RAE Plus の特性

野崎らは、GC/MS と PID モニタを用いて、36 成分 VOC 混合ガスの T-VOC 濃度を測定・比較した。結果、両者の値には  $R^2$  が 0.999 以上と高い相関が確認され、PID の測定性能が実験室レベルで示された。平野らは、改正大気汚染防止法に係る測定法を決める際の検討として、簡易測定法の中から FID、触媒酸化-NDIR、PID を用い、トルエンの感度を基準とした各 VOC 成分の相対感度調査を行った。その結果、FID、触媒酸化-NDIR は様々な VOC に対して一様な感度を有している一方、PID は脂肪族炭化水素やアルコール類など、一部の VOC に対しては感度が低いと報告している。図 Ⅲ-2-4-2 に PID の VOC 族別、炭素数別感度を示す。

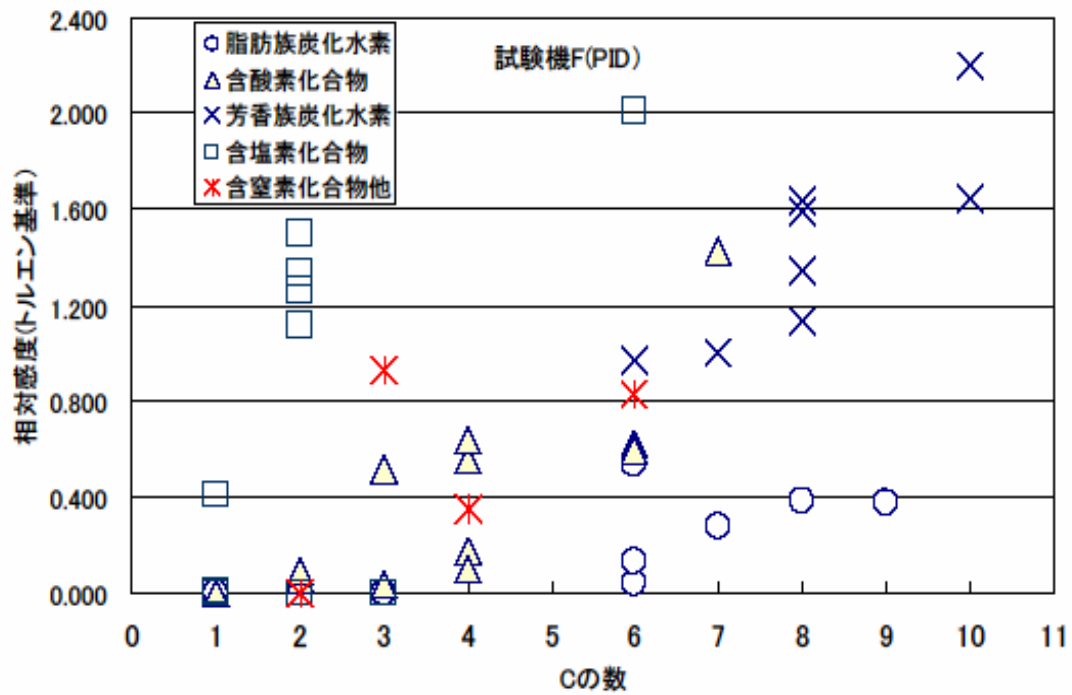
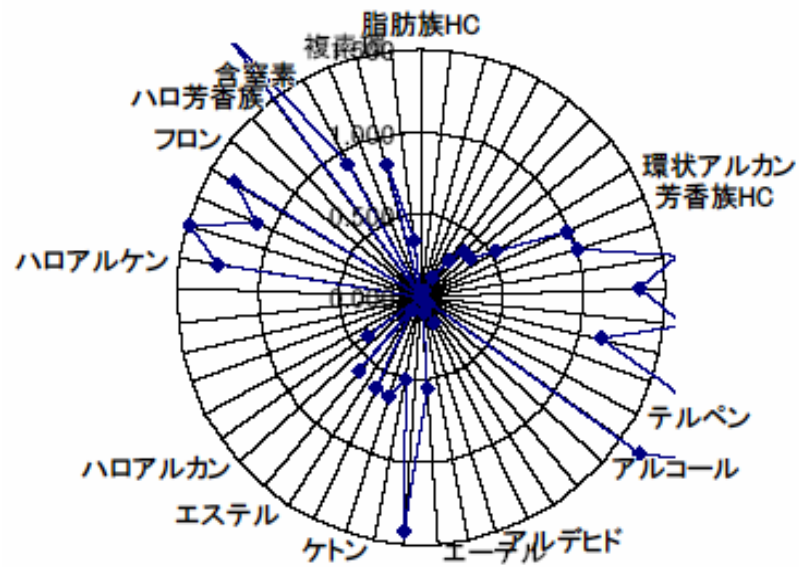


図 III-2-4-2 PID の相対感度（上図：族別，下図：炭素数別）

- ・ 室内フィールドにおける T-VOC センサの特性の検討

## 目的

実環境ではさまざまな物質が存在することや、水蒸気などの干渉が考えられることから、フィールドにおいて本センサを使用し精密法と比較することにより、多成分共存下におけるセンサの特性とその影響に関するデータを蓄積することを目的とした。

## 測定概要

測定は 2006 年 1 月から 2 月の間に、住宅 12 軒、事務所 3 軒、作業環境 5 箇所の測定を行った。それぞれの環境で PID 法とレファレンスとなる精密法による同時測定を行った。

VOC 濃度の測定は ATD tube (PerkinElmer 社製) を用い、ポンプ流量 100 ml/min で 60 分間捕集した後 GC/MS 法にて分析した。分析条件を表 III-2-4-2 に示す。

カルボニル類濃度の測定には、XpoSure Aldehyde Sampler (Waters 社製) を用い、ポンプ流量 1 L/min で 60 分間捕集した。捕集後アセトニトリル 10 ml で抽出し、HPLC にて分析した。分析条件を表 III-2-4-3 に示す。

表 III-2-4-2 TD-GC/MS 分析条件

Desorption instrument	ATD650 Turbo Matrix (Perkin Elemer)
Primary desorption	300 °C, 10 min
Secondary desorption	5 °C → 40 °C/min → 300 °C (10 min)
GC/MS	HP6890/HP5973N
Column	HP-1 (60 m × 0.25 mm × 1 mm)
Carrier gas	He (1 mL/min)
Column temperature	40 °C (4 min) → 7 °C/min → 280 °C (4 min)

表 III-2-4-3 HPLC 分析条件

HPLC	Hewlett Packard HP1100
Column	Supelco Discovery RP AmideC16, 250 mm × 4.6 mm, 5 μm
Mobile phase	CH3CN:H2O = 65:35
Flow rate	1.0 ml/min
Injection volume	20 μL
Column temperature	35 °C
Detector	Diode Array Detector (DAD) 360 nm

測定結果のうち住宅に関するものを図 III-2-4-3 に示す。横軸には精密法による値を、縦軸には PID による測定結果を示す。これより、実環境でも精密法と PID 法による T-VOC 値の間には相関関係が存在する可能性が確認できた。またそれぞれの住宅における傾きを比較したところ、近い値を示したことから用途が似通った環境では一定の換算係数を用いることができると考えられた。ただし、それぞれの相関式の切片にはばらつきが見られた。これは、それぞれの住宅における VOC 組成の違いに起因するものであると考えられる。今後は、データを蓄積することにより、それぞれの測定法と関連付ける式 1 に示すような補正式を提案することができる。

$$C = kC_m + b \quad (\text{式 1})$$

- $C$  : 精密法による TVOC の値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- $k$  : 換算係数
- $C_m$  : 簡易モニターによる TVOC 値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- $b$  : 切片

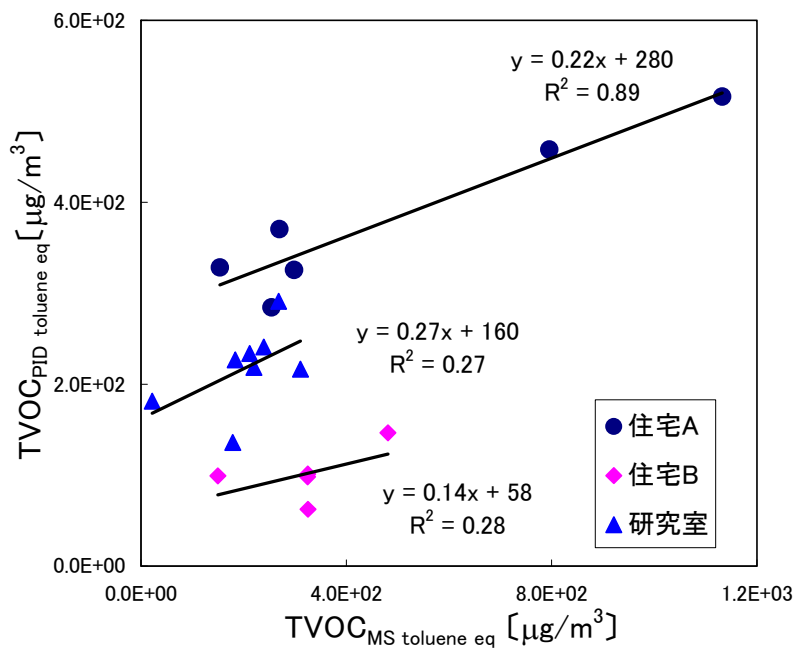


図 III-2-4-3 実居住住宅における精密法と PID 法の関係

- ・ フィールドにおける濃度変動

住宅における T-VOC の時系列濃度測定結果より、精密法では追従できない濃度変動が PID 法では確認された。特に開放型燃焼器具の運転開始などの生活行為により T-VOC 濃度が急激に上昇することが確認された。今後はこのような実環境下での測定データを蓄積することによりセンサーに要求される応答性などを定量化することが必要であるといえる。

## 2. 4. 2 実住宅環境調査と市販T-VOC計の適応性

18年度は、以下の3点について検討を行った。

- ① 本プロジェクトにおいて対象とするT-VOCについての情報収集
- ② 実測による室内化学物質の調査
- ③ 簡易センサによる実測調査

### 2. 4. 2. 1 本プロジェクトで対象とするT-VOCについての情報収集

換気システムが設置される空間内の濃度は、建材・施工材といった定常発生する建物由来のVOCと、居住者の活動により非定常に発生するVOCが混在し、この組み合わせにより空間内の総揮発性有機化合物濃度（以下T-VOC）も変動する。よってここでは、室内環境を表現しうる揮発性有機化合物対策用高感度検出器（以下開発検出器）の開発にあたり、実空間に存在しうる揮発性有機化合物（以下VOC）と目標とすべき濃度範囲について調査した。

- ・ 各機関におけるT-VOCの取り扱い

現在のところT-VOCに対する明確な基準が定められている機関はごく一部であり、日本でも暫定目標値（ $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）が示されているのみである。表Ⅲ-2-4-4に各機関におけるT-VOCのガイドラインを、表Ⅲ-2-4-5にSeifertnoの定義による化学種別指針値を示す。ただし、これらの数値は毒性学的データから求められたものではなく、合理的に達成可能なレベルとして判断されたものである。

表 Ⅲ-2-4-4 各機関におけるT-VOCガイドライン

機 関	対 象	ガイドライン ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
北欧建築物規制協会	一般住居	400
	オフィス	1,300
	学校	300
SCANVAC	一般住居	200 (目標値) 500 (実行値)
オーストラリア	一般住居	500 (1時間値)

表 III-2-4-5 Seifert T-VOC 定義による化学種別指針値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Alkane	100
Aromatic	50
Terpene	20
Halocarbon	30
Ester	30
Ketone	20
Etc.	50
T-VOC	300

なお、ここで述べられている T-VOC は、沸点が 50-100°C から 240-260°C までの揮発性有機化合物の総量を指しており、ホルムアルデヒドやアセトアルデヒド、エタノールなどの低級カルボニル化合物やアルコールは含まれていない。T-VOC のスクリーニング的定量方法としては、加熱脱着ガスクロマトグラフ (TD-GC/MS) 法により得たピーク面積の総和をトルエン換算するのが一般的である。

・ 既往研究による室内化学物質の動向

現在、室内環境の評価には、厚生労働省により示された 13 種類の化学物質が用いられている。表 III-2-4-6 に指針値物質とその主な発生源を、表 III-2-4-7 に国土交通省の 17 年度発表による新築住宅における指針値物質の平均濃度と超過住宅の割合を示す。本報告によれば、厚生労働省より室内濃度指針値が示されている 13 種類の揮発性有機化合物およびカルボニル化合物の新築住宅内濃度は、アセトアルデヒドの指針値超過住宅が微増傾向にある以外はいずれの物質についても大幅に低くなってきている。

しかし、T-VOC 濃度については必ずしも低くなっておらず、いくつかの自治体による室内 VOC 汚染実態調査でも、使用建材特有の VOC や居住者の活動により発生する VOC がその主な原因として報告されている。以下にいくつかの例をあげる。

- ・ エタノール・・・エタノール製品の使用、飲酒、調理等の生活活動より発生
- ・ 脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類・・・石油等燃料の揮発及び燃焼ガスより発生
- ・ パラジクロロベンゼン・・・衣類用防虫剤、トイレ用芳香剤より発生
- ・  $\alpha$ ピネン・・・天然木質建材より発生
- ・ リモネン・・・芳香剤より発生

表 III-2-4-6 室内空气中化学物質濃度の指針値とその主な発生源

化学物質	室内濃度指針値	発生源
Formaldehyde	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	合板、PB、集成材、壁紙接着剤、ガラス繊維断熱材など
Toluene	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	油性ニス、接着剤、木材保存剤など
Xylene	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	油性ニス、ペイント、接着剤、木材保存剤など
p-Dichlorobenzene	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	防虫剤、防ダニ剤、消臭剤など
Ethylbenzene	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	有機溶剤塗料、接着剤など
Styrene	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	発泡ポリスチレン、断熱材、合成ゴムなど
Chlorpyrifos	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 但し小児では 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	塩化ビニル製品など
Dibutylphthalate	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	可塑剤
Tetradecane	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	防蟻剤など
Bis(2-ethylhexyl) phthalate)	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	殺虫剤など
DAIAZINON	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	防蟻剤など
Acetaldehyde	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	塗料の溶剤、灯油
FENOBUCARB	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	接着剤、防腐剤
T-VOC (暫定目標値)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	



表 III-2-4-7 新築住宅における平均濃度と指針値超過住宅の割合

		12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度
ホルムアルデヒド <sup>※1</sup> 指針値=0.08ppm	平均濃度	0.073ppm	0.050ppm	0.043ppm	0.040ppm	0.028ppm	0.025ppm
	超過住宅の割合	809件/2,815件 28.7%	230件/1,726件 13.3%	98件/1,390件 7.1%	84件/1,491件 5.6%	29件/1,780件 1.6%	18件/1,181件 1.5%
トルエン 指針値=0.07ppm	平均濃度	0.041ppm	0.023ppm	0.017ppm	0.017ppm	0.004ppm	0.003ppm
	超過住宅の割合	384件/2,816件 13.6%	107件/1,680件 6.4%	67件/1,390件 4.8%	33件/1,491件 2.2%	10件/1,780件 0.6%	4件/1,181件 0.3%
キシレン 指針値=0.20ppm	平均濃度	0.006ppm	0.009ppm	0.005ppm	0.004ppm	0.002ppm	0.001ppm
	超過住宅の割合	5件/2,816件 0.2%	5件/1,680件 0.3%	0件/1,390件 なし	2件/1,491件 0.1%	4件/1,780件 0.2%	0件/1,181件 なし
エチルベンゼン 指針値=0.88ppm	平均濃度	0.010ppm	0.005ppm	0.003ppm	0.004ppm	0.001ppm	0.001ppm
	超過住宅の割合	0件/2,816件 なし	0件/1,680件 なし	0件/1,390件 なし	0件/1,491件 なし	0件/1,780件 なし	0件/1,181件 なし
スチレン 指針値=0.05ppm	平均濃度		0.002ppm	0.001ppm	0.000ppm	0.000ppm	0.001ppm
	超過住宅の割合	実施せず	18件/1,680件 1.1%	0件/1,390件 なし	1件/1,491件 0.1%	1件/1,780件 0.1%	7件/1,181件 0.6%
アセトアルデヒド <sup>※2</sup> 指針値=0.03ppm	平均濃度			0.017ppm	0.015ppm	0.018ppm	0.017ppm
	超過住宅の割合	実施せず	実施せず	128件/1,390件 9.2%	141件/1,491件 9.5%	172件/1,780件 9.7%	137件/1,181件 11.6%

出典：国土交通省

平成 17 年度室内空気中の化学物質濃度の実態調査の結果について

また、指針値物質の代替として使われる物質の出現も原因のひとつであると考えられる。今後の室内環境を考えた場合、様々な建材や家具から放散される代替物質の放散が増加してくることが予想される。よって、開発検出器についてもそれらの物質に対応できる応答性を備えていることが求められる。

製品評価技術基盤機構（nite）の報告によれば、主な代替物質の例としては、次のようなものが挙げられる。

トルエン、キシレン→イソプロパノール、ブタノール、メチルエチルケトン  
塩化メチレン、クロロホルム → アセトン、シクロヘキサン

エチレングリコール、エチルベンゼン、アミノエタノール → トリエタノールアミン

これらの物質は市販の T-VOC センサでも感度が劣ることが多く、開発検出器においても注意が必要である。

- ・ T-VOC による室内環境評価

ここまで、T-VOC による室内環境評価が必要であることを述べてきたが、T-VOC

に含まれる物質の全てに健康影響が懸念される訳ではない。現在のところ毒性学的知見に基づいた T-VOC 指針値設定は困難ではあるが、将来リスク評価に基づく T-VOC 指針値が設定された場合には、快適で健康的な室内空気質環境の基準として個別 VOC 濃度と T-VOC 濃度の双方がそれぞれの指針値を満たすことが求められるであろう。

現時点では、室内 VOC の種類や濃度などの実態調査結果を最大限に活用し、合理的に達成可能な範囲で、暫定目標値を提示することが、快適で健康的な室内空気質環境を実現する上で有効であると考えられる。よって、室内環境を評価する上では、ホルムアルデヒドやトルエンといった個々の物質について評価するだけでなく、その他の物質もできるだけ広く総括した T-VOC による評価を行うことを提案する。

## 2. 4. 2. 2 実測による室内化学物質の調査

### 調査概要

居住状態の住宅 7 戸についてそれぞれ居間と寝室の室内濃度を精密法（GC/MS 法及び HPLC 法）により測定し、同一住宅内の濃度差と指針値物質、市販されている標準物質を用いて定量した定量物質と T-VOC の 3 種類の濃度を用いて室内環境を評価した。

なお、T-VOC 濃度は次の方法で求めた。閾値をトルエン検量線の最低検出濃度（1 ng）のアバンダンスとし、保持時間 9.38 分から 33.95 分（ヘキサンからヘキサデカン）のトータルイオンクロマトグラム (TIC) を積分し、トルエンのアバンダンスの積分値で作成した検量線により、トルエン濃度に換算した。

### 調査結果

以下に各調査住宅における室内化学物質濃度を示す。また、T-VOC 濃度と指針値物質濃度、標準物質による定量物質濃度割合を示す。

表 III-2-4-8 A邸のVOCおよびカルボニル化合物濃度(μg/m<sup>3</sup>)

工法：木軸在来パネル工法 (FP工法)、高気密高断熱  
換気方式：第3種 建築年：2004年3月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	5.56	50.92
Benzene	N. D	1.20
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	1.29	19.59
<b>Toluene</b>	<b>1.04</b>	<b>53.68</b>
n-Butylacetate	7.39	102.94
<b>Ethylbenzene</b>	<b>0.48</b>	<b>14.57</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>N. D</b>	<b>4.43</b>
<b>Styrene</b>	<b>1.06</b>	<b>123.84</b>
o-Xylene	N. D	3.55
a-Pinene	26.50	336.26
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>0.28</b>	<b>2.09</b>
d-Limonene	3.44	95.43
Nonanal	3.10	33.99
Undecane	1.08	37.21
Dodecane	N. D	1.51
Tridecane	N. D	1.33
<b>Tetradecane</b>	<b>0.49</b>	<b>2.60</b>
<b>T-VOC (toluene 換算)</b>	<b>157.76</b>	<b>1835.47</b>
<b>指針値 Total</b>	<b>3.37</b>	<b>204.77</b>
<b>定量物質 Total</b>	<b>51.72</b>	<b>885.14</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	<b>44.18</b>	<b>68.76</b>
<b>Acetaldehyde</b>	<b>30.49</b>	<b>37.38</b>
Acetone	44.45	43.26
Propionaldehyde	6.66	9.46
Butyraldehyde	2.85	3.20
Benzaldehyde	7.25	8.87
2,5-dimethylbenzaldehyde	64.94	74.71

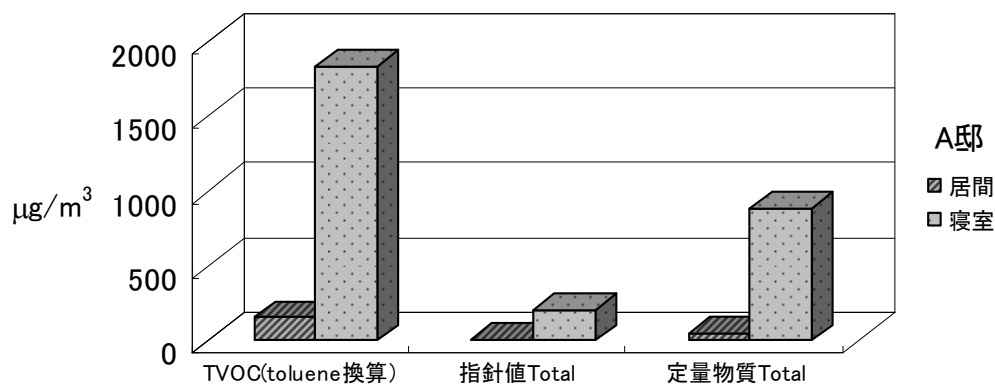


図 III-2-4-4 A邸における室内VOC濃度の各評価法比較

表 III-2-4-9 B 邸の VOC およびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：木軸在来パネル工法 (FP 工法)、高気密高断熱  
換気方式：第 3 種 建築年：2005 年 3 月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	N. D	3.52
Benzene	N. D	N. D
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	N. D	0.52
<b>Toluene</b>	<b>2.73</b>	<b>4.84</b>
n-Butylacetate	0.55	1.38
<b>Ethylbenzene</b>	<b>0.40</b>	<b>0.87</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>N. D</b>	<b>0.34</b>
<b>Styrene</b>	<b>1.54</b>	<b>2.63</b>
o-Xylene	N. D	0.23
a-Pinene	55.56	62.23
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>137.00</b>	<b>17.73</b>
d-Limonene	3.26	N. D
Nonanal	3.70	3.51
Undecane	1.09	0.48
Dodecane	N. D	0.18
Tridecane	N. D	N. D
<b>Tetradecane</b>	<b>N. D</b>	<b>0.23</b>
T-VOC (toluene 換算)	<b>315.93</b>	<b>223.03</b>
<b>指針値 Total</b>	<b>141.67</b>	<b>26.87</b>
<b>定量物質 Total</b>	<b>205.83</b>	<b>98.69</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	<b>67.04</b>	<b>63.99</b>
<b>Acetaldehyde</b>	<b>117.91</b>	<b>105.18</b>
Acetone	259.51	243.57
Propionaldehyde	23.41	21.08
Butyraldehyde	18.81	17.04
Benzaldehyde	46.74	43.31
2,5-dimethylbenzaldehyde	215.41	197.94

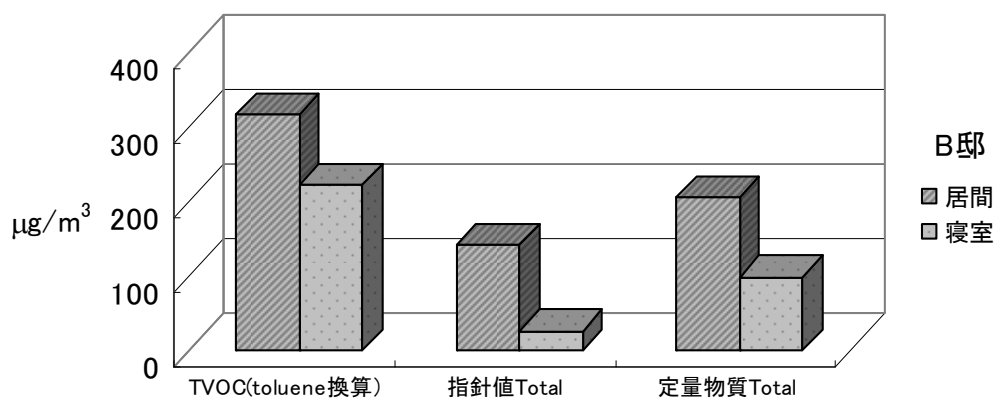


図 III-2-4-5 B 邸における室内 VOC 濃度の各評価法比較

表 III-2-4-10 C邸のVOCおよびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：木軸在来工法（エアサイクル工法）、高断熱  
換気方式：第3種 建築年：2006年3月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	17.13	N. D
Benzene	N. D	N. D
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	0.86	1.18
<b>Toluene</b>	<b>7.92</b>	<b>18.97</b>
n-Butylacetate	8.01	7.06
<b>Ethylbenzene</b>	<b>2.72</b>	<b>5.43</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>1.98</b>	<b>2.94</b>
<b>Styrene</b>	<b>N. D</b>	<b>3.50</b>
o-Xylene	1.41	2.40
a-Pinene	117.74	201.16
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>2.61</b>	<b>5.14</b>
d-Limonene	18.44	23.59
Nonanal	20.29	17.64
Undecane	0.93	1.50
Dodecane	12.13	8.23
Tridecane	58.31	24.80
<b>Tetradecane</b>	<b>26.78</b>	<b>10.82</b>
T-VOC (toluene 換算)	<b>613.17</b>	<b>620.62</b>
指針値 Total	<b>43.42</b>	<b>49.19</b>
定量物質 Total	<b>297.27</b>	<b>334.35</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	<b>19.49</b>	<b>21.93</b>
<b>Acetaldehyde</b>	<b>39.80</b>	<b>78.57</b>
Acetone	31.96	98.08
Propionaldehyde	3.06	7.07
Butyraldehyde	0.85	3.77
Benzaldehyde	2.28	7.77
2,5-dimethylbenzaldehyde	23.84	92.88

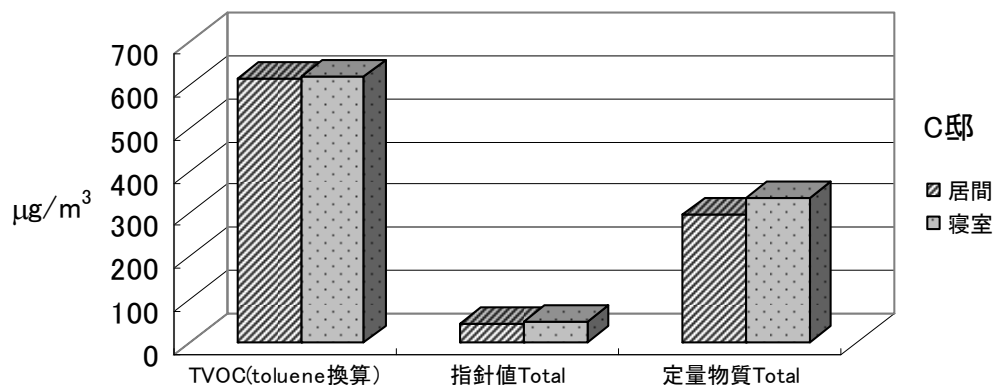


図 III-2-4-6 C邸における室内VOC濃度の各評価法比較

表 III-2-4-11 D 邸の VOC およびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：木軸在来工法（エアサイクル工法）、高断熱  
換気方式：第 3 種 建築年：2003 年 11 月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	13.96	0.20
Benzene	N. D	N. D
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	4.49	1.22
<b>Toluene</b>	<b>12.43</b>	<b>2.95</b>
n-Butylacetate	16.98	17.12
<b>Ethylbenzene</b>	<b>4.73</b>	<b>1.61</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>2.39</b>	<b>0.99</b>
<b>Styrene</b>	<b>5.17</b>	<b>N. D</b>
o-Xylene	1.66	0.65
a-Pinene	537.46	186.18
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>1.01</b>	<b>0.33</b>
d-Limonene	93.53	N. D
Nonanal	23.18	10.22
Undecane	1.71	0.22
Dodecane	1.99	0.37
Tridecane	1.15	0.42
<b>Tetradecane</b>	<b>1.79</b>	<b>0.70</b>
T-VOC (toluene 換算)	1313.14	376.03
指針値 Total	29.18	7.23
定量物質 Total	723.62	223.17

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	<b>23.94</b>	<b>26.38</b>
<b>Acetaldehyde</b>	<b>48.65</b>	<b>51.44</b>
Acetone	74.61	97.43
Propionaldehyde	3.51	4.82
Butyraldehyde	1.58	0.80
Benzaldehyde	5.98	5.17
2,5-dimethylbenzaldehyde	34.60	41.26

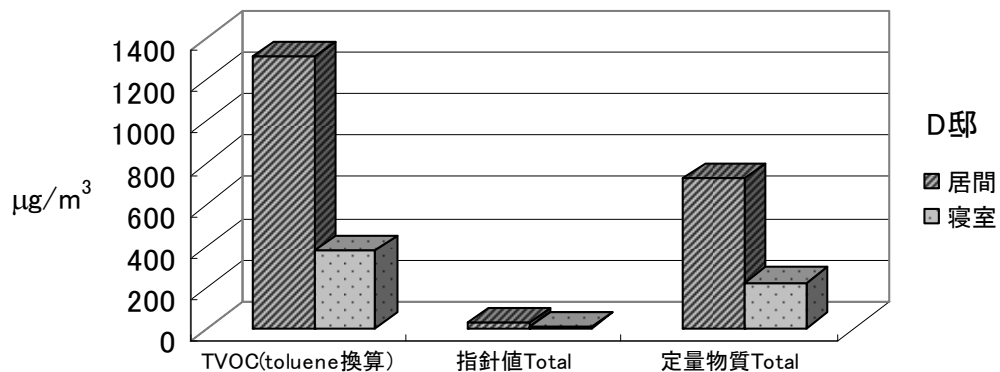


図 III-2-4-7 D 邸における室内 VOC 濃度の各評価法比較

表 III-2-4-12 G 邸の VOC およびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：木軸在来軸組み工法（内断熱工法）、高気密高断熱  
換気方式：第 1 種 建築年：2004 年 6 月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	44.40	30.76
Benzene	N. D	0.01
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	1.34	1.17
<b>Toluene</b>	<b>5.48</b>	<b>2.12</b>
n-Butylacetate	7.38	4.83
<b>Ethylbenzene</b>	<b>6.29</b>	<b>8.64</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>3.20</b>	<b>4.31</b>
<b>Styrene</b>	<b>10.09</b>	<b>13.76</b>
o-Xylene	1.73	1.97
a-Pinene	169.46	103.86
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>0.52</b>	<b>0.27</b>
d-Limonene	93.76	102.62
Nonanal	3.83	4.77
Undecane	N. D	N. D
Dodecane	1.71	1.02
Tridecane	1.63	0.77
<b>Tetradecane</b>	<b>3.27</b>	<b>2.67</b>
T-VOC (toluene 換算)	<b>685.34</b>	<b>612.95</b>
指針値 Total	<b>30.57</b>	<b>33.73</b>
定量物質 Total	<b>354.07</b>	<b>283.55</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	-	<b>14.02</b>
<b>Acetaldehyde</b>	-	<b>18.77</b>
Acetone	-	32.51
Propionaldehyde	-	1.89
Butyraldehyde	-	1.39
Benzaldehyde	-	2.89
2,5-dimethylbenzaldehyde	-	21.15

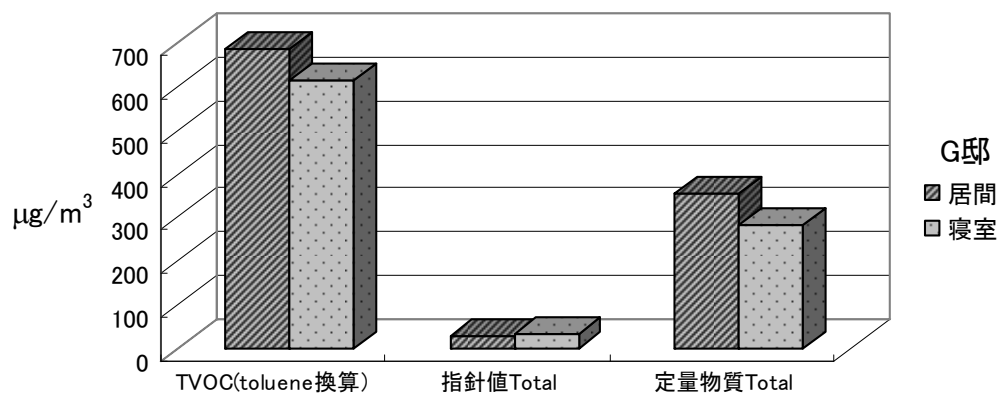


図 III-2-4-8 G 邸における室内 VOC 濃度の各評価法比較

表 III-2-4-13 H邸のVOCおよびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：枠組みパネル工法（トステムスーパーウォール）、高気密高断熱  
換気方式：第3種 建築年：2006年3月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	3.59	6.60
Benzene	0.45	N. D
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	0.43	0.39
<b>Toluene</b>	<b>1.01</b>	<b>1.24</b>
n-Butylacetate	1.20	1.07
<b>Ethylbenzene</b>	<b>0.43</b>	<b>0.42</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>0.35</b>	<b>0.30</b>
<b>Styrene</b>	<b>1.65</b>	<b>2.89</b>
o-Xylene	0.22	0.21
a-Pinene	85.88	87.35
<b>p-Dichlorobenzene</b>	N. D	<b>0.12</b>
d-Limonene	4.79	4.18
Nonanal	3.66	3.56
Undecane	N. D	0.40
Dodecane	N. D	1.90
Tridecane	0.71	0.84
<b>Tetradecane</b>	<b>0.54</b>	<b>0.47</b>
T-VOC (toluene 換算)	<b>245.98</b>	<b>246.19</b>
指針値 Total	<b>4.20</b>	<b>5.65</b>
定量物質 Total	<b>104.91</b>	<b>111.94</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	<b>21.86</b>	<b>11.37</b>
<b>Acetaldehyde</b>	<b>48.94</b>	<b>29.86</b>
Acetone	142.17	92.94
Propionaldehyde	7.97	4.80
Butyraldehyde	10.48	5.99
Benzaldehyde	7.72	3.22
2,5-dimethylbenzaldehyde	107.00	57.76

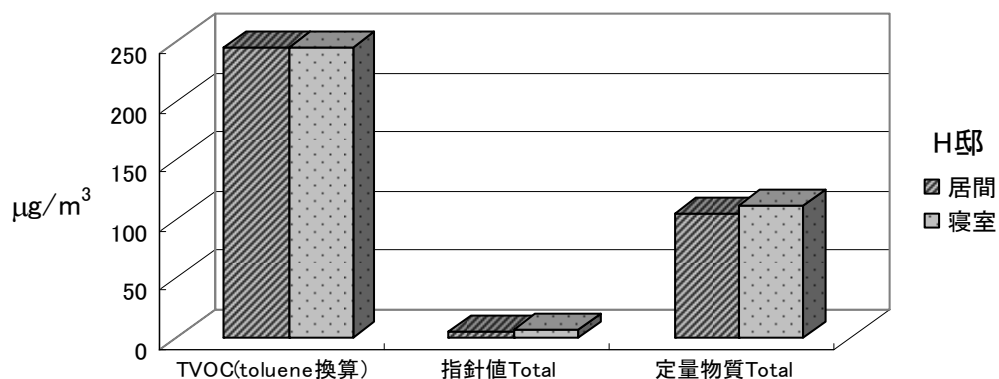


図 III-2-4-9 H邸における室内VOC濃度の各評価法比較



表 III-2-4-14 I 邸の VOC およびカルボニル化合物濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

工法：枠組パネル工法、高気密高断熱  
換気方式：第 3 種 建築年：2005 年 6 月

VOC (太字は指針値物質)	居間	寝室
Ethylacetate	1.89	2.90
Benzene	23.27	15.07
4-methyl-2-pentanone (MIBK)	N. D	N. D
<b>Toluene</b>	<b>1.23</b>	<b>1.38</b>
n-Butylacetate	1.30	1.00
<b>Ethylbenzene</b>	<b>0.29</b>	<b>0.31</b>
<b>m, p-Xylene</b>	<b>0.26</b>	<b>0.19</b>
<b>Styrene</b>	<b>0.50</b>	<b>3.66</b>
o-Xylene	0.23	0.18
a-Pinene	79.57	56.23
<b>p-Dichlorobenzene</b>	<b>5.83</b>	<b>16.77</b>
d-Limonene	4.08	3.09
Nonanal	2.68	2.38
Undecane	0.26	0.29
Dodecane	0.29	0.21
Tridecane	0.28	N. D
<b>Tetradecane</b>	<b>0.28</b>	<b>0.18</b>
<b>T-VOC (toluene 換算)</b>	<b>168.87</b>	<b>157.63</b>
<b>指針値 Total</b>	<b>8.63</b>	<b>22.67</b>
<b>定量物質 Total</b>	<b>122.25</b>	<b>103.84</b>

Carbonyl (太字は指針値物質)	居間	寝室
<b>Formaldehyde</b>	-	<b>21.93</b>
<b>Acetaldehyde</b>	-	<b>37.55</b>
Acetone	-	88.56
Propionaldehyde	-	5.55
Butyraldehyde	-	2.96
Benzaldehyde	-	6.65
2,5-dimethylbenzaldehyde	-	78.63

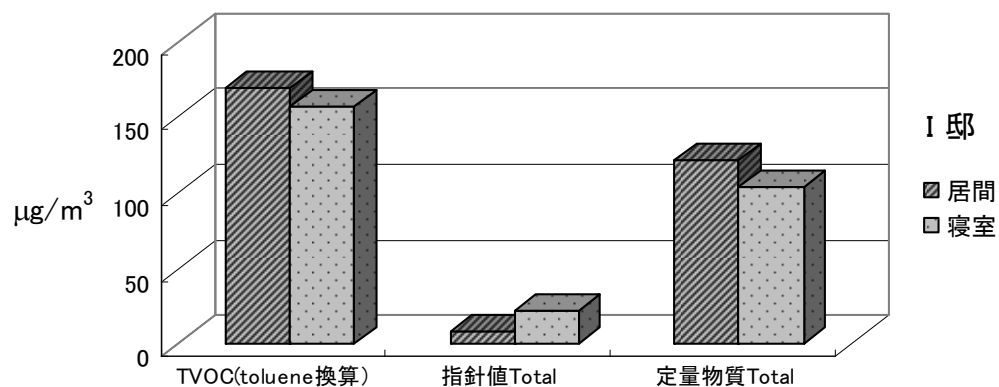


図 III-2-4-10 I 邸における室内 VOC 濃度の各評価法比較

・ まとめ

- 1) 指針値物質のうちアセトアルデヒド濃度 ( $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を超えた住宅が 7 件中 4 件あったが、他の指針値物質濃度を超えた住宅はなかった。
- 2) T-VOC の暫定目標値  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を超えた住宅は、7 件中 4 件あり、 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える住宅が 2 件あった。
- 3) T-VOC 濃度に比べ、指針値物質濃度は著しく低く、B 邸をのぞき 10%以下であった。
- 4) T-VOC 濃度に比べ定量物質濃度は低く、I 邸を除きほぼ 1/2 であった。
- 5) A 邸において、居間と寝室の VOC 濃度差が大きかった。その内訳をみると、寝室で  $\alpha$  ピネン、スチレン、リモネンの濃度が高く、持込家具や芳香剤による影響、また換気不測などの原因が考えられた。
- 6) D 邸では、A 邸と逆に居間において  $\alpha$  ピネンとリモネンの濃度が高く、寝室との VOC 濃度差を生じた。
- 7) 図 III-2-4-11 より住宅間あるいは室間の T-VOC 濃度差の原因となる物質として、酢酸ブチル、スチレン、 $\alpha$  ピネン、パラジクロロベンゼンがあげられる。よって開発検出器はこれらの物質に対する感度についても検証しておく必要があることが確認された。

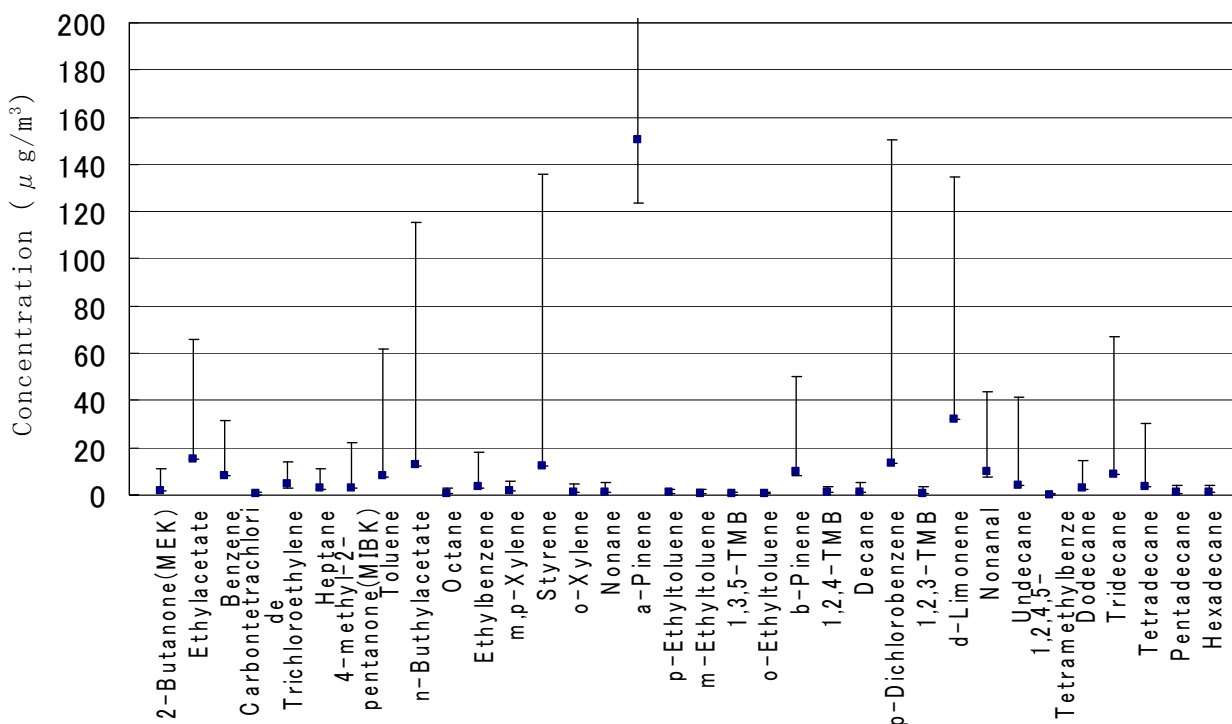


図 III-2-4-11 実居住住宅において検出された VOC 成分別濃度域

## 2. 4. 2. 3 簡易センサによる実測調査

室内空間の VOC 濃度が常時変動することを想定し、センサに要求される性能について提示するため、実空間における簡易センサの実用性について検証した。17 年度に選定した光イオン化検出器法 (Photo Ionization Detector、以下 PID 法) による実フィールドにおける適応性を確認するため、研究協力者 8 名に PID を持参してもらい、室内の T-VOC 濃度の経時変化パターンを調査した。なお、PID から得られた値は、Toluene 換算して T-VOC 濃度とした。下記に各室内の T-VOC 濃度の経時変化を示す。

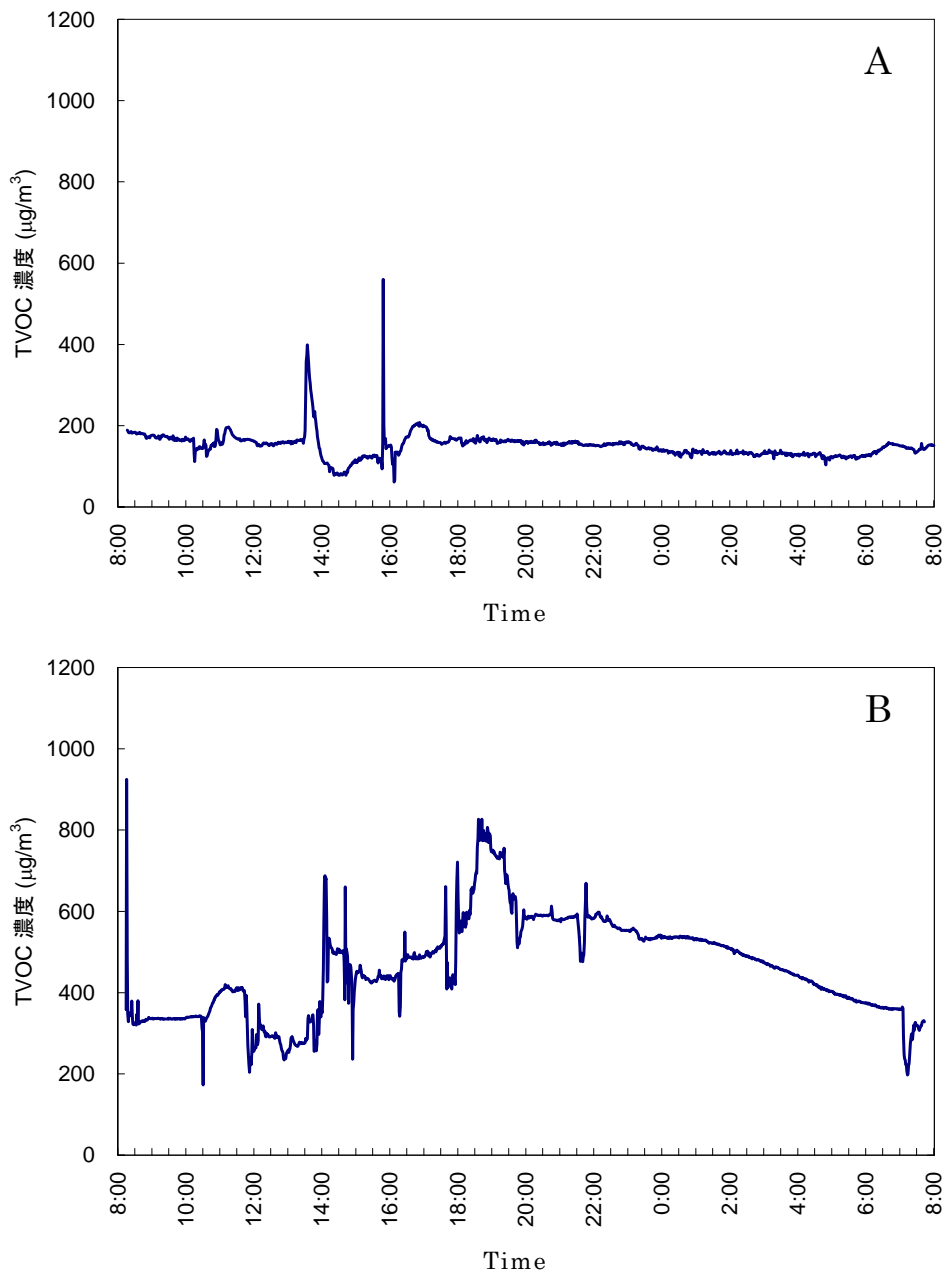


図 III-2-4-12 居住状態における室内の T-VOC 濃度の 24 時間変化

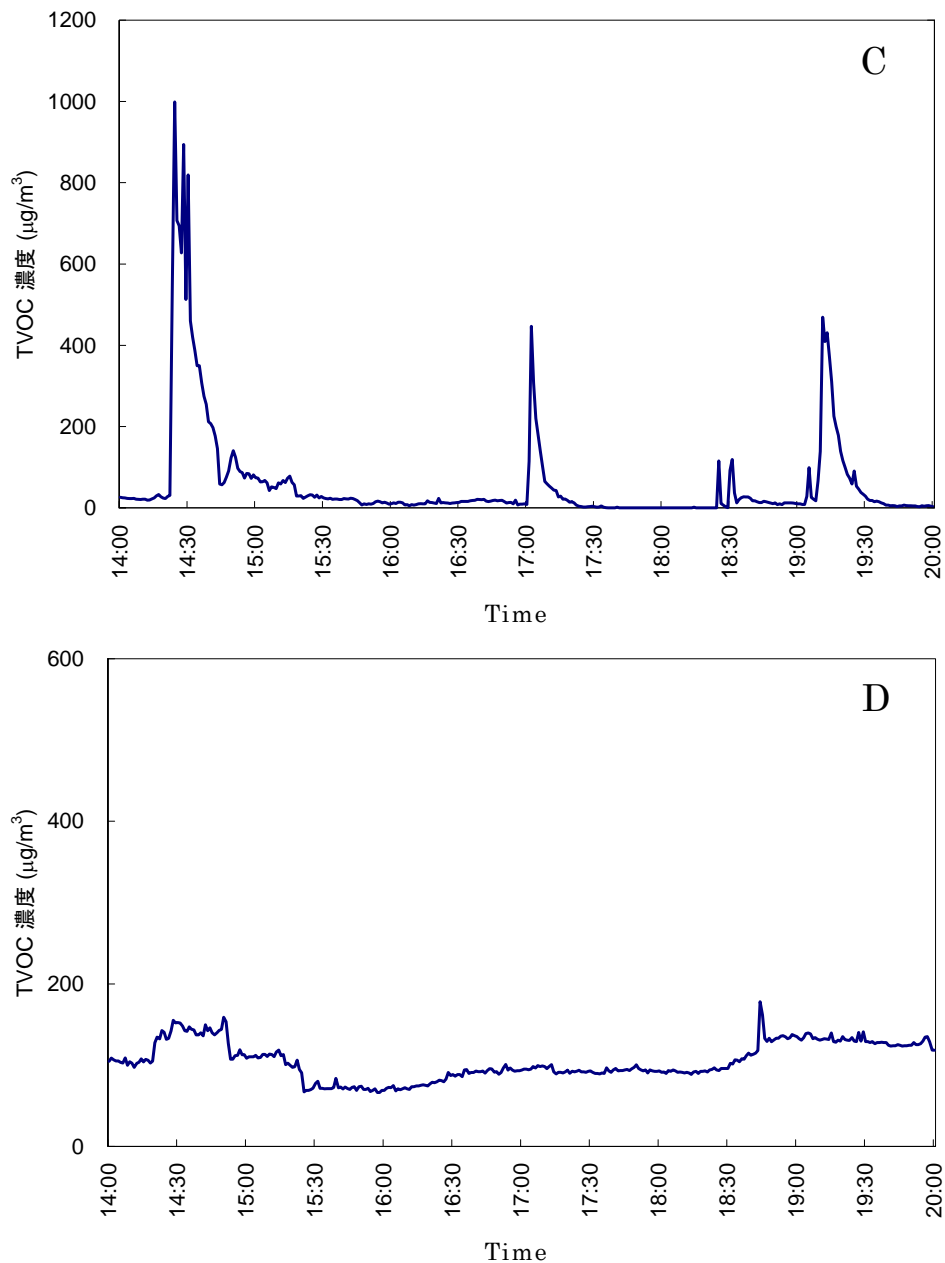


図 III-2-4-13 多人数在席室内の T-VOC 濃度変化

図 III-2-4-12 の A、B とともに室内の T-VOC 濃度変化であるが、そのパターンは全く異なっており、A においては、換気が適正に行われていることが考えられる。開発検出器を用いたモニタリングでもここで得られたような濃度変化がみられると考えられるが、換気設備の制御にどのように応用するためには、適切なアルゴリズムが必要であると考えられる。

図 III-2-4-13 は C、D とともに 5 人以上の多人数が同時に在席するような居室で測定されたものだが、そのパターンは大きく異なっていた。これは、居住者の活動の種類により T-VOC 濃度の変化も大きく異なることを示唆している。

以上の結果により開発検出器を用いたモニタリングにより換気設備を制御するためには、図 III-2-4-14 に示したようなカットオフポイントによる制御や、瞬時的濃度変動の扱いなどを考慮する必要があると考えられる。

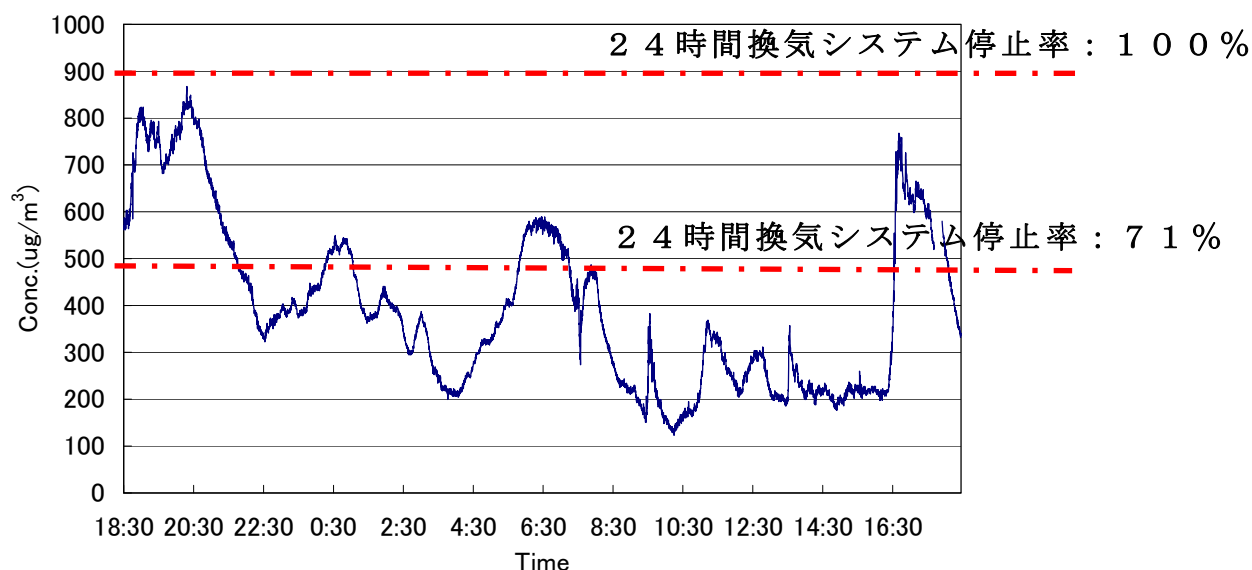


図 III-2-4-14 カットオフポイントによるエネルギー削減率

目的に照らした達成状況

① 本プロジェクトにおける T-VOC

国内外の室内空気質調査、T-VOC 濃度の基準について調査した結果、室内には厚生労働省によって示された指針値物質の他に建材由来の化学物質、居住者の活動によって生じる化学物質、これまで建材や家具に使われていなかった代替物質が混在している。これらの物質に対応するため、毒性に係わらず、総量としての VOC を把握することが健康で快適な室内環境を維持するためには重要であることを示した。

② 実測による室内化学物質濃度調査

精密法 (GC/MS 法、HPLC 法) による居住状態の一般住宅の測定により、指針値物質濃度および標準物質により定量される物質以外の物質、すなわち未同定物質が多く存在し、T-VOC としての定量が不可欠であること、同一住宅内でも室間で VOC 濃度に差があること、居住者の活動により生じる高濃度の VOC が存在することが確認された。特に建材が発生源である  $\alpha$ -ピネン、居住者の持ち込みによるパラジクロロベンゼン、リモネン、既存研究で報告されているエタノールなどは高濃度で検出される場合があり、開発検出器への影響を確認しておく必要があることが確認された。

### ③ 簡易センサによる実測調査

PID 法はおよその T-VOC 濃度を評価することができ、経時変化とともに室内環境評価のために有用である。PID 法により複数の室内について T-VOC 濃度の変化を観察したところ、就寝時にゆるやかな減少傾向が見られたほかには一定のパターンが見られず、換気設備制御のためには適切なアルゴリズムを構築する必要があることが示唆された。

## 2. 4. 3 実居住住宅の生活的要素調査と開発センサの評価

### 生活的要素 –フィールド調査–

室内で放散される VOC には、建材や持ち込み家具などにより徐々に放散されるものと、居住者の行動により発生するものがある。居住状態の住居では、居住者の行動によって室内の T-VOC 濃度は大きく変動する。喫煙や化学製品の使用、飲食などは T-VOC 濃度を増加させるプラスのイベントである。また、窓開け換気やキッチンなどに設置された局所換気設備の稼働などは、T-VOC 濃度を減少させるマイナスのイベントである。更にこれらのイベントの継続時間は一定しておらず、測定時間分解能を決定するためには、居住状態における複数の実測調査により頻度の多いイベントの種類とその継続時間について明らかにしておく必要がある。また、これらの情報をセンサによる換気設備制御に利用するためには、センサが検出すべき VOC 成分と濃度の変動、住宅内の濃度分布についても明らかにしなければならない。

東京大学では、これらの項目について明らかにするため居住状態の住宅において以下の通りの調査を行った。

#### ① 住居内における高濃度かつ濃度変動の大きい居室の調査

居住状態の住居内に複数の市販 T-VOC 計(光イオン化検出器:PID)を設置し、住居内の T-VOC 濃度変動を観測することにより、高濃度かつ濃度変動の大きい居室を選定した。

#### ② 居住者の行動による T-VOC 濃度変化の調査

①で選定した居室に PID を設置し、T-VOC 濃度変動を観測するとともに、居住者に行動記録表の記載を依頼し、居住者の行動と T-VOC 濃度変動の相関を調査した。また、室内空気を捕集し GC/MS 法、HPLC 法による VOC 成分の定性、定量分析を行うことにより、居住者の行動により発生する VOC の種類および濃度について調査した。

#### ③ モニタリングゾーンと非モニタリングゾーン間の汚染物質濃度変動影響の調査

VOC 発生源となる居室および住居内の複数点において PID による T-VOC 濃度変動調査を行い、住居内の汚染物質濃度変動を調査した。さらに、換気量および換気経路の状態変化による他室への濃度変動影響を調査した。

#### ④ 実空間における開発センサの実証実験および適応性評価

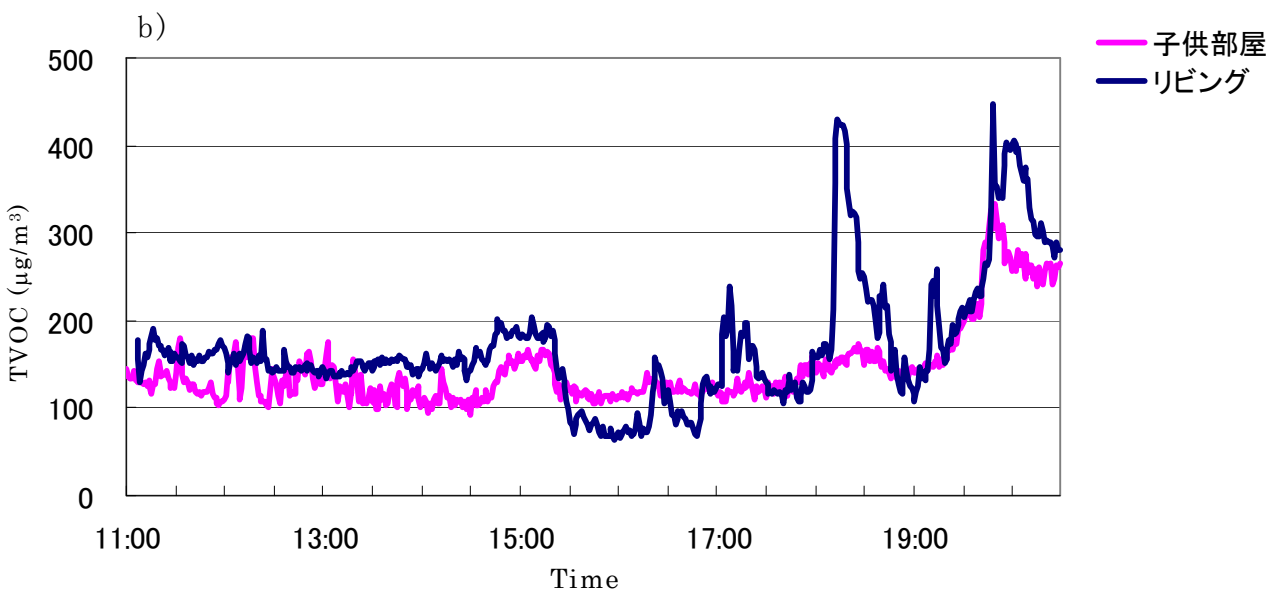
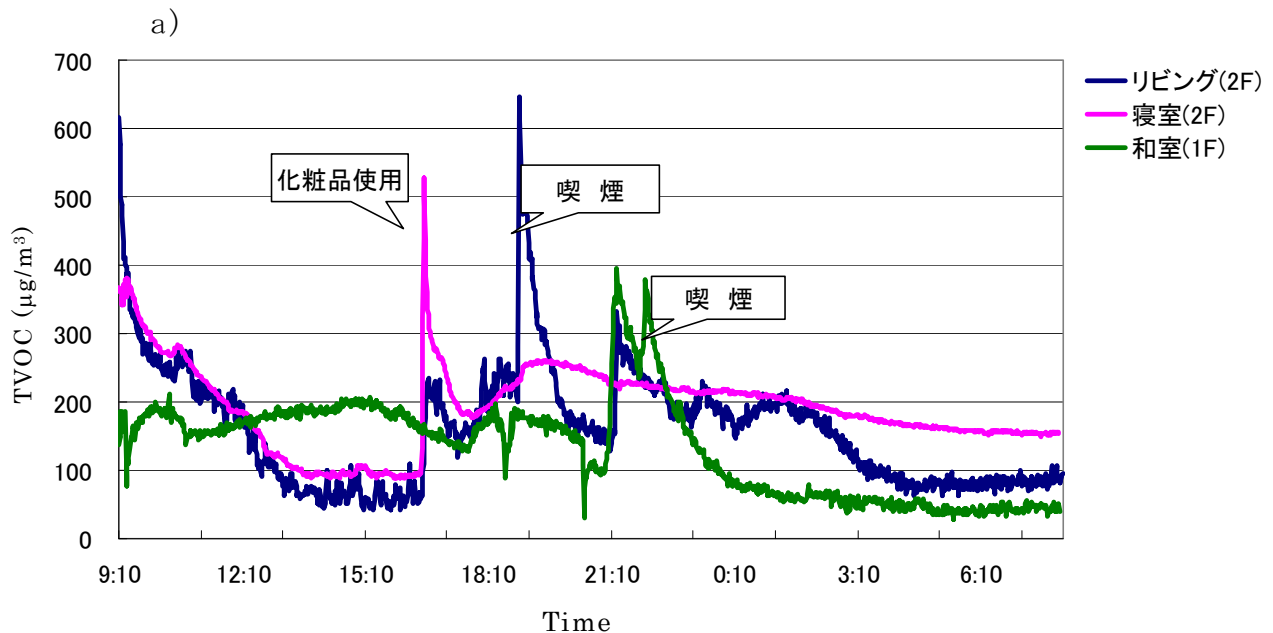
実験室および居住環境を用いて、プロトタイプ T-VOC 計およびプロトタイプ芳香族計と PID による T-VOC 濃度変動の同時測定を行った。実験室においては、トルエン、 $\alpha$ -ピネン、エタノール製品を放散させ、開発センサの感度および応答性について調査した。居住環境においては、居住者による行動記録表をもとに、居住者の行動により発生する VOC に対する開発センサの応答性を調査した。

## 2. 4. 3. 1 住居内における高濃度かつ濃度変動の大きい居室の調査

換気設備制御を T-VOC のモニタリングによって行う場合、また、居住者の行動による住居内 T-VOC 濃度変動を調査する場合、住居内のどの点においてモニタリングを行うことが有効であるかを決定する必要がある。

本調査では、複数の住宅において光イオン化検出器 (PID) を住居内に複数個設置し、居住状態における T-VOC 濃度の経時変化を調査した。

a) は、2F にキッチンが併設されたリビングルームがあるタイプである。測定点は、1F の和室と 2F のリビングルーム、個室において行った。b)、d) は、1F にリビングルームがあるタイプである。測定点は、1F のリビングルームと 2F の個室において行った。c) は、ワンフロアの住居である。測定点は、リビングルームと同点と離れた子供部屋において行った。





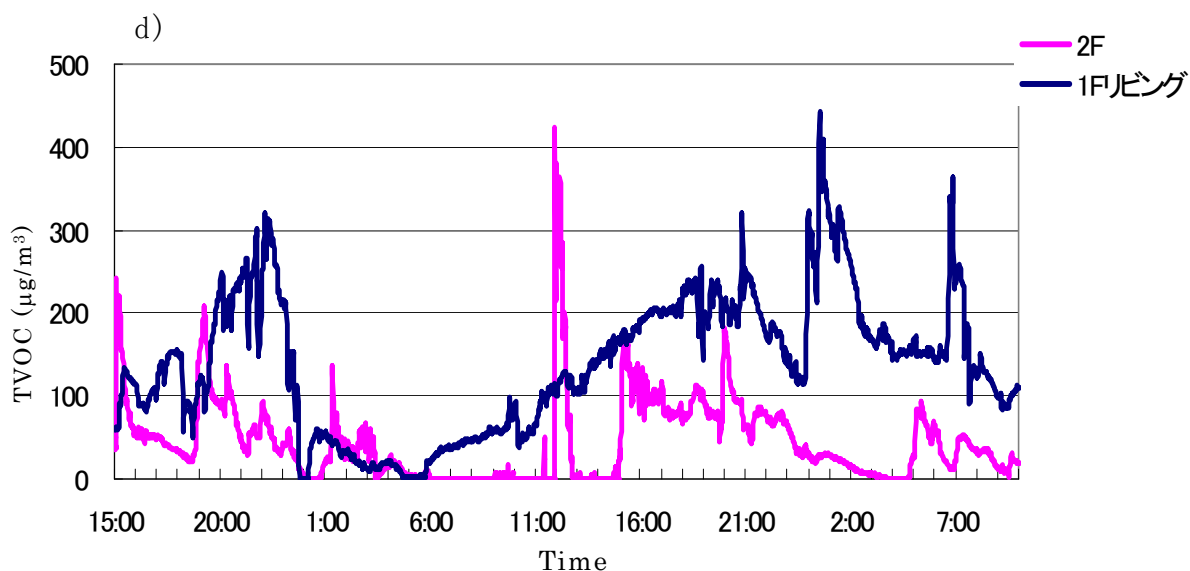
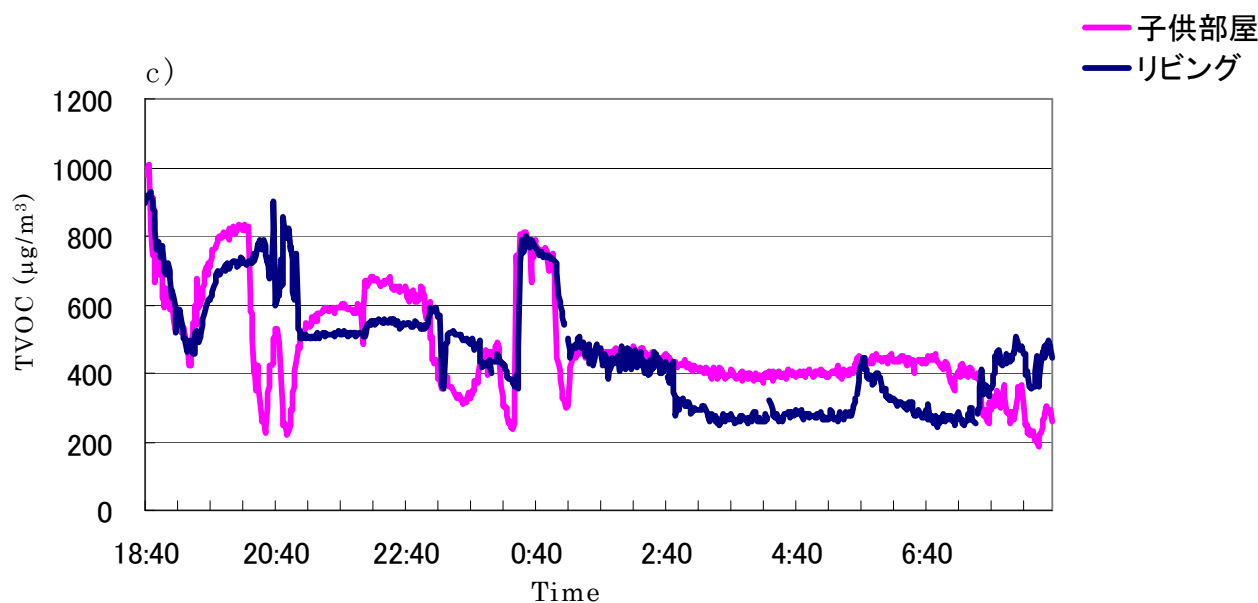


図 III-2-4-15 居住住宅内の複数点における T-VOC 濃度連続測定例

a)では、最も T-VOC 濃度が高く、濃度変動が大きい居室は、リビングルームであった。また、1F 和室の T-VOC 濃度変動は、2F のリビングルームで直ちに観測された。ただし、同じく 2F にある個室では、殆どこの変化が観測されなかったことからドアの閉鎖などにより空気の流れが制限されていたものと考えられる。逆に 2F の T-VOC 濃度変動は、1F の濃度に変動を与えず、この住居では、1F から 2F への空気の流れがあるものと考えられる。また、2F のリビングルームと個室の T-VOC 濃度変化は、弱い相関があった。その程度は、ドアや窓の開閉に影響されるものと考えられる。

b)においても、リビングルームにおける T-VOC 濃度変動が大きかった。2F の子供部屋にはリビングルームの変動があまり影響していないように見られたが、17 時以降の緩やかなベースラインの上昇は、住居内全体の T-VOC 濃度レベルが

上昇している可能性を示唆しているものと考えられ、20時のピークはドアの開閉によりリビングルームのT-VOC濃度変化が大きく影響したものと考えられた。

c)では、両居室のT-VOC濃度およびその変化は同等であった。これは住居がワンフロアで比較的小スペースであったため、一方で起こったT-VOC濃度変化は短時間のうちに住居内全体に及んだものと考えられる。また、20:40の濃度変動は、両居室で相反するものとなっており、窓開けなど大きく室内濃度を変動させる居住者の行動があったものと考えられる。

d)でも、T-VOC濃度およびその変動が大きい居室は、リビングルームであった、ただし、2Fの個室で数回にわたって見られる大きなT-VOCの濃度変動は、1Fの濃度変動に全く影響しておらず、同じ住居内でも居室の密閉度によって住居内各所への影響は様々であることが示された。

以上の結果から、居住住宅においてT-VOC濃度が最も高く、変動も大きい居室はリビングルームであった。また、多くの場合1F居室のT-VOC濃度変動は、2F居室に影響を与えやすいことが示された。ただし、個々の居室への影響または、居室から住居内全体への影響はドアの開閉により異なることが示唆された。

#### 2. 4. 3. 2 居住者の行動によるT-VOC濃度変化

前節より居住住宅において最もT-VOC濃度およびその変動が大きい居室はリビングルームであったので、リビングルームを中心に居住者の行動と室内のT-VOC濃度の経時変化の相関を調査した。さらに居住者の行動によって発生するVOC成分について調査した。

##### 調査方法

居住住宅内のT-VOC濃度変化を一台あるいは複数台のT-VOC計を設置することにより調査した。同時に居住者に行動記録表への記入を依頼し、居住者の行動とT-VOC濃度変化の相関を明らかにした。T-VOC計には市販品であるPID(RAEsystems社製)を用いた。また、数例については、居住者の行動変化に伴い室内空気をサンプリングし、精密法(GC/MS法及びHPLC法)を用いてVOC成分の同定、濃度測定を行った。

VOC成分分析ではATD tube(PerkinElmer社製)を用い、ポンプ流量100 ml/minで60分間捕集した後GC/MS法にて分析した。

カルボニル類の分析では、XpoSure Aldehyde Sampler(Waters社製)を用い、ポンプ流量1 L/minで60分間捕集した。捕集後アセトニトリル10 mlで抽出し、HPLCにて分析した。分析条件はともに17年度と同様である。

表 III-2-4-15 居住者行動記録表(例)

時刻	外出	在室 (居間・寝室)	食事関係				空調		換気			薬剤使用				備考欄： その他の活動についてい やなにかにおいがしたり、 空気質に違和感を感じた りした場合にご記入くだ さい。
			調理	食事	飲酒	喫煙	エアコン使用	その他暖房機使用	窓開け	掃除	換気扇の使用	化粧品	アロマ使用	殺虫剤使用	その他	
8:00																
8:10																
8:20																
8:30																
8:40																
8:50																
9:00																
9:10																
9:20																
9:30																
9:40																
9:50																
10:00																
10:10																
10:20																

・就寝時における T-VOC 濃度変化

居住住宅内の寝室に PID を設置し、室内 T-VOC 濃度の変化を調査した。対象物件は、築 8 年の木造住宅と築 1 年の木造住宅である。築 1 年住宅は 24 時間機械換気設備（第 3 種）が設置されており、居住者によりスイッチの ON/OFF が可能な住宅である。

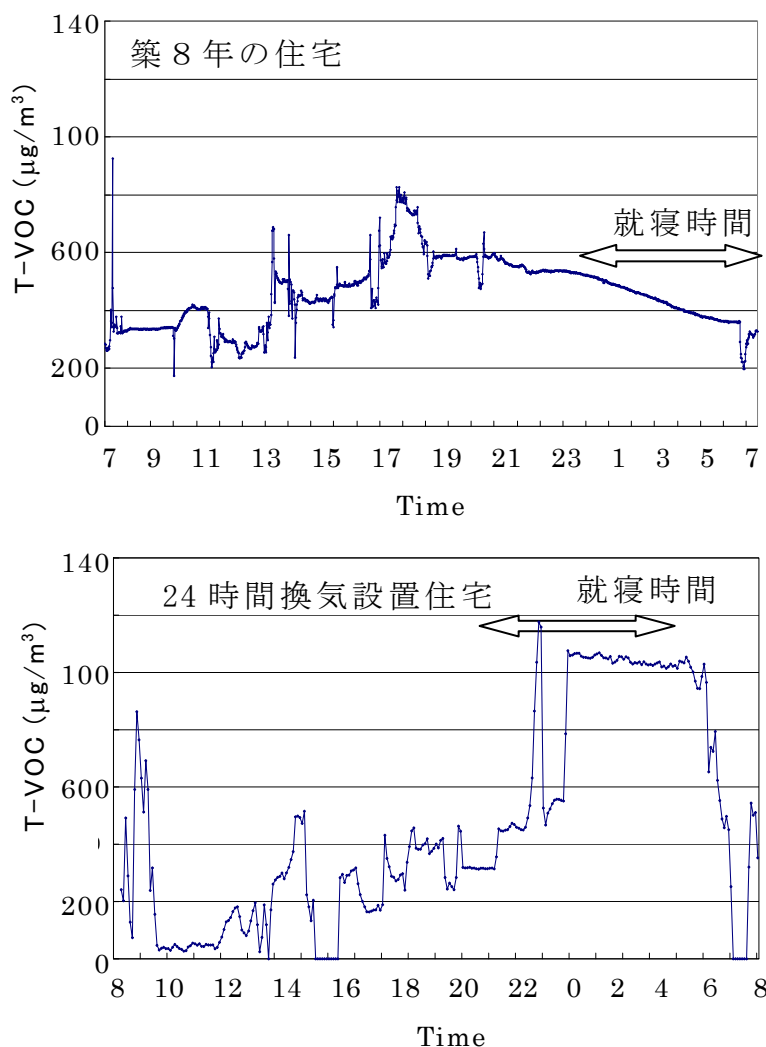


図 III-2-4-16 居住状態における T-VOC 濃度変化

改正建築基準法施行前に建てられた 24 時間機械換気設備を設置しない住宅では、一般に居住者が就寝中である時間帯は、室内の T-VOC 濃度が徐々に下がる傾向にあったが、24 時間換気設備設置住宅では、就寝中に T-VOC 濃度が上昇する様子が確認された。これは、居住者が換気設備のスイッチを切ったためであると考えられるが、同時に近年の住宅の高気密性を示すものである。居住者のこのような行動はしばしば見受けられるものであり、T-VOC 濃度により制御する換気設備を考える場合、居住者によって容易に換気設備の ON/OFF ができるような設備であってはならないと考えられる。

・ 飲食による VOC と T-VOC 濃度変化

対象住宅は、集合住宅内のワンフロアであり、キッチンとリビングは隣接している。寝室は廊下を経て2室離れており、換気設備はキッチンの換気扇とリビングのエアコンのみである。

飲食開始後リビングと隣接したキッチンの T-VOC 濃度は急速に上昇した。さらにリビングで発生した T-VOC 濃度変動は、約 10 分遅れて寝室の T-VOC 濃度上昇をもたらした。寝室には換気設備は設置されていないが、T-VOC 濃度減衰は、他室に比べ比較的緩やかであった。このことから、発生源（リビング）における速やかな換気が住居内の T-VOC 濃度を低く保つために有用であると考えられた。

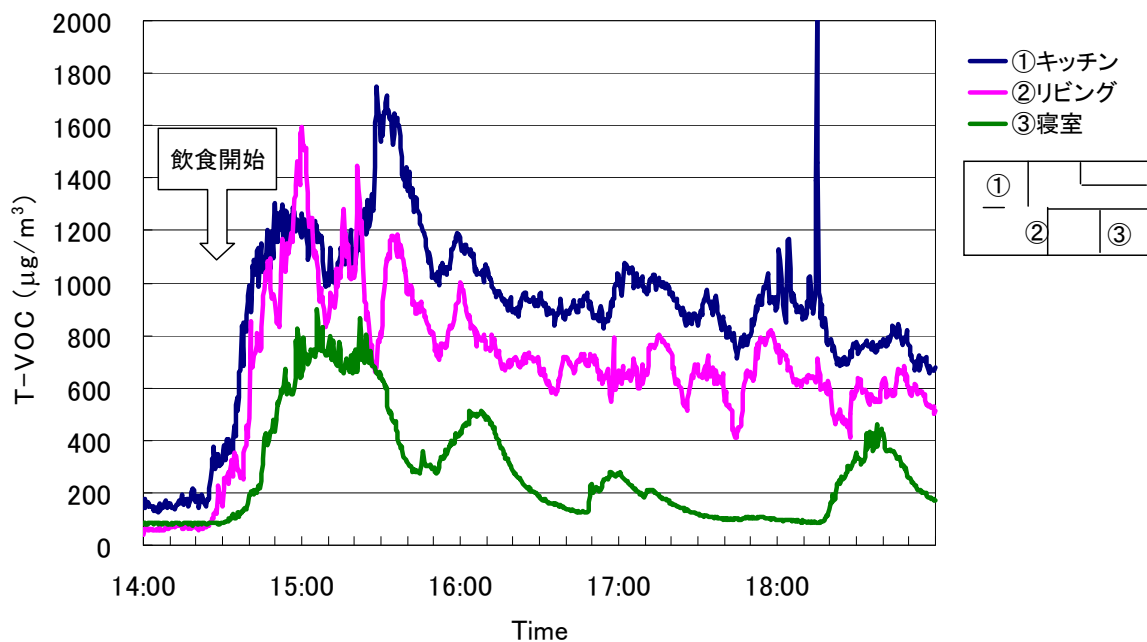


図 III-2-4-17 飲食による T-VOC 濃度の経時変化

飲食前後の VOC およびカルボニル化合物の同定、濃度分析を TD-GC/MS 法、HPLC 法を用いて行った。表 III-2-4-16 に結果を示す。

飲食による T-VOC 濃度上昇にもっとも寄与している成分は、アセトアルデヒドであった。図 III-2-4-18 にリビングにおける飲食前後のアセトアルデヒド濃度比を示す。アセトアルデヒドは、エタノールの摂取により体内で容易に生成される物質であるが、厚生労働省による室内濃度指針値は  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  とホルムアルデヒド ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) より低い値となっている。また、主な発生源が建材であるホルムアルデヒドと違い、アセトアルデヒドの発生は居住者の行動によることが多く、臭い強度との相関も高いことから、アセトアルデヒド濃度を指標とした室内空気質の評価も重要であると考えられる。このことから、開発センサについてもアセトアルデヒドの検知が必要であることが示唆された。

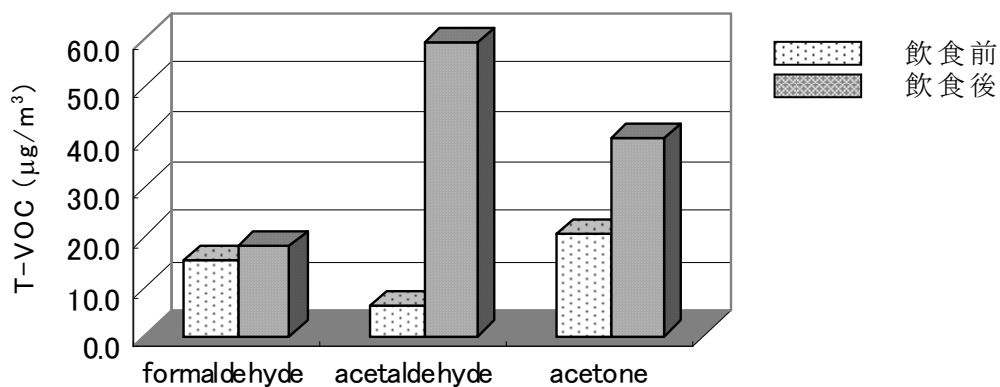


図 III-2-4-18 飲食による VOC の発生例 (リビング)

表 III-2-4-16 飲食前後の VOC およびカルボニル化合物濃度

	リビング		キッチン		寝室	
	飲食前	飲食後	飲食前	飲食後	飲食前	飲食後
2-Propanol	4.2	6.8	3.9	4.6	2.8	3.0
Ethylacetate	4.9	25.7	6.6	35.8	3.6	11.1
Toluene	12.0	18.7	7.7	10.2	12.7	8.1
Ethylbenzene	N. D	3.4	N. D	1.3	N. D	1.5
m, p-Xylene	N. D	2.8	N. D	2.0	1.6	1.3
o-Xylene	N. D	1.1	N. D	N. D	N. D	N. D
a-Pinene	1.3	2.6	1.8	2.9	1.3	1.6
1, 2, 4-TMB	N. D	1.4	N. D	1.0	N. D	N. D
Decane	N. D	3.6	2.1	1.8	2.1	N. D
p-Dichlorobenzene	N. D	1.7	N. D	5.3	N. D	3.6
d-Limonene	N. D	7.6	6.3	8.4	3.8	2.7
Formaldehyde	15.4	18.4	12.8	21.8	15.7	15.5
Acetaldehyde	6.2	59.0	17.9	62.3	6.1	20.5
Acetone	20.8	40.1	18.0	33.2	18.4	19.4

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

・その他の T-VOC 濃度変動要因

複数の居住住宅において、PID 法によるリアルタイムモニタリングと居住者による行動記録を行い、室内の T-VOC 濃度に変動を与える要因について調査した。調査の一例を以下に示す。

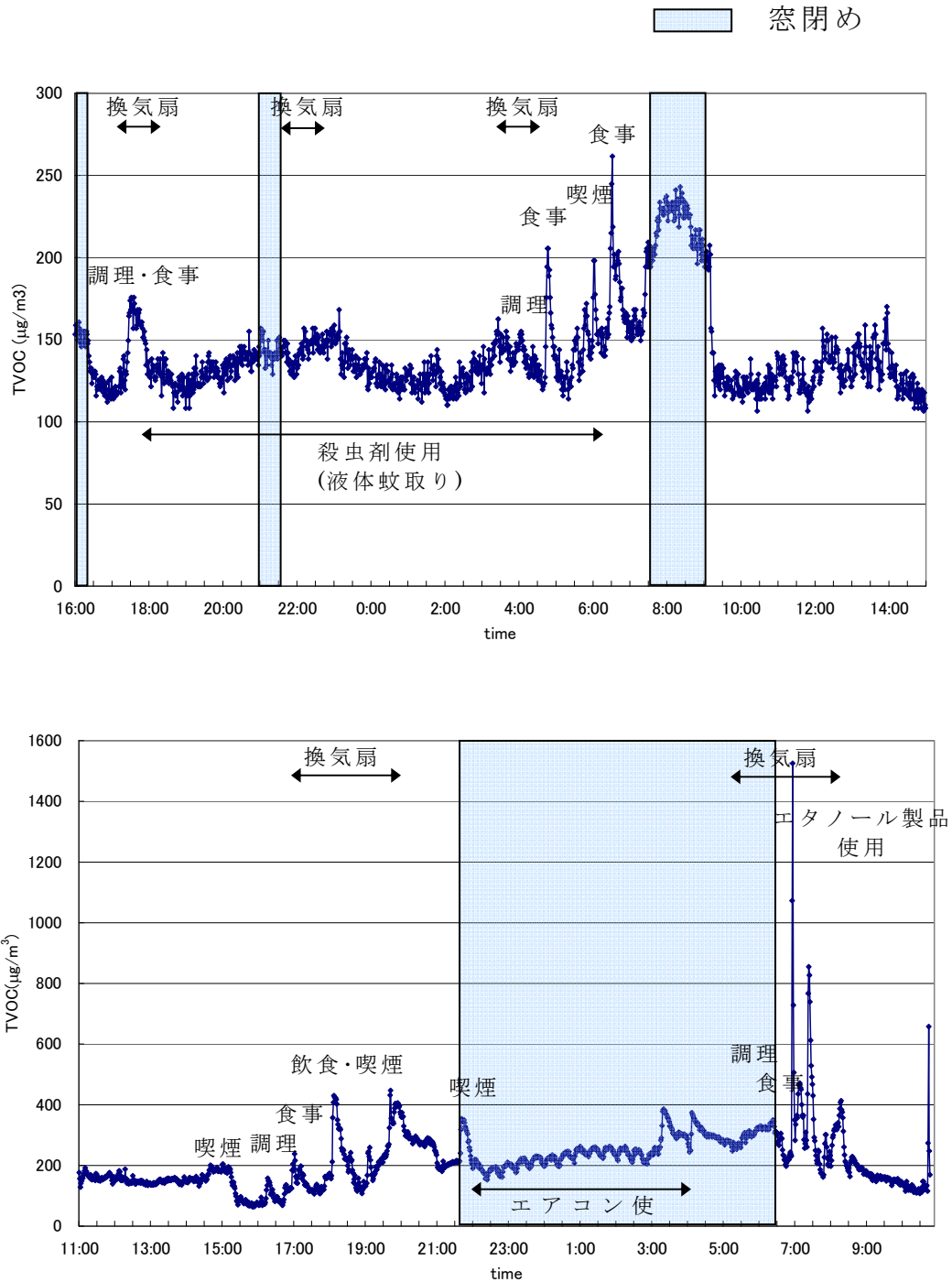


図 III-2-4-19 居住者の行動による T-VOC 濃度変化例

今回の調査は、夏季に行われたものが多いため、窓開け時間が長く、窓閉めによる室内の T-VOC 濃度上昇が顕著であった。

居住者の行動による T-VOC 濃度変動要因としては、調理、食事、飲酒を含んだ飲食、喫煙があげられた。調理時には、殆どのケースで局所換気扇が稼動しているため、極端な T-VOC 濃度上昇は見られず、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下の上昇にとどまることが多かった。食事では  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  から  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  の濃度上昇が見られるが、飲酒を伴うと濃度上昇が極端に大きくなるケースが見られた。

喫煙も居住者の行動による T-VOC 濃度上昇の主な要因である。VOC 発生継続時間としては数分間であるが、放散濃度が大きいため室内の空気質に影響を与えることが示された。よって VOC が発生してから拡散する前に速やかに排気することが望ましいと考えられる。

また、近年よく見られる発生源として、エタノール製品の使用があげられる。エタノールは、芳香剤などのほか、除菌スプレーや、消臭スプレーなどに含まれており、室内 T-VOC 濃度にパルス的な変化を与える。今回の調査例では、エタノール濃度として  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  にもなるケースがあった。しかし、濃度減衰が速やかであることから、多用を避ければ速やかな換気が必要であるとは考えにくく、むしろセンサの誤作動を招く危険性を考慮すべきであると考えられる。

調理では脂肪族系の VOC が、飲食ではカルボニル化合物、特にアセトアルデヒドが多く発生することが確認された。

次に 4 件の居住住宅において PID による T-VOC 濃度測定と T-VOC 濃度のピーク検出時に自動で室内空気のサンプリングを行うピークキャプチャー法による VOC 成分分析を行った。なお、ピーク検出時のサンプリング時間は 30 分とした。以下にその一例を示す。

調査住宅は、新築 1 ヶ月で、第一種 24 時間機械換気設備が設置されている。また、居住者は窓開け換気の励行により、室内 VOC 濃度を低く保つ努力を行っている。よってベースラインの測定では、T-VOC 濃度が 100ppb 以下の時間帯に捕集を行った。

図 III-2-4-20 に PID による T-VOC 濃度の経時変化を表 III-2-4-17 に GC/MS 法、HPLC 法による化学物質の同定、定量結果を示す。



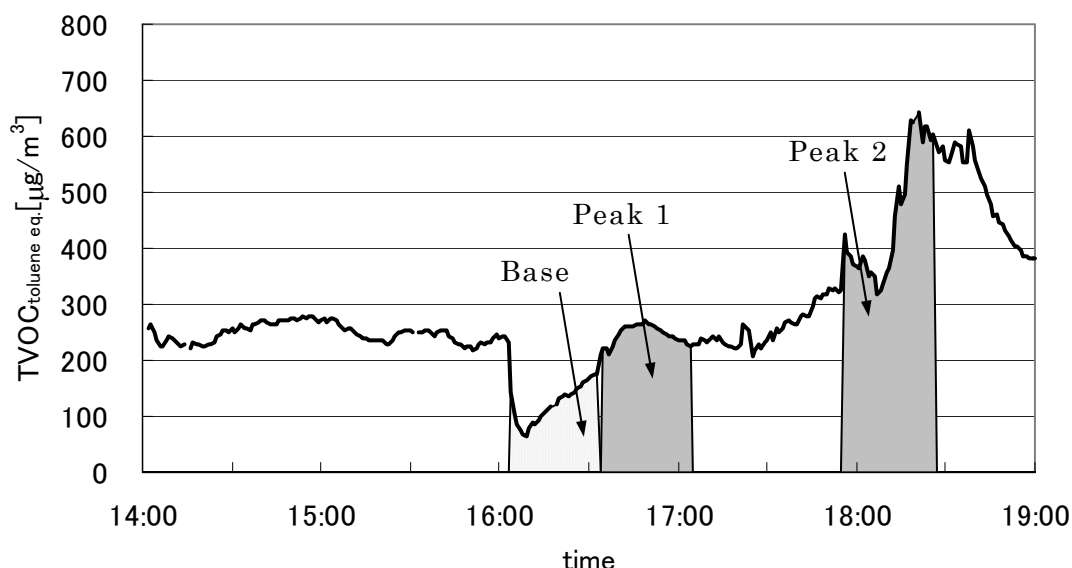


図 III-2-4-20 B邸の T-VOC 濃度変化とサンプリングタイミング

表 III-2-4-17 B邸の VOC およびカルボニル化合物成分分析結果

Compounds	Base	Peak 1	Peak 2
Toluene	N. D.	19.8	14.3
n-Buthylacetate	N. D.	9.37	12.8
Styrene	N. D.	N. D.	53.5
a-Pinene	0.79	74.0	192
p-Dichlorobenzene	N. D.	51.6	99.3
d-Limonene	0.33	11.4	25.1
Nonanal	N. D.	42.9	70.7
Undecane	N. D.	41.1	63.7
Formaldehyde	1.13	11.9	36.1
Acetaldehyde	1.06	10.0	53.7
Acetone	5.10	20.6	44.4
Total VOC & Carbonyls	12.9	382	666

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

peak2 及び peak3 の分析結果より、ピークを構成する主な VOC 成分は  $\alpha$ -ピネンや p-ジクロロベンゼンであった。これらの成分は、一般家庭において消臭剤や芳香剤に含まれる成分であり、瞬間的な放散というよりは定常的放散をもたらす発生源となりうる。また、図 III-2-4-21 よりピーク 1、2 の成分比に大きな差が見られないことから、居住者の在室と室温の上昇によりこれらの物質の放散速度が増加したため、室内 T-VOC 濃度が高くなったものと考えられる。また、同様に濃度が上昇しているアセトンやノナナールは、人体からの放散によるものと考えられる。

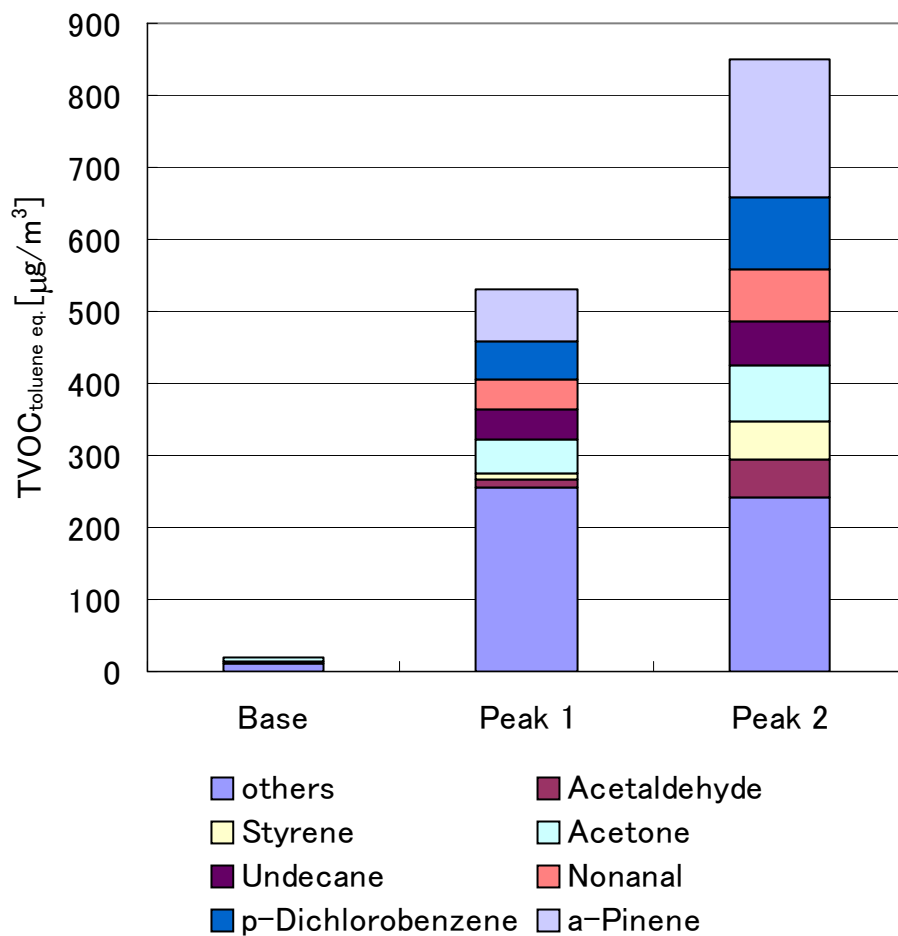


図 III-2-4-21 B 邸ベースおよびピーク 1, 2 の  
主な VOC、カルボニル化合物成分比

・まとめ

室内の T-VOC 濃度を増加させる居住者の主な行動は、食事、喫煙、調理であった。特に飲酒を伴う飲食では、アセトアルデヒドが多く発生した。調理は VOC 発生が大きい行動であるが、換気扇の稼動を伴うことが多いため顕著な T-VOC 濃度上昇が見られることはあまりなかった。発生する VOC 成分としては、燃料の燃焼によるデカン、ウンデカンなどの脂肪族系飽和炭化水素のほかアセトアルデヒドなどのカルボニル化合物があげられる。また、ブチルアルデヒドの発生も多く見られるが、VOC 類の酸化生成物として発生している場合と接着剤として用いられている酢酸ブチルの加水分解により発生している場合の両方の発生原因があると考えられる。

この他に特記すべき VOC の発生として化粧品や除菌、消臭スプレーなどのエタノール製品の使用があげられる。PID はエタノールに対して感度はよくないが、パルス的な大きなピークとして観測された。今後開発センサに対する影響、すな

わち感度とベースラインに戻るための時間について確認する必要があると考えられる。

いずれの居住住宅でも居住者の行動による T-VOC 濃度の上昇は速やかであるが、減衰はゆるやかであることから、発生した VOC が住居内にゆっくり拡散していることが示唆され、発生源からの速やかな排気が換気による室内空気質改善に有効であると考えられる。

ピークキャプチャー法では、PID による T-VOC 濃度の連続測定値を用いることによりピークを抽出しポンプによる室内空気のサンプリングを行った。本手法は、VOC 成分分析のためのサンプリングだけでなく、換気設備の制御にも応用できるものと考えられる。

2. 4. 3. 3 モニタリングゾーンと非モニタリングゾーン間の汚染物質濃度変動影響調査

3.2 で述べたとおり、居住住宅内の一室で VOC の発生があった場合、他室の T-VOC 濃度にも影響を与えることが観察された。ここでは、住居内の換気経路にあたる範囲を中心に発生源の T-VOC 濃度変化が住居内の他の部分にどのように影響するかを調査した。対象とした住宅は、1F に調理、飲食による発生源があり、換気は 2F に設置された排気口より行われている。よって測定点は、1F の居室および換気経路となる階段室、階段室に隣接した居室とした。図 III-2-4-22、図 III-2-4-23 に各測定点における T-VOC 濃度の経時変化を示す。

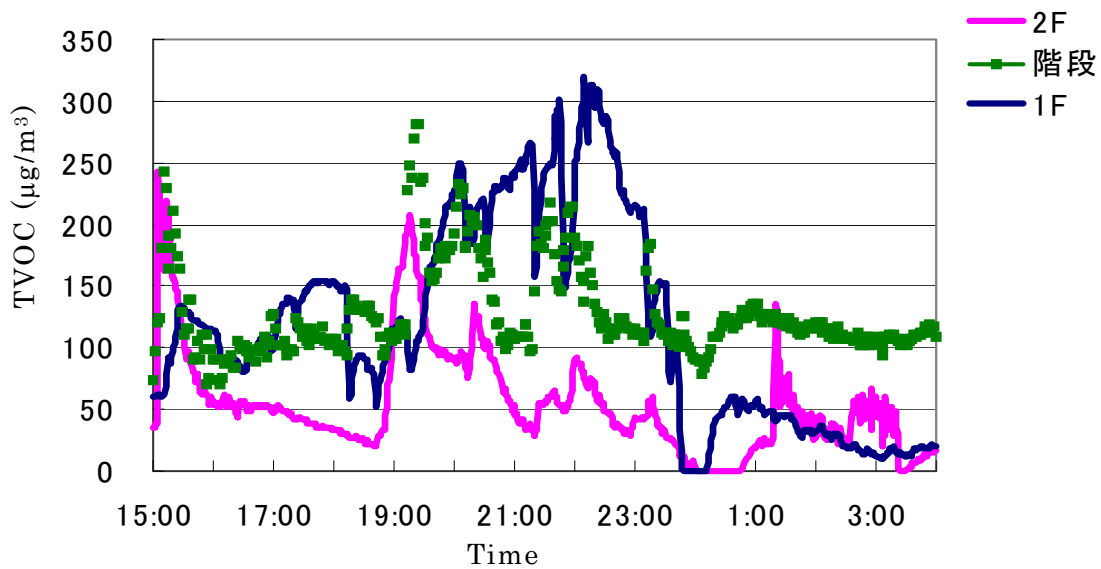


図 III-2-4-22 住宅内の T-VOC 濃度分布および経時変化 その 1

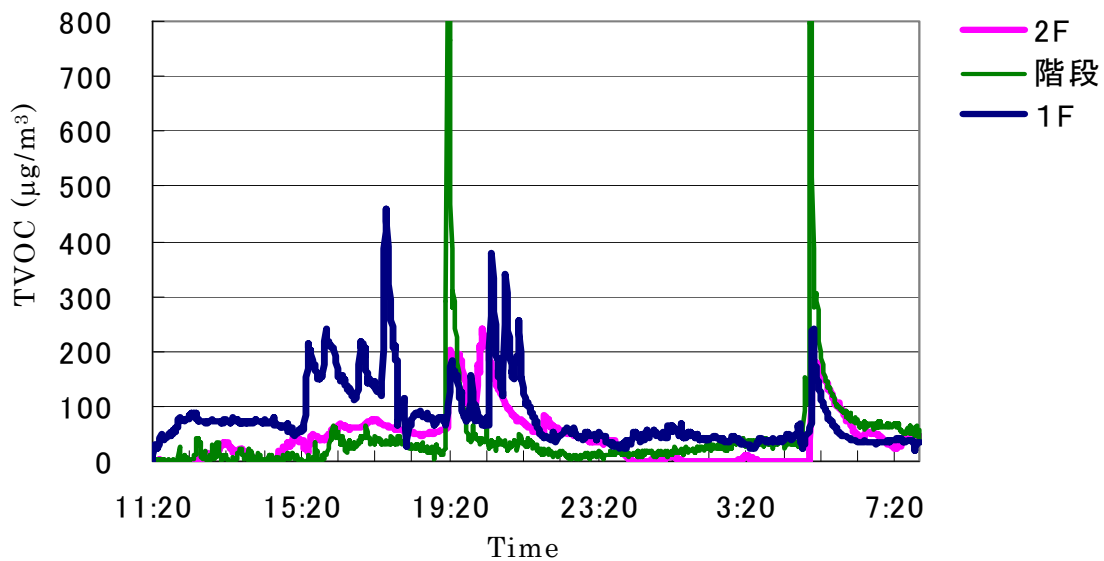


図 III-2-4-23 住宅内の T-VOC 濃度分布および経時変化

図 III-2-4-22 より、1F の T-VOC 濃度変動は、階段室および 2F の濃度変動に影響を与えるが 2F の濃度変動は 1F の濃度変動に影響を与えない傾向にあった。また、階段室の T-VOC 濃度変動は 1F と 2F の両方の濃度変動を反映していることから、住居内の換気経路における気流は必ずしも一定していないものと考えられた。

図 III-2-4-23 は、1F 居室の引き戸を閉め、換気経路を遮断した場合の影響を観察したものである。引き戸が閉められていた 19:20 までは、1F 居室で大きな T-VOC 濃度変化があったにも係わらず、2F 居室、階段室における濃度変化はわずかであった。しかし、19:20 に一旦引き戸を開放した際、階段室の T-VOC 濃度はパルス的に上昇し、それに伴って、2F 居室の濃度もゆるやかに上昇した。よって、本対象住宅における階段室は 1F 居室、2F 居室の両方の T-VOC 濃度変化を反映するため、住居内の空気質を評価するためには適切な測定点であると考えられるが、引き戸は換気経路における障壁となり、極端な T-VOC 濃度変化をもたらす場合があるという点でモニタリングには、注意が必要であると考えられる。

なお、建築基準法では、引き戸は、換気のための通気が十分実現できるものとして考えられており、1つのゾーンとして扱うことができるとされているが、引き戸の開閉により換気の効率は大きく異なるものと考えられる。

## 2. 4. 3. 4 センサ評価

居住住宅において精密法による VOC 定性、定量分析と T-VOC 濃度のリアルタイムモニタリングを並行して行い、両方法による結果を比較することにより、開発検出器に求められる応答速度と検出すべき物質、干渉する可能性がある物質について解析した。また開発検出器から得られる値の補正方法について考察した。

### 2. 4. 3. 4. 1 センサに求められる性能

#### ・開発センサに求められる応答時間の解析

PID を用いた居住住宅における T-VOC 濃度経時変化調査から居住者の行動による T-VOC 濃度の変化を検出器により評価するためには、数十分レベルの応答性が必要があることが示された。フィールド調査をもとに睡眠と食事の継続時間解析すると、食事時間では、20 分前後と 1 時間程度と頻出継続時間に 2 つの時間があることが示された。これは、朝食などの短い食事と夕食などの長い食事が 1 日の中に存在することを表している。また、睡眠時間は 4 時間から 8 時間の範囲が多く、1 時間以下の睡眠は仮眠とみなしてよいと思われる。これは、1 日の中で少なくとも 5 時間程度は T-VOC の変動のない時間帯が存在することを示しており、センサの校正などのスケジュールをこの時間帯に組み込むことが可能であると考えられる。

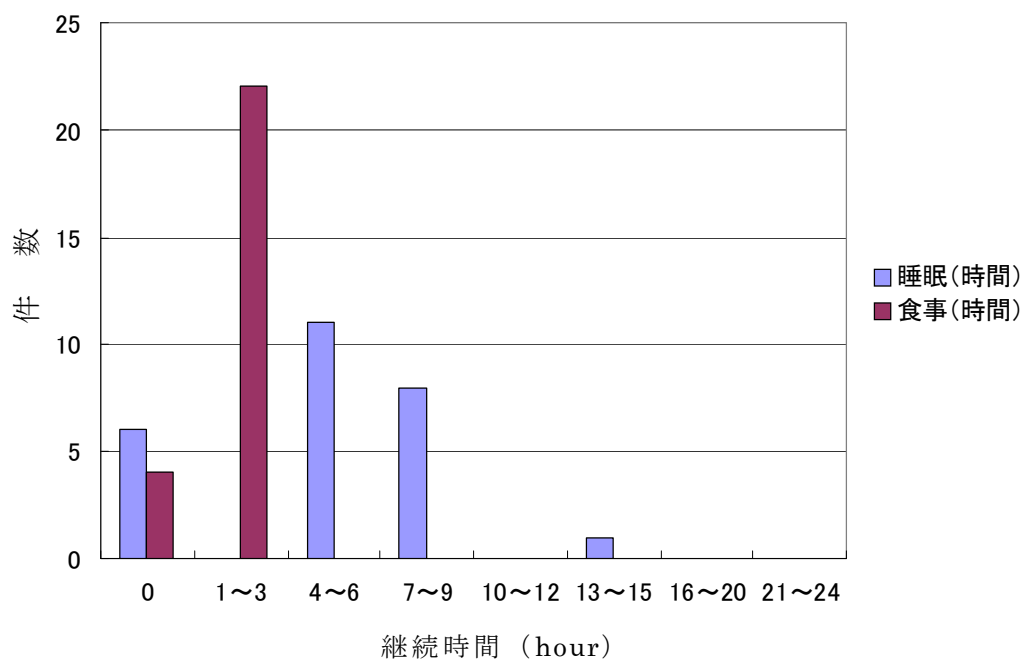


図 III-2-4-24 食事と睡眠の継続時間解析

## ・開発センサに求められる VOC 成分

18 年度の調査および 20 年度に行った新築保育園調査において、精密法により同定、定量される成分濃度の総量は、リアルタイムモニタリングにより得られる T-VOC 濃度の約 50%であった。これは、精密法では同定できない成分が存在するためであり、開発検出器の VOC 成分特異性を明らかにしておく必要があることを示している。すなわち、開発検出器は特定の物質のみを検出するものではなく、類似した VOC も検出できることが望ましいと考えられる。

木造住宅内で高濃度で検出される  $\alpha$ -ピネンは、建材由来であるため開発検出器のブランク値に与える影響を明らかにしておくべきである。また、パラジクロロベンゼンは、居住者の持ち込みによるものであり、高濃度を示す場合があるので検出すべき物質である。

VOC を発生する主な居住者の行動である調理や飲食によって生じるアセトアルデヒドなどのカルボニル化合物は、市販器であるホルムアルデメータにも干渉する物質であり、においの原因物質でもある。よって、開発センサにおいては、その濃度を把握しておくとともに、その影響と感度を明らかにしておく必要があると考えられる。

さらに、近年さかんに使用されているエタノールを溶媒とした製品には、芳香剤、除菌剤、消臭剤などが挙げられる。フィールド調査でもこれらの商品の使用による T-VOC の大きな濃度変動がみられた。よって開発センサにおいてもエタノールの感度、バックグラウンドへの影響を把握しておく必要があると考えられる。

## ・市販センサを用いた室内空気質の評価

実居住空間において、4 種類の市販センサを用いて室内空気質の経時変化を計測した例を図 III-2-4-25 に示す。

PID 法とホルムアルデメータでは化学種により検出感度が異なるが、両検出器を用いたリアルモニタリングによる濃度変化の傾向に大きな違いがない場合も多い。よって、換気設備の制御のために室内空気質を評価する場合、その性能によっては 1 種類のセンサのみでモニタリングすることも不可能ではないと考えられる。ただし、VOC 組成と開発センサの感度との相関を調査することが不可欠である。

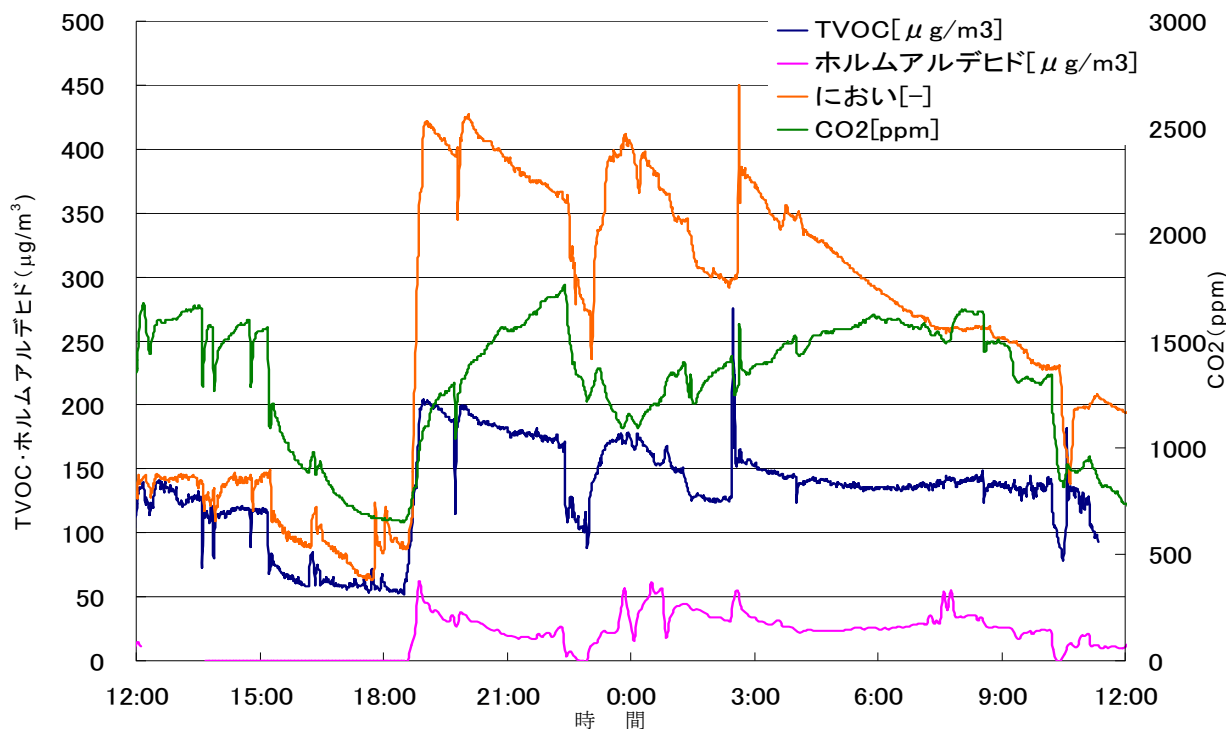


図 III-2-4-25 複数のセンサによる居室の  
T-VOC、ホルムアルデヒド、CO2 濃度変化

#### 2. 4. 3. 4. 2 実空間における開発センサの実証実験および適応性評価

実空間における開発センサの適応性を確認するため、同一室空間の T-VOC 濃度を開発センサと PID を同時に用いて測定し、両者の相関について調査した。

調査は、まず実験室内にて室内で検出される化学物質を放散させ、その濃度の経時変化を両センサおよび PID を用いて測定した。対象とする化学物質は、トルエン、 $\alpha$ -ピネン、エタノール製品とした。

次に、実居住空間において、両センサによる同時モニタリングを行い、PID と開発センサを用いた居住者の行動による T-VOC 濃度の変化を比較した。

##### ・実験室における化学物質放散実験

実験室は、室容積 50 m<sup>3</sup> の静穏な空間であり、調査中は換気設備のスイッチを切り、扇風機によって室内空気質が均一になるようにした。化学物質放散は、壁面から 20 cm 高さ 1.2 m の点に均等に対象物質を入れたバイアルを 8 点設置することによりおこなった（図 III-2-4-26, 37 参照）。

測定は、一旦窓開け換気を行い、室内の VOC 濃度が十分に下がってから開始した。よって、測定開始時の室内濃度は外気レベルである。

濃度換算方法は、PID では PID が検出できる化学種の中で中程度の感度を示すイソブチレンを標準物質として検量線を作成し、ppb で表示しているのに対し、



プロトタイプセンサでは、一般住宅で検出される VOC 比をもとに作成した標準ガスを用いて検量線を作成している。よって、両者の値を単純に比較することは難しいと考えられるため本調査では、各センサにより検出された濃度を ppb で示し、比較することとする。

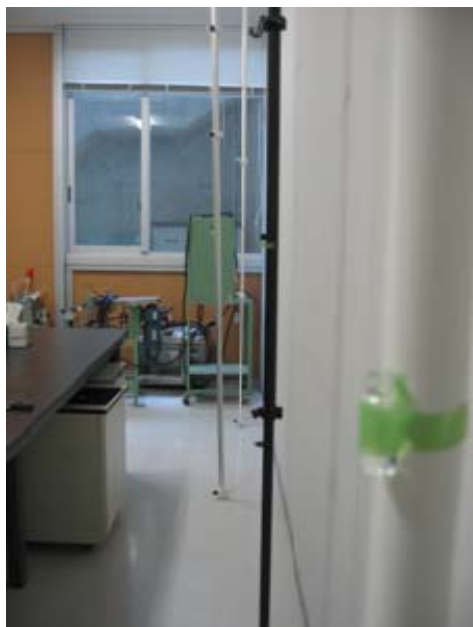


図 III-2-4-26 実験室内発生源設置の様子



図 III-2-4-27 模擬化学物質発生源

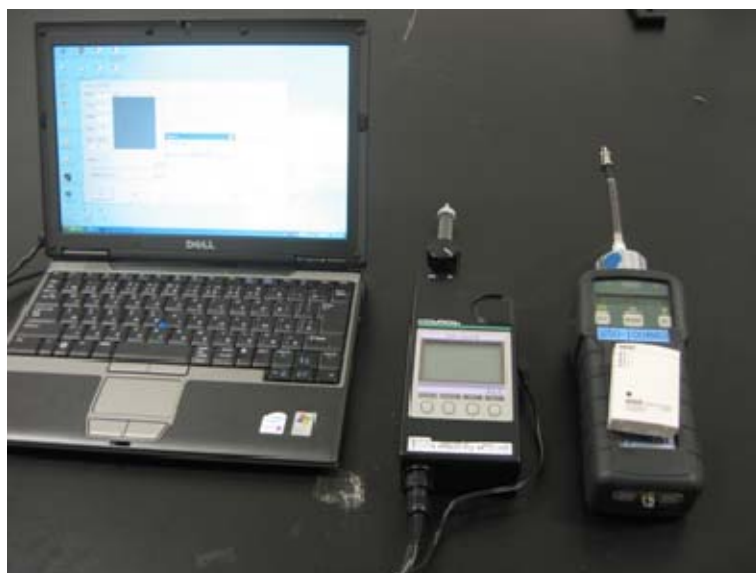


図 III-2-4-28 PIDとプロトタイプT-VOC計による同時測定の様子

1) トルエン

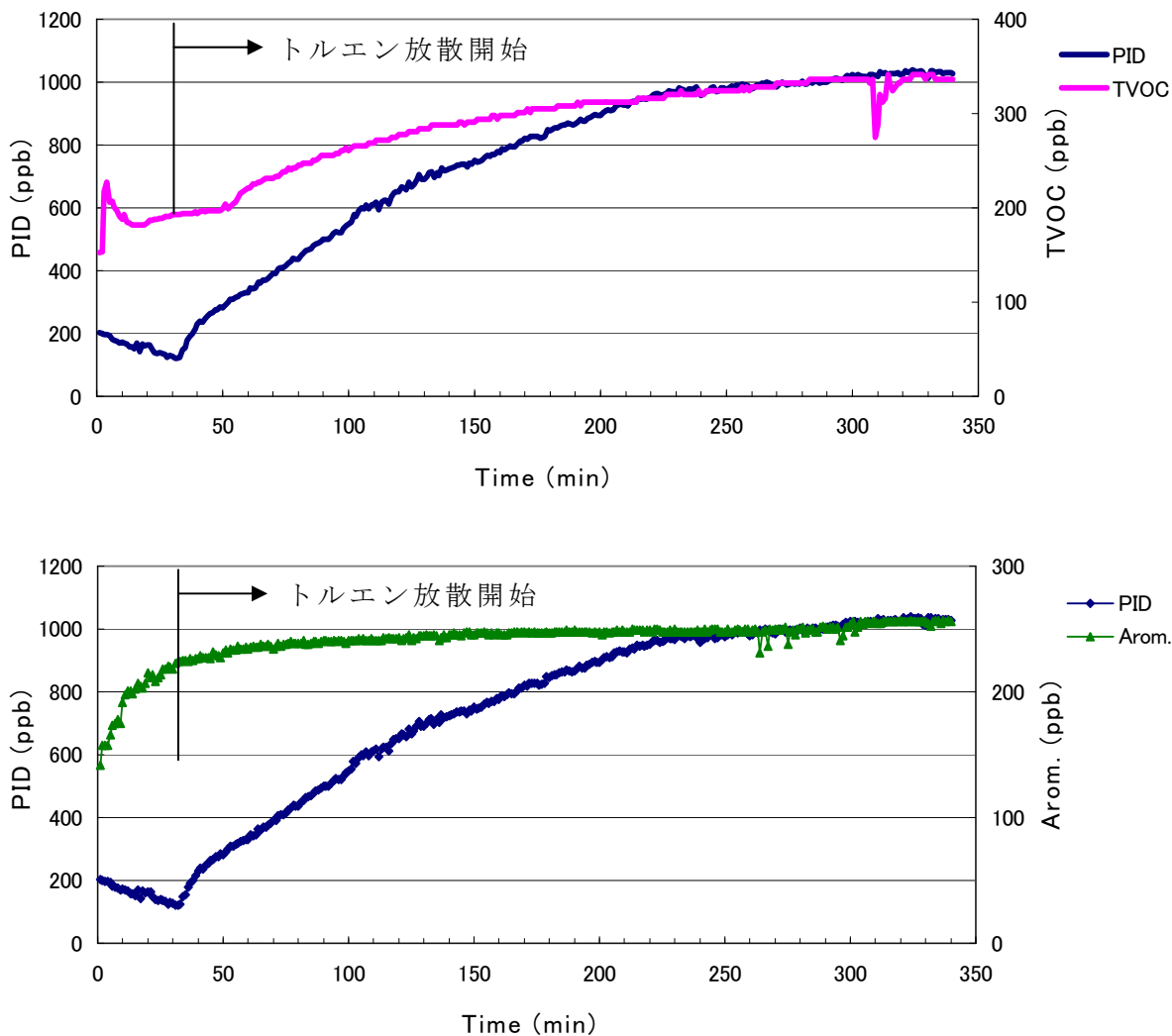


図 III-2-4-29 T-VOC 計（上図）、芳香族計（下図）と PID によるトルエン放散測定（2008.9.3 実施）

T-VOC 計、芳香族計ともにトルエンの放散に伴い、測定濃度が上昇する傾向がみられた。ただし、絶対値としての上昇値は小さく、実空間で使用するためにはさらに広い測定レンジが必要であると考えられる。

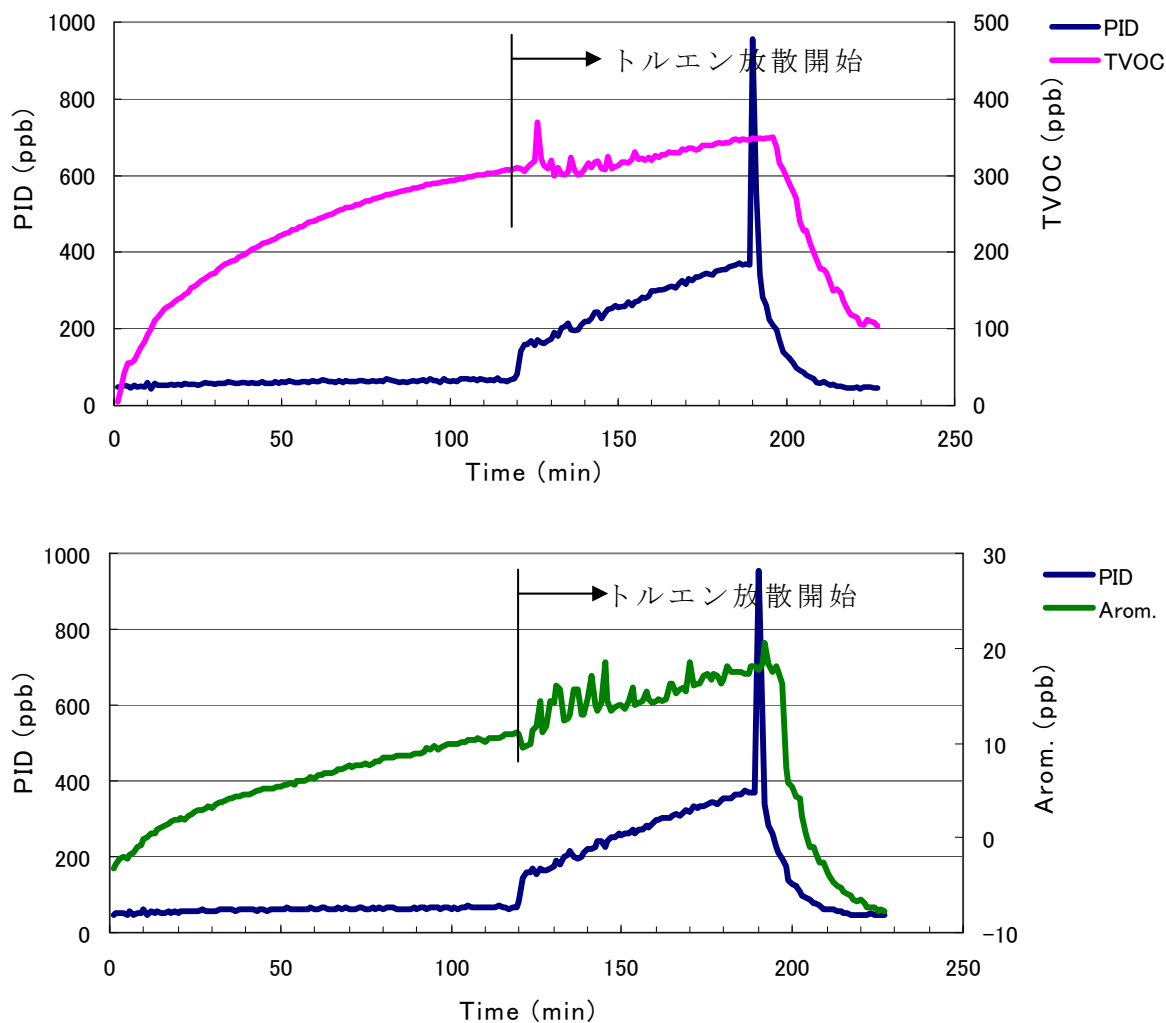


図 III-2-4-30 T-VOC 計（上図）、芳香族計（下図）と PID によるトルエン放散測定（2009. 2. 13 実施）

T-VOC 計は、抵抗電圧を 10 k $\Omega$  に設定したところ Level が 1200 以上となり、VOC の発生があった場合測定上限を超える可能性があったため、抵抗電圧を 6 k $\Omega$  に設定して測定を行った。測定中は早い時間でベースラインのドリフトが起こり、トルエン放散開始のタイミングは検知できるものの、その後の測定値の上昇はドリフト値と切り分けられなかった。トルエン放散停止後、測定値は速やかに下降した。

芳香族計では、トルエン放散後の細かい濃度変動が検知できたことからトルエンへの感度がよいものと考えられた。ただし、濃度換算値は実際の濃度よりかなり低く検量線の求め方を検討する必要があると考えられる。

## 2) $\alpha$ -ピネン

木質建材を用いた住居では、しばしば  $\alpha$ -ピネンが高濃度で検出される。よって、本研究では、開発センサによる  $\alpha$ -ピネンの感度を確認し、合わせて湿度による測定値への影響を観察した。

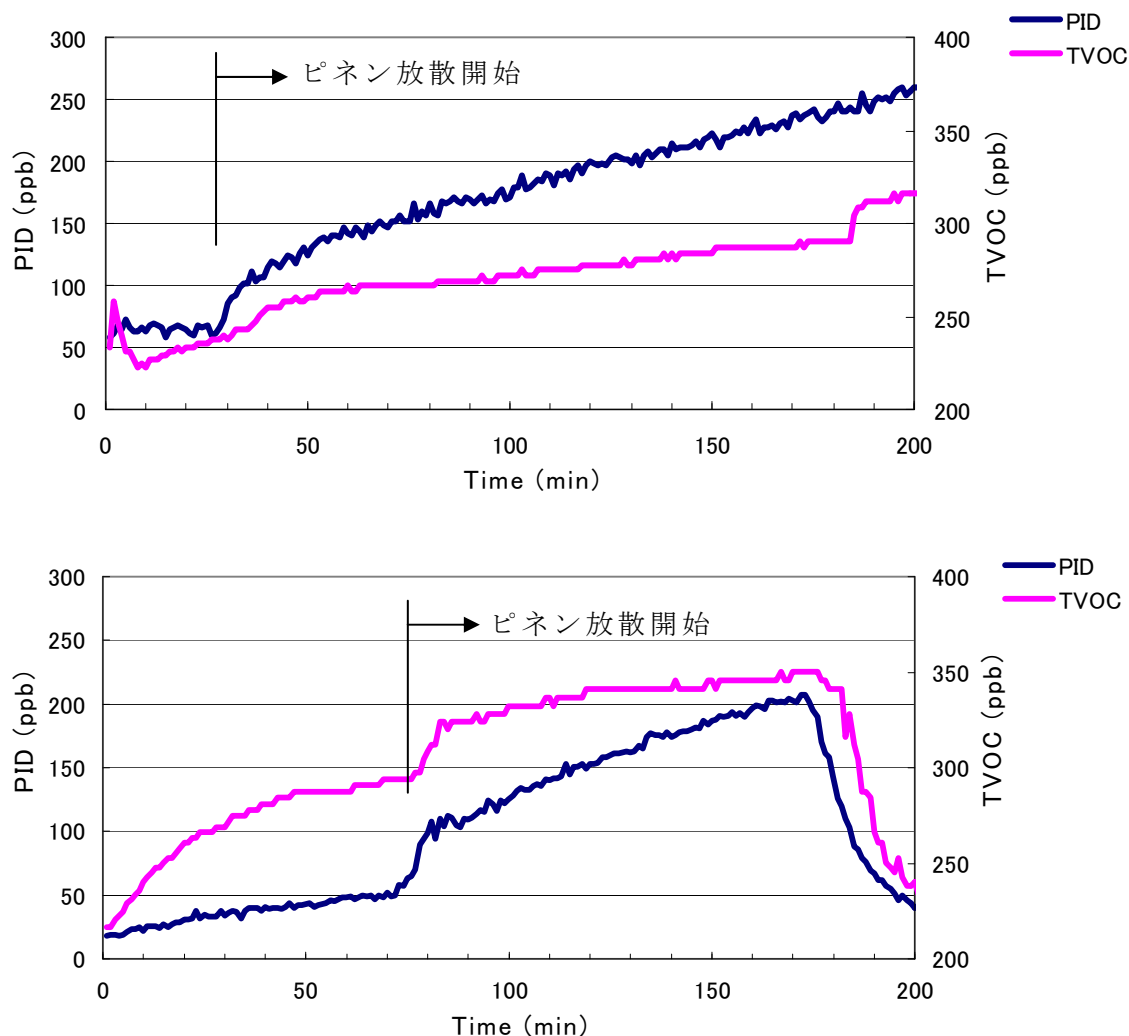


図 III-2-4-31 PID、T-VOC 計によるピネン放散実験  
上図：湿度 80 %、下図：湿度 60 %  
(2008.9.4 および 2008.9.16 実施)

T-VOC 計では、 $\alpha$ -ピネンに対する感度は PID より低いことが示された。また、湿度 80 % と 60 % を比較すると、80 % の場合に応答性が劣る傾向にあった。

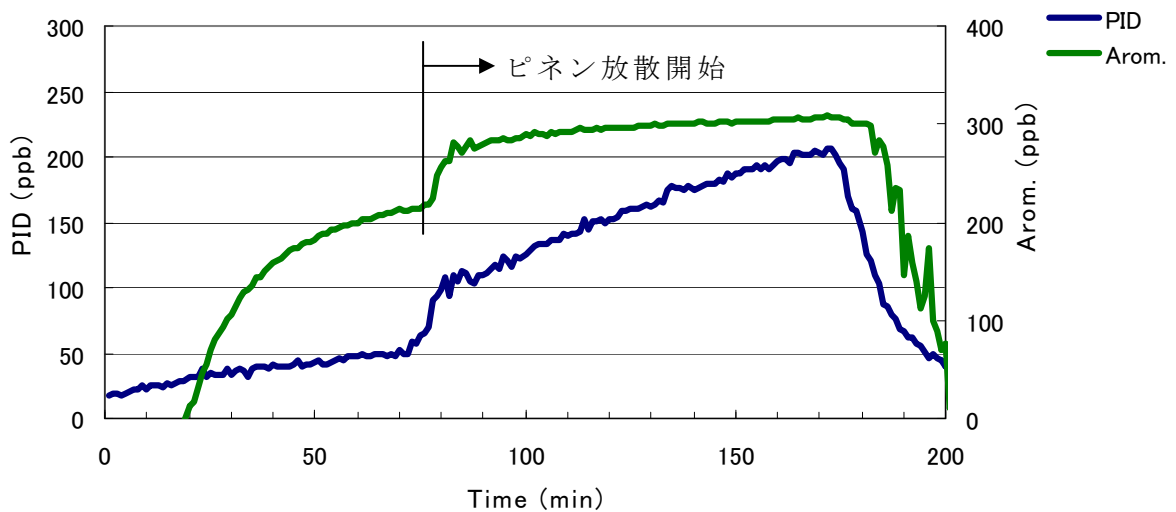
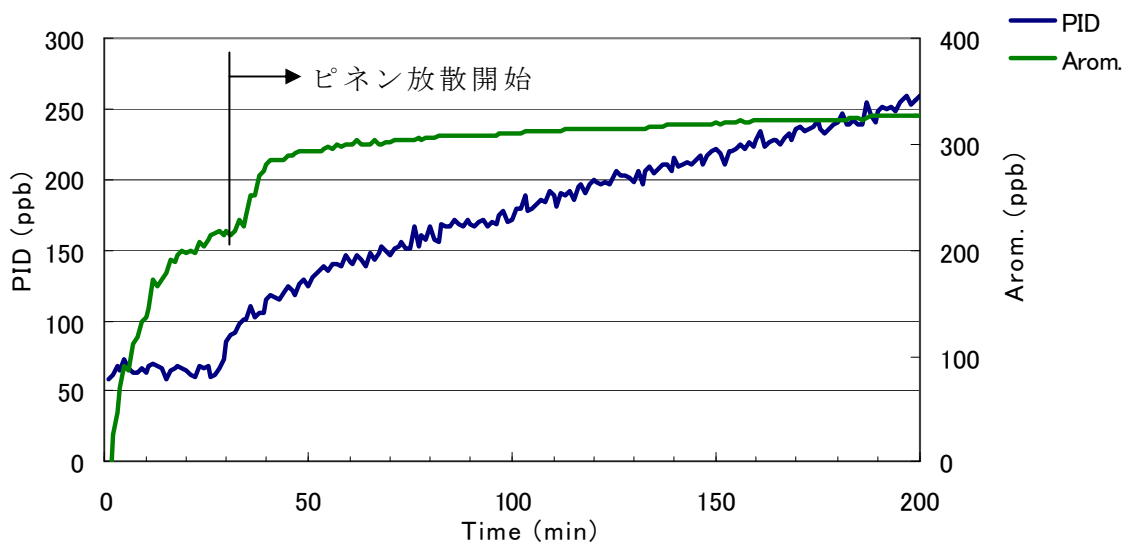


図 III-2-4-32 PID、芳香族計によるピネン放散実験  
 上図：湿度 80 %、下図：湿度 60 %  
 (2008.9.4 および 2008.9.16 実施)

芳香族計では、T-VOC 計に比較して  $\alpha$ -ピネンに対し感度が高いことが示された。また、湿度の違いによる応答性の差もみられなかった。

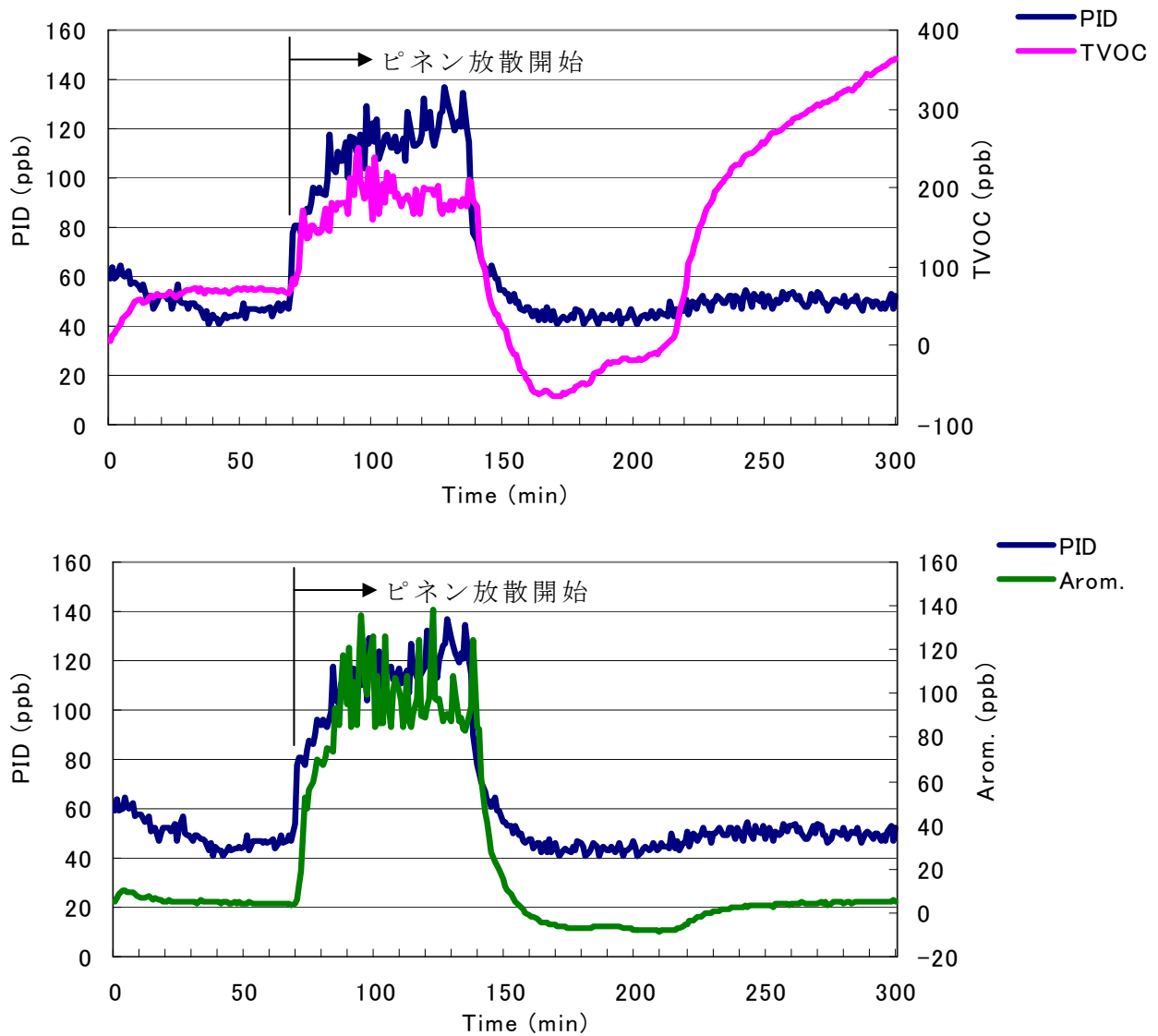


図 III-2-4-33 TVOC計（上図）、芳香族計（下図）とPIDによるピネン放散測定

2時間の暖機運転の後、1時間後ピネンを放散させた。T-VOC計では、エタノール製品と同様、 $\alpha$ -ピネン放散後の立ち上がりが速く、放散停止後の減衰も速やかであったが、ベースラインが徐々に上昇する結果となった。

芳香族計では、 $\alpha$ -ピネンに対しPIDと同程度の感度があるものと考えられた。

### 3) エタノール

フィールド調査の結果、居住環境でしばしばみられるエタノール製品の使用による T-VOC 濃度の急激な上昇について、開発センサの応答性を確認した。

T-VOC 計は、可変抵抗を 10 k $\Omega$  に保ち 2 時間暖機運転をしてから、測定を開始した。室内空気濃度を 2 時間連続測定した後、測定器の周囲 1m の範囲にエタノール製品を 3 プッシュ ( 2.4 g ) 噴霧し、応答値を観測した。

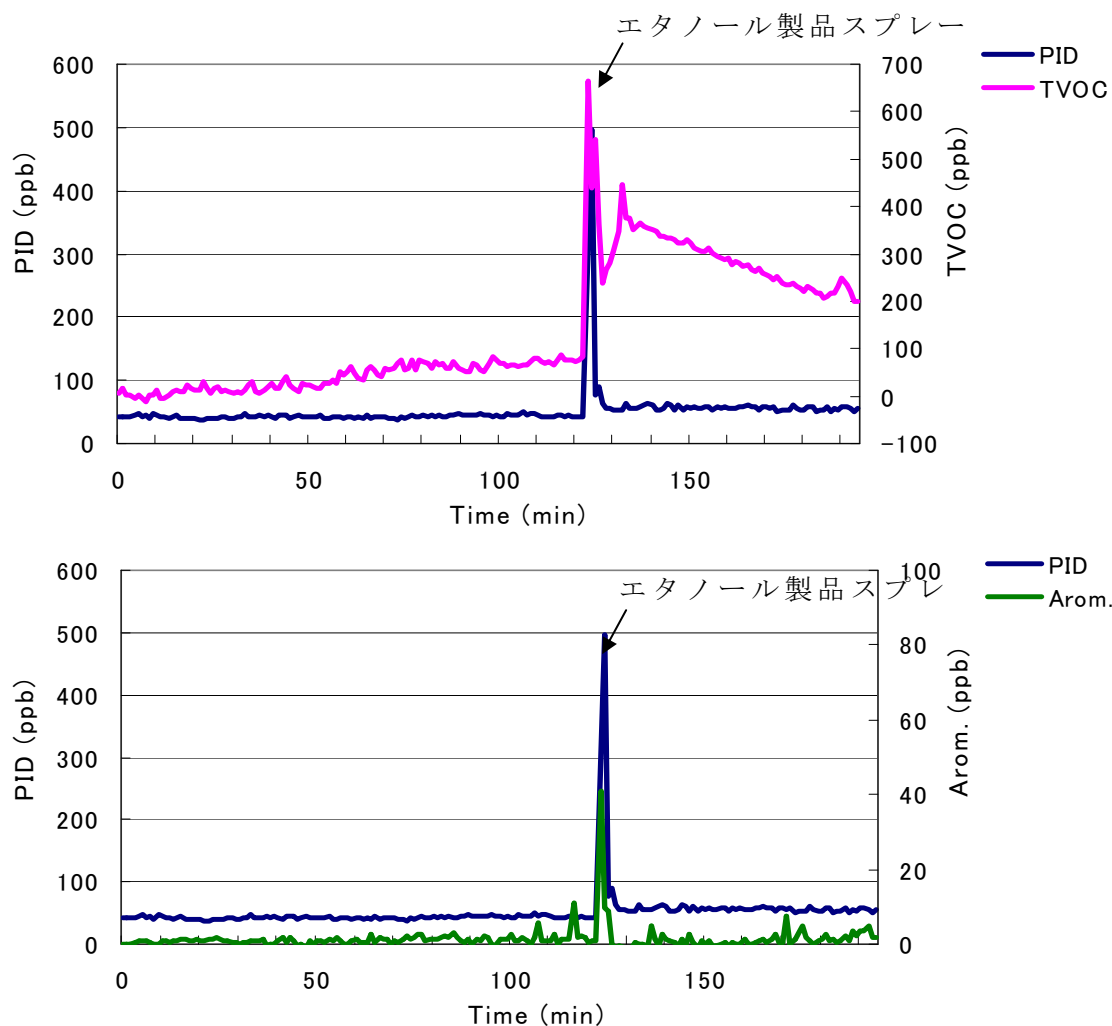


図 III-2-4-34 T-VOC 計、芳香族計と PID によるエタノール製品噴霧測定

図 III-2-4-34 より、T-VOC 計、芳香族計ともにエタノール製品の噴霧に対して PID と同程度の応答性が認められた。ただし、濃度換算値をみると T-VOC 計が最も高い感度を有し、芳香族計の感度は低いものと考えられた。また、T-VOC 計ではエタノールのピークを検知した後の下降がスムーズではなく、含酸素物質による素子表面での化学反応などの影響を考慮の必要があると考えられる。

・フィールド調査

プロトタイプ芳香族計を用いて居住環境中の T-VOC 濃度経時変化を調査した。図 III-2-4-35 に実測例を示す。また、図 III-2-4-36, 37, 38 に T-VOC 計を用いた調査例を示す。

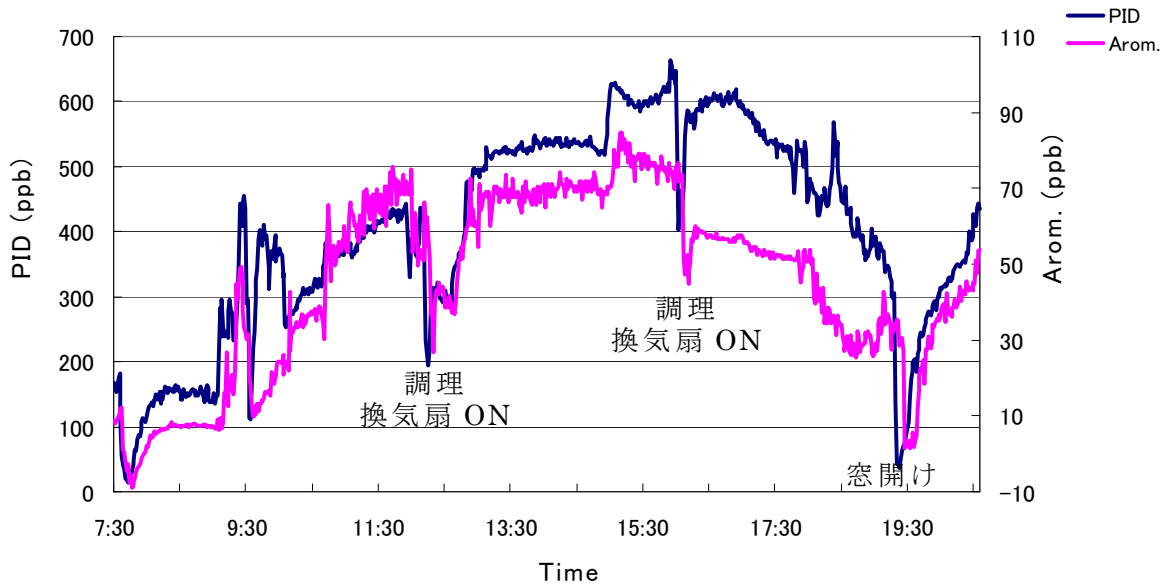


図 III-2-4-35 居住住宅における芳香族計と PID を用いた T-VOC 濃度経時変化

芳香族計は、居住者の行動による T-VOC 濃度変化に対応した応答性を示した。ただし濃度レベルが低く計測される様子がみられ、定量値として示す場合には検量線の作成方法について検討が必要であると考えられる。また、一部の住宅で、PID による応答と芳香族計による応答が異なる場合があり、芳香族計には PID と応答性が全く異なる化学種が存在するものと考えられる。



I 邸

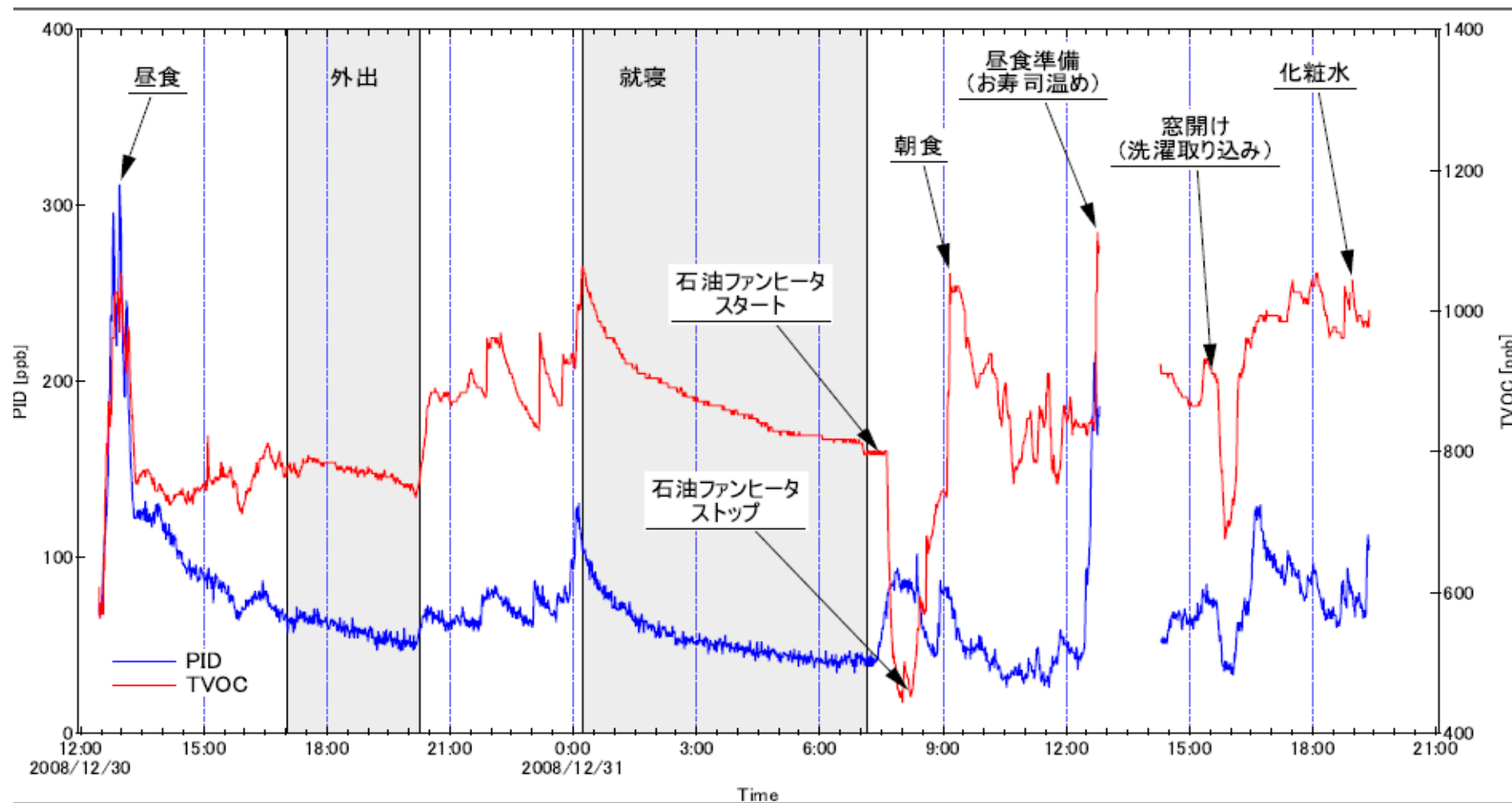


図 III-2-4-36 I 邸における PID と T-VOC 計による T-VOC 濃度経時変化

I 邸における調査によりプロトタイプ T-VOC 計は、すし飯の温めや化粧品の使用により測定値が大きく変動することが確認された。前節で述べたように T-VOC 計はエタノールに高感度であることから、T-VOC 計は、エタノールだけでなくカルボン酸などの含酸素物質に対し、高い感度を持つと考えられた。逆に石油ファンヒーターの使用では測定値が下がる現象を示した。これは PID による計測と相反するものであり、酸素量の低下や NO<sub>x</sub> の生成などが原因として考えられるため、今後更に調査が必要であると考えられた。

### E 邸

I 邸における調査により、燃料の燃焼によって T-VOC 計の計測値が低くなる傾向があったため、他のフィールドにおいてガスの燃焼による T-VOC 計の応答値を PID と比較した。

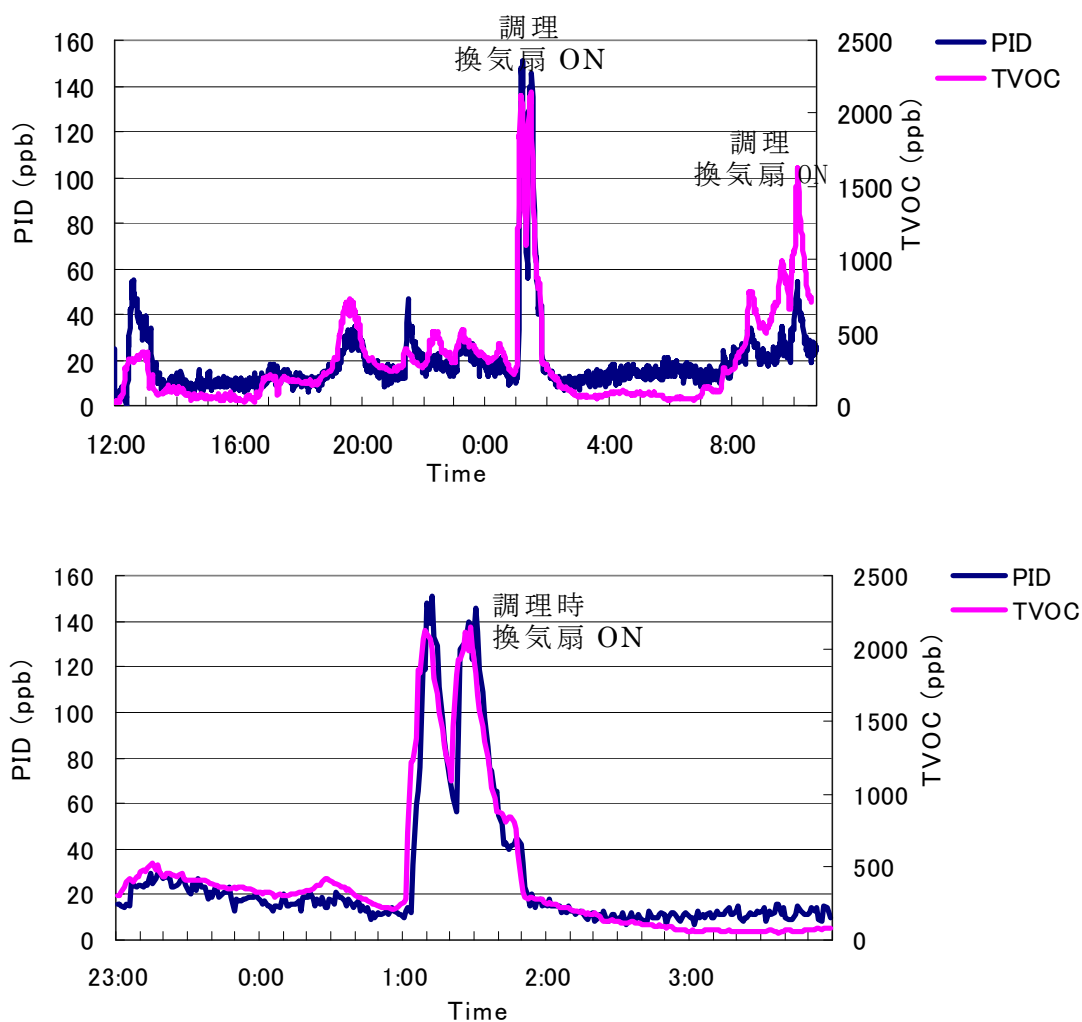


図 III-2-4-37 E 邸における PID と TVOC 計による T-VOC 濃度経時変化  
および調理時における濃度変化

図 III-2-4-37 に示した調査例では、調理時のガスコンロ使用による、T-VOC 計の測定値の下降は見られなかった。調理中は換気扇が使用されているため、酸素あるいは NO<sub>x</sub> による影響は出なかったものと考えられる。

また、T-VOC 計では、実験室において外気の導入により測定値がゼロレベルを下回る傾向が見られることが多く、二酸化炭素、一酸化炭素、窒素酸化物などのガスによる影響についても確認をとる必要があると考えられた。

図 III-2-4-38 に一酸化炭素などの燃焼系ガスが多く発生すると考えられる喫煙所において、T-VOC 計を用いた調査例を示す。

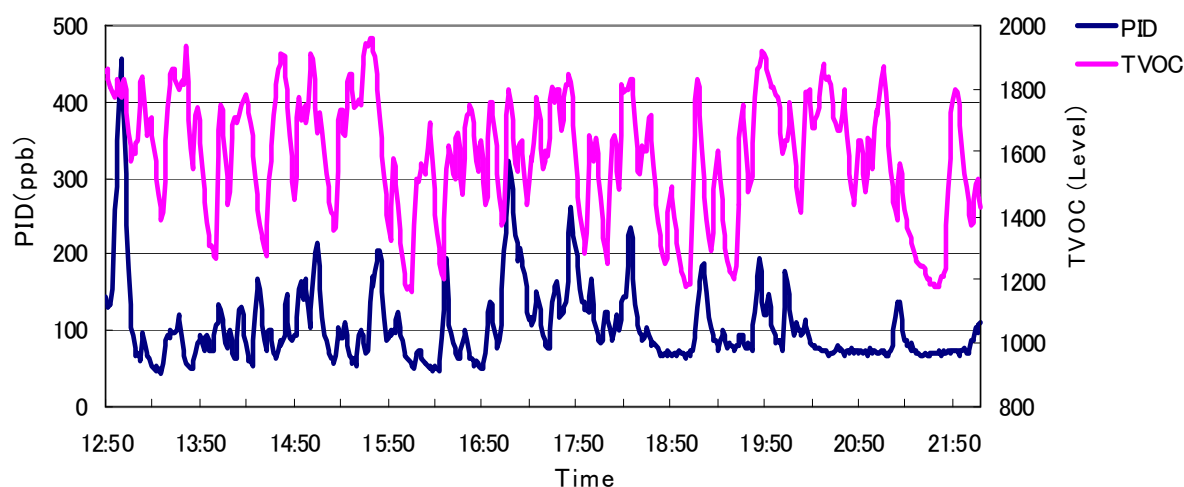


図 III-2-4-38 T-VOC 計を用いた喫煙が頻繁に行われる室内における T-VOC 濃度変化

測定開始直後は、T-VOC 計の応答と PID の応答はおおよそ一致していたが、19:50 頃からは、T-VOC 計の測定値がベースラインまで下がらず、PID で観測された T-VOC 濃度の変化に追従できなくなった。理由として、タール分などの付着などを考えることが出来るが、センサ部分が高温であることからタール分が燃焼せずに付着しているとは考えにくく、むしろ酸化生成物による被毒が疑われる。

・長期連続運転によるドリフト

2008年12月に行った、T-VOC計を用いた居住環境の調査では、数日間の連続測定を行ったため、ベースラインが徐々に上昇するドリフトが見られた。図 III-2-4-39 にその様子を示す。

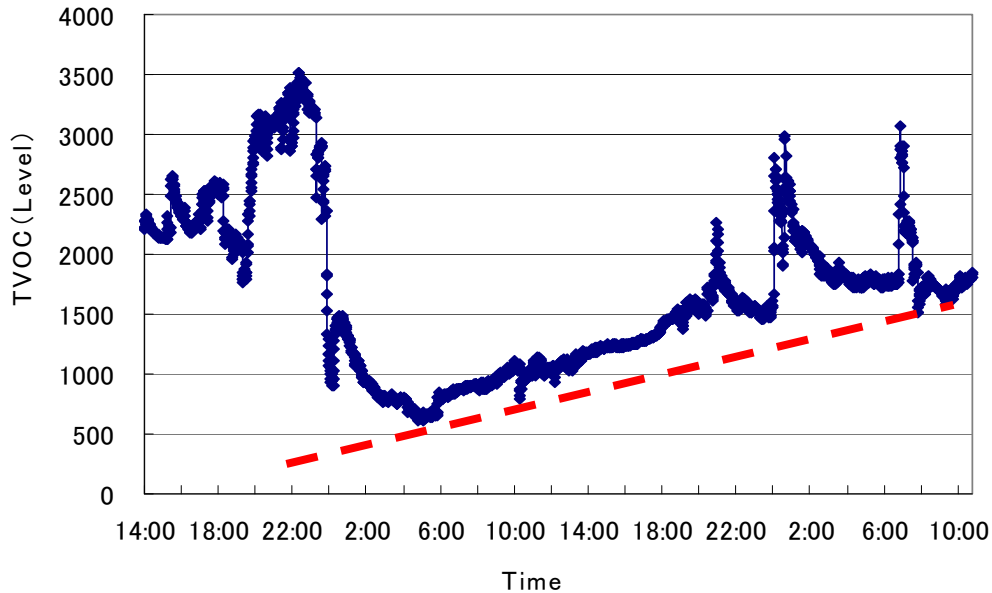


図 III-2-4-39 居住住宅調査における T-VOC 計による長期連続測定

T-VOC計および芳香族計のドリフトの様子を検証するため、実験室内にてPIDを併用してT-VOC濃度の連続測定を行った。図 III-2-4-40 にT-VOC計による長期連続測定結果を、図 III-2-4-41 に芳香族計による長期連続測定結果を示す。

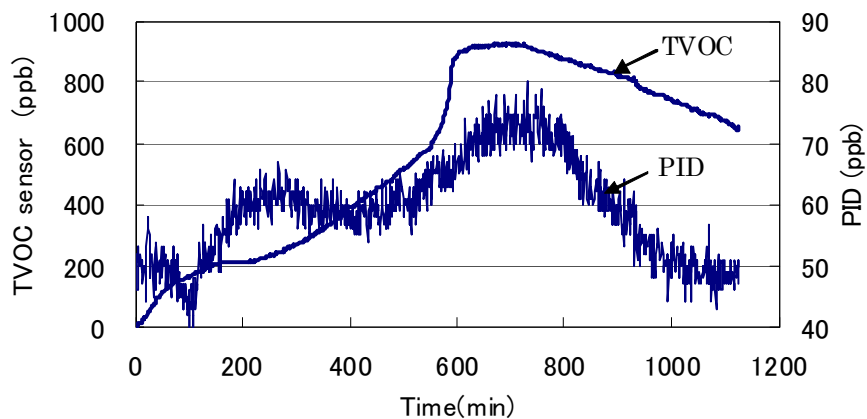


図 III-2-4-40 T-VOC 計と PID による長期連続測定

T-VOC 計では、抵抗値を 12 k $\Omega$ （表示 Level : 500）に調整し、約 18 時間連続運転を行った。その結果、1 時間程度で T-VOC 濃度が一旦上昇するとベースラインに戻らない傾向が見え始め、10 時間後にベースライン濃度が最も高くなった。その後ベースラインは徐々に下降する傾向が見られた。本調査は、T-VOC 濃度が実居住空間より低い状態で行われたものであるため、ベースラインのドリフトが強調された結果となったが、居住環境の測定においてはどの程度のドリフトまで許容できるか、ベースライン補正も含め検証すべきである。

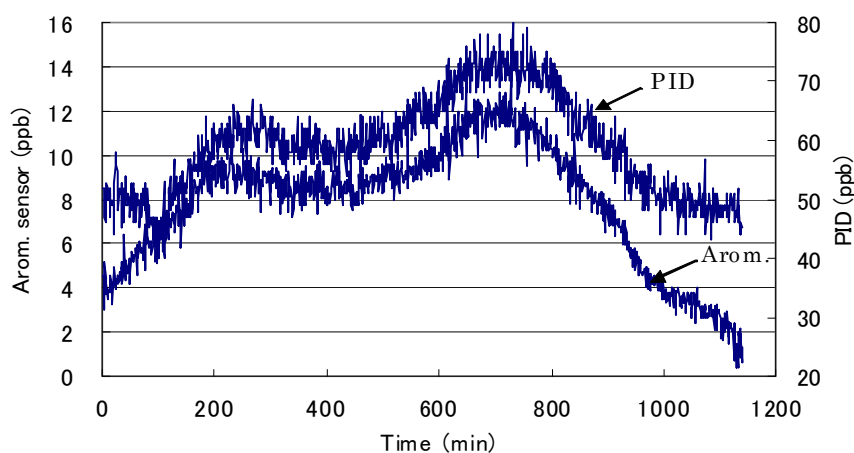


図 III-2-4-41 芳香族計と PID による長期連続測定

芳香族計では、長期連続測定によるベースラインのドリフトは、殆どみられなかった。

#### まとめ

T-VOC 計、芳香族計ともに居住者の行動による T-VOC 濃度の変化に対応した応答性を有することが確認された。ただし、両センサともに二酸化炭素や窒素酸化物などの無機ガスに対し測定値が変動する可能性があり、今後これらのガスについても確認する必要があると考えられる。また、市販品である PID でも全ての物質に同程度の感度を有するのではなく、一部の物質については、著しく低い感度しか持たない。よって、換気設備制御のための揮発性有機化合物検出器であるためには、複数のセンサを用いて居住環境で検知される物質全てについて総合的に評価できることが求められる。そのためには、個々のセンサについて図 III-2-4-2 に示したような化学種別の感度調査を行う必要がある。その上で濃度換算するための検量線を作成することが望ましいと考えられる。

## 2. 4. 4 目的に照らした達成状況

### －生活的要素 フィールド調査－

本研究では、モニタリングに適した居室の選出、居住者の行動による T-VOC 濃度変動の実態、モニタリングゾーンと非モニタリングゾーンの T-VOC 濃度分布状況を明らかにするため、実フィールドにおける調査を居住者の協力を得て行った。

最終目標	研究開発成果	達成度
① 住居内における高濃度かつ濃度変動の大きい居室の調査	T-VOC 濃度が高く、変動の大きい居室は、リビングルームであった。	達成
② 居住者の行動による T-VOC 濃度変化	T-VOC 濃度変動の要因となる居住者の行動は、調理、飲食、喫煙であった。それぞれの行動の継続時間は、飲食では 30 分間前後と 1 時間前後の 2 種、喫煙では 10 分間以下であった。	達成
③ モニタリングゾーンと非モニタリングゾーン間の汚染物質濃度影響調査	ひとつの居室における T-VOC 濃度変動は、住居内の他室に少なからず影響を及ぼすが、その程度は住居内の空気の流れによって大きく異なった。	達成
④ 実空間における開発センサの実証実験および適応性評価	T-VOC 計ではトルエン、 $\alpha$ -ピネンに一定の感度を示し、エタノールには極めて高い感度を示した。しかし、ベースラインのドリフトが確認した。 芳香族計では、トルエン、 $\alpha$ -ピネンに感度を示したが、エタノールに対する感度は低かった。また、顕著なベースラインのドリフトはみられなかった。 住宅内で両センサを使用したところとも居住者の行動による T-VOC 濃度の変動に対する応答性を有することが示された。 T-VOC 計では、エタノール以外の含酸素物質に高感度を示し、燃料の燃焼により測定値が下降する傾向が見られた。	達成

### ① 住居内における高濃度かつ濃度変動の大きい居室の調査

居住住宅において、複数の市販 T-VOC 計（光イオン化検出器：PID）を設置し、T-VOC 濃度の経時変化を調査した。その結果 T-VOC 濃度が高く、変動の大きい居室は、リビングルームであった。よってリビングルームにおける T-VOC 濃度変動を調査することにより、住居内の T-VOC 濃度変動を予測できると考えられた。さらにキッチンを併設しているリビングルームの場合、換気扇の稼動によって室内の T-VOC 濃度が大きく変動することが確認された。また、1F に VOC 発生源となる居室がある場合は 2F の居室にその濃度変動が影響したが、2F に発生源がある場合は 1F に濃度変動の影響は及ばないことが確認された。

### ② 居住者の行動による T-VOC 濃度変化

居室内に設置した PID による T-VOC 濃度の経時変化と居住者の記載による行動記録表をもとに、T-VOC 濃度変動の要因となる居住者の行動を抽出したところ、調理、飲食、喫煙があげられた。それぞれの行動の継続時間は、飲食では 30 分間前後と 1 時間前後の 2 種、喫煙では 10 分間以下であった。調理、飲食では、カルボニル化合物濃度の上昇が認められ、飲酒を伴うことによりアセトアルデヒド濃度の顕著な上昇がみられた。調理など燃料の燃焼を伴う場合、脂肪族系飽和炭化水素の濃度上昇がみられた。これらの行動による T-VOC 濃度の上昇は速やかであったが行動後の下降は比較的緩やかであったことから、VOC 発生直後の排気が住居内 T-VOC 濃度低減のために有効であると考えられた。また、居住者による窓開け換気は室内の T-VOC 濃度低減に極めて有効であり、建材などからの VOC 放散速度も減少させる効果があることが示された。

### ③ モニタリングゾーンと非モニタリングゾーン間の汚染物質濃度影響調査

ひとつの居室における T-VOC 濃度変動は、住居内の他室に少なからず影響を及ぼすが、その程度は住居内の空気の流れによって大きく異なった。特に換気経路がドアなどの障壁によって遮られた場合、他室への影響は少なくなるが、障壁が取り除かれた時には経路にあたる空間で急激な T-VOC 濃度変動が生じ、換気経路におけるモニタリングには注意が必要であることが示された。

### ④ 実空間における開発センサの実証実験および適応性評価

T-VOC 計、芳香族計の 2 種の開発センサと PID を同一空間において稼働させ、トルエン、 $\alpha$ -ピネン、エタノールへの応答性を調査した結果、T-VOC 計ではトルエン、 $\alpha$ -ピネンに一定の感度を示し、エタノールには極めて高い感度を示した。しかし、ベースラインのドリフトが大きく、長期連続測定をするためには何らかの補正システムが必要であると考えられた。芳香族計では、トルエン、 $\alpha$ -ピネンに感度を示したが、エタノールに対する感度は低かった。また、顕著なベースラインのドリフトはみられなかった。

これらのセンサを用いて居住住宅内の T-VOC 濃度変動を調査した結果、両センサとも居住者の行動による T-VOC 濃度の変動に対する応答性を有することが示

された。T-VOC 計では、エタノール以外の含酸素物質に高感度を示し、燃料の燃焼により測定値が下降する傾向が見られた。また、外気の導入による著しい測定値の下降がみられ二酸化炭素や窒素酸化物などの影響を確認する必要があることが示された。

いずれのセンサも濃度換算を行うと PID による濃度と大きく異なる場合があり、検量線を作成するためには、それぞれのセンサについて化学種別の感度を調査することが必要であると考えられた。