

## 住宅における局所換気装置に関する研究(1) (梗概)

鎌田 元康

## 1. 緒言

## 1. 1 研究目的

近年、都市域を中心とした地価の高騰の影響を受け、住宅の集合化、高層化が進み、これと省エネルギーに対する要請から、特に集合住宅においては住宅の高気密化が著しく進展している。問題はこれら躯体本体のハードウェアの点での性能変化に住宅設備や住民の意識が必ずしも追随していない点にあり、例えば冬期に開放型暖房器具を使用したり、調理中に台所換気扇の運転を怠った場合には著しい室内空気汚染や、場合によっては酸欠などの被害、事故が生じる可能性が年々高まっている。また、集合住宅では水回りをセンターコア方式で配置する事例が多く、この種の平面計画では局所排気装置を適切に運転したとしても、室内に汚染空気、湿気がこもり、室内空気汚染や結露、かび等の発生する危険性は高い。以上より本研究の目的は、これら気密性能の高い住宅に今後生じうる問題を把握すると共に、設備側、特に住宅の換気設備の点で対応可能な事項を洗い出し、高気密化住宅に適した住宅設備とその付帯すべき性能について検討することにある。

## 1. 2 研究方法

本年度は研究の初年度にあたり、まず集合住宅で現状生じている換気に関連する被害の実態、住民の換気意識、換気設備の使用状況、暖冷房時の換気、及び将来の暖冷房設備を含めた換気設備に対する要望の抽出を目的として、首都圏の団地数棟を対象とした広範なアンケート調査を実施した。更に次年度から開始する効率的な汚染質の局所排気装置の開発のためのシミュレーターとして、最近クリーンルームや大空間の空調設計に適用されて予測信頼性が高まりつつある気流の数値計算法を取り上げ、浮力を有する汚染質発生源を伴う室内気流と汚染質の除去に関する計算と実験結果の比較を試み、予測結果の妥当性に関する基礎的検討を行った。

## 2. 暖冷房・換気設備の現状と将来像に関するアンケート調査

## 2. 1 調査対象

表2. 1に示す住宅・都市整備公団が分譲した5団地

表2. 1 調査対象とした集合住宅の概要

団地名	A	B	C	D	E
所在地	東京都 江戸川区	東京都 東大和市	東京都 多摩市	神奈川県 相模原市	神奈川県 茅ヶ崎市
入居時期	昭和61年 8月	昭和61年 8月	昭和62年 3月	昭和62年 4月	昭和62年 4月
募集戸数	165戸	84戸	168戸	146戸	70戸
構造	RC 4~5階	RC 4~5階	RC 4~5階	RC 8~14階	RC 5階
暖房	台所	バルコニー	洗面脱衣室	玄関付近の	バルコニー
給湯機の	洗面脱衣室	洗面脱衣室	収納Space	Pipe Space	
設置位置	収納Space	収納Space		Meter Box	
放熱器数	2台	2台	2台	2台	1台

の内、間取りが3LDK、4LDKの住宅を調査対象とした。対象団地は築年数3年程度で比較的最近の暖冷房・換気設備が設置されているが、暖冷房期間数シーズンを経てある程度設備全般に対する評価が固まってきたものを選定した。各住宅とも都市ガスを熱源とした各戸別給湯暖房機が設置され、温水放熱器に接続することにより各室の暖房が可能な温水配管が施されている。暖房放熱器は住宅引渡し段階で<sup>あらかじめ</sup>予め居間、個室等に1~2台設置されているが、必要に応じて場所を移動したり、追加購入して暖房室数を増やすことができる。給湯暖房機の設置場所は表に示すように団地によって異なっている。また、台所には台所換気扇(レンジフード)が、浴室には浴室換気扇が設置され、いずれもコアダクトに強制排気されるシステムとなっている。但し、局所排気設備運転中の給気に対する特別な配慮はなされておらず、冷房機もスリーブを設けるのみで居住者の必要に応じて取り付けられる方式となっている。

## 2. 2 調査内容と調査方法

集合住宅における換気設備の在り方を探ることを目的として、台所や浴室、居室における換気不足に関連して生じる室内空気汚染、かび、結露等の被害を中心に、暖冷房・換気設備の使用実態、局所換気設備の性能評価、要求等、表2. 2に示す多角的な設問を試みた。アンケートは当該団地購入者名簿から任意に抽出した調査対象者に直接アンケート用紙を郵送し、回答記入後同封の返信

表 2. 2 アンケート調査の内容

フ シ エ イ ス ト	属 性	家族構成, 回答者
	住宅の概要	住棟階数, 所在位置, 部屋数, L・D・Kの繋 <sup>つな</sup> がり
	居住条件	不在時間, 洗濯物の乾燥方法
暖 暖 房 時 の 使 用 換 気 実 状 態 況	暖房放熱器	設置場所, 使用状況, 追加設置の要 求度, 同時使用の状況, 長所と短所
	補助暖房	使用場所, 開放型器具の有無
	加湿機	使用場所
	評 価	一般的な評価
	換気状態	換気方法, 換気する理由, したくない理由
換気に関連する被害	隙間風, 空気汚染, 結露, かびなどの被害が発生する場所, 頻度	
冷 換 房 の 気 使 用 状 実 態 況	冷房機	設置場所, 使用状況, 追加設置の要 求度, 同時使用, 長所と短所
	評 価	一般的な評価
	換気状態	換気方法, 換気する理由, したくない理由
	換気に関連する被害	室内の蒸れ, 空気汚染, 結露, かびなどの被害が発生する場所, 頻度
局 換 所 気	台所換気	換気扇の使用頻度, 換気したくない理由
	浴室換気	換気扇の使用頻度, 換気したくない理由
設 将 備 来 の 像	希望の設備方式	全室暖房・全室冷房の要求度
	要求する付加機能	居室換気・冷暖房換気システムの希望 加湿, 除湿, 空気清浄, 運転音 プログラム運転, 器具の納まり

用封筒を用いて郵送するよう依頼したが、回答者には謝礼を後日郵送した。回答結果は業者に依頼して磁気ディスクに入力したあと東京大学大型計算機センターで必要な統計処理を行い、自由回答については個別に分類した後に、整理分析した。

2. 3 単純集計結果

以下、集計結果のうち、重要な項目について述べる。

(1) 回収率

表 2. 3 に示すように各団地で51~67%, 平均57%と高い回収率となったが、回答者の40%以上がかなり詳細な自由回答を寄せていることは、暖冷房・換気設備に対する関心の高さの現れといえよう。

表 2. 3 アンケート調査表の回収状況

団地名	A	B	C	D	E	合計
郵送数(票)	120	46	89	146	70	471
回収数(票)	65	31	55	81	36	268
回収率(%)	54	67	62	56	51	57

(2) 属性

3 LDK と 4 LDK では居住者の家族構成, 年齢等に若干の差異が認められたが、これら属性の変化で回答が大きく変化する恐れはないと考えられる。また、1日の生活で住宅に滞在者がいない不在時間を調べたところ「0~2時間」が最も多かったが「6~11時間」不在とする居住者も25%に達しており、都市型住宅における生活を反映した結果となった。

(3) 暖房放熱器に対する評価

図 2. 1 に示すように、7割以上が長所としている項目は「安全性が高い」、「室内空気が汚れない」の2項目であり、温水暖房設備の特性を的確に評価していた。但し、その他の項目に対する評価は低く、「かびが発生しない」、「暖房費が安い」点での評価は1割に満たなかった。不満が高かった項目は図 2. 2 に示すように「運転費」、「家具等の配置の制約」、「タイマー運転できない」であった。

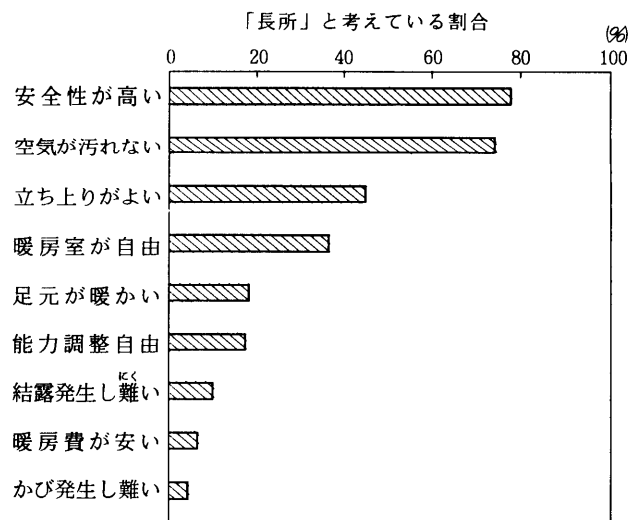


図 2. 1 暖房放熱器の長所

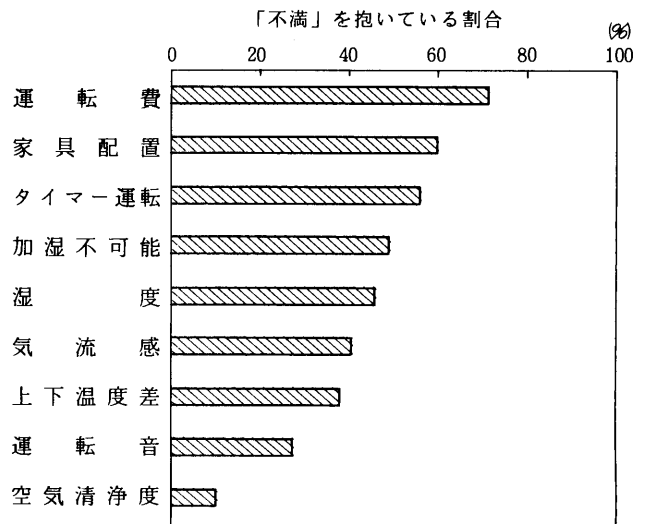


図 2. 2 暖房放熱器に対する不満

(4) 冷房機に対する評価

図2. 3に示すように7割程度が長所と評価している項目は、「除湿運転可能」、「タイマー運転可能」、「冷房温度の設定可能」、「立ち上りがよい」の4項目であった。かびや結露の発生し難さ、運転費に関しては暖房放熱器と同様評価が低かった。不満を感じる点については、図2. 4に示すように全般的に暖房放熱器よりも評価が甘く、最も不満の多い運転費も「不満」とした居住者は6割以下と暖房放熱器よりも15%程度少なかった。これらの理由としては、まず暖房放熱器が住宅購入時点から付帯設備の一部として設置されていたのに対し、冷房機は居住者が自発的に購入設置したことから、暖房器具に関しては熱源や暖房方式など選択の余地が大きく、室内空気環境を犠牲にすれば開放型石油ストーブなどの安価な代替手段のあること、冷房については適当な代替手段の

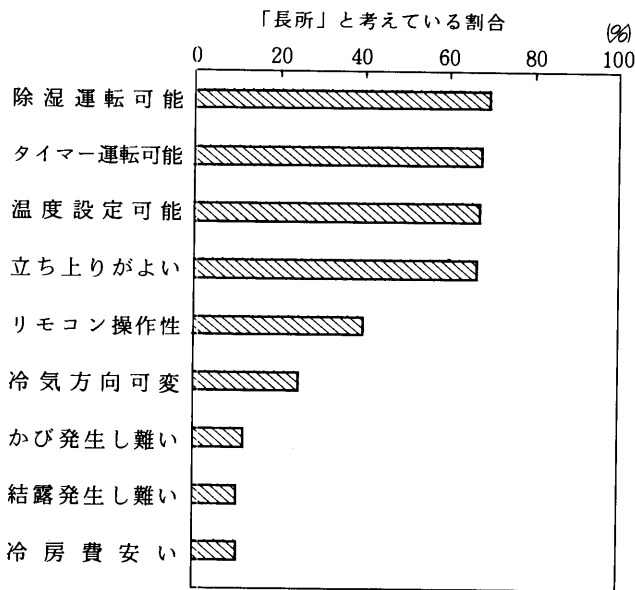


図2. 3 冷房機の長所

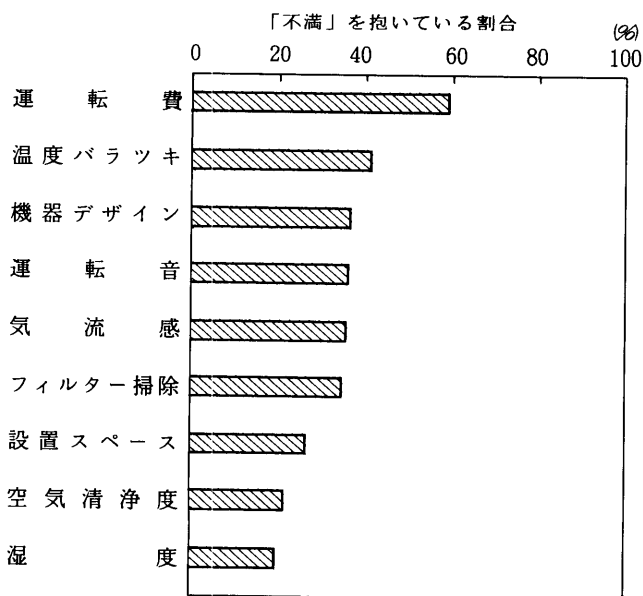


図2. 4 冷房機に対する不満

ないこと等が原因として考えられる。

(5) 暖冷房時の換気

図2. 5, 2. 6, に示すように、暖房時は「空気の淀み感」、「タバコ、煙、臭い」、「結露やかびの防止」や、「開放型暖房器具を使用」のため、6割強が「換気する」と回答していた。冷房時は「空気の淀み感」、「タバコ、煙、臭い」が気になり4割弱換気していた。換気方式は図2. 7に示すように様々で、暖冷房時とも「窓」、「台所換気扇」で換気する住戸が多かったが、暖房時には両者を併用する例も多くみられた。

以上のように予想以上に住民は意識的に換気を励行していることが判明したが、図2. 8に示すように3割強は「暖冷房時に換気したくない」と回答しており、その理由としては図2. 9に示すように6割強が「外気が入るので不快」、6割弱は「室内空気が逃げる」、3割強が

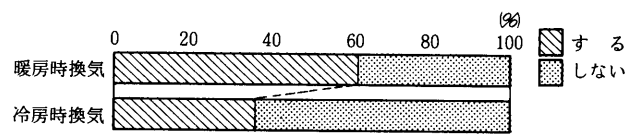


図2. 5 暖冷房時の換気状況

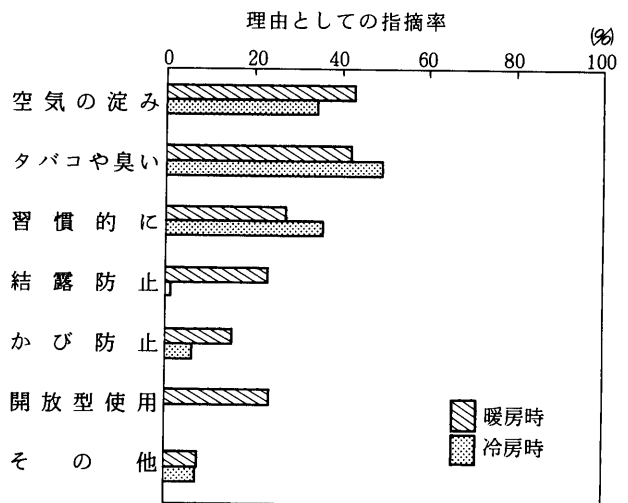


図2. 6 暖冷房時に換気する理由

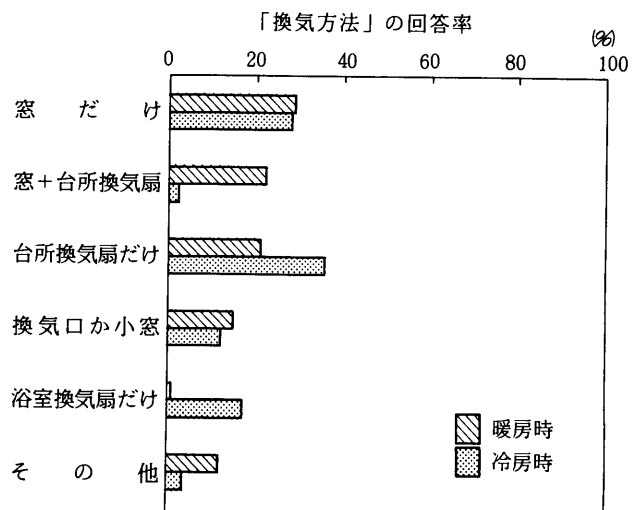


図2. 7 暖冷房時の換気方法

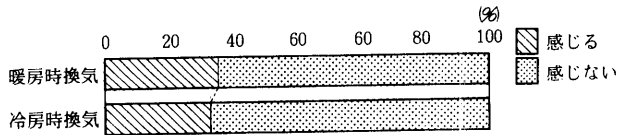


図 2. 8 暖冷房時に換気したくないことがあるか

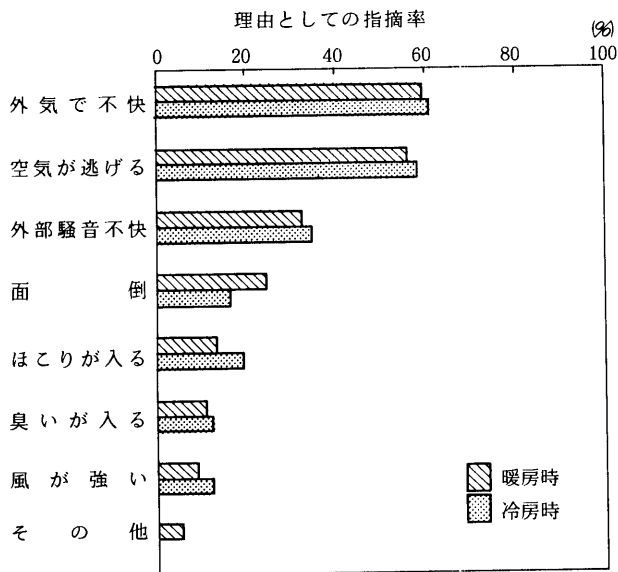


図 2. 9 暖冷房時に換気したくない理由

「外部の騒音が不快」を挙げていた。

(6) 換気・気密性に関する被害

冬のすきま風による不快を訴える回答者は4割弱と比較的少なく、夏の帰宅時に室内の蒸れる感じが不快とする回答者は8割以上と多く、気密性の高い住宅の特性を反映した結果となった。また、「室内空気の汚染は発生しない」とする回答者は3割以下と少なく、室内空気汚染が集合住宅では高頻度で発生していることが明らかとなった。汚染が発生する場所としては図 2. 10, 2. 11 に示すように4割弱が「居間」、3割が「食堂」、4割が「台所」と日常的に長期間滞在する室を挙げており、約2割が「トイレ」における発生を指摘していた。最近問題となっている「かび」については夏冬とも半数以上が被害を指摘しており、4割程度が「浴室」を、1割程度が「寝室」と「子供部屋」を挙げていた。一般に戸建て住宅で問題となることの多い「押入」「収納スペース」での被害の申告は少なく、集合住宅の特性を示す結果となった。また、結露被害を指摘する居住者は室内空気汚染、かびに比べ少なかった。

(7) 台所・浴室に関連する被害

レンジ使用時には95%以上が「換気扇を運転する」と回答していたが、「使用したくない」と感じる回答者が図 2. 12に示すように30%程度あった。その理由としては図 2. 13に示すように82%が「換気扇の騒音」、42%が「暑い(寒い)外気の侵入」を挙げていた。浴室の換気については「入浴後のみ」が35%と最も多かったが「入浴中・

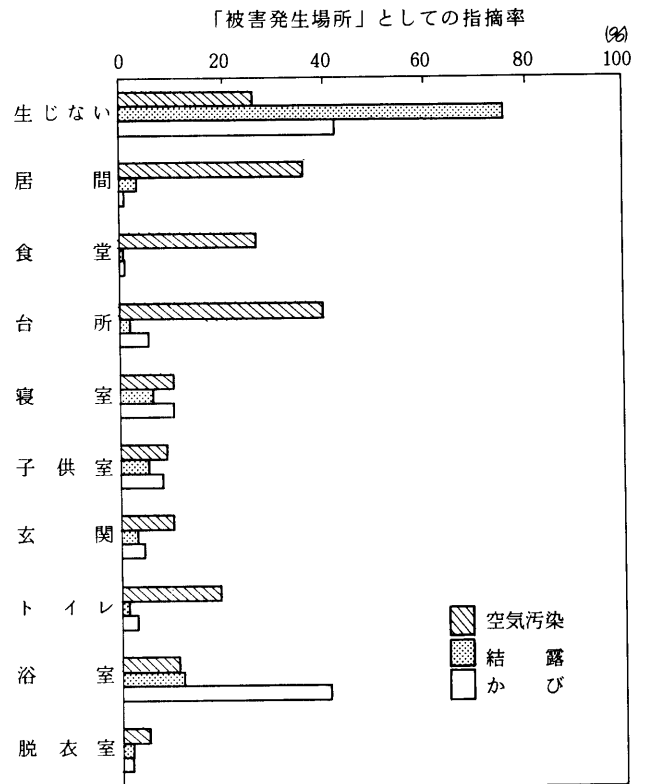


図 2. 10 夏季における換気・気密性に関する被害の発生状況

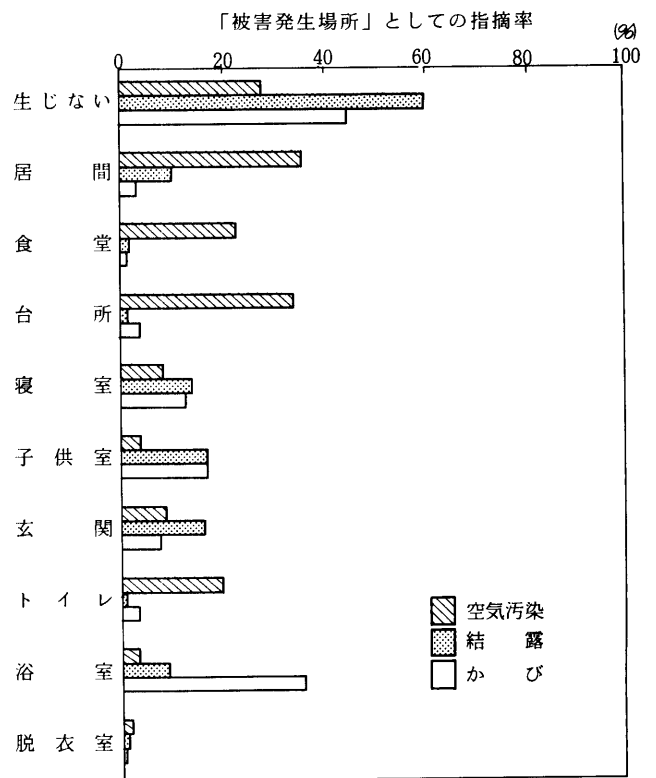


図 2. 11 冬季における換気・気密性に関する被害の発生状況

後」が28%、「入浴時以外も」が11%、「日中常時換気」が7%、「1日中換気」が14%と、居住者は相当高い頻度で換気扇を運転していた。換気に関連する被害調査結果からみてかびを防止するための行為と推定される。換気

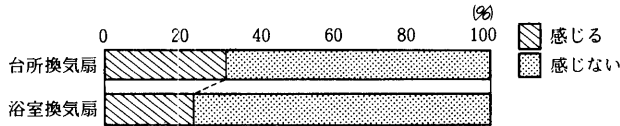


図 2.12 台所換気扇・浴室換気扇で換気したくないことがあるか

扇の利用頻度は頻繁であるが、「換気扇を使用したくない」と感じる回答者は図 2.12 に示すように 23% あり、その理由は図 2.13 に示すように 73% が「外気の侵入」、38% が「換気扇の騒音」を挙げていた。

## 2.4 換気に関連する被害と被害要因の関係

### (1) 開放型暖房器と各種被害

室内空気汚染、結露、かび共に開放型暖房器具を使用する回答者の間で被害の申告率がやや高く、開放型暖房器具を使用しない方向で居住者への指導、集合住宅での住まい方のルール作りを行う必要がある。

### (2) 居室の換気と室内環境汚染

「換気する」群の方が、「換気しない」群より室内空気汚染被害の指摘率が高かった。意識の高い居住者は空気汚染を察知して換気を行うが、意識の低いものは汚染に気づかず、従って換気しないという意識の差が、このような一見逆の結果となった原因と思われる。

### (3) 浴室換気扇とかび、結露の被害

浴室においては浴室換気扇を「日中」ないし「1日中」運転する群でかび、結露の被害が少なかった。但し、浴室換気扇は本来このような連続運転を想定した設備とはなっていないので、局所換気方法に対する抜本的な見直しが必要と考えられる。

## 2.5 今後の暖冷房・換気設備に対する要望

### (1) 暖冷房と換気

図 2.14 に示すように全室暖冷房可能なシステムについては約 8 割が「是非必要」ないし「必要」としており、要求度は高かった。また、居室専用換気システム、暖冷房に換気機能も付帯したシステムともに 8 割強が必要と回答していた。

### (2) 付加機能

8 割以上が必要と回答した機能は図 2.15 に示すように「除湿機能」、「運転音の静粛さ」、「空気清浄機能」、「目

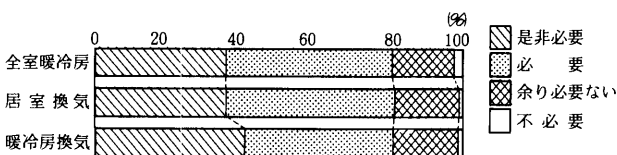


図 2.14 これからの暖冷房・換気システムに対する要求度

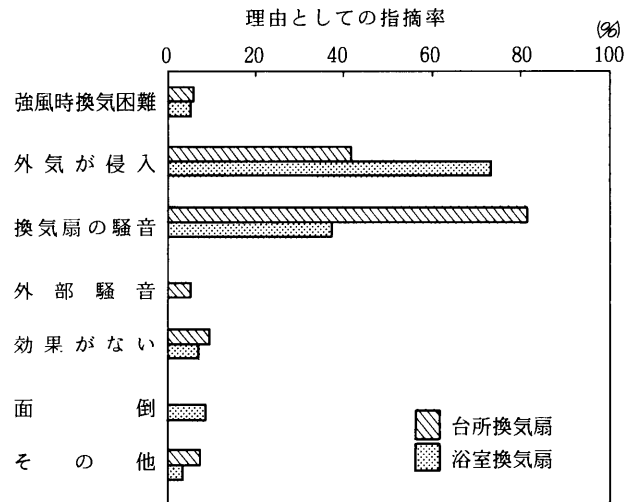


図 2.13 台所換気扇・浴室換気扇で換気したくない理由

立たない設備」であったが、「プログラマブルタイマー」への要求は低く、「加湿機能」の要求は半々であった。

## 2.6 アンケート調査結果のまとめ

アンケート調査結果より、以下の点が明らかとなった。

- (1) 暖房放熱器、冷房機に対する評価は単に経費と温度調整機能のみならず、空気清浄度や湿度調整に関する機能が比較的大きなウェイトをもっていることは注目に値する。これらの点に関する居住者の意識の高さを示唆した結果であり、要望に応える方向で今後の設備の開発を行う必要がある。
- (2) 暖冷房時に換気を励行しているものの、室内外空気の流入流出、外部騒音の侵入を理由に換気したくないと感じる居住者も少なくない。また、室内空気汚染、かび、結露などの指摘も多く、集合住宅では戸建て住宅に比べ一層の局所換気性能が要求されると共に、居室専用の換気装置や暖冷房器自体に換気性能を付帯させた設備に対する要求が高かった。
- (3) 現状の局所換気設備に対しては、外気の侵入と換気扇の発生騒音より換気したくないと感じている居住者は少なくない。高気密化住宅では給気の温度調整等の配慮を行う必要がある、また、局所排気装置そのものの捕集効率を向上させることにより排気流量を低下させ、騒音

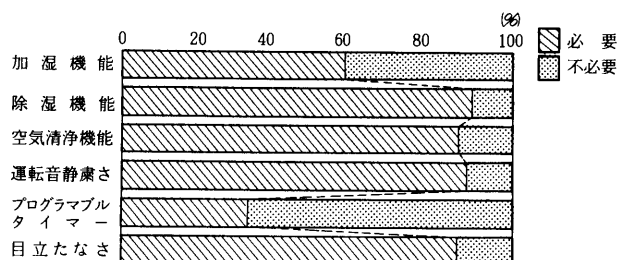


図 2.15 暖冷房・換気設備の付加機能に対する要求度

の低下を図るべきである。

### 3. 浮力を伴う汚染質の除去に関する数値計算と実験との比較

#### 3. 1 研究の目的と本年度の検討事項

効率のよい汚染空気除去方法は、従来実験的な検討に基づいて開発が進められてきた。今後とも実験的検討は必要であるが、基礎段階では実験に要する労力、時間を低減できる簡易な検討手段の開発が望ましい。そこで本年度は、クリーンルーム等を対象とした汚染質の室内拡散性状の予測法として確立されつつある室内空気分布の数値計算予測法を取り上げ、厨房ガスレンジの水蒸気を伴う排気ガスなど、汚染質自体が浮力を有する場合の室内拡散に関する予測を試み、実験との比較によってその妥当性の検証を行った。今回特に検討の対象としたのは、新鮮外気の取り入れ位置の相違による汚染質の拡散の相違と浮力の作用の計算による再現であり、従来これらの点に検討を加えた例は少ない。

#### 3. 2 実験概要

##### (1) 実験方法

図3. 1に検討の対象とした室形状を示す。排気口は天井に接する側壁頂部、汚染質吹出し位置は排気口直下付近の床面から鉛直上方への吹出しとし、これらの位置

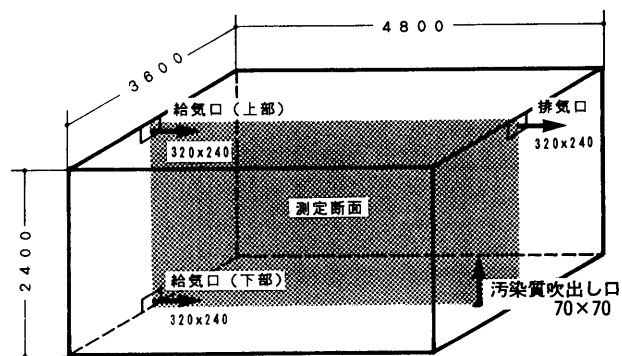


図3. 1 解析対象空間 (単位: mm)

はいずれも固定とした。新鮮外気給気口は排気口と反対の側壁の天井と床面付近の2通りを検討した。実験では図3. 2に概略を示すように、対象空間の5/16の亚克力製縮尺模型を制作し、排気口下流にダクトを介して排気ファンを接続、給気口上流に絞り面積比9:1の矩形ノズルを接続して模型室の換気を行うと共に、汚染質吹出し口から空気、ヘリウム、エチレンの混合ガスを排出し、中央対称断面におけるエチレン濃度を水素炎ガスクロマトグラフで測定した。すなわち汚染質の温度差による浮力作用をヘリウムの使用による気体の密度差に置き換え、室内温度に相当する量をエチレン濃度で把握したものである。換気量は、排気ダクト内の濃度による測定

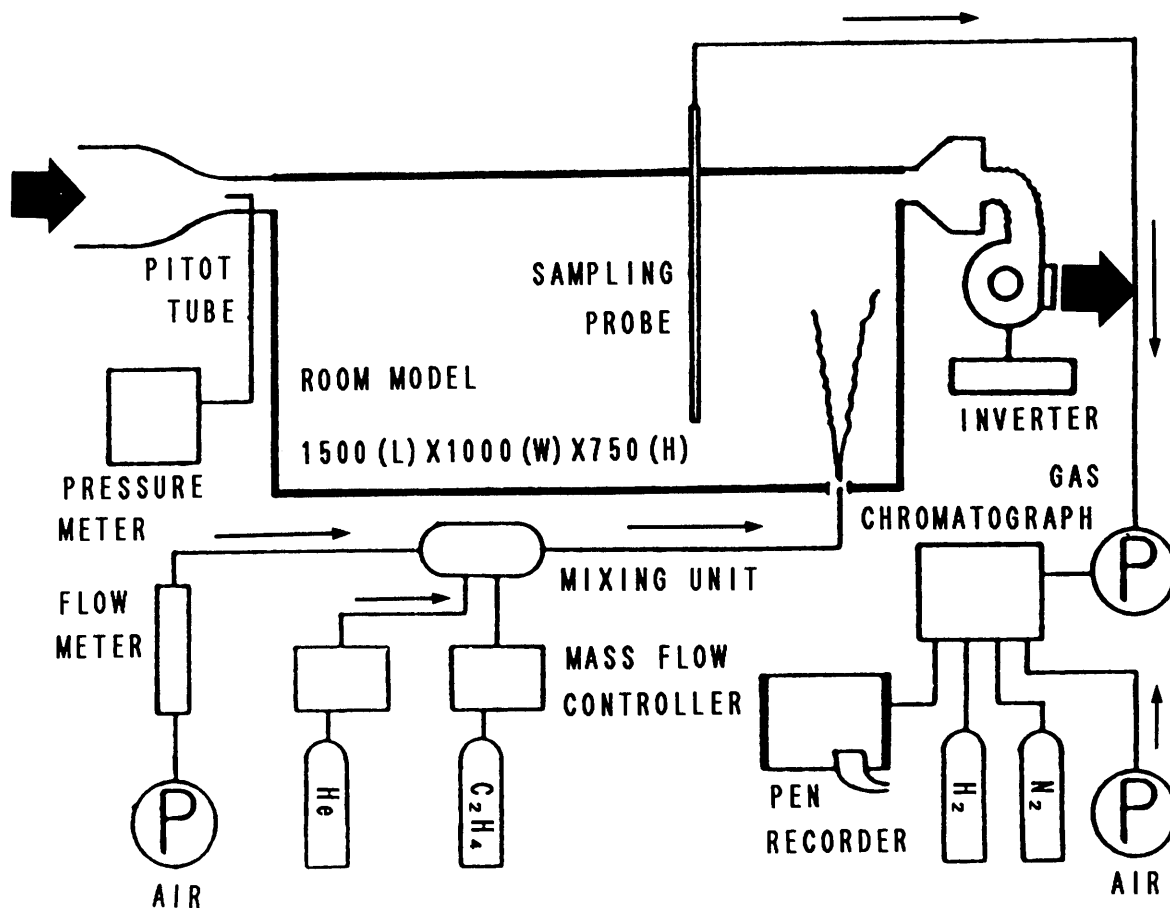


図3. 2 実験系統図

値と、給気口ノズル中央部速度のピトー管による測定値をクロスリファレンスしたが、両者がほぼ一致することを確認している。トレーサガスの混合比は予め修正したマスフローコントローラーとフローメーターにより制御した。また、一部の実験条件に対しては、煙発生装置による流れの可視化を行い、全般的なフローパターンの把握を行った。

### (2) 実験条件

実験条件の一覧を表3.1に示す。給気口位置は上部、下部の2通り、汚染質の吹出し条件は、吹出しの初速度無し—浮力無し、初速度有り—浮力無し、初速度有り—浮力有り、の3通りとし、浮力を伴う場合のトレーサガス吹出し条件は、発熱量500kcal/hの仮想点源からの上昇気流の断流面積が、想定した汚染質吹出し口面積0.07m×0.07m（等価直径0.08m）に達する位置での平均上昇速度、平均密度差を図3.3に示す理論計算式<sup>2)</sup>より求めて決定した。すなわち、初速度の設定は発熱量に相当するプリュームの上昇速度に基づいているため、同じ発熱量のレンジを設置した場合に対応する流れ場が形成されるとみなしてよい。また給気口が上部の条件では他の条件を一定とした上で、浮力のみ1/2及び2倍とした実験ケースを参考のため追加した。換気量は実物換算換気量が300m<sup>3</sup>/hとなるように、模型では初速度無し—浮力無しの条件で45m<sup>3</sup>/h、その他の条件で18m<sup>3</sup>/hに設定した。

## 3.3 数値計算概要

### (1) 乱流のモデル

k-ε型二方程式乱流モデル<sup>2)</sup>を使用し、εの浮力生産項の取り扱い、浮力生産項の符号で計算定数を切り替えるViollet型のモデル<sup>3)</sup>を使用した。諸変数は給気口吹出し速度U<sub>0</sub>及び吹出し口幅L<sub>0</sub>で無次元化した。

### (2) 計算メッシュの配置

計算領域は流れの対称性から模型空間の半分の領域とし、図3.4に示すメッシュ分割（34×50×23）としたが、一部の条件では後述する理由により、模型空間の全

表3.1 実験条件

ケース No.	給気口	汚染質初速度 (m/s)	浮力 (m/s <sup>2</sup> )	換気量 (m <sup>3</sup> /h)	Re*	Ar*
L1	下	0.0	0.0	45	11111	0.0
L2	下	0.374	0.0	18	4287	0.0
L3	下	0.374	1.79	18	4287	0.01548
H1	上	0.0	0.0	45	11111	0.0
H2	上	0.374	0.0	18	4287	0.0
H3	上	0.374	1.79	18	4287	0.01548
H4	上	0.374	0.90	18	4287	0.00774
H5	上	0.374	3.58	18	4287	0.03097

\* 代表速度、代表長さ、代表密度差は各々給気口吹出し速度、吹出し幅、排気口平均密度差とした。

仮想点源Sを頂点とした円錐型のプリュームにおいて側面からの誘引空気がプリューム内の上昇流量のα倍であると仮定すると、質量、運動量、質量欠損の保存より、

$$\begin{aligned} d(n b^2 \bar{w}) &= 2 \pi a b \bar{w} d z \\ d(n b^2 \bar{w}^2) &= n b^2 g d z \\ d(n b^2 \bar{w} g') &= 0 \end{aligned}$$

であり、これを解くと、

$$\begin{aligned} b &= \delta / 5 \cdot a z \\ \bar{w} &= \delta / 6 a \cdot (9 / 10 \cdot a F)^{1/2} z^{-1/2} \\ g' &= \delta F / 6 a \cdot (9 / 10 \cdot a F)^{-1/2} z^{-3/2} \end{aligned}$$

となり、αは経験値でα≈0.10。

発熱量は、Q = π b<sub>0</sub><sup>2</sup> w<sub>0</sub> c<sub>p</sub> ρ Δθ。

であり、Δρ / ρ = β Δθ より

F = β g Q / π ρ c<sub>p</sub> となるので

Qおよびb<sub>0</sub>を与えることによって

F、Δρ、w<sub>0</sub>が求まる。

ここに、

F = F<sub>0</sub> / π = b<sup>2</sup> w g'

g' = Δρ g / ρ a

n b<sup>2</sup> w = f w r d r

n b<sup>2</sup> w<sup>2</sup> = f w<sup>2</sup> r d r

b : プリューム半径

w : 鉛直方向平均速度

ρ a : 周辺空気密度

Δρ : 密度差

b<sub>0</sub> : 発熱面半径

Δθ<sub>0</sub> : 発熱面上空気の温度上昇

g : 重力加速度

c<sub>p</sub> : 空気の定圧比熱

β : 空気の体積膨張係数

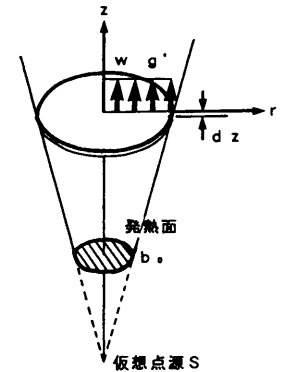


図3.3 プリュームモデル

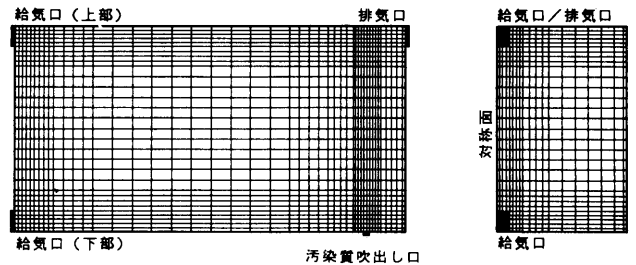


図3.4 メッシュ分割

表3.2 Viollet型k-ε型2方程式乱流モデル

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (v + v_i) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} - \beta g_i \theta$$

where  $\Pi = p + 2\rho k/3$

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left( v + \frac{v_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + v_i \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta g_i \frac{v_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} - \epsilon$$

$$\frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left( v + \frac{v_i}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + \frac{\epsilon}{k} C_1 v_i \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_2 \epsilon + C_3 \beta g_i \frac{v_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left( \kappa + \frac{v_i}{\sigma_\theta} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right\}$$

$$C_D = 0.09 \quad C_1 = 1.44 \quad C_2 = 1.92 \quad \sigma_k = 1.00 \quad \sigma_\epsilon = 1.30 \quad \sigma_\theta = 0.7$$

$$C_3 = \begin{cases} C_1 & \left( \beta g_i \frac{v_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} > 0 \right) \\ 0 & \left( \beta g_i \frac{v_i}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \leq 0 \right) \end{cases}$$

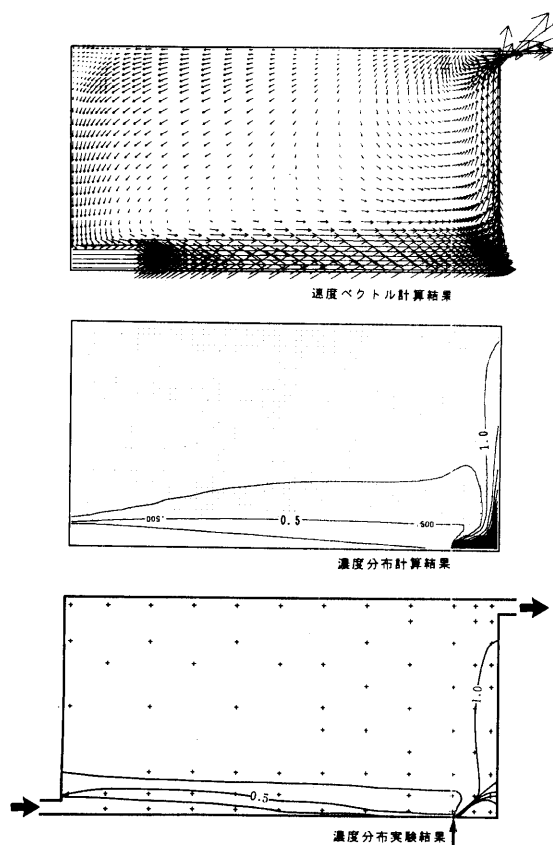


図3.5 実験ケース L1

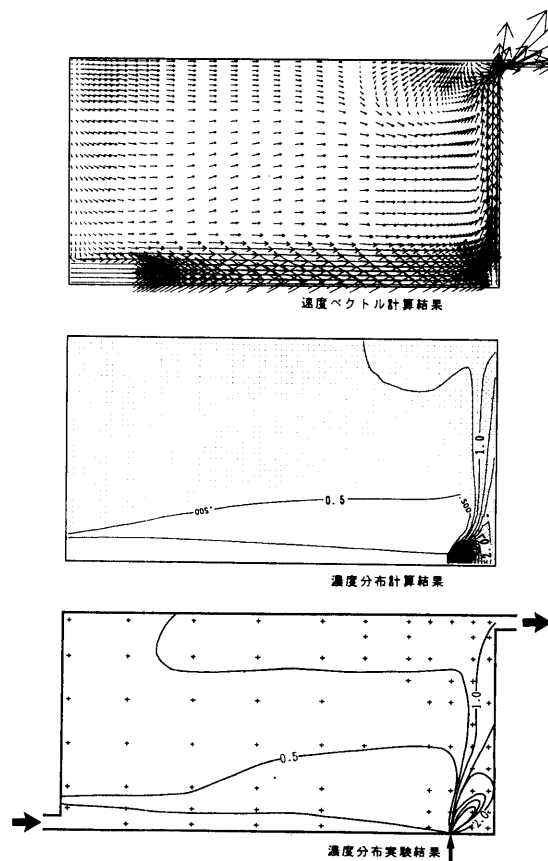


図3.7 実験ケース L3

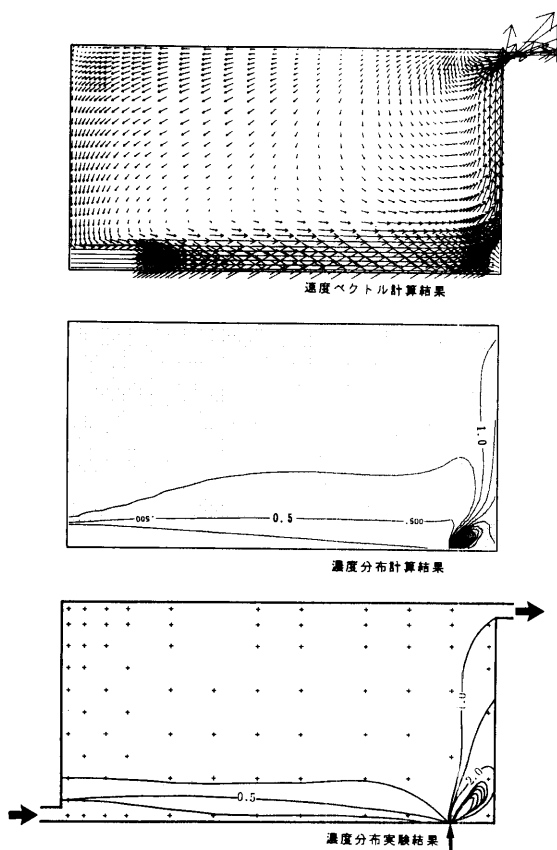


図3.6 実験ケース L2

領域を計算領域としたメッシュ分割を併用した。

### (3) 差分スキームと解法

空間差分スキームは運動方程式移流項に Quick 法<sup>文4)</sup> スカラー輸送方程式の移流拡散項に Hybrid 法<sup>文5)</sup> を使用し、他は中心差分とした。解法は圧力・速度同時緩和法、及び前進差分による time-marching 法とし、定常解を得た。

### (4) 境界条件

吹出しの境界条件は速度を与え、 $k$ 、 $\epsilon$  の流入値としては、それぞれ  $0.002 \times U^2$ 、 $C_D \times k^{3/2} / (0.1 \times L)$  とし、壁面境界条件は  $1/7$  乗則に基づく壁関数<sup>文6)</sup> を使用した。計算設定条件は模型実験と同様である。

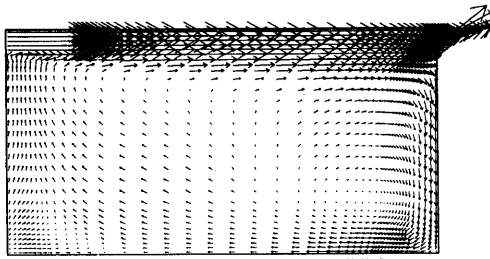
## 3.4 計算結果と実験結果の比較

### (1) 下部給気の場合

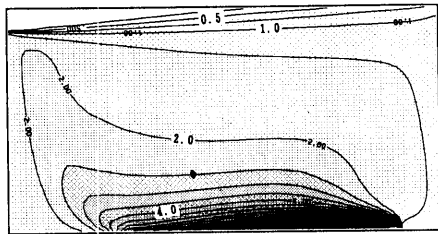
下部給気の場合の濃度測定結果、濃度(温度に相当)・風速ベクトルの計算結果を図3.5~3.7に示す。なお、濃度の値は、換気量に対応する瞬時一様拡散濃度(排気口平均濃度)により基準化して表示した。従って、濃度が1より大きい領域は気流の停滞により、新鮮空気による希釈効率の劣る領域と判定される。

いずれの場合も、給気口からの噴流の影響で床付近が低濃度となり、高濃度領域は汚染質排出口から流れに

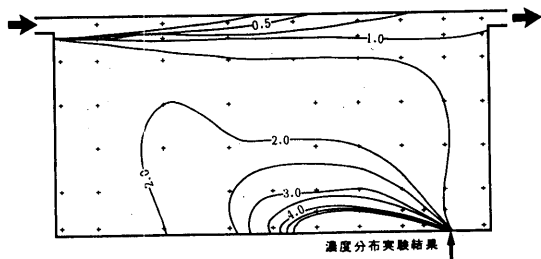




速度ベクトル計算結果

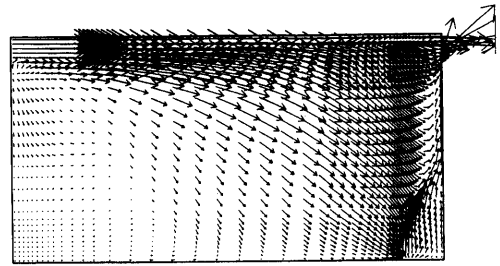


濃度分布計算結果

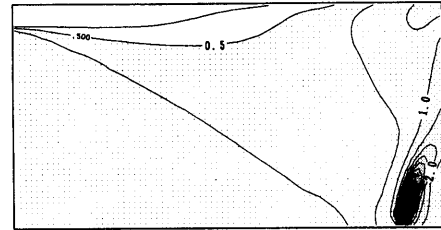


濃度分布実験結果

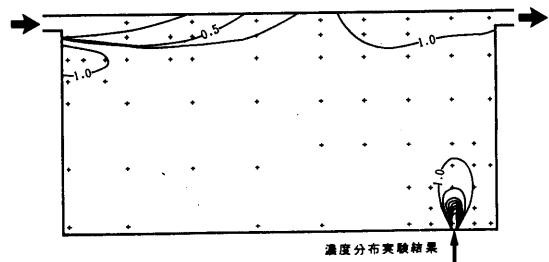
図 3. 8 実験ケース H 1



速度ベクトル計算結果

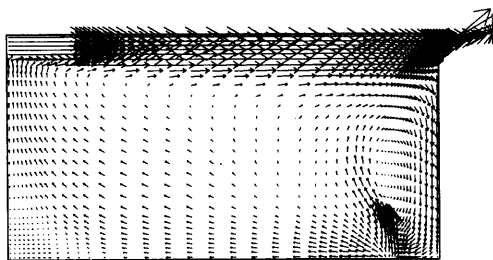


濃度分布計算結果

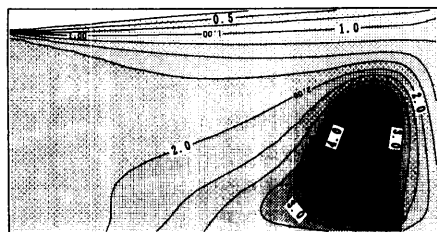


濃度分布実験結果

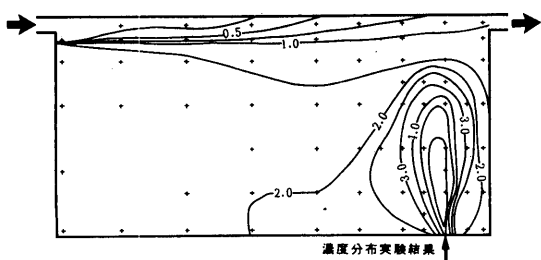
図 3. 10 実験ケース H 3



速度ベクトル計算結果



濃度分布計算結果



濃度分布実験結果

図 3. 9 実験ケース H 2

沿って排気口に至る壁近傍に限定される。汚染質が効果的に除去された結果として、室内の大部分は瞬時一様拡散濃度より低い濃度となる。浮力のない場合の汚染質の吹出し速度の影響は、排出口近傍の濃度分布の軽微な変化にとどまり、吹出し速度の有無は全体的な濃度・速度上に与える影響は無視できる。浮力の作用により、床付近の低濃度領域及び天井排気口付近の高濃度領域が拡大し、流れの様相も大きな変化を受けるが、濃度の計算結果が実測結果とよく対応することから、数値計算が浮力の作用を的確にシミュレートしていると判断される。

#### (2) 上部給気の場合

給気口を上部とした場合の実験、計算結果をまとめて図 3. 8～3. 12に示す。浮力のない場合、初速度 0 の条件では、床付近の汚染質吹出し口から給気側に、初速度がある条件では排出口直上と床面付近の給気側に著しい高濃度領域が発生する。汚染質が室内に滞留した結果、室全体が下部給気の場合に比べて高濃度となる。数値計算ではこれらの高濃度領域を多少過大評価している点を除き、一般的に実験との対応は良好である。一方、浮力作用のある場合は、実験では排出口直上の高濃度領域が大幅に縮小すると共に、浮力の作用が増すにつれて (H 4→H 3→H 5) 給気に沿った低濃度領域が縮小し、更に排出口上部天井付近での高濃度領域が拡大するが、全

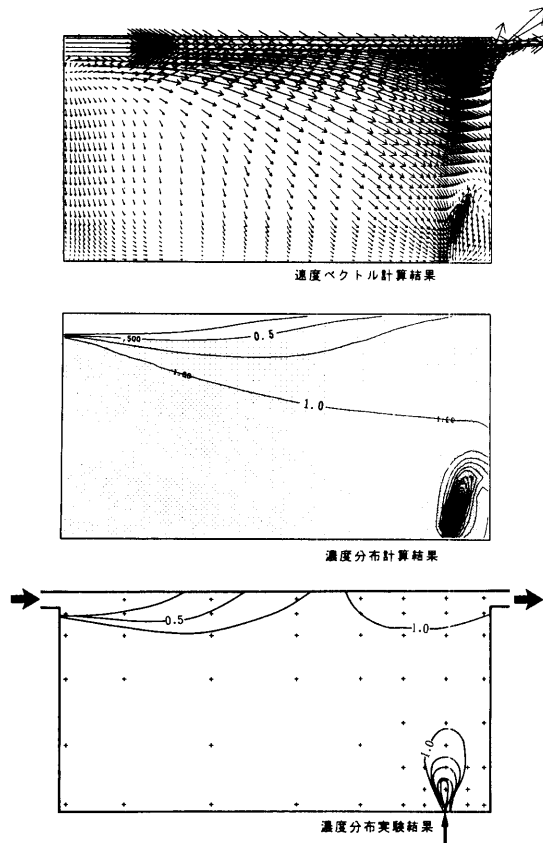


図 3.11 実験ケース H 4

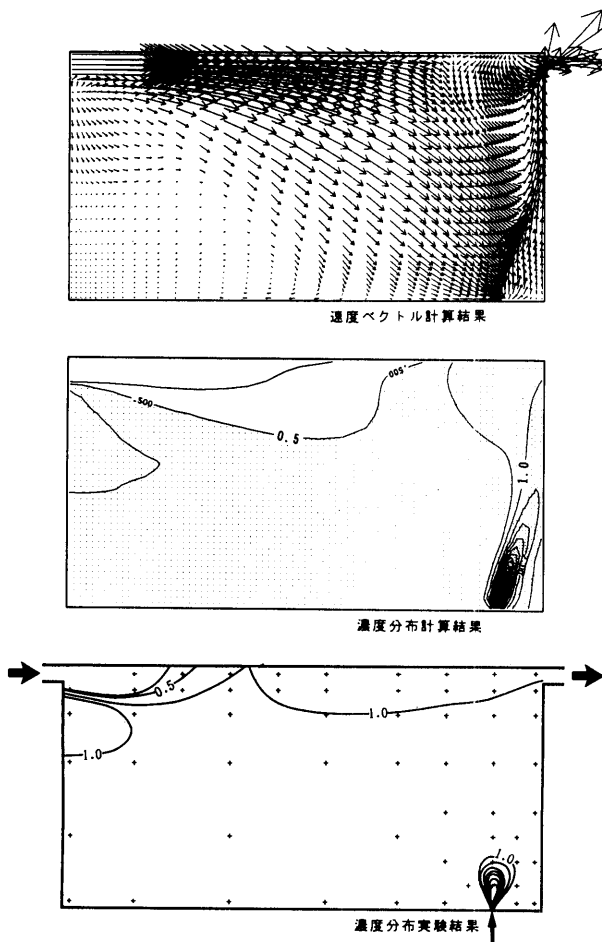


図 3.12 実験ケース H 5

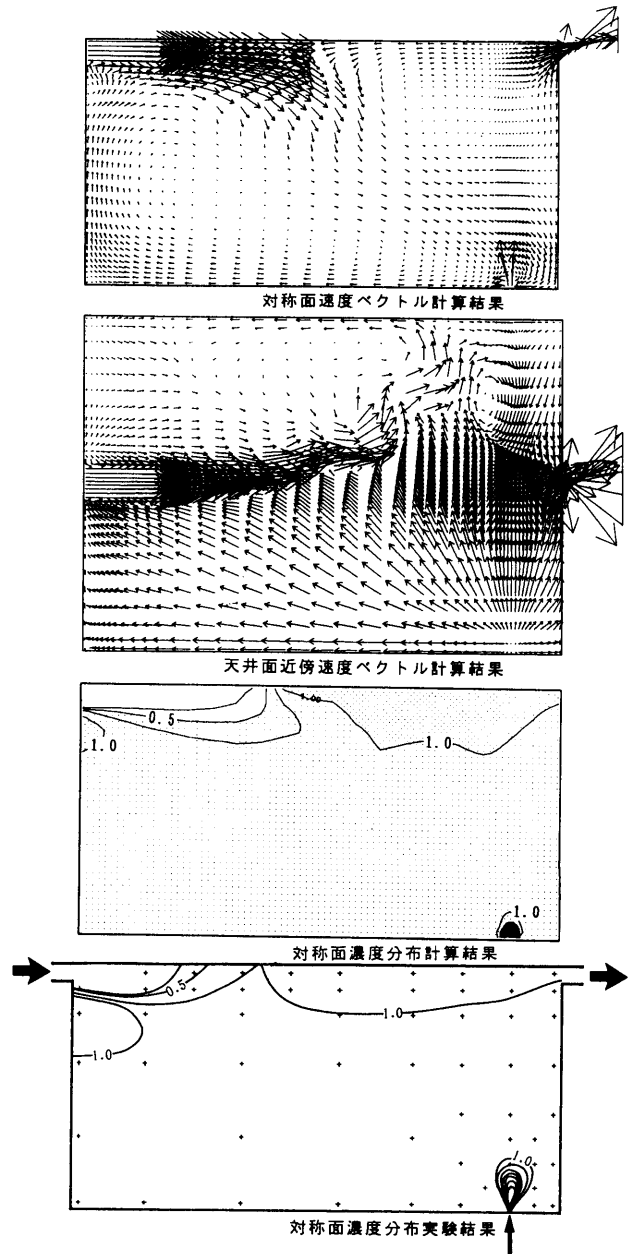


図 3.13 全領域計算結果と実験結果 (H 3) との比較

一般的な室濃度は浮力のない場合に比べて低下するなど、濃度拡散性状に大きな変化が認められる。数値計算結果はこれらの傾向を比較的良好に再現するものの、細部における実験との対応は下部給気の場合より劣る。

(3) 計算領域変更の影響

上部給気、浮力有りの濃度実験結果は、例えば汚染質吹出し直上の1の等濃度線が排気口周辺の1の等濃度線と分離しているなど、流れの対称性が確保されていない可能性を示唆する結果となっている。そこで、煙による流れの可視化を行ったところ、給気口からの新鮮空気は図3.10に示される計算結果と同様、浮力により降下するが、平面的には室内の対称軸から逸脱し、一方の側に偏向して拡散する様相が確認された。この原因は、模型制作精度など実験側の要因も考えられるが、設定した境

界条件のもとでは流れそのものが不安定で、対称条件が容易に満たされない可能性がある。そこで、実験ケース H 3 について計算領域を室全体に拡大した計算を行った。計算結果は、図 3. 13 に示すように解が十分定常に至ることなく時間的に変動する様相を呈するものの、実験と同様に給気口や汚染質吹出し口からの噴流の定常的な偏向が認められた。定常に達しない場合の数値解の吟味には注意を要するが、濃度分布が対称領域のみを解いた図 3. 10 の場合に比べ、実験結果との対応が飛躍的に向上することから、この種の不安定な流れを予測対象とする場合には、物理空間の全領域を計算対象とすることが、予測精度を上げるために重要であることが分かる。なお、念のため実験ケース L 3 についても、同様に計算領域を物理空間の全領域とした計算を行ったが、H 3 条件にみられた解の非対称性は生じることなく対称領域のみを計算対象とした場合と同一の解が得られた。

### 3. 5 数値計算のまとめ

Viollet 型  $k-\epsilon$  乱流モデルを用いて基礎的な浮力流れの数値予測を試み、実験結果との比較に基づき以下の点が明らかとなった。

- (1) 汚染質発生位置、排気口位置が一定であっても、給気口位置の相違が室全体の汚染質分布を大きく左右する可能性があり、今回の実験条件では下部に給気口を設ける方が、汚染質を効果的に除去し室内汚染質濃度の上昇を抑制する効果があることが実験、計算の双方で示された。
- (2) 汚染質が浮力を有する場合、特に給気口が上部の条件では、汚染質分布は浮力がない場合とは著しく異なった様相を呈し、浮力の影響を加味した検討が必須であることが分かった。
- (3) 数値計算結果は浮力を伴う場合を含めて、全般的に実験結果とよく対応し、換気方法が換気効率に及ぼす影響の検討において、有効な予測手法となり得ることが示された。

## 4. 結語

住宅における局所換気装置の在り方を探ることを目的に、アンケート調査を実施すると共に、効率的な換気装置開発のためのシミュレーターとして数値計算法を取り上げ、基礎的浮力流れに対する実験と計算の比較を行った。その結果、

●アンケート調査では都市域の集合住宅の居住者は、暖冷房中でも意識的に換気を行っているにもかかわらず、高い頻度で室内空気汚染やかびが発生しており、平面計画を含めた集合住宅における換気経路の在り方を再考する必要があることが分かった。特に局所換気装置については、現状の方式では浴室におけるかびの発生を抑える

のに不十分であり、浴室乾燥設備等の導入が対策として考えられる。また、浴室、台所換気扇の両者について、発生騒音や給気経路の点に問題があり、捕集効率の向上や給気の温度調節など設備面での対応が必要となろう。

●数値計算結果は大略実験結果と対応しており、上記設備の機能面での性能向上を予測評価するためのシミュレーターとして使用できる見通しが立った。次年度では数値計算法を駆使し、現状での局所換気装置の改良に取り組みたいと考えている。

注) 今回行ったアンケート調査は、住宅・都市整備公団の委託により(財)住宅・建築省エネルギー機構に設置された委員会の研究活動の協力を得て、筆者らが中心に行ったものである。関連委員各位に感謝の意を表す。

### 〈参考文献〉

- 1) Turner, J. S. : Buoyancy Effects in Fluids, Cambridge University Press, 1973
- 2) Launder, B. E., Spalding, D. B. : The Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 3, 1974
- 3) Gabillard, M., Viollet, P. : The Three Dimensional Computation of Secondary Flow and Density Currents in A Curved Pipe, Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, 3rd Int. Symp., 1988
- 4) Leonald, B. P. : A Stable and Accurate Convective Modelling Procedure Based on Quadratic Upstream Interpolation, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 12, 1979
- 5) Patankar, S. V. : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980
- 6) 野村, 松尾, 貝塚, 坂本, 遠藤 : 室内空気分布の数値解法に関する研究 3, 日本建築学会論文報告集, No. 238, 1975

### 〈研究組織〉

主査	鎌田 元康	東京大学工学部助教授
委員	千田 善孝	東京大学工学部助手
	倉渕 隆	東京大学工学部助手