

回路網を用いた換気量計算による住宅換気計画の評価

建築環境工学

藤原 清貴

1. 背景・目的

2003年7月1日からシックハウス対策により建築基準法が改正され住宅の居室においては24時間機械換気によって定められた換気量を確保しなければならなくなった。しかし、室内の空気質を保つためには、住宅全体の換気量のみだけではなく、それぞれの居室の換気量を正確に把握することが重要になってくる。

本研究は換気回路網を用いた換気量計算プログラムの作成、及びそのプログラムによる各室の換気量の計算、機械換気による換気計画がその目標通りの換気量を確保できているかの検討を行なうことを目的とする。

2. 換気量計算法

換気量計算法は、計算機による多数室換気計算法¹⁾に基づいて計算を行なう。

本研究では、定常状態の多数室換気を対象とし外気温及び各室の温度の空間的分布はなく一様とする。また、開口内圧力分布を均一とした小開口換気の回路網にモデル化する。

換気量計算法については、多数室間の流れを独立閉回路の圧力の平衡式を回路の流量仮定により解く流量仮定法と各室の流量の平衡式を各室の圧力仮定により解く圧力仮定法の2つがある。これらの解法を比較し住宅換気計画の適用を検討する。

2.1 結合行列と独立閉回路行列

まずはじめに、結合行列 $[I]_{m,n}$ を設定する。結合行列とは室と開口の関係を表す行列で、行に室、列に開口をとり、室を基準にして流入してくる場合は-1、流出する場合は1、開口がない場合は0を要素とした行列である。このとき、流量仮定法においては、 m 番の室には外気に面した m 番の開口があるように室および開口に番号を付ける。流れの方向は室番の小さい方から大きい方に流れる向きに設定する。従って、開口圧力差 p は、上流側圧力より下流側圧力を引くようにとる。求まった解で $G < 0$ 、 $p < 0$ であれば流れの向きは設定した向きと逆である。

独立閉回路行列とは全開口を通る独立な閉回路であり、結合行列を式(1)のように表すと、前述したように m 番の室には外気に面した m 番の開口があるように室および開口に番号を設定しているので式(1)の行列 $[I_1]$ は単位行列となり、式(2)より独立閉回路行列を求めることができる。

$$[I]_{m,n} = [I_1 | I_2] \quad (1)$$

$$[C]_{s,n} = [I_2^T | E] \quad (2)$$

2.2 流量仮定法

流量仮定法は独立閉回路の流量 $\{\tilde{G}\}_s$ を仮定し回路の圧力収支を満足させるようにNewton-Lapson法などによって数値解を求める方法である。

まず、独立閉回路流量 $\{\tilde{G}\}_s$ を仮定すると各開口の流量 $\{G\}_n$ は次のようになる。

$$\{G\}_n = [C]_{n,s}^T \{\tilde{G}\}_s \quad (3)$$

求めた各開口の流量より開口圧力差を求める。

ここでは、各開口の流量と圧力の関係式は次に示す3通りで計算する。

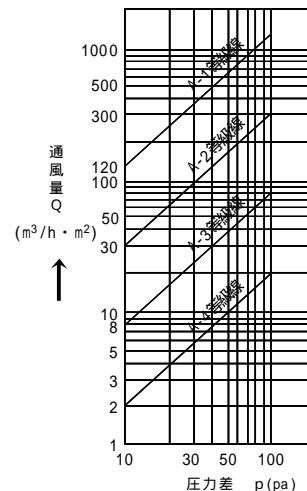
() 単純開口の場合

$$Q = aA \sqrt{\frac{2}{r} |\Delta p|} \quad (4-1)$$

() 隙間の流量式

$$Q = a\Delta p^n \quad (4-2)$$

() 外部サッシの通気量は以下に示す図1のJIS規格による気密等級曲線から算出する。



< 図1 サッシの気密等級曲線 >

上で求めた $\{p\}_n$ を用いて回路の圧力収支 $\{\tilde{p}\}_s$ を次式によって求める。

$$\{\Delta \tilde{p}\}_s = [C]_{s,n} \{p_n - p_{w_n}\} + [C]_{s,n} [h]_{n,n} [I]_{n,m}^T \{\hat{g}_m - \hat{g}_0\} \quad (5)$$

ここで $\{\tilde{p}\}_s$ を0に近づくように $\{\tilde{G}\}_s$ を補正すればよい。Newton-Lapson法によれば補正量 $\{\tilde{G}\}_s$ は次のようになる。

$$[Z] = [C]_{s,n} \left[\frac{\partial p}{\partial G} \right] [C]^T_{n,s} \quad (6)$$

$$\{\Delta \hat{G}\}_s = -[Z]^{-1} \{\Delta \hat{p}\}_s \quad (7)$$

ここで、ファンの流量を変動させる場合は、この補正した流量から計算した開口圧力差より次の計算に用いるファンの流量を求め次の計算を行なう。

換気扇の風量においては、ファンのP-Q特性曲線を直線近似し流量を求める。

2.3 圧力仮定法

圧力仮定法は、各室の室圧力 $\{\hat{p}\}_m$ を仮定して各室の流量収支を満足させるようにNewton-Lapson法などによって数値解を求める方法である。

室圧力 $\{\hat{p}\}_m$ を仮定すると開口圧力差 $\{p\}_n$ は次のようになる。

$$\{p\}_n = [I]_{n,m}^T \{\hat{p}\}_m - [h]_{n,n} [I]_{n,m}^T \{\hat{g}\}_m - \hat{g}_0 + [I]_{n,m}^T \{\hat{g} \cdot \hat{h}\}_m + \{p_w\}_n \quad (8)$$

さらに求めた開口圧力差 $\{p\}_n$ より流量仮定法で示した各開口の流量と圧力の関係式から各開口の流量 $\{G\}_n$ を求める。

このとき圧力仮定法では、ファンの前後の圧力が決定しているのでファンの流量はP-Q特性曲線の近似式を用いて開口流量と同時に求める。

求めた開口流量を用いて次式により室流量収支 $\{\hat{G}\}_m$ を求める。

$$\{\Delta \hat{G}\}_m = [I]_{m,n} \{G\}_n \quad (9)$$

ここで $\{\hat{G}\}_m$ を0に近づくように $\{\hat{p}\}_m$ を補正すればよい。Newton-Lapson法によれば補正量 $\{\Delta \hat{p}\}_m$ は次のようになる。

$$\{\Delta \hat{p}\}_m = - \left[[I]_{m,n} \left[\frac{\partial G}{\partial p} \right] [I]_{n,m}^T \right]^{-1} \{\Delta \hat{G}\}_m \quad (10)$$

圧力仮定法の計算において発散を防止する方法としてNewton-Lapson法による次の仮定値設定の際に勾配として $\partial G / \partial p$ をより急にし、 $\mathbf{b}(\partial G / \partial p)$ 、 $1 < \mathbf{b}$ となる係数 \mathbf{b} を採用することによって収束を確保することができる。以上の式を用いて各開口の通気量を求める。

・記号

$[]_{m,n}$: m行n列の行列 $[]_{n,m}^T$: 転置行列

$[]_{n,n}^{-1}$: 逆行列 $\{ \}_n$: n列ベクトル

$[I]_{m,n}$: 結合行列 $[C]_{s,n}$: 独立閉回路行列

m: 室数 n: 開口数 s: 独立閉回路数

\hat{g}_0 : 外気比重量 T_0 : 外気絶対温度

$\{\hat{g}\}_m$: 室温 (外気基準) $\{\hat{g}\}_m$: 室空気比重量

$\{\hat{h}\}_m$: 室床面高さ $\{\hat{p}\}_m$: 室内圧 (基準面外気との差)

$\{\hat{G}\}_m$: 空調機による給排気 $\{\hat{g}\}_n$: 開口通気比重量

$\{G\}_n$: 通気量 $\{aA\}_n$: 開口有効面積

$\{p_w\}_n$: 開口風圧 $\{p\}_n$: 開口圧力差

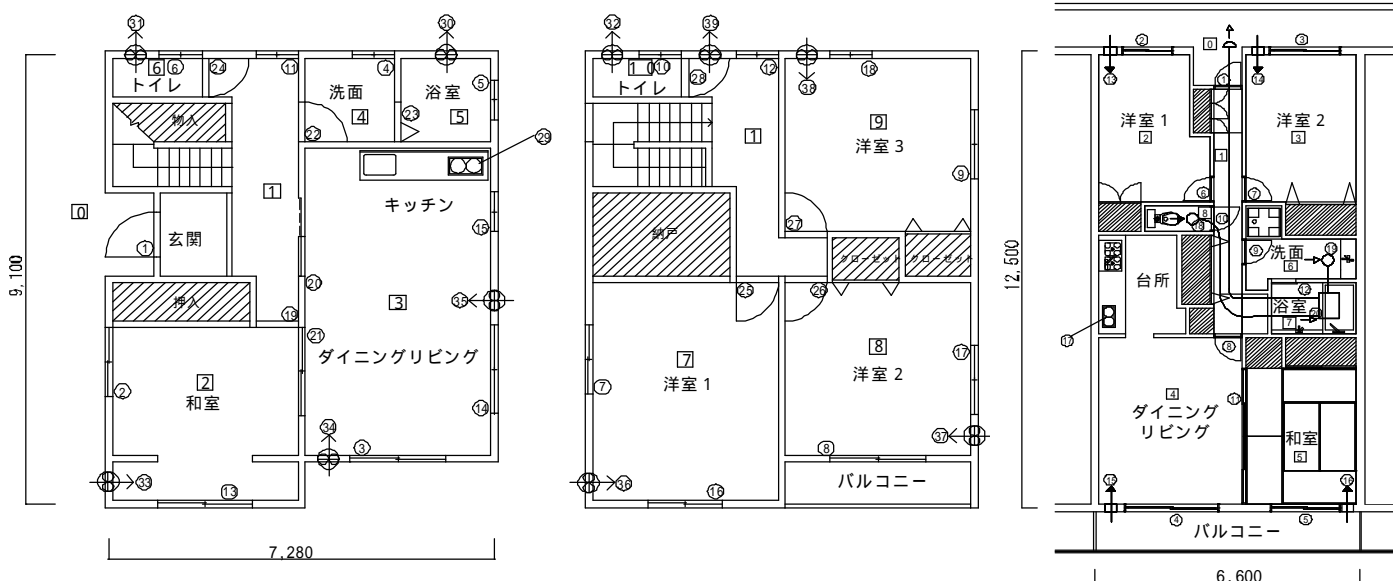
$\{\hat{G}\}_s$: 独立閉回路の流量 $\{h\}_n$: 開口高さ

ここで示した計算法をMicrosoft Excel VBAを用いてプログラムを作成する。このプログラムはExcelシートに室数、開口数など建物に関する情報を入力し同じExcelシートに各室の換気量、各開口の流量、室圧力、換気回数等を入力するものである。

3. 住宅モデル

今回は、住宅モデルとして財団法人ベターリビング標準的規模住宅(戸建住宅2階建、マンション)を用いた。

戸建住宅とマンションの平面図は図2に、各室の仕様と必要換気量は表1・2に示す。図2の内の数字は室番号を内の数字は開口番号及び換気扇番号を示している。戸建住宅のプランは室数10、開口数28であり、マンションは室数8、開口数12である。



<図2 戸建住宅タイプ1-1及びマンションタイプ3-1平面図> ◉ 給排気ファン ◻ 給排気口 ◻ 局所換気

<表1 マンションに関する各室の仕様と必要換気量(m³/h)>

階	室	換気回数 回/h	床面積 ㎡	天井高 m	室容積 ?	必要換気量 ? /h
1	LDK	0.5	23.2	2.5	58.0	29.0
	和室		13.2	2.5	33.0	16.5
	浴室		3.3	2.5	8.3	4.1
	洗面		3.3	2.5	8.3	4.1
	トイレ		1.7	2.5	4.3	2.1
	階段・廊下		12.0	2.58	31.0	15.5
	1階計	-	56.7	-	142.7	71.4
2	洋室1	0.5	16.6	2.5	41.5	20.8
	納戸		5	2.5	12.5	-
	洋室2		13.2	2.5	33.0	16.5
	洋室3		13.2	2.5	33.0	16.5
	トイレ		1.7	2.5	4.3	2.1
	階段・廊下		10.8	2.5	27.0	13.5
	2階計	-	60.5	-	151.3	69.4
	住戸計	-	117.2	-	294.0	140.7

<表2 マンションに関する各室の仕様と必要換気量(m³/h)>

階	室	換気回数 回/h	床面積 ㎡	天井高 m	室容積 ?	必要換気量 ? /h
3	玄関・廊下	0.5	4.76	2.5	11.9	6.0
	洋室1		10	2.5	25.0	12.5
	洋室2		11.12	2.5	27.8	13.9
	LDK		21.56	2.5	53.9	27.0
	和室		20.96	2.5	52.4	26.2
	洗面		3.2	2.5	8.0	4.0
	浴室		2.96	2.5	7.4	3.7
	トイレ		1.2	2.5	3.0	1.5
	住戸計		-	75.8	-	189.4

4. 計算条件

ここでは外部風圧0、外気温、全室温を以下の表1に示すように夏期、中間期、冬期の3パターンにおいて設定し、各室での発生熱はないものとする。

戸建住宅においては、第1種換気1タイプと第3種換気2タイプ、マンションにおいては第1種換気2タイプと第3種換気1タイプの計6タイプにおいてそれぞれ次に示すように換気扇風量パターンA～Dの計算を行なう。

外部建具(アルミサッシ)の気密等級はA4等級として計算した。

また、内部の開き戸にはその周囲に1mmの隙間があると仮定している。さらに、トイレ及び洗面の引戸には15mmのアンダーカットをとり、浴室の戸にはガラリをとり単純開口として計算している。

<表3 各期間における外気温及び室内温()>

	外気温	室内温
夏期	32	28
中間期	15	15
冬期	5	18

表4, 5に戸建住宅タイプ1-1とマンションタイプ3-1の換気扇パターン別の換気扇の定格風量を示す。

<表4 戸建住宅タイプ1-1の換気扇パターン別風量(m³/h)>

番号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
A	0	-20			15						-20
B	-400										
C	0	-20	-25	-20	20	25	30	25			
D	-400										

(表中のマイナスは排気を示す。)

<表5 マンションタイプ3-1の換気扇パターン別風量(m³/h)>

換気扇番号	17	18	19	20
A	0	-20		
B	-400			
C	0	-40		
D	-400			

パターンA・・・住宅全体の容積から算出した換気回数0.5回に必要な換気量の15%増。
 パターンB・・・パターンAにおいてキッチン等の局所換気を使用した場合。
 パターンC・・・全ての居室が換気回数0.5回を満たす最小の換気量。
 パターンD・・・パターンCにおいてキッチン等の局所換気を使用した場合。

5. 計算結果

ここでは、圧力仮定法による計算結果を示す。図3, 4は戸建住宅タイプ1-1、マンションタイプ3-1のパターン別各室の換気回数及び新鮮空気(外気からの流入のみ)の換気回数である。

図3, 4の各左のグラフにおいて、パターンAは換気回数0.5回を満たしていない居室が存在するがパターンB, C, Dにおいてはすべての居室で換気回数0.5回を満たしている。

図3, 4の新鮮空気の換気回数においては、パターンA, Cでは換気回数0.5回を満たしていない居室が存在するがパターンB, Dでは改善されている。

また、表6, 7は式(11)で求めた各換気扇効率の値を示している。

パターンB, Dからわかるようにキッチンのような大容量の排気ファンを用いると、建物全体の換気量は増加し換気量不足だった室の換気回数は0.5回を満たす結果となったが、他の小容量の排気ファンの流量が少なくなってしまい、トイレ・浴室などのからの逆流が生じていた。

$$\text{換気扇効率()} = \frac{\text{計算値風量}}{\text{定格風量}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

6. 考察

戸建住宅とマンションのどちらにおいてもパターンAのように換気扇風量の総計は住居の総容積に対して換気回数0.5回を満たしているにも関わらず各々の居室において検討すると0.5回を満たさない室が存在する結果となった。これより条件によって換気扇が相互に影響し合い(一方の換気扇が他の換気扇の能力に影響し換気扇の風量が計画通りに得られていないということがわかる。

第1種換気で各室にファンを設置する場合は換気計画も比較的簡単であり、第3種換気においても各室に排気ファンを設置する場合はいいが、トイレ・浴室・廊下等から排気する場合はファンの相互の影響が大きく換気扇の効率が悪くなることがあるので経路や風量、及び設置位置はより重要になってくる。

また、キッチン等の局所換気を使用すると圧力バランスが使用していないときと比べて大きく変化して特定の室の換気量が少なくなる室が存在することがあり、大容

量の換気扇を使用することにより他の小容量の換気扇が十分に機能しないことが考えられる。

7. まとめ

本研究では、換気量計算プログラムを作成し、住宅換気計画の評価を行なった。

住宅換気量計算に関しては、単に住宅全体の総容積に対して目標の換気回数を満たす風量の換気扇を設置するだけでは十分な換気が行なえていないということがわかった。各々の換気扇が相互に影響し合い各換気扇の効率を下げていることがあり、換気扇の設置位置や風量の選定には緻密な換気計画が必要であるという知見を得た。

ゆえにそれぞれの換気扇の効率、換気経路等を十分に考慮して換気計画を行なわなければならない。従って、回路網で計算する必要があることを示した。

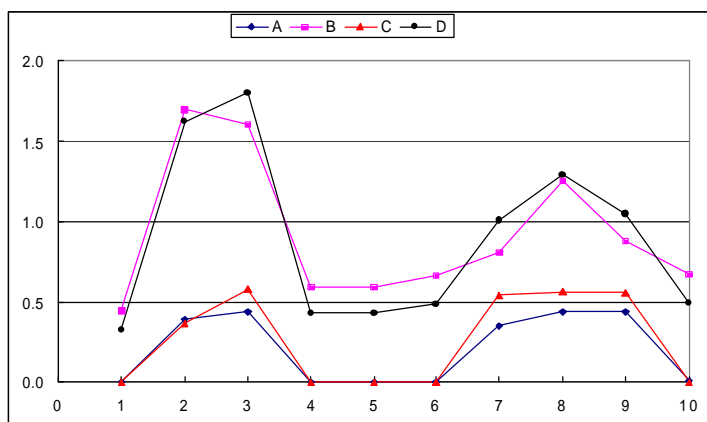
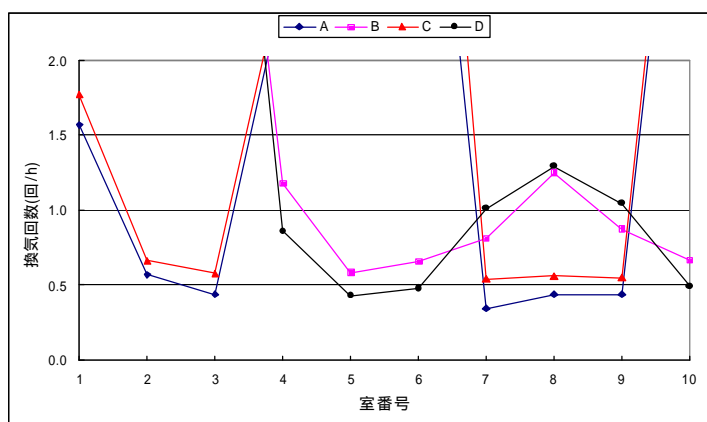
換気量計算はあくまでその室に入出入りするであろう空気の量を計算するだけで実際にどれだけの量の空気が入

れ替わっているかはわからない。つまり給排気ファンや給排気口の設置位置によりショートサーキットを起こしたり計算結果の数値通りの空気が入れ替わるわけではない。

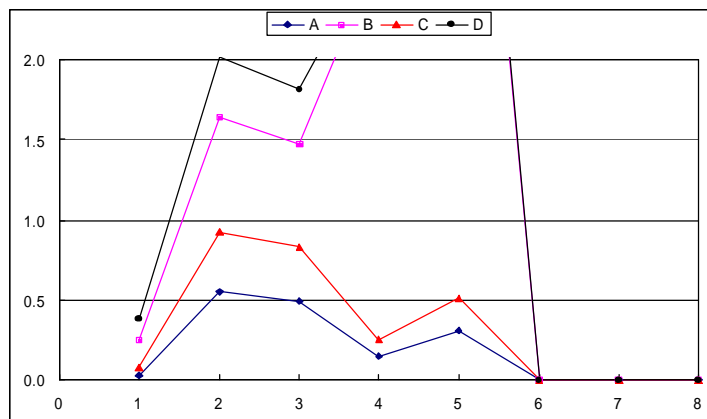
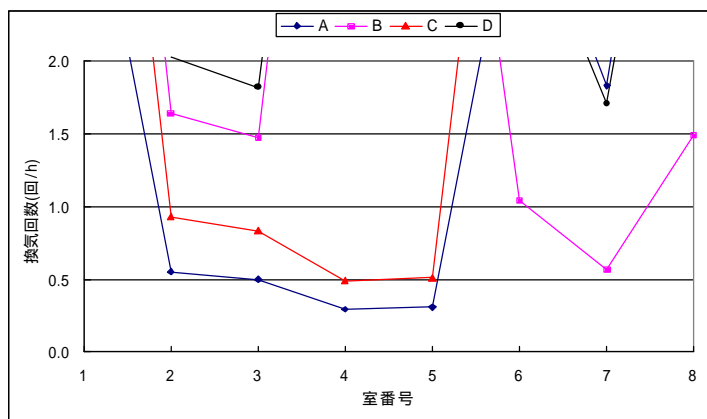
換気量の検討にはまだまだ様々な課題があり計算が担えるのはその一部であるかもしれないが前述したように換気扇効率や換気経路など計算で検討できることも多くあり、そのために今後の課題として、様々な条件に対応できより簡単にデータを入力し計算できるようプログラムを改善していかなくてはならない。

参考文献

- 1) 新田勝通：計算機による多数室換気計算法（私的パンフレット）,1984
- 2) 財団法人ベターリビングシックハウス対策に係る「住宅の換気設備マニュアル」, <http://www.blhp.org/>



< 図3 夏期における戸建住宅タイプ1-1のパターン別各室の換気回数(左)および新鮮空気による換気回数(右)(回/h) >



< 図4 夏期におけるマンションタイプ3-1のパターン別各室の換気回数(左)および新鮮空気による換気回数(右)(回/h) >

< 表6 夏期における戸建住宅タイプ1-1の換気扇効率(%) >

換気扇番号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
A	-	99.7	99.8	95.4	85.7	85.2	85.2	96.5	96.6	96.4	96.3	
B	72.5	0.0		100.0								0.0
C	-	100.0		60.3	67.3	67.3	74.9	74.2	73.0	100.0		
D	76.1	0.0		100.0								0.0

< 表7 夏期におけるマンションタイプ3-1の換気扇効率(%) >

換気扇番号	17	18	19	20
A	-	82.0	67.7	67.6
B	87.9	22.4	20.8	20.8
C	-	72.9	55.7	55.6
D	87.5	37.9	31.6	31.6