

4679

Matsumoto H., Nagatomo M. and Yoshino H.

A Calculating method for predicting air pollution
in multicelled buildings

Meeting of Tohoku Branch of AIJ, 33-38, 1988

(in Japanese)

多数室における室内空気汚染濃度の予測手法に関する研究

正会員○松本 博* 同 長友宗重** 同 吉野 博***

1. 序

一般の住宅は多数の室で構成されたいわゆる多数室であり、住宅における室内空気環境の予測を行うには、室温や熱負荷などの熱的な系、室間相互換気を含めた換気系および二酸化炭素や水蒸気などの物質平衡の系の連成系を考慮した動的な計算法が要求される。このうち、物質平衡の系については、物質の濃度勾配が熱的な系に及ぼす相互作用は、水蒸気のような場合は無視できないが、この場合無視して考えることができ、独立な系として扱うのが妥当であろう。従って、物質の濃度は熱的な系と換気系の連成系を解いた後、計算すればよい。

この連成系の解法に関する研究には、坂本¹⁾、石田ら²⁾の研究があり、石田らは坂本の計算法の弱点を指摘した上で、熱的系の計算には、室内相互ふく射を考慮し、壁体表面温度の未知数を消去した室数の未知数だけの連立方程式を解いて室温を求めるアルゴリズムを採用した。換気系の計算における非線形方程式の解法には、Newton-Raphson法を用いた一般的な方法によるが、初期値の与え方に工夫が見られる。

本研究では、将来的には単なる自然換気（一部排気ファン等も含む）による室内空気環境の予測にとどまらず気密化住宅を対象とした換気システムのシミュレーションも可能な予測法の確立を目指している。ここでは、そのプロトタイプとなるべく、集中換気システムのCO₂制御による換気運転を含む室内の熱・空気環境の予測手法について述べる。

2. 多数室相互換気モデルと計算法

2.1. 換気計算

まず、自然換気量の計算はよく知られた室の静圧を未知数とした圧力仮定法によった。非線形方程式の反復解法にはNewton-Raphson法を用いた。換気ファンの扱いは特性曲線の近似式（例えば2次式や3次式の単調減少関数）を与えることによって容易に処理できる。

2.2. 汚染濃度の計算

図-1に示すような多数室の換気モデルの物質平衡を考

える。但し、吸着、沈着などは無視し、瞬時一様拡散をするものとする。i室からj室への換気量をQ_{ij}、i室の濃度をC_i、外気濃度をC₀、i室の汚染発生量をM_i、i室の気積をV_i、室の総数をN、外気室を0とすると、i室における物質のつりあいより、

$$V_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = \sum_{j=0}^N (Q_{ji} C_j - Q_{ij} C_i) + M_i \dots\dots\dots(1)$$

が得られる。但し、Q_{ij}=0とする。この式を後退差分で離散化すると、n時刻では

$$V_i \frac{C_i^{(n)} - C_i^{(n-1)}}{\Delta t} = \sum_{j=0}^N (Q_{ji} C_j^{(n)} - Q_{ij} C_i^{(n)}) + M_i^{(n)} \dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore \left(\frac{V_i}{\Delta t} + \sum_{j=0}^N Q_{ij} \right) C_i^{(n)} - \sum_{j=1}^N Q_{ji} C_j^{(n)} = \frac{V_i}{\Delta t} C_i^{(n-1)} + M_i^{(n)} + Q_{0i} C_0^{(n)} \dots\dots\dots(3)$$

が得られる。これらをマトリクス表示すると、室数をNとして、

$$\begin{bmatrix} \frac{V_1}{\Delta t} + \sum_{j=0}^N Q_{1j} & -Q_{2,1} & \dots & -Q_{N,1} \\ -Q_{1,2} & \frac{V_2}{\Delta t} + \sum_{j=0}^N Q_{2j} & \dots & -Q_{N,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -Q_{1,N} & -Q_{2,N} & \dots & \frac{V_N}{\Delta t} + \sum_{j=0}^N Q_{Nj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1^{(n)} \\ C_2^{(n)} \\ \vdots \\ C_N^{(n)} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{V_1}{\Delta t} C_1^{(n-1)} + Q_{0,1} C_0^{(n)} + M_1^{(n)} \\ \vdots \\ \frac{V_N}{\Delta t} C_N^{(n-1)} + Q_{0,N} C_0^{(n)} + M_N^{(n)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

*東北大学・助手・工博、**同・教授・工博、*** 同・助教授・工博

間、2F和室、2F東側洋室、2F西側洋室のCO₂濃度の変化を機械換気ありとなしの場合について図-5に示す。

2F東側洋室でCO₂濃度が3000ppmを越える場合が生じている。また、室内は600~1300ppmで変化している。機械換気はCO₂濃度が1000ppmを越える場合に、外気導入運転し、40m³/h単位で風量調節するものとした(実際には、風量調節は強、中、弱でそれぞれ100、85、55m³/h)。家具類による室の熱容量、生活スケジュールの正確なデータが確定出来ないため完全な比較とは言えないが、実測値と計算値はおおむね一致している。従って、本予測法は実用的にはほぼ満足できる精度を持つものと考えられる。

4. コンピューターシミュレーションによる換気システムの効果分析

4.1. 計算モデル

2.で述べた多数室換気モデルを用いて、コンピューターシミュレーションによって、換気性能を中心とした集中換気システムの効果分析を行なう。計算モデルには図-3の住宅モデルを用いる。気象データは、仙台の標準気象データを使用し、表-3に示す因子と水準を設定して、シミュレーションを行なった。標準モデルは床面積あたりの相当開口面積 $\alpha A' = 2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、換気方式は熱交換換気(温度交換効率 $\eta_t = 70\%$)、暖房方法は居間間欠(7~14時及び17~22時、供給総熱量5,000kcal/h)とする。また、生活スケジュールは表-4に示した建築学会で提案された標準生活スケジュールを用い⁴⁾、夜間、18時~7時までカーテンをするものとした。また、人間の呼気からのCO₂発生量を15ℓ/h、調理器具からのCO₂発生量を26mℓ/kjとし、レンジフードの捕集効率を80%として室内に放出される発生量を11.2ℓとした。但し、外気CO₂濃度は350ppm一定とした。

4.2. 気密性能と空気環境との関係

外部風速、室内外温度差が同一の場合気密性能が高くなると自然換気量が減少することは、実測調査⁶⁾でも明らかであるが、何れも単室あるいは二室系での予測、実測であった。ここでは4.1.に述べた標準モデル(集中換気システムを持つ実際の住宅及び生活スケジュールに近い形のモデル)を用いて、換気方式は自然換気のみとした場合の気密性能と自然換気量、気密性能と空気汚染濃度との関係を調べる。住宅の隙間を窓の大きさにかかわ

らず均等に各開口部上下にふり分けて、単位床面積当りの隙間の相当開口面積 $\alpha A'$ を0.5~18cm²/m²で変化させて、1月の31日間の助走計算の後、2/1~2/3までの3日間について分析した。この期間の平均風向・風速は西北西6.3m/sで、風圧係数はHASP/ACLDにならって与えた。この期間の平均風向に対する風圧係数は、東・西・南・北面それぞれ-0.4、0.75、-0.4、0.125であった。

図-6は $\alpha A'$ が2.0cm²/m²の場合の各室温度とCO₂濃度及び居間に流入する新鮮空気量の変化である。2階寝室(◎室)のCO₂濃度は7000PPMを越える場合が生じている。また、外気取入量は居間で最大でも7m³/h程度(平均3.8m³/h)、寝室で最大約30m³/h(平均10m³/h)であった。図-7に居間(①室)及び主寝室(◎室)のCO₂濃度の相対累積度数分布を、図-8に $\alpha A'$ と平均CO₂濃度及び95%累積濃度との関係を示す。 $\alpha A'$ が5cm²/m²以下でCO₂濃度が急

表-3 シミュレーションの因子と水準

因子	水準	A	B	C	D	E
1. 気密性能 ($\alpha A'$ [cm ² /m ²])		1.0	2.0	7.0	12.0	18.0
2. 換気方式		熱交換換気	同時給排気	なし (自然換気)		
3. 暖房方法		全室間欠	居間間欠	なし (照明機器等発熱のみ)		
4. 間仕切りの隙間 (A [cm ²])		小 (31)	大 (310)			

表-4 室内発熱スケジュール

		0	3	6	9	12	15	18	21	24	時
在 室 人 数 (人)	居間・台所 ①室	0	1	4	1	0	3	4	2	1	0
	主寝室 ◎室	2	1			0			1	2	
	子供部屋 ②、③室	1				0				1	
照 明 ・ 機 器	居間 ①室	照明	180W			100W		300W			
	台所 ①室	照明	60W			300W		60W			
		調理				冷蔵庫	45W				
	主寝室 ◎室	照明	100W					100W			
	子供部屋 ②、③室	照明	80W					180W			
	女 ④室	照明	60W					60W			
洗 面 室 ⑤室	照明	40W						40W			
	機器		100W					100W			
浴 室 ⑥室	照明							60W			

[注] 1人当りの発熱量: 65kcal/h
1W=0.86kcal/h

激に上昇しており、自然換気量のみで居間のCO₂濃度を1000PPM程度に抑えるには $\alpha A'$ が7cm²/m²以上、主寝室を合めると18cm²/m²以上必要なことが分かる。

4.3. 換気方式と温熱環境との関係

換気方式として、熱交換なしの同時給排型換気方式、温度交換効率70%の熱交換型換気方式の違いによる室温への影響、また後者の方式においてCO₂制御値を1000、1500及び2000ppmの3つに設定した場合の必要機械換気量（外気取入れ量）を調べた。但し、 $\eta_i=70\%$ 、 $\eta_o=0$ とした。結果を図-9示す。熱交換型では熱交換なしの同時給排型に比べ、居間室温は2~4℃高くなり、熱回収の効果がでている。

また、熱交換型の換気方式（個別制御）で1000ppm制御の場合の機械換気量はピークで160m³/h必要とするが、2000ppm制御では60m³/h、1500ppmでは100m³/hですむ。従って、室内空気の基本値をやや緩めることによって、装置容量をかなり小さくできることが分かる。

また、集中換気ユニットに加熱コイルを組み込んだVC及び浴室を除く全室間欠暖房方式における各室室温の変化を図-10に示す。但し、①室~⑥室への吹出し風量（供給熱：総量5,000kcal/h）の分配率を実測値⁵⁾を参考にそれぞれ、0.425、0.125、0.125、0.、0.、0.1、0.1、0.125とした。その結果、室間の温度差は3~8℃と居間間欠暖房の場合に比べて非常に小さな値となり、また、CO₂濃度も⑥室が夜間に1000ppmを若干越えるものの、他はほとんど1000ppm以下に抑えられている。これらのことから集中暖房換気システムの有効性が確認できた。

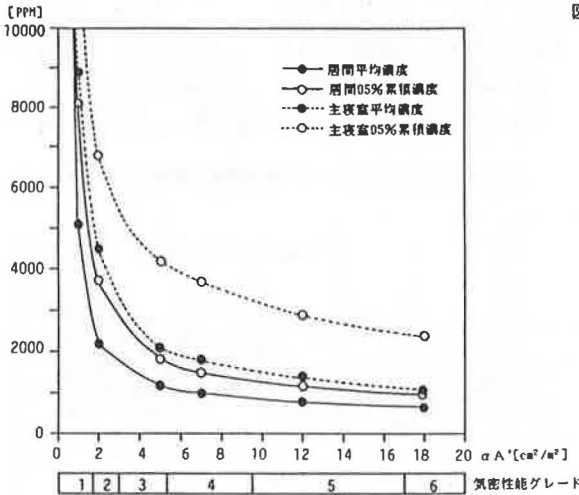


図-8 $\alpha A'$ と居間及び主寝室のCO₂濃度の変化

4.4. 室間相互換気と温熱空気環境との関係

標準モデルでは室間のドア、襖の隙間量はそれぞれ31、62cm²に仮定したが、室間の隙間量が大きい場合の影響を調べるために、隙間量を10倍にした時の温熱空気環境を調べた。図-11に標準モデルと室間隙間量を10倍にした時の温熱空気環境の変化の様子を示す。室間相互換気量の増大に伴って、室間の温度差が2~6℃程度小さくなっていることが分かる。

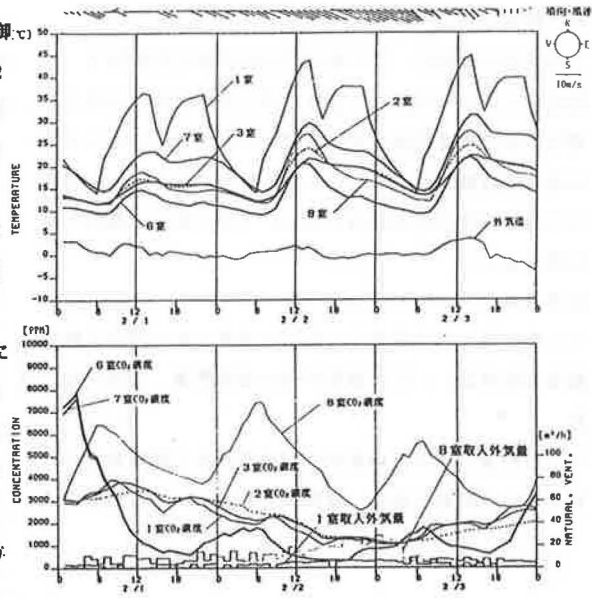


図-6 標準モデルにおける各室室温、CO₂濃度及び外気流入量の変化

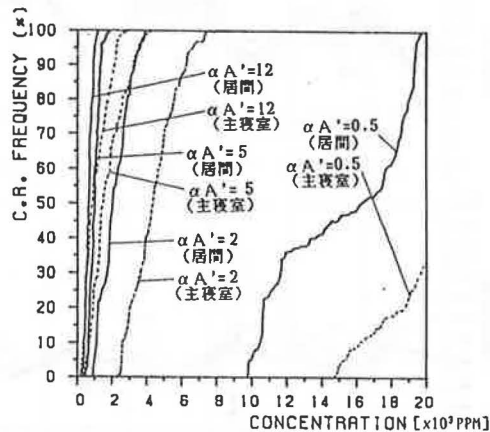


図-7 $\alpha A'$ 別の居間及び主寝室のCO₂濃度の累積相対度数分布

まとめ

集中換気システムをもつ多数室における室内空気汚染濃度の予測手法の開発とコンピューターシミュレーションによる気密化住宅における隙間量や換気方法などの因子が空気環境に及ぼす影響や集中換気システムの効果について調べた。その結果、①本手法は実用的にはほぼ満足できる精度をもつこと、②気密化住宅では自然換気量のみでは必要な換気量が得られないこと、③気密化住宅の標準的な家庭では、100m³/hの連続機械換気運転により、室内CO₂濃度がほぼ1000ppm以下に抑えられることなどがわかった。

あとがき

本研究は昭和61、62年度文部省科学研究費補助金、一般研究(B) (代表者: 吉野 博) 及び昭和62年度文部省科学研究費補助金、奨励研究(A) によるものである。本研究の数値シミュレーションを行うに当たって、卒論生の駒込英男君のご協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂本 雄三、「室相互の換気を考慮した非定常多数室室温の計算法」、日本建築学会大会梗概集、昭和51年10月
- 2) 石田 建一、宇田川光弘、「換気および壁面相互ふく射考慮した多数室室温、熱負荷計算法」、日本建築学会

計画系論文報告集、第381号、昭和62年11月

3) 宇田川光弘、「住宅用標準問題」、熱分科会第15回熱シンポジウム、昭和60年9月

4) 吉野博、松本博、石川善美、「断熱気密化に伴って自然換気量の減少した住宅における室内空気汚染の防除に関する研究」、昭和61、62年度科学研究費補助金(一般研究(B))研究成果報告書、昭和63年3月

5) 松本博、長友宗重、吉野博、内海康雄、山本頼房、「仙台市近郊の高気密化住宅における熱・空気環境実測調査 その1. 調査概要と温熱空気環境」、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和62年10月

6) 内海康雄、松本博、長友宗重、吉野博、山本頼房、「仙台市近郊の高気密化住宅における熱・空気環境実測調査 その2. 気密性能および空気環境の実態」、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和62年10月

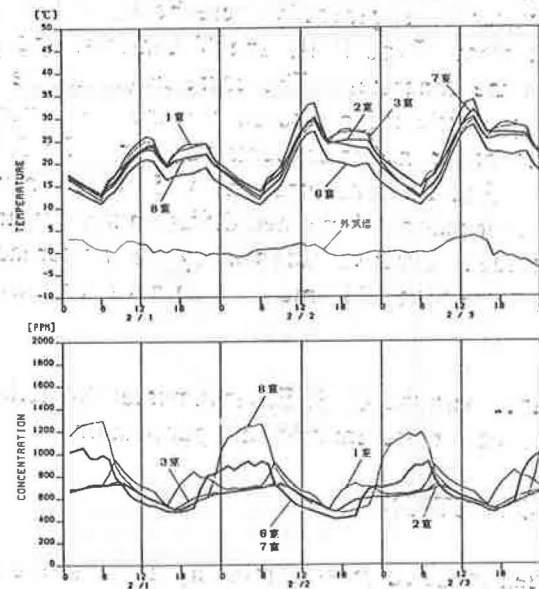


図-10 全室間欠暖房した場合の各室室温及びCO₂濃度の変化

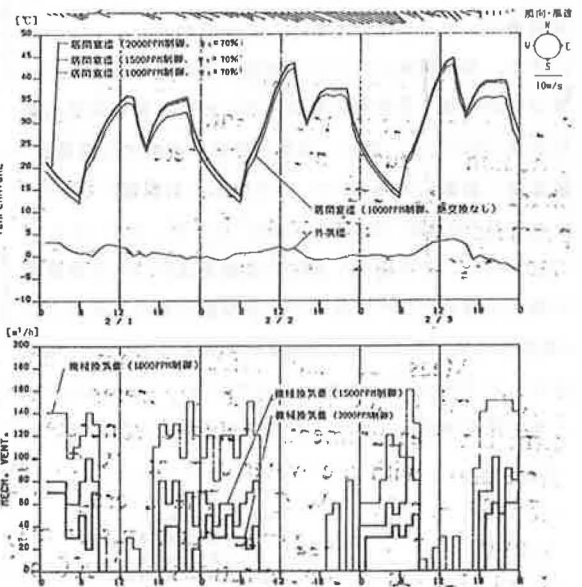


図-9 換気方式の違いによる居間室温と機械換気量の変化

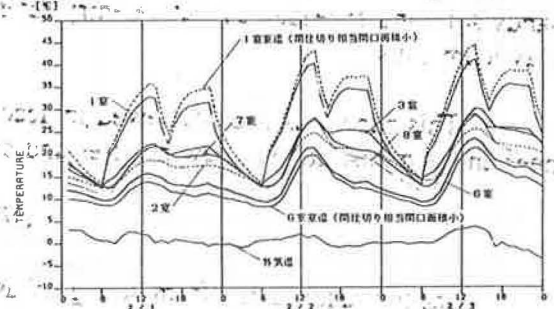


図-11 間仕切り開口隙間量の違いによる各室室温の変化