室内汚染空気の換気について (第8報¹⁾)
不均一な室内汚染空気の換気に関する理論式の考察 その7 (補遺)

松本 克, 井上正敏, 藤田 直, 北村 譲
大阪薬科大学²⁾

Ventilation of Polluted Air in Rooms. VIII.¹⁾
Studies on Theoretical Equations for Ventilation
of Polluted Air diffused heterogeneously in Room. (7)

KOKU MATSUMOTO, MASATOSHI INOUE,
TADASHI FUJITA and YUZURU KITAMURA
Osaka College of Pharmacy²⁾

(Received July 9, 1970)

The present investigation was undertaken to apply theoretical methods to the ventilation of polluted air in a room where carbon dioxide was not homogeneously diffused.

Assuming that the concentration of carbon dioxide depends on time and space, the following equation can be obtained on one and two dimensional spaces in a room (Subscripts denote spaces in a room).

$$a = \exp[\log\{C(t)/C(0)\}/t]$$

where a is a ventilation constant ($a \neq 0$), and $C(t)$ and $C(0)$ are the concentration of carbon dioxide at t and $t=0$, respectively.

When ventilation was carried out with evolution of carbon dioxide, the following equation is obtained:

$$\log \alpha = \log\{[C(t+10) - C(t)]/[C(t) - C(t-10)]\}/10$$

where α is also a ventilation constant and $C(t+10)$ and $C(t-10)$ are concentrations of carbon dioxide at time $t+10$ min and $t-10$ min, respectively.

According to a difference method, the following equation is obtained:

$$U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\}/2$$

where $U(t)$ is the concentration of carbon dioxide in the room at time t , and A and B are concentrations of carbon dioxide in the room and outdoor at $t=0$, respectively.

It was found that above equation was available for the theoretical study of ventilation of polluted air diffused heterogeneously in room.

緒 言

均一な室内汚染空気の換気について、著者らはすでに差分法を適用し、もっとも簡単な場合として、線形一階差分方程式を求め、理論値と実験値とほぼ一致することを認め、³⁾ また換気に関する定数を求めた。

今回は、不均一な室内汚染空気の換気の場合に対しても差分法を適用し、室内各部位における換気に関する定

数を求め、さらにその定数を用いて室内CO₂濃度の計算値と実測値と比較をおこない検討した。

理 論 の 部

前報¹⁾と同様に、1次元的な拡散の場合、A室(実容積 19.66m³)およびB室(実容積 688.94m³)の室内におけるCO₂発生源からの距離 X を等間隔 δX に分割する。 C をある時間 t におけるCO₂濃度とし、subscripts ($m+$

1) 第7報: 松本 克, 井上正敏, 藤田 直, 寺田弘美, 岡本登茂子, 衛生化学, **15**, 264 (1969).

2) Location: Takaminosato, Matsubara-shi, Osaka (大阪府松原市高見ノ里).

3) 松本 克, 井上正敏, 今井加奈子, 山本淑恵, 衛生化学, **10**, 188 (1964).

1), m および $(m-1)$ は, それぞれ室内の1次元上の位置 $(m+1)\delta X$, $m\delta X$ および $(m-1)\delta X$ をあらわす.

また, B室において2次元的な拡散の場合, 第5, 6報⁴⁾と同様に, x 軸, y 軸を等間隔 $h (= \delta x = \delta y)$ に分割し, ある時間 t における CO_2 濃度を C とし, subscripts $j, k+1; j, k-1; j+1, k; j-1, k$ はそれぞれ2次元的な位置 $\{x=jh, y=(k+1)h\}; \{x=jh, y=(k-1)h\}; \{x=(j+1)h, y=kh\}; \{x=(j-1)h, y=kh\}$ をあらわすものとする.

まず, 1次元的な拡散の際, 室内の最初 ($t=0$) のとき, $m\delta X$ の位置における CO_2 濃度を $C_m(0)$ とし, 同じ位置で, それぞれ $t=10$ 分, 20 分, 30 分, $\dots$, t 分のときの CO_2 濃度を $C_m(1)$, $C_m(2)$, $C_m(3)$, $\dots$, $C_m(t)$ とする.

差分法を適用し, $C_m(1)$ は, 室内の最初の CO_2 濃度 $C_m(0)$ に, $m\delta X$ における換気に関する定数 a_m を乗じたものに等しくなるから, つぎの(1)式が成立する.

$$C_m(1) = a_m \cdot C_m(0) \quad \dots\dots\dots(1)$$

同様に, 20 分後の CO_2 濃度 $C_m(2)$ には, $C_m(1)$ a_m を乗じたものに等しくなるから, (2)式が得られる.

$$C_m(2) = a_m \cdot C_m(1) = a_m^2 \cdot C_m(0) \quad \dots\dots\dots(2)$$

同じようにして,

$$C_m(3) = a_m^3 \cdot C_m(0) \quad \dots\dots\dots(3)$$

一般に

$$C_m(t) = a_m^t \cdot C_m(0) \quad \dots\dots\dots(4)$$

が得られる. したがって(4)式より

$$a_m^t = C_m(t) / C_m(0) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\therefore \log a_m = \log \{C_m(t) / C_m(0)\} / t \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\therefore a_m = \exp \{ \log \{C_m(t) / C_m(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(7)$$

同様に, $(m+1)\delta X$ および $(m-1)\delta X$ の位置においては, つぎの(8)式および(9)式で示される.

$$a_{m+1} = \exp \{ \log \{C_{m+1}(t) / C_{m+1}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$a_{m-1} = \exp \{ \log \{C_{m-1}(t) / C_{m-1}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(9)$$

つぎに, 2次元的な拡散の場合においても同じように, $\{x=jh, y=(k-1)h\}; \{x=jh, y=(k+1)h\}; \{x=(j-1)h, y=kh\}$ および $\{x=(j+1)h, y=kh\}$ のそれぞれの位置における換気に関する定数は, つぎの(10)–(13)式により求められる.

$$a_{j, k-1} = \exp \{ \log \{C_{j, k-1}(t) / C_{j, k-1}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$a_{j, k+1} = \exp \{ \log \{C_{j, k+1}(t) / C_{j, k+1}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$a_{j-1, k} = \exp \{ \log \{C_{j-1, k}(t) / C_{j-1, k}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$a_{j+1, k} = \exp \{ \log \{C_{j+1, k}(t) / C_{j+1, k}(0)\} / t \} \quad \dots\dots\dots(13)$$

つぎにB室において, CO_2 を一定量ずつ発生させながら強制換気を行なったとき,⁵⁾ 第1報³⁾に示したように, $m\delta X$ の位置において t 時間後の CO_2 濃度と, さらにその10分後の CO_2 濃度との関係は(14)式で示される.

$$C_m(t+10) = a_m \{C_m(t) + b\} \quad \dots\dots\dots(14)$$

ただし, a_m は $m\delta X$ における換気に関する定数, b は10分間の CO_2 発生量, $C_m(t)$ および $C_m(t+10)$ は t 時間後およびそれよりさらに10分後の CO_2 濃度とする. (14)式よりつぎの式が得られる.

$$a_m = \exp \{ \log \{ [C_m(t+10) - C_m(t)] / [C_m(t) - C_m(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(15)$$

同様に, $(m+1)\delta X$ および $(m-1)\delta X$ のそれぞれの位置においては, (16), (17)式となる.

$$a_{m+1} = \exp \{ \log \{ [C_{m+1}(t+10) - C_{m+1}(t)] / [C_{m+1}(t) - C_{m+1}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$a_{m-1} = \exp \{ \log \{ [C_{m-1}(t+10) - C_{m-1}(t)] / [C_{m-1}(t) - C_{m-1}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(17)$$

また, 強制換気の場合, 2次元的な拡散の際の各位置における換気に関する定数は, つぎの(18)–(21)式に示す.

$$a_{j+1, k} = \exp \{ \log \{ [C_{j+1, k}(t+10) - C_{j+1, k}(t)] / [C_{j+1, k}(t) - C_{j+1, k}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$a_{j-1, k} = \exp \{ \log \{ [C_{j-1, k}(t+10) - C_{j-1, k}(t)] / [C_{j-1, k}(t) - C_{j-1, k}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$a_{j, k+1} = \exp \{ \log \{ [C_{j, k+1}(t+10) - C_{j, k+1}(t)] / [C_{j, k+1}(t) - C_{j, k+1}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$a_{j, k-1} = \exp \{ \log \{ [C_{j, k-1}(t+10) - C_{j, k-1}(t)] / [C_{j, k-1}(t) - C_{j, k-1}(t-10)] \} / 10 \} \quad \dots\dots\dots(21)$$

つぎに, t 時間における室内および室外の CO_2 濃度をそれぞれ $U(t)$ および $V(t)$ とすると. それよりさらに10分後において,

① 室内から排出する空気中の CO_2 濃度を $p \cdot U(t)$

② 室内に残る空気中の CO_2 濃度を $(1-p) \cdot U(t)$

③ 室内に入る空気中の CO_2 濃度を $q \cdot V(t)$

④ 室外に残る空気中の CO_2 濃度を $(1-q) \cdot V(t)$

とする. ただし, p は10分間に室から排出する割合とし, q は10分間に室へ入ってくる割合とする ($p \neq 0$, $q \neq 0$).

換気を開始して10分後においては, 室内の CO_2 濃度は②と③の和であらわされ, 室外の CO_2 濃度は①と④の和であらわされる. したがって, 10分後の室内および室外の CO_2 濃度を $U(t+10)$ および $V(t+10)$ で示すと,

4) 松本 克, 井上正敏, 藤田 直, 寺田弘美, 刀禰美智子, 衛生化学, **14**, 275 (1968); 松本 克, 井上正敏, 藤田 直, 寺田弘美, 衛生化学, **14**, 330 (1968).

5) (7)–(13)式は, 換気を行なっているときには CO_2 の発生を中止した場合である.

$$\left. \begin{aligned} U(t+10) &= (1-p) \cdot U(t) + q \cdot V(t) \\ V(t+10) &= p \cdot U(t) + (1-q) \cdot V(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (22)$$

となる。

この同次連立差分方程式の特性方程式は常法によりつぎのようになる。

$$\{\rho - (1-p)\} \{\rho - (1-q)\} - (-q)(-p) = 0 \dots\dots (23)$$

$$\therefore \{(\rho-1)+p\} \{(\rho-1)+q\} - p \cdot q = 0$$

$$(\rho-1)^2 + (p+q)(\rho-1) = 0$$

ゆえに特性根を ρ_1, ρ_2 とすると

$$\rho_1 = 1, \rho_2 = 1-p-q$$

となる。

いま, C_1, C'_1, C_2, C'_2 を任意定数とすると, (22)式の一般解は次式であらわされる。

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_1 + C_2(1-p-q)^t \\ V(t) &= C'_1 + C'_2(1-p-q)^t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

常法により

$$C'_1/C_1 = (\rho_1 - 1 + p)/(-q) = -p/q$$

$$\therefore C'_1 = -p \cdot C_1/q$$

また,

$$\begin{aligned} C'_2/C_2 &= (\rho_2 - 1 + p)/(-q) \\ &= (1-p-q-1+p)/(-q) = 1 \end{aligned}$$

$$\therefore C'_2 = C_2$$

ゆえに(24)式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_1 + C_2(1-p-q)^t \\ V(t) &= -(pC_1/q) + C_2(1-p-q)^t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

初期条件は, 測定開始時の室内および室外のCO₂濃度をそれぞれAおよびBとすると,

$$U(0) = A = C_1 + C_2$$

$$V(0) = B = -(pC_1/q) + C_2$$

これより C_1 および C_2 を求めると

$$C_1 = (A-B)/\{1+(p/q)\} = q(A-B)/(p+q)$$

$$C_2 = \{(pA/q) + B\}/\{1+(p/q)\} = (pA + qB)/(p+q)$$

したがって,

$$\begin{aligned} U(t) &= \{q(A-B)/(p+q)\} \\ &\quad + (pA + qB) \cdot (1-p-q)^t / (p+q) \\ &= \{q(A-B) + (pA + qB)(1-p-q)^t\} / (p+q) \end{aligned} \dots\dots\dots (26)$$

$$\begin{aligned} V(t) &= \{-pq(A-B)\} / \{q(p+q)\} \\ &\quad + (pA + qB) \cdot (1-p-q)^t / (p+q) \\ &= \{-p(A-B) + (pA + qB)(1-p-q)^t\} / (p+q) \end{aligned} \dots\dots\dots (27)$$

いま, $p=q$ とし, また換気に関する定数 a にいずれも等しいと仮定すれば, (26), (27)式はつぎのようになる。

$$U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\} / 2 \dots\dots\dots (28)$$

$$V(t) = \{-(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\} / 2 \dots\dots\dots (29)$$

実験の部

A, B両室の構造, 大きさおよびCO₂の測定は, 第1報³⁾ および第5報⁴⁾ に示したと同様である。

また, A室において, CO₂濃度の測定場所は, 室内の西側の実験台の中心を $m\delta X$, 室の入口の点を $(m+1)\delta X$ とし, 両者の間の直線距離は3.60mである。また, CO₂発生源は $m\delta X$ と $(m+1)\delta X$ の2点間の線上にあり, 西側実験台より室の内部に向かって0.30m離れた点である。

B室においては, CO₂発生源の位置は, 前回同様に教壇の中央よりやや室の中心に近く, 室の対角線の中心との直線距離は7.80mの位置である。

前報で示したように, B室において $\delta X = 5.00\text{m}$ とし, CO₂濃度の測定場所は, 1次元的な場合は室の対角線の中心すなわち $m\delta X$ の位置と, それよりCO₂発生源側およびその反対側へ等距離にそれぞれ5.00mずつの場所をとり, これの位置をそれぞれ $(m-1)\delta X$ および $(m+1)\delta X$ とし, CO₂発生源, $(m-1)\delta X$, $m\delta X$ および $(m+1)\delta X$ の各位置は直線上にあるものとする。

また, 2次元的な場合では, $[x=jh, y=(k-1)h]$ および $[x=jh, y=(k+1)h]$ の位置は, それぞれ $(m-1)\delta X$ および $(m+1)\delta X$ の位置に相当し $[x=(j-1)h, y=kh]$ および $[x=(j+1)h, y=kh]$ の位置は, 室の対角線の中

Fig. 1. Concentration of CO₂ in "A"-Room (Net Capacity 19.66 m³) under Natural and Mechanical Ventilations which carried out without Evolution of CO₂

心より左右等間隔 (5.00m) にある。

A, B 両室において, 固形炭酸を用いて, 室内に CO_2 を発生させ, 1 時間後に CO_2 の発生を止め, CO_2 の拡散

Fig. 2. Concentration of CO_2 in "B"-Room (Net Capacity 688.94m³) under Natural Ventilation in One-dimensional Points

が不均一のまま自然換気および強制換気をおこない, 室内の各位置で10分間隔で60—70分間測定した. 得られた結果は Fig. 1—5 および Table I—V に示す.

Fig. 4. Concentration of CO_2 in "B"-Room under Mechanical Ventilation in One-dimensional Points (Ventilation carried out without Evolution of CO_2)

Fig. 3. Concentration of CO_2 in "B"-Room under Natural Ventilation in Two-dimensional Points

Fig. 5. Concentration of CO_2 in "B"-Room under Mechanical Ventilation in Two-dimensional Points (Ventilation carried out without Evolution of CO_2)

TABLE I. Ventilation Constants, a_m and a_{m+1} , at Places $m\delta X$ and $(m+1)\delta X$ in "A"-Room (Net Capacity 19.66m³) under Natural and Mechanical Ventilations (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	Natural ventilaton				Mechanical ventilation			
	$C_m(t)$ (%)	a_m	$C_{m+1}(t)$ (%)	a_{m+1}	$C_m(t)$ (%)	a_m	$C_{m+1}(t)$ (%)	a_{m+1}
0	0.35	—	0.30	—	0.45	—	0.40	—
10	0.28	0.978	0.22	0.970	0.34	0.972	0.30	0.972
20	0.23	0.979	0.18	0.979	0.28	0.977	0.24	0.975
30	0.20	0.981	0.16	0.979	0.25	0.981	0.22	0.980
40	0.18	0.984	0.15	0.983	0.23	0.983	0.20	0.983
50	0.16	0.985	0.13	0.983	0.21	0.985	0.18	0.984
60	0.15	0.986	0.11	0.983	0.19	0.986	0.16	0.985

mean : $\bar{a}_m=0.98$, $\bar{a}_{m+1}=0.98$, $\bar{a}_m=0.98$, $\bar{a}_{m+1}=0.98$

TABLE II. Ventilation Constants, a_{m+1} , a_m and a_{m-1} , at Places $(m+1)\delta X$, $m\delta X$ and $(m-1)\delta X$ in "B"-Room (Net Capacity 688.94 m³) under Natural Ventilation which was carried out without Evolution of CO₂

Time (min)	$C_{m+1}(t)$ (%)	$\frac{C_{m+1}(t)}{C_{m+1}(0)}$	a_{m+1}	$C_m(t)$ (%)	$\frac{C_m(t)}{C_m(0)}$	a_m	$C_{m-1}(t)$ (%)	$\frac{C_{m-1}(t)}{C_{m-1}(0)}$	a_{m-1}
0	0.22	1.000	—	0.28	1.000	—	0.30	1.000	—
10	0.17	0.773	0.975	0.26	0.929	0.993	0.27	0.900	0.990
20	0.15	0.682	0.981	0.22	0.786	0.988	0.25	0.833	0.991
30	0.13	0.591	0.983	0.20	0.714	0.989	0.22	0.733	0.990
40	0.12	0.545	0.985	0.17	0.607	0.988	0.19	0.633	0.989
50	0.11	0.500	0.986	0.15	0.536	0.988	0.17	0.566	0.989
60	0.10	0.455	0.987	0.14	0.500	0.989	0.16	0.533	0.990

mean : $\bar{a}_{m+1}=0.98$, $\bar{a}_m=0.99$, $\bar{a}_{m-1}=0.99$

TABLE III. Ventilation Constants, $a_{j+1,k}$, $a_{j-1,k}$, $a_{j,k+1}$ and $a_{j,k-1}$, at Places $[x=(j+1)h, y=kh]$, $[x=(j-1)h, y=kh]$, $[x=jh, y=(k+1)h]$ and $[x=jh, y=(k-1)h]$ in "B"-Room under Natural Ventilation which was carried out without Evolution of CO₂

Time (min)	$C_{j+1,k}(t)$ (%)	$a_{j+1,k}$	$C_{j-1,k}(t)$ (%)	$a_{j-1,k}$	$C_{j,k+1}(t)$ (%)	$a_{j,k+1}$	$C_{j,k-1}(t)$ (%)	$a_{j,k-1}$
0	0.25	—	0.28	—	0.22	—	0.30	—
10	0.20	0.978	0.25	0.989	0.17	0.975	0.27	0.990
20	0.17	0.981	0.22	0.988	0.15	0.981	0.25	0.991
30	0.13	0.978	0.18	0.985	0.13	0.983	0.22	0.990
40	0.11	0.980	0.16	0.986	0.12	0.985	0.19	0.989
50	0.10	0.982	0.14	0.986	0.11	0.986	0.17	0.989
60	0.09	0.981	0.12	0.986	0.10	0.987	0.16	0.990

mean : $\bar{a}_{j+1,k}=0.98$, $\bar{a}_{j-1,k}=0.99$, $\bar{a}_{j,k+1}=0.98$, $\bar{a}_{j,k-1}=0.99$

TABLE IV. Ventilation Constants, a_{m+1} , a_m , and a_{m-1} , at Places $(m+1)\delta X$, $m\delta X$ and $(m-1)\delta X$ in Mechanical Ventilation ("B"-Room)
(Ventilation was carried out without Evolution of CO_2)

Time (min)	$C_{m+1}(t)$ (%)	$\frac{C_{m+1}(t)}{C_{m+1}(0)}$	a_{m+1}	$C_m(t)$ (%)	$\frac{C_m(t)}{C_m(0)}$	a_m	$C_{m-1}(t)$ (%)	$\frac{C_{m-1}(t)}{C_{m-1}(0)}$	a_{m-1}
0	0.65	1.000	—	0.42	1.000	—	0.30	1.000	—
10	0.54	0.831	0.982	0.35	0.833	0.982	0.25	0.833	0.982
20	0.46	0.708	0.983	0.30	0.714	0.983	0.21	0.700	0.982
30	0.42	0.646	0.986	0.27	0.643	0.985	0.18	0.600	0.983
40	0.38	0.585	0.987	0.24	0.571	0.986	0.16	0.533	0.984
50	0.35	0.538	0.988	0.22	0.524	0.987	0.14	0.466	0.985
60	0.32	0.492	0.988	0.20	0.476	0.988	0.12	0.400	0.985
70	0.30	0.462	0.989	0.18	0.429	0.988	0.10	0.333	0.984

mean: $\bar{a}_{m+1}=0.99$, $\bar{a}_m=0.99$, $\bar{a}_{m-1}=0.98$

TABLE V. Ventilation Constants, $a_{j+1,k}$, $a_{j-1,k}$, $a_{j,k+1}$, $a_{j,k-1}$, at Places $[x=(j+1)h, y=kh]$, $[x=(j-1)h, y=kh]$, $[x=jh, y=(k+1)h]$ and $[x=jh, y=(k-1)h]$ in Mechanical Ventilation ("B"-Room)
(Ventilation was carried out without Evolution of CO_2)

Time (min)	$C_{j+1,k}(t)$ (%)	$a_{j+1,k}$	$C_{j-1,k}(t)$ (%)	$a_{j-1,k}$	$C_{j,k+1}(t)$ (%)	$a_{j,k+1}$	$C_{j,k-1}(t)$ (%)	$a_{j,k-1}$
0	0.42	—	0.44	—	0.65	—	0.30	—
10	0.35	0.982	0.36	0.980	0.54	0.982	0.25	0.982
20	0.30	0.983	0.31	0.983	0.46	0.983	0.21	0.982
30	0.27	0.985	0.28	0.985	0.42	0.986	0.18	0.983
40	0.25	0.987	0.25	0.986	0.38	0.987	0.16	0.984
50	0.23	0.988	0.24	0.988	0.35	0.988	0.14	0.985
60	0.21	0.989	0.22	0.989	0.32	0.988	0.12	0.985
70	0.19	0.989	0.20	0.989	0.30	0.989	0.10	0.984

mean: $\bar{a}_{j+1,k}=0.99$, $\bar{a}_{j-1,k}=0.99$, $\bar{a}_{j,k+1}=0.99$, $\bar{a}_{j,k-1}=0.98$

また、自然換気および強制換気の際、(7)–(13)式より計算して求めたA、B両室の各位置における換気に関する定数 a の値は、Table I–Vに示す。

つぎに、B室において CO_2 を発生させながら(CO_2 発生量 140 liter/hr) 強制換気をおこない、室内の1次元ならびに2次元的位置における CO_2 濃度を10分間隔で70分間測定し、得られた結果および(15)–(21)式により計算して求めた a の値は、それぞれFig. 6, 7およびTable VI, VIIに示す。

さらに、自然換気および強制換気の際、A、B両室の各位置における CO_2 濃度を、Table I–Vに示した a の値を用い、(28)式より計算した結果と実測値とを比較して示したのがTable VIII–XIIである。ここで、 A は各室の各位置において $t=0$ のときの CO_2 濃度であり、 B の値は0.03%であった。

Fig. 6. Concentration of CO_2 in "B"-Room under Mechanical Ventilation in One-dimensional Points (Ventilation was carried out with Evolution of CO_2) (140 liter of CO_2 /hr)

Fig. 7. Concentration of CO₂ in "B"-Room under Mechanical Ventilation in Two-dimensional Points (Ventilation was carried out with Evolution of CO₂ (140 liter of CO₂/hr))

TABLE VI. Concentrations(%) of CO₂ and Ventilation Constants at Places $(m+1)\delta X$, $m\delta X$ and $(m-1)\delta X$ in Mechanical Ventilation (Ventilation was carried out with Evolution of CO₂ (140 liter/hr))("B"-Room)

Time (min)	$C_{m-1}(t)$	$\log \alpha_{m-1}$	$C_m(t)$	$\log \alpha_m$	$C_{m+1}(t)$	$\log \alpha_{m+1}$
0	0.27	—	0.40	—	0.62	—
10	0.21	-0.030	0.31	-0.025	0.47	-0.028
20	0.18	0.000	0.26	0.000	0.39	-0.000
30	0.15	0.000	0.21	-0.009	0.32	0.000
40	0.12	0.000	0.17	0.000	0.25	-0.007
50	0.09	-0.018	0.13	-0.030	0.19	0.000
60	0.07	0.000	0.11	0.000	0.13	0.000
70	0.05	—	0.09	—	0.07	—

$$\text{mean: } \bar{\alpha}_{m-1} = \exp(-0.008), \bar{\alpha}_m = \exp(-0.010), \bar{\alpha}_{m+1} = \exp(-0.007)$$

$$\alpha_{m-1} = \exp(\log[(C_{m-1}(t+10) - C_{m-1}(t)) / (C_{m-1}(t) - C_{m-1}(t-10))] / 10)$$

$$\alpha_m = \exp(\log[(C_m(t+10) - C_m(t)) / (C_m(t) - C_m(t-10))] / 10)$$

$$\alpha_{m+1} = \exp(\log[(C_{m+1}(t+10) - C_{m+1}(t)) / (C_{m+1}(t) - C_{m+1}(t-10))] / 10)$$

TABLE VII. Concentrations (%) of CO₂ and Ventilation Constants at Places $[x=(j+1)h, y=kh]$, $[x=(j-1)h, y=kh]$, $[x=jh, y=(k+1)h]$ and $[x=jh, y=(k-1)h]$ in Mechanical Ventilation (Ventilation was carried out with Evolution of CO₂ (140 liter/hr)) ("B"-Room)

Time (min)	$C_{j+1,k}(t)$	$\log \alpha_{j+1,k}$	$C_{j-1,k}(t)$	$\log \alpha_{j-1,k}$	$C_{j,k+1}(t)$	$\log \alpha_{j,k+1}$	$C_{j,k-1}(t)$	$\log \alpha_{j,k-1}$
0	0.39	—	0.41	—	0.62	—	0.27	—
10	0.30	-0.026	0.33	-0.020	0.47	-0.028	0.21	0.000
20	0.25	0.000	0.28	-0.010	0.39	-0.006	0.18	0.000
30	0.20	-0.010	0.24	0.000	0.32	0.000	0.15	0.000
40	0.15	0.000	0.20	0.000	0.25	-0.007	0.12	0.000
50	0.11	-0.030	0.16	-0.012	0.19	0.000	0.09	-0.018
60	0.09	0.000	0.13	0.000	0.13	0.000	0.07	0.000
70	0.07	—	0.10	—	0.07	—	0.05	—

$$\bar{\alpha}_{j+1,k} = \exp(-0.011), \bar{\alpha}_{j-1,k} = \exp(-0.007), \bar{\alpha}_{j,k+1} = \exp(-0.007), \bar{\alpha}_{j,k-1} = \exp(-0.008)$$

TABLE VIII. Comparison of CO₂ Concentrations calculated from the Equation^{a)} and observed in "A"-Room under Natural and Mechanical Ventilations (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	Natural ventilation				Mechanical ventilation			
	$U(t)_m$ (%)		$U(t)_{m+1}$ (%)		$U(t)_m$ (%)		$U(t)_{m+1}$ (%)	
	obs.	cal.	obs.	cal.	obs.	cal.	obs.	cal.
0	0.35	0.35	0.30	0.30	0.45	0.45	0.40	0.40
10	0.28	0.28	0.22	0.24	0.34	0.37	0.30	0.33
20	0.23	0.24	0.18	0.21	0.28	0.31	0.24	0.29
30	0.20	0.21	0.16	0.18	0.25	0.28	0.22	0.28
40	0.18	0.19	0.15	0.16	0.23	0.25	0.20	0.25
50	0.16	0.18	0.13	0.15	0.21	0.24	0.18	0.24
60	0.15	0.17	0.11	0.14	0.19	0.23	0.16	0.23

$$a) U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\} / 2$$

TABLE IX. Comparison of CO₂ Concentrations Calculated from the Equation^{a)} and observed in "B"-Room under Natural Ventilation (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	$U(t)_{m+1}$ (%)		$U(t)_m$ (%)		$U(t)_{m-1}$ (%)	
	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.
0	0.22	0.22	0.28	0.28	0.30	0.30
10	0.17	0.18	0.26	0.25	0.27	0.27
20	0.15	0.15	0.22	0.23	0.25	0.25
30	0.13	0.13	0.20	0.21	0.22	0.23
40	0.12	0.12	0.17	0.19	0.19	0.21
50	0.11	0.11	0.15	0.18	0.17	0.19
60	0.10	0.10	0.14	0.17	0.17	0.18

$$a) U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\}/2$$

TABLE XI. Comparison of CO₂ Concentrations calculated from the Equation^{a)} and observed in "B"-Room under Mechanical Ventilation (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	$U(t)_{m+1}$ (%)		$U(t)_m$ (%)		$U(t)_{m-1}$ (%)	
	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.
0	0.65	0.65	0.42	0.42	0.30	0.30
10	0.54	0.59	0.35	0.38	0.25	0.27
20	0.46	0.53	0.30	0.34	0.21	0.24
30	0.42	0.49	0.27	0.32	0.18	0.22
40	0.38	0.46	0.24	0.29	0.16	0.21
50	0.35	0.43	0.22	0.27	0.14	0.19
60	0.32	0.41	0.20	0.26	0.12	0.18
70	0.30	0.39	0.18	0.25	0.10	0.17

$$a) U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\}/2$$

TABLE X. Comparison of CO₂ Concentrations calculated from the Equation^{a)} and observed in "B"-Room under Natural Ventilation (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	$U(t)_{j+1, k}$ (%)		$U(t)_{j-1, k}$ (%)		$U(t)_{j, k+1}$ (%)		$U(t)_{j, k-1}$ (%)	
	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.
0	0.25	0.25	0.28	0.28	0.22	0.22	0.30	0.30
10	0.20	0.20	0.25	0.25	0.17	0.18	0.27	0.27
20	0.17	0.17	0.22	0.23	0.15	0.15	0.25	0.25
30	0.13	0.15	0.18	0.20	0.13	0.13	0.22	0.23
40	0.11	0.13	0.16	0.19	0.12	0.12	0.19	0.21
50	0.10	0.12	0.14	0.18	0.11	0.11	0.17	0.19
60	0.08	0.11	0.12	0.17	0.10	0.10	0.16	0.18

$$a) U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\}/2$$

TABLE XII. Comparison of CO₂ Concentrations calculated from the Equation^{a)} and observed in "B"-Room under Mechanical Ventilation (Ventilation was carried out without Evolution of CO₂)

Time (min)	$U(t)_{j+1, k}$ (%)		$U(t)_{j-1, k}$ (%)		$U(t)_{j, k+1}$ (%)		$U(t)_{j, k-1}$ (%)	
	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.
0	0.42	0.42	0.44	0.44	0.65	0.65	0.30	0.30
10	0.35	0.38	0.36	0.39	0.54	0.59	0.25	0.27
20	0.30	0.34	0.31	0.36	0.46	0.53	0.21	0.24
30	0.27	0.32	0.28	0.33	0.42	0.49	0.18	0.22
40	0.25	0.29	0.25	0.31	0.38	0.46	0.16	0.21
50	0.23	0.27	0.24	0.29	0.35	0.43	0.14	0.19
60	0.21	0.26	0.22	0.27	0.32	0.41	0.12	0.18
70	0.19	0.25	0.20	0.26	0.30	0.39	0.10	0.17

$$a) U(t) = \{(A-B) + (A+B)(1-2a)^t\}/2$$

考 察

Table I—Vより明らかなように、(7)–(13)式より計算して求めた各室の α の値は、室の大小に無関係に、また室内の位置の変化にも無関係に、自然換気および強制換気の区別なく、ほとんど一定でほぼ0.98–0.99という値が得られた。

また、CO₂を発生させながら強制換気をした場合の α の値はかなり小さく、この場合も室内の位置の変化により大差はないことがわかった。

つぎに、Table I—Vに示した α の値を用い、(28)式よ

り計算して求めた各位置のCO₂濃度は、実測値とほぼ一致しているが、一般に強制換気の場合よりも自然換気の方が、A、B両室とも実測値と計算値とはよく近似した値を与えている。強制換気の場合は、いずれも計算値の方が大きく、時間の経過とともに実測値との差異が大きくなっている。これは、(28)式は自然換気の際にはよく適応すると考えられるが、強制換気の場合は、室内で複雑な乱流、拡散がおこなわれるため、計算値と実測値との間に差異が生ずるものと考えられる。