

日本農業気象学会  
施設園芸研究部会  
研究資料 No. 2

# 換 気 計 算 法

千葉大学 園芸学部 古在豊樹  
東京大学 農学部 佐瀬勘紀

1982年 6 月発行

## 換気計算法

千葉大学園芸学部  
古在豊樹  
東京大学農学部  
佐瀬勲紀

本資料では、まず、温室の自然換気設備および強制換気設備の設計に際して必要となる、換気の物理的基礎について述べ、次いで換気量の数値計算法について述べる。

## 1. 換気の物理的基礎

## 1.1 換気力

自然換気の原因力は風圧力と浮力である。強制換気の原因力は電力による換気扇の回転であるが、この場合の風量も風圧力などの影響を受ける。

## a. 空気の比重量

空気の比重量は風圧力と浮力の両方に関係する。空気の比重量とは、空気 / m<sup>3</sup> 当りの重量 (kg m<sup>-3</sup>) で、空気の温度、圧力および絶対湿度によって変化する。

(i) 1気圧下、θ℃の乾燥空気の比重量  $\gamma_{d,\theta}$  (kg m<sup>-3</sup>) は次式で与えられる。

$$\gamma_{d,\theta} = 1.293 \times \frac{273.2}{273.2 + \theta} = \frac{353}{273.2 + \theta} \quad (1)$$

(ii) 水蒸気圧  $f$  mmHg の湿り空気の比重量  $\gamma_h$  (kg m<sup>-3</sup>) は、同湿同圧下における水蒸気の比重が空気のそれの 0.62197 倍であることから、次式のようになる<sup>1)</sup>、

$$\begin{aligned} \gamma_h &= \frac{0.4648}{273.2 + \theta} (F - f + 0.62197f) \\ &= \frac{0.4648F}{273.2 + \theta} \left(1.0 - 0.37803 \frac{f}{F}\right) \\ &= \gamma_{d,\theta,F} \left(1.0 - 0.37803 \frac{f}{F}\right) \end{aligned}$$

(2) 式の第2項(湿度項)はきわめて小さい。

1気圧下、温度範囲 -20 ~ 50℃ における相対湿度 65% の空気の比重量を図1に示す。

## b. 動圧と静圧

流れている空気は運動の圧力を有している。これを動圧といい、単位は kg m<sup>-2</sup> であらわす。

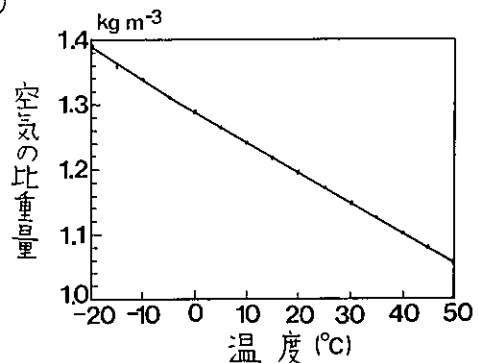


図1 空気の比重量  
(1気圧, 相対湿度65%)

風速  $V \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  の気流が流れの方向に持つ動圧  $P_v \text{ (kg m}^{-2}\text{)}$  は、

$$P_v = \frac{\rho}{2g} V^2$$

ここで、 $g$  は重力加速度  $9.807 \text{ m s}^{-2}$ 、 $\rho$  は空気の比重量 ( $\text{kg m}^{-3}$ ) である。比重量として  $15^\circ\text{C}$  の値  $1.226$  を採用すると次の略算式を得る。<sup>1)</sup>

$$P_v = \frac{273 + 15}{273 + 0} \left(\frac{V}{4}\right)^2 \approx \left(\frac{V}{4}\right)^2$$

風速と動圧の関係を図2に図示する。動圧は風速の2乗に比例するので、動圧は風速と共に急激に増大する。

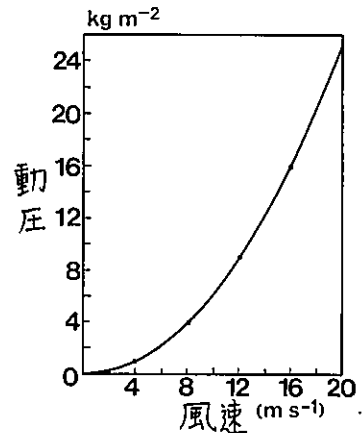


図2. 風速と動圧の関係 ( $15^\circ\text{C}$  の乾燥空気)

### C. 風圧係数

気流の一部が温室によってせきとめられ、その速度が弱められると、動圧の一部が静圧に変わる。動圧のうち静圧に変わる割合を風圧係数としてあらわす。動圧に風圧係数を乗じた値が実際に壁面に加わる風圧力となる。この風圧力が風力換気や温室倒壊の原動力となる。

$$P_w = C \cdot P_v \quad (4)$$

ここで、 $P_w \text{ (kg m}^{-2}\text{)}$  が風圧、 $C$  が風圧係数、 $P_v$  が動圧である。動圧  $P_v$  は、通常、温室の存在によって風が乱されない位置の高さ  $10 \text{ m}$  における風速をもとに計算される。しかし、そうでない場合もあるので、注意が必要である。通常、温室の風下側壁には負の圧力 (風が壁を引く) が加えられる。

風圧係数の温室壁面上の分布は、後述するように、温室形態、風向、周囲建物の有無などによって異なる。

### d. 風速の垂直分布

風速  $V \text{ (m s}^{-1}\text{)}$  は地面からの高さ  $h \text{ (m)}$  によって異なり、一般に次式で表わされる。<sup>1)</sup>

$$V = V_0 \left(h / h_0\right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

ここで、 $h_0$  は基準高さ (m)、 $V_0$  は高さ  $h_0$  における風速 ( $\text{m s}^{-1}$ ) で、 $n$  は垂直分布の様相を表わす係数である。 $n$  の値は地表の荒さによって異なるが、通常、 $n=4$  とされている。また、我国各地の気象台や測候所における風速測定の基準高さは  $15 \text{ m}$  程度である。

図3は  $n=4$ 、 $h_0=15 \text{ m}$ 、 $V_0=30 \text{ m s}^{-1}$  としたときの風速の垂直分布である。図に示すように、

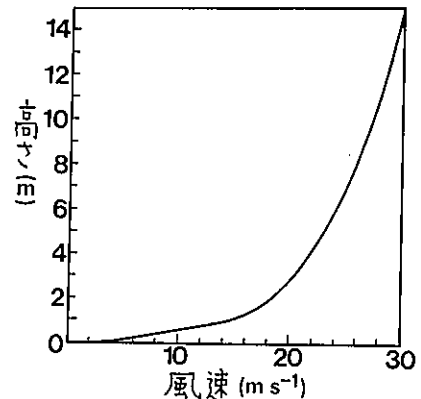


図3 屋外風速の垂直分布例 (高さ  $15 \text{ m}$  で風速  $30 \text{ m s}^{-1}$  とし計算)

地面に近づくにつれて風速は急速に減少し、高さ10m、5m、2mおよび1mでの風速は、各々、 $27.1 \text{ m s}^{-1}$ 、 $22.8 \text{ m s}^{-1}$ 、 $18.1 \text{ m s}^{-1}$  および  $15.2 \text{ m s}^{-1}$  である。

### e. 浮力

温室内の気温が外気温よりも高い場合、温室内の空気は外気よりも軽いので、室内空気は浮き上がろうとする。この力が浮力である。このとき、温室の上方では空気が外に出ようとするので外に向う圧力を、下方では空気が流入しようとするので内に向う圧力を生じる。この浮力  $P_g (\text{kg m}^{-2})$  は室温が一定なとき、次式で表わされる。

$$P_g = h(r_o - r_i) \quad (6)$$

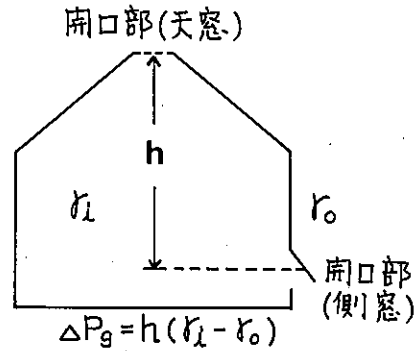


図4 浮力説明図

ここで、 $h$ は南口部間の高さ(m)、 $r_i$ 、 $r_o$ は、各々、室内外の空気の比重量( $\text{kg m}^{-3}$ )である(図4参照)。(6)式に示すように、浮力は室内外の空気の比重量の差と南口部間の高さに正比例する。(6)式の浮力にもとづく換気を重力換気という。比重量の差は主に室内外の気温差によるので、これを温度差換気ともいう。南口部間の高さの差がない場合( $h=0$ )は、浮力が生じないので、重力換気は起らない。

なお、乾燥空気の場合(6)式は次式でも略算できる。湿り空気に関して正確に浮力を算定したい場合には、(2)式を用いる。

$$P_g = h(r_o - r_i) = h r_o \left(1 - \frac{r_i}{r_o}\right) \doteq h r_o \left(1 - \frac{T_o}{T_i}\right) = h r_o \left(\frac{\theta_i - \theta_o}{T_i}\right) \quad (7)$$

ここで、 $T_i$ 、 $T_o$ 、 $\theta_i$ 、 $\theta_o$ は、各々、室内外空気の絶対温度、セ氏温度である。

図5は外気温 $0^\circ\text{C}$ 、相対湿度65%とした時の浮力を、相対湿度65%、室温 $10 \sim 50^\circ\text{C}$ 、南口部間高さ $0 \sim 20\text{m}$ について示したものである。通常の温室では、南口部間高さは $2 \sim 6\text{m}$ 、室内外気温差は $2 \sim 20^\circ\text{C}$ 位であるから、浮力は $0.1 \sim 0.5 \text{ kg m}^{-2}$ 程度である。図5と図3を比較すればわかるように、この浮力は風速 $1 \sim 4 \text{ m s}^{-1}$ の動圧にほぼ対応する。

### 1.2 南口部流量

#### A. 流量係数(圧力損失係数)

面積 $A (\text{m}^2)$ の南口部(窓、出入口、すき間など)を流れる空気流量 $G (\text{kg s}^{-1})$ は一般に、(8)式で表わされる。ただし、南口部面積 $A$ は、その南口部の基準となる面積で、たとえば、窓

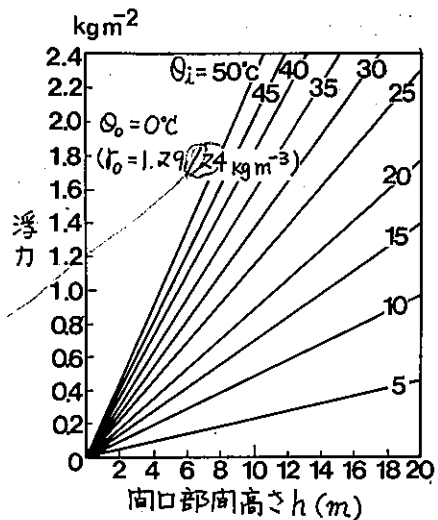


図5 南口部間高さ、室温と浮力の関係 (外気温  $\theta_o = 0^\circ\text{C}$ )

秤の内法(うちのり)面積などのような不変な値を採用する。

$$G = \alpha A \sqrt{2g\gamma\Delta P} \quad (8)$$

ここで、 $\alpha$ は流量係数( $0 \leq \alpha \leq 1$ )、 $g$ は重力加速度、 $\gamma$ は空気の比重量、 $\Delta P$ は開口部内外の全圧差( $\text{kg m}^{-2}$ )である。流量 $G$ は全圧差 $\Delta P$ の平方根に比例する。全圧差 $\Delta P$ は、

$$\Delta P = -P_w + P_g + P_i \quad (9)$$

と表わされる。ここで $P_w$ 、 $P_g$ 、 $P_i$ は、各々、開口部における風圧力、浮力および室内静圧で、 $P_w$ と $P_g$ は、各々、(4)式、(6)式で求められる。

流量係数 $\alpha$ は開口部の空気の流れやすさを表わす係数で、開口部形状や通風流速によって異なり、通常、実験的に求められる。流量係数 $\alpha$ の逆数の平方根を圧力損失係数と呼び、 $\zeta$ (ゼータ)で表わす。すなわち、

$$\alpha = 1 / \sqrt{\zeta} \quad (10)$$

圧力損失係数 $\zeta$ は、開口部の流れに関する抵抗を表わす。 $\zeta$ を用いると、(8)式は次のように変形される。

$$G = A \sqrt{2g\gamma\Delta P / \zeta} \quad (8)'$$

### b. 並列開口の合成<sup>1)</sup>

開口部が、図6aに示すように、同一壁面上に隣接して並んでいるときは、それらを一つの開口として合成できる。これを $\alpha A$ の合成という。合成された $\alpha A$ を $\alpha A_c$ 、また各々の流量係数、開口部面積を $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ とすれば、

$$\alpha A_c = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 \quad (11)$$

と表わすことができる。なぜなら、開口部1、2の流量 $G_1$ 、 $G_2$ は、

$$G_1 = \alpha_1 A_1 \sqrt{2g\gamma\Delta P}$$

$$G_2 = \alpha_2 A_2 \sqrt{2g\gamma\Delta P}$$

ここで $\Delta P$ は共通で、全流量 $G = G_1 + G_2$ であるから

$$G = G_1 + G_2 = (\alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2) \sqrt{2g\gamma\Delta P}$$

したがって、

$$\alpha A_c = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 \quad (11)$$

すなわち、並列開口の $\alpha A$ の合成 $\alpha A_c$ は、各開口の $\alpha A$ の和で与えられる。

### C. 直列開口

開口部が、図6に示すように、直列的に存在するときの $\alpha A_c$ は、

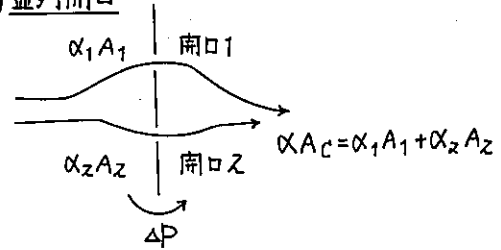
$$\left(\frac{1}{\alpha A_c}\right)^2 = \left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2 \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (12)$$

で与えられる。ただし、 $\gamma_1, \gamma_2$ は開口部1, 2を通る空気の比重量である。なぜなら、開口部1, 2の流量は同じであるから、開口部1, 2において、

$$\Delta P_1 = \frac{1}{2g\gamma_1} \left(\frac{G}{\alpha_1 A_1}\right)^2$$

$$\Delta P_2 = \frac{1}{2g\gamma_2} \left(\frac{G}{\alpha_2 A_2}\right)^2$$

#### (a) 並列開口



#### (b) 直列開口

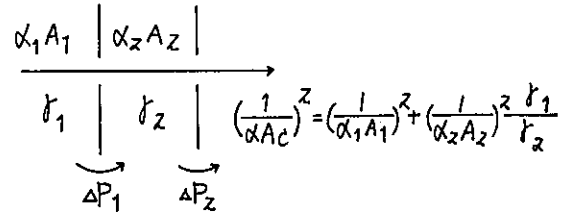


図6 並列開口と直列開口における $\alpha A$ の合成

上式は(8)式を変形したものである。また、開口部1, 2全体の全圧差 $\Delta P$ は $\Delta P_1$ と $\Delta P_2$ の和であるから、

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = \frac{1}{2g} \left\{ \frac{1}{\gamma_1} \left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \frac{1}{\gamma_2} \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2 \right\} G^2 = \frac{1}{2g\gamma_1} \left\{ \left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2 \right\} G^2$$

上式と(8)式を比較すると(12)式を得る。

### 1.3 風圧係数

前節までに述べたように、換気量の計算を行うには、温室開口部における風圧係数と流量係数の値が必須である。風圧係数と流量係数は、温室形状、風向、周囲建物などによって大中に異なり、通常実験的に求められるが、測定例は多くない。本稿では、主に、佐瀬・古・奈良・根岸(1980)が、大型風洞中の模型単棟切妻温室を用いて得た値の一部を紹介する<sup>2)</sup>。

温室の壁面または開口部にかかる圧力は、(4)式に示したように、風圧係数に動圧を乗じたものである。室内外の気温差がないとすれば(すなわち浮力を無視できるときは)、一般には、風圧係数が正の開口から外気が流入し、負の開口から室内空気が流出するが、後述の

ように、例外的な場合もある。そして、風圧係数の絶対値が大きいほど流入・流出量は大きくなる。

a. 窓閉鎖時の風圧係数

図7に窓閉鎖時における単棟切妻両屋根温室中央断面における風圧係数の分布を風向別に示す。これは、風洞内に置かれた模型温室を用いて測定したもので、模型温室は奥行180cm、間口48cm、側壁高さ13.8cm、屋根傾斜角26.7°である（風圧係数は、模型の縮尺率に殆んどよらず、ほぼ形状によって決まる）。窓閉鎖時の風圧係数は、すき間換気量の計算あるいは窓閉鎖時における壁面上の風圧力の計算に必要である。

風向0°（風は棟に直角）のとき、風圧係数は風上側壁で0.18~0.35（平均0.33）、風上屋根面で-0.27~0.03（平均-0.08）、風下側壁で-0.35~-0.28（平均-0.29）、風下屋根面で-0.28~-0.39（平均-0.34）となっている。

風向30°のときの風圧係数分布は、風向0°のときのそれと大差ないが、風向60°では、両側壁面の風圧係数が共にゼロに近づく。風向90°のとき、温室中央断面では全壁面上で風圧係数はほぼゼロである。

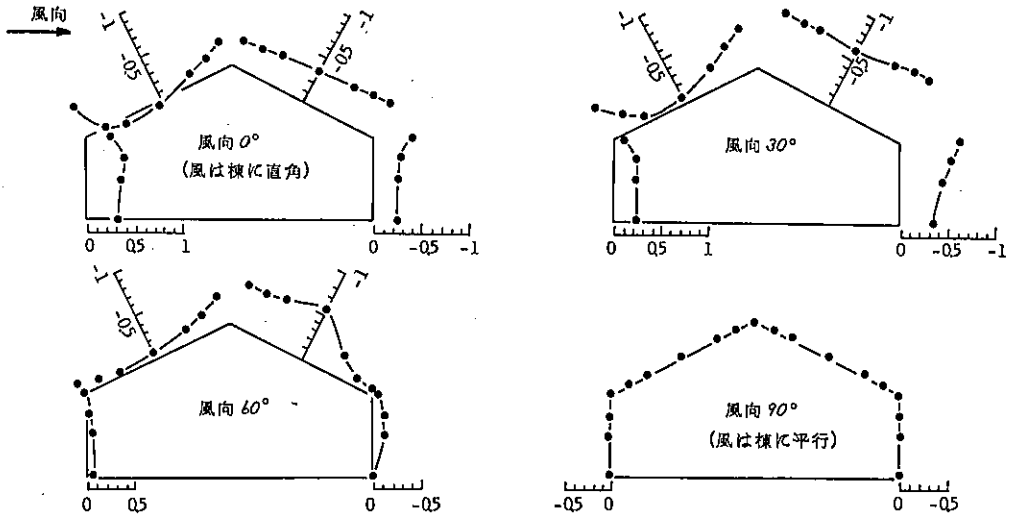


図7 単棟切妻両屋根温室中央断面壁面上における換気窓全閉時の風圧係数分布  
注) 風が棟に直角に吹くとき風向=0°とする。

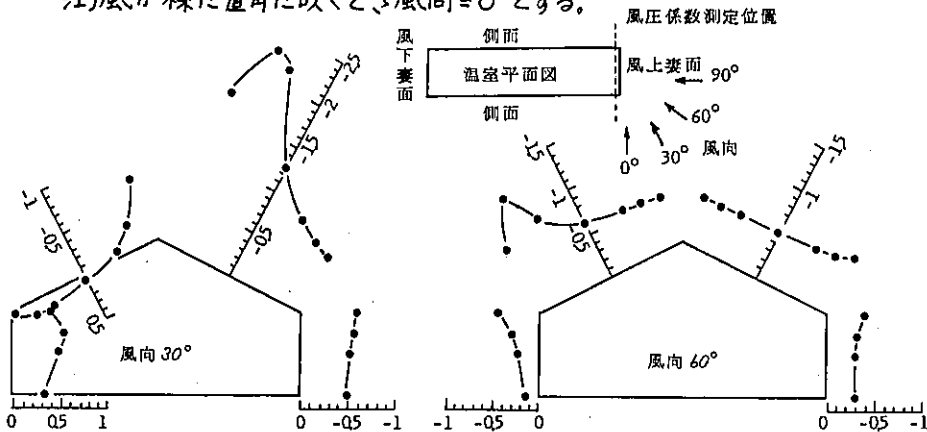


図8 単棟切妻両屋根温室の風上側表面付近の換気窓全開時における風圧係数の分布

窓閉鎖時の壁面上の風圧係数は奥行方向にも分布を示す。図8には、図7と同一の温室の風上側妻面に近接した断面における風圧係数の分布を、風向 $30^\circ$ と $60^\circ$ に關して示したものである。図7と図8を比較すれば、温室に關して風が斜めに吹くとき、妻面付近の屋根上の風圧係数は奥行中央付近のそれに比して、かなり大きいことがわかる。これは、妻面上部の稜線近傍の風(境界層)がはく離して、うずが生じることによる。

なお、耐風性解析を目的とした各種温室の窓閉鎖時における風圧係数の測定に關しては、中崎ら<sup>3)</sup>およびWellsら<sup>4)</sup>の一連の研究がある。

### b. 窓開放時の風圧係数

通常の温室の天窗や側窓(はね出し窓)を開けると、一般に、周辺気流の分布は窓閉鎖時のそれと異なり、したがって、風圧係数も兩者では異なる。

**側窓** 図9は、はね出し式連続型側窓に關する風向別・窓開度別の側窓における風圧係数を示したものである。風向 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ は、各々、風が風上側、風下側から棟に直角に吹くことを意味する。窓開度 $0^\circ$ (閉鎖時)のときの風圧係数は奥行方向の平均値である。窓開度が $0^\circ$ でないときは、風圧係数は奥行方向に關してほぼ同一の値をとる。図に示すように、側窓に關しては、風圧係数は、窓閉鎖時(開度 $0^\circ$ )を除いては、窓開度によらずほぼ一定である。風向に關しては、風向 $90^\circ$ 以上で風圧係数は負になっていることが注目される。すなわち、風向 $90^\circ$ 以上では、室内空気は側窓から流出しようとする。

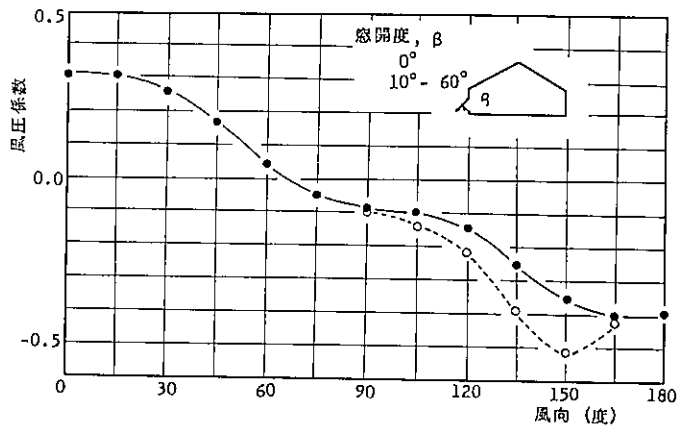


図9 風向と窓開度による単棟切妻屋根温室のはね上げ式連続側窓における風圧係数の変化

**天窗片側** 通常の温室では、はね出し式連続型天窗は棟の両側に隣接して設置されている。風圧係数に關して、天窗を片側だけ開閉する場合と両天窗を同一開度で同時開閉する場合は、異なった値を示し、両天窗を同時開閉する場合は両天窗を一つの開口と考えた方が合理的である。

図10ははね出し式連続型天窗を片側だけ開けた場合のその天窗における風圧係数を風向別・窓開度別に示したものである。天窗では、側窓に比して、風圧係数に及ぼす窓開度の影響が強く表われている。これは、天窗の窓開度によって、周辺気流パターンがより顕著に変化するためである。窓開度 $0^\circ$ のときは風向によらず風圧係数が負であるから、閉じられた天窗のすき間からは常に空気が流出しようとする。他方、窓が少しでも開いている場合は、風向 $0^\circ - 60^\circ$ において、外気が流入しようとする。

**天窗両側** 天窗両側を同一窓開度で開閉した場合の風圧係数を風向別に図11に示す。



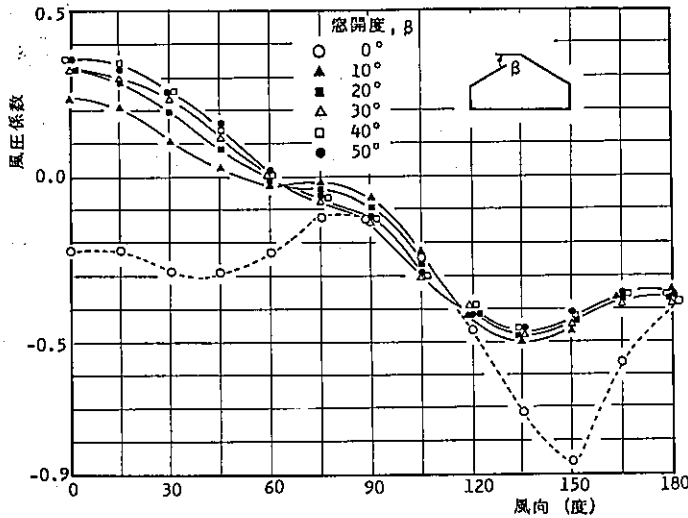


図10 風向と窓開度による単棟切妻両屋根温室のはね上げ式連続天窗片側だけを開けた場合のその天窗における風圧係数の変化

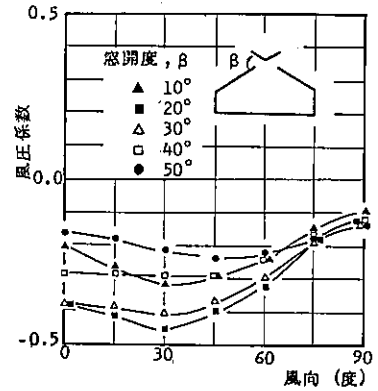


図11 風向と窓開度による単棟切妻両屋根温室のはね上げ式連続天窗の両側を開けた場合の天窗における風圧係数の変化

これらは両天窗を一つの開口とみなした場合の風圧係数値である。風圧係数はすべて負である。風向 $0^{\circ}-60^{\circ}$ において窓開度 $20^{\circ}, 30^{\circ}$ の場合の風圧係数の絶対値が、窓開度 $10^{\circ}, 50^{\circ}$ の場合のそれより大きいのは、前者では、天窗がほぼ水平に近い(屋根傾斜角は $26.6^{\circ}$ )ので、屋根棟部の気流の乱れがより少ないことに関係している。

前述のように、同図に示した風圧係数値は両天窗を一つの開口とみなした場合の値である。風圧係数値は風向によらず負であるから、天窗からは常に室外空気が流出していることになる。しかし、それは正味の流量であって、実際は、風上側天窗から流入し、風下側天窗から流出しており、流入量より流出量が大きいので、正味としては流出となることを意味する。

**妻面開口部** 温室の妻面には出入口などが設けられることが多い。この出入口が開放されているときは換気に少なからず影響を与える。図12は、妻面における引き違い戸式の出入口に関する風圧係数を風向別に示したものである。引き違い戸の場合は、その開放の程度が異なっても、風圧係数は一定風向についてほぼ一定値を示す。

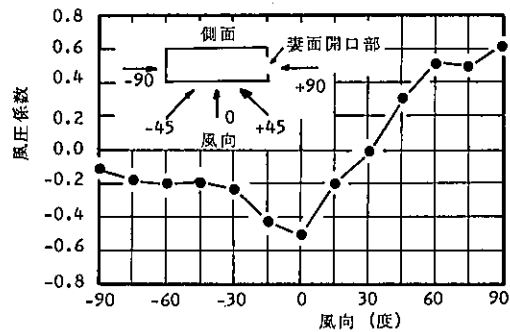


図12 風向と妻面開口部の風圧係数の関係

#### 1.4 流量係数

(7)式に示したように、開口部の流量は、主に、開口部面積、全圧差、流量係

数(または圧力損失係数)によって決まる。流量係数 $\alpha$ (圧力損失係数 $r$ )は開口部の流れやすさ(流れにくさ)を表わす係数で、 $\alpha = 1/\sqrt{r}$ の関係にある。

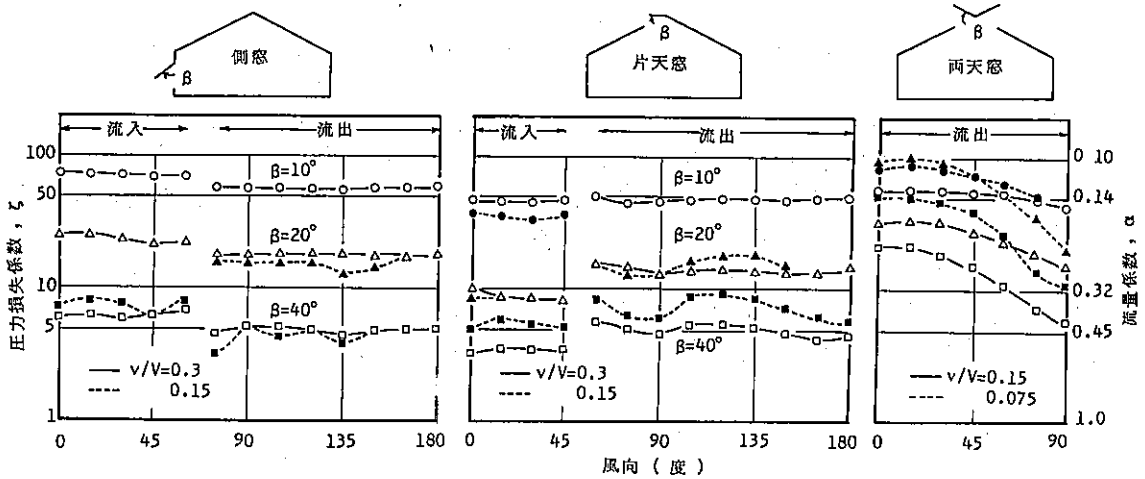


図13 有風時の窓の圧力損失係数(流量係数)

$v$ : 窓開口部の空気の流速

$V$ : 実物換算10mの高さにおける風速

図13は、風圧係数を示した図7、12と同一形状の温室に関する側窓、天窗片側、天窗両側の有風時の圧力損失係数を風向、窓開度別に示したものである(無風時の流量係数は同図とは異なる)。当然のことながら、窓開度が小となるにつれて、圧力損失係数は大きくなるが、その程度は窓の位置、風向、外風速と開口部流速の比によつて異なる。側窓の流量係数は、窓開度が同じ天窗のそれよりも、やや小さい。船田ら(1975)によれば、小型ビニルハウスの換気窓の流量係数(圧力損失係数)の平均値は0.42(5.67)であるという。<sup>5)</sup>

## 2. 換気計算法

### 2.1 並列および直列開口

各開口部の $\alpha A$ の値から、「1.2 開口部流量」で述べた方法で、全体の合成 $\alpha A$ が計算できる場合は(8)式から直ちに換気量が計算できる。

a. 風力換気のみの場合 図14に示すように、温室の側窓と天窗が片側ずつ開いている場合、天窗と側窓の風圧係数を、各々、 $C_1$ 、 $C_2$ 、外風速を $V(m \cdot s^{-1})$ 、空気の比重量を $\gamma$ とすると、開口部1、2における動圧 $P_{w1}$ 、 $P_{w2}$ は、(3)式から、

$$P_{w1} = C_1 \frac{\gamma}{2g} V^2, \quad P_{w2} = C_2 \frac{\gamma}{2g} V^2 \quad (3)'$$

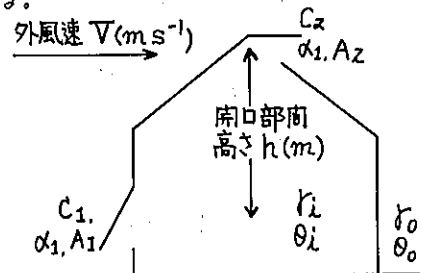


図14  $\alpha A$ の合成による風力換気と重力換気の説明図

ここで、 $g$ は重力加速度 $9.807 \text{ m s}^{-1}$ 。したがって、全圧差 $\Delta P = P_{w1} - P_{w2}$ であるから、風力換気量 $G_w$  ( $\text{kg s}^{-1}$ )は、(8)式を用いて、

$$G_w = \alpha A_c \sqrt{2g r \cdot \frac{r}{2g} V^2 |C_1 - C_2|} = \alpha A_c r V \sqrt{|C_1 - C_2|} \quad (13)$$

ただし、 $\alpha A_c$ は(11)式で求められる合成された $\alpha A$ である(直列開口)。なお、(12)式では室内外空気の比重量は同じで、温度差換気は起きないとしている。

(12)式から、風力換気のみの場合、換気量は、外風速 $V$ と風圧係数の差の絶対値の平方根 $\sqrt{|C_1 - C_2|}$ に比例することが分る。

b. 重力(温度差)換気 屋外が無風( $V = 0 \text{ m s}^{-1}$ )で、室内外空気の比重量が $\gamma_i$ ,  $\gamma_o$ のとき、あるいは、室内外の空気の気温が $\theta_i$ ,  $\theta_o$  ( $T_i = 273 + \theta_i$ )のとき、図14において、天窓・側窓間の浮力 $\Delta P_g$ は(6)式から、

$$\Delta P_g = h (\gamma_o - \gamma_i) \quad (6)$$

であるので、重力換気量 $G_g$  ( $\text{kg s}^{-1}$ )は、(7)式から、

$$G_g = \alpha A \sqrt{2g \gamma_o h (\gamma_o - \gamma_i)} = \alpha A_c \gamma_o \sqrt{2g h (\theta_i - \theta_o) / T_i} \quad (14)$$

となる。したがって、 $G_g$ は開口部の高さ $h$ および内外温度差( $\theta_i - \theta_o$ )の差の平方根に比例する。 $\alpha A_c$ は、(11)式を用いて計算する。

## 2.2 単棟温室の自然換気

温室に3つ以上の開口部があり、各開口部における流量 $G$ あるいは全圧差 $\Delta P$ が異なる場合は、(11)式による、 $\alpha A$ の合成ができない。この場合、以下に示す方法で換気量を求める。

### a. 連続の式

開口部の数が $n$ 個あるとすると、開口部 $j$  ( $1 \leq j \leq n$ )における流量 $G_j$  ( $\text{kg s}^{-1}$ )と全圧差 $\Delta P_j$ は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} G_j &= \alpha_j A_j \sqrt{2g r \Delta P_j} \quad (\Delta P_j \geq 0) \\ G_j &= -\alpha_j A_j \sqrt{2g r |\Delta P_j|} \quad (\Delta P_j < 0) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\Delta P_j = x - P_w + P_g \quad (16)$$

$$P_w = C_j \frac{r}{2g} V^2 \quad (17)$$

$$P_b = h_j \gamma_o \frac{\theta_i - \theta_o}{T_i} \quad (18)$$

ここで、(16)式の右辺第一項は室内床面圧力(一般に未知であるので $x$ の記号を用

いた), 第2項は風圧力, 第3項は浮力で,  $h$ は床から開口中心までの高さ(m)である。なお, (15)式の $\Delta P_j$ はつねにその絶対値を用いる。そして $\Delta P_j$ が正のときは流出であるから, (16)式の $\rho$ には室内空気の比重量を用い,  $\Delta P_j$ が負のときは流入であるから,  $\rho$ には外気のそれを用いる。したがって, 流入のとき $G_j < 0$ , 流出のとき $G_j > 0$ である。

温室全体としては, 流入空気の総量と流出空気の総量は等しいから,

$$\sum_{j=1, n} G_j = 0 \quad (19)$$

が成立する。(19)式を連続の式という。この連続の式が成立するような, 未知室内圧 $\alpha$ を見い出せば, (15)~(19)式が解けたことになり, 各開口部の流量, したがって, 換気率, 換気回数が求められる。

### b. 数値解法

(16)式の未知室内圧 $\alpha$ を解析的に求めるのは困難で, 通常, 数値解法または図式解法によって求める。その計算手順は次のようである。以下では室温, 室内圧 $\alpha$ は室内で均一であると仮定する。

1.  $\alpha = 0$ であると仮定する。
2.  $n$ 個の開口部に関する $\Delta P_j$ を(16)式から計算する。
3.  $n$ 個の開口部に関する $G_j$ を(15)式から求める。
4.  $G_j$ の総和 $\sum G_j$ を計算する。
5. もし,  $\sum G_j = 0$ であれば, 連続の式が満たされているので, 仮定した $\alpha$ の値は正しかったことになる。この場合は各開口部の $G_j$ の値をもとに換気率などが求まる。
6. もし,  $\sum G_j < 0$ であれば, 流入空気の総量が流出空気の総量より大であることを意味するので, 新たな $\alpha$ の値として, 従来 $\alpha$ の値より大きな値を仮定して, 手順又以降をくり返す。
7.  $\sum G_j > 0$ であれば, 新たな $\alpha$ の値として, 従来 $\alpha$ の値より小さな値を仮定して, 手順又以降をくり返す。

計算は上述の反復計算によるが, 反復計算の回数を少なくすませるには, 3回目以降の $\alpha$ の新たな推定値 $\alpha_{new}$ を, 前回 $\alpha$ と $\sum G_j$ の関係から, 図15に示すように, 図上で見つける方法がある。

この $\alpha_{new}$ を計算によって求めるには, 次式を用いればよい。

$$\alpha_{new} = \alpha_0 - S_0(\alpha_0 - \alpha_1) / (S_0 - S_1) \quad (20)$$

ここで,  $\alpha$ は未知室内圧,  $S$ は $\sum G_j$ であるが,  $\alpha_{new}$ が, 第1回目( $i \geq 3$ )の推定値であると

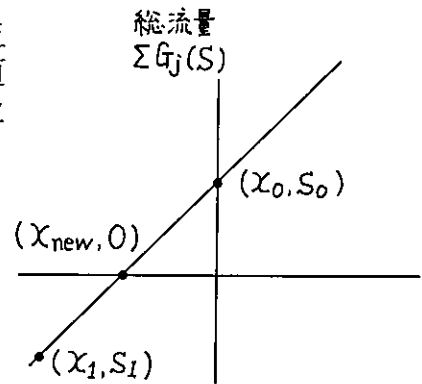


図15 反復法による数値計算法

すると、 $x_0, x_1$ は、各々、 $(i-2), (i-1)$ 回目の推定値で、 $S_0, S_1$ は、各々、 $(i-2), (i-1)$ 回目の $\sum G_j$ の値である。 $x_{new}$ は、座標 $(x_0, S_0), (x_1, S_1)$ を結ぶ直線上で $S=0$ となるときの $x$ 座標である。

上述の計算方法によれば、通常4~5回の反復で、 $\sum G_j$ の絶対値を十分ゼロに近づけることができる。

上述の計算は、図式解法や手計算でも可能であるが、マイクロ・コンピュータを用いれば容易に実行できる。

上述の方法にもとづいた単棟温室の換気量計算のためのフォートラン語で書かれたプログラム例と入出力例を付録Aとして掲げてある。

### 2.3 連棟温室の自然換気

連棟温室の換気は、以下に述べる点で単棟温室のそれと若干異なる。(1) (19)式の連続の式は各棟について成り立たねばならない。(2)各棟間の開口部(しばしば軒高 $\times$ 奥行の大きさを有する)の流量係数を知らねばならない。(3)各棟間の室温差を考慮しなければならぬ。

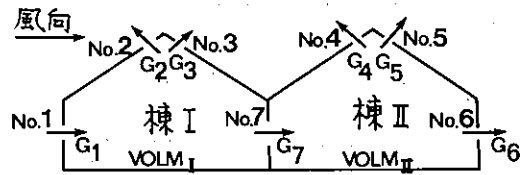


図16 連棟温室の換気計算法模式図  
VOLUM<sub>I</sub>, VOLUM<sub>II</sub>は各々、棟I、棟IIの容積

上述の点を考慮すると、その計算手順は次のようになる。説明の便宜上、以下では、図16に示した2連棟を仮定するが、3連棟以上の多連棟についても計算手順は同様である。

1. 棟Iの室内圧 $x_I$ をゼロと仮定する。
2. 開口1, 2, 3の流量 $G_1, G_2, G_3$ を(15)式を用いて、計算する。
3. 棟Iに関する連続の式を満足させるように、 $G_7 = G_1 + G_2 + G_3$ を計算する。
4. 次に、棟IIの室内圧 $x_{II}$ を求める。(15)式中の $\Delta P$ は、棟I、IIの室内圧を $x_I, x_{II}$ とすれば、 $\Delta P = (x_{II} - x_I)$ であるから、(15)式を変形して、

$$\begin{aligned} x_{II} &= x_I - (G_7 / (\alpha A))^2 / (2g \gamma_{iI}) \\ x_I &= x_{II} + (G_7 / (\alpha A))^2 / (2g \gamma_{iI}) \end{aligned} \quad (21)$$

ここで、 $\gamma_{iI}, \gamma_{iII}$ は、各々、棟I、IIの空気の比重量、 $\alpha, A$ は、各々、棟I、II間の開口部の流量係数と開口部面積である。

5. 棟IIの室内圧推定値 $x_{II}$ と(15)式から、 $G_4, G_5, G_6$ を計算する。

6. もし、 $G_7 + G_4 + G_5 + G_6 = 0$ であれば、室内圧 $x_{II}$ およびそれ以後の計算は正しかったことになる。 $G_7 + G_4 + G_5 + G_6 > 0$ であれば、 $x_{II}$ の新たな推定値をより小さく設定して手順又以降をくり返す。 $G_7 + G_4 + G_5 + G_6 < 0$ であれば、 $x_{II}$ の新たな推定値をより大きく設定して手順又以降をくり返す。

$x_{II}$ の正しい推定値を見出すための反復回数を少なくするには、単棟温室の換気計算法で述べた方法を採用する。

なお、換気回数は、単位時間当り、温室容積当りの外気流入量で定義されるが、連棟温室の場合、温室容積として温室全体の容積を採るか、各棟の容積を採るか、また温室容積として各棟の容積を採った場合、外気流入量に隣接棟からの容気流入量を含めて考えるかどうかで、換気回数の計算法が異なってくる。たとえば、図16において、棟Iの換気回数 $C_1$  ( $h^{-1}$ )は、

$$C_1 = 3600 G_1 / (\gamma_0 \text{VOLM}_I) \quad (22)$$

で求められる。ここで、3600は秒を時間の単位に変換するための係数、 $\gamma_0$ は外気の比重量、 $\text{VOLM}_I$ は棟Iの容積である。他方、棟IIの換気回数 $C_{II}$ は、外気流入量としては棟Iからの空気流入量を含まないとすれば、(22)式と同様に、

$$C_{II} = 3600 G_4 / (\gamma_0 \cdot \text{VOLM}_{II}) \quad (23)$$

と定義される。他方、外気流入量に棟Iからの流入量を含むと考えると、そのときの換気回数 $E_{II}$ は、

$$E_{II} = 3600 (G_4 + G_7) / (\gamma_0 + \text{VOLM}_{II}) \quad (24)$$

となる。更に、棟IとIIの平均換気回数 $CHG$ は、

$$\begin{aligned} CHG &= 3600 (G_1 + G_4) / (\gamma_0 (\text{VOLM}_I + \text{VOLM}_{II})) \\ &= (C_I + C_{II}) / 2 \end{aligned} \quad (25)$$

で表わされる。

連棟温室においては、一般に、 $C_I$ 、 $C_{II}$ 、 $CHG$ 、 $E_{II}$ は、各々、異なった値を示す。連棟温室の換気回数を(22) - (25)式のいずれで表現するのが良いかは、目的によって異なる。本計算方式にもとづくフォートラン語プログラム例を付録Bに掲げる。

## 2. 4 換気率と室温の同時算定

今まで述べた換気計算法では、室温を既知のものとしてきた。しかし、実際には、室温は換気率の影響を受け、また、逆に換気率は室温の影響を受ける。

室温を既知のものとして、外界気象条件と温室構造などから、室温と換気量を同時に求めるには、前述の式に温室の熱収支を加えて、それらを同時に解かなければならない。温室の熱収支式にもとづいて、室温を一定に保つための必要換気回数を求める式としては、矢吹(1964)が与えた次式がある。<sup>6)</sup>

$$N_z = \frac{1}{C_p \gamma_0} \left\{ \frac{-Rn(1-a)}{t_i - t_o} - \beta k \right\} \frac{A_s}{V_g} \quad (26)$$

ここで、 $N$ は換気回数( $h^{-1}$ )、 $C_p$ は空気の比熱( $0.24 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )、 $\gamma_0$ は外気の比重量( $\text{kg m}^{-3}$ )、 $R_n$ は室内総放射量( $\text{kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )、 $Q$ は $R_n$ に対する蒸発散による潜熱伝達量の割合( $0.5 \sim 0.65$ )、 $\beta$ は放熱比(全壁面積/床面積)、 $i_w$ は壁面の熱貫流率( $\text{kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )、 $A_s$ は床面積( $\text{m}^2$ )、 $\nabla_g$ は温室容積( $\text{m}^3$ )、 $t_i, t_o$ は、各々、室温外気温である。(26)式を考慮した、室温と換気率の計算法の流れ図を図17に示す。同図中、換気回数 $N_1$ は次式で求める。

$$N_1 = 3600 |\sum G_{in}| / (\gamma_0 \cdot \text{Vol}) \quad (27)$$

ここで、 $\sum G_{in}$ は外気流入量の総計、すなわち、 $G_j < 0$ の絶対値の合計である。

## 2.5 強制換気

強制換気の場合の換気率を計算するには、使用換気扇前後の静圧差と風量の関係(静圧-風量曲線)と吸気口(または排気口)の流量係数を前もって知っておかねばならない。

静圧-風量曲線は、換気扇の形式毎に異なるから、使用換気扇についてのそれが必要である。吸気口の流量係数は、風雨除けのフードやシャッターの有無あるいは、それらの形状によって異なるので、特定吸気口についての流量係数が必要である。

静圧-風量曲線と流量係数が既知であるとする、強制換気の換気率の計算手順は以下ようになる。説明の便宜上、換気扇からは空気が排出され、その他の開口部(吸気口)からは空気が吸入されるとするが、逆の場合でも以下の計算法で正しい結果が得られる。

1. 室内未知静圧 $\alpha$ をゼロと仮定する。
2. 各開口部(換気扇も含めて)における風圧力 $P_w$ ( (4)式参照)、浮力 $P_b$ ( (6)式参照)を求める。
3. 各吸気口における静圧差 $\Delta P$ を求める( (9)式参照)。
4. 各吸気口における空気流量 $G_{in}$ を、(9)式から求める。
5. 換気扇前後の静圧差 $\Delta P$ と与えられた静圧-風量曲線から換気扇風量を求める。
6. 各吸気口における空気流量の総和 $\sum G_{in}$ と換気扇風量 $G_f$ を比較する。

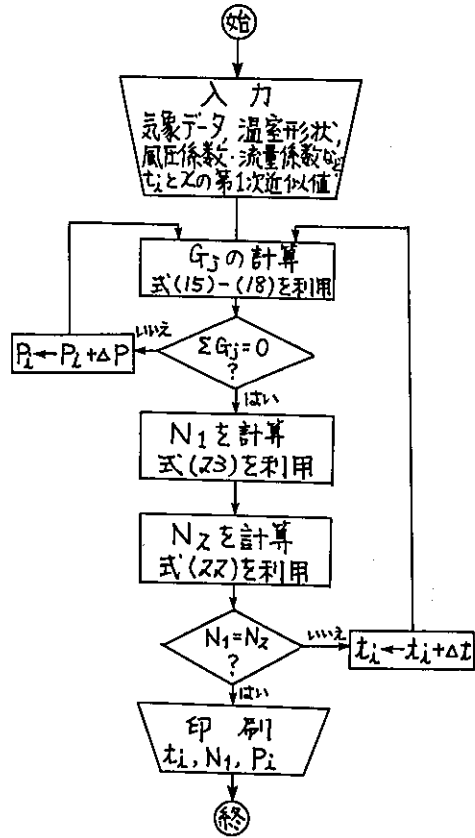


図17 換気回数と室温の同時算定のための手順  $t_i$  = 室温、 $\alpha$  = 室内静圧、 $G_j$  = 開口部流量、 $N_1, N_2$  = 換気回数

7. もし,  $\sum G_{in} = G_f$  ならば, 仮定した未知室内圧  $\alpha$  の値は正しく (連続の式を満足している), したがって, 各開口部流量の値も正しい。

8.  $\sum G_{in} > G_f$  であれば, 流入空気量が流出空気量より大であるので,  $\alpha$  の値をより大きく仮定して, 手順又以降をくり返す。

9.  $\sum G_{in} < G_f$  であれば,  $\alpha$  の値をより小さく仮定して, 手順又以降をくり返す。  
 $\alpha$  の正しい推定値をより少ない反復回数で得るには, 「ス.ス.b」で述べた方法を採用する。

上述の方法にもとづいた強制換気量計算のためのフォートランプログラム例と入出力例を付録Aとして掲げてある。

### 引用文献

- 1) 斉藤平蔵, 1974: 建築気候, 共立出版社, 287pp.
- 2) 佐瀬・古在・奈良・根岸, 1980: 温室の換気 I 風洞実験による単棟温室の風圧係数と流量係数の測定, 農業気象, 36(1), 3-12.
- 3) 中崎・玉井・桑原・原, 1973: 切妻型1棟建ハウス周囲の二次元風圧分布特性, 農土論集, 44, 49-56.
- 4) A. Wells and R.P. Hoxey, 1975: Full scale glasshouse wind load measurements, Acta Horticulture 46, 197-207.
- 5) 船田周ら, 1975: 応用施設 (生物の発育と環境調節) 519-542. 日本学術振興会
- 6) 天吹万寿, 1977: 温室制御の必要換気量, 施設園芸環境制御基準資料, 農業気象, 33(特別号), 45.

### 追記

本稿は, 筆者らが既に公表した下記論文等の内容を補足解説的にとりまとめたものである。本資料で述べた方法の具体的結果とその解釈などについては下記論文を合わせて参照願いたい。

- 1) T. Kozai and S. Sase, 1978: A Simulation of Natural Ventilation for a Multi-span Greenhouse Acta Horticulturae, (87) 39-49.
- 2) T. Kozai, S. Sase and M. Nara, 1980: A modeling Approach to Greenhouse Environmental Control by Ventilation, Acta Horticulturae, (106) 125-136.
- 3) 古在豊樹 1980: 換気 (温室設計の基礎と実際, 三原義秋編, 養賢堂), 145-159.
- 4) 佐瀬勲紀, 古在豊樹, 奈良誠, 根岸久雄, 1980: 温室の換気 (1) 風洞実験による単棟温室の風圧係数と流量係数の測定, 農業気象, 36(1) 3-12.
- 5) 古在豊樹 1981: 換気制御と機器装置 (施設園芸ハンドブック, 日本施設園芸協会), 223-241.



付録 A  
 単棟温室自然換気プログラム  
 (1) メインプログラム

```

    DIMENSION A(3,20),G(20),B(20),W(20),V(20)
  50 CALL HOUSE(A,N,VOLM,FLRA,HTE)
    IF(FLRA) 90,90,70
  70 READ(1,100) HR,TO,IVS,IVE,IVM,ITS,ITE,ITM
  100 FORMAT(2F5.0,6I5)
    DO 33 K=IVS,IVE,IVM
      VR=K-1
    DO 33 J=ITS,ITE,ITM
      TI=J
    WRITE(1,200) VR,HR,TI,TO
  200 FORMAT(///,3HVR=,F7.1,3X,3HHR=,F7.1,3X,3HTI=,F7.1,
    1,3X,3HTO=,F7.1/)
  C
  C      FLRA      FLOOR AREA              (M**2)
  C      VOLM     AIR VOLUME OF THE HOUSE  (M**3)
  C      VR       WIND VELOCITY AT REFERENCE HEIGHT (M/S)
  C      HR       REFERENCE HEIGHT          (M)
  C      TI       INSIDE TEMPERATURE        (DEG.)
  C      TO       OUTSIDE TEMPERATURE      (DEG.)
  C      GI       SPECIFIC WEIGHT OF INSIDE AIR (KG/M**3)
  C      GO       SPECIFIC WEIGHT OF OUTSIDE AIR (KG/M**3)
  C      VHTE     WIND VELOCITY AT THE EAVES HEIGHT (M/S)
  C      B(I)     BUOYANCY FORCE              (KG/M**2)
  C      W(I)     WIND FORCE                  (KG/M**2)
  C      S        WEIGHT OF AIR CHANGED     (KG/HR)
  C      CHG      NUMBER OF AIR CHANGE      (NUMBER/HR)
  C      VNT      VENTILATION RATE PER UNIT AREA (M**3/M**2/HR)
  C
    VHTE=VR*(HTE/HR)**0.25
    GO=1.293*273.2/(273.2+TO)
    GI=1.293*273.2/(273.2+TI)
    WRITE(1,400) GO,GI
  400 FORMAT(1H,3HGO=,F8.3,3X,3HGI=,F5.3)
    DO 10 I=1,N
      B(I)=GO*(TI-TO)/(273.2+TI)*A(2,I)
      W(I)=A(3,I)*GO*VHTE**2/(2.*9.8)
  10 CONTINUE
    CALL FLOW(A,N,B,G,W,GO,GI)
    S=0.
    DO 20 I=1,N
      IF(G(I)) 20,20,30
  30 S=S+G(I)
  20 WRITE(1,500) I,G(I),B(I),W(I),V(I)
  500 FORMAT(1H,2HI=,I3,3X,2HG=,F7.1,3X,2HE=,F7.3,3X,2HW=,F7.3,
    1,3X,2HV=,F5.1)
    CHG=S*3600./(GO*VOLM)
    VNT=S*3600./(GO*FLRA)
    WRITE(1,600) S,CHG,VNT
  600 FORMAT(1H,2HS=,F10.1,3X,4HCHG=,F10.1,3X,4HVNT=,F10.1)
  33 CONTINUE
  90 STOP
    END
  
```

(Z). サブプログラム 1

```
SUBROUTINE FLOW(A,N,B,G,W,GO,G1)
DIMENSION A(3,20),B(20),G(20),W(20)
K=1
X=0.
100 S=0.0
DO 10 I=1,N
P=X-W(I)+B(I)
IF(P) 1,2,2
1 G(I)=-A(1,I)*SQRT(2.*9.8*GO*-P)
GO TO 10
2 G(I)=A(1,I)*SQRT(2.*9.8*GI*P)
10 S=S+G(I)
IF(ABS(S)-0.2) 11,11,4
4 K=K+1
IF(K-2) 5,5,8
5 XOLD=X
SOLD=S
IF(S) 6,6,7
6 X=X+0.1
GO TO 100
7 X=X-0.1
GO TO 100
8 IF(K-32) 9,9,11
9 XN=XOLD-SOLD*(XOLD-X)/(SOLD-S)
SOLD=S
XOLD=X
X=XN
GO TO 100
11 WRITE(1,200) K,X,S
200 FORMAT(1H,2HX=,I4,3X,2HX=,F10.3,3X,2HS=,F10.2)
RETURN
END
```

### (3) サブプログラムズ

```

SUBROUTINE HOUSE(A,N,VOLM,FLRA,HTE)
DIMENSION A(3,20)
READ(1,100)N,W,FL,HTR,HTE
100  FORMAT(I5,4F10.0)
C      N      NUMBER OF WINDOWS
C      W      WIDTH OF HOUSE (M)
C      FL     LENGTH OF HOUSE (M)
C      HTR    RIDGE HEIGHT (M)
C      HTE    EAVES HEIGHT (M)
C      FLRA   FLOOR AREA (M**2)
C      VOLM   AIR VOLUME OF HOUSE (M**3)
      FLRA=W*FL
      VOLM=W*FL*(HTR+HTE)/2.0
      IF(N-20) 2,2,1
1      WRITE(1,200) N
200   FORMAT(10X,2HN=,I3)
2      DO 10 I=1,N
      READ(1,300) WW,FLW,AL,HLW,HUW,A(3,I)
300   FORMAT(6F10.0)
      A(1,I)=WW*FLW*AL
      A(2,I)=(HLW+HUW)/2.
C      A(1,I)  AREA OF WINDOW NO.I * COEFF.OF DISCHARGE
C      A(2,I)  AVERAGE HEIGHT OF THE WINDOW
C      A(3,I)  WIND PRESSURE COEFFICIENT
C      AL     COEFFICIENT OF DISCHARGE
C      HLW    HEIGHT OF LOWER END OF WINDOW
C      HUW    HEIGHT OF UPPER END OF WINDOW
C      WW     WIDTH OF WINDOW OR DOOR
C      FLW    LENGTH OF WINDOW OR DOOR
10    CONTINUE
      RETURN
      END

```

### (4) 入力データ例

4	9.0	24.0	4.25	2.0			
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.12		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	0.60		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	-0.60		
6.0	20.0	1	6	1	20	35	5

(5) 出力例の一部(続き)

VR= 2.0 HR= 6.0 TI= 20.0 TO= 20.0

GO= 1.205 GI= 1.205  
K= 5 X= -0.021 S= -0.04  
I= 1 G= 0.8 B= 0.000 W= -0.024 V= 1.8  
I= 2 G= 4.7 B= 0.000 W= -0.143 V= 1.6  
I= 3 G= -19.5 B= 0.000 W= 0.065 V= 1.3  
I= 4 G= 14.0 B= 0.000 W= -0.065 V= 1.3  
S= 19.5 CHG= 36.1 VNT= 269.1

VR= 2.0 HR= 6.0 TI= 25.0 TO= 20.0

GO= 1.205 GI= 1.185  
K= 5 X= -0.055 S= -0.09  
I= 1 G= 3.1 B= 0.083 W= -0.024 V= 1.8  
I= 2 G= 5.5 B= 0.083 W= -0.143 V= 1.8  
I= 3 G= -20.7 B= 0.023 W= 0.065 V= 1.3  
I= 4 G= 12.0 B= 0.023 W= -0.065 V= 1.3  
S= 20.6 CHG= 91.1 VNT= 254.8

VR= 2.0 HR= 6.0 TI= 30.0 TO= 20.0

GO= 1.205 GI= 1.165  
K= 4 X= -0.053 S= 0.12  
I= 1 G= 4.3 B= 0.164 W= -0.024 V= 1.8  
I= 2 G= 6.2 B= 0.164 W= -0.143 V= 1.8  
I= 3 G= -21.3 B= 0.046 W= 0.065 V= 1.3  
I= 4 G= 10.9 B= 0.046 W= -0.065 V= 1.3  
S= 21.4 CHG= 94.7 VNT= 295.9

VR= 2.0 HR= 6.0 TI= 35.0 TO= 20.0

GO= 1.205 GI= 1.146  
K= 4 X= -0.110 S= -0.02  
I= 1 G= 5.2 B= 0.242 W= -0.024 V= 1.8  
I= 2 G= 6.3 B= 0.242 W= -0.143 V= 1.6  
I= 3 G= -21.8 B= 0.067 W= 0.065 V= 1.3  
I= 4 G= 9.5 B= 0.067 W= -0.065 V= 1.3  
S= 21.6 CHG= 96.4 VNT= 301.1

付録 B

連棟温室自然換気計算プログラム

(1) メインプログラム

PTP:<KOZAI1/T

```

      DIMENSION A(3,20),G(20),B(20),W(20),GI(8),T(8)
      80 CALL HOUSE(A,N,M,HTE,VOLM,FLRA)
      IF(FLRA) 90,90,70
      70 READ(1,100) HR,TO,IVS,IVE,IVM,ITS,ITE,ITM,ITD
      100 FORMAT(2F5.0,7I5)
      WRITE(1,150) IVE,IVM,ITE,ITM,ITD
      150 FORMAT(1H ,4HIVE=,I4,3X,4HIVM=,I4,3X,4HITE=,I4,3X,
      1 4HITM=,I4,3X,4HITD=,I4)
      DO 33 KV=IVS,IVE,IVM
      VR=KV-1
      VHTE=VR*(HTE/HR)**0.25
      DO 33 J=ITS,ITE,ITM
      TI=J
      WRITE(1,200) VR,HR,VHTE,TI,TO
      200 FORMAT(///,3HVR=,F6.1,2X,3HHR=,F6.1,2X,5HVHTE=F6.1,
      1 2X,3HTI=F6.1,2X,3HTO=F6.1)

```

C			
C	FLRA	FLOOR AREA	(M**2)
C	VOLM	AIR VOLUME OF THE HOUSE	(M**3)
C	VR	WIND VELOCITY AT REFERENCE HEIGHT	(M/S)
C	HR	REFERENCE HEIGHT	(M)
C	TI	INSIDE TEMPERATURE OF THE WINDWARD	
C		SPAN	(DEG.)
C	TO	OUTSIDE TEMPERATURE	(DEG.)
C	GI	SPECIFIC WEIGHT OF INSIDE AIR	(KG/M**3)
C	GO	SPECIFIC WEIGHT OF OUTSIDE AIR	(KG/M**3)
C	VHTE	WIND VELOCITY AT EAVES HEIGHT	
C	B(I)	BUOYANCY FORCE	(KG/M**2)
C	W(I)	WIND FORCE	(KG/M**2)
C	S	WEIGHT OF AIR CHANGED	(KG/HR)
C	CHG	NUMBER OF AIR CHANGE	(NUMBER/HR)
C	VNT	VENTILATION RATE PER UNIT AREA	(M**3/M**2/HR)
C	ITD	TEMPERATURE INCREASE ACROSS SPANS (DEG.)	
C		THE CALCULATION IS DONE IN THE RANGES BETWEEN	
C		IVS AND IVE AT THE INTERVAL OF IVM (M/SEC)	
C		AND BETWEEN ITS AND ITE AT THE INTERVAL OF	
C		ITM (DEGREES).	
C			

```

      GO=1.293*273.2/(273.2+TO)
      DO 50 I=1,M
      T(I)=TI+FLOAT((I-1)*ITD)
      GI(I)=1.293*273.2/(273.2+T(I))
      50 WRITE(1,300) I,T(I),GI(I)
      300 FORMAT(1H ,2HI=,I4,3X,2HT=,F6.1,3X,3HGI=,F6.3)
      WRITE(1,400) GO
      400 FORMAT(1H ,3HGO=,F8.3)

```

(続き)

```
K=2*M+2
DO 10 I=1,K
L=I/2
IF(L) 1,1,2
1 L=1
GO TO 4
2 IF(M-L) 3,4,4
3 L=M
4 CONTINUE
B(I)=GO*(T(L)-TO)/(273.2+T(L))*A(2,I)
W(I)=A(3,I)*GO*VHTE**2/(2.*9.8)
10 CONTINUE
K1=K+1
DO 11 I=K1,N
L=I-K
11 B(I)=GI(L)*(T(L+1)-T(L))/(273.2+T(L+1))*A(2,I)
CALL FLOW(A,N,B,G,W,GO,GI)
S=0.
SN=0.
DO 20 I=1,K
IF(G(I)) 40,40,30
30 S=S+G(I)
GO TO 20
40 SN=SN-G(I)
20 WRITE(1,500) I,G(I),B(I),W(I)
500 FORMAT(3H I=I3,3X,2HG=F7.1,3X,2HB=F7.3,3X,2HW=F7.3)
DO 45 I=K1,N
45 WRITE(1,550) I,G(I),B(I)
550 FORMAT(3H I=I3,3X,2HG=F7.1,3X,2HB=F7.3)
CHG=S*3600./(GO*VOLM)
VNT=S*3600./(GO*FLRA)
WRITE(1,600) S,CHG,VNT
600 FORMAT(1H ,2HS=,F8.1,3X,4HCHG=,F8.1,3X,4HVNT=,F8.1)
IF(ABS(S-SN)-0.5) 53,53,41
41 WRITE(1,700) SN
700 FORMAT(1H ,3HSN=,F8.1)
53 CONTINUE
DO 95 I=1,N
IF(G(I)) 95,95,94
94 G(I)=0.
95 CONTINUE
DO 96 I=1,M
I2=2*I
I3=I2+1
SS=G(I2)+G(I3)
IF(I-1) 98,97,98
97 SS=SS+G(I)
98 IF(I-M) 93,99,93
99 SS=SS+G(K)
93 IF(M-1) 92,96,92
92 SSS=SS
IF(I-1) 81,82,81
81 KK=K+I-1
IF(I-M) 83,84,83
83 KKK=KK+1
SSS=SS+G(KK)+G(KKK)
GO TO 82
84 SSS=SS+G(KK)
82 CONTINUE
```

(続き)

```
CF=-3600.*FLOAT(M)/(G0*FLRA)
VF=-3600.*FLOAT(M)/(G0*VOL:1)
CSS=SS*CF
CSSS=SSS*CF
VSS=SS*VF
VSSS=SSS*VF
WRITE(1,800) 1,CSS,CSSS,VSS,VSSS
300 FORMAT(1H ,2HI=,12,2X,4HCSS=,F5.1,2X,5HCSSS=,
1 F6.1,2X,4HVSS=,F5.1,2X,5HVSSS=,F5.1)
96 CONTINUE
33 CONTINUE
90 STOP
END
```

## (2) サブルーチン 1

\*PTP:<KOZAI2/T

```

SUBROUTINE FLOW(A,N,B,G,W,GO,G1)
DIMENSION A(3,20),B(20),G(20),W(20),G1(8),X(8)
M=(N-1)/3
K=1
X(1)=0.
100 DO 20 L=1,M
  J=L-1
  II=2
  JJ=2*M+L+1
  IF(J) 1,1,2
  1 II=3
  GO TO 3
  2 IF(L-M) 3,10,10
  10 II=3
  3 S=0.
  DO 30 I=1,II
  KK=2*L+I-1
  IF(J) 4,4,5
  4 KK=KK-1
  GO TO 6
  5 X(L)=X(J)-B(JJ)-(G(JJ)/A(1,JJ))**2/(2.*9.8*G1(J))
  6 P=X(L)-W(KK)+B(KK)
  IF(P) 7,5,8
  7 G(KK)=-A(1,KK)*SQRT(2.*9.8*GO*-P)
  GO TO 30
  8 G(KK)=A(1,KK)*SQRT(2.*9.8*G1(L)*P)
  30 S=S+G(KK)
  IF(L-1) 12,12,11
  12 G(JJ+1)=S
  GO TO 20
  11 G(JJ+1)=S+G(JJ)
  20 CONTINUE
  JW=2*M
  GT=G(N)+G(JW)+G(JW+1)+G(JW+2)
  IF(ABS(GT)-0.1) 19,19,23
  23 K=K+1
  IF(K-2) 92,92,15
  92 XOLD=X(1)
  SOLD=GT
  IF(GT) 13,13,14
  13 X(1)=X(1)+0.1
  GO TO 100
  14 X(1)=X(1)-0.1
  GO TO 100
  15 IF(K-50) 16,16,15
  15 XN=XOLD-SOLD*(XOLD-X(1))/(SOLD-GT)
  SOLD=GT
  XOLD=X(1)
  X(1)=XN
  GO TO 100
  18 WRITE(1,200) K
  200 FORMAT(1H ,2HK=,I4)
  19 RETURN
  EJD
```



(3) サブルーチンズ

\*PTP:<KOZAI3/T

```

SUBROUTINE HOUSE(A,N,M,HTE,VOLM,FLRA)
DIMENSION A(3,20)
READ(1,100)N,W,FL,HTR,HTE
100  FORMAT(15,4F10.0)
M=(N-1)/3
C      N      NUMBER OF WINDOWS
C      M      NUMBER OF SPANS
C      W      WIDTH OF HOUSE (M)
C      FL     LENGTH OF HOUSE (M)
C      HTR    RIDGE HEIGHT (M)
C      HTE    EAVES HEIGHT (M)
C      FLRA   FLOOR AREA (M**2)
C      VOLM   AIR VOLUME OF HOUSE (M**3)
      FLRA=W*FL
      VOLM=FLRA*(HTR+HTE)/2.0
      IF(N-20) 2,2,1
1      WRITE(1,200) N
200  FORMAT(10X,2H=N,13)
2      DO 10 I=1,N
      READ(1,300) WW,FLW,AL,HLW,HUW,A(3,I)
300  FORMAT(6F10.0)
      A(1,I)=WW*FLW*AL
      A(2,I)=(HLW+HUW)/2.
C      A(1,I)   AREA OF WINDOW NO.1 * COEFF.OF DISCHARGE
C      A(2,I)   AVERAGE HEIGHT OF THE WINDOW
C      A(3,I)   WIND PRESSURE COEFFICIENT
C      AL       COEFFICIENT OF DISCHARGE
C      HLW     HEIGHT OF LOWER END OF WINDOW
C      HUW     HEIGHT OF UPPER END OF WINDOW
C      WW      WIDTH OF WINDOW OR DOOR
C      FLW     LENGTH OF WINDOW OR DOOR
C      WIND PRESSURE COEFFICIENTS ARE NOT GIVEN FOR THE
C      OPENINGS LOCATED BETWEEN SPANS
C      IF I=1, THE OPENING IS LOCATED ON THE WINDWARD
C      SIDEWALL.
C      IF I=2*M+2, THE OPENING IS LOCATED ON THE LEEWARD
C      SIDEWALL.
C      IF I=2 THROUGH (2*M+1), THE OPENING IS LOCATED ON
C      THE RIDGE.
C      IF I=(2*M+3) THROUGH N(=3*M+1), THE OPENING IS
C      LOCATED BETWEEN SPANS.
10   CONTINUE
      RETURN
      END
```

(4) 入力例とその出力例の一部 (3連棟温室)

R FORT  
 \*KOZAI1/L  
 \*KOZAI2,KOZAI3/G

10	27.0	24.0	4.25	2.0			
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	0.60		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.12		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30		
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.60		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	-0.60		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90			
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90			
6.0	20.0	1	6	1	20	35	5
1VE=	6	IV1=	1	ITE=	35	IT4=	5
						ITD=	1

VR= 0.0 HR= 6.0 VHTE= 0.0 TI= 20.0 TO= 20.0  
 I= 1 T= 20.0 GI= 1.205  
 I= 2 T= 21.0 GI= 1.201  
 I= 3 T= 22.0 GI= 1.197  
 GO= 1.205  
 I= 1 G= -2.9 B= 0.000 W= 0.000  
 I= 2 G= -0.6 B= 0.000 W= 0.000  
 I= 3 G= -0.6 B= 0.000 W= 0.000  
 I= 4 G= 1.3 B= 0.017 W= 0.000  
 I= 5 G= 1.3 B= 0.017 W= 0.000  
 I= 6 G= 2.0 B= 0.034 W= 0.000  
 I= 7 G= 2.0 B= 0.034 W= 0.000  
 I= 8 G= -2.6 B= 0.009 W= 0.000  
 I= 9 G= -4.1 B= 0.004  
 I= 10 G= -1.4 B= 0.004  
 S= 6.7 CHG= 9.9 VNT= 30.9  
 I= 1 CSS= 56.6 CSSS= 56.6 VSS= 18.1 VSSS= 18.1  
 I= 2 CSS= 0.0 CSSS= 76.0 VSS= 0.0 VSSS= 24.3  
 I= 3 CSS= 36.4 CSSS= 55.8 VSS= 11.7 VSSS= 17.9

(続き)

VR= 0.0 HR= 6.0 VHTE= 0.0 TI= 25.0 TO= 20.0  
I= 1 T= 25.0 GI= 1.185  
I= 2 T= 26.0 GI= 1.181  
I= 3 T= 27.0 GI= 1.177  
GO= 1.205  
I= 1 G= -9.2 B= 0.023 W= 0.000  
I= 2 G= 2.7 B= 0.083 W= 0.000  
I= 3 G= 2.7 B= 0.083 W= 0.000  
I= 4 G= 3.1 B= 0.100 W= 0.000  
I= 5 G= 3.1 B= 0.100 W= 0.000  
I= 6 G= 3.4 B= 0.116 W= 0.000  
I= 7 G= 3.4 B= 0.116 W= 0.000  
I= 8 G= -9.1 B= 0.032 W= 0.000  
I= 9 G= -3.8 B= 0.004  
I= 10 G= 2.3 B= 0.004  
S= 18.2 CHG= 26.9 VNT= 84.1  
I= 1 CSS=126.6 CSSS= 126.6 VSS= 40.5 VSSS= 40.5  
I= 2 CSS= 0.0 CSSS= 52.0 VSS= 0.0 VSSS= 16.6  
I= 3 CSS=125.7 CSSS= 125.7 VSS= 40.2 VSSS= 40.2

VR= 0.0 HR= 6.0 VHTE= 0.0 TI= 30.0 TO= 20.0  
I= 1 T= 30.0 GI= 1.165  
I= 2 T= 31.0 GI= 1.161  
I= 3 T= 32.0 GI= 1.157  
GO= 1.205  
I= 1 G= -12.2 B= 0.046 W= 0.000  
I= 2 G= 3.8 B= 0.164 W= 0.000  
I= 3 G= 3.8 B= 0.164 W= 0.000  
I= 4 G= 4.1 B= 0.180 W= 0.000  
I= 5 G= 4.1 B= 0.180 W= 0.000  
I= 6 G= 4.3 B= 0.195 W= 0.000  
I= 7 G= 4.3 B= 0.195 W= 0.000  
I= 8 G= -12.3 B= 0.054 W= 0.000  
I= 9 G= -4.5 B= 0.004  
I= 10 G= 3.6 B= 0.004  
S= 24.4 CHG= 36.0 VNT= 112.5  
I= 1 CSS=168.6 CSSS= 168.6 VSS= 54.0 VSSS= 54.0  
I= 2 CSS= 0.0 CSSS= 62.5 VSS= 0.0 VSSS= 20.0  
I= 3 CSS=169.8 CSSS= 169.8 VSS= 54.3 VSSS= 54.3

(続き)

VR= 0.0 HR= 6.0 VHTE= 0.0 TI= 35.0 TO= 20.0  
I= 1 T= 35.0 GI= 1.146  
I= 2 T= 36.0 GI= 1.142  
I= 3 T= 37.0 GI= 1.139  
GO= 1.205  
I= 1 G= -14.5 B= 0.067 W= 0.000  
I= 2 G= 4.7 B= 0.242 W= 0.000  
I= 3 G= 4.7 B= 0.242 W= 0.000  
I= 4 G= 4.8 B= 0.257 W= 0.000  
I= 5 G= 4.8 B= 0.257 W= 0.000  
I= 6 G= 5.0 B= 0.272 W= 0.000  
I= 7 G= 5.0 B= 0.272 W= 0.000  
I= 8 G= -14.6 B= 0.076 W= 0.000  
I= 9 G= -5.1 B= 0.004  
I= 10 G= 4.6 B= 0.004  
S= 29.0 CHG= 42.8 VNT= 133.9  
I= 1 CSS=199.9 CSSS= 199.9 VSS= 64.0 VSSS= 64.0  
I= 2 CSS= 0.0 CSSS= 70.9 VSS= 0.0 VSSS= 22.7  
I= 3 CSS=202.4 CSSS= 202.4 VSS= 64.8 VSSS= 64.8

VR= 1.0 HR= 6.0 VHTE= 0.8 TI= 20.0 TO= 20.0  
I= 1 T= 20.0 GI= 1.205  
I= 2 T= 21.0 GI= 1.201  
I= 3 T= 22.0 GI= 1.197  
GO= 1.205  
I= 1 G= -11.0 B= 0.000 W= 0.021  
I= 2 G= -0.6 B= 0.000 W= -0.004  
I= 3 G= 1.8 B= 0.000 W= -0.025  
I= 4 G= -1.2 B= 0.017 W= 0.011  
I= 5 G= 2.2 B= 0.017 W= -0.025  
I= 6 G= 0.3 B= 0.034 W= 0.011  
I= 7 G= 2.4 B= 0.034 W= -0.021  
I= 8 G= 6.1 B= 0.009 W= -0.021  
I= 9 G= -9.8 B= 0.004  
I= 10 G= -8.8 B= 0.004  
S= 12.9 CHG= 19.0 VNT= 59.3  
I= 1 CSS=160.8 CSSS= 160.8 VSS= 51.5 VSSS= 51.5  
I= 2 CSS= 17.0 CSSS= 274.5 VSS= 5.4 VSSS= 87.8  
I= 3 CSS= 0.0 CSSS= 122.0 VSS= 0.0 VSSS= 39.0

(5) 入力例1 (2連棟)

\*PTP:<KOZAI4/T

7	18.0	24.0	4.25	2.0		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	0.60	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.12	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.60	
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	-0.60	
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
6.0	20.0	1	6	1	20	35
					5	1

(6) 入力例2 (4連棟)

13	36.0	24.0	4.25	2.0		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	0.60	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.12	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.60	
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	-0.60	
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
6.0	20.0	1	6	1	20	35
					5	1

(7) 入力例3 (5連棟)

16	45.0	24.0	4.25	2.0		
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	0.60	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.12	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.70	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	0.30	
0.5	19.0	0.29	4.00	4.25	-0.60	
1.3	24.0	0.44	0.50	1.80	-0.60	
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
1.8	24.0	0.70	0.10	1.90		
6.0	20.0	1	6	1	20	35
					5	1

付録C  
 単棟温室強制換気計算プログラム  
 (1)メインプログラム

```

    DIMENSION FRP(20,2),WP(13),A(3,10),C(10)
    DIMENSION G(10),W(10),B(10)
  C THIS PROGRAM IS MADE TO CALCULATE THE VENTILATION
  C RATE OF A GREENHOUSE WITH AN ELECTRIC FAN FOR
  C VENTILATION, AS A FUNCTION OF WIND SPEED, WIND
  C DIRECTION, GREENHOUSE GEOMETRY ETC.
  C SYMBOL ***MEANING (UNIT)***
  C WO WIDTH OF HOUSE (M)
  C FL LENGTH OF HOUSE (M)
  C HTR RIDGE HEIGHT (M)
  C HTE EAVES HEIGHT (M)
  C GABL AREA OF GABLE END (M**2)
  C N NUMBER OF OPENINGS
  C WW WIDTH OF OPENING (M)
  C FLW LENGTH OF OPENING (M)
  C AL DISCHARGE COEFFICIENT
  C HLW HEIGHT OF LOWER END OF THE OPENING (M)
  C FLRA FLOOR AREA (M**2)
  C VOLM AIR VOLUME OF HOUSE (M**3)
  C A(1,1) AREA OF OPENING * DISCHARGE COEFFICIENT
  C A(2,1) AVERAGE HEIGHT OF THE OPENING (M)
  C A(3,1) ORIENTATION OF THE OPENING (DEG.)
  C HR REFERENCE HEIGHT OF WIND SPEED (M)
  C VE WIND SPEED AT REFERENCE HEIGHT (M/S)
  C TO OUTSIDE TEMPERATURE (DEG.)
  C TI INSIDE TEMPERATURE (DEG.)
  C GO SPECIFIC WEIGHT OF INSIDE AIR (KG/M**3)
  C GI SPECIFIC WEIGHT OF OUTSIDE AIR (KG/M**3)
  C WP WIND PRESSURE COEFFICIENT AS A FUNCTION
  C OF WIND DIRECTION
  C C(1) WIND PRESSURE COEFFICIENT OF THE OPENING NO.1
  C VHT E WIND SPEED AT EAVES HEIGHT
  C B(1) BOUYANCY (KG/M**2)
  C W(1) DYNAMIC PRESSURE (KG/M**2)
  C M NUMBER OF PAIRS OF DATA ON PRESSURE
  C DIFFERENCE-FLOW RATE RELATIONSHIP
  C FRP AIR FLOW RATE OF THE VENTILATION FAN
  C IVS,IVE AND IVI CALCULATION IS DONE IN THE RANGE
  C FROM (IVS-1) TO (IVE-1) AT IVI
  C INTERVALS
  C ITS,ITE AND ITI CALCULATION IS DONE IN THE RANGE
  C FROM ITS TO ITE AT ITI INTERVALS
  C
  READ(2,100) WO,FL,HTR,HTE,GABL
  READ(2,200) N
  100 FORMAT(5F7.0)
  200 FORMAT(15)
  FLPA=WO*FL
  IF(GABL) 10,10,20
  10 GABL=WO*(HTR+HTE)/2.0
  20 VOLM=FL*GABL
  WRITE(1,150) WO,FL,HTR,HTE,GABL,FLRA,VOLM,N
  150 FORMAT(4H WO=F6.2,2X,3HFL=F6.2,2X,4HHTR=F6.2,
  1 2X,4HHTE=F6.2/6H GABL=F7.1,2X,5HFLRA=F5.1,
  1 2X,5HVOLM=F5.1,2X,2HN=I3)

```

(続<)

(メインプログラム続き)

```
DO 30 I=1,N
  READ(2,100) WW,FLW,HLW,A(3,I),AL
  A(1,I)=WW*FLW*AL
  A(2,I)=HLW+WW/2.0
  WRITE(1,160) I, WW,FLW,HLW,A(3,I),AL,A(1,I),A(2,I)
160 FORMAT(3H I=I2,1X,4H WW=F6.2,2X,4HFLW=F6.2,2X,4HHLW=F6.2,
1 2X,3HA3=F6.1/4H AL=F6.2,2X,3HA1=F8.1,2X,3HA2=F7.2)
30 CONTINUE
  READ(2,200) M
  READ(2,300) ((FRP(I,J)),J=1,2),I=1,M)
  WRITE(1,170) ((FRP(I,J)),J=1,2),I=1,M)
170 FORMAT(5X,5H FRP /(3X,2F8.2))
300 FORMAT(2F7.0)
  READ(2,400) HR,TO,IVS,IVE,IVM,ITS,ITE,ITM
  READ(2,100) (WP(I),I=1,13)
  WRITE(1,190) (WP(I),I=1,13)
190 FORMAT(3X,2HWP/(5F7.2))
400 FORMAT(2F5.0,6I5)
  GO=1.293*273.2/(273.2+TO)
  WRITE(1,123) IVS,IVE,IVM,ITS,ITE,ITM
123 FORMAT(5H IVS=I3,2X,4HIVE=I3,2X,4HIVM=I2,
1 2X,4HITS=I2,2X,4HITE=I2,2X,4HITM=I2)
  DO 33 K=IVS,IVE,IVM
  VR=K-1
  VHTE=VR*(HTE/HR)**0.25
  WRITE(1,500) VR,HR,VHTE,TO,GO
  DO 33 J=ITS,ITE,ITM
  TI=J
  GI=1.293*273.2/(273.2+TI)
  WRITE(1,600) TI,GI
500 FORMAT(///,3HVR=,F5.1,2X,3HHR=,F5.1,2X,5HVHTE=F6.1,
1 2X,3HTO=F5.1,2X,3HGO=F6.3)
600 FORMAT(4H TI=,F6.1,3X,3HGI=,F7.3)
  DO 33 L=1,13
  DO 40 I=1,N
  FL=15.0*FLOAT(L-1)
  LL=A(3,I)/15.0+1.01
  LLL=IABS(L-LL)+1
  C(I)=WP(LLL)
  B(I)=GO*(TI-TO)/(273.2+TI)*A(2,I)
  W(I)=C(I)*GO*VHTE**2/(2.*9.5)
  40 WRITE(1,180) FL, L,LLL,I,C(I),B(I),W(I)
180 FORMAT(4H FL=F5.1,1X,3H L=I2,2X,4HLLL=I2,2X,2HI=I2,
1 2X,2HC=F6.2,2X,2HB=F7.3,2X,2HW=F7.3)
  CALL FLOW(A,N,M,B,W,GO,GI,FRP,G)
  S=0.0
  DO 50 I=2,N
  IF(G(I)) 60,60,50
  60 S=S-G(I)
  50 CONTINUE
  CHG=S*3600./(GO*VOL4)
  VNT=S*3600./(GO*FLRA)
  WRITE(1,800) S,CHG,VNT
800 FORMAT(3H S=,F9.2,3X,4HCHG=,F9.1,3X,4HVNT=,
1 F9.1/)
33 CONTINUE
  STOP
  END
```

(ス) サブプログラム

```
SUBROUTINE FLOW(A,N,M,B,W,G0,G1,R,G)
DIMENSION A(3,10),B(10),W(10),R(20,2),G(10)
K=1
X=-0.5
100 S=0.0
PF=X-W(1)+B(1)
DO 50 I=2,M
IF(R(I,1)-PF) 1,1,50
50 CONTINUE
1 J=I-1
C=(R(I,2)-R(J,2))/(R(I,1)-R(J,1))
Q=C*(PF-R(I,1))+R(I,2)
DO 10 I=2,N
P=X-W(I)+B(I)
IF(P) 3,93,93
3 G(I)=-A(1,I)*SQRT(-2.*9.8*G0*P)
10 S=S+G(I)
SQ=S+Q
IF(ABS(SQ)-0.1) 11,11,4
4 K=K+1
IF(K-2) 5,5,8
5 XOLD=X
SOLD=SQ
IF(S+Q) 6,6,7
6 X=X+0.2
GO TO 100
7 X=X-0.2
GO TO 100
8 IF(K-150) 9,9,11
9 XN=XOLD-SOLD*(XOLD-X)/(SOLD-SQ)
333 FORMAT(5F9.3)
SOLD=SQ
XOLD=X
X=XN
GO TO 100
93 X=X-0.1
GO TO 100
11 WRITE(1,200) K,X,Q,S
200 FORMAT(1H ,2HX=,I3,2X,2HX=,F9.2,2X,2HX0=,F9.1,
1 2X,2HS=,F9.1)
15 RETURN
END
```



(3) 入力例

5.6	29.7	2.92	1.40	13.4				
2								
0.35	0.55	1.10	160.0					
0.55	2.3	0.5	0.0	0.7				
3								
4.0	7.00							
0.0	5.75							
-4.0	3.92							
-6.0	2.92							
-8.0	1.67							
-10.0	0.58							
-12.0	0.08							
-14.0	0.00							
6.0	20.0	1	26	2	20	30	10	
0.60	0.60	0.60	0.35	0.05				
-0.15	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55				
-0.55	-0.55	-0.55						

(4) 出力例の一部

WO= 5.60 FL= 29.70 HTR= 2.92 HTE= 1.40  
 GABL= 13.4 FLRA= 166.3 VOLM= 398.0 N= 2  
 I= 1 WW= 0.85 FLW= 0.85 HLW= 1.10 A3= 180.0  
 AL= 0.00 A1= 0.0 A2= 1.52  
 I= 2 WW= 0.55 FLW= 2.30 HLW= 0.50 A3= 0.0  
 AL= 0.70 A1= 0.9 A2= 0.77

FRP  
 4.00 7.00  
 0.00 5.75  
 -4.00 3.92  
 -6.00 2.92  
 -8.00 1.67  
 -10.00 0.58  
 -12.00 0.08  
 -14.00 0.00

WP  
 0.60 0.60 0.60 0.35 0.05  
 -0.15 -0.55 -0.55 -0.55 -0.55  
 -0.55 -0.55 -0.55

IVS= 1 IVE= 26 IVM= 2 ITS=20 ITE=30 ITM=10

VR= 2.0 HR= 6.0 VHTE= 1.4 TO= 20.0 GO= 1.205  
 TI= 20.0 GI= 1.205  
 FL= 0.0 L= 1 LLL=13 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 0.0 L= 1 LLL= 1 I= 2 C= 0.60 B= 0.000 W= 0.071  
 K= 4 X= -1.35 Q= 5.2 S= -5.1  
 S= 5.13 CHG= 38.5 VNT= 92.2

FL= 15.0 L= 2 LLL=12 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 15.0 L= 2 LLL= 2 I= 2 C= 0.60 B= 0.000 W= 0.071  
 K= 4 X= -1.35 Q= 5.2 S= -5.1  
 S= 5.13 CHG= 38.5 VNT= 92.2

FL= 30.0 L= 3 LLL=11 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 30.0 L= 3 LLL= 3 I= 2 C= 0.60 B= 0.000 W= 0.071  
 K= 4 X= -1.37 Q= 5.2 S= -5.1  
 S= 5.13 CHG= 38.5 VNT= 92.2

FL= 45.0 L= 4 LLL=10 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 45.0 L= 4 LLL= 4 I= 2 C= 0.35 B= 0.000 W= 0.042  
 K= 4 X= -1.37 Q= 5.1 S= -5.1  
 S= 5.12 CHG= 38.4 VNT= 91.9

FL= 60.0 L= 5 LLL= 9 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 60.0 L= 5 LLL= 5 I= 2 C= 0.05 B= 0.000 W= 0.006  
 K= 4 X= -1.40 Q= 5.1 S= -5.1  
 S= 5.10 CHG= 38.3 VNT= 91.6

FL= 75.0 L= 6 LLL= 8 I= 1 C= -0.55 B= 0.000 W= -0.065  
 FL= 75.0 L= 6 LLL= 6 I= 2 C= -0.15 B= 0.000 W= -0.018  
 K= 4 X= -1.42 Q= 5.1 S= -5.1  
 S= 5.09 CHG= 38.2 VNT= 91.4