プラスチックハウスを通風管を使つて 温風暖房するときのハウス気温の解析*

北 村 一 男

(埼玉県園芸試験場)

The analysis of the temperature in the Plastic house, heated by the air from heating duct.

Kazuo KITAMURA

(Saitama-Ken Horticultural Experimental Station, Kuki, Saitama Prefec.)

1. はし が き

近年プラスチックハウスを温風暖房機で暖房することが急速に普及して来た。ことに、埼玉県に多い夏系キュウリの前進栽培(12月に播種、1月にハウスに定植)では、1月の厳寒期に高温($12^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$)を必要とする為に、暖房機は不可欠である。温風暖房が大部分であるが、暖房機からの距離が30米以上になると、ハウス内の温度分布がかなり不均一になる(殊に外気温が低い場合)ことが経験されている。そこで、なるべく均一なハウス内温度分布を得るための条件を知る為に、理論的解析と数値計算をした。

第1図 ハウスの平面図

2. 解 析

第1図のように暖房機と通風管が配置されているとする。北からの距離を x 米とする。その外第2図のように記号を設定する。

即ち、 $Z_1^{\circ}\text{C}$: ハウス外気温。 $Z_2^{\circ}\text{C}$: ハウスとカーテン間の気温。 $Z_3(x,t)^{\circ}\text{C}$: カーテン内 x 米の ところの t 時の気温。 $Z_4(x,t)^{\circ}\text{C}$: 通風管内 x 米の ところの t 時の気温。 $Z_5^{\circ}\text{C}$: カーテン内地表温度。 $h_1 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$: ハウス熱伝達率。 $h_2 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$: カーテン熱伝達率。 $h_3 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$: 通風管熱伝達率。 $h_4 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$: 地表熱伝達率。 S_a 平方米: ハウスとカーテン間の 断面 積。 S_b 平方米: カーテン内の断面 積。 l_1 米: 断面につ きハウスの外周の長さ。 l_2 米: 断面につ きカーテンの外 周の長さ。 l_3 米: 断面につ きカーテン内地表の長さ。 r 米: 通風管の半径。 v 米/h: 通風管内風速。 V_1 立方米: ハウスとカーテン間の体 積。 V_2 立方米: カーテン内体 積。 S_1 平方米: ハウスの表面 積。 S_2 平方米: カーテンの表面 積。 S_3 平方米: カーテン内地表面 積。 $w \text{ kg/m}^3$: 空気の比重。 $c_p \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C}$: 空気の比熱。 $H \text{ Kcal/h}$: 暖房機の発熱量。

第2図 ハウス横断面図

通風管の本数を2本とする。換気による熱の移動は熱伝達率に含ませた。ハウス体・作物体とハウス内空気の熱交換は簡単のため無視した。

* 昭和44年3月31日全国大会にて発表

方程式の説明

北から x 米のところでハウスの幅 Δx の薄い層における時刻 t から $t+\Delta t$ の間の熱収支を考察する。

まず $Z_3(x, t)$ を中心に解析する。

Δt 時間にカーテンから出てゆく熱量は h_2 の定義により

$$l_2 \Delta x (Z_3(x, t) - Z_2(x, t)) h_2 \Delta t \dots\dots\dots (1)$$

カーテン内南から北への空気の流動による Δt 時間の x から北への熱の流れは

$$2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_3(x, t)$$

Δt 時間の $x+\Delta x$ から北への熱の流れは

$$2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_3(x+\Delta x, t)$$

したがって、カーテン内の空気の流れによる Δx の幅への熱の流入は

$$2\pi r^2 v \Delta t w c_p (Z_3(x+\Delta x, t) - Z_3(x, t)) \dots\dots\dots (2)$$

地面から入つて来る熱量は h_4 の定義により

$$l_3 \Delta x (Z_5 - Z_3(x, t)) h_4 \Delta t \dots\dots\dots (3)$$

通風管から入つて来る熱量は h_3 の定義により (通風管は 2 本とする) 解析は通風管のある部分について行う。

$$4\pi r \Delta x (Z_4(x, t) - Z_3(x, t)) h_3 \Delta t \dots\dots\dots (4)$$

Δx の幅の層の内の空気中に含まれる熱量の Δt 時間における増圧加は

$$(Z_3(x, t+\Delta t) - Z_3(x, t)) S_b \Delta x w c_p \dots\dots\dots (5)$$

入つて来る熱量から出てゆく熱量を引いたものが増加する熱量だから

$$(5) = (2) + (3) + (4) - (1)$$

即ち、 $(Z_3(x, t+\Delta t) - Z_3(x, t)) S_b \Delta x w c_p$

$$= 2\pi r^2 v \Delta t w c_p (Z_3(x+\Delta x, t) - Z_3(x, t)) \\ + l_3 \Delta x (Z_5 - Z_3(x, t)) h_4 \Delta t + 4\pi r \Delta x (Z_4(x, t) \\ - Z_3(x, t)) h_3 \Delta t - l_2 \Delta x (Z_3(x, t) - Z_2(x, t)) h_2 \Delta t$$

両辺を $\Delta x \cdot \Delta t$ で割り $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$ とすると

$$S_b w c_p \frac{\partial Z_3}{\partial t} = 2\pi r^2 v w c_p \frac{\partial Z_3}{\partial x} + l_3 h_4 (Z_5 - Z_3) \\ + 4\pi r (Z_4 - Z_3) h_3 - l_2 (Z_3 - Z_2) h_2 \dots\dots\dots (6)$$

簡単にして

$$\frac{\partial Z_3}{\partial t} = a \frac{\partial Z_3}{\partial x} - a_3 Z_3 + a_2 Z_2 + a_4 Z_4 + a_5 Z_5 \dots\dots\dots (6)'$$

ただし

$$a = \frac{2\pi r^2 v}{S_b}, \quad a^3 = \frac{l_3 h_4 + 4\pi r h_3 + l_2 h_2}{S_b w c_p}, \quad a_2 = \frac{l_2 h_2}{S_b w c_p}$$

$$a_4 = \frac{4\pi r h_3}{S_b w c_p}, \quad a_5 = \frac{l_3 h_4}{S_b w c_p}, \quad a_3 = a_2 + a_4 + a_5$$

次に $Z_4(x, t)$ を中心として考える。

北の方から x 米の所で通風管を Δx の幅に横断してそこの熱収支について解析する。

Δt 時間に北の方から入つて来る熱量は (1 本の通風管について)

$$\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(x, t) \dots\dots\dots (7)$$

Δt 時間に南の方に出てゆく熱量は

$$\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(x+\Delta x, t) \dots\dots\dots (8)$$

Δt 時間に通風管から周囲の空気に出てゆく熱量は、 h_3 の定義から

$$2\pi r \Delta x (Z_4(x, t) - Z_3(x, t)) h_3 \Delta t \dots\dots\dots (9)$$

Δt 時間に Δx の幅の通風管内に増加する熱量は

$$\pi r^2 \Delta x w c_p (Z_4(x, t+\Delta t) - Z_4(x, t)) \dots\dots\dots (10)$$

通風管内に増加する熱量は入つて来る熱量から出てゆく熱量を減じたものに等しいから

$$(10) = (7) - (8) - (9)$$

即ち、 $\pi r^2 \Delta x w c_p (Z_4(x, t+\Delta t) - Z_4(x, t))$

$$= \pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(x, t) - \pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(x+\Delta x, t) \\ - 2\pi r \Delta x (Z_4(x, t) - Z_3(x, t)) h_3 \Delta t$$

両辺を $\Delta x \cdot \Delta t$ で割り、 $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$ とすると

$$\pi r^2 w c_p \frac{\partial Z_4}{\partial t} = -\pi r^2 v w c_p \frac{\partial Z_4}{\partial x} - 2\pi r h_3 (Z_4 - Z_3) \dots\dots\dots (11)$$

簡単にして、 $\frac{\partial Z_4}{\partial t} = -b \frac{\partial Z_4}{\partial x} - b_3 Z_4 + b_3 Z_3 \dots\dots\dots (11)'$

ここで $b = v, \quad b_4 = b_3 = \frac{2h_3}{v w c_p}$

最後に $Z_2(x, t)$ を中心として考える。

Δt 時間にカーテンから入つて来る熱量は (1) に等しい。

Δt 時間にハウスから出てゆく熱量は h_1 の定義により

$$l_1 \Delta x (Z_2(x, t) - Z_1(t)) h_1 \Delta t \dots\dots\dots (12)$$

Δt 時間にカーテンとハウスの間に増加する熱量は

$$S_a \Delta x w c_p (Z_2(x, t+\Delta t) - Z_2(x, t)) \dots\dots\dots (13)$$

増加する熱量は入つて来る熱量から出てゆく熱量を減じたものに等しいから $(13) = (1) - (12)$

即ち、 $S_a \Delta x w c_p (Z_2(x, t+\Delta t) - Z_2(x, t))$

$$= l_2 \Delta x (Z_3(x, t) - Z_2(x, t)) h_2 \Delta t - l_1 \Delta x (Z_2(x, t) \\ - Z_1(t)) h_1 \Delta t$$

両辺を $\Delta x \cdot \Delta t$ で割り、 $\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$ とすると

$$S_a w c_p \frac{\partial Z_2}{\partial t} = l_2 (Z_3 - Z_2) h_2 - l_1 (Z_2 - Z_1) h_1 \dots\dots\dots (14)$$

簡単にして $\frac{\partial Z_2}{\partial t} = -c_2 Z_2 + c_1 Z_1 + c_3 Z_3 \dots\dots\dots (14)'$

ここで、 $c_2 = \frac{l_1 h_1 + l_2 h_2}{S_a w c_p}, \quad c_1 = \frac{l_1 h_1}{S_a w c_p}, \quad c_3 = \frac{l_2 h_2}{S_a w c_p}$

式を纏めて書き直す

$$\begin{cases} \frac{\partial Z_3}{\partial t} = a \frac{\partial Z_3}{\partial x} - a_3 Z_3 + a_2 Z_2 + a_4 Z_4 + a_5 Z_5 \cdots (6)' \\ \frac{\partial Z_4}{\partial t} = -b \frac{\partial Z_4}{\partial x} - b_4 Z_4 + b_3 Z_3 \cdots (11)' \\ \frac{\partial Z_2}{\partial t} = -c_2 Z_2 + c_1 Z_1 + c_3 Z_3 \cdots (14)' \end{cases}$$

$Z_2(x, t)$, $Z_3(x, t)$, $Z_4(x, t)$ を (6)', (11)', (14)' から求める。

(14) で $l_2 h_2$ は $l_1 h_1$ に近く, $Z_3 - Z_2$ も $Z_2 - Z_1$ に近い。したがつて左辺は 0 と置いてもそう大きく違はない。そこでこれを無視することにした。そうすると (14)' は

$$0 = -c_2 Z_2 + c_1 Z_1 + c_3 Z_3 \cdots (14)''$$

$$\text{即ち, } Z_2 = \frac{c_1}{c_2} Z_1 + \frac{c_3}{c_2} Z_3 \cdots (14)'''$$

(6)', (11)', (14)'' を連立させて $Z_3(x, t)$ を求める。

(2) 方程式の解

逐次近似で $Z_3(x, t)$ の形を求める。

Z_1 , Z_5 は時間にだけに関係する既知関数とする。

まず $Z_3(x, t)$ の第 0 近似として常数を取り, (11)', (14)'' に入れて Z_4 , Z_2 の第 0 近似を求める。次に (6)' 式について $Z_3(x, t)$ の第 0 近似を $-a_3 Z_3$ に代入し, Z_4 , Z_2 の第 0 近似も代入して $Z_3(x, t)$ の第 1 近似を求める。(6)' 式は変数分離形になつて $Z_3(x, t)$ の第 1 近似は $f(x) + g(t)$ の形になる。……

$Z_3(x, t)$ の第 n 近似を (11)', (14)' に代入して $Z_4(x, t)$, $Z_2(x, t)$ の第 n 近似を求め, 次に (6)' について $Z_3(x, t)$, $Z_4(x, t)$, $Z_2(x, t)$ の第 n 近似を代入して $Z_3(x, t)$ の第 $(n+1)$ 近似を求める。そうして結局

$$Z_3(x, t) = Z_3^1(x) + Z_3^2(t) \cdots (15)$$

の形であることがわかる。

さて $Z_3(x, t)$ が (15) の形であるとして, ハウス内の気温の場所による温度差は時間に関係しないことになる。

(15) を連立微分方程式に代入し, $Z_3^1(x)$, $Z_3^2(t)$ それぞれに関する微分方程式に導き, それを解くことによつて

$$\begin{aligned} Z_3(x, t) = & A_3 e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)x} + A_4 e^{\left(\beta_1 - \frac{b_3}{b}\right)x} \\ & + A_5 e^{(\alpha_2 - b_4)t} + A_6 e^{(\beta_2 - b_4)t} \\ & + \frac{a_2 c_1 Z_1 + a_5 c_2 Z_5}{a_2 c_1 + a_5 c_2} \cdots (16) \end{aligned}$$

ただし A_3 , A_4 , A_5 , A_6 は初期・境界条件から定まる常数である。

又

$$\alpha_1 = \frac{2a_4 + \frac{a_2 c_1}{c_2} + a_5 + \sqrt{\left(2a_4 + \frac{a_2 c_1}{c_2} + a_5\right)^2 - 4a_4^2}}{2a}$$

$$\beta_1 = \frac{2a_4 + \frac{a_2 c_1}{c_2} + a_5 - \sqrt{\left(2a_4 + \frac{a_2 c_1}{c_2} + a_5\right)^2 - 4a_4^2}}{2a}$$

$$\alpha_2 = \frac{b_4 - a_3 + \frac{a_2 c_3}{c_2} + \sqrt{\left(b_4 - a_3 + \frac{a_2 c_3}{c_2}\right)^2 + 4a_4 c_3}}{2}$$

$$\beta_2 = \frac{b_4 - a_3 + \frac{a_2 c_3}{c_2} - \sqrt{\left(b_4 - a_3 + \frac{a_2 c_3}{c_2}\right)^2 + 4a_4 c_3}}{2}$$

である。

常数をきめる。

(16) の両辺の x に関する平均をとる。(ハウスの全長を L 米とする。)

$$\begin{aligned} \frac{1}{L} \int_0^L Z_3(x, t) dx = & \frac{A_3}{L\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)} \left(e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)L} - 1\right) \\ & + \frac{A_4}{L\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)} \left(e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)L} - 1\right) \\ & + A_5 e^{(\alpha_2 - b_4)t} + A_6 e^{(\beta_2 - b_4)t} \\ & + \frac{a_2 c_1 Z_1 + a_5 c_2 Z_5}{a_2 c_1 + a_5 c_2} \cdots (17) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{L} \int_0^L Z_3(x, t) dx = Z_3(t) \text{ として, } Z_3(t) \text{ を考察する。}$$

カーテン内空気の熱収支を見る。

Δt 時間にカーテン内に貯まる熱量は

$$(Z_3(t + \Delta t) - Z(t)) V_2 w c_p$$

Δt 時間に暖房機から入つて来る熱量は

$$H \Delta t$$

地表から入つて来る熱量は

$$(Z_5 - Z_3) S_3 h_4 \Delta t$$

カーテンから出てゆく熱量は

$$(Z_3 - Z_2) S_2 h_2 \Delta t$$

貯まる熱量は入つて来る熱量から出てゆく熱量を減じたものに等しいから

$$(Z_3(t + \Delta t) - Z(t)) V_2 w c_p = H \Delta t + (Z_5 - Z_3) S_3 h_4 \Delta t - (Z_3 - Z_2) S_2 h_2 \Delta t$$

両辺を Δt で割つて $\Delta t \rightarrow 0$ とすると

$$V_2 w c_p \frac{dZ_3}{dt} = H + (Z_5 - Z_3) S_3 h_4 - (Z_3 - Z_2) S_2 h_2$$

この式に (14)''' を代入して簡単にして

$$\frac{dZ_3}{dt} = -f_3 Z_3 + f_1 Z_1 + f_5 Z_5 + f \cdots (18)$$

ここで

$$f_3 = \frac{S_3 h_4 + S_2 h_2 \frac{c_1}{c_2}}{V_2 w c_p}, \quad f_1 = \frac{S_2 h_2 \frac{c_1}{c_2}}{V_2 w c_p}, \quad f_5 = \frac{S_3 h_4}{V_2 w c_p},$$

$$f = \frac{H}{V_2 w c_p}$$

Z_1, Z_5 を常数と考えると (18) から

$$Z_3(t) = \left(Z_3(0) - \frac{f_1 Z_1 + f_5 Z_5 + f}{f_3} \right) e^{-f_3 t} + \frac{f_1 Z_1 + f_5 Z_5 + f}{f_3} \dots\dots\dots (19)$$

(17) と (19) から

$$A_5 e^{(\alpha_2 - b_4)t} + A_6 e^{(\beta_2 - b_4)t} = \left(Z_3(0) - \frac{f_1 Z_1 + f_5 Z_5 + f}{f_3} \right) e^{-f_3 t} \dots\dots\dots (20)$$

次に A_3, A_4 を求める。

$f_3 > 0$ だから, $\lim_{t \rightarrow \infty} Z_3(x, t) = Z_3(x)$ とおくと, (16),

(20) から

$$Z_3(x) = A_3 e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)x} + A_4 e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)x} + \frac{a_2 c_1 Z_1 + a_5 c_2 Z_5}{a_2 c_1 + a_5 c_2} \dots\dots\dots (21)$$

$t \rightarrow \infty$ の状態では入る熱量と出る熱量が等しくなつて平衡している。即ち (6)', (11)', (14)' の左辺は 0 となる。

$$\begin{cases} a \frac{dZ_3}{dx} - a_3 Z_3 + a_2 Z_2 + a_4 Z_4 + a_5 Z_5 = 0 \dots\dots (6)'' \\ -b \frac{dZ_4}{dx} - b_4 Z_4 + b_3 Z_3 = 0 \dots\dots\dots (11)'' \\ -c_2 Z_2 + c_1 Z_1 + c_3 Z_3 = 0 \dots\dots\dots (14)'' \end{cases}$$

逆に (6)'', (11)'', (14)'' から $Z_3(x)$ を求めると (21) が得られる。

(21), (6)'', (14)'' から $Z_4(x)$ を求めると (ここで $Z_4(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} Z_4(x, t)$)

$$Z_4(x) = A_3 \frac{a \beta_1}{a_4} e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)x} + A_4 \frac{a \alpha_1}{a_4} e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)x} + \frac{a_2 c_1 Z_1 + a_5 c_2 Z_5}{a_2 c_1 + a_5 c_2} \dots\dots\dots (22)$$

$Z_3(0)$ と $Z_4(0)$ の関係を求める。

暖房機の発熱量が H Kcal/h で, $Z_3(0)^\circ\text{C}$ の空気を暖めて $Z_4(0)^\circ\text{C}$ にして暖房機から送り出す。暖房機を通過する空気の量は (通風管を 2 本として) 1 時間に $2\pi r^2 v$ である。したがつて

$$2\pi r^2 v w c_p Z_4(0) = 2\pi r^2 v w c_p Z_3(0) + H$$

この式に (21), (22) を代入して変形すると $\left(\frac{2\pi r^2 v w c_p}{a_4 H} \right)$

$$A_3 = \frac{H_0(a\alpha_1 - a_4 k_3) e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1} - K t(a\alpha_1 - a_4)}{(a\beta_1 - a_4)(a\alpha_1 - a_4 k_3) e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1} - (a\alpha_1 - a_4)(a\beta_1 - a_4 k_3) e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1}} \dots\dots\dots (26)$$

$$A_4 = \frac{K_0(a\beta_1 - a_4) - H_0(a\beta_1 - a_4 k_3) e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1}}{(a\beta_1 - a_4)(a\alpha_1 - a_4 k_3) e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1} - (a\alpha_1 - a_4)(a\beta_1 - a_4 k_3) e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1}} \dots\dots\dots (27)$$

$= H_0$ において)

$$A_3(a\beta_1 - a_4) + A_4(a\alpha_1 - a_4) = H_0 \dots\dots\dots (23)$$

ハウスの棟方向の長さを L_2 米 (x の最大値) とし, 通風管放出端までの x の値を L_1 米とする。 L_1 から L_2 迄の間は簡単の為に平均温度で考えてしまう。こうして $Z_3(L_1)$ と $Z_4(L_1)$ の関係を求める。

$L_1 \sim L_2$ のカーテン内空気の熱収支を考察する。

Δt 時間に要風管から入つて来る熱量は (通風管は 2 本とする)

$$2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(L_1)$$

Δt 時間に地面から入つて来る熱量は h_4 の定義により

$$l_3(L_2 - L_1)(Z_5 - Z_3(L_1)) \Delta t h_4$$

Δt 時間にカーテン内を暖房機の方に戻る熱量は

$$2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_3(L_1)$$

Δt 時間にカーテンを通過してカーテンを通過してカーテン内から出てゆく熱量は h_2 の定義により

$$(S_b + l_2(L_2 - L_1))(Z_3(L_1) - Z_2) \Delta t h_2$$

入つて来る熱量と出てゆく熱量が釣り合った状態であるので

$$\begin{aligned} 2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_4(L_1) + l_3(L_2 - L_1)(Z_5 - Z_3(L_1)) \Delta t h_4 \\ = 2\pi r^2 v \Delta t w c_p Z_3(L_1) \\ + (S_b + l_2(L_2 - L_1))(Z_3(L_1) - Z_2) \Delta t h_2 \end{aligned}$$

両辺を Δt で割つてから (14)''' を代入し式を簡単にすると

$$Z_4(L_1) = k_3 Z_3(L_1) - k \dots\dots\dots (24)$$

ここで

$$\begin{aligned} k_3 &= 1 + \frac{c_1 h_2 (S_b + l_2(L_2 - L_1)) + l_3(L_2 - L_1) h_4}{2\pi r^2 v w c_p} \\ k &= \frac{(S_b + l_2(L_2 - L_1)) \frac{c_1}{c_2} Z_1 h_2 + l_3(L_2 - L_1) Z_5 h_4}{2\pi r^2 v w c_p} \end{aligned}$$

(24) に (21), (22) を代入して

$$\left(\alpha_4(k_3 - 1) \frac{a_2 c_1 Z_1 + a_5 c_2 Z_5}{a_2 c_1 + a_5 c_2} - a_4 k = K_0 \right. \text{において})$$

$$\begin{aligned} A_3(a\beta_1 - a_4 k_3) e^{\left(\alpha_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1} \\ + A_4(a\alpha_1 - a_4 k_3) e^{\left(\beta_1 - \frac{b_4}{b}\right)L_1} = K_0 \dots\dots (25) \end{aligned}$$

(23), (25) から

3. 計 算 例

埼玉園試の面積 408 平方メートルのファイロンハウスについて計算した。 $Z_1=0^{\circ}\text{C}$, $Z_5=15^{\circ}\text{C}$ とする。又燃料消費量から推定して $h_1=20\text{Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$, $h_2=20\text{Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ (新被覆材をカーテンに使つて $h_2=3\text{Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ とした場合も), $h_3=20\text{Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$, $h_4=2\text{Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$, とした。ハウスについて 実測値は $S_a=10$ 平方メートル, $S_b=16$ 平方メートル, $l_1=13.6$ 米, $l_2=12.6$ 米, $l_3=9$ 米, $r=0.1$ 米, $v=4.8\times 10^4$ 米/h (手製のビト管で測定計算したもののであまり正確でない。 2.4×10^4 米/h の場合も計算した。) $V_1=378$ 立方メートル, $V_2=605$ 立方メートル, $S_1=566$ 平方メートル, $S_2=408$ 平方メートル, $S_3=340$ 平方メートル, $wc_p=0.3\text{Kcal/m}^3\text{C}$, $H=6\times 10^4\text{Kcal/h}$ ($3\times 10^4\text{Kcal/h}$ の場合も計算した。) 十分に時間が経過した後のハウス内気温の計算は第 1 表の如くである。

昭和 44 年 1 月 16 日 17 時 30 分におけるハウス中央通路上の暖房機作働時の気温測定値は第 3 図の如くである。第 3 図の上下の位置の気温の平均値と、第 1 表の値を北からの距離について修正した値を第 2 表に示す。 $v=4.8\times 10^4$ 米/h としたがこれは不正確であり、第 2 表を見ると v が 4.8×10^4 と 2.4×10^4 の中間であることが推定される。そこで、 v を 4.8×10^4 と 2.4×10^4 の間のある値と仮定して、そのときのハウス内気温を $v=4.8\times 10^4$ のときの気温と $v=2.4\times 10^4$ のときの気温から比例配分できめ、その値と第 3 図の平均気温との差の自乗の和が最小になるように v をきめると 3.5×10^4 米/h となり、そのときのハウス内気温の計算値は第 2 表に示す。計算値と実測値がかなり接近している。又ハウス内気温の計算値の分散が最小になるように v をきめると 3.9×10^4 米/h となり、そのときのハウス内気温の計算値も第 2 表にのせてある。

第 1 表 埼玉園試の面積 408 平方メートルのファイロンハウスについてのハウス内気温の計算値

ハウス内北からの距離	h_2 の性能 H v	20Kcal/m ² h [°] C	20	20	20	3
		3×10 ⁴ Kcal/h	6×10 ⁴	3×10 ⁴	6×10 ⁴	3×10 ⁴
		2.4×10 ⁴ m/h	2.4×10 ⁴	4.8×10 ⁴	4.8×10 ⁴	2.4×10 ⁴
0m		11.36°C	20.92	6.58	11.35	28.49
5		9.31	16.83	6.12	10.43	27.38
10		7.71	13.63	5.78	9.77	26.55
15		6.48	11.15	5.72	9.67	26.30
20		5.63	9.49	6.32	10.89	27.24
24.3		5.71	9.82	8.06	14.46	29.94

北	14.8°C	15.6	11.6	11.6	12.7	13.7	13.4	12.9	12.8	12.5	地上 1.5 米
	11.6	10.8	10.1	9.7	10.0	10.0	11.7	11.3	12.1	12.6	
北からの距離	5.4 米	10.8	16.2	21.5	24.3	27.0	29.7	32.4	35.1	37.8	地上 0.3 米

第 3 図 ハウス内中央通路上の暖房機作働時の気温測定値

上：地上 1.50 米，下：地上 0.3 米，外気温 0°C ，地表温 10°C (昭和 44 年 1 月 16 日 17 時 30 分観測)

第 2 表 ハウス内気温の実測値と計算値の比較

$h_2=20\text{Kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
 $H=6\times 10^4\text{Kcal/h}$

ハウス内北からの距離	実 測 値	計 算 値			
		$v=4.8\times 10^4$ 米/h	2.4×10^4	3.5×10^4	3.9×10^4
5.4 米	13.2°C	10.4	16.6	14.0	13.0
10.8	13.2	9.8	13.2	11.6	11.1
16.2	10.9	10.0	10.8	10.4	10.3
21.6	10.7	12.0	9.6	10.7	11.1
24.3	12.1	14.5	9.8	12.0	12.8

第1表を見てわかることは、 v が小さいと（送風機の風量が小さいと）ハウス内の温度差が大きくなる。風量の小さい場合は暖房機に近い方が高温であるが、風量が大いと通風管の放出端の方が高温になる。したがってその中間の風量のときハウス内の温度差が小さくなる。 h_2 が $3 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ の場合を見ると、 H が $3 \times 10^4 \text{ Kcal/h}$ と小さいのにかなり高温になる。しかも又 v が 2.4×10^4 米/h と小さいのにハウス内の温度差も小さい。 h_2 が小さい即ちカーテンの熱伝達率が小さいとこのように小さな暖房機でハウス内を一樣な高温にすることが出来る。

4. 摘 要

- (1) プラスチックハウスを、通風管を通る温風で暖房する場合のハウス内気温を時間・ハウス内の位置の関数として熱収支法で解板した。
- (2) 解析から、ハウス内気温の場所による温度差は時間の経過に影響を受けないことがわかる。
- (3) 埼玉園試のハウスについて理論式から計算した値と、実際に観測した値を比較した場合、両方の値はかな

り接近していた。

(4) 送風機の風量が小さいと暖房機に近い所が高温になり、逆に送風機の風量が大いと通風管の放出端の近くが高温になる。埼玉園試の面積 408 平方メートルのファイロンハウスでは風量が中間の場合にハウス内温度差が小さくなると計算された。風量が大い程ハウス内の温度差が小さくならなかつた。

(5) カーテンの熱伝達率が小さい場合について計算してみると、暖房機の発熱量・送風量が共に小さくとも、ハウス内気温は高温になりしかも温度差も小さくなつた。

参 考 文 献

- 1) 北村一男・石上 忠・植松盾次郎 (1969) : 通風管をプラスチックハウスの温風暖房に利用する場合の温度の解析 (園学雑 38(1) 68-73)
- 2) 岩波数学辞典 第2版 : 変数分離形 925
- 3) T. TAKARURA (1967) : Predicting Air Temperatures in the Glasshouse (1). J. Metero. Soc. Japan. 41, 40-52.

Summary

- (1) The temperature as the function of time and position in the plastic house heated by the air through the heating ducts, is analysed by the heat balance method.
- (2) It has been known by the analysis that the temperature difference as to position does not depend on time.
- (3) The temperatures observed in a plastic house of Saitama Horti. Exper. Sta. have been near those by the heat balance equationss
- (4) When the capacity of the heater is small, the temperature near the heater is high. On the contrary, when the capacity of the heater is large, the temperature near the exits of ducts is high.
- In this example, the scatter of temperatures in the house is made minimum for an intermediate capacity of the heater..
- (5) When the heat transmission coefficient of the curtain in the plastic house is small, the temperature in the house becomes high and uniform for a smaller capacity of the heater.