

地中熱交換ハウスの省エネルギー効果

小島孝之・徳永暢弘

(園芸工学研究室)

藤木徳実・松尾隆明

(農業機械学研究室)

吉岡邦夫

(九州電力農業電化試験場)

昭和62年9月30日 受理

Effects of Earth-Air Heat-Exchange System on Saving Energy for the Heating of Greenhouse

Takayuki KOJIMA, Nobuhiro TOKUNAGA

(Lab. of Horticultural Engineering)

Tokumi FUJIKI, Takaaki MATSUO

(Lab. of Agricultural Machinery)

Kunio YOSHIOKA

(Experimental Station of Agricultural

Electrification of Kyuushuu Denryoku)

Received September 30, 1987

Summary

A plastic greenhouse with earth-air heat exchange system was built the northern part of kyushu, Saga. The sun-shine time in winter is relatively short there.

In the house, tomato plants were cultivated. The house has 70 square meter floor and 157 square meter covered film. The ratio of the floor area to covered film was 0.45.

Hard plastic pipes which have 8.2 m length, 100 mm internal diameter and 3.6 mm thickness were laid under the ground inside of the house. Fourteen pipes were laid at the depth of 30 cm and fourteen pipes at the depth of 60 cm, at intervals of 30 cm. The surface area of those pipes which contact with soils and act as an earth-air heat exchange part is 72.1 square meter. The air temperatures, earth soil temperatures, solar radiation in the house, and weather were investigated during the operation of the earth-air heat exchange system.

The effect of the system on saving energy for heating of the greenhouse was indicated by a trial balance with the conventional full size plastic greenhouse.

The fuel consumption of a plastic house of 1000 square meter floor was computed on the basis of the weather condition in and outside of the greenhouse in the coldest 5 days. As to the effect of saving energy, for the heating of the greenhouse of 1000 square meter, 11 fuel oil drums were estimated to be saved a month.

緒 言

施設園芸における石油エネルギーの消費は先の第一次第二次の石油危機後も確実に増え続け、わが国のガラス室、ハウスの総面積をおよそ4万haのうち加温面積を40%の1.6万haとしても約144万klにもなると推定できる。従って、このための代替エネルギー開発^{4) 5) 6)}は石油需給の緩和から下火にはなったが、施設園芸安定化のためには重要な研究課題である。

先に報告した地熱交換ハウスの熱特性⁷⁾の中で、冬季に比較的晴天日の少ない佐賀平野においても、地中熱交換ハウスの有用性が園芸施設の省エネルギー化の観点から認められうることを示した。そこで、本報では、地中熱交換ハウスでトマトの実際栽培を試みながら、その保温効果などを調査したので報告する。

実験装置及び方法

実験に供したハウスの概要を Fig. 1 に示す。

このハウスは夏はミストファン気化冷却装置で冷房され、冬は地中熱交換方式により暖房される仕組みになっている。いわば、ミストファン及び地中熱交換両用型ハウスである。

夏場は、北側妻部より3.3mの位置に寒冷沙及びびしゅろを利用したスクリーン型エリミネータで仕切り、ミスト室とし、ここから気化冷却した外気を導入してハウス内を冷却するように、冬場は、このスクリーン部にはビニールフィルムを張り付け、通気を遮断、地下の熱交換パイプとハウス内（栽培室）を空気が循環するように設計し、地中熱交換ハウスとして利用できるようにした。栽培室の大きさは、間口5.6m、奥行き12.6m（栽培室長さは9.3m）、軒高2.1m、棟高3.1m、容積136m³である。従って、ハウス全体では、床面積70m²被覆表面積157m²であるか

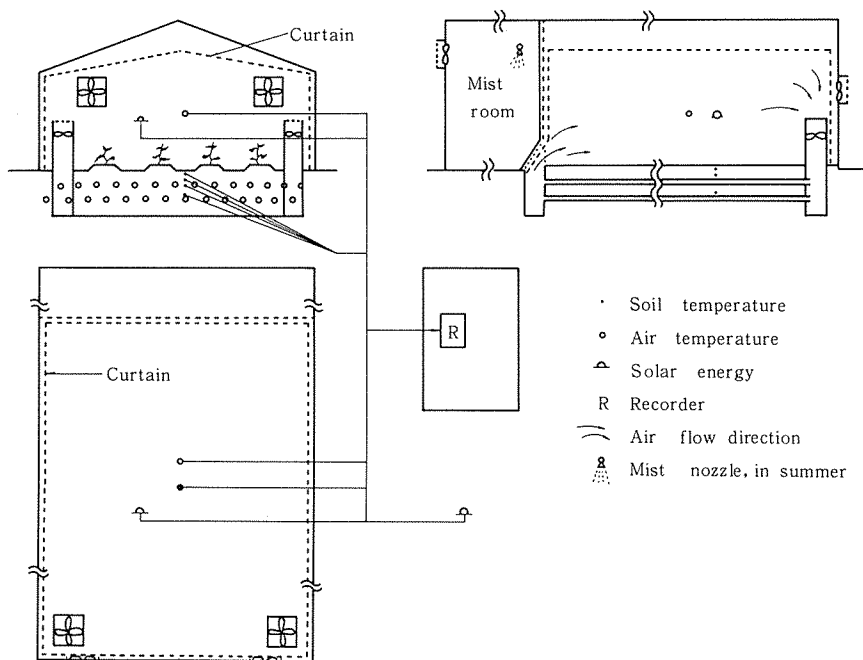


Fig. 1 Experimental plastic house with an earth-air heat exchange system.

ら、保温比は0.45と一般ハウスに比較してもかなり小さく保温性はよくないものである。

地中埋設パイプは、長さ8.2m、内径100mm、肉厚3.6mmの硬質塩化ビニールパイプである。これを上段（地下30cm）14本、下段（地下60cm）14本、千鳥状に埋設して、地中熱交換パイプ表面積を72.1m²とした。

測定項目は、ハウス内の気温、地温、日射量、及び外界の気温、日射量である。測定装置は、温度センサには白金線抵抗温度計（Pt 100Ω at 0°C）、日射センサにはEKO差温式エプリー型日射計とアナログ積算計（ICM-2102、石川産業）を用い、記録計には電子式自動平衡型10MV12打点（理化電機製）を用いた。

温度計及び日射計センサの配置は Fig. 1 の図中に示している。地温測定用のセンサはハウス内床面中央部、上段の地中熱交換パイプのパイプとパイプの間の、地表より5cm、15cm、35cm、及び45cmの深さに設定した。ハウス内の日射センサは、ハウス中央部の高さ1.2mの位置に設定した。

実験結果

1 日射透過率について

1980年11月1日から12月31日までの、屋外日射量と地中熱交換型プラスチックハウス（一層カーテン）内日射量を Fig. 2 に示した。屋外日射量及びハウス内日射量を折れ線グラフで示している。ここでの、ハウス内への日射透過率を11、12月2ヶ月間の平均として求めると50.2%であった。

同時期同地点でのガラス温室（一層カーテン）内の日射透過率は59.2%であった。建設後1年の波板プラスチックハウスであるが、ガラス温室に比較して9%も低い日射透過率を示した。

2 冬季のハウス内気温、地温及び外気温

11月1日から12月31日までの外気温、ハウス内気温、ハウス内地温（地表下45cm）の最高及び最低温度の変化を Fig. 3 に、天気概要を Tab. 1 に示す。

11月は、最低外気温が氷点下を記録した日は2日で、地中蓄熱開始（11月10日）直前直後を除けばハウス内最低気温もほぼ10°C前後に保たれている。

12月になると、一ヶ月間に15日も氷点下の最低外気温を記録したが、ハウス内の日最低温度はほぼ7°C以上に保たれた。但し、前日に雪が降った12月13、27、28、30、31日は僅か0.1ないし0.2度ではあるが7°Cを下回った。

曇雨天日には日中の集熱蓄熱が少ないので夜間における暖房熱量の不足が懸念されたが、このような日は放射冷却も小さく、夜気温の低下も小さいこと等があって、比較的安定したハウス夜温が維持できた。

3 ハウス内地温

11月及び12月におけるハウス内地温は、深さ45cmの位置の温度の最高最低値をとって、Fig. 3 に示したが、11月中ほぼ20°C以上を示している。12月になると外気温の低下とともに次第に地温も低下し、12月の末には10°Cを割る状態になった。地温の日変動はおよそ2度から1度であった。

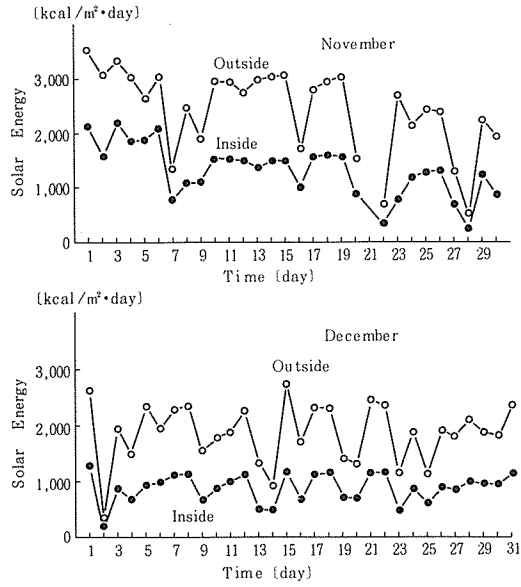


Fig. 2 Total solar radiation of the inside and the outside of the greenhouse in November and December, 1980

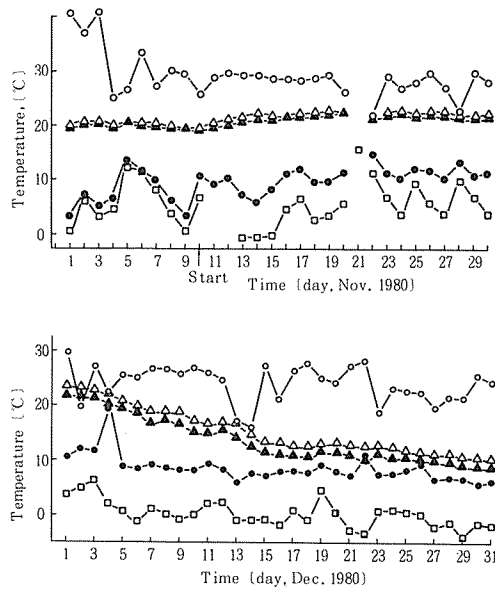


Fig. 3 Changes of the maximum and minimum temperatures of the greenhouse.

- Maximum inside temperature
- Minimum inside temperature
- △ Maximum soil temperature at the depth of 45 cm.
- ▲ Minimum soil temperature at the depth of 45 cm.
- Minimum outside temperature

Table 1 Weather conditions in November and December, 1980.

November			December		
D/H	6:00-18:00	18:00-6:00	D/H	6:00-18:00	18:00-6:00
1st	fine	fine sometimes cloudy	1st	clear	fine
2nd	cloudy then fine	fine	2nd	cloudy sometimes rain	fine then cloudy
3rd	clear	fine	3rd	cloudy sometimes fine temporary rain	cloudy sometimes rain
4th	fine	cloudy temporary rain	4th	cloudy temporary rain	cloudy
5	fine temporary rain	fine sometimes cloudy	5	cloudy then fine	clear
6	clear	clear then cloudy	6	fine	fine
7	cloudy sometimes fine	clear	7	fine	fine
8	fine sometimes cloudy	clear	8	fine	fine then cloudy
9	fine then cloudy	cloudy	9	rain then cloudy	fine
10	fine	clear	10	cloudy sometimes fine	cloudy temporary rain
11	clear	clear	11	cloudy sometimes rain then fine	fine then sometimes rain
12	fine then cloudy	cloudy temporary rain	12	cloudy then fine	rain then snow
13	cloudy then clear	fine	13	cloudy sometimes snow	cloudy sometimes snow and rain
14	fine	clear	14	rain	cloudy, rain, fine
15	clear	fine then cloudy	15	fine	fine then cloudy
16	cloudy sometimes fine	cloudy then fine	16	cloudy	fine then cloudy
17	fine	clear	17	cloudy then fine	fine
18	clear	fine	18	fine	cloudy temporary rain
19	fine	clear	19	fine then cloudy	cloudy
20	fine then cloudy	cloudy then rain	20	cloudy then fine	cloudy then fine
21	heavy rain	cloudy	21	fine	clear
22	cloudy sometimes rain	cloudy then fine	22	fine	cloudy then rain
23	fine	clear	23	cloudy sometimes rain	sleet (rain and snow mixed)
24	fine then cloudy	cloudy sometimes fine temporary rain	24	fine sometimes rain	rain then cloudy
25	fine temporary rain	fine	25	cloudy temporary rain	cloudy temporary rain
26	fine	fine	26	rain then snow	cloudy temporary rain
27	cloudy	rain	27	snow	cloudy sometime snow
28	rain then cloudy	cloudy then fine	28	snow	snow
30	cloudy then fine	fine	29	snow	cloudy temporary rain
			30	cloudy	fine
			31	fine	clear

4 ハウス内温度環境と日射量の関係

ハウス内温度環境、特に気温と蓄熱層の地温が天候にどのように左右されているかをみるために天候別にハウス内温度環境を図示した (Fig. 4A~4F)。

Fig. 4-A の11月15日と16日では、日中の最高外気温は16日が高いにもかかわらず、ハウス内最高気温は15日のほうが高い。これは日射量の差によるものと考えられる。地温も日射量の多い15日 ($3,030\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{day}$) において、深さ 5 cm では 9 時の 19.8°C から 18 時の 23.1°C 、深さ 45 cm では 9 時の 21.2°C から 18 時の 22.1°C まで、それぞれ 3.3° 及び 0.9° 上昇しているが、日射量より少ない16日 ($1,700\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{day}$) では、深さ 5 cm で 20.2°C (9時) から 22.5°C (18時)、45cm で 21.9°C (6時) から 22.3°C (18時) と、それぞれ 2.3° 及び 0.4° の上昇で、日射量による蓄熱量に差が表れている。

Fig. 4-B は更に、日射量の少なかった11月20日 ($1,500\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{day}$) と11月21日 ($350\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{day}$)

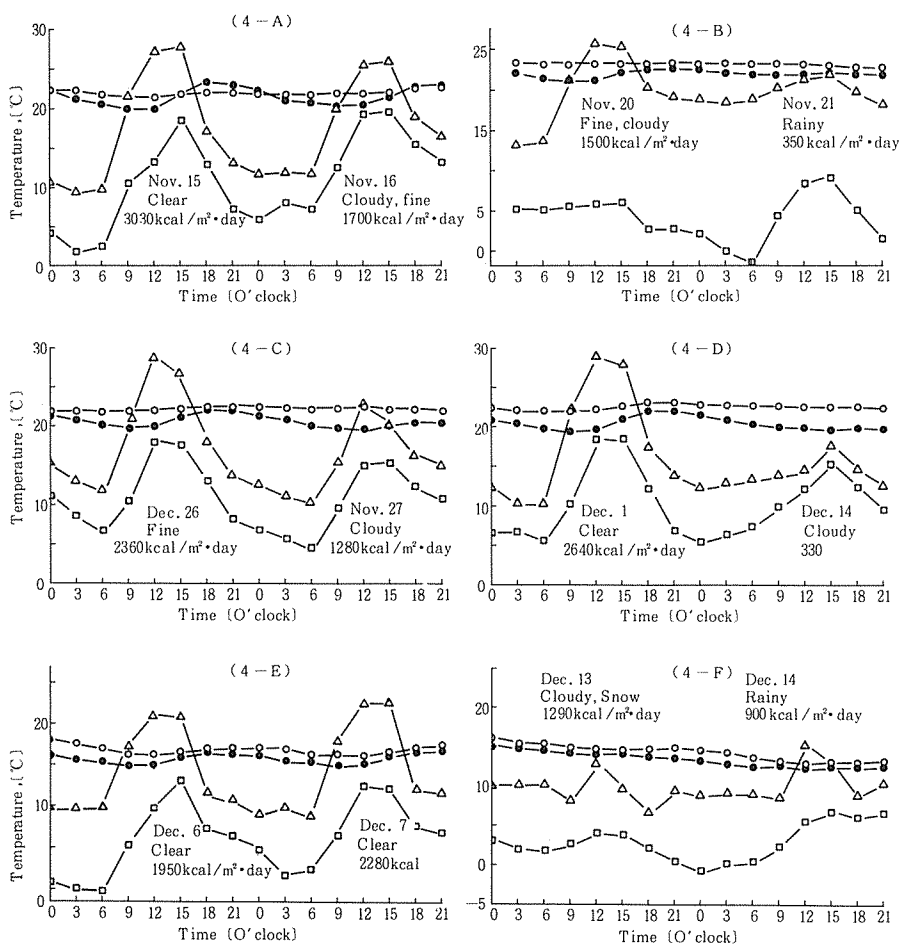


Fig. 4 Diurnal changes of the temperatures in the greenhouse with an earth-air heat exchange system.

- △ Inside air temperature.
- Outside air temperature.
- Soil temperature at the depth of 5 cm.
- Soil temperature at the depth of 45 cm.

m²·day) の場合を示す。20日の外気温は変動が小さく日中でも殆ど上昇していないが、ハウス内気温の上昇はみられる。これが日射の影響であることは明かである。しかし、地温の上昇は殆どみられず僅かに深さ5cmの点において9時の20.9°Cから18時の22.5°Cと1.6度の上昇が見られるだけである。逆に、翌日の21日は外気温変動が比較的大きいが、日射量が小さいためハウス内の気温の上昇も小さく、地温においてはほとんど変化していなかった。Fig. 4—Cは昼夜とも1日中晴れの11月26日(日射量2,360kcal/m²·day)及び昼は曇り夜は雨であった翌27日(日射量1,280kcal/m²·day)の場合である。最高温度をみると、外気温においてはそれぞれ18.2°C及び15.7°Cで、その差は僅か2.5°であるが、ハウス内ではそれぞれ28.5°C及び22.4°Cと6.1°の差となり、日射量の影響がハウス内で増幅されていることが分かる。地温をみると、26日は深さ5cmの地温が9時の20°Cから18時の22.2°Cまで2.2°上昇している。また、深さ45cmの地温は6時の21.8°Cから18時の22.5°Cまで0.7°の上昇がみられる。これに対し、27日における深さ5cmの地温は昼過ぎまで低下し続け、午後において0.9°の上昇がみられるものの、深さ45cmの地温においては下がり続け、この程度の日射量では蓄熱されていないことが分かった。Fig. 4—Dは12月1日及び2日のハウス内気温、地温及び外気温の変化であるが、1日が快晴で次の2日が曇り時々雨の天気である。外気及びハウス内の最高温度は天気に応じた動きを敏感に増幅して示している。最低温度は1日に朝6時において外気温が5.4°Cとなり、ハウス内気温が10.1°Cを示した。2日は朝0時頃外気温が5.1°Cとなり、ハウス内気温が12.0°Cを示した。外気温は2日の午前0時において1日の最低値より低い温度であるにもかかわらずハウス内は前日の最低値よりも高くなり前日の蓄熱効果が表れている。地温の変化をみても明らかで、1日は蓄熱の為に若干の地温上昇が見られるが、2日は漸次低下の傾向にある。Fig. 4—Eは2日間晴天が続く、外気温が氷点下となった場合であるが、ハウス内気温はほぼ10°Cを維持している。地温も6日は深さ5cmの地温が15.7°C(9時)から17.1°C(18時)まで1.4°上昇し、深さ45cmの地温も17°C(12時)から17.6°C(18時)で0.6°度上昇している。7日の場合も同様に地中蓄熱が十分に行われたことが観察された。一方、Fig. 4—Fは両日とも天気が悪く、日中の最高外気温も13日で3.7°C(12時)、14日で6.2°C(15時)迄しか上昇していない場合である。この場合のハウス内の最高気温もそれぞれ13°C(12時)及び15°C(12時)までしか上昇していない。地温の方は13日の午前0時から15日の午前0時まで、深さ5cmで3.3°、45cmで3.5°も低下した。この場合でも、ハウス

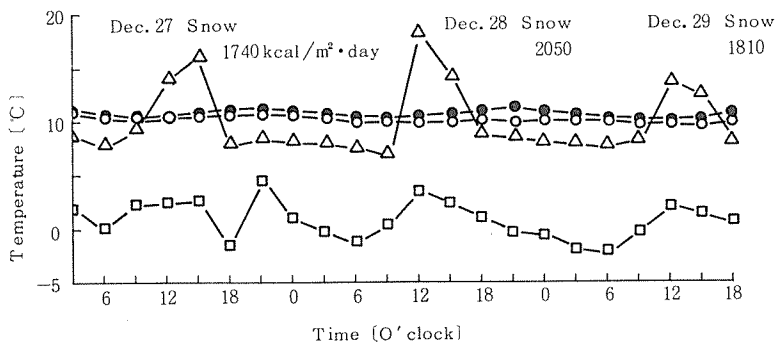


Fig. 5 Diurnal changes of the temperatures in the plastic greenhouse with an earth-air heat exchange system in case of three days snow.

- △ Inside air temperature.
- Outside air temperature.
- Soil temperature at the depth of 5 cm.
- Soil temperature at the depth of 45 cm.

内気温は9°Cを維持し、地中熱交換によるハウス保温熱量が効果的であったことが分かる。

Fig. 5は3日間雪が降り続いた場合で、外気温の変動も小さく、昼間の最高外気温も5°C以下であった。しかし、ハウス内の気温は夜間においても7~8°Cに保持されており地中熱交換による暖房の効果がみられる。昼間は雪が降っていたにもかかわらず比較的日射量が高く、ハウス内気温も13~18°Cを示した。地温の変化は深さ5cmで昼間若干の上昇が見られるが、深さ45cmの地温は昼間のハウス内気温が設定温度の25°Cまで上昇しなかったために、地中熱交換システムが作動せず蓄熱は行われなかった。そのため、深さ45cmの地温の上昇はほとんど見られなかった。

考 察

1 外気温とハウス内気温

11月及び12月における日最低外気温とその時のハウス内気温の関係について Fig. 6 に示した。Fig. 6-Bは最低外気温時におけるハウス内気温 (T_i) が正の相関の一次式

$$T_i = 0.47T_o + 7.86 \quad (1)$$

($r = 0.67$)

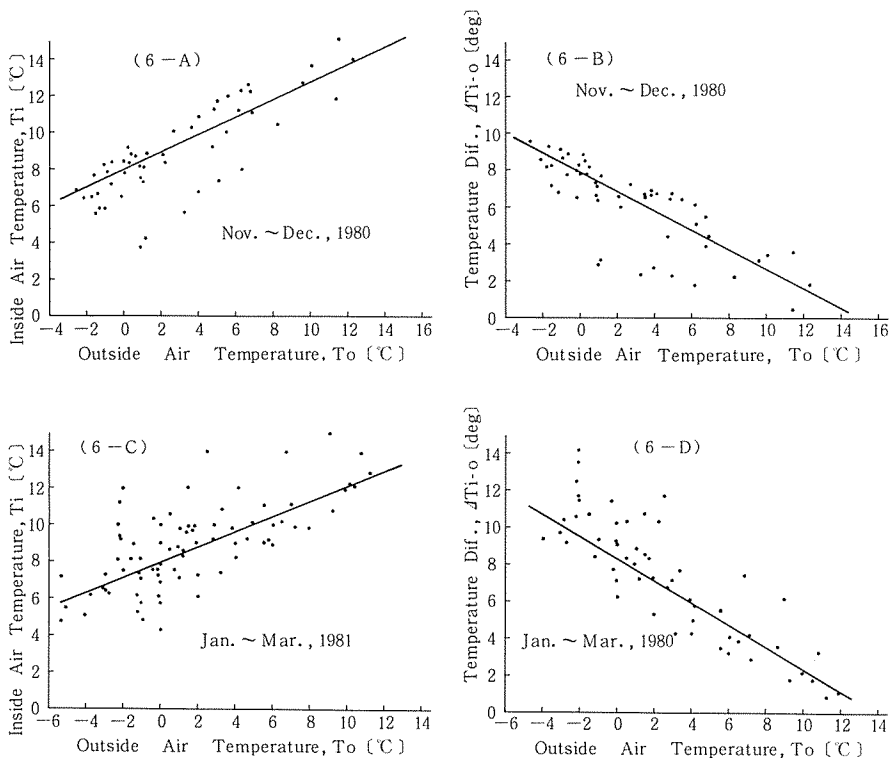


Fig. 6 Relationship between the inside air temperature of the greenhouse and the outside air temperature (6-A and 6-C), and relationship between the difference of inside and outside air temperature of the greenhouse and the outside air temperature (6-B and 6-D).

で表され、外気温 (T_o) が低下するに従いハウス内気温も低下している。Fig. 6-B は外気温に対するハウス内外気温差 (ΔT_{i-o}) を示したものであるが、外気温が低下するに従い外気温とハウス内気温の差が拡大していることが分かる。即ち、

$$\Delta T_{i-o} = -0.52T_o + 7.86 \quad (2)$$

$$(r = -0.70)$$

の関係が得られた。

同様に1月から3月の外気温とハウス内気温についてそれらの関係を図示したものが Fig. 6-C 及び Fig. 6-D である。1月～3月における最低外気温とハウス内最低気温との関係式は次のように表された。

$$T_i = 0.41T_o + 8.10 \quad (3)$$

$$(r = 0.69)$$

また、外気温の最低時における外気温とハウス内外気温の温度差との関係は、

$$\Delta T_{i-o} = -0.59T_o + 8.10 \quad (4)$$

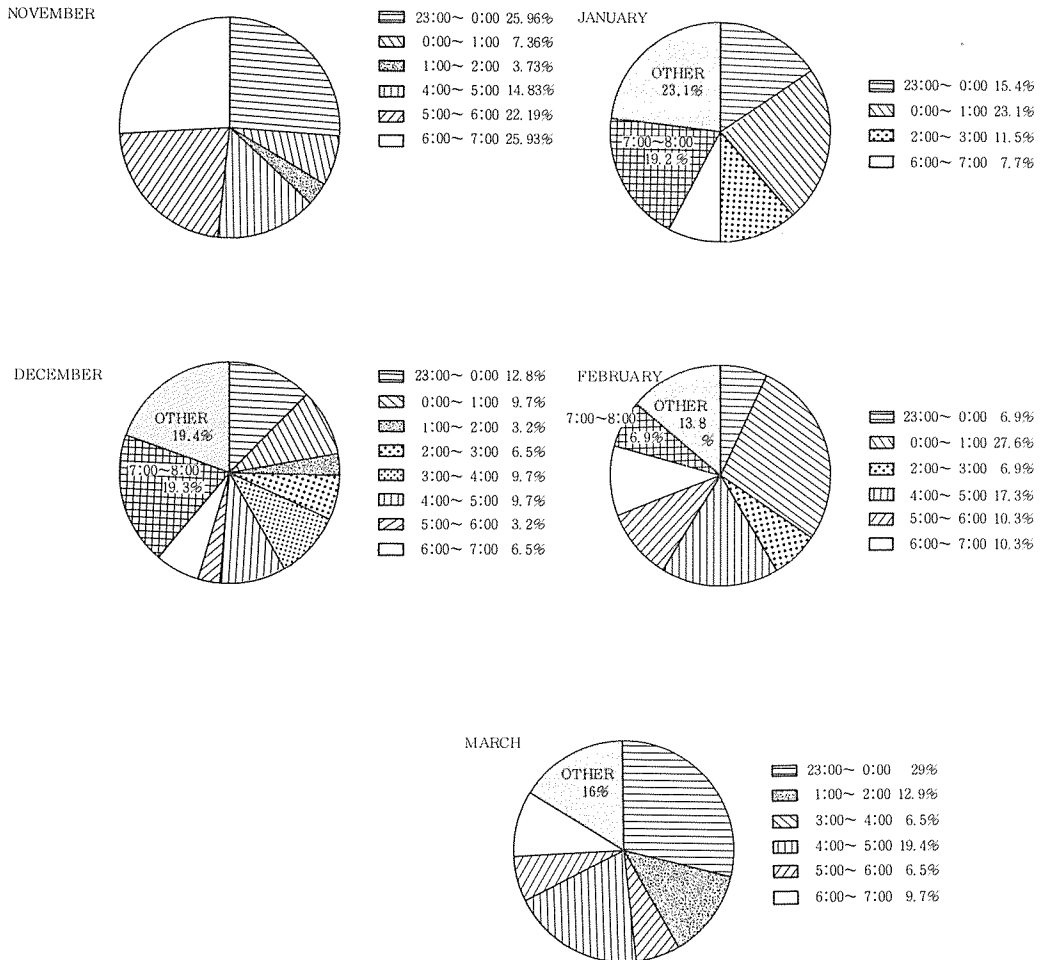


Fig. 7 Hourly incidence of the minimum air temperature of the outside of greenhouse.

$$(r = -0.82)$$

の様に表された。

ここで、外気温が日最低を示した時刻をまとめてみた。その結果を Fig. 7 に示した。これによると、外気温が最低値を示す時刻は11月では23時から24時の間と6時から7時の間が約26%で最も多く、ついで5時から6時の間が22%、4時から5時の間が14%、午前0時から1時の間が7%であった。12月では、7時から8時の間が約19%で最も頻度が多く、ついで23時から24時が13%となり、あと午前0時から1時、3時から4時、4時から5時が10%であった。1月では0時から1時に最低気温を記録する率が約23%と最も高く、次いで7時から8時が19%、2時から3時が12%であった。

2月では0時から1時の間で最低気温の発現率が最も高く約28%、次いで4時から5時の17%、5時から6時及び6時から7時がそれぞれ10%であった。

3月になると、23時から0時の間に29%の発現率を示し、次いで4時から5時の約19%、1時から2時の13%であった。

総轄的にみると、日最低外気温が0°C以下を示した回数は11月では3回、12月では15回、1月では16回、2月では23回、そして3月では3回であった。11月から2月中旬頃までは外気温は下がり続けそれ以降は寒気が緩み始め、気温の上昇が明確であった。さらに、日最低気温の発現は真夜中の23時から2時までの間の深夜帯と5時から8時までの間の朝方で比較してみると11月では深夜帯が約37%、朝方が48%であった。12月では、深夜帯が約26%、朝方が29%となり比較的均等な発現率を示して夜間どの時間帯に於いても日最低気温を記録する率が分散していることを示した。1月では深夜帯において約39%、朝方において27%、2月では深夜帯において約39%、朝方において28%であった。3月になると、深夜帯に約42%の発現率があり、朝方には16%と極端に朝方の発現率が小さくなった。

2 省エネルギー効果

本実験における地中熱交換ハウスの場合、外気温が氷点下となったときでもハウス内気温を6~7°C以上に保つことができた。そこで、最も冷え込みの酷しかった12月27日~31日の5日間においてこのハウスを7°Cに保つには温風暖房ではどれだけの石油を必要とするか試算した。

2.1 暖房デグリアワー^{1) 2) 3)}

暖房期間中における内外気温差を積算したものであるが、日中も暖房が行われる場合には日照の有無が暖房時間を左右する。そこで、三原²⁾は屋外の気温と日照条件を考慮して、暖房デグリアワーの計算式としている。即ち、設計ハウス内気温 T_i が昼夜一定であると仮定して、 T_i が屋外の日最高気温の月平均値 T_h より

高いか低いかによって2つの式に分け、

$T_i \geq T_h$ のとき

$$DH = 24(T_i - T_m) - S(T_i - (T_h + T_m)/2) \quad (5)$$

$T_i \leq T_h$ のとき

$$DH = 24(T_h - T_m) \left((T_i - TL) / (T_h - TL) \right)^2 - (S/2) \left((T_i - T_m)^2 / (T_h - T_m) \right) \quad (6)$$

T_m : 屋外の月平均気温

T_h : 屋外の日最高気温の月

Table 2 Meteorological data in Saga.

	Month	Dec.	Jan.	Feb.	Mar
T_m	°C	7.1	4.8	5.8	9.1
T_h	°C	12.0	9.5	10.7	14.6
TL	°C	2.8	0.8	1.5	4.3
S	hr	4.3	4.2	5.0	5.9

T_m : mean air temperature of a month

T_h : mean day maximum temperature of a month

TL : mean day minimum temperature of a month

S : mean day sunshine time of a month

平均値

TL：屋外の日最低気温の月平均値

S：1日の日照時間の月平均値 (hr/day)

で与えている。

(5)及び(6)式により、ある月の平均日における暖房デグリアワーが求められるので、その月の日数を掛ければ月間デグリアワーが得られる。Table—2は佐賀市における冬季の気象データである。

2.2 期間暖房負荷

ここで、一日の暖房負荷は次式で与えられる。

$$Q_d = A_w \int_{t_1}^{t_2} K(T_i - T_o)(1 - f_r) dt \quad (7)$$

A_w ：温室表面積

U ：暖房負荷係数

$(1 - f_r)$ ：保温被覆に伴う補正項

t_1, t_2 ：暖房開始時間と終了時間

T_i, T_o ：設計室内温度と外気温

一般に使用されている暖房負荷係数をガラス室で $5.3 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}$ 、プラスチックハウスで $5.7 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}$ とされている。

ここで、 U や f_r が変化しないものとするれば、(7)式は次式に書き換えられる。

$$Q_d = A_w U_m (1 - f_r) \int_{t_1}^{t_2} (T_i - T_o) dt \quad (8)$$

従って、期間暖房負荷は次式から求めることができる。

$$Q_T = A_w U_m (1 - f_r) DHn \quad (9)$$

Q_T ：期間暖房負荷

U_m ：平均暖房負荷係数

DH ：暖房デグリアワー

n ：積算期の日数

平均暖房負荷係数と暖房デグリアワーが分かれば、(9)式から期間暖房負荷が求められる。

2.3 燃料消費量

期間暖房負荷を、燃料の発熱量と暖房システムの熱利用効率で割ると、対象とする期間の燃料消費量が求められる。

$$V_T = Q_T / h \cdot \eta \quad (10)$$

V_T ：期間中の燃料消費量

h ：燃料発熱量

η ：暖房システムの熱効率

この地中熱交換システムハウスと同じ温度条件を温風暖房システムを具備するプラスチックハウスの場合で予測される消費燃料はどの程度か、式(5)、(6)、(8)、(9)、(10)より、12月27日から12月31日までの燃料消費量求めてみる。

12月27日から12月31日までの平均気温： 1.08°C 、同期間の日最高気温の平均 6.14°C 、同期間の日最低気温の平均 -2.28°C を用いて、(5)式より、

$$DH_n = \{24 \times (7 - 1.08) - 4.3 \times (7 - (6.14 - 1.08) / 2)\} \times 5 = 614.295$$

ここで、 $U = 5.7$ をとると、 U_m はこれより25%程度小さくなると言われているので³⁾、 $U_m = 4.3$ を一層カーテンにはポリエチレンフィルムを使用しているため熱節減率を35%²⁾とみると、(9)式より5日間の期間暖房負荷 Q_T は、

$$Q_T = 123 \times 4.3 \times 614.295 \times (1 - 0.35)$$

$$= 211,185.4 \text{ kcal}$$

となる。従って、この5日間における燃料消費量 V_T は、燃料（灯油）の発熱量 h を $8,800/\ell$ 、熱利用効率 η を 0.8 として

$$V_T = 211,185.4 / (8,800 \times 0.8)$$

$$= 33.0 \ell / 5 \text{ days}$$

従って、単純に計算すると、10 a、1日当たりでは、

$$25.84 \times (1/5) \times (1,000/72) = 73.8 \ell / \text{day}$$

即ち、 $1,000\text{m}^2$ のプラスチックハウスを地中熱交換型ハウス内気温と同程度（本実験の場合ではおおよそ 7°C 以上）に保つためには、1日に 73.8ℓ 、5日間で 369ℓ 、1ヶ月間当りに換算すると $2,215\ell$ 、ドラム缶にして11本分も余計に必要ということになる。

摘 要

本実験では冬季において比較的日射量の少ない北部九州佐賀市で、地中熱交換システムを備えたプラスチックハウスを試作し、その中で実際にトマトを栽培しながら省エネルギー効果を調査した。ハウスの大きさは床面積 70m^2 、被覆面積 157m^2 で保温比は 0.45 であった。

地中埋設パイプは、長さ 8.2m 、内径 100mm 、肉圧 3.6mm で、これを地下 30cm に14本、地下 60cm に14本配置し、埋設パイプの熱交換表面積は 72.1m^2 となった。このハウスの気温、地温、日射量及び地中熱交換システムの運転期間の天候などを調査した。

省エネ効果は一般ハウスを本実験の地中熱交換ハウスと同じ温度条件にするための燃料消費量を試算することで示した。

佐賀市における厳寒期5日間のハウス内外温度環境データをもとにプラスチックハウスの燃料消費量を試算すると、本実験の地中熱交換ハウスの省エネ効果は $1,000\text{m}^2$ のハウス面積にして1ヶ月間にドラム缶11本分も節約できることが分かった。

参 考 文 献

1. 林真紀夫, 岡田益巳, 小倉孝雄, 山中孝一, 三原義秋(1979). 温室の期間暖房負花に関する研究(1). 昭和54年度日本農業気象学会大会講演要旨.
2. 三原義秋(1980). 温室設計の基礎と実際, P183-185.
3. 日本施設園芸協会(1981) 施設園芸ハンドブック, P177.
4. 小島孝之, 田中栄三郎, 藤木徳実, 松尾隆明(1987) 地中熱交換ハウスの熱的性質. 佐賀大学農学部彙報 62, 39-47.
5. 前川孝昭, 山沢新吾, 吉州誠司, 花岡平(1984) 2相式メタン発酵装置の開発に関する研究(第1報). 農業施設15-1, 7-21.
6. 小島孝之(1986) ホテイアオイからのメタンガス生産(I), 佐賀大学農学部彙報61, 1-8.
7. 農業電化協会(1981) 農水産電化施設省エネルギー事例集, 第1集.