

# ハウスミカン栽培における新暖房システムの評価

矢野 拓、小原 誠、川野達生\*、佐藤裕一、田中秀幸\*\*、吉澤栄一\*\*\*

## Evaluation of New Heating Systems in Satsuma Mandarin Grown in Greenhouse

Taku Yano, Makoto Ohara, Tatsuo Kawano, Yuichi Satou, Hideyuki Tanaka and Eiichi Yoshizawa

大分県農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループ

Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center,  
Agricultural Research Division, Fruit Tree Group

キーワード：ハウスミカン、省エネルギー、RPF、ヒートポンプ

### 目次

I 緒言	53
II 材料および方法	53
III 結果	55
IV 考察	57
V 摘要	58
引用文献	58

### II 材料および方法

#### 1) 供試ハウスの諸元

供試ハウスには、大分県農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループ（国東市）の面積9.9a周年被覆型ハウス（第1図）を用いた。詳細な諸元を第1表に記す。



第1図 供試ハウスの外観

第1表 ハウスの諸元

項目	寸法・資材名	
連棟数	5棟	
寸法	間口	6.6 m
	奥行	30 m
	軒高	2.7 m
	内張高さ	3 m
	棟高	4 m
床面積	990 m <sup>2</sup>	
被覆面積	1445 m <sup>2</sup>	
放熱比	1.46	
外被覆資材	屋根：	シクスライト
	サイドと妻面：	ウェーブロック
内張資材	天井：	農ビ0.05mm
	サイドと妻面：	サニーコート

### I 緒言

ハウスミカンは、本県農業において重要な品目であるが、園芸品目の中で最も多く重油を必要とするため、経営は重油価格の高騰により大きく圧迫される。平成19年の重油価格は、一時リットルあたり126円（農林水産省：農業物価指数）まで上昇し、経営の不採算性から栽培を断念する農家も多くみられた。

この緊急対策として、県内産地では、廃プラスチックと古紙を原料とするリサイクル固形燃料RPF（Refuse Paper and Plastic Fuel）を燃料とした新しい暖房機と、近年技術的な躍進が見られる空気熱利用型ヒートポンプ（以下HP）との両方が導入された。しかし、新しい暖房機については詳細で客観的な性能評価データが乏しい状況下であったため、産地には多少の混乱が生じたことも否めない。

そこで本研究では、正確な評価には多大な労力を要する省エネルギー対策について、短期間での暖房システム評価を試み、いくつかの知見を得たので報告する。

#### 2) 評価した暖房システム

3つの暖房システム（RPF暖房機、HP、重油暖房機）を上記ハウスに設置し、夜毎に異なる暖房システ

\*：大分県農林水産研究指導センター

\*\*：大分県ブランド推進課

\*\*\*：大分県研究普及課

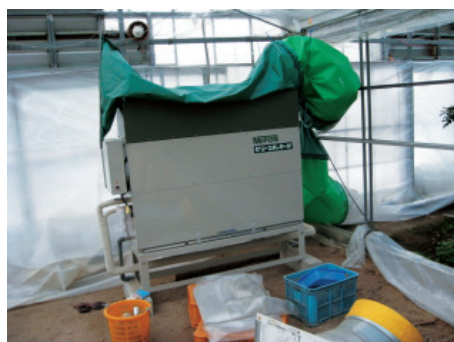
ム、①RPF暖房機+重油暖房機、②HP+重油暖房機および③重油暖房機のみ、を交互に稼働させた。

重油暖房機は、HK3020（ネポン製）2台を用い、暖房効率は90%とした。

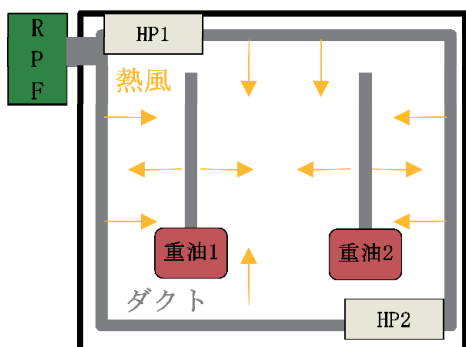
RPF暖房機は、2008年に市販されたユイラズ75型（第2図、サンフェーム製）1台を用いた。燃料供給速度は、最速の1速（常時稼働で毎時13.3kg）で、夕方17時から翌朝8時まで燃焼する条件で行った。HPは、10馬力のNGP104T（第3図、ネポン製）2台をNT601（ネポン製）で制御させ、HK3020よりHPを優先して運転させた。RPF暖房機とHP間で送風条件を揃えるため、折幅90cmのダクトをRPF暖房機とHPで共用した（第4図）。



第2図 RPF暖房機の外観



第3図 HP室内機の外観



第4図 ダクトの設置イメージ

調査は、2009年12月から2010年3月、2010年12月か

ら2011年3月の計2期間行った。調査期間中の気象を第2表に記す。

第2表 調査期間中のハウス外気象平均値

運転方法	反復 (夜)	夜温 (℃)	風速 (m・s <sup>-1</sup> )	降水量 (mm)
重油のみ	46	5.3	0.9	1.0
重油+RPF	21	7.4	1.3	0.1
重油+HP	22	4.0	1.0	1.4

### 3) 測定の概要

以下の方法で測定を行った。

- (1) 燃料消費量：ケロメイトRN（oval製）を給油パイプ途中に取り付け、10分間隔で出力パルスを記録する方法と、目視でデータエース（ネポン製）の燃焼時間を記録する方法との両方で測定した。
- (2) 室内温湿度：温室内5点について、温湿度センサー付データロガー（RTR-53L、T&D製）を用いて10分間隔で測定した。
- (3) 外気温：供試温室に隣接する気象観測システムで測定した。
- (4) 地表熱流束：温室内3点において、深さ約5cmに熱流センサー（HFP01-10、Hukseflux製）を設置し、10分間隔で測定した。設置場所には、温室の平均的な値が得られると推定された地点を選定した。
- (5) RPF消費量：夜間消費体積を、比重451kg・m<sup>-3</sup>で重さに換算した。
- (6) HPの電力消費量：NT601で記録されたHP出力積算時間を積算消費電力に換算した。

### 4) 暖房温室の熱収支

定常状態では、暖房温室では以下の熱収支式が成り立つ<sup>1) 2)</sup>とされる。

$$\text{夜間 } Q_h = Q_t + Q_{ven} + Q_s \quad (1)$$

$$\text{昼間 } Q_h = Q_t + Q_{ven} + Q_s - Q_{sol} \quad (2)$$

ここで、 $Q_h$ ：暖房熱量（J・h<sup>-1</sup>）、 $Q_t$ ：貫流伝熱量（J・h<sup>-1</sup>）、 $Q_{ven}$ ：隙間換気伝熱量（J・h<sup>-1</sup>）、 $Q_s$ ：地表伝熱量（J・h<sup>-1</sup>）、 $Q_{sol}$ ：温室室内吸収日射量（J・h<sup>-1</sup>）を示す。

今回は、昼間の解析は行わず、夜間を対象に式（1）にて解析を行った。

### 5) 放熱係数の算定

供試温室の放熱特性を評価するため、林の方法<sup>1)</sup>で放熱係数  $h$  を算出した。放熱係数は（3）式で定義され、（4）式のとおり（5）式で定義される熱貫流率  $k$  と（6）式で定義される隙間換気伝熱係数  $h_v$

の和である。

$$h = (Q_t + Q_{ven}) / (A_g \cdot (\theta_{in} - \theta_{ou})) \quad (3)$$

$$h = k + h_v \quad (4)$$

$$Q_{ven} = A_g \cdot k (\theta_{in} - \theta_{ou}) \quad (5)$$

$$Q_t = A_g \cdot h_v (\theta_{in} - \theta_{ou}) \quad (6)$$

ここで、 $h$ ：放熱係数 ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )、 $k$ ：熱貫流率 ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )、 $h_v$ ：隙間換気伝熱係数 ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )、 $A_g$ ：被覆面積 ( $m^2$ )、 $\theta_{in}$ ：室温 ( $^{\circ}C$ )、 $\theta_{ou}$ ：外気温 ( $^{\circ}C$ ) を示す。

### 6) 夜間暖房デグリアワー

(7) 式により  $\theta_{in}$  と  $\theta_{ou}$  の実測値から求めた。

$$DH_{nt} = \int_{t1}^{t2} (\theta_{in} - \theta_{ou}) dt \quad (7)$$

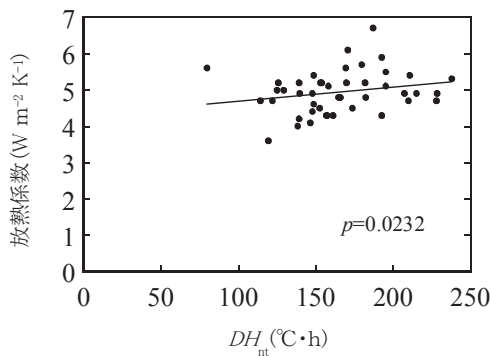
ここで、 $DH_{nt}$ ：夜間暖房デグリアワー ( $^{\circ}C \cdot h$ )、 $t1$ ：日入時刻 (h)、 $t2$ ：日出時刻 (h) を示す。 $t1$  および  $t2$  は、国立天文台ホームページの「大分のこよみ」(URL <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/dni45.html>) を参考に、12月と1月は17:00および翌6:00、2月は18:00および翌7:00、3月は18:00および翌6:00とした。

## III 結果

### 1) 供試ハウスの放熱特性と放熱特性に及ぼす農業気象要素の影響

供試ハウスの放熱特性を明らかにする目的で、放熱係数 ( $h$ ) と農業気象要素との関連を検討した。検討には、重油暖房機のみ稼働させた夜のデータを用いた。一般に放熱係数は、熱貫流率と隙間換気伝熱係数の和で定義され、定常状態であれば定数と考えられる。

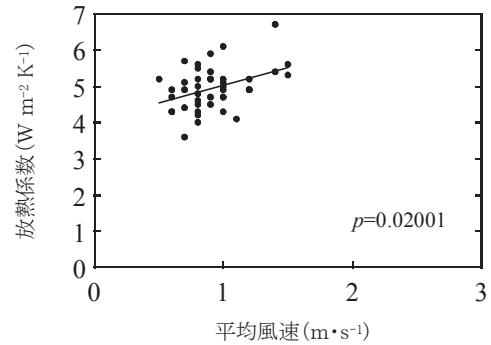
第5図に、 $DH_{nt}$  と放熱係数との関係を示す。放熱係数は、 $DH_{nt}$  の値に関わらず概ね一定であったが、 $DH_{nt}$  が大きくなると放熱係数がわずかに大きくなる



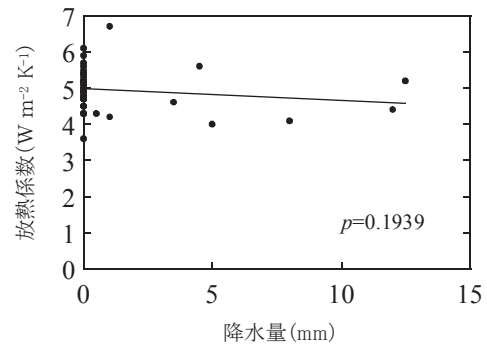
第5図  $DH_{nt}$  と放熱係数との関係

傾向が認められた ( $p=0.0232$ )。第6図に、夜間の平均風速と放熱係数との関係を示す。傾向は  $DH_{nt}$  と同

様、夜間平均風速が大きくなると、放熱係数がやや大きくなる傾向が認められた ( $p=0.02001$ )。第7図に夜間降水量と放熱係数との関係を示す。夜間降水量と放熱係数との間に明確な関連は認められなかった ( $p=0.1939$ )。



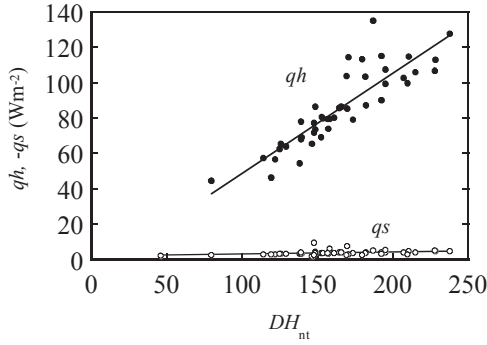
第6図 夜間平均風速と放熱係数との関係



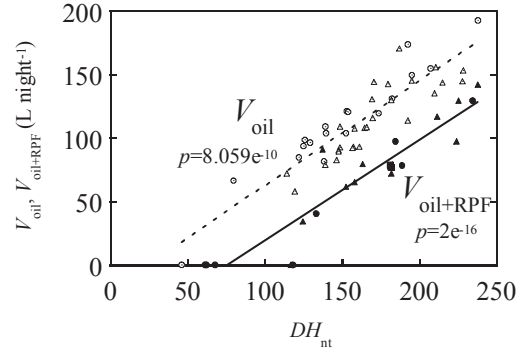
第7図 夜間降水量と放熱係数との関係

### 2) 暖房熱量と地表伝熱量の比較

第8図に  $DH_{nt}$  と単位床面積あたりの暖房熱量 ( $qh$ ) もしくは単位床面積あたりの地表伝熱量 ( $qs$ ) との関係を示す。比較には、重油暖房機のみ稼働させた夜のデータを用いた。 $qh$  は  $DH_{nt}$  の増大に伴い大きくなるのに対し、 $qs$  は全体的に小さいうえ、 $DH_{nt}$  が増大してもほとんど大きくならなかった。よって、温室への供給熱源として地中熱の寄与程度は、暖房と比較して相対的に小さいことがわかった。



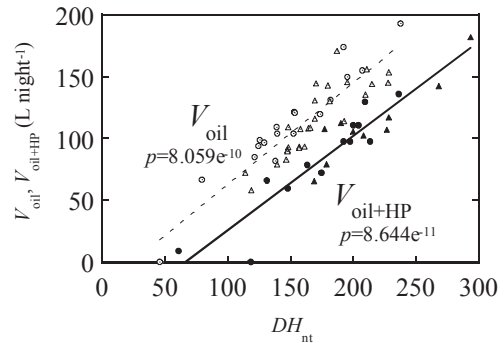
第8図  $DH_{nt}$ と単位床面積あたりの暖房熱量 ( $qh$ ) もしくは単位床面積あたりの地表伝熱量 ( $qs$ ) との関係



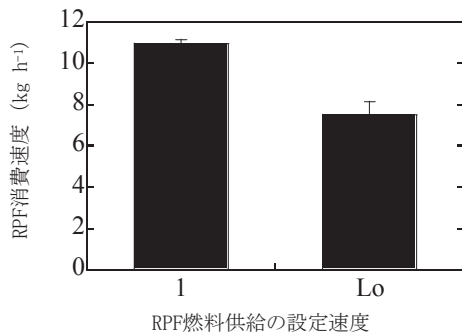
第10図  $DH_{nt}$ と重油消費量との関係 (RPF)

### 3) RPF暖房機の燃料消費速度

第9図に、RPF供給の設定速度とRPF消費速度との関係を示す。供試したRPF暖房機は、1、2、3およびLoの4段階で供給速度を夜毎に調節することができる。最大速度の1速は、常時供給の場合 $13.3\text{kg h}^{-1}$ とされているが、実際のRPF消費速度はこれを下回る $10.9\text{kg h}^{-1}$ であった。暖房機本体に装着された過昇温防止の安全装置が働き、一時的に燃料供給が停止した夜が多かったことが推察された。



第11図  $DH_{nt}$ と重油消費量との関係 (HP)



第9図 RPF供給の設定速度と消費速度との関係

### 4) $DH_{nt}$ と重油消費量との関係

供試ハウスより、重油消費量に関して(9)～(11)の関係式が得られた(第10および11図)。

$$V_{oil} = -20.303 + 0.82415 DH_{nt} \quad (9)$$

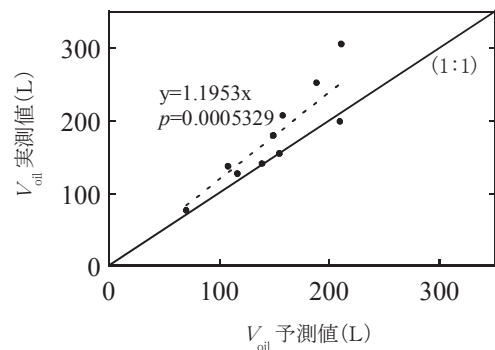
$$V_{oil+RPF} = -60.104 + 0.79332 DH_{nt} \quad (10)$$

$$V_{oil+HP} = -50.473 + 0.76121 DH_{nt} \quad (11)$$

ここで、 $V_{oil}$ ：重油暖房機のみ稼働させた場合の一夜あたり重油消費量(L)、 $V_{oil+RPF}$ ：重油暖房機とRPF加温機を1速で併用した場合の一夜あたり重油消費量(L)、 $V_{oil+HP}$ ：重油暖房機とHPを併用させた場合の一夜あたり重油消費量および $DH_{nt}$ ：夜間暖房デグリアワー ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ )を示す。得られた関係式はいずれも原点を通らないが、これは重油消費量がゼロでも地表伝熱やRPFもしくはHPによる熱供給があるためである。

### 5) 供試ハウスと現地ハウス間での重油消費特性の比較

第12図に、現地ハウスにおける式(9)での $V_{oil}$ 予測値と $V_{oil}$ 実測値との関係を示す。 $V_{oil}$ 予測値と $V_{oil}$ 実測値との間には有意な正の相関が認められた( $p=0.0005$ )。供試ハウスと比較して、現地ハウスの方がハウス内気温の割に重油消費量が多い傾向であった。



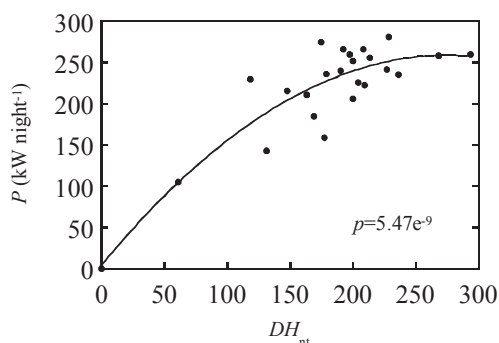
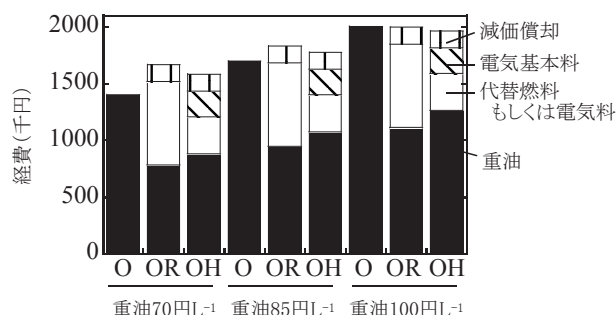
第12図 現地ハウスにおける式(9)での $V_{oil}$ 予測値と $V_{oil}$ 実測値

### 6) $DH_{nt}$ とHPの積算電力との関係

$DH_{nt}$ とHPの積算電力との関係を第13図に示す。式(12)の関係式が得られた。

$$P = 4.0322 + 1.8487 DH_{nt} - 0.00335 DH_{nt}^2 \quad (12)$$

ここで、 $P$ ：一夜あたり積算電力量(kW)および $DH_{nt}$ ：夜間暖房デグリアワー ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ )を示す。

第13図  $DH_m$  と HP の積算電力との関係第14図 重油単価を70、85および100円・L<sup>-1</sup>とした場合の経費試算  
(O：重油のみ、OR：重油+RPF、OH：重油+HP)

### 7) 異なる重油単価での経費試算

経費試算にあたっては、ハウスミカン栽培における平均的な  $DH_m$  を求める必要がある。年間重油消費量を10aあたり20kL、加温期間を170日とすると、一夜あたり平均重油消費量は117.6Lとなる。これを式(9)に代入して  $DH_m$  を求めると163.7°C hが得られる。代替燃料で削減された年間重油量は、 $DH_m=163.7^\circ\text{C h}$ を式(10)や式(11)に代入して加温日数を乗ずれば試算できる。この試算で、軽減される10aあたり重油相当分は、RPF暖房機で8.9kL、HPで6.8kLであった。ただし、HPについては稼働期間中の平均ハウス外夜温を5.8°Cとした場合の試算である。

第14図に重油単価を70円・L<sup>-1</sup>、85円・L<sup>-1</sup>および100円・L<sup>-1</sup>とした場合の経営試算を示す。試算根拠は、平成24年2月時点のものである。イニシャルコストは、RPF暖房機およびHPとも暖房機本体のみとし、本体価格は1/2補助、減価償却10年とした。

代替燃料コストに関しては、RPF燃料は、燃料単価を30円・kg<sup>-1</sup>とし、燃料消費速度10.9kg・h<sup>-1</sup>で毎夜13.2時間燃焼させたものとした。この場合、170日間のRPF燃料代は733,788円となった。

HPは、一夜あたり積算電力量について、式(13)に  $DH_m=163.7^\circ\text{C h}$ を代入して216.8kWが得られ、これに夜間の電力単価8.818円・kWh(九州電力定圧季時別、22時～8時にフル稼働、その他の時間帯3.2時間稼働と仮定して案分。22時～8時：8.05円・kWh、その他：11.22円・kWhで試算)を乗じて一夜あたり電気料を1,911.7円と試算できた。電気基本料金を20kW×1,953円kW×6ヶ月で総額151,200円とすると、170日間の総電力コストは、電気料と基本料金をあわせて476,189円と試算できた。1晩あたりの平均電気料は、2,801円となった。また、170日間の総必要電力量は  $3.69 \times 10^4 \text{ kW}$ と試算できた。

## IV 考察

温室の放熱メカニズムは複雑なため、現地ハウスにおいて、温室の放熱実態を定量的に評価する際には困難が予想される<sup>2)</sup>。そこで本報告では、実際にハウスミカン栽培を行っている9.9aのハウスを用いて、異なる暖房システムを夜毎に稼働させる方法、すなわち放熱様式は同等と仮定できる条件下で、各システムの重油削減特性を明らかにしようとした。

供試ハウスの放熱係数は、3.6～6.7 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>の範囲、平均4.9Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>で、ハウスからの放熱量が比較的大きい条件下であった。これは、供試ハウスが金属製の換気扇や吸気口を有する構造であることが一因として推察された。また、放熱係数は、変動幅はあるものの概ね一定で、わずかに  $DH_m$  や夜間平均風速の影響を受けている程度であった。

もし風速が3～4 m s<sup>-1</sup>と大きくなれば、放熱係数は風速に依存して変動し<sup>2)</sup>、定常状態とは考えにくい。しかし今回の調査条件は、第2表のとおり風速や降水量について変動が小さかったため、全般的に定常状態に近かったことが推察できた。また、調査範囲において、地表熱が温室内へ熱を供給する程度は、暖房と比較すると極めて小さかった。

これらのことから、今回の調査範囲では、温室への供給熱量(=放熱量)の多少は  $DH_m$  で十分説明できたと思われる。よって、昼間の暖房の割合が夜間と比較して無視できるほど小さいとすれば、 $DH_m$  といった一晚あたりの測定値から年間トータルの積算値の概算を推測することは、合理的かつ有効と考えられた。

本報告では、昼間の暖房は無視できるものと仮定し、RPF暖房機やHPをハウスミカン栽培へ導入した場合に想定され得る経費を第14図で試算した。試算では、重油単価70円・L<sup>-1</sup>、85円・L<sup>-1</sup>ではRPF暖房機やHPを導入するメリットが見いだせず、重油単価100円・L<sup>-1</sup>でこれらの導入メリットが発生することが明らかとなった。ただし、この試算には2つの留意点が

ある。

第1点は、本県におけるハウスミカンの平均暖房デグリアワーを $DH_{nt}=163.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ とした点である。栽培地域や設定夜温が変動すれば、平均暖房デグリアワーの値も当然変動する。参考までに、 $DH_{nt}=163.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ を具体的に換言すると、施設内気温 $20^{\circ}\text{C}$ 、夜間12.5h（10月から翌年5月までの平均）では平均外気温 $6.9^{\circ}\text{C}$ となる。夜間の平均外気温と外最低気温は、国東市の気象データでは約 $2^{\circ}\text{C}$ の差があることから、 $DH_{nt}=163.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ は上記条件の場合、最低気温が約 $5^{\circ}\text{C}$ となる気象条件である。

第2点は、平均的なHP稼働環境を、平均ハウス外夜温 $5.8^{\circ}\text{C}$ とした点である。もし平均ハウス外夜温が $5.8^{\circ}\text{C}$ 以上で、デフロストの発生が少ない条件下であれば、COP（成績係数）が上昇し、重油削減の程度は本試算よりも増大すると思われる。

HPによる重油削減に関しては、地点、管理温度および放熱係数別に試算した報告もある<sup>3)</sup>。報告によれば、今回の供試ハウスと同様のHP導入馬力20で放熱係数 $5.0\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ の場合、福岡で管理温度18、21および $24^{\circ}\text{C}$ のとき、A重油削減率は約67、53および41%となり、同様に高知では管理温度18、21および $24^{\circ}\text{C}$ のとき、A重油削減率が約63、51および41%と試算されている。このように、暖房システムの重油削減率は条件によって大きく変動するため、試算の指標として十分でない。したがって生産現場での暖房システム経費試算にあたっては、ハウスの諸元、施設外環境、品目および作型を踏まえた十分な検討が必要になる。

施設園芸の暖房熱源を重油に頼る背景には、重油が液体で発熱量が高く、暖房機の出力調整が簡便で、燃焼廃棄物の発生が極めて少ないなど、実際の現場での諸作業が楽な点が挙げられる。今回供試した暖房システムにおいては、RPF暖房機の場合は、産業廃棄物となる燃焼灰の排出作業と専門業者による回収が必要となる。一方でHPの場合は、暖房機から排出される廃棄物の回収作業等がなく、生産者の高齢化が進む現状においては適した暖房システムと思われる。ただし、両暖房システムとも暖房機本体の価格が高額なため、全額自己資金での導入は採算に合わないのが現状と思われる。

また、今回供試したハウスと測定システムを用い、定常状態に近い調査条件下で、昼間の環境や純放射の影響なども検討できれば、被覆資材に関する定量評価も可能となると思われる。

## V 摘要

平均放熱係数が $4.9\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ のハウスで、以下の知見を得ることができた。

- 1 2008年に市販された園芸用RPF暖房機1台を、面積 $9.9\text{a}$ ハウスに導入し、夜間のみ燃料供給速度 $10.9\text{kg h}^{-1}$ で170日間通年稼働させた場合、 $8.9\text{kL}$ 相当の重油軽減が推察できた。
- 2 10馬力の園芸用HP2台を、平均ハウス外夜温 $5.8^{\circ}\text{C}$ の条件下で面積 $9.9\text{a}$ ハウスに導入した場合、170日間通年で $6.8\text{kL}$ の重油削減が期待できるが、代わりに $3.69\times 10^4\text{kW}$ の積算電力を要することが推察できた。
- 3 上記の暖房システムを、イニシャルコストのうち半額自己負担かつ減価償却10年の条件でハウスミカン栽培へ導入した場合、ランニングコストも含めると、重油単価100円で導入メリットが発生することがわかった。

## 謝辞

本研究は、農林水産省の委託研究事業「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」（課題番号21061）により行われた。温室の熱収支解析については、東海大学開発工学部の林真紀夫教授に貴重なご教授を賜った。現地ハウスの重油消費量と暖房デグリアワーの調査に関しては、大分県中部振興局とJAおおいたのご協力を頂いた。また、RPF暖房機の設置導入に関しては、関係者の皆様から多大なご支援とご指導を頂いた。ここに記して謝意を表する。

## 引用文献

- 1) 社団法人 日本施設園芸協会：平成18年度 農業における省資源・脱石油の推進－農業における省資源・脱石油の経済効果について－報告書（2007）
- 2) 林 真紀夫：温室暖房の熱負荷に関する実証的研究、千葉大学園芸学部学術報告、第35号、117～219（1985）
- 3) 社団法人 日本施設園芸協会：平成21年度 脱石油施設園芸システムの総合マニュアル－ヒートポンプと木質ペレット暖房機の導入指針－（2010）