

園芸用施設の暖房費および CO₂ 排出量削減〔2〕

—重油温風暖房機の代替としての高性能小型電気ヒートポンプの利用—

大山克己*・古在豊樹*

1. はじめに

前報〔1〕(大山・古在 2008)では、重油温風暖房機の代替として、高性能小型電気ヒートポンプを園芸用施設の暖房に利用する場合の得失を考察した。本稿では、より具体的に、冬季暖房費および CO₂ 排出量削減効果を示す。また、高性能小型電気ヒートポンプの導入コストの償却年数を考える。

2. 暖房費および CO₂ 排出量の試算

(1) 園芸用施設の条件

本稿では、試算にあたり、園芸用施設の条件を以下のように設定した。

- ①床面積 (A) は 1,000 m² の一重一層被覆 (外張りが 1 重被覆で、内張カーテンが 1 層) のプラスチックハウス (暖房負荷係数 U : 6.6 W m⁻² K⁻¹, 岡田 1983) を想定する。
- ②放熱比 (=温室表面積/床面積, R) は 1.5 である。
- ③内張カーテンの材質はポリオレフィンフィルム (熱節減係数 f_r : 0.35) とする。

表 1 期間エネルギーコストおよび CO₂ 排出量の試算に用いた群馬県前橋市、静岡県静岡市、愛知県名古屋市および宮崎県宮崎市の最高および最低気温の平均値

地点	最高気温の平均値 (°C)	最低気温の平均値 (°C)
群馬県前橋市	13.1	3.5
静岡県静岡市	15.2	5.9
愛知県名古屋市	14.1	5.2
宮崎県宮崎市	16.4	6.6

それぞれの地点の 2007 年 11 月 1 日から 2008 年 4 月 30 日までの AMeDAS データを用いて平均値を計算した。

(2) 園芸用施設の場所および日暖房デGREEアワーの試算方法

- ①関東以西のわが国において寒冷地ではなく、かつ施設園芸の盛んな地点より、群馬県前橋市、静岡県静岡市、愛知県名古屋市および宮崎県宮崎市を選び、それぞれの地点の 2007 年 11 月 1 日から 2008 年 4 月 30 日までの AMeDAS データ (表 1, 気象庁 2008) を利用して、日暖房デGREEアワー (DH , °C h) を林・古在 (1982) の算定式を用いて計算する。

$$T_c \geq \frac{1}{24} \{x \cdot T_h + (24-x) \cdot T_l\} \text{ のとき,}$$

$$DH = x \cdot (T_c - T_l) - \frac{x^2}{48} \cdot (T_h - T_l) \quad (1)$$

$$T_c > T_l \text{ かつ}$$

$$T_c < \frac{1}{24} \{x \cdot T_h + (24-x) \cdot T_l\} \text{ のとき,}$$

$$DH = 12 \cdot \frac{(T_c - T_l)^2}{T_h - T_l} \quad (2)$$

ここで、 x : 1 日当たりの暖房時間 (h), T_h および T_l : それぞれ、日最高気温および最低気温 (°C), T_c : 暖房設定気温 (°C) である。なお、日暖房デGREEアワーとは、園芸用施設内の暖房設定気温と外気温との差を積算した値である。

- ②17 時から翌 7 時までの夜間 14 時間のみ暖房する ($x = 14$ h)。

- ③下記の式 (岡田 1983) を利用して日暖房負荷 (Q_d) を計算したのち積算し、各地点の 2007 年 11 月 1 日から 2008 年 4 月 30 日の間の期間暖房負荷 (Q_p) を計算する。ただし、 $T_l > T_c$ の場合には、 $Q_d = 0$ とした。

*千葉大学環境健康フィールド科学センター (Katsumi Ohyama, Toyoki Kozai)

$$Q_d = R \cdot A \cdot \bar{U} \cdot (1 - f_r) \cdot DH \quad (3)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n Q_d \quad (4)$$

ここで、 R : 放熱比 (= 温室表面積/床面積), A : 温室床面積 (m^2), \bar{U} : 平均暖房負荷係数 ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$), f_r : 熱節減率, n : 暖房期間 (182 日) である。 \bar{U} は、岡田 (1983) が、林ら (1979) の研究事例にもとづいて示唆している関係にもとづき、以下のようにならわすこととする。

$$\bar{U} = 0.75 \cdot U \quad (5)$$

ここで、 U : 最大暖房負荷係数 ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) である。

(3) 高性能小型電気ヒートポンプの利用条件および暖房費試算方法

園芸用施設における暖房への高性能小型電気ヒートポンプの利用に関して、以下のような条件を設定した。

① 高性能小型電気ヒートポンプの期間エネルギー消費量 (C_h) は、以下の式を用いて推定する。

$$C_h = \frac{Q_p}{h_e} \quad (6)$$

ここで、 h_e : 高性能小型電気ヒートポンプの暖房時成績係数である。本稿では、一般家庭用として大量生産され普及してきて、かつ暖房時成績係数の高い、暖房能力 3.2 kW の高性能小型電気ヒートポンプの使用を想定する。

② 電気料金は、東京電力(株)の業務用電力(基本料金: 1,560 円/kWh, 従量料金: 10.39 円)にもとづき試算する(東京電力 2006)。

③ 基本料金に関しては、まず、以下の式を用いて最大暖房負荷 (Q_m , kW) を計算する。

$$Q_m = R \cdot A \cdot U \cdot (T_c - T_m) \cdot (1 - f_r) \quad (7)$$

ここで、 T_m : 設計最低気温 ($^{\circ}\text{C}$) である。本稿では、各地点の AMeDAS データ (気象庁 2008) を参

照したうえで、安全をみてそれぞれに地点で $T_m = -5^{\circ}\text{C}$ とする。その後、最大暖房負荷および暖房時成績係数より、高性能小型電気ヒートポンプの必要台数を求める。その定格消費電力と台数を乗じることにより、基本料金を計算するための契約電力を決定する。

④ 電気は、高圧 (6,000 V) で受電し、受電設備内のトランス (変圧器) で 100 V に変換される。受電設備内に進相コンデンサーを設置することにより力率は 100% もしくは進み力率となっている。したがって、基本料金の 15% は割引されるとする (東京電力 (2005) 参照)。

⑤ 電気料金は、基本料金 (= 基本料金単価 \times 契約電力) と従量料金 (= 従量料金単価 \times 消費電力量) に大別される。基本料金は、最大需用電力 (デマンド値) にもとづき決定された契約電力により、毎月支払わなければならない (厳密には、消費電力量が 0 kWh の場合は 50% 割引となる)。一方、従量料金は、その月の消費電力量に応じて課金される。ここでは、基本料金は、上述の暖房期間のみを暖房コストの計算に使用し、それ以外の期間の基本料金は考慮しない。

(4) 重油温風暖房機の利用条件および暖房費試算方法

園芸用施設における暖房への重油温風暖房機の利用に関して、以下のような条件を設定した。

① 重油温風暖房機の燃料として A 重油を用いる。

② 期間エネルギー消費量 (C_b) は以下の式を用いて推定する。

$$C_b = \frac{Q_p}{h_b \cdot e_b} \quad (8)$$

ここで、 h_b : 重油温風暖房機の熱利用効率、 e_b : 単位容積当たりのエネルギー量 (MJ L^{-1}) である。なお、A 重油の単位容積あたりのエネルギー量は 39.1 MJ L^{-1} である (環境省 2002)。

③ 一般に、重油温風暖房機の消費電力はエネルギー換算した重油消費速度の 1/10 以下であることから、本稿では重油温風暖房機の稼働にかかわる電気料金は考慮しない。

表2 エネルギー源別従量単位¹⁾当たりのエネルギーおよびCO₂排出原単位

エネルギー源	従量単位当たりのエネルギー ²⁾	従量単位当たりのCO ₂ 排出量 ³⁾
電気	3.60 MJ/kWh	0.378 kgCO ₂ /kWh
都市ガス	41.1 MJ/Nm ³	2.11 kgCO ₂ /Nm ³
A重油	39.1 MJ/L	2.71 kgCO ₂ /L
灯油	36.7 MJ/L	2.49 kgCO ₂ /L

1) 従量単位は、電気:kWh(キロワットアワー, 1 kWh=3600 J, 1 MJ=1×10⁶ J), ガス:Nm³(標準温度15℃, 標準大気圧102 kPaでの容積), A重油および灯油:L(リットル)で表示。
 2) 環境省(2002)より抜粋
 3) 環境省(2002)より抜粋した値より算定。詳細は、引用文献を参照

(5)CO₂ 排出量の推定条件

園芸用施設における暖房に高性能小型ヒートポンプおよび重油温風暖房機を用いた場合のCO₂排出量(それぞれG_a, G_b)は, それぞれ以下の式を用いて推定する。

$$G_a = u_e \cdot C_h \tag{9}$$

$$G_b = u_b \cdot C_b \tag{10}$$

ここで, u_eおよびu_bは, それぞれ従量単位あたりのCO₂排出原単位(表2)である。なお, u_eはエネルギー供給会社ごとに異なる値が公表されている。これは, 発電にかかわるCO₂排出量全体に占めるCO₂排出量の多い火力発電の割合が異なることに起因する。厳密には電力会社ごとにCO₂排出原単位は異なるが, 本稿では, 環境省から出されている「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案 ver 1.6)」(2003)に記載されている9電力会社および沖縄電力の加重平均値(0.378 kg/kWh)を用いることとする。他方, 本稿で取り扱うCO₂排出量は, 高効率小型電気ヒートポンプもしくは重油温風暖房機の使用時に排出されるもののみであり, 原油の生産, 生成および輸送過程や高効率小型電気ヒートポンプの製造, 設置および廃棄過程, 重油温風暖房機の製造, 設置および廃棄過程などにおいて排出されるCO₂は考慮しないこととする。

3. 園芸用施設における家電エアコンの利用による暖房費およびCO₂排出量削減効果

(1)冬季暖房費

2007年11月1日から2008年4月30日までの群馬県前橋市, 静岡県静岡市, 愛知県名古屋市および宮崎県宮崎市における期間暖房費を図1に示す。ここでは施設園芸省エネルギー生産管理マニュアル(試行版)(農林水産省2007)に記載された生産物ごとの夜間気温の適温域を参考にして, 暖房設定温度を15℃とした場合の結果を紹介する。

A重油価格が現状の90円/Lのとき, 高性能小型電気ヒートポンプの暖房時成績係数が3の場合の期間暖房費は, 重油温風暖房機のそれと比べて19~35%削減できると予想された。また, 暖房時成績係数が6と高い場合には, 59~68%削減できると予想された。

今回の試算の中でもっとも寒冷であった群馬県前橋市での削減率は, 他の地点のそれよりも大きくなる傾向にあった。今回の試算の中でもっとも寒冷であった群馬県前橋市では, A重油価格が58円/L以下にならない限り, 重油温風暖房機の期間暖房コストは, 暖房時成績係数が3の高効率小型電気ヒートポンプのそれを下回ることにはないと予想された。暖房時成績係数を6に維持できた場合には, 重油温風暖房機で使用するA重油価格が29円/L以下に低下しない限り, 暖房コストは同等とはならないと推察された。

一方, 今回の試算の中でもっとも温暖であった宮崎県宮崎市の場合, A重油価格が73円/L以下にならない限り, 重油温風暖房機の期間暖房コストは, 暖房時成績係数が3の高効率小型電気ヒートポンプのそれを下回ることにはないと予想された。暖房時成績係数を6に維持できた場合には, 重油温風暖房機で使用するA重油価格が36円/L以下に低下しない限り, 暖房コストは同等とはならないと推察された。

高性能小型電気ヒートポンプの最大暖房能力で稼動するのは厳冬期のごく限られた時間帯(たとえば, 微風の早朝など)のみであり, ほとんどの時間帯は最大暖房能力以下(部分負荷条件下)で運転される。過去の高性能小型電気ヒートポンプは, 最大暖房能力で最大の成績係数となるように設計され

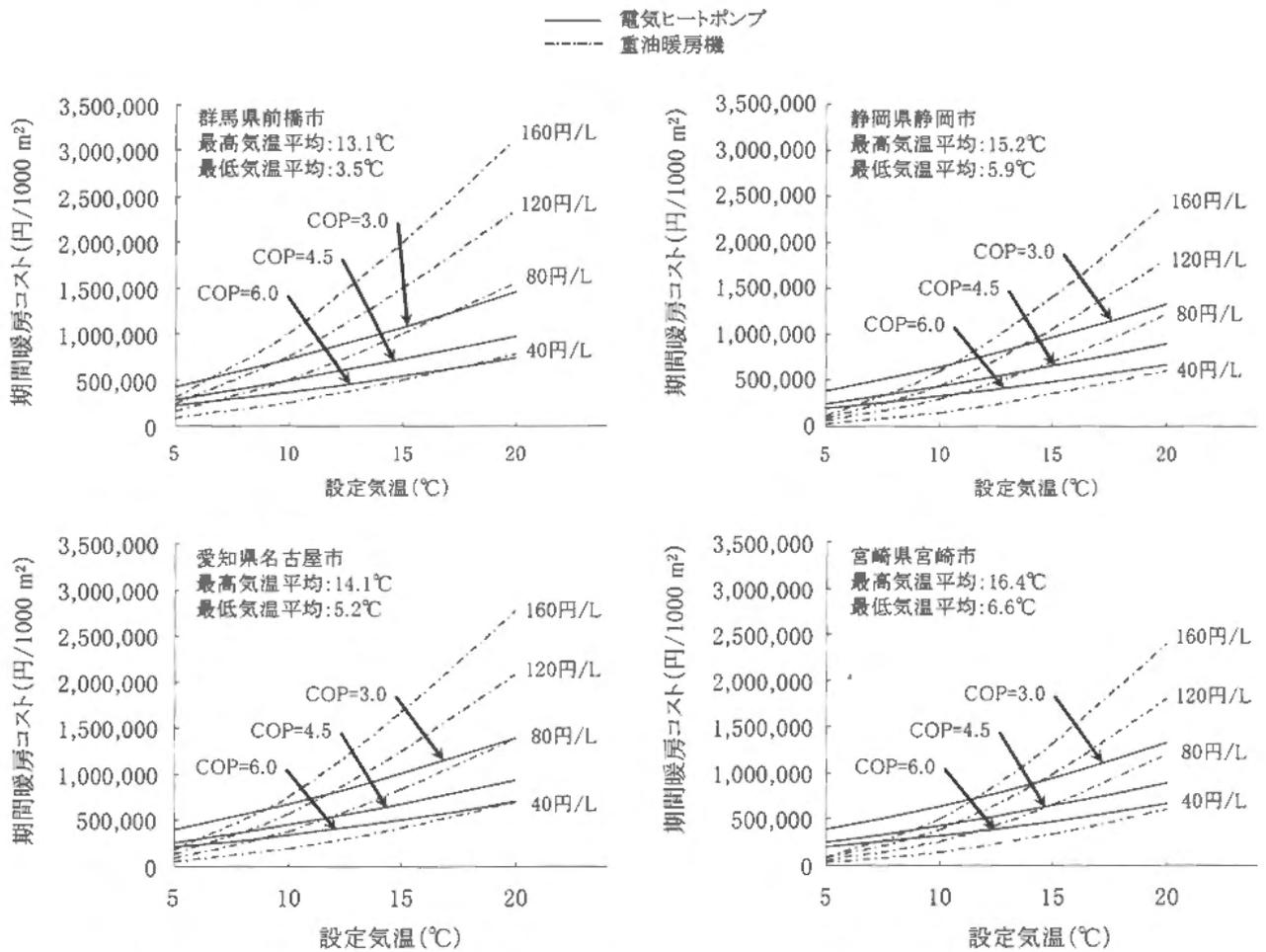


図1 園芸用施設における暖房に重油温風暖房機および電気ヒートポンプを利用した場合の期間暖房コスト
 試算にあたり、群馬県前橋市、静岡県静岡市、愛知県名古屋市および宮崎県宮崎市の2007年11月1日より2008年4月30日までのAMeDASデータを利用した。また、重油価格の単価として、40、80、120および160円/Lの場合を想定した。電気料金は、東京電力の業務用電力の場合を想定した。図中のCOPは、電気ヒートポンプの暖房時成績係数を表す。本稿で対象とする高効率小型電気ヒートポンプのCOPは5~6である。詳細は本文を参照されたい。

ていたが、最近では部分負荷条件下で最大の成績係数が得られる高性能小型電気ヒートポンプが開発されてきている。本稿では、室外機の設置されている温室外の気温は暖房能力に影響しないとして試算したが、将来的にはそれをも考慮した試算、さらには実証試験が必要である。

(2)CO₂ 排出量

2007年11月1日から2008年4月30日までの群馬県前橋市、静岡県静岡市、和歌山県和歌山市および宮崎県宮崎市における期間CO₂排出量を図2に示す。試算に用いた地点および設定温度によらず、高性能小型電気ヒートポンプを用いることにより、重油温風暖房機を用いた場合と比べて期間CO₂排出量を大幅に削減できると推察された。CO₂排出量の削減率は、高性能小型電気ヒートポンプの暖房時成

績係数が3程度であった場合には60%削減、暖房時成績係数が6程度であった場合には80%削減という結果が得られた。このような大幅なCO₂排出量削減を達成できるのは、熱エネルギー発生量当たりのCO₂排出量が電気ヒートポンプでは18~35 μg J⁻¹ (=CO₂排出原単位0.378 kg CO₂/ kWh ÷ 3.6 MJ/kWh ÷ COP3~6)であるのに対し、重油温風暖房機では86 μg J⁻¹ (=CO₂排出原単位2.71 kg CO₂/ L ÷ 単位従量当たりの熱エネルギー量39.1 MJ/L ÷ 熱利用効率0.8~0.9)と電気ヒートポンプのその2.2~4.8倍であることに起因する。

CO₂排出量の削減率のみに着目すると、高性能小型電気ヒートポンプの暖房時成績係数は3程度であっても十分な効果が得られると感じられるかもしれない。しかし、前述の暖房コストの話題とあわ

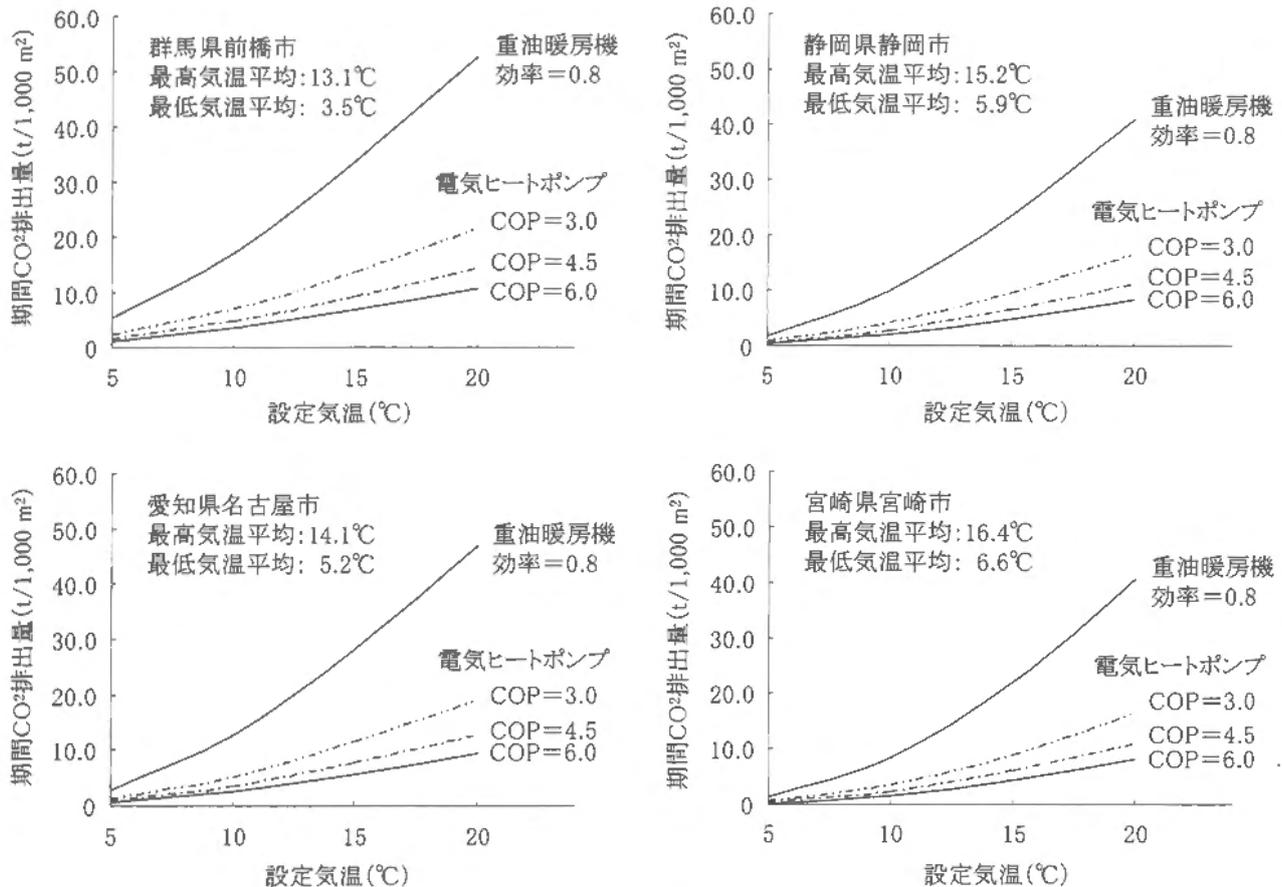


図2 園芸用施設における暖房に重油温風暖房機および電気ヒートポンプを利用した場合の期間CO₂排出量
 試算にあたり、群馬県前橋市、静岡県静岡市、愛知県名古屋市および宮崎県宮崎市の2007年11月1日より2008年4月30日までのAMeDASデータを利用した。図中のCOPは、電気ヒートポンプの暖房時成績係数を表す。本稿で対象とする高効率小型電気ヒートポンプのCOPは5~6である。詳細は本文を参照されたい。

せて考えると、高性能小型電気ヒートポンプの暖房時成績係数は高ければ高いほど、経営面、環境保全面ともに満足できる結果を得られることになる。そのためには、現状では、大型業務用電気ヒートポンプよりも暖房時成績係数が高い、一般の家庭で用いられている高性能小型電気ヒートポンプの利用が好ましいと判断している。

(3) 電気利用に関する現状における問題点

暖房期間以外においても電力料金の中の基本料金は課金され続けてしまう。しかし、本稿では、上記の暖房をしない期間(5月1日~10月30日)における基本料金を考慮しなかった。これは、純粋に暖房利用に起因し発生する基本料金のみを評価することを意図しての措置である。また、電気料金は、エネルギー供給業者と電力需要家(生産者)の間での協議により設定されるために、一般料金メニュー

以外の割引オプションが存在する場合がある。それゆえ、本稿では、高効率小型電気ヒートポンプによる暖房に起因し発生する基本料金のみを評価し、かつ一般的な電気料金メニューで例示することにした。あわせて、暖房期間以外に発生する基本料金に関しては、高効率小型電気ヒートポンプの冷房や送風に使用する際に再考することとした。

本稿での高効率小型電気ヒートポンプ利用は、主として夜間の暖房を想定している。夜間に電気を使用することは、社会全体の電気利用の平準化(負荷率の向上、もしくは負荷平準化)に貢献する。負荷平準化は、電力会社にとって重要な課題であり、本稿で紹介したヒートポンプの利用法はその一端を担うことができる。ただし、現状では、本稿で想定しているような電力消費に適した料金メニューは見あたらない。したがって、上述の負荷平準化は、社会全体の電気利用事情の改善というメリットが

あるものの、電力需要家すなわち生産者にとってのメリットは見あたらない。今後、生産者にとって経営面のメリットが出せるような電気料金メニューが提案されることをエネルギー供給会社に期待したい。

本稿では、電気料金は不変とし、燃料費調整額を考慮しなかったが、原油および液化天然ガス(LNG)価格が上昇すれば電気料金も値上げとなる。しかし、値上げの幅はここ最近の傾向では5~10%程度であり、A重油のように数年で価格が2倍以上にまで上昇する確率は低い。これは、原油価格の影響をうける火力発電のほかにも、水力や原子力といった複数のエネルギー源による発電により電力供給をまかっているためである。したがって、経営面において、暖房コストの安定化を図るためには、A重油のような価格変動の大きい暖房用燃料を使用するよりも、比較的価格の安定している電気をしたほうが好ましい場合が多い。

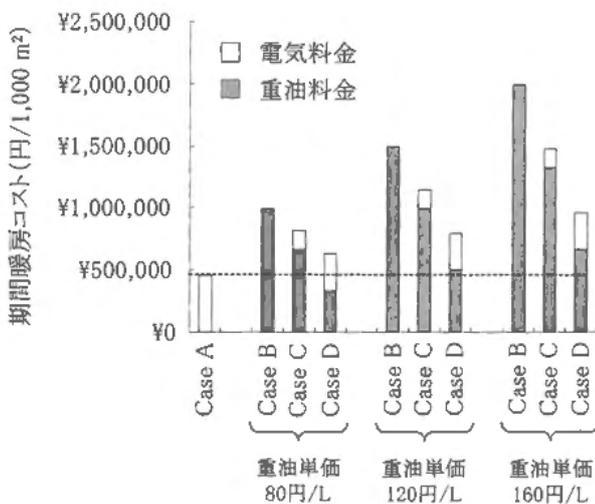


図3 園芸用施設における暖房に電気ヒートポンプのみを利用した場合 (Case A)、重油温風暖房機のみを利用した場合 (Case B)、全暖房負荷の1/3を電気ヒートポンプを利用してまかなう場合 (Case C) および全暖房負荷の2/3を電気ヒートポンプを利用してまかなう場合 (Case D) の期間暖房コスト

試算にあたり、①園芸用施設内の気温は15℃である、②電気ヒートポンプの平均暖房時成績係数は5.0である、③園芸用施設外の気温は群馬県前橋市2007年11月1日より2008年4月30日までのAMeDASデータを利用する、④基本料金は設定した上記暖房期間のみを考慮し、暖房期間以外のそれは考慮しない、とした。詳細は本文を参照されたい。

(4) 高性能小型電気ヒートポンプの償却年数

他方、暖房負荷全体に対してすべての負荷を高性能小型電気ヒートポンプでまかなった場合 (Case A)、すべての負荷を重油温風暖房機でまかなった場合 (Case B)、1/3の負荷を高性能小型電気ヒートポンプでまかなった場合 (Case C) および2/3の負荷を高性能小型電気ヒートポンプでまかなった場合 (Case D) の期間暖房コストを図3に示す。園芸用施設における暖房への高性能小型電気ヒートポンプの導入コストを1台当たりの価格および工事費の合計が10万円であると仮定した場合、Case AとCase Bとの差を高性能小型電気ヒートポンプ導入コストと比較した結果、たとえば、重油価格が80円/Lで一定の場合には7.5年、120円/Lで一定の場合には4.0年、160円/Lで一定の場合には2.7年で導入コストを償却できることが予想された。なお、園芸用施設内の設定気温を15℃よりも高く設定した場合には、高性能小型電気ヒートポンプの導入コ

他方、高性能小型電気ヒートポンプは、夏季の夜間の温室内冷房による生産物の品質向上や除湿による病害発生率の低減、送風による園芸用施設内の環境均一化など周年利用できる。それらを考慮した場合には、実際の導入コストの償却期間は、上述の値よりも短縮する可能性がある。ただし、その場合には、本稿で考慮しなかった暖房期間以外の電気料金、とくに基本料金を考慮したうえで、総合的に判断しなければならない。

(5) 高性能小型電気ヒートポンプと重油温風暖房機の併用

現状の園芸用施設において重油温風暖房機を導入している場合、それを廃止し、すべて高性能小型ヒートポンプに切り替えるというのは現実的ではないかもしれない。その場合には、図2のCase CおよびDのような重油温風暖房機と高性能小型電気ヒートポンプを組み合わせる使用になる。また、高性能小型電気ヒートポンプの導入コストを低減させるために、図2のCase CおよびDのような2種類の暖房機を組み合わせる使用法も考えられる。この場合、暖房負荷を2種類の暖房機でどのように配分するのが好ましいのかは、今後重要な検討課題となろう。ただし、新設の園芸用施設で

は、当初より重油温風暖房機を導入するのではなく、高性能小型電気ヒートポンプを導入した方が、環境面、経営面ともに満足するうえでは好ましいと判断している。

(6) 今後の展望

2006 冷凍年度 (2006 年 10 月～2007 年 9 月) の高性能小型ヒートポンプの出荷台数は、727 万台であった (日本冷凍空調工業会 2008)。他方、本稿における最大暖房負荷の試算条件下では、園芸用施設内気温を 15℃に保つために必要な高性能小型電気ヒートポンプの台数は 41 台/1,000 m²であった。この結果より推定すると、現在の暖房が行われている園芸用施設面積 (2.3 万 ha) がすべて既存の暖房設備より高性能小型電気ヒートポンプ (3.2 kW) に代替された場合、943 万台 (=230,000,000 m²×41 台/1000 m²) の高性能小型電気ヒートポンプが必要とされる。したがって、高性能小型電気ヒートポンプの園芸用施設への用途拡大により、高性能小型電気ヒートポンプの設計耐用年数は 11 年であることを考慮し、順次既存暖房設備より高性能小型電気ヒートポンプへ代替が進む場合を想定すると、年間の高性能小型電気ヒートポンプの出荷台数を平均で 10%程度押し上げると予想される。

他方、本稿の試算条件下では、園芸用施設内気温を低く設定するほど電気料金全体に占める基本料金の百分率が高くなり、結果として電気料金単価 (= (基本料金 + 従量料金) / 消費電力量) は高くなった。たとえば、温暖な宮崎県宮崎市において、園芸用施設内気温を 5℃に設定した場合には、電気料金全体に占める基本料金の百分率は 92%となった。これは負荷率 (= 平均消費電力 / 契約電力 × 100) が低いために生じてしまった現象である。高効率小型電気ヒートポンプを冬季の暖房にのみ使用した場合にも、年間の平均負荷率が低くなるために、同様の問題が生じる。したがって、高効率小型電気ヒートポンプを園芸用施設へ導入する際には、負荷率を高くするための工夫をすべきである。他方、電気料金に占める基本料金の百分率が上昇してしまう問題に関しては、別の機会に述べたい。

園芸用施設を含めた同一の需要端における負荷率を高くするためには、事務所などにおける OA 機器類や、包装機や選果機などの農作業機器、さらには閉鎖型苗生産システム (たとえば、古在ら 2005)

のような農園芸分野の中で比較的消費電力の大きい機器類を組み合わせることで負荷平準化をめざし、暖房期間以外での園芸用施設における電力需要を開拓して電気料金単価の低減につなげていく必要がある。現在は、単一の要素技術の研究開発に注力される場合が多いが、今後は複数の要素技術を組み合わせ、具体には園芸用施設だけではなくその付帯設備をも考慮し統合した、経営面、環境面をともに配慮した最適な生産システムおよびそのマネジメント手法を構築する必要がある。

4. まとめ

施設園芸において、生産コストを低減しつつ CO₂ に代表される地球温暖化ガスを削減するための手法を導入することは、経営面、環境保全面ともに満足するうえで、喫緊な課題となっている。そこで本稿では、暖房時成績係数の高い電気ヒートポンプを導入した場合の経営面および環境保全面に与える影響について、簡単な暖房負荷計算モデルを用いて試算し、温室暖房への電気ヒートポンプ導入、とくに一般家庭用として普及している高性能低価格な小型電気ヒートポンプの導入に関して考察した。その結果、A 重油を燃料とした重油温風暖房機を用いた暖房と比べて、高性能小型電気ヒートポンプを導入した場合の暖房コストは、A 重油価格を 90 円/L とした場合に 20～70%削減でき、同時に CO₂ 排出量も 60～80%削減できることが推察された。この結果は、経営面、環境保全面ともに満足できうる数値である。

他方、暖房時成績係数が 5～6 と高い電気ヒートポンプは、業務用および農事用では見あたらないものの、一般家庭向けの家電製品としては市場に一般的に出回っている。家電製品を温室に導入することは前報 [1] (大山・古在 2008) に述べた問題はあるものの、経営面、環境保全面ともに満足のいく結果を得られると予想されることから、その導入の可能性を排除すべきではなく、むしろ問題の方を排除していくべきであると考えている。なお、先に述べた問題の中で述べたように、暖房時成績係数もしくは暖房能力は室外機 (蒸発器) 周辺温度の低下にともない低下するが、現在、それを防ぐための手法についても検討中である。また、夏季の夜間の温室内冷房による生産物の品質向上や除湿による病害発

生率の低減, 送風による園芸用施設内の環境均一化など, 利用に季節性の高い重油温風暖房機では不可能な, 高効率小型ヒートポンプの周年利用による時間あたりのイニシャルコストを低減させるための方策も検討中である。

謝 辞

本稿の作成にあたり, 東海大学の林真紀夫教授, 岩手大学の岡田益己教授ならびにネポン(株)馬場勝氏に有意義なご意見をいただいた。また, 三菱電機(株)リビング・デジタルメディア事業本部の鈴木耕二様には, 高性能小型電気ヒートポンプに関する技術情報のご提供をいただいた。ここに感謝の意を表す。本稿は, 文部科学省科学技術振興調整費(戦略的拠点育成)の事業の千葉大学担当分である「食と健康」に関する研究の一環として作成されたものである。

引用文献

- 林真紀夫・古在豊樹 1982. 各種暖房デGREEアワー算定値と実測値の比較および暖房デGREEアワー線図の提案. 農業気象 38(1):29-36.
- 環境省 2002. 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案 ver. 1.6).
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/pdf/1_6/mat_01.pdf
- 気象庁 2008. 気象統計情報.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 古在豊樹・板木利隆・岡部勝美・大山克己 2005. 最新の苗生産実用技術—閉鎖型苗生産システムの実用化が始まった—. 養賢堂, 東京. p150.
- 農林水産省 2007. 施設園芸省エネルギー生産管理マニュアル(試行版). p25.
- 大山克己・古在豊樹 2008. 園芸用施設の暖房費およびCO₂排出量削減—重油温風暖房機の代替として的高性能小型ヒートポンプの利用(1)—. 農業および園芸 83(11):1157-1163.
- 岡田益己 1983. 暖房. 三原義秋編著. 温室設計の基礎と実際. 養賢堂, 東京. p182-204.
- 省エネルギーセンター 2008. 省エネ性能カタログ.
<http://www.eccj.or.jp/catalog/index.html>
- 東京電力株式会社 2006. 電気需要約款 [特定規模需要(高圧)]. p102.

(終)

外国文献抄録

GM ワタはアーバスキュラー菌根形成に影響しない

Knox, O.G.G., D.B. Nehl, T. Mor, G.N. Roberts and V.V.S.R. Gupta 2008. Genetically modified cotton has no effect on arbuscular mycorrhizal colonisation of roots. *Field Crops Research* 109:57-60.

これまでに, 植物や土壌微生物の相互作用に対する GM 技術の影響が報告されている。これらの多くは導入した GM の結果というよりむしろ, 環境や品種の違いによるものと考えられているため, 作物の生産性に対するそれらの重要性は明らかではない。アーバスキュラー菌根菌 (AMF) はリンや亜鉛, 他のいくつかの養分の獲得を促進することが知られている。しかし, 病害, 除草剤耐性のある GM 植物は菌根共生をしないと推測されている。世界中で高低投入作物として栽培されているワタにおいて, そのような問題に関心が集まっている。また, AMF がトウモロコシのいくつかの GM 品種の菌根形成が減少したと報告している。これとは反対に, Powell ら (2007) は商業用サイズと GM サイズでは根粒菌や菌根形成が異なることやその違いが植物の品種間のものであり, GM によるものではなかったことを報告している。実際, 利用可能な科学的証拠の不足の観点からと, 菌根共生に対する GM 植物のネガティブな影響が懸念されている。ワタが菌根植物であること, 高投入, 低投入体系の両方で栽培されることを前提とすると, 共生の定着が少ないことが養分面の観点から作物の生産性にかなり影響する可能性がある。菌根形成の遅延やリン

や亜鉛の吸収の欠乏はワタの生育障害を引き起こし収量の低下につながる。そこで, 本研究では AM 形成が GM 作物によっても影響されないのかどうか, いくつかのワタ品種の根における菌根形成の調査を行った。

GM ワタ品種は幅広く栽培されていることから, 害虫, グリホサート耐性の商業用のワタと GM ワタの計 4 種の菌根形成を比較した。

本研究の結果から, 調査時期の違いにおける品種間の地上部乾物重と平均乾物重の比較では, 植物の生育の傾向が同じであることが示された。すべての品種のワタの地上部乾物重は評価した期間以上に指数関数的な傾向を示した。また, リンや亜鉛の欠乏はワタの発育阻害を引き起こす可能性があるが, これらの症状も品種間でみられなかった。ワタの収量は 1 ha 当たり 2,565~3,022 kg の範囲であり, 4 品種間で有意差はなかった。4 品種すべてにおいて, 菌根形成がロジスティックな生育パターンで発達し, 播種してから 3 週間の間で急速に増加し, 70~80%あたりで安定期に達した。各々の処理時期での期間での品種間の感染において有意差はみられなかった。その観測された感染傾向は実質的には各々の処理で商業用と GM ワタ間で同一であり, これは明らかに AMF による感染が GM 作物による影響がないことが示唆された。

(日本大学大学院生物資源科学研究科作物学研究室
肥後昌男)