

# 園芸施設用の必要性と期待 ヒートポンプ実用化の歴史と今後の展望

植物工場研究会

古在 豊樹

# 内 容

- ヒートポンプ(HP)における利用の歩み
- HPの構造と基本機能の概要
- HPおよびHPシステムの成績係数(COP)
- HPのCOPの変動要因
- HPの多目的利用

演者の記憶では……、  
施設園芸におけるヒートポンプの普及は、

- 1980年以降：バラ等における梅雨時低日射下での除湿による病害抑制  
(暖房費節減は多層保温カーテンで対応)
- 1980年以降、カーネーション、ファレノプシス(胡蝶蘭)等の夏季夜間冷房により収量・品質向上
- 2008年をピークとする第3次(ミニ-)オイルショックによる石油価格上昇下での暖房費節減 (政府の石油価格高騰対策)

# ヒートポンプに関する林・古在らの初期の論文例

- 林真紀夫・古在豊樹・中村潤・渡部一郎(1983)温室におけるヒートポンプ利用(1) 暖房システム. 農業気象. 38(4). 379-387.
- 林真紀夫・古在豊樹・渡部一郎(1983)温室におけるヒートポンプ利用(1) 夏期夜間冷房. 農業気象. 39(3). 181-189.
- 古在豊樹・権在永・林真紀夫・渡部一郎(1985a)温室の冷房負荷に関する研究(1)夏季夜間の負荷特性 農業気象 41(2): 121-130.
- 古在豊樹・林真紀夫・児玉友孝・権在永・渡部一郎・大沢英夫(1985b)温室におけるヒートポンプ利用(3) 夏期夜間冷房システムの運転特性. 農業気象. 41(3). 231-240.
- Kozai, T. ({古在豊樹, 1986 #407}1986) Thermal performance of an oil engine heat pump for greenhouse heating. Agr. Eng. Res. 35: 25-37.

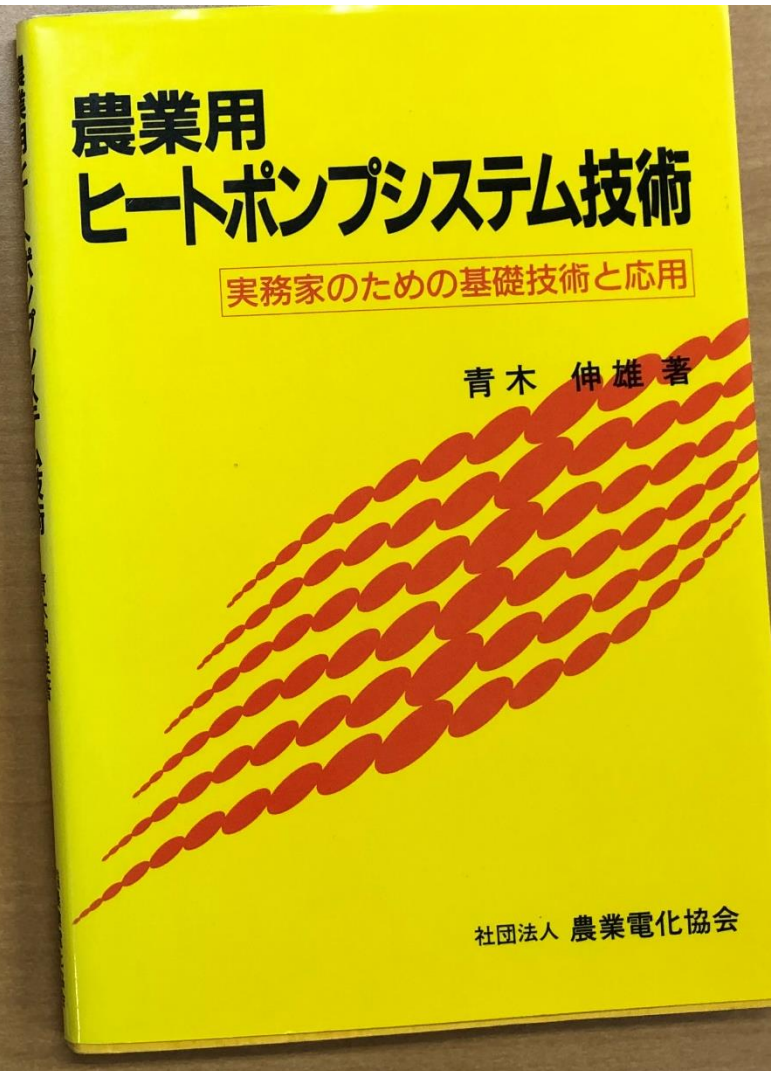
# 代表的出版物：施設園芸におけるヒートポンプの有効利用 — 省エネと多面的利用 —



- B5判 156頁 巻頭口絵カラー4頁付
- 発刊年月：2009年2月
- 2600円（税別）
- 林真紀夫（編著者）
- 農業電化協会

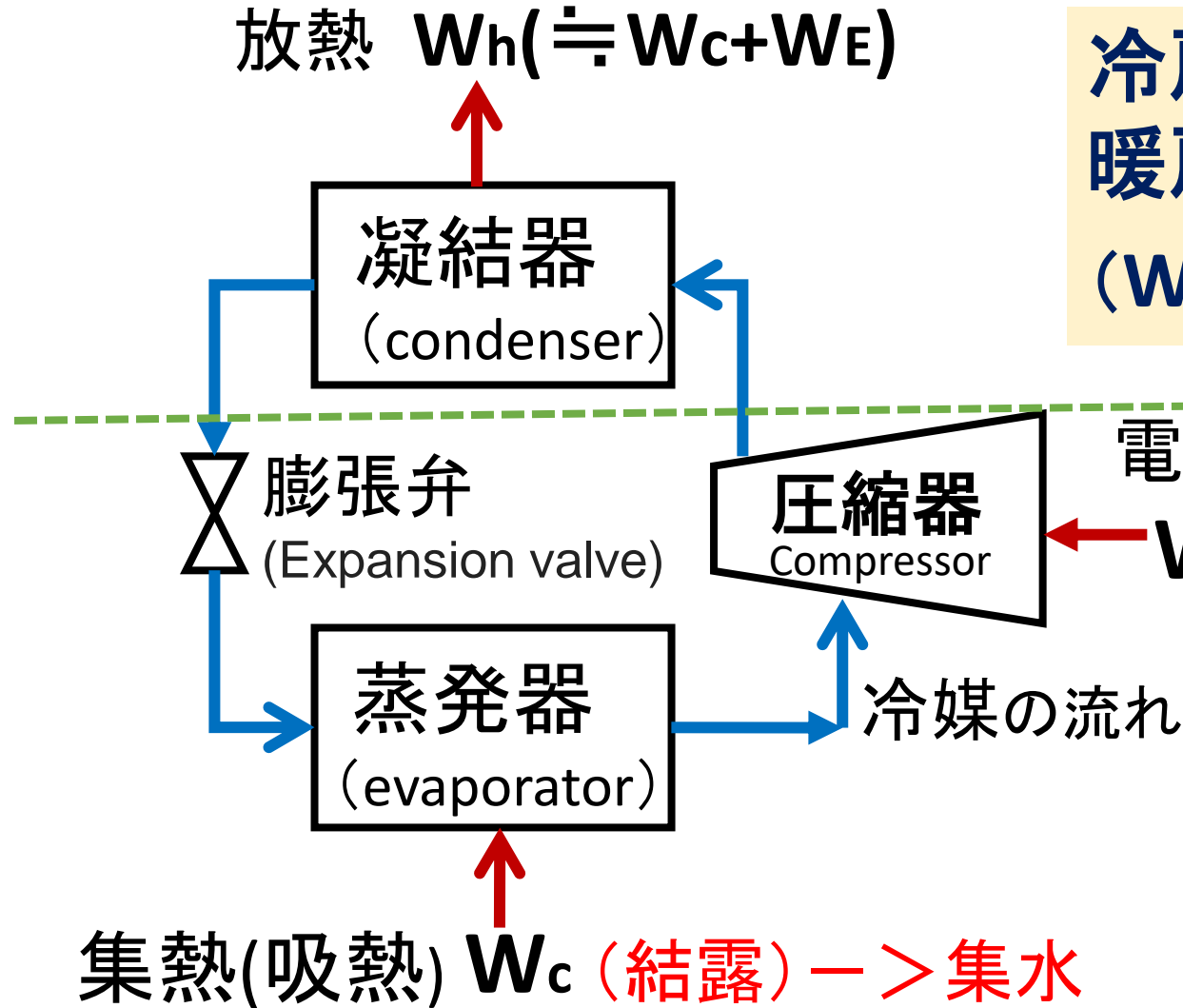
# 代表的出版物

岡野利明 著  
1999年発行  
2500円(税別)  
農業電化協会



青木伸雄 著  
1993年発行  
2500円(税別)  
農業電化協会

# 電気ヒートポンプの概略構成図と成績係数(COP)



冷房時のCOP =  $W_c / W_E$   
暖房時のCOP =  $W_h / W_E =$   
 $(W_c + W_E) / W_E = W_c / W_E + W_E / W_E = W_c + 1$

蒸発器と凝結器の熱交換面外側はガス(空気等)、液体(汚水、地下水、河川水、清浄水などを含む水等)あるいは湿った土壌などで、熱交換促進機能が必要。

代表的な冷媒 : R22 (HCFC)  
(ハイドロクロロフルオロカーボン)

新冷媒R32 (オゾン破壊の影響が少ない)



# ヒートポンプ (heat pump, 熱ポンプ) の基本機能

- ヒートポンプ (HP) は熱 (エネルギー) を運ぶポンプであり、熱を発生させる機械ではない。 (水ポンプが水を運ぶ機械であり、水を作り出す機械でないのと同じである)
- 蒸発器で集熱され、凝縮器で放熱される。
- 蒸発器から凝縮機への熱の運搬は冷媒 (熱媒体) と圧縮機が担う。
- 圧縮機の駆動には (電気・運動) エネルギーが必要である。
- 集熱面と放熱面で冷媒は空気 (ガス) または水 (液体) と熱交換する。
- 集熱面の温度が空気の露点温度より低い場合は集熱面で結露する。



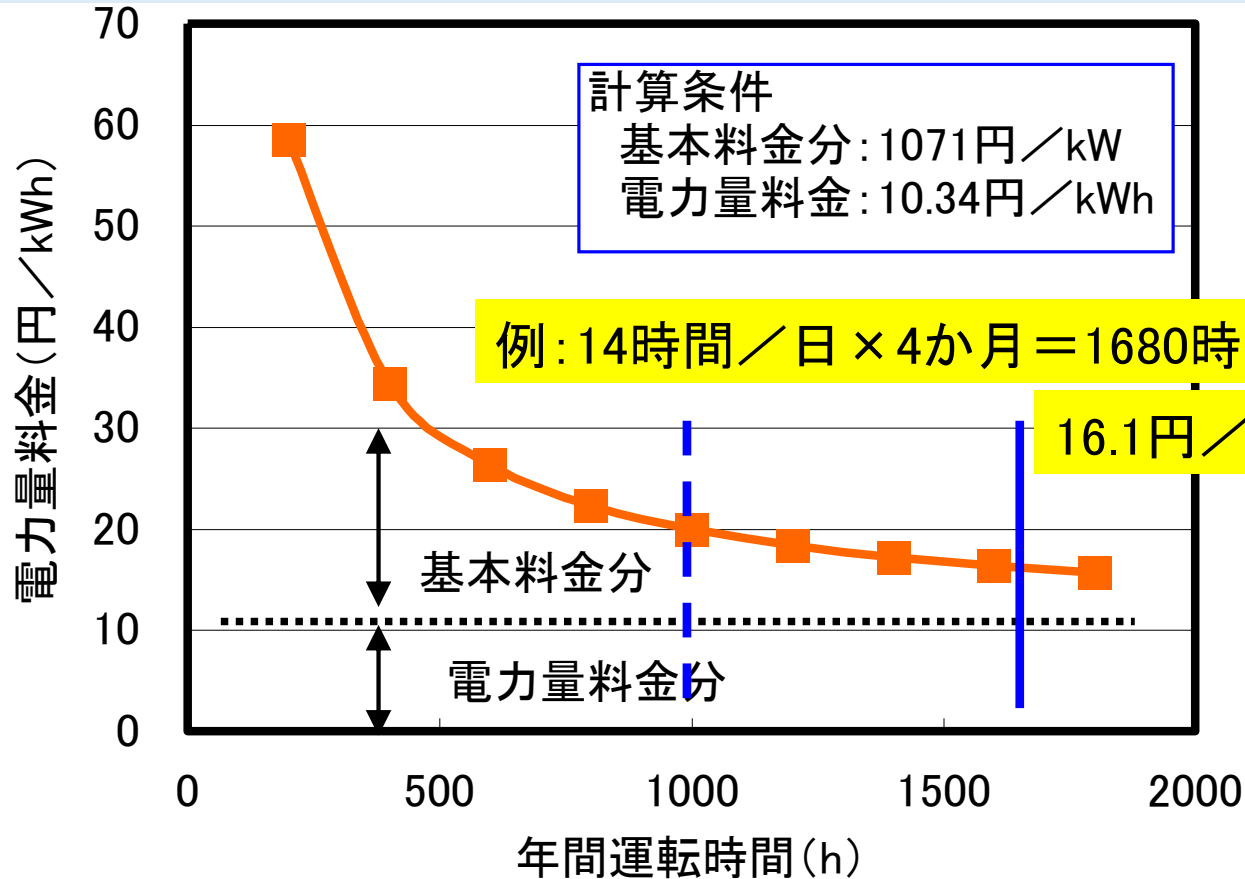
# ヒートポンプ・システムの機能と呼称例

- 暖房・乾燥・加熱（暖房機、加熱器、乾燥機、温蔵庫）
- 冷房・冷却（クーラー、チラー、冷蔵庫、冷凍庫、製氷機、冷水器、冷却器、）
- 暖冷房・冷却・加熱装置（エアコン、飲料自動販売機）
- 除湿・集水（除湿機、浄水製造機）
- （送風）

HPは、蒸発器で吸熱、凝縮器で放熱を常におこなっている。蒸発器での吸熱・冷却・集水（結露）と凝縮器での放熱・加熱を同時に利用するのがもっともお得。

# 電気ヒートポンプの年間運転時間と電力量料金の関係

年間通じての運転時間が高い方が、kWh当たりの単価は安くなる



1)基本料金は周年不変なので、ヒートポンプ冷房による基本料金の増大は無く、電力量料金の増大だけである。

2)夜間・昼間の冷房時の内外室温差は5°C程度なので、暖房時の内外室温差が15°CのときのCOPに比較すると、冷房時のCOPは1.5~2倍前後になる。

試算条件:

基本料金1071円/kW、電力量料金10.34円/kWh(東京電力(株)低圧電力)  
運転時間は、契約電力で運転したときの時間。  
基本料金は、未使用の6ヶ月間半額とした。

(林 真紀夫 原図)

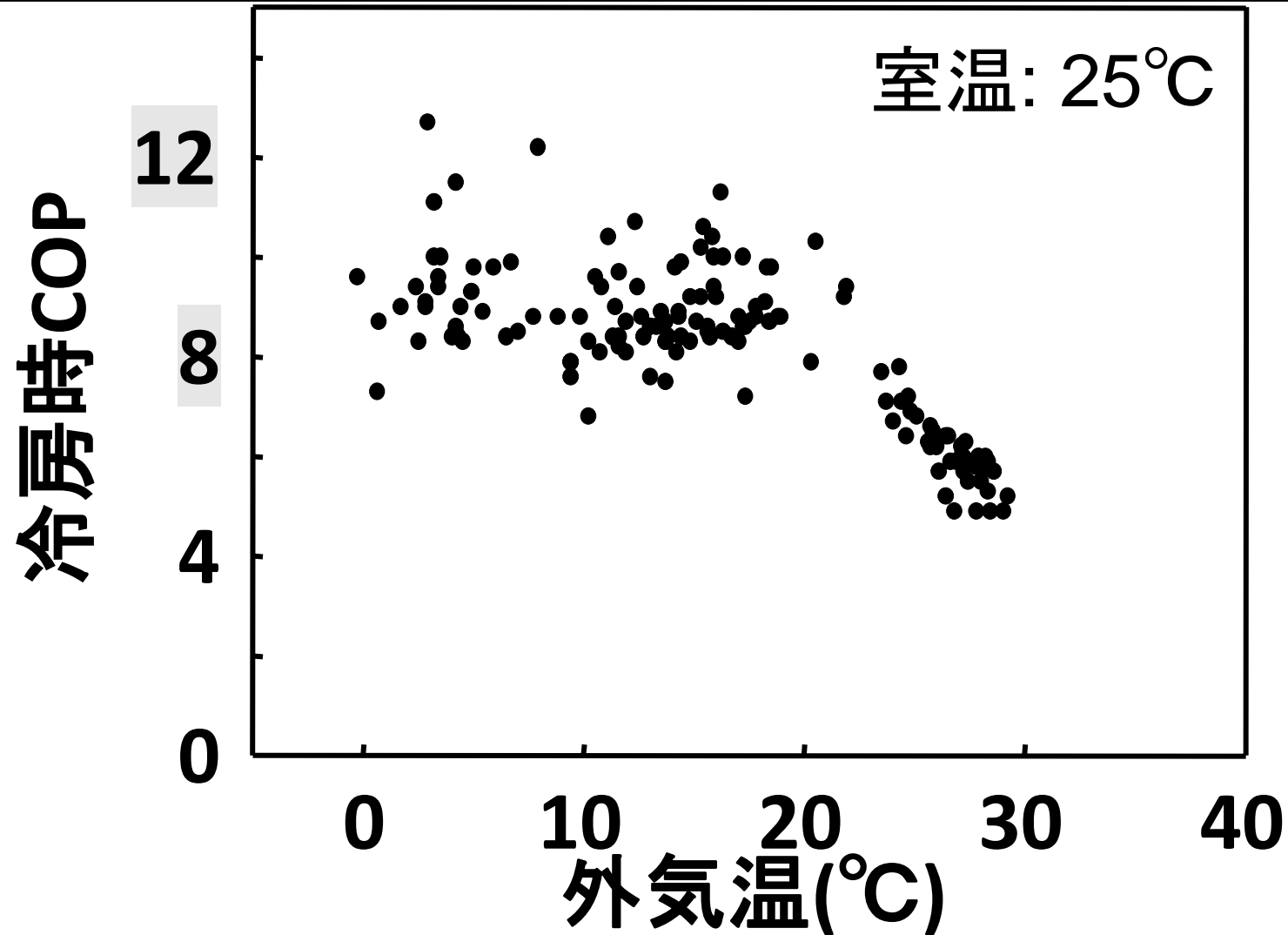
# ヒートポンプの成績係数の別呼称

- COP (Coefficient of Performance)
- エネルギー利用効率
- エネルギー消費効率
- APF・通年エネルギー消費効率 (Annual Performance Factor)

# 運転中におけるCOPの主な変動要因

- 蒸発器と凝縮器の周辺空気の**温度差**  
冷房時、凝縮器への日射の直射を避け、凝縮機周辺で細霧を発生させる。
- **負荷率**（暖冷房能力に対する実際の暖冷房負荷の比率）が60～70%でCOPは最大 → 暖冷房負荷に応じた稼動HP台数の制御（関山哲雄）

冷房時COP (成績係数)におよぼす外気温の影響。  
外気温が20°C以下の時のCOPは8~12(大山・古在 (2002))



ヒートポンプは冷房だけでなく、CO<sub>2</sub>排出量と暖房費の削減、送風、除湿、養液の加熱・冷却などに周年利用できる。  
暖冷房負荷の大小で大小のHPの運転台数を自動変更する



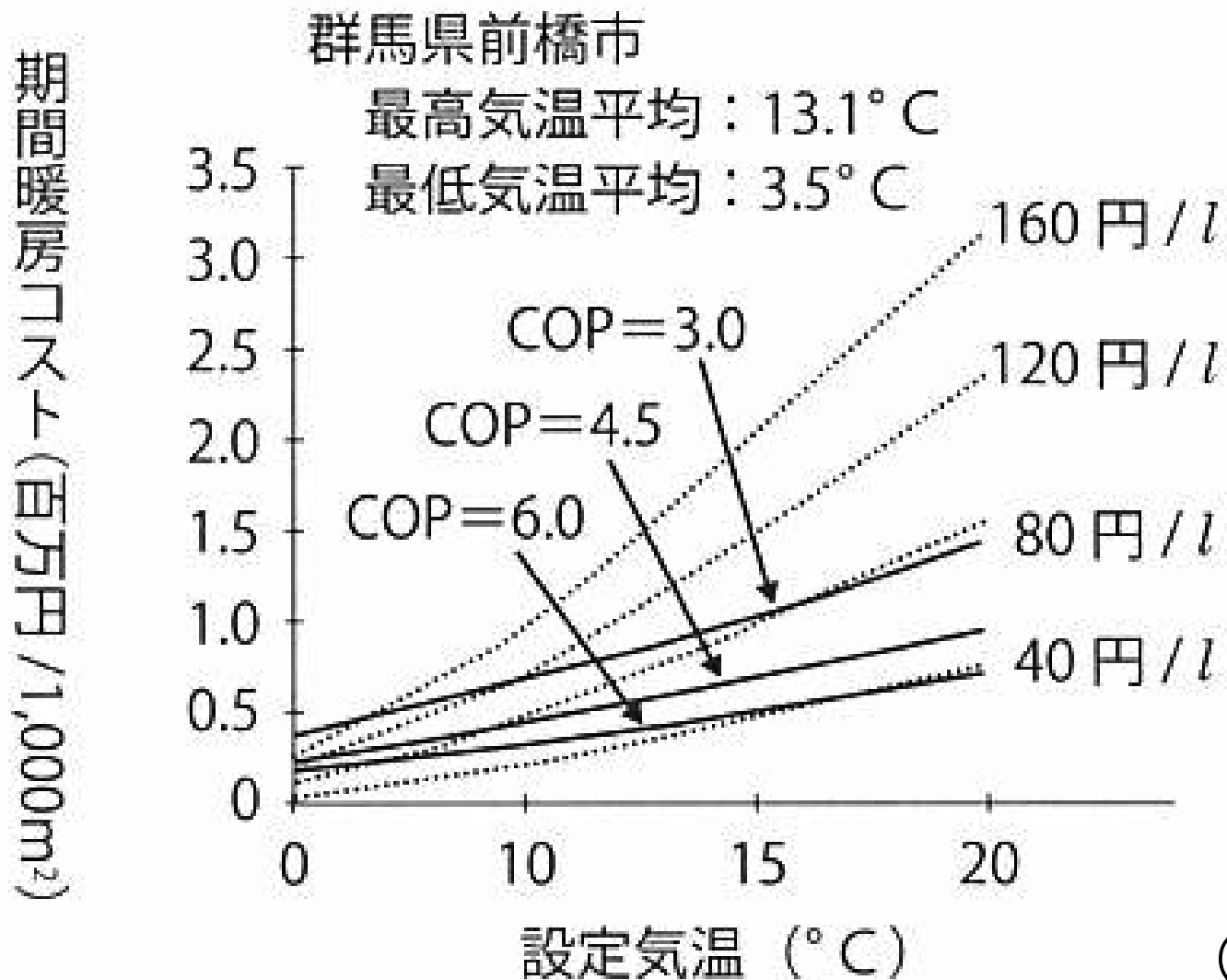
# ヒートポンプの多目的利用

(省資源・環境保全・高収量・高品質生産に必須)

- 暖房・養液加熱・培地加熱
  - 冷房・養液冷却・培地冷却
- 
- 送風(光合成・蒸散促進、植物体の濡れ軽減)
  - 湿度(水蒸気飽差)制御
  - 集水(蒸発器における結露水を再利用)
    - 10-50 ton/ha/d
  - 乾燥、加湿・温水蓄熱・冷水蓄熱



# 冬期5カ月間のヒートポンプ暖房およびA重油暖房のコストに及ぼすCOP、A重油単価及び設定室温の影響



前橋市では  
 室温設定値が15°Cの場合、  
 平均COPが3以上であれば、  
 A重油価格が80円/Lでも、  
 ヒートポンプ暖房の方が有利

(大山・古在、2008)

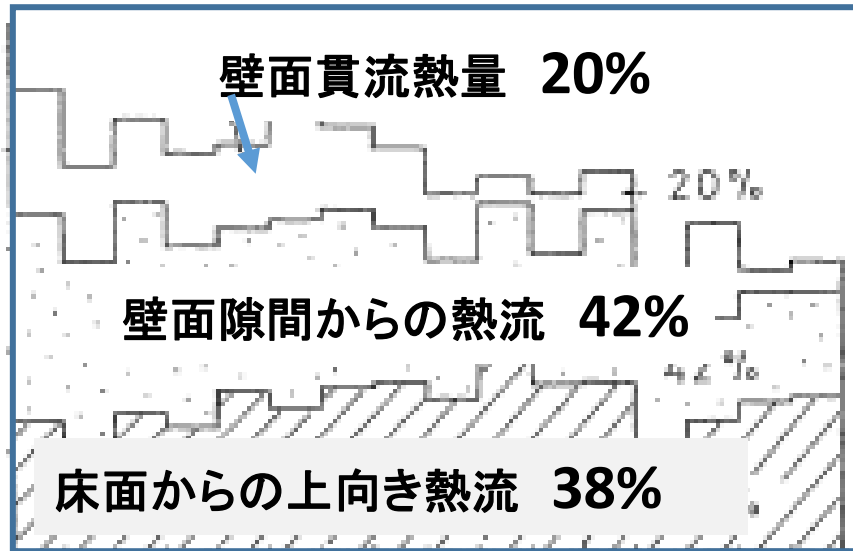
# 夜間の電気ヒートポンプ冷房による 切りバラ生産の収支 (円/m<sup>2</sup>) (大須賀, 2007)

	科目	夜間冷房区	無処理区
収入	販売額	13,565	8,853
収支	電気代	272	-
	ヒートポンプ 償却費	784	-
	小計	1,056	-
差引額	合計	12,509	8,853

夜間冷房の効果が高い作物の例: イチゴ、トルコギキョウ、キク、カーネーションなど

# プラスチックハウス(2層保温カーテン)における夜間の冷房負荷とその内訳の経日変化(古在ら、1985a)

夜間の平均冷房負荷 ( $W m^{-2}$ )



7/17

8/20

1984年7月17日-8月20日の16日間  
(各日の20時～翌5時の平均値)

床面積96m<sup>2</sup>、硬質ポリエチレン、2層カーテン

夏期では夜間の床面からの放熱比率が38%と多いので昼間の地温上昇抑制と夜間の床面断熱が夜間冷房負荷の軽減に有効である。壁面隙間からの侵入熱量の75%は潜熱(水蒸気)量が占める。

# ヒートポンプと連動して運転すべき環境制御機器

- CO<sub>2</sub>施用機
- 換気装置
- 遮光カーテン
- 断熱カーテン
- 細霧冷房装置
- 送風ファン
- 養液供給装置
- 蓄熱・蓄冷熱装置
- その他

## 昼間にヒートポンプ冷房して、換気窓が気密性良く閉じている時間を長くすることによる利点

- CO<sub>2</sub>濃度を1,500 ppm前後と、高くすることができる。
- CO<sub>2</sub>濃度が高いと光合成適温が高くなる
- 正味光合成速度(生長)だけでなく、発育速度も速まる
- ヒートポンプ冷房は除湿を伴うので、VPD(水蒸気飽差)が増大し、蒸散が促進される。加湿が必要な場合がある。
- 蒸散促進に伴い、顕熱が潜熱に変換され、気温・葉温が低下。
- 空気の潜熱割合が増え、少量の換気で多量のエンタルピー(全熱量)を排出できる。
- 害虫・病原菌の侵入を抑止できる

# まとめ

- HPを暖房機としてだけ利用したのではもったいなすぎる。
- 電気の基本料金はHP利用の有無にかかわらず課せられるので、HPを上手に周年利用することで、基本料金の実質的負担割合を削減できる。
- HPの成績係数(COP)は工夫次第で高く維持できる。
- 夜間暖房時は多層保温カーテンと併用、夜間冷房時は床面断熱が冷暖房負荷の削減に重要。
- HPは他の環境制御機器と連動させて制御すること。