

# 除湿による農業用ビニールハウスの省エネルギー効果

平 栄蔵\*<sup>1</sup>・位田 晴久\*<sup>2</sup>

Effect of Energy Saving by use of Absorption Dehumidifier System for Green-House

Eizo HIRA and Haruhisa INDEN

当県は我が国の主要な食糧生産・供給県であり、冬季の温暖な気候を利用して野菜、花などが施設栽培されている。一方、冬季の温室内は多湿となり植物の病害等が多発し、またビニールフィルム内面への結露が顕著になり放熱が増大する。これらを防止し、農業生産性を向上する温室内環境の改善策が強く求められている。平成 21 年度に実施した温室内除湿実験より、①植物の病害発生等が激減してキュウリの生産量が約 20 % 増加したこと、また②温風暖房機の A 重油消費量を約 15 % 削減できたことなどを報告した。生産物の増収効果は除湿による病害発生防止効果と結論された。本稿では、除湿による温室の省エネルギー効果を解明する目的で、温室内の熱および水蒸気循環モデルを提示し、その熱収支等を予測した。

キーワード：実用規模温室，多湿環境，吸収除湿，温室の省エネルギー，水蒸気循環モデル

## 1 はじめに

南九州では冬季の温暖な気候を利用したビニールハウス栽培が盛んであるが、(1)ハウス内多湿環境に起因した病害の多発、(2)ハウス内フィルム内面への結露等放熱損失が指摘されている。

そこで、宮崎県工業技術センターと宮崎県内の関連企業 3 社、宮崎大学農学部および宮崎県総合農業試験場が連携して平成 20～21 年度の経済産業省事業に申請し、研究が開始された。平成 21 年度の通年実験から、試作吸収式除湿機を設置したビニールハウスでは、きゅうりの収穫量が約 20 % 増加し、温風暖房用重油消費量は約 15 % の削減を達成した。きゅうりの収穫量増はハウス内除湿による病害発生の抑制効果と結論された。一方、省エネルギー効果は内フィルム下面への結露量の減少や吸収熱発生等によるものと考えられるが、さらに詳細な検討を加える必要がある。

本稿では、ハウス内除湿の省エネルギー効果に関する検討の前段として、除湿していないビニールハウスの熱および水蒸気循環モデルを提示し、

その熱収支等を予測する。

## 2 実験装置および方法

図 1 に流下液膜方式の試作除湿ユニットを示す。ハウス内に設置した除湿ユニットではハウス内の高湿度空気を吸い込み、吸湿液と接触させて水分を除去する。濃度が低下した吸湿液はハウス外に設置した吸湿液加熱再生ユニット(図 2)へポンプ輸送する。



図 1 温室内に設置・稼働中の除湿ユニット

図 2 に試作吸湿液加熱再生ユニットを示す。本ユニットは使用済みの低濃度吸湿液を加熱再生し

\* 1 機械電子部

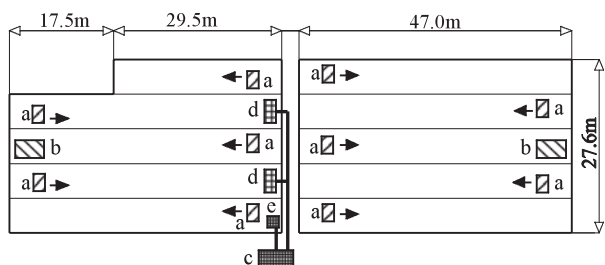
\* 2 宮崎大学農学部

て高濃度吸湿液とし、ハウス内の除湿ユニットへ返送する。なお、右となりのタンクは吸湿液を一時的に貯蔵するためのサーバータンクである。



図2 温室外に設置した再生ユニット

図3に実験装置の配置図を示す。除湿実験装置は宮崎県綾町の実験協力農家のハウス内に設置した。ハウスの寸法は27.6m × 47.0mで、図3の左側を除湿区(一部面積がカットされている)とし、右側を対照区とした。



a: 天井循環扇, b: 温風暖房機, c: 吸湿液再生ユニット, d: 除湿ユニット, e: 水蒸気放熱器

図3 実験装置の全体(右: 除湿区, 左: 対照区)

### 3 実験結果および検討

図4は、平成22年12月1日から平成23年1月31日の間の、対照区の暖房機用A重油消費量から除湿区のそれを引いた差の値(ハウス外表面積で修正した値)、除湿ユニットの除湿量および吸湿液加熱再生ユニットの灯油消費量で、横軸に経過日数を、縦軸に積算量(リットル)を示す。

本図より、12月1日から38日経過後(★印)までは除湿量が増加し、その後はほぼ一定となっている。これは、38日経過の1月8日頃から寒波が襲来して外気温が極端に低下し、除湿ユニット

の稼働時間が短縮したことによる(温風暖房機の稼働中は除湿ユニットを停止している)。

実験開始38日後のデータ(★印)ではA重油の差は327.5リットル、除湿量は721.0リットル、吸湿液の再生に用いた灯油消費量は105.9リットル、A重油と灯油の消費量の比は $327.5 \div 105.9 \approx 3.1$ である。灯油を1リットル消費してA重油を3.1リットル節約したことになる。吸収除湿では、①吸収熱の発生、②ハウス内面への結露量の削減効果、③吸湿液再生時の水蒸気熱のハウス内への供給などが考えられるが、より詳細な検討が必要である。

以下、除湿していない従来型のビニールハウスの熱および水蒸気循環についてモデル計算を行う。

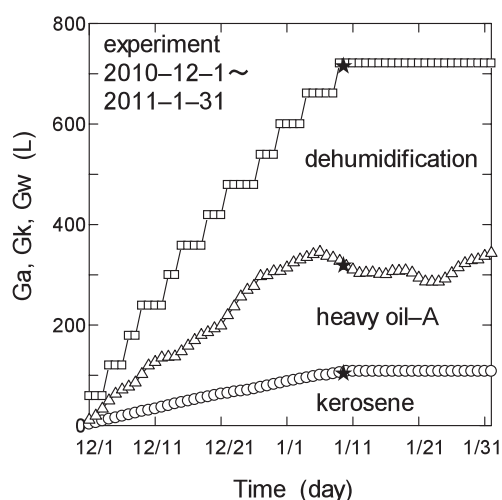


図4 暖房機燃料消費量の差(Ga)、再生用灯油量(Gk)および除湿量(Gw)

### 4 ビニールハウスの熱および水蒸気移動モデルの検討

#### 4-1 従来型ビニールハウスの計算モデル

図5にビニールハウスの断面図と計算モデルを示す。本ビニールハウスは1重1層の外フィルムと内カーテン方式で、フィルムの材質はともに塩化ビニール製である。ハウス内にはきゅうりが1棟に2列の割合で植えてある。内フィルムの下面には天井付近の空気を循環するための天井循環扇が設置してあり、暖房時または定期的に稼働する。モデル図の左側は対流伝熱項を、右側は熱放射項を示す。

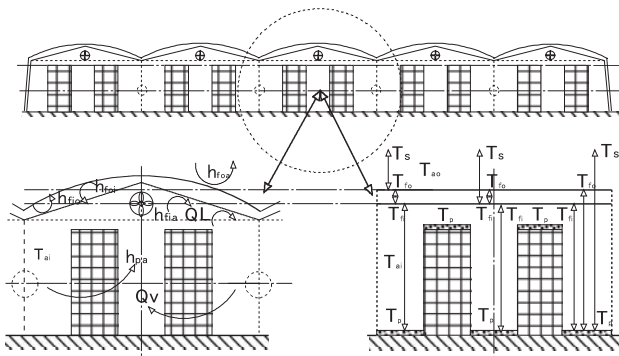


図5 除湿なしビニールハウスの熱収支計算モデル

#### 4-2 計算法および仮定

図5に基づき、除湿していない従来型ビニールハウスの熱収支に関する定常計算を行う。

本ビニールハウスに關与する対流伝熱、結露および蒸散については、外気と外フィルム間、内フィルムの下面とハウス内空気間、床面および植物群とハウス内空気間は強制対流伝熱とし、外フィルムと内フィルム間は自然対流伝熱とした。ハウス床面から地中への伝熱は無視した。内フィルム下面への結露による伝熱量  $Q_L$  は青木の論文(1)を用いた。床面および植物群からの蒸散量は内フィルム下面への結露熱と同値とした。

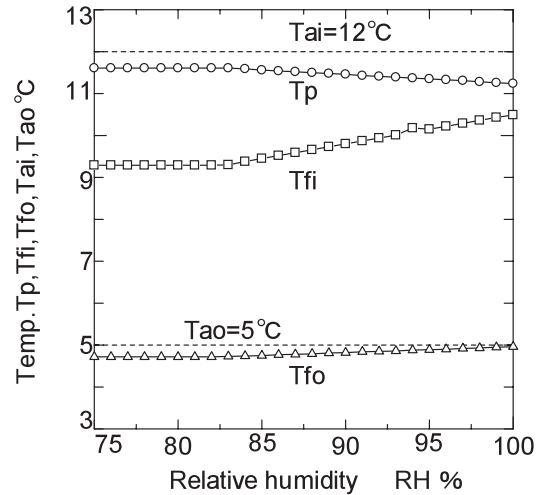
一方、赤外線放射については、赤外線透過性の外・内フィルムと床面および植物群に対して伊藤の論文(2)の多重放射の式を用いた。相互熱放射に關与する面積は計算の簡単化の目的で、天空への垂直投影面積とした。

計算は部材間の対流熱伝達式と赤外線透過を考慮した相互熱放射式を Windows-N88Basic で記述して実行した。計算にはニュートン・ラプソン法を用い、収束条件は計算数値の前後の差が  $0.0001^{\circ}\text{C}$  以下の時とした。計算の有効桁は16桁である。

#### 4-3 計算例と検討

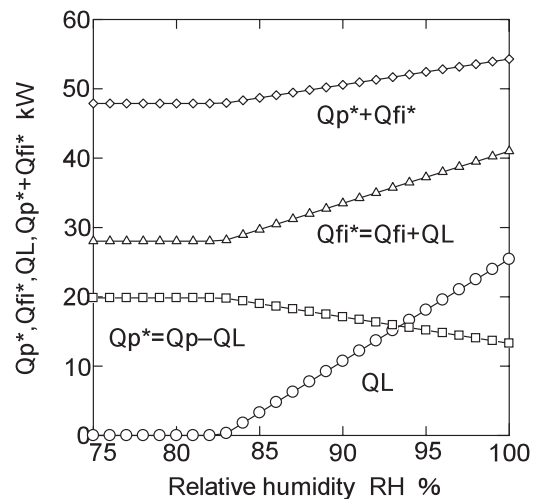
図6と7は外気温度  $T_{ao}=5^{\circ}\text{C}$ 、ハウス内気温  $T_{ai}=12^{\circ}\text{C}$  一定とし、ハウス内相対湿度を変化させた場合の構成部材の温度経過および部材への供給熱量計算値を示す。図6よりハウス内相対湿度が83%以上の時、内フィルムへの結露が発生し、内フィルム温度  $T_{fi}$  は増加、床面と植物群の温度  $T_p$  は減少し、外フィルム温度  $T_{fo}$  はやや増加することがわかる。

図7より、ハウス内相対湿度が83%以上となり結露が発生してもハウスからの放熱量 ( $Q_{p^*}+Q_{fi^*}$  と同値) の変化量は15%程度である。しかしながら、ハウス内の熱収支は大きく変化し、結露熱量  $Q_L$  は急増、床面と植物群への熱量  $Q_p$  は減少、内フィルムへの熱量  $Q_{fi}$  は急増する。



記号の説明： $T_{ai}$  はハウス内気温  $T_{ao}$  は外気温、 $T_p$  はハウス床および植物群の計算温度、 $T_{fi}$  はハウス内フィルムの計算温度、 $T_{fo}$  はハウス外フィルムの計算温度

図6 除湿なしビニールハウスの温度に関する予測計算例



記号の説明： $Q_p$  はハウス床および植物への熱移動量、 $Q_{fi}$  はハウス内フィルムへの熱移動量、 $Q_L$  はハウス内フィルムへの水蒸気凝縮熱量(=結露熱量)、 $Q_{p^*}$  および  $Q_{fi^*}$  は蒸散熱量と結露熱量を考慮した熱移動量

図7 除湿なしビニールハウスの熱収支に関する予測計算例

## 5 まとめ

実用規模農業ビニールハウス用吸収式除湿機を用いた除湿実験を実施し、温風暖房機用燃料消費量の削減が可能であることを確認した。その削減効果を解明する目的で、除湿していないビニールハウスに関する熱および水蒸気移動モデルの計算を行い、高湿度では内フィルム下面へ結露が発生し、ハウス内水蒸気循環量が急増することを予測した。

次報では、除湿したビニールハウスに関する熱および水蒸気循環に関する予測計算を行い、除湿による温風暖房機の省エネルギー効果を解明したい。

## 6 参考文献

- (1)青木：日本機械学会論文集，20-96(第2部)，558(1954)
- (2)伊藤：日本機械学会論文集，B編，51-464，1290(1985)

## 謝辞

本研究は経済産業省地域イノベーション事業費により遂行されました。本研究開発に参加されたフルタ熱機，九州オリンピック工業，秋津クリエイト，宮崎県総合農業試験場，宮崎県産業支援財団等，関係各位に深謝いたします。