

原著論文

# イチゴ施設栽培における複合無機系吸着材の温湿度調整 および灰色かび病の発生抑制能力の検討

神川 諭・鈴木正哉\*・森本和也\*・万福和子\*・佐野太郎・  
矢奥泰章\*\*・今西將太\*\*\*

## Considerations for Adjusting Temperature and Humidity Using Composite Inorganic Adsorbent in Greenhouse Strawberry Culture and for Suppressing Development of Gray Mold Caused by *Botrytis cinerea*

KAMIKAWA Satoshi, SUZUKI Masaya, MORIMOTO Kazuya, MANPUKU Kazuko, SANO Taro,  
YAOKU Yasuaki and IMANISHI Shota

### Summary

A prototype was created to control the temperature and humidity in a facility using an inorganic adsorbent precursor (HASClay®): a composite of amorphous aluminum silicate and low-crystalline clay. As the water content rate of the adsorbent increased, the moisture absorption rate decreased exponentially. An exponential relation was found between the decrease in water content rate and the regeneration rate. Strong correlation was found between the moisture absorption rate and the heating value, but the effect of kerosene reduction was small. Even in winter, the use of black ducts on clear days allowed for higher temperatures and lower humidity in ambient air and sufficient regeneration of the adsorbent. Furthermore, dehumidification for 3 hr at night markedly reduced the incidence of gray mold.

**Key Words:** calorific value, greenhouse environmental control, heating effect

キーワード: 暖房効果, 発熱量, 施設内環境制御

### 緒言

園芸施設の生産性を高める有力な方法の一つに温湿度の環境制御が挙げられる。しかし、環境制御に用いられる設備で消費される燃油等の価格上昇が問題となっている(中川路, 2023)。通常、冬季に栽培が行われる施設では保温性を高めるための内張フィルムや、化石燃料を熱源とした加温機が設置されている。1985年頃からは燃油の代替と経費の削減を目的として、水または空気を熱源としたヒートポンプを活用する試みが行われてきた(川嶋ら, 2008; 望月, 2016; 奥島ら, 2010)。奈良県においても、バラの施設栽培でヒートポンプが導入されているが(農林水産省, 2001)、これ以外の有効な燃油経費の削減技術の普及事例は少ない。

また、施設内の湿度制御についてもヒートポンプ(下元ら, 2017)や細霧冷房装置が利用されており(木野本ら, 2013)、病害発生の低減のほか、生育、収量および収穫物の品質向上の取り組みがなさ

れている。

一方、国立研究開発法人産業技術総合研究所は、非晶質アルミニウムケイ酸塩と低結晶性粘土の複合体である無機系吸着材(以下、ハスクレイ、石原産業(株))を開発した(鈴木・前田, 2012)。ハスクレイは、低温での水蒸気の吸脱着を繰り返し行えることから、ハスクレイを用いたヒートポンプ(鎌田ら, 2020)や除湿と温度調節を行うことができるデシカント空調機が開発されている(鈴木ら, 2016)。農業分野では、二酸化炭素も吸脱着する特性を利用し、燃焼ガスから二酸化炭素を回収・貯留させ、施設内の二酸化炭素濃度が低下した際に、二酸化炭素を供給することのできる二酸化炭素供給装置が開発されている(鈴木ら, 2013)。

そこで、農業分野での新たな温湿度調整方法の開発を目的に、開発途中であったハスクレイ GII 型の前駆体(以下、吸着材)を用いて、施設内の温湿度を調整するための試作機(以下、試作機)を作成した。ここでは、試作機における吸着材の含水率と吸

\*国立研究開発法人産業技術総合研究所

\*\*現 なら食と農の魅力創造国際大学校

\*\*\*現 奈良県東部農林振興事務所

湿度との関係とその際の発熱量、および日中における含水率と再生速度との関係を明らかにし、試作機的能力について検討したので報告する。

また、冬季夜間の施設内は高湿度になりやすく、灰色かび病 (*Botrytis cinerea* Persoon) の発生を助長することが知られているため (手塚ら, 1983; 渡辺ら, 2021), 試作機による除湿がイチゴ灰色かび病の発生に及ぼす影響も検討したので、併せて報告する。

## 材料および方法

### 1. 供試施設および設備

#### 1) 施設および付帯設備

本試験は、2023年9月から2024年2月に奈良県農業研究開発センター (奈良県桜井市) 内で行った。試験には、同規模施設に同設備を備えたパイプハウス2棟を供試した。施設は、0.1 mm厚のポリオレフィン系特殊フィルムを展張した間口6.6 m、奥行27.0 m、軒高2.0 m、棟高3.6 mのパイプハウス (ほ場面積1.78 a、容積約499 m<sup>3</sup>) と、その中の0.05 mm厚のポリオレフィン系特殊フィルムを展張した間口6.3 m、奥行26 m、軒高1.8 m、棟高3.2 mの内張 (ほ場面積1.64 a、容積約410 m<sup>3</sup>) からなる。また、ハウス内床を防草シート (アグリシート, 日本ワイドクロス (株)) で全面被覆した。施設に付帯する設備は、最大風量350 m<sup>3</sup>/分の換気扇 (FGX10436, フルタ電機 (株)) を25°C設定とし、定格暖房出力37.2 kWの送風暖房機 (KA-325T, ネポン (株)) を8°C設定として運転させた。また、最大風量37 m<sup>3</sup>/分の循環扇 (AB251, フルタ電機 (株)) は24時間運転とした。

また、施設内にイチゴ栽培用高設ベンチを設置し、9月13日に1施設あたり784株のイチゴ苗を定植、給液量を1日あたり157 lとした。

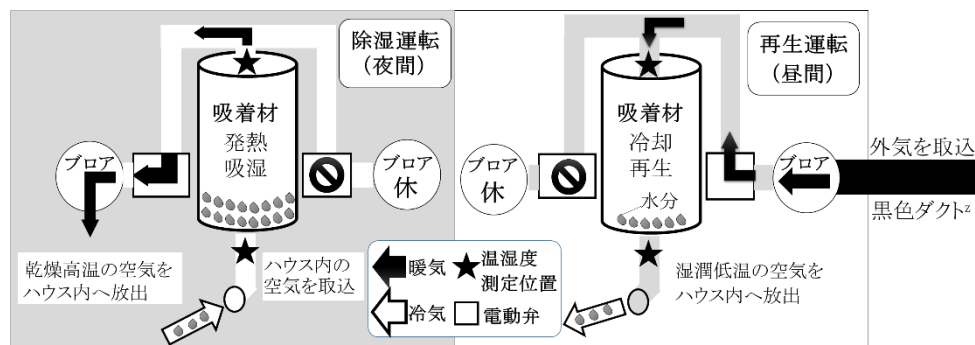
### 2) 温湿度調整試作機

試作機は、冬季夜間に低温高湿になった施設内の空気を吸着材に送風することで水蒸気を吸着させ、同時に吸着材が放出した熱を施設内に送風する構造となっている (第1図)。また、吸着材は低湿な空気を送風することで再生が可能であるため、試作機は日中に施設外の乾燥した空気を送風することで吸着材を再生させることができる。この吸着と再生を繰り返すことにより、断続的に吸着と発熱が可能となる仕様となっている。

試作機は、直径0.65 m、高さ0.87 m、容積0.289 m<sup>3</sup>のドラム缶に91.3 kg (80°C, 16時間乾燥時)の吸着材を充填し、吸湿運転用として最大風量7.5 m<sup>3</sup>/分のブローア (EC-75S-R3A3, 昭和電機 (株))、再生運転用として最大風量16.0 m<sup>3</sup>/分のブローア (EC-04S-R3A3, 昭和電機 (株)) および吸湿・再生運転を切り替えるための電動弁 (EXS100-10XJSME-100A, (株)キッツ) を内径107 mmの塩ビ管を用いて接続し作成した。また、吸着材の再生効率を高めるために、60.6 mの200 mm径黒色ダクト (換気用アルミホース, Shenzhen New Land Trading Co., Ltd.) をハウス南側妻面に設置した外気取込口から、ハウス西側軒、北側妻面、東側軒の順に沿って、施設の南側妻面付近に設置した試作機に連結した。なお、試作機を設置した施設を吸着材区、他方の施設を対照区とした。

### 2. 環境測定

試作機の吸入・吹出口 (第1図中の★印位置) に



第1図 試作機の概要

<sup>2</sup> 長さ60.6 m、200 mm径、ハウス南側妻面に設置した外気取込口から、ハウス西側軒、北側妻面、東側軒の順に沿って、施設の南側妻面付近に設置した試作機に連結

における風速および温湿度の測定は、プローブ (0965-03 ミニチュア温度補償一体型無指向性 (球状), 日本カノマックス (株)) を接続した風速計 (AIR FLOW TRANSDUCER 6332 型, 日本カノマックス (株)) と, 温湿度センサー (SHT35, Seeed Technology Co., Ltd.) で行い, 屋外日射量を日射計 (PVSS-03, (株) 三弘) で測定した. データの記録は, データロガー (GL840, グラフテック (株)) を用いて 1 分間隔で行った. また, 施設内の温湿度は試作機から奥行方向 18.0 m, 高さ 1.8 m の地点を, 施設外温湿度は南側妻面の高さ 1.8 m の地点を通風シェルター内にセンサーを設置した温湿度計 (おんどとり TR-72wf, ティアンドデイ (株)) で測定した.

### 3. 試作機の能力調査

#### 1) 除湿効果と発熱量の検討

試作機の除湿速度の検討は, 1 月 31 日から 2 月 2 日まで, 2 月 13 日から 16 日までおよび 2 月 20 日から 22 日までの各期間 0:00 から 5:00 まで断続運転により行った. なお, 各期間中の日中に再生運転は行わなかった.

吸着材の吸湿速度および含水率は, 1 時間毎の試作機の吸入・吹出口の温湿度および風速の測定値から風量および絶対湿度を算出し, 吸入・吹出口の絶対湿度の差から求めた. 試作機の運転による施設内温湿度変化については, 送風暖房機の運転によっても温湿度が変化するため, 各期間共通で送風暖房機の運転がなかった 1 月 30 日から 31 日, 2 月 12 日から 13 日および 2 月 19 日から 20 日 23:00 から 0:00 までの試作機運転前と 0:00 から 1:00 までの試作機運転後について評価した.

#### 2) 再生速度の検討

吸着材の再生速度の検討は, 1 月 9 日, 2 月 8 日から 2 月 10 日まで, および 2 月 16 日から 17 日までの各日または期間の 10:00 から 15:00 まで断続運転により行った. なお, 各期間中の夜間に除湿運転は行わなかった.

再生速度は, 吸湿速度と同様に求めた.

#### 3) 黒色ダクトによる温度上昇効果

施設外気を黒色ダクト内に通過させ, 太陽光による温度上昇効果について検討した. 調査は, 2) 再生速度の検討と併せて行い, 解析は 1 時間毎の積算

日射量と黒色ダクト通過後の試作機吸入口気温と外気温の差について行った.

#### 4) 試作機の除湿運転による灰色かび病の発生抑制効果

灰色かび病菌をナス果実に接種したのち 20°C で果実全体に菌糸が増殖するまで培養した. 11 月 27 日にナス果実 1 果をネットに入れ, 高設ベンチに 2 条植えした 'アスカルビー' 12 株の中央の高さ 30 cm に設置し, 両区 5 か所とした. 調査は 12 月 14 日から 20 日までの 2 日間隔で行った. 発病の判定は, 開花直後の花から収穫前までの果実の萼および果実に赤い病斑が観察された花および果実 (以下, 発病果等) とした. 発病果等は各調査後に除去した.

試作機は, ナス罹病果実を設置した翌日の 11 月 27 日から調査終了の 12 月 20 日までの各日 3:00 から 6:00 まで除湿運転を, 8:00 から 15:00 まで再生運転を行った. 除湿・再生運転については, 吸着材の除湿量・再生量の程度に関わらずタイマー制御で運転した.

### 4. 統計解析

統計解析には, R version 4.3.1 を用いた.

## 結果

#### 1. 除湿速度と発熱量の検討

各期間の運転開始時点での吸着材の含水率は自重に対して 11.5%wt から 17.4%wt であり, 施設内の平均相対湿度は 92.7% から 96.5% であった (第 1 表).

このような湿度条件下において, 含水率と吸湿速度の間には  $y = -902.4 \ln(x) + 3263.9$  ( $y$ : 吸湿速度,  $x$ : 含水率,  $R^2 = 0.8068$ ,  $p < 0.001$ ) の関係が見られた (第 2 図). また, 運転開始後 1 時間における吸着材区の温度および相対湿度は対照区に比べて, それぞれ 0.3°C 高くなり, 4.7% 低くなった (第 2 表). また, 吸湿速度と発熱量の間には  $y = 0.0027x - 0.681$  ( $y$ : 発熱量,  $x$ : 吸湿速度,  $R^2 = 0.9356$ ,  $p < 0.001$ ) の関係があった (第 3 図).

#### 2. 再生速度の検討

各日または期間の運転開始時点の含水率は 30.0%wt から 35.5%wt, 試作機の吸入口の相対湿度は 17.2% から 20.7% であった (第 3 表).

このような湿度条件下において、吸着材の含水率と再生速度は、 $y=2363.7\ln(x) - 5429.3$  ( $y$ : 再生速度,  $x$ : 含水率,  $R^2=0.6935$ ,  $p<0.001$ ) の関係があった(第4図)。

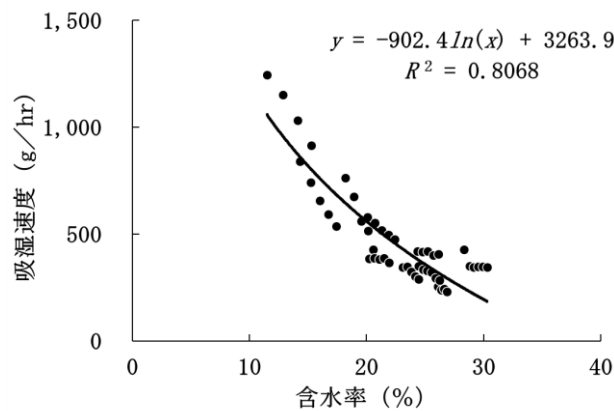
第1表 吸湿運転時の含水率と相対湿度

調査期間 <sup>z</sup>	運転前含水率 <sup>y</sup> (%wt)	平均相対湿度 <sup>x</sup> (%RH)
1月31日～2月2日	11.5	92.7
2月13日～2月16日	14.3	95.1
2月20日～2月22日	17.4	96.5

<sup>z</sup> 調査年 2024年, 各調査期間の運転時間 0:00～5:00

<sup>y</sup> 各吸湿運転前における吸着材の自重に対して保持している水の重量比

<sup>x</sup> 吸着材を通過する前の空気の平均相対湿度



第2図 吸着材の含水率と吸湿速度の関係

第2表 試作機の運転が施設内温湿度<sup>z</sup>に与える影響

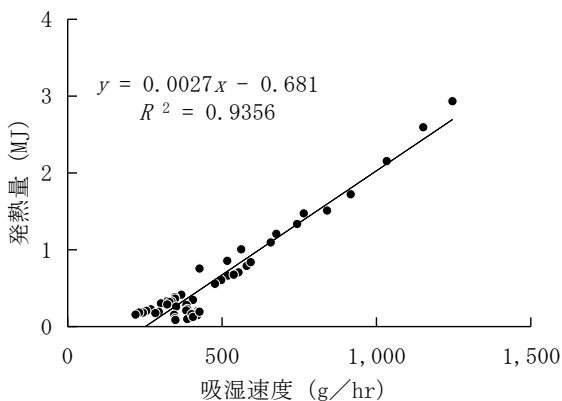
試験区	温度 (°C)		相対湿度 (%RH)	
	稼働前 <sup>y</sup>	稼働後 <sup>x</sup>	稼働前 <sup>y</sup>	稼働後 <sup>x</sup>
吸着材区	10.5	9.2	87.6	83.1
対照区	10.6	8.9	87.6	87.8

<sup>z</sup> 1月30日, 2月12日および2月19日の各区の施設内平均温湿度

送風暖房機が運転していない時間帯で算出

<sup>y</sup> 調査日の前日 23:00 から 0:00 までの1時間における平均

<sup>x</sup> 調査日の 0:00 から 1:00 までの1時間における平均



第3図 吸着材の吸湿速度と発熱量の関係

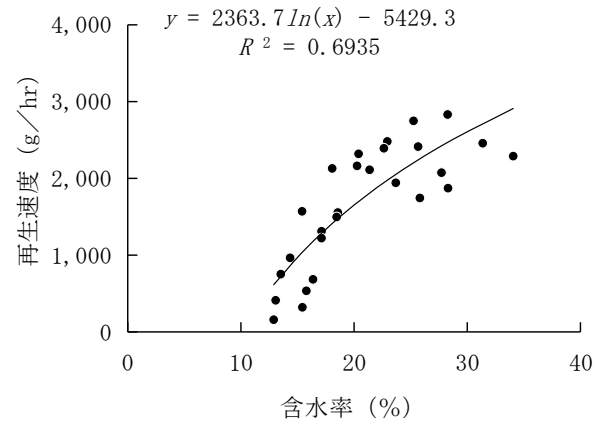
第3表 再生運転時の含水率と温湿度

調査期間 <sup>z</sup>	調査前含水率 <sup>y</sup> (%wt)	平均相対湿度 <sup>x</sup> (%RH)	平均気温 <sup>x</sup> (°C)	
			施設外	試作機吸入口 <sup>x</sup>
1月9日	30.4	20.7	10.4	32.7
2月8日～10日	35.5	17.2	8.8	29.4
2月16日～17日	30.0	19.9	10.3	32.4

<sup>z</sup> 各調査日・期間の運転時間 10:00～15:00

<sup>y</sup> 再生運転前における吸着材の自重に対して保持している水の重量比

<sup>x</sup> 黒色ダクトを通過後, 吸着材を通過する前の空気の温湿度



第4図 吸着材の含水率と再生速度の関係

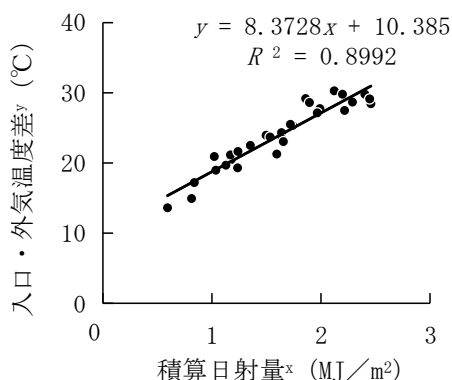
### 3. 黒色ダクトによる温度上昇効果

調査期間中において外気が黒色ダクトを通過する際の温度上昇と積算日射量の間には、 $y=8.3728x + 10.385$  ( $y$ : 入口・外気温度差,  $x$ : 積算日射量,  $R^2 = 0.8992$ ,  $p<0.001$ ) の関係があった(第5図)。

### 4. 試作機の除湿運転による灰色かび病の発生抑制効果

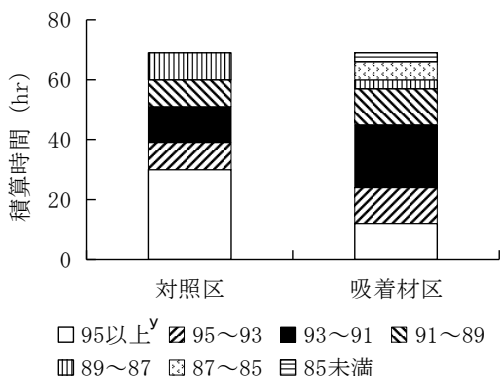
灰色かび病の接種開始から調査最終日までにおいて、試作機が運転している3:00から6:00までの1時間毎の平均相対湿度は、対照区で95%以上の時間が最も長く30時間であったのに対し、吸着材区では91%以上93%未満の時間が最も長く21時間であった(第6図)。

イチゴ灰色かび病の発病果等率は、接種後17日には有意な差は認められなかったものの、接種後19日後には吸着材区の発病果等の発生率は対照区に比べて有意に小さかった(第4表)。



第5図 試作機吸入口気温と外気温の温度差と積算日射量との関係<sup>z</sup>

<sup>z</sup> 1月9日, 2月8日~10日, 16日~17日の10:00~15:00に断続運転  
<sup>y</sup> 外気温と黒色ダクト通過後の試作機吸入口気温との差の平均値  
<sup>x</sup> 施設外における1時間毎の積算日射量



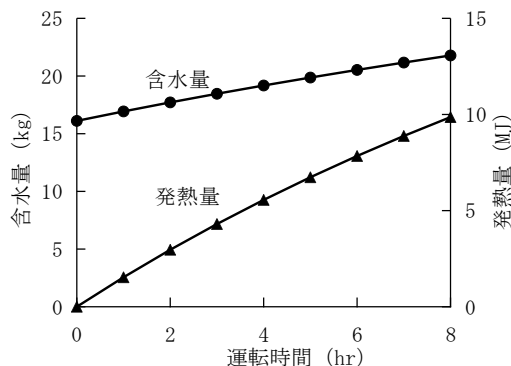
第6図 灰色かび病菌接種期間中の施設内相対湿度<sup>z</sup>

<sup>z</sup> 2024年11月28日~12月20日 3:00~6:00  
<sup>y</sup> 単位は%RH, ○%RH未満~□%RH以上

### 考察

試作機における吸着材の吸水量と吸湿速度, および吸湿速度と発熱量の関係が明らかになったことから, 相対湿度が90%以上の施設内環境下におけるこ

れら近似式から想定される吸水量と発熱量を求めた. 含水率15%の吸着材91.3kg(80°C, 16時間乾燥時)を充填し, 試作機を運転させると, 8時間で約5kgの含水量増加, すなわち吸水と約10MJの発熱量が期待できる(第7図). 灯油1ℓの発熱量を36.49MJ(資源エネルギー庁, 2022)とすると約0.3ℓ分の発熱量となる. 仮に, 前述の条件で12月から2月までの全90日間を運転できた場合, 灯油約24ℓ分の節減となり灯油1ℓあたり117円(資源エネルギー庁, 2024)とすると, 2,846円の節減となる. ただし, 本稿で用いたプロアの出力は90日間・3時間の吸湿運転で約194MJ, 90日間・5時間の再生運転で648MJであり, 節減金額から電気代を差し引く必要がある. また, 施設内の温度上昇効果を考察すると, 吸着材の発熱量は運転開始後1時間では1.5MJ(第7図)であり, 対照区に比べて0.3°C高かった(第2表). 吸着材区と対照区との熱収支差は, ポリオレフィン系特殊フィルム1重と1層内張の熱貫流係数(日本施設園芸協会, 2015)を用いて算出すると, 被覆面積(約307m²)×熱貫流係数(3.9W/m²/°C)×時間(1時間)から1.3MJと試算され, 試作機内



第7図 試作機による含水量の変化と発熱量の予測モデル<sup>z</sup>

<sup>z</sup> 吸湿速度および発熱量の近似式から算出. 含水率15%の吸着材91.3kgを充填した試作機を90%RH以上の施設で運転させた場合

第4表 試作機の除湿運転が灰色かび病の発病果等の発生率に及ぼす影響

区	12月14日		12月16日		12月18日		12月20日	
	調査数 <sup>z</sup>	発生率(%)	調査数	発生率(%)	調査数	発生率(%)	調査数	発生率(%)
吸着材区	165	3.0	217	0	227	1.8	290	5.9
対照区	194	1.5	194	2.6	272	7.4	262	11.1
検定 <sup>y</sup>		n. s.		*		**		**

<sup>z</sup> 両区5か所の‘アスカルビー’各12株の花および果実数

<sup>y</sup> 期待度数が5より大きい場合は $\chi^2$ 独立性の検定, 5以下のものがある場合はFisherの直接確率計算法で行った. n. s.: 有意差なし, \*\*: 1%水準で有意差あり, \*: 5%水準で有意差あり

の測定値および施設内測定値から算出される熱収支とおおむね合致する結果となった。

試作機において、吸着材の吸湿能力を高く維持するためには日中の効果的な再生が重要になる。調査期間中の1時間あたり積算日射量は $0.5\sim 2.5\text{ MJ/m}^2$ の範囲で平均は約 $1.6\text{ MJ/m}^2$ であった(第5図)。この平均的な奈良県の冬季の晴天時であれば、黒色ダクト内を通風することで求めた回帰式から外気温度よりも約 $24^\circ\text{C}$ 高く加温できることが想定される(第5図)。また、相対湿度も20%前後に低下させることができた(第3表)。このような条件下であれば、吸着材の含水率を約20%以下に低下させるまでに1時間あたり約 $1,650\text{ g}$ 以上の再生速度が得られ(第4図)、ブローの送風能力の効果を考慮する必要があるが、吸湿運転のほぼ半分の時間があれば吸着材の再生が可能である。しかし、単純なタイマー制御では雨天・曇天時には再生されず吸湿になったこともあり(データ省略)、吸着材の吸水量と吸入口の相対湿度のモニタリングによる再生・吸湿運転制御機能を合わせて試作機に付与する必要があると考えられた。

また、施設内の相対湿度は、運転開始後の1時間で対照区に比べて4.7%低かったことから(第2表)、 $10^\circ\text{C}$ の条件下において $499\text{ m}^3$ の施設内で約 $180\text{ g}$ の水蒸気量が吸湿されたことになる。一方、試作機は運転開始後の1時間で約 $1.1\text{ kg}$ の含水量の増加、すなわち吸水が行われたものと考えられる(第7図)。これらの差はかなり大きく、イチゴの溢液などからの蒸発による水蒸気の供給が影響していると考えられる。

灰色かび病菌の接種期間中では、施設内相対湿度が最も高まりやすい早朝3時間に最大の除湿効果を発揮させようと考え、3:00から6:00までの運転とした。試作機運転中の吸着材区の平均相対湿度は、対照区に比べて95%以上の時間が短くなり、93%未満の時間が長くなった(第6図)。灰色かび病の分生子の発芽には、95%前後の相対湿度が必要で、90%以下では孢子は乾燥し、委縮して発芽しないことが報告されている(手塚ら, 1983; 渡辺ら, 2021)。灰色かび病の発生率を有意に低減できたことは(第4表)、試作機の活用に向けて栽培上の重要な利点と考える。

最後に、第1図にあるように試作機は吸湿運転時には吸着材の下方から、再生運転時には吸着材の上方から送風を行う構造となっている。しかし、現時

点ではドラム缶内の吸着材の含水率の分布や運転中のドラム缶内の各箇所の含水率の推移などが明らかになっておらず、今後さらなる効率的な吸湿、再生および発熱量の増大に向けた送風口の数、位置および方向などの試作機の改良が必要と考える。

## 摘要

非晶質アルミニウムケイ酸塩と低結晶性粘土の複合体である無機系吸着材(ハスクレイ)の前駆体を用いて、施設内の温湿度を調整するための試作機を作成した。吸着材の含水率が増加すると吸湿速度は指数的に減少し、含水率の低下と再生速度との間にも指数的な関係があった。吸湿速度と発熱量との間にも高い相関がみられたが、灯油の削減効果は小さかった。冬季においても晴天であれば、黒色ダクトを用いることにより、取り込み外気の高湿・低湿化が可能であり、吸着材の十分な再生が可能であった。また、夜間3時間の吸湿運転により、イチゴ灰色かび病果発生率は有意に小さかった。

## 引用文献

- 林 真紀夫. 暖房. 施設園芸・植物工場ハンドブック. 日本施設園芸協会. 農文協, 2015, 123-125.
- 鎌田美志, 川上理亮, 大山孝政, 松田 聡, 鈴木正哉, 丸毛謙次, 山内一正, 宮原英隆, 松永克也, 谷野正幸. ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発 第1報—小型装置の実験結果と吸着材蓄熱槽の計算モデル. 空気調和・衛生工学会論文集. 2020, 45(281), 9-17.
- 川嶋浩樹, 高市益行, 馬場 勝, 安井清登, 中野有加. 空気熱源式ヒートポンプを利用したハイブリッド暖房方式による投入エネルギーおよび $\text{CO}_2$ 排出量の削減効果. 野菜茶試研報. 2008, 7, 27-36.
- 木野本真沙江, 松本佳浩, 吉田 剛. 細霧冷房装置利用による相対湿度の制御がトマト生体情報および収量品質に及ぼす影響. 栃木農試研報. 2013, 71, 27-31.
- 望月和博. 日本農業におけるエネルギー問題の現状

- と植物工場. 電気学会誌. 2016, 6, 344-347.
- 中川路哲男. 特集号 (基盤技術研究) 発刊によせて. 農研機構研報. 2023, 13, 1.
- 農林水産省. バラ生産組合における A 重油焚きボイラーからヒートポンプへの転換による CO<sub>2</sub> 削減事業. 報道発表資料. 2001, 資料 6.
- 奥島里美, 吉田弘明, 森山英樹, 石田 聡. 水熱源ヒートポンプによる農村地域の地中熱エネルギーの利用. 農業農村工学会誌. 2010, 78(8), 669-672.
- 資源エネルギー庁. “エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数一覧表”. 標準発熱量・炭素排出係数 (総合エネルギー統計). 2022-11. [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/carbon.html](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon.html), (参照 2024-06-26).
- 資源エネルギー庁. “給油所小売価格調査 (ガソリン, 軽油, 灯油)”. 石油製品価格調査. 2024-06-19. [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum\\_and\\_lpgas/pl007/results.html#headline1](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html#headline1), (参照 2024-06-26).
- 下元祥史, 山本敬司, 工藤りか. ヒートポンプ空調機を用いた湿度制御によるナスすすかび病の防除. 植物防疫. 2017, 71(5), 324-326.
- 鈴木正哉, 前田雅喜. 粘土系無機多孔質材料によるデシカント空調用吸着剤の開発—ハスクレイの除湿性能について—. 日本冷凍空調学会論文集. 2012, 29(1), 89-96.
- 鈴木正哉, 月村勝宏, 犬飼恵一, 前田雅喜, 西本登志, 仲 照史, 廣岡健司, 佐野太郎, 稲本勝彦, 吉川正晃, 岸本 章, 喜多村克宏. 燃焼排ガス中の二酸化炭素を利用した園芸用施設への二酸化炭素供給装置. 2013. 特許第 6179915 号.
- 鈴木正哉, 前田雅喜, 犬飼恵一. 高性能吸着剤ハスクレイ® の開発—粘土系ナノ粒子による省エネルギーシステム用吸着剤の開発展開—. Synthesiology. 2016, 9(3), 154-164.
- 手塚信夫, 石井正義, 渡辺康正. 施設栽培におけるトマト灰色かび病の発生に及ぼす空気湿度の影響. 野菜試験場報告. 1983, 11, 105-111.
- 渡辺秀樹, 小島一輝, 久富茂樹, 嶋津光鑑. 温湿度データによるトマト灰色かび病菌の感染危険度推定. 関病虫研報. 2021, 63, 59-65.

