

# デシカント空調システムにおける 外気の絶対湿度とシステム運転方式との関係

石川 敏嗣<sup>a)</sup>・藤澤 一平<sup>b)</sup>・迫田 達也<sup>c)</sup>・林 則行<sup>c)</sup>

## Relationship between Absolute Humidity of Outside Air and System Operation Mode in Desiccant Air Conditioning System

Toshitsugu ISHIKAWA, Ippei HUIJISAWA, Tatsuya SAKODA, Noriyuki HAYASHI

### Abstract

Co-generation system has become an effective method to solve the global warming and energy problem. The system can achieve high efficiency both by using electric generation and by exhaust heat recovery. On the other hand, the development of the environmental improvement technology in a greenhouse is demanded agricultural sector. It is thought that a desiccant air conditioning system can solve these problems. In this paper, experiments aimed at establishing system operation methods according to absolute humidity of outside air were conducted.

Firstly, the experiment was conducted with air volume of both blowers on dehumidification side and regeneration side set to 640 m<sup>3</sup>/h. As the result, it was confirmed that temperature and relative humidity inside the greenhouse could be controlled to target ranges of inside the greenhouse when absolute humidity of outside air is less than 17 g/kg.

Secondly, the experiment was conducted when absolute humidity of outside air was very high. In this case, air volume of both blowers on dehumidification side and regeneration side were set to two different conditions. First condition of the blowers is 640 m<sup>3</sup>/h and another one is 740 m<sup>3</sup>/h. At the result, it was confirmed that setting the air volume of the blowers to 740 m<sup>3</sup>/h is better when absolute humidity of outside air is high.

**Keywords:** Co-generation, Dessicant air conditioning system, Greenhouse, Absolute humidity of outside, Air volume of blowers

### 1. はじめに

分散型電源を用いてエネルギーを供給するシステムとしてコージェネレーションシステムの利用に注目が集まっている。コージェネレーションシステムの特徴は、発電の際に発生した排熱を回収することで電気と熱を同時に得ることができ、総合熱効率 70～80%以上と非常に高い効率が得られることである<sup>1)</sup>。しかし、コージェネレーションシステムから発生する熱の温度は低く、図 1 のように使用用途が限られていることが問題となっている<sup>2, 3)</sup>。

一方、日本の農業経営における課題として図 2 に示すように「農業所得の安定」が最も高くなっており、次いで「農業資材（肥料、農薬、資料、燃料等）のコスト」、「収量の安定・向上」となっている。そのため、日本の農業経営において、農業所得を安定させるために農業資材コストを低減させ、収量を安定・向上させる技術が求められている<sup>4)</sup>。

a)電気電子工学専攻大学院生

b)工学専攻エネルギー系コース大学院生

c)工学教育研究部教授

中でも温室内で農作物を栽培する際、温室内は一日中絶対湿度が高いため農作物が病気になりやすく、収量の安定・向上が難しい。さらに、温室内の相対湿度の調整は温室内の温度の調整よりも難しいため、効果的かつ経済的調整方法は開発されていない。そこで、コージェネレーションシステムからの低温排熱を利用した省エネルギーなデシカント空調システムを用いて温室内の環境改善をすることで、収量の安定・向上が可能ではないかと考えた<sup>5)</sup>。

そのため、我々は、コージェネレーションシステムからの低温排熱をデシカント空調システムに利用し、温室内の相対湿度を 60～80%、温度を 18～25℃に制御することを目的とした研究を行っている。

本稿では、外気（以後 OA と略す）の絶対湿度に応じたシステム方式の確立を目的として以下の 2 つの実験を行ったので、その結果を報告する。

- [1] OA の絶対湿度とデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係
- [2] OA の絶対湿度が非常に高い場合のデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係

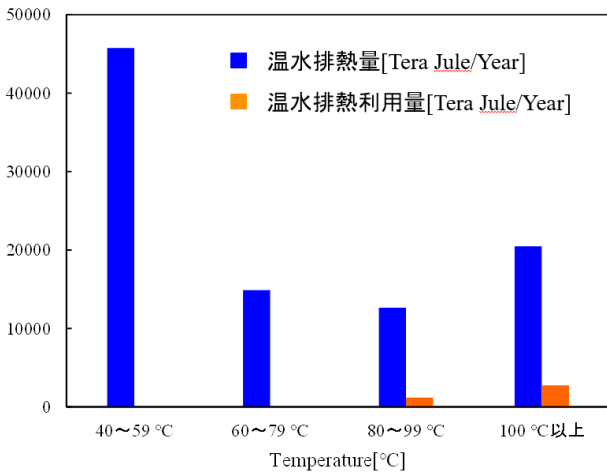


図1. 温水排熱量と利用量.

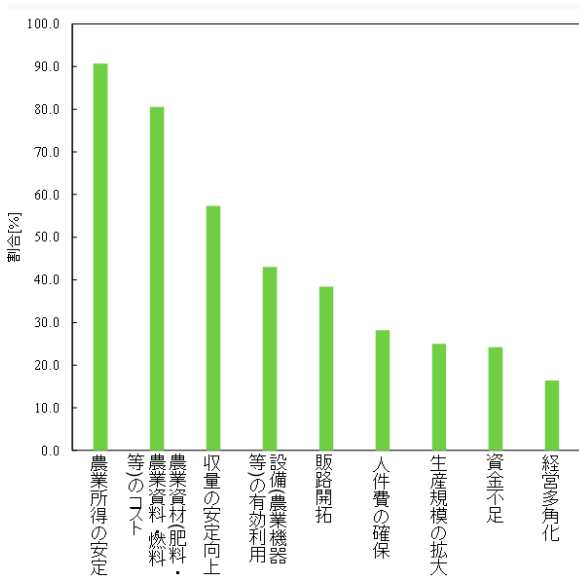


図2. 日本の農業経営における課題.

## 2. OAの絶対湿度とデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係

### 2.1 実験目的

本章では、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を 640 m<sup>3</sup>/h に設定して温室内の除湿を行った。そして、OAの絶対湿度がどのような範囲までであれば、目標としている温室内の温湿度に制御できるかを目的として実験を行った。

### 2.2 実験方法

実験回路(換気方式)を図3に示す。実験はOAの絶対湿度がそれぞれ異なる3つの実験条件で行った。実験開始時から実験終了後までのOA条件と実験開始時の温室内の条件を表1、システムの条件を表2にそれぞれ示す。どの実験条件においても実験開始時の温室内の相対湿度は目標としている範囲を超えており、実験開始時の温室内の温度は目標としている範囲内にある。

3つの実験条件での実験方法(図3を参照)はすべて同じであり、その実験方法を以下に示す。

- ① 除湿過程では、除湿側の送風機を用いて、デシカントローター(以後DWと略す)、顕熱交換機(以後SHEと略す)、温室の順に空気が流されていく。はじめに、除湿側の送風機を用いてOAをDWに送り、DW内の吸着材を用いてPAに含まれる水分を吸着する。吸着材は水分を吸着すると熱を発生させる。その際、発生した熱はSHEで奪われる。
- ② ①で除湿、熱交換されたSAを温室内に送り込み、温室内の除湿を行う。
- ③ 再生過程では、再生側の送風機を用いてSHE、Heating Coil、DWの順に空気が流されていく。はじめに、再生側の送風機を用いてOAをSHEに送り、RAは吸着材から発生した吸着熱によって温められる。さらに、RAは排熱を模擬した温水によって再度温められる。
- ④ DW内の水分を含んだ吸着材を再度使用できるように、③で温められた高温のRAによって吸着材に含まれる水分の除去を行う。そして、吸着材の水分除去を行ったRAはEAとしてOAに排気される。
- ⑤ ①~④の工程を繰り返し、温室内の除湿を行う。その際、温室内、OA、PA、SA、RA、EA(図3を参照)のそれぞれの温湿度の測定を行う。

そして、このような方法でデシカント空調システムを運転させ温室内の除湿処理を行った。また、温室内、OA、PA、SA、RA、EAのそれぞれの温湿度を用いて絶対湿度(以後AHと略す)を計算した。

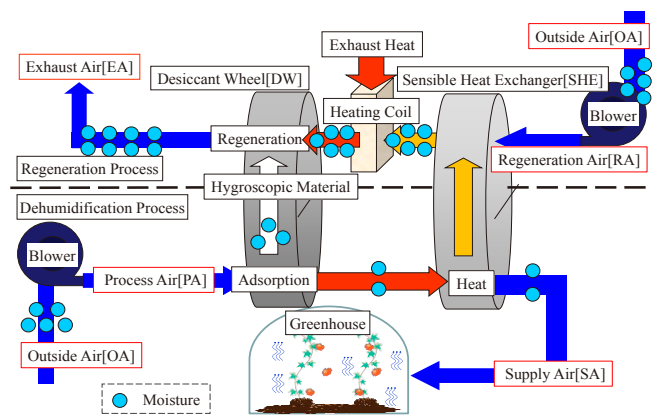


図3. 実験回路.

表1 実験条件.

	OA		Inside the Greenhouse	
	AH[g/kg]	Temp.[°C]	RH[%]	AH[g/kg]
Experiment-1	13.6	23.5	94.2	17.9
Experiment-2	15.1	20.8	94.8	15.6
Experiment-3	16.7	24.4	92.3	17.8

表2 システム条件.

Blowers	Air Volume[m <sup>3</sup> /h]	640
DW、SHE	Face Velocity[m/s]	2.52
	Rotational Speed[rph]	36.0
Hot Water	Temperature[°C]	40.0(±2)

### 2.3 実験結果

表3に3つの実験条件での実験開始時から実験終了後までの温室内の除湿処理の結果をそれぞれ示す。表3より、3つの実験条件において実験終了後の温室内の温湿度を目標としている範囲に制御することができた。

図4~6に3つの実験条件の測定時間に対する温室内、OA、SAのそれぞれの絶対湿度を示す。図4~6より、換気方式の場合、OAの除湿を行っているためSAの絶対湿度はOAの絶対湿度よりも低くなっている。そして、その除湿されたSAが温室内に送られるため、実験終了後の温室内の絶対湿度はOAの絶対湿度よりも低くなったと考えられる。そのため、換気方式を用いると、温室内の絶対湿度をOAの絶対湿度よりも低く制御することができる。これより、温室を開放することができず、かつ、OAの相対湿度が高い夜間や梅雨の時期に、今回のようなシステム運転方式で換気方式を用いると、温室内環境の改善に効果的であると考えられる。

図7に3つの実験条件でのOAの絶対湿度に対する実験開始時から実験終了後までのそれぞれのSAの平均絶対湿度とPAの平均絶対湿度とその差の割合、図8に3つの実験条件でのOAの絶対湿度に対する実験開始時から実験終了後までのそれぞれのRAの平均絶対湿度とEAの平均絶対湿度とその差の割合をそれぞれ示す。SAの平均絶対湿度とPAの平均絶対湿度の差の割合は、DWとSHE通過前後で絶対湿度の量がどの程度減少したかを示している。つまり、吸着材の除湿能力を示しており、SAの平均絶対湿度はPAの平均絶対湿度よりも低い方が良い。また、RAの平均絶対湿度とEAの平均絶対湿度の差の割合は、SHEとDW通過前後で絶対湿度の量がどの程度増加したかを示している。つまり、吸着材の再生能力を示しており、とEAの平均絶対湿度はRAの平均絶対湿度よりも高い方が良い。SAの平均絶対湿度とPAの平均絶対湿度の差の割合は以下に示している式(1)、RAの平均絶対湿度とEAの平均絶対湿度の差の割合は以下に示している式(2)を用いて計算した。

$$\bar{\alpha}[\%] = \frac{\overline{PA} - \overline{SA}}{\overline{PA}} \times 100 \quad (1)$$

$$\bar{\beta}[\%] = \frac{\overline{EA} - \overline{RA}}{\overline{RA}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 $\bar{\alpha}$ は実験開始時から実験終了後までのSAの平均

絶対湿度とPAの平均絶対湿度の差の割合、 $\bar{\beta}$ は実験開始時から実験終了後までのRAの平均絶対湿度とEAの平均絶対湿度の差の割合をそれぞれ示している。また、 $\overline{PA}, \overline{SA}, \overline{EA}, \overline{RA}$ はPA, SA, EA, RAのそれぞれの実験開始時から実験終了後までの平均絶対湿度を示している。

図7より、OAの絶対湿度の上昇に伴って $\bar{\alpha}$ が縮まっていることが分かる。これは、OAの絶対湿度の上昇に伴って吸着材の除湿能力が低下したことを示している。

続いて、図8より、OAの絶対湿度の上昇に伴って $\bar{\beta}$ が縮まっていることが分かる。これは、OAの絶対湿度の上昇に伴って吸着材の再生能力が低下したことを示している。そのため、OAの絶対湿度の上昇に伴って吸着材の除湿能力が低下した原因は、OAの絶対湿度の上昇に伴って吸着材の再生能力が低下したことであると考えられる。そのため、OAの絶対湿度が17 g/kg以上の場合、吸着材の再生能力は、今回の実験条件の場合よりもさらに低下し、それに伴って吸着材の除湿能力も低下していくと考えられる。その結果、OAの絶対湿度が17 g/kg以上を超える場合にデシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を640 m<sup>3</sup>/hに設定して温室内の除湿を行うと、目標としている温室内の温湿度に制御することが難しくなってくると考えられる。そのため、OAの絶対湿度が17 g/kg以上の場合、新たなシステム運転方式が必要になってくると考えられる。

表3 温室内除湿処理結果.

	OA	Inside the Greenhouse		
	AH[g/kg]	Temp.[°C]	RH[%]	AH[g/kg]
Experiment-1	13.6	23.5	76.8	14.0
Experiment-2	15.1	21.2	72.4	11.4
Experiment-3	16.7	24.0	78.9	15.2

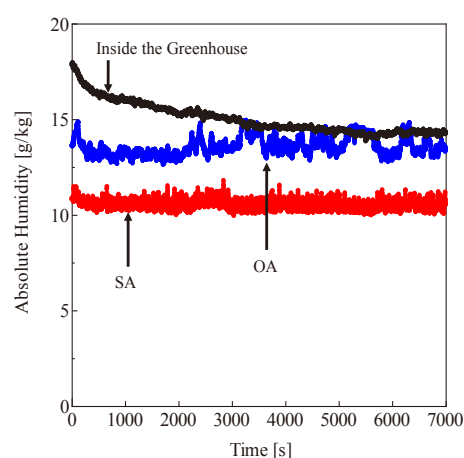


図4. OA、SA、温室内のそれぞれの絶対湿度 (OAの絶対湿度13.6 g/kgのとき)。

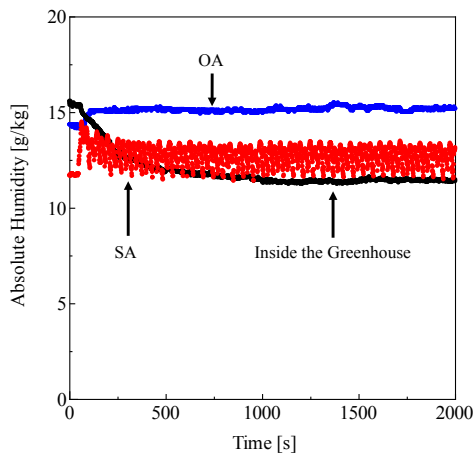


図 5. OA、SA、温室内のそれぞれの絶対湿度（OA の絶対湿度 15.1 g/kg のとき）。

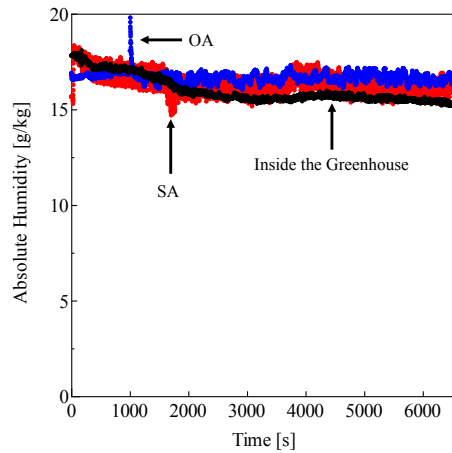


図 6. OA、SA、温室内のそれぞれの絶対湿度（OA の絶対湿度 16.7 g/kg のとき）。

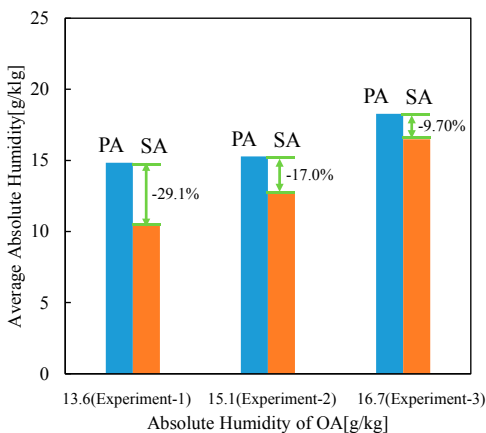


図 7. 実験-1～実験-3 の OA の絶対湿度に対する SA と PA の平均絶対湿度。

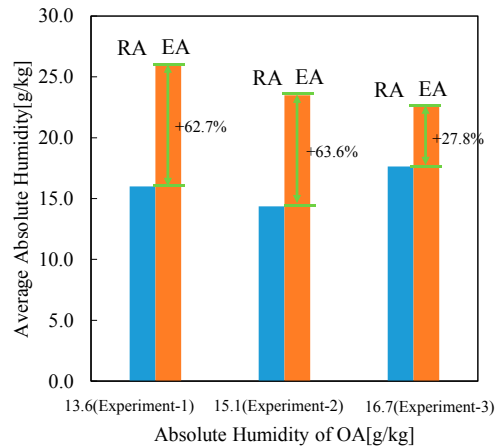


図 8. 実験-1～実験-3 の OA の絶対湿度に対する RA と EA の平均絶対湿度。

### 3. OA の絶対湿度が非常に高い場合のデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係

#### 3.1 実験目的

2章では、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を 640 m<sup>3</sup>/h に設定した場合、OA の絶対湿度が 17 g/kg 未満であれば、目標としている温室内の温湿度に制御できるということが分かった。しかし、OA の絶対湿度が 17 g/kg 以上の場合でも温室内の環境改善が求められる。これまでに、デシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量を上げることでデシカント空調システムの除湿性能が向上するということが分かっている。また、デシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の DW と SHE の面風速は 2～4m/s が良いということが分かっている<sup>3)</sup>。

そこで、本章では、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を 640 m<sup>3</sup>/h に設定した場合と 740 m<sup>3</sup>/h に設定した場合の 2つのシステム条件で温室内の除湿を行った。そして、OA の絶対湿度が 17 g/kg 以上の場合、どちらのシステム条件であれば、目標としている温室内の温湿度に制御できるかを目的として実験を行った。

#### 3.2 実験方法

実験回路は前章で使用した実験回路(図3)を使用した。実験は OA の絶対湿度が 17 g/kg 以上の場合に、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を 640 m<sup>3</sup>/h に設定した場合と 740 m<sup>3</sup>/h に設定した場合のそれぞれ異なる 2つのシステム運転方式で行った。実験開始時から実験終了後までの OA の条件と実験開始時の温室内のそれぞれの条件を表4、システムのそれぞれの

条件を表5にそれぞれ示す。それぞれの実験において、システム条件は、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量、DWとSHEの面風速以外はすべて同じである。また、どの条件においても実験開始時の温室内の相対湿度と温室内の温度は目標としている範囲を超えている。また、実験手順は2章と同様である。

表4 実験条件.

	OA	Inside the Greenhouse		
Air Volume[m <sup>3</sup> /h]	AH [g/kg]	Temp.[°C]	RH[%]	AH [g/kg]
640 (Experiment-4)	19.3	33.9	97.6	33.4
740 (Experiment-5)	18.3	28.0	98.8	23.8

表5 システム条件.

Experiment-4		
Blowers	Air Volume[m <sup>3</sup> /h]	640
DW、SHE	Face Velocity[m/s]	2.52
	Rotational Speed[rph]	36.0
Hot Water	Temperature[°C]	40.0(±2)
Experiment-5		
Blowers	Air Volume[m <sup>3</sup> /h]	740
DW、SHE	Face Velocity[m/s]	2.91
	Rotational Speed[rph]	36.0
Hot Water	Temperature[°C]	40.0(±2)

### 3.3 実験結果

図9にデシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/h、図10に740 m<sup>3</sup>/hの実験開始時から実験終了後までの温室内の除湿処理の結果をそれぞれ示す。図9には実験開始時の温室内の相対湿度、温度、絶対湿度が示されていない。これは、実験開始時の絶対湿度が30 g/kgを超えており、空気線図上でプロットできなかったためである。図10には実験開始時から実験終了後までの温室内の相対湿度、温度、絶対湿度の変化がそれぞれ示されている。また、それぞれの図には目標としている温室内の相対湿度60～80%、温室内の温度18～25℃の範囲がそれぞれ示されている。

図9のデシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/hの場合、実験終了後の温室内の温湿度を目標としている範囲に制御することができなかった。図10のデシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が740 m<sup>3</sup>/hの場合、実験終了後の温室内の温度は目

標としている範囲に制御することができなかったが、温室内の相対湿度は目標としている範囲に制御することができた。

次に、図11にデシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/h、740 m<sup>3</sup>/hのそれぞれの $\overline{PA}$ 、 $\overline{SA}$ 、 $\overline{\alpha}$ 、図12にデシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/h、740 m<sup>3</sup>/hのそれぞれの $\overline{RA}$ 、 $\overline{EA}$ 、 $\overline{\beta}$ をそれぞれ示す。 $\overline{\alpha}$ 、 $\overline{\beta}$ は2章の式(1)、(2)を用いてそれぞれ計算した。

デシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/hの場合、図11より、 $\overline{\alpha}$ は+2.60%となり、PAの除湿がうまくできなかった。図12より、 $\overline{\beta}$ は-0.91%となり、吸着材の再生がうまくできていないことが分かる。したがって、PAの除湿がうまくできなかった原因は、吸着材の再生がうまくできなかったことであると考えられる。そのため、図10より、実験開始時から実験終了後まで温室内の温度と絶対湿度が低下しているのは、除湿処理できなかったPAの温度と絶対湿度が温室内の温度と絶対湿度よりも低く、その空気が温室内に送り込まれたからだと考えられる。

デシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量が740 m<sup>3</sup>/hの場合、図11より $\overline{\alpha}$ は-8.54%となり、PAの除湿がうまくできた。これは、図12より、 $\overline{\beta}$ が+30.6%となり、吸着材の再生がうまくできたためであると考えられる。したがって、PAの除湿がうまくできた原因は、吸着材の再生がうまくできたためであると考えられる。

これより、OAの絶対湿度が17 g/kg以上の場合、デシカント空調システムの除湿側と再生側の送風機の風量を740 m<sup>3</sup>/hに設定して温室内の除湿を行うことで、温室内の相対湿度を目標としている範囲に制御できることが分かった。

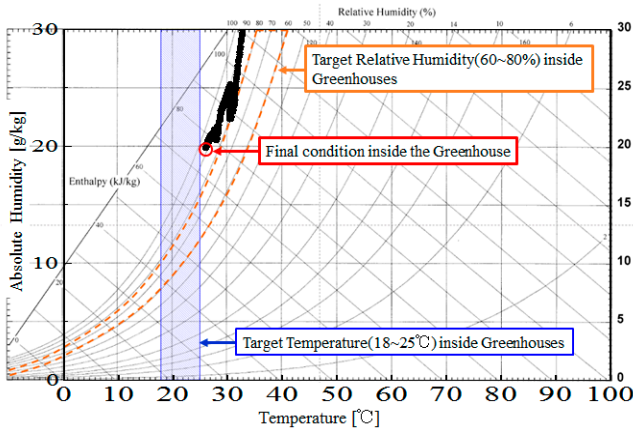


図9. 温室内の除湿処理の結果(送風機の風量が 640 m<sup>3</sup>/h のとき)。

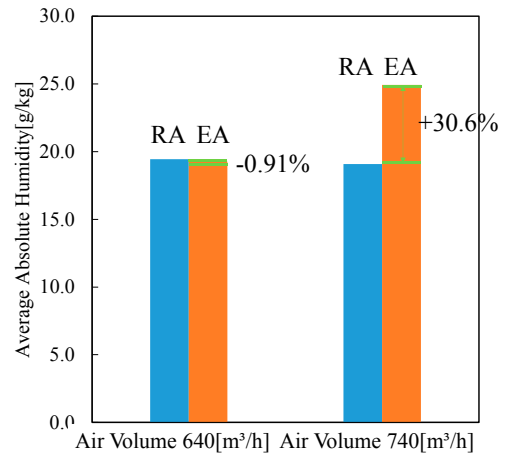


図12. 送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/hと740 m<sup>3</sup>/hのEAとRAの平均絶対湿度。

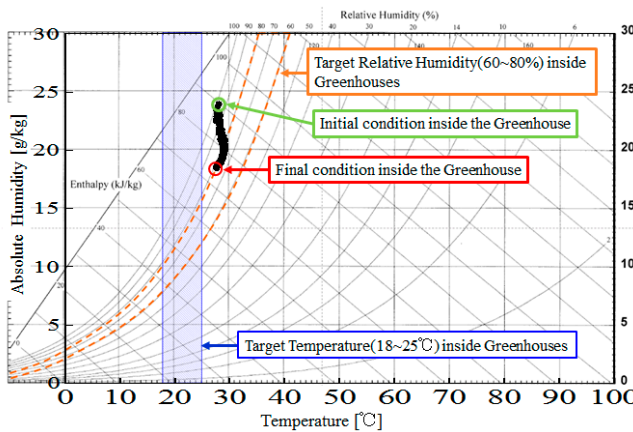


図10. 温室内の除湿処理の結果(送風機の風量が 740 m<sup>3</sup>/h のとき)。

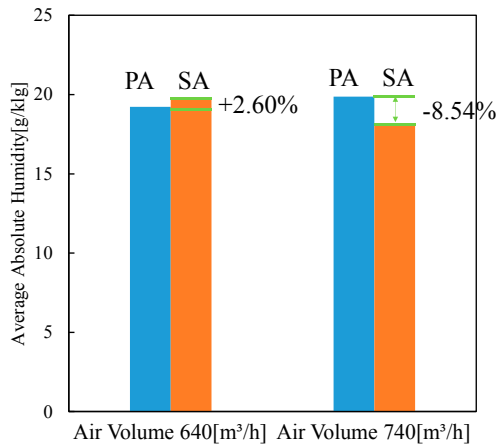


図11. 送風機の風量が640 m<sup>3</sup>/hと740 m<sup>3</sup>/hのSAとPAの平均絶対湿度。

#### 4. 結論

本稿では、OAの絶対湿度に応じたシステム方式の確立を目的として2つの実験を行った。以下にその結果を示す。

- [1] OAの絶対湿度とデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係  
デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を640 m<sup>3</sup>/hに設定した場合、OAの絶対湿度が17 g/kg未満であれば、目標としている温室内の温湿度に制御できることが分かった。
- [2] OAの絶対湿度が非常に高い場合のデシカント空調システムの送風機の風量による除湿性能の関係

OAの絶対湿度が非常に高い場合、デシカント空調システムの除湿側と再生側のそれぞれの送風機の風量を740 m<sup>3</sup>/hに設定して温室内の除湿を行うことで、温室内の相対湿度を目標としている範囲に制御できることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 中塚勉、土本信孝、毛利邦彦: “環境にやさしい新エネルギーの基礎”、森北出版株式会社、2007.
- 2) 平成24年度新エネルギー等導入促進基礎調査(省エネルギー・再生可能エネルギーに関連する熱の有効利用促進施策に関する調査)報告書、株式会社三菱総合研究所、pp.8-10、2013.
- 3) 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター低温排熱利用機器調査研究会: 「デシカント空調システム究極の調湿システムを目指して」、日本工業出版、p.9、pp.12-17、pp.36-43、pp.70-71、p.134、p.176、pp.187-190、2006.
- 4) 「平成24年度食料・農業・農村白書」平成24年度食料・農業・農村の動向、第1部第3章第4節農業産出額と農業所得等の動向」、農林水産省.
- 5) 坪井八十二: 「新編農業気象ブック」、東京株式会社養賢堂、pp.253-257、pp.356-361、1977.