

# 脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

## (第6報) 省エネルギー・省給水気化式加湿システムの開発

服 部 美 紀 (新菱冷熱工業)

坂 本 裕 (新菱冷熱工業)

三 浦 愛 子 (新菱冷熱工業)

三 上 秀 人 (新菱冷熱工業)

佐 原 亮 (新菱冷熱工業)

滴下浸透気化式加湿器は、水を気液接触材に滴下し、空気との気液接触により加湿を行う方式である。給水方式は一般的に給水弁の ON-OFF 制御が採用されるが、給気温度の制御性が悪く省エネルギー制御に悪影響を及ぼす。また、給水量の設定値を設計上の最大加湿量にするため、必要加湿量より過剰な水が排水されている。

本研究では、滴下浸透気化式加湿器において高精度な露点温度制御と過剰な給水を抑制する給水量制御を可能にする加湿システムを開発し、露点温度制御性と省エネルギー性を向上させることを目的としている。本報では、モーターダンパーの比例制御による給気露点温度の制御性および気液接触材の乾き度に応じた給水量の制御性の事前検証結果を報告した。開発した加湿システムは、従来の ON-OFF 制御と比較して給気露点温度を高精度に制御(風量 2,500m<sup>3</sup>/h 時設定露点温度±0.19℃DP)でき、給水量を約 94 %削減できた。

### はじめに

空調機に設置される加湿器の方式は、水加湿方式と蒸気加湿方式に大別される。水加湿方式には、気化式と水噴霧式があり、近年の保健空調では滴下浸透気化式加湿器（以降、気化式加湿器）が採用されることが多い。気化式加湿器は、水を気液接触材（以降、加湿メディア）に滴下し、空気との気液接触により加湿を行う。気化式加湿器の給水制御方式には、一般的に電磁弁による ON-OFF 制御が用いられる。この制御方式の場合、加湿メディアに給水され始めてから水が気化して空気に加湿されるまで、また、加湿メディアが十分に保水されているため給水を停止してから乾燥するまでに時間がかかることから、露点温度の制御性が悪い。

某オフィスの空調機で冬季に気化式加湿器を ON-OFF 制御で運転した時の給気温度および温水弁開度を図-1 に示す。給水時には急激に給気温度が低下し、設定値から大きく離れてしまう。また、それに合わせて温水弁の開度が大きくなる。このような露点温度の制御性の悪さに起因する給気温度のハンチングは、変风量制御や温水流量制御などの省エネルギー制御にも悪影響を及ぼす。また、従来の気化式加湿器は設計上の最大必要加湿量で

加湿メディアと給水量が選定される。そのため、常時最大加湿時に必要な空気抵抗がかかり、空気搬送動力にかかるエネルギーが過剰に消費されている。給水量においても、常時最大加湿に必要な量の2～3倍が供給され、必要加湿量の数倍の水が排水されている。

本システムでは、高精度な露点温度制御と過剰な給水を抑制する給水量制御を可能にする気化式加湿システム

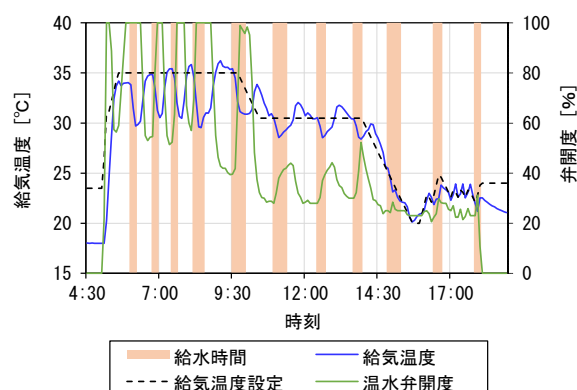


図-1 某オフィスの空調機の給気温度および温水弁開度

を開発することを目的としている。本報では、考案した気化式加湿システムの給気露点温度および給水量の制御性を実験装置で評価した結果について報告する。

## 1. 気化式加湿システムの概要

本計画で考案した気化式加湿システムの概略図を図-2に示す。制御機器は、給気露点温度一定制御するモーターダンパと加湿メディアへの過剰な給水を抑制する乾湿センサーおよび電動弁で構成される。以下に給気露点温度一定制御と給水量制御について述べる。

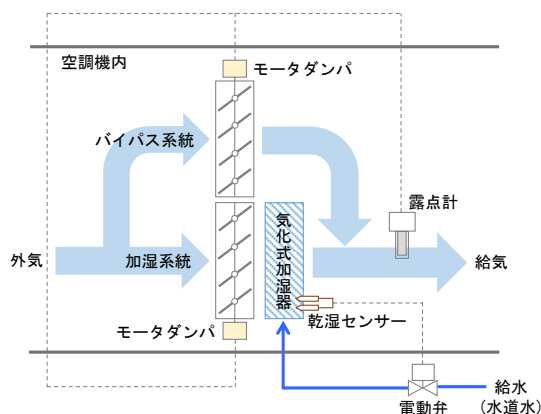


図-2 気化式加湿システムの概略図

### 1.1 給気露点温度一定制御方法

本制御は、気化式加湿器を通気する系統（加湿系統）のモーターダンパ（MD）と気化式加湿器を通気しない系統（バイパス系統）のMDを空調機内に設け、給気露点温度により各系統のMD開度を比例制御することで、これまでの気化式加湿器では困難であった給気露点温度一定制御を可能とする。また、当社が開発した高飽和効率かつ低圧力損失の特長をもつプリーツ型加湿メディア（写真-1）を用いることで、加湿器系統の風量をより少なくすることができ、空気搬送動力を低減することができる。



写真-1 プリーツ型加湿メディアの外観

### 1.2 給水量制御方法

本制御は、加湿メディアに取り付けた乾湿センサーにより加湿メディアの乾き度を測定し、乾き度が所定の値になるように電動弁の開度を比例制御することで給水量を調整する。この制御方式の場合、加湿メディアが常時湿潤しているため、カビの発生やスケールの析出などが抑制される可能性がある。なお、制御に用いた乾湿センサーは、土壌の含水率の測定などに用いられている。

## 2. 気化式加湿システムの制御性評価

前章で述べた気化式加湿システムにおける給気露点温度および給水量の制御性の事前評価を行った。

### 2.1 実験装置

実験装置のフローを図-3に示す。本実験では、空調機内ではなくダクトにより加湿系統とバイパス系統に分岐させて気化式加湿システムを構築した（写真-2）。気化式加湿システム入口の空気条件は、空調機の温水および冷水コイルにより、乾球温度を約27℃DBに調整したが、露点温度は成り行きとした。気化式加湿システムの給気露点温度を制御するMD（アズビル製 MY8040）を加湿系統およびバイパス系統にそれぞれ設けた。給気露点温度の測定には露点計（アズビル製 HTY79）を、気化式加湿器出入口の露点温度の測定には、温湿度計（ヴァイサラ製 HMT333）を用いた。外気導入量は、空調機内のファンのインバータを用いて、750～2,500m³/hの範囲で変化させた。外気導入量（総風量）の測定には、加湿系統とバイパス系統にそれぞれ設置した定置式複合ピトー管センサー式風量計（ウエットマスター製ニューエアロイ）から算出した。気化式加湿器の圧力損失の測定には、微差圧計（山本電気製作所製 WO81）を用いた。加湿メディアの大きさは330mmW×330mmH×105mmDであり、加湿メディア下部に乾湿センサー（METER社製 EC-5）を

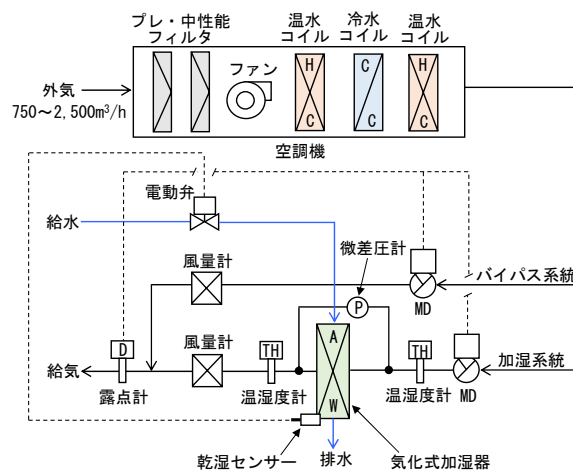


図-3 実験装置フロー



写真-2 加湿系統およびバイパス系統ダクトの外観

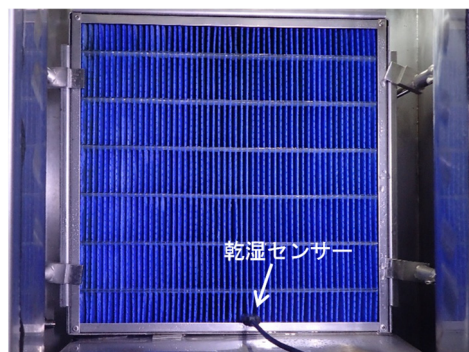


写真-3 乾湿センサーの設置状況

設置し、乾き度を測定した（写真-3）。給水量制御用の電動弁には電動二方弁（アズビル製 FVY5160）を用いた。

## 2.2 実験方法

前節の実験装置を用いて以下の実験を実施し、給気露点温度および給水量の制御性を確認した。

- 1) 実験（1）：定風量時の給気露点温度の制御性
- 2) 実験（2）：変風量時の給気露点温度の制御性
- 3) 実験（3）：給水量の制御性

各実験の実験条件を表-1に示す。実験（1）では、総風量を 2,500 m<sup>3</sup>/h、750 m<sup>3</sup>/h とした。総風量 2,500 m<sup>3</sup>/h では、給気露点温度の設定値を 8.0 °CDP から 12.0 °CDP、総風量 750 m<sup>3</sup>/h では 12.0 °CDP から 13.0 °CDP まで 0.5 °CDP 刻みに上昇させた。実験（2）では、変風量制御を想定し、総風量を 750～2,500 m<sup>3</sup>/h の間で変動させた。また、この時の給気露点温度の設定値は、-5.0 °CDP とした。

実験（3）では、気化式加湿器の乾湿センサーの設定値（加湿メディア乾き度）を 0、10 %とした。加湿メディアが十分に湿潤した時の加湿メディア乾き度を 0 %とし、その値から 10 %低いセンサーの値を加湿メディア乾き度 10%とした。また、実験前に加湿メディアを湿潤させるため、給水量 0.81 L/min で加湿メディアに給水した。なお、実験（3）では、MD による給気露点温度一定制御も加えている。

表-1 実験条件

| 実験 No. | 総風量<br>[m <sup>3</sup> /h] | 給気露点温度設定値<br>[°CDP] | 乾き度<br>[%] |
|--------|----------------------------|---------------------|------------|
| 実験（1）  | 2,500                      | 8.0～12.0            | 無制御        |
|        | 750                        | 12.0～13.0           | 無制御        |
| 実験（2）  | 750～2,500                  | -6.0                | 無制御        |
| 実験（3）  | 2,500                      | 3.0                 | 0          |
|        | 2,500                      | -5.5                | 10         |

## 2.3 実験結果および考察

### (1) 定風量時の給気露点温度の制御性

総風量 2,500 m<sup>3</sup>/h における露点温度と各系統の MD 開度の経時変化を図-4に示す。給気露点温度の設定値を上昇させると、加湿系統の MD 開度は大きくなった。11 °CDP を超えると、バイパス系統の MD 開度が小さくなり始めた。給気露点温度は、設定値変更後約 1～3 min 程度で設定値に到達し、設定値±0.19 °CDP (3σ) で安定した。

総風量 750 m<sup>3</sup>/h における露点温度と各系統の MD 開度の経時変化を図-5に示す。総風量 2,500 m<sup>3</sup>/h と同様に、加湿系統の MD 開度が大きくなった。給気露点温度は設

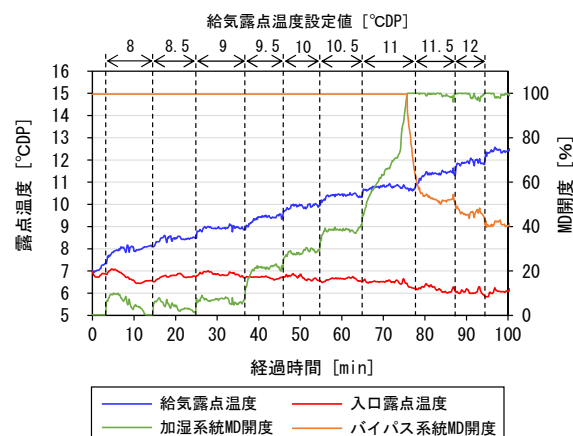


図-4 総風量 2,500m<sup>3</sup>/h 時の露点温度と MD 開度の経時変化

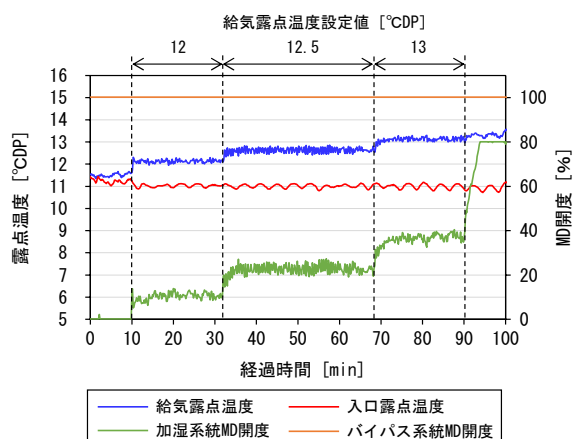


図-5 総風量 750m<sup>3</sup>/h 時の露点温度と MD 開度の経時変化

定値 $\pm 0.29$  °CDP (3 $\sigma$ ) で安定した。以上の結果から、総風量 2,500 m<sup>3</sup>/h および 750 m<sup>3</sup>/h において高精度で給気露点温度を制御できることを確認した。なお、750 m<sup>3</sup>/h 時の入口露点温度がハンチングしているのは、加湿メディア近傍に温湿度計を設置していたため加湿系統 MD の動作が測定値に影響したためと考えられる。

また、本システムの圧力損失は総風量 2,500 m<sup>3</sup>/h、露点温度設定値 9.5 °CDP において 3.3 Pa であった。圧力損失は、弊社所有ビルの気化式加湿器（従来システム）の圧力損失約 40 Pa と比較すると約 90 %削減されることになる。実験データと従来システムの実運用加湿時の運転データ 1 年分から搬送動力削減効果を試算した結果、従来システムが 2,122 kWh に対し、本システムは 224 kWh であり、加湿メディア通風にかかる搬送動力を約 90 %削減する結果であった。

### (2) 変風量時の給気露点温度の制御性

変風量時の風量と給気露点温度の経時変化を図-6 に示す。実験時のバイパス系統の MD 開度は常時 100 % であり、加湿系統 MD の開度が変動していたが、総風量は設定値の $\pm 3.1$  %で概ね良好に制御されていた。また、給気露点温度は $-6.0 \pm 0.42$  °CDP で安定していた。変風量時においても、高精度で給気露点温度を制御できることを確認した。

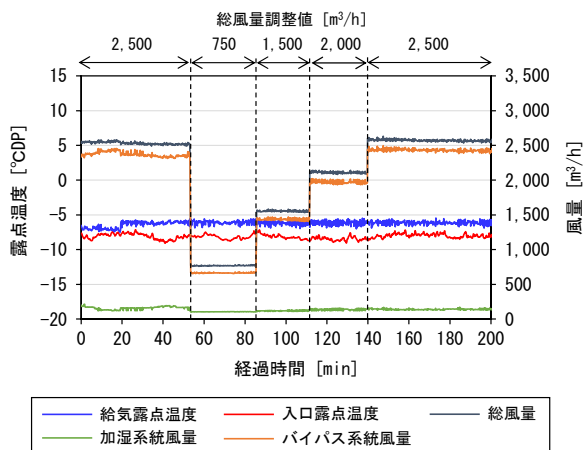


図-6 変風量時の風量と給気露点温度の経時変化

### (3) 給水量の制御性

加湿メディア乾き度 0 %時の給水量および露点温度の経時変化を図-7 に示す。給水量制御を開始したところ、加湿メディアの乾き度を低下させるために電動弁の開度が低下し、加湿で消費された水のみが給水され、給水量は約 0.10 mL/min で推移した。従来の気化式加湿器の給水量 0.81 L/min と比較すると、給水量を約 91 %削減された。乾湿センサーを用いた電動弁の給水量制御により、

大幅に給水量を削減できることが確認できた。なお、給気露点温度は設定値 3.0 °CDP $\pm 0.63$  (3 $\sigma$ ) で安定しており、飽和効率は 95%以上を維持していた。給水量制御下でも高精度で給気露点温度制御が可能であることが確認できた。

続いて、加湿メディア乾き度 10 %時の給水量と露点温度の経時変化を図-8 に示す。加湿メディア乾き度 0 %時と同様に、加湿メディア乾き度 10 %になるように乾湿センサーの測定値に応じて給水量が変化した。給水量は約 0.02 L/min となり、従来の気化式加湿器の給水量と比較すると、給水量は約 94 %削減された。一方、加湿メディア乾き度 0 %時と比較して給水量の削減率が増えたが、給水量が極端に少なくなったため、制御性が良くなかった。したがって、給水量に合った電動弁を選定する必要がある。また、給気露点温度は設定値 $-5.5$  °CDP $\pm 0.85$  (3 $\sigma$ )

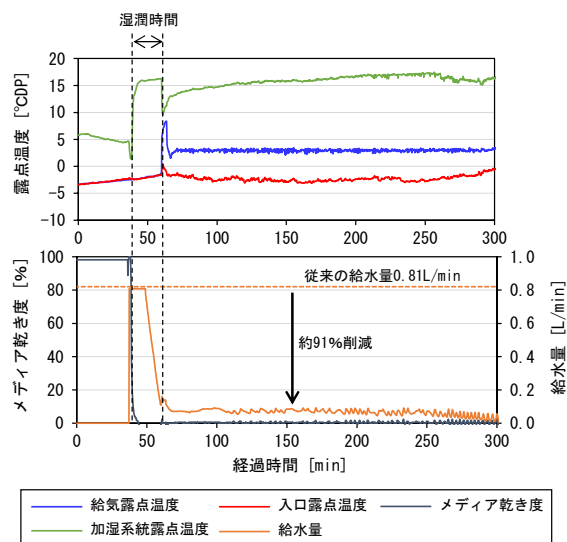


図-7 乾き度 0%時の給水量および露点温度の経時変化

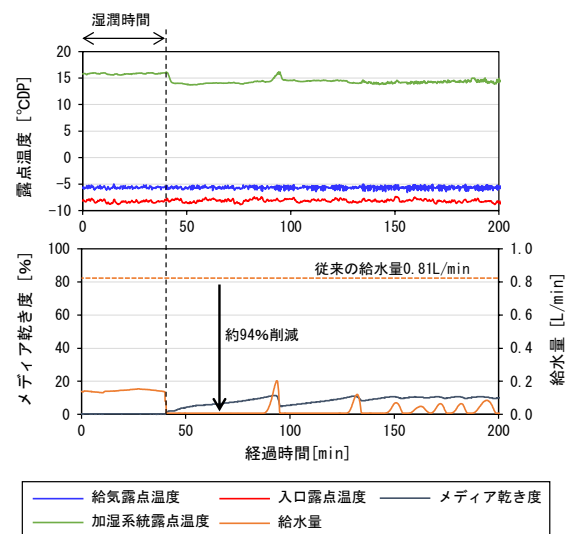


図-8 乾き度 10%時の給水量および露点温度の経時変化

で安定していたが、飽和効率は 89 %程度であり、加湿メディア乾き度 0 %時と比較して高く、加湿メディアが一部乾いていた可能性がある。

## おわりに

本報では、比例制御による給気露点温度の制御性および加湿メディア乾き度に応じた給水量の制御性の事前評価結果を報告した。考案した気化式加湿システムは、従来の気化式加湿器と比較して高精度な給気露点温度制御を可能とし、空気搬送動力も大幅に削減できると考えられる。また、給水量は従来の気化式加湿器の給水量制御

と比較して約 94 %削減でき、さらに、少量加湿時に給水の比例制御の対象とする加湿メディア乾き度の設定値を比例的に可変させることで給水量を一層削減できる見込みである。

今後は、イノベーション施設に本システムを実装し、露点温度の制御性と省エネルギー効果について検証していく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 空気調和・衛生工学会編：空気調和設備計画設計の実務の知識, pp.192-196, 2017