

脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証

(第13報) 省エネルギー・省給水気化式加湿システムの検証

三浦 愛子 (新菱冷熱工業)
坂本 裕 (新菱冷熱工業)
服部 美紀 (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)

はじめに

近年のオフィスビルや商業施設などの保健用空調の加湿に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¹⁾。従来の気化式加湿器では応答性が悪く比例制御が困難であるため、一般的に室内相対湿度もしくは還気湿度によるON-OFF制御方式が採用されている。

このような加湿給水弁のON-OFF制御方式では、給水開始時の補給水温度によって給気温度が急激に低下するため、風量制御や温水制御などの省エネルギーシステム、あるいは室内温熱環境にも悪影響を及ぼすことがある。また、給水量は最大加湿量を想定した設計・設定がなされるため、加湿負荷の大小に寄らず、常に最大給水量が供給され、過剰に排水されている。

これらの問題を解決するため、気化式加湿器でも安定した給気露点温度一定比例制御を可能とし、加湿負荷に見合った給水量に制御する気化式加湿システムを開発した（図-1）。本システムでは室内露点温度によって給気風量を最適化させる潜熱変風量システムが可能となり、ファン搬送動力の省エネルギー化も実現できる。

前報²⁾では、開発加湿システムの概要および小型実験装置を用いた加湿システムの評価を行った。その結果、高精度に給気露点温度の比例制御ができること、および給水量が従来方式から大幅に削減されることを報告した。本報では、開発した気化式加湿システムを実装したイノベーション施設³⁾での、露点温度制御性および給水量の削減効果について報告する。

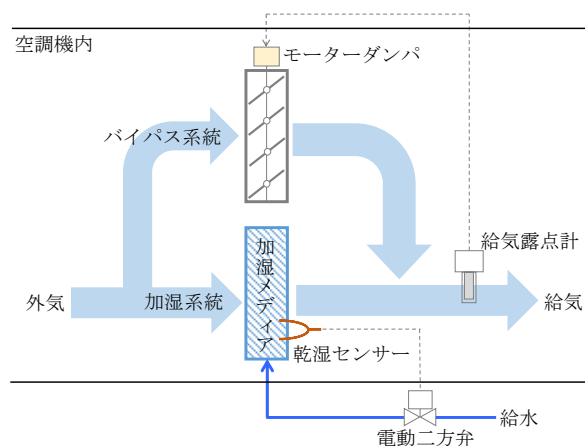


図-1 気化式加湿システムの概略

1. 実装した気化式加湿システムの概要

1.1 デシカント外調機

本システムを導入したデシカント外調機（以降、外調機）の機器構成を図-2に示す。外調機は本施設の2,3階の執務エリア（延床面積630m²）の換気用であり、設計風量は最大4,860m³/hである。

導入された外気は全熱交換器において室内還気と熱交換を行い、常温で再生可能なデシカントローターで除湿、気化式加湿システムで加湿される。また、高温冷水コイルと温水コイルで温度制御を行い、導入外気の温度と湿度を調整する。

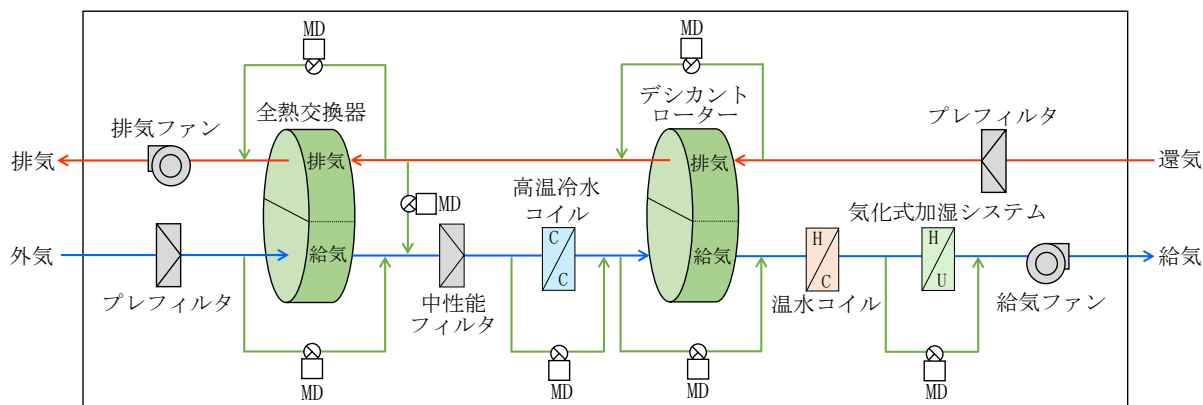


図-2 デシカント外調機の機器構成

1.2 加湿制御方法

本施設に導入した外調機と気化式加湿システムの外観を写真-1,2 に示す。外調機内に気液接触材（以降、加湿メディア）を設置し、加湿メディアとMDを並列に設置した。加湿メディアは、高飽和効率かつ低圧損の特長をもった当社開発品を採用している。加湿メディア通風部の断面は $305\text{ mm}^W \times 610\text{ mm}^H$ であり、MD は $450\text{ mm}^W \times 600\text{ mm}^H$ である。外調機出口側に設けられた露点計により、設定給気露点温度となるように MD の開度を比例制御する（以降、バイパス制御）。なお、加湿時の室内露点温度の設定値は $9.0\text{ }^\circ\text{CDP}$ とし、測定値との偏差によって給気露点温度を $8.0\sim 15\text{ }^\circ\text{CDP}$ の範囲で制御している。



写真-1 デシカント外調機



写真-2 開発加湿システム

また、加湿メディアに取り付けた乾湿センサー（EC-5 METER 社製）を用いて電動二方弁で給水量を比例制御する。この乾湿センサーは、一般に土壌の含水率測定に用いられるもので、誘電率を計測することで体積含水率を求める。露点温度の比例制御は、MD 開度を比例制御して加湿メディアへの通風量を調整するが、空気量や空気条件によっては MD 開度を全開にしても必要以上に加湿される。その場合、乾湿センサーの設定値が変更され加湿量を抑制する。

2. 最小 MD 開度の検討

試運転段階で MD 開度を小さくすると総風量によっては加湿メディア側の通過風速が大きくなり、滴下水の飛散が生じた。そこで、加湿メディア通過風速が設計値 2.1 m/s 以下となる MD の最小開度を設定し、総風量に応じて MD の最小開度を可変とすることで飛散を抑制することにした。

前報の実験装置²⁾において、加湿メディア通過風速 2.1 m/s のとき加湿メディア圧力損失は 25 Pa であった。これに加湿装置全体の抵抗を加えた総圧力損失 38 Pa を超過しない最小 MD 開度を総風量毎に検証した。

2.1 実験方法

測定条件を表-1 に示す。測定条件 1 では外調機の最大給気風量 $4,860\text{ m}^3/\text{h}$ （定格風量）において、MD 開度 $50\sim 100\%$ の範囲で 10% 毎に加湿メディアの圧力損失を測定した。測定条件 2 では給気風量 $1,400\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $3,000\text{ m}^3/\text{h}$ 、

表-1 測定条件

測定条件	給気風量 [m^3/h]	MD 開度 [%]
1	4,860	50~100
2	1,400	10~100
	3,000	
	4,250	

4,250 m³/h (各変風量) において、MD 開度 10~100 % の範囲で 10 %毎に測定した。

2.2 実験結果

定格風量運転時の MD 開度と加湿メディアの圧力損失の測定結果を図-3 に示す。MD 開度を下げると加湿メディアを通過する風量が増えるため、圧力損失は上昇し、MD 開度 100% のとき圧力損失は 18 Pa、50% では 200 Pa であった、これらの結果から定格風量時の総圧力損失が 38 Pa となる MD 開度は約 88 % と推定された。

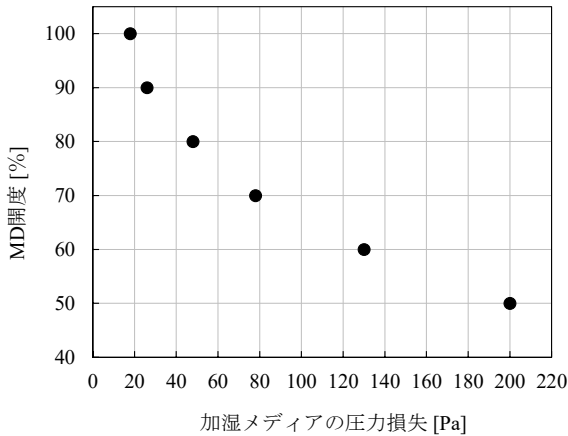


図-3 定格風量運転時の MD 開度と圧力損失の関係

次に、給気風量を変更した際の MD 開度と圧力損失の測定結果を図-4 に示す。この結果から、総圧力損失が 38 Pa となる MD の開度は、給気風量 1,400 m³/h 時は約 26%、3,000 m³/h 時は約 70 %、4,250 m³/h 時は約 83 % であった。

以上より、給気風量比 (各変風量/定格風量) に対する最小 MD 開度は図-5 に示すとおり一次関数で近似することができ、この式を用い変風量運転時の最小 MD 開度値を変更することにした。

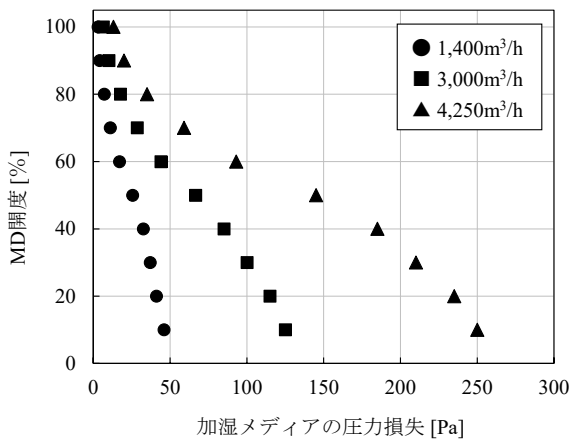


図-4 変風量運転時の MD 開度と圧力損失の関係

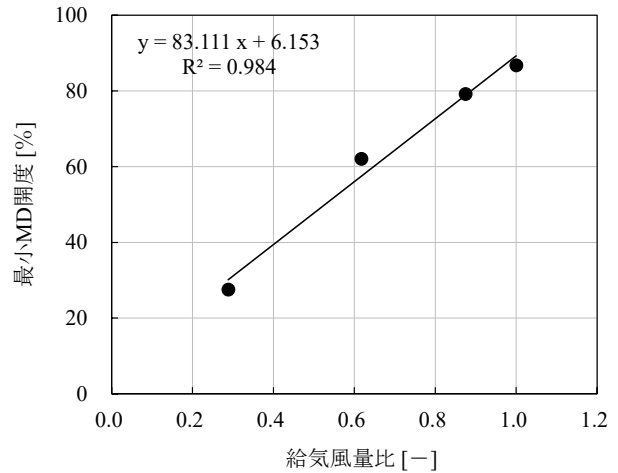


図-5 給気風量比に対する最小 MD 開度

3. 開発気化式加湿システムの性能評価

本施設の冬季運用期間 (2024 年 1 月~2024 年 3 月) における開発加湿システムの給気露点温度と給水量の制御性を確認した。なお、外調機の運転は、平日の 7:30~18:00 で、運転時はほぼ定格風量 (4,000~4,860 m³/h) であった。

3.1 加湿の制御性

代表日として 2024/3/18~3/22 までの室内露点温度の経時変化を図-6 に示す。加湿運転時間においては、外気露点温度は-9.0~-3.6 °CDP の範囲で推移した。室内露点温度は安定的に制御されており、室内露点温度設定値 9.0 °CDP に対して平均 8.6±1.5 °CDP (3σ) で良好な室内湿度環境に制御されている。

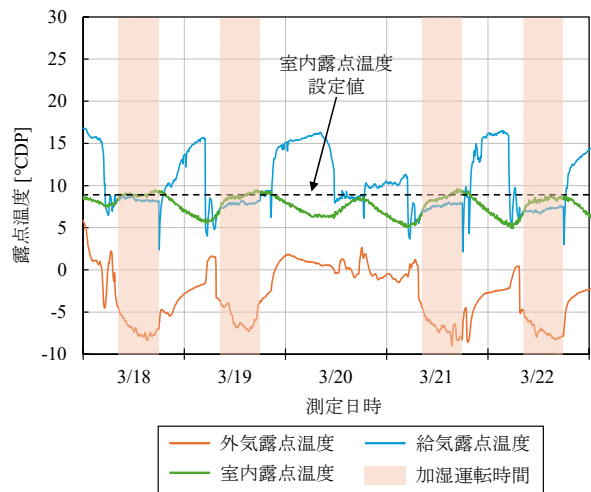


図-6 室内露点温度

3.2 給水量の制御調整

運用開始直後の 2024/1/29~2/2 までの加湿給水量の経時変化を図-7 に示す。この期間は加湿メディアの最大乾き度設定値を 0 %、つまり、加湿時にメディアを完全に湿潤させる設定としていた。2024/2/1 8:30~15:00 以外

の期間において、加湿メディア乾き度は平均 $2.4 \pm 4.2\%$ (3σ) で給水量は、定格給水量 1.0 L/min に対して平均 $0.54 \pm 0.26 \text{ L/min}$ (3σ) で、従来の ON-OFF 制御を想定した給水量（実加湿量の 3 倍の給水量とした）に比べても給水量が過剰であることが判明したことから、乾き度の最小値設定を 25%に変更した。

設定変更後の 2024/3/18~3/22 までの加湿給水流量の経時変化を図-8 に示す。なお、2024/3/20 は祝日のため検証から除外した。乾き度設定値 25 %に対して計測乾き度は $25.2 \pm 3.1\%$ (3σ) であった。この時の給水量は平均 $0.12 \pm 0.23 \text{ L/min}$ で大幅に抑制されており、ON-OFF 制御想定より約 57%程度給水量が削減されている事を確認した。

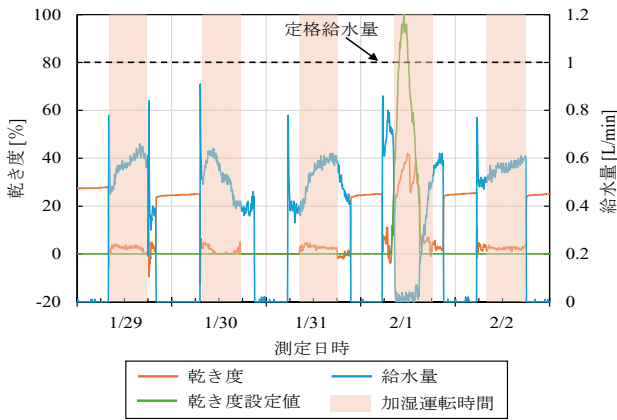


図-7 乾き度設定値 0 %時の給水量の経時変化

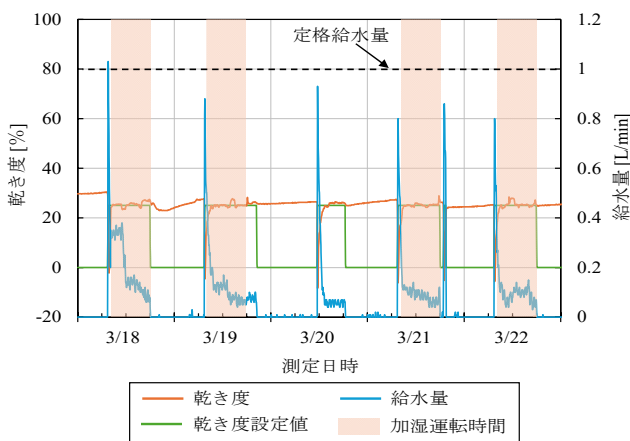


図-8 乾き度設定値 25 %時の給水量の経時変化

調整前後の加湿量と給水量の散布図を図-9 に示す。なお、加湿起動時の非定常状態を考慮し 9:00~18:00 を評価対象とし抜粋している。開発システムの加湿効率(給水量÷加湿量)を検証するため、図-10 に出現頻度の多い給水量 10 L/h 以下となるとききの加湿効率を抜粋した(図-9 中破線部)。ここで、切片をゼロとした場合の傾

きは 1.01 で、これは加湿効率が 101%ともいえる。給水量と加湿量がほぼ同値であり、乾湿センサーを用いた給水量比例制御によって、定常加湿時に給水量が極限まで抑制されていることが分かった。

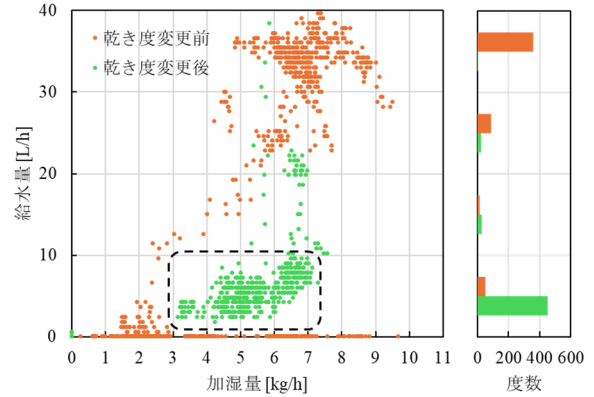


図-9 乾き度設定変更による給水量変化

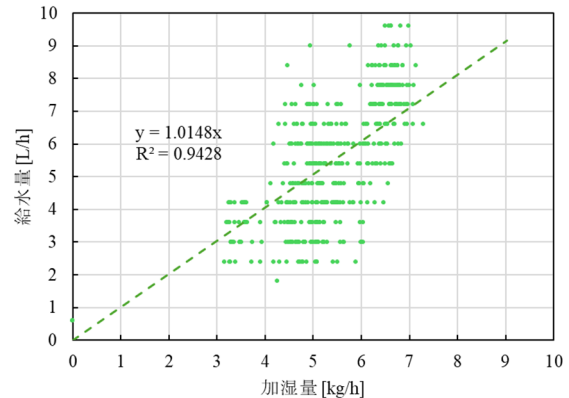


図-10 乾き度設定変更後の加湿量と給水量の関係

おわりに

本施設の外調機には、通風抵抗の低減、給水量の抑制、露点比例制御可能といった特徴を持つ独自の気化式加湿システムを開発し実装した。

実運用段階でも、高精度かつ安定的に室内湿度環境が良好に制御されていることを確認した。また、MD 開度や給水量を制御する乾湿センサーの制御設定値の調整を行い、従来の気化式加湿システムより給水量を大幅に削減した。

今後は、給水量抑制によるカビや細菌発生量、あるいは臭気発生など経年利用による不具合が生じない事を確認するとともに、変風量運転時における露点温度と給水量の制御性と省エネルギー効果について検証する予定である。

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
- 2) 服部ら：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，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，第10巻，pp. 89-92，2023
- 3) 平須賀ら：脱炭素を目指したイノベーション施設の計画と検証（第1報）イノベーション施設の概要，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，第10巻，pp. 69-72，2023