

ハイブリッド加湿器における加湿性能に関する研究 (第1報) 気化式加湿器の配置がハイブリッド加湿器の性能に与える影響 A Study on Humidification Performance of Hybrid Humidifiers, (Part 1) The Impact of Placement of Evaporative Humidifiers on the Performance of Hybrid Humidifiers

学生会員 ○湛 晴 (名古屋大学) 技術フェロー 齋藤 輝幸 (名古屋大学)

Qing ZHAN*¹ Teruyuki SAITO*¹

*¹ Nagoya University

This study investigated the impact of evaporative humidifier placement on the humidification performance of hybrid humidifiers through simulations. Hybrid B, placed evaporative humidifiers on the outside during winter heating took advantage of the lower outdoor humidity, enhancing the humidification effect. Furthermore, a lower proportion of electrode humidifiers suggested potential energy savings by reducing power consumption.

1. 研究背景と目的

近年は居室に対する外気導入量が増えており、従来の加湿器では冬期における加湿能力の不足やエネルギー消費量の増加が懸念されている。そこで、一般的な気化式加湿器と電極式加湿器(以下、気化式と電極式と記す)の長所を合わせ持つハイブリッド加湿器が開発されている。ハイブリッド加湿ではまず気化式により加湿し、不足する加湿量を電極式で補うことで、より安定した加湿を行いつつ電極式のみ比べて消費電力を抑えることが期待できる。本報では、既往の研究を参考にハイブリッド加湿の加湿性能を評価するための加湿器モデルを作成し、外気と室内からの還気に対して、どのように加湿することが適切であるのかを検討することを目的とする。

2. 実測調査の概要

2020年12月に計8日間、表-1に示した講義室へ給気する空調機器の入口及び出口空気の状態について実測調査を行った。対象講義室の平面図を図-1に、空調設定条件と導入設備を表-2と表-3に示す。計測期間中に気化式のみ、電極式のみ、及びハイブリッド加湿条件で運転を行った。

図-2は空調機内のイメージ図であり、空調機内の外

表-1 講義室概要

対象施設	名古屋市内某大学講義室	風量 m ³ /h	8000	OA	4000	RA	4000	制御方式	設定温湿度
面積	約256m ²							室内温度	22℃・50%
収容人数	200名								

表-2 設定条件

表-3 導入空調設備

システム	空冷直膨式 潜熱分離処理後混合吹出AHU (デュアルコイルシステム)
型番	PH-8000DD-AD (1台)
熱交換器	外気側: 回路分割コイル 還気側: 標準コイル
加湿	ハイブリッド加湿
吹出口	誘引放射空調×30 (イオン&オゾン発生器付)

気側コイルと還気側コイルの入口・出口、気化式の出口及び給気側吹出口に温湿度計を設置した。

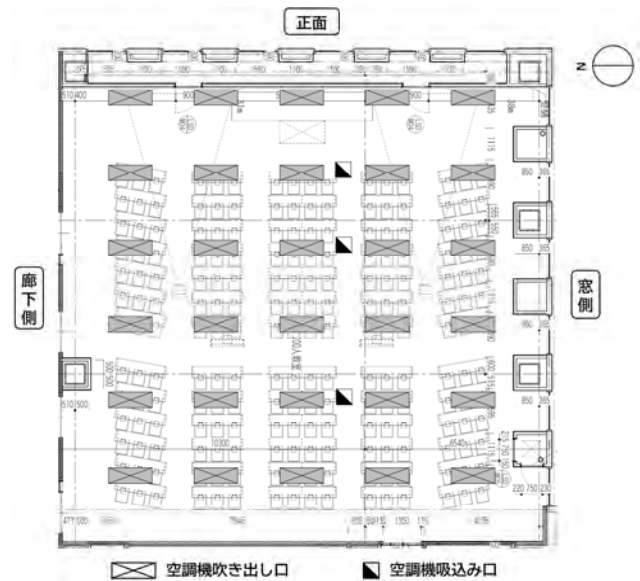


図-1 講義室平面図

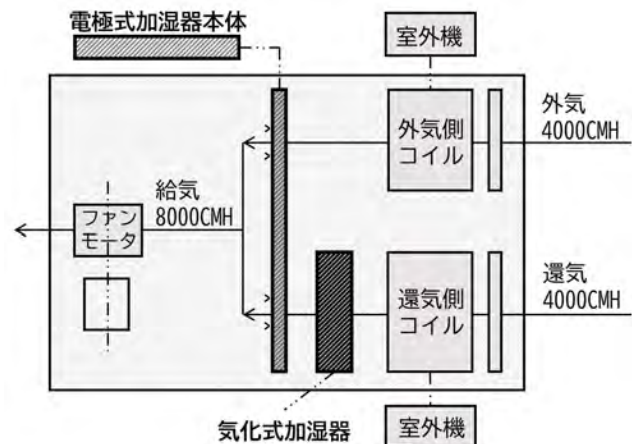


図-2 空調機内イメージ

3. ハイブリッド加湿器モデル

気化式及び電極式をそれぞれモデル化し、併せてハイブリッド加湿器モデルとした。

3.1 気化式加湿器のモデル化

対象とする気化式の概要を図-3 に示す。仕様書より、加湿材は高さ 1425 mm、幅 500 mm、奥行 50 mm と確認した。本報における気化式モデルは、馬場ら¹⁾による滴下気化式加湿モデルを参考に作成した。モデルの概要を図-4、基礎方程式を式(1)~(3)に示す。式中の X_w は水温に応じた飽和空気絶対湿度である。本報では 1 分間隔で測定した入口空気の温湿度を入力し、出口空気の状態を得ることとした。また、式(4)で定義されるルイスの関係を用いて、同定する係数を αS の 1 つに絞った。気化式のみで運転していた 2020/12/25 について、実測値とモデルによる計算値を用いて温度・絶対湿度の平均値二乗誤差率を求め、その値が最も小さくなるような αS を求めた。

■ 基礎方程式：

$$\rho_a C_a v_a \frac{\alpha T_a}{\alpha x} = \alpha S (T_w - T_a) \quad (1)$$

$$\rho_a v_a \frac{\alpha X_a}{\alpha x} = \alpha' S (X_w - X_a) \quad (2)$$

$$-C_w m_w \frac{\alpha T_w}{\alpha y} = -L \alpha' S (X_w - X_a) - \alpha S (T_w - T_a) \quad (3)$$

■ ルイスの関係定義式：

$$\frac{\alpha}{\alpha' C_a} = 1 \quad (4)$$

図-5 は、ハイブリッド加湿時における気化式のみ加湿量 x と、気化式加湿のための給気温度上昇に対応する室外機消費電力量 E の関係を示す。朝方における運転開始時とサーモオフした時の計測値を除外して回帰式 $E=0.0865x$ を得た。モデルによって出力される絶対湿度から気化式加湿器の加湿量を算出し、式 $E=0.0865x$ で気化式加湿器の消費電力量を推定した。

3.2 電極式加湿器のモデル化

対象とする電極式の概要を図-6 に示す。貯水した蒸気シリンダの電極に交流を通電すると水中の不純物は運動を行い、この運動エネルギーが熱に変換され、水自体が発熱体となり蒸気(相変化)を発生する。基礎方程式を式(5)と式(6)に示す。式(5)は電流による発熱とシリンダ内の水蒸発による熱量変化の転換、式(6)は給気風量と絶対湿度差による加湿量の計算を表す。

■ 基礎方程式：

$$3600Et = m_w C_w \Delta t \times 10^{-3} + LH \quad (5)$$

$$\text{加湿量} = \rho_a v_a (X_{a,out} - X_{a,in}) \quad (6)$$

電極式は、蒸気シリンダ内水の質量が常に変動するため正確に再現することが困難である。本モデルでは簡易

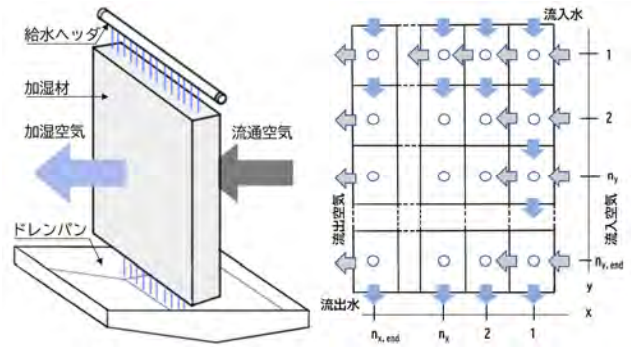


図-3 気化式の概要

図-4 気化式モデルの概要

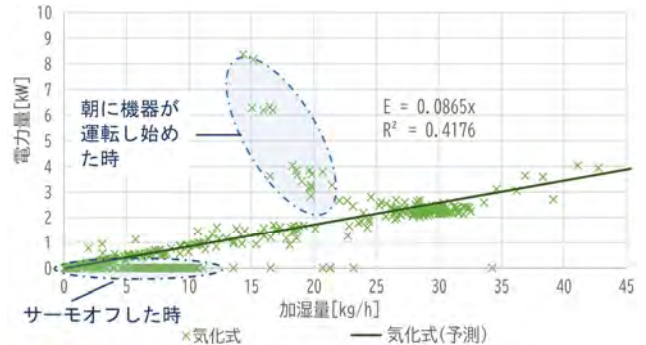


図-5 気化式の電力量と加湿量の関係

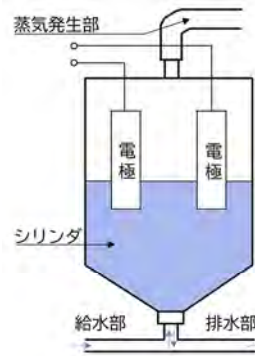


図-6 電極式の概要

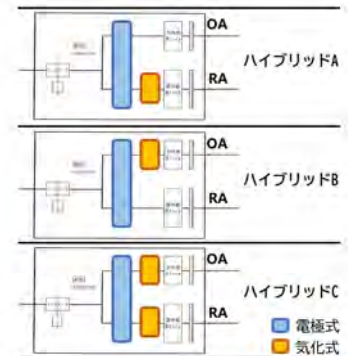


図-7 各ハイブリッドの構成

化のため蒸気シリンダ内水の質量を最大値である 15kg、水の温度を常に 100℃一定として計算した。また、電極式の加湿量 x と消費電力量 E の実測値に基づいて回帰式 $E=0.76x$ を求め、電極式による消費電力量を推定した。

4. シミュレーションの結果

図-7 に検討対象とした各ハイブリッド加湿方式の構成を示す。ハイブリッド A は空調機還気側コイル出口に気化式、全体に電極式が取り付けられている構成であり、ハイブリッド B は空調機外気側コイル出口に気化式、全体に電極式が取り付けられている構成である。また、ハイブリッド C は還気・外気側コイル出口にそれぞれ気化式、全体に電極式が取り付けられている構成であり、両コイルの出口に設置した 2 つの気化式の合計最大加湿能力は、ハイブリッド A・B における気化式の最大加湿能力と同じである。

実測調査で得られた各コイル入口空気の実測値をモデ

ルの入力項目とし、ハイブリッドA・B・Cの出口空気の湿度状態を気化式および電極式の加湿モデルにより推定した。図-8は、ハイブリッドAにおける各加湿器による加湿量の実測値とモデルによる計算値の比較を示す。10:00～18:00の時間帯において、気化式および電極式の実測による加湿量は、それぞれ5kg/hおよび14kg/h付近を中心にして、ほぼ均一な幅で周期的に上下変動している。一方、本モデルでは実システムにおける制御を考慮していないため、周期的な変動は再現できていないが、計算によるそれぞれの加湿量は実測値とほぼ同じレベルであり、平均加湿量はおおよそ一致している。したがって、システム間の比較を行う場合、本モデルは適用可能と考えられる。

測定期間における外気状態の違いによって、加湿要求が少ない日と多い日をそれぞれ選択し、比較を行った。計算結果を図-9に示す。図-9(a)は、ハイブリッドAにおける加湿量の変化を示す。ハイブリッドAにおける気化式と電極式は、加湿要求が多い日に積極的に運転しているのに対し、加湿要求が少ない日はより少ない運転であることが分かる。また、ハイブリッドAでは、加湿要求が多い日であっても少ない日であっても、気化式による加湿量の平均は約5kg/hと比較的少なく、一方、電極式による加湿量は気化式よりも大幅に多いことが分かる。

図-9(b)は、ハイブリッドBにおける気化式及び電極式の加湿量の変化を示す。ハイブリッドBでは、気化式による加湿量はハイブリッドAより大幅に増加した。これは外気湿度が低く湿度が乗りやすくなるためであり、気化式を外気側に設置することで加湿効果がより高まると考えられる。図-9(b)より、加湿要求が多い日における気化式による加湿量は、上下に変動する幅がハイブリッドAより大きくなることが分かる。これは、外気の不安定性によるものと考えられる。一方、合計加湿量を一定とした場合、電極式による加湿量はハイブリッドAに比べて大幅に減少した。そのため、ハイブリッドBでは、消費電力が大きい電極式の消費電力が減り、システム全体の消費電力を削減する可能性が高いと考えられる。

図-9(c)は、ハイブリッドCにおける気化式及び電極式の加湿量の変化を示す。ハイブリッドCの場合、還気側に設置した気化式による加湿状態は外気側の気化式よりも安定していることが分かる。また、還気側に設置した気化式による加湿量は外気側の気化式より少ない。そのため、還気側に気化式を設置することは、比較的安定した加湿状態が得られるが、加湿能力は比較的低下すると示唆される。

気化式の設置位置がハイブリッドの加湿性能やエネルギー消費に与える影響を明らかにするため、合計加湿量を同じとしてシミュレーションしたハイブリッドA・Bにおける消費電力量の内訳を図-12に示す。RA・OA側室

外機による消費電力は、図-10と-11に示したRA・OA側コイルを通過する空気の温度差と室外機電力量の関係により計算した。外気湿度が低いと湿度が乗りやすくなるハイブリッドBの場合に、気化式の加湿効果を向上

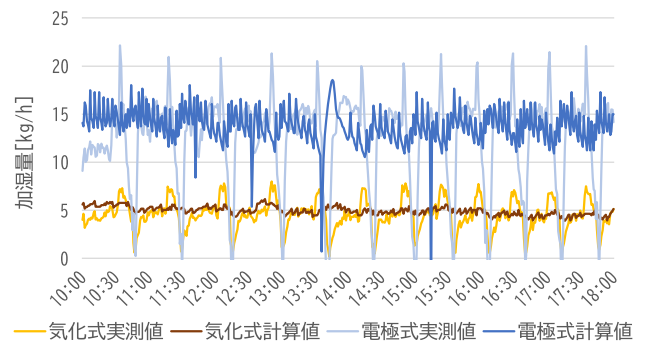
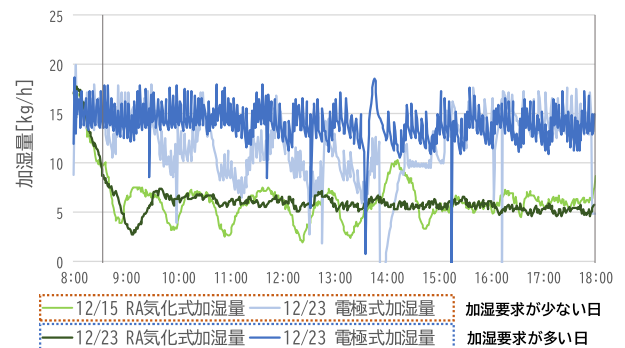
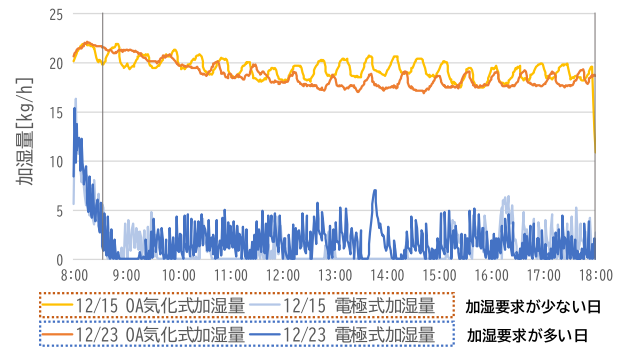


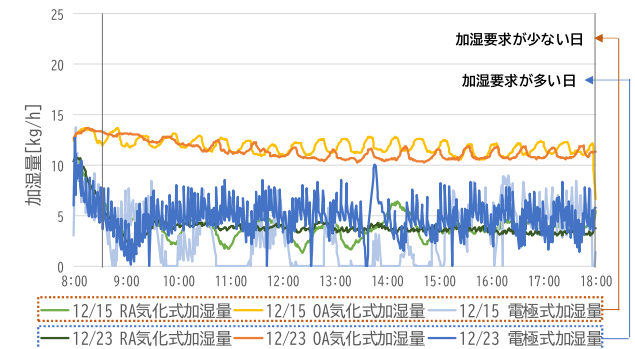
図-8 加湿量の実測値とモデルによる計算値の比較



(a) ハイブリッドA



(b) ハイブリッドB



(c) ハイブリッドC

図-9 各ハイブリッド構成における加湿量の経時変化

させることが可能である。加湿要求が少ない日では、ハイブリッド B における気化式の加湿量は十分大きいので、電極式は停止することができるが、加湿要求が多い日では不足する加湿量を電極式によって処理している。

次に、ハイブリッド加湿における気化式と電極式の分担比率を変化させた場合の検討を行った。ここでは気化式及び電極式の加湿能力は十分大きいと仮定した。一日の合計加湿量は 200kg を目標値（計算値は $200 \pm 10\text{kg}$ ）として、ハイブリッド A、B、C における電極式が占める比率を 20%、50%、80% とした時に予測した電力量内訳を図-13 に示す。いずれの構成も電極式が占める比率が大きいほど、消費される合計電力量も多くなる。また、電極式の割合を統一した場合、ハイブリッド A・B・C の合計電力量はほぼ同じレベルであることが分かる。

5. まとめ

本報では、ハイブリッド加湿器モデルにより 3 種類のハイブリッド構成を検討した。その結果、冬季の暖房運転においては、気化式の加湿能力を統一した場合、外気側に気化式を設置するハイブリッド B は、外気湿度が低く湿度が乗りやすくなるため、気化式の加湿効果を向上させることが可能である。また、電極式の占める割合が少ないほど電力消費を抑えることができる。今後、通年の省エネ性を追求するためには、外気冷房運転時の加湿など他の条件も検証が必要である。

謝辞 本研究の実測と検討を行うにあたり大学施設関係者に多くのご協力を頂いた。記して感謝の意を表す。

記号・添字

<記号> : E : 消費電力[kW]、 ρ : 密度[kg/m³]、C : 比熱[kJ/kgK]、 v : 面風速[m³/m²]、 m : 単位面積当たりの給水量[kg/m²s]、T : 温度[°C]、X : 絶対湿度[kg/kg]、 α : 熱伝達率[kJ/m²Ks]、 α' : 湿気伝達率[kJ/m²(kg/kg)s]、S : 単位体積当たりの水と空気接触面積[m²/m³]、L : 蒸発潜熱[kJ/kg]、 x : 加湿エレメント奥行方向を正とする軸[-]、 y : 加湿エレメント高さ下向き方向を正とする軸[-]、 t : 時間[h]、 m : シリンダ内水の質量[kg]

<添字> : a : 加湿エレメント内を流れる空気、 w : 加湿エレメント内を流れる水、 a_{in} : 加湿エレメントに入る空気、 w_{in} : 加湿エレメントから入れる給水、 a_{out} : 加湿エレメントから出る空気、 w_{out} : 加湿エレメントから出る排水

参考文献

- 1) 馬場貴志ら：冷水作成機能を持ったデシカント外気処理機の数値解析検討 第 1 報 加湿エレメントのモデル作成及び性能評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.125-128, 2015.9.16-18
- 2) 湛 晴, 齋藤 輝幸：ハイブリッド加湿器による加湿量とエネルギー消費に関する研究, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, p. 23-26, 2023.03.15

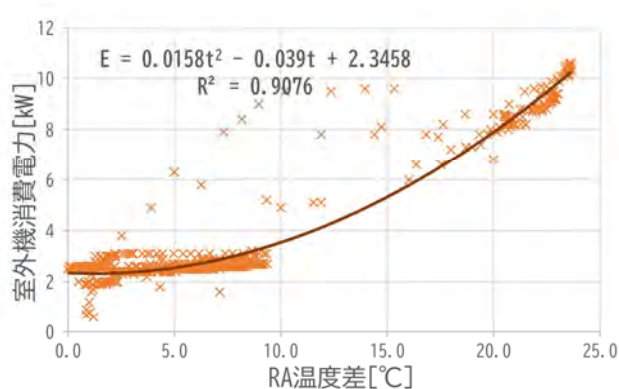


図-10 RA 側室外機消費電力と温度差の関係

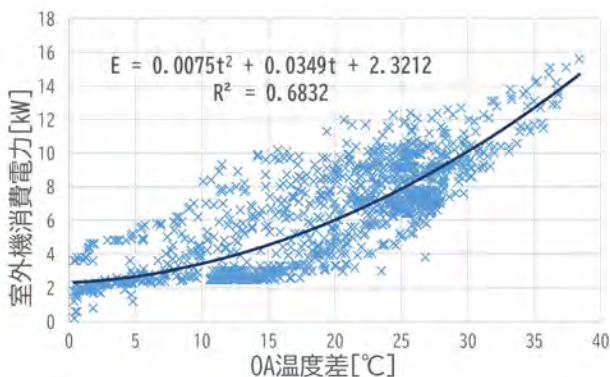


図-11 OA 側室外機消費電力と温度差の関係

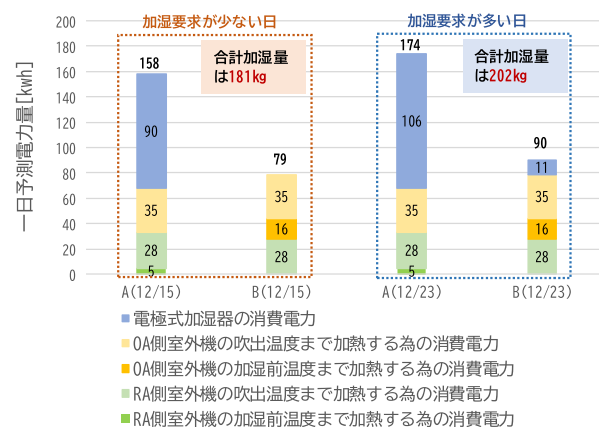


図-12 ハイブリッド A・B における消費電力量の内訳

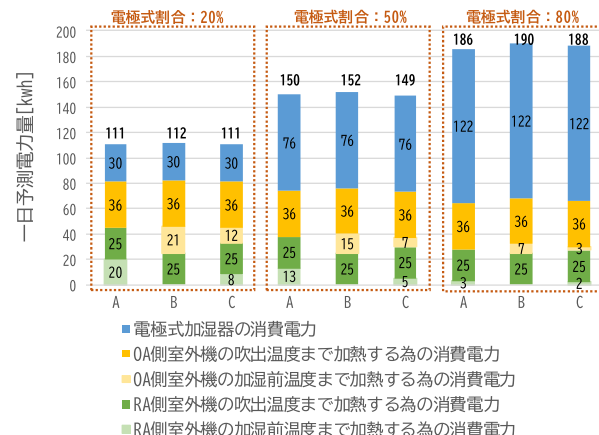


図-13 電極式の比率と電力量の内訳の関係