

気化式広域加湿器の能力向上についての検討

Humidifying performance enhancement of wide-range type humidifier

知能機械システム工学コース

ものづくり先端技術研究室 1225057 山口 翼

1. 緒言

国内では冬季になると気温、湿度ともに低くなる。一般的に人間が生活をするうえでの適正な湿度は40~60%と言われており、建築物における衛生的環境確保に関する法律では建築物内の湿度を40%以上に保つことが定められている。しかし、平成15年度の調査の結果では湿度不適効率が36.5%で、そのほとんどが湿度40%以下という結果であった¹⁾。そのため、多くの建物では加湿を行う必要があると言える。現在、主に使用されている加湿器の中でも、気化式加湿器は他の方式と比較した際に安全性に優れており、人が多く集まる公共施設などでの使用に適していると言われていた。しかし、他の方式と比較した際に加湿効率が悪いというため、急速な加湿が困難である。本研究では気化式加湿器の加湿効率を向上させるため、加湿エレメントに着目した。加湿エレメントに使用されている膜は構造が複雑なため、加湿の効率性に関する係数の評価が明確になっていない。そこで、ポリプロピレン(以下、PP)とポリテトラフルオロエチレン(以下、PTFE)の疎水性濾材を用いた際の気化量を測定することで、加湿評価の行える膜の係数を得る方法について検討を行った。また、乱流の特徴の一つとして拡散性があり、この特徴により乱流では、分子の輸送量が増えることが分かっている²⁾。しかし、加湿ユニットに流入する空気の乱流状態が気化量にどのような影響を及ぼすかは明確になっていないため、円柱による空気の乱流状態と気化量の関係性について調べた。

2. 気化式加湿器に適した膜の選定

2.1 低温恒温恒湿機内での水蒸気の拡散層厚さの算出

2.1.1 実験目的

水の気化を考えるのにあたって重要な水蒸気の拡散層厚さは実験条件によって変化するため、実験的に求めなければならない。そこで、水の気化量を測定することで低温恒温恒湿機内の水蒸気の拡散層厚さを求めた。

2.1.2 実験方法

低温恒温恒湿機内を温度24℃、湿度20%、30%、40%のそれぞれで一定に保ち、図2-1に示すように、樹脂製容器(アズワン製、4-5633-02)の上部を切

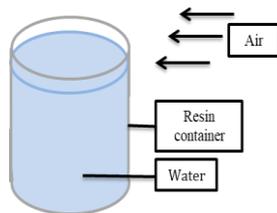


Fig. 2-1 Experimental equipment

断し、カップ状に加工した容器に水200mlを入れ、1時間間隔で重量を重量計(アズワン製、AXA10002)で6回測定した。3回行った平均値を結果にまとめ、計測した重量差から気化量を求め、水面近傍での水蒸気の拡散層厚さを求めた。

2.1.3 結果と考察

質量差から算出した気化量を図2-2に示す。実験開始から2時間以降で安定したことから、2時間以降のデータが有効

であるとし、気化量の平均値を求めた。その結果より湿度が高いほど気化量が少ない傾向になった。また、湿度30%と40%では、わずかに気化量が減少する傾向もみられた。得られた実験結果から水蒸気の拡散層厚さについて求める。理想気体の状態方程式とフィックの法則より拡散層厚さ L [m]は、

$$L = -D \frac{M}{RT} \frac{P_2 - P_1}{J} \quad (2-1)$$

のように求められる。ここでは D が拡散係数[m²/s]、 M が分子量、 R が気体定数[Pa・m³/(K・mol)]、 T が温度[K]、 P_1 が飽和水蒸気圧[Pa]、 P_2 が空気中の水蒸気圧[Pa]、 J が気化速度[g/m²・s]である。したがって、算出した各湿度での拡散層厚さを表2-1に示す。拡散層厚さは湿度が変化してもほぼ等しい値となった。このことより低温恒温恒湿機内の湿度が変化しても、水蒸気の拡散層厚さは変化しないと考えられるため、膜近傍の水蒸気の拡散層厚さは、算出した拡散層厚さの平均値である2.18mmとする。

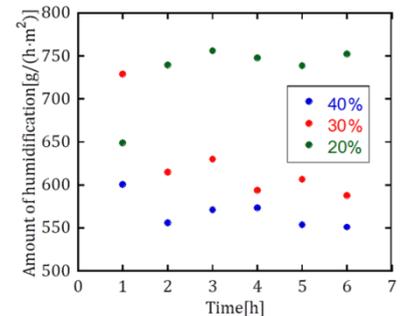


Fig. 2-2 Difference in amount of humidification due to humidity

Table 2-1 Thickness of diffusion layer at each humidity

	Humidity		
	20%	30%	40%
Amount of humidification [g/(m ² ・h)]	740.0	606.6	561.1
Thickness of diffusion layer [mm]	2.13	2.30	2.13

2.2 気化式加湿器の気化特性を表す係数の算出

2.2.1 実験目的

気化式加湿器の加湿ユニットに使用されている膜は構造が複雑なため、膜の加湿効率に対する評価法が明確になっていない。そこで、膜を透過した気化量を測定し、フィックの法則より膜の気化特性を表す係数を求めた。

2.2.2 実験方法

低温恒温恒湿機内を温度24℃、湿度40%で一定に保ち、図2-3に示すように、膜を挟んだプラスチックホルダー(アドバンテックス社製、PPO-47)と純水を入れた内径が

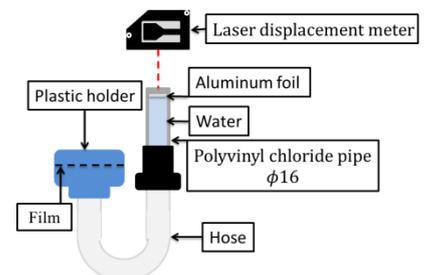


Fig. 2-3 Experimental equipment

φ16mmの塩ビ管をホースで接続した装置を設置した。レーザー変位計(OMRON社製, 形ZX1-LD100A61 5M)を用い, 実験開始からの水面の変位量を6時間測定した。レーザー変位計のサンプリングタイムは1分で行い, 3回測定した平均値を結果にまとめた。測定の際, 水面の高さを測定するためにアルミホイルを水面に浮かせ, 実験に使用した純水は実験中に温度が変化しないよう12時間以上, 低温恒温恒湿機内に入れ, 水温が安定してから使用した。使用した膜は表2-2に示す。

Table2-2 Membrane type

	PP non-woven fabric			PTFE membrane		
Material	Polypropylene			Polytetrafluoroethylene		
WBT[kPa]	12	20	44	50	227	>400
Thickness [mm]	0.0187	0.0142	0.0291	0.00513	0.00433	0.00370
Area[m ²]	1.39 × 10 ⁻³					

2.2.3 結果と考察

変位量 x [m/min]と気化量 J [g/min]の関係は,

$$J = \frac{\pi \rho D^2 x}{4A} \quad (2-2)$$

であるため, 3回測定した平均変位量と式(2-2)より算出される膜を透過した気化量を表2-3に示す。ここでの ρ は密度 $[g/m^3]$, D は塩ビ管の内径 $[m]$, A は透過面積 $[m^2]$ とする。膜の材質別に比較PTFE膜の気化量がPP不織布の気化量より多いという結果になった。

Table2-3 Amount of humidification of each film

Type	Displacement [mm/min]	Amount of humidification [g/(h·m ²)]
PP12	0.0315	272
PP20	0.0361	312
PP44	0.0337	291
PTFE50	0.0416	359
PTFE227	0.0374	323
PTFE400	0.0403	348

得られた実験結果から膜内の拡散係数について考察する。フィックの法則を膜内の拡散と膜外の拡散の2つに分けて考えると, 膜内の拡散係数 D_m は,

$$D_m = \frac{L_m J_m D}{L J - J_m} \quad (2-3)$$

のように表される。ここでの L_m は膜の厚み $[mm]$, J_m が膜を透過した気化量 $[g/(m^2 \cdot s)]$, D が水の拡散係数, L が水の拡散層厚さ $[mm]$, J が水の気化量 $[g/(m^2 \cdot s)]$ とする。また, 膜によって膜の厚みが異なるため膜内の単位厚さ当たりの拡散係数に直すと,

$$\frac{D_m}{L_m} = \frac{1}{L} \frac{J_m D}{J - J_m} \quad (2-4)$$

のように表される。式(2-4)と表2-3の実験結果を用いて算出した膜内の単位厚さ当たりの拡散係数を図2-4に示す。膜内の単位厚さ当たりの拡散係数は膜からの気化量と相関性がみられたため, 膜内の単位厚さ当たりの拡散係数は膜の評価に有効であるとの見通しが得られた。また, 膜内の単位厚

さ当たりの拡散係数よりPTFE膜はPP不織布より気化式加湿器に適している膜であると推測される。

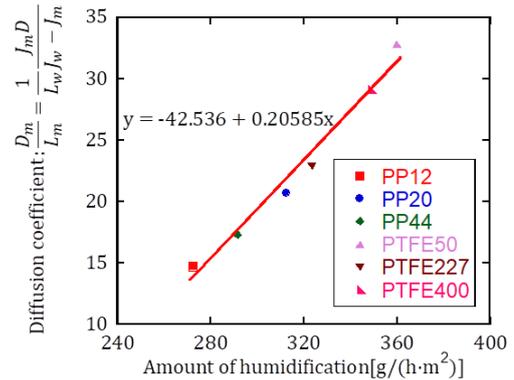


Fig. 2-4 Relationship between diffusion coefficient and amount of humidification

3. 乱流状態が及ぼす気化量への影響

3.1 実験目的

乱流の特徴として単位時間当たりの分子の輸送量が多いことがあげられる。そこで, 気化式加湿器に適しているPTFE膜を使用した加湿ユニットの気化量と円柱による乱流がどのような関係性があるかを調べた。

3.2 実験装置

実験装置の概略を図3-1に示す。厚さ1mmのステンレスを用いた長さ1000mm, 高さ372mm, 幅324mmのダクト内に仕切り板として厚さ3mmの亚克力板を装置内部に設置することで, 同一環境下でダクト内に2種類の異なる乱流状態が得られるようにした。また, 装置の中央に加湿ユニット(GORE-TEX社製, IMH-330)を設置した。シロッコファンはファンモーター(三相電機社製, CRC4456AZ)と, ファン(東プレ社製, DDWA16-20-φ12), ファンケース(東プレ社製, DH16-20)を使用した。シロッコファンへ流入する風量は風量計(カノマックス社製, DH1620)で測定した結果, 282m³/hであった。また, 空気の流入口にはメッシュ数が10のステンレスメッシュを設置し, 流入口から見て右側に円柱を水平に設置した。

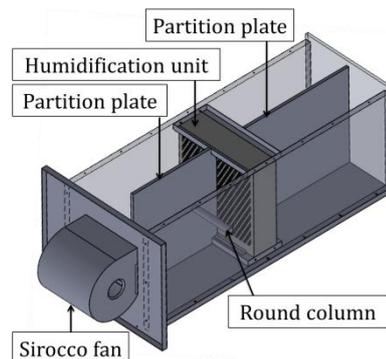


Fig.3-1 Experimental equipment

3.3 実験方法

円柱を加湿ユニットから前方に距離 $L=5, 10, 15$ mmの位置に円柱を設置し, 使用した円柱の直径はφ6, 18, 22mmの3種類を使用した。それぞれの条件でシロッコファンに流入する前と加湿ユニットを通過した後の左右両方の湿度を温湿度計(ティアンドデイ社製, TR-76Ui)で3回測定した。測定時間は4時間で, サンプリングタイムは1分で行った。

3.4 結果と考察

円柱を設置しなかったとき、流入口から見て右側の湿度が平均して 4.33% 大きかった。また円柱を設置したとき、左右での湿度差の平均値を表 4-1 に示す。円柱を設置することで装置内の湿度差が大きくなったため、表 3-1 の湿度の平均値から円柱を設置しなかったときの湿度差を除いた、円柱の有無による正味の湿度差を表 3-2 に示す。表 3-2 の値を用いて円柱の直径による湿度差の変化を図 3-2 に、加湿ユニットから円柱までの距離と湿度差の変化を図 3-3 に示す。

Table3-1 Average humidity difference with and without round column

	5mm	10mm	15mm
	Humidity difference[%]	Humidity difference[%]	Humidity difference[%]
φ6	6.95	4.66	5.04
φ18	8.23	6.05	5.30
φ22	9.82	8.62	6.76

Table3-2 Net average humidity difference with and without round column

	5mm	10mm	15mm
	Humidity difference[%]	Humidity difference[%]	Humidity difference[%]
φ6	2.62	0.330	0.713
φ18	3.99	1.72	0.970
φ22	5.49	4.29	2.43

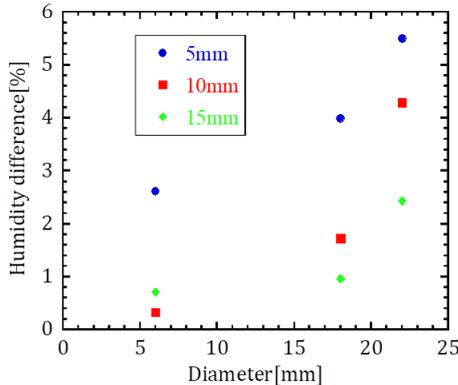


Fig.3-2 Relationship between round column diameter and humidity difference

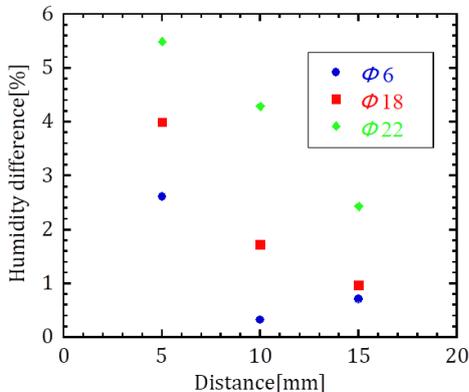


Fig.3-3 Relationship between distance and humidity difference

円柱の直径が大きくなると湿度差は指数関数的に大きくなり、加湿ユニットと円柱の距離が離れるほど湿度差は線形的に減少した。また湿度差が 1% 付近になると湿度差が変化しなくなった。これらより、円柱の直径と加湿ユニットまでの距離はともに湿度差の増加に関係性がみられたため、円柱の直径 D [m] を加湿ユニットと円柱の距離 L [m] で除した値と気化量の関係性を図 3-4 に示す。 D/L と湿度差の相関性を確認できたため、加湿器内に円柱を設置することで加湿器の能力を向上させることが可能であり、円柱によって上昇する湿度 y [%] は、

$$y = 1.1963 \frac{D}{L} + 0.2647 \quad (3-1)$$

のように表すことができる。

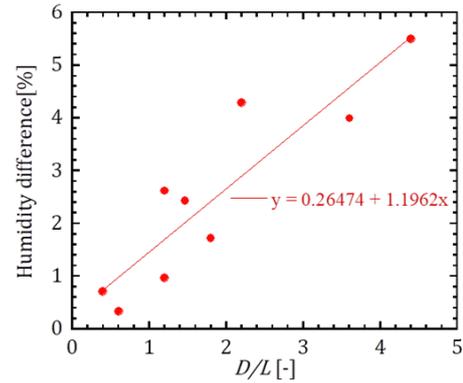


Fig.3-4 Correlation between humidity difference and D/L

4. 結言

本研究では気化式加湿器の能力向上のために、加湿ユニットに使用されている膜の加湿評価が行える方法と加湿ユニットに流入する空気の乱流状態が気化量に及ぼす影響について調べた。まず、実験環境である低温恒温恒湿機内ではフィックの法則より水蒸気の拡散層厚さは湿度による変化がほぼ無かったため、膜近傍の水蒸気の拡散層厚さを 2.18mm とした。そして、気化式加湿器に使用されている膜の気化特性を調べるために、膜を透過する気化量を測定し、フィックの法則より膜内の単位厚さ当たりの拡散係数を求め、その有効性が見通しが得られた。算出した膜内の単位厚さ当たりの拡散係数より PTFE 膜は PP 不織布より気化式加湿器に適していると推測される。また、加湿ユニットの手前に円柱を設置し、加湿ユニット通過前後の湿度を測定することで、円柱の直径が大きくなるほど指数関数的に気化量が多くなり、円柱と加湿ユニットの距離が近づくほど気化量が線形的に多くなった。このことより、加湿ユニットの前方に円柱を設置することで気化式加湿器の加湿能力の向上が推測される。

参考文献

- 1) 柄原裕, 他. 人工環境デザインハンドブック, 丸善, 36(2007)
- 2) 藤原仁志, 荒川忠一. 乱流入門, 東海大学出版会, 2(1999)