

気化式広域加湿器の能力向上についての研究

1. 緒言

国内では冬季になると空気中の水蒸気量が減少し、空気が乾燥状態となる。そのためインフルエンザなどの病気を発症するリスクが高くなる。その対策として室内空間では、加湿器を用いることで空気の乾燥を防ぐことが必要であると認知されている。現在、様々な加湿器が提案されているものの、特に気化式加湿器は他の方式と比べ安全性が高いため、人が多く集まる公共施設などでの使用に適しているといわれている。しかし、水を加熱することで蒸気を発生させる蒸発式等と比較すると、加湿効率が悪いと、急速な加湿が困難である。本研究は、気化式加湿器の効率的な加湿構造の構築を最終目標とし、まずは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膜内の拡散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加湿量を測定することで、膜の加湿評価が行える拡散係数を得る方法について検討を行った。

2. 低温恒温恒湿機内での湿度による拡散層厚さの違い

2.1 実験方法

図 2-1 に示すように、樹脂製容器(アズワン製, 4-5633-02)の上部を切断しカップ状に加工した容器に水 200ml を、温度 24℃、湿度 20% と 40% で一定に保った低温恒温恒湿機(いすゞ製, HPAF-288-40)内に入れ、1 時間間隔で重量を重量計(アズワン製, AXA10002)にて 6 回測定した。計測した重量の差から加湿量を求め、実験条件である界面の拡散層厚さを調べた。

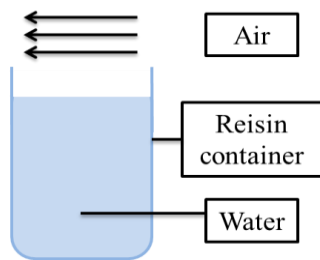


Fig.2-1 Experimental equipment

2.2 結果と考察

実験結果を図 2-2 に示す。湿度 40% と 20% を比較すると、湿度 20% の加湿量が多い。また、時間的な加湿量の推移を見ると、湿度 40% では時間の経過とともに下降し、2 時間以降から安定した。湿度 20% については、湿度 40% と異なる挙動を示し、加湿量は上昇する傾向が見られ、3 時間以降になると加湿量が安定した。この両者の挙動の違いは容器内の水温が影響しているものと考えられる。すなわち湿度 40% の実験に用いたサンプルは低温恒温恒湿機内の温度 24℃ よりも高い温度で設置された。このため、初期の時間領域では加湿量が多い。しかし、雰囲気によりサンプルの温度が下降し 3 時間以降はサンプルの温度の安定とともに加湿量がほぼ一定となったと考えられる。湿度 20% については、その逆となり、設置したサンプルが雰囲気よりも低い温度であったと考えられる。このことから、3 時間以降のデータが有効であるといえ、この有効な時間領域のデータの平均をそれぞれの加湿量とした。

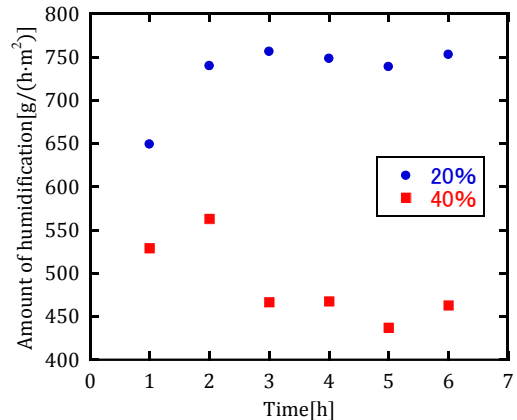


Fig.2-2 Amount of humidification when humidity is 20% and 40%

得られた実験結果から、実験条件となる界面付近の拡散層厚さについて以下のように求めた。理想気体の状態方程式とフィックの法則より加湿量 J [g/(s·m²)] と拡散層厚さ L [m] の関係は式 (2-1) のように示される。

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

ここでは D が水の拡散係数、 M が分子量、 R が気体定数、 T [K] が温度、 P_1 [Pa] が水面の圧力、 P_2 [Pa] が空気中の圧力である。水面の湿度を 100% と仮定すると、 P_1 は飽和水蒸気圧となり、既知の値である。

式 (2-1) に表 2-1 の実験結果を用い、拡散層厚さを求めた。なお、その他の値については拡散係数 D を 0.2543×10^{-4} 、分子量 M を 18、気体定数 R を 8.31、温度 24℃ の時の飽和水蒸気圧を 2986Pa とする。

Table2-1 Experimental result

Humidity	Water vapor pressure	Amount of humidification
40%	1194Pa	487.6g/(s·m²)
20%	597Pa	730.7 g/(s·m²)

算出した結果、湿度 20% の拡散層厚さが

$$J_{20} = 2.18\text{mm},$$

湿度 40% の拡散層厚さが

$$J_{40} = 2.45\text{mm}$$

となり、 $J_{20} \cong J_{40}$ から低温恒温恒湿機内では雰囲気湿度を変化させても拡散層の厚さに影響がほとんどないと考えられる。これは、低温恒温恒湿機の内部がファンを用いて強制対流状態にて温度と湿度を一定に保つ仕組みになっている。そのため、水面付近の拡散層厚さは、空気の対流に影響しているためと考えられる。

3. 膜の比較実験

3.1 実験方法

温度 24℃、湿度 40% で一定に保った低温恒温恒湿機内に図

3-1 に示すように、水 200ml を入れた樹脂製容器と膜を挟んだプラスチックホルダー（アドバンテック製、PP0-47）をホースで接続した装置を設置し、1 時間間隔で重量を 6 回測定した。計測した重量差から膜を用いた際の加湿量を求め、それぞれの膜に対する膜内の拡散係数を調べた。

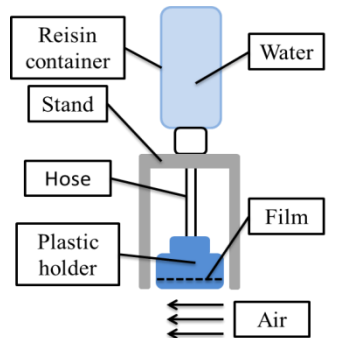


Fig.3-1 Experimental equipment

使用した膜は表 3-1 で示すように、アドバンテック社製で材料が PP のものと、PTFE の 2 種類で、それぞれ Water break through(以下、WBT)という疎水性濾材に対して、水が抜け始める圧力が違うもので行った。

Table 3-1 Membrane type

		PP nonwoven fabric				
Material		Polypropylene				
WBT(kPa)		12	20	39	44	45
		PTFE membrane				
Material		Polytetrafluoroethylene				
WBT(kPa)		50	227	>400		

3.2 結果と考察

PP 不織布の実験結果を図 3-2 に、PTFE 膜の実験結果を図 3-3 に示す。すべての膜の加湿量を見ると、膜がない場合の加湿量より少ないという結果になった。これより、膜の存在が加湿の妨げになっており膜内の拡散係数は膜がない場合の拡散係数より小さくなると思われる。また、すべての膜で開始 1 時間の測定値が 2 時間以降の値より大きくなる傾向がみられた。これは、先の実験結果と同様に容器内の水温が影響していると考えられる。そのため 2 時間以降のデータが有効であると言え、有効時間のデータの平均を表 3-2 に示す。次に膜の材料ごとに比較すると、PP 不織布は WBT 値の値が低い程、加湿量が多い。一方、PTFE 膜は加湿量が WBT 値の影響をほぼ受けないという材質ごとの特徴が見られた。

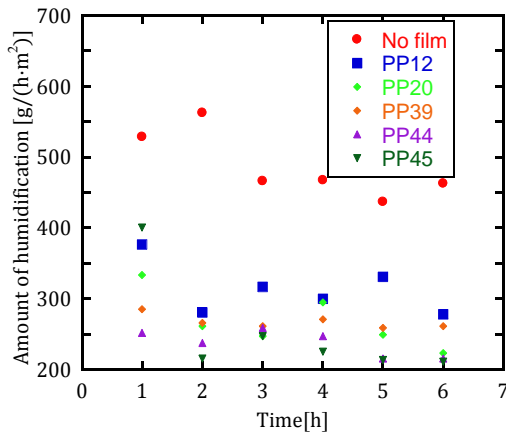


Fig.3-2 Amount of humidification of PP nonwoven fabric

Table 3-2 Experimental result

PP12	PP20	PP39	PP44	PP45
301.199	235.012	263.789	255.156	222.542
PTFE50	PTFE227	PTFE400	(g/h·m ²)	
295.444	301.199	264.748		

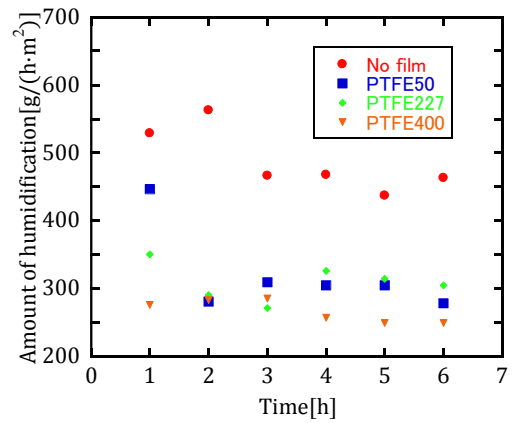


Fig.3-3 Amount of humidification of PTFE membrane

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。まず、フィックの法則を膜内の拡散と膜外の拡散の 2 パターンに分けて考えると、膜内の拡散係数 D_m は式(3-1)のように表される。

$$D_m = \frac{L_m J_m D}{L J - J_m} \quad (3-1)$$

また、膜によって膜の厚さが変わるので膜内の単位厚さ拡散係数を求めると式(3-2)のように表される。

$$\frac{D_m}{L_m} = \frac{1 J_m D}{L J - J_m} \quad (3-2)$$

式(3-2)と表 3-2 の実験結果を用いて算出した結果を図 3-4 に示す。

膜内の単位厚さ拡散係数は実験結果の加湿量と相関性があり、本膜の評価に有効であるとの見通しが得られた。

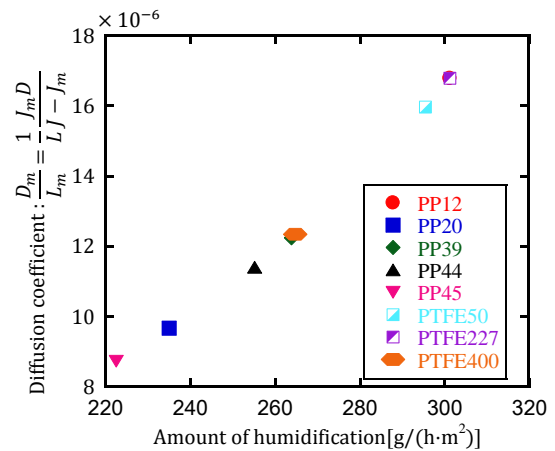


Fig.3-4 Comparison of amount of humidification and unit thickness diffusion coefficient in the membrane

4. 結言

膜がない場合の加湿量を計測し、フィックの法則より低温恒温恒湿機内で湿度を変化させた際の蒸発量から算出した拡散層の変化を求め、実験環境を調べた。次に、膜を用いた際の加湿量を計測し、フィックの法則よりそれぞれの膜に対して、膜内の単位厚さ拡散係数を求め、その有効性を見通しが得られた。

今後の課題として、温度、湿度などの条件を変えながらデータを蓄積することで、今回の条件以外での膜内の単位厚さ拡散係数の変化を調べる必要がある。

参考文献

上田政文, “湿度と蒸発-基礎から計測技術まで-” コロナ社