

吸湿液を用いた湿り空気の減湿実験

AN EXPERIMENT ON DEHUMIDIFICATION OF HUMID AIR
USING HYGROSCOPIC SOLUTION

平 栄 蔵^{*1} 小 山 繁^{*2} 中 山 隆^{*3} 藤 井 哲^{*4}
Eizo HIRA Sigeru KOYAMA Takashi NAKAYAMA Tetsu FUJII

Abstract

Characteristics of dehumidification of humid air using hygroscopic solution (LiBr solution) concentrated by solar energy is studied experimentally. The test dehumidifier consists of a transparency pipe of 200mm in diameter and 2300mm in height, a cyclone and a drying test chamber. The dehumidifying test section is composed of 4 stages, each of which is 200mm in diameter and 300mm in height. The following experiments of dehumidification are carried out : 1) each of dehumidifying test section is packed with polyethylene particles of diameter of 2 ~ 3mm and polyethylene particles layer is 10 ~ 20mm in height, 2) each of dehumidifying test section is placed with a cooling coil instead of polyethylene particles. The effects of height of polyethylene particles layer, concentration of LiBr solution, flow rate of humid air and cooling water on the dehumidification of humid air are discussed.

Key Words : Solar Energy, Humid Air, Dehumidifier, Hygroscopic Solution (LiBr Solution), Cooling Coil, Packed Polyethylene Particles Layer

1. 緒 言

太陽熱のようにエネルギー密度が小さく、変動するエネルギーを定常的に利用するには集熱したエネルギーを長期貯蔵が可能で、かつ繰り返し利用できるエネルギーに変換するとともに、そのエネルギーを温熱源のみならず空調や乾燥工程における減湿空気の発生源として用いることが考えられる。

太陽熱により加熱再生した吸湿液を除湿空調に利用する研究は、例えば Lof⁽¹⁾, Baum ら⁽²⁾, 木村ら⁽³⁾ および Choi⁽⁴⁾ のものなどがある。しかしながら、これらのシステムは吸湿液を大気圧下で加熱再生するため、吸湿液の再生を十分に行うことができないものと考えられる。

そこで、著者らは減圧下で吸湿液の濃縮再生を高効率に行い、その吸湿液を長期貯蔵するとともに必要時に必要量の吸湿液を用いて減湿空気を得るシステムと

して図1に示す「太陽熱の熱変換・貯蔵および空調・常温乾燥システム」の研究を行っている。このシステムは、①太陽熱集熱器、②減圧下で吸湿液を再生する濃縮装置および③太陽熱により濃縮再生された吸湿液を用いて減湿空気を作る装置からなる。すでに①に関しては平板形太陽熱集熱系の非定常伝熱特性の実験⁽⁵⁾と予測計算⁽⁶⁾を、②に関しては太陽熱による吸湿液

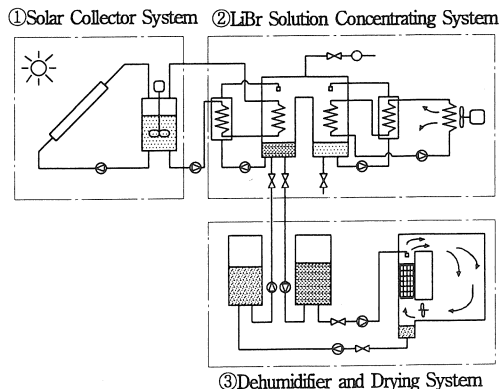


図1 太陽熱の熱変換・貯蔵および空調・常温乾燥システム

原稿受付 平成7年10月18日

*1 宮崎県工業試験場 (〒880 宮崎市恒久1-7-14)

*2 九州大学機能物質科学研究所 (〒816 春日市春日公園6-1)

*3 東亜大学大学院 (〒751 下関市一の宮学園町2-1)

の濃縮特性の実験⁽⁷⁾を報告した。

本報は③の減湿装置に関するものである。本システムでは太陽熱により濃縮再生した吸湿液を必要時に必要量使用し、使用後回収することを想定しており、吸湿液の再生と減湿操作とを時間および空間的に独立・分離して行うことができるが、減湿操作中に吸湿液の再生はできない。したがって、できるだけ少ない吸湿液量を用いて1パスで湿り空気を吸湿液の能力限度の湿度まで減湿するとともに、吸湿液自体の水分吸収能力を使い切る減湿装置の開発が不可欠である。そこで、この装置に関する基礎的設計資料を得るため、まず内径 200mm、高さ 300mm の減湿セクションを4段積み重ねた減湿装置を試作し、そして LiBr 水溶液流量を $0.002 \text{ m}^3/\text{h}$ とし、空気流量を $40 \sim 175 \text{ m}^3/\text{h}$ (気液流量比 $Q_s/Q_g=10 \sim 50 \times 10^{-6}$) の範囲で向流方式により供給して強制的に気液接触させた場合の湿り空気の減湿および LiBr 水溶液の水分吸収特性を、①各減湿セクションに直径 2～3mm のポリエチレン球体 (以降、PE 球体と略称する) を厚さ 10～20mm に充填して空気流れにより PE 球体を浮動させた場合、②各減湿セクションに冷却用コイルを設置して空気および吸湿液を冷却した場合について実験した。なお、本報における減湿実験の気液流量比 Q_s/Q_g は従来の多くの減湿装置のそれに比して 1 ないし 2 オーダ小さい。

主 な 記 号

d : 充填物および冷却用コイルの直径	mm
h : ポリエチレン球体の充填高さ	mm
mw : 冷却水流量	kg/h
Q_g : 湿り空気の体積流量	m^3/h
Q_s : LiBr 水溶液の体積流量	m^3/h
Q_s/Q_g : 気液流量比	m^3/m^3
q : 冷却用コイルによる除熱量	kW
P_g : 湿り空気の水蒸気分圧	Pa
P_s : LiBr 水溶液の水蒸気圧	Pa
X_s : LiBr 水溶液の重量濃度	%
x : 湿り空気の絶対湿度	g/kg
Δp : 入口・出口空気の圧力差	kPa
ΔT_g : 入口・出口空気の温度差	$^{\circ}\text{C}, \text{K}$
Δx : 入口・出口空気の絶対湿度の差 = $x_i - x_o$	g/kg
Δy : LiBr 水溶液が単位時間当たり吸収した水分重量を LiBr 水溶液の体積流量で除した値	g/ cm^3
η_g : 空気の減湿効率 (式 (1))	—
η_s : LiBr 水溶液の水分吸収効率 (式 (2))	—

添字

i : 初期値または入口

o : 最終値または出口

2. 実験装置および方法

図 2 に減湿実験装置の概要を示す。装置は内径 200mm、高さ 2.3m の減湿器① (減湿セクションは高さ 300mm の透明塩化ビニル管が 4 段) と外径 500mm、高さ 1.0m の液滴捕集器②および乾燥室③ (縦横高さがそれぞれ 0.5m, 0.5m, 1.0m) より構成されている。実験に用いた空気は、実験室内の湿り空気、長さ 1.5m、内径 78.2mm の塩化ビニル直管より層流型空気流量計④ (山田製作所製, TYPE-9 型) を経て、減湿器下方より導入される。減湿器で減湿された空気は液滴捕集器②、乾燥室③を経て、送風機⑤ (昭和製, UT750 型) により吸引され室外へ排気される。一方、LiBr 水溶液は水溶液タンク⑥から流量計測用メスシリンダ⑦、水溶液ポンプ⑧を経て減湿器上部の溶液ノズル⑨より減湿セクションへ滴下される。

図 3(a) および (b) に減湿セクションの詳細を示す。図 3(a) は減湿セクション環状部に直径 2～3mm の PE 球体を 10～20mm の高さに充填した場合を示し、図 3(b) は減湿セクション環状部に外径 6.5mm、長さ 3.0m の銅製の冷却用コイルを挿入した場合を示す。いずれも内径 200mm、高さ 300mm の透明塩化ビニル

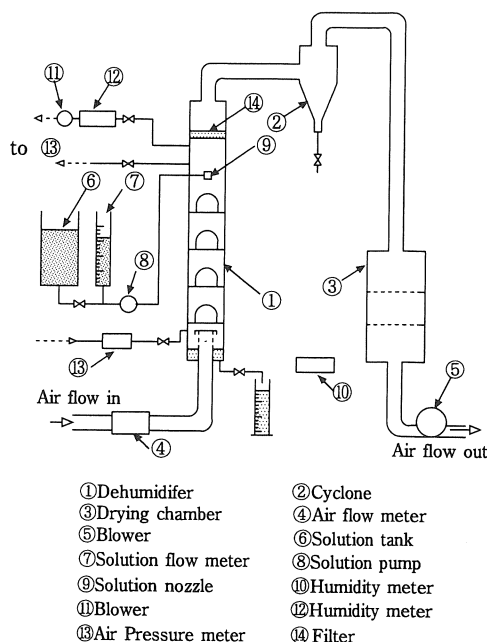


図 2 減湿実験装置の概要

管を1ユニットとし、これを4段積み重ねている。ユニット間のフランジ部には1目が1.5mmのナイロンメッシュ網を挿入し、管中央部には外径130mm、高さ138mmの砲弾型のキャップ(配管閉塞用のプラグ)を固定した(このため、空気は塩化ビニル管と砲弾型キャップの間の環状部を上昇する)。減湿セクションを出た空気は多孔質ウレタン製のフィルターにより液滴捕集される。なお、図3(b)の冷却水には水道水を使用した。

図2において、入口空気の相対湿度は室内に置いた相対湿度計⑩(チノー製, HM-D11型)により、また出口空気の相対湿度は減湿器上部からダイヤフラム式ポンプ⑪を用いて抽気した空気を内容積約2 lのビニール容器に導き、その内部に置いた相対湿度計⑫(バイサラ・ケット製, HMI-14型)により、空気の圧力損失はデジタル差圧計⑬(コスモ計器製, DP-302)を用いて測定した。空気やLiBr水溶液などの温度はT型熱電対で、LiBr水溶液の重量濃度は比重および温度測定値を文献⁽⁸⁾に適用して求めた。図3(b)の冷却用コイルの流量は体積流量計(オーバル製, LS5277型)で測定した。実験データとして、実験装置全体が定常状態に達したと見なされるまで運転した後(2~3時間後)の各部の温度、相対湿度およびLiBr水溶液の比重値を採用した。なお、実験中の実験室内空気の温度および相対湿度は、それらをできるだけ一定に保つために実験室の床面に散水したが、実験日により多少

変動し空気温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $75 \pm 5\%$ の範囲であった。なお、減湿器入口のLiBr水溶液の温度は実験室内の空気温度とほぼ一致していた。

実験は本減湿実験装置の減湿およびLiBr水溶液の水分吸収特性を把握するため、以下の2種類について行った。

(I) 減湿セクションにPE球体を充填した場合

各段の減湿セクション環状部に直径2~3mmのPE球体を10~20mmの厚さに充填し、PE球体を浮動させた場合の入口・出口空気の相対湿度、LiBr水溶液の濃度変化などを測定するとともに、減湿セクション内の吸湿液の流れおよびPE球体の挙動を観察した。

(II) 減湿セクションに冷却用コイルを挿入した場合

各段の減湿セクション環状部に冷却用コイル(外径6.5mm、長さ3.0m)を置き、空気およびLiBr水溶液を冷却した場合の入口・出口空気の相対湿度、LiBr水溶液の濃度変化などを測定するとともに、減湿セクション内の吸湿液の流れおよびPE球体の挙動を観察した。

3. 減湿セクションにPE球体を充填した場合の減湿実験

3.1 PE球体の充填高さの影響

図4にPE球体の充填高さを変えた場合の空気の減湿特性ならびに圧力損失を示す。実験は重量濃度 $X_{\text{Li}} = 60\%$ のLiBr水溶液を体積流量 $Q_s = 0.002 \text{ m}^3/\text{h}$ 一定で減湿器上部より滴下させ、空気流量を $Q_g = 40 \sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$ の範囲で供給して行った。横軸に空気流量 Q_g を、左縦軸に入口・出口空気の絶対湿度の差 Δx を、右縦軸に空気の圧力損失 Δp を示す。図中の○, ●, □および■印はそれぞれPE球体の充填高さ h が10および20mmの場合の Δx , Δp に対応している。○, □印ともに Q_g が大きくなるほど Δx は小さくなる。これは Q_g が大きくなるほど、充填層に滞在するLiBr水溶液の量が増えて空気とLiBr水溶液との気液

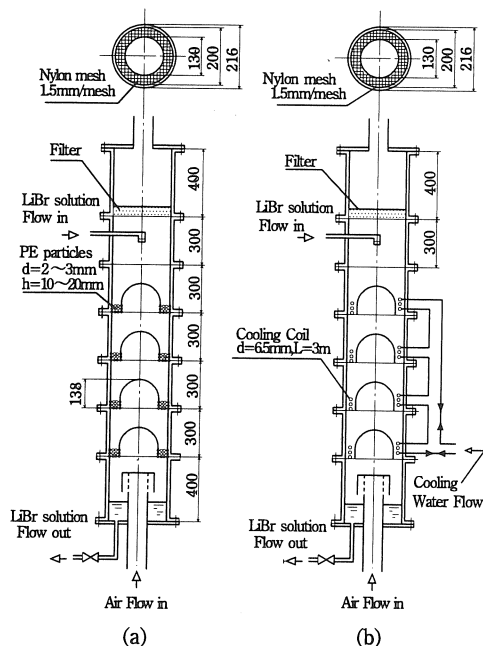


図3 減湿セクションの詳細

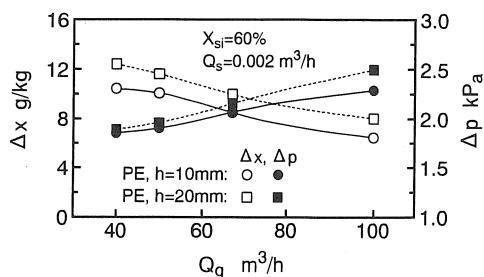


図4 h が Δx および Δp に及ぼす影響 (PE球体充填法)

接触面積が大きくなることに起因した Δx の増加よりも、空気とLiBr水溶液との気液接触時間が短くなることに起因した Δx の減少が大きいのによるものと考えられる。 Q_g が一定の場合は、 h が10mm, 20mmと増加するほど Δx が大きくなる。これはPE球体の数量が増加し気液接触面積が増大したことによる。一方、 Δp は Q_g が大きくなるほど、また Q_g が一定の場合は、 h が10mm, 20mmと増加するほど大きくなる。

減湿セクション環状部内の吸湿液の流れおよびPE球体の挙動は以下のものであった。PE球体の充填高さが $h=10\text{mm}$ の場合、一旦下方からの空気流れによって浮上したPE球体はナイロンメッシュ網の上に落下してメッシュ網目をふさぎ、LiBr水溶液の素通り流下を阻止した。ついで、下方からの空気流により

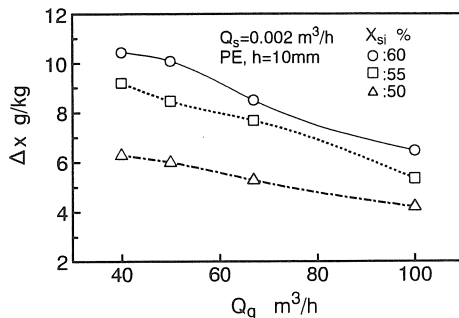


図5 X_{si} が Δx に及ぼす影響 (PE 球体充填法)

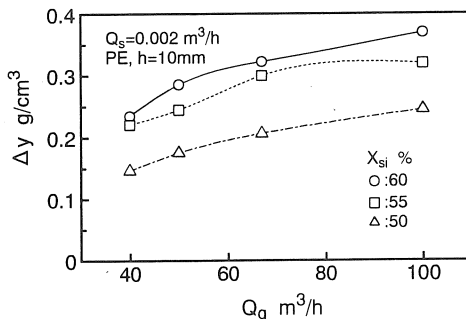


図6 X_{si} が Δy に及ぼす影響 (PE 球体充填法)

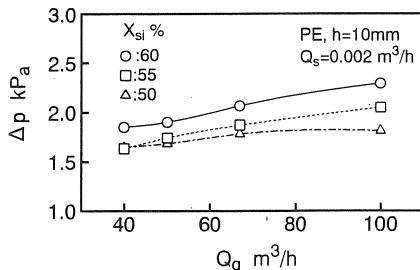


図7 X_{si} が Δp に及ぼす影響 (PE 球体充填法)

PE球体が再び浮上すると流下を阻止されていたLiBr水溶液はメッシュ網より流下した。このような流動が間欠的に発生しているようであった。しかし、 $h=20\text{mm}$ の場合はPE球体が多くなりすぎ、その多くが砲弾型キャップおよび減湿セクションの内壁に付着し、さらにそこから一度に脱落するという挙動を繰り返すため気液流動がやや不安定となった。よって、以下の実験は充填高さを気液流動が安定している $h=10\text{mm}$ に固定して行った。

3.2 LiBr水溶液濃度の影響 (PE球体充填法)

実験は $h=10\text{mm}$ とし、重量濃度 $X_{si}=60, 55$ および50%のLiBr水溶液を体積流量 $Q_s=0.002\text{ m}^3/\text{h}$ 一定で減湿器上部から滴下させ、空気を減湿器下方から体積流量 $Q_g=40 \sim 100\text{ m}^3/\text{h}$ の範囲で供給して行った。

図5に空気の減湿特性を示す。横軸に Q_g を、縦軸に Δx を示す。図中の○、□および△印はLiBr水溶液濃度 X_{si} がそれぞれ60, 55, および50%の場合である。 X_{si} が一定で、 Q_g が増加するほど Δx は小さくなる。これは図4の場合と同様の理由によるものと考えられる。 Q_g が一定で、 X_{si} が高くなるほど Δx は大きくなる。これはLiBr水溶液の水蒸気圧が小さくなり、LiBr水溶液の水分吸収力が増大することによる。

図6はLiBr水溶液の水分吸収特性を示す。横軸に Q_g を、縦軸にLiBr水溶液が単位時間当たりに吸収した水分重量をLiBr水溶液の体積流量で除した値 Δy を示す。図中の○、□および△印の意味は図5と同様である。 X_{si} が一定で、 Q_g が増加するほど Δy は大きくなる。これは Q_g が増加するほどLiBr水溶液がより多量の空気と接触することによる。 Q_g が一定で、 X_{si} が高くなるほど Δy は大きくなる。これは X_{si} が高くなるほどLiBr水溶液の水蒸気圧が小さくなり、水分吸収力が増大することによる。

図7に空気の圧力損失を示す。横軸に Q_g を、縦軸に圧力損失 Δp を示す。図中の○、□および△印の意味は図5と同様である。 X_{si} が一定で、 Q_g が増加するほど Δp は大きくなる。 Q_g が一定で、 X_{si} が高くなるほど Δp は大きくなる。これは X_{si} が高くなるほどLiBr水溶液の粘度が高くなるためと考えられる。

4. 減湿セクション環状部を冷却した場合の減湿実験

本章では減湿セクション環状部に冷却用コイルを挿入し、空気および吸湿液を冷却した場合の空気の減湿特性ならびに吸湿液の水分吸収特性について検討する。

実験は、減湿セクション上部よりLiBr水溶液を

$Q_s=0.002 \text{ m}^3/\text{h}$ で滴下させ、空気流量 Q_g を $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上に増加して LiBr 水溶液のほとんどが吹き上がる状態としたのち、空気流量を徐々に減じて気液接触状態を作り、空気流量を固定して行った。減湿セクション環状部内の LiBr 水溶液は冷却用コイル近傍の空気流の乱れにより一部は吹き上げられ、そして減湿セクション内壁および砲弾型キャップ表面に沿って流下したが、気液の流動状態はやや不安定であった。

4.1 冷却水の流れ方向および流量の影響

実験は重量濃度 $X_{si}=60\%$ の LiBr 水溶液を用い、その体積流量を $Q_s=0.002 \text{ m}^3/\text{h}$ 、空気流量を $Q_g=100 \text{ m}^3/\text{h}$ に固定し、冷却水流量 m_w と冷却水の流れ方向を変えた場合の入口・出口空気温度・相対湿度および LiBr 水溶液の比重等を測定した。なお、冷却水の流れ方向を図 8 に示す。

図 9 は減湿セクションの入口・出口空気温度差および冷却用コイルによる除熱量を示す。横軸に冷却水流量 m_w を、左縦軸に減湿器入口・出口空気温度差 ΔT_g を、右縦軸に冷却用コイルによる除熱量 q を示す。図中の○、●印と□、■印はそれぞれ冷却水の流れ方向が向流および並流の場合の ΔT_g , q に対応している。 m_w が 0 の場合の ΔT_g は約 12°C であり、 m_w が増加するにしたがい○および□印ともに ΔT_g は小さくなる。 m_w が一定の場合、□印の方が○印より ΔT_g が小さいのは□印の場合、冷却用コイルおよび LiBr 水溶液により出口空気が冷却されるためである。一方、 m_w が増加するにしたがい●、■印ともに q は増加する。 m_w が一定の場合、●印の方が■印より q が増加するのは冷却水流れ方向と LiBr 水溶液の流下方向とが向流接触して LiBr 水溶液が効率良く冷却されるためと考えられる。

図 10 は空気の減湿特性を示す。横軸に m_w を、縦軸に Δx を示す。図中の○および□印はそれぞれ冷却水流れの方向が向流および並流の場合に対応している。 m_w が増加するにしたがい○印の Δx は大幅に増加するが、□印の場合の Δx はやや増加する程度である。○印の場合の Δx の増加は冷却水の入口が減湿器底部にあるため上部より流下してくる LiBr 水溶液と冷却水が向流接触して、LiBr 水溶液が効率良く冷却されるためと考えられる。一方、□印の場合、冷却水の流れ方向と LiBr 水溶液の流下方向が同じであり、LiBr 水溶液の冷却が十分になされないためと考えられる。

図 11 は LiBr 水溶液の水分吸収特性を示す。横軸は

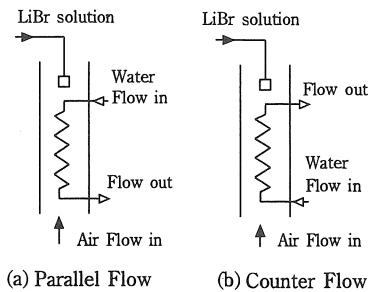


図 8 冷却水の流れ方向の定義

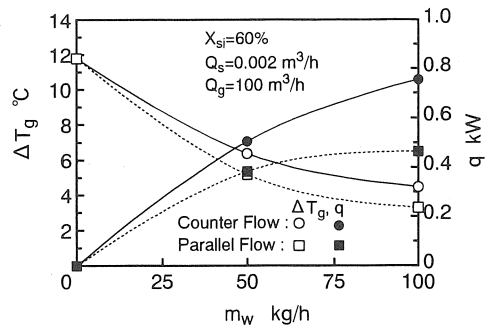


図 9 冷却水の流れ方向および流量の効果 (ΔT_g および q)

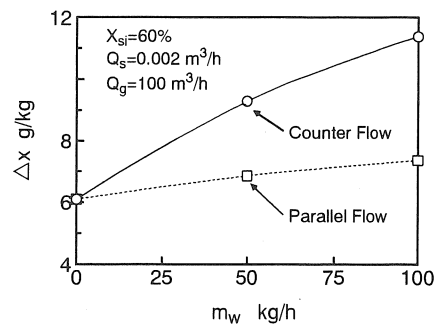


図 10 冷却水の流れ方向および流量の効果 (空気の減湿特性)

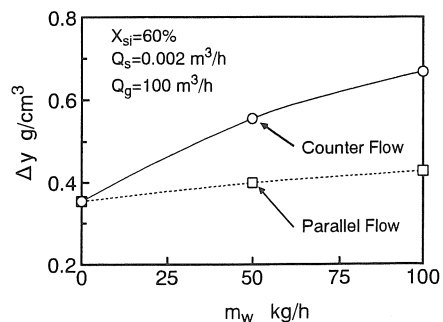


図 11 冷却水の流れ方向および流量の効果 (LiBr 水溶液の水分吸収特性)

mwで、縦軸は Δy である。図中の○および□印の意味は図 10 の場合と同様である。mwが増加するにしたがい○印の Δy は大幅に増加するが、□印の場合の Δy はやや増加する程度である。この傾向は図 10 の場合と同じである。なお、図 10 および図 11 より、向流冷却の場合の Δx および Δy は $mw=0 \rightarrow 100\text{kg/h}$ の区間で、それぞれ約 2 倍に増加している。これらの効果は冷却用コイルによる LiBr 水溶液の温度低下に起因した LiBr 水溶液界面の水蒸気圧の減少、すなわち水分吸収力の改善によるものと考えられる。

4.2 空気流量の影響

実験は重量濃度 $X_{si}=60\%$ の LiBr 水溶液を用い、その体積流量を $Q_s=0.002\text{ m}^3/\text{h}$ 、冷却水流量を $mw=100\text{kg/h}$ （冷却水流れ方向は向流）とし、空気流量を $Q_g=75 \sim 175\text{ m}^3/\text{h}$ の範囲で供給して行った。

図 12 に空気の減湿および LiBr 水溶液の水分吸収特性を示す。横軸に Q_g を、左縦軸に Δx を、右縦軸に Δy を示す。図中の○および□印は Δx および Δy に対応している。 Q_g が増加するほど Δx がほぼ単調に減少するのは、空気と LiBr 水溶液の気液接触時間が短くなることによる。一方、 Δy は Q_g が $75 \rightarrow 150\text{ m}^3/\text{h}$ の区間では Q_g の増加に伴い増加するが、 Q_g が $150 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ の区間ではやや減少する。 $Q_g=75 \rightarrow$

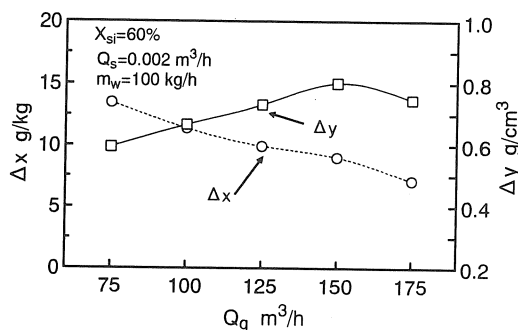


図 12 Q_g が Δx および Δy に及ぼす影響（冷却法）

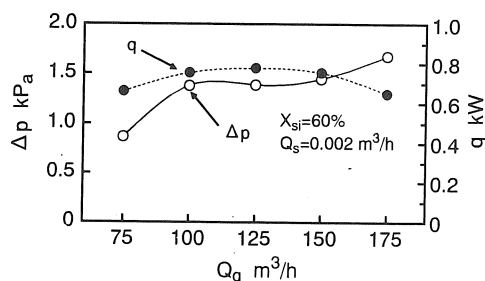


図 13 Q_g が Δp および q に及ぼす影響（冷却法）

$150\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で Δy が増加するのは LiBr 水溶液がより多量の空気と接触することによる。 $Q_g=150 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で Δy がやや減少するのは Q_g の増加による上述のプラス効果よりも、この空気流量域で発生する LiBr 水溶液の吹き上がりなどに起因した気液流動の不安定化等により気液接触が十分になされなくなったものと考えられる。

図 13 は空気流量を変えた場合の空気の圧力損失と冷却用コイルによる除熱量を示す。横軸に Q_g を、左縦軸に空気の圧力損失 Δp を、右縦軸に除熱量 q を示す。図中の○および●印は Δp および q に対応している。 Δp は $Q_g=75 \rightarrow 100\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で増加し、 $Q_g=100 \rightarrow 150\text{ m}^3/\text{h}$ 区間ではほぼ一定となり、 $Q_g=150 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で再び増加している。 $Q_g=75 \rightarrow 100\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で Δp が増加するのは Q_g の増加により空気の流動抵抗が増加するためであり、 $Q_g=100 \rightarrow 150\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で Δp がほぼ一定となるのは LiBr 水溶液の濃度低下により LiBr 水溶液粘度が低下したことによるものと考えられる。さらに、 $Q_g=150 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で再び Δp が増加するのは LiBr 水溶液の吹き上がりなどにより流動抵抗が増大したことによると考えられる。一方、 q は $Q_g=75 \rightarrow 125\text{ m}^3/\text{h}$ 区間でやや増大し、 $Q_g=125 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ 区間でやや減少している。 q が $Q_g=75 \rightarrow 125\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で増加するのは LiBr 水溶液の吸収熱量が増加するためであり、 $Q_g=125 \rightarrow 175\text{ m}^3/\text{h}$ 区間で減少するのは空気により外部へ持ち出される熱量が増えるためと考えられる。

5. 減湿装置の性能評価

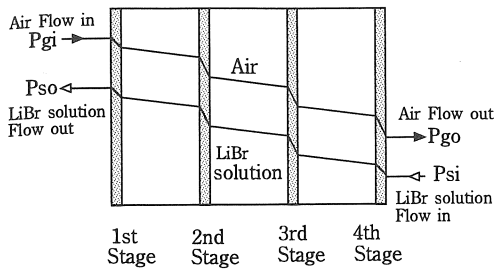
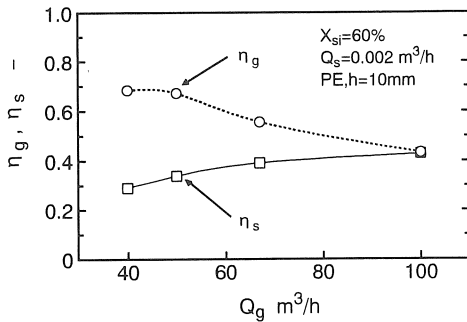
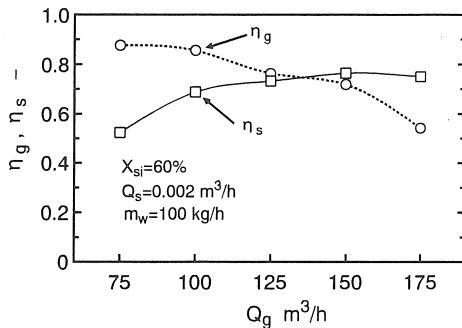
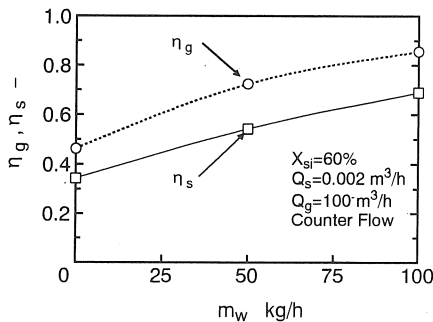
図 14 に減湿器内の空気および LiBr 水溶液の水蒸気圧の変化を模式的に示す。空気の水蒸気分圧 P_g および LiBr 水溶液の水蒸気圧 P_s は 4 個の減湿セクションを通過するごとに気液接触し複雑に変化しているものと考えられる。このような熱・物質移動現象を厳密に評価するのは困難なため、ここでは向流方式の熱交換器の温度効率の表示法に準じた簡易式により減湿性能を評価する。 P_{gi} および P_{go} は減湿器入口・出口の空気の水蒸気圧を、 P_{si} および P_{so} は減湿器入口・出口の LiBr 水溶液の水蒸気圧を示す。空気の減湿効率 η_g を式 (1) で定義する。

$$\eta_g = (P_{gi} - P_{go}) / (P_{gi} - P_{si}) \quad (1)$$

LiBr 水溶液の水分吸収効率 η_s を式 (2) で定義する。

$$\eta_s = (P_{so} - P_{si}) / (P_{gi} - P_{si}) \quad (2)$$

式 (1) は $P_{go} \rightarrow P_{si}$ のとき、 $\eta_g \rightarrow 1$ となり、出口空


 図 14 減湿器内の P_g および P_s の模式図

 図 15 Q_g と η_g および η_s の関係 (PE 球体充填法)

 図 16 Q_g と η_g および η_s の関係 (冷却法)

 図 17 m_w と η_g および η_s の関係 (冷却法)

気が理想的な減湿空気となることを意味する。式 (2) は $P_{so} \rightarrow P_{gi}$ のとき、 $\eta_s \rightarrow 1$ となり、出口の LiBr 水溶液が理想的に水分吸収を行い、回収されることを意味する。

図 15 は図 5 および図 6 に示した PE 球体充填法のデータ ($X_{si}=60\%$ の場合) を再整理したものである。横軸に空気流量 Q_g を、縦軸に空気の減湿効率 η_g および LiBr 水溶液の水分吸収効率 η_s を示す。 Q_g が $Q_g=40 \rightarrow 100 \text{ m}^3/\text{h}$ へ増加すると η_g は $\eta_g=0.7 \rightarrow 0.4$ と減少し、 η_s は $\eta_s=0.3 \rightarrow 0.4$ とわずかに増加する。 Q_g が増加するほど η_g の値が減少するのは空気と LiBr 水溶液の気液接触時間が短縮されるためである。

図 16 は図 12 示した冷却法のデータを再整理したものである。横軸および縦軸は図 15 の場合と同様である。 η_g は Q_g が増加すると $\eta_g=0.9 \rightarrow 0.5$ と減少するが、この理由は前述の図 15 の場合と同様であると考えられる。一方、 η_s は $Q_g=75 \rightarrow 150 \text{ m}^3/\text{h}$ 区間では $\eta_s=0.5 \rightarrow 0.8$ と増加するが、 $Q_g=150 \rightarrow 175 \text{ m}^3/\text{h}$ 区間ではほとんど変化しない。この区間の η_s が増加しないのは、LiBr 水溶液の吹き上がりなどのため気液接触が不十分になったことによると考えられる。また、 $Q_g=100 \text{ m}^3/\text{h}$ における η_g および η_s は図 15 の場合に比してそれぞれ約 2 倍程度に改善されている。これは、冷却法の方が LiBr 水溶液の温度上昇をより低くおさえることができるためである。

図 17 は図 10 および図 11 に示した冷却水流量の影響に関するデータを再整理したものである。横軸に冷却水流量 m_w を、縦軸に η_g および η_s を示す。冷却水流量が $m_w=0 \rightarrow 100 \text{ kg/h}$ と増加すると、 η_g は $\eta_g=0.5 \rightarrow 0.85$ と増加し、 η_s も $\eta_s=0.3 \rightarrow 0.6$ と大幅に増加する。すなわち、空気と吸湿液を冷却することにより η_g 、 η_s 両方を同時に改善することができる。

6. 結 言

「太陽熱の熱変換・貯蔵および空調・常温乾燥システムに関する研究」の一環として、吸湿液を用いた湿り空気の減湿特性に関する実験を行った。

(1) 減湿セクション環状部に直径 2～3mm の PE 球体を充填し空気流により浮動させた場合の減湿実験より以下の知見が得られた。

① 本実験範囲において、減湿セクション環状部に直径 2～3mm の PE 球体を高さ 10mm 程度に充填する

と、LiBr 水溶液の素通り流下が抑制され、空気と LiBr 水溶液の流動状態は安定する。

② LiBr 水溶液の濃度 X_{si} が高く、空気流量 Q_g が大きくなるほど、空気入口・出口の絶対湿度の差 Δx は小さくなり、LiBr 水溶液の単位体積あたりの吸収水分量 Δy は大きくなる。

(2) 減湿セクション環状部に冷却用コイルを設置して吸湿液および空気を冷却した場合の減湿実験より以下の知見が得られた。

① 空気と LiBr 水溶液の流動状態は PE 球体充填法に比してやや不安定である。

② 冷却水の流れ方向は向流式の方が並流式より、 Δx および Δy ともに大きい。特に、向流式では冷却水流量の増大に伴い Δx および Δy ともに大きくなる。

(3) 減湿装置の減湿性能を η_g (式 (1)) および η_s (式 (2)) で定義して、PE 球体充填法 (冷却なし) と冷却用コイルによる冷却法とを比較した結果、減湿セクシ

ョン環状部を冷却用コイルで冷却した場合が η_g , η_s ともに約 2 倍程度に増加する。

終わりに、実験装置の製作および実験に協力いただいた宮崎県工業試験場の関係者はじめ、御支援いただいた皆様に感謝致します。

文 献

- (1) Lof, G.O.G., University of Wisconsin Press, 33, 1955.
- (2) Baum, V.A. ほか, Applied Solar Energy, 8-26(1972).
- (3) 木村・ほか, 例えば, 日本太陽エネルギー学会講演論文集 (No.13, 1987).
- (4) Choi, K., 早稲田大学博士論文 (1993.3).
- (5) 平・他 3 名, 太陽エネルギー, 20-4(1994), 7.
- (6) 平・他 3 名, 太陽エネルギー, 21-1(1995), 36.
- (7) 平・他 3 名, 太陽エネルギー, 21-5(1995), 35.
- (8) 植村・柳場ほか, 例えば, 冷凍, 36-405(1961), 622.