

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560218

研究課題名(和文)多孔質膜を用いた吸収式ヒートポンプの研究

研究課題名(英文) Study on absorption heat pump using hydrophobic membrane

研究代表者

長崎 孝夫 (Nagasaki, Takao)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30155923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：吸収式ヒートポンプにおける吸収液への水蒸気吸収について、冷却壁面上を流れる吸収液と水蒸気を疎水性多孔質膜を介して接触させるとともに吸収液流路を発泡金属として熱・物質伝達を促進する方法に関し実験研究を行った。その結果、発泡金属流路の液単相強制対流における伝熱促進効果、発泡金属伝熱面の凝縮および蒸発熱伝達率、多孔質膜の水蒸気透過の圧力損失、吸収液への水蒸気吸収に及ぼす多孔質膜付加の影響を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Heat and mass transfer in water vapor absorption into LiBr/water solution has been investigated experimentally. Metal foam was attached on the cooling wall, and the absorbent liquid flows in the metal foam. The metal form was covered with a hydrophobic membrane, through which the vapor was absorbed into the absorbent liquid. As a basis of heat transfer in the metal form, heat transfer coefficients were measured for liquid single-phase forced convection, condensation and evaporation. The pressure loss of vapor passing through the membrane was measured and compared with theoretical value. The effect of membrane on the vapor absorption into liquid was clarified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：吸収式ヒートポンプ 吸収器 発泡金属

1. 研究開始当初の背景

吸収式ヒートポンプは排熱の有効利用において重要な役割を果たすが、従来の流下液膜式管群吸収器は自動車搭載など小型かつ加速・減速を伴う移動体への応用には適さず、吸収式ヒートポンプによる排熱利用を拡大するには振動に対しても液の飛散がないコンパクトな吸収器が望まれる。

2. 研究の目的

本研究では冷却壁面に接合した発泡金属中に吸収液を流し、その表面を疎水性多孔質膜（蒸気は通すが液は通さない）で覆うことにより液の飛散を防止することを提案し、その伝熱特性を調べる。また気体側を湿り空気とした水蒸気吸収実験も行い、本提案方法を液体デシカントによる除湿に適用した場合の特性を調べる。

3. 研究の方法

実験装置の概略を図1に示す。リザーバ内の吸収液（LiBr水溶液）は熱交換器により所定の温度に調節された後、試験部である吸収器に供給される。またリザーバ内の吸収液は蒸気発生器（Generator）に導かれ、鉛直円柱状のヒーター外面を流下して蒸気を発生する。この蒸気は流量測定後、試験部に供給される。

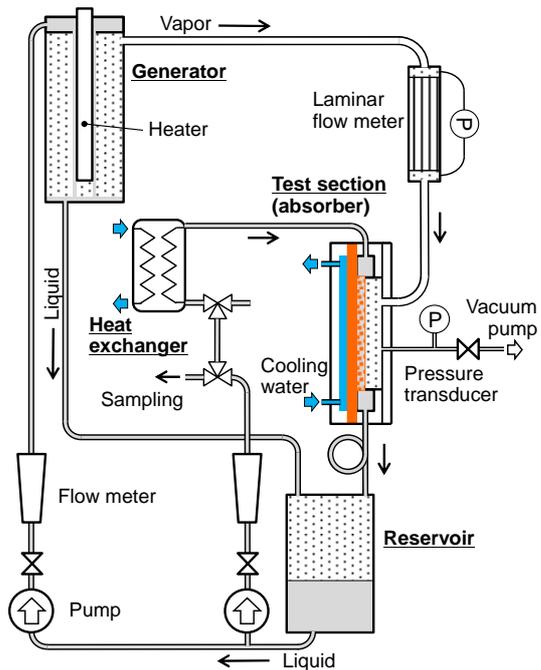


図1 実験装置の概略

試験部の詳細を図2に示す。伝熱面である銅板上には図3のように発泡金属が拡散接合されており、銅板の背面は冷却水流路となっている。発泡金属は銅製で孔径 600 μm 、空隙率 0.94 であり、大きさは幅 38mm、長さ 70mm、厚さ 1.3mm である。この発泡金属の上面を図4のように疎水性多孔質膜 (PTFE 製、孔径 1 μm 、空隙率 0.76、膜厚約 18 μm 、サポート付) で

覆う。空気の除湿実験においては図5に示すように気体側を空気流路（高さ 1mm）として大気圧の室内空気を流し、その流量および入口と出口の湿度を計測して水蒸気吸収量を求める。

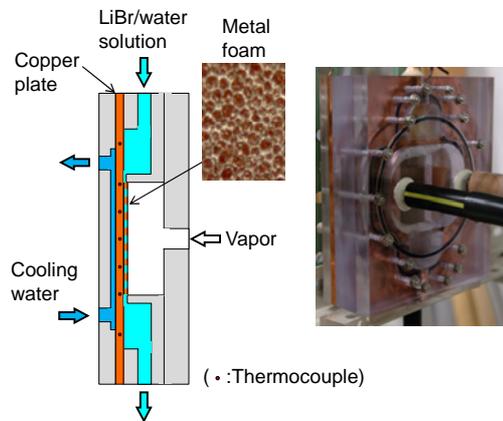


図2 試験部詳細

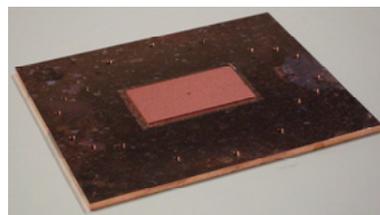


図3 発泡金属を接合した伝熱面

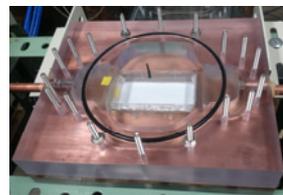


図4 多孔質膜付きの測定部の内部

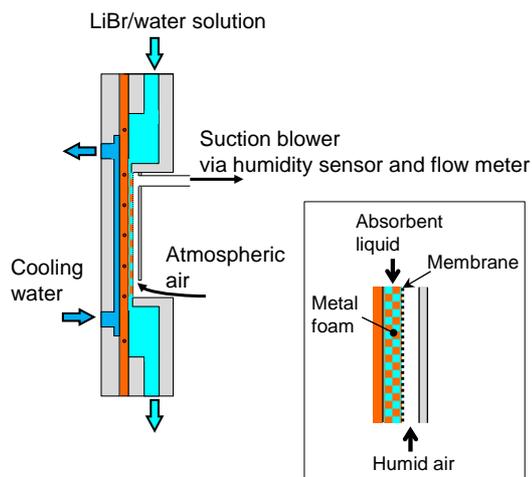


図5 空気の除湿実験

また疎水性多孔質膜（メンブレン）を水蒸気が通過する時の圧力損失を把握するため、図6のように内径 24mm の円管流路内にメン

ブレンを設置し、圧力損失を測定した。

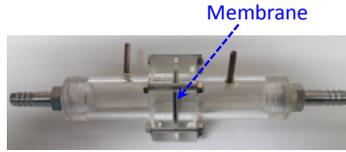


図 6 多孔質膜の圧力損失の測定部

さらにここで用いた発泡金属の基本的な熱流動特性を調べるため、図 7 のように発泡金属上面を断熱壁とし、発泡金属流路内の水の強制対流伝熱と圧力損失を調べた。

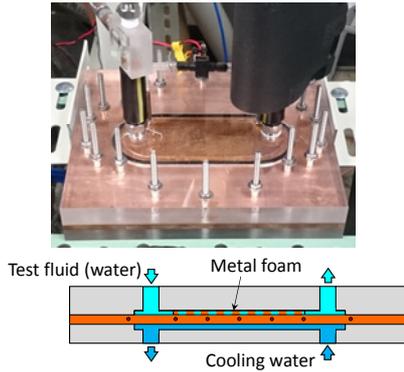


図 7 発泡金属流路の液単相強制対流測定部

4. 研究成果

(1) 発泡金属流路の液単相強制対流

発泡金属流路の水の圧力損失の測定結果を図 8 に示す。図の縦軸は次式 (1) の左辺であり、図 8 のデータ点の直線近似より、透過率 K は $1.47 \times 10^{-9} \text{ [m}^2\text{]}$ 、慣性係数 C_I は 0.057 と見積もられた。

$$\left(\frac{dP}{dx}\right) \cdot \frac{1}{u} = \frac{\mu}{K} + C_I \frac{\rho}{\sqrt{K}} u \quad (1)$$

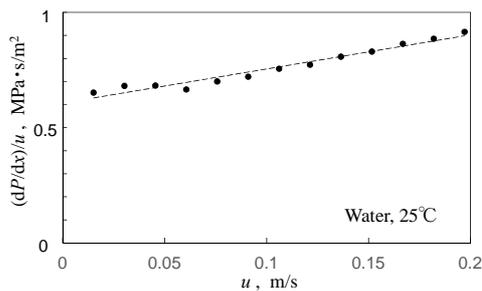


図 8 発泡金属流路の液単相の圧力損失

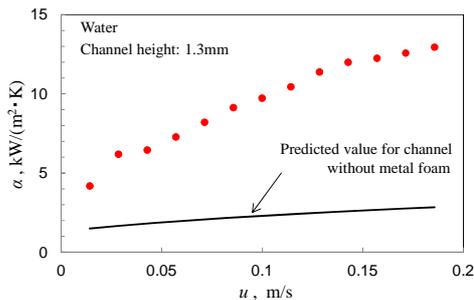


図 9 発泡金属流路の液単相の熱伝達率

発泡金属流路の水の強制対流熱伝達率の測定結果を図 9 の赤丸印で示す。図中には発泡金属がない場合の熱伝達率の予測値（層流で助走区間の影響を含む）も示されており、発泡金属のフィン効果により伝熱が促進されていることが分かる。

(2) 発泡金属壁面の凝縮および蒸発熱伝達

図 1 で示した装置において作動流体として純水を用い、発泡金属壁面への凝縮実験を行った。図 10 は伝熱面上端から液を供給しない場合について熱伝達率と壁面過冷却度の関係を示したものであり、系圧力は約 1.8kPa である。図には平滑液膜の理論値である Nusselt の解も示されている。本実験結果は Nusselt の解よりも低い値をとり、これは発泡金属による流動抵抗のため液膜厚さが増加したためと考えられる。さらに伝熱面上端から液を流量 $G_{L,in}$ で供給した場合の結果が図 11 に示されている。流量の増加とともに Nusselt の解よりも熱伝達率が増加しており、発泡金属により伝熱が促進されることが分かる。

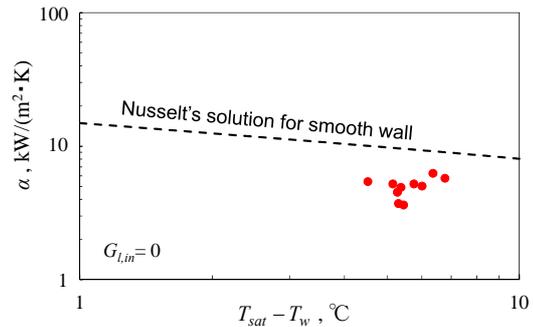


図 10 凝縮の熱伝達率と壁面過冷却度の関係

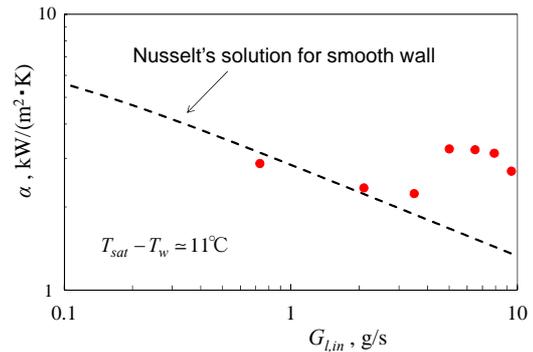


図 11 凝縮の熱伝達率と液入口流量の関係 (凝縮面上端から液を供給した場合)

さらに発泡金属壁面を用いた水の蒸発実験を行ったところ、液入口流量 0.7 g/s (単位幅あたり 18 g/(m·s)) において熱伝達率は 4.1 kW/(m²K) となり、Nusselt の解と同様な仮定に基づく理論値と同程度の値となることが分かった。

(3) 発泡金属壁面を用いた水蒸気吸収 多孔質膜を付加せず発泡金属壁面のみと

した場合について LiBr 水溶液への水蒸気吸収を行った場合の実験結果として、蒸気吸収流量と吸収液流量の関係を図 12 に示す。吸収液の濃度は 55.5wt%、系圧力は約 800Pa (6Torr) である。この場合の溶液 (吸収液) の飽和温度 T_{sat} は約 34°C であり、冷却水入口温度 $T_{cw, in}$ は 20°C とした。図 12 には溶液入口温度 $T_{l, in}$ を 34°C および 20°C とした場合の結果が示されており、溶液入口温度が低い場合には吸収液の流量とともに蒸気吸収量が増加することが分かる。さらに冷却水への伝熱 (蒸気吸収の潜熱と溶液冷却の顕熱の和) についての熱伝達率が図 13 に示されており、溶液流量の増加とともに熱伝達率が増加することが分かる。またこの熱伝達率は通常のフィン付面と同程度の値であることが分かる。

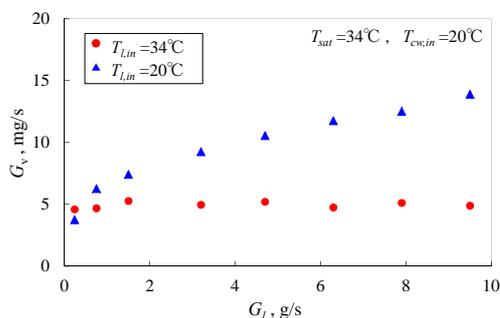


図 12 蒸気吸収流量と吸収液流量の関係

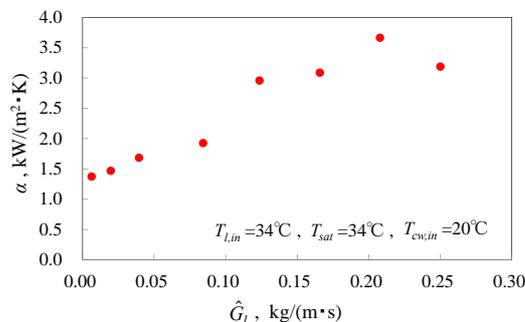


図 13 熱伝達率と単位幅あたりの吸収液流量の関係

(4) 多孔質膜の圧力損失

本実験で用いた多孔質膜の圧力損失と単位面積あたりの蒸気流量の関係を図 14 に示す。測定時の圧力は 20Torr 付近であり、膜を透過する蒸気のカヌッセン数 (分子の平均自由行程とメンブレン孔径の比) は 3~5 程度である。図には気体分子運動論に基づく理論値も示されており、本実験値は理論値と概ね一致することが分かった。

(5) 多孔質膜と発泡金属壁面を用いた水蒸気吸収

発泡金属表面を疎水性多孔質膜で覆った場合の水蒸気吸収実験結果として、蒸気吸収の質量流束と吸収液入口温度の関係を図 15 に示す。吸収液濃度は約 54%、系圧力は約 6Torr であり、多孔質膜で覆わない場合と比

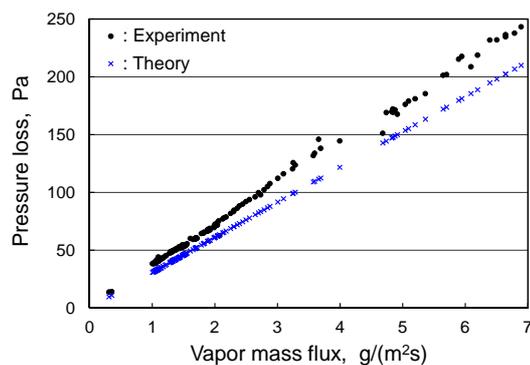


図 14 多孔質膜の圧力損失

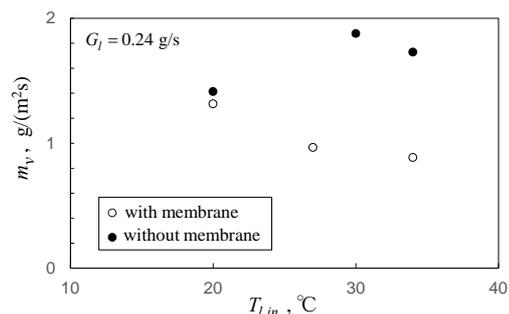


図 15 蒸気吸収の質量流束と吸収液入口温度の関係 (多孔質膜付加の影響)

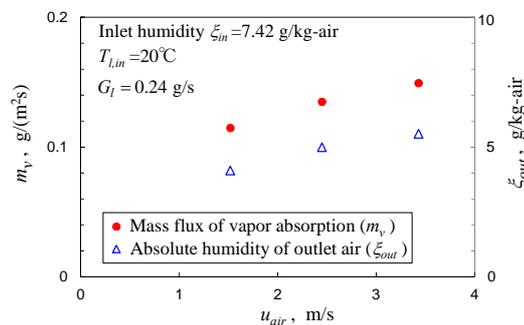


図 16 空気の除湿実験 (多孔質膜付) における水蒸気吸収質量流束および空気出口絶対湿度と空気流速の関係

べ水蒸気吸収速度が約 40%低下することが分かった。これは図 14 で示したように蒸気が多孔質膜を通過する際の圧力損失のためであり、多孔質膜により液の飛散を防止する場合、この程度の吸収速度の低下を見込む必要があることが分かった。

(6) 多孔質膜と発泡金属壁面を用いた空気の除湿

多孔質膜と発泡金属壁面を用い、大気圧空気からの除湿実験を行った結果として、水蒸気吸収の質量流束および空気出口絶対湿度と (空気単位質量あたりに含まれる水蒸気の質量) と空気流速の関係を図 16 に示す。この時の空気入口の水蒸気分圧は約 9 Torr であり、吸収液の条件は図 15 の○印とほぼ同

一である。空気出口の絶対湿度は入口の値よりも低下しており、除湿が行われていることが分かる。また図 15 の純蒸気の吸収に比べ吸収質量流束が大幅に低下しており、空気側の拡散抵抗が支配的であることが分かる。空気側の拡散抵抗のみを考えて空気側の物質移動のシャーウッド数を見積もったところ約 2.7 となった。この時の空気流のレイノルズ数は最大で約 460 であり、助走区間の影響も含めるとシャーウッド数はやや小さめの値であるが、吸収液側の物質伝達および多孔質膜の圧力損失を無視したことを考慮すると概ね妥当な値と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長崎 孝夫 (NAGASAKI, Takao)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・

准教授

研究者番号 : 3 0 1 5 5 9 2 3

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :