

機関番号：13904

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13700

研究課題名(和文)熱流束下における多孔体内気液相界面形状マッピング

研究課題名(英文)Liquid-vapor phase diagram in porous media heated laterally

研究代表者

西川原 理仁(Nishikawara, Masahito)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50757367

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究では熱と液体の両者が供給される多孔体内気液二相流における相分布挙動を明らかにし、相分布マップを作成することを目的とし、液体で濡れた多孔体とガラスとの接触面に気体を圧入し多孔体内に気相領域が拡大していく様子を観察した。キャピラリーフィンガリングはキャピラリー数 $Ca = 2.0 \times 10^{-2}$ 以下で現れ、ヴィスカスフィンガリング(VF)は $Ca = 2.0 \times 10^{-1}$ で現れその遷移領域が明らかになった。VF時は気液界面線長さは粘性比(液体と気体の粘性の比)が大きいほど長くなった。また気液界面線長さは多孔体と液体の接触角が小さいほど長くなる傾向にあることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

蒸発、凝縮を利用する熱輸送デバイス、ループヒートパイプの蒸発器では気相領域が多孔体内に形成されその気液界面形状が性能に大きく影響を与える。本研究では、単一成分での排水過程における多孔体-壁面間での気液相界面挙動理解することにより、最終的に多孔体内の微細な空隙構造のばらつきを利用して内部の気液界面形状を熱輸送の観点から最適化することを目標としている。今回の成果により気液界面線が長くなる条件が明らかになったが、熱的に理想的な空隙構造を探索するためにはさらなる研究が必要である。

研究成果の概要(英文):The purpose of this work is to understand liquid-vapor two-phase displacement in porous media where heat and fluid are applied and liquid and to make the phase diagram. The phase displacement taking place at the contact surface between the liquid-saturated porous media and glass plate where vapor was injected was observed. The vapor phase stabilized shaped capillary fingering (CF) at less than 2.0×10^{-2} of capillary number Ca , while the viscous fingering (VF) presented at $Ca = 2.0 \times 10^{-2}$. The transition between CF and VF was observed. The liquid-vapor boundary line was long when the viscosity ratio of liquid to vapor is high and the contact angle between porous media and liquid is small.

研究分野：伝熱工学

キーワード：多孔体内二相流 フィンガリング 蒸発 三相界面線 キャピラリー数 気液粘性比 接触角

1. 研究開始当初の背景

熱輸送では凹凸を有する多孔体内気液界面での相変化および界面で働く毛細管力によって高効率な熱エネルギー輸送機構が発現する。この時、気液相分布と界面形状が熱伝達率を大きく支配する。これまで濡れた多孔体から乾燥する場合においては、その相平衡状態がキャピラリー数（粘性力と表面張力の比）とポンド数（重力と表面張力の比）によって整理されているが、積極的に熱輸送を行う際は熱流束の影響が無視できなくなると考えられる。熱流束の影響を考慮した多孔体内相平衡状態図は明らかではなく、多孔体内での熱エネルギー輸送の高効率化のための学理が欠如している。

2. 研究の目的

そこで、本研究では熱と液体の両者が供給される多孔体内気液二相流における相分布・相置換挙動を明らかにし、相分布マップを作成することを目的とする。過熱状態から核生成し気相領域が拡大し相平衡に至るまでの現象を対象とする。本課題は最終的には多孔体内の微細な空隙構造のばらつきを利用して内部の気液界面形状を熱輸送の観点から最適化することを目標としている。これまでの空隙構造を利用した多孔体内蒸発熱輸送に関する研究は試行錯誤的であるが、本研究は、多孔体内に形成されるマイクロな気液界面挙動を理解し熱的に理想的な空隙構造を探索するという提案である。

3. 研究の方法

本研究では、気体の圧入によって気相領域が拡大していく場合と、多孔体内からの蒸発によって気相領域が拡大していく場合の2つを調査した。に関しては加熱方法に課題が残り成果を得るまでには至らなかった。図1に実験装置の概略図を示す。単一成分での排水過程における多孔体-壁面間での気液相界面挙動を可視化するために、二重のぞき窓付き真空チャンバーを採用した。多孔体はガラスと密着させるため、ばねによってガラスに押し付ける。多孔体と接するガラスには気体を侵入させるための細孔加工を施し、ポンプで濡れた多孔体に気体を圧入する。多孔体とガラスの接触面に気相が成長する様子を高速カメラで撮影する。ポンプ流量、作動流体、多孔体材質を変化させてキャピラリー数 Ca 、気液粘性比 M 、多孔体と流体との接触角が気液相界面形状に与える影響を観察し評価した。

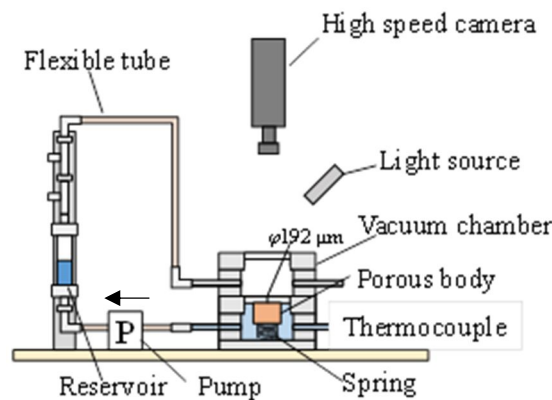


図1 実験装置概略

4. 研究成果

SUS多孔体（細孔径 90-125 μm ）における相分布形状を図2に示す。多孔体中心から気体が侵入し、最終的に形状が安定するまでの過程を時刻ごとに色付けたものであり、黒い部分は液相、色付け部分は気相領域を表している。各形状の右下には多孔体に気相が侵入して最終形状に達するまでの時間 T を表示している。 $Ca = 2.0 \times 10^{-2}$ 、 2.0×10^{-3} では特定の方向に気相領域が成長するキャピラリフィンガリング(CF)、 $Ca = 2.0 \times 10^{-1}$ では放射状に気相領域が成長するヴィスカスフィンガリング(VF)が観察された。エタノールの $Ca = 2.0 \times 10^{-2}$ 、 2.0×10^{-3} ではCFのような気相領域の成長が見られたが、毎回分岐が異なり、変位形状に一定の傾向が見られなかった。そのためこの領域は遷移領域付近であったことが考えられ、 $Ca-M$ 線図にはその一例を示している。キャピラリー数 Ca が小さい場合、気相領域の成長は毛細管力が支配的になる。毛細管力は細孔径が大きいほど小さく、毛細管力の小さいところから気相が成長していき、また空隙構造は均一ではないため、このようなCFが現れる。またキャピラリー数 Ca が大きい場合、気相領域の成長は粘性力が支配的になる。細孔径の大小にかかわらず気相が放射状に成長していくが、粘性比 M が1より大きい場合、粘性せん断力に伴って発生する圧力勾配に伴って界面が不安定になり、VFが現れる。エタノールの $Ca = 2.0 \times 10^{-1}$ は他の作動流体に比べて気相領域が少なくなっている。これは、粘度が大きいことが影響していると考えられる。SUS(90-125 μm)多孔体と各作動流体では $Ca = 2.0 \times 10^{-1}$ と 2.0×10^{-2} の間にCFとVF間の遷移領域があることがわかった。青銅多孔

体（細孔径 90-125 μm ）も同様の結果であった．熱輸送デバイスであるループヒートパイプの蒸発器では，VFのように気液界線，つまり固体と液体と気体で構成される三相界線が長いと熱伝達率が高くなると考えられているため，VFについて評価した．得られた VF から飽和度を算出すると，多孔体材質では SUS より青銅の方が大きくなっており，作動流体ではエタノールが一番大きく，次に Novec7000，ヘキサンの順で大きくなっている．飽和度の大きさと粘性比 M の関連は見られなかった．図 3 に VF での最終形状の気液界線長さと多孔体材料の平板と作動流体との接触角を示す．作動流体ではエタノールが一番長く，次にヘキサノール，Novec7000 の順で長くなっている．気液界線長さは粘性比 M が大きいほど長くなっている．また，SUS×エタノールを除いて気液界線長さは接触角が小さいほど長くなっている．接触角の違いによって局所の気液相界面の変位モードの頻度が変化する．これにより気相領域の分岐する本数が増加して気液界線長さが長くなると考えられる．

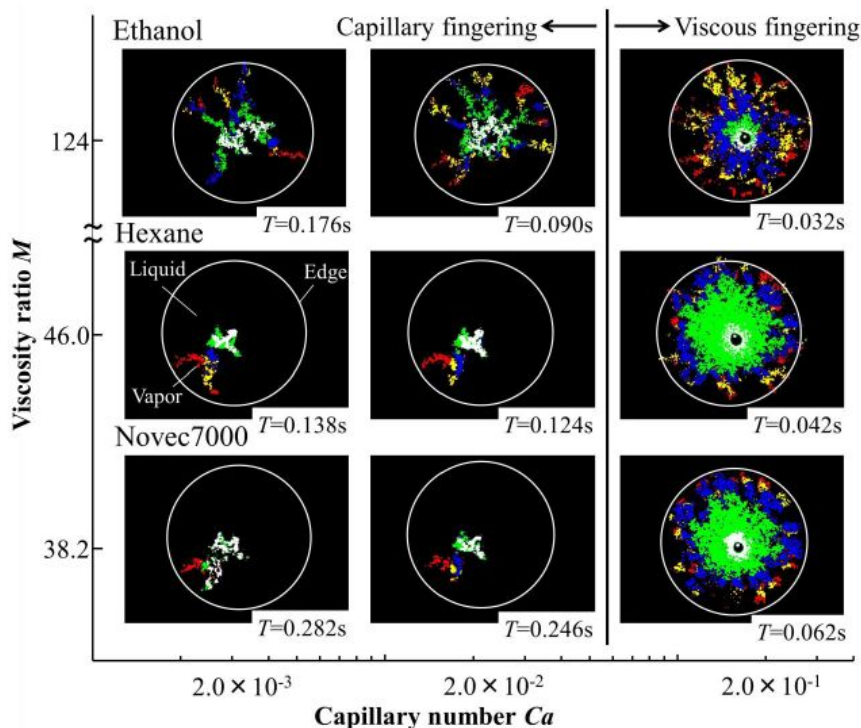


図 2 SUS 多孔体における相分布形状.

(色は各時刻における相状態を示している。白= $T/5$ ，緑= $2T/5$ ，青= $3T/5$ ，黄 $4T/5$ ，赤= T (形状が安定した時刻))

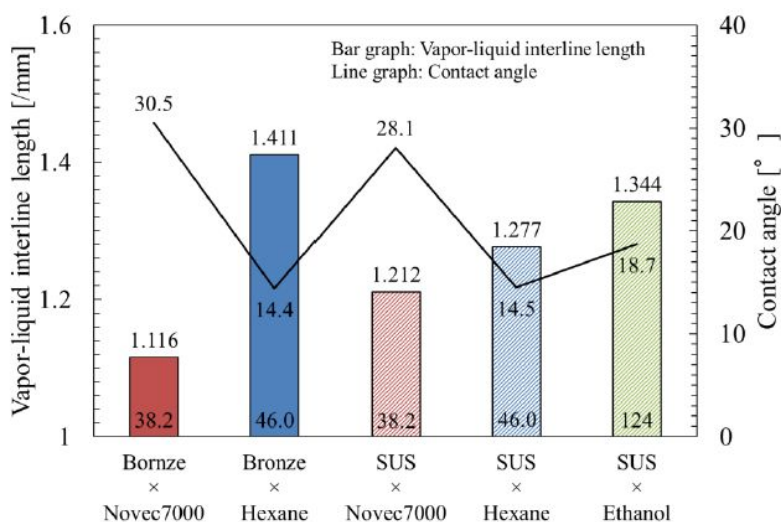


図 3 気液相界線長さの比較

(気液界線長さは粘性比 M が大きいほど長くなっている)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Masahito Nishikawara, Yuya Yamada, Shohei Tomita, and Hideki Yanada
2. 発表標題 Study on Two-Phase Thermal Hydraulics in Porous Structure and Design Method of Capillary Evaporator
3. 学会等名 49th International Conference on Environmental Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林大輝, 西川原理仁, 柳田秀記
2. 発表標題 排水過程における壁面 - 多孔体間での不均一な界面挙動に関する研究
3. 学会等名 日本設計工学会東海支部令和元年度研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田 珠莉弥, 西川原理仁, 横山 博史, 柳田秀記
2. 発表標題 排水過程における多孔体-壁面間での不均一な気液相界面挙動の観察
3. 学会等名 日本設計工学会東海支部令和元年度研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 珠莉弥, 小林 大輝, 西川原 理仁, 横山 博史, 柳田 秀記
2. 発表標題 排水過程における壁面-多孔体間での気液相界面挙動の観察
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----