

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06201

研究課題名（和文）マイクロチャンネルのガス流の伝熱量測定法の確立

研究課題名（英文）Heat transfer rate of gas flow through microchannels

研究代表者

洪 定杓（Hong, Chungpyo）

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：60516201

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000 円

研究成果の概要（和文）：開発された全温プローブを用いて、等温壁をもつマイクロチューブを流れるガスの伝熱量の算出のため、窒素ガスを用いて流動チョーキングを含む広い流動領域まで実験を行った。その結果、全温度差から算出した伝熱量は既存の式（非圧縮流れ）から算出したそれより、また全エンタルピー差から算出した伝熱量は全温度差から算出したそれより壁温と入口よどみ点温度差が小さくなるほど、速度は速くなるほど大きくなった。同様な条件で検証数値シミュレーションを行い、両者が良く一致することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、マイクロチャンネルのガス流の伝熱量測定用の全温プローブを開発し、開発された全温プローブを用いた伝熱量の測定法を確立したことである。本研究で確立された伝熱量測定法は、マイクロチャンネルを流れるガスの熱伝達特性の解明や将来のマイクロチャンネルを用いた熱交換器の伝熱設計に大きく貢献することが期待されることから、社会的な意義である。

研究成果の概要（英文）：Heat transfer rates were obtained from the differences in gas enthalpies, determined by total temperatures and pressures measured at the inlet and outlet of the micro-tube. Heat transfer rates were also compared with those obtained from ideal gas enthalpies determined by only total temperatures and from the Nusselt number of incompressible flow. Both heat transfer rates, Q_h obtained from the total enthalpy difference between the micro-tube outlet and the stagnation and heat transfer rates, Q_T obtained from the total temperature difference are higher than heat transfer rates obtained from the bulk temperature of incompressible flow because of the additional heat transfer. And the difference between Q_h and Q_T is large with the stagnation pressure increasing since the Joule-Thomson effect present in a real gas.

研究分野：伝熱工学

キーワード：マイクロチューブ 全温プローブ ガス流 伝熱量

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

マイクロチャンネルの流れでは、摩擦損失が大きい流れ方向の圧力勾配が非常に大きい。流体がガスの場合にはこの大きな圧力勾配に伴いガスは膨張し、流れは加速され、低 Re 数かつ高 Ma 数という特異な流れとなる。このためマイクロチャンネルのガス流の熱伝達特性も非圧縮性流体のそれと大きく異なる。しかし、マイクロチャンネルの熱伝達に関しては、流体が水についての研究が主で、流体がガスの場合の熱伝達については系統的な研究は未だ行われておらず、設計に必要な情報がほとんどない状況であった。マイクロチャンネル伝熱についてのレビューによれば、マイクロチャンネルのガス流の熱伝達に及ぼす影響は圧縮性、希薄化および粘性消散が大きいと報告されているが、それらの影響は系統的に検証されておらず、マイクロチャンネルを流れるガス流の伝熱量を推定することはできなかった。以上の背景から、申請者は壁面でのスリップの影響が十分に小さく、圧縮性と粘性消散が熱伝達特性に及ぼす影響が支配的と考えられる、流路高さが 10~100 μm の等温壁を持つ平行平板および円管流路を流れるガス流について数値計算を行い、その熱伝達特性を明らかにし、伝熱量の推定法を提案した。さらに壁温が入口流入温度より高い場合（加熱）と低い場合（冷却）の検証実験を行なった。

2. 研究の目的

マイクロチャンネルのガス流の熱伝達特性は非圧縮性流体のそれとは異なり、ガスの膨張・加速によるガス静温の低下およびそれに伴う出口付近での壁面熱流束の増加が見られる。その特長を利用するためのマイクロチャンネルを流れるガスの熱伝達特性の解明を大目標としながら、以下の学術的・産業的な貢献を目指す。【学術的貢献】 マイクロチャンネルのガス流の伝熱量測定用の全温プローブを開発し、開発された全温プローブを用いた伝熱量の測定法を確立する。【産業的貢献】 マイクロチャンネルを用いた熱交換器などの小型熱機器の伝熱設計に大きく貢献することが目的である。

3. 研究の方法

本研究は、導温壁をもつマイクロチャンネルを流れるガスの熱伝達特性の解明をめざし、マイクロチャンネルのガス流の伝熱量測定用全温プローブの開発、開発された全温プローブを用いた伝熱量測定法の確立の2つの大きな課題に着目して研究を実施する。実験では全温プローブを開発しジュール・トムソン効果による温度低下を用いた検証の上、壁温一定の場合と壁面熱流束一定の場合の伝熱量を測定する。数値計算では伝熱量の推定に用いる「回復率」の整理式が適用できるよどみ点温度、よどみ点圧力の範囲を明らかにする補足の数値シミュレーションを実施し、マイクロチャンネルを流れるガスの伝熱量の推定法を提案する。

4. 研究成果

マイクロチャンネルを流れるガスの伝熱量の測定方法を確立するために直径 300~500 μm の等温壁をもつマイクロチューブから噴出するガスに対応する広い範囲のガス流量と広い入口流入温度範囲に対して測定可能な熱損失の少ない発泡スチロールチューブの内側に長方形とドーナツ型のプラスチック板が交互に並べられその板の上流側に素線径 0.3 mm の熱電対が挿入された全温プローブを開発し、ジュール・トムソン効果による温度低下を用いた検証（図 1）をした。

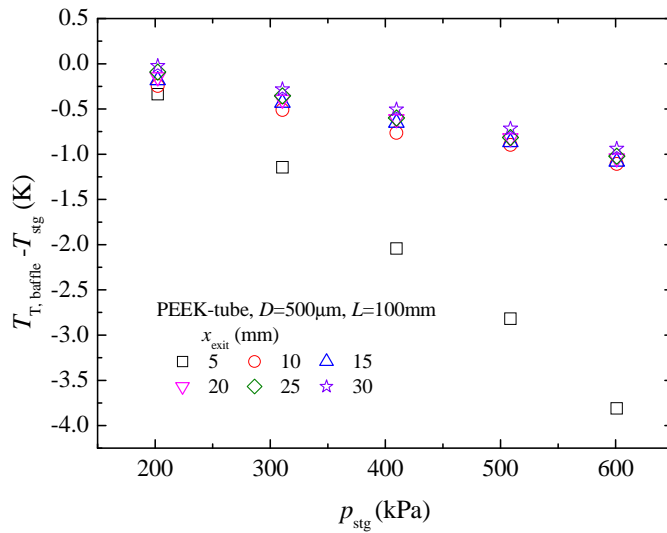


図1 ジュール・トムソン効果による温度低下

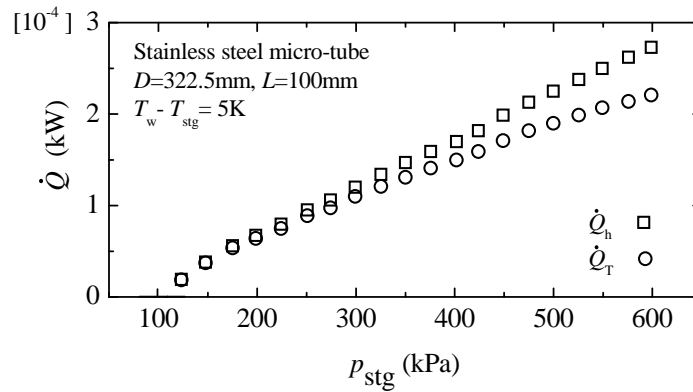


図2 伝熱量

また、測定したよどみ点圧力 p_{stg} とよどみ点温度 T_{stg} からよどみ点エンタルピー $h_{stg} = h(p_{stg}, T_{stg})$ を、出口圧力 (大気圧) と測定した出口全温度 $T_{T, out}$ から出口全エンタルピー $h_{T, out} = h(p_{out}, T_{T, out})$ を求め、マイクロチャンネルの伝熱量 $\dot{Q}_h = \dot{m}(h_{T, out} - h_{stg})$ を算出し、エンタルピーが温度のみ関数である理想気体の仮定で算出した伝熱量 $\dot{Q}_T = \dot{m} c_p (T_{T, out} - T_{stg})$ と比較した (図2)。全温度より算出した伝熱量と全エンタルピーより算出した伝熱量では流れが速くなると共に差異が大きくなり、マイクロチャンネルガス流の場合、全エンタルピーより伝熱量を算出すべきことを報告し、その測定法を確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hong Chungpyo, Tanaka Goku, Asako Yutaka, Katanoda Hiroshi	4. 巻 121
2. 論文標題 Flow characteristics of gaseous flow through a microtube discharged into the atmosphere	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 187 ~ 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Asako Yutaka, Hong Chungpyo	4. 巻 127
2. 論文標題 Notes on factitious shear work of slip flow in a channel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 444 ~ 447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Asako Yutaka, Heng Shye Yunn, Hong Chungpyo	4. 巻 136
2. 論文標題 On temperature jump condition for turbulent slip flow in a quasi-fully developed region of micro-channel with constant wall temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Thermal Sciences	6. 最初と最後の頁 467 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.10.040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hong Chungpyo, Asako Yutaka, Morini Gian Luca, Rehman Danish	4. 巻 129
2. 論文標題 Data reduction of average friction factor of gas flow through adiabatic micro-channels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 427 ~ 431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Rehman Danish, Morini Gian, Hong Chungpyo	4. 巻 10
2. 論文標題 A Comparison of Data Reduction Methods for Average Friction Factor Calculation of Adiabatic Gas Flows in Microchannels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 171 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.3390/mi10030171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Chungpyo Hong, Takayuki Shigeishi, Yutaka Asako, Gian Luca Morini, Danish Rehman
2. 発表標題 DATA REDUCTION OF AVERAGE FRICTION FACTOR OF GASEOUS FLOW IN MICRO-CHANNELS WITH ADIABATIC WALL
3. 学会等名 3rd MIGRATE Workshop & Summer School (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sakshita, C. Hong, Y. Asako
2. 発表標題 HEAT TRANSFER RATE OF GAS FLOW THROUGH A STAINLESS STEEL MICRO-TUBE WITH CONSTANT WALL TEMPERATURE
3. 学会等名 The 29th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP29) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sakashita, C. Hong, Y. Asako
2. 発表標題 Effects of Flow Transition and Flow Choking on Heat Transfer of Gas Flow in a Microtube with Constant Wall Temperature
3. 学会等名 Malaysia-Japan Joint International Conference (MJJIC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. Hong, G. Tanaka, Y. Asako
2. 発表標題 Effect of Surface Roughness on Local Friction Factor of Gas Flow through Microtubes
3. 学会等名 2nd MIGRATE Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 将大, 洪 定杓, 浅古 豊
2. 発表標題 等温壁をもつマイクロチューブを流れるガスの伝熱量算出法
3. 学会等名 日本機械学会九州支部講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 寛太, 洪 定杓, 浅古 豊
2. 発表標題 熱流束一定な壁を持つマイクロチューブを流れるガスの熱伝達特性
3. 学会等名 日本機械学会九州支部講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sakashita, C. Hong, Y. Asako
2. 発表標題 Total Temperature Measurement of Gas at Microtube Outlet
3. 学会等名 ASME IMECE2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Maeda, C. Hong, Y. Asako, G. L. Morini
2. 発表標題 Scaling Effects in Transition Region Between Laminar and Turbulent Gas Flows through Micro-tubes
3. 学会等名 3rd European Conference on Non-Equilibrium Gas Flows (国際学会)
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----