

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03979

研究課題名(和文) ITERブランケットの健全性に関わる狭隘流路内ヘリウムガスの熱伝達特性の解明

研究課題名(英文) Heat Transfer Characteristics of Helium Gas in Narrow Channel Concerning with Integrity of ITER Blanket

研究代表者

劉 秋生 (Liu, Qiusheng)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：80294263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高熱流束を伴う核融合炉のブランケットの冷却やコンパクトな熱交換器及び電子機器における冷却に着目し、その狭隘流路における定常・非定常熱伝達特性を解明することを目的に、種々内径を持つ水平細管内におけるヘリウムガスの強制対流熱伝達について実験を行い、過渡強制対流熱伝達に及ぼす発熱率上昇周期(e-folding時間)、流速、及び発熱体の細管内径の影響をそれぞれ考察した。また、種々圧力とガス温度での実験データを収集し、圧力、ガス温度などのパラメータの影響を明らかにした。さらに、細管流路内の熱伝達について、数値解析を行い、細管内における温度分布と速度分布を解明し、実験データとの比較検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

狭隘流路における温度分布、流速分布が流路の影響を受け、従来の通常円管内の特性と異なり、その解明が求められている。種々内径を持つ水平細管内におけるヘリウムガスの強制対流熱伝達実験データを収集し、内径、流速、発熱率上昇周期、圧力、温度などの影響を解明した。また、水平細管内乱流熱伝達に関する数値解析を行い、実験データと比較することにより、温度・流速分布の特徴や境界層及び伝導底層領域に対する流速、内径の影響を調べ、その特性を理解することが学術的に興味深いものである。数値解析により細管内の温度分布と速度分布のデータを蓄積し、今後のブランケットの最適化設計のための知見を構築することに貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused on the cooling of the blanket of a fusion reactor with high heat flux and the cooling of compact heat exchangers and electronic devices. For the purpose of clarifying the steady-state and transient heat transfer characteristics in the narrow channel, an experimental study was conducted on the heat transfer characteristics for turbulent helium flow in a horizontal minichannel. A circular platinum tube with various inner diameters was heated by direct current and cooled by helium gas. The obtained experimental data were investigated on the effects of e-folding time, velocity, inner diameter of the minichannel, pressure and inlet temperature. Moreover, the numerical simulation of turbulent heat transfer for helium gas flowing in a minichannel was performed. The temperature distribution and velocity distribution in the minichannel were clarified, and the results of the simulation were compared with the experimental data.

研究分野：熱工学

キーワード：対流熱伝達 細管(狭隘)流路 ヘリウムガス 非定常熱伝達 伝熱促進

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

将来のエネルギー需要と社会的ニーズを満たすため、国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設が日本、EU、アメリカ、ロシア、中国、韓国の協力により進められており、核融合発電炉の実現に向けた大きなステップとなっている。核融合炉は核分裂炉同様、地球温暖化ガスや大気汚染物を放出しないため、環境保全に優れたエネルギーである。核融合炉にはブランケットが設置してある。その役割は、反応で生成される中性子のエネルギーを熱媒体への変換、トリチウムを作る燃料生産、そして中性子遮蔽の三つの機能である。耐熱性の高い材料をブランケットに使用できれば、高温の熱源が利用できる可能性がある。このような高温熱源は水素製造や多目的熱利用など、環境問題の解決に多大な貢献ができる。しかし、ITER の開発には、解決されるべき問題がまだ数多く残されており、さらなる基礎的な研究の蓄積が望まれている。その中にブランケットにおける熱輸送現象の問題に関して狭い流路内の伝熱特性の解明が必要である。冷却材にはヘリウムガスが有力な候補として挙げられている。ヘリウムガスの温度差がブランケットの第一壁の熱機械設計において重要である。また、ブランケット内の増殖材などが充填されており、その温度分布も重要であり、設計温度範囲内に保たれる必要である。さらに、発熱量が急に上昇する場合や、流量急減する場合の非定常過程において、ブランケット内の冷却性能を明らかにする必要がある。このように狭隘流路内の定常及び非定常熱伝達特性の解明が ITER ブランケットの健全性の解析において重要な課題である。本研究では、狭隘流路 (内径 $<10\text{mm}$) において、ヘリウムガスの伝熱実験を行い、種々流速、発熱率の上昇速度、内径、流体温度などの影響を調べ、狭隘流路内のヘリウムガスの定常・非定常熱伝達現象のメカニズムを明らかにする。また、ブランケットにおける温度分布、最高温度及び流量分布を解明することを目的に、狭隘流路内の熱流動を解析し、ブランケットの最適化設計のためのデータ及び知見を構築する。

2. 研究の目的

本研究では、ITER ブランケットの健全性のため、ヘリウムガス冷却ブランケットに着目し、その狭隘流路における定常・非定常熱伝達特性を解明することを目的とする。また、狭隘流路における定常・非定常熱伝達特性の数値解析を行い、その温度分布、速度分布などのデータを蓄積し、ブランケットの最適化設計のための知見を構築する。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

実験装置は、熱入力制御システム、データ計測・処理システム及び強制対流伝熱実験装置の三つの部分からなる。Fig.1 (図1) は強制対流伝熱実験装置の概略図を示す。円管白金発熱体は右下側の試験部 (Test section) に設置する。Fig.2 は円管発熱体 (Test tube) を設置した試験部断面図を示す。Fig.1 に示すように試験部の流量はバイパスバルブにより調整でき、ガス温度は試験部の上流に設置してある予熱器により所定の温度まで昇温できる。発熱体の内径を変えることで狭隘流路内における対流熱伝達実験を実現する。発熱率制御システム及び実験データ計測・処理システムを用い、狭隘流路内における対流熱伝達実験を行う。

(2) 実験方法

流速、ガス温度、圧力を所定値に調整してから、熱入力制御システムより、発熱体に電流を流し、発熱体に種々発熱率を与える。それに伴う対流熱伝達実験を行い、発熱体表面温度及び熱流束を測定する。発熱体の発熱率及び温度は発熱体を一辺としたダブルブリッジ電気回路で計測され、計算機によりデータのサンプリングとデータ処理が行なわれる。発熱体の平均温度は予め求めておいた発熱体温度と抵抗との関係を用いて算出する (電気抵抗法)。試験発熱体表面温度は、発熱体内の非定常熱伝導方程式より求める。熱伝達係数は熱流束と試験発熱体とガスの温度差より求める。上述のようにヘリウムガスを用い、発熱体温度、熱流束、熱伝達係数のデータを種々の円管内径、流速、発熱体発熱率上昇速度 (e-folding 時間)、ガス圧力、ガス温度の実験条件下で求め、それらの影響を詳細に調べる。

(3) 数値解析の方法

細管内を流れるヘリウムガスの乱流熱伝達の数値解析を行う。解析には熱流体解析ソフトウェア FLUENT を使用する。基礎方程式を有限体積法で離散化し、乱流モデルとして標準 $k-\epsilon$ モデルを適用した RANS 方程式を使用し、速度場と圧力場のカップリングは SIMPLE 法を用いる。

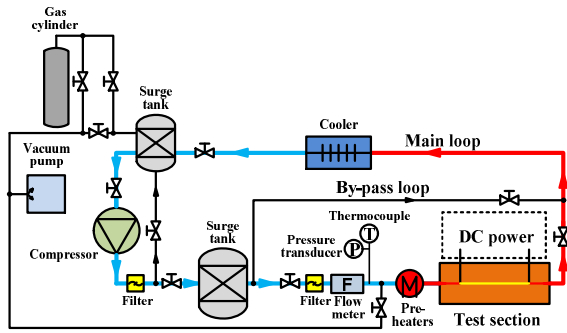


Fig. 1 Experimental apparatus of helium gas loop.

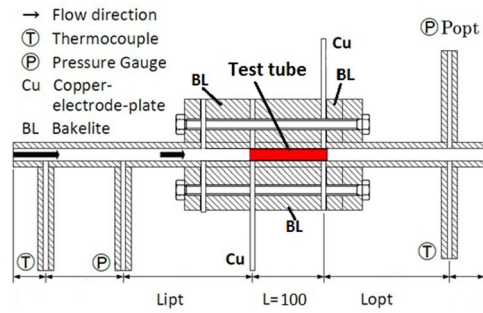


Fig. 2 Cross-sectional view of the test section.

4. 研究成果

(1) 狭隘流路における定常熱伝達特性の実験的研究

Fig.1, Fig.2 の実験装置を用い, 発熱率制御装置により発熱率を指数関数状に上昇させ, それに伴う対流熱伝達データを実験的に収集した。狭隘流路の流速, 発熱率上昇の e-folding 時間 (周期) の影響を調べた。

内径 1.8 mm の細管を用いた定常強制対流熱伝達に関して, 以下の研究成果を得た。発熱率上昇の e-folding 時間 τ が約 1.5 s 以上では, 定常強制対流熱伝達になることから, τ が約 1.5 s 以上に対する発熱率, 熱流束, 及び試験発熱体表面温度の実験データを収集し, 熱流束と試験発熱体表面温度差 (試験発熱体内表面温度 T_s と混合平均温度 T_g との差) の関係を検討し, 従来の乱流強制対流相関式との比較を行なった。従来の通常管に適用する乱流強制対流熱伝達相関式より細管における熱伝達の実験データが向上したことが判明した (Fig.3)。また, 熱伝達係数が T_s/T_g の増加とともに減少することが解かった。強制対流定常熱伝達実験データに基づき, 熱伝達の無次元数ヌセルト数 (Nu) と流動を表す無次元数レイノルズ数 (Re), 物性を表す無次元数プラントル数 (Pr), そして T_s/T_g との関係を考察し, 強制対流定常熱伝達の実験式を求めた (Fig.4)。

$$Nu_f = 0.0333 Re_f^{0.8} Pr_f^{0.4} (T_s/T_g)^{-0.5} \quad (1)$$

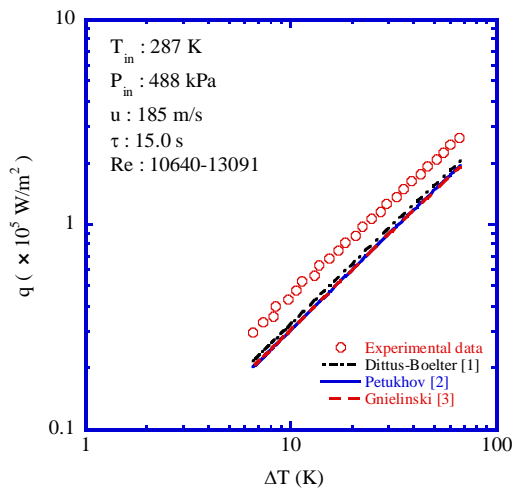


Fig. 3 Experimental data for the relation of the heat flux with the temperature difference compared to predicted values of classical correlations.

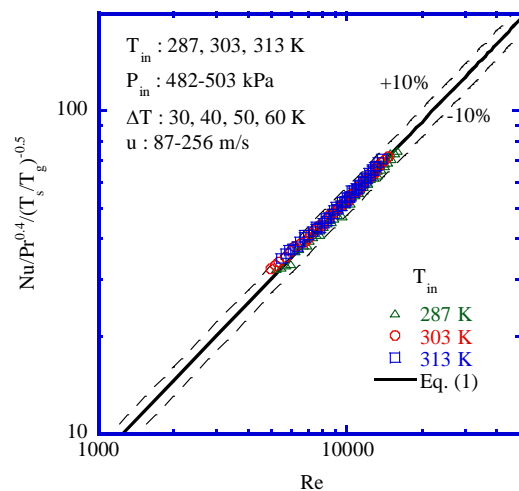


Fig. 4 Empirical correlation for helium gas flowing in minichannel.

(2) 狭隘流路における発熱率急上昇時の非定常熱伝達特性の実験的研究

内径 1.8 mm の細管を用いた非定常強制対流熱伝達に関して, 以下の研究成果を得た。発熱率上昇の e-folding 時間 τ が約 1.5 s より短くなると, 非定常 (過渡) 強制対流熱伝達係数が τ の減少とともに, 高くなることが判明した (Fig.5)。熱伝達係数に対する流速の影響が, 定常領域では顕著に出るが, τ の短い過渡領域では弱くなることを解かった。また, 試験部入口のガス温度が定常及び過渡熱伝達に対し, 影響が少ないが, 圧力の影響が定常及び非定常熱伝達に対し, 強く見られ, 圧力の増加とともに増加することが解かった。そして, 非定常強制対流熱伝達について, 無次元数のヌセルト数とレイノルズ数, フーリエ数との関係を考察した。広範囲の実験データに基づき, 非定常強制対流熱伝達と定常強制対流熱伝達との比をフーリエ数 (Fo) との関係で求

め、非定常（過渡）強制対流熱伝達の表示式を求めた（Fig.6）。

$$Nu_{tr}/Nu_{st} = 1 + 0.362Fo^{-1.5} \quad (2)$$

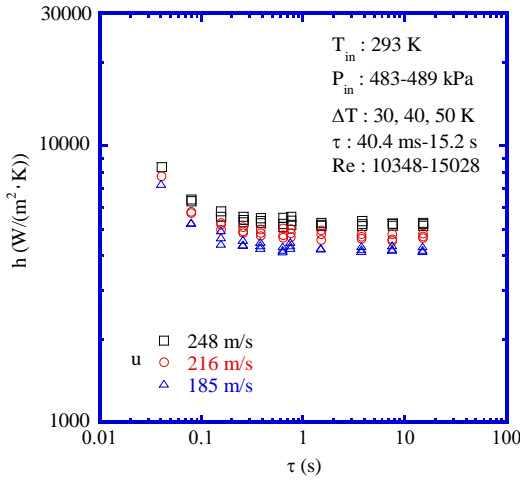


Fig. 5 Dependence of heat transfer coefficients on e-folding time under different flow velocities.

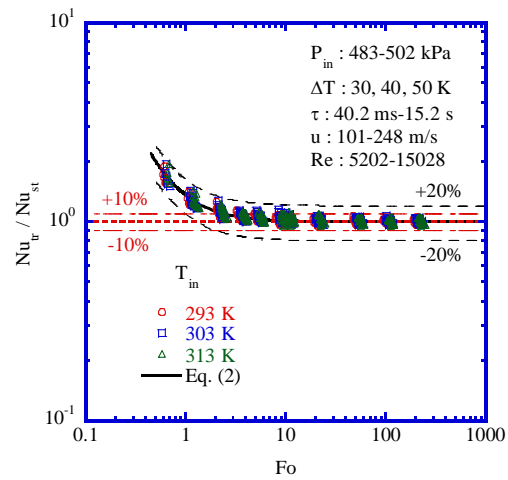


Fig.6 Semi-empirical correlation for transient forced convective heat transfer of helium gas through a narrow tube.

(3) 種々内径を持つ狭隘流路における非定常熱伝達特性の実験的研究

細管の内径の影響について、内径 0.8 mm、2.8 mm の実験データを取得し、内径 1.8 mm の実験データとの比較検討を行った。試験発熱体の内径が細かいほど、熱伝達係数が高い値を示すことが判明した（Fig.7, Fig.8）。また、熱伝達係数に対する e-folding 時間、流速、入口ガス温度、および入口ガス圧力の影響は、直径 1.8 mm の細管と同様な傾向が見られた。さらに、実験データに基づき、下記のとおり、内径 0.8 mm の細管内に流れるヘリウムガスの定常および非定常熱伝達の表示式を求めた。

$$Nu_{st} = 0.0203Re^{0.9}Pr^{0.4}(T_s/T_g)^{-0.5} \quad (3)$$

$$Nu_{tr}/Nu_{st} = 1 + 8.11Fo^{-1.5} \quad (4)$$

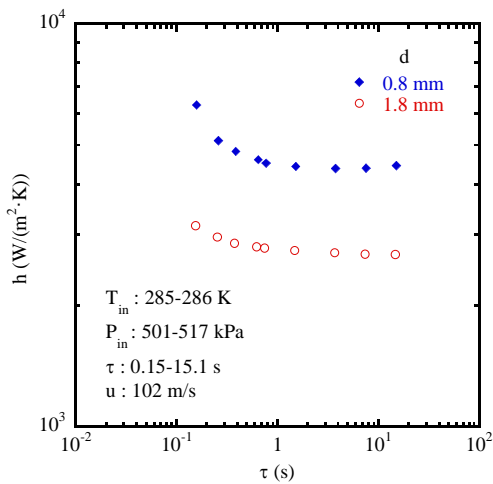


Fig. 7 The comparison of the h between the experimental minichannels with different inner diameters ($d = 0.8$ mm and $d = 1.8$ mm) under various e-folding time.

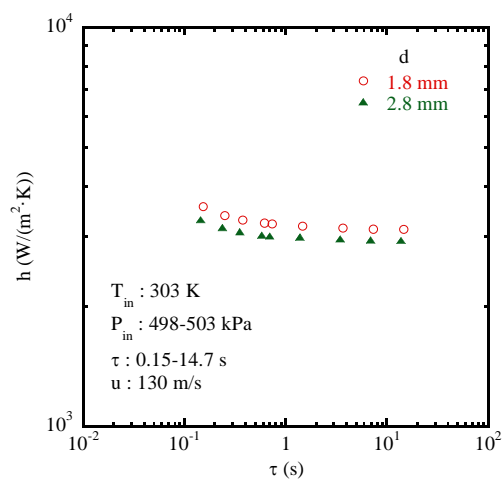


Fig. 8 The comparison of the h between the experimental minichannels with different inner diameters ($d = 1.8$ mm and $d = 2.8$ mm) under various e-folding time.

(4) 狭隘流路内における対流熱伝達特性の数値解析

Fig.9 に円柱状の流体領域を水平に設置した物理モデルを示す。加熱部の入口と出口には、それぞれ 10 mm の非加熱領域を設置しており、加熱部の長さ L_{eff} は 90 mm である。加熱部の壁面における熱流束が一様であることを境界条件として与えられる。

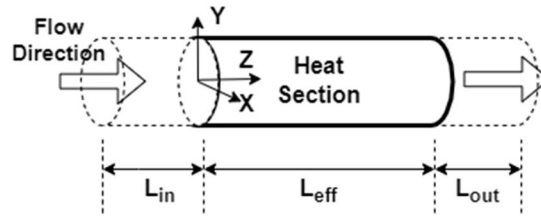


Fig. 9 Schematic diagram of the physical model.

解析結果の代表例として, Fig.10 に表面温度 T_s と混合平均温度 T_b の時間変化を示す。解析結果との比較のため, 実験結果を記号で示し, 解析値を線で示している。図に示すように指数関数状に増加する熱流束を与えていることから, 表面温度と混合平均温度も時間の経過に伴い, 増加していることがわかる。また, 数値解析結果より, 加熱部の入口から 80 mm 下流の位置における管内の速度及び温度分布を得ることができた。速度分布については, 中心部では比較的平坦であり, 壁の近傍では急激に小さくなるような乱流速度分布となった。温度分布についても, 速度分布と同様に中心部ではなだらかであり, 壁の近傍では急激に変化する分布となった。熱伝導が支配的となる伝導底層の厚さは面に接する薄い領域の厚さである。内径 1.8 mm, 流速 171 m/s の場合, 伝導底層の厚さが 24.55 μm となった。

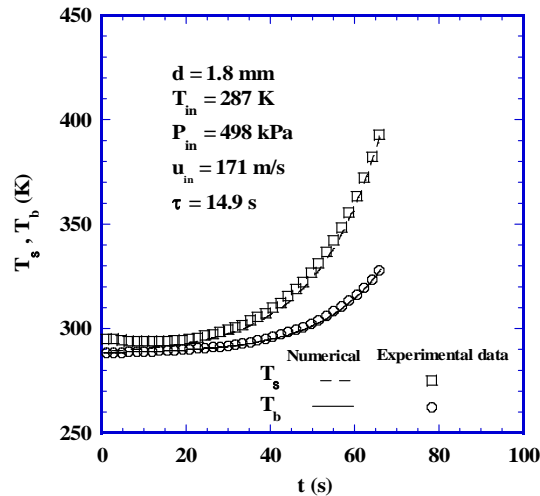


Fig. 10 Comparison of T_s, T_b with experimental data.

参考文献:

- [1] F. W. Dittus, L. M. K. Boelter, Heat transfer in automobile radiators of tubular type, University of California Press, Berkeley, University of California Publications in Engineering 2 (13) (1930) 443-461.
- [2] B. S. Petukhov, Heat transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties, Advances in Heat Transfer 6 (1970) 503-564.
- [3] V. Gnielinski, New equations for heat transfer in turbulent pipe and channel flow, International Chemical Engineering 16 (2) (1976) 359-368.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Feng Xu, Qiusheng Liu, Makoto Shibahara	4. 巻 191
2. 論文標題 Transient and steady-state heat transfer for forced convection of helium gas in minichannels with various inner diameters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.122813	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 -
1. 著者名 Feng Xu, Qiusheng Liu, Makoto Shibahara	4. 巻 5
2. 論文標題 Transient Forced Convective Heat Transfer of Helium Gas in a Narrow Tube Heated by Exponential Time-Varying Heat Source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Heat Transfer	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08916152.2021.1926596	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 -
1. 著者名 Li Wang and Qiusheng Liu	4. 巻 9
2. 論文標題 Corrigendum: Transient Heat Transfer Characteristics of Twisted Structure Heated by Exponential Heat Flux	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Energy Research	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fenrg.2021.771900	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 劉 秋生, 柴原 誠, 中村 雄史, 笹井 勇佑	4. 巻 56
2. 論文標題 細管における水の対流熱伝達特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 61-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Feng XU, Qiusheng LIU, Makoto SHIBAHARA	4. 巻 171
2. 論文標題 Experimental study on forced convection heat transfer of helium gas through a minichannel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121117	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 -

1. 著者名 Koichi Hata, Qiusheng Liu, Takashi Nakajima	4. 巻 -
2. 論文標題 Natural convection heat transfer from vertical 9 × 9 rod bundles in liquid sodium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00231-020-02986-8	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 -

1. 著者名 K. Hata, Q.S. Liu	4. 巻 162
2. 論文標題 Conductive and viscous sub-layers on forced convection and mechanism of critical heat flux during flow boiling of subcooled water in a platinum circular tube with 3 mm inner diameter and 32.7 mm heated length at high liquid Reynolds number	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120269	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 -

1. 著者名 Koichi Hata, Qiusheng LIU, Takashi NAKAJIMA	4. 巻 341
2. 論文標題 Natural convection heat transfer from a vertical single cylinder with helical wire spacer in liquid sodium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 73-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nucengdes.2018.10.019	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 -

1. 著者名 M.Shibahara, Q.S. Liu, K.Hata, K. Fukuda	4. 巻 33
2. 論文標題 Boiling heat transfer and CHF for subcooled water flowing in a narrow channel due to power transients	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Experimental Heat Transfer	6. 最初と最後の頁 64-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08916152.2019.1570984	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 -

1. 著者名 Yuji NAKAMURA; Qiusheng LIU; Makoto SHIBAHARA; Koichi HATA; Katsuya FUKUDA	4. 巻 6-1
2. 論文標題 Transient critical heat flux of upward water flow boiling in vertical small tube at slow velocity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.18-00425	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 -

1. 著者名 中村 雄史; 劉 秋生; 柴原 誠; 畑 幸一; 福田 勝哉,	4. 巻 53-6
2. 論文標題 垂直細管における乱流非定常熱伝達に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 137-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Koichi HATA; Qiusheng LIU; Suguru Masuzaki	4. 巻 55
2. 論文標題 Conductive and viscous sub-layers on forced convection and mechanism of critical heat flux during flow boiling of subcooled water in a circular tube at high liquid Reynolds number	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 175-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00231-018-2458-4	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 -

1. 著者名 M. Shibahara; K. Fukuda; Q.S. Liu	4. 巻 144-5
2. 論文標題 Transient nucleate boiling on a horizontal heated cylinder in liquid D-mannitol	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Thermal Engineering	6. 最初と最後の頁 342-348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.applthermaleng.2018.08.072	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 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Feng Xu, Qiusheng Liu, and Makoto Shibahara
2. 発表標題 Heat transfer performance for helium gas flowing in a minichannel with different inner diameters
3. 学会等名 28th International Conference on Nuclear Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本庄 優志, 劉 秋生, 柴原 誠
2. 発表標題 細管におけるヘリウムガスの強制対流熱伝達の数値解析
3. 学会等名 第91回 (令和3年) マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井 勇樹, 劉 秋生, 柴原 誠
2. 発表標題 垂直リボン発熱体を用いた水の強制対流熱伝達
3. 学会等名 第91回 (令和3年) マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾上 寿広, 劉 秋生, 柴原 誠
2. 発表標題 細管流路におけるヘリウムガスの強制対流熱伝達に関する研究
3. 学会等名 第91回(令和3年)マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松若 真凜, 柴原 誠, 劉 秋生
2. 発表標題 潜熱蓄熱材の自然対流熱伝達に関する研究
3. 学会等名 第91回(令和3年)マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Feng XU, Qiusheng LIU, Satoshi KAWAGUCHI, Makoto SHIBAHARA
2. 発表標題 Experimental study on transient heat transfer for helium gas flowing in a minichannel
3. 学会等名 Proceedings of the 2020 International Conference on Nuclear Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劉 秋生, 柴原 誠, 中村 雄史, 笹井 勇佑
2. 発表標題 細管における水の対流熱伝達特性
3. 学会等名 第90回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 顧 源, 劉 秋生, 柴原 誠, 小川 宏樹
2. 発表標題 リボン発熱体を用いたプール核沸騰熱伝達における表面粗さの影響
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会(同志社大学京田辺キャンパス)講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 許 峰, 劉 秋生, 川口 哲, 柴原 誠
2. 発表標題 細管におけるヘリウムガスの乱流非定常熱伝達
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会(同志社大学京田辺キャンパス)講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴原 誠, 劉 秋生, 増崎 貴
2. 発表標題 水の過渡流動沸騰熱伝達に関する研究
3. 学会等名 日本マリンエンジニアリング学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Feng XU, Qiusheng LIU
2. 発表標題 Transient forced convection heat transfer characteristics for helium gas flowing in a small diameter tube
3. 学会等名 関西原子力懇談会原子力関係科学技術の基礎的研究の動向調査委員会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Qiusheng Liu, Makoto Shibahara, Katsuya Fukuda
2 . 発表標題 NUMERICAL STUDY OF TRANSIENT HEAT TRANSFER FOR HELIUM GAS UNDER EXPONENTIALLY DECREASING FLOW CONDITIONS
3 . 学会等名 27th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE-27 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Makoto Shibahara, Qiusheng Liu, Koichi Hata, Katsuya Fukuda
2 . 発表標題 NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BOILING HEAT TRANSFER FOR SUBCOOLED WATER FLOWING IN A SMALL-DIAMETER TUBE
3 . 学会等名 Proc. of The 6th ASME Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Li Yantao, Ji Yulong, Fukuda Katsuya, Liu Qiusheng, Ma Hongbin
2 . 発表標題 STUDY ON FORCED CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF FC-72 IN VERTICAL SMALL TUBES
3 . 学会等名 Proc. of The 6th ASME Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nakamura Yuji, Liu Qiusheng, Shibahara Makoto, Hata Koichi, Fukuda Katsuya
2 . 発表標題 Transient subcooled flow boiling phenomena in a vertical small tube
3 . 学会等名 ASME 2019 Summer Heat Transfer Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Feng XU*, Qiusheng LIU, Satoshi KAWAGUCHI, and Makoto SHIBAHARA
2. 発表標題 Forced Convection Heat Transfer for Helium Gas Flowing in a Narrow Channel
3. 学会等名 International Conference on Power Engineering-2019, October 21-25, 2019, Kunming, China (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F. Xu, Q.S. Liu, S. Kawaguchi, and M. Shibahara
2. 発表標題 Turbulent Heat Transfer for Helium Gas Flowing in a Horizontal Minichannel
3. 学会等名 The 8th International Workshop of Energy Conversion, Aug. 22-26, 2019, Jiangsu, China (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北野 あゆみ, 劉 秋生, 柴原 誠
2. 発表標題 ヘリウムガスの指数関数状流量減少における強制対流熱伝達
3. 学会等名 第二回原子力関係科学技術の基礎的研究の動向調査委員会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口 哲, 劉 秋生, 柴原 誠
2. 発表標題 狭隘流路における円管発熱体の強制対流熱伝達
3. 学会等名 第89回マリンエンジニアリング学会学術講演会, 函館
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川 義基, 劉 秋生, 柴原 誠, 畑 幸一
2. 発表標題 垂直発熱体における水の強制対流熱伝達に関する研究
3. 学会等名 第89回マリンエンジニアリング学会学術講演会, 函館
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qiusheng Liu;Ayumi Kitano;Katsuya Fukuda;Makoto Shibahara
2. 発表標題 TRANSIENT HEAT TRANSFER FOR HELIUM GAS AT VARIOUS FLOW DECAY TIME CONSTANTS AND HEAT GENERATION RATES
3. 学会等名 The 26th International Conference on Nuclear Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qiusheng Liu;Makoto Shibahara;Katsuya Fukuda
2. 発表標題 TRANSIENT CONVECTION HEAT TRANSFER FOR HELIUM GAS UNDER EXPERIMENTALLY DECREASING FLOW CONDITIONS
3. 学会等名 The 16th International Heat Transfer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yantao Li;Katsuya Fukuda;Qiusheng Liu
2. 発表標題 Subcooled Flow Boiling of FC-72 in Vertical Small Diameter Tubes
3. 学会等名 The 16th International Heat Transfer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Shibahara;Qiusheng Liu;Koichi Hata;Katsuya Fukuda
2. 発表標題 TRANSIENT BOILING HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS FOR SUBCOOLED WATER FLOWING IN A VERTICAL TUBE
3. 学会等名 Proc. of The 29th International Symposium on Transport Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Shibahara;Qiusheng Liu;Koichi Hata;Katsuya Fukuda
2. 発表標題 Steady and Transient Heat Transfer for Subcooled Water Flow Boiling in Tubes Connected with Marine Engineering
3. 学会等名 Advanced Maritime Engineering Conference 2018 (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
研究 分 担 者	柴原 誠 (Shibahara Makoto) (70628859)	神戸大学・海事科学研究科・准教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------