

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04249

研究課題名（和文）発熱量が変動しても温度調整できる高熱流束対応冷却システムの開発

研究課題名（英文）Development of a high heat flux cooling system that can maintain a constant temperature even when the amount of heat generated changes

研究代表者

白川 英観（SHIRAKAWA, Hidemi）

富山高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00295122

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：発熱量が変動しても電子デバイスの温度を一定に維持できる高熱流束対応の冷却システムをベンチュリー管形状の流路が狭くなる細管部に伝熱面を配置した構造で開発を試みた。細管部での核沸騰現象に脈流による気泡除去を行ったところ、気泡は脈流により除去されていることが観察された。しかし、非沸騰時では脈流によって伝熱特性は10%程度向上するのに対して、核沸騰時では効果が見られなかった。一方、広管部に流出した気泡は攪拌されるが消滅するまで至らなかった。実験は水を使用し核沸騰状態で行ったが、ベンチュリー管形状や流路内の圧力などの影響が大きいことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で、細管部における流速によって、気泡の成長や離脱半径が変わることを確認できており、管部の流速制御によって沸点が変わり、伝熱面の温度を調整できる可能性が高いことが分かった。また、脈流により非沸騰時には伝熱特性が向上できることが分かった。今後、高熱流束対応の伝熱面の研究や、電子機器の高速化・小型化に伴って高熱流束に対応した液体循環型の冷却システムや、医療機器や高精度計測器などの温度がシステム性能に及ぼす機器の温度が調整できる機器の開発に活かすことができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We have attempted to develop a cooling system that can maintain a constant temperature of electronic devices even if the amount of heat generated fluctuates. When the nucleate boiling phenomenon in the narrow tube was removed by the pulsating flow, it was observed that the bubbles were removed by the pulsating flow. However, while the heat transfer characteristics were improved by about 10% due to the pulsating flow in non-boiling conditions, no effect was observed in nucleate boiling conditions. On the other hand, the bubbles that flowed out to the wide tube part were agitated but did not disappear. The experiment was conducted with water near the nucleate boiling point, and it was found that the shape of the venturi tube and the pressure inside the channel had a large effect.

研究分野：熱工学

キーワード：沸騰伝熱 脈流 電子機器 冷却技術

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子機器の高速化・小型化に伴い、高熱流束に対応した液体循環型冷却システムが必要とされている。

(2) 温度がシステム性能に影響を及ぼす医療機器や高精度計測機器での、温度調整可能な高熱流束対応の加熱・冷却機器が必要とされている。

(3) 熱交換器において、脈流により渦を発生させることで伝熱特性を向上できる研究を行っている。

2. 研究の目的

(1) 発熱量が変動しても電子デバイスなどの温度を一定に維持できる高熱流束対応の冷却システムをベンチュリー管形状の流路が狭くなる細管部に伝熱面を配置した構造で開発することが研究目的であり、開発する冷却システムには、次の特長を有する。

① 低い温度でも沸騰現象により高熱流束に対応できる。

流路内の圧力を低下させることで沸点を下げ、低温度で沸騰現象を生じさせて、高熱流束を実現する。

② 流量調整で伝熱面温度を維持して、熱変動に対応できる。

流路内の流速を変えることにより、管路内の静圧が変化し、沸騰現象を変えることができ、熱変動が生じて伝熱面の温度変化を少なくすることができる。

(2) 細管部における核沸騰現象において、気泡の停滞を脈流により除去し、熱伝達性能を向上させる。

3. 研究の方法

(1) 細管部の核沸騰現象に及ぼす実験

細管部での沸騰を実現するために管内に円柱状の伝熱面を設置し、伝熱面をヒーターで加熱した。伝熱面には熱電対を取り付け、伝熱面温度と熱流束を計測した。さらに、管側面に設置した観察窓より、沸騰現象の様子を高速カメラで撮影した。なお、実験は、定常状態と、流動時間と停止時間を繰り返す脈流状態で行った。比較のために、核沸騰状態と非沸騰状態の2つの状態でも行った。

(2) ベンチュリー管構造内の流体に及ぼす脈流の影響を確認する実験

細管部で発生した気泡が広管部に流出した時の挙動を観察するため、ベンチュリー管構造の流路を作成し、流れを高速カメラで撮影した。さらに、脈流の流速や周期が後流部に及ぼす影響を数値解析と実験による観察で調べた。

4. 研究成果

(1) 脈流が非沸騰時の伝熱特性に及ぼす影響

実験結果を図1に示す。管路内の流速（脈流の場合平均流速）で求めたレイノルズ数を横軸に、伝熱性能を示すヌセルト数を縦軸に示したもので、点線は定常状態での結果である。脈流は、流動時間を0.3、0.5、1.0秒と停止時間0.3、0.5、1.0秒を組み合わせた6タイプで行った。すべての脈流タイプで定常状態よりも10%程度向上している。特に、流動時間より停止時間が長い方がより効果的である結果を得た。

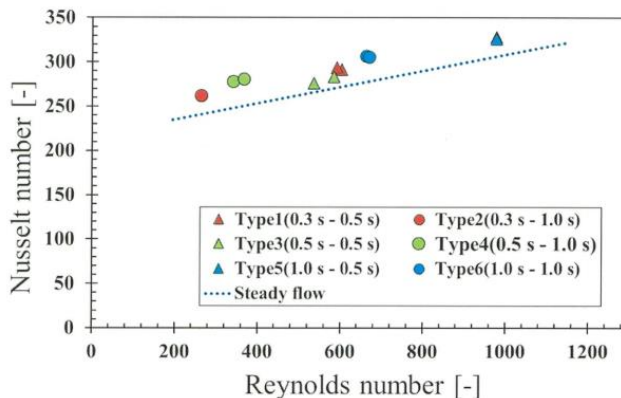


図1 ヌセルト数に及ぼす脈流の影響（非沸騰状態）

(2) 脈流が核沸騰時の伝熱特性に及ぼす影響

実験結果を図2および図3に示す。図2は、横軸が過熱度で、縦軸が円柱伝熱面への熱流束の値である。定常状態と脈流状態の両方をプロットしているが、レイノルズ数が2000である時は脈流の方が熱伝達特性は高くなっている。しかし、それ以外のレイノルズ数では定常流と脈流の差が見られなかった。図3は、定常流および脈流での伝熱面での沸騰観察結果である。定常流では気泡が全面で大きく成長しているのに対して、脈流では気泡径が小さく前方と後方で多く発生している。このように、気泡の成長速度と脈流の周期や、管内の圧力状態、伝熱面の設置位置などのベンチュリー管形状の影響が大きいと考えられる。

(3) ベンチュリー管構造内の流体に及ぼす脈流に及ぼす影響

定常流の場合、細管部の後流部には、渦が常に同じ場所に形成され、渦が停滞している領域の伝熱特性は悪くなる。一方、このベンチュリー管形状で流体を脈流にすると、渦は脈流に合わあせて上流や下流に移動し、それに伴い停滞する領域が小さくなり伝熱特性は向上する。この渦が形成される中心位置の移動は、脈流の流速と周期に依存していることが分かった。

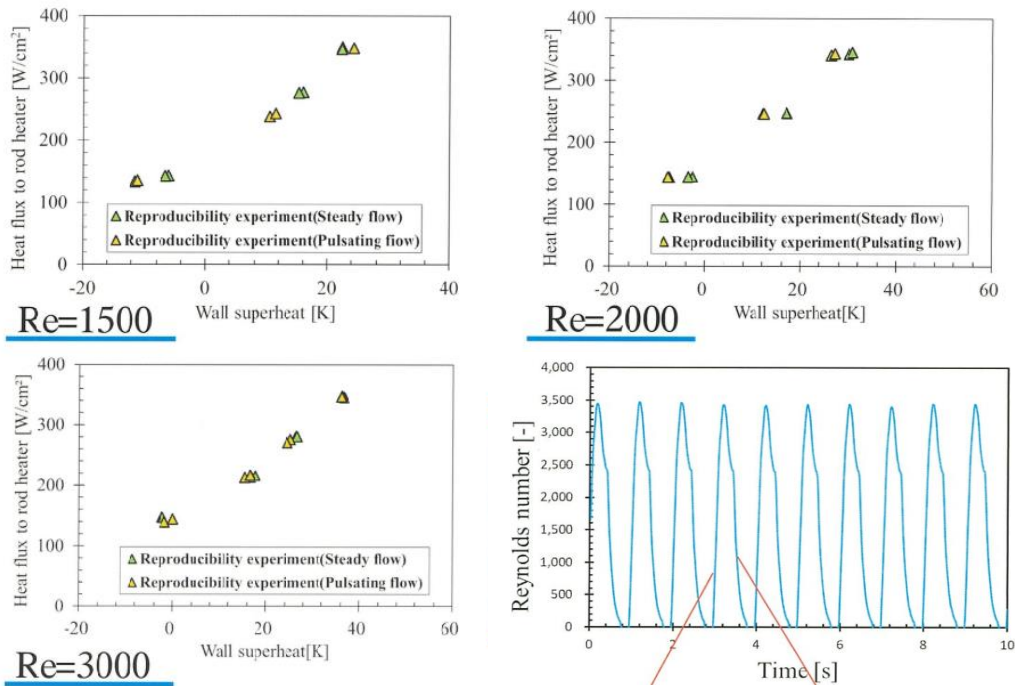


図2 熱流束に及ぼす脈流の影響（核沸騰状態）

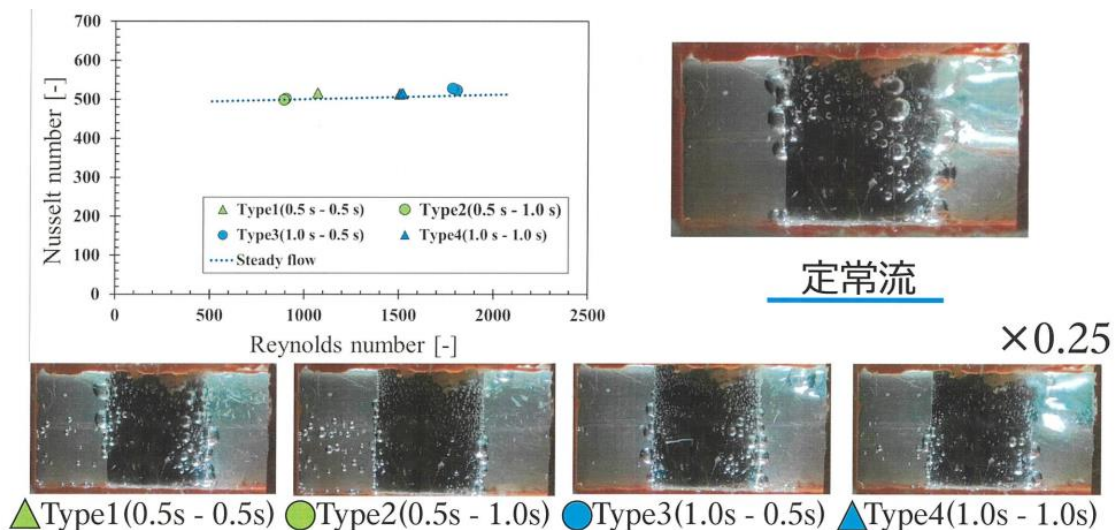


図3 沸騰状態に及ぼす脈流の影響（核沸騰状態）

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Fukue Takashi, Hiratsuka Wakana, Shirakawa Hidemi, Nakayama Katsuyuki, Koito Yasushi	4. 巻 15
2. 論文標題 CFD-BASED STUDY ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT BEHIND A PROJECTION IN A MINIATURIZED FLOW CHANNEL BY PULSATING FLOW	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5098/hmt.15.16	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14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 福江高志, 早川慎太郎, 平塚わかな, 白川英観
2. 発表標題 矩形リブの熱伝達と流れの過渡変動履歴の関係についての数値解析
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部2022年合同講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市川航平, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 流量の過渡制御を用いた冷却面の温度平衡の試み
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部2022年合同講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川慎太郎, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 脈動流による伝熱促進に向けたリブ間隔の影響調査
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiichi Hamatani, Takashi Fukue, Hidemi Shirakawa, Yasuhiro Sugimoto.
2. 発表標題 EXPERIMENTAL STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN HEAT TRANSFER ENHANCEMENT AROUND CYLINDRICAL OBSTRUCTION AND WAVE PATTERN OF PULSATING WATER FLOW.
3. 学会等名 31st International Symposium on Transport Phenomena; ISTP31. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shintaro Hayakawa, Takashi Fukue, Hidemi Shirakawa, Yasuhiro Sugimoto.
2. 発表標題 CFD-BASED INVESTIGATION ON FLOW PATTERN AND HEAT TRANSFER OF PULSATING FLOW AROUND A RIB MOUNTED IN RECTANGULAR CHANNEL (RELATIONSHIP BETWEEN FLOW PATTERN AND RIB HEIGHT).
3. 学会等名 31st International Symposium on Transport Phenomena; ISTP31. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fukue, T., Shirakawa, H. and Hiratsuka
2. 発表標題 Basic Study on Flow and Heat Transfer Control around Heating Components in Rectangular Duct by Pulsating Flow
3. 学会等名 Proceedings of the 15th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization; FLUCOME2019 (2019), Paper ID: 122. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜谷慧一, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 矩形障害物まわりに誘起した脈動流の減速期間における熱流体特性の基礎検討
3. 学会等名 2019年度日本伝熱学会北陸信越支部総会・春季セミナー.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜谷慧一, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 脈動流による矩形発熱体まわりの伝熱促進に対する減速期間の影響度の評価
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2019, Paper No., B133.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川慎太郎, 福江高志, 白川英観, 平塚わかな
2. 発表標題 脈動流とリブの組み合わせによる冷却チャンネル内の伝熱促進に対するリブ高さの影響
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2019, Paper No., B134.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福江高志
2. 発表標題 リバース1DCAEから考える電子機器の熱設計
3. 学会等名 日本機械学会 1DCAE・MBDシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hayakawa, S., Fukue, T., Shirakawa, H. and Hiratsuka, W.
2. 発表標題 CFD-Based Study on Relationship between Cooling Performance of Pulsating Flow and Rib Height mounted in Mini Rectangular Channel
3. 学会等名 Proceedings of the International Conference on Science, Technology and Society Studies; STS 2020, Paper Accepted. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 早川慎太郎, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 矩形リブまわりに誘起した脈動流の伝熱促進とリブ高さの関係についての数値解析
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム (2020), Paper No., E331.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川航平, 福江高志, 浜谷慧一, 白川英観
2. 発表標題 曲がりを有する矩形管内に設置した発熱体まわりの脈動流の数値解析
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム (2020), Paper No., H312.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浜谷慧一, 福江高志, 白川英観
2. 発表標題 矩形流路内に設置した円柱周りの脈動流による強制水冷の実験的研究
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム (2020), Paper No., H313.
4. 発表年 2020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	福江 高志 (FUKUE Takashi) (80647058)	金沢工業大学・工学部・准教授 (33302)	

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
---------	---------