

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03965

研究課題名(和文) ナノフルードは次世代の革新的な熱輸送媒体になりうるのか？

研究課題名(英文) Can nanofluids become the innovative heat transportation medium of the next generation?

研究代表者

赤松 正人 (Akamatsu, Masato)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40315320

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、音叉振動式粘度計によりAl203-水ナノフルードの有効粘度を測定、平板比較法の原理に基づいて作製した実験装置によりAl203-水ナノフルードの有効熱伝導率を測定、等熱流束加熱された円管内層流強制対流実験によりAl203-水ナノフルードの熱伝達を測定、そして、密閉系におけるAl203-水ナノフルードの自然対流熱伝達と開放系におけるAl203-水ナノフルードの強制対流熱伝達を数値解析的に検討した。これらの実験と数値解析の結果から、本研究の範囲内においてはAl203-水ナノフルードの有効粘度と有効熱伝導率の増加は観察されたが、自然対流と強制対流の熱伝達は抑制されることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水などの分散媒に分散質としてナノオーダーの粒子を分散させたナノフルードの有効熱伝導率は分散媒の熱伝導率よりも大きくなることが予想される。それ故、ナノフルードの自然対流および強制対流熱伝達は分散媒のそれらより促進されることが期待されたため、盛んに研究が行われるようになった。しかしながら、本研究によりAl203-水ナノフルードの粘度と熱伝導率は水のそれらよりも大きくなることが示されたが、密閉円筒容器内のAl203-水ナノフルードの自然対流熱伝達および等熱流束加熱された水平円管内のAl203-水ナノフルードの強制対流熱伝達は水のそれらよりも抑制されることを実験と数値解析の両面から解明した。

研究成果の概要(英文)： Nanofluids are an innovative new class of heat transfer fluids could be engineered by suspending nanoparticles in conventional heat transfer fluids. Hence, nanofluids are expected to exhibit high thermal conductivities and high heat transfer rates compared to those of currently used heat transfer fluids.

In the present research, we showed the effective viscosity of Al203-water nanofluids by the tuning fork vibro viscometers, the effective thermal conductivity of Al203-water nanofluids by the flat plate comparison method, the laminar flow forced convective heat transfer characteristics of Al203-water nanofluids in a horizontal tube experimentally, the heat transfer characteristics of natural convection of Al203-water nanofluids in a vertical cylindrical enclosure by the transient three dimensional numerical computations, and the heat transfer characteristics of forced convection of Al203-water nanofluids in a horizontal pipe by the transient two dimensional numerical computations.

研究分野：伝熱工学

キーワード：ナノフルード 熱伝達特性 自然対流 強制対流 有効粘度 有効熱伝導率 Al203ナノ粒子

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナノフルードとは、熱伝導率の小さい分散媒に分散質として分散媒よりも熱伝導率の大きいナノサイズの粒子を分散させた分散系である。このナノフルードは次世代の革新的な熱輸送媒体であると注目されているが、熱伝達性能向上を示す報告とともに逆の性能を示す報告もある。申請者らによる先の数値解析研究は、この矛盾の要因がナノフルードの熱物性評価と熱伝達率評価の方法にあることを見出した。

2. 研究の目的

次世代の革新的な熱輸送媒体として着目されているナノフルードは、有効熱伝導率の増加だけでなく、熱伝達促進の可能性をも秘めているため、電子部品や微小電気機械システムにおける狭い空間や通路の冷却、更には熱交換器への応用が期待されている。このような応用を実現するためには、ナノフルードの熱物性特性と熱伝達特性を実験と数値解析の両面から検討し、それらを解明することが必要である。

3. 研究の方法

本研究では、音叉振動式粘度計により Al_2O_3 -水ナノフルードの有効粘度を測定、平板比較法の原理に基づいて作製した実験装置により Al_2O_3 -水ナノフルードの有効熱伝導率を測定、等熱流束加熱された円管内層流強制対流実験により Al_2O_3 -水ナノフルードの熱伝達を測定、そして、 Al_2O_3 -水ナノフルードの自然対流と強制対流における熱伝達を数値解析的に検討する。

4. 研究成果

図1に示す音叉振動式粘度計により Al_2O_3 -水ナノフルードの有効粘度を測定した結果、精製水、粘度計校正用標準液、そしてシリコンオイルの測定粘度は、文献値からの差が5%以内であったが、 Al_2O_3 -水ナノフルードの有効粘度はベース流体の粘度よりも大きな値を示したものの、いくつかの文献値と大きな差異が生じた。精製水、粘度計校正用標準液およびシリコンオイルの粘度が、それぞれの参照値から5%以内の差で測定できたことから、本研究に使用した粘度計の精度に問題はないと考えられる。しかしながら、音叉振動式粘度計を用いた固液分散系 Al_2O_3 -水ナノフルードにおける有効粘度の高精度測定に関しては今後さらなる検討が必要である。

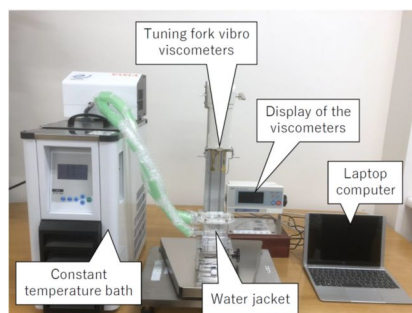


図1 音叉振動式粘度計

図2に示す平板比較法の原理に基づいて作製した実験装置により Al_2O_3 -水ナノフルードの有効熱伝導率を測定した結果、体積分率5.7%と2.85%のナノフルードの有効熱伝導率はベース流体の熱伝導率よりも大きな値を示し、分散系の温度の上昇と共に有効熱伝導率も増加した。これらの測定値はいくつかの文献値と良い一致が見られた。なお、ナノフルードの体積分率が5.7%から2.85%に減少すると有効熱伝導率は最小で6.27%、最大で16.0%低下することが確認された。

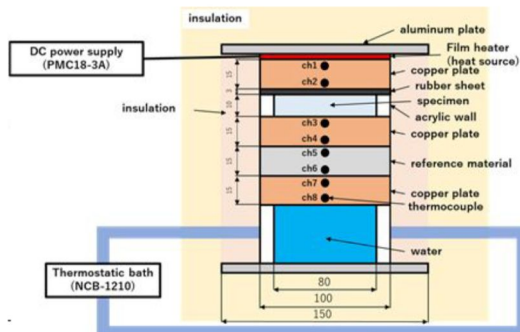


図2 平板比較法の原理に基づいて作製した実験装置

図 3 に示す等熱流束加熱された円管内層流強制対流実験装置により Al_2O_3 -水ナノフルードの熱伝達を測定した結果, ナノフルードの熱伝達はベース流体のそれよりも減少する, 流入温度の上昇に伴いヌセルト数が減少する, レイノルズ数が変化してもヌセルト数の値はほとんど変化しない, 体積分率が 1.37 vol% から 0.69 vol% へ減少しても Al_2O_3 -水ナノフルードのヌセルト数はほとんど変わらないことなどが明らかになった.

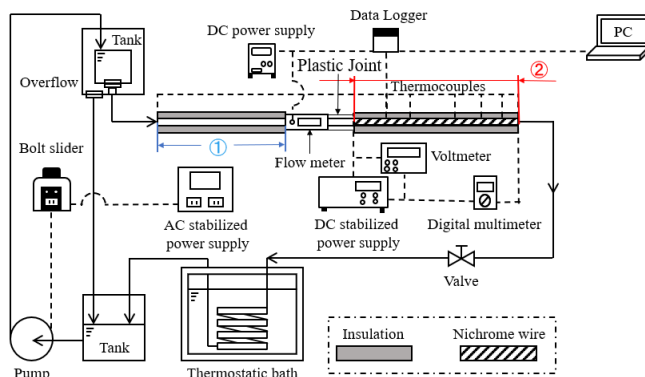


図 3 等熱流束加熱された円管内層流強制対流実験装置

図 4 に示す型円筒容器内に満たされた Al_2O_3 -水ナノフルードの自然対流の平均 Nu 数は参照温度にかかわらず水のそれよりも小さくなることが非定常三次元数値解析からわかった. 一方, 図 5 に示す Al_2O_3 -水ナノフルードの円管内層流強制対流の平均 Nu 数も参照温度にかかわらず水のそれよりも小さくなることが非定常二次元数値解析からわかった. これら平均 Nu 数の減少は, Al_2O_3 -水ナノフルードの有効動粘度の増加に起因することを明らかにした. なお, 自然対流, 強制対流共に, 体積分率が大きいほど, 粒子径が小さいほど, 水と Al_2O_3 -水ナノフルードの平均 Nu 数比の減少率が大きくなることを明らかにした.

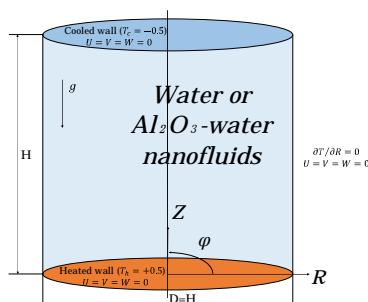


図 4 型円筒容器内に満たされたナノフルードの自然対流

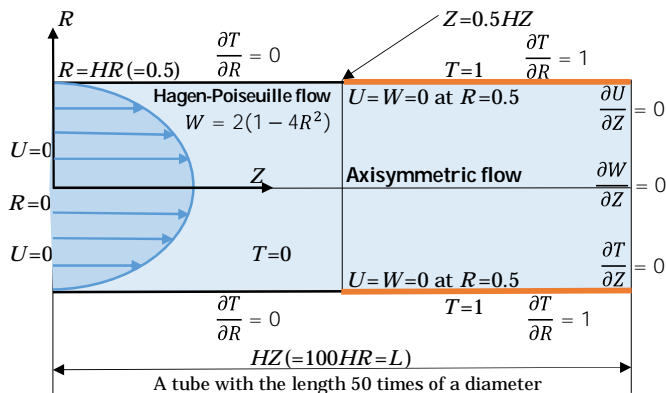


図 5 ナノフルードの円管内層流強制対流

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 赤松 正人, 鈴木 幹士, 岩本 光生 | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 壺型円筒容器内のAI203 - 水ナノフルードの自然対流熱伝達特性 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 pp.1-15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00358 | 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 赤松正人, 小林雄大, 伊澤大輝, 金子尚輝, 安原薫, 岩本光生 | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 円管内層流強制対流におけるAI203-水ナノフルードの熱伝達特性 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 日本冷凍空調学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 121-133 |
| 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 Masato Akamatsu, Kanji Suzuki | 4. 巻 23 |
| 2. 論文標題 Laminar Flow Forced Convective Heat Transfer Characteristics of Water-Based Al203 Nanofluids in a Horizontal Circular Tube with a Constant Heat Flux Boundary Condition | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 INFORMATION | 6. 最初と最後の頁 193-204 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件/うち国際学会 13件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 赤松 正人, 鈴木 幹士, 伊澤 大輝 |
| 2. 発表標題 AI203-水ナノフルードのRayleigh-Benard対流 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 鈴木 幹士, 赤松 正人 |
| 2. 発表標題 Al203-水ナノフルードの熱伝達特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第55期総会 講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 赤松 正人, 鈴木 幹士 |
| 2. 発表標題 水平円管内におけるナノフルードの層流強制対流熱伝達 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第85年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Arata Ikemoto, Rei Hamamoto, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Numerical computation of Benard convection using Al203-water nanofluid |
| 3. 学会等名 2019 Japan/Taiwan/Korea Chemical Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naoya Yokota, Shinya Ito, Ryu Shiga, Shinichi Saito, Mitsuo Iwamoto, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Effect of the nanoparticle materials on evaporation time of the water droplet on the nanoparticle layer |
| 3. 学会等名 2019 Japan/Taiwan/Korea Chemical Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shinya Ito, Naoya Yokota, Hiroto Konishi, Shinichi Saito, Mitsuo Iwamoto, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Effect of amount of nanoparticle on evaporation time of the water droplet on the nanoparticle layer |
| 3. 学会等名 2019 Japan/Taiwan/Korea Chemical Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takayoshi Hirano, Yodai Iwamoto, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Experimental study of natural convection of nanofluid in the cylindrical container |
| 3. 学会等名 2019 Japan/Taiwan/Korea Chemical Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshiyuki Fukuoka, Takayoshi Hirano, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Experimental study of natural convection of SiO ₂ nanofluid in the cylindrical container |
| 3. 学会等名 2019 Japan/Taiwan/Korea Chemical Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊澤大輝, 赤松正人 |
| 2. 発表標題 等熱流束加熱された水平円管内のAl ₂ O ₃ -水ナノフルードの層流強制対流熱伝達 |
| 3. 学会等名 日本機械学会第26回機械材料・材料加工技術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 赤松正人, 伊澤大樹, 安原薫, 岩本光生 |
| 2. 発表標題 AI203-水ナノフルードの層流強制対流熱伝達 |
| 3. 学会等名 2018年度日本冷凍空調学会年次大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 赤松正人, 伊澤大輝, 鈴木幹士 |
| 2. 発表標題 AI203-水ナノフルードの熱伝達特性 |
| 3. 学会等名 化学工学会第84年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroyuki Kawasho, Takayoshi Hirano, Arata Ikemoto, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 The experimental study of Benard convective heat transfer with nanofluid (The effect of material of nanoparticles) |
| 3. 学会等名 ISChE2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Koichiro Sezaki, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Experimental study of the water spray cooling on the heating surface with particle layer (Effect of period of nanofluid spraying) |
| 3. 学会等名 ISChE2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Arata Ikemoto, Hiroki Kawasho, Takayoshi Hirano, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Numerical study of natural convection of Al2O3 nanofluid in the cylindrical container |
| 3. 学会等名 ISChE2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takayoshi Hirano, Hiroki Kawasho, Mitsuo Iwamoto, Shinichi Saito, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Experimental study of natural convection of Al2O3 nanofluid in the cylindrical container (Effect of the concentration of Al2O3 nanoparticles) |
| 3. 学会等名 ISChE2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tomonori Agatsuma, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Experimental study on Laminar Flow Forced Convective Heat Transfer of Al2O3-Water Nanofluids |
| 3. 学会等名 The 8th International Conference on Smart Systems Engineering 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryuya Otaka, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 The effective viscosity measurements of Al2O3-water nanofluids by the tuning fork vibro viscometers |
| 3. 学会等名 The 8th International Conference on Smart Systems Engineering 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kyohei Oyama, Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 The effective thermal conductivity of Al2O3-water nanofluids |
| 3. 学会等名 The 8th International Conference on Smart Systems Engineering 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kanji Suzuki, , Masato Akamatsu |
| 2. 発表標題 Laminar Flow Forced Convective Heat Transfer Characteristics of Al2O3-Water Nanofluids in a Horizontal Tube Cooled Isothermally |
| 3. 学会等名 The 8th International Conference on Smart Systems Engineering 2020 (国際学会) |
| 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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

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 |
|---------|---------|
| | |