

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05838

研究課題名(和文) 磁気力による伝熱性能向上効果の定量的評価および熱交換デバイスへの応用

研究課題名(英文) Evaluation of heat transfer enhancement on heat transfer device by magnetothermal force

研究代表者

金田 昌之 (Masayuki, Kaneda)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50346855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：熱交換デバイスの伝熱性能向上を目的として、磁場の力(熱磁気力)の効果を実量的に明らかにした。まず熱交換チューブを想定した強制対流を対象とし、磁場を印加したところ、磁極において流れや温度分布が変化することがわかった。熱磁気力は温度が高くなると相対的に弱くなることからリップのような効果を持つことが判明した。逆に冷却管の場合は流れ場が窪むことも分かった。この流れの変化により局所的に熱伝達率が低下・上昇することがわかった。次にフィンを想定した鉛直加熱平板周りの自然対流を対象とした場合でも評価をおこなった。その際、ブロック型の磁石を用いた場合と電線から生じる磁場とでは傾向が異なることがわかった。

研究成果の概要(英文)：To improve the heat transfer characteristics, the effect of magnetic force (magnetothermal force) is evaluated quantitatively. First, a pipe flow with heat exchange from the wall is considered. It is found that, the heat transfer is locally affected such as enhancement and suppression. The tendency is like a rib mounted in the pipe wall for heated case, and bump for cooled case. Next, vertical parallel heated plates is considered for fin heat exchanger. There are similar tendency found. Additionally, the effect becomes different when the magnetic field is presumed by a analytical equation of block magnet and that induced by electric wires.

研究分野：熱流体工学

キーワード：熱伝達率 熱交換器 外部磁場 常磁性流体

1. 研究開始当初の背景

常磁性流体の磁化力による対流制御についてはある程度知られていたものの、容器内などの閉空間を対象にしたものがほとんどであった。常磁性流体の磁化率は小さいことから磁場の影響を顕在化させるために超電導電磁石などの高コストな強力磁場を用いる手法が主流であった。また、実験による検証はそれほど多くないといった背景もあった。以上の背景から、対流制御から発展する熱交換器などのデバイスへの応用が進んでいない。

2. 研究の目的

熱交換デバイスへの応用を鑑み、低コストで効果的な磁場分布を明らかにするとともに、かつ円管やフィンなどの熱交換部を模した流れ場において、磁場印加効果を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究は数値解析と実験により構成される。

・数値解析

円管内強制対流に及ぼす磁場印加効果について検討するとともに、熱交換の熱移動方向、すなわち円管が加熱されているのか冷却されているのかによる影響についても検討した。また鉛直加熱平行平板や単一平板に及ぼす影響を磁石の配置と併せて議論することで、そのメカニズムおよび効果的な磁場分布について議論した。

・実験

鉛直平行平板ならびに鉛直加熱単一平板における実験装置を製作し、永久磁石を用いた温度計測実験を行い、局所熱伝達率に及ぼす影響を検討した。

4. 研究成果

・数値解析

円管内強制対流（一様流束条件）において円管が加熱されている場合（図1）、なお、本図では一巻き電気コイルから生じる磁場を印加するものとしており、コイル位置 = 磁石位置とした。

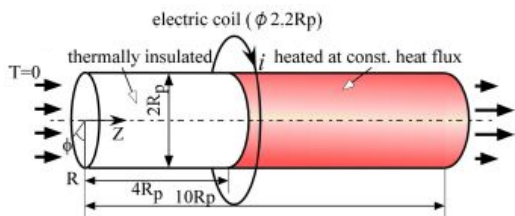


図1 円管内流動の磁場印加効果モデル図

図2にコイル位置を変化させた場合の局所熱伝達率の分布を示す。加熱開始箇所に磁石を設置する場合にのみ熱伝達率促進効果が見られた。他の場所では促進効果と抑制効果が異なる場所で発現するため、その場合の総括

的な効果はあまり大きくないことも確認した。なお、本条件の場合、磁石近傍で渦を生成することもわかった。

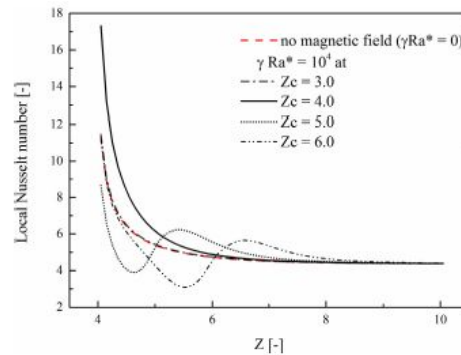


図2：磁場印加下の加熱円管の局所熱伝達率

圧力差による駆動では、渦は生成されないものの、磁石近傍でリップのような効果が発現することがわかった。したがって、磁石が加熱開始位置に設置された場合は拡大管流れのような流れ場となる一方で、加熱領域の他の場所に磁石を設置した場合はその上流側では流れが妨げられるため局所熱伝達率が低減することが明らかとなった。これらの効果は円管が冷却される場合はほぼ逆となった。以上より、円管内流れにおける磁場印加効果は管壁が加熱されているときはリップ、冷却されているときはくぼみの効果をもたらすことがわかった。(図3)

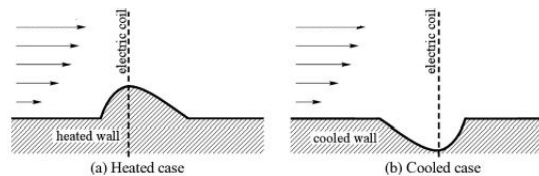


図3：円管内流れの磁場印加効果モデル図

平行加熱平板に沿った自然対流に及ぼす磁場印加効果においては、磁石で平行平板を挟んだ配置を当初採用し、同極同士を対向させた。これは従来、同極を対向させたカスプ磁場が効果的であるとの知見があったためである。ここでも加熱開始位置に磁石を設置した場合には局所熱伝達率の上昇が確認されたが、その他の場所では磁石下部での低減効果と相まって生じることがわかった。その後、異極を対向させる一様磁場分布での解析を実施したところ、磁化力の重要要素となる磁場の二乗勾配はさほど変わらないことがわかり、磁場印加効果も遜色ないことがわかった(図3)。これは、磁石サイズが流れ場に対して小さい場合は、磁場勾配は磁極配置によってさほど変わらないことを示唆しており、大変興味深いものである。

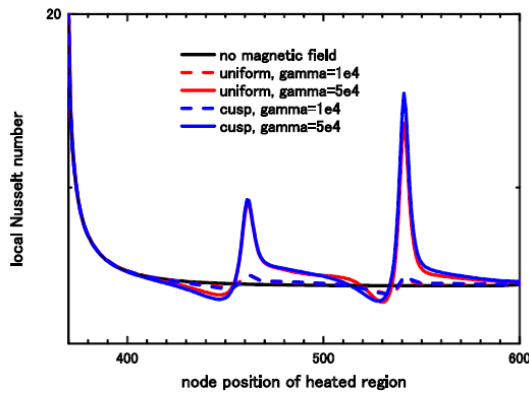


図 3：鉛直平行平板自然対流の磁場印加効果

単一平板の場合でも同様の効果は発現する。しかし流路を妨げないようにするには磁石を加熱壁の裏側に配置する必要がある。その際の磁化力はどうしても弱くなる。単一の電線から生じる磁場で検討したものの、下記の計測データとの差異が大きいことから、今後の検討課題とした。

・実験

平行加熱平板を磁石ではさみこむ場合は、永久磁石でも効果が発現することを確認したが、配線の複雑さや加熱板の構造により温度計測に困難をきたしたため定量的な検討まではできなかった。

そこで、単一平板の実験に切り替えて温度計測を実施した。その際、上述の理由によりどうしても磁場印加効果が弱くなってしまった。これを解決するために磁気ネックレスより着想を得た磁石配置を試した(図4)。

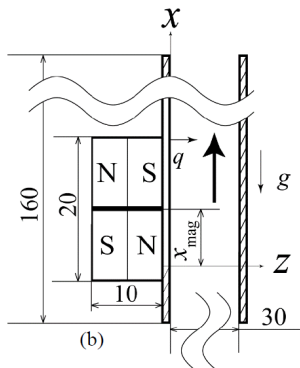


図 4：鉛直平板と磁石の配置(対向壁は断熱)

その結果、磁石の片側配置でも効果が発現することを確認した(図5)。さらに、既存の熱伝達の傾向(Nu-Ra プロット)を局所的に変えることができることも見出した。

以上より、熱交換器要素である円管や平板周りの流れに及ぼす磁化力効果の存在を明らかにすることができた。しかしながら、実デバイスに組み込むには永久磁石から生じる

磁場を正確に考慮する必要があることがわかった。一般に、単一の永久磁石からの磁場は解析解が存在するため、そのまま導入が可能であるが、磁石を複数配置した場合の分布が単純な重ね合わせでは表現できず、磁場計測結果と異なることがわかったためである。そのためには今後、商用ソフトの導入などにより複数磁石からの磁場分布を適切に考慮する必要がある。

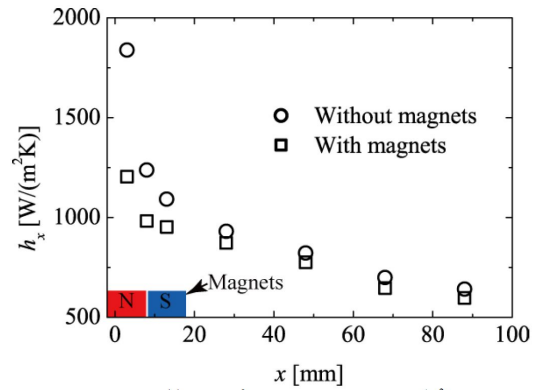


図 5：加熱平板の局所熱伝達率

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

M. Kaneda, K. Suga, Natural convection of air between parallel plates under strong magnetic field, International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics, 査読有, 掲載決定.

M. Kaneda, K. Suga, Magneto-thermal force on heated or cooled pipe flow, International Journal of Heat and Fluid Flow, 査読有, 69, 1-8, 2018

M. Kaneda, A. Tsuji, K. Suga, Effect of magneto-thermal force on heat and fluid flow of paramagnetic liquid inside a pipe, Applied Thermal Engineering, 査読有, 115, 1298-1305, 2017.

M. Kaneda, A. Tsuji, H. Ooka, K. Suga, Heat transfer enhancement by external magnetic field for paramagnetic laminar pipe flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 査読有, 90, 388-395, 2015.

[学会発表](計 16 件)

M. Kaneda, Heat and fluid flow of paramagnetic fluid by lattice Boltzmann method, Special lecture at Thai-German Graduate School of Engineering, Bangkok, Thailand, 2017.

M. Kaneda, K. Suga, Effect of magnet layout

on magnetothermal convection, ASCHT2017, Chennai, India, 2017.

小野, 杉本, 金田, 須賀, Phase Field LBM による多孔体表面から内部へ移動する液滴の挙動, 日本機械学会第 30 回計算力学講演会, 大阪, 2017.

金田, 格子ボルツマン法による磁気熱対流シミュレーション 第 29 回中四国伝熱セミナー・山口, 2017.

H. Fujiwara, M. Kaneda, K. Suga, Effect of the Magnetothermal Force on the Natural Convection Heat Transfer from a Vertical Plate, 9th JSME-KSME Thermal and Fluids Eng. Conference, Okinawa, Japan, 2017.

藤原, 金田, 須賀, 磁化力による鉛直平板まわりの自然対流の制御, 化学工学会 第 49 回秋季大会, 名古屋, 2017.

M. Kaneda, K. Suga, Natural Convection of Paramagnetic Fluid Between Parallel Plates Under Strong Magnetic Field, 7th International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer, Napoli, Italy, 2017.

金田, 磁気力による熱流動制御, 環境&資源エネルギー研究会, 大阪, 2016.

杉本, 小野, 金田, 須賀, Phase-Field LBM における濡れ面境界条件の評価, 第 30 回数値流体シンポジウム, 東京, 2016.

M. Kaneda, K. Suga, Magnetothermal Convection on a Heated/Cooled Pipe Flow of Paramagnetic Fluid, The Fourth International Forum on Heat Transfer, Sendai, Japan, 2016.

金田, 数値解析による磁気熱対流伝熱に関する研究, 低温工学・超電導学会 調査研究会, 大阪, 2016.

大堀, 金田, 須賀, CLSVOF 法を用いた境界面再構築法に関する研究, 日本機械学会関西支部第 91 期定時総会講演会, 大阪, 2016.

A. Ohori, M. Kaneda, K. Suga, Improvement of boundary reconstruction scheme for lattice Boltzmann fluid flow computation, 1st Pacific Rim Thermal Eng. Conf., Hawaii, USA, 2016.

大堀, 金田, 須賀, 格子ボルツマン法に適用できる境界面再構築法の改良, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, 福岡, 2015.

M. Kaneda, A. Tsuji, K. Suga, Effect of magnetic field on heat and fluid flow through heated pipe, ASCHT2015, Busan, Korea, 2015.

金田, 辻, 須賀, 円管内流れの温度境界層発達域におよぼす熱磁気効果, 第 52 回日本伝熱シンポジウム, 福岡, 2015.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金田昌之 (KANEDA, Masayuki)  
大阪府立大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 50346855

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

### (4) 研究協力者

( )