

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760139

研究課題名(和文) 磁気力による液体中の物質輸送システム最適化に関する研究

研究課題名(英文) Transport phenomena affected by magneto-thermal force and its evaluation

研究代表者

金田 昌之 (Kaneda, Masayuki)

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) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：複雑流動場内の熱流動数値解析において、外部磁場印加の効果を考慮したモデルを開発し、伝熱性能向上に関する定量的な知見を得た。ここでは壁面の温度条件も併せて検討した。これと同時並行的に、円管内の磁化力対流の可視化実験を行い、定性的な流れ場の変化を確認した。さらに、複雑流動場でも体積保存性の良い混相流数値解析手法を改良し、高密度比に対応できるツールを開発した。

研究成果の概要(英文)：Magneto-thermal effect is considered in the thermo-fluid system of complex geometry. The enhancement of the heat transfer through porous media is investigated. It is found that the enhancement effect depends on the heat condition of porous media, flow field, and magnetic induction. The visualization inside a tube flow under the magnetic field is carried out. It is found that the flow is apparently affected by a permanent magnet. The multiphase flow modeling is carried out. This is a hybrid model of lattice Boltzmann method and CLSVOF with Ghost-Fluid method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体力学

キーワード：磁気熱対流 混相流 移動現象

1. 研究開始当初の背景

磁場による物質輸送として、強力磁石を用いた水中の不純物除去や磁気誘導型ドラッグデリバリーの開発が挙げられ、その学術的追及もある程度行われているものの、移動現象に基づく研究はそれほど多くなく、そのツールも基礎的な系に限られていた。しかし実際の流動場は複雑であり、流動場の構造が移動現象に影響を及ぼすことは明白である。複雑流動場を直接模擬する数値解析は一般に計算コストと解析精度がトレードオフの関係にある。以上の背景から、磁場による物質輸送そのものは上述の応用があるにもかかわらず、巨視的な輸送を含めマルチスケールな視点ではあまり具体的に議論されていないといえる。特に、複雑流動場における磁場による移動現象を絡めた考察が欠けており、輸送経路、磁場分布、流体の磁気特性に着目した研究が少ない。

2. 研究の目的

本研究では、以下を目的とした

- ・三次元複雑熱流動場において、外部磁場印加効果を考慮し、移動現象を検討できるツールを開発する。
- ・密度比の大きな混相流を体積精度よく解析できる手法を開発する。
- ・磁場印加効果について PIV や伝熱実験を実施し、定量的な現象評価を行う。

3. 研究の方法

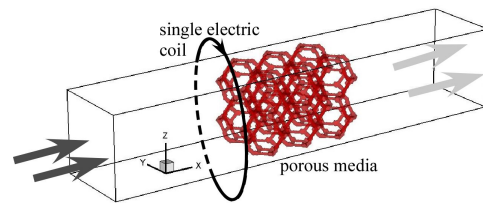
・磁場印加効果を考慮したツールの開発
 複雑流動場でも精度よく解析できる格子ボルツマン法 (LBM) を改良して、磁場印加効果を外力として組み入れる。その際、作動流体の磁化率の温度依存性を考慮することで、磁気熱対流を複雑流動場でもシミュレートすることが可能となる。外部磁場は一巻きの電磁コイルを想定し、複雑流動場は発泡多孔体を考慮した。LBM は既存の流体解析ツールとは異なる点があるため、外力場に関連する無次元数についての定式化が必要である。

・密度比の大きな混相流解析手法開発
 将来的には上述の複雑流動場熱磁気対流に組み入れるために、ここでも LBM を素地とした。界面の取り扱いを再構成するために、変形を考慮しない状態 (固液二相) のツール開発から出発し、気液二相へと発展させる。既往の手法と大きく異なるのは、液液二相で先行開発した PLICVOF ベースの LBM から発展させるところである。

・磁場印加効果の実験
 可視化を重視し、管内流れの PIV 計測を行い、永久磁石でも効果があることを確認する。さらに伝熱促進 (または抑制効果) を定量的に評価するために、PIV とは別に細円管を用いた温度計測実験を実施する。

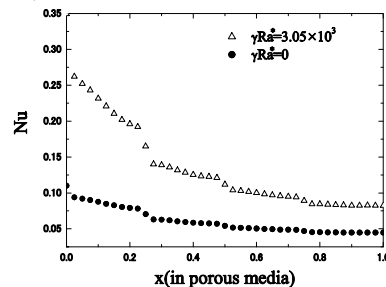
4. 研究成果

・磁場印加効果を考慮した三次元熱流動シミュレーション
 解析対象は部分的に多孔体を設置した矩形流路を対象とした。設置されている多孔体は BCC 構造に空孔を有する発泡多孔体を単セルとし空隙率は $\phi = 0.83$ に設定した。これを流路内に複数個連結した。連結の組み合わせとして二種類を設定し、流路断面に 2×2 個連結しこれを流れ方向に 3 列設置した $3 \times 2 \times 2$ 構造および、 $6 \times 3 \times 3$ とした。作動流体は空気を仮定し ($Pr = 0.71$)、入口出口間の圧力差 ΔP により駆動されている。温度境界条件は入口:一定温度、出口:自由流出とし、流路壁面には断熱条件を与えた。多孔体表面の温度境界条件は一樣熱流束加熱とした。これは発泡金属多孔体を通電加熱した場合を想定している。なお、境界条件の構築に際しては Halfway bounce back による階段状の構造で模擬した。磁場発生のためのコイルは既往の研究に基づきもっとも高い効果が得られると予測できる加熱多孔体領域の入口 (風上側) に設定した。



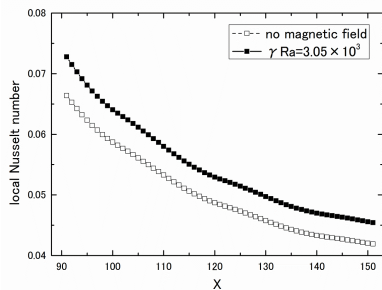
解析系

磁場印加効果を評価するため、局所ヌセルト数を流れ方向に算出した。結果を下図に示す。磁場印加により概ねヌセルト数が上昇していることがわかる。全体的に一定の割合で上昇しているのは磁場により流体が加速する方向の力を受けたためバルク速度そのものが大きくなったためである。



磁場印加による多孔体内伝熱促進効果 (熱流束一定)

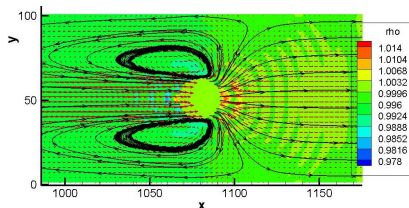
つぎに、多孔体内の熱伝導も考慮した場合について検討した。熱流束一定の場合と比較して効果は若干下がるものの、有意な差があることがわかった。



磁場印加による多孔体内伝熱促進効果（多孔体壁熱伝導考慮）

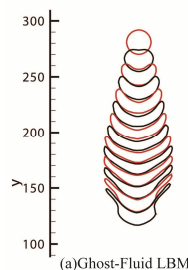
以上より、複雑熱流動場内の磁場印加効果を定量的に評価することができた。

・密度比の大きな混相流解析手法の開発
従来型のLBMに対し、密度比を考慮するために、Ghost-Fluidの手法を応用した。通常は、N-S方程式とカップリングされるため、LBMに応用するには密度の取り扱いを工夫した。まずは固液境界の問題に取り組み、流体中で固体が移動する場合についての解析モデルを構築した。



移動する固体周りの流れの解析

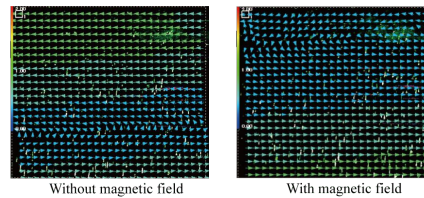
つぎに、変形を考慮した混相流解析についての結果を示す。本開発手法はPhase-Field法と比較した。落下液滴を模擬することができ、パラメータによる変形の度合いは定性的に良い一致をみることができた。以上より体積保存性が良く、密度比を考慮できるツールが完成した。



落下液滴のシミュレーション

・磁場印加効果の実験

一部加熱した円管内流れにおいて、磁場の有無による流れ場の違いを下図に示す。上部での左向きの流れが磁石の設置により右に流れていることがわかる。以上より、永久磁石でも流れ場が変化することが確認できた。



磁場による管内流れの効果

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6件)

Masayuki Kaneda, Toshihiro Haruna and Kazuhiko Suga, Ghost-Fluid-based boundary treatment in lattice Boltzmann method and its extension to advancing boundary, Applied Thermal Engineering, 印刷中(査読有)

Masato Akamatsu, Yusuke Yoshida, Taku Okitsu, Masayuki Kaneda, Hiroyuki Ozoe, Behavior of magnetothermal Rayleigh-Benard convection of air visualized by 3D simulations, Journal of Visualization, 17, issue1, 27-39, 2014(査読有)

Kazuhiko Suga, Satoshi Tominaga, Masayasu Mori, Masayuki Kaneda, Turbulence Characteristics in Flows Over Solid and Porous Square Ribs Mounted on Porous Walls, Flow, Turbulence and Combustion, 10.1007/s10494-013-9452-1, 2013(査読有)

Masayuki Kaneda, Takehiro Ueda and Kazuhiko Suga, Hybrid model of lattice Boltzmann and CLSVOF methods for immiscible two-fluid flow, Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal, 13, Nos3/4, 152-161, 2013 (査読有)

[学会発表](計32件)

金田昌之，加納大雅，須賀一彦，多孔体内外の伝熱を考慮した磁気熱対流数値解析，JSME 第26回計算力学講演会，佐賀市，2013年11月2日。

Toshihiro Haruna, Masayuki Kaneda, Kazuhiko Suga, Ghost-Fluid Boundary Treatment in Lattice Boltzmann Method for Moving Boundary, ASCHT2013, Hong Kong, 2013年6月4日。

M. Kaneda, H. Kanoh, K. Suga, Magnetic Convection of Paramagnetic Fluid by Lattice Boltzmann Method, ASCHT2013, Hong Kong, 2013年6月3日。

金田昌之，加納大雅，須賀一彦，格子ボルツマン法による複雑流路内の磁化力対流数値解析，第50回日本伝熱シンポジウム，仙台市，2013年5月29日。

春名俊宏，金田昌之，須賀一彦，LBMの

移動境界条件における Ghost Fluid アルゴリズムの適用, 日本機械学会関西支部 第 88 期定時総会講演会, 大阪市, 2013 年 3 月 16 日.

春名俊宏, 金田昌之, 須賀一彦, 格子ボルツマン法の境界条件における Ghost Fluid アルゴリズムの適用, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会, 神戸市, 2012 年 10 月 6 日.

加納大雅, 金田昌之, 須賀一彦, 熱格子ボルツマン法による常磁性流体の磁化力対流数値解析, 日本機械学会第 25 回計算力学講演会, 神戸市, 2012 年 10 月 6 日.

金田昌之, 尾岡弘樹, 須賀一彦, 水平円管内流れに及ぼす外部磁場印加効果, 第 49 回日本伝熱シンポジウム, 富山市, 2012 年 6 月 1 日.

〔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・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50346855