

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02069

研究課題名(和文)機能性ヘテロ多孔体構造により界面流動抵抗を飛躍的に低減する次世代流動界面の創生

研究課題名(英文)A study to create a drag reducing wall with a heterogeneous porous structure

研究代表者

須賀 一彦 (Suga, Kazuhiko)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60374089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：多孔体の非均質構造による流動抵抗低減機能を持った流動界面を創出することを目的として、数値解析と計測実験の両面から研究を進め、以下の知見を得た。

1)部分的に多孔体界面を非透過にすると非透過部分でケルビン-ヘルムホルツ(KH)波は減衰し、全面透過性構造より流動抵抗は最大で11%程度減少することを確認した。2)乱れの抵抗が多孔体の表面構造に依存しない領域の存在を発見した。この表面構造に乱れ場が依存しにくい原因は、流路幅スケールを持つKH波の発達とその存在によることを確認した。3)KH波の発生を抑制することができる層状多孔体構造を提案し、実験においてその効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多孔体界面乱流の流動計測実験と、それを補完する多孔体構造を詳細に解像した世界でこれまでに例を見ない複雑界面乱流の直接数値解析を行い、多孔体表面構造の非均質性とケルビン-ヘルムホルツ波の生成に関する力学的解明を進めたことの学術的意義は高いと考えている。同時に乱流流動抵抗を低減できる多孔体構造を考案し、試作して特許出願した。さらなる詳細検証が必要であるが、その有効性を評価確認したことの工学的意義も高いと考えている。

研究成果の概要(英文)：To create a drag reducing wall with a heterogeneous porous structure, we conducted the research by both numerical analysis and experiments. The following findings are obtained.

1) It was confirmed that when the porous interface is partially impermeable, the Kelvin-Helmholtz (KH) waves were damped on such a part, and the flow resistance is reduced by up to 11% from the fully permeable structure. 2) We found the existence of a region where the flow resistance does not depend on the surface structure of the porous media. It was confirmed that the reason why the turbulence field is less dependent on this surface structure is due to the development and existence of KH waves whose scale is proportional to the channel height. 3) We devised a layered porous structure that can suppress the generation of KH waves, and confirmed its effect in experiments.

研究分野：流体工学

キーワード：乱流 多孔体 流動抵抗 計測実験 数値解析

1. 研究開始当初の背景

次世代機器は、その機能をAIを駆使して最適に保ちながら運転されるものと考えられている。たとえば、輸送機器であれば、飛躍的な流動抵抗低減をもたらす高機能界面の開発とあわせて、膨大なデータかその物理に対する理解が確立していなければ、有効なAIアルゴリズムを組むことも不可能であり、次世代機器とはなり得ない。本研究で取り扱う界面に浸透性がある多孔体は、比表面積が大きく、熱・物質輸送特性にも優れているため燃料電池、ヒートパイプや触媒担持体など多くの工業装置の主要部品に適用される。また、河川床や植生・都市キャノピーなども多孔体とみなされるが、これら多孔体界面の機能性の向上とその操作が可能となつてはじめて流動機器や環境を最適制御できることになる。多孔体ではその微細な構造のため、ミクロスコピックに流動を解析することは困難

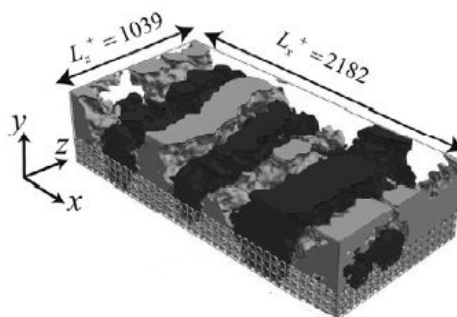


図1 多孔体界面のロール渦構造(Kuwata & Suga, *Int.J.Heat Fluid Flow* 61,2016) .

で、体積平均理論を基礎とした統計的な取り扱いが一般になされる。したがって、体積平均理論に現れる未知相関量のモデリングを最終目的として、多孔体内外流動のメカニズムを理解しようという研究を多くの研究者が古くから取り組んでいるが、未だ十分には理解できていない。そこで本研究代表者らも過去10年間に、実験と数値解析の両面から精力的にその研究を進めてきた。現在、従来の知見と我々の得た知見から確実になっていることのエッセンスをあげると、多孔体界面の流れは層流であれば界面での統計速度の滑りのため抵抗低減するが、容易にレイノルズ数1000以下でも乱流化する場合があり、乱流化すると滑り速度が平均速度の3~4割にも達するのに抵抗は跳ね上がる。乱れの増幅は界面でのケルビン ヘルムホルツ不安定起源のロール状渦(図1)の成長で決定づけられ、多孔体の性状によって、大きく変化する。このケルビン ヘルムホルツ不安定は、平均速度分布が多孔体内部で変曲点を持つことで起こる。我々の研究(Suga et al., *J. Fluid Mech.* 855, 2018)からは、ケルビン ヘルムホルツ波の界面層内部の運動経路に沿った方向(主として主流方向)の多孔体透過率が全体の乱れ強さを左右するので、多孔体透過率の非等方向性が乱れ成長の鍵になることなどが挙げられる。これはベクトル量である流動抵抗が、多孔体内部流速に応じて透過率に依存するからである。

一方でスウェーデン王立工科大学(KTH)のグループも多孔体透過率の非等方向性に着目し、最近の数値解析的研究(Rosti et al., *J. Fluid Mech.* 842, 2018)では多孔体透過率の非等方向度の指標 ψ によっては多孔体界面で流動抵抗が低下し、条件によっては滑面平板に比べて約2割も抵抗低減すると報告している。かつてのChoiらの数値的研究(Hahn, Je & Choi, *J. Fluid Mech.* 450, 2002.)でも乱流で抵抗低減が起きると報告されたが、両者に共通することはケルビン ヘルムホルツ波を正確に再現する数値解析ではなかったことが欠点である。つまり、 ψ の知見のように多孔体界面ではケルビン ヘルムホルツ波が発生し、これが多孔体の性状に応じて乱れを増幅するので、抵抗低減が起きるとは考えにくい。もしケルビン ヘルムホルツ波の発生を抑え込めることができれば、乱流化は押さえられ、流動抵抗が飛躍的に低下することをこれらは示唆している。

たとえば、固体高分子型燃料電池は拡散層に空隙率0.8程度の多孔体であるカーボンペーパーが用いられるが、セパレーター間流路における流れは、通常運転範囲のレイノルズ数 $Re=660$ でも乱流化する。したがって、設計者は層流と考えたかも知れないが、現実にはほぼ常に高圧損状態で運転されていることになる。少なくともこの乱流化を遅らせることができるだけでも、ポンプ動力に消費されるエネルギーを飛躍的に節約できることになる。このように、多孔体界面に成長するケルビン ヘルムホルツ波の成長をコントロールすることができれば、燃料電池、触媒装置やヒートシンクをはじめとする多孔体を用いた装置の省エネルギー化を図ることができる。仮にKTHグループが主張するように約2割も駆動エネルギーを削減できれば、飛躍的な次世代流動装置の開発につながる。極めて過小に見積もっても、現在全世界で年間5500メガトンのCO2を排出している輸送機器の燃費向上に1%でも貢献できるだけで、最低年間55メガトンのCO2削減に貢献することになり、その社会的インパクトは計り知れない。

いっぽうケルビン ヘルムホルツ波の消波は実際にリブ列などを設置した界面流れでは起きている。多孔体界面に設置したリブ列により全体的な乱れは大きくなり、滑面に設置したリブ列流れと同等の傾向を示すが、少なくともケルビン ヘルムホルツ波は抑制され多孔体性状による変化は消失する。この例のように界面に突出して乱れを増大させるリブ列によらずとも、多孔体界面層内部の構造に変化をつけたヘテロ構造によって、ロール渦構造の発達を阻害することができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、抵抗低減に関し、高い機能性を持たせるために多孔体の構造を一様ではなく特に透過率が主流方向に変化する非均質（ヘテロ）構造とし、その変化のモードでケルビン ヘルムホルツ波の発達を妨げる流動界面を開発することである。ケルビン ヘルムホルツ波の波長は界面摩擦レイノルズ数と境界層厚さ（チャンネルであればチャンネル高さの約 1/2 相当）程度の長さスケールと多孔体性状によって一定の比率を示すことが我々の研究(Suga et al., J. Fluid Mech. 855, 2018)から分かっており、予め対象とするレイノルズ数に応じた波数を設定できる。このように流動機器の界面流動の制御をケルビン ヘルムホルツ波の制御により行うという発想は、従来にはなく独自性と創造性に富んでいる。また、多孔体流れの学理では、等方、非等方にかかわらず、従来は一樣な構造のものを対象にその構造パラメーターである空隙率、透過率、屈曲度などの流動や物質輸送への影響が議論されてきた。これは、Delft 工大グループの直接解析(Breugem et. al., J. Fluid Mech. 562, 2006)など大多数の研究が基礎としている多孔体理論が体積平均理論に基づき、どの体積要素も均質とする一樣構造を念頭にしているからである。これらの延長線上では、たとえ直接解析だとしても、本研究で対象にしようとしているヘテロ多孔体は扱うことが不可能である。しかし、本研究では、多孔体理論にとらわれず、微細な多孔体構造を解像できるミクروسコピックな解析手法からなる数値解析により、ケルビン ヘルムホルツ波の抑制効果を予測することを目指す。そのために、我々がこれまでに開発・熟成してきた高 Re 数流れに対応する独自の格子ボルツマン法(Suga et al., A D3Q27 multiple-relaxation-time lattice Boltzmann method for turbulent flows, Comp. Math. Appl. 69, 2015; Kuwata & Suga, Imbalance-correction grid-refinement method for lattice Boltzmann flow simulations, J. Comput. Phys., 311, 2016)を活用する。さらに、数値計算で示唆されるヘテロ構造を実際に制作し、PIV計測を行うことで実現性の確認と乱れ構造の解明を行う。このように理論的、数値的、実験的アプローチから新たな高機能性界面を創出する試みは世界に例を見ない。

3. 研究の方法

本研究では、まず、我々が独自に開発してきた格子ボルツマン法を搭載し、GPUマシン用に超並列化した独自の計算コード POLAS-3D GT3 を用い、ヘテロ構造多孔体界面流れを超高解像度で直接解析する。（このコードは炭素紙の内部を含んだ界面流れのような複雑な流動も高解像度で高速解析できる実績をすでに示している。）ヘテロ構造は多孔体の透過率を非等方かつ、主流方向に不連続な流動抵抗を実現することで消波工効果を持たせる。そして、計算結果のスペクトル解析などを経てケルビン ヘルムホルツ波の消波工効果の最適条件を見出すと同時にケルビン ヘルムホルツ波の生成メカニズムの解明とその周辺理論の確立を行う。

また、数値解析と並行して、ヘテロ構造多孔体を 3D プリンターなどを駆使して制作し、その界面流れを PIV 計測し、実現性を実証する。これまでの研究で多孔体チャンネル流動装置はすでに設置されているので、テストセクションの改修・改変などで容易に対応できる。なお、実験では、数値解析が困難なより高い Re 数の条件を含めて検討する。以上のように、本研究では、2019～2021 年の間にケルビン ヘルムホルツ波を消波する高機能性ヘテロ多孔体界面の創生とその実証を行う。

4. 研究成果

2019 年度

多孔体界面上ではケルビン ヘルムホルツ不安定波が発生し発達するが、これが多孔体界面での乱流摩擦抵抗を極端に増大させる原因となるので、このケルビン ヘルムホルツ波の成長を抑制し、抵抗低減機能を持たせることを狙って、本研究ではまず多孔体表面の構造を簡易的に不均質にする研究を進めた。2019 年度は格子ボルツマン数値解析コードを用い、多孔体構造を詳細に解像した直接数値計算により、表面のヘテロ性と消波効果に関する流動機構の力学的解明を進めた。同時に同様な構造の多孔体を制作し、その多孔体界面流動の詳細な PIV 流動計測実験から数値解析で得られた効果を実証することを進めた。検討した多孔体界面構造は、1) 部分的に非透過にした構造、2) 主流方向に透過率が変化する構造、の 2 種類について数値解析と実験を行った。なお、いずれの構造もケルビン ヘルムホルツ波の波長を考慮して波と干渉するように決定した。

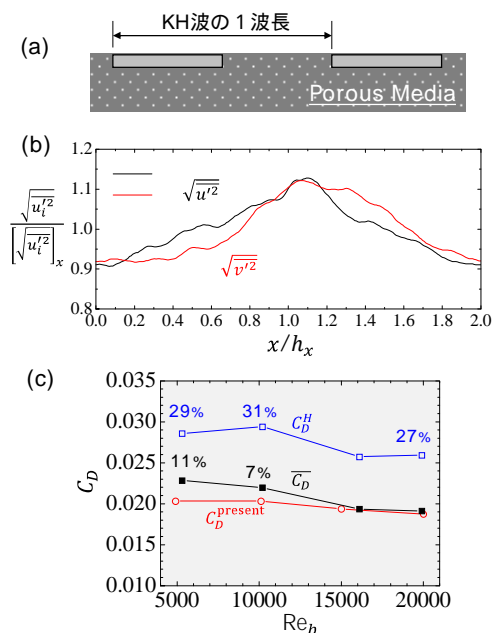


図 2 部分的非透過多孔体界面構造の流動抵抗低減効果（抵抗係数 C_D で表示）。

以上の研究から得られた知見は、1) 図2(a)のように部分的に非透過にすると非透過部分でケルビン ヘルムホルツ波は干渉し減衰するが、透過部で再発達を繰り返す。ケルビン ヘルムホルツ波の再発達の遅れは図2(b)に示されるようにケルビン ヘルムホルツ波の寄与が大きいと思われる壁面垂直方向の乱れ強さ $\sqrt{v'^2}$ は主流方向乱れ $\sqrt{u'^2}$ に対して位相が遅れていることから理解できる。その結果、面積比で換算すると図2(c)に示されるように全面透過性の構造より流動抵抗は最大で11%程度減少することが実験と計算の両方から確認できた。これは、スペクトル解析や2点相関からも裏付けられている。つぎに2)主流方向に透過率を変化させると、数値計算では1)の場合と同様の効果が表れたが、実験では表面構造のみ透過率が変化するように作成したため、数値計算の傾向は明確に確認することができなかった。このことから、多孔質内部へのペネトレーションの効果は速度場平均量では浅いが、圧力場では深いことを考慮して多孔体の構造設計をしなければならないことを意味している。

2020 年度

多孔体の性状と表面構造の組み合わせを20通り変化させた多孔体界面を作製し、粒子画像流速計(PIV)によってレイノルズ数を変化させて流れ場を計測した結果、乱れの抵抗が増加するも、多孔体の透過性の影響で図3に示すように w/k の変化による表面構造に依存しない領域の存在を発見・確認することができた。この表面構造に乱れ場が依存しにくい原因は、ケルビン ヘルムホルツ波の発達によると推定されたが、それを確認するため、格子ボルツマン法を用いて、我々が独自に開発してきた、GPUマシン用に超並列化した計算コードPOLAS-3D GT3を用い、表面構造を実験同様に变化させた多孔体界面流れを高解像度で直接解析した。実験と数値解析結果の蓄積された膨大なデータの詳細解析は次年度にまとめた。さらに、以上の研究の過程で、ケルビン ヘルムホルツ波の発生を抑制することができるとと思われる、図4のような層状多孔体構造を発案し、予備実験においてその効果を確認し特許出願した。

2021 年度

これまでに行った計測や数値解析について、研究成果の情報発信を行った(学術誌掲載論文3編, 査読中1編)。また、昨年までに議論してきた主流方向透過率が優位な積層多孔体の界面において、流動抵抗の増減が起こる乱流メカニズムを実験計測から詳らかにすることに主眼を置いて研究に取り組んだ。具体的には微細な構造をパラメータに置き換える仮説を基にした理論的研究(Rosti et al., *J. Fluid Mech.* 842, 2018;等)で予想されたように、レイノルズ数の増加によって、通常多孔体界面に見られるように流動抵抗は増加する傾向になるが、今回の流動場計測では、理論では流動抵抗が低減すると予測されたレイノルズ数5000以下でも流動抵抗は滑面と同等程度までしか下がらないような傾向となった(つまり、似たような条件でも抵抗が下がると判定される場合とそうでない場合があった)ので、その理由を探索した。流動方向(x) - 壁面垂直方向(y)断面の計測に加えて、スパン方向(z)を含むx - z断面の計測を行い、y - z断面内の平均流れ場(2次流れ)の解析を行った。その結果とx - y断面の乱流応力の4象限解析(図5)を組み合わせることで議論した結果、本実験の流路は矩形ダクトであることから、乱流駆動の2次流れの誘起は不可避(そのためダ

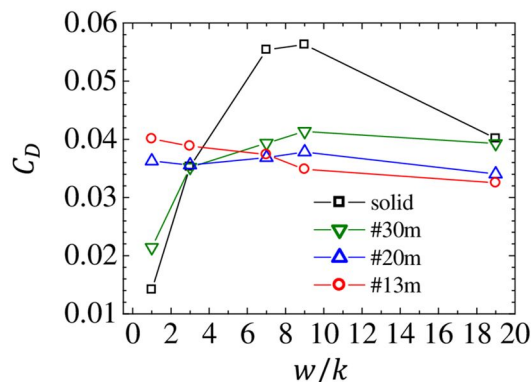


図3 矩形リブ付き表面の抵抗係数と w/k (リブ間隔 w , リブ高さ k)の関係: solid は非透過, #30m→#13m と透過性が高い。

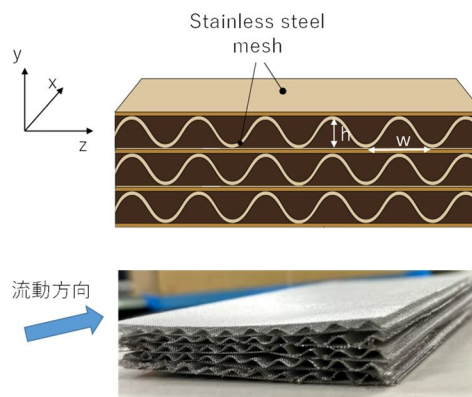


図4 開発した層状多孔体構造。

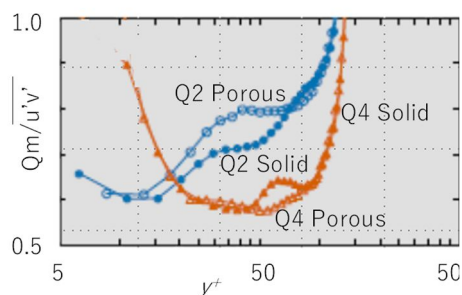


図5 スイープQ4とイジェクションQ2: 多孔体界面でQ2が滑面より卓越しているが、Q4には大きな差はない。

クト中央部で多孔体内から湧き出る流れが起きており)であり,壁面から湧きおこるイジェクション現象がダクト中央で常に優位で,これが流動抵抗に寄与する分だけ,抵抗増となることが指摘された.したがって,2次流れが起こらない境界層流れができる環境であれば,今回計測した積層多孔体界面の流動抵抗は,低減すると考えられる.したがって,フォローアップ研究として,矩形ダクトから2次元性の確保された流動場において,同様の計測をする必要がある.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Okazaki Yuki, Shimizu Ayumi, Kuwata Yusuke, Suga Kazuhiko	4. 巻 82
2. 論文標題 Turbulence characteristics over k-type rib roughened porous walls	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow	6. 最初と最後の頁 108541 ~ 108541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108541	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 Kuwata Y., Tsuda K., Suga K.	4. 巻 904
2. 論文標題 Direct numerical simulation of turbulent conjugate heat transfer in a porous-walled duct flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A9-1 ~ A9-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.669	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 OKAZAKI Yuki, TAKASE Yumeto, KUWATA Yusuke, SUGA Kazuhiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Describing characteristic parameters of turbulence over two-dimensional porous roughness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Science and Technology	6. 最初と最後の頁 JTST0027 ~ 0027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jtst.2021jtst0027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Okazaki, Y. Takase, Y. Kuwata, K. Suga	4. 巻 9
2. 論文標題 Mean Velocity Profiles over Streamwise-Aligned Permeable Ridges	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Turbulence	6. 最初と最後の頁 51 ~ 56
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 Okazaki Yuki, Takase Yumeto, Kuwata Yusuke, Suga Kazuhiko	4. 巻 63
2. 論文標題 Turbulent channel flows over porous rib-roughed walls	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	6. 最初と最後の頁 66-1 ~ 66-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00348-022-03415-8	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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 岡崎友紀, 清水歩実, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 多孔体界面乱流の摩擦抵抗低減を実現する表面構造の探索
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム, 徳島
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山悠大, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 ヘテロ構造多孔体界面乱流のDNS
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 ヘテロ多孔体界面におけるケルビン・ヘルムホルツ波の発達
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム, 金沢
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Okazaki, Y. Takase, Y. Kuwata, K. Suga
2. 発表標題 Mean Velocity Profiles over Streamwise-Aligned Permeable Ridges
3. 学会等名 iT _i (interdisciplinary Turbulence initiative) 2021 - conference on Turbulence IX, Bertinoro, Italy, online, Feb. 25-26, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西山悠大, 西野和希, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 壁面透過性が2次元粗面乱流に与える影響についてのDNS研究
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡崎 友紀, 桑田 祐丞, 須賀 一彦
2. 発表標題 ヘテロ多孔体界面におけるケルビン・ヘルムホルツ波の発達
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西山 悠大, 西野 和希, 桑田 祐丞, 須賀 一彦
2. 発表標題 透過性を有する2次元粗面乱流DNS
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高瀬夢人, 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 P I V計測データに基づく透過性粗面乱流のスケーリング
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡崎友紀, 高瀬夢人, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 透過性を有する粗面境界層の乱流輸送
3. 学会等名 日本機械学会 第98期 流体工学部門 講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西野 和希, 西山 悠大, 桑田 祐丞, 須賀 一彦
2. 発表標題 格子ボルツマン法による透過性粗面乱流の直接数値解析
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森本真尋, 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 主流方向透過率優位な多孔体による乱流抵抗低減の可能性に関する実験的検証
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎友紀, 旗福亘, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 多孔体界面乱流における対数速度パラメータのスケーリング
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 多孔質壁面乱流の構造とスケーリングに関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第96期定時総会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高瀬夢人, 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 透過性粗面の乱流特性と平均速度のスケーリングに関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Morimoto, Y. Okazaki, Y. Kuwata, K. Suga
2. 発表標題 PIV measurement of turbulence over a streamwise preferential porous medium
3. 学会等名 14th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Chicago, USA, August 1-4, 2021 (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Okazaki, Y. Takase, Y. Kuwata, K. Suga
2. 発表標題 Turbulent Characteristics over Permeable Rough Walls
3. 学会等名 2nd Asian Conference on Thermal Sciences, Fukuoka, Japan, Oct.3-7, 2021 (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Morimoto, Y. Okazaki, Y. Kuwata, K. Suga
2. 発表標題 Measurement of turbulence over streamwise preferential medium
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting, 2022, Chicago, USA (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡崎友紀, 高瀬夢人, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 透過性粗面乱流の平均速度スケーリングについての考察
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本真尋, 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 主流方向透過率優位な多孔体界面における乱流のPIV計測
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本真尋, 岡崎友紀, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 主流方向優位な多孔体による乱流抵抗低減の可能性に関する実験的検証
3. 学会等名 日本流体力学会年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡崎友紀, 高瀬夢人, 桑田祐丞, 須賀一彦
2. 発表標題 構造粗さを有する多孔体界面乱流の平均速度スケーリング
3. 学会等名 日本機械学会99期熱工学部門熱工学カンファレンス2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 積層多孔体	発明者 須賀一彦, 森本真尋, 岡崎友紀, 桑田祐丞	権利者 大阪府立大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-032788	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	桑田 祐丞 (Kuwata Yusuke) (40772851)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	
研究分担者	金田 昌之 (Kaneda Masayuki) (50346855)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	

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