

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02069

研究課題名（和文）ナノギャップ壁面せん断応力直接測定装置によるリブレット面の普遍的壁法則への挑戦

研究課題名（英文）Law of the wall over riblet surface with the local wall shear stress measured by drag balance device

研究代表者

望月 信介（Mochizuki, Shinsuke）

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：70190957

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：リブレットによる壁面摩擦抵抗低減を確認する定量的データ取得および壁法則の検証を行うための実験的研究を行った。リブレットの実用的高レイノルズ数における実験データ取得のため、微小ギャップ寸法を持ち、抵抗低減率確認に十分な精度を持つ壁面せん断応力直接測定装置を開発した。滑面およびリブレット面上に発達した乱流境界層において、局所摩擦抵抗係数と平均速度および乱れ強さ分布を計測した。リブレット面により摩擦抵抗低減が生じること、抵抗低減率を摩擦抵抗の直接測定により初めて確認できた。リブレット面上における対数速度分布成立が確認し、切片変化を速度分布と横流れの仮想原点とのズレにより理解できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

航空機における摩擦抵抗低減が実現できれば、石油燃料消費および炭酸ガス放出量の低減に大きく貢献する。リブレットはその最有力候補であるが、事業化するには設置方法の検討、実際の航空機における圧力勾配などの影響への対応と改良が必須となる。従来の研究において摩擦抵抗の低減は直接的ではなく、平均速度分布を利用するなどの非直接的な計測法により確認されている。非直接的な計測法は何らかの制約条件が付帯しており、圧力勾配や発達距離の影響などに対応できない。抵抗低減を確認できる精度で壁面摩擦抵抗の直接抵抗が可能となれば、前提条件を必要とせず、改良されたリブレットの性能評価が容易となり、研究開発が可能となる。

研究成果の概要（英文）：Experimental study was conducted to obtain quantitative data to confirm the reduction of the wall shear stress by riblets and to verify the wall law. In order to obtain experimental data at practical high Reynolds numbers for riblets, a direct measurement device for wall shear stress with nano gap dimensions and sufficient accuracy to confirm the drag reduction rate was developed. In the turbulent boundary layer developed on smooth and riblet surfaces, the local wall shear stress, mean velocity, and turbulence intensity distribution were measured. It was confirmed that the wall shear stress is reduced by the riblet surface, and the reduction rate was confirmed by direct measurement. It was confirmed that the logarithmic velocity distribution is established on the riblet surface, and it was shown that the intercept change can be understood by the deviation between the velocity distribution and the virtual origin of the cross flow.

研究分野：流体工学

キーワード：壁面せん断応力 抵抗低減 直接測定 リブレット 境界層 炭酸ガス排出低減

1. 研究開始当初の背景

近年、環境問題対策として航空機や自動車の燃費向上やCO₂排出量削減が極めて重要視されている。物体の抗力は圧力抵抗と摩擦抵抗から構成されており、用途や性能維持のため大きく形状変更が不可能な場合は圧力抵抗の低減が困難で、摩擦抵抗を低減させることが必須となる。航空機翼面上や自動車のボディには流体の持つ粘性により摩擦抵抗が生じ、境界層が形成される。

境界層内では壁面せん断応力と速度分布との間に壁法則と呼ばれる普遍的法則の成立が知られており、乱流境界層の理解や流れの予測、制御などに用いられる。壁面せん断応力は抗力の要因となる圧力に比べオーダーが非常に小さいため、直接測定することが困難であり、滑面においては壁近傍における速度分布の相似性成立を前提としたクラウザー線図法、プレストン管法やサプレイヤプレート法などが用いられてきた。近年では不確かさ0.2%と高精度なオイルフィルム法も提案され、対数法則に含まれる係数の検証に応用されている。これらの実験的計測方法はリブレット面や粗面などの非滑面では用いることができない。

摩擦抵抗低減のため、リブレットによる抵抗低減手法が研究されてきた。滑面から数%抵抗低減するリブレット面の壁面せん断応力の測定は、間接測定法を用いることができない。山口大学の壁面せん断応力直接測定装置は浮動片要素を有しており、精度向上によりリブレット面の壁面せん断応力を直接計測することができ、圧力勾配下における検証にも応用可能となる。普遍法則の提案には平均速度分布の仮想原点を定める必要があるが、そのため壁近傍の平均速度分布のデータが必要とされ、熱線プローブなどを用いた計測が必要とされる。

2. 研究の目的

航空機などリブレットの使用条件と同程度のレイノルズ数における乱流境界層にて、壁面せん断応力を直接計測することで壁法則の考察を行う。また、リブレットの壁面せん断応力を直接計測することで、リブレットの摩擦抵抗低減率を確認する。また、熱線流速計を用いた壁近傍における速度計測を行い、平均速度分布、乱れ強さ分布及び仮想原点からリブレットの抵抗低減メカニズムについて考察を行い、滑面からリブレット面における統一的な壁法則の検討を行う。

3. 研究の方法（風洞および計測機器）

宇宙航空研究開発機構調布航空センターのゲッチングン型低乱流風洞を用いた。この風洞は軸流ファンを用いて駆動され、測定部寸法は長さ1300mm、幅550mm、高さ650mmである。測定部は零圧力勾配に設定されており、運動量積分方程式の圧力勾配項が壁面せん断応力項の 5×10^{-3} 倍と十分小さいことを確認した。乱流境界層が十分に発達した $x = 800$ mmにおいて壁面せん断応力測定、乱流量測定を行った。速度測定には定温度型熱線流速計のI型熱線プローブを使用した。I型熱線プローブは0.13mmのステンレス製サポート部を持ち、直径 $d = 3.1 \mu\text{m}$ のタングステン線にメッキ処理を施し、サポート部に溶接している。定温度型熱線流速計は(株)日本カノマックス Model 1010を用いた。

図1は開発した壁面せん断応力直接測定装置を示す。ギャップ寸法 $G (=0.11\text{mm})$ 、ミスアライメント寸法 $h (=0\mu\text{m})$ とはそれぞれ要素周囲板と浮動片要素との隙間と高さ方向のズレのことである。 z 軸ステージ、ゴニオステージは G 、 h を調整するのに用いる。フォースセンサはせん断方向の力を計測することができ、浮動片要素(95mm×95mm)にかかる壁面せん断応力 τ_w を直接測定する。せん断力に対する線形性、温度変化の影響、せん断力方向以外の力によって生ずる付加的なせん断力、図2の3Dスキャンで計測した h 及び G の影響の調査により、本装置の不確かさは4.5%であった。

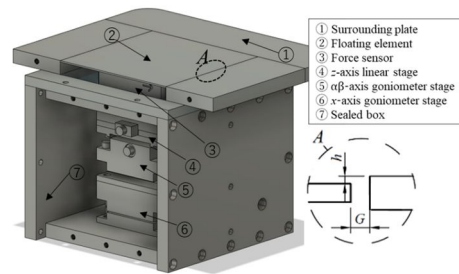


図1 開発した直接測定装置

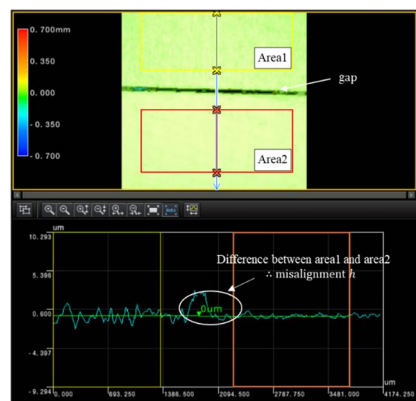


図2 3Dスキャン画像

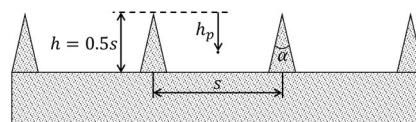


図3 リブレット形状

図3に本研究で用いたリブレットの概略を示す。航空機用の台形溝を有するリブレットで、リブレット間隔 $s = 100 \mu\text{m}$ 、高さ $h = 0.5s = 50 \mu\text{m}$ 、先端角 $\alpha = 30^\circ$ である。 $x_0 = 800 \text{ mm}$ において、 $95 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$ の範囲に施工した。

4. 研究成果

4-1 温度変化の影響

回流型風洞を使用することで、気流温度が上昇し、歪みゲージの出力に大きな影響を及ぼす。図4は温度変化の影響が変位計出力に及ぼす影響を示す。ステンレス製センサを用いた場合、温度変化の影響により計測された力が大きく変化している。一方、スーパーインバー材と呼ばれる超低熱膨張材で製作した変位センサはその影響が極めて小さくなっている。この改善により計測精度が上昇した(図4参照)。

直接測定の問題点として、浮動片要素周囲にあるギャップ寸法 G の影響および高さ調整の不備によるミスアライメント h の影響がある。図5はギャップ寸法の計測値に対する影響を調査した結果である。ギャップ寸法 G が粘性長さの10倍を超えると G とともに影響が増加する。

高さ調整の不備による段差、つまりミスアライメント h の計測値に対する影響を図6に示す。浮動片要素が周囲よりも高い場合は過大な力、浮動片要素が周囲よりも低い場合は過小な力が計測され、その寸法が増大すると影響も増加する。寸法の増加による影響の程度は浮動片要素が周囲よりも高い場合に大きい。浮動片要素の高さ設定に不備がある場合の流れの様子を図7に描いてみた。浮動片要素が周囲よりも高い場合、流れの上流端への衝突と下流端からの剥離により計測値は増加する。浮動片要素が周囲よりも低い場合、上流端近傍に剥離、下流端に流れの衝突が予想され、計測値は低下することが理解される。

4-2 局所摩擦抵抗係数

図8に壁面せん断応力直接測定装置を用いて計測した壁面せん断応力 τ_w より算出した局所摩擦抵抗係数 C_f を示す。参考として、従来の半経験式を実線、破線、一点鎖線で示している。エラーバーは壁面せん断応力測定を15回行った際のばらつきを示している。滑面においては $R_\theta > 5500$ で一点鎖式に、 $R_\theta < 5500$ で破線に漸近している。リブレット面においては、 $-4.3\% \sim -7.2\%$ の抵抗低下が確認できる。

リブレットの抵抗低減率はリブレット間隔 s を用いて表現される。図9に横軸に無次元間隔 s^+ を用いた、縦軸は抵抗低減率 $\Delta\tau_w [\%]$ を示す。

$$\tau_w = \frac{\tau_{w, riblet} - \tau_{w, smooth}}{\tau_{w, smooth}} \times 100 \quad (1)$$

抵抗低減率は $s^+ = 16$ において最大値 -7.2% となっている。

4-3 平均速度分布

図10に熱線流速計を用いて計測した平均速度分布を示す。図中実線は粘性底層 $U^+ = y^+$ と式(2)で示される対数法則である。

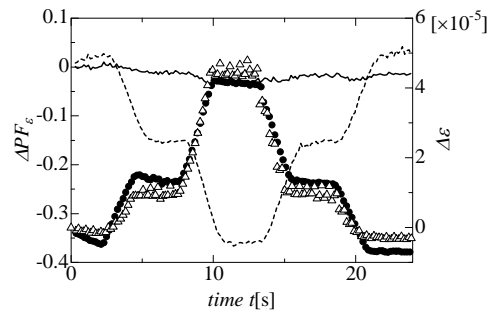


図4 温度変化の影響

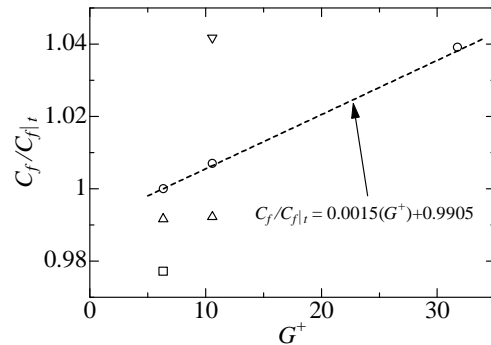


図5 ギャップ寸法 G の影響

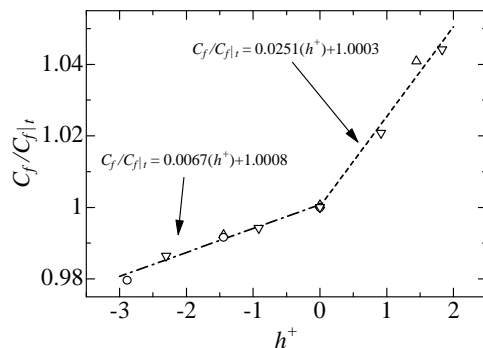


図6 ミスアライメント寸法 h の影響

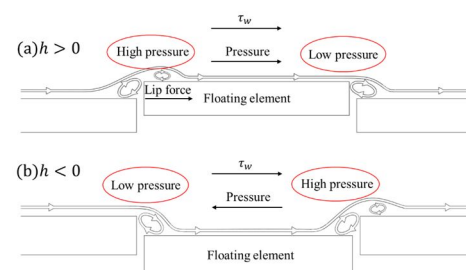


図7 要素近傍の流れの予想図

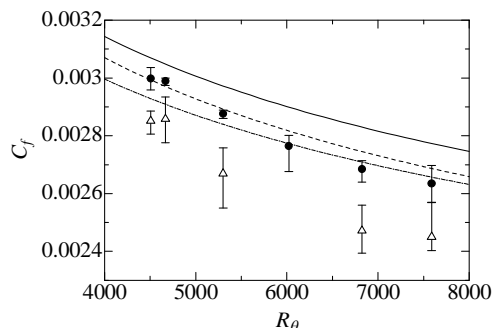


図8 局所壁面摩擦抵抗係数

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(y^+) + C \quad (2)$$

カルマン定数 κ は長年 $\kappa = 0.41$ を用いられてきた。しかし熱線流速計の小型化，オイルフィルム法など高精度な壁面せん断応力の計測により，十分に発達した($R_\theta > 10000$)零圧力勾配領域の滑面乱流境界層では $\kappa = 0.384$ ， $C = 4.1$ であると報告されており，図中実線は $\kappa = 0.384$ を用いた。

4-4 仮想原点

図 11 はリブレット面上における対数速度分布である。粘性底層厚さは線形速度分布 $U^+ = y^+$ と対数法則との交点として定義される。考察の対象とした滑面流では $U_0 = 40$ m/sでは $\kappa = 0.387$ ， $C = 3.79$ であるので，粘性底層は $y^+ < 9.65$ となる。リブレット内に流れが生じることを想定すればリブレット頂点を $y = 0$ とした平均速度分布は壁近傍における速度増加は納得できる。 $y^+ < 9.65$ の領域において，滑面とリブレット面が一致するように最小二乗法を適用し，仮想原点はリブレットの頂点から0.02 mm下方の点，すなわち $h_{pl} = 0.02$ mmにあると決定された。

図 11 より，リブレット面の対数法則部において切片の上昇が確認できる。カルマン定数と切片を求めると， $\kappa = 0.387$ ， $C = 4.27$ ，滑面のカルマン定数は $\kappa = 0.387$ ， $C = 3.79$ であるため，切片の増加は $\Delta C = 0.48$ である。切片の増加により，粘性底層の厚さが増えたと考えることができ，粘性底層の増加量は粘性長さの0.38倍となる。

図 12 に熱線流速計で計測した流れ方向成分乱れ強さ分布を示す。極壁近傍を除いた，リブレット面上と滑面上で相似な関係は，リブレット面上においても乱流統計量に対する壁法則が成立する可能性を示唆している。リブレットと滑面における有意な差は乱れ強さのピーク位置の変化と $y^+ < 20$ の極壁近傍での乱れの低下である。乱れ強さのピーク位置の変化は，仮想原点を速度分布から定義しているため，横流れを生じさせる縦渦位置の変化と考えることにする。ピーク位置の変化は $y^+ \approx 3.2$ であり，レイノルズせん断応力の発生原因である縦渦が滑面よりも壁遠方にあることにより，粘性底層厚さが増加すると解釈される。速度分布の原点と横流れの原点との差 $\Delta h_p = (\Delta h_{pl} - \Delta h_{pc})/s = 0.35$ であり，リブレット溝内に流体が入り込めず，縦渦が若干壁面から上方に持ち上がっていることを意味する。

4-5 まとめ

リブレットの摩擦抵抗低減率およびメカニズムについて調査するため，ギャップの影響が最小となる壁面せん断応力計測装置を開発した。その装置および熱線流速計を用いた速度および乱流量計測に基づき，低減率の確認とメカニズムの解明を行うことができた。開発された装置は圧力勾配下などの実用的環境にも応用可能であり，リブレットおよび粗面流における流れの解明の飛躍的進歩が期待される。

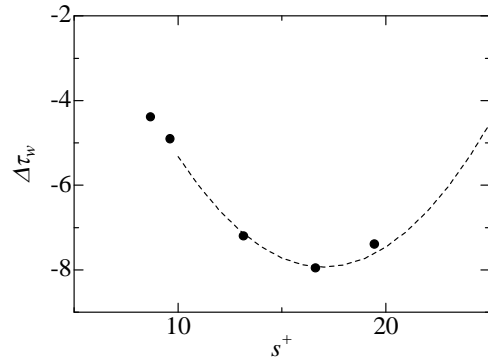


図 9 リブレットによる摩擦抵抗低減率

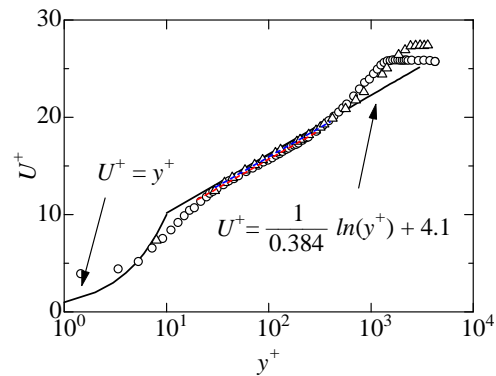


図 10 対数速度分布 (滑面)

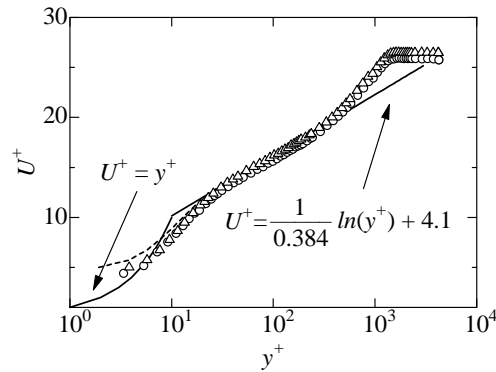


図 11 対数速度分布 (リブレット)

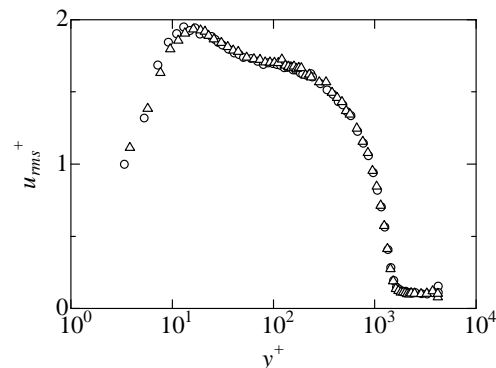


図 12 乱れ強さ分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 MOCHIZUKI Shinsuke, KAMEDA Takatsugu, SUZUKI Hiroki	4. 巻 88
2. 論文標題 Effect of LEBU on the wall shear stress in a two-dimensional turbulent channel flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.22-00059	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 Kashiwagi Takanari, Suzuki Hiroki, Mochizuki Shinsuke	4. 巻 2369
2. 論文標題 Uncertainty evaluation due to the difference in definitions of the acceleration parameter to examine the influence of mean flow acceleration on the experimental turbulent flows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012012~012012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2369/1/012012	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 望月信介	4. 巻 40
2. 論文標題 壁乱流の研究と実験流体力学	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 369-376
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 HIKITA Yudai, SUZUKI Hiroki, KAMEDA Takatsugu, MOCHIZUKI Shinsuke	4. 巻 87
2. 論文標題 An experimental study on the equilibrium boundary layer subjected to favourable pressure gradient (Effect of pressure gradient on law of the wall)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 394-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00394	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 Honda Ryuma, Suzuki Hiroki, Mochizuki Shinsuke	4. 巻 2090
2. 論文標題 Impact of difference between explicit and implicit second-order time integration schemes on isotropic/anisotropic steady incompressible turbulence field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012145 ~ 012145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2090/1/012145	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 Iwata Naoyuki, Suzuki Hiroki, Mochizuki Shinsuke	4. 巻 2827
2. 論文標題 Comparative validation of sub-grid scale models with converging zero/non-zero value in the laminar flow using Reynolds number dependence of an unsteady turbulence field	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0162793	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 Iwata Naoyuki, Suzuki Hiroki, Mochizuki Shinsuke	4. 巻 2047
2. 論文標題 Numerical simulation of viscosity/implicit large-eddy steady turbulence with the Reynolds number dependency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012007 ~ 012007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2047/1/012007	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 Hirabayashi Riku, Suzuki Hiroki, Mochizuki Shinsuke	4. 巻 2827
2. 論文標題 LES analysis on the impact of isotropically reduced spatial resolution of viscous terms on an anisotropic homogeneous turbulence field	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0162792	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 NONOMIYA Takuto, SASAMORI Monami, MOCHIZUKI Shinsuke	4. 巻 19
2. 論文標題 Development of a direct measurement device for the local wall shear stress in boundary layer flows	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 0027 ~ 0027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jfst.2024jfst0027	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 -

[学会発表] 計17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 NAKAMURA Shinnosuke, SUZUKI Hiroki, MOCHIZUKI Shinsuke
2. 発表標題 Impact of the kinetic energy conservation on unsteady homogeneous turbulence
3. 学会等名 The 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野々宮巧人, 望月信介, 笹森萌奈美
2. 発表標題 滑面乱流境界層における高精度壁面せん断応力直接測定装置による計測
3. 学会等名 第29回日本流体力学会中四国・九州支部講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野々宮巧人, 蔣飛, 望月信介
2. 発表標題 乱流境界層における局所壁面せん断応力測定装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋佑輔, 望月信介, 蔣飛
2. 発表標題 サーモグラフィを用いた壁面せん断応力の非接触計測の試み
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 IWATA Naoyuki, SUZUKI Hiroki, MOCHIZUKI Shinsuke
2. 発表標題 Comparative validation of sub-grid scale models with converging zero/non-zero value in the laminar flow using Reynolds number dependence of an unsteady turbulence field.
3. 学会等名 AIP conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 望月信介, 亀田孝嗣
2. 発表標題 乱流境界層の外層における間欠構造とエントレインメント
3. 学会等名 日本機械学会 第100期流体工学部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 冨瀬恵哉, 望月信介, 蔣飛
2. 発表標題 縦渦対により制御された壁面噴流の乱流構造に関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡園咲海, 望月信介, 蔣飛
2. 発表標題 縦渦対により制御された乱流境界層における平均速度分布の測定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野々宮巧人, 蔣飛, 望月信介
2. 発表標題 乱流境界層における局所壁面せん断応力測定装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋佑輔, 望月信介, 蔣飛
2. 発表標題 サーモグラフィを用いた壁面せん断応力の非接触計測の試み
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡園咲海, 望月信介, 蔣飛
2. 発表標題 縦渦対により制御された乱流境界層における平均速度分布の測定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 望月信介
2. 発表標題 壁乱流と実験流体力学
3. 学会等名 日本流体力学会年会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinnosuke Nakamura , Hiroki Suzuki , Shinsuke Mochizuki
2. 発表標題 Impact of the kinetic energy conservation on unsteady homogeneous turbulence
3. 学会等名 The 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuto Nonomiya , Shinsuke Mochizuki, Monami Sasamori
2. 発表標題 Development of Direct Wall Shear Stress Measurement Device with Square Measurement Surface in Turbulent Boundary Layers
3. 学会等名 AJK FED2023 (ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinsuke Mochizuki, Hiroki Suzuki, Takatsugu Kameda
2. 発表標題 Local Skin-friction Reduction in a Turbulent Channel Flow with LEBU Manipulation
3. 学会等名 AJK FED2023 (ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 望月信介
2. 発表標題 乱流境界層の風洞試験に必要なモノ、知識、人材
3. 学会等名 第61回飛行機シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 望月信介
2. 発表標題 基礎研究における乱流計測の開発と産学連携への応用
3. 学会等名 第 27 回九州・中国地区ミキシング技術サロン（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 一般社団法人 日本機械学会編	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版株式会社	5. 総ページ数 326
3. 書名 技術資料 流体計測法（第5章 壁面せん断応力）	

〔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	鈴木 博貴 (Suzuki Hiroki) (10626873)	岡山大学・環境生命自然科学学域・准教授 (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	亀田 孝嗣 (Takatsugu Kameda) (70304491)	近畿大学・工学部・教授 (34419)	
研究分担者	伊藤 萌奈美 (笹森萌奈美) (Monami Sasamori) (80836065)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・研究開発員 (82645)	

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