

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00747

研究課題名（和文）量子乱流の普遍性と統計法則の解明

研究課題名（英文）Statistical property in Quantum turbulence and its universality

研究代表者

辻 義之（TSUJI, Yoshiyuki）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：00252255

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000円

研究成果の概要（和文）：超流動乱流場において速度三成分の時系列データの計測を三次元空間で取得できるシステムを構築した。流動場の空間微分から速度勾配テンソルを算出し、その第二普遍量（Q値）から渦構造・渦層を抽出した。超流動乱流中の固体粒子のラグランジュ軌道の曲率を調べ、その確率分布は古典流体と類似する。しかし、二次元と三次元では異なる分布形状を示すことを明らかにした。個体粒子と量子渦の干渉は、軌道曲率によって識別できる。量子渦の渦間距離が、粒子軌道の時間分散とハースト指数に関連することを見い出した。超流動場の新しい可視化粒子として、ヘリウムエキシマの生成を液中放電により実施し、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子乱流における流動の特性を古典乱流場で用いられた統計的手法により解析することで、広く乱流の特性を理解できる道筋を示せた。流体乱流の普遍的理解に貢献できるものと考えている。ヘリウムの流動特性を理解することは、ヘリウムを用いた冷却技術の改善にも寄与することが期待される。核融合炉における超電導マグネット、量子コンピュータの基盤冷却など繊細な部位の効率的な熱除去には、量子乱流の特性を理解することが不可欠である。本研究での成果は、それらの技術開発に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The measurement system of three velocity components of fluid flow in space is realized with four high-speed cameras and CW laser. Small-scale turbulent structures and vortex sheet are captured by the Q-criteria based on velocity gradient tensor. Small particle trajectories in super fluid were analyzed and they are characterized by the local curvatures. It was found that the PDF of curvature is similar with that of classical turbulence. However, it differs between two and three dimensional space. The local curvature can also characterize the interaction of particles with quantum vortex. The separation distance between quantum vortexes can be estimated by the variance of particle position along the trajectories and Hurst exponent. As a new visualization system, it was confirmed that the helium excimer can be used as tracer particles in super fluid which is generated by the discharge in liquid.

研究分野：流体工学

キーワード：量子乱流 高レイノルズ数乱流 乱流の普遍性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

量子乱流は絶対温度 2.17K 以下で存在する液体ヘリウムの乱流であり、粘性を持つ常流動ヘリウム He と粘性を持たない超流動ヘリウム He が混在した状態である。He には量子渦が発生して、複雑に絡み合うタングルを形成し、He の粘性抵抗によって移流される。近年の数値計算では、量子乱流場において、水や空気などの流れ(古典乱流)と同一の普遍則が観測されている。主に数値計算の結果から、一様等方場の Kolmogorov の -5/3 乗則と壁乱流の対数速度分布の存在が報告されていた。実験的研究は報告例が少なく、流動場の可視化画像を解析することがなされていた。可視化画像は 2 次元平面内の流動に限られ、3 次元空間内での流動を可視化することはなされていなかった。

### 2. 研究の目的

液体ヘリウムは絶対温度 2.17K において、その粘性が消失する超流動ヘリウム(HeII)へと相転移する。HeII では量子渦が複雑に絡み合うタングルが形成され、発達乱流場の普遍的性質が内在すると考えられる。本研究では、固体水素を微粒子化して量子渦を可視化するとともに、粒子径ごとのラグランジュ軌道を 3 次元空間で計測する。以下に研究の目的をまとめる。

- (1) 量子乱流場を 3 次元的に計測できるシステムを構築する。オイラー座標系での速度勾配テンソルの計測から微細渦構造の抽出をおこなう。水や空気など古典乱流がそなえる統計法則と比較することで、広く複雑乱流の普遍性を理解することを目的とする。
- (2) 固体水素を用いた速度場のラグランジュ計測から、量子乱流場の微粒子の移流についてその普遍性が成立する背景を量子渦の自己組織化を介して明らかにする。これまで間接的に計測されてきた量子渦タングルの渦間距離を見積もる手法を提案する。
- (3) 液中放電による He エキシマの生成をおこない、量子乱流の流動を計測するための可視化粒子としての計測システムの構築をおこなう。

### 3. 研究の方法

3次元空間内での流動可視化が可能となる極低温用のデュアーを製作した。カメラ 4 台を設置することで、変動速度三成分を 3次元空間で算出する。予備実験として、水中に微粒子(直径 10  $\mu\text{m}$ )を播種して画像を撮影し、画像粒子速度計測法(Tomographic PIV)により速度三成分の測定をおこなった。乱流レイノルズ数を  $Re_\lambda = 40$  に設定し、速度勾配テンソルの第二不変量(Q 値)を用いた渦構造とそれを取り巻く渦層の可視化を実施する。4 台のカメラのキャリブレーション方法の確立、測定精度の検証をおこなう。

液体ヘリウム中において 3次元流動場の可視化を実施した。可視化用の微粒子には、重水素とヘリウムとの混合気体を液体ヘリウム中に播種することで、固体化した粒子を用いた。粒子の移動から Tomographic PIV により 3次元流動場の算出をおこない、あわせて、粒子のラグランジュ軌道の検出をおこなった。流動はダクト下部に設置したヒーターで対向流を形成し、上下方向の粒子挙動を可視化した。これらの可視化画像を解析することから、量子乱流場の統計的性質を古典乱流場と比較することで、乱流の普遍性について議論した。

可視化に用いた固体水素は、その直径が数  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  まで分布しており、十分に小さな直径を有していない。より微細な可視化粒子としてヘリウムエキシマを用いる可能性を検証した。ヘリウムエキシマの生成には、液中放電を利用する。

### 4. 研究成果

- (1) 3次元流動場における速度三成分の時系列データの計測を可能にした。カメラと被写体の位置関係のキャリブレーション、およびレンズ撮像系の被写界深度を調整することで、有限空間内での 3次元的な粒子の移動を再構築した。予備実験として、水中にプラスチック粒子(直径数  $\mu\text{m}$ )を播種し、その流動場の空間微分から速度勾配テンソルの計算をおこない、第二普遍量(Q 値)の値により渦構造を抽出した。また、同様に渦層の抽出をおこない、両者の相対位置関係から、計測の正しさを確認した[1]。
- (2) 液体ヘリウム中の点(2.17K)以下では、重水素を可視化粒子として、3次元流動場の可視化を実現した。Q 値を用いた渦構造の抽出、ヘリシテイの空間分布から、量子乱流場で直接観測される渦構造と統計量から算出される量子渦との相関を調査した。量子渦は明確な 3次元構造を呈しており、両者は有意な相関を示す場合がある。

- (3) 超流動乱流中の固体粒子のラグランジュ軌道を算出し、その幾何学的な特性を調べた。平面内の軌道について、その軌道曲率の確率分布は、値の小さなおとこで一定値、大きなおとこにはべき指数-2.0で減衰するおとこがわかっただ[2,3]。しかし、三次元内の軌道曲率については、異なるべき指数を示すおとこを明らかにした。古典乱流中の微粒子軌道については、曲率の確率分布は詳細に調べたられており、本結果は古典乱流の場合に類似する。従って、乱流場に普遍的に存在する性質と考えられる。ダクト下部にヒーターを設置し、加熱するおとこで対流を発生させると、常流動成分は浮力により上昇する。一方で、超流動成分は連続の式を満たすために下方向へ移動する対向流が形成され、その中に量子渦が含まれる。微細粒子は粘性により上昇する粒子と量子渦にトラップされた粒子軌道が下向きに移動する。曲率の大きさに条件付きをおこなうおとこで、常流動成分と超流動成分の動きを識別できるおとこを明らかにした[2,3]。
- (4) 超流動乱流中の粒子軌道の幾何学的性質としてハースト指数を調べた。時間間隔 $\tau$ での粒子の変位ベクトルを $\vec{x}(\tau)$ とすると、その2次モーメントはべき関数: $\langle |\vec{x}(\tau)|^2 \rangle \propto \tau^{2H}$ で近似できるおとこがわかっただ[4,5]。  $H = 1/2$ はブラウン運動であるが、ラグランジュ粒子は  $0 \leq \tau \leq \tau_*$  において  $1/2 < H$  を示し、長時間間隔では  $H = 1$  に漸近して直線的な挙動を示すおとこを明らかにした。ハースト指数は粒子径によって異なり、特徴時間 $\tau_*$ は粒子が渦タングルと相互作用する時間スケールで、ラグランジュ速度をかけるおとこで長さスケール $\ell$ となる。  $\ell$ は第二音波を用いて間接的に計測された値と良い一致を示し、平均渦管距離に相当するおとこを明らかにした[4,5]。つまり、本計測法は、時間スケールが $\tau_*$ よりも短い範囲では、渦タングルの挙動を反映した速度場の計測が可能であると判断される。1つのラグランジュ軌道に沿って、 $H$ は揺らぎを持っており、その揺らぎがタングルの自己組織化を反映している。粒子径で分類されたラグランジュ軌道において、 $H$ の揺らぎを算出するおとこで、引き続きタングルの自己組織化(相似性の揺らぎ)を特徴づけ、相互摩擦との関係を明らかにする。
- (5) デュアー内に矩形ダクトを設置し、ダクト内の平均速度分布を計測するおとこで、非一様な壁乱流場における微粒子の移動と量子渦との関係について考察した。常流動成分の平均速度分布は、壁近くで減少するおとこ、速度変動の標準偏差値も抑えられるおとこを明らかにした。また、壁近くでの微粒子は、その運動が制約されるおとこ、ラグランジュ速度の揺らぎも抑えられるおとこがわかっただ。この傾向はハースト指数、軌道曲率の壁からの変化からも確認でき、ダクト壁に付着した量子渦により、微粒子の運動が制約されたものと考えられる。
- (6) ヘリウムエキシマの生成法として、コロナ放電を利用する方法を試みた。タングステン電極に高電圧(約  $10^3\text{V}$ )を印加するおとこで、液体ヘリウム中での放電を実現可能とした。分光計での計測により、エキシマ由来の発光を確認できた。つまり、点以下の超流動状態において、ヘリウムエキシマが生成されている。放電には直流と交流を用いたが、直流電源のほうがエキシマを効率的に生成できるおとこがわかっただ。エキシマは波長  $905\text{nm}$  のレーザーで励起するおとこで、波長  $640\text{nm}$  の発光を数秒間おこなうため、エキシマからの発光を試みたが発光強度が小さく、CCDカメラでの画像取得にはいたらなかった。より微弱な蛍光を取得できるイメージインテンシファイアを組み合わせた計測を引き続き実施する。

## 引用文献

[1]Kovid BHATT and Yoshiyuki TSUJI, Identification of vortex structures in flow fields using tomographic PIV method, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.16, No.3, Paper No.21-00031, 15pages, (2021).

[2] Naoto Sakaki, Takumi Maruyama, Yoshiyuki Tsuji, Statistics of the Lagrangian Trajectories' Curvature in Thermal Counterflow, Journal of Low Temperature Physics, vol. 208, pp.418-425 (2022).

[3] Naoto Sakaki, Takumi Maruyama, Yoshiyuki Tsuji, Study on the Curvature of Lagrangian Trajectories in Thermal Counterflow, Journal of Low Temperature Physics (2022) vol.208, pp.223-238.

[4] Lizhu Chen, Takumi Maruyama, Yoshiyuki Tsuji, Statistical Properties of Lagrangian Trajectories of Small Particles in Superfluid  $4\text{He}$ , *Journal of Low Temperature Physics*, *Journal of Low Temperature Physics* volume 208, pp.402–409 (2022).

[5] Lizhu Chen, Yoshiyuki Tsuji, Trajectory Analysis of Particle Motions in Superfluid Helium-4 Using PTV Method, *Journal of Flow Control, Measurement & Visualization*, vol.10, pp.76-85 (2022).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sakaki Naoto, Maruyama Takumi, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 208
2. 論文標題 Statistics of the Lagrangian Trajectories' Curvature in Thermal Counterflow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 418 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02674-3	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 Chen Lizhu, Maruyama Takumi, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 208
2. 論文標題 Statistical Properties of Lagrangian Trajectories of Small Particles in Superfluid $^4\text{He}$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 402 ~ 409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02691-2	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 該当する
1. 著者名 Sakaki Naoto, Maruyama Takumi, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 208
2. 論文標題 Statistics of the Lagrangian Trajectories' Curvature in Thermal Counterflow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 418 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02674-3	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 Ono Marie, Furuichi Noriyuki, Wada Yuki, Kurihara Noboru, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Reynolds number dependence of inner peak turbulence intensity in pipe flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 045103 ~ 045103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0084863	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 Wada Yuki, Furuichi Noriyuki, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 91
2. 論文標題 Correction method of measurement volume effects on time-averaged statistics for laser Doppler velocimetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Mechanics - B/Fluids	6. 最初と最後の頁 233 ~ 243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.euromechflu.2021.10.007	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 BHATT Kovid, TSUJI Yoshiyuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Identification of vortex structures in flow fields using tomographic PIV method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jfst.2021jfst0018	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 該当する

1. 著者名 Tong Tong, Bhatt Kovid, Tsuneyoshi Tatsuya, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Effect of large-scale structures on wall shear stress fluctuations in pipe flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.5.104601	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 該当する

1. 著者名 KOSAKO Seiya, TSUNEYOSHI Tatsuya, TSUJI Yoshiyuki	4. 巻 87
2. 論文標題 Influence of the flow field structure formed downstream of the human vocal cord model on the sound generated	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00255	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 Sonnenschein V., Tsuji Y., Kokuryu S., Kubo W., Suzuki S., Tomita H., Kiyonagi Y., Iguchi T., Matsushita T., Wada N., Kitaguchi M., Shimizu H. M., Hirota K., Shinohara T., Hiroi K., Hayashida H., Guo W., Ito D., Saito Y.	4. 巻 91
2. 論文標題 An experimental setup for creating and imaging $4\text{He}^{2+}$ excimer cluster tracers in superfluid helium-4 via neutron- $3\text{He}$ absorption reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 033318 ~ 033318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5130919	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 該当する

1. 著者名 Tokitani M., Hamaji Y., Hiraoka Y., Masuzaki S., Tamura H., Noto H., Tanaka T., Tsuneyoshi T., Tsuji Y., Muroga T., Sagara A., Design Group the FFHR	4. 巻 61
2. 論文標題 Advanced multi-step brazing for fabrication of a divertor heat removal component	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 046016 ~ 046016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/abdfdb	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 ITO Takahiro, FUJII Souichiro, TSUNEYOSHI Tatsuya, TSUJI Yoshiyuki, KATOH Kenji, WAKIMOTO Tatsuro	4. 巻 34
2. 論文標題 Model Description on the Interface Deformation after the Release of the Pinned Contact Line	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW	6. 最初と最後の頁 231 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3811/jjmf.2020.024	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 Kubo Wataru, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 196
2. 論文標題 Statistical Properties of Small Particle Trajectories in a Fully Developed Turbulent State in He-II	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 170 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02192-9	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 Eikoku Y., Ishida K., Iwamoto A., Tsuji Y.	4. 巻 196
2. 論文標題 Periodic Oscillation of Liquid Helium Boiling in a Narrow Rectangular Duct	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 6~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02193-8	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 -

1. 著者名 Mehrez Ali, Philip Jimmy, Yamamoto Yoshinobu, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Pressure and spanwise velocity fluctuations in turbulent channel flows: Logarithmic behavior of moments and coherent structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 1~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.4.044601	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 該当する

1. 著者名 Mehrez Ali, Yamamoto Yoshinobu, Tsuji Yoshiyuki	4. 巻 51
2. 論文標題 Reynolds number dependence of turbulent structures associated with high-amplitude wall pressure peaks in channel flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fluid Dynamics Research	6. 最初と最後の頁 011407~011407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1873-7005/aabfa9	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 該当する

1. 著者名 TONG Tong, TSUNEYOSHI Tatsuya, TSUJI Yoshiyuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Shear stress fluctuation measurements using an electrochemical method in pipe flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jfst.2019jfst0013	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 該当する

[学会発表] 計23件(うち招待講演 1件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kovid Bhatt and Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Identification of Turbulent structure in Flow using Tomographic PIV
3. 学会等名 EUROMECH COLLOQUIUM 620: EXTREME DISSIPATION AND INTERMITTENCY IN TURBULENCE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lizhu Chen, Takumi Maruyama, Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Statistical property of Lagrangian trajectory of small particles in superfluid 4He
3. 学会等名 International conference Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoto Sakaki, and Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 The Statistics of the Lagrangian Trajectories' Curvature in Thermal Counterflow
3. 学会等名 International conference Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lizhu Chen, Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Trajectory Analysis of Particle Motions in Superfluid Helium-4 using PTV Method
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiyuki Tsuji, Chen Lizhu, Naoto Sakaki
2. 発表標題 Observation of quantum vortex in superfluid He4
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Small particles motions in super fluid turbulence
3. 学会等名 4th International Workshop on Cloud Turbulence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang Yu, Akinobu Nasun, Ali Meherz, Tatsuya Tsuneyoshi, Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Pre-multiplied Spectra of Low Reynolds Number Large Motions in Channel Flow
3. 学会等名 The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kovid Bhatt, Tong Tong, Tatsuya Tsuneyoshi, Yoshiyuki Tsuji
2. 発表標題 Identification of Vortex Structures in Flow using Tomographic PIV
3. 学会等名 The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陳 麗竹、丸山 巧 (2.3.M修) 恒吉 達矢, 辻 義之
2. 発表標題 非一様な熱カウンター流に追従する微小粒子の速度分布に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会第98期工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ali MEHREZ, Yoshinobu YAMAMOTO ,Yoshiyuki TSUJI
2. 発表標題 On the propagation of the pressure fluctuations in turbulent channels at high Reynolds numbers
3. 学会等名 日本機械学会第98期工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 脇 慎一郎、丸山巧、鈴木颯、Volker Sonnenchein、富田英生、辻 義之、井口哲夫
2. 発表標題 超流動ヘリウム内での液中放電を用いたヘリウムエキシマ生成に関する研究
3. 学会等名 第18回日本流体力学会中部支部講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井 雄基、恒吉 達矢、辻 義之
2. 発表標題 機械学習による発達乱流場における速度欠損データの予測手法の確立
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第 52 回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野直紀、脇 慎一郎、恒吉 達矢、辻 義之
2. 発表標題 超流動ヘリウム流動場における量子渦の可視化に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第 52 回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小栗 功聖、恒吉 達矢、辻 義之
2. 発表標題 一様等方乱流場に局在する流れの PIV 計測
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第 52 回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 恭、三浦英昭、辻 義之
2. 発表標題 量子流体乱流のスペクトル
3. 学会等名 京大 数理解析研究所 「乱流の普遍性：空間次元依存性」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Maruyama, Shinichiro Waki, Sou Suzuki, Volker Sonnenschein, Hideki Tomita, Yoshiyuki Tsuji, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 Small particle motions in inhomogeneous super fluid turbulence
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 So Suzuki, Volker Sonnenshein, Takumi Maruyama, Shinichiro Waki, Hideki Tomita, Yoshiyuki Tsuji, Tetsuo Iguchi
2. 発表標題 A Laser system for flow field imaging in superfluid helium using He2
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 涉、丸山 巧、辻 義之
2. 発表標題 量子乱流中における微粒子の挙動と量子渦
3. 学会等名 第65回理論応用力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 巧, 脇慎一郎, 恒吉達矢, 辻 義之
2. 発表標題 PTV法に基づく超流動ヘリウムにおける熱対向流の三次元性の解明
3. 学会等名 機械学会第97期流体工学部門講演会
4. 発表年 2019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
研究 分担 者	山本 義暢  (Yamamoto Yoshinobu)  (40377809)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授   (13501)	高レイノルズ数乱流場のデータ解析および可視化技術の開発

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