

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13682

研究課題名(和文)乱流・非乱流界面における非線形波動現象の統一的解明

研究課題名(英文)Turbulent/non-turbulent interface interacting with nonlinear waves

研究代表者

渡邊 智昭(Watanabe, Tomoaki)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：70772292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：乱流と非乱流領域が共存する流れの直接数値計算・実験を行い、二つの領域を分ける境界(乱流・非乱流界面層)の性質を調査した。密度が重力方向に増加する安定密度成層中の乱流の数値計算により、界面層内を伝播する内部重力波の特性を明らかにしたほか、安定密度成層中において壁付近の乱流と類似した大スケール構造や小スケール渦構造が現れることを発見した。衝撃波を伴う乱流の数値計算・実験により乱流により衝撃波の変化が生じる過程や、圧縮性乱流内の物質拡散の数値モデルの開発を行った。さらに、レーザーダイオードの高速パルス発光を用いた高速気流用の粒子画像流速計を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工業機器や環境中で見られる多くの流れにおいて、乱流は空間的に局在しており、外部の非乱流領域と乱流は乱流・非乱流界面層により隔てられている。熱や物質の活発な混合を伴う乱流領域は界面層を介した非乱流流体の取り込みによって成長する。流体中では浮力を復元力とする内部重力波や圧力波が伝播し、乱流の特性に影響を与える。本研究では、こうした波の伝播を伴う乱流における乱流・非乱流界面層の特性を調査することで、界面層の特性から乱流による拡散現象などを明らかにした。また、物質の活発な混合を伴う界面層における分子拡散の数値計算モデルを提案し、乱流による物質拡散の低計算コストな低い数値計算手法に適用した。

研究成果の概要(英文)：Direct numerical simulations (DNS) and experiments of turbulent flows were conducted for investigating turbulent/non-turbulent interfacial (TNTI) layers. A stably stratified fluid can support propagation of internal gravity waves. The wave characteristics within the TNTI layer were revealed with DNS of stably stratified shear layers. In the DNS, long elongated flow structures and hairpin vortices were identified in the stably-stratified shear layers. Interaction between turbulence and shock wave was also studied with DNS and experiments, which confirmed that inhomogeneity of turbulence is one of the important factors of the interaction. Turbulent mixing near the TNTI layer was studied with DNS of turbulent jets and boundary layers, and a model for scalar dissipation rate is proposed for low-cost simulations of turbulent reacting flows. Two-color particle image velocimetry system was developed with pulse-operated laser diodes and a new algorithm for color contamination correction.

研究分野：流体工学

キーワード：乱流 乱流・非乱流界面 安定密度成層 圧縮性流れ 衝撃波

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

工業機器や環境中の多くの流れにおいて乱流は非乱流流体とともに現れ、二つの領域は乱流・非乱流界面層と呼ばれる層領域により隔てられている。乱流は層領域を介して非乱流流体を取り込むとともに空間的に発展する。近年行われた乱流の大規模直接数値計算や粒子画像流速計やレーザー誘起蛍光法による物質濃度場や速度場の多次元計測により、界面層の特性が明らかにされてきた。こうした2010年代前半までの研究成果がAnnual Review of Fluid Mechanicsにまとめられている。界面層を介して乱流から非乱流領域へ渦度が拡散することで乱流領域が空間的に広がることが示され、乱流の空間発達における界面層の役割に注目が集まっていた。こうした研究では、界面層近傍の乱流構造と界面層の特性の関連や界面層での物質・熱、エネルギー拡散を支配する機構なども明らかにされている。流体中では浮力を復元力とする内部重力波や圧力波が伝播する。こうした波は乱流と干渉することにより、波・乱流の特性が大きく変化する。こうした乱流と波の干渉は乱流・非乱流界面層の性質に大きな影響を及ぼすことが予想される。界面層領域の特性の解明やそこで生じる様々な波の伝播機構の解明は、実在の流れの界面における流体現象のモデル化や予測において重要な役割を果たすことが期待される。

2. 研究の目的

乱流・非乱流界面における乱流特性や界面層を伝播する内部重力波と圧力波の特性を実験と数値計算により解明する。また、界面層領域における乱流現象のモデル化による数値計算精度向上を目指す。

3. 研究の方法

安定密度成層中の乱流および圧縮性乱流の直接数値計算・実験を行う。流れ場から乱流と非乱流領域を識別し、その境界領域の特性を明らかにする。乱流と衝撃波の干渉や内部重力波の伝播による乱流特性の変化などを、界面層に囲まれた乱流領域の空間分布と関連付けて調査する。

4. 研究成果

(1) 安定密度成層中の乱流混合層における内部重力波・乱流干渉

安定密度成層下で発達する乱流混合層の直接数値計算を行った。この流れでは乱流の発達とともに乱流外部に内部重力波が誘起される。図1に計算結果をポテンシャル渦、エンストロフィにより可視化した結果を示す。内部重力波による渦度の生成のため、渦度の二乗により定義されるエンストロフィでは乱流と外部領域を分ける界面を明確に定義することができない。一方、浮力の影響を直接受けないポテンシャル渦 Π を用いることにより、乱流領域を検出することが可能である。本研究ではポテンシャル渦の等値面により界面を検出しその近傍の流れを統計的に調査した。界面層近傍では強い安定密度成層が形成され、鉛直方向の乱流運動が抑制されることが分かった。内部重力波はエネルギーを輸送することが知られている。界面層を通過する運動エネルギー流束から、内部重力波による外部へのエネルギー輸送量が乱流内全体で生じる散逸と同程度であることを明らかにした。また、速度・密度変動の二点相関の解析から界面層内の乱流は

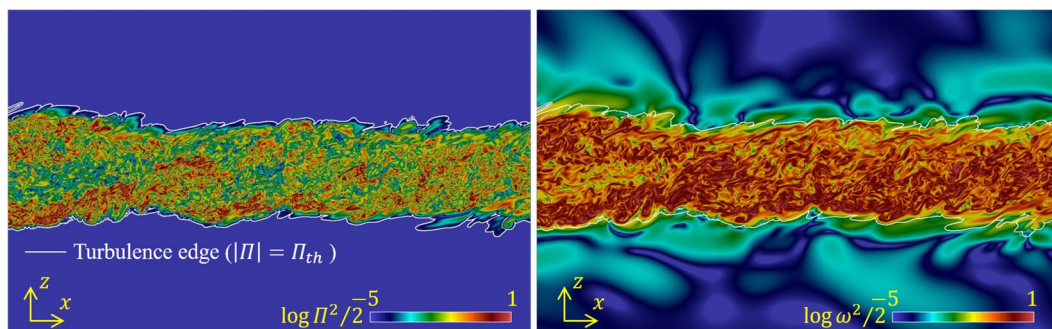


図1 安定密度成層中の混合層 (a) ポテンシャル渦 $\Pi^2/2$ 、(b)エンストロフィ $\omega^2/2$ 。



図2 安定密度成層中の渦構造。

内部重力波の影響を強く受けることがわかった。

せん断層内で密度が大きく変化する流れ場の直接数値計算を行った。この流れでは乱流外部で密度が一樣なため外部で内部重力波が伝播しない。十分に発達したせん断乱流において、乱流・非乱流界面層近傍の渦構造を調査した。界面層近傍にはヘアピン形状の小スケール渦構造（図2）が存在し、乱流による密度や運動量輸送において重要な役割を果たすことを示した。また、界面層から離れた位置の速度変動分布の可視化から流れ方向に長い乱流構造の存在が明らかとなった。こうした構造は壁乱流に現れる乱流構造と類似しており、異なる二つの流れの関連が今後明らかにされることが期待される。

(2) 圧縮性乱流境界層における乱流混合過程とモデル化

超音速で移動する壁面上の乱流境界層での物質拡散に対する直接数値計算を行い、乱流・非乱流界面層近傍での乱流混合について調査した。また、比較のため、非圧縮性乱流境界層・噴流の直接数値計算を行った。ここでは、ラージエディシミュレーション（LES）により直接数値計算の初期条件を与える手法を用いることで、高レイノルズ数乱流の数値計算負荷を低減した。圧縮性乱流境界層内の乱流マッハ数分布と界面層位置の関係から、圧縮性による直接的な影響は界面層には及ばないことを確認した。そのため、乱流による非乱流流体の取り込み過程や界面層近傍における混合場の解析によって、非圧縮性乱流と同様の結果が圧縮性乱流混合層においても得られた。乱流中の物質混合過程の数値計算手法の一つである、流れ場と濃度場をそれぞれ LES と粒子法により計算する手法の検討を行った。粒子法に必要な濃度変動散逸率の数値モデルを提案し、その妥当性を乱流噴流の直接数値計算を用いて実証した。また同モデルを用いた LES-粒子法による乱流噴流中の物質拡散の数値計算を行い、噴流中の濃度統計量を正確に予測できることを確認した。乱流・非乱流界面層が現れる噴流外縁付近においても、粒子法により得られた濃度統計量と直接数値計算結果の間に良い一致が見られ、乱流と非乱流流体が共存する流れにおいても提案した濃度変動散逸率のモデルが有効であることがわかった。本計算手法は乱流中の化学反応の数値計算に対して有効であり、乱流燃焼への応用が期待される。

超音速噴流を繰り返し噴出するピストン噴流アクチュエータによる圧縮性乱流生成実験を行った。複数のピストン噴流アクチュエータから噴出される流れの干渉により一様な乱流が形成される。乱流中の密度変化の可視化や速度計測により、噴流間の干渉や生成された乱流特性を明らかにした。気流の速度計測のため、二色のレーザーダイオードと市販のデジタルカメラを用いた粒子画像流速計システムを構築した。高速流での計測を目標とし、レーザーダイオードを50ns程度のパルス幅で発光させるパルス生成回路を製作した。構築したシステムを用いてDCファンにより誘起される流れの速度計測を行い、計測システムの有効性を実証した。

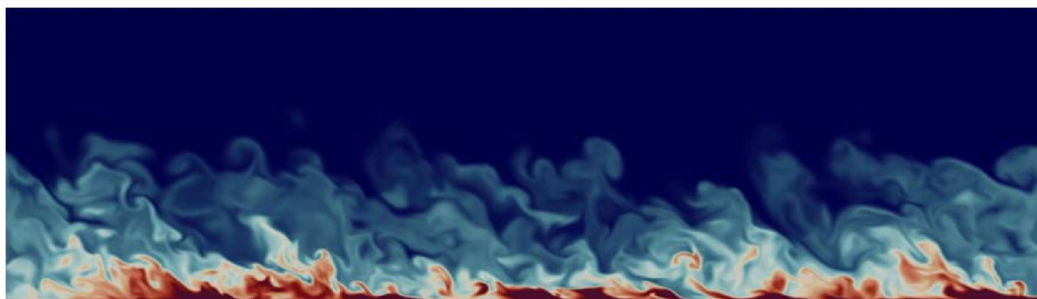


図3 超音速乱流境界層中の濃度分布。

(3) 衝撃波・乱流干渉による衝撃波特性の変化

円柱後流と球面衝撃波の干渉に関する風洞実験を行い、乱流中を伝播することで生じる衝撃波の変化を調査した。円柱背後には十分に発達した乱流が生成され、乱流を横切る方向に衝撃波が伝播する。衝撃波による圧力増加を計測し、その変動と乱流特性の関連を調査した。図4に乱流領域の幅と圧力増加の変動 rms 値の関係を示す。衝撃波が通過する乱流領域が長くなるとともに圧力増加の変動が増加するが、乱流幅がある値を超えると変動 rms 値は乱流幅に依存しなくなるが明らかとなった。

平均速度せん断のない局所的な乱流塊と平面衝撃波の干渉の数値計算を行い、衝撃波が層流中から乱流・非乱流界面層を通過して乱流内へと伝播する過程を調査した。乱流により生じる衝撃波の変形量は、衝撃波が伝播した乱流内の距離とともに増加した。また、実験結果と同様に、衝撃波が乱流中を十分長く伝播すると、変形に関する統計量は衝撃波が通過した乱流領域の長さには依存しなくなることがわかった。衝撃波の形状と衝撃波による圧力増加の間に相関がみられ、衝撃波の形状の変化が衝撃波マッハ数の変動と密接に関連していることが明らかとなった。衝撃波の変形を基にしたモデルをもとに、乱流と干渉とした衝撃波の圧力増加の変動 rms 値を乱流マッハ数と衝撃波マッハ数の関数として導いた。得られた関係式が成り立つことを、乱流中を伝播する衝撃波の数値計算および実験により確認した。

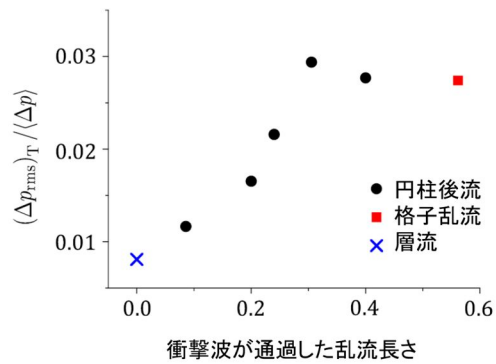


図 4 衝撃波が通過した乱流域の長さ と 衝撃波による圧力増加の変動 rms 値の関係。

< 引用文献 >

- Corrsin, S., & Kistler, A. L. (1955). Free-stream boundaries of turbulent flows. NACA Technical Report No. TN-1244
- Bisset, D. K., Hunt, J. C., & Rogers, M. M. (2002). The turbulent/non-turbulent interface bounding a far wake. *Journal of Fluid Mechanics*, 451, 383-410.
- da Silva, C. B., Dos Reis, R. J., & Pereira, J. C. (2011). The intense vorticity structures near the turbulent/non-turbulent interface in a jet. *Journal of fluid mechanics*, 685, 165-190.
- Westerweel, J., Fukushima, C., Pedersen, J. M., & Hunt, J. C. R. (2009). Momentum and scalar transport at the turbulent/non-turbulent interface of a jet. *Journal of Fluid Mechanics*, 631, 199-230.
- Chauhan, K., Philip, J., De Silva, C. M., Hutchins, N., & Marusic, I. (2014). The turbulent/non-turbulent interface and entrainment in a boundary layer. *Journal of Fluid Mechanics*, 742, 119-151.
- da Silva, C. B., Hunt, J. C., Eames, I., & Westerweel, J. (2014). Interfacial layers between regions of different turbulence intensity. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46, 567-590.
- Watanabe, T., Sakai, Y., Nagata, K., Ito, Y., & Hayase, T. (2015). LES-Lagrangian particle method for turbulent reactive flows based on the approximate deconvolution model and mixing model. *Journal of Computational Physics*, 294, 127-148.
- Sakakibara, H., Watanabe, T., & Nagata, K. (2018). Supersonic piston synthetic jets with single/multiple orifice. *Experiments in Fluids*, 59(5), 76.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17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 Sakakibara Hiroyuki, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 59
2. 論文標題 Supersonic piston synthetic jets with single/multiple orifice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00348-018-2529-9	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 Watanabe Tomoaki, Riley James J., Nagata Koji, Onishi Ryo, Matsuda Keigo	4. 巻 849
2. 論文標題 A localized turbulent mixing layer in a uniformly stratified environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 245 ~ 276
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2018.400	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 Zhang Xinxian, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 3
2. 論文標題 Turbulent/nonturbulent interfaces in high-resolution direct numerical simulation of temporally evolving compressible turbulent boundary layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 94605
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevFluids.3.094605	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 Nagata Ryosuke, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 30
2. 論文標題 Turbulent/non-turbulent interfaces in temporally evolving compressible planar jets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 105109 ~ 105109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5047395	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 Watanabe T., Nagata K.	4. 巻 30
2. 論文標題 Integral invariants and decay of temporally developing grid turbulence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 105111 ~ 105111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5045589	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 Zhou Yi, Nagata Koji, Sakai Yasuhiko, Watanabe Tomoaki	4. 巻 3
2. 論文標題 Dual-plane turbulent jets and their non-Gaussian velocity fluctuations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 124604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.3.124604	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 Zhang Xinxian, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 94
2. 論文標題 Passive scalar mixing near turbulent/non-turbulent interface in compressible turbulent boundary layers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 044002 ~ 044002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/aafbfd	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 Inokuma Kento, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji, Sakai Yasuhiko	4. 巻 94
2. 論文標題 Statistical properties of spherical shock waves propagating through grid turbulence, turbulent cylinder wake, and laminar flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 044004 ~ 044004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/aafde2	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 Tanaka Shusei, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 389
2. 論文標題 Multi-particle model of coarse-grained scalar dissipation rate with volumetric tensor in turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 128 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2019.03.034	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 Watanabe Tomoaki, da Silva Carlos B., Nagata Koji	4. 巻 875
2. 論文標題 Non-dimensional energy dissipation rate near the turbulent/non-turbulent interfacial layer in free shear flows and shear free turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 321 ~ 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.462	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 Zhou Yi, Nagata Koji, Sakai Yasuhiko, Watanabe Tomoaki	4. 巻 874
2. 論文標題 Extreme events and non-Kolmogorov spectra in turbulent flows behind two side-by-side square cylinders	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 677 ~ 698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.456	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 Inokuma Kento, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji, Sakai Yasuhiko	4. 巻 31
2. 論文標題 Statistics of overpressure fluctuations behind a weak shock wave interacting with turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 085119 ~ 085119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5110185	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 Watanabe Tomoaki, Riley James J., Nagata Koji, Matsuda Keigo, Onishi Ryo	4. 巻 878
2. 論文標題 Hairpin vortices and highly elongated flow structures in a stably stratified shear layer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 37 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.577	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 Watanabe Tomoaki, Zhang Xinxian, Nagata Koji	4. 巻 194
2. 論文標題 Direct numerical simulation of incompressible turbulent boundary layers and planar jets at high Reynolds numbers initialized with implicit large eddy simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers & Fluids	6. 最初と最後の頁 104314 ~ 104314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compfluid.2019.104314	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 Aruga Kenta, Inokuma Kento, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji, Sakai Yasuhiko	4. 巻 32
2. 論文標題 Experimental investigation of interactions between turbulent cylinder wake and spherical shock wave	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 016101 ~ 016101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128267	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 Nagata Ryosuke, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji, da Silva Carlos B.	4. 巻 198
2. 論文標題 Triple decomposition of velocity gradient tensor in homogeneous isotropic turbulence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers & Fluids	6. 最初と最後の頁 104389 ~ 104389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compfluid.2019.104389	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 Aruga Kenta, Watanabe Tomoaki, Nagata Koji	4. 巻 61
2. 論文標題 Color contamination correction based on light intensity correlation in two-color, double-exposure particle tracking velocimetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00348-020-02964-0	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26件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 張欣羨, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 直接数値計算による圧縮性境界層中の乱流/非乱流界面の解析
3. 学会等名 日本機械学会流体工学部門 第20回 複雑流体研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中健人, 渡邊智昭, 長田孝二, 佐宗章弘, 酒井康彦, 早瀬敏幸
2. 発表標題 一様等方性乱流との干渉による衝撃波の変形と衝撃波背後圧変動の関係
3. 学会等名 第50回流体力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 有賀健太, 猪熊建登, 渡邊智昭, 長田孝二, 酒井康彦
2. 発表標題 円柱後流による衝撃波過剰圧の変化に関する風洞実験
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中秀征, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 体積テンソルを用いた分子拡散モデルによる反応性乱流のLES・粒子法
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榊原弘之, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 超音速ピストンジェット群により形成される流れ場の可視化
3. 学会等名 第46回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中健人, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 垂直衝撃波と局所的な乱流の干渉に関する直接数値計算
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 猪熊建登, 有賀健太, 渡邊智昭, 長田孝二, 酒井康彦
2. 発表標題 乱流領域を伝播する衝撃波の背後圧変調
3. 学会等名 第56回飛行機シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長田孝二, 渡邊智昭
2. 発表標題 波動を伴う乱流現象 成層乱流と圧縮性乱流に関する研究
3. 学会等名 第4回海洋地球科学計算ワークショップ～成層と物質拡散～(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中秀征, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 体積テンソルを用いた分子拡散モデルによる二次元噴流のLES 粒子法
3. 学会等名 日本航空宇宙学会第50期年会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猪熊建登, 渡邊智昭, 長田孝二, 酒井康彦
2. 発表標題 球面衝撃波と干渉した格子乱流の速度多点計測
3. 学会等名 平成30年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中健人, 渡邊智昭, 長田孝二
2. 発表標題 乱流との干渉による衝撃波の変形に関する直接数値計算
3. 学会等名 平成30年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Tai, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 Mixing Volume Model for Molecular Diffusion and Thermal Conduction in Compressible Turbulence
3 . 学会等名 International Conference in Computational Fluid Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Nagata, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 Influence of Compressibility on Turbulent/non-turbulent Interface in Supersonic Planar Jet
3 . 学会等名 The 15th International Conference on Flow Dynamic. (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Inokuma, T. Watanabe, K. Nagata, Y. Sakai
2 . 発表標題 Overpressure Fluctuation behind Spherical Shock Wave Propagating in Grid-generated Turbulence
3 . 学会等名 AIAA SciTech Forum and Exposition (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Watanabe, J. J. Riley, K. Nagata, K. Matsuda, R. Onishi
2 . 発表標題 DNS study on large-scale and small-scale flow structures of stably-stratified shear layers
3 . 学会等名 17th European Turbulence Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Inokuma, T. Watanabe, K. Nagata, Y. Sakai
2 . 発表標題 Multi-point velocity measurements in grid turbulence interacted with a spherical shock wave
3 . 学会等名 17th European Turbulence Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Tanaka, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 Direct numerical simulations on effects of turbulent Mach number in interaction between planar shock wave and turbulence
3 . 学会等名 17th European Turbulence Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Tai, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 Implicit large eddy simulations of supersonic and subsonic planar jets with explicit filtering scheme
3 . 学会等名 The 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Tanaka, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 LES/Lagrangian-particle-simulation of turbulent mixing with multi-particle mixing model
3 . 学会等名 The 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Nagata, T. Watanabe, C. B. da Silva
2 . 発表標題 Dissipation rate near turbulent/non-turbulent interfaces
3 . 学会等名 Workshop Non-Equilibrium Turbulence (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Nagata, T. Watanabe
2 . 発表標題 Energy Spectrum and Decay of Grid Turbulence
3 . 学会等名 LMFL Seminar (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Watanabe, J. J. Riley, K. Nagata, K. Matsuda, R. Onishi
2 . 発表標題 Large-scale and Small-scale Turbulent Structures in a Stably Stratified Shear Layer
3 . 学会等名 The 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 Y. Tai, T. Watanabe, K. Nagata
2 . 発表標題 Hybrid large eddy simulation and Lagrangian particle simulation of passive scalar mixing in a supersonic jet
3 . 学会等名 The 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 T. Watanabe, K. Nagata
2. 発表標題 Direct numerical simulation of temporally developing grid turbulence
3. 学会等名 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田孝二, 渡邊智昭
2. 発表標題 波動を伴う乱流現象 成層乱流と圧縮性乱流に関する研究
3. 学会等名 第4回海洋地球科学計算ワークショップ～成層と物質拡散～(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田孝二, 渡邊智昭
2. 発表標題 格子乱流のエネルギースペクトルとエネルギー減衰率について
3. 学会等名 第9回せん断流の多様な機能の探究と先端科学技術への応用に関する研究分科会
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
---------	---------------------------	-----------------------	----