

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01523

研究課題名（和文）高忠実・時空間大規模データから探る圧縮性剥離現象の物理法則とモデリング

研究課題名（英文）Physical law and modeling of compressible separated flows using high-fidelity spatio-temporal large-scale data

研究代表者

河合 宗司（Kawai, Soshi）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40608816

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、航空機やロケットなどの空力性能や安全性に大きな影響を持つ衝撃波や壁面熱流束を伴う高レイノルズ数・圧縮性乱流境界層剥離現象の高忠実なシミュレーションを可能とする large-eddy simulation (LES)の壁面モデルの確立を目指し研究を進めた。衝撃波および壁面熱流束を伴う圧縮性剥離現象の詳細を大規模直接数値計算から明らかにし、得られた知見を基に独自に開発してきた壁面モデルを発展させた。また本壁面モデルを用いて、衝撃波や壁面熱流束を伴う高レイノルズ数・過膨張ノズル内の乱流境界層剥離現象に起因する衝撃波の低周波自励振動現象解析を実施し、本壁面モデルLESの有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

航空機やロケット開発の設計上流段階から信頼できる機体設計を実現するため、高忠実なLESの設計開発への展開に対する期待が近年大きくなってきている。LESを設計開発に展開するためには、航空宇宙分野で扱う必要がある10の7乗レベルの高レイノルズ数条件における衝撃波や壁面熱流束を伴う圧縮性乱流境界層剥離流れを予測可能とするLES技術（壁面モデルLES）の確立が不可欠であり、当該研究分野に貢献することを目指して研究を推進した。また本研究成果は、航空宇宙分野に限らず、衝撃波や壁面熱流束を伴う幅広い工学分野の高レイノルズ数流れを伴う流体解析に対する波及効果も期待できると考えている。

研究成果の概要（英文）：This study investigated a wall modeling in large-eddy simulation (LES) that enables high-fidelity simulations of compressible separated turbulent boundary layers with shock waves and wall heat fluxes at high Reynolds numbers, which have a significant impact on aerodynamics and the safety of aircraft and rockets. Based on large-scale direct numerical simulation databases, the details of the compressible flows with shock waves and wall heat fluxes are analyzed, and a wall model is developed based on the obtained knowledge. Using the wall model, low-frequency self-excited oscillation phenomena caused by shock waves and separated turbulent boundary layers in an over-expanded nozzle with wall heat flux at a high Reynolds number were investigated to validate the developed wall-modeled LES.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：乱流境界層 高レイノルズ数流れ 圧縮性流体 LES データ駆動科学

1. 研究開始当初の背景

航空宇宙分野では、高レイノルズ数条件における衝撃波や壁面熱流束を伴う圧縮性乱流境界層の剥離現象が、航空機やロケットなどの空力性能や安全性に致命的な影響を持つことが知られている。加えて、航空宇宙分野で扱う必要がある10の7乗レベルの高レイノルズ数流れを風洞試験で再現することは、世界でも限られた風洞設備を用いる必要があり、現実的には非常に困難となる。一方、近年の数値計算法の発達や「富岳」に代表されるようなスーパーコンピュータの登場により、設計上流段階から信頼できる機体設計を実現するため、large-eddy simulation (LES) のような高忠実な流体シミュレーションの設計開発への展開に対する期待が非常に大きくなってきている。

本研究では、航空機やロケットなどの空力性能や安全性に大きな影響を持つ衝撃波や壁面熱流束を伴う圧縮性乱流境界層の剥離現象をターゲットとし、開発してきた高次精度・圧縮性流体解析コードと最新鋭のスパコンを駆使した大規模直接数値解析 (DNS: direct numerical simulation) から圧縮性乱流境界層現象の高忠実な流体データベースを構築し、そこで得られる詳細な知見を独自に確立してきたLESの壁面モデルに展開することができれば、LESの活用が学術界のみならず産業界にも大きく広げることができるのではと考え、研究を推進してきた。

本研究により、LESによる高レイノルズ数条件における衝撃波や壁面熱流束を伴う圧縮性流体剥離流れの予測技術が確立されれば、今回具体的な対象としている航空機やロケットに限らず、衝撃波や壁面熱流束を伴う幅広い工学分野の高レイノルズ数流れ解析における波及効果も期待できると考えている。

2. 研究の目的

本研究では、衝撃波や壁面熱流束を伴う圧縮性乱流境界層の剥離現象の詳細を大規模DNS解析から明らかにし、得られる知見を基に独自に確立してきたLES壁面モデルを発展させる。また最終的には、本壁面モデルLESを用いて、応用的課題である衝撃波や壁面熱流束を伴う高レイノルズ数・過膨張ノズル内の乱流境界層剥離現象に起因する衝撃波の低周波自励振動現象解析を実施し、本壁面モデルLESの有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、最終的な応用問題である壁面熱流束を伴う過膨張ノズル内の衝撃波—乱流境界層剥離現象への壁面モデルLESの展開を念頭に置き、以下の(1)から(3)の手順で研究を進める。まず(1)開発してきた高次精度・圧縮性流体解析コードと「富岳」を用い、壁面熱流束を伴う衝撃波—平板乱流境界層干渉剥離流れの大規模DNS解析を実施する。本DNSにより高忠実に圧縮性流体现象を再現した流体データベースを構築し、剥離現象に起因すると考えられる低周波で自励振動する衝撃波と剥離乱流境界層の干渉現象に着目し、現象解析を進める。その上で、(2)LESの壁面モデルを(1)で得られる知見を基に圧縮性乱流境界層現象解析に発展させ、独自に構築したDNSデータベースと比較することで、本壁面モデルLESの有効性を詳細に検証する。最終的には、(3)本壁面モデルを用いた高レイノルズ数・過膨張ノズル内の乱流境界層剥離現象に起因する衝撃波の低周波自励振動現象解析を実施し、実験データとの比較から本LES壁面モデルの工学的応用問題への展開可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) 壁面熱流束を伴う衝撃波—平板乱流境界層干渉剥離流れの大規模DNS解析

申請者らが開発してきた高次精度・圧縮性流体解析コードとスーパーコンピュータ「富岳」を用い、壁面熱流束を伴う衝撃波—平板乱流境界層干渉剥離流れの大規模DNS解析を実施し、高忠実な複雑流体データベースを構築した。ここで実施したDNS結果は、壁面モデル開発における参照データともなるため、「富岳」を用いることで可能な限り高レイノルズ数条件での解析とした。図1は解析した流れ場を示している。流れ条件は、主流マッハ数を $M_\infty = 2.28$ 、衝撃波入射角を 32.7° 、レイノルズ数を高レイノルズ数条件の $Re_\theta \approx 5.0 \times 10^3$ とした。壁面温度 T_w は回復温度を T_r とした時に $T_w/T_r = 0.5, 1.0, 2.0$ の3ケースを解析した。 $T_w/T_r < 1.0$ が壁面冷却条件、 $T_w/T_r > 1.0$ が壁面加熱条件、 $T_w/T_r = 1.0$ が擬似断熱条件である。格子解像度は、流れ方向、壁面垂直方向、スパン方向にそれぞれ $(\Delta x^+, \Delta y_w^+, \Delta y^+, \Delta z^+) \leq (5, 0.5, 6, 5)$ とし、DNSとして十分な格子を用いた。総格子点数は疑似断熱壁 ($T_w/T_r = 1.0$) および加熱壁ケース ($T_w/T_r = 2.0$) で約13億点、冷却壁ケース ($T_w/T_r = 0.5$) で約85億点である。

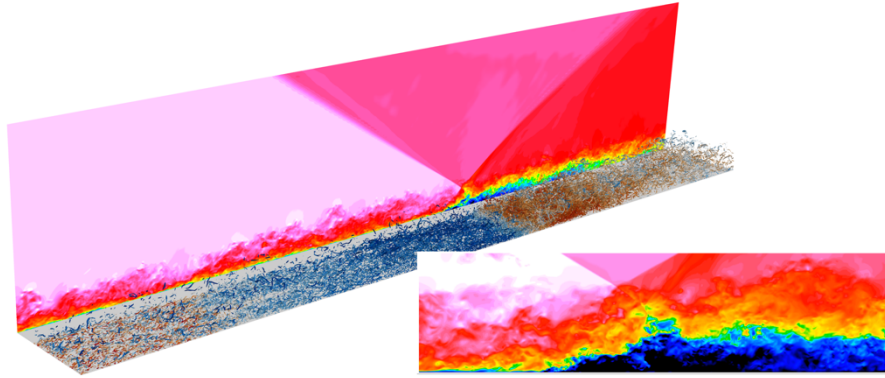


図1 DNS of wall heated and cooled shock wave and turbulent boundary layer interacting separated flows.

本研究成果の詳細は我々の学術論文 [R. Hirai, S. Kawai, Wall pressure fluctuations in wall heated and cooled shock wave and turbulent boundary layer interactions, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 103,109205, (2023)] を参照して頂くとし, ここでは衝撃波—境界層剥離現象に起因する流れの低周波自励振動現象に着目した結果を記載する. DNS より得られた主流方向平均速度分布および壁面圧力変動パワースペクトル密度の流れ方向分布を図 2 に示す. 衝撃波干渉により境界層剥離が発生する主流方向位置 $(x - x_{sh})/L_{int} \approx -1$ において, 局所的に $St \approx 10^{-2}$ 程度の低周波数領域に顕著な圧力変動エネルギーが全てのケースで発生することがわかる. また壁面を冷却から加熱へと変化させるにつれて, その下流での低周波数領域・圧力変動エネルギーが上昇していく. 本研究では, 流れ場を周波数分解し, 流れの低周波成分を抽出することで, この低周波壁面圧力変動スペクトルが, 剥離領域の低周波ブリーシングモードとそれに呼応する衝撃波の低周波自励振動現象に起因することを明らかにした.

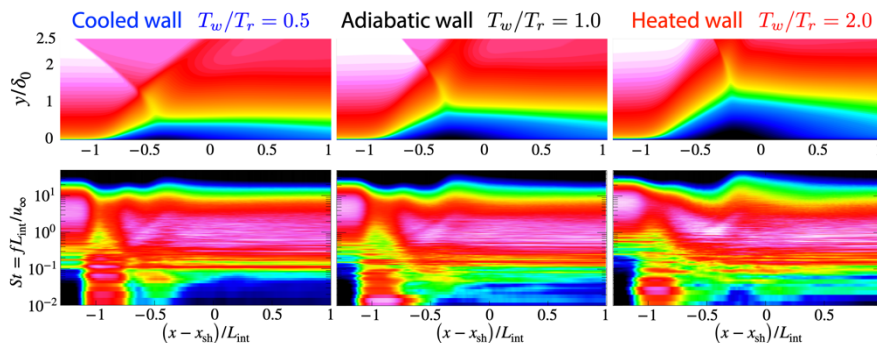


図2 Mean streamwise velocity (top) and pre-multiplied power spectral density of wall pressure fluctuations (bottom) obtained by DNS with cooled, adiabatic, and heated walls.

(2) 壁面熱流束を伴う圧縮性乱流境界層剥離流れに対する壁面モデル LES の有効性検証

壁面加熱や冷却を伴う乱流境界層では, 境界層鉛直方向に大きな密度および粘性係数変化が生じる. LES の壁面モデルをこのような流れに展開するため, 本研究では局所的な密度および粘性係数を考慮した長さスケールであるセミローカルスケールを壁面モデルに取り込んだ. 図 3 は, (1) と同じ流れ条件で壁面モデル LES を実施し, DNS データベースとの直接比較により壁面モデル LES の有効性を検証したものである. 構築した壁面モデル LES は, 壁面を冷却から加熱へと変化するにつれて剥離領域が拡大する様子を定量的に予測できることを示した (図 3 左). さらに本研究の最終ターゲットとしている過膨張ノズル内の衝撃波—乱流境界層剥離現象の低周波自励振動に関わる, 主流方向位置 $(x - x_{sh})/L_{int} \approx -1$ 付近の $St \approx 10^{-2}$ 程度の低周波数領域の顕著な自励振動現象についても, その発生領域が主流方向に若干狭い領域で起こっているが, 低周波自励振動の発生やその定性的な予測にも成功している (図 3 右). また DNS で見られるような, 壁面を冷却から加熱していくにつれて, その下流での低周波数領域・圧力変動エネルギーが上昇していく様子もよく予測できることが示された. ここでは詳細を割愛するが, DNS と壁面モデル LES の詳細な比較についても実施しており, これまでほとんど検証されてこなかった壁面モデル LES の高レイノルズ数条件における壁面熱流束を伴う圧縮性流体剥離流れの予測精度の高さを明らかにした.

(3) 壁面モデル LES による高レイノルズ数・過膨張ノズル内の衝撃波自励振動現象解析

ここでは, これまでの研究で得られた壁面モデル LES に関する知見を踏まえ, 衝撃波および壁面熱流束を伴う応用的課題である高レイノルズ数・過膨張ノズル内の乱流境界層剥離現象に起

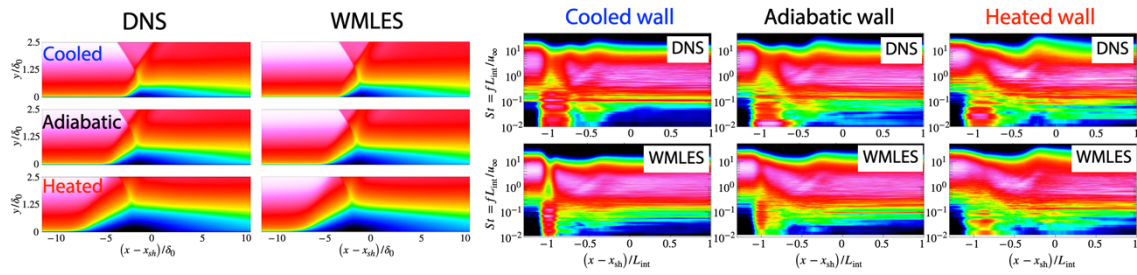


図3 Comparisons of mean streamwise velocity (left) and pre-multiplied power spectral density of wall pressure fluctuations (right) between DNS and wall-modeled LES (WMLES).

因する衝撃波の低周波自励振動現象の壁面モデル LES 解析を実施した。過膨張ノズル内の現象はロケット打ち上げ時の状況に対応し、衝撃波が低周波で非対称に振動することによりノズルに大きな横力が発生する原因ともなる工学的に重要な流れ場である。計算対象は、Johnson & Papamoschou [*Physics of Fluids*, 2010]によるノズル実験とし、ノズルのスロート高さベースのレイノルズ数が 5.2×10^5 にもものぼる高レイノルズ数条件となる。これは、通常の LES では計算不可能な高レイノルズ数条件である。このレベルの高レイノルズ数条件におけるノズル流れ LES 解析は、課題代表者の知る限りこれまで存在せず、本研究が初めての LES 解析となる。本条件では、ノズル内に発生する衝撃波が壁面を発達する乱流境界層と干渉し、上流から下流、また下流から上流へと低周波で自励振動する。図4は、本壁面モデル LES と対象実験との瞬間の流れ場の比較である。本壁面モデル LES は、高レイノルズ数・過膨張ノズル内の衝撃波自励振動現象の再現に成功し、衝撃波—乱流境界層干渉剥離流れの様子など、実験をよく予測できることが示された。また本研究では、冷却壁を持つノズル（通常、ロケットノズルの壁面は再生冷却により冷却される）では、断熱壁よりも強い横力が発生すること、またこの強い横力が発生するメカニズムを明らかにした。

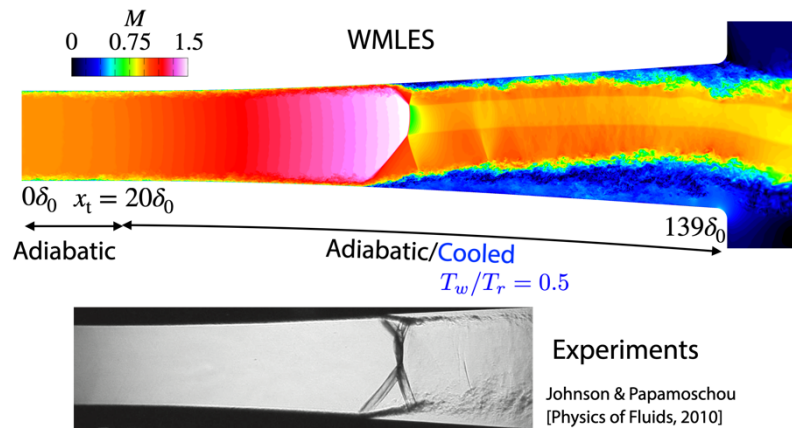


図4 Comparisons of instantaneous shock wave and separated boundary layer in over-expanded nozzle flow between wall-modeled LES (WMLES) and experiments of Johnson & Papamoschou [*Physics of Fluids*, 2010].

以上より、本研究では、これまで開発してきた LES の壁面モデルを壁面熱流束を伴う圧縮性流体剥離流れに適用可能なモデルに発展させ、初めて高レイノルズ数（実際のロケットノズル内流れも非常に高レイノルズ数条件となる）・過膨張ノズル内の高忠実な流体シミュレーションに成功した。さらには過膨張ノズル内の衝撃波自励振動現象を再現可能であることを示した。(2) および (3) の研究成果は、現在、国際学術論文誌に投稿準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryo Kamogawa, Yoshiharu Tamaki, Soshi Kawai	4. 巻 8
2. 論文標題 Ordinary-differential-equation-based nonequilibrium wall modeling for large-eddy simulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 064605 ~ 064605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.8.064605	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 Ryo Hirai, Soshi Kawai	4. 巻 103
2. 論文標題 Wall pressure fluctuations in wall heated and cooled shock wave and turbulent boundary layer interactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow	6. 最初と最後の頁 109205 ~ 109205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatfluidflow.2023.109205	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 Ryosuke Ida, Yoshiharu Tamaki, Soshi Kawai	4. 巻 505
2. 論文標題 Theoretical link in numerical shock thickness and shock-capturing dissipation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 112901 ~ 112901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2024.112901	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 Hiroyuki Asada, Kanako Maruyama, Soshi Kawai	4. 巻 270
2. 論文標題 Temporal discretization for improving kinetic-energy and entropy preservation properties in KEEP schemes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Computers & Fluids	6. 最初と最後の頁 106143 ~ 106143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compfluid.2023.106143	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 Kuya Yuichi, Kawai Soshi	4. 巻 464
2. 論文標題 Modified wavenumber and aliasing errors of split convective forms for compressible flows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 111336 ~ 111336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2022.111336	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 Iwatani Yuta, Asada Hiroyuki, Yeh Chi-An, Taira Kunihiko, Kawai Soshi	4. 巻 Article in Advance
2. 論文標題 Identifying the Self-Sustaining Mechanisms of Transonic Airfoil Buffet with Resolvent Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIAA Journal	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) 10.2514/1.J062294	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26件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Hiromichi Sashida, Yuichi Kuya, Soshi Kawai
2. 発表標題 Kinetic-energy and entropy preserving (KEEP) scheme for compressible flows on moving grids
3. 学会等名 AIAA Aviation Forum 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 指田裕理, 青山拓海, 河合宗司
2. 発表標題 壁面モデルLESにおける遷音速強制振動翼の非定常空力現象解析
3. 学会等名 第55回流体力学講演会/第41回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryo Hirai, Soshi Kawai
2. 発表標題 Wall-modeled LES of shock oscillations in adiabatic and wall-cooled over-expanded nozzles
3. 学会等名 14th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Soshi Kawai, Yuichi Kuya, Hiroyuki Asada, Hiromichi Sashida
2. 発表標題 Physics-compatible KEEP scheme and high-fidelity scale-resolving simulation of compressible flows
3. 学会等名 14th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromichi Sashida, Takumi Aoyama, Shigetaka Kawai, Soshi Kawai
2. 発表標題 Wall-modeled LES of transonic flow at high Reynolds number around a pitching airfoil
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅田啓幸, 丸山佳那子, 河合宗司
2. 発表標題 非構造格子におけるローパスフィルターの理論解析とKEEPスキームへの適用
3. 学会等名 第37回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromichi Sashida, Takumi Aoyama, Shigetaka Kawai, Soshi Kawai
2. 発表標題 Wall-modeled LES of pitching airfoil at high Reynolds number transonic flows
3. 学会等名 AIAA SciTech Forum 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuta Iwatani, Hiroyuki Asada, Chi-An Yeh, Kunihiko Taira, and Soshi Kawai
2. 発表標題 Resolvent analysis of self-sustained shock oscillations in transonic airfoil buffet
3. 学会等名 75th APS Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics (APS-DFD) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Hirai and Soshi Kawai
2. 発表標題 Wall-heated/cooled effects on low-frequency pressure fluctuations in shock-wave and turbulent boundary layer interactions
3. 学会等名 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 那須川勝一, 玉置義治, 河合宗司
2. 発表標題 衝撃波-乱流境界層干渉剥離流れのLESにおける非平衡壁面モデルの検証
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井遼, 河合宗司
2. 発表標題 壁面モデルLESによる衝撃波/熱乱流境界層干渉の低周波壁面圧力振動予測
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青山拓海, 指田裕理, 河合宗司
2. 発表標題 壁面モデルLESによる高レイノルズ数・遷音速強制振動翼予測
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 指田裕理, 久谷雄一, 河合宗司
2. 発表標題 移動変形格子における運動エネルギー・エントロピー保存 (KEEP) スキームの提案
3. 学会等名 第36回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青山拓海, 河合宗司
2. 発表標題 高レイノルズ数・遷音速強制振動翼の壁面モデルLES解析
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井田 良輔, 玉置 義治, 河合 宗司
2. 発表標題 陽的人工粘性による衝撃波厚み制御のための理論的検討
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井遼, 河合宗司
2. 発表標題 衝撃波/乱流境界層干渉現象の壁面圧力振動における壁面熱流束の影響
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Hirai and Soshi Kawai
2. 発表標題 DNS analysis of wall heat flux effects on shock wave and turbulent boundary layer interactions
3. 学会等名 AIAA SCITECH 2022 Forum (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Iwatani, Hiroyuki Asada and S. Kawai
2. 発表標題 POD, DMD, and resolvent analysis of transonic airfoil buffet
3. 学会等名 AIAA SCITECH 2022 Forum (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井 遼, 河合 宗司
2. 発表標題 壁面熱流束を伴う衝撃波/乱流境界層干渉現象のDNS解析
3. 学会等名 第53回流体力学講演会 / 第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸山 佳那子, 浅田 啓幸, 河合宗司
2. 発表標題 運動エネルギー・エントロピー完全保存形スキームの実現に向けて
3. 学会等名 第53回流体力学講演会 / 第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩谷 優汰, 浅田 啓幸, 河合 宗司
2. 発表標題 遷音速バフエット現象のresolvent解析
3. 学会等名 第53回流体力学講演会 / 第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩谷優汰, 浅田啓幸, 河合宗司
2. 発表標題 遷音速バフエット現象のDMD・resolvent解析
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前島颯樹, 谷野一樹, 河合宗司
2. 発表標題 LESからDNS相当の全領域流れ場を超解像可能とする教師なし学習モデルの構築
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷野一樹, 前島颯樹, 河合宗司
2. 発表標題 CycleGANによる超解像を応用した粗格子LES手法の構築に向けて
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸山佳那子, 浅田啓幸, 河合宗司
2. 発表標題 運動エネルギー・エントロピー時間空間完全保存形スキームの提案
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久谷雄一, 河合宗司
2. 発表標題 擬混合型対流項の解像度とエイリアシングエラー特性: 差分法でも擬混合型対流項によりエイリアシングエラーは減るのか?
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
米国	University of California, Los Angeles	North Carolina State University	