

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2021

課題番号：19KK0116

研究課題名（和文）非定常先進流体計測に基づく低次元モデルを利用した次世代流体制御

研究課題名（英文）Next-generation flow control using the reduced-order model based on advanced unsteady flow measurement

研究代表者

浅井 圭介（Asai, Keisuke）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40358669

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本共同研究は、大規模な渦構造や衝撃波の振動を伴う流れを動的フィードバックにより制御する新しい概念の流体制御理論の確立を目的とした。米国フロリダ州立大学（FSU）の研究グループと協働し、双方の知識と技術を持ち寄って、高精度な先進計測に基づく非定常流体データベースの構築、流れ場の低次元モデルに基づく流体现象の把握、高速応答アクチュエータの駆動という3つのキーテクノロジーの研究開発に取り組んだ。後胴模型における剥離流れと超音速衝突噴流を対象にFSUの大型実験設備を用いた実証実験を行うことで、従来の方法論では不可能とされていた流体制御能力の飛躍的な向上を実現するための研究基盤を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車、高速鉄道、航空機などの大気中で運動する物体には前進を妨げる空気抵抗が作用し、その大幅な低減が実現できれば地球規模のエネルギー節減が実現できる。また、これらの移動体が発生する空力騒音は社会生活の質を大きく損なうもので、抜本的な改善策が望まれていた。フロリダ州立大学の研究グループとの共同により、非定常流体データベースに基づく流れ場の低次元モデル化が可能となり、高速応答アクチュエータを用いる次世代の流体制御手法を開発するための研究基盤を構築することができた。これらの成果は流体现象の理解だけでなく、地球環境の保全や社会生活の質的向上に資するものであり、産業界への適用に道を拓くものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this joint research is to establish a new concept of flow control theory for controlling flows with large-scale vortex structures and shock-wave oscillations by means of dynamic feedback. In collaboration with a research group at the Florida State University (FSU) in the United States, both parties brought their knowledge and technology to the research and development of three key technologies: construction of an unsteady flow database based on high-precision advanced measurements, understanding of fluid phenomena based on reduced-order models of flow fields, and driving fast-response actuators. By conducting demonstration experiments using FSU's large-scale experimental facilities for a separated flow on the afterbody model and supersonic impinging jet on the ground plate, we have established a research foundation to realize a dramatic improvement in flow control capability, which was considered impossible by conventional methodologies.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：流体制御 先進流体計測 低次元モデル プラズマアクチュエータ

## 1. 研究開始当初の背景

航空機や自動車など大気中を運動する物体には前進を妨げる空気抵抗が作用する。その低減は地球規模のエネルギー節減のため挑戦し続けなければならない課題の1つである。また、これらの移動体が発生する空力的な騒音は社会生活の質を大きく損なうもので、抜本的な改善策が必要とされる。しかし、物体形状の修正や運用法の工夫だけでは効果に限界があり、逆圧力勾配による流れの剥離や衝撃波干渉による流体損失や騒音の発生を防ぐことはできない。本研究では、大規模な渦構造や衝撃波の振動を伴う流れを能動的に制御する新しい概念の流体制御理論の確立を目指し、フロリダ州立大学(FSU)の研究グループと協働し、必要とされるキーテクノロジーの研究開発に取り組む。申請者らが保有する最先端の流れ場診断技術をFSUの高機能風洞実験に適用し、低次元モデルと制御理論に関する双方の最新の知識と経験を相乗することで、プラズマアクチュエータ等の高速応答アクチュエータを構成要素とする新しい概念の流体制御手法を開発する。本研究によって、従来の方法論では不可能とされていた剥離流れや超音速噴流の流体制御能力が飛躍的に向上することが期待される。

## 2. 研究の目的

本共同研究では、大規模な渦構造や衝撃波の振動を伴う流れを動的フィードバックにより制御する新しい概念の流体制御理論の確立を目指す。FSUの研究グループと協働し、双方の知識と技術を持ち寄って、(1)高精度な先進計測に基づく非定常流体データベースの構築、(2)流れ場の低次元モデルに基づく流体现象の把握、(3)高速応答アクチュエータの駆動という3つのキーテクノロジーの研究開発に取り組む。このような次世代流体制御の本格的な実験は前例がなく、本研究では、後部胴体上の剥離流れと平板に衝突する超音速噴流を対象にFSUの大型実験設備を用いた実証実験に共同で取り組み、非定常で複雑な流れ場の動的フィードバック制御を実現するための研究基盤の構築に挑む。

## 3. 研究の方法

研究計画全体を(1)非定常先進計測データベース構築、(2)流れ場の低次元モデル化と高速応答アクチュエータ開発という2つの項目に大別し研究開発を行う。対象となる流れ場として「後胴流れ」と「超音速衝突噴流」を選び、実験にはFSUが保有する大規模設備を利用する。流体計測には日本側が保有する各種の非定常先進計測技術を利用する。

### (1) 非定常先進計測データベース構築(その1:後胴流れ)

後胴流れ(Afterbody Flow)は航空機や自動車の胴体後部を代表する流れである。後胴では境界層の剥離が生じ、時間的に変動する自由せん断層や渦を伴う複雑な流れ場が形成される。ここでは、底面が斜め45度に傾斜した後胴形状に焦点を絞り、実験を行う。風洞実験はFSUの低速風洞を用いて行い、日本側が提供する非定常感圧塗料(uPSP)によって計測される変動圧力場データとFSUの時分解ステレオ粒子画像速度計測(TR-SPIV)によって計測される速度場データを取得し共同で解析する。低速風洞での実験が順調に進んだ場合には、FSUが保有する高速風洞(Polysonic Wind Tunnel)を用い、流れ場に対する圧縮性の影響を調べる。これには陽極酸化被膜を用いた広周波数帯域の非定常感圧塗料の技術を適用する。これらの実験に使用する模型は日本側で準備し、FSUに持ち込む。

### (2) 非定常先進計測データベース構築(その2:支持干渉)

一般に風洞実験では模型は機械的な支持装置を用いて気流中に保持される。共同実験で試験する後胴模型の場合、支持には板状の支持装置(ストラット)が用いられており、その影響が後胴流れに及ぶと考えられる。この影響を評価するため、東北大学が所有する磁力支持天秤装置(Magnetic Suspension and Balance System [MSBS])を用いて、FSUで実験する模型と形状が相似の模型の風洞実験を実施する。支持装置の影響のない完全自由飛行状態におけるデータを取得し、ダミーのストラットが存在する場合のデータと比較することで、支持装置による干渉の影響を明らかにする。

### (3) 非定常先進計測データベース構築(その3:超音速衝突噴流)

近年、注目を集めている再使用型のロケットでは、Lift offとTouch down時に地面に衝突するロケット噴流が時間変動する複雑な流れ場を形成する。垂直離着陸能力をもつVTOL機でも同様な流れ場が形成される。超音速衝突噴流(Supersonic Impinging Jet)はこのような流れ場を代表

するものである。実験は FSU の衝突ジェット試験装置 (STOVL Jet Facility) を用いて行い、高速応答感圧塗料による地面板の表面圧力場の計測に挑む。広帯域の非定常感圧塗料が必要となるので、陽極酸化被膜ベースの感圧塗料を日本側が新規開発し FSU に提供する。一方、FSU では高速度シュリーレン撮影を行う準備をする。予備実験を東北大で行い十分な準備を整えた上で、FSU で行う実験に着手する。ノズル模型は FSU の方で準備し、感圧塗料を塗布した地面板は日本側で準備し現地に持ち込む。

#### (4) 流れ場の低次元モデル化と高速応答アクチュエータ開発

流れ場の低次元モデルの構築には風洞実験の専門家とデータ科学の専門家の綿密な議論が必要とされる。日本側は特異値分解法 (SVD) や厳密動的モード分解 (Exact DMD) や時空間超解像計測などの信号処理に強く、FSU は Spectral Proper Orthogonal Decomposition (SPOD) を用いた信号処理に長けている。共同研究ではこれらの先進的な信号処理法を取得した非定常計測データベースに適用し、流れ場のコヒーレントな構造を抽出して低次元モデルを構築する。一方、高速応答アクチュエータとして FSU はマイクロジェットアクチュエータを選定し、後胴模型におけるアクチュエータの最適配置の決定法について検討を行う。これに対して、日本側は高速応答プラズマアクチュエータを用いた最適フィードバック制御の検討を行う。それぞれの成果を持ち寄って、両者の得失について議論する。日米双方の専門家が知識と技術を集約することで、動的フィードバックによる高精度でかつロバストな流体制御を実現するための基盤を築く。

### 4. 研究成果

#### (1) 非定常先進計測データベース構築(その1:後胴流れ)

後胴模型には傾斜角 45 度の傾斜底面模型を選定し、FSU の低速風洞 (LSWT) で実験を行った (図 1)。東北大が高速応答型感圧塗料 (uPSP) による圧力場計測を担当し、FSU が時分解ステレオ粒子画像速度計測法 (TR-SPIV) による速度場計測を担当した。当初はこの実験を 2020 年 8 月に行う予定であったが、新型コロナウイルス感染症の問題が発生したため日本側メンバーの派遣を断念せざるを得なくなり、PSP を塗装した模型を空輸し FSU 側メンバーで実験してもらう方針に切り替えた。このため実験の実施は 2020 年 12 月となった。

風速を 2.6 m/s から 70 m/s まで (模型の直径基準のレイノルズ数を 25,000 から 750,000 まで) 可変させて実験を行った。PSP と PIV による計測によって、特徴的な渦の蛇行現象を捉えることができた。図 2 と図 3 に示すように、全てのレイノルズ数において、表面圧力場と近接場渦速度場の両方に大きなエネルギーピークを持つ狭い周波数帯 (直径基準のストローハル数で 0.56 ~ 0.64) のコヒーレントな流体構造が明らかになった。これらの構造は渦の蛇行と関連したものであり、強い非定常性を示す。渦の中心部のヘリカルモードを励起する表面での進行圧力波によって誘起された現象だと考えられる。これは科学的に重要な発見であり、Phys. Rev. Fluids 誌に共同論文を発表した。この実験に使用した高速応答型感圧塗料は愛知工業大学の江上泰広教授の協力を得て新規に開発した PC-PSP であり、圧力変動が 20 Pa 程しかない 15 m/s という低速で変動モードが抽出できたことは、工業的価値も高く、技術的に大きな成果だと言える。

この実験の成功を受けて 2022 年 1 月に低速風洞で再実験を、2 月には FSU の高速風洞 (Polysonic Wind Tunnel) を用いた実験を実施した。実験の様子を図 4 に示す。これらの実験には、日本から派遣した学生 1 名が参加し現地の学生をサポートに当たった。感圧塗料には粒子混合型及び陽極酸化皮膜型の 2 つのタイ



図 1 FSU の低速風洞に設置された模型

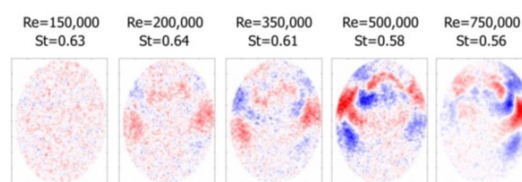


図 2 主要ストローハル数における圧力変動

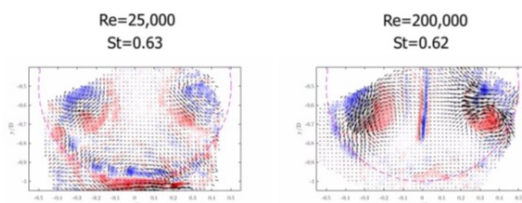


図 3 速度場データの SPOD の第一モード

プの PSP が使用され、風洞試験ではいずれの PSP も明瞭な圧力変動を捕らえることに成功している。また、鋭い外縁を持つ後胴模型との比較のため、丸みを帯びた実際の航空機の後部胴体に近い形状の模型の実験も行った。レイノルズ数の低下に伴う後流の遷移の様相が両模型で異なっており、鋭い外縁をもつ模型では見られた剥離した流れが、丸みをもつ模型では観測されないことがわかった。圧縮性や外縁形状の影響に関する解析が現在 FSU 側で行われており、こちらも共同論文として学術誌に投稿する予定である。

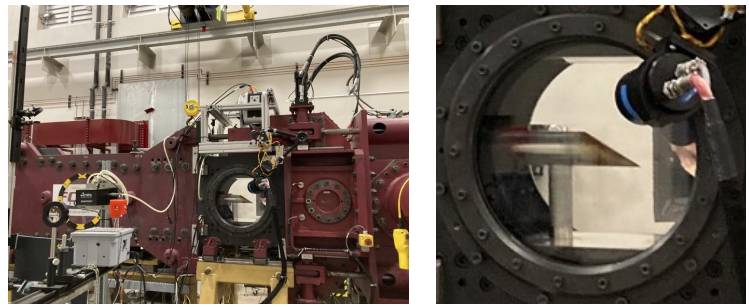


図 4 FSU の高速風洞に設置された後胴模型

## (2) 非定常先進計測データベース構築(その2:支持干渉)

東北大学が所有する 0.3m 磁力支持天秤装置 (MSBS) を用いて、気流中に模型を支持無しで浮揚させた状態での実験を実施した(図 5)。併せてダミーストラットがある場合の実験も行い、支持装置による干渉の影響を調べた。模型の形状や実験条件は FSU における低速風洞試験と一致させており、実験では模型に働く抗力と底面部の中心断面における速度分布を計測した。図 6 に示すように、抗力の測定結果から、ストラットの存在は空力係数を急変させる臨界レイノルズ数の値を低減させることが明らかになった。また、底面とストラットの距離が近いほど、臨界レイノルズ数への影響が大きくなることがわかった。中心線上の速度場と抗力の測定値にはヒステリシスが観察されたが、時間平均場にはストラットの効果は観察されなかった(図 7)。これらの成果は 2022 年 6 月に開催される米航空宇宙学会 (AIAA) の会議で共同発表する予定である。



図 5 東北大学 0.3m MSBS に設置された模型(ダミーストラット付き)

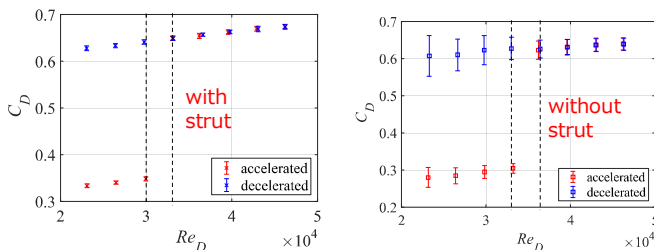


図 6 後胴抗力の臨界レイノルズ数に対する支持装置の影響

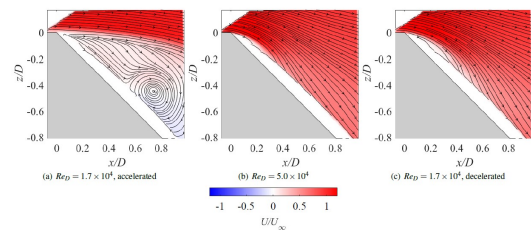


図 7 臨界レイノルズ数近傍で観測された中心断面速度場のヒステリシス

## (3) 非定常先進計測データベース構築(その3:超音速衝突噴流)

FSU の衝突噴流試験設備 (STOVL Jet Facility) を用いた大掛かりな実験に先立ち、東北大学の無響室を利用し予備実験を実施した(図 8)。実験条件の選定には FSU から提供された高速シュリーレン映像を参考にし、共鳴現象の発生前後の条件とした。可視化されたシュリーレン画像に動的モード分解を適用し、非時間解像データから高周波現象を推定する際のパラメータ依存性と推定精度を評価した。その結果、ノイズを多く含む実験データでも、流れ場の主要な変動の周波数は精度良く推定することができた。これと併せて、陽極酸化被膜を用いた非定常感圧塗料を超音速衝突噴流の実験に適用し、約 10kHz の表面圧力変動分布の計測に成功した。図 9 に Exact-DMD で抽出した圧力場の空間構造の一例を示す。

予備実験のこれらの成果に基づいて、FSU における大規模実験の準備を共同で行った(図 10)。対象とする周波数域が広いため、フリーベースポルフィリン (H2TCPP) を分子プローブとする陽極酸化型感圧塗料 (AA-PSP) を新規に開発した。サンプルを使って静的特性を評価するとともに、衝撃波管並びに音響共鳴管を用いて応答性を評価した。また、超音速キャビティ流れに適用することで、この塗料により 18kHz までの広い周波数帯域の圧力変動が計測できることを確認した。FSU 実験に供する地面板は日本側で作成したもので、これに陽極酸化したものを FSU に空輸した。

FSU の実験では単ノズル模型のほか複数ノズル模型の実験も行われた。噴流のマッハ数は 2 である。これらの実験が行われたのは 2022 年 3 月で、残念ながら日本側メンバーを派遣することはできなかった。データの解析は日本側の担当で、厳密動的モード分解(Exact DMD)を用いた信号処理を行い低次元モデルの推定を行う予定である。

#### (4) 流れ場の低次元モデル化と高速応答アクチュエータ開発

流体制御については、日本側はプラズマアクチュエータ、FSU 側はマイクロジェットアクチュエータを選定し、それらの有効性を評価する実験をそれぞれで実施した。

日本側では、プラズマアクチュエータ電極に印加する電圧波形変化、特に交流電圧のバースト比を変えた場合の効果に注目して実験を行った。その結果、プラズマアクチュエータの気流制御効果は発生させる誘起流の強さや周波数だけでなく、電圧を印加するタイミングにも影響されることがわかった。そして、形状の異なる 2 種類の翼型(NACA 0015 翼型と NASA の GA(W)-1 翼型)にプラズマアクチュエータを適用し、翼型の違いによるプラズマアクチュエータの効果の違いを実験で評価した。その結果、翼型形状が異なることで剥離様相が異なり、プラズマアクチュエータの効果にも違いが生じることが明らかになった。

他方 FSU 側では、後胴模型を対象にアクチュエータの最も効果的な配置を決定する新しい手法を提案し、制御入力に対する流れの応答を詳細に測定することで新手法の有効性を評価した。使用した手法は、最適化アルゴリズムを用いたパラメータ空間の探索によりアクチュエータの最適配置を決定するものである。ここではマイクロアクチュエータを異なるパターンで順次作動させ、流れ場の計測データからコスト関数を計算し、最適化アルゴリズム(遺伝的アルゴリズム)によって評価する方法を用いた。この方法により、数千のアクチュエータパターンが探索され、実行可能な構成の迅速な特定が可能になる。後部胴体の実験では、新手法により経験に基づく従来のアクチュエータ配置より優れた解を見つけることができ、最適解の条件で後流の渦の循環が 10%近くも減少することが確認された。

今後は、日米双方の専門家による集中的な議論によって双方の知識と技術を集約し、動的フィードバックによる流体制御を実現するための基盤構築につなげたい。

#### (5) 人的交流

本共同研究では学術的な成果を挙げることに共により若手研究者の育成が目的の一つであった。しかし、新型コロナウイルス感染症の影響で人の往来ができないと言う想定外の事態が発生し、人的交流は制限せざるを得なかった。それでも、オンライン会議を有効に活用することにより、予想以上の意見交換と意思疎通ができたと感じている。また、最終年度には実験支援のため後期課程の学生 1 名を 2 か月間という長期にわたり FSU に派遣することができた。2021 年度末で本共同研究は終了となるが、得られた貴重な実験データベースの共同解析と学術論文の出版は今後も続けて行く。日本側からの派遣だけでなく、FSU 側が興味を示している東北大 0.3m 磁力支持天秤装置を用いた風洞実験に参加するため、FSU 側のメンバーが来日する計画についても協議中である。これらのフォローアップの活動を通じて双方の結び付きはより強化され、今後さらなる連携の発展に結び付くものと期待している。

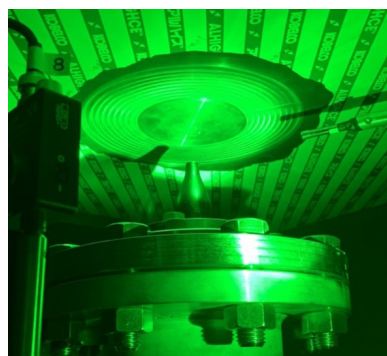


図 8 東北大学の無響室で行われた超音速衝突噴流予備試験(M=2)

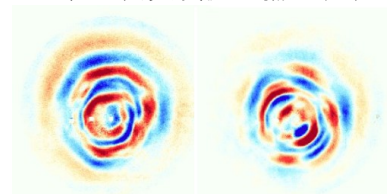


図 9 Exact-DMD で抽出した空間構造 (左:Mode1(St=0.38), 右:Mode2(St=0.25))



図 10 FSU の衝突噴流試験設備

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Suzuki, A. Komuro, T. Nonomura, K. Asai and A. Ando	4. 巻 54
2. 論文標題 Effect of burst ratio on flow separation control using a dielectric barrier discharge plasma actuator at Reynolds number $2.6 \times 10^5$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 315204 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ac00ee	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 Fernando Zigunov, Prabu Sellappan, Farrukh Alvi	4. 巻 63
2. 論文標題 A bluff body flow control experiment with distributed actuation and genetic algorithm-based optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	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) 10.1007/s00348-021-03356-8	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 K. Ohmizu, Y. Ozawa, T. Nagata, T. Nonomura, and K. Asai	4. 巻 25
2. 論文標題 Demonstration and Verification of Exact DMD Analysis Applied to Double-pulsed Schlieren Image of Supersonic Impinging Jet	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Visualization	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) 10.1007/s12650-022-00836-9	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 Fernando Zigunov, Prabu Sellappan, Farrukh Alvi, Yuta Ozawa, Yuji Saito, Taku Nonomura, and Keisuke Asai	4. 巻 7
2. 論文標題 Time-resolved particle image velocimetry and pressure sensitive paint measurements of afterbody flow dynamics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. 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.7.024701	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10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 大水香澄, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 超音速衝突噴流のダブルパルスシュリーレン画像を用いたExact DMDの実証と検証
3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ohmizu, Y. Ozawa, T. Nagata, T. Nonomura, and K. Asai
2. 発表標題 Demonstration and Verification of Exact DMD Analysis Applying to Double-pulsed Schlieren Image of Supersonic Impinging Jet
3. 学会等名 AIAA AVIATION (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大水香澄, 岡慶典, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 動的モード分解適用のための超音速衝突噴流の衝突平面圧力分布の感圧塗料計測
3. 学会等名 第17回学際領域における分子イメージングフォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡慶典, 笠井美玖, 永田貴之, 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 AA-PSP及びレーザ励起光源の組み合わせによる超音速非定常流れ場の圧力分布計測
3. 学会等名 第17回学際領域における分子イメージングフォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tashiro, K., Yokota, S., Fernando Z., Ozawa, Y., Nonomura, T., Asai, K.
2. 発表標題 Aerodynamic Characteristics of the Slanted Cylinder Afterbody Investigated in 0.3-m Magnetic Suspension and Balance System
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 後藤真太郎, 中井公美, 安齋佳希, 小室淳史, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 PA駆動条件下における圧力センサに基づいたデータ駆動型翼周り流速場推定手法の検証
3. 学会等名 プラズマアクチュエータ研究会第8回シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡慶典, 永田貴之, 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 垂直衝撃波の可視化計測によるフリーベースポリフィリンを用いた陽極酸化アルミ被膜型感圧塗料の特性評価と超音速キャビティ流れ場計測への適用
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大水香澄, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 超音速衝突噴流のダブルパルスシュリーレン画像を用いた Exact DMD の実証と検証
3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部 2021 年 講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Kodai Tashiro, Sho Yokota, Fernando Zigunov, Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuke Asai
2. 発表標題 Aerodynamic Hysteresis and Reynolds Number Effect of Slanted Cylinder Afterbody in Magnetic Suspension and Balance System
3. 学会等名 2022 AIAA Aviation Forum (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅井圭介
2. 発表標題 実験流体力学の革新に挑む～国際共創のちから～
3. 学会等名 第98回風洞研究会議 (招待講演)
4. 発表年 2022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	野々村 拓 (Nonomura Taku)  (60547967)	東北大学・工学研究科・准教授  (11301)	
研究分担者	齋藤 勇士 (Saito Yuji)  (50828788)	東北大学・工学研究科・助教  (11301)	
研究分担者	小室 淳史 (Komuro Atsushi)  (70733137)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教  (12601)	

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	安養寺 正之  (Anyoji Masayuki)  (70611680)	九州大学・総合理工学研究院・准教授     (17102)	

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	フロリダ州立大学	カリフォルニア大学ロサンゼルス校	