

令和 5 年 6 月 27 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(A））

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0361

研究課題名（和文）超音速噴流の低次元モデルによる超時空間解像計測と音響波発生メカニズムの解明

研究課題名（英文）Spatio-temporal super-resolution measurement of a supersonic jet using a low-dimensional model and clarification of acoustic wave generation mechanism

研究代表者

野々村 拓（Nonomura, Taku）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60547967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,700,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：海外渡航先であるカリフォルニア工科大学のTim Colonius教授と共同研究を行うことで超時空間解像計測アルゴリズムを開発し、これを超音速流れの計測に適用することで、これまでの計測限界を超えた超音速流れの時空間に解像された計測結果の推定を可能にした。特に、フーリエ級数展開を利用した超時空間解像計測を実施することで2次元PIVの計測であっても3次元速度場の復元に成功している。またマイクロフォンと相関の弱い乱流構造を復元するためのダイナミクスを考慮した超時空間解像計測のフレームワークを提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、海外渡航先で共同研究を行うことで、これまで計測できなかった超音速機などがつくる極限流れをデータ駆動科学を利用して、超時空間解像された流れ場を推定する方法を開発した。これまでに計測できなかった極限流れを計測できるようにすることで、先進の航空機や列車、自動車などの輸送機の開発に生きる技術となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In collaboration with Prof. Tim Colonius of the California Institute of Technology (Caltech), we developed a spatio-temporal resolution measurement algorithm and applied it to supersonic flow measurements, enabling the estimation of spatiotemporally resolved measurement results of supersonic flows that overcome the limits of conventional measurements. In particular, by using Fourier series expansion to perform hyperspace-resolving measurements, we have succeeded in recovering a three-dimensional velocity field even from a two-dimensional PIV measurement. In addition, we were able to propose a framework for ultra-spatial-resolution measurement that takes into account the dynamics and to recover turbulent structures that are weakly correlated with the microphone.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：データ駆動科学 超音速流 超時空間解像計測 粒子画像速度計測法 空力音響

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

次世代の超音速旅客機の開発のためには非定常流れなど流体場のさらなる把握が必要である。これまでこのような超音速流れの解析には、風洞実験と数値解析が用いられてきた。高精度な数値解析は非常に有用なツールとなる一方初期条件や境界条件の設定の難しさがあることが指摘されてきた。そのため、実際の流れを計測する風洞実験がより重要視されてきていた。一方で、風洞実験では高速度カメラや高繰り返しレーザの性能の限界により十分なサンプリングレートを取ることが難しく、時間解像できるが空間解像できない点センサや空間解像できるが時間解像できない面計測をそれぞれ行い、これらのデータから流れ場を推定することのみができていた。

このような状況であったが、研究開始当初にデータ駆動型の流体解析技術が広まってきていた。代表者は、データ駆動型の低次元モデルを利用することで、上記の問題を解決し、時空間に解像された計測を再構成することを着想した。本課題では、基盤研究で進める超時空間解像計測のためのアルゴリズム開発と実験データを用いた実証を海外渡航先で共同研究により行った。

2. 研究の目的

本研究では、「時間解像できないが空間解像できる計測」と「空間解像できないが時間解像できる計測」をデータ駆動型の低次元モデルにより結び付けることにより、時空間に解像された計測結果を推定する「超時空間解像計測」アルゴリズムを開発し、実験データに適用することで検証することを目的とした。特に、超音速噴流を主たるターゲットとして、本研究を進めてきた。具体的には、超時空間解像アルゴリズム開発に対して2つの手法

- フーリエ級数展開と固有直交分解に対する線形統計推定に基づく超時空間解像計測
- ダイナミクスを考慮した超時空間解像計測

を確立し、実験データへ適用することで物理現象の理解を大きく深めた。

3. 研究の方法

本研究は先進計測結果を超時空間解像するアルゴリズムを開発しながら進めてきた。計測方法および、超時空間解像アルゴリズムの開発に関して以下で短く説明する。

先進計測に関しては、研究室の所有する 1)無響室(図 1), 2)超音速ジェット発生装置, 3)超音速用 PIV/3DBOS システム (PIV), 4)マイクロフォンによる音響場測定装置を利用して研究を進めた。

次に、これらの計測結果を解析するための情報工学的手法に関して短く説明する。まず、1. 線形統計推定に基づく再構成に関しては、空間解像された PIV や 3DBOS のデータおよび時間解像されたマイクロフォンのデータを固有直交分解で低次元化した。この際、時間解像されたマイクロフォンのデータは1時刻のデータ量が少ないため、前後の時間のデータも合わせて利用する時間遅れ座標系によりデータを増やすことで、固有直交分解を可能にしている。次に、空間解像データを時間解像されたマイクロフォンデータで回帰するための回帰係数をスパース回帰によって決定した。この際には、グループ L1 ノルムを利用した正則化項を用いた。これは、空間解像データには時間解像データとは相関を持たない乱流成分などが多く含まれるため、このような無相関なデータを回帰に用いず、相関のある部分のみを精度よく回帰するためにスパース回帰を利用している。

2. ダイナミクスを考慮した再構成に関しては、ダブル PIV/パルスシュリーレン計測を行い、短い時間間隔で取得した空間解像されたデータを取得している。このペアデータに対して動的モード分解を適用することで、ダイナミクスを含めたモード分解に成功している。さらに、時間解像されたマイクロフォンのデータを空間解像されたデータの観測値とみなして観測方程式を構築し、取得された空間解像データと空間解像データの間をカルマンフィルタおよびカルマンスムーザで結び付けることでデータを復元するフレームワークを提案している。

4. 研究成果

(1)2次元 PIV の線形統計推定に基づく超時空間解像計測

まず、2次元 PIV とマイクロフォンの同時計測を行い、これらの結果から線形統計推定に基づく超時空間解像計測のイメージを図 1 に示す。このように、低次元モデルを介して、「時間解像できないが空間解像できる計測」と「空間解像できないが時間解像できる計測」をデータ駆動型の低次元モデルにより結び付けることにより、時空間に解像されたデータを復元できることを確認した。この結果をもとに、海外渡航先のカリフォルニア工科大学 Tim Colonius 教授と議論を行い、対称モードと反対称モードへの分離やフーリエ級数展開により高精度な復元ができないかとの着想に至った。そこで、マイクロフォンをリング状に並べて、マイクロフォンのデータをフーリエ級数展開し、PIV データを対称モードと反対称モードに分離して、マイクロフォンの偶数モードと PIV の対称モード、奇数モードと反対称モードの回帰を検討するフレームワークに至った。マイクロフォンで回帰された PIV のモードは、同じフーリエモードを持つと仮定することで、3次元に速度場を再構成できる方法となる。このフーリエ級数展開を利用して3次元流れ場の再構成を行った結果を図に示す。2次元の PIV とリング状のマイクロフォ

ンのデータのみを用いて3次元の速度場の再構成に成功しており、様々な物理現象の理解が可能になった。3DBOSによる密度場に対する解析と同様に、低次元モデルを利用したフラッピングモードの再構成には、2つの逆回りに回転するヘリカルモードのペアを説明変数に持つことがわかった。これらのヘリカルモードの回転速度の違いなどでフラッピングモードの振動面の角度が変化が説明できることを示した。これらの知見はフラッピング現象を生じる流体の不安定性・安定性を説明するものと考えられる。これらの結果は論文にまとめ国際学術誌に投稿中である。

ここまでの成果により、超音速流れのような極限流れにおいて、どのような流体现象が生じているのかを明らかにすることができた。一方で、スクリーチ以外の流体现象は、時間解像されたマイクロフォンのデータとの相関が非常に弱く、再構成することが非常に困難であることがわかった。このため、海外渡航先においてダイナミクスを考慮した再構成の技術の開発を開始した。

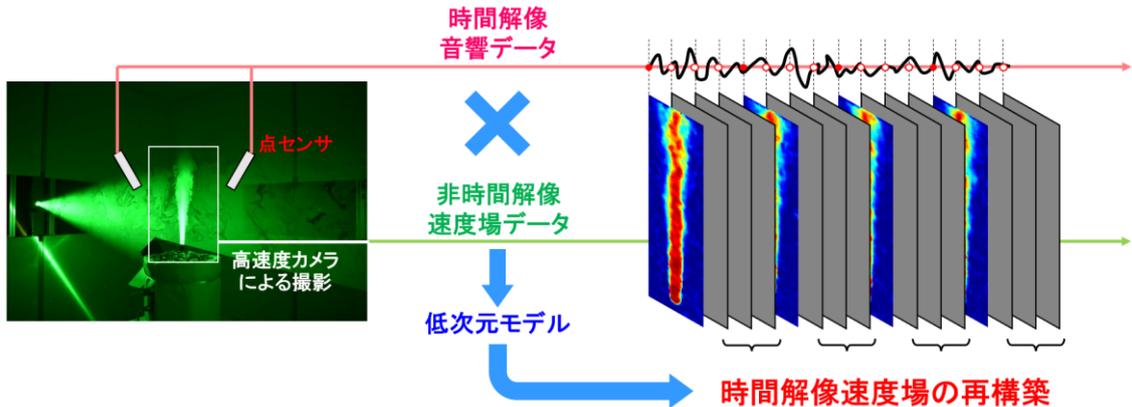


図1 2次元PIVに対する線形統計推定に基づく超時空間解像計測

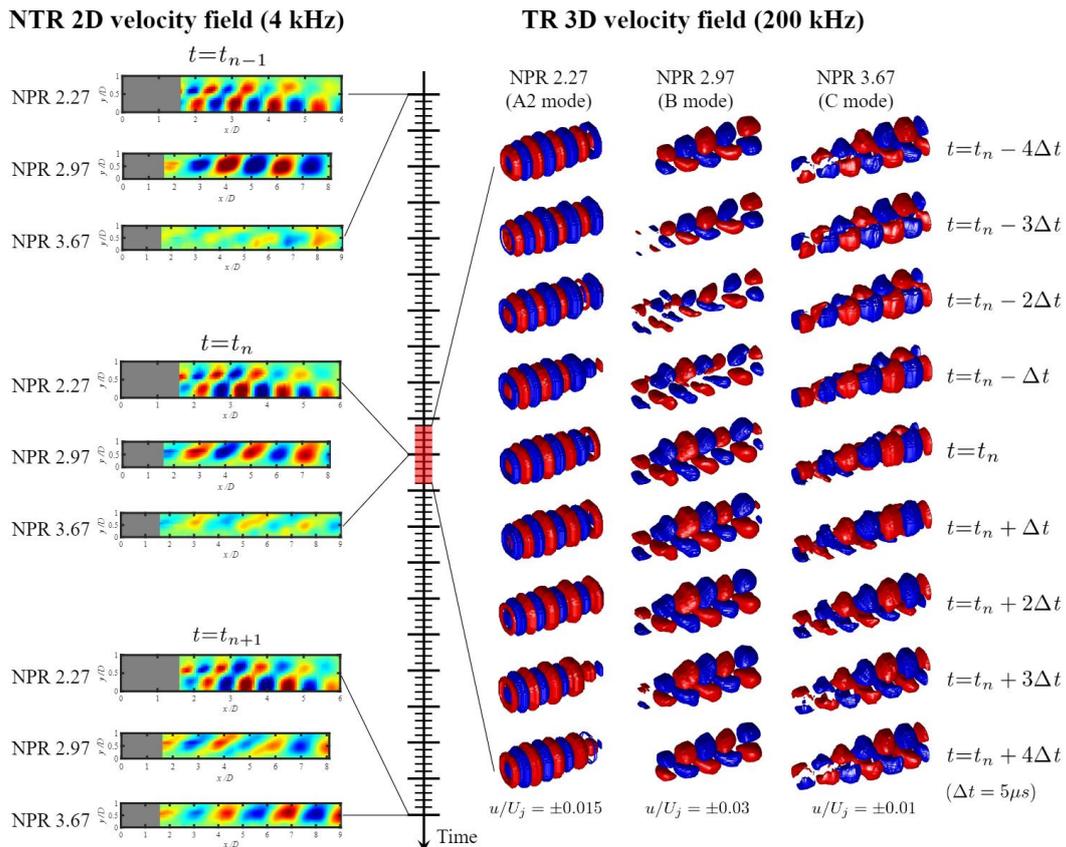


図2 対称モードと反対称モードを利用した3次元再構成

(2)2次元PIVのダイナミクスを考慮した超時空間解像計測

前述までの線形統計推定に基づく超時空間解像計測では、マイクロフォンと相関の弱い乱流構造の復元が難しいことがわかった。Tim Colonius教授と議論を重ね、ダイナミクスを考慮し

た超時空間解像計測のフレームワークを提案した。まずは、Tim Colonius 教授の亜音速乱流ジェットの数値解析データを利用して、その性能を評価した。条件として、動的モード分解が利用可能であり、PIV の速度場が低サンプルレートで取得でき、なおかつマイクロフォンによる音響場の点データが高サンプルレートで取得できる条件を前提とした。この条件で、低サンプルレートの PIV 速度場の間を動的モード分解で得られた線形動的システムを利用して埋めることを着想した。この際、音響データは、PIV 速度場の観測データとして得られると仮定することで、カルマンフィルタおよびカルマンスムーザを利用して流体場の超時空間解像計測ができることを提案している。アルゴリズムのイメージを図 3 に示す。

これらのフレームワークに対して様々なパラメータを変えた際に再構成精度がどのように変化するかを確認した。また、この系では、クロスバリデーションができないことが難しさの一つであるが、PIV データをダウンサンプリングして、中間のデータをどの程度正確に予測できるかを確認することで、超時空間解像計測の全体の精度がどの程度になるかを確認する方法を提案した。

最終的に、国内に戻ってからデュアル PIV を用いて、時間間隔の短いペア速度場を取得し、動的モード分解が利用できる実験系をくみ上げ、海外渡航先で構築したアルゴリズムを実験データへ適用した。図 4,5 に結果を示す。1)のフレームワークではできなかった乱流構造の復元を含めて、超時空間解像計測により流体場が復元できることを示すことができた。

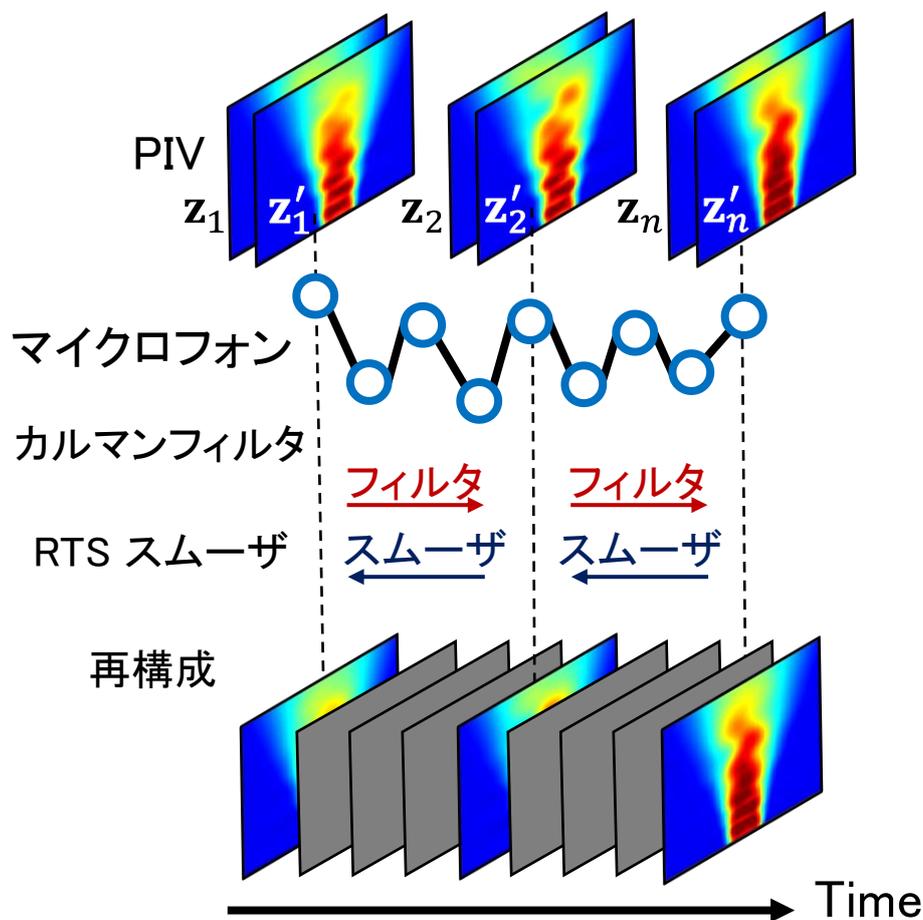


図 3 ダイナミクスを利用した超時空間解像計測 (PIV の間を埋める)

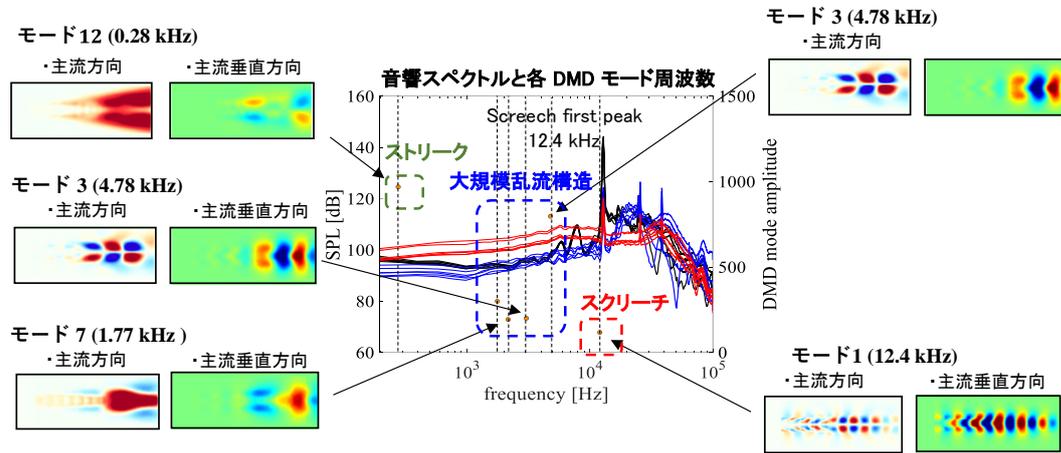


図4 スペクトルと再構成に利用する動的モード

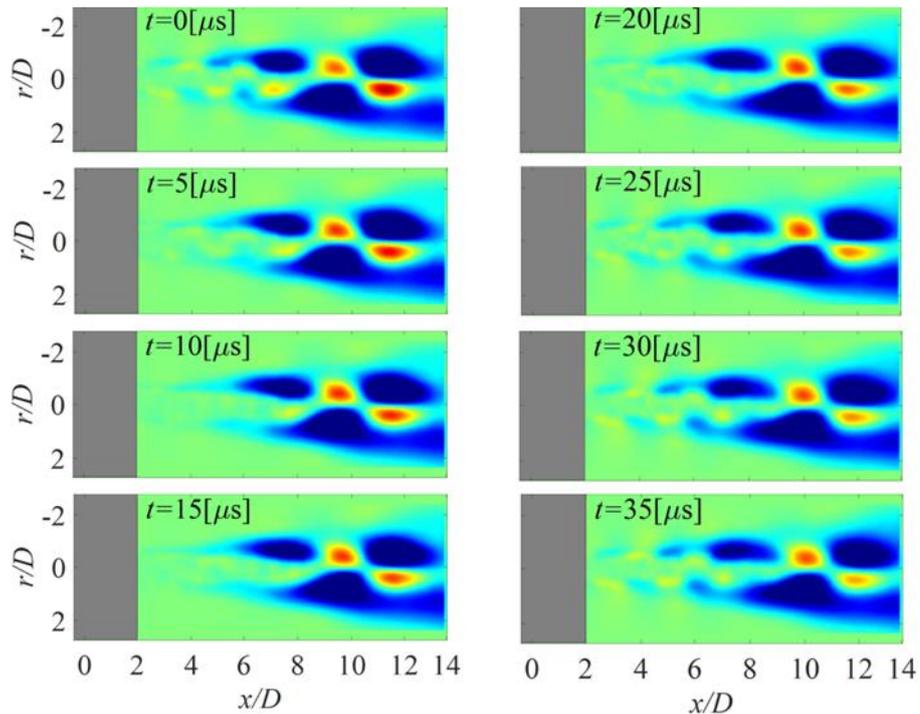


図5 ダイナミクスを考慮した超時空間解像計測

(スクリーチ以外の下流の乱流大規模構造を復元することができている)

以上のように、海外渡航先であるカリフォルニア工科大学の Tim Colonius 教授と共同研究を行うことで超時空間解像計測アルゴリズムを開発し、これを超音速流れの計測に適用することで、これまでの計測限界を超えた超音速流れの時空間に解像された計測結果の推定を可能にした。特に、フーリエ級数展開を利用した超時空間解像計測を実施することで2次元 PIV の計測であっても3次元速度場の復元に成功している。またマイクロフォンと関連の弱い乱流構造を復元するためのダイナミクスを考慮した超時空間解像計測のフレームワークを提案することができた。最終的にこれらのアルゴリズムを実験データへ適用することで、これまで観察できなかった計測限界を超える解像度で非定常流体場を推定することができており、これらの成果から新たな物理現象理解につながっている。今後は得られたデータからさらなる物理現象の理解が期待される。

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 2件）

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. 著者名 Ozawa Yuta, Nagata Takayuki, Nonomura Taku | 4. 巻 25 |
| 2. 論文標題 Spatiotemporal superresolution measurement based on POD and sparse regression applied to a supersonic jet measured by PIV and near-field microphone | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Visualization | 6. 最初と最後の頁 1169-1187 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12650-022-00855-6 | 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 Oka Yoshinori, Nagata Takayuki, Kasai Miku, Ozawa Yuta, Asai Keisuke, Nonomura Taku | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Practical Fast-Response Anodized-Aluminum Pressure-Sensitive Paint Using Chemical Adsorption Luminophore as Optical Unsteady Pressure Sensor | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 6401-6401 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s22176401 | 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 AOKI Rui, FUJIMURA Ikuhiro, HANDA Taro, LEE Chungil, OZAWA Yuta, SAITO Yuji, NONOMURA Taku, ASAI Keisuke | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Feasibility Study of Controlling Supersonic Boundary-layer Flows Using Jets Flapping at Several Tens of Kilohertz | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES | 6. 最初と最後の頁 221-229 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/tjsass.65.221 | 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 Ohmizu Kasumi, Ozawa Yuta, Nagata Takayuki, Nonomura Taku, Asai Keisuke | 4. 巻 - |
| 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 - |

[学会発表] 計28件(うち招待講演 0件/うち国際学会 15件)

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Chungil Lee, Hiroki Nishikori, Takayuki Nagata, Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuk |
| 2. 発表標題 Estimation of Time-Resolved Three-Dimensional Velocity Fields of Underexpanded Jets in Flapping Screech Mode |
| 3. 学会等名 28th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yoshinori Oka, Takayuki Nagata, Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuke Asai |
| 2. 発表標題 Experimental Investigation of Supersonic Cavity Flow Using Fast Free-based Porphyrin Anodized-Aluminum Pressure-Sensitive Paint |
| 3. 学会等名 28th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Hiroki Nishikori, Taku Nonomura, Keisuke Asai, Tim Colonius |
| 2. 発表標題 DMD-based Superresolution Measurement of a Supersonic Jet using Dual Planar PIV and Acoustic Data |
| 3. 学会等名 28th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Harutaka Honda, Yuta Ozawa, Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Spatial superresolution based on proper orthogonal decomposition and Bayesian estimation of subsonic jet flow measured by two magnification PIV simultaneous measurement |
| 3. 学会等名 The 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Eihiro Li, Kasumi Ohmizu, Yoshinori Oka, Takayuki Nagata, Keisuke Asai, Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Spatiotemporal superresolution measurement of impinging jet using fast-response pressure-sensitive paint |
| 3. 学会等名 8th German-Japanese Joint online Seminar (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yoshinori Oka, Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Keisuke Asai and Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Development of a fast free-based porphyrin anodized-aluminum pressure-sensitive paint and application to the supersonic cavity flow |
| 3. 学会等名 8th German-Japanese Joint online Seminar (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Chungil Lee, Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Estimation of Time-Resolved Three-Dimensional Density Fields of Underexpanded Jets |
| 3. 学会等名 Asia-Pacific International Symposium in Aerospace Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Alvaro del Pozo, Sayumi Kaneko, Hiroki Nishikori, Yuta Ozawa, Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 DMD-based Superresolution Measurement of Time-resolved Large-scale Turbulent Structures of a Supersonic Jet based on Acoustic and Dual Planar PIV Data |
| 3. 学会等名 APS DFD 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Harutaka Honda, Yuta Ozawa, and Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Applicability of the Bayesian estimation-based spatial superresolution measurement to the velocity fields of a subsonic jet acquired by simultaneous dual PIV |
| 3. 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Chungil Lee, Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Taku Nonomura |
| 2. 発表標題 Superresolution Measurement and Comprehension of Time-Resolved Three-Dimensional Density Field of an Underexpanded Jets in Screech B Mode |
| 3. 学会等名 AIAA SciTech 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 本多陽敬, 小澤雄太, 野々村拓 |
| 2. 発表標題 二画角同時 PIV 計測とベイズ推定による亜音速噴流の空間超解像計測の検討 |
| 3. 学会等名 日本流体力学会年会 2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 李忠日, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓 |
| 2. 発表標題 超音速噴流の 3 次元超解像計測に基づくフラッピングモードの詳細解析 |
| 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 岡慶典, 永田貴之, 小澤雄太, 野々村拓 |
| 2. 発表標題 陽極酸化皮膜を用いた感圧・感温複合塗料による 温度圧力同時計測システムの実現可能性検討 |
| 3. 学会等名 第18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 2022年 |

| |
|---------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 金子紗弓, Delpozo Alvaro, 錦織広樹, 小澤雄太, 野々村拓 |
| 2. 発表標題 デュアル PIV とマイクロフォンの同時計測データを用いたDMD に基づく超音速噴流の超解像測定手法 |
| 3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部2023年講演会ならびに第4回再使用型宇宙輸送系シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 李忠日, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓 |
| 2. 発表標題 7台の高速カメラによる3D-BOSと近傍音響の同時計測による超音速噴流の3次元時間超解像計測 |
| 3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部2023年講演会ならびに第4回再使用型宇宙輸送系シンポジウム |
| 4. 発表年 2023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 American Institute of Aeronautics and Astronautics AVIATION 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Y. Ozawa, T. Nagata, H. Nishikori, T. Nonomura, K. Asai |
| 2. 発表標題 POD-based Spatio-temporal Superresolution Measurement on a Supersonic Jet using PIV and Near-field Acoustic Data |
| 3. 学会等名 American Institute of Aeronautics and Astronautics AVIATION 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 C. Lee, Y. Ozawa, T. Nonomura, and K. Asai |
| 2. 発表標題 Three-Dimensional Density Reconstruction of Supersonic Triple Jets by Background Oriented Schlieren Technique. |
| 3. 学会等名 2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 小澤雄太, 永田貴之, 錦織広樹, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 固有直交分解に基づく低次元モデルによる超音速噴流の時空間超解像計測 |
| 3. 学会等名 日本流体力学会年会2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 錦織広樹, 小澤雄太, 永田貴之, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 超音速噴流のPIV計測と近傍音響計測によるスクリーチ騒音発生機構の時空間超解像計測 |
| 3. 学会等名 第49回可視化情報シンポジウム |
| 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 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 超音速噴流の高空間解像PIVデータを用いたデータ同化による乱流モデルの最適化 |
| 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 李忠日, 錦織広樹, 永田貴之, 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 PIVとマイクロフォン同期計測による超音速噴流の3次元時空間解像計測 |
| 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 Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuke Asai |
| 2. 発表標題 POD-based Spatio-temporal Superresolution Measurement on a Supersonic Jet with a Mach Number of 2.0 using a PIV and a Near-field Acoustic Measurements |
| 3. 学会等名 17th International Conference on Fluid Dynamics (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Chungil Lee, Yuta Ozawa, Yuji Saito, Taku Nonomura, Keisuke Asai |
| 2. 発表標題 Three-Dimensional Density Reconstruction of Supersonic Twin Jets by Background Oriented Schlieren Technique |
| 3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------------|
| 1. 発表者名 李忠日, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 BOS法可視化結果に基づく超音速噴流の3次元密度場再構成 |
| 3. 学会等名 第48回 可視化情報学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介 |
| 2. 発表標題 マッハ数2.0の超音速噴流の超時間解像計測 第一報 固有直交分解によるPIVデータの低次元化と近傍音響場からの再構成 |
| 3. 学会等名 流体力学講演会 / 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2020オンライン |
| 4. 発表年 2020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 |

〔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 |
|-------------------|---------------------------------|------------------------|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ティム コロニウス (Colonius Tim) | カリフォルニア工科大学・機械・土木専攻・教授 | |

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 | California Institute of Technology | | |