

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00278

研究課題名(和文) データ駆動科学による超音速乱流大規模構造の超時空間解像計測

研究課題名(英文) Data-driven-science-based spatio-temporal super-resolution measurement of a large scale turbulent structure of supersonic jet

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) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では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。まずは線形統計推定に基づく超時空間解像計測を実施し、特徴的な周波数成分をもつスクリーチ現象を超時空間解像計測し、データベース化をしてその物理現象を議論した。さらにデュアルPIVを用いて時間間隔の短いペア速度場の計測を行って動的モード分解を成功させ、ダイナミクスを考慮した超時空間解像計測を実施した。これらの技術により従来の計測では推定が難しかった物理現象を明らかにできた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、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、それを利用することで物理現象の理解を深める研究を行った。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活きる技術となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we developed a spatiotemporal superresolution algorithm and applied it to the measurement of supersonic flow, which enables us to estimate the spatiotemporally resolved measurement results of supersonic flow beyond the conventional measurement limit. First, we conducted a spatio-temporal superresolution measurement based on linear statistical estimation, and measured screech phenomena with characteristic frequency components, and created a database to discuss their physical phenomena. Furthermore, we have successfully performed dynamic mode decomposition of paired velocity fields with short time intervals using dual PIV, and have performed superresolution measurements based on dynamic mode decomposition. These techniques revealed physical phenomena that were difficult to estimate by conventional measurements.

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

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

次世代の超音速旅客機などの開発では、非定常流れを含むより詳細な流体場の把握が必要である。超音速流れの把握には、風洞実験と数値解析が用いられてきたが、近年発達してきた高精度な数値解析には初期条件や境界条件の設定の難しさがあり、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。

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」技術を確立し、超音速流れへ適用することで、流体場のダイナミクスを解明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、

1. 高解像計測による超音速乱流の空間分布の解明 (本報告からは割愛)

2. 超時空間解像アルゴリズム開発

3. 大規模乱流構造の超時空間解像計測によるデータベース構築

を順に進めることでこの実現を狙った。2では特に2つの手法

- 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、3において、粒子画像流速計測 (PIV) と背景指向型シュリーレン法による3次元再構成(3DBOS)法に対してこれらを適用することで、超時空間解像計測を実現し、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し、その結果を高解像度数値解析により検証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、数値解析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。さらに、ダイナミクスを考慮した再構成においては、後述の動的モード分解を行う必要があるため、本研究費を利用してもう一台 PIV システムを構築し、これらを利用して研究を行った。さらに、研究期間中には超時空間解像計測まではできなかったが、これらの計測装置を利用することで、高周波まで捉えられる感圧塗料計測システムの構築をおこなった。

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 smoother 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。

検証のための高解像度数値解析に関しては、分担者の芳賀氏が中心となり、これまでに開発してきた非構造高次精度数値解析手法を用いた高解像度解析を実施し、実験結果と照らし合わせながら結果を解析しアルゴリズムが問題ないことを確認することに利用した。(数値解析の結果は本報告書からは割愛する。)

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を実施した。マッハ数 2.0 の超音速噴流を利用した。PIV およびマイクロフォンのデータを固有直交分解で低次元化し、これらをスパース回帰で結び付けた。現象として、ピーク周波数を持つスクリーチ現象を対象とした。通常の PIV 計測ではカメラやレーザの制約からサンプリングレート 4kHz のデータの取得が限界であるが、サンプリングレート 200 kHz までの結果を推定することに成功している。図 1 に解析イメージを示す。この成果は、国際学術誌にて発表済みである。

これにより、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、空間解像された PIV データに見られる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、後述するダイナミクスを考慮した再構成の技術が必要になると着想した。

また、同じデータに対して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う試みも行っており、スクリーチに限るが 3 次元流れ場の特徴を議論することに成功している。この成果の詳細は割愛する。

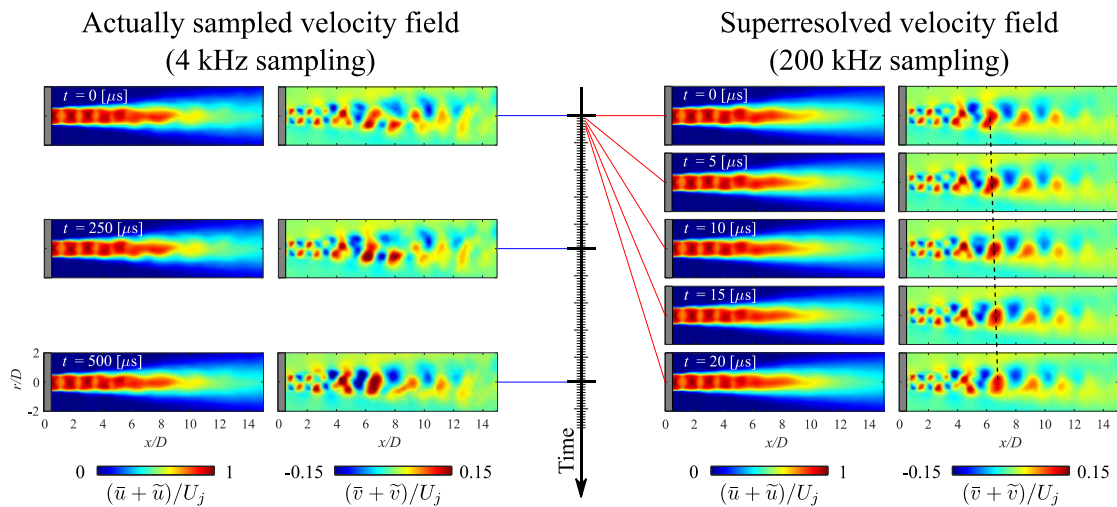


図 1 2次元 PIV に対する線形統計推定に基づく超時空間解像計測

(2)3DBOS の線形統計推定に基づく超時空間解像計測

次に、3DBOS とマイクロフォンの同時計測を行い、これらの結果から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を実施した。1)の成果より、スクリーチ現象の再構成による議論が可能と分かったため、スクリーチのモードが変化する NPR の条件を複数選び、これを実施した。特に物理現象理解が大きく進んだ $\text{NPR} = 2.42$ の結果を示す。まず BOS 計測を行うことで、瞬間 3次元密度場の推定を行った。結果を図に示す。ここで得られた 3DBOS およびマイクロフォンのデータをフーリエ級数展開および固有直交分解で低次元化し、これらをスパース回帰で結び付けた。通常の 3DBOS 計測ではカメラの制約からサンプリングレート 10kHz のデータの取得が限界であるが、サンプリングレート 200 kHz までの結果を推定することに成功している。

これにより、図に示すようにスクリーチのフラッピングモードが生じる際の密度変動場の再構成に成功している。さらに興味深いことに、低次元モデルを介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が利用されることがわかった。これらのヘリカルモードの回転速度の違いなどによりフラッピングモードの振動面の角度が変化していくことなどが明らかになった。逆向きのヘリカルモードの強さがおおよそ同じ程度になることがフラッピングモードの成立の条件とも言い換える事ができ、フラッピング現象を生じる流体の不安定性・安定性に関して新たな知見が得られたと考えている。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。

前述のように様々な NPR でこの実験を行っており、スクリーチの 4つのモードに対して再構成を成功し、それらをデータベース化している。

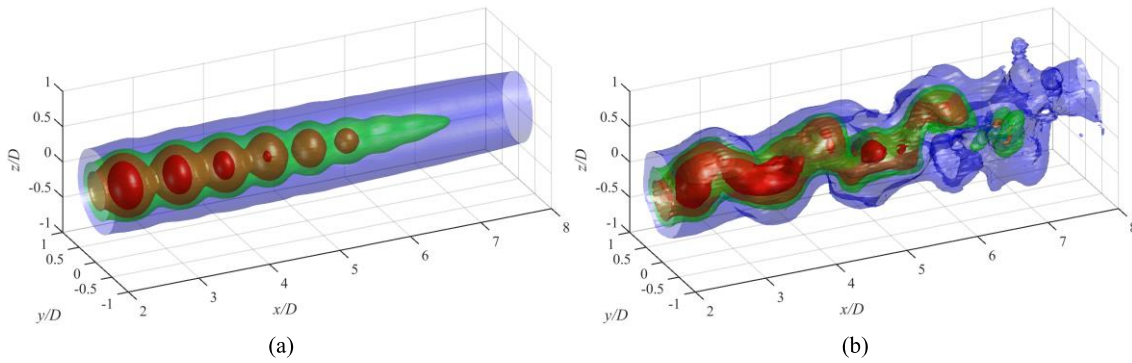


図2 3DBOSの結果 (a:平均, b:瞬間)

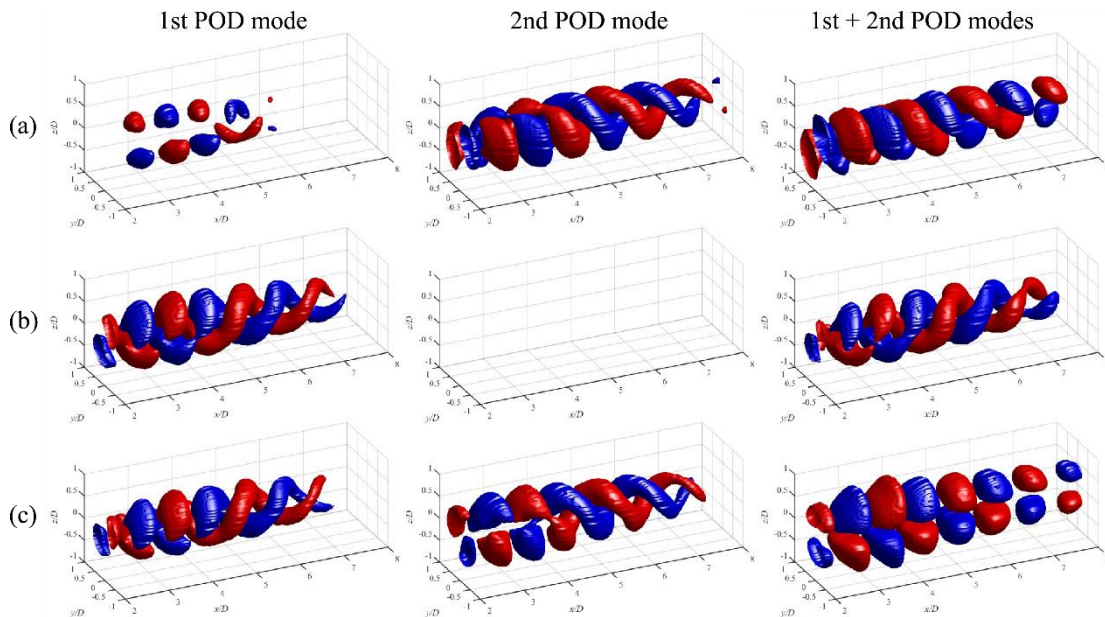


図3 3DBOSに対する線形統計推定に基づく時空間解像計測結果, a,b,cは3つの異なる時間を表しており, ヘリカルモードのペアにより時間応じてフラッピングモードやヘリカルモードを表現している。

(3)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. そこで, デュアル PIV システムを利用したダブル PIV 計測結果から, 動的モード分解を実施しダイナミクスを考慮することで, PIV 計測の間のデータをカルマンフィルタとカルマンスムーザによって復元するフレームワークを利用して解析した. マッハ数 2.0 の超音速噴流を利用した. PIV のデータを固有直交分解および動的モード分解で低次元化し, 係数を潜在変数としてシステムを構築した.

動的モード分解で得られたモードとマイクロフォンの音響スペクトルを図 4 に示す. 前述のモデルと異なり動的モード分解を利用することで, 周波数と関連付けられた空間構造が得られており, これを利用することで, マイクロフォンと相関が弱いモードの超時空間解像計測が可能になる. 図 5 に超解像した結果を示す. 前述の線形統計推定に基づく超時空間解像計測では復元できない乱流構造を復元することに成功している. この条件ではスクリーチのフラッピングモードが生ずるが, フラッピング面の回転により計測のタイミングにより計測面からスクリーチの見えるときと見えないときがあるが, これに呼応して乱流のリフトアップによるストリーク構造の正負が入れ替わることなどが新たにわかった. フラッピングモードの存在による乱流混合の強弱の変化にストリーク構造が対応して変化することが明らかにできた.

合わせて, マッハ数を変化させた複数の条件で超時空間解像計測を実施しデータベース化を行った.

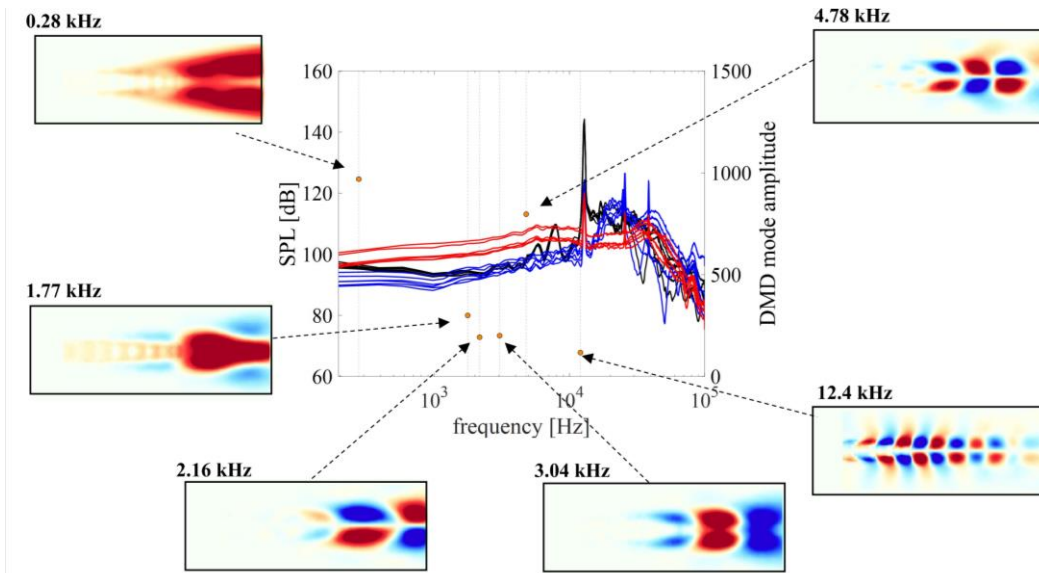


図4 デュアル PIV で得られた短い時間間隔の速度場から推定した DMD モードとマイクフォンの音響スペクトル

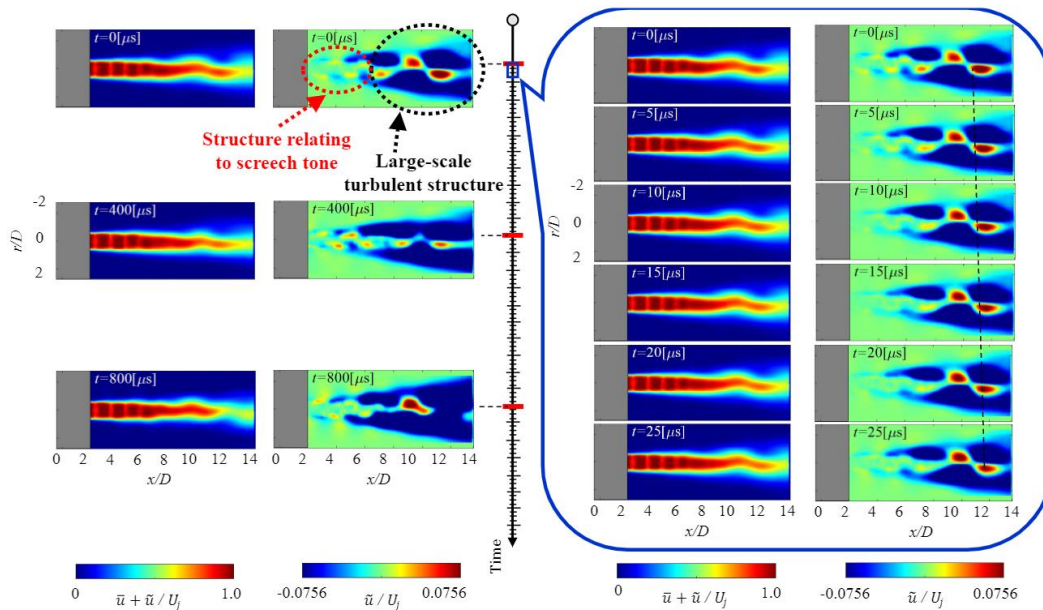


図5 ダイナミクスを考慮した超時空間解像計測

(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、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。まずは線形統計推定に基づく超時空間解像計測を実施し、特徴的な周波数成分をもつスクリーチ現象を超時空間解像計測し、データベース化をしてその物理現象を議論した。これまで明らかでなかった、スクリーチの3次元構造やスクリーチのフラッピングモードがヘリカルモードのペアで表現できることなど、推定された超時空間解像計測結果を考察することで様々な物理的な考察が得られた。一方で、音響計測と関連の弱い乱流成分が再構成できない問題点などが明らかになったため、これを解決するためにデュアル PIV を用いて時間間隔の短いペア速度場の計測を行って動的モード分解を成功させ、ダイナミクスを考慮した超時空間解像計測を実施した。ダイナミクスを考慮することで、乱流構造の再構成に成功しており、スクリーチのフラッピングモードとリフトアップ構造をもつストリークとの関連性があることなど、これまでの計測では推定が難しかった点を明らかにすることができた。これらの超時空間解像計測結果は結果を整理しデータベース化し、今後の研究に活かす予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 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 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 929 ~ 943
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 OZAWA Yuta, NONOMURA Taku, SAITO Yuji, ASAI Keisuke	4. 巻 64
2. 論文標題 Aeroacoustic Fields of Supersonic Twin Jets at the Ideally Expanded Condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 312 ~ 324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tjsass.64.312	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 Lee Chungil, Ozawa Yuta, Haga Takanori, Nonomura Taku, Asai Keisuke	4. 巻 24
2. 論文標題 Comparison of three-dimensional density distribution of numerical and experimental analysis for twin jets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Visualization	6. 最初と最後の頁 1173 ~ 1188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12650-021-00765-z	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 Nonomura Taku, Ibuki Takuma, Ozawa Yuta, Asai Keisuke, Oyama Akira	4. 巻 32
2. 論文標題 Generalized estimation methods of turbulent fluctuation of high-speed flow with single-pixel resolution particle image velocimetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 125306 ~ 125306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/ac27e9	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 Endo Kanta, Ambo Takumi, Saito Yuji, Nonomura Taku, Chen Lin, Asai Keisuke	4. 巻 25
2. 論文標題 Proposal and verification of optical flow reformulation based on variational method for skin-friction-stress field estimation from unsteady oil film distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Visualization	6. 最初と最後の頁 263 ~ 280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12650-021-00794-8	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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Chungil Lee, Hiroki Nishikori, Takayuki Nagata, Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuke Asai
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 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 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 2023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 岡慶典, 永田貴之, 小澤雄太, 野々村拓
2. 発表標題 超音速キャビティの時間解像PSPデータに基づく 動的特徴構造解析
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 Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Hiroki Nishikori, Taku Nonomura, Keisuke 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 AIAA Aviation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kasumi Ohmizu, Yuta Ozawa, Takayuki Nagata, Taku Nonomura, and Keisuke 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 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chungil Lee, Yuta Ozawa, Takanori Haga, Taku Nonomura, Keisuke Asai
2. 発表標題 Comparison of Three-dimensional Density Field of Numerical and Experimental Analysis for Twin Jets
3. 学会等名 18th International Conference on Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chungil Lee, Yuta Ozawa, Taku Nonomura, Keisuke 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 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤 雄太, 伊吹 卓真, 野々村 拓, 浅井 圭介
2. 発表標題 高レイノルズ数流れにむけた高空 間解像度のシュリーレン / 粒子画像速度計測法の開発
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 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 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 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 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 超音速キャピ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 本多陽敬, 小澤雄太, 野々村拓, 浅井圭介
2. 発表標題 二画角同時PIV計測による 亜音速噴流の空間超解像計測
3. 学会等名 日本航空宇宙学会北部支部2022年講演会
4. 発表年 2022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 Nearfield 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 2020年

1. 発表者名 李忠日, 小澤雄太, 小林亮太, 齋藤勇士, 野々村拓, 安養寺正之, 大山聖, 浅井圭介
2. 発表標題 超音速域における後方スティング直径が 軸対称模型のベース流れに及ぼす影響
3. 学会等名 令和 2 年度 宇宙航行の力学シンポジウム
4. 発表年 2020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	芳賀 臣紀 (Haga Takanori) (30646930)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究開発員 (82645)	
研究分担者	浅井 圭介 (Asai Keisuke) (40358669)	東北大学・工学研究科・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)	

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