

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17592

研究課題名(和文) 自律飛行ドローンを用いた計測データ駆動型の非定常環境流動計測システムに関する研究

研究課題名(英文) Study of data-driven unsteady flow measurement system using autonomous drone

研究代表者

三坂 孝志 (Misaka, Takashi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員

研究者番号：20645139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではデータ同化システムから得られる計測データの感度(重要度)情報を用いて統計的に尤もらしい状態推定を行うための最適計測アルゴリズムを、ドローンによる局所環境流動計測システムに融合して、データ駆動型の非定常環境流動計測システムの研究を行い、実環境における限られた計測の価値を最大化する手法を検討した。本研究では特に最適計測のデータ同化アルゴリズム検討と数値実験に注力した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

データ同化の成否には利用される計測の位置、量、性質が大きく影響する。したがって、データ同化システムにおいて選択的に有効な計測値を得ることによりモデル予測精度が向上すると予想される。このような手法を機動性の高いドローンと組み合わせることにより、緊急性を要する観測業務、例えば、災害時の迅速な大気環境調査等への利用が期待できる。本研究では動的に時空間分布が変化する流動現象を把握するのに最適な飛行経路生成に繋がるような感度情報をデータ同化システムから得るための検討を行った。ドローンの素早い展開と本手法に基づく効率的な計測により、プラント事故や災害時の迅速な大気環境調査へと繋がると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The optimal measurement algorithm for statistical state estimation using the sensitivity information (importance) of the measurement data obtained from the data assimilation system is investigated to integrate it with the local environmental flow measurement using drones. This would realize a data-driven unsteady environment flow measurement system for maximizing the value of limited measurement in the real environment. In this study, we focused on the data assimilation algorithm for optimal measurement in numerical experiments.

研究分野：流体情報科学

キーワード：データ同化 最適計測 計測感度 可観測性グラム行列 二次アジョイント法 自律飛行ドローン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

固定翼小型無人航空機は比較的広い範囲の計測ミッションに向いており、気象計測、ダスト計測や放射線分布計測に実際に活用されている。一方で、近年普及が進んでいる多軸回転翼小型無人航空機（以下、小型ドローンと表記）は固定翼機と比較して飛行可能範囲は狭いが（1~2 km 四方程度）、ホバリングによって空中に静止できる利点があるため、観測、動画撮影、監視・点検業務や小売企業の商品配達への利用可能性が期待されている。小型ドローンはバッテリーによる飛行時間の制限があるため、観測業務においては効率的な飛行経路の設定が重要である。計測データに応じて適応的に飛行経路の設定を行う試みは、固定翼小型無人機に関して過去に研究が行われている。比較的飛行速度の大きな固定翼小型無人機では計測対象の時間的な変化を無視できる場合があるが、低速の小型ドローンの場合には計測飛行中の物理量の時空間的な変化を考慮する必要がある。すなわち、時空間的に変化する現象に対する動的飛行ルート生成を検討する必要がある。

データ同化は数値シミュレーションの不確定要因（モデル誤差、初期・境界条件）を観測値により修正する方法であり、気象など自然現象の数値シミュレーションに利用されている。これまで研究代表者らは航空気象への応用として、実際に晴天乱気流に遭遇した旅客機のフライトデータを4次元分法により数値流体力学（CFD）シミュレーションに融合し、乱気流を再現する手法を開発してきた。上記手法を応用して、空港において航空機の離発着頻度を制限する後方乱気流の解析のために、仙台空港に設置されたライダー（レーザーライダー）による実運航機の後方乱気流計測値をCFDシミュレーションに融合する手法の研究を行ってきた。また、企業共同研究を通して工学分野におけるデータ同化の応用も進めてきた。

データ同化においては、大自由度数値モデルの状態変数を限られた計測データによって統計的に推定しなければならないが、限られた計測・観測を用いてより正確な状態推定を行うことは、気象分野のみならず一般のデータ同化問題において非常に重要な課題である。そのような経緯から限られた計測点を有効に配置することによりデータ同化精度を向上させる手法の検討を行い、風洞を利用した実証実験を行った。その実証研究では4次元変分法を用いたデータ同化によって得られる計測感度（各計測データが推定誤差の減少にどれだけ寄与するかを示す量）に基づき、風洞におけるトラバース装置によって物体後流の感度の高いところを適応的に計測するシステムを構築した。実際に自動計測システムを構築することにより、計測・通信・データ同化プログラムを連携させ、実証と課題の抽出を行った。

上記の蓄積に基づき、本研究ではデータ同化で得られる計測感度情報から小型ドローンの動的な経路生成および計測を行うシステムの検討を行った。このような適応型計測システムでは計測装置とモデル解析装置が相互に通信を行い、計測部が解析結果に基づき次の計測点へ移動するという特徴があるが、小型ドローンを計測装置として利用することができれば、効率的な環境計測技術となり得る。現在普及している小型ドローンはバッテリー容量から飛行時間が10~30分程度であるため、計測業務における効率的な飛行経路設定は重要である。

### 2. 研究の目的

本研究ではデータ同化システムから得られる計測データの感度（重要度）情報を用いて統計的に尤もらしい状態推定を行うための最適計測アルゴリズムを、ドローンによる局所環境流動計測システムに融合して、データ駆動型の非常環境流動計測システムの研究を行い、実環境における限られた計測の価値を最大化する手法を検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 4次元変分法に基づく感度解析

4次元変分法では初期流れ場 $x_0$ に関する微分情報からコスト関数（誤差関数）から最小化することでデータ同化を行う。例えば、コスト関数 $J(x_0)$ の計測値ベクトル $y_i$ に関する微分（感度）を求めることができれば、その値の大きな場所はコスト関数を効果的に減少させることのできる計測位置であると言える。Daescuらに基づき以下のようにして計測感度を求める。

$$\nabla_{y_i} J^v = R_i^{-1} H_i \frac{\nabla_{x_i} J^v}{\nabla_{x_0}^2 J(x_0)} \quad (1)$$

ここで $\nabla_{x_0}^2 J(x_0)$ はヘッセ行列であり、二次アジョイント法によって求める。 $J^v$ は検証を行う時刻におけるコスト関数であり、 $H_i$ は線形化した観測演算子である。

#### (2) 可観測性グラム行列に基づく感度解析

データ同化システムと組み合わせることのできる計測最適化の手法として、制御理論における可制御性・可観測性の考え方に基づいた方法がある。計測の最適化に関係する可観測性とは線形システムにおいて計測値からその状態を推定できるかどうかを判断する手法であり、具体的には次のような可観測性グラム行列 $G_o$ の固有値を調べることで、可観測性を評価する。

$$G_o = \int_0^t e^{-A\tau} C C^T e^{-A^T \tau} d\tau \quad (2)$$

ここで $A$ は線形システム行列、 $C$ は観測行列である。行列 $G_o$ が正則であるとき、対象とするシステムは可観測である。データ同化への活用においては、非線形システムへの対応が必要にある。Kingらは直接可観測性グラム行列を評価するのではなく、近似的な可観測性グラム行列を導入

した．

$$\Delta \mathbf{y}_i = \frac{1}{2\rho} [\mathbf{y}(\lambda, \mathbf{x}_0 + \rho \mathbf{w}_i) - \mathbf{y}(\lambda, \mathbf{x}_0 - \rho \mathbf{w}_i)] \quad (3)$$

$$G_o = (\Delta \mathbf{y}_i, \Delta \mathbf{y}_j) = \int_0^t \Delta \mathbf{y}_i^T \Delta \mathbf{y}_j d\tau \quad (4)$$

ここで、 $\Delta \mathbf{y}_i$ は摂動ベクトル $\mathbf{w}_i$ で状態変数ベクトル $\mathbf{x}_0$ を変化させたときの観測ベクトルの差、 $\lambda$ は観測に関するパラメータ(位置など)、そして、 $\rho$ は小さなスカラー量である．この手法では状態変数に対して変動を与え、計測位置で取得した変動値から近似的に可観測性グラム行列を構成し、その最小固有値を最大化することによって計測位置を最適化する．ここでは、流れ場から固有直交分解によって得られる固有直交モードを変動ベクトル $\mathbf{w}_i$ として利用することで、対象とする流れ場に適した変動を与える．この手法は既存の計算コードの出力から計測位置の最適化ができるような非侵襲型のアプローチとなっている．

#### 4．研究成果

データ同化に基づく計測点追加の具体例を単純な非定常流れ場を用いて示す．ここでは、図1に示すような二次元長方形の計算領域内に置かれた正方形角柱まわりの非圧縮性粘性流れを考える．角柱の辺の長さおよび主流速度から定義されるレイノルズ数は100であり、図1の左境界から右境界への流れによって角柱後流にはカルマン渦が発生する．支配方程式はナビエ・ストークス方程式であり、対流項は三次精度の風上差分、粘性項は二次精度の中心差分によって離散化される．時間積分には簡単のために一次精度の陽解法を用いた．格子点数は図1のx方向に200点、y方向に100点であり、角柱部分に10点の格子点が配置されている．時間刻みは0.01に固定した．角柱は埋め込み境界法により物体内部の格子点に壁面で速度ゼロとなるような反対方向の速度ベクトルを与えることで表現している．

ここではデータ同化に基づく計測最適化の簡単な例を示すために、単純な問題設定による数値実験(双子実験)を考える．双子実験ではデータ同化に用いる計測値を、条件を変えた同じ計算コードから生成することでデータ同化システムの検証を行う．具体的には、上記のカルマン渦の例において、渦放出のタイミングのずれ(位相のずれ)をデータ同化により修正するような問題を考える．簡単のために観測誤差は考えない．数値シミュレーションの8タイムステップ毎に計測値が得られるとし、計測点を空間的に変化させて、流れ場の再現性を検討する．計測点はシミュレーションの格子点に一致するように設定する．

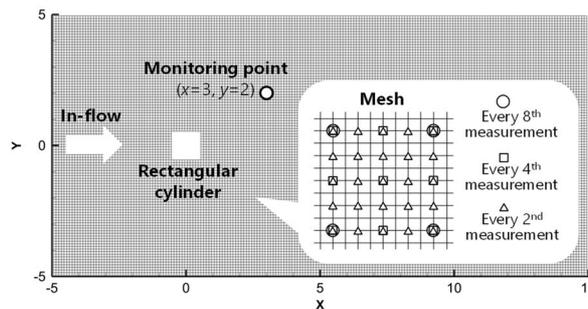


図1 計算領域と計測点の設定

##### (1) 4次元変分法を用いた計測点の追加

4次元変分法によるデータ同化では計測点数によって流れ場推定の精度が大きく変わることが事前に確かめられている．そこでデータ同化において流れ場の情報に基づいて計測点を効率的に配置する方法を検討する．ここで、効率的とは少ない計測点数で小さな推定誤差を実現するという意味であり、特に空間的な計測点の分布方法について調査する．式(1)によって計算した計測感度の大きな格子位置に計測点を追加設定することとした．図2(a)に4格子点おきに計測を行って再現した流れ場を示す．図2では特に角柱付近を拡大している．丸が計測点を表しており、背景が主流方向速度分布である．このときの誤差は表1に示した通りである．角柱直後の領域で速度分布に振動が見られる．一方で、図2(b)に計測感度の高い領域に計測点を追加した結果を示す．計測点追加によって推定された速度分布がより滑らかになっていることがわかる．また、この計測点追加に利用した計測感度の分布を図3(a)に示す．追加計測点の選定は、各計算格子点で得られた計測感度の大きさから、上位1,250点を選択し、初期計測点(4格子点おき)に追加した．

##### (2) 可観測性グラム行列を用いた計測点の追加

図2(c)に可観測性グラム行列に基づき計測点を追加した結果を示す．速度分布がより滑らかになっていることがわかる．また、図3(b)は式(4)から求めた固有値を計算格子点にマッピングしたものである．この固有値分布に基づき、図2(c)では計測点を追加している．図3(a)と(b)の

比較から、渦近くに感度の高い領域が存在し、カルマン渦が1/6周期移動する領域に相当することが確かめられる。可観測性グラム行列を用いて4次元変分法と同様の感度分布が得られたことから、可観測性グラム行列の計測最適化への利用が期待できる。4次元変分法で得られた感度は流出境界付近で大きくなっている点が、可観測性グラム行列の固有値分布と異なる点である。表1に示す誤差値からは、出口境界付近にも計測点を追加した変分法の精度が向上していることがわかる。また、表1から、計測感度に基づいた計測点追加を行うことで、一様に計測点を追加した場合と同様な誤差をより少ない計測点で実現できていることが確認できる。

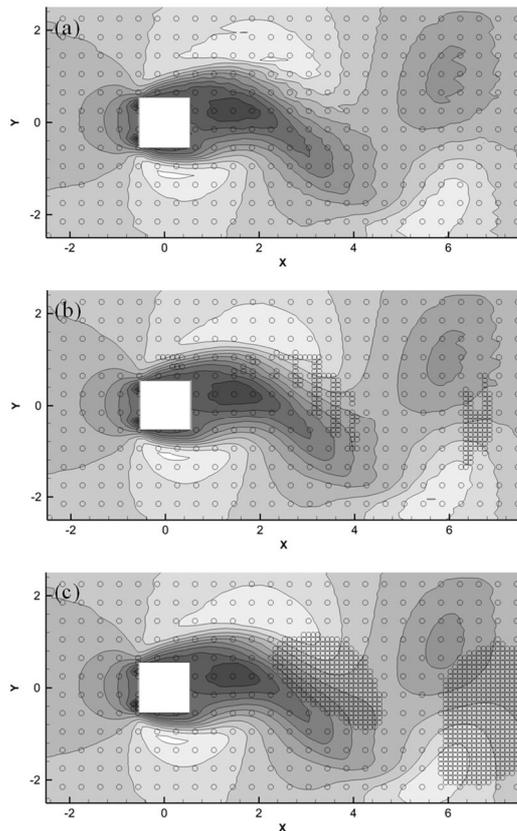


図2 追加された計測点の分布と再現された流れ場

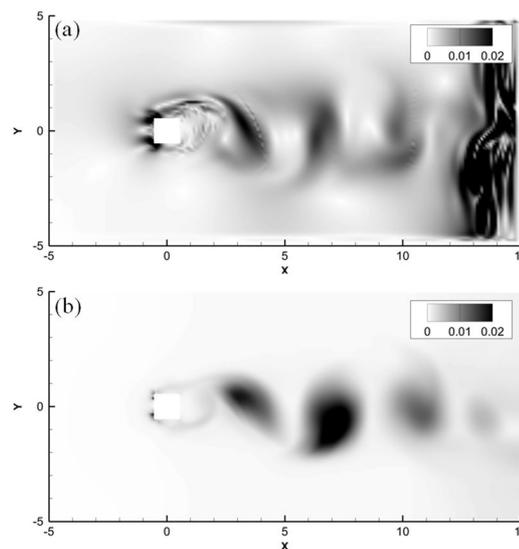


図3 4次元変分法および可観測性グラム行列から得られた計測感度の比較

表1 異なる計測方法における誤差の比較

計測方法	誤差	計測点 / 計算点
2 格子点おき	3.63E-03	5,000/20,000
4 格子点おき	8.37E-03	1,250/20,000
4次元変分法	3.51E-03	2,500/20,000
可観測性グラム行列	5.43E-03	2,500/20,000

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ryoichi Yoshimura, Aiko Yakeno, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi	4. 巻 72
2. 論文標題 Application of Observability Gramian to Targeted Observation in WRF Data Assimilation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tellus A	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/16000870.2019.1697602	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 Shiku Hirai, Yuma Fukushima, Shigeru Obayashi, Takashi Misaka, Daisuke Sasaki, Yuya Ohmichi, Masashi Kanamori, Takashi Takahashi,	4. 巻 56
2. 論文標題 Influence of Turbulence Statistics on Stochastic Jet-Noise Prediction with Synthetic Eddy Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Aircraft	6. 最初と最後の頁 2342-2356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.J051609	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 Takashi Misaka, Jonny Herwan, Seisuke Kano, Ryabov Oleg, Hiroyuki Sawada, Nagayoshi Kasashima, Yoshiyuki Furukawa	4. 巻 62
2. 論文標題 Prediction of Surface Roughness in CNC Turning by Model-Assisted Response Surface Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 196-203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2019.12.004	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 三坂孝志, 加藤博司, 大林茂	4. 巻 122
2. 論文標題 データ同化支援工学(DAE)のこれまでとこれから	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会誌	6. 最初と最後の頁 8-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 加藤博司, 三坂孝志, 大林茂	4. 巻 47
2. 論文標題 大規模システムを見える化するデータ同化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ターボ機械	6. 最初と最後の頁 41-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Fumiya Togashi, Takashi Misaka, Rainald Lohner, Shigeru Obayashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Using Ensemble Kalman Filter to Determine Parameters for Computational Crowd Dynamics Simulations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Computations	6. 最初と最後の頁 2612-2628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/EC-03-2018-0115	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 Takashi Misaka, Shigeru Obayashi	4. 巻 1036
2. 論文標題 Zonal Reduced-Order Modelling toward Prediction of Transitional Flow Fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012012-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1036/1/012012	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 Mitsuo Yoshimura, Koji Shimoyama, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi	4. 巻 23
2. 論文標題 Optimization of Grooved Passive Micromixers Based on Genetic Algorithm and Graph Theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microfluidics and Nanofluidics	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10404-019-2201-6	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 三坂孝志, 浅海典男, 出田武臣, 大林茂	4. 巻 47
2. 論文標題 フィルム冷却効率予測のためのベイジアンモデル較正	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本ガスタービン学会誌	6. 最初と最後の頁 43-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 三坂孝志	4. 巻 38
2. 論文標題 データ同化における計測の最適化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 14-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三坂孝志, 大林茂, ホルツァプフェルフランク	4. 巻 JAXA-SP-18-005
2. 論文標題 後方乱気流のダイナミクス: 発生・崩壊と大気乱流の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 宇宙航空研究開発機構特別資料: 第50回流体力学講演会 / 第36回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 111-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Hamaki Inokuchi, Hiroshi Oikawa, Akeo Misumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Nowcasting Algorithm for Wind Fields Using Ensemble Forecasting and Commercial Flight Data	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Meteorological Applications	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) 10.1002/met.1704	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 牧野真弥, 三坂孝志, 大林茂, 廣瀬拓也, 佐々木大輔	4. 巻 -
2. 論文標題 BCM-TASカップリングソルバーを用いたNASA CRMの空力解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 航空宇宙技術	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) なし	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21件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 複雑現象へのデータ同化アプローチ - 切削加工への応用にむけて -
3. 学会等名 大阪大学MMDS主催「工学と数学との接点を求めて」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 流体CAEにおけるデータ同化の活用
3. 学会等名 高精度CAEのための実験技術およびデータ同化に関する研究会 (名古屋工業大学研究協力会) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 CAEからDAE (データ同化支援工学) へ
3. 学会等名 日本機械学会 流体工学部門 トピックス講習会「流体とインフォマティクス」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 複雑現象へのデータ同化アプローチ - 切削加工への応用 -
3. 学会等名 第5回トリリオンセンサ・可視化研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 Building Cube Methodを用いたFOM/ROMハイブリッド計算
3. 学会等名 日本機械学会 第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉村僚一, 焼野藍子, 三坂孝志, 菊地亮太, 岩淵秀, 大林茂
2. 発表標題 切削加工プロセスにおけるデータ同化に向けて
3. 学会等名 日本機械学会 第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Misaka, Norio Asaumi, Seiji Kubo, Takeomi Ideta, Shigeru Obayashi
2. 発表標題 Prediction of Film-Cooling Effectiveness based on Bayesian Model Calibration of SST Turbulence Model
3. 学会等名 International Gas Turbine Congress 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Misaka, Shigeru Obayashi,
2. 発表標題 Comparison of Data Assimilation Methods in Flow Problems
3. 学会等名 Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Misaka, Ryoichi Yoshimura, Shigeru Obayashi, Naoki Matayoshi
2. 発表標題 Large Eddy Simulation of Wake Vortices under Influences of Hangar Wake and the Ground
3. 学会等名 AIAA 10th Atmospheric and Space Environments Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三坂孝志
2. 発表標題 マルチブロック直交格子における計算スキームの動的切り替え
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 吉村僚一, 大林茂, 三坂孝志, 中村昌道
2. 発表標題 観測感度情報を用いた局地気象データ同化における観測地点の検討
3. 学会等名 第31回計算力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅海典男, 出田武臣, 久保世志, 三坂孝志, 大林茂
2. 発表標題 フィルム冷却効率予測のための乱流モデルのパラメータスタディ
3. 学会等名 第31回計算力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三坂孝志, 浅海典男, 出田武臣, 大林茂
2. 発表標題 SST乱流モデルのベイジアンモデル較正に基づくフィルム冷却効率予測
3. 学会等名 第46回日本ガスタービン学会定期講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三坂孝志, 大林茂, ホルツァプフェルフランク
2. 発表標題 後方乱気流のダイナミクス - 生成・崩壊と大気乱流の影響 -
3. 学会等名 第50回流体力学講演会 / 第36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 2018年

1. 発表者名 菊地亮太, 三坂孝志, 大林茂
2. 発表標題 リアルタイムデータ同化を用いた乱気流回避経路の生成
3. 学会等名 第50回流体力学講演会 / 第36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 2018年

1. 発表者名 Shigeru Obayashi, Takashi Misaka
2. 発表標題 A New Direction of Engineering Simulation Driven by Data Assimilation
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 JpGU2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Obayashi, Takashi Misaka
2. 発表標題 Impact of Haneda Hangar Wake on Landing Aircraft and Wake Vortices
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 JpGU2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三坂孝志, 大林茂
2. 発表標題 データ同化が導く工学シミュレーションの新しい方向
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会「先端技術フォーラム, Industry4.0, IoT 時代の日本のものづくりとCAE」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三坂孝志, 大林茂
2. 発表標題 CAEにおけるデータ同化の可能性
3. 学会等名 第31回関東CAE懇話会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三坂孝志, 鷓飼孝博, 小西康郁, 大林茂
2. 発表標題 データ同化によるEFD/CFD連携の可能性
3. 学会等名 第2回風と流れのプラットフォームシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fumiya Togashi, Takashi Misaka, Rainald Lohner
2. 発表標題 A Data Assimilation Application to Pedestrian Flows
3. 学会等名 Fourteenth International Conference on Flow Dynamics, ICFD 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takashi Misaka (Contributing author), Okada, Hiroshi, Atluri, Satya N. (Editors)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 1342
3. 書名 Computational and Experimental Simulations in Engineering, Proceedings of ICCES2019	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://staff.aist.go.jp/takashi.misaka/index.html">https://staff.aist.go.jp/takashi.misaka/index.html</a>
---

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