

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820039

研究課題名(和文)スーパーコンピュータと風洞をリアルタイムでつないだ最適計測の実証実験

研究課題名(英文) Feasibility Study of Optimal Measurement by Real-time Connection of Supercomputer and Wind Tunnel

研究代表者

三坂 孝志 (Misaka, Takashi)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：20645139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：東北大学流体科学研究所の低乱熱伝達風洞とスーパーコンピュータを高速ネットワークで接続したデータ同化に基づくリアルタイム適応型計測システムの実証実験を行った。実証実験においては供試模型の後流をトラバース装置によって支持されたピトー管で計測した。ピトー管による計測データの処理、トラバース装置の制御およびスーパーコンピュータとの通信処理を一括して扱うためにLabviewによるデータ処理システムを構築した。実証実験において課題となった流れおよび感度解析の計算コストに関して、Radial Basis Function縮約モデルによる流れ場予測およびデータ同化手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Feasibility study of optimal measurement based on data assimilation was conducted by connecting a supercomputer and a wind tunnel in real-time. In the experiment, the wake of a model was measured by a Pitot tube, which is supported by a three-dimensional traverse system. Processing of measurement data, control of the traverse system, and data transfer to the supercomputer were carried out by the LabVIEW software installed on a PC. Numerical flow analysis is conducted during the measurement on the supercomputer so that the sensitivity of additional measurements to a cost function can be obtained and the information is fed back to the LabVIEW PC to locate new measurement positions. Numerical costs of flow prediction and sensitivity analysis were reduced by using a reduced-order model based on a radial basis function. We also introduced the AVS software with the augmented realization (AR) module which enables to superimpose images of numerical results on the view of the experiment.

研究分野：数値流体力学

キーワード：データ同化 数値流体力学 感度解析 計測最適化 風洞実験

1. 研究開始当初の背景

データ同化法は、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）を観測値に基づき修正する方法であり、気象など自然現象のシミュレーションに有効である。これまでの研究からデータ同化の成否は計測データ量と数値計算モデルの自由度（変数の数）の差に大きく依存することが確かめられてきている。このモデルと計測の自由度の大きな差はデータ同化に常につきまとう条件であり、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うに至った。

気象分野においては最適観測の重要性が認識されており、例えば、大気現象の予測精度向上を促進するための国際研究計画(THOPEX, T-PARC)では、台風の予測精度を向上させるための航空機観測の実験を行っている。しかしながら、フィールド実験では最適観測の効果に関する系統的な調査に限界がある。一方で、最適観測・計測に関して、実験室規模でリアルタイム計測同化の検討はこれまで行われていない。

2. 研究の目的

本研究では運航安全に係る乱気流の予測のようにリアルタイム性を要するデータ同化問題において、限られた観測(計測)点を有効に配置する手法を確立するために、スーパーコンピューターによる大規模高速流体解析と風洞実験を高速ネットワークでリアルタイム接続したデータ同化システムを構築し、リアルタイム最適計測の実現可能性を調べる実証実験を行うことを目的としている。上記を達成するため、不可欠な要素技術である次世代のスーパーコンピューティング環境において最大限の性能を発揮するデータ同化システムの構築と高速ネットワークを利用した計測データのリアルタイム転送技術の構築を行う。

3. 研究の方法

限られた計測点を有効に配置するリアルタイム最適計測の可能性を調べる実証実験を行うため、東北大学流体科学研究所のスーパーコンピューターと低乱熱伝達風洞を InfiniBand による高速ネットワークでリアルタイム接続したデータ同化システムを構築する。データ同化およびデータ通信用のソフトウェア整備が中心的な作業となり、流体解析には大規模計算への適用を前提に中橋らによって開発された流体解析コードである Building Cube Method (BCM) コードを使い、申請者が開発してきた4次元変分法に基づくデータ同化コードをBCMコードに組み込むことにより大規模データ同化を可能とする。計

測感度の解析は4次元変分法で得られる感度情報に基づき行われ、次に計測すべき所を計測感度の大きさに従って決めていく。上記を実現するために、以下の項目に関して研究を行う。

- **BCMに基づく4次元変分法コードによる超多並列大規模計算への対応**：4次元変分法は計測データとそれに対応する計算値の差を目的関数として定義し、その目的関数の最小化問題を準ニュートン法により解く方法である。この目的関数は多くの変数(流れ場の初期・境界条件)の関数となるので、最小化に必要な目的関数の勾配を求めするためにアジョイント法を用いる。必要なアジョイントコードは既に開発しており、研究費の交付期間内にはBCMコードへの組み込みと風洞計測データを同化するための目的関数に関して検討を行う。
- **最適計測手法の検討**：これまで数値実験を行ってきた4次元変分法に基づく計測感度の解析を適用するが、リアルタイム化が可能であるかについて計算コストの検討を行い、アンサンブルに基づく感度解析方法の適用も視野に入れる。
- **風洞・スーパーコンピューター融合システムの開発(システムインテグレーション)**：データ同化計算およびデータ転送処理を風洞計測と組み合わせ、計測対象となる物体を置かない状態で通風してシステム全体の動作確認を行う。この単純な流れ場において、計測データを増やすことにより計測感度が減少(すなわち同化された流れ場の不確実性が減少)していくことを確認する。計測感度の解析自体は数値実験によりその効果を確認済みなので、ここでは最終的な可視化も含め、実際の計測を用いたシステムとしての動作確認になる。さらに、風洞・スーパーコンピューター間のデータ転送を非同期通信によって効率的に行う方法の検討を行う。
- **物体後流計測への応用**：物体周りを計算するための計算・計測・データ転送コストの増大がどの程度になるかを検討しつつ、現実的に可能なデータ同化の規模を確認するとともに、実問題における最適計測の実証実験を行う。単純な模型(球、円柱)の後流計測データを利用した最適計測の実証実験を行う。基本的なアプローチとしては、模型後流を等間隔で計測してデータ同化を行い、次に計測感度が高い領域で空間解像度を上げて追加の計測を行う。この手続きを繰り返すことにより、データ同化した流れ場において計測感度が十分小さくなったときに、計測とよく一致する流れ場がスーパーコンピューター内に再現される。

4. 研究成果

平成25年度はBCMに基づく流体解析コードと感度解析コードの開発を進めた。高レイ

ノルズ数流れ解析のために、BCM コードと境界層方程式を組み合わせた解析手法の開発を行い、単純な円柱や航空機の降着装置まわりの流れ解析に適用した。平成 25 年度の後期に予定していた風洞とスーパーコンピューター間のデータ送受信テストは、流れ解析および感度解析コードの開発遅れから平成 26 年度前期に行うこととし、風洞実験の準備は適宜進めた。

平成 26 年度は東北大学流体科学研究所の低乱熱伝達風洞を用いたデータ同化に基づくリアルタイム最適計測システム（適応型計測システム）の実証実験を行った。実証実験においては供試模型を比較的単純な形状の球および立方体とし、それらの後流をトランプ装置によって支持されたピトー管で計測することとした。ピトー管による計測データの処理とスーパーコンピューターとの通信処理を一括して扱うために Labview によるデータ処理システムを構築した。低乱熱伝達風洞とスーパーコンピューター間の通信は 40Gbps/s の速度で行うことができるが、今回の実証実験ではデータ通信量は小さかった。基本的なアプローチとしては、模型後流を等間隔で計測してデータ同化を行い、次に計測感度が高い領域で空間解像度を上げて追加の計測を行う。最適計測における計測位置の決定は、風洞実験と平行して数値流体解析において、計測値を同化したときの流れ場の感度を計算することによって行った。適応型計測システムとして完全自動で動作するものを構築することができたが、リアルタイム性に関しては数値流体解析に用いる BCM コードの計算コストに依存する形となった。可視化のために、AVS の Augmented Realization (AR) モジュールを利用したシステムを導入した。

平成 27 年度は、前年度に東北大学流体科学研究所の低乱熱伝達風洞を用いて行った実証実験において課題となった流れおよび感度解析の計算コストに関して、縮約モデルによる流れ場予測および感度解析手法の改善を行った。流体の支配方程式であるナビエ・ストークス方程式を、固有直交分解によって得られた流れ場依存の基底に射影（ガラキーン射影）して縮約モデルを得る方法が広く用いられているが、この手法は元の数値流体力学ソルバーの改変を必要とする、いわゆる、侵襲型の手法である。加えて、この手法で得られた縮約モデルには安定性に関する問題点が存在する。本研究では、Radial Basis Function (RBF) を用いた縮約モデルを採用することで、縮約モデルの汎用性を向上させた。さらに、RBF 縮約モデルのアジョイントコードを開発し、流れ場の勾配情報を低コストで得る手法を構築した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 10 件）

- [1] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Assessment of Probability Density Function based on POD Reduced-Order Model for Ensemble-based Data Assimilation,” *Fluid Dynamic Research*, Vol. 47, No. 5, pp. 051403 (22pp), 2015, doi: 10.1088/0169-5983/47/5/051403. (査読有)
- [2] Chang Luo, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Takashi Goto, Ruriko Yamawaki, “Computational Study of Compound Angle Film Cooling Flow Field and Aerodynamic Losses Using a Parallel Hybrid Mesh Navier-Stokes Code,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, Vol. 229, No. 6, pp. 597-612, 2015. (査読有)
- [3] Takashi Misaka, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, “Large-Eddy Simulation of Aircraft Wake Evolution from Roll-up Until Vortex Decay,” *AIAA Journal*, Vol. 53, No. 9, pp. 2646-2670, 2015, doi: 10.2514/1.J053671. (査読有)
- [4] Takashi Misaka, Fabio K. Nakabayashi, Shigeru Obayashi, Hamaki Inokuchi, “Filtering Algorithm of Airborne Doppler Lidar Measurements for Improved Wind Estimation,” *Transactions of JSASS*, Vol. 58, No. 3, pp. 149-155, 2015. (査読有)
- [5] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Sensitivity Analysis of Unsteady Flow Fields and Impact of Measurement Strategy,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, Article ID 359606, 12 pages, 2014, doi:10.1155/2014/359606. (査読有)
- [6] Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Takashi Misaka, “Hybrid Simulation of Wake-Vortex Evolution during Landing on Flat Terrain and with Plate Line,” *International Journal for Heat and Fluid Flows*, Vol. 49, pp. 18-27, 2014, DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2014.05.004. (査読有)
- [7] Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Takashi Misaka, Reinhard Geisler, Robert Konrath, “Enhancement of Aircraft Wake Vortex Decay in Ground Proximity - Experiment versus Simulation,” *CEAS Aeronautical Journal*, Vol. 5, pp. 109-125, 2014, DOI: 10.1007/s13272-013-0094-8. (査読有)
- [8] 三坂孝志, 佐々木大輔, 大林茂, 中橋和博, 航空機エンジン排気ジェットと後流渦の干渉解析, 東北大学サイバーサイエンスセンター SENAC, Vol. 47, No. 3, pp. 27-35, 2014.
- [9] 菊池亮太, 三坂孝志, 大林茂, 牛尾知雄, 嶋村重治, 又吉直樹, 空港周辺で発生する低層風上欄の気象モデルとLESによる融合解析, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.

- 61, No. 6, pp. 159–166, 2013. (査読有)
- [10] Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Takashi Misaka, “Aircraft Wake Vortex in Ground Proximity - Physical Mechanisms and Artificial Enhancement,” *Journal of Aircraft*, Vol. 50, No. 4, pp. 1250–1260, 2013, DOI: 10.2514/1.C032179. (査読有)
- [学会発表] (計 4 6 件)
- [1] Junho Cho, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Kwanjung Yee, Shinkyu Jeong, “Application of Data Assimilation to Aviation Safety,” OS17, CRF-7, Twelfth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2015, Sendai, October 27–29, 2015.
- [2] Yuriko Takeshima, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Topology-Based Multisensory Realization of Wake Turbulence,” OS17, CRF-16, Twelfth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2015, Sendai, October 27–29, 2015.
- [3] Mitsuo Yoshimura, Takashi Misaka, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, “Topology Optimization of Flow Channels with Heat Transfer Using a Genetic Algorithm Assisted by the Kriging Model,” The 11th International Conference on Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control with Applications to Industrial and Societal Problems, EUROGEN-2015, Glasgow, UK, September 14–16, 2015.
- [4] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, “Sensitivity Analysis of Wake Vortex Parameters Measured by Doppler Lidar,” AIAA Paper 2015-3023, 7th AIAA Atmospheric and Space Environments Conference, AIAA Aviation 2015, Dallas, USA, June 22–26, 2015.
- [5] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Real-Time Flow Prediction of Low-Level Atmospheric Turbulence,” AIAA Paper 2015-1469, AIAA 53rd Aerospace Science Meeting, SciTech 2015, Kissimmee, USA, January 5–9, 2015.
- [6] Junpei Takeno, Takashi Misaka, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, “Analysis of Sonic Boom Propagation Based on the KZK Equation,” AIAA Paper 2015-0745, AIAA 53rd Aerospace Science Meeting, SciTech 2015, Kissimmee, USA, January 5–9, 2015.
- [7] Shigeru Obayashi, Takashi Misaka, Ryota Kikuchi, “Data Assimilation of Lidar/Radar Observations at Airports for Aviation Safety,” Tohoku University - DLR Workshop, Sendai, October 13-14, 2014.
- [8] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Surrogate-Based Probability Density Function Modeling for Efficient Particle Filter,” Eighth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2014, Sendai, October 8-10, 2014.
- [9] Junpei Takeno, Takashi Misaka, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, “Analysis of Diffraction Effect on Sonic Boom Propagation Using the KZK Equation,” Eighth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2014, Sendai, October 8-10, 2014.
- [10] Mitsuo Yoshimura, Takashi Misaka, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, “Topology Optimization of Flow Channels Using a Surrogate-Based Genetic Algorithm,” Eighth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2014, Sendai, October 8-10, 2014.
- [11] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, “Advanced LES of Aircraft Wake Vortices” Eighth International Conference on Flow Dynamics, ICFD2014, Sendai, October 8-10, 2014.
- [12] Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Takashi Misaka, “Simulation of Aircraft Wake Vortices During Landing with Decay Enhancing Obstacles,” ICAS Paper 2.5.1, 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, St. Petersburg, Russia, September 7-12, 2014.
- [13] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, “Data Assimilation for POD Reduced-Order Model - Comparison of PF and EnKF,” 17th International Conference on Information Fusion - FUSION 2014, Salamanca, Spain, July 7-10, 2014.
- [14] Frank Holzäpfel, Anton Stephan, Nikola Tchipev, Tobias Heel, Stephan Körner, Takashi Misaka, “Impact of Wind and Obstacles on Wake Vortex Evolution in Ground Proximity,” AIAA Paper 2014-2470, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition, Aviation 2014, Atlanta, USA, June 16-20, 2014. (招待講演)
- [15] Yuriko Takeshima, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Frank Holzäpfel, Hiroshi Kato, Shigeo Takahashi, Issei Fujishiro, “Topological Approach to Multisensory Realization of Wake Turbulence,” AIAA Paper 2014-2335, AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition, Aviation 2014, Atlanta, USA, June 16-20, 2014. (招待講演)
- [16] Frank Holzäpfel, Anton Stephan, Nikola Tchipev, Tobias Heel, Stephan Körner, Takashi Misaka, “Impact of Wind, Touchdown, and Plate Lines on Wake Vortex Evolution in Ground Proximity,” WakeNet-Europe Workshop 2014,

- EUROCONTROL Experimental Center, Bretigny, France, May 13-14, 2014.
- [17] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, "Validation of POD Reduced-Order Model with Particle Filter to Predict Low Level Turbulence," 11F-3, 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems, COMSAFE 2014, Sendai, April 14-16, 2014.
- [18] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, Kazuhiro Nakahashi, "Numerical Simulation of Jet-Wake Vortex Interaction," AIAA Paper 2014-0926, AIAA 52nd Aerospace Science Meeting, SciTech 2014, National Harbor, USA, January 13-17, 2014.
- [19] Frank Holzäpfel, Anton Stephan, Takashi Misaka, Stephan Körner, "Wake Vortex Evolution During Approach and Landing With and Without Plate Lines," AIAA Paper 2014-0925, AIAA 52nd Aerospace Science Meeting, SciTech 2014, National Harbor, USA, January 13-17, 2014.
- [20] Yuma Fukushima, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "The Numerical Analysis of Forward Fan Noise Shielding Effect on the Over-the-Wing Nacelle Configuration," AIAA Paper 2014-0720, AIAA 52nd Aerospace Science Meeting, SciTech 2014, National Harbor, USA, January 13-17, 2014.
- [21] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, Kazuhiro Nakahashi, "Toward Numerical Simulation of Jet-Wake Vortex Interaction," Tenth International Conference on Flow Dynamics 2013, Sendai, November 25-27, 2013.
- [22] Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Keizo Takenaka, Kazuhiro Nakahashi, "Large Eddy Simulation of Rudimentary Landing Gear based on Building-Cube Method," Tenth International Conference on Flow Dynamics 2013, Sendai, November 25-27, 2013.
- [23] Chang Luo, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Takashi Goto, Ruriko Yamawaki, "Numerical Investigation on Flow Characteristics and Aerodynamic Losses of Compound Angle Film Cooling Jets," Tenth International Conference on Flow Dynamics 2013, Sendai, November 25-27, 2013.
- [24] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Yuriko Takeshima, Shigeru Obayashi, "Validation of the Proper Orthogonal Decomposition - Particle Filter Coupling Approach to Predict Low-Level Turbulence," The 12th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, FLUCOME 2013, Nara, November 18-23, 2013.
- [25] Anton Stephan, Frank Holzäpfel, Takashi Misaka, "Towards Realistic Simulation of Wake Vortex Evolution during Landing with Flat and Complex Terrain," AERIA, 8th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, TSFP-8, Poitiers, France, August 28-30, 2013.
- [26] Ryota Kikuchi, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, "Estimation of Low-Level Turbulence Utilizing the Proper Orthogonal Decomposition and Particle Filter," 16th International Conference on Information Fusion - FUSION 2013, Istanbul, Turkey, July 9-12, 2013.
- [27] Frank Holzäpfel Anton Stephan, Takashi Misaka, Stephan Körner, "Towards Understanding of Wake Vortex Evolution during Approach and Landing with and without Plate Lines," WakeNet-Europe Workshop 2013, Bonneuil-sur-Marne, France, May 15-16, 2013.
- [28] Yuma Fukushima, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "CFD-CAA Coupled Computation of Fan Noise Propagation from engine Nacelle Based on Cartesian Mesh Method," 19th AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference, AIAA Paper 2013-2020, Berlin, Germany, May 27-29, 2013.
- [29] 小池雅輝, 小川泰一郎, 佐々木大輔, 三坂孝志, 福島裕馬, 大林茂, 直交格子法による翼列流れの数値解析に向けた基礎研究, 日本機械学会 北陸信越支部 第53期総会・講演, 信州大学工学部, 2016年3月5日.
- [30] 廣瀬拓也, 佐々木大輔, 福島裕馬, 三坂孝志, 大林茂, BCM-TAS カップリングソルバーを用いた NASA CRM 解析, 第53回飛行機シンポジウム, 松山市総合コミュニティセンター, 2015年11月11-13日.
- [31] 三坂孝志, 鶴飼孝博, 小西康郁, 大林茂, データ同化に基づく計測位置の最適化, 日本機械学会 第28回計算力学講演会, 横浜国立大学, 2015年10月10-12日.
- [32] 内田竜朗, 菊地亮太, 三坂孝志, 大林茂, 時系列 PIV 計測を用いた角柱周り流れのリアルタイムデータ同化計算, 日本機械学会 第28回計算力学講演会, 横浜国立大学, 2015年10月10-12日.
- [33] 山川寛展, 野中紀彦, 佐藤孝磨, 三坂孝志, 下山幸治, 大林茂, データ同化による空調機流体解析手法の高度化, 日本機械学会 第28回計算力学講演会, 横浜国立大学, 2015年10月10-12日.
- [34] 方辰, 三坂孝志, 大林茂, 浅井圭介, 安保

- 巧, 沼田大樹, せん断応力分布を用いた低レイノルズ数翼の空力予測, 1 B12-JSASS-2015-2024-F/, 第 47 回流体力学講演会/第 33 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京大学生産技術研究所, 2015 年 7 月 2-3 日.
- [35] 菊地亮太, 三坂孝志, 大林茂, 井之口浜木, 及川博, 旅客機データを使用したリアルタイム乱気流予測, 1 B12-JSASS-2015-2023-F/A, 第 47 回流体力学講演会/第 33 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京大学生産技術研究所, 2015 年 7 月 2-3 日.
- [36] 佐々木大輔, 廣瀬拓也, 福島裕馬, 三坂孝志, 大林茂, BCM-TAS カップリングソルバーを用いた NASA CRM 解析, 第 47 回流体力学講演会/第 33 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京大学生産技術研究所, 2015 年 7 月 2-3 日.
- [37] 三坂孝志, 加藤博司, 航空・流体力学分野におけるデータ同化の応用～設計活かすデータ同化技術の構築に向けて, 第 7 回 EFD/CFD ワークショップ, 秋葉原コンベンションホール, 2015 年 1 月 26 日.
- [38] 三坂孝志, 下山幸治, 大林茂, 山川寛展, データ同化による多孔質体の抵抗パラメータ推定, 日本機械学会 計算力学講演会 2014, 岩手大学, 2014 年 11 月 22-24 日.
- [39] 方辰, 三坂孝志, 菊地亮太, 大林茂, 浅井圭介, 安保巧, 沼田大樹, 加藤博司, データ同化を用いた 3 次元翼の非線形空力解析, 日本機械学会 計算力学講演会 2014, 岩手大学, 2014 年 11 月 22-24 日.
- [40] 三坂孝志, 航空・流体工学分野におけるデータ同化適用例の紹介, 第 27 回新生流体科学セミナー, 東京大学, 2014 年 10 月 30 日.
- [41] 菊地亮太, 三坂孝志, 大林茂, EFD/CFD 融合技術のための円柱周りのリアルタイム流れ場予測, 第 46 回流体力学講演会/第 32 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 弘前文化センター, 2014 年 7 月 3-4 日.
- [42] 大林茂, 三坂孝志, ドップラーライダー観測情報に基づく気流ベクトル推定, 東北大学-JAXA 連携協力協定(流体科学系)平成 25 年度共同研究報告会, 東北大学 流体科学研究所, 2014 年 6 月 12 日.
- [43] 菊地亮太, 三坂孝志, 竹島由里子, 大林茂, リアルタイムデータ同化計算を用いた低層風擾乱の流れ場予測, 可視化情報全国講演会, 会津大学, 2013 年 9 月 27-28 日.
- [44] 菊地亮太, 三坂孝志, 大林茂, 縮約モデルと粒子フィルタを用いたリアルタイムデータ同化計算, 第 45 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2013, タワーホール船橋, 2013 年 7 月 4-5 日.
- [45] 今井和宏, 竹中啓三, 石田崇, 三坂孝志,

Building-Cube Method による高レイノルズ数粘性流解析, 第 45 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2013, タワーホール船橋, 2013 年 7 月 4-5 日.

- [46] 三坂孝志, 大林茂, 竹中啓三, 中橋和博, BCM と境界層方程式のカップリングによる四輪型脚基本形状 RLG まわりの非定常流れ場解析, 第 45 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2013, タワーホール船橋, 2013 年 7 月 4-5 日.

〔図書〕 (計 0 件)
なし

〔産業財産権〕
○出願状況 (計 1 件)

名称: 遠隔気流計測装置, 遠隔気流計測方法及びプログラム
発明者: 井之口浜木, 大林茂, 三坂孝志, 菊地亮太
権利者: 宇宙航空研究開発機構, 東北大学
種類: 特願
番号: 2015-195895
出願年月日: 2015 年 10 月 1 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)
なし

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/edge/DAE/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
三坂孝志 (Misaka, Takashi)
東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教
研究者番号: 20645139

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし