

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04286

研究課題名(和文) 3次元ブラフボディ後流の双安定性に起因する予測困難な流体力の急変に関する研究

研究課題名(英文) A study on unpredictable changes in fluid-force characteristics due to wake bistability of 3D bluff body

研究代表者

中島 卓司 (NAKASHIMA, Takuji)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：40444707

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、主に自動車を想定した地面効果中を進行する実用的3次元ブラフボディに作用する流体力について、ボディ周り流れが同一条件下で異なる2形態をとり得る「双安定」な状態となり、一方から他方の流れ形態へ遷移する際に生じる予測困難な作用流体力の急変現象について調査した。外乱条件によって周囲流れに双安定性を示す複数のブラフボディを対象に、風洞試験装置と回流水槽試験装置を用いた実験的研究、ならびにボディ周りの非定常乱流場の数値シミュレーションに基づく数値解析的研究の双方を行うことによって、作用流体力の急変現象の持つ特徴を明らかにし、双安定性の発現を抑制する技術についても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地面効果中を進行する実用的3次元ブラフボディに発現する、双安定な空力現象の特性を明らかにした。同一の周囲流れ条件下において、ボディ局所の流れ特性が切替ることで、ブラフボディ周りの流れ構造全体が大きく異なる2状態を生じる、空力双安定状態の理解が促進したことは、流体力学的に有意義な成果である。

また、現在の自動車空力設計では、極限まで空気抵抗を低減する形状の追及や新技術普及に伴うデザイン自由度拡大に伴って、空力双安定状態を避ける設計マージンが縮小しつつある。このため、本研究による双安定状態の特性解明と、双安定状態の発現の効果的な抑制手法の提案は、自動車工学的にも有意義な成果である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the unpredictable changes in fluid-force characteristics of a practical 3-D bluff body traveling in ground effect, mainly assuming an automobile. This phenomenon occurs when the flow around the bluff body becomes "bi-stable," which means that the flow can take two different states under the same conditions, and the flow transitions from one state to the other.

We conducted both experimental and numerical studies of bluff bodies, around which the flow show bi-stability under certain disturbance conditions. Specifically, the unsteady flow measurements in wind-tunnel and circulating water-tank facilities and the numerical simulations of unsteady turbulent flow fields around the bodies were conducted. Through these studies, we clarified the characteristics of the sudden changes in fluid-force characteristics, and also discussed techniques to suppress the bi-stability causing the changes.

研究分野：流体力学

キーワード：流体力学 応用空気力学 3次元ブラフボディ 自動車空力 双安定性 非定常空気力 流体構造連成後流

1. 研究開始当初の背景

自動車や鉄道に代表される地面近傍を進行する実用的な3次元ブラフボディ周りでは、ボディ局所から発生する流れ構造が互いに干渉しあい、さらに地面効果もあって非常に複雑な流れが形成されている。このため、基礎から実用まで幅広い研究がなされながらも、未だ研究課題は多く学術的にも興味深い流れ場である。なかでも近年、3次元ブラフボディ後流に現れる流れ場の双安定性が注目されており、一定のヨー角で大きく異なる揚力が交互に作用する空力特性を示す実車乗用車について報告¹⁾がなされた。これは、ボディの空力特性を決定づける後流に安定な2形態が存在し、自励の乱流変動や外乱による僅かな条件変化で両形態間を行き来することで生じている。このため、ボディ後流の形態変化は不定期に発生し、それに伴う空気力変化は予測が困難な事象である。

このような流体力特性は、自動車のような実用的ブラフボディにおいて、平均的空気抵抗の増大やボディの予期せぬ運動特性変化を招くため、このような特性を避ける空力設計がなされてきた。しかし現在、極限まで空気抵抗を低減する形状の追及や電気自動車等の新技術普及に伴うデザイン自由度拡大に伴って、後流形態の安定限界からのマージンが小さくなりつつある。結果、先述の研究報告¹⁾のように、大気風外乱で双安定性を発現する複数の実車車両が報告されている。従って、従来のように空力双安定性を回避するのみではなく、現象の詳細な特性を理解した上で適切に取り扱うことで、実用的ブラフボディの流体力性能を一層高めることが望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に自動車を想定した地面効果中を進行する実用的3次元ブラフボディを対象に、双安定な後流形態間の遷移が生じる予測困難な作用流体力の急変現象について、現象特性の解明と実用特性の抽出、そして現象理解に基づく制御技術の構築を行うことである。

3. 研究の方法

双安定なブラフボディ後流が示す特性理解のため、複数の異なる特徴を持つ3次元ブラフボディ後流の双安定性について調査を行った。また、実用特性として、様々な外乱が加わった際の応答特性にも注目し、双安定な後流形態の外乱応答性を明らかにするとともに、そこから流れの形態遷移のきっかけとなる現象についても明らかにした。さらに、実用ブラフボディの性能向上につながる、現象理解に基づく効率的な後流形態の制御手法の構築を目指した。

このため本研究では、回流水槽および風洞の両実験装置による実験的計測と、Large-Eddy Simulation (LES) 法による流れの数値解析の双方を用いて、現象の調査解明と制御技術の構築を行った。以下に、検討対象としたブラフボディと、検討に用いた各手法について述べる。

(1) 調査対象としたブラフボディ

一様流に対して、ボディ姿勢がヨー方向へ傾いた際に空力双安定性を示す、2種のブラフボディを対象とした調査を行った。図1にAhmed²⁾による簡易車両モデルの後背角 α を 32° としたモデル、図2に簡易セダンモデル³⁾の3面図を示す。後者は、後端角部の形状にバリエーションがあり、曲率半径40, 60mmのモデルを各々R40モデル、R60モデルと称する。

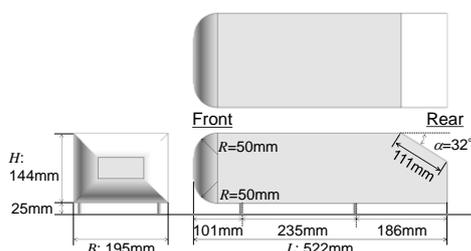


図1 Ahmedモデル(後背角 32°)

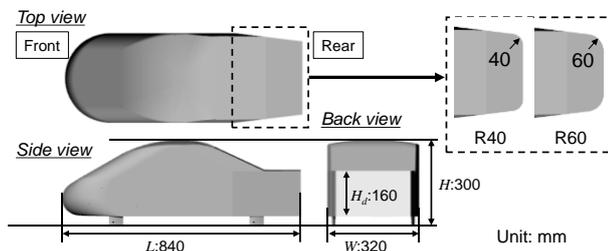


図2 簡易セダンモデル

(2) 回流水槽装置を用いた実験計測手法

広島大学所有の鉛直循環式回流水槽試験装置を使用し、Ahmedモデルに作用する動的3分力の計測と時系列ステレオPIV計測を同期させた時系列計測を実施した。計測部セットアップの概要を図3に示す。流体力計測には3分力検出器を使用した。ステレオPIV計測には、DPSSレーザーシート光源(出力5W;波長532nm)により照明された水中のナイロン粒子(直径 $50\mu\text{m}$)を2台の高速度カメラで撮影し、PIVソフトウェアFlowExpert 2D-3C(カトウ光研)による直接相互相関法を適用して、撮影断面内の3次元流速ベクトルを算出した。

特に双安定状態にある後流の状態間遷移過程を解明するため、対象ブラフボディに作用する相対流向を動的に変化させ、状態間遷移を誘起して効率的な実験計測を行った。ターンテーブル機構を回転させ、対象模型のヨー角を 10° から 5° へ変更した後のモデル後流を時系列計測した。なお、計測時の主流流速とモデル高さ H に基づくレイノルズ数 Re_H は 8.3×10^4 である。

(3) 風洞における実験計測手法

広島大学所有のゲッチング型風洞試験装置を使用し、模型に作用する6分力の計測と多断面のステレオ PIV 法による後流速度場の計測を実施した。計測部セットアップの概観写真を図4に示す。対象ブラフボディに作用する相対流向を動的に変化させ、その履歴効果を利用することにより、同一の風向角で異なる流れの安定状態を選択的に形成させ、双安定状態における2つの安定な流れ場の詳細を可視化した。対象模型には簡易セダンの R60 モデルを用いた。計測時の主流流速とモデル全長 L に基づくレイノルズ数 Re_L は 1.2×10^6 である。

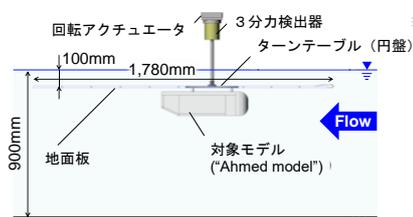


図3 回流水槽試験セットアップ概要



図4 風洞試験セットアップ概観

(4) ブラフボディ周り乱流場の数値解析手法

対象ブラフボディ周りの乱流場を LES 法により時系列解析した。解析ソフトウェアには節点中心型有限体積法による乱流解析コード FrontFlow/red を使用し、解析の実行には九州大学情報基盤研究開発センターの研究用計算機システムを利用した。図5に簡易セダン R40 モデルを解析した際の境界条件と、解析格子の概要を示す。モデル表面における接線方向の最高解像度 Δx を 0.8mm (壁面距離 Δs^+ 換算で 48), モデル表面法線方向のプリズム格子厚さ Δy を 0.02mm (壁面距離 Δy^+ 換算で 1.2) とした。解析に用いた多面体有限体積数は、5,900 万セルである。また、R60 モデルについては、R40 モデルと同等の空間解像度による 5,100 万セル規模の格子と、空間解像度を 1.5 倍粗くした 1,800 万セル規模の 2 種の有限体積を用いて解析を実施した。

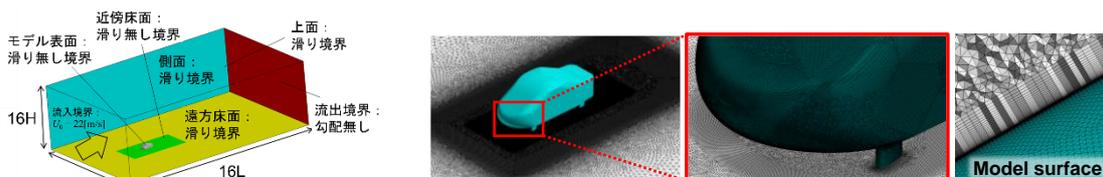


図5 簡易セダン R40 モデル周りの乱流場解析²⁾における解析領域 (左図) と解析格子 (右図)

4. 研究成果

前節で述べた手法を用いて行った、主要な研究成果を以下に示す。対象とするブラフボディにおいて、風向変化に伴い生じる双安定な空力特性 (1) を明らかにし、その原因となる 2 種の安定な流れ特性 (2, 3) と、それら安定な流れ状態間の遷移現象 (4) を明らかにした。また、Reynolds 数や作用気流の変動特性が与える影響を調査 (5) し、風向変化に対する双安定な空力特性の発現を抑制する手法 (6) についても検討した。以上の成果から、対象ブラフボディに生じる空力双安定現象の詳細を明らかにし、現象抑制のための効果的なアプローチを示した。

(1) 対象ブラフボディの風向変化に対する空力双安定性の出現特性

回流水槽において計測された Ahmed モデルの抗力係数のヨー角依存性と、風洞計測および数値解析により得られた簡易セダンモデルの抗力係数のヨー角依存性を、図6左と図7にそれぞれ示す。ここでは、ヨー角を順次増加または減少させながら、1度毎に模型姿勢を固定して流体力を計測する、準定常的計測を行った。計測時間は、回流水槽と風洞の両計測でそれぞれ無次元時間 40 と 360 程度とした。その結果、いずれの対象モデルも、ある区間のヨー角において、ヨー角の増減方向に依存した異なる抗力係数を示した。これは、極めて長い期間ヨー角の履歴に依存した流体力特性を示すことを意味し、このヨー角範囲では、それらの異なる 2 つの流体力特性が、共に安定な双安定状態にあると考えられる。また、回流水槽試験において後流の可視化と流体力の検力の同時計測対象とした状態間変遷過程は、図6の赤色のプロットと矢印で示した、高抵抗状態から低抵抗状態への遷移過程 (図中矢印 (I)) に相当する。また、図6右に示した同変遷過程における抗力係数変化では、変遷が生じるタイミングのばらつきが存在が示されている。

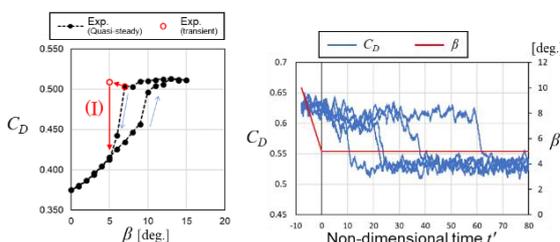


図6 Ahmed モデルの検力試験結果

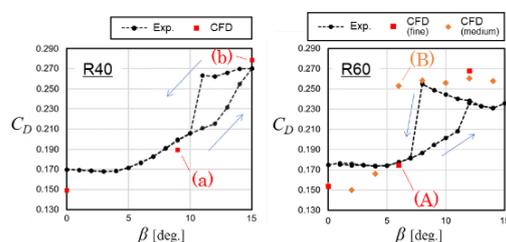


図7 簡易セダンモデル検力試験結果

(2) 双安定な状態にある2つの後流形態の計測

ゲッチンゲン型風洞装置を用いたステレオ PIV 計測を簡易セダン R60 モデル後方の複数の水平断面上で行い、これらの結果を積層して同一ヨー角 $\beta = 7^\circ$ における双安定な2つの後流形態の3次元流場を取得した⁴⁾。図8に計測断面位置と流線を用いた計測結果の可視化を示す。低抵抗状態ではボディ背面後方に環状の渦管が形成される一方、高抵抗状態では破線で囲んだ領域に強い縦渦構造が形成されており、2つの安定状態間の後流構造差が実験的に確認された。

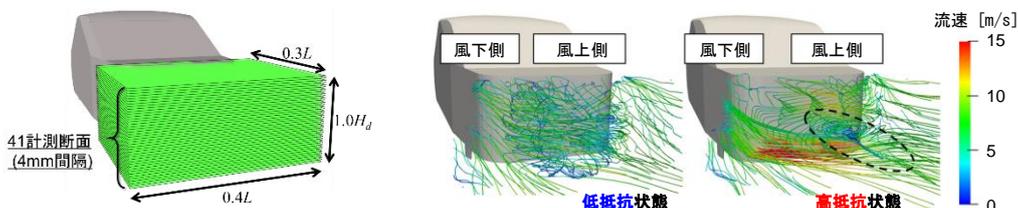


図8 同一ヨー角 ($\beta = 7^\circ$) 双安定な後流計測：計測断面 (左図) と流線による可視化 (右図)

(3) 数値解析に基づく双安定状態を構成する2つの後流形態の解明

簡易セダン R40 モデルを対象とした解析では、ヨー角変化に対して抵抗係数が急増する前後の2状態、 $\beta = 9^\circ$ と 15° の解析結果 (図7左図中の(a), (b)) に注目し、渦抽出法による分析⁵⁾を行って2つの後流形態の差異を分析した (図9)。両者は双安定状態には無いものの、中間ヨー角条件に存在する双安定な後流形態に対して、各々類似な流れ特性を示すと期待される。分析の結果、下流側後端角部を巻き込む流れの差が両者の差の要因となっていることが確認された。

また、同 R60 モデルに対しては、同一ヨー角 $\beta = 6^\circ$ において解析格子規模が異なる2解析の結果 (図7右図中の(A), (B)) が、大きく異なる流体力を示したことから、両者が異なる2つの安定な状態の解を与えているものと仮定し、その差異を分析した。モデル後方の渦構造を、ヘリシティ密度で色付けした Q 値等値面の可視化を図10に示す。同図には、想定される流れ構造を模式的に白色矢印で付記した。ここでも、高抵抗状態では、ボディ後端風下側からの巻き込み流れ (同図右) によって、ボディ後方で斜め方向に並んだ縦渦対が形成されることが確認された。

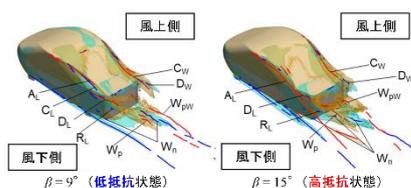


図9 R40 モデルの後流構造比較 (渦度等値面と渦中心線)

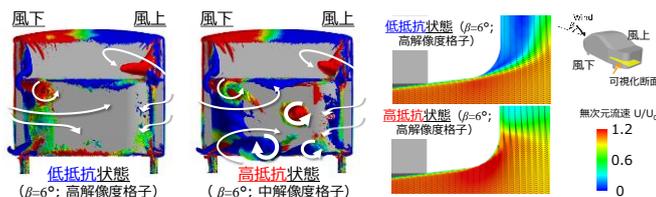


図10 R60 モデルの双安定後流構造比較 (左図： $\beta = 6^\circ$; Q 値等値面) と後端角部流れの差異 (右図)

(4) 回流水槽を用いた安定状態間の後流形態変遷過程の解明

Ahmed モデルを対象に、回流水槽で検力と同期した時系列ステレオ PIV 法による可視化計測を行い、遷移過程のボディ後流の流速変化を計測した⁶⁾。そして、得られた時系列流速場を POD 解析し、遷移直前に発達する流場変動を抽出した。2状態の平均速度場 (図11右) は大きく異なる後流形態を示し、高抵抗状態では一對の縦渦、低抵抗状態では広い低速領域と同領域中で風下側上方から風上側下方に向かう流れが観測された。さらに、後流形態の切り替わり直前に生じる流れの変化の特徴として、後流形態の切り替わり初期の過渡変化が始まると推測された。この過程は、ほぼ同周期で変動する複数の POD モードとして抽出され、それらの POD モードを用いた流速場の再構築から、図12に示す過程で安定状態間の変遷が生じることが示された。

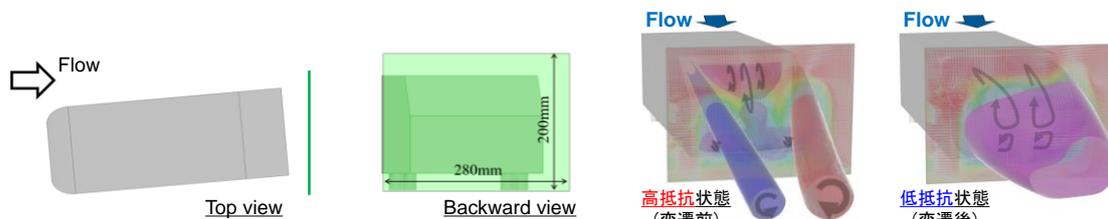


図11 計測断面 (左図) と、計測流速分布から推測される2状態の平均後流構造 (右図)

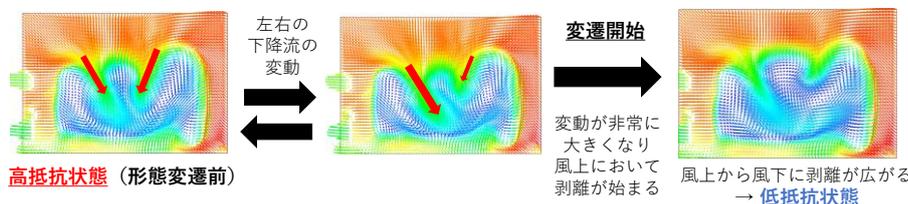


図12 注目 POD モードから再構築された状態遷移過程の概要

(5) 上流条件が双安定状態間の遷移に与える影響

双安定現象の特性が各種擾乱への依存性についても調査した。図13左は、風洞において Ahmed モデルを対象に、異なる Reynolds 数条件 ($Re_H = 0.85, 1.7, 2.6, 3.0 \times 10^5$) で準定常的なヨー角依存性を調査したものである。また、類似な Reynolds 数の回流水槽実験の計測結果 ($Re = 8.3 \times 10^4$) との比較 (同図中央), および上流に擾乱生成格子を配置した場合の結果 (同図右) についても併せて示す。これらの結果より、Reynolds 数依存性に加えて、流路上流条件の差異によっても、流体力の急変の発生の有無やその頻度が変化することを示された。また、上流乱れは、状態間の遷移の頻度を高めるとともに、一方の安定状態が選択的に生じる傾向にあることが示された。

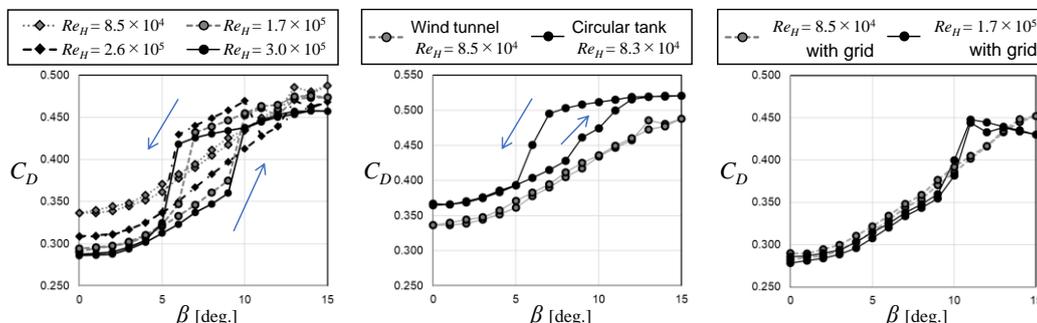


図13 双安定現象に与える Reynolds 数と上流乱れの影響

(6) 双安定性の発現抑制手法の検討

可視化計測と数値解析の結果から、Ahmed モデルでは後部傾斜面上の流れが完全に剥離した流れと傾斜面上に再付着する流れの切替り、簡易セダンモデルでは風下側のボディ側面後端角部流れの剥離流れと付着流れの切替りが、それぞれ双安定性を示す 2 つの安定流れ間の主要な差異と考えられた。このことから、ボディ局所における、ボディ表面からの流れの剥離性状を安定化させることで、双安定性の発現を抑制できるものと考えた。そこで、流れの剥離を安定化させることを目的に、簡易セダン R60 モデルの後端角部に微小な突起 (厚さ 3mm, 幅 5mm の直方体形状の付加物) を付加する方法 (図14左) を検討した。この結果、双安定な 2 つの後流形態間の主要な差異となる、巻き込み流れを妨げる位置に微小突起を加えたケース 1, 2 において、流体力の準定常的なヨー角依存性は連続的な変化を示すようになり (図14右), 双安定性が生じるヨー角条件が消失した。このことから、本手法の有効性が確認された。



図14 微小突起 (角柱状付加物) による双安定性発現の抑制手法の検討 (左: 突起配置図, 中央: 各ケースの突起配置, 右: 各ケースの抵抗係数のヨー角依存性)

5. 参考文献

- 1) Bonnavion, G. et al.: On multistabilities of real car's wake. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 164, 22-33.
- 2) Ahmed, S. R. et al.: Some Salient Features of the Time-Averaged Ground Vehicle Wake. SAE Paper, 840300 (1984).
- 3) Shimizu, K. et al.: Aerodynamic drag reduction of a simplified vehicle model by promoting flow separation using plasma actuator. Mechanical Engineering Letters 5, 19-00354 (2019).
- 4) Hasegawa, C. et al.: Stereo-PIV measurement of a bi-stable wake behind a simplified sedan-type vehicle model in a crosswind. Extend abstract of The 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing, PSFVIP13-84, Aug. 7 - 10, 2022, Shinjuku, Tokyo, Japan.
- 5) Nakamura, Y. et al.: Identification of wake vortices in a simplified car model during significant aerodynamic drag increase under crosswind conditions. Journal of Visualization 25, 983-997 (2022).
- 6) 加藤滉大ら: ステレオ PIV を用いた簡易車両模型に生じる後流構造の変遷過程の可視化. 日本機械学会 中国四国支部 第 61 期総会・講演会, 06a5, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nakamura Yusuke, Nakashima Takuji, Yan Chao, Shimizu Keigo, Hiraoka Takenori, Mutsuda Hidemi, Kanehira Taiga, Nouzawa Takahide | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Identification of wake vortices in a simplified car model during significant aerodynamic drag increase under crosswind conditions | 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/s12650-022-00837-8 | 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 Wang Qingyu, Nakashima Takuji, Lai Chenguang, Mutsuda Hidemi, Kanehira Taiga, Konishi Yasufumi, Okuizumi Hiroyuki | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Modified Algorithms for Fast Construction of Optimal Latin-Hypercube Design | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Access | 6. 最初と最後の頁 191644 ~ 191658 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2020.3032122 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Nakashima Takuji, Mutsuda Hidemi, Kanehira Taiga, Tsubokura Makoto | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Fluid-Dynamic Force Measurement of Ahmed Model in Steady-State Cornering | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Energies | 6. 最初と最後の頁 6592 ~ 6592 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/en13246592 | 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 Wang Qingyu, Nakashima Takuji, Lai Chenguang, Hu Bo, Du Xinru, Fu Zhongzheng, Kanehira Taiga, Konishi Yasufumi, Okuizumi Hiroyuki, Mutsuda Hidemi | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Enhanced expected hypervolume improvement criterion for parallel multi-objective optimization | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Computational Science | 6. 最初と最後の頁 101903 ~ 101903 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jocs.2022.101903 | 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 Wang Qingyu, Nakashima Takuji, Lai Chenguang, Du Xinru, Kanehira Taiga, Konishi Yasufumi, Okuizumi Hiroyuki, Mutsuda Hidemi | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 An improved system for efficient shape optimization of vehicle aerodynamics with “noisy” computations | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Structural and Multidisciplinary Optimization | 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/s00158-022-03323-9 | 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 該当する |

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 NAKAMURA Yusuke, NAKASHIMA Takuji, SHIMIZU Keigo, HIRAOKA Takenori, NOUZAWA Takahide, KANEHIRA Taiga, MUTSUDA Hidemi | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 Identification of wake vortices using a simplified automobile model under parallel running and crosswind conditions | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 JFST0005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jfst.2023jfst0005 | 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 - |

[学会発表] 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 C. Hasegawa, T. Hiraoka, T. Nakashima, T. Kanehira, H. Mutsuda, K. Shimizu and Y. Nakamura |
| 2. 発表標題 STEREO-PIV MEASUREMENT OF A BI-STABLE WAKE BEHIND A SIMPLIFIED SEDAN-TYPE VEHICLE MODEL IN A CROSS CONDITIONS |
| 3. 学会等名 The 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSVIP13) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤 滉大, 中島 卓司, 中村 優佑, 清水 圭吾, 平岡 武宜 |
| 2. 発表標題 ステレオPIVを用いた簡易車両模型に生じる後流構造の変遷過程の可視化 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤 滉大, 中島 卓司, 陸田 秀実, 金平 大河, 森内 高志, 郡 逸平 |
| 2. 発表標題 PODを用いた簡易車両模型における後流形態変遷過程の特徴抽出 |
| 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 末廣 隼一, 中島 卓司, 中村 優佑, 平岡 武宜, 清水 圭吾, 小池 真人, 本村 浩一 |
| 2. 発表標題 動的モード分解を用いた自動車回りの低周波変動流れ場の解析 |
| 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 末廣 隼一, 中島 卓司, 中村 優佑, 清水 圭吾, 平岡 武宜, 小池 真人, 今川 翔平, 本村 浩一 |
| 2. 発表標題 固有直交分解による自動車に作用する空気力・流れ場 の低周波変動特性の解析 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 第98期流体工学部門講演会 |
| 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 |
|-------|---------------------------------|---------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 末廣 隼一 (SUEHIRO Shunichi) | 大学院先進理工系科学研究科・博士課程前期学生 (15401) | |

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 |
|-------|----------------------------------|---------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 加藤 滉大 (KATO Kodai) | 大学院先進理工系科学研究科・博士課程前期学生 (15401) | |
| 研究協力者 | 長谷川 智春 (HASEGAWA Chiharu) | 大学院先進理工系科学研究科・博士課程前期学生 (15401) | |

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 |
|---------|---------|
| | |