

令和 4 年 5 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03476

研究課題名（和文）機械学習法を活用した自律型翼型失速回避制御システムの構築

研究課題名（英文）Research on Autonomous Airfoil Stall Suppression System Utilizing Machine Learning

研究代表者

李家 賢一（Rinoie, Kenichi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：20175037

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人工知能の手法である機械学習法を航空機周りの流れ場の制御、具体的には翼型の失速抑制制御に活用する。これまで失速抑制を可能とするために、剥離泡崩壊制御板を用いた制御装置を開発し、その装置を用いることで、翼型迎角の変化に対応して失速を抑制することに成功した。しかし、このシステムを動作させるためには、翼型が失速する流れ場の条件をあらかじめシステムに入力しておく必要があった。ここでは、失速の予兆をシステム自身が判断し、自律的に失速抑制を的確に行えることを目指して、機械学習法を活用した翼型失速抑制手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

航空機事故の一つの原因として、翼の失速があげられる。この航空機の失速を防止することは、航空安全の向上につながるため、航空工学上の重要な課題であるとともに社会的意義は高い。更に本研究では機械学習を活用して翼まわりの流れの制御を行うが、この成果を活用することで、流体力学的にも、一般的な流れの制御手法の高度化につながる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we will utilize the machine learning technique, which is an artificial intelligence method, to control the flow field around the aircraft, specifically, to control the airfoil stall suppression. So far, in order to attain stall suppression, we have developed a control device using a bubble burst control plate, and by using that device, we succeeded in suppressing stall in response to changes in the airfoil angle of attack. However, in order to operate this system, it was necessary to input the airfoil stall conditions into the system in advance. Here, we constructed an airfoil stall suppression system that utilizes machine learning technique. This system detects the signs of stall by itself and autonomously and accurately suppresses stall.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙工学 流体工学 剥離流 流体制御

1. 研究開始当初の背景

翼型周りの流れにおいて、流れが層流剥離した後に再び翼型表面に付着することがあり、この領域は、層流剥離泡と呼ばれている。翼型上に層流剥離泡が生じているときに、迎角を増やしていくと突如層流剥離泡として再付着しなくなる現象（層流剥離泡の崩壊）が起きることがある。この時、揚力は急激に減少し、翼は失速する。航空工学上、翼型の失速現象の解明とその防止は重要な課題であり、研究が多く行われてきた。層流剥離泡の挙動を制御することで翼の失速を遅らせたり失速を抑止することができれば、航空機の安全向上につながる。

これまで研究代表者らは、層流剥離泡の流体構造計測を行い、層流剥離泡の崩壊時には、再付着点付近で渦構造が突発的に放出されることを明らかにした。この突発的に放出される渦構造の発生を制御できれば、層流剥離泡崩壊を抑えられると考えた。そのために翼型上に剥離泡崩壊制御板と呼ぶ薄板を設置し、その高さを最適値に設定することで、より高い迎角まで翼型を失速させないことに成功した。ただし、この制御板が効果を発揮する板の高さは翼型の迎角の変化に応じて最適な高さに調整する必要がある。

そこで続いて、翼の揚力発生状況を感じし、微小アクチュエータを用いて制御板高さを変化させる翼型失速制御装置を開発した。この装置では、翼の迎角が増大/減少したりする場合においても、迎角変化に連動して失速の抑制を行うことができ、その効果の確認に成功している。また、それまでは実験室レベルの小型風洞での実験に留まっていたが、より大型の風洞を用いるとともに、風速を上げたケースにおいても、剥離泡崩壊制御板の効果が見られることを示した。

以上の研究を通じて、当初の目的であった失速回避制御技術がある程度までは実現することができたが、次の2点が未解決のままであった。すなわち、i) 機体姿勢の変化に対応して失速を抑制することに成功したが、そのシステムを動作させるためには、翼型が失速する流れ場の条件をあらかじめシステムに入力しておく必要がある。そこで、実用的には失速の予兆をシステム自身が判断し、本来の意味で自律的に失速抑制が的確に行われねばならない。ii) 失速回避制御システムを使用すると失速迎角は大幅に向上するものの、失速時には揚力を急激に失う急失速を起こしていた。これは万一失速に陥ったときに危険であるため、失速したとしても緩やかな失速特性を示すように失速抑制機構を改善する必要がある。

これらの未解決であった問題点、改善点を克服するためには、より先進的な自律型失速回避制御手法を確立する必要があると考え、研究を実施することとした。

2. 研究の目的

本研究では人工知能の手法である機械学習法を航空機周りの流れ場の制御に活用する。それによって、航空機の失速を防止することで、航空安全の向上に寄与することを目指す。本研究では、これまで開発した失速抑制装置の欠点であった迎角や速度のような流れ場の状況が変化したとしてもシステムが自動的にその変化を認識できないことを改善するために、機械学習法を活用して能動的に失速抑制機能を調整し、安全確実に失速抑制機構が作動する先進的な失速抑制方法を確立すること、またこのときに前者で開発する動的駆動型の失速抑制機構を活用することで、失速したとしても急失速を起こさないようにすることを目的とする。

3. 研究の方法

以下に示す手順で研究を行った。

(1) 動的駆動型剥離泡崩壊制御板装置の開発

開発した装置を用いて、失速抑制が可能な迎角以上でも急失速を起こさないことを検証する。

(2) 失速の予兆を判断し、自律的に失速抑制を実現できる動的駆動システムの構築

翼型の迎角が増大したときに、翼の失速が間近になったことをシステムが検知できる機能を設け、その効果を検証する。

(3) 機械学習法に基づく自律型失速抑制機能を有したシステムの構築

制御板の板高さと動的駆動の開始・終了のタイミングの両者を制御することで、迎角が変化したとしても自律的に失速抑制を実現できるシステムを機械学習法を活用して構築するとともに、その効果を検証する。

(1)～(3)のために、既存の翼型計測用風洞に上記の各種機能を有する剥離泡崩壊制御板を翼型模型に取り付け、翼型が失速するまで、その迎角を変化させながら、空気力測定用天秤と表面圧力測定用圧力変換器を用いて計測するとともに、流れ場の可視化を行うことで、失速抑制の効果を(1)～(3)の段階ごとに検証する。

4. 研究成果

前章で述べた(1)～(3)の各項目に関して、得られた主な研究成果(文献①、②)を以下にまとめる。この他、本研究を通じて、翼型上の剥離流れ内の流れ場構造を時系列あるいは三次元の両面から捉える風洞実験を行った(文献③、④)。また、準三次元流体解析が実行できるプログラムの開発を行い、翼型上の剥離流れ解析を行った(文献④)。これらの結果から、剥離に伴う三次元的な渦の挙動を知ることができ、失速抑制能力向上につながるための知見を得ることに役

立てた。更には、流れの可視化と機械学習を組み合わせることで、剥離泡が崩壊を起こしている状況での時系列表面圧力分布を可視化画像から推定できる手法を開発した（文献⑤）。

(1) 翼表面の流れ場を加振することで大規模な剥離を抑制できることが知られている。このことを参考にして、剥離泡崩壊制御板による急激な失速を防ぐために、翼まわりの流れ場を加振することで剥離を抑制し、急激な失速を防げるのではないかと発想した。この発想のもとに開発した動的駆動型剥離泡崩壊制御板を用いた結果について述べる（文献①）。

図1に動的駆動型剥離泡崩壊制御板の概要を示す。動的駆動型剥離泡崩壊制御板は制御板と振動駆動部（翼型内部に組込）で構成されている。振動駆動部はソレノイドで駆動されパルス発信回路とバイポーラ駆動回路で制御されている。振動板は0 Hz～100 Hzの範囲で振動できる。振動駆動部の上部に剥離泡崩壊制御板が取り付けられており、その幅、高さ、翼上取付位置は、これまでの研究で最も失速抑制効果が得られた値とした。

実験は吸い込み型2次元風洞（測定部幅200 mm、高さ600 mm）を用い、一様流速は10 m/sとした。翼型模型はNACA0012翼型模型であり、翼弦長を基準としたレイノルズ数は 1.3×10^5 である。計測は三分力天秤を用いた空気力測定と翼型上面2箇所にあけられた表面圧力孔を用いた表面圧力測定ならびに煙を用いた流れの可視化である。

図2に、制御板なし動的駆動なし（clean）、制御板あり動的駆動なし（static）、制御板あり動的駆動ありの揚力-迎角曲線を示す。制御板なし動的駆動なし（clean、黒線）では迎角11.0°付近から「ゆるやか」な揚力損失が見られる。この「ゆるやか」な揚力の減少は、失速迎角付近で観察される層流剥離泡の準周期的挙動に対応している。層流剥離泡の一種であるshort bubbleが生成された場合と、翼面全体にわたって大規模に剥離する場合とを2 Hz程度の周期で準周期的に繰り返す現象を発生することは過去の研究で判明しており、これを準周期的挙動と呼んでいる。制御板あり動的駆動なし（static、青線）では、cleanよりも失速迎角は高くなっているが、14.7°付近で急失速している。これが1章で述べた剥離泡崩壊制御板の失速抑制効果で改善すべき点であった。次に制御板あり動的駆動ありの場合に関して、まず20 Hz（緑線）では、14.7°付近で揚力を失っており、staticの場合と失速抑制効果はあまり変わらない。100 Hz（赤線）の場合では、14.7°付近からの揚力の減少開始は同じであるが、これまでよりも更に「ゆるやか」に減少しており、その程度はcleanの場合に近く、急失速を起こしていないことがわかる。前縁部付近での振動は、その後方での剥離剪断層に影響を与え、そこから放出される大規模な渦構造の生成に影響を与えたために、今回の手法で急激な失速を防ぐ結果につながったと考えられる。

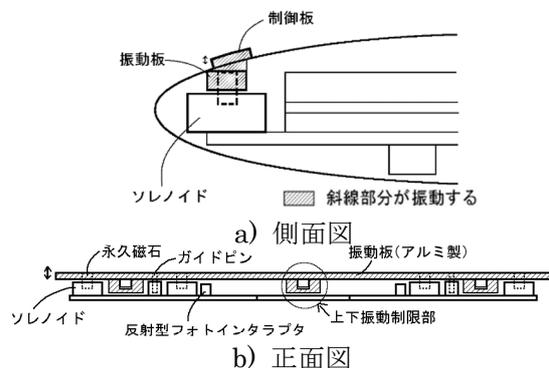


図1 動的駆動型剥離泡崩壊制御板（文献①）

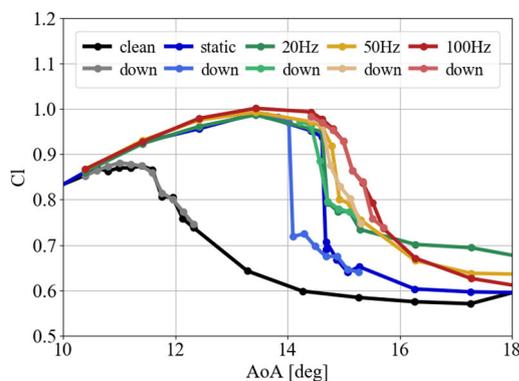


図2 揚力係数-迎角曲線（文献①）

(2) 次に、自律的に失速抑制を実現することにむけて、失速の予兆を判断できるように、システムの改良を行った（文献①）。すなわち翼型の迎角が変化したときに、ある迎角で翼の失速が間近であることをシステムが自動的に検知して、動的駆動型剥離泡崩壊制御板を適切に駆動することで、失速をさらに高い迎角まで抑制することができることを目指した。そのために、制御板高さを固定した場合に翼型迎角を増大させていき、失速が間近であることを検知すると制御板の動的振動を開始できるように(1)で開発した装置を組みなおした。

失速の検知のためには、翼型前縁付近（2.5%翼弦長位置）の表面に設けられている表面圧力孔から得られる瞬時圧力分布データを用いることとした。まず、使用した表面圧力孔から得られた時系列圧力分布から翼型の失速の状況を把握できることを、煙を用いた可視化結果から得られる翼上面の流れ場の観察結果とを対比することで改めて確認した。すなわち表面圧力が低下しているときは流れ場が翼面上に付着しており、表面圧力が高くなると、流れ場が大きく翼面上から剥がれる、すなわち失速している状態に対応している。また前述の準周期的挙動が発生している場合は、圧力が低い状態と高い状態を低周波で交互に繰り返す。これらの圧力分布の挙動を常に監視することで、表面圧力が高くなった瞬間に剥離泡崩壊制御板の動的駆動を開始すれば、表面圧力が低下する、すなわち、失速が抑制されている状態に戻ると想定した。

このことを確認するために、剥離泡崩壊制御板を静的に使用した状態で、翼型の迎角を低迎角から高くしていった。もともとの崩壊制御板の効用により当初は失速が抑制されているが、その

ままでは、更に迎角を上げると失速してしまう。そこで、上記したように表面圧力を常に監視しながら、迎角を上げていき、表面圧力が急激に向上したタイミングで剥離泡崩壊制御板を動的に駆動させる試験を行った。図3に結果を示す。図横軸は時間軸であり、各時刻における模型迎角(橙色)は右縦軸で、表面圧力分布(黒色)は左縦軸で読み取れる。100Hzの動的駆動がトリガー入力されたタイミングは青色で示している。なお図縦軸の上方に向かうにつれて圧力は低下する(サクションが得られる)ことを示す。図は、迎角を13.5°から15.5°まで連続的に増大した場合であり、もし動的駆動を行わないと迎角が14.3°付近で急激に失速を起こすケースである。図より迎角が14.3°付近(時刻6.4秒付近)でサクションが失われている(圧力が突然増している)ことがわかる。サクションが失われると動的駆動(制御板の振動)が開始するように、システムを構築してあったため、その直後に振動が入力され、それによって2Hz程度の周期で断続的にサクションが回復している様子(準周期的挙動)が見られ、失速が抑制されている。すなわち、迎角増大時に圧力を観測することで失速を検知し振動を加えることで失速抑制効果が得られた。なお、迎角が15°を超えると動的駆動にも関わらず剥離泡崩壊制御板の効果は失われ、サクションは完全に失われ、翼は失速に至っている。以上より、失速の予兆をシステムが検知すると、動的駆動を開始して失速を抑制できることが確認された。

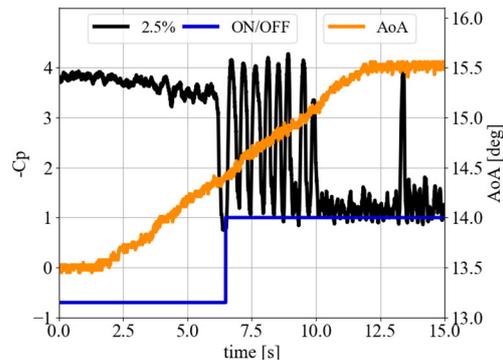


図3 時系列表面圧力分布(文献①)

(3) 前項までは、制御板の高さを固定した上で、板を上下に振動させることで、更なる失速抑制を目指した動的駆動型剥離泡崩壊制御板の効果が調べられた。このとき、連続振動だけではなく、断続的な制御板の振動でも失速抑制効果が得られた。制御板を翼上に突出させ連続的に振動させることは、迎角によっては揚力特性に悪影響を及ぼす可能性があり、振動機構の入力エネルギーの点からも効率的でない。よって適切なタイミングで制御板を断続的に振動させることで連続振動と同様な効果が得られれば、効率的な失速抑制の実現に繋がる。そこで動的駆動型剥離泡崩壊制御板を断続的に振動させる feedback 制御系について以降考える。制御板の効果を高めるには、その高さを流れ場の状況に応じて変更する必要がある。そのため、動的駆動型制御板の効果を高められるように、制御板高さが可変である装置を製作した。この制御板の基本特性を調べ、その結果から機械学習を活用した制御系設計を行い、その効果を確認する(文献③)。

図4に制御板高さ可変機構の側面図と模型後方から見た背面図を示す。サーボモーターと一体となり固定ステージと可動ステージに挟まれて設置された真鍮棒の回転により可動ステージ高さが変化する。これにより、制御板高さを設定できる。制御板が最下方に下がると、制御板上部が翼型表面の外形に一致する。図4(a)中で「制御板(振動板と一体)」と書かれた部分が図1で示した「振動板」と同じ動的駆動を実現する装置である。

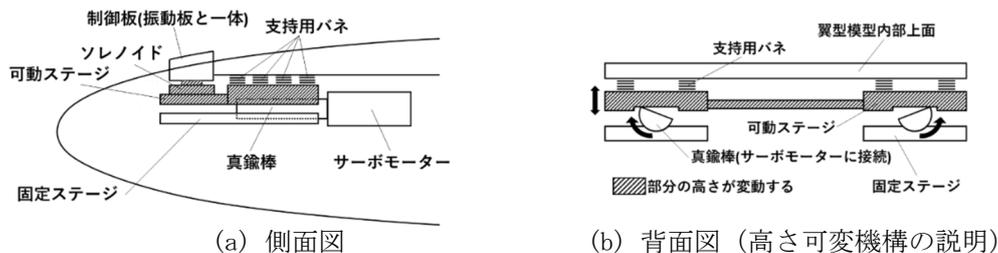


図4 高さ可変機構付き動的駆動型剥離泡崩壊制御板(文献②)

失速付近の迎角範囲について、制御板高さを変化させて揚力測定を行った。その結果、制御板高さの違いによる影響はみられるものの、制御板高さを固定した結果(図2)と同等の揚力変化の傾向を示すことを確認した。

続いて、制御板の振動系制御を考えた。まず閾値をあらかじめ試行錯誤的に設定する Bang-Bang 制御と呼ばれる制御方法を用いて、断続的な制御板の振動であっても失速抑制を実現できることを確認した。その上で Bang-Bang 制御とは異なり閾値を制御板の板高さや迎角の変化に応じて適切に設定可能な遺伝的プログラミング(GP)を用いた制御系の設計を考えることとした。

図5に構築された機械学習の一種である GP を用いた制御系設計の流れを示す。ここでの設計は、図下部の GP パートと図上部の評価実験パートに分かれている。まず GP パートにて初期世代の制御則を生成する。次に初期世代の中から制御則を1つずつ選び、それぞれに対して、評価実験パートにおいて、すべての個体に対する圧力測定を行い評価関数を算出する。この作業完了後、つまり、各個体に対する評価実験終了後、GP パートで進化操作(交叉、突然変異、複製)を行い、次世代の制御則を作る。以降、これを繰り返すことで、制御則を得た。

得られた制御則の性能を確認するために揚力測定を行った。GP で生成された制御則は、制御板高さの制御には対応していないため、制御板の高さは連続振動時の力測定の結果を基に、それ

それぞれの迎角において最も揚力が高くなる制御板高さを選び、迎角に応じて手動で設定した。

図6に揚力係数-迎角曲線を示す。迎角14.5°から17.0°にかけて、図に示された板高さを固定して連続振動させた場合と同様に、GPの結果では、失速が抑制されるとともに、失速後は、ゆるやかに揚力が減少している。ただし、板高さ固定で連続振動させた場合と異なり、GPの結果は、17.0°以降では急激に揚力が低下している。この点では改良の余地があるが、GPで生成された制御則の有効性は確認できた。図7に各迎角における制御板高さ（右側縦軸）とアクチュエータの評価値 J_b （左側縦軸）を示す。迎角14.8°以上で制御板が振動を始め、このとき J_b の値は最大で0.2程度である。 J_b は断続的に振動している時間の割合を示しており、17°付近の高迎角までは、20%程度の少ない振動時間でゆるやかな失速を達成できたことを示している。この点で連続振動と比べてGPを用いた制御系設計に優位な点がある。

以上より機械学習の一種である遺伝的プログラミング(GP)を用いることで、広い範囲の迎角で失速抑制効果を生み出すことのできる制御則をGPと風洞実験を組み合わせることで設計できた。GPを用いることには、あらかじめ制御に必要な閾値を試行錯誤で決める必要はなく、システム自身で閾値を設定できる利点があり、その結果、剥離泡崩壊制御板を連続振動させるのではなく20%程度の振動時間の振動で失速抑制を可能とする制御則を生成することができた。

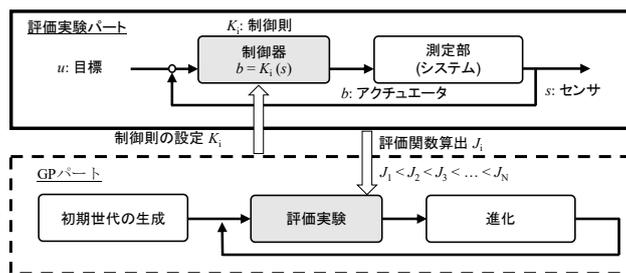


図5 GPを用いた制御系設計の流れ(文献②)

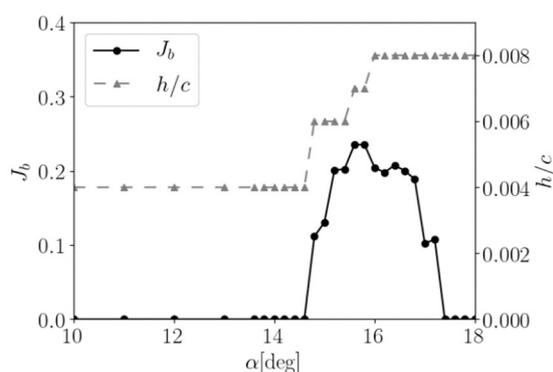
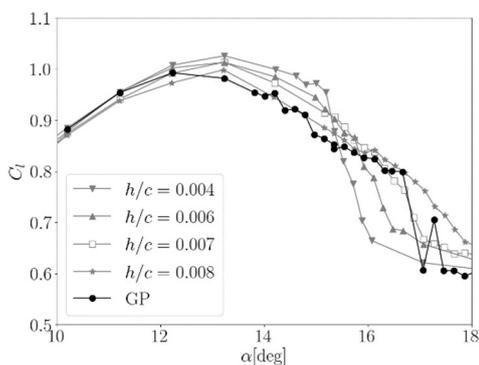


図6 揚力係数-迎角曲線(文献②) 図7 制御板高さとアクチュエータ評価(文献②)

(4) 以上を通じて、本研究の主な目的であった機械学習法を活用して自律的に失速抑制を可能とする手法を確立することができた。またここで開発された失速抑制機構を活用することで、失速に至ったとしても急失速を起こさないようにすることもできた。更に、当初の目標には含まれていなかったが、機械学習法を活用した風洞実験を通じて、流れの可視化と機械学習を組み合わせることで、剥離泡が崩壊を起こしている状況での時系列表面圧力分布を可視化画像から推定できる手法を提案することも出来た。

(5) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトであるが、国内外で開催される講演会の主に小型無人航空機分野を扱う低レイノルズ数流れに関するセッションで、本研究グループによる研究発表を行うことで、これらのテーマに関連する研究グループとの情報交換を継続的に行うことができた。これを通じて関連する研究分野の発展と活発化につながる一助を果たしたと考えている。

(6) 今後の展望であるが、今回開発された動的駆動型剥離泡崩壊制御板による機械学習を活用した失速抑制機構に関しては、未だ制御板高さを自律的に制御する機能が含まれておらず、この点を改良する必要がある。また今回は、低レイノルズ数域における特定の翼型に関する成果であり、異なる翼形状や流れ条件においても本手法の有効性を確認する必要がある。

<引用文献> (文献の詳細は、次項5. を参照)

- ① Yamato, H. et al., AIAA Paper 2018-3685, 2018、② 浅井祥平、他、日本航空宇宙学会論文集、68巻、2020、195-203、③ 加藤健人、他、日本航空宇宙学会論文集、67巻、2019、111-118、④ 崎田紘孝、他、第53回流体力学講演会、1B01、2021、⑤ 川上理史、他、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、3B01、2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 浅井祥平、加藤健人、倭 誉、砂田保人、李家賢一	4. 巻 68
2. 論文標題 機械学習制御を活用した動的駆動型剥離泡崩壊制御板による翼型失速抑制について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本航空宇宙学会論文集	6. 最初と最後の頁 195-203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/jjsass.68.195	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 加藤健人、砂田保人、李家賢一	4. 巻 67
2. 論文標題 失速付近迎角において層流剥離泡から準周期的に放出される渦の挙動に関する実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本航空宇宙学会論文集	6. 最初と最後の頁 111-118
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2322/jjsass.67.111	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 Yuta Akama and Kenichi Rinoie	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurements of the Laminar-Separated Region on the Airfoil with Actively Deflected Flap	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Aeronautical and Space Sciences	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23件（うち招待講演 0件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Kento Kato, Shohei Asai and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Study on Dynamic Bubble Burst Control Plate Actuation Utilizing Machine Learning for Stall Suppression
3. 学会等名 AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Akama and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Flow Structure Developed in the Laminar Separated Region on the Airfoil with Actively Deflected Trailing-edge Flap
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 Masashi Kawakami and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Experimental Studies on Behavior of Laminar Separation Bubble Formed on the Hofsass Espada Airfoil near Stall
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 加藤健人、浅井祥平、李家賢一
2. 発表標題 翼型失速付近迎角において剥離泡崩壊制御板設置時に前縁付近から放出される渦の挙動に関する実験
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 崎田紘孝、李家賢一
2. 発表標題 時系列PIV計測による翼型上層流剥離域内での渦構造発達に関する考察
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 川上理史、李家賢一
2. 発表標題 深層学習を用いた翼型まわり剥離流れの可視化画像による表面圧力推定
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 崎田紘孝、今村太郎、李家賢一
2. 発表標題 翼型上層流剥離域内で発達する渦構造の立体モデル化および再付着現象との関連について
3. 学会等名 第53回流体力学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kento Kato, Yasuto Sunada and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Behaviors of Vortices Emitted from the Laminar Separation Bubble near Airfoil Stall When Leading-edge Is Vibrated Actively
3. 学会等名 2019 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤健人, 砂田保人, 李家賢一
2. 発表標題 翼型失速付近迎角において前縁振動時に層流剥離泡から放出される渦の挙動に関する実験
3. 学会等名 日本航空宇宙学会第50期年会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部準、砂田保人、今村太郎、李家賢一
2. 発表標題 低レイノルズ数領域において翼型上に生じる剥離再付着流の再付着過程に関する研究
3. 学会等名 第51回流体力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崎田紘孝、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 NACA0012翼型上に発生する層流剥離泡内の3次元渦構造に関する時系列PIV測定
3. 学会等名 第51回流体力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅井 祥平、加藤健人、砂田 保人、李家 賢一
2. 発表標題 剥離泡崩壊制御板を用いた翼型失速抑制について～高さ可変機構付き動的駆動部の機械学習制御～
3. 学会等名 第51回流体力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Soufiane Cherroud, Jun Hattori, Yasuto Sunada and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Laminar Separation Bubble around the Trailing edge and a 15degree Deflected Flap Effect on a NACA 0012 at Low Reynolds Number
3. 学会等名 第51回流体力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Homare Yamato, Shohei Asai, Yasuto Sunada and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Experiments on a Dynamic Bubble Burst Control Plate for Airfoil Stall Suppression
3. 学会等名 AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Hattori, Yasuto Sunada, Taro Imamura, Yasir Ahmed Malik and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Experimental and Numerical Studies based on POD on Separated Flow Formed on NACA0012 Airfoil at Low-Reynolds-Number
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Asai, Homare Yamato, Yasuto Sunada and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Designing Machine Learning Control Law of Dynamic Bubble Burst Control Plate for Stall Suppression
3. 学会等名 AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部準、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 低レイノルズ数領域におけるNACA0012翼型上に生じる剥離流れに関する時系列流速分布測定
3. 学会等名 日本航空宇宙学会第49期年会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倭 誉、浅井祥平、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 動的駆動型剥離泡崩壊制御板による翼型失速抑制効果と剥離流れの準周期的挙動について
3. 学会等名 第50回流体力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倭 誉、浅井祥平、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 動的駆動型剥離泡崩壊制御板に対する機械学習の適用について
3. 学会等名 第50回流体力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤健人、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 失速付近迎角において層流剥離泡から準周期的に放出される渦の挙動に関する実験
3. 学会等名 第50回流体力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部準、砂田保人、李家賢一
2. 発表標題 低レイノルズ数領域においてNACA0012翼型上に生じる剥離流れに対するPODとDMDの適用
3. 学会等名 第50回流体力学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 李家賢一, 倭 誉, 浅井祥平, 砂田保人
2. 発表標題 動的駆動型剥離泡崩壊制御板を用いた翼型失速抑制 ~動的駆動パターンの影響~
3. 学会等名 平成30年度航空宇宙空力シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Homare Yamato, Yasuto Sunada and Kenichi Rinoie
2. 発表標題 Performance of a Dynamic Bubble Burst Control Plate for Airfoil Stall Suppression
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (国際学会)
4. 発表年 2017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	今村 太郎 (Imamura Taro) (30371115)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	砂田 保人 (Sunada Yasuto) (50216488)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教 (12601)	

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