

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03816

研究課題名（和文）電気的マイクロデバイスによる動的空力制御の研究とフライト実証

研究課題名（英文）Dynamic Flow Control of Model Aircraft with Electric Micro Device and the Flight Demonstration

研究代表者

藤井 孝藏（FUJII, KOZO）

東京理科大学・工学部情報工学科・教授

研究者番号：50209003

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 31,400,000円

研究成果の概要（和文）：小型デバイス（DBDプラズマアクチュエータ）による翼周り流れ制御に関する研究で、既存の風洞試験や数値シミュレーションの知見をもとに、模型飛行機にこのデバイスを設置し、さまざまな乱れを含む大気中でのフライト試験により実環境下でのこのデバイスの流れ制御効果を評価・確認した。単なるデモフライトではなく、（1）失速遅延の効果、（2）多様な条件下での失速前流れ制御効果（抵抗低減による揚抗比改善）という2つの目的に即したフライト試験シナリオを作成、過去にない多くの取得データによってそれぞれに効果を確認した。あわせて小型電源の開発やDBDプラズマアクチュエータと翼端干渉などの要素研究も進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

軽量、薄型でかつ動的な流れを可能とするプラズマアクチュエータへの期待は大きい。これまで風洞試験や数値シミュレーションといった理想的な環境条件下での制御効果は広く検証されてきたが、気流方向の変化や多様な乱れを含む大気中でもプラズマアクチュエータが有効に機能することを示すことができた。大型の航空機における利用はまだこれからではあるが、UAV/MAVといった小型の航空機や飛翔体での利用につながる成果となったと考えている。関連して進められた要素研究や基礎研究はそれぞれ新たな知見につながり、このデバイスの社会的利用に向けたさらなる研究の前進となった。

研究成果の概要（英文）： This study proves the effectiveness of the well-recognized flow control authority by the small device called DBD plasma actuator in the real flight under atmospheric conditions. Small model airplane was used for the flight and amount of obtained data identified flow control authority of this device both for avoiding stall phenomena which improves safety of the flight of UAV/MAV and increase of lift-to-drag ratio which improves flight performance. The elemental research (i. e. the development of small power supply) associated with the flight was also carried out and that enhanced applicability of DBD plasma actuator and elucidated important features of the DBD plasma actuator.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：流体制御 プラズマアクチュエータ 飛行試験 数値シミュレーション 風洞試験 失速

1. 研究開始当初の背景

プラズマアクチュエータ，その中でも本研究が対象とする誘電体バリア放電を利用した DBD プラズマアクチュエータ (以下，DBD-PA) は，電極 2 枚とそれらに挟まれた誘電体から構成される全体で数百 μm から数 mm 程度の厚さを有する非常に薄い空力制御デバイスである．誘電体に挟まれた 2 つの電極に交流高電圧をかけることにより，プラズマ領域が発生，イオンの移動によって非定常な流体変動が誘起される．そして，この小さな誘起流れが大規模剥離の抑制などの効果を生み出す．DBD-PA の研究は 2003 年頃から航空分野を中心に世界的な広がりを見せ，装置が簡単であることもあって国内でも多くの研究者が研究を開始するなどして，現在に至っている．

航空機を対象とした DBD-PA の流れ制御に関する研究のほとんどは失速制御による揚力の維持と境界層制御による抵抗低減を目的とした風洞試験もしくは数値シミュレーションである．一方，実際に大気中で飛行する小型航空機 (UAV や MAV など) における DBD-PA の実利用を考えたとき，残された課題は少なくない．実際の大気中のフライトでは，機体にかかる気流は乱れを含んでいる．また，機体にかかる気流の方向，気流の強さもさまざまに変化する．このような状況下でも DBD-PA の失速制御効果は成り立つかという疑問に答える必要がある．また，UAV や MAV では時々刻々変化する迎角や気流状況の中で常に高い揚抗比を確保できることが重要で，これを確認する必要がある．

以上 2 つの問いに答える研究は，DBD-PA による航空分野での流れ制御の実利用に向けて残されたハードルといえる．大気中で飛行する小型航空機を利用した DBD-PA による失速制御効果の実証を試みた研究の中で，唯一ダルムシュタット工科大学の研究グループが 2009 年に失速制御の具体的なデータを提示している．ただ示されたデータは限られており，大気中のフライト実証はいまだ十分ではない．

2. 研究の目的

本研究の大きな目的は，フィールドにおける模型航空機の実フライトを利用した DBD-PA の効果確認である．単なる DBD-PA をつけたデモ飛行ではなく，これまでに得られた DBD-PA の知見を元に設定された目的に即したフライトシナリオ下の試験を実施し，このデバイスが種々の変動を有する大気中で機能することを実証することに目的と意義がある．

(全体研究) 空力制御実証フライト試験

失速の遅延効果と失速前状態での揚抗比の向上の 2 つの実証を主たる目的とし，あわせて，その実現に必要な以下の学術課題の解決を副次的な研究目的とする．

(要素研究-A) 電源の小型化・軽量化

UAV, MAV といった小型の航空機に DBD-PA 技術を利用するには，搭載可能なサイズの電源の開発が必要である．あわせて，その特性理解，飛行を持続させるバッテリー容量の確認などを研究目的とする．

(要素研究-B) 塗布型電極の利用検討

電極の薄膜化による電極形状の自由度向上を目指す．厚さ数 μm の塗布電極の利用可能性検討を目的とする．フライト試験に不可欠ではないが，効率的な電極の位置変更が可能となる．薄膜であることからデバイス自身による気流の乱れを抑えることも期待される．

(要素研究-C) 翼端効果の確認

後半のフライト試験に向けて新規製作する機体に利用する 3 次元翼における DBD-PA の効果確認が本要素研究の目的である．過去に DBD-PA による流れ制御効果における翼端の影響評価に関する研究は存在していない．DBD-PA の制御効果における翼端の影響評価とそれらを考慮した最適な電極スパン方向長さや設置位置を見いだすことが目的となる．

3. 研究の方法

(全体研究) 大気中での DBD-PA 制御効果確認

フライト実証は地上のフライトコントローラ Pixhawk (PX4)，地上局となる PC，DBD-PA を駆動する小型電源系，そして機体からなる．フライト制御関係の機器は既存の模型飛行機用のものを利用する．明確なフライトプランの設定が必要で，機能別にタイプを分けた 2 つのフライト実証試験を実施する．研究期間前半は市販の模型飛行機を，研究期間後半は新規に製作する模型航空機を利用したフライト試験とする．

(A-1) DBD-PA による失速制御効果の実証

市販の模型飛行機を利用したフライト試験を宇都宮「RC フライングクラブ羽黒飛行場」にて実施する．使用機体は翼幅 1980 mm，全長 1170 mm の Ranger EX (Volantex RC) である．試験では PX4 が提供する「Position mode」を使用，機体高度と機体進行方向を維持しながら機体速度を指定する．機体速度を下げることでピッチ角が上昇し，故意的かつ安定的に機体の失速を発生させる．周回するフライトの中でできる限り同じ状況下での PA/OFF および PA/ON のフライトを実施し，失速発生のタイミング，機体速度やピッチ角などのデータを比較することで大気環境下でのフライトにおける DBD-PA の失速制御効果を確認する．(主担当：理科大，農工大)

(A-2) 失速前での DBD-PA 制御効果の実証

新規に設計・製作する機体を利用した試験とし、帝京大キャンパス内「模型飛行機用飛行場」にてフライト試験を実施する。パワーオフの状態でも PA/ON による揚抗比 L/D 向上の実証を試みる。最大高度 150m まで機体を上昇させ、自動飛行で高度 50m までゆっくりと降下させ、GPS の記録などから飛行距離や飛行時間を取得し、そこから揚抗比 (L/D) を算出する。PA/ON、PA/OFF の両ケースでこの試験を実施し、出力データの比較から PA/ON と PA/OFF における L/D の差分を評価する。多数のフライトを実施し、PA/ON と PA/OFF におけるドラッグポワラ (揚力/抗力曲線図) の比較によって DBD-PA による飛行性能向上の効果を確認する。(主担当：帝京大)

(要素研究-A) 電源の小型化・軽量化

既存のものより高性能な小型電源の開発を進め、その後のフライトでそれを利用する。開発された小型電源は、誘起流れの計測、2次元翼模型を利用した制御効果の確認を行った上で、実際のフライト試験に利用する。(主担当：理科大)

加えて、さらにコンパクトな小型電源の研究。開発を進める。(主担当：神戸高専)

(要素研究-B) 塗布型電極の利用検討

厚さ数 μm の塗布電極 (導電性銀ペイント) を対象として、手塗りによる電極を作成、通電で生ずるプラズマアクチュエータの発光特性などを確認する。(主担当：理科大・農工大)

(要素研究-C) 翼端効果の確認

DBD-PA の制御効果における翼端効果の確認と最適なスパン長および設置位置に関する研究は数値シミュレーションと宇宙科学研究所の惑星大気風洞を利用したフライト試験相当のレイノルズ数での 3次元翼空力試験を行う。(主担当：理科大、東北大)

4. 研究成果

本研究は当初 2018 年度から 3 年間の実施期間を予定して活動したが、新型コロナパンデミックの影響により 2019 年度中盤以降、全体研究 (A-1) の追加フライト試験、JAXA 宇宙科学研究所における惑星大気風洞での追加風洞試験が実施できなくなった。2021 年 12 月まで研究期間を延長したが、パンデミックが収まらず、これら追加試験の実施を諦めざるを得なかったことを最初に記載しておく。なお、遅延はあったが、帝京大学グループ単独での (A-2) のフライト試験 (A-2) は実施できている。

(全体研究) 大気中での DBD-PA 制御効果確認

(A-1) DBD-PA による失速制御効果の実証

この項目の詳細については、参照成果論文 1, 2 などを参照されたい。フライト試験に利用した機体外観図を図 1 に示す。スパン長が 1980mm の機体で、翼面積は 0.426m^2 、翼断面形状は Clark-Y-like で最大厚みはコード長 12.5% 位置にある。茶色部分が DBD-PA の電極である。胴体前部の空洞部分に小型電源システムやリチウムポリマーバッテリーなどが入る。

小型電源システムの特性は要素研究-A の項を参照されたい。一連の予備的なフライト試験を済ませた後、2018 年 10 月に最初のフライト試験が実施された。機体の動力源としては 4 セル 4000mAh リポバッテリーで、約 20 分間フライト試験を続行することが可能で、この間に同様の DBD-PA OFF/ON フライトを 1 セットとした実験を 6-7 セット実施できる。なお、DBD-PA はバーストモード (周波数 200Hz、バースト比 20%) にて駆動した。バースト駆動の影響もあるが、小型電源容量駆動用 3 セル 1000 mAh のリポバッテリーは 20 分のフライトで約 5% (50mAh) 程度の電力消費にとどまっている。すべてのフライト試験に対する実験区間の時系列データから対気速度とピッチ

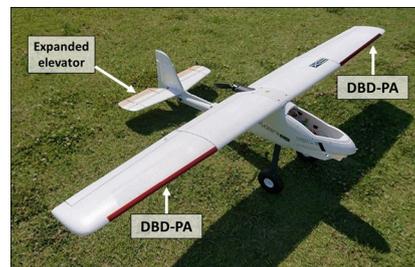


図 1 前半フライト試験に利用した模型飛行機

角の 2次元ヒストグラムを生成し、DBD-PA OFF/ON を比較したものを図 2 に示す。図 2(a) が PA/OFF、図 2(b) が PA/ON の結果で、縦軸が機体速度、横軸がピッチ角である。一定小領域内のデータ頻度に応じて色をつ

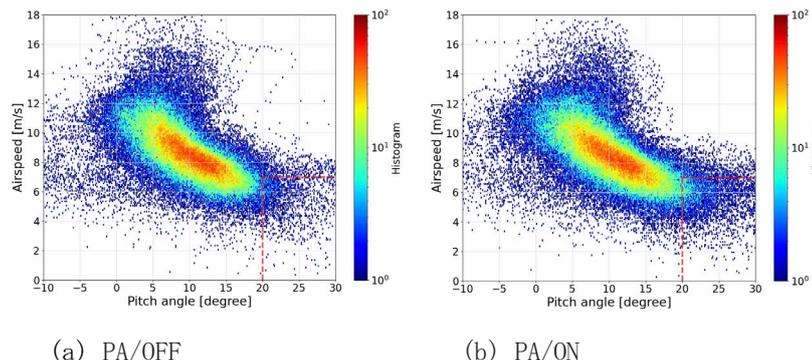


図 2 フライトログ(対気速度と機体ピッチ角)のヒストグラムによる比較

けている。どちらの図においても対気速度が減少するとピッチ角が上がっていくという想定通りの結果が出ている。分布に幅があるのは個々のフライトにおける大気状態や実験開始初期状態の違いによる。図の右端（低い対気速度、高いピッチ角）の部分と比較すると、およそ20度より高いピッチ角において、図2(b)のPA/ONの結果の方により多くのデータ点があることが確認でき、DBD-PAによってより高いピッチ角まで安定したフライトが維持されていたことがわかる。最後に、自動モードが維持できるようにコントローラを操作したパイロットは少なからずDBD-PAのONとOFFによる違いを感じたことを付記しておく。

その他のデータは参照成果論文1,2などを参照されたい。結果としては、多数のフライト試験を通じてある程度その効果を確認することはできた。残念ながら新型コロナパンデミックによって、延長期間も含めた後半の2年間は追加のフライト試験を実施できなかったが、解決すべき課題が明確になり、課題解決への指針が確認できたことも成果といえる。

(A-2) 失速前でのDBD-PA制御効果の実証

前3節(A-2)に記載した方法で通常飛行時でのDBD-PAによる飛行性能向上の検証を行った。基本翼型はNACA23015翼型として、帝京大を中心に機体を設計した。機体形状を図3に示す。翼弦長は200mm、アスペクト比は7.0である。電極長さは約70cm、PA電源については、代表（失速）速度10m/秒と翼弦長200mmによる無次元周波数を6.0に設定、バースト（デューティ）比は0.1とした。

フライトは直線（滑空）飛行とし、高度150メートル程度からパワーオフにして次第に高度を下げる形で試験を実施した。1ヶ月以上約100フライトの予備試験を除いた最終的な飛行試験はのべ3日であり、その間に12フライト（72ポイント）のデータを得た。各ケース10秒程度の計測時間となっている。

図4にドラッグポワラ（揚力/抗力線図）を示す。明確とまではいえないが、L/Dの最大値はPA/ONによって向上している。特に比較的高い抗力、すなわち迎角の高い領域でPA/ONによる揚力向上が顕著な効果と認められる。



図3 飛行性能向上検証用に開発した機体

得られた結果は以下のようにまとめられる。通常飛行状態でのフライト試験によるDBD-PAの機能実証により、

- A) 失速速度から最良滑空比速度をやや上回る程度までDBD-PAによってL/Dが改善されることが実証された。
 - B) 高速域でのL/D改善により全般的に見て抗力低減効果が実証された。
- また、間接的ではあるがディープストール着陸での実証という視点で、
- C) ディープストール迎角において顕著にL/Dが改善されることが実証され、DBD-PAのON/OFFによるアプローチパスコントロールの可能性が実証された。

以上、結果の再現性を含めた検証、機体搭載CCDカメラによる翼面上タフトによる可視化（フライトを優先するために今回取得できていない）による失速抑制の確認などさらなる研究が残されてはいるが、各目標に向かって期待できるデータが得られたと考えている。当科学研究費補助金の研究期間は終了するが、今後も帝京大を中心にフライト試験を継続していく予定である。

(要素研究-A) 電源の小型化・軽量化

開発した小型電源は、科研費グループの議論を経て(株)増田研究所によって製作された特注品である。出力電圧波形は制限があるものの、流れ制御への影響は小さく、サイズ的には大型電源の1/100以下、欧州の開発による既存の小型電源Minipuls0.1と比較して寸法も小さく、重量で2/3のコンパクトな電源である。出力波形特性など電源に関する詳細、また翼断面模型を利用した翼流れ制御効果の確認については参照成果論文2,3を参照していただきたい。結果を端的に示すと、最大誘起速度が発生する物体面からの距離などに多少の違いはあるが、 V_{pp} が7.3kVにおける小型電源は大型電源の7kVと9kVの間で、例えば8kV程度と同等の誘起流れを実現している。また、神戸高等専門学校における同電源の特性評価により、負荷となるPAのスパン長が増大してもPAに投入できるエネルギー密度[J/cm]は一定値を保持でき、単位長あたりの気流誘起効果が低下し

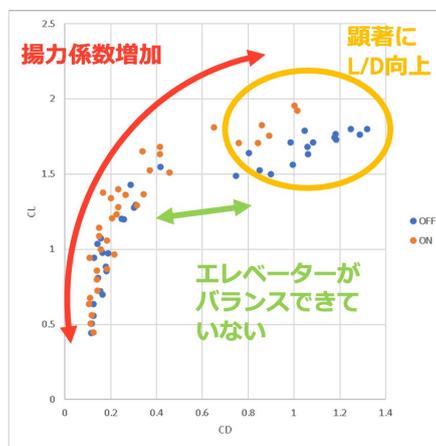


図4 ドラッグポワラ

ないことが確認されている。以上の結果を踏まえて、全体研究におけるフライト実証試験にこの小型電源を利用することにした。

神戸高等専門学校を中心に、バッテリー駆動を想定した小型ナノ秒パルス高電圧電源の開発も進め、試作に成功した。DC24Vを一次電源としながらも、最終出力電圧はピーク値10kVのパルス高電圧を200Hzの繰り返し周波数で発生することができ、300cmまでの電極長さでの駆動を確認した。

(要素研究—B) 塗布型電極の利用検討

塗布電極の利用検討については、デルフト工科大学の情報をもとに試料を入手し、原液を筆で塗る形で電極を作成し、基礎的な発光特性の確認を行った。この段階で、通常の銅テープ電極を利用してもフライト試験に支障がなかったことが確認された。塗布電極は銀粒子を扱うことから安全上の問題があり、かつ新型コロナウイルスのパンデミックの影響で塗布試験場所の確保が困難となったため、本項目は利用の可能性を確認した段階で終了とした。

(要素研究—C) 翼端効果の確認

これまでの翼流れ制御に関する研究のほとんどは2次元翼断面を対象としたもので、翼端渦の発生がDBD-PAによる流れ制御に与える影響は明確にされてこなかった。一般に翼端渦の発生は翼端付近における有効迎角の低下を招く。フライト試験においてはこの点を考慮して翼上面に配置するスパン方向電極長さを決定する必要がある。また、制御効果に及ぼす翼端の影響は流体力学的にも重要である。そこで、数値シミュレーションおよび風洞試験の両面から研究を進めた。結果、2次元翼に対して得られたDBD-PAの効果は概ね3次元翼においても観測された。翼端に近いところでは、DBD-PAが誘起する流れと翼端渦は複雑に干渉し、迎角によって電極長さの効果は異なることが見いだされた。本フライト試験の観点では、翼端付近の電極は効果を発揮せず、翼端からスパン長の10%程度までに設置される電極の効果はほとんどないことが明らかになった。いずれの迎角においても翼端に向かって揚抗比の低下が観測される。ただ、低下の要因は通常の翼端効果とは異なることが明らかになった。詳細は成果論文4などを参照されたい。風洞試験においても同様の効果が観測されたこともAIAA 2021-1944として米国航空宇宙学会にて発表されている。

(DBD-PAに関わるその他の研究成果)

主たる研究課題である大気中フライト試験によるDBD-PAの流れ制御効果の実証に加えて各種の基礎研究を進めた。スペースの関係で項目のみを記しておく。

- (1) より効果的な流れ制御 (成果論文5-7)
- (2) 反応を考慮した誘起流れモデル (成果論文8)
- (3) 産業利用に関する研究 (成果論文9)

参照論文 (本成果報告内で参照した発表論文)

1. S. Sekimoto, H. Kato, K. Fujii, H. Yoneda, Aerospace, Vol. 9, No. 3, Mar. 2022.
2. 関本諭志, 藤井孝藏, 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol. 39, No.4, August 2020.
3. S. Sekimoto, K. Fujii, S. Hosokawa, H. Akamatsu, Sensors & Actuators: A Physical, Elsevier, Vol. 306, Article 111951, May 2020.
4. T. Abe, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fukudome, H. Mamori, T. Tatsukawa, K. Fujii, and M. Yamamoto, AIAA Journal, Vol. 59, No. 1, Jan. 2021.
5. T. Ogawa, K. Asada, S. Sekimoto, T. Tatsukawa and K. Fujii, Aerospace, Vol. 8, No. 12, Dec. 2021.
6. S. Shimomura, S. Sekimoto, A. Oyama, K. Fujii, H. Nishida, AIAA Journal, Vol. 58, No. 10, Oct. 2020.
7. 西田浩之, 下村怜, 関本諭志, 大山聖, 藤井孝藏, 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol. 38, No. 5, pp. 323-328, 2019年10月.
8. D. Chen, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fujii, and H. Nishida, Physics of Fluids, Vol. 33, Issue 3, March 2021.
9. K. Shimizu, T. Nakajima, S. Sekimoto, K. Fujii, T. Hiraoka, Y. Nakamura, T. Nouzawa, J. Ikeda and M. Tsubokura, JSME Mechanical Engineering Letters, Bulletin of the JSME, Vol. 5, No. 19-00354, 2019.

成果論文リスト (件数のみ記載)

- [学術論文] (計 20件)
- [学会発表] (計 41件)
- [国際会議] (計 13件)
- [国内学会] (計 28件)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 S. Sekimoto, H. Kato, K. Fujii, H. Yoneda	4. 巻 9(3)
2. 論文標題 In-Flight Demonstration of Stall Improvement Using a Plasma Actuator for a Small Unmanned Aerial Vehicle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aerospace	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) 10.3390/aerospace9030144	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 T. Ogawa, K. Asada, S. Sekimoto, T. Tatsukawa and K. Fujii	4. 巻 8(12)
2. 論文標題 Dynamic Burst Actuation to Enhance the Flow Control Authority of Plasma Actuators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aerospace	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) 10.3390/aerospace8120396	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 D. Chen, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fujii, and H. Nishida	4. 巻 33(3)
2. 論文標題 A high-fidelity body-force modelling approach for plasma-based flow control simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	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) 10.1063/5.0040987	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 T. Abe, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fukudome, H. Mamori, T. Tatsukawa, K. Fujii, and M. Yamamoto	4. 巻 59(1)
2. 論文標題 Computational Study of Wing Tip Effect for the Flow Control Authority of DBD Plasma Actuator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 104-117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.J059706	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 S. Shimomura, S. Sekimoto, A. Oyama, K. Fujii, H. Nishida	4. 巻 58(10)
2. 論文標題 Closed-Loop Flow Separation Control Using the Deep Q-Network over Airfoil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIAA Journal	6. 最初と最後の頁 4243-4259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.J059447	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 立川智章, 小川拓人, 浅田健吾, 藤井孝藏	4. 巻 41(162)
2. 論文標題 非正常流れ場の分析に向けた簡易渦構造同定手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 可視化情報	6. 最初と最後の頁 25-26
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 H. Akamatsu, K. Yagi, H. Yamaguchi	4. 巻 30
2. 論文標題 Plasma Actuator by Battery-Driven Compact High Voltage Power Supply	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma Application and Hybrid Functionally Materials	6. 最初と最後の頁 19-20
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 八木楓, 山口鳳太, 赤松浩, 関本諭志, 藤井孝藏	4. 巻 28(2)
2. 論文標題 無人航空機への搭載を目的としたプラズマアクチュエータ用の小型ナノ秒パルス高電圧電源の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プラズマ応用科学	6. 最初と最後の頁 90-96
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 H. Akamatsu, K. Yagi, H. Yamaguchi	4. 巻 29
2. 論文標題 Compact Nanosecond Pulsed Power Supply for Plasma Actuator on Unmanned Aerial Vehicle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Application and Hybrid Functionally Materials	6. 最初と最後の頁 69-70
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 関本諭志, 藤井孝藏	4. 巻 39(4)
2. 論文標題 模型飛行機へのプラズマアクチュエータの適用と関連要素研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本流体力学会誌「ながれ」	6. 最初と最後の頁 222-229
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 藤井 孝藏、浅田 健吾	4. 巻 67
2. 論文標題 低レイノルズ数流れに対するCFD研究の現状と将来	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本航空宇宙学会誌	6. 最初と最後の頁 174 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14822/kjsass.67.5_174	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 西田浩之, 下村怜, 関本諭志, 大山聖, 藤井孝藏	4. 巻 38
2. 論文標題 能動的流体制御デバイスを用いた翼周り剥離流れ制御への深層強化学習の応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本流体力学会誌「ながれ」	6. 最初と最後の頁 323-328
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 オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 SHIMIZU Keigo, NAKASHIMA Takuji, SEKIMOTO Satoshi, FUJII Kozo, HIRAOKA Takenori, NAKAMURA Yusuke, NOUZAWA Takahide, IKEDA Jun, TSUBOKURA Makoto	4. 巻 5
2. 論文標題 Aerodynamic drag reduction of a simplified vehicle model by promoting flow separation using plasma actuator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Letters, Japan Society of Mechanical Engineers (JSME)	6. 最初と最後の頁 19-00354-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mel.19-00354	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 AONO Hikaru, KONDO Katsutoshi, NONOMURA Taku, ANYOJI Masayuki, OYAMA Akira, FUJII Kozo, YAMAMOTO Makoto	4. 巻 63
2. 論文標題 Aerodynamics of Owl-like Wing Model at Low Reynolds Numbers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES	6. 最初と最後の頁 8~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tjsass.63.8	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 M. Sato, K. Okada, K. Asada, H. Aono, T. Nonomura, and K. Fujii	4. 巻 32
2. 論文標題 Unified mechanisms for separation control around airfoil using plasma actuator with burst actuation over Reynolds number range of 103-106	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 025102~025102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5136072	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 Aono Hikaru, Fukumoto Hiroaki, Abe Yoshiaki, Sato Makoto, Nonomura Taku, Fujii Kozo	4. 巻 13
2. 論文標題 Separated Flow Control of Small Horizontal-Axis Wind Turbine Blades Using Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies, MDPI	6. 最初と最後の頁 1218~1218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13051218	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 Sekimoto Satoshi、Fujii Kozo、Hosokawa Shunsuke、Akamatsu Hiroshi	4. 巻 306
2. 論文標題 Flow-control capability of electronic-substrate-sized power supply for a plasma actuator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 111951 ~ 111951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2020.111951	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 Kawai Shigetaka, Bouwhuis Thijs, Abe Yoshiaki, Yakeno Aiko, Nonomura T., Aono H., Oyama A., Hoeijmakers H. W. M., Fujii K.	4. 巻 32
2. 論文標題 Dominant parameters for maximum velocity induced by body-force models for plasma actuators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Springer	6. 最初と最後の頁 805 ~ 820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00162-018-0478-9	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 Yakeno A., Abe Y., Kawai S., Nonomura T., Fujii K.	4. 巻 74
2. 論文標題 Unsteady shear layer flow under excited local body-force for flow-separation control in downstream of a two-dimensional hump	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow, Elsevier	6. 最初と最後の頁 15 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatfluidflow.2018.08.008	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 Fujii Kozo	4. 巻 8
2. 論文標題 Three Flow Features behind the Flow Control Authority of DBD Plasma Actuator: Result of High-Fidelity Simulations and the Related Experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences, MDPI	6. 最初と最後の頁 546 ~ 546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8040546	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

〔学会発表〕 計41件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 K. Fujii, T. Abe, T. Ogawa, M. Yamamoto
2. 発表標題 Interactions of Wing Tip Vortex and DBD Plasma Actuator Induced Flows and Their Effect on the Aerodynamic Characteristics
3. 学会等名 ICTAM2020+1(The 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Sekimoto, K. Fujita, K. Fujii
2. 発表標題 Flow-Control Experiment around Half-Span Wing Model for DBD-PA Application on UAV
3. 学会等名 AIAA Scitech2021 (Virtual Event) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yoneda, A. Goto, H. Kato, S. Sekimoto, K. Fujii
2. 発表標題 Flight Test of UAV with DBD-Pa Flow Control
3. 学会等名 AIAA Scitech2021 (Virtual Event) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Shimomura, S. Sekimoto, A. Oyama, K. Fujii, H. Nishida
2. 発表標題 Mechanism of flow separation control with DBD plasma actuator obtained by Ape X Deep Q Network Control
3. 学会等名 AIAA Scitech2021 (Virtual Event) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲向 隆, 浅田 健吾, 福留功二, 山本誠, 藤井 孝藏
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータによるガーニーフラップ付きNACA0015翼周り流れ制御のLES
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 稲向 隆, 浅田 健吾, 福留功二, 山本誠, 藤井 孝藏
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータによるガーニーフラップ付きNACA0015翼周り流れ制御のLES
3. 学会等名 乱流制御研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡亮佑, 井手寛介, 猶原拓海, 赤松浩
2. 発表標題 バッテリー駆動式小型バーストパルス電源によるプラズマアクチュエータの駆動
3. 学会等名 令和3年 電気関係学会関西支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手寛介, 猶原拓海, 岡亮佑, 赤松浩
2. 発表標題 バッテリー駆動式小型ナノ秒パルス高電圧電源によるプラズマアクチュエータの駆動
3. 学会等名 令和3年 電気関係学会関西支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関本諭志, 浅田健吾, 藤井孝藏
2. 発表標題 プラズマアクチュエータを用いた急拡大部を有する流路内の流れ制御
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤松浩, 井手寛介, 岡亮佑, 猶原拓海
2. 発表標題 プラズマアクチュエータ初心者用の超簡単高電圧電源
3. 学会等名 プラズマアクチュエータ研究会第7回シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤松 浩, 八木 楓, 山口 鳳汰
2. 発表標題 小型ナノ秒パルス高電圧電源によるプラズマアクチュエータデバイスの駆動
3. 学会等名 The 38th Symposium on Plasma Processing / The 33rd Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲向隆, 浅田健吾, 関本諭志, 福留功二, 山本誠, 藤井孝藏
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータによるガーニーフラップ付きNACA0015翼周り流れ制御のLES
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関本諭志, 藤田昂志, 藤井孝藏
2. 発表標題 DBD-PAの小型航空機適用に向けた片翼模型の風洞試験
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Kato, D. Iiboshi, K. Tsuchida, H. Akamatsu
2. 発表標題 Compact Pulsed-Power Generator for Plasma Actuator Device on Unmanned Aerial Vehicle
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Abe, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fukudome, H. Mamori, T. Tatsukawa, K. Fujii, and M. Yamamoto
2. 発表標題 Computational Study of Wing Tip Effect for the Flow Control Authority of DBD Plasma Actuator
3. 学会等名 AIAA Aviation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sekimoto, K. Shimizu, T. Nakashima, K. Fujii, T. Hiraoka, and T. Nouzawa
2. 発表標題 Experimental Investigation for the Better Control of Flows Over a Simplified Vehicle Configuration with Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator
3. 学会等名 ASME/JSME/KSME Fluid Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関本諭志, 藤井孝藏
2. 発表標題 小型高電圧電源を用いたプラズマアクチュエータによる流れ制御の実験的検証
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 小川拓人, 浅田健吾, 立川智章, 藤井孝藏
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータを用いた翼流れ剥離制御における過渡的状态の分析
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 下村怜, 関本諭志, 大山聖, 藤井 孝藏, 西田浩之
2. 発表標題 NACA0015翼におけるプラズマアクチュエータを用いたフィードバック剥離流れ制御への深層強化学習の応用
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 T. Ogawa, K. Asada, T. Tatsukawa, and K. Fujii
2. 発表標題 Analysis of Transient Flows over an NACA0015 Airfoil toward Better Flow Control Authority of Plasma Actuators
3. 学会等名 17th European Turbulence Conference (ETC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川拓人, 浅田健吾, 立川智章, 藤井孝藏
2. 発表標題 DBD プラズマアクチュエータによる巡航迎角翼性能改善に向けた LES
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関本諭志, 藤井孝藏, 米田洋
2. 発表標題 プラズマアクチュエータによる小型航空機の高性能化に関する初期検討
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部巧, 浅田健吾, 関本諭志, 福留功二, 守裕也, 立川智章, 藤井孝藏, 山本誠
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータを用いた剥離制御における翼端の影響(第2報): 迎角と配置の依存性に関する数値的研究
3. 学会等名 日本流体力学会 年会講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川拓人, 立川智章, 藤井孝藏
2. 発表標題 プラズマアクチュエータを用いた翼流れ剥離制御における過渡的な流れの分析に向けた渦構造分析手法の提案
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chen Di, 浅田健吾, 関本諭志, 西田浩之, 藤井孝藏
2. 発表標題 静止気体中誘起流れに基づくDBDプラズマアクチュエータの体積力モデル比較
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ogawa; K. Asada; T. Tatsukawa and K. Fujii
2. 発表標題 Computational Analysis of the Control Authority of Plasma Actuators for Airfoil Flows at Low Angle of Attack
3. 学会等名 AIAA Scitech2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Sekimoto, K. Fujii, H. Yoneda
2. 発表標題 Flow Control on an Unmanned Aerial Vehicle using a Plasma Actuator Driven by a Substrate-Size Power Supply
3. 学会等名 AIAA Scitech2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Shimomura, S. Sekimoto, A. Oyama, K. Fujii
2. 発表標題 Experimental Study on Application of Distributed Deep Reinforcement Learning to Closed-loop Flow Separation Control over an Airfoil
3. 学会等名 AIAA Scitech2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井孝藏, 阿部巧, 山本誠
2. 発表標題 翼端渦がプラズマアクチュエータによる翼空力特性向上に与える影響 - フライト試験に向けた研究から -
3. 学会等名 令和元年度航空宇宙空力シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Abe, K. Asada, S. Sekimoto, K. Fukudome, H. Mamori, T. Tatsukawa, K. Fujii and M. Yamamoto
2. 発表標題 Computational Study of Wing Tip Effect for DBD Plasma Actuator -From LES for the Separation over Three-Dimensional Wing-
3. 学会等名 ICM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Shimomura, S. Sekimoto, H. Fukumoto, A. Oyama, K. Fujii and H. Nishida
2. 発表標題 Preliminary Experimental Study on Closed-loop Flow Separation Control Utilizing Deep Q-Network over Fixed Angle-of-Attack Airfoil
3. 学会等名 AIAA Aviation2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川拓人, 浅田健吾, 関本諭志, 立川智章, 藤井孝藏
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータを用いたフィードバック翼流れ剥離制御のLES -渦移流に伴う翼面圧力変動を利用した制御則の検討-
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 清水圭吾, 中島卓司, 関本諭志, 藤井孝蔵, 平岡武宣, 中村優祐, 農沢隆秀
2. 発表標題 プラズマアクチュエータを用いた三次元ブラフボディの空気抵抗低減
3. 学会等名 日本機械学会 第96期流体工学部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井孝蔵
2. 発表標題 流体力学研究におけるCFDの貢献を考える
3. 学会等名 東北大学流体科学研究所創立75周年記念式典(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部圭晃, 佐藤允, 青野光, 野々村拓, 大山聖, 藤井孝蔵
2. 発表標題 翼周り剥離流れ制御におけるDBDプラズマアクチュエータとシンセティックジェットと比較
3. 学会等名 日本機械学会流体工学部門 プラズマアクチュエータ研究会第6回シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村怜, 関本諭志, 福本浩章, 大山聖, 藤井孝蔵, 西田浩之
2. 発表標題 深層強化学習を利用した翼周り流れのフィードバック剥離制御実験
3. 学会等名 日本機械学会流体工学部門 プラズマアクチュエータ研究会第6回シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川拓人, 浅田健吾, 関本諭志, 立川智章, 藤井孝藏
2. 発表標題 プラズマアクチュエータを用いたフィードバック剥離制御法の検討 -第四報: 表面圧力変動を利用した制御則の翼剥離制御流れへの適用-
3. 学会等名 日本機械学会流体工学部門 プラズマアクチュエータ研究会第6回シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村怜, 関本諭志, 福本浩章, 大山聖, 藤井孝藏, 西田浩之
2. 発表標題 深層強化学習を用いた固定翼周りの流れに対するフィードバック剥離制御の実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部巧, 浅田健吾, 関本諭志, 福留功二, 守裕也, 立川智章, 藤井孝藏, 山本誠
2. 発表標題 DBDプラズマアクチュエータを用いたはく離制御における翼端の影響: 翼端付き3次元翼流れのLES
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Kotsonis, S. Sekimoto, K. Fujii
2. 発表標題 PIV Measurements of DBD Actuation on a Wind Energy Airfoil at pre- and post-stall angles
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Mitsuo, H. Fukumoto, H. Kato, T. Atobe, S. Watanabe, A. Oyama, T. Nonomura, H. Aono and K. Fujii
2. 発表標題 Separation Flow Control of a Pitching Airfoil in Dynamic Stall by a DBD Plasma Actuator
3. 学会等名 第50回流体力学講演会/第36回ANSS
4. 発表年 2018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	赤松 浩 (Akamatsu Hiroshi) (10370008)	神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授 (54502)	
研究分担者	関本 諭志 (Sekimoto Satoshi) (50783817)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (12605)	
研究分担者	米田 洋 (Yoneda Hiroshi) (60734506)	帝京大学・理工学部・教授 (32643)	
研究分担者	藤田 昂志 (Fujita Koji) (80774471)	東北大学・流体科学研究所・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
---------	---------