

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246141

研究課題名(和文) プラズマアクチュエータ制御における局時流れ機構と制御パラメータ策定に関する研究

研究課題名(英文) Mechanism of plasma-actuator induced flows toward better control parameter settings

研究代表者

藤井 孝藏 (Fujii, Kozo)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：50209003

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,900,000円

研究成果の概要(和文)：流れの剥離制御に有望と目されるDBDプラズマアクチュエータの将来的実用化を目指して、小型風洞等を利用した実験、実験の検証とアクチュエータに誘起される局時流動現象、特に時間変化に着目した数値シミュレーションを実施した。京コンピュータ戦略プログラム大規模計算との相乗効果による成果として、乱流遷移、大規模渦構造の生成による運動量交換、直接的な強い誘起流れ、の3つの局時流動の存在が高い制御効果の背景にあることを示した。3つの効果はバースト周波数やバースト比率に依存するため、流れや物体形状に応じたアクチュエータ設定により効果的な制御が可能であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：Mechanism of flow separation control by DBD plasma actuators is studied by the small wind tunnel experiment and numerical simulations focusing on the validation of the experiment and time-dependent flow structures induced by the DBD plasma actuator. Both the experiment and computations revealed key structures especially for the burst mode actuations. There exist three mechanisms that are the keys for flow control authority of plasma actuators; (1) direct addition of momentum, (2) certain-scale two-dimensional vortices that exchange large-scale momentum, (3) laminar-to-turbulent transition. These three mechanisms stay together and some of them become dominant factors, depending on the actuator parameters and flow conditions. With the parameter settings considering these three effects, remarkable authority of DBD plasma actuators would be achieved.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙 流体力学 流体制御 プラズマアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

本研究のテーマとなっている誘電体バリア放電 (DBD) を利用したプラズマアクチュエータ (DBD プラズマアクチュエータ, 以下ではプラズマアクチュエータと記す) による流れ制御は, 文献 1, 2 にもあるように, 研究開始当時すでに脚光を浴びていた技術である. プラズマアクチュエータは機械的ではなく, 電気的動作によって流体変動を起こすデバイスで, 誘電体を挟んだ電極間に交流高電圧をかけることで電極間の気体をプラズマ化し, 電場により加速させることで瞬間的な誘起流れの時空間変動 (局時流動, ~数 m/sec) を発生させ (図 1), 剥離などの流体現象を制御することを可能にする. このデバイスは, 動的な制御や可動部がないこと, 消費電力が数ワット程度であること等から有望な剥離流れの制御技術として注目されていたものである.



図 1 DBD プラズマアクチュエータ: 模式図

プラズマアクチュエータは流体制御技術としての高い将来性を有しており, 当時プラズマアクチュエータに関する初期論文の citation も急激に伸びている状況にあった. 当時のプラズマアクチュエータの研究は, (1) イオン移動と誘起速度に関する研究 (Enloe, Schneider, 笠木, 安部ら) と (2) 翼等を利用した流れの剥離制御に関わる研究 (Corke, Samimy, 申請者, 松野, 深淵ら) に分類できるが, 多くの研究が行われながら基本原理の理解にたどり着けない背景には, (1)ほとんどが実証的な研究である, (2)ほとんどが誘起流れの大きさのみに着目している, という課題があった.

研究代表者は, 実験, 数値シミュレーションの両面から DBD アクチュエータの現象理解に取り組んでおり (機械学会流体工学部門 Web Newsletter 2007 年 12 月など), H20-H22 には基盤研究 A により低 Re 数 (10^4 オーダー) 流れに関する研究を進めてきた. 成果として, 誘起流れの強さだけでなく, 与える擾乱の性質が重要であること, その事実を利用するとバースト周波数制御が有効であり, それまで定説であった低いバースト周波数に加えて高いバースト周波数帯に優れた制御効果を持つ領域があることなど多くの知見を得た. しかしながら, 得られた知見を効果的なアクチュエータ設計に結びつけるまでには至らなかった.

2. 研究の目的

上記の背景から, 本研究は, 複数の風洞試験装置と高度な数値シミュレーション技術を利用することで局時流動支配の現象理解を進め, 直接的な対象である DBD プラズマアクチュエータの実用化に貢献するとともに,

同種のデバイスとの比較等も加えて, このような剥離制御デバイスの剥離制御の流れメカニズムをより汎用的な意味で明らかにすることを旨とする.

特に, プラズマ時空間挙動, 誘起流れの時空間挙動, 主流流れの時空間変動 (局時流動現象) の関連を実験と詳細な時間変動を捉える数値計算により分析する. これにより, 効率的なプラズマアクチュエータによる流れ制御の実現とともに, 課題となっている実用高レイノルズ数流れ (高動圧流れ) に対する流れ制御実現への道を開くことを目指す.

3. 研究の方法

上述の記載内容を背景として, (1) より幅広い環境下を対象にプラズマアクチュエータによる誘起流れ場理解の知見をさらに進めること, (2) 理解に基づいて最適なプラズマアクチュエータの制御パラメータに関して一定の知見を得ること, そして (3) ナノパルス制御という新しい方法の可能性を検討すること, の 3 点を本研究の大きな目標とした.

これをもとに設定した具体的な研究目標は以下である. 幅広いレイノルズ数条件下におけるプラズマアクチュエータによる流れ制御の基本メカニズムを明確化し, 本技術の実用化への筋道を作る. これまでの研究をベースに新たな実験を加え, データ探査・設計探査手法を活用することで, 種々の工学応用において流れ制御を実現しうる設定パラメータを整理し, レイノルズ数領域ごとに最適な機器配置や作動条件を定義できる “特徴的パラメータを提案する.”

なお, 京コンピュータを利用した文部科学省次世代スーパーコンピュータ戦略アプリケーションプログラム (以下, 戦略プログラム), 分野 4 「次世代ものづくり」が採択され, その中の 1 課題 「輸送機器・流体機器の流体制御による革新的効率化・低騒音化に関する研究開発」 (H23-H27) において, プラズマアクチュエータの実用に向けた超大規模数値シミュレーションが実施できる環境にあった. このことを踏まえて, 本申請ではそれぞれの研究の役割分担を明確にし, 研究の相乗効果を狙った. 具体的には, 当科学研究費補助金では, 風洞実験 (図 2) および限られた範囲の数値シミュレーションを, 文部

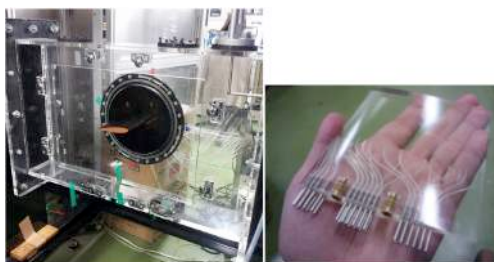


図 2 小型風洞と実験模型の例

科学省戦略プログラムでは京でなければできない超大規模な数値シミュレーションと産業展開に向けた活動を進めることとした。計算手法の開発、他の制御方法との比較、現象理解の背景情報である翼型周りの流れ場特性把握、得られる知見やシミュレーションの信頼性評価などは双方共通の成果とした。

4. 研究成果

(1) 各年度の成果

(24年度)

申請者らの過去の研究成果も含め、DBD プラズマアクチュエータによる翼廻り流れ制御に関する研究結果を可能な限り集め、それに基づいて流れ制御で重要な役割を果たすと想定される制御パラメータを検討・選出した。得られた制御パラメータを設計変数とし、剥離制御の評価指標として二次元翼模型表面の前縁付近と後縁の圧力値等を目的関数として、小型低速風洞実験を利用した遺伝的アルゴリズムによる制御方法最適化を行った。実験装置と模型の例を図2に示す。限られた条件下ではあるが、アクチュエータに印加する電圧波形の振幅、基本周波数、バースト比、及びバースト周波数の最適値に関する情報を得ることができた。探査結果からは制御メカニズムを示唆する知見が得られ、遺伝的アルゴリズムの実験計画への適用の有用性が示された。成果は次年度2013年夏の国際会議で発表を行っている(学会発表17)。

逆向き流れを誘起するようにアクチュエータを設置した実験などを意図的に行い、鍵となるメカニズムが想定されたものかどうかの検証を進めた(学会発表20,21)。

実用化に向けたもう1つの課題である高レイノルズ数流れへの適用に関して、高速気流での風洞試験を開始した。近年ナノパルス波の利用による高速気流制御の可能性が指摘されている。そこで、ナノパルス発生用の電源を購入し、その特性を確認した。ベンダーの協力を得て回路等を工夫することにより数百ナノ秒レベルのパルスを作ることができ、気流なしの条件下における高速度カメラ/シュリーレン撮影によりナノ秒パルスの誘起する流れ場を観測した。交流高電圧が誘起する流れ場と異なるパルス上の瞬間衝撃波の発生が確認できた(学会発表16)。高速気流での本格的な流体制御試験に向けて、大型の遷音速風洞における定常圧力計測、オイルフロー計測など計測システムを確認した。また、前段階とし $Re=10^6$ の翼廻り流れの基本計測を行い、得られた翼面圧力を数値計算の結果と比較して両者の結果の妥当性を確認した。次年度の本格実験に向けて、翼模型表面へのアクチュエータ適用法を検討した。

数値シミュレーション面では、バースト周波数と誘起流れ構造の関係を明らかにすべく、スペクトル的空間高解像度のLES手法を利用した計算を進めた。研究開始前の成果も

含めた一連の成果は、国内、国際会議での基調講演や招待講演など複数の学会発表を行っている(学会発表18, 22-24など)。

なお、他の制御手法との比較や共通性の確認およびプラズマアクチュエータの優位性確認のため、本研究課題内で、シンセティックジェットによる翼周り大規模剥離流れの制御に関する数値シミュレーションをあわせて進めた。

(25年度)

小型風洞で実験可能な $Re=10^5$ 弱のレイノルズ数域について、局時流動の特性を明らかにすることができた。高いバースト周波数での有効性は特に変動を誘起することで乱流遷移を促すこと、低いバースト周波数は大きな渦構造を誘起することが流れ制御につながっていることなど、プラズマアクチュエータの高い剥離制御の有効性の背景には複数の制御メカニズムが存在することが、過去の実験で複数の制御可能領域が存在していた理由であったと考えられる(学会発表9,15など)。また、数値シミュレーション結果から、過去の研究が揚力のみを制御効果の指標としているのに対して、抗力の特性は異なることが示され、空力特性の改善という観点では抗力など別の指標も考慮して制御効果を評価すべきであることが明らかになった(雑誌論文2,6など)。

ナノ秒パルスという新しいアクチュエータについては、基本的な誘起流れ場の確認から円筒状の音響波が生じていること、誘起渦流れがこれまで利用してきたAC-DBD(これまでのDBDプラズマアクチュエータ)による誘起流れに比べて圧倒的に弱いことが確認された。ナノ秒パルスプラズマアクチュエータは高いレイノルズ数での効果が期待されていたが、大型高速風洞を利用した実験では明確な効果を確認できなかった。そこで、改めて小型低速風洞における低いレイノルズ数の実験、惑星大気風洞における中間レベルのレイノルズ数での実験をそれぞれ行った。その結果、この範囲においてはナノ秒パルスが十分な制御効果を持つことが明らかとなった。また、中間のレイノルズ数域ではナノ秒パルスがAC-DBDに比べて幅広い周波数帯で効果を持つことも明らかになった(学会発表7,10,11)。あらためて議論した結果、プラズマアクチュエータの効果はレイノルズ数というパラメータのみで区別するのが適当でないことを確認した。高いレイノルズ数とはいっても、相対誘起速度や誘起流れを考えると、高速の場合と形状スケールが大きい場合でその効果は異なるため、最終年度はこの点を考慮して実験や数値シミュレーションを進める必要があることを確認した(雑誌論文6など)。

(26年度)

最終年度は、研究目的を意識して、実験を継続しつつ、これまでの成果を総括すべく議論を進めた。別途、次世代スーパーコンピュータ戦略プログラムで行っている大規模数値シミュレーションから翼面と剥離剪断層の距離に応じて使うべき制御パラメータが異なることがわかってきたので、実験においても、これまでの研究と異なる NACA0012 翼を対象とした実験を行うことで、剥離剪断層と翼面の距離の影響を評価した。また、これまでは前縁剥離直後の迎角を対象としてきたが、さらに高い迎角での剥離制御効果や適正パラメータを見いだすための実験を進めた（関本論志学位論文、現在複数雑誌論文を投稿中）。あわせてバースト周波数を変化させた一連の実験を行うことで流れ構造と制御効果の関係を明らかにした。これらは、「より幅広い環境下を対象にプラズマアクチュエータによる誘起流れ場理解の知見をさらに進めること」という研究目的に沿ったものである。数値シミュレーションの観点では、これまでの知見を整理して、総括で述べるように3つの効果が想定できることを明らかにした。また、シミュレーションデータに対する設計探査を行い、アクチュエータのパラメータと揚力や抗力との関係を確認した（学会発表8など）。3つの効果の発見と確認は、研究目標にある「理解に基づいて最適なプラズマアクチュエータの制御パラメータに関して一定の知見を得ること」に対応したものである。さらに一歩進め、よりプラズマアクチュエータの性能を向上させる手段として、フィードバックループを導入したシミュレーションなどを進めた（学会発表2など）。ナノ秒パルスプラズマアクチュエータについては、小型風洞において 10^5 程度のレイノルズ数で効果が確認され、その優位性を確認できた。ただ、高レイノルズ数流れへの適用に関しては、残念ながら十分な成果に至らなかった。これに関しては、次年度以降に予定されている（株）JR 東海所有の回流式風洞（350km/時を実現）において、DBD プラズマアクチュエータに加えてナノ秒パルスプラズマアクチュエータ試験の可能性を検討している。

(2) 3年間の研究成果の総括（全体成果）

本研究では当初3つの目標を掲げた。

第1は、DBD プラズマアクチュエータによる剥離制御のメカニズムを明らかにすることである。低いレイノルズ数については、研究室所有の小型風洞で多数の実験が可能で、数値シミュレーションの負担も比較的小ないため、研究実績に示すように流れ構造と制御のメカニズムをかなりの程度明らかにできたと考えている。異なるバースト周波数に対してプラズマアクチュエータの効果を端的に表している実験画像を図3に示す。プラズマアクチュエータによって生まれる流れ場には3つの流体现象（乱流遷移、2次元渦

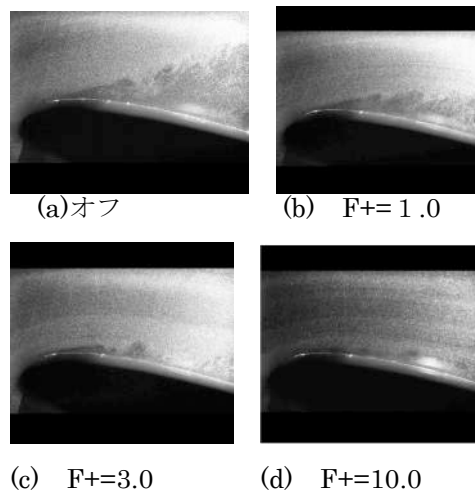


図3 PIV粒子画像

NACA0015 翼 $Re=6.3 \times 10^4$, $\alpha=$ 失速角+1度

構造の生成、物体面付近の誘起流れによる混合)が存在しており、状況に応じてこれらを有効に利用することがプラズマアクチュエータの優れた制御性を形作っていると結論づけられた（雑誌論文1,2,6など）。これらが特徴的に現れている数値解析結果を図4に示す。

第2の目標である特徴的な無次元パラメータ提案については、上記のごとく複数の制御メカニズムが混在するため特徴的なパラメータを統一できないことがまず明らかになった。その結果、流れ条件に応じて特徴的なパラメータを考える必要がある。その中でも、特に低レイノルズ数域では、剥離剪断層の成長を特徴づけるパラメータで整理できることがほぼ明らかになってきた。現時点ではまだ推測の域を出ないが、さらなる研究でこれが実証されることを期待している。

第3の目標（ナノ秒パルス DBD プラズマアクチュエータと高いレイノルズ数流れ制御）については、小型風洞における翼流れ実験から DBD プラズマアクチュエータと同様の効果が確認できた。ただ、吹き出し式の風洞における高レイノルズ数の試験では制御効果を確認できなかった。一方で、大きさを変えた中レベルのレイノルズ数においてはナノ秒

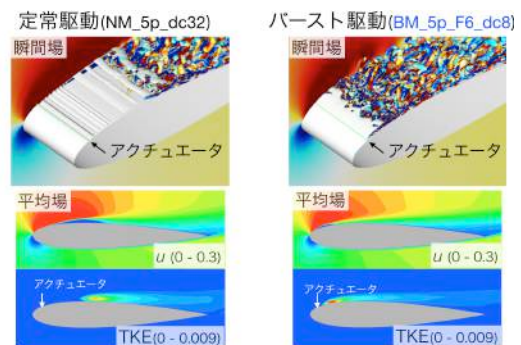


図4 数値シミュレーション結果の例（連続駆動とバースト軌道の比較）

パルス DBD プラズマアクチュエータがより幅広い周波数で効果的であり、ナノ秒パルスの優位性を示すことができた(学会発表7など)。

以上の成果は、国際会議等での複数の基調講演に代表される学会発表に加えて、複数のジャーナル論文にて公開済みとなっている。国際誌における解説記事も含まれている。現在、掲載可となったものも含めさらに複数のジャーナル論文を準備中である。

また、京コンピュータにおける戦略プログラムによる大規模シミュレーションとの相乗成果から、実利用に向けた企業との共同研究が複数生まれつつある。プラズマアクチュエータが持つ将来性とこれまでの一連の成果はマスコミからも注目され、平成27年5月に「夢の扉」というTBS系列の番組にて特集された。

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12件, 他に関連6件あり)

1. K. Asada, T. Nonomura, H. Aono, M. Sato, K. Okada & K. Fujii, "LES of transient flows controlled by DBD plasma actuator over a stalled airfoil," *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Taylor & Francis, 2015.
2. K. Fujii, "Computational Studies on Flow Separation Controls at Relatively Low Reynolds number Regime," *Proc. of IUTAM Symposium "Advances in Computation, Modeling and Control of Transitional and Turbulent Flows"*, Book from World Scientific, to be published (2015).
3. D. Lee, S. Kawai, T. Nonomura, M. Anyoji, H. Aono, A. Oyama, K. Asai and K. Fujii, "Mechanisms of Surface Pressure Distribution within a Laminar Separation Bubble at Different Reynolds Numbers," *Physics of Fluids*, Vol. 27 (023602), AIP, February 2015.
4. D. Lee, T. Nonomura, A. Oyama, K. Fujii, "Comparison of Numerical Methods Evaluating Airfoil Aerodynamic Characteristics at Low Reynolds Number", *Journal of Aircraft*, AIAA, 2014 (accepted).
5. M. Anyoji, T. Nonomura, H. Aono, A. Oyama, K. Fujii, H. Nagai and K. Asai, "Computational and Experimental Analysis of a High Performance Airfoil under Low-Reynolds Number Flow Condition," *Journal of Aircraft*, Vol.51, No.6, Dec. 2014.
6. K. Fujii, "High-performance computing based exploration of flow control with micro devices," *Philosophical Transactions A, The Royal Society*, Vol. 372, Article ID 20130326, pp. 1471-2962, 2014.
7. Y. Abe, T. Nonomura, N. Iizuka and K. Fujii, "Geometric interpretations and spatial symmetry property of metrics in the conservative form for high-order finite-difference schemes on moving and deforming grids," *Journal of Computational Physics*, Elsevier, Vol.260, pp.163-203, March 2014.

8. 浅田健吾, 河合宗司, 藤井孝藏, "LES のダイナミック壁面モデル: 剥離・遷移・再付着を伴う高レイノルズ数翼流れ," *ながれ*, Vol.32, pp.95-105, 平成25年4月 (April 2013).

9. 大山聖, 岡田浩一, 浅田健吾, 野々村拓, 宮路幸二, 藤井孝藏, "シンセティックジェットによる流れの能動制御," *日本航空宇宙学会, 日本航空宇宙学会誌*, Vol.61 No.2 pp.57-63, 平成25年2月 (Feb. 2013). (解説記事)

10. R. Kojima, T. Nonomura, A. Oyama and K. Fujii, "Large-Eddy Simulation of Low-Reynolds- Number Flow Over Thick and Thin NACA Airfoils," *Journal of Aircraft*, Vol.50, No.1, pp.187-196, January 2013.

11. K. Okada, T. Nonomura, K. Fujii and K. Miyaji, "Computational Analysis of Vortex Structures Induced by a Synthetic Jet to Control Separated Flows," *International Journal of Flow Control*, Vol. 4, No.1+2 · 2012, pp45-46, January 2013.

12. I. Kaneda, S. Sekimoto, T. Nonomura, K. Asada, A. Oyama and K. Fujii, "An Effective Three-Dimensional Layout of Actuation Body Force for Separation Control," *International Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 2012(2012), Article ID 786960, May 2012.

[学会発表] (計40件. 基調・招待講演および本文引用論文のみ24件を記載.)

1. K. Fujii, "Large-scale LES Simulations for Flow Separation Control toward Aerodynamic Design Innovation," (Invited Key Note Talk) 27th International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics, scheduled to be held in Montreal, Canada, May 2015.
2. H. Kato, M. Sato, H. Aono, A. Yakeno, T. Nonomura and K. Fujii, "Control Mechanism of DBD Plasma Actuator for Deep-Stall Flows around NACA0015," *EDRFCM*, Cambridge, U.K., 22-26, March 2015.
3. 藤井孝藏, 他, "DBD-PA: 現象理解とそれに基づく効果的制御法の提案へ", *航空宇宙空力シンポジウム*, 米子, 平成27年1月, (Jan. 2015).
4. K. Fujii, "Computational Studies on Flow Separation Controls at Relatively Low Reynolds number Regime," (Invited Talk), *IUTAM Symposium "Advances in Computation, Modeling and Control of Transitional and Turbulent Flows"*, Goa, India, December 2014.
5. 佐藤允, 岡田浩一, 青野光, 浅田健吾, 野々村拓, 焼野藍子, 藤井孝藏, "Re 10^4 - 10^6 におけるDBDプラズマアクチュエータを用いた翼周り剥離制御のLES解析," 第28回数値流体力学シンポジウムDVD-ROM, E02-3, 東京, 平成26年12月 (Dec. 2014)
6. K. Asada, M. Sato, T. Nonomura, S. Kawai, H. Aono, A. Yakeno and K. Fujii, "LES on Turbulent Separated Flow around NACA0015 at Reynolds Number 1,600,000 toward Active Flow Control," 32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA Paper 2014-2687, Atlanta, U.S.A., 16-20 June 2014.
7. S. Sekimoto, T. Sulaiman, M. Anyoji, T. Nonomura and K. Fujii, "Experimental Study of Nano-second Pulse Plasma Actuator for Low Reynolds Number Flow Control," 52th AIAA Aerospace Sciences Meeting 2014, AIAA Website, AIAA-2014-0767, National Harbor, U.S.A.13-17 January 2014.

8. T. Watanabe, H. Aono, T. Tatsukawa, T. Nonomura, A. Oyama and K. Fujii, "Design Exploration of a DBD Plasma Actuator for Massive Separation Control," 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, Kissimmee, FL, U.S.A., 5-9 January 2014.

9. M. Sato, K. Okada, H. Aono, A. Yakeno, K. Asada, Y. Abe, T. Nonomura and K. Fujii, "Separated-flow control by DBD plasma actuator around airfoils at Reynolds number 63,000," APCOM&ICSM2013, Singapore, December 2013.

10. S. Sekimoto, T. Sulaiman, M. Anyoji, T. Nonomura and K. Fujii, "Experimental Study of Nano-Second Pulse Plasma Actuator for Separated Flow Control," APISAT2013, APISAT2013-05-01-1, USB, Takamatsu, Japan, 20-22 November 2013.

11. 関本諭志, Taufik Sulaiman, 安養寺正之, 野々村拓, 藤井孝藏, "ナノ秒パルスプラズマアクチュエータによる低レイノルズ数剥離流れ制御の実験研究," 第91回日本機械学会流体工学部門会, G0406, 福岡, 平成25年11月(Nov. 2013).

12. K. Fujii, "CFD in the Merging Period of Practical Engineering and Basic Turbulence Studies," (Invited Talk), ICFD10th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Nov. 2013

13. K. Fujii, "Recent Findings on the Mechanism of Flow Separation Control By Micro Devices," (Invited Keynote Talk), 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWS), Nagoya, Sept. 2013.

14. M. Sato, K. Asada, T. Nonomura, S. Kawai, H. Aono, A. Yakeno and K. Fujii, "LES of Turbulent Separated Flow over NACA0015 at Reynolds Number 1,600,000, "Toward the Separation Control by a DBD Plasma Actuator," APS 66th Annual DFD Meeting, R16.08, Pittsburgh, U.S.A., November 2013.

15. M. Sato, K. Okada, T. Nonomura, H. Aono, A. Yakeno, K. Asada, Y. Abe and K. Fujii, "Massive Parametric Study by LES on Separated-flow Control around Airfoil using DBD Plasma Actuator at Reynolds Number 63,000," 43rd AIAA Fluid Dynamics and Collocated Conferences and Exhibit, AIAA 2013-2750, San Diego, U.S.A., June 2013.

16. 関本諭志, Taufik Sulaiman, 安養寺正之, 野々村拓, 松野隆, 藤井孝藏, "シュリーレン撮影によるナノ秒パルスアクチュエータまわりの流れ場の可視化," 第41回可視化情報シンポジウム, 可視化情報学会, C205, 新宿, 平成25年7月(July 2013).

17. T. Sulaiman, S. Sekimoto, T. Tatsukawa, T. Nonomura, A. Oyama and K. Fujii, "DBD Plasma Actuator Multi-Objective Design Optimization at Reynolds Number 63000: Baseline case" ASME FEDSM2013-16325, Nevada, U.S.A., July 2013.

18. 藤井孝藏, 野々村拓, 青野光, 佐藤允, 焼野藍子, 浅田健吾, 関本諭志, "DBD プラズマアクチュエータ動作原理解明に向けて-続報-" 平成24年度航空宇宙シンポジウム, 平成26年1月(Jan. 2014).

19. K. Fujii, "Spectral-like Schemes and Their Application to CFD Study toward Product Innovation," (Invited Talk) CCP2012, Kobe, 14-18 October 2012.

20. S. Sekimoto, "Computational Study of A Comparison of Co-Flow and Counter Blowing DBD Plasma Actuator for Separation Control Over an Airfoil," 28th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS2012-3.7.4, Brisbane, Australia, Sept. 2012.

21. 関本 諭志, 浅田 健吾, 安養寺 正之, 野々村 拓, 藤井 孝藏, "翼面上剥離制御におけるDBD プラズマアクチュエータ駆動方法の比較研究," 日本機械学会 2012 年度年次大会, 日本機械学会 2012 年度年次大会 DVD, S056034, 金沢, 平成24年9月(Sept. 2012).

22. K. Fujii, "Three Key Components of CFD for Future Aerodynamic Design Innovation-Les, Spectral-Like Schemes and Data Mining-," (Invited Keynote Talk), International Conference on Computational Fluid Dynamics, Hawaii, U.S.A., July 2012.

23. K. Asada and K. Fujii, "Burst Frequency Effect of DBD Plasma Actuator on the Control of Separated Flow over an Airfoil", 6th AIAA Flow Control Conference, AIAA Paper, AIAA Paper 2012-3054(internet), New Orleans, U.S.A., 25-28 June 2012.

24. 藤井孝藏, "HPC/CFD によるものづくり革新を目指して-デバイス制御による新たな空力形状設計-" 日本計算工学会, 2011 年度総会(特別講演), 2012 年 5 月(May 2012).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 件)

[その他]

ホームページ等

<http://flab.eng.isas.jaxa.jp/member/fujii/DBDkakenA2012-2014>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 孝藏 (FUJII KOZO)

JAXA 宇宙科学研究所・教授

研究者番号：50209003

(2) 研究分担者

李家 賢一 (RINOIE KENICHI)

東京大学大学院工学研究科・教授

研究者番号：20175037

野々村 拓 (NONOMURA TAKU)

JAXA 宇宙科学研究所・助教

研究者番号：60547967

安養寺正之 (ANYOUJI MASAYUKI)

九州大学 助教

(H24-H25 まで, 研究開始時点で JAXA 宇宙科学研究所プロジェクト研究員)

研究者番号：70611680

(3) 連携研究者

なし