

新任教員紹介

機械工学科・特任講師・関本 諭志

略歴

2010.03 東京大学工学部航空宇宙工学科 卒業
2012.03 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 博士前期課程 修了
2015.03 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 博士後期課程 修了（博士（工学））
2015.04-2016.03 ㈱東芝電力システム社京浜事業所 タービン基本設計担当
2016.04-2020.10 東京理科大学工学部情報工学科 ポストドクトラル研究員
2020.11-2024.09 東京農工大学工学部機械システム工学科 助教
2024.09-2025.03 産業技術総合研究所省エネルギー研究部門流体制御グループ 招聘研究員
2025.04- 現職



担当科目

流れ学基礎, プログラミング, 機構学, 入門ゼミナール A など

研究活動内容

1. はじめに

流体分野においては, 多様な条件下での流体制御が求められる. 従来の流体制御手法としては, 表面への突起設置 (ボルテックスジェネレータ), 舵面の利用, 吹き出しジェットなどが挙げられる. しかし, これらの方法には, 1) 応答性が低い, 2) 強い制御入力が必要とする, 3) 機器設計の大幅な変更を伴う, などの欠点がある.

これに対し, 近年注目を集めているのがプラズマアクチュエータ (以下, PA¹⁾) である. PA は図 1 に示すように, 誘電体とそれを挟む二つの電極で構成され, 電極間に交流高電圧を印加することで上部電極端からプラズマが発生し, それに伴って数 m/s 程度の流れが誘起される. この流れを利用することで流体制御を実現できる. 電氣的現象を利用するため応答性に優れ, また, 電極と誘電体を貼り付けるだけで構成できる簡単な構造であり, 可動部を持たず, 薄型かつ柔軟に設置できる点が大きな特徴である.

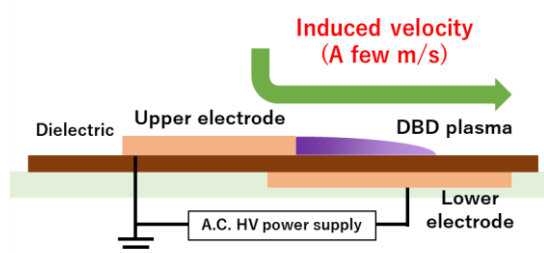


Fig. 1 Schematic of a DBD plasma actuator.

PA による流体制御の歴史は比較的短く, 1998 年に Roth らが境界層制御に利用したこと²⁾に端を発する. 2000 年代は PA の誘起流れに関する基礎研究が主体であったが, 2010 年代以降は PA を用いた流体制御の研究が世界的に拡大し, 国内でも機械工学・航空工学分野を中心に研究が進められている.

私は 2010 年, 大学院在学中にこの PA と出会い, 以来継続的に PA による流体制御研究に携わってきた. 本稿では, その取り組みの一部を紹介させていただく.

2. PA を用いた流体制御

これまで筆者が携わってきた PA による流体制御研究は, 主に以下の 3 つに分類できる: 1) PA による剥離流れ制御の基礎研究 2) PA の実機実装に向けた応用研究 3) PA 適用領域の拡大. 本稿では紙面の都合上, 1) については代表的な論文を示す³⁾に留め, 2) および 3) の内容について紹介する.

2.1 PA 実機実装に向けた応用研究: 小型飛行体高性能化に向けた実証研究

PA は航空宇宙分野において長らく発展してきており, その適用先として航空機が期待されてきた. しかし PA は単体での制御能力が高くないため, 適用は低レイノルズ数域に限られ, 翼幅約 2 m 程度の小型飛翔体 (図 2 上) が対象となる.

一方で, PA の駆動には高電圧が必要であり, 従来の高電圧電源は大型であったため, 小型飛翔体への搭載は困難で

あった。本研究では、大気圧プラズマを扱う企業と共同で、小型飛翔体に搭載可能かつ十分な PA 駆動性能を持つ小型高電圧電源（図 2 左下）を開発した⁴⁾。市販の小型飛翔体に本電源と自律飛行モジュールを搭載してフライト試験を実施し、PA による失速遅延効果を実証した（図 2 右下）⁵⁾。

現在はプレディターミンド制御のみであるが、今後はフィードバック制御など高度な制御手法による性能向上を目指している。今後は学科を横断して、航空宇宙工学科の先生方とも連携しながら発展させていきたい。

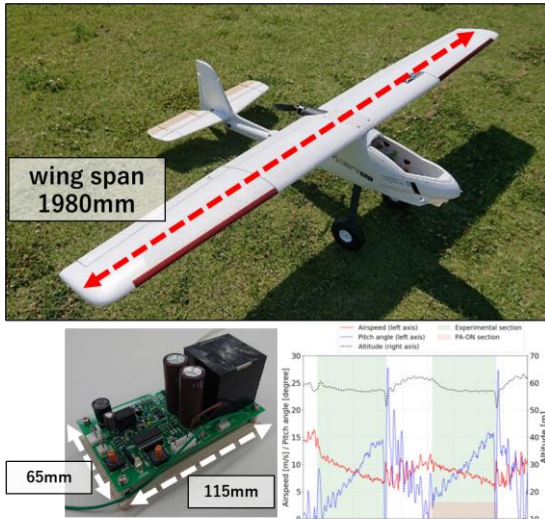


Fig. 2 2m-span UAV with PA (top), small HV power supply (left bottom) and example of time-series of flight data (right bottom).

2.2 PA 適用領域の拡大：熱音響機器マイナーロス低減

近年、工場などの排熱利用が注目されている。その実現方法の一つとして、熱と音波を相互にエネルギー変換・輸送する熱音響現象⁶⁾がある。この現象を利用するデバイスを熱音響デバイスと呼び、可動部を持たない単純な構造で耐久性・メンテナンス性に優れるという利点を持つ。しかし、設計上避けられない曲げ・分岐・断面積変化などの局所形状に起因するエネルギーロス（マイナーロス）が無視できないほど大きいという課題がある。

熱音響デバイスの管路径は直径数十～数百 mm 程度と設置空間に制約があり、また数十～数百 Hz の音波に追従できる高い応答性が必要となる。このような条件下では、筆者の知る限りこれまで積極的な能動制御の試みはほとんどなかった。

筆者は、PA の応答性と設置の柔軟性がこの課題に適していると考え、数年前から研究を開始した。現段階では、テーパ形状の断面積変化部を持つ装置（図 3 左）を用いた事前実験を行っている。このようなテーパ部では局所的な流れの剥離が発生し、エネルギーロスの要因となる。そこで、PA 駆動周波数を音波周波数に合わせ、音波に対する位相を変化させながら駆動したところ、特定の位相ではマイナーロスが低減し、逆位相では増加することが確認され

た（図 3 右）。この結果は、PA による熱音響デバイス内部の流れ制御の可能性を示すものである。

筆者が着任した機械工学科には、日本における熱音響研究の第一人者である長谷川教授が機械工学科に着任されており、今後は連携を通じて双方の研究の発展させていきたい。

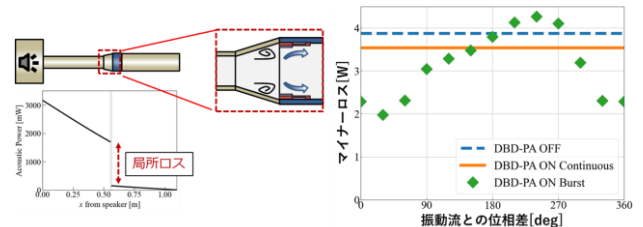


Fig. 3 Schematic of minor-loss reduction using PA (left) and comparison of experimental result (right).

3. おわりに

寄稿の機会をいただき、本稿では PA を用いた流体制御研究の一部を紹介した。これまでの研究を深化させることは重要であるが、新たな環境においては、学内の多様な研究者との連携を通じ、この東海大学だからこそ実現できる研究課題を見出し、取り組んでいきたいと考える。

参考文献

- 1) Corke, T. C., Enloe, C. L., and Wilkinson, S. P., Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 42, No. 1, pp. 505–529 (2012).
- 2) J. Roth, D. Sherman and S. Wilkinson, Boundary layer flow control with a one atmosphere uniform glow discharge surface plasma, *AIAA 98-0328* (1998).
- 3) S. Sekimoto, T. Nonomura and K. Fujii, Burst-Mode Frequency Effects of Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator for Separation Control, *AIAA J.*, Vol. 55, No. 4, pp. 1385-1392 (2017).
- 4) S. Sekimoto, K. Fujii, S. Hosokawa, H. Akamatsu, Flow-control capability of electronic-substrate-sized power supply for a plasma actuator, *Sens. Actuator A-Phys.*, Vol. 306 (2020).
- 5) S. Sekimoto, H. Kato, K. Fujii, K. and H. Yoneda, In-flight demonstration of stall improvement using a plasma actuator for a small unmanned aerial vehicle. *Aerospace*, Vol. 9 (2022).
- 6) G. W. Swift, Thermoacoustic engines, *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 84, No. 4, pp. 1145–1180. (1988).