

DBD プラズマアクチュエータを用いたフィードバック流れ制御技術に関する研究

報告書番号：R22JACA26

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2022/20589/>

● 責任者

浅田健吾, 東京理科大学

● 問い合わせ先

浅田 健吾(asada@rs.tus.ac.jp)

● メンバ

浅田 健吾, 小川 拓人

● 事業概要

ロケットや航空機, 自動車といった様々な輸送機周りの流れを, プラズマ放電を利用した DBD プラズマアクチュエータと呼ばれるデバイスを用いることで制御し, 高効率で堅牢な輸送機システム開発を実現する. 時々刻々と変化する流れに対応するため, 本事業では 3 次元非定常流れのシミュレーションを行い, フィードバック制御手法の開発・実証を行う.

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

大規模な 3 次元非定常流れシミュレーションを JAXA スーパーコンピュータで計算実績が豊富な圧縮性流体解析ソルバ LANS3D を用いて実施可能なため.

● 今年度の成果

本事業では, DBD プラズマアクチュエータ(以下 PA)を用いた NACA0015 翼周り流れ(レイノルズ数:63,000)の剥離制御において, 迎角に応じて PA の駆動方法を変化させるフィードバック制御モデル(図 1)の提案と性能検証を行ってきた. 検討する制御モデルは翼面上に配置した圧力センサーで計測した圧力値の低下を渦の通過と仮定し, 渦の通過に応じて翼前縁付近に配置されたアクチュエータの ON/OFF を切り替えるものである.

令和 4 年度は昨年度に引き続き低迎角における制御能力を向上させるために, 標準的なバースト駆動の駆動周波数に対してパラメトリックスタディを実施した. バースト駆動はフィードバック制御とは異なり, 予め決められた無次元バースト周波数 F^+ に従って PA の ON/OFF を切り替える駆動方法である. PA は翼前縁からコード長の 5%位置に設置し, 迎角は 2 度とした. 令和 4 年度は失速以降の迎角で効果的であるとされてきた無次元周波数 1 や 6 に加えて, より高い周波数である 12 と 30 を検討した.

図2に各バースト周波数における揚抗比と空力係数を示す。BRはバースト比で、PAのONとOFFの時間比率を表している。投入エネルギーが各周波数でなるべく同じになるようにBRを調整している。Continuousは連続駆動である。揚抗比は $F+=12$ が最も高く、揚力は $F+=30$ が最も高い。抗力は $F+=6$ が最も小さい。

図3に圧力係数(C_p)と表面摩擦係数(C_f)分布の比較を示す。PAを使用しないケース(PA-OFF)では、コード長の60%から80%の区間で平らな C_p 分布が見られ、 C_f はこの区間で負になっていることから剥離していることがわかる。 $F+=30$ やContinuousでは C_p が平らな領域が後縁側にずれ、 $F+=1, 6$ のケースでは C_p が平らな領域は無く、剥離は生じていない。 $F+=12$ のケースはPA-OFFと近い C_p 分布であるが、コード長の70%から80%の区間での圧力がやや高い。そのため抗力がPA-OFFより低くなり、結果として L/D が最も高くなっている。

図4に各ケースの瞬間場を示す。PA-OFFのケースでは翼中央付近から流れが層流で剥離し、乱流遷移後に再付着している。一方PA-OFFケースと C_p 分布の似ていた $F+=12$ のケースの遷移再付着位置はPA-OFFのケースとほぼ同じであるが、PAが誘起したスパン方向に軸をもつ2次元的な渦が翼面上に並んでいる。この渦の移流によって時間平均した際の剥離領域の圧力がPA-OFFよりも高くなると考えられる。また、 $F+=6$ のケースでは、2次元的な渦が崩壊することなく翼後縁まで維持されているのに対して高周波数の $F+=30$ やContinuousケースでは乱流遷移と再付着の位置がPA-OFFに比べて下流になっている。

以上のように用いるバースト周波数によって剥離領域の流れが変化し、空力係数も大きく変化する。揚抗比という観点では $F+=12$ が良いが、揚力という観点では $F+=30$ が適切である。これらの知見を反映し、自動的に駆動周波数を切り替えられるような制御機構をフィードバック制御手法に組み込めればよりロバストな制御になることが期待できる。

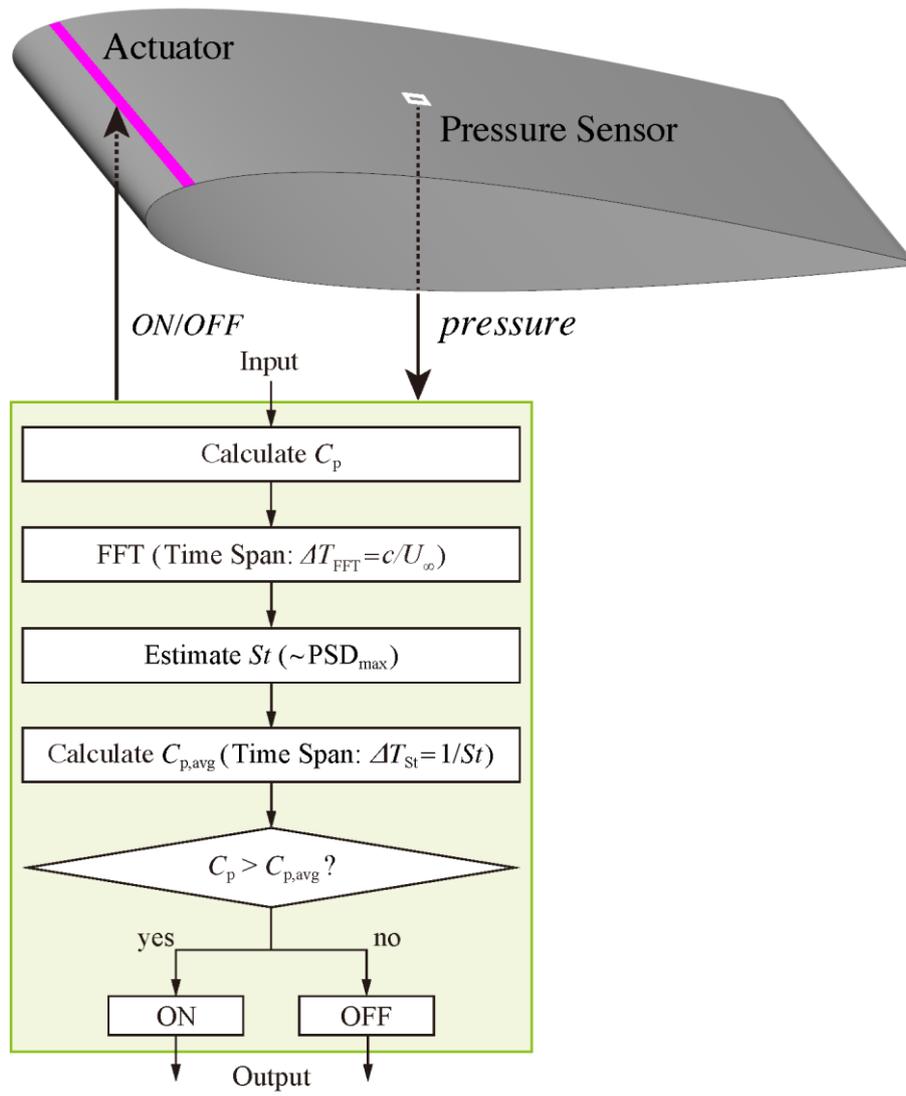


図 1: 提案する翼流れフィードバック剥離制御モデル

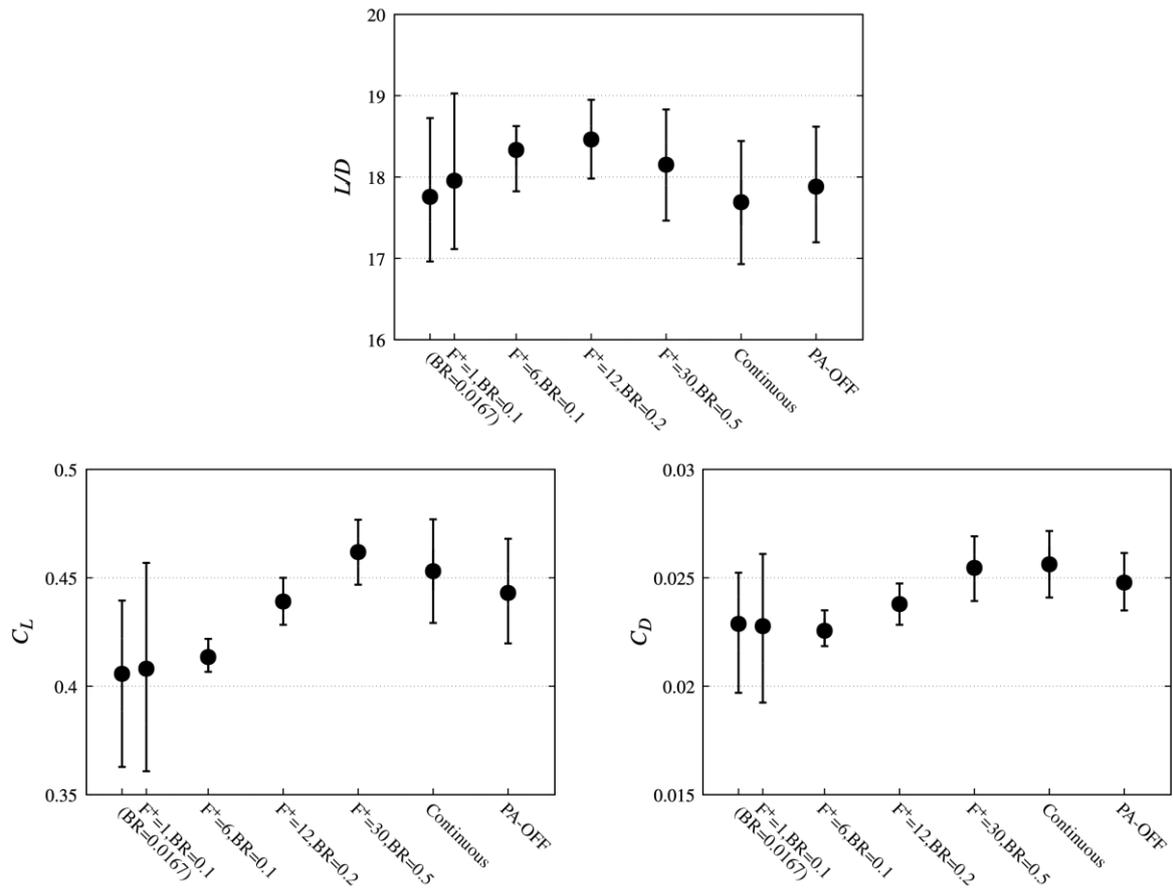


図 2: 揚抗比と空力係数

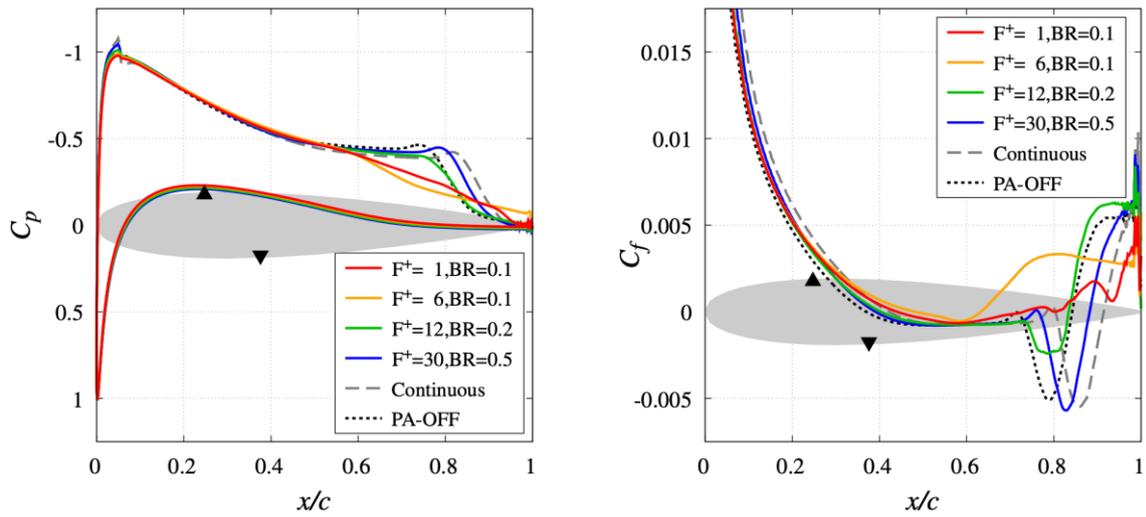


図 3: 圧力係数と表面摩擦係数分布

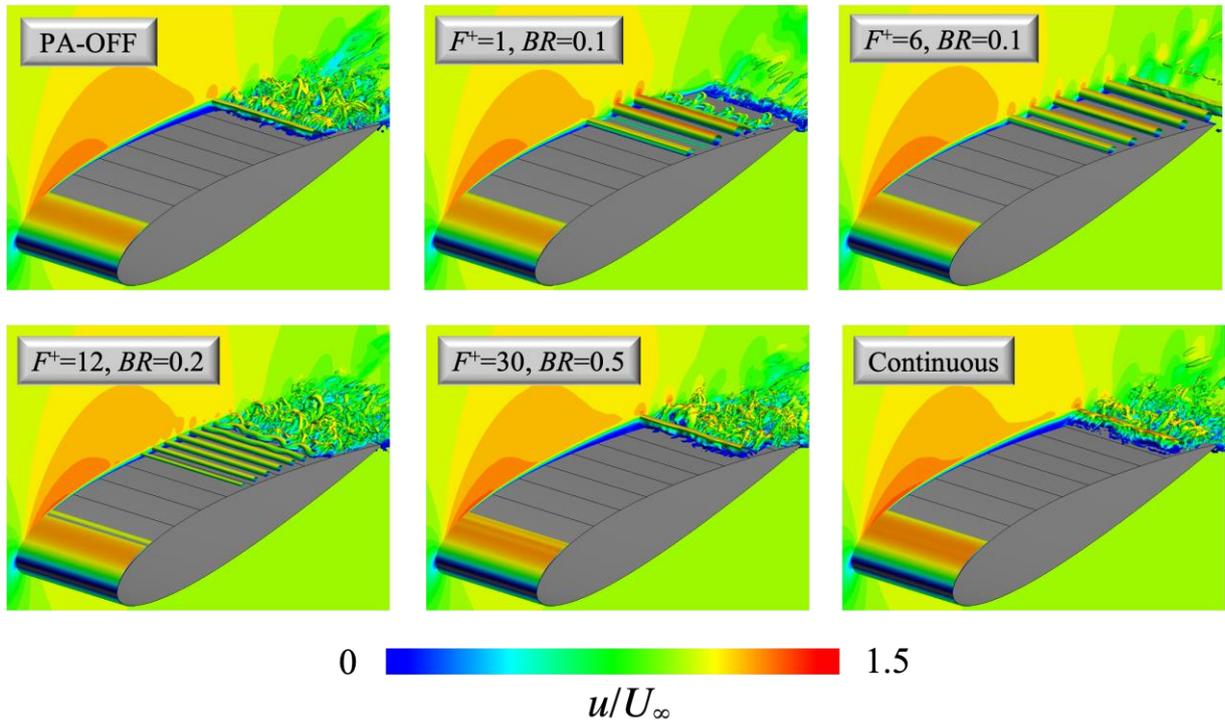


図 4: 瞬間流れ場

● 成果の公表

-査読付き論文

Takuto Ogawa, Kengo Asada, Makoto Sato, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, "Computational Study of the Plasma Actuator Flow Control for an Airfoil at Pre-Stall Angles of Attack," Applied Sciences MDPI, Vol. 12, No. 18, Sept. 2022.

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	自動並列
プロセス並列数	79
1 ケースあたりの経過時間	40 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.30

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	8,075,364.21	0.35
TOKI-ST	0.00	0.00
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
TOKI-TST	0.00	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	60.00	0.05
/data 及び/data2	16,758.09	0.13
/ssd	200.00	0.03

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	11.12	0.05

※1 総資源に占める利用割合：3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	0.00	0.00

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合