

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：R21JACA26

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18181/

● 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の提案と性能検証を行ってきた. 検討する制御モデル(図 1)は翼面上に配置され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.

これまで, 比較的厚い翼型(NACA0015 翼)に制御モデルを適用し, 実際の小型模型飛行機などに用いられている薄翼(石井翼)より幅広い迎角で高い空力特性を得ることを示してきた. 一定の厚みを越える翼型が巡航時にも運用可能になれば, 航空機の構造的・積載的な問題を解決する手段の一つとなる.

令和 3 年度は他の迎角に比べて揚抗比の改善がみられなかった迎角 4 度において, 効果的な制御方

法がないか探るために、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。

図 2 に各制御手法によって得られた揚抗比を示す。それぞれバースト駆動($F^+=6, 12, 24$)、フィードバック制御モデル(Feedback)、連続駆動(Ccontinuous)、非制御(PA-OFF)を示している。バースト駆動周波数として、今年度は失速迎角付近で効果的であるとされてきた 6 よりも高い周波数である 12 と 24 を検討した。これは剥離領域の流れスケールが低迎角では小さくなるためである。図 2 に示すように $F^+=12$ を用いた場合に最も L/D が向上していることがわかる。

図 3 に主要ケースの圧力係数(C_p)分布を示している。最も L/D が大きくなった $F^+=12$ のケースは翼下面側(正圧側)の分布は非制御ケース(PA-OFF)に近い分布になっている一方で、翼上面側(負圧側)では、負圧のピークが最も高く、前縁からコード長の 40%位置付近まで、他のケースよりも高い負圧の値を維持している。このような特徴的な圧力分布によって高い L/D が得られていると考えられる。また、剥離領域に特有な平らな圧力分布が比較ケース中で最も後縁側に見られる。

図 4 に主要ケースの瞬間場を示す。等値面は速度勾配テンソルの第二不変量をコード方向速度で色付けしたもので、渦構造を示している。 $F^+=12$ と Feedback ケースは PA の駆動によってスパン方向に軸を持つ 2 次元的な渦が翼面上に形成されているが、 $F^+=12$ のほうが渦同士の間隔は短く、翼後縁付近で乱れた流れに遷移しているのがわかる。翼後縁付近で乱れた流れに遷移する様子は PA-OFF に近い流れとなっているが、 $F^+=12$ では翼面上に渦が並ぶことで剥離領域が小さく抑えられている点異なる。

このように当該事業で検討しているフィードバック制御モデルの性能が低かった迎角 4 度において、比較的高い周波数($F^+=12$)で PA を駆動することで、非制御時の流れの特徴を適度に残しながら揚抗比を向上できることがわかった。今後、検討中のフィードバック制御モデルに高周波駆動の機構を導入することで、よりロバストなモデルが提案できると考えられる。

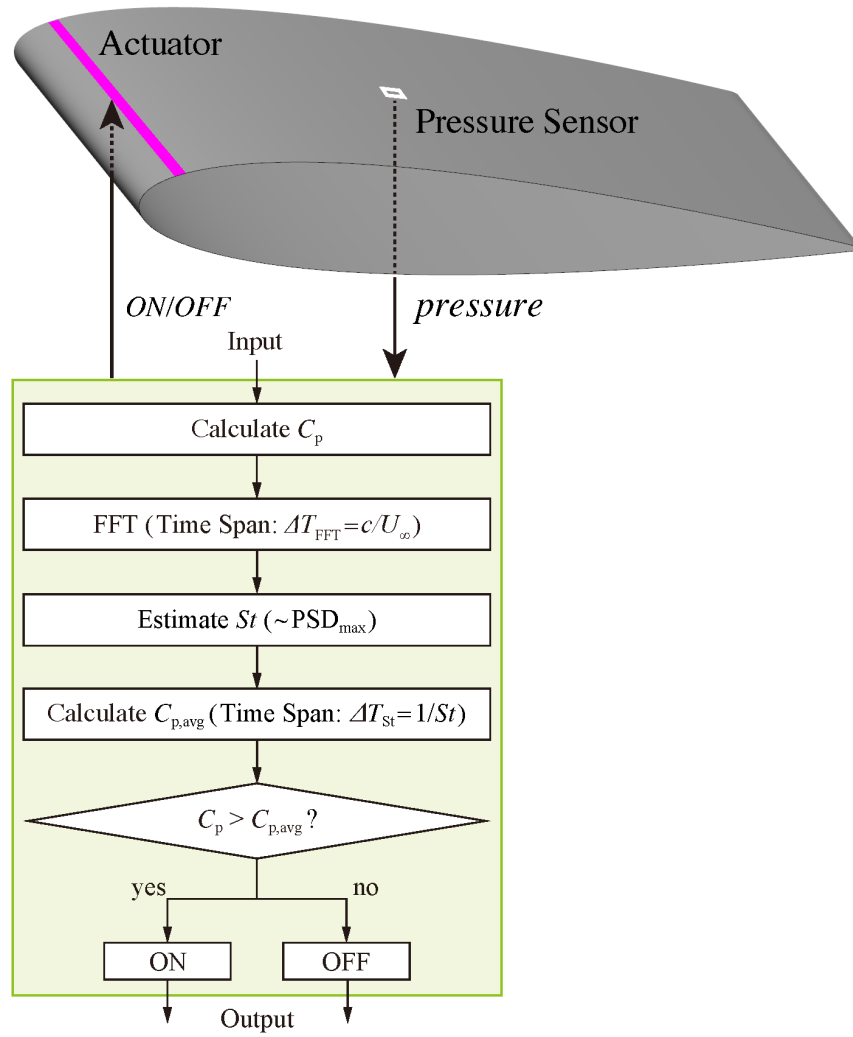


図1: 提案する翼流れフィードバック剥離制御モデル.

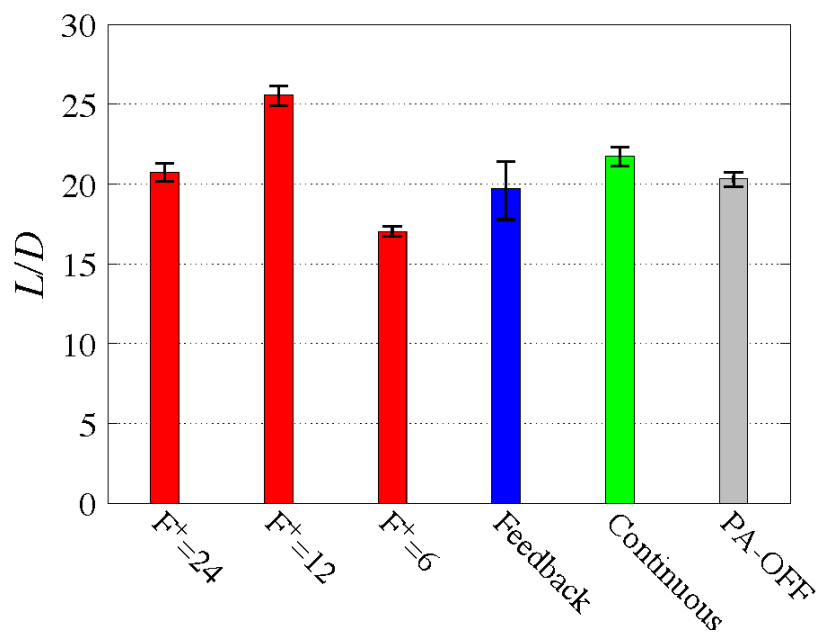


図2: 各制御法における揚抗比(L/D).

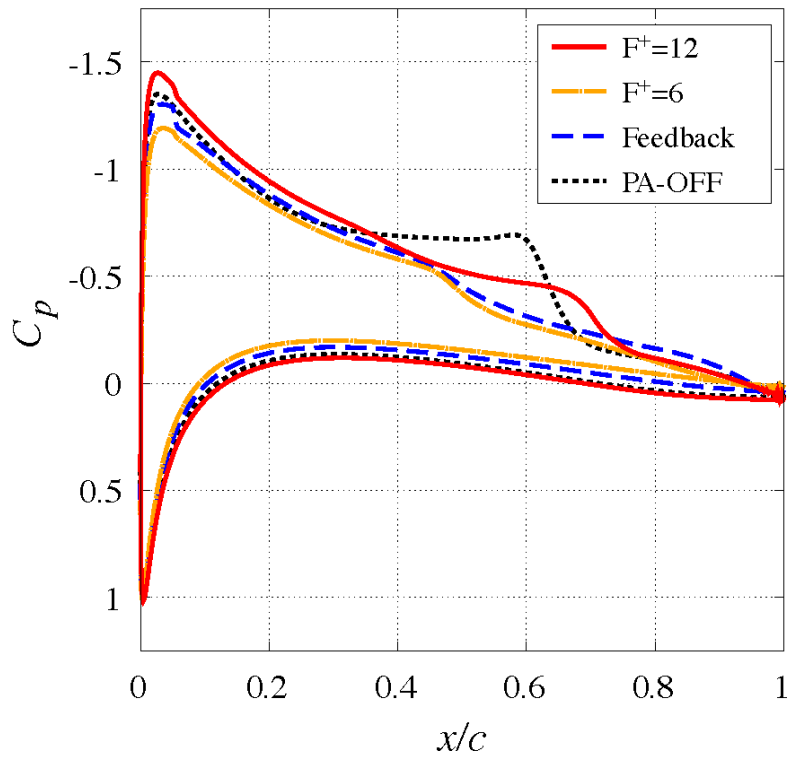


図 3: 圧力係数(C_p)分布比較.

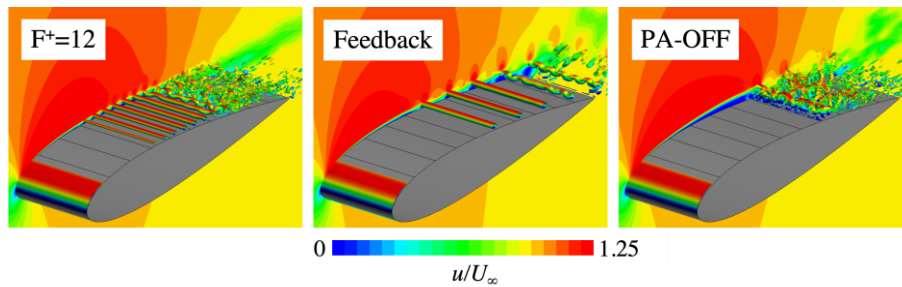


図 4: 瞬間流れ場. 速度勾配テンソルの第 2 不変量をコード方向速度で色付け.

● 成果の公表

-査読付き論文

T. Ogawa, K. Asada, S. Sekimoto, T. Tatsukawa and K. Fujii, "Dynamic Burst Actuation to Enhance the Flow Control Authority of Plasma Actuators", Aerospace MDPI, Vol. 8, No. 12, Dec. 2021.

● 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 (%) : 0.00

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	17.23	0.00
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	0.06
/data 及び/data2	16,758.09	0.18
/ssd	200.00	0.05

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	0.08

※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