

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：R20JACA26

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14474/

● 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

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, 高忠実度ラージエディシミュレーションを実施し, 本事業でこれまで制御効果が確認されているフィードバック制御モデルの性能検証を行った. 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.

これまで我々は NACA0015 翼周りの流れにおいて失速迎角付近の 12 度を中心に剥離制御モデルの有効性を示してきた. 昨年度は巡航迎角(4, 6, 8 度)における流れに対しても前縁近傍の剥離泡に対して制御モデルが一定の効果をもつことを確認した. 今年度は, より低迎角(2 度)のシミュレーションを追加し, 既存の制御手法や低迎角で高い翼性能を示す石井翼のシミュレーション結果と比較し, フィードバック制御モデルの低迎角での有効性を検証した.

図 2 に迎角 2~8 度の NACA0015 翼周り流れにフィードバック制御モデル(Feedback)とバースト制

御(Burst), 非制御(Baseline), 石井翼(ISHII)における揚抗比(L/D)を示す。迎角 4, 6, 8 度において, フィードバック制御は既存の制御法であるバースト制御と比較して同等以上の高い揚抗比を得ることがわかる。一方で, 2 度においては非制御時よりも揚抗比が低下しており, フィードバック制御モデルに改良の余地があると言える。この原因を解明するために流れ場の分析を行った。図 3 に迎角 2 度におけるフィードバック制御モデルと非制御ケースの翼面上圧力分布を示す。制御モデルの適用によって翼上面では圧力は上昇し, 下面で減少している。したがって, これらの差で生じる揚力は大きく減少する。抗力もわずかに減少しているが, 揚力の減少のほうが大きいため揚抗比が非制御ケースに比べて減少している。

図 4 に迎角 2 度のフィードバック制御モデルと非制御ケースの瞬間流れ場を示す。等値面は速度勾配テンソルの第二不変量をコード長方向速度で色付けしたもので, 渦構造を示している。非制御流れでは前縁から後縁にかけて大規模な層流剥離泡が生じている。この剥離泡によって翼上面の広範囲で低い翼面圧力が維持されている。一方でフィードバック制御モデルを適用したケースでは, PA の駆動によって二次元的な渦が生成され, 下流へと流されていく。これらの渦は層流剥離を抑制し, 結果として翼上面の圧力を回復させるはたらきを持つ。このように迎角 2 度においては当該事業で検討しているフィードバック制御モデルを適用することで剥離は抑制されるものの, 剥離泡によって得られていた揚力が大幅に減少することで揚抗比が低下することがわかった。今後, 意図した条件下で剥離制御効果を弱めるなど, フィードバック制御手法を改良することでより幅広い迎角で高い翼性能を維持することができるようになると考えられる。

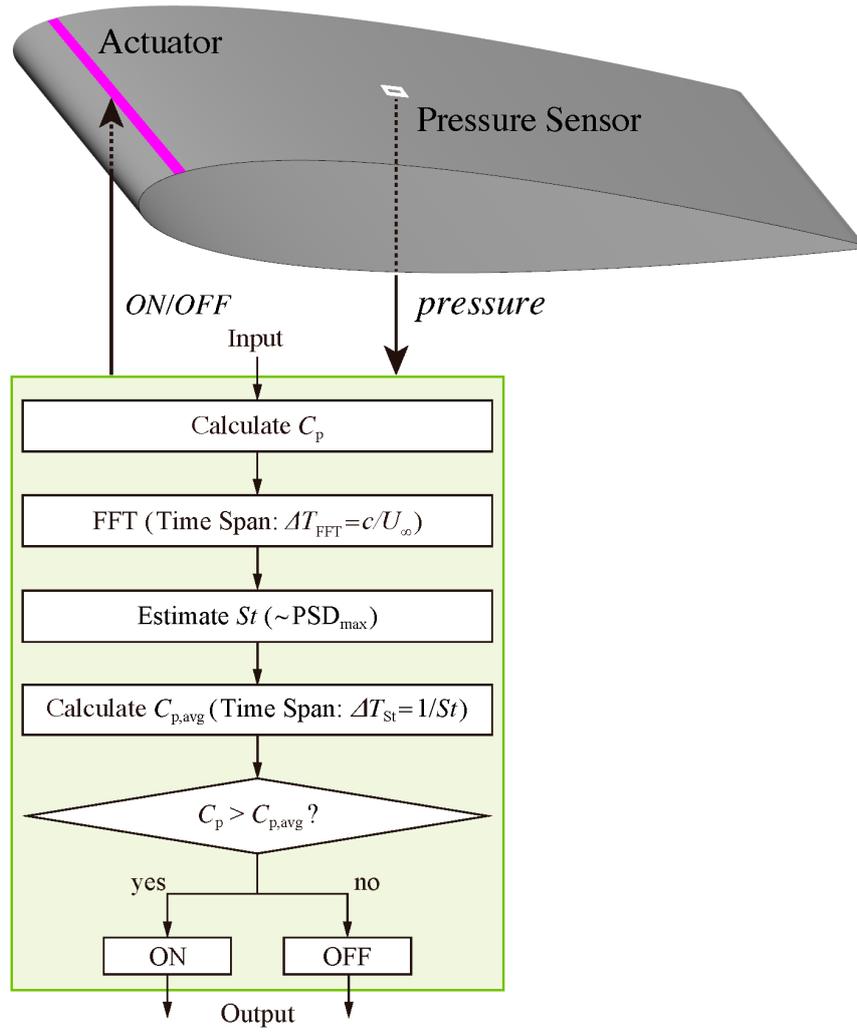


図1: 提案する翼流れフィードバック剥離制御モデル.

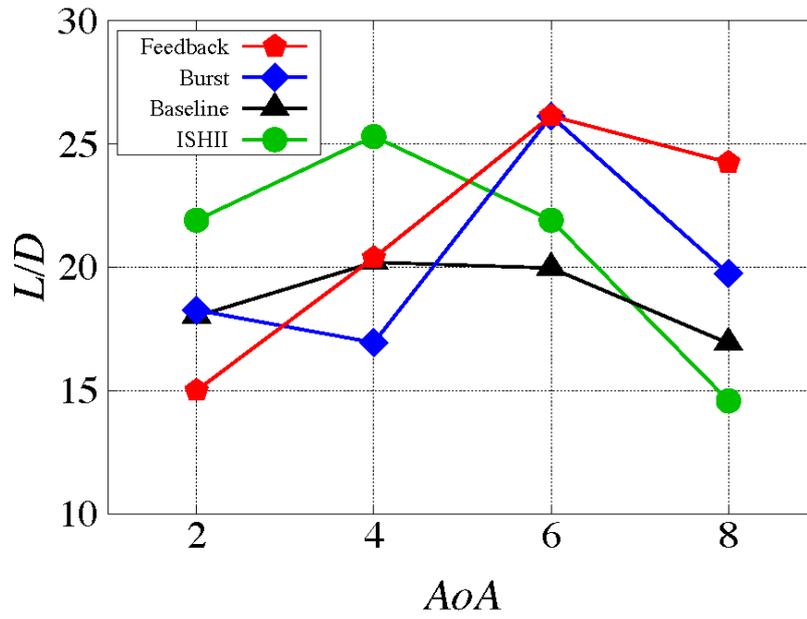


図 2: 迎角 2-8 度における揚抗比(L/D).

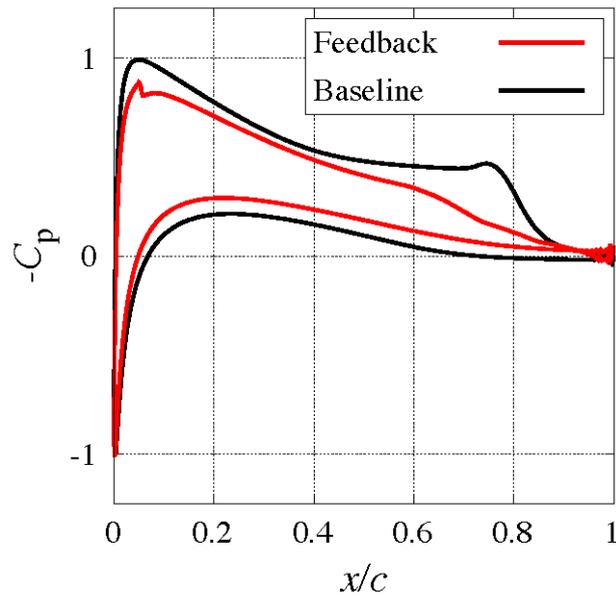


図 3: 翼周り圧力係数分布:フィードバック制御流れ(Feedback)と非制御流れ(Baseline).

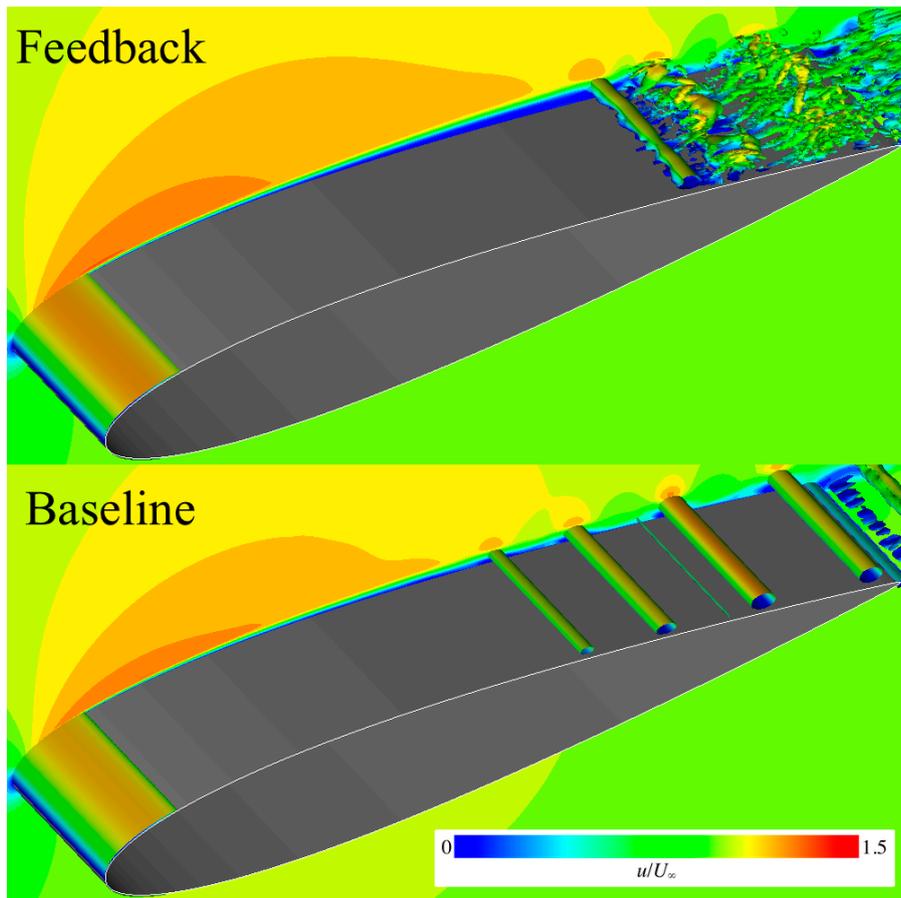


図 4: 瞬間流れ場:フィードバック制御流れ(Feedback)と非制御流れ (Baseline).

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	79
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.03

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	133,794.84	0.03
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	52.45	0.05
/data	15,315.10	0.30
/tmp	2,929.69	0.25

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	0.00	0.00

※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

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合^{※1} (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合 ^{※2} (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	57.22	0.04
/data	15,981.76	0.27
/ssd	190.73	0.10

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	0.00	0.00

※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