

審査の結果の要旨

氏名 福本 浩章

修士(工学)福本浩章の論文は「A Study on Effective Control Mechanisms for Dynamic Flowfields around a Pitching Airfoil Using a DBD Plasma Actuator (ピッチング翼周り動的流れ場の DBD プラズマアクチュエータによる効果的な制御メカニズムに関する研究)」と題し、7章からなる。

ヘリコプターなどの航空機や風車などの回転流体機器の翼周り流れは動的に気流条件が変化する動的流れ場であり、その制御は航空機や流体機器の性能向上に有効である。近年では、能動的に制御可能であること、応答が高速であること、エネルギー消費が少ないこと、といった利点を持つ DBD プラズマアクチュエータが流体制御デバイスとして着目されており、研究が進められている。しかしながら、DBD プラズマアクチュエータによる動的流れ場の制御メカニズムは十分に整理されておらず、そのため駆動条件の設定指針を欠いているのが現状である。本研究では動的流れ場における DBD プラズマアクチュエータの効果的な流体制御メカニズムを明らかにし、動的流れ場の制御における駆動条件の決定に供する知見を得ることを目的とする。

本研究では基本的な翼型の一つである NACA0012 翼型と、実際の風車ブレードの断面形状にも使用される層流翼型の一つである NACA63₃-618 翼型の 2 つについて、レイノルズ数 2.56×10^5 、迎角 $5^\circ \sim 25^\circ$ でピッチングする翼周りの動的失速流れ場を制御対象としている。流れの遷移・剥離を伴う流れであること、また、DBD プラズマアクチュエータが誘起する噴流が非常に薄くかつ非定常的であることから、高精度な非定常解析を可能とする Large-eddy simulation (LES) に基づき解析を行っている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と先行研究、関連文献についてまとめた上で、本研究の位置づけと目的、本論文の構成を述べている。

第 2 章は流れ場条件、翼型形状などの問題設定を述べている。

第 3 章は本論文での解析に用いる数値計算手法を説明している。

第 4 章では計算手法の検証を行っている。これまでは LES を用いても動的失速後の流れ場については妥当な計算結果を得ることが出来なかったが、スパン方向の計算領域の大きさが結果の妥当性に大きく影響することを明らかにする

とともに、動的失速後の翼空力特性の評価に必要な計算領域の大きさを示している。

第 5 章では、静止翼周り流れ場の制御に関する既往研究から得られた知見を活用して DBD プラズマアクチュエータの駆動条件を選定し、DBD プラズマアクチュエータによって制御された NACA0012 翼型周り動的失速流れ場の LES を行っている。また、得られた結果から動的失速流れ場に対する DBD プラズマアクチュエータの制御効果、制御メカニズム及び効果的な駆動条件について検討している。その結果、制御効果は大別して、動的失速の遅延、前縁失速時の揚力上昇、及び流れの再付着の促進の 3 つに分けることができることを示している。また、動的失速の遅延については、前縁剥離せん断層の不安定周波数が効果的なバースト周波数に影響することを明らかにしている。前縁失速時の揚力上昇と流れの再付着の促進については、前縁剥離せん断層からの渦放出周波数とそれらの渦が成長して形成される大規模渦の特徴長さや速度に基づく周波数が効果的なバースト周波数に影響することを明らかにしている。

第 6 章では、層流翼型 NACA63₃-618 周りの動的失速流れを扱っている。第 5 章で得られた知見を活かして DBD プラズマアクチュエータの駆動条件を設定し、DBD プラズマアクチュエータによる制御流れの LES を行うことで、第 5 章で得られた NACA0012 翼型周り流れ制御に関する知見の検証と層流翼型周り動的失速流れ場の制御における DBD プラズマアクチュエータの駆動条件設定における指針の検討を行っている。これにより、第 5 章で得られた効果的な DBD プラズマアクチュエータ設置位置及びバースト周波数に関する知見が層流翼型周りの動的失速流れ場に対する DBD プラズマアクチュエータの駆動条件設定においても有効であることを示している。さらに、動的失速プロセスのフェーズの移行に従いバースト周波数を変化させる手法についても提案し、より高い制御効果を得ることができることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は、実際の動的流れ場制御における駆動条件の決定に供する知見を得ることを目的として、動的失速流れ場における DBD プラズマアクチュエータの制御効果、制御メカニズム及び効果的な駆動条件を明らかにしており、航空宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。