

# インテーク付きプラズマシンセティックジェットによる 極超音速流れ場制御効果に関する基礎研究

学生証番号 47176086 氏名 森 直紀  
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Hypersonic Flow, Wind Tunnel, Plasma Discharge, Flow Control

近年、極超音速機の空力制御系デバイスとしてPlasma Synthetic Jet Actuator(PSJA)が注目されている。PSJAは小さなキャビティ、電極、ジェットオリフィスから構成され、キャビティ内部でプラズマを発生させることにより、ジェットを噴出し周囲流体に影響を与えることができるデバイスである。しかし、PSJAは使用環境によって動作範囲が制限される。例えば、極超音速機の使用が想定されているような高高度の低密度下であると、キャビティ内部に吸気される低密度となり、ジェットが希薄となる。こうした問題を解決するためにインテークを設けた、気流を圧縮し取り込んで放電を行うRam-air Plasma Synthetic Jet Actuator(RPSJA)が提案された<sup>[1]</sup>。RPSJAに関する研究では、数値シミュレーションによるキャビティ内の空気密度増加などの効果は確認できたが、実際に気流に対して与える影響を調べるには至っていない。そこで本研究では極超音速気流中に設置したPSJAにおけるインテークの効果を実験的、解析的に確認し、RPSJAの設計に関して有用な知見を得ることを目的とした。

模型はPSJAにおけるインテークの効果を観察するために、平板上の模型にインテークを設けたものと設けていないものの2種類を用意した<sup>[2]</sup>。模型には高さ1mmのステップを作りインテークとした。気流条件と模型の大きさから境界層厚さは $\delta=1.7\text{mm}$ と計算される。インテーク高さは1mmであるため、吸気にはラム圧縮の代わりに境界層内の低速高密度流れを取り込むことになる。プラズマ放電には、高電圧電源を用いて3mFのコンデンサに電圧1kVで充電し、アーク放電を行った。実験は東京大学柏キャンパスの極超音速風洞を用いて行った。実験ではシュリーレン法による気流の可視化と、圧力センサによる模型表面圧力の測定、また感圧塗料によるジェット効果範囲の可視化を行った。それぞれの模型に対する効果の評価は、模型末端における衝撃波変動量 $\Delta d[\text{mm}]$ と、制御力電力比 $\eta[\text{N/W}]$ を定義し行った。

また実験模型を基に、模型の中央断面を想定して不等間隔直交格子を形成し、2次元での数値解析を行った。支配方程式として2次元圧縮性のNavier-Stokes方程式を解いた。一様流の条件として、風洞実験と合わせて圧力230Pa、温度56K、マッハ数7と設定した。またプラズマを熱源と仮定し、実験結果から電極間距離、電極断面積当たり251W~255Wの電力投入を境界条件として与えた。

気流の可視化結果から両模型でステップ前方に形成される離脱衝撃波位置の変動が確認できた。衝撃波の変動はプラズマによる発光が確認できる間に起こり、放電時間100msに対して、インテークなし模型では約0.42ms、インテークあり模型では約28msの時間、衝撃波の変動量が確認できた。また感圧塗料により、ジェットの効果範囲を可視化することができ、インテークあり模型では特に、後流側に広い範囲で効果を確認することができた。そして、衝撃波変動量 $\Delta d[\text{mm}]$ 、制御力電力比 $\eta[\text{N/W}]$ を比較した結果、実験と計算のどちらの場合でもインテークがある場合の模型の方が大きいことがわかった。これらの結果はインテーク側の圧力上昇が有意に働いた結果であると考えられる。以上の結果から、PSJAにおけるインテークの有用性が示唆され、RPSJAに関して有用な知見を得ることができた。

## 参考文献

[1] Y. Zhou., Z. Xia., Z. Luo., L. Wang., and X. Deng., "A novel ram-air plasma synthetic jet actuator for near space high-speed flow control: an experimental study," Acta Astronaut. Vol. 133, 2017, pp. 95-102.

[2] 森直紀., 渡邊保真., 鈴木宏二郎., "模型表面内側に設けた放電室による極超音速境界層流れ制御の基礎実験," 宇宙航空研究開発特別資料 JAXA-SP(in press).