

全空間シミュレーションによる 極超音速飛行体のソニックブーム解析

学生証番号 96085 氏名 山下 礼
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Sonic Boom, Hypersonic Vehicle, CFD, Shock Wave

ソニックブームは、衝撃波が地上にもたらす音響現象であり、次世代旅客機を導入する上で最も重要な課題であるが、極超音速領域での研究例は非常に少なく、その伝播特性は定かでない。極超音速機の場合、超音速機より飛行高度が高く、マッハ角が小さいため、衝撃波の伝播距離が増大する。また、極超音速流の場合、非線形効果が強くなり、超音速流とは異なる挙動を示す可能性がある。以上から、極超音速機の方が超音速機よりもソニックブーム問題を容易に解決できる可能性がある。通常、ソニックブームの評価は簡易推算手法を用いて行われているが、その理由の一つは機体近傍から地上までの全空間シミュレーションが非常に難しいためである。しかし、極超音速の場合、簡易推算手法の有効性は定かでない。そこで本研究では、上述した難題を克服し、一様大気及び実在大気モデルにより、回転放物面体まわりの流れ場を全空間シミュレーションした。そして、極超音速飛行体のソニックブーム特性を明らかにすると共に、Whithamの修正線形理論^[1]及び波形パラメータ法^[2]の有効性も検証した。

一様大気モデルによる解析では、マッハ数効果のみを検証することができ、超音速と極超音速の違いを明確にすることが可能である。本解析では、主流マッハ数を $M=2, 3, 4$ (超音速) と $M=5, 7$ (極超音速) の5ケースとし、機体長の250倍まで計算を行った。また、一様大気の場合は、高度25 kmと地上における物理量の幾何平均とし、計算格子は物体から発生する衝撃波に沿う格子を用いた。その結果、Whithamの修正線形理論を用いる場合は注意を要するが、波形パラメータ法は非常に有効な手法であることを確認した。また、高マッハ数の方が強い衝撃波を発生するが、遠方にかけての減衰は早いこと、最大圧力上昇値はマッハ数に対して収束性を持つことを明らかにした。

実在大気モデルによる解析では、超音速飛行と極超音速飛行の特徴を全て考慮した比較が可能であり、極超音速機のソニックブーム特性を総合的に検証した。本解析では、実在大気モデルとしてISOで規格化されている国際標準大気を用い、安定的な計算を行うため初期値からの変動成分を計算した。計算条件は、高度15 kmを $M=2$ で超音速飛行するケースと、高度25 kmを $M=5$ で極超音速飛行するケースを想定した。また、計算格子は、基本的には2次元格子を回転した格子であるが、実在大気では大気温度が変化し、衝撃波角が高度によって異なる。そこで、本解析では計算と格子形成を交互に行い、高精度計算を実現した。さらに、計算領域を分割し、計算の効率化を図った。その結果、実在大気の場合波形パラメータ法の推算精度が落ちることを確認した。また、ブーム強度は飛行高度に大きく依存し、衝撃波が発生する位置での大気圧が重要であること、地上に向かう衝撃波は一度減衰した後、増大傾向に移ることを明らかにした。そして、本研究で得られた最も有用な成果は、高度15 kmを $M=2$ で超音速飛行するより、高度25 kmを $M=5$ で極超音速飛行する方がブーム強度は小さいという知見である。

本研究では、一様大気及び実在大気モデルによる全空間シミュレーションを成功させ、極超音速機のソニックブーム特性を検証した。その結果、極超音速機の方が超音速機よりもソニックブーム問題を容易に解決できる可能性が高いことを明らかにした。

参考文献

- [1] G.B.Whitham, "The Flow Pattern of a Supersonic Projectile", Communications on Pure and Applied Mathematics, Vol.5, pp301-348, 1952
- [2] C.L.Thomas, "Extrapolation of Sonic Boom Pressure Signatures by the Waveform Parameter Method", NASA TN D-6832, 1972