

電離衝撃波に両極性電場が与える電磁流体効果の数値解析

学生証番号 47106062 氏名 錦野 友太
(指導教員 藤田 和央 准教授)

Key Words : Shock wave, Shock-Tube experiment, Ionization, Ambipolar-Electronic field

惑星間軌道から再突入する飛行体の再突入速度はおよそ 12 [km/s] に達する為、再突入体は空力加熱により高温状態に晒される。中でも極超音速での再突入時には輻射加熱が卓越するので輻射強度を求める為の衝撃波管を用いた発光波長計測は熱防御システムの設計において非常に重要となる。しかし、衝撃波管内の衝撃波は伝導体である管壁に囲まれていることから、もし電離を伴う衝撃波背後のプラズマ流体が管壁との相互作用により何らかの電磁場を生じていたとすると、プラズマ流体には電磁流体効果が働くと考えられる為、流れ場は実際の再突入におけるものとは異なるものになることから、得られた実験値には電磁流体効果による誤差が含まれている可能性がある。(図1) 本研究の最終的な目標は、衝撃波管内で生じる電磁流体効果を検証できる解析技術の開発とそれにより電磁流体効果が衝撃波管実験に与える影響を定量化することである。

衝撃波管内のプラズマ流体が生じる電磁場の要因には2つ考えられ、1つは電子やイオンの熱拡散によるもので、もう1つが両極性電場によるものである。そこで、本研究ではまず両極性電場に注目し、それによる電磁流体効果が流れ場にどのような影響を与えるのか検証することを目的とする。

支配方程式は、流体が磁場の影響を受けるということと、比較的計算コストが低いということからMHDナビエ・ストークス方程式を用いた。また、離散化は、FVS (Finite Volume Scheme) で行い、数値流束評価には、導入のしやすさと電磁場の影響を捉えることができるという点から AUSMPW+ scheme を用いた。時間積分、輸送モデル、熱化学モデルは論文を参照。

また、両極性電場の影響をMHDナビエ・ストークス方程式における運動量の式と磁場の式の生成項へ導入することにより、両極性電場から受ける電磁場の影響を記述した。

境界条件は、速度が粘着条件、温度が等温壁、圧力は壁面で圧力勾配がないとし、電磁場に関しては、マクスウェル方程式から与えた。電場と磁場に関してはストークスの定理を適用し、電流に関してはガウスの発散定理を適用した表面電荷密度と表面電流から求める。

結論として、両極性電場による電磁流体効果の影響は見られなかった。これは、両極性電場の時間変化による変位電流が非常に小さく磁場の生成項にほとんど寄与せず、磁場の最大値が 10^{-10} ~ 10^{-12} のオーダーであった為に変位電流と磁場の影響をローレンツ力として受ける運動量の生成項に与える影響が小さかったためであると考えられる。