放電場と衝撃波の干渉による衝撃波加速現象の投入電力依存性

Input Power effect on Shock Wave Acceleration Phenomena due to Interaction with Discharge Field

○学 政二 誠幸*¹ 正 松田 淳*¹鬼頭 卓大*² 井上 知樹*³

Tomoyuki MASANI, Atsushi MATSUDA,

Takuhiro KITOU, Tomoki INOUE

*¹ 名城大学 *² 日経エムシーアルミ株式会社 *³ 東芝インフラシステムズ株式会社**Key Words:** Shock wave, Discharge, Mechanical Engineers

1. 緒言

近年、超音速流れ場へのエネルギー注入による衝撃波制御技術が注目されている。本技術は放電等による変調密度場と衝撃波の干渉時による衝撃波形状の変調を利用するものである。

本技術の実機応用に向けて、密度変調場と衝撃波干渉時に生じる流体力学的効果の現象理解が不可欠である。過去の衝撃波可視化実験において、衝撃波加速現象による形状変化の温度依存性が確認された。^{*1}

そこで本研究では、衝撃波加速現象のより踏み込んだ議論に向けて数値解析を用いた考察を行った。

2. 解析方法

2.1 CFD における支配方程式

支配方程式は式(1)で示される 2 次元 Euler 方程式である。

解析スキームは Yee の SymmetricTVD 法を用いた。

時間積分は 1 時精度 Euler 陽解法により行った。

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \hat{E}}{\partial \xi} + \frac{\partial \hat{F}}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$

保存量 $\hat{Q}$, ξ 方向の流束 $\hat{E}$, η 方向の流束 $\hat{F}$ は式(2)で表される。

$$\hat{Q} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \end{bmatrix}, \quad \hat{E} = \begin{bmatrix} \rho U \\ \rho u U + \xi_x p \\ \rho v U + \xi_y p \\ (e + p)U \end{bmatrix}, \quad \hat{F} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho V \\ \rho u V + \eta_x p \\ \rho v V + \eta_y p \\ (e + p)V \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 解析条件

Fig.1 は計算領域及び境界条件を示したものである。計算領域は x, y 方向にそれぞれ 0.05[m], 0.032[m] としている。

境界条件は図のように領域左端はランキン・ユゴニオの関係式を用いてマッハ数 2.0 の垂直衝撃波を右側へ伝播させる条件を、右側は開境界条件を与えた。更に上端・下端においては滑り壁境界条件とした。

Figure 1 解析領域及び境界条件

また初期条件として計算領域全体に温度 300[K], 圧力 2000[Pa] の値を与え、放電による温度分布は単純ガウス型分布となっている。

本稿では Fig.2 のように放電場無しの $T_0=300$ [K], 放電によ

る最大温度が $T_1=1000$ [K], $T_2=2000$ [K] の 3 パターンで壁面付近の衝撃波の加速について調査した。

Figure 2 x 方向温度分布

3 結果

Fig.3 は衝撃波位置と時間履歴を $x-t$ 線図にしたものである。左が解析結果、右が実験結果である。両者を比較すると衝撃波の加速は電極付近で顕著になっており、またより大きな投入電力であるほど加速も大きくなっていることがわかる。

Figure 3 x-t 線図比較

4. 結言

ガウス温度分布モデルを用いて衝撃波伝播に関する数値解析を行った結果と可視化実験結果を比較した結果、電極付近での衝撃波加速現象が定性的に一致していることが確認できた。

今後は可視化実験における衝撃波背後過度のスケール推定に向けて、衝撃波形状変化と背後に誘起される物理量との関係について CFD に基づきより詳細な調査を行うのが課題である。

5. 参考文献

[1] 鬼頭 卓大, 一次元リーマン問題適用による放電場温度計測可能性の実験的検討, 名城大学, (2018)