

水素／酸素デトネーション限界における数値シミュレーション

Numerical Study on the Detonation limit in H₂-O₂ mixture

○富塚孝之, 東京大学, 東京都文京区弥生 2-11-16, takayuki@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

吉田正典, (株)爆発研究所, 茨城県牛久市中央 5-18-2, yoshida@bakuhatu.jp

土橋 律, 東京大学, 東京都文京区本郷 7-3-1, dobashi@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

越光男, 東京大学, 東京都文京区弥生 2-11-16, koshi@rocketlab.t.u-tokyo.ac.jp

Takayuki TOMIZUKA, The University of Tokyo, 2-11-16, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

Masatake YOSHIDA, Explosion Research Institute Inc., 5-18-2 Chuo, Ushiku-shi, Ibaraki-ken, Japan

Ritsu DOBASHI, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

Mitsuo KOSHI, The University of Tokyo, 2-11-16, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

The numerical simulation of the detonations in a stoichiometric H₂-O₂ mixture were performed using a one-step Arrhenius kinetics. The computations were carried out over a two-dimensional hexahedral grid and the grid domain was 3mm channel width and length of 200 mm. We examine the relation between the detonation velocity and the boundary condition of wall (friction-loss). The results of the computations indicate that the friction-loss of wall have a effect on the reduction of detonation velocity.

1. 緒言

管路内における爆轟現象において、管径限界および圧力限界付近での挙動については、そのメカニズムがまだ十分には解明されていない。通常、定常的に伝播する爆轟速度は C-J 速度とほぼ等しくなるが、限界付近においては C-J 速度より小さくなることが実験的に確認されている。数値シミュレーションでは一次元計算に対して摩擦および熱損失モデルを導入することによりある程度再現されているが、理論的根拠にまだ課題が残されている。

本研究ではこの限界付近における爆轟伝播現象を解明する目的で、流体の粘性および壁面境界層を考慮した水素／酸素の二次元数値シミュレーションを実施した。

2. 数値計算手法

本研究における数値シミュレーションでは Metacomp 社の CFD++ を用いた。支配方程式は粘性および化学反応を含む圧縮性流体を対象とした Navier-Stokes 方程式および化学種の質量保存式であり、空間スキームには空間二次精度の TVD スキームを採用している。化学反応には一段階の総括反応を採用した。

壁面摩擦については壁面上の流速を 0[m/s] と定義する non-slip 条件を適用した。

3. 計算条件

初期条件として温度 300K、圧力 0.1atm、水素／酸素の当量比は 1.0 とした。計算空間は二次元チャンネル幅 (y 方向) を 3mm、爆轟伝播方向 (x 方向) については 60mm まで計算領域とし、計算格子幅は $\Delta x = \Delta y = 50 \mu\text{m}$ とした (Fig.1 参照)。着火条件としては $x=0.0\text{mm}$ に接する微小空間に高温、高圧領域 ($T_0=3000\text{K}$ 、 $P_0=30\text{atm}$) を設けた。

Table.1 Simulation Cases

	粘性	壁面条件
ケース 1	無	Slip
ケース 2	有	Slip
ケース 3	有	Non-slip

3. 計算結果

中心軸上 ($y=1.5\text{mm}$) における爆轟伝播速度を比較すると壁面条件において壁面摩擦を考慮しない Slip 条件のケース 1、2 では、ほぼ同様に約 1600[m/s] になっているのに対し、壁面摩擦を考慮したケース 3 は爆轟伝播速度が約 1500[m/s] を中心に変動している。

ケース 2 とケース 3 の H₂ 濃度分布図 (Fig.1、Fig.2) を比較する。壁面摩擦を受けないケース 2 は爆轟波面において H₂ がほとんど消費され後方には存在しないが、ケース 3 においては爆轟波後方に未反応の H₂ が存在する。壁面境界層の影響により未反応気体が爆轟波面の後方に回り込み、爆轟伝播速度の不安定要因となっている。壁面境界層が燃焼反応の空間分布に影響を及ぼすと考えれば、壁面境界層厚さが定常爆轟伝播速度と爆轟限界に関係すると言える。

しかし、爆轟伝播現象はその波面における衝撃 3 重点の挙動も輸送現象における重要な要素となっており、そうすると壁面境界層だけでなく粘性が衝撃 3 重点に対する影響も確認する必要がある。



Fig.1 Distribution of H₂ concentration:Case2

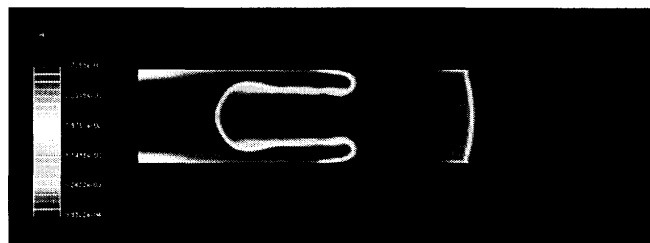


Fig.2 Distribution of H₂ concentration:Case3

4. まとめ

2 次元チャンネルの爆轟シミュレーションを実施し、粘性と壁面摩擦の影響を評価した。粘性の有無は最終的な爆轟伝播速度に対して、大きな影響は見られなかった。壁面摩擦は燃焼反応分布に影響を及ぼし、それにより未燃焼気体が爆轟波面の後方に存在し、爆轟伝播速度を不安定にする結果が得られた。しかし、衝撃 3 重点と粘性、壁面境界層および熱伝達の関係も解明する必要がある。