渦流中での DDT 過程における圧力波および火炎の挙動 Behaviors of Pressure wave and Flame in a DDT Process in a Vortex Flow

○学 川松 充裕 (岐阜大院) 正 安里 勝雄 (岐阜大工)
正 宮坂 武志 (岐阜大工) 日置 遼 (岐阜大工)

Atsuhiko Kawamatsu, Katsuo Asato, Takeshi Miyasaka and Ryo Hioki
Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193

Behaviors of the pressure wave and flame front in deflagration-to-detonation transition (DDT) in a vortex flow were observed to clarify DDT process in a vortex flow. Two types of DDT were observed. The flame, which is located at the back of the pressure wave, catches up the pressure wave. After that, the velocity of the pressure wave reaches the value of the C-J detonation. This is one of the DDT processes. Another process is that the local explosion occurs near the wall of the detonation tube and expands concentrically and the velocity of the pressure wave reaches eventually the value of C-J detonation.

Key Words: DDT, Detonation, Vortex Flow

1. 緒言

パルスデトネーションエンジン(PDE)の実用化に向けた課題として、デフラグレーションからデトネーションに移移するまでの距離 (Deflagration-to-Detonation Transition: DDT) の短縮が挙げられる⁽¹⁻⁵⁾。前報で、渦流中では混合気の周速度に依存して火炎が高速伝播する特性⁽⁶⁾を PDE に適応することで、DDT の短縮が可能であることを明らかにした⁽⁷⁾。本研究では、渦流中での DDT 過程における圧力、イオン電流の計測および、高速度写真撮影による火炎挙動の観察を通して、DDT 過程の検討を行った。

2. 実験装置および方法

本実験は、前報⁽⁸⁾と同じ実験装置を使用した。空気および水素は混合室で混合されながら、渦流噴射装置によりデトネーション管内へ噴射され、デトネーション管内に混合気の渦流を形成する。混合気供給後、着火装置により着火をして火炎伝播を開始する。火炎が伝播する過程を、閉端から 340, 540, 740, 856[mm]に設置された圧力トランスデューサとイオンプローブによって測定する。また、観察窓からシャドウグラフ法を用い、火炎挙動の高速度写真撮影を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 火炎が圧力波に追いついて発生する DDT

図 1 は圧力波と火炎前面の高速度写真およびその概略図を示す。図 1(1)では、圧力波と火炎が離れていることが分かる。図 1(2), (3)と時間が経過するにつれて、圧力波と火炎前面の間隔が狭くなっている。図 1(4)で圧力波と火炎前面の空間がなくなり、その部分に白い影が現れる。図 1(5)から(6)にかけて、先頭で黒い影が伝播をし、その後方の白い影が大きくなっている。

図 2 は、影写真の中心軸上で得られた圧力波および火炎面の軌跡を示す。Xpf は画像から得られた圧力波の先端の軌跡を、Xpb は画像から得られた圧力波の後方の軌跡を、Xf は画像から得られた火炎面の軌跡を示す。約-30[μs]で圧力波後方に火炎が追いついていることが分かる。

図 3 は、図 2 の軌跡から算出した圧力波速度および火炎速度を示す。Vppf は圧力波前方の速度、Vppb は圧力波後方の速度、Vfp は火炎速度を示す。Vppf は火炎が圧力波に追いついた-30[μs]から上昇を始め、-20[μs]で、理論デトネ

Fig 1. Shadowgraphs and sketches of pressure wave and flame front

Fig 2. Locations of pressure wave and flame front from the igniter

ーション速度 V_{C-J} を超え、その後は V_{C-J} に近い値で伝播し続けている。

図 4 は $x=740$ [mm] の位置での圧力とイオンプローブの電圧波形を示す。圧力波 0[μs]で上昇し、デトネーション理論値である C-J 圧 P_{NC-J} に到達している。また、イオンプロー

Fig 3. Velocities of the pressure wave and flame front

Fig 4. Variation of pressure and ionization current signals at $x = 740[\text{mm}]$ (Port 3)

ブの電圧波形も約 $0[\mu\text{s}]$ で変化している。このことから、 $x=740[\text{mm}]$ ではデトネーションが伝播していることが分かる。

図 1 から図 4 の結果より、この実験では後方の火炎が圧力波に追いつき、デトネーションが発生したと考えられる。

3.2 局所爆発によって発生する DDT

図 5 は圧力波と火炎前面の高速度影写真およびその概略図を示す。図 5(1)で、左下に黒い影が見られる。その影は、時間の経過と共に同心円状に広がり、伝播している。また、図 5(5)および(6)では図 1(5)および(6)と同様、先頭の黒い影の後方に、白い影が見られる。

図 6 は圧力波の先端から算出した速度 V_{pp} のグラフである。速度は約 $-45[\mu\text{s}]$ から上昇し $-38[\mu\text{s}]$ 以降では V_{c-J} に近い値で伝播している。このことから、 $-38[\mu\text{s}]$ 以降ではデトネーションが伝播していることが分かる。

図 7 は $x=740[\text{mm}]$ の圧力とイオンプローブの電圧波形を示す。圧力は $0[\mu\text{s}]$ で変化し、 P_{NC-J} を超える値を示している。これより、この実験では $x=740[\text{mm}]$ でデトネーションが伝播していることが分かる。また、イオンプローブの電圧波形は $-8[\mu\text{s}]$ で変化している。これは、図 5(6)からわかるように、円弧状のデトネーション波が伝播しているため、デトネーション管の下部に設置されたイオンプローブが上部に設置された圧力トランスデューサより先に応答したからだと考えられる。

図 6 および図 7 の結果より図 5(3)～(6)で伝播している黒い影は、デトネーションであることが分かる。また、図 5 よりデトネーションは下方のある黒い影から同心円状に広がって伝播していることから、デトネーション管の下方で局所爆発が発生しデトネーションに遷移したと考えられる。

4. まとめ

本実験では、渦流中での DDT 過程における圧力波および火炎の挙動を計測することによって、以下のことが明らかにされた。渦流中では火炎が圧力波に追いつき、デトネ

Fig 5. Shadowgraphs and sketches of pressure wave and flame front

Fig 6. Velocity of the pressure wave

Fig 7. Variation of pressure and ionization current signals at $x = 740[\text{mm}]$ (Port 3)

ーションに遷移する場合と、局所爆発によってデトネーションに遷移する場合の 2 つのタイプの DDT 過程が存在する。

参考文献

- (1) 桜井・他2名, 日本燃焼学会誌 47: 97-104 (2005).
- (2) 松尾, 日本燃焼学会誌 47: 81-83 (2005).
- (3) 大八木, 日本燃焼学会誌 49: 8-9 (2007).
- (4) Frolov et al., ISABE 2005-1292 (2005).
- (5) Zhang et al., Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., Vol.45: 243-248 (2003).
- (6) Asato et al., Comb. Flame, 110: 418-428 (1997).
- (7) Asato et al., Trans. JSASS Aero space tech. Japan, Vol. 10: ists28,15-20(2012).
- (8) Asato et al., Trans. JSASS Aero space. Tech. Japan, Vol.12, ists29, 35-41 (2014).