606 反射板を用いた PDE イニシエーターにおける 反射板径の最適化に関する研究

Optimal design of the Reflecting Board Diameter in a PDE Initiator with a Reflecting Board

○浅田 隆利 (北大院), 脇田 督司 (九工大), 正 戸谷 剛, 正 永田 晴紀 (北大工)

ASADA Takatoshi¹, WAKITA Masashi², TOTANI Tsuyoshi and NAGATA Harunori³

1: Graduate School of Engineering, Hokkaido University

Kita 13 Nishi 8, Sapporo 060-8628, Japan

2: Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1, Sensui-Cho, Tohata-ku, Kitakyushuu, 804-8550, Japan

3: Department of Mechanical Science, Hokkaido University

Kita 13 Nishi 8, Sapporo 060-8628, Japan

1.はじめに

パルスデトネーションエンジン (PDE) 実現の課題には「デトネーションの発生」がある。デトネーションを短時間で発生させるためにプリデトネータという径の小さい管を燃焼器前方に設置する方法が提案されている。しかし、プリデトネータの径 D がデトネーションのセルサイズ λ の 13 倍以下の時、プリデトネータから入射するデトネーションは燃焼器に入射する際にプリデトネータ出口の急拡大部で発生する膨張波によって消えてしまう。

脇田らは、急拡大部におけるデトネーションの伝播挙動について詳細を調べ、円板である反射板をプリデトネータの出口に設置することでデトネーション伝播を促進させることに成功した⁽¹⁾。

反射板を用いた系でターゲットガスへのデトネーション伝播を成功させるためには、反射板前方の領域において円筒デトネーション波の伝播成功が必要であり、そのためには、プリデトネータの出口から反射板までの距離がセルサイズの六倍より大きいことが必要である。ドライバーガスに水素-酸素量論混合気を用いた場合、反射板距離の最小値は 10 mm となる。反射板より上流までドライバーガスが過供給されていれば円筒デトネーション波の伝播が可能であるとすると、必要なドライバーガス過供給距離は、およそ 10 mm と予想され、実験を行った。しかし、30 mm まで過供給を行わなければデトネーション伝播は起きず、その原因として反射板と燃焼器壁面との間隔が考えられたため、本研究では反射板の径を変更することで間隔を調整し、実験を行い、更なる過供給距離の削減に成功した。

2.実験装置

Fig. 1 は実験装置の概略図である。実験装置は、燃焼器、プリデトネータ、ガスハンドリング装置、点火装置、圧力測定系で構成されている。反射板は直径 70 mm, 78 mm, 88 mm, 厚さ 5 mm の円板である。Fig. 2 に示している反射板と燃焼器壁面との間隔を調整するために三つの異なる径を持った反射板を用いている。燃焼器の内径は 100 mm, すず膜採取用の円管の厚さが 1 mm であるため、反射板の径が 70 mm, 78 mm, 88 mm の場合、反射板の縁から燃焼器壁面までの間隔はそれぞれ 14 mm, 10 mm, 5 mm となる。

反射板の設置位置は全てプリデトネータ出口から $w=10$ [mm] である。これは過去の実験により得られた結果から決定している。

Fig. 1. Schematic diagram of experiment apparatus.

プリデトネータ上流部にはドライバーガスとして水素-酸素量論混合気を、プリデトネータ下流部と燃焼器にはターゲットガスとして水素-空気混合気を充填する (Fig. 2-1)。ボールバルブ開放後、装置全体の圧力は大気圧となる。ドライバーガスを燃焼器内まで流入する場合を過供給と呼び、流入量は過供給距離 h [mm] で表す。過供給距離とは、混合が生じない場合にドライバーガスが占める領域の、プリデトネータ出口からの距離を意味する。例えば Fig. 2 では過供給距離が 10 mm となる。

Fig. 2. Schematic diagram of opened valve.

3.実験結果と考察

Fig. 3 は実験で得られた結果をまとめたものであり、横軸は反射板径、縦軸は過供給距離である。反射板径 78 mm において最も過供給距離を削減することが可能であり、デトネーション伝播がしやすいことがわかる。

Fig. 3. Transition limit as function of diameter.

Fig. 4 は過供給距離 15 mm で反射板径 70 mm と 78 mm において採取したすす膜である。燃焼器壁面と燃焼器前端面のフランジの写真である。

Fig. 4. Soot Tracks

すす膜を比較するとわかるように、両方の条件とも反射板手前の領域において円筒デトネーションが再開始している。70 mm では、反射板手前領域の燃焼器壁面にデトネーションが衝突した形跡がないが、78 mm ではデトネーションが燃焼器壁面に衝突している。そして、70 mm ではその後デトネーションが再開始しないが、78 mm では反射板の裏の領域において再開始が行われる。

これらのことから、燃焼器壁面への円筒デトネーション波の衝突が燃焼器でのデトネーション波伝播に重要であると考えられる。Fig. 5 は予想されるデトネーション再開始の図である。

Fig. 5. Schematic diagram of re-ignition

円筒デトネーションは半径方向に伝播し、燃焼器壁面に衝突する。衝突によりマッハ反射を起こし、ドーナツ状のデトネーションに遷移しようとする。しかし、直後に反射板を通過し反射板裏の解放部に到達してしまうため、デトネーションに遷移できずに強めのドーナツ状の圧縮波となる。その圧縮波は中心方向に伝播し、反射板裏の領域で集中し、高温・高圧のホットスポットを形成してデトネーションを再開始させたと考えられる。

70 mm の条件では、反射板の縁から燃焼器壁面までの距離が長いので、燃焼器壁面に衝突するまでに反射板の縁で発生する膨張波によって円筒デトネーションは消えてしまい、衝撃波が燃焼器壁面に衝突するため、デトネーションの再開始は起きず、反射板裏で衝撃波が集中しても十分な高温・高圧の領域ができずに再開始が起きなかったと考えられる。

90 mm の条件では、Fig. 5-1 の様にデトネーションが膨張波によって消えてしまう前にデトネーションが燃焼器壁面に衝突することでデトネーションの再開始が起きようとするが、反射板と燃焼器の壁面との隙間が狭いため、ドーナツ状デトネーションは開始できず、反射板裏の領域で再開始を起こせるだけの衝撃波の集中ができなかったと考えられる。

4. 結論

反射板の径を変更することにより、反射板手前で発生する円筒デトネーションの燃焼器壁面への衝突が起こるようになる。その結果、反射板裏における衝撃波の集中によるデトネーションの再開始が成功した。ドライバーガス過供給によりデトネーションを開始する場合、本手法により、ドライバーガス量を削減することに成功した。

謝辞：本研究は、平成 19 年度科研費若手研究（スタートアップ）(No. 19860002) の助成により行われた。

参考文献

- (1) M.Wakita, R.Numakura, Y.Itoh, S.Sugata, T.Totani, H.Nagata "Detonation Transition Limit at an Abrupt Area Change Using a Reflecting Board," Journal of Propulsion and Power, Vol. 23, No. 2, 2007, pp. 338-344.