

107 パルスデトネーションエンジンの基礎実験*

皆川 隆志^{*1}, ○ 桜井 毅司^{*1}, 吉橋照夫^{*2}, 正 小原哲郎^{*2}, 正 大八木重治^{*2}

An Experimental Research on Pulse Detonation Engines *

Takashi MINAGAWA, Takashi SAKURAI, Teruo YOSHIHASHI,
Tetsuro OBARA, Shigeharu OHYAGI^{*1} Graduate School of Science and Engineering,
Saitama University, 255 Shimo-Ohkubo, Saitama, 338-8570 Japan^{*2} Department of Mechanical Engineering, Saitama University,
255 Shimo-Ohkubo, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

A pulse detonation engine (PDE) is one of the candidates for propulsion systems in this century. As a results of recent technological advances, PDE featuring high thermal efficiency have been shown to be promising as next-generation jet/rocket engines. This engine is characterised by high specific impulse, high power density, low energy consumption. Reserches of the PDE have started in the middle of the last century, however, the systematic researches were performed in the last decade. The present project aims at elucidating the deflagration to detonation transition (DDT) process of hydrogen/air mixtures in a short tube considering that fuel and oxidizer gases should be injected directly in the chamber.

Key Words : Pulse Detonation Engine, Detonation

1. は じ め に

パルスデトネーションエンジン (PDE) は, パルス燃焼エンジンの一形態でデトネーション燃焼を適用したエンジンである. このエンジンはレシプロエンジンのような燃料噴射, 点火とデトネーション波の伝ば, 排気と膨張, 新燃料の充填という 4 行程をサイクル動作する (図 1). PDE はジェットエンジンやロケットエンジンに代わるエンジンとして企図されており, 空気吸入式エンジンであるため燃料のみを積載し酸化剤である空気を大気より取り入れるため重量を軽減できる. また, デトネーション燃焼を利用するためにジェットエンジンの定圧サイクルよりも効率の良い定容サイクルが適用され熱効率が良く, また比推力も高いなどの利点を有する (図 2). しかし, 圧力の変動が大きい間欠燃焼サイクルであるため燃料と酸化剤の導入, 点火と火炎伝播, デトネーションへの遷移, 燃焼ガスの排気などそれぞれ制御困難な行程があり, いまだに十分な成功が得られていない.

本研究では PDE 開発の基礎研究として燃焼器内へ水素/空気を直接噴射した場合の燃焼特性について実

験を行っている. 本報告ではこれまでの結果について報告する.

2. 実験装置及び方法

実験装置概略を図 3 に示す. 試験容器は内径 30 mm, 外径 60 mm, 長さ 3250 mm の燃焼器部分と 1700 mm のダンブチューブ部分から構成されている. 両者はボールバルブで隔てられており, バルブの開閉によって管右端の状態を開放, 閉鎖と変えることができる. 管左端にはスパークプラグを取り付け燃料混合気の点火を行った. デトネーションへの遷移距離 (Detonation Induction Distance, DID) を調べるため管壁に圧力変換器とイオンプローブを取り付けてある. この測定孔にインジェクタを取り付けて点火プラグとの位置関係を変化させ実験を行う. また管左端にはスパイラルコイルを最大 550 mm まで挿入することができる. 燃料はデトネーションへの遷移が容易な水素とし, 酸化剤は空気吸入エンジンを想定して空気とした. 実験条件を表 1 に示す. 点火時間 t_{ig} を燃料噴射終了後から点火までの時間とする. 燃料噴射実験で使用するインジェクタは電磁バルブとアダプタから構成されており, 管壁の測定孔に取り付けられる. インジェクタの先端形状を図 4 に示す. 先端形状は水平タイプ (管軸方向への噴射), 対向タイプ (対向して噴射), 予混合タイプ (流路が Y 字に交差し噴射) の 3 タイプを使用した.

*1 埼玉大学大学院.

*2 埼玉大学 工学部 (〒 338-8570 さいたま市大久保 255).
Email: sakurai@mech.saitama-u.ac.jp

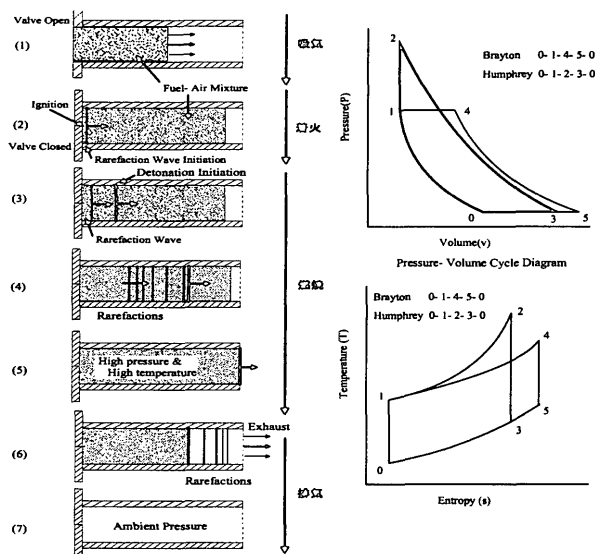


Fig. 1 PDE サイクル

Fig. 2 $p-v, T-s$ 線図

Table 1 直接噴射実験条件

Fuel and Oxidizer	$H_2 + Air(O_2 + 3.76N_2)$
Equivalence Ratio : ϕ	1.0
Injection Pressure [MPa]	$H_2 : 0.8, Air : 2.0$
Length of Spiral Coil L_s [mm]	550
Ignition time t_{ig} [ms]	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70

3. 実験結果および考察

水素/空気では噴射時間に差があるため、両者の噴射終了時間が一致するように噴射タイミングを設定した。それぞれの噴射形態の結果を図5に示す。横軸は噴射終了から点火までの時間、縦軸は無次元圧力を示す。この図より結果が良いのは対向、水平、予混合噴射の順であることが分かる。図中の対向噴射による60ms時の圧力波形およびイオンプローブからの電圧波形を図6に示す。圧力比の立ち上がりとイオンプローブの反応が一致していることからC-J状態ではないがデトネーションへと遷移している。直接噴射ではデトネーションを得ることが困難であるが、対向噴射ではしばしばデトネーションが確認できることから、燃料の混合状態が良いことがわかる。また噴射と点火の位置関係については点火時間などの条件が同様であっても燃焼圧力が異なることから最適な位置関係があると思われる。

4. おわりに

パルスデトネーションエンジンの基礎実験として水素/空気直接噴射による着火実験を行った結果、水素/空気を直接噴射した場合、噴射形態および噴射と点火との位置関係により、良い混合状態を形成することが可能であり、短時間でデトネーションを発生させることも可能である。

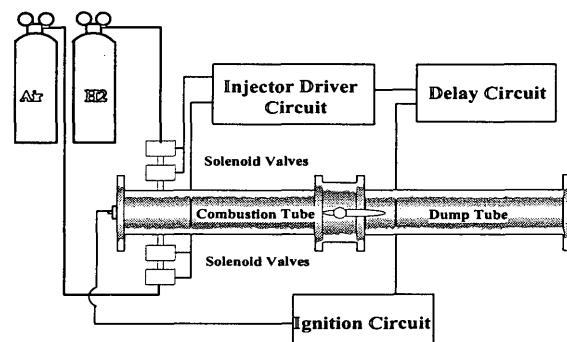


Fig. 3 実験装置概略図

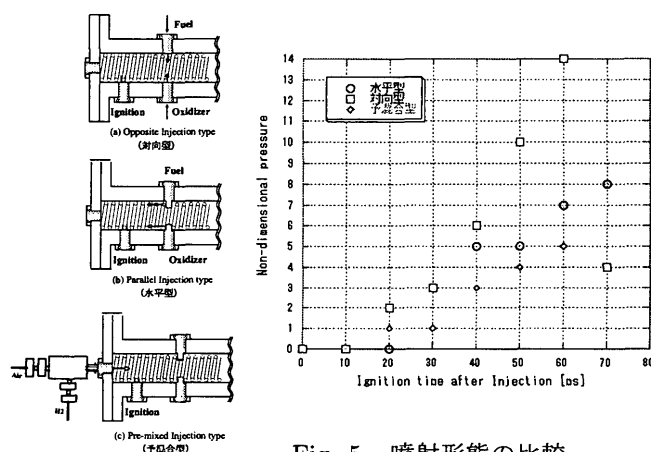


Fig. 4 インジェクタ

Fig. 5 噴射形態の比較

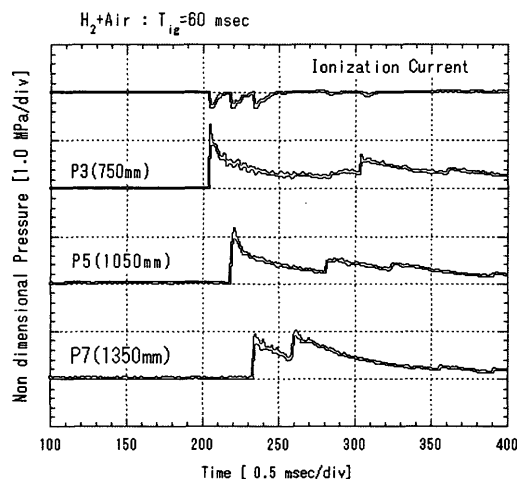


Fig. 6 対向噴射 [60ms] の圧力および電圧波形

References

- (1) Nicholls, J.A., Wilkinson, H.R., Morrison, R.B., *Intermittent detonation as a Thrust-Producing Mechanism*, Jet Propulsion, Vol. 27, (1957), pp.534-541