

パルスデトネーションエンジン連続作動特性の研究

Feasibility study of Pulse Detonation Engine operation

大八木 重治^{1*}、小原 哲郎¹、桜井 毅司¹、村山 元英²
Shigeharu Ohyagi¹, Tetsuro Obara¹, Takashi Sakurai¹, Motohide Murayama²

¹ 埼玉大学 工学部機械工学科

Department of Mechanical Engineering, Saitama University

² 石川島播磨重工業株式会社

Aero-Engine & Space Operations, IHI Co.,Ltd

Abstract

Pulse Detonation Engine has high thermal efficiency for utilizing detonation and is planned to various applications such as aerospace engine, rocket and power generator. We considered the PDE-turbine system for power generator and the efficiency of system reaches almost 50%. To develop this system, feasibility of PDE operation must be evaluated experimentally. In addition, shock wave attenuation is important not to damage turbine blades. Pressure and temperature profiles were measured in PDE operation and shock damper was evaluated to be effective for shock attenuation.

Key Words: Pulse Detonation Engine, Power generator, shock wave

1. 緒言

デトネーションとは衝撃波を伴い超音速で伝ばする燃焼現象である。パルスデトネーションエンジン (PDE) は自動車のレシプロエンジンのように燃焼を間欠的に行うエンジンである。デトネーションを応用することで原理的に高効率期待できる PDE は航空宇宙機用エンジン、ロケット、発電機関など様々な応用の可能性が考えられ、埼玉大学では連続作動の試みを行ってきた[1]。本研究に先立ち PDE によりタービンを作動させ、発電出力を得るための方式を検討し有用なシステム案を示した[2]。本

研究では PDE によるタービン発電システム構築に向けた基礎研究として連続作動特性の計測評価、及びタービン接続の前段階として PDE 下流にショックダンパーを付けた場合の減衰特性について評価を行った。

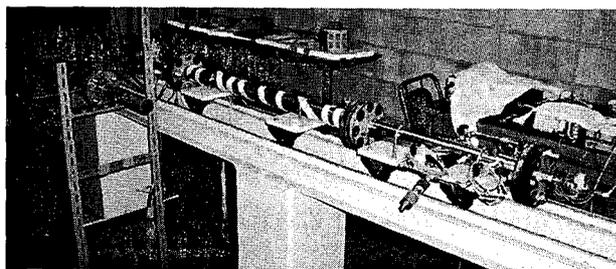


Fig.1 PDE 装置写真

* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255
電話：048-858-3449 FAX：048-858-2577
Email：ooyagi@mech.saitama-u.ac.jp

2. 実験装置及び方法

Fig.1 に PDE 装置の写真を、また Fig.2 に実験装置の概略を示す。装置は管、ダンプタンク、電磁バルブ、点火プラグで構成した。燃料（水素）と酸化剤（空気）はそれぞれシリンダより供給され噴射を電磁バルブにより制御する。燃料噴射及び点火は PC で制御する。得られる圧力、温度、イオン電流などの波形はオシロスコープにより取得する。なお、管内にはデトネーションへの遷移を促進する目的でらせん状のコイルを挿入した。

Fig.3 は管及び噴射位置の概略を示す。管は内径 30 mm であり、全体をデトネーション管とショックダンパーとに区別して使用する。ここでデトネーション管はデトネーション波の生成、伝ばする区間として定義し、ショックダンパーは空気を充填しデトネーション波を衝撃波へと減衰させる区間として定義した。水素-空気は管左端より 100 mm と 300 mm の位置で 4ヶ所からそれぞれ対向して行われる。点火は噴射位置の中間 200 mm の位置で 2 個のプラグを同期して使用する。

計測には piezo 式圧力変換器 (PCB113A24)、燃焼波の検知にイオン電流プローブ、管壁温には T 型熱電対を使用した。

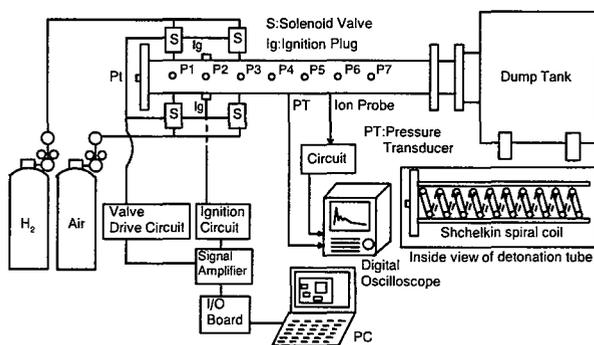


Fig.2 実験装置概略

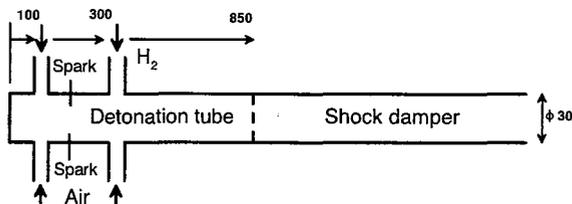


Fig.3 管及び噴射系概略図

3. 結果及び考察

3.1 連続作動特性

5Hz から 20Hz まで 5Hz 毎に 10 秒間の安定した連続作動を確認した。Fig.4 は 20Hz、10 秒間連続作動時のデトネーション管及びショックダンパーにおける圧力波形を示す。圧力は DT700 mm と SD1500 mm の 2 点で測定した。図横軸は作動開始からの経過時間、縦軸は絶対圧を示す。波形の基準点は見やすさのために異なる。また波形のベースラインが初め上昇しその後下降しているのは計測に使用した piezo 式圧力変換器が燃焼熱の影響を受けるためである。パルス燃焼であるため波形に見られる一本一本の線が各サイクルの燃焼を示している。デトネーション管の出口付近では平均的に 0.3-0.4 MPa ほどの圧力パルスが生じており、ショックダンパー出口付近では圧力パルスの絶対値が減衰している。

Fig.5 は T 型熱電対を用いた 20Hz、10 秒間の連続作動における管壁温度変化を示す。測定はデトネーション管の 200 mm と 500 mm の 2 点で熱電対は管内面より 10 mm の位置で行った。図横軸は作動開始からの経過時間、縦軸は温度を示す。2 つの波形はノイズが大きいため近似曲線を実線で示した。それぞれの位置において 10 秒間の作動中には急激な温度上昇が観察され、その後、緩やかに増加する。作動後の温度上昇は管長さ方向に沿った温度分布の非一様性による影響と考えられる。

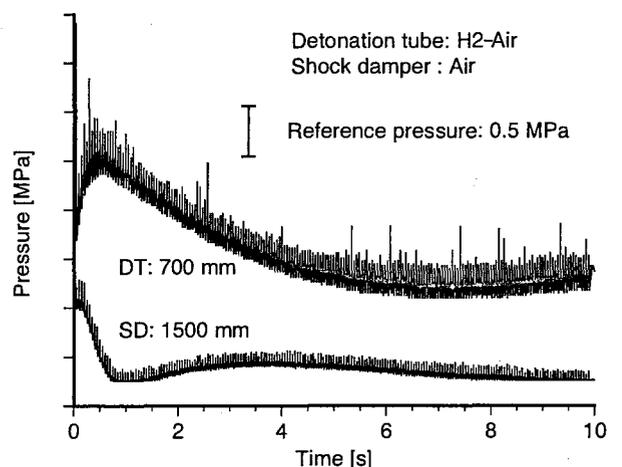


Fig.4 連続作動時の圧力波形：20Hz, 10秒間

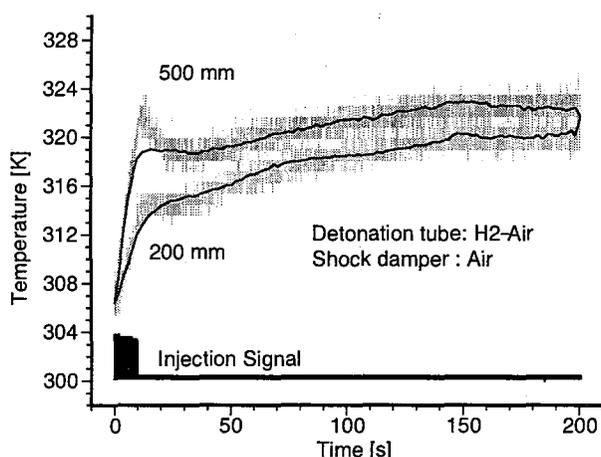


Fig.5 連続作動時の管壁温度変化:20Hz,10 秒間

200 mm よりも 500 mm 位置の温度上昇が大きいのはデトネーションへ遷移する位置付近で生成熱が大きいことを示している。

3. 2 衝撃波の減衰

PDE を発電用タービンシステムに応用する場合の検討課題としてタービン翼の破損を防ぐためにデトネーション波の著しい圧力ピークを減衰させる必要がある。そのために PDE とタービンとの間に適度な圧力減衰部を設ける。ショックダンパーは空気のみを充填した管でデトネーション波を減衰させるものである。

Fig.6 にシングルショットで得たデトネーション管及びショックダンパーの圧力波形を示す。デトネーション管長さは 850 mm、ショックダンパーは 2200 mm である。図横軸は点火からの経過時間を示し、縦軸は絶対圧を示す。波形は上から順にデトネーション管 700mm (DT700)、ショックダンパー内部 3 点(SD500, 1050, 2100)を示し、デトネーション波の伝ばが見やすいように波形を縦軸に一定間隔でシフトしている。DT700 まではデトネーション波が伝ばし、ショックダンパーに入射すると衝撃波へと減衰している様子が分かる。SD1050 下流では、タービン接続において問題となる圧力波のスパイク状部分は消滅しているが、

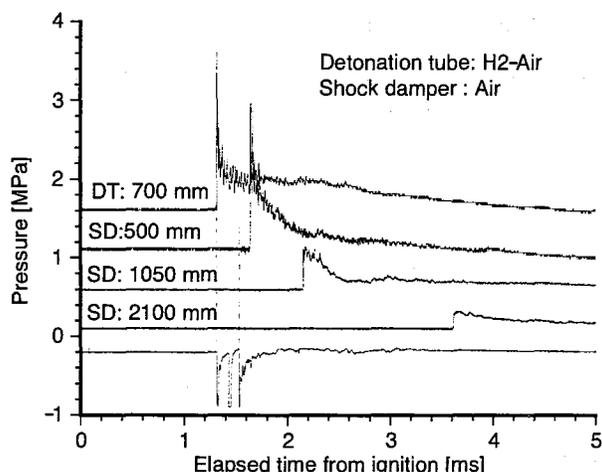


Fig.6 シングルショット時のデトネーション管及びショックダンパー圧力波形

スパイク背後の平均的な圧力パルスの絶対値も DT700 に比べ 1/2 以下に減衰した。これはタービンを駆動するためのエネルギー低下を意味するため好ましくない結果であり、ショックダンパーの長さについてスパイクの消滅と圧力パルスの低下について最適な長さがあることを確認した。

4. 結言

発電用 PDE システムの基礎研究として PDE の連続作動特性及びタービン駆動のための衝撃波減衰法について検討を行った。20Hz、10 秒間までの連続作動を達成し圧力及び温度を計測した。衝撃波の減衰法としてショックダンパーを検討し、タービン接続において問題となる圧力波のスパイクは消滅することを確認したが、平均的な圧力パルスの絶対値もデトネーション波の 1/2 以下に減衰した。

参考文献

- [1] Sakurai, T., Minagawa, T., Yoshihashi, T., Obara, T and Ohyagi, S.: A Preliminary Study for Development for Hydrogen-Fueled Pulse Detonation Engines, Sixth ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference, TED-AJ03-291, 2003.
- [2] 村山、小原、大八木、“発電用パルスデトネーシ

ヨンエンジンの成立性検討”、平成 14 年度衝撃波シンポジウム、pp.365-366 (2003).

[3] 桜井、小原、大八木、村山、“発電応用に向けた PDE の 1 次元解析”、第 35 回流体力学講演会、pp.323-326 (2003).

[4] 桜井、小原、大八木、村山、“発電用パルスデトネーションエンジンの作動解析”、第 31 回ガスタービン定期講演会、pp.139-142 (2003).

[5] 伊藤、桜井、小原、大八木、“パルスデトネーションエンジンにおける準 1 次元数値シミュレーション”、平成 15 年度衝撃波シンポジウム、pp.145-148 (2004).

[6] 大古、南雲、吉橋、小原、大八木、“パルスデトネーションエンジンの作動における空気による Purge の影響”、平成 15 年度衝撃波シンポジウム、pp.119-122 (2004).