定容容器内に噴射された水素噴流に対する レーザ点火時期の燃焼特性への影響

Influence on the Combustion Characteristics of the Laser Ignition Timing for the Hydrogen Jet Injected in the Constant Volume Vessel

学 ○菅田 靖 (阪大院) 正 林 潤 (阪大院) 学 米田 憲司 (阪大院)
非 劉 晨 (阪大) 正 赤松 史光 (阪大院) 非 森本 巖 (川崎重工)
正 徳永 佳郎 (川崎重工)

Kiyoshi SUGETA, Osaka University, 2-1, Yamada oka, Suita, Osaka
Jun HAYASHI, Kenji YONEDA, Chen LIU, Fumiteru AKAMATSU, Osaka University
Iwao MORIMOTO, Yoshiro TOKUNAGA, KAWASAKI Heavy Industries

1 緒 言

水素は、環境負荷が低いエネルギー源として注目されているが、高い燃焼速度に起因する異常燃焼が課題である。そのため、エンジン内における水素の燃焼状態の制御を目的として、直接噴射方式 (Direct Injection; D.I.) が提案されている¹⁾。レーザ点火は、点火位置の選択自由度が高く、D.I.において噴流軸上や噴射直後での着火が可能のため、燃焼状態の制御に有効である。本研究では、定容容器内に充填された空気中に噴射された水素噴流に対するレーザ点火における、点火時期が水素直噴方式の燃焼に及ぼす影響の検討を行った。

2 実験装置および実験条件

図1に、実験装置の概略図を示す。レーザ光源には Nd:YAG レーザの第2高調波 (Spectra Physics 社製、PIV-400、発振波長 $\lambda = 532$ nm) を用いた。レーザの初期ビーム径は約 8 mm、レーザパルスの半値幅は約 8 ns、繰り返し発振周波数は 10 Hz である。平凸レンズの焦点距離は 100 mm のものを使用し、点火位置を燃焼器中央とした。レーザエネルギーの測定には、焦電型エネルギーメータ (Ophir 社製、PE-50) を用い、入射光エネルギーは、各充填空気圧においてブレイクダウン閾値以上である 15 mJ 程度に統一した。燃焼器には給排気用のポートが設けられており、流路中に真空ポンプが接続されている。また、燃焼器の上部に噴射ノズル、下部に圧力センサを取り付けており、噴射ノズルは一定時間以上油圧を加えることによって針弁がリフトし、水素が噴射される。水素の噴射圧は $P_j = 2.0$ MPa、水素の噴射期間は 15 ms (噴射量一定) とし、初期充填圧力は $P_a = 0.1$ MPa, 0.5 MPa, 1.0 MPa と変化させた。着火の成否判定は、燃焼による燃焼器内圧力の上昇をもって行った。水素噴流および火炎の様子は、高速度 CMOS カメラ (Vision Research 社製、Phantom V12.1) を用いたシュリーレン法により撮影した。カメラのフレームレートは 20,000 fps、露光時間は 50 μ s とした。また、ガス分析装置としてガスクロマトグラフィ (CP4900, VARIAN 社製) を使用した。点火時期は噴射開始時刻を起点に、噴流が容器中央を通過直後から容器底面に達するまでとして設定した。各初期充填圧力に対する点火期間を表1に示す。

Fig.1 Schematic illustration of the experimental apparatus

Table 1 Ignition timing of each initial pressure

Initial pressure	Ignition timing ms					
0.1 MPa	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20
0.5 MPa	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
1.0 MPa	1.70	2.15	2.60	3.05	3.50	3.95

3 実験結果および考察

図2では、各初期充填圧力に対する最大圧力上昇率 dP/dt_{max} の点火時期依存性を示す。左縦軸 dP/dt_{max} は燃焼圧の時間履歴における微分係数の最大値であり、結果は実線で結ばれた点で表されている。また、右縦軸の変動係数 (COV) は各点火期間における計測値の変動であり、図中破線で結ばれた点で表されている。図2より、 $P_a = 0.1$ MPa では点火時期に関わらず dP/dt_{max} の値はほぼ一定値を示しているのに対して、 $P_a = 0.5$ MPa, 1.0 MPa の条件では、点火時期が遅れるに従い、 dP/dt_{max} の上昇傾向が緩やかになることが確認できた。これは、充填圧増加に伴いエントレインの効果がより増加したこと、そして時間経過による噴流内が希薄化するため、 dP/dt_{max} の上昇傾向が緩やかになったと考えられる³⁾。また、図2中の COV 値より、点火時期が序盤において最も圧力上昇率の変動が大きいことがわかる。これは点火期間序盤において噴流が点火位置を通過する前後での局所当量比の変化が大きいためであると考えられる。

Fig. 2 Relationship between dP/dt_{max} and ignition timing of each initial pressure

4 結 言

本研究より点火時期の遅れに伴う噴流内の水素濃度の希薄化により、圧力上昇率の上昇傾向は緩和される。一方で点火時期序盤では局所当量比の変化による圧力上昇率の変動が大きいことが分かった。より安定した点火の実現には、点火位置付近における局所当量比を加味した検討が必要である。

5 参考文献

- 1) 首藤ら, 日本機械学会論文集(B編), 第70巻, 691号, 234-240(2004)
- 2) 辻村ら, 日本機械学会論文集(B編), 第70巻, 693号, 224-229(2004)
- 3) 小阪ら, 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集(3), 163-164(2004)