The Japan Society of Mechanical Engineers

317 メタン改質燃料の燃焼速度

Burning Velocity of Fuel Converted from Methane

○ 機正 吉木 大司（山口県産業技術センター） 機正 若井 和憲（岐阜大学）
機学 杉山 貴則（岐阜大学・院） 機正 高橋 周平（岐阜大学）

Daiji YOSHIKI, Yamaguchi Prefectural Industrial Technology Institute, Asutopia4-1-1, Ube
Kazunori WAKAI, Takanori SUGIYAMA, Shuhei TAKAHASHI, Gifu University

Key Words : Combustion, Spark Ignition Engine, Lean Mixture, Burning Velocity, Hydrogen, Synthetic Gas Fuel

1. はじめに

環境問題に対する人々の関心が高まる中，火花点火機関においては希薄燃焼エンジンが注目され，筒内直噴ガソリンエンジンが実用化された．しかし部分負荷では拡散燃焼を行うこととなり，量論付近でNOxが発生しやすい，あるいは過濃な燃焼場ではすすの発生などが報告されている．

そこで著者らは，希薄予混合気を主燃料とすることでさらなる排気ガスのクリーン化を狙い，希薄混合気を確実に点火させ，安定して燃焼させるための一つの方法として，副燃焼室を持つ燃焼器を用いた水素火炎ジェットによる点火法について研究を進めてきた[(1)(2)]．また，実機の高圧高温条件が与えられれば，当量比で0.3に迫る希薄混合気の急速燃焼の可能性も調べている[(3)]．これらの結果，水素火炎ジェット点火法を用いた超希薄予混合気エンジンの可能性を示すことが出来たが，水素を実用燃料として用いることは取り扱いが難しく，不便であると同時に大変危険である．

そこで本研究では，燃料電池用に研究が進められているメタン改質ガス中の水素を主成分とする混合気が，火炎ジェット点火法に適用可能であるかどうか調べた．この改質ガスは，改質する温度によりガス成分が大きく変わる．また改質後に残る水蒸気と二酸化炭素が燃焼速度を遅くするが，それらのガスはいずれも比較的容易に除去できる．それらの点を考慮し，両者ともに除去した改質燃料，または水蒸気のみを除去した改質燃料を想定して改質温度（$T_{conv.}$）をパラメータに測定し，水素の燃焼速度と比較することで火炎ジェット点火法に用いた場合の燃焼促進効果を検討した．

2. 実験装置および実験方法

図1に実験装置の概要を示す．装置全体は，混合気給気系，燃焼室，画像撮影装置，データ処理部に分かれる．図には画像撮影装置は示されていない．

給気系は，④~⑧よりなる．真空に引いた燃焼室①にテドラーバッグから所定の分圧になるよう，水素，一酸化炭素，メタン，二酸化炭素を供給し，加圧除湿した空気を最後に導入して充分時間が経過してから実験を行う．すなわち，本実験に用いたメタン改質ガスは，実際にメタンを改質して得られたガスではなく，化学平衡計算による改質ガス組成に合わせて混合した燃料を用いる．バッチ処理であるため，混合後のガスを微量採集してガスクロで成分比のばらつきが許容範囲内であることを確認している．燃焼室には圧力変換器②が取り付けられており，データ処理系で指圧線図を記録する．燃焼室形状は，内径16cmの球形であり，球形火炎成長速度から燃焼速度を算出する．その火炎成長速度は高速度ビデオカメラ（最高40500fps）を用いてシュリーレン写真から解析するが，そのために燃焼室には直径96mmまでの火炎の成長を観察できるように窓ガラスを取り付けることが可能である．このとき，窓と窓の間隔は160mmの内径に対して128mmとなり，球形伝ぱをさまたげることとなる．

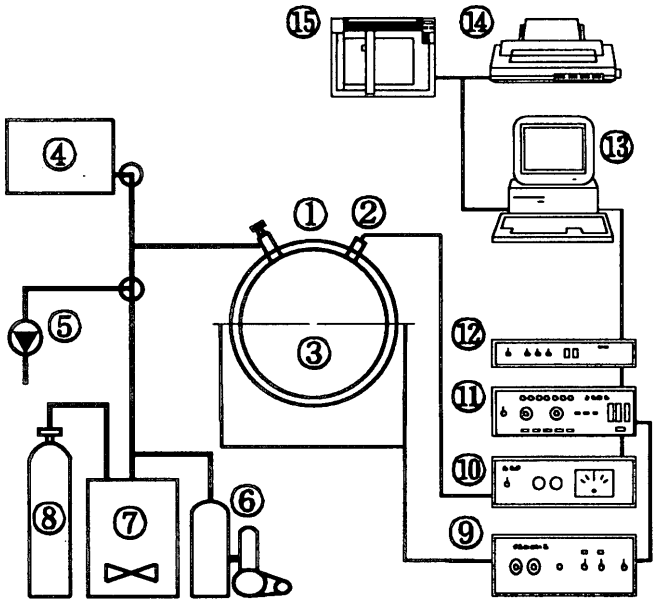

Fig. 1 Experimental Apparatus

3. 燃焼速度の測定

今回の実験では、シュリーレン写真から得られる火炎速度から燃焼速度を算出する．火炎成長に対する，点火電極の影響や浮力の影響は小さく無視できる程度であることを確認している．また，圧力変化が無視できる範囲，すなわち火炎球が小さく燃焼器の大きさをほぼ無限大として扱うことの出来る範囲で測定することとする．その条件として圧力上昇を10%以下とすると，燃焼器-火炎球半径比 $r \leq 0.468$ の範囲，すなわち半径80mmの燃焼器内においては，火炎球半径 $r_{flame} \leq 37.5$mmにおいて圧力の変化をほぼ無視できるものとできる．この値は，窓ガラスの間隔よりある程度小さいので，このことに起因する火炎の変形も少ないと考えられる．

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Mechanical Engineers

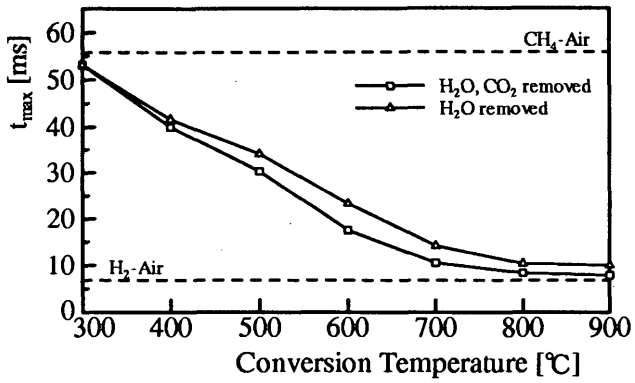

Fig. 2 Relation between t_{max} and $T_{conv.}$

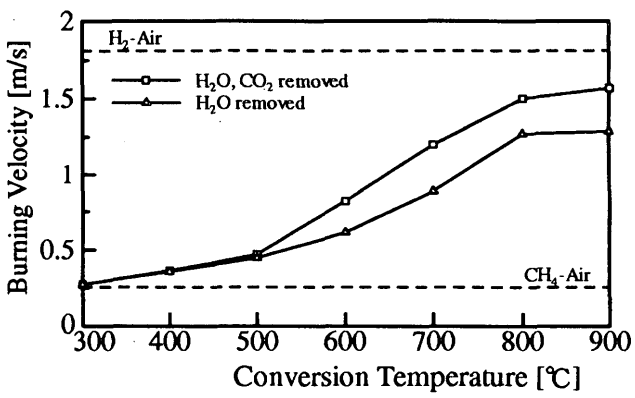

Fig. 3 Relation between S_u and $T_{conv.}$

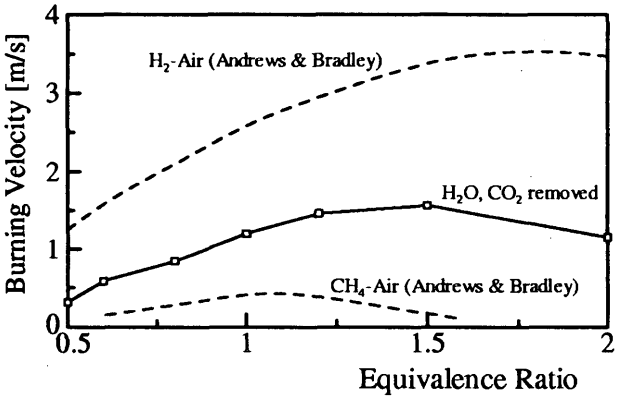

Fig. 4 Relation between S_u and ϕ ($T_{conv.}$=700°C)

4. 結果と考察

燃焼時間（最高圧力に到達する時間）t_{max} と $T_{conv.}$ の関係を図 2 に示す．700°C を超えると $T_{conv.}$ の上昇に対する燃焼時間短縮効果が減少している．また，改質燃料中の二酸化炭素の影響は，500~700°C に現れているが，除去した場合と比較するとその影響は小さいといえる．

シュリーレン写真から読みとった，常温常圧のもとでの燃焼速度を図 3 に示す．水蒸気と二酸化炭素を除去した改質燃料の燃焼速度は，メタンがすべて改質する 900°C においても，H_2-Air の燃焼速度に達していない．これは $T_{conv.}$ を高くすると一酸化炭素の含有率が増え，900°C では，改質燃料中に約 6%の一酸化炭素が含まれるためである．

つぎに，水蒸気に比べ，除去が難しいであろう二酸化炭素が改質燃料に残留している場合について見てみよう．500~700°C にかけて，除去した場合との燃焼時間の差が大きいが相対的にはそれほど大きな差とはなっておらず，それほど燃焼速度を増加させる必要がない対象では，二酸化炭素を除去する意味は少ない．

上記の結果と改質器の実用性等を考慮すると，$T_{conv.}$=700°C 付近の改質燃料の利用が望ましいと考えられる．そこで，$T_{conv.}$=700°C の改質燃料において当量比と燃焼速度の関係を図 4 に示す．燃焼速度は通常炭化水素燃料なら $\phi = 1.1$ 付近で最大値を取るが，この改質条件では主成分が水素となるため $\phi = 1.5$ 付近で最大となっている．一方，希薄側では $\phi = 0.5$ でメタン量論混合気と同程度の燃焼速度となる．この結果より，改質燃料を主室燃料に用いる場合，メタン混合気よりも希薄に出来ることが予測できる．

以上，総合的に判断すると，メタンの改質で吸熱した分だけ持てる燃焼熱は上昇し，水素が主成分となる $T_{conv.}$ では燃焼速度は水素に近づく．したがって，このまま燃焼速度が早い条件で水素火炎ジェット点火法の作動ガスに代替することは十分可能であり，また主燃焼室ガスとして利用する場合，同じ燃焼速度を与える当量比では燃焼温度はメタンより低くなり，NOx も低くなることが予想され，排気浄化をしながらしかも熱効率は充分高いエンジンを作ることのできる可能性が有る．

5. 結論

メタン改質燃料の燃焼速度に対して，改質温度，改質ガス組成，当量比がどの程度影響するのか，また水素の燃焼速度と比較し，火炎ジェット点火法に適用可能かどうか検討した．

(1) 改質温度を高くするほど水素転換率は高くなるが，700°C を超える改質温度では，その効果は薄れる．
(2) 燃焼速度は水素含有率による影響が大きく，改質ガスから二酸化炭素除去の効果はそれほど大きくはない．
(3) 燃焼時間がメタンの 1/2 以下となる改質温度は 600°C であり，それ以下では火炎ジェット点火法に用いた場合の燃焼促進効果は低い．
(4) 改質温度 700°C の改質燃料では，当量比 1.5 付近で最大燃焼速度となり，水素の燃焼速度に近づく．
(5) 改質温度 700°C の改質燃料は，当量比 0.5 付近でメタン量論混合気と同程度の燃焼速度となり，さらに一酸化窒素のモル分率も低くなることが期待される．

上記の結果と，改質器の実用性，効率，耐熱性や耐腐食性を考慮するなら，改質温度 700°C 付近での利用が望ましいと考える．また，メタン改質燃料を火炎ジェット点火法に用いる場合，当量比を 1.5 付近とし，ガスエンジンの主室燃料とする場合，当量比を下げることで，全体の熱効率を上げることが出来ると考えられる．

参考文献

(1) Wakai, K. and Nagai, M., "Augmentation of Combustion in a Chamber by a Small Hydrogen-Air jet Flame", Prog.Astro.Aero. Vol.152, pp.319-331(1992).

(2) 鬼頭俊介，若井和憲，高橋周平，小森勝夫，"水素火炎ジェット点火法による燃焼制御（酸化剤として酸素利用の効果）"，機械学会論文集（B 編）65-640, pp.4117-4123(1999).

(3) Kito, S., Wakai, K., Takahashi, S., Fukaya, N. and Takada, Y., "Ignition Limit of Lean Mixture by Hydrogen Flame Jet Ignition," JSAE Review, Vol.21, No.3, pp.373-378(2000).

NII-Electronic Library Service