

炭化水素燃料に対する含酸素燃料混合による最小点火エネルギーへの影響

日大生産工(院) ○林 溪太

日大生産工 高橋 栄一 日大生産工 秋濱 一弘

1. 緒言

近年カーボンニュートラル燃料である E-fuel が注目を集めている。E-fuel は再生可能エネルギー由来の水素と二酸化炭素から合成された燃料であり、内外で多くの研究が進められている。その合成方法によって様々な候補があり、従来のガソリン等に性状の近い炭化水素系の燃料やメタノール合成を経由して合成される含酸素系燃料などがある。E-fuel は既存の化石燃料へ混合される形で導入普及が予想されるが、特に含酸素系燃料を混合した燃料の燃焼特性は十分にわかっていない。

そこで本研究では、基本的な燃焼特性である最小点火エネルギー (Minimum Ignition Energy : MIE) および層流燃焼速度の評価装置の構築、並びにそれらを用いて炭化水素燃料に含酸素燃料を混合する影響について調べることを目的とした。

2. 実験装置および実験条件

Fig. 1 に最小点火エネルギー評価実験装置の概要を示す。最小点火エネルギー評価実験装置は液体燃料予混合気形成装置、定容容器 (Constant Volume Vessel: CVCC)、および可変容量コンデンサの放電を利用する点火装置から構成される。

定容容器中央部には放電面に石英フランジを有する ASTM E582-07 [1] に準拠した対向電極を設置した。石英フランジの中央部には金属

電極が露出しており、放電は金属電極間で形成される。フランジ付き電極を用いることによって後述する消炎距離を明確に評価することができる。電極間距離は片側の電極の位置をマイクロメーターで計測しながら移動することによって調整した。また定容容器、および燃料供給配管は電気式ヒーターによって加熱されている。

予混合気は加圧燃料タンクから吐出した燃料質量流量をコリオリ式マスフローコントローラー (Bronkhorst mini CORI-FLOW) により制御し、CEM (Bronkhorst Controlled Evaporation Mixing : CEM) で混合気を形成した。定容容器に供給した。

可変容量コンデンサを直流高電圧電源 (松定プレジジョン) 出力によって充電し、フランジを有する電極間で放電させることによって点火した。図中に SW と記された MOSFET 高電圧スイッチ (Behlke HTS301-GSM) によって充電を開始した。充電電圧とコンデンサの静電容量及び式 $E = 1/(2CV^2)$ から放電エネルギーを決定した。可変容量コンデンサの静電容量は電極間距離を変えることによって調整し、充電波形の時定数からその値を評価した。図中 CT で記された電流トランスによって放電電流を検出し、前述の MOSFET 高電圧スイッチを開放することで可変容量コンデンサへの再充電、及び再放電の形成を抑制した。

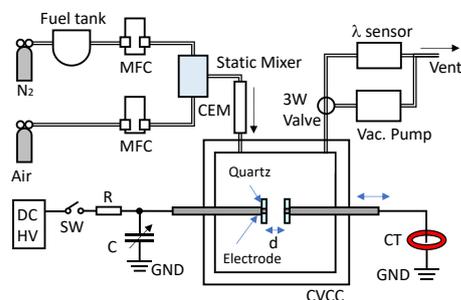


Fig. 1 Experimental setup for minimum ignition energy evaluation.

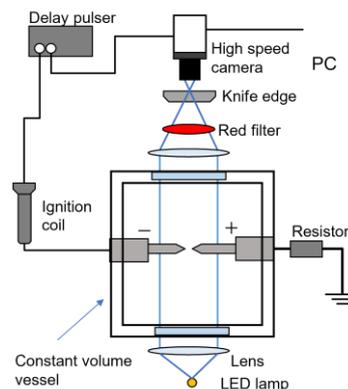


Fig. 2 Experimental setup for spherical flame observation.

The influence on minimum ignition energy by blending oxygenated fuel with hydrocarbon fuel

Keita HAYASHI, Eiichi Takahashi and Kazuhiro AKIHAMA

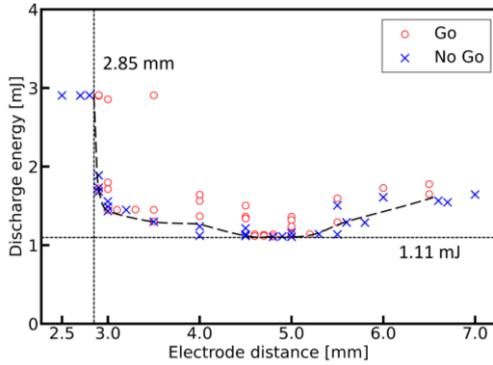


Fig. 3 Typical curve of discharge energy vs electrode distance

点火の成否は可視化窓からの発光の目視、およびフォトダイオードにより確認した。

次に、Fig. 2に層流燃焼速度評価実験装置の概要を示す。層流燃焼速度評価実験装置は前述の液体燃料予混合気形成装置を用い、別途、シュリーレン法による火炎の可視化を行うことができる定容容器、イグニッションコイルを利用する点火装置から構成される。

定容容器中央部には対向電極を設置しイグニッションコイルを用いて点火し、球状火炎を形成した。また最小点火エネルギー装置同様、定容容器、および燃料供給配管は電気式ヒーターによって加熱されている。

球状火炎の可視化にはシュリーレン法を適用した。LED点光源ランプからの光を平行光にして定容容器に石英窓を通して入射、出力された平行光は再び凸レンズを用いて集光し、密度勾配をナイフエッジにより光強度とする。レンズの色収差の影響を低減するために赤色フィルターを光路に挿入した。火炎は高速カメラ (NAC Inc. GX-1F) を用いた。

燃料は炭化水素燃料の代表としてイソオクタン (iC8H18) を、含酸素系燃料の代表として炭酸ジメチル (DMC) を用い、温度、圧力、当量比はそれぞれ360 K, 0.1MPa, 1.0とした。

3. 実験結果および考察

Fig. 3に代表的な最小点火エネルギーの評価実験例を示す。縦軸を放電エネルギー、横軸を電極間距離であり、○は点火、×は失火した実験点を示している。MIEはこの破線の最小エネルギーのことであり、消炎距離は点火に必要な放電エネルギーが急激に増大する電極間距離に相当する。

Fig. 4とFig. 5は撮影された球状火炎の時間的な発展の様子、及びその画像から導かれた火炎伸長率 κ [1/s]に対する火炎速度 S_b [m/s]

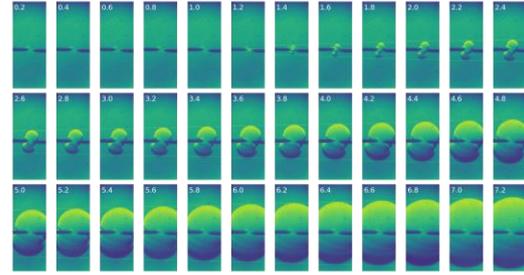


Fig. 4 Typical spherical flame propagation pictures.

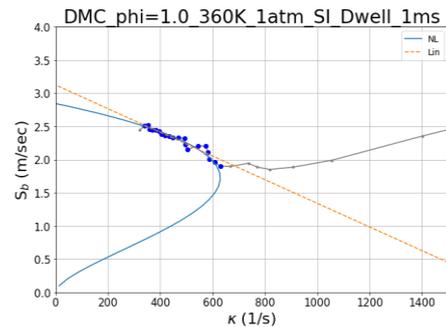


Fig. 5 Flame propagation velocity vs flame stretch rate

の依存性を示す。Fig. 5中の点が測定点を示し、線形、及び非線形関数をフィッティングすることによって火炎伸長率が0における火炎速度を外挿により求めた。層流燃焼速度 S_u [m/s]は未燃ガス ρ_u 、既燃ガス ρ_b を用いて $S_u = \rho_b / \rho_u S_b$ で求められる。

実験の結果、DMC, iC8H18混合気、およびその50%vol混合気のMIE、消炎距離、層流燃焼速度はそれぞれDMC:0.99mJ, 2.75mm, 0.39m/s, iC8H18:1.58mJ, 2.80mm, 0.47m/s, 50%vol混合気:1.40mJ, 2.85mm, 0.45m/sと評価された。基本的に、DMCの混合によってMIE、および層流燃焼速度は低下するが、消炎距離はほぼ一定値を示した。

4. 結言

E-fuelの混合使用を想定し、基本的な燃焼特性である最小点火エネルギー、消炎距離、および層流燃焼速度の評価装置を構築した。同装置を用いて炭化水素燃料としてイソオクタン、含酸素燃料として炭酸ジメチル、及びその50%vol混合気のMIE,消炎距離、層流燃焼速度の評価を実施した。

参考文献

- 1) ASTM E582-07 (2013).