

# PS-17 パイロット噴霧着火によるメタン-空気予混合気の

## 着火および燃焼特性

環境・動力系 \* 今井 康雄、高木 正英

### 1. はじめに

温室効果ガスの削減や粒子状物質の低減、さらには石油資源の枯渇など、船用機関に対する要求や環境がますます厳しくなる中、低環境負荷に貢献するエネルギーの一つとして注目されているものが天然ガスである。天然ガスは、石油系燃料に比べて発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少なく、また粒子状物質や硫黄酸化物の排出量もほとんど無いため、船用機関においても利用が期待される燃料である。

天然ガスを利用する場合、その着火安定性の確保が難しいとされている。この問題に対応する有用な手段の一つとしてパイロット噴霧着火方式が注目されているが、同方式では着火性の良い液体燃料を天然ガス中に少量噴射し、分散した噴霧液滴の着火で着火安定性を確保している。

天然ガスの主成分であるメタンについて、メタン-空気予混合気の着火に関する研究は、自着火およびパイロット噴霧着火など、これまでに数多く行われている<sup>(1)-(6)</sup>。いずれの研究でもメタン濃度の増加に伴い、着火遅れが増加することが示されているが、エンジン運転条件下での検証事例は少なく、特に酸素濃度を幅広く扱った事例も見られない。そこで本研究では、急速圧縮装置を用い、エンジン運転条件に即した実験条件下における、メタン-空気予混合気のパイロット噴霧着火方式を用いた着火特性について実験を行った。実験では、着火に影響を及ぼすと考えられるメタン・酸素・窒素濃度を変化させ、その影響度を調査した。

### 2. 実験装置

図1に実験装置の概略図を示す。本研究では、エンジンの1サイクル中の圧縮・燃焼行程を模擬できる、急速圧縮装置を使用した。また、ピストン形状を図2に示す。直径100mm、厚さ30mmとし、圧縮比調整のため、図のような幅30mmおよび18mm、深さ30mmのキャビティ(図の斜線以外の箇所)を設けた。表1に実験条件を示す。燃料には、天然ガスの主成分であるメタンを用い、任意の当量比に調整できるように空気ポンプ、攪拌機、および貯蔵タンクを有している。当量比は、量論混合比よりも希薄側とし、0.25から0.65まで変化させた。またメタン-空気予混合気は、温度を調整した後にシリンダ内に吸入した。なお、表1に示されている燃料噴射開始時の温度は、素線径25 $\mu$ mのK型熱電対で計測した実測の温度である。

パイロット燃料にはトリデカンを使用した。燃料噴射装置には、ディーゼルエンジン用コモンレール式の単孔0.2mmのインジェクタを用い、噴射圧力を50MPaに設定した。噴射期間は、いずれの試験条件においても0.6ms一定とした。燃焼後の排出ガスは、バッグ捕集後にCO、NO<sub>x</sub>計にて排出ガス濃度を計測した。着火遅れの計測や燃焼解析を行うために、筒内圧力計測として水冷ピエゾ式圧力センサを用いた。筒内の着火および燃焼の様子を空間的に観測するために、シャドウグラフによる高速度写真撮影を行った。

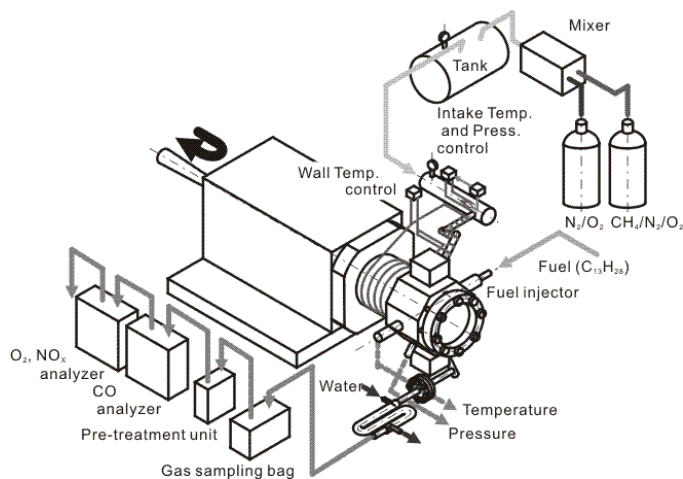


図1 実験装置の概略図

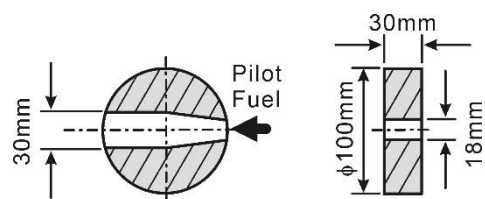


図2 ピストン形状

表1 実験条件

	Case 1	Case 2	Case 3
Ambient gas	CH <sub>4</sub> - O <sub>2</sub> -N <sub>2</sub>		
Equivalence ratio (CH <sub>4</sub> / O <sub>2</sub> )	0, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65		
Pilot injection fuel	Tridecane(C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> )		
Pilot injection pressure	MPa	50	
Pilot injection duration	ms	0.6	
Pilot injection fuel temp.	deg.C	40	
Pilot injection amount	mg	2	
Injector hole number	Single (Diameter 0.2mm)		
In-cylinder pres. @ SOI	MPa	5.0	
In-cylinder temp. @ SOI	K	755	

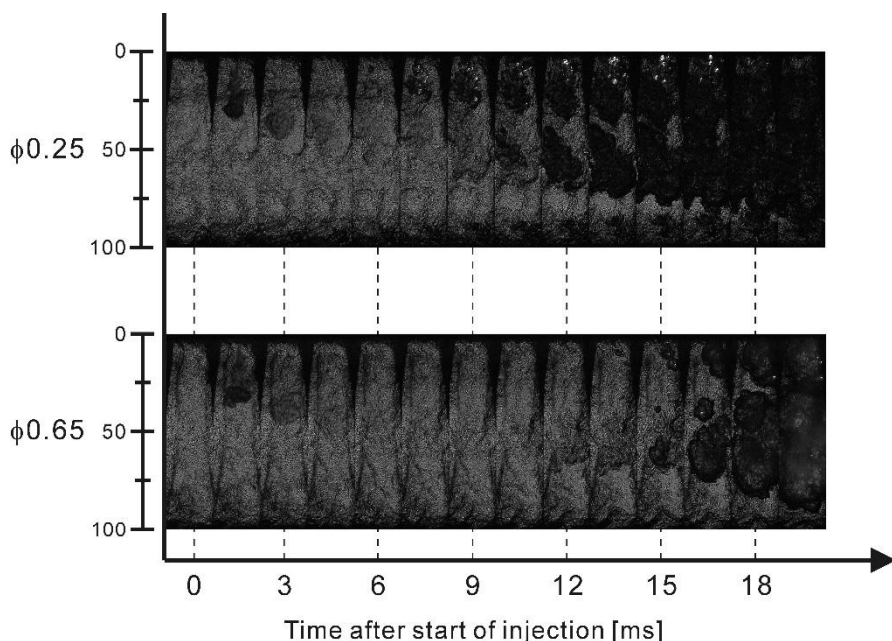


図3 メタン-空気当量比が着火遅れに及ぼす影響(シャドウグラフ撮影)

### 3. 実験結果

図3に、シャドウグラフ撮影によるメタン-空気当量比を変えた場合のパイロット噴霧着火と燃焼の様子を示す。結果はメタン当量比0.25と0.65を示しており、時間はパイロット燃料噴射開始を起点としている。いずれの結果も、パイロット燃料噴射直後から6msまでは、パイロット噴霧による影が確認でき、その後、メタン当量比0.25において、パイロット噴霧上流側で着火が見られる。一方、メタン当量比0.65では、パイロット噴霧の影は見えなくなり、パイロット燃料噴射開始後12ms以降で、ようやく着火の様子が確認できる。このようにメタン当量比を増加させると、着火遅れが非常に長くなることが確認できる。またいずれの結果も、着火点は複数確認することができ、これはパイロット噴霧着火の多点点火の効果を示すものである。

次に、混合気中の酸素濃度を变化させた場合の着火遅れについて調査した結果を、図4に示す。この着火遅れは、燃焼圧力計測から得られた熱発生率を基に、パイロット燃料噴射開始から熱発生率が正になるまでの時間を着火遅れと定義した。また実験は、メタン濃度一定で酸素濃度を变化させた場合と、当量比を一定で酸素濃度を变化させた場合の2通りで行われた。図4を見ると、いずれの実験においても酸素濃度の増加に伴い、着火遅れが短くなっていることが分かるが、メタン濃度によっても着火遅れが変化することも確認できる。そこで、メタン濃度と酸素濃度の効果を定量化するため、着火遅れ $\tau$ が次式で示されるとして、実験で得られた着火遅れと、設定したメタン、酸素濃度から回帰分析を行い、 $\alpha$ 、 $\beta$ を求めることにより、影響度を調べた。

$$\tau = [CH_4]^\alpha [O_2]^\beta \exp(E/RT) \quad \dots(1)$$

回帰分析の結果、 $\alpha=0.458$ 、 $\beta=-2.828$ となり、酸素濃度が着火遅れに及ぼす影響が大きいことが分かった。

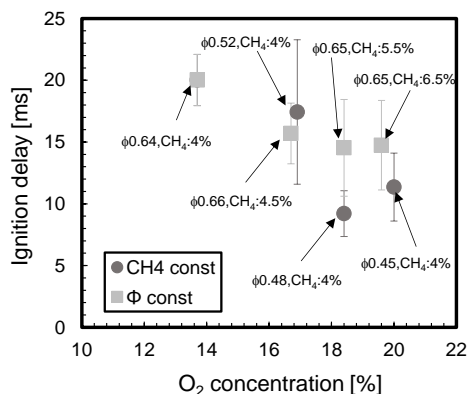


図4 酸素濃度を变化させた場合の着火遅れ

### 4. まとめ

メタン-空気予混合気を、パイロット噴霧着火方式で着火させた場合の着火遅れについて、メタン濃度、酸素濃度を变化させて実験を行った。その結果、メタン当量比を増加させると着火遅れが増加した。さらにメタン濃度、酸素濃度の影響度について調べた結果、酸素濃度の影響が強いことが分かった。

### 参考文献

- (1) Lifshitz, A., et. al., *Combustion and Flame*, 16, 311-321(1971)
- (2) Grillo, A., et. al., *Combustion and Flame*, 27, 377-381(1976)
- (3) 飯田訓正他, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.63, No.609(1997), pp.366-373.
- (4) Gupta, S. B., et. al., *SAE Paper*, No.2005-01-2189
- (5) Schlatter, S., et. al., *SAE Paper*, No.2012-01-0825