

Team Drop 予混合・液滴群の混相燃焼過程の基礎研究

研究者

吉田 直弘, 原口 茂則, 石田 善久

2002 研究概要

1. 研究目的

筒内直接噴射機関の燃焼機構の解明は、燃焼特性、有害物質の生成特性等の把握、燃料消費率の改善という観点から非常に重要であるといえる。しかし、これらの機関の噴霧燃焼に関しては、燃料の微粒化、燃料液滴の気相への分散、蒸発、混合気形成、燃焼が同時に進行しており、非常に複雑な現象である。また、微粒化された液滴は気相への分散、燃焼において酸化剤となる空気だけでなく周囲に存在する燃料蒸気や液滴との相互干渉を伴うためさらに複雑となっている。そこで、この複雑な噴霧燃焼の解明において、基礎的な研究から得られる知見が非常に重要である。

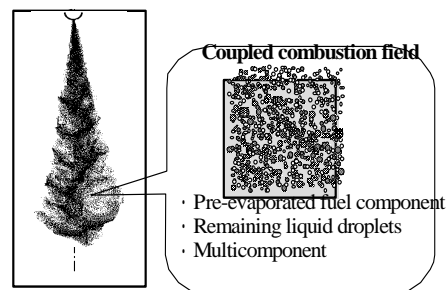


Fig.1 Spray combustion in Gasoline direct injection engine

噴霧燃焼場における噴霧構造は図1のようになっている。燃焼成分のうち低沸点成分が先に蒸発するため、低沸点成分による予混合気と高沸点成分の液滴群の混相状態で燃焼が行われている。現在までにも様々な手法で数多くの研究が行われているが、燃料性状の影響の比較はほとんど行われておらず、実際の噴霧燃焼場における条件を考慮すると、より微小粒径液滴において、燃料性状による影響の比較実験が必要である。

そこで本研究では、気液混相燃焼場における燃料性状の影響に着目し、定容容器内に予混合気・液滴混相場を形成し、雰囲気条件と気液混合割合を変化させて実験を行い、様々な気液混相状態における液滴燃料性状の燃焼過程への影響について知見を得ることを目的とする。

2. 実験手法

本研究では、気液混相場を模擬するために図2のような容器下部に超音波振動子を設置した定容容器を用いて燃焼実験を行った。燃焼容器内に任意の当量比に混合した予混合気を充填し、超音波振動子によって振動面に供給された液体を浮遊させ、容器上部に設置された点火プラグによって燃焼させた。なお予混合気の当量比は $amb=0.9, 1.1, 1.6$ の3種類とし、気体燃料には propane, 液体燃料には n-hexane, n-heptane, n-octane の3種類を用いた。それぞれの場合において直接撮影、シャドウグラフ撮影を行い、液滴の輝炎燃焼過程、火炎伝播機構を観察する。

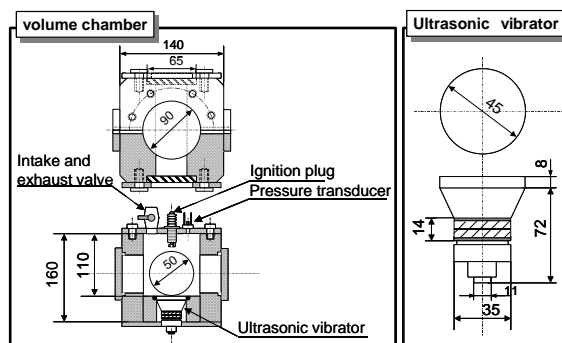


Fig.2 Schematic diagram of volume chamber and ultrasonic vibrator

3. これまでに得られた実験結果

1. 直接撮影による輝炎燃焼過程の観察

図2に総当量比2.5付近の各条件の直接撮影画像を示す。各条件における液体燃料性による差異に注目すると $amb=0.9$ の条件において、特に n-octane の場合では粒状の輝炎発光が強く、液滴の燃焼が活発に行われる。これは、予混合火炎伝播後にも高温の既燃ガスにさらされた未燃液滴が余剰酸素と反応して燃焼し、着火性が高い n-octane が特に粒状の拡散燃焼を形成しやすいためと考えられる。 $amb=1.1$ においては、わずかに n-octane の輝炎発光が強い傾向が見られる。しかし、0.9の条件とは異なり予混合燃焼の余剰酸素がないため、予混合火炎伝播後に液滴は燃焼されにくくなり燃料性状による差異があまり現れない。 $amb=1.6$ では、

n-heptane, n-hexane の場合では n-octane に比べ燃焼がより緩慢である。これは液体燃料の揮発性の差によるものと考えられる。

2. 気液混相燃焼場における火炎伝播機構の観察

シャドウグラフ撮影画像により得られた各燃料における火炎伝播面の伝播履歴により,各条件における火炎伝播速度の比較を行うために,平均火炎伝播速度を算出した。これにより得られた平均火炎伝播速度と全体当量比の関係を図3に示す。雰囲気当量比 $\phi_{amb}=0.9$ では,燃料液滴が噴霧されることにより部分的に量論当量比の領域が増え,また液滴が火炎伝播面からの熱の授受によって伝播面に先行して拡散燃焼することで各燃料とも予混合気のみでの伝播速度よりも高い値を示している。 $\phi_{amb}=1.1$ において各燃料とも予混合気のみでの伝播速度よりも高い値を示しているが,部分的に当量比が過濃となるため $\phi_{amb}=0.9$ の条件ほど差は生じていない。 $\phi_{amb}=1.6$ の場合は n-octane の条件のみ火炎伝播速度が速い。n-octane はその着火性が高いため $\phi_{amb}=1.6$ の雰囲気過濃条件においても伝播速度が速くなったものと考えられる。また $\phi_{amb}=1.6$ の条件において n-heptane を燃焼させた条件より n-hexane の条件の伝播速度が速い。これは着火にいたるまでの蒸発過程において,全体的に伝播速度の遅いこの雰囲気条件では液滴の伝播面からの受熱期間が増加するため,燃料の揮発性が燃焼に影響を与えやすくなっているためと考えられる。つまり, n-hexane の方が蒸発しやすいため,周囲気体に n-hexane 蒸気が拡散し,propane よりは着火しやすい n-hexane が選択的に着火・燃焼しているためと考えられる。

4. 結言

- (1) 雰囲気混合気濃度により拡散燃焼形態は大きく異なり,燃料性状による差によっても変化が生じる。
- (2) 火炎熱面伝播速度が雰囲気条件および燃料性状の影響を受け,予混合気のみ燃焼時の火炎伝播速度より高い値を示す時と低い値を示す時がある。

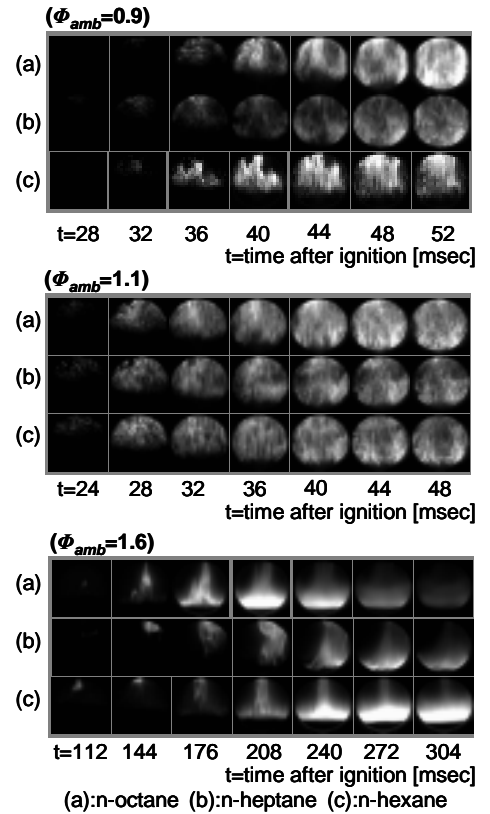


Fig.3 History of direct images

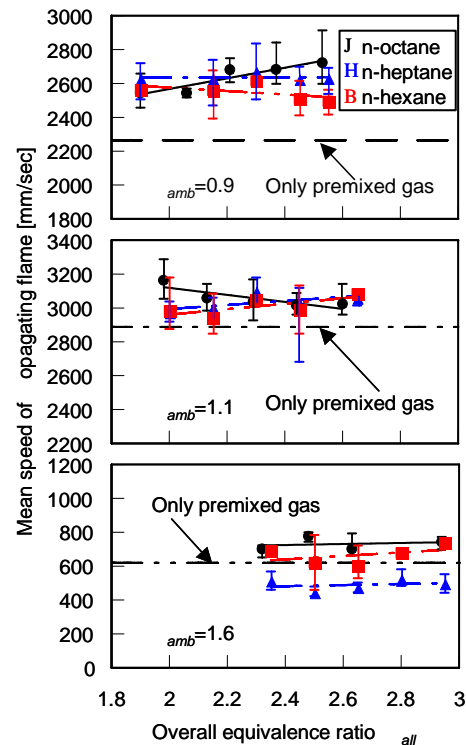


Fig.4 Effect of Overall Equivalence Ratio on Mean Speed of Propagating flame