613 高温高圧場におけるディーゼル噴霧の蒸発過程に関する研究

High Temporal and Spatial Photographic Study of Evaporating Diesel Sprays

○学 三村 勇樹 (徳島大学院)

正 木戸口 善行 (徳島大学)

正 三輪 恵 (徳島大学)

正 Ali MOHAMMADI (京都大学)

Yuki MIMURA, Yoshiyuki KIDOGUCHI and Kei MIWA

Tokushima University, 2-1, Minamijyousanjima-cho, Tokushima

Ali MOHAMMADI, Kyoto University

Key Words: Diesel spray, Evaporation, Atomization, Droplet

1. はじめに

直接噴射式ディーゼル機関では噴霧の微粒化及び蒸発が燃料と空気との混合を支配し、機関の性能及び排気物質の生成に大きく影響を及ぼす。このためディーゼル噴霧挙動に関する研究が行われ、非蒸発噴霧の挙動や構造について明らかになってきている。しかし、実際のディーゼル噴霧は高温高圧中に噴射されるため噴霧の蒸発過程を伴う。本研究では、高温高圧雰囲気中に噴射されたディーゼル噴霧の微細構造を明らかにすることを目的とした。実験は、急速圧縮装置⁽¹⁾により高温高圧場を形成し、雰囲気温度や噴射圧力を変化させてディーゼル燃料を単発噴射し、時間的空間的分解能を高くするためにナノスパーク光源を用いたナノ秒拡大撮影法を適用してディーゼル噴霧の蒸発過程を解析した。

2. 実験装置および方法

図1に本実験で用いた装置の概略図を示す。実験装置は急速圧縮装置、高圧燃料噴射装置、ナノ秒拡大撮影装置で構成される。高温高圧場は、急速圧縮装置で直径60mm幅20mmの噴霧室内に N_2 または $N_2 \cdot Ar$ 混合ガスを圧縮することにより形成した。噴射時の雰囲気温度、圧力は、圧縮比、圧縮前ガス温度、噴射開始時期を変更することによって設定した。この噴霧室内に、手動ポンプでアキュムレータに蓄圧されたJIS2号軽油を噴口径 $dn=0.18mm$ の単噴口ホールノズルにより噴射圧力 $Pinj=40$ および $100MPa$ で噴射した。噴霧の撮影には発光半値幅30nsのナノスパーク光源を用いたナノ秒拡大撮影装置を使用した。また、噴霧の全体像および液滴の挙動を観察するため、フィルム膜面倍率を1倍および3.5倍とし、噴霧の静止像を6×7版スチールカメラによって白黒フィルム上に記録した。

Fig. 1. Experimental apparatus

3. 実験結果および考察

はじめに、噴霧の蒸発に及ぼす噴射圧力の影響について調べた。図2は、雰囲気温度 Ti を蒸発の始まる $Ti=450K$ と、高温の $Ti=950K$ のもとで、噴射圧力 $Pinj=40MPa$ と $100MPa$ で比較した写真である。撮影時刻は、噴射量がほぼ等しくなるように $Pinj=40MPa$, $100MPa$ でそれぞれ噴射開始後 $t=1.0ms$ および $0.75ms$ とした。 $Ti=450K$ では、 $Pinj=100MPa$ のほうが噴霧下流部の広がりが大きくなり、濃度むらが少なく、均一な燃料分布になっていることが分かる。これは噴射圧力の増加により微粒化が促進されたためと考えられる。 $Ti=950K$ の写真では、いずれの噴射圧力においても噴霧中流付近から蒸発が見られ、噴霧先端付近の蒸発が活発である。特に高圧の $Pinj=100MPa$ では、噴霧先端の蒸気相の領域が広い。また、 $Ti=450K$ では噴霧下流部で高濃度の領域が広がっていたのに対し、 $Ti=950K$ では $Pinj=100MPa$ の高圧噴射になっても非蒸発部分である高濃度領域の広がりには $Pinj=40MPa$ の場合と大きく変わらない。

Fig. 2. Effect of injection pressure on spray structure and evaporation

ここで、蒸発の様子をさらに詳しく観察するため、図2に対して、ノズル先端からの距離 $z=40\sim60mm$ の拡大撮影を行った。図3にその写真を示す。 $Ti=450K$ の写真から、 $Pinj=40MPa$ では噴霧境界ではあまり蒸気が見えず、比較的大きな液滴が確認できる。一方 $Pinj=100MPa$ では噴霧境界に大きな液滴は見えず、局所的に蒸気が発生している。 $Ti=950K$

を見ると, $P_{inj}=40\text{MPa}$ でも蒸発が見られるが, 蒸気中に濃度の濃い部分が存在しており, $P_{inj}=100\text{MPa}$ では均一な濃度の蒸気相になっている。この高濃度の部分は液滴が完全に気化していない状態と考えられる。高圧噴射では生成する液滴の径が小さく, 高温の周囲空気の導入も活発なため, 蒸発が急速に進んで均一な蒸気相が形成されやすいと思われる。これらの結果から, 高圧噴射は液滴の微粒化によって速やかに燃料を蒸発させる効果があると考えられる。

Fig.3. Magnified photograph of spray tip at different temperatures

次に, 液滴が蒸発する様子を観察するため, 図2の四角で囲んだ部分に視野を固定し, 撮影時刻をずらして拡大撮影を行った。この部分は蒸気生成が始まる境目の部分で, これより上流は未蒸発の液滴が存在し, 下流は蒸気相が見られる。図4は $T_i=700\text{K}$ として噴射圧力を変化させたときの写真である。 $P_{inj}=40\text{MPa}$ ではすべての時刻において液滴が確認でき, 一部の液滴が蒸発しながら飛行し, 液滴後方に流線が観察できる。 $P_{inj}=100\text{MPa}$ を見ると, 液滴は $t=0.45\text{ms}$ でわずかに確認できるだけで, $t=0.55\text{ms}$ 以降は蒸発が活発でほとんど蒸気になっている。この結果より, 個々の液滴に注目することで噴射圧力の影響は明確になると考えられる。今後は液滴数や粒径の計測を行い, 定量的な評価を行う必要がある。

図5に, $T_i=950\text{K}$ における噴射終了後のノズル近傍の写真を示す。噴射終了後は噴射圧力が低下しているため大きな液滴が生成され, 蒸発せずに存在する。とくに $P_{inj}=40\text{MPa}$ では大きな液滴が見られる。このような液滴は不完全燃焼を起こしやすく, すずや未燃炭化水素の生成につながると考えられる。 $P_{inj}=100\text{MPa}$ では明らかに大きな液滴は減少しており蒸発が活発に行われていることが分かる。このことから, 高圧噴射は噴射終了後の液滴蒸発に対しても有効である。

Fig.4. Magnified photographs of evaporating droplets ($T_i=700\text{K}$)

Fig.5. Behavior of droplets after injection ($T_i=950\text{K}$)

4. まとめ

急速圧縮装置と拡大ナノ秒撮影法を用いてディーゼル噴霧の蒸発過程を調べた結果, 以下のことが明らかになった。

1. 高圧噴射によって, 高温高圧場における液滴の微粒化および蒸発が促進され, 噴霧下流では燃料蒸気相を含む噴霧の広がりが大きくなる。
2. 高温場の噴霧では, 非蒸発部分である高濃度領域の広がりは噴射圧力が高くなってもあまり変わらない。
3. 高圧噴射は噴射終了時の液滴の微粒化および蒸発に対しても有効である。

終わりに, 本研究にご協力頂いた本学学部生志和佑治氏に感謝の意を表す。

参考文献

- (1)三輪, ほか2名, 機論 B, 57-544 (1991), pp.4294-4299