

可視化ディーゼル機関を用いた非定常噴霧拡散燃焼場に関する研究

研究担当者

古東 文哉 柳本 祐 森 一広 久保 憲太郎 吉井 清敬

2001 年度 研究概要

研究背景および目的

ディーゼル機関の混合気形成過程および燃焼過程において支配的な物理的要因の一つとして、シリンダ内流動場における乱れの影響が取り上げられる。特にすす生成に深く関与するといわれる混合気形成過程においては、燃料液滴群の分裂開始から乱れの影響が現れ、可燃混合気形成過程にまで影響を及ぼす。したがって、これら乱流混合過程に関わる現象を詳細に把握することは高効率かつクリーンなディーゼル燃焼の実現につながる。

そこで本研究では、可視化直噴ディーゼル機関(Fig.1)を用い、ディーゼル機関における非定常噴霧拡散燃焼に及ぼす乱れの影響を解明することを目的とした。本報ではその第一段階として、非定常ディーゼル噴霧の混合気形成過程に及ぼす乱れの影響を解明するため、噴霧液滴の Mie 散乱画像に画像相関法を適用し、燃料液滴の挙動について解析した結果を報告する。

これまでに得られた研究結果

画像相関法による燃料液滴挙動の解析

燃料噴霧による混合気形成過程では、燃料液滴の分裂開始から乱れの影響が現れ、その後の可燃混合気形成にまで影響を及ぼす。そこで、高い時間分解能および空間分解能を持った画像相関法が注目されている。混合気形成に及ぼす燃料液滴の乱れの影響を解明するために、Mie 散乱結果に画像相関法を適用して燃料液滴の瞬間速度分布を示した。また、得られた瞬間速度分布からさらに詳細に乱れの影響を調べるために、渦度および乱れ強さを算出した。得られた結果を以下に示す。

瞬間速度分布(Fig.2)

着火時期前後の噴霧液滴挙動が、その後の燃焼過程に影響を与えると考え、上死点前 6° 、 4° 、 2° における Mie 散乱画像に画像相関法を適用し、噴霧内部の燃料液滴群の瞬間速度分布を求めた。いずれのクランク角においても噴霧中心軸付近では蛇行形状を示す壁面方向への強い速度ベクトルが確認できる。一方、噴霧外縁部では、さまざまな方向成分をもった微小な速度ベクトルが分布している。これは、噴霧中心軸上においては燃料液滴が噴射方向への運動量が保存されるが、噴霧外縁部では周囲空気との速度勾配の大きいせん断領域においてせん断作用を強く受け、燃料液滴は噴射方向への運動量を失い噴霧外縁部に滞留していくためと考えられる。

渦度および乱れ強さ(Fig.3)

瞬間速度分布では、噴霧内部における噴霧燃料液滴の流動状況は把握できるが、乱れに関する状況が把握できない。そこで、瞬間速度分布から、乱れの特性量である渦度および乱れ強さの空間分布を求め、噴霧内部に分布する乱れ渦の挙動について調べた。

渦度は噴霧中心軸上から少し離れた領域で高い値を示している。これは、比較的運動量が保持された噴霧中心軸上付近の噴霧液滴が、周囲空気との速度勾配が大きくなる領域において乱れ渦が生成され、この渦が周囲空気との混合を促進させていると考えられる。一方、乱れ強さに関しては渦度分布と異なり、噴霧中心軸上付近において高い値を示している。また、渦度分布からこの領域は正・負両方向の渦やそれらの境目が混在している。このため、噴霧中心軸付近で正・負両方向の渦の相互作用が働くことおよび不規則に燃料液滴の流れが存在することにより、強い乱れが生じたと考えられる。上死点前 2° つまり壁面衝突後に注目すると、壁面近傍において正・負両方向の比較的大きな渦度、および高い乱れ強さがスワール下流側に広範囲に分布している。これは、壁面衝突により運動量を失うと同時に、微粒化・蒸発した燃料液滴が、燃焼室内のスワール流動や噴射後期の噴霧の流れにより渦を生成して、乱れの影響を強く受けながらスワール下流側に流されたためと考えられる。

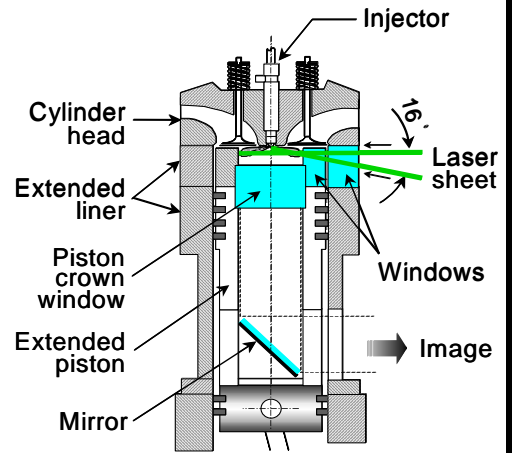


Fig.1 Schematic diagram of test engine

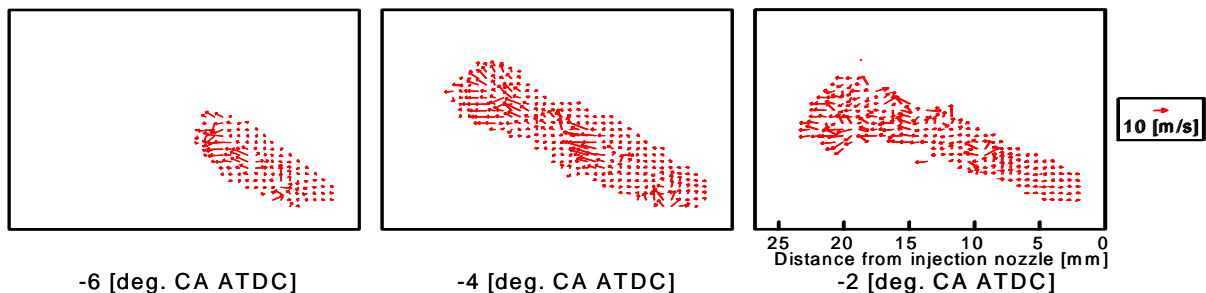


Fig.2 Temporal sequence of velocity vector

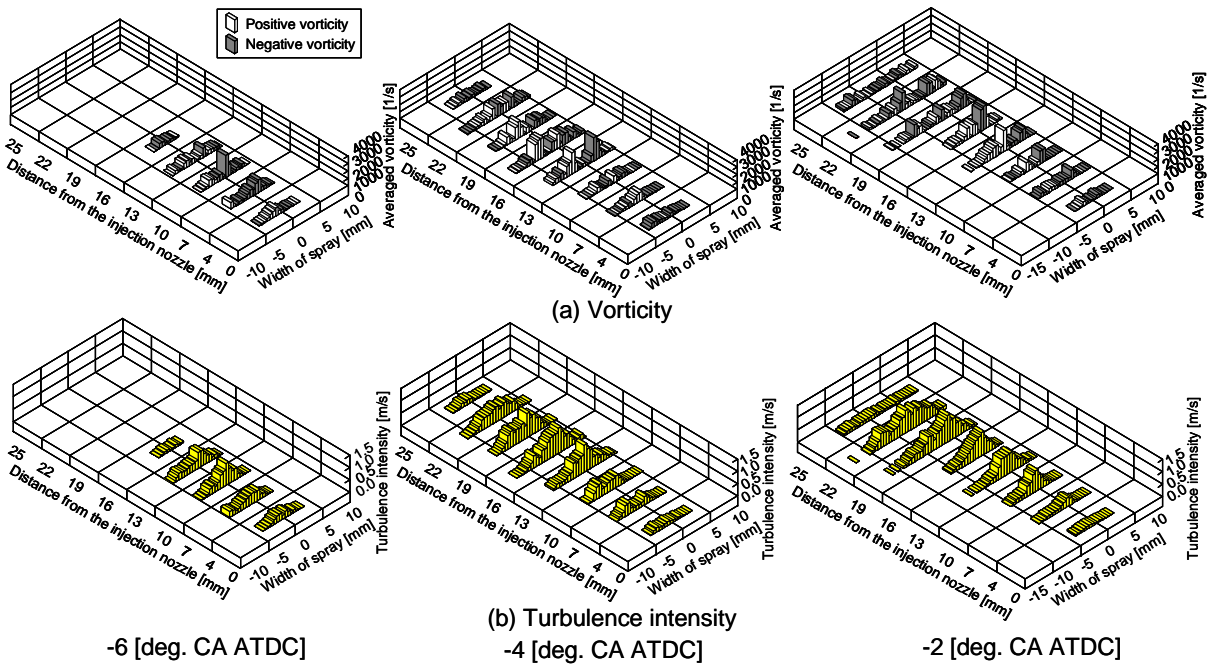


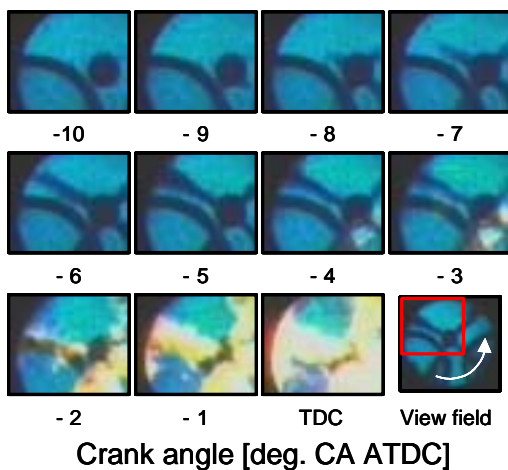
Fig.3 Spatial distribution of vorticity and turbulence intensity

レーザーシャドウグラフ撮影による燃料噴霧観察(Fig.4)

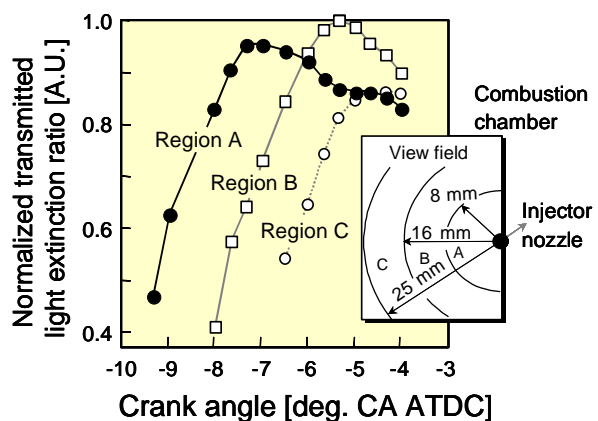
燃料噴霧と火炎を同時にとらえる手法として、レーザーシャドウグラフ撮影法が有効である。シャドウグラフ撮影法から得られる透過光減衰率は、非正常拡散噴霧燃焼場のような強い乱れ場では混合気体が空間的に不均一に分布するほど高くなる傾向を示す。本研究では、レーザーシャドウグラフ撮影結果から透過光減衰率の時間履歴を求め、混合気形成過程の中で燃料蒸気を含んだ混合気の混合状態を定性的に求めた。

噴霧初期の燃料噴霧は Mie 散乱法計測とは違い、スワールの影響を大きく受け、燃焼室壁面に到達する前にスワール下流方向へ流されている。噴射後期では、壁面付近において燃料噴霧が衝突することによって分散し、燃料蒸気がスワール下流側へ流されて、可燃混合気形成が促進される。

上死点前 7° 前後においてノズル近傍は最も早く透過光減衰率のピークに達する。これは、燃料噴射直後の高い運動量を持った燃料液滴が強い乱れの影響を受けて微粒化・分裂が進行し、他の領域よりも比較的早い段階で燃料噴霧内部の乱れ混合が進んだためと考えられる。輝炎が発生する上死点前 4° を見ると、透過光減衰率はどの領域でもほぼ一緒であるが、領域 A は他の領域より低い値を示している。したがって、可燃混合気が空間的により均一になっていく過程で着火が起こり、すすの生成に至ると考えられる。



a) Temporal Sequence of Shadowgraph Images



(b) Spatial dependence of fuel vapor distribution on ignition and initial soot formation

Fig.4 Shadowgraph images and temporal changes in transmitted light extinction ratio

今後の予定

- ・ シリンダー内部流動及び燃焼場における PIV 計測 (酸化チタン, 二色法)
- ・ すすの生成・酸化過程モデルの構築