

壁面に沿うディーゼル噴霧の挙動 (衝突した噴霧の評価)

Behaviour of Diesel Spray Penetrating along a Wall (Evaluation of Impinged Spray)

江原 拓末 (Takumi EBARA) 群馬大 (Gunma Univ.)	天谷 賢児 (Kenji AMAGAI) 群馬大 (Gunma Univ.)	新井 雅隆 (Masataka ARAI) 群馬大 (Gunma Univ.)
---	---	--

In this paper, behavior of diesel sprays impinging on an inclined wall was experimentally investigated in a pressurized vessel. In order to clarify the wall effect on a diesel spray structure, a relative angle of the inclined wall to the spray axis was varied. Spray penetration along the wall was observed optically and compared with that of a free spray. To evaluate various spray motion quantitatively, a spray path penetration which described a development of a spray tip along the wall was newly introduced. To observe an internal structure of the spray, it was visualized by a YAG laser sheet light and its tomographic image was captured on a film. The photo-image on a film was taken into an image analyzing computer using a high resolved image scanner. A high density zone in the tomographic image was extracted to clarify the internal structure of an impinging spray. The penetration along spray path of post-impingement spray was smaller than that of a free spray. Increase of an impinging wall angle caused a decrease of the slope of the linear relationship between spray path penetration and elapsed time from 1/2 (free spray) to 1/4 (vertically impinged spray) on logarithmic diagram. However, if the spray path penetration was measured from the impingement point and plotted on logarithmic diagram with an elapsed time from impingement, the spray path penetration on the wall increased with the root of this elapsed time, independently of the impinging wall angle. When the spray was impinging to a shallowly inclined wall, the high density zone of after impinging spray was very near to the wall. It seemed that the spray moved along the wall as a thin spray layer. When the spray was impinging deeply or vertically to the wall, the high density zone on the wall appeared apart from the wall surface.

Key Words : Diesel Spray, Wall Jet, Fuel Injection, Diesel Engine, Internal Combustion Engine

1. まえがき

直接噴射式ディーゼル機関における燃料噴霧の形成過程に関しては、これが燃焼状態や排出ガス特性に大きな影響を与えるために、これまでに多くの研究がなされてきた^(1,2)。その結果、小形機関の場合には、燃焼室の小容積化に伴い、壁面の干渉をさまざまな形で受ける噴霧の形成過程に関する研究の重要性が再認識されてきた^(3,4,5)。そこで本研究では、壁面に沿って成長する噴霧の一般的な性質を解明するために、噴霧と壁面との位置関係をさまざまに変え、それに沿って成長する噴霧の特性を調べている。前報⁽⁶⁾では、噴霧が壁面に浅い角度で衝突する場合を中心に先端到達距離、噴霧内濃度分布および噴射軸方向への最大濃度分布の変化を調べて噴霧の成長挙動や流動様式の変

化を調べた。壁面に浅い角度で衝突した噴霧の場合、壁面により渦の形成が抑制され先端部に高濃度の噴霧が残り、このため噴霧の成長速度の減衰が抑えられ、到達距離が長くなった。

本報では、噴射軸方向と横方向への噴霧成長距離を組み合わせ、様々な角度の壁面との衝突噴霧について、その成長挙動を1つのパラメータで統一的に記述できる噴霧軌跡長さを新たに定義した。この噴霧軌跡長さを用いて壁面と深い角度で衝突する噴霧の成長挙動を調べた。また、噴霧断面像より最高濃度点を抽出する画像処理法により、壁面との衝突による噴霧内部流動の変化を調べた。

2. 実験装置および方法

実験装置の概要を図1に示す。実験は常温高圧券

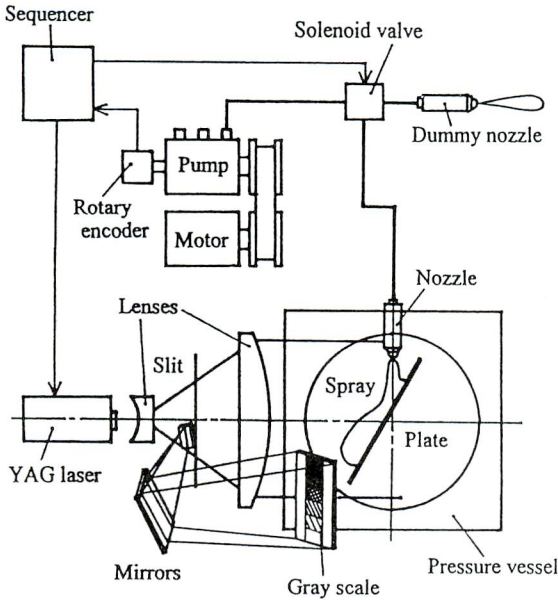


Fig. 1 Schematic view of experimental apparatus

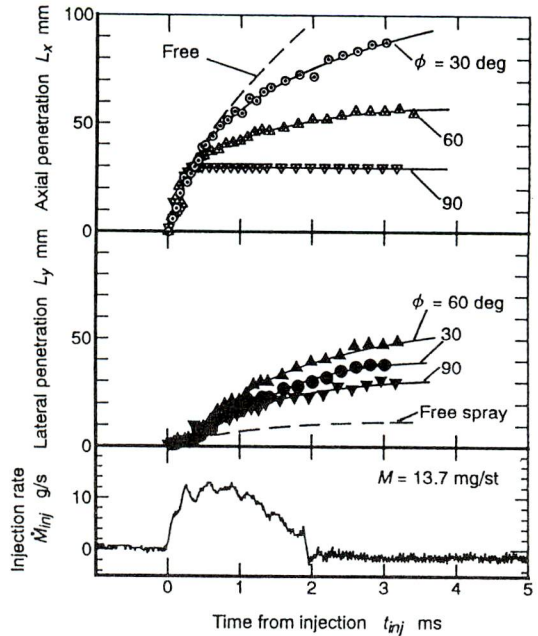


Fig. 3 Axial and lateral penetration of spray

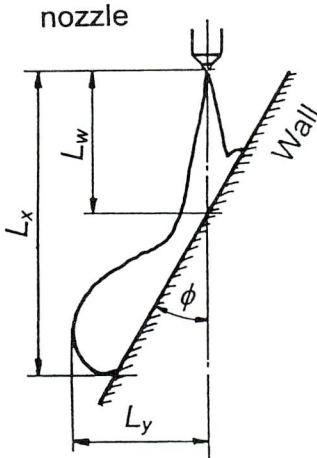


Fig. 2 Spray and wall parameters

囲気中で行い、噴射ノズルは前報と同様に開弁圧 19.3 MPa、噴孔長さ $L = 0.6$ mm、噴孔径 $D = 0.24$ mm で単孔のものを用いた。噴霧の内部構造を観察するためにレーザシート光を照射し、35 mm カメラで撮影した。得られた画像をコンピュータで処理した。

噴射ノズルと壁面との相対位置の詳細を図2に示す。ノズル先端を原点として噴射軸方向に x 軸、 x 軸に垂直で壁面と反対方向に y 軸を取った。壁面の傾きは、噴射軸上 $L_w = 30$ mm の点 ($x = 30$ mm, $y = 0$ mm) を中心に時計周り方向を正として ϕ を設定し、これを 10 deg から

90 deg 間で変化させながら実験を行った。 L_w はディーゼル噴霧の分裂終了時の長さにあわせて 30 mm とした。噴霧流動のパラメータとして x 軸方向および y 軸方向への最大到達点までの距離 L_x と L_y を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 噴霧先端到達距離

さまざまな ϕ の壁面衝突噴霧について L_x と L_y の時間変化を図3に示す。噴射率波形をあわせて示す。衝突前 ($L_x = 30$ mm, 噴射開始からの時間 $t_{inj} = 0.3$ ms) までは L_x や L_y に ϕ による違いは現れていない。 L_x は ϕ が大きくなるにつれて自由噴霧より小さくなる。 L_y は $\phi = 60$ deg の時に最大となり、この場合に噴射軸方向への運動量が横方向の運動量に最も有効に変換されていることがわかる。 $\phi = 30$ deg の噴霧と $\phi = 60$ deg の噴霧とを比較した場合、 L_x と L_y とで大小関係が逆転している。

3.2 噴霧軌跡長さ

このような噴霧成長挙動の評価法では噴霧先端の位置は正確に記述できるものの自由噴霧の先端到達距離と直接比較するのは困難である。これは、2つの異なる方向への到達距離を用いて噴霧流動を記述していることに起因する。そこで、新たに定義した噴霧軌跡長さ L_{path} を用いて1本の仮想的な噴霧先端の流動軌跡に沿って到達距離を測定した。

噴霧軌跡長さの定義図の概略を図4に示す。この軌

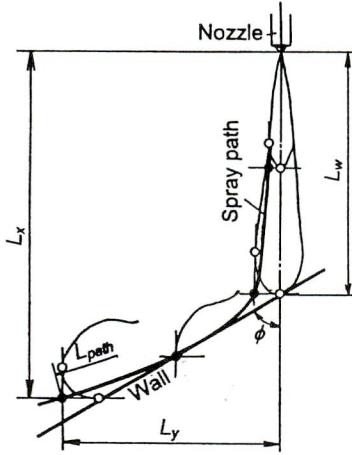


Fig. 4 Spray path

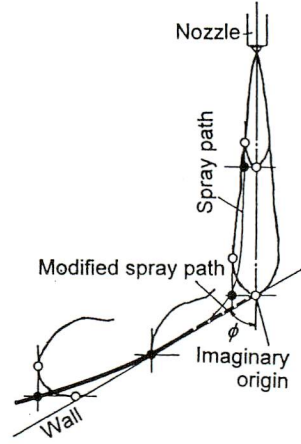


Fig. 6 Spray penetration modified by the imaginary origin

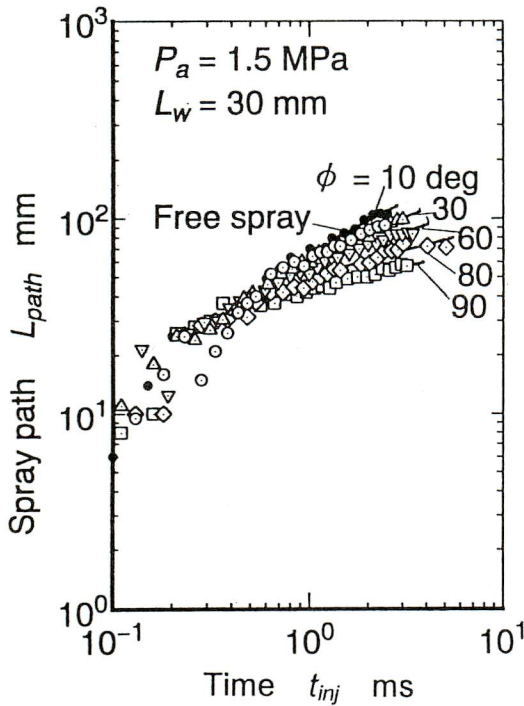


Fig. 5 Effect of wall angle on a spray path

跡は噴射軸方向および半径方向への到達距離(図中白丸で示す)を合成して得られた仮想的な噴霧先端(図中黒丸で示す)の変位を時間について積分することで得られる。微小時間 dt_{inj} における仮想的な噴霧先端の変位は以下の式で表される。

$$dL_{path} = \sqrt{(dL_x)^2 + (dL_y)^2} \quad (1)$$

噴霧軌跡はこの仮想噴霧先端の変位を以下のように時間について積分することで得られる。

$$L_{path} = \int_0^{t_{inj}} \sqrt{\left(\frac{dL_x}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dL_y}{dt}\right)^2} dt \quad (2)$$

これにより自由噴霧や壁面衝突噴霧, さらに, 壁面衝突前後の噴霧について, その成長挙動を1つのパラメータで統一的に評価することができる。この評価法は実際の噴霧形状にもとづいて計算したものではないが, 実質的な噴霧成長挙動を表していると考えられる。

さまざまな ϕ の壁面衝突噴霧についての L_{path} の時間変化を, 両対数グラフ上に整理したものを図5に示す。ここで, 時刻 t_{inj} は噴射開始からの経過時間である。自由噴霧の L_{path} は分裂完了までは t_{inj} に比例し, その後は t_{inj} の1/2乗に比例しており, 著者の一人が以前行った噴霧先端到達距離についての研究結果と一致している⁽⁷⁾。壁面に垂直に衝突する噴霧($\phi = 90$ deg)では壁面衝突($t_{inj} = 0.3$ ms)後の L_{path} が t_{inj} の1/4乗に比例している。また, $\phi = 30 \sim 80$ degの間では, その傾きは徐々に変化している。このような結果になったのは, 壁面衝突の前後で運動量が保存されていないためであると考えられる。

壁面への衝突によって噴霧の流動様式は大きく変化すると考えられるが, 図5では原点をノズル先端に固定しているために, 壁面への衝突前後の噴霧流動の変化を分離できない。そこで, 衝突後の噴霧成長挙動について注目するために噴霧軸と壁面との交点に仮想原点を設定し, 噴霧軌跡長さ L_{path} を調整した。すなわち, L_{path} および噴射開始からの時間 t_{inj} からノズルと壁面との間の距離 L_w および衝突までの時間 t_w を差し引くことで, 衝突後噴霧軌跡長さ \tilde{L}_{path} と衝突からの時間 \tilde{t}_{inj} を

以下のように生成した.

$$\tilde{L}_{path} = L_{path} - L_w \quad (3)$$

$$\tilde{t}_{inj} = t_{inj} - t_w \quad (4)$$

噴霧軌跡長さの調整の概略図を図6に示す. 仮想原点は噴霧軸と壁面との交点に設置され, 破線以降の噴

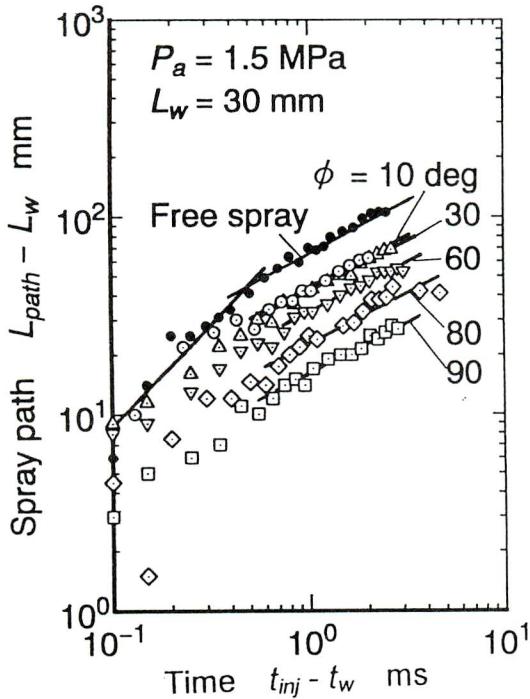


Fig. 7 Effect of wall angle on a modified spray path

霧軌跡は衝突後の噴霧成長挙動を表している.

衝突壁面の角度を変化させた場合の衝突後噴霧軌跡長さを図7に示す. 図中には, 自由噴霧の噴霧軌跡長さ($\tilde{L}_{path} = L_{path}$)もあわせて示す. 壁面衝突噴霧の衝突後噴霧軌跡長さ \tilde{L}_{path} はいずれも自由噴霧の L_{path} よりも小さく, 衝突壁面角度 ϕ が大きくなると \tilde{L}_{path} が小さくなる. また, \tilde{L}_{path} はいずれの場合も衝突からの時間 \tilde{t}_{inj} の1/2乗に比例しており, 壁面衝突点を仮想原点と考えれば, その後の噴霧成長挙動の時間依存性は自由噴霧と同様である. これは, 壁面衝突後のみを考えれば噴霧の持つ運動量は保存されていることを示している.

3.3 ディーゼル噴霧の内部構造

壁面と深い角度で衝突する噴霧の内部構造を詳しく解析するために前報と同様の画像処理を行った. すなわち, 周囲気体との混合による噴霧濃度の減衰を壁面に沿って評価するために, 壁面のそれぞれの位置における法線方向の画像濃度分布の最大値 I_{pmax} を壁面に沿ってプロットした. この画像濃度は噴霧によるレーザー光の散乱光強度を表している. 散乱光強度は粒径の6乗に比例するため, 一般的に, 散乱光強度が最大である領域が濃度が最大であるとは限らず, 大粒径の燃料液滴が存在している場所である可能性も考えられる. ここでは, 粒子径に空間的な変化が少ないと仮定し, 画像濃度の分布が噴霧内燃料濃度をよく表しているものとして解析を行った. 以下では, これを単に最高濃度点と呼ぶ.

噴霧軸に沿った噴霧の最大濃度を図8に示す. 自由

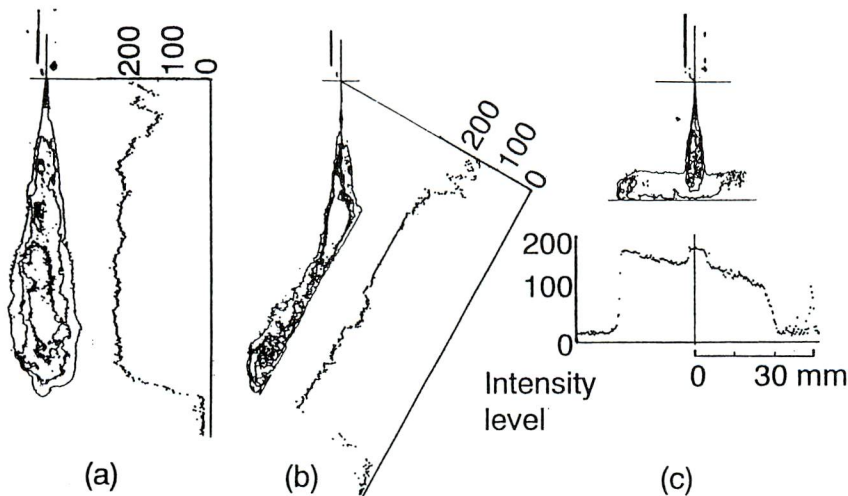


Fig. 8 Internal structure of spray ($t_{inj} = 1.5$ ms)

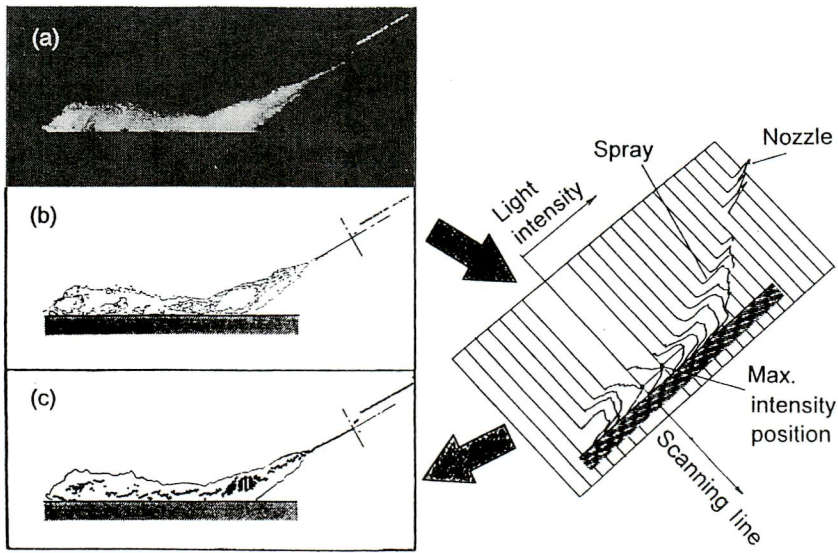


Fig. 9 Image analysis to obtain main components of spray

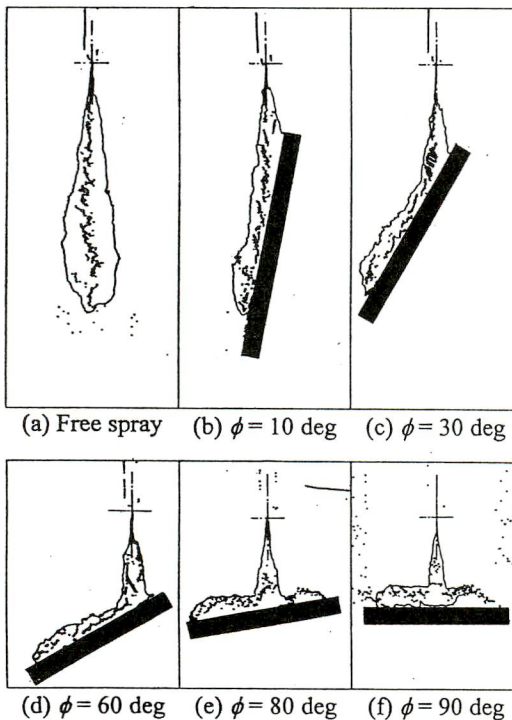


Fig. 10 Effect of wall angle on main components of spray

噴霧の場合(a)で見ると、噴霧先端において画像濃度の勾配が存在し、噴霧の進行方向への拡散を示している。壁面と $\phi = 30$ degで衝突する噴霧(b)では自由噴霧

に比べて先端付近に高濃度の領域が存在している。衝突直後の領域では噴霧最高濃度に大きな変化は生じていない。垂直衝突の噴霧(c)でも先端付近に高濃度領域を形成している。ただし、噴霧最高濃度分布はレーザーシート光の噴霧による減衰を考慮すればレーザーシート光入射側から反対側まで直線的に減少しており、このグラフからは衝突後の噴霧内最高濃度分布はほぼ均一であることがわかる。

次に、壁面に衝突する噴霧構造の骨格を抽出する画像処理を行った。すなわち、前述の最高濃度が得られる点の分布をプロットした。処理の過程を図9に示す。噴霧の領域のみを抽出するために、コンピュータに取り込まれた画像データより壁面からの散乱光を数値的に除去した。すなわち、噴射ノズルとの位置関係より噴霧と壁面との境界線を決定し、この線より壁面側(図9(a)では下側約1/3)の画像濃度を、散乱光の全くない状態を表すゼロとした。この方法では噴霧領域と推定される範囲や壁面近傍の高輝度部分のデータを修正することなく、後の画像処理に及ぼす壁面からの散乱光の影響を除去できる。この処理を行った噴霧写真を(a)に示す。(a)中の画像濃度から図1に示したグレースケールの画像濃度をそれぞれ基準として等濃度線を抽出した(b)。さらに、噴霧の高濃度部分の分布を明らかにするために壁面のそれぞれの位置における法線方向の画像濃度分布の最大値の位置を求める処理を行った(c)。この処理の詳細を図中右側に示す。これにより噴霧中における最高濃度点の相対位置が明らかになる。図中斜線部は壁面を示し、ノズル先端を示すために補助線を追

加してある。また、(c)の図中実線は噴霧外縁を示す。

壁面の傾き角 ϕ をさまざまに変えながら噴霧の壁面と垂直線上における画像濃度の最高点の位置をプロットしたものを図10に示す。噴射開始からの時間 t_{inj} は1.5ms、 L_w は30mmで一定としてある。なお、自由噴霧(a)については噴射軸に垂直な線上における最高濃度点をプロットしてある。自由噴霧(a)の場合は多少蛇行しながらも、ほぼ噴射軸にそって最高濃度点が存在している。 $\phi = 10$ degの噴霧(b)では、壁面に近い位置で壁面に沿って最高濃度点が存在している。それに対して $\phi = 80$ degの噴霧(e)では最高濃度点は噴霧が壁面に衝突した直後から壁面から離れた位置に存在し、噴射軸の左側については噴霧の外縁に近い。また、噴射軸右側には等濃度線が現れていないが、最高濃度点の分布は噴霧写真の外形線にほぼ一致しており、やはり壁面からは離れている。壁面衝突噴霧内においては、壁面からの巻き上げがおこり、壁面上の外縁部に液滴濃度が高い部分が生じるとされている⁽⁴⁾。今回測定された噴霧外縁の高濃度領域はこの巻き上がり渦の上面を捉えたものと考えられる。このように最高濃度点に関する評価はレーザ光の減衰が避けられない断面写真の解析においては有効な手法であるといえる。噴霧が壁面に垂直に衝突する場合(d)にも(e)と同様最高濃度点は壁面から離れた位置に存在している。また、噴射軸の左右で最高濃度点の分布はかなり対称性のよいものになっている。(c)、(d)の噴霧では(b)と(e)の中間的な変化を示しており、最高濃度点が噴霧先端付近で壁面から離れている。

4.まとめ

壁面に衝突するディーゼル噴霧の流動特性を明らかにするために、常温高圧ふん囲気中の噴霧の断面写真を撮影した。さらに、噴霧の成長特性の評価と噴霧構造の骨格の観察を行うために、それぞれ噴霧軌跡長さ L_{path} と噴霧骨格を新たに導入し、測定した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 壁面に衝突する噴霧の成長特性をさまざまな衝突角度について1つのパラメータで統一的に評価できる噴霧軌跡長さ L_{path} を定義した。
- (2) 噴霧が壁面と衝突する角度を増加させていくと、 L_{path} と時間の関係は自由噴霧の場合の1/2乗から垂直衝突の場合の1/4乗へと順次変化する。
- (3) 衝突後の成長挙動に注目するために、壁面との衝突点を仮想原点として噴霧軌跡長さを修正した。修正した噴霧軌跡長さは衝突角度に関わらず、自由噴霧と同様に衝突した時刻を基準とした時間の1/2乗に比例する。
- (4) 浅い角度で壁面に衝突する噴霧では、噴霧内の壁面に近い位置に最高濃度領域が存在している。
- (5) 深い角度で壁面に衝突する噴霧では、最高濃度点が壁面から離れて噴霧の外縁付近に存在する。

参考文献

- (1) 廣安博之, 新屋謙治, 和食靖, 新井雅隆, 角田敏一: ディーゼル燃焼に及ぼす渦流の影響について, 機論, 48-431, B(1982), 1402-1410.
- (2) 小西克亨, 佐藤順一, 岡田博: ディーゼル噴霧の粒径分布, 機論, 56-523, B(1990), 874-879.
- (3) 坂根篤, 浜本嘉輔, 住本哲広: 壁面に衝突する噴霧の挙動, 機論, 54-503, B(1988), 1861-1865.
- (4) 桂直仁, 斎藤昌弘, 千田二郎, 藤本元: 壁面衝突ディーゼル噴霧の性状(その2), 機論, 56-521, B(1990), 227-234.
- (5) 常本秀幸, 石谷博美, 若松俊告, 田中隆幸: ホールノズルにおける壁面衝突噴霧の発達過程, 自技論, 27-2(1996), 39-45.
- (6) 江原拓未, 天谷賢児, 新井雅隆: 壁面に沿うディーゼル噴霧の挙動(壁面に浅い角度で衝突する噴霧), 微粒化, 5-3(1996), 21-29.
- (7) 新井雅隆, 廣安博之: ディーゼル噴霧内の液滴速度(第1報, ノズルの流量係数と速度の減衰過程), 微粒化, 1-2-2(1992), 40-47.



江原拓未
群馬大学大学院工学研究科
群馬県桐生市天神町 1-5-1
Tel.0277-30-1522
Fax.0277-30-1521
略歴：群馬大学大学院工学
研究科博士後期課程
在籍
壁面の干渉を受けるディーゼ
ル噴霧，ディーゼル噴霧のモ
デリングに関する研究



天谷賢児
群馬大学・工学部・助手
群馬県桐生市天神町1-5-1
Tel. 0277-30-1523
Fax. 0277-30-1521
略歴：1992年 東北大学
大学院工学研究科
博士後期課程修了
主として微粒化のモデリン
グ，微粒化機構，ディーゼ
ル噴霧に関する研究



新井雅隆
群馬大学・工学部・教授
群馬県桐生市天神町1-5-1
Tel. 0277-30-1522
Fax. 0277-30-1521
略歴：1977年 東北大学
大学院工学研究科
博士後期課程修了
主として微粒化機構，ディー
ゼル噴霧，低重力・高重力場
での熱伝達，高温燃焼に関す
る研究