多噴孔VCOノズルの噴霧構造*

大 西 浩 之** 吉 田 哲 哉**
有 福 孝 智*** 角 田 敏 一****

Structure of Diesel Spray Discharged from Multi-Hole VCO Nozzle

By Hiroyuki OHNISHI, Tetsuya YOSHIDA, Takatomo ARIFUKU, Toshikazu KADOTA

An experimental study was performed on the structure of a diesel spray at the initial stage of fuel injection. The nozzle tested was multi-hole valve cut orifice (VCO) nozzle. The experimental procedure consisted of illuminating the fuel spray by a stroboscope at an arbitrary instant and observing the image of the various sections of the fuel spray by a VTR set. Spray tip penetration and spray angle were measured under various back pressures ranging from 0.1 Mpa to 3 Mpa. The results showed that the fuel sprays were classified into solid cone, hollow and mixed type. The structures of each type of fuel sprays were clarified. The spray tip penetration of the solid cone spray and the solid cone portion in the mixed type sprays increased with time in the same way and that of the hollow cone spray showed a maximum at 0.4 ms. The spray angle of the solid cone spray increased with back pressure.

1. 緒 言

ディーゼル噴霧の構造に関する研究は、これまで噴霧到達距離などを中心に数多くなされており、最近では畔津ら¹⁾はミー散乱法により、また、津江ら²⁾はEXCIPLEX法を用いて噴霧構造の詳細な解析結果を発表している。しかし、それらの多くはサック容積を有する単孔ノズルからの噴霧に関するものであり、未燃炭化水素の低減に有効であると言われているサック無しのバルブカットオリフィス（以下VCO）ノズルからの噴霧についてはあまりなされていない。実機に用いられている多噴孔VCOノズルから噴出する噴霧については、噴孔ごとに噴霧形態が異なる³⁾とか、噴孔間の噴出遅れが大きく、かつ噴出順序によって噴霧形状が異なる⁴⁾など、その

噴霧挙動はある程度明らかにされているが、噴霧構造の詳細を明らかにした研究はほとんど報告されていない。

本研究では、5噴孔VCOノズルから噴出する噴霧にシート状のストロボスコープ光を照射して、異なる時間における噴霧の断面写真を撮り、噴射初期の噴霧構造を調べた。また、種々の背圧における噴霧の到達距離および噴霧角を測定した。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略を示す。燃料（軽油）はタンク⑤からプランジャ径9.5mmのボッシュ形燃料噴射ポンプ⑥を経て4本の燃料噴射ノズルに供給されるが、その内の1本は直径180mmの観察窓を有する内径508mm、長さ650mmの圧力容器⑨内に導かれている噴射管⑧に取り付けられている。燃料タンクとポンプの途中に設けたビュレット④により、燃料流量を計測した。また、圧力変換器⑦の示すノズル入口噴射管内圧力は、アンプ⑬を経て記録計⑮によって

*原稿受付 平成5年4月9日

平成4年秋季学術講演（平成4年11月11日）

**正会員 広島商船高等専門学校（広島県豊田郡東野町）

***いすゞ自動車㈱（藤沢市土棚）

****正会員 大阪府立大学（堺市学園町）

図1 実験装置

計測した。燃料噴射ポンプ⑥とモータ①を結ぶフランジに設けた金属フィンと2個の電磁式回転検出器②および③とを組合わせて時間遅れ装置が構成され、ストロボスコープ⑩または0.2 mmのスリットを設けたストロボスコープ⑫の発光時期を調節する。時間間隔は、ユニバーサルカウンタ⑭により5 μ s以内の精度で計測される。なお、ストロボスコープの閃光時間は2.1 μ sとし、また、圧力容器の加圧には窒素ガス⑮を用いた。

主な実験方法は、電磁式回転検出器③の位置を変化させることにより、任意時刻においてストロボスコープを発光させ、圧力容器内に噴出した噴霧の映像をビデオカメラ⑪を用いて撮影することである。ノズル中心線を含む噴霧断面にスリット光を照射して構造を調べる実験は大気圧下で行ない、噴霧到達距離および噴霧角はストロボスコープを前面観察窓から照射し、圧力容器内の背圧を種々変えて計測し

図2 燃料噴射ノズル

た。なお、燃料ポンプのラック位置は固定し、ポンプ回転数500rpmについて測定を行った。ノズル4本分の燃料流量は、6.30 (l/h)であった。

図2は、供試した5噴孔VCOノズルの構造を示す。本実験では、噴孔の口径、長さ l およびノズル中心線と噴孔軸のなす角として定義される噴射角 α が等しいノズルを用いた。使用したノズルの開弁圧は、20.6 MPaに調節してあり、また、最大針弁リフトは0.31mmである。

3. 実験結果および考察

図3は、供試ノズルから噴出する噴霧の異なる時刻における写真を示す。図のように噴孔ごとに種々の形状の噴霧が噴出し、噴霧到達距離の大きい中実形の噴霧、噴霧角の大きい中空形の噴霧および両者の特性を合わせ持つ噴霧が存在していることがわかる。図4はこのような噴霧を模式的に示したものであり、(a)中実円錐形噴霧、(b)中空円錐形噴霧および中空円錐形と遅れて噴出した中実円錐形によって形成された(c)混合形噴霧の3つの種類に分類した。

図5は、ストロボスコープ光を0.2 mmのシート状にして撮影した中実円錐形噴霧の噴出後の任意時間 t における縦断面写真を示す。 $t=0.1$ msにおいて、噴霧上流域は円錐形を示すが、下流域は塊状となる。 $t=0.2$ msにおいては噴霧中心軸をほぼ垂直に横切る数本の縞模様が現われる。 $t=0.3$ msにおいてはこの縞模様は最も下流側で木の枝状の縞模様になり、それに続く上流側では斜めの縞模様に変化して、縞の幅は広くなる。 $t=0.4$ msにおいては木の枝状の縞模様を境にして最下流域が上流域から離れて槍先状を示し始めるとともに上流域の噴霧中心部は噴霧中心軸に沿って蛇行し始める。 $t=0.5$ msにおいては槍先状の構造は更に顕著になり、最下流域の外縁部は枝状の構造を示し、また、蛇行している上流域の下流付近には木の枝状の縞模様が認められ、次の枝状構造の形成を示している。このようなVCOノズルの噴霧構造は、サック部を有する単孔ノズルの噴霧構造^{1), 2)}ともほぼ一致しており、中実円錐形噴霧の構造におよぼすサック部の影響はあまりないものと推察される。図6は、 $t=0.4$ msの中実円錐形噴霧について輝度を8段階に分けて画像処理したものであるが、上流域の噴霧中心部の蛇行の様子が明らかである。なお、図の左側のノズル出口付近において輝

図3 噴霧写真
(0.1Mpa, 500rpm)

図4 噴霧模式図

度が低くなっているのは、シート光の強度が弱いためである。

図7は、最初中空円錐形で噴出した噴霧が時間の経過とともに混合形噴霧へ移行する様子を示す縦断面写真である。これらの写真より、中空円錐形噴霧の噴出後 $t=0.1\sim0.2$ msの間に中実円錐形噴霧（以後混合中実円錐部あるいは中実円錐部）の噴出が始まり、この中実円錐部の噴出によって中空円錐形噴霧は噴孔から離れ、中実円錐部に付着しながら混合形噴霧を形成していく様子がわかる。また、 $t=0.1$ msおよび 0.2 msの写真から、中空円錐形噴霧については、噴霧周辺部に燃料が偏在し、内部の燃料濃度が極めて低いことがわかる。なお、混合中実円錐部も、図5に示す中実円錐形噴霧とほぼ同じ構造を示している。

図5 噴霧断面写真（中実円錐形）
（0.1Mpa, 500rpm）

図8の噴霧モデルにおいて噴霧到達距離 S はノズル出口から噴霧先端までの距離を示し、噴霧角 θ は中実円錐形噴霧（混合中実円錐部を含む）および中空円錐形噴霧とも、噴孔から最大幅 B までの距離 L を用い、式(1)から求めた。

$$\theta = 2 \tan^{-1} (B/2L) \quad (1)$$

S は連続して噴出した10個の噴霧の平均値を用い、変動幅は最大 $\pm 8\%$ であった。また、 x を噴霧軸方向距離、 r を x における噴霧外端半径方向距離として、噴霧体積 V を式(2)により求めた。

$$V = \int_0^2 \pi r^2 dx \quad (2)$$

図9は、中実円錐形噴霧の S と t の関係を各背圧 P_B について示したものである。 P_B の増加とともに S は小さくなるが、その発達状況は背圧に関係なくほぼ同じ傾向を示す。また、 $P_B = 2$ および 3 MPaにおける S の値は、単孔ノズルについてなされている神本ら⁵⁾の結果と $t=0.8$ ms付近ではほぼ一致している。

図10は、初め中空円錐形として噴出し、その後混合形へ移行した噴霧の S と t の関係を各 P_B について示したものである。図において破線は中空円錐形、実線は遅れて噴出した中実円錐部を示す。図より $t=0.25\sim0.30$ msにおいて、中空円錐形および中実円

図6 等輝度分布（中実円錐形）
（ $t=0.4$ ms）（0.1Mpa, 500rpm）

図7 噴霧断面写真（混合形）
（0.1Mpa, 500rpm）

錐部のSはほぼ等しくなり、以後中実円錐部のSは発達していくが、中空円錐形噴霧のSは $t=0.4$ ms付近で発達ที่止まることかわかる。なお、大気圧下における中空円錐形噴霧のSは、背圧が高い場合のほぼ2倍近くに達している。中実円錐形噴霧と混合中実円錐部のSを比較したところ、両者はほぼ同じ傾向で発達していることがわかった。

図11は、中実円錐形噴霧の θ と t の関係を示したものである。図より θ は、 P_B が増加するに従って大きくなり、 t とともにやや減少傾向を示した。図12は、混合形噴霧の θ と t の関係を示したものである。

図8 噴霧モデル

図9 噴霧到達距離（中実円錐形）

る。中空円錐形噴霧の θ は、 $50 \sim 60^\circ$ の範囲にあり、混合中実円錐部の θ は $P_B = 1 \sim 3$ MPaにおいて中実円錐形噴霧の θ とほぼ同じ値になるが、 $P_B = 0.1$ MPaにおいては $t=0.4$ ms付近から中実円錐形噴霧よりも大きくなった。

図13は、大気圧下で噴出した中実円錐形噴霧および混合中実円錐部のVと t の関係を示したものである。両者は初めほぼ同じように増加するが、 $t=0.5$ ms付近から混合中実円錐部が急激に増加していく。これは大気圧下で混合中実円錐部の θ が、 $t=0.4$ ms付近から中実円錐形噴霧の θ より大きくなることと対応しており、Vは θ に大きく影響されることを示している。

4. 結 言

以上のように5噴孔VCOノズルから噴出する噴霧にシート状のストロボスコープ光を照射して、異

図10 噴霧到達距離（混合形）

図11 噴霧角（中実円錐形）

図12 噴霧角（混合形）

なる時間における噴霧の断面写真を撮って噴射初期の噴霧構造を調べ、また、種々の背圧における噴霧到達距離および噴霧角を測定し、次の結果を得ることができた。

(1) 中実円錐形噴霧の最下流部は、本研究が対象とした噴霧では噴出後およそ0.4 msで槍先状を示し、外縁部は次第に枝状構造に変化していくが、上流域の下流付近にも同様の傾向がみられた。

(2) 中空円錐形噴霧は、遅れて噴出した中実円錐部に付着しながら噴孔から離れ、混合形噴霧を形成する。

(3) 中実円錐形噴霧および混合中実円錐部の到達距離は、ほぼ同じ傾向で発達する。

(4) 中空円錐形噴霧の到達距離は時間とともに増大し、本研究が対象とした噴霧では噴出後およそ0.4 msで一定となる。

(5) 背圧が上昇すると、本研究が対象とした中実円錐形噴霧の噴霧角は大きくなり、また、時間経過とともにやや減少傾向を示す。

図13 噴霧体積

(6) 混合中実円錐部と中実円錐形噴霧の体積は、本研究が対象とした噴霧では噴出後0.4 msまでは同じであるが、それ以後は混合中実円錐部が大きくなる。

終りに実験の協力者である広島商船高等専門学校技官底押金吾、日本スピンドル製造(株)上川健二、三井造船(株)倉岡一朗、日新電機(株)高田茂之の各氏に感謝します。

文 献

- 1) 畔津, ほか3名, 第8回内燃機関合同シンポジウム 講論, (1990), 39
- 2) 津江, ほか3名, 第10回内燃機関合同シンポジウム 講論, (1992), 61
- 3) 飯山, ほか3名, 第9回内燃機関合同シンポジウム 講論, (1991), 409
- 4) 大西, ほか3名, 第10回内燃機関合同シンポジウム 講論, (1992), 355
- 5) 神本, ほか2名, 機論, 41-342 (1975), 672