

論文

トラック用ディーゼル機関の低速度域スモークに
対する一考察^{*1}岡崎 透^{*2}, 伊藤 昇平^{*2}, 東 篠重樹^{*2}, 藤谷 宣之^{*2}

AN ANALYSIS ON LOW SPEED SMOKE OF DIESEL ENGINE

Toru OKAZAKI, Shohei ITO, Shigeki TOJYO and Nobuyuki FUJITANI

A difference of smoke emission was observed at low engine speed with two types of nozzle tip shape, and the cause was studied. It is estimated that the smoke emission is reduced by the improvements of spray shape and droplet size owing to higher fuel velocity in the nozzle orifice, which is affected by the nozzle tip shape.

Key Words: Nozzle Tip Shape, Fuel Velocity, Spray Improvement, Smoke Reduction

1. 緒言

一般にディーゼル機関のスモーク排出量低減には、燃料噴射ノズルへの高圧圧送による噴霧の微粒化が有効であり、これまで数多くの研究がなされている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。また、燃料を圧送する噴射ポンプの高圧化を追求する一方で、圧送圧力を増大させない条件でのスモーク低減技術の積み上げも必要とされている。

本研究では、機関の低速度域において、ノズル先端形状の違いによりスモークが大幅に異なる現象を捕え、このスモーク量の差の原因解明を行なったものである。その結果、低速度域において同一噴射ポンプでノズル先端形状を変えることにより、噴孔内部の噴流速度が上がり、噴霧

の微粒化が促進されることがわかったので報告する。

2. 試験装置

供試機関及び噴射装置の概要を表1に示す。供試機関は6気筒、無過給の直接噴射式ディーゼル機関であり、噴射ポンプはBosch式A型ポンプを用いた。ノズルは開弁圧とノズルのニードルリフト量を2段階(例えば1st = 0.07mm, 2nd = 0.07+0.23mm)に設定できる2段開弁型⁽⁴⁾のBosch式DLL-Sノズルであり、図1に示すようにノズルボディ内部のシート部近くの面取りが、

- 1) 無い場合(Aノズルと呼ぶ)
- 2) 有る場合(Bノズルと呼ぶ)

の2種類にて試験を行なった。この場合、A, Bノズルでは図2に示すように一定圧力下での流量特性(本研究では圧力10MPa, 以後この特性を油圧流量特性と

*1 平成6年3月15日原稿受付

*2 日本電装(株)ディーゼル噴射技術部
〒448 愛知県刈谷市昭和町1-1
TEL 0566-25-8640

呼ぶ) が異なる. B ノズルでは, 特に
ニードルリフトが小さい領域 (1st. リフト
0.07mm 近傍) で A ノズルの場合より流量
が大きい.

Table 1 Engine and Injection
Equipment Specifications

Engine	6 Cylinder, Direct Injection Natural Aspiration		
Fuel Injection Equipment	Pump	Type	Bosch-A
		Plunger Dia	φ10mm
	Injection Line	Cam Lift	10mm
		Inside Dia	φ2mm
	Nozzle	Length	491mm
		Type	Bosch DLL-S
		Opening Press	1st. 18MPa 2nd. 28MPa
		Needle Lift	1st. 0.07mm 2nd. 0.3mm
Orifice Dia	φ0.25mm×6		

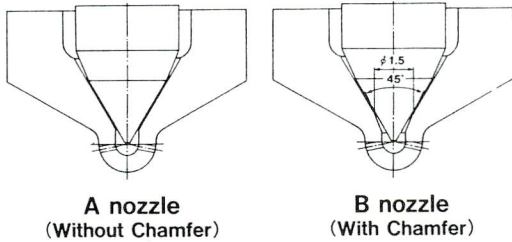


Fig. 1 Nozzle Configurations

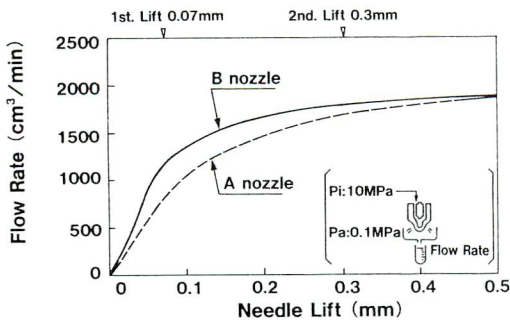


Fig. 2 Flow Rate Characteristics

3. 実験結果

3. 1 エンジン性能

A, B ノズルでの全負荷条件におけるスモーク量の差を図3に示す. B ノズルの場合低速度域, 例えば機関回転速度 $N_e=600\text{rpm}$ において A ノズルの場合よりもスモーク量が大幅に減少した. この点における熱発生率の比較を図4に示す.

B ノズルの場合, 初期燃焼, 拡散燃焼とも A ノズルの場合よりも活発であることがわかる. そこで, この低速度域にて生じたスモーク差についてさらに検討をするため燃料噴射系の諸特性を調査した.

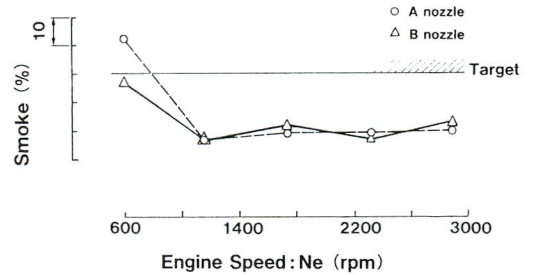


Fig. 3 Smoke Data

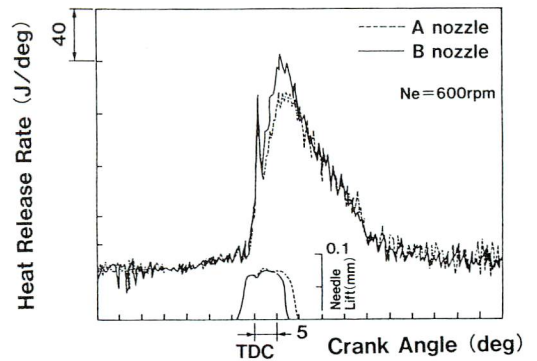


Fig. 4 Heat Release Rate

3. 2 噴射系特性

A, B ノズルを用いて計測したニードルリフト, 噴射率, 噴射管内圧力のデータを図5に示す. Ne=600rpm の機関条件では, ノズルリフトが未だ1st. リフト (=0.07mm) の状態である. これから, 前述の油圧流量の差により, AノズルよりもBノズルの場合の方が噴射率のピーク値が大きく, また, 噴射期間も短いことがわかる.

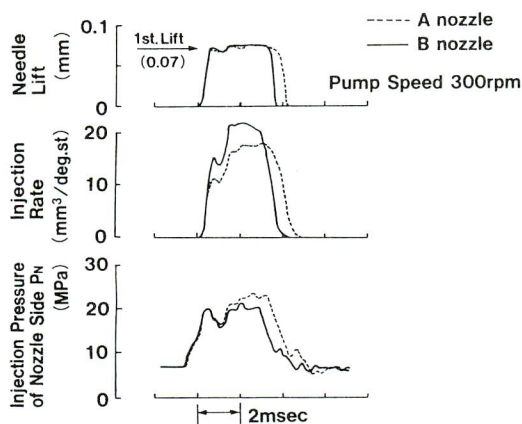


Fig. 5 Injection Characteristics

そこで, この噴射期間短縮が今回のスモーク低減にどの程度影響を及ぼしているかについての検討を進めた.

まず, Aノズルにて1st. リフト量を0.07mmから0.12mmまで拡大して, 図6に示すように噴射期間をBノズルの場合とほぼ一致させた. この時, 噴射特性である噴射率, 管内圧力ともBノズルの場合とほぼ同等となる(以後, Cノズルと呼ぶ).

一方, この1st. リフト量を拡大したCノズルによる熱発生率およびスモーク量

を測定すると, Aノズルに比較してスモーク低減効果は小さい. これより, 本研究事例のスモーク量の差には噴射期間の影響度は小さいと言える. そこで次に噴霧特性について検討を行なった.

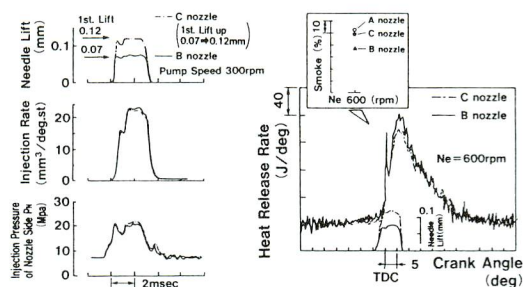
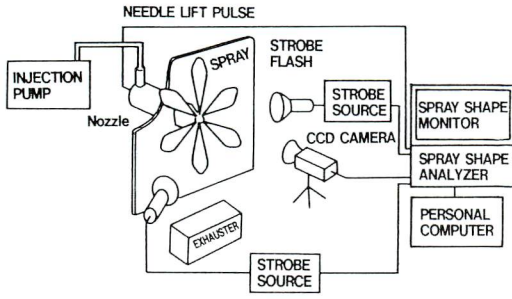


Fig. 6 Contribution of Injection Characteristics

3. 3 噴霧特性

噴霧特性として, 噴霧広がり形状および噴霧粒径を図7に示す測定装置を用いて調査した. 噴霧形状はCCDカメラで, 噴霧粒径はレーザ回折法により噴霧先端部φ10mm範囲内にて測定を行っており, いずれも大気圧条件で調査を行なった.

A, Bノズルでの噴霧形状の比較を図8に示す. Bノズルは, 噴射開始後1msecを越えた時点で噴霧到達距離の発達速度がAノズルよりも遅くなる. またその時点でBノズルの場合の噴霧幅が顕著に拡大している. さらに, 噴霧粒径は図9に示すように, 特に噴射開始後1~1.5msecの間でBノズルの場合の方がAノズルの場合より噴霧粒径が小さい.



(a) Experimental Apparatus for Spray Shape Measurement

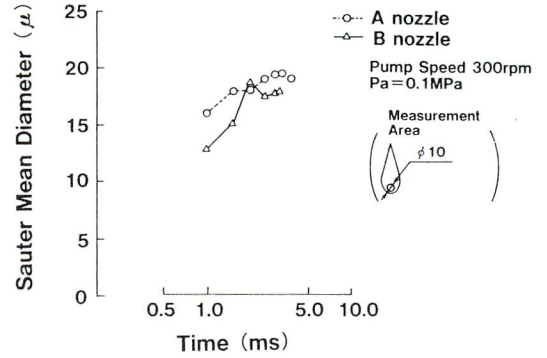
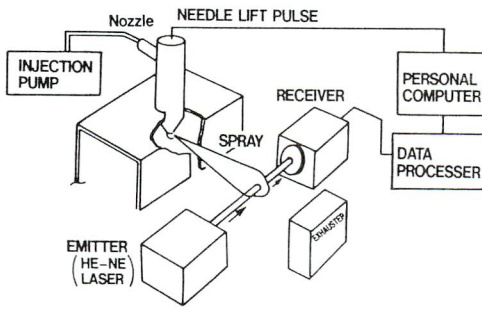


Fig. 9 Spray Droplet Size



(b) Experimental Apparatus for Spray Droplet Size Measurement

Fig. 7 Experimental Apparatus

4. 考察

A, Bノズルでの噴霧の差の原因を考察する為、ノズル内流れ解析を行なった。計算には図10に示した数学的モデルを用い差分法による3次元流れ解析をした。この時ノズルボディのサック底圧を実測し、その値に合致する様に入力圧力条件を決定し、噴孔出口以後の圧力は噴射開始時点でのエンジン筒内圧一定になるとの条件下での計算とした。

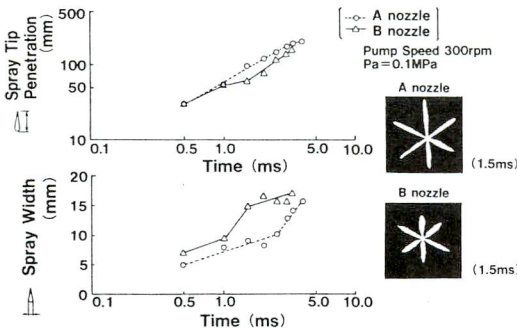


Fig. 8 Spray Shape

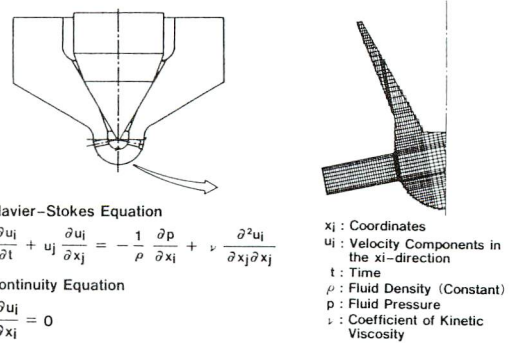


Fig. 10 Mathematical Flow Model

計算結果を図 11 に示す。A ノズルの場合、噴孔入口への流入を阻害する渦流が大きく発生しており、噴孔への流入経路は噴孔下方へ集中している。

一方、B ノズルではこの渦流の範囲が小さく、A ノズルの場合よりも噴孔全域に均一的に流入する。したがって、この流れ状態の差により、図 12 に示すように B ノズルの場合の方が A ノズルの場合よりも噴孔出口部の流速が噴孔上方部で増加していることがわかる。

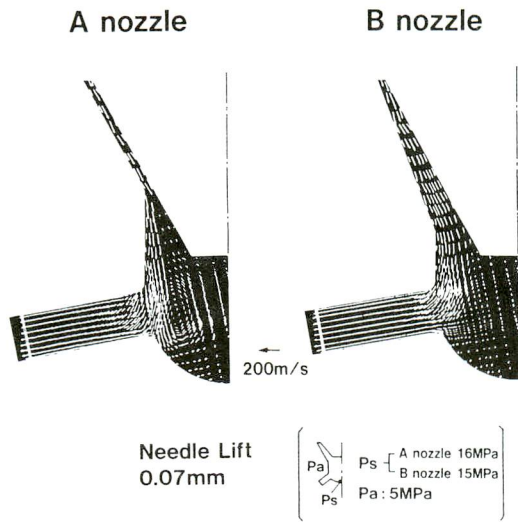


Fig. 11 Fuel Velocity Vector

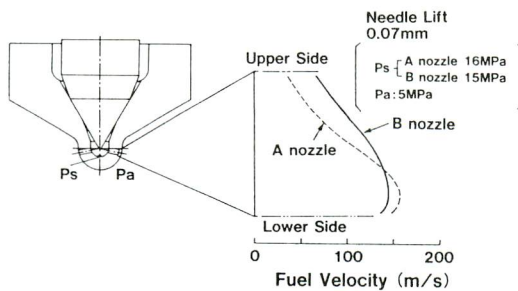


Fig. 12 Fuel Velocity Distribution just before the Exit

本研究における A, B ノズルでの $Ne=600rpm$ のスモーク差の原因は、噴射管内圧、噴射期間によらないことから、以下のように推定する。

B ノズルの場合、ノズルボディ部の面取りによって、噴孔近傍の流れがなめらかになり、噴孔部流速が増大される。その結果、A ノズルの場合と比較して噴霧の広がりが大きくなり、微粒化され、燃焼が活発になって、スモークが低減されたと考えられる。

5. まとめ

ノズル先端形状を変えることにより、ノズルの流量特性が機関スモーク、噴射特性、噴霧特性にいかに関与を及ぼすかについて論じた。

1) 一定圧力下での燃料流量が大きいノズルの場合、機関低速度域で、スモークが低減されることがわかった。

2) この場合、噴射期間が短縮されるだけでなく、噴霧粒径も小さくなることが噴射装置単体試験にて確認された。ただし、噴射期間のスモーク発生への影響度は機関試験結果から小さいと言える。

3) 数値計算結果から、流量が大きいノズルの場合、ノズル噴孔内流速が増加することが示され、このため噴霧粒径が小さく、また噴霧の広がりも大きくなり空気との混合が促進されてスモークが低減されたと推定される。

参考文献

- (1) Hiroyasu, H., Arai, M., SAE Paper No. 900475, (1990).
- (2) 中北他, 第11回内燃機関シンポジウム講演論文集, P19, (1993).
- (3) Ito, S., Sasaki, S., Arai, K., SAE Paper No. 910182, (1991).
- (4) 藤沢他, ディーゼル燃料噴射, 山海堂, P163.
- (5) Hosoya, H., Obokata, T., SAE Paper No. 930593, (1993).
- (6) Date, K., Manabe, M., Kanou, H., SAE Paper No. 920622, (1992).
- (7) 西田他, 第10回内燃機関シンポジウム講演論文集, P409, (1992).
- (8) 高橋他, 第11回内燃機関シンポジウム講演論文集, P55, (1993).
- (9) 山本他, 第11回内燃機関シンポジウム講演論文集, P1, (1993).
- (10) 庄司他, 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 932, P163, (1993).