

直噴ディーゼル機関の燃焼特性と 性能に及ぼす噴口角の影響

渡邊 孝司*1・池田 秀*2・田貝 哲哉*3

Effect of Injection Hole Angle on Combustion Characteristics and Performance of DI Diesel Engine

Takashi WATANABE, Shigeru IKEDA and Tetsuya TAGAI

Abstract

It is well known that the combustion chamber configuration of the direct injection compression ignition engine, in combination with the hole angle of the injection valve, exert a remarkable influence on mixture formation and the characteristic of exhaust emissions. However, although the trial and error method is often used, there has been extremely little use of this method for the research on the whole angle selection. We made a comparative study of the best hole angle to the chamber, based on different configurations of the combustion characteristic and engine performance, so that this research might contribute to the knowledge of chamber design. As the result, the best hole angle in the chamber cavity of dish type ($d/D=0.50$, d : cavity diameter, D : piston diameter) and reentrant bowl type ($d/D=0.49$) has both a large value of 120° compared with the theoretical values of 92° , 98° by the areal method and 80° , 80° by the cylindrical method. In the hole angle selection of the deep type, it is necessary to consider the influence of the squish flow based on the d/D .

Keyword: Diesel Engine, Direct Injection, Fuel Injection, Spray, Hole Angle, Combustion Chamber, Squish Flow, Reentrant

1. まえがき

直噴ディーゼル機関の燃焼室形状と噴射弁の噴口角の組合せは、混合気形成と排気ガス特性に著しい影響を及ぼすことは周知である。しかしながら、噴口角選定に関する研究は極めて少なく、面積法⁽¹⁾、円筒法⁽²⁾の理論式や数値計算シミュレーション⁽³⁾を除いて試行錯誤による方法が今もなお用いられている。本研究は燃焼室設計の知見に寄与するため、形状の異なる燃焼室について最適噴口角を燃焼特性と機関性能により比較検討する。

2. 実験方法

供試機関の仕様を表1に、また噴射系仕様を表2に示す。噴口角 θ については、図1に示すように噴射ノズル

内のドリル穴加工に基づいた角度、すなわち噴口の中心線円錐角と定義する。燃焼室はキャビティ交換式とし、皿(F)型とリエントラント・ボール(BIP)型とし、燃焼室キャビティ径(d)とシリンダ径(D)の比 d/D

Table 1 Specifications of test engine

Type of Combustion Cycle	Direct Injection 4
Number of Cylinders	1
Bore×Stroke	$\phi 100 \times 150 \text{mm}$
Displacement Volume	$1.178 \times 10^{-3} \text{m}^3$
Compression Ratio	17.0/1
Swirl Ratio	3.1
Output Power	6.62kW/900rpm

* 1 交通機械工学科 * 2 交通機械工学科 * 3 大学院工学研究科
平成11年9月30日受理

Table 2 Specifications of injection system

Type of Nozzle	Hole
Nozzle Opening Pressure	20.0 MPa
Injection Timing	18° BTDC (for Type F) 16° BTDC (for Type BIP)
Injection Nozzle	$\phi 0.25 \times 4$
1/d	2.4
Injection Hole Angles: θ	110°, 120°, 130°, 140°, 150°

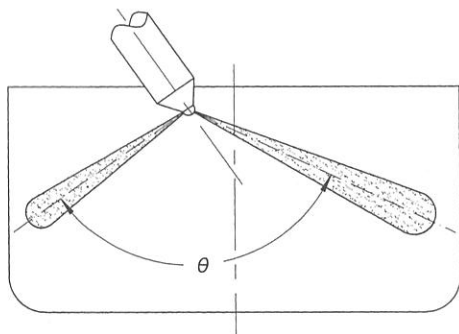


Fig. 1 Definition of injection hole angle

は、それぞれ0.50と0.49で図2にその形状を示す。なお、BIP型のリエントラント比は0.796であり、前述の d/D の d の値は、キャビティ断面より相当直径を求めた。キャビティ断面に対する噴霧の噴口角の模式図を図3に示す。燃焼室と噴射ノズルの設定は、図3に示すようにシリンダ軸方向から反スラスト側へ35°傾斜し、シリンダヘッド下面からノズル先端部中心まで4mm、および燃焼室キャビティの軸方向中心から反スラスト側へ7mmオフセットしている。F型およびBIP型における部分負荷、燃焼特性、および着火遅れ試験は機関回転速度900rpm一定で噴口角ごとに実施し、噴射系仕様は表2に示すように噴口角以外を一定とした。NO_x 排出量は化学発光法、HC排出量は水素火炎イオン検出法、CO排出量は比分散型赤外線吸収法のダイレクト測定、同一サンプリ

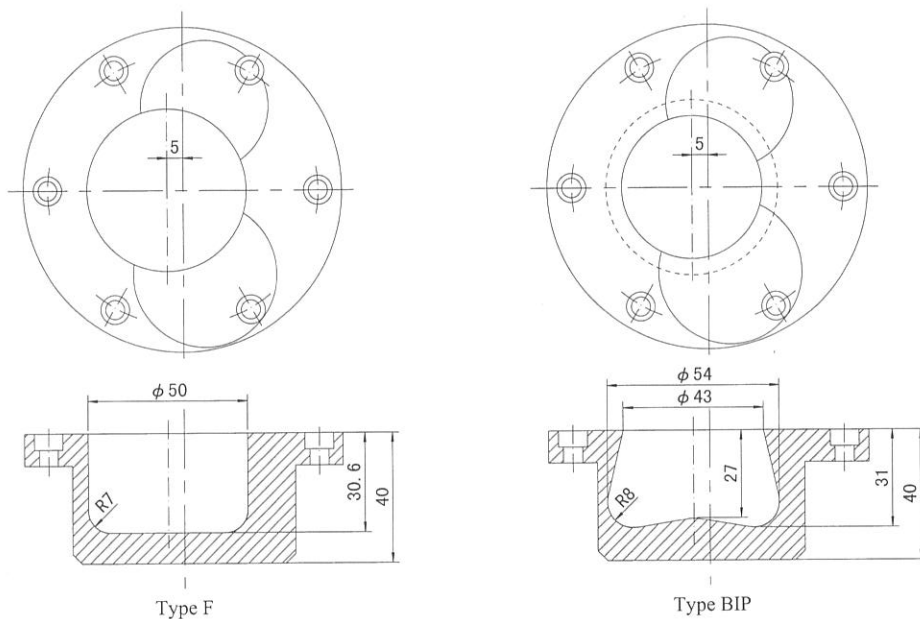


Fig. 2 Type F and type BIP combustion chambers

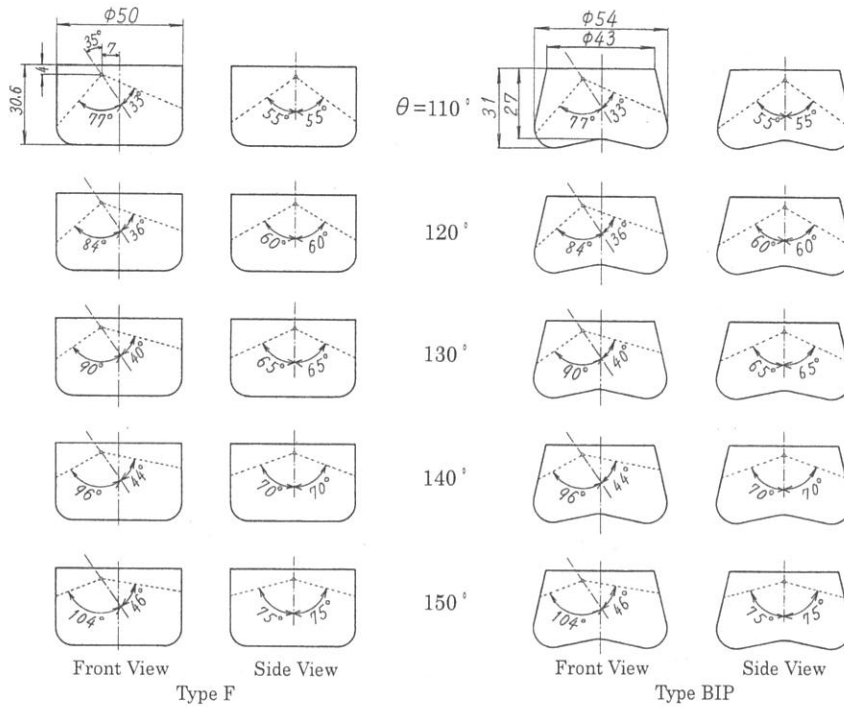


Fig. 3 Schematic models of cavity cross-section and injection hole angle

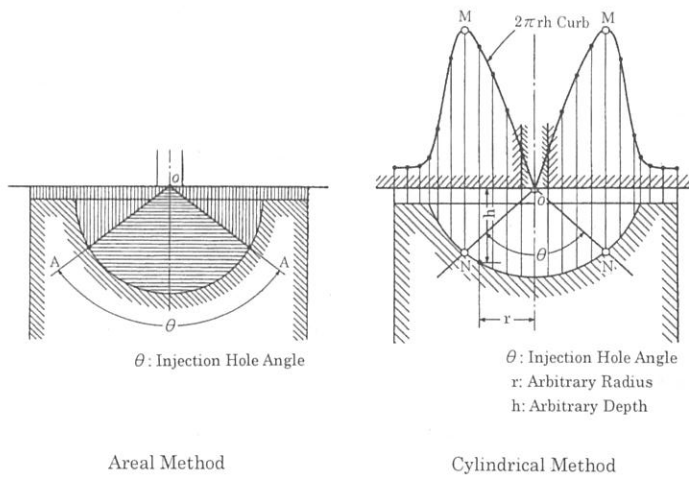


Fig. 4 Schematic view of areal and cylindrical methods⁽⁴⁾

ング、5成分同時分析排気ガス分析装置を用いた。

噴口角選定の理論式である面積法と円筒法の概念を図4に示す。面積法は噴射ノズルホールを中心の交点Oから任意の直線OAを引き、この直線が燃焼室の断面積を2等分する線分として認められるならば、2直線OAが

なす角 $\angle AOA$ を求める噴口角 θ とするものである。円筒法は、燃焼室にシリンダ軸と同心の内接シリンダを想定し、それぞれの表面積 $(2\pi rh)$ が最大となる点Mから垂線を下ろし、2線分ONで形成される $\angle NON$ を噴口角とすれば、噴霧粒子と空気の接触面が最も広くなると

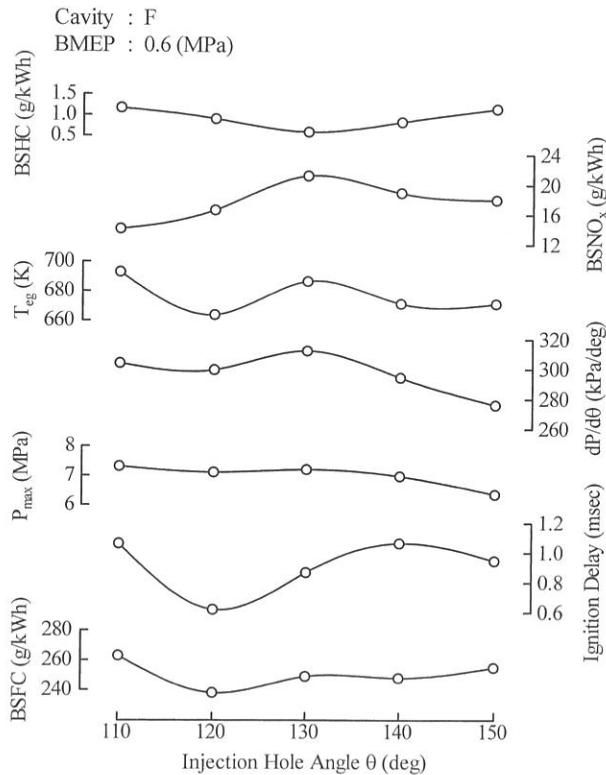


Fig. 5 Effect of injection hole angle on engine performance

いう目安となる。しかしながら、これらの面積法と円筒法による噴口角の計算は、いずれも噴霧粒子が燃焼室空間を占める際に空気利用を最大とすることに基づいており、噴霧粒子と空気流動に関する相乗効果が全く考慮されていない。FおよびBIP型の面積法による理論最適噴口角は92°と98°であるが、これらの噴口角度での予備試験では不適合であったため、供試噴口角は計算値より大きめの110°から150°の範囲で実施した。

3. 実験結果および考察

F型キャビティの正味平均有効圧 (BMEP) 0.6MPaにおいて、機関性能に及ぼす噴口角の影響を図5に示す。噴口角、 $\theta=120^\circ$ は正味燃料消費率 (BSFC) が238 g/kWhと最も低く、着火遅れも0.618msecと最も短くて混合気形成が良好であったことを示している。排気ガス特性は $\theta=130^\circ$ のとき正味窒素酸化物 (BSNO_x) が21.1 g/kWhと最も多く、これは最も高い圧力上昇率 (dp/d θ) の312kPa/degに起因するものである。 $\theta=120^\circ$ の正味炭化水素 (BSHC) は0.910 g/kWhとやや多い

が、BSNO_xは16.5 g/kWhの低い値を示した。よってF型キャビティの最適噴口角は120°と言える。

BIP型キャビティのBMEP=0.6MPaにおいて、機関性能に及ぼす噴口角の影響を図6に示す。BIP型のBSFCはF型と同様に $\theta=120^\circ$ で246 g/kWhと最も低く、着火遅れが1.13msecと長いにも拘わらず低い値を示すのは、リエントラント効果によるものと思われる。BIP型の着火遅れは、F型と異なり噴口角度の増加に比例して短くなる傾向を示している。これはリエントラントによる乱れ発生が、キャビティ上部で強くなるために噴口角の増大に比例して予混合気形成が促進されたためと思われる。 $\theta=120^\circ$ の排気ガス特性は、BSNO_xとBSHCの両者とも、それぞれ24.2と0.631 g/kWhの低い値を示した。したがってBIP型キャビティの最適噴口角は120°が妥当である。

FおよびBIP型キャビティにおける最適噴口角の面積法、円筒法による理論値と、実験値との比較を表3に示す。FおよびBIP型キャビティの最適噴口角は、両者とも120°であったが、この噴口角は面積法によって求め

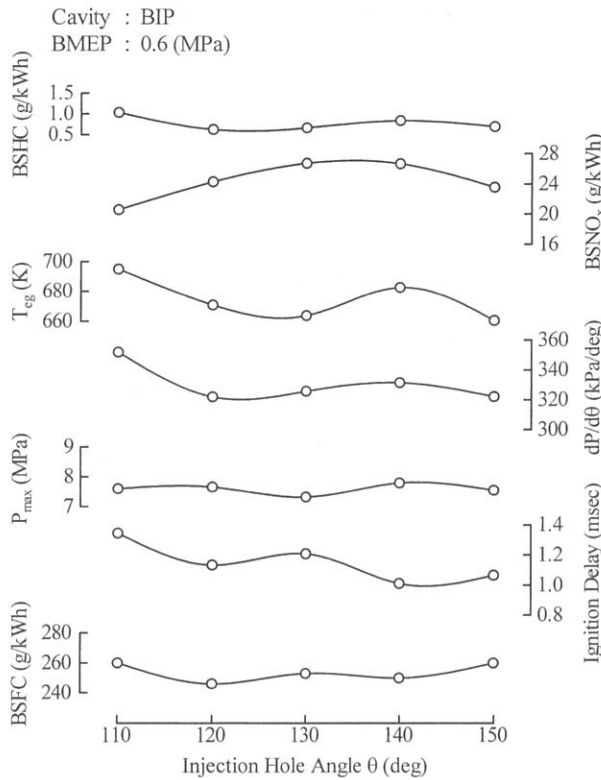


Fig. 6 Effect of injection hole angle on engine performance

Table 3 Theoretical and experimental value of optimum injection hole angle

	TypeF	Type BIP
Areal Method	92°	92°
Cylindrical Method	80°	80°
Experimental Value	120°	120°

た両キャピティの計算値の92°, 98°と比べて大きくなっている。これは供試機関のキャピティ内径 (d) とピストン径 (D) の比 d/D が、それぞれ0.50, 0.49と深皿タイプのためスキッシュ流速が大⁽⁴⁾⁽⁵⁾となり、予混合気形成にスキッシュ流が寄与して最適噴口角が大きくなったものと考察される。

供試機関のクランク角に対するスキッシュ流速 V_{sq} の理論値⁶⁾を d/D のパラメータで図7に示す。 $d/D=0.5$ のとき8°BTDCで最大約19%のスキッシュ流速が認められる。したがって、 d/D が小さくなる深皿型キャピティになるほど、スキッシュ流の影響を考慮した

理論式の必要性が考慮される。

4. 結 論

燃焼室設計の知見に寄与するため、形状の異なる燃焼室について最適噴口角を燃焼特性と機関性能により検討した結果、下記の事実が得られた。

- (1) 皿形 ($d/D=0.50$) とリエントラントボウル型 ($d/D=0.49$) の燃焼室キャピティにおける最適噴口角は、両者とも120°で面積法と円筒法による計算値より大きくなった。
- (2) 深皿タイプの噴口角選定は燃焼室キャピティ径 d と

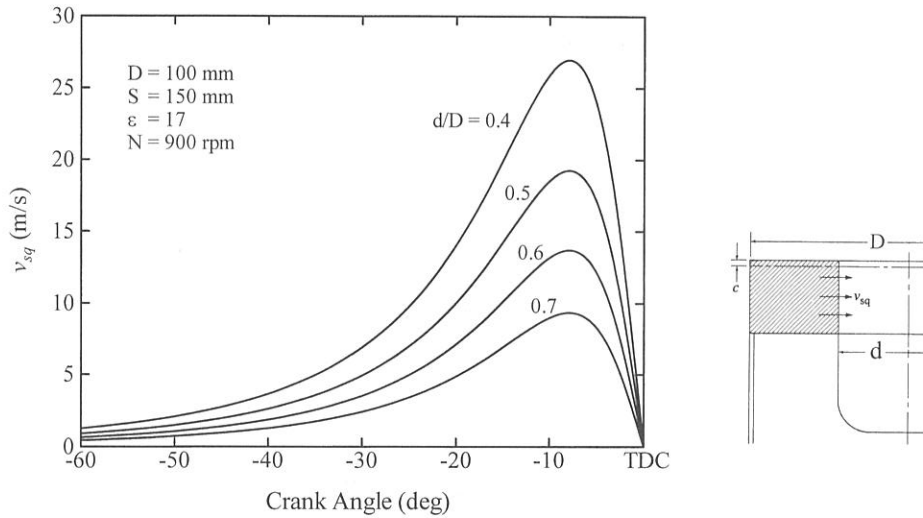


Fig. 7 Theoretical squish velocity as a function of crank angle

ピストン径Dの比 d/D に基づくスキッシュ流の影響を考慮する必要性が大である。

最後に本研究の実験に協力を得た1998年度卒業研究生の金澤陽一、近藤栄次の両君に謝意を表す。

参考文献

- (1) 稲生光吉, 日本機学会誌, 34巻, 169号, (1931).
- (2) 長尾不二夫, 内燃機関講義, (1969), 養賢堂, 281.
- (3) 栗原浩一ほか2名, 自動車技術会講演会前刷集, 935巻, (1993), 41.
- (4) 大道寺 達, ディーゼル機関燃焼室設計の理論と実際, (1988), 三海堂, 23-27.
- (5) 渡邊孝司, 直噴ディーゼル機関の混合気挙動と燃焼室形状の相対性に関する液-液噴射法による研究, (1995), 学位論文, 8-11.
- (6) Simamoto, Y., and Akiyama, K, Bull. of JSME, Vol. 13, No. 63, (1970), 1096-1103.