急速停止機関を用いたディーゼル機関の研究*

(第2報, 燃焼室形状とスワール比)

常本 秀幸^{*1}, 山田 貴廷^{*1}, 石谷 博美^{*1}

Investigation of a Direct Injection Diesel Engine with a Rapid Stopping System

(2nd Report, Effects of Combustion Chamber Shape and Intake Swirl
on Adhered Fuel on a Cold Wall)

Hideyuki TSUNEMOTO, Takanobu YAMADA, and Hiromi ISHITANI

In a small direct injection (D. I.) diesel engine, a part of the injected fuel remains on the cold combustion chamber wall after the burning period. In the previous report, it was shown that this amount of fuel decreases with a shortening of the ignition lag. In this paper, effects of combustion chamber shape and intake swirl on the adhered fuel were investigated. As the experimental results it was found that in the shallow bowl and square chamber, the adhered fuel decreases with increasing swirl ratio, however, in a deep type and a squish type with small lip, a misfire takes place at higher swirl ratios.

Key Words: Internal Combustion Engine, Direct Injection Diesel Engine, Swirl, Startability, Blue Smoke, Rapid Stopping Engine, Combustion Chamber Shape

1. ま え が き

小形の直接噴射式ディーゼル機関では、燃焼室壁面とノズルとの距離が近いために、噴射した燃料の一部は壁面上で液膜を作りやすくなる。この傾向は低温時ほど大きく、青・白煙発生の原因となっている。

第1報⁽¹⁾では、燃料噴射サイクル内で停止する急速停止機関を開発し、燃焼室壁面などに残留する燃料の付着状態、およびその重量測定を行った。

この結果によれば、噴射時期、圧縮比あるいは水温を変更した場合、着火遅れが短縮される条件で付着量が減少することが明らかになった。また、燃焼室の概略寸法としては、深皿形より浅皿形のほうが付着量が減少する結果を得た。

なお、上述の結果は、ボール形燃焼室で、吸入スワールが存在しない場合であり、本報告では、角形あるいはスキッシュリップ形燃焼室を使ってスワール比を変更した場合の特性について検討を加えた。

2. 実験装置および方法

本実験に用いた機関は、ボア 95 mm, ストローク 105 mm, 圧縮比 15 の単気筒直接噴射式ディーゼル機関である。使用したノズルは、噴孔径 0.32 mm の4噴孔で開弁圧 20 MPa, 噴射量は 38 mg, 噴射期間は約 10°CA になっている。なお、急速停止システムは第1報と同様であるが次のように作動する。

機関はモータによって駆動され、所定の回転数に達したならば、ダミーノズルからの噴射が停止し、主ノズルからの噴射が開始される。同時に、モータ回路が切れ、クランク軸に取付けたディスクブレーキが作動して、このサイクル内で機関は停止する。第1報では、ここでシリンダヘッドを取り外し、付着量の測定を行ったが、付着重量のばらつきが多く誤差の要因となっていた。そこで本報では、この噴射後停止するサイクルを数回行った後で重量測定を行う方法に改め、測定精度の向上を図った。

なお、付着燃料の重量は、機関停止後ただちにシリンダヘッドを取り外し、燃焼室などに付着した燃料をペーパーフィルタでふき取り自動てんびんで測定した。

図1は、今回実験に使用した各燃焼室の形状と寸法および代表的な噴射方向を示したものである。

* 昭和62年1月21日 第6回内燃機関合同シンポジウムにおいて講演, 原稿受付 昭和63年2月1日。

*¹ 正員, 北見工業大学 (〒090 北見市公園町165)。

なお、角形燃焼室では、壁面に対する噴射方向を変更した場合についても検討を行った。

また、燃焼室形状に対するスワール比の影響を知るために、図2に示したようなマスクバルブを吸入側に取り付けスワール比を変更した。スワール比のコントロールは、バルブのマスク角あるいは吸入ポートに対する取付け角で行い、あらかじめ定常流試験装置で数値の確認を行った。

図1 燃焼室形状と噴射方向

図2 マスクバルブの取付位置とスワール比

3. 実験結果および考察

3.1 付着燃料の蓄積 第1報では、噴射直後に機関を停止し、一回の噴射量に対する付着量を求めていた。本報告では、噴射後ただちに停止する運転を数回繰返し、付着燃料の蓄積状態等を検討した。

図3は、噴射回数と付着重量の変化および1サイクルあたりの付着量の変化を示したものである。

図から、噴射回数とともに付着燃料が蓄積されていく様子が明らかである。ただ、1サイクルあたりの付着量は噴射回数とともに減少する傾向にある。

この結果より、数回噴射時の付着割合が利用できれば、第1報で行った単一噴射を数回繰返すよりも、精度の高い測定が可能となる。そのためには、噴射回数の増加によって付着割合が減少する原因を知っておく必要があり、次の項目について検討を行った。

図4は、付着した燃料がモータリングサイクル数によってどのように変化するかを調べた結果である。

図3 噴射回数と付着重量

図4 モータリングサイクル数に対する付着燃料の変化

図4は、あらかじめマイクロシリンジで測定した燃料を燃焼室底部あるいは側面に付着させ、モータリングサイクル数に対する重量減少を測定した結果である。図4に示すように、モータリングサイクル数とともに付着割合は減少しており、エンジン駆動から噴射までのモータリングサイクル数を20サイクルとすると、この間に約2%減少することになる。これは、圧縮時の熱移動あるいはガス流動の影響と考えられるが、図4の変化に対する影響割合は30%ぐらいである。

次に、噴射回数を増すことによる壁温の上昇を調べてみた。

図5は、モータリング後停止するサイクルを連続して8回行った場合の壁温の上昇を、5sごとに測定した結果である。図5中矢印は燃料を噴射した時期を示

図5 噴射回数と壁温の関係

しているが、これによる燃焼熱あるいは圧縮熱によって、シリンダ壁温は8回の噴射サイクル後に約3°C上昇している。この場合、燃料が付着する燃焼室壁面の温度はさらに高くなるとおられるので、第1報で報告した壁温の効果から考えて、この影響が噴射回数の増加による付着割合の減少に大きく寄与していると言える。

さらに図6に、噴射回数1回目と8回目の場合の燃焼状態および噴射時のノズルホルダ内圧力、針弁リフトの経過の一例を示してある。

図6に見られるように、この運転条件においては8回燃焼させた場合でも、燃焼状態には差が認められない。

以上のように、通常の運転条件では噴射回数を増加すると、付着割合は単一噴射の場合より減少するものの、測定精度が向上できることから、本実験では、4

図7 d/D を変更した場合のスワール比に対する付着割合

図6 噴射回数と燃焼状態および噴射時のノズルホルダ内圧力経過

図8 d/D を変更した場合のスワール比に対する燃焼状態 (4回目の噴射時で比較)

回噴射後の付着量から付着割合を算出することにした。

3・2 ボール形燃焼室とスワール比 図7は、圧縮比一定のもとでキャビティ径 d とボア D の比をパラメータとした場合の、スワール比に対する付着割合を調べた結果である。

d/D が 0.52 あるいは 0.72 のように、燃焼室壁面とノズルとの距離が遠い場合は、スワールが強くなるにつれて付着割合が減少している。例えば、 $d/D=0.72$ の場合、スワール比零では付着割合が 15% 程度であったものが、スワール比が 4 近くになると約 5% と $1/3$ 程度に減少している。

一方、 $d/D=0.42$ と極端に深い燃焼室の場合には、スワールが強くなるにつれて徐々に付着割合が増加し、最も強いスワール比の場合には、スワールがない場合に比べて 10% 程度高い値を示すようになる。

図8は、以上のような付着量変化に対して、燃焼状態の変化を調べた結果である。

図8に見られるように、 $d/D=0.42$ と燃焼室が深くなると、強いスワールでは着火遅れが長く、4回の噴射に対して、各サイクル間での燃焼状態に変化が見られた。これは、キャビティ径が小さくなるにつれ、スキッシュによる乱れが強くなるうえに、吸入スワール比が同一でも、燃焼室内スワール比が大きくなるためであり、これによる消炎などの不安定現象が生じたためと考えられる。一方、 $d/D=0.52$ では、スワール比が強くなると初期燃焼割合が大きくなって、圧力、温度とともに高い値を示している。これは、着火遅れ期間の間に予混合気が増大するための影響と思われる。

以上のような現象は、すでに報告⁽²⁾⁽³⁾した実験における低温スモークの発生状態でも確認されている。すなわち、キャビティ径が小さい条件でスワールを強めていくと、始動性が悪化するばかりか、着火後の燃焼

が不安定となり長時間にわたって高い青・白煙濃度を示した。また、スワールが存在すると d/D が大きい場合でも青・白煙が悪化している。

したがって、図7のスワール比が増大した場合の付着重量の減少は、燃焼が改善されたためだけではなく、付着燃料の蒸発量の増加、あるいは噴射燃料の貫通力がスワールによって弱められると同時に、微粒化した燃料が希釈されやすくなり未燃成分として放出される割合が増大したための影響も考えられる。

3・3 角形燃焼室

3・3・1 噴射方向の影響 図9は、図1の噴射方向と同一のままで、角形燃焼室の取付角を変更した場合の付着割合を示したものである。

角形燃焼室は、壁面に対して角度を付けて噴霧を衝突させ、その際の噴霧の動きとスワールを利用して混合気を促進することを目的としたものである。

しかし本実験では、コーナ部に向かって噴霧を衝突させた場合に付着重量の減少する傾向が認められた。これは、燃焼室が小形になると、コーナ部に向かって

図10 B/D を変更した場合のスワール比に対する付着割合

図9 噴射方向と付着重量

図11 リップ径を変更した場合の付着割合

噴射した場合に最も到達距離が長くなり、壁面衝突までの間に未燃燃料の蒸発割合が増加するためではないかと考えている。

3・3・2 燃焼室大きさとスワール 図10は、角形燃焼室において、燃焼室の大きさを変更してスワールに対する影響を調べた結果である。

図10で明らかなように、数値の違いはあるものの、ボール形で得られた結果と同様の特性を示している。すなわち、浅皿あるいは一般に使われている深皿形の場合には、スワールが強くなるにつれて付着量は減少しているが、極端に深くなった場合には、スワールが強くなると不完全燃焼によって付着割合が急増している。

なお実験は、図9に示したタイプⅢの噴射方向で行っており、スワール比が強くなった場合に噴射方向がコーナ部に向かうことが考えられる。しかし、今回の実験範囲ではそのことによる改善効果は認められなかった。

3・4 スキッシュリップ形燃焼室

3・4・1 リップ径の影響 図11は、リップ厚さ一定のもとでリップ径を変更した場合の付着割合を示したものである。

図11に見られるように、リップ径が大きくなるにしたがって付着割合が増加する。例えば、径の小さい25φの増場合に比べ、大きな径の45φの場合には、燃焼室内部での付着量が約2倍に増加している。しかし、両者の燃焼状態を比較してみると図12に示すように、

図12 リップ径を変更した場合の燃焼状態 (4回目の噴射時で比較)

径の小さい場合のほうが悪い。このように、付着量が減少するにもかかわらず燃焼が改善されないのは、次のような理由によるものと考えられる。

その一つは、リップ部への衝突による噴霧の微粒化である。本実験ではリップ径が小さくなると、噴霧はリップ付近に衝突してから燃焼室内に広がってゆく。したがって、リップ径が小さくなると早い速度で噴霧はリップ部へ衝突するから、微粒化が促進され、強いスキッシュ流によって希薄混合気が形成される。さらに、リップ径が小さくなると、リップ部での冷却作用によって圧縮端温度が低下する影響も燃焼悪化の原因と思われる。

また、リップ径が小さい場合には、噴霧の一部はピストンとシリンダヘッドのすきまに微粒化された状態で広がるのが、定容容器内での噴霧の挙動実験⁽⁴⁾で観察されている。

以上のような理由から、リップ径が小さい場合に付着量は減少するものの、希薄混合気が増大し燃焼が悪化したものと考えられる。

3・4・2 リップ厚さの影響 図13は、リップ径一定のもとでリップ厚さを変更した場合の付着割合を示したものである。

図13 リップ厚さを変更した場合の付着割合

図14 dlを変更した場合のスワール比に対する付着割合

表 1 燃焼状態から見たスワールとリップ径の相互関係

swirl ratio lip dia.	without	low	middle	high
small	○	○	△	×
middle	○	○	△	×
large	○	○	○	○

したものである。

図 13 で明らかなように、リップが厚くなるにつれて付着割合が減少するが、この場合も、リップ径と同様に燃焼室内での付着割合の減少が大きい。一方、燃焼状態には大きな違いは認められないことから、リップ部に衝突した噴霧の挙動が影響しているように思われる。この場合にも、圧力容器を使った噴霧の挙動⁽⁴⁾から、次のようなことがわかっている。

すなわち、リップが薄い場合には噴霧の大半が燃焼室側面に衝突しているのに対して、リップが厚い場合には、リップ部に衝突した噴霧は燃焼室側面に衝突せずに、直接底部に広がっている。このような噴霧衝突位置の違いと、スキッシュの相互作用で、リップが厚いほど付着割合が減少したものと考えられる。

3.4.3 リップ形燃焼室におけるスワールの影響

図 14 は、リップ径一定のもとでスワールを変更した場合の付着割合を比較したものである。

この場合でも、ボール形あるいは角形と同様に、径の大きい場合にはスワールとともに付着量が減少しているが、リップ径が小さい場合には、スワールが強くなると付着割合が増加する傾向が認められる。

表 1 は、4 回の燃焼状態のばらつきを、4 回とも確実な燃焼に○、着火遅れの長い燃焼サイクルがある場合に△、燃焼が確認できないものを×として、スワールとリップ径の相互関係を見たものである。

これより、リップ径が 35 φ 以下でスワールが強くなると燃焼状態が不安定になることが確認できる。

図 15 は、このときの燃焼状態を示したものであり、リップ径 45 φ では、スワールが強くなっても確実な燃焼が認められるが、リップ径 25 φ では明確な燃焼が確認できない。この傾向は実機でも確認されており、リップ形燃焼室でスワールを強くすることは低温時の燃焼を悪化させる原因と言える。

図 15 リップ径を変更した場合のスワール比に対する燃焼状態(4 回目の噴射時で比較)

4. ま と め

以上の結果を要約すると以下ようになる。

(1) 噴射回数を多くした場合には壁面への付着量は蓄積されるが、噴射量に対する割合は減少する。なお、噴射回数に対する付着量の減少は、機関駆動から停止に至るまでのモータリングサイクル中の蒸発、あるいは燃焼時の壁温の上昇によるものである。

(2) ボール形および角形燃焼室で燃焼室入口が大きい場合には、スワール比の増加とともに付着割合が減少する。一方、小さな径でスワール比を高めると不完全燃焼によって付着割合は増加する。

(3) リップ形燃焼室でリップ径が小さい場合、あるいはリップの厚さの厚い場合に付着割合は減少するが、これは燃焼が改善された影響よりも、リップ部に噴霧が高速で衝突して微粒化したものが、スキッシュ流によって希釈され未燃のまま大気に放出されるための影響が大きい。

(4) リップ形燃焼室でリップ径とスワールの相互作用を調べた結果、リップ径が小さい条件でスワールを強くした場合に、燃焼が不安定になることが明らかとなった。

文 献

- (1) 常本・山田・石谷, 機論, 52-479, B (昭 61), 2746.
- (2) 石谷・常本・山田, 機論, 52-481, B (昭 61), 3413.
- (3) 石谷・常本・山田, 機論, 52-484, B (昭 61), 4079.
- (4) 常本・石谷・村山, 自技論, No. 29 (昭 59), 78.