

## 論文の内容の要旨

論文題目 筒内噴射ガソリンエンジン用インジェクタの  
噴霧パターン生成法に関する研究

氏名 宮嶋 歩

### 1. 緒言

筒内噴射 (Direct Injection) ガソリンエンジン (以下、DIエンジンと略す) のさらなる低燃費化、排ガスの清浄化および高出力化のためには、成層燃焼 (低負荷運転時、圧縮行程噴射) と均質燃焼 (高負荷運転時、吸気行程噴射) で求められる混合気を今まで以上に適性化したエンジンシステムを構築する必要がある。従来のDIエンジンの研究では、筒内の空気流動制御がトレンドであるが、ピストン冠面に燃料噴霧が付着し易いため燃費、排ガスの改善が容易ではない。このような状況の中、本研究では、異なる運転条件下でもロバストな噴霧パターン、すなわち、筒内圧力や燃料噴射圧力の影響を受け難く、点火プラグ方向への指向性を持った噴霧パターンの生成方法を検討する。特に、本研究では、従来の燃料スワール型のDIインジェクタの先端部をステップ状に切り欠いたノズル (以下 L-Step ノズルと称す) の新規開発、噴霧パターンの性質の実験的手法による検討、およびDIエンジンへの適合性の考察を行う。

### 2. 噴霧パターン生成の方法

本研究で提案する新コンセプトの噴霧パターンを図1に示す。この噴霧パターンには以下の3つの特徴がある。(1) 指向性のある偏向噴霧を生成することで、点火プラグ近傍に混合気を集中させピストン冠面への分布を少なくする。(2) 噴霧の一部を分断することで、噴霧内外の圧力差を小さくし背圧が高い場合でも噴霧が潰れることなく形状をロバストに保つ。(3) 燃料旋回素子 (スワラ) を用いることで、噴霧を微粒化する。前記噴霧パターンを生成するために開発した L-Step ノズルを図2に示す。従来のノズルの先端部を、反面だけステップ状に切り欠いた構造であり、その他の構成は従来のノズルと同じ

である。L-Step ノズルによる噴霧分断のメカニズムは以下の通りである。燃料がオリフィス内で回転しているため、L-Step 部の上面部と側面部から噴射される燃料は多く、下面部から噴射される燃料は少ない。従って、噴霧分布に濃淡が生じ見かけ上噴霧の一部が分断される。偏向のメカニズムについては以下のように説明される。オリフィス内を回転する燃料は、上流から下流に流れるに従って回転速度を失う。噴霧角は、噴霧の回転速度と弁体軸線方向の速度の比で表されるので、L-Step 部上面で噴射される方向に噴霧は偏向する。

### 3. 実験方法

L-Step ノズルの噴霧パターン、特にペネトレーションと噴霧角を測定するために図3に示す噴霧可視化装置を作成した。本装置は YAG レーザを用いて噴霧を可視化し CCD カメラで横断面／縦断面を撮影するものである。エンジン筒内の雰囲気場を模擬するために加圧可能な容器を設け、インジェクタに供給する燃料としてはシェルロースを用いた。噴霧のザウタ平均粒径 (SMD) の測定には、PDDA 計測を用いた。比較のため図4に示す、スワールノズル、テーパノズルを作成した。各ノズルの緒元を表1に示す。

### 4. 実験結果

3種類のノズルの噴霧パターンを図5に示す。L-Step ノズルの噴霧パターンは偏向し、噴霧の一部が分断された中空噴霧である。一方、スワールノズルは中空円錐状、テーパノズルは偏向中空円錐状の噴霧である。図6、7に示すように、背圧が噴霧パターンに及ぼす影響を検討したところ、背圧を 0.1MPa、0.3MPa、0.6MPa と変化させると、L-Step ノズルの噴霧は他のノズルに比べて形状がロバストであり、噴霧角の減少は  $1^\circ$ 、ペネトレーションの減少は 34mm であった。一方、燃圧が噴霧パターンに及ぼす影響はいずれのノズルに対してもほとんどなかった。次に図8に示すように L-Step ノズルの粒径分布の特性を調べ、背圧、燃圧に無関係に、常に他のノズルに比べて微粒化の良い噴霧を生成可能なことを確認した。さらに、実験で確認が困難なオリフィス内の燃料流れと噴霧偏向との関係を把握するために、日立製作所の内製コードを用いた数値シミュレーションを補足的に行った。図9に示す通り L-Step ノズルではオリフィス内の空気はオリフィス軸に対して傾いており、傾きの方向は実験から得られた噴霧の偏向方向と一致していることから、オリフィスへの空気進入が噴霧偏向方向に影響を受けるものとの推論を得た。

### 5. 噴霧パターンのコントロール

噴霧を調整する手段として、設計変更が比較的容易なノズル先端部の切り欠き深さの無次元量  $L/d_0$  に着目した。図10に示すように、 $L/d_0$  を小さくするほど偏向側噴霧角が大きくなることを確認した。最後に、図11に示すように噴霧写真を DI エンジンのシリンダに当てはめる事で、DI エンジンへの適合性について検討し、L-Step ノズルにおいては、順タンブル流等の空気流動の補助を用いずに、点火プラグ近傍に混合気を集めることが可能であり(領域A)、かつ、ピストンキャビティへの燃料付着を抑制できる(領域B)可能性を確認した。

## 6. 結 言

DI エンジンの燃費改善・排ガス改善を行うための噴霧パターンを生成する方法に関して本研究より得られた結論を以下にまとめる。

- (1) ノズルの先端部を反面だけステップ状に切り欠いた構造の L-Step ノズルを新たに開発した。
- (2) 噴霧パターンの特徴は以下の3点である。
  - 1) 指向性のある偏向噴霧である。
  - 2) 噴霧の一部が分断され噴霧内外の圧力差が小さいので、背圧の変動に対して噴霧形状がロバストである。
  - 3) 燃料旋回素子(スワラ)により噴霧が微粒化されている。
- (3) レーザシート法による可視化実験を行い、以下の特徴を見出した。
  - 1) L-Step ノズルの噴霧は背圧変化にロバストである。背圧 0.1MPa から 0.6MPa の増加に対し、噴霧角は  $1^\circ$  減少、ペネトレーションは 34mm 減少した。
  - 2) 燃圧の影響は少ない。
- (4) PDPA計測によって噴霧のザウタ平均粒径(SMD)を測定した。L-Step ノズルの SMD は背圧や燃圧に対する感度が低く、常に他のノズルに比べて微粒化の良い噴霧を生成することが可能である。
- (5) L-Step ノズルの噴霧角の調整にはノズル先端部の切り欠き深さが有効である。偏向側の噴霧角は切り欠き深さが深くなるほど大きくなる。
- (6) 以上の結果より、L-Step ノズルは、均質燃焼／成層燃焼を両立する混合気を噴霧の貫通力だけで生成することが可能である。また、ピストンへの燃料付着を抑制できる可能性があり、燃費・排ガスの改善に有効である。さらに、ノズル作成が比較的容易であり、筒内流動の精密な制御の必要がなくなるため、エンジンシステムのトータルコストの低減に有効であり、産業上重要な技術となることが期待される。

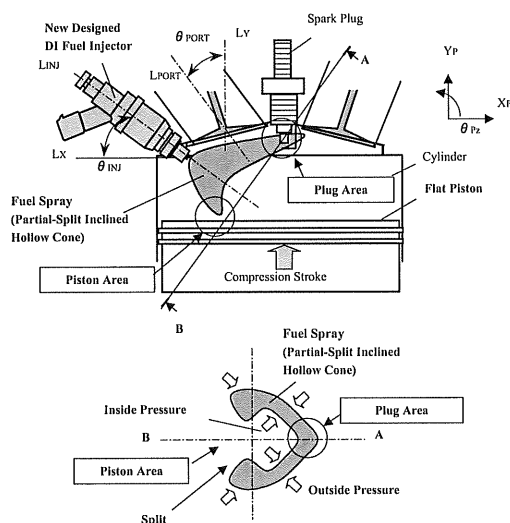


図1 噴霧パターンの新コンセプト

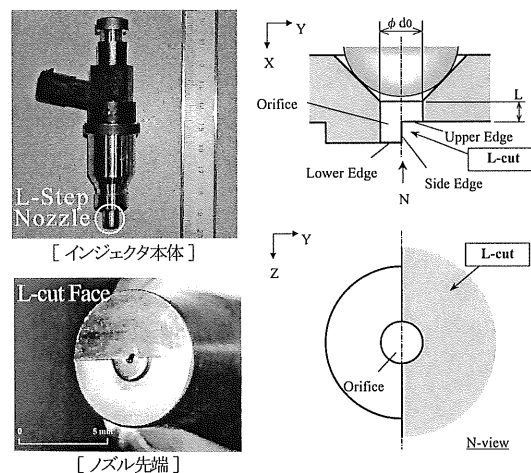


図2 L-Step ノズルインジェクタ

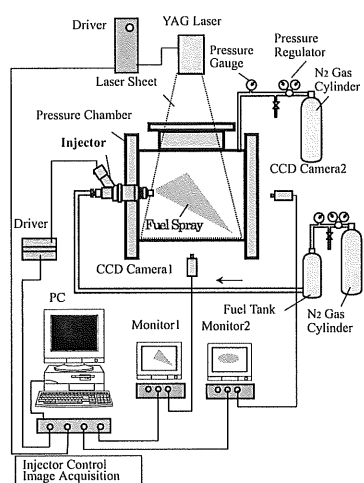
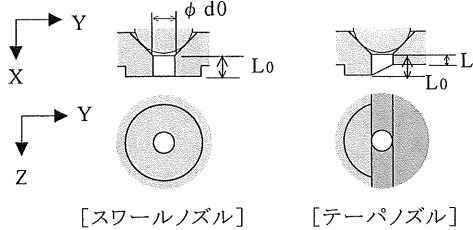


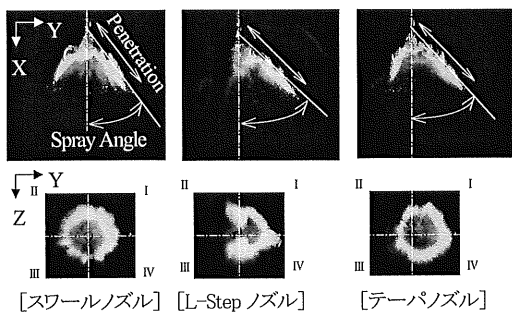
図3 噴霧可視化実験装置全体図



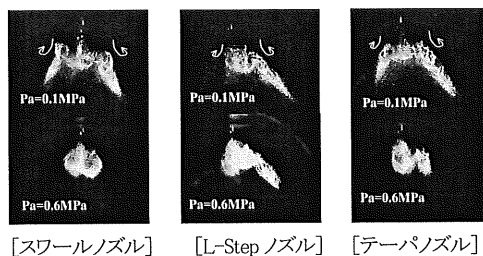
[スワールノズル] [テーパノズル]  
図4 比較のためのノズル

表1 ノズル緒元

Nozzle Type	Nozzle #	L0	$\Phi d0$	L/d0
Swirl Nozzle (Conventional)	C1	0.65	0.65	1.0
	L1	0.65	0.65	0.35
L-Step Nozzle	L2	0.65	0.65	0.5
	L3	0.65	0.65	0.65
Taper Nozzle	T2	0.65	0.65	0.35



[スワールノズル] [L-Step ノズル] [テーパノズル]  
図5 噴霧パターンの比較



[スワールノズル] [L-Step ノズル] [テーパノズル]  
図6 背圧の影響

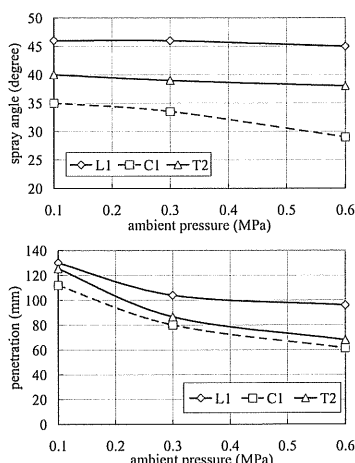


図7 背圧の影響

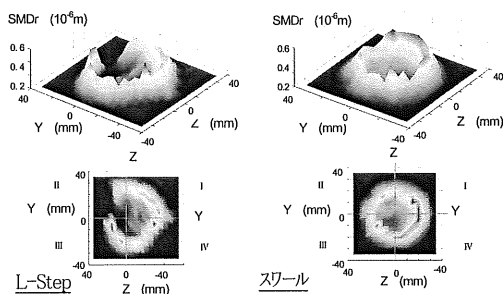


図8 粒径測定結果(大気圧下)

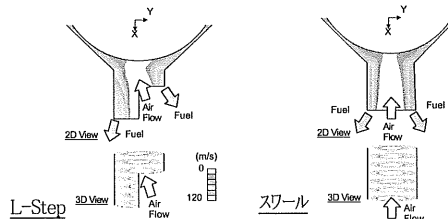


図9 オリフィス内の燃料流れ

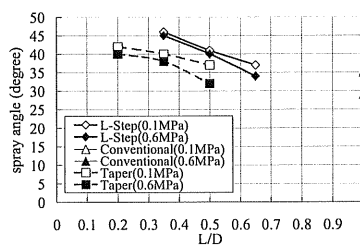


図10 L/Dと噴霧角の関係

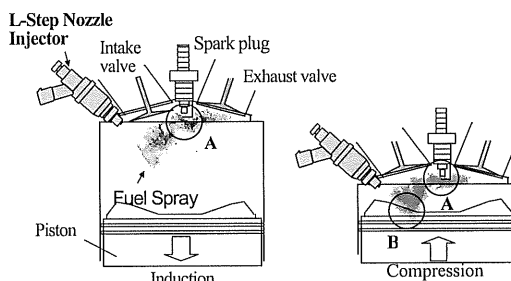


図11 DIエンジンへの適合性