

## 実機エンジンにおけるガス流動と燃焼性の関係

## (低負荷時のガス流動と燃焼性の基礎実験)

田坂 英紀<sup>1)</sup>・泉 立哉<sup>2)</sup>・木村 正寿<sup>3)</sup>The Relation between Gas Flow and Combustibility using Actual Engine  
(Basic Experiment of Gas Flow and Combustibility under Low Load Condition)

Hidenori TASAKA, Tatsuya IZUMI, Masatoshi KIMURA

## Abstract

Consideration of the global environment problems by exhaust gas is becoming important in recent years. Especially about internal combustion engine, social demand has been increasing about low pollution, high efficiency and so on. Controlling gas flow in cylinder becomes the key getting good combustion state in various driving states.

The purpose of the research is analysis about the relation between gas flow and combustibility in the cylinder. So we measured gas flow of the circumferential and vertical direction on two axis crossing right angle at the center of cylinder using forward-scattered LDV. Also, we measured combustion pressure in the cylinder at firing condition as same state of gas flow measurement. After that, we analyzed mutual relation between gas flow and combustibility from each result.

## Key Words:

Internal Combustion Engine, Low Load, Gas Flow, Combustion Pressure, Combustibility

## 1. まえがき

近年、工業は大きく進化しており、技術の進歩により人々は豊かな生活を手に入れることができた。しかしそれに伴い化石燃料の枯渇化、地球温暖化問題など環境に対する関心が高まってきた。

特に内燃機関について、高効率・低公害といった社会的要求を満たすことが重要であり、そのために燃焼

室内ガス流動の制御が有効であることは一般的に知られている<sup>1)5)</sup>。しかし時々刻々と変化する運転状況において、最適な燃焼状態を作り出すことは困難であり、その対策が当面の課題といえる。

本研究はガス流動と燃焼性の関係を明確にすることを目的とし、レーザ流速計を用いて駆動運転中の周方向、軸方向の燃焼室内ガス流動計測を行う。また、ガス流動計測条件とパラメータを合わせた条件で着火運転を行い、燃焼室内圧力を計測する。

1) 機械システム工学科教授

2) 機械システム工学専攻大学院生

3) 機械システム工学科技官

## 2. 供試機関

本実験で使用した供試機関は、市販のオートバイ用のエンジンを研究用に改良したものである。主要諸元を表1に示す。

改良点として、温度管理用のオイルラインをシリンダブロックに設け、シリンダブロックとシリンダヘッドの間に流速測定用の光学窓、歪みゲージ式の圧力計取り付け口を設けた厚さ 32mm の計測用シリンダライナを挿入した。また吸気バルブ2つのうち1つを休止させ、吸気1・排気2と変更した弁機構に改良し、開き角 90° の扇形の開口部を持つガス流動可変部品(以下プレート)を吸気バルブのバルブシート部に設置する。プレートは 15° 毎に計 24 種類の角度に変更することが可能であり、充填効率を保持したままガス流動を変化させることができる。プレート設置図を図1に示す。

## 3. 駆動運転における流速測定

### 3.1 レーザ流速計(LDV)の光学系

本研究では前方散乱方式の LDV 流速計を使用し、レーザをビームスプリッタにより2本のレーザビームに分けている。それぞれのレーザビームを周波数シフタにより 70MHz, 90MHz の異なった波長を与え、LDV で計測する流速の正負を判別することができるようにしている。その後、周方向計測時には焦点距離 250mm, 軸方向計測時には焦点距離 300mm の収束レンズを用い測定体積を作り出している。測定体積を通過した散乱粒子の散乱光を集光レンズで集光し、ピンホール通過後、フォトマルチプライヤでドップラ信号を出力させている。

ドップラ信号の処理にはトラックタイプの信号処理器を用い電圧に変換後、A/D 変換器を介してコンピュータでデータを取り込んだ。

### 3.2 計測方向について

今年度より本研究においてシリンダ内ガス流動を詳細に計測し、結果の信頼性を向上させるため、従来の計測方向とシリンダ中心で直交する方向について

表1 供試機関主要諸元.

種類	4 サイクル・ガソリン
シリンダ数及び配置	単・縦置き
燃焼室形状	ペントルーフ型
弁機構	SOHC チェーン駆動 吸気1・排気2バルブ
内径×行程(mm)	79.0×71.2
総排気量(cc)	348
圧縮比	6.38

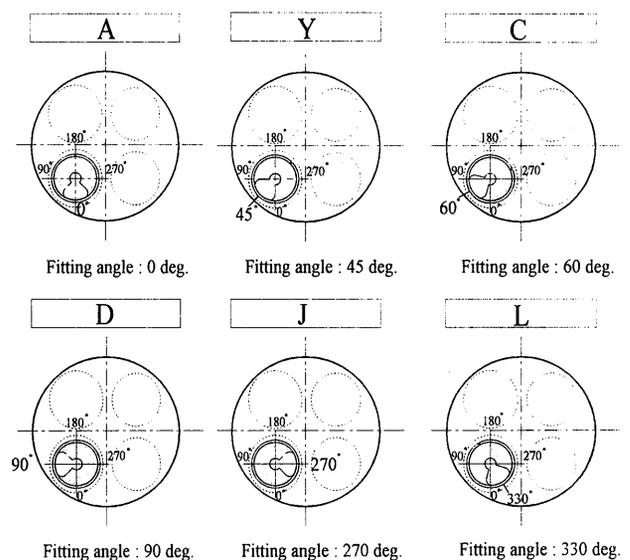


図1 ガス流動可変プレート設置図.

も計測を行うことにした。そのため新たに計測用台を製作した。便宜的に従来の計測方向を X 軸, 新たに計測する方向を Y 軸とした。計測用シリンダライナに対する計測方向について図2に示す。

### 3.3 散乱粒子及び供給系について

本研究において流体運動に十分追従している、散乱強度がある、観測窓を汚しにくいなどの理由から樹脂系の平均粒径 8.7  $\mu\text{m}$  のグランドールを使用した。また散乱粒子供給系については安定して供給することができるテーブルフィーダを使用した。

### 3.4 実験条件

本研究では供試機関を電動機により 1000rpm で

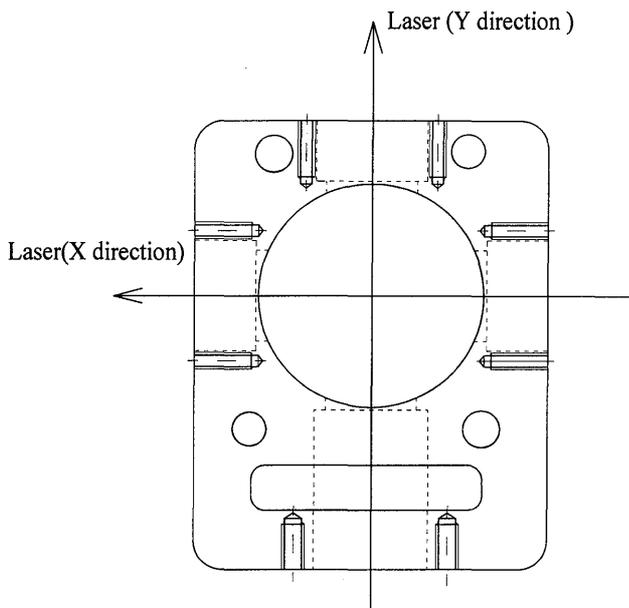


図2 シリンダライナに対する計測方向.

モータリングし、ガス流動の計測を行った。流速測定実験条件を表2に示す。

X軸方向計測に関してプレート設置角は設置角 $0^\circ$  (Aポート)、 $30^\circ$  (C)、 $45^\circ$  (Y)、 $60^\circ$  (D)、 $270^\circ$  (J)、 $330^\circ$  (L)の6ポートでそれぞれ周方向、軸方向を測定した。測定位置は吸気側をマイナス、排気側をプラスとし、5mm間隔で-35mmから+35mmまで全15点で計測を行った。

Y軸方向計測に関してA、D、J、Lの4ポートについてそれぞれ周方向、軸方向の流速測定を行った。

測定位置は光学系の受光側をマイナス、集光側を

プラスとし、-30mmから+30mmまで全7点で計測を行った。X軸とY軸で計測ポート数に差があるのは、直交方向で燃焼性との影響が特異な点について重点的に計測を行ったためである。

データ数は500サイクル収録し、良質な流速データを1計測地点について100サイクル分選別し、母集団とした。

### 3.5 流れの評価方法

1 実験条件あたり、100データに選別した流速データからシリンダ内平均流速、スワール比、乱れ強さを求めた。

#### (i) 平均流速

流速測定により得られた100サイクルのデータからアンサンブル平均法により平均流速を算出した。

#### (ii) スワール比

流速測定により得られた流速値からスワールがシリンダ軸を中心とした剛体渦を形成していると仮定し、シリンダ軸に対する角速度の比で算出した。

#### (iii) 軸方向速度比

各計測位置における流速値の絶対値から全計測点での平均流速を算出し、平均ピストン速度で除したものを軸方向速度比と定義した。

#### (iv) 乱れ強さ

1サイクル毎の瞬時流速を $30^\circ$ の移動平均幅で平均流速を算出し、瞬時流速と平均流速の差を乱れと定義する。その乱れ成分を、着火運転で計測したMBT

表2 流速測定実験条件.

計測位置	モータ軸直交方向	吸・排気側それぞれ35mmまで5mm間隔
	モータ軸方向	通路側・モータ側それぞれ30mmまで10mm間隔
測定方向		周方向、軸方向
吸気ポート形状	モータ軸直交方向	①Aポート(設置角： $0^\circ$ )
		②Yポート(設置角： $45^\circ$ )
		③Cポート(設置角： $60^\circ$ )
		④Dポート(設置角： $90^\circ$ )
		⑤Jポート(設置角： $270^\circ$ )
		⑥Lポート(設置角： $330^\circ$ )
	モータ軸方向	①Aポート
		④Lポート

(最適点火時期)の  $\pm 10^\circ$  の区間で平均し、乱れ強さと定義した。

#### 4. 着火運転における燃焼圧力計測

##### 4.1 実験装置

着火運転では流速測定実験と同じ供試機関を用い燃焼実験を行うことで、ガス流動と燃焼の関係を考察することができる。燃焼実験装置の概略図を図3に示す。駆動運転との計測装置の違いは供試機関前後の吸・排気系と計測機器の組み合わせである。吸気系について、吸入空気はエアクリーナを通過し、吸入空気量を測定する層流流量計、脈動を緩和させるサージタンク、噴射した燃料を気化させる燃料気化器、吸入空気と燃料を適正に混合させるミキサからなる。計測機器は計測用シリンダライナに取り付けた歪みゲージ式圧力計により燃焼室内の圧力を計測し、ストレインアンプで電氣的に増幅させ、A/D変換器で変換したデータをパソコンに取り込んだ。

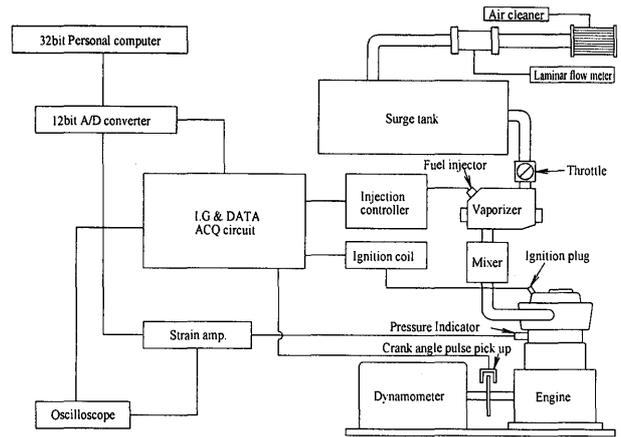


図3 燃焼実験装置概略図

表3 着火運転実験条件.

機関回転数	1000rpm
空燃比	15, 19
充填効率	40%
ポート形状	A, Y, C, D, J, L
点火時期	MBT
データ数	300 サイクル

##### 4.2 実験条件

着火運転における実験条件を表3に示す。実験はデータを取り込む前に十分にエンジンの暖気を行い、機関が安定して燃焼している状態になってから燃焼圧力データを取り込むことで実験条件の統一を図った。

##### 4.3 燃焼の評価方法

###### (i) 図示仕事

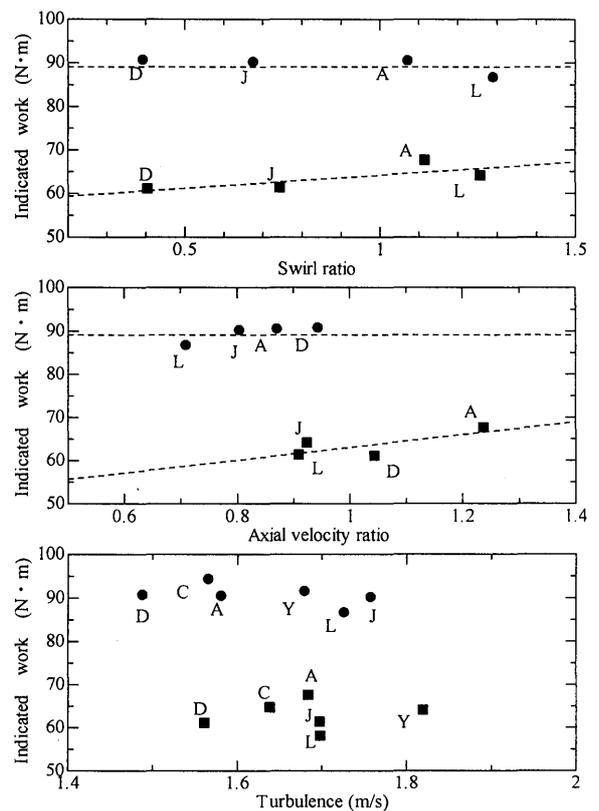
燃焼圧力を計測し、P-V線図から図示仕事を算出した。

###### (ii) 仕事の変動率

機関の安定性を評価するため、図示仕事の標準偏差を図示仕事の300サイクル平均で除した値を仕事の変動率と定義した。

###### (iii) 燃焼性

燃焼性の評価基準として熱発生率を算出し、点火時期から熱発生率最大値までの時間で熱発生率最大値を除したものを燃焼性と定義した。



● A/F15  
■ A/F19  
図4 ガス流動と図示仕事.

## 5. 実験結果と考察

### 5.1 ガス流動と図示仕事

図 4 にガス流動と図示仕事のグラフを示す。なお、YポートとCポートはX軸方向しか計測していない。そのためスワール比、軸方向速度比の結果の整理からは除外した。また乱れ強さに関しては、X軸方向の結果から整理を行った。

空燃比 15 ではスワール比・軸方向速度比・乱れ強さを大きくしても図示仕事に変化が見られず、ほぼ一定の値を示している。一方、空燃比 19 ではスワール比・軸方向速度比が大きくなると図示仕事が増加していることが分かる。しかし乱れ強さに関しては、図示仕事との相関は見られなかった。このことより、理論空燃比付近の燃焼ではガス流動に関係なく燃焼し、希薄状態ではスワール比・軸方向速度比が大きくなると図示仕事は増加することがわかる。従って希薄燃焼時のガス流動と図示仕事に関係があるものと思われる。

### 5.2 ガス流動と仕事の変動率

図 5 にガス流動と仕事の変動率のグラフを示す。空燃比 15 ではスワール比・軸方向速度比・乱れ強さが大きくなっても各ポートの仕事の変動率は全体的に低い値を示しておりポート毎に差は見られない。また空燃比 19 では仕事の変動率に大きなばらつきが見られたが、このばらつきとガス流動との関係を見つけることはできなかった。

### 5.3 ガス流動と燃焼性

図 6 にガス流動と燃焼性のグラフを示す。空燃比 15 では、スワール比が大きくなると増加傾向にあり、空燃比 19 でもわずかではあるが増加傾向にある。このことより理論空燃比付近だけでなく、希薄燃焼時にもスワール比が燃焼性に影響を及ぼしていることが分かる。また軸方向速度比・乱れ強さに関しては、燃焼性との相関は見られなかった。今回の結果よりスワール比と燃焼性については関係があるといえる。また燃焼性を考察した結果、Dポートのガス流動はスワール比が4ポート中最も小さいにもかかわらず、燃焼性はAポートと同程度であることがわかった。この原因について解明するためDポートについて重点的

に考察を行った。

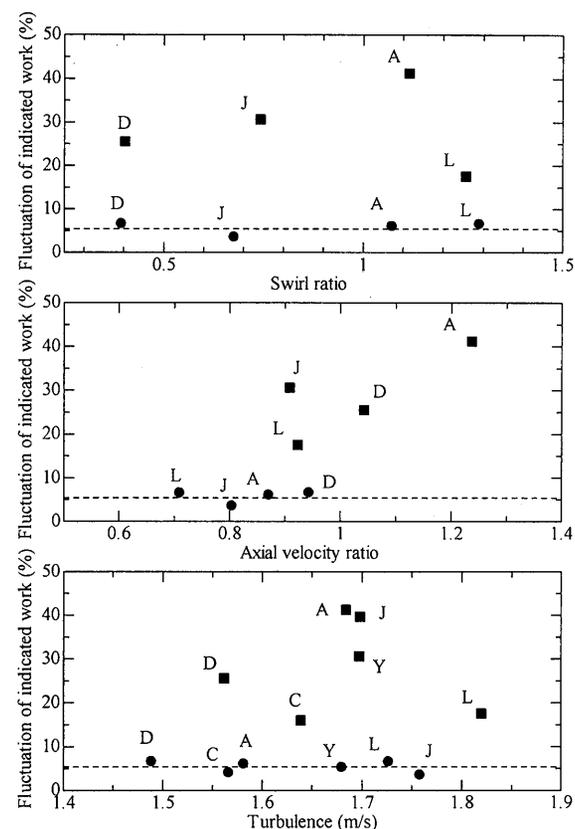


図 5 ガス流動と仕事の変動率

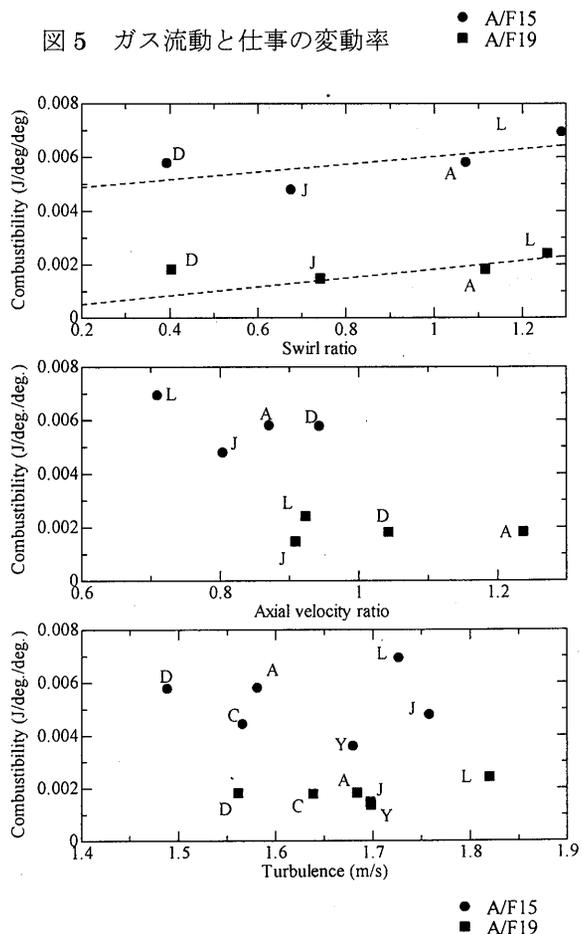


図 6 ガス流動と燃焼性

#### 5.4 Dポートについての考察

図7にDポート平均流速時間分布図を示す。Dポートについて、軸方向のガス流動については他のポートと比べ違いは見られなかった。しかし、周方向のガス流動についてはX軸方向計測結果ではガス流動が明らかに弱くなっており、Y軸方向計測結果では比較的ガス流動が強くなっていることがわかった。また他のポートと違い、時計回りのスワールが形成されていることも分かった。今回の結果より、Dポートの燃焼性にはX軸方向、Y軸方向の流速に大きく差があること、燃焼室内のガス流動が他のポートと異なり時計回りの流れを形成していることが関係している可能性があるのではないかとと思われる。

昨年度までDポートは、平均流速が遅いためスワールを形成しにくいポートであるにもかかわらず、燃焼性が高いという特殊なポートであった。今年度より新たにX軸方向の流速を測定することで、以前より燃焼室内ガス流動を詳細に考察することができた。その結果、Dポートの燃焼室内は、直交する2軸間のガス流動に大きな違いがあることが明らかになった。

#### 6. 結論

供試機関をモータリングさせることで燃焼室内ガス流動を測定し、着火運転時に燃焼圧力を計測することで、燃焼室内ガス流動と燃焼性の相互関係について考察を行い、以下の結論を得た。

1. 新たにY軸方向の計測システムを確立したことで、シリンダ中心で直交するX、Y軸の2軸でガス流動の計測を行うことができるようになった。
2. 希薄時にガス流動を大きくすることで、図示仕事が大きくなり、燃焼性が良くなることが分かった。
3. 希薄燃焼時にガス流動を大きくすることで燃焼性に影響を与えるだけでなく、燃焼性には流れの方向や2軸上の流速に大きく開きがあることも影響を及ぼす可能性があることが分かった。

最後に、本研究を進めるにあたり常に実験に携わっていただいた修士院生の石橋氏、また協力してくれた

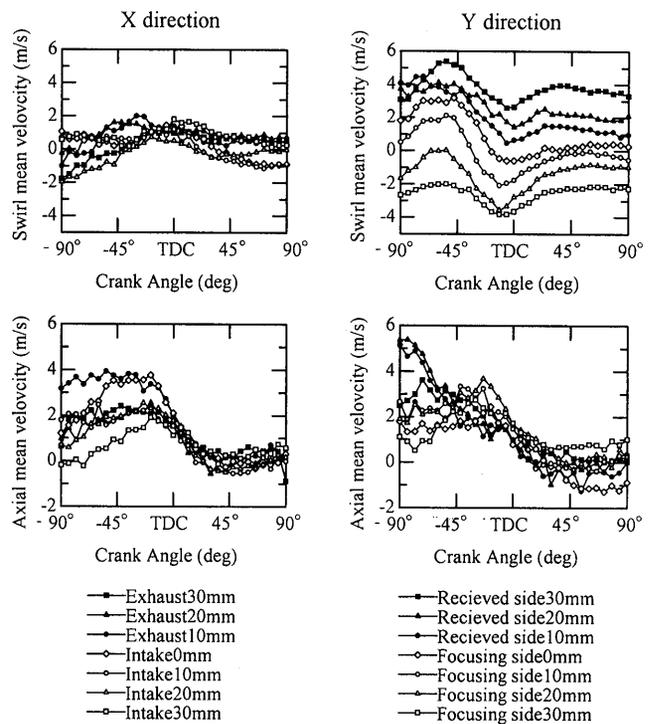


図7 Dポート平均流速時間分布。

当研究室の博士、修士、学部の学生の皆様に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

1. 小保方 富夫, 火花点火機関内ガス流動のLDV計測, 内燃機関, vol.23, No.295 臨時増刊, (1984).
2. 浜本 嘉輔他3名, 火花点火ガス機関における希釈混合気燃焼のサイクル変動, 機論, 61 - 590, B(1995), 3440.
3. 雀 圭勲他2名, 定容容器内の成層混合気の燃焼過程に関する研究, 機論, 54 - 497, B(昭63), 185.
4. 浜本 嘉輔他3名, 火花点火機関の燃焼に及ぼすスワールの影響, 機論, 52 - 480, B(昭61), 3059.
5. 野平 英隆他2名, 指圧線図解析による燃焼変動の研究, 自動車技術会論文集, vol.33, No.1, (1979), 11.