

## 可視化計測によるエンジン吸気ポート形状の評価の試み

田坂英紀<sup>1)</sup>・大畑拓之<sup>2)</sup>・長瀬慶紀<sup>3)</sup>**Attempt of Evaluation of Engine Intake Port Shape  
by Flow Visualization**

Hidenori TASAKA, Hiroyuki OHATA, Yoshinori NAGASE

**Abstract**

In recent years, it suffers from environmental problems such as global warming and air pollution. The exhaust gas of the car is referred as one of causes of air pollution. Therefore, it is necessary to control the in-cylinder gas flow to decrease exhaust gas. Moreover, the gas flow generated in cylinder is decided under the intake condition. In this research, the port model to imitate a real engine intake port is used to examine the in-cylinder gas flow. In-cylinder gas flow was measured how it was changed by two kinds of port shape in this port model by using flow visualization in color layer. As a result, it was roughly understood that the state of the in-cylinder gas flow changes by the difference of the port shape and the amount of the valve lift. Moreover, it was made an evaluation two kinds of port shape.

Key Words: Engine Intake Port Shape, Flow Visualization, In-Cylinder Gas Flow,  
Color Layer

**1. 結論****1. 1 まえがき**

エンジンの性能向上や排ガス低減を行うためには、エンジンシリンダ内のガス流動状態を把握することが求められる。しかし、シリンダ内は複雑な非定常流であるため、従来の局所的な計測方法では詳細に計測することは難しい。また、計測に膨大な時間を要するため、シリンダ内全域の三次元ガス流動を瞬時に、かつ簡便に把握できる新たな計測方法が必要である。

そこで本研究ではPTVを基本とし、そこに色層と呼ぶ色が連続的に変化する虹色の層を照射して、その色情報から被写体の深さ方向の変位を同時に計測する三次元計測

システム（色層可視化計測）の研究を行ってきた。

**1. 2 研究目的**

これまでの研究によりシリンダ内の三次元瞬時流速分布を計測する方法として色層可視化計測法を提案し、確立するに至った。そこで本研究ではこの計測方法をポートモデルに適用させ、吸気ポートの形状、バルブリフト量の変更によるバルブ周りの流れとシリンダ内に生成されるガス流動の関係を明確にし、吸気ポート形状の評価を行うことを目的とする。

**2. 可視化計測法計測原理・計測システム****2. 1 計測原理**

本研究では三次元速度分布の計測を可能にするため、カメラに対して奥行き方向に連続的に色の変化する色層と

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助教授

呼ぶ照明光を計測領域に照射し、計測領域内を移動するトレーサの反射光から可視化計測法で得られる二次元平面移動量と色情報から奥行き方向の移動量を得ることで三次元計測を可能にしている。計測原理を図1に示す。

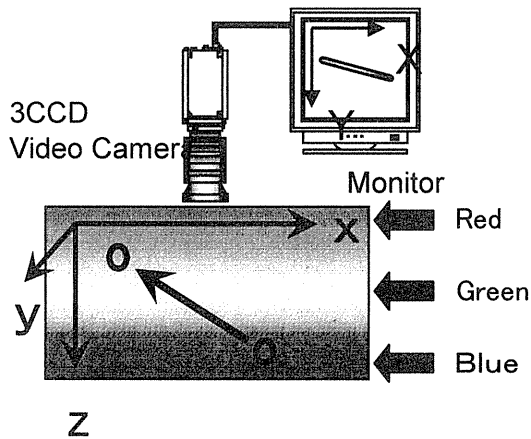


図1 計測原理

色情報を定量的に扱うために撮影装置から得られた画素ごとのR, G, B強度から求める輝度 (Luminance)  $Y$  と色相 (Hue) の二つを使用する。この二つは一般的に次式で表される。

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad \dots (1)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \frac{R - Y}{B - Y} \quad \dots (2)$$

また、色層内に三次元の座標系を定めることで、空間的な位置を判別する。座標系は次の通りである。

- i) 原点…バルブモデルのヘッド下面にあり、シリンダ軸と直交する点。
- ii) X軸…色層の進行方向に対し水平(シリンダ軸に垂直)にとり、右側を正とする。
- iii) Y軸…色層の進行方向に対し水平(シリンダ軸に垂直)にとり、色層の進行方向を正とする。
- iv) Z軸…色層の進行方向に対し垂直(深さ方向)にとり、下向きを正とする。

## 2. 2 計測システム

本研究の計測システムは大きく分けて、光源光学系、撮影装置、画像収録装置、実験装置、移動方向判別用光学系の5つから成り立っている。図2に計測システム概略図を示す。

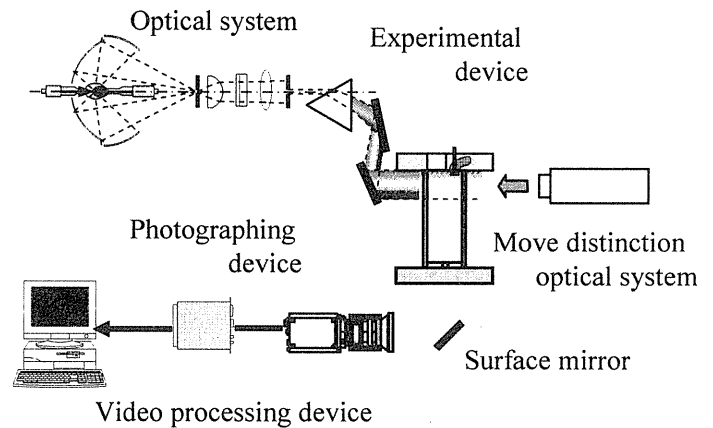


図2 計測システム概要

## 3. トレーサに関する検討

### 3. 1 白色トレーサの開発

これまでのトレーサは半透明の中空粒子に白色塗料を塗布して製作していた。白色化はトレーサに反射する色情報を正確に捕らえるためである。

しかし、この方法で製作したトレーサはモデルエンジン運転実験の際、ピストン頂面に付着し、それが背景の原因となり撮影を困難にしていた。そこで、このピストンへの付着の原因が静電気であると考え、静電気による帯電を防止できる白色トレーサの開発を行った。

これまでに使用していた白色塗料に添加剤として、少量でも帯電性が得られる白色導電性酸化チタンを用いて白色塗料を製作した。

この白色塗料で製作したトレーサをモデルエンジン内に注入し運転させた付着量で評価した結果、これまで使用していたトレーサと大差はなく、よい結果が得られなかった。よって、従来通りの白色塗料を塗布したトレーサを使用した。

### 3. 2 移動粒子の検討

次に、白色トレーサの反射光強度向上のため、白色塗料の混合比の検討を行った。ここで製作した白色塗料で製作したトレーサが正しい色情報を反射しているのかを確認するため、移動粒子実験を行った。図3に移動粒子実験装置概略図を示す。その結果、軸方向の誤差は10%以内であることが分かり、反射光強度は十分に得られていることが確認できた。

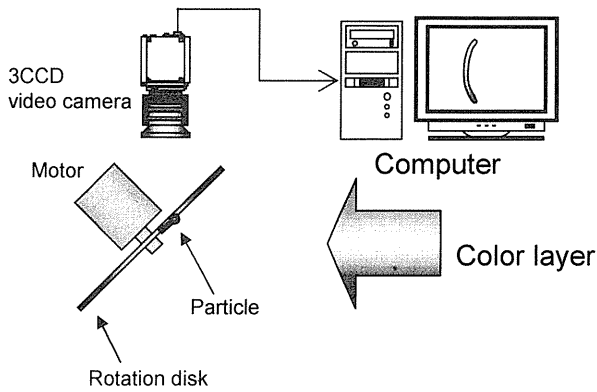


図3 移動粒子実験装置概略図

### 3.3 追従性の検討

次に、追従性の評価を行った。周波数 46Hz の正弦波流動場において、振幅比 0.9 以上で追従し得る粒子直径と粒子密度の必要条件を理論式から求め、これまで使用していたトレーサと反射光強度の向上を図ったトレーサの比較を行った。図4に追従性の計算結果を示す。

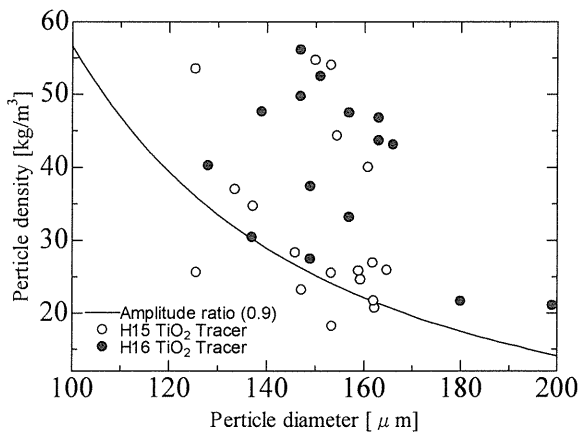


図4 追従性の計算結果

この結果から、反射光強度向上を図ったトレーサは良い追従性を得ることができなかった。以上の検討内容から、今年度のポートモデル実験では、昨年度と同じトレーサを用いることに決定した。

### 4. ポートモデル実験

本実験では実機の吸気行程を想定したポートモデルを使用する。使用したポートモデルの概略図を図5に示す。

ポートモデルには、最大出力 0.5kW のリングブロワを使用し、スライドトランスで電圧を調節できるようにしている。シリンダには内径 70.0 mm、外径 80.0 mm のガラス製

シリンダを使用している。また、シリンダヘッドには吸気ポートが脱着できるように付いており、吸気ポートの変更を可能とした。

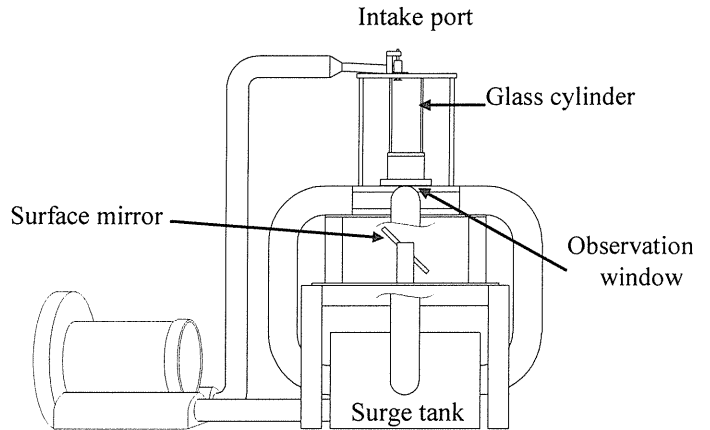


図5 ポートモデル概略図

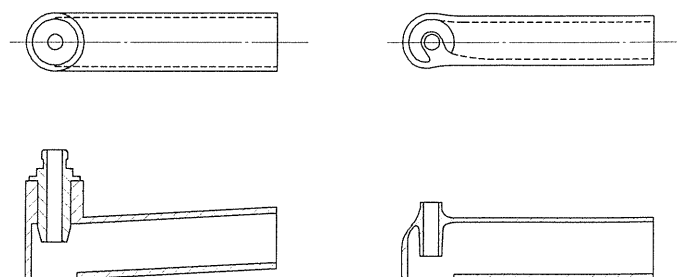
次に、本実験で使用した吸気ポート形状を図6に示す。今回使用したタンジェンシャルポート、スパイラルポートは主に次のような特徴がある。

(a) タンジェンシャルポート

タンジェンシャルポートからシリンダに吸入された空気はシリンダ壁に沿って流れ、これが旋回流を形成するように作られている。

(b) スパイラルポート

スパイラルポートは、実機においてバルブシステムを巻き込むような渦巻状の空気通路を有し、吸入抵抗が少ないことを特徴としている。



(a) タンジェンシャルポート (b) スパイラルポート

図6 吸気ポート形状

また、本実験では、バルブリフト量に伴うシリンダ内ガス流動の変化を見るために、表1の条件を設けた。

表1 実験条件

吸気ポート	タンジェンシャルポート, スパイラルポート
バルブリフト量 [mm]	2, 4, 6.5
流量 [ $m^3/s$ ]	0.002
シャッタースピード	1/125, 1/250 (軌跡速度に 応じて変更)
使用トレーサ	酸化チタントレーサ

5. 実験結果・考察

解析の結果, シリンダ内全体の流れは上向きの流れと下向きの流れが存在し, 複雑な流れ場となっていた。そのため, シリンダ内全体の流れ場を把握するために XZ 平面図を見てみる。図7にタンジェンシャルポートにおける XZ 平面図を, 図8にスパイラルポートにおける XZ 平面図を示す。図は  $Y = -5\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$  までのデータのみを使用した。

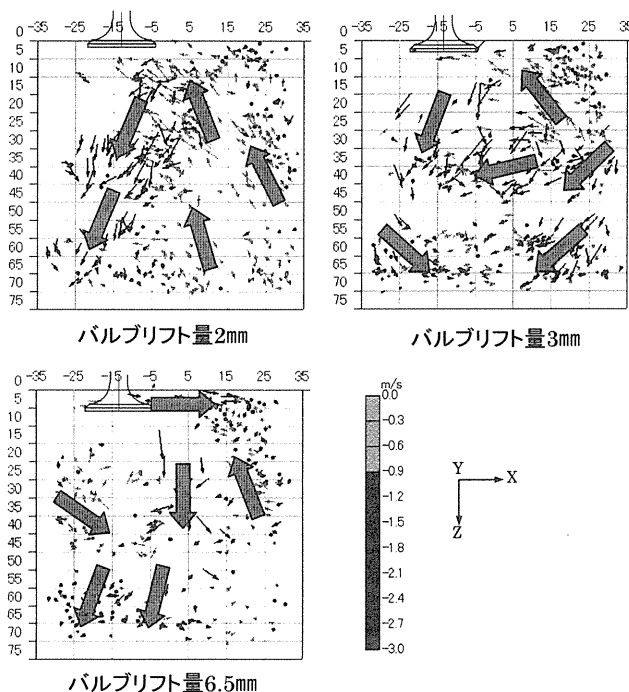


図7 タンジェンシャルポートにおける XZ 平面図

まず, 図7のタンジェンシャルポートでは, バルブがある位置の直下とバルブから遠いシリンダ内壁に下向きの流れがあり, それを上向きの流れがある。次に, 図8のスパイラルポートでは, バルブから遠いシリンダ内壁に下向きの流れがあり, バルブがある位置の直下は上向きの流れであることが分かる。

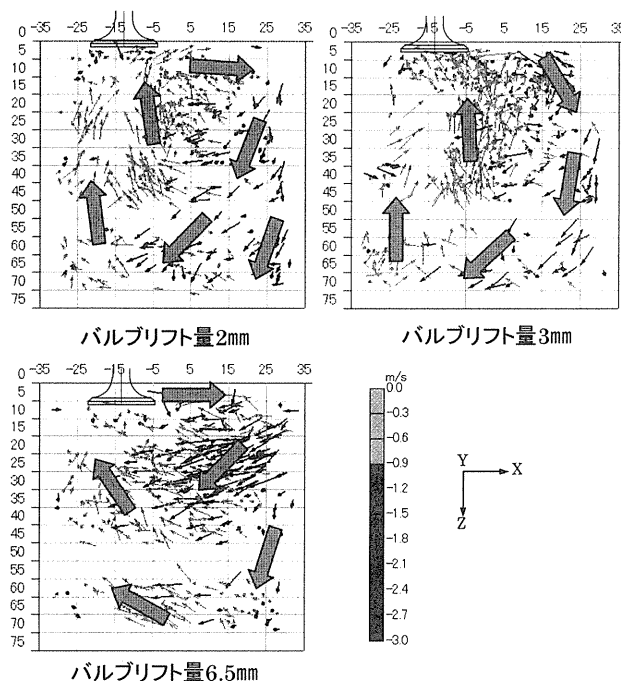


図8 スパイラルポートにおける XZ 平面図

次に, ポート形状による比較とバルブリフト量による変化を見ることにする。その際, シリンダ内を図9の様に, Z軸で14mmずつ5分割し, そのうちの  $Z=0\text{ mm} \sim 14\text{ mm}$  の範囲を領域①,  $Z=28\text{ mm} \sim 42\text{ mm}$  の範囲を領域②,  $Z=56\text{ mm} \sim 70\text{ mm}$  の範囲を領域③として, その領域内にあるデータを用いて考察を行った。

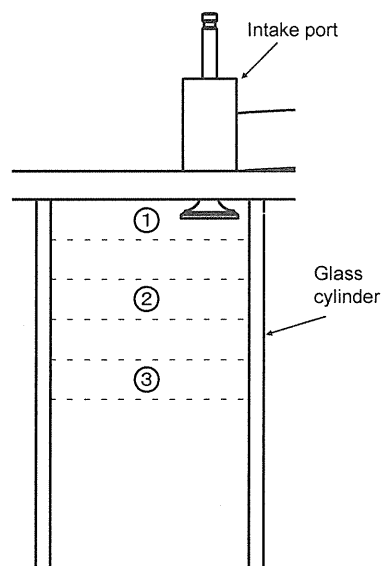


図9 領域分割

また、複雑な流れ場ができていて、軸方向速度が上向き  
のデータと下向きのデータをそれぞれ分けて載せてい  
る。また、ここで用いている図はシリンダ内のベクトル分  
布を表し、図右側にあるスケールは軸方向速度を3色で表  
し、矢印の大きさは三次元速度の大きさを表している。

### 5. 1 ポート形状による評価

タンジェンシャルポートのバルブリフト量 6.5 mm と、ス  
パイラルポートのバルブリフト量 2 mm の領域②のベクト  
ル分布図を図 1 0 に示す。

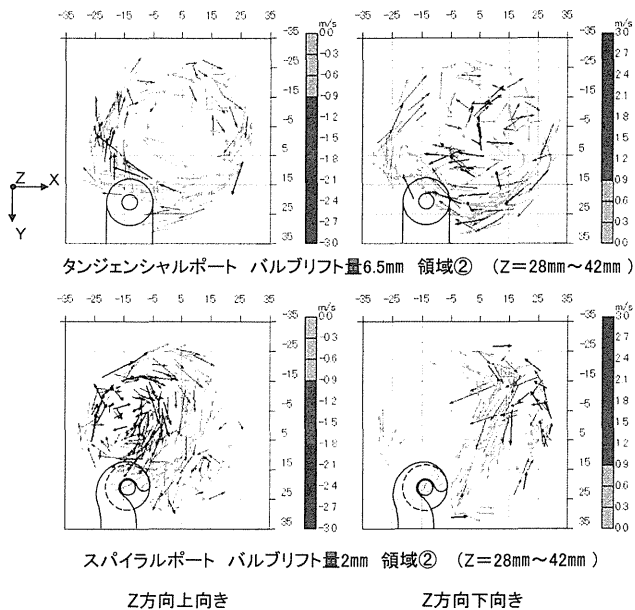


図 1 0 XY 平面ベクトル分布図

まず、図 1 0 より、2 つのポートを見比べるとタンジェ  
ンシャルポートではスワールが形成され、スパイラルポート  
ではシリンダ内に空気の渦が 2 つ形成されていること  
が分かる。そこで、スパイラルポートで 2 つの渦が形成さ  
れた原因について考えてみる。

この 2 つの渦ができた原因として、ポート内を通過した  
空気と同じ方向の流れと、それとは逆の方向に進む流れが  
あると考えられる。この 2 つの流れが XY 平面上のバルブ  
から一番遠い場所でぶつかり、シリンダの中心に向かって  
流れることで 2 つの渦が形成されていると考えている。こ  
の空気流動の様子を図 1 1 に示す。

図中のスパイラルポートから右下に向かう流れは、タン  
ジェンシャルポートでも存在すると思われるが、スパイラ  
ルポートの場合だとタンジェンシャルポートの流れより  
も流量が多いと思われる。スパイラルポートはバルブステ

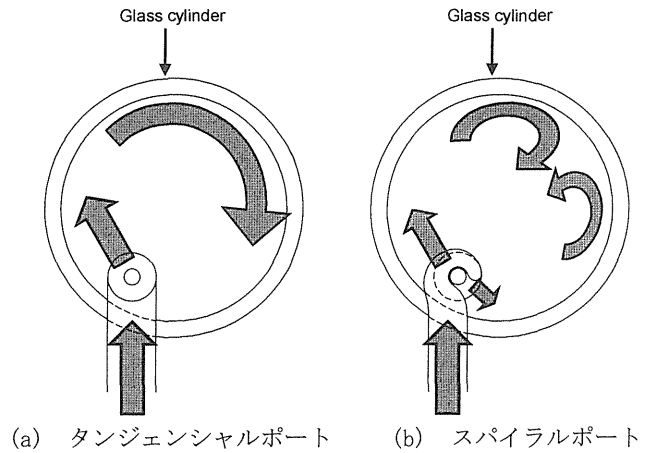


図 1 1 空気流動の様子

ムを巻き込むように製作しているが、巻き込む角度は  
270° 程度である。このことが原因であると考え、巻き込  
む角度を増やすことで、図 1 1 の図面上の右下に向かう流  
れを左上に向かう流れと同じ方向に向けることができ  
ると思われる。またタンジェンシャルポートではバルブ直下  
に Z 方向下向きの流れがあり、スパイラルポートではバル  
ブから離れた場所に Z 方向下向きの流れがあることが  
確認できた。バルブから出る空気は、バルブの真下に出る  
流れと、横に広がる流れがあり、タンジェンシャルポート  
はバルブの真下に出る流れの割合が多く、スパイラルポート  
は横に広がる流れの割合が多いと予想できる。これらの  
理由より、図 1 1 の右下に向かう流れを少なくすることで、  
スパイラルポートでもスワールを発生させることができ  
ると思われる。また、XY 平面の水平方向のみで考えると、  
タンジェンシャルポートよりもスパイラルポートで発生  
したスワールの方が大きいと考えられる。

### 5. 2 バルブリフト量による比較

まず、タンジェンシャルポートについて見てみる。タン  
ジェンシャルポートのバルブリフト量 2 mm と、6.5 mm の Z  
方向下向きのベクトルを図 1 2 に示す。

バルブリフト量 2 mm の場合では、領域②と領域③におい  
て、バルブ付近に強い Z 方向下向きの流れが分布してい  
る事が分かる。しかし、バルブリフト量 6.5 mm の場合、領  
域②では、シリンダ全体に強い Z 方向下向きの流れが分  
布し、領域③ではシリンダ中心から離れた場所に強い Z  
方向下向きの流れが分布している。このことから、バルブ  
リフト量 6.5 mm では、領域②でシリンダ中心にある Z 方向  
下向きの流れは Z の値が増えるとシリンダ内壁面に向か

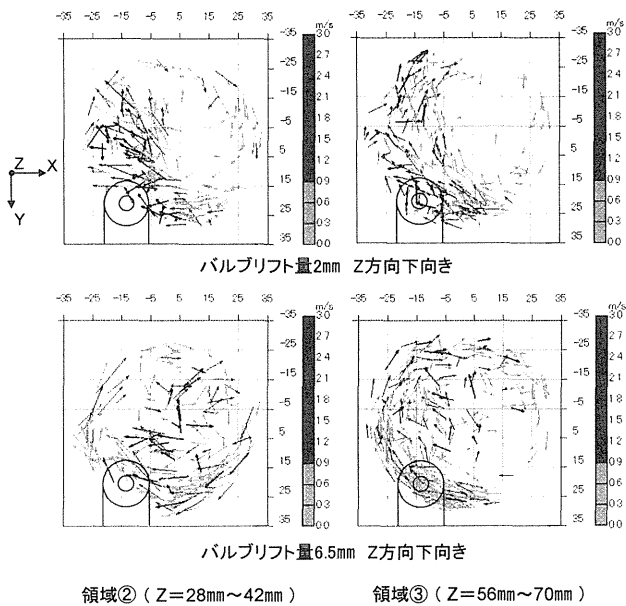


図12 Z方向下向きベクトル図

って流れながらスワールを形成すると考えられる。また、タンジェンシャルポートのバルブリフト量3mmと6.5mmの領域②を見ると、バルブリフト量6.5mmではスワールが形成されていることが分かる。さらに、タンジェンシャルポートは、バルブリフト量が大きくなると、スワールが発生しやすいことが確認できた。

次に、スパイラルポートについて見てみる。スパイラルポートのバルブリフト量3mmの領域②と、スパイラルポートのバルブリフト量6.5mmの領域②を図13に示す。

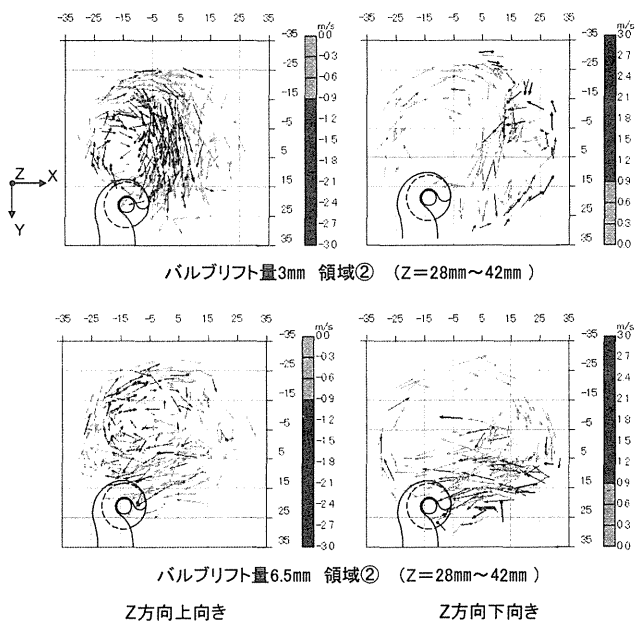


図13 スパイラルポートのXY平面ベクトル図

スパイラルポートではシリンダ内に渦が2つ形成され、1つの渦はZ方向上向きの流れが多く存在し、もう1つの渦はZ方向下向きの流れが多い傾向が見られる。また、バルブリフト量2mm、3mmの場合と、6.5mmの場合とでは、その渦の形成される位置が異なっていることが分かる。これは、バルブの開口面積が狭いときには図11の右下に向かう流れが強く、バルブの開口面積が大きいときは右下に向かう流れが弱くなるのではないかと考えている。そして2つの渦同士がぶつかり合う位置がZ軸を中心に時計回りに移動し、この図11の右下に向かう流れでできる渦が小さくなったと考えられる。

## 6. 結論

本研究で色層を用いた三次元可視化計測法をポートモデルに適用し、吸気ポート形状とバルブリフト量を変化させシリンダ内流れを計測した結果、以下の結論を得た。

- (1) 実験の効率と解析精度の向上を図るために白色トレーサの帯電防止と白色塗料混合比の検討を行った。その結果、トレーサの帯電防止には白色導電性酸化チタン以外での検討が必要であることが分かった。また、白色塗料混合比についてはトレーサの追従性向上が必要であることが分かった。
- (2) 今回製作したスパイラルポートで強いスワールを形成する為には、改良が必要であることが分かった。
- (3) 今回製作したタンジェンシャルポートとスパイラルポートで比較を行うと、スワールが発生することができたタンジェンシャルポートの方が、燃焼速度を速める効果が期待できる。

## 参考文献

- (1) 田坂英紀・佐藤忠教共著 内燃機関 森北出版株式会社 1999.3 P120~122
- (2) 可視化情報学会編 PIV ハンドブック 森北出版株式会社 2002.7 P3~4 P286~287
- (3) 可視化情報学会編 PIV ハンドブック 森北出版株式会社 2002.7 P4~7
- (4) 流れの可視化学会編 流れの可視化ハンドブック 1986.10 P425~427