

研究速報

エンジンシリンダー内流れの可視化

Visualization of Flow In Engine Cylinder

張 会来*・小林敏雄**・佐賀徹雄*・瀬川茂樹*

Huilai ZHANG, Toshio KOBAYASHI, Tetsuo SAGA and Shigeki SEGAWA

ガソリンエンジンに対しては空燃比の“均一分布”と言う概念から“非均一分布”に変化し、ディーゼルエンジンと同じような燃料質調整、希薄燃焼、排気制御が実現できつつある。そのため、エンジン内流れに対して、定量的、多点瞬時的に、流れ場へ影響なく計測する手法の開発が望まれている。今研究は2次元断面に対する濃度相関法を用い、低時間分解能 NTSC CCD カメラよりシリンダー内高速流速度ベクトルの計測が実現でき、エンジン内流れ場可視化実験を実施した。しかし、サイクル変動と乱れ成分が如何に分離されるかと言う興味深い課題と残されている。

1. 緒 言

エンジンシリンダー内の流れに関する研究は、エンジン性能の向上に対して極めて重要である。多くの研究者は、その研究に注目している¹⁻⁵⁾。

最近、地球環境、資源エネルギー等の問題が深刻化するに連れ、低燃費、低排気汚染と高出力等多方面性能を持つエンジンが要求されつつある。成層燃焼、GDI (Gasoline Direct Injection) はその研究結果として、商用車に应用されている。ガソリンエンジンに対しては空燃比の“均一分布”と言う概念から“非均一分布”に変化し、ディーゼルエンジンと同じような燃料質調節、希薄燃焼、排気制御が実現できつつある。何れも、吸入された空気流れを上手く利用することが基本的である。そのため、エンジン内流れの流速、乱れ強度、サイクル変動、swirl, tumble等を流れ場全領域で計ることが必要となり、定量的、多点瞬時的に、流れ場へ影響なく計測する手法の開発が望まれている。

近年、PIV (Particle Image Velocimetry) 或いは PTV (Particle Trace Velocimetry) に関する研究が盛んに行われ、エンジンに应用する例も多くなってきた。PIVは濃度相関法を意味する場合が多く、PTVは粒子追跡法を、特に“4時刻粒子追跡法”を意味するが多い。今回、エンジンシリンダー内流れに対して、2次元的に、濃度相関法

を用いることである。

2. 可視化方法 PIV について⁶⁾

濃度相関法は、短い時間間隔で撮影した連続する2枚の画像から、相関係数が最も高くなる位置相関領域を求め、移動距離と時間間隔から、流速ベクトルを算出する方法である。第一時刻画像から速度を求める点を中心として、検査領域を定義し、第二時刻画像の同じ中心より、検査領域より大きな探索領域を定義する。第二時刻画像の中に、検査領域と同じ大きさの相関領域を探索領域内に相関係数を求めながら走査させ、相関係数が最も高い相関領域を探し出す。相関領域の中心が経過した領域は走査領域と呼ばれる。検査領域と相関領域の両中心点の結び線は速度ベクトルとなる。各領域の関係と大きさが図2-1に示された。相関係数を

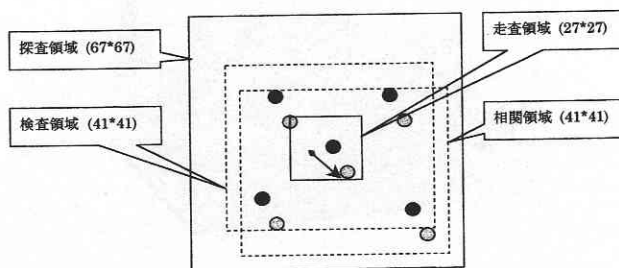


Fig. 2-1 濃度相関法より各領域関係図

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東京大学国際・産学共同研究センター

$$R = \frac{\sum \left| (g_{A_i} - \bar{g}_{A_i}) (g_{C_i} - \bar{g}_{C_i}) \right|}{\sqrt{\sum \left((g_{A_i} - \bar{g}_{A_i})^2 \right) \sum \left((g_{C_i} - \bar{g}_{C_i})^2 \right)}} \dots\dots\dots (2-1)$$

で計算する。図 2-2 には、検査領域の輝度値、探査領域輝度値及び走査領域の相関係数値が例として示される。図 2-2 (c) の中に最も高い山を対応する座標は、速度ベクトル矢印終点となっている。今回、速度ベクトルが有効と認識する相関係数のしきい値を 0.6 とする。

3. 計測システムと可視化エンジン

解析装置については図 3-1 に示すようにハードウェアシ

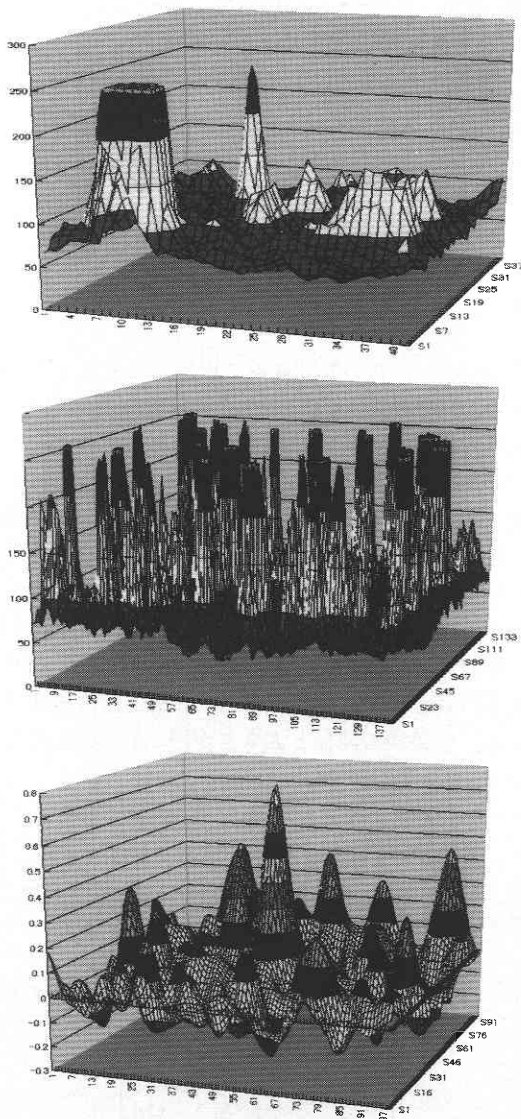


Fig. 2-2 検査領域輝度値、探査領域輝度値及び走査領域相関係数についての概念図

ステムを構成されている (表 3-1 に参考されたい)。撮影部には、NTSC 規格 CCD カメラが用いられ、TV 信号は 30 Hz の時間分解能、合計 525 本の水平走査線を持つフレーム画像で構成されている。2 : 1 インターレース方式による 1 組の奇数/偶数フィールド画像で 1 枚のフレーム画像が構成され、フィールドを 1 枚の画像と見なすと、垂直分解能は 262.5 本、時間分解能は 60 Hz (厳密には 59.94 Hz) となる。高速画像を撮るためには、AOM のような照明制御が必要である。記録部に、frame memory unit MPU-F 100 A を通じて、Laser video disc processor が用いられる。画像処理部には NEXUS-6400 を使い、ビデオ信号は高速 A/D 変換器で 512*480 画素 *8 bit の白黒のデジタル画像に変換され、イメージメモリに格納される。2 値化、エッジ検出、画像強調、空間フィルタ、奇数/偶数フィールドの分離、フレーム間演算、ラベリング等を実行させる。ホストコンピュータには GP-IB インターフェイスを介して NEXUS と接続され、画素値を読み出し等の command が行われる。相関係数を計算するのはワークステーションで行われている。

AOM の基本的な作用は連続 laser 光を CCD カメラの周期に合わせ、パルス光に変更することである。又、エンジ

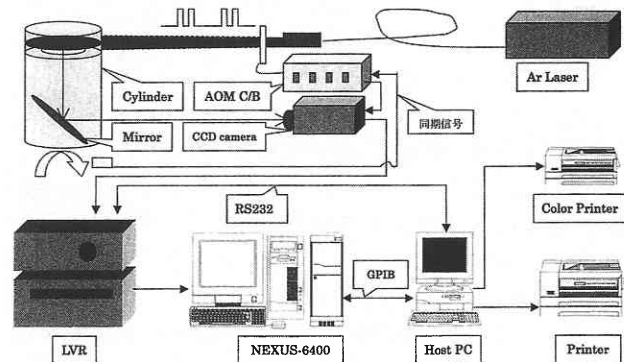


Fig. 3-1 計測システム

表 3-1 visualization system

laser type	Argon ion
power	4.5(watt)
light type	continuous light
sheet thickness	6.0(mm)
カメラ	NTSC CCD
時間分解能	30/60(Hz)
空間分解能	512*512(pixel)
粒子 サイズ	100(um)
AOM:	
pulse duration	508(ms)
pulse interval	508(ms)
実空間	
時間分解能	1966.67(Hz)
空間分解能	0.09(mm/pixel)

ン周期的な境界条件に合わせ、計測システムとエンジン運転状況を同期させなければならないのである。crank-shiftからの外部信号はAOMを通して、全計測装置を同期させる。AOM内部信号の時間系列を図3-2に示しており、二つAOM発光信号はCCDカメラ奇数/偶数フィールドに別々に入り、一枚フレームに異なる時刻の二つ画像が含まれ、インターレース補間により、濃度相関法が利用できることである。

今回使われるエンジンは、パンケーキ型燃焼室を持ち、燃焼なし、モータに駆使され、単気筒ディーゼルエンジンである。エンジン主要なパラメータは表3-2に示す。今回の目的は気筒内流れの様子を観測するとしている。swirl吸気ポートと透明な石英ガラスのシリンダーを用いている。ピストン下にミラーが置かれ、カメラは透明ピストンヒードを通して筒内様子を観測する。粒子がAir pumpか

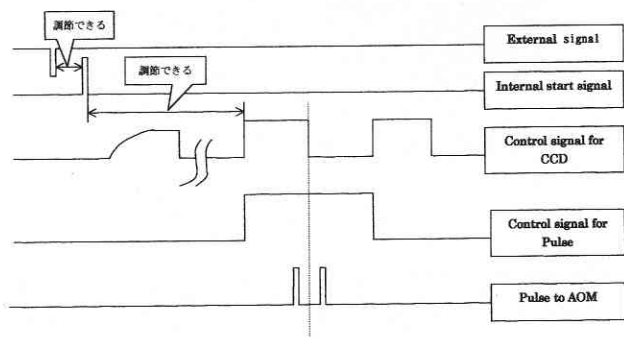


Fig. 3-2 同期制御信号関係図

表3-2 Specifications of model engine

engine specifications	pancake-shaped combustion chamber
valve	one intake / one exhaust
displace volume	411(cc)
bore*stroke	82*78(mm)
comp.ratio	13.5
top clearance	1.0(mm)
port swirl ratio	0/2.4
intake valve open	15°C BTDC
close	15°C ABDC
exhaust valve open	15°C BBDC
close	15°C ATDC
valve diameter in/ex	32 / 28(mm)
Max. valve lift	8(mm)
engine speed	120,180,240(rpm)

ら、エンジンポート内に吹き出され、筒内に流されて行く(図3-3)。

4. 計測と結果

吸気上止点から、吸気弁が開き、吸気下止点まで、空気が流れ込み続き、筒内swirl流れが形成される。swirl流向き、swirl number(強度)等がポートの設計に寄るもので、“swirl流は噴射まで、どのぐらいが保たれるか”と言うことが重要である。今回の実験は120 rpm, 180 rpm, 240 rpm回転数を着目して、吸気下止点の位相で、ピストンヒードから20 mmの横断面、6 mm厚さ、シリンダー直径90%の領域内のswirl流を計測する。平均流速と乱流強度を200サイクルのアンサンブル平均より算出される。尚、誤ベクトルが存在する格子点には、誤ベクトル一サイクル数より引かれたサイクル数で、平均流速と乱流強度を算出する。乱流強度、無次元乱流強度と渦度を

$$RMS = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum(u_x - \bar{u}_x)^2}{N} + \frac{\sum(u_y - \bar{u}_y)^2}{N}} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$RMS^* = RMS / (Ne * R) \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\Omega = \frac{\delta \bar{u}_y}{\delta x} - \frac{\delta \bar{u}_x}{\delta y} \dots\dots\dots (4-3)$$

で計算する。

図4-1は120 rpm連続四つサイクルの同じ位相の瞬間ベクトルを示している。エンジン吸気サイクル変動がよく見られた。

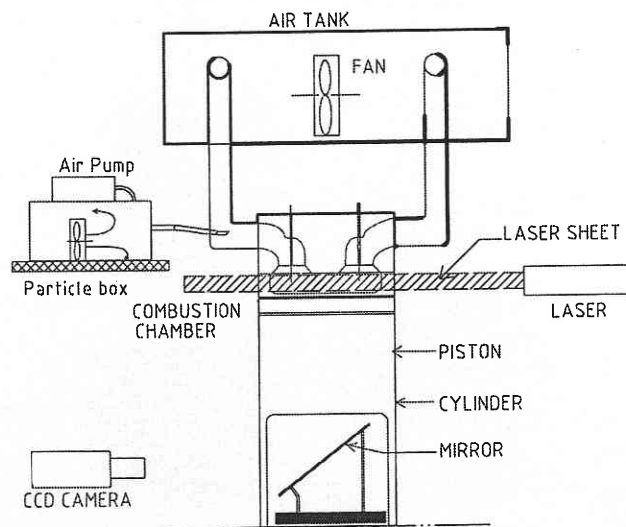


Fig. 3-3 可視化エンジンシステム

研究速報

図4-2, 図4-3には120 rpm, 180 rpmと240 rpmの平均ベクトル, 渦度, 乱流強度及び無次元乱流強度を示している. 右側は吸気弁側, 左側は排気側である. エンジン回転数増加と共に, swirl回転が強くなり, swirl中心が吸気弁側から両弁の間に移動することが分かった. 渦度も吸気側に強い姿勢が現れ, エンジン回転数増加と共に全領域に広がる傾向が見られた. エンジン回転数増加により, 乱流強度も強くなり, 無次元乱流強度が殆ど変わりなくと言う現象が分かった.

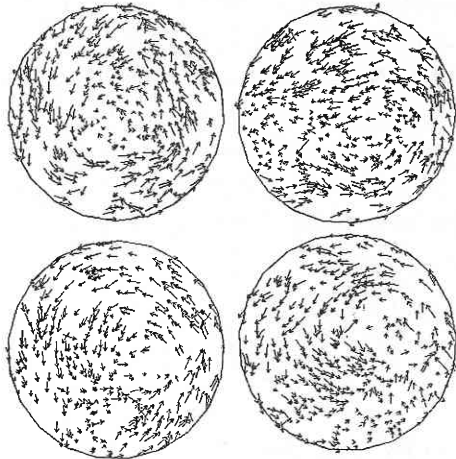


Fig. 4-1 同位相連続4サイクル筒内流れ様子

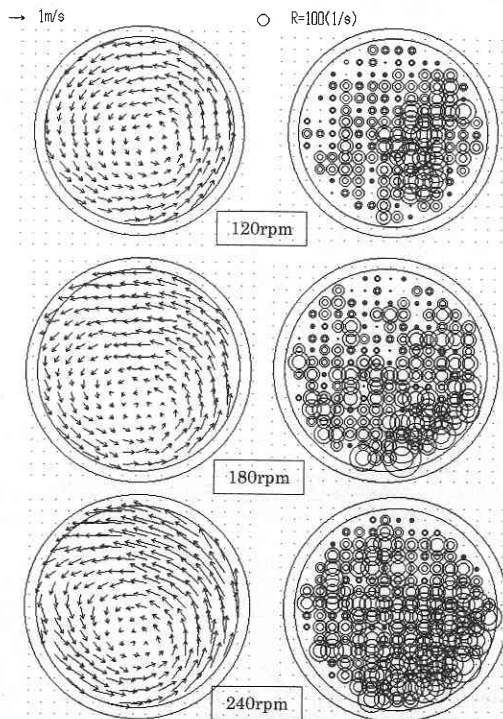


Fig. 4-2 サイクル平均速度ベクトルと渦度分布

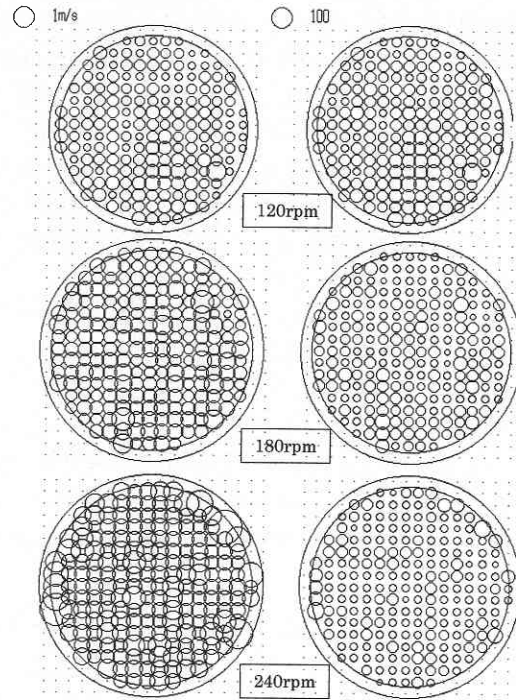


Fig. 4-3 式(4-1)より乱れ強度と式(4-2)より無次元乱れ強度

5. 結 論

低時間分解能NTSC CCDカメラよりシリンダー内高速流速度ベクトルの計測が実現でき, Swirl, サイクル変動等の現象が観察できた. しかし, 今回の実験で計測されたサイクル数が少ない, 更に, 誤ベクトルを除くことにより, 各格子点上アンサンブル平均基数は少ないと言う問題がある. 乱れ強さを計算する際には, サイクル変動を取り除くことができないため, 乱れ強度にサイクル変動の成分が含まれるのである. そのサイクル変動と乱れ成分が如何に分離されるかと言うのは興味深い課題が残されている.

謝 辞

今回, 実験用可視化エンジンは(株)いすゞ自動車中央研究所より, 提供頂き, ここに深くお謝意を表す.

(1998年2月20日受理)

参 考 文 献

- 1) Marie Ronnkack SAE 912376.
- 2) Bahram Khalighi SAE 900059.
- 3) Willian C.Reynolds SAE 910475.
- 4) P.V.Farrel SAE 930480.
- 5) 張 龍等 JSAE.
- 6) 小林敏雄等「複雑三次元流れ場解析用カラーPIVシステムの構築」研究成果報告書, 平成7年3月.