

# エンジン吸気脈動のシミュレーション解析

## Simulation Study of Intake-Air Pulsation in SI-Engine

○林 寛\*, 栗原伸夫\*\*

Hiroshi Hayashi\*, Nobuo Kurihara\*\*

\*八戸工業大学大学院工学研究科機械・生物化学工学専攻博士前期課程

\*\*八戸工業大学大学院工学研究科

\*\*Hachinohe Institute of Technology, Graduate School of Engineering

**キーワード** : 自動車エンジン (Automobile Engine), 吸気脈動(Intake-air pulsation),  
シミュレーション(Simulation), 圧力計測(Pressure measurement)

**連絡先** : 〒031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1 八戸工業大学工学部システム情報工学科  
栗原研究室 栗原伸夫, Tel&Fax: (0178)25-8174, E-mail: kurihara@hi-tech.ac.jp

### 1. はじめに

ガソリンエンジンの燃費低減・排気抑制をはかるために、燃料制御系はキャブレタ式→単点噴射式→多点噴射式→筒内噴射式と、アクチュエータを次第に燃焼室へ近づけてきた。一方で、吸気制御系はスロットルをアクセルペダルと切り離す電子制御式に変えてきたが、このスロットルによる絞り損失がエンジン効率低下 (10%~15%減) の要因とされる。

最近、スロットルの役割を燃焼室の吸気弁に代行させる動きが進んでいる。可変吸気弁<sup>例えば[1]</sup>の開弁時期 (タイミング)、開弁時間 (イベント)、上下動量 (リフト)、さらには絞り弁開度との適合と操作量が、多く運転条件に応じて吸気量を最大にする制御法が課題となっている。

本研究では、エンジン汎用シミュレータを用いて、操作量の多い可変吸気弁制御において吸気脈動の発生が吸気制御の指針となる可能性を探ることにした。まず、シミュレーションで操作量と吸気脈動の関係を明らかにし、次にエンジン実験でマニホールド圧力の計測により抽出可能であることを確認した。

### 2. 汎用エンジンシミュレータ

エンジン汎用シミュレータの中でも高精度とされる GT-POWER (CD-adapco 社製) を用いた。エンジンは配管、分岐管、弁などの要素を組み合わせたモデルとなる。ここでは、実験で用いる 4 気筒エンジンを Fig.1 のブロック線図で模擬した。なお、それぞれのブロック要素は、連続の

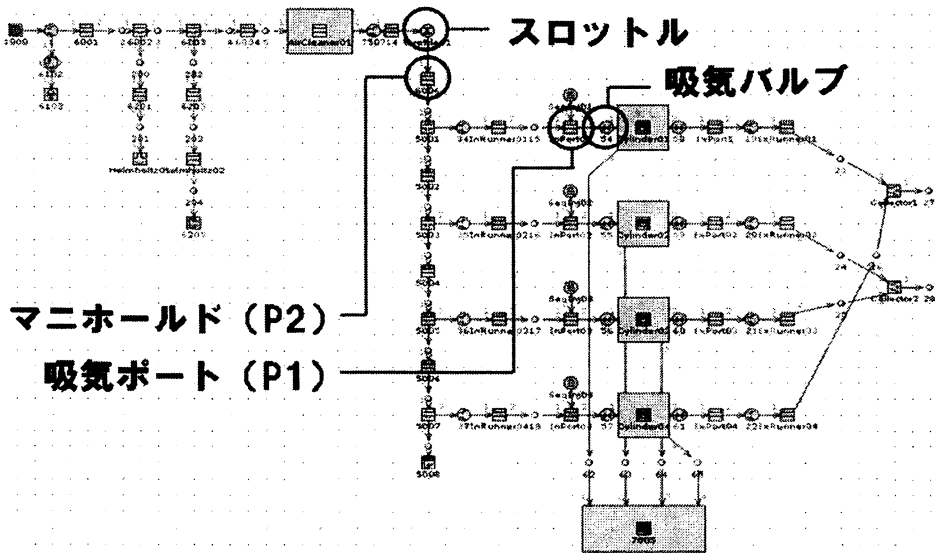


Fig.1 エンジンシミュレーションモデル

式、エネルギー保存式、エンタルピー式、運動量保存式が適用されている。

### 3. 吸気特性のシミュレーション

GT-POWER を用いて、可変吸気弁作動による吸気量の特性を調べた。所定のスロットル開度でクランク角度に応じて吸気弁を作動させ、シリンダへ流入する吸気量の動きを求める。

Fig. 2 に示すように、ピストンの下降に伴って空気がシリンダへ吸引されるが、

その一部は逆流して吸気管へ戻ります。

このときの吸気弁の動作を表したものが Fig. 3 になり、操作量に変化を加えていない為、デフォルトとします。操作量には、タイミング量、イベント量、リフト量の3つの操作量がありますが今回の実験では、タイミング量、イベント量の調節を行った。

タイミング量とは、Fig. 4 の様に位相をずらすことで、開弁時期をコントロールする。Fig. 5 は、イベントト量を調整

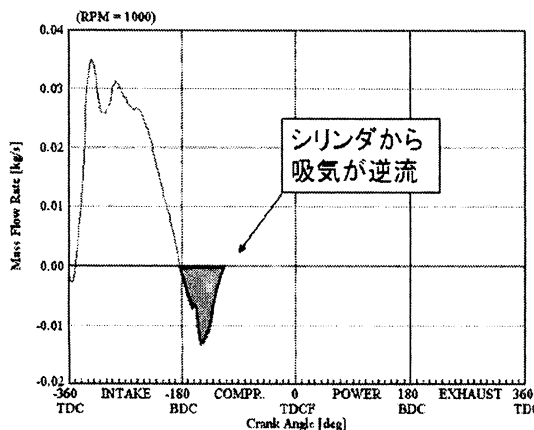


Fig. 2 シリンダへ流入する空気量

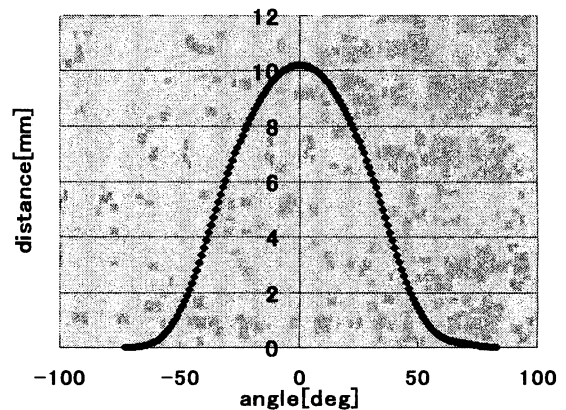


Fig. 3 吸気弁の動作(デフォルト)

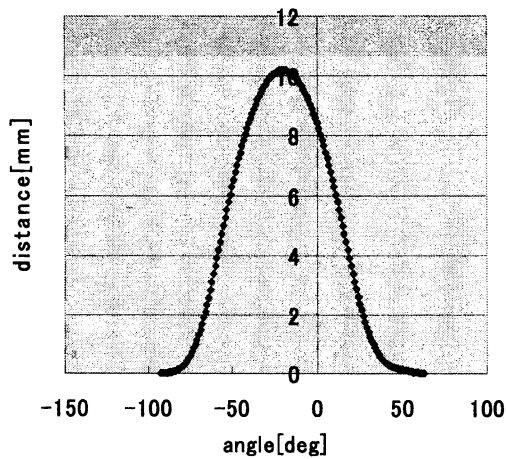


Fig. 4 吸気弁の動作(タイミング-20%)

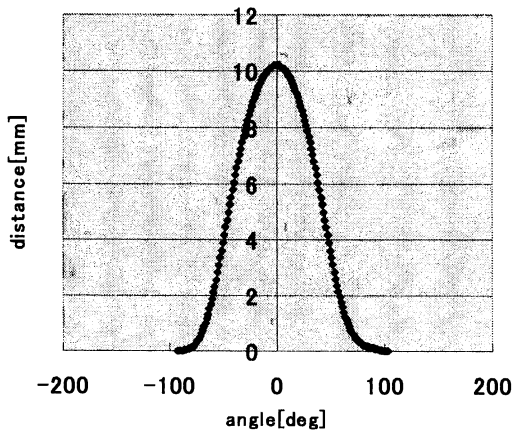


Fig. 5 吸気弁の動作(イベント+20%)

することで、吸気弁の開閉時間をコントロールする。

シリンダに流入される空気量を(1)式により算出した。

$$\sum_{i=0}^{n-1} F_{g,i} \times T_{s,i} \quad (1)$$

タイミング量、イベント量の操作量の組み合わせをエンジン回転数ごとに-20%~20%までの測定を行い、どの操作量の吸気量が最も多いかを調べたグラフをFig. 6とFig. 7に示す。吸気量はイベントに

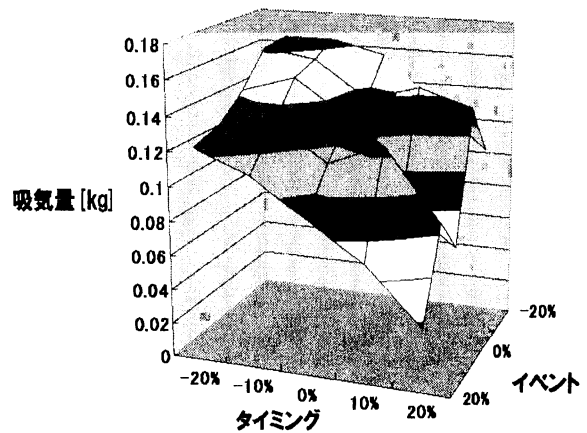


Fig. 6 操作量と吸気量(1000rpm)

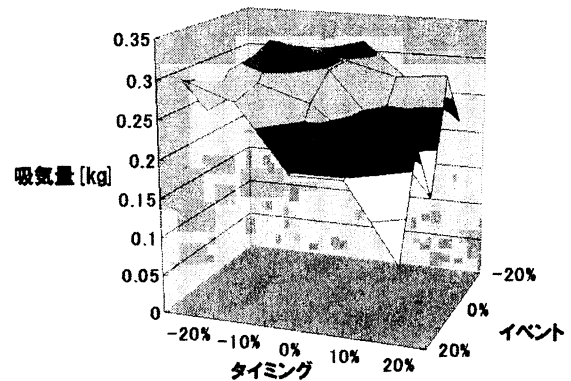


Fig. 7 操作量と吸気量(2000rpm)

依存して増えることがわかった。

#### 4. 吸気圧力特性のシミュレーション

スロットルを所定の開度に設定し、クランク角度に応じて吸気弁を作動させ、シリンダへ流入する吸気量、吸気ポート圧力(P1) マニホールド圧力(P2)の動きを求めた。Fig. 2で示したように、ピストンの下降に伴って空気がシリンダへ吸引されるが、その一部は逆流して吸気管へ戻る。ここで、吸気行程の変動に重畳して脈動が見られる。吸気量は、流入/逆流

の行程を経てシリンダへ供給され、このとき発生する脈動の大きさと係わるようである。Fig. 8 では、この吸気脈動が吸気ポート圧力(P1)に大きく現れ、マニホールド圧力(P2)にも僅か観察される。

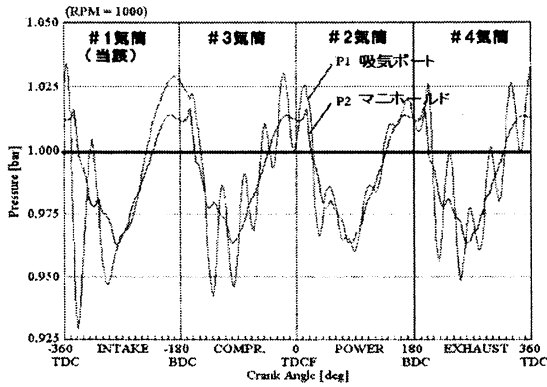


Fig. 8 吸気圧力の脈動現象

エンジン回転数ごとに各操作量の当該気筒の振幅を求め、Fig. 9 に吸気量と脈動振幅の関係を示す。

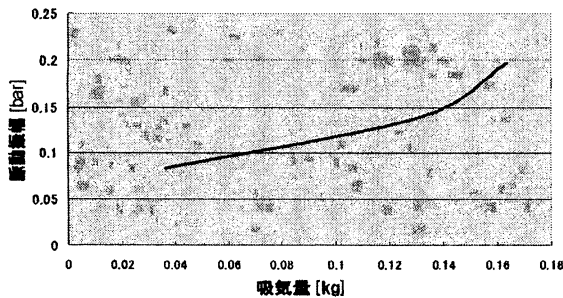


Fig. 9 吸気量と脈動振幅 (1000 rpm)

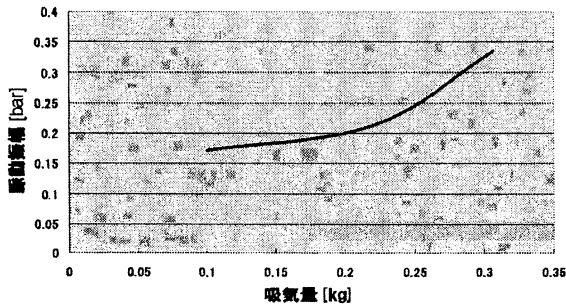


Fig. 10 吸気量と脈動振幅 (2000 rpm)

Fig. 9 と Fig. 10 から脈動振幅が増大すると吸気量も増えることがわかる。

エンジンで各吸気ポートごとに圧力センサを取り付けることは困難であることから、この吸気ポートの圧力脈動をマニホールド圧力から抽出する方法が必要となる。Fig. 8 において、吸気ポート圧力(P1)の変動がさらに上流側のマニホールド圧力(P2)へと伝播する様子が位相差から分かる。ここで、当該吸気ポートではクランク角度-360[deg]から-180[deg]まで位相が進み、それ以降は遅れる。つまり他の3つのポートで発生した脈動はマニホールドを介して伝播するためである。次にエンジン実験において、Fig. 8 で得られたような吸気脈動を、制御用に利用されるマニホールド部の圧力信号から検出できるかどうかを調べる。

## 5. エンジン実験による吸気脈動の検出

ガソリンエンジンを用いた実験システムを Fig. 11 に示す。供試エンジンとして直列4気筒16バルブ、1500ccを用いた。マニホールド中央部と吸気弁付近の吸気ポートに穴を開けて低圧計測用圧力センサ(Kistler社製、0-5bar/0-10VDC)を設置し、回転軸の前頭部にクランク角度センサ(小野測器社製、720P/1 rev および1P/1 rev)を取り付けた。

サンプリング周波数を48kHzに設定した。これは、3000rpmで回転パルス(1P/1 rev)を計測できるよう設定したものである。ACモードで計測した結果を Fig. 12 に示す。±2×10<sup>-3</sup> barの波形が得られ、1/2回転の周期で同様な変化がみられる。

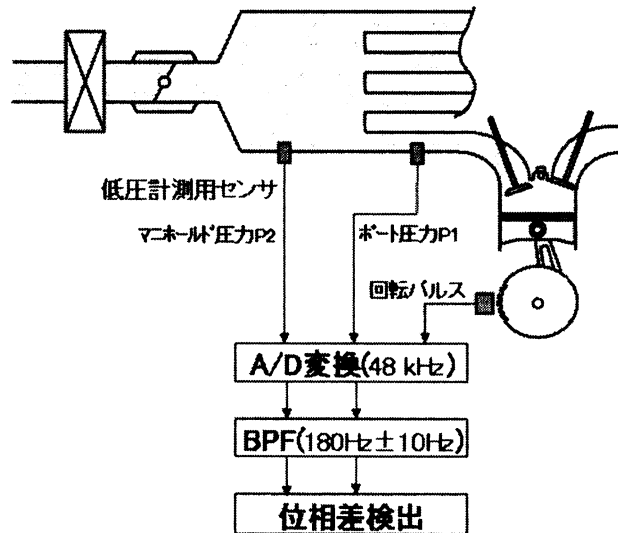


Fig. 11 実験用 4 気筒エンジン

当該吸気ポートの吸気行程は、0.038 秒～0.058 秒の区間であり、ここで脈動の発生が計測されているはずであるが、Fig. 12 ではハッキリしない。

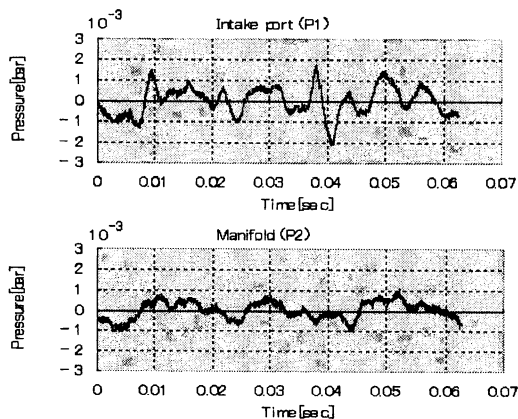


Fig. 12 マニホールドおよびポート圧力

したところ、脈動の周波数は約 180Hz であることが分かった。このことから BPF の仕様を、通過帯域：170～190Hz、遮断

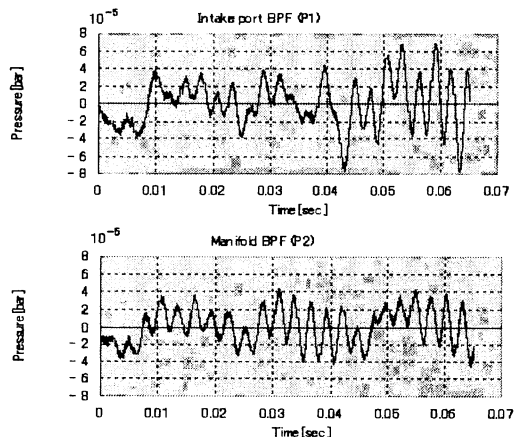


Fig. 13 BPF 通過後の吸気圧力

信号処理としてバンドパスフィルタ (BPF) を用いて吸気脈動成分を強調することにした。オンポート処理を考慮してバッファメモリの少ない楕円フィルタを用いた。GT-POWER のシミュレーション結果と吸気ポート圧力の計測値を FFT 処理

帯域：160～200Hz (±10Hz)、通過帯域内リップル：0.1dB、遮断特性：30dB とした。Fig. 12 のデータを BPF に通過させることにより、Fig. 13 の結果を得た。振幅は  $\pm 8 \times 10^{-5}$  bar と小さいが、1/2 回転よりも高い周波数の信号が現れた。当該吸

気ポートの吸気行程において位相差を調べると、吸気ポート圧力がマニホールド圧力 (P2) よりも進んでいる。このことから、吸気脈動が検出されたものと判断される。S/N も良く安定して検出されている。

## 6. まとめ

自動車エンジンの可変吸気弁を制御するうえで、吸気量と吸気脈動との関係をシミュレーションとエンジン試験により明らかにした。

汎用エンジンシミュレータ (GT-POWER) を用いたシミュレーションの結果、

(1) 吸気量を左右する逆流特性は、ピストンが急速に下降する際に生じる吸気脈動に影響される。

(2) 脈動振幅が増大するとシリンダへ流入する吸気量も増大する。

(3) 吸気脈動は吸気ポート圧力の変動として現れ、上流のマニホールド圧力に伝播する。

4 気筒エンジンを用いた実験の結果、

(4) マニホールド圧力の計測信号を適切な BPF を用いることにより、吸気脈動成分を安定して検出できる。

以上のことから吸気制御の指標の一つとして活用することを提案する。

## 参考文献

[1] K.Hatamura,, H.Fujita , H.Teshima,  
Design and Development of a Continuously  
Variable Valve Lift and Duration  
Mechanism,

(社) 自動車技術会論文 No.20065634

[2] GT-POWER User Manual

[3] GT-ISE and GT-POST User Manual

[4] GT-SUITE Evolution Note