琉球大学学術リポジトリ

脈動流における流量測定の新たな可能性について

メタデータ	言語:
	出版者: 琉球大学教育学部
	公開日: 2007-10-25
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 新里, 祐宏, Shinzato, Sukehiro
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/2114

脈動流における流量測定の新たな可能性について

新　里　祐　宏*

Development of a New Method to Discharge Measurement of Flow with Pulsation

Sukehiro SHINZATO

1．緒　言

内燃機関における空気量の測定は内燃機関の諸計測のうち最も根本的な計測項目の一つである。これまでノズルやオリフィスを使った絞り流量計による方法、ピトー管や熱線風速計を使った速度分布による方法、ガスメーターや水置換法を用いる各種の容積形流量計による方法など、様々な方法で測定が行なわれている。

しかし、許容誤差がJIS規格で±５％１）と定められていることからもわかるように、脈動流を含んでいるため空気流量の正確な検出は比較的困難である。これまでの測定では計測器を機関に付加したため、機関本来の性能を変えていると思われる実験方法を行っているものもある。２）

そこで本研究では、脈動除去用のサージタンクを設けず、脈動に伴う圧力変化を直接測定して、その平均値から流量を検出すべく、その可能性について調べた。

2．基本的な考え方

図１は脈動によって周期的に発生する動圧と静圧の検出波形のイメージ図である。
周期はエンジンの回転数に関係し、圧力値は流量に関係する量と考えている。

この脈動流に伴う圧力変化を生の形で高速A/D変換器でサンプリングし、平均値を算出する。

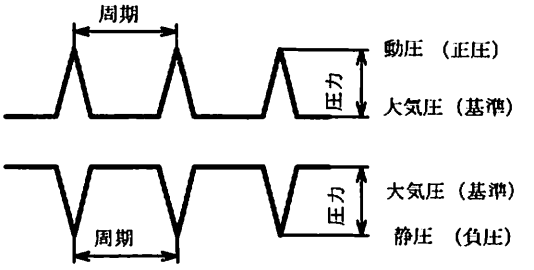


図１　脈動圧力波形のイメージ図

本研究の目的は、その平均値が脈動流量の測定に適用できないか、その可能性を調査することである。

3．実験方法

3．1　脈動の作り方と実験装置の構成

脈動流はインバータ制御のACモータでエンジンを回転して作った（エンジン（GM132）、ACモータ（0.75Kw）、インバータ（HFC-VWS15LD3）。回転数の範囲は0～3600rpmである。エンジンの排気量は126.8cm3なので、流量に換算すると0～3804 cm3/secとなる。

図２に実験装置の概略図を示す。流路はVP25パイプと洗濯機用蛇腹ホースで構成している。流

*琉球大学教育学部技術教育教室

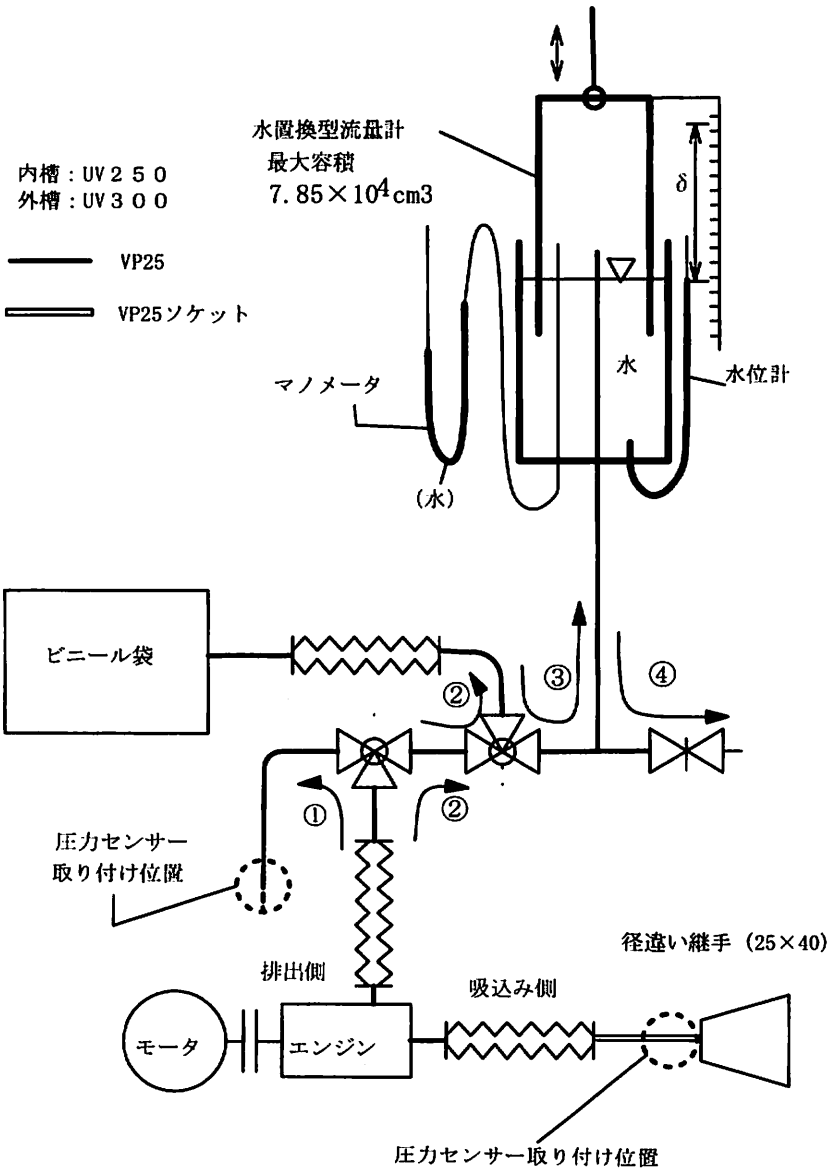


図２　実験装置の概略図

路切り替えには、２個の三方コックと１個の仕切弁が機能する。エンジンの吸入口側には圧力センサーを、排気口側には流量測定装置をつなげた。

３．２圧力測定

圧力導入口の向きによって静圧タイプと全圧タイプを採用した。静圧タイプは管壁に直角にうがったφ３の小穴に圧力センサーを差し込み、静圧を測定する。取り付け位置は吸入側のみである。全圧タイプは、図３に示すとおり、細い真鍮パイプ(外径３㎜、内径２㎜)を流路管中心部に、開口が流れに正対するように設置し、他開口部を圧力センサーにつなげる。図２に示すとおり吸入側と排気側で測定した。

圧力データは圧力センサー（P-3000S-101D-10V (コパル電子)/ ADP5101（松下電工）/ ADP1101

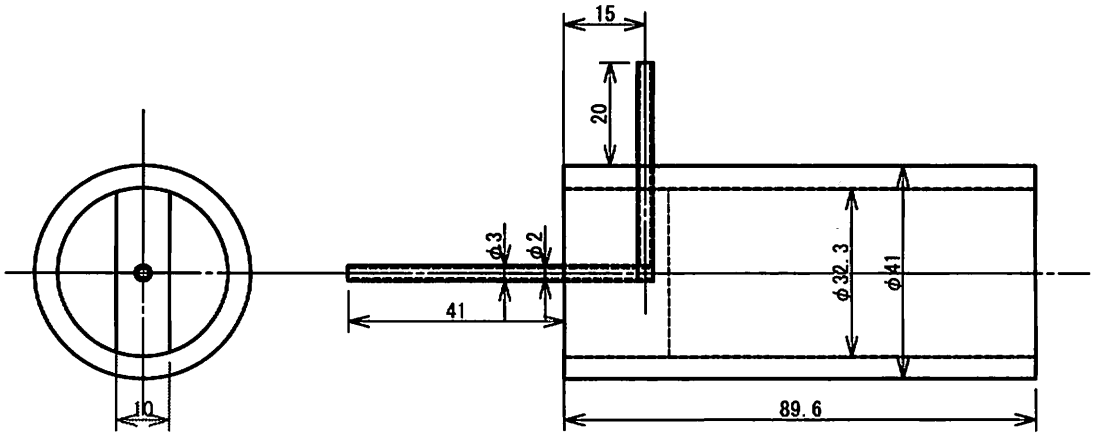


図3　全圧タイプ圧力検出器

（松下電工））、A/D 変換器（ADM-688PCI）及び計測解析ソフト（LaBDAQ PRO）を使用し、サンプリング速度 1 msec の下で、10秒間に10,000点採取した。使用したセンサーに必要な定電流回路と、増幅回路はオペアンプを利用して自作した。

3．3　流量測定

エンジンが吸入する空気流量は理論的には

理論流量＝排気量×クランク軸回転数/2 (cm3/s)

として求まるが、実際の吸入量は、エンジンの特性として理論値を下回るので実測する必要がある。

この測定流量は最終的には自作の水置換型流量計で求めるが、その手順は以下の通りである（図2参照）。

1）流路①でエンジン回転数が一定になるのを待つ
2）流路②でエンジンの排気空気（＝吸入空気）をビニール袋（950mm×1000mm）に溜める。溜めている時間を"測定時間"として記録しておく。
3）流路③でビニール袋内の空気を水置換型流量計ですべて吸い上げる
4）そのとき、水置換型流量計内の圧力が大気圧に等しくなるようにマノメータを見ながら内槽を上下して調整する
5）水位計の液面を基準面として内槽が基準位置から上昇した距離を"内槽上昇距離"として記録する（図中のδ）
6）測定流量＝内槽内断面積×内槽上昇距離/測定時間（cm3/s）として求まる
7）流路④で内槽を降下して水置換型流量計内の空気を排出する
8）水置換型流量計内の圧力が大気圧に等しくなったことを確認して、水位計の液面を基準として内槽の基準位置を読み取っておく
9）1）へ続く

なお、水置換型流量計の主な仕様は下記の通りである。

内槽：UV250パイプ/長さ1800mm
外槽：UV300パイプ/長さ1660mm
測定可能な最大容積：7.85×104　cm3

3．4　実験条件

本実験のパラメータは以下の通りである。

(a) 全圧測定位置（㎜）（図4(a)）
　0（基準位置）、6、12、18、24
(b) 静圧測定穴位置（㎜）（図4(b)）
　0（基準位置）、5、10、15、20、25
(c) レジューサ開口部につけた絞り板の穴径（㎜）(d)（図4(c)）
　φ10.5、φ11.0、φ11.56、φ12.0、φ12.5、φ17.9、φ22.4、φ25.35、φ28.1、絞り板なし

(d) クランク軸回転数（rpm）
200～3600（約200rpm 間隔）

上記（a）～（d）のうち、（d）の回転数を基本にして（a）～（c）を種々組み合わせて実験を行った。

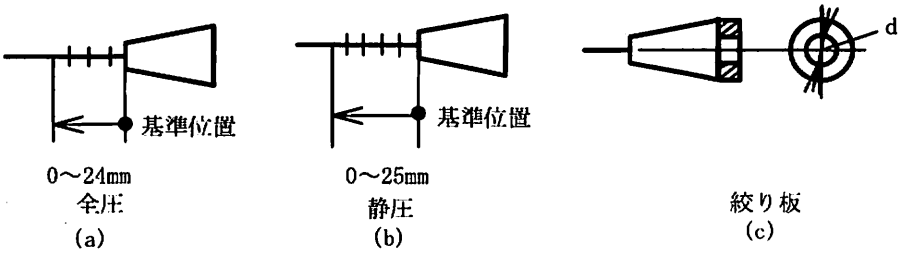


図4　圧力測定位置と絞り板

4．実験結果及び考察

4．1　理論流量と測定流量

図5はエンジンの回転数から算出される理論流量とエンジンから実際に排出された空気量（＝測定流量）の関係を示す1例である。

完璧な直線的関係にはない。その理由として、脈動流の周波数と空気流路系の形状・寸法との相乗効果によるものと考えられるが、原因の解明は今後の課題である。この例では実験式の係数は0.8で、実際の吸入空気量が理論値を下回っていることを示している。この現象はエンジンのもつ一般的な特性の1つである。

4．2　圧力曲線の特徴

図６（a）(b)は吸入側に取り付けた静圧タイプと全圧タイプの出力曲線を示している。ここで発生している流れは負圧による吸い込み流れであるため、どちらのタイプも、静圧は負圧になっている。（b）の全圧タイプにおいて出現が期待された動圧（正圧）は、静圧を大きく凌駕するほど顕著ではない。脈動の周期(sec)は、

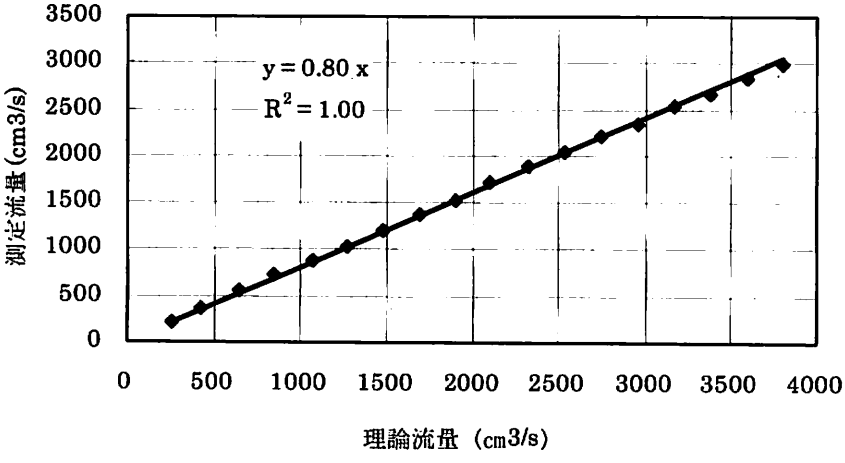
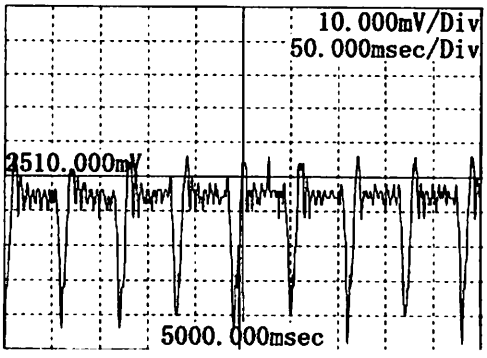
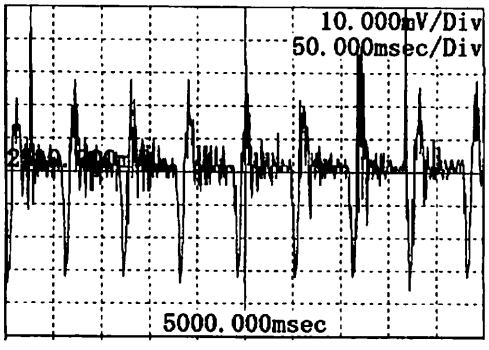


図5　理論流量と測定流量の関係（絞り穴径：12.5mm）

計算式　（1／（(クランク軸回転数／2）／60)）から求まる。回転数（2000rpm）から算出される周期と図上の出力曲線上で読み取れる周期は60(msec)で、両者は一致している。静圧タイプに見られる正圧の発生原因については後述する。



（a）静圧タイプ（吸入側）

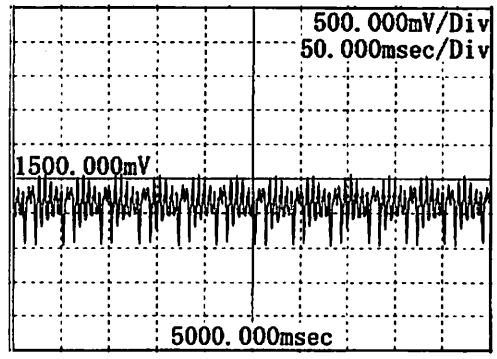


（b）全圧タイプ（吸入側）

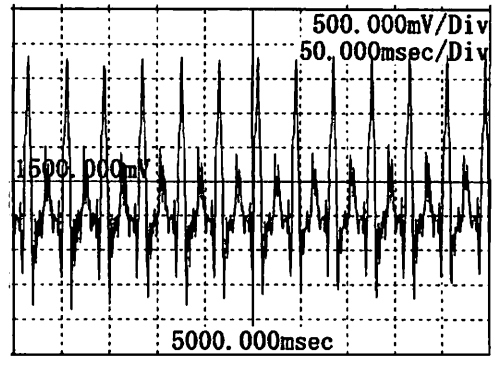
絞り穴径：22.4mm
測定位置：基準位置
回転数　：2000rpm

図6　静圧タイプと全圧タイプの出力曲線の比較

図7（a）(b)は全圧タイプにおける取り付け位置と出力波形の関係を示している。図7（a）は吸入側の例で、図6（b）と同様の傾向にある。図7(b)の排出側の出力は明らかに正圧が大きく現れ、動圧を大きく検出していることがわかる。吸入側の約10倍の出力となる。従って、全圧タイプは負圧より正圧によって生ずる流れの中で有効



（a）吸入側



（b）排出側

絞りなし
測定位置：基準位置
回転数　：3000rpm

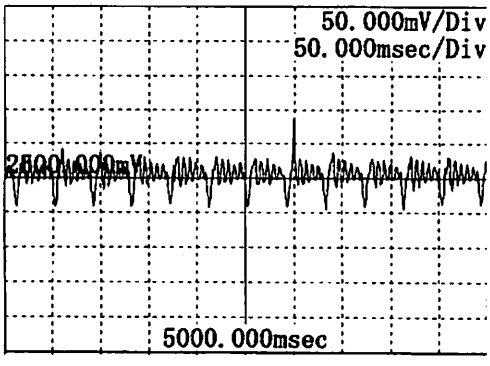
図7　全圧タイプにおける取付け位置と出力の関係

であることがわかる。一方、排出側出力の動圧に第2ピークが存在すること、また、かなり大きな負圧が存在すること等への影響因子を解明することは今後の課題である。

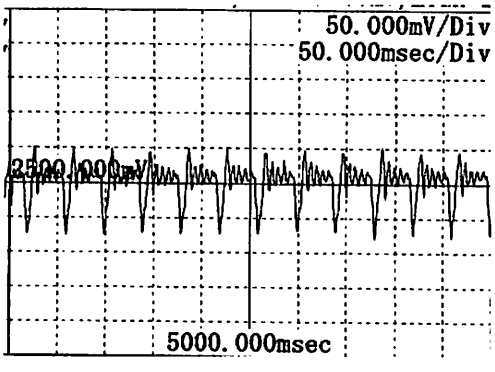
4．3　絞り穴径と出力曲線の関係

図8は絞り穴径が出力曲線に与える影響を見ているが、径が小さくなるに従い、エンジンの吸入作用による負圧の影響をより大きく受けて、出力が大きくなっている。同時に、図1に示したイメージ図に近づく。一方、出力の増大は測定精度を向上させるために望ましいことであるが、エンジンの空気充填効率への配慮も欠くことは出来ない。

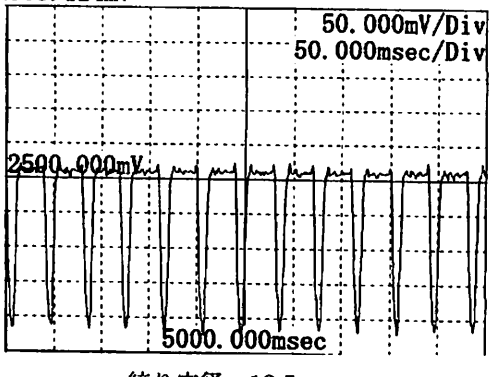
穴径が大きくなり、負圧の影響が小さくなるに従い、正圧側への出力が増す傾向が見られる。吸入弁の急閉に伴う反射波の影響を仮定している。今後、吸入側パイプの長さや、径を変えて検証し



絞り穴径：28.1mm



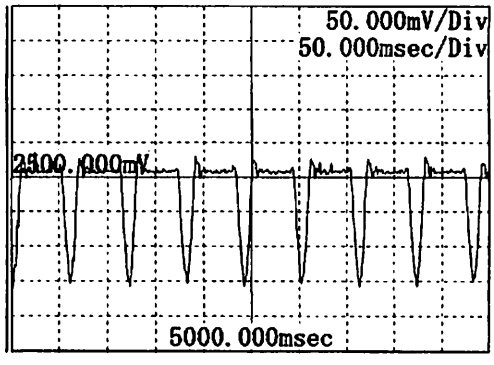
絞り穴径：22.4mm



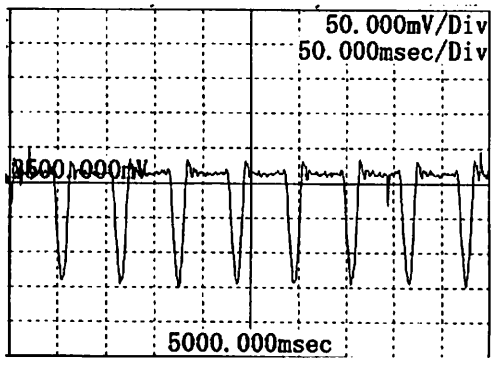
絞り穴径：12.5mm

静圧タイプ
測定位置：15mm
回転数　：3000rpm

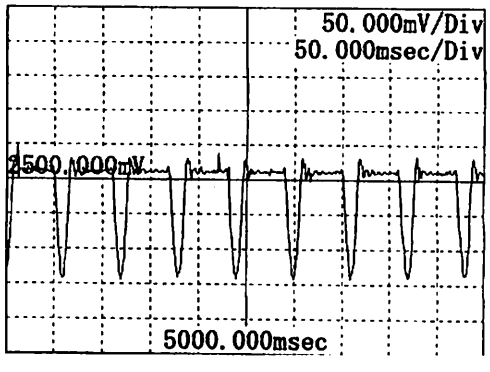
図8　絞り穴径と出力曲線の関係



（a）測定位置：0mm



（b）測定位置：10mm



（c）測定位置：20mm

静圧タイプ
絞り穴径：12.5mm
回転数　：2000rpm

図9　測定位置と出力曲線の関係

たい。

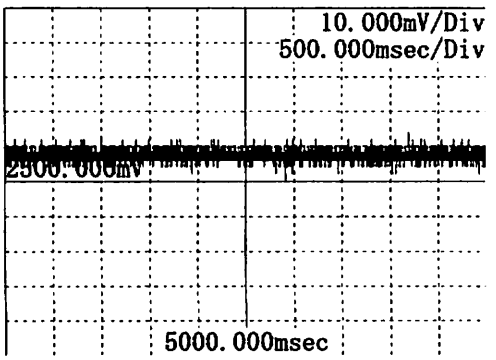
4．4　測定位置と出力曲線の関係

静圧タイプの測定位置（圧力センサー差込小穴の位置）は径違い継手（レジューサ）の小径始点を基準位置として、そこから開口部に向かって軸方向に5㎜間隔、管壁上をらせん状に60°ずつ、ずらした位置にある（図3（b）参照）。図9（a）～(c)に示すように、位置の影響はほとんど認められない。管路における絞り効果の一般的特徴がここで出現しないのは負圧流のためなのか、径違い継手に絞り効果が存在しないのか、原因究明は今後の課題である。

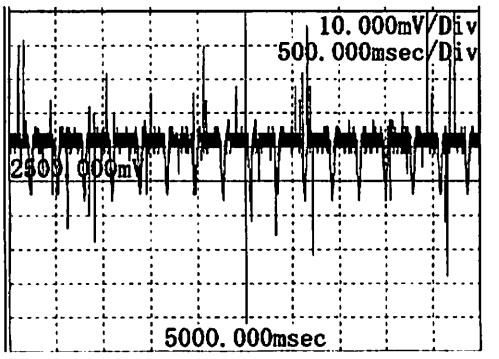
4．5　測定流量と出力曲線の関係

図10は、静圧タイプにおける測定流量（Q：cm3/sec）と出力曲線の関係を示している。Q＝320のグラフにおいて負圧信号と負圧信号の間の出力は雑音信号であるが、Q＝0のときの出力とほぼ一致していることがわかる。このように、雑音信号は流量の影響を受けることはなくほぼ一定の値を保つ。動圧タイプでも同様の傾向をもつ。

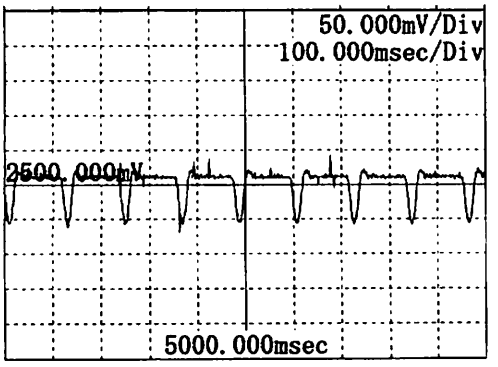
また、図10全体を通して流量の影響を見てみると、流量とともに出力も大きくなっている。出力の増加に伴い、相対的に雑音信号が小さくなり、図1で想定した出力曲線のイメージ図に近づいていることがわかる。



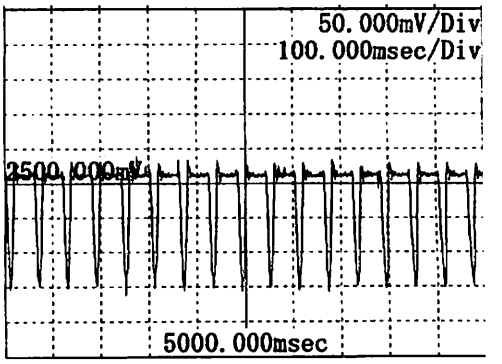
（a）測定流量：0 cm³/s



(b) 測定流量：320 cm³/s



(c) 測定流量：800 cm³/s



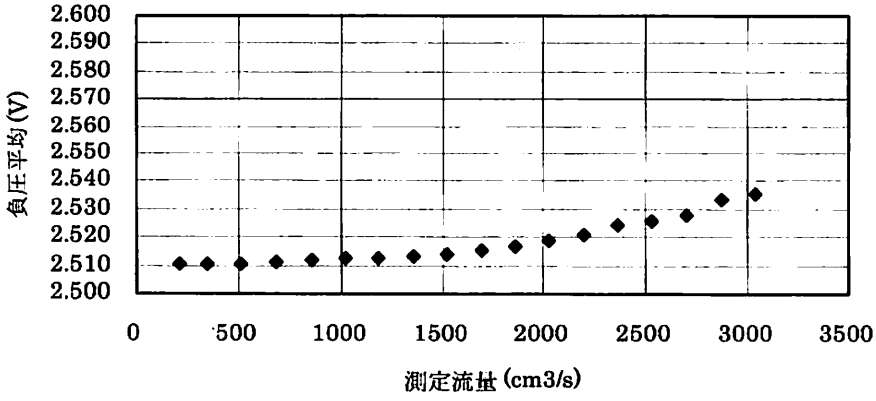
(d) 測定流量：1600 cm³/s

静圧タイプ
絞り穴径：12.5mm
測定位置：基準位置

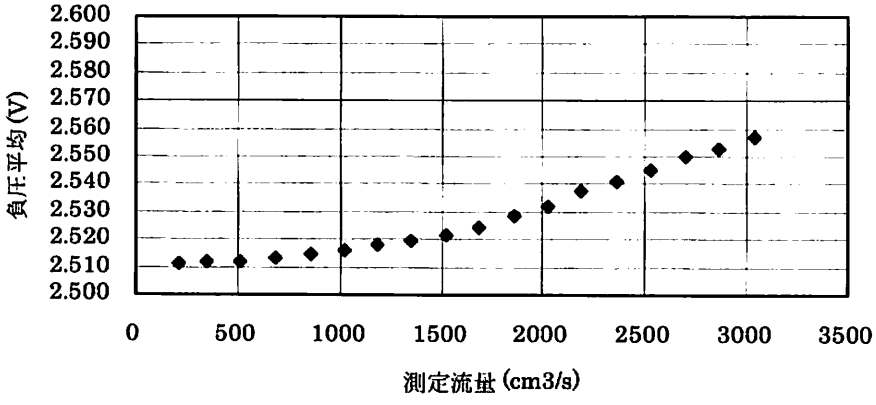
図10　測定流量と出力曲線の関係

4．6　測定流量と平均圧力の関係

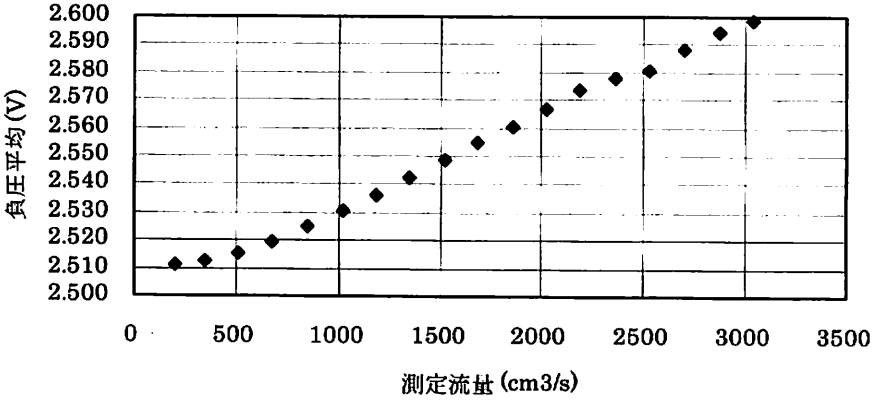
これまで、種々のパラメータと出力曲線の関係を概観してきたが、最後に、測定流量と平均圧力の関係を観ることにする。



(a) 絞り穴径:28.1mm



(b) 絞り穴径:17.9mm



(c)絞り穴径:12.5mm

図11　静圧タイプにおける測定流量と負圧平均の関係

図1の出力曲線のイメージ図では正圧と負圧を完全に分けている。しかし、実際には、程度に差は認められものの、正圧と負圧が混在している。そこで、平均圧力の定義を下記のように３つ準備して、

基準値＝流れがないときの圧力センサーの出力値

正圧平均＝基準値より大きい測定値の平均

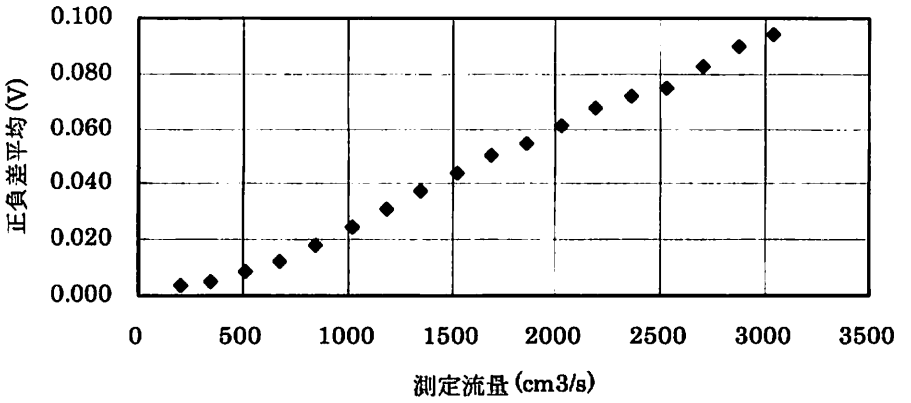
負圧平均＝(基準値)＋（基準値－基準値より小さい測定値の平均値）

正負差平均＝(基準値より大きい測定値の平均)－(基準値より小さい測定値の平均値)

それらの定義の下で結果を整理し考察することにした。

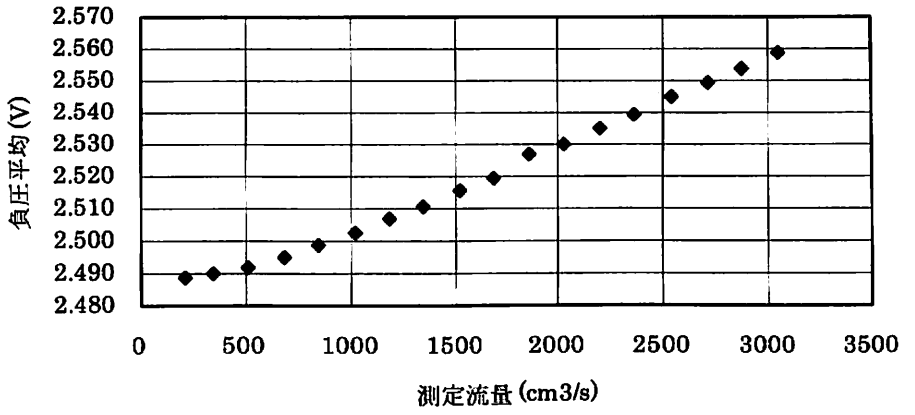
図11（a）～（c）では、静圧タイプにおいて、絞り穴径が測定流量と負圧平均の関係に及ぼす影響について概観できる。2000rpm 近傍の折点が絞り穴径の減少に伴い測定流量の少ないほうへ移動し、全体的に直線化していく様子が読み取れる。

図12は図11（c）の縦軸を正負差平均で整理し直したグラフである。図11（c）と比較すれば、使用した平均圧力の定義による出力の違いが



測定位置:基準位置 / 絞り穴径:12.5mm

図12　測定流量と正負差平均との関係



測定位置:6mm / 絞り穴径:12.5mm

図13　全圧タイプにおける測定流量と負圧平均の関係（吸入側）

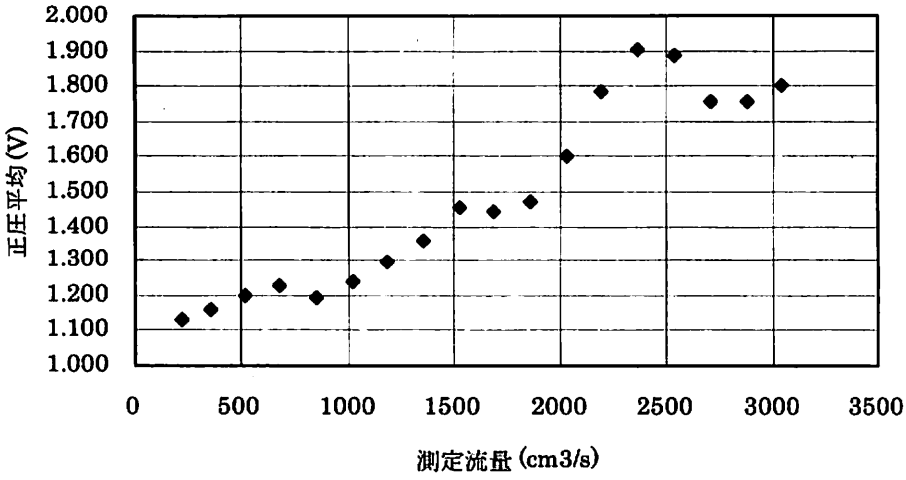


図14　全圧タイプにおける測定流量と正圧平均の関係（排出側）

分かるはずである。しかし、グラフの傾向に関しては両者には取り上げるべき差異は認められない。

一方、吸入側に設置した全圧タイプにおいても、絞り穴径に対して、上記の静圧タイプと全く同じような傾向を示した。ここでは、１例として、絞り穴径φ12.5、測定位置6mm の場合について、負圧平均で整理したグラフを図13に示す。

図14は全圧タイプを排出側に設置したときの測定流量と正圧平均の関係を示すグラフである。全圧タイプを排出側に設置して使うと図7（b）に示すように十分な正圧を検出し、再現性も確かな出力曲線をもつが、測定流量に対する正圧平均の直線性はきわめて悪い。負圧平均、および正負差平均で整理しても同じような傾向を示した。この現象の原因究明は今後の興味深い課題の一つになっている。

5．結　語

脈動流を伴う空気流れにおいて、その流量を測定する新たな可能性について検証した。すなわち、脈動除去用のサージタンクを設けず、高速 A/D 変換器を使って脈動に伴う圧力変化を生の形でサンプリングし、そのデータの平均値から流量を求める新たな方法の可能性についての検証である。

図15はある条件下での負圧平均と測定流量の関係を示すグラフである。図中の近似式を使って負圧平均から流量を求めることができる。決定係数は（R2）も比較的高い値を示しており、新たな測定法としての可能性を示している。

今後の課題は以下のとおりである。

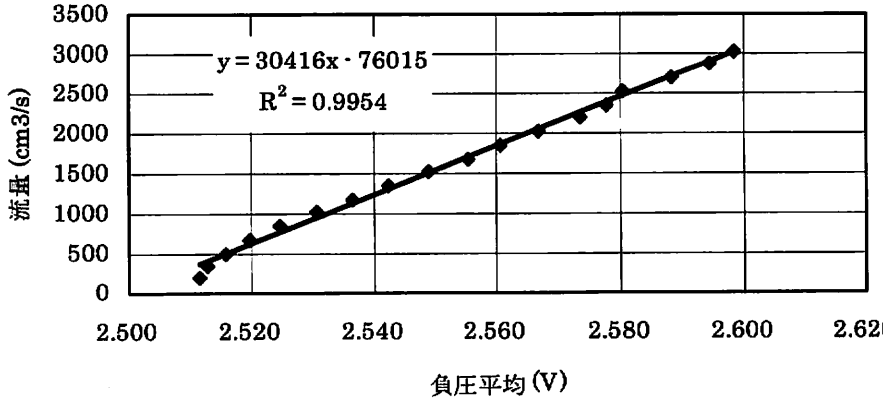
1）理論流量と測定流量が完璧な直線的関係にならない原因と本方式の精度との関係について調べる。

2）エンジンの空気充填効率を考慮しつつ、吸入側パイプの長さ、穴径等を変え、反射波の影響を調べる。

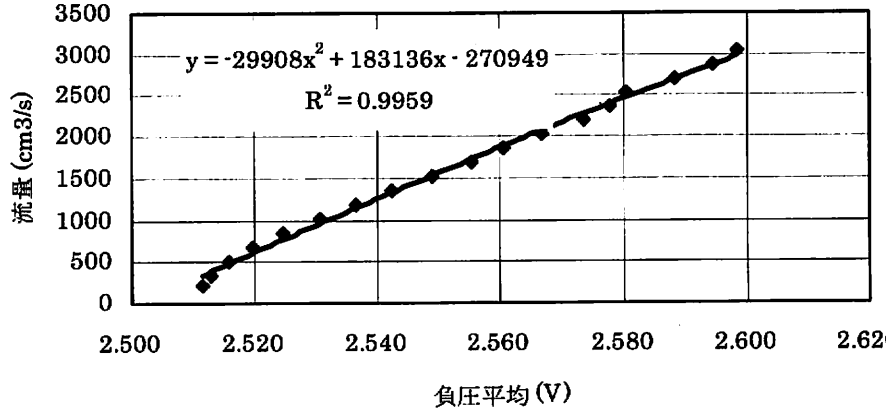
3）パイプの長さと穴径等の組み合わせを変えて、測定流量と平均圧力の関係精度を上げること。

4）全圧タイプを排出側に設置したときに測定流量と平均圧力の関係が直線的な関係にならない原因の調査。

5）データ処理の速度を早めるためデータのサンプリング数（10秒で10000点）をどこまで減らせるか調査する。



(a) 一次式近似



(b) 二次式近似

静圧タイプ / 絞り穴径：12.5mm / 測定位置：基準位置

図15　負圧平均から流量を求める近似式

謝　辞

本研究を進めるにあたって、実験にご協力いただいた、当時、琉球大学技術教育教室学生の石山和明氏及び実験装置の製作にご協力いただいた当教室技官玉城利雄氏に感謝いたします。

参考文献

1）JIS B 8002-5　日本規格協会　(1998)
2）内燃機関　実験と計測　山海堂　(1986)