

論文の内容の要旨

論文題名 車両用エンジンの体積効率改善に関する研究

氏 名 王 威

本研究は、エンジンの性能の向上に必要なシリンダ内に入る空気の数、つまり、体積効率を高める方法と体積効率が最大となる条件、理由及びこの条件を満たすエンジンの状態を明らかにするものである。吸気管内の脈動流を考察するために、主としてモーターリング状態に対する数値計算を行なった。また、体積効率を改善するために吸気バルブタイミング及びリフトを連続可変にする可変動弁機構を提示し、その有効性を数値モデルで検証した。その成果を以下に要約する。

適当な長さの吸気管をエンジンに取り付けると、吸気が間歇に行なわれるので、吸気管内に吸気圧力の振動が生じる。この吸気の圧力振動を利用し、体積効率を簡単に高めることができる。音響法でその吸気管の最適な長さを求めるには、吸気系は従来行なわれていた単純な気柱振動やヘルムホルツ共鳴では不十分であることを明らかにした。ピストンの運動によるシリンダの容積の変化及び吸気バルブが開いたり閉じたりする期間も考えなければならない。したがって改良した音響法で最適な管長を求める場合、吸気バルブが開いている期間のシリンダ行程の平均値を考慮したヘルムホルツ共鳴で求めた管長と、吸気バルブが閉じている期間の気柱振動より求めた管長の平均値から求める必要があることを示した。

吸気管内の空気は吸気バルブの開閉とピストンの動きによって加振される結果、吸気圧力の振動を生じる。加振の源がピストンの運動であるので、ピストンの速度をフーリエ級数で分解した。その結果、吸気系の固有振動数がピストン速度変動の3次成分の振動数と一致する場合、体積効率が最大になるという条件が明らかになった。

しかし、ピストン速度がフーリエ級数に展開されると、各次数の速度変動成分が得られるが、なぜ、その中のピストン速度変動の3次成分の振動数であるか、この理由について

て、吸気管内の気柱を非圧縮性の単一質点と見做し、質点の運動方程式に基づく機械振動モデルを作成し、解析を行なった。その結果、吸気の m 次同調圧力振動の位相とフーリエ級数で分解されたピストン速度変動の m 次成分の位相とは一致し、また圧力振幅と次数との関係が下記のように明らかになった。

同調した吸気圧力波に関しては、吸気管長さと同調回転数が違っても、同調次数 m さえ同じなら、吸気圧力波の振幅と位相は同じである。同調次数 m が高いほど、吸気圧力波の振幅は小さくなる。これは、 m が高いほど、圧力波の反射回数が増え、減衰による損失が大きいためである。

エンジンの仕様が決まったら、ピストン速度変動の各次成分の位相は決まる。従って、同調した吸気圧力波の位相も決まる。ピストン速度変動の各次成分の位相を計算した結果、吸気バルブが閉じる直前に吸気圧力波のピークが出現するのは、3次速度変動成分しかないことが明らかになった。同調次数 m が3より大きい場合は、吸気圧力波のピーク位置は吸気バルブ閉止時期の前にあり、次数の増大とともに閉止時期より前へ離れていく。一方、同調次数 m が3より小さい場合は、吸気圧力波のピーク位置は吸気バルブ閉止時期の後になる。

吸気管の効果に利用されるのは、振幅も比較的大きいし、圧力波のピークも吸気バルブ閉止直前に出現する3次同調圧力波である。4次以上の同調波では圧力振幅が小さい上に、圧力波のピーク位置も通常の吸気バルブ閉止時期より前になり、吸気バルブ閉止時期における吸気圧はシリンダ内圧より低いので、吸気逆流が発生しやすく、圧力脈動の効果はあまり期待できない。また、2次では吸気圧力波の振幅は大きいものの、圧力波のピーク位置が吸気弁閉止後に出現して吸気圧力波が十分に利用されず、吸気不足になるということが分かった。

以上の解析結果から、吸気系の固有振動数とピストン速度変動の3次成分の加振振動数が一致する場合に、吸気管内の圧力振動は共振状態になって3次圧力振動を生じて、体積効率は増大することが分かった。

以上の機械振動モデルの解析により、エンジンの全回転数域にわたり高体積効率を維持するために採用される吸気管長さを可変とするシステムと吸気バルブタ

イミングを可変とするシステムの本質も明らかにした。つまり、吸気管長可変システムでは、エンジンの回転数に合わせて管長を調節し、吸気系の固有振動数をピストン速度変動の3次成分の振動数と一致させて、吸気バルブ付近に $m = 3$ の脈動圧力波を生じさせることである。一方、吸気バルブタイミング可変では、吸気管長が一定のため、吸気系の固有振動数に同調するエンジン回転数は限られる。同調回転数より低い回転数域では、吸気圧力波の次数 m が3より高くなり、圧力振幅も同調時より小さく、圧力のピーク位置は通常吸気バルブ閉止時期より前になる。このため、バルブ閉止時期には吸気管内の圧力はシリンダ内圧より低くなり、吸気の逆流が生じる。この吸気逆流を防止すると同時に、吸気管内圧力の高い時期にシリンダ内への吸気量を増やし、体積効率を増大させるために、吸気バルブの閉止時期を早める必要がある。また、同調回転数より高い回転数域では、吸気圧力波次数 m が3より低くなり、圧力振幅は大きい、圧力のピーク位置は通常吸気バルブ閉止時期より後になり、高い圧力を有効に利用できない。このため、体積効率を高めるために、吸気バルブの閉止時期を遅らせる必要がある。

多気筒エンジンに対しても、吸気管の配置によって吸気干渉型と吸気非干渉型に分けられる。吸気干渉がない吸気非干渉型ならば、単気筒エンジンの吸気管と同様の効果を期待することができる。体積効率が最大になる条件は、単気筒エンジンと同じである。最適な吸気管長が存在し、吸気管長可変システムは適用できる。一方、吸気干渉型では、各気筒の吸気干渉のために吸気管内に大きな吸気圧力振動が生じないから、高い体積効率が得られない。吸気管長可変システムは適用できない。しかし、吸気干渉型でもバルブ閉止時期を変えることにより、体積効率の少しの改善は期待できる。

吸気バルブリフト及びタイミングの連続可変機構を考案し、可変機構の幾何学的な関係式を作成し、吸気バルブリフト及びタイミングの変化を計算した。本機構は吸気バルブタイミング及びリフト可変に有効なことを確認した。吸気バルブリフトの変化は制御用ばねとバルブ用ばねの初期設定力の比によるもので、最大リフトはその比とほぼ直線関係となる。また、数値計算で本機構による体積効率

の改善にも効果があることを確認した。低速域で吸気バルブリフトが小さい場合には、吸気バルブにおける流速を増大することも示した。