

論文の内容の要旨

“空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチング  
に関する研究”

カワゾエ ヨシヒコ

川副 嘉彦

圧縮点火機関は重要な動力源であるが、現状ではあらゆる回転速度領域において平滑運転が可能とはいえない欠点をもつ。特に空気調速機つき圧縮点火機関においては、低速の無負荷運転において回転速度を一定にたもつことができず特有の変動騒音を発生することが多い。この調速方式は吸気管の絞り弁によって発生する負圧を利用して燃料の噴射量を調節するものであり、発生する数ヘルツのおそい回転速度変動を低速ハンチングとよんでいる。

ハンチング現象に関する従来の研究を要約すると次の二つになる。

- (1) 開ループ系の各要素の動作方程式を平衡点近傍で線形化して微小変動域での挙動をしらべるか、または特性方程式を求め、Routh - Hurwitz の安定規範を適用して平衡点の安定性について研究したもの、
- (2) 周波数応答法を用いて有限振幅の変動の安定性について研究したものの二つである。ハンチングは一定大振幅の持続振動であるから(1)の研究は、非線形性の強い機関特性を系に含む場合には、ハンチ

ング発生の徴候をしる手段にしかならず、実際に振動が成長して持続振動に至るかどうかは確言できない。(2)の研究方針の場合には、振幅を適当に与えて周波数応答実験をおこなえば、その振幅の変動がおこりうるかどうかを知ることができるが、従来の研究は系の要素をすべて一次おくれ系などに近似し、実験で求めた時定数などを使って安定性と現象の説明を試みているために、実機の構造や諸定数との対応を明らかにすることができなかつた。なお、(1)、(2)の方針を実系について対照した研究もあり、それによれば平衡点の安定性とハンチングが全く相反する傾向をもつ機関係では、両者に対する安定性は区別されなければならない。すなわち遠心調速式ガソリン機関において、線形理論では不安定領域は存在しないのに漸近法による非線形理論解および実験ではハンチングが存在することがある。

ハンチングは古くから設計者を悩ませてきた問題であるにもかかわらず実機との対応を調べた研究はきわめて少ない。空気調速機関に関しては、調速機系の減衰係数の測定方法に問題があり、等価質量、ダイヤフラム実効面積も明らかではない。しかも上記(1)の方法による結果を示すばかりであり、大振幅の持続振動が発生するかどうかの予測は不可能である。また、この微小振動論における振動数は現実のそれと大きく異なる。

4 シリンダ四行程サイクル機関について、空気調速機関に固有の低

速ハンチング現象がどのような理由で生まれるのかを明らかにし、その防止法を導くことがこの論文の目的であり、各章の内容を要約すると次のようになる。

第1章『序論』では本研究に関する従来の研究について述べ、問題を明らかにし、本研究の目的とその取組み方について述べ、空気調速機構および低速ハンチングの概要について説明している。

第2章『従来の低速ハンチング理論と現実の相違』では、従来の流儀の微小変動線形理論を空気調速機・機関係に適用し、その結果が現実にあてはまらないことを明らかにしているが、その算定のための空気調速機系の特性値は第4章に基いており、ここでは従来不明確であった空気調速機系の動作方程式を正しく導き、その等価質量、減衰係数、ダイヤフラム実効面積を明らかにしている。

第3章『低速ハンチングの原因を探る諸実験』では、原因解明の手がかりとなる実験結果について述べている。空気調速機関は吸気管人口に絞り弁つき流路と細い直管のサブベンチュリを並列におき、燃料噴射ポンプの噴射量調節棒の一端にダイヤフラムと復原ばねを取付けて、回転速度上昇によるサブベンチュリ負圧増大が調節棒を変位させ、噴射量をへらす機構になっており、絞り弁開度によって回転速度を設定する。諸実験の一つとして、調節棒変位を制御する負圧を従来のサブベンチュリから取出す（サブベンチュリ負圧制御とよぶ）かわ

りに、絞り弁とサブベンチュリに続く吸気管部分から取出す（吸気管負圧制御とよぶ）とハンチングが消滅することがわかった。吸気管負圧制御による運転においては、外乱を与えてもすみやかにもとの回転速度に収束し、長周期変動はみられない。また、回転速度の長周期変動状態においてサブベンチュリ負圧と吸気管負圧を比べると、負圧検出部から噴射量調節用負圧室への配管を施さない場合に差がなく、施すとサブベンチュリ負圧の長周期変動の位相が吸気管負圧のそれより  $20 \sim 25^\circ$  おくれる。

第4章『空気調速機系の動作方程式と諸定数の導出』では、空気調速機系について動作方程式を導き、実験と対照した。負圧室（ダイアフラム室）のかわりに大気開放の復原ばね収納室（復原ばね取付装置とよぶ）をつくり、噴射量調節棒の他端を振動発生機で加振することにより、負圧室を除いた場合の減衰係数を測定し、その値を用いてサブベンチュリ負圧から噴射量調節棒変位までの系の応答を計算した結果は、サブベンチュリ負圧強制および振動発生機を用いた調節棒加振による実測結果に近い値を示した。従来不明確であった空気調速機系の動特性、とくに減衰係数、等価質量、ダイアフラム受圧実効面積を明らかにし、ハンチングが問題となる低速域では等価減衰係数を使って簡略化した動作方程式が適用できることを示した。負圧導管・負圧室系の減衰係数におよぼす影響も明らかにし、対象機関において正

規の負圧室を使い，負圧導管をできるだけ短かくした場合（約 40cm）には，減衰係数は負圧室のない場合の約 2 倍であることを示した。また機関回転にもとづく燃料噴射ポンプ全体の振動は減衰にほとんど影響しないことも確めた。

第 5 章『閉ループを構成する部分系の周波数応答とその総合による発振性吟味』では，第 3 章における諸実験をもとに，検出負圧の位相おくれが原因解明の手がかりと考えて，両負圧特性の差異とハンチングの関係を明らかにするために開ループの空気調速機・機関係を二つの開ループ系に分断して 1) 噴射量調節棒変位から回転速度までの機関係と，2) 回転速度から噴射量調節棒変位までの空気調速機系を考えた。つまり，ハンチングのない吸気管負圧制御状態において噴射量調節棒復原ばねの固定端を振動発生機に結んで可動とし，調節棒に長周期変位を与えた場合の i) 回転速度応答の位相と振幅比，ii) 回転速度変動にもとづくダミーポンプ調節棒応答（機関付属の噴射ポンプと同形のポンプを機関架台に取付けてポンプ軸は回さずに，負圧室に配管）の位相と振幅比を調べ，iii) これらの値を使つて空気調速機・機関係閉ループの安定判別を行ない，サブベンチュリ負圧制御の場合のハンチング発生，吸気管負圧制御の場合の非発生を検証した。

第 6 章『低速ハンチングの計算機シミュレーション』では，ハンチングの生成過程を定量的に解明している。従来の研究には，振動が成

長し持続振動にいたる過程を扱ったものはない。シミュレーション計算結果は、ハンチング発生領域、ハンチング時の変動周期、変動振幅とも現実と良く一致しており、位相おくれのあるサブベンチュリ負圧制御では自励的持続振動が発生すること、おくれのほとんどない吸気管負圧制御では発振しないことを確認した。

第7章『検出負圧の位相おくれとサブベンチュリ径との相関』では、サブベンチュリ負圧と吸気管負圧が位相差を示すことに必然性があるのか、偶発的なのか吟味している。元来のサブベンチュリと流路の形が相似の模擬ベンチュリを大小5種類つくり、ハンチング時の吸気系の状態を模擬した装置またはハンチング状態の機関吸気系に組込んで負圧導管をダミー噴射ポンプに結び、噴射量調節棒の応答位相におよぼす模擬ベンチュリ径の影響を調べた。模擬ベンチュリからの検出負圧の平均値を実機のそれに近く調節した場合に、模擬ベンチュリ径が大きいほど連続的に位相遅れが小さい。サブベンチュリ負圧の位相おくれが大きくて吸気管負圧の位相おくれが小さいのは、径差による必然的な特性差であることが明らかになった。

第8章は『空気調速機関における低速ハンチング防止の根源対策』であつて、ハンチング防止のためには、絞り弁と並列におかれたサブベンチュリを取去って、サブベンチュリ口径に等しい直径の穴を絞り弁にあけておき、その直後の吸気管大径部から制御負圧をとればよい

と述べている。

第9章は『結論』であつて、本研究の結果を総括して述べている。この研究は空気調速機関に固有の低速ハンチング現象が、サブベンチュリからの検出負圧の位相おくれによる自励振動であることをはじめて明らかにし、サブベンチュリよりもはるかに太い吸気管から制御負圧をとれば防止できることを明示した。

低速ハンチングの原因およびその根源対策の発見は空気調速方式の再評価を促すであろう。