よって影響されるところが少く弾力性が強い。

g. 石炭たきのような周期性や経時による変化が少い。

その他一般的考察

a. 重油たきに対しては煙濃度をパラメータとしたときは、空気比をパラメータとするのと同様な一種の性能曲面が描けて、最良効率を与える煙濃度が存在する。その付近の濃度は一般に約 10% 前後の淡い煙である。排気温度によっても全く同様な性能曲線が描ける。

b. 石炭たきおよび重油たきのそれぞれの最良効率のときを比較すると前記のようになるが、實際上最良効率をはずれた位置で運転すれば効率において両者ともたいして差がなくなる可能性があり、特に空気量の変動に対して重油たきの方が敏感である。

5. 結 言

以上のごとく 5 種類のストーカおよびバーナで、空気比性能曲線を主にして石炭たき重油たきの性能比較

を行った。その結果、従来より定性的にいわれている線をあまり出なかったが、実際に同一ボイラにより系統的な比較実測値をうることができた点において何らか貢献するところあれば幸である。

ストーカ・バーナの比較としては以上の 5 種類の外に機構の異なるなお多数のストーカ・バーナについて実験を行う必要があり、またバーナとしても広い負荷範囲で効率よいバーナを見出すよう努力している。

注：一

- (1) 昭和 30 年 5 月 21 日 第 603 回講演会において講演、原稿受付 昭和 30 年 8 月 20 日。
- (2)(4) 正員、運輸技術研究所。
- (3) 准員、運輸技術研究所。
- (5) 抜山、武山、千葉、機械学会論文集、18 巻 67 号、95 ページ (昭 27)。
- (6) 馬杉、清水、外 5 名、機械学会誌、56 巻 415 号、617 ページ (昭 28)。
- (7) 馬杉、自動制御、2 巻 3 号 (1955-9)。
- (8) 瀬尾、造船協会論文集、97 号 (昭 30)。
- (9) 寺野、機械学会論文集、19 巻 88 号、45 ページ (昭 28)。
- (10) 馬杉、運研報告、5 巻 12 号前後に掲載予定。

621.43.019.8

石油機関のノッキングに対する水噴射の影響⁽¹⁾

喜多野 晴 一⁽²⁾ 丸 尾 寿 彦⁽³⁾

The Effect of Water-Injection Upon the Knocking of Kerosene Engine

by Seiichi KITANO and Toshihiko MARUO

At the running of kerosene engine by gas oil, heating of mixture is very effective in light load, but in heavy load knocking combustion occurs and engine performance is lowered.

We researched the effect of water injection on the knocking at such a state, changing the air-fuel ratio and water quantity injected.

It was found that knocking was suppressed, power output or thermal efficiency was increased respectively by about 10% as a result of injecting a proper amount of water in the suction pipe.

Water injection was most effective for rich mixture.

In case of non-heating of mixture, water injection was equally effective for knocking.

1. 結 言

石油機関に低質燃料(軽油)を用いた場合、混合気の加熱が機関性能に及ぼす影響については既に実験を行い、その結果を発表した⁽⁴⁾。それによれば混合気を加熱すると軽負荷では著しく熱効率を高めうるが、全負荷付近になるとノッキングが大になり、かえって性能が低下することがわかった。

そこで混合気加熱の場合、全負荷付近以上において

は水噴射を行ったならば、ノッキング抑制に効果があり性能を向上出来るものと考えてこの実験を行った。また混合気を加熱しない場合でも、負荷が大になるとノッキングを起すので、これに対しても水噴射が有効なはずであるから、これもあわせて実験した。第 1 図は前に行った実験結果の一例であるが、点線で示した EF' および BC' が混合気を加熱せざる場合および加熱せる場合の水噴射による効果予想線である。

なおガソリン機関に対しては水噴射の実験⁽⁵⁾がこれ

第 1 図

まで種々行われているが、アンチノック性に乏しい軽油を燃料とする場合の水噴射の実験はほとんど見当たらない。そしてアンチノック性に乏しい燃料を用いた場合のノック時における水噴射の影響はアンチノック性に富む燃料の場合と異なった様相を示し、いっそう有効なことが報告されている⁽⁶⁾。

2. 実験装置および方法

2・1 実験装置 実験に用いた機関は先の給気加熱実験に用いたものと同一でヤンマー石油機関 B 型、四サイクル、単シリンダ、横型、ホッパ冷却式、シリンダ内径 114 mm、行程 152 mm、行程体積 1 550 cc、圧縮比 4・31、正規回転数 550 rpm、正規出力 3・5 HP である。吸込み空気量測定用として吸気管の先に測定タンクを取付けた。ノッキングの強さを測定するためにシリンダカバーに C. F. R. エンジンのバウンシングピンを取付け、それをノックメータに接続した。水噴射はシリンダ内噴射でなく最も実現しやすい吸気管内噴射を採用し、第 2 図に示すように気化器の燃料噴出口と向い合った所に水噴射用のノズルを設け、それに注水量加減用のニードル弁を取付けた。水の供給は水タンクから浮子室を経て水噴射ノズルに至るようにした。使用した燃料は軽油でその比重は 15°C で 0・8384

1: 燃料ニードル弁, 2: 燃料ノズル, 3: 水ニードル弁, 4: 水ノズル, 5: 水供給孔, 6: 水調節用ハンドル, 7: 燃料調節用ハンドル, 8: 気化器入口, 9: 絞リ弁

第 2 図

である。また噴射用の水は水道水をそのまま用いると水噴射ノズルがふさがりなどの不都合の点があるので蒸留水を用いた。

2・2 実験方法 実験は吸入空気量を一定とし(だいたい全負荷程度)毎分回転数を一定とし、点火時期はその都度最良の時期を選んだ。そして実験は次の二つに分れる。(1) 吸気を加熱しない場合の水噴射 (2) 吸気を加熱した場合の水噴射。

(1) 吸気を加熱しない場合の水噴射 空気燃料比(空燃比) A/F を一定とし、水噴射量(水空気比) W/A を変えて実験を行った。実験せる A/F および W/A の範囲を第 1 表に示す。なお空気中に含まれる水分はそのときの湿度を測定して外部的に供給した水量に加算した。

第 1 表

実験番号	A/F の範囲	A/F の呼称値	W/A の範囲	W/F の範囲
1	9・7~10・3	10	0~0・06	0~0・60
2	11・1~11・4	11	0~0・05	0~0・55
3	11・7~12・7	12	0~0・04	0~0・48
4	13・7~14・5	14	0~0・012	0~0・17

これらの実験における測定事項は燃料消費量、水消費量、出力、ノッキング強さ、吸込み管壁温度、排気温度、吸入空気量、排気ガス分析などである。

(2) 吸気を加熱した場合の水噴射 吸気加熱のために気化器の後に加熱管を取付け約 350W の電熱を加えて吸気を熱した。その他のやり方は(1)と同様である。 A/F と W/A の範囲を第 2 表に示す。

第 2 表

実験番号	A/F の範囲	A/F の呼称値	W/A の範囲	W/F の範囲
5	10・6~11・2	11	0~0・06	0~0・66
6	11・6~12・1	12	0~0・04	0~0・48
7	14・2~14・7	14	0~0・015	0~0・21

3. 実験結果およびその考察

(1) 吸気を加熱しない場合 第 3 図 (b) に水噴射量 W/A と制動平均有効圧 p_b との関係を示す。

水量を増加するとある水量までは p_b を増してゆくが、それ以上水量を増すと p_b は低下し始める(曲線 1, 2, 3)。空燃比 A/F が大になると少量の水噴射で p_b が低下し始め、水量を大にすると運転不能となり機関が停止するに至る(曲線 4)。適量の水噴射を行うと p_b すなわち出力が増大する理由は、水噴射による内部冷却のためノックがなくなること、水の気化によって吸気温度が下がり体積効率が増すことおよび平均燃焼温度が下がるため冷却水損失が減ることなどである。他方水量が多過ぎると吸込み行程中に水

第 3 図

の気化が行われず、それ以後圧縮行程において気化するため仕事損失を引起し、なお燃焼を阻害するためと考えられる。

また稀薄混合気の場合に水噴射を行うと出力が低下するのは、この場合には元来燃焼ガス温度が低く燃焼速度もおそいのであるが、そこに水を加えると水の気化のため内部冷却が行われるので内部ガス温度が著しく低下し、また一方、燃焼速度もきわめておそくなり、なお水量を増すと燃焼を継続出来ない状態に立ち至るものと考えられる。図中の破線は最大平均有効圧の点をつらねたものである。

第3図(a)は水噴射量とノック強さ(ノックメータの読み)との関係を示すもので、いずれの空燃比でも水量を増すに従ってノックは弱くなり、ある水量以上では完全にノックがなくなってしまう。また稀薄混合気ほど少量の水でノックを止めることが出来る。A/F=14の時は水を加えないでもノックを起さなかった。これは水を加えると吸気温度が低下するためおよび燃焼ガス温度が下がるためと考えられる。また稀薄混合気では燃焼ガス温度が低いのでノックを止めるのに少量の水でこと足りるのである。

第3図(c)は水噴射量と燃料消費率 q との関係を示すもので、水量の増加に伴って燃費が低下してゆく(曲線1, 2, 3)。ただし稀薄混合気では水の量がある限度を越すと燃費が上昇している(曲線4)。これらのことは第3図(b)より容易にわかることである。図中

第 4 図

の破線は最低燃費曲線である。

第4図(a)は水噴射量と燃焼参加率 μ/μ_a との関係を示すものである。ここに μ は吸込み空気量と燃料消費量から求めた空気過剰率であり、 μ_a は排気ガス分析から求めた空気過剰率である。この両者の比を前の報告で燃焼参加率と名付けたのであるが、よく考えて見るとこの値は燃焼前までの燃料気化率に近いことが推察されるのである。この立場から実験結果を考察すると、注水量が増すと μ/μ_a が低下する傾向を示し、空燃比が大なるときほど μ/μ_a の曲線が上位にあるのは、注水量が増すと燃料の気化を妨げるためであり、空燃比が大なるほど一般に気化率が向上するからであると解釈できる。

第4図(b)は水噴射量と排気温度 t_E の関係を示すもので、水量が増すと排気温度が漸次上昇してゆくことが見られる。一般にノッキングがある場合には冷却水への伝熱量が増大し、出力は低下し、排気温度が低下するものである。それに対して、水噴射を行うと、ノックが弱くなり遂には完全にノックが止まること、および平均燃焼温度が低くなるため冷却水への伝熱量が減少し出力が向上すること、この両者の総合結果として排気温度が漸次上昇するのではないかと考える。

またA/Fの大なる稀薄混合気では燃焼が遅れて長びくためA/Fの小なる濃混合気のときより排気温度

が高くなるものと考えられる。

かように水噴射量を変えることによって排気ガス温度を調節できるということは内燃機関の排気熱を他の機械装置に利用する場合における供給ガス温度の調節法⁽⁷⁾としてきわめて興味あることである。

第 4 図 (c) は水噴射量と吸気管壁温度 t_s との関係を示すもので水量が増すと管壁温度が徐々に低下している。これは吸気管中に噴射された水の一部が管壁から熱を奪うためで水量が増せば管壁の奪われる熱量が増すためである。

(2) 吸気を加熱した場合 第 5 図 (b) は水噴射量と p_c との関係を示す。この関係は (1) と同じ傾向を示している。ただ $A/F=14$ の稀薄混合気では水を

第 5 図

加えても何らの効果なく p_c は低下する一方であった。図中、破線は最大 p_c の点を結んだものである。

第 5 図 (a) は水噴射量とノック強さの関係を示している。この関係は (1) の場合と同様である。ただ吸気を加熱した場合は水噴射を行わないとノックが加熱しないときよりかなり強く、また完全にノックを止めるにはより多くの注水が必要とする。これらのことは吸気温度が高くなるために生ずる当然のことである。

第 5 図 (c) は水噴射量と燃料消費率 q との関係を示すもので (1) の場合と同様な傾向を示している。図中破線は最低燃費の点を結んだものである。

第 6 図 (a) は水噴射量と μ/μ_a との関係を示すもので (1) の場合と同じ傾向を示している。しかし、同じ A/F に対する μ/μ_a の曲線は (1) のそれよりも上位にある。これは吸気を加熱しているため燃焼までの気

第 6 図

化率が向上したものと考えられる。

第 6 図 (b) は水噴射量と排気温度 t_E との関係を示すもので (1) の場合と同様な傾向を示している。

第 7 図

第6図(c)は水噴射量と吸込み管壁温度 t_s との関係を示すもので(1)の場合と同様な傾向を示している。ただ t_s は W/A の増加に伴い(1)より急激に低下している。これは管壁の温度が高いため水の一部が気化熱を奪って気化するためと考えられる。

第7図(a),(b)はそれぞれ吸気を加熱せざるおおよび加熱するときのノック限界を示すもので、点線は仮想線である。これを見ると $A/F=10\sim 11$ の範囲で最もノックが激しくノックを抑制するには最も多量の水を必要とする。この両側においてはこれより遠くなるに従ってノックは軽度となり、ノック抑制のための水量は次第に減少して行く。これは $A/F=10\sim 11$ (これを実際燃焼に参加した燃料 F' についての空燃比 A/F' になおしてみると、たとえば第4図(a)における燃焼参加率 μ/μ_0 を用いて $A/F' = A/F \div \mu/\mu_0$ から $A/F=11$ の場合の A/F' は $14.65=11 \div 0.75$ となり、理論混合比付近)で燃焼ガス温度が最高に達するがためである。

第 8 図

第8図(a),(b)はそれぞれ給気を加熱せざるおおよび加熱するときの空燃比 A/F と最低燃費水量との関係を示すもので、いずれの場合にも最低燃費をうるには空燃比の小なる場合ほど水量を多くせねばならないことがわかる。

第9図は空燃比と最低燃料消費率との関係を示すもので、空燃比の小なる場合ほど水噴射による燃費の低

第 9 図

第 10 図

下が著しく効果的であることがわかる。このときの燃費の低下率は最大約7~11%である。

第10図(a),(b)はそれぞれ給気を加熱せざるおおよび加熱するときの空燃比と最大平均有効圧との関係を示す。いずれの場合も空燃比の小なる、すなわち濃混合気の場合ほど平均有効圧の増加が著しい。平均有効圧(出力)の増加率は8~10%である。

4. 結 論

石油機関に軽油を使用して運転しノック状態にあるとき水噴射を行えば吸気を加熱せざる場合および加熱せる場合を包含して次の結論をうる。

(1) ある量までは水噴射量を増すことによって出力を高めることができる(最大約10%)。しかし水量がある限度を越えるとかえって出力は低下する。そして濃混合気ほど出力上昇率が大である。

(2) 稀薄混合気(空燃比大)では少量の水噴射によって、すぐに出力を低下し始めるので水噴射は有効でない。

(3) 最適水量は濃混合気(空燃比小)ほど大である。

(4) 水噴射によってノックを軽減することができる。そして水量を増してやればノックを完全に止めることができる。

(5) 適量の水噴射によって熱効率をかなり(約10%)高めることができる。

(6) 水噴射量を増すと燃焼参加率(μ/μ_0)は徐々に低下する。

(7) 水噴射量を増すと排気温度は上昇する。このことを利用して排気を他の機械装置に用いる場合の排気の温度調整を行うことができる。

以上を要するに、石油機関を使用して負荷が大でノック状態にあるとき適量の水噴射を行うと、ノックを軽減あるいは止めることができ、出力を増加し、熱効率を高めることができ、きわめて効果的である。しかし水噴射を行って長時間連続運転すると、燃焼室内

の炭素堆積が、水噴射を行わないときに比べて多くなり、機関性能低下の原因となるから、この点注意を要する。これに関しては後刻発表したいと考えている。

注：—

- (1) 昭和 29 年 6 月 4 日 浜松地方講演会において講演，原稿受付
昭和 30 年 9 月 13 日。
- (2) 正員，大阪府立大学工学部。
- (3) 正員，富士工業会社。
- (4) 著者，機械学会論文集，20 巻 96 号，537 ページ (昭 29)。

(5) たとえば

森田武夫，機械学会誌，53 巻 377 号，206 ページ (昭 25)。
森田武夫，熊谷直宣，機械学会誌，53 巻 378 号，254 ページ
(昭 25)。

森田，熊谷，機械学会論文集，17 巻 62 号，17 ページ (昭 26)。
W.P. Green and C.A. Shreeve, Trans. A.S.M.E.,
July, 1946, p. 541.

(6) E.F. Obert, Trans. S.A.E., Jan. 1948, p. 52.

(7) Telford Petrie, The Elements of Internal-Combustion Engineering, 1925, p. 196, Longmans, Green and Co.

621.454.01

軸流式ターボジェットの運転性能推定の一方法⁽¹⁾

飯 島 孝⁽²⁾

A Method of Estimating the Off-Design Performance of Simple Axial Turbo-Jet Engines

by Takashi IJIMA

The method described in this paper can be used to calculate the performance of the simple axial turbo-jet engine (one stage turbine, fixed area jet nozzle) within almost all practical revolution range including the maximum, and simpler in its procedure than any other methods already published. This can be applied, however, only for the engines in which

- (1) An axial compressor, of which characteristics can be represented by the two curves according to Howell's method, is used.
- (2) Expansion ratio of both turbine and jet nozzle are equal to or more than crytical.
- (3) Turbine adiabatic efficiency can be assumed constant within the range considered.

These conditions simplify the power balance and mass flow balance equations, and operational matching point of every element is to be easily found by the help of graphical method.

The comparisons between the published performance data of an actual engine and results of the calculation according to this paper are also presented here.

単純なターボジェット（軸流圧縮機とタービンが同軸，1 段タービン，固定ジェットノズル）の設計点以外の性能を求むる際，従来発表されている方法⁽³⁾では各要素（タービン，圧縮機，ジェットノズルなど）の特性曲線を予測して図上で求める方法が多く，その繁雑さのゆえに実用性に欠けるところがあったが，本法においては現在多く使用されている実機について検討の結果若干の条件および仮定を設定することによりきわめて簡単にマッチング点を求めることができ，実用回転数付近の運転性能を算出することを得た。更にある既存エンジンについて発表されている性能値と本法による計算値との比較を行った。

1. ま え が き

タービンと圧縮機が同軸同回転数，固定ジェットノズルの単純ターボジェットではある大気状態（高度），

機速において一つの自由度（たとえばタービン入口温度または回転数）を人為的にきめれば，そのエンジンの運転性能はきまる。この方法は次の諸条件が満足される場合について，このマッチング状態を求めんとするものである。

(1) 圧縮機は軸流式で圧縮比は約 4 以上，タービンは 1 段とする。

(2) タービンおよびジェットノズルの膨張比がともに限界膨張以上である。——この条件は両ノズルのど面積比，圧縮機の圧縮比などに関連し個々のエンジンにつき考察を要するが，現在多く使用されている実機の多くは地上静止最高回転数付近でこの条件を満足しており，更に高速飛行時には巡航を含む実用回転数の相当広範囲で適用できる。

(3) タービンノズルでチョークするか，タービン動翼でチョークするかは反動度により個々の場合につ