

含水メタノール燃料を用いた小形二サイクル
エンジン性能に及ぼす点火時期の影響*藤田 尚 毅*¹, 小野寺 英輝*¹, 辻 正 一*¹
吉田 幸之助*², 荒木 正 昭*³Effect of Spark Ignition Timing on the Characteristics
of Small Two-Stroke-Cycle Engines Fueled
by Methanol Containing WaterNaotake FUJITA, Hideki ONODERA, Shouichi TSUJI,
Kounosuke YOSHIDA and Masaaki ARAKI

A study was made on a two-stroke-cycle spark ignition engine which was fueled with methanol containing water with a mixture ratio of 0, 10 and 20% by volume. Experiments were carried out at various ignition timings and excess air ratio under a constant delivery ratio and a constant speed. Ignition timing of MBT with neat methanol is about 30 degrees BTDC. With increasing water content ratio, the ignition duration which is a period from ignition point to specific burning weight ratio of 10% is increased. Consequently, the MBT is shifted to advanced timing. Even with 20% water content, the engine can run with about the same power level and efficiency at each MBT.

Key Words: Internal Combustion Engine, Two-Stroke-Cycle, Methanol, Ignition Timing, Indicated Diagram, Fuel Containing Water, Experiment

1. はじめに

メタノールを内燃機関の燃料として用いる研究は、当初は石油代替の目的から、さらに近年は環境保護に対する関心の高まりからも、継続して精力的に行われてきている⁽¹⁾。特に今までは四サイクル火花点火機関^{(2)~(4)}やディーゼル機関⁽⁵⁾にメタノールを用いた場合の報告が多かった。しかし最近の二サイクルエンジンに対する評価の見直しから⁽⁶⁾、二サイクルエンジンにメタノールを燃料として用いた研究も再び活発に行われるようになってきた^{(7)~(10)}。

メタノールを内燃機関燃料として用いる場合、ガソリンと混合して用いる方法⁽⁴⁾⁽⁷⁾と単味で用いる方法がある。ガソリンとの混合燃料とすることにより、メタノールの有する低温難始動性や不可視炎などの欠点を補うことができるので、取扱い性はガソリンによる運転特性に近いものがあるために良好で、過渡的にはFFV⁽¹¹⁾などの形で適用されていくだろう。しかし、究極として石油代替の意味からはメタノール単味で運転

される機関の開発が必要である。

メタノールは親水性が大きく、このために「含水メタノール」に関する研究も比較的以前より行われている⁽¹²⁾⁽¹³⁾。含水にすることにより、可燃範囲の拡大、加熱による希薄領域での出力増加、NO_xの減少⁽¹²⁾、あるいは内部冷却効果の向上⁽¹³⁾などの効果が四サイクル火花点火機関に関して報告されている。二サイクル機関に関しては著者らが含水率20%まで変化させて、機関の出力や熱効率に及ぼす含水率の影響を調べた⁽¹⁴⁾。含水率を増加させていくと熱効率や出力が低下するが20%まではガソリンの熱効率と同等程度に運転できることを示した。このとき含水メタノールとすることにより、燃料の蒸発潜熱や熱容量が変化するので、着火遅れが燃焼速度に影響を与え、最適点火時期(MBT)も変化してくることが考えられるが、点火時期を変化させて燃焼特性を明らかにするまでには至らなかった。

そこで、本研究においては、はん用空冷小形二サイクルエンジンに含水メタノール燃料を用いて運転を行い、特に点火時期を変化させたときに機関性能へ及ぼす影響を、燃焼圧力の測定により得られた燃焼特性により考察した。

* 原稿受付 平成6年9月20日。

¹ 正員, 岩手大学工学部 (〒020 盛岡市上田4-3-5)。² 関東自動車工業(株) (〒237 横須賀市田浦港町)。³ 学生員, 岩手大学大学院。

2. 実験装置および実験方法

本実験に使用した機関は、はん用空冷小形二サイクルエンジン(排気量 175 cc, 行程圧縮比 7.1, クランク室圧縮ピストンバルブ式)である。この供試機関に含水率がそれぞれ体積で 0% (MC 0), 10% (MC 10) および 20% (MC 20) の燃料を気化器により供給した。また比較のための燃料として市販のレギュラガソリンを用いた。燃料による吸入空気量の差をなくすために、今回は給気比 DR を 0.4 一定、機関回転数を 2 200 rpm 一定で運転を行った。動力吸収には交流電気動力計を用いた。燃焼状態を解析するため、シリンダヘッド部にひずみゲージ形水冷式圧力変換器を直接取付け、シリンダ内燃焼圧力を測定した。圧力データは 12 bit の A/D コンバータを有する FFT アナライザの電圧-外部時間メモリー機能を用いて、クランク角で 1° ずつサンプリングし、90 サイクルずつを連続して取り込んで処理を行った。機関の点火時期調整は、出力側に取付けたクランク位置マーカをフォトランジスタで読取り、その信号によりランジスタ点火装置を騒動させて行った。

3. 実験結果および考察

図 1 に 3 種類の含水率を有するメタノールについて、給気比 DR を 0.4 一定とし、空気過剰率 EAR を

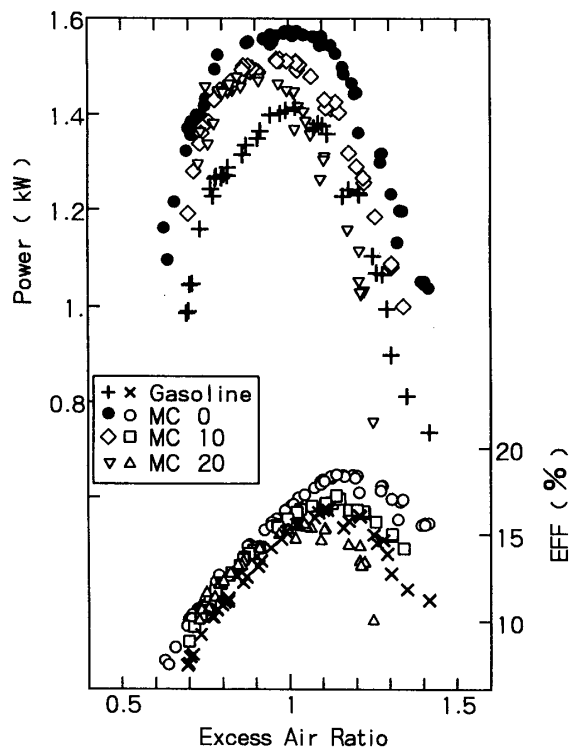


図 1 機関の出力・熱効率特性(点火時期一定)

変化させたときの正味出力と熱効率についてガソリンの場合と比較して示す。このエンジンの点火時期はガソリン用の初期設定のまま上死点前(BTDC)22°一定とした。

出力は、MC 0 が理論混合比付近で最も大きく、含水率が増加するにつれて低下している。燃焼範囲も MC 0 で最も広く、含水率が増加すると狭くなり、出力も MC 20 になると希薄混合気側でガソリンの場合より低下する。燃焼室に入る混合気の状態は、運転条件によって異なるが、ガソリンエンジンの場合には供給ガソリンの約半分が燃焼室内に入るまでに気化し、残りは液体のまま燃焼室に入るといわれている。メタノールエンジンでは気化潜熱が大きく、燃料の量も多いためにガソリンほど気化できず、液状のままシリンダ内に流入する割合が多くなる⁽¹²⁾。さらに、含水メタノールになると気化潜熱や熱容量が増大するために、気化特性が低下する。そのために、シリンダ内の混合気は、実際に供給した燃料と空気の量から求められる空気過剰率よりも薄くなるために、最大出力の出る空気過剰率の位置が濃い側に移動しているといふことができる。

図 2 は MC 0 について、各空気過剰率におけるシリンダ内圧力変化を 90 サイクル平均した指圧線図であ

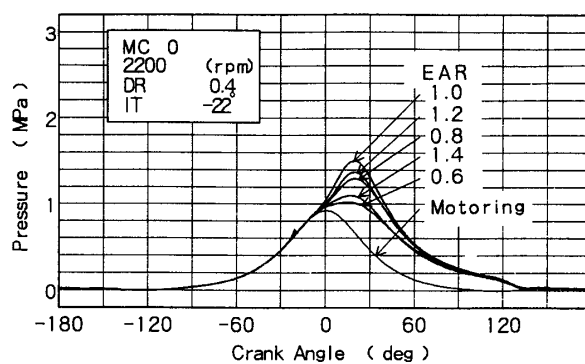


図 2 空気過剰率が燃焼圧力に及ぼす影響

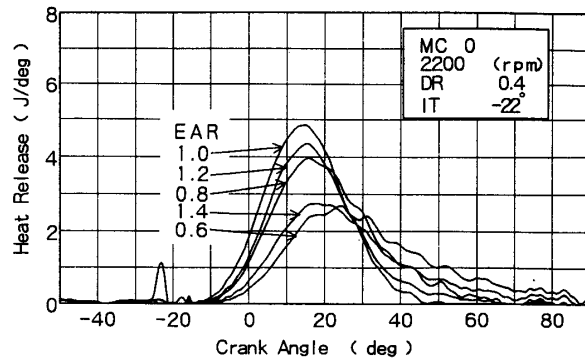


図 3 空気過剰率が熱発生率に及ぼす影響

る。図2から各クランク角ごとに熱発生率を求めて図3に示した。着火遅れは理論混合比付近で最も小さく、混合比が希薄側や過濃側になるにつれて大きくなる。また燃焼期間も同様に理論混合比付近が最も短く、それよりも希薄でも過濃側でも長くなっている。

次に、空気過剰率を一定にして各燃料について点火時期を変化させた出力特性を図4に示す。各含水率において出力を最大にするような最適点火時期(MBT)があり、その時期よりも早くしたり遅くすると出力が低下する。そして、含水率を増加させていくとこの曲線は進角側にシフトする。そのため、MC0でのMBTは上死点前(BTDC)30°付近であるが、含水率を増加していくとMBTは進角側に移行していき、さらにMBTでの出力はわずかな低下を示す。したがって点火時期が初期状態の点火時期一定(22°BTDC)のままでは、含水率を増加していくにつれて出力や熱効率が著しく低下することがわかる。メタノールは、同一の熱量ではガソリンよりも高出力、高热効率で運転ができる⁽¹⁴⁾。それはメタノールはガソリンよりも気化潜熱が大きいので、混合気の冷却による給気効率の向上、および内部冷却効果の増大による熱損失の減少、燃焼生成物によるモル数の増加等によるものとされている。しかし含水率が増加するにつれて、含水燃料の気化潜熱や混合気の熱容量の増加により燃焼温度の低下をきたし、温度上昇による体積膨張量が減少して出力の低下につながる。そして燃焼室内が過冷却となって、シリンダの消炎層厚さが増大して燃料の未燃分が増加するとともに、壁面に付着した燃料の気化率が悪化し

図4に示すように熱効率(EFF)が低下していくと考えられる。

図5に、MC0の場合について点火時期ITを変化させたときの燃焼室内の圧力変化をそれぞれ90サイクルサンプリングし、それを平均した圧力線図を示す。点火時期を進めるほど最大圧力 P_{max} が増加し、上死点に P_{max} が現れる点が近づいているのがわかる。

図6に点火時期とそのときに現れる P_{max} の大きさと位置との関係を示した。 P_{max} は点火時期を早めるにつれてほぼ直線的に増加しているが、ガソリンではBTDC 40°付近でノッキング発生のために運転限界となった。また P_{max} の現れるクランク角は、点火時期を早めるにつれて上死点に近づいている様子が現れている。また、同一点火時期ではガソリンよりもMC0のほうが P_{max} より上死点に近いところに現れていて、燃焼速度の速いことをうかがわせている。ガソリンの場合は P_{max} の現れる位置を上死点後(ATDC)13°付近一定にするとMBT制御することができる⁽¹⁵⁾。本実験では、MC0の場合で点火時期を30°BTDCとしたときに最大出力になるが、このときの

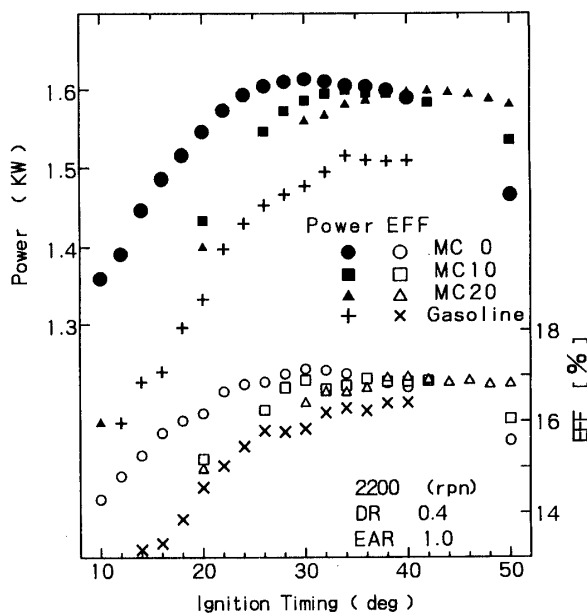


図4 点火時期による出力・熱効率の変化(EAR=1.0)

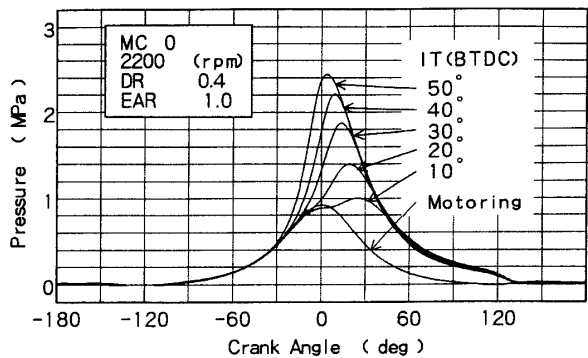


図5 燃焼圧力に及ぼす点火時期の影響

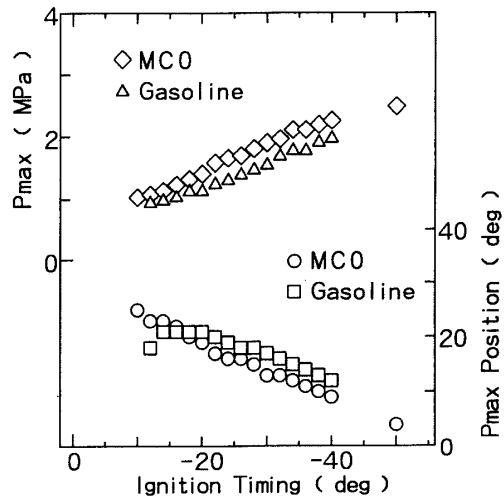


図6 点火時期による最大圧力と発生位置の変化

P_{max} の位置はほぼ 15° ATDC の位置に現れていた。

図 5 の結果から得られた燃焼質量割合 BWR と点火時期の関係を図 7 に示す。点火時期が MBT よりも進角側になるほど上死点前で燃焼する割合が多くなり、 50° の場合では上死点後わずか 5° 程度で燃焼が完了している。そのため P_{max} が最大になっても、上死点前の等容度の低下も大きくなるために出力は低下する。また図 7 の燃焼開始時期を見ると、点火時期より遅れて開始しているのがわかる。

各含水メタノール燃料の質量燃焼割合から燃焼期間を求め、点火時期との関係を図 8 (a)~(d) に示す。質量燃焼割合が 10% に達した点を BWR 10, 50% に達した点を BWR 50 というように表し、点火時期からの角度で示した。また、10% 点から 90% 点までのク

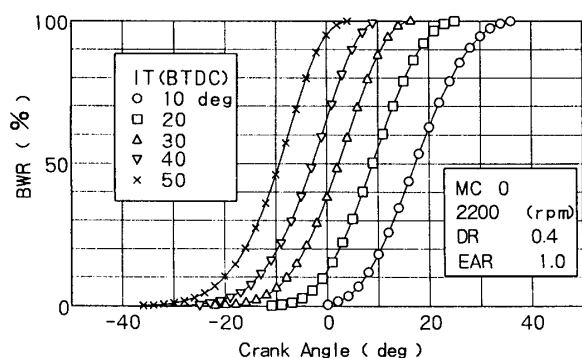


図 7 燃焼質量割合に及ぼす点火時期の影響

ランク角を主燃焼期間として BWR 10-90 の記号で図 8 中に示した。同一の燃料では、点火時期が遅いほど (点火進角の小さいほど) 10% 点までの時間が短く、点火進角を大きくしていくと 10% 点までの時間が増加していく。点火進角を大きくするほど、圧縮行程の前半で点火されるため、燃焼室の体積が大きく、さらに燃焼室の圧力と温度が低いために、低い燃焼速度⁽¹⁶⁾と、燃焼距離の大きさが相まって 10% 点に達するまでに大きなクランク角を必要とし、いわゆる着火遅れが大きくなったものとみなせる。10% 点までのクランク角を燃料別に比較すると、MC 0 が最も小さく、次いでガソリン、MC 10, MC 20 の順に大きくなっている。

主燃焼期間 BWR 10-90 については、点火時期によって大きく変化せず、クランク角にしてはほぼ 20° 前後であるが、点火から 10% 点までの期間の変化とは逆に、点火時期を進めることによって、短縮される傾向を示す。機関回転数が 2200 rpm なので、クランク角 20° が約 1.5 ms に相当する。図 5 の指圧線図からもわかるように、点火時期を進めると着火後の圧力上昇率が大きくなる。燃焼温度や圧力が高いと燃焼速度も増加⁽¹⁶⁾する効果が現れるためである。この主燃焼期間の大きさも着火遅れと同じく、MC 0 で最も小さく、ガソリン、MC 10, MC 20 の順になっている。燃焼速度はメタノールが最も速いが、含水率を増加させると燃

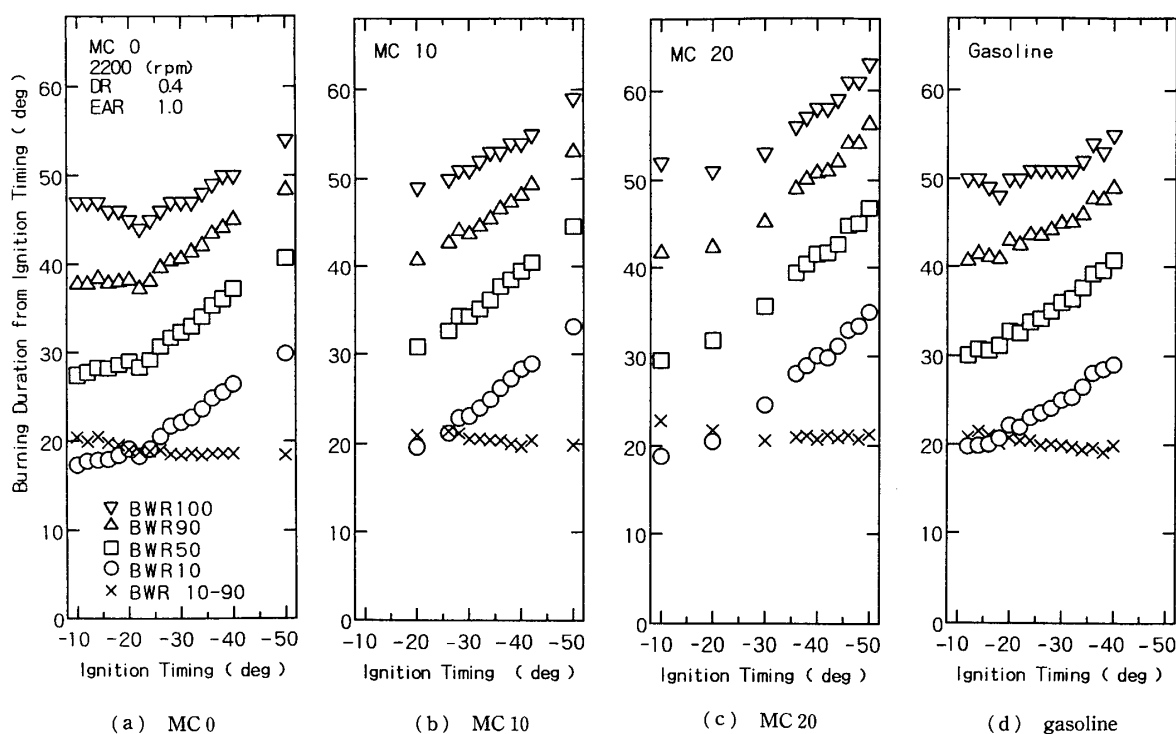


図 8 含水メタノールの燃焼期間

焼速度が低下する⁽¹⁶⁾ ことによるものとみなすことができる。

点火進角が燃焼期間に与える影響は、10%点までのほうが大きく、それに比較して10~90%点のほうが小さいので、燃焼期間全体を通してみると点火から燃焼終了までの期間(BWR 100)は、点火進角を大きくしていくと増加する。また、含水率を大きくしていても増加する。点火進角が20°よりも小さいところではBWR 90~100までのクランク角が増加している。これは燃焼後半が、上死点を通過し、ピストンの下降速度が増加する領域での燃焼になるために、燃焼速度が低下した影響が現れたものである。

図9に空気過剰率、給気比を一定として点火時期を変化させたときの排気管壁の温度変化をメタノールと

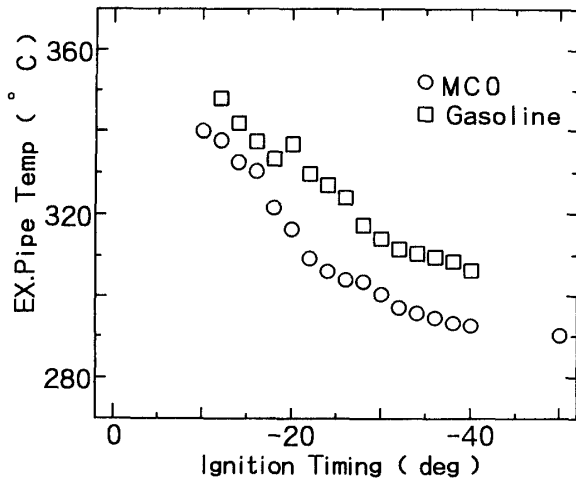


図9 点火時期と排気管壁温度との関係

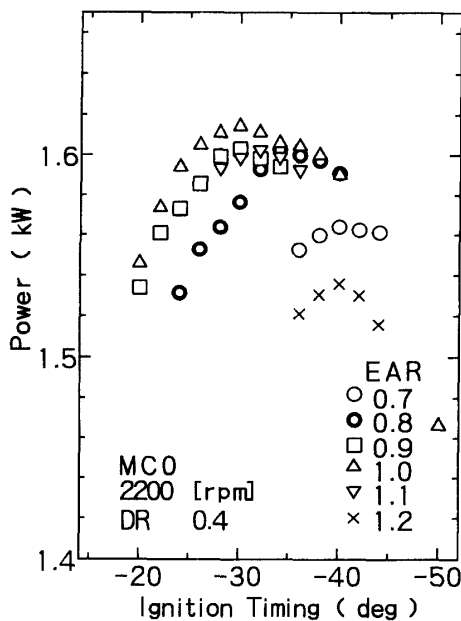


図10 点火時期による機関出力の変化

ガソリンの場合について示す。排気ポートから50 mmの排気管壁上に、線形0.32 mmのKタイプ熱電対を取付けて測定した。ここでは排気温度の相対的な変化を調べることを目的としたので、放射や伝導損失などの補正は行っていない。メタノールとガソリンでは点火進角のいかんにかかわらず、メタノールのほうが低い温度を示している。点火進角を小さくしていくと、ピストン下降行程に入ってからの燃焼が多くなり、そのために排気温度が上昇したものと考えられる。

次にMC0の燃料について、空気運率を一定として点火時期を変化させたときの機関出力の変化を図10に示す。図10から、各空気過剰率における最適点火時期(MBT)を知ることができる。空気過剰率が1付近で出力が最も大きく、また燃焼できる点火時期の幅も広がっている。

図10において、各空気過剰率で出力が最大になる点火時期を空気過剰率との関係で表したのが図11で

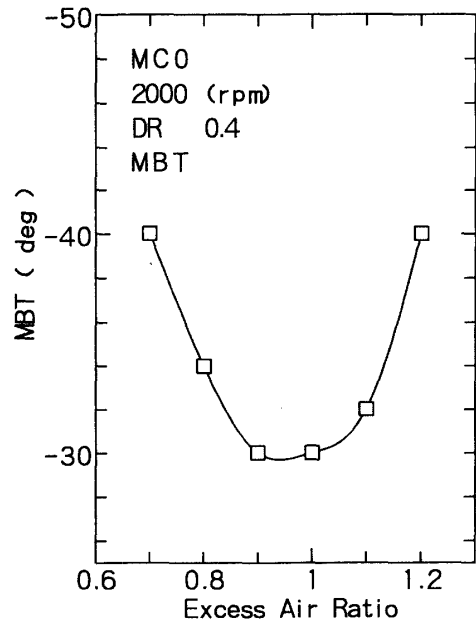


図11 空気過剰率によるMBTの変化

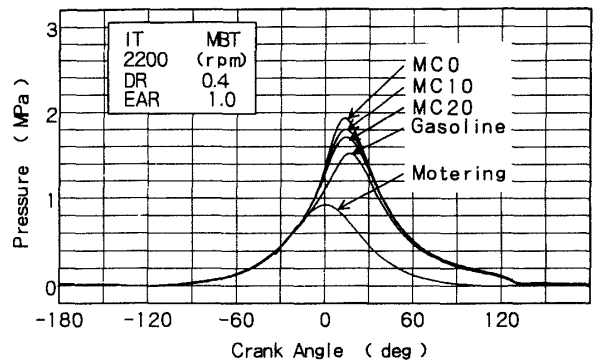


図12 各燃料のMBTにおける指圧線図

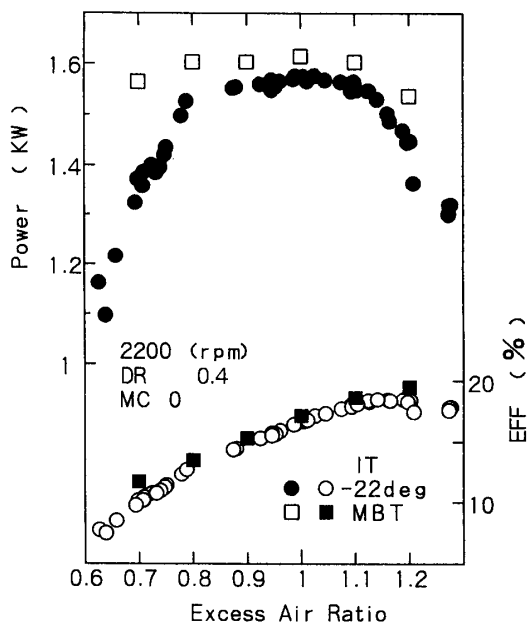


図 13 点火時期一定と MBT 運転の比較

ある。図 11 から空気過剰率が 1 付近で最も MBT が遅く、したがって燃焼の進行が早いことがうかがわれる。混合気を濃くしても、薄くしても MBT は進角側に移行し、このときの出力も低下している。

以上のように各含水率における着火遅れの影響などを求め、各含水メタノールにおいて MBT で運転したときの、シリンダ内圧力線図を図 12 に示す。圧力最大値 P_{max} は、含水率の増加により若干低下しているが、 P_{max} のクランク角位置は各燃料ともほぼ一定の位置になっている。最大圧力の出る角度をつねに一定になるように点火時期を制御すれば MBT 運転をすることができる⁽¹⁵⁾とされている。本エンジンに含水メタノールを用いた場合でも、 P_{max} が上死点後の一定のクランク角位置になるように設定すれば MBT 運転となり、これはガソリンの場合よりも若干早い位置の設定となった。

点火時期を MBT として、空気過剰率を変化させた場合を MC 0 を例にとり、図 13 に示す。点火時期を 22° BTDC 一定としたときよりも、出力を広い範囲で

向上させることができた。

4. 結 論

小形二サイクル火花点火エンジンに含水メタノール燃料を用いて、点火時期を変化させて運転を行い、機関性能に及ぼす影響を調べた結果、以下のような知見を得た。

(1) メタノール燃料の含水率は、燃焼時間に影響を与える。含水率を増加させると点火から 10% 燃焼までの時間を増加させる。また、10% から燃焼終了までの時間にはあまり影響を与えない。

(2) 含水メタノール燃料において、最適点火時期は、燃焼室内の最高圧力が上死点後一定になるように設定すると、MBT 運転を行うことができる。

(3) MBT で運転すると、含水率 20% 程度までは、出力・熱効率ともニートメタノールに比較して、さほど低下せずに運転することができる。

最後に本研究の遂行に際し、岩手大学工学部技官伊藤光博氏、および当時岩手大学工学部学生野口義和氏にご助力いただいた。また、本研究の一部は平成 5 年度の文部省科学研究費補助金を得て行ったものである。付記して、感謝の意を表す。

文 献

- (1) 岩井, 日本エネルギー学会誌, 71(1992), 154.
- (2) Sapre, Alex, R., SAE Paper, 881679(1988).
- (3) Hayashi, S., ほか 3 名, SAE Paper, 910866(1991).
- (4) 田中・ほか 2 名, 内燃機関, 23-297(1984), 9.
- (5) 例えば, 梶谷・澤, 機論, 57-537, B(1991), 1899.
- (6) 古浜, 内燃機関, 29-366(1990), 9.
- (7) 藤田・ほか 3 名, 自技論, 25-3(1994), 22.
- (8) Kubota, Y., ほか 5 名, SAE Paper, 922312(1992),
- (9) 梶谷・ほか 3 名, 機論, 57-539, B(1991), 2442.
- (10) 澤・ほか 3 名, 機論, 56-530, B(1990), 3187.
- (11) 金, エネルギー・資源, 15-5(1994), 492.
- (12) 澤・ほか 2 名, 茨城大工集報, 23(1975), 23.
- (13) 藤田・ほか 3 名, 機論, 53-496, B(1987), 3822.
- (14) 藤田・ほか 3 名, 機論, 55-510, B(1989), 535.
- (15) 中原・高見, 内燃機関, 31-396(1992), 49.
- (16) 竹内・ほか 2 名, 内燃機関, 21-263(1982), 6.