

含水メタノール燃料の小形2サイクル火花点火機関
性能に及ぼす影響*藤田 尚毅*¹, 吉田 光明*²
山口 信之*², 辻 正一*¹The Effect of Methanol Fuel Containing Water on a Small 2-Cycle
Spark Ignition Engine PerformanceNaotake FUJITA, Mitsuaki YOSHIDA,
Nobuyuki YAMAGUCHI, and Shouichi TSUJI

In this paper, we investigate the effect of water mixed with methanol as a fuel on the performance of a small 2-cycle spark ignition engine. The water mixing ratio in methanol is varied from 0 to 20% by weight. Experiments at various excess air ratios and ignition timings are carried out under a constant delivery ratio and a constant engine speed. The mean combustion pressure in the cylinder is measured with the pressure tap fixed in the cylinder head. We attempted to analyze characteristics of the combustion process using the indicated pressure diagram. The results show that the methanol fuel containing water up to 20% is useful for improving the performance of a small 2-cycle SI engine, for example, increased brake power and thermal efficiency and more compact mechanism.

Key Words: Internal Combustion Engine, 2-Cycle SI Engine, Alcohol Water-Methanol Fuel, Mixture Heating, Experiment

1. 緒 言

二度のオイルショックを契機として内燃機関の代替燃料に関する研究が活発になり、メタノールが有望視されている。メタノールは、セタン価が低く圧縮着火が難しい点から火花点火機関に適しているといえる。燃料としてのメタノールを利用する方法には、ニート(単味)⁽¹⁾、ガソリンや軽油とのブレンド⁽²⁾、アンチノック添加剤として、改質ガス(H₂とCOに分解)などがある。そして、メタノールの親水性を積極的に利用した「含水メタノール」がある。

運搬・貯蔵の際メタノールに水が混入することは必然的に考えられ、その場合の機関性能への影響を調べると同時に、内部冷却効果など燃料の性質から見た利用効果を探る意味で、含水メタノール燃料の研究は数多く行われている。そして、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⁽³⁾、内部冷却効果の向上⁽⁴⁾などがこれまでに明らかにされている。しかし、それらを含水メタノールについての報告はすべて4サイクル機関によるものであり、2サイクル機関

についてはまだ見当たらない。

2サイクル機関は汎用、二輪車などで広く用いられ、軽量コンパクトで高出力が期待できる反面、不整燃焼などが多く⁽⁵⁾、信頼性・安定性に乏しい。また、希薄混合気での安定燃焼が難しい、シリンダ壁に排気・掃気口がありシリンダ・ピストンが過熱しやすいなどの短所を持つ。しかし、希薄燃焼が容易でかつ内部冷却効果を持つメタノールを導入することにより、これらデメリットの改善が期待できる。また、2サイクル機関のクランク室圧縮方式は、クランク室壁からの伝熱や圧縮熱により混合気が加熱され、メタノールの気化促進に役立つと思われる。このように、2サイクル機関にメタノールや含水メタノールを用いることは、双方の短所を補い、長所を生かすという点で魅力ある組合せであるといえる。

そこで、本研究では、含水メタノール燃料を小形2サイクル火花点火機関に用いた際の機関性能に及ぼす影響について調べるために、給気比を一定として含水率、点火時期、空気過剰率などを変えながら実験を行った。また、燃焼圧力を測定して、指圧線図解析を行い、燃焼特性を明らかにした。

* 昭和63年10月29日 山梨地方講演会において講演、原稿受付 昭和63年3月23日。

*¹ 正員、岩手大学工学部 (〒020 盛岡市上田4-3-5)。

*² 学生員、岩手大学大学院。

2. 実験装置および実験方法

2-1 実験装置 図1に実験装置概略を示す。供試機関は、シリンダ内径 62 mm, 行程容積 175 cm³, 圧縮比 6.7, 単気筒強制空冷形クランク室圧縮式小形2サイクル火花点火機関を用いた。潤滑方法は混合潤滑方式であり, メタノールと相溶できるひまし油を潤滑油として用い⁽¹⁾, よく燃料と混合した上で実験を進めた。

本研究において, 吸入空気量の測定には, 吸込側5面ゴム膜サージタンク(行程容積の750倍の容積)直前に取付けた層流形気体流量計および差圧計を用いた。燃料消費量は, デジタルタイマ付きのはかりを用い重量法により測定した。気化器は, 始動・暖機に用いたガソリン用と, メインジェットをの径を広げ, ベンチュリのど部に小形ベンチュリを挿入など燃料供給量を増すための改良, フロートを耐メタノール材料に替える改良などを施してあるメタノール用の2種類を用意し三方切換弁を介して吸気管に接続してある。

供試機関の駆動軸とゴム形カップリングを介して連結された交流式電気動力計は, エンジン正味出力の測定のほか, 始動機としての役目も果たしている。また

エンジン回転数およびクランク角位置は, 動力計軸に直接取付けたロータリエンコーダのパルスをカウントすることにより求めた。

点火時期の制御には, 供試機関駆動軸に磁気ピックアップを取付け, フルトランジスタ式点火装置により行った。

吸気管は, 内径 35 mm, 長さ 220 mm の耐熱ガラス製であり, この中にニクロム線ヒータ(直径 0.8 mm, 抵抗値 15 Ω)を二重コイル状に巻き, 混合気の直接加熱と気化状態の観察ができるようになっている。

排気系にはサージタンクを設け, そこから出るサンプル管により排ガス分析用のガスを採取した。CO, CO₂, O₂濃度の測定にはガスクロマトグラフ(日立 164 T)を用いた。また CO 濃度を NDIR(堀場 MEXA-201 F)により測定し, 空気過剰率の設定の際に目安とした。

シリンダ内燃焼圧力の測定には, ひずみゲージ式水冷圧力変換器を用いた。この出力をFFTアナライザの電圧-外部時間メモリ機能を用いてサンプリングをし128回の平均化したデータを燃焼圧力としてGP-1 Bによりパーソナルコンピュータに入力し, 指圧線図解析を行った。吸入混合気温度の測定には, 吸気管内

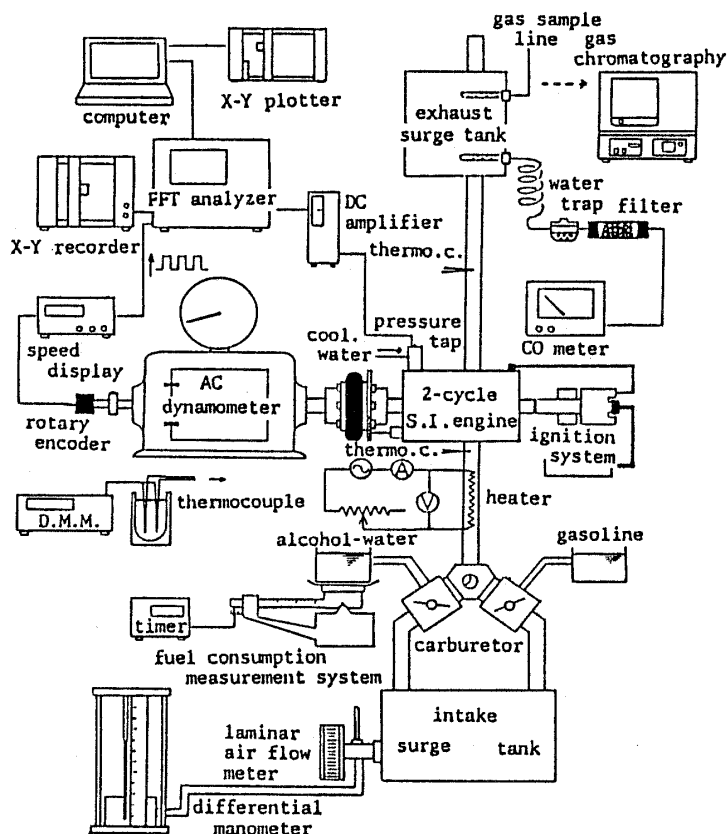


図1 実験装置概略

側に接点を取付けた $\phi 0.3$ mmCC 熱電対を、また排気ガス温度 (排気口から 40 mm)、フィン温度、クランク室内ガス温度の測定には、 $\phi 0.3$ mmCA 熱電対を用いた。

2.2 実験方法 エンジン回転数を 2200 rpm、給気比を 0.43 一定とし、実験を行った。その際メタノールに対する含水率を 0 から 20% (重量) まで変化させ、それぞれの含水率において、空気過剰率を運転可能な範囲で変化させ、また点火時期を (BTDC) 15, 20, 25, 30 CA についてそれぞれ変化させて測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 含水率の影響 含水メタノール燃料に含まれる水の量は含水率 MC によって定義する。

$$MC = \{G_w / (G_m + G_w)\} \times 100 \quad [\%] \quad \dots\dots (1)$$

ここで G_m は燃料中のメタノール重量、 G_w は燃料中の水の重量である。表記法としては例えば含水率 20% の含水メタノールを「MC 20」と表すものとする。

空気過剰率 AR と正味出力 N_b 、正味熱効率 η_b の関係で含水率が及ぼす影響について図 2 に示す。同一条件で運転したガソリンによるデータも併せて示してある。過濃側では、出力、熱効率ともに含水率が増加するにつれ低下している。それは、空気過剰率が小さくな

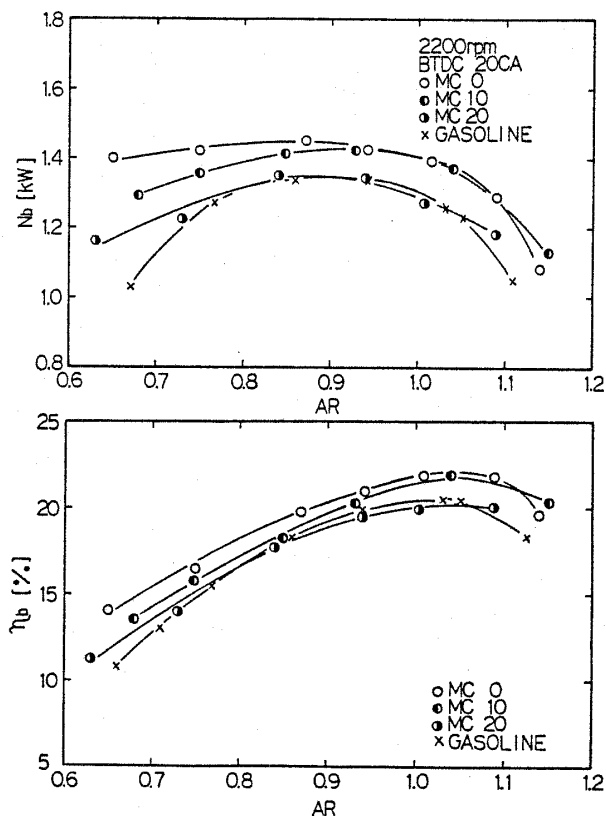


図 2 含水率が正味出力・正味熱効率に及ぼす影響

るにつれあるいは含水率が増すにつれ、吸気管内の含水メタノール中の気化率が悪くなるためと思われる⁽⁵⁾。さらにシリンダ壁が過冷され消炎帯厚さが増し、混合気の局所的不均質が著しいため、出力、熱効率が低下している。希薄側でも同様な傾向が見られる。2サイクル機関は希薄混合気の安定燃焼に問題があることもあり⁽⁶⁾、難燃焼条件下での出力低下が著しいといえる。しかし理論混合比付近における出力、熱効率の最大をそれぞれ比較すると、どちらも $MC 10$ はメタノールのみ ($MC 0$) とほぼ等しいことがわかる。 $MC 20$ はそれらより低下しているが、それでもガソリンとほぼ一致している。点火時期を変えた際にも同様の傾向が見られた。

また含水率が及ぼす影響についてその燃焼過程を表す圧力-クランク角線図 (図 3) および燃焼重量割合 BWR (図 4) から見ると、同一点火時期でも含水率が増加するにつれて燃焼開始時間の遅れが長くなり、最高圧力に達するクランク角位置が上死点から離れて全体として燃焼過程終了が遅くなっていく。主燃焼期間も長くなっていくが、厳密に見るとメタノールのみと $MC 10$ はほぼ期間が等しく、 $MC 20$ がそれらより長くなっている。また含水率が増加するにつれ、最大圧力や最大圧力上昇率が低下しているのがわかる。つまりメタノールの性質としてあげられる高い燃焼圧力、大きい燃焼速度が水を加えることにより抑えられていると考えられる。

また熱発生率について図 5 に示す。熱発生率の算出には次式を用いた。

$$\frac{dQ}{dCA} = \frac{1}{x-1} \cdot (x \cdot P \cdot \frac{dV}{dCA}) + V \cdot \frac{dP}{dCA} \quad \dots\dots (2)$$

ここで x は比熱比、 V は任意クランク角位置 (CA) でのシリンダ容積、 P は同位置での燃焼圧力である。この図をみると点火してからしばらくの間熱発生率が零である。発生熱量より熱損失のほうが大きく見かけ上負となるためであり⁽⁷⁾、本図では正の熱発生率のみを示してある。上死点前の圧縮行程において、含水率が増加するにつれ熱発生率の上昇率が低下している。これは混合気の気化に熱が奪われているためであり⁽⁸⁾ 水の気化潜熱がメタノールより大きいために、含水率が増加すると混合気の気化潜熱が増加して蒸発に費やされる熱量が増えるためと考えられる。また含水率が増加するにつれ最大熱発生率も低下し、急激な燃焼から緩慢な燃焼に移行しているのがわかる。

一方、フィン温度 T_f および排気ガス温度 T_e について含水率の及ぼす影響について調べた結果を図 6 お

よび図7に示す。フィン温度からはシリンダ壁面温度あるいは燃焼温度を定性的に推測でき、それについて見ると、含水メタノールはガソリンの場合と比較して低く、含水率が増加するにつれて低下しているのがわ

かる。これは含水メタノールの燃焼温度の低下すなわち内部冷却効果のためと思われる⁽⁴⁾。また排気ガス温度について見ると、ガソリンの場合と比較して含水メタノールが低くなっている。これについても同様の理由と考えられる。点火時期を変えてみると、上死点側に近づくにつれ排気ガス温度が高くなる傾向にある。この場合最大圧力に達するクランク角位置が上死点から離れていき燃焼期間が遅れていくので、未燃燃料が増し排気管内などで後燃えを起こすためと思われる。つまり同一燃料での排気ガス温度の高低は未燃燃料の多少を定性的に表しているといえる。このようにメタノール燃料および含水メタノール燃料を用いると燃焼温度が低下するので、汎用機関などにおいてはよりいっそうの冷却系設計の簡略・軽量化が期待できる。

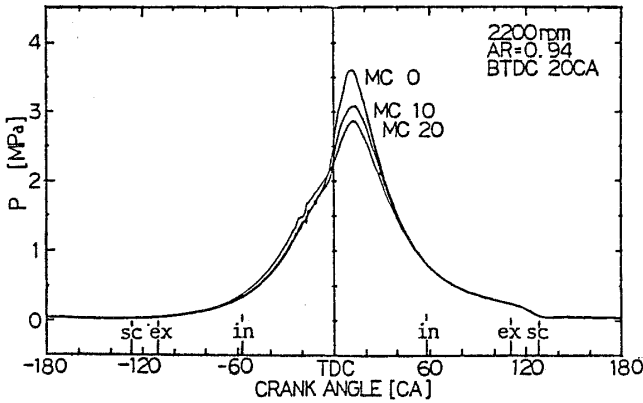


図3 燃焼圧力-クランク角線図

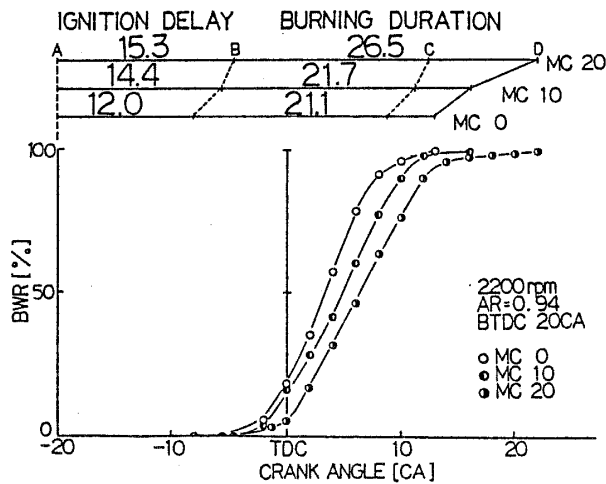


図4 燃焼重量割合

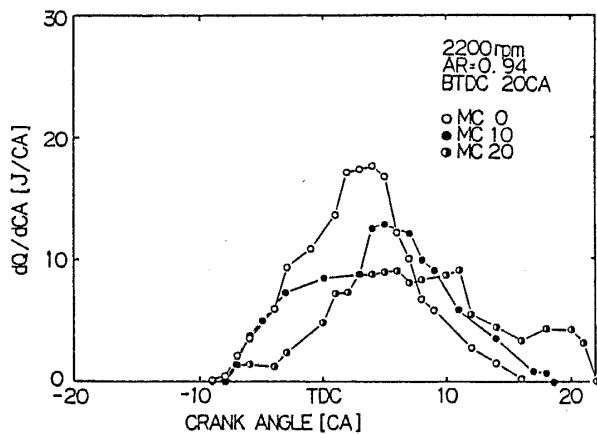


図5 熱発生率

3・2 混合気加熱の影響 含水メタノール燃料は気化潜熱が高くその気化性が問題となる。水を添加することにより燃焼温度が低下するのは混合燃料の気化潜熱や熱容量が増大するためではあるが、混合気の均質化を図り機関性能を向上させるという意味で混合気を加熱した際の影響について調べた。

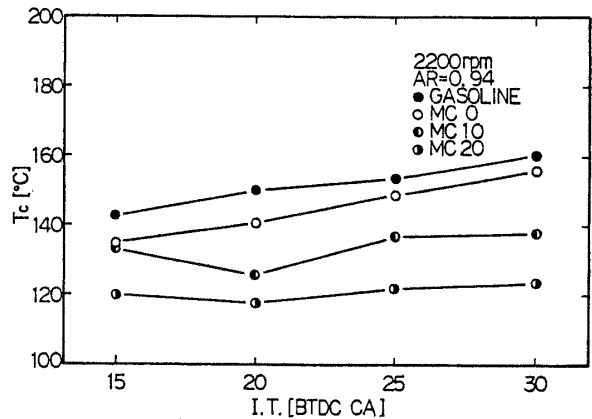


図6 含水率がフィン温度に及ぼす影響

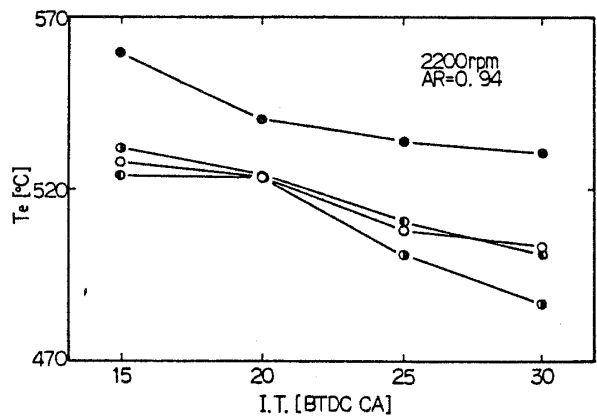


図7 含水率が排気ガス温度に及ぼす影響

	2200 rpm BTDC 20CA MC 20 AR=0.83	AR=0.96	T _b =30°C AR=1.09
N _b	93.8	91.3	100.0
B _s	90.0	89.8	88.4
η _b	105.6	101.6	107.5
η _b	93.6	94.5	95.0
T _c	112°C 145°C	120°C 145°C	108°C 125°C
T _e	500°C 486°C	533°C 505°C	510°C 488°C
W	0.40kW	0.36kW	0.35kW

図 8 混合気加熱による影響

供試燃料のなかで最も気化潜熱の高いMC20について、吸入混合気温度を30°Cまで加熱した際の正味出力 N_b 、燃料消費量 B_s 、正味熱効率 η_b 、およびヒータに供給した加熱量を考慮し燃料の発熱量に加算した修正熱効率 η_b を非加熱時を100とした場合との比較で図8に示してある。また同図には排気ガス温度 T_e 、フィン温度 T_c の変化について、上側に非加熱時、下側に加熱時の測定値、そしてヒータ加熱量 W を併せて示している。混合気を加熱することにより充てん効率が27.7%から25.0%に低下した。加熱により吸入空気が膨張したためと思われる。

正味出力について見てみると、理論混合気付近である $AR=0.96$ で最も出力低下が大きく、次いで過濃側の $AR=0.83$ 、そして希薄側である $AR=1.09$ では非加熱時と同じ出力を示した。加熱により非加熱時より混合気の気化が促進され均質化が進み、図2で示されるような特に過濃・希薄側での出力低下が緩和されているといえる。

充てん効率の低下により、燃料消費量はどの空気過剰率でも減少している。それに対し正味熱効率はどの空気過剰率でも増加している。このことから含水メタノールを用いた場合には混合気加熱によりある程度の機関性能改善に効果があるといえる。

また本研究では直接混合気を加熱しているので、ヒータの供給熱量は放射による損失を除けばすべて混合気に与えられると考えることができ、修正熱効率を算出した。加熱の条件を吸入混合気温度一定としたので過濃側でより多くの加熱量を必要としているのがわかる。この修正熱効率について見ると非加熱時の正味熱効率より低下している。しかし、混合気の加熱の熱源

をエンジンからの排熱を利用するとすれば、加熱量を考慮しなくてもよく、実際の正味熱効率は高くなる。

また、混合気加熱によるフィン温度は上昇するが、排気ガス温度は低下している。つまり燃焼温度が上昇し、シリンダ壁の過冷が緩和され、未燃燃料が減少していると考えられ、混合気の気化が促進されていることがこのことからいえる。

以上のことから、吸気管での混合気加熱は混合気の気化を促進させ、過濃・希薄側の難燃条件下での性能改善に有効に作用することが期待できる。

4. 結 言

含水率20%までの含水メタノール燃料を小形2サイクル火花点火機関に用いた際の機関性能、燃焼特性について実験を行い、次のような結果が得られた。

(1) 含水率が増加していくと正味出力、正味熱効率は低下する。しかし含水率10%程度まではメタノール燃料時の性能にほぼ近かつガソリン燃料時より高い。また含水率20%程度ではガソリン燃料時とほぼ一致する。

(2) 含水率が増加していくと、燃焼圧力、燃焼速度が低下し、燃焼期間が長くなる。

(3) 含水メタノール燃料の内部冷却効果により、排気ガス温度やフィン温度が低くまた燃焼温度も低くなる。

(4) 吸入混合気を加熱することにより、希薄燃焼など難燃条件下での機関性能の改善につながることを期待できる。

最後に、本研究の遂行に際し、岩手大学工学部技官・伊藤光博氏にご助力いただいたことをここに明記し、謝意を表す。

文 献

- (1) Maji, S., Pundir, B. P. and Radzimirski, S., *The Report at the 7th Int. Symp. of Alcohol Fuel Tech.*, (1986), 358.
- (2) WOBST, M., *Kraftfahrzeugtechnik*, 3 (1984), 70.
- (3) 沢・ほか2名, 茨城大学工学部研究集報, 23 (昭50), 23.
- (4) 藤田・ほか3名, 機論, 53-496, B (昭62), 3822.
- (5) 土屋・ほか2名, 内燃機関, 21-7 (昭57), 11.
- (6) 平尾, 代替燃料としての燃料アルコールの問題, 5 (昭59), 22, 開発社.
- (7) 金, 自動車技術会論文集, 7 (昭49), 11.
- (8) 伊藤・ほか1名, 芝浦工大研究報告理工学系, 29-1 (1985), 52.