

含水メタノール燃料の小形4サイクル式火花点火機関  
性能に及ぼす影響\*藤田 尚毅\*<sup>1</sup>, 斎藤 実\*<sup>2</sup>  
大西 謙一\*<sup>3</sup>, 永倉 喜一郎\*<sup>4</sup>The Effect of Methanol Fuel Contains Water on a 4-Cycle Spark Ignition  
Engine PerformanceNaotake FUJITA, Minoru SAITOH,  
Kenichi OONISHI, and Kiichirou NAGAKURA

In this paper, we investigated the effect of water mixed in methanol on the performance of 4-cycle spark ignition engine. The water mixing ratio in methanol was varied from 0 to 30% by weight. Experiments at various excess air ratios were carried out under a constant charging efficiency and engine speed. The mean burning gas temperature in a cylinder was measured with a platinum wire resistor thermometer fixed near the cylinder head. When the excess air ratio was decreased or the amount of water mixed in methanol was increased, the mean temperature in the cylinder decreased and the ratio of burned fuel to supplied fuel decreased. In order to facilitate fuel vaporization, the air fuel mixture was heated, which resulted in an increase in thermal efficiency.

**Key Words:** Internal Combustion Engine, 4-Cycle SI Engines, 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石油代替燃料の開発・研究が盛んに行われるようになり、石油事情が緩和している現在でもその気運は上昇している。

その中でも内燃機関の代替燃料としてはアルコール燃料、特にメタノールが最も有望視されており、各国の産官学においてそれぞれ実用化に向けて精力的な取り組みがなされている<sup>(1)</sup>。

火花点火機関にメタノールを利用する方法としてはガソリンとブレンドして用いる方法<sup>(2)(3)</sup>やニート、メタノールでの方法<sup>(4)</sup>がある。さらに後者においてその性質を積極的に活用する方法として、ガソリンよりも高いオクタン価であることから、高圧縮比にすることで熱効率を向上させる<sup>(3)(5)</sup>、メタノール改質ガスを用い低温始動性や暖機運転性を改善し希薄混合気運転での熱効率を向上させる<sup>(6)</sup>、などの研究が行われている。またこれとは別に、メタノールは親水性が大きい

ので、水分の影響が機関性能に及ぼす影響についても調べることは重要である。堀ら<sup>(7)</sup>や Gulder<sup>(8)</sup>はメタノールに水を添加することにより機関効率の低下することなしに排気特性が改善されたことを報告している。これは気化潜熱による冷却効果が関与しているとされているが、実際に含水メタノールを用いた場合のシリンダ内燃焼温度をも考慮した報告は行われていないようである。

そこで本研究においては、小形4サイクル火花点火機関を用い、純粋メタノールおよび含水メタノール燃料を気化器により供給した場合について実験を行い、燃焼室内温度との関連を考慮しながら、機関性能、燃焼に及ぼす影響について検討を行った。また(含水)メタノール燃料は蒸発潜熱が大きいので吸気管を定量的に加熱し、気化促進が性能に及ぼす影響についても検討を加えた。

## 2. 実験装置および方法

図1に実験装置の系統図を示す。供試機関は、シリンダ内径76mm、行程容積267cm<sup>3</sup>、圧縮比6.2、側弁式の単シリンダ空冷4サイクル火花点火機関である。

本装置において、吸入空気量は吸込側サージタンク直前に取付けた層流形気体流量計を用いた。燃料消費

\* 昭和62年10月3日 東北支部仙台台地方講演会において講演、原稿受付 昭和62年3月11日。

\*<sup>1</sup> 正員、岩手大学工学部 (〒020 盛岡市上田3-4-5)。

\*<sup>2</sup> 岩手大学工学部。

\*<sup>3</sup> 正員、トヨタ自動車(株) (〒471 豊田市トヨタ町1)。

\*<sup>4</sup> 正員、一関工業高等専門学校 (〒021 一関市萩荘)。

量はデジタルタイマ付きのはかりを用いて重量法によって測定した。燃料供給用気化器はガソリン用と、メインジェットを広げてベンチュリのど部にさらに小形のベンチュリを挿入して改造したメタノール用の2種類の気化器を用意し、三方切換弁を介して吸気管に接続してある。

気化器とエンジンの間には、内径 35 mm、長さ 220 mm の耐熱ガラス管を設け、この中にニクロム線ヒータ (直径  $\phi$  0.8 mm、抵抗値 15  $\Omega$ ) を二重コイル状に巻いて入れてあり、混合気加熱と気化状態の観察ができるようになっている。エンジンの軸出力は、交流式電気動力計により測定した。またエンジンの回転数および、クランク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のカウントすることにより求められる。シリンダ内圧力の測定には、ひずみゲージ式水冷圧力変換器を用いた。

排気ガス関係として、 $\text{NO}_x$  濃度については CLD (HORIBA・CLA-11)、CO 濃度については NDIR (HORIBA・MAXA-201 F) を使用し、また混合比算出のためにガスクロマトグラフ (日立 164 T) を使用した。

シリンダ内燃焼温度の測定は、図 2 に示すような位置に、直径 0.05 mm または 0.1 mm の白金線をヘッド壁面から約 3 mm 離して張りめぐらして抵抗温度計とすることにより測定した<sup>(9)</sup>。細線の抵抗は、シリンダ内の温度変動に追従して変動するが、細線温度が極大または極小になったときには細線の温度は周囲のガス温度に等しくなるので、これを基準温度としてシ

リンダ内の平均ガス温度の変化を求めた。

燃焼圧力および温度の変化は FFT アナライザの電圧-時間メモリ機能を用いてサンプリングし、必要に応じて平均化した。

実験はエンジンの回転数を 1500 rpm、充てん効率約 39% 一定とし、メタノールに対する含水率を 0 から 30% (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メインジェットの絞りによって運転可能な範囲で変化させて行った。

### 3. 実験結果および考察

**3.1 点火時期の影響** メタノールを燃料として供試エンジンを運転したときの点火時期の影響を調べるために、点火時期を上死点前 (BTDC) 20, 30, 40  $^{\circ}\text{CA}$  と変化させて運転を行った。図 3 にこのときの図示出力  $N_i$ 、正味出力  $N_b$ 、正味熱効率  $\eta_o$  を、それぞれ空気過剰率  $AR$  に対して示す。図 3 中、比較のために点火時期を BTDC 30 $^{\circ}\text{CA}$  としたガソリンによる実験結果を破線で示した。ガソリンの場合と熱効率を比較すると、同一点火時期におけるメタノールによる結果のほうでは、希薄混合気側で大幅な向上が得られており、出力は過濃側でも増加している。これは主にメタノールとガソリンの定容比熱の差による熱損失の減少と、燃焼後のモル数変化の相異による容積増加率の増大によるものとされている<sup>(10)</sup>。

一方、点火時期を早めると図示出力は増加するが、正味出力は減少 (すなわち機械効率は減少) する傾向を示す。ここで図示出力はインジケータ線図から算出

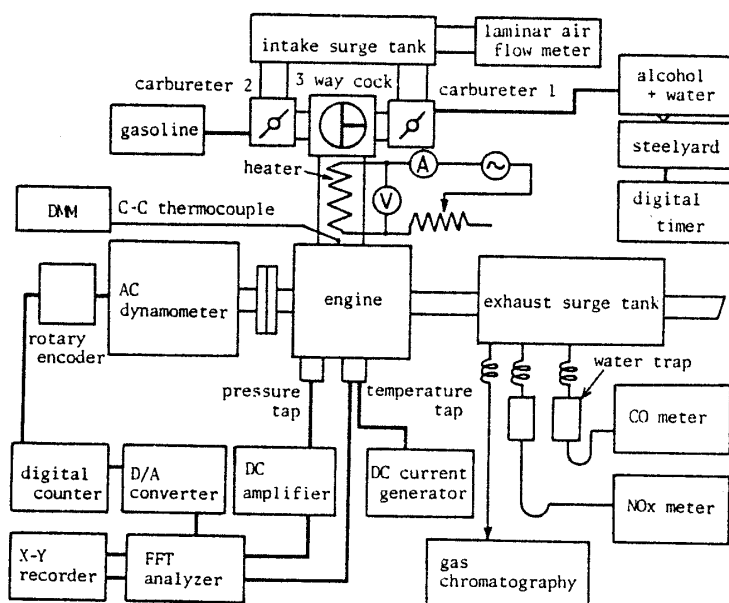


図 1 実験装置系統図

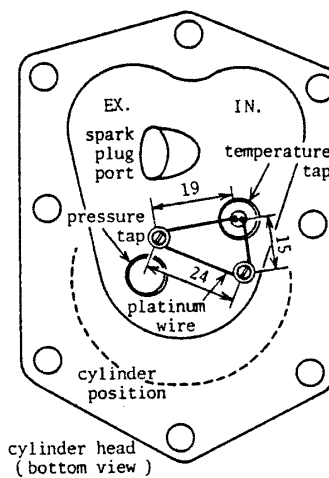


図 2 白金抵抗線取付位置

したシリンダ内ガスのなした仕事である。本来点火時期は、空気過剰率、回転数、負荷などに関係づけて設定すべきであるが、ここでは含水メタノールの特性を明らかにするために、以後一定に固定して実験を行う。点火時期が BTDC 20°CA の場合、熱効率の向上は得られるが、希薄側での出力低下が著しく、また可燃範囲が狭くなり、一方 BTDC 40°CA の場合可燃範囲は広がるが、出力・熱効率とも低下してしまうので、以下の実験では点火時期を BTDC 30°CA 一定として行った。

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

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

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り、その表し方としてたとえば MC 30 は含水率 30% の含水メタノールを表すものとする。

図 4 下に燃料消費量  $B$  と空気過剰率  $AR$  の関係を示す。縦軸の  $B$  はメタノールのみの消費量であり、水を混合した場合消費燃料重量から水の重量を差引いた値である。図 4 中の供給燃料 (supplied) は、燃料消費量測定装置によって測定した実際の消費量 (水を除く) であり燃焼燃料 (burned) とは、吸入空気量と排ガス分析による空燃比から算出した消費量である。また、

破線は同一条件で運転したガソリンによるデータであるが、メタノールによる消費量の半分以下となっている。これはメタノールとガソリンの場合、含水率が多くなるほど濃い混合比で燃料消費量が増加している。これを燃焼燃料と供給燃料の比をとって燃焼率  $BR(\%)$  としたものを図 4 上に示す。混合比による燃焼率の変化については過濃側では低く、混合比が薄くなるほど上昇していき  $AR=1.1$  から一定値に近づく。これは供給燃料のうち気化せずにシリンダ内に吸入される燃料が、混合比の濃いほど増加するためである。一方含水率を増加させていくと MC10 まではメタノールのみ (MC0) とほぼ同じ燃焼率であるが、含水率がそれ以上になると過濃側で燃焼率が大幅に低下している。これは含水率の増大により燃料の気化潜熱が増加し、シリンダ内でも気化せず燃焼できない燃料がふえるためであると思われる。正味熱効率は燃焼率にはほぼ比例しており、希薄側では含水率に関係なくほぼ同じ傾向を示すが、過濃側では含水率が増加すると著しく低下する。この燃焼過程をインジケータ線図のほうから見ると、同一点火時期でも含水率が増加することによって燃焼開始時間に遅れが生じ、また燃焼時間も長くなって最高圧力に達するクランク位置が上死点から離れて全体として燃焼過程終了が遅れるように

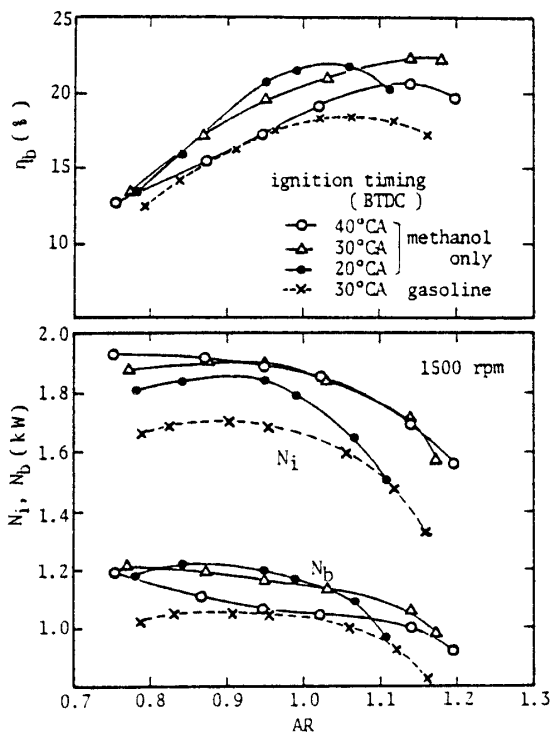


図 3 点火時期が図示出力、正味出力および正味熱効率に及ぼす影響

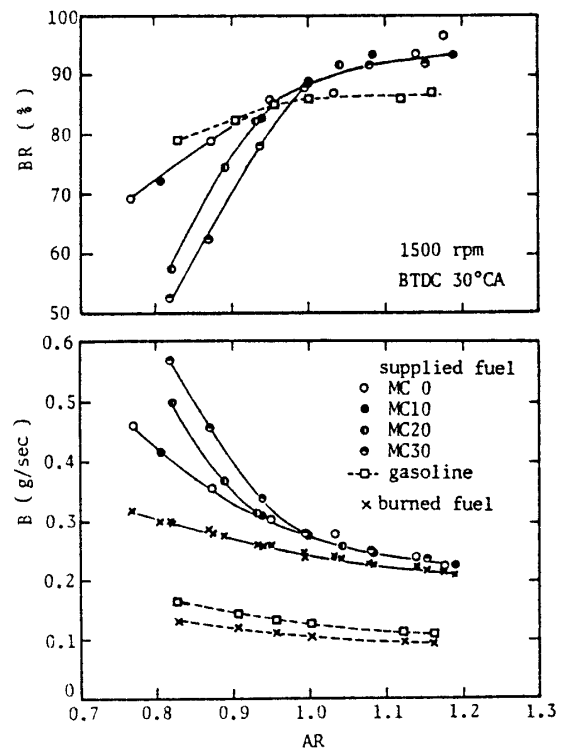


図 4 含水率が燃料消費率  $B$  および燃焼率  $BR$  に及ぼす影響

なる。

図5には、含水率が燃焼温度に及ぼす影響を示した。ここでの、温度は燃焼過程で最高圧力に達したときのシリンダ内平均温度を表す。燃焼温度は理論混合比付近で最大になっており、また含水率が増加すると燃焼温度が低下していき、特に過濃側での傾向が著しく水添加による冷却効果が現れている。図6は排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度と空気過剰率の関係含水率をパラメータに示したものであり、燃焼によって生成される $\text{NO}_x$ を支配する主要要因としては、燃焼域の酸素濃度、燃焼温度および高温ガスの滞留時間が関与するとされているが、ここでは燃焼温度の低下による影響が大きく表れているものと思われる。この燃焼温度と排気 $\text{NO}_x$ との関係について示したものが図7である。 $\text{NO}_x$ は $1500^\circ\text{C}$ 以上の高温で生成されるが、図7ではシリンダ内平均温度を用いているので、それよりは低い値になっており、燃焼室温度が約 $900^\circ\text{C}$ 以上になると $\text{NO}_x$ 濃度は温度に比例して、ほぼ直線的に増加する傾向を示す。

**3.3 混合気加熱の影響** 3.2節でメタノールの含水率を増すと燃焼温度が低下し、 $\text{NO}_x$ 濃度が大幅に低減できることが確かめられた。これは水を添加する

ことによって混合燃料の気化潜熱、熱容量が増大するためであるが、そのために燃焼率が低下し燃料消費量が増加することも避けられない。しかし吸入前の混合気を加熱し気化の促進をすれば、燃焼率が向上し、燃料消費量を減少させることもできると考えられる。したがって、ここでは燃焼率の低下の著しい含水率 $MC=30\%$ のメタノールについて、混合気をシリンダ内に吸入する前に加熱をしてその影響を調べた。

図8は混合気を加熱することによる燃料消費量 $B$ の変化について示したものである。図8には混合気の温度をヒータにより加熱して $15^\circ\text{C}$ および $22^\circ\text{C}$ にした場合と非加熱の場合の供給燃料（水分は除く）および吸入空気量と排気分析により算出した実際の燃焼燃料を示す。非加熱時の混合気温度は室温（ $5\sim 10^\circ\text{C}$ ）の状態により変化するがいずれも $0^\circ\text{C}$ 以下になっており、気化器の周りには霜が付着する状態を呈した。ヒータによる供給熱量は、混合気や液膜流の温度を上げ、また燃料の気化潜熱として奪われる。図8において混合気温度を高くすると過濃側で燃料消費量が減少し燃焼率が向上する。一方、希薄側では加熱しても燃

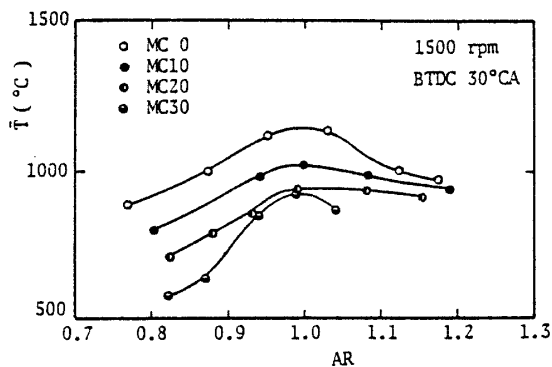


図5 含水率が燃焼温度に及ぼす影響

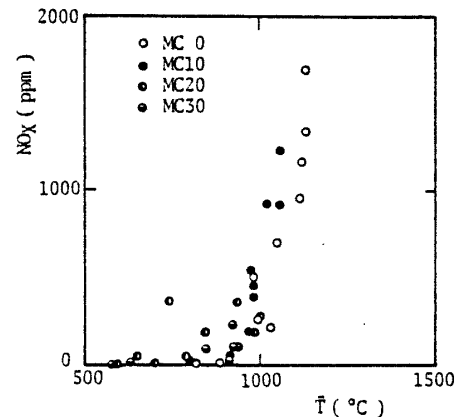


図7  $\text{NO}_x$ 濃度と含水率

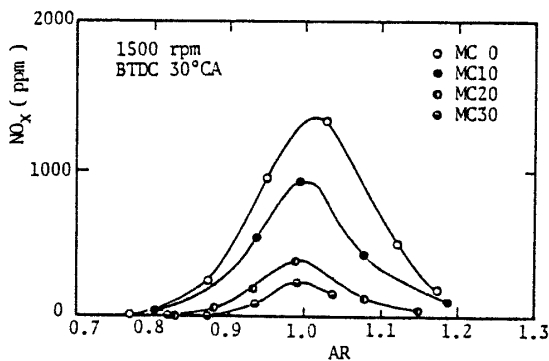


図6 含水率と燃焼温度

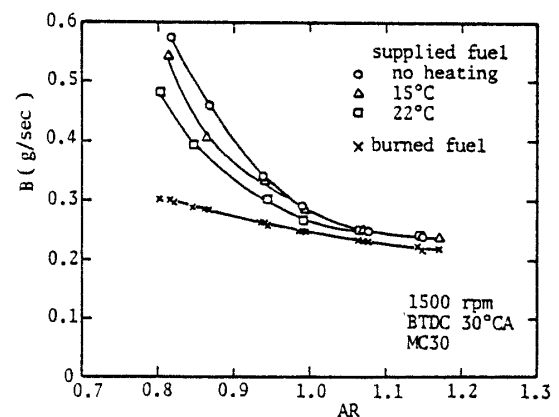


図8 混合気加熱が燃料消費量に及ぼす影響

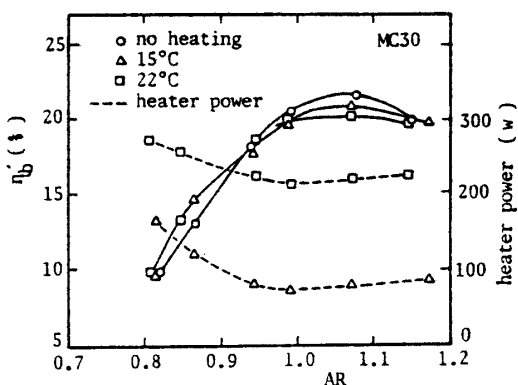


図9 混合気加熱量と修正熱効率

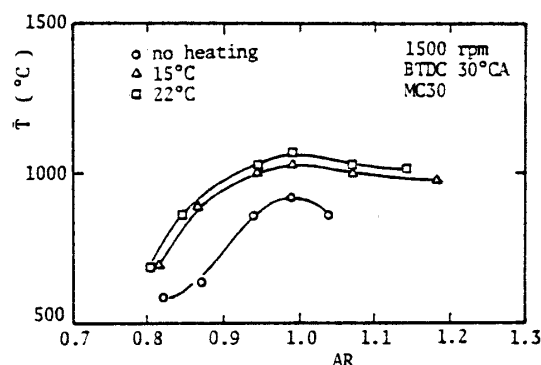


図10 混合気加熱が燃焼温度に及ぼす影響

燃率はほとんど影響を受けない。つまり希薄側では燃料の気化が飽和状態になっており、加熱しても混合気の温度が上昇するだけで気化促進の効果があまり得られず、燃料率に影響を与えないものと思われる。

図9にヒータ加熱量とヒータに供給した熱量を燃料の発熱量に加算した修正熱効率  $\eta_b$  について示す。従来行われている吸気加熱の方法<sup>7)</sup>は吸気管壁加熱によるものがすべてであったが、本装置によれば、直接混合気を加熱しているの、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、加熱の効果を定量的に評価できる。加熱の条件を、混合気温度一定としたので、過濃側でより多くの熱量を必要としていることがわかる。混合気加熱に要した熱量をも考慮した修正熱効率は、空気過剰率  $AR=0.95$  付近を境として過濃側では加熱によりいくぶん増大しており、図8にも示されるように燃焼率の向上によるものである。一方希薄側では修正熱効率は低下する傾向にある。つまり加熱量を増しても燃焼率にはほとんど影響がなく、加熱量がそのまま損失となり  $\eta_b$  は低下する。しかし、ここでの加熱に要する熱源としてはエンジンからの排熱を利用することができるので、その場合の混合気加熱をしたときの実際の熱効率は図9に示されたものよりは高くなる。混合気加熱をすることにより、シリンダ内燃焼温度も上昇するが、その様子を図10に示す。加熱量を増加すると燃焼温度も上昇する。これは加熱量の増加により、気化できずにシリンダ内に吸入される燃料が減少し、シリンダ内での気化による冷却効果が低下したためと考えられる。また、排気温度の上昇は、 $NO_x$  濃度も増加させ温度との関係は図7に示されているような関係になったが、最大で500 ppm程度であった。以上のことから、吸気管での混合気加熱は過濃側で有効に作用するといえる。

#### 4. 結 言

メタノールおよび含水メタノール燃料による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) メタノールに水を混合すると、過濃混合比では燃焼率が著しく低下し、燃料消費量が増加する。また含水率が増えると着火遅れ、燃焼の遅れが大きくなり最高圧力は低下する。これは、含水率の増加による燃焼温度の低下によるものである。

(2) 本実験の条件下で  $NO_x$  濃度は、燃焼平均温度が  $900^\circ\text{C}$  付近から温度上昇とともにほぼ直線的に急激に増加していく。

(3) 含水メタノールで運転する場合、吸気管で混合気を加熱すると燃焼率の向上が得られ、着火遅れ、燃焼の遅れが短縮され、特に過濃混合比での熱効率の改善が得られた。

最後に本実験の遂行に際し、岩手大学工学部技官伊藤光博氏のご助力を得たことを明記し、ここに謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 山田, 内燃機関, 26-326 (昭62), 75.
- (2) 田中・佐藤・高崎, 内燃機関, 23-297 (昭和59), 9.
- (3) Gulder, O. L., *Proc. Int. Energy Conv. Eng. Conf.* 16 th (2), (1985), 160.
- (4) Ebersole, G. D. and Manning, F. S., *SAE Paper*, 720692 (1972), 2076.
- (5) Menrad, H., ほか2名., *SAE Paper*, 770790 (1977), 1.
- (6) 鮎澤, 内燃機関, 25-322 (昭和60), 13.
- (7) 堀・沢・海老沢, 内燃機関, 15-2 (昭和51), 9.
- (8) Gulder, O. L., *Proc. Int. Energy Conv. Eng. Conf.* 15 th (1), (1980), 698.
- (9) 長尾・ほか3名, 機論, 36-282 (昭45), 303.
- (10) 金子・ほか4名, 三菱重工技報, 18-6, (1981), 855.
- (11) 古浜, 内燃機関, (昭和54), 127, 森北出版.