



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高効率・低NO _x 燃焼を目的としたヒートポンプ用メタノールガスエンジンに関する研究
Author(s)	村山, 正; Murayama, Tadashi; 近久, 武美 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 141, 55-60
Issue Date	1988-07-29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42110
Type	departmental bulletin paper
File Information	141_55-60.pdf



高効率・低 NO_x燃焼を目的としたヒートポンプ用 メタノールガスエンジンに関する研究

村山 正 近久 武美 笈川 直彦

(昭和63年 3月31日受理)

Development of High Efficiency and Low NO_x Engines for Heat Pump Systems Operated with Gasified Methanol

Tadashi MURAYAMA, Takemi CHIKAHISA and Naohiko OIKAWA

(Received March 31, 1988)

Abstract

Methanol is one of the most promising alternative fuels for conventional petroleum fuels. The paper describes the performance and characteristics of a heat pump engine operated using gasified methanol fuel.

In a methanol-gas engine, the vaporization heat is taken from the cooling water, resulting in an increased available energy. In addition it is advantageous because of the reduction of the cooling system capacity, clean emission potential, and less lubricating oil deterioration, which is one of the major concern in the heat pump engines.

As a result of the experiment, very lean combustion was possible with gasified methanol, and good thermal efficiency and low NO_x emission was obtained. It emitted a large amount of unburnt methanol and formaldehyde, which can be removed completely with the aid of oxidation catalysts such as Rh and Pd. It was also found that the NO_x level increases significantly when the mixture is close to stoichiometric conditions. This suggested that the rated power of an engine should be designed smaller than normal in order to cope with lean combustion.

1. 序 論

オイルショックを契機として脱石油の気運が高まり、世界各国の内燃機関業界においても、石油資源に変わる新エネルギーの開発が盛んに行われており、エタノールをはじめ、石炭液化燃料、ガス化燃料、オイルシェル、水素、LNG、あるいはメタノールなど、様々の代替燃料に関する研究が行われている¹⁾。

その中でも特にメタノールは、天然ガス、石炭などから、既存技術を用いて工業的に量産可能であり、しかもエンジンを高性能で運転することができるので、長期安定供給の視点から考えて

も、わが国において最も有力な代替燃料の一つと言えよう。

メタノールの利点として、高オクタン価による高圧縮比化が可能であり、また、燃焼速度が大きく可燃混合比の上下限の範囲が広いので、希薄燃焼による熱効率の向上と排気中の有害成分であるCOやNO_x、あるいは粒子状排出物の大幅な低減を期待することができる。

本研究は、このようなメタノールの持つポテンシャルを考慮して、現在ヒートポンプ駆動用エンジンの主流となっているガスエンジンの代替燃料としてメタノールガスを用い、希薄域での安定燃焼、低燃費、および低NO_x運転を実現しようとして行ったものである。また併せて、排気中の有害成分であるホルムアルデヒド、および未燃メタノールの除去に関しても検討を行った。

2. 実験装置、および方法

供試機関は、水冷、立て形、無過給、4サイクル、単気筒の火花点火式機関であり、そのボア・ストロークは120×150mm、行程容積1841cm³、圧縮比12.5、定格出力11.5kW/1500rpmである。

メタノールのガス化には冷却水を熱源として用い、排熱の有効利用を試みた。また、ガスミキサにはガスエンジン用のものを改造して供試した。一方、回転数の制御は、バタフライ弁に連動したガバナーにより行った。

排ガス中のホルムアルデヒドの分析は、還元FID法²⁾により行った。その他、NO_xはCLDにより、また、未燃メタノールはガスクロマトグラフィによりそれぞれ分析を行った。

3. 実験結果、および考察

3.1 メタノールガス発生装置の開発

実験に先立ち、安定したメタノールガスを供給するために、ガス発生装置の開発を行った。図1は、本研究における最初の試作器を示すものである。これは、エンジン冷却水を熱源とする熱交換器内に液体メタノールを充填し、蒸発潜熱を得て完全にガス化したメタノールが、上方のパイプからエンジンへと供給される仕組みになっている。この際、容器内の圧力はリリーフバルブを用いて一定に保持し、さらに上方にプレッシャーレギュレータを設けることにより、

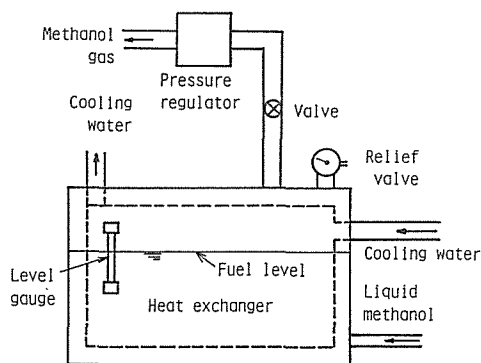


図1 メタノールガス発生装置
(最初に試作したタイプ)

燃料ガスの供給が一定となるように工夫した。なお、燃費は本体左側に設置したレベルゲージの液面の降下量から求めた。

このような蒸発器を用いて実験を行ったところ、一応エンジンの始動は可能であったものの、熱交換器の断面積が大きいため、燃費測定に時間を要し、また、圧力変動およびバブル発生に伴う液面の乱れの影響が強くあらわれて、ガスの流れが円滑とならず、運転が安定しない他、きわめて精度の悪い燃費計測しか出来なかった。

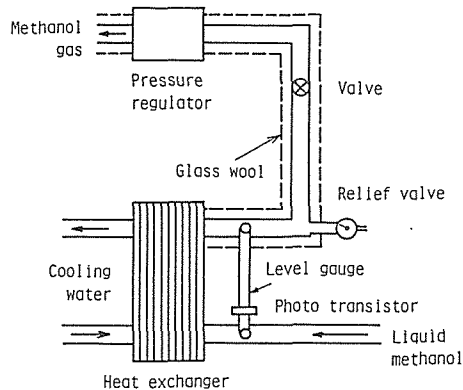


図2 メタノールガス発生装置(改良タイプ)

そこで、図2に示すようなガス発生装置を新たに製作した。すなわち熱交換器の容積を必要最小限に設定し、バブルの発生が円滑となるように熱交換器のフィンを縦型のものに置き換え、さらに、熱交換器内の気相占有率を増やすことによって、圧力変動のバッファ効果を持たせ、さらに配管系にはすべてリボンヒータを捲付けて、メタノールガスの凝縮を防止した。

以上の結果、冷却水温度 $70\sim 74^{\circ}\text{C}$ 、熱交換器内圧力 $1.1\sim 1.3\text{kg}/\text{cm}^2$ とすることによって、機関を円滑に運転することができ、また約90秒の計測で正確な燃費測定が可能となった。

3.2 メタノールの希薄燃焼限界と、その際の機関性能

まず、空気過剰率、および点火時期を種々変化させて、メタノールガスの基本的な特性の把握を試みた。図3は、回転速度 1500rpm における結果を示したものである。図から、正味熱消費率 (Brake Specific Energy Consumption, 図中BSECと略) は、点火時期を 18°CA BTDC に設定し、混合気を希薄化するにつれて改善されるのが明らかである。一方 NO_x は、空気過剰率が1.1付近で極めて高い値となるが、1.5以上に希薄化することにより、数百ppmオーダーまで大幅に低減させることができる。これを、同等のガソリンエンジンと比べると、メタノールガスエンジンは高度の希薄燃焼が可能であって、 NO_x を大幅に抑制し得るものと言えよう。

3.3 希薄限界における燃焼特性

図4は、空燃比、および点火時期を変化させて、その最良点を結んだものである。図から、点火時期 18°CA BTDC で最良点が得られており、従来のように、高負荷になるにつれて、点火進角を行う必要がないことが示されている。また、 NO_x に関しても、点火時期が 18°CA BTDC において最低線に近い値を示している。なお、この最適条件での空燃比は、いずれも希薄限界に近いものである。ただし図において、高負荷域で NO_x が大幅に増加するのが示されている。これは、高負荷域では出力の関係から希薄化に制限があり、正味平均有効圧 (BMEP) 0.4MPa 以上では、

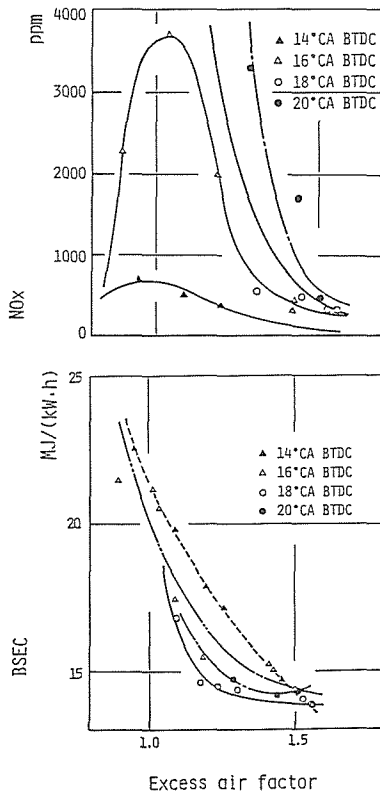


図3 空気過剰率, および点火時期が機関性能に対して及ぼす影響
機関回転速度 1500rpm, BMEP=0.4MPa

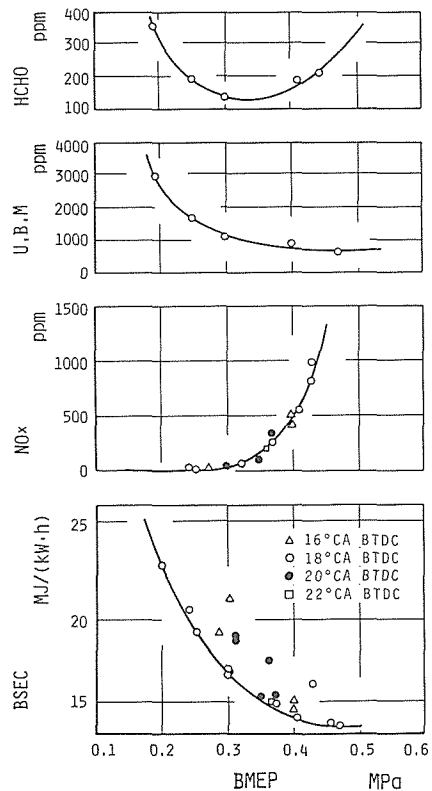


図4 種々の空気過剰率および点火時期に対する最良性能曲線
機関回転速度 1500rpm

バタフライ弁を全開とする一方、混合比を濃くしなければ出力が確保されなかったことによるものである。したがって、希薄燃焼の観点から、ヒートポンプ駆動用としてはやや大きめの機関を使用し、定格出力を低めに設定すべきであると言える。

次に、ホルムアルデヒド、および未燃メタノールの排出傾向について見てみると、負荷が0.1~0.3MPaの範囲においては、両者ともに負荷の増加につれて減少傾向を示しているが、0.3MPaを過ぎると、未燃メタノールはさらに単調に減少していくのに対して、ホルムアルデヒドは逆に増加しているのがわかる。

このような未燃メタノールの低減は、負荷の増加につれて燃焼室温度が上がり、消炎層の厚みが減少するので、壁面に付着する燃料量が減少することによって得られたものと考えられる³⁾。これに対して、ホルムアルデヒドが再び増加傾向を示すのは、未燃メタノールの酸化にともない、ホルムアルデヒドへの変換、生成が活発となったことに起因するものと思われる。

3.4 吸気管内メタノール噴射によるNO_xの低減

高負荷におけるNO_xの増加抑制を目的として、次に、吸気温度の低下と体積効率の増加による希薄化を期待して、吸気管内にメタノールの一部を補助噴射することを試みた。実験では、ガスマキサーとエンジンの中間部にEFI装置を設置して、流れに沿って燃料を噴射した。

図5は、その結果を示すものである。正味熱消費率は低、中負荷域で若干悪化しているが、逆

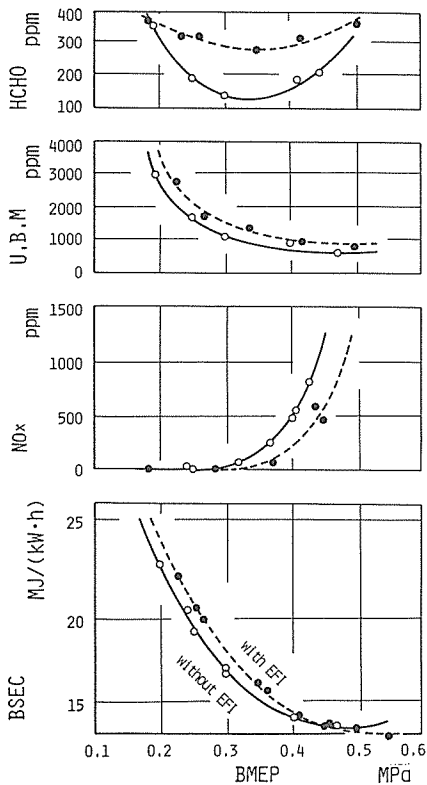


図5 吸気管内メタノール噴射による NO_x 低減効果
機関回転速度 1500rpm

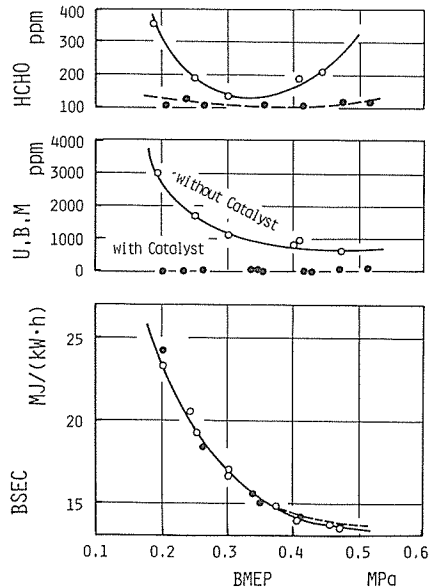


図6 触媒によるHCHO, およびU.B.Mの低減効果
機関回転速度 1500rpm

に高負荷域では補助噴射を行うことにより改善されているのがわかる。これは、補助噴射されたメタノールがシリンダ内で酸化するので、蒸発潜熱分不利となる一方、吸気温度の低下にともなう充填効率の増大により、最大出力が増加することとの兼ね合いによるものと思われる。

一方、 NO_x についてみると、広い負荷領域に亘り、EFIを用いることによって大幅な低減が得られている。これは、メタノールの補助噴射による吸気温度の低下に起因するものと思われる。

この他、ホルムアルデヒド、および未燃メタノールに関しては、それぞれ補助噴射を行わない場合と排出傾向は同様であるが、全体的に高い濃度レベルがもたらされる結果となった。

3.5 触媒によるホルムアルデヒドおよび未燃メタノールの低減効果

火花点火式メタノールガスエンジンでは、前述のように、 NO_x 排出量の大幅な低減が可能となる一方、ホルムアルデヒド、および未燃メタノールが多量に排出されるのが明らかとなった。そこで本節では、酸化触媒であるロジウムとパラジウムとを用いて、それらの除去を試みた結果について記述する。実験に際しては、容積1700ccのハニカム型触媒を排気弁下流1000mmの位置に装着した。この場合のSV値は約 $10 \times 10^4 \text{h}^{-1}$ であり、その位置での排気入口温度は約 550°C であった。

図6は、触媒の有無による排気組成の差異を比較したものである。触媒の使用により、ホルムアルデヒドには完全に酸化されていない領域が若干残されてはいるものの、大幅な低減効果が示されており、最低でも90%の浄化率が得られている。また、未燃メタノールはほとんど酸化され、

浄化率99%以上の成果が得られている。したがって、SV 値をもう少し小さくするか、あるいは滞留時間をもう少し長くするなどの配慮を行うことによって、両者ともに完全に除去し得るものと考えられる。

4. 結 論

本研究において、メタノールガスを用いたヒートポンプ駆動用エンジンの開発を行い、その特性について調べた結果、以下のような諸点が明らかとなった。

(1) メタノールを火花点火式機関に供給する場合、液体のまま供給するよりも、廃熱を有効利用してあらかじめガス化して供給した方が、混合気の均一性、および燃焼変動率さらには潤滑油管理の面において有利であるばかりでなく、従来の液体燃料に比べて、著しい希薄燃焼が可能となり、燃費、NO_xの両面において有利である。

(2) 低負荷域ではメタノールガスによる希薄運転を行い、高負荷域においてはEFIなどにより吸気管内にメタノールを補助噴射する運転法が、低NO_x化、高出力化、ならびに高効率の観点から有効である。

(3) 排気中の有害成分であるホルムアルデヒド、および未燃メタノールは、パラジウムやロジウムなどの酸化触媒を用いることにより、比較的簡単に除去できる。したがって、設計に際しては、燃費、およびNO_xを優先して希薄運転を行うようにすべきである。

本研究を遂行するにあたっては、北海道工業大学 藤原康博先生、登坂茂先生、および同内燃機関研究室の諸氏、そして特に当研究室学生 佐藤道郎君の協力を得た。ここに特記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 平尾 収：代替燃料としてのアルコールの問題，共立出版。
- 2) 伊藤，加地，中野，木村：還元 F.I.D 法による排気ガス中ホルムアルデヒドの分析，自技会論文集，No. 13，昭52，41。
- 3) 伊藤，矢野，永坂：メタノール燃焼排ガスの未燃メタノールおよびホルムアルデヒド，日機論集48-428，昭57-4，803。