

メタノール自動車の開発

Development of Methanol Vehicles

須賀 稔 之*	北 島 真 一*	小 林 吉 彦*
Toshiyuki Suga	Shinichi Kitajima	Yoshihiko Kobayashi
長 島 隆*	佐 藤 克 明*	犬 童 規 之*
Takashi Nagashima	Katsuaki Sato	Noriyuki Inudo

要 旨

高濃度メタノール燃料(メタノール85%+ガソリン15%混合燃料、以下 M85 燃料と称す)を自動車燃料として既存のガソリンエンジンに使用した場合の問題点を明確にし、その対応手法について検討した。

オクタン価の高い M85 燃料をガソリンエンジンに用いることにより、圧縮比を高めて出力を向上させ、部分負荷運転時の熱消費特性を改善することができる。しかし M85 燃料は比較的低い温度で熱面着火を起こしやすく、プレイグニッションの発生を回避するために、高熱価の点火プラグを採用する必要がある。

メタノール燃料及びその燃焼生成物は腐食性が高く、吸気及び排気バルブ、バルブシート、ピストンリング、インジェクタ等の腐食や著しい摩耗が見られる。したがって M85 燃料を用いるためには、それらの部品の材質や形状を新たに検討する必要がある。また、メタノールエンジン専用のオイルを開発し、さらにオイル交換時期を早めてオイル劣化を防ぐことにより、エンジン動弁系及び摺動面の摩耗や腐食を通常走行下で軽減出来る。

M85 燃料を用いた自動車の低温始動性は -15°C まで、高温再始動性は 35°C まで運転性を確保できる。また、排気成分は三元触媒と O_2 フィードバック制御の排気浄化装置を採用する事により国内 10 モード規制に適合する。

ABSTRACT

Problems were identified with high-concentration methanol fuel M85 (a mixture of 85% methanol and 15% gasoline) when used on the existing gasoline engine. Solutions were then explored.

Used with high compression gasoline engine, the high-octane M85 can help produce increased power and improve thermal consumption characteristics under partial load running.

M85 pre-ignites at lower temperatures than gasoline and thus must be used with colder type spark plugs.

Another problem is corrosion and wear of inlet and exhaust valves, valve seats, piston rings and injectors, caused by methanol and its combustion formations. Accordingly, the materials and design of those parts must be modified. Use of a special engine oil and more frequent oil replacement will reduce wear and corrosion of valves and friction areas.

Cold and hot starting is possible to a low of -15 and a high of 35 degrees Celsius respectively with M85. The methanol-fueled vehicle is able to meet the Japanese 10 mode exhaust emission standards using a conventional three-way catalyst with feedback from an oxygen sensor.

* 栃木研究所

1. ま え が き

石油代替の自動車燃料として、また最近では大気中の NO_x や微粒子の低減等を目的として、メタノール燃料実用化への研究が世界各国で行われている。我が国では通産省の委託を受け、(財)石油産業活性化センターを中心として、オートタイプ¹⁾のメタノール自動車の研究が進められている。このプロジェクトでは、自動車メーカー各社が試作した 12 台の試験自動車を用い、(財)日本自動車研究所の管理下においてフリートテストが 1989 年より実施されている⁽¹⁾。

本田技研もこのプロジェクトに参加し、図 1 に示す様な改良を加えたメタノール自動車のテストを行ってきた。この車の燃料供給系部品並びにエンジン部品は、腐食性の高いメタノール燃料に対応し、かつフリートテストに必要な運転性能が確保できる諸元が選定されている。特にエンジンの主要部品に関しては、量産部品をそのまま用いて、耐久信頼性を維持できるようにした。

本稿では、ガソリンエンジンを M85 燃料に適合させるために行った研究内容について報告する。

表 1 メタノールと無鉛レギュラガソリンの燃料性状

燃 料 性 状	メタノール	無鉛レギュラガソリン
理論空燃比(A/F)	6.47	14.7
密度(g/cm ³)	0.795	0.758
沸点(°C)	64.5	20~210
リード蒸気圧(kgf/cm ²)	0.277	0.60
オクタン価(RON)	112	91

2. 実験方法

2.1. 試験燃料

表 1 にメタノールと無鉛レギュラガソリンの燃料性状を示す。メタノールは単一成分であるため蒸留特性がガソリンと大幅に異なり、リード蒸気圧もガソリンに比べ低く低温時、特に 0°C 以下の始動性がメタノール燃料のみでは問題となる。

従って今回の実験では、特に始動性を確保するため、表 2 に示すメタノール 85% と無鉛レギュラガソリン 15% を混合した M85 燃料を用いた。また冬季を想定した低温始動性の実験では、蒸気圧を 0.85kg/cm² に調整した M85 燃料を用いた。

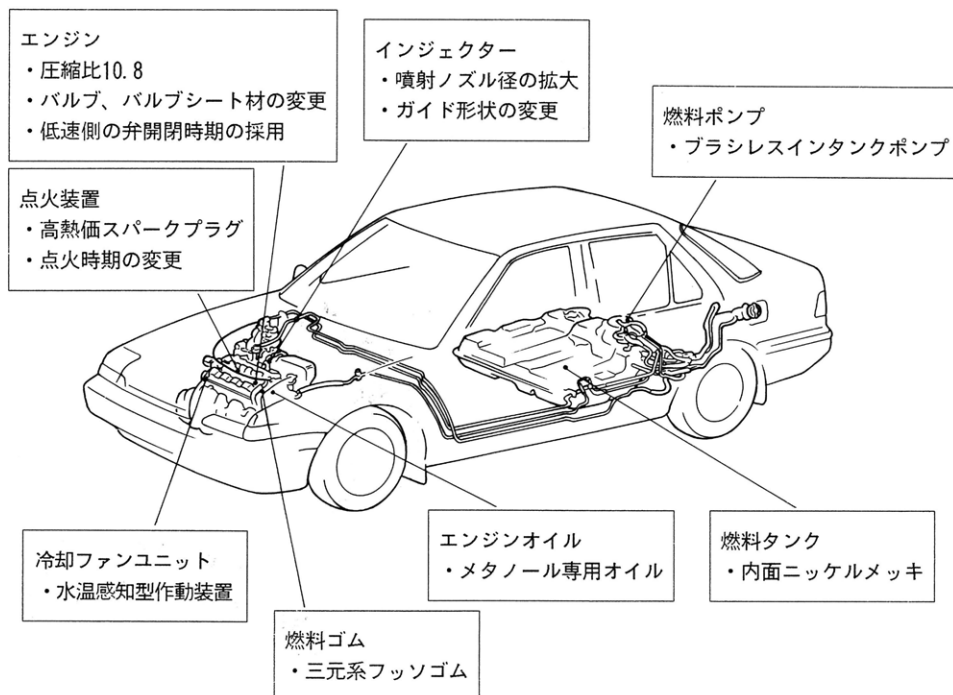


図 1 ホンダアコード (メタノール仕様)

表2 M85の燃料性状

燃料性状	M85	M85 (冬季仕様)
理論空燃比(A/F)	7.62	7.62
密度 (gm/cm ³)	0.785	0.782
分留 (°C) 1 B P	43	34
10 %	59	60
50 %	63	63
95 %	63	63
E P	141	145
リード蒸気圧 (kgf/cm ²)	0.62	0.85
オクタン価(ROK)	111	111

2.2. 供試機関

実験には、表3に示す水冷4サイクル4バルブ火花点火機関を用いた。

燃料供給装置として、各気筒の吸気ポートにインジェクタを装着した吸気ポート内燃料順次噴射装置を用いた。インジェクタの流量特性はメタノールとガソリンの理論空燃比の違いに合わせ変更を行った。

2.3. 実験手順

メタノールエンジンの最大出力、部分負荷燃費、ブレイグニッション特性を把握するためにエンジン単体性能実験を行った。また、メタノールエンジン各部件の耐久性の評価のためエンジン単体耐

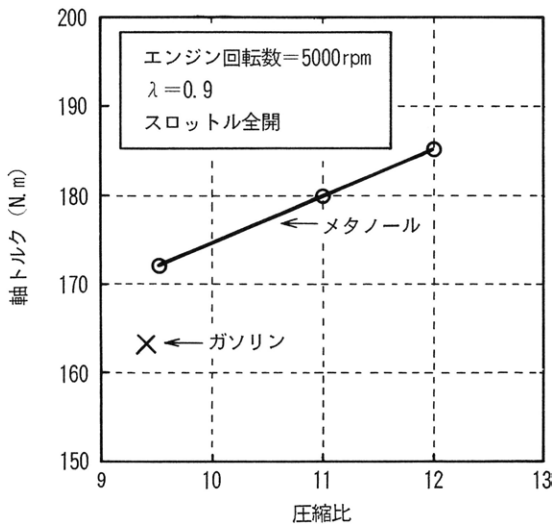


図2 最大出力と圧縮比の関係

表3 主要緒元

機関形式	4サイクル4バルブ火花点火機関
気筒数	4
ボア	81mm
ストローク	95mm
排気量	1958cc
圧縮比	10.8
燃料供給系	吸気ポート内燃料順次噴射

久試験を行い、各種のメタノールエンジンオイルの清浄性も同時に比較検討した。

メタノールエンジンオイルの劣化特性、燃料供給系及びエンジン本体の腐食や摩耗、更に排気浄化特性を把握するために実験車両を用いて耐久走行を行った。

3. メタノールエンジンの圧縮比の選定

M85燃料はガソリンよりオクタン価が高く、メタノールエンジンはガソリンエンジンに比べ圧縮比を高める事が出来る。そこで圧縮比の選定が、メタノールエンジンの最大出力、部分負荷燃費特性に与える影響について調べてみた。

図2に、圧縮比と最大出力の関係を示す。M85燃料を用いた場合、最大出力はガソリンエンジンと同一の圧縮比(9.4)でも若干増える。これはメタノールが燃焼する場合、ガソリンに比べ燃焼モル数が若干増えること、燃焼温度が低いために冷

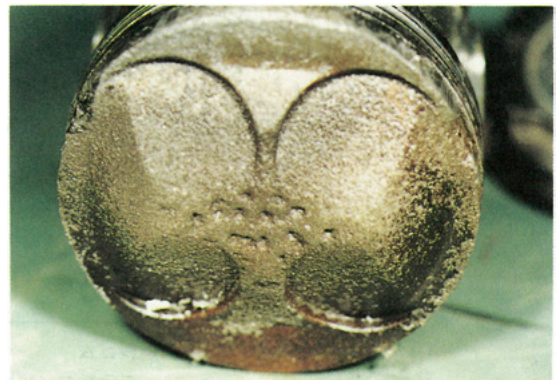


図3 プレイグニッション発生によるピストンの破損

却損失が多少減少し、更に燃焼速度が早まるために等容度が増すためと考えられている。⁽²⁾ さらにメタノールエンジンは、圧縮比を高めるに従い最大出力は増加する傾向を示す。しかし、最大出力の増加は同時にエンジンの熱負荷を増し、図3に見られる様にピストン破損に至るプレイグニッションの発生がしばしば問題となる。したがって高圧縮比のメタノールエンジンを実用化するに際し、プレイグニッション現象について十分把握する必要があるが次章で詳述する。

メタノールとガソリンは低位発熱量が異なるため、メタノールエンジンとガソリンエンジンの部分負荷燃費特性を図示熱消費率に換算して、比較する(図4)。メタノールエンジンは、圧縮比を高め空気過剰率(λ)を増大する事により図示熱消費率を著しく向上することが出来る。例えば図示熱消費率は、圧縮比を9.4から12.0に上げる事により理論空燃比では12%改善し、更に空気過剰率を1.0から1.5と薄くする事により7%改善し、それらを合計すると19%の改善が見られる。しかし排気浄化装置として三元触媒を用いる場合、理論空燃比で運転する必要があるため、この様な高圧縮比下におけるメタノールの希薄燃焼性を生かした燃費改善効果を望むことはできない。

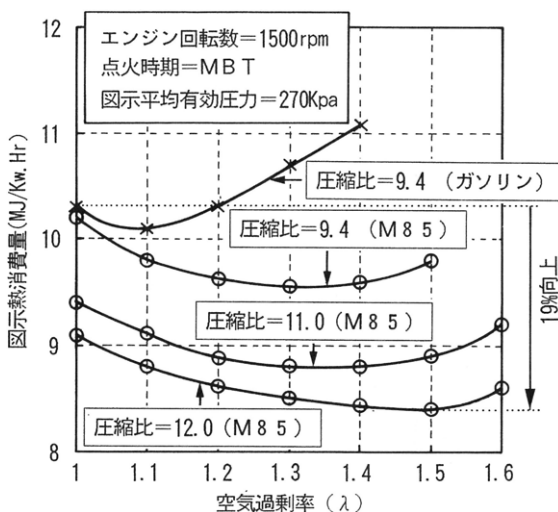


図4 図示熱消費率と圧縮比並びに空気過剰率との関係

したがって今回は高圧縮比化に伴うエンジンの耐久信頼性、特にピストン及びクランクシャフト強度等を充分考慮して圧縮比の選定を行い、有鉛ガソリン仕様の市販車で実績のある10.8に設定した。

3. メタノールのプレイグニッション現象解析

M85燃料のプレイグニッション現象を圧縮比10.8のメタノールエンジンを用いて解析した。

プレイグニッションは、点火プラグより熱面着火が発生して起こるものとし、最初にプレイグニッション発生プラグ中軸温度を求めた。この実験では、測温用点火プラグを用いて点火時期を最適点火時期(MBT)より更に進角し、点火プラグ中軸温度が急激に立ち上がる時をプレイグニッション発生プラグ中軸温度と判断した。

図5に、M85燃料のプレイグニッション発生プ

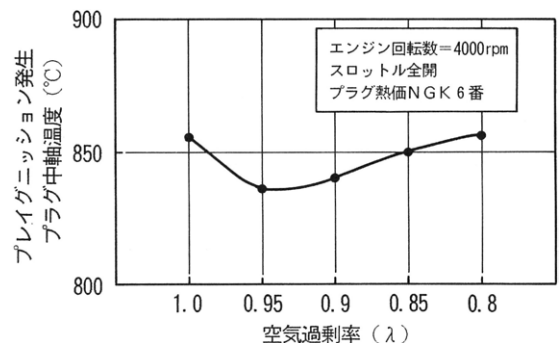


図5 プレイグニッション発生プラグ中軸温度と空気過剰率との関係 (M85燃料)

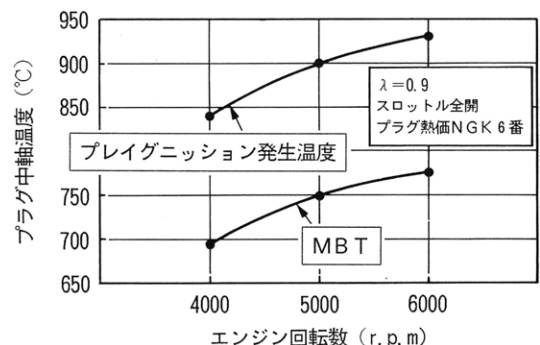


図6 プレイグニッション発生時及びMBTに於けるプラグ中軸温度とエンジン回転数との関係 (M85燃料)

ラグ中軸温度と空気過剰率との関係を示す。ガソリン同様⁽³⁾、理論空燃比より多少濃い混合気 ($\lambda = 0.9 \sim 0.95$) に於てブレイグニッションは起き易い傾向がある。そしてその時のブレイグニッション発生プラグ中軸温度は、ガソリンエンジンに比べ約 200°C 低い。また図6に示すように、エンジン回転数が上昇するに従い、ブレイグニッション発生プラグ中軸温度は高くなる。

次に熱面着火の発生からブレイグニッション発生に至るメカニズムの解析を行うため、失火発生装置を用いた実験を行った⁽⁴⁾。図7にその実験装置を示す。

一番気筒に水晶圧電型圧力ピックアップを取り付け、一番気筒の点火信号を失火発生装置に入力し、20 サイクルに1回の割合で周期的に失火を起こし、燃焼圧力を測定する。

図8に失火をさせる事により生じた熱面着火の図示平均有効圧と通常の火花着火による図示平均有効圧を示す。点火時期を進角するにしたがい、熱面着火時の図示平均有効圧は上昇し、やがて火花着火時の図示平均有効圧に近づく。熱面着火と火花着火の図示平均有効圧がほぼ一致すると、プラグ中軸温度が急激に上昇しブレイグニッション発生に至る。この熱面着火の発生からブレイグニッションに至る課程が、メタノールエンジンの場

合には、ガソリンエンジンに比べ急激に起きることが判明した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

以上の実験結果から、点火プラグより発生する熱面着火を防ぐ目的で、ガソリンエンジンより高熱価の点火プラグを採用した。

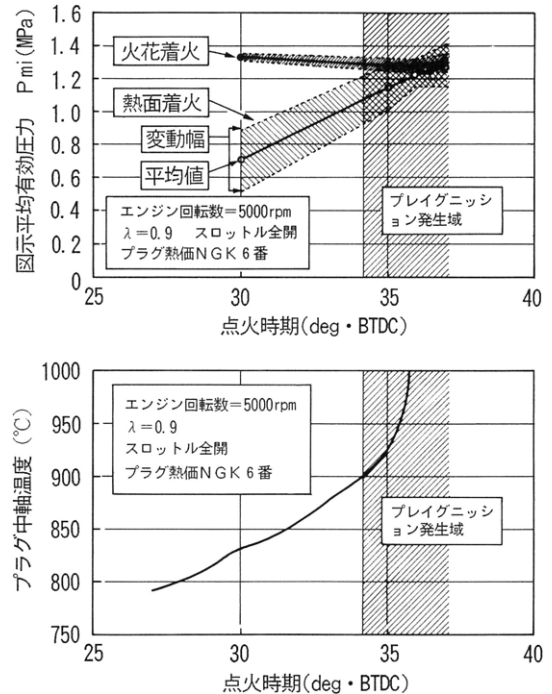


図8 熱面着火と火花着火の図示平均有効圧力及びプラグ中軸温度と点火時期との関係

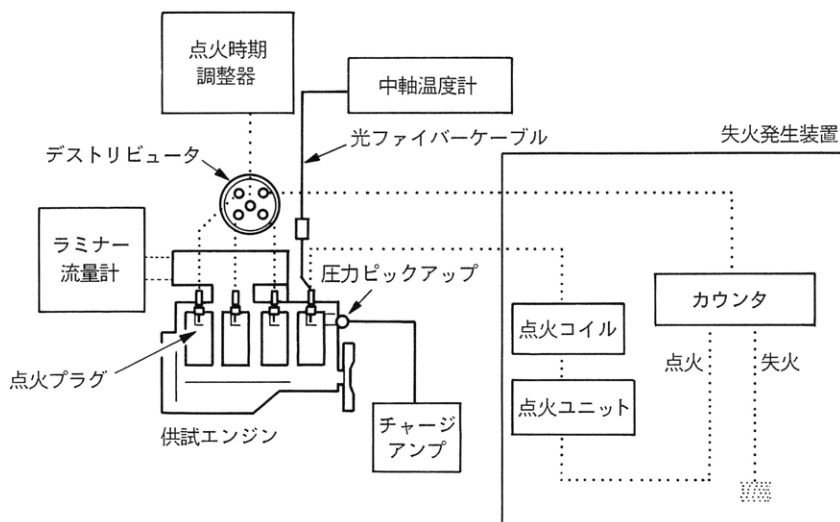


図7 失火発生装置

表4 耐久実験結果

実験回数	耐久時間	不 具 合 項 目	推 定 原 因	対 策 内 容
1 回 目	約 5 分間	・ピストンピン焼き付き	潤滑不足	ピストン形状変更
2 回 目	5 サイクル	・ピストン破損 (ブロック破損)	潤滑不足	ピストン強度向上 オイル粘性向上
3 回 目	600 サイクル	・バルブ、バルブシート摩耗 ・ピストンリング摩耗 ・インジェクタ摩耗 ・燃焼室のスラッジ発生	腐食摩耗 腐食摩耗 潤滑不足 オイル添加剤不適	材質変更 材質変更 材質変更 オイル添加剤変更
4 回 目	600 サイクル	・バルブ、バルブシート摩耗 ・インジェクタ摩耗 ・排気ポートのスラッジ発生	腐食摩耗 潤滑不足 ステムシール不適	材質変更 形状変更 ステムシール変更
5 回 目	600 サイクル	問 題 無 し		

5. メタノールエンジンの耐久性評価

メタノールエンジンのエンジン部品耐久性について、図9 に示すエンジン単体耐久モードにて評価した。その実験経過と結果の要約を表4 に記し、耐久試験で不具合が生じたエンジン部品について、以下にその詳細を述べる。

5.1. バルブシート摩耗

図10、図11 に示す様に、メタノールエンジンの吸入バルブ、バルブシート及び排気バルブ、バルブシートは、ガソリンエンジンに比べ著しく摩耗する。この理由は、メタノールが燃焼することにより腐食

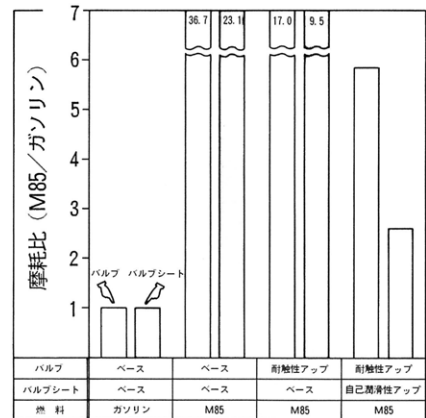


図10 吸気バルブ、バルブシートの摩耗

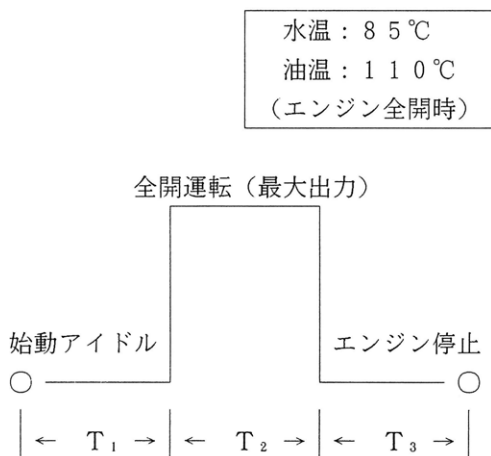


図9 耐久モード

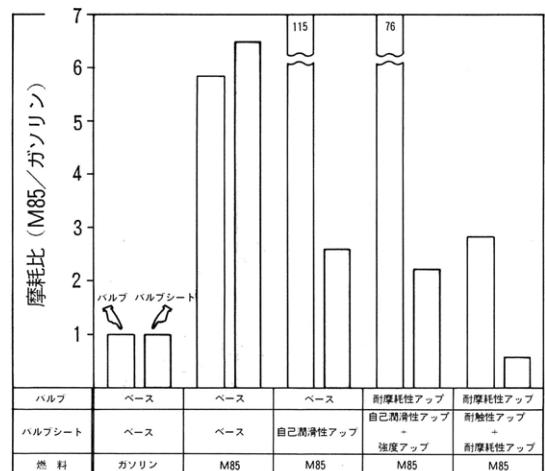


図11 排気バルブ、バルブシートの摩耗

性の強い雰囲気には燃焼室がさらされ、更に多量に生成される水蒸気によりバルブとバルブシートの潤滑性が損なわれるためと推定される。

吸気側の対策は、材質変更により吸入バルブの耐腐食性を増し、更に吸入バルブシートの自己潤滑性を向上させることにより摩耗を低減した。

また、排気側の対策は、材質変更により排気バルブの耐摩耗性を向上させ、更に排気バルブシートの自己潤滑性、耐腐食性、耐摩耗性を向上させる事により摩耗を低減した。しかしながら、ガソリンエンジンに比べメタノールエンジンのバルブ、バルブシートの摩耗量はまだまだ多く、今後更に改良を行っていく必要がある。

5.4. ピストンリングの摩耗

有鉛ガソリン仕様の耐摩耗性の高い窒化ピストンリングをメタノールエンジンに使用した所、図12に見られる様なトップリング窒化摺動面に著し

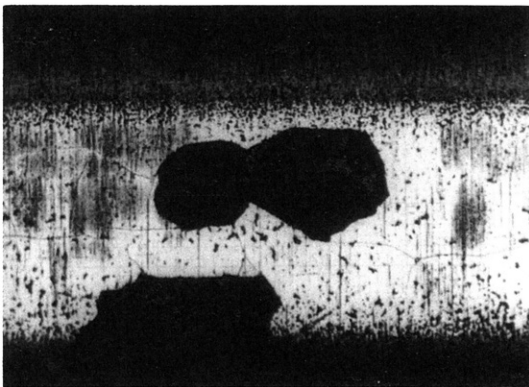


図12 窒化ピストンリング摺動面のクラック



図13 インジェクタの摩耗

いクラックが発生した。この理由は、ピストンリング窒化層が腐食され、リング摺動面に応力が集中したためと推定される。耐触性の優れるクロムメッキのピストンリングでは、リング摺動面のクラック発生がなく、メタノールエンジンに適する事がわかった。

5.5. インジェクタの摩耗

メタノールエンジンのインジェクタは、メタノール燃料による潤滑性の低下から図13に見られるように摺動部に著しい摩耗が見られた。材質の変更とガイド形状の見直しを行い摩耗の低減を図ることが出来たが、今後更に長期に渡るインジェクタの耐久信頼性を確認していく必要がある。

6. メタノールエンジンオイルの開発

図14に示すように、メタノールが燃焼することによって、多量の水分及び蟻酸が発生し、そのため動弁系摩耗やエンジン内部の腐食やオイルの劣化をひき起こすことが指摘されている⁽⁷⁾。エンジンオイルをメタノールエンジンに適合させるため、表5に示す3種類の異なる塩基価のエンジンオイルを試作し、それらのオイルをエンジン単体耐久試験で対比評価した結果を図15に示す。タイプAはオイルの塩基価が高いために、耐久中のオ

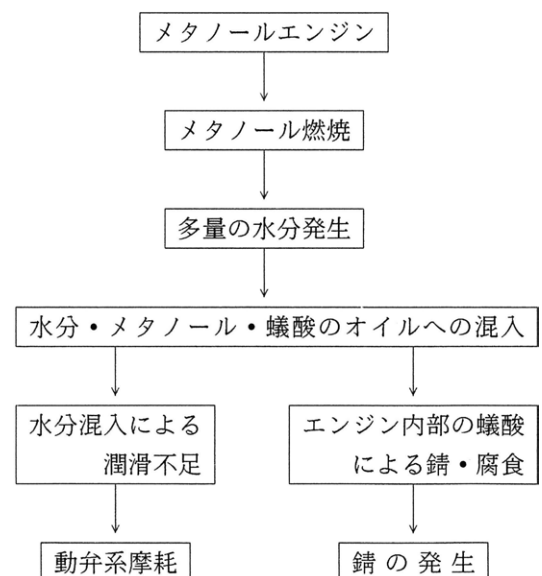


図14 メタノールエンジンオイルの問題点

表5 試作した3種類の異なる塩基価のオイル

オイルタイプ		A	B	C
API グレード		SF	SF	SF
SAE グレード		10W-30	10W-30	15W-40
性 状	粘度@100 °C			
	CST	10.5	10.5	13.0
	全塩基価(mgKOH/gm) (HCL法)	15.9	8.0	11.0
	Ca (wt%)	0.51	0.20	0.30

イルの塩基価を高く維持出来たが、燃焼室内のスラッジ発生が問題となった。タイプBは、オイルの塩基価が低かったために、耐久中のオイルの塩基価を維持することが出来なかった。タイプCは、排気ポート内に生成されるスラッジが若干問題となる程度で、耐久中のオイルの塩基価を十分高く維持出来る事が確認された。したがって、タイプCの塩基価をメタノールエンジンオイルの塩基価と設定し、更に動弁系摩耗の対策、耐腐食性の検討を加えて、表6に示す性状のメタノールエンジンオイルを開発した。このオイルは、次の特徴を持っている。

表6 メタノールエンジンオイルの性状

ULTRA U-M85	
粘 性	15W-40
粘度(cst) @100 °C	13.0
全酸価(mgKOH/g)	2.5
全塩基価(mgKOH/g) (HCL法)	10.8

- 発生する有機酸を中和するため全塩基価を高める。
- オイルの粘性を上げ、水分や燃料希釈によるオイルの粘性低下を抑制する。
- 動弁系摩耗を低減するために有機モリブデンを添加する。
- 錆や腐食を防ぐため防錆添加剤の含有量を増やす。

次にこのメタノールエンジンオイルを用い、実験車両による耐久走行中のオイル性状変化をガソリンエンジンオイルの性状変化と比較検討し、その結果を図16、17、18に示す。

図16は全塩基価(TBN)の変化を示す。開発したオイルは初期の全塩基を高めたことにより、1万km走行した時点に於いてSFグレードガソリンエンジンオイルとほぼ同程度の全塩基価の低下となった。

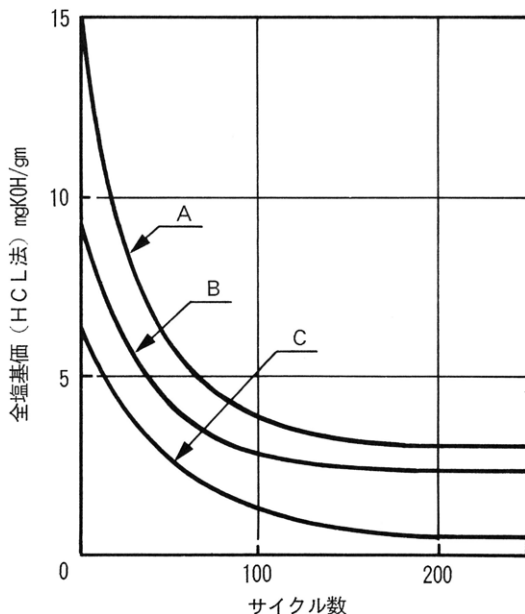


図15 エンジン単体耐久試験中の全塩基価の変化

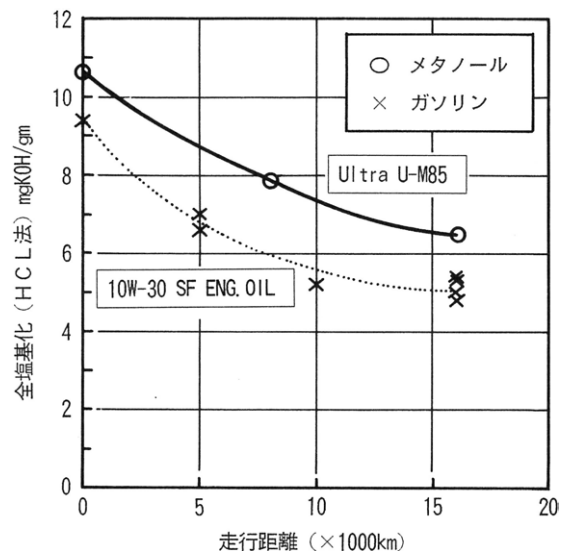


図16 全塩基価と走行距離

全酸価及び不溶解分(ペンタン)の変化は、図17と18に見られる様にガソリンエンジンオイルと同等である。

このメタノールエンジンオイルを用いる事により通常走行条件下では、動弁系の摩耗とエンジン内部のさび、腐食をほとんど防ぐ事が出来た。しかしメタノールエンジンオイルの全塩基価の低下は激しく、オイル交換はひんばんに行う必要があり、今後は更に低温度並びに高温度条件を含む種々の環境下でのメタノールエンジンオイルの性能について検討していく必要がある。

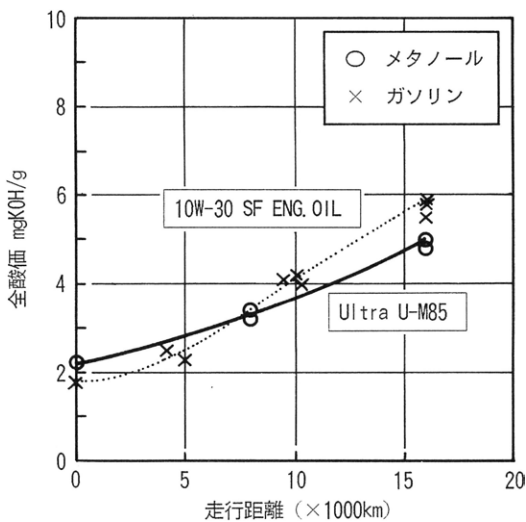


図17 全酸価と走行距離

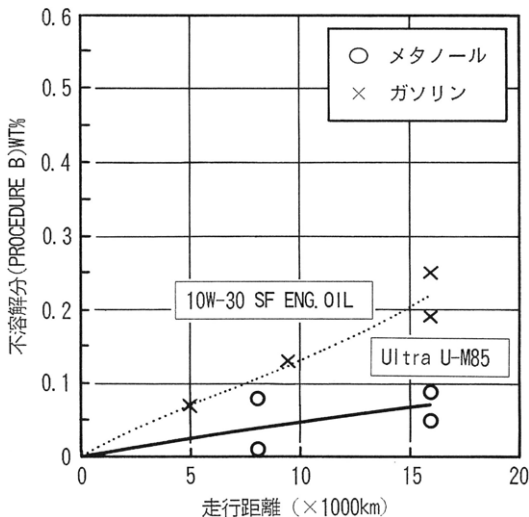


図18 不溶解分と走行距離

7. 低温・高温始動性

7.1. 低温始動性

図19に示す様に、M85燃料を用いた場合の低温始動性は、外気温度 -15°C の条件で、始動時の燃料を増量することにより3秒以内に始動することが可能である。しかし外気温度が -15°C 以下に下がると、ガソリンに比べ理論空燃比が小さくしかも気化特性の良くないM85燃料が多量に燃焼室に噴射されるため、スパークプラグ中心電極にメ

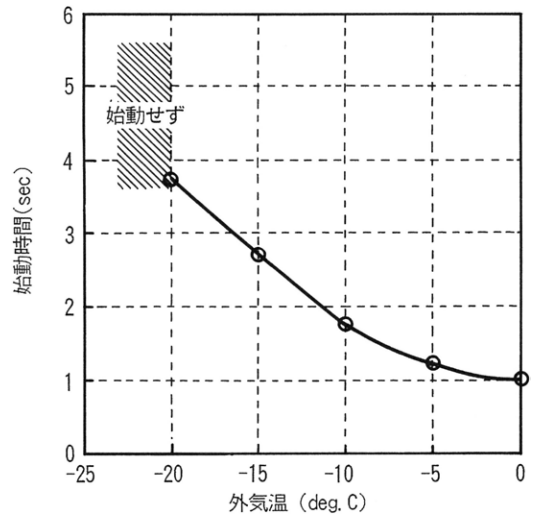


図19 M85燃料での低温始動性

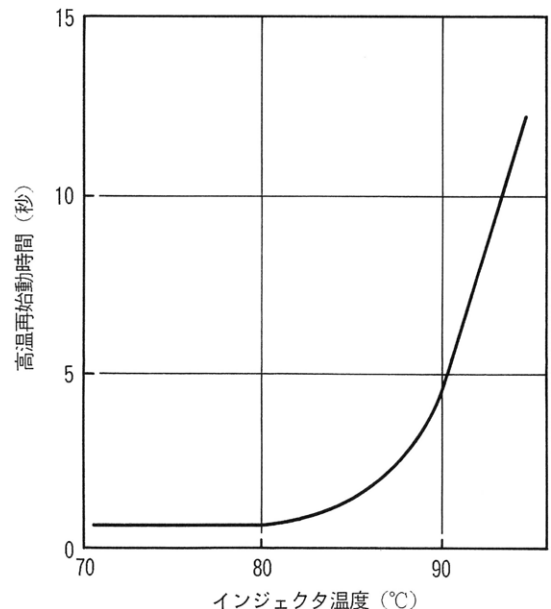


図20 高温再始動時間とインジェクタ温度との関係

タノールが付着し、エンジン点火をはなはだ困難にする事がわかった。従って外気温度 -15°C 以下の低温始動性を確保するためには、別にプロパンやガソリン燃料を補助に用いて始動することも必要であろう⁽⁸⁾。

7.2. 高温再始動性

図20に高温再始動時間とインジェクタ温度の関係を示す。M85燃料の高温再始動は、インジェクタ温度が 85°C を越えると急激に悪化することがわかった。これはインジェクタ温度がM85燃料の沸点を超えるために、インジェクタ内部でベーパーロックが発生したためと考えられる。高温停車時、エンジンルーム内に設けた冷却ファンユニットでインジェクタを冷却し、更に燃料ポンプを燃料タンク内に設け、燃料ラインのベーパー発生を抑える事により、M85燃料での高温再始動性を確保した。

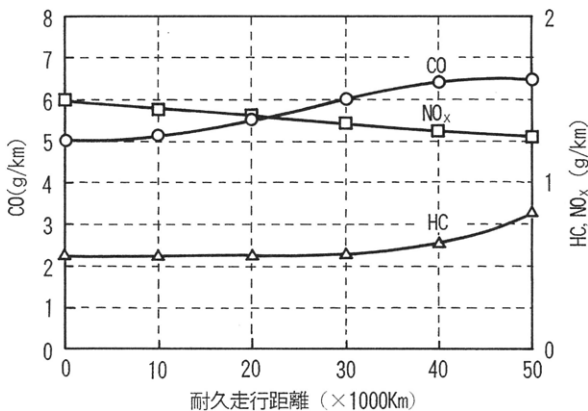


図 21 触媒前の排気エミッション特性

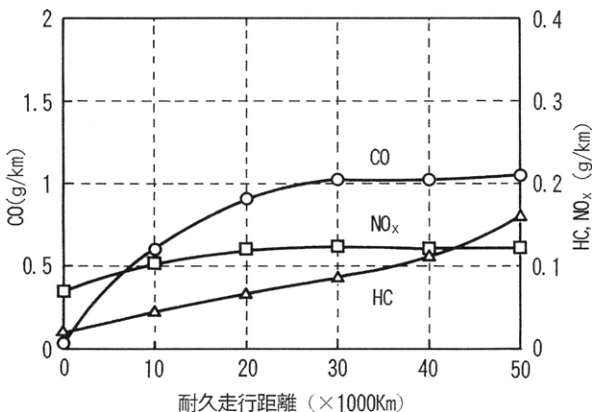


図 22 触媒後の排気エミッション特性

8. 排気特性

図21に、排気浄化装置として三元触媒を用いたメタノール自動車の6カ月に渡る5万km走行中の触媒前(フィードガス)の排気エミッションを示す。エンジンの耐久劣化に伴い、触媒前のHCエミッションは3万km以降若干劣化する傾向を示したが、 O_2 フィードバック制御の三元触媒装置を用いることにより、図22に示す様に国内10モード規制値に適合出来る。今後はエンジン各 부품の耐久信頼性、アルデヒドエミッションも含めて、長期に渡る使用条件下でのメタノール車の排気特性変化について検討を加えていく必要がある。

9. 結 論

既存のガソリン機関を基本として、M85燃料を実用化する場合の得失について検討を加えた。その結果以下の点が明確になった。

- (1) 高オクタン価のM85燃料を用いる事により圧縮比を高め、出力、図示熱消費率を改善することが出来る。
- (2) M85燃料は、ガソリンより 200°C 程低い温度で熱面着火を起こし、ブレイグニッションが発生をするため、メタノールエンジンでは高熱価のプラグを採用する必要がある。
- (3) メタノールエンジンの吸気及び排気バルブ、バルブシート、インジェクターの摺動面、及びピストンリングは、ガソリンエンジンに比べ著しく摩耗する。メタノール燃料を用いる場合、これらの材質及び形状を検討する必要がある。
- (4) メタノールエンジン用オイルを開発することで、通常走行下ではエンジン内部のさびや腐食はほとんど防ぐことが出来る。今後はオイル交換時期の延長、低温並びに高温運転条件を含む、メタノールエンジンの耐久信頼性について検討を加えていく。
- (5) M85燃料を用いる場合、低温始動性は -15°C まで、高温始動性は 35°C まで確保できる。
- (6) メタノール自動車は O_2 フィードバック制御による三元触媒を用いる事により国内の10モード規制値に適合する事が出来る。

今後はエンジン各部品の耐久信頼性と、長期に渡る使用条件下でのメタノール車の排気特性変化について検討を加えていく。

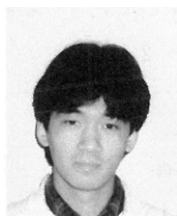
参考文献

- (1) 財石油産業活性化センター、“昭和 63 年度自動車用メタノール燃料の利用に関するフーズビリティ調査” 成果報告書、1989.
- (2) S. Ito, A. Sato, T. Ichimiya, “Performance of a Methanol Fueled Car”, SAE Paper 811383.
- (3) 中原、内燃機関、Vol. 24、No.306、1985. 5.
- (4) 宮田ほか 3 名、自動車技術会学術講演会前刷集、No.812、P58.
- (5) 須賀、北島、藤井、“メタノール燃料 (M85) と無鉛プレミアムのプレイグニッション現象”、第 7 回内燃機関合同シンポジウム、No.131、pp. 169174、1988.
- (6) T. SUGA, S. KITAJIMA, I. FUJII, “Pre-ignition Technique”, SAE Paper 892061.
- (7) T. Ichimiya, K. Takahashi, Y. Fuwa, “Wear Mechanisms of Methanol Fueled Engine”, SAE Paper No.852199.
- (8) G. Yee, B. Woodward, R. Yuille, “Conversion of 1984 Buick Turbo Regal to Use Methanol (M85) as a Motor Fuel”, SAE Paper No.861592.

■著 者■



須賀 稔 之



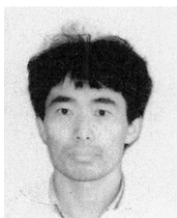
北 島 真 一



小 林 吉 彦



長 島 隆



佐 藤 克 明



犬 童 規 之