

高濃度エタノール混合ガソリン(E85)の 気化特性とエンジン低温始動性

Vaporization Characteristic of High-ethanol Gasoline (E85) and Cold Startability

相 川 孔一郎*
Koichiro AIKAWA

桜 井 隆 幸*
Takayuki SAKURAI

林 有 登*
Aruto HAYASHI

要 旨

本研究では高濃度エタノール混合ガソリン(E85)の気化特性と低温始動性を調べた。同一のリード蒸気圧(RVP 71kPa at 37.8°C)を有する E85(ASTM Class 3)とガソリンの-30°Cにおける低温始動性を調べた。その結果、ガソリンで始動可能である燃料供給量において、E85 は始動不可能であった。混合気中の燃料濃度(混合気濃度)をシミュレートした結果では E85 はガソリンに対し混合気濃度が小さく、始動に必要な混合気濃度に達していないことがわかった。低温始動を成立させるためにはクランキング中に混合気濃度を約 2vol% にする必要があることがわかった。混合気濃度を高めるには燃料供給量の増量が有効であることがシミュレーションおよび実験にて示された。混合気濃度を高める他の手段として RVP を高めることが有効である。ガソリンと同等の燃料供給量で低温始動性を成立させる条件をシミュレートした結果、ガソリンに対し 30-35kPa 程度 RVP を高める必要があることがわかった。

ABSTRACT

The research discussed in this paper focused on the vaporization characteristics of high-ethanol gasoline (E85) and cold startability. The cold startability of an E85 (ASTM Class 3) and a gasoline with identical Reid Vapor Pressures (RVP: 71 kPa at 37.8 °C) was tested at -30 °C. When the E85 was injected in the same quantity as that which enabled engine start using gasoline, the engine failed to start. The results of a simulation of the fuel concentration in the air-fuel mixture showed that the mixture concentration formed by the E85 was lower than the mixture concentration formed by the gasoline, and that the E85 mixture did not reach the concentration required for engine start. Meanwhile, the formation of a mixture with a fuel concentration of approximately 2 vol% during cranking was necessary for engine start at low temperatures. Both simulation and test results showed that increasing the fuel injection quantity was an effective method of increasing the mixture concentration. Increasing the RVP of the fuel is another effective method of increasing the mixture concentration. The results of a simulation of the conditions required for low-temperature engine start using E85 at the same injection quantity as gasoline indicated that it would be necessary to increase the RVP of the E85 by approximately 30-35 kPa against that of gasoline.

1. まえがき

近年、エネルギー問題やCO₂排出量削減の観点からエタノールが代替燃料として注目を浴びている。エタノールは主にコーン、サトウキビ、甜菜などの植物を原料としているため、燃焼時に排出される CO₂ は植物が吸収した CO₂ と

*四輪開発センター

同量という考えからカーボンニュートラルとみなされるためである。現在、各国においてさまざまな形でエタノールが燃料として運用されており、ガソリンに 5-10%(E5-E10)程度を混合して用いる方法が最も普及している。一方ブラジルではエタノール 100%(E100)が高い普及率であり、またアメリカ(US)、ヨーロッパ(EU)ではエタノールに 15%

Table 1 Specifications for ethanol fuel

Property	US E85			EU E85	
	ASTM D5898			CWA 15293	
Volatility class	1	2	3	A	B
Alcohol [vol%]	79 min	74 min	70 min		
Ethanol [vol%]	–			75 min	70 min
Methanol [vol%]	0.5 max			1 max	
High alcohol (C3-C8) [vol%]	2 max			2 max	
Hydrocarbons [vol%]	17-21	17-26	17-30		
Water [vol%]	1 max			1 max	
RVP [kPa]	38-59	48-65	66-83	35-60	50-100

Table 2 Test fuel characteristics

Property	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Standard	ASTM D5898		CWA 15293	ASTM D4814	
Volatility class	1	3	B	C	D
Ethanol [vol%]	81	71	75	–	
Water [vol%]	1	1	1	1	1
RVP [kPa]	40	71	55	71	83

のガソリンを混合した E85 燃料など高濃度のアルコール混合ガソリンも普及しつつある。高濃度のエタノール混合ガソリンを用いる場合、低温時にエタノールの気化量が低下することから低温始動が問題となることがある^{(1)・(7)}。これに対し E100 を運用しているブラジルでは低温下で使用される場合を考慮し、サブフューエルタンクに気化性の良いガソリンを別途設け、低温時にはこれを用い始動性の確保をしている。一方、US、EU の E85 燃料では季節ごとに RVP を変化させ低温始動性を確保している。

ガソリンの RVP と低温始動性には密接な関係があることが報告されている⁽⁸⁾。これは混合気が着火、爆発するには適正な混合気濃度が必要であり RVP が大きい燃料ほど低温においても気化しやすく、空燃比を可燃範囲に制御しやすいためである。E85 では RVP をガソリンで始動可能なものと同等にしても始動できないなど、ガソリンとは異なった特性がある。このように低温始動性を考える上で気化特性を調べることは大変興味深い。しかし、今までに低温始動を改善する方法としてエンジンハードの改善を報告した事例が主であり^{(1)・(7)}、気化特性に注目した事例⁽⁹⁾は少ない。本研究の目的は E85 の気化特性を調べると共に、その結果より低温始動に必要な条件を考察することである。

2. 試験条件

Table 1 に US、EU で現在適用されている E85 燃料規格を示す。E85 燃料のエタノール濃度および RVP は適用季節ごとに異なっている。エタノール濃度の下限は 70%、上限は適用国によって異なるが約 85% となる。RVP は寒冷期になるほど高くなっている。これは、低温始動性を考慮に入れたためと考えられる。本研究では高濃度エタノール混合ガソリンとしてアメリカ ASTM 規格 D5788-06⁽¹⁰⁾における E85 の夏用燃料 Class 1(Fuel No.1)および冬季燃料 Class 3(Fuel

Table 3 Test engine specifications

Cylinder configuration	In-line 4-cylinder
Bore × Stroke [mm]	81.0 × 87.3
Displacement [cm ³]	1799
Compression ratio	11.5
Valve train	SOHC
Number of valves	4 valves / cylinder
Fuel injection system	MPI

No.2)、ヨーロッパ CWA 15293⁽¹¹⁾における冬規格燃料 Class B(Fuel No.3)を検討した。比較のため US E85 Class 3 と同等の RVP を有するように調整した ASTM D4814-06⁽¹²⁾Class C ガソリン(Fuel No.4)さらに秋・冬用 Class D ガソリン(Fuel No.5)を用いた。それぞれの代表性状を Table 2 に示す。低温始動性を評価するエンジンとして 1800cm³、自然吸気 4 気筒エンジンを用いた。Table 3 に本エンジンの仕様を示す。低温始動性評価温度は -30℃とした。

3. 高濃度エタノール混合ガソリンの特性

3.1. 混合気濃度および蒸気圧の算出

ガソリンや E85 燃料のように多成分で構成される燃料の混合気濃度や蒸気圧を算出することは、共沸現象に代表される成分同士の相互作用などがありとても複雑である。そのため化学工学プロセスシミュレータ CHEMDAD (Chemstations 社)を用いて算出をおこなった。算出に用いる各燃料の構成成分はガスクロマトグラフィーおよび質量分析(GC-MS)により定性分析をおこない、水素炎イオン化検出器(FID)により定量分析をおこなったものを用いた。

3.2. 飽和蒸気圧と低温始動性の関係

Fig. 1 に試験燃料の飽和蒸気圧の温度特性を示す。なお、図中の蒸気圧において、実測点はプロットで示し、実線につ

いてはシミュレーションにて算出した結果である。RVP 測定には SETAVAP TESTER (Stanhope-seta 社製) を用いた。低温での蒸気圧測定は Fig. 2 に示すステンレス製の容器中に燃料を供給し内部圧力測定をおこなった。E85 (Fuel No.2) と同等の RVP を有するガソリン (Fuel No.4) の飽和蒸気圧を比較すると低温下においても両者はほぼ同等の飽和蒸気圧を有することがわかる。Fig. 3 は炭化水素 (HC) の飽和蒸気圧を炭素数別に示したものであるが、低温下では蒸気を形成する主なものはブタン (C4)、ペンタン (C5) のような軽

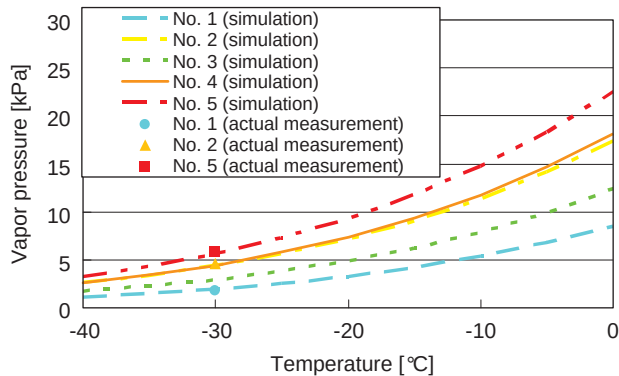


Fig. 1 Vapor pressure of test fuels

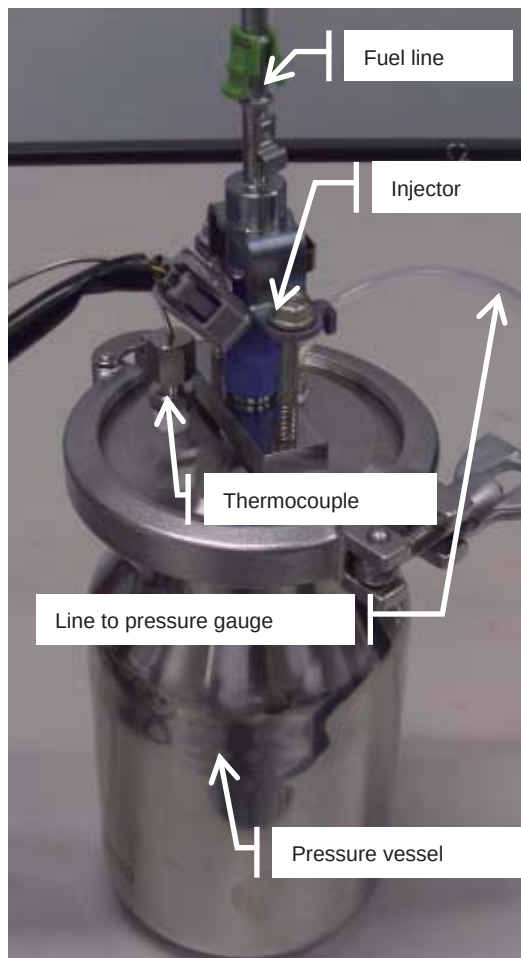


Fig. 2 Vapor pressure measurement device

質分であることがわかる。-30°Cで蒸気を形成するのは軽質な HC 成分であり、かつ飽和蒸気圧が同一であれば同等の始動性が予測される。Fig. 4はFuel No.2およびFuel No.4の始動性を-30°Cで確認した結果である。なお、燃料の影響のみを検証するために燃料供給量や点火時期などはFuel No.4にて始動可能なものを用いている。予想に反し両者の始動性には大きな違いがあり E85 燃料を用いた場合始動には至らなかった。この結果はたとえ飽和蒸気圧が同等でも E85 燃料の気化形成がガソリンとは異なることを示唆している。

3.3. 不飽和領域の混合気濃度

Fig. 5 は-30°Cにおける Fuel No.2 および Fuel No.4 の燃料供給量 (空気 1000cm³ に対する供給量) と混合気濃度の関係をシミュレーションしたものである。燃料供給量が十分である場合、すなわち混合気中の燃料蒸気が飽和状態である場合では両燃料ともほぼ同等の混合気濃度を示す。しかし、燃料の供給量が少ない領域、すなわち不飽和蒸気にお

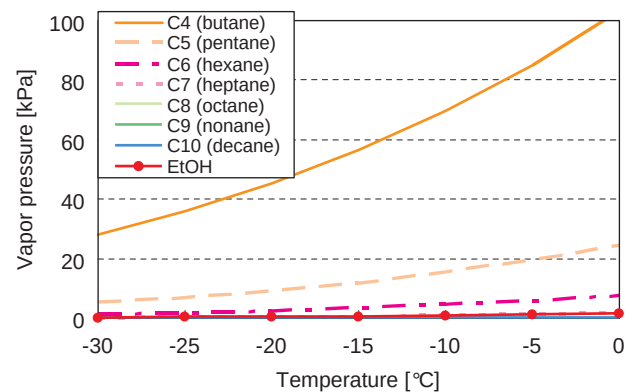
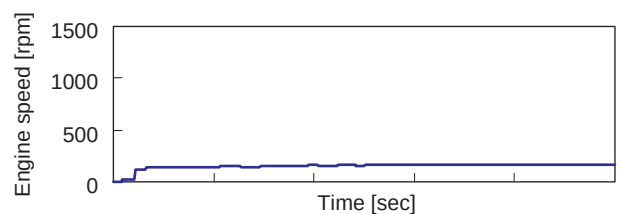
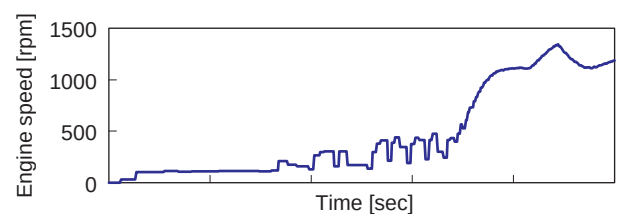


Fig. 3 Vapor pressures of ethanol and hydrocarbons [C4-C10]



(a) Fuel No. 2



(b) Fuel No. 4

Fig. 4 Cold startability with Fuel No. 2 and No. 4 at -30 °C

いては混合気濃度に差があることがわかる。これは燃料を構成する成分がガソリンと違うためと考えられる。Fig. 6は Fuel No.2 および No.4 の構成成分割合を示したものであるが、Fuel No.4(ガソリン)は C5 の割合が Fuel No.2(E85)に比べ高いことがわかる。不飽和領域の燃料供給量では、低温で気化できる C5 の含有量が多い Fuel No.4 の方がより高濃度の混合気を形成できると考えられる。Fig. 4の始動確認で適用した燃料供給量は空気 1000cm³ 当たり 1g 程度であり、混合気は不飽和状態である。このとき Fuel No.2 が形成する混合気濃度は No.4 に対し 6 割程度の混合気濃度しかない。これらの燃料における低温始動性の違いは、この混合気濃度差が大きく関わっていると考えられる。

本結果より同一の RVP でも E85 の気化量はガソリンに比べ少なく低温始動性が劣ることがわかった。E85 の実用を考えると、低温始動性をガソリンと同等にする必要がある。始動性の違いが混合気濃度の差によるものであるならば、E85 の気化量をガソリン同等に高めれば低温始動性が向上する可能性があると考えられる。混合気濃度を上げる手段として燃料に熱エネルギーを与えることが有効な手段であると考えられる。熱エネルギーを与える手段として、圧縮比を上げることや、断熱圧縮にできるだけ近づけるために始動時のクランキング回転数を上げることなどが考えられる。また、Fig. 5に示すように燃料の増量も燃料の気化量を上げる手段として有効であることがわかる。

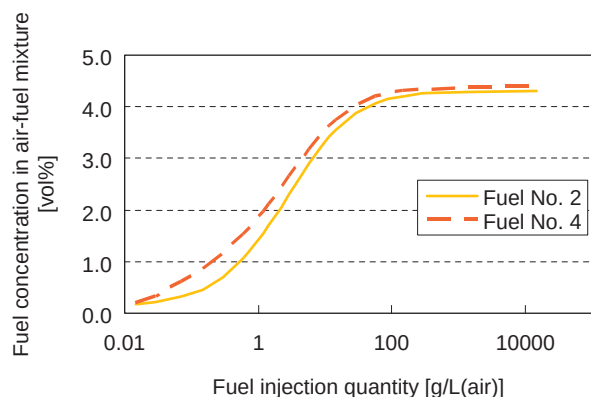


Fig. 5 Relationship between fuel injection quantity and fuel concentration in mixture at -30 °C

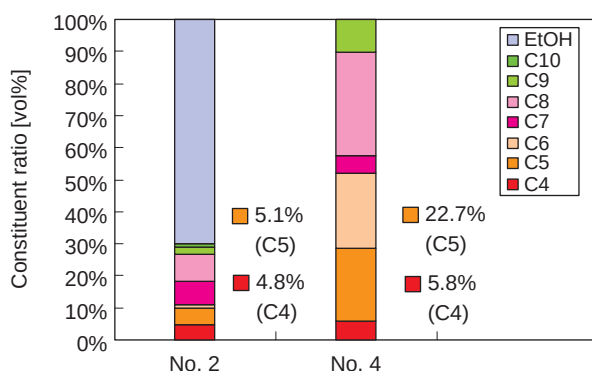


Fig. 6 Constituent ratio of fuel No. 2 and No. 4

Table 4 Combustible concentration of hydrocarbons

	Butane	Pentane
Combustible concentration [vol%]	1.6 – 8.5	1.5 – 7.8

4. 始動に必要な混合気濃度

4.1. 可燃混合気濃度

混合気を引火させるにはある程度の混合気濃度が必要である。エンジンを始動させるには始動クランキング中に混合気濃度を可燃範囲に入れて引火させなければならない。混合気濃度は気化した燃料がどれだけの空気と混合したかによって決まる。たとえば燃料の蒸気量がわずかな場合でも混合する空気の量を調整することで混合気濃度を高めることはできる。しかし、実際のエンジンで、始動クランキング中のインテークマニホールド内圧力を測定するとほぼ大気圧であり空気の量を調節することは難しい。以上の理由でクランキング中の引火の可否は大気圧下において混合気濃度がどの程度形成されるかで見積もることができると考えられる。Table 4は低温下における混合気中燃料の主成分であるブタン(C4)、ペンタン(C5)の可燃濃度⁽¹³⁾である。低温時の混合気の燃料成分は、燃料の構成成分や温度によって若干変化してしまうが、主成分がブタン、ペンタンであることから E85 やガソリンの氷点下における可燃混合気濃度の下限を見積もると、ルシャトリエの式⁽¹³⁾より約1.5vol%程度となった。すなわちガソリンおよび E85 燃料で低温始動を成立させるためにはクランキング中に混合気濃度を最低でも 1.5vol% 以上にしなければエンジンの始動は成立しないと考えられる。

4.2. 低温始動が可能な混合気濃度

4.1. 節では混合気の着火に必要な最低混合気濃度を推定したが、実際のエンジンではピストンを押し下げクランクを回転させるだけのエネルギーが必要なため、混合気が可燃であることが始動の条件にならない場合がある。たとえば、着火はするが始動には至らない場合などである。そこで、試験エンジンにおいて始動を成立させるために必要なクランキング中の混合気濃度を検討した。評価燃料として RVP が最も高く混合気濃度をコントロールすることができるガソリン(Fuel No.5)を使用した。- 30°Cにおける始動に必要な最低燃料供給量を求め結果空気 1000cm³ に対し約 0.8g の供給量が最低限必要であった。Fig. 7 は- 30°C下における Fuel No.5 の燃料供給量と形成される混合気濃度の関係をシミュレーションした結果である。なお、混合気的全圧は1気圧(101.325kPa)とした。シミュレーション結果によれば空気 1000cm³ に対し 0.8g のガソリンを供給した場合混合気濃度で約 2vol% になる。同条件にて圧縮上死点における混合気をサンプルし、混合気濃度を実測した結果

1.7vol%であった。混合気の分析誤差を考えればほぼシミュレーションどおりであり、試験エンジンの低温始動には2vol%以上の混合気濃度が必要であると推測される。

5. 圧縮比およびクランキング回転数の効果

本章では燃料の気化量を上げる手段として考えられる圧縮比を上げる効果およびクランキング回転数を上げる効果について検証する。圧縮による温度の変化は短時間におこなわれるので熱電対などを利用して直接測定することは応答性の点で難しい。そこでわれわれは燃料が多成分で構成され、温度によって形成する蒸気の構成成分が変化することに着目した。Fig. 8 に US E85 Class 3 (Fuel No.2)を空気1000cm³に燃料を2.4g混合した(全圧は101.325kPa)際に形成される混合気の構成割合をシミュレートしたものを示す。温度が上がると炭素数の大きい成分と、エタノールの構成割合が増えることがわかる。この性質を利用して燃焼室より混合気を直接採取し、混合気の構成成分を分析すれば温度が予測できると考えた。ガスサンプル方法の概略図をFig. 9に示す。プラグ穴よりパイプを介して圧力リリーフバルブをつなぎ、任意の圧力で燃焼室内ガスを取り出すことができる。取り出したガスはエアバッグに一度採取し、その後GC-MSおよびFIDにて混合気成分の構成比を分析した。

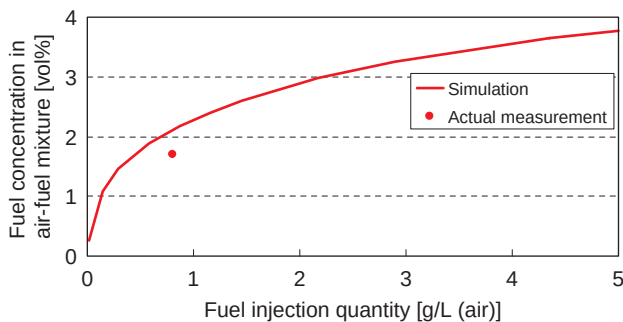


Fig. 7 Relationship between quantity of fuel injection and fuel concentration in combustion chamber for fuel No. 5 at -30 °C

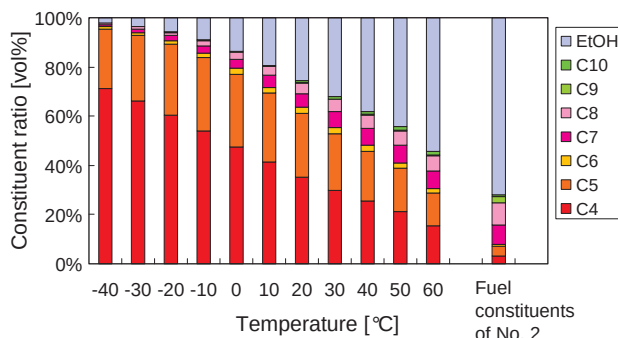


Fig. 8 Temperature dependence of mixture constituents for fuel No. 2

5.1. 圧縮比の影響

燃焼室からのガスサンプルは圧力リリーフバルブでおこなうために、任意の圧力にてガスのサンプルが可能である。サンプルをおこなう圧力を変化させることと、圧縮比を変化させることは同義と考えられるので、圧縮比の影響はガスサンプルの圧力を変化させる方法でおこなった。供給した燃料量は1気筒あたりのシリンダ容量450cm³あたり2.4gとした。Fig. 10 にリーフ圧を686kPaおよび1177kPaに設定し、サンプルした混合気の燃料成分の構成割合を示す。両者の燃料成分構成はほぼ同等のもので、かつ計算上で得られる-30℃における混合割合に近いものであった。Fig. 11にさまざまなリーフ圧に対しサンプルした混合気濃度を示す。リーフ圧すなわち圧縮圧に対し混合気濃度はほとんど変化しない結果が得られた。これらの結果は圧縮圧を変化させてもほとんど気化の促進にはつながらないことを示唆している。この圧力差は圧縮前圧力を1気圧、ポリトロップ指数を1.3とすれば圧縮比で2.3程度の差となり、圧縮上死点の温度として50℃程度の差があるはずである。しかし、圧縮圧を上げる効果が小さいのは以下のような原因が考えられる。低温環境下では、エンジン自体が低温であるために圧縮熱はエンジン側に流出してしまい温度としてはさほど上がらないことや、実際に温度が上がっても燃料液滴の熱伝達率が小さく圧縮熱を実際に受け取ることのできる時間は一瞬であるため液滴が十分に温まらず気化できない等の理由が考えられる。

5.2. クランキング回転数の影響

Fig. 12 にクランキング回転数125rpmおよび175rpmにてサンプルした混合気の燃料成分構成割合を示す。燃料および燃料供給量は圧縮比の検討時と同じ条件を用いた。クランキング回転数を変化させた場合においても両者の成分

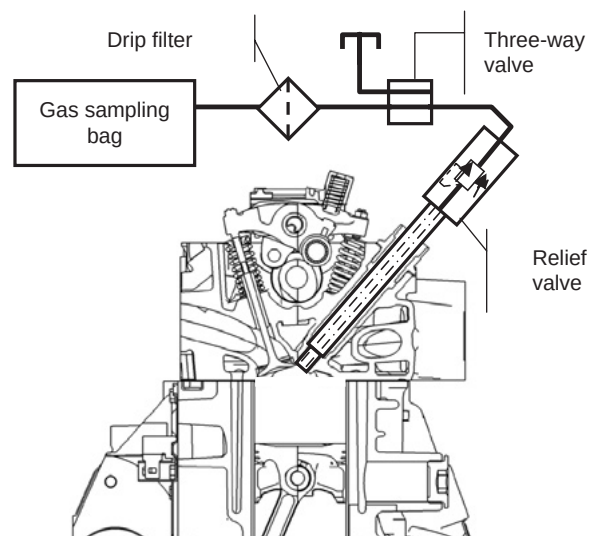


Fig. 9 Gas sampling device

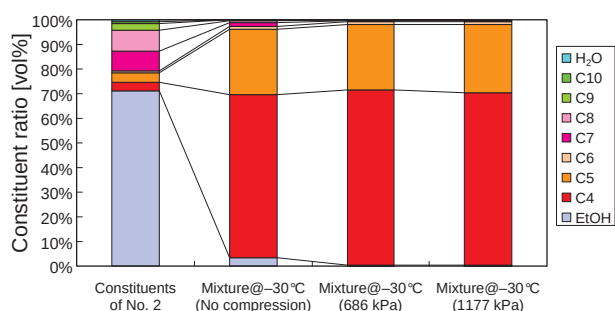


Fig. 10 Comparison of mixture constituents at 668 kPa and 1177 kPa at -30 °C

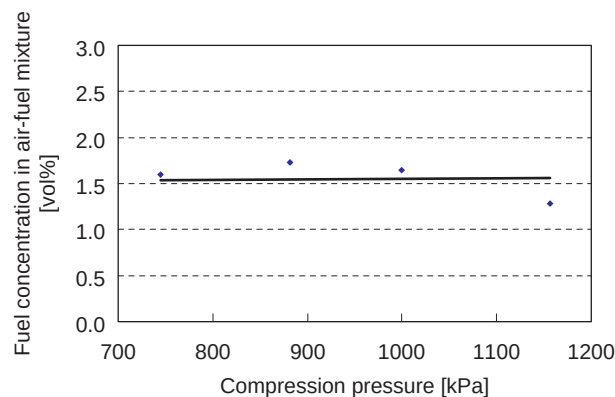


Fig. 11 Relationship between compression pressure and fuel concentration in combustion chamber at -30 °C

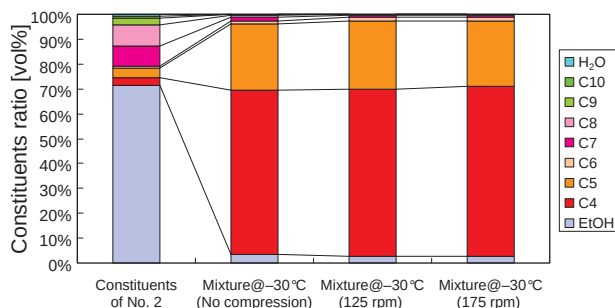


Fig. 12 Comparison of mixture constituents at 125 rpm and 175 rpm at -30 °C

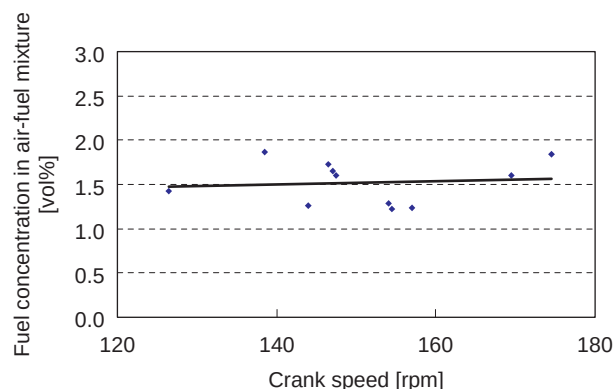


Fig. 13 Relationship between crank speed and fuel concentration in combustion chamber at -30 °C

構成はほぼ同等のものかつ、計算上で得られる-30°Cにおける混合割合に近いものであった。また、圧縮圧を変化させた場合と同様に、さまざまなクランキング回転数でサンプルした混合気濃度を Fig. 13 に示す。クランキング回転数を変化させても混合気濃度の上昇は見られない。これらの結果より、低温下では圧縮比を上げることやクランキング回転数を上げることによる低温始動性改善効果は小さいことがわかった。

6. 燃料増量による影響

第5章の結果では圧縮後の混合気中の燃料成分構成は圧縮前の成分構成とほぼ同等である。すなわち低温始動性は混合気がシリンダに入る前に形成された混合気濃度が重要であると考えられる。シリンダに入る前に混合気濃度を高める方法として Fig. 5 が示すように燃料の増量が有効であることがわかる。Fig. 14 は-30°Cにおける燃料供給量と混合気濃度の関係をシミュレートしたものである。E85 寒冷期用(Fuel No.2 および No.3)では燃料供給量を増やすことで混合気濃度が 2vol% になることがわかる。3.2. 節で述べたとおり燃料供給量の調整をおこなわない場合Fuel No.2では-30°Cでの始動が成立していない。4.2.節では始動に必要な混合気濃度を約 2.0vol% と結論づけたが、Fig. 14 に示すとおり Fuel No.2 においても燃料供給量を増量することで-30°Cで始動できる可能性がある。一方、Fuel No.1では増量をおこなっても 2vol% に達することはなく-30°Cで始動できる可能性が小さいことがわかる。なぜならば-30°Cでの飽和蒸気圧から混合気濃度を求めると計算上 1.85vol% であり、これが Fuel No.1 が形成する最大の濃度であるためである。本試験エンジンで供給できる最大燃料量から Fuel No.1の混合気濃度を計算すると約1.2vol%となる。したがって計算上では Fuel No.1 は増量による-30°Cのエンジン始動は不可能であるといえる。

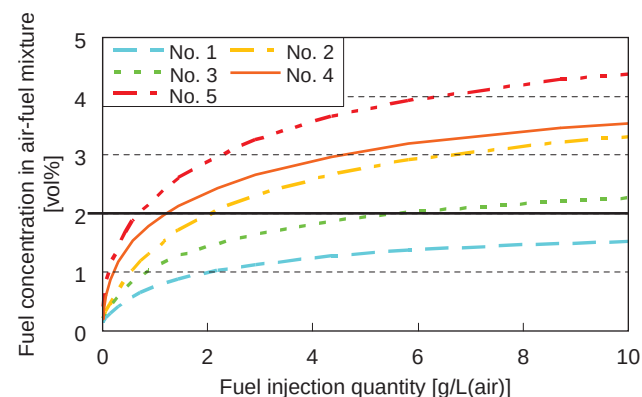


Fig. 14 Relationship between fuel injection quantity and simulated fuel concentration in mixture for test fuels at -30 °C

7. 実機による検証

Fig. 15 は計算上の混合気濃度が約 2vol% になる燃料供給量で、E85 燃料(No.1, No.2, No.3)の低温始動性を -30°C で確認した結果である。なお、Fuel No1に関しては計算上 2vol% にすることができないので、試験エンジンに可能な限り燃料を供給した結果である。RVP が低い燃料ほど始動に時間がかかっているものの、燃料の供給量を調整することで Fuel No.2 および Fuel No.3 は -30°C の始動が確認できた。一方、計算上に可燃濃度に入れることのできないとされた Fuel No1は始動することができなかった。このように、燃料の増量は混合気濃度を高めるには有効な手段であるが、増量により混合気を始動に必要な混合気濃度にするのできる燃料だけに有効な手段であることがわかる。

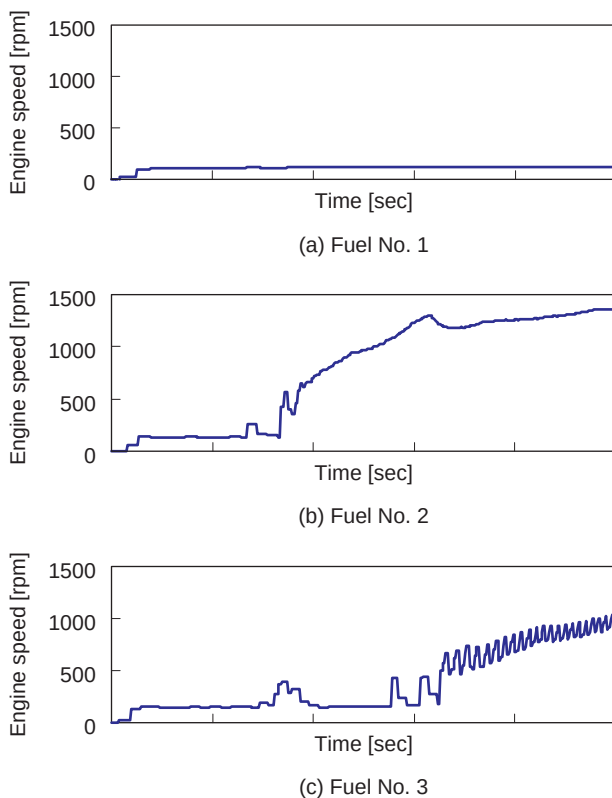


Fig. 15 Cold startability with optimized fuel injection quantity at -30°C

8. E85 燃料の始動限界温度

Fig. 16 はさまざまな RVP を有する E85 燃料の -30°C における混合気濃度をシミュレートしたものである。なお燃料供給量は本試験エンジンで最大限に供給できる空気 1000cm^3 あたり 4.8g としている。燃料構成により若干のばらつきはあるが、ほぼ RVP と混合気濃度には相関がある。RVP 55kPa の E85 で 2vol% となることがわかる。すなわち試験エンジンは最大燃料供給時に、RVP

55kPa 以上の E85 で -30°C の始動が可能と予測できる。同様にさまざまな温度や燃料供給量で始動可能な RVP を予測した結果を Fig. 17 に示す。比較のためガソリンを用いた場合も併記している。E85 の低温始動の限界はガソリンの場合と同様に RVP と燃料供給量に依存することがわかる。同一の燃料噴射量(空気 1000cm^3 当たり 0.8g)で比較した場合、E85 での始動に必要な RVP はガソリンに比べ $30 - 35\text{kPa}$ 程度高めに設定する必要があるといえる。また、増量をおこなった場合は ASTM Class 3 で 3 倍、CWA Class B で 6 倍程度増量が必要であるといえる。

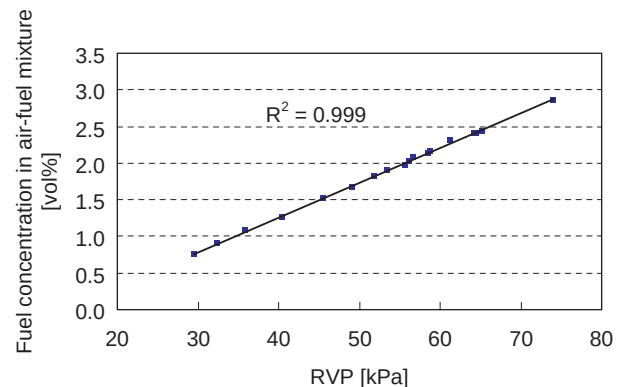


Fig. 16 Relationship between RVP and fuel concentration in mixture at maximum fuel injection quantity in test engine at -30°C

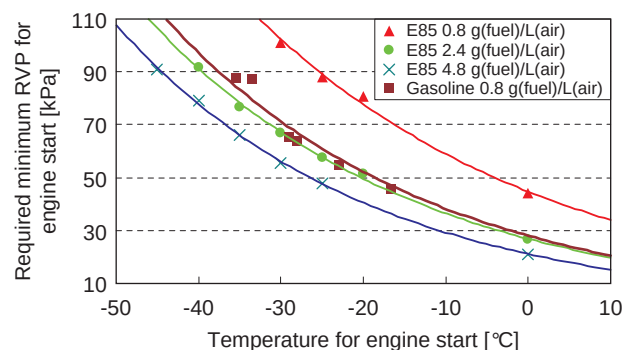


Fig. 17 Estimation of required RVP for cold engine start

9. 考察

E85 は気化量が少なく、同等の RVP を有するガソリンと比べ低温始動性に劣ることがわかった。これは、たとえ RVP が同等でも低温下の混合気濃度がガソリンに比べ低いからである。低温下での混合気中の燃料成分は C4, C5 の軽質な HC 成分で構成されるためこれらの濃度を如何に高めるかが重要になる。その方法の一つに燃料供給量を増やすことが有効であることがわかった。これは燃料をより多く供給することで、C4, C5 の供給量が絶対的に多くなるためである。しかし、燃料供給量を増やすことにより燃費が低

下する⁽¹⁴⁾などの弊害がある。また、増量はある一定の蒸気圧を持つものでないと効果が無い。他の方法として、燃料のRVPを高めることが挙げられる。この方法は確実に混合気濃度を高めることができるため低温始動性改善には確実な方法である。しかし、ガソリンに比べて30-35kPa程度RVPを高く設定しなければならない。RVPを高めすぎるとベーパーロックを生じる可能性が考えられる。以上のように、高濃度エタノール混合ガソリンの低温始動性を考える上で、燃料噴射量と燃料性状のバランスが重要で、実際の運用にはこれらを十分に検討する必要がある。

10. まとめ

本研究では高濃度エタノール混合ガソリンの気化特性と低温始動性の関係を調べた結果以下の知見が得られた。

- (1) RVPが同一のE85とガソリンを比較した場合、E85はガソリンに比べ気化量が少なく低温始動性に劣る。
- (2) 混合気濃度をガソリン同等にすれば同等の始動性が得られる。低温始動に必要な混合気濃度は約2vol%である。
- (3) 低温における混合気の主成分はC4、C5の炭化水素である。
- (4) 混合気濃度を上げるには燃料供給量の増量と燃料のRVPを上げることが有効である。
- (5) ASTM E85 Class 3 および CWA E85 Class B でガソリン同等の始動性を実現するためには、ガソリンに対しそれぞれ3倍および6倍の燃料増量が必要である。

11. あとがき

現状実際に運用されているUS ASTM D5788-06 およびヨーロッパE85規格CWA-15293で規定される寒冷期用E85のRVP下限値はそれぞれ66kPaおよび50kPaである。10章でも述べたが、これを元に-30℃以下の低温始動性を検討すると、ガソリン(ASTM D4814-06 Class D, RVP83)に対しそれぞれ3倍および6倍の増量が必要であると考えられる。このためより効率のよい低温始動性を実現するためにもRVP規格の改善が望まれる。

参考文献

- (1) Davis, G. W., Bouboulis, J., Heil, E. T.: The Effect of a Multiple Spark Discharge Ignition System and Spark Plug Electrode Configuration on Cold Starting of a Dedicated E85-Fueled Vehicle, SAE Paper, 1999-01-2664(1999)
- (2) Nakata, K., Utsumi, S., Ota, A., Kawatake, K., Kawai, T., Tsunooka, T.: The Effect of Ethanol Fuel on a Spark Ignition Engine, SAE Paper, 2006-01-3380(2006)

- (3) Marriott, C. D., Wiles, M., Gwidt, J. M., Parrish, S. E.: Development of a Naturally Aspirated Spark Ignition Direct Injected Flex-Fuel Engine, SAE Paper, 2008-01-0319(2008)
- (4) Cao, Y.: Operation and Cold Start Mechanisms of Internal Combustion Engines with Alternative Fuels, SAE Paper, 2007-01-3609(2007)
- (5) Davis, G. W., Heil, E. T.: The Development and Performance of a High-Blend-Ethanol-Fueled Vehicle, SAE Paper, 2000-01-1602(2000)
- (6) Aubin, K., Smith, H.: Evaluation of Tailpipe Emissions and Cold Start Performance of E85 Vehicles from the 2000 Ethanol Challenge, SAE Paper, 2001-01-0678(2001)
- (7) Tsunooka, T., Hosokawa, Y., Utsumi, S., Kwai, T., Sonoda, Y.: High Concentration Ethanol Effect on SI Engine Cold Startability, SAE Paper, 2007-01-2036(2007)
- (8) 自動車用ガソリンエンジン編集委員会：自動車用ガソリンエンジン, 山海堂, p.190(1988)
- (9) Silva, N. R., Sodré J. R.: Using Additive to Improve Cold Start in Ethanol-Fuelled Vehicles, SAE Paper, 2000-01-1217(2000)
- (10) ASTM D5798-06: 2006, Standard Specification for Fuel Ethanol (Ed75-Ed85) for Automotive Spark-Ignition Engines
- (11) CWA 15293: 2005, Automotive fuels. Ethanol E85. Requirements and test methods
- (12) ASTM D4814-06: 2006, Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel
- (13) 日本産業・医療ガス協会: 高圧ガスハンドブック, p.134(2008)
- (14) Ku, J., Huang, Y., Hollowell, B., Belle, S., Matthews, R. D., Hall, M. J.: Conversion of a 1999 Silverado to Dedicated E85 with Emphasis on Cold Start and Cold Driveability, SAE Paper, 2000-01-0590(2000)

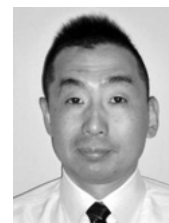
■著者■



相川孔一郎



桜井隆幸



林有登