運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 (6)

燃料のノック性に及ぼす燃料分離の影響*

森 利 淳**, 前 田 耕***, 高 取 武 夫**, 山 崎 毅 六****

The Effects of Operating Conditions of the Engine on Antiknock Properties of Gasolines (6) The Effect of Fuel Segregation on Knocking Characteristics of Fuels*

by Toshiatsu Mori**, Tsutomu Maeda***, Takeo Takatori** and Kiroku Yamazaki****

Summary : The effect of fuel segregation on knocking characteristics of fuels was studied by making use of a bled manifold installed on the CFR engine. The bled manifold was similar to the model developed by Ethyl Corp. except for the capacity of its inner chamber which was about twice as much as the displacement of the engine.

By varying the jacket temperature of the bled manifold and the amount of fuel fed to the carburettor, various degrees of fuel segregation were obtained. The phenomena was found to be a kind of equilibrium air distillation.

The effect of mixture strength, varied according to the degree of fuel segregation, on knocking tendencies of catalytically reformed naphtha, both clear and leaded, was measured by means of incipient knock limited compression ratio.

The distributions of tetraethyl lead and tetramethyl lead on lighter fraction of fuel fed to the combustion chamber and on heavier fraction drained out from the bled manifold were checked by lead analysis. The calculated amount of lead distributed on the light and heavy fraction by the equation of flash distillation agreed well with the data obtained by the lead analysis.

1 ま え が き

手動式変速機を備えた自動車では低速から急に加速を行なう場合に、気化器へ供給された燃料の蒸発しやすい低沸点留分が先に混合気となって燃焼室へ到達し、高沸点留分はそれよりも遅れて燃焼室へ吸入されるという現象が起りやすく、これはマニホールドおくれ、あるいは燃料分離などと呼ばれている^{1),2)}。この現象はいいかえれば絞りの開きの急激な変化に基づき、気化器から各気筒へつながるマニホールドの形状の違いによって生ずる混合気の混合比とその燃料成分の質的变化である。混合比と燃料成分の変化はいずれもノック性に影響する因子であって、走行オクタン価のように加速状態で燃料のノック性を測定する場合には燃料分離の現象がその評価を大きく支配することがある。たとえば改質ナフサのように低沸点留分と高沸点留分のノック性がかなり異なっているような燃料、あるいはノック抑制剤の各留分への分布がかたよっているような場合などである。

CFR エンジンでこれらの現象を含めたオクタン価を測定す

* 昭和 40 年 5 月 29 日受理

** ゼネラル石油株式会社 (川崎市浮島町 100) General Sekiyu K.K. (100 Ukishima-cho, Kawasaki)

*** 日本鉱業株式会社中央研究所 (埼玉県北足立郡戸田町) Central Research Laboratory, Nippon Mining Co., Ltd. (Toda-cho, Kitaadachi-gun, Saitama)

**** 東京大学宇宙航空研究所 (東京都目黒区駒場町 856) Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo (856 Komaba, Meguro-ku, Tokyo)

るために用いられているのがブレッドマニホールドあるいはディストリビューションオクタン価マニホールドである。これらの装置は一般にマニホールドジャケット温度により燃料分離の状態を変えるものであって、測定されたオクタン価は走行オクタン価に対して、リサーチあるいはモーターオクタン価から求められるものよりもすぐれた相関性を示すことが報告されている^{3),4)}。

ブレッドマニホールドにおける燃料分離はマニホールドジャケット温度だけでなく混合比によっても変化する。すなわち気化器における混合比を変えることによって燃焼室へ吸入される混合気の混合比、燃料の性状が変化してくる。そこで混合比が変化するときの燃料分離の現象とそれに伴う燃料のノック性の変化およびノック抑制剤の分布の変化について検討した。

2 実験装置および実験方法

CFR エンジンの気化器と吸気孔の間に図 1 に示すようなブレッドマニホールドを取り付けた。このブレッドマニホールドは Ethyl Corp. で設計されたものと同じ形状であるが、内部円筒の容積は約 1,200 ml であって、CFR エンジンの行程体積の約 2 倍に相当する。恒温ソウの温水を循環させてブレッドマニホールドのジャケット温度を制御し、40~60°C の範囲で変えた。内部円筒で分離された燃料の高沸点留分 (以下分離した燃料、あるいは分離燃料という) の容量を測定して、燃焼室へ吸入された混合気の混合比を求めるとともにその蒸留試験、

鉛の定量分析を行なって燃料の性状の変化, ノック抑制剤の分布を調べた。

実験したエンジン回転数は 600, 900 および 1,200 rpm, 気化器における混合比は 9.5~14.5 であった。吸入空気温度と湿度は調節しなかった。燃料のノック性はノック限界圧縮比で測定した。ノック限界圧縮比は水晶圧電子指圧計による圧力変化率曲線を陰極線オシロスコープで観測したときに初期ノックがあらわれる圧縮比である。

図1 ブレッドマニホールド

表1 燃料性状

	改質ナフサ	分解ナフサ
比重 (15/4°C)	0.7705	0.7100
蒸留性状 (°C)		
初留	35.0	36.0
10% 留出点	69.0	47.0
50% 留出点	121.0	76.5
70% 留出点	140.0	108.0
90% 留出点	162.0	158.5
終点	197.5	203.0
炭化水素組成 (FIA 分析)		
飽和炭化水素 (%)	54.0	39.5
不飽和炭化水素	0.5	47.0
芳香族炭化水素	45.5	13.5
リサーチオクタン価	91.5	90.7

表2 ブレッドマニホールドにおける燃料分離

		エンジン回転数 900 rpm				点 火 時 期 15°BTDC				圧 縮 比 6.0			
マニホールド ジャケット温度 (°C)	40.0				50.0				60.0				60.0
吸入空気温度 (°C)	29.0	29.0	29.0	29.0	31.0	31.0	31.0	31.0	29.5	29.5	29.5	12.0	12.0
混合気温度 (°C)	37.0	37.0	38.0	38.0	42.5	43.0	43.5	43.5	46.0	46.0	46.5	39.0	39.0
混 合 比													
気 化 器	10.0	11.2	12.5	14.6	9.8	10.9	12.5	14.3	9.8	10.9	12.9	9.8	11.0
燃 焼 室	13.7	14.9	16.1	18.1	12.0	13.0	14.5	15.9	11.3	12.4	14.2	12.0	13.0
燃料分離量 (vol%)	24.4	22.5	19.7	17.1	16.6	14.3	11.8	9.3	12.2	10.8	8.6	16.2	13.8
(wt%)	27.0	25.0	21.9	19.1	18.3	16.0	13.3	10.5	13.7	12.1	9.7	18.0	15.4
分離燃料性状													
比 重 (15/4°C)	0.8526	0.8532	0.8559	0.8596	0.8584	0.8609	0.8642	0.8675	0.8622	0.8649	0.8682	0.8566	0.8594
蒸留性状 (°C)													
初 留	110.0	117.0	119.0	122.0	123.0	123.0	127.0	135.0	129.0	132.0	134.0	122.0	127.0
10%留出点	137.0	139.0	140.5	143.5	142.0	145.0	147.5	150.0	147.0	148.0	151.0	141.0	144.0
50%留出点	153.0	154.0	155.5	158.0	157.0	159.0	161.0	163.0	160.0	162.0	164.0	157.0	158.0
70%留出点	162.0	162.5	163.0	166.0	166.0	167.0	168.5	170.0	168.0	169.5	175.5	165.5	166.5
90%留出点	177.0	180.0	180.0	181.0	181.5	184.0	184.5	186.0	185.5	186.0	190.0	182.0	182.5
終 点	226.5	228.0	228.0	229.0	219.0	219.0	235.0	239.0	227.0	237.0	236.0	223.0	223.0
留 出 量 (%)	98.5	98.5	98.5	99.0	98.5	98.0	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5
残 り (%)	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
損 失 量 (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

実験はおもに改質ナフサを用いて行ない、一部に分解ナフサをも用いた。それぞれの燃料の性状を表1に示した。ノック抑制剤としては市販の四エチル鉛液 (TEL), 四メチル鉛液 (TML), および各種の混合アルキル鉛液を用いた。

3 実験結果および考察

3.1 ブレッドマニホールドにおける燃料分離

改質ナフサの燃料分離に対するマニホールドジャケット温度と混合比の影響を調べるために、マニホールドジャケット温度を 40°C, 50°C および 60°C とし、それぞれの温度で気化器における混合比を変えて実験した。エンジン回転数は 900 rpm, 点火時期は 15°BTDC, 圧縮比は 6.0 とした。ブレッドマニホールドで分離された高沸点留分の割合, 気化器における混合比と燃焼室における混合比および分離した燃料の蒸留性状などについて測定した結果をまとめたのが表2である。

この結果から気化器における混合比を薄くするにつれて、あるいはマニホールドジャケット温度を高くするにつれて分離される燃料の割合が少なくなり、吸入される燃料はより多く高沸点留分を含むことがわかる。また燃焼室へ吸入される混合気の混合比が等しくともマニホールドジャケット温度が異なると混合気中の燃料成分が異なり、マニホールドジャケット温度の高いほど高沸点留分の多い混合気となることが示されている。吸入空気温度の低い場合には分離される燃料の割合がふえ、またその燃料には低沸点留分がふえて、マニホールドジャケット温度を下げたときと同じような効果がある。

蒸留性状からみると分離した燃料の 10% 留出温度が気化器へ供給した燃料の 70~80% 留出温度に相当している。分離した燃料の炭化水素組成は FIA 分析によれば約 90% が芳香族であった。

これらの燃料分離についての実験結果をみるとブレッドマニ

エンジン回転数 600 rpm
点火時期 13° BTDC
マニホールドジャケット温度 50°C
吸入空気温度 15~16°C
混合気温度 38~39°C

図2 燃料分離を伴う混合比の変化のノック性への影響

エンジン回転数 900 rpm
点火時期 15° BTDC
マニホールドジャケット温度 50°C
吸入空気温度 16~18.5°C
混合気温度 35~38°C

図4 燃料分離を伴う混合比の変化のノック性への影響

エンジン回転数 900 rpm
点火時期 15° BTDC
マニホールドジャケット温度 40°C
吸入空気温度 20~21.5°C
混合気温度 32.5~33.5°C

図3 燃料分離を伴う混合比の変化のノック性への影響

エンジン回転数 1,200 rpm
点火時期 20° BTDC
マニホールドジャケット温度 50°C
吸入空気温度 18~20°C
混合気温度 35~36.5°C

図5 燃料分離を伴う混合比の変化のノック性への影響

ホールド内では一種の平衡空気蒸留が行なわれていることになる。しかしこの実験では熱収支に関する測定が不十分であったため、平衡空気蒸留と燃料分離との関係を求めることができなかった。

3.2 混合比による燃料のノック性の変化

ブレッドマニホールドにおける燃料分離についての実験結果に基づき、改質ナフサおよびそれに TEL あるいは TML を添加した試料について混合比を変えたときのノック性の変化を求めた。エンジン回転数 600, 900 および 1,200 rpm, マニホールドジャケット温度 40°C および 50°C において実験した結果

が図2~5である。気化器における混合比を9.6~12.9の範囲で変えたが、燃焼室における混合比は13.5~16.9となった。吸入空気温度を調節していないのでマニホールドジャケット温度は等しくとも、吸入空気温度と混合気温度は図2, 4および5に示したように少しずつ違っている。ただしブレッドマニホールド内の混合気の滞留時間はエンジン回転数の高いほど短くなるから混合気温度は低くなる傾向がある。

図2~5の結果はいずれも13.5より薄い混合比におけるものであるが、この範囲の混合比においては、混合比が薄くなるにしたがってノック限界圧縮比が上昇している。実験結果は示し

表 3 ブレッドマニホールドにおける TEL と TML の分配量測定結果

供給燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	エンジン回転数 900 rpm マニホールドジャケット温度 40°C				エンジン回転数 1,200 rpm マニホールドジャケット温度 50°C			
	気化器混合比	燃焼室混合比	分離燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	燃焼室燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	気化器混合比	燃焼室混合比	分離燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	燃焼室燃料鉛濃度 (g-Pb/l)
TEL 0.54	9.6	14.1	1.64	0.09	10.0	13.5	1.83	0.15
	10.7	15.1	1.69	0.12	11.5	14.6	1.90	0.18
	12.2	16.7	1.82	0.12	12.8	16.1	2.08	0.18
TEL 0.84	9.8	14.5	2.40	0.18	10.1	13.7	2.70	0.26
	10.8	15.4	2.43	0.24	11.5	14.8	3.02	0.29
	12.4	16.9	2.68	0.24	12.7	15.7	2.96	0.33
TML 0.54	9.8	14.3	0.34	0.62	10.1	13.5	0.21	0.64
	10.7	15.1	0.31	0.62	11.4	14.7	0.27	0.61
	12.2	16.7	0.27	0.63	12.6	15.7	0.23	0.61
TML 0.82	9.7	14.2	0.47	0.97	10.2	13.5	0.40	1.02
	10.8	15.2	0.45	0.96	11.7	15.0	0.31	1.01
	12.3	16.8	0.38	0.97	12.9	16.6	0.33	0.95

表 4 平衡フラッシュ蒸留による TEL と TML の分配量の計算値と実測値

エンジン回転数 900rpm 点火時期 15°BTDC マニホールドジャケット温度 50°C																
供給燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	TEL 0.54				TEL 0.84				TML 0.54				TML 0.82			
吸入空気温度 (°C)	24.0	24.0	24.0	24.0	30.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	25.0		25.0	25.0	25.0	
混合気温度 (°C)	39.0	39.0	40.0	40.5	41.0	42.0	42.5	43.0	39.5	40.0	40.5		40.0	40.5	40.5	
混合比																
気化器	9.8	11.1	12.6	14.5	10.0	11.0	12.4	14.4	11.0	12.5	14.5		10.9	12.9	14.5	
燃 焼 室	12.8	13.9	15.3	17.0	12.5	13.5	14.6	16.6	14.0	15.3	17.0		13.9	15.4	17.2	
燃料分離量 (vol%)	20.7	18.3	15.7	13.0	18.0	16.3	13.8	11.8	18.7	16.0	13.0		19.0	14.7	13.8	
(wt%)	23.0	20.5	17.6	14.7	20.1	18.2	15.5	13.3	20.9	18.0	14.7		21.2	16.5	15.5	
分離燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	1.89	1.92	1.95	2.47	3.07	3.20	3.64	4.00	0.19	0.14	0.08		0.30	0.22	0.20	
燃焼室燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	0.19	0.23	0.28	0.25	0.34	0.39	0.39	0.41	0.62	0.61	0.61		0.95	0.93	0.93	
計 算 値																
分離燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	1.99	2.18	2.27	2.42	3.43	3.49	3.64	3.65	0.13	0.12	0.11		0.20	0.18	0.16	
燃焼室燃料鉛濃度 (g-Pb/l)	0.15	0.17	0.21	0.25	0.26	0.32	0.38	0.45	0.63	0.61	0.59		0.98	0.94	0.94	

ていないが、吸入空気温度の高いときにさらに濃い混合比について実験した結果によれば混合比 13.5~14.0 の間でノック限界圧縮比が最低値となるようである。

改質ナフサに TEL を添加した場合と TML を添加した場合のノック性の違いはどの実験条件でも明らかであり、沸点の低い TML の効果がより大きいことが認められる。燃料分離の状態が同じであれば TML は TEL よりも燃焼室へ吸入される割合が多くなることがその原因であり、燃料の低沸点留分へのノック抑制剤の分配量がきいているわけである。図 3 と 5 の実験条件で実際に TEL と TML の分配量を測定してみた結果が表 3 である。分離燃料鉛濃度はブレッドマニホールドから分離した燃料の鉛濃度を実測した値であり、燃焼室燃料鉛濃度はこれと分離した燃料の容量の割合から計算して求めた値である。これによると実際に燃焼室へ吸入される燃料の鉛濃度は TEL の場合には初めの濃度の約 30% であり、TML の場合には逆に初めの濃度よりも約 20% ふえていることがわかる。

3.3 ブレッドマニホールドにおける TEL および TML の分配量の計算

ブレッドマニホールドにおける燃料の分離状態および分離した燃料の蒸留性状をもとにして、TEL と TML の分配量を平

衡フラッシュ蒸留によるものとして次式を用いて計算し、実測値と比較した。

$$L \cdot x = \frac{P \cdot F \cdot z}{P + (V/L) \cdot p}$$

$$V \cdot y = F \cdot z - L \cdot x$$

F : 気化器へ供給した燃料のモル数

L : ブレッドマニホールドから分離した燃料のモル数

V : 燃焼室へ吸入された燃料のモル数

x : 分離した燃料中の TEL, TML のモル分率

y : 燃焼室へ吸入された燃料中の TEL, TML のモル分率

z : 供給された燃料中の TEL, TML のモル分率

P : 全圧を 760 mmHg としたときの燃料の分圧

p : TEL, TML の混合気温度における蒸気圧

気化器へ供給した燃料および分離した燃料の分子量は比重と蒸留性状とから文献⁹⁾によって求めた。これらの値と実測した分離量とから燃焼室へ吸入された燃料の分子量を計算した。この燃料は蒸気であると仮定した。燃料の分圧は全圧を 760 mmHg として燃焼室における混合比を用いて計算してあるが、全圧を 750 mmHg にとっても計算結果にはほとんど影響しないことを認めた。

図6 改質ナフサに対する各種のノック抑制剤の効果

図7 分解ナフサに対する各種のノック抑制剤の効果

表4に計算結果と実測値とをまとめて示した。計算値は各実験条件において実測値とよく一致していることが認められる。

3.4 各種のアルキル鉛の評価

TML と TEL をそれぞれ 25/75, 50/50, 75/25 mol% 配合して作られた化学混合物 CM 25, CM 50, CM 75, および TEL と TML を 50 mol% ずつ混合しただけの物理混合物 PM 50 について燃料分離のある場合とない場合の効果の違いを改質ナフサと分解ナフサについて求めた。

改質ナフサにこれらのアルキル鉛液を 0.84 g-Pb/l 添加した試料について、エンジン回転数 900 rpm, 点火時期 15°BTDC において実験した結果が図6である。ブレッドマニホールドを用いず全沸点範囲の燃料について評価する場合には CM 75 の効果が最も大きくなっているが、ブレッドマニホールドを用いた場合には沸点の低いノック抑制剤ほど効果がある。マニホールドジャケット温度 50°C の実験において鉛濃度を測定し、

燃焼室へ吸入された燃料の有効鉛濃度比（燃焼室へ吸入された燃料の鉛濃度と気化器で供給した燃料の鉛濃度の百分比）を求めてみると図6に示したような値となり、ノック限界圧縮比にあらわれた評価と同じ傾向をもつことが認められる。

分解ナフサに各種のアルキル鉛を 0.84 g-Pb/l 添加して、エンジン回転数 900 rpm, 点火時期 15°BTDC の運転条件で実験した結果が図7である。ブレッドマニホールドを用いない場合の評価では CM 25 が最も効果の大きいことが明らかであるが、ブレッドマニホールドを使用したときにはマニホールドジャケット温度を低くするにしたがって CM 25 よりも低い沸点をもつアルキル鉛の効果が大きくなることが示されている。すなわち燃料分離のある場合においてはアルキル鉛の単位量あたりの効果の大きさ（これは鉛濃度によって異なる）と実際に分配される量との関係によって各アルキル鉛の相対評価が決まってくるわけである。

4 ま と め

ブレッドマニホールドを用いて燃料分離の状況を調べた。この結果、マニホールドジャケット温度が高くなるにしたがって、また混合比が薄くなるにしたがって分離される燃料の量が少なくなり、その燃料はより多く高沸点留分を含むようになることが認められ、ブレッドマニホールドでは一種の平衡空気蒸留が行なわれることが知られた。

改質ナフサに TEL あるいは TML を添加した試料について燃料分離を伴う混合比の変化が燃料のノック性に及ぼす影響を調べた。鉛の定量分析によって、実験した運転条件においては燃焼室へ吸入された燃料の鉛濃度は気化器へ供給した燃料の鉛濃度に対して、TEL では約 30%, TML では約 120% であることが認められた。またこの実験における TEL と TML の燃焼室へ吸入される低沸点留分とブレッドマニホールドで分離される高沸点留分への分配量は平衡フラッシュ蒸留の式を用いて計算した値とほとんど一致することが示された。

TEL, TML 以外の各種の混合アルキル鉛についても実験を行ない、燃料分離のあるときの各アルキル鉛の相互間の相対評価は単位量あたりの効果の大きさと実際の分配量によって決まることを確かめた。

参 考 文 献

- 1) Cooper, D.E., Courtney, R.E., Hall, C.A., *SAE Trans.*, 67, 619 (1959).
- 2) Masterman, D.M.A., Potter, E.B.V., Skull, A., Sprake, C.H., *Proc. Fifth World Petroleum Congress, Section VI*, 115 (1959).
- 3) Bartholomew, E., *SAE paper*, 285 A (1961).
- 4) Perry, R.H., DiPerna, C.J., Heath, D.P., *Proc. API, Section III*, 547 (1962).
- 5) Maxwell, J.B., "Data Book on Hydrocarbons", (1950) D. Van Nostrand Co. Inc., New Jersey.