論文

運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究(1)

ノック限界圧縮比に及ぼすエンジン運転条件の影響*

山崎毅六** 森 利淳*** 前田 耕**** 高取武夫***

The Effects of Operating Conditions of the Engine on Antiknock Properties of Gasolines (1) The Effects of Engine Operating Conditions on Incipient Knock Limited Compression Ratios*

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

Summary : The antiknock properties of light naphtha under various operating conditions of the CFR engine were investigated by incipient knock limited compression ratios. The occurrence of knock was detected from the characteristic trace of dp/dt vs. time of the cylinder pressure displayed on the cathode ray oscilloscope by piezo type pick up.

It was concluded that the incipient knock limited compression ratio was an efficient means to compare antiknock properties of some stock components of gasolines and effects of antiknock additives. The performance of the CFR engine was also discussed.

1 はしがき

ガソリンのノック性は燃焼室内を火炎面が伝わるのに要する時間、すなわち火炎速度と火炎前面における未燃焼の末端ガスの自発着火遅れとの競合によって律せられるものである。したがって同じガソリンのノック性はエンジンの諸元および運転条件によって当然変化する。

ノック性の比較には一般にオクタン価の尺度が用いられ、実験室計測には CFR エンジンがもっぱら用いられているが、ガソリンのノック性、ノック抑制添加剤などの研究においてオクタン価をそれぞれ計測し検討することは時間および経費を要するために簡単には行ない難い。

ここでは、探知しうるノック現象の起り始めるノック限界圧縮比を CFR エンジンによって検出し、ガソリンのノック性とエンジン運転条件との関係を求め、所定の標準ノック強さに基づくオクタン価との関係を検討するとともに CFR エンジンの性能を明らかにすることを目的とした。すなわち燃焼室内圧力の時間に対する変化率、 dp/dt 線図を陰極線オシロスコープで観測し、最初にノック性異常燃焼を示す運転条件を決定し、それによってガソリンのノック性に対するエンジン運転条件の影響を標準エンジンである CFR エンジンについて確かめたものである。

2 実験装置および実験方法

2.1 エンジンの運転条件

ガソリンのノック性に影響する因子は数多いが、ここでは CFR エンジンを用いて実験を進める都合でその中から 1) 回転数、2) 点火時期、3) 混合気温度、4) 混合比、5) 冷却液温度および 6) 混合気絞り度の 6 種を選び、それぞれの運転条件がノック限界圧縮比へ及ぼす影響を求めた。

実験に用いた CFR エンジンはモーターオクタン価測定用エンジンに直流電気動力計を直結し 600 rpm から 1,200 rpm の回転数範囲で運転できるようにしたものである。吸入空気量の測定には丸型ノズルを用い、吸入混合気の絞り弁には仕切型を用いた。指圧計は水晶圧電子型を用いた。潤滑油温度は $57 \pm 5^\circ\text{C}$ とした。吸入空気温度および湿度は調節しなかった。

2.2 ノックの検出

ノック時における末端ガスの急激な燃焼による高周波のガス振動に直接関係する圧力の変化率 (dp/dt) をオシロスコープで観測した。その記録の一例を図 1 に示す。A はノックのない状態であり、しだいに圧縮比を高くすると B でノックが始まり C を経て D で耳に聞えるノックとなる。E はさらに圧縮比を上げてノックを強くした場合である。ノックの振動数はこの場合約 6,000 cps である。F は E と同じ運転条件における指圧線図でノックは E におけるほどははっきりしたものではなく、ノックの検出には dp/dt 線図のほうが適していることを示している。そこでノックの振動の現われ始めた点を初期ノックときめ、このときの圧縮比をノック限界圧縮比とした。

図 2 はモーター法にしたがって 65 オクタン価の正標準燃料を用いたときの標準ノック強さにおける dp/dt および指圧線図

* 昭和 38 年 4 月 10 日受理

** 東京大学航空研究所, Aeronautical Research Institute, University of Tokyo.

*** ゼネラル石油株式会社, General Sekiyu K.K.

**** 日本鉱業株式会社 中央試験所, Central Research Laboratory, Nippon Mining Co., Ltd.

である。図1の記録と比較してこの標準ノックはかなり強いノックであることがわかり、指圧線図にも激しいガス振動がみられる。運転条件によるが、標準ノック強さを示す圧縮比は初期ノックの圧縮比よりも1.0~1.5高く、また耳に聞えるノックを発生する圧縮比よりも0.5~1.0高い。

2.3 ノック限界圧縮比

エンジンの燃焼は各サイクルでかなりの変動を伴うものであり、初期ノックの状態ではサイクルごとにノックが繰り返し発生しているわけではない。したがって初期ノックはこれらの変動を平均化して観測されたものでなければならない。この実験ではエンジンの圧縮比を変えながら dp/dt 線図を目測して平均し、ノック限界圧縮比を求めた。測定値はサイクルおよび運転条件の変動あるいは観測の誤差などによってばらつくが、ほぼ正規分布となりその精度は圧縮比5の付近で ± 0.01 、7.5の付近で ± 0.03 となった。したがって精度は十分であると考えられる。

ここに述べた方法で求めたノック限界圧縮比からリサーチオクタン価を推定できる。すなわち正標準燃料のオクタン価とノック限界圧縮比の関係をリサーチ法運転条件において求めておき、試料のノック限界圧縮比を測定してオクタン価を推定する。その一例は次のとおりでかなり正しい値を示す。

試料	リサーチオクタン価	推定オクタン価
改質ナフサ	91.5	91.0
3.0 ml TEL/gal 加鉛ナフサ	99.2	99.0

3 運転条件の燃料のノック性への影響

3.1 回転数、点火時期および混合気温度の影響

エンジンの回転数、点火時期および混合気温度を変えて、それらが軽質ナフサのノック性におよぼす影響を調べた。条件範囲として、回転数 600~1,200 rpm、点火時期 5~35° BTDC、混合気温度 50~150°C、冷却液温度 100°C、混合比 13.0~13.5 を選んだ。用いた軽質ナフサの性状を表1に示した。

表1 軽質ナフサ性状

比	重	15/4°C	0.6851
リード蒸気圧	kg/cm ²	0.83	
蒸留性状			
初留点	°C	35	
5% 留出点		44	
10% "		48.5	
50% "		84	
90% "		121	
95% "		135	
終点		149	
T.D. %		98.5	
Residue %		0.5	
Loss %		1.0	
FIA 分析			
飽和炭化水素%		95.9	
不飽和炭化水素%		1.5	
芳香族炭化水素%		2.6	
リサーチオクタン価		58.9	
モーターオクタン価		55.6	

3.1.1 回転数の影響
回転数とノック限界圧縮比の関係を示したものが図3~6である。回転数の影響は点火時期と混合気温度によって異なるが、一般に回転数の増加に比例してノック限界圧縮比は上昇しノック性は小さくなる。燃焼室内の火炎速度が回転数の増加につれて上昇し、その上昇率が末端ガスの自発着火遅れ時間の減少率よりも大きいために図に示されたような結果を示すと考えられる。

図3 エンジン回転数の影響 (1)

図4 エンジン回転数の影響(2)

図5 エンジン回転数の影響(3)

図6 エンジン回転数の影響(4)

図3~6にはノック限界圧縮比における指示平均有効圧が示してあるが、回転数の上昇にしたがって圧縮比が高くなっているために充テン率の低下による出力の減少が補われていることが認められる。回転数および吸入空気温度による充テン率の変化を図7に示す。CFR エンジン是一般のエンジンに比べて指示馬力に対し摩擦馬力の占める割合が著しく大きいことは図8

から明らかである。定圧縮比における摩擦馬力と回転数の関係は図9に示してある。図中で空気とあるのは燃焼させなかったときの測定値である。

3.1.2 点火時期の影響

点火時期とノック限界圧縮比との関係を示したのが図10~12である。ノック限界圧縮比はそれぞれの回転数および混合

図7 充テン率

図8 ノック限界圧縮比における出力
吸入混合気温度 50°C 点火時期 15° BTDC

図9 摩擦馬力

図10 点火時期の影響(1)

図11 点火時期の影響(2)

図12 点火時期の影響(3)

気温度についてある点火時期で最低値を示し、最高出力点火時期付近かそれよりも進んだ位置にある。点火時期が進むにつれて末端ガスの温度および圧力は高くなって^{2,3)}、自発着火遅れ時間は短くなり、一方において火炎速度は回転数、混合気温度、燃料についてある点火時期で最大値を示す¹⁾。点火時期とノック限界圧縮比の関係はこの両者の効果で決まり、一般に点火時期の遅れているときには火炎速度は小さいが、末端ガスの自発着火遅れ時間がそれを補う以上に長いためにノック性が小さくなると考えられる。

3.1.3 混合気温度の影響

図13~16は混合気温度とノック限界圧縮比との関係を示したものである。これらの図から明らかなように混合気温度の影響は点火時期によってかなり異なる。点火時期25°と35°BTDCの場合には混合気温度が上昇するにつれてノック限界圧縮比は一樣に低下しており、充テン率の低下よりも混合気温度上昇による末端ガスの自発着火遅れ時間の減少の効果が大きいことによると考えられる。点火時期5°と15°BTDCでは混合気温度が高いときにある回転数を越すとノック限界圧縮比が上昇するが、これは点火時期が遅れたために回転数および混合気温度上昇による充テン率の低下が末端ガスの自発着火遅れ時間を長くするように働くためと考えられる。

3.2 混合比の影響

回転数900 rpm, 点火時期25°BTDC, 混合気温度50°C, 冷却液温度100°Cにおいて混合比とノック限界圧縮比の関係を求めたのが図17であり、定圧圧縮比4.0における混合比と出力の関係が図18である。一般にノック限界圧縮比は最大出力混合比よりも希薄な混合比において最低値を示し、その混合比は回転数、点火時期、燃料によって異なってくる。火炎速度は、この実験条件では最大出力混合比付近で最大となり、それよりも希薄なあるいは過濃な混合比では低下すると考えられるが¹⁾、いずれの場合も末端ガスが温度低下により²⁾自発着火遅れ時間が長くなることの影響が大きく、ノック限界圧縮比が上昇すると思われる。

3.3 冷却液温度の影響

図13 混合気温度の影響(1)

図14 混合気温度の影響(2)

図15 混合気温度の影響(3)

図16 混合気温度の影響(4)

エンジン回転数 900 rpm 点火時期 25°BTDC
混合気温度 50°C

図17 混合比の影響

エンジン回転数 900 rpm 点火時期 22°BTDC
混合気温度 50°C 圧縮比 4.0

図18 混合比と出力

点火時期 15°BTDC
図 19 冷却液温度の影響

混合気温度 50, 100, 150°C において、それぞれ冷却液温度を 70, 100, 108°C に変えて実験した結果が図 19 である。冷却液温度の影響は混合気温度の効果と同じ傾向となることが認められる。混合気温度 50°C では冷却液温度による末端ガスへの冷却効果の差が明らかに現われているが、混合気温度が高くなるにしたがって、その影響の小さくなることが示されている。

3.4 絞りの影響

気化器と混合気加熱器との間に絞り弁を取り付け、その開きを変えてノック限界圧縮比を求めた結果が図 20 である。吸入混合気量を絞るとノック限界圧縮比は高くなりノック性が小さくなることが示されている。絞りによって圧力は低下し、それによる火炎速度の変化はあるが、末端ガスの自発着火遅れ時間の長くなる影響が大きいことによりノック限界圧縮比が上昇す

図 20 絞りの影響

ると考えられる。

4 まとめ

燃焼室内圧力の変化率線図をオシロスコープで観測して、初期ノックを定義し、それを基準とするノック限界圧縮比によってエンジンの運転条件が燃料のノック性へおよぼす影響を求めた。ここに得られた結果は相当に強いノックを標準として求められた実験結果と同様の傾向を示すことが明らかになった。したがってここで定めた初期ノックによって運転条件あるいは燃料の性状とノック性、ノック抑制添加剤の効果などを解析してもさしつかえないことが示された。また、CFR エンジンの性能をあわせて検討した。

参考文献

- 1) Bouchard, C.L., Taylor, C.F., Taylor, E.S., *SAE J. (Trans.)*, **41**, 514 (1937).
- 2) Livengood, J.C., Taylor, C.F., Wu, P.C., *SAE Trans.*, **66**, 683 (1958).
- 3) Gluckstein, M.E., Walcutt, C., Acles, R.R., *SAE Paper No. 201 F*, (1960).