

報 文

ガソリンエンジンのノック制御

東京職業訓練短期大学校 中 村 哲 寿

Knock Reduction of Spark-Ignition Engines by Fuels

Tetuju Nakamura

要 約 近年、自動車用ガソリンエンジンは高出力化傾向にあり、ターボ過給、スーパーチャージャおよびDOHC機構などにより容積効率の増大を計っている。すなわちガソリンエンジンでは空燃比が同一であれば図示出力は吸入空気量（容積効率）に比例するためである。そこで、ガソリンエンジンにおける出力向上の最大の障害は負荷の増大によって発生するノックであると言われている。この現象を改善するために種々の対策が考察されてきた。そのノック回避策の中でもノックセンサを用いて、ノックの発生を感知すると同時に点火時期をノック発生直前の状態まで遅角させる点火時期遅角法が一般に広く用いられている。しかし、この点火時期遅角法は燃料消費率が悪化する欠点をもっている。そこで、ノックを燃料により防止するには高オクタン価ガソリンを用いることである。最近アルキレート配合による無鉛プレミアムガソリンが高性能ガソリンとして発売されている。そこで本研究はオクタン価の異なる無鉛レギュラーガソリンとプレミアムガソリンについて点火時期を変化させた場合においてノック制御効果とエンジン諸性能について比較、検討した結果、無鉛プレミアムガソリンはレギュラーガソリンと比較して、ノック発生の点火時期を進角させることができるためノック制御には有効であると同時に点火時期遅角法と比較した結果、燃料消費率も向上させることができることを確認した。

I まえがき

ガソリンエンジンにおける出力向上の最大の障害は負荷の増大によって発生するノックであると言われている。ノックによる障害としては衝撃力による部品の損傷と境界層の破壊による各部品の温度上昇による焼付きである⁽¹⁾。この現象を改善するために種々の対策が考案されてきた。その中でもノックセンサを用いて、ノックの発生を感知すると同時に点火時期をノック発生直前の状態まで遅角させる点火時期遅角法が一般に広く用いられている。しかし、この点火時期遅角法は燃料消費率を悪化させる欠点をもっている。

一般にガソリンエンジンの出力と熱効率を向上させるには圧縮比を高くすることが有効な方法であるが、圧縮比を10以上とした場合にはノックが発生する。そこでノックを燃料の種類により防止する方法としては高オクタン価ガソリンを用いて対応してきた。しかし、高オクタン価ガソリンである有鉛ガソリンには四エチル鉛等が添加されていることと、排出ガス規制などの理由によりガソリンは無鉛化とされたためにオクタン価は低下し、

燃料によるノック防止が困難となった。

しかし、最近ではアルキレート配合による無鉛高オクタン価ガソリンが高性能ガソリンとして発売され、この種の燃料を用いることによって、出力、加速性の向上、燃焼性能の安定及び耐ノック性の改善を期待することができる。一般に、JIS規格では無鉛レギュラーガソリンのオクタン価は89（リサーチ法）以上で、無鉛プレミアムガソリンの場合は96以上である⁽²⁾。

そこで、本研究は4サイクルガソリンエンジンを用いて、オクタン価の異なる無鉛レギュラーガソリンとプレミアムガソリンについて、点火時期を変化させた場合におけるノック制御効果とエンジン諸性能に及ぼす影響について比較、検討した。その結果、無鉛プレミアムガソリンはレギュラーガソリンに比べて点火時期を進角させることができると同時に燃料消費率を改善することができたので報告する。

II 実験装置及び実験方法

供試機関は空冷4サイクル単気筒、汎用エンジンであり、その主要諸元を表1に示す。

表 1 供試機関諸元

Engine Type	4-Stroke Cycle Gasoline Carbureted MITSUBISHI G8M
Cooling System	Air (Water)
Number of Cylinder	1
Cylinder Bore x Stroke	95x72 mm
Displacement Volume	510 ml
Compression Ratio	5.5:1 (8.5:1)
Combustion Chamber	Recard
Valve Arrangement	Side Valve
Rated Output	8.09kW / 3400 rpm
Rated Torque	25.0Nm / 2200rpm
Inlet Valve	Opened 16 deg bt/dc Closed 56 deg ab/dc
Exhaust Valve	Opened 56 deg bb/dc Closed 16 deg at/dc

() 内はエンジン改造後の諸元を示す

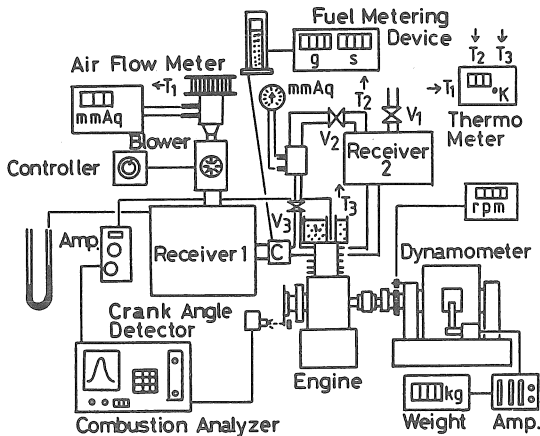


図 1 実験装置概要

このエンジンの動弁機構は側弁式(サイドバルブ)、燃焼室形状はリカルド形であるため、圧縮比は5.5と低い値である。ノックの発生を容易にするためシリンダヘッドを平鋼材から研削し、圧縮比を5.5から8.5に高めるとともに冷却方式を空冷式から水冷式に変更して実験をおこなった。

実験装置の概要を図1に示す。エンジンと電気動力計は平行変位、角度変位の少ないギヤカップリングで接続した。エンジンとレシーバ1(100L)は圧力振動の影響を避けるために太くて、短いダクトで接続した。吸入空気量はレシーバ1の上部に取付けた層流型流量計とデジタルマノメータで差圧を測定し、算出した。層流型流量計による圧力損失がエンジン性能に影響を及ぼすことのないように送風機を用いて、レシーバ1内の圧力を常に実験時の大気圧と等しくなるようにコントローラにより調整した。正味出力は電気動力計の側面から取り出したレバーの先端に取付けたロードセルとアンプによりレシオ荷重を測定し、回転速度との積で求めた。点火方式はマグネット式からフライホイールに取付けた点火信号用のピックアップによるフルトランジスタ式に変更し、

点火時期を調整可能とした。

シリンダ内インジケータ線図は圧電式圧力交換器、チャージアンプ及び燃焼解析装置(小野測器製 CB 366)により採取・解析した。

実験に使用した燃料はオクタン価(リサーチ法)90.5のレギュラーガソリンとオクタン価98.3のプレミアムガソリンである。

実験は上記の2種類の燃料を用いて、標準仕様のシリンダヘッドにより点火時期を変化させて、全負荷運転を行った場合のエンジン性能とシリンダ内インジケータ線図を採取した。

次に、高圧縮比型シリンダヘッドを用いて、回転速度一定で、負荷と点火時期を変化させた場合のノック発生領域を見出し、点火時期遅角法と燃料の種類によるノック制御効果及びエンジン諸性能を測定した。更に、ノック発生状態におけるシリンダ内インジケータ線図を採取し、燃焼状態を解析した。なお、ノックの評価は官能法とした。

III 実験結果及び考察

図2は標準仕様のシリンダヘッドとレギュラーガソリンを用いて、点火時期を3種変化させて全負荷運転を行った場合のエンジン性能曲線である。正味出力 N_e は

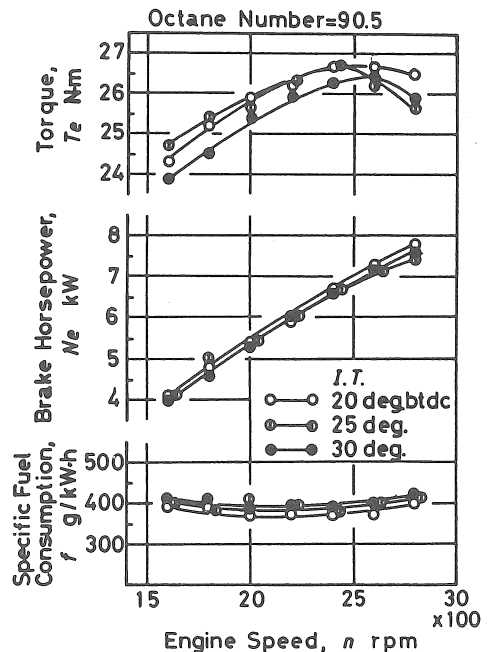


図2 標準仕様のエンジン性能曲線(レギュラーガソリン使用)

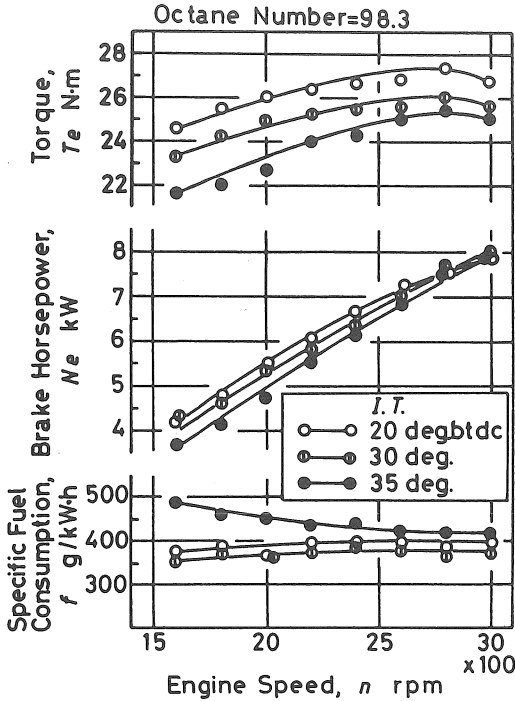


図3 標準仕様のエンジン性能 (プレミアムガソリン使用)

回転速度 n の増加とともに増大し、点火時期による影響は少なく、最高回転速度で約7.6kW (10.3PS) を示した。軸トルク T_e は回転速度とともに増大するが、いずれの点火時期でも $n=2500$ rpm 付近で最大トルクを示し、それ以上では低減している。燃料消費率 f は低速域、高速域で多少悪化の傾向が見られるが、いずれも $n=2200$ rpm 付近で最小値を示し、点火時期による影響はあまり見られない。

図3はプレミアムガソリンを用いた場合のエンジン性能曲線である。正味出力は回転速度とともに増大するが、レギュラーガソリンとほぼ同じ値を示している。軸トルクはいずれの点火時期でも $n=2800$ rpm において最大値を示すが、点火時期 $I.T.=20$ deg btdc が全回転速度域において、他の点火時期より大きい値を示している。燃料消費率は20deg btdc、30deg btdc が全回転速度域にわたり、ほぼ一定であるのに対し、点火時期35deg btdc の場合は低速域で特に悪化し、燃焼状態が悪いことを表している。これは点火時期が進角しすぎているためと思われる。図2のレギュラーガソリンと比較すると最大トルクが高速域に移り、燃料消費率が多少、改善されたことになる。

図4は図2のエンジン性能において、回転速度 $n=2400$ rpm 一定におけるシリンダ内P-V線図を示したものである。点火時期を進角させると最大爆発圧力 P_{max} は上昇し、圧力上昇率 $dP/d\theta$ も大きくなる。図示平均有効圧 P_{mi} は進角するにつれて大きくなっている。このP

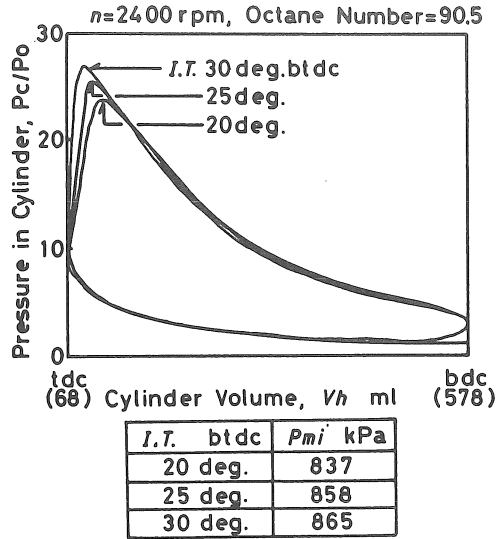


図4 標準仕様のシリンダ内インシ° ケータ線図 (レギュラーガソリン使用)

V線図とエンジン性能曲線からレギュラーガソリンの場合の最適点火時間は約25deg btdc と思われる。

図5は同様にプレミアムガソリンのシリンダ内P-V線図を示す。点火時期を進角させると最大爆発圧力は上昇し、30deg btdc において最大値を示しているが、35deg btdc では低下し、早すぎる点火時期によるノックを誘発していることが想像できる。また、図示平均有効圧 P_{mi} は進角するにつれて増大し、30deg btdc で最大値を示しているが、35deg btdc では点火時期が早すぎるた

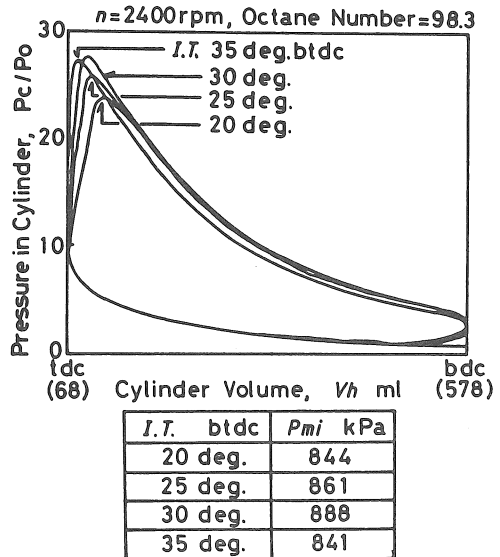


図5 標準仕様のシリンダ内インシ° ケータ線図 (プレミアムガソリン使用)

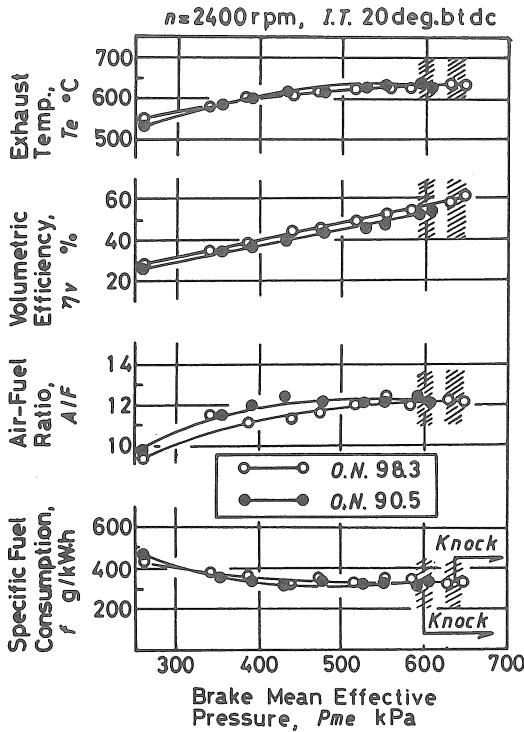


図 6 (A) 高圧縮比型シリンダヘッドを用いて燃料を変化させた場合のエンジン性能とノック領域

めに低減している。同一点火時期 (30deg btdc) において、図 4、5 を比較するとプレミアムガソリンの図示平均有効圧は大きな値をとり、出力向上に寄与していることがわかる。

図 6 (A)~(C) は高圧縮比型シリンダヘッドを用いて、回転速度一定 ($n=2400\text{rpm}$)、点火時期固定 (20deg btdc、25deg btdc、30deg btdc) でプレミアムガソリンとレギュラーガソリンを使用した場合の燃料消費率 f 、空燃比 A/F 、容積効率 η_v 及び排気温度 T_e を正味平均有効圧 P_{me} をパラメータとして示したものである。図中の矢印はノック領域を示す。点火時期 20deg btdc の図 (A) の場合、負荷 (正味平均有効圧) を増大させるとノックはレギュラーガソリンでは $P_{me}=600\text{kPa}$ ($6.12\text{kgf}/\text{cm}^2$) から発生し、プレミアムガソリンでは 630kPa ($6.42\text{kgf}/\text{cm}^2$) から発生した。更に、負荷が増大するとノックの強度は増すが $P_{me}=650\text{kPa}$ 以上ではノック現象が激しいため測定不可能であった。燃料消費率は低負荷では悪化するが、 $P_{me}=400\text{kPa}$ ($4.08\text{kgf}/\text{cm}^2$) からノック発生領域まではほぼ一定である。容積効率は負荷の増大とともに増加し、ノック発生領域では約 60% と低い値を示している。これはエンジンの特性 (側弁式) に起因するものである。また、空燃比、排気温度とも低負荷域を除

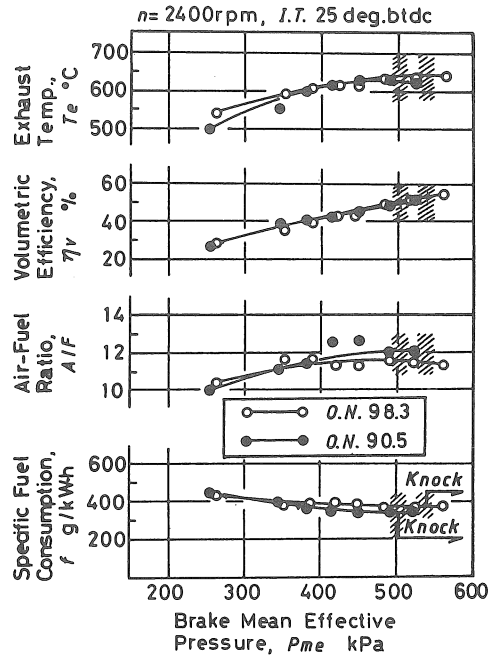


図 6 (B) 高圧縮比型シリンダヘッドを用いて燃料を変化させた場合のエンジン性能とノック領域

きノック発生領域まではほぼ一定となっている。それ故、レギュラーガソリンとプレミアムガソリンを比較した場合、プレミアムガソリンはエンジン性能に悪影響を及ぼすことなく、ノック制御効果によって、より高負荷運転できることがわかる。

図 6 (B) の点火時期を 25deg btdc とした場合、点火時期を進角させたためにノックはレギュラーガソリンでは $P_{me}=500\text{kPa}$ ($5.1\text{kgf}/\text{cm}^2$) から、プレミアムガソリンでは $P_{me}=540\text{kPa}$ ($5.51\text{kgf}/\text{cm}^2$) から発生し、点火時期を進角させるとノックの発生する負荷が低下することがわかる。この場合でも図 6 (A) と同様にプレミアムガソリンはノック制御に有効であることを示している。

図 6 (C) の点火時期を 30deg btdc とした場合、ノックの発生する負荷はますます低下し、レギュラーガソリンでは $P_{me}=460\text{kPa}$ ($4.69\text{kgf}/\text{cm}^2$)、プレミアムガソリンでは $P_{me}=490\text{kPa}$ ($5.0\text{kgf}/\text{cm}^2$) となった。

いずれの図においても、レギュラーガソリンとプレミアムガソリンのノック発生時の正味平均有効圧の差は各点火時期において、ほぼ一定であり、ノック発生時の正味平均有効圧は進角するにつれて低下すること、更には、その時のエンジン性能特性はほぼ同じ値を示すことがわかった。

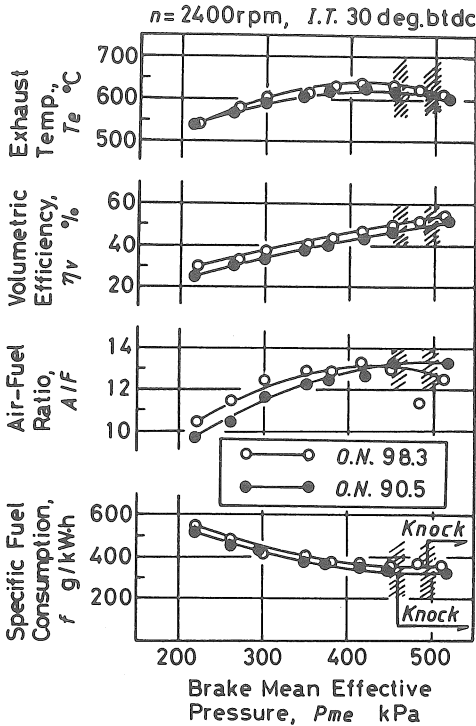


図6(C) 高圧縮比型シリンダヘッドを用いて燃料を変化させた場合のエンジン性能とノック領域

図7は図6(A)~(C)のノック発生領域に含まれる回転速度 ($n=2400\text{rpm}$)、正味平均有効圧 $P_{me}=520\text{kPa}$ (5.3kgf/cm^2)一定で、レギュラーガソリンとプレミアムガソリンの2種の燃料を用いて、点火時期を遅角した場合にエンジン諸性能にどのような影響を及ぼすかについて調べた結果である。点火時期を遅角させた場合、レギュラーガソリンでは約 21deg btdc からノックが消滅するのに対して、プレミアムガソリンでは約 26deg btdc から消滅し、プレミアムガソリンはノック制御に効果があることがわかる。排気温度は燃料による影響はなく、ほぼ同じであるが、点火時期を遅角させるとわずかに上昇する。プレミアムガソリンの場合、容積効率は進角側で図示出力の増大によりレギュラーガソリンより大きくなるが、遅角側では効果がないためレギュラーガソリンより小さくなっている。燃料消費率は点火時期を遅角させるとわずかに悪化するが、プレミアムガソリンとレギュラーガソリンとはノック発生時において、ほぼ同じ値を示し、燃料による影響は見られない。それ故、ノックを発生させないために点火時期を遅角させるよりはプレミアムガソリンを用いて、ノック発生直前まで点火時期を進角させた方が燃料消費率を向上させることができると思われる。

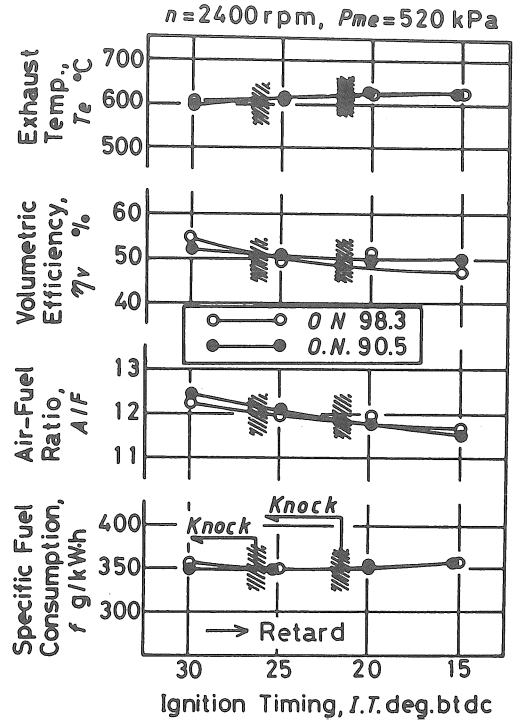


図7 点火時期遅角がエンジン性能に及ぼす影響

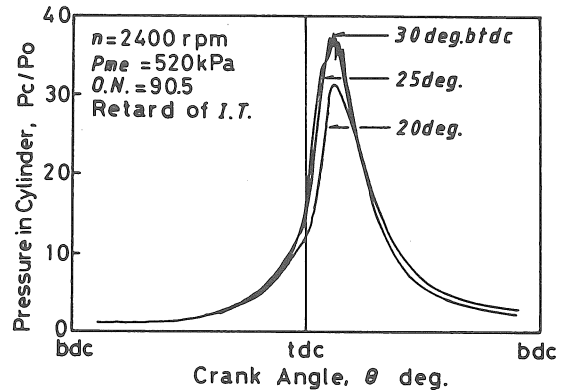


図8 点火時期遅角におけるシリンダ内圧力の差異 (レギュラーガソリン使用)

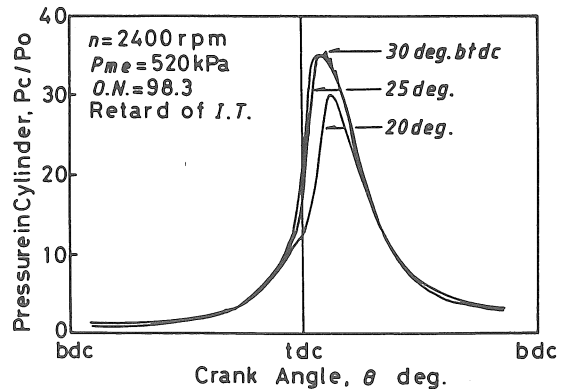


図9 点火時期遅角におけるシリンダ内圧力の差異 (プレミアムガソリン使用)

図 8 は図 7 に対応させてレギュラーガソリンを用い、ノックを回避させた場合のシリンダ内圧力を示したものである。ノックが回避されている 20deg btdc の最大爆発圧力は低下し、最大圧力の位置は上死点後にわずかに移動しているのに対して、25deg btdc、30deg btdc の場合には最大爆発圧力、圧力上昇率とも大きくなって明確なノック現象を示している。

図 9 は図 8 同様にプレミアムガソリンを用いた場合のシリンダ内圧力を示している。点火時期の遅角とともに最大爆発圧力は低下し、その位置も上死点後に移動し、圧力上昇率も低下してノックを回避しているが、25deg btdc の場合はプレミアムガソリンのノック発生領域が 26deg btdc であることを考慮すると、ノック発生直前の状態であるため最大爆発圧力が高くなったものと思われる。また、30deg btdc においては最大爆発時に圧力振動が生じ、ノック現象の生じていることが確認できる。

以上の結果により、点火時期遅角によるノック制御効果は最大爆発圧力の低下と圧力上昇率の減少によることが確認できた。

IV 結 言

4 サイクルガソリンエンジンを用いて、高負荷域において発生するノックを回避するためにオクタン価の異なる 2 種の燃料を用いて実験をおこなった。また、従来から用いられている点火時期遅角法によるノック制御効果についても実験をおこなった結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 点火時期遅角法はノック制御に対して有効な方法であるが、燃料消費率が悪化する。
- (2) 無鉛プレミアムガソリンはレギュラーガソリンと比較して、ノック発生の点火時期を進角させることができるためノック制御には有効であり、点火時期遅角法を比べると燃料消費率も悪化させることがない。
- (3) 無鉛プレミアムガソリンはレギュラーガソリンと比較して、同一回転速度において点火時期を進角させることができるため、図示平均有効圧は向上する。
- (4) 各点火時期における部分負荷運転で、レギュラーガソリンとプレミアムガソリンを比較した場合、燃料消費率その他のエンジン性能において差はみられない。

最後に本研究に対して終始協力いただいた当時の学生、第13期生 伊藤祐司、中村 剛の諸君に感謝する。

文 献

- (1) 渡部英一：内燃機関工学、実教出版 1980年 P152-154
- (2) JIS K-2202-1988 自動車用ガソリン