

# 点火方式変更によるガソリンエンジンの燃焼改善(第2報)

平島 繁紀\*・藤田 幹広\*\*

## Combustion improvement of the gasoline engine with a new ignition method (Part.2)

Shigeki HIRASHIMA \* and Mikihiro FUJITA \*\*

### Abstract

The internal combustion engine encounters serious social problems such as the fuel consumption, atmospheric and environmental pollution by exhausts from engines. In the first report, we reported the effect of combustion improvement by a new ignition method DDI(Direct Discharge Ignition), however, the effect of SG(Spark Gap) remains unknown with the DDI method. So we adopted a hand-made spark-timing controller which can lead to finding relation between the best spark timing and SG for the DDI method. The experimental results show that the best spark timing exists for the DDI method, and it has the possibility of combustion improvement.

*Key Words* : Internal combustion engine, Ignition, Combustion, Exhausts, Direct Discharge Ignition

### 1. 諸言

現代社会において内燃機関は、排出ガスによる大気汚染問題や公害問題、化石燃料の枯渇など深刻な社会問題に直面している。そこで本研究は、従来の点火方式に比べ低排出ガス、低燃費を実現する新たな点火方式を考案し燃焼改善を試みる事を目的としている。

第一報では、従来の点火方式 (CON 方式) とダイレクトスパーク方式 (DDI 方式) を比較し、DDI 方式において一定の燃焼改善の効果をえた。<sup>1)</sup> しかし、第一報では、DDI 方式における SG(スパークギャップ)の拡大に伴う燃焼改善の効果まで確認することができなかった。そこで、第二報では、第一報までの実験条件に加え、更に実験条件を拡大するため主に、機械的に固定であった点火時期制御を任意に設定可能とする点火時期制御装置の製作を行い実験条件の拡大を試みた。その結果、燃焼室内における最適な点火位置を設定することができ燃焼改善に至る可能性があると言う知見が得られたのでここに報告する。

### 2. DDI方式の特徴

CON 点火方式は、接地電極を有するスパークプラグにより混合気に点火し燃焼させる方式である。これに対し DDI 方式では、中心電極のみのスパークプラグを用いてピストンヘッドを接地電極とするものである。<sup>2)</sup> 燃焼室内に突き出した中心電極とピストンヘッドの間に形成されるスパークにより火花核を形成、混合気に点火し燃焼させる点火方式である。

第一報では、DDI 方式において燃焼室内を縦断する火花によって混合気へ点火させることで一定の燃焼改善の効果をえた。この燃焼改善の効果は、DDI 方式の燃焼室内を縦断する火花、すなわち、CON 式で発生する火花より DDI 方式の火花の方が混合気へ接する面積が広く着火性が向上したことに起因することが考えられる。<sup>3)</sup>

\* 機械工学科 ( Department of Mechanical Engineering )

\*\* 専攻科生産工学専攻 2 年

( Advanced Production Engineering Course, 2nd grade )

### 3. 第一報からの変更点

#### 3-1 スパークギャップ (SG)

第一報では、DDI 方式におけるスパークギャップ (SG) を実験条件として設定 1.0mm、設定 1.5mm と設定していた。この SG はピストンの変位と中心電極の位置のみを考慮した値であり、実際にはシリンダーヘッドとシリンダーブロックの間にガスケット (1.0mm) があるためガスケットの厚みをたした値が実際の SG となる。第二報では、SG をガスケットの厚みを考慮した値とする。

#### 3-2 実験装置の改良

DDI 方式において、更なる燃焼改善を試みるため実験装置の改良を行った。主な改良点としては、点火装置に点火時期制御装置を加え、これに伴いイグニッションコイル等変更を加えた。後述に詳細を記す。

### 4. 点火時期制御と点火位置

#### 4-1 点火時期と SG

スパークプラグを有するエンジンでは、燃焼状態と点火時期には密接な関係がある。通常、自動車などのエンジンには、エンジンの負荷、回転数に最適な点火時期に変更できる点火時期制御装置 (ESA : Electronic Spark Advance など) を使用している。

本研究で使用するエンジンは、市販の発電機を改良したものであるため点火時期を自在に変更することが難しい。点火時期を自在に変更可能であれば、DDI 方式において、SG の設定をより広くできるため更なる燃焼改善の可能性がある。

第一報では、SG 設定 2.0mm において、一定の燃焼改善効果を得ている。しかし、SG 設定 2.5mm においては、燃焼改善効果を得るまでには至らなかった。理論上では、SG を広く取れば取るほど、火花と混合気の接触面積が増え着火性が向上すると考えられる。混合気への点火は火花放電によるものなので、放電の限界を超えるとエンジンの運転が難しくな

る。そこで、SG の拡大は、放電の限界を超えない事が絶対条件である。

第一報における点火時期制御は、機械的に設定するため正確性に欠ける。よって、正確な点火時期制御を行うことでSG設定 2.5mm において結果が得られると考えられる。

4-2 燃焼室内における点火位置

点火時期制御を 360 度刻みに設定可能とすれば、燃焼室内における点火位置（火花を発生させる位置）を任意に変更することが出来る。第二報では、燃焼室内において点火位置が燃焼状態に与える影響を確認する。以下に SG の算出方法を示す。

クランク角度とピストンの変位 X の関係

$$X = r\{1 - \cos\theta + 1/4\lambda(1 - \cos 2\theta)\}$$

- X: 上死点からのピストン変位
- r: クランク半径
- θ: クランク角度
- λ: 連接棒長さ L / クランク半径 r

よって、実際のスパークギャップ (SG) は

$$SG = X + G$$

G: ガスケットの厚み

表 1 に各点火時期における SG と点火位置の関係を示す。

表 1 点火時期と SG の変位

点火時期 θ (deg)	変位 X	SG 設定 (ガスケットの厚みを含む)		
		- 0.5mm	0mm	0.5mm
5	0.09	1.09	1.59	2.09
6	0.13	1.13	1.63	2.13
7	0.17	1.17	1.67	2.17
8	0.22	1.22	1.72	2.22
9	0.28	1.28	1.78	2.28
10	0.35	1.35	1.85	2.35
11	0.42	1.42	1.92	2.42
12	0.50	1.50	2.00	2.50
13	0.59	1.59	2.09	2.59
14	0.68	1.68	2.18	2.68
15	0.79	1.79	2.29	2.79
16	0.89	1.89	2.39	2.89
17	1.01	2.01	2.51	3.01
18	1.13	2.13	2.63	3.13
19	1.25	2.25	2.75	3.25
20	1.39	2.39	2.89	3.39
21	1.53	2.53	3.03	3.53
22	1.67	2.67	3.17	3.67

5. 点火時期制御装置の製作

前述で述べたように、点火時期制御が燃焼状態に与える影響は大きい。本研究で使用しているエンジンは、点火時期を自在に変更することが難しい。そこで、点火時期を自由に設定可能とするため、点火時期制御装置を製作した。図 1 に点火時期制御装置の概観を示す。

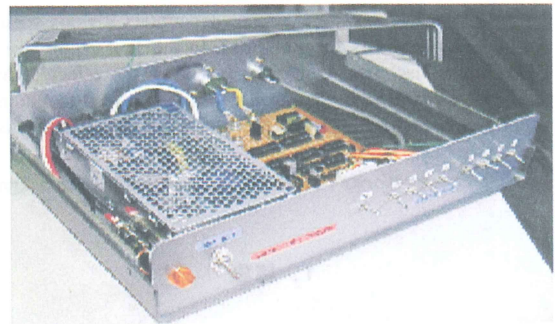


図 1 点火時期制御装置

今回製作した点火時期制御装置は、ロータリーエンコーダー (RE) からクランク角信号を検出し、カウンタICを通し、トグルスイッチによって点火時期を変更可能とするものである。

この点火時期制御装置は、点火時期の設定可能な領域が 360° と広く様々な点火時期における燃焼状態の観測が可能である。また、火花を発生させる電圧を従来のマグネット式点火時期制御では、エンジンの誘導コイルにて発生させていた。これに比べ、製作した点火装置はエンジンと別に電源をとるため安定した点火が可能となった。

点火装置に点火時期制御装置を加えるため、イグニッションコイル、プラグコード、外部抵抗などの必要に応じて実験装置の改良を行った。図 2 に点火時期制御装置のブロック図を示す。

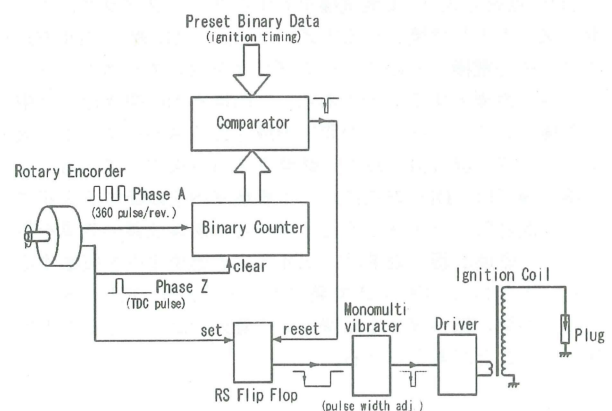


図 2 点火時期制御装置回路図

6. 実験方法

今回の実験では、実験項目を3項目設定し実験を行う。各実験において、実験目的、実験方法を以下に記す。

① SG変更実験

第一報では、主にCON方式とDDI方式について比較を行ったがDDI方式における実験条件は少ない。そこで、SG変更実験では、SGの設定を変更し実験を行うことでDDI方式における最適なSGを決定することを目的とする。

本実験では、主に排出ガス成分、燃料消費時間を測定する。排出ガス成分の測定は、マフラーと測定装置をつないでCO、HC、を測定する。燃焼消費時間は10ccの消費時間を測定する。

② 点火位置変更実験

今回着目する点火位置の変更は、製作した点火時期制御装置を使用することで可能となった。最適なSGを固定し点火時期を変更することにより最適なSGを保持したまま点火位置を変更することができる。

点火位置を変更することにより、燃焼室内の中央又は、上部付近、下方付近での点火が可能である。今回の実験では、DDI方式において3種類の点火位置が異なる条件を再現し燃焼改善へ効果を確認することを目的とする。

図3に点火位置を変更した場合の燃焼室内の模式図を示す。

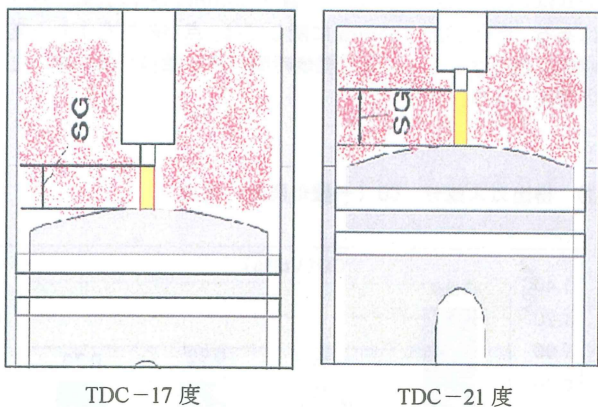


図3 点火時期変更後の燃焼室内

従来のDDI方式は、点火時期TDC(上死点)-17度においてスパークプラグを引き上げることによりSGを設定していた。表1に示す様に、従来のDDI方式の点火位置を0mmと設定し他の点火位置を決定する。点火位置を0.5mm引き下げたTDC-21度を設定-0.5mm、点火位置を0.5mm上昇引き上げたTDC-12度を設定0.5mmとする。

実験方法は、SG変更実験と同様に、排出ガス成分、燃料消費時間に加え燃焼室内圧力を測定する。燃焼室内圧力は、シリンダーヘッドに取り付けた圧力ピックアップより取り込みロータリーエンコーダーから読み取られるクランク角とあわせてP-θ線図を作成する。また、得られた燃焼室内力を元に熱発生率、熱効率を求める。

③ 燃焼状態比較実験

CON方式とDDI方式において、DDI方式は燃焼状態が良いと推測される。しかし、この推測は、あくまで排出ガスや熱効率などのデータを元に推測したものである。そこで、試作したアクリル製シリンダーヘッドを使用し、CON方式とDDI方式の燃焼状態について実験を行う。

7. 実験装置

実験装置の概略図を図4に示す。エンジンの出力軸は発電機のローター軸と直結されており、発電機に電気負荷を加えることでエンジンの負荷運転を行う。また、発電機の軸末端にロータリーエンコーダーを取り付け、クランク角信を得る。排気管の途中にはA/F計を取り付け、気化器による運転時の空燃比値をモニターできるようにしている。

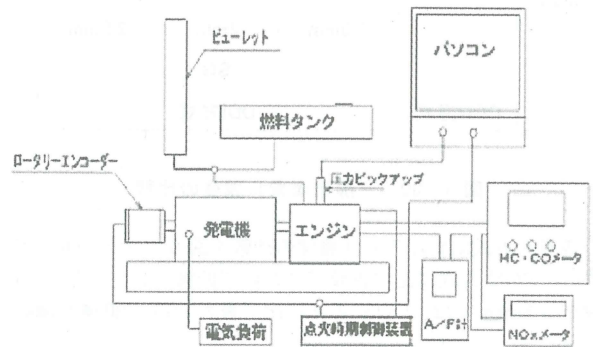


図4 実験装置概略図

8. 実験結果及び考察

8-1 SG変更実験結果

SG変更実験では、CON方式、DDI方式において、空燃比A/F14、無負荷運転時について実験を行い、その結果について考察を行う。

① 排出ガス成分 HC (未燃炭化水素) 濃度

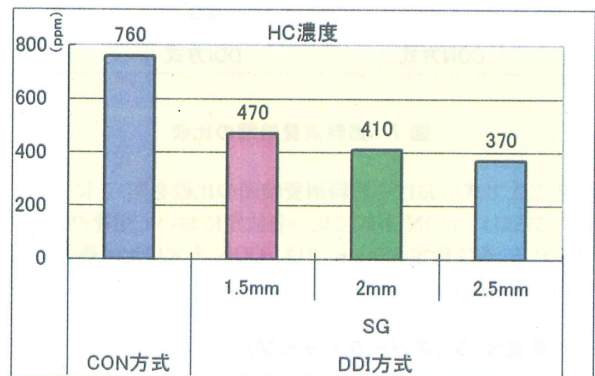


図5 HC (未燃炭化水素) 濃度の比較

各点火方式における HC 濃度の比較を図 5 に示す。DDI 方式は、CON 方式に比べ各設定において低減されている。SG 設定 2.5mm では、CON 方式に比べ最大 51%の低減を確認した。SG 設定は、設定したギャップが広い程低減率が高い。しかし、2.5mm 以上は放電が限界を超えるため SG 設定 2.5mm 以上は困難である。

① 排出ガス成分 CO (一酸化炭素) 濃度

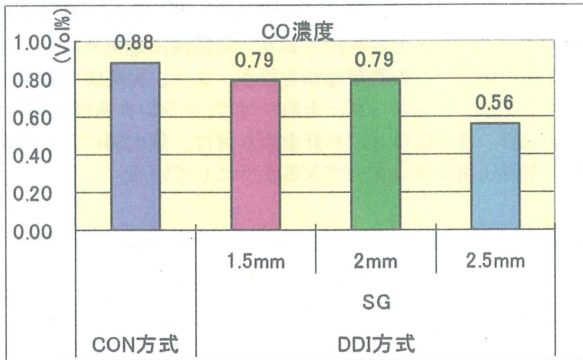


図 6 CO (一酸化炭素) 濃度の比較

各点火方式における CO 濃度の比較を図 6 に示す。DDI 方式は、CON 方式に比べ各設定において低減されている。SG 設定 2.5mm では、CON 方式に比べ最大 36%の低減を確認した。

② 燃料消費時間

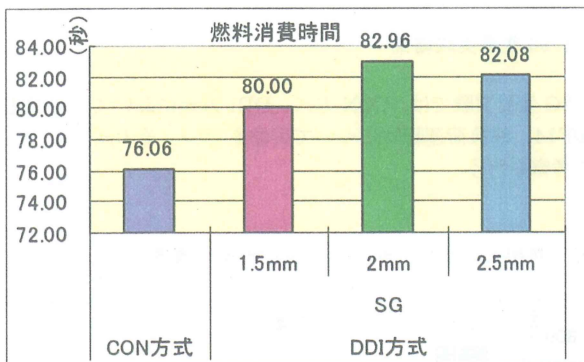


図 7 燃料消費時間の比較

各点火方式における燃料消費時間の比較を図 7 に示す。DDI 方式は、CON 方式に比べ各設定において燃費の向上が見られる。SG 設定 2.0mm では、CON 方式に比べ最大 10%の向上を確認した。

・ 最適な SG (スパークギャップ)

各点火方式において、排出ガス成分である HC、CO、更に、燃料消費時間の比較を行った。その結果、SG 設定 2.5mm の

設定が低減率、向上率を合わせると最も燃焼改善の効果が大きいと考えられる。よって、DDI 方式における最適な SG を 2.5mm とする。

7-1 点火位置変更実験

点火位置変更実験では、CON 方式、DDI 方式において、空燃比 A/F14、負荷運転時について実験を行い、その結果について考察を行う。

① 排出ガス成分 HC (未燃炭化水素) 濃度

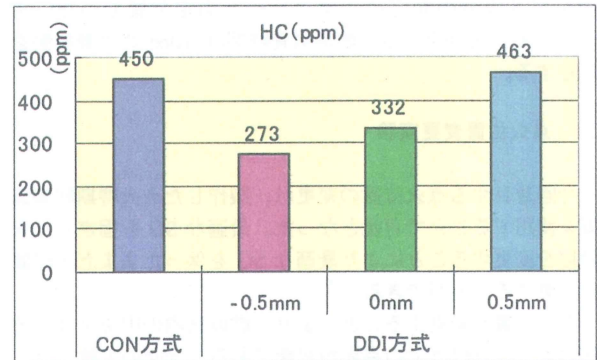


図 8 HC (未燃炭化水素) 濃度の比較

各点火方式における HC 濃度の比較を図 8 に示す。DDI 方式は CON 方式に比べ点火位置 +0.5mm 以外は低減の傾向にある。点火位置 +0.5mm に関しては、点が時期をより上死点側に近づけたことにより燃焼時間が短く燃料が燃え残ったと考えられる。

② 排出ガス成分 CO (一酸化炭素) 濃度

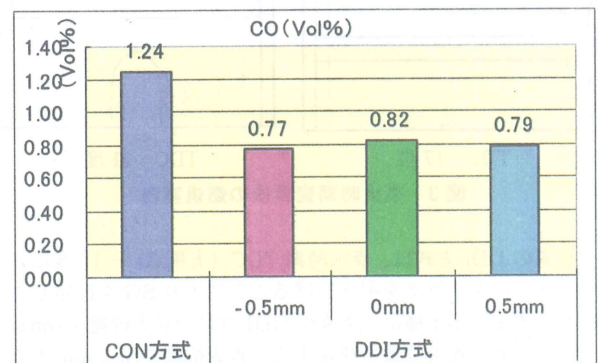


図 9 CO (一酸化炭素) 濃度の比較

各点火方式における CO 濃度の比較を図 9 に示す。DDI 方式は CON 方式に比べ、各点火位置において低減の傾向にある。点火位置 -0.5mm においては従来の DDI 方式である点火位置 0mm より低減を確認した。

③ 燃量消費時間

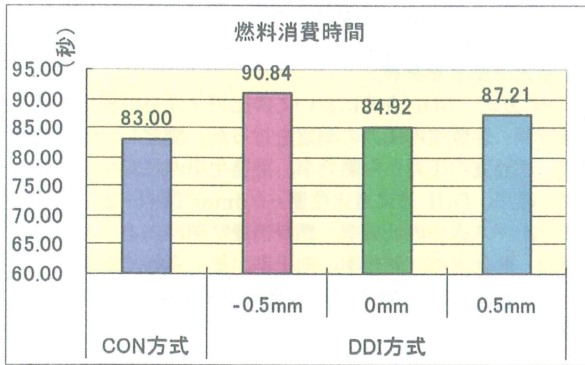


図10 燃料消費時間の比較

各点火方式における燃料消費時間の比較を図10に示す。DDI方式は、CON方式に比べ各設定において燃費の向上が見られる。点火位置-0.5mmにおいては、CON方式に比べ最大9%の向上を確認した。

① 熱効率

表2 熱効率の比較

	CON方式	DDI方式		
		プラグ引き上げ量		
		-0.5mm	0mm	0.5mm
熱効率 (%)	13.2	14.45	13.51	13.96

各点火方式における熱効率の比較を表2に示す。DDI方式はCON方式に比べ、各点火位置にて熱効率の向上が見られる。しかし、向上率は少なく改善の余地があると考えられる。

② 燃焼室内圧力

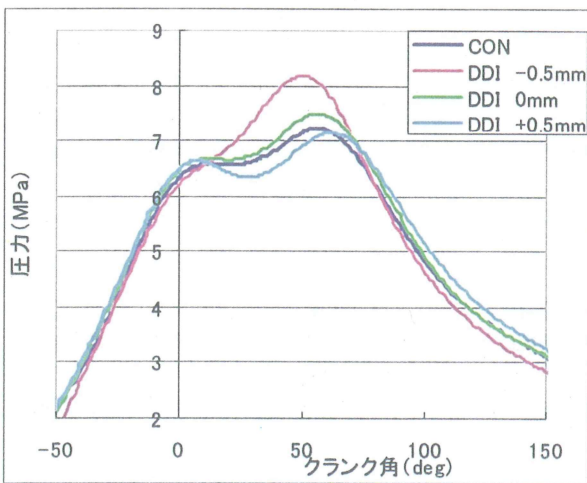


図11 燃焼室内圧力の比較

各点火方式における熱発生率の比較を図11に示す。DDI方式において、点火位置+0.5mmを除く条件はCON方式と比べ高い圧力を示している。

DDI方式点火位置-0.5mmにおいては、圧力の上昇傾向や最大圧力など他の条件と比べ良好であると言える。

③ 熱発生率

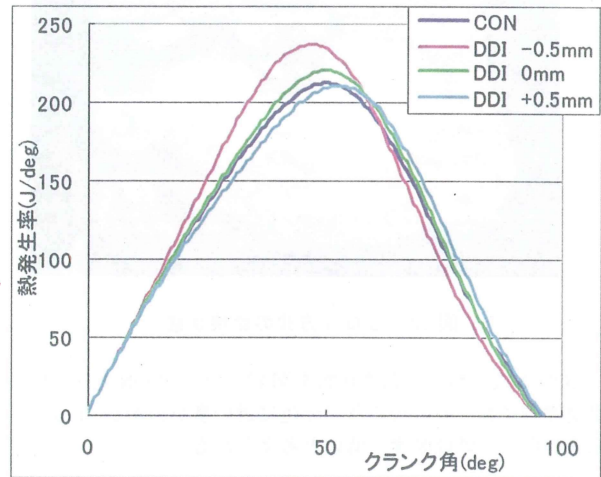


図12 熱発生率の比較

各点火方式における熱発生率の比較を図12に示す。DDI方式はCON方式に比べ、各点火位置にて熱発生率の上昇する傾向が見られる。

DDI方式点火位置-0.5mmにおいては、熱発生率の上昇傾向や最大値など他の条件と比べ良好であると言える。点火位置+0.5mmにおいては、熱発生率の最大がクランク角で10度ほど遅くなっている。

・ 最適な点火位置

各点火方式において、排出ガス成分であるHC、CO、更に、燃料消費時間、燃焼室内圧力、熱発生率、熱効率の比較を行った。その結果、点火位置設定-0.5mmにおいて低減率、向上率を合わせると最も燃焼改善の効果が大きいと考えられる。

点火位置を引き上げるにより、燃焼室の上部付近からの燃焼開始より点火位置を引き下げ中央部からの燃焼開始の方が良好であると言える。点火位置を引き上げると、点火後に火炎が伝播する時間が十分に取れないため熱効率の向上につながらないと考えられる。

7-1 燃焼状態比較実験

燃焼状態比較実験では、燃焼室内の燃焼状態を確認するためアクリル製シリンダーヘッドを使用する。空燃比 A/F14、無負荷状態にて実験を行い、その結果について考察を行う。

燃焼室内の透視性を向上させるため、更に、加工の容易さを考慮して材質にはアクリルを選択した。しかし、運転中の燃焼室は、かなりの高温になるためアクリル製シリンダーへ

ッドでは長時間の運転に耐えることができない。よって、エンジンはあらかじめアルミ製シリンダーヘッドを使用し、暖機運転を行った直後にアクリル製シリンダーヘッドへ交換するものとする。

### ① CON方式における燃焼状態



図 13 CON方式の燃焼状態

CON方式における燃焼状態を図13に示す。CON方式では、燃焼室内における火炎の色が赤色に近い事がわかる。よって、火炎の色から燃焼温度が低いと考えられる。

### ② DDI方式における燃焼状態

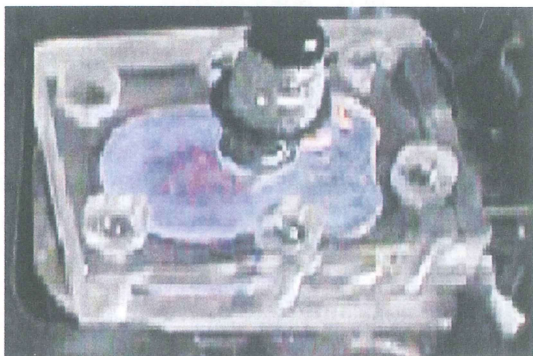


図 14 DDI方式の燃焼状態

DDI方式における燃焼状態を図14に示す。DDI方式では、燃焼室内における火炎の色が青色に近い事がわかる。よって、CON方式と比べDDI方式の方が燃焼温度が高く燃焼状態が良好であると考えられる。

今回の燃焼状態比較実験は、実験条件として無負荷運転時の燃焼状態である。無負荷状態にて、各点火方式の違いが明確ある。よって、負荷運転時においては、より燃焼状態の違いが確認できるのではないかと考えられる。

以上の3項目の実験結果をまとめ、考察を行う。

### ① SG変更実験

CON方式、DDI方式において排出ガス成分の測定、燃料消費時間の測定を行った。DDI方式においては、実験条件としてSG(スパークギャップ)に1.5mm、2.0mm、2.5mmの設定差を設け実験を行った。

この結果、DDI方式SG設定2.5mmにおける排出ガス成分の低減率、燃料消費時間の向上率が最も良好であった。よって、DDI方式における最適なSGを設定2.5mmとする。

### ② 点火位置変更実験

CON方式、DDI方式において排出ガス成分の測定、燃料消費時間、燃焼室内圧力の測定を行った。測定した燃料消費時間、燃焼室内圧力から熱効率、熱発生率の解析を行った。

この結果、DDI方式点火位置 $-0.5\text{mm}$ (TDC $-21$ 度)における排出ガス成分の低減率、燃料消費時間の向上率、燃焼室内圧力、熱発生率、熱効率の向上率が最も良好であった。よって、DDI方式における最適な点火位置を設定 $-0.5\text{mm}$ とする。

### ③ 燃焼状態比較実験

CON方式、DDI方式においてアクリル製シリンダーヘッドを用いて実験を行った。CON方式とDDI方式における燃焼状態の違いを火炎の色より確認することができた。

## 8. 結言

今回の報告をまとめると以下の通りである。

第一報から引き続き、DDI方式においてSG変更実験を行った。その結果、DDI方式における最適なSG(スパークギャップ)を決定することができた。

更なる燃焼改善を試みるため、実験条件の拡大を行った。多様な実験条件を設定するために、新しく点火時期制御装置を製作した。この製作した点火時期制御装置を用いることにより、点火時期を任意に設定することが可能となった。

製作した点火時期制御装置を用いて、点火位置変更実験を行った。その結果、DDI方式における最適な点火位置を決定することができた。

アクリル製シリンダーヘッドを用いて、燃焼状態比較実験を行った。その結果、各点火方式において燃焼状態の違いを確認することができた。

## 9. 謝辞

今回の研究にあたり、DDI方式エンジンヘッドの加工をお願いした本校、機会工学科浅尾教員、ならびに、点火時期制御装置の製作をお願いした電気電子工学科加島教員に感謝を申し上げる。実験に際して本科生の鈴木君、宅見君に協力を頂いた。

## 10. 参考文献

- 1) 平島, 梅原: 「点火方式変更によるガソリンエンジンの燃焼改善 (第1報)」, 北九州工業高等専門学校研究報告, 第39号, p1-6
- 2) 平島, 橘ほか: 「内燃機関の点火方式変更による燃焼改善」, 内燃機関, 第29巻, 367号, p83-87, 山海堂
- 3) S.Hirashima, E.Yamaguti, T.Tachibana, Ignition by Direct Discharges on Piston Head in The Lean Burn Natural Gas Engines, Proceedings of The Second JSME-KSME Thermal Engineering Conference 1992, Vol.2, p187-190

(2007年10月12日 受理)