A212 画像処理による点火プラグの火花形態と 点火エネルギーの解析

鹿児島大院 平湯 貴邦○ 日本自動車部品総合研究所 吉永 融
鹿児島大 矢野 利明・鳥居 修一・水迫 久俊・久保 隆光

An Analysis of the Spark Morphology and Ignition Energy of the Spark Plug
by Image Processing

Takakuni HIRAYU*, Tohru YOSHINAGA**, Toshiaki YANO*, Shuichi TORII*,
Hisatoshi MIZUSAKO* and Takamitsu KUBO*

The purpose of this study is to clarify the relation between the discharge energy and the luminance strength at ignition plugs. The discharge phenomena were taken using CCD camera and recorded on video tape. The image data obtained here were analyzed through the image processing, which was able to extract the luminance strength information, so called RGB-value. The discharge energy increased linearly with the pressure in combustion chamber. It was found that an increase in the discharge energy induces the higher luminance of B-value. In other words, the color of spark at the higher pressure in combustion chamber becomes paler with an increase in the discharge energy.

1 緒言

これまで、火花放電とりわけ点火プラグを用いた研究において、電極形状の相違による火炎核成長機構等の観察⁽¹⁾⁽²⁾は数多く行われているが、火花それ自体の観察はあまりなされていない。それは、放電現象が極めて微小な時間内に生ずる現象であり、観察が困難だからである。そのため、火花放電能力を簡易に判断する場合、人の目で火花の太さ、明るさを観察し、経験を頼りに火花の強弱を定性的に判断する事などが行われてきた。本研究の目的は、この定性的に判断してきたものを定量的に把握しようとするものであり、本実験では、一般的な撮影機器（CCDカメラおよび8 mm ビデオカメラ）で撮影した火花映像を画像処理装置により画像処理することによって、火花形態と火花の輝度値を求め、点火エネルギーとの関係を検討した。

2. 実験装置及び解析方法

今回の実験で使用した実験装置を Fig.1 に記す。点火プラグは、中心電極直径 1.2mm、火花ギャップ長 0.7mm のものを用いた。一次側の供給電圧を 12V、供給電流を 4A と一定にして、燃焼容器内の圧力を数段階に変化した。圧力を変化させることによって、火花放電が気中で絶縁破壊を起こすときの電圧であるブレイクダウン電圧が変化するため二次側の放電エネルギーを変化させることができる。放電電圧ならびに放電電流は、オシロスコープで観察・記録し、放電エネルギーを算出した。今回の実験においては、容器内圧力を 1～6 気圧の 6 段階に変化させ、その各々の条件のもとで約 400 回の放電現象を観察、撮影した。CCD カメラに

*Kagoshima University, 1-21-40, Koorimoto, Kagoshima

**NipponSoken. Inc., 14, Iwaya, Shimohasumi-cho, Nishio-shi, Aichi

よる撮影条件は、シャッタースピード 1/60 である。これは、各気圧下において火花放電が適切に撮影できているかを調べるための予備実験において、シャッタースピードを 1/100 以上に速くすると容器内圧力が 1.2 気圧の時の火花が光量不足で観察できなかったためである。撮影の際には、モニター上で電極が最大に映るように CCD カメラの位置を設定した。画像処理は ROI という処理範囲を設定して行った。Fig.2 に実際のプラグ先端での放電時の映像、Fig.3 に処理画面の設定領域の大きさを示す。今回の ROI 内には 3569 画素（ピクセル）が存在し、この ROI の大きさは、プラグ電極間における放電火花の発生位置が不規則に移動するため、全ての火花映像が収まるように設定した。ROI 内の画素数を度数と表現する。解析においては、この度数をパラメータとして用いた。今回の解析にあたり、各気圧毎に撮影された放電映像から任意に 30 回の現象を抽出した。それを画像処理装置に取り込み、各回の放電現象における輝度分布を求めた。それらの輝度分布から各気圧下における火花の RGB 値の特性を調べた。さらに、RGB 値々々における輝度分布のピーク値を求め、算出された放電エネルギー（容量成分と誘導成分）との比較、検討を行った。

3. 放電現象と火花形態

点火プラグの火花放電は 2 つの成分からなり、電極間にて絶縁破壊が起こった直後の火花である容量火花と、それに続く誘導火花が観察される。火花放電時の電圧波形の概略を Fig.4 に示す。容量放電電圧すなわちブレークダウン電圧 V_c と誘導放電電圧 V_i を用いてそれぞれ容量火花エネルギーと誘導火花エネルギーを次式より算出した。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Spark plug

Fig.3 Processable area of ROI

Fig.4 Discharge voltage wave

$$E_c = CV_c^2/2 \quad -①$$

$$E_i = \int V_i I_i dt \quad -②$$

ここで、 E_c は容量火花エネルギー、 E_i は誘導火花エネルギー、 C はコンデンサの容量、 I_i は誘導放電電流、 t は放電時間であり、一次側の供給エネルギー E_0 は、 $E_0 = E_i + E_c$ $-③$ で求められる。

4. 実験結果

容器内圧力を変化させたときの火花の輝度分布を Fig.5 に示す。今回の解析において輝度値 200 以下は背景とみなした。R 値と G 値は度数に差はあるがピーク値が 230 付近にあり類似している。B 値は、ピーク値である輝度がそれより高い位置にある。これらのことから、容器内圧力の増加に伴い火花が青白く見られ、すなわち放電エネルギーの増加は、火花の B 成分に影響することがわかる。それらは、4 気圧以上の条件のもとで見られ、3 気圧以下ではどの輝度成分も変化が見られない。

次に、RGB 各々の最大輝度分布をもつ輝度値を求め、放電エネルギーと比較した結果を Fig.6 に示す。放電エネルギーは式①、②に 5 気圧と 6 気圧の各値を代入し、コンデンサ容量を求め算出した。各放電における電圧値、電流値、放電時間等の測定結果を Table1 に示す。まず輝度値に関して、気圧の増加に対して、R 値はさほど変化せず、G 値は比例し、B 値は G 値に近似していることがわかる。また、3 気圧以下では最大輝度分布をもつ輝度値が、 $B > R > G$ であるのに対し、4 気圧以上では $B > G > R$ となっていることがわかる。また、各エネルギーに関して、容器内圧力の増加に伴い容量エネルギーは増加し、誘導エネルギーもいくらか増加の傾向にある。一次側の供給エネルギーは一定であり、容量エネルギーと誘

Fig.5 The luminance distribution of spark

導エネルギーは反比例するはずであるが、実測した結果では、圧力の増加に伴う誘導エネルギーの減少はみられない。輝度値では、B値が増加の傾向にありR、G値はあまり変動が見られないので、容量エネルギーはB成分に、誘導エネルギーはR、G成分に影響すると考えられる。式③より供給エネルギーを求め、容量エネルギーの比率を算出すると、40～50%の割合を示していた。理論上、容量エネルギーは供給エネルギーに対して、15～30%のはずであるから、今回の実験においては、容量成分をより多く保持する火花が観察されたことになる。このことから、容量エネルギーと輝度値のB成分に密接な関係があることが推測され、容量エネルギーを増加させると火花が青白く変化すると考えられる。

Table 1 Mesurments

Pressure in vessel	1atm	2atm	3atm	4atm	5atm	6atm
Induced voltage (kV)	0.10	0.13	0.15	0.17	0.21	0.26
Induced current (mA)	6.50	6.83	6.63	6.67	7.14	6.06
Induced discharge time (mS)	1.70	1.53	1.44	1.43	1.37	1.25
Induced energy (mJ)	0.55	0.66	0.71	0.82	1.01	0.78
Capacitive voltage (kV)	3.31	4.30	4.87	4.95	5.93	6.55
Capacitive energy (mJ)	0.32	0.54	0.70	0.72	1.03	1.26
Total energy (mJ)	0.87	1.20	1.41	1.54	2.04	2.04

5. 結言

点火プラグによる放電火花を撮影した映像の画像処理による解析と、同時に測定を行った放電成分の電圧値、電流値によって算出した放電エネルギーとの比較により、以下の知見を得た。

(1) 輝度値 200 以上で放電火花の特徴を捉えることが可能であり、容器内圧力の増加すなわち放電エネルギーの増加にともない、輝度成分に変化が観察される。特に、B成分が著しく増加する。

(2) 放電火花を容量成分と誘導成分に分類し、各々の放電エネルギーと輝度値を比較することにより、容量成分が放電火花のB成分の輝度に大きく影響する。

参考文献

- (1) Olsen, H.L., et al., 4th Symp. (Inter.) on Combustion, 1953. p.144.
- (2) 吉永・猪頭・河合・中村、自技会論文集、Vol 26.No2,1995-4,pp.11-15

Fig.6 The relation between the discharge energies and the luminance strength