

点火系統 2 次側静電容量が火花特性に及ぼす影響

阿 知 波 重 春

1 ま え が き

現在、自動車の点火装置は排気ガス浄化、省エネルギー化の要求に対応するために高性能化されているが、それと同時にその性能が長期にわたって安定していることも強く求められている。

しかし、自動車はさまざまな自然環境、運転条件のもとで使用されるので、構成部品の経年変化や水分、ほこりの付着などが起因して点火性能に影響を及ぼす可能性がある。

そこで今回、点火系統の 2 次側絶縁部に水分などが付着したときに起きる 2 次側静電容量の増加が、火花特性にどのような影響を与えるかについて実験を試みたので報告する。

2 実 験 方 法

図 2-1 に実験装置の概要を示す。点火装置は 1 次コイルの電流値がシャ断時に一定になる定電流制御式フルトランジスタ点火方式を用い 1 次側からの供給エネルギーを一定化した。

放電ギャップは実際のエンジンの点火プラグを用いると各燃焼サイクル毎の放電状態の変動が激しいので、6 mm の 3 針ギャップを使い常温、大気圧の条件下で実験を行った。

放電時のギャップ間の電圧、電流および放電継続時間の測定は放

電ギャップに接続した高電圧プローブと接地側回路に付けた抵抗からストレージオシロスコープに入力し SAE-J973a¹⁾ の定義にしたがって波形から各々の値を求めた。また、放電ギャップに並列に接続された静電容量の値は交流ブリッジを用いて測定した。

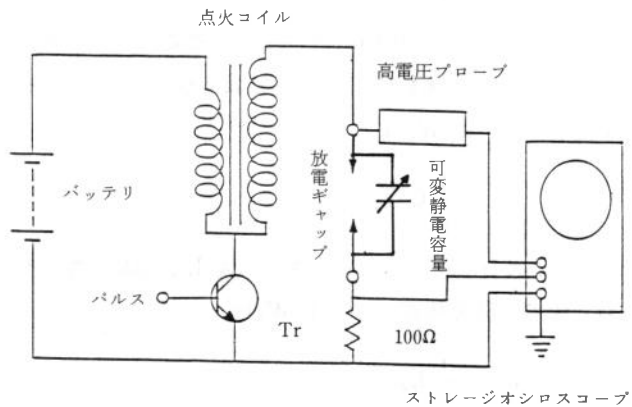
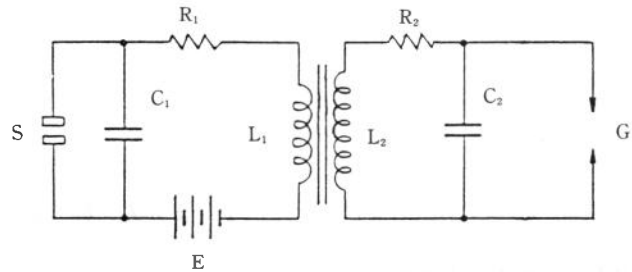


図 2-1 実験回路

3 理 論

点火装置の実際の動作は、鉄心を含む磁気回路の非線形性やコイルの分布定数の存在などの影響により精密な解析を行うことが困難である。ここでは簡略化した等価回路を使い、次のような仮定のもとで簡単な理論計算を試みる²⁾。

1. 放電ギャップ以外でのエネルギー損失はないものとする。また1次側の静電容量は無視する。
2. 点火コイルの1次コイル、2次コイル間は完全密結合で結合係数は1とする。また1次側から2次側へのエネルギー変換効率を100%とする。



E	バッテリー	L ₁	一次コイルインダクタンス
S	スイッチ	L ₂	二次コイルインダクタンス
R ₁	一次コイル抵抗	C ₁	一次回路静電容量
R ₂	二次コイル抵抗	C ₂	二次回路静電容量
		G	ギャップ

図3-1 点火系統等価回路

1次コイルに流れる電流をシャ断したときの値を I_1 、1次コイルのインダクタンスを L_1 とすると1次側から供給される電磁エネルギー W_1 は

$$W_1 = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 \tag{1}$$

で表され、これが2次側において容量放電エネルギー W_c と誘導放電エネルギー W_L に変換される。ここで2次回路の静電容量を C_2 、放電が開始されたときの放電ギャップ間の電圧を V_2 とすると容量放電エネルギー W_c は

$$W_c = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 \tag{2}$$

また、2次コイルのインダクタンスを L_2 、誘導放電が始まるときの2次回路の電流(放電電流)を I_2 とすると誘導放電エネルギー W_L は

$$W_L = \frac{1}{2} L_2 I_2^2 \tag{3}$$

したがって

$$W_1 = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2$$

これより、放電電流 I_2 は

$$I_2 = ((2W_1 - C_2 V_2^2) / L_2)^{1/2} \quad (4)$$

誘導放電中の放電ギャップ間の電圧(放電電圧) V_a が一定で、2 次回路の静電容量に流れる電流と 2 次回路の抵抗を無視し、さらに 1 次側からの影響もないものとすれば、図 3-1 の 2 次側の回路方程式は

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + V_a = 0 \quad (5)$$

この微分方程式を解けば

$$i_2 = -\frac{V_a}{L_2} t + C \quad (C \text{ は積分定数}) \quad (6)$$

ここで i_2 は誘導放電中の電流であるから初期値は I_2 となり

$$i_2 = -\frac{V_a}{L_2} t + I_2 \quad (7)$$

放電継続時間 T を誘導放電開始より $i_2 = 0$ になるまでの時間とすれば(7)式から

$$T = L_2 \frac{I_2}{V_a} \quad (8)$$

よって

$$T = \frac{1}{V_a} (L_2 (2W_1 - C_2 V_2^2))^{1/2} \quad (8')$$

また、誘導放電中に発生する火花エネルギー W_{SL} は

$$W_{SL} = \int_0^T V_a i_2 dt = \frac{1}{2} V_a I_2 T \quad (9)$$

で表される。

4 実験結果および検討

4-1 2 次側静電容量と放電電流の関係

放電ギャップの大きさを 6 mm に保ち、ギャップと並列に静電容量を付加したときの放電電流の変化のようすを図 4-1 ~ 図 4-2 に示す。付加した静電容量が 80 pF を越えるころから放電電流の値は直線的に減少を始め、容量値が 200 pF になると放

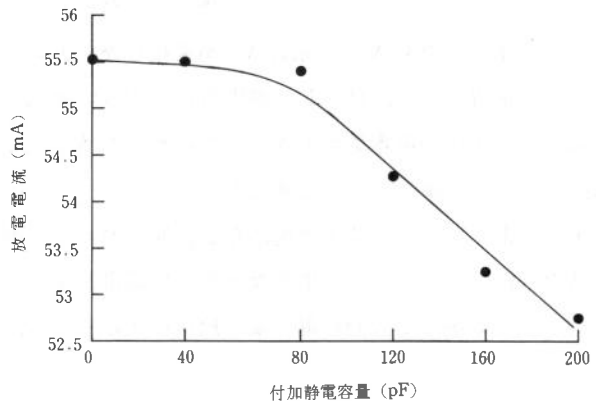


図 4-1 付加静電容量と放電電流

電流の値は、静電容量を付加していないときに比べて約5%減少している。

前述の(4)式によると、今回の実験のように1次側からの供給エネルギー W_1 と2次コイルのインダクタンス L_2 が一定のとき、ギャップと並列に静電容量を付加しても放電開始時の電圧 V_2 が変化しなければ、2次側静電容量の増加につれて放電電流の値は直線的に減少していくことになる。

しかし実験結果から見ると、付加する静電容量が小さい領域では必ずしもそうになっていないので、その原因について考察してみる。

図4-3は今回の実験中に観測された放電開始時の電圧 V_2 の値を示している。付加した静電容量が80pF以下の領域では電圧の変動が大きく、その値も比較的高い領域に分布していることがわかる。

一般に、放電ギャップに衝撃的な電圧を加えて放電を行わせるとき、電圧の立ち上がりやゆるやかな場合は比較的低い電圧で放電が始まり、立ち上がりや急になると放電開始の電圧が高くなるということが知られている³⁾。

したがって、今回も付加した静電容量が小さい領域では、2次側静電容量が小さいため当然電圧の立ち上がりや急になり、その結果放電開始時の電圧が高くなりばらつきも多くなったと考えられる。

そして、(4)式中の $C_2 V_2^2$ の項は V_2 が変化しないと考えたときよりも大きくなり、この影響によって放電電流の値が、付加した静電容量の小さい領域では図4-1のように小さめになった。

さらに、2次側静電容量が大きくなるにつれて V_2 が安定してくるので、放電電流の値は直線的に減少していく傾向になると考えられる。

現実の放電ギャップでは1次側から2次側へのエネルギー変換効率が100%でないこと、および2次回路の抵抗によるエネルギー損失など他の放電電流を減少させる要因が存在するので、減少の程度は大きくなるが、2次側静電容量と放電電流の関係は、ほぼ理論と同様の变化傾向を示すものと考えることができる。

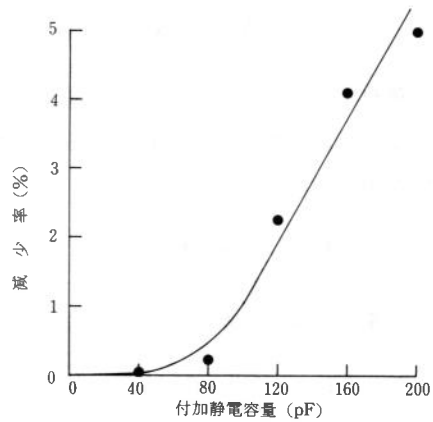


図4-2 付加静電容量と放電電流の減少率

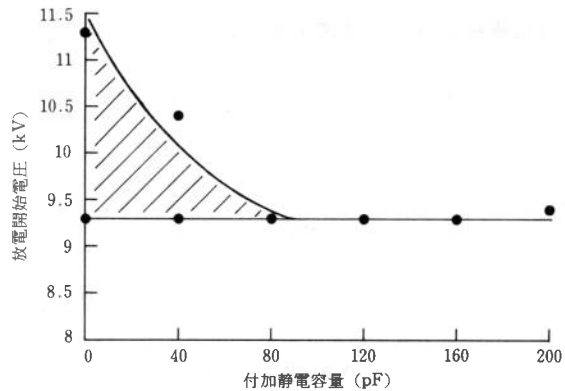


図4-3 付加静電容量と放電開始電圧

4-2 2次側静電容量と放電電圧の関係

図 4-4 ~ 図 4-5 に、放電ギャップに静電容量を付加したときの放電電圧の変化のようすを示す。付加する静電容量を大きくしていくと放電電圧は上昇していき、容量値を 200pF にすると放電電圧の値は、静電容量を付加していないときに比べて約 4% 増加している。

誘導放電中のギャップ間の電圧と電流の間には Ayrton 夫人の実験式が成立し、ギャップ長、電極材料が変わらなければ、電流が小さくなると電圧は上昇すると言われている⁴⁾。

今回の実験では SAE の定義により、放電継続時間が半分経過したときの電圧値を放電電圧 V_a としている。したがって、正確にはその時点での 2 次回路の電流値 $i_2 (t=T/2)$ を求めて検討しなければならないが、実験結果から見ると誘導放電開始時の電流（放電電流） I_2 と放電電圧 V_a との間にも同様な傾向があるものと考えられる。

よって、付加する静電容量を大きくしたときの放電電圧の上昇は、他の放電電圧の変化要因の条件が変わっていないことから、放電電流が減少した結果発生したものと考えられることができる。

4-3 2次側静電容量と放電継続時間の関係

図 4-6 ~ 図 4-7 に、放電ギャップに静電容量を付加したときの放電継続時間の変化のようすを示す。付加する静電容量を大きくしていくと放電継続時間は減少していき、容量値を 200pF にすると放電継続時間の値は、静電容量を付加していないときに比べて約 10% 減少している。

放電継続時間は、(8)式で明らかなように 2 次側静電容量の増加によって放電電流の値が減少すると短くなる。また、それと同時に放電電圧が上昇することによっても短くなる。したがって、2 次側静電容量と放電継続時間との関係は、両者の影響が重なり合い、それだけ減少する程度が大きくなることが推察される。

実験結果は、上述のような傾向をはっきりと示しており、前の 2 つの実験項目に比べて放電継続時間は大きく変化した。

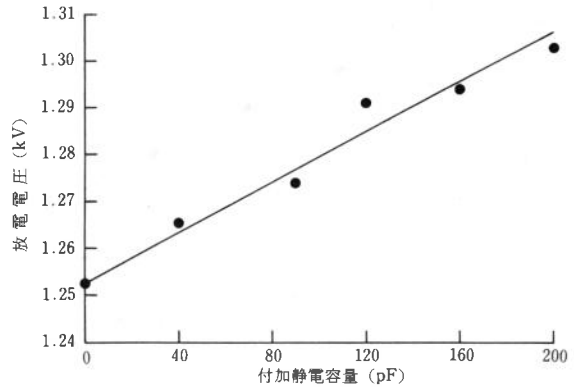


図 4-4 付加静電容量と放電電圧

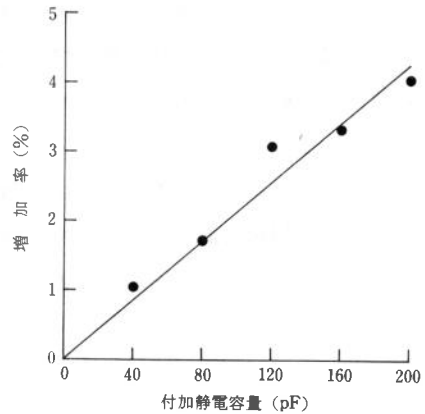


図 4-5 付加静電容量と放電電圧の増加率

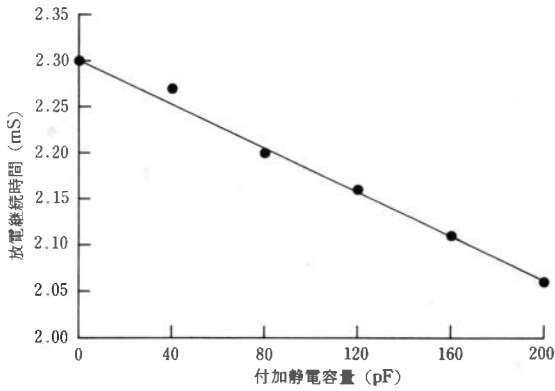


図 4-6 付加静電容量と放電継続時間

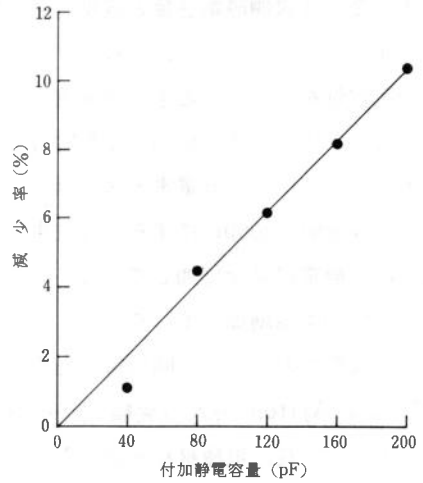


図 4-7 付加静電容量と放電継続時間と減少率

4-4 2次側静電容量と火花エネルギーの関係

図 4-8 ~ 図 4-9 に、放電ギャップに静電容量を付加したときの誘導放電中に発生する火花エネルギーの変化のようすを示す。付加する静電容量を大きくしていくと火花エネルギーは減少していき、容量値を200pFにすると火花エネルギーの値は、静電容量を付加していないときに比べて約11%減少している。

火花エネルギーは(9)式から計算によって求めたが、前述の実験結果を見ると放電電圧と放電電流の変化傾向はほぼ相殺しあっているので、火花エネルギーは主として放電継続時間の影響を受けて減少していくものと考えることができる。

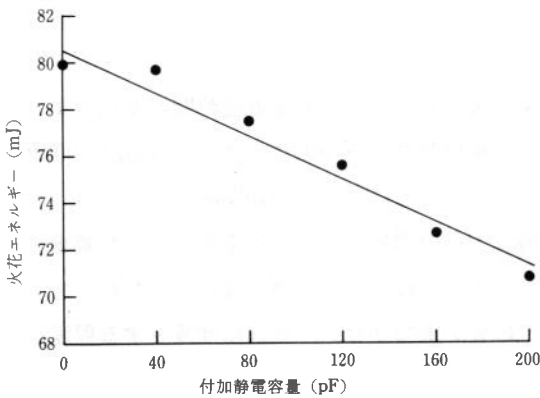


図 4-8 付加静電容量と火花エネルギー

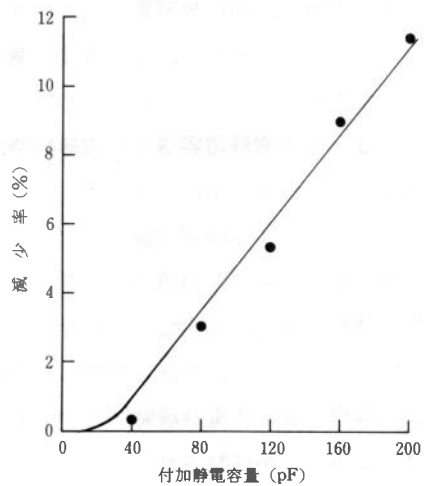


図 4-9 付加静電容量と火花エネルギーの減少率

5 ま と め

放電ギャップと並列に静電容量を付加して、点火系統の 2 次側静電容量を増加させた結果火花特性に次のような変化が起きることがわかった。

- (1) 2 次側静電容量を増加させると、放電電流は減少する傾向がある。
- (2) 2 次側静電容量を増加させると、放電電圧は増加する傾向がある。
- (3) 放電継続時間は 2 次側静電容量を増加させると、減少する傾向があるが放電電流と放電電圧の影響をともに受けるため減少する程度が大きい。
- (4) 2 次側静電容量を増加させると、放電電流と放電電圧は相殺する方向に変化しその変化量も放電継続時間に比べると小さいので、火花エネルギーは主として放電継続時間の影響を受けて減少する。

参 考 文 献

- 1) SAE Handbook ; Vol.2, P20 03 1987.
- 2) 儀満八郎；内燃機関用電気点火装置 内燃機関, Vol.18 No. 225, P54 1979.
- 3) 木下隆博；高電圧現象 オーム社, P185 1955.
- 4) 松井憲紀；電気点火 有隣堂, P107 1948.