

電極材料と飛火電圧の関係 （その1・予備実験）

大 塚 新 太 郎 ・ 織 田 勉

Relations between the Electrode Material and the Sparking Voltage (Part I . The Preliminary Experiment)

by Shintaro Otsuka, Tsutomu Oda

The sparking voltage of hemisphere electrode gap varies from the high irregular voltage at the beginning with clean hemisphere surfaces to the low stable voltage after several ten-thousands of sparks. The number of sparks required to arrive this stable voltage condition differs from one material to another, and at this situation was experimentally examined using materials easily obtainable as a first step.

1. ま え が き

点火栓の飛火の問題で、コイルの最高発生電圧 V_{2p} 〔飛火の行なわれないとき、コイル二次側に発生する最高電圧。通常のコイルでは(－)の電圧で、そのピーク値〕と飛火率SRの関係¹⁾（飛火率特性）、及び点火栓の代用として普通に用いられる三針ギャップの飛火率特性が、まったく性格が違うことから、代用ギャップとして半球形の二針ギャップ（球の半径3 mm程度）が良いという結果が得られた²⁾。

ところで、この代用ギャップの電極には純ニッケルを用いた。これは文献³⁾によって、消耗が比較的少なく、二次電圧波形の変化による飛火電圧の上昇（衝撃比）が比較的大きくないという結論に基づいたものであるが、実験中、電極の表面がきれいな状態では極めて火花が飛びにくく、これを飛びやすく安定な状態にするには数十分の予備的な飛火が必要であることが観測された。飛火現象は電極材料の影響が非常に多いことがこの文献³⁾に書かれているので、この飛びやすさの問題にも材料の影響は当然あるものと予測され、とりあえず手近な材料を用いて、上述の研究²⁾の結論に従って、主として先端が半球（ $r = 3 \text{ mm}$ ）の電極を製作して実験を行った。ただし折角の機会であるので、ついでに電極の先端曲率半径の影響も見るべく、ボールベアリング・ボールの球径の異なるものも用意して実験を試みた。

記 号

A : アンペア	m : ミリ又はメートル
C : 容量	n : 飛火回数
d : 電極直径	R : 抵抗
E_0 : 電源電圧	r : 電極先端半径
F : ファラッド	SR : 飛火率
H : ヘンリー	s : 秒
Hz : ヘルツ	t : 時間
i : 電流	V : ボルト
k : キロ	v : 電圧
L : インダクタンス	V_{2p} : 二次発生最高電圧
lg : ギャップ長*	μ : マイクロ
M : メグ	Ω : オーム

2. 実験装置と実験経過

図2-1に実験装置の概要を示す。使用したコイルは日立のC6R-632で、その二次発生電圧

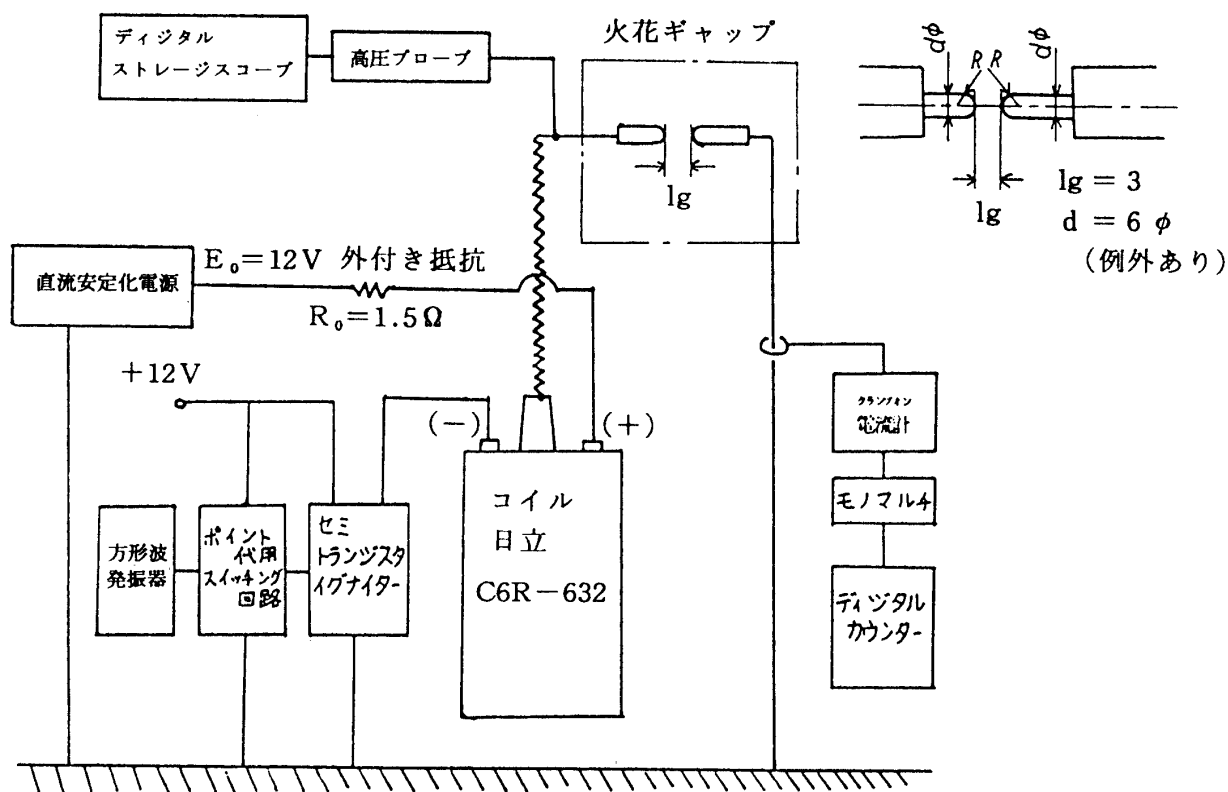
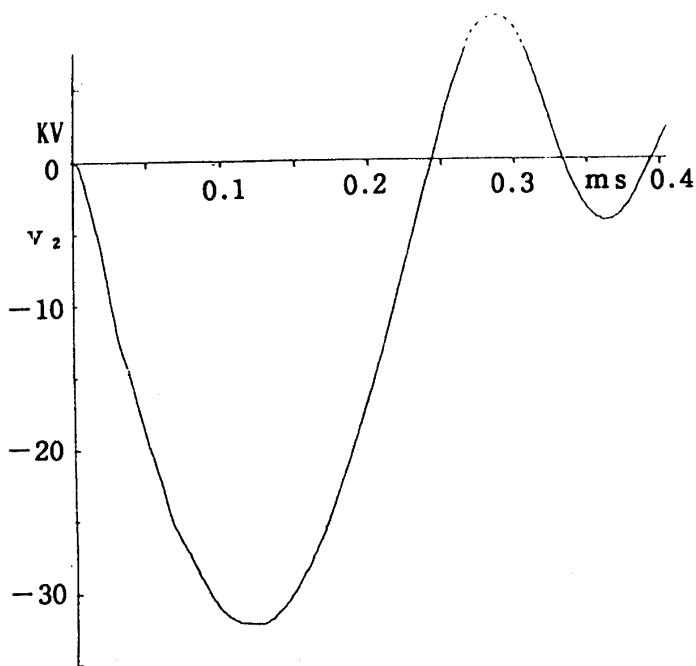


図2-1 装置概要図

*本実験においては $lg = 3 \text{ mm}$ である。



カーブは図2-2に示すとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} \text{コイル特性値: } R_1=1.3\Omega, \\ R_2=10.4\text{ k}\Omega, R_0 \text{ (外つき} \\ \text{抵抗)}=1.5\Omega, L_1=8.7\text{mH}, \\ L_2=78\text{H} \end{array} \right\}$$

電源電圧は12V一定とした。セミトランジスタ・イグナイターのON-OFFは機械式ブレーカ・ポイントを用いず、代用スイッチング回路を用い、その駆動には低周波方形波発振器を用いた。一次回路にはポイント・コンデンサーに相当するコンデンサーはつけていない。そのために図2-2に示すように二次側の高周波成分は極めて周波数が高いと同時に振幅も非常に小さい。

図2-2 無飛火二次発生電圧

実験に用いた電極材料は表2-1に示す通りである。

ニッケル系のインコネル600とK線は日本特殊陶業より供給を受けたもので点火栓用のものである。他の材料は市販のもので成分は不明確であるが、今回の実験は予備的な性格のもので、且つ時間もなかったので未調査である。

表2-1 電極材料

	材 料	成 分	サ イ ズ		備 考
			d φ	r	
ニッケル系	ニッケル	Ni	6	3	
	インコネル600	Ni : 72, Cr : 16, Fe : 8	5.6	3	NGK点火栓用材料
	K線	Ni : 95, Si : 1.5, Cr : 1.5, Mn : 2	6.5	3	NGK点火栓用材料
鉄系	ドリルロット	SK4-G 炭素工具鋼	6	3	
	ボールベアリング・ボール	特殊鋼	4	2	
	ボールベアリング・ボール	高炭素軸受鋼	6	3	
	ボールベアリング・ボール	特殊鋼	8	4	
	ボールベアリング・ボール	高炭素軸受鋼	10	5	
	ステンレス鋼	オーステナイト系・非磁性	6	3	
銅系	銅	CUB1	6	3	
	真鍮	BSB M1	6	3	
	磷青銅	PBB 2Ⓜ	6	3	
その他	アルミニウム	Al	6	3	
	タングステン	トリエーテッド・タングステン	3.2	3	放電加工電極

図2-3は6φのボールベアリング・ボールを非常に長時間使用して充分安定した状態で飛火の電圧、電流特性を計測した結果である。(eg=3mm)

飛火電圧 v_2 はデジタル・ストレージスコープを用いて記録し、図2-3中の v_2 ようなカーブの最大値〔 v_2 は(-)であるので図では極小値〕を飛火1,000回毎に読みとった。ストレージスコープであるので、記録ボタンを押し、トリガーがかかるたびに v_2 のカーブが固定され、その最大値を読むのであるから、電圧の値は容易にもとまる。

飛火回数 n は飛火電流をクランプ・オン式電流計でキャッチし、デジタル・カウンタでカウントした。このカウント信号は上述 v_2 の計測におけるストレージスコープのトリガーにも使用された。こうすることにより、無飛火時の v_2 カーブをキャッチすることがないという利点がある。(電極表面が新しいうちは、しばしば飛火が行なわれないことがある。)[この回路の中のモノマルチ(monostable multivibrator)は、飛火電流が不規則な高周波振動であって、カウンタがその波形を全部カウントするのを防止するため、1火花で、1パルスが発生するようにしたのであって、時定数の適当なモノマルチを用いたのである。] 方形発振器の周波数は10Hz又は20Hzを用いた。両者による v_2 のカーブの変化は認められないが、計測に馴れるまでは10Hzの方がゆっくりやれてよい。

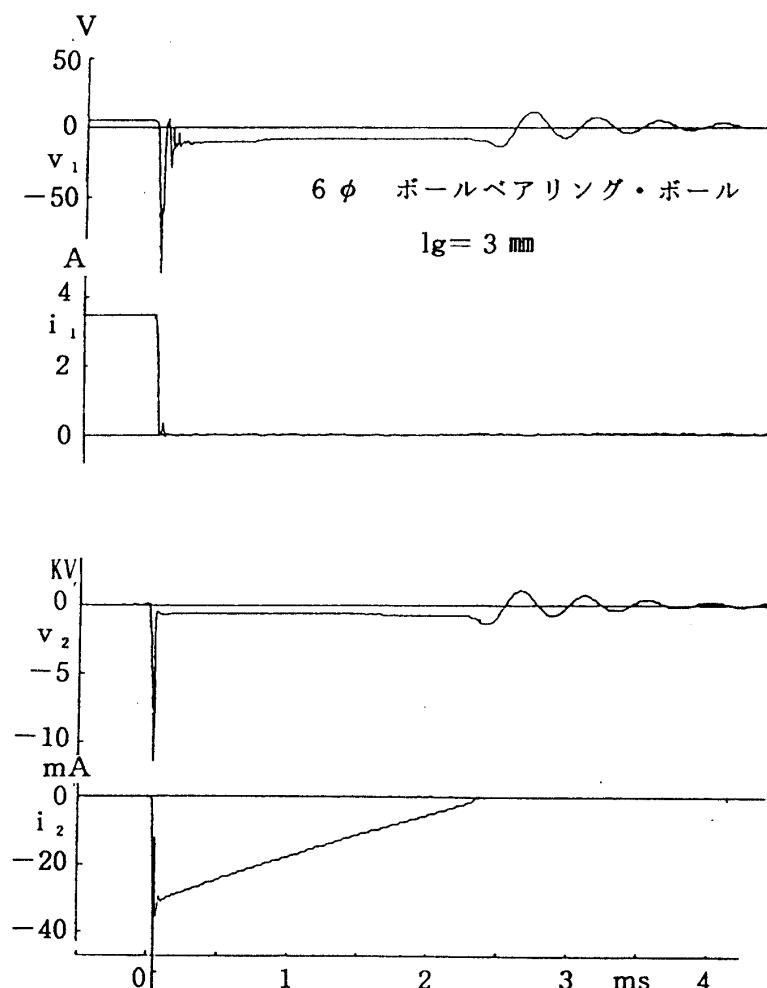


図2-3 飛火時電圧電流特性例








3. 結果と考察

図３－１は飛火後の電極の状態の写真である。図３－２～図３－１５に実験結果を示す。

図３－１ 飛火後の電極の表面状態

写真左：高圧(－)極，右：アース(＋)極（成分は％）

写 真	名 称 及 び 成 分	先端R・外径d	飛 火 回 数 n
	ニッケル Ni	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 150,000
	インコネル600 Ni 72 Cr 16 Fe 8	d = 5.6 φ R = 3.0	n = 150,000
	K線 Ni 95 Cr 1.5 Si 1.5 Mn 2	d = 6.5 φ R = 3.0	n = 100,000
	ドリルロット SK4-G 炭素工具鋼	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 125,000
	ボールベアリング・ ボール 特殊鋼	d = 4.0 φ R = 2.0	n = 150,000
	ボールベアリング・ ボール 高炭素軸受鋼	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 120,000
	ボールベアリング・ ボール 特殊鋼	d = 8.0 φ R = 4.0	n = 150,000

写 真	名 称 及 び 成 分	先端R・外径d	飛 火 回 数 n
	ボールベアリング・ ボール 高炭素軸受鋼	d = 10 φ R = 5.0	n = 140,000
	ステンレス鋼 オーステナイト系 非磁性	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 130,000
	銅 CUB 1	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 110,000
	しんちゅう BSB M 1	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 120,000
	リン青銅 PBB 2 ㊦	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 120,000
	アルミニウム A 1	d = 6.0 φ R = 3.0	n = 40,000
	タングステン トリューテッド タングステン	d = 3.2 φ R = 3.0	n = 60,000

一般的に言えることは、飛火開始後しばらくの間は、飛火電圧は非常にばらつき、それがあ
程度の飛火を行うことによって比較的低い一定値に収まってくるということである。この一定値
はどの材料においても大体11~12KVであった。〔例：K線、ボールベアリング・ボールd = 6 φ、
アルミニウム〕

また実験を途中で中止し、後日再開すると中止前の値をすぐには再現できず、しばらく（最初
のときよりはかなり短時間）の飛火を行なった後に回復するという傾向がうかがえた。〔純ニッ

ケル，インコネル600，ステンレス・ボール：図中の10/20は10月20日実験の意]

実験開始前に各電極をアセトンで脱脂綿につけて拭きとるようにした。実験結果はすべてそのような条件の下で行なわれたものである。この作業を怠ると飛火電圧は最初から低くなる。これはMalter効果⁴⁾によるものであろうが，これも付着物が焼けて無くなるのか，飛火電圧が高くなったり，又は別の場合にはそうでなく急に一定値（11～12KV）になったり不確実である。従ってこれらの場合については後日実験することにして，今回は付着物をアセトンで取り除いた場合についてのみ報告することにする。

使用した電極材料は前述のように表2-1に記してあるが，材質をニッケル系，鉄系，銅系，その他，に分類したのは深い理由があつてのことではない。一つの系統のものが似かよった特性を示すかどうかは定かではない。しかし後述のように各々いくらか特徴的なことはある。

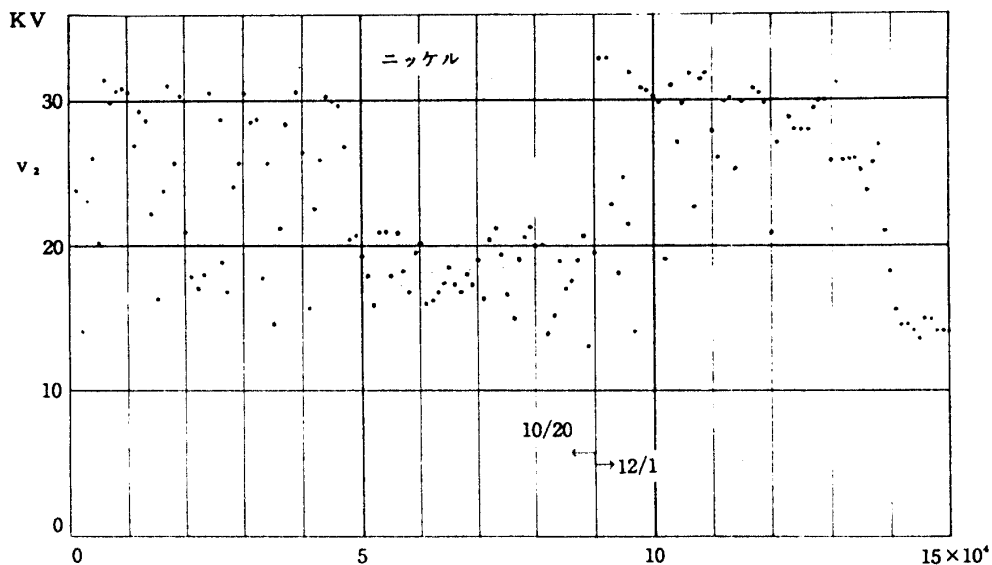


図3-2 飛火電圧と飛火回数の関係

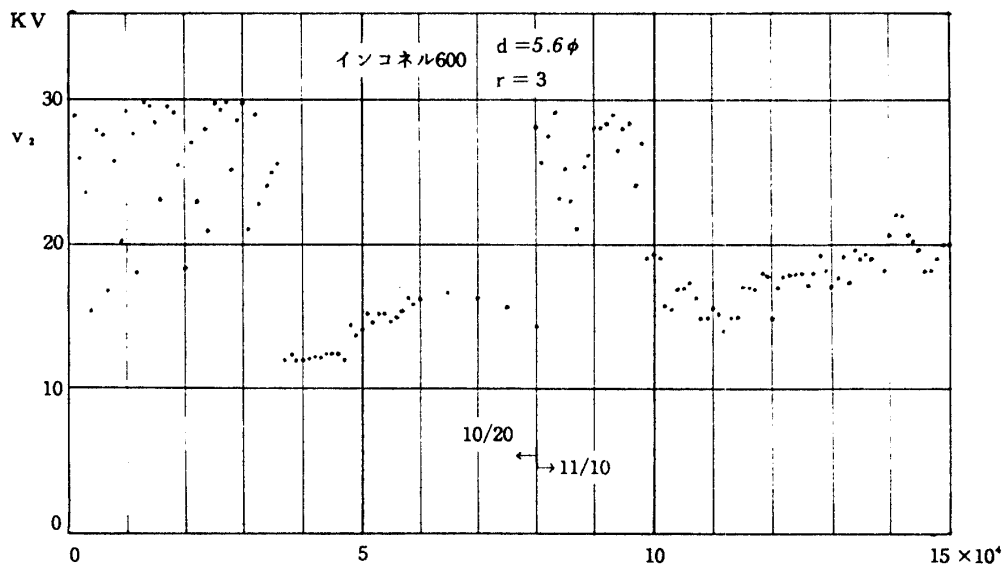


図3-3 飛火電圧と飛火回数の関係

3. 1 ニッケル系

純ニッケルは飛火率の実験²⁾に用いられた電極材料であるが、飛火電圧 v_2 が落着くまでに10数万回の飛火を必要とする。これは発振器の周波数を40Hzとすると約1時間を要する。(今回の実験では20Hz)

インコネル600は点火栓の材料として使用されているものであるが、一旦速やかに飛火電圧 v_2 が12KVになった後再び上昇、不安定となり、15万回の飛火にても一定に落着くことはなかった。原因は不明であるが、最初の12KVになったのは電極に汚れが付着していた可能性がある。再実験が必要と考えている。

K線も点火栓用として日本特殊陶業において使用されている材料であるが (NGKブランド)、約10万回の飛火で v_2 が一定に落着いている。実験用には使いやすい材料と言える。

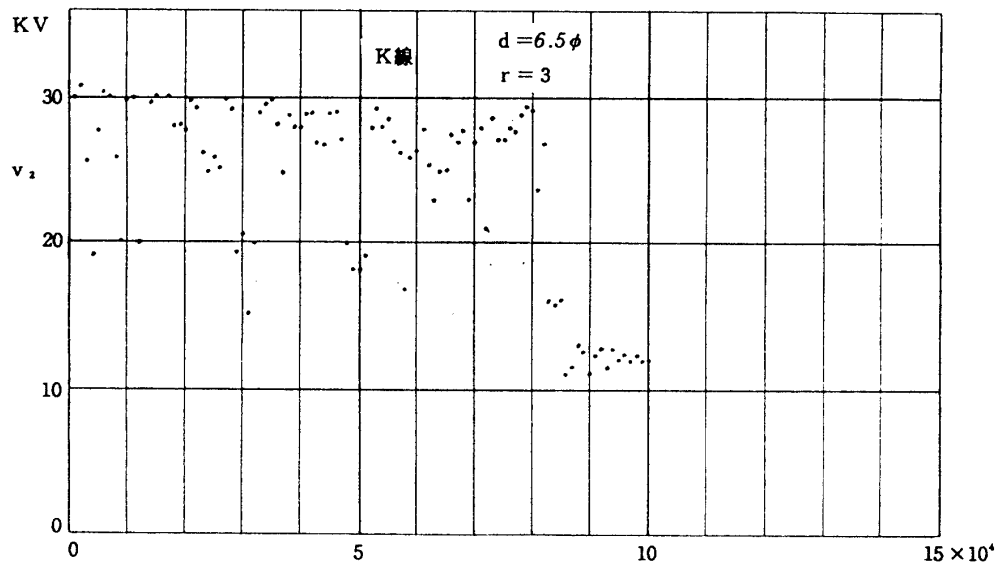


図3-4 飛火電圧と飛火回数の関係

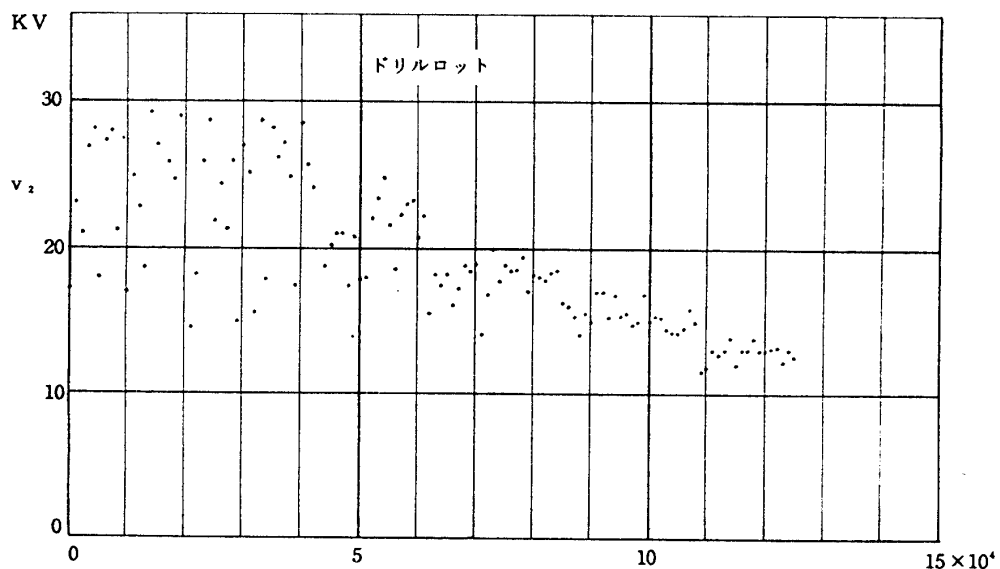


図3-5 飛火電圧と飛火回数の関係

3.2 鉄 系

ドリルロットは v_2 一定値（12KV）にだらだらと接近してはいるものの、その経過は炭素鋼に共通の性格を持っているように思われる。

ボールベアリング・ボールは $d = 4\phi$ 、 6ϕ 、 8ϕ 、 10ϕ のものについてテストしたが、これは電極の曲率の影響をみるための実験でもあった。しかし、市販のボールベアリング・ボールは材質が各々違うらしく、直径と関連した結果は得ることができなかった。

4ϕ のものは、28KV附近の一定値で始まり、途中から下がり始め、終りの一定値（12KV）に近づく。

6ϕ のものは、はじめばらつくものの、比較的早く終りの一定値（11KV）に落ち着いている。 6ϕ については他にも非常に長時間使用しているものがあり、極めて安定した v_2 を常に示し、使

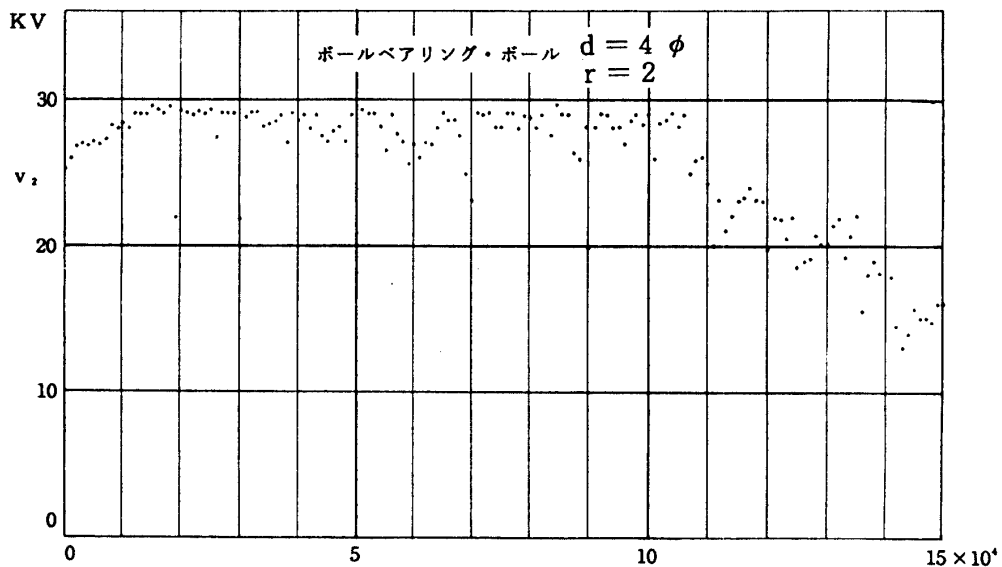


図3-6 飛火電圧と飛火回数の関係

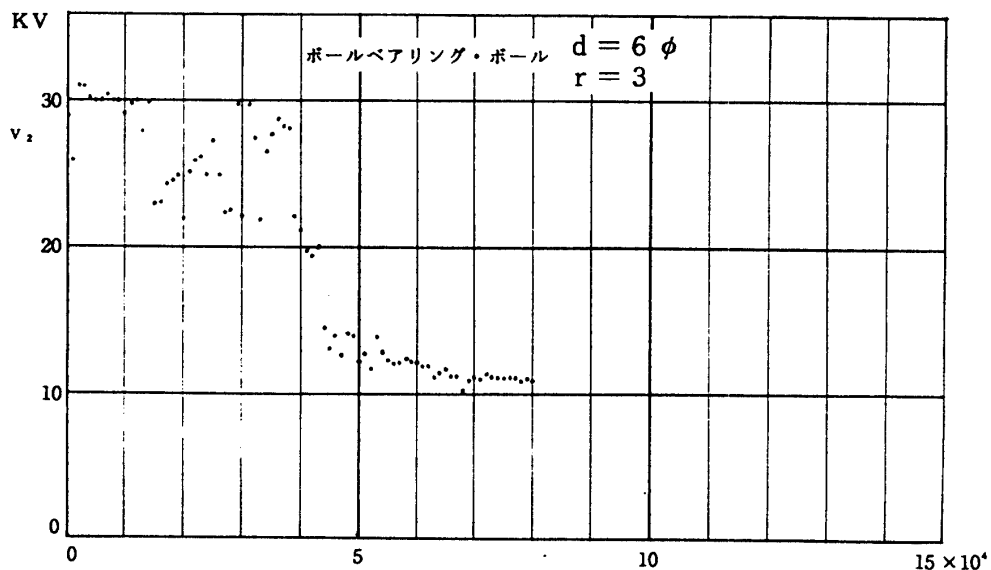


図3-7 飛火電圧と飛火回数の関係

しやすい材料と考えている。但し、この材料は錆びやすく、使用しない間の保管に問題があるかも知れない。

ところが8φのものは最初の高い一定値のまま推移して、実験の範囲内（15万回：これ以上は時間もかかり、実用の面においても時間の問題で、実用的でないとの判断で、実験を行なわなかった。）では一向に下がる気配がない。電極の写真（図3-1）ではあまりはっきりしないが、電極の表面の焼けが少なく、材料が特殊なものであろうと推察される。

10φのものは本節の初めに述べた一般的な傾向の見本のような特性である。

ステンレス鋼はなかなか終りの一定値に落ち着かず、しかもいつまでもばらつきのあるデータを示した。

鉄系を総合的に考察してみると、4φと8φとは材質的に最初の火花電圧がかなり高く、一方

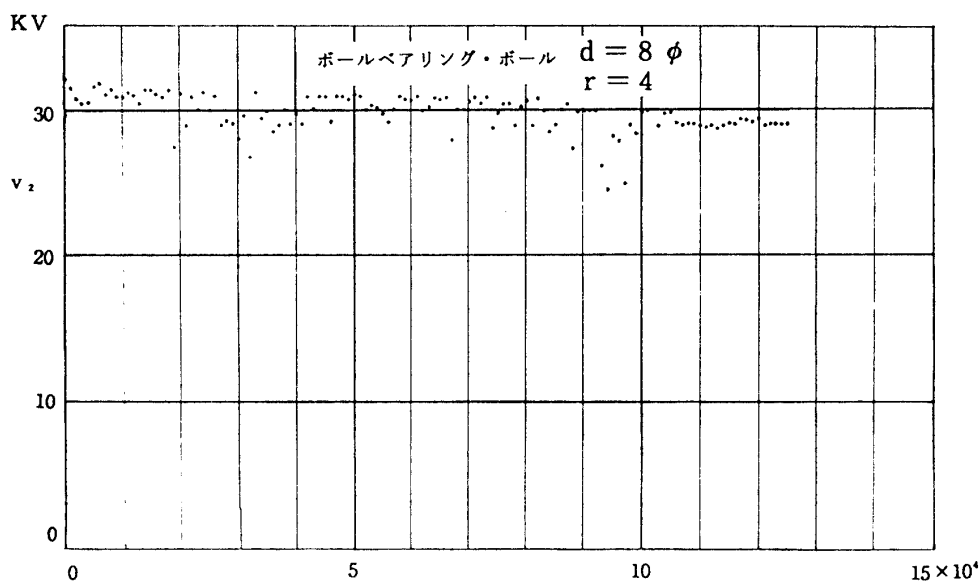


図3-8 飛火電圧と飛火回数の関係

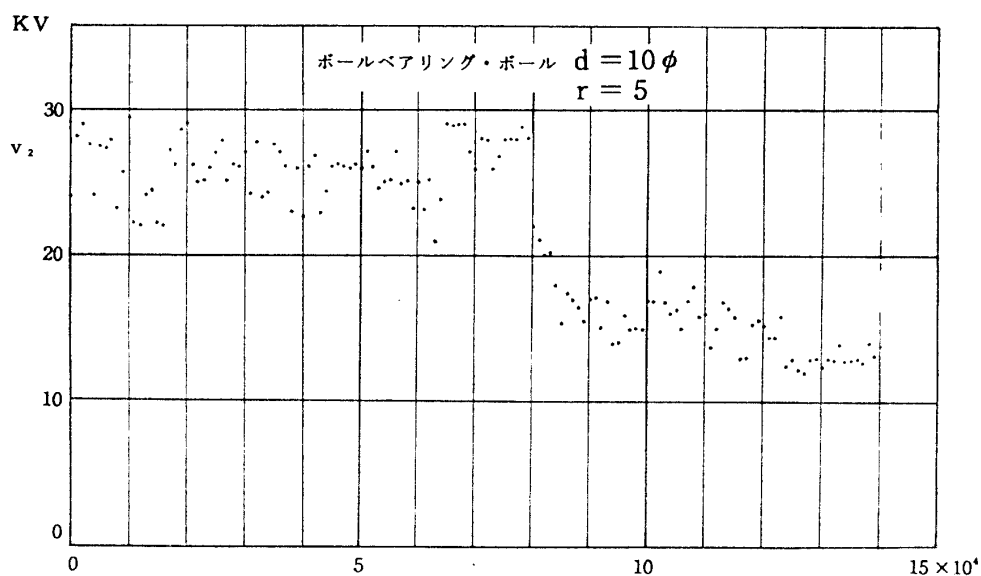


図3-9 飛火電圧と飛火回数の関係

コイルの発生電圧は32KV程度である（図3-2参照）ので、そのため火花電圧が30KVあたりに集中し、一定値であるかのような印象を与えるのではないかとと思われる。

ドリルロッドと6φ、10φは似たような材質であるのであろう。特性も似かよっており、また電極の曲率の影響もあまりないと言えそうな結果である。

3.3 銅系

銅系は一般的に言って v_2 のばらつきが大きく、しかも終りの一定値に仲々近づかないという特性があるようである。したがって電極材料としては適当でないと言えよう。おそらく電極に生ずる焼けの性質がMalter効果を生じにくくするのであろう。

純銅と、真鍮は似かよった性質をみせる。

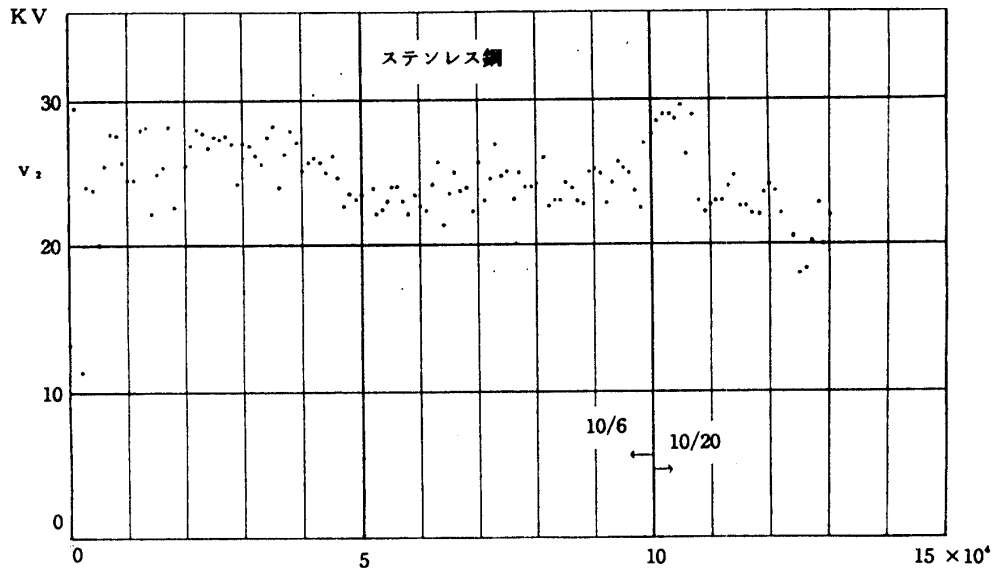


図3-10 飛火電圧と飛火回数の関係

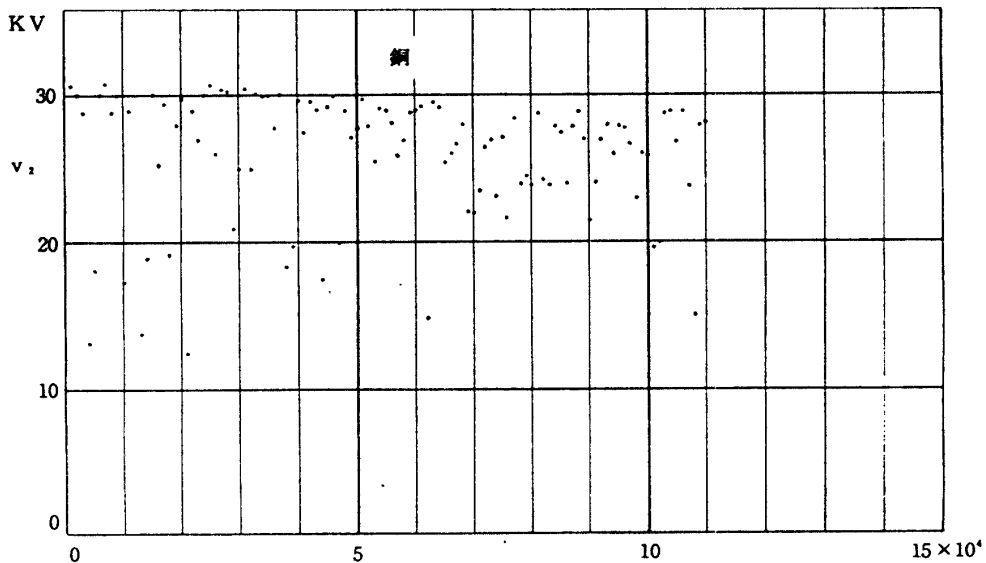


図3-11 飛火電圧と飛火回数の関係

磷青銅も定性的には似かよった性質をもつが、 v_2 が一般的に他の銅系に比べて低いという特徴があると言える。

3.4 その他

アルミニウムは極めて速やかに終りの一定値(12KV)に到達する。これは恐らく電極の焼けの性質、または既に飛火前から存在する酸化アルミニウムのMalter効果によるものであろう。電極の消耗の問題があるから、これから直ちに電極に適する材料とは言いきれないが、興味深い材料の一つではある。

タングステンも極めて速やかに終りの一定値(11KV)に到達する。この材料は放電加工用の電極材料である。直径が大きいものが入手できなかったので、外径3.2φで、先端の曲率半径のみ

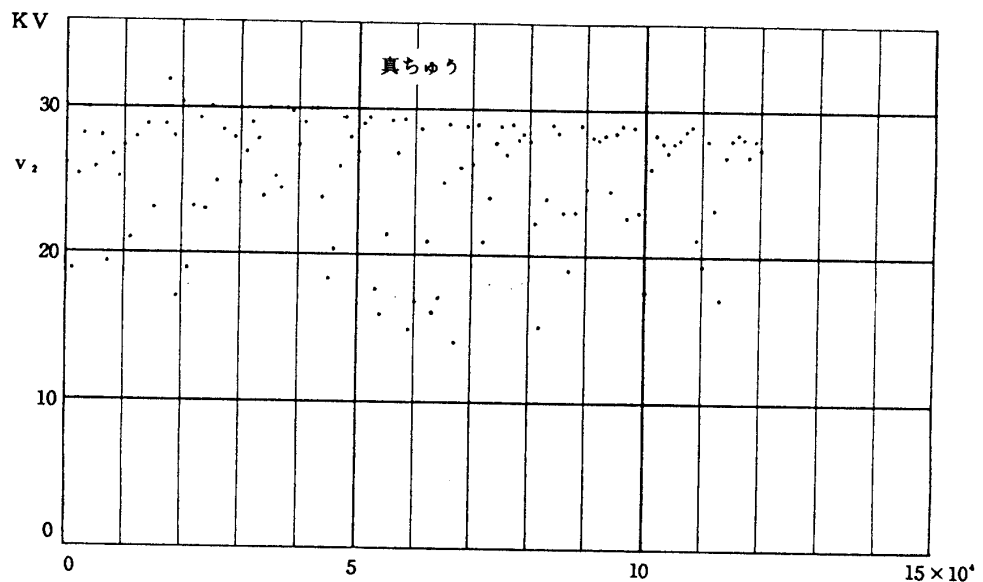


図3-12 飛火電圧と飛火回数の関係

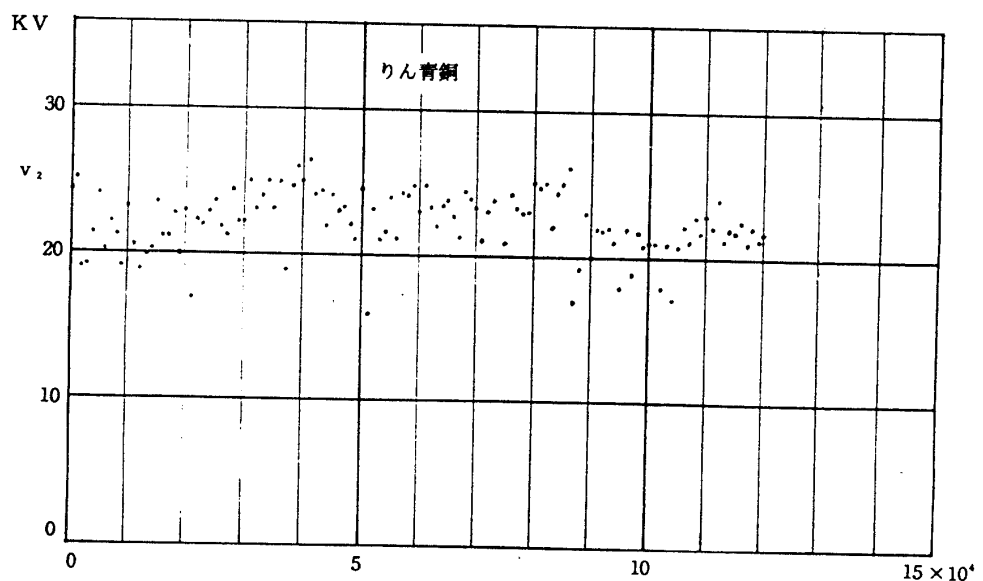


図3-13 飛火電圧と飛火回数の関係

3 r にして使用した。先端の焼けの状況をみると、外径 3.2ϕ より小さく（図 3-1 参照）、従って直径の小さいことの影響はほとんど無いと考えてよいであろう。この材質は放電加工用として酸化トリウム入りであって、特に放電しやすく出来ている（放射線を出す）ものであり、このような特性が得られたものと考えられる。タングステンは消耗も少なく、電極材料としてはよいものであると考えられる。

4. あとがき

飛火電極材料を選択するにあたって、3 r の半球形電極として、どの材料を使用しても、最初は火花が飛びにくく、飛火電圧も高く、ばらつきも大きい。ある程度飛火回数を重ねると、比較的低い一定の飛火電圧に落ちつくように思われる。この最終の飛火電圧は材料によってあまり

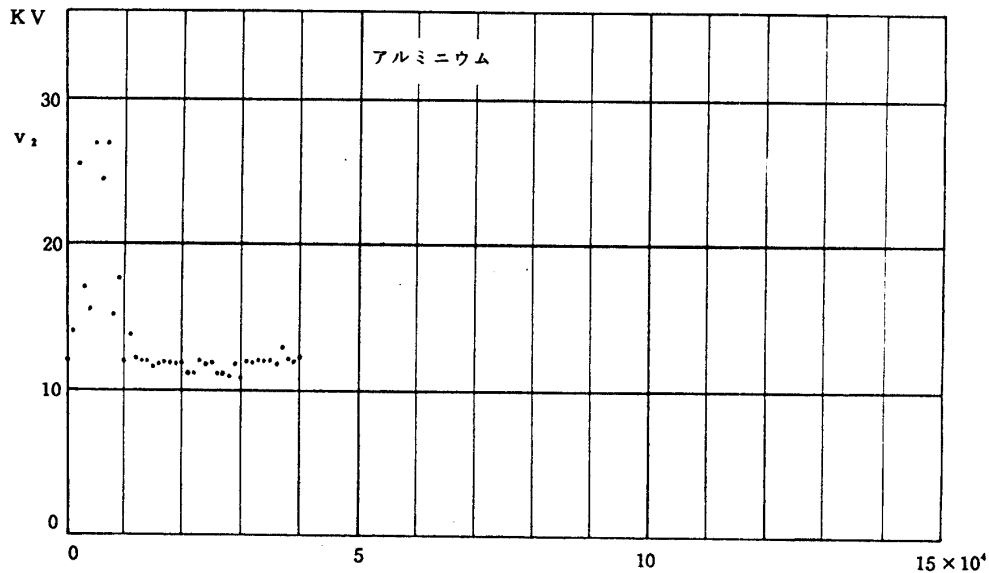


図 3-14 飛火電圧と飛火回数の関係

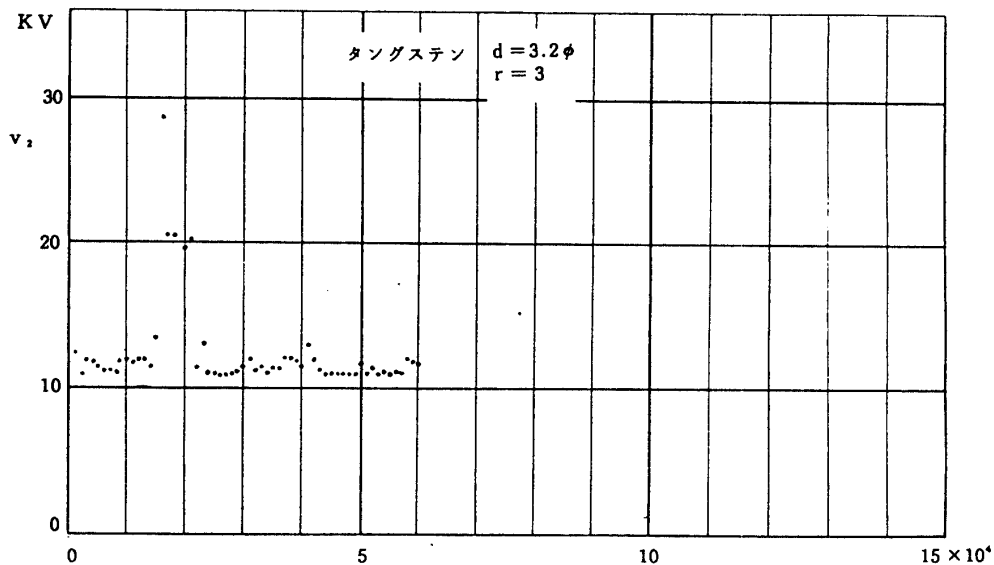


図 3-15 飛火電圧と飛火回数の関係

違わないようであるが、落ちつくまでの飛火回数は材料によって非常に異なる。これは飛火によって電極表面にできる焼けのMalter効果に関連があるものと想像される。

文献³⁾によれば二次電圧の立ち上がりが急なときは静的に電圧を加えた場合より飛火電圧が高くなるが、その程度（衝撃比）は材料によって異なることになっている。本実験では静的に二次電圧を与えていないので、このへんのことも充分しらべてみる必要がある。

また今回は手近で得られたものばかりであったが、材料の範囲も広げてみる必要があると考えている。

謝辞

この研究は昭和62年度の卒業研究として行われた。また電極材料については日本特殊陶業(株)、コイルについては(株)日立製作所のご援助を受けた。心から感謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 大塚新太郎, 佐々木敏幸: 点火コイルの発生電圧と点火栓の飛火率. 内燃機関 Vol.24 No.307 1985. 6
- 2) 大塚新太郎, 織田勉: 2針・3針火花ギャップの飛火率特性. 福井工大紀要 No.18 1988
- 3) Debebenham, W.R. and Haydon, F.G. : On the Erosion of Sparking Plug Electrode Materials & The Variation of Sparking Plug Voltage. R&M No.1744
- 4) 本田侃士: 気体放電現象. 東京電気大学出版局