放電用炭素電極に関する研究

Ⅲ — 避雷器用炭素電極の試作とその放電特性

本田 英昌*・真田 雄三*・古田 毅*・東阪 健治**

Carbon Electrode in Electric Spark Discharge

III - Electric Discharging Test for A Trial Product of Arrester Carbon

H. Honda, Y. Sanada, T. Furuta

(Resources Research Institute, Kawaguchi-Saitama)

and

K. Higashizaka

(Electrical Communication Laboratory, Mitaka-Musashino)

Coal carbon electrodes heat treated at temperatures between 1000°C and 2800°C were tested with repetitive electric discharge and pulsed electric discharge. The electrode specimens were prepared from the mixture of Akabira weakly-caking coal and the additional matter (natural graphite and pitch) by means of cold molding of 2000 kg/cm². The stability of repetitive discharge is the better at heat treatment temperature (HTT) of about 1400°C and about 2800°C, and the one of pulsed discharge is the best at HTT of about 2800°C. The durability of electrodes increased for the repetitive discharge and decreased for the pulsed discharge with the increase of additional matter. The durability of electrodes for the pulsed discharge showed a maximum at about 15% of additional matter. The coal carbon electrodes, which contain about 10 - 30% additional matter, heat treated at HTT of about 2800°C had much better electric discharging properties than the commercial arrester carbons.

1. 緒 言

電話器、電話局および中継所、ケーブルなどの通信施設の保安器の一部として放電電極が取付けられている。雷や外部から誘導され発生した高電圧から上記施設を安全に保護するため、放電により接地させるのが通例で、その放電電極として炭素電極が用いられている。これは炭素電極の動作特性が秀れ、その上、安価であるからである。しかし従来から炭素電極が経験的に用いられているのみであって、従来の避雷器用炭素は上記の目的に必ずしも満足を与えず、またこの方面の研究は皆無に等しい。

放電現象は複雑な現象の一つであって現在でも完全に理解されていない。繰返し放電、連続放電、衝撃放電に

対する炭素電極の安定性を炭素自身の有する物理的性質と直接結びつけることは、なかなか困難である。しかし炭素電極の気中放電における安定性は、主として炭素の電気抵抗、機械的強度、屈曲性、耐熱衝撃性などに依存することが明らかにされてきた。¹⁾²⁾ また、炭素電極の液中放電における安定性も同じく炭素の見掛け比重、機械的強度、屈曲性、電気抵抗などに依存することが明らかにされた。³⁾⁴⁾ このほか炭素の仕事函数や種々の電子的性質が放電特性と密接に関係すると思われる。いずれにしても放電を高密度電流による超高温および衝撃圧の発生として理解するならば、極として具備しなければならない性質は電気伝導度の大きいこと、機械的強度の大きいこと、熱衝撃に強いことなどに要約されるものと思われる。石炭類炭素材は機械的強度および熱衝撃は極めて強いが、電気伝導性が低いことが従来の研究より明らかにされて

* 資源技術試験所

** 電気通信研究所

いる。^{6), 7), 8)} 従って比較的苛酷な要求をされる避雷器用炭素材として、石炭類炭素材を基材とし、これに電気伝導性の極めて大きい天然黒鉛を添加することにより、安定な放電用炭素極となし得ることが考えられる。ここではこのような考えの下に石炭を主体とする炭素電極を試作し、その放電特性を測定した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 試料

原料石炭としては Table 1 に示す分析値を有する赤平炭を用いた。

Table 1 Proximate and ultimate analysis of Akabira weakly-caking coal

Proximate analysis				Ultimate analysis		
Moisture %	Ash %	Volatile matter %	Fixed carbon %	C d. a. f. %	H d. a. f. %	O+N+8 d. a. f. %
2.6	2.9	42.3	52.2	83.1	6.1	10.8

試料原炭は Tyler 200 mesh 篩下に微粉碎した。以下試料石炭を A と表わす。

添加材としては精製天然黒鉛 CB # 400 (325 mesh 以下、灰分 0.5% 以下) に中ピッチまたは硬ピッチを重量比でそれぞれ 7:3 または 6:4 の割に混合し、100~150℃の温度で、ダブルローラー型捏和器により数回混和し、これを更に乳鉢で粗粉碎したものを用意した。以下添加材を NGP と表わす。

試料石炭に対し、添加材を所定量だけ秤量混合し、ボールミルにより 5~6 時間混合粉碎し、添加材が石炭に出来るだけ均一に分散するようにしたものを実験試料粉末とした。以下試料石炭 80% と添加材 20% とを混合した実験試料を A-NGP 20、試料石炭 60% と添加材 40% とを混合した実験試料を A-NGP 40 の如く表記する。

試料粉末の所要重量を 33mm×13mm または 130mm×50mm の型に入れ、2000 kg/cm² の成形圧で室温成形したものを、鉄製の箱の中に入れ、コークス粉をつめ、蓋をして酸化を防ぎながらエレマ炉で焼成した。焼成条件は室温から 280℃まで 60~120℃/hr、280℃から 600℃まで 5~20℃/hr、600℃から 1000℃まで 60~120℃/hr の加熱速度で加熱し、1000℃に 30 分間保持した。この様にして焼成した素材は避雷器用放電試験装置に適合するように所定の大きさに加工した後、蓋付黒鉛のつばに入れ、真空式タンマン炉を用い、窒素気流を流しながら昇温速度約 20℃/min で 1000℃から 2800℃の温度範囲で熱処理を行ない、所要温度に約 30 分保持した。以下、加熱処理温度を HTT で表わす。このよう

にして得た成形体試料を 26.7mm×6.2mm×5mm の避雷器用炭素電極として加工仕上げたものを測定用試料とした。また焼成試料素材を、ほぼ 100℃に加熱された熔融ピッチに浸漬し、ピッチ含浸した後、1000℃以上に加熱処理を行なったものも測定用試料として用いた。

2.2 放電特性試験方法

上記した方法により得た同一製作条件の試料を 0.08mm のスペーサーをはさんで相対するように電極支持器に組込んで下記に示す 2 通りの放電試験を行なった。

2.2.1 繰返し放電試験

繰返し放電試験に用いた回路は第 1 報¹⁾に報告したものと同様で、AC 500V で短絡電流が 1A、2A および 3A と変えられるように回路を調整した。まず最初の放電開始電圧を求め、放電時間 1 sec、休止時間 30 sec のサイクルで繰返し放電を行ない、最初の放電と繰返し放電後の放電開始電圧の変動を求めて、極の安定性の尺度とし、また繰返し放電回数に対する電極間の短絡回数を求めて極の耐久性の尺度とした。

2.2.2 衝撃放電試験

衝撃放電試験に用いた回路は Fig. 1 に示す通りで、先ずコンデンサーに充電し、次いで回路を閉じて電極間に放電を行なわせた。衝撃放電電流は第 1 報¹⁾に述べたものと同様である。一回の放電が終了するたびに電極間に 48V の電位差を与え、短絡の有無をしらべた。このようにして試料電極が短絡するまで衝撃放電をくり返し、短絡をしない放電回数を求め、極の安定性および耐久性の尺度とした。

Fig. 1 Electric circuit of pulsed discharge

3. 実験結果

3.1 繰返し放電試験

A-NGP 20 試料の加熱処理温度 (HTT) による最初の放電開始電圧、繰返し放電を行なった後の放電開始電圧の変化を Table 2 に示す。また最初の放電開始電圧と第 20 回目または第 100 回目の放電開始電圧との差 ΔV と最初の放電開始電圧 V との比 $\Delta V/V$ の値と HTT との関係を図 2 に示す。

$\Delta V/V$ の値は何れの場合も HTT の増加とともに減少し、HTT 約 1400℃で極小を示し、以後 HTT とともに増加し、HTT 約 2000℃で極大を示し、その後 HTT の

Table 2 The threshold voltage in the repetitive discharge for A-NGP 20*

HTT	Threshold voltage at the 1st discharge	Threshold voltage at the 20th discharge	Threshold voltage at the 100th discharge
℃	volt	volt	volt
1000	443	352	342
1200	440	391	388
1400	453	413	401
1600	436	364	312
1800	446	320	273
2000	415	290	260
2200	420	289	271
2400	424	315	320
2600	419	361	374
2800	429	390	447

* Average values of five experimental lots

Fig. 2 Relation between the voltage deviation of repetitive discharge and the heat treatment temperature for A-NGP 20

増加とともに再び減少する。これは、HTT 1400℃ 付近およびHTT 2800℃ 付近で放電が極めて安定であることを示している。

Table 3 に NGP の割合を変えた場合および放電電流値を変えた場合の繰返し放電回数における電極間の

短絡回数を示す。

Table 3 The number of occurrence of short-circuiting for the repetitive discharge

Content of NGP	HTT ℃	per 500 discharges at 2A discharge current	per 240 discharges at 3A discharge current
A-NGP20	2000	17	160
	2000*	3	53
A-NGP40	1200	2	171
	2000	1	32
NGP 100	2000	0	7

* impregnated with pitch

NGP の割合を増すとともに繰返し放電の短絡回数は少なくなり、放電電流を大にするとともに短絡回路は大となることわかる。また、ピッチ含浸したものの方がピッチ含浸をしないものに比して短絡回数は減少する。

3.2 衝撃放電試験

Table 4 に HTT を変えた場合および NGP の割合を変えた場合の短絡を起こさない衝撃放電回数を示す。

A-NGP 20 試料では明らかに HTT の増加とともに短絡を起こさない衝撃放電回数は増加することがわかるが、A-NGP 80 試料では HTT 2000℃ 付近で極大を示す傾向がある。

また、NGP の割合の減少とともに短絡を起こさない衝撃放電回数は増加し、衝撃放電に対する安定性が良くなることわかる。

Table 5 に HTT 2800℃ で処理した試料につき NGP の割合を変化した場合の短絡を起こさない衝撃放電回

Fig. 3 Relation between the average number of nonshort-circuiting discharges in the pulsed discharge and the content of NGP for A-NGP (HTT 2800℃)

Table 4 The number of nonshort-circuiting discharges for the pulsed discharge

HTT ℃	Number of experimental lots	Content of NGP		
		A-NGP 20	A-NGP 40	A-NGP 80
1000	3	22 67 100		
	5			
1600	3	22 61 100		7 10 16
	5			
2000	3	73 75 100		26 47 55
	5	73 84 >100 >100 >100	46 62 83 >100 >100	7 22 26 36 64
2400	3	37 100 100		21 28 52
	5			
2800	3	100 100 100		17 19 32
	5			

Table 5 The number of nonshort-circuiting discharges in the pulsed discharge for A-NGP (HTT 2800℃) and commercial arrester carbons

Samples	Number of experimental lots	Number of nonshort-circuiting discharges	Average value
A-NGP 10	5	82 - 714	272
A-NGP 15	10	191 - 1997	714
A-NGP 20	10	104 - 1100	528
A-NGP 25	10	144 - 826	411
A-NGP 30	10	90 - 1240	345
a (made in Japan)	10	34 - 95	59
b (made in Japan)	10	38 - 842	290
c (made in U.S.A.)	10	1 - 79	17

数を示す。Table 5には2種の日本製(a, b) および1種の米国製(c)の現用避雷器用炭素の値も示した。A-NGP試料で短絡を起こさず衝撃放電が約2000回近くも繰り返せるものがあることは非常に注目すべきことである。

Fig. 3にHTT 2800℃で処理した試料につき、短絡を起こさない衝撃放電回数の平均値とNGPの割合との関係を示す。

NGPの割合が約15%で極大を示し、短絡を起こさない衝撃放電回数が約700回にも達することが明らかである。

4. 考 察

赤平炭単味Aの場合は、繰返し放電ではHTT 1400℃付近が最も安定で、次いでHTT 2000℃付近が安定、HTT 2800℃付近が最も不安定となり、連続放電、衝撃放電ではHTT 2000℃付近が最も安定で、総じてHTT 2000℃付近が気中放電に対し最も安定であることは第2報²⁾に述べた。

これに対し、A-NGP 20の場合は、繰返し放電ではHTT 1400℃付近およびHTT 2800℃付近が安定で、HTT 2000℃付近が最も不安定であり、衝撃放電では、HTT 2800℃が安定で、HTTの低下とともに安定度が悪くなる。従って、この場合は、総じてHTT 2800℃付近が気中放電に対し最も安定であることがわかる。

繰返し放電に対する極の耐久性を放電電流3A、放電回数240回の繰返し放電中に短絡を起こした回数百分率で表わし、衝撃放電に対する極の耐久性を短絡を起こさない衝撃放電回数とすると、A-NGP (HTT 2000℃)の放電に対する耐久性とNGPの含有割合との関係はFig. 4の如くなる。すなわち、繰返し放電に対してはNGPの含有割合の多いものほど耐久性が大となり、衝撃放電に対してはNGPの含有割合の少ないものほど耐久性が大となる。但し、NGPを含まない赤平炭単味Aの場合には衝撃放電に対する耐久性が再び小さくなることは、第2報²⁾およびFig. 3から明らかである。このようにNGPの増加は、繰返し放電に対しては正の効果を示しているが、衝撃放電に対しては負の効果を示し、且

Fig. 4 Relation between durability of A-NGP (HTT 2000°C) for the discharges and content of NGP

つ、機械的強度の低下をもたらすことが明らかであるので、実用面では問題にならないと思われる。

従って、放電に対する安定性および耐久性を考えれば、A-NGP 10~A-NGP 30 (HTT 2800°C) が避雷器用炭素として適当であろうと考えられる。

Table 6にAおよびA-NGP 20の見掛け比重、ショア硬度および電気比抵抗の値を示す。A-NGP 20

Table 6 Apparent density, Shore hardness and electrical specific resistance of A and A-NGP 20 heat treated at 1000°C and at 2000°C

HTT °C	Sample	A. D.	Hs	ρ mg-cm
1000	A	1.42	75	1721
	A-NGP 20	1.32~1.55	55~80	∇ 148~5.02 $\pm$ 32~19.2
2000	A	1.31	76~78	767
	A-NGP 20	1.42~1.50	61~75	∇ 567~6.75 $\pm$ 0.22~0.60

∇ parallel to pressure direction
 $\perp$ tangential to pressure direction

(HTT 2000°C)はA(HTT 2000°C)に比較して見掛け比重、ショア硬度はたいして変化していないが、電気比抵抗の値、特に成形圧力に垂直方向の値が数十分の一に低下している。このことが赤平炭を基材とし、これに天然

黒鉛を適当量添加し、かつ適切な温度に加熱処理したものが、繰返し放電、衝撃放電、いずれに対しても従来の市販避雷器用炭素にみられないような極めて優秀な性質を示す大きな原因となっていると思われる。

5. 総 括

(1) 赤平炭を基材とし、精製天然黒鉛とビッチの混合物を添加材として、添加量、熱処理温度を変えて避雷器用電極としての炭素材料を試作した。

(2) 得られた炭素材料について、放電試験として繰返し放電、衝撃放電による放電特性(安定性、耐久性)を測定した。

(3) 繰返し放電に対しては熱処理温度1400°Cならびに2800°C付近の素材が最も安定であった。衝撃放電に対しては熱処理温度2800°C付近の素材が最も安定であった。

(4) 繰返し放電に対しては添加材の量の多いものほど耐久性が大であった。これに反し、衝撃放電に対しては添加材の量の多いものほど耐久性が悪くなり、添加量15%程度のものが最も良好な結果を示した。

(5) 赤平炭を基材とし、天然黒鉛とビッチとの混合物を添加材として10~30%程度添加し、2800°Cで熱処理したものの衝撃放電特性は現用品(国内品および米国品)のいずれよりも、はるかに秀れていることが明らかとなった。

文 献

- 1) 本田英昌, 真田雄三, 原崎三郎, 菅井恭輔: 炭素, 47, 23(1966)
- 2) H. Honda, Y. Sanada, T. Furuta: Carbon, 投稿中
本田英昌, 真田雄三, 古田毅: 炭素, 48, 2(1967)
- 3) 本田英昌: “放電加工技術便覧”, 日刊工業新聞社, p. 142(1963)
- 4) H. Honda, 1st International Conference on EDM, Text No. 1, 13(1965)
- 5) 本田英昌, 持田直之, 真田雄三: 資源試報告, No. 44, (1958)
- 6) H. Honda, K. Egi, S. Toyoda, Y. Sanada: Carbon, 1, 155(1964)
- 7) H. Honda, Y. Sanada and T. Furuta: Carbon, 3, 421(1966)

(42. 3. 13)