放電におよぼす炭じんの影響*

正 会 員 赤 木 久 米 男*

正 会 員 斎 藤 宏**

On the Influence of Coal Dust upon Spark Discharge

Kumeo AKAKI and Hiroshi SAITO

Various fundamental experiments were carried out on the influence of coal dust upon spark discharge, and the experiments were performed under conditions as similar as possible to those in coal mines. The results obtained were as follows:

(1) When coal dust is dropped on the electrode in a glass vessel, corona current increases and spark voltage decreases. The smaller the sizes of coal particles are, and the larger the quantity of the dropped coal dust is, the greater the effect will be.

(2) When DC voltage is impressed at the needle to plate electrode, the effect of polarity is remarkable, and this is considered to have certain bearings with the attached quantity of coal dust.

(3) When compared with other dusts, coal dust is observed to be particularly influential on spark discharge.

(4) On the influence upon surface discharge, of accumulated coal dust placed on the insulating plate: coal dust in small quantity makes electric current increase and makes the break-down voltage along the plate surface decrease, but as the quantity of coal dust increases, the current decreases, and the voltage increases.

(5) On the relation between the accumulated quantity of coal dust and the break-down voltage along the plate surface: the break-down voltage shows the maximum value at a certain point of accumulated quantity of coal dust, and when the quantity is over that point, the voltage becomes decreased.

1. 緒 言

炭鉱内の電気施設においてもつとも問題になるのは、その施設の火花放電等に基づく誘導ガス炭じん爆発である。一般に炭坑内は湿度80~98%の高湿度でしかも相当の浮遊炭じんがあり、炭じんの発生状態の時間的变化は著しいことが報告されている。

著者らは炭坑内のなるべく実際に近い状態のもとで、炭じんが放電に及ぼす影響をおよぼすかを調べるため種々基礎的実験を試みたところ、浮遊炭じんは一般にコロナ電流を増加し、火花電圧を低下させ、その影響が他の粉体よりも特に著しいことがわかった。また堆積炭じんの沿面放電におよぼす影響についても実験を行なった。これらの実験は研究途上のものもあるが一応これまでの実験結果を報告する。

2. 浮遊炭じんの気中放電におよぼす影響¹⁾²⁾³⁾⁹⁾

2.1 実験方法

実験装置⁴⁾を第1図に示す。この装置において、炭じ

ん試料をふるいC上にのせ、電動機Mを回転させ振動棒Bによりふるいに上下振動を与え、容器X内に一様に炭じんを落下させる。このようにして均一な炭じん雲を作り、電極Gに直流電圧(片側接地)を印加し各特性の測定を行なった。この装置において電動機の回転数、振動棒の腕の長さ、ゴムの張力、ふるいの目の大きさを加減することにより粒度の異なる炭じん試料について希望の濃度の炭じん雲が得られ、かつ実験の再現性においても信頼度の高い結果が得られた。電極としては、先端を半球状に仕上げ先端曲率半径を0.3mmとしたぬい針と面積7.07cm²の真ちゅう製平板を用いた。炭じん試料

M : 小型モーター
B : ふるい振動棒
C : 標準ふるい
G : 電 極
X : ガラス製円筒
実験槽4106.5mm²
底面積191cm²
S : ゴムひも

第1図 炭じん降下装置

*昭和42年9月16日受理

**秋田大学教授 鉱山学部電気工学科

***秋田大学講師 鉱山学部電気工学科

第2図 コロナ電流への炭じんの影響

は各種粒度のものをデシケータに入れ充分乾燥させて実験に使用した。

2.2 コロナ電流への影響

第1図の装置の電極間に一定電圧を印加しておき、炭じんを降下させた場合のコロナ電流を測定した。その一例を第2図に示す。これは針(－)対針(＋)接地の電

第3図 炭じん降下量と粒子別のコロナ電流への影響

極間(電極間距離 10mm)に 80mg/s (容器底面上での降下量 / 単位時間) の割合で -100+150mesh の炭じんを15秒間降下させ、1分間コロナ電流を測定したものである。一般に炭じん降下によりコロナ電流は増加する。しかも、印加電圧を上昇させる(すなわち最初に設定するコロナ電流を増す)にしたがい炭じん降下の影響が著しく、7.4kV 印加時(設定電流 50μA)においては、コロナ電流は 100μA にも達し、大気中のコロナ電流よりも 50μA も増加する。また大体 30μA 以上の線条コナでは炭じんの降下によりコロナ電流が一度減少してから増加する現象が認められた。

次に炭じん粒子の大きさおよび降下量による影響を第3図に示す。これは針(－)対平板(＋)接地電極(電極間距離 10mm)で一定のコロナ電流(25μA)のもとで、炭じん粒度と降下炭じん量を変えて、炭じんを20秒間降下して、コロナ電流を測定したものである。この図において、実線は降下炭じん量を一定(50mg/s)とし炭じん粒度を変えて比較したものであり、点線は同一粒度(-150+200mesh)で降下量を変えた場合である。図に見るごとく炭じん粒子が小さいほど、また降下量が増すほど影響が大である。なお極性を反対にした、すなわち針(＋)対平板(－)接地の場合は炭じんの影響が比較的少なく、ある場合には炭じん降下によつてコロナ電流が減少する反対の現象も見られた。

2.3 火花電圧におよぼす影響

炭じんが火花電圧におよぼす影響を見るため、種々の

第4図 炭じん粒子別によるコロナ電流の増加と火花電圧の低下

第5図 降下炭じん量と火花電圧の低下

炭じん粒度、降下量に対する火花電圧を測定した。すなわち、大気中の火花電圧より低い電圧を電極間に印加しておき、これに炭じんを降下させるとコロナ電流が急増して火花放電となる。次にさらに低い電圧を設定して炭じんを降下させて火花放電を生ずるかを見る。このようにして設定電圧を次第に低くして、炭じんの降下により、50%放電率で火花放電が発生する火花開始電圧を求めた。第4図は針(－)対平板(＋)接地電極(電極間距離8mm)で50mg/sの炭じん降下量のもとで炭じん粒度を変えた場合、火花開始電圧およびその時のコロナ電流が同じ条件下の大気中火花電圧(13.2kV)およびコロナ電流(228 μ A)よりいかに増減したかを示したものである。図に見るごとく最小粒度-250mesh 降下の場合には、6.7kV、467 μ Aで火花放電となり、すなわち6.5kVの電圧低下、239 μ Aの電流増加を示している。第5図は第4図と同じ電極配置(電極間距離8mm)で-150+200mesh炭じんの降下量を変化させた場合の火花開始電圧の低下を第4図と同じく大気中火花電圧と比較したものである。

第4図および第5図からわかるように、火花電圧におよぼす影響も炭じん粒子が小さいほど、また降下量が増すほど影響が大である。ところが極性を反対にした針(＋)対平板(－)接地電極では、わずかながら火花電圧が上昇する場合もあった。すなわち、-150+200mesh炭じんを50mg/sの割合で降下させた場合、火花電圧が0.8kV上昇し、その時のコロナ電流は5 μ A減少した。

2.4 両電極への炭じん付着

針対平板電極で炭じん降下の実験中、降下炭じん量の

第6図
ガラス容器と
電極

第7図 各種粉体がコロナ電流に及ぼす影響

約5%が両電極に付着する。その付着の割合は大体高压側(＋)1に対し接地側(－)2、高压側(－)1に対して接地側(＋)4ぐらいであつた。接地側平板(＋)のときは平板電極一面に厚く付着するが、平板(－)のときはドーナツ形に薄く付着した。次に、幅5mm、厚さ0.5mmの銅製平板電極を両極同形として、電極間に6kV(コロナ電流10 μ A)を印加し、-250mesh炭じん3cm³を電極下10cmより200g/cm²の圧力で吹き付けたところ、高压側、接地側に関係なく吹き付け量の約3%が陽極に、約1%が陰極に付着した。これらの現象は炭じんの種類、炭じんの新旧すなわち酸化の程度、あるいは実験装置の材料によつて多少異なるようであるが、一般に浮遊炭じんはコロナによつて負に帯電される粒子の方が非常に多いことがわかる。前述の炭じん降下がコロナ電流や火花電圧におよぼす影響や、極性によつて反対になる現象は、この両電極への炭じんの付着の差異が大いに関係しているものと考えられる。

2.5 他の粉体との比較

炭じん以外の粉体は放電にどの程度の影響を与えるかを測定、比較した。ただし、各粉体は比重が非常に異なるため、重量を一定にして比較するよりも容積を一定にして比較する方が妥当であると考え、第6図のようなガラス容器内にぬい針(先端曲率半径0.3mm)と真ちゅう製平板(面積7.07cm²)を電極とし直流電圧を印加し、電極下10cmより200g/cm²の圧力で1cm³の各種粉体を吹き付け各特性を測定した*。吹き付け後約5秒で容器内は浮遊粉体で一杯となるが、約30秒後には大体浮

* この装置を用いての炭じんの気中放電におよぼす影響(コロナ電流、火花開始電圧)については筆者の1人が報告⁵⁾したように、前述の第1図の装置を用い炭じんを降下させて測定した結果とはほぼ同じ傾向を示している。

遊粉体は沈降する。使用した粉体(-200+250mesh) 1 cm²あたりの重さを比較すると、温度25℃、湿度65%の室内で炭じん:0.6g, 岩粉:0.9g, カーボランダム:1.1g, 亜鉛:1.6g, 鉄:1.7gであった。

第7図は針(-)対平板(+)接地電極(電極間距離10mm)に直流電圧を印加し、コロナ電流を20 μ Aに設定して、-200+250meshの各種粉体を吹き付けて30秒間コロナ電流の変化を測定した一例である。図に見るごとく炭じんの影響が最大で岩粉および金属粉の影響は比較的小である。

その他火花電圧におよぼす影響も粉体によりそれぞれ異なり、炭じん以外の粉体については改めて報告するつもりであるが、炭じんは他の粉体と異なる影響を放電におよぼすようである。

3. 堆積炭じんの沿面放電におよぼす影響⁶⁾⁹⁾

3.1 電圧—電流特性

堆積炭じんが沿面放電におよぼす影響を調べるため、第8図のように絶縁板上にアルミニウム箔(0.02mm厚さ)をはりつけ電極としたものと第9図のようにぬい針を電極としたものを作り、その上に炭じんを堆積して直流電圧(一側接地)を印加し、電圧—電流特性を求めた。第10図は絶縁板としてガラス板にゼラチン膜面を付けて十分に乾燥したものを使用し、アルミニウム箔電極の電極間距離10mmおよび13.4mmの場合の比較的高湿度中のゼラチン膜面上沿面放電

第8図
絶縁板上アルミニウム電極

第9図 絶縁板上と縫針電極

と、この絶縁板上に-100mesh炭じんを15mg/cm²のせた場合の電圧—電流特性を比較したものである。一般にこの程度の堆積炭じん量では、大気中のゼラチン膜面上沿面放電よりも膜面上に堆積炭じんのある場合の方が同一電圧に対して電流は大となり、沿面破壊電圧は高くなる。

次に絶縁板(ガラス板)上にぬい針を電極(電極間距離10mm)とし、ガラス板上の-200+250meshの堆積炭じん量を変え、直流電圧(一側接地)を印加し電圧—電流特性を測定したものを第11図に示す。この図において堆積炭じん量5mg/cm²の曲線Iは炭じんの無い場合の曲線IVより常に電流が増大し、火花電圧はわずかに低下する。炭じん量10mg/cm²の曲線IIでは、ある電圧値までは炭じんの無い場合よりも電流が多いが、それ以上の電圧では曲線IVと反対位置になり火花電圧は高くなる。炭じん量50mg/cm²の曲線IIIでは電流が非常に小さく火花電圧は一層高くなっている。すなわち堆積炭じん中の沿面放電では少量の炭じんは電流を増し、火花電圧を低下させるが、炭じん堆積量が増すにしたがい電流が減少し、火花電圧を高くする。

第10図 ゼラチン膜面上沿面放電におけるV-I特性

第11図 堆積炭じん量別によるV-I特性

なお、このような実験結果はエポナイト板、ポリエスチロール板のような表面漏れ抵抗の大きい絶縁板上でも、電流は小さいが同様の傾向が見られた。また炭じん粒度が小さいほど、この影響は著しく、60mesh 以上の大きな粒子では影響が少なくなる。

3.2 炭じん堆積量と沿面破壊電圧

炭じん堆積量の沿面破壊電圧への影響を調べるため、第8図の絶縁板上のアルミニウム箔を電極とし、衝撃電圧、50c/s 交番電圧、直流電圧（＋側接地）を印加し、電極間距離を変えて堆積炭じん量に対する沿面破壊電圧の変化を測定した。第12図は乾燥させたゼラチン膜面上のアルミニウム箔電極に衝撃電圧（標準衝撃電圧波形を印加した場合の -100mesh 炭じんの堆積量と火花電圧との関係を示した曲線である。図からわかるように、堆積炭じん量が増すにしたがい火花電圧が上昇し、堆積炭じん量約60mg/cm² 付近にて最大となり、それ以上炭じんの無い沿面放電の場合より以下には低下しない。これらの放電状況を観察すると、火花が飛び場合に絶縁板上の

第12図 衝撃電圧印加による炭じん堆積量と火花電圧

第13図 交番電圧印加による炭じん堆積量と火花電圧

第14図 直流電圧印加による炭じん堆積量と火花電圧

炭じんをはねとばすが、火花電圧の最高点を越すと炭じん量が増すにしたがい放電路が次第に炭じん中に没して見えなくなり、120mg/cm² 以上では両電極上に小孔が見えるだけで放電路は炭じん下にトンネルの形式となる。第13図は衝撃電圧印加の前図と同じく乾燥させたゼラチン膜面上のアルミニウム箔電極に 50c/s 交番電圧を印加した場合の、少こし粒度の大きいものを含む -65 mesh 炭じんの堆積量と火花電圧の関係を示す。この場合には火花電圧が最大となる位置が堆積炭じんの量の増す方に移動している。次に第14図は絶縁板としてベークライト板を使用し、粒子の小さい -200+250mesh の堆積炭じん量を変化させ、直流電圧（＋側接地）を印加し、火花電圧を測定したものである（ただし、堆積炭じん量が少量の場合に火花電圧が低下する領域を拡大するため堆積炭じん量の横軸を対数目盛で示してある）。図に見るように、0.6mg/cm² 付近で火花電圧が最低となり、約5 mg/cm² 以上から炭じんの無い場合より火花電圧が高くなっている。直流電圧印加の場合は、極性を変えても堆積炭じん量と火花電圧の関係は同じ傾向を有している。

以上3種類の実験においては堆積炭じん量の変化による沿面破壊電圧曲線は同様の傾向があり、ある堆積炭じん量において火花電圧の最大点があり、その点を越すと炭じん量の増加にしたがい火花電圧は下降するが、炭じんの無い場合の火花電圧よりは低下しない。この傾向は絶縁板、電極間距離を変えても、また電極形状を変えても、同様である。

電極間に電圧を印加した場合、コロナ風あるいは炭じん粒子の帯電等により、炭じん粒子は運動する。特に、堆積炭じん量が少量の場合にはこの炭じん粒子の運動が活発となり、2.に述べた炭じんを降下させた場合と同様

火花電圧は低下する。ところが堆積炭じん量が増すにしたがつて、炭じん粒子の運動が制限され、筆者の一人が理論的に検討⁸⁾した放電通路の延長などにより火花電圧が高くなるものと考えられる。

4. 結 言

放電におよぼす炭じんの影響についての一連の実験の結果、次のことが明らかとなった。

(a) 浮遊炭じんの放電におよぼす影響

i) 浮遊炭じんはコロナ電流を増加させ、火花開始電圧を低下させる。その影響は炭じん量が増すほど、炭じん粒子が小さいほど大である。

ii) 針対針電極における直流印加の場合には、極性の影響はあまり見られないが、針対平板電極においては、極性の影響が著しい。すなわち、針(−)対平板(+)接地電極においては、コロナ電流増加および火花電圧の低下の現象が甚だしい。これに対して、針(+)対平板(−)接地電極においては、上記現象と反対の現象すなわちコロナ電流の減少、火花電圧の上昇を見る場合もある。

iii) 上記の実験において、炭じんが両電極に付着するが特に(+)極に比較的多く付着する。これはコロナにより(−)に帯電する炭じん粒子が多いための現象と考えられる。上記の極性による影響はこの両電極への炭じんの付着の差異が大いに関係しているものと思われる。

iv) 他の粉体との比較の結果、放電におよぼす影響は炭じんが、特に著しい。

(b) 堆積炭じんの沿面放電におよぼす影響

i) 堆積炭じん量が少量(5 mg/cm^2 以下)の場合は炭じん粒子の運動により、気中放電の場合と同様、炭じんの無い場合よりもコロナ電流を増加し、火花電圧を低

下させる。

ii) それよりも堆積炭じん量を増して 15 mg/cm^2 位まではコロナ電流は増加するが、火花電圧は炭じんが無い場合よりも高くなる。

iii) 堆積炭じん量一沿面破壊電圧曲線において、ある堆積炭じん量にて破壊電圧の最大点があり、その点を越すと破壊電圧値は下降する。しかし、堆積炭じんの無い場合以下には低下しない。これらは放電の Path 等に関係するものと考えられる。

上記の実験の結果より、電気機器の絶縁設計の際には、浮遊炭じんのある場合および少量の堆積炭じんのある場合には火花電圧が低下するということを充分考慮する必要があるものと考えられる。

終りに実験に協力していただいた本学部加賀昭夫助手、松井清技官ならびに元学生小野詞郎、半田勇の諸氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 赤木：放電におよぼす炭じんの影響について（第3報）昭和34年度電気関係学会東北支部連合大会
- 2) 赤木・斎藤：粉体が放電におよぼす影響、昭和37年度電気関係学会東北支部連合大会
- 3) 赤木・加賀・斎藤：粉体が放電におよぼす影響（第2報）、昭和38年度電気関係学会東北支部連合大会
- 4) 石浜・岡田・吉田・関本：炭じん爆発に関する研究（その1）資源技術試験所北海道支所報告
- 5) 赤木：放電におよぼす炭じんの影響について、昭和27年度電気三学会東京支部連合大会
- 6) 赤木：沿面放電に及ぼす堆積炭じんの影響、昭和26年度電気関係学会東北支部連合大会
- 7) 赤木・半田：沿面放電に及ぼす堆積炭じんの影響（第2報）昭和30年度電気関係学会東北支部連合大会
- 8) 赤木：炭坑内における火花放電の研究、秋田大学鉱山学部地下資源開発研究所報告 No. 6 (1951)
- 9) 赤木：炭坑内における火花放電特性、第8回東北鉱山学会 (1951)