

無煙火薬の帯電に関する研究(第1報)

植竹万太郎・佐藤 寛*

1. 緒言

無煙火薬の製造工場に於いて火薬並びに溶剤に帯電現象のあることは古くから知られており又帯電した静電気の放電に依る火花が無煙火薬に着火するかどうか、種々論議されて来た。昭和17年火兵学会誌に斎藤隆二氏の発表した「火薬類の帯電に関する研究」¹⁾がある。我々はこの発表を基礎にして次のような実験を行つた。以下その概要を発表する。

2. 測定器具

帯電体の有する静電エネルギーは $\frac{1}{2}QV^2 = \frac{1}{2}CV^2$ で表わされる。但し Q = 帯電量, C = 静電容量, V = 電圧である。従つてそのエネルギーの測定には電圧及び静電容量(又は帯電量)を測定する必要がある。測定に使用した電圧計は東京都電気研究所の考案になる都電研型静電々圧計で測定範囲は $0 \sim 750V$ 及び $0 \sim 150V$ の二重目盛となつている。その静電容量は何れも $10 \sim 15P.F.$ である。又測定系の静電容量は三田無線製の Impeadance Bridge で測定した。

3. 帯電量を支配する因子

如何なる作業条件の時に帯電量が増加し又は減少するかと云ふことは帯電予防上のみでなく帯電の機構を知る上にも是非必要である。次にその実験の結果を示す。

3.1. 火薬類の電気抵抗と帯電量

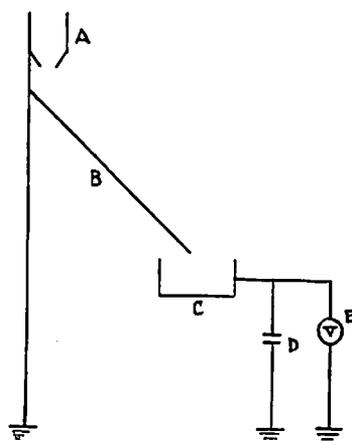
一般に摩擦静電気の発生は $10^{12}\Omega$ 以上の比抵抗を必要とすると言はれている²⁾。無煙火薬の電気抵抗はその組成に依り多少の変化はあるが大体これに近い値或いは $10^{12}\Omega$ 以上の場合もある。火薬の電気抵抗により当然帯電量も変化することが考えられる。我々は実際の製造工程と比較する意味で次の様な方法で実験を行つた。

3.1.1. 火薬表面へ黒鉛塗布³⁾

無煙火薬は種類によつては最終製品にグラファイト塗布を行うようになつている。グラファイトを塗布すれば電気抵抗は当然低下する。図1のような実験装置を使用してグラファイト塗布を行つた火薬と行はない火薬に就いて両者の帯電量(電圧)を測定比較した。

火薬はホッパー及び樋と摩擦帯電して落下しポッパ

ー及び樋と異符号同量の電気を発生し電圧計に接続し



A Hopper B Conduit C Metal Box
D Condenser E Static voltmeter

Fig.1 Apparatus for electrostatic charge experiments

Table 1.
Comparison of electrostatic charge depend on graphite coating

date tested	S.30.4.6	S.30.4.9	S.30.4.9	S.30.4.9
conduit material	Aluminium	Iron	Copper	Brass
weight of powder	70g	70g	70g	70g
electrostatic capacity	75P.F.	97P.F.	97P.F.	97P.F.
Voltage (V)	non coating Powder A	1500 <	1500 <	1450
	non coating Powder B	1500	950	979
Voltage (V)	coating Powder A	0	0	0
	coating Powder B	0	0	0
Charge $\times 10^{-8}$ (Coulomb/g)	non coating Powder A	0.177 <	0.208 <	0.20.
	non coating Powder B	0.177	0.134	0.135
Charge $\times 10^{-8}$ (Coulomb/g)	coating Powder A	0	0	0
	coating Powder B	0	0	0
note	humidity 60~70%			

昭和36年8月25日受理

* 旭化成工業株式会社板ノ市工場 大分県板ノ市町

た受器に落ち電圧を発生する。電圧計と大地間には適当なコンデンサー(D)を挿入することに依つて帯電々圧を静電々圧計の測定範囲に調節することが出来る。実験の結果は表1に示す通りで何れもグラファイト塗布を行つた火薬に就いては全然帯電現象を認めない。帯電量、クーロン/g は電圧並びに静電容量より帯電量を計算し更に使用薬量当りに換算した。

3.1.2. 火薬の含有揮発分と帯電量⁹⁾

同一薬種、同一ロットの火薬を乾燥又は水中浸漬等の方法で揮発分(水分)の異なる数種の火薬を作り同薬量、同容量で図1の装置を使用して実験を行つた。実験結果は図2の如くなる。使用火薬はグラファイト塗布を行う前のものである。実験結果の示す如く揮発分の多い従つて電気抵抗の小なる火薬は帯電量も少ない。

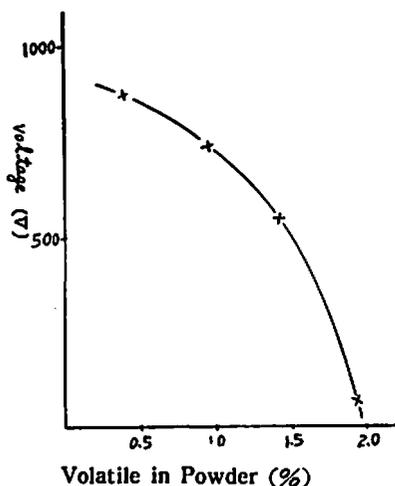


Fig. 2. Electrostatic charge variation by volatilein powder.

Powder : for Cannon, Weight of charge : 40g
Capacity : 73P. F., Repeat : 10.

Fig. 2. Electrostatic charge variation by volatilein powder.

3.1.3. 大気湿度と帯電量⁹⁾

同一火薬、同一装置然も同方法で実験を行つても帯電々圧は日に依り、時刻に依り異なる。図1の装置を用い実験を行つた結果を示すと表2の通りである。これは大気の相対湿度に依つて帯電量が異なる為である。

Table 2.

Temp., Humidity and Electrostatic Voltage

Humidity (%)	78	78	76	74	74	74
Temp. (°C)	17	18	18	18	19	20
Voltage (V)	0	0	0	190	200	223

Humidity (%)	65	66	51	58	46	58
Temp (°C)	14	15	16	17	10	16
Voltage (V)	240	305	390	395	400	407

前表に基き電圧と温度との間の偏相関係数を計算すると-0.757となり又全相関係数は-0.752で共に1%で有意である。湿度の影響を除去した電圧と温度の偏相関係数は0.310で有意ではない。従つて帯電量は大気の湿度に依つて変化し湿度が増加すれば帯電量は減少する。湿度に依つては帯電量は変化しない。大気湿度が増加すれば火薬の表面に微少な水滴が附着し表面の電気抵抗が減少し放電々流が大きくなり帯電量が少くなるものと思はれる。大気湿度に依つて不導体の表面電気抵抗の減少することは多くの文献の指摘するところである。⁹⁾この実験では湿度78%以上は帯電しない。

以上の実験の結果の示す如く電気抵抗が減少すれば何れの場合に於いても帯電量は減少する。

3.2. 接触面積と帯電量

火薬と他の物体との間の真の接触面積を測定することは不可能であるが定性的にその大小を比較することは可能である。帯電の原因が金属に於けると同様に接触電位差に基くものとするれば接触面積の大なる程電子も又容易に移動し結局帯電量が増加することが考えられる。次ぎに接触面積に関する二、三の実験結果を示す。

3.2.1. 薬量と帯電量

図1に示した装置を使用して薬量に依る帯電々圧の変化を測定した。その結果図3の如くなり薬量と帯電量は比例する。即接触回数と帯電量は比例する。

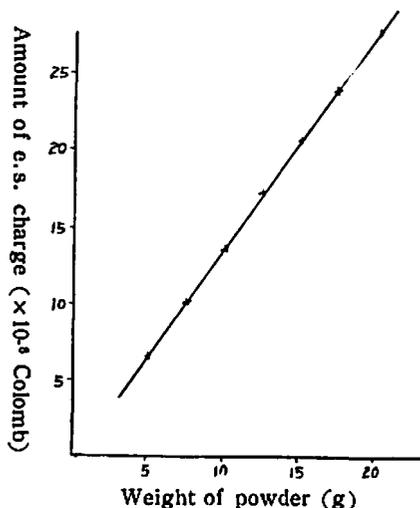


Fig. 3 Electrostatic charge and Weight of Powder.

3.2.2. 樋の長さで帯電量

図1の実験装置に於いて樋の長さを変化した場合火薬接触面積は当然変化する。樋の長さで帯電量の関係を示すと図4の如くなる。この実験に於いて樋に於ける火薬の落下状態は図5に示した様に樋の長さで接触回数は比例しない。

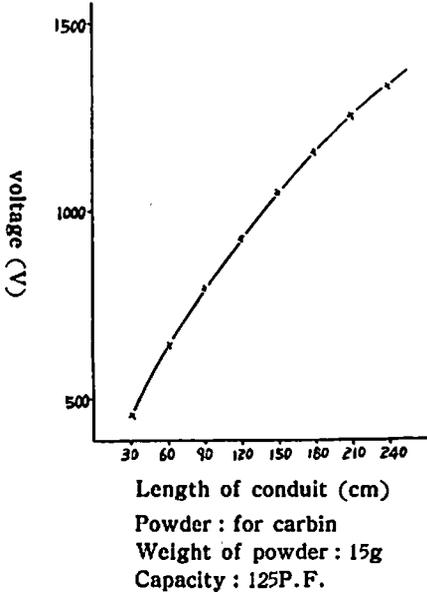


Fig. 4. Electrostatic charge and length of conduit

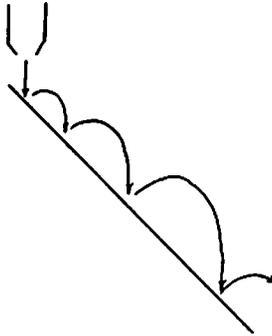


Fig. 5. Figure of the powder falling on conduit

3.2.3. 火薬の粒度で帯電量

同重量で比較した場合粒度の小さい火薬程表面積は

Table 3. granulation of powder and charge

granulation (tyler mesh)	~12	12~16	16~50	20~54	24~
Voltage (V)	678	828	811	1065	1500<
note	weight of powder 40g, 74 P.F, n = 5				

大きくなる。同一成分の火薬を粉砕節分し粒度の異なる火薬を作り図1の装置で実験を行った結果は表3の通り。粒度が小さくなると帯電量が増加する。

3.2.4. 衝撃圧力と帯電量⁷⁾

実験装置は図6の如くホッパー及びブリキ板の葉受けよりなりホッパーから落下した火薬はブリキ板と衝突して(衝突回数1回)大地上に落下する。ブリキ板は静電々計に接続し大地との間に容量を作る。ブリキ板に発生した電圧を測定すれば火薬帯電量を知り得る。

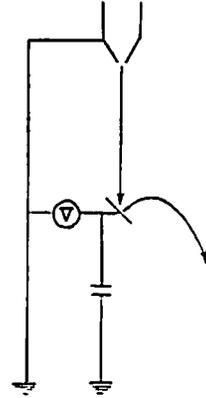


Fig. 6. Apparatus for measurement of electrostatic charge by shocking

ホッパーとブリキ板の距離を変更して落下の高さを変更すれば重力の加速度に依り火薬のブリキ板に衝突する力が変わってくる。落下の高さHと速度vとの関係は $v = \sqrt{2gH}$ であり2次曲線である。実験結果を図7に示す。衝突速度が大になると帯電量は増加するが或る程度になると帯電量は飽和する。即真の接触面積(電子の移動が行はれるべき接触面)が衝突速度に無関係に一定になるのではないかと思はれる。

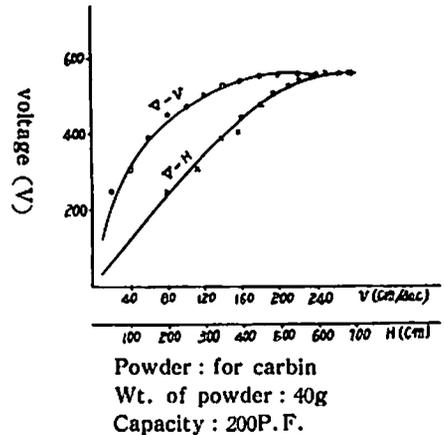


Fig. 7. Electrostatic charge v.s. falling height of powder

3.2.5. 接触表面の粗密⁹⁾

火薬と接触する金属表面の状態つまり粗密に依つて帯電量が如何に変化するかを実験した。

装置は図6の装置を使用し金属板の表面の粗なる場合は目の大きいサンドペーパーで磨き密な場合は目の小さいサンドペーパーで磨いた。実験の結果は表4に示す。表面の密なる方が帯電量が大きい。これは密な方が接触面積が大きい為と判断する。

Table 4.

Electrostatic charge with roughness and fineness of contact surface.

Rough	Fine	weight of powder 40g height of powder fall 100cm electrostatic capacity 100P.F. repeat of measurement 10
635V	995V	

以上の実験結果を総合的に判断して接触面積が増大すれば帯電量は増加し接触面積に比例する。

3.3. 接触物質と帯電量

火薬類の帯電に於いてその機構が金属に於けると同様接触両物質の間の接触電位差即作用函数の差にあるならば当然接触する材質に依つて帯電量が異なるものと思われる。然し静電気の場合は物質の電気抵抗により漏洩電流が異なり帯電量が作用函数の低下にならないことも予想される。図1の装置を使用して¹⁰⁾の材質のみを変更し他の条件は一定にして実験を行った。実験結果を表5に示す。測定成績は5回の平均であり鉄、銅、アルミ、真鍮に就いては薬種に依り帯電の順序が入替っているが統計的にはこの4者の間に有意差はない。尚此等の材料は一定の目の大きさのサンドペーパーで接触表面を研磨してあることは勿論である。綿薬は成分的には火薬粒と殆んど同じであり接触電位差の値も零に近いことが考えられる。P. E. Braind, K. C. Langille 及び Anna. M. Armstrong も Can.

Table 5.
conduit material and electrostatic charge

Conduit material	Powder.	A	B
	Capacity.	50P. F	50P. F
	Weight of pow.	60g	70g
Silk		1500V <	726V
Wood		1400V	516V
Iron		880V	346V
Aluminium		857V	371V
Copper		721V	339V
Brass		526V	345V
Nitro-cell.		380V	186V

Tech⁹⁾ に火薬と同一成分のものを容器の内面に塗布することに依つて帯電を防止し得ると記してある。上記の実験は綿薬をアセントに溶解して桶に塗布したものである。

4. 帯電量の飽和

既に述べた如く帯電量は接触面積に比例する。然かしこれは単位表面積当りの帯電量が比較的少ない場合のことであつて電荷の表面密度が大になれば当然放電現象が考えられる。何となればガウスの定理に依り帯電量Qを含む全閉空間の電気力束は $4\pi Q$ であり更に表面の電気力線密度即 $4\pi Q/S$ (S =表面積) は電位傾度 (dV/dl (V =電圧, l =距離) に等しくその絶縁状態は電位傾度 dV/dl に支配される。空気の絶縁破壊強度は一般に $3,000V/mm$ と云はれている。従つて電荷の表面密度を大にすれば火花放電でなくても(即暗流でも)当然放電現象が予想され接触面積と帯電量が比例しなくなるものと思はれる。

4.1. 同一火薬の繰返し操作と帯電量

実験装置は図1の装置を使用し、ホッパー及び桶を流れて帯電した火薬の電圧を測定し更にその火薬について同操作を繰返して電圧を測定する。繰返しの回数と毎回の測定電圧との関係は図8に示す。この飽和状態は帯電量が増加した為放電量も比例して大きくなり放電量と毎回の帯電量が平衡に達した為と思はれる。

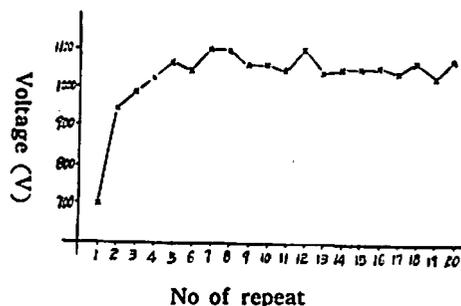


Fig. 8 Relation between e.s. charge and repeating treatment.
Powder : for corbin
Wt. of powder : 100g
Capacity 375g

4.2 回転装置に於ける帯電量

同一火薬に就き接触面積を増加させる為ドラムに火薬を入れ回転しドラム内壁と火薬とを摩擦させる。回転時間及び回転速度の増加は当然火薬の摩擦面積を増加させる。実験に使用した回転装置は図9に示す通りでドラムの材質は真鍮で火薬はドラムより直接測定用受器に落下させる。実験結果を表6に示す。グラフ化解析を行つまでもなく回転時間及び速度で帯電量は増

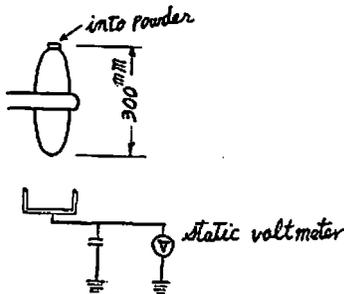


Fig. 9 Apparatus for electrostatic experiments by rotation

Table 6. Electrostatic voltage by rotary drum

rotation speed rotary time	50rpm	70rpm	80rpm	110rpm
30sec	430V	520V	465V	430V
60sec	383V	410V	550V	390V
90sec	410V	400V	410V	460V
120sec	395V	395V	520V	425V
180sec	440V	410V	400V	435V
240sec	440V	370V	500V	445V
note	capacity 130P.F. weight of powder 10g			

加しているとはいい難い。

4.3 振盪装置に於ける帯電量

回転装置に於ける帯電と同じ目的で振盪装置の帯電量を測定した。装置は11号広口試験器にゴム栓をし水平に振巾6cmで振盪した。振盪後電圧測定用受器に火薬を移し電圧を測定する。成績は表7に示す通りで振盪時間及び振盪速度に関係なく帯電量は変化しない。これは前項回転ドラムに於けると同様発生電氣量と放電々電量が平衡に達した為と思はれる。

Table 7. Electrostatic voltage by vibrator

Speed time (sec)	180	240	300	360
30	490V	275V	545V	520V
60	495V	585V	485V	475V
90	535V	540V	400V	495V
120	620V	490V	480V	400V
180	450V	475V	480V	430V
240	240V	475V	460V	500V

note capacity 38P.F weight of powder 30g

以上の実験結果の示す如く実際の製造工程に於いて

は帯電量は平衡状態に達している場合が相当多いのではないかと思はれる。この平衡状態に達した飽和帯電量を知る為には単位時間当りの発生電氣量と放電々電量を知りその差を計算推定する必要がある。火薬の放電に関する実験については別に投稿予定である。

5. 溶剤の蒸発による帯電現象

無煙火薬の製造工場に於ては溶剤を取扱う機会が非常に多い。水蒸気その他の気体について帯電現象のあることは一般に認められているが¹⁰⁾それは器壁(パイプ、ノズル)との接触摩擦によるもので溶剤の蒸発による帯電現象があるや否やについては種々論議されて来たが未だ正確な結論を知らない。火薬の乾燥工程に於ける帯電の有無は可燃性溶剤蒸気の発生を伴う工程であるだけに危害予防止重要なことである。我々は次の様な方法で実験を行った。実験装置を図10に示す。

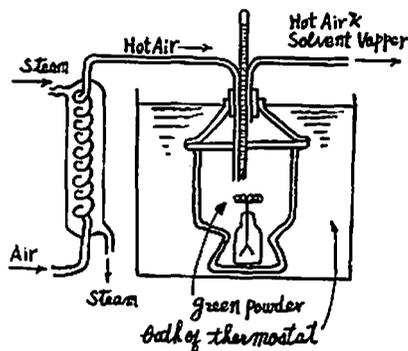


Fig. 10. Apparatus for electrostatic charge by evaporation of solvent from green powder.

即ち検電器板上に溶剤で充分飽和した火薬を貼り一定温度の熱風を送り溶剤を蒸発させる。溶剤の種類は1) Alcohol 2) Ether 3) Alcohol-Ether (1, 2) 4) Aceton 5) Ethyl Acetate の5種類蒸発温度は35°Cから75°Cまで5°C間隔で変化させ各温度に於ける帯電現象を試験した。溶剤の蒸発完了は廃氣中に溶剤蒸気臭のなくなるまでとした。実験の結果何れの溶剤、何れの温度に於いても検電器は開平せず帯電現象は認められない。一般に検電器はその静電容量は極めて小で静電々圧計より敏感である。従つて普通の溶剤蒸発時には帯電現象はないと云つても差支ない。仮に帯電現象があつても検電器に感じない程度の微量なら実用上何等差支ないと判断する。

6. 結 び

上記実験結果は昭和32年春(4月20日)の工業火薬協会研究発表会に於いて発表したものである。前に述べたように火薬の自然放電に依る飽和帯電量の推定については稿を改めて発表の予定である。

文 献

- 1) 斉藤隆二 火兵学会誌 第35巻(昭17)
- 2) 北川徹三 応用物理 第24巻(1955)
- 3) 斉藤隆二 火兵学会誌 第35巻(昭17)
- 4) Picatiny Arsenal PB. 53818
- 5) 同 上
- 6) 風談三郎 電気材料(共立出版)p.57.
- 7) 高田実, 庄田新一 第2回静電気研究発表会誌

演要旨(昭31) P.31~33

- 8) E. Braid R. C. Langille, and Anna M. Armstrong. Canadian Journal of Technology. Vol 34. No 2. p 45. March (1956)
- 9) 同 上
- 10) 北川徹三, 応用物理, 第24巻第10号, p 435. (1955)

Electrostatic charge during the manufacturing process of smokeless powder

Mantaro Uetake. Hiroshi Sato

It is well known that, in manufacturing smokeless powder, the problem of electrostatic charge is a matter of great concern for warding off danger. We studied on the electrostatic charge of smokeless powder. From our experiments we draw the following conclusion. 1) The amount of electrostatic charge depends on the electric resistance of the powder. The amount of charge on the powder of low resistance is low and that of high is high.

2) The amount of the charge on the powder is proportional to contact area of the powder. 3) The amount of the charge on the powder depends on the

characteristics (surface condition and component) of the material which comes in contact with the powder.

But when the surface concentration of electrostatic charge is increased, the amount of charge is saturated and becomes constant. We suppose the reason why this saturated charge occurs is that the leakage of charge from the powder and generating charge is balanced. And also our experiments shows that evaporation of solvent from powder does not generate the electrostatic charge. (Sakanoichi plant. Asahi Chemical Industry Co., Ltd.)

雷管威力試験法の検討

(第2報: 測定値に影響を及ぼす因子)

井田一夫, 磯谷 隆, 山本頭一郎, 工藤隆義*

I. 緒 言

前報に於て、現在提示されている雷管の威力試験法26種類を紹介し、その中代表的と思われる試験法、即ち直接法として鉛板試験、釘試験、砂試験、球試験、鉛塊試験、間接法として吸湿硝燥によるヘス試験、ハイド試験、合計7種類について、その表現する起爆作用、方向性等について検討した。その結果、従来雷管の威力試験法は猛度(衝動効果)を測定するものと考えられていたが、破片効果、熱効果を表わしている

試験法もあり、雷管威力の方向性をも加味して考えると、鉛板試験と釘試験の両者を採用し、更に吸湿硝燥ヘス試験或はハイド試験の何れかを併用することが望ましい事を述べた。

然し乍ら、試験法に於ては測定精度も重要な条件であり、再現性が悪くはすぐれた試験法とは云えない。又試験費用のことも、実用上は無規出来ない問題である。従つて本報に於ては上記7種類の代表的試験法について測定値に影響を及ぼす因子、測定値の精度、試験経費等について検討する。

II. 測定値に影響を及ぼす因子

昭和36年8月25日受理日

* 日本化学工業折尾作樂所 福岡県若松市大字浅川