



## 水滴による標準電荷量の設定について

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者: 室蘭工業大学<br>公開日: 2014-07-10<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 織笠, 桂太郎<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10258/3518">http://hdl.handle.net/10258/3518</a>                            |

# 水滴による標準電荷量の設定について

織笠桂太郎

## On the Fixation of the Standard Electric Charge by Water Drops

Keitaro Orikasa

### Abstract

The diameter of water drops dripped from the needle of the syringe is so uniform that if the needle has a fixed electric potential, the electric charge on the drops should be taken as the standard electric charge.

This idea has been used by some workers of the "Atmospheric Electricity", and they assumed that the charge on the drops is obtained from the relation  $Q=CV$  ( $Q$ : electric charge on the drops,  $C$ : electrostatic capacity of the drops,  $V$ : electric potential which is given to the needle).

In this paper, the author considered that the above-mentioned assumption may not be essential and proposed another idea derived from the results of the measurements of electric charge on the drops dripped from the needle by a Vibrating Reed Electrometer, and found some effective conditions to obtain the most reliable standard electric charge.

### I. 緒 言

種々の物体の帯電量を測定する場合に、その都度電位計の入力抗抵、入力容量などを測定することは大変面倒である。そこで簡単に標準の電荷量を作る方法があれば、その電荷量を既製の電位計あるいは自分で設計製作した電位計に直接与えて検定を行なえば良い。このためには、いつ、どこで、誰が行なっても一定の電荷量を与えるような方法があれば良い。気象電気学の分野で雨滴や雪片の電荷を測定するための簡易電位計の検定に水滴を用いる方法がある。

それは注射器の中の水を一定の電位を与えられた注射針の先端から滴下させ、この帯電した水滴を電位計に落下させて検定する方法であるが、この水滴のもつ電荷量は実際に測定されておらず、水滴の半径  $r$  を静電容量と仮定し、注射針に与えた電位  $V$  から、水滴の電荷  $Q$  は  $Q=r \cdot V$  として求め、これに対する誤差は 10% 前後と考えられていた。この方法では、水滴はそれをとりまく周囲の物体から完全に孤立し、この水滴をとりまく周囲の物体の半径が無量大であると仮定されている。

この考え方は実際とは本質的に異なるようにも考えられる。つまり注射器とこれを支えている周囲の物体がもつ静電容量  $C$  に与えた電位  $V$  によって得られた電荷  $Q(Q=CV)$  の一部

を注射針の先端から水滴がもらって分離すると考えた方が良いのではないかと考える。そうだとすれば、やはり一度はこの電荷を測定しておかねばならない。しかも更にこのようにして得られた電荷はいつでも一定の電荷をもっているかどうかは実際には確かめられていない。

本論文ではこのような方法を完全なものにするにはどうしたらよいか検討を加え、注射針の先端は市販のものをそのまま鋭利な状態で使った方が良く、注射器全体を金属導体で完全にシールドしたのを検定すべき電位計から5 cm 程度離して検定すれば常に一定の電荷量が得られることが判明した。また従来の仮定から算出された電荷量と実際に測定した結果とはかなりの開きがあることが判明した。

## II. 実験装置及び実験の方法

電荷量の測定には武田理研製の振動容量型電位計とファラデーケージを用い、注射器は市販の10 cc 用を用い、この注射器の注射針から滴下する水滴の半径は、ロシ法<sup>2)</sup>、あるいは写真機を用いて拡大撮影（カメラのレンズに長焦点アタッチメントをつけ水滴の直後にスケールを置いて適当な照明をして写真をとる）して決定した。注射針に与える電位は、90 ボルト積層乾電池と3端子を持つポリウムと真空管電圧計とを組み合せたもの、また比較的高い電圧の場合は直流定電圧電源装置を使用した。実験装置の概略は図-1 に示したとおりである。

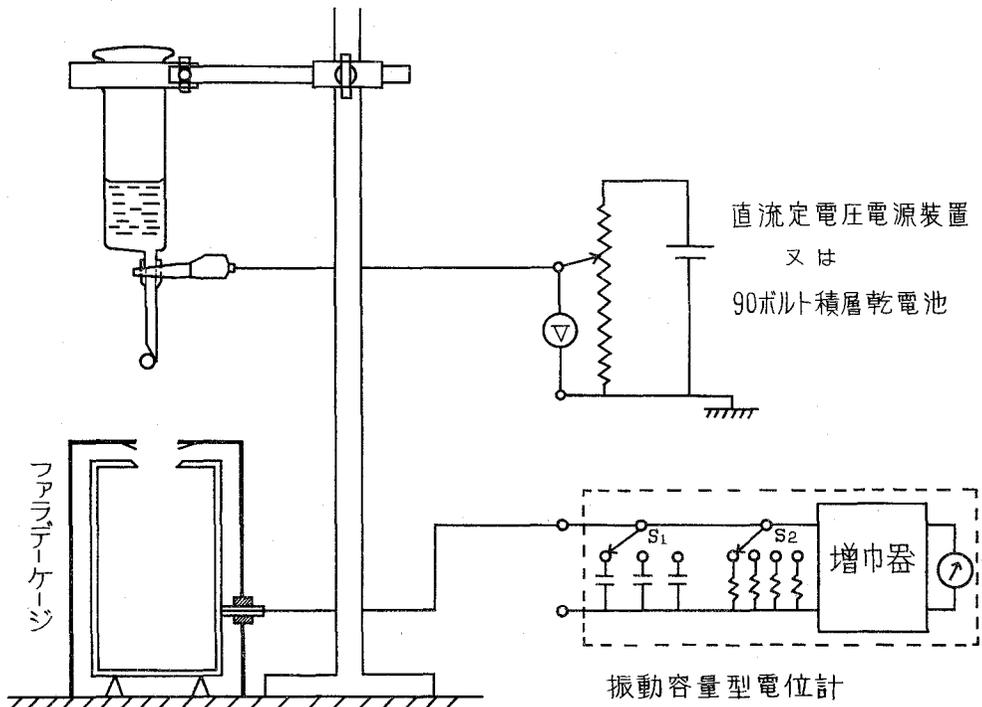


図-1 実験装置の概略

実験の順序は先ず振動容量型電位計の入力抵抗及び入力容量の表示値を簡単な方法で確認し、次に水滴を落下させる位置とファラデーケージとの間の間隔の影響を調べ、水滴が注射針からちぎれて落下するので、このちぎれの影響がどの程度か確認するため、金属ボールを用いた結果と比較してみた。また注射器を静電遮蔽した場合のような効果があるかなど、次々に検討してみた。

表-1 入力抵抗の信頼度の確認

| 表示入力容量 (pF) | 表示入力抵抗 $R$ ( $\Omega$ ) | 印加電圧 $E_0$ (ボルト) | $0.368 E_0$ (ボルト) | 時定数 $\tau$ (秒) | $\tau/R$ (pF) |
|-------------|-------------------------|------------------|-------------------|----------------|---------------|
| 1,000       | $10^{10}$               | 6                | 2.21              | 10.75          | 1,075         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 6                | 2.21              | 10.90          | 1,090         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 6                | 2.21              | 10.73          | 1,073         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 6                | 2.21              | 10.99          | 1,099         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 6                | 2.21              | 10.88          | 1,088         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 10               | 3.68              | 10.83          | 1,080         |
| 1,000       | $10^{10}$               | 10               | 3.68              | 10.92          | 1,092         |
| 平均          |                         |                  |                   | 10.86          | 1,086         |
| 1,000       | $10^{12}$               | 6                | 2.21              | 999.60         | 999.60        |
| 1,000       | $10^{12}$               | 6                | 2.21              | 999.55         | 999.55        |
| 1,000       | $10^{12}$               | 10               | 3.68              | 998.62         | 998.62        |
| 1,000       | $10^{12}$               | 10               | 3.68              | 1,004.20       | 1,004.20      |
| 平均          |                         |                  |                   | 1,000.50       | 1,000.50      |

1) 電位計の入力抵抗の信頼度の確認

電位計の入力端子に一定の印加電圧を与え、スイッチを切つてこの印加電圧を除いたあとの電位計の指針の振れのもどりから時定数を求め、このとき使用した電位計の入力抵抗、入力容量をもとにして表-1の如くまとめてみた。表から知られる様に、表示入力抵抗  $10^{10} \Omega$  と表示入力容量 1,000 pF の組み合わせ (図-2) では1秒の読みちがいで入力容量の値に 10%, 又表示入力容量 1,000 pF と表示入力抵抗  $10^{12} \Omega$  とでは 0.1% の誤差を生むことになるが、結果的には  $10^{12} \Omega$  の表示入力抵抗を正しいと仮定して求めた入力容量は 0.05% の誤差で表示入力容量と一致し、また  $10^{10} \Omega$  の表示入力抵抗を正しいと仮定した場合は 8.6% の誤差である。また両方の結果の平均値からの偏差は高々 5% 以内であるから、 $10^{10} \Omega$  も  $10^{12} \Omega$  もいずれも信用して良いと思われる

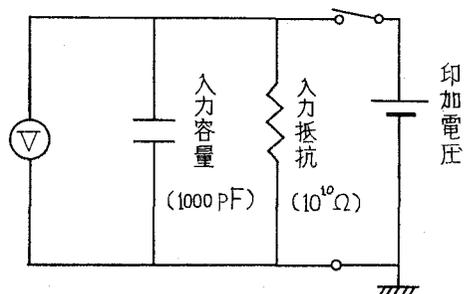


図-2 入力抵抗、入力容量の組合せの一例

るが、時定数の測定の場合  $10^{12} \Omega$  の方が時間はかかるが精度が高いと思われるので  $10^{12} \Omega$  を入力抵抗として用いることとする。

## 2) 電位計の入力容量の測定

上述の結果から  $10^{12} \Omega$  の入力抵抗はかなりの信頼度があると見做し、表示入力容量 10 pF または 100 pF とファラデーケージを並列に結合した場合の合成入力容量を上述の如き時定数法で測定した結果は表-2 に示したとおりで、10 pF レンジでは特別にコンデンサはなく電位計自身の容量であるから、ファラデーケージとこれから入力端子までの容量は約 30 pF 前後であることが判明した。100 pF のレンジではこの表示値のコンデンサが入っており、ファラデーケージとこのコンデンサとの合成容量は 130.5 pF であった。電荷量を測定するには出来るだけ入力容量が小さい方が良いのであるが、10 pF のレンジでは外部入力端子回路の状態にかなり左右されると考えるので、100 pF のレンジの合成容量 130.5 pF を入力容量として電荷を測定することにした。

表-2 入力容量の測定

| 表示入力容量<br>(pF) | 表示入力抵抗 $R$<br>( $\Omega$ ) | 印加電圧 $E_0$<br>(ボルト) | $0.368 E_0$<br>(ボルト) | 時定数 $\tau$<br>(秒) | $\tau/R$<br>(pF) |
|----------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| 10             | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 42.35             | 42.35            |
| 10             | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 42.34             | 42.34            |
| 10             | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 42.0              | 42.0             |
| 10             | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 41.89             | 41.89            |
| 10             | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 42.32             | 42.32            |
| 10             | $10^{12}$                  | 11                  | 4.05                 | 42.25             | 42.25            |
| 10             | $10^{12}$                  | 11                  | 4.05                 | 41.89             | 41.89            |
| 10             | $10^{12}$                  | 11                  | 4.05                 | 41.75             | 41.75            |
| 10             | $10^{12}$                  | 18                  | 6.63                 | 41.25             | 41.25            |
| 10             | $10^{12}$                  | 18                  | 6.63                 | 41.52             | 41.52            |
| 10             | $10^{12}$                  | 18                  | 6.63                 | 41.13             | 41.13            |
| 平均             |                            |                     |                      |                   | 41.97            |
| 100            | $10^{12}$                  | 6                   | 2.21                 | 130.50            | 130.50           |
| 100            | $10^{12}$                  | 6                   | 2.21                 | 130.50            | 130.50           |
| 100            | $10^{12}$                  | 6                   | 2.21                 | 130.35            | 130.35           |
| 100            | $10^{12}$                  | 6                   | 2.21                 | 130.45            | 130.45           |
| 100            | $10^{12}$                  | 6                   | 2.21                 | 130.55            | 130.55           |
| 100            | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 130.22            | 130.22           |
| 100            | $10^{12}$                  | 10                  | 3.68                 | 130.35            | 130.35           |
| 100            | $10^{12}$                  | 16                  | 5.89                 | 130.75            | 130.75           |
| 平均             |                            |                     |                      |                   | 130.51           |

### III. 標準電荷量設定における種々の条件についての検討

#### 1) 注射針の先端とファラデーケージの上端間の距離の影響について

注射針に一定電圧 60 V を与え、半径 1.4 mm の水滴をファラデーケージ内に落下させたときの結果は 図-3 に示す通りで、間隔を 50 cm 以上とって落下させなければ電荷量が一定値にならないことが判明した。

#### 2) 間隔 50 cm をとった場合の設定電荷量

上述の結果を参考にして落下距離を 50 cm に保ち、注射針に種々の電位を与えて半径 1.4 mm の水滴を落下させたときに測定された真の電荷量と従来の仮定 ( $Q=rV$ ) より計算された電荷量との関係を 図-4 に示した。これによると、従来の仮定から得られた電荷量に対して真の測定された電荷量は約 40% 程度にしかならないことが知れる。

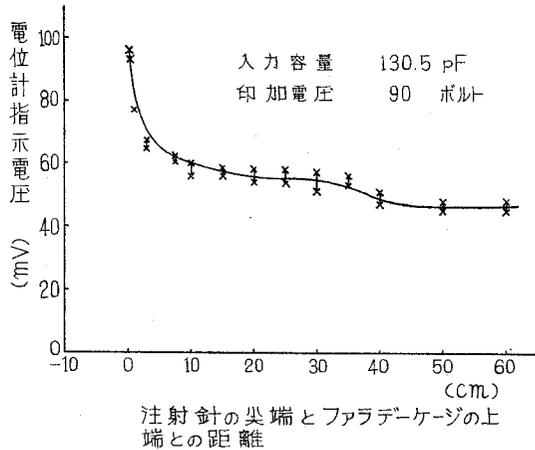


図-3 水滴の落下位置と帯電量との関係

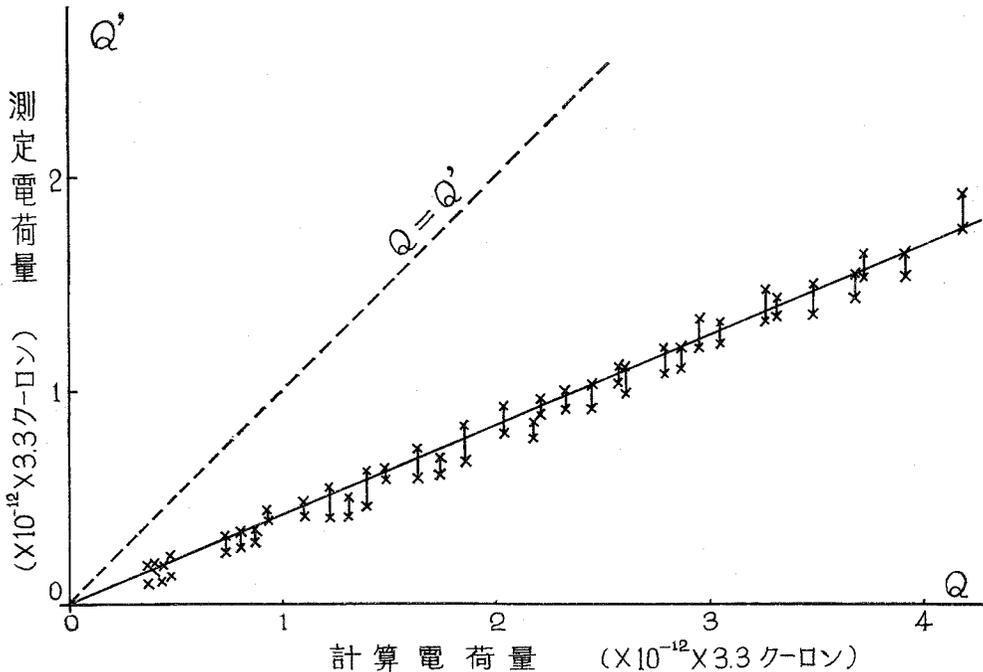


図-4 市販の注射針をそのまま用いた場合

従って従来の仮定はほとんど意味がなかったことになる。しかし従来の仮定を抜きにしてこの方法を使えばある一定の電荷量が得られることは図の直線性から明らかである。ただ図に示すとおり設定した電荷量がかなり直線附近にばらついているのが目につく。これについて以下に検討してみよう。

### 3) 設定電荷量のバラツキと注射針の尖端の形との関係

上述の電荷量のバラツキが水滴が注射針から離れる時の状態によるのではないかと考え、注射針の尖端を図-5 (b) のように鋭利な部分を切り取った形にして水滴を落下させた結果は 図-6 に示す通りで、一層バラツキが大きくなってしまった。したがってちぎれ方による効果が多少あるように思われる。

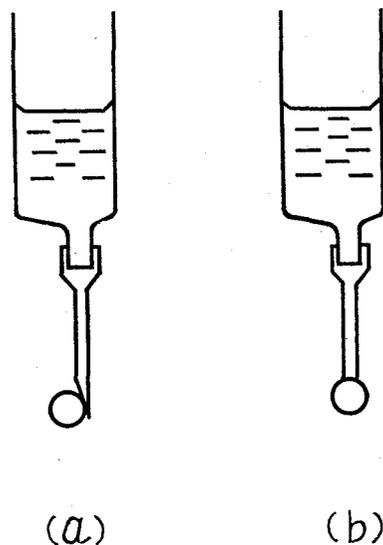


図-5 注射針の尖端の形状

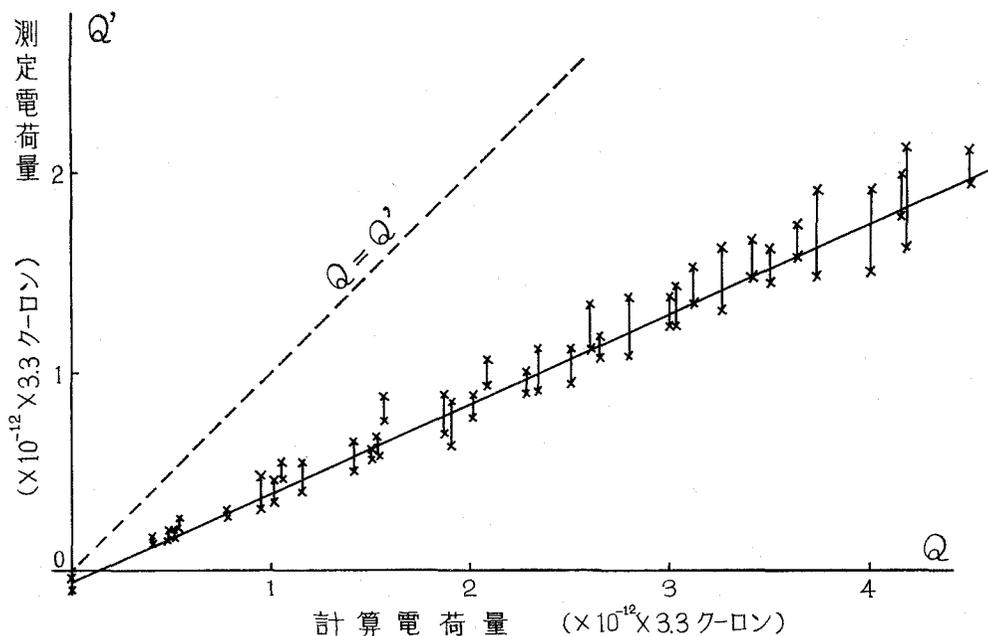


図-6 市販の注射針の尖端を切りとった場合

### 4) 金属ボールによる電荷量の設定

上述の如きちぎれによる影響は金属ボールを帯電させて落下させる場合には起らないものと考えられるので 図-7 の如く金属ボールをピンセットで挟み電位を与えてから落下させて得

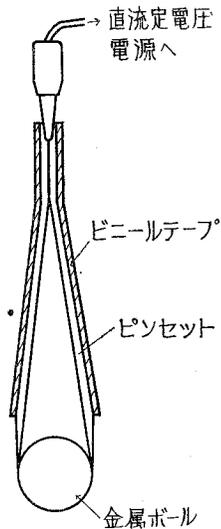


図-7 金属ボールを帯電させて落下せしめるためのピンセット

た結果を図-8に示した。図から明らかなようにバラツキはやや少な目になっているが依然としてこのバラツキは残っている。従ってこのバラツキは別の原因によるものと考えられる。また図から直線性が失われ、曲線になっているのは、ボールを直接落下させると、ファラデーケージを内壁に傷をつけるおそれがあるので steel wool を内部にしいたために生じたものと考え、ボールを一旦アース電位にしたのち落下せしめた結果、図-9のようになり、ボールと steel wool との衝突により正の電荷が発生し、ボールの落下距離が大きくなれば発生電荷量も大きくなることが判明し、図-8の曲線性を充分説明できるものと思われる。従ってこのようなダンパーを用いる場合は注意を要する。そこでこの steel wool ダンパーを除いて直接落下させた場合の結果は図-10に示す通りで明らかに直線になっている。

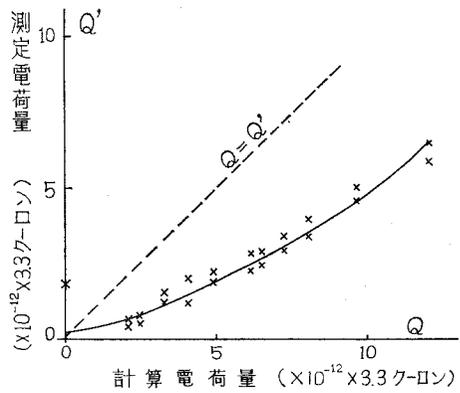


図-8 Steel wool をダンパーにして金属ボールを水滴の代りに用いた場合

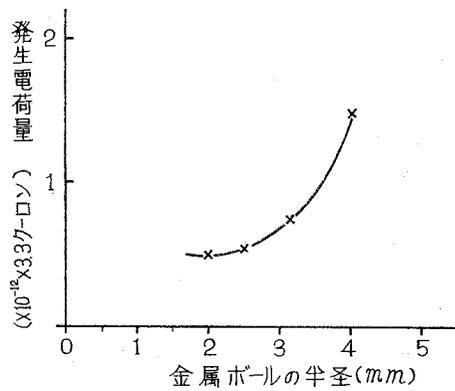


図-9 金属ボールと Steel wool との衝突によって発生する電荷量

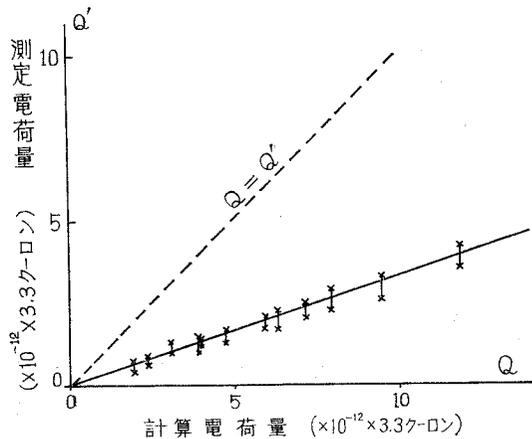


図-10 Steel wool を除いて金属ボールを落下した場合

表-3 水滴の印加電圧と電位計の振れ (mV) との関係

| 印加電圧<br>の符号 | 印 加 電 圧 (V) |       |       |       |       |
|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|             | 50          | 100   | 150   | 200   | 300   |
| +           | 5.76 mV     | 11.2  | 17.0  | 22.6  | 28.0  |
| -           | -5.75 mV    | -11.3 | -17.0 | -22.8 | -28.2 |

## 5) 周囲電界の影響についての検討

以上の如きバラツキの原因として考えるべく残された周囲の電界の影響を取り除くために直径 52 mm の円筒で注射器全体をシールドした結果、図-11 のような非常にバラツキの少ない安定な条件が得られることが判明した。また負の電位を与えた場合にも表-3 に見られるようにほとんど絶対値の大きさには差が見られないことがわかった。また注射針の位置とファラデーケージとの間の間隔は 10 cm で充分であることも判明した。

## IV. 最終的にまとめた装置による結果

## 1) 装置のまとめ

III. において検討された種々の条件を考慮すれば、注射針は市販のものをそのまま使用し水滴

の直径が比較的安定に得られる細めのものを使用し、できるだけコンパクトに注射器の周囲の静電遮蔽を行ない、できるだけ静電容量が大きくなるようにまとめれば、周囲の温度、湿度などの影響による静電容量の変化はこの装置全体の静電容量に比して極めて小さくなり、水滴の得る電荷量が安定することになる。

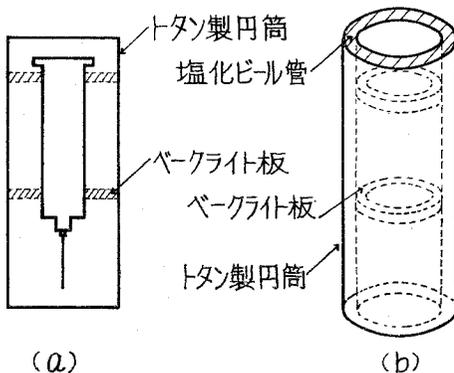


図-12 最終的にまとめたシールド円筒

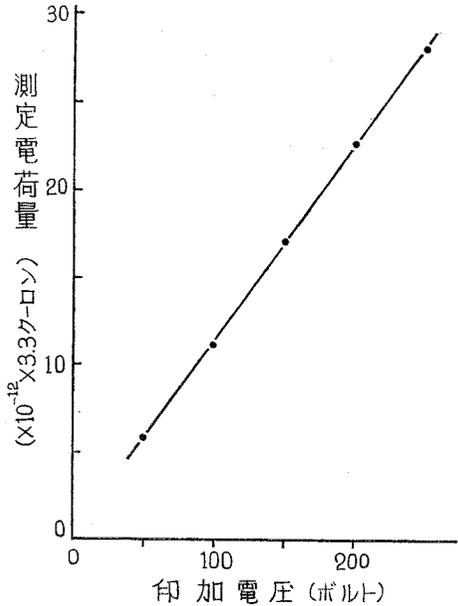


図-11 周囲の電界をシールドした結果

そこで図-12 (a) の示す様に直径 4 cm のトタン製円筒にドーナツ型のベークライト板を 2 枚接着して、これに注射器を支えたとともに遮蔽円筒と注射器との間の絶縁効果ももたせ、遮蔽円筒は接地し、実験用スタンドに支持し、シールド同筒の横にリード線が通る程度の小さな穴をあけ、これを通して注射針に電位を与えた。また静電容量の効果を検討するために図-12 (b) のように外径 43 mm、内径 36 mm 程度の塩化ビニルの円筒の

周囲をトタンでカバーした円筒に、(a)と同じ様に注射針を支持し、(a)に比べて静電容量が大きい状態にした。

2) 注射針の先端とファラデーケージの上端間の間隔の影響について

(a), (b) 両シールド円筒を用いて注射針の先端とファラデーケージの上端間の間隔による影響をしらべた結果、円筒 (b) の方が幾分安定であったので、これによる結果のみを図-13に示した。図から明らかなように間隔を5 cmとすれば充分安定することが知れたので以後は5 cmの間隔をとって実験することにした。

3) 温湿度の影響について

シールド円筒(a), (b)をそれぞれ用いて温湿度の影響を検討した結果はそれぞれ図-14,

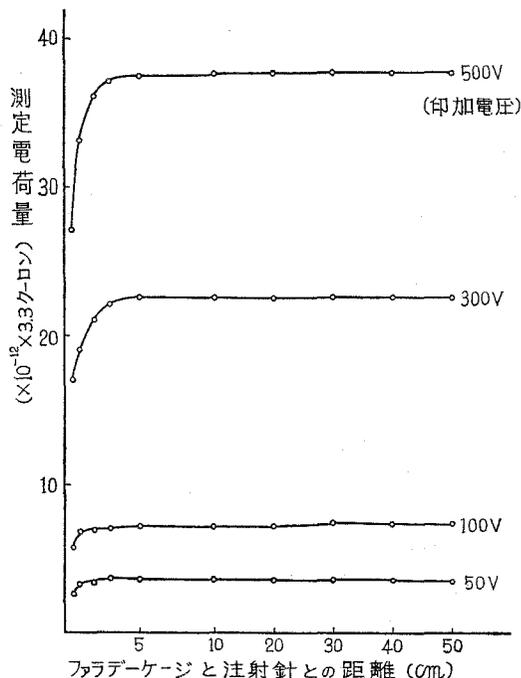


図-13 シールド円筒 (b) を用いた場合の水滴の落下位置と帯電量との関係

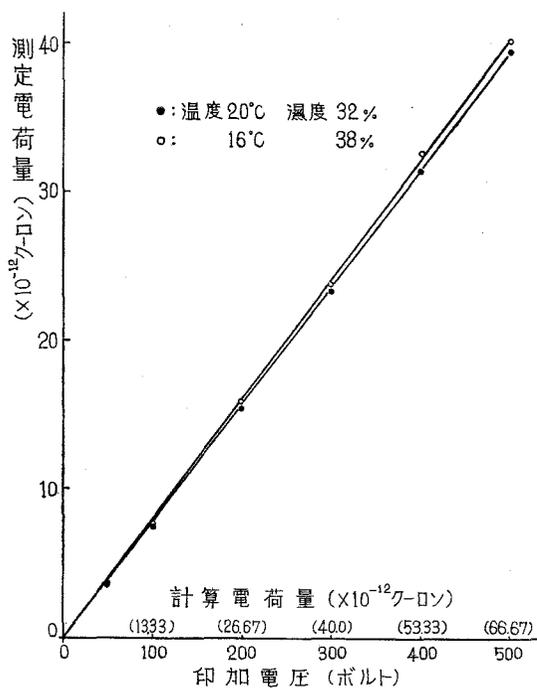


図-14 温度、湿度の影響 (シールド円筒 (a) を用いた場合)

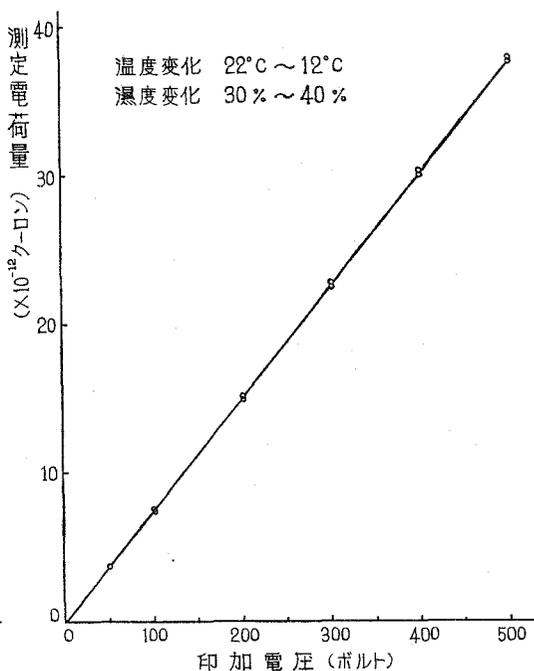


図-15 温度、湿度の影響 (シールド円筒 (b) を用いた場合)

図-15 に示した。

(a) の場合は温度が約  $5^{\circ}\text{C}$ 、湿度が約 5% 程度の違いで設定電荷量に最大約 4% 位の誤差を生じているようであったが、(b) の場合は温度が約  $10^{\circ}\text{C}$ 、湿度が約 10% の違いがあっても、ほとんど誤差もバラツキもない良好な結果が得られた。これによって静電容量をできる限り大きくした方が良いということが明らかになった。

## V. 結 言

以上水滴を用いて標準電荷量を設定する場合の種々の条件を検討し、最終的には非常に安定な標準電荷量を得る条件が得られた。水滴によってかくの如き安定な標準電荷量が得られるということは非常に興味あることといえる。これは次の 3 つの条件によるものと考えられる。第一に、注射針から滴下する水滴の半径が非常に安定していること、第二は静電シールドによる外部電界の影響を除く効果が非常に大きかったこと、第三は水滴が電荷を得る機構がこの静電シールドと密接に関係していることである。即ち水滴の得る電荷量はそれ自身の静電容量によるものではなく、水滴を含めた落下装置（特に注射器の部分）の静電容量とこれに与えられた電位によって蓄えられた一定の電荷量の一部を水滴がもらって落下すると考えるべきである。したがってこの静電容量が安定すれば、水滴の得る電荷量も安定するわけである。こ

の静電容量を安定させるためには、静電容量を出来るだけ大きくして周囲の状態の変化による静電容量の変化を無視出来る程度にすることと、水滴の落下装置の下端と検定すべき電位計との間の間隔を適当な一定の値に保ち、両者の間の静電容量を無視できる状態にすることである。このような水滴の帯電機構の考え方は、図-16 に見られる通り、注射器をシールドした方がシールドしない方よりもはるかに大きな電荷量を得られることから理解されることである。従って第二

の静電シールドの効果が第三の静電容量の安定につながっており、第二の静電シールドの効果が大きかったことは、とりもなおさずこの第三の効果によるところ大であると考えられる。

次に水滴を作るための水は蒸留水、水道の水、電解質の溶液等何れを用いても得られる電荷量には全く関係がないことも明らかとなった。

第一の条件をみたすためには、水滴を用いるよりも金属球を用いた方が半径は安定するの

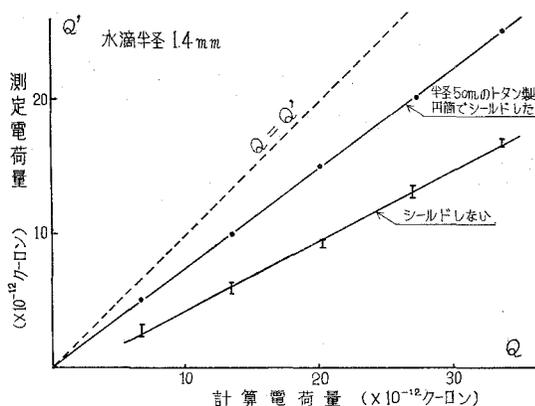


図-16 注射器をシールドした場合とシールドしない場合の設定電荷量の比較

で、金属球の落下装置の安定なものが得られればこれを用いるのも目的によっては好都合となるであろう。この報告では  $10^{-12}$  クーロンから  $10^{-10}$  クーロン程度の電荷量の設定を行なったが、これ以上大きな値の設定は可能であるが、 $10^{-13}$  クーロン位の値になるとかなり困難な条件を克服せねばならないであろう。

終りに、本研究に協力して下さった昭和42年産業機械工学科卒の奥山哲也君，昭和44年電気工学科卒の牧野修君，半田利幸君，昭和45年電気工学科卒の村上秀雄君に対し深甚なる謝意をする次第である。

(昭46. 5. 20 受理)

#### 文 献

- 1) 孫野長治・小口八郎・荒井文治・岡部 弘： J of the Meteorological Soc. of Japan, Series II, Vol. 34, No. 1, 1956.
- 2) 丸山晴久： 天気, Vol. 1, No. 2, 1954.