



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



真空管電位計による表面電荷測定の問題

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 北村, 正一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3090

真空管電位計による表面電荷測定の問題の2, 3の問題

北 村 正 一

Some Problems on the Measurement of Surface Charge by the Vacuum Tube Electrometer

Syoiti Kitamura

Abstract

In the instrument to be described for measuring the electric surface charge is used a radio tube, 3 S 4, which is constructed in a copper tube with a measuring electrode and is shielded from light and moisture. And then, the relations between the charged substance and the probe of the instrument are discussed with respect to the distance between them, obtaining the input voltage attenuating relations.

In the measurement taking a distance from the objective, the grid input voltage—distance characteristic flattened in a region of short distance is solved by this discussion.

1. は し が き

表面電荷を測定するには、最近真空管電位計を用いるようになってから、測定が簡単になつたので種々の新しいデータが得られるようになってきた。従つてこれに関する文献^{1)~3)}も多く発表されている。しかし測定としてはまだ多くの問題を残しているもので、筆者は別の方式を用いた簡易測定器を試作し、プローブの入力インピーダンスの大きさと、被測定荷電体とプローブとの間の関係を検討して、実際の測定に当つて、入力電圧が両者の間の関係でどのように変るかを求めた。

2. 測定器として要求される条件

一般に真空管を用いた測定器としての条件以外に、とくに電荷の測定用として要求される条件は次のようである。

(a) 初段用真空管のグリッド電流が非常に小さくて、少なくとも 10^{-13} A 以下にする。

- 1) 木脇・佐久間・中曽根：絹紡工程における静電気発生状況について。電試彙報, 19巻, 3号, p. 177.
- 2) 大滝善太郎：静電器測定のための直流型真空管電位計。応用物理, 24巻, 8号, p. 338.
- 3) 橋高重義：真空管電位計による電荷密度の測定法。応用物理, 22巻, 7-8号, p. 278.

(b) 等価入力容量をできるだけ小にする。

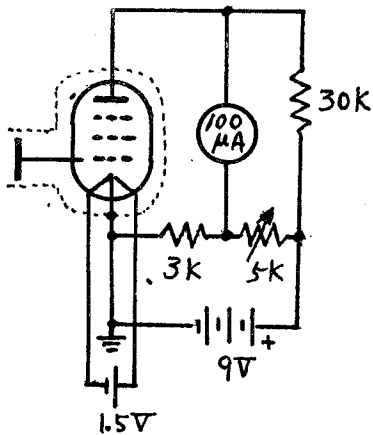
(c) 入力回路時定数を数秒以上にする。

これら4個の条件を同時に満足させることは、適当な方法をとれば、あるていど実現できる。

(a)のグリッド電流をできるだけ小にするには、電位計管として作られているものを用いると 10^{-14} A以下にできるが、また受信用真空管でも代用できる。例えば、後にのべる試作に用いた3S4を多数の中から 10^{-13} Aていどのものをえらび、これをアルコールで洗い、後に、乾燥して、シリコン・ワニスで表面処理をすれば 10^{-14} Aていどのものが求められる。勿論、プレート電圧は10V以下で、ヒーター電圧は定格の $1/2 \sim 2/3$ で用いる。尚光を完全にさえぎることが大切で、ごく僅かの光の侵入でも大きいグリッド電流が流れる。

次に(b)の等価入力容量を小にする条件であるが、これは後にのべる理由から、入力電圧をできるだけ大きくするために必要である。この容量の大部分は、測定電極とリード線の接地部への静電容量であつて、これをできるだけ小にすることがのぞましい。プローブとしては、ガード・リング型よりは、ガード・ウエル型がより正確な測定と、入力電圧の調整ができるのですぐれている。しかしこのプローブを真空管から離して使用すれば、リード線と接地部との間の容量が増して面白くない。

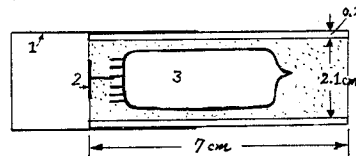
第3の問題としては、グリッド・リークとしての高抵抗を用いる方法と、グリッドを浮かして用いる方法との良否の問題がある。 $10^{11} \sim 10^{12} \Omega$ ていどの安定な抵抗器が容易に入手できれば用いた方がよいときがある。このときは適当なバイアスをかけてA級増巾で用いられるので、正負の入力に対して直線的に目盛ることができる。安定な高抵抗が入手困難か、又は3の項でのべるプローブを用いるときには、むしろ、グリッドを浮かして用いる方がよい。従つて、このとき等価入力抵抗はグリッドとその他の電極ピンとの間のガラス表面のリーク抵抗である。



第1図 試作回路結線図

3. 試験回路

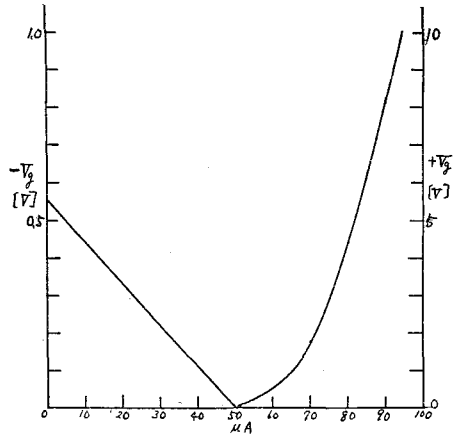
2でのべた条件を考慮に入れて、第1図の接続の回



第2図 プローブ構造

1. シールド筒 2. 測定電極 3. 真空管

路を試作した。直真空管は3S4の受信管で、プレート電源には9V、ヒーター電源には1.5Vの乾電池を用いてポータブルにした。プローブの実際の寸法は第2図に示すようで、この中に測定電極として直径1cmの銅の円板と真空管を入れている。入力電圧 V_0 と $100 \mu A$ の電流計の読みとの較正值は第3図に示すようで、正負の入力電圧で、電流計の読みが不平衡になる欠点がある。第2図から明らかのように測定電極とグリッド間は非常に短くなっている。真空管全体を銅の円筒でシールドし、シールドの一部は滑動してその長さを調整できるようにしてある。この中にワックスを充たして黒い布で測定電極の下を覆い、光の侵入を完全に阻止し又同時に湿気を防止している。



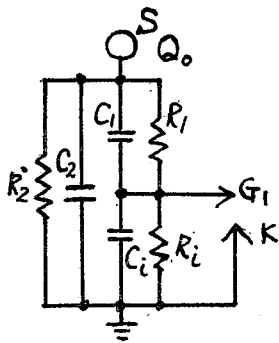
第3図 電流計の振れ—入力電圧曲線

4. 被測定荷電体とプローブとの関係

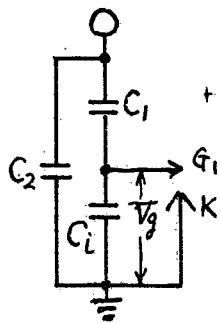
静電気を測定するときは、グリッドに加えられる電圧 V_0 の大きさは、被測定荷電体とプローブとの関係によつて大きく左右されるので、この関係をよく理解することが非常に大切である。被測定荷電体を含めた入力回路を、電気的等価回路で表わすと、第4図のようになる。この図で S は荷電体、 C_1 と R_1 は荷電体と測定電極間の静電容量とリーク抵抗、 C_2 と R_2 は S と大地又は接地物体（主としてプローブ外筒）との間の静電容量とリーク抵抗、および C_i と R_i はプローブの等価入力容量と等価入力抵抗である。

R_1 と R_2 は共に大気の湿度によつて大きく左右される。しかし表面電荷の測定が問題となる

ときは、大抵よく乾燥しているので R_1 と R_2 は共に非常に大きな値で $10^{11} \Omega$ 以上と考えられる。従つて、 $R_1, R_2 \gg R_i$ であるので、 R_i が考慮される場合は V_0 が非常に小になつて測定が困難になる。



第4図 入力等価回路



第5図 簡単化された等価回路

次に R_i の値を決める条件を考える。この測定では静電誘導により誘起される電荷を、測定電極と接地体との間の電圧に亙つてグリッドに加える。従つて直接測定される V_0 は、被測定荷電体を測定

電極の前に急に持つてきたときに生ずるキック電圧である。この場合入力回路の時定数を大きくとれば出力波形が充分平らに引き延ばされて、電流計の振れを読みとることができる。ところがこの時定数は R_i と C_i の積であるので、 C_i をできるだけ小にする要求を考慮すると、 R_i を大きくすることが必要条件になつてくる。 R_i が $10^{11} \Omega$ ていどで、 C_i が 10 pF ていどでは時定数 1 秒ていどになり良くない。 C_i を 5 pF ていどに下げたときは、 R_i が $10^{12} \Omega$ ていどは必要になる。そうすれば 5 秒の時定数に改善される。要は、時定数を充分大きくして、 C_i の電荷を R_i によつて減少させる影響を考えなくてよいようにすることである。

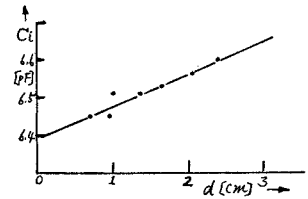
これらの条件のもとでは、第 4 図の等価回路は第 5 図のように、 C_1 、 C_2 、 C_i の 3 この静電容量だけの組合せで表わされる。この等価回路から V_0 を計算すると (1) 式が得られる。

$$V_0 = \frac{Q_0}{C_i \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) + C_2} \quad (1)$$

ただし $Q_0 =$ 被測定表面電荷

次に C_1 、 C_2 および C_i の値が、条件に応じて、どのように変るかを調べる。 C_i はシールド筒の位置を一定にすれば一定になる。 C_1 と C_2 は、被測定表面電荷の存在する面積と接地物体との関係により、非常に複雑な関数になる。そこで次の 2 この条件に分けて調べる。

(a) プローブを直接被測定荷電表面におくか、または、非常に接近しておく場合。測定電極とシールド筒の前面との距離を d とすれば、3 この C は d だけの関数で表わされるが、理論式は非常に複雑になるので、実験値をもとにして考える。 C_1 と C_2 の値を測定するには被測定電荷の面積に相当する銅板を等価な電極板として、普通の Q メーターを用いた。従つて 0.05 pF 以下の測定には誤差が多く 0.01 pF 以下は測定できなかつた。この場合の条件では、広く分布している電荷についても、シールド筒内の電荷だけが測定の対象になる。 C_i の測定値は第 6 図のようになり、(2) 式の実験式を得た。



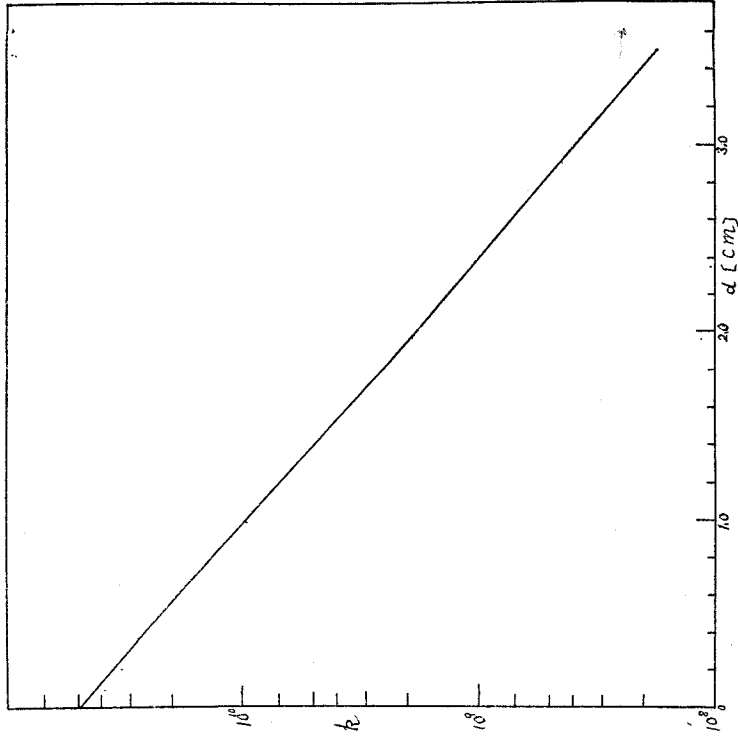
第 6 図 $d-C_i$ 曲線

$$C_i = 6.39 + 0.86 d \quad (2)$$

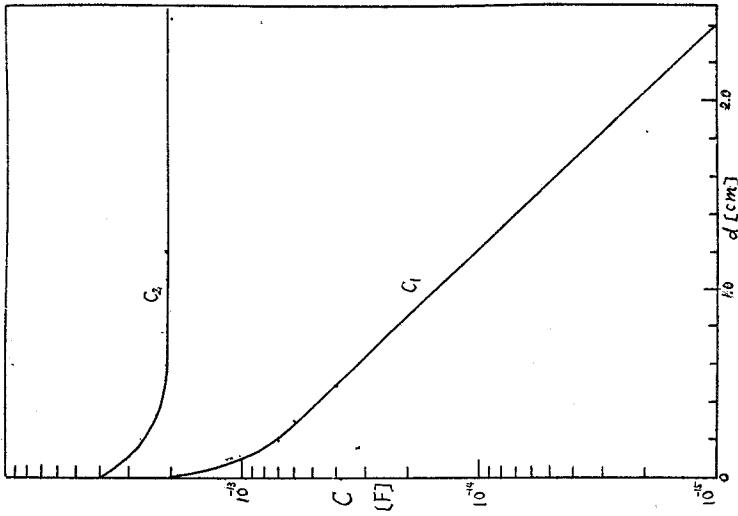
$$C_i: [\text{pF}], \quad d: [\text{cm}]$$

C_1 と C_2 の d についての測定値は第 7 図のようになる。被測定荷電表面とシールド筒前面との距離を l とするとき、この図の値は $l = 0.1 \text{ cm}$ のものである。 C_1 の値は、 $l < 0.1 \text{ cm}$ および $d > 0.3 \text{ cm}$ の範囲では、 $\log C_1 \propto d$ の関係にあることが推測される。この範囲の数値は誤差が多いか又は測定できなかつたが、ガードウエル型容量器の理論的近似式⁴⁾が $\log C \propto d$ の関

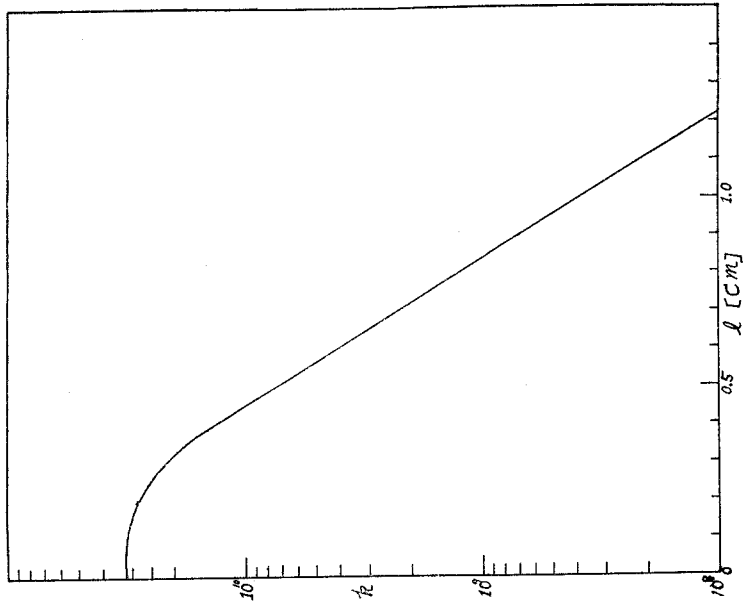
4) 鈴木洋一：微小容量標準器設計に関する基礎的諸問題について。電試彙報，20 巻，5 号，p. 373.



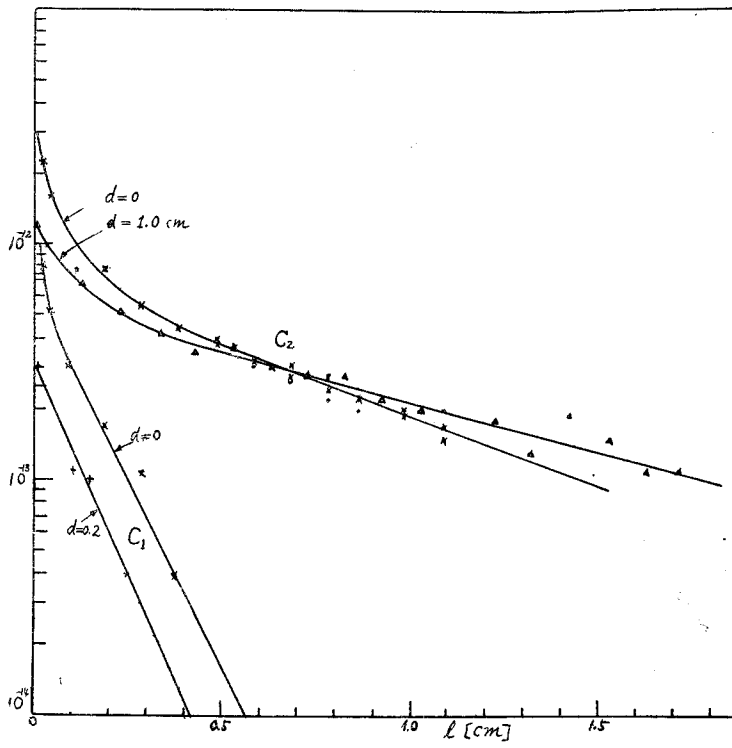
第 8 図 プローブを被測定荷電体直前においたときの入力校正曲線



第 7 図 プローブを被測定荷電体直前においたときの C_1 と C_2 の d による変化 $l = 0.1$ cm



第10図 プローブを離しておいたときの l の l による変化
 $d=0$ cm 6 cm ϕ の円板使用のとき



第9図 プローブを離しておいたときの C_1 と C_2 の
 l による変化 6 cm ϕ 円板使用

係があることが知られているので、第7図の C_1 の曲線は大体当を得たものと考えられる。

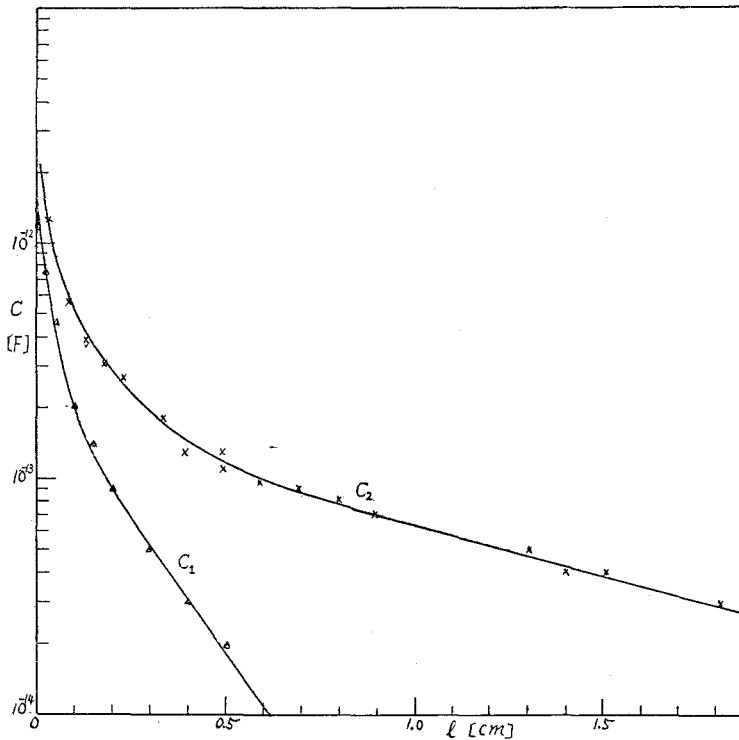
C_2 は $d > 0.5$ cm の範囲では一定である。ここで(1)式を変形して

$$\frac{V_0}{Q_0} = \frac{1}{C_2(1+C_2/C_1)+C_2} \quad (3)$$

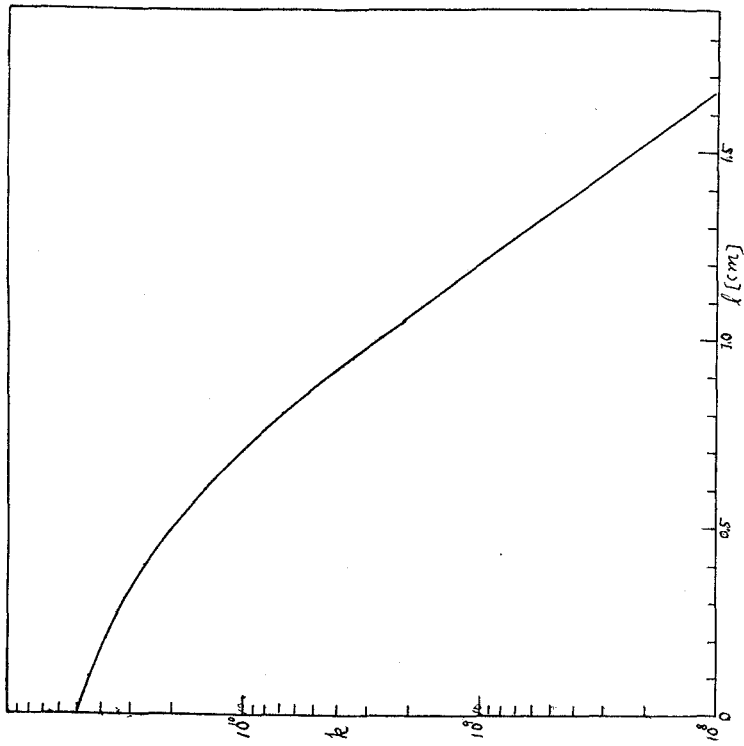
$$\equiv k$$

とおく。この k を入力較正係数とすれば、 k は d の関数で表わされる。 k の計算結果は、第8図の曲線になる。即ち同一電荷 Q_0 に対して、 d を直線的に変化すると、直接測定される値は対数的に減少することが知られる。

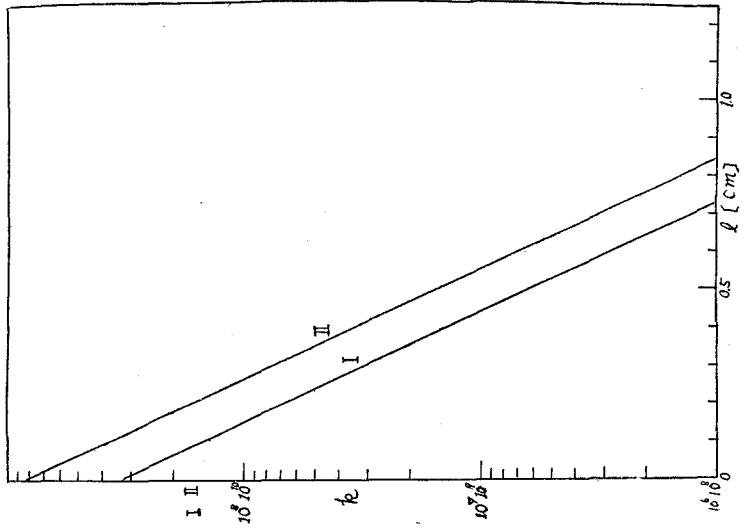
(b) プローブを被測定荷電表面より離して用いる場合。 d を一定にして、 C_1 と C_2 を l の関数で表わすと、第9図と第11図が得られる。この場合は一般に荷電面積がプローブの断面より広いので、測定に対応電極板として、6 cm の直径の円板を用いたのが第9図の場合である。これに比較するために1 cm 直径の円板を用いたものを第11図に示した。 C_1 は $d=0$ 附近以外では $\log C_1 \propto l$ の形をとることは、(a) の場合と同様である。また $d=0$ ときでも、 $l > 0.1$ cm



第11図 プローブを離しておいたときの C_1 と C_2 の l による変化
 $d=0$ cm 1 cm ϕ の円板使用



第12図 プロローブを離しておいたときの k の l による変化
 $d=0$ cm 1 cm ϕ の円板使用



第13図 プロローブを離しておいたときの k の l による変化
 $d=1.0$ cm
 I—1.0 cm ϕ の円板 II—6.0 cm ϕ の円板

の範囲では同様の関数で表わされる。 d が大きくなると、遮蔽効果が表われて、 C_1 の傾斜が大きくなる。 $d=0$ のときの計算すると第10図のように荷電表面に接近すると飽和して入力に変化が生じなくなる。 $d=1.0\text{ cm}$ の k の値は第13図IIに示した。この場合は C_1 の値は推定値であるので傾向を知るだけである。荷電面積を直径1 cmの円板と等価なときの k は第12図に $d=0$ の条件で示してある。また $d=1.0\text{ cm}$ の k は第13図Iに示した。

実際の測定においては、 $d=0$ では l が非常に小さいときは第12図の曲線に従い、 l が大きくなるにつれて、対象になる荷電体の面積が次第に大きくなつて、第10図 k の曲線に近づく。 d が大きくなり充分遮蔽効果がでると、 k は第13図Iの曲線からIIの曲線に移つてゆく。このように k は l と d の複雑な関数になることが知られる。従つてここでは定性的な関係だけが明らかになつて、今後の研究の指針が得られた。

5. む す び

上記の検討によつて、次のことが知られた。

第1にプローブについて改良を加えて、等価入力容量を6.5 pFでいどに減少した。入力回路の時定はそれに応じて大きくし R_2 の影響を無視できるようにした。次の被測定物体を含めた入力回路を検討して、プローブを荷電表面上にごく接近しておくときの入力較正係数 k を、 d の関数で、かなり信頼できる値を得た。これにより測定値の信頼度が増したといえる。プローブを離して用いるときについては定性的な結果だけであるので、今後の問題として残ることになる。

おわりに、この研究に種々の援助をして下された本学電気工学室の諸教官、および実験にたずさわつた本学卒業生中野嘉明氏に感謝する。