

R・I 電位計の除電作用について

伊藤 正一 渡辺 茂男

On the reductive effect of R.I. electrometer.

Masakazu ITO, Shigeo WATANABE

R.I. meter is a convenient electrometer for measuring the potential of the statically electrified material which has the high internal resistance and the poor back power. But a few current is reduced from electrificated materials through this meter.

In the experiment it is determined that the reductive effect of R.I. meter is 10^{13} ohm as a equivalent resistance.

This value is discussed with the intensity of isotope's radiation.

1. まえがき

石油のような絶縁性液体は、その輸送、精製、あるいは製造工程において、しばしば静電気障害を引き起こすことがある。

これらの災害防止対策としてはまず静電気の帯電量を知ることが大切である。

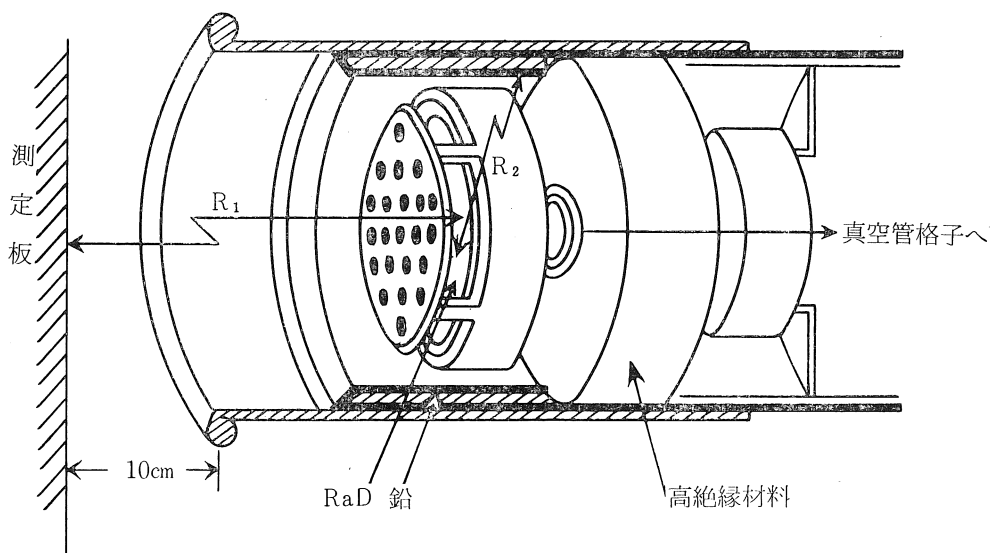
静電気帯電現象は非常に高い電位が現われるにもかかわらず、存在する電荷量は僅かである。従って、この種の測定に際しては、計器の接続によっても、電位が大きく変化するから、正確な電位を測定するには細心の注意を要する。

帯電した物体に直接接触することなく電位を測る計器と

して、スタチックメーターのような静電誘導型がある。静電誘導型計器は指針が過渡的变化を正確に示さないという欠点がある。

一方 R・I 電位計のような抵抗型のももある。R・I 電位計は放射線源として RaF (Po^{210}) を用い、放射される α 線によって空気分子を電離させ、帯電体との間に導回路を作り動作する。電離によってできたイオンは、キャリアーとして電界の方向に電荷を運び、いわゆる除電現象を生じ、帯電体の電位を低下させる。従って、この種の計器使用に際しては、この除電効果を定量的に知っておかなければ読みの較正ができない。

市販されている R・I 電位計の構造を Fig.1 に示す。



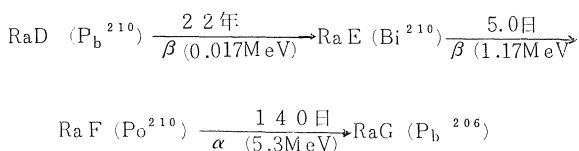
第1図 R・I 電位計の内部

この計器は、放射線源として RaD (Pb²¹⁰) が使われている。電離作用をする線源には、α、βおよびγ線があるが、α線の方がβおよびγ線に比べ格段に電離効率が良いので、これが利用される。

α線源は RaF (Po²¹⁰) であり、RaD はβ線源である。しかし RaF は半減期が140日で、安定した電離状態を長期間作ることは望めない。一方 RaD はβ線を放出し、RaE を経て RaF となり半減期が22年で寿命が相当長い。

RaD からは絶えず RaF が長期間生成される。従って、上記の理由によりプローブ（集電器）に収められている線源は RaD (Pb²¹⁰) である。

この放射性物質と半減期の関係は次のようになる。



2. 測定方法および結果

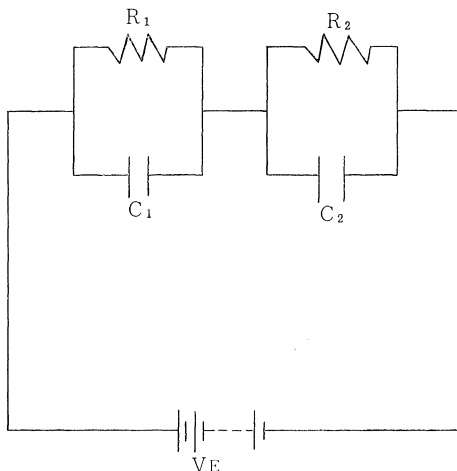
(2-1) 測定原理

この計器のプローブ前面空間は、電離、再結合および拡散の平衡したあるイオン密度を保っている。電界が加わると、イオンが電界の方向に移動を開始する。このイオンが移動する空間即ち、導電路は等価的に抵抗で表すことができるであろう。

このように考えると帯電体と線源およびプローブと線源間は R₁ および R₂ の抵抗で表わすことができる。

今、定常状態で静電容量を考慮しないならば帯電体の示す電位 V_E と集電器の示す電位 V_R の間には次の関係式が成立する、

$$V_E = (R_1 + R_2) V_R / R_2$$



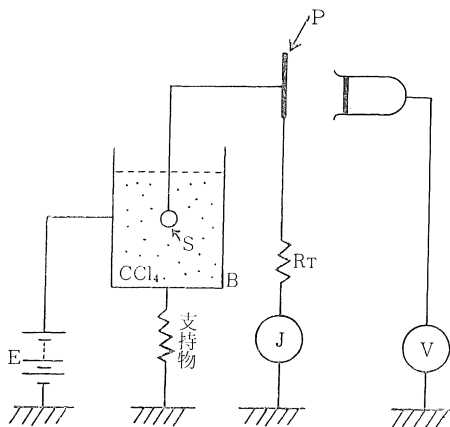
第2図 等価回路

もし静電容量も考慮するならば等価回路は Fig.2 のようになる。

要約すれば、この種の電位計を使用すると、帯電体と大地との間に R₁ と R₂ の直列抵抗をつないだ状態となる。R₁ + R₂ を通して大地へもれる電流が除電作用をするわけである。

この値を測定するために次の回路を使用する。

(2-2) 測定回路



第3図 除電効果測定回路

除電効果測定用の回路を Fig.3 に示す。図において、B は CCl₄ を入れたステンレス製ビーカー、S は小球電極で絶縁物 R_T によりビーカー中心に保持されている。この絶縁物の絶縁抵抗は 10¹²Ω のオーダーで、その値を可変できる。P は測定板とよばれる約 30cm² 平方の導体板で、S と同電位になり、R・I メーターに上述の導電的なつながりを作るためのものである。また E は直流電源でビーカー B に一定の電位を与えるためのものである、

B に一定電圧 E を印加すると電流 J が流れ S の電位は V となる。V は E よりビーカー壁と球 S との間に入っている CCl₄ 中での抵抗降下だけ低い値となり、又 V は絶縁物 R_T で電位降下 J R_T と等しい値となるはずである。

CCl₄ の電気抵抗が一定であるような、いいかえるとオームの法則が成立する範囲内に E の値を選べば、上記 V と J の関係は R_T を変えた場合一つの直線 (V-J line) となることはしばしばのべたところである。⁽¹⁾

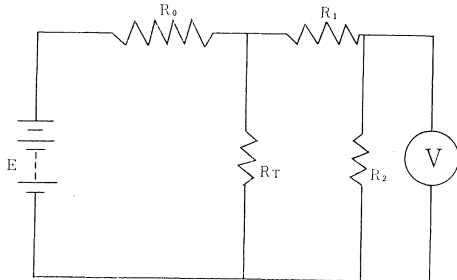
この直線の傾きが CCl₄ の抵抗値を与えることになる。ところが、R・I メーターの除電作用がある場合は上記の関係が成立しないことになる。

観測される主な現象としては

- ① V-J line を延長し、J が零のときの球の電位 V₀ は E と一致しない。なぜならば J のほかに CCl₄ 中を計器の除電作用による電流が流れているからである。
- ② 得られた V-J line の傾きが CCl₄ の抵抗を正しく示さない。

R_T を無限大にすること、即ち J を零にすることは実際には不可能であるが、 R_T を限りなく大きくすれば、 J は限りなく減少し、計器電流がなければ V_0 の値は E の値にかぎりなく近づくことは当然考えられることである。

しかし除電作用のある場合でも、球電位と球電極からの洩れ電流の関係は直線で示される。



第4図 実験装置の等価回路

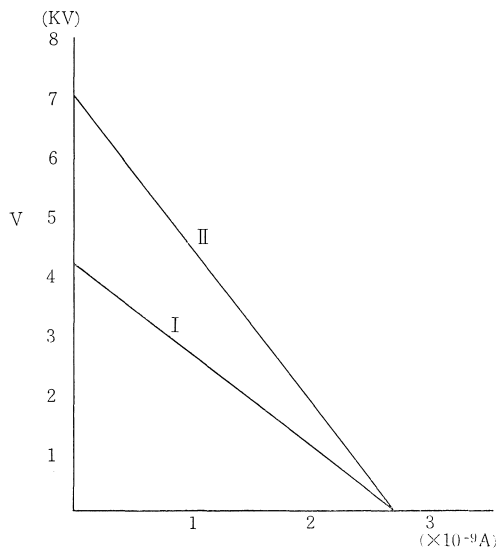
実験装置を等価回路で示すと Fig. 4 のようになる。

(2-3) 導電路の等価抵抗

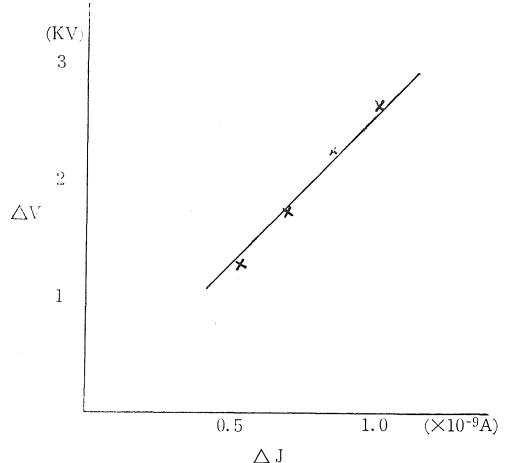
今、計器による除電作用の無視出来ないとき (CCl_4 の抵抗が非常に大きいとき) 得られた V - J line を Fig. 5 の直線 I とする。

外部より容器 B に印加した電圧を E とすれば計器よりの洩れ電流 I_e がなければ V - J line は直線 II のようになるはずである。 I_e は V に比例するものとすれば $V_0=0$ のときには I_e は生じないので、直線 I, II は J_0 の点では一致するはずである。 R_T を大きくし J を減少させると $V>0$ となり I_e はこの V に比例して生ずる。

従って、同じ電位 V に対する I, II 2つの直線上の J の値の差 ΔJ がこの V のときの I_e を与えることになる。又



第5図 V-J 特性



第6図 $\Delta V - \Delta J$ 特性

この I_e によって CCl_4 中で生ずる電位降下が ΔV となる。 V の種々の値について ΔV と ΔJ (I_e) の関係を図示すると Fig. 6 が得られる。この値から $\Delta V/\Delta J$ として除電作用の等価抵抗値が求められる。⁽²⁾

計器を最大 10kv の目盛で使用したときの等価抵抗値は $0.18 \times 10^{13} \Omega$ となる。⁽³⁾

3. 実験結果の検討

(3-1) 等価抵抗と α 線線量との関係

得られた等価抵抗値と計器の α 線線量との関係を一応チェックすることにする。⁽⁴⁾

空気中における α 線の飛程は陽子のエネルギーが 4.5 ~ 8MeV 以内にある場合、ガイガーの式に非常に良く一致することが知られている。即ち、

$$l\alpha = aW^{3/2}$$

ただし $l\alpha$: 空気中での α 線の飛程 (cm)

a : 定数 (0.318)

W : 陽子のエネルギー (MeV)

RaF (Po^{210}) から出る α 粒子のエネルギーは 5.3MeV であるから飛程は約 3.9cm となる。従って、空気のイオン化はほとんどプローブ直前でなされるものと考えられる。

イオン通路の断面積 $12cm^2$ は後述の電荷図から求めたが、導電空間は、イオン通路を 15cm と考えるならば $12cm^2 \times 15cm$ の円筒空間となる。

この状態で測定板の電位が 3360V のとき計器電流は $0.5 \times 10^{-9} A$ 流れている。この場合プローブ前面の電界は平等電界とみなせば、

$3360 [V] / 15 [cm] = 224 [V/cm]$ となる。イオン移動度を仮りに $2.0 [cm^2/V.s]$ とすればイオン速度 $v [cm/S]$ は

$$v = 2.0 [cm/V.S] \times 224 [V/cm] = 448 [cm/s] \text{ となる。}$$

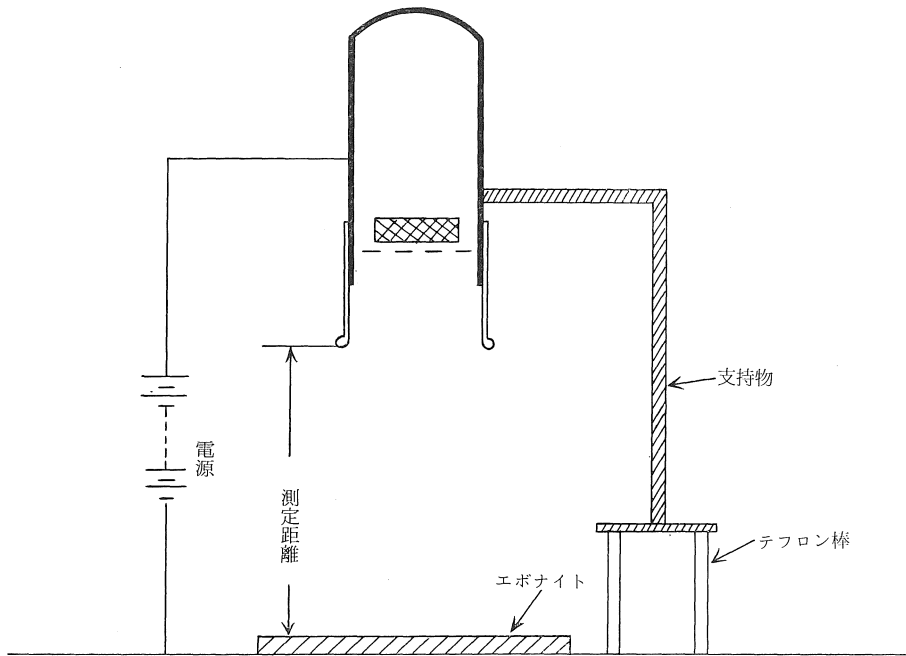
導電空間のある断面積を通過する電荷は、
 $5 \times 10^{-9} \text{ [A]} / 1.6 \times 10^{-19} \times 2 \text{ [C]}$
 $= 1.56 \times 10^9 \text{ [ion pairs/S]}$

従ってこの導電空間の電荷密度 ρ [ion pairs/cm³] は
 $\rho = 1.56 \times 10^9 / (12 \text{ [cm]} \times 448 \text{ [cm/s]}) = 2.9 \times 10^5$
 (ion pairs/cm³)

α 線によるイオン生成量Dは、再結合係数 α を 1.5×10^{-6}
 [cm³/S · ion pairs] と仮定すれば、
 $D = \alpha \rho^2 = 1.5 \times 10^{-6} \times (2.9 \times 10^5)^2$
 $= 1.3 \times 10^5 \text{ [ion pairs/S} \cdot \text{cm}^3]$

これより α 線の線量率を求めると
 $(1.3 \times 10^5 \text{ [ion pairs/S} \cdot \text{cm}^3])$
 $\div 2.08 \times 10^9 \text{ [ion pairs/cm}^3])$
 $\times 3600 \text{ [h]} = 2.23 \times 10^{-1} \text{ [r/h]}$
 $= 223 \text{ [mr/h]}$ となる。

この計器の使用書によれば、プローブ正面1cmにおいて約25mr/h、10cmで2mr/hとなっている。計算結果からは、多少この値と相違する印象を受けるが、放射線が距離の自乗に逆比例して減衰するとすれば、R · I直前の値としては、この程度の値となることは考えられる。



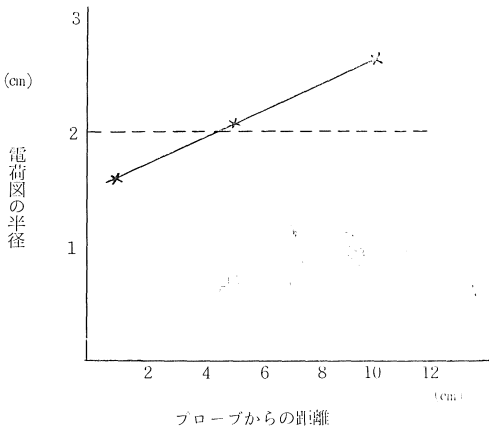
第7図 電荷図測定装置

(3-2) 電荷図

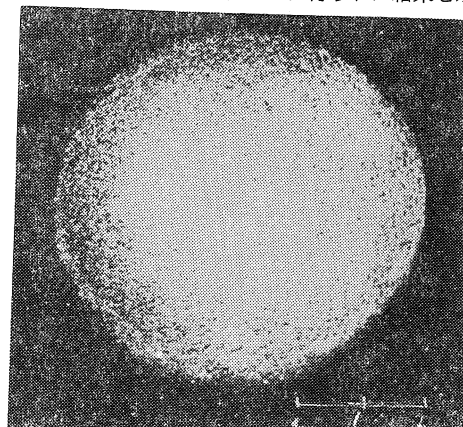
線源と測定物体間の導電空間の範囲を電荷図を用いて測定した。電荷図はほぼイオン付着の範囲を示すもので

あるので、このような場合には有用な方法と考えられる。

使用する回路は Fig. 7 のようであり、ソケットとエポナイト板の間を1.5および10cmにかえ、その間に10kVの直流電圧を印加して作製した。得られた結果を示すと



第9図 電荷図と測定距離の関係



第8図 電荷図写真は、目盛10KVレンジ 測定距離10cm

Fig.8 のようになる。各距離においての電荷図の大きさは距離が増すにつれて Fig.9 に示すように大きくなる。これは電荷の拡散によるものと考えられる。従って、導電路は全くの円筒空間ではないが、上記の計算には平均断面積の値を採用した。

4. あとがき

以上 R・I 電位計の除電作用について述べたが、R・I 電位計は、普通感度を上げるためには線源を近づけるのであるが、このときには除電作用が増大すると考えられていた。⁽⁸⁾しかしこの実験の範囲内で得た結果によれば、感度を上げること、即ち線源を近づけると除電作用が減少しているようである。

最大1KV目盛のときの除電作用は等価抵抗値で表わし、 $2.21 \times 10^{13} \Omega$ 、3KVの目盛では $0.73 \times 10^{13} \Omega$ および10KVの目盛では $0.18 \times 10^{13} \Omega$ となっている。何故このようなことになるのかの理由については今の所わからない。

今後の問題として解明するつもりである。

最後に、本研究に対して終始適切なご指導をいただいた名古屋大学工学部 上田実教授に深く感謝いたします。

- (1) 伊藤，上田，電気学会誌 1970.8.
- (2) 伊藤，上田 第13回静電気研究発表会
- (3) 伊藤，渡辺 昭和44年電気四学会東海支部 P176
- (4) 伊藤，渡辺他 昭和43年電気四学会東海支部
P312
- (5) 原 沢 原子力の基礎 コロナ社 昭 38.P80
- (6) 高分子学会と静電気 ハンドブック 昭42
- (7) 伊藤，渡辺，上田
昭和44年電気学会連合大会 936
- (8) 高分子学会 静電気ハンドブック 昭42 P128