

## 論文

イオン電流測定にもとづく低電位用小型 $\alpha$ 線電位計

東山 権夫\*, 久世泰人\*\*, 榎本茂正\*\*

(1988年9月1日受理)

A Tiny Electrostatic Potentiometer Specified by  $\alpha$ -Ray Ionic Current for Measuring Low Potential

Y. HIGASHIYAMA,\* Y. KUZE\*\* and S. ENOMOTO\*\*

(Received September 1, 1988)

A tiny electrostatic potentiometer specified by measuring  $\alpha$ -ray ionic current was fabricated and investigated for measuring a low potential of charged material. The potentiometer consists of a rod-shaped probe and a picoammeter. The probe was topped with a thin cylindrical ion collector where a small  $^{241}\text{Am}$   $\alpha$ -ray source of 0.93 MBq was mounted. In order to apply to charged materials of small size and round surface, the characteristics of the meter was improved. The  $\alpha$ -rays were collimated to restrict an ionized region and were emitted towards a part of the charged material. By setting this potentiometer at the distance of 15 mm from the charged material, the potential of up to about 50 V was determined from the ionic current measurement. The response of the potentiometer were examined by using a pair of comb-shaped charged electrodes having teeth of 10 to 60 mm width. The sensitivity for the measurement of charge distribution depends on the potential difference between the comb-shaped electrodes and was 20 mm for the electrodes charged to 10 V and 30 V, respectively. The responses to charged materials of round surface, cylindrical and spherical were also examined so that the relationship between measuring error and diameter of materials was evaluated.

## 1. はじめに

従来、 $\alpha$ 線の電離作用を利用した電位計は、高電位に帶電したプラスチックシートなどの表面電位を非接触で測定することを目的として開発されている<sup>1,2)</sup>。これに對して、実験室や現場では、静電気現象に起因するものだけでなく、導体の荷電、絶縁物の帶電の程度を非接触で確認することがしばしば必要とされる。しかも帶電体の形状は平面状の大きな物体だけでなく、曲面状でかつ比較的小さな物体もあり、帶電電位も低い場合がある。このような低電位、形状多様な帶電体の電位測定という要求に対しては、実用化されている集電式電位計<sup>3)</sup>、お

より筆者らの報告しているイオン電流測定型 $\alpha$ 線電位計<sup>4)</sup>ともに、電位測定感度、位置分解能の点から不十分である。

イオン電流測定型 $\alpha$ 線電位計は、帶電計とプローブとの間に形成される電界を利用して、プローブ先端で $\alpha$ 線によって生成させたイオンを集める方式のものである。電位測定感度を高めるためには、プローブ形状をできるだけ小型にしてイオン生成空間の電界の強さを高めること、また、位置分解能を良くするためにはイオン生成空間を極力限定し、イオン生成空間の電界作用範囲を狭くすることが必要である。

本研究はイオン電流測定型 $\alpha$ 線電位計の低電位領域測定の可能性を探り、同時に位置分解能の向上を図ることを目的として、低電位測定用電位計を設計、試作し、その特性について実験的検討を行なったものである。このため、電位計のプローブではコリメータを用いて $\alpha$ 線による電離空間を限定し、また、帶電体との測定距離を短くすることにより、上記の目的を達成させることを試みた。試作した $\alpha$ 線電位計を用いて、櫛形電極によりその位置分解能特性を調べ、また、曲面状帶電体の電位測定を行なって、その適用性を明らかにした。

キーワード： $\alpha$ 線電位計、イオン電流、帶電電位、電荷分布

\* 山形大学工学部電気工学科(992 山形県米沢市城南4-3-16)  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Yamagata University, 3-16, Jonan 4-chome, Yonezawa, 992 Japan

\*\* 豊橋技術科学大学工学部電気・電子工学系(440 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Toyohashi University of Technology, 1-1, Hibarigaoka, Tempaku-cho, Toyohashi, 440 Japan

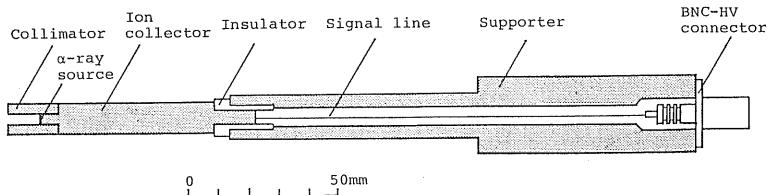


図1 プローブの断面図

Fig. 1 Cross section of probe of potentiometer.

## 2. 原理・構造

### 2.1 原理

電位検出用のプローブの先端を帶電体に対向させると、プローブと帶電体との間にそれらの形状、配置で決まる電界が形成される。プローブ先端近傍で $\alpha$ 線によりイオンを生成させておくと、イオンはこの電界の作用を受けて移動する。すなわち、帶電体電位と反対の極性を有するイオンは帶電体方向に移動し、一方、同じ極性を有するイオンはプローブ方向に向かう。両者のイオンの移動はプローブのイオンコレクタを通るイオン電流として検知されることになり、イオン電流の大きさは帶電体とプローブとの間で形成されている電界の強さにより決まる。したがって、あらかじめ、帶電電位とイオン電流との関係を求め、較正曲線を用意しておくことにより、イオン電流の大きさから帶電体の表面電位を求めることができる。

イオン電流の大きさは、主に、イオン生成空間の電界の強さで決まるので、低電位に対する電位計出力を高めるためには、その空間の電界の強さを高めることが必要となる。そのためには、プローブを小径にすると同時に、それを帶電体にできるだけ近づける必要がある。

電位測定の際の位置分解能を向上させるためには、まず、イオン生成空間を限定することが重要である。イオン生成空間は $\alpha$ 線の飛程できまるので、線源から $2\pi$ 方向に放射している $\alpha$ 線をコリメータにより限定する。そしてこのイオン生成空間中の電界の強さが、プローブに對向する帶電体表面の電荷のうち、できるだけ狭い領域の電荷によって決まるようにすればよい。これはプローブを極力帶電体に近づけることで実現できる。結果として、低電位測定と位置分解能の向上は同じ手段で達成できるものと期待される。

### 2.2 電位計プローブ

$\alpha$ 線電位計は、帶電体に對向させるプローブと、イオン電流を測定するための微小電流計から構成されている。試作したプローブの断面図を図1に示す。プローブはイオンコレクタ、それと電気的に絶縁されかつ接地さ

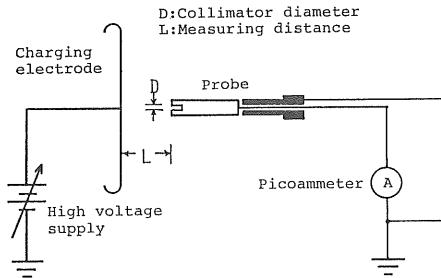


図2 実験系の概略図

Fig. 2 Schematic diagram of experimental system.

れているプローブ支持体から構成されている。イオンコレクタは直径 $10\text{ mm}\phi$ のアルミニウム円柱棒で、その先端には、内径 $3\text{ mm}\phi \times$ 長さ $10\text{ mm}$ のコリメータが取り付けられており、その中に $\alpha$ 線源が固定されている。

$\alpha$ 線源として放射能 $0.93\text{ MBq}$  ( $25\text{ }\mu\text{Ci}$ ) の $^{241}\text{Am}$  (半減期433年) を用いた。線源の形状は $3.5\text{ mm} \times 3.5\text{ mm}$ の板状である。 $^{241}\text{Am}$  から放出される $\alpha$ 線は平均エネルギーが $5.4\text{ MeV}$  であり、この線源からの $\alpha$ 線の空気中飛程は約 $25\text{ mm}$  である。したがって、イオン対は線源から $25\text{ mm}$ までの範囲で生成される。ここでは $\alpha$ 線による電離空間を限定するために、 $3\text{ mm}\phi \times 10\text{ mm}$ のコリメータを線源の直前に設置しているので、プローブの先端から $15\text{ mm}$ の位置までの空間でイオンが形成されることになる。 $\alpha$ 線の拡がりはコリメータ形状で決まり、プローブ先端から $15\text{ mm}$ の位置で約 $12\text{ mm}\phi$ と推定される。電位測定位置すなわち、プローブ先端と帶電体との間隔は、位置分解能の点から極力短くする必要があるので、イオン生成空間に合致させて $15\text{ mm}$ とした。

イオンコレクタからの信号線は、空洞になっている支持体の内部を通ってBNC-HVコネクタに接続されており、図2に示すように、イオン電流は微小電流計(Keithley model 617 programmable electrometer)により測定される。プローブ支持体はガードリングの働きをしている。なお、一様に帶電した十分広い帶電体を模擬するために直流電圧を印加した大きさ $600\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ の平板電極を用い、位置分解能を調べるときには後述の

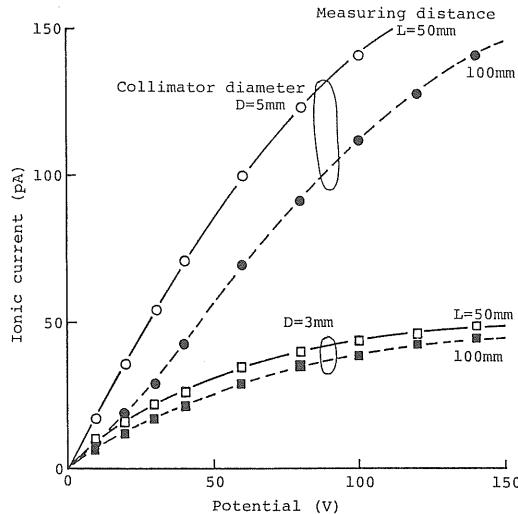


図3 イオン電流におよぼすコリメータ内径の影響

Fig. 3 Influence of diameter of collimator on ionic current.

櫛形電極を用いた。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 電位計測

イオン電流の大きさはコリメータ内径によって大きく異なる。長さが 10 mm, 内径 3 mm $\phi$  および 5 mm $\phi$  の 2 種類のコリメータを用いて帶電電位とイオン電流との関係を求めたものが図 3 である。コリメータ内径が小さくなるとイオン生成空間が狭くなるため、イオン電流の大きさは小さくなる。コリメータを使用しないときのイオン電流の飽和値は 4 nA であり、内径 3 mm $\phi$  のコリメータ使用時では 2 枝小さな約 50 pA となる。イオン生成空間をなるべく狭くすることは位置分解能の向上に役立つので、電流計の測定感度に対して適当な大きさのイオン電流を得ることができる 3 mm $\phi$  のコリメータを用いた。なお、1.5 mm $\phi$  のコリメータを用いた場合、有意な信号を得ることができなかった。また、コリメータの外形については、円筒型のほかに円錐型、半球型のものについても検討を行なったが、それらの応答特性に大きな相違は認められなかったので、製作の容易な円筒型を用いた。

プローブと平板電極との間隔を 15 mm としたときの、電極印加電圧とプローブで得られるイオン電流の大きさとの関係を X-Y 記録計で描かせたものが図 4 である。イオン電流は印加電圧すなわち帶電電位の増大に伴って大きくなり、やがて飽和傾向を示す。この測定条件下では、少なくとも 50 V までの電位を測定することができ

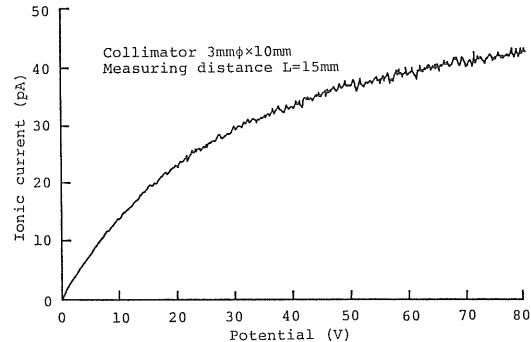


図4 電位計の代表的な出力例

Fig. 4 Typical response of the potentiometer.

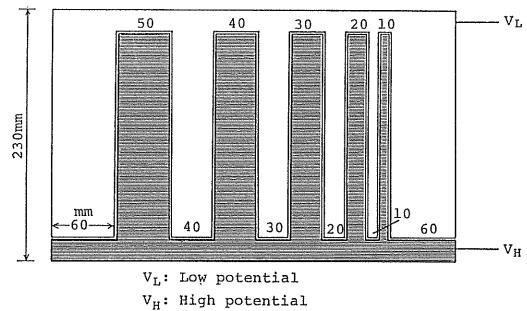


図5 櫛形電極の構成

Fig. 5 Structure of comb-shaped electrode.

る。

飽和電流領域は帶電体とイオンコレクタとの間で形成される電界の有効体積内で生成された全イオンがコレクタに集められるプラトー領域である。これに対し、未飽和電流領域は生成されたイオンが移動する間に再結合を起こす領域であり、この再結合領域の特性が電位計として利用できる。

#### 3.2 位置分解能

電位測定における位置分解能を求めるために、図 5 に示すような櫛形電極を用いた。櫛形電極は幅 60 mm から 10 mm ごとに順次狭くなっている、高電位および低電位の電極が互いに入り込んだ構造のものである。この電極はアクリル樹脂板の上に、電極を型どったアルミニウム箔を貼付したもので、両電極の間隔は約 2 mm である。プローブを櫛形電極面から 15 mm 離れた位置において、プローブの軸が電極面に垂直になるように設定した状態で、櫛形電極を速度 0.9 mm/s で掃引した。ここで用いた微小電流計の応答速度は 2.5 秒であるので、電位の変化に十分追隨できる。

図 6 (a) は、櫛形電極の高電位側電位を 30 V, 低電位側を接地した場合の櫛形電極に対するイオン電流の大き

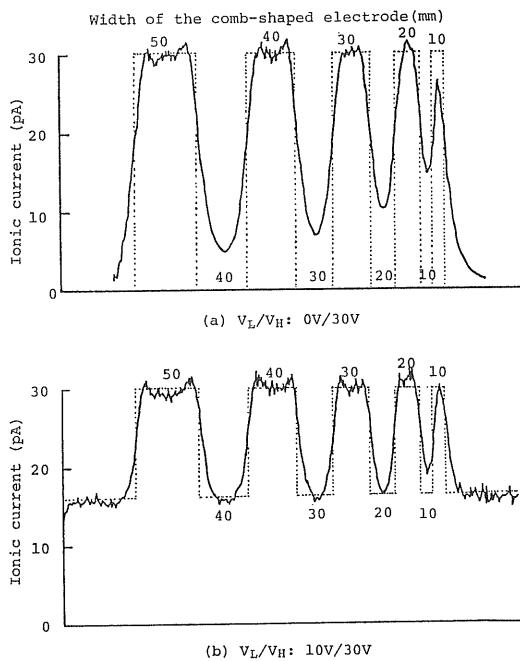


図6 印加電圧条件の異なる場合の櫛形電極に対する電位計の応答

Fig. 6 Responses of potentiometer for different potential applied to comb-shaped electrodes.

さを示す。プローブが高電位側電極に対向した時、イオン電流の大きさは極大値を示し、低電位側電極に対向した時、極小値を示す。図4に示した十分広い平板電極に対する特性から明らかなように、電位30Vに対するイオン電流の大きさは30pAである。イオン電流の極大値が30pAの値を示すのは、櫛形電極の幅が20mm以上の場合であり、それ以下の幅では30pAに達しない。

一方、プローブが零電位の電極に対向した場合、使用した櫛型電極ではイオン電流の大きさはもはや零にはならない。この櫛形電極では、零電位電極の両側に高電位電極が存在するので、たとえ零電位電極に対向させてプローブを置いても、高電位電極とプローブとの間に電界が形成される。結果として、プローブ先端で生成されたイオンは移動し、電流が流れることになる。

次に、櫛形電極の高電位側電極に30V、低電位側に10Vを印加した場合の特性を図6(b)に示す。プローブが30Vの電極に対向する場合、電極幅10mm以上では30pAの値に達している。また、低電位側の10Vに対しては、電極幅20mm以上でその値を忠実に示している。図6(a)の特性と比較すると、電位変化に対する追随性が良くなっていることは明らかである。この場合には、低電位側電極がプローブ電位より高く、低電位側電

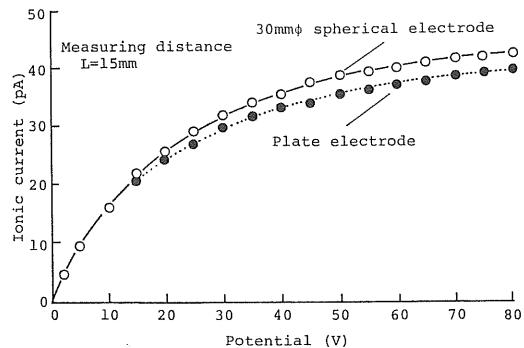


図7 直径30mmの球電極に対する電位計の応答

Fig. 7 Response of potentiometer for a spherical electrode with 30 mm diameter.

極とプローブとの間で主電界が形成され、結果として、高電位側電極の影響が少なくなると考えられる。

導体に荷電している場合や、絶縁物表面で放電路が形成された場合を除き、絶縁物帶電体では表面電荷密度が階段状に急に変わることは少なく、結果として表面電位は一般になだらかに変化していると考えられる。したがって、実際の測定条件は、櫛形電極で試験した状況よりは緩やかになるので、試作した電位計を帶電体から15mmの位置で使用すれば、約50V以下の電位測定が可能で、位置分解能は約10~20mmであることが判明した。

### 3.3 曲面帶電体に対する応答

曲面を持つ帶電体の例として円筒および球電極に対する電位計の応答を調べた。使用した電極は、円筒電極については長さが300mm、直径は5~220mm $\phi$ の範囲の9種類、球電極では直径10~100mm $\phi$ までの6種類である。帶電体表面からプローブまでの距離15mmの状態で電極に電圧を加え、イオン電流を測定した。

直径30mm $\phi$ の球電極に対する出力特性の例を十分広い平板に対する特性と比較して図7に示す。両者の特性は異なるため、平板電極に対する特性曲線を基準とする場合、球電極電位ではそれからのずれが誤差となる。直接測定するのはイオン電流であるが、求めたい量は帶電電位であるので、帶電電位に対する相対誤差を求めた。

円筒および球の2種類の形状の帶電体について、それらの大きさを変えた場合、平板電極の特性曲線によって電位を求めたときの相対誤差の変化を、図8(a), (b)に示す。両電極ともに電極直径が大きくなるに従い、また、帶電電位が小さいほど、誤差は小さくなる傾向を示す。全体的に、円筒電極に対する誤差は小さく、直径20mm以上では相対誤差は10%以下に収まっている。

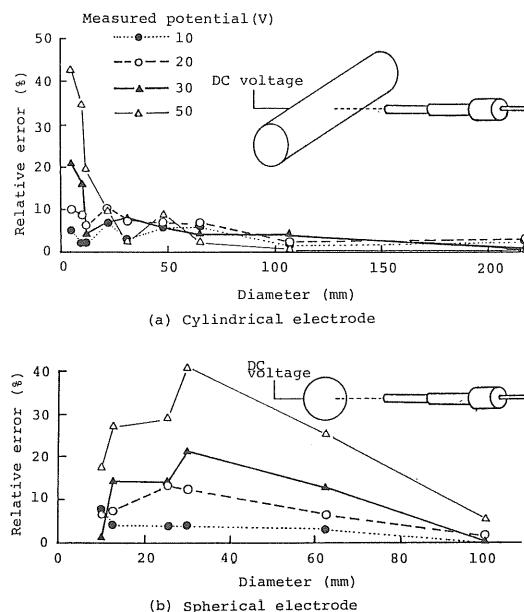


図8 曲面を有する帶電体の電位測定における相対誤差  
Fig. 8 Relative error for potential measurement of round-shaped electrodes.

また球電極でも、30 V 以下の電位測定に対する相対誤差 20% までを許容できるものとすれば、直徑 10 mm 以上のものがこの方法で測定可能である。測定対象がいつも同じ形状のものであるならば、その形状に対する較正曲線を求めておけば、小さなものでも精度よく測定できる。

#### 4. ま と め

イオン電流測定型の  $\alpha$  線電位計の低電位測定性能およ

び位置分解能の向上を図るため、イオン生成空間を限定した小型電位計プローブを試作・試験した。本研究で得られた主な結果は以下のとおりである。

(1) 0.93 MBq  $^{241}\text{Am}$  から放出される  $\alpha$  線によるイオン生成空間をコリメータを用いて限定する構造とし、帶電体から 15 mm の位置にプローブ先端を置いて、約 50 V までの電位が測定できた。

(2) 電位が接地電位からステップ状に大きく変化するような平面状帶電体の場合、電位測定における位置分解能は約 20 mm であったが、電位変化が小さい場合には約 10 mm となった。

(3) 十分広い平板電極により得られた較正曲線を用いて、円筒および球などの曲面を有する電極の電位を測定した結果、直徑 20 mm 以上であれば電位 30 V 以下のとき測定誤差は 20% 以下となった。

(4) イオン電流の測定値が 50 pA 以下であったので、ノイズに対して強い測定系を採用する必要がある。また、微小電流の測定では速い応答は期待できないので、測定対象および電位計プローブは固定して使用することが望ましい。

終わりに、電位計プローブの製作に対して、豊橋技術科学大学工学部技官日比美彦氏に謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 347，オーム社 (1981)
- 2) 木脇久智，佐久間伸夫：電気研究所彙報，19 (1955) 848
- 3) 春日電気(株)：集電式電位測定器 カタログ，59.1(5) 10000
- 4) Y. Higashiyama and S. Enomoto : Isotopenpraxis, 24 (1988) 317