

# 新方式による電離電荷の測定

川口俊郎・吉村 厚

(1997年9月24日受理)

## 1 序 論

放射線による気体の電離電荷を測定する電離箱において、入射放射線が非常に微弱な場合には電離電流が $10^{-12}$  A以下になる。このような微少電流を測定するためには、絶縁体の選択や電離箱の設計などで様々な方法が考案されている<sup>(1)</sup>。こうした微少電離電流を測定するために、電離箱の電極を空中に浮揚させ、絶縁体からの漏洩をなくした磁気浮揚電離箱の可能性についてはすでに報告した<sup>(2)</sup>。

同様の考えによる磁気浮上電離箱は、浜松ホトニクス社のグループによる特許出願公開(特開平8-21157)がある<sup>(3)</sup>。この方法は、電離箱内の電荷収集電極を磁気浮上手段によって浮上させ、電離箱の壁を電極として電圧を印加する。放射線による電離電荷は必要な時間だけ放置された電荷収集電極に収集される。電極に蓄積された電荷は適当な時間経過の後測定用端子を接触して取り出し、電荷増幅器等を経て電荷量を出し放射線の線量を測定するというものである。

この方法では放射線による電離電荷を直接かつ連続的に測定していないということ、蓄積された電荷を端子で接触させるという機械的に複雑な操作がおこなわれる等々の問題が存在している。

今回の我々の研究において、電荷収集電極(このあとは集電極という)に相対する電圧を印加した2枚の電極(この後は電圧電極という)、あるいは円筒型同軸電極を磁気浮揚させることによって、電場を電離箱内に発生させ、複雑な機械的操作をすることなく、かつ放射線による電離電荷を連続的に微少電流計で測定することが可能になった。この新しい方式による電離電荷の測定について報告する。

## 2 装 置

### (1) 平板電圧電極の吊り下げ(新方式)

集電極板および電圧電極板とも厚さ0.2mm、縦16cm、横13cmのアルミ板を用い、各極板を図1のように設置した。

集電極板Aはテフロン板の上にテフロン角柱で固定して電流計に接続している。電圧電極板Bは2枚の板が幅3mmの間隔で空気を挟みセラミックで向かい合って取り付けられており、2枚の板には電池Cで電圧を印加する。このBとCは共に0.2φのテフロン糸Dで支持台に吊されている。本来はこのBとCを一体として磁気浮揚によって空中に浮かせるのである。しかし今回はデータ収集の利便のために高絶縁のテフロン糸を用いた。したがってBを磁気浮揚させた場合は今回の実験より対漏洩という点ではさらに精度が良くなるであろう。また電離箱の有効体積を正確に決めるために保護環EをAに並べて設置した<sup>(4)</sup>。放射線源Fの位置は極板A，B間の中央下端の真下2cmに置き、放射線源としては<sup>137</sup>Cs (3.7MBq 電離箱の校正用として用いる)と<sup>226</sup>Raを用いた。そして、電流計を除いてこの装置全体を、バックグラウンドの影響を避けるため、銅板を内張りしたスチール箱の中に入れた。実験はA，B間の距離d'が3cm(電離箱の体積624cm<sup>3</sup>)と4cm(体積832cm<sup>3</sup>)とについて、電池DによるBへの印可電圧と、極板Aで集められる電離電流の関係を測定した。なお電流の測定にはKEITHLEY社Model 6517 エレクトロメーターを用いた。

ここで、図1を図2のように書き直す。

Dは極板Cに向き合う接地された極板であり、実験では装置を入れているスチール箱の側壁にあたる。

平行平板BCに電池で電圧Vを印加したとき、BとCの電荷を各々Q，-Qとする。極板の面積をS，極板間の距離を図のようにa，b，cとし、誘電率をεとすれば、Bの電位V<sub>B</sub>及びCの電位V<sub>C</sub>は静電気学の理論から容易に求められて<sup>(5)</sup>

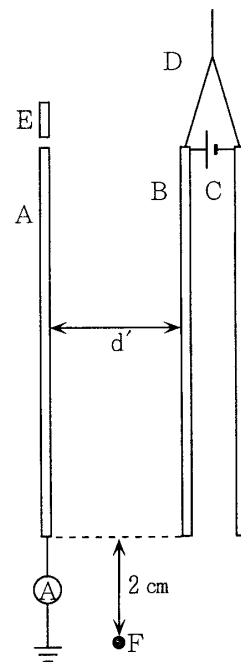


図1 平板電圧電極吊り下げ  
A：電荷収集電極 B：電圧電極 C：電池  
D：テフロン糸 E：放射線源 F：保護環

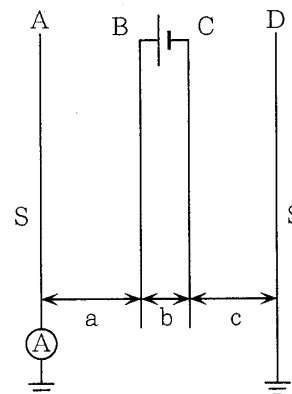


図2 極板にかかる電位  
A：電荷収集電極  
B，C：電圧電極  
D：壁面に相当

$$V_B = \frac{abQ}{\epsilon S(a+b+c)}, \quad V_C = -\frac{bcQ}{\epsilon S(a+b+c)}$$

となる。またB, C間の電位はVであるから

$$Q = \frac{\epsilon S}{b} V$$

となり, これより

$$V_B = \frac{a}{a+b+c} V, \quad V_C = -\frac{c}{a+b+c} V$$

となって, 電離箱として働くAB間は $V_B$ の電位が生じることになる。

電極Aと電極Bの間の空気が放射線および2次電子によって電離されると, 電離した正負のイオンおよび電子は, 負イオンと電子は極板Bに, 正イオンは極板Aに集まる。極板Bに集まった負イオンと電子は極板の正電荷と結合し, この際の正電荷の減少は電池より供給される。極板Aには極板Bによる静電誘導された負電荷があり, ここに集まった正イオンは極板の負電荷と結合する。これによって極板の負電荷は減少するが極板Bによる静電誘導はひき続いて生じるのでアースから負電荷が運ばれ電流計を通して電流が測定される。

## (2) 平板電圧電極の固定 (従来の方式)

次に上記の実験との比較のために, 図3のように集電極板Aはそのまま, 前記の電圧電極板Bのかわりに極板B'をテフロン板の上に固定し, これを電池Cに接続して接地した。これは一般の電離箱の場合と同じ作動原理である。この装置を(1)と同様にスチール箱の中に入れる。極板AとB'の間隔 $d'$ を4cmにして(1)と同様に印加電圧と電離電流の関係を測定した。

極板Aおよび極板B間の電位は電池Cに印加する電位Vである。

## (3) 円筒電圧電極の吊り下げ (新方式)

図4のように, 厚さ0.2mmのアルミ板で直径8.4cm, 長さ16cmの円筒を集電極Aとし, 直径1.2cm, 長さ16cmのアルミ円筒の中に直径0.5cm, 長さ16cmのアルミ棒を入れて両者の間に

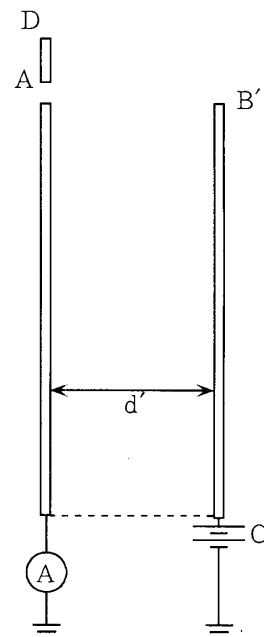


図3 平板電圧電極固定  
A: 集電極板 B: 電圧極板  
C: 電池 D: 保護環

絶縁体を挟んだ同軸円筒を電圧電極 B とした。この場合の電離箱の体積は  $813\text{cm}^3$  である。電圧電極には(1)の場合と同様に電池 C で電圧を印加する。電極 B 及び電池はテフロン糸 D で支持台に取り付け、さらに電極 A の上部に保護環 E を取り付けた。放射線源 F は円筒の下端より  $2\text{cm}$  の位置に挿入した。これも(1), (2)と同様に電流計を除きスチール箱の中に入れる。

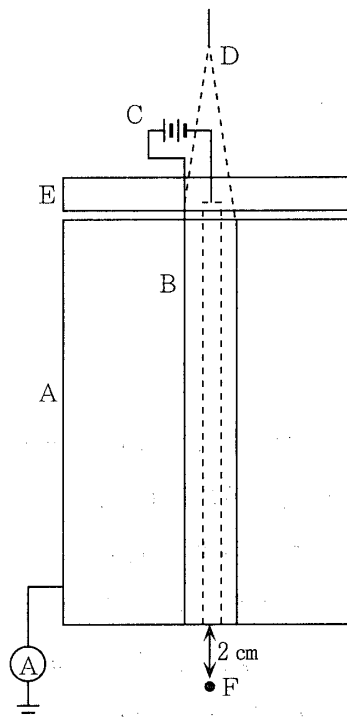


図4 円筒電圧電極吊り下げ  
A: 電荷収集電極 B: 電圧電極  
C: 電池 D: テフロン糸  
E: 保護環 F: 放射線源

### 3 結果および考察

#### (1) 平板電圧電極を吊り下げた場合

図5は電圧電極 B に印加した電圧と集電極 A での電離電流の関係を、放射線源  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{226}\text{Ra}$  とで、電極間の距離が  $3\text{cm}$  と  $4\text{cm}$  の場合について測定したものである。

電極間の距離が  $3\text{cm}$  の場合で、曲線 a で示される  $^{137}\text{Cs}$  では  $40\text{V}$  までは電圧の増加とともに電流値も増加する再結合領域であり、 $50\text{V}$  以上は一次電離に応じた電流が得られるいわゆる電離箱領域であって平均  $0.476\text{pA}$  の飽和電流値となっている。同じく c で示されるように Ra でも  $50\text{V}$  以上では電流は飽和していて平均  $1.226\text{pA}$  となっている。 $^{226}\text{Ra}$  の飽和電流値は  $^{137}\text{Cs}$  の約 3 倍である。  $1\text{cm}$  線量当量率定数を比べると  $^{226}\text{Ra}$  は  $0.252$ ,  $^{137}\text{Cs}$  は  $0.0910$  であり<sup>(6)</sup>,  $^{226}\text{Ra}$  は  $^{137}\text{Cs}$  の約 3 倍であることから飽和電流値が

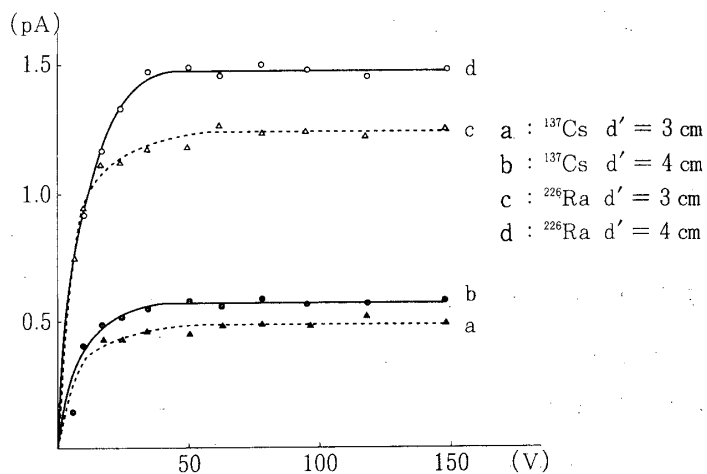


図5 平板電圧電極を吊り下げた場合

約3倍になっているのが理解できる。

間隔を4cmにした場合は電離箱の体積が増加するので、当然ながら2つの放射線源の場合とも電流値が増加する。このとき50V以上で電流は飽和している。曲線bの $^{137}\text{Cs}$ の飽和電流値は平均0.560pAで、dの $^{226}\text{Ra}$ では1,460pAとなりこれも約3倍である。極板間の電流の増加の割合は $^{137}\text{Cs}$ で約15%、 $^{226}\text{Ra}$ で約16%であり、ほぼ同じ増加率である。極板間の距離の違いによる体積の増加率は約25%であり増加率は異なるが、体積の増加に電流の増加が対応していることがわかる。電流と体積の増加率が一致しないのは幾可学的条件の相違によるか、保護環の設置位置の問題があると思われる。

電離電流収集における保護環の効果を調べるために極板間の距離を4cmにして、保護環をつけた場合と保護環がない場合で、2種の放射線源について印加電圧と電離電流の関係を測定したのが図6である。

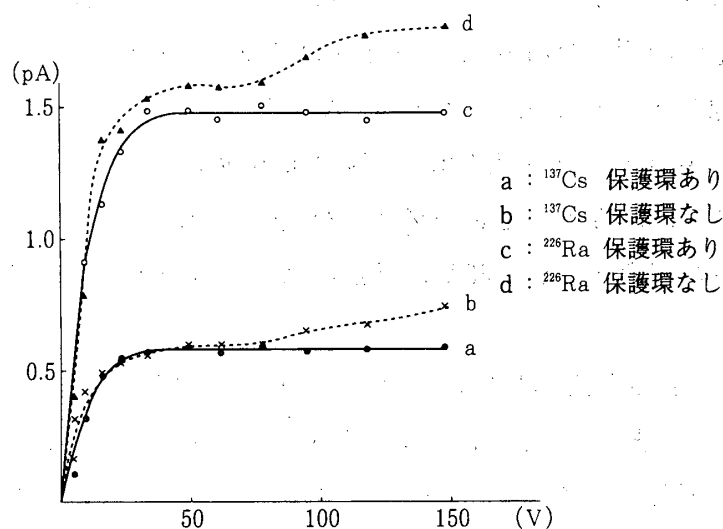


図6 平板電圧電極吊り下げでの保護環の効果

放射線源が $^{137}\text{Cs}$ のとき、aは保護環がある場合でbは保護環がない場合、また放射線源が $^{226}\text{Ra}$ のとき、cは保護環がある場合でdは保護環がない場合である。50V以下では保護環の有無は電流値に違いとして明らかには現れないが、50Vを越えると明らかに差が現れ、電圧が高くなるにつれてその差は大きくなっていく。これは電圧が高くなるにつれて極板間の電気力線の膨らみが大きくなり、その膨らんだ体積の部分にある電離イオンや電子が電極に集まることにより、それが電流値の増加となって現れてきていることを示している。このことから保護環は電離箱の有効体積を正確に決める効果を持っていることがわかる。

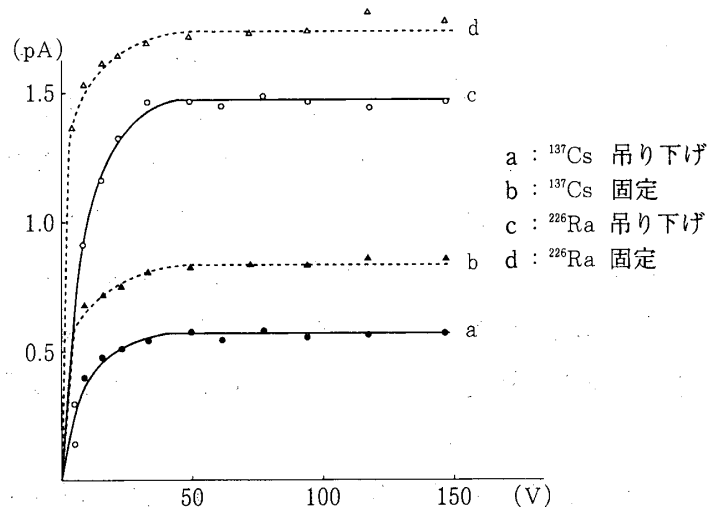


図7 電圧電極を固定した場合と吊り下げた場合

## (2) 電圧電極を固定した場合

図7は極板間の距離は4cmにして、電圧極板を吊さずに絶縁体上に固定した場合の印加電圧と電離電流の関係である。このタイプは通常の電離箱と同じ作動原理である。曲線bとdは線源が各々 $^{137}\text{Cs}$ と $^{226}\text{Ra}$ の場合である。

曲線aとcは線源が各々 $^{137}\text{Cs}$ と $^{226}\text{Ra}$ の場合よ電極を吊り下げたときの印加電圧と電離電流のグラフで、図5のbとdのグラフを比較のためにあげたものである。固定の場合も吊り下げの場合と同様に40V以下は再結合領域を示していて、50V以上で飽和電流になる。

固定した場合の飽和電流値は $^{137}\text{Cs}$ では平均0.81pAで吊り下げた場合よりも約0.24pA増えている。また $^{226}\text{Ra}$ では平均1.74pAで吊り下げた場合より約0.28pA増えている。この原因として考えられるのは、まず吊り下げた場合の電離箱として働く空間にかかる電位が固定した場合より小さくなること。つぎに極板を絶縁体で挟んで固定するという測定上の都合で、集電極の極板の面積(252cm<sup>2</sup>)は電圧極板(208cm<sup>2</sup>)に対して約20%大きくなっていて、そのため吊り下げた場合の集電極では、電圧電極からの誘導による電荷密度が固定の場合よりも小さくなり、電位も少なくなるのではないか。さらに保護環の設置に問題があるのではないか(保護環は平板の上部、左右の3部分にある)、等々のことがあげられるがこの検証は今後の課題である。

## (3) 円筒電圧電極を吊り下げた場合

図8の曲線aは線源を $^{137}\text{Cs}$ としたとき、円筒電極の印加電圧と電離電流の関係である。図の曲線bは線源が $^{137}\text{Cs}$ で、平板電極を吊り下げた場合(図5の曲線b)を比較のためにあげている。

## 新方式による電離電荷の測定

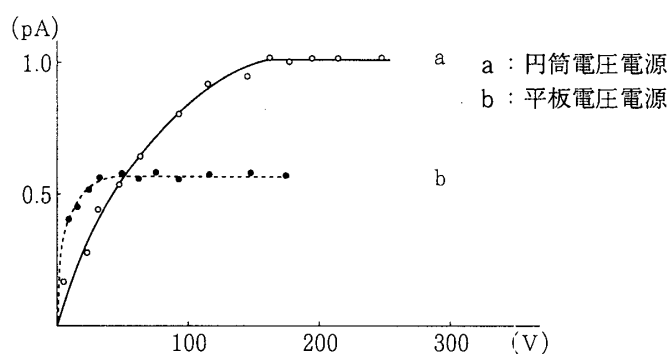


図8 円筒電圧電極吊り下げ線源は $^{137}\text{Cs}$

曲線 a の円筒電極の電離箱の体積は $813\text{cm}^3$ で b の電圧電極板を吊り下げた(図 5 の曲線 b)場合の電離箱の体積は $832\text{cm}^3$ であって、体積は両者ともほぼ同じである。a の場合は電圧が $180\text{V}$ 以上で飽和電流となり平均値は $1.0\text{pA}$ で、b では $50\text{V}$ 以上で飽和電流となり、平均値は $0.56\text{pA}$ となる。従って $160\text{V}$ 以上の高電圧では感度が a のほうが約 2 倍程度良いことになる。電離箱の体積はほぼ同じなのに飽和電流値が大きく違う理由としては、円筒または平行板という幾何学的発件の相違による検出効率の違いが考えられる。その他にも、電極間の幾何学的な電気力線の相違、保護環の問題などが考えられるが、その検証は次の機会に報告する。

## 4 結 論

磁気浮揚装置で電極を浮揚させることによって、無接触で放射線によって電離された電荷による電離電流を測定するという、新方式による電離電荷の測定装置の特性を調べるために、磁気浮揚の代わりに高絶縁のテフロン糸で吊した電極を用いた場合の印加電圧と電離電流の関係を調べた。その結果、この方式での電圧と電流の関係の曲線は通常の電離箱の場合と一致したので、このことから吊り下げた状態のかわりに電極を浮揚した場合でも電圧電極と集電極の間の電位の状況は、通常の電離箱の場合と変わらないことがわかった。

絶縁体による電荷の漏電を考えれば、浮揚電圧電極では通常の電離箱以上の高い感度を得られることは確かである。さらに、高湿度のような条件下でも安定した測定が可能であるといえる。また浮揚する電極板の形状としては、放射の幾何学的条件や浮揚の容易さから同軸円筒型がより有効であるといえる。先に報告した磁気浮揚装置<sup>(2)</sup>とここで報告した浮揚電圧電極とによって、湿度の高い条件でも使用ができ、なおかつこれまでになく高感度の放射線線量計が実現できる。次の機会には試作した高感度磁気浮揚放射線線量計について報告する。

参 考 文 献

- (1) William J. Price: NUCLEAR RADIATION DETECTION, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- (2) 川口俊郎, 吉村厚: 磁気浮揚による放射線測定のための高感度電荷測定器の開発, 九州産業大学交際文化学部紀要, 第7号, 259-273
- (3) 浜松ホトニクスKK: 公開特許公報(A) 特開平8-211157, 日本国特許庁
- (4) 大野和夫他: 放射線測定, 朝倉書店
- (5) 高橋秀俊: 電磁気学, 裳華房
- (6) 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳, 丸善