

【論文】

## 低レベル放射線自動計測システムに用いられる磁気浮上装置

一木 博文\*<sup>1</sup>、二神 光次\*<sup>1</sup>、川口 俊郎\*<sup>1</sup>、的場 優\*<sup>2</sup>、福田 隆\*<sup>3</sup>、宇都宮 慶智\*<sup>1</sup>

Magnetically levitating equipment used for an automatically measuring system of low level radioactive rays

Hirofumi Ichiki, Koji Futagami, Toshiro Kawaguchi, Masaru Matoba,  
Ryu Fukuda, Yoshitomo Utsunomiya

**Abstract:** An Ionization chamber has some superior characters. One of them can be detected  $\gamma$ -rays in spite of a simple equipment. So the chamber has been widely used for monitoring air pollution by radioactivity. However, measurement of  $\gamma$ -rays in the atmosphere by using the ionization chamber is difficult because of its low sensitivity. We have developed the high sensitive ionization chamber for  $\gamma$ -rays constructed a magnetically levitating electrode without any insulating support. The developed equipment was applied the measurement of  $\gamma$ -rays in atmosphere. By using two those equipments, we have detected extremely small doses of  $\gamma$ -rays in the atmosphere and various gases.

**Keywords:** Magnetically levitating equipment, Measurement of environmental gamma rays, low level radioactive rays

## 1. 序論

X線、 $\gamma$ 線などの放射線を計測する方法は色々考えられているが、原理的にはほぼ同様で、放射線が物体を電離や励起した後、物体の状態の変化を直接又は間接的に計測し、放射線量に換算する方法が主に用いられている。<sup>1)~2)</sup>

その一つが電離箱 (ionization chamber) である。電離箱は主に高い放射線量の測定に用いられており、構造が簡単で、計測結果の直線性に優れているという特徴がある。しかし、電離箱には、リーク電流や電流増幅回路のドリフトのために、他の放射線検出器に比べて感度が悪いという欠点がある。電離箱の長所を生かして、これを環境放射線線量測定のような微小線量測定に用いるためには、電離箱の欠点を解決することが必要であった。

我々は、この課題を解決するために、磁気浮上の技術を用いて、高感度の磁気浮上電極電離箱を開発した。これにより、電離箱を用いて環境放射線線量を高精度で計測することが可能となった。市販の電離箱の検出限界はおよそ  $1 \mu\text{Sv/h}$  であるが、我々が開発した磁気浮上電極電離箱の検出限界はおよそ  $0.002 \mu\text{Sv/h}$  となった。

## 2. 電離箱による測定

## 2.1 電離箱を用いた測定方法

磁気浮上電極電離箱を用いた放射線計測方法の原理は以下のとおりである (図1)。

- (1) 電離箱内部に正電位 (正電荷) を与えた電荷収集電極を設置する。この電極は電磁石と変位センサーの働きで中空に浮上している。(①)
- (2) 内部の気体が放射線により電離されると、+イオンは電離箱内壁のアース電極に、-イオン (電子) は電荷収集電極に捕獲される。(②)

\*1: 工学部電気工学科

\*2: 工学部バイオロボティクス学科

\*3: 工学研究科電気工学専攻

(3) 電子が捕獲されると電極表面の電荷が相殺され、電荷量が減少するので、その電荷量を計測し、放射線量に換算する。(3)

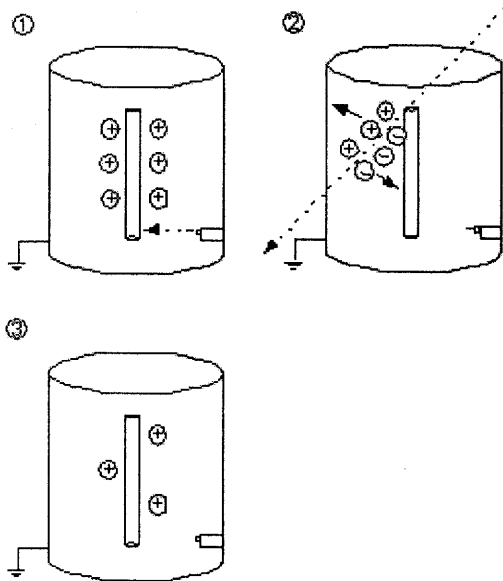


図1 磁気浮上電極電離箱を用いた放射線計測方法

## 2.2 電離箱による環境放射線計測の課題

従来の電離箱では電荷収集電極が絶縁体で支持され、電極で捕獲された電荷は増幅され電流として計測されている。環境放射線により気体が電離する量は、電離電流で  $10^{-15}$ A レベルであり、ごくわずかである。そのため、電極を絶縁性の高い物質で保持しても、あるいは高感度のエレクトロメータを用いても、リーク電流や増幅回路のドリフトによって生じるいわゆる雑音が、放射線による電荷減少分を上回るため、信頼性の高い正確な計測ができなかった。

## 2.3 磁気浮上装置の開発

我々は、磁気浮上装置を用いて電荷収集電極を完全に浮上させること、また、浮上電極の電荷をファラデーゲージで非接触的に読み出すこと、によって従来の電離箱の欠点を解決した。

浮上させた電荷収集電極に電荷を帯電すれば、電極上の電荷は外部にリークすることなく保たれ、電離作用で発生した電子捕獲によってのみ、電極の電荷が減少する。

また、浮上電極上の電荷は、静電誘導の原理で、ファラデーゲージによって非接触で読み出すため、増幅回路が不要である。

## 2.4 磁気浮上電極型放射線計測技術

本研究に先駆けて磁気浮上電極による放射線計測技術が開発されている。これは電荷収集電極を磁気により浮上させるところは同じであるが、一定時間毎に電極を移動させて、対置した固定電極に接触させて電極上の電荷量の変動を測定する方法である。この方法では、接点に接触する際のチャタリングによる不規則電荷の発生が避けられなかった。<sup>3)</sup> スイッチの接続のように、接触における不規則電荷の発生は電気工学では常識である。大きな電流を扱う場合はこのことは問題にならないが微弱電流を計測する場合は、重要な問題となる。

## 2.5 ファラデーゲージによる完全非接触化

我々はファラデーゲージによって、完全に非接触で、浮上している電極からの電荷を読み出す方法を用いた。ファラデーゲージによる計測原理を図2に示す

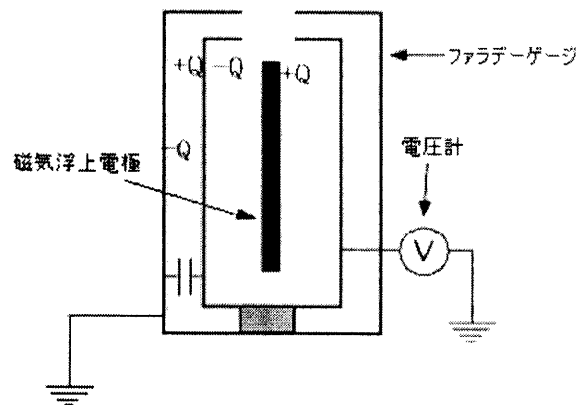


図2 ファラデーゲージによる電極電荷の計測

$+Q$  (C) に帯電した磁気浮上電極をファラデーゲージで覆うと、ファラデーゲージ内面に  $-Q$  (C) の電荷が誘導される、その電荷  $Q$  は、ファラデーゲージの容量を  $C$  (F)、電圧計に指示される電圧を  $V$  とすると  $Q = C \cdot V$  より求められる。また、エレクトロメータを使えば直接電荷を読み出すことも可能である。

この方法によって、従来の放射線検出器では計測できなかった低レベルの放射線線量計測が可能となった。<sup>1)</sup>

## 3. 磁気浮上装置

### 3.1 磁気浮上装置の構成

磁気浮上装置全体を図3に示す、装置は電離箱、電磁石、赤外線 LED、受光ダイオード、電子回路、

ファラデーゲージ及び昇降装置より構成される。

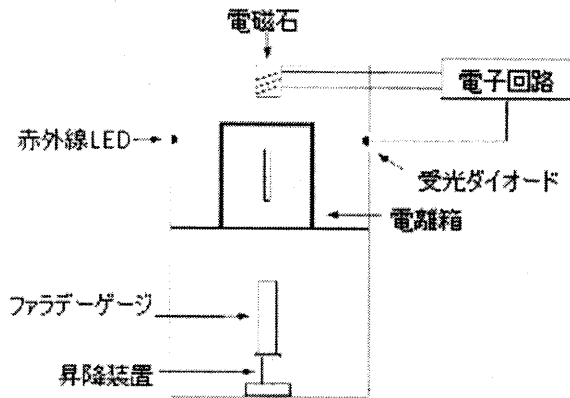


図3 磁気浮上放射線計測装置

電荷収集電極を一定の位置に静止させるには、電磁石、赤外線 LED および受光ダイオードを用いる。電極が静止位置より上昇すると、電極の上端が水平

ビーム光を一部さえぎり、受光ダイオードの受光量が減少する。また、電極が静止位置より下降すると、LED 光の通過量が大きくなり、受光量が増加する。センサの受光量に応じて電磁石の駆動電流が増加・減少し、電極を一定の位置に保っている。

浮上している電極の電荷は、ファラデーゲージを上昇し、ファラデーゲージ内に電極を浮上したままの状態に挿入することによって読み出される。従って、ファラデーゲージが挿入されている間も LED 光が電極の位置を認識しておく必要があるため、ファラデーゲージ上部にも光が通過できるようなスリットを設けている。

### 3.2 電子回路

電子回路は制御部、電源部、投・受光部、電磁石駆動部より構成され、各部はノイズの影響を抑えるため、OP アンプを介して電圧にて信号授受を行っている。(図4)

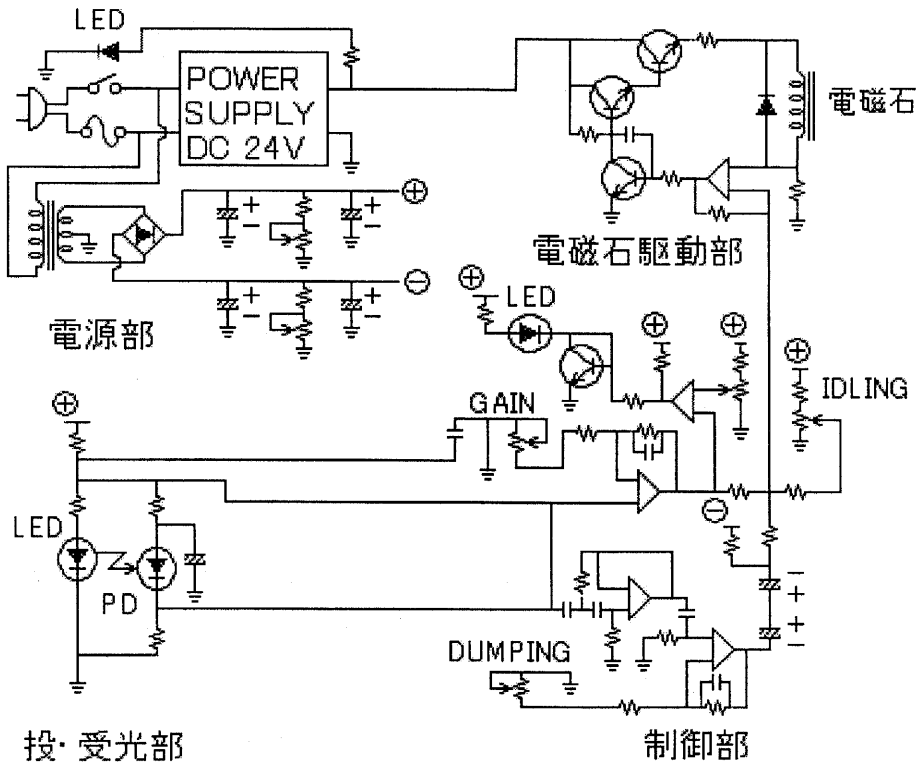


図4 磁気浮上制御電子回路 回路図

## (1) 電源部

AC100v 電源を電磁石駆動用の DC24v 電源と制御用の DC±12v 電源に分岐する。

## (2) 制御部

制御部は、電磁石の吸引力を調整する部分で、磁気浮上電子回路の中心的役割を果たす。

電極位置の変動量に応じて吸引力を調節するような制御を行っているため、環境条件や周囲の振動等の影響を受けやすい。従って電子回路パネル面には3つの調節用ボリュームが設けられている。

## 1) GAIN

LED 光が通過する量に応じた電圧信号を増幅して、電磁石駆動電流を決定するため、この増幅度を調節する。

電極の位置制御に直接関係するボリュームである。

## 2) DUMPING

受光ダイオードからの電圧信号に含まれる微小振動成分は別途微分増幅され、電磁石駆動電流に加えられる。この微分増幅度を調節する。

電極振動のタイミングと電磁石電流増減のタイミングが重なり合うことによる共振を防止する。

## 3) IDLING

電磁石に流す電流は、受光ダイオードの受光量に影響されない基本電流分と、上記 GAIN, DUMPING により調節される成分の合計からなる。この基本電流分を調節する。

また、この制御方法では、受光ダイオードが電極を感知しない（電極が落下した等の）場合、電極を浮上させるために電磁石に過大な電流が流れ、装置全体を破壊する恐れがある。このため、いったん電極を感知しなくなった場合、再び電極を感知するまで（手で電極をその位置に持って行くまで）、電磁石への通電を停止するような対策を採っている。

## (3) 電磁石駆動部

上記制御部で調整された信号は、その時点での電磁石に流れる電流値と比較され、より適正な信号として電磁石駆動部に出力される。この信号を電流変換した電流値と比べ、電磁石駆動電流は非常に大きいため、ダーリントン接続したトランジスタにより増幅する。

## 4. 磁気浮上電極式電離箱を用いた放射線自動計測システム

磁気浮上電極式電離箱を用い、ファラデーゲージ昇降機の上昇・下降、ファラデーゲージ電圧の計測から電極電荷の計算、電離電流への換算、及びその

データ保存など一連の作動と測定をコンピュータにより統合し、長時間の連続計測を可能にした。

## 4.1 測定システムの作動確認

放射線の線量計測を行う場合は、計測値には常にバックグラウンド（環境  $\gamma$  線）成分が含まれる。とりわけ低レベルの放射線計測においては、バックグラウンドの線量を無視することはできない。低レベル放射線の線量測定において、この測定システムが正しく作動するか調べるために、同一の条件で、同じ磁気浮上電極電離箱 2 台のシステムを用いてバックグラウンドの線量計測を行った。図 5 はその概略である。装置 1 で微弱線量を計測するとすれば、装置 1・2 で計測された線量の差を取ることによって、バックグラウンドの線量を差し引いた、微弱線量を求めることができる。

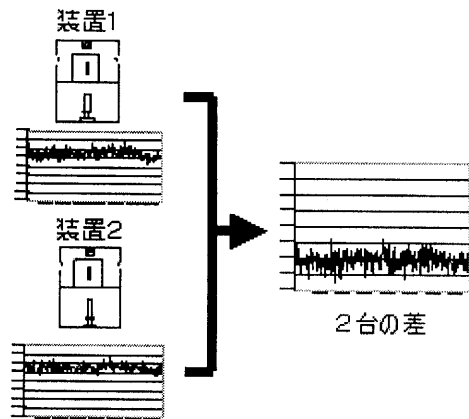


図 5 同一条件による 2 台計測

測定結果を図 6 に示す。測定値 A, B の線量率の大きさと時間的変動はほぼ同じ傾向にあり、電離電流値は 0.6fA から 1fA の範囲である。これは、吸収当量率に変換すると 60nGy/h から 100nGy/h である。

バックグラウンドの線量率は年間を通して周期変動があり、変動の範囲は福岡でおよそ 50 から 100nGy/h となっていて、2 台のシステムが測定した値もほぼこの範囲に入っている。このことから、システムの信頼性が確認できた。

これにより、2 台の装置を用いて、片方に放射性ガス等をサンプリングすることで、バックグラウンド線量成分を差し引いた微弱放射性ガスの線量計測が可能になると考えられる。

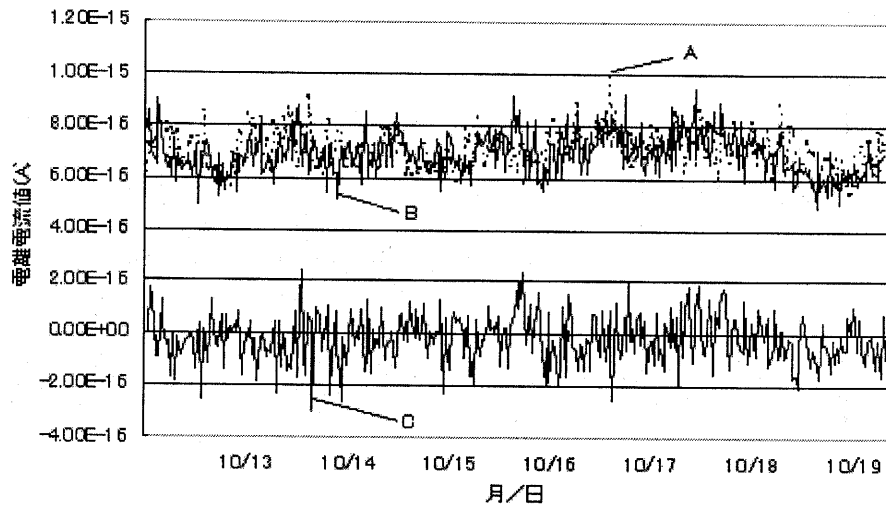


図6 2台並列計測における結果

4.2 電極を絶縁体により支持した場合との比較

絶縁体で電極を支持した電離箱による計測結果と比較するため、テフロンで電極を吊り下げた場合と磁力により電極を浮上させた場合について、それ以外の条件を同じにしてバックグラウンド（環境γ線）の並列測定を行った。図7はその概略図である。<sup>4)</sup>

計測結果を図8に示す。Aではバックグラウンドの電離電流、Bではバックグラウンドの電離電流とテフロンを通してのリーク電流との和である。A、Bを比較すると磁気浮上装置を用いた場合のAの計測値(約

$1 \times 10^{-15} \text{ A}$ )に対し、電極を支持した場合のBの計測値はその約2倍となった。

AとBの差は電極支持材(テフロン)を通してのリーク電流で、大きさは $1 \times 10^{-15} \text{ A}$ 程度ある。このリーク電流の大きさはバックグラウンドによる電離電流とほぼ同等である。このことから、電極支持材を用いて環境γ線(バックグラウンド)線量を計測するのは不可能であることがわかる。

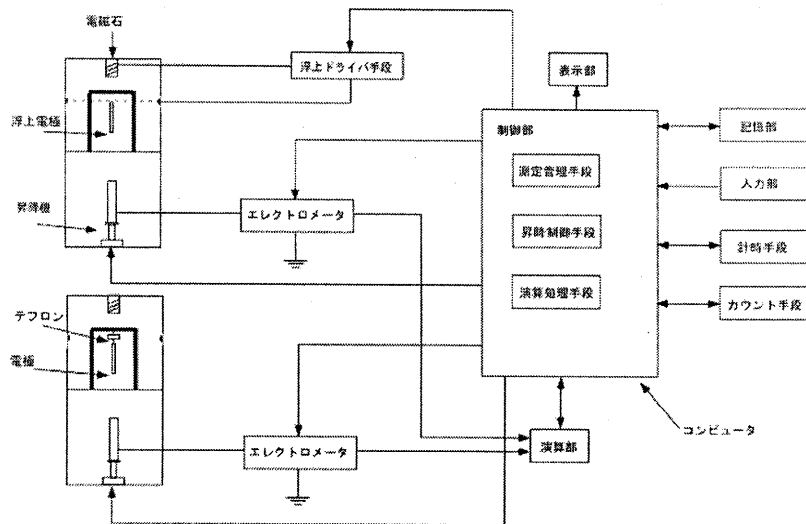


図7 電極支持方法の違う計測方法との比較

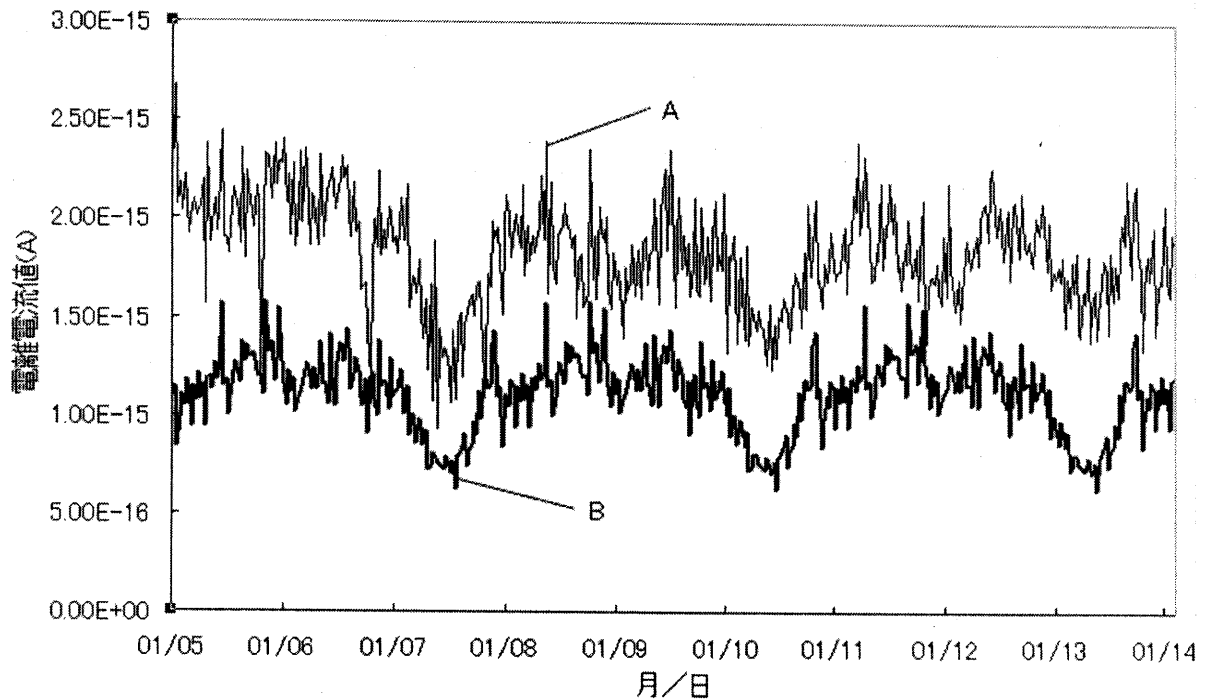


図 8 電極支持方法の違う計測方法との比較結果

#### 5. まとめ

電離箱と、磁気浮上装置、及びファラデーゲージとを組み合わせることで、完全非接触タイプの磁気浮上電極電離箱を開発した。この電離箱はきわめて高感度であり、これまでの放射線検出器では計測できなかった低レベル環境 $\gamma$ 線(バックグラウンド)の線量やその時間変動を計測することができた。

また、同じ装置を2台並列に設置することによって、バックグラウンド成分を差し引く差動計測が可能になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 川口 俊郎 「磁気浮上電離箱とこれを用いた低レベル放射線自動計測システムの開発に関する研究」 九州大学博士論文(2003)
- 2) 川島 勝弘、山田 勝彦 「放射線測定技術」 通商産業研究社刊
- 3) Eiichi Tanaka, Kiyoshi Koike, Yuji Mori IEEE TRANSACTION ON NUCLEAR SCIENCE, VOL 38 NO. 2 APRIL 1991 p491-493
- 4) 山中菜穂子 「磁気浮上電離箱を用いた低レベル放射線計測と本装置の制度評価に関する研究」 九州大学修士論文(2005)