速 報

非接触で電荷の帯電と読出しを行う高感度磁気浮上電極電離箱[†]

川口俊郎, 吉村 厚

九州産業大学工学部
813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1

1999年5月10日 受理

Key Words: magnetic levitation, ionization chamber, readout by non-contact, electrification by noncontact, high-sensitivity measurement

1. 緒 言

磁気浮上電極を用いた電離箱は、電極を支持する絶縁体がないのでピエゾ電流等がなく高感度測定が可能である。現在磁気浮上電極を使用した電離箱には二つの方式^{1), 2)}がある。一つは田中ら¹⁾によるものである。これは磁気浮上している電極を、電磁力を制御して移動させて、電極に向き合った対向固定接点に接触させ電圧を印加する。その後、電磁力を制御して浮上している状態で電極を電離箱の中央に戻して一定時間おく。その時間の間に電極上の電荷は放射線で空气中に生じるイオンによって中和される。一定時間経過した後再度電極を接点に接触させ、充電電荷の読取りと電極への電圧の印加を行う。この経過時間の間の電荷量の減少が入射放射線による積算線量を示す。この方式はきわめて高感度ではあるが、電極を一定時間ごとに接点に接触させなければならないので、電極が固定接点に接触する際のチャタリングによって不規則電荷が発生し測定値に誤差を生じる。

また連続的な測定ができないために放射線線量の急激な変化に即応できないという欠点がある。他は著者ら²⁾によるもので、2枚の電極間に電池を接続したものを高電圧電極として電池とともに電離箱の中央に磁気浮上させる。収集電極は絶縁体で支えられて微少電流計に接続し接地される。この方式は放射線による電離電流を連続的に測定できるが、測定感度が使用する微少電流計の入力オフセット電流に大きく依存し、田中らのものよりも感度が落ちるという欠点がある。

この研究は以上の方式での問題点を解決するもので、磁気浮上した電極に非接触で電荷を帯電し、一定時間の後に減少した電極の電荷を非接触で読み出すものである。この新しい方式による電離箱によって安定でかつきわめて高感度で微少放射線線量を測定することができたので報告する。

2. 装置および計測方法

装置を Fig. 1 に示す。電離箱の中心にはアルミニウム製の円筒形電極がテフロン糸で吊るされている。テフロン糸の上端にはスチールカップが取り付けられ、このスチールカップは磁気浮上装置のギャップセンサによって制御され磁気浮上している。電離箱の側壁はアルミニウム製でその側面には圧電タイプの静電気帯電

[†] The High-sensitive Magnetic Levitated Electrode Ionization Chamber of the Noncontacting Type. Toshiro KAWAGUCHI and Atushi YOSHIMURA: Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo University, Matsukadai, Higashi-ku, Fukuoka-shi 813-8503, Japan.

Fig. 1 Magnetic levitation electrode ionization chamber of the noncontacting type.

The electrode is charged by an electrostatic charger. After the electrode was completely inserted in the cage, cage voltage was measured.

器を取り付け、これによって非接触で電極に正電荷を帯電することができる。電離箱の下部には円形にけられたシャッターがあり、電離箱として測定中は閉じている。電離箱の下には円筒形のファラデーケージがあり、ファラデーケージの上げ下げはステッピングモータ駆動による昇降機で行い、位置の再現性は 0.1 mm の精度である。また磁気浮上装置、電離箱およびファラデーケージは密閉したシートの中に入れてある。計測方法は、初めに静電気帯電器で浮上している電極に正電荷を帯電する。次にシャッターを開け、ファラデーケージを上げて

電離箱の中に入れ、ケージの内部電極容器内に電極部分を完全に挿入する。電極上の電荷はケージに接続された電圧計でケージ電圧として読み取る。ケージ電圧とファラデーケージの静電容量（ケージの内部電極と外部電極との間の静電容量で電極間の容量と取付けたコンデンサの容量との和）との積が電極上の電荷である。電圧を読み取ったらファラデーケージを下してシャッターを閉じる。電離箱内では、帯電している浮上電極と接地された壁面との間の電位によって、放射線で生じた陰イオンは浮上電極で収集され、その結果浮上電極上の正電荷は放射線線量に応じて減少する。一定時間経過した後シャッターを開け、ファラデーケージを上げてケージ電圧を読み取る。計測時間でのケージ電圧の差を求めればこの時間における放射線による積算線量が得られる。ここで、電離箱の体積は 4300 cm^3 であり、浮上電極の直径は 1.2 cm、長さは 8.1 cm、テフロン糸の直径は 0.25 mm、長さは 14 cm で、ファラデーケージの内部電極容器と外部電極容器の間の静電容量は 2000 pF (HIOKI 社 3522 LCR HiTESTER で測定) である。

3. 結 果

この電離箱の浮上電極上の電荷とその電荷による壁面との電位の関係調べるために、高電圧直流電源を用いて浮上している電極と壁面（アース電極）に一定の電圧を印加して電極上に電荷を帯電した後、ファラデーケージによって電極上の電荷をケージ電圧として測定した。Fig. 2 は印加した電圧とケージ電圧との関係である。静電気帯電器で電極に任意に帯電したとき、電荷をケージ電圧として読み取ることで電極上の電荷が求まり、Fig. 2 によってその電荷によって生じる電極とアース電極との間の電位がわかる。

次に電離箱に印加した電圧と放射線による飽和電流との関係調べた。電離箱の側壁から 15 cm の位置に 3.7 MBq の ^{137}Cs 密封線源を置

Fig. 2 Relation between applied voltage and cage voltage.

The cage voltage was measured by the Faraday cage, after the voltage was applied to the electrode by high tension DC power source. The charge of the electrode can be calculated from the cage voltage.

き、印加した電圧と電離電流の関係を測定したのが Fig. 3 である。各電圧での照射時間は30分で、ファラデーケージによって30分間でのケージ電圧の減少を測定し、これから電極の電荷の減少を求め、電離電流値に換算した。グラフから電離電流は印加する電圧が800 V以上で飽和することがわかる。800 V は Fig. 2 からケージ電圧で約 0.75 V である。したがって静電気帯電器で任意に帯電したとき、ファラデーケージでのケージ電圧が0.75 V 以上であれば電離電流は飽和するので、この状態で電離箱は正常な動作を行うことになる。

天然カリウムには ^{40}K が0.012%含有している³⁾。このため KCl は低レベルの γ 線の放射線源として用いられる¹⁾。そこで市販の KCl 試薬 500 g ボトル (石津製薬製一級) を用いて γ 線の照射線量を調べた。Fig. 4 は 4 月 7 日の午前 9 時に計測を始め、8 日の 21 時にかけて 1 時間

ごとに KCl がいない場合と 1 個あるいは 2 個を電離箱の横に置いた場合について電荷の減少率 (照射線量率) を測定したものである。電極へは計測の始めに静電気帯電器で電荷を帯電し、計測が終了するまで途中での帯電は行っていない。照射線量率は平均値でバックグラウンドでは $9.8 \times 10^{-10} \text{ C/kg} \cdot \text{h}$ であり、KCl 1 個では $12.7 \times 10^{-10} \text{ C/kg} \cdot \text{h}$ 、2 個では $15.5 \times 10^{-10} \text{ C/kg} \cdot \text{h}$ となっている。KCl の照射線量率のバックグラウンドに対する割合は、1 個で約 30%、2 個で約 59% 増加しており、KCl の個数と照射線量率の増加はよく比例している。大気中のラドン濃度が測定できるかどうかを調べるために、4 月下旬の雨天と晴天の日に屋外の大気を電離箱内に通して (フィルタはワットマン GF/B 47 mm ϕ) 電離電流を測定した。測定場所は福岡市東部のビルの 8 F で、測定時間は各 1 時間である。測定された電離電流によって

Fig. 3 Ionization current for the applied voltage.

^{137}Cs (3.7 MBq) was used for the radiation source. The ionization current is saturated at applied voltage over 800 V.

計算⁴⁾したラドン濃度は, 雨天の場合は112.3 [Bq/m³], 晴天の場合は18.34 [Bq/m³]となり6倍近い差であった。比較のために Fig. 4 による KCl 1 個と 2 個の場合の差をラドン濃度に換算すると7.98 [Bq/m³]となる。

4. 結 論

非接触で, 電極に電荷を帯電し電極から電荷を読み出す磁気浮上電極電離箱を開発した。この電離箱は電極を支持する絶縁体が不要なためにピエゾ電流等によって生じるバックグラウンド電流がない。また非接触で電極の電荷を読み出すために, 読出し時に接点との間で生じるチャタリングによる不規則電荷の発生¹⁾や接点の接触による接触電位差の発生等がなくきわめて高感度で放射線量を計測できる。大気中のラドン濃度は場所や気象条件によって異なるが⁵⁾, 晴天と雨天の日でのラドン濃度の値と KCl 1 個分の照射線量率のラドン濃度への換算

値とを考慮すると, この電離箱を使って大気中のラドン濃度を測定することが可能である。さらに, この方式は浮上している電極にまったく接触しないために, いったん磁気浮上させた電極は長期間にわたって安定して浮上の状態を保つことができる。連続計測ならば環境放射線強度レベルにおいては, ケージ電圧で 1.4 V (印加電圧で約 1500 V に相当) 程度の帯電を一度行くと, 途中で帯電しないで1時間ごとの計測をおよそ48時間にわたって連続して行うことができる。この電離箱の問題点は, スチールカップに電極をテフロン糸で吊るしているため, テフロン糸をとおしての微少な電荷のロスが生じることであり, またファラデーケージでの計測の誤差⁵⁾も考えられる。これらの原因によるロスや誤差は1時間の測定において 10^{-12} C 程度で, 電離箱体積 1000 cm³ あたりに換算すると 10^{-17} A のオーダーである。これらの問題は, 電極を糸に吊るさない状態でファラデーケージ

Fig. 4 Exposure rate by KCl.

Bottle of 500 g KCl was placed near the chamber.

に挿入する、また帰還形高感度ファラデーケー
ジ⁶⁾を用いる等で解決できる。現在、電極の真
上からレーザー光線によって位置制御を行い、
電極を直接磁気浮上させる方法を開発中であ
る。これによって電極を磁気浮上させたままの
状態で直接ファラデーケージの中に挿入するこ
とができ、さらに高精度高感度の完全非接触タ
イプの磁気浮上電極電離箱の実現が期待でき
る。

文 献

- 1) Tanaka, E., Koike, K. and Mori, Y.: *IEEE*
Trans. Nucl. Sci., **38**, (2), 491-493 (1991)
- 2) 川口俊郎, 吉村 厚: *Radioisotopes*, **48**, (2),
1-11 (1999)
- 3) G. F. Knoll 著, 木村逸郎, 阪井英次訳: “放射
線計測ハンドブック 第2版”, pp. 780, 日刊
工業新聞社, 東京 (1996)
- 4) 安岡由美, 志野木正樹: *Radioisotopes*, **41**, 387-
390 (1992)
- 5) Okabe, S., Nishikawa, T., Aoki, M. and
Yamada, M.: *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.*,
A255, 371 (1987)
- 6) 田畑泰幸, 他: “静電気ハンドブック”, pp. 418,
オーム社, 東京 (1998)