

## 論 文

### 気中トリチウムによるエレクトレット 線量計の電荷減衰特性

三 木 俊 克 ・ 池 谷 元 伺  
松 山 政 夫\* ・ 渡 辺 国 昭\*

山口大学工業短期大学部  
宇部市常盤台2557

\*富山大学トリチウム科学センター  
富山市五福3190

### Electret Charge Decay for Electret Dosimeters by Atmospheric Tritium

Toshikatsu MIKI, Motoji IKEYA, Masao MATSUYAMA\*  
and Kuniaki WATANABE\*

Technical College, Yamaguchi University,  
Tokiwadai, Ube 755, Japan

\*Tritium Research Center, Toyama University,  
Gofuku 3190, Toyama 930, Japan

(Received December 25, 1984)

#### Abstract

The decay of the electret charge due to tritium  $\beta$ -rays was studied to determine the sensitivity of electret dosimeters for atmospheric tritium. The electret charge decreases proportionally in relation to the tritium activity and to the exposure time with a sensitivity of about  $1 \times 10^{-18}$  C/pCi·s, corresponding to the theoretical response of electret dosimeters in the ionization chamber mode. This high sensitivity leads us to consider using the electret dosimeter as a promising device for the measurement of tritium.

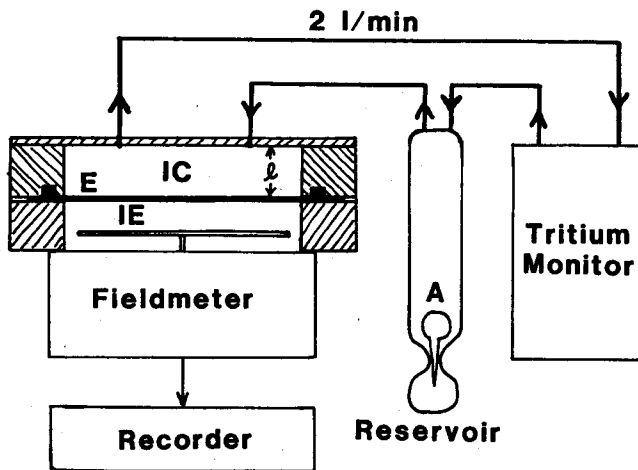
#### 1 緒 言

最近、核融合研究の進展に伴いトリチウム取扱い量が増大し、トリチウム個人被曝管理の必要性が高まりつつある。さらに近い将来、D-T燃焼も含む大型核融合研究装置が具

体化されるとトリチウム使用量は飛躍的に増大すると見込まれ、トリチウム個人被曝管理のシステム整備やそのための小型トリチウム線量計の開発は重要な課題となっている。

本研究は、“エレクトレット”を用いた小型トリチウム被曝線量計の開発を目的としている。“エレクトレット (Electret)”とは、分極電荷、注入された空間電荷、表面の堆積電荷等を安定に含む誘電体のことであり、それらの電荷のために、磁石 (Magnet) がその内部及び周囲に磁場を誘起するのに対応してエレクトレットは電場を誘起する。エレクトレット線量計とは、エレクトレット周辺気体中の放射線により作られた電離イオンの捕集、エレクトレット内部の電子・正孔の移動によって生じるエレクトレット電荷の減衰を検出するものである<sup>1)</sup>。このような原理にもとづいた「エレクトレット線量計」の開発は、1950年代から行なわれてきたが、当時のエレクトレット材料では実用可能な高感度線量計を実現することはできなかった<sup>2,3)</sup>。しかしながら、1970年代以降、高分子材料特にフッ素系ポリマーの利用により高感度化が進み、今日では1 mrad 以下の $\gamma$ 線被曝量をエレクトレット線量計で測定することが可能になった<sup>4-6)</sup>。すでにフランスでは、 $\gamma$ 線、X線用のエレクトレット線量計の市販が行なわれている。

エレクトレット線量計は、小型、高感度、安価かつ機械的衝動に強いという特徴をもち、個人被曝線量計としても適している。 $\gamma$ 線、X線測定の外に中性子線量測定例も報告されて



FFig. 1 The electret dosimeter used for measurements of electret charge decay by tritium beta-rays. The abbreviations E, IE and IC indicate electret film, charge induction electrode and ionization cell, respectively. Gaseous tritium was introduced in the ionization cell by breaking a glass ampoule in which gaseous tritium had been sealed.

いる<sup>7)</sup>。本論文では、気中トリチウムからの $\beta$ 線に対するエレクトレット線量計の応答特性を報告すると同時に、トリチウム用エレクトレット線量計実用の可能性を論じる。

## 2 実験方法

Fig. 1 に、気中トリチウムによるエレクトレット電荷の減衰を測定するための装置を示す。使用したエレクトレット材料はテフロン(厚さ;  $50 \mu\text{m}$ ) およびポリフッ化ビニリデン(PVDF, 厚さ;  $6 \mu\text{m}$ ) である。これらのフィルムのエレクトレットは、電荷堆積法<sup>7)</sup> および液体接触法<sup>7)</sup>により製作した。製作したエレクトレットの初期電荷密度は  $10^{-11}\text{C}/\text{cm}^2$  オーダーであった。エレクトレットフィルムは、Fig. 1 に示したように、金属製フランジ間に保持し、電離室、リザーバー、トリチウムモニター (Aloka; HGR-110) を銅管で結んで閉ループを構成した。この閉ループ内に空気を循環させ、ある時点で、あらかじめリザーバー内に入れておいたトリチウム (HT) ガス封入ガラスアンプルを機械的衝撃により破壊してループ内にトリチウムを導入した。

ループ内のトリチウム放射能濃度は、トリチウムモニターにより連続的に記録する。一方、エレクトレット電荷密度は、回転セクター型静電場測定器 (リオン; EA-03) で測定したエレクトレット表面電位から計算により求めた。

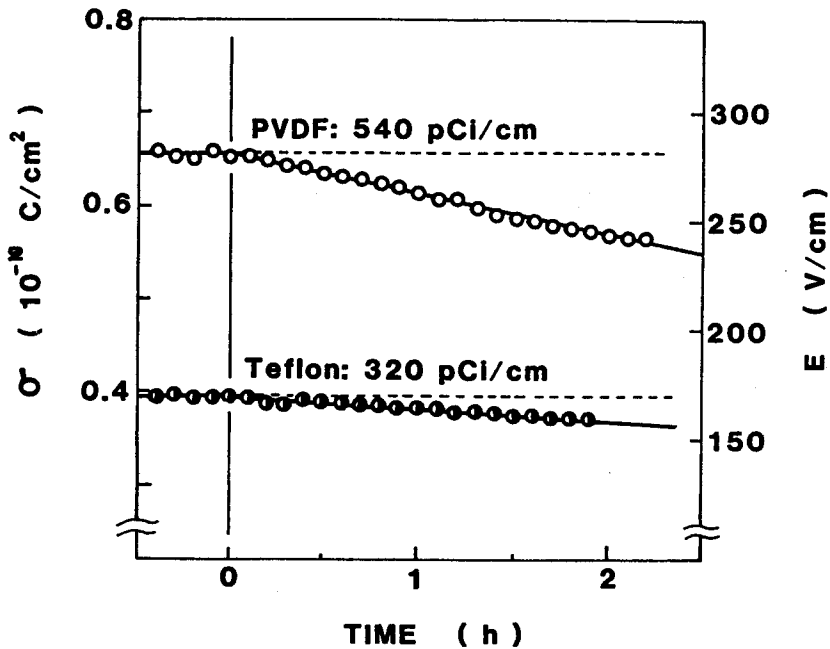


Fig. 2 Typical decay curves of electret charge as a function of tritium exposure time. The right ordinate indicates the field intensity in the ionization cell calculated from the electret charge density. The tritium activities during the electret charge decay are shown in the figure.

### 3 結果と考察

Fig. 2 に、トリチウム  $\beta$  線によるエレクトレット電荷の減衰特性を示す。エレクトレット電荷密度  $\sigma$  はトリチウムが閉プールに導入されると減少しはじめ、以後時間経過とともに直線的に減少する。また、減少直線の比例定数はトリチウム放射能濃度にも比例した。すなわち、エレクトレット電荷密度  $\sigma$  は、

$$\sigma = \sigma_0 - K R t. \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_0$  はトリチウム導入前の電荷密度、 $K$  は比例定数、 $R$  はトリチウム放射能濃度、 $t$  は被曝時間である。トリチウム濃度を変えて測定した減衰特性から  $K$  を求めると、テフロンエレクトレットでは  $(0.85 \pm 0.15) \times 10^{-18} \text{C/pCi} \cdot \text{s}$ 、PVDF エレクトレットでは、 $(1.4 \pm 0.1) \times 10^{-18} \text{C/pCi} \cdot \text{s}$  という値が得られた。

エレクトレット線量計の動作特性は、エレクトレット電荷密度の大小により、三つの異なる型式がある<sup>1,8)</sup>。電荷密度が  $10^{-8} \text{C/cm}^2$  にもなると、イオンのガス増倍が起こる（ガス増倍領域）。 $10^{-9} \text{C/cm}^2$  以下では、放射線により作られたイオンはすべてエレクトレットに捕集され、減衰電荷量は被曝量に比例する（電離箱領域）。電荷密度がさらに低くなると一部イオンは再結合し、減衰電荷量が被曝量に比例しなくなる（再結合領域）。(1)式の特性は、これらの領域のうち、電離箱領域に対応するものである。電離箱領域におけるエレクトレット線量計の理論によると、(1)式の比例定数  $K$  は、次のように表わすことができる<sup>13)</sup>。

$$K = 3.7 \times 10^{-2} e E_{av} / W_{air} \quad (2)$$

ここで  $e$  は電子の電荷 ( $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ )、 $E_{av}$  はトリチウムから放射される  $\beta$  線の平均エネルギー、 $W_{air}$  は、トリチウム  $\beta$  線に対する空気の  $W$  値である。 $E_{av} = 5.7 \text{KeV}^9)$  および  $W_{air} = 33.7 \text{eV}^{10)}$  の値を代入すると、(2)式より  $K = 1.0 \times 10^{-18} \text{C/pCi} \cdot \text{s}$  の値を得る。この値は、テフロンエレクトレットの場合の  $K = (0.85 \pm 0.15) \times 10^{-18} \text{C/pCi} \cdot \text{s}$  とほぼ一致する。

一方、PVDF エレクトレットの実験値は、理論値より約1.4倍も大きい。これは、PVDF エレクトレットの場合、エレクトレット自身の被曝によって作られる電子・正孔が分極電荷の減衰に寄与するためと考えられる<sup>13)</sup>。他方、テフロンエレクトレットの場合、分極電荷がほとんど含まれず、この効果が無視し得るため理論値とよい一致を示したものと考えられる。

また、トリチウム導入後、閉ループ中のトリチウム放射能濃度が一時間当たり3～5%減少した。この減少は、エレクトレットフィルムのトリチウム透過係数<sup>11,12)</sup>を用いて計算した値とよく一致する。このことは、トリチウムの透過時にもエレクトレットの内部被曝がおこりうることを示している。

これらの実験結果から、エレクトレット線量計によるトリチウム被曝線量測定が可能であることがわかる。 $K$  の値は  $\approx 1 \times 10^{-18} \text{C/pCi} \cdot \text{s}$  であることから、もし数cmの距離の電

離室をもつエレクトレット線量計でトリチウム放射能  $1 \text{ pCi} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$  を測定しようとする  
と、 $1 \times 10^{-14} \text{ C}/\text{cm}^2$  のエレクトレット電荷減衰量を正確に測定する必要がある。このエレクト  
レット電荷の減衰量は、自然放射線による電荷減衰量に比較して十分に大きく、自然放  
射線の効果は無視し得る。エレクトレット線量計を電離箱領域で動作させるためにいま初  
期電荷密度  $10^{-12} \text{ C}/\text{cm}^2$  のエレクトレットを用いたとすると、 $1 \times 10^{-14} \text{ C}/\text{cm}^2$  の変化を精度  
よく測定するためには、少なくとも  $(2 \sim 5) \times 10^{-15} \text{ C}/\text{cm}^2$  の変化を検出する必要がある。  
しかしながら、現状では有効数字 4 桁の測定値を得ることは困難であり、 $1 \text{ pCi} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$  の  
高精度測定はむずかしい。この測定を可能にするためには、さらにエレクトレット電荷密  
度の測定技術を改善する必要がある。

以上のように、エレクトレット線量計はトリチウム個人被曝線量計として実用化が有望  
であり、早急な開発研究が望まれる。

## 文 献

- 2) M. Ikeya, *Techniques of Radiation Dosimetry*, eds. K. Mahesh, D. R. Vigi and K.K. Nagpaul (Wiley Eastern, New Delhi, 1984) Chap.4.
- 2) H. B. Marbin, *Nucleonics* **13**, 83 (1955).
- 3) J. L. Wolfson and J. C. Dymont, *Health phys.* **7**, 36 (1961).
- 4) 池谷元伺, 三木俊克, 中嶋州, *日本原子力学会誌*, **20**, 817 (1978).
- 5) H. Bauser and N. Ronge. *Health Phys.* **34**, 97 (1978).
- 6) O. Perino, J. Lewiner and G. Dreyfus, *IEEE Trans. NS-25*, 1117 (1978).
- 7) M. Ikeya, *Jpn. J. Appl. Phys.* **20**, 1615 (1981).
- 8) M. Ikeya, *Jpn. J. Appl. Phys.* **22**, 1200 (1983).
- 9) G. H. Jenks, F. H. Sweeton and J. A. Ghormleg, *Phys. Rev.* **80**, 990 (1950).
- 10) T. E. Burlin, *Radiation Dosimetry*, eds. F. H. Attix and W. C. Roesch (Academic Press, New York and London, 1966) Chap. 8.
- 11) H. Miyake, M. Matsuyama, K. Asida and K. Watanabe, *J. Vac. Sci. Technol.* **A1**, 1447 (1983).
- 12) V. L. Simril and A. Hershberger, *Modern Plastics* **27**, 95 (1950).
- 13) T. Miki, M. Ikeya, M. Matsuyama and K. Watanabe, *Jpn. J. Appl. Phys.* **23**, L931 (1984).