

Title	線量計中のイオン再結合損失について
Author(s)	高久, 祐治
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1970, 30(8), p. 730-733
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20127">https://hdl.handle.net/11094/20127</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 線量計中のイオン再結合損失について

福島県立医科大学がん診療部 (主任: 松川明教授)

高久 祐治

(昭和45年6月27日受付)

Recombination loss in ionization chambers irradiated with pulsed radiation

By

Y. Takaku

Department of Radiology, Fukushima Medical College

(Director: Prof. A. Matsukawa)

General recombination loss in some thimble chambers when irradiated with pulsed radiation was studied. Calculations of collection efficiency "f" by the theory of Boag showed the loss to be negligible for the dose measurements of most linac X-rays, but it may easily exceed highest cases of temperature and pressure corrections for electron dose measurements. It is proposed that, when the ionization current  $i$  is measured carefully, the empirical  $f$  can be given for some cases by a straight line extrapolation of the plots of  $i$  vs the reciprocal of applied voltage  $V$  to a chamber or  $1/i$  vs  $i/V$ . Proportion of spherical and cylindrical parts of a chamber can be obtained by comparing empirical and calculated  $f$ . The Boag's equations are assumed to be favorable in this attempt.

### 1. 緒言

吸収線量が空洞内電離量をより処として発展的にあらゆる線質について求められようとする場合、第一に空洞内電離量が正確に求められなければならない。特に大線量をパルス状に発生する治療装置からの線量を評価する場合には、電離箱中のイオン再結合損失が問題になる。近年各施設の放射線量相互比較が固体線量計、化学線量計あるいは標準と称する線量計によつて行なわれているが<sup>1)2)</sup>イオン再結合損失についてどの程度考慮されているかに就いては若干の疑問を感ぜざるを得ない。そこで我々は当施設で使用されている東芝ベータトロン、NECリニャック、Radocon 606, 607, Ionex 0.6ccを対象にこの問題について検討した。

### 2. イオン収集効率の計算方法について

一般に連続放射線の測定ではその使用範囲にお

いて再結合損失を無視できるので、ここではパルス状放射線に対する再結合損失についてのみ考える。リニャック、ベータトロンの放射線発生パルス巾は数 $\mu$ からせいぜい数十 $\mu$ 秒であり、線量計中のイオン移動時間を計算すると大概の場合 0.3~1.0m秒、一方これら加速器のパルス間時間は3~20m秒である。従つて、測定電流と真の飽和電流の比で表わされるイオン収集効率  $f$  の計算では非連続線源、すなわち線量計中各パルスによつて生じたイオンは独立に集められるとして取扱つた。各トラック内でおこる initial recombination はX線、電子線を測定の対象としていること、線量率に関係ないこと等の理由でこれを無視して general recombination のみに着目し、また電離イオンによつて生じる空間電荷による電場の影響も無視して Boag<sup>3)</sup> の方法に従つて計算した。計算に使われた式は、Table 1にまとめてある。これ

らの式にある a, b, V を実際の線量計について調べた結果が Fig. 1 である. 本文中の記号はこれら図表によるものとする.  $\mu$  としては Boag<sup>4)</sup> や Ellis<sup>5)</sup> の実験結果を参考にしてここでは  $\mu = 1,000$  Vcm/esu とした.

リニャック 6 Mv X 線の測定では出力 100~300 rad/min. の範囲で, 線量計中の電離密度がパルス当り 0.0123 esu/cc で出力にかかわらずほぼ一定であることが確かめられたので f の計算では一応線量率に依存しないと仮定した. 線量計の壁はナイロンまたはテフロンなので空気等価壁とみなし, レントゲンで校正された線量計内ではレントゲン数だけの電離 esu/cc が生じているとし, 線質を考慮しなければならない壁による減弱の補正は行なわなかつた. パルス当りの線量を横軸とした f の計算値を Fig. 2 に示す.

Table 1. Formulas and notations for the calculation of the collection efficiency f in parallel plate, cylindrical and spherical ionization chambers irradiated with pulsed radiation (Boag (3))

geometry	$f = [\log(1+u)]/u,$ $f = \nu / [\exp(\nu) - 1]$
parallel plate	$u = \mu r d^2 / V, \nu = \mu p d^2 / V$
cylindrical	$u = \mu r d^2 / V, \nu = \mu p d^2 / V$ $d = (a-b) k_{cy1},$ $k_{cy1} = \left( \frac{a+b}{a-b} \cdot \frac{1}{2} \cdot \log \frac{a}{b} \right)^{1/2}$
spherical	$d = (a-b) k_{sph},$ $k_{sph} = \left( \frac{1}{3} \left( \frac{a}{b} + 1 + \frac{b}{a} \right) \right)^{1/2}$

- f = p/r
- r = charge liberated per pulse (esu/cc or per unit length of cylinder)
- p = charge collected per pulse (esu/cc or per unit length of cylinder)
- $\mu$  = ion mobility (volt-cm/esu)
- V = polarizing voltage (V)
- d = plate separation for plane geometry (cm)

3. イオン収集効率を実測的に求める方法につ

いて

連続的に発生する線源に照射された平行平板型

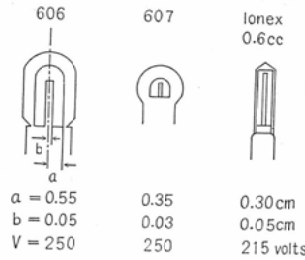


Fig. 1. Diagrams of the ionization chambers.

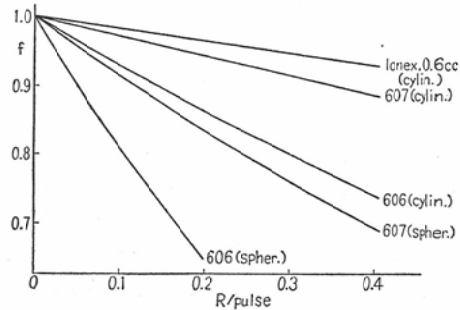


Fig. 2. Calculated collection efficiencies of some ionization chambers as functions of meter reading per pulse. Curves for cylindrical and spherical (outer radius=a, inner radius=b) geometry assumptions are shown for Radocon 606 and 607 probes.

電離箱に対して Mie<sup>6)</sup> と Greening<sup>7)</sup> は測定電離電流 i, 真の飽和電流  $i_s$ , 電場の強さ X の間に

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_s} + \frac{\text{const.}}{X^2}$$

の関係があることを導き,  $i_s$  が外挿から求められることを示した. この方法をパルス状放射線照射の場合に応用して, 外挿値から  $i_s$  を求めることを考えた. Table 1 中の式から

$$f = \frac{1}{u} \log(1+u)$$

$$u = \mu \frac{r d^2}{V}$$

であるから,  $u \ll 1$  の場合は f の近似値を 2 項までとつて平行平板型電離箱に対し,

$$f = \frac{i}{i_s} \div 1 - \frac{1}{2} \mu \frac{d i_s}{V}$$

$$= 1 - \text{const.} \frac{i_s}{V} \tag{1}$$

結局, i を  $1/V$  でプロットしていつたとき  $1/V \rightarrow 0$  の外挿値として  $i_s$  を得ることができる. 実

測値から  $f$  を求める式  $i = \nu / (\exp(\nu) - 1)$  から出発しても同様にして

$$\frac{1}{i} \doteq \frac{1}{i_s} + \frac{1}{2} \mu \frac{d}{i_s} \left( \frac{i}{V} \right)$$

$$= \frac{1}{i_s} \left[ 1 + \text{const.} \left( \frac{i}{V} \right) \right]$$

を得る。すなわち、 $1/i_s$  は  $1/i$  の  $i/V$  に対するプロットを外挿した値として求めることができる。式中の const. は、円筒型線量計に対しては  $(\mu/4\pi)\log(a/b)$ 、球型の場合は、 $\mu(a-b)/8\pi ab$  となる。Fig. 3は Linac 6Mv, Radocon 606 について本法を行なった1例である。本外挿法によって  $i_s$  を求める時の精度は  $rd^2$  の大小に影響される。例えば、 $rd^2 \leq 0.02$  の場合、これは Radocon 607なら大雑把に、パルス当り0.05Rすなわち300 pps 運転で 900R/min線量計が振れた場合に相当し、Ionex 0.6ccならパルス当り 0.3R、すなわち50 pps で 900 R/min に相当するが、印加電圧 200V と 400V における電離電流実測値を結んで外挿すると 0.2%以内の精度で  $i_s$  が実測できる。線量計が円筒部分と球型部分からできている場合、それらが重なった状態で  $i$  と  $V$  の関係がプロットされ、結局、線量計の幾何形状にわずらわされることなく  $f$  を得ることができるものと考え

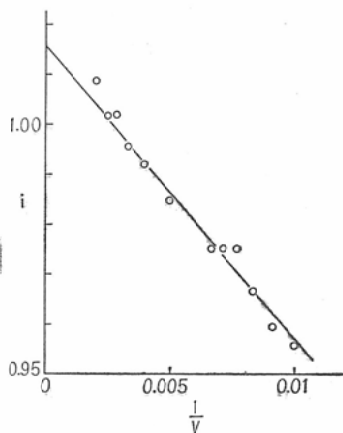


Fig. 3 An example of  $i$  vs  $1/V$  plots for the measurement of empirical  $f$  of Radocon 606 exposed to Linac X-rays.

4. 計算値と実測値との比較

リニャック 6 Mv X線出力を Radocon 606と

607で測定する場合 Boagの式から推定される  $f$  の計算値と前記方法による実測値が Table 2にまとめられている。Radocon 607はその幾何形状についてはつきり言うことは難しいが、飽和曲線を比較してみるとFig. 4の如く実測値は半径  $a$  の球型を仮定して計算した場合に近い。Radocon 606の  $f$  は球型と円筒部分がある比率で寄与しているものとして、その実測値が得られたわけであるが、飽和曲線も外径  $a$ 、内径  $b$  の球型電離箱と仮定して計算した結果に近い。低電圧で飽和曲線の実測値が計算値より低くなっているが、実測条件での放射線パルス間時間と陽イオンが電極間を飛行する時間が印加電圧80Vでほぼ同じなので、それより低い印加電圧ではイオンが完全に集められないうち次のパルスによる電離が重なったため新たに結合

Table 2. Comparison of empirical and calculated  $f$

	empirical $f$	calculated $f$ (cylindrical)	calculated $f$ (spherical)
606	.977±.002	.991	.976
607	.991±.002	.996	.989

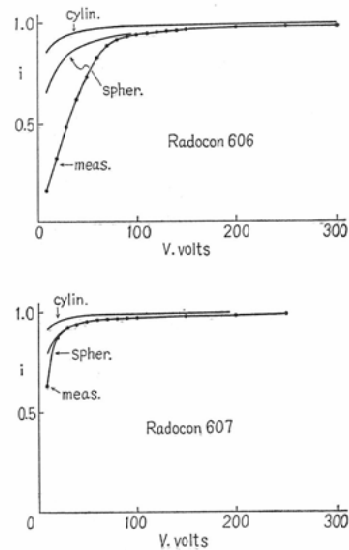


Fig. 4 Measured saturation curves with calculated ones for cylindrical and spherical geometry.

損失を生じ、曲線が下にずれたと考えることができる。ここでは実験データから線量計の幾何形状について具体的な結論を出すのはむずかしいが、パルス当り線量の多い所、例えば Radocon 607 で 0.3R/pulse, で高精度の測定を行なえばある程度の結論は得られるであろう。

### 5. 結 論

線量計中の再結合損失を推定する場合、線量計の幾何形状に影響されるが、実測的に再結合損失を求める方法、それから逆算して幾何形状を推定する方法を考えた。

我々の施設における加速器線量測定の場合には、リニャックX線の場合には問題にならず、ベータトロン電子線測定の場合、線量率によつては、気圧・温度の補正を上まわる場合がある。加速器線量の絶対的な評価や相互比較の場合、あるいは線量率依存性の低い

と言われている固体線量計がそれらに介在している場合、電離型線量計の再結合損失が無視されれば、それによる偏差が結果に入ってくるので注意すべきである。特に電子線をリニャックから得ている場合は、その測定にあたって細心の注意が必要である。

本報告の要旨は第28回日本医学放射線学会総会(1969年4月)において発表した。

### 文 献

- 1) 加藤義雄他：日医放誌, 第29巻 (1969), 7—11,
- 2) 安徳重敏他：日医放誌, 第29巻 (1970), 1294—1303,
- 3) Radiation Dosimetry Volume 2, 2nd Ed., 1—72, Academic Press.
- 4) Boag, J.W.: Brit. J. Radiol. 25, (1952), 649.
- 5) Ellis, R.E.: Phys. Med. Biol. 14, (1969), 411—416.
- 6) Mie, G.: Ann. Physik 13, (1904), 857.
- 7) Greening, J.R.: Phys. Med. Biol. 9, (1964), 143.