

高線量率ピコ秒パルスX線のドシメトリ

阪大産研 山本幸佳 小田啓二 川西政治

1. Introduction

X線の exposure (照射線量) は通常 3 MeV 以下のエネルギーで定義され、それ以上は計測上の困難さのために定義されていない。しかし、実際問題として、電子ライントック等の高エネルギー加速器周辺の X線場は、3 MeV よりはるかに高エネルギーの連続 X線場をなしているため、何らかの単位でこの場を表す必要があることはいうまでもない。Attix も指摘しているように¹⁾、電荷平衡 (C.P.E.) の条件下で、適当な補正を加えてやれば、高エネルギー X線に対する kerma が求まるため、これを W 値で除して、exposure が定義できる。要するに、C.P.E. を成り立たせて、電離箱内の発生電荷量を測定すれば、吸収線量、kerma、照射線量の順に求めることが可能である。

電子ライントックからの X線は、繰り返しの速いパルス状であるため、1パルス当りの積分値である exposure/pulse の他に、ピーク値に相当する exposure rate (照射線量率) も興味の対象となる。それは、人体及び生物に対する線量率効果を知らる上にも大切であり、計測器の応答特性に与える影響も正確におさえておく必要がある。ピコ秒単一パルスの場合には、ストリーク・カメラによるパルス中の測定結果を利用すれば、精度よく exposure rate (R/sec) を求めることが出来る。重複モードの場合には、全 exposure を fine structure のストリーク・パターンに依りて配分してやれば、exposure/each structure を求めることも可能であるが、通常は 1 秒で測られた平均照射線量率で表す。

2. Determination of Collection Efficiency of an Ionization Chamber

in an Unknown X-Ray Field

電離箱を用いた高線量率パルス X線ドシメトリの原理を簡単に述べる。ここで言うドシメトリとは、吸収線量、kerma、照射線量の評価を指すが、その一番基本となる空洞内での発生電荷量の測定について説明する。電離箱は、電極間に発生した電荷を測定するために、電圧を印加して電流として計測するため、正負両イオンが電極間を逆方向に移動する際に再結合によりかなりの量のイオン対が消滅することになる。従って、観測された電流の積

分値は、真の発生電荷量を少く見積ることになる。従って、電離箱のイオンの収集効率 (f 値) を正確に決定することが重要である。今、平行平板型電離箱のパルス X 線に対する f 値を考えてみる。これは、極板間に 1 パルス当り発生した電荷のうち、再結合を逃げて電極に集められる割合を表わすもので、全部集められた時の値を 1 として、照射線量率が高くならばなる程小さくなる。その様子を見るには、正負イオンに関する rate equation を立てて数値解を求めなければならぬ。但し、色々な場合について数値解を求めておくよりも、全ての変数を規格化して無次元化し、このような平行平板電離箱にもその解が適用できるようにした²⁾。Fig. 1 に f 値の変化の様子を示す。横軸には電離箱のあらゆるパラメータが凝縮されている。順次説明すると、 $M = \alpha \tau^2$ で α は再結合係数、 τ はイオン対生成率、 τ は極板間のイオン通過時間を表わす。勿論、 $\tau = d/RV$ であるから、 τ の中に、電極間隔 d 、イオン移動度長 (正負等しいとした)、電場の強さ E 或は印加電圧 V が含まれることになる。また、 $s_0 = \tau_0/\tau$ で τ_0 は X 線のパルス巾を表わす。従って、横軸は $Ms_0 = (\alpha \tau)(\tau_0)$ となるため、電離箱のパラメータ α と τ を一定にすれば、 (τ_0) に比例する。これは、パルス当りの exposure に相当する量である。従って Fig. 1 は exposure/pulse の増加と共に、f 値が減少していく様子を表わしている。更に大事なことは、グラフが s_0 にも依存することだ。パルス当りの全線量が同じでも、パルス中にあって f 値が異なってくる。即ち、線量率効果があることになる。但し、 $s_0 \leq 10^{-3}$ 、即ちパルス巾が大體 1 μsec 以下で、f 値が、0.01 位まで、f 値は Ms_0 だけで足り、 s_0 には依存しないことがわかる。ところで、照射線量率に相当する f を求めるために、f 値が必要となるが、その f 値が (τ_0) の関数であるということは、未知の X 線場で、簡単に f 値が求まらないことを示している。そこで、イオン通過時間として、印加電圧を変えて、 τ_1, τ_2 ($=2\tau_1$) の 2 種類をとり、夫々の Ms_0 値に対応する f 値を Fig. 1 から求めて、 f_1, f_2 とし、その比 f_2/f_1 を $Ms_0(\tau_1)$ に対してプロットしたものが Fig. 2 である。これを τ_1 から τ_2

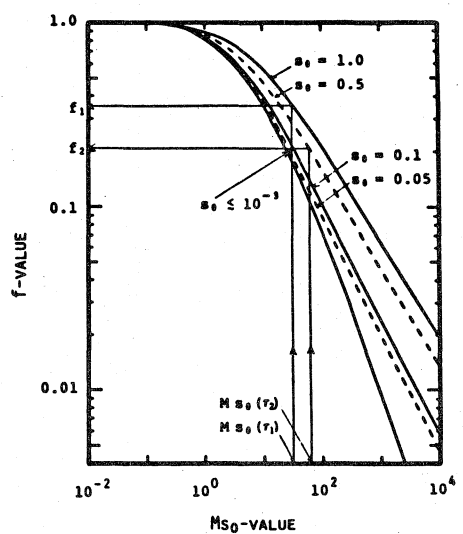


Fig. 1. f-value vs. Ms₀-value.

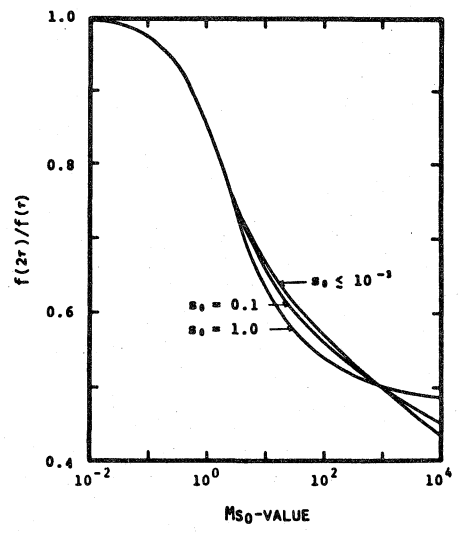


Fig. 2. Ratio of f-values vs. Ms₀-value.

に変えると ω_0 も変わるため、Fig. 1 の曲線も適当に shift する必要がある。

Fig. 2 の縦軸は実験的に求めることが出来る。或る未知の X 線場に置かれた電離箱内での真のイオン生成率を g_0 とすると、印加電圧を変えて得られる観測値は $f_1 g_0$ と $f_2 g_0$ でこの比をとることにし、 g_0 は消えて、 f_2/f_1 が実験的に求まることになる。従って、パルス中が既知であれば、Fig. 2 より $M \omega_0$ 値がわかり、Fig. 1 にもどって真の f 値が求定できる。 $\omega_0 \leq 10^{-3}$ の場合には、 f_2/f_1 は $M \omega_0$ 値の一価関数となるため、印加電圧の比さえわかれば、電離箱のパラメータもパルス中も知りなくても未知の X 線場に置かれた平行平板電離箱の f 値を求めることが出来る。もっとも、パルス中については、正確に知る必要はないが、 $\omega_0 \leq 10^{-3}$ なる条件を満たしているかどうかの check は必要である。

3. Experimental Results and Discussion

上に述べた方法で、実際に阪大 35 MeV ライソックを用いてピコ秒単一パルス X 線の exposure の測定を行った。Fig. 3 に示すような abreast 型電離箱³⁾を作成し、ホリエ子レン壁厚を適当に変えて C.P.E. をとり、2 種の印加電圧に対する出力電流を同時に求め、積分して電荷量を出し、その比をとって Fig. 1, Fig. 2 を利用してイオン生成率をお求めた例を Fig. 4 に示す。図には、パルス当りのイオン生成率が距離の関数として示されているが、観測値を補正した値が、ほぼ逆二乗則に従っている様子が見られる。図には、同時に f 値の変化も描かれている。また、異なる電子エネルギーに対するイオン生成率を求める場

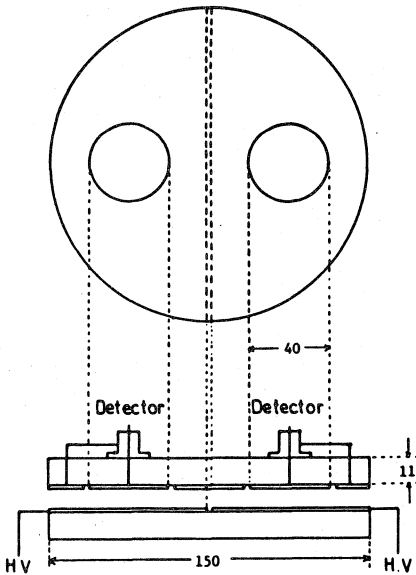


Fig. 3. An abreast-type ionization chamber.

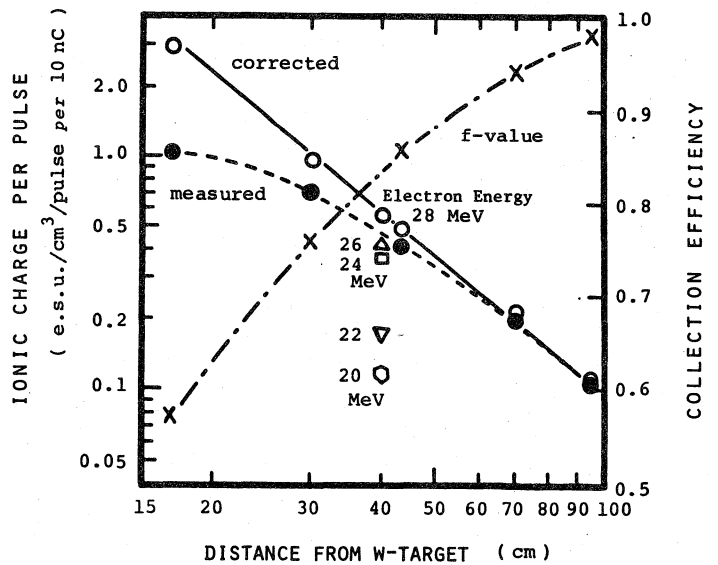


Fig. 4. Correction of measured charges by the f -value.

合には、加速器からの出力電子線の電荷量を $10 \mu\text{C}$ とし規格化した。電子エネルギーと共に、発生電荷量が増加しているが、これは X 線への変換効率が高くなるばかりでなく、同時に多量の中性子を発生しているため、ポリエチレン壁での反跳陽子が電離箱内で作るイオン対が重畳されていることを示す。空気等価電離箱を用いているので、この電荷量から、X 線、中性子混成場の吸収線量は、cavity chamber theory を用いて評価が可能であり、更に、X 線、中性子混成場の強度を表わす量としては、最初に述べたように mixed air-kerma という量を便宜上定義して求めることも可能である。

X 線、中性子、両者の寄与を分離して測定できれば、それに似たことは勿論だが、それに種々の工夫が必要となることは言うまでもない。

4. Conclusion

平行平板空気等価電離箱を用いて、ピコ秒単一パルス電子線をターゲットに当てた場合の発生 X 線の計測を行った。測定した量は、C.P.E. をとった電離箱内に発生した電荷量で、単純に照射線量率に換算すると、 10^{10} R/sec を越える高線量率であることがわかる。もっとも、この値は、中性子の寄与を含んでいるため、単純に、R 単位で表わせば、X 線に換算した場合の照射線量率、或は kerma 率という量は定義して差し支えないであろう。

本実験の遂行に当たっては、当研究所附属放射線実験所の津守邦彦助教授を御礼とするライオングループの亦々の努力に負うところが大きいので、ここに謝意を表します。

さらに、元共同研究者の小林英男氏（現勤務先・勸業）のこの研究に対する寄与に対しても、感謝致します。

References

- 1) F. H. Attix ; Health Phys. 36 (1979) 347.
- 2) T. Yamamoto, K. Oda, H. Kobayashi and M. Kawanishi ; Nucl. Instr. and Meth. 172 (1980) 447.
- 3) T. Yamamoto, K. Oda, H. Kobayashi and M. Kawanishi ; KEK-80-1 (1980) 75.