

光子フルエンス・照射線量・吸収線量 などの相互関係

基礎データ

$$\begin{aligned} \text{電子素量 } e &= 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}] = 4.80 \times 10^{-10} [\text{esu}] \\ 1 [\text{C}] &= 2.998 \times 10^9 [\text{esu}], \quad 1 [\text{esu}] = 3.336 \times 10^{-10} [\text{C}] \\ 1 [\text{eV}] &= 1.602 \times 10^{-12} [\text{erg}] = 1.602 \times 10^{-19} [\text{J}], \quad 1 [\text{J}] = 10^7 [\text{erg}] \\ W &= 33.97 [\text{eV}] \quad (\text{空気中に 1 イオン対を生成するに要するエネルギー, } W \text{ 値}) \end{aligned}$$

照射線量の単位 R と C/kg の関係

1 [R]は標準状態の空気 1 cm³中に 1[esu] (静電単位) の電離を起こす照射線量である。
[esu]を[C]に変換し、空気 1 cm³を重さ[kg]に変換すると、次式のとおり[C/kg]の単位に変換できる。

$$1[\text{R}] = 1 \left[\frac{\text{esu}}{\text{cm}^3_{\text{air}}} \right] = \frac{1}{2.998 \times 10^9} \left[\frac{\text{C}}{\text{cm}^3_{\text{air}}} \right] = \frac{1000}{2.998 \times 10^9 \times 0.001293} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}_{\text{air}}} \right] = 2.58 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right]$$

照射線量と空気吸収線量の関係 (荷電粒子平衡が成立している場合, $h\nu < 1\text{MeV}$)

照射線量を“単位重さ当たりの空気中に生じるイオン対数”に換算する。

それに W 値 (空気中に 1 イオン対を生成するに要するエネルギー) を乗じると、次式のように空気が吸収したエネルギー (空気吸収線量) が算出される。

(照射線量)

$$\begin{aligned} 1[\text{R}] &= \frac{1}{0.001293} \left[\frac{\text{esu}}{\text{g}} \right] = 773.4 \left[\frac{\text{esu}}{\text{g}} \right] = \frac{773.4}{4.80 \times 10^{-10}} \left[\frac{\text{イオンpair}}{\text{g}} \right] = 1.61 \times 10^{12} \left[\frac{\text{イオンpair}}{\text{g}} \right] \\ &\Rightarrow 1.61 \times 10^{12} \times 33.97 \left[\frac{\text{eV}}{\text{g}} \right] = 1.61 \times 10^{12} \times 33.97 \times 1.602 \times 10^{-12} \left[\frac{\text{erg}}{\text{g}} \right] = 87.6 \left[\frac{\text{erg}}{\text{g}} \right] = 0.876 [\text{rad}] \end{aligned}$$

(空気吸収線量) *

(照射線量)

$$1 \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}_{\text{air}}} \right] = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} \left[\frac{\text{イオンpair}}{\text{kg}} \right] \Rightarrow \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} \times 33.97 \times 1.602 \times 10^{-19} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] = 33.97 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] = 33.97 [\text{Gy}]$$

(空気吸収線量) *

* 厳密には、空気吸収線量ではなく、空気衝突カーマであるが、荷電粒子(電子)平衡状態では
空気衝突カーマ = 空気吸収線量 となる。

照射線量と物質(*med*)の吸収線量 (単一エネルギーγ線の場合)

照射線量と空気吸収線量は前記の関係にある。空気と空気以外の物質との吸収線量の比は、次式のようにそれらの質量エネルギー吸収係数の比で表すことができる。

$$1[\text{R}] \Rightarrow 0.876 \times \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{med},h\nu}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air},h\nu}} [\text{rad}], \quad 1 \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right] \Rightarrow 33.97 \times \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{med},h\nu}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air},h\nu}} [\text{Gy}]$$

吸収線量 D と光子フルエンス Φ の関係 (単一エネルギー γ 線の場合)

光子フルエンスに光子エネルギー $h\nu$ とそれに対する空気の質量エネルギー吸収係数を乗じると、空気が吸収するエネルギーが算出され、空気吸収線量に換算できる。

$$D_{med} \left[\frac{keV}{g} \right] = \Phi [cm^{-2}] \times h\nu [keV] \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{med,h\nu} \left[\frac{cm^2}{g} \right]$$

$$D_{med} \left[rad = \frac{100erg}{g} \right] = \Phi [cm^{-2}] \times h\nu [keV] \times 1.602 \times 10^{-9} \left[\frac{erg}{keV} \right] \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{med,h\nu} \left[\frac{cm^2}{g} \right] \times \frac{1}{100}$$

$$D_{med} \left[Gy = \frac{J}{kg} \right] = \Phi [cm^{-2}] \times h\nu [keV] \times 1.602 \times 10^{-16} \left[\frac{J}{keV} \right] \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{med,h\nu} \left[\frac{cm^2}{g} \right] \times 10^3 \left[\frac{g}{kg} \right]$$

照射線量 X と光子フルエンス Φ の関係 (単一エネルギー γ 線の場合)

上記の關係に前述の空気吸収線量と照射線量の關係を当てはめると、次式の關係が求まる。

$$X [R] = \Phi [cm^{-2}] \times h\nu [keV] \times 1.602 \times 10^{-9} \left[\frac{erg}{keV} \right] \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air,h\nu} \left[\frac{cm^2}{g} \right] \times \frac{1}{87.6} \left[\frac{R}{erg/g} \right]$$

$$X \left[\frac{C}{kg} \right] = \Phi [cm^{-2}] \times h\nu [keV] \times 1.602 \times 10^{-16} \left[\frac{J}{keV} \right] \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air,h\nu} \left[\frac{cm^2}{g} \right] \times 10^3 \left[\frac{g}{kg} \right] \times \frac{1}{33.97} \left[\frac{C/kg}{J/kg} \right]$$

照射線量 X と光子フルエンス Φ の関係 (連続スペクトル X 線の場合)

連続スペクトルを持つ X 線束の総光子数は $\Phi = \int_0^{E_{max}} \phi(E) dE$ で算出できる。

ここで E_{max} : 最大光子エネルギー (管電圧に等しい)

$\phi(E)$: 単位面積を通過するエネルギー $E[keV] \sim E + \Delta E[keV]$ に含まれる光子数 $[cm^{-2}]$

したがって、この X 線束のフルエンスと照射線量は次式の關係がある。

$$X [R] = \frac{1.602 \times 10^{-9}}{87.6} \int_0^{E_{max}} \phi(E) \times E \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air,E} dE$$

$$X \left[\frac{C}{kg} \right] = \frac{1.602 \times 10^{-13}}{33.97} \int_0^{E_{max}} \phi(E) \times E \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air,E} dE$$