

検証（５）フルエンス，エネルギーフルエンス，空気カーマ，水吸収線量について

単一エネルギー（ $E$  keV）光子束中の、ある点におけるフルエンス（光子数）を  $\Phi(\text{cm}^{-2})$  とすると、この点におけるエネルギーフルエンス  $\Psi(\text{keV}/\text{cm}^2)$  は

$$\Psi = \Phi \times E \quad \text{である。}$$

この点における空気カーマ  $K_{air}$  (Gy) は

$$K_{air} = k \times \Psi \times (\mu_{tr} / \rho)_{air,E} \quad \text{で計算できる。}$$

ここで  $(\mu_{tr} / \rho)_{air,E}$  は、エネルギー  $E$  の光子に対する空気の質量エネルギー転移係数 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )、 $k$  は ( $\text{keV}/\text{g}$ ) を ( $\text{J}/\text{kg}$ ) へ変換するための比例定数 ( $k = 1.602 \times 10^{-13}$ ) である。

また、この点における水吸収線量  $D_{water}$  (Gy) は次式で計算できる。

$$D_{water} = k \times \Psi \times (\mu_{en} / \rho)_{water,E}$$

ここで  $(\mu_{en} / \rho)_{water,E}$  は、エネルギー  $E$  の光子に対する水の質量エネルギー吸収係数である。

上記の関係を用いて、ある点における空気カーマが例えば 1 mGy であった時の、同点でのフルエンス、エネルギーフルエンス、水吸収線量を求めることが可能である。

単一エネルギーではなく、幅広いエネルギースペクトルを持った光子束の場合ある点におけるフルエンス  $\Phi(\text{cm}^{-2})$ 、エネルギーフルエンス  $\Psi(\text{keV}/\text{cm}^2)$  は

$$\Phi = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) \cdot dE$$

$$\Psi = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot dE$$

で表される。

ここで  $\phi(E)$  は、エネルギー  $E$  の光子のフルエンス、 $E_{min}$ 、 $E_{max}$  は最小光子エネルギーおよび最大光子エネルギーである。

この点における空気カーマ  $K_{air}$  (Gy) および水吸収線量  $D_{water}$  (Gy) は、次式で計算できる。

$$K_{air} = k \times \int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot (\mu_{tr} / \rho)_{air,E} \cdot dE$$

$$D_{water} = k \times \int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) \cdot E \cdot (\mu_{en} / \rho)_{water,E} \cdot dE$$

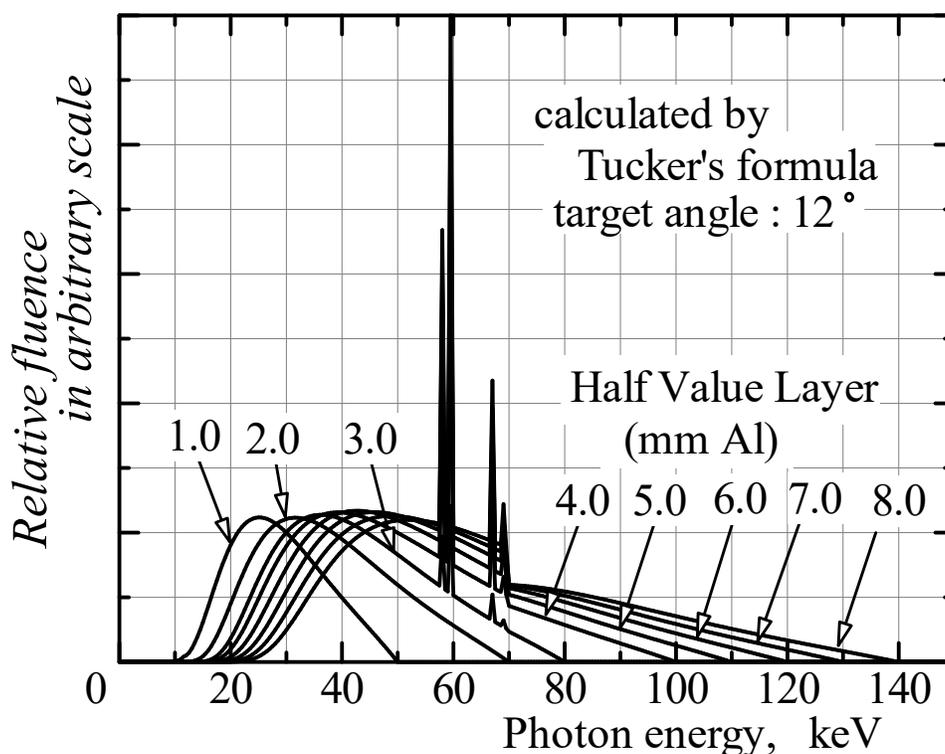
上記の関係を用いて、スペクトル分布を持った X 線束中の、ある点における空気カーマが例えば 1 mGy であった時の、同点でのフルエンス、エネルギーフルエンス、水吸収線量を求めることが可能である。

## 検証方法

幅広いエネルギースペクトルをもったX線束中の、ある点の空気カーマ  $K_{air}$  が 1 mGy であった時、前述の関係から計算される同点におけるフルエンス  $\phi$  ( $\text{cm}^{-2}$ )、エネルギーフルエンス  $\Psi$  ( $\text{keV}/\text{cm}^2$ )、水吸収線量  $D_{water}$  (Gy) の各値と、そのX線スペクトルのエネルギー分布を実効エネルギー（単一エネルギー）に置き換えた場合の、各値との差異を調べた。

検証を行うにあたり、検証(1)と同様、半価層が 1~8 mm Al となるX線スペクトルを Tucker の近似式を用いて算出した。各半価層に対応するX線の設定条件、半価層から計算される実効エネルギーおよびX線スペクトルは、下表および下図に示したとおりである。

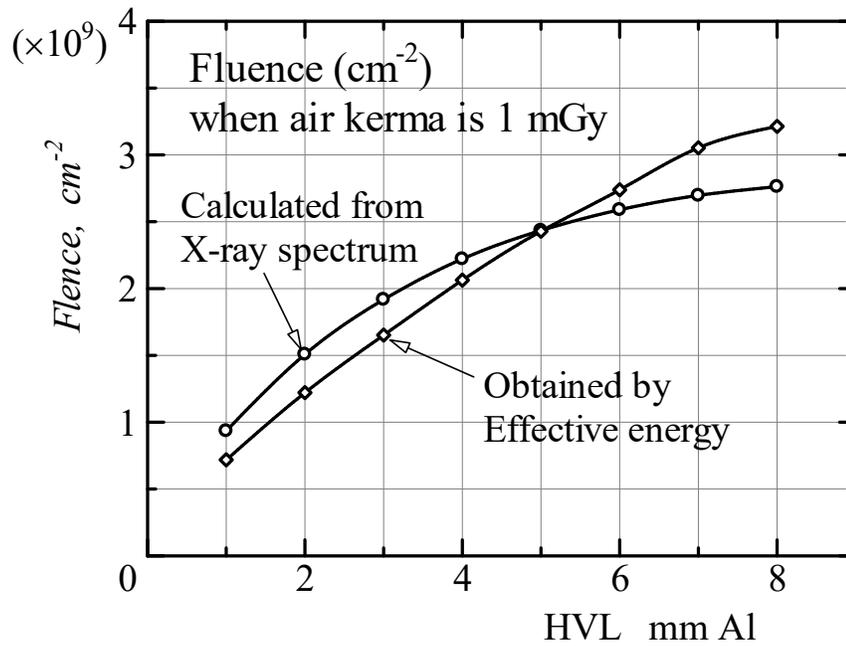
Half value layer (mm Al)	Tube potential (kV)	Total filtration		Effective energy (keV)
		Aluminum (mm)	Copper (mm)	
1.0	50	0.963	—	22.17
2.0	70	1.894	—	28.55
3.0	80	3.075	—	33.47
4.0	100	3.618	—	37.82
5.0	110	2.978	0.05	41.95
6.0	120	3.146	0.08	46.04
7.0	130	3.860	0.10	50.15
8.0	140	5.579	0.10	54.37



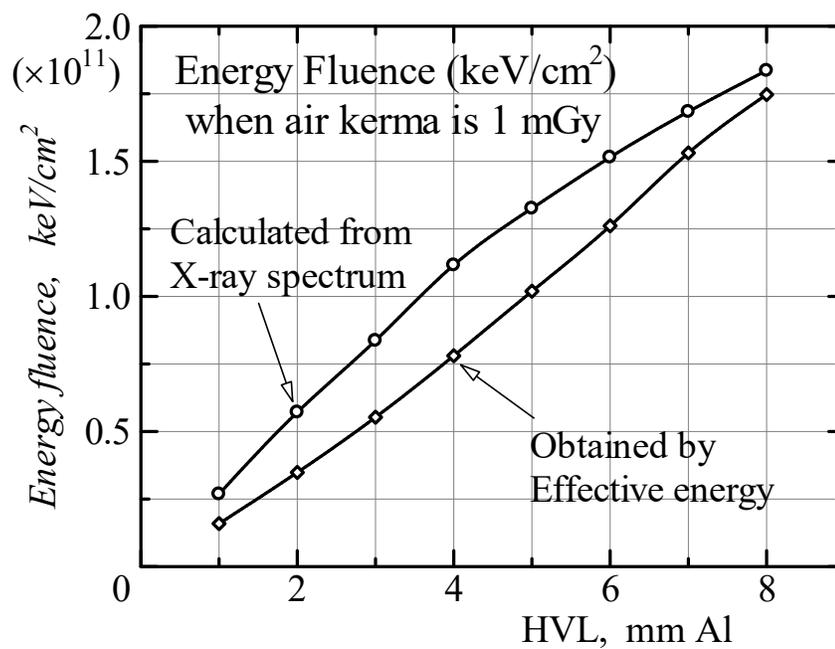
## 検証結果

X線スペクトル分布をそのまま用いて計算した値と、実効エネルギーに置き換えて計算した場合の値との比較グラフを下記に示す。

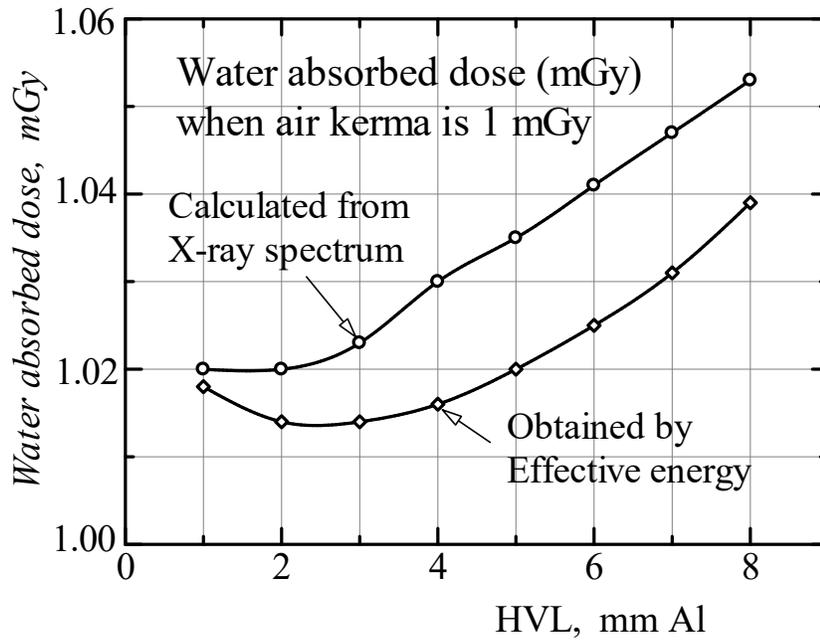
フルエンス  $\Phi$  ( $\text{cm}^{-2}$ )



エネルギーフルエンス  $\Psi$  ( $\text{keV}/\text{cm}^2$ )



水吸収線量  $D_{water}$  (Gy)



空気カーマ  $K_{air}$  が 1 mGy の時のフルエンス  $\Phi$  ( $\text{cm}^{-2}$ ), エネルギーフルエンス  $\Psi$  ( $\text{keV}/\text{cm}^2$ ), 水吸収線量  $D_{water}$  (Gy) いずれにおいても、X線スペクトル分布をそのまま用いて計算した値と、実効エネルギーに置き換えて計算した値との間には有意な差異がある。