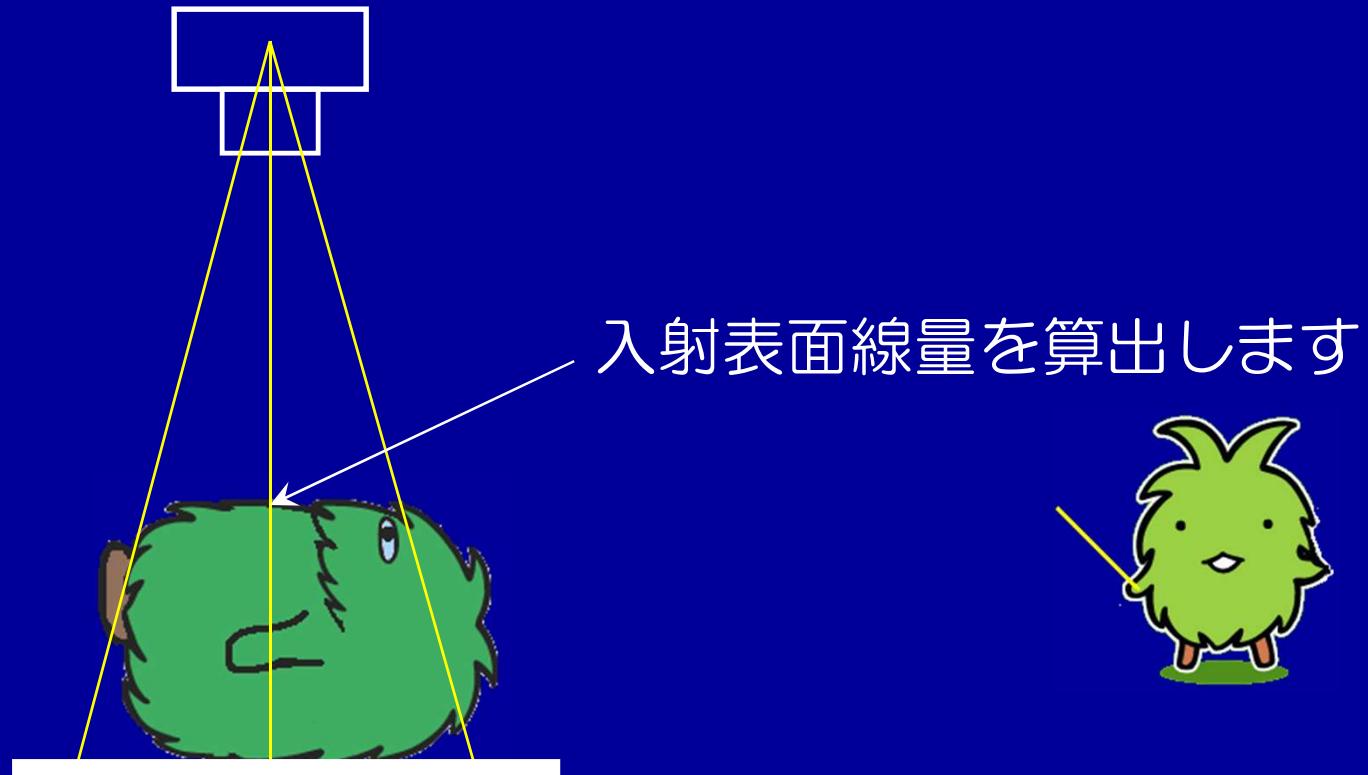


入射表面線量計算ソフト SDEC の紹介



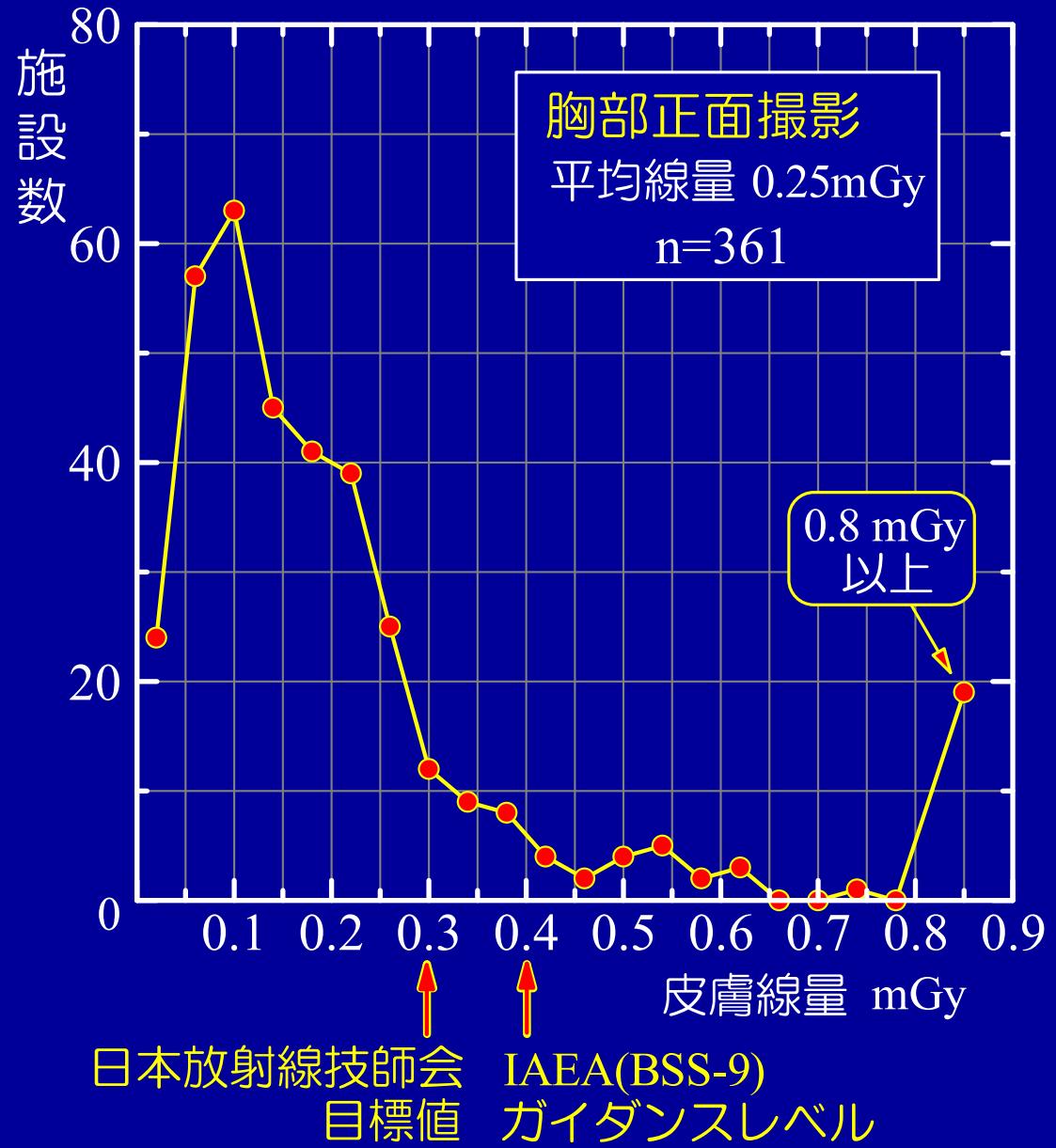
エスエス技研株式会社 加藤秀起

X線診療による患者被曝量の低減指標

X線撮影 1回当たり	検査部位	入射皮膚線量 [mGy]	
		IAEA (BSS-9) ガイダンスレベル	日本放射線技師会 医療被曝低減目標値
X線撮影 1回当たり	頭部	正面	5.0
		側面	3.0
	胸部	正面	0.4
		側面	1.5
	胸椎	正面	7.0
		側面	20.0
	腰椎	正面	10.0
		側面	30.0
	股関節 前後		10.0
			4.0

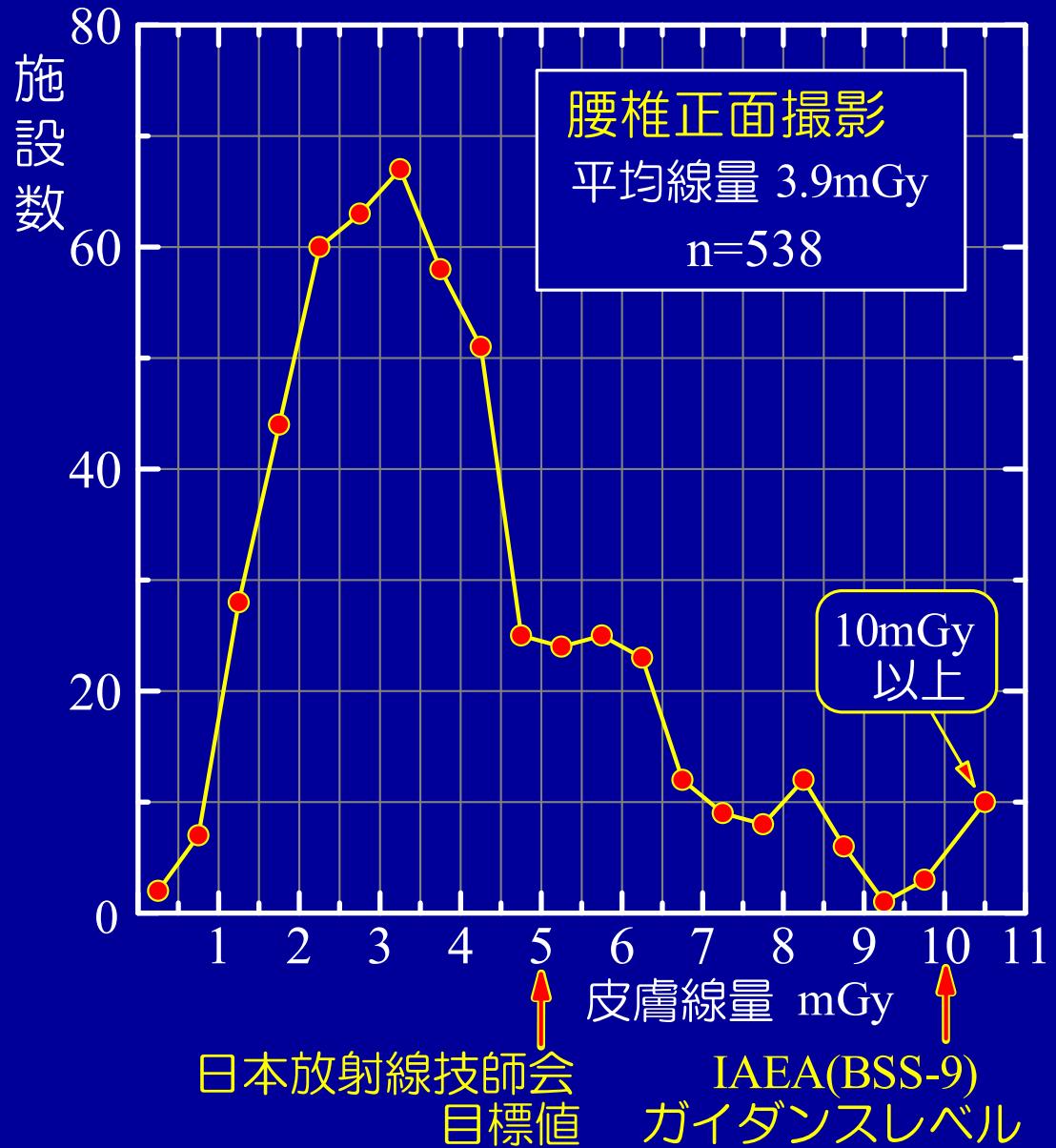
我が国における X線撮影時の 皮膚線量の調査 (胸部正面撮影)

厚生省
健康政策調査研究事業
古賀班会議資料(1995)



我が国における X線撮影時の 皮膚線量の調査 (腰椎正面撮影)

厚生省
健康政策調査研究事業
古賀班会議資料(1995)



- これまでの全国調査では、ほとんどの施設でガイダンスレベル以下の線量でX線検査が行われているが、施設間にかなりの差がある。
- 自施設でのX線検査時の患者被曝線量（皮膚線量）を品質管理の視点から把握しておく必要がある。

X線検査時の入射表面線量の評価法

（第2回）

- 線量計を用いた直接測定
- 日本放射線技術学会計測分科会
照射線量を基準にして、皮膚面における吸収線量を物理的根拠に基づいて計算する

$$\begin{aligned} \text{(皮膚面吸収線量 Gy)} &= (\text{焦点から1mの照射線量 C/kg}) \\ &\times (1/FSD)^2 \times (\text{吸収線量変換係数}) \times (\text{後方散乱係数}) \end{aligned}$$

- 表面入射線量簡易換算式を用いる方法

NDD (*Numerical Dose Determination*) 法
茨城県放射線技師会・日本放射線技術学会茨城支部
多くの実測データから導かれた簡易計算式

$$\text{(皮膚面吸収線量 mGy)} = (\text{NDD-M(f) 係数}) \times \text{mAs} \times (1/FSD)^2$$

- SDEC (*Surface Dose Evaluation Code*)

SDEC の入射表面線量計算方法

日本放射線技術学会計測分科会に準拠

$$D = X_{air} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$

D : 入射表面線量 [Gy]

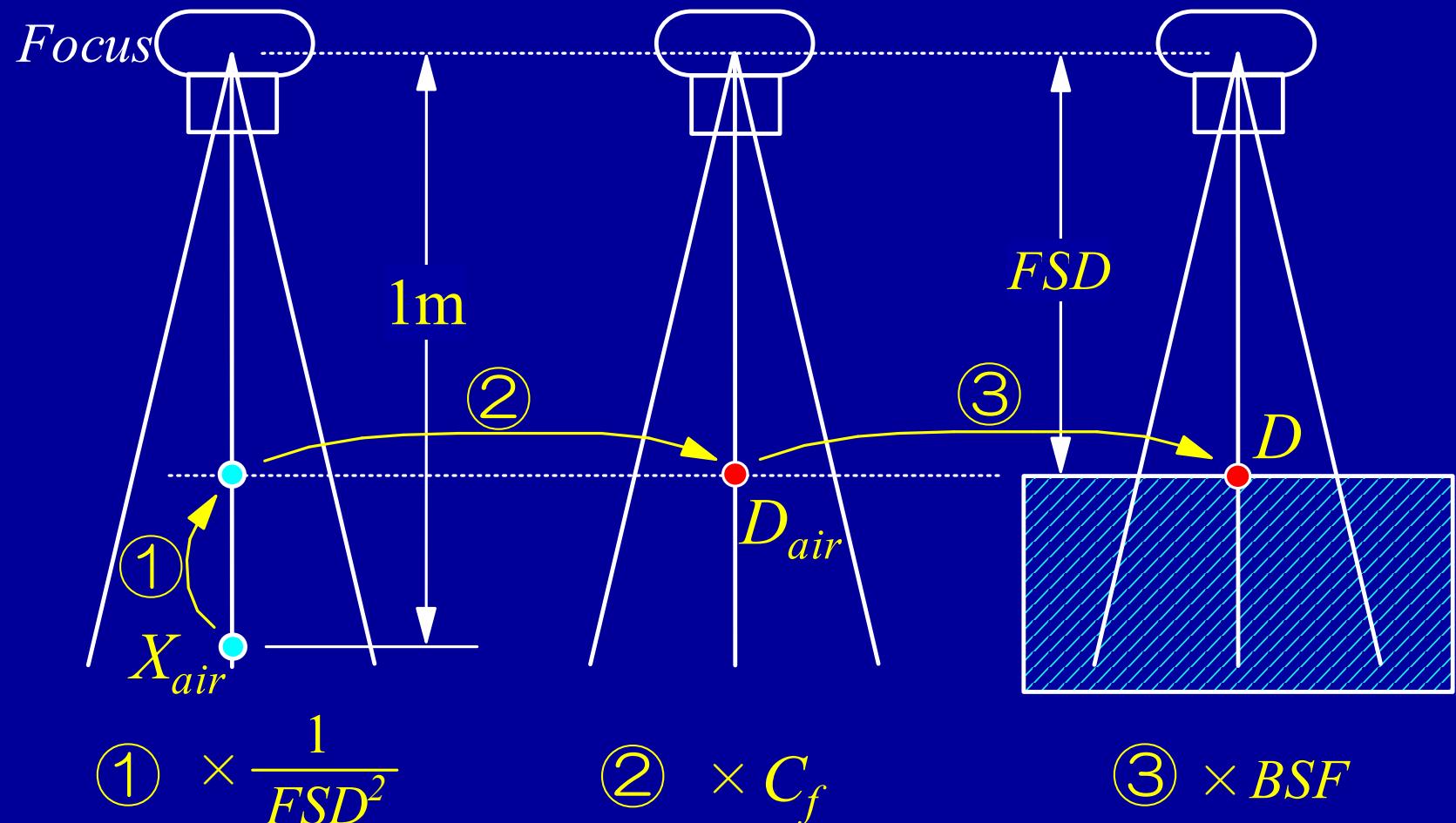
X_{air} : X線管焦点から1mの距離の空中における
照射線量 [C/kg]

FSD : X線管焦点 - 入射表面間距離 [m]

C_f : 吸収線量変換係数 [Gy/(C/kg)]

BSF : 後方散乱係数

$$D = X_{air} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$



SDEC の入射表面線量計算式

$$D = \boxed{X_{air}} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$

D : 入射表面線量 [Gy]

X_{air} : X線管焦点から1mの距離の
空中における照射線量 [C/kg]

FSD : X線管焦点 - 入射表面間距離 [m]

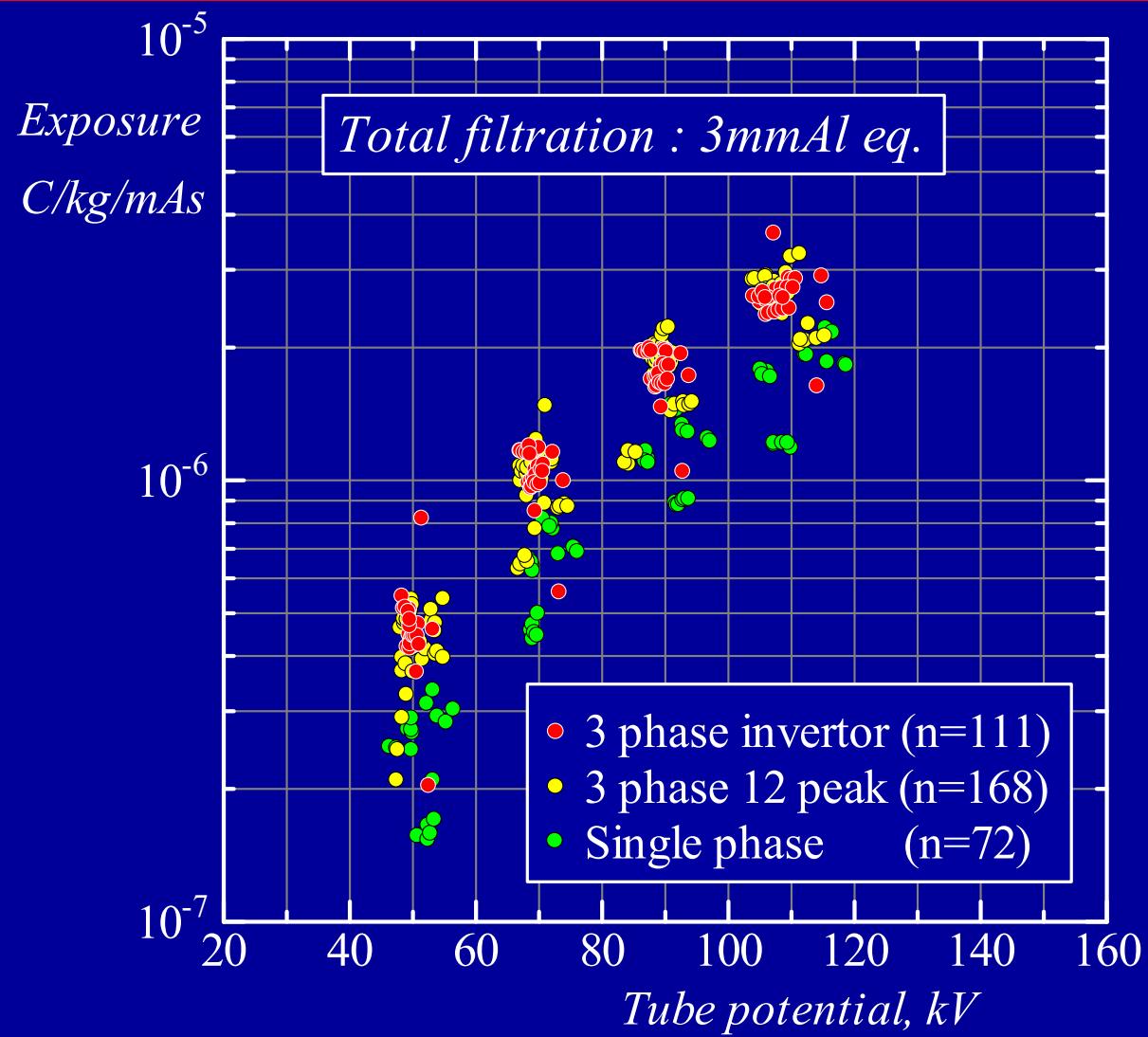
C_f : 吸収線量変換係数 [Gy/(C/kg)]

BSF : 後方散乱係数



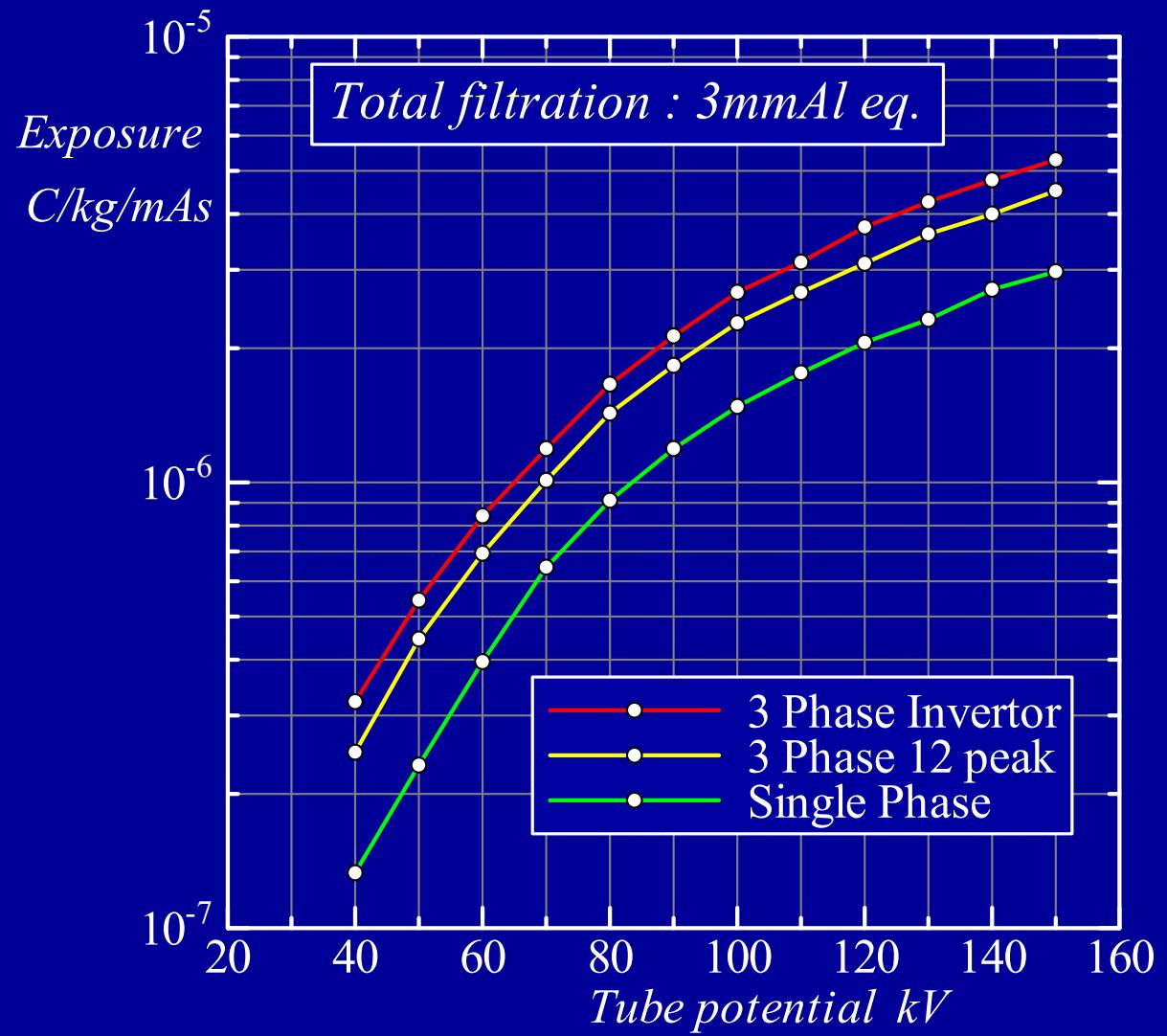
(校正された) 線量計を有する施設は、実測値の使用を推奨

X線焦点から1mの距離の空中における照射線量 X_{air}



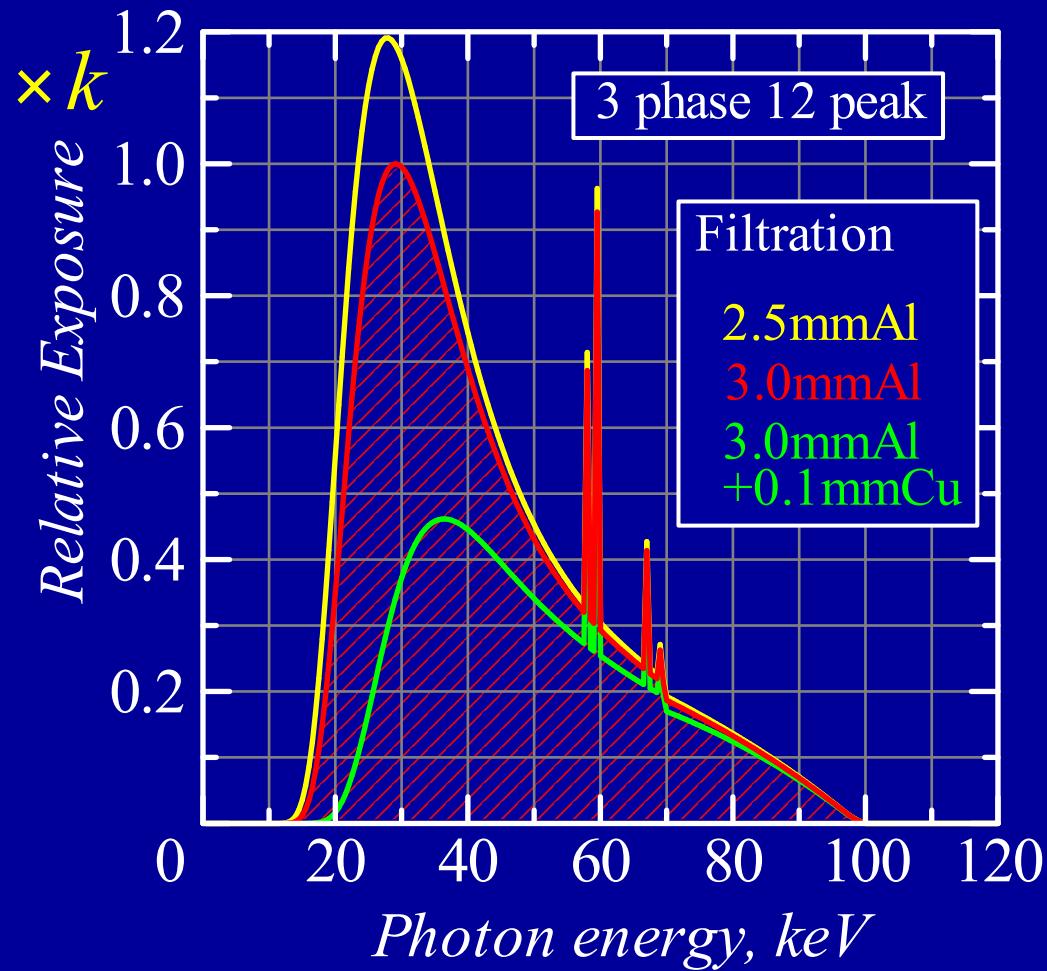
藤田保健衛生大学 藤井らによる調査 (1993)

調査結果から求めた平均的な照射線量 (X_{air})_{AV}



総濾過が $3mmAl$ と異なる場合（任意X線束）

Birch式を用いて照射線量スペクトルを近似計算



総濾過が $3mmAl$ と異なる場合（任意×線束）

Birch式を用いてX線スペクトル(光子数) $\phi(E)$ を近似計算し
下式を用いて任意X線束の照射線量 X_{air} を算出する

$$\text{総濾過 } 3.0\text{mmAl} \quad (X_{air})_{AV} = k \cdot \int_0^{E_m} \phi_{3mmAl}(E) \cdot E \cdot (\mu_{en} / \rho)_{air,E} \cdot dE$$

既知

比例定数 k を求め下式に代入し
 X_{air} を算出する

$$\text{任意X線束} \quad X_{air} = k \cdot \int_0^{E_m} \phi(E) \cdot E \cdot (\mu_{en} / \rho)_{air,E} \cdot dE \times (mA\text{s})$$

SDEC の入射表面線量計算式

$$D = X_{air} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$

D : 入射表面線量 [Gy]

X_{air} : X線管焦点から1mの距離の空中における
照射線量 [C/kg]

FSD : X線管焦点 - 入射表面間距離 [m]

C_f : 吸収線量変換係数 [Gy/(C/kg)]

BSF : 後方散乱係数



吸収線量変換係数 C_f [Gy/(C/kg)]

ある空間点の照射線量（空気中の電離量） X_{air} [C/kg]

吸収線量変換係数

同じ放射線場に置かれた物質の

空中組織吸収線量 D_{med} [Gy]

$$D_{med} = X_{air} \times C_f \quad \longrightarrow \quad C_f = \frac{D_{med}}{X_{air}}$$

吸収線量変換係数 C_f [Gy/(C/kg)]

単一エネルギー ガンマ線に対する変換係数

$$C_f = \left(\frac{W_{air}}{e} \right) \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_{Water,E}}{(\mu_{en}/\rho)_{air,E}}$$

W_{air} : 空気中に1イオン対を作るに要する平均エネルギー

e : 電子素量 (電子1個の電荷)

$(\mu_{en}/\rho)_{m,E}$: 光子エネルギー E に対する物質 m の
質量エネルギー吸収係数

照射線量 1 [C/kg] は

空気 1 [kg] 中に 1 [C] の電離量

$1/e$ 個のイオン対が生成

W_{air}/e のエネルギーが付与 (空気衝突力マ)
(\doteq 空気力マ)
(\doteq 空気吸収線量)

この放射線場に置かれた微小容積の物質の吸収線量

$$\left(W_{air}/e \right) \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_{med,E}}{(\mu_{en}/\rho)_{air,E}} \text{ [Gy]}$$

単一エネルギーガンマ線（実効エネルギー）に対する変換係数

$$C_f = \left(\frac{W_{air}}{e} \right) \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_{Water,E}}{(\mu_{en}/\rho)_{air,E}}$$

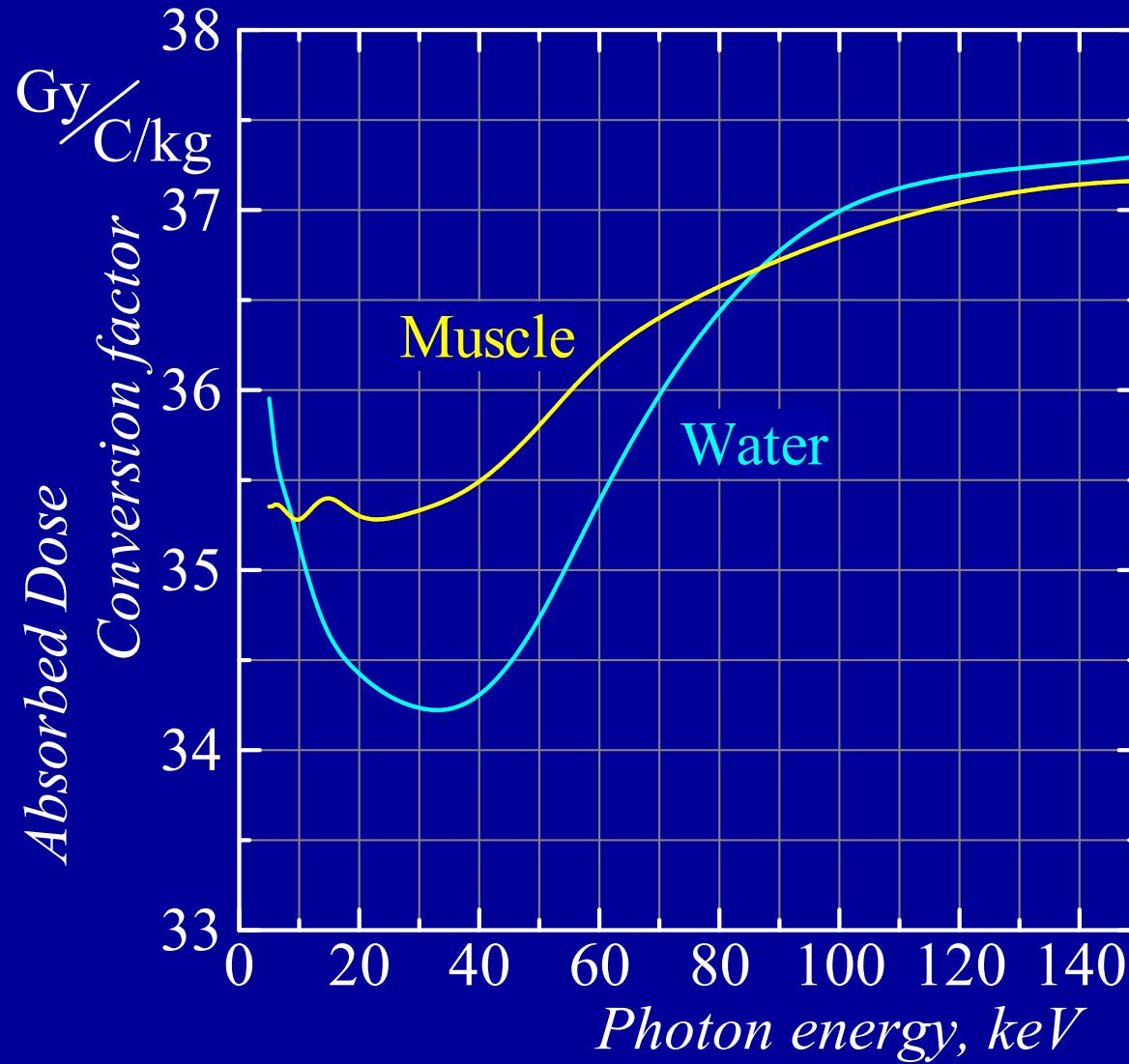
W_{air} : 空気中に1イオン対を作るに要するエネルギー
33.73[eV] (33.85, 33.97)

e : 電子素量 (電子1個の電荷) 1.602×10^{-19} [C]

$$1 \text{ [eV]} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

$$\left(\frac{W_{air}}{e} \right) = \frac{33.73 \times 1.602 \times 10^{-19}}{1.602 \times 10^{-19}} \left[\frac{J}{C} \right] = 33.73 \left[\frac{Gy}{C/kg} \right]$$

単一エネルギー光子に対する吸収線量変換係数

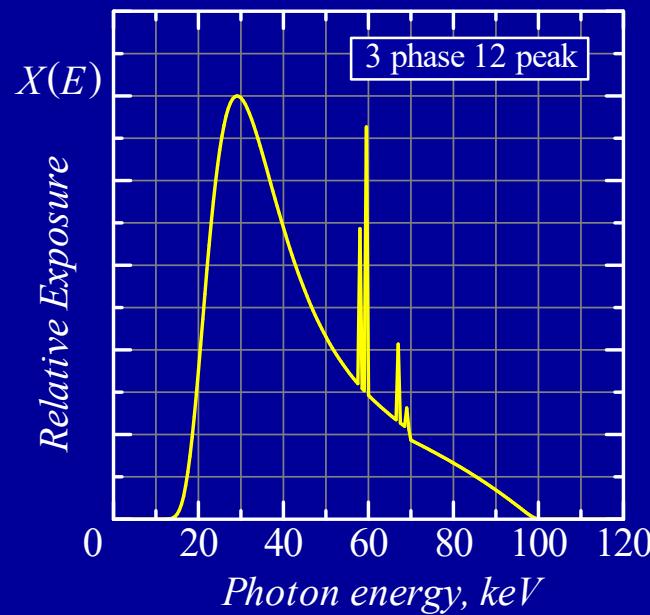
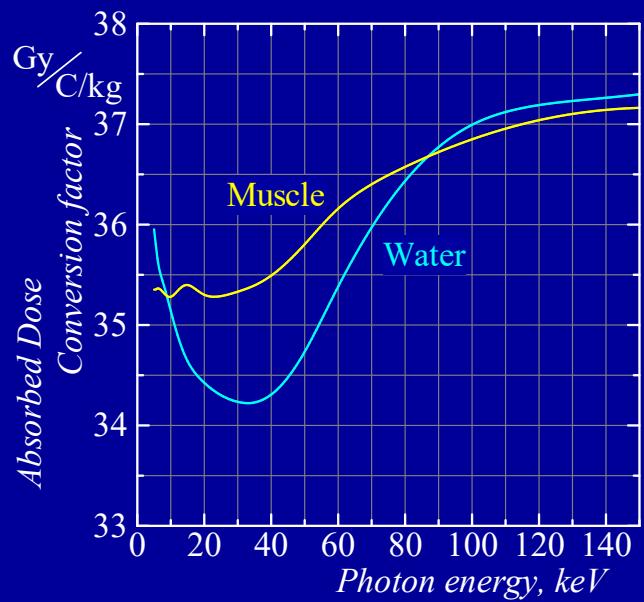


連続スペクトルを持つX線に対する吸収線量変換係数

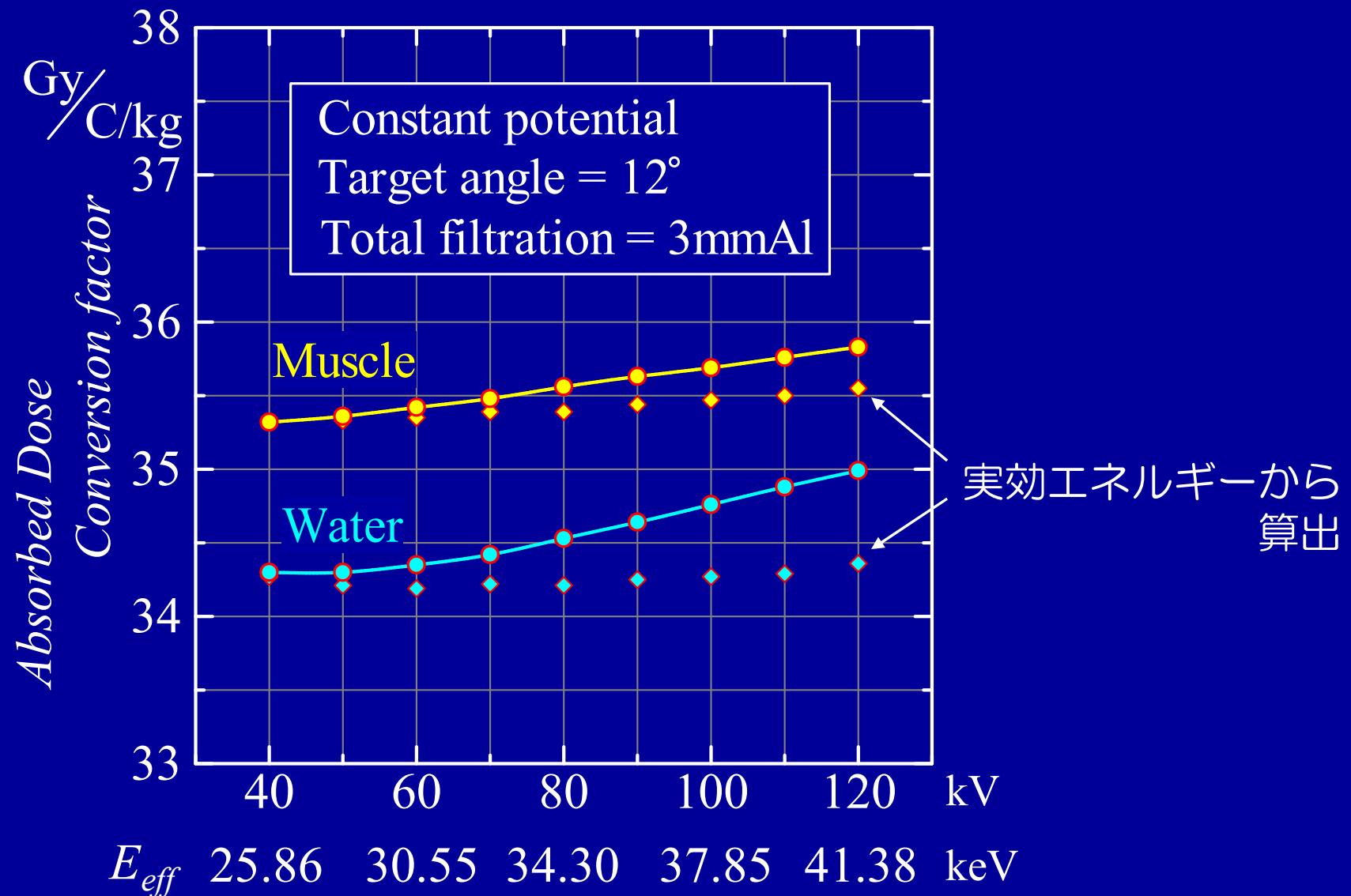
$$C_f = \frac{\left(W_{air} / e \right) \cdot \int_0^{E_m} X(E) \cdot \frac{(\mu_{en} / \rho)_{Water,E}}{(\mu_{en} / \rho)_{air,E}} \cdot dE}{\int_0^{E_m} X(E) \cdot dE}$$

$X(E)$: Birch式で計算された照射線量スペクトル

ただし $\int_0^{E_m} X(E) \cdot dE = 1.0$ とする



連続スペクトルX線に対する吸収線量変換係数



SDEC の入射表面線量計算式

$$D = X_{air} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$

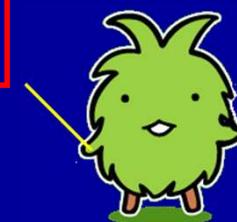
D : 入射表面線量 [Gy]

X_{air} : X線管焦点から1mの距離の空中における
照射線量 [C/kg]

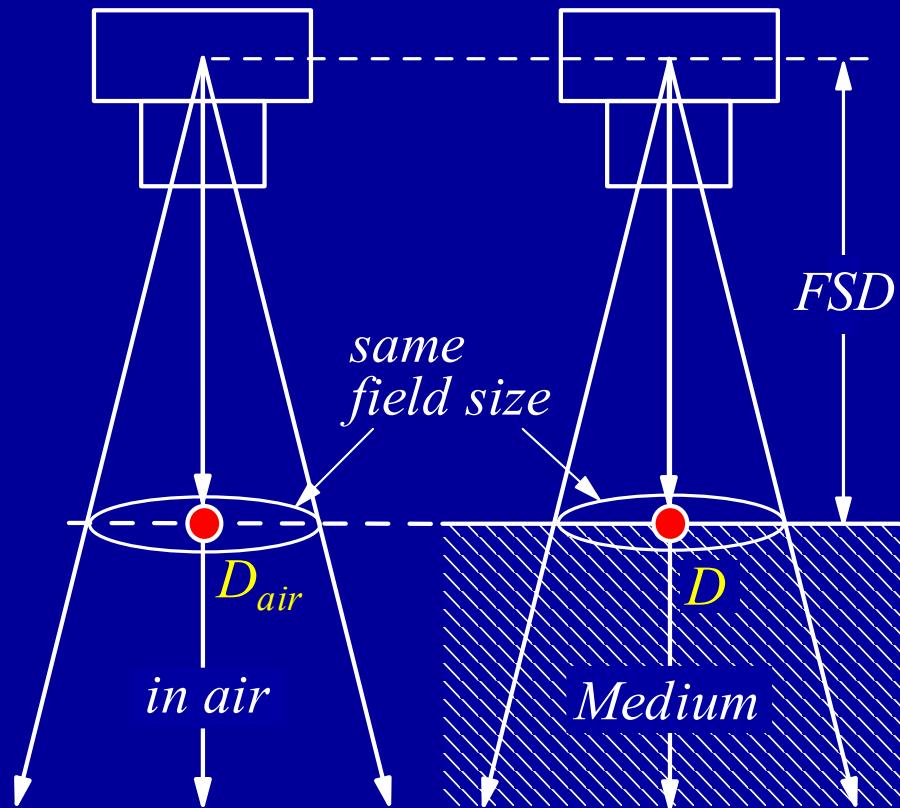
FSD : X線管焦点 - 入射表面間距離 [m]

C_f : 吸収線量変換係数 [Gy/(C/kg)]

BSF : 後方散乱係数



後方散乱係数 *BSF (Back Scatter Factor)*

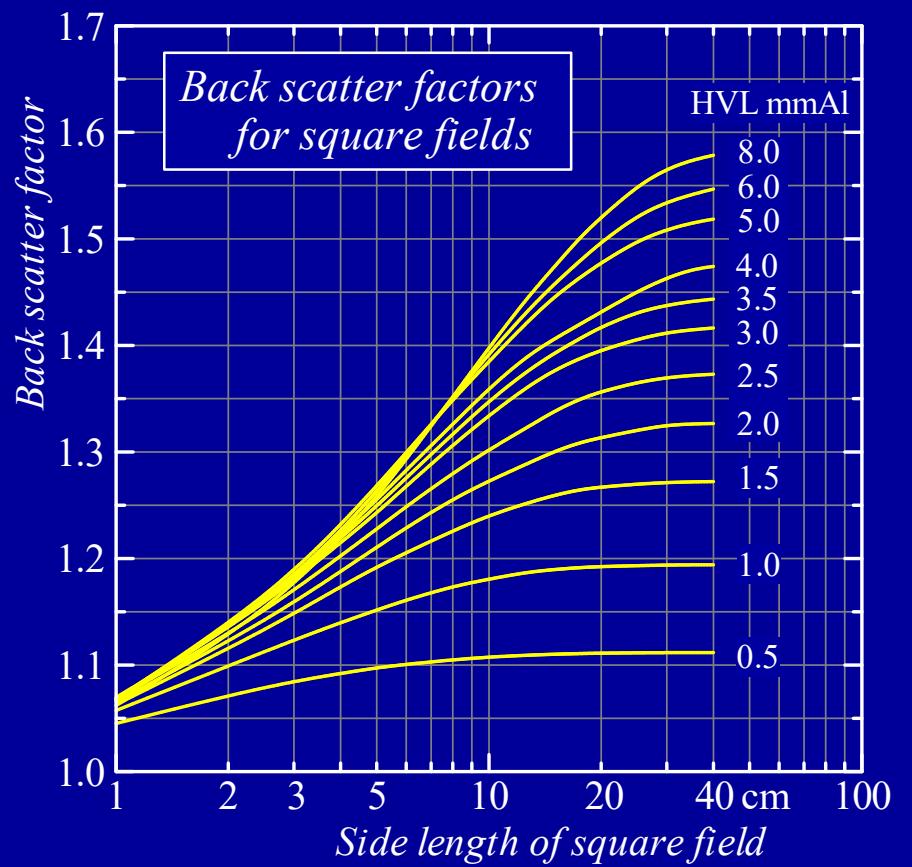
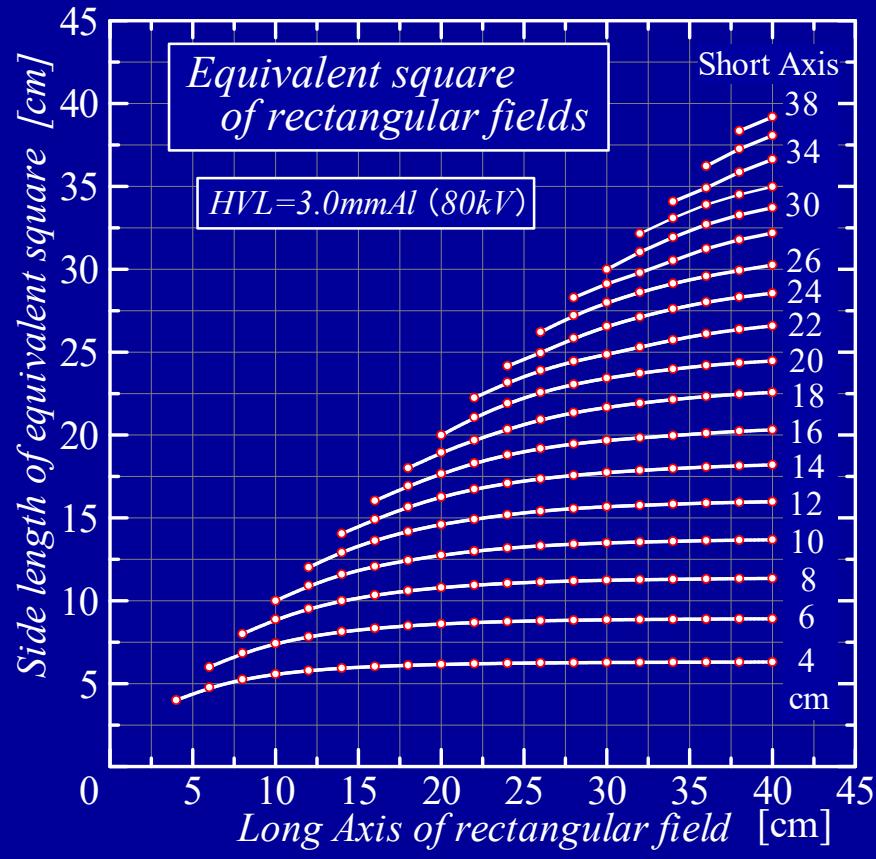


$$BSF = \frac{D}{D_{air}}$$

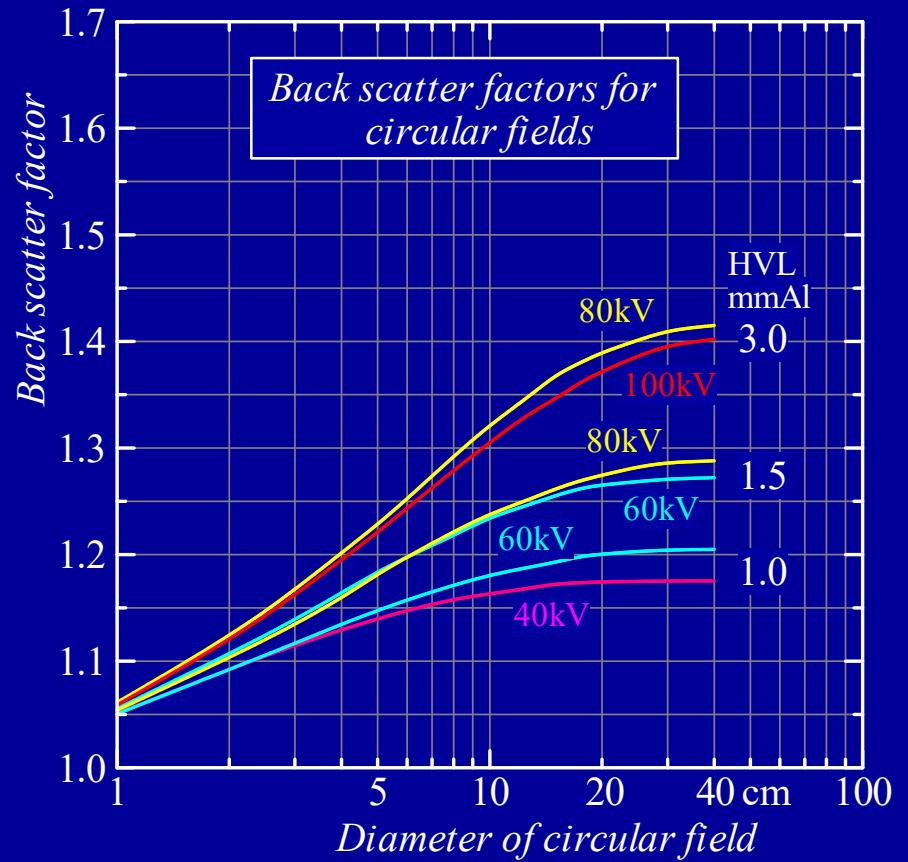
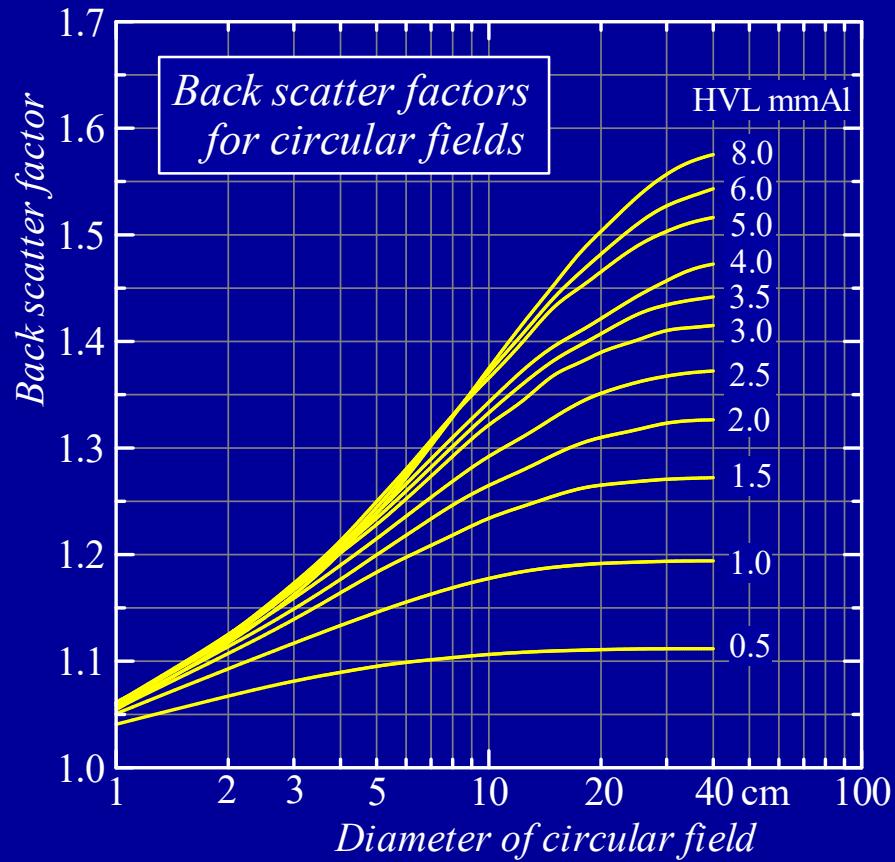
既存データ : Klevenhagen (1989), Grosswendt (1990) など

後方散乱係数 BSF (Back Scatter Factor)

従来法：等価照射野サイズおよびX線束の実効エネルギーをパラメータとして既存データから BSF を求める



実効エネルギーが同じでも、管電圧の違いなどにより
X線スペクトルが異なると BSF に差異が生じる

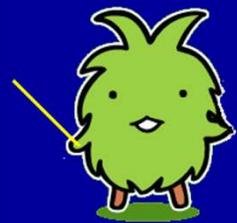


微分後方散乱係数を用いた 後方散乱係数の評価法

複雑な事象は、一つひとつの単純な事象に分けて考えよう

後方散乱線を細かく分けて
照射条件に応じて評価する

入射光子エネルギー
入射ポイント

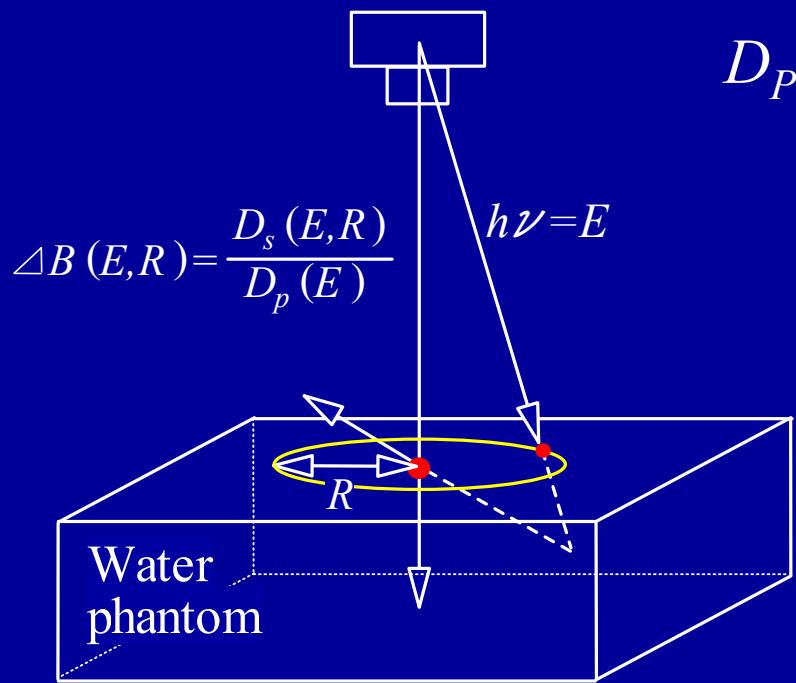


微分後方散乱係数 (モンテカルロ法で計算)

$$\Delta B(E, R) = \frac{D_s(E, R)}{D_p(E)}$$

$D_s(E, R)$: 半径 R の円周上への入射光子
による散乱線吸収エネルギー量

$D_p(E)$: 一次線から直接付与される
吸収エネルギー量

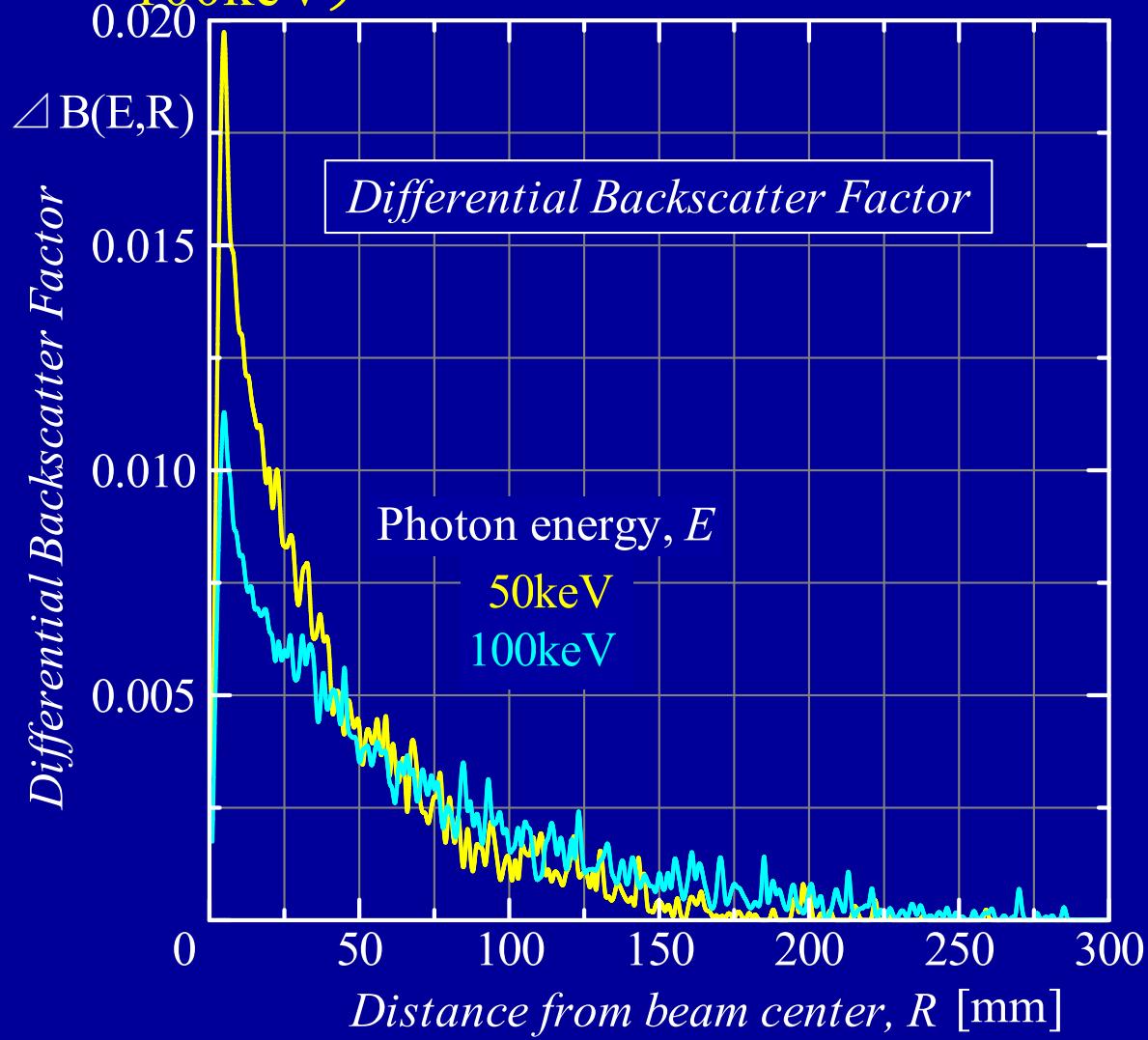


光子エネルギー $E = 5 \sim 150 \text{ keV}$
半径 $R = 0 \sim 300 \text{ mm}$
について微分後方散乱係数を計算

↓
データベースを作成

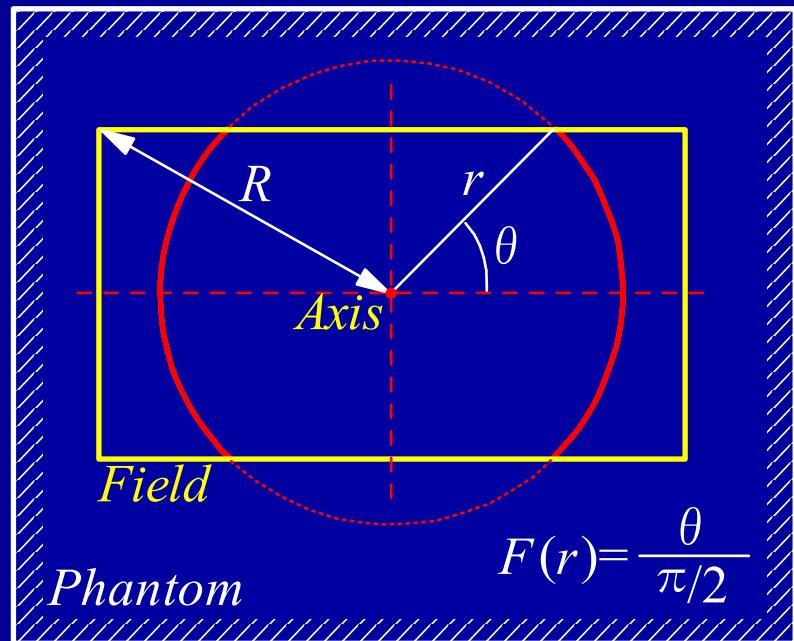
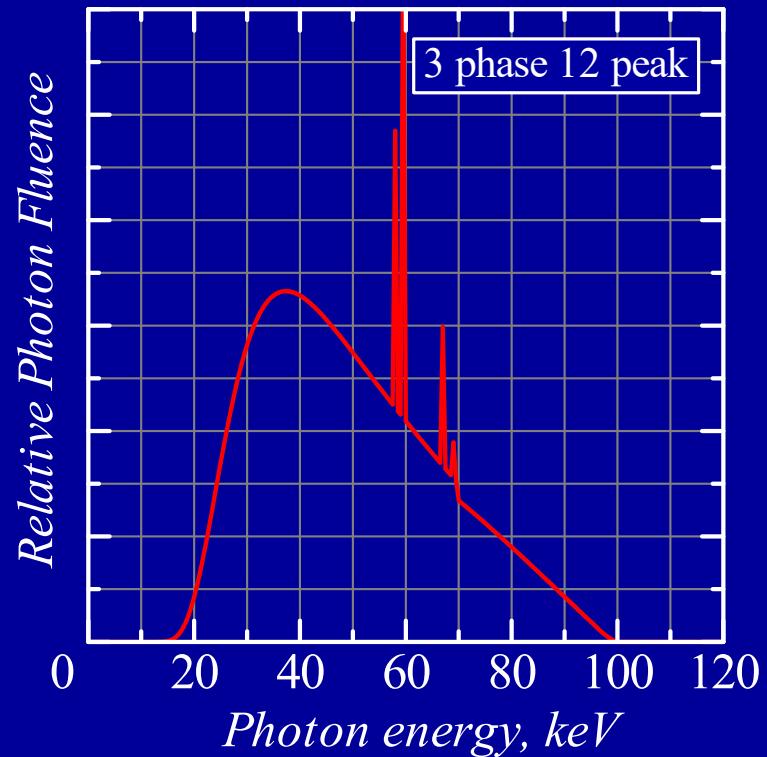
微分後方散乱係数 (50keV,

100keV)

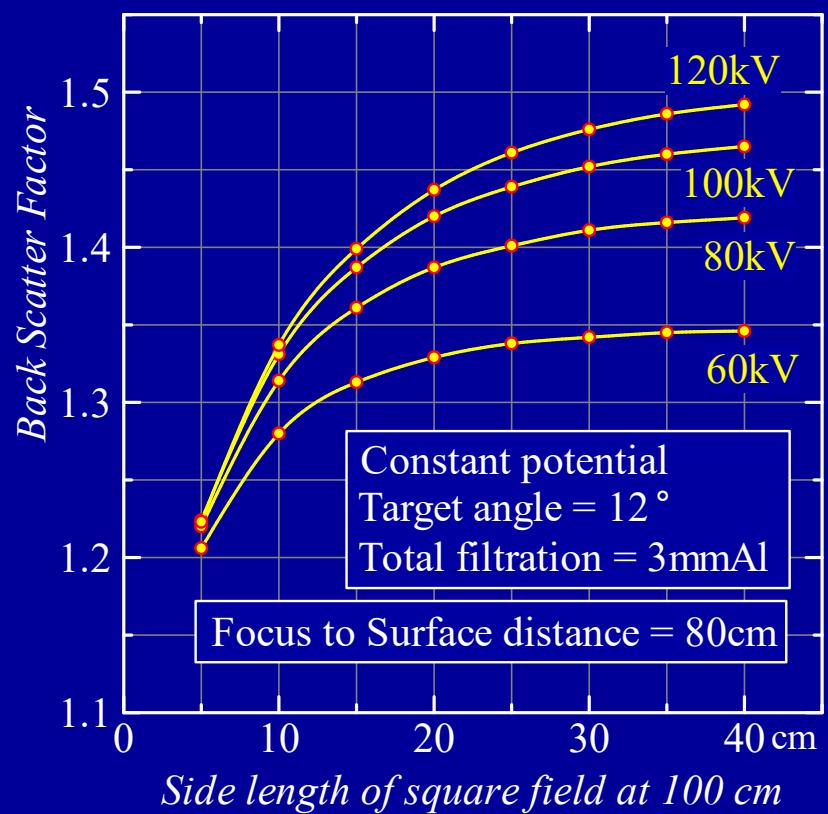
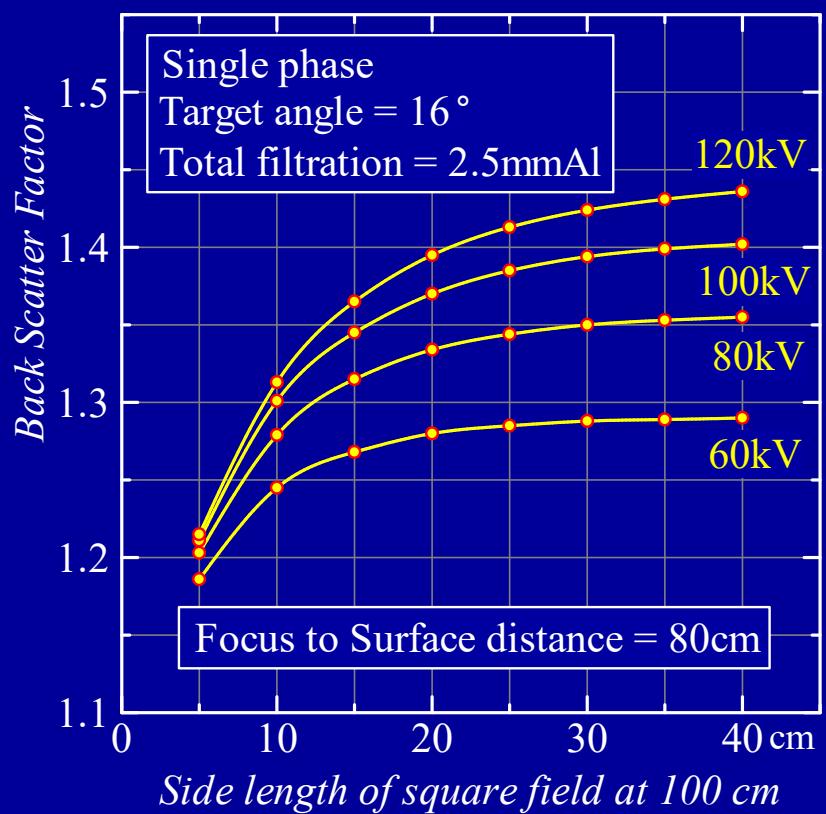


微分後方散乱係数 $\Delta B(E, r)$ およびX線スペクトル $\phi(E)$ から
任意の照射条件の後方散乱係数 BSF を次式計算できる

$$BSF = 1 + \int_0^R \int_0^{E_m} \phi(E) \cdot \Delta B(E, r) \cdot F(r) \cdot dE \cdot dr$$

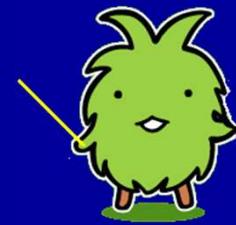


後方散乱係数の計算例



SDEC (*Surface Dose Evaluation Code*) の 入射表面線量計算式

$$D = X_{air} \times \frac{1}{FSD^2} \times C_f \times BSF$$



D : 入射表面線量 [Gy]

X_{air} : X線管焦点から1mの距離の空中における
照射線量 [C/kg]

FSD : X線管焦点 - 入射表面間距離 [m]

C_f : 吸収線量変換係数 [Gy/(C/kg)]

BSF : 後方散乱係数

実測値と SDEC, NDD による入射表面線量の比較

宮崎大学 山神らのデータ (2005) から抜粋

撮影部位	照射条件						表面線量 [mGy]		
	kV	mA	sec	FFD cm	体厚 cm	照射野 サイズ	実測	SDEC	NDD
頭部正面	68	320	0.16	100	20	四切	5.20	5.43	4.25
頸椎正面	70	320	0.08	150	10	六切	0.90	0.94	0.72
腰椎正面	70	320	0.16	100	20	四切	5.52	5.76	4.38
腰椎側面	90	320	0.16	100	25	四切	10.32	11.70	8.27
腹部正面	70	320	0.12	100	20	半切	4.39	4.35	3.29

入射表面線量計算ソフト SDEC

最新 Version : Sdec_V6



高電圧整流方式

定電圧・インバータ 三相12ピーク 単相全波

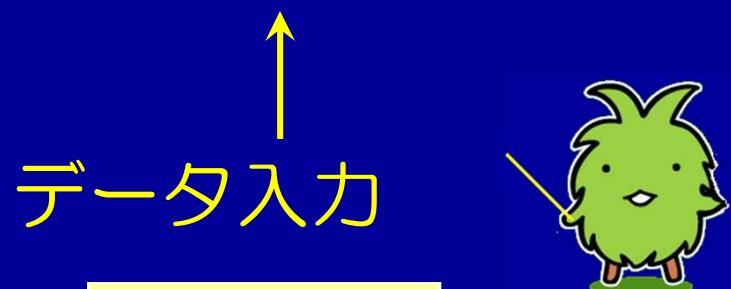
焦点から 1 m の距離の照射線量

実測値を直接入力 出力データを利用

照射線量 at 1 m	5.78E-5	C/kg
出力データ名	sdec_default	
<input type="button" value="出力データ編集"/>		<input type="button" value="出力データ選択"/>
X線管ターゲット角度	16	度
固有フィルタ（アルミ当量）	2.5	mm
付加フィルタ（アルミ）	1	mm
付加フィルタ（銅）	0	mm
任意フィルタ		mm

診断 X 線照射

照射部位	腹部正面	
X線管電圧	80	kV
X線管電流	200	mA
照射時間	0.2	秒
焦点-受像器間距離 (FFD)	100	cm
被写体厚	20	cm
焦点-入射表面間距離 (FSD)	80	cm
受像器面での照射野サイズ	半切サイズ	
照射野サイズ（長軸方向）	43.2	cm
照射野サイズ（短軸方向）	35.6	cm



計算結果 →

第1半価層	3.286	mmAL
第2半価層	7.935	mmAL
実効エネルギー	34.75	keV
線質指標 (Quality Index)	0.434	—
後方散乱係数	1.425	—
吸収線量変換係数 (water)	34.54	Gy/C/kg
吸収線量変換係数 (muscle)	35.56	Gy/C/kg
入射表面線量 (water)	4.441	mGy
入射表面線量 (muscle)	4.573	mGy

入射表面線量計算ソフト SDEC

ご清聴ありがとうございました。

バイバイ



SDEC (Sdec_V6) のダウンロードサイト

<http://www.japan-net.ne.jp/~ss-giken/>

(エスエス技研ホームページ)