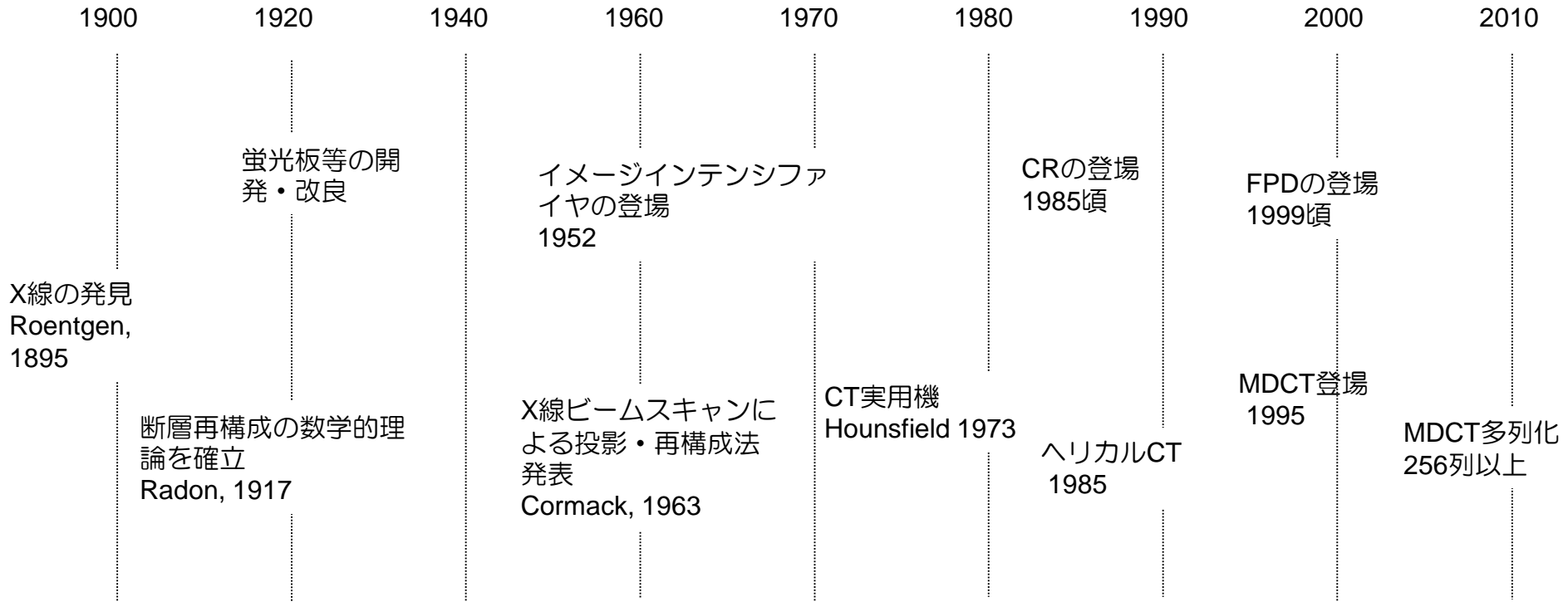
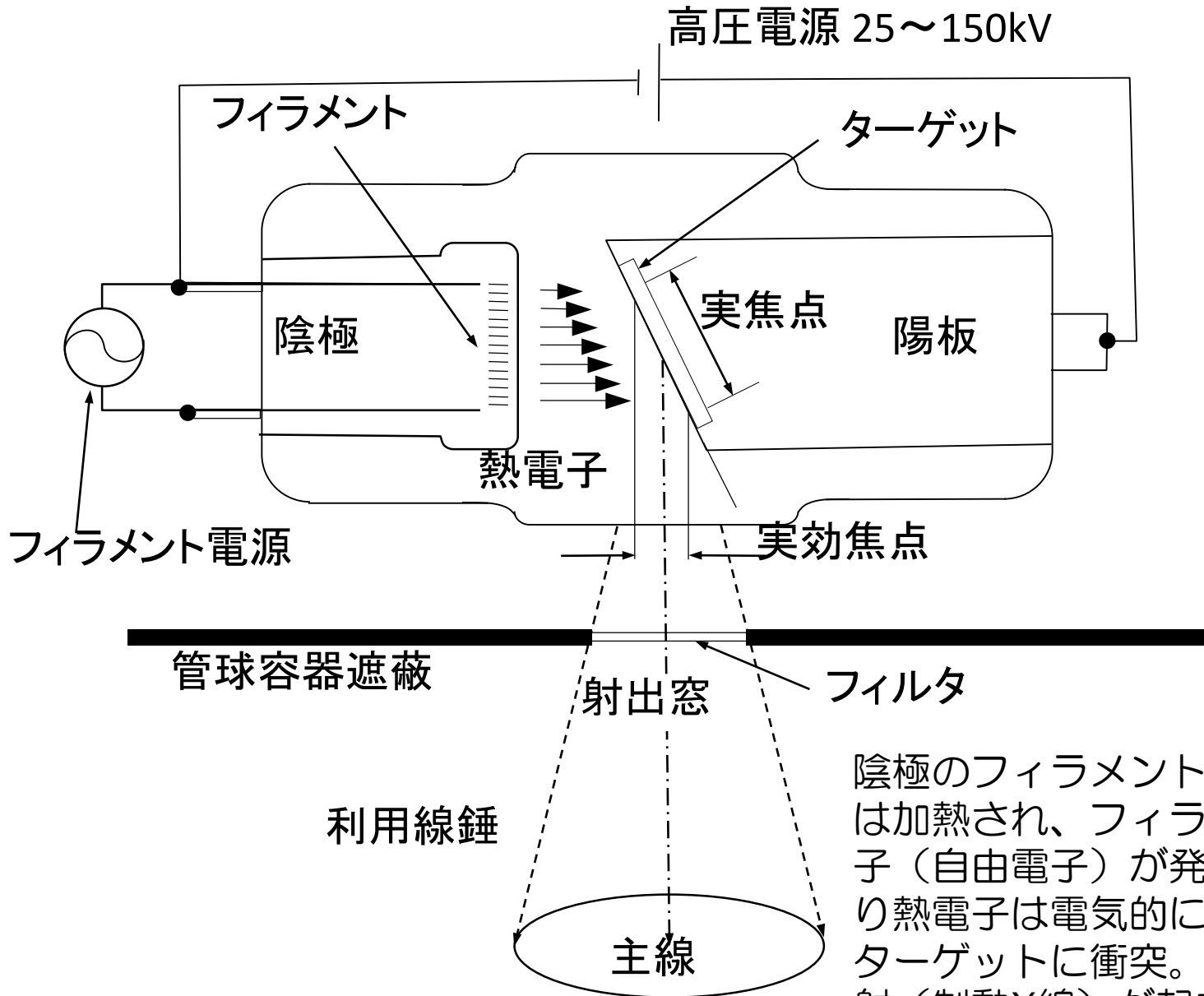


X線イメージング技術の歴史

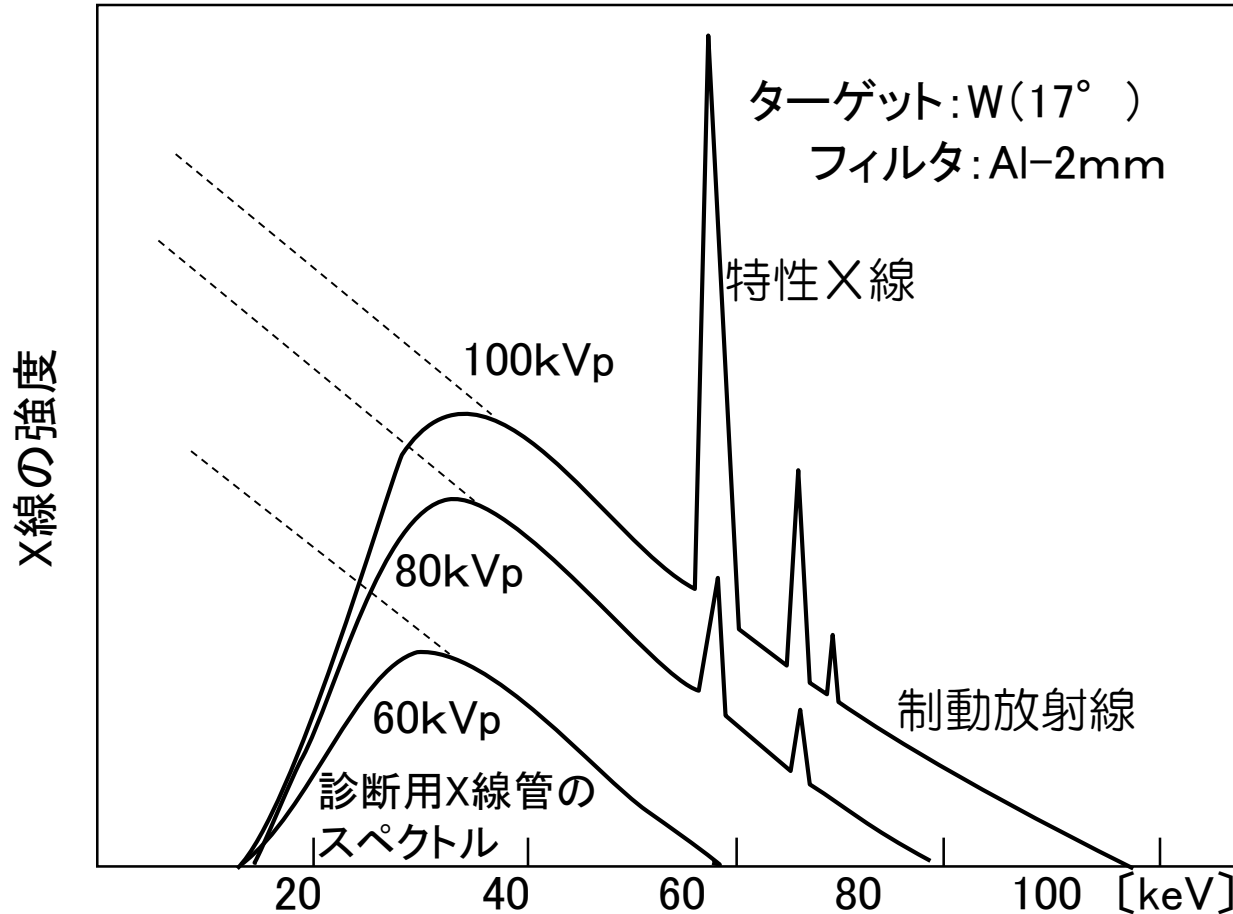


X線の発生装置



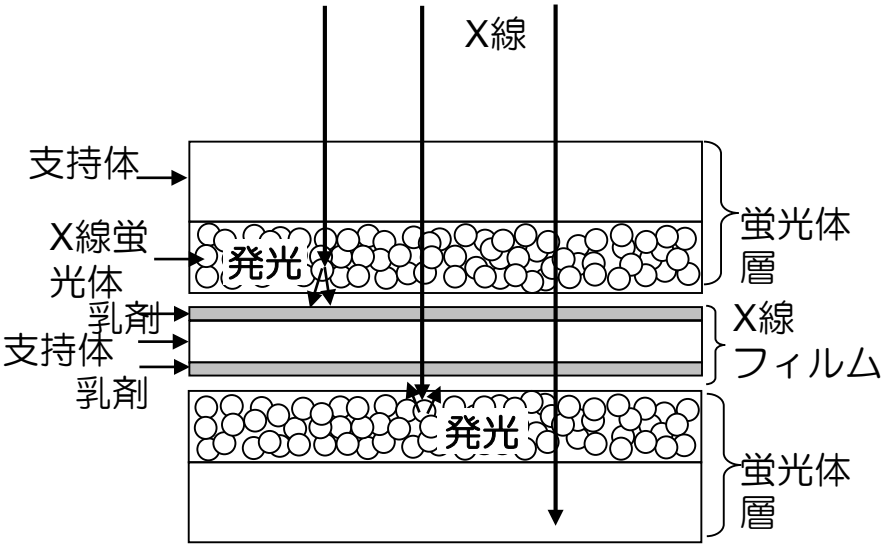
陰極のフィラメント（タングステン）は加熱され、フィラメント表面に熱電子（自由電子）が発生。次に高圧により熱電子は電氣的に加速され、陽極のターゲットに衝突。このときに制動放射（制動X線）が起きてX線が発生する。

診断用X線管のスペクトルの概形



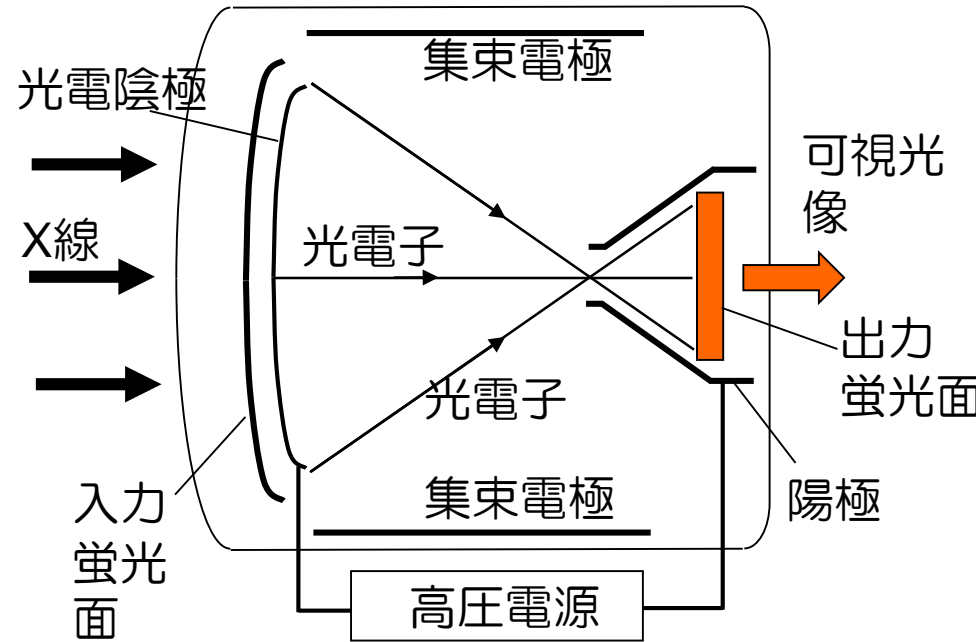
管電圧がターゲット原子の内殻電子のエネルギー準位よりも高いときは、発生した制動放射X線はこれらの電子と光電効果を起こす。ターゲットに入射した電子もまた、内殻電子を電離する。この空席に外殻電子が遷移し、そのエネルギー準位の差が光子エネルギーとして放出される。これを特性X線という。

X線の検出



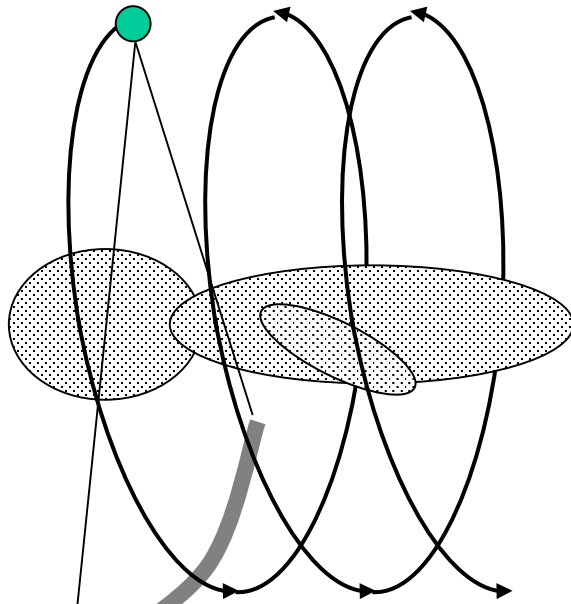
X線蛍光体として
酸硫化ガドリニウム・テルビウム
($Gd_2O_2S:Tb$)
など。緑色の発光スペクトル。

蛍光を用いたX線強度の記録



イメージンテンシファイヤの構造

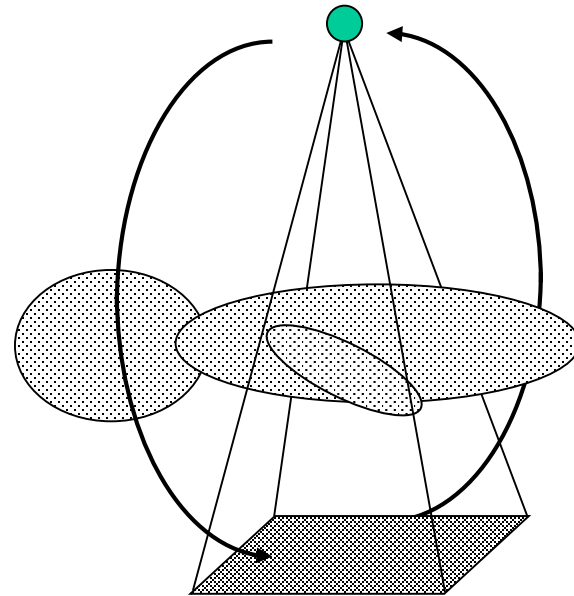
点線源の軌跡



1次元検出器

(a)

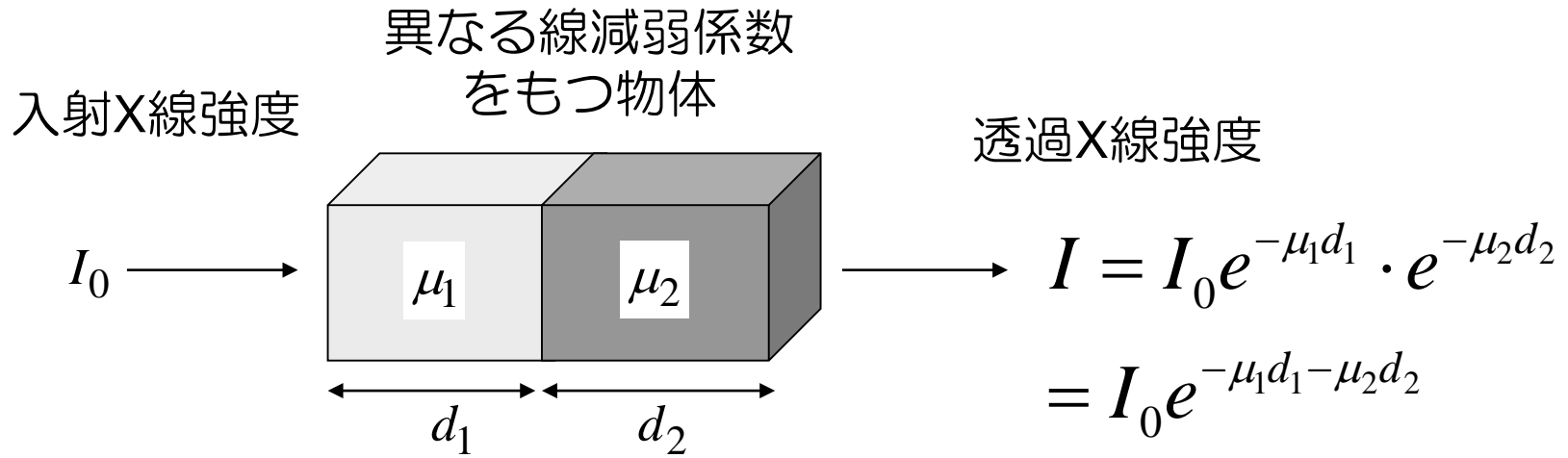
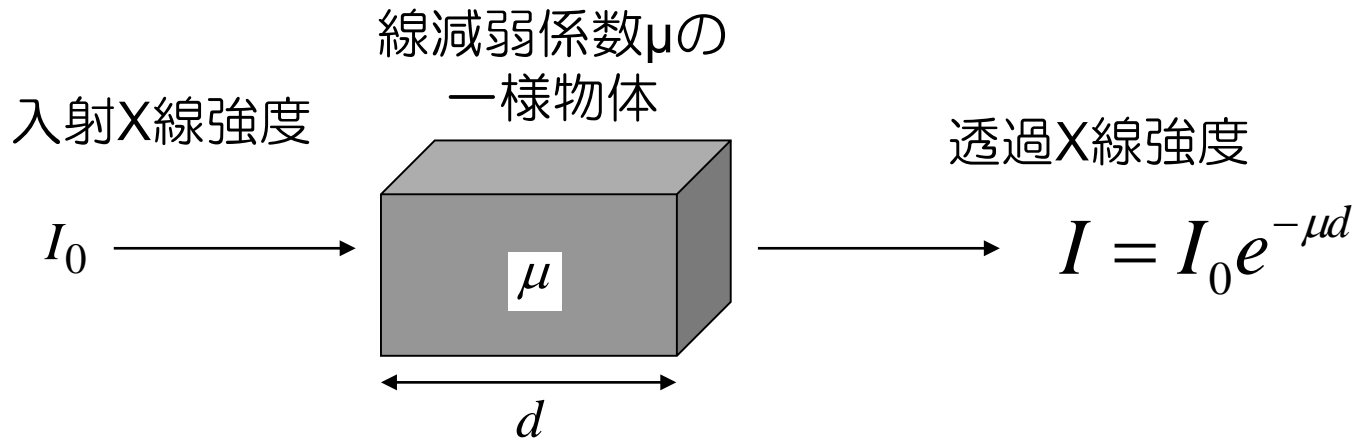
点線源の軌跡



2次元検出器

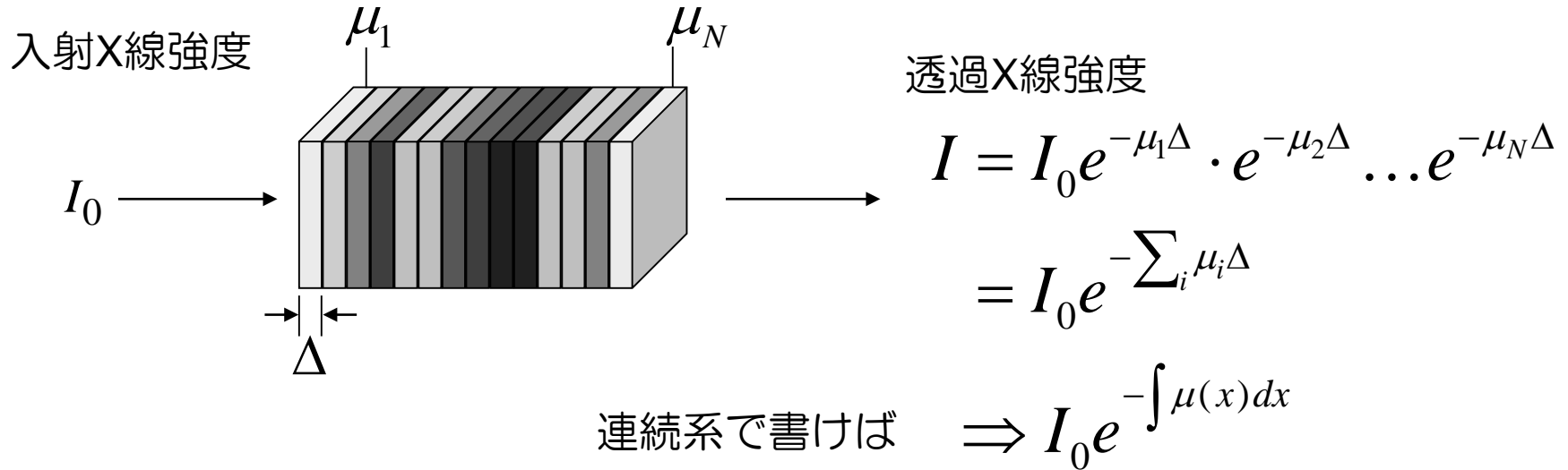
(b)

X線減弱の指数関数則に基づくX線の透過



X線減弱の指数関数則に基づくX線の透過

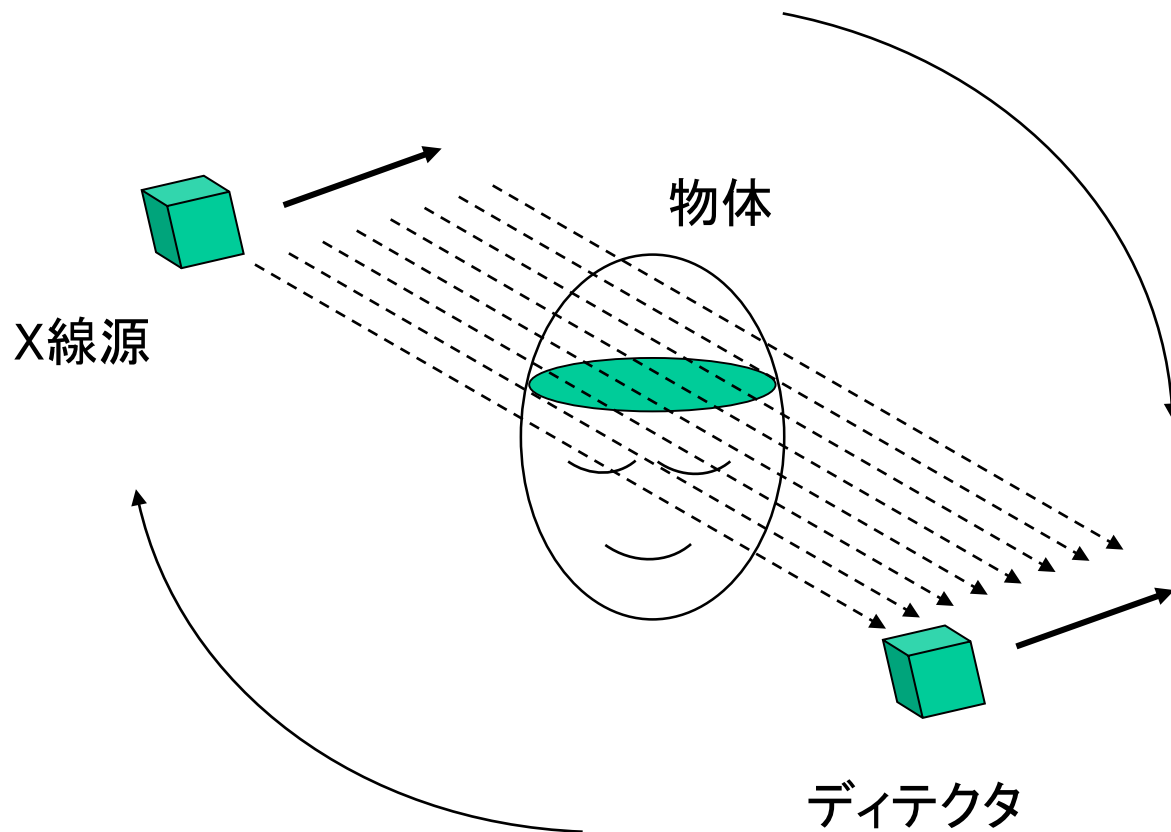
より細分化していけば・・・



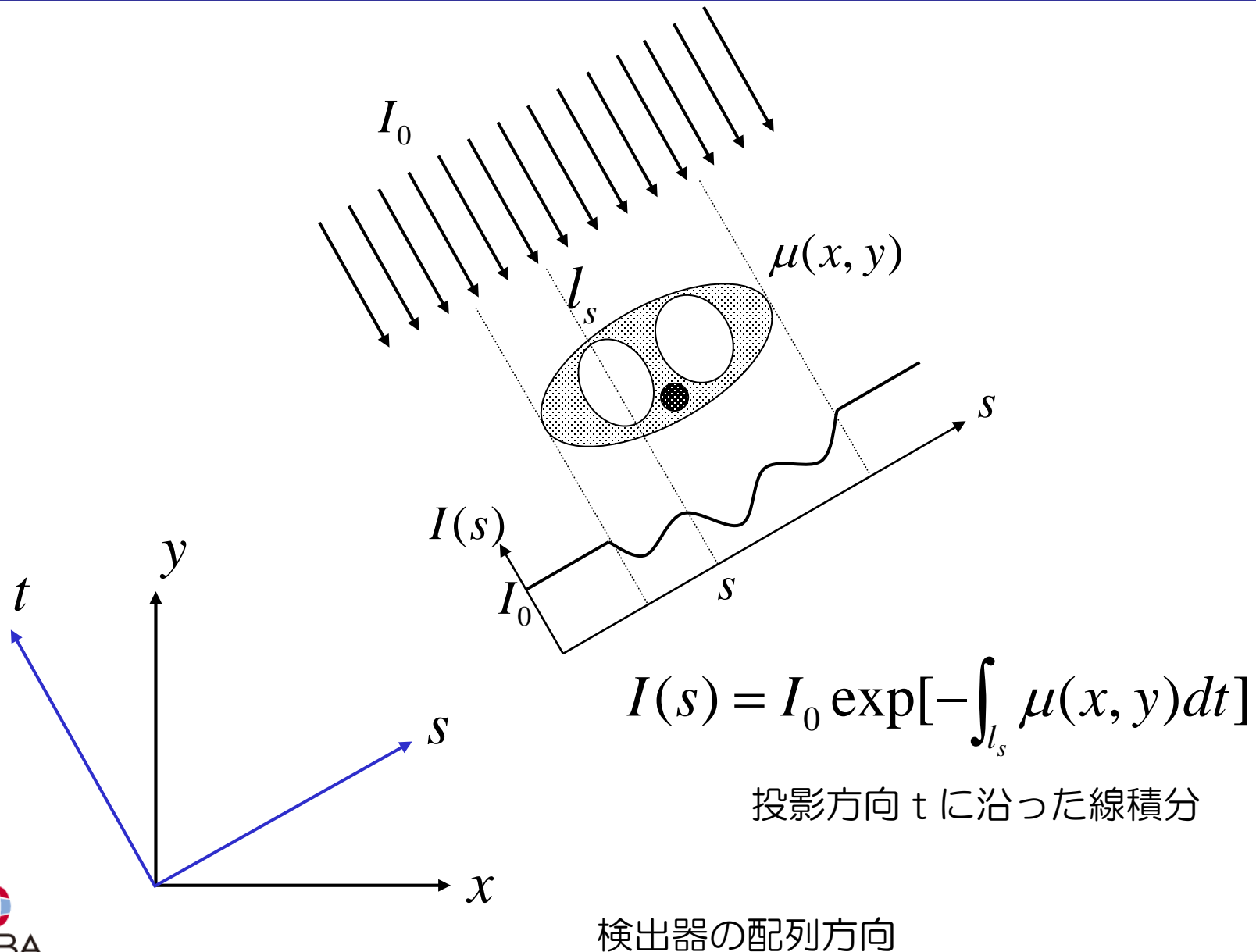
$$I = I_0 e^{-\int \mu(x) dx}$$

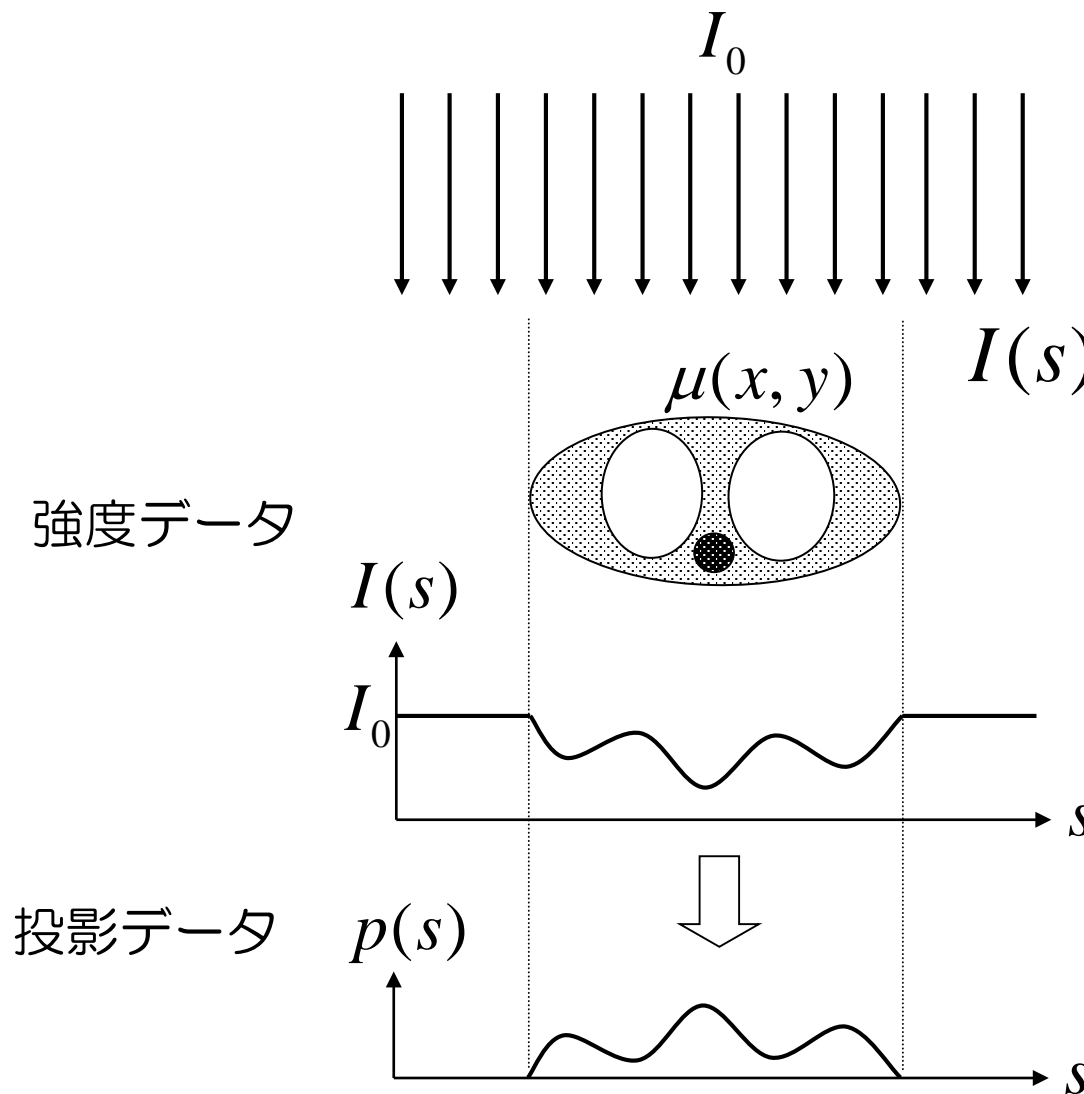
線減弱係数の経路積分

X線CTのための線源—ディテクタ配置（原理的説明）



一様でない吸収係数分布をもつ物体に対する投影



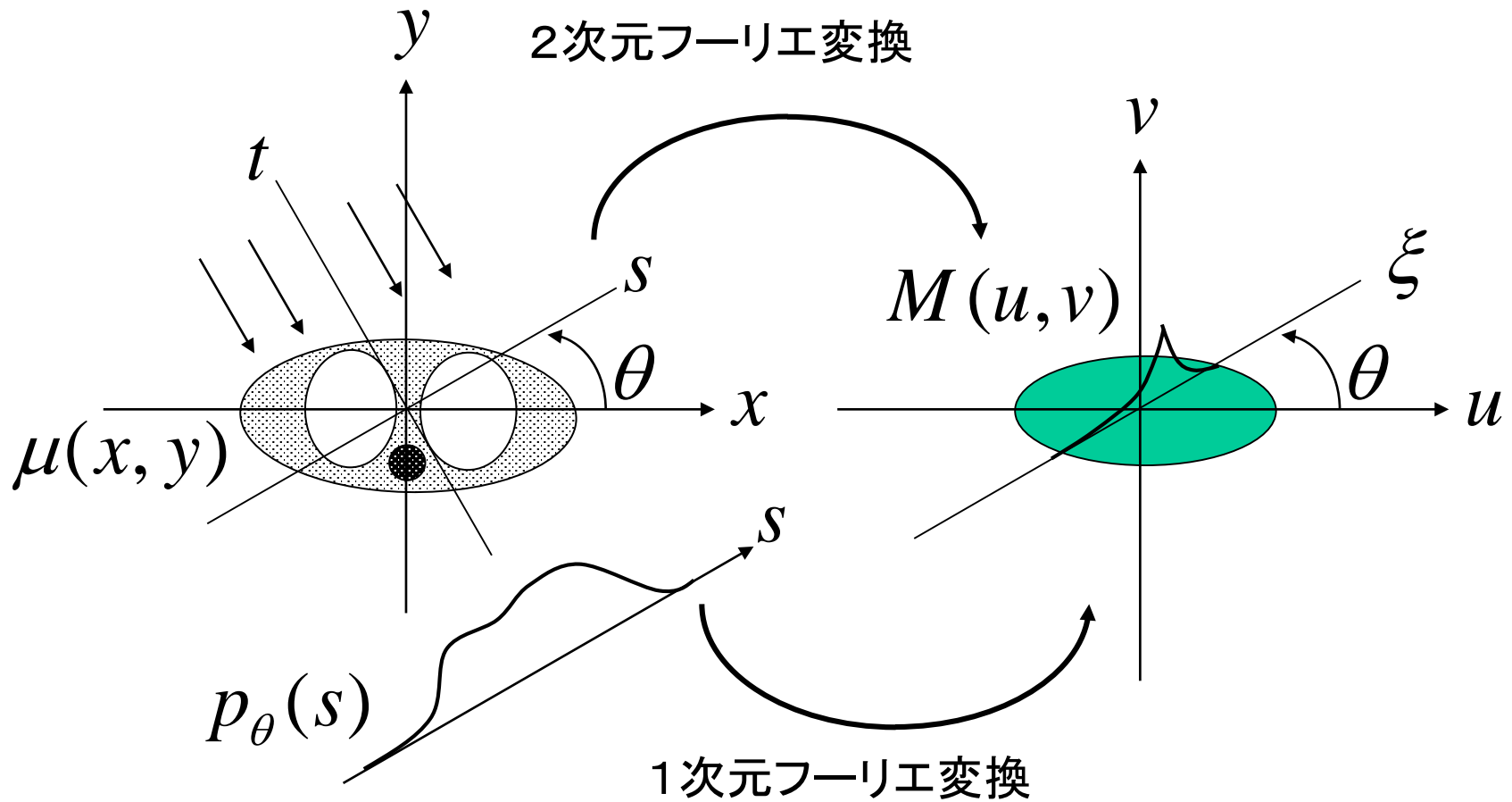


$$I(s) = I_0 \exp\left[-\int_l \mu(x, y) dt\right]$$

$$p(s) = -\log[I(s)/I_0]$$

$$= \int_l \mu(x, y) dt$$

中央断面定理

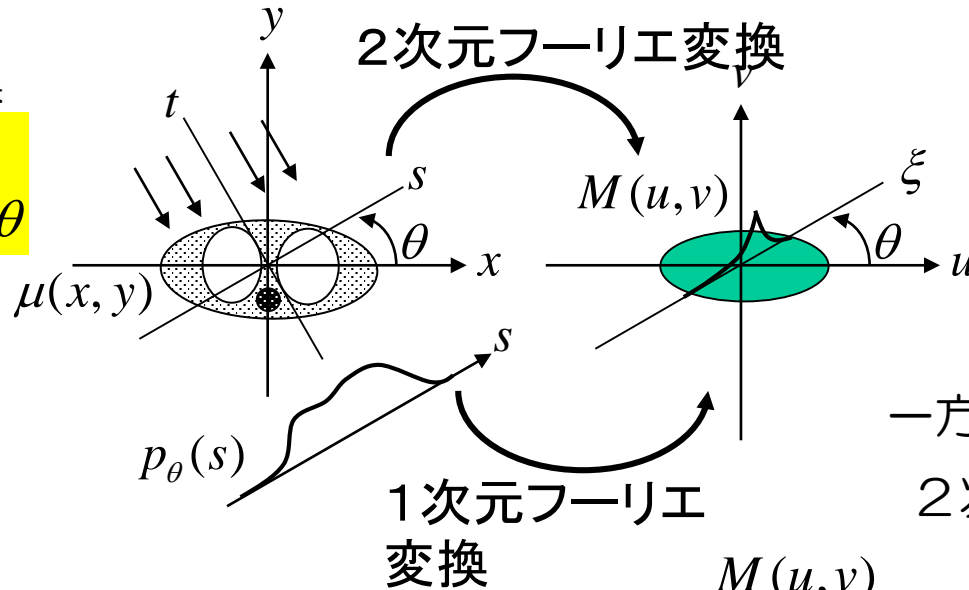


中央断面定理

座標変換

$$s = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$t = -x \sin \theta + y \cos \theta$$



$$u = \xi \cos \theta - \eta \sin \theta$$

$$v = \xi \sin \theta + \eta \cos \theta$$

一方、 $\mu(x, y)$ の
2次元フーリエ変換は

$$M(u, v) = \iint \mu(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy$$

ξ, η で表せば、
 $M(\xi, \eta)$

$$= \iint \mu(x, y) \exp[-j2\pi((\xi \cos \theta - \eta \sin \theta)x + (\xi \sin \theta + \eta \cos \theta)y)] dx dy$$

$\eta=0$ の線に着目すると、

$$M(\xi, \eta)|_{\eta=0} = \iint \mu(x, y) \exp[-j2\pi(\xi x \cos \theta + \xi y \sin \theta)] dx dy$$

投影方向 θ における、
ある検出器位置 s での投影データ

$$p_\theta(s) = \int \mu(t, s) dt$$

その1次元フーリエ変換は

$$p_\theta(\xi) = \int p_\theta(s) \exp(-j2\pi\xi s) ds$$

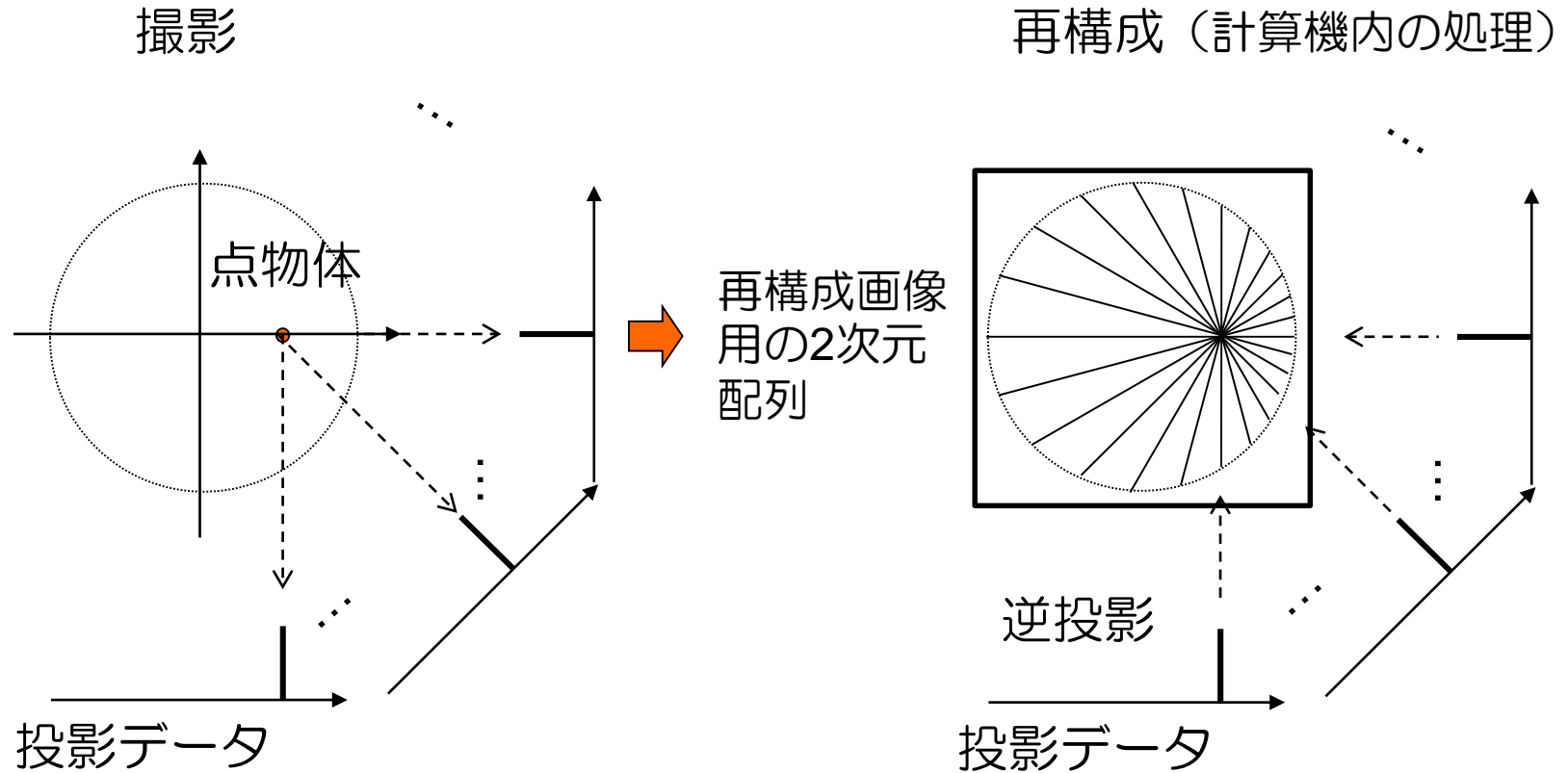
$$= \iint \mu(t, s) \exp(-j2\pi\xi s) ds dt$$

$$= \iint \mu(x, y) \exp$$

← 変数変換

$$[-j2\pi\xi(x \cos \theta + y \sin \theta)] dx dy$$

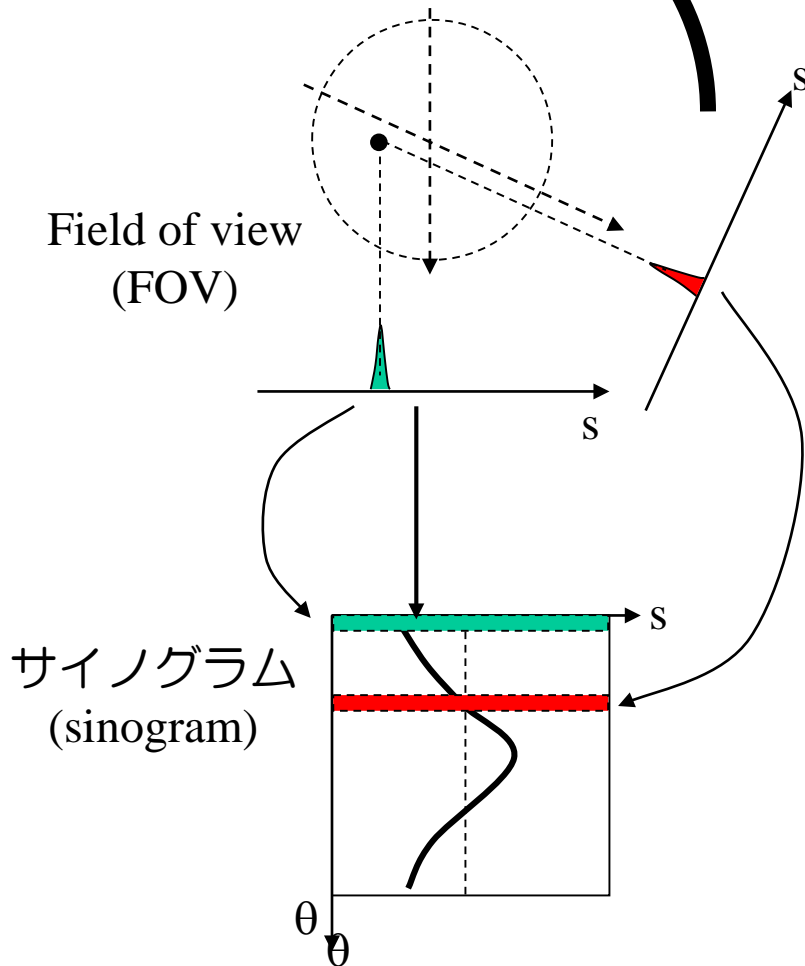
1. フィルタ補正逆投影法
2. 逐次近似による方法



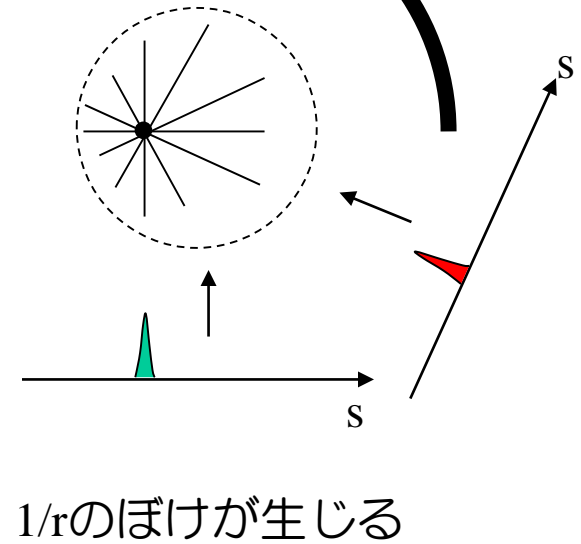
実際の投影のジオメトリを計算機内で再現し、投影データを再構成用の配列に逆投影していく（投影データを、経路の沿って加算していく）。

サイノグラム・単純逆投影法

点物体の場合：



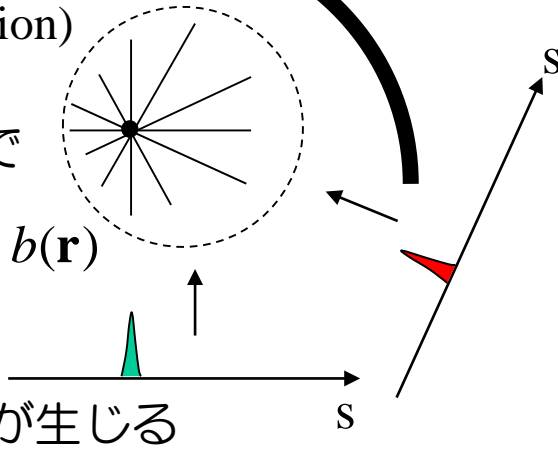
単純逆投影法
(backprojection)



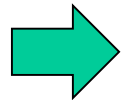
単純逆投影像のスペクトル

単純逆投影法
(backprojection)

単純逆投影で
得られる像



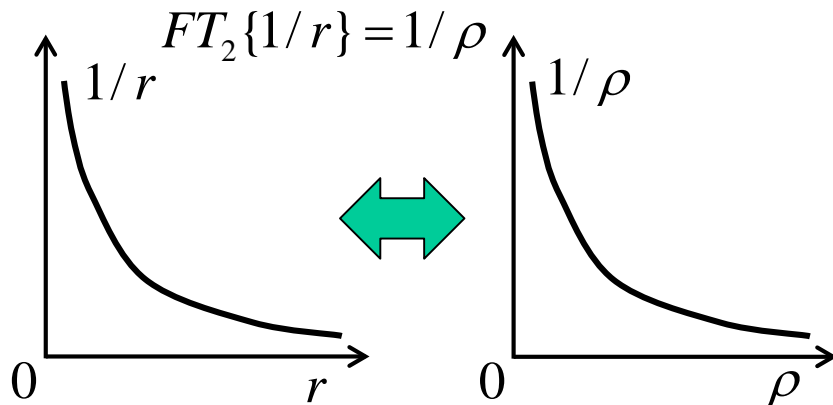
1/rのぼけが生じる



フーリエ空間では

$$B(\rho) = FT_2\{b(\mathbf{r})\} = M(\rho) / \pi\rho$$

ここで以下の性質を用いた



2次元フーリエ空間での処理：

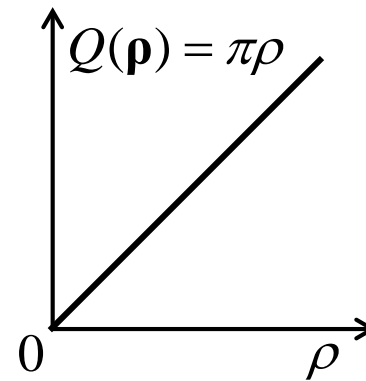
フィルタを

$$Q(\rho) = \pi\rho$$

とし、

$$Q(\rho)B(\rho) = \pi\rho \cdot M(\rho) / \pi\rho = M(\rho)$$

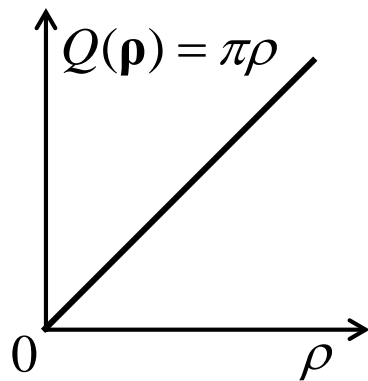
により、所望の画像の2次元フーリエ変換が得られる。



フィルタ補正逆投影法

バックプロジェクション
+
フィルタリング
はともに線形演算。

順番を入れ替えて、
フィルタリング
+
バックプロジェクション
同じことができる。



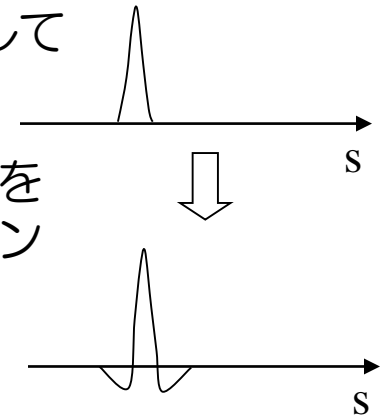
投影データにハイパスフィルタHPFを行ってから、逆投影を行う。

実際には、実空間でコンボリューション処理により、HPFを実施。

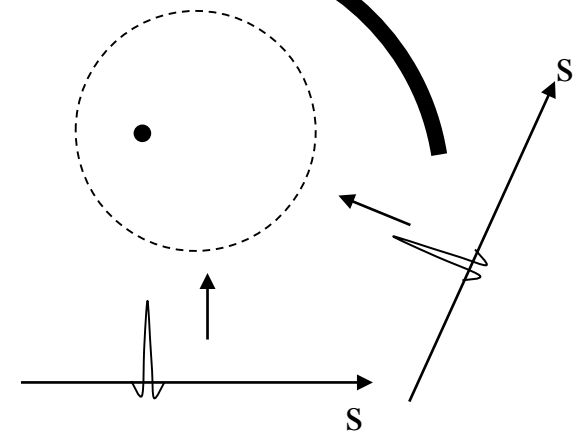
フィルタ補正逆投影法 (Filtered Backprojection)

各投影データに対して

1. s方向に
ハイパスフィルタを
コンボリューション

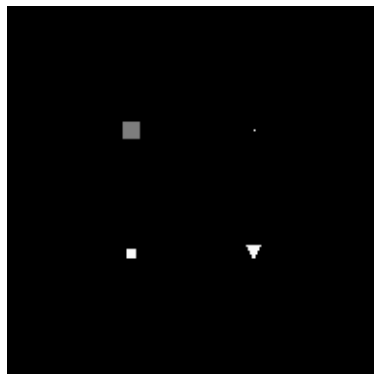


2. 逆投影



ぼけは生じない

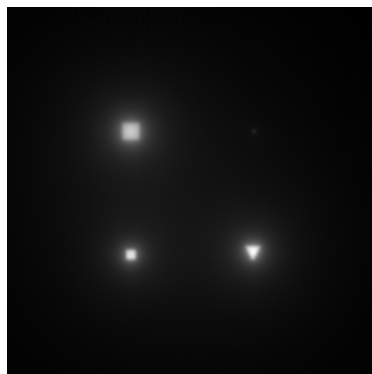
点物体



オリジナル



サイノグラム

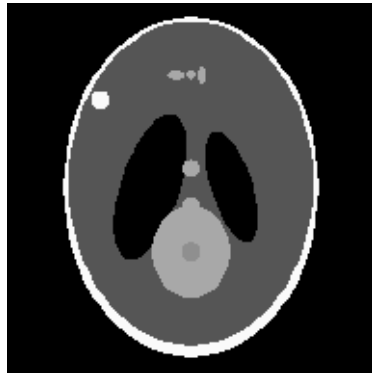


単純逆投影

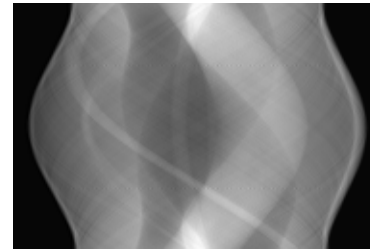


フィルタ補正逆投影

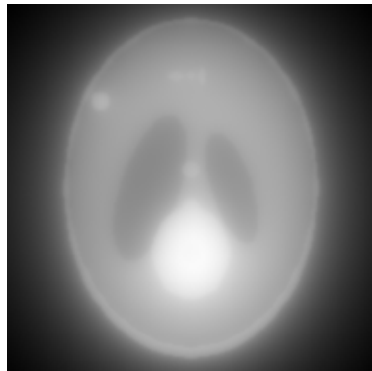
Shepp & Logan phantom



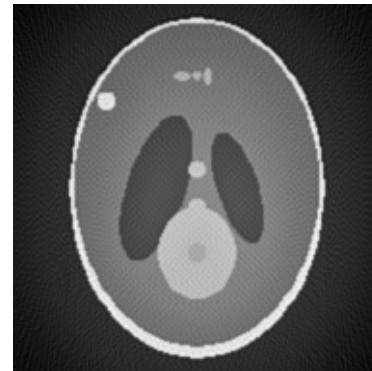
オリジナル



サイノグラム

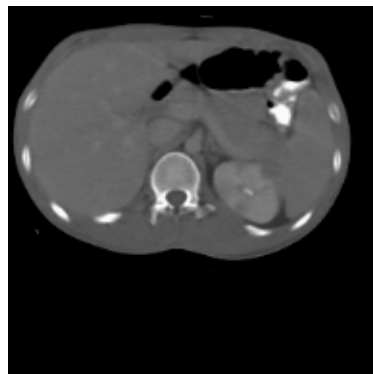


単純逆投影



フィルタ補正逆投影

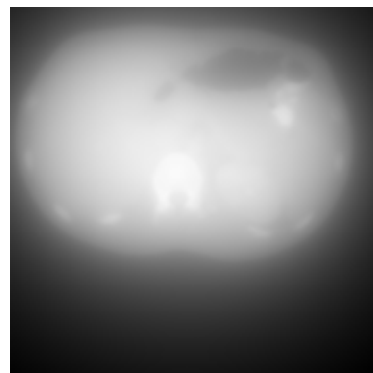
体幹部



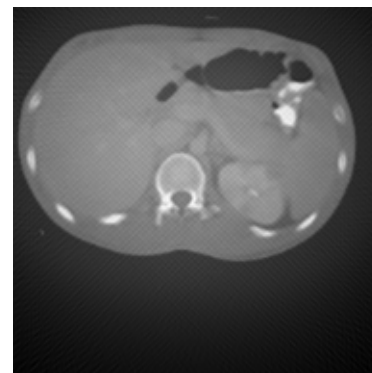
オリジナル



サイノグラム



単純逆投影



フィルタ補正逆投影