

ERL研究会「コンパクトERLが拓く世界」

# ターボ型干渉計を用いたイ メージング

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
百生 敦

# タルボ効果とタルボ干渉計

1836 タルボ効果 (W. H. F. Talbot)

1971 タルボ干渉計  
(S. Yokozeki and T. Suzuki)  
(A. W. Lohmann and D. E. Silva)

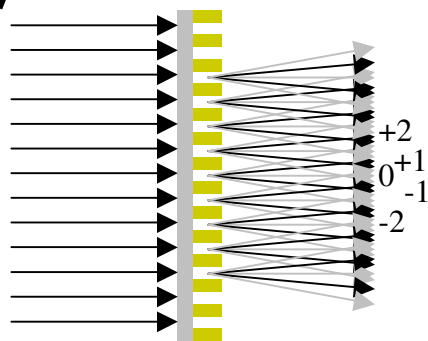
1997 硬X線タルボ効果 (P. Cloetens *et al.*)

2003 硬X線タルボ干渉計 (A. Momose *et al.*)

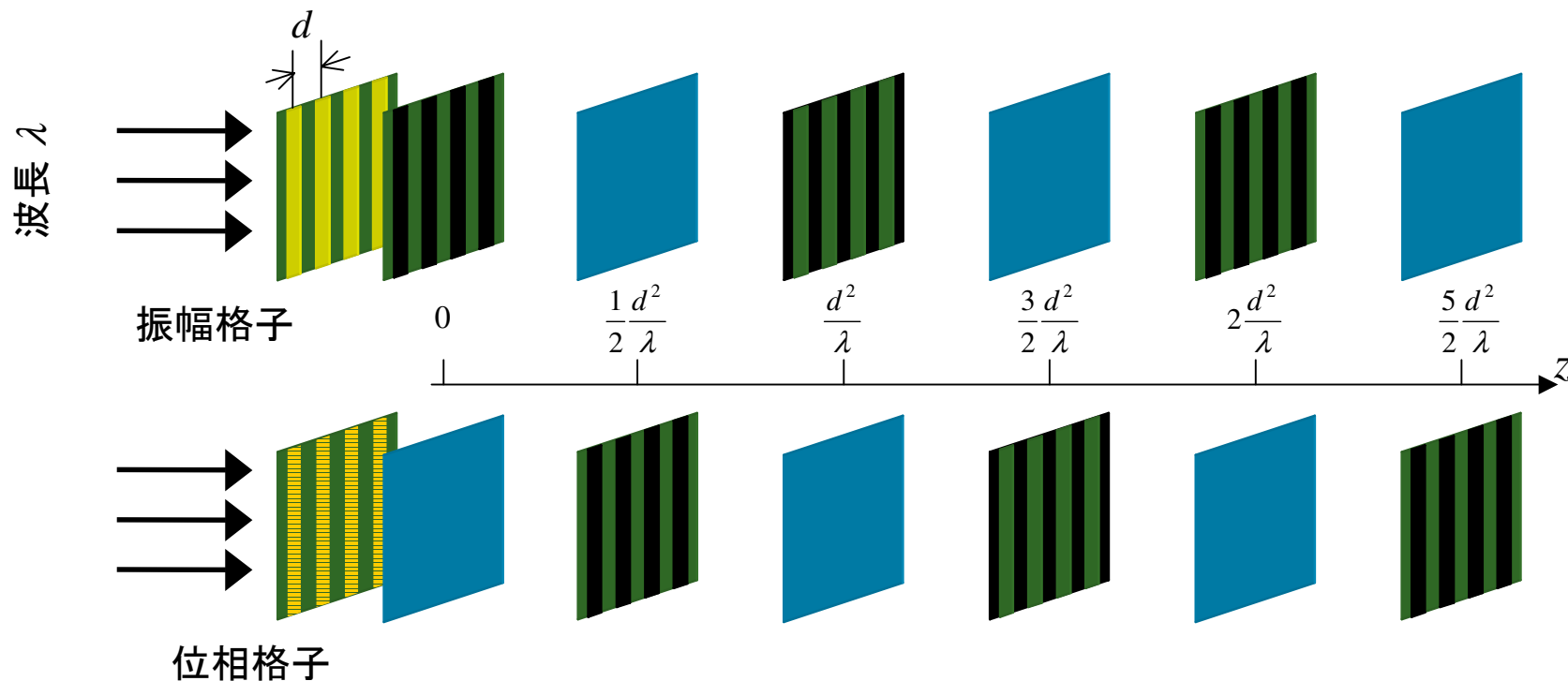
2006 硬X線タルボ・ロー干渉計 (F. Pfeiffer *et al.*)



# タルボ効果



?



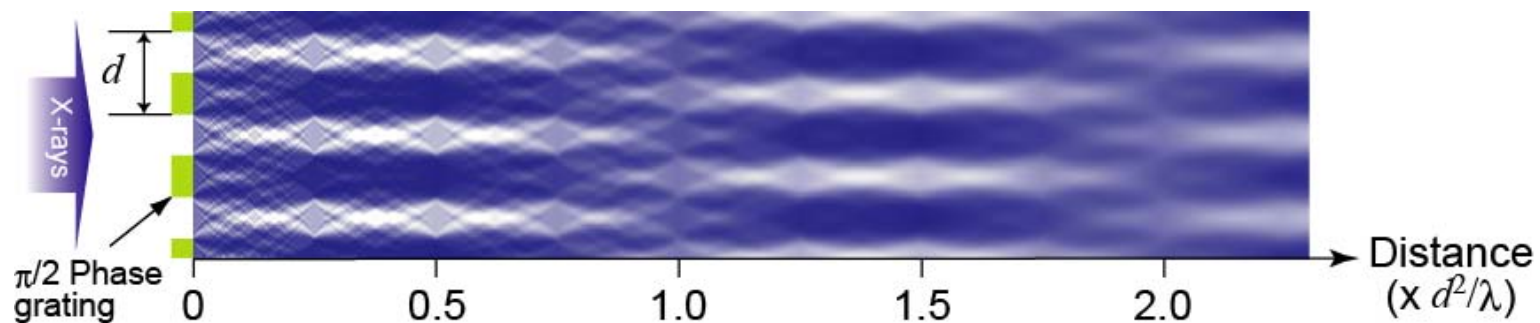
X線格子の複素透過関数

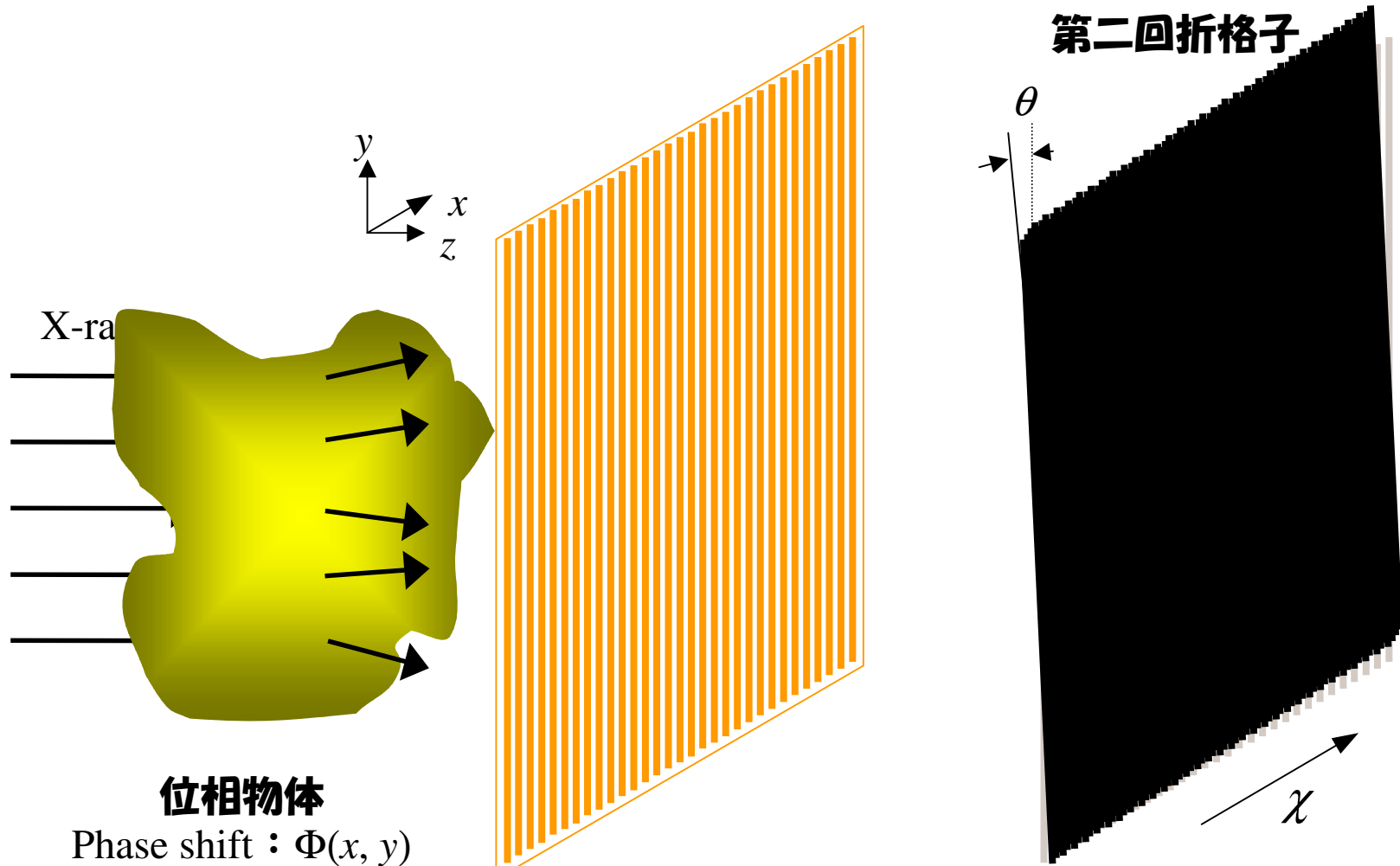
$$\sum_n a_n \exp\left(i2\pi \frac{nx}{d}\right)$$



下流位置  $z$  における波動場

$$\sum_n a_n \exp\left(-i\pi \frac{n^2 z \lambda}{d^2}\right) \exp\left(i2\pi \frac{nx}{d}\right)$$





モアレ像

歪んだ自己像

$$I(x, y, \sum_n b_n \exp\left[i2\pi \frac{nx}{d}\right]) \Rightarrow \sum_n b_n \exp\left[i2\pi \frac{n}{d} \left(x - z \frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)\right]$$

# 縞走査法による位相微分の定量計測

$$I_k(x, y, z) = A + \sum_{n \geq 1} B_n \cos \left[ 2\pi \frac{n}{d} \left( y\theta + z \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{kd}{M} \right) \right]$$

回折格子の相対的位置ずれ:  $kd/M$  ( $M$ : integer)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} \cong \frac{d}{\lambda z} \arg \left[ \sum_{k=1}^M I_k(x, y, z) \exp \left( -2\pi i \frac{k}{M} \right) \right]$$

$$\Phi = \int \frac{\partial \Phi}{\partial x} dx$$

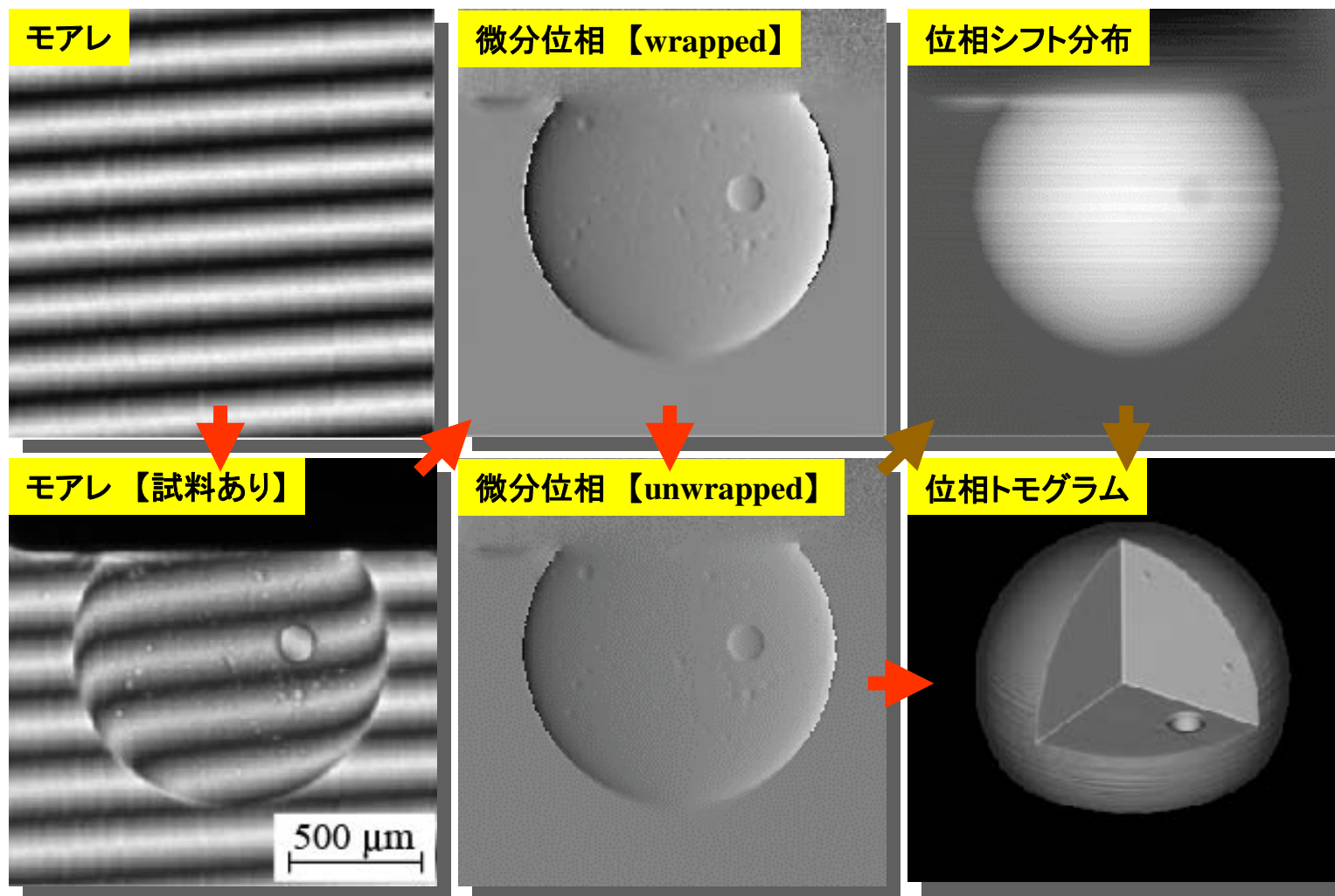
位相トモグラフィ



	計測画像	再構成画像
吸収CT	$-\ln \frac{I}{I_0} = \int \mu dz$	$\mu$
位相CT	$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int \delta dz$	$\delta$

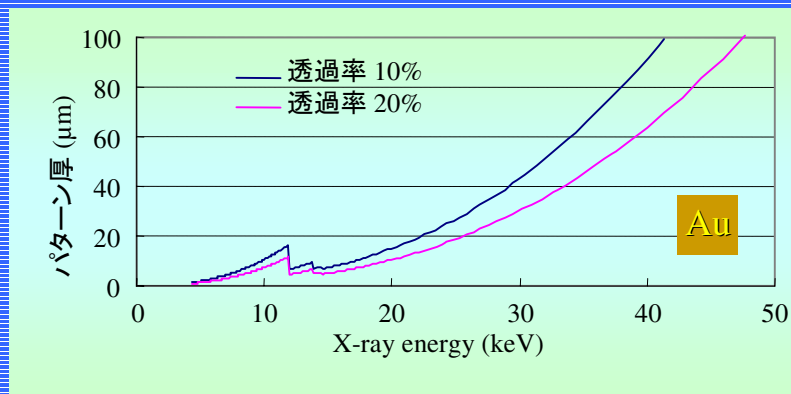
屈折率:  $1 - \delta$

# 画像変換の流れ



# 吸収格子製作上の要請

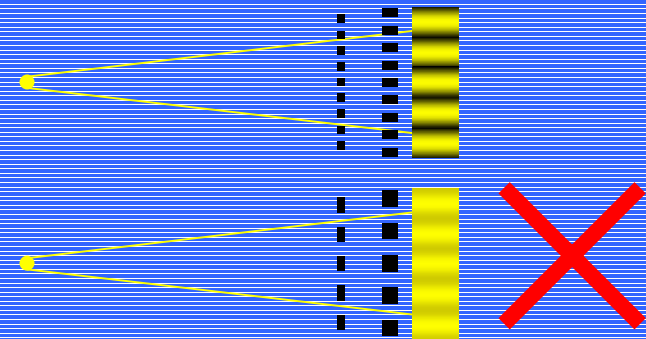
第二回折格子は吸収型である必要があり、すなわちパターンが十分に厚くなければならない。



回折格子のピッチは、X線の可干渉距離と同等でなければならない。

[ピッチ]

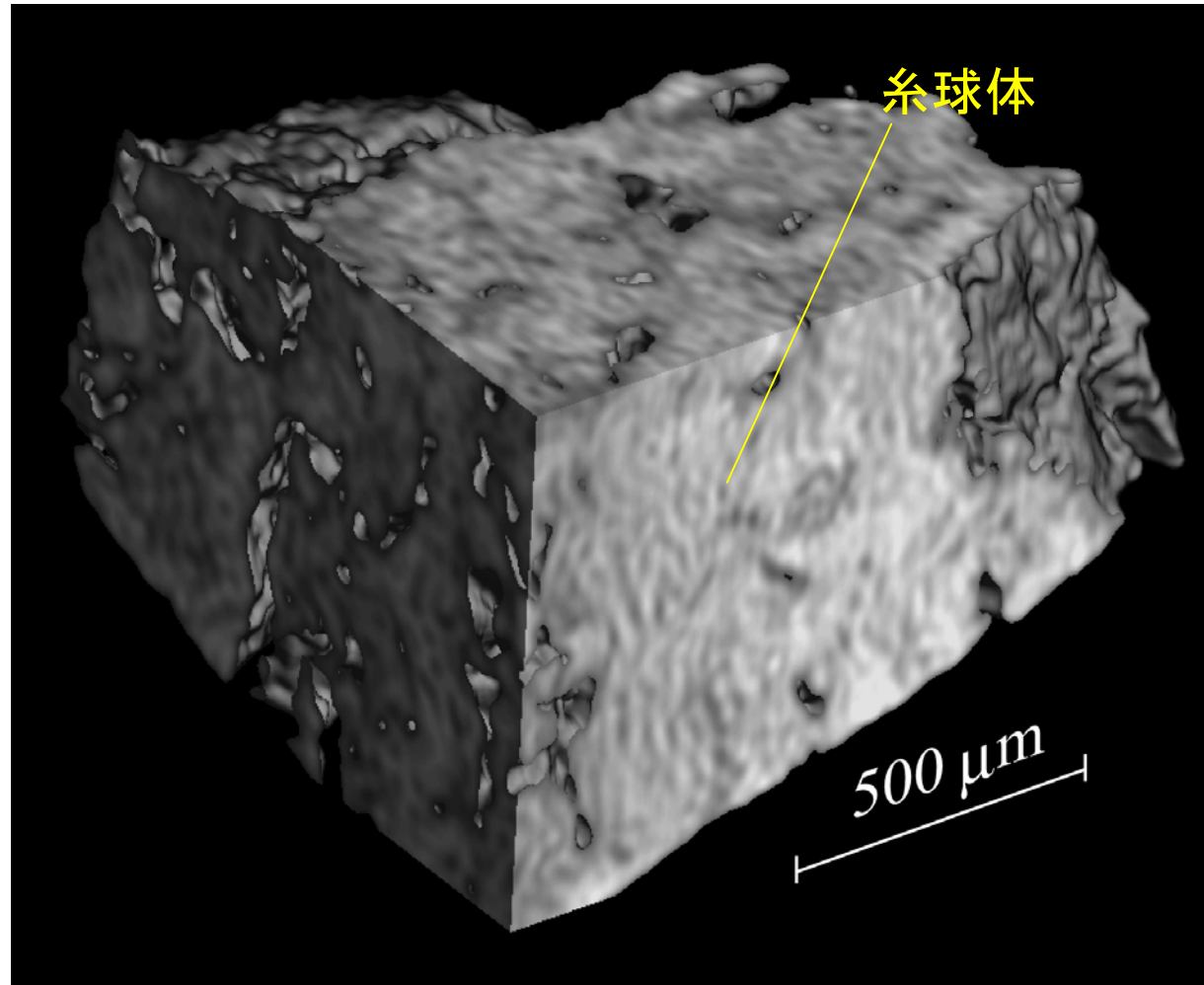
$$\sim [\text{波長}] \times [\text{線源からの距離}] \div [\text{線源サイズ}]$$



高アスペクト比のパターン形成



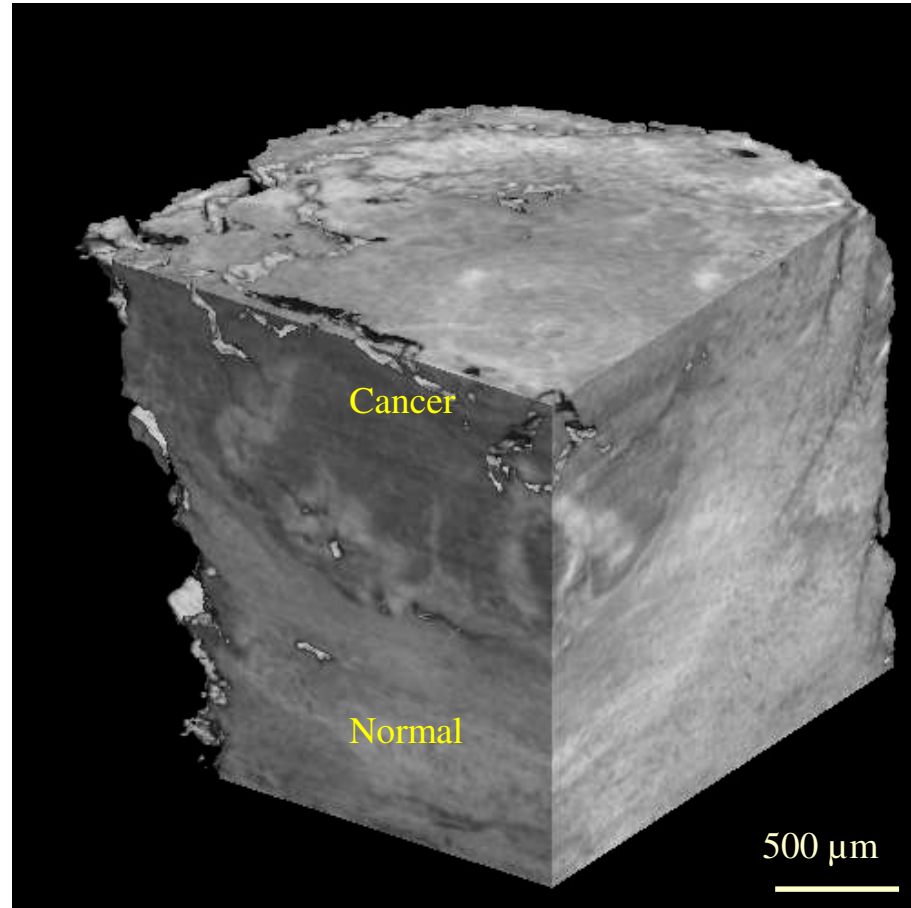
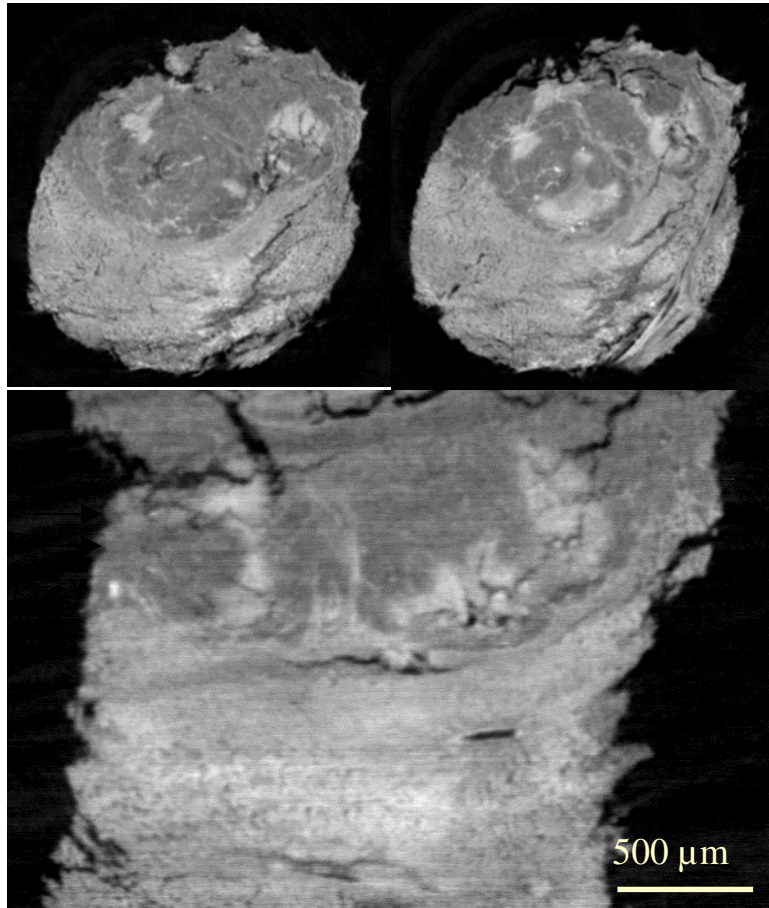
SPring-8, BL20XU  
@12.4 keV



ラット腎臓

# ウサギ肝臓 (VX2)

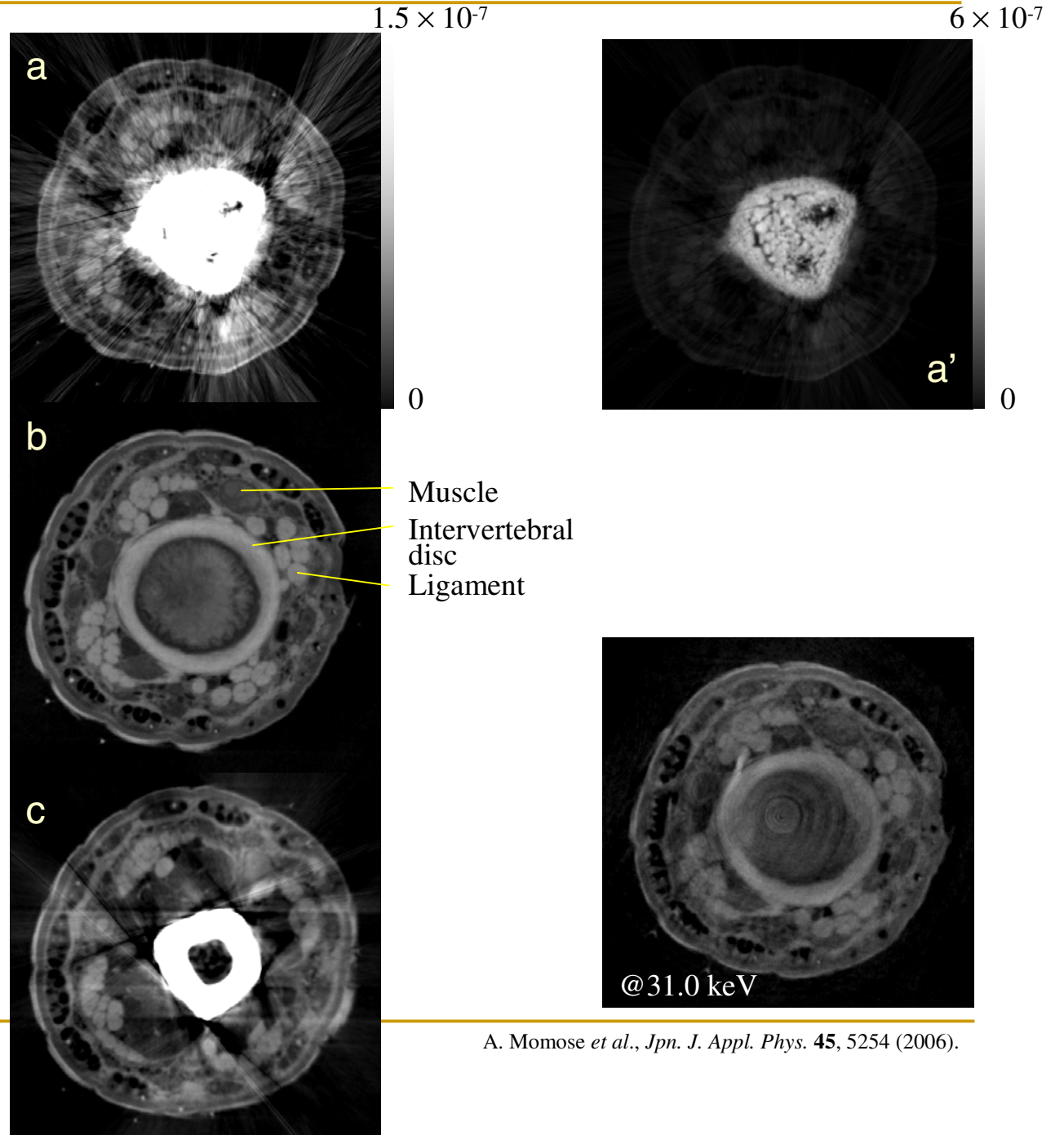
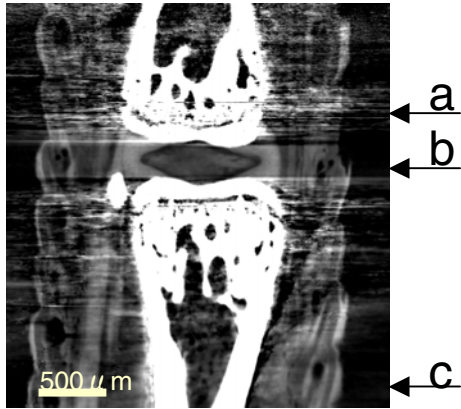
SPring-8, BL20XU  
@ 12.4 keV



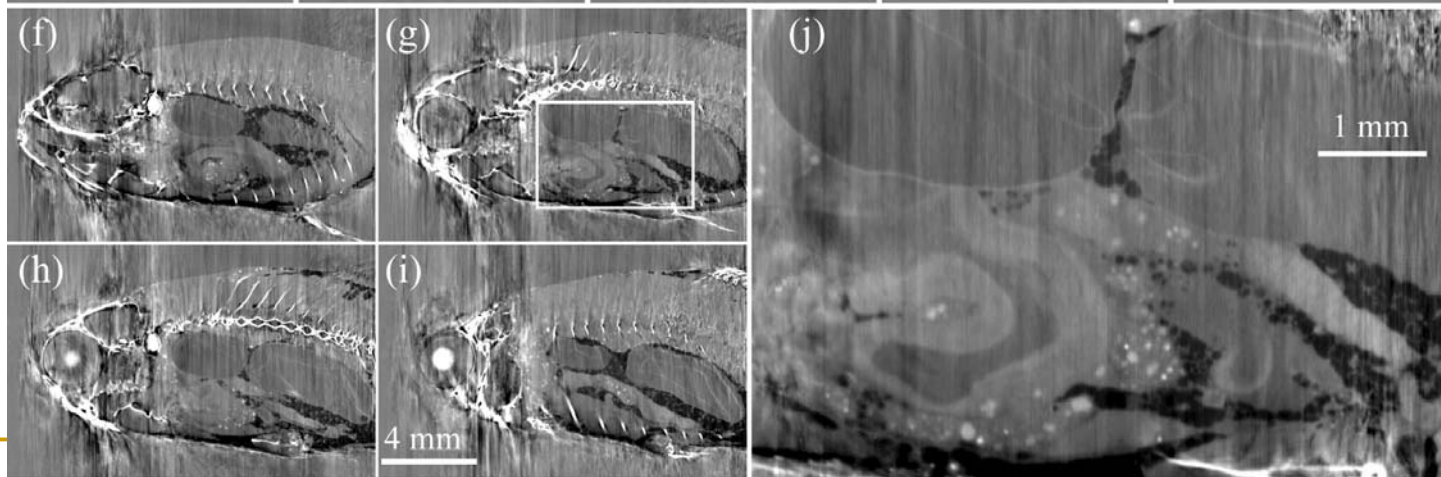
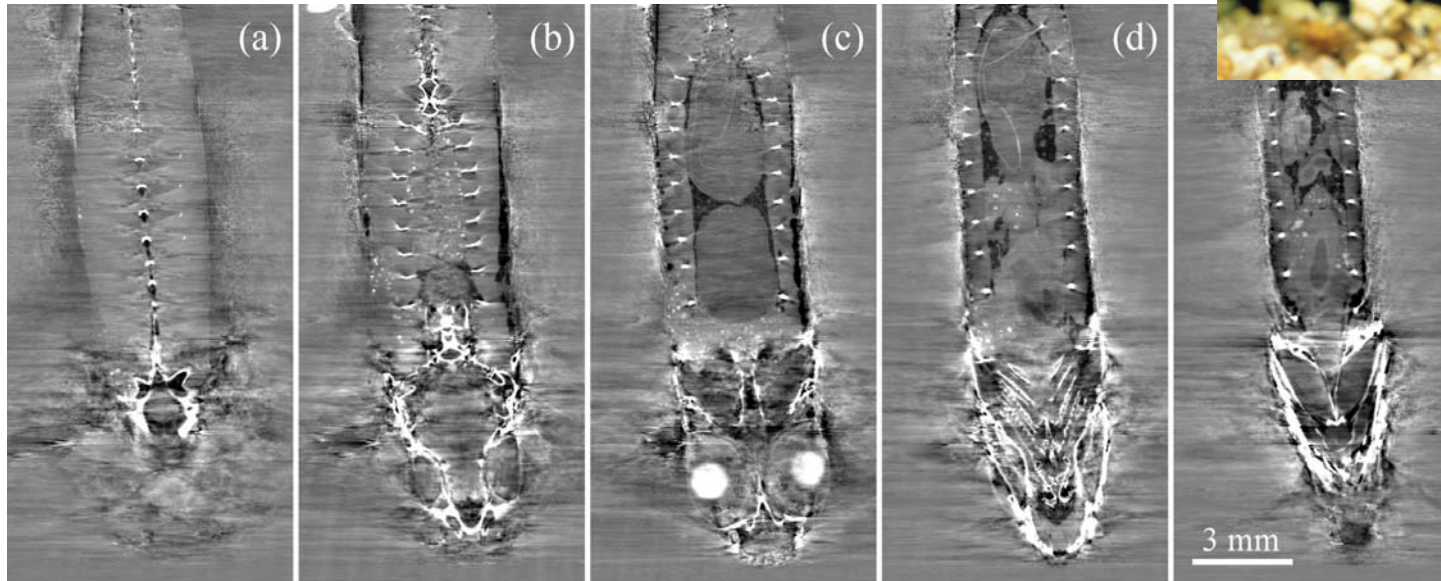
0 屈折率差  $9.0 \times 10^{-8}$

# マウス尻尾

SPring-8, BL20XU  
@17.7 keV



# 觀賞魚 (*Hasemania nana*)

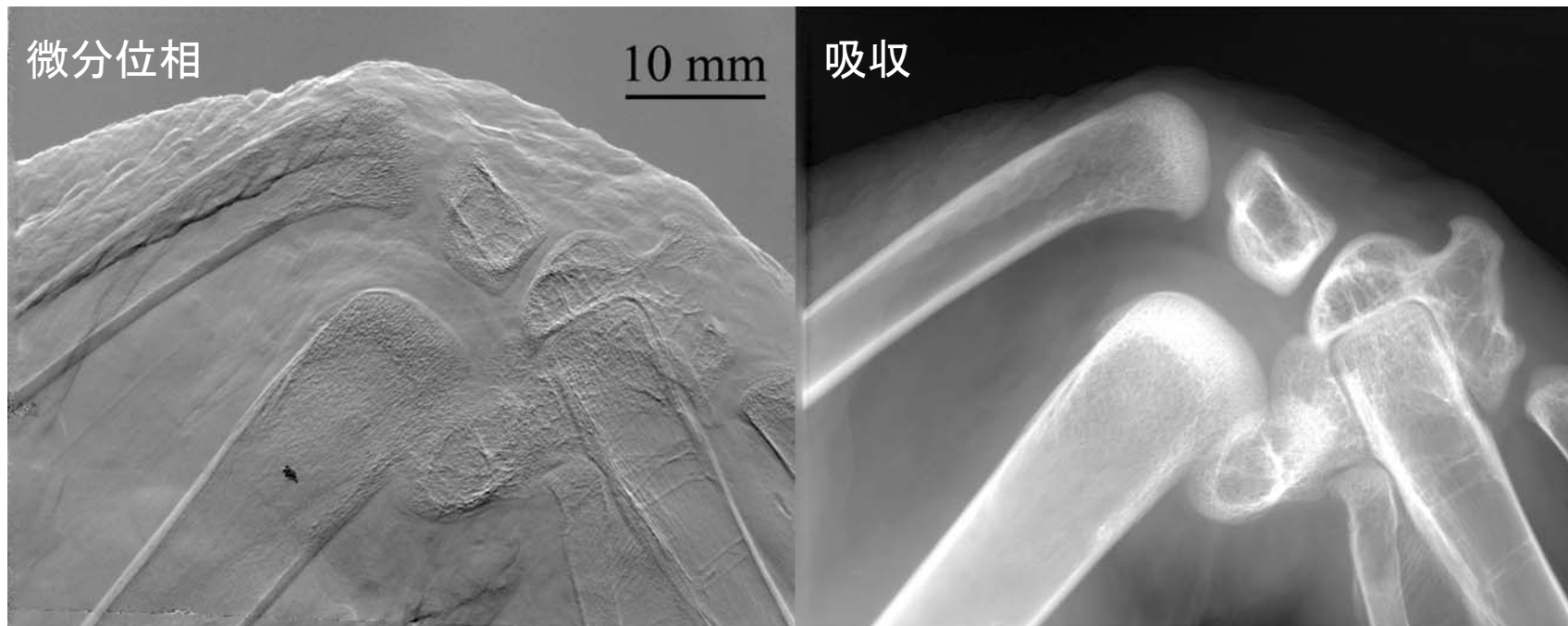


$1 \times 10^{-7}$

$-1 \times 10^{-7}$

SPring-8,  
BL20B2  
@17.7 keV

## 手羽



KEK-PF,  
BL-14C1  
@27.6 keV

# X線タルボ干渉計の利点

- コーンビームが使用可能
- 準単色X線 ( $\Delta E/E < 0.1$ ) が使用可能
- 大きい回折格子が製作できれば、大視野化が可能
- 位相トモグラフィによる三次元観察が可能



コンパクトなX線源との組合せ

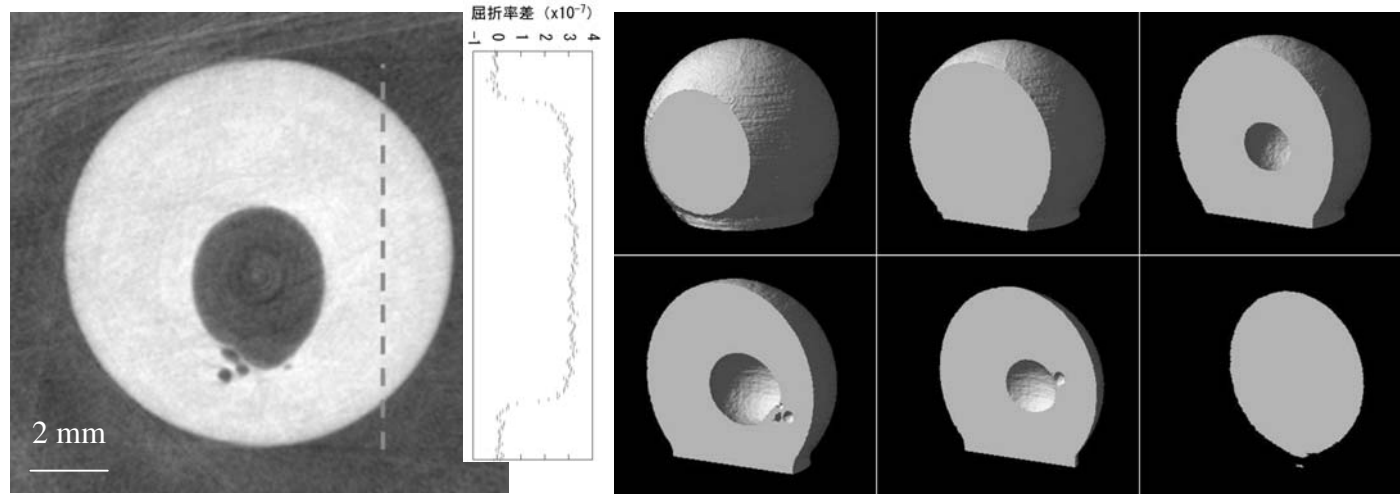
# マイクロフォーカスX線源による位相イメージング

## ポリプロピレン球

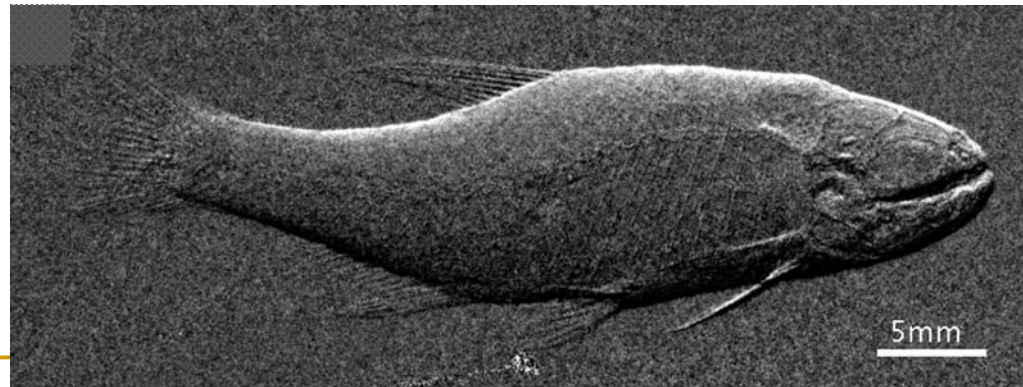
浜松ホトニクス、L9181S



ターゲット: W  
120  $\mu$ A/50 kV  
焦点サイズ: 5  $\mu$ m



## 小魚 (*Hasemania nana*)

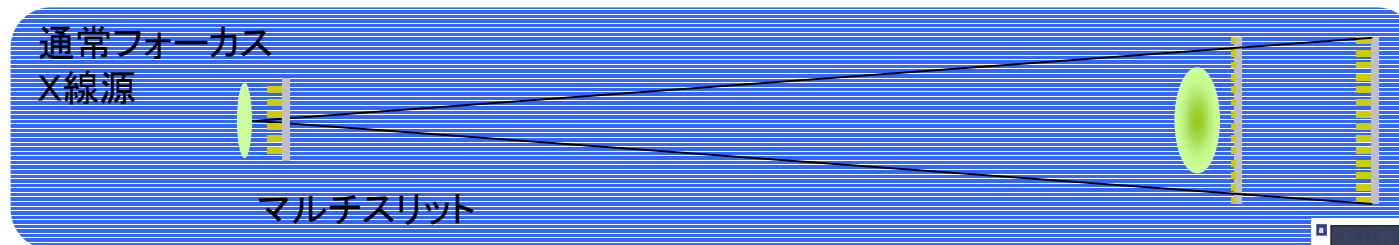


# 空間的干渉性の要請

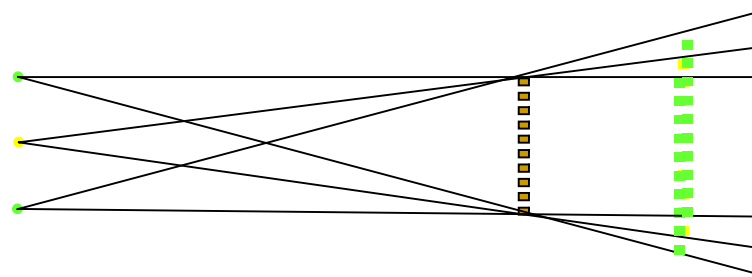
X線タルボ干涉計 可干渉距離 > 格子ピッチ

X線タルボ・ロー干涉計 任意のX線源で機能する

コヒーレンスフィルター機能



各スリットを通るX線が形成する像が強めあうようにマルチスリットの間隔を決める。



F. Pfeiffer et al., *Nat. Phys.* 2 (2006) 258.

