

波の性質を利用した X線イメージング

財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門
八木直人

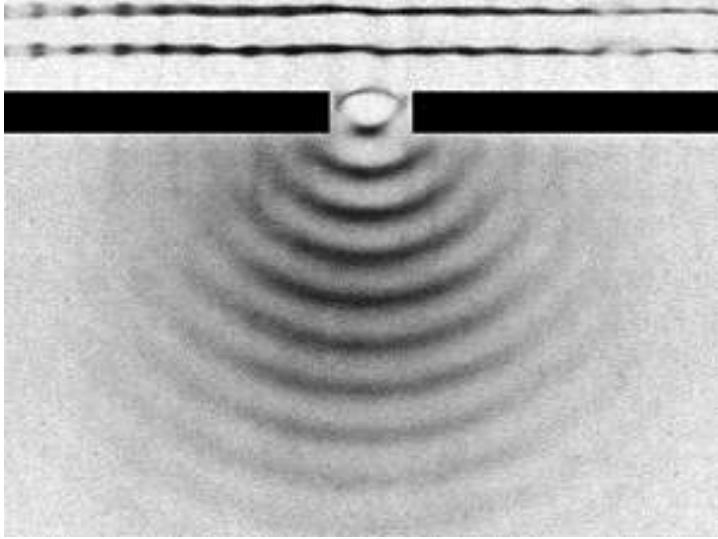
X線の波としての性質を利用した イメージング

- 波の性質について
- 屈折コントラストイメージング
- 位相差CT

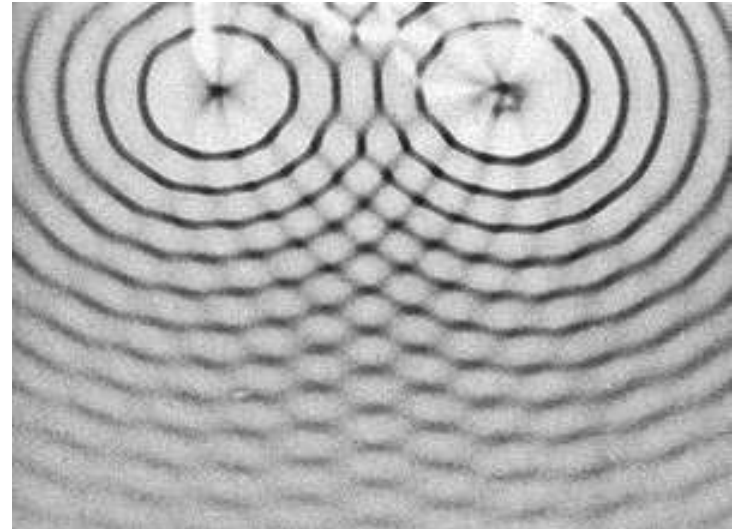
X線は波である

- X線は電磁波
- 粒子性・・・光子(フォトン)という概念
伝搬中・・・電磁波
相互作用・・・粒子
- 「回折」は、波の伝搬の性質

波の干渉

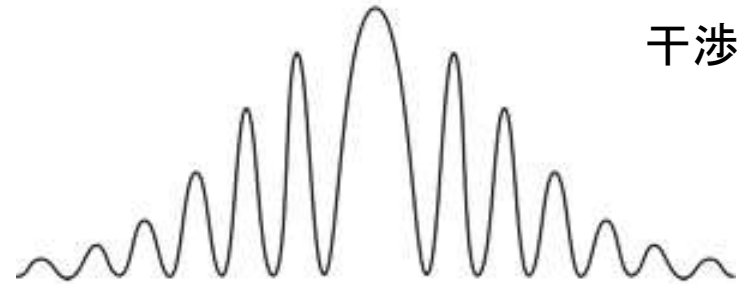


回折



干渉

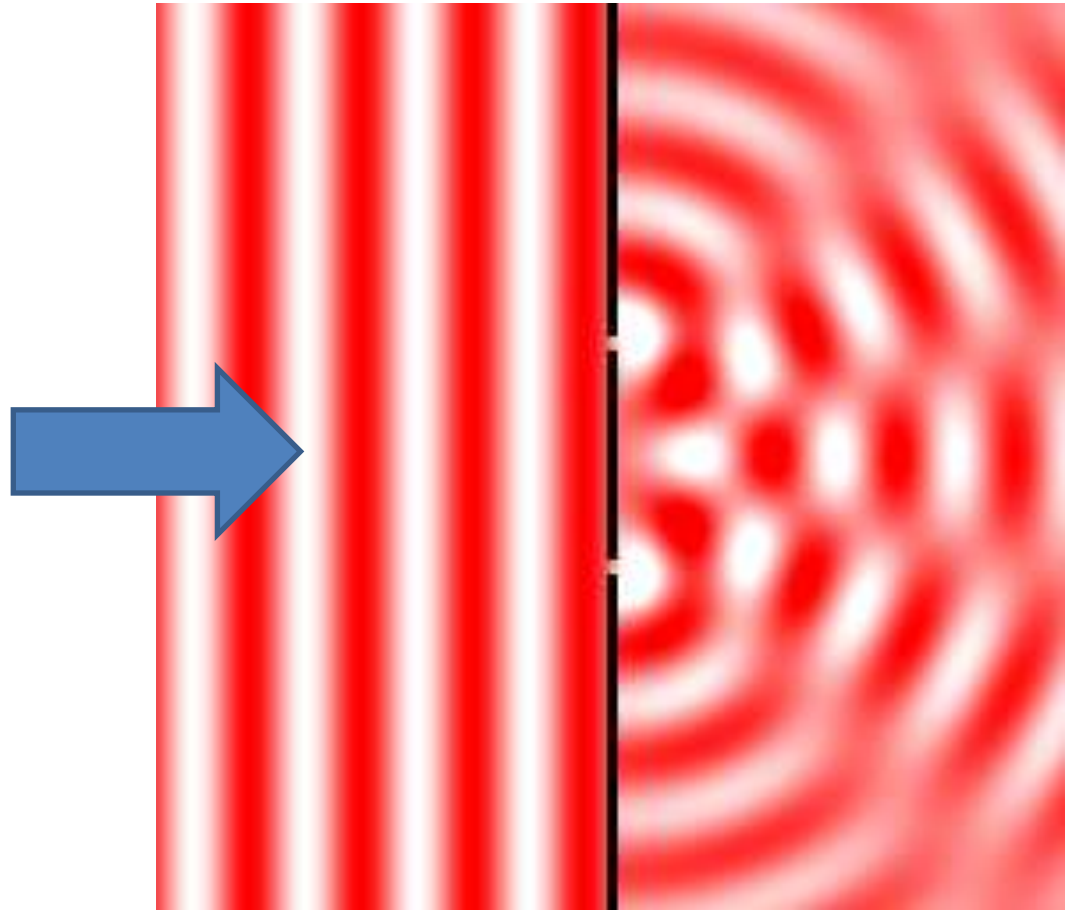
ホイヘンス=フレ
ネルの原理



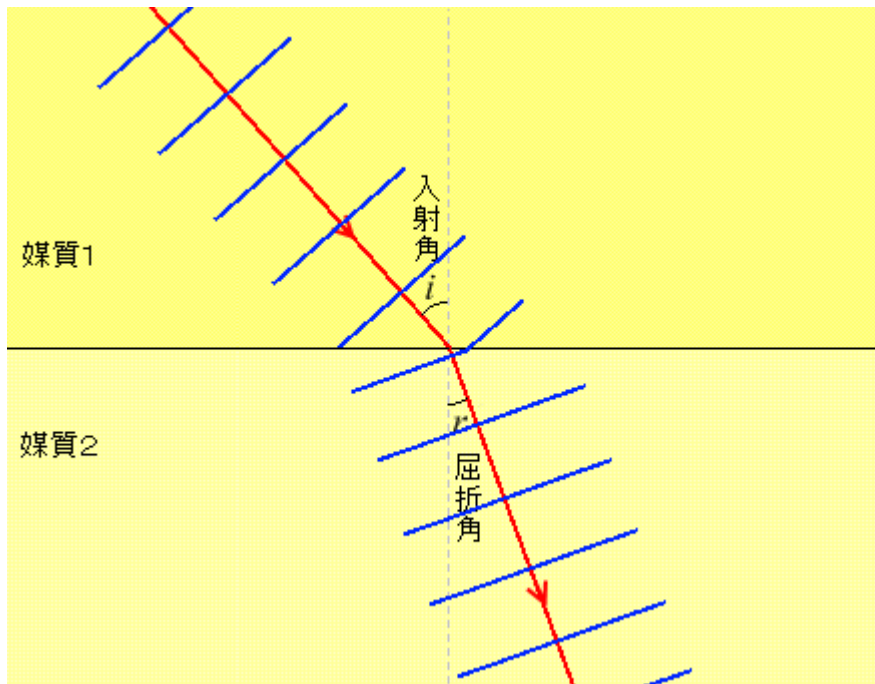
波は干渉して、振幅の大きなところと小さなところが作られる。

2つのスリットによる回折

平面波
完全に平行な波・・・
無限遠にある点光源からの波
↑
放射光はこれに近い



波の屈折



Snellの法則

$$\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{v_A}{v_B}$$

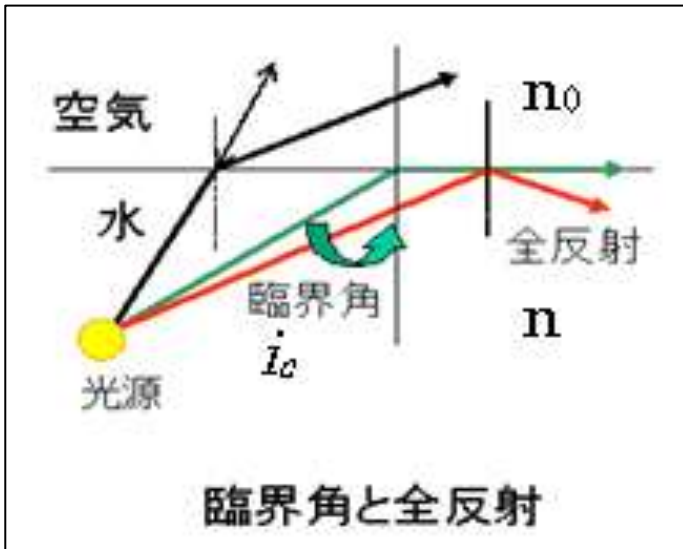
屈折と回折は、同じ原理に基づく。
「位相イメージング」

X線集光ミラー



屈折率 $n = c/v$
 c は真空中の光速
 v は物質中の光速

Siまたは石英(集光用に
少し曲がっている)

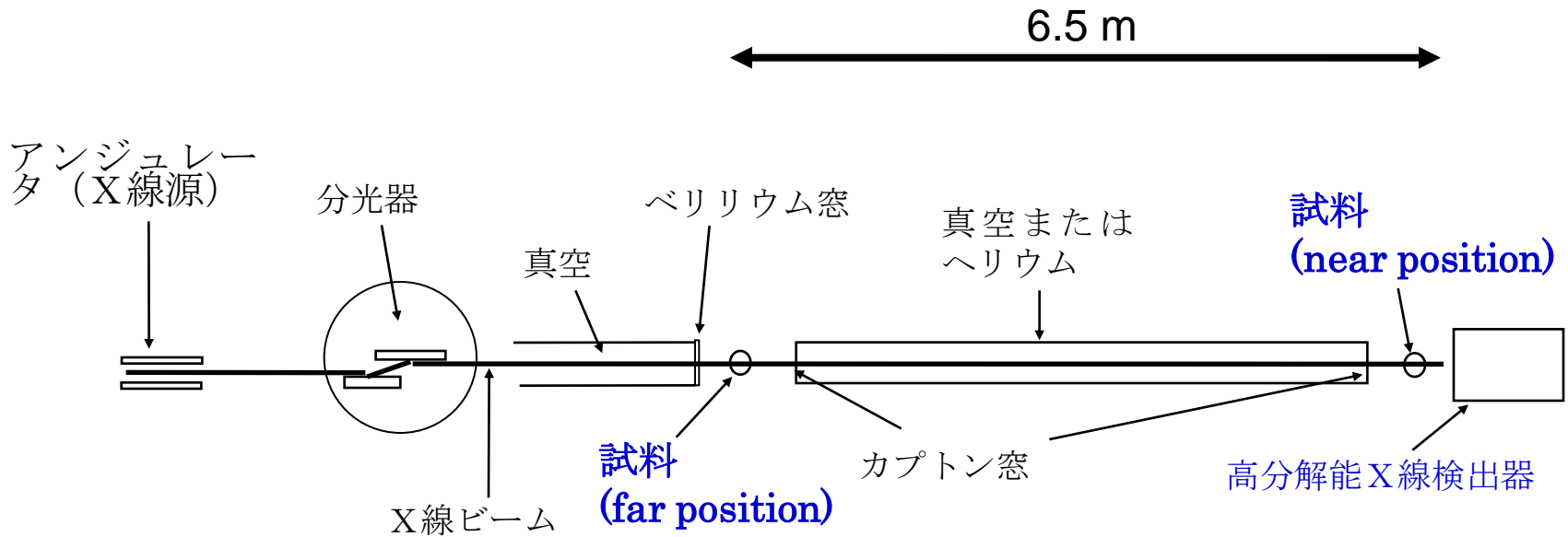


X線の全反射は、X線が物質に入るときに生じている。光とは逆の方向・・・屈折率が1より小さい(物質中のほうが速い)。屈折も、光とは逆の方向に生じる。

X線の波としての性質を利用した イメージング

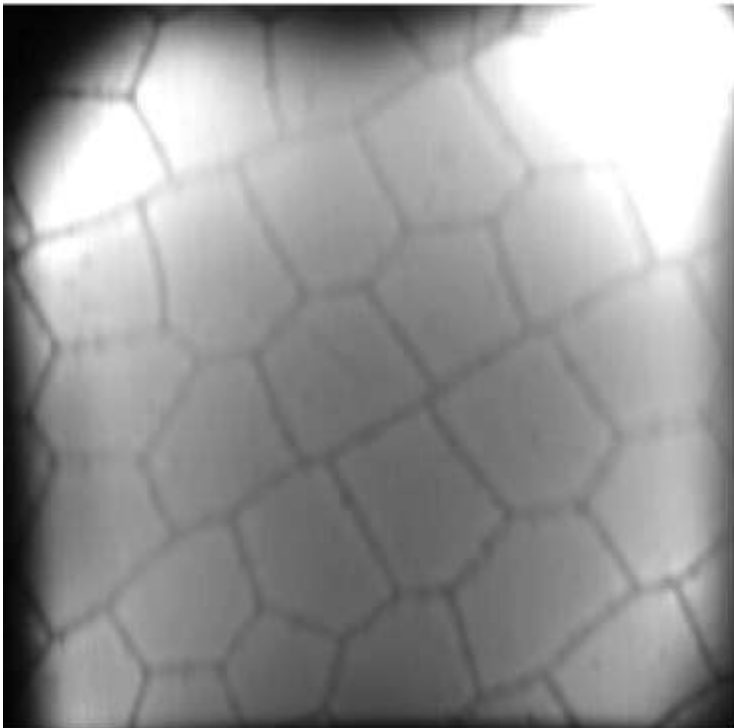
- 波の性質について
- **屈折コントラストイメージング**
- 位相差CT

SPring-8におけるイメージング実験 X線の屈折

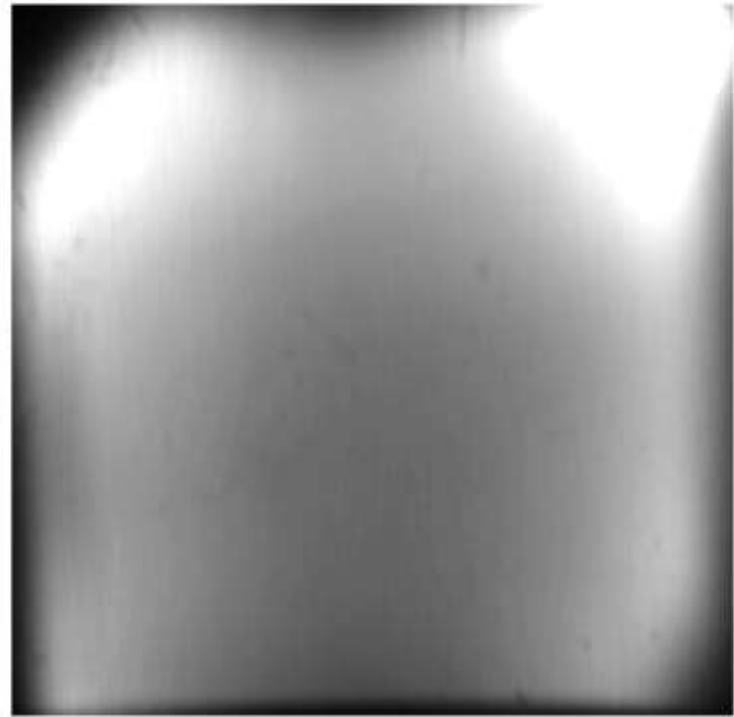


トンボの羽

far



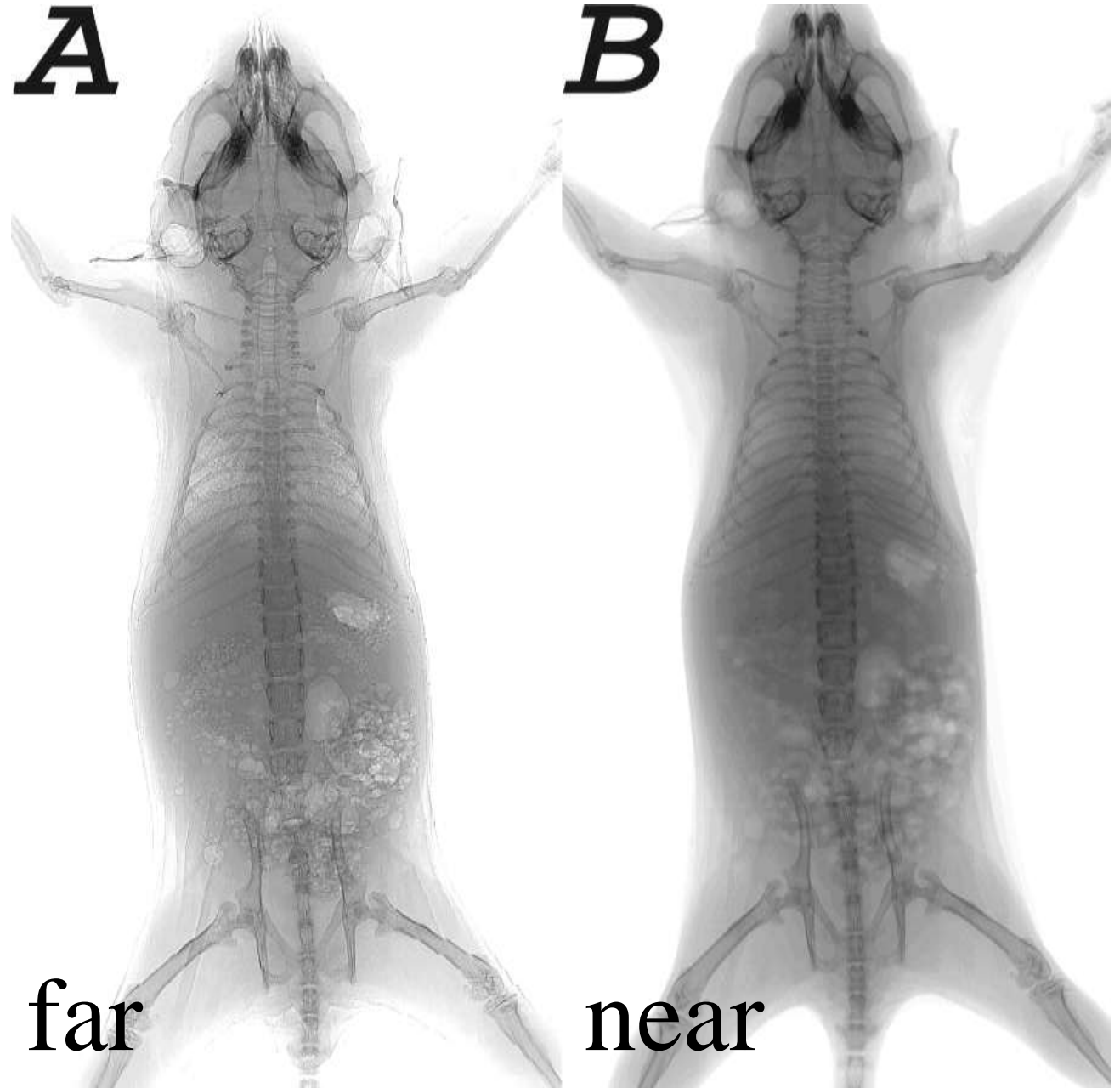
near



0.5mm

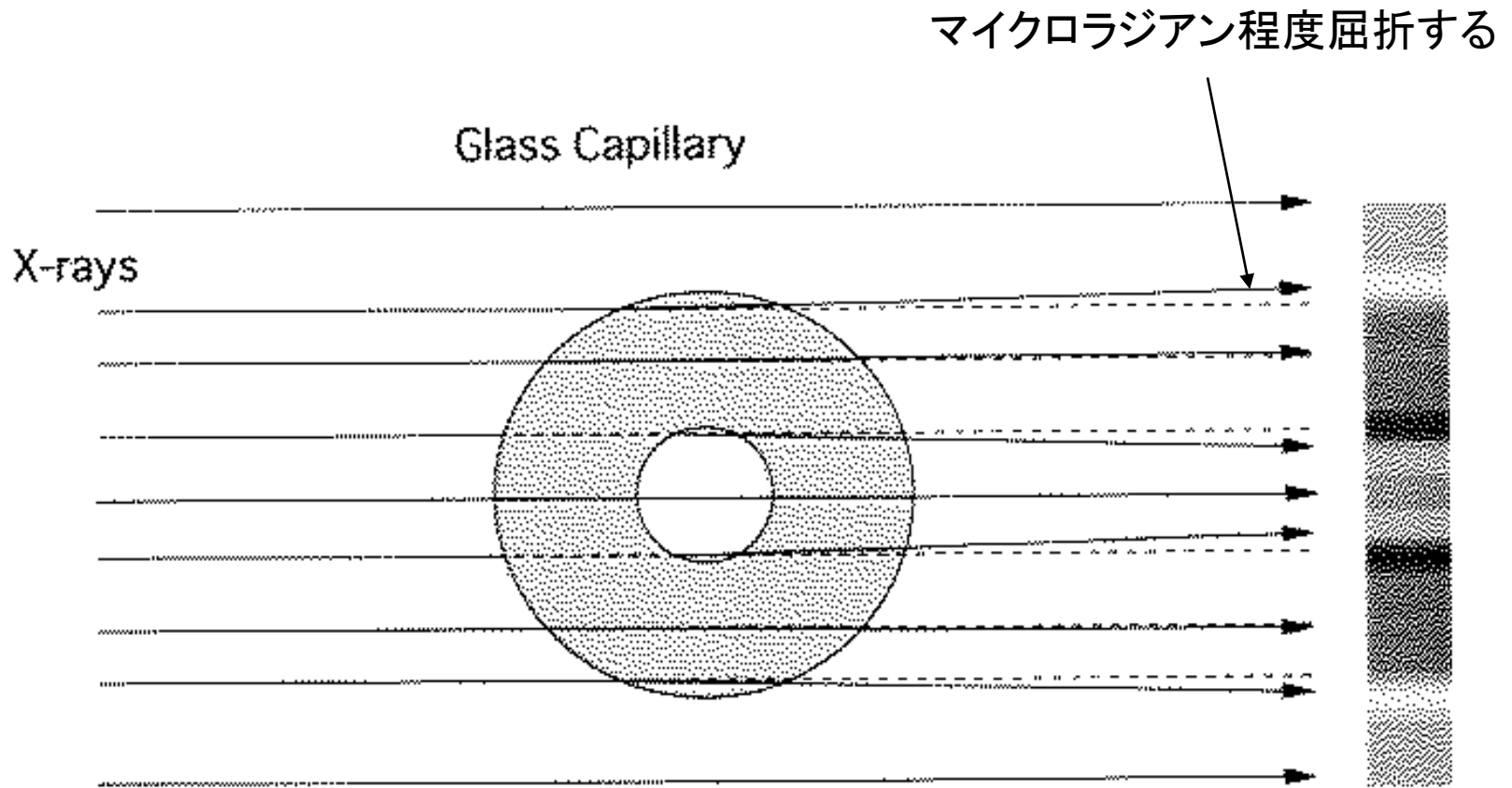


ヌード マウス



Yagi et al.
Med. Phys.
(1999)

ガラス管によるX線の屈折



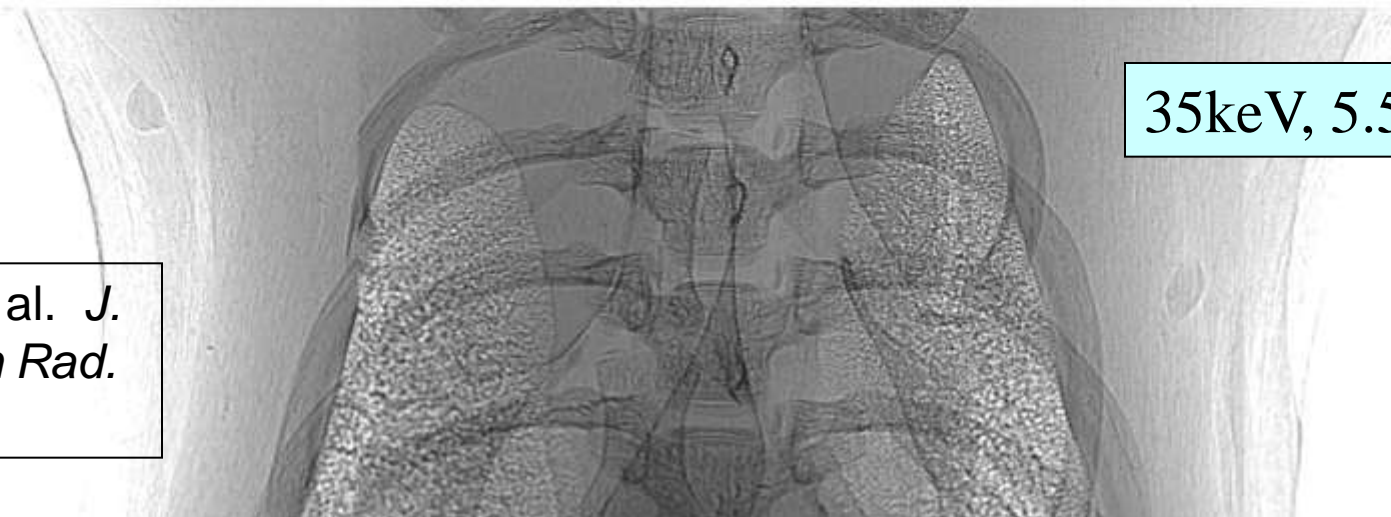
ヘアレスラット

A



35keV, contact

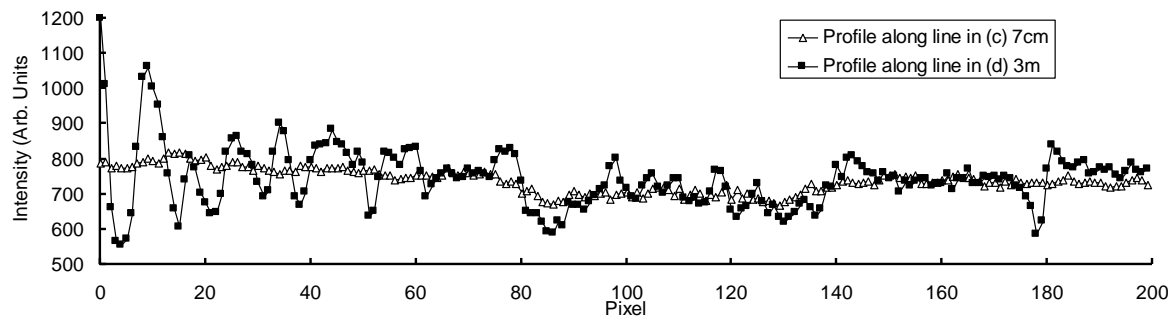
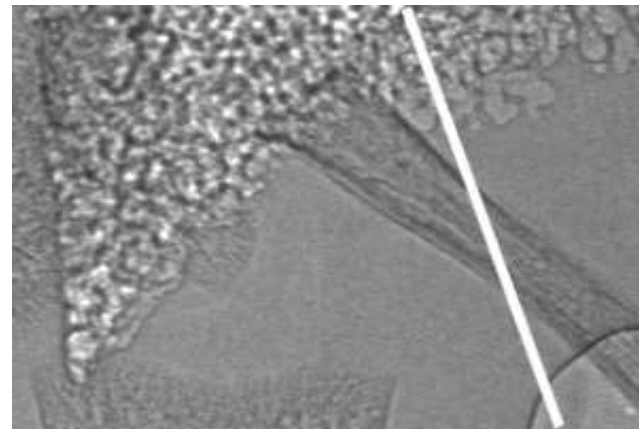
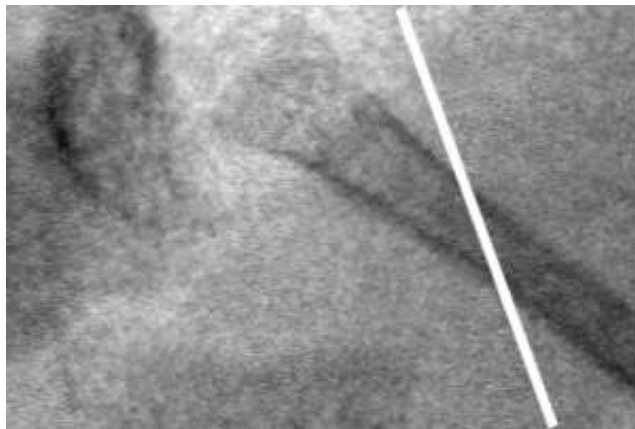
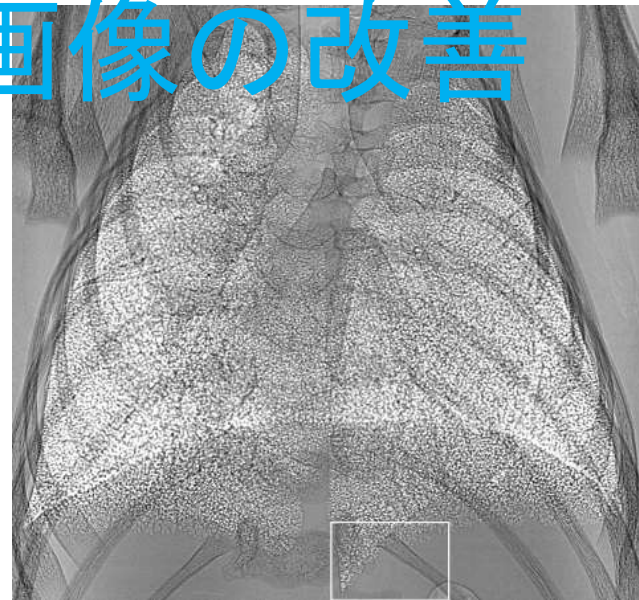
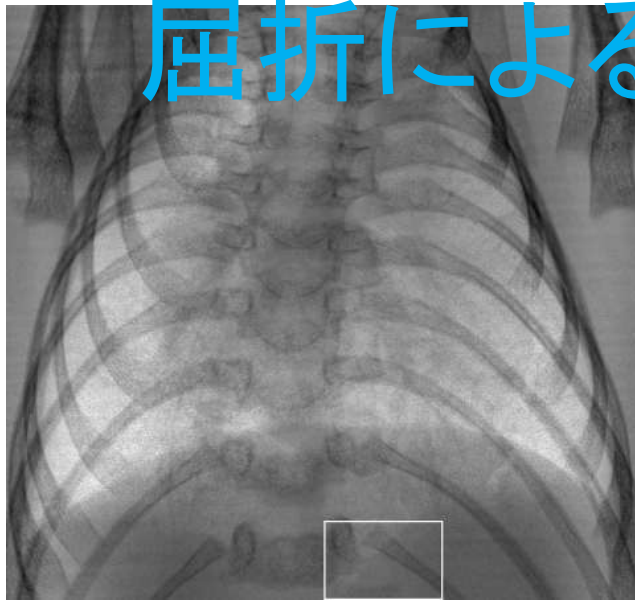
B



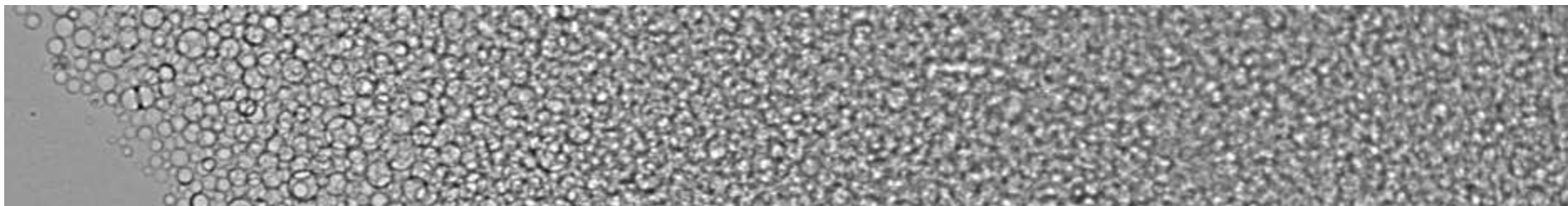
35keV, 5.5m

Y. Suzuki et al. *J. Synchrotron Rad.*
(2002)

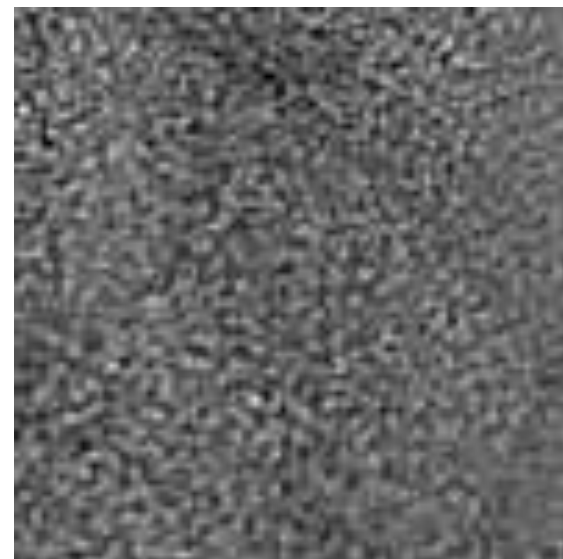
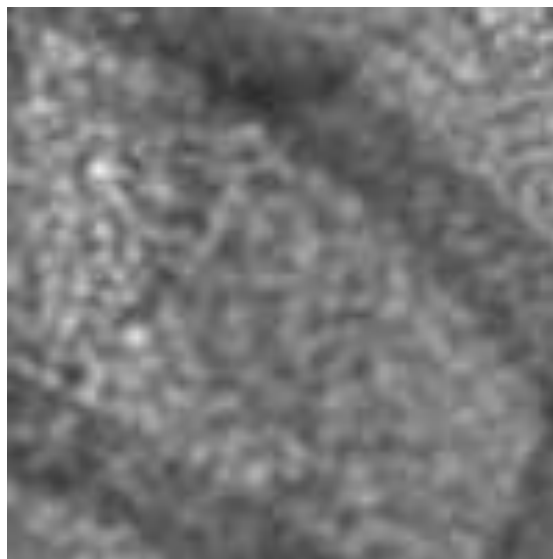
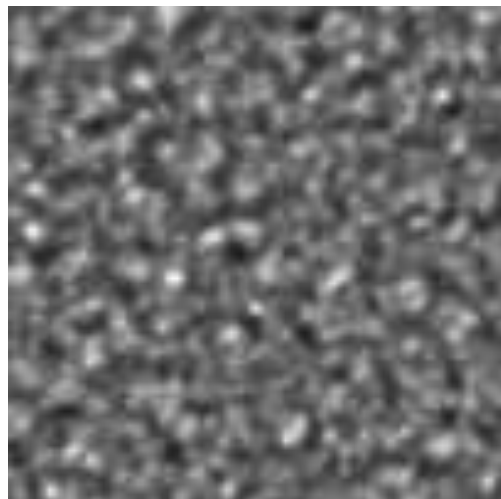
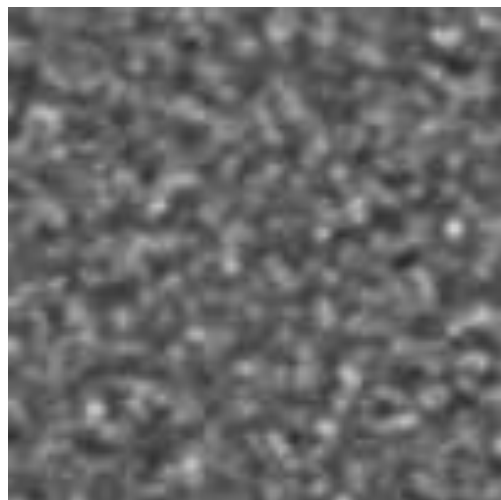
屈折による画像の改善



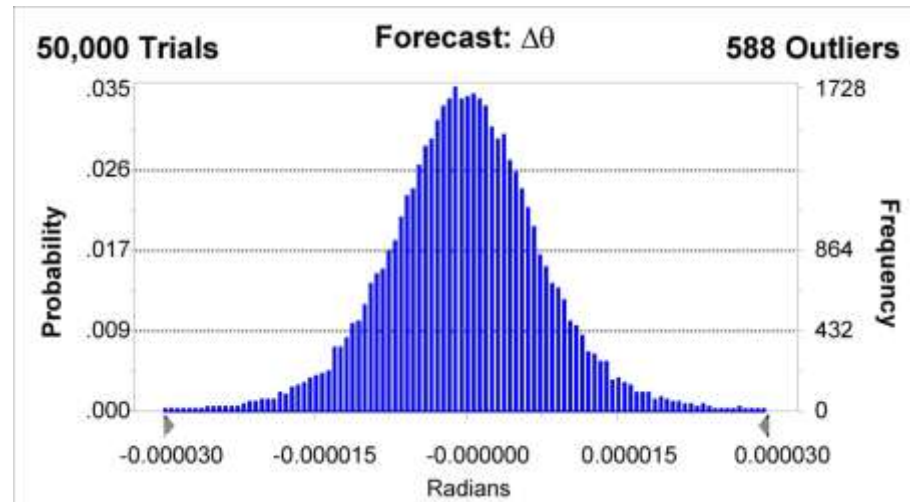
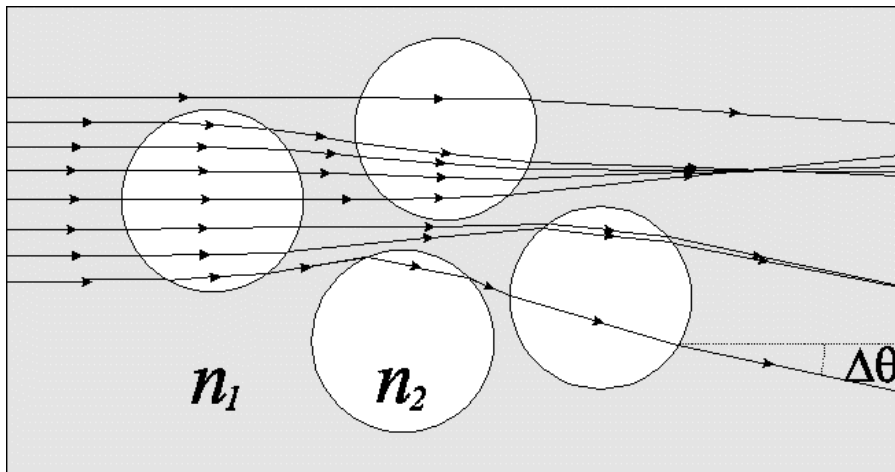
R. Lewis et al. *Phys. Biol. Med.* (1975)



スペックル画像生成 の物理的考察

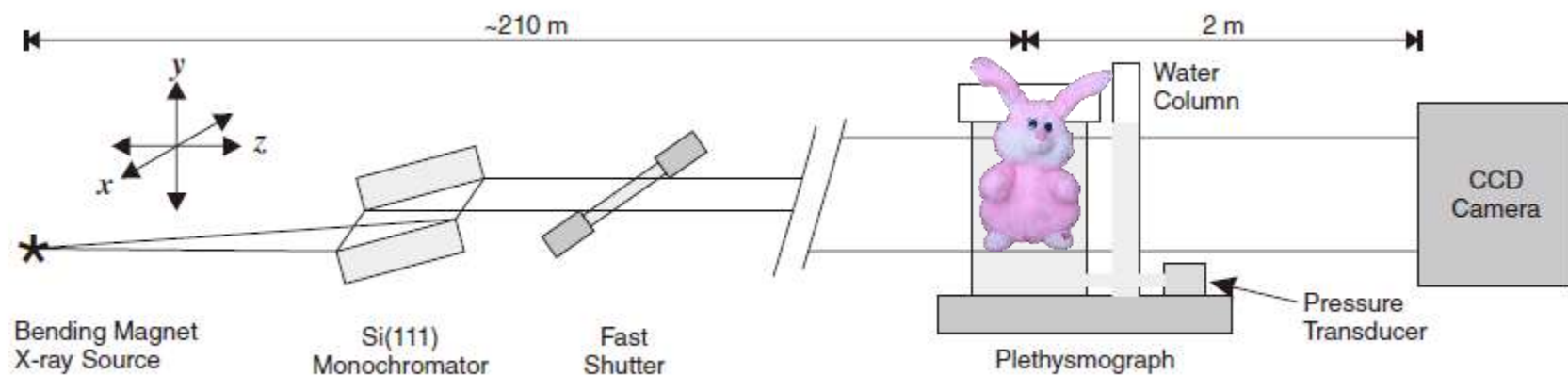


シミュレーション

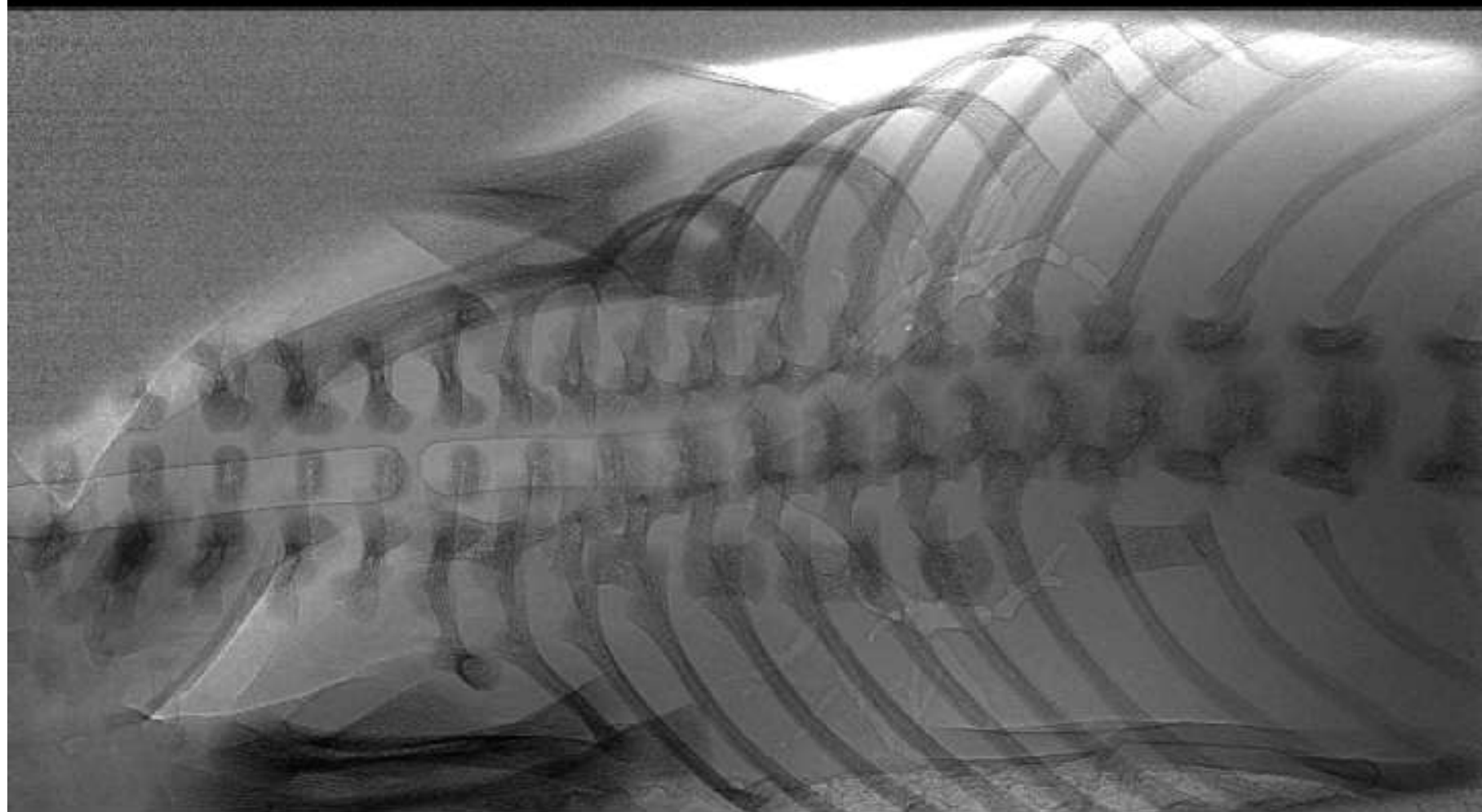


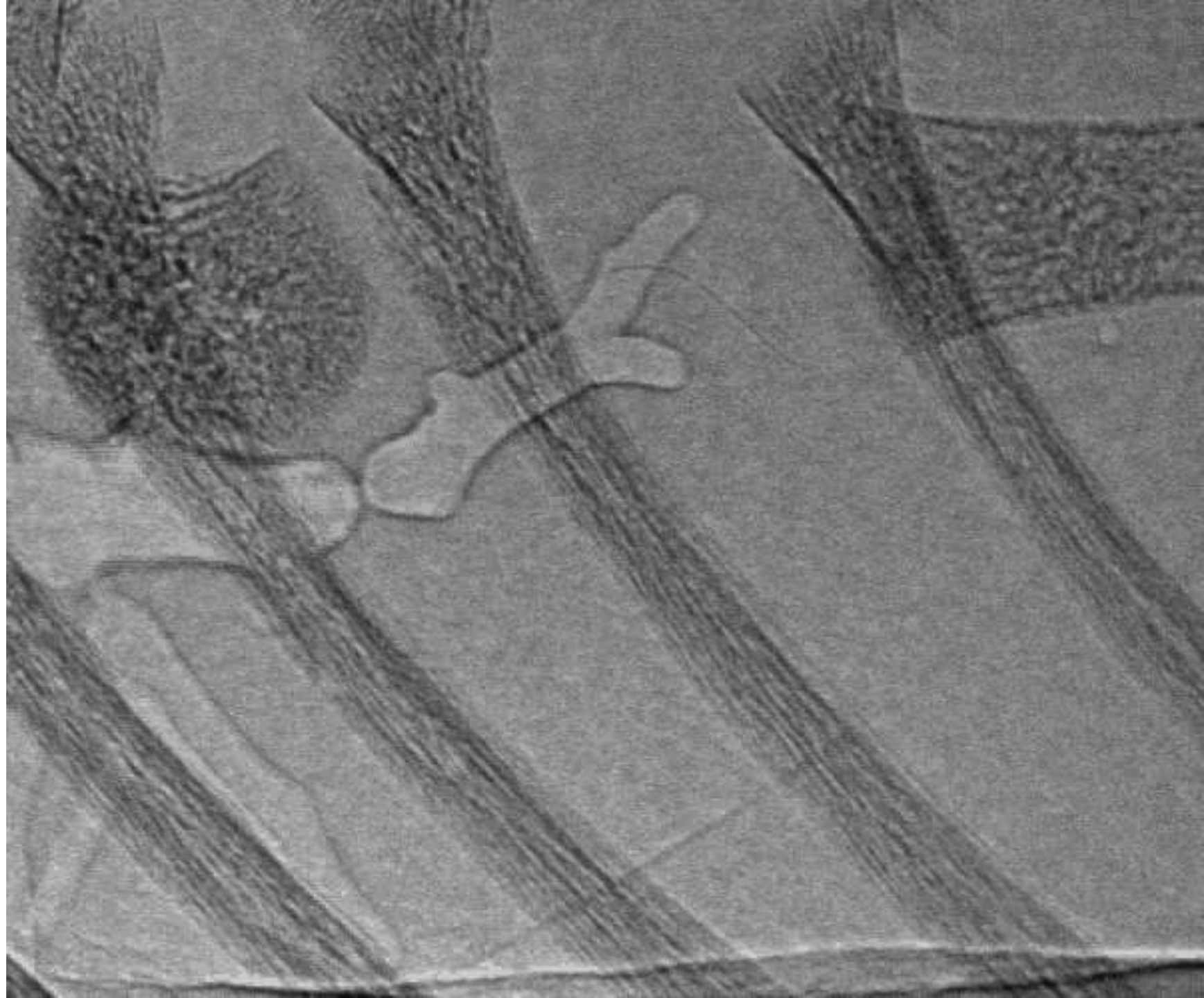
M. J. Kitchen et al. *Phys. Med. Biol.*
(2004)

ウサギ新生児における肺への 空気の導入過程の観察



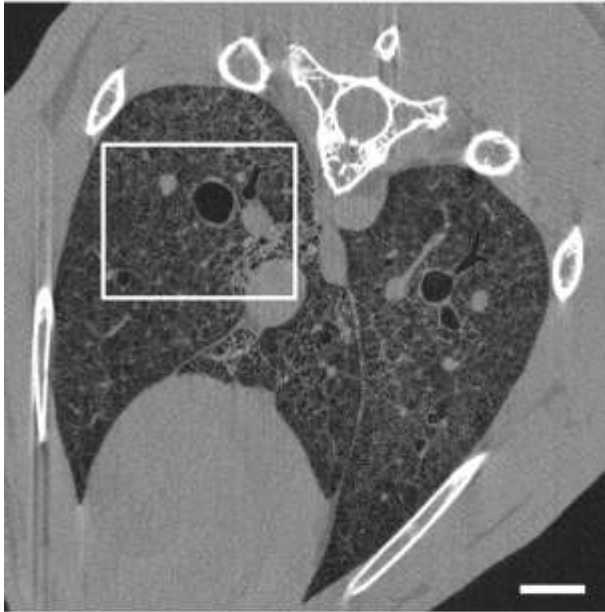
BL20B2@SPring-8



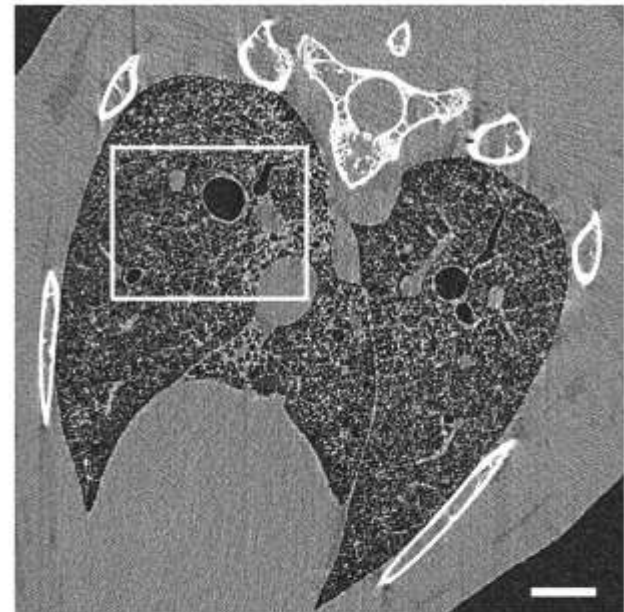


屈折コントラストCT

(a)



(b)



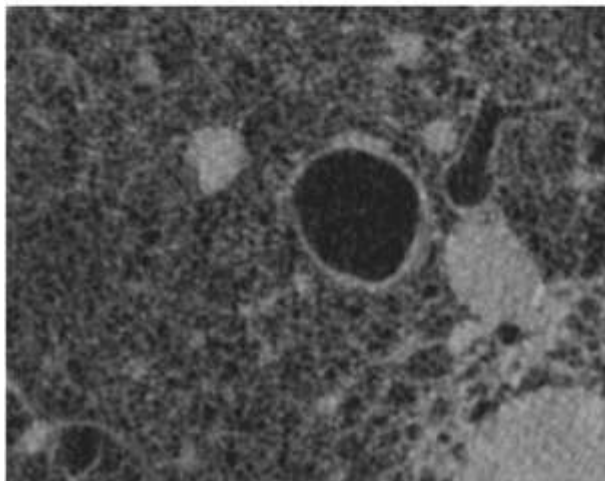
ウサギ肺

near

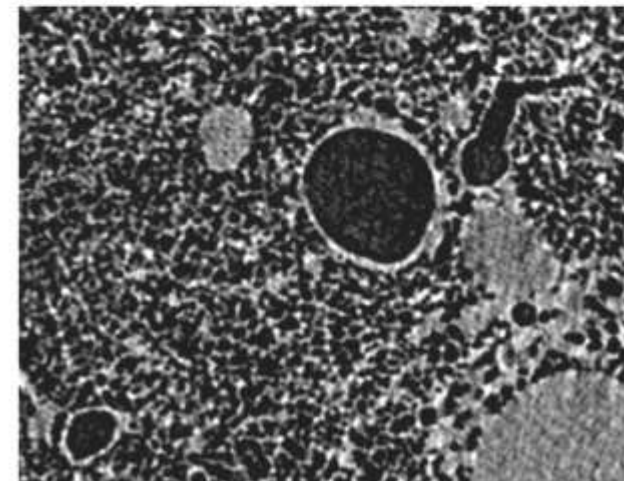
far

5mm

(c)



(d)

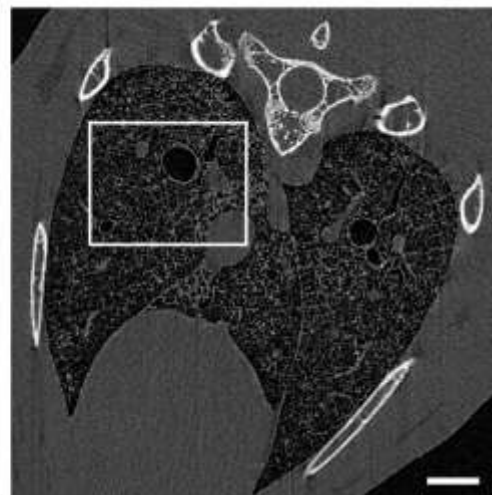
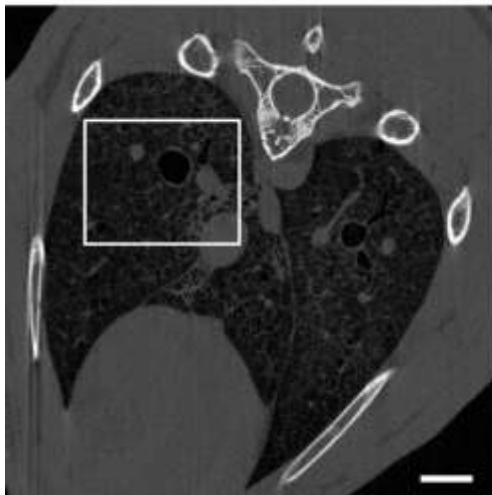
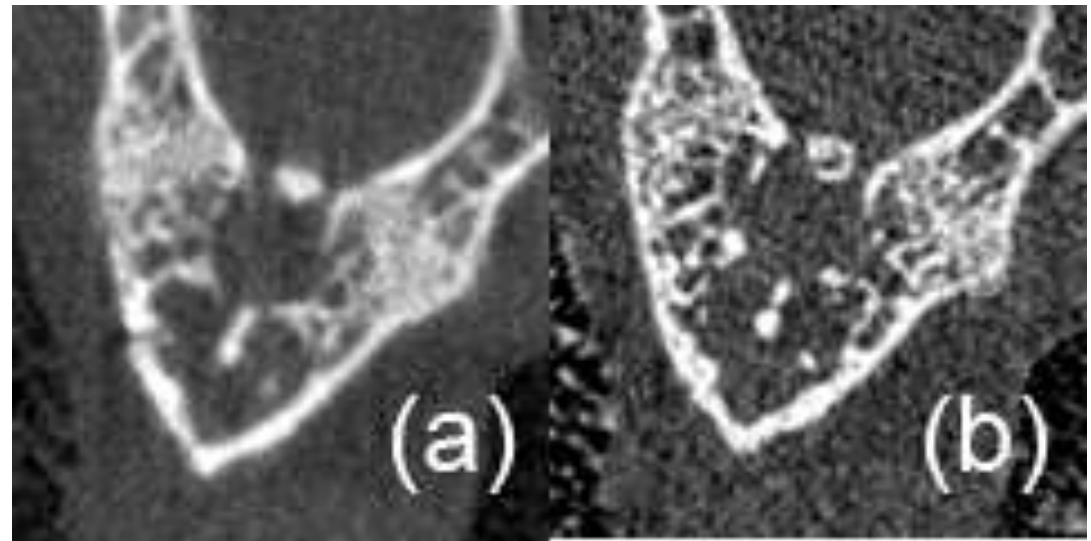


低分解能、厚
い試料でも屈
折効果見られ
る

Sera et al.,
Eur. J. Radiol.
(2008)

2.5mm

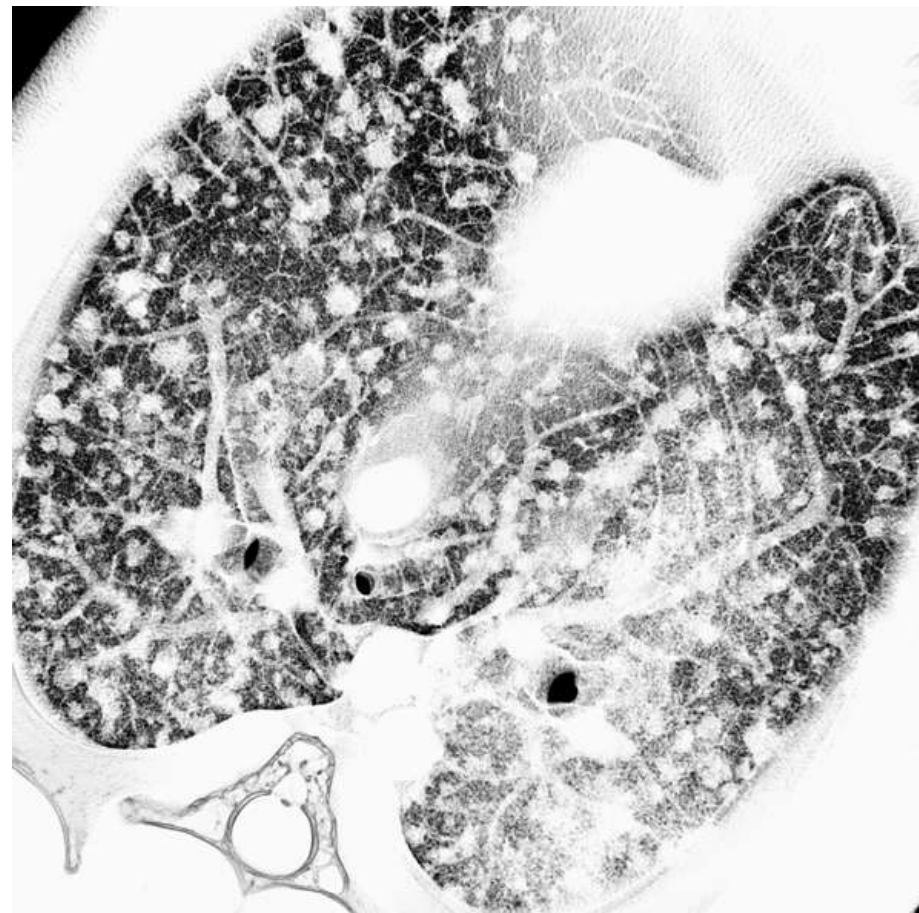
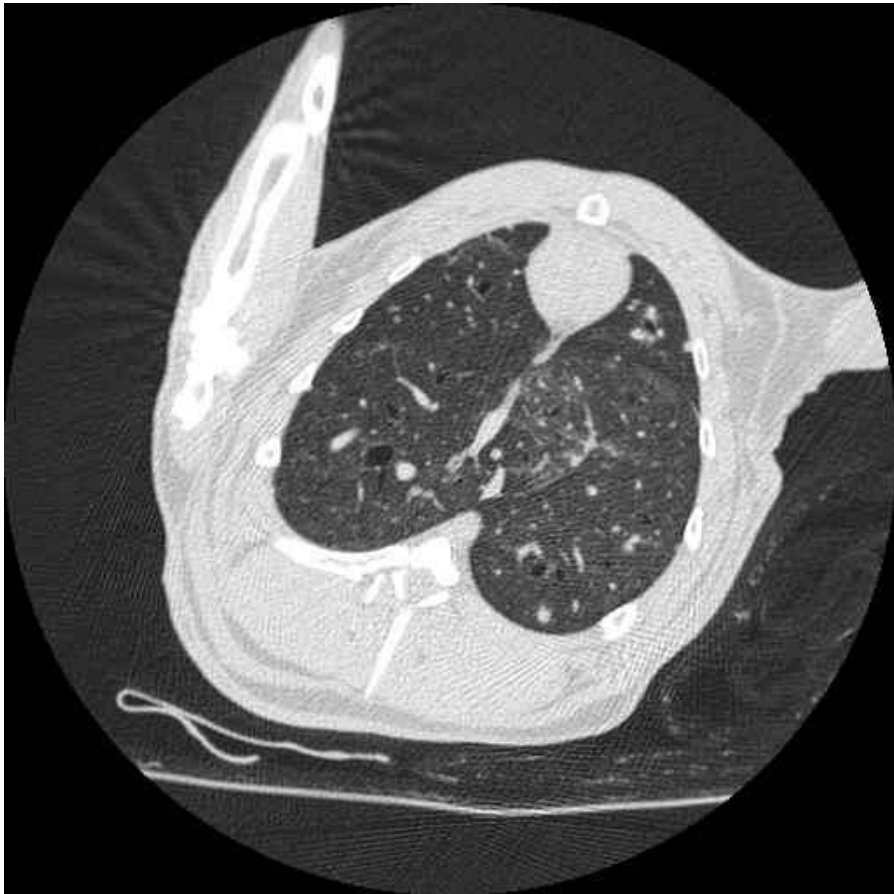
屈折による見かけ上の分解能向上



Sera, Uesugi & Yagi. *Med. Phys.* (2005)

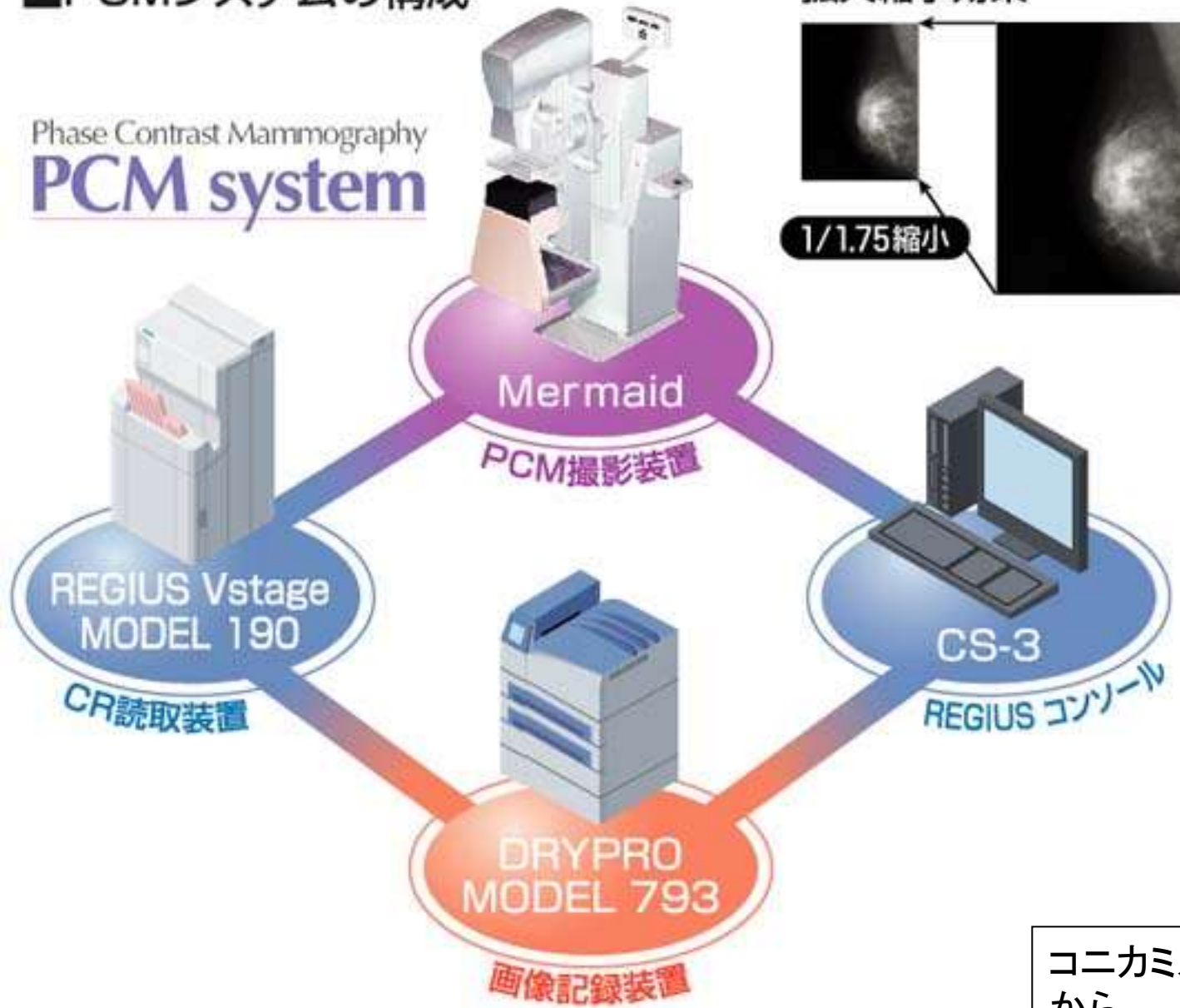
Sera, Uesugi & Yagi. *Eur. J. Radiol.* (2008)

臨床用CTとの比較



■PCMシステムの構成

Phase Contrast Mammography
PCM system



光源は微焦点
(100ミクロン)

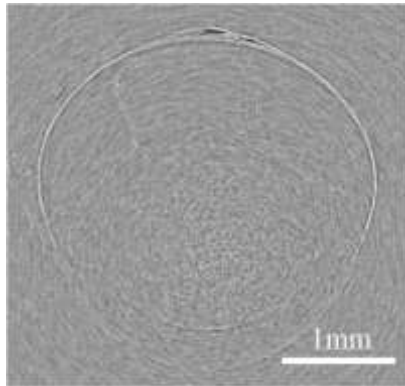
光源から被写体、被写体から
イメージングプレートまでの距離を大きく取る

コニカミノルタエムジー資料
から

X線の波としての性質を利用した イメージング

- 波の性質について
- 屈折コントラストイメージング
- **位相差CT**

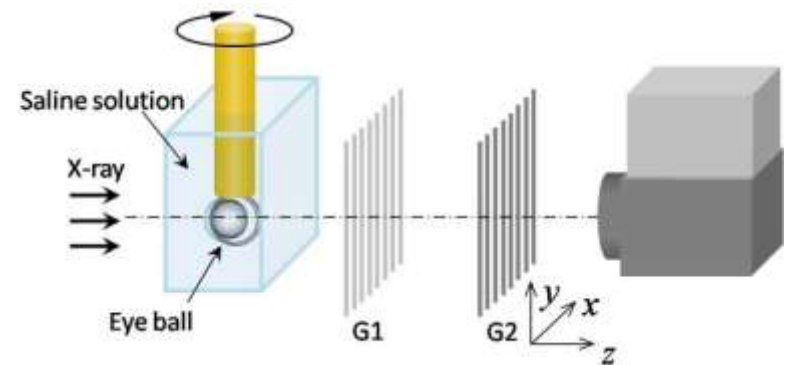
位相差イメージング



研究例：目の水晶体

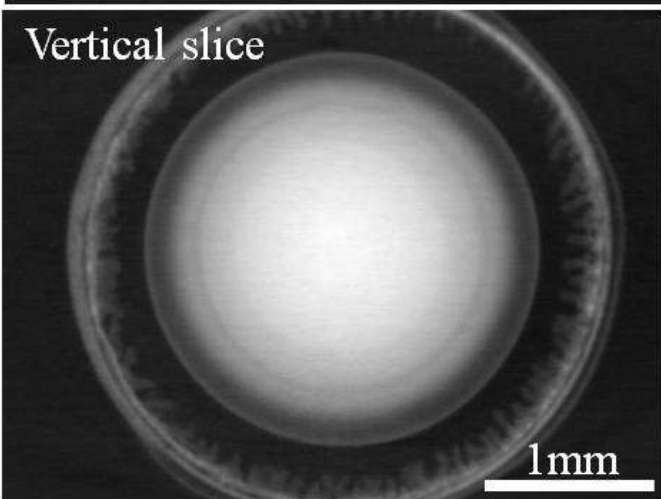
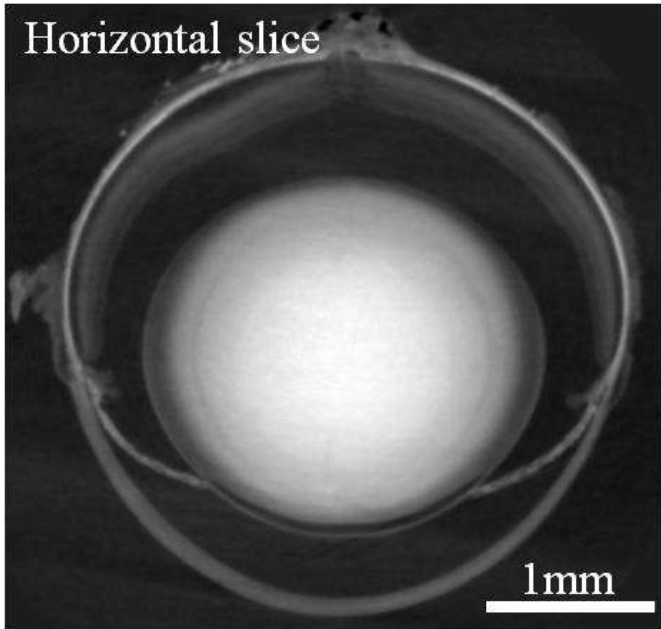
X線の吸収が少なく、一般のCTではコントラストが付きにくい

Hoshino et al., *PLoS ONE* (2011).

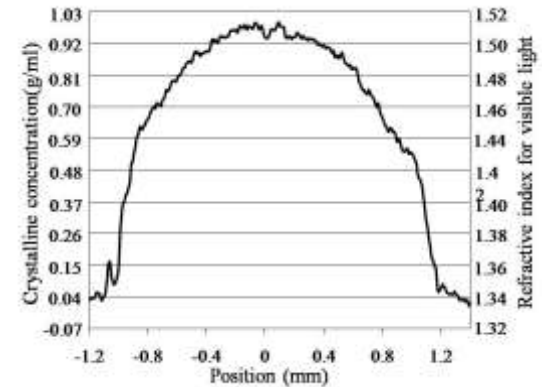


回折格子型干渉計(タルボ型)

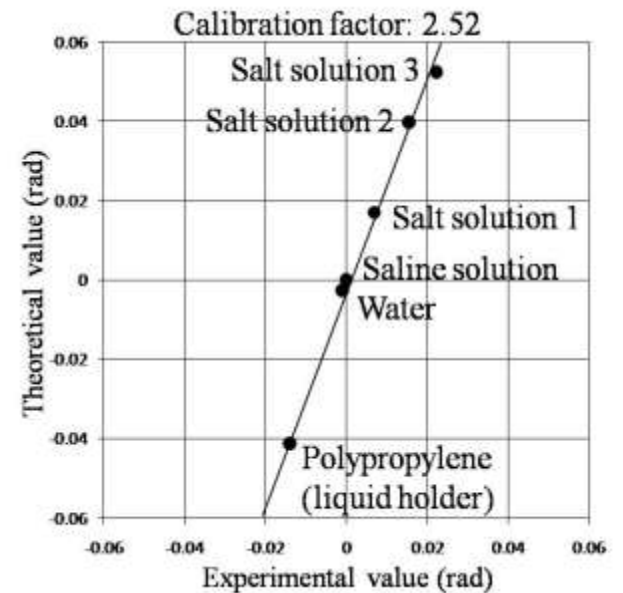
マウス眼球



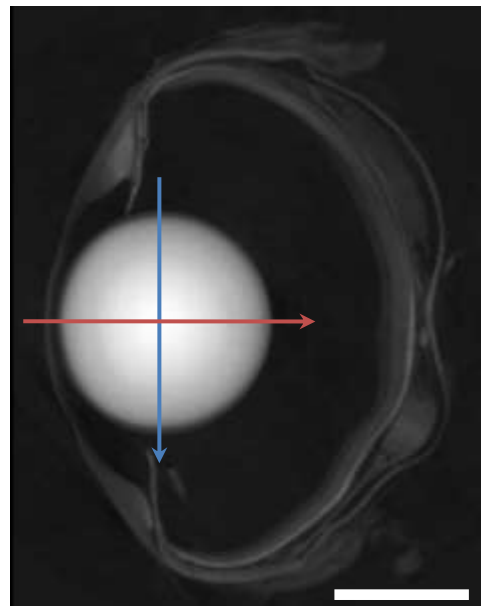
断面の屈折率分布



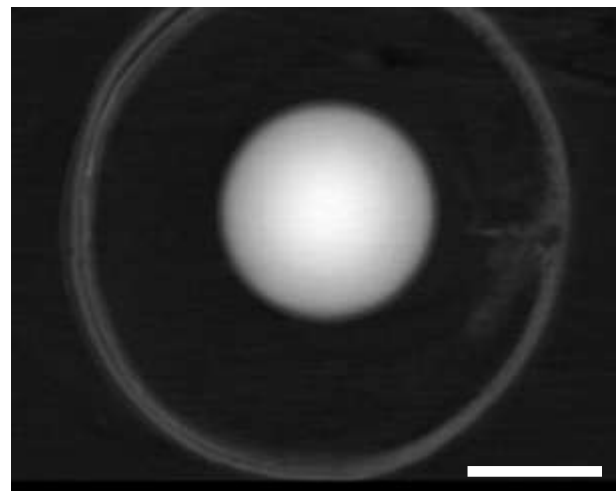
キャリブレーション



金魚

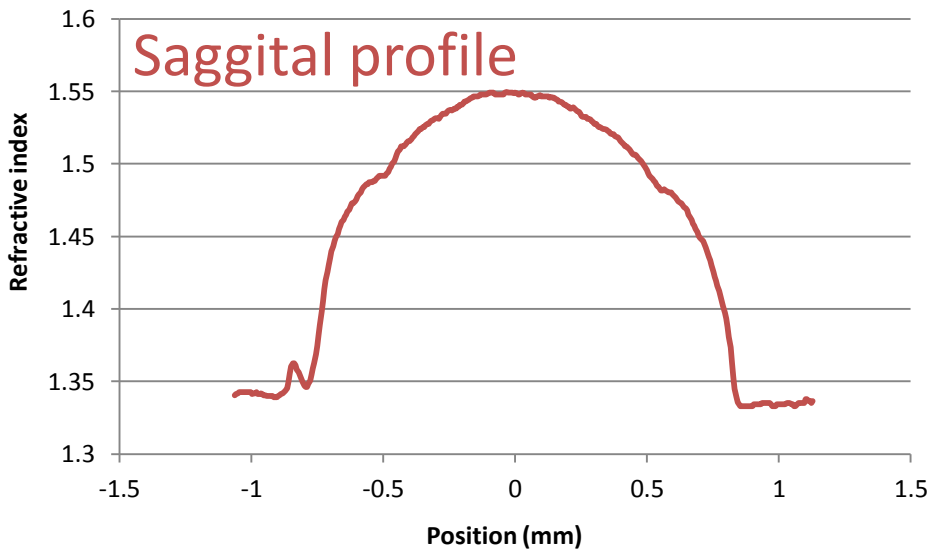
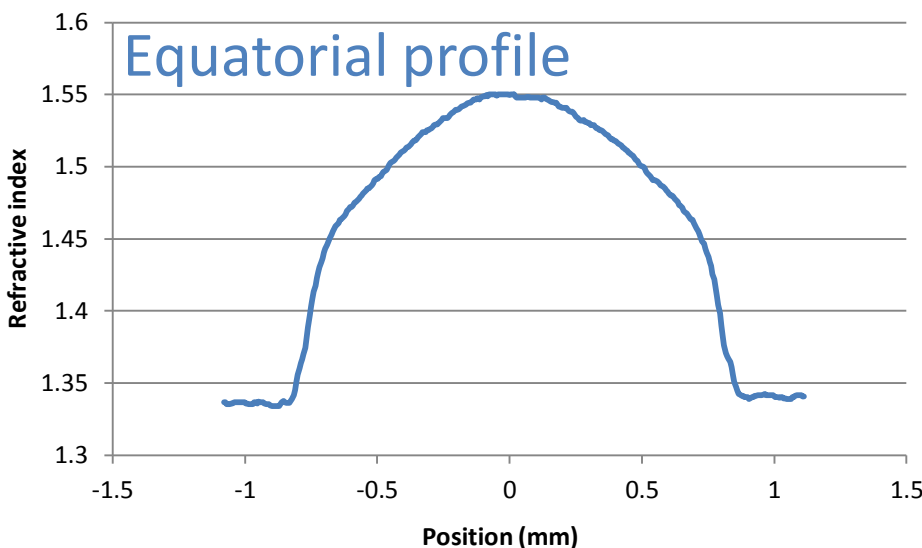


Sectional image including optical axis

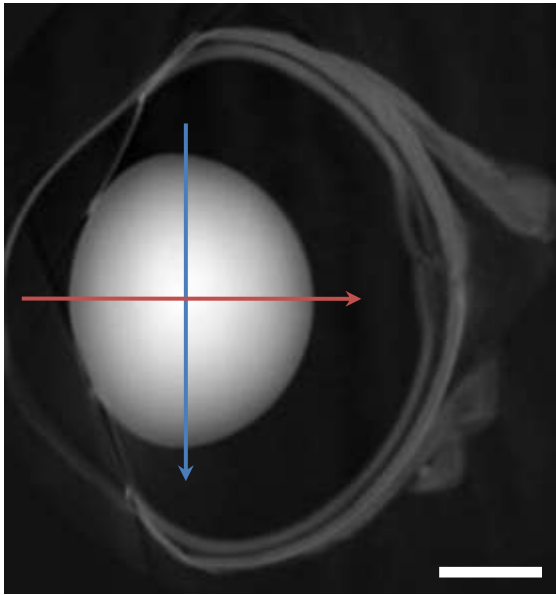


Sectional image perpendicular to optical axis

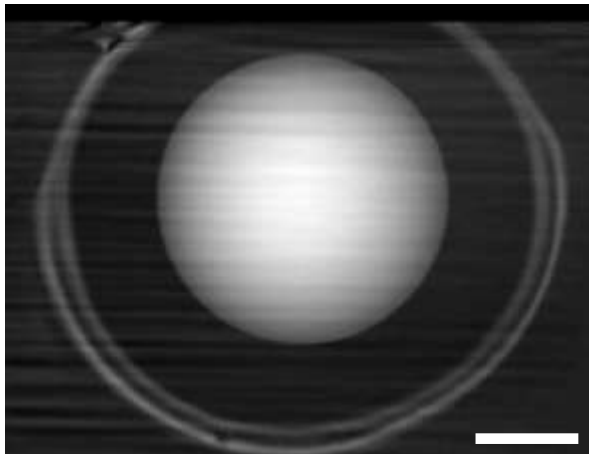
Scale bar: 1mm



カエル

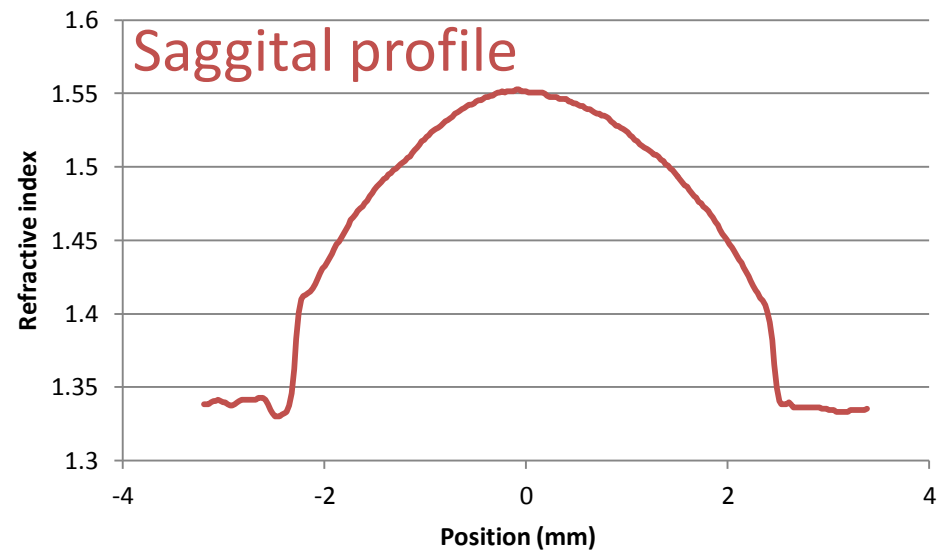
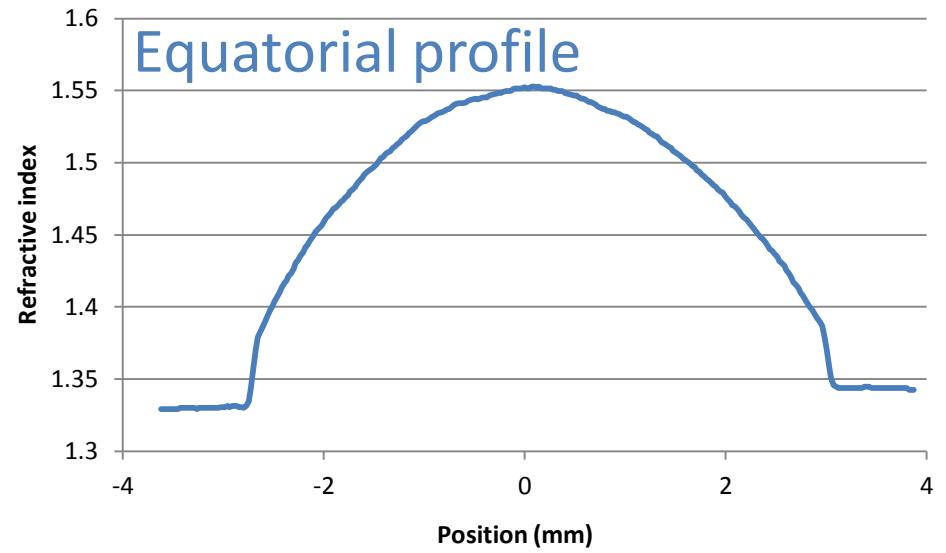


Sectional image including optical axis

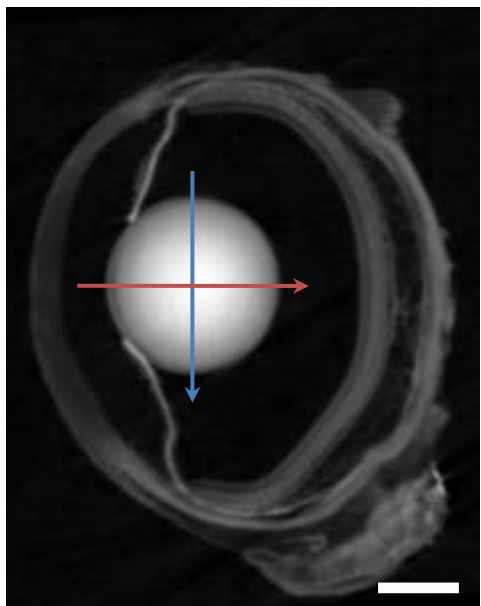


Sectional image perpendicular to optical axis

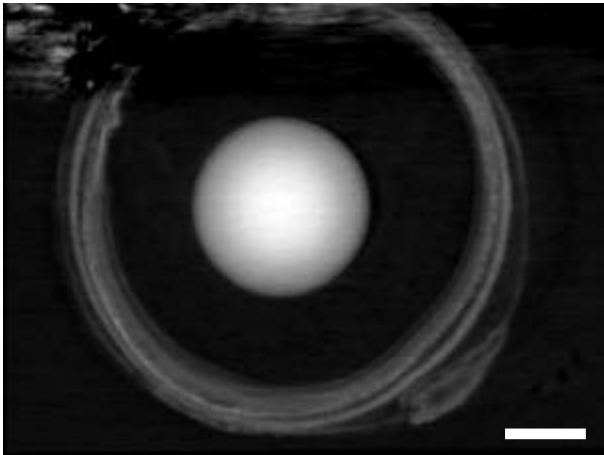
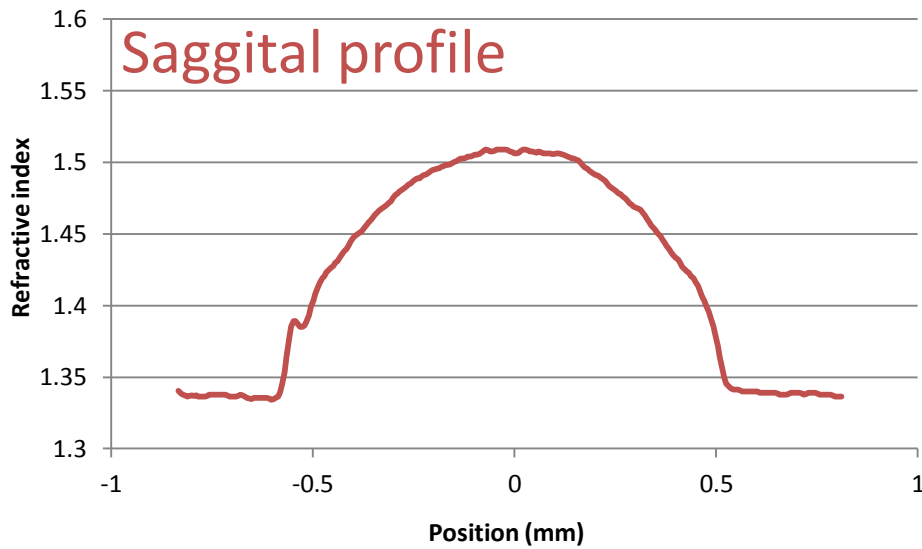
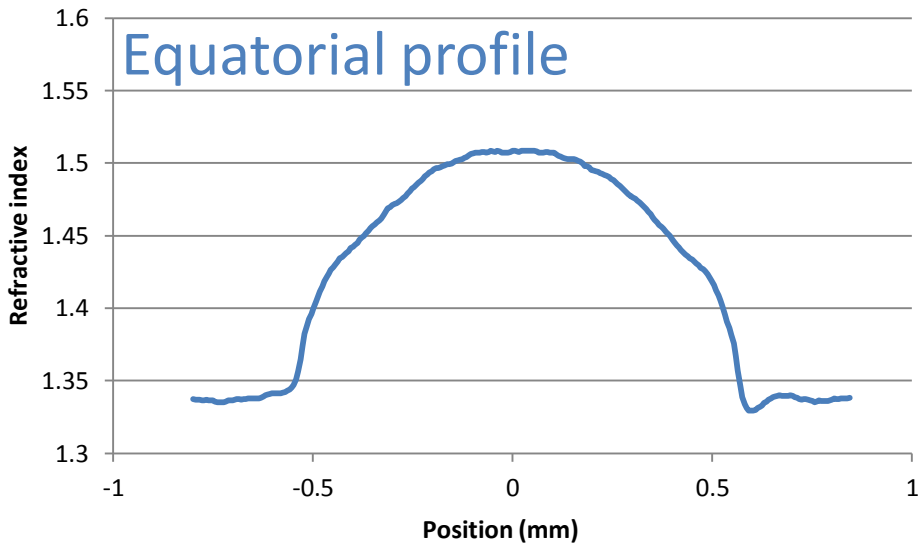
Scale bar: 2mm



イモリ



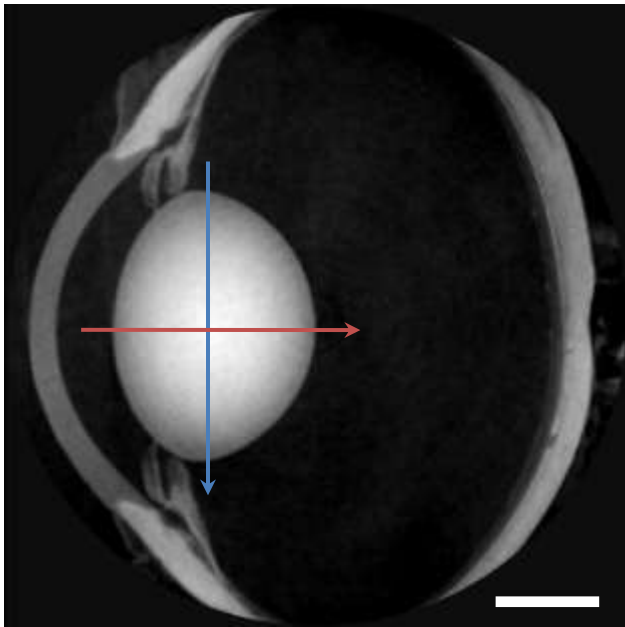
Sectional image including optical axis



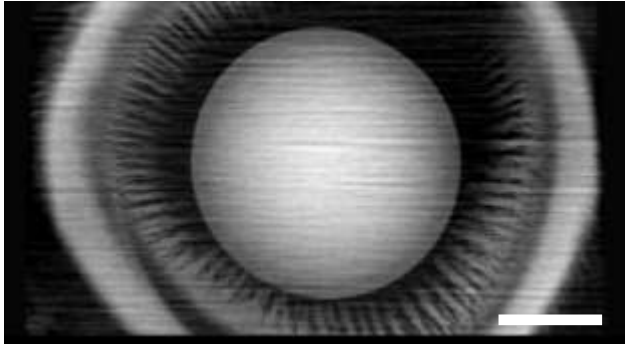
Sectional image perpendicular to optical axis

Scale bar: 0.5mm

豚

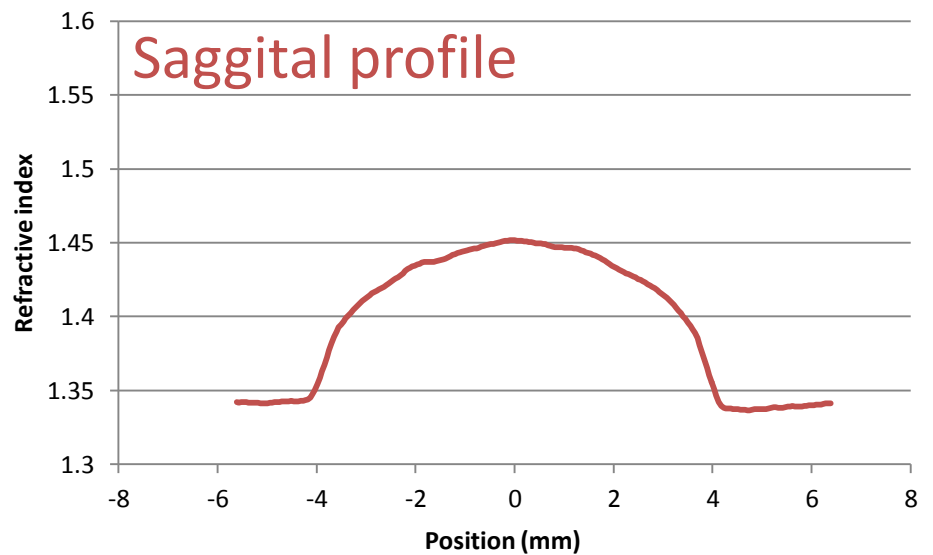
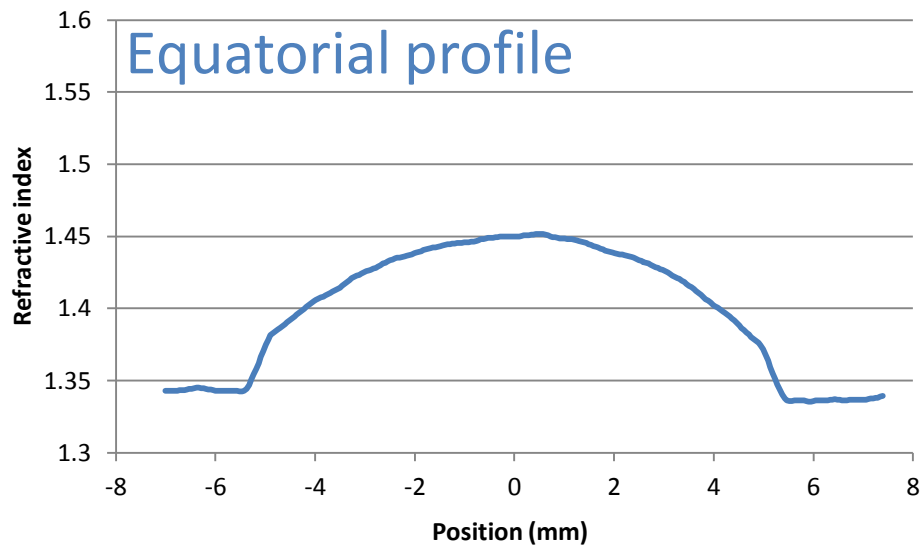


Sectional image including optical axis

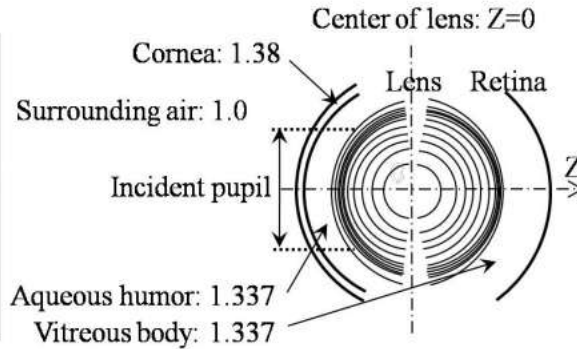
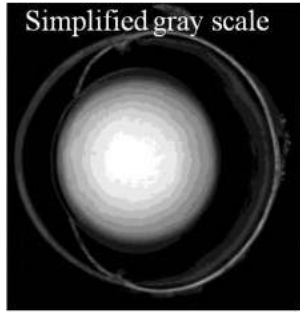


Sectional image perpendicular to optical axis

Scale bar: 4mm

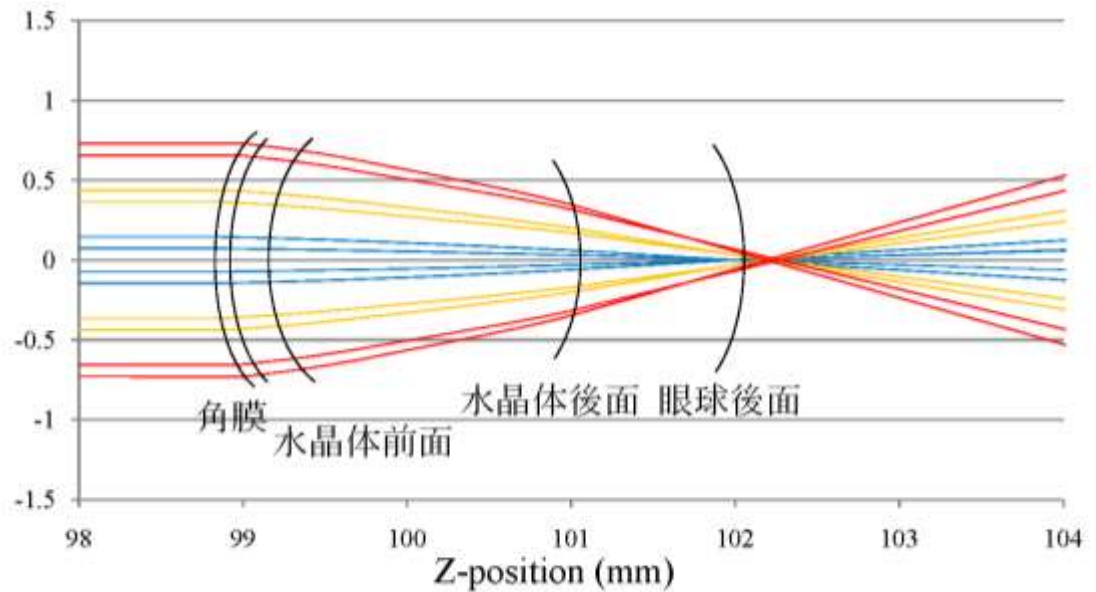
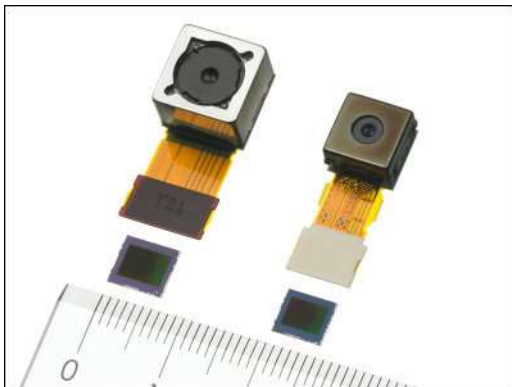


マウス眼球のレイトレース



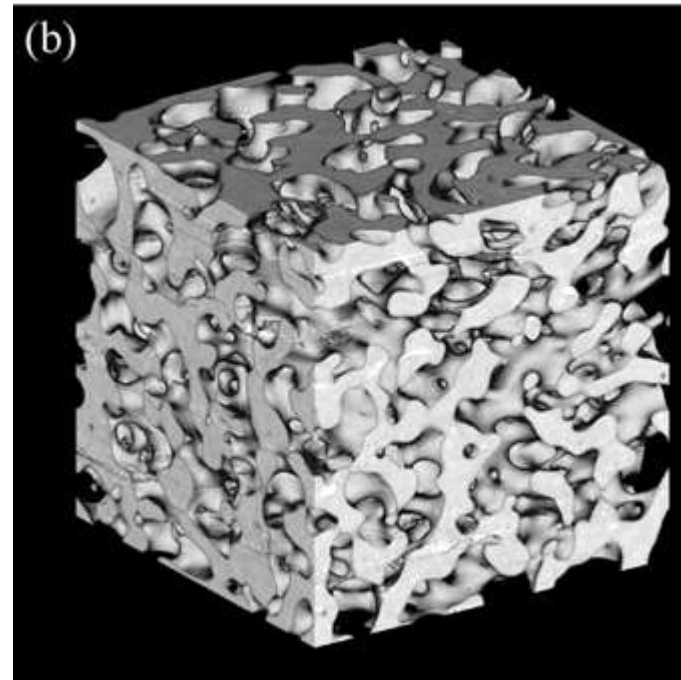
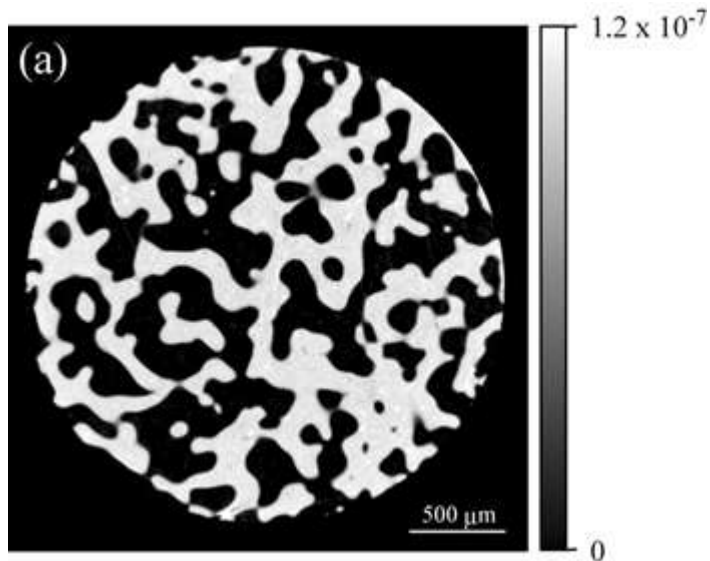
角膜、水晶体の形状と密度分布から光路をトレースできる

ネズミは意外と眼が良い



ポリマーブレンド

PSとPMMAの混合体



Momose et al., *Macromolecules*
(2005)

位相差CTの現状

- 密度分解能が高い・・・コントラストのつきにくいソフトマターに最適
- 密度差が小さいことが望ましい・・・重いものや空気が無いこと
- 空間分解能は現状10ミクロン程度
- 試料サイズは20mm程度まで
- 水に浸して撮影する
- 撮影時間は30分～4時間

まとめ

- 屈折コントラストイメージング
リアルタイム高コントラスト撮影
吸収CTのエッジ強調
- 位相差CT
高コントラスト(密度分解能)CT
定量性の高い密度測定

その他の放射光イメージング

- 高分解能CT (0.1ミクロンまで)
- 高時間分解能リアルタイムイメージング (マイクロ秒まで)
- 高分解能蛍光マッピング (サブミクロンまで)
- 高分解能赤外マッピング (10ミクロンまで)