デジカメでわかるCTスキャンのしくみ
–医用画像診断装置とバイオメカニクス–

2005年12月7日(水）10日（土）

東京大学生産技術研究所
大島まり・平松絢子

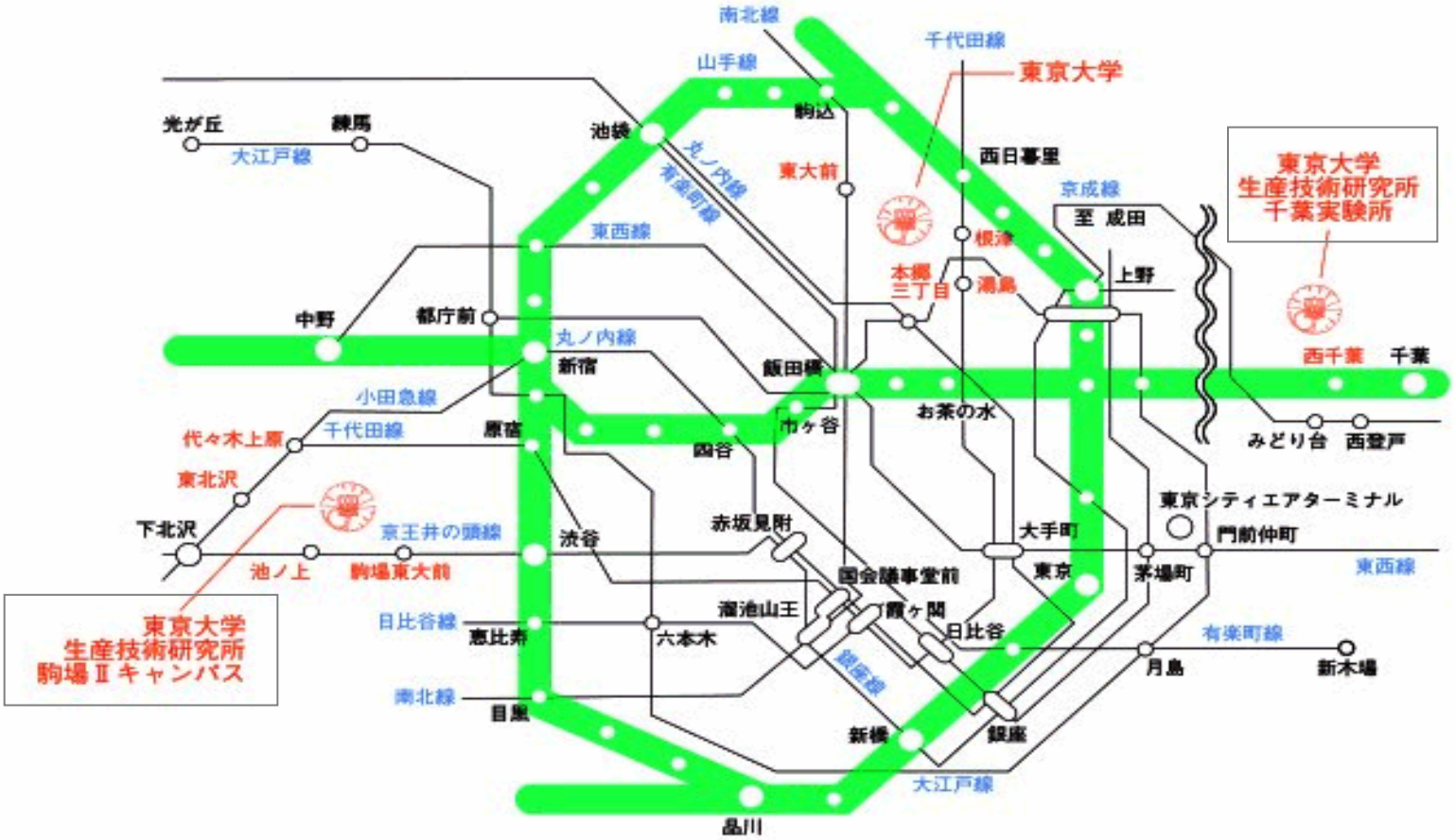
東京大学生産技術研究所

略して東大生研　→2000-2001年に六本木から駒場に移転

東大生研

Home page: http://www.iis.u-tokyo.ac.jp

交通案内



東大生研の公開

- 毎年6月第1木曜日と金曜日に生研全体が公開される.
  - 2005年6月2日（木）・3日(金）
- 中学・高校生対象のプログラムもあるので，興味のある人は是非，参加してください.

Home page: http://www.iis.u-tokyo.ac.jp

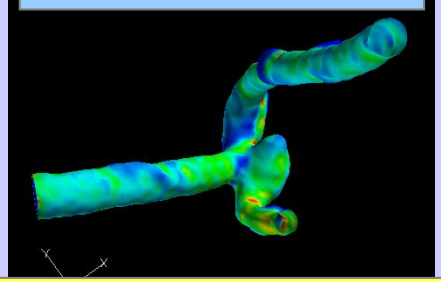
もしくは

http://sng.iis.u-tokyo.ac.jp

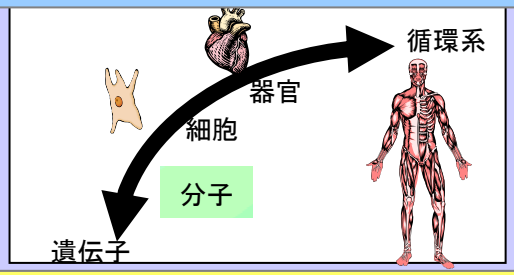
を参考にしてください.

大島研の研究概要

脳血管内流れの
数値シミュレーション



マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション



循環系の計算バイオメカニクス

医学的意義

血管病変の解明
診断・治療法の開発・改善

バイオ・マイクロ流れの解明

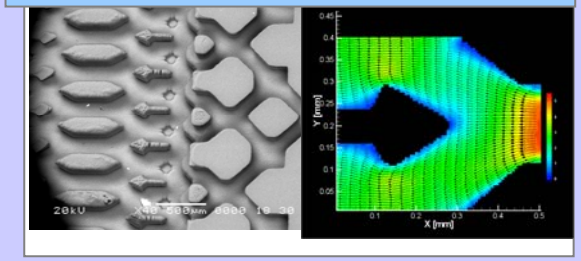
工学的意義

生体機能の工学的応用
生化学システム設計

in vitro 実験

屈曲管内拍動流の可視化計測

マイクロPIVによる微小流路内の流れの計測



授業の内容

１．講義

- はじめに
- X線CTってなに？
  - X線入門
  - X線透視入門
  - X線CTの原理

２．コンピュータ実習

- 三次元画像の再構築
  - 野菜をコンピュータ上に再現

は　じ　め　に

体のなかをどうやってみるの？

外から体を傷づけずにみるのはどうしたらいいの？

→非侵襲な方法

医用画像診断装置

・レントゲン写真

・血管撮影

血管を造影剤によって写し出して、血管だけを見ます。

↓

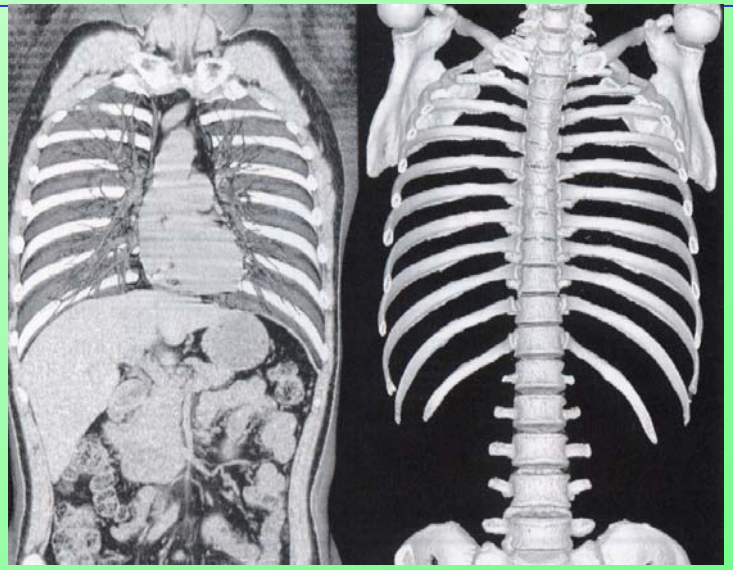
平面の写真

もっと詳しくみるには
どうしたらいいの？

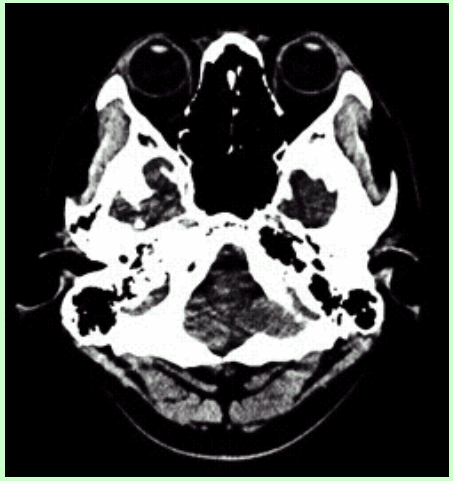
- 平面ではなくて、3次元で色々な角度からみたい

デジタル画像でコンピュータを用いて見る

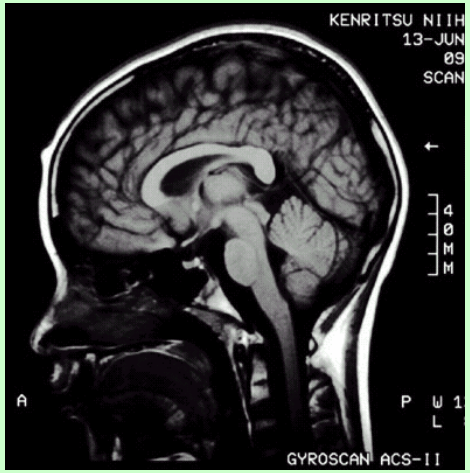
CT装置・MRI



医用画像診断装置



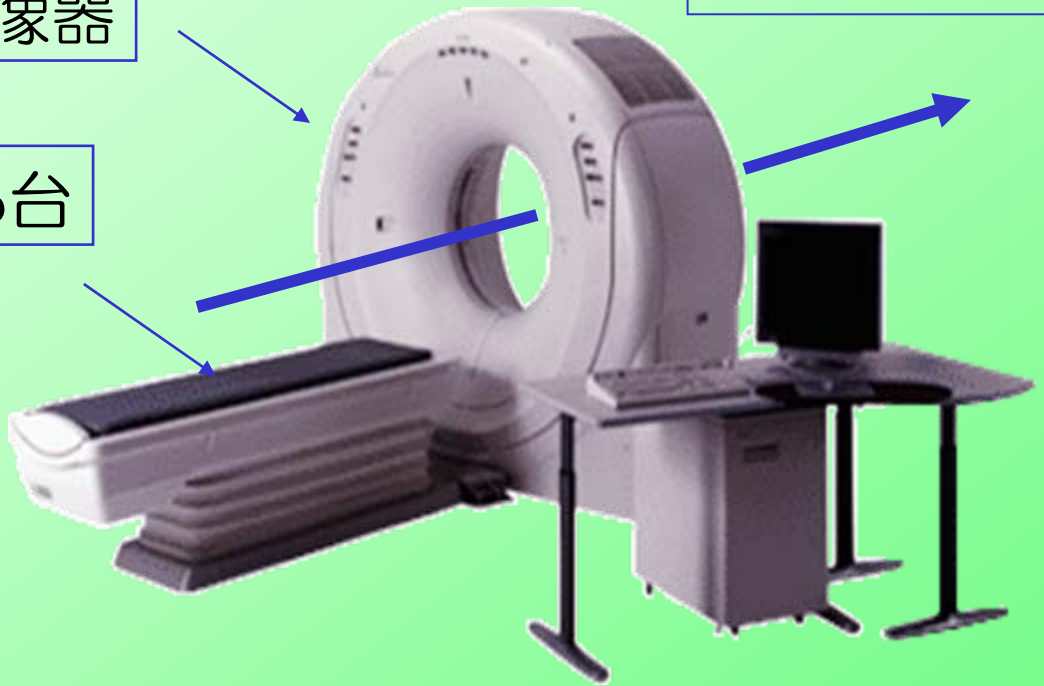
＊CTスキャン (Computerized Tmography)
　CTスキャンが回転しながらあらゆる角度からX線を照射し、可視化する。



＊MRI（Magnetic　Resonance　Imaging：磁気共鳴撮影)
　空間的に均一で強力な静磁場中に置かれた原子核が、外部から印加した特定周波数の高周波磁場に共鳴する核磁気共鳴現象(1952年ノーベル物理学賞)を利用して、断層像として可視化する。

CT 装置とは

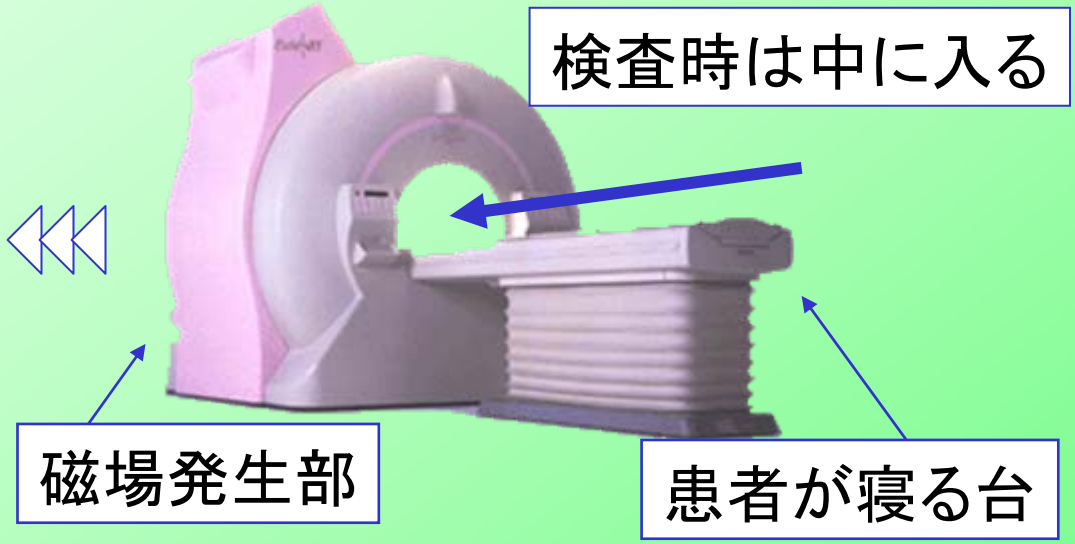
- Ex. 東芝メディカル “Aquilion”
  - 高速マルチヘリカルCTスキャナー



1979年ノーベル医学生理学賞
コーマック＆ハウズフィールド（英国）

MRI装置とは

- 東芝メディカル “ExcelART”



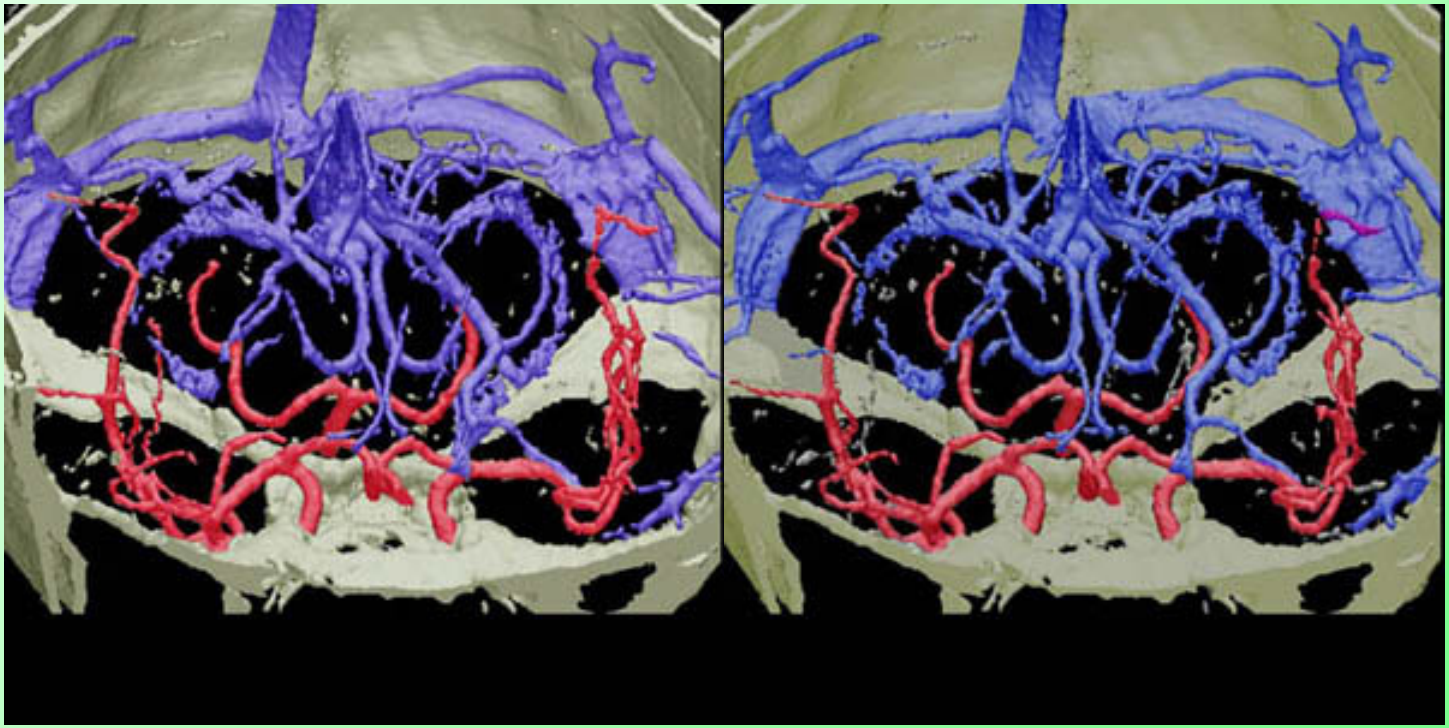
2003年ノーベル医学生理学賞
Paul C. Lauterbur教授(Illinois大学)
Peter Mansfield名誉教授(Nottingham大学)

核磁気共鳴イメージ法（MRI）の開発

Lauterbur氏は、核磁気共鳴のシグナルの勾配を利用して2次元画像が描画できる原理を考案、Mansfield氏が実際に計算機を応用し、2次元画像の描出が可能であることを証明した。また、高速処理により、MRIの医用診断への実用化も牽引した

デジタル画像の利点

色々なものを取り出すことができる



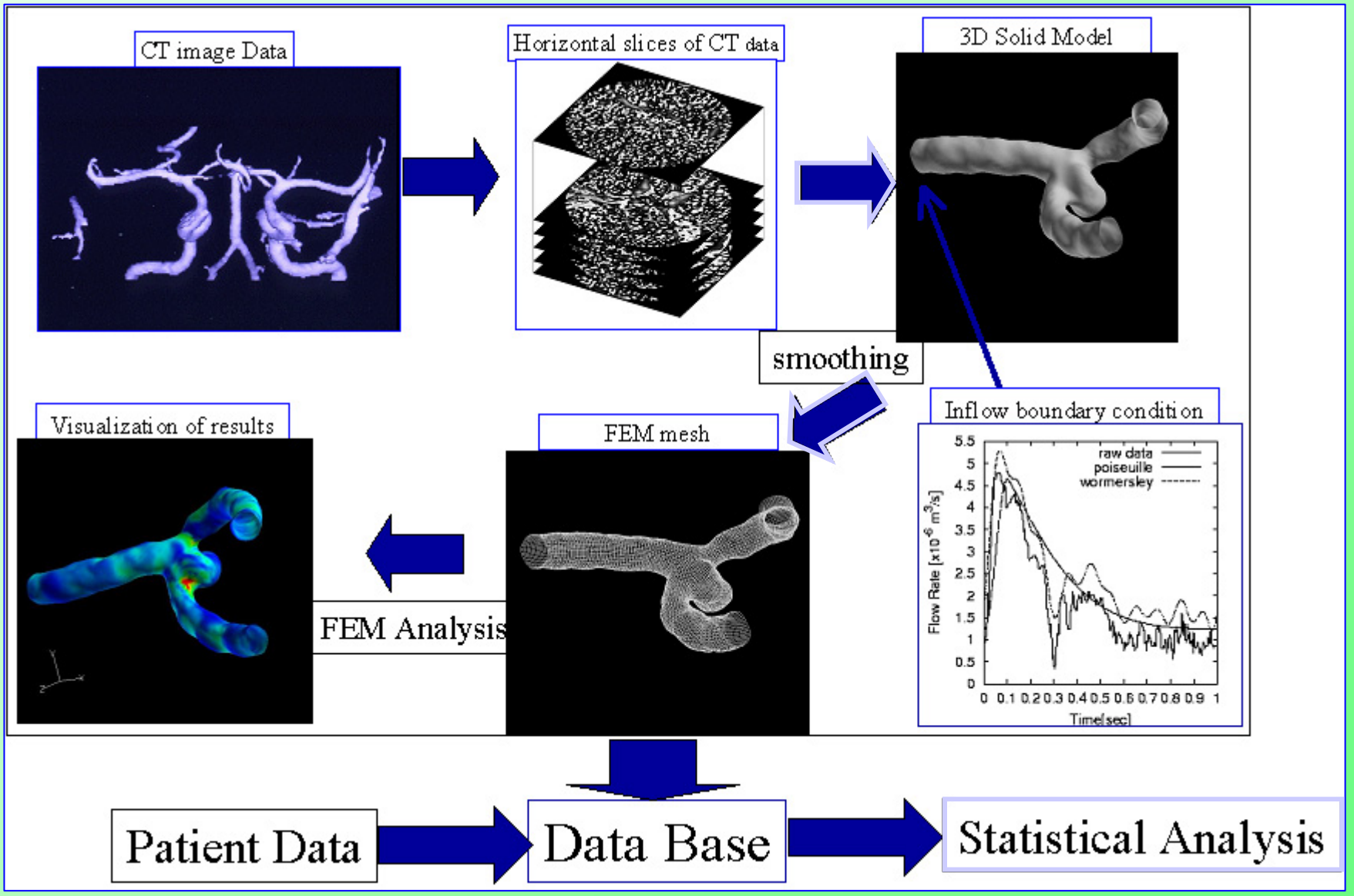
赤：動脈　　青：静脈

（頭の中の血管）

右目で左側の図、左目で右側の図を見てみよう

医用画像診断装置を用いた治療

医用画像に基づく循環系疾患の予知

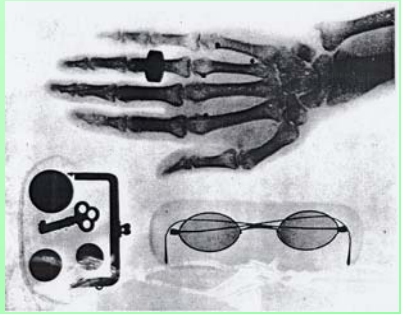


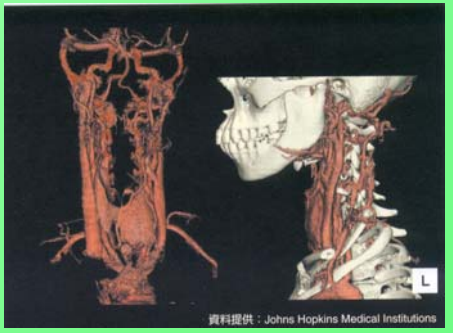
Ｘ 線 入 門

X線発見の歴史

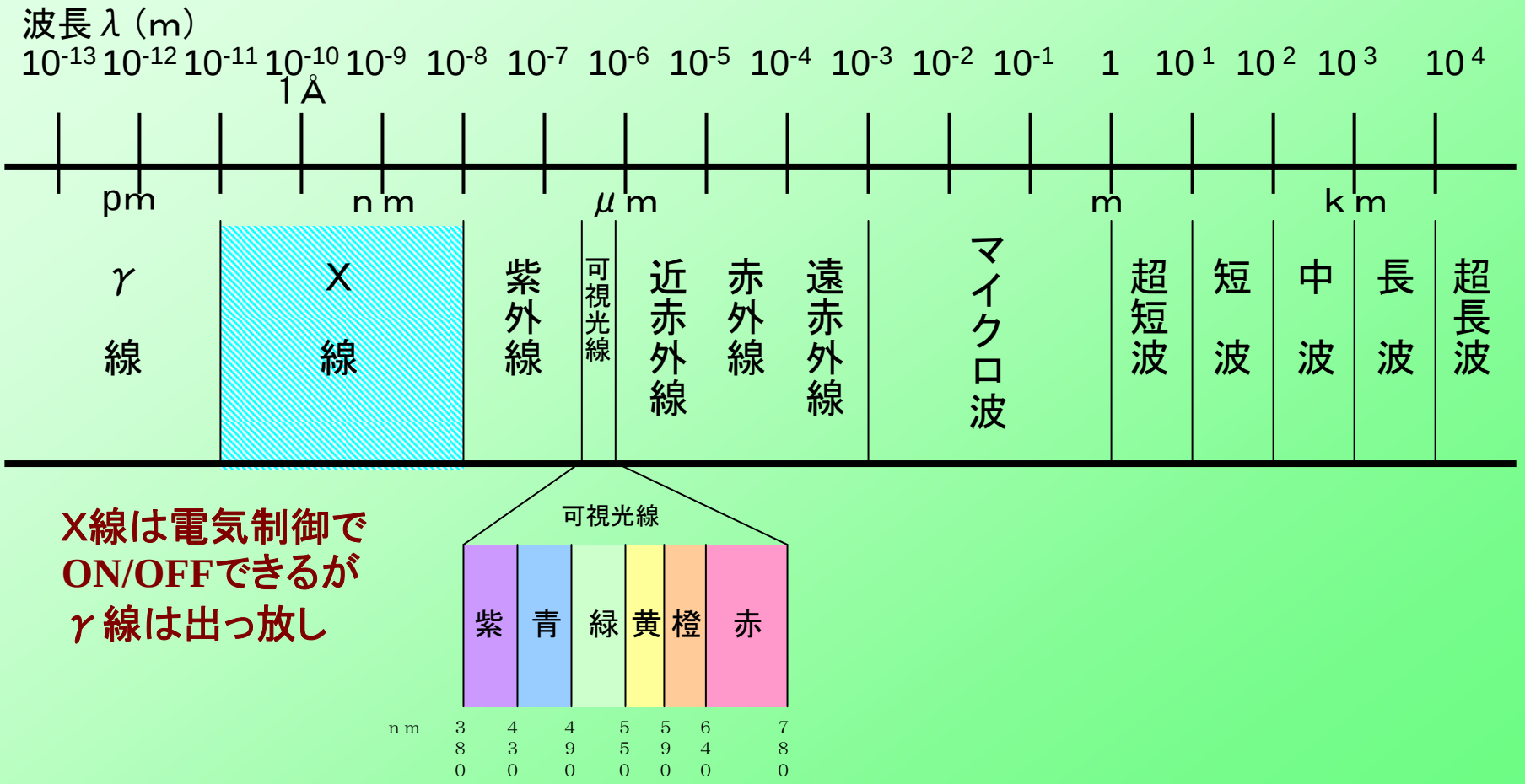
X線は、1895年、ドイツのレムシャイドにあるギルツブルグ大学の物理学教授であった、当時50才のウィルヘルムレントゲンによって発見されました。彼は、当時放電管の実験を行っていたとき、放電管とそばのスクリーンの間に物体を入れると、スクリーンにその物体の影が写ることを発見したのです。これがX線発見の第一歩でした。その後1901年には、彼に第1回ノーベル物理学賞が贈られました。

X線は、発見されて以来「未来を約束する新しい光」と、世界的に絶大な称賛を博するとともに、医学的・物理学的・天文学的・遺伝学的に20世紀を開く光となりました。



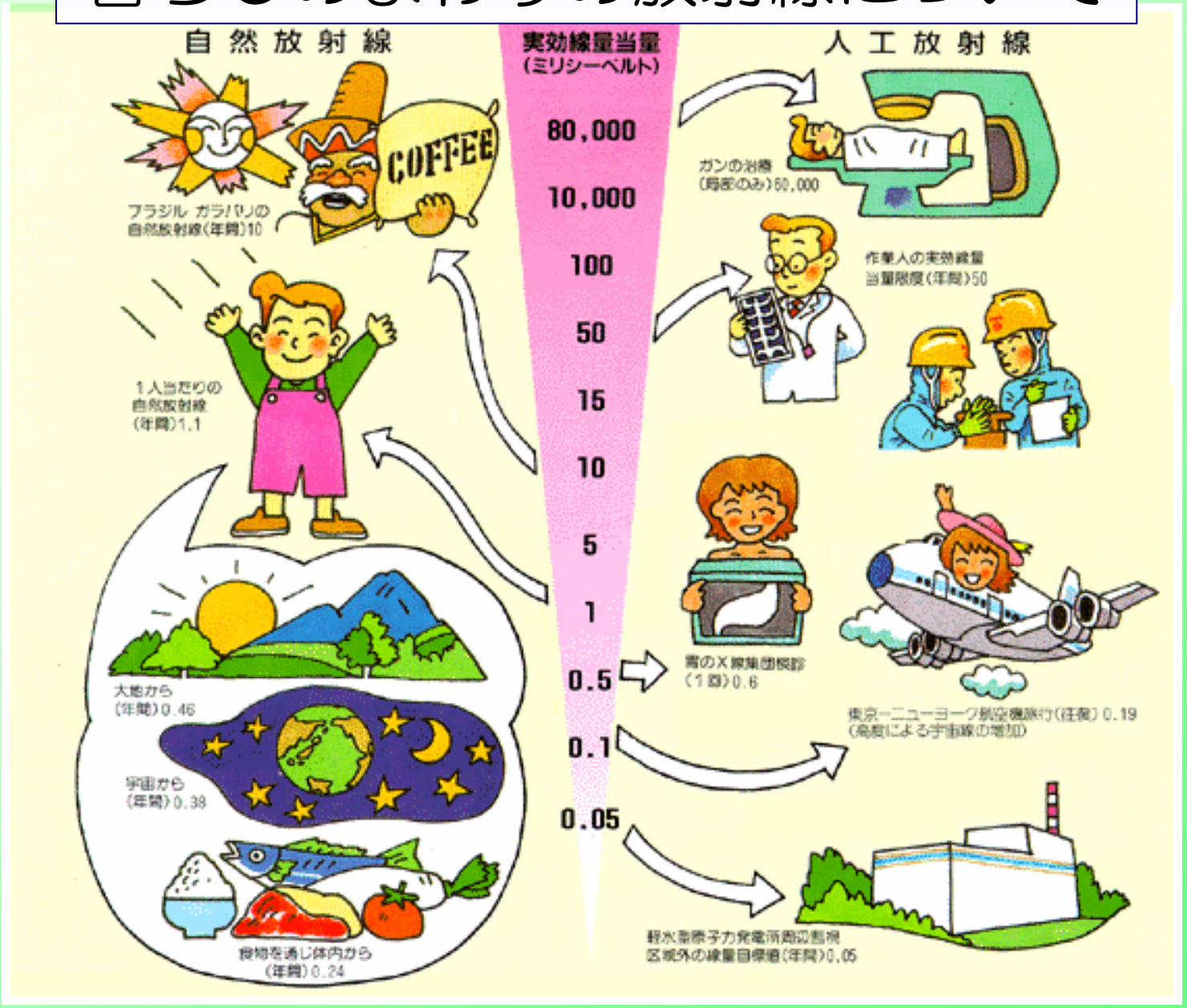


X線は電磁波の一種



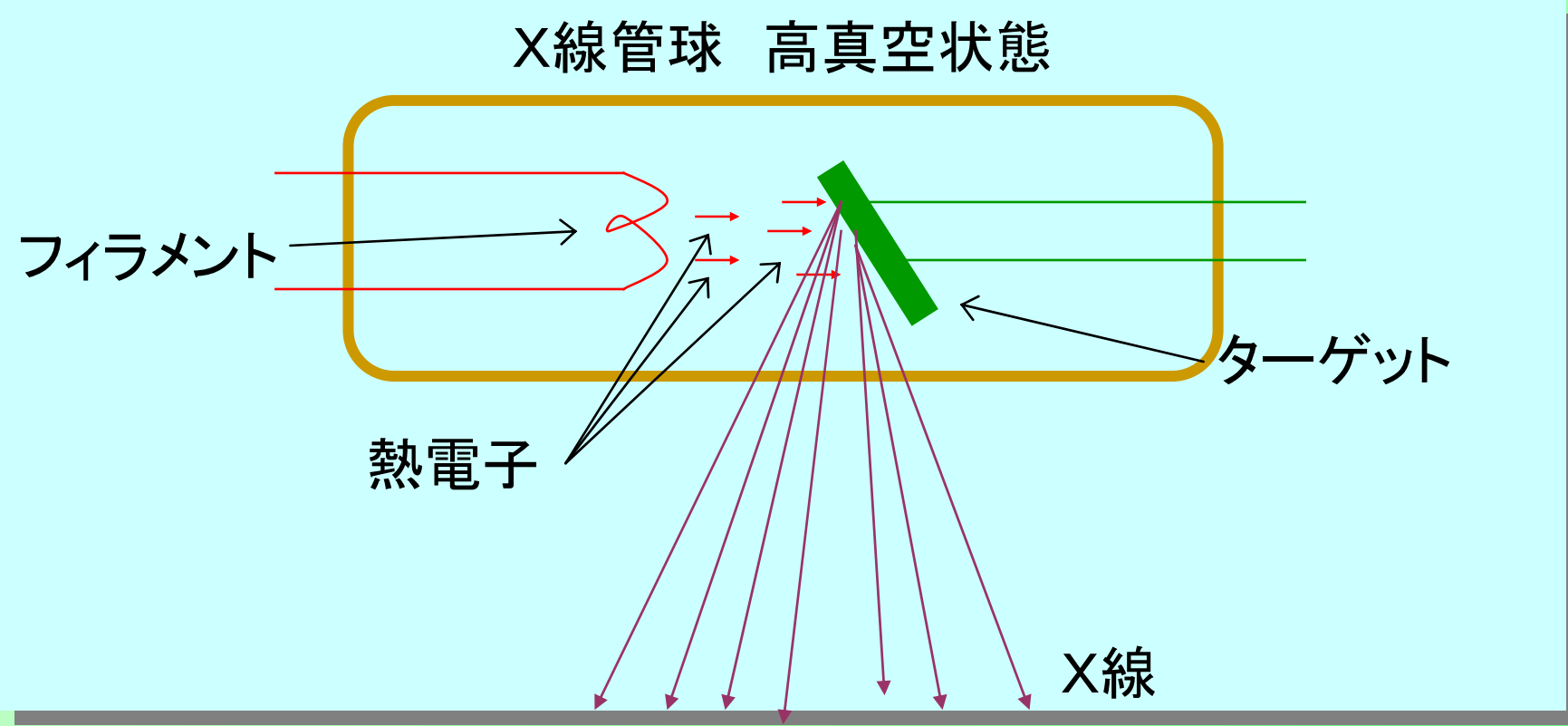
X線は電気制御でON/OFFできるがγ線は出っ放し

暮らしのまわりの放射線について



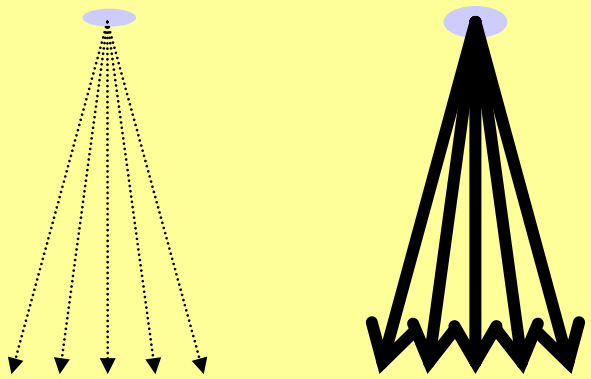
X線の発生原理

X線は、真空管内でフィラメント（負極）から熱電子を飛ばし、金属（ターゲット：正極）に当てて発生させます。

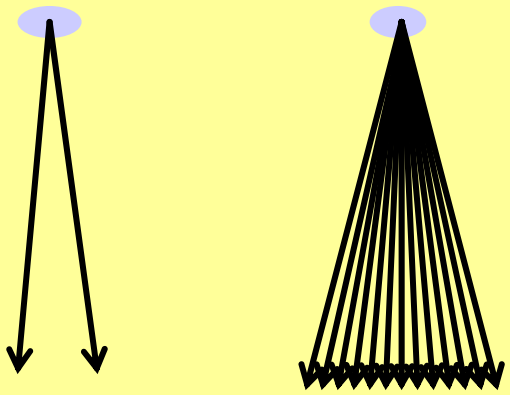


管電圧の管電流の関係

管電圧(kV)とは、X線の強さ
数値が大きくなるほど厚いものも透過する
シャワーに例えると、蛇口をひねる。（水の勢いが強くなる。）



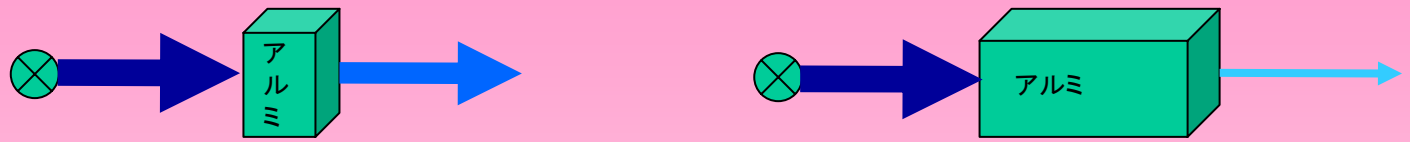
管電流(mA)とは、X線の量
数値が大きくなるほど1度に出る量が多くなる
シャワーに例えると、穴の数。（当たる面積が増える）



X線の減衰

【特　徴】

☆　同じ密度（材質）の場合、厚みが厚いものは透過しにくい



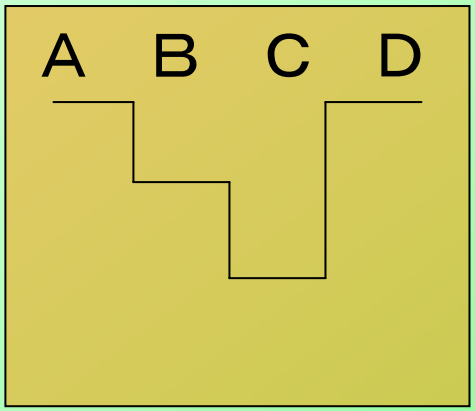
☆　同じ厚さの場合、密度（材質）が高いものは透過しいくい

☆　空気中では、距離の逆２乗で減衰していく。
（距離が、３倍になればX線の強さは1/9になる）

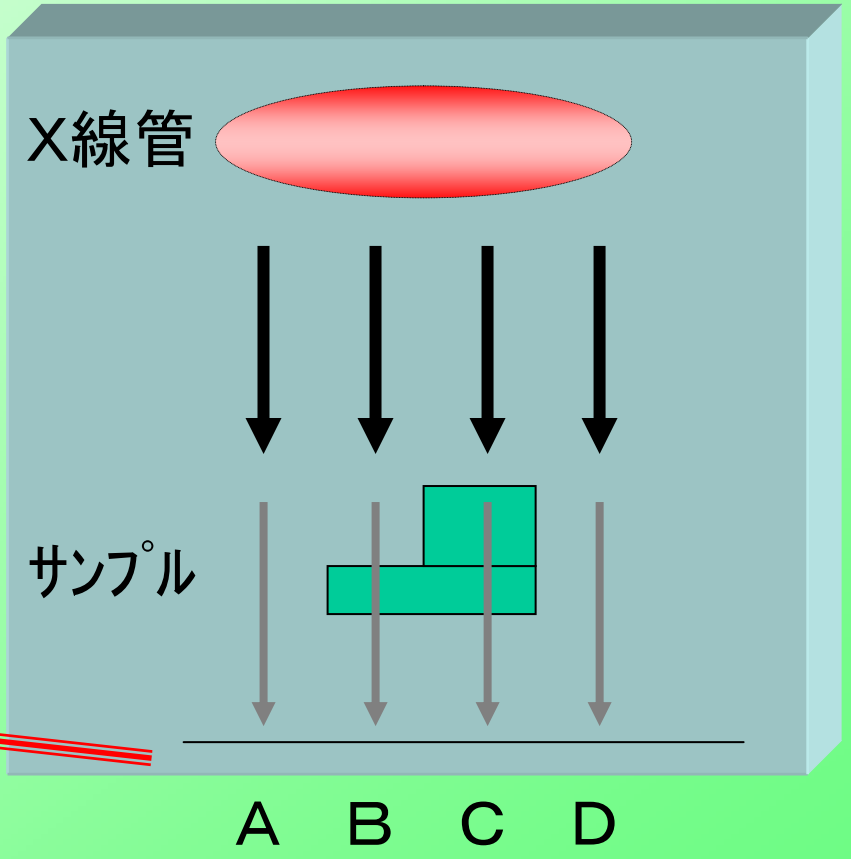
Ｘ 線 透 視 入 門

透視法の原理

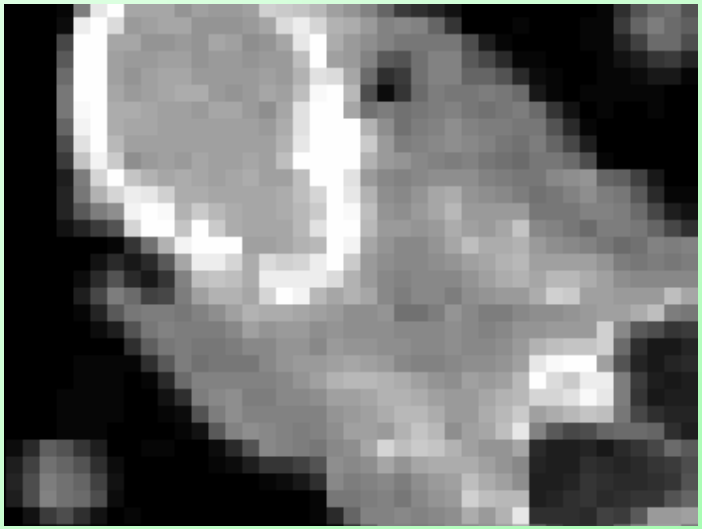
- X線をサンプルに照射します。
- ｻﾝﾌﾟﾙを透過したX線量の違い（透過X線）により画像化します。



透過X線量グラフ



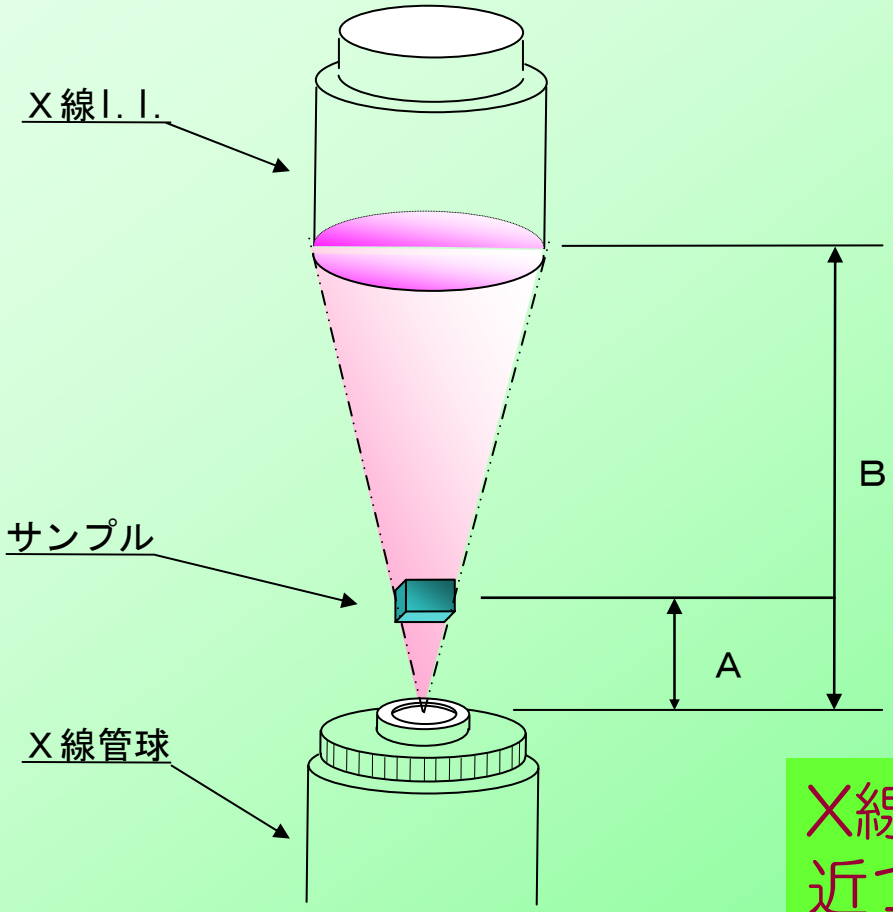
デジタル画像は正方形画素の集まり



ビットマップ形式

X線透過率	高 ⟷ 低
グレースケール	黒 ⟷ 白
画素値	0 ⟷ 2^8-1 （8ビット）
	0 ⟷ $2^{16}-1$ （16ビット）

拡大率の原理



$$\text{幾何学的拡大率 } Mg = \frac{B(FID)}{A(FOD)}$$

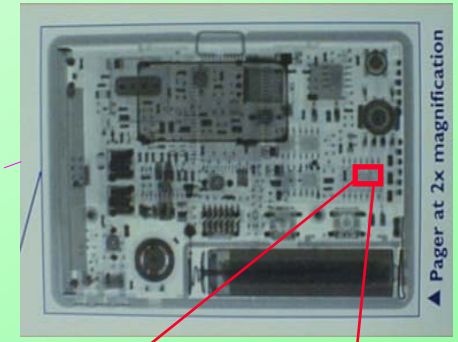
FID＝Focus（焦点）Image（受光部）間の
Distance（距離）
FOD＝Focus（焦点）Object（物体）間の
Distance（距離）

X線管球にワークを近づけると拡大率が上がります。

拡大率変化による画像の変化

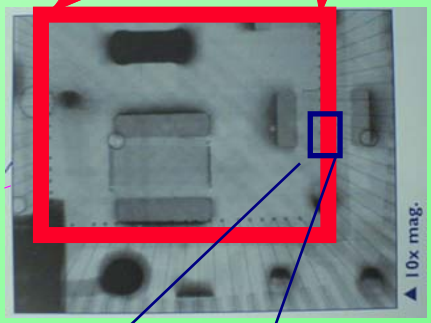
4インチ
イメージ管

拡大倍率
X 約1

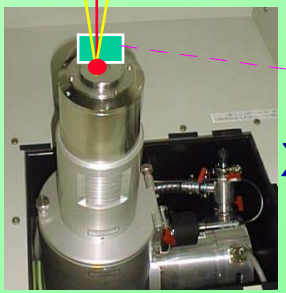


サンプル例：
モデムカード

拡大倍率
X 約50

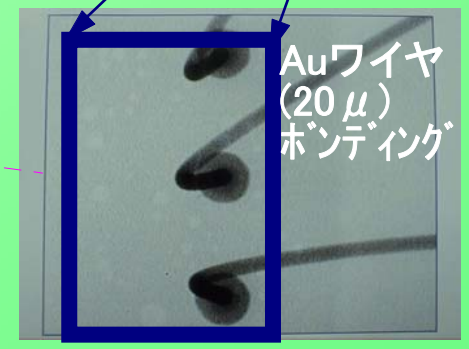


マイクロ
フォーカス
X線管球

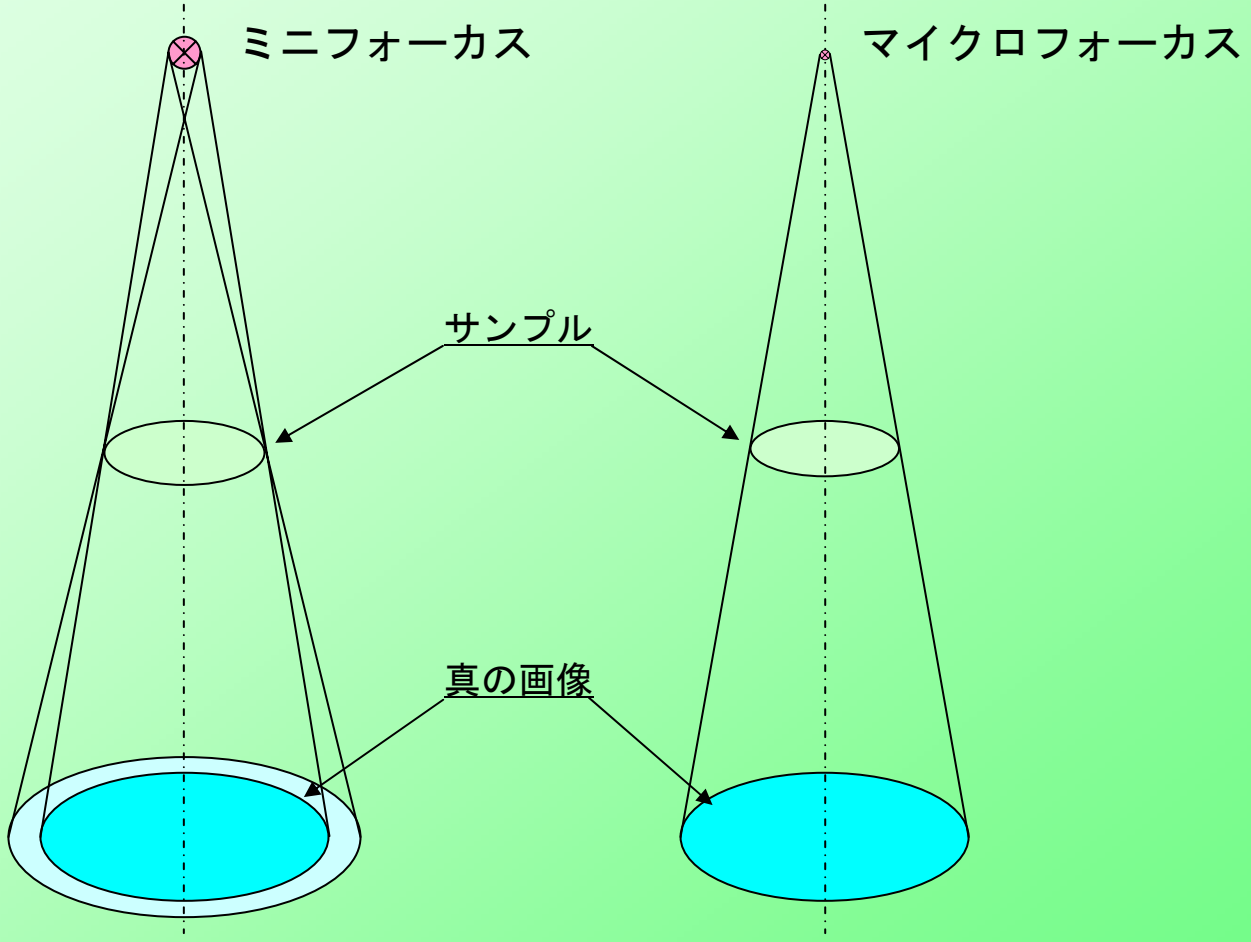


拡大倍率
X 約200

X線発生部 直径1μm



焦点サイズと画像ボケの関係

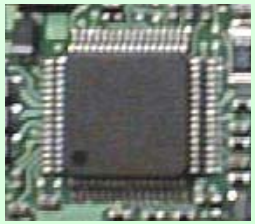


画像のボケ(B)

Ｂ＝Ｆ（Ｍ－1）
Ｆ：焦点サイズ
Ｍ：幾何学的拡大率

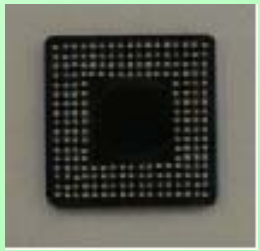
画像のボケが非常に少ない
↓
画像が鮮明！

分解能の向上（焦点サイズの縮小）

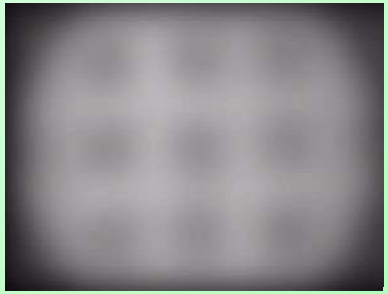


従来のLSI

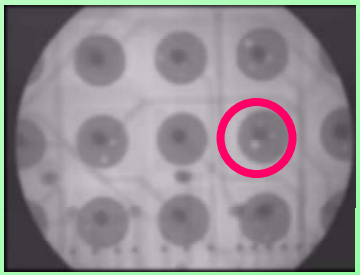
高集積化



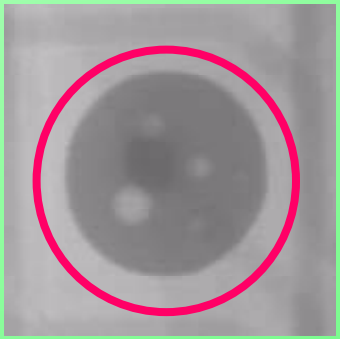
最新型LSI表面（左）裏面（右）　携帯電話



ﾐﾆﾌｫｰｶｽ（従来機）
分解能　300ﾐｸﾛﾝ



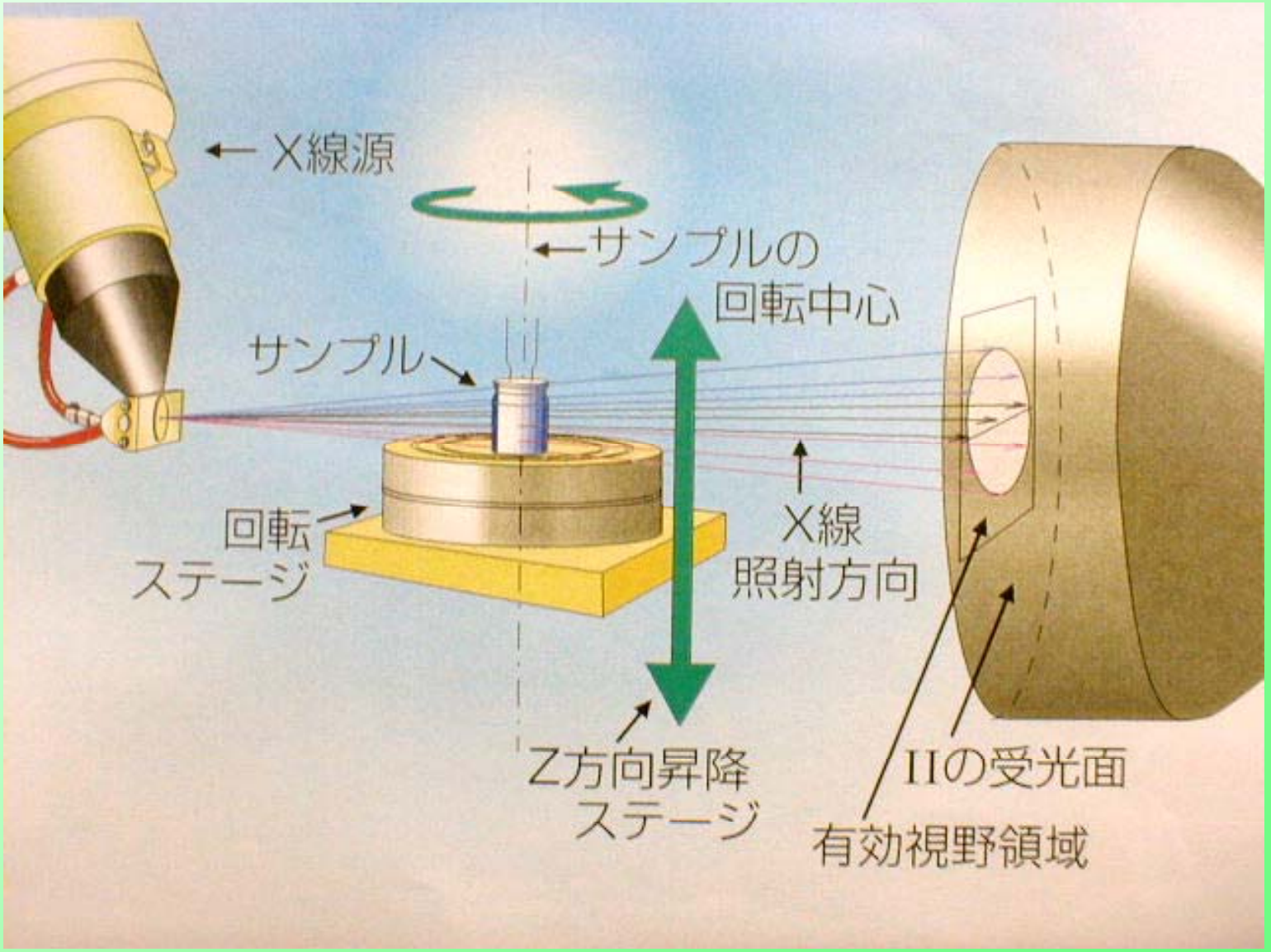
密閉型ﾏｲｸﾛﾌｫｰｶｽ
分解能　5～10ﾐｸﾛﾝ



開放型ﾏｲｸﾛﾌｫｰｶｽ
分解能　1ﾐｸﾛﾝ

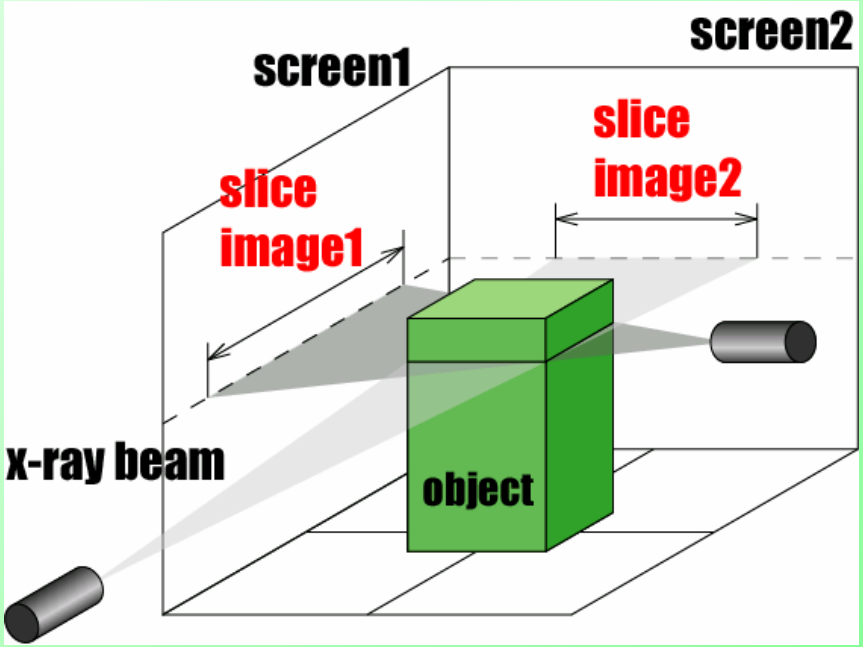
Ｘ線ＣＴ入門

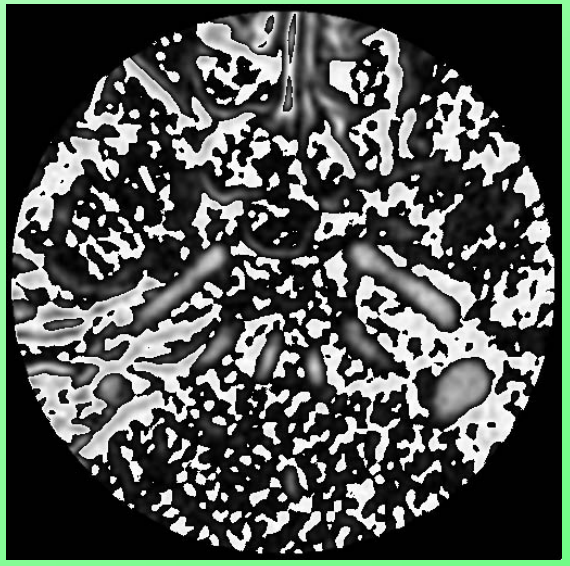
産業用CT装置の原理



CT装置では何を撮っているの？

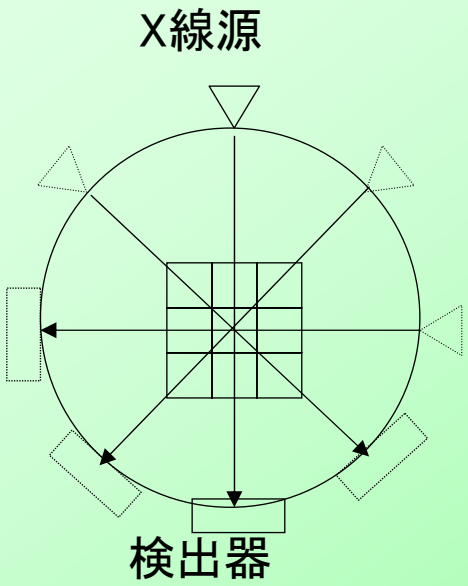
- 組織（造影剤）が吸収（透過）したX線の量
- 異なる方向から撮影した画像を再構成

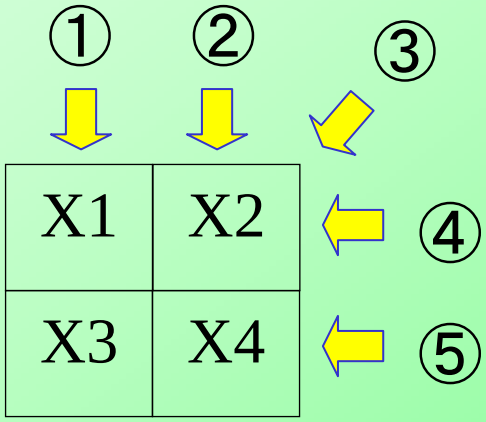




slice

CT画像の作り方





1. いろんな方向（①～⑤）からX線をあててX線減衰率（CT値）を測定

2. 小さな正方形のX線減衰率X1～X4について連立方程式ができる

3. 連立方程式を解いて減衰率を求めて画素値を決める

(1) X1+X3=C1

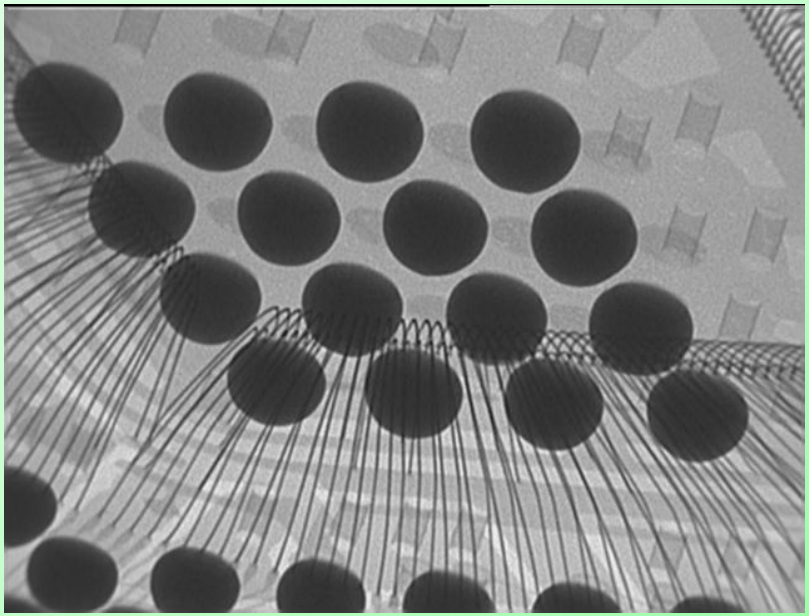
(2) X2+X4=C2

(3) X2+X3=C3

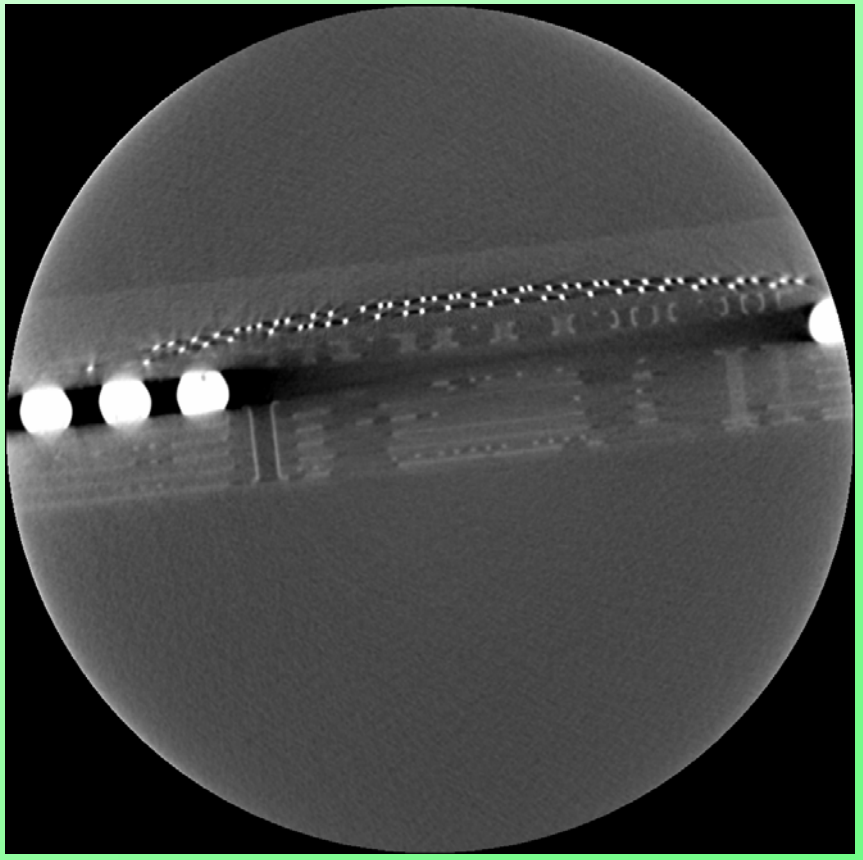
(4) X1+X2=C4

(5) X3+X4=C5

ＩＣパッケージのＣＴ像



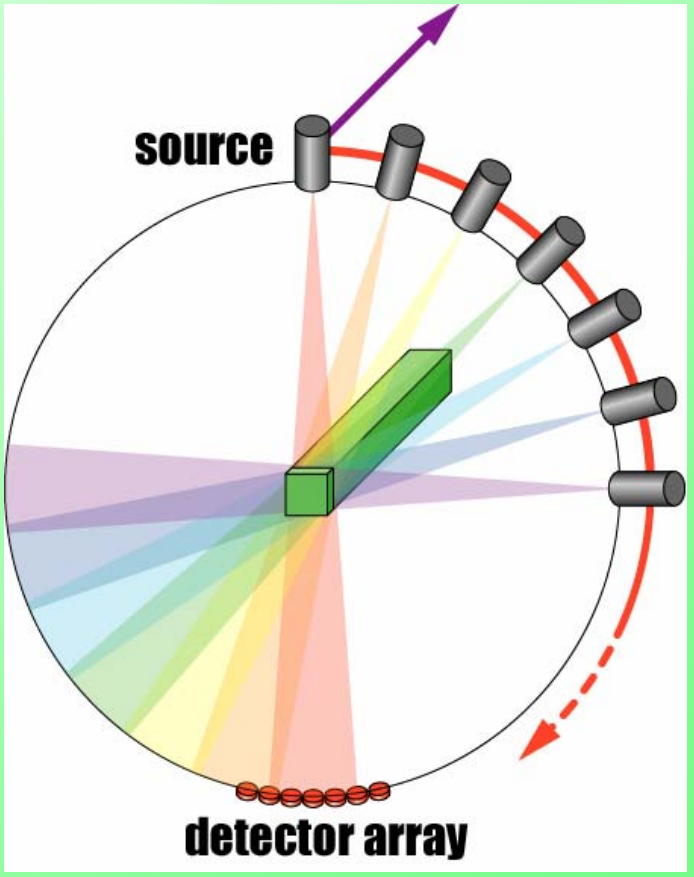
Ｘ線透視像



CT像

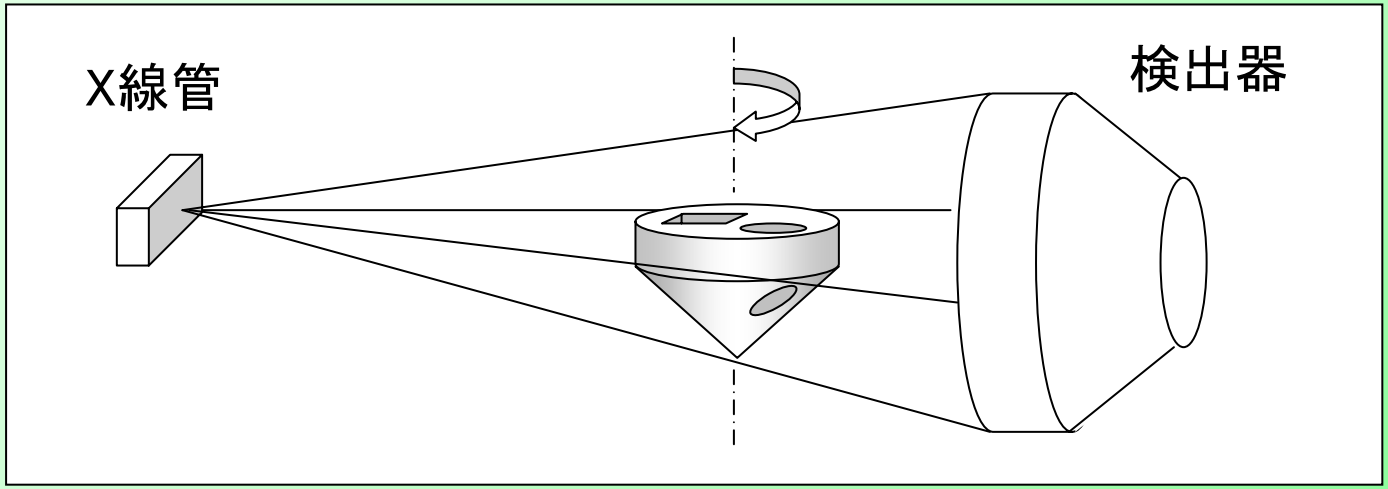
どうやって撮影しているの？

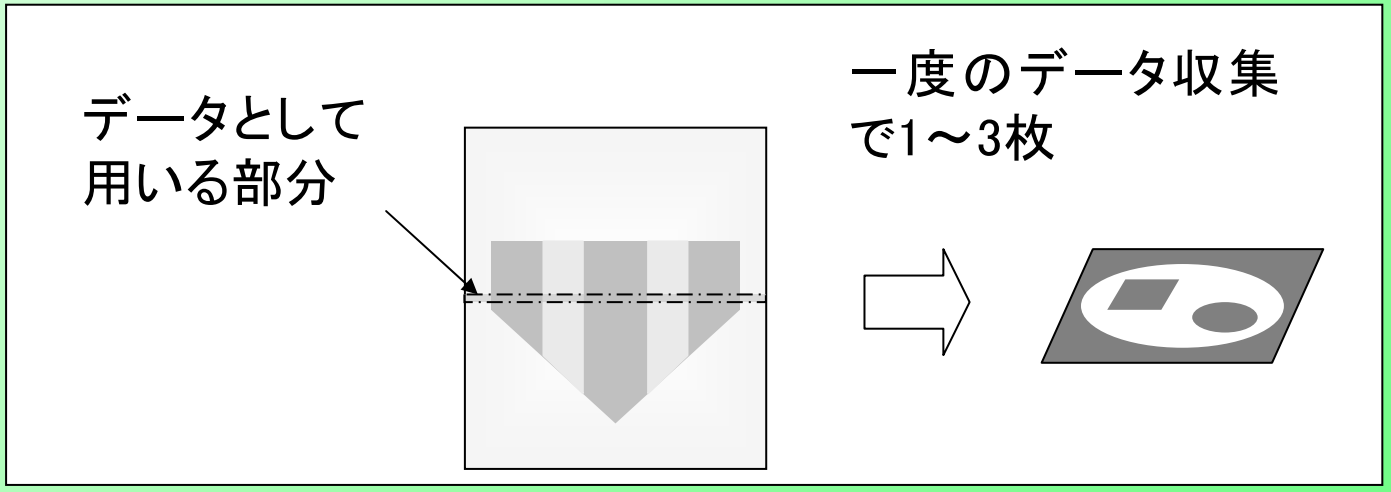
- X線源と検出器列が回転しながら軸方向に移動
  → 連続して多数のX線を放射・検出



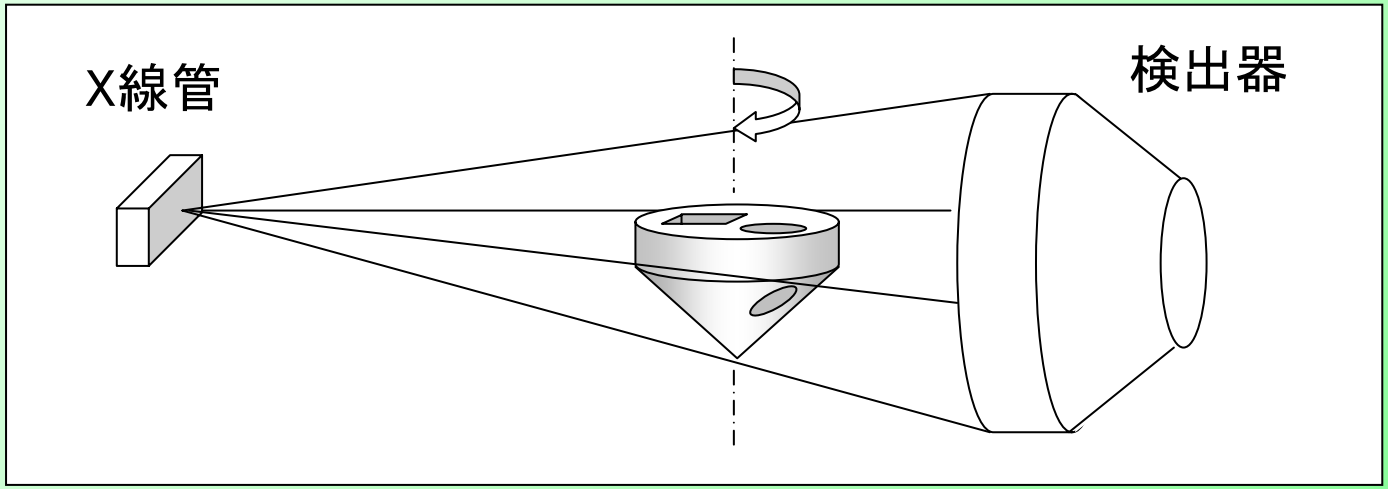
- 最終的なスライス画像はX線吸収係数を空気(-1000)・水(0)・骨(+1000)と設定した相対的数値（CT値）として表示

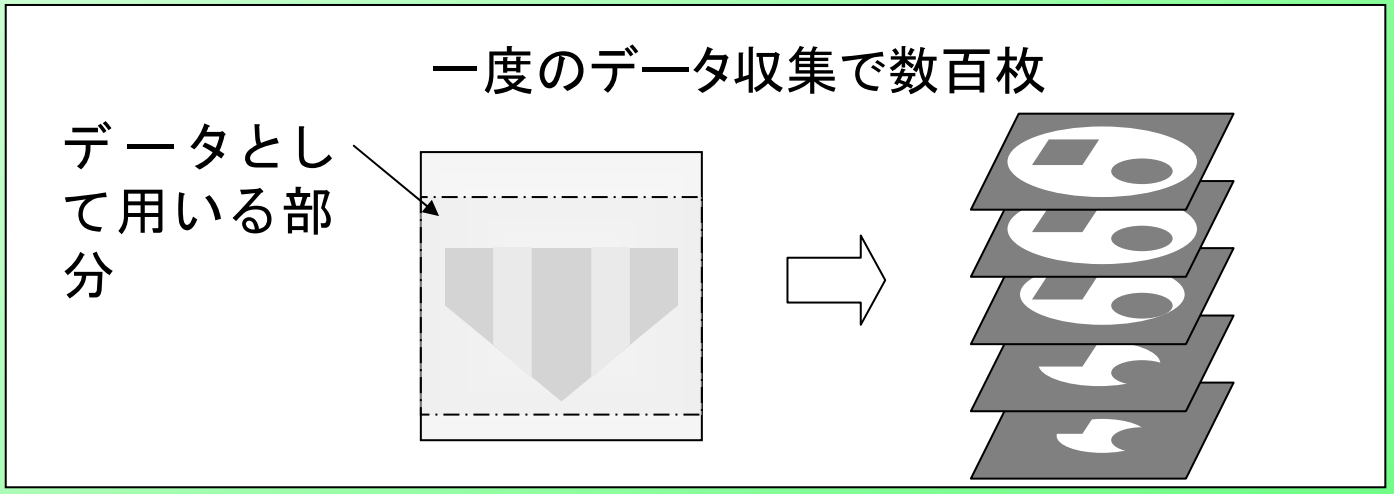
通常のCT（2DCT）



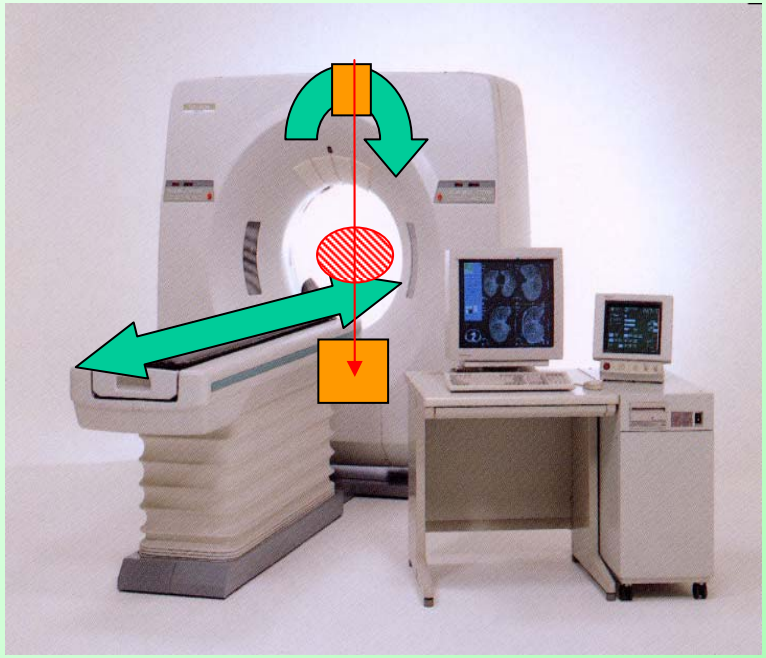


コーンCTによるマルチスライス





医療用CT

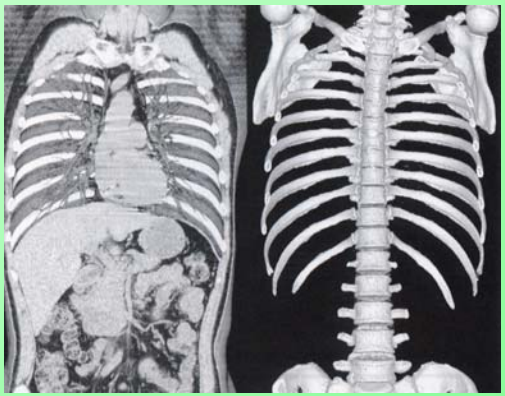


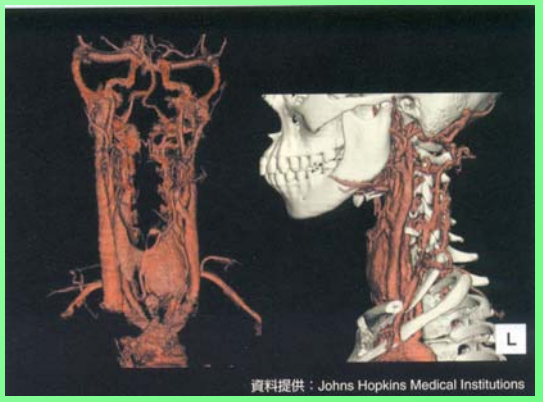
人は固定させて機械が動く

X線管球とイメージ管が高速回転（1秒間に2回転）

X線管と検出器の組を8列，16列，256列並べて一度に撮影

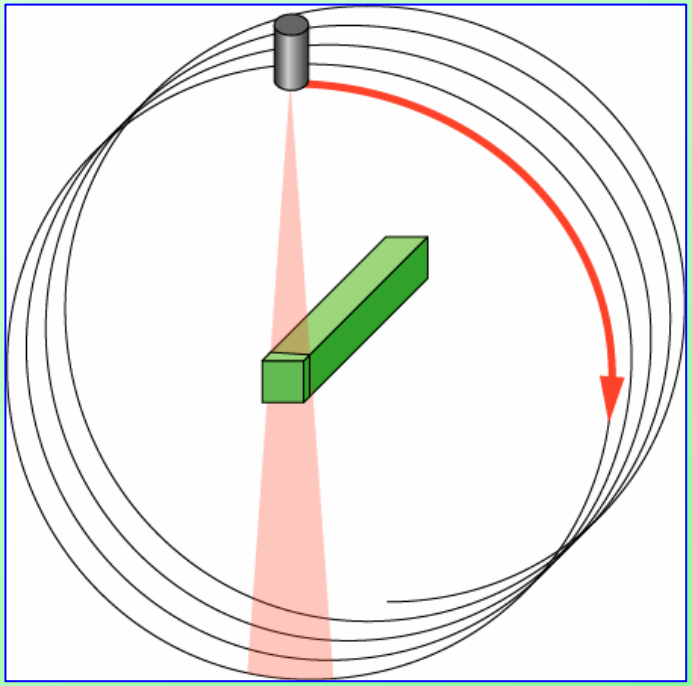
ものすごく短い時間間隔で連続して撮影すれば四次元CTに

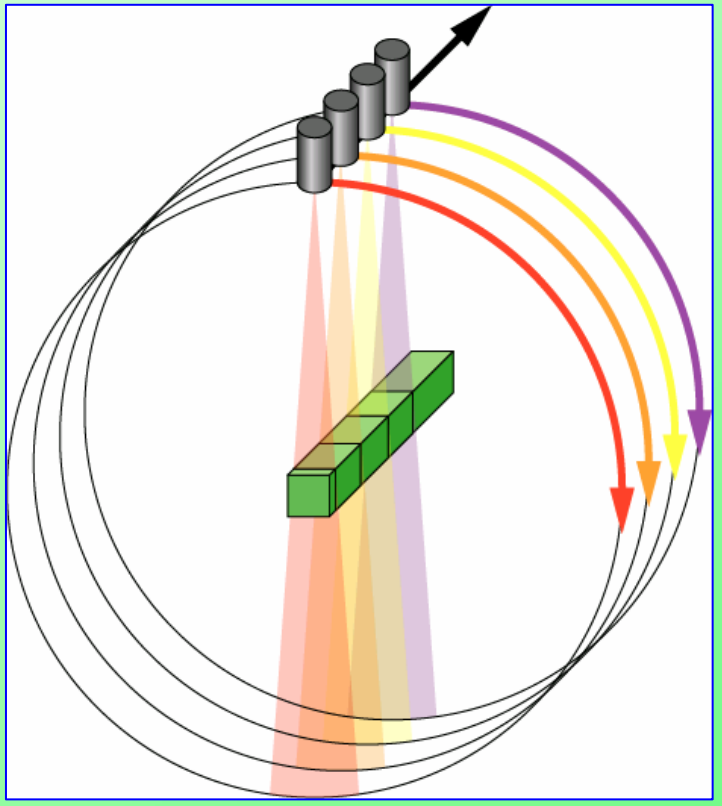




最新のCT装置

- ヘリカル，マルチ，３D化による高速化
- ヘリカルスキャン
  - 対象物を移動させながら連続的に撮影
    → 対象物に対してX線源が螺旋状の軌跡で動く

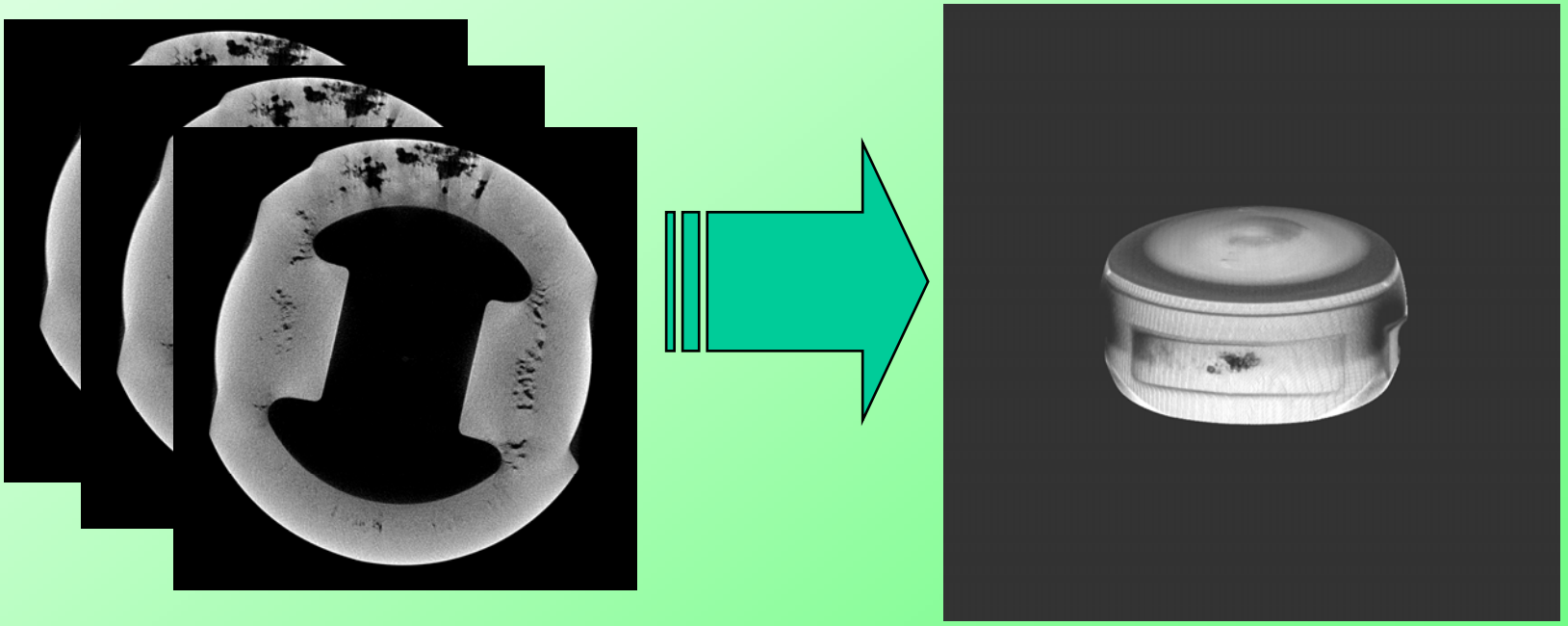




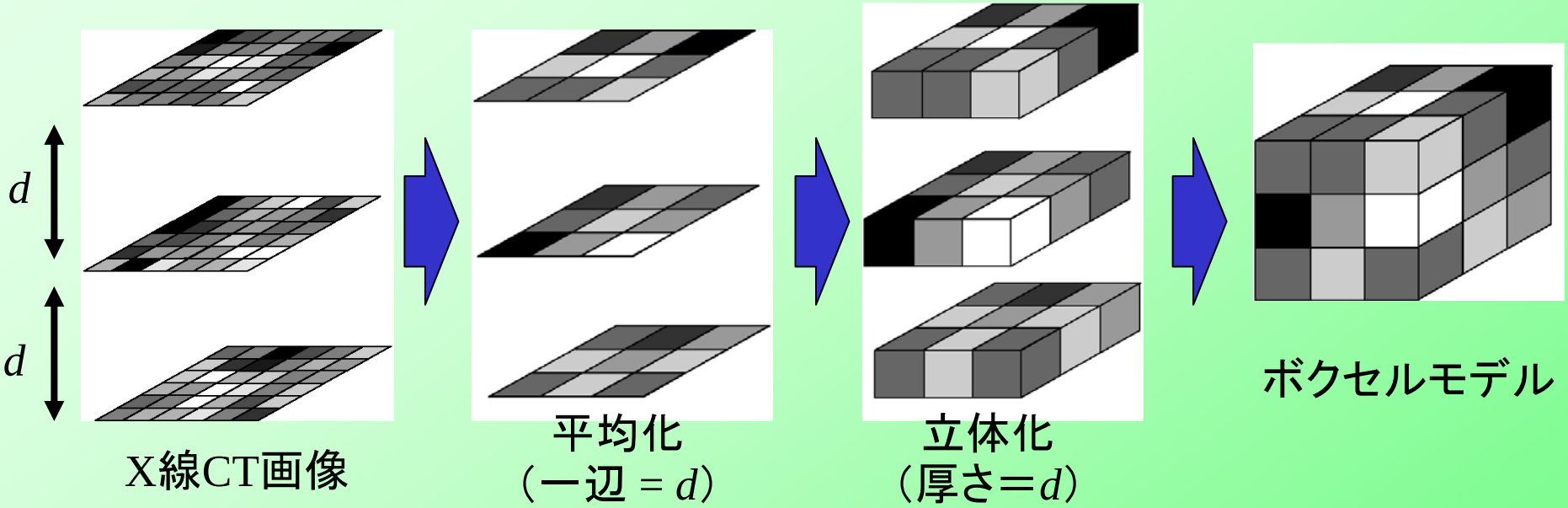
- マルチスキャン
  - 複数のX線源
  -検出器を使用

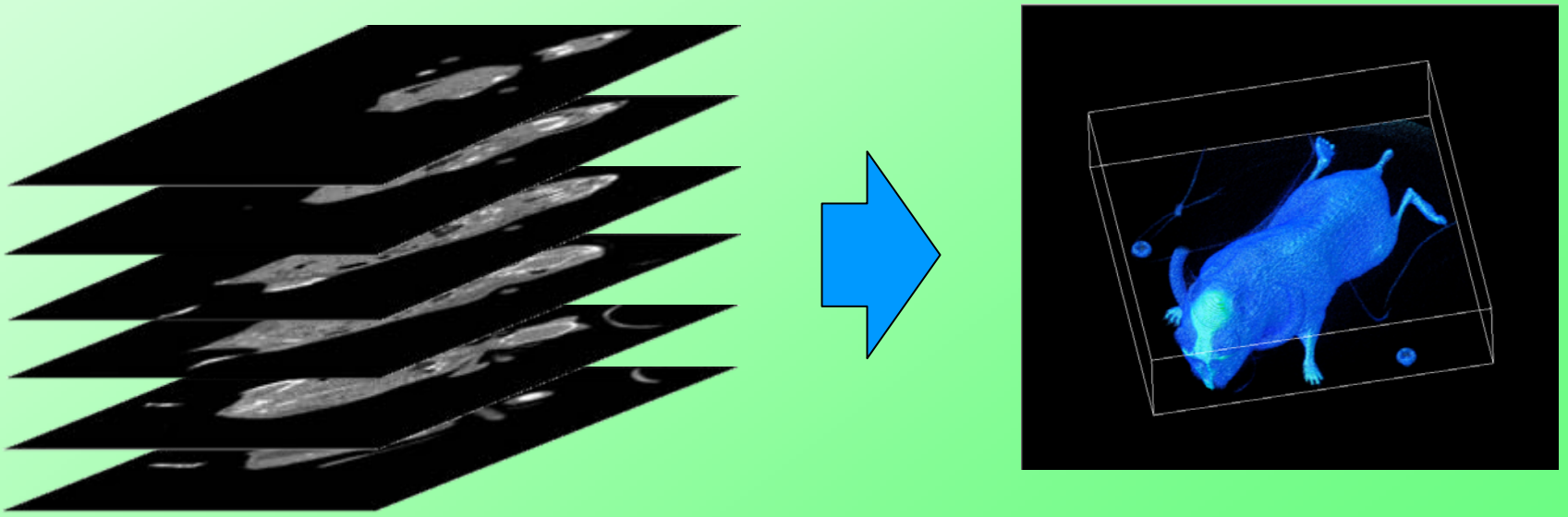
ボリュームレンダリング（VR）

ボリューム（複数の断層画像）情報を元に、物体の内部情報を反映させた三次元画像再生手法。



三次元ボクセル画像





スピーカー

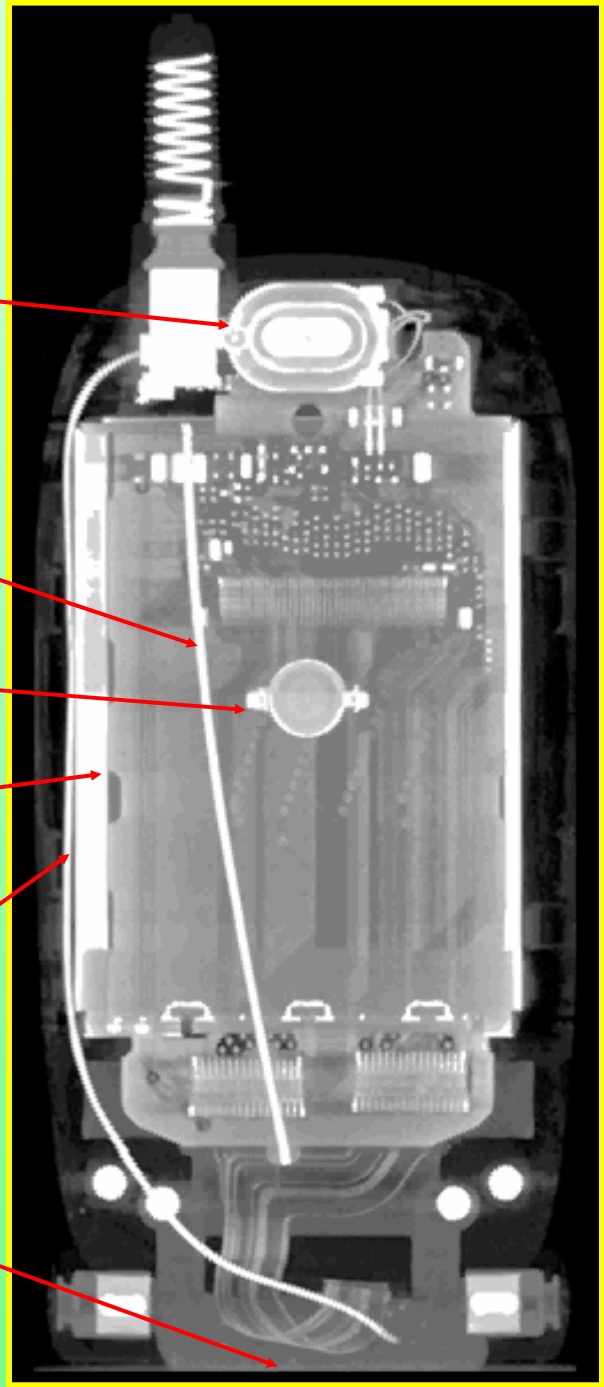
アンテナ線

LED

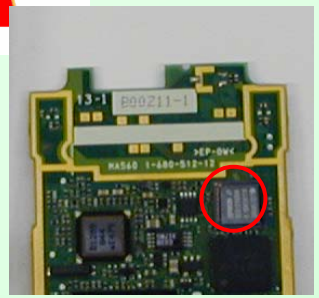
プリント配線板

液晶用バックライト

フレキシブル配線板

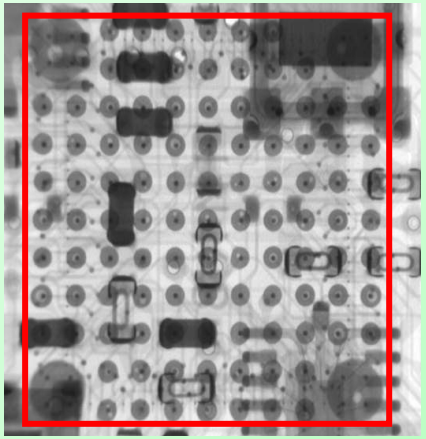


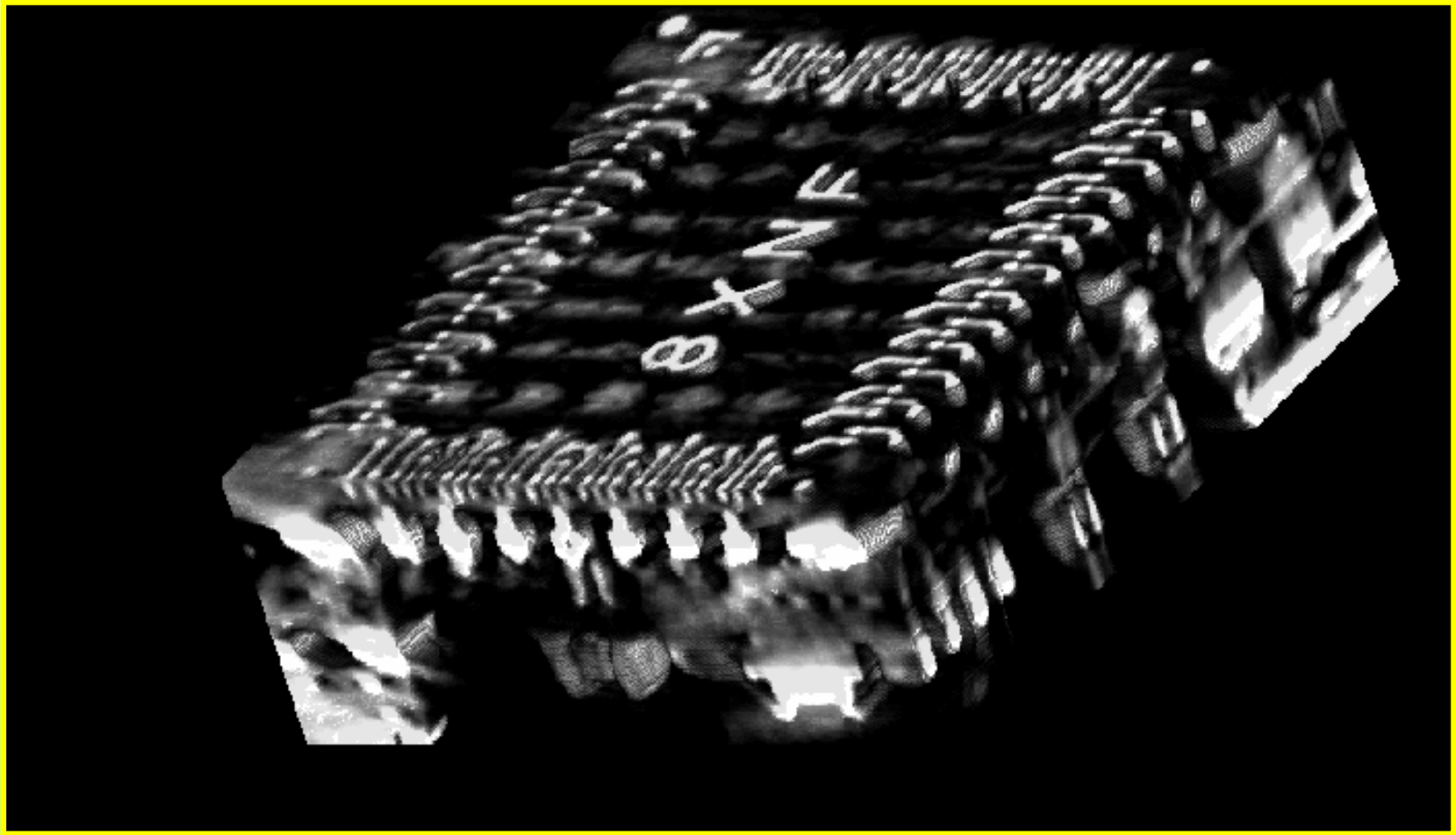
携帯電話用 CSP



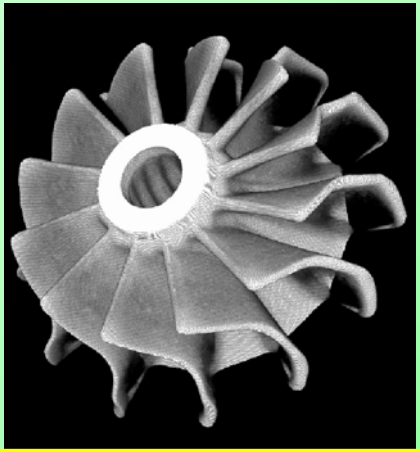
外観写真

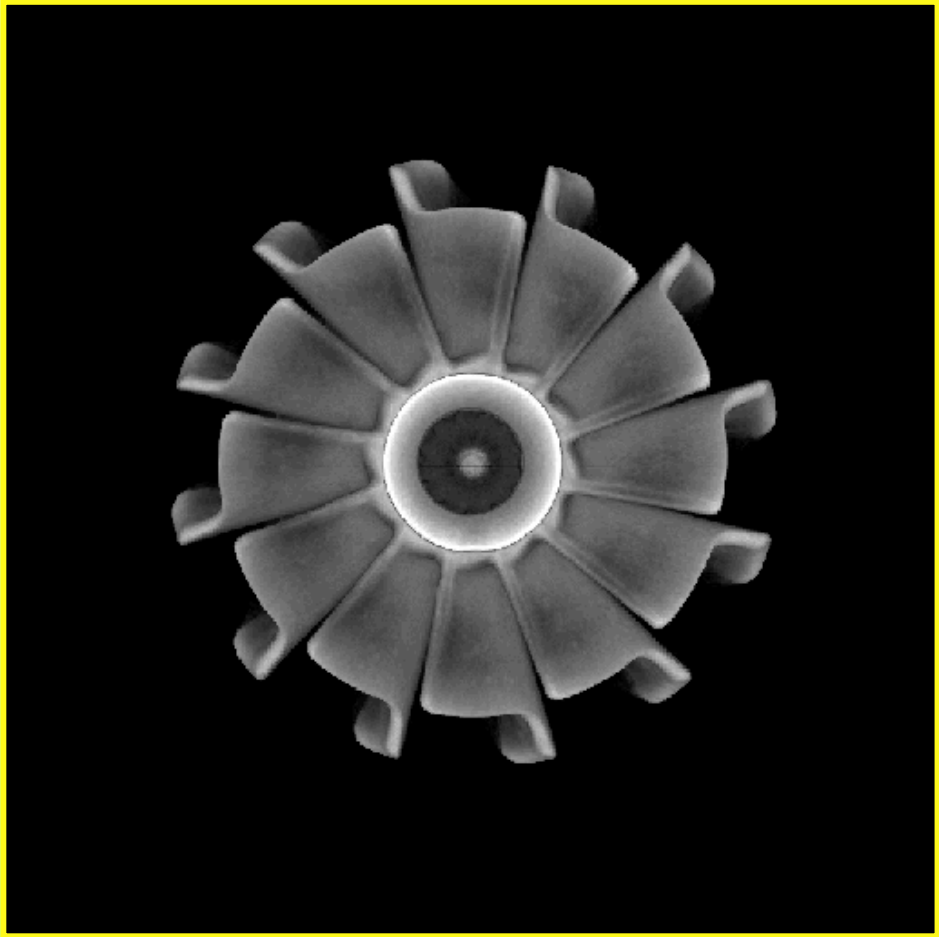
透視像

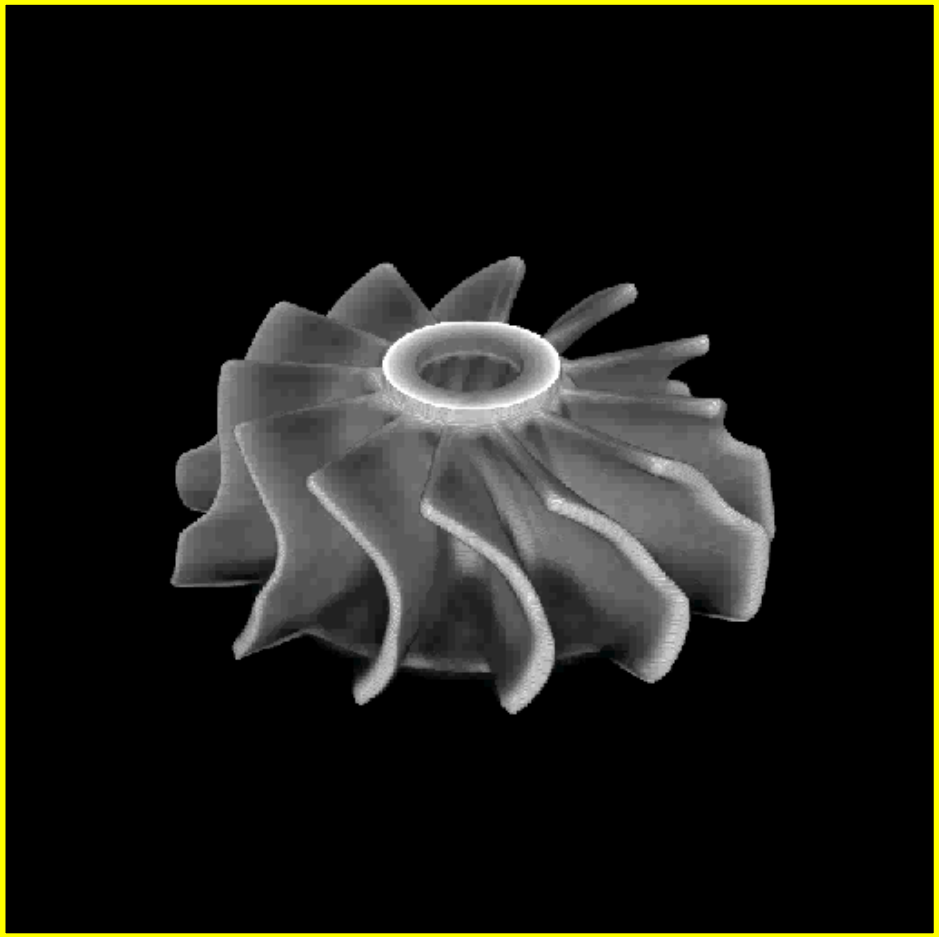




タービン翼（Metal Injection Molding, Al + Ti）
複雑な形状はX線透視装置では
効率的かつ定量的な検査が難しい　→　CT装置

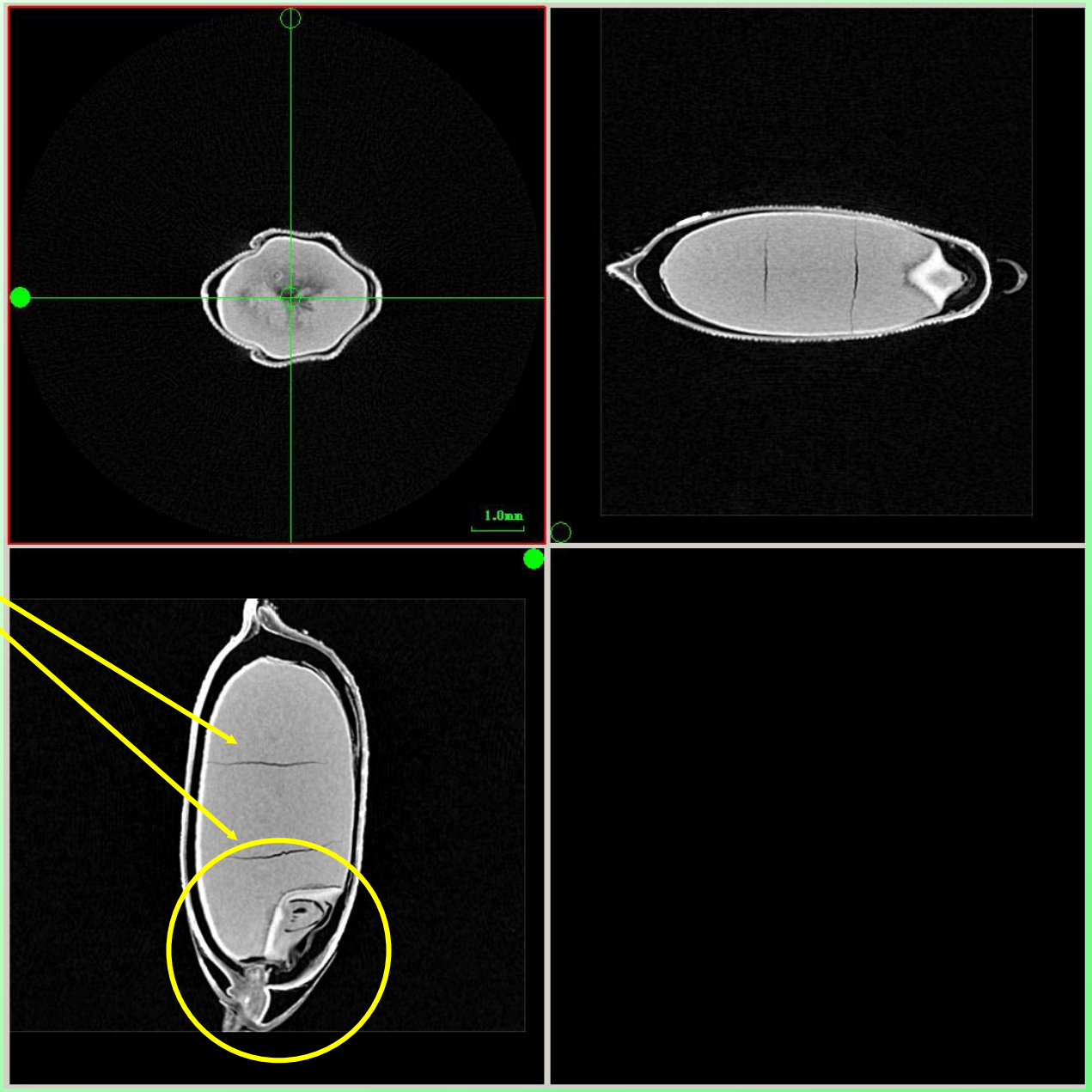




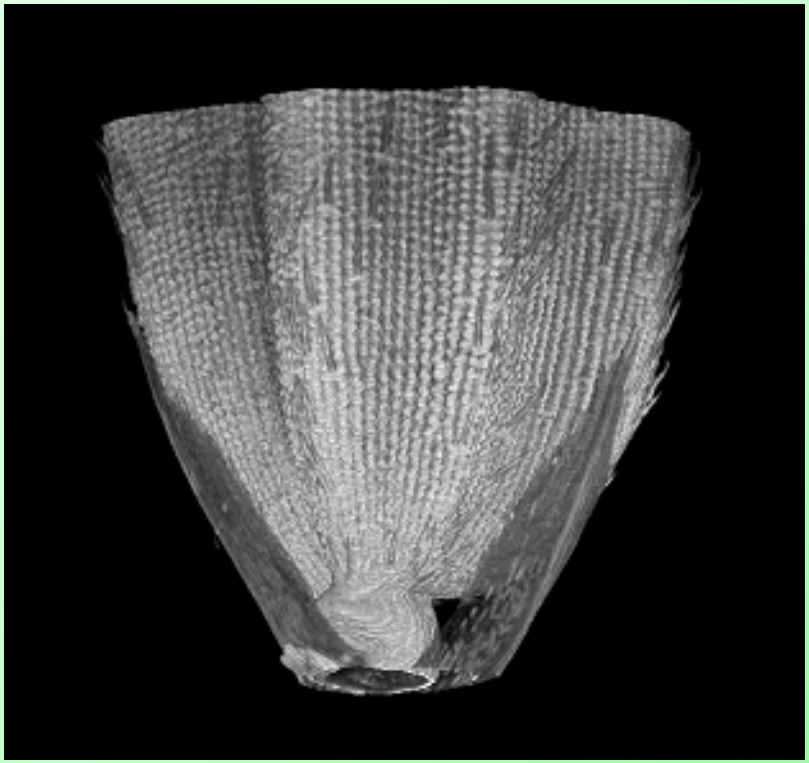


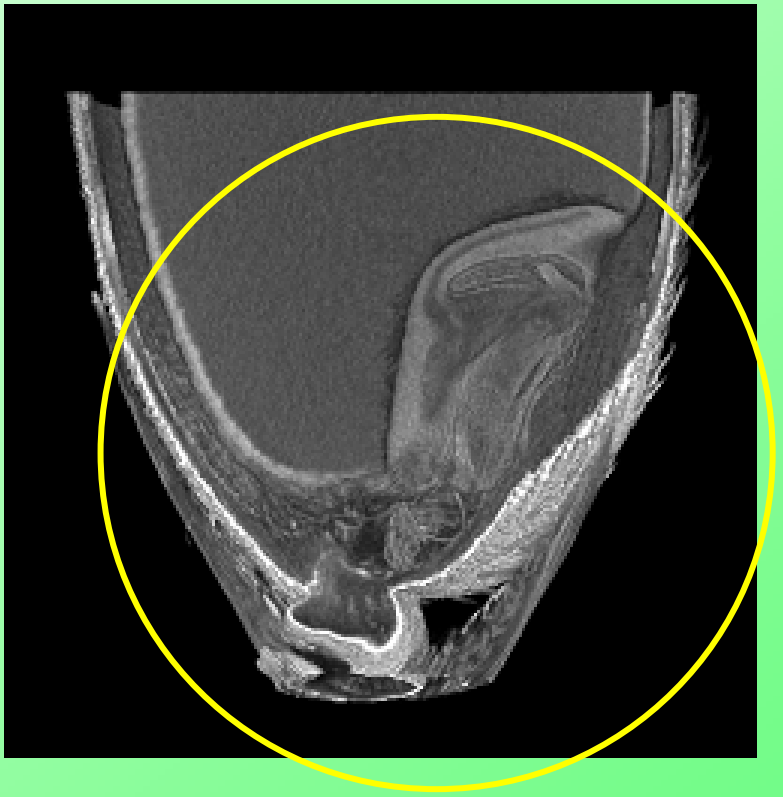
籾殻のCT像（MPR形式）

クラック



籾殻のCT像（ボリュームレンダリング形式）

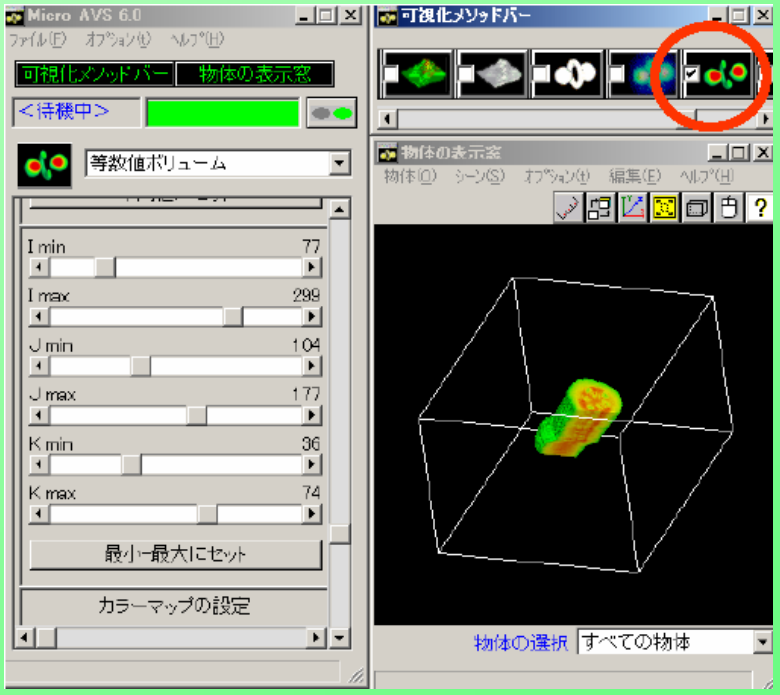




コンピュータ実習

コンピュータ実習の内容

- CT装置での画像再構築を実験してみよう
  - 身近なもの（デジカメ，野菜）を使って，コンピュータ上で再現してみよう！
- [手順]
  - 切って撮影→スライス画像
  - 必要な部分の取り出し
    →領域抽出
  - スライス画像の重ね合わせ
    →ボリュームデータ作成
  - 結果の可視→診断



画像の再構築について

断層のスライス画像を高さ方向に重ね合わせて3次元画像を作成

→ボリュームデータ

CT 水平スライス画像

3次元の
ボリュームデータ