

2007.10.04 大阪大学医学部

臨床医工学融合研究教育センター・画像医学

医用画像の基礎:

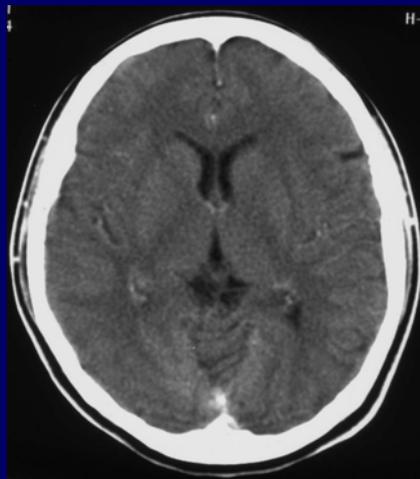
CTの原理と実際

国立循環器病センター・放射線診療部

内藤 博昭

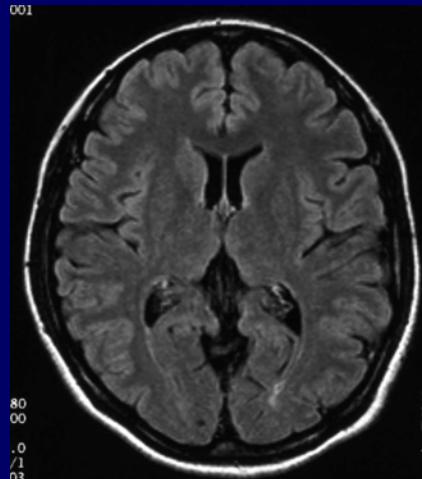
X線コンピュータ断層撮影法

X-Ray CT:
Computed Tomography



磁気共鳴画像診断法

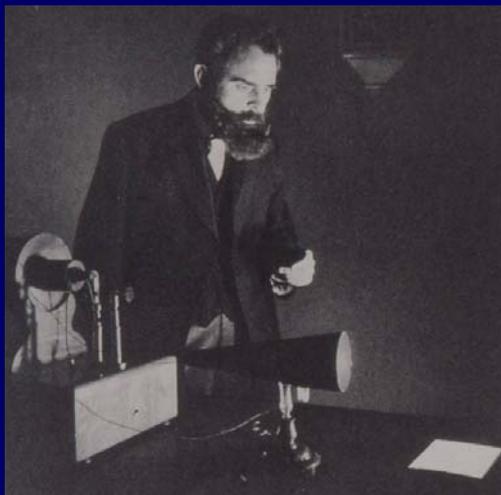
MRI: Magnetic
Resonance Imaging



X線CTの基礎と応用

1. X線イメージングの基礎
2. CTの原理
3. CTの最近の進歩
4. CTの臨床:三次元血管撮影法
5. 多次元画像の可視化・表示・診断
6. CTの発展の方向

X線発見時のレントゲン
1895.11.8 (金)



合成写真

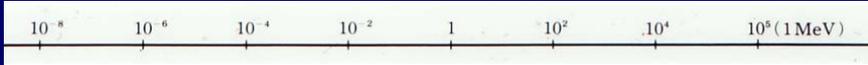
世界最初のX線写真の数々



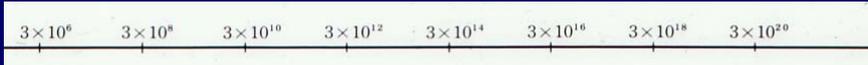
ベルタ・レントゲン夫人の手

電磁波の種類

エネルギー (eV)



周波数 (Hz)



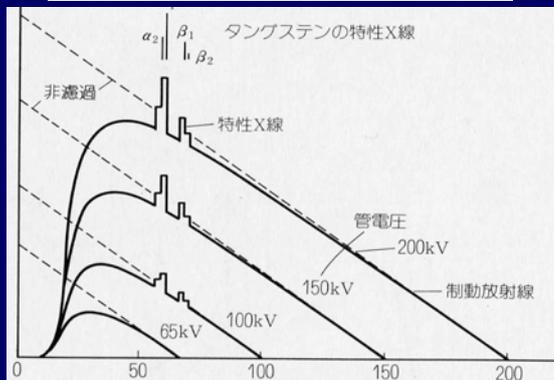
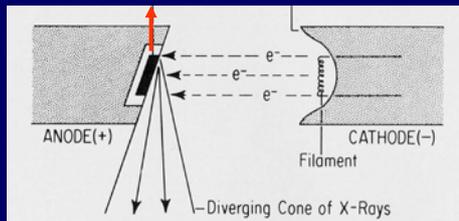
波長 (m)



X線管

- * 制動X線 (ブレーキX線)
- +
- * 特性X線 (蛍光X線)
-
- * 濾過

ターゲット金属: タングステン...



X線光子のエネルギー (keV)

胸部単純X線撮影

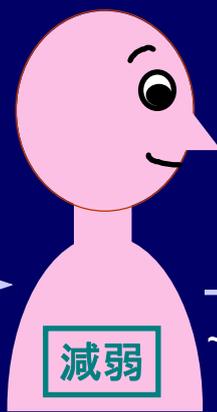
胸部正面像

- ・立位
- ・吸気呼吸停止
- ・管電圧120kVp程度
- ・撮影時間～50ミリ秒
- ・X線投影：背→腹



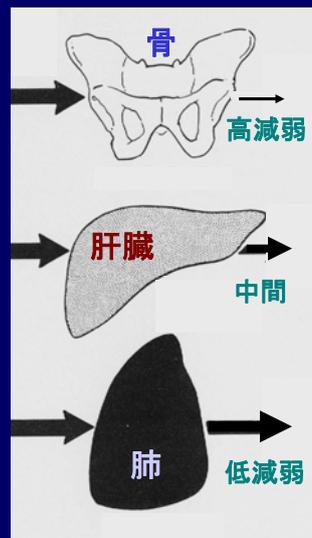
X線管

100%



～2%

検出器



人体の構成要素

* 元素／原子

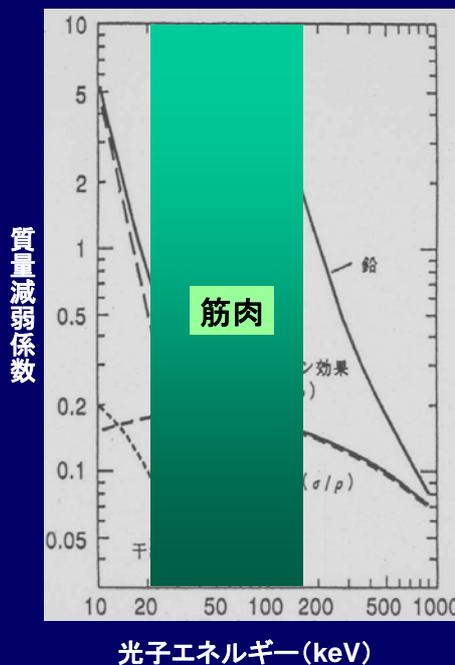
・ O : 65%, C : 18.5%, H : 9.5%, N : 3.2%...

* 分子／化合物

- ・水(自由水, 結合水／構造水) : 60～65%
- ・脂質(中性脂肪, リン脂質, ステロイド...) : 15～20%
- ・蛋白質 + 関連物質 : 18%, 塩類 : 7%...

* 液体／体液(水+溶質)

- ・細胞内液 + 細胞外液(血漿, 組織間液) : 60～70%
- ・細胞内液 : 40～45%, 細胞外液 : 20～25%
- ・血液(血漿 + 血球) : 8%(5 + 3%), 組織間液 : 15%



X線の減弱

* 干渉性散乱 : 弾性散乱

* 光電効果 : 光電吸収

- ・元素の違いを反映
- ・生体元素のK吸収端 (keV) :
H 0.0136, C 0.283, O 0.531

* コンプトン散乱 : 非弾性散乱

- ・電子密度 \propto 生体厚みを反映

* 電子対生成・三対子生成

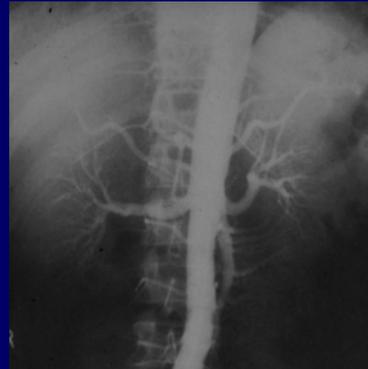
* 光核反応

腹部單純X線攝影



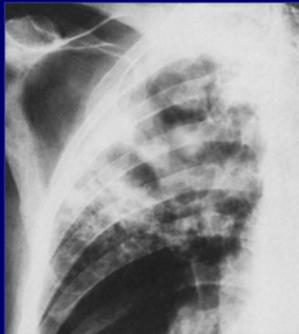
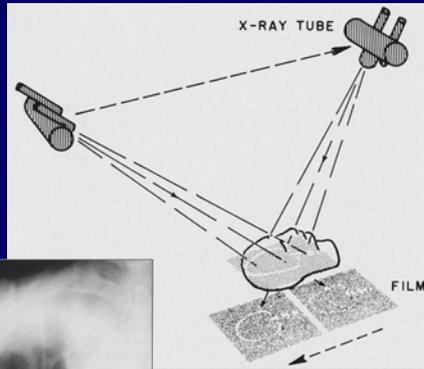
胸部單純X線攝影

腹部單純X線攝影

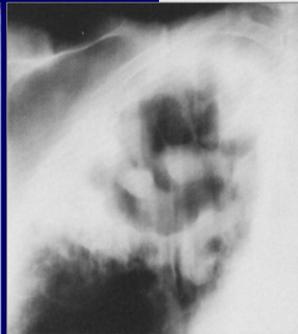


腹部大動脈造影

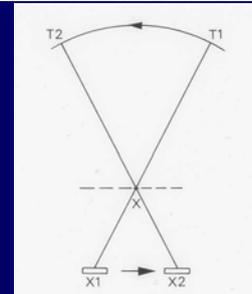
**アナログ
X線断層撮影法:
X-Ray Tomography**



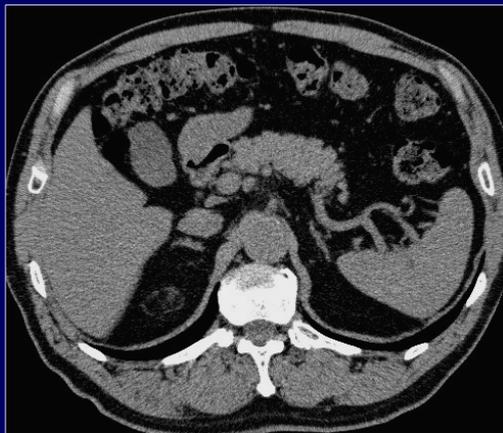
普通のX線写真



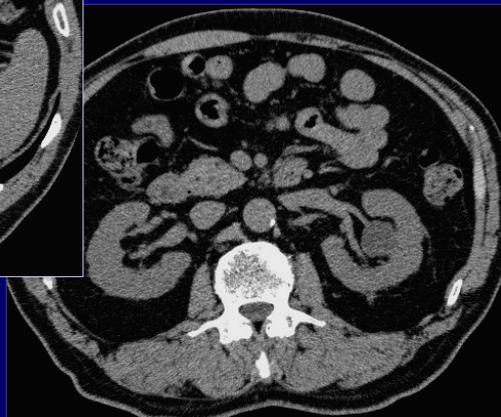
アナログ断層写真



X線コンピュータ断層撮影法



**CT:
Computed
Tomography**



X線CTの基礎と応用

1. X線イメージングの基礎
2. CTの原理
3. CTの最近の進歩
4. CTの臨床:三次元血管撮影法
5. 多次元画像の可視化・表示・診断
6. CTの発展の方向



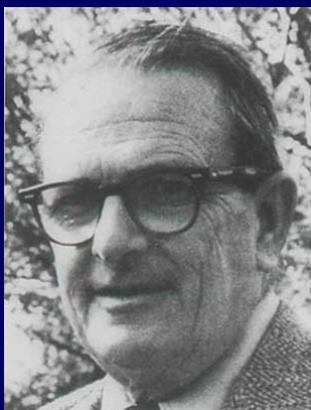
W.レントゲン

* 1895 レントゲン: X線の発見 ... ノーベル賞(1901)

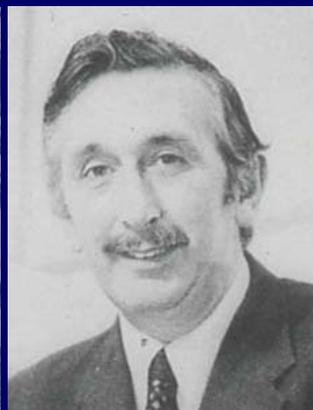
* 1972 X線CT(コンピュータ断層撮影法)登場
... ハウンズフィールド / コーマックにノーベル賞(1979)



D.ボイド



A.コーマック



G.ハウズフィールド

**NCVC
のCT**



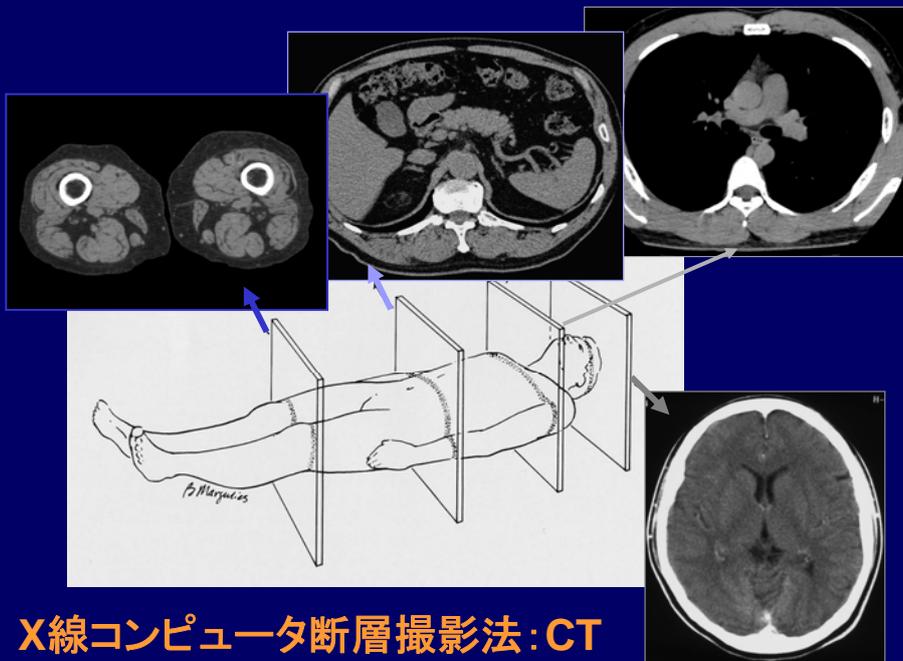
GE:CT/T 8800 (1980年導入)
往復運動方式・4.8秒 / 9.6秒スキャン



**IMATRON:C-100 / C-150
(1988年導入)**
電子ビームCT・50 / 100ミリ秒スキャン

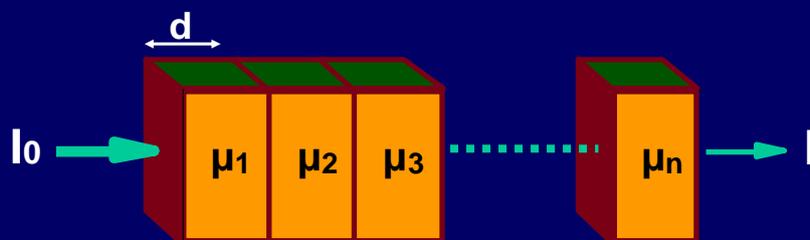
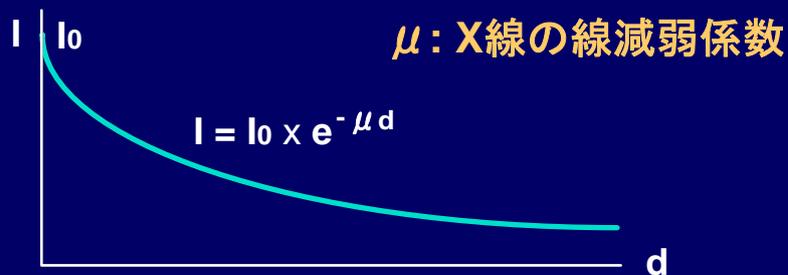
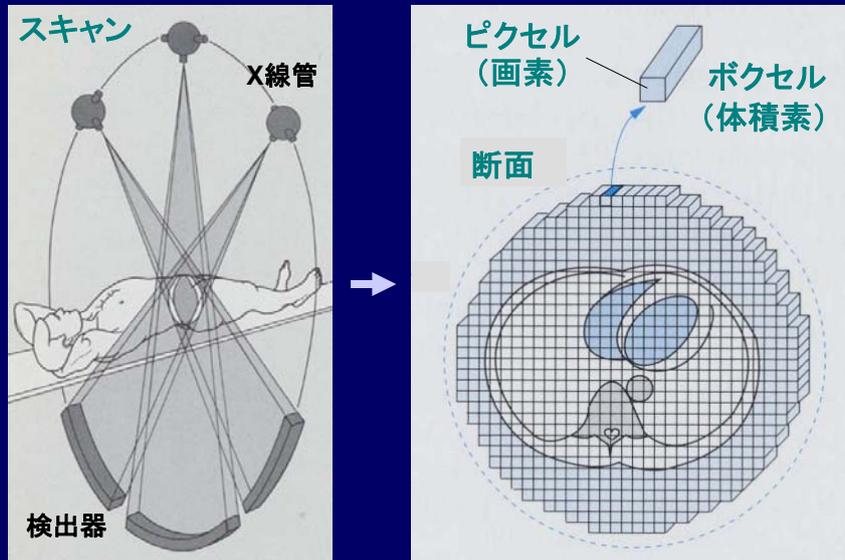


**東芝:Aquilion
(2001年導入・2003年v-up)**
連続回転方式・16列-MSCT
0.4秒 / 0.5秒回転

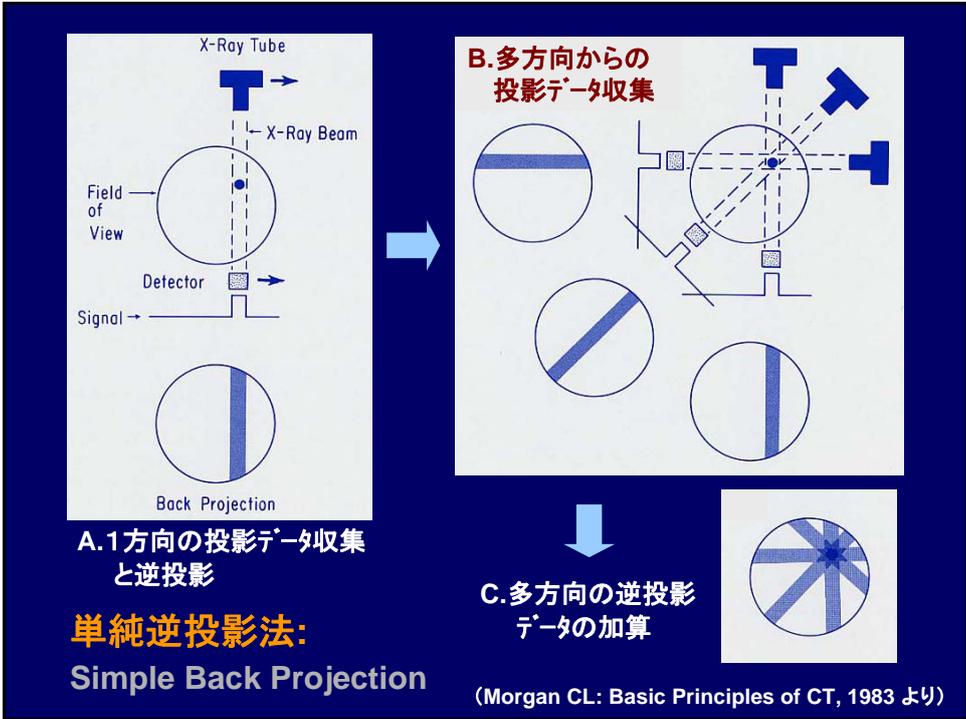
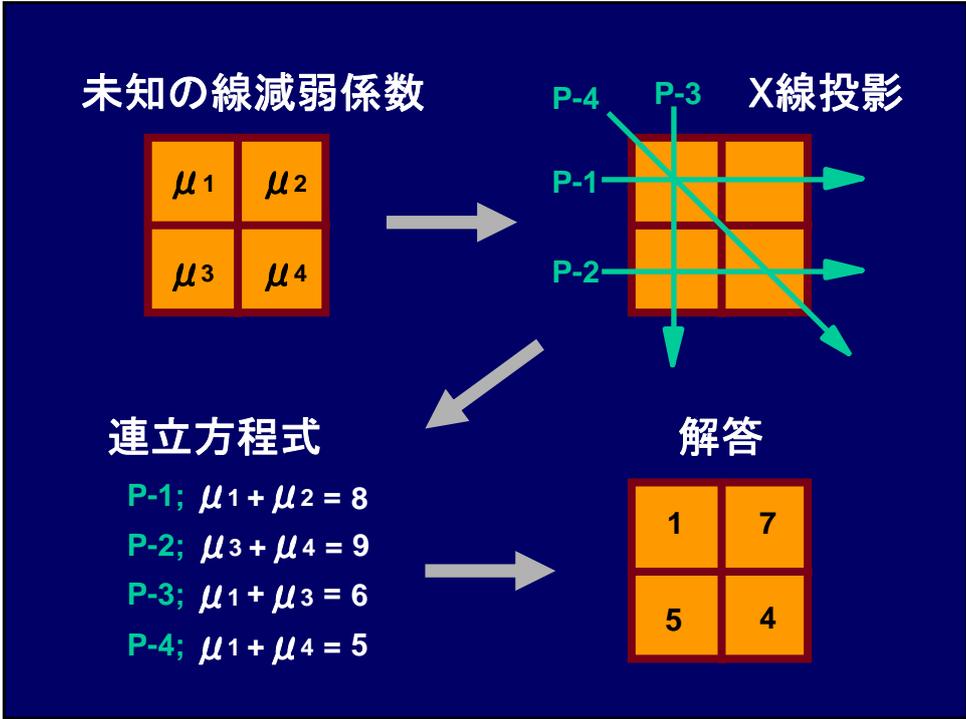


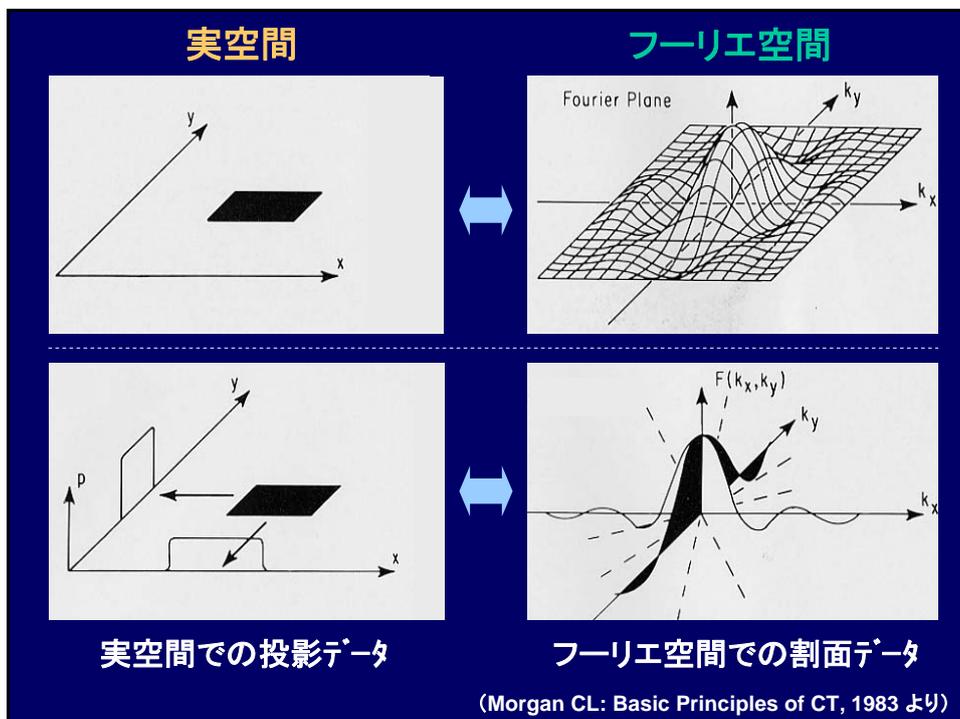
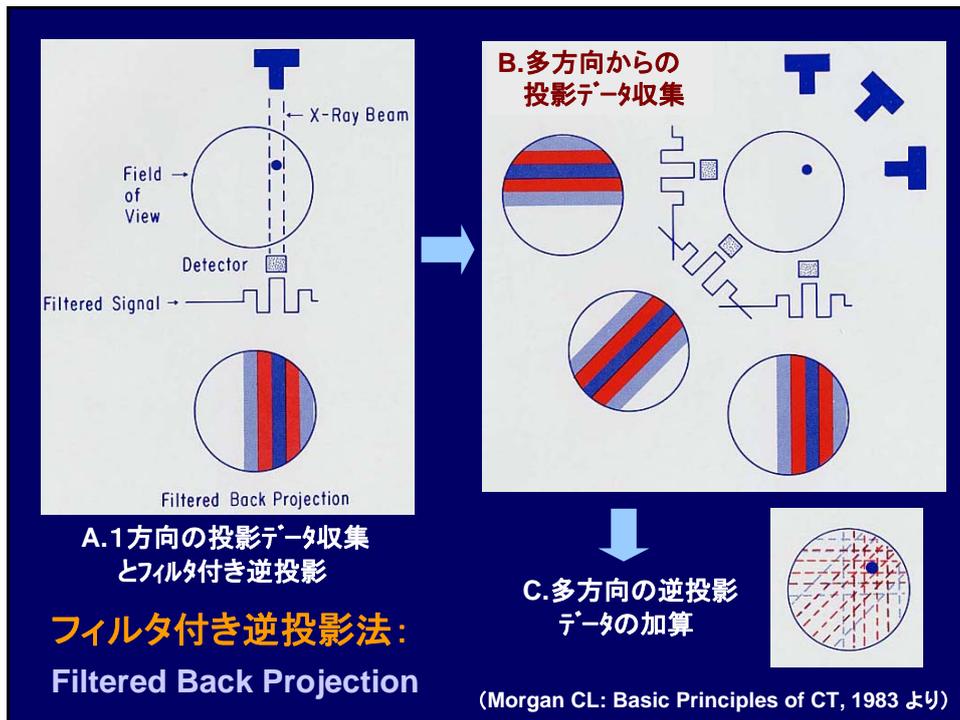
X線コンピュータ断層撮影法:CT

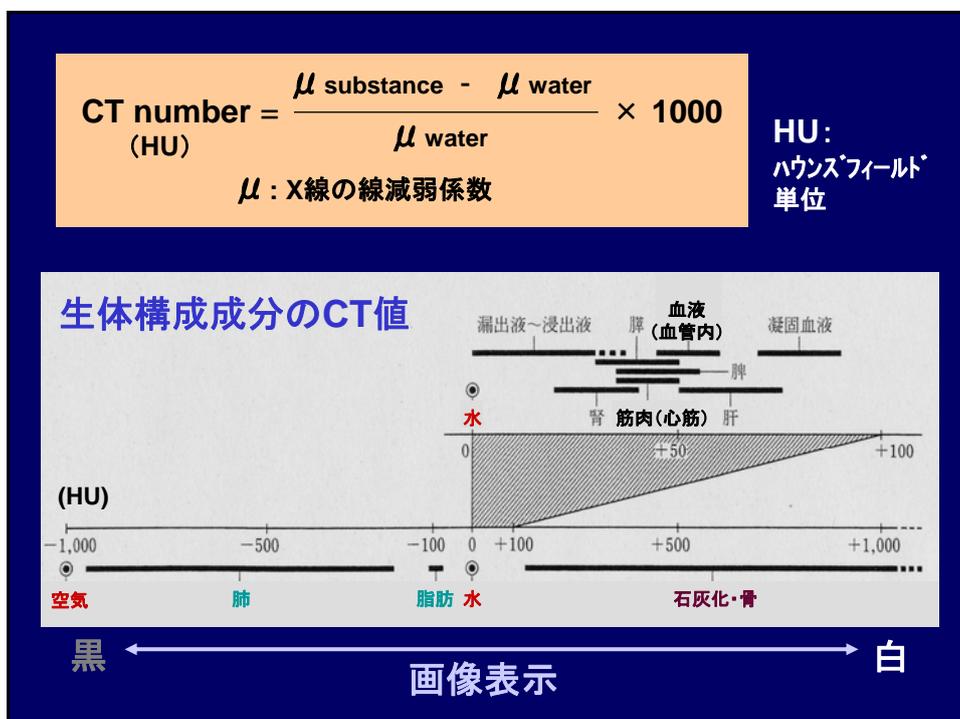
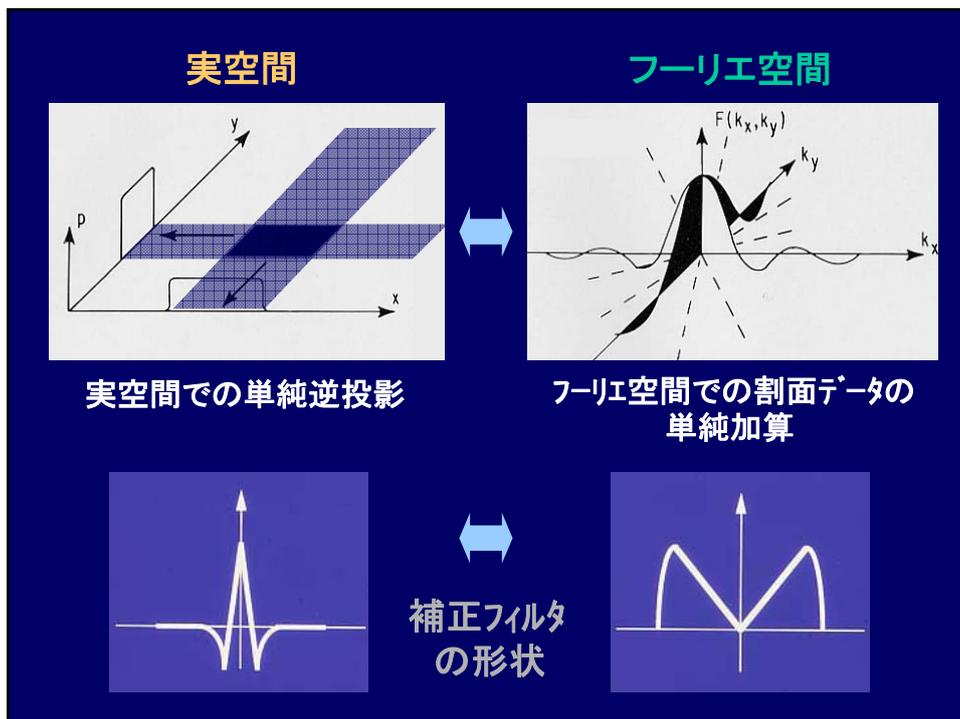
X線コンピュータ断層撮影法: CT



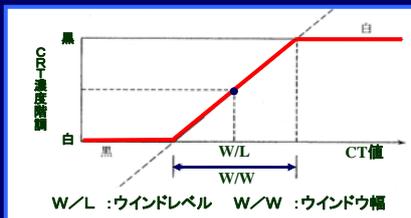
$$I = I_0 \times e^{-d(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \dots + \mu_n)}$$



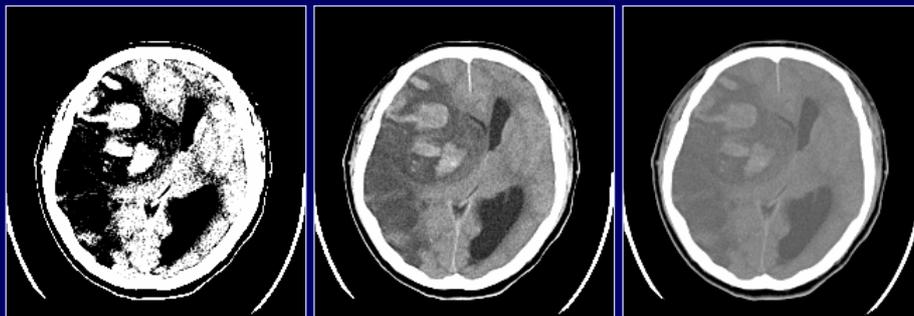




CT画像の表示



W/L 30



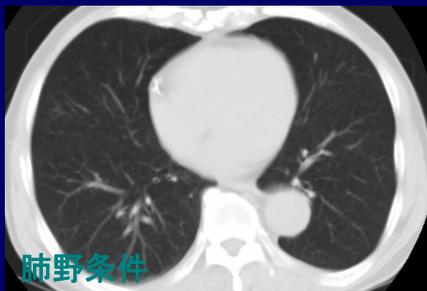
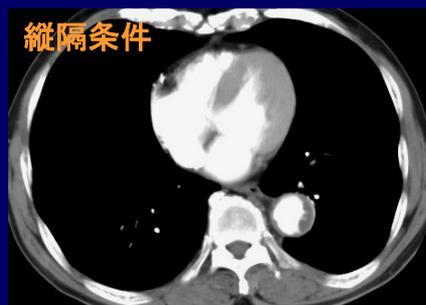
W/W 10

W/W 70

W/W 200

胸部単純CT像

造影CT像



画像表示
ウインドウ幅/レベル(CT値):

300/40

300/40

1500/-600

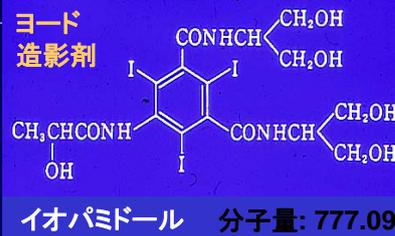
X線検査用造影剤

* 陽性造影剤

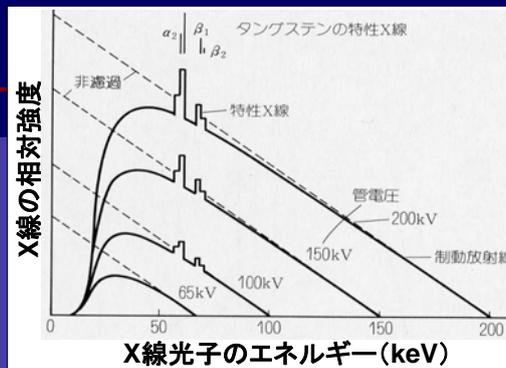
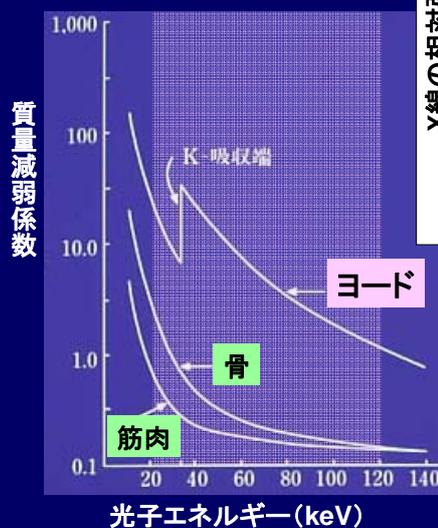
	元素	原子番号	K吸収端
・ヨード造影剤: 血管造影用	I	53	33.16 keV
・硫酸バリウム: 消化管造影用	Ba	56	37.41 keV
・キセノンガス(脳血流CT)	Xe	54	34.56 keV

* 陰性造影剤

- ・気体: 空気, 酸素, 炭酸ガス...
- ・オリーブ油(膀胱CT)



X線の発生と減弱

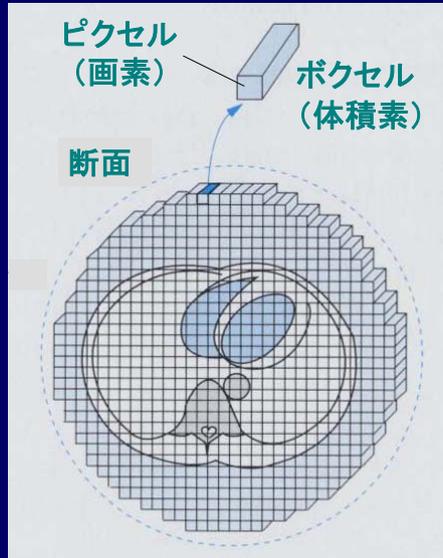
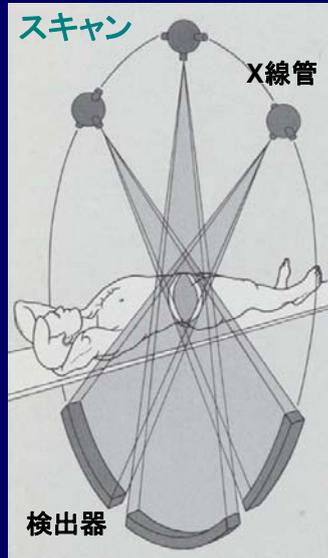


* 光電効果: 光電吸収

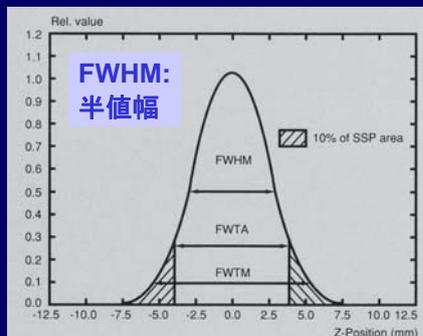
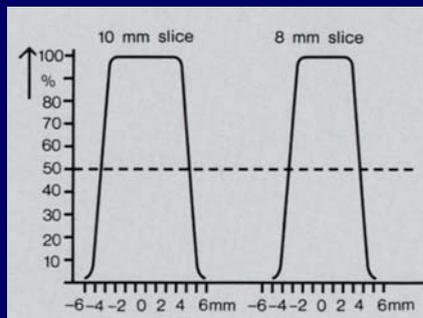
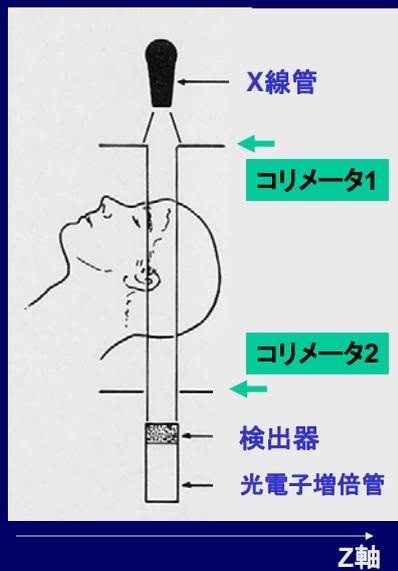
・元素のK吸収端 (keV):
H 0.0136, C 0.283, O 0.531

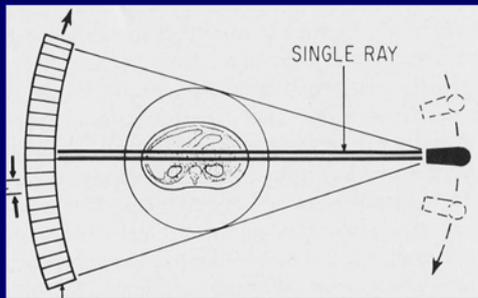
* コンプトン散乱: 非弾性散乱

X線コンピュータ断層撮影法:CT



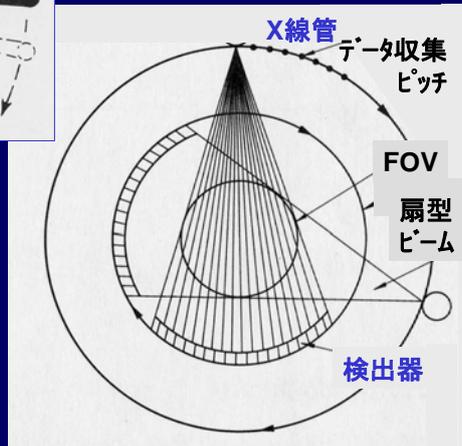
X線CT: 断面厚みの決定



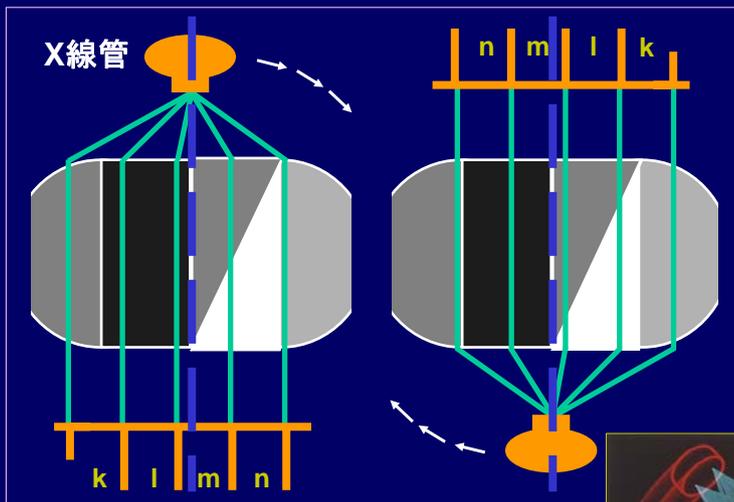


X線CT: 面内分解能の決定要因

- * 1本のX線ビームの細さ
 - ・管球の焦点サイズ
 - ・検出器の開口径
- * 視野内のX線ビーム密度
 - ・検出器の数と配列密度
 - ・データ収集ピッチ

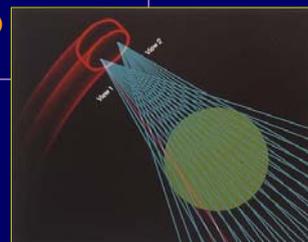


FOV: field of view: 視野



Q/Q オフセット検出器システム

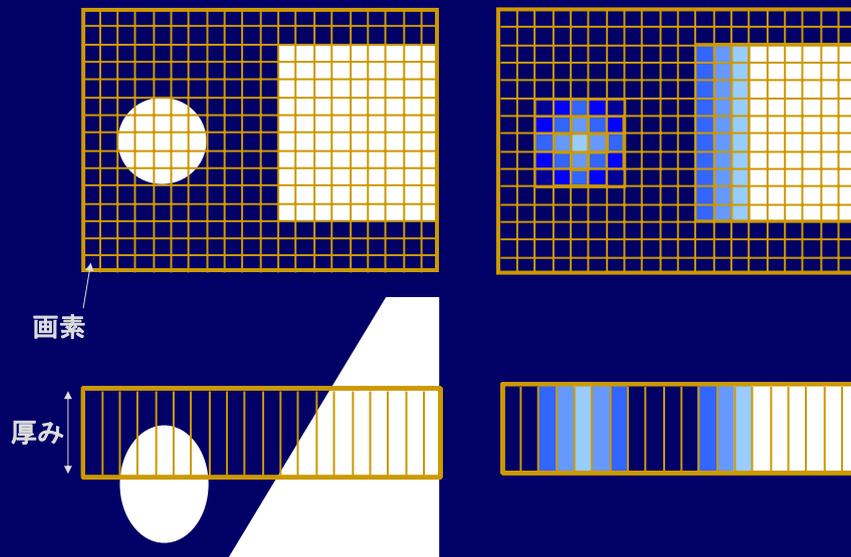
フライング フォーカススポット



部分体積／容積効果: Partial Volume Effect

実際のデータ

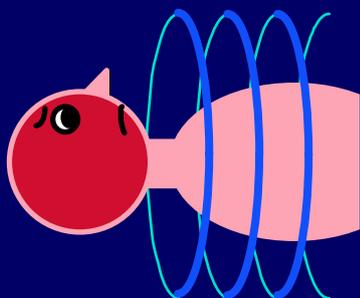
表示画像



X線CTの基礎と応用

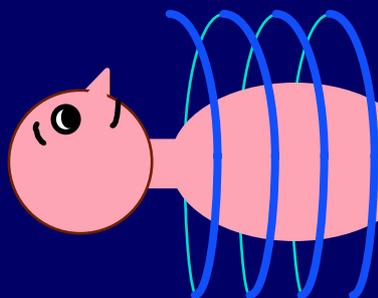
1. X線イメージングの基礎
2. CTの原理
3. CTの最近の進歩
4. CTの臨床: 三次元血管撮影法
5. 多次元画像の可視化・表示・診断
6. CTの発展の方向

ステップスキャン



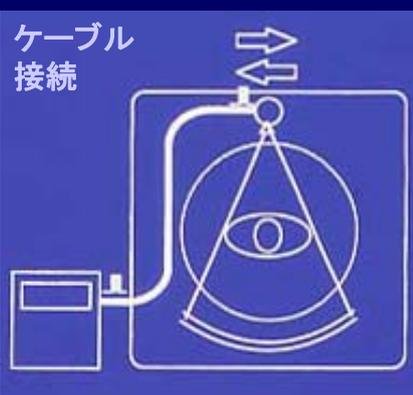
- ・往復回転型装置
 - ・スキャンとテーブル移動が交互
- 体積スキャンに時間がかかる

ヘリカルスキャン



- ・連続回転型装置
 - ・スキャンとテーブル移動が同時
- 体積スキャンが速い！**

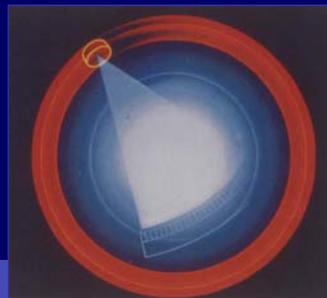
ケーブル
接続



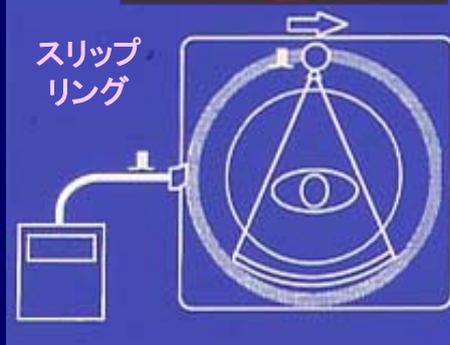
往復回転型装置

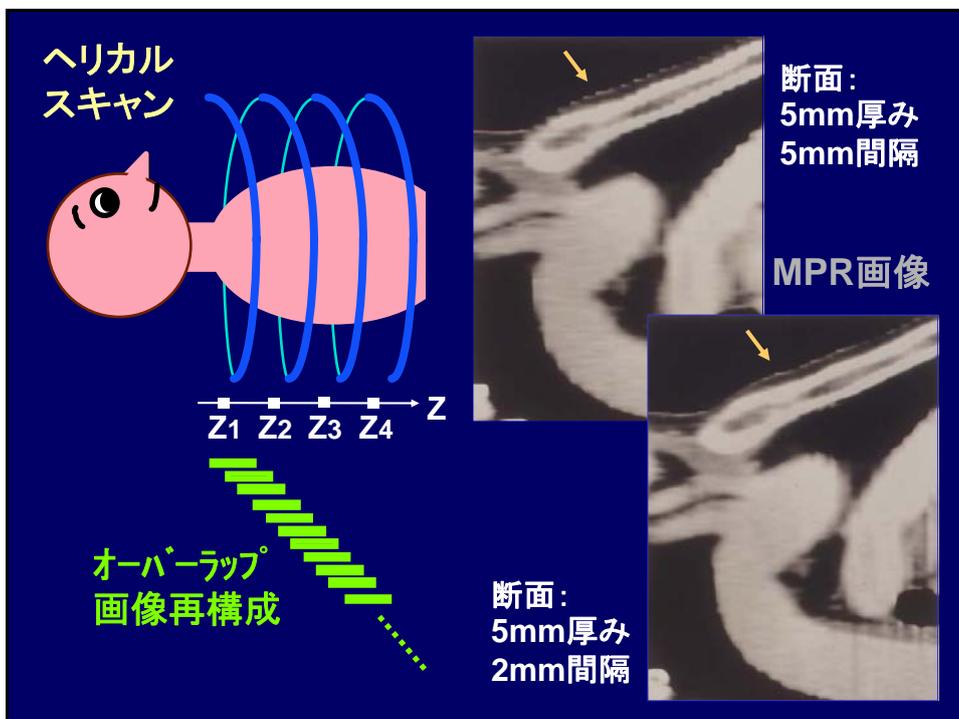
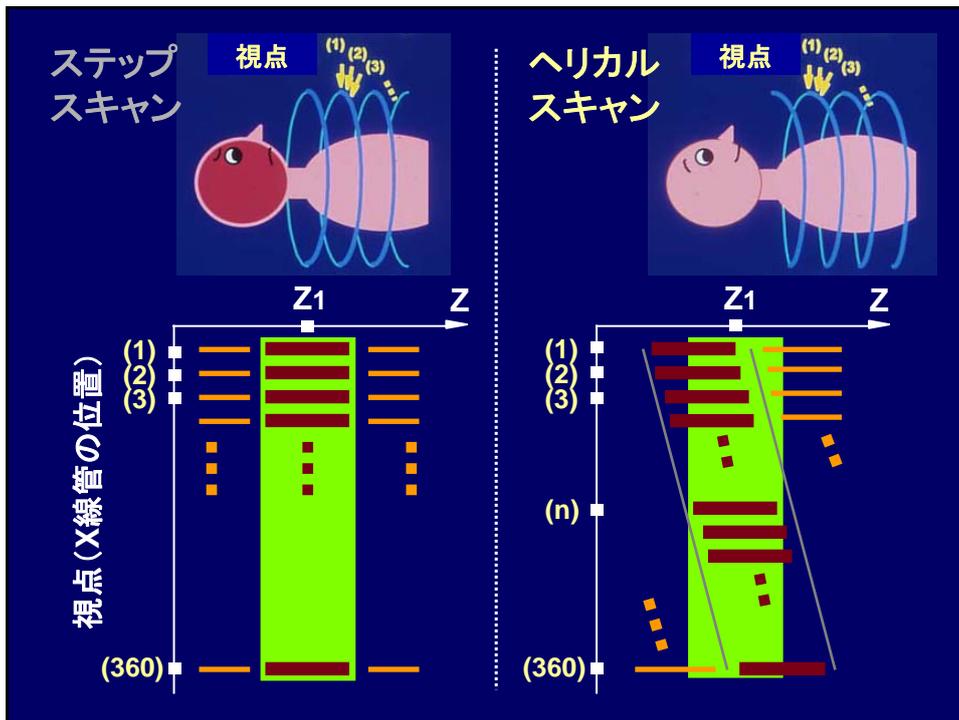


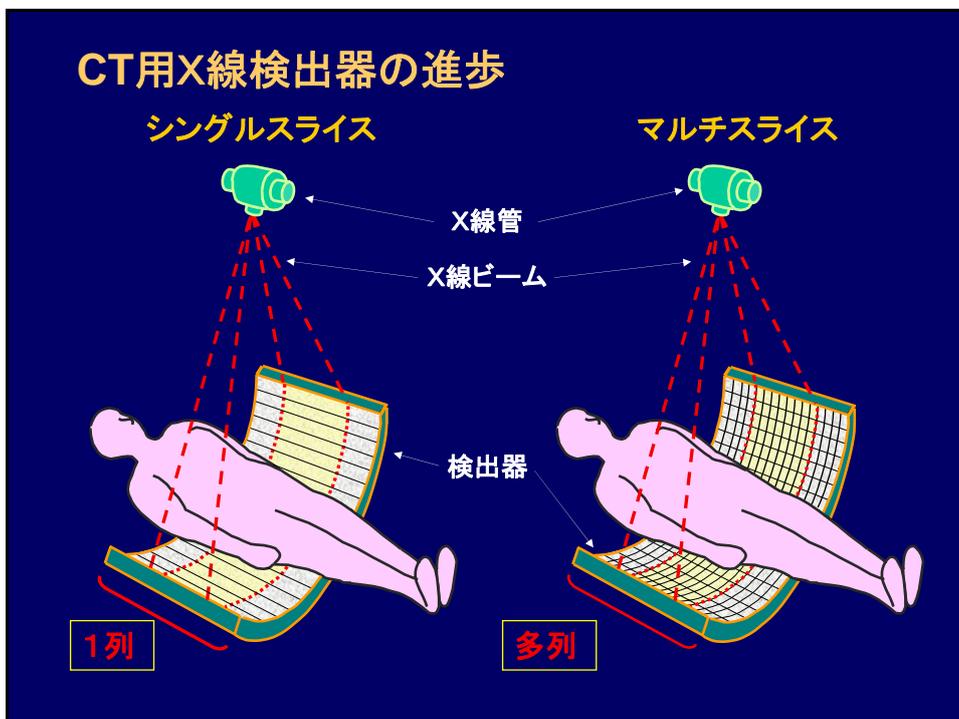
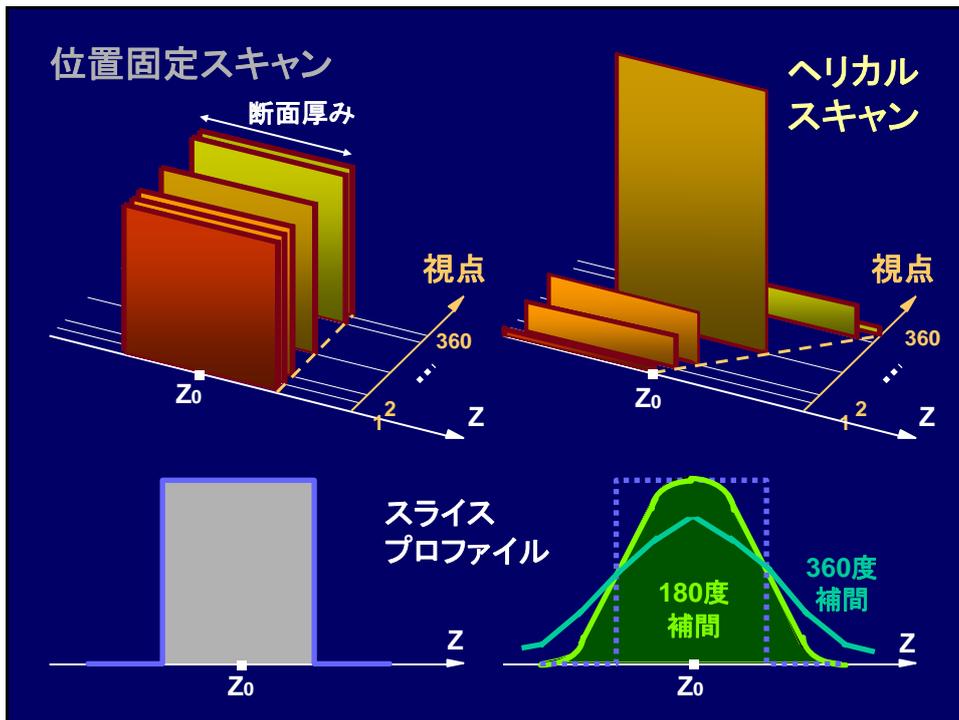
連続回転型装置

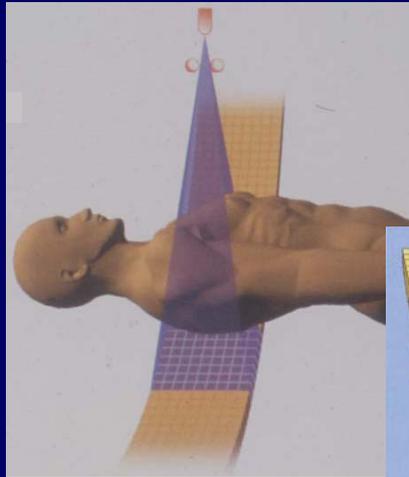


スリップ
リング

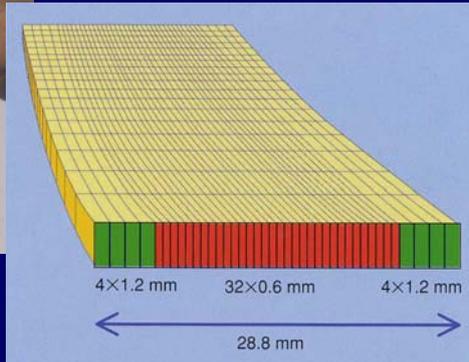








多検出器列CT:
Multi detector-row CT
マルチスライスCT
(MDCT/MSCT)



▶ 検出器の
薄層・多列化！

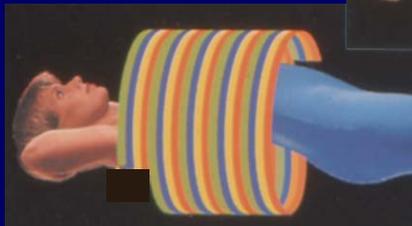
4列→8列→16列→32列→64列...

ヘリカルスキャン:連続回転型CT装置による

シングル

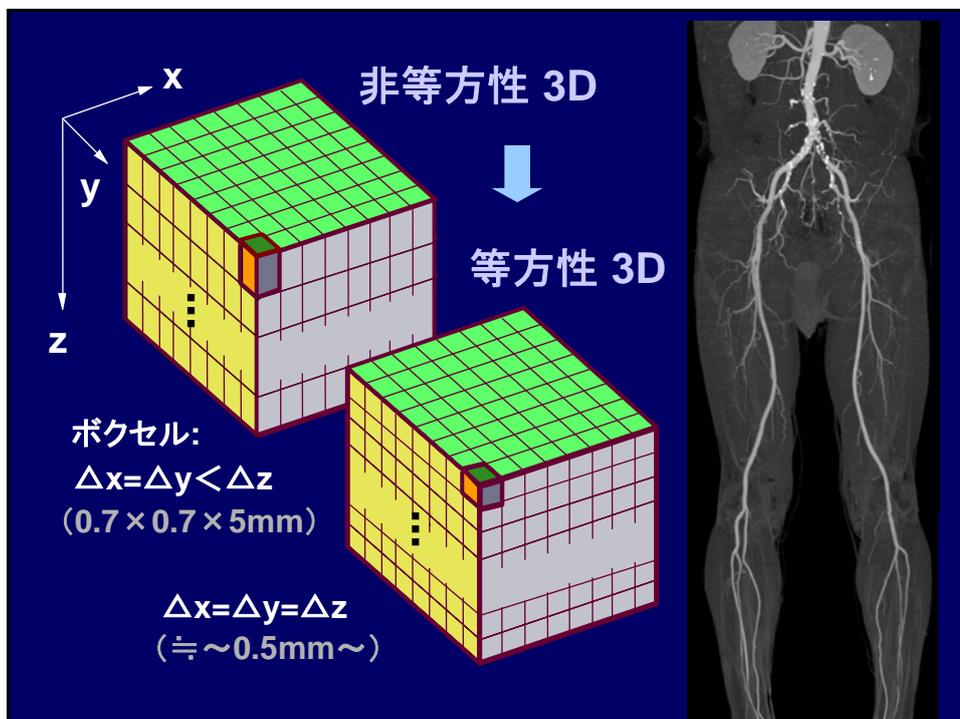
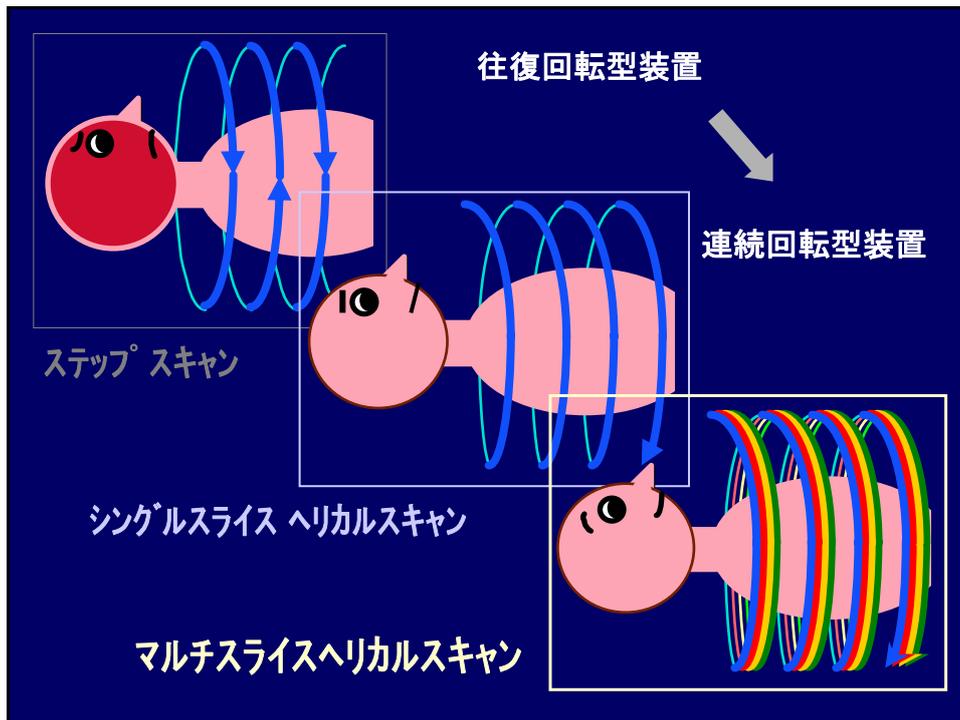


デュアル



マルチスライス /
多検出器列

マルチスライス ヘリカルスキャン



直接冠状断CT:
Direct Coronal CT

頭部CT

骨盤部CT

(Lee JKT et al: Computed Body Tomography, 1983 より)

MRI

マルチスライスCT

冠状断面

MPR画像

矢状断面

冠状断面

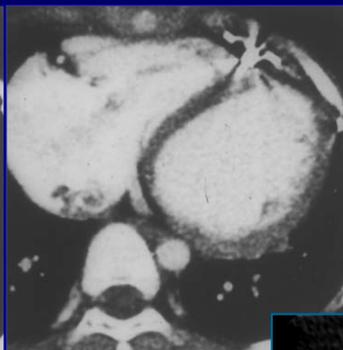


日本最古の写真
(1857)

薩摩藩主
島津斉彬の
銀板写真

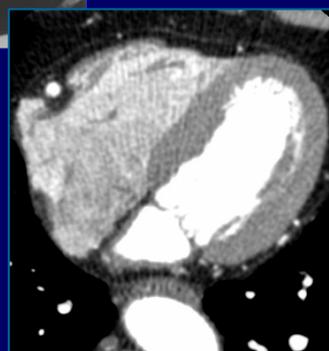


GE:CT/T8800
9.6秒スキャン



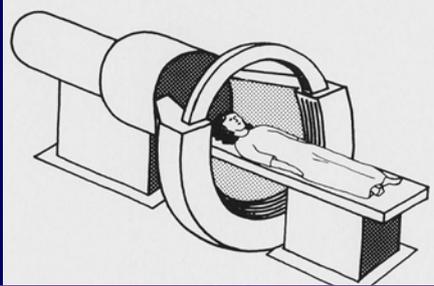
電子ビームCT:
イマトロン
100ミリ秒スキャン

0.4秒回転
セクタ再構成
≦200ミリ秒
16列-MDCT:
東芝Aquilion



X線CT: 画像の時間分解能

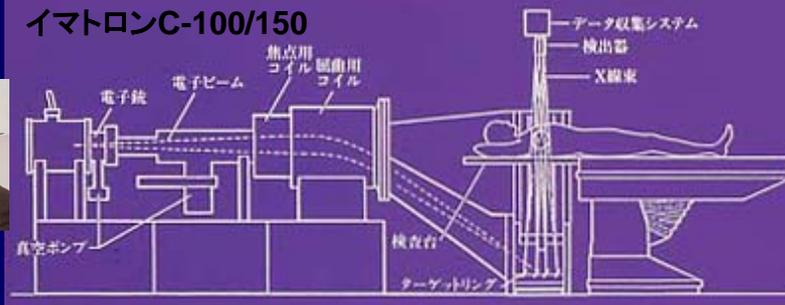
電子ビームCT: Electron-Beam CT (EBT)



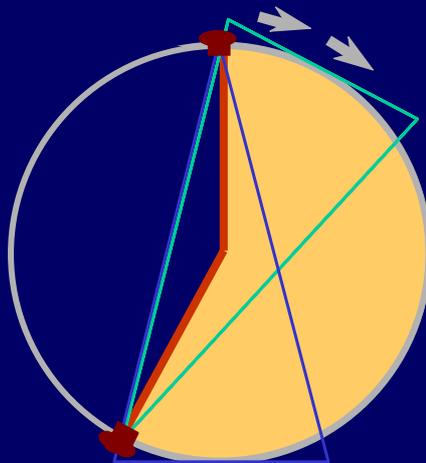
イマトロンC-100/150



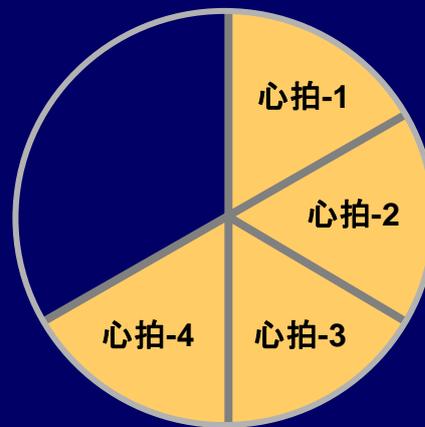
D.ボイド

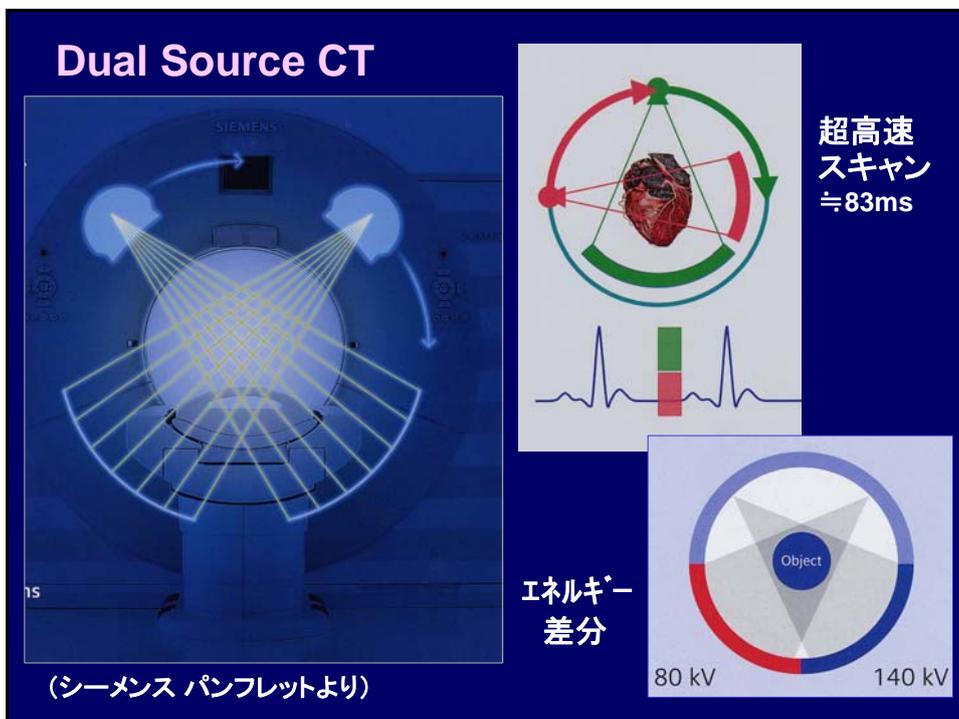
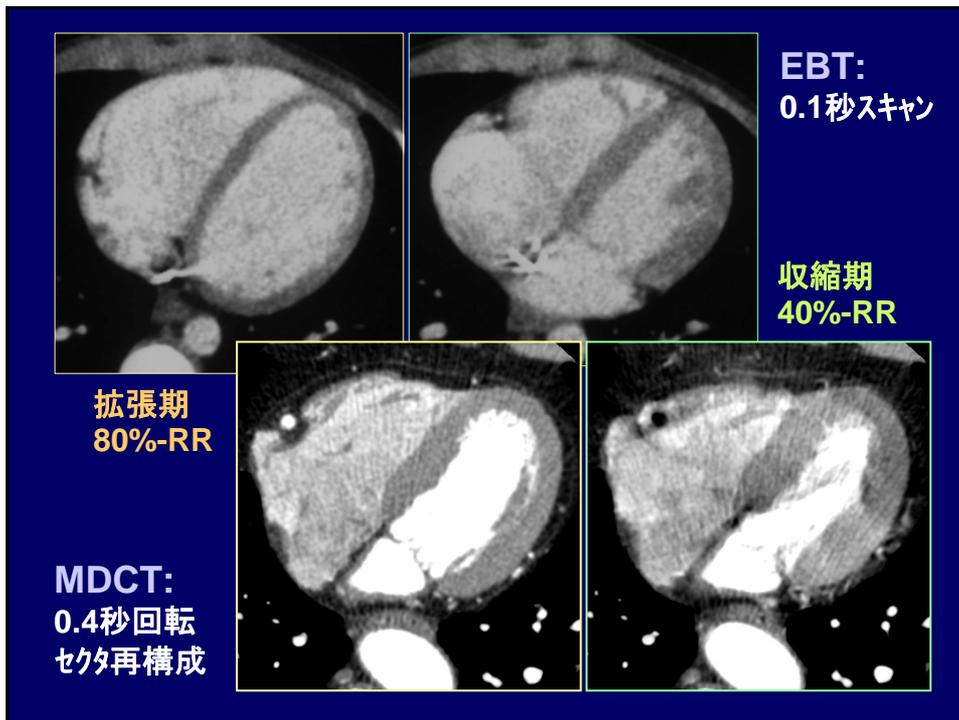


ハーフスキャン法 /
ハーフ再構成法



マルチセクタ /
セグメント /
パッチ再構成法





X線CT:画像の特徴

- * 断層像:水平横断面(自由断面は変換再構成法で対応)
視野広い, 位置再現性・距離計測精度高い
 - * 面内分解能 ⇔ 画素サイズ:0.5~0.7mm(最小0.3mm)
体軸方向分解能 ⇔ 断面厚み ≥画素サイズ
 - * 時間分解能 ⇔ スキャン時間:1秒以下(EBT50ミリ秒)
 - * 組織のコントラスト ⇔ CT値:標準性・定量性あり
石灰化・脂肪組織・気体の描出は容易
軟部組織コントラスト低い → 造影剤の必要性高い
 - * アーチファクト:動き, 金属, ビーム硬化...
 - * 画像の安定性高い
-