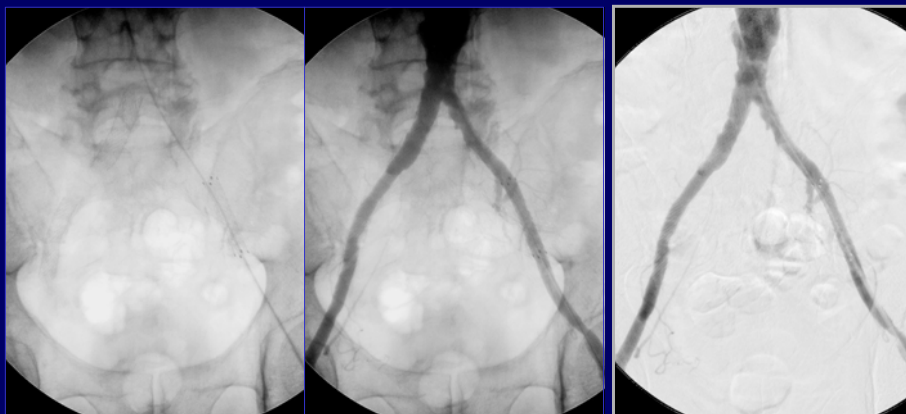


## X線CTの基礎と応用

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

## カテーテルX線血管造影法

腹部大動脈～腸骨動脈造影



造影前  
マスク像

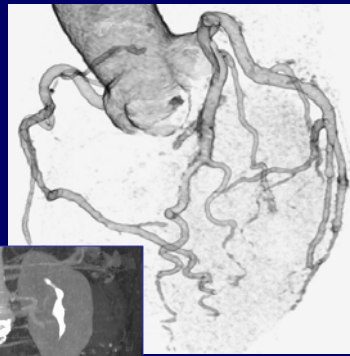
造影時  
ライブ像

デジタル差分像

## CTアンジオグラフィ



頭部血管



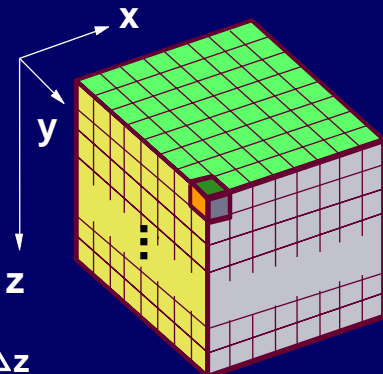
冠動脈



腹部～骨盤部動脈

## マルチスライス ヘリカルスキャン

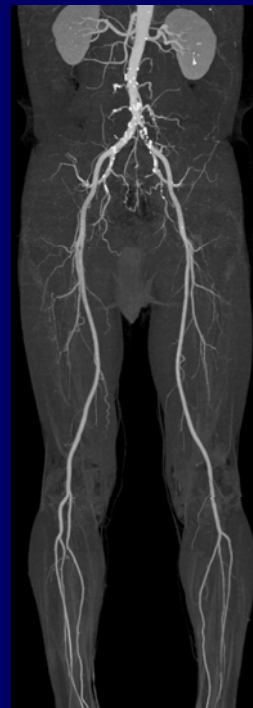
等方性 3Dデータ

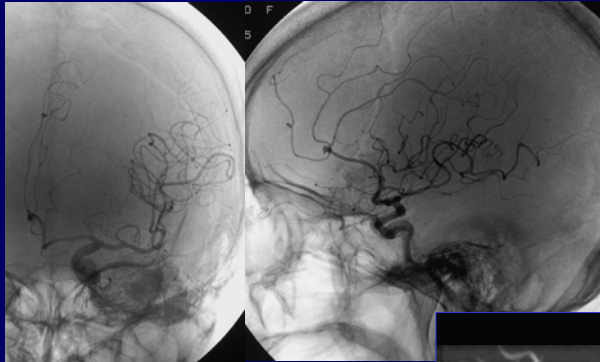


ボクセル:

$$\Delta x = \Delta y = \Delta z$$

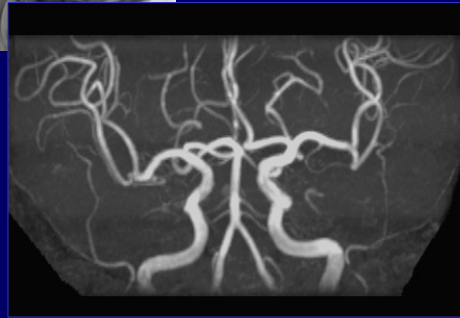
( $\approx \sim 0.5\text{mm} \sim$ )



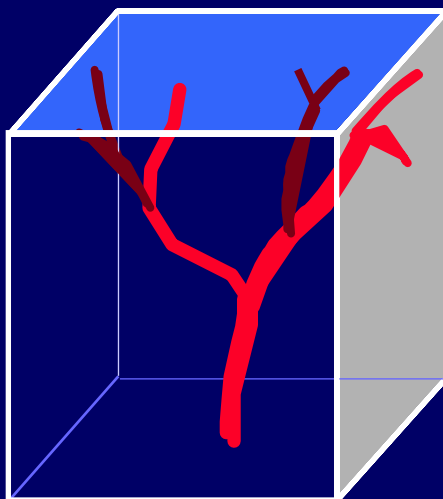


MR  
アンジオグラフィ  
非造影TOF-  
MR血管撮像

カテーテル  
X線血管造影法  
内頸動脈造影



### 三次元血管撮影法: CTA / MRA

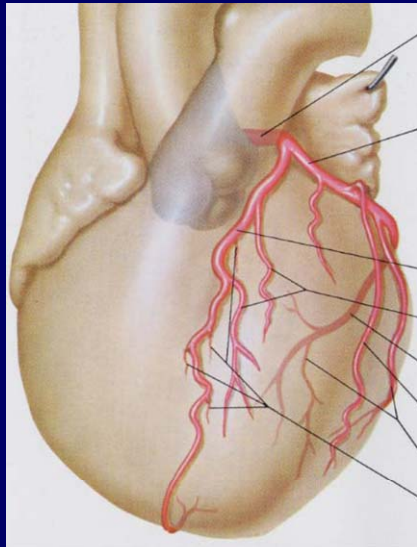


従来法に対して:

優位点

- \* 低侵襲性
- \* 視点の自在性
- \* 血管壁の診断
- \* 周囲構造との関係

## カテーテル冠動脈造影法



左本幹

回旋枝

前下行枝

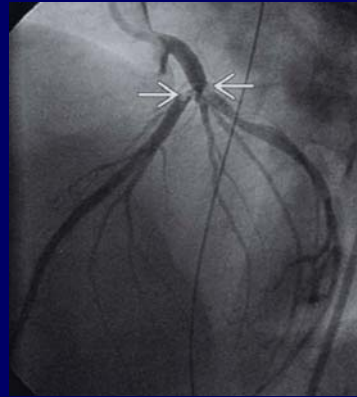
対角枝

鈍縁枝

後側壁枝

心室中隔枝

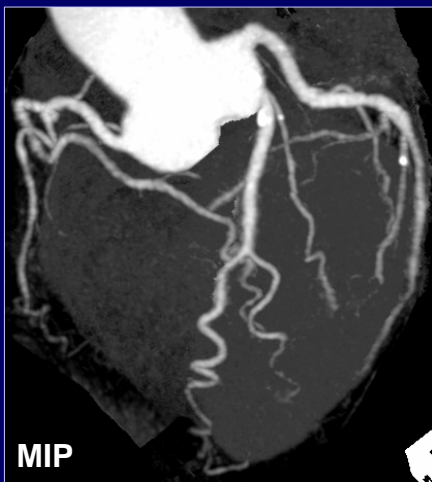
## 左冠動脈造影像



左前下行枝・回旋枝  
起始部狭窄

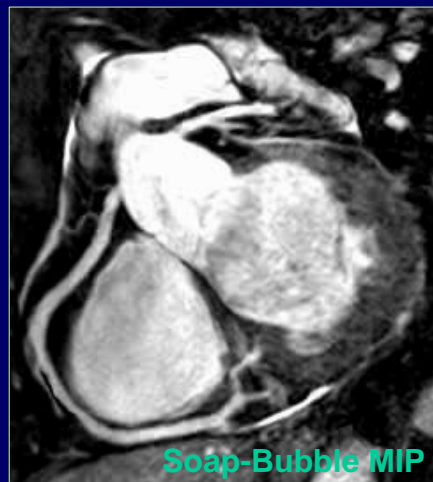
## 冠動脈CT / MRアンジオグラフィ

CTA: 16列-MDCT



MIP

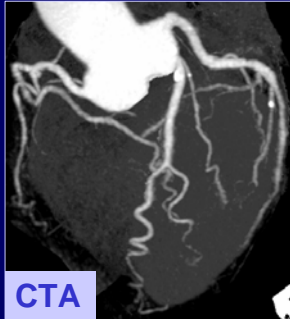
Whole Heart MRA



Soap-Bubble MIP

提供: フィリップスメディカルシステムズ

## 冠動脈イメージング: MD-CTA vs. MRA

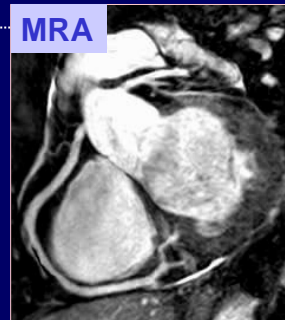


\* MD-CTAの優位点:

- ・空間分解能がより高い / 狭窄診断精度も少し高い
- ・ステント内の描出が可能
- ・冠動脈壁～プラーク評価の可能性

\* MRAの優位点:

- ・より低侵襲:呼吸停止なし・造影なし
- ・電離放射線被曝がない
- ・石灰化による内腔描出障害がない



## 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

## 体積画像データの可視化: 三次元表示法

### \* MPR: Multi-planar Reconstruction

断面変換／再構成断面の表示

### \* MIP: Maximum Intensity Projection

最大値の投影表示

### \* 表面レンダリング: Surface Rendering

三次元表面／境界面の(陰影付き)表示

### \* 体積レンダリング: Volume Rendering

濃淡値と透過度を調整した投影表示

## MPR: 断面変換表示法

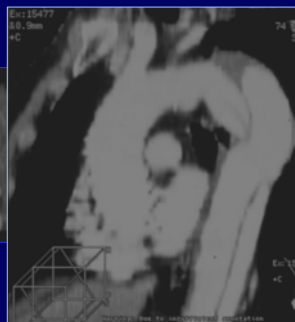
約25年前



ステップスキャンCT:  
9.6秒スキャン

Reconstruction /  
Reformation

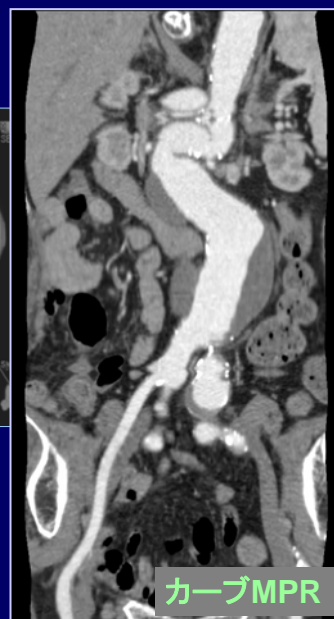
約15年前



シングルヘリカルCT:  
2秒スキャン

MDCT: 0.5秒スキャン

現在

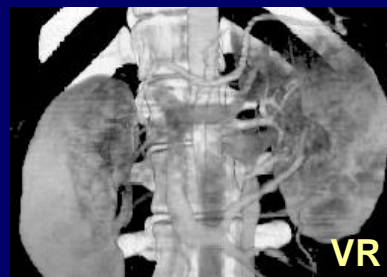


カーブMPR

## 体積画像データの可視化: 三次元表示法

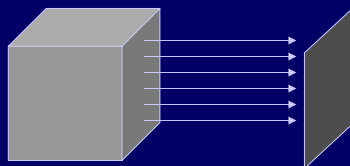
- \* MPR : Multi-planar Reconstruction  
断面変換／再構成断面の表示
- \* MIP : Maximum Intensity Projection  
最大値の投影表示
- \* 表面レンダリング : Surface Rendering  
三次元表面／境界面の(陰影付き)表示
- \* 体積レンダリング : Volume Rendering  
濃淡値と透過度を調整した投影表示

## 体積画像データ可視化のステップ

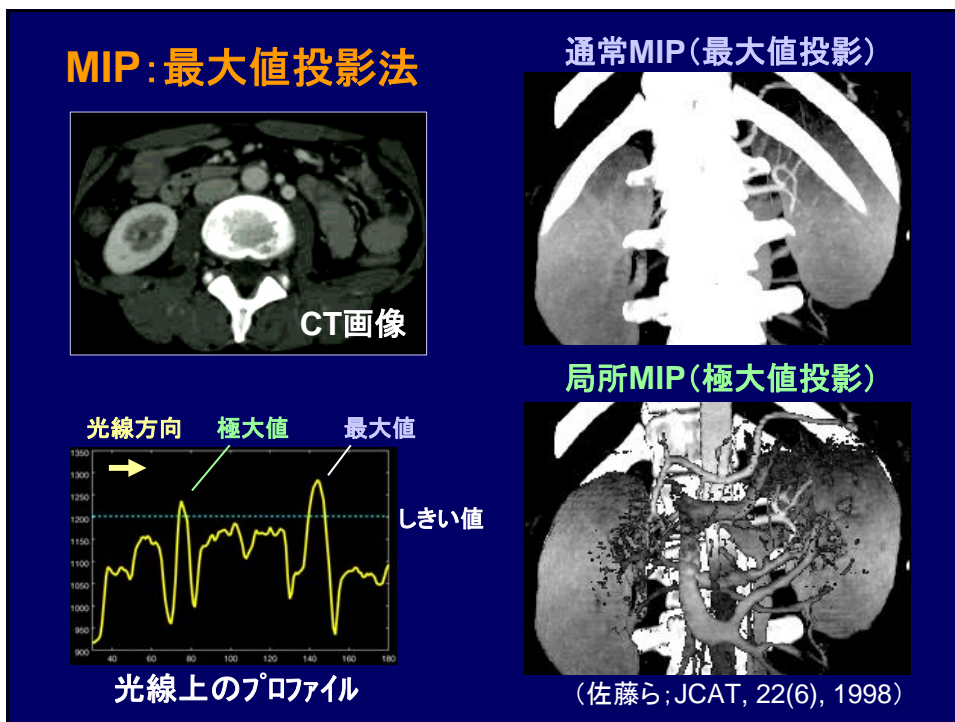
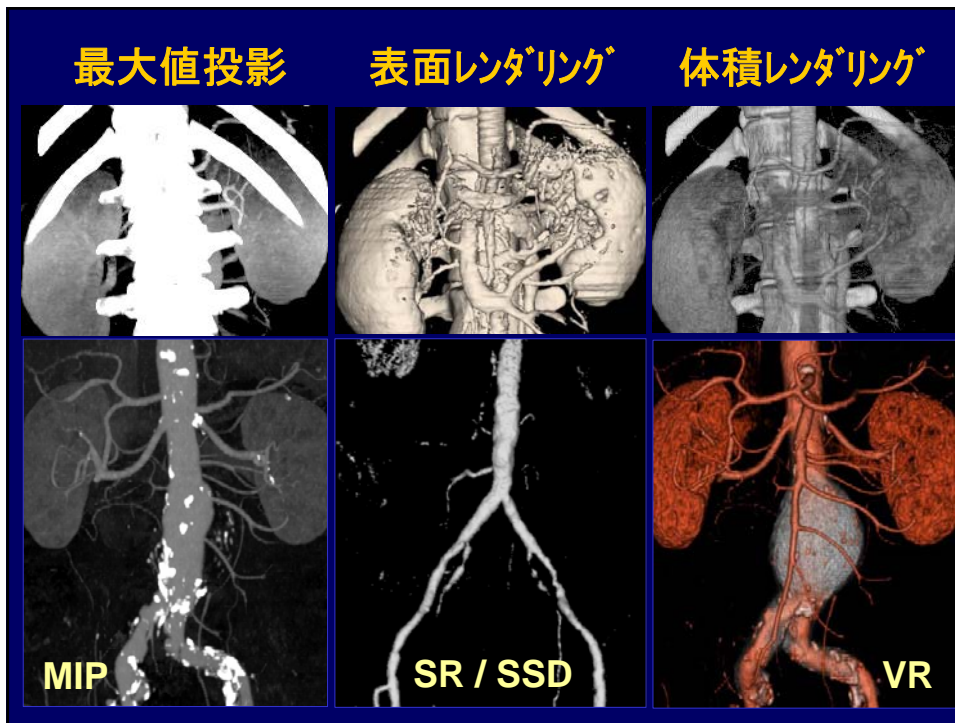


3次元画像

可視化画像



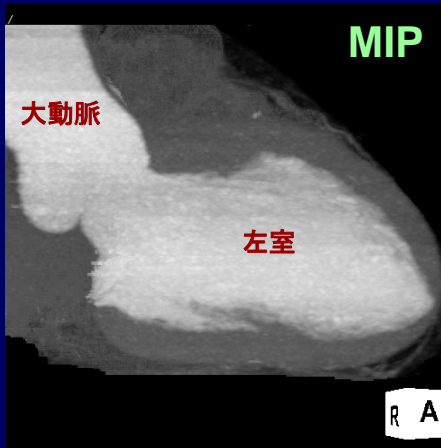
- \* 幾何学ステップ  
平行(直行)投影  
透視(中心)投影
- \* 測光学ステップ



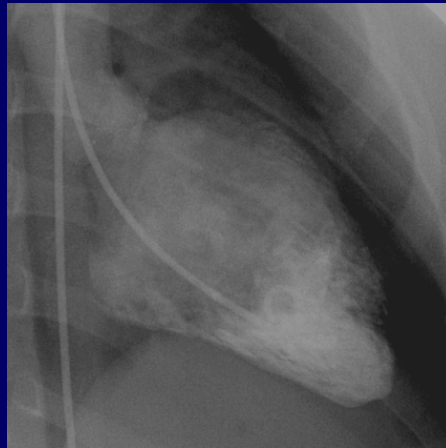


# 左室造影像

RAO-30



16列-MDCT



カテーテル法

# 表面レンダリング法:SR



SSD: 陰影付き表面表示



陰影付け  
シェーディング

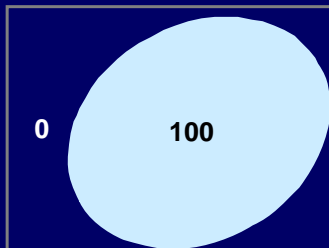


オリジナル イメージ

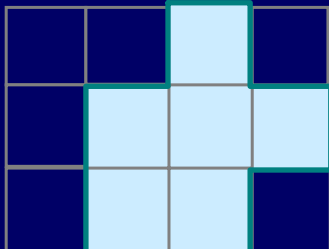


辺縁決定・2値化

オリジナル イメージ



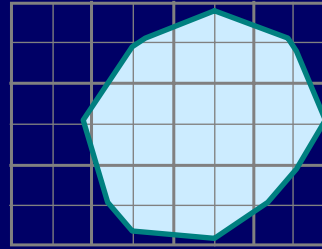
ピクセル単位の境界決定



CT / MR 画像データ

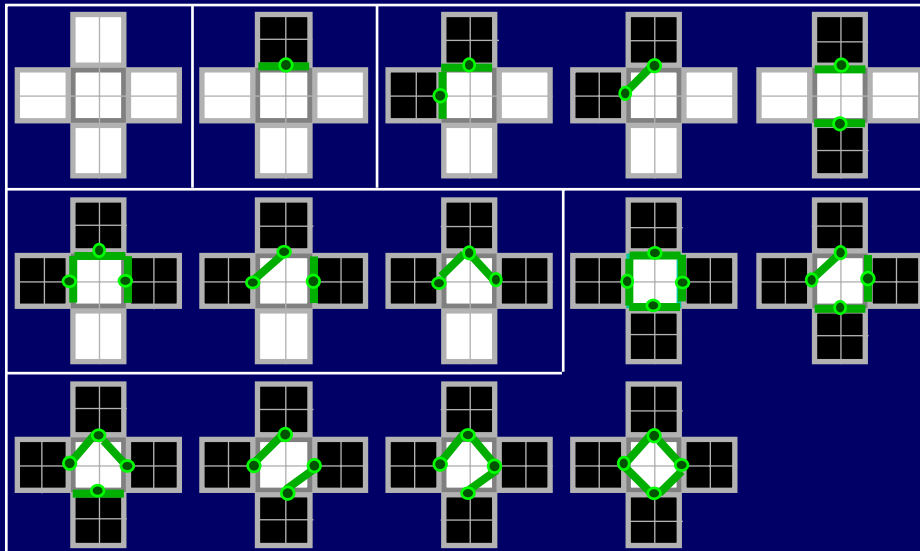
0	45	80	45
10	100	100	75
5	75	80	30

サブピクセル境界決定



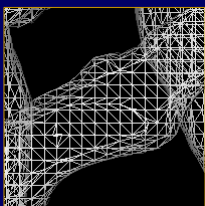
マーチング キューブ / スクエア法

## Marching Squares / Cubes



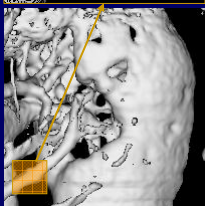
## 表面レンダリング : Surface Rendering

3次元画像 ← しきい値



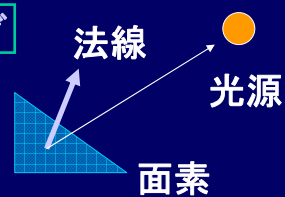
モデリング : マーチンキューブ法

表面形状モデル ← 表面(面素)の色・材質  
光源(色・方向)

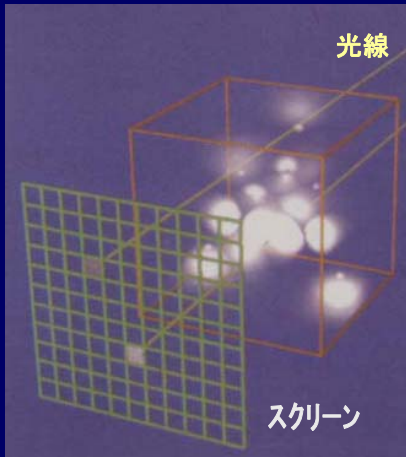


レンダリング

可視化画像

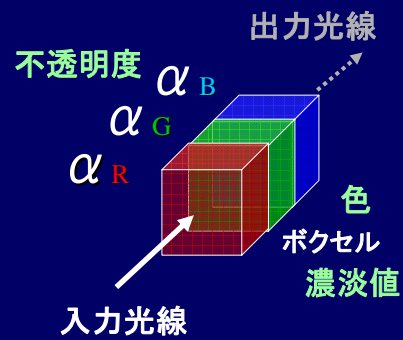


## ボリュームレンダリング法の原理

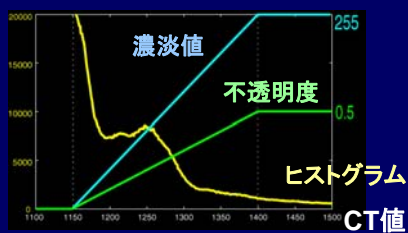
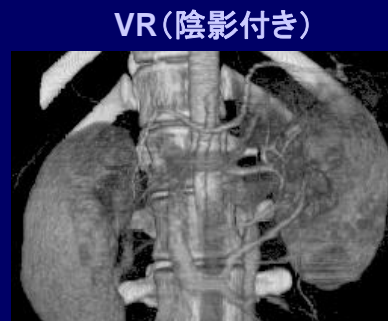


### アルファブレンディング:

出力光線量と色は各ボクセルの濃淡値・不透明度( $\alpha$ )・色の設定により決定される



## ボリュームレンダリング法: VR



濃淡値と透過度の設定



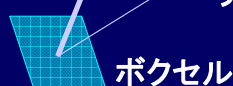
# 体積レンダリング: Volume Rendering

3次元画像

グラディエント・ベクトル

法線

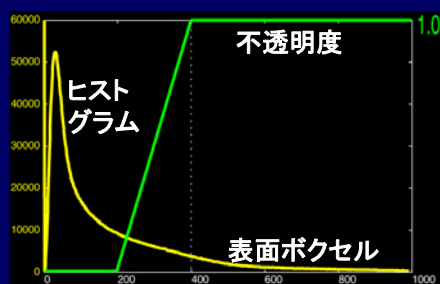
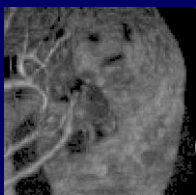
光源



↓ ボクセル法線の計算

3次元法線ベクトル画像

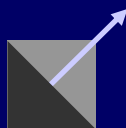
↓  
可視化画像



グラディエント・ベクトルの大きさ

## ボクセル法線計算の原理: グラディエント・ベクトル

グラディエント・ベクトルの方向: 濃淡変化が最大となる方向  
グラディエント・ベクトルの大きさ: 濃淡変化の大きさ



コントラスト大

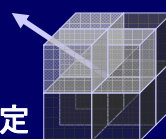


コントラスト小



異なる方向

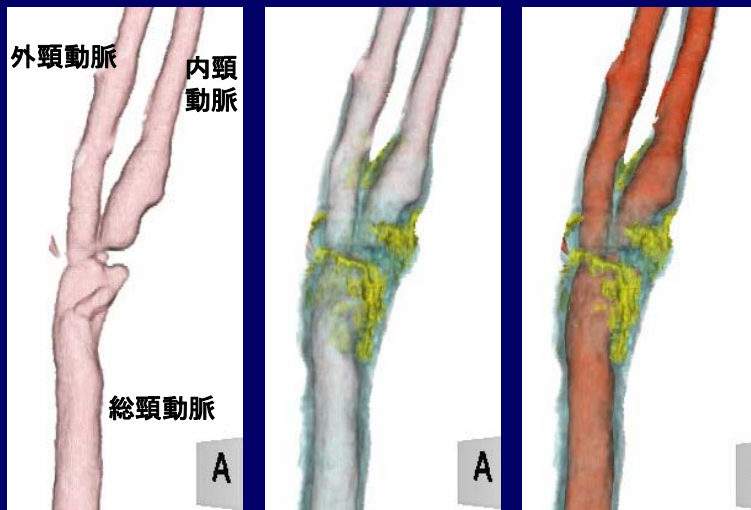
法線 = グラディエントベクトルの方向



近傍ボクセルからの推定

## 左内頸動脈狭窄

MD-CTA

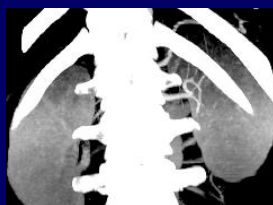


ポリウムレンダリング

LAO

## 三次元データの可視化／表示法の特徴

	最大値投影	表面レンダリング	体積レンダリング
利点	対象の濃度情報が保たれる	表面形状や空間的位置関係の把握が容易	対象の濃度と空間的位置情報ともかなり保たれる
問題点	表面形状・厚みや空間的位置関係の把握が難しい	対象の細かな濃淡情報が失われる	作成者の恣意性が高く客観性に乏しい



MIP



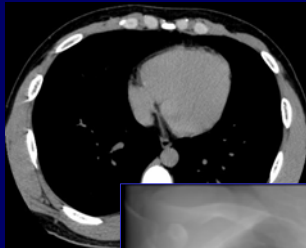
SR / SSD



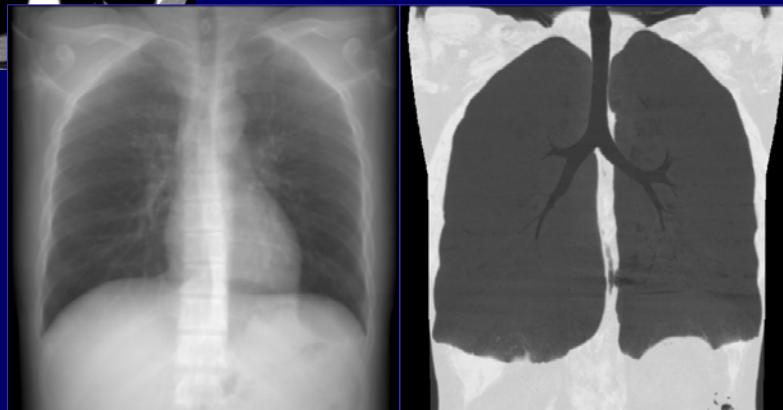
VR

## いろいろな多次元画像表示法

- \* 投影表示: 最小値投影 / 加算投影
  - \* 表面表示: 面パッチ / ワイヤースケルトン
  - ・ 仮想内視鏡: Virtual Endoscopy
  - \* 機能画像表示: Functional Imaging
  - \* 動画表示: シネループ表示など
  - \* 立体表示: 両眼視差 / 運動視差の利用
  - \* 統合・融合画像表示: Fusion Imaging
- #CTAにおける高濃度障害陰影の除去

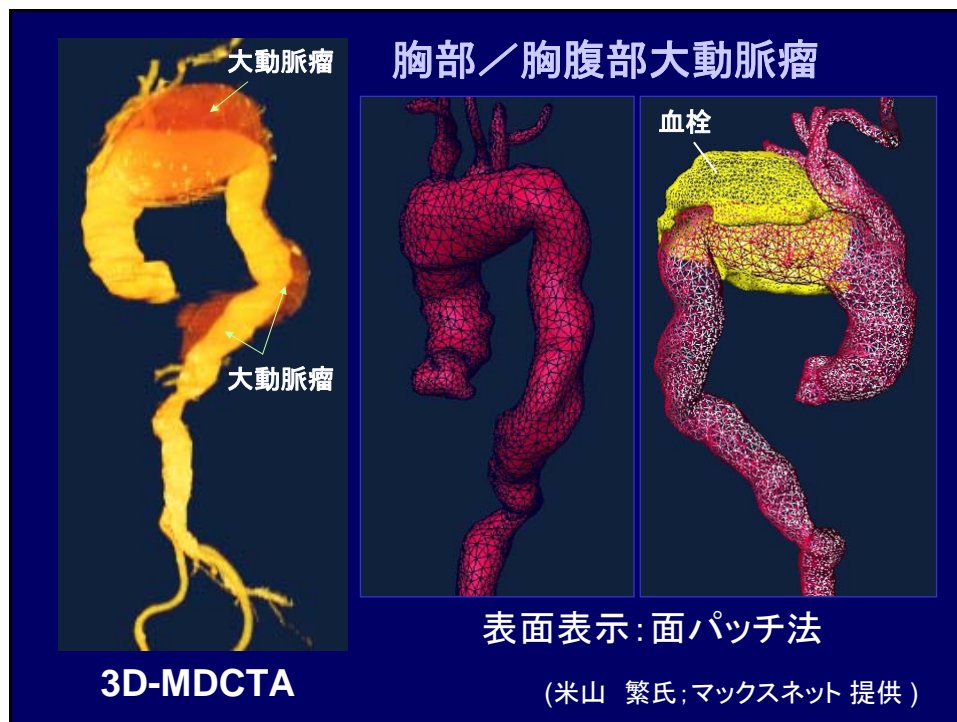


## 体積画像データの可視化: 三次元表示法



積算投影法

最小値投影法



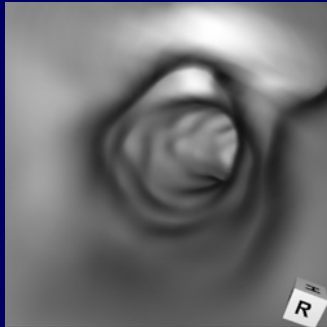
## いろいろな多次元画像表示法

- \* 投影表示: 最小値投影／加算投影
  - \* 表面表示: 面パッチ／ワイヤーフレーム
  - ・ 仮想内視鏡: **Virtual Endoscopy**
  - \* 機能画像表示: **Functional Imaging**
  - \* 動画表示: シネループ表示など
  - \* 立体表示: 両眼視差／運動視差の利用
  - \* 統合・融合画像表示: **Fusion Imaging**
- #CTAにおける高濃度障害陰影の除去



# 仮想内視鏡表示法:VE

CT血管内視鏡



左冠動脈主幹部



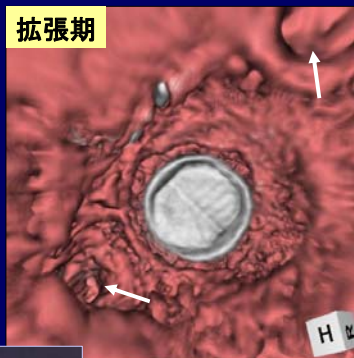
CT大腸内視鏡



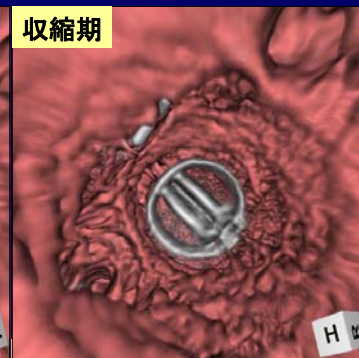
通常の胃内視鏡

CT血管内視鏡  
大動脈弁置換手術後

拡張期



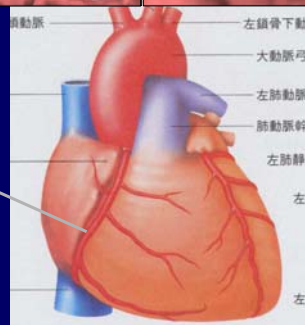
収縮期



冠動脈

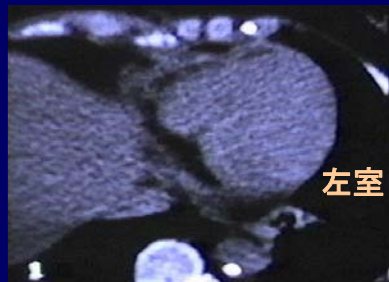


血管内視鏡



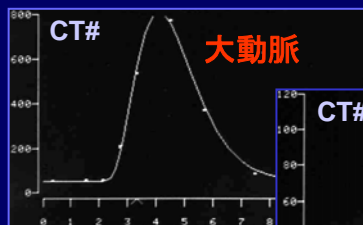
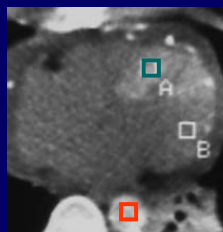
## いろいろな多次元画像表示法

- \* 投影表示: 最小値投影 / 加算投影
  - \* 表面表示: 面パッチ / ワイヤースケルトン
  - ・ 仮想内視鏡: Virtual Endoscopy
  - \* 機能画像表示: Functional Imaging
  - \* 動画表示: シネループ表示など
  - \* 立体表示: 両眼視差 / 運動視差の利用
  - \* 統合・融合画像表示: Fusion Imaging
- #CTAにおける高濃度障害陰影の除去

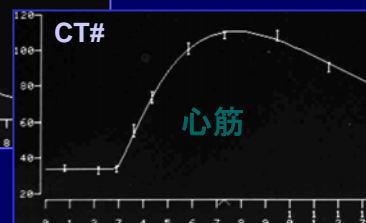


### 心筋 パーフュージョンCT: CABG術後症例

IA-ダイナミックEBT  
(50msスキャン)  
大動脈基部造影剤注入

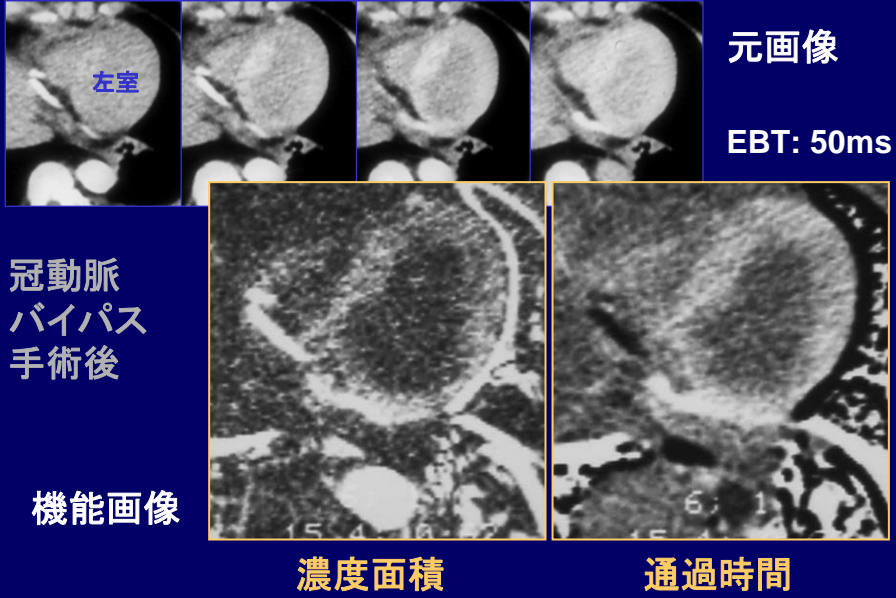


時間-濃度曲線



時間 (秒)

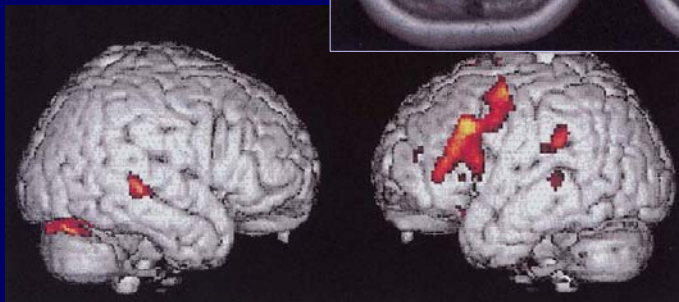
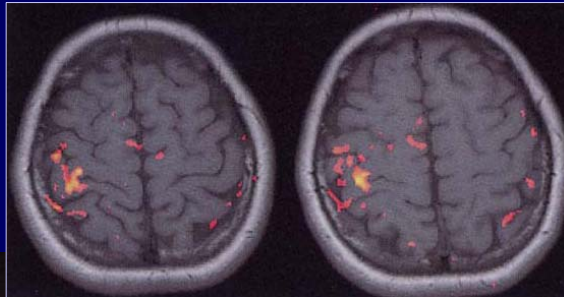
## CT機能画像表示／診断法：心筋灌流



## 脳機能画像診断法：functional MRI

BOLD効果による...

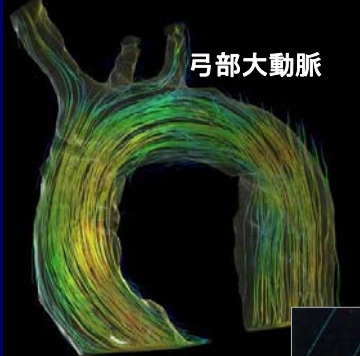
感覚運動皮質  
の賦活



言語想定課題  
による賦活

(田中忠蔵ほか：ここまでわかる脳機能画像. 画像診断 2002 より)

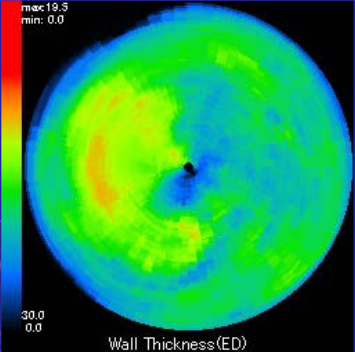
**種々の機能画像表示法:**



弓部大動脈

大動脈血流線表示  
(MRI:シネPC法)

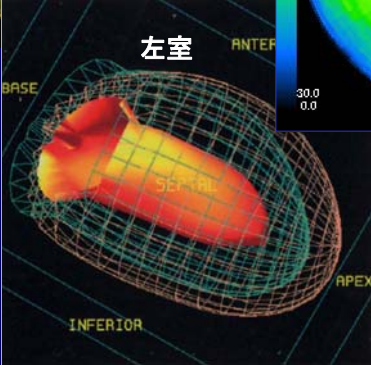
左室収縮性表示  
ワイヤーフレーム法



max: 19.5  
min: 0.0

Wall Thickness(ED)

左室機能  
指標表示  
ブルズアイ法



左室

ANTERIOR

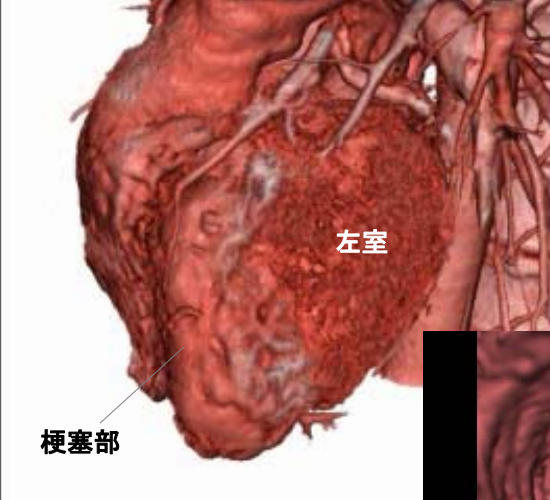
BASE

SEPTUM

APEX

INFERIOR

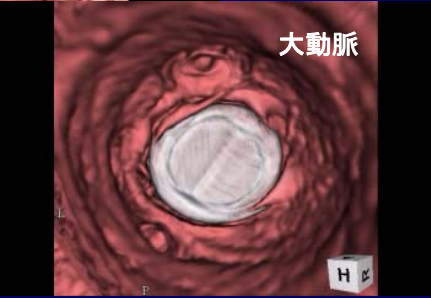
**動画像表示:CT画像のシネループ表示**



左室

梗塞部

陳旧性心筋梗塞  
(4D-ポリウムレンダリング)



大動脈

大動脈弁  
手術後  
(4D-VE)

## 立体表示:運動視差の利用



冠動脈瘤

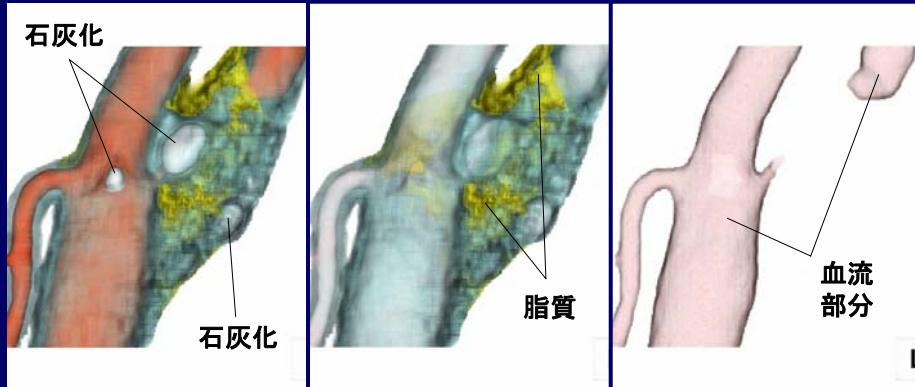
(3D-ポリウムレンダリング)

## いろいろな多次元画像表示法

- \* 投影表示: 最小値投影 / 加算投影
  - \* 表面表示: 面パッチ / ワイヤフレーム
  - ・ 仮想内視鏡: Virtual Endoscopy
  - \* 機能画像表示: Functional Imaging
  - \* 動画表示: シネループ表示など
  - \* 立体表示: 両眼視差 / 運動視差の利用
  - \* 統合・融合画像表示: Fusion Imaging
- #CTAにおける高濃度障害陰影の除去

## 頸部頸動脈CTA: 統合画像表示／解析法

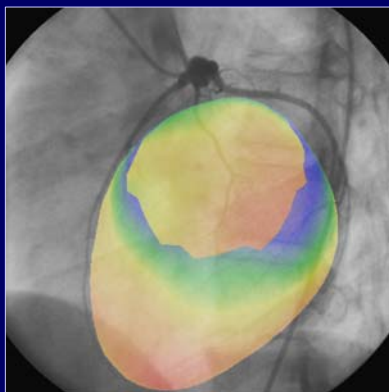
動脈硬化プラークによる右内頸動脈閉塞例



ホリウムレンダリング画像: 領域抽出・着色・重ねあわせ

左側面像

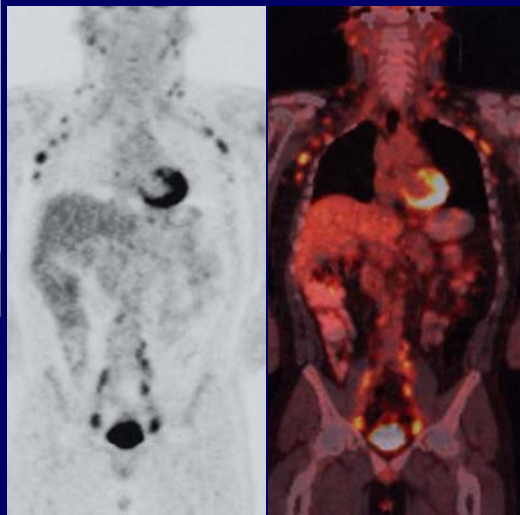
## フュージョンイメージング:



心筋SPECT+CAG  
(Nishimura Y, 他; JNM 2004)

(巽 光朗; 画像診断 2005)

FDG-PET PET-CT融合画像

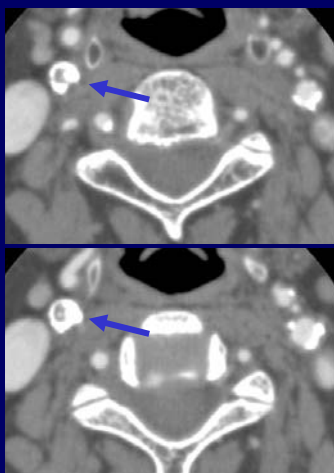


## いろいろな多次元画像表示法

- \* 投影表示: 最小値投影 / 加算投影
  - \* 表面表示: 面パッチ / ワイヤースケルトン
  - ・ 仮想内視鏡: Virtual Endoscopy
  - \* 機能画像表示: Functional Imaging
  - \* 動画表示: シネループ表示など
  - \* 立体表示: 両眼視差 / 運動視差の利用
  - \* 統合・融合画像表示: Fusion Imaging
- #CTAにおける高濃度障害陰影の除去

## 右内頸動脈狭窄

MD-CTA



CT: 元画像



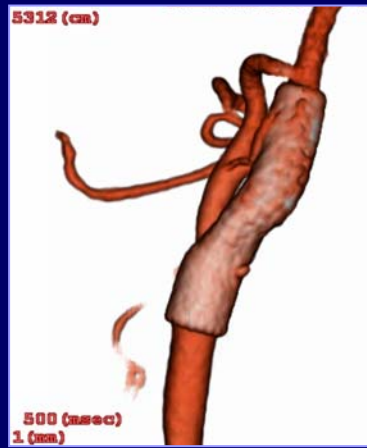
ボリューム-レンダリング



カーブMPR

# 左内頸動脈狭窄:ステント治療後

MD-CTA



ホリウム-レンダリング

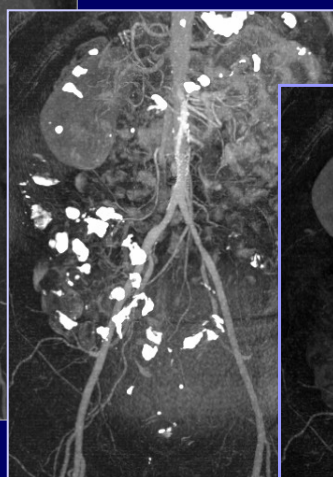


ホリウム-レンダリング:  
ナローバンド表示法

# 差分-CTアンジオグラフィ



通常MIP像  
(骨除去)



差分MIP像

差分MIP像  
(+ゼロクリップ処理)

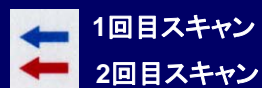
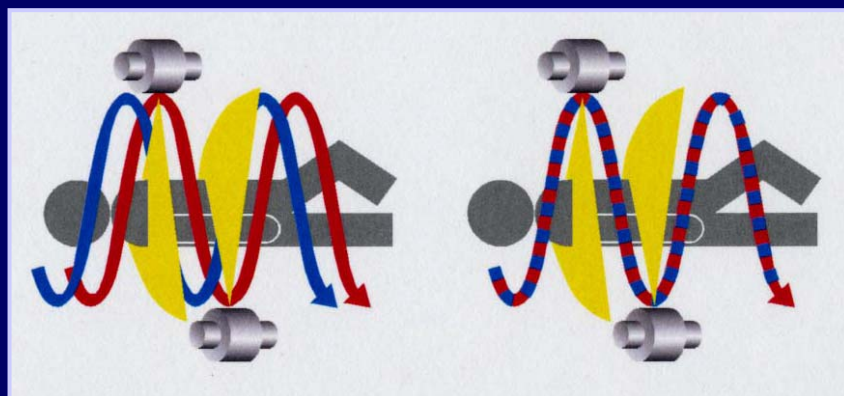




## 軌道同期ヘリカルスキャン法:

通常のスキャン

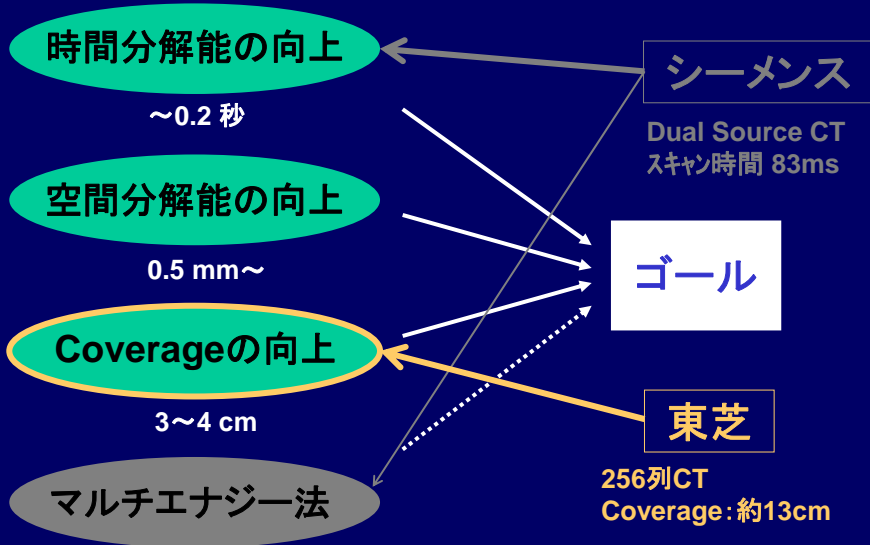
軌道同期スキャン



## X線CTの基礎と応用

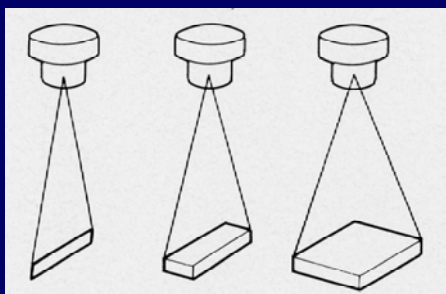
1. X線イメージングの基礎
2. CTの原理
3. CTの最近の進歩
4. CTの臨床: 三次元血管撮影法
5. 多次元画像の可視化・表示・診断
6. CTの発展の方向

## X線CT開発の方向：心臓用装置について



## X線CT：発展の方向は？

ファンビーム → コーンビーム



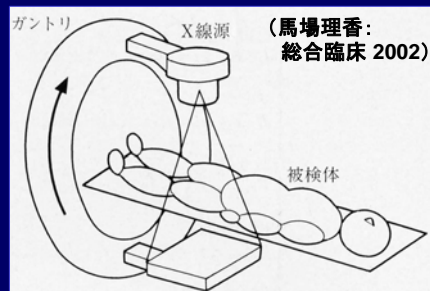
1列  
検出器

多列  
検出器

面検出器

回転デジタル  
血管撮影法

## コーンビームCT



## X線血管撮影装置:フラットパネル検出器搭載



冠動脈  
造影像

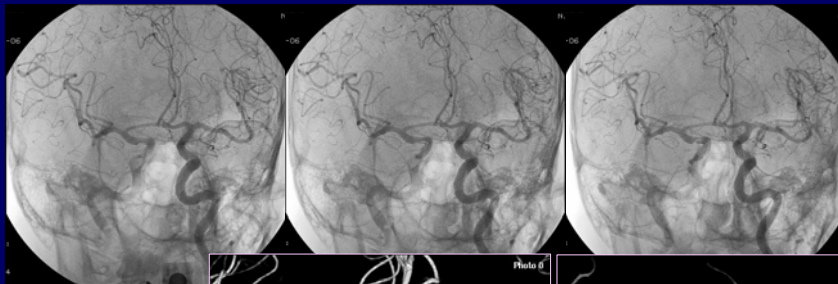


骨盤部動脈造影像

(フィリップス・シーメンス パンフレットより)

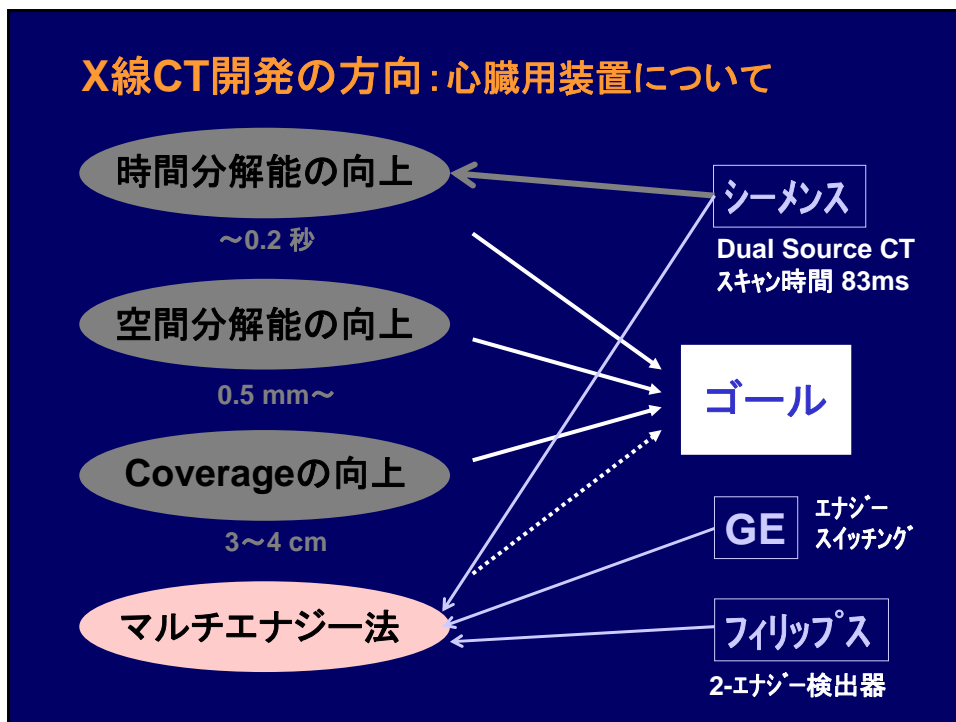
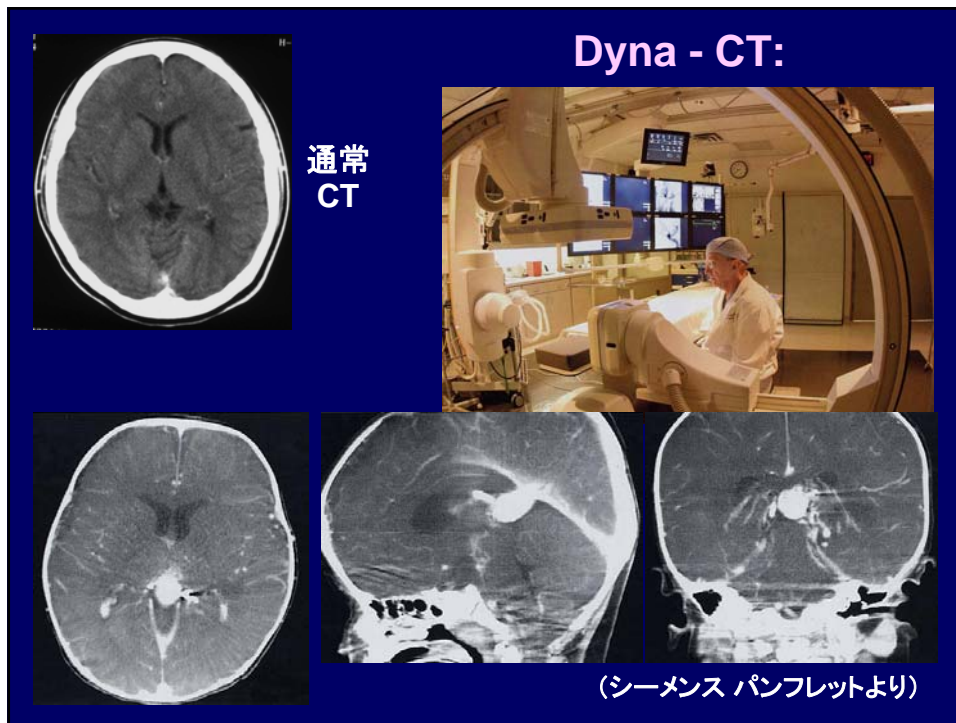
## 回転デジタル血管撮影法

脳血管造影像

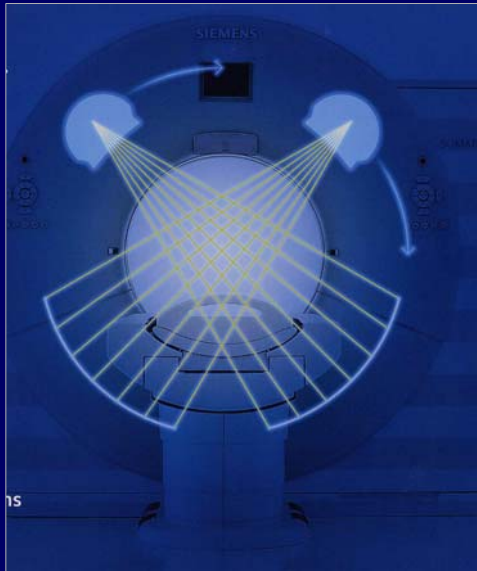


三次元  
再構成像

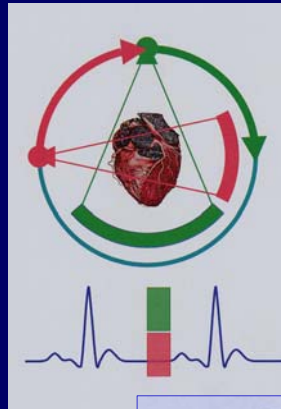




## Dual Source CT

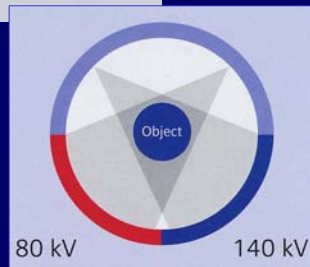


(シーメンス社 パンフレットより)



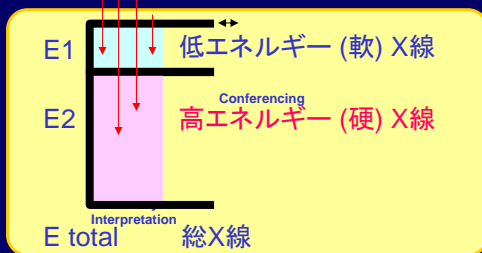
超高速  
スキャン  
≒83ms

エネルギー  
差分

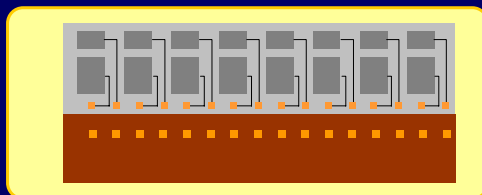
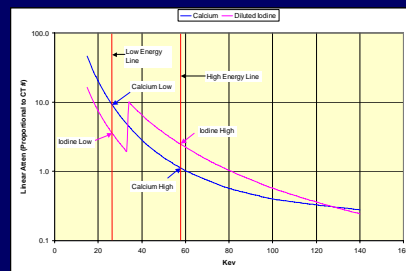


## 検出器の将来技術 (WIP)

### <マルチエネルギー検出器>



### Exclusive Unique Concept



(フィリップスメディカルシステムズ 提供)

**マルチエネルギーCT:  
—石灰化対策—**

(シーメンス社 パンフレットより)

**陳旧性心筋梗塞** **EBT:100ms**

**脂肪沈着** **単純** **単純**

**マルチエネルギーCT:  
—心筋の  
元素組成の評価—**

**心筋浮腫**  
梗塞犬の実験  
~1980ごろ~  
(Higgins CBら)

**単純**