

2020年5月8日(土)
第11回九州CT研究会

造影検査の現状と未来 ~ 「平成」 から 「令和」 へ

教育講演

CT値の本質とは？



佐賀県医療センター好生館
三井 宏太

造影CT検査の画像評価

dual energy

ヨードの取り込み

single energy

CT値での評価


もう一度見直すべき

CT値をもう一度考えよう！

「 μ : 線源弱係数」 を元にした数値

↳ 「質量源弱係数」 × 「密度」
(物質固有の値)

↳ [物質の種類
エネルギー] により変化


$$\text{CT値 (HU)} = \frac{\mu - \mu_{\text{water}}}{\mu_{\text{water}}} \times 1000$$

今までは, CT値を 読み解く ことで

特定の物質やヨードの取り込みを評価

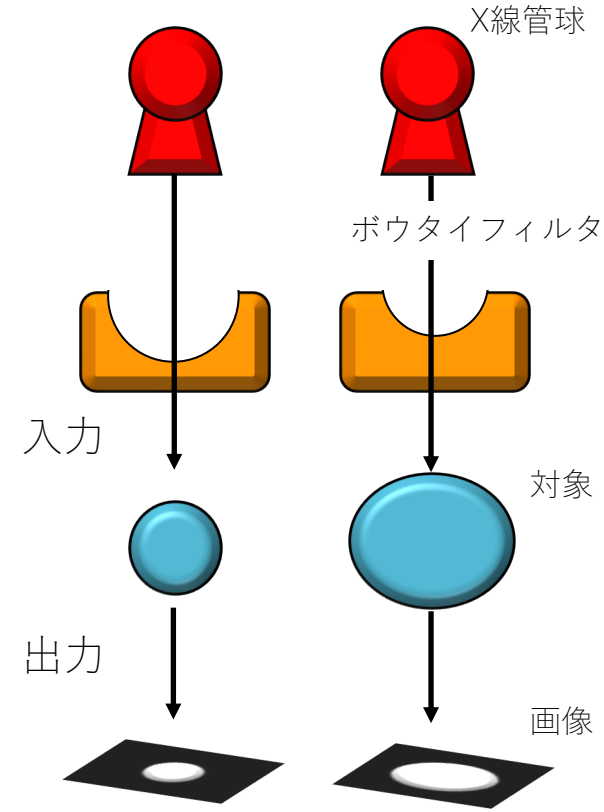
しかし

CT値は信用できない

エネルギーで変化するため

CT検査で起こるエネルギーの違いの要因は？

1. X線CT装置 (メーカー, 機種)
2. 設定管電圧 (kVp)
3. ボウタイフィルタ (撮影FOV等)
4. 対象のサイズ (頭部 or 腹部)
5. 吸収体の存在 (線質硬化)
6. その他



同一の物体 (ヨード) でも CT値は変化 (変数)

Aquilion ONE GS (Ver8.9) vs. Aquilion Prime SP (ver8.4)

※固定法による実効エネルギー

Aquilion ONE GS



Aquilion Prime SP



Focusの違いなし

Focus : Small ↔ Focus : Large

C-FOV (S) C-FOV (M, L) C-FOV (S) C-FOV (M, L)

Focus : Small

Focus : Large

C-FOV (M) C-FOV (L) C-FOV (M) C-FOV (L)

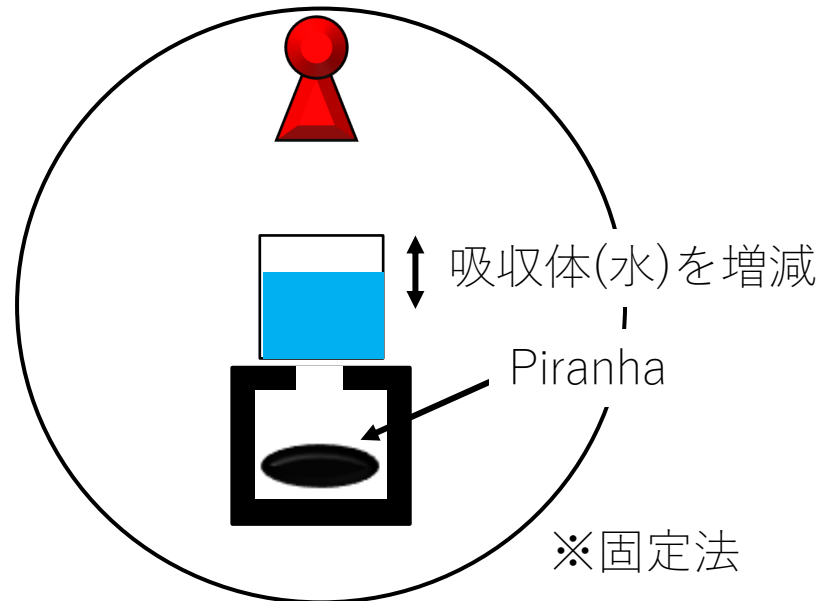
80kVp	38.0keV	41.0keV	38.0keV	41.0keV	46.5keV	50.0keV	46.5keV	50.0keV
100kVp	43.0keV	45.5keV	43.0keV	45.5keV	52.0keV	55.5keV	52.0keV	55.5keV
120kVp	46.5keV	49.5keV	46.5keV	49.5keV	55.5keV	60.5keV	55.5keV	60.5keV
135kVp	49.0keV	52.0keV	49.0keV	52.0keV	59.0keV	64.0keV	59.0keV	64.0keV

被写体透過前の光子 (従来法)

↳ 性能評価でしかない
≠
臨床



CT値は 被写体透過後の光子 が相互作用した際の, 質量減弱係数で



Aquilion ONE GS



Aquilion Prime SP

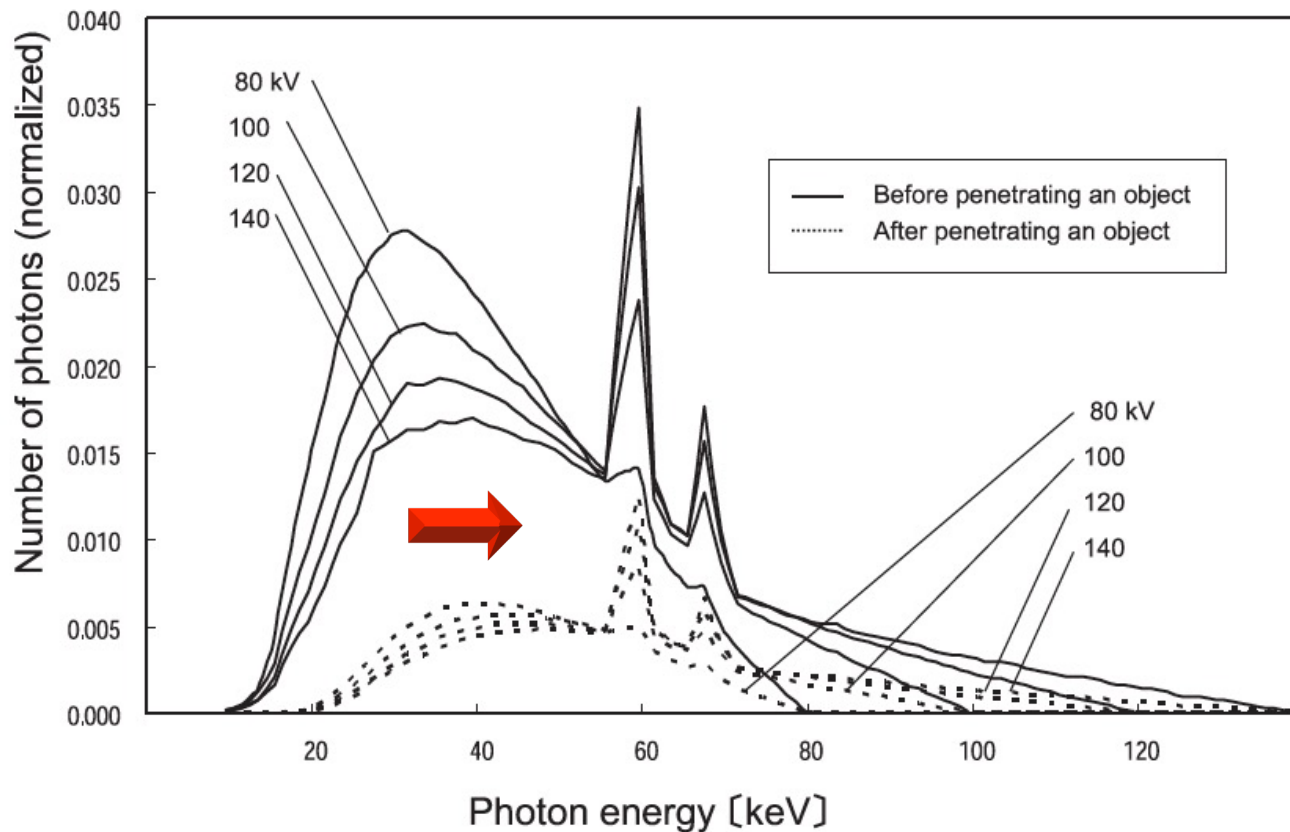


	Focus : Large		C-FOV (L)		Focus : Large		C-FOV (L)	
	0cm	44cm	88cm	132cm	0cm	44cm	88cm	132cm
80kVp	41.0keV	44.0keV	46.5keV	48.5keV	50.0keV	52.5keV	54.0keV	54.5keV
100kVp	45.5keV	49.0keV	52.0keV	54.0keV	55.5keV	58.5keV	61.0keV	62.0keV
120kVp	49.5keV	53.0keV	56.0keV	58.5keV	60.5keV	65.0keV	68.0keV	69.0keV
135kVp	52.0keV	55.5keV	58.5keV	62.0keV	64.0keV	69.0keV	70.4keV	73.0keV

低エネルギー帯が吸収されることで、エネルギー帯がシフト

||

物体を透過する際に線質硬化がおこる

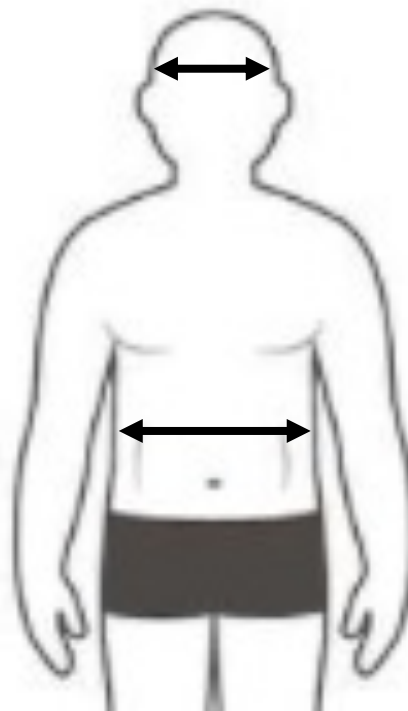
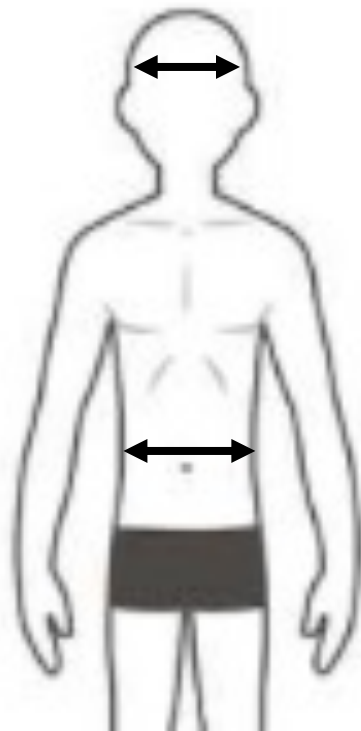


小西達郎, 他. 被写体物質の違いに起因するX線CT画像コントラストの管電圧依存性の変化. 医用画像情報学会雑誌Vol.25 No.4 (2008) 90-95.

体格 や 撮影部位 でエネルギーが異なる！？

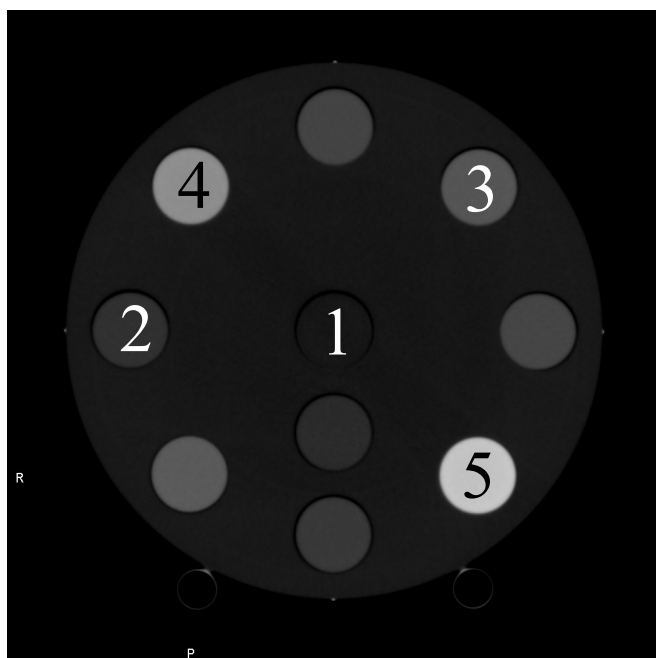


CT値は変化する！



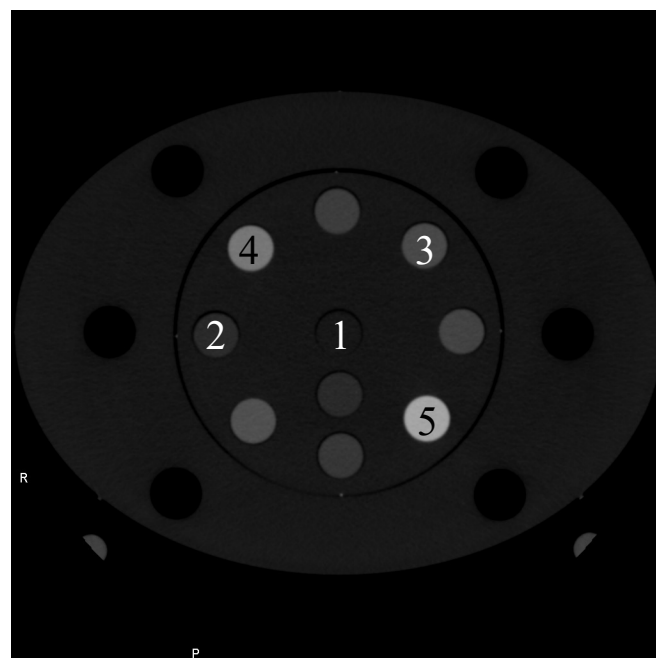
2つのphantom (MECT-phantom) を撮影しました

1. CT HE Solid Water
2. CT HE Solid Water + 2mgI/mL
3. CT HE Solid Water + 5mgI/mL
4. CT HE Solid Water + 10mgI/mL
5. CT HE Solid Water + 15mgI/mL



φ200×200mm





「頭部」や「胸部」を想定



φ300×400mm

「腹部」を想定

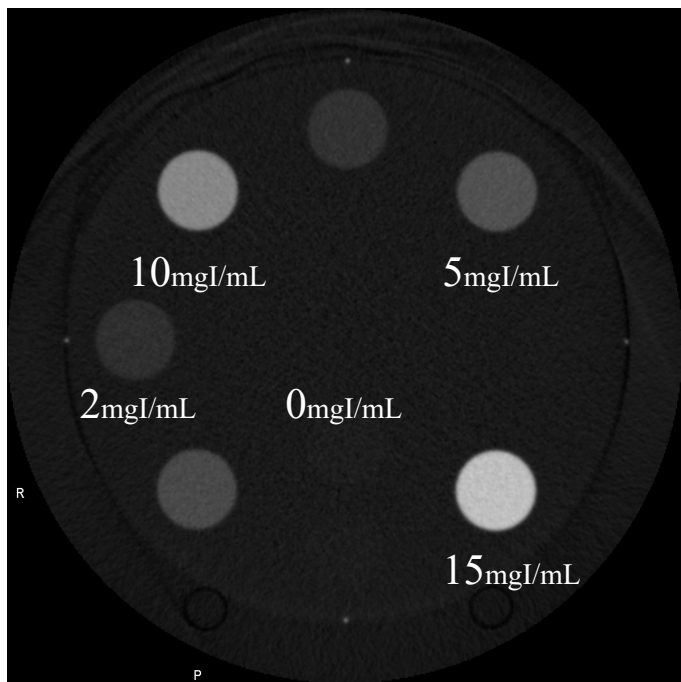
ご協力頂いた施設の先生方ありがとうございます

CT装置	メーカー	スペック	協力頂いた施設
 Aquilion ONE GS	CANON	上位機種	佐賀県医療センター好生館
Aquilion Prime SP		汎用機	
 Revolution CT	GE	上位機種	久留米大学医学部附属病院 (黒木 様)
Light Speed VCT VISION		汎用機	
 SOMATOM Force	SIEMENS	上位機種	佐賀大学医学部附属病院 (田北 様)
 iQon Spectral CT	PHILIPS	上位機種	熊本中央病院 (本田 様)
Blliance i-CT		汎用機	

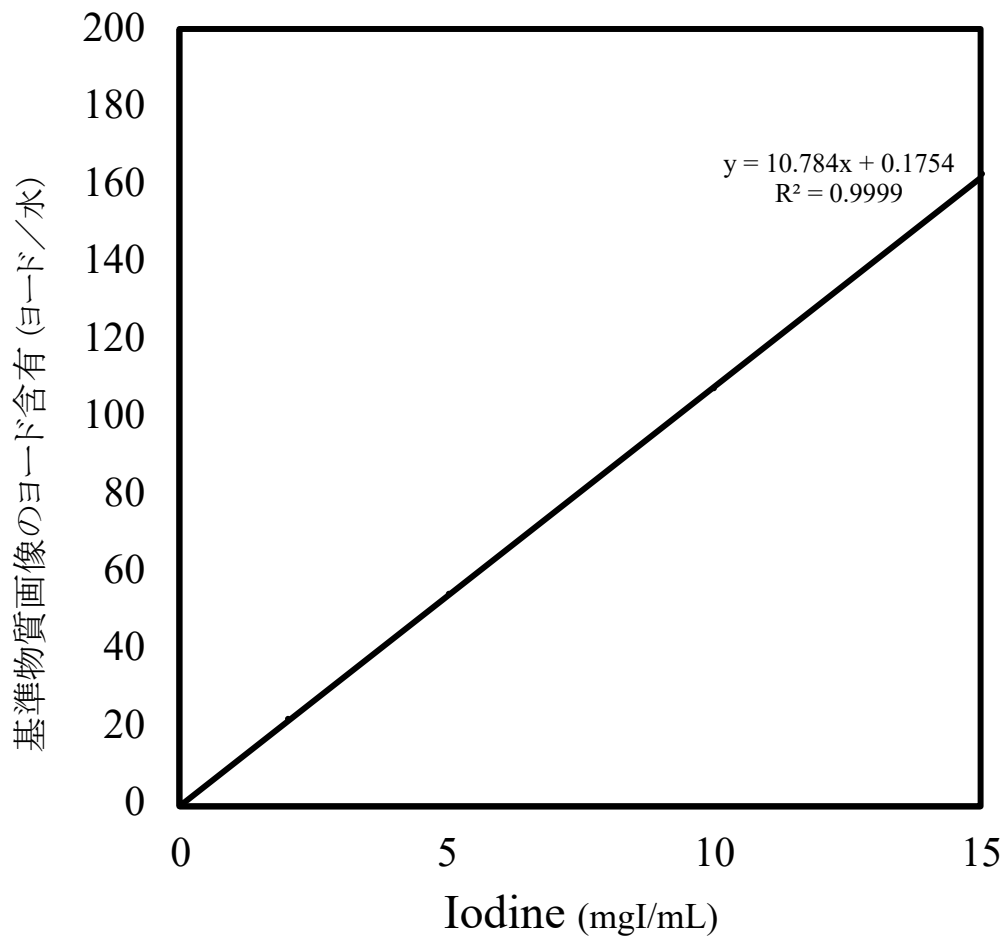


メーカーおよび装置間のCT値（エネルギーや補正）の傾向を調べました

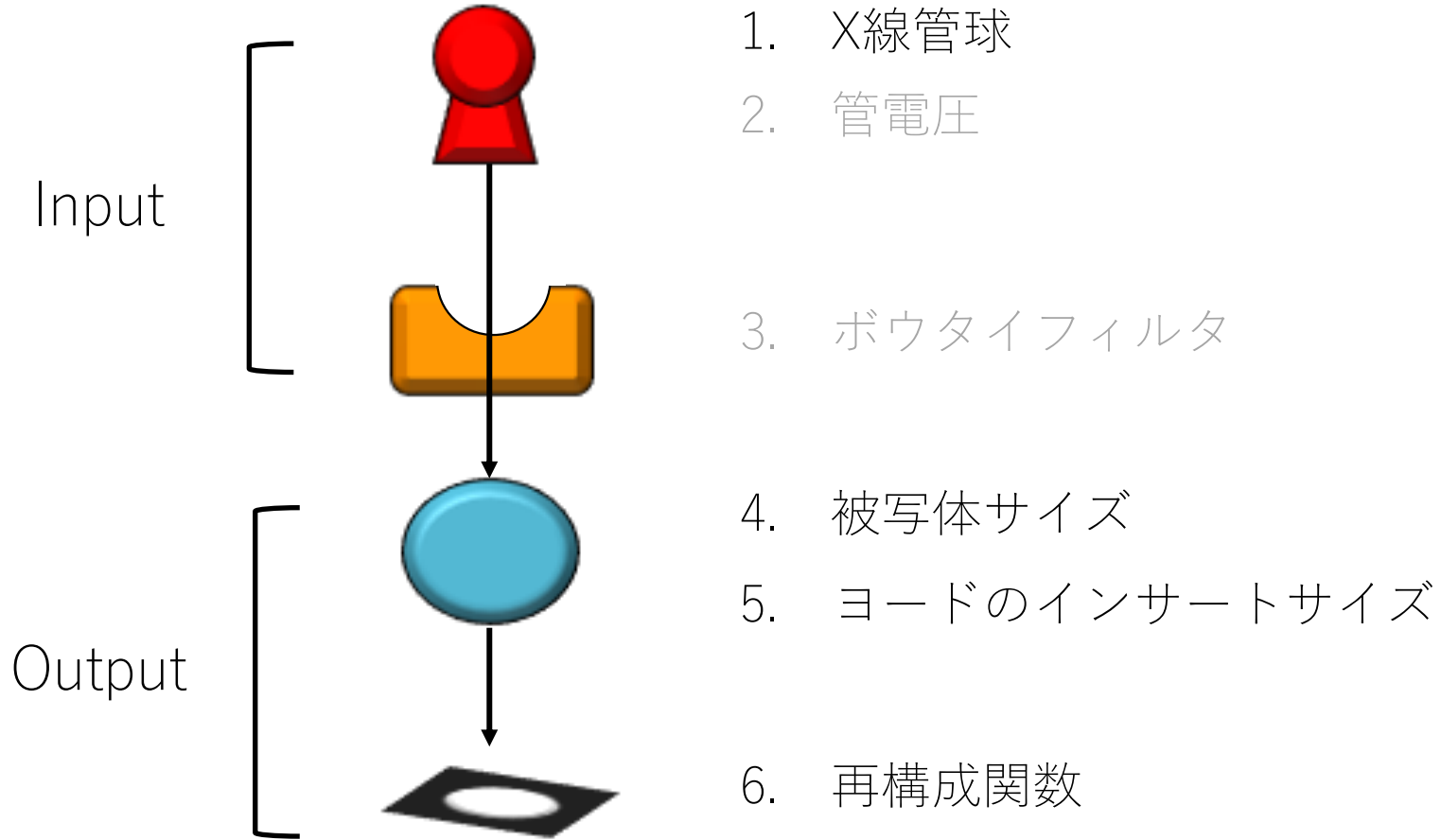
基準物質画像 (ヨード/水) のヨード含有率は, 公称値通り



基準物質画像 (φ200×200mm)



エネルギーが変化する項目に関してCT値の傾向を調べました

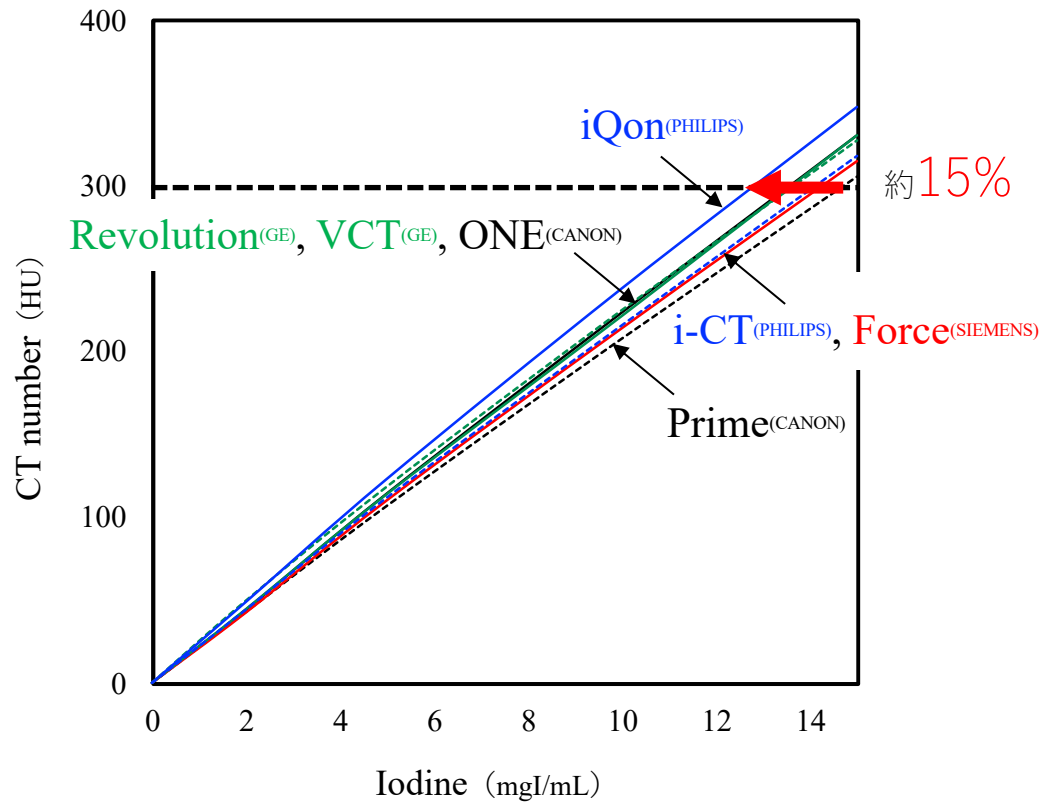


※ 再構成関数は以下の通り

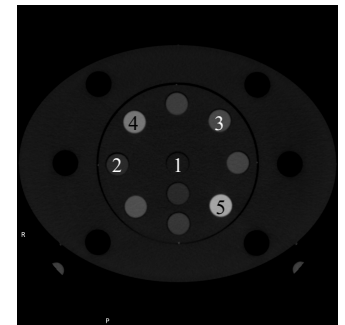
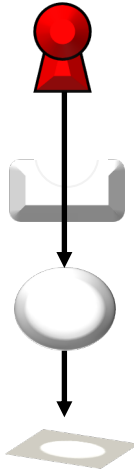
CANON (FC15) , SIEMENS (Br40) , GE (Standard ← BHC+) , PHILIPS (B)

(低管電圧, Dual energy CT, 被ばく)

同一メーカーでも, 装置の特性によりX線管球は異なる



X線管球



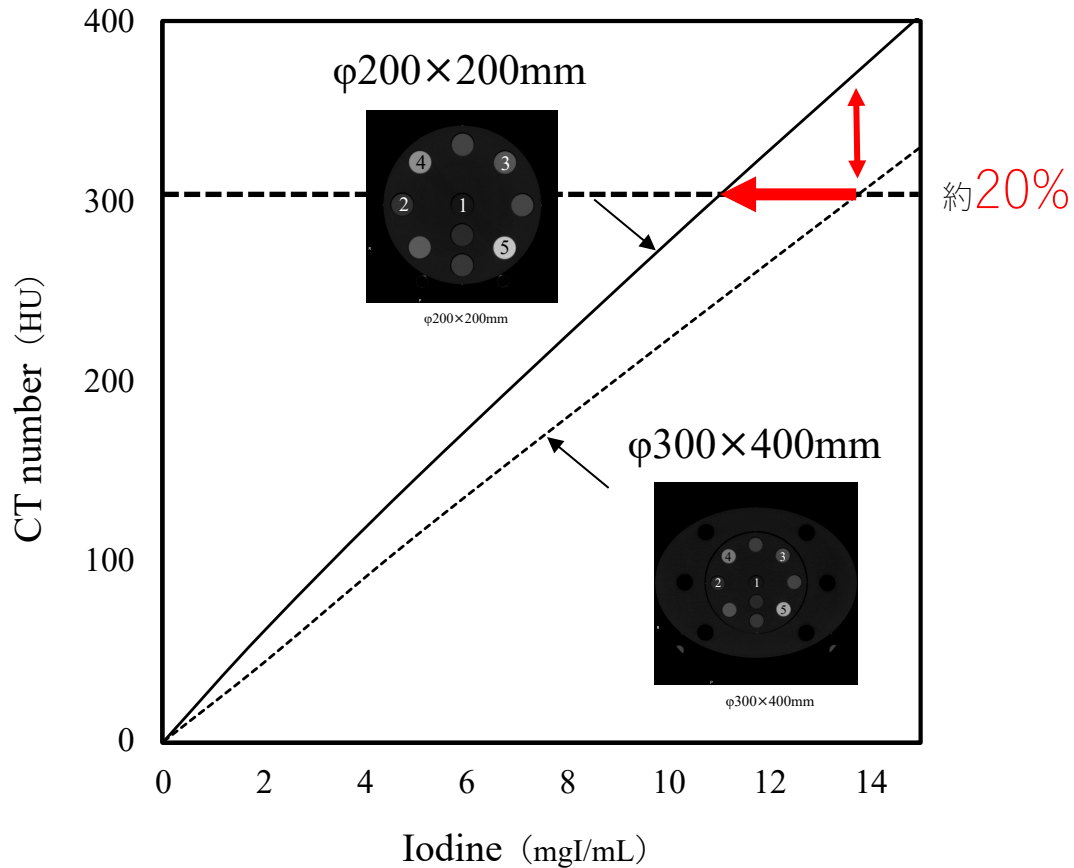
φ300×400mm

Fig. φ300×400mm

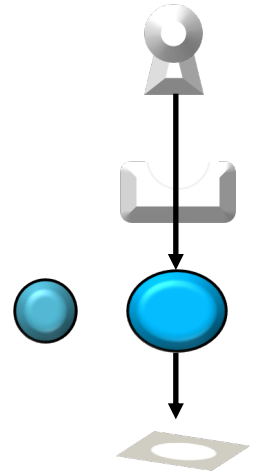
被写体サイズにより, CT値は大きく変化



「腹部」は, ヨード量が必要



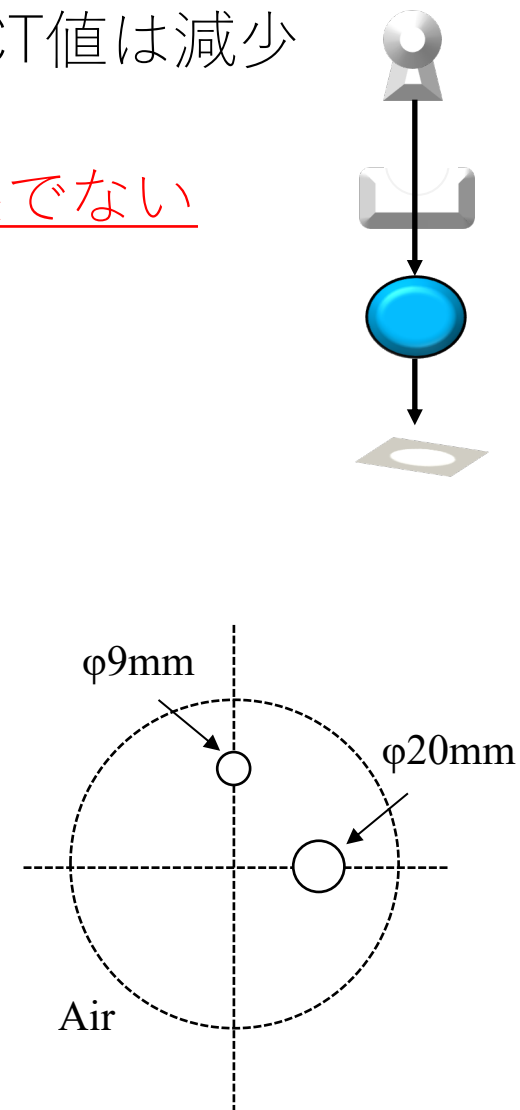
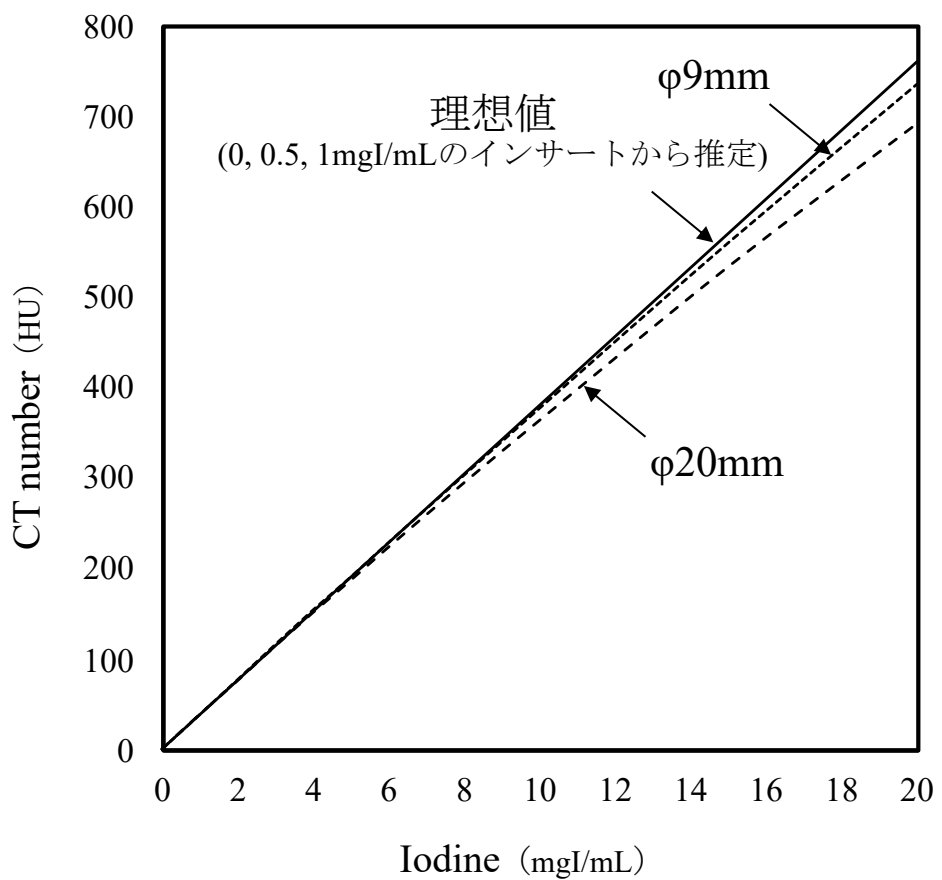
被写体サイズ



インサートサイズ

ヨード単体の線質硬化により, 高濃度のCT値は減少

CT値とヨード量は線形関係でない



再構成関数の影響 (120kVp, Aquilion ONE GS)

再構成関数

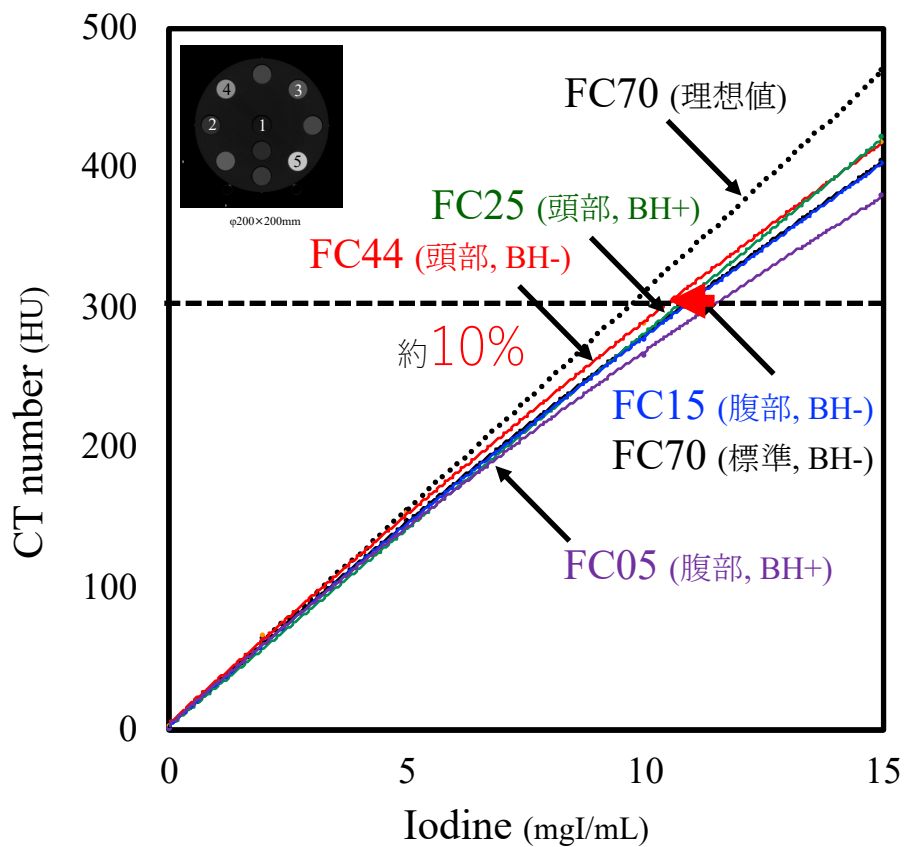


Fig. $\phi 200 \times 200 \text{mm}$

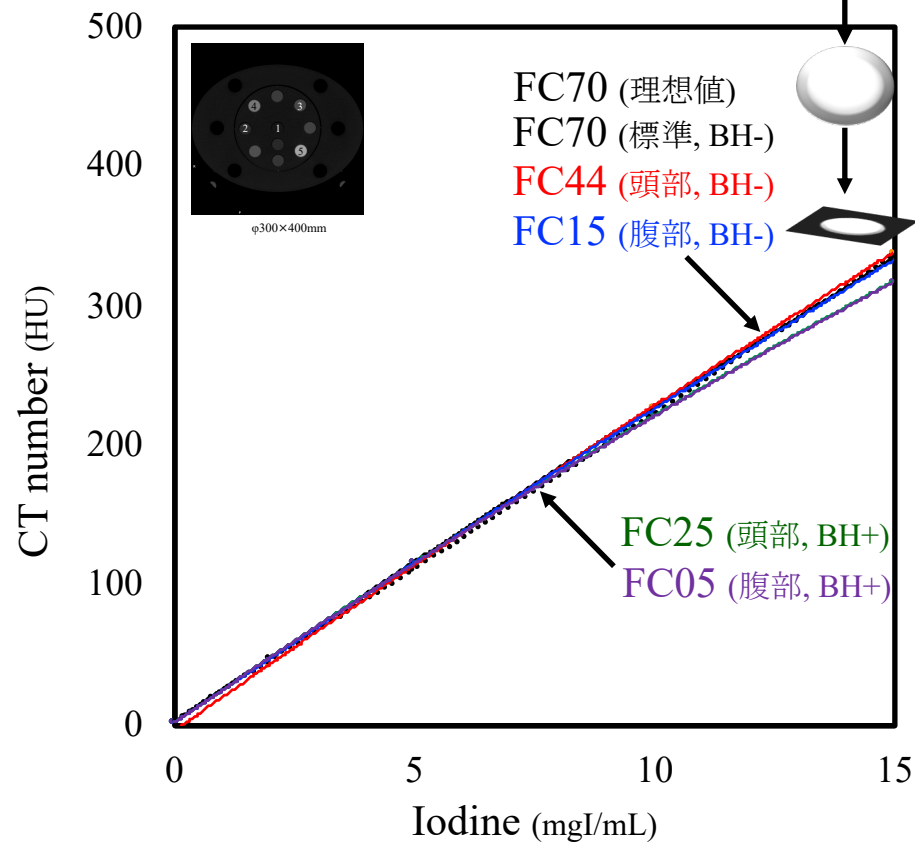
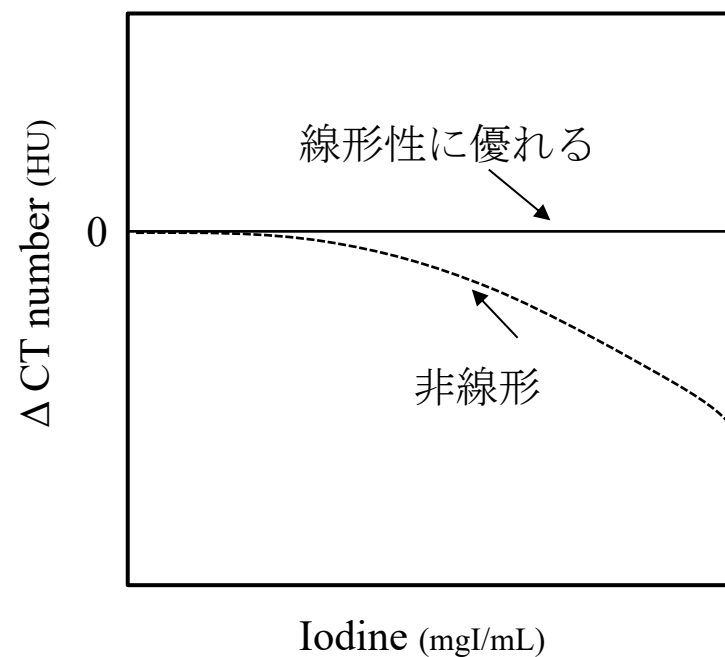
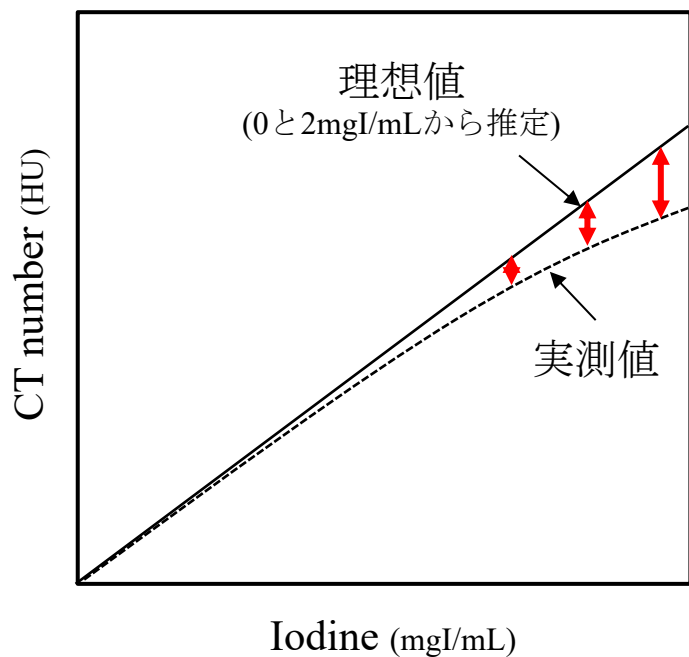


Fig. $\phi 300 \times 400 \text{mm}$

各メーカーでの線形性について評価

$$\Delta \text{CT値} = \text{実測値} - \text{理想値}$$



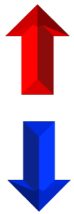
線形性の評価 (120kVpでの評価)

大きな被写体サイズの方が、線形性に優れる

線質硬化：インサート < 被写体サイズ

※ 被写体透過後のX線エネルギーが高い場合は、インサート物質の線質硬化が起こりにくい

線質硬化補正
(CT値上昇)



線質硬化
(CT値低下)

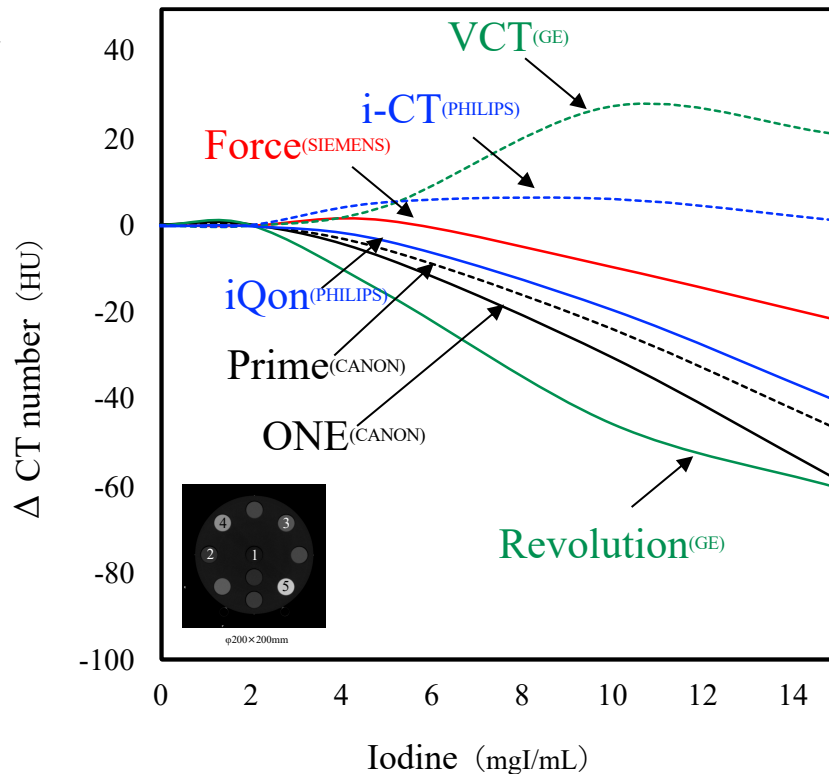


Fig. φ200×200mm

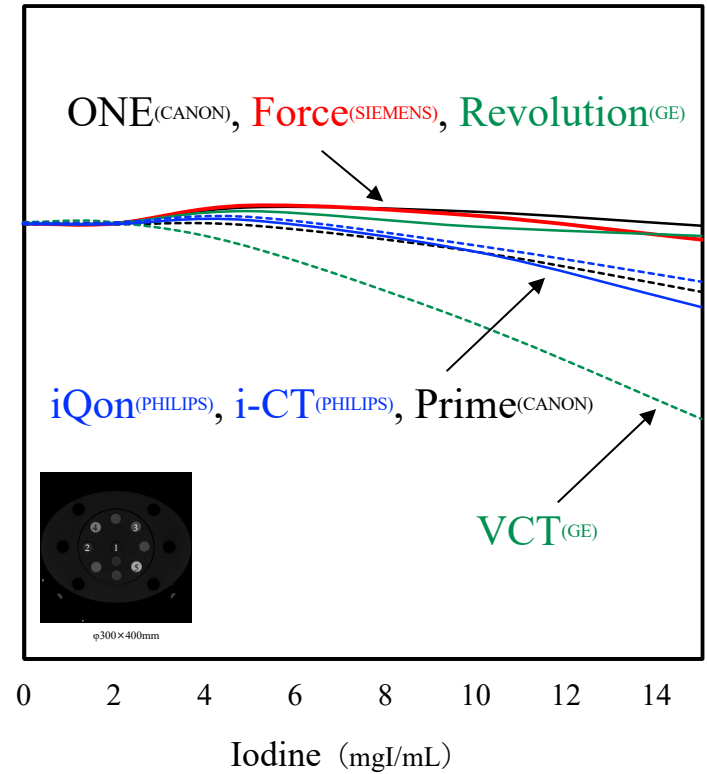


Fig. φ300×400mm

逐次近似法(Model Based Iterative Reconstruction : MBIR)もCT値に影響するか？

線質硬化補正を含む一部のMBIRでは, CT値が向上



線質硬化補正が改善されている

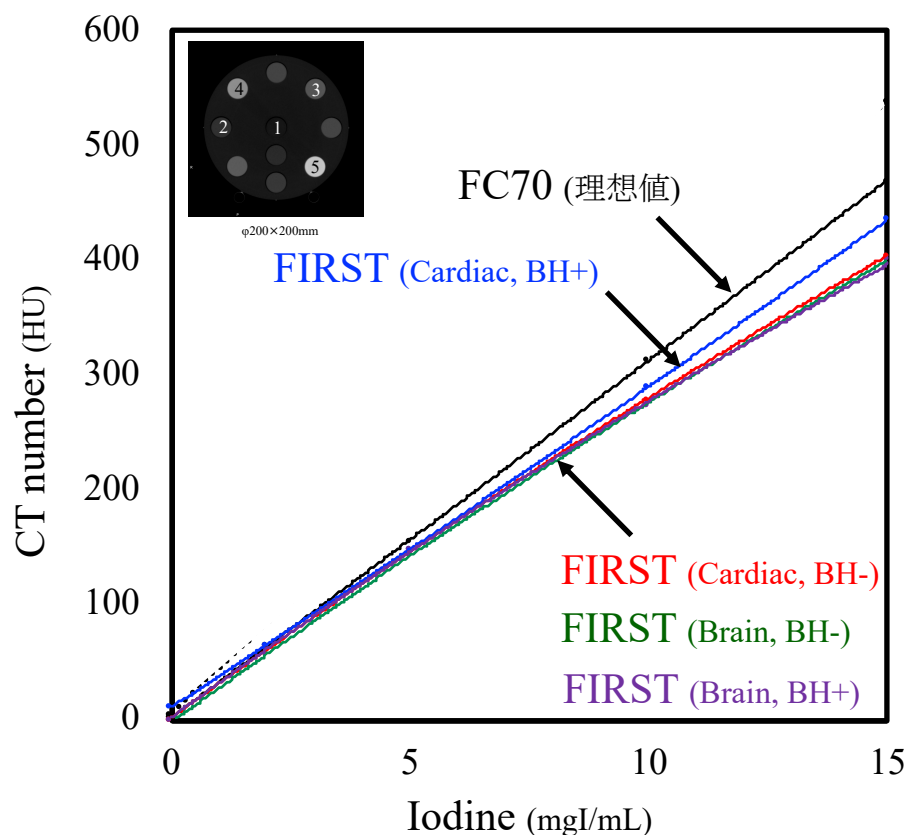


Fig. φ200×200mm

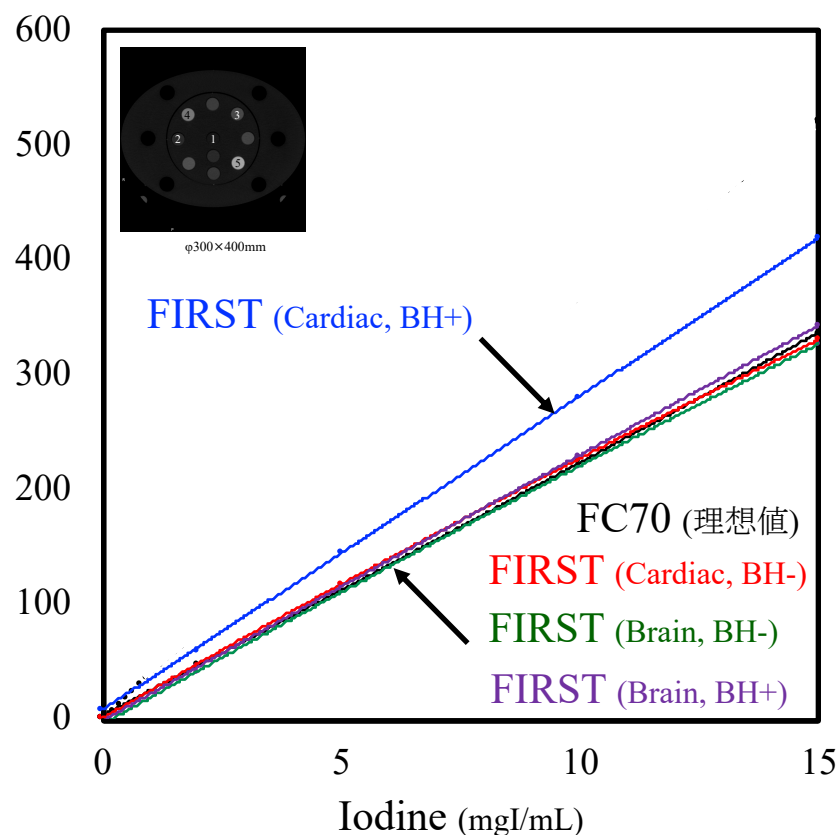


Fig. φ300×400mm

線質硬化補正は基本的には骨からのBH補正



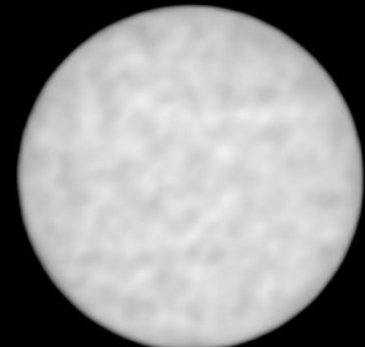
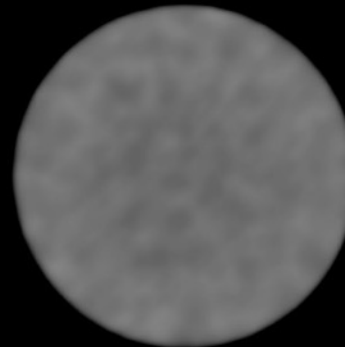
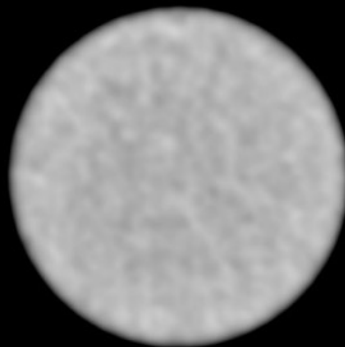
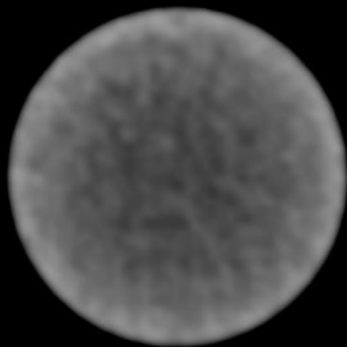
ヨードの線質硬化は補正できず、高ヨード量でCT値低下

473HU

529HU

491HU

552HU



※100kVp, φ28mm, 15mgI/mL, 670HU(理想値)

FC44

FC25

FIRST Brain CTA

FIRST Cardiac

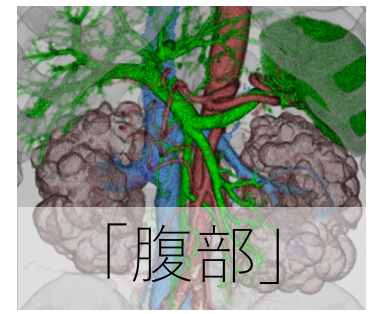
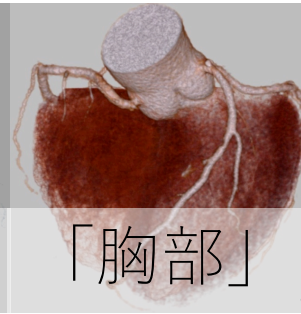
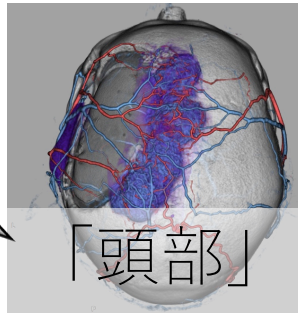
(BH対象物：骨)

(BH対象物：骨)

(BH対象物：ヨード)

CT値 ≠ ヨード量 (取り込み)

様々なエネルギーで変化 (CT検査は様々な要因で変化)



CT値(TEC)とヨード量の関係

再構成関数の影響

被写体の線質硬化

ヨードの線質硬化

非線形

大きい

小さい

大きい



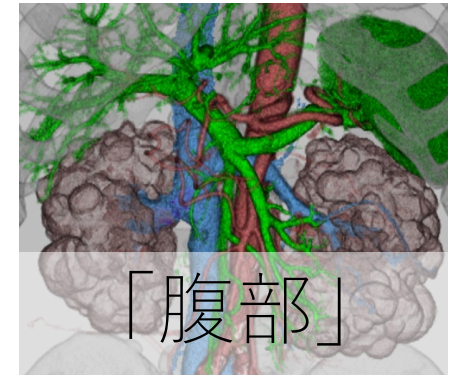
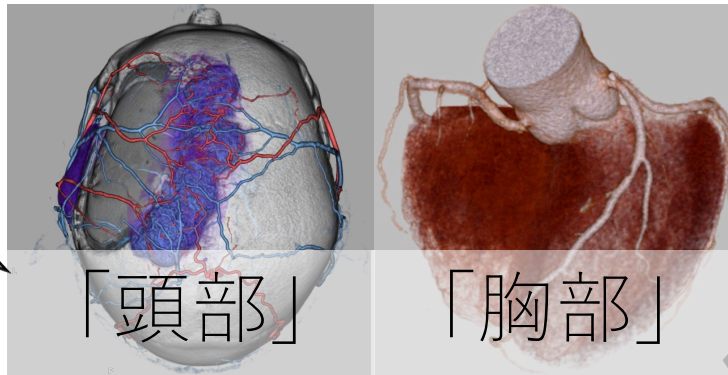
線形

小さい

大きい

小さい





再構成関数

変更時には注意！

ヨード量

対象サイズが大きいほど多く！

造影効果

- ・ 造影効果を2倍にするなら..
2倍以上の造影剤が必要
(Test bolus時は注意)
- ・ 造影効果を1/2倍にするなら..
1/2倍以下の造影剤が良い
(造影剤低減時は注意)

【CT値の本質】

- ①原子番号
- ②密度
- ③エネルギー

造影剤の新たな指標

- ☑ 造影剤濃度 (mgI/mL)
- ☑ 造影剤使用量 (mL)
- ☑ 造影剤注入時間 (sec)
- ☑ 体重あたりのヨード量 (mgI/kg)
- new!! ☑ 単位ヨード量あたりのCT値 (HU/mgI)

条件によってエネルギー様々
結果が同様にならない

【フラクショナルドーズ：FD】

mgI/kg/sec

腎機能を考慮

$$\frac{\text{体重あたりのヨード量}}{\text{造影剤注入時間}}$$

【新たな指標？】

HU/kg/sec

造影効果を担保

FD × 単位ヨード量あたりのCT値

