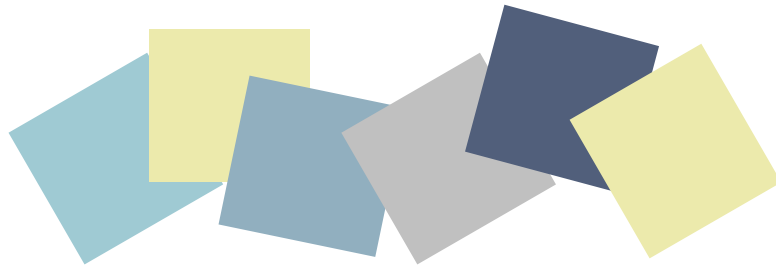


Chapter10

Evaluation of the HRRT Materials and Methods



HRRT 2005/7/8

1

Contents (halfway mark)



- **Chapter 10**
Evaluation of the HRRT
Materials and Methods

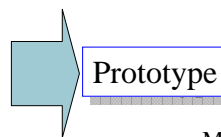
- **Chapter 11**
Evaluation of the HRRT
- Results

- **Chapter 12**
Evaluation of the Depth of Interaction

- **Chapter 13**
Development of a DQC

- **Chapter 14**
The Commercial HRRT

- **Chapter 15**
Summary



Prototype



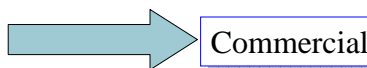
Max-Planck-Institute for
Neurological Research



Second



Vrije Universiteit Amsterdam



Commercial



CPS Innovations

2

Evaluation of the HRRT Materials and Methods

HRRTの性能評価

- Sensitivity
 - Spatial Resolution
 - Scatter Fraction
 - Count Rate behavior
 - ...
- 感度
空間分解能
散乱フラクション
計数率特性

Prototype

Chapter10 方法
Chapter11 結果

Commercial

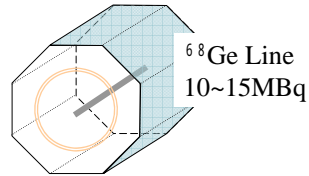
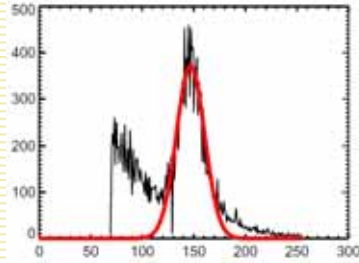
Chapter10 方法
Chapter14 結果

Evaluation

- Evaluation of Detector Setup
- Sensitivity
- Spatial Resolution
- Axial Slice Width
- Scatter
- Count Rate Performance
- Scatter in Transmission Scans
- Scatter Correction
- Shielding
- Tilt Mechanism
- Phantom
- Patient Study
- 検出器調整
- 感度
- 空間分解能
- スライス半値幅
- 散乱
- 計数率特性
- トランсмッションスキャンでの散乱
- 散乱補正
- シールド
- チルト機構
- ファントム
- ボランティア

10.1.1 Energy Resolution

検出器調整・エネルギー分解能



ガウス関数Fit $G(x) = A_0 \exp \frac{-(x-x_0)^2}{2\sigma^2}$

各結晶エネルギー分解能

$$R_{cry} = \frac{2.35\sigma}{x_0}$$

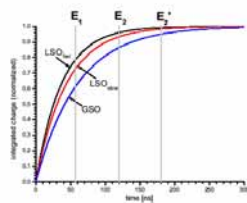


P-83~84

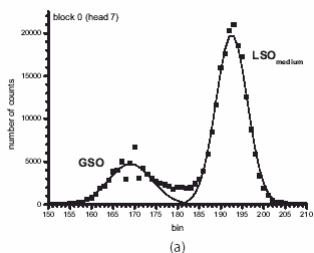
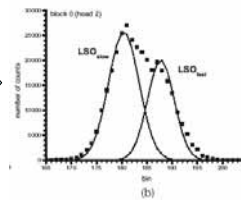
5

10.1.2 Shape Discrimination

検出器調整・波形弁別



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1 - e^{-t_1/\tau}}{1 - e^{-t_2/\tau}}$$



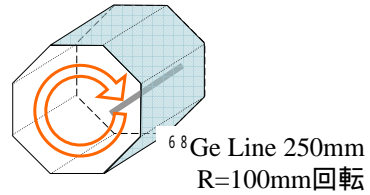
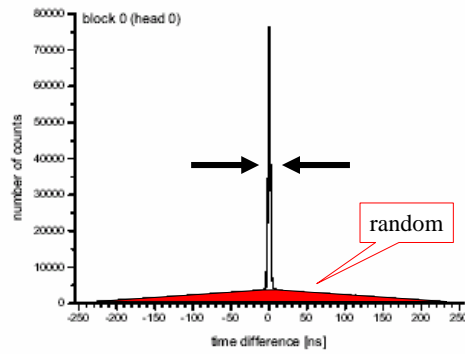
2つの最大点を検索
 2つの最大点間の最小点を検索
 高いほうのピークでガウスFit
 データからガウスカーブを差し引く
 残りのデータにガウスFit

P-84

6

10.1.3 Time Alignment

検出器調整・時間調整



FWHM: Block Timing Resolution

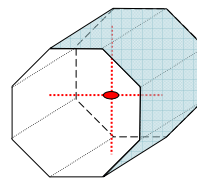
P-85

7

10.2.1 Point Source Measurement

感度

- 線源: ^{22}Na Point Source
- Energy Discriminator
 - LLD
 - 250, 300, 350, 400, 450keV
 - ULD
 - 650keV
- 収集時間
 - 60s
 - total true count
- Rebinning
 - Span 9 (rd 67) sinogram
 - Delay event subtract

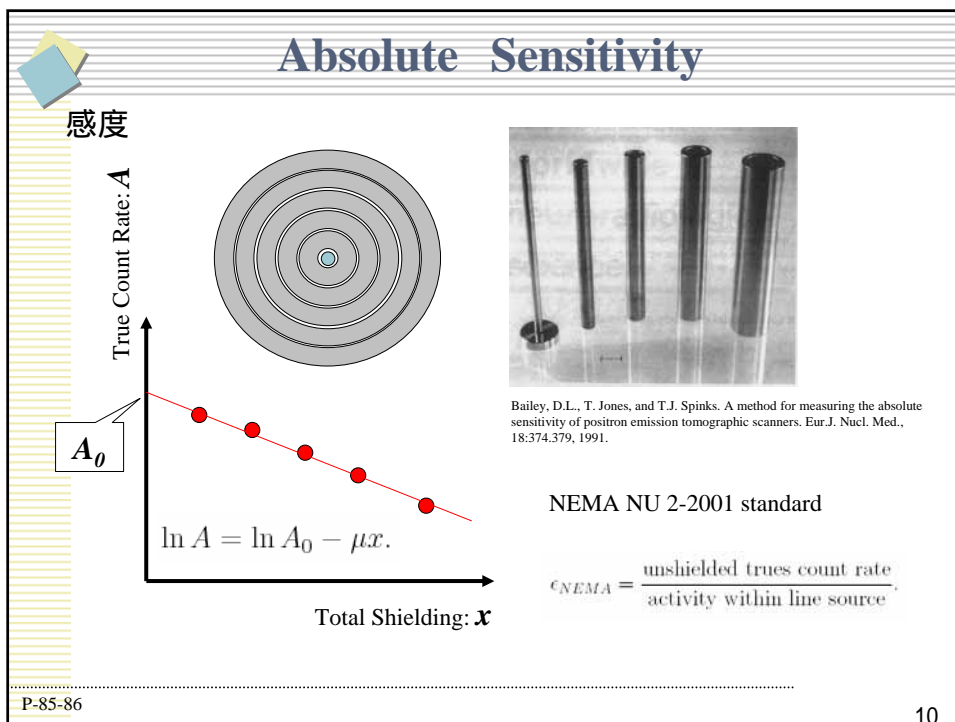
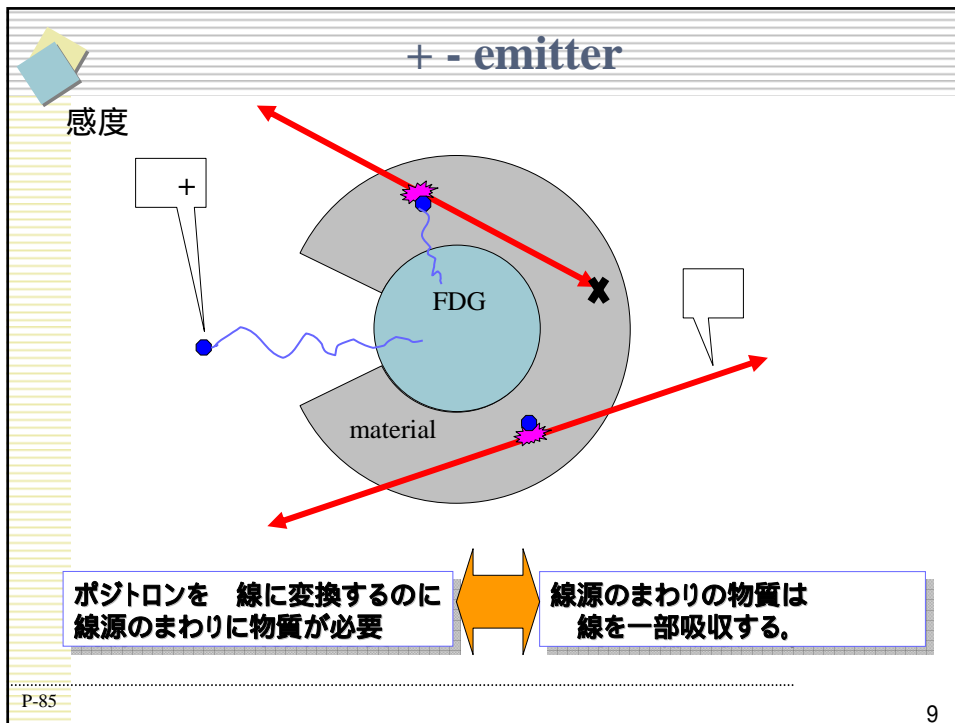


PET装置の視野内に存在する陽電子放出核種の崩壊に対して検出される同時計数の割合

単位: cps/kBq

P-85

8



10.2.2 Line Source Measurement

感度

- 線源: FDG
- Shield Thickness
 - 1、2、3、4、5mm
- Energy Discriminator
 - LLD
 - 250、300、350、400、450keV
 - ULD:650keV
- 収集時間
 - 30s
- Rebinning
 - Span 9 (rd 67) sinogram
 - Delay event subtract
- Correction
 - 減衰補正



$$\epsilon = \frac{\text{unshielded trues count rate}}{\text{activity within FOV}}$$

単位: cps/kBq

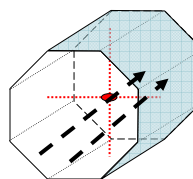
P-85-86

11

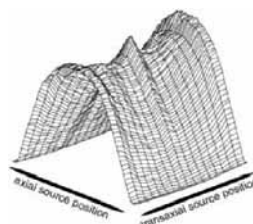
10.2.3 3D Sensitivity Profile

感度

- 線源: ^{22}Na Point Source
- 移動
 - Axial: 一定速度
 - Radial: 10mmStep
- Energy Discriminator
 - 350 ~ 650keV
- 収集時間
 - 60s
- Rebinning
 - rd 103
 - Delay event subtract online



^{22}Na Point



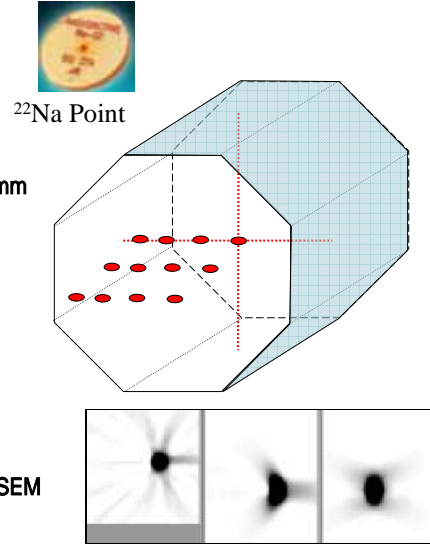
P-86

12

10.3 Spatial Resolution

空間分解能

- 線源: ^{22}Na Point Source
- 位置
 - Axial: 中心から0, 50, 100mm
 - Radial: 中心から0, 50, 100, 125mm
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集時間
 - 60s
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 3(rd67), Span 9(rd67)
 - 吸収・散乱補正なし
- Recon
 - FORE+2D-HOSP, FORE+2D-OSEM
 - 3D-OSEM

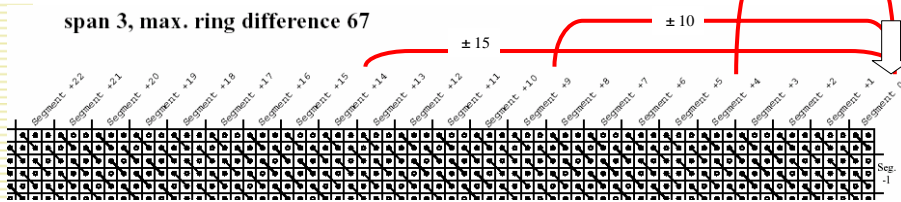


Volume Resolution = $\text{FWHM}_{\text{radial}} \cdot \text{FWHM}_{\text{tangential}} \cdot \text{FWHM}_{\text{axial}}$

P-86-87

10.3 Spatial Resolution

HRRTデータに対するFOREを使った場合の性能



⇒ 2D-HOSP

DOIの正確性と利点

64bitのリストモードデータのDOI情報を失くして、
 First Layerにすべてのデータを割り当てる。
 ノーマライズデータを Span 3 (rd 67) sinogramにRebinning

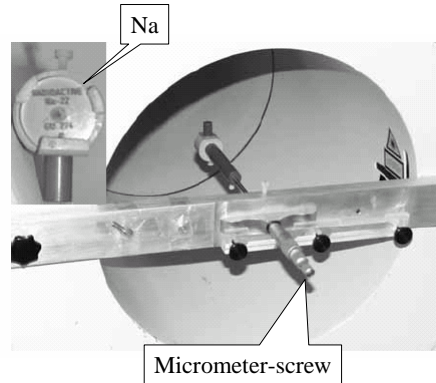
⇒ 3D-OSEM

P-86-87

10.4 Axial Slice Width

スライス半値幅

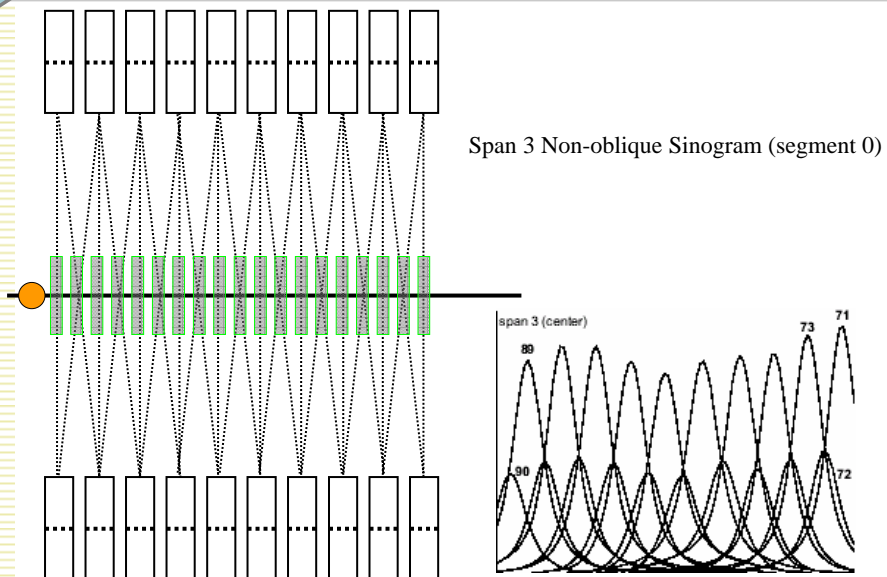
- 線源: ^{22}Na Point Source
- 位置
 - Axial: 250 μm steps
 - Radial offset: center, 100mm
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集時間
 - 100s
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 3(rd67), Span 9(rd67)



P-86-87

15

Axial Slice Width

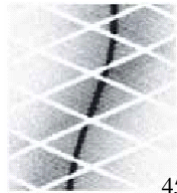


16

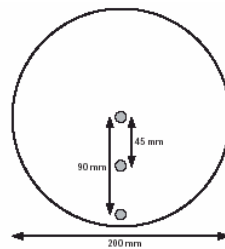
10.5.1 NEMA NU 2-1994 Scatter Phantom

散乱

- 線源 FDG
- Energy Window
 - LLD
250, 300, 350, 400, 450keV
 - ULD: 650keV
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 9(rd67)
 - SSRB (170mm axial FOV)



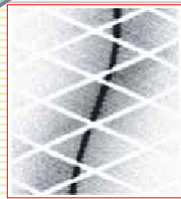
45mm



P-88

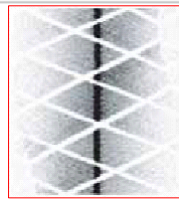
17

10.5.1 NEMA NU 2-1994 Scatter Phantom

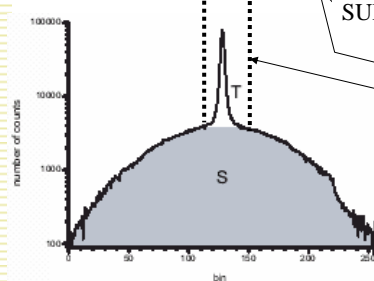


収集された
サイノグラム

線源位置を
揃える



投影角方向に
SUM



40mm幅 (33 Sinogram bin)

$$SF_{slice,av} = \frac{S_{0mm} + 8 \cdot S_{45mm} + 10.75 \cdot S_{90mm}}{(S+T)_{0mm} + 8 \cdot (S+T)_{45mm} + 10.75 \cdot (S+T)_{90mm}}$$

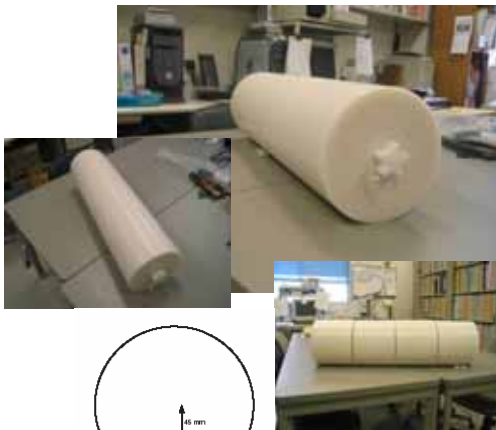
P-88-89

18

10.5.2 NEMA NU 2-2001 Scatter Phantom (700 mm NEMA Phantom)

散乱

- 線源 FDG
 - 168MBq
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集時間
 - 17半減期
- Data
 - 64bit list mode data
 - SSRB



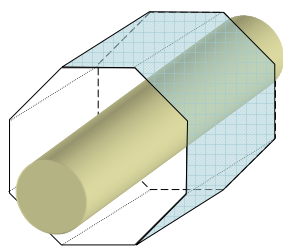
$$SF = \frac{S}{S + T}$$

P-89-90

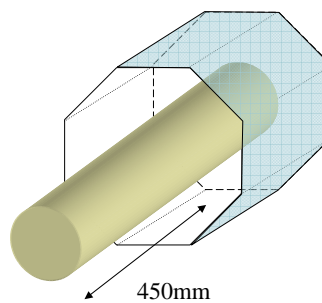
19

10.5.3 Improved 700mm NEMA Phantom Measurement

散乱



NEMA NU 2-2001 standard



Improved 700mm NEMA
Phantom Measurement

Random計数率のみが影響する。

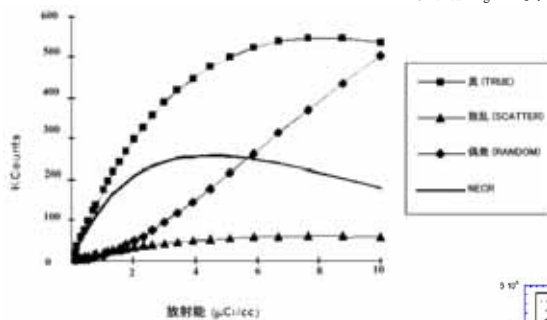
P-90

20

10.6 Count Rate Performance

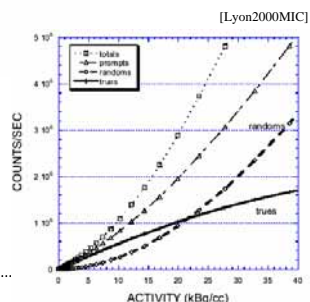
計数率特性

GE e-learning PETより



noise equivalent count rate

$$NECR = \frac{T^2}{T + S + 2R}$$



P-90

21

10.6.1 Water Phantom (200mm)

計数率特性

- 水ファントム
 - 線源 FDG 370MBq
 - 200mm直径、200mm長さ
- Energy Window
 - LLD 250, 300, 350, 400, 450keV
 - ULD: 650keV
- 収集時間
 - 15半減期
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 9(rd67) sinogram



フレーム毎にNECRを計算

$$NECR(i) = \frac{T(i)^2}{T(i) + S(i) + 2kR(i)}$$

FOVに対するPhantomの比率k

$$k = \frac{200 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{312 \text{ mm} \cdot 252 \text{ mm}} = 0.509$$

P-90-91

22

10.6.2 700 mm NEMA Phantom

計数率特性



10.6.2 700 mm NEMA Phantom

- NEMA ファントム
 - 線源 FDG 168MBq
 - offset45mm、700mm長さ
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集時間
 - 17半減期
- Data
 - 64bit list mode data
 - Prompt、Random別々のSinogram
 - Span 9(rd67)
 - Transaxial 240mm FOV

10.6.3 Improved 700mm NEMA Phantom Measurement

- NEMA ファントム
 - 線源 FDG 46MBq
 - FOV外:450mm
- Energy Window
 - LLD:300、350、400、450keV
 - ULD:650keV
- 収集時間
 - 17半減期
- Data
 - 64bit list mode data
 - Prompt、Random別々のSinogram
 - Span 9(rd67)
 - Transaxial 240mm FOV

P-91

23

NEMA Phantom Measurement

計数率特性

$$NEC1R(i) = \frac{T(i)^2}{P(i)} = \frac{T(i)^2}{T(i) + S(i) + R(i)}$$

systems providing online random subtraction

$$NEC2R(i) = \frac{T(i)^2}{P(i) + R(i)} = \frac{T(i)^2}{T(i) + S(i) + 2R(i)}$$

$$R = P - \frac{T}{1 - SF_{bkg}} - P_{bkg}, \quad SF_{bkg} = \frac{P - T - P_{bkg}}{P - P_{bkg}}$$

P: 計測したPrompt計数率

P_{bkg}: LSOのbackground, Prompt計数率

線源濃度

$$A = \frac{A_{total}(\text{line source})}{V_{phantom}}$$

線源濃度に対するNECRを計算

P-91-92

24

10.7 Scatter in Transmission Scans

トランスミッションスキャンでの散乱

- Water ファントム
 - 直径200mm、長さ200mm
- Energy Window
 - 550 ~ 800keV
- DAQ
 - Transmission, Blank

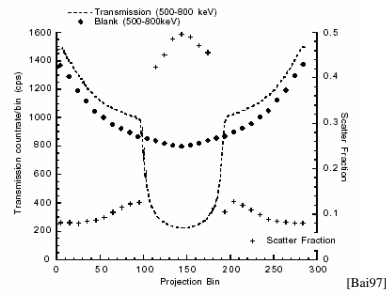
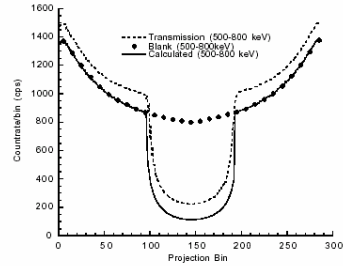
理論式

$$TX_{theory}(x) = \mathcal{B}\mathcal{L} \cdot e^{-\mu(w, 662 \text{ keV}) \cdot 2 \cdot \sqrt{R_m^2 - x^2}}$$

0.087cm⁻¹吸収係数(662keV)

散乱フラクション(Transission)

$$SF_{TX}(x) = \frac{TX_{measured}(x) - TX_{theory}(x)}{TX_{measured}(x)}$$



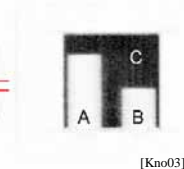
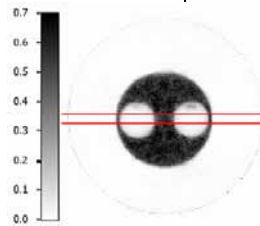
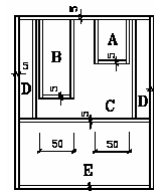
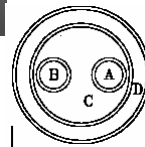
P-92

25

10.8 Scatter Correction

散乱補正

- ユタファントム
- 位置
 - FOV 中心
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集
 - 6h
 - Transmission scan: 翌日
- Data
 - Sinogram mode収集
 - Span 9 (rd 67)
 - セグメント吸収補正
 - 再構成: 3D-OSEM



[Kno03]

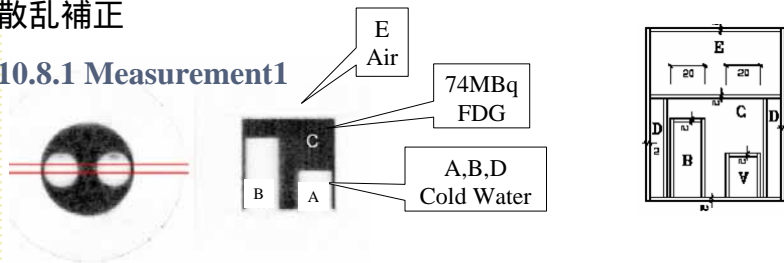
P-93

26

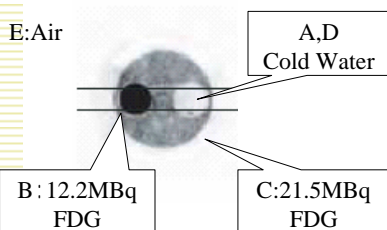
10.8 Scatter Correction

散乱補正

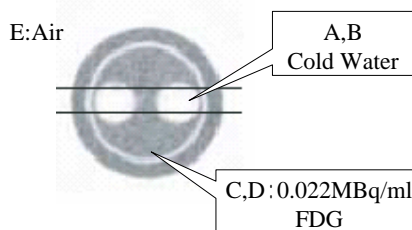
10.8.1 Measurement1



10.8.2 Measurement2



10.8.3 Measurement3



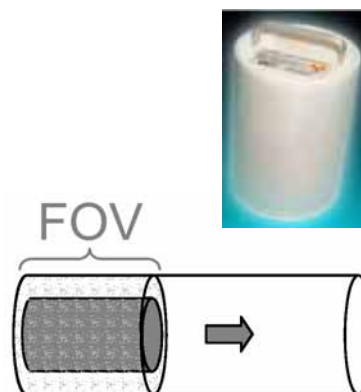
P-93

27

10.9 Shielding

シールド

- 均一 ^{68}Ge ファントム
- 位置
 - FOV内から外へ
 - 軸に沿って20mmStepで移動
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集
 - 300s
 - Span 9 (rd 67)
- 結果
 - PromptとRandomの計数率
 - バックグラウンド300s収集をデータから差し引く



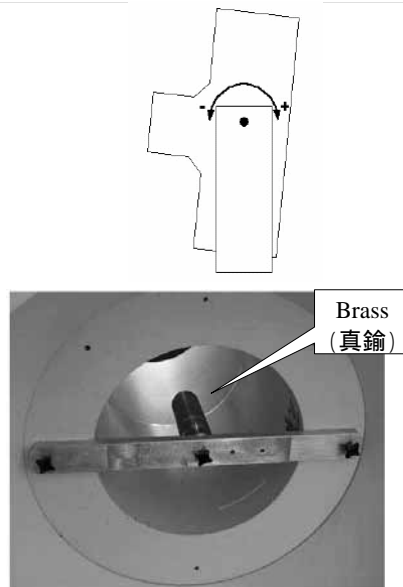
P-93

28

10.10 Tilt Mechanism

チルト機構

- Transmission Scanへの影響
- 吸収体
 - FOV内183mm(L), 52mm(r)
- 角度
 - $-15^\circ \sim 15^\circ$
- 結果
 - サイノグラムあたりのカウント数(Prompt)。



P-94

29

10.11 Phantom Studies

分解能ファントム

- 線源
 - FDG 74MBq
- 位置
 - FOV内 水平に設置
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集
 - 6h
 - Transmission scan: 翌日
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 3(rd 67)
 - 再構成: 3D-OSEM

10.11.1 Cologne High Resolution Phantom



10.11.2 Small High Resolution Phantom



P-94-95

30

10.11.3 Hoffman 3D Phantom

ホフマンファントム

- 線源
 - FDG 74MBq
- 位置
 - FOV 中心
- Energy Window
 - 350 ~ 650keV
- 収集
 - 6h
 - Transmission scan:翌日
- Data
 - 64bit list mode data
 - Span 3(rd 67)
 - 再構成: 3D-OSEM
- DOI情報破棄データも作成

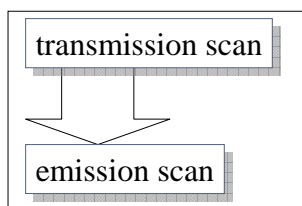


P-95

31

10.12 Patient Studies

ボランティア・患者



MPIfmrの他のスキャナーと同じ
Emissionプロトコルで撮影

頭をFOV内にいれると
FOV中心に頭が来る前に
多くの場合
肩がガントリーにあたる。



P-95-96

32