

マカメラを用いてリンパシンチグラムを撮像した。患側腋窩の正面像、側面像、患側内胸領域の正面像をそれぞれ30秒間で撮像した。得られた画像の描出されたSLNsの数およびバックグラントとのコントラストについて比較検討した。

## C 研究結果

### 1) 点線源の描出限界

半導体検出器で画像化が可能なRI量は、Tc-99m、I-131ともに10kBqであった。この放射エネルギーを示すそれぞれの核種の重量は、Tc-99m  $5.1 \times 10^{-14}$ g、 $5.2 \times 10^{-16}$ mol、I-131  $2.2 \times 10^{-12}$ g、 $1.7 \times 10^{-14}$ molであり、この量を超える放射エネルギーを示す放射性核種を標的組織に集積させることで、分子動態の画像化が可能であることが示された。

### 2) 乳癌症例におけるセンチネルリンパ節の描出

患側腋窩の正面像では半導体カメラの7症例、従来型カメラの8症例でSLNsが描出でき、描出されたSLNsの数はともに平均  $1.1 \pm 0.7$  個であった。患側側面像では、両装置で9症例にSLNsの描出が確認でき、描出できたSLNsの平均個数は、半導体カメラ  $1.2 \pm 0.7$  個、従来型カメラ  $1.0 \pm 0.6$  個で半導体カメラの方が多かった。患側内胸領域についてはいずれの装置でも1症例で1個描出された。比較した30画像のうち、29画像で半導体カメラの方が描出されたSLNsのコントラストは良好であったか、1画像において投与部位に近接して、投与部位の上方に存在するSLNsの描出が不良であった。

## D 考察

製作した半導体検出器を用いて検出できるRIの最小量は、非常に少ない量であり、picogram~femtogramのオーダーであった。このため、従来型のガンマカメラよりも少ない量で、あるいは短い時間でのRIイメージングが可能となると考えられる。

実際に臨床症例で検討したコロイド粒子を用いた乳癌のセンチネルリンパ節検索では、従来型のガンマカメラよりも、短時間で高感度にセンチネルリンパ節の画像化が可能であった。コントラストが良好であるため、これまで近接しており、1個のセンチネルリンパ節として認められていた集合したリンパ節の分離も改善した。

半導体型ガンマカメラの実地診療への応用が期待できる結果と考えられる。

## E 結論

半導体型ガンマカメラの導入により、従来型のガンマカメラよりも高感度で現在、RI標識コロイド製剤で検索が行われているセンチネルリンパ節の画像化は十分可能であると考えられた。

## F 健康危険情報

特記すべき事項なし

## G 研究発表

### 論文発表

- 1) Hirofumi Fujii, Yuko Kitagawa, Masaki Kitajima, Atsushi Kubo Sentinel nodes of malignancies originating in the alimentary tract Ann Nucl Med 18 (1) 1-12 2004
- 2) 藤井博史、北川雄光、池田正、神野浩光、谷川瑛子、塩谷彰浩、中村佳代子、中原理紀、北島政樹、久保敦司 放射性薬剤を用いたセンチネルリンパ節ナビゲーション 映像情報メティカル 35 (12) 960-966, 2003
- 3) 藤井博史、北川雄光、久保敦司 Sentinel node navigation surgery RI 法 (current therapy 21 (7) 12-16, 2003

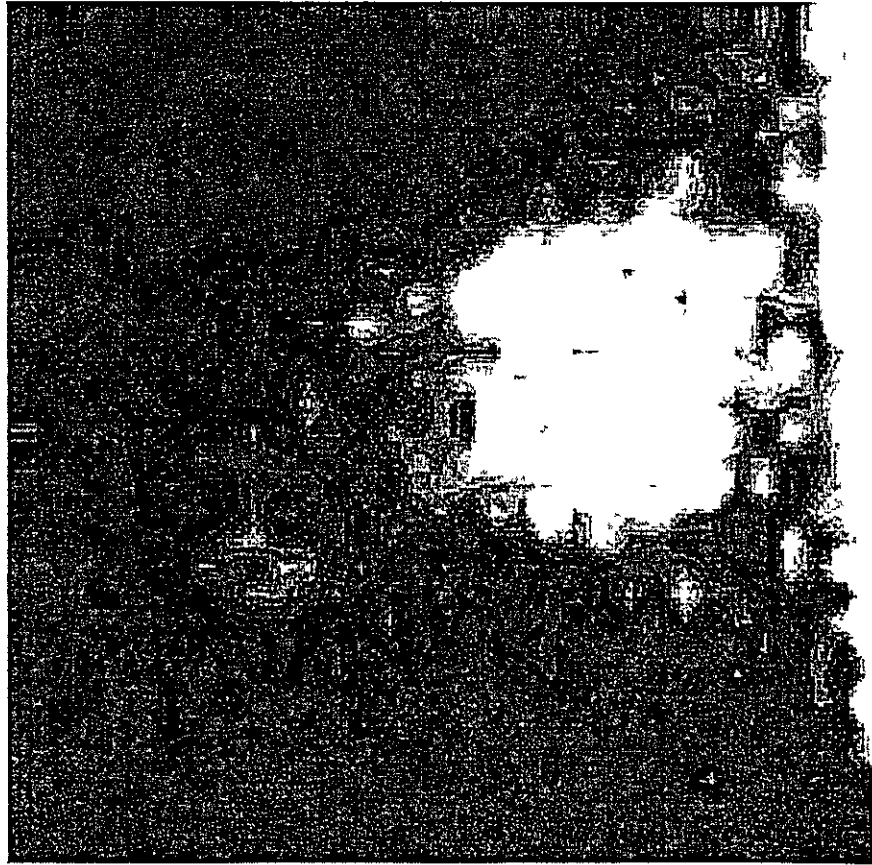
### 学会発表

- 1) 藤井博史、北川雄光、北島政樹、久保敦司 センチネルリンパ節生検に役立つリンパシンチグラフィ 第5回 Sentinel Node Navigation Surgery 研究会 2003/11/20 豊中
- 2) 藤井博史、久保敦司、高山純一、高見博 Tc-99m sestamibi の手術への応用。第36回甲状腺外科研究会 2003/10/31 京都
- 3) 藤井博史、中原理紀、中村佳代子、国枝悦夫、橋本順、久保敦司、北川雄光、北島政樹、内山浩志、竹内康直、流王英樹 符号化開口コリメータによるセンチネルリンパ節の画像化。第43回日本核医学会総会 2003/10/27 新宿
- 4) Hirofumi Fujii, Yuko Kitagawa, Tadashi Ikeda, Koichi Ogawa, Etsuo Kunieda, Kavoko Nakamura, Tadaki Nakahara, Masaki Kitajima, Atsushi Kubo, Yasunao Takeuchi Sentinel node imaging using a portable gamma camera with a semiconductor detector the 50th annual meeting of the society of nuclear medicine, 2003/6/23, New Orleans
- 5) 藤井博史、北川雄光、北島政樹、久保敦司 消化器癌における sentinel リンパ節のコンセプトの RI を用いた検証 第27回日本リンパ学会, 2003/6/12, 東京
- 7) 藤井博史 頭頸部腫瘍のセンチネルリンパ節検索 第782回放射線診療研究会 2003/6/9, 東京

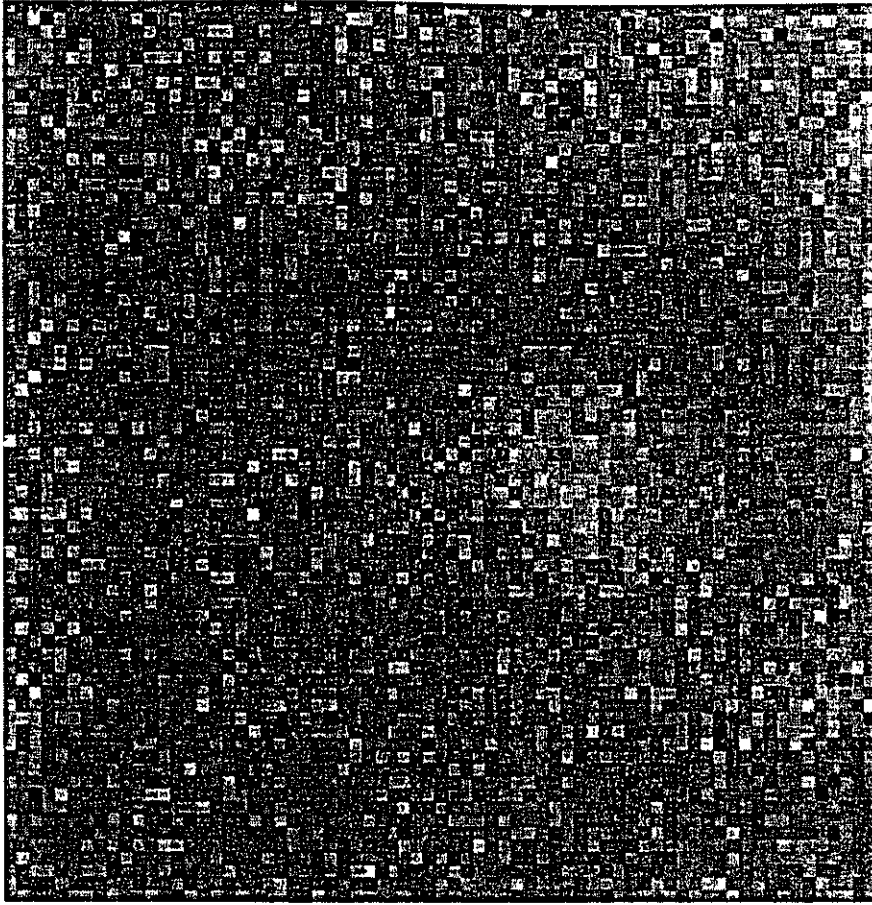
## H 知的財産権の出願・登録状況

特記すべき事項なし

# Conventional cameraとの比較



半導体カメラ



シンチレータカメラ

乳癌SLN 30sec

分担研究報告書

半導体型カメラの画像化技術の開発

－半導体型ガンマカメラの利点を生かした SPECT 撮像技術の開発－

分担研究者 尾川 浩一（法政大学工学部電子情報学科教授）

研究要旨

前年度に引き続き、半導体検出器の特徴である小型軽量である利点を活かして、ガンマカメラを回転させることなく、SPECT 撮像（断層撮像）を行なう技術の開発を進めた。Tc 99m pertechnetate を満たした心筋ファントムおよび ROD ファントムを 25(5×5)方向から撮像して得られた画像データから少数方向のデータを選択し、断層画像の再構成を検討した。検討の結果、パワースペクトルの強さを基準にし、さらに撮像方向の偏りを少なくなるようにデータを選択することにより、シミュレーションでは、12 方向からの画像データで臨床応用に耐えうると考えられる断層画像を得た。実際の撮像では、ファントムを固定する治具の影響などもあって、画像の一部に乱れが確認された。

A 研究目的

前年度に引き続き、この半導体型ガンマカメラの利点を活かして、カメラを体軸周囲に回転させることなく、断層画像を得るための SPECT 撮像技術についての検討を進めた。

B 研究方法

心筋部分に Tc-99m pertechnetate を満たした心筋ファントムあるいは ROD 部分に Tc 99m pertechnetate を満たした ROD ファントムを少数方向から撮像し、そのデータから断層画像を再構成した。得られた画像を従来法のガンマカメラを体軸を中心に回転させる方法により再構成した画像と比較して、新しい撮像法の有用性を検討した。

撮像は、 $xy$  平面上は  $-30^\circ \sim 90^\circ$  の  $30^\circ$  おきの 5 方向から 1 方向を選択し、 $yz$  平面上は  $30^\circ \sim 150^\circ$  の  $30^\circ$  おきの 5 方向から 1 方向から選択して、計 25 方向からのデータを収集した。このうち、少数の画像を選択し、OSEM 法で断層画像を再構成した。

この画像を従来法のガンマカメラを体軸を中心に回転させる方法で収集したデータから得られた断層画像と比較検討した。

画像選択法 25 方向の投影データから、12 方向を選択し、再構成画像を作成し、有用性を検討した。12 方向の選択は、1) 投影データのパワースペクトルに基づいて選択する方法、2) 1) と同様にパワースペクトルの順に選択するか、一度用いた方向の投影データを選択しないようにし、選択画像の偏りを少なくする方法について検討した。

## ① 研究結果

### 1 3次元の物体に対する投影データ計算プログラムの作成

数値ファントムとして心臓ファントム(MCAT ファントム)をもちいたシミュレーションシステムを構築した。また、 $\gamma$ 線の入射方向を規定するコリメータとして平行多孔型のコリメータおよびコーンヒーム型コリメータを想定し、任意角度から投影データを計算できるようにした。

### 2 投影データの最適選択法の考案

上記で計算された投影データを用いて画像再構成を行う際に、どのような投影データを選択すれば再構成画像の画質が向上するかを検討した。このためには、再構成画像の画質と使用した投影データとを関係つける評価基準が必要となり、2次元の投影データのパワースペクトルを基準として、投影データの独立性などを考慮したものも検討した。また、この投影データの最適選択法に関して、投影データの数、統計雑音の影響、 $\gamma$ 線の吸収と散乱の影響、肝臓などの隣接臓器の影響を調べた。

### 3 基礎実験による有効性の検討

臨床用SPECTシステム(東芝製GCA7200A)を用いて、基礎実験ファントムに対するデータの収集を行なった。ファントムとしては心筋ファントムならびに、ロットファントムを用いて提案手法の基本性能を詳細に調査した。実験では臨床用の装置にアダプチメントを設置し、3次元のデータ収集が可能ないようにした。

### 4 実験結果をふまえた投影データ選択法の改良

シミュレーションにおける評価基準と実験における基準が一致しているかどうかの検討を行った。この結果、実験とシミュレーションの結果との間に相関がみられ、シミュレーションで選択した角度を実験データに適用することの合理性が明らかになった。また、画像再構成においては3方向の投影データをセットとし、おのおの90度の角度をなすものを4セット使用の方が画質が向上することか明らかになった。

### 5 基礎実験による有効性の検討

現有のSPECTシステムを用いて、基礎実験ファントムに対するデータの収集を行なった。これには慶応大学医学部の協力を得て、病院に設置してある東芝製GCA7200AというSPECT装置を用いた。また、この際のファントムとしては心筋ファントム(心筋、肺、脊椎、肝臓などの人体に近い構造を有するファントム)ならびに、ロットファントム(コールドロット、ホットロット)を用いて提案手法の基本性能を詳細に調査した。本研究で使用する予定していた半導体検出器は、完成していなかったため、臨床用の装置にアダプチメントを設置し、3次元のデータ収集が可能ないようにした。心筋データから再構成された画像は、画質評価を行いやすいようにするため、Bull's eye表示を行い、各セクメントにおける画質を評価した。

### 6 実験結果をふまえた投影データ選択法の改良

基礎実験における再構成画像と投影データとの関係を再検討し、シミュレーションにおける評価基準と実験における基準が一致しているかどうかの検討を行った。この結果、実験とシミュレーションの結果との間に相関がみられ、シミュレーションで選択した角度を再

験て用いることの合理性が明らかになった。また、投影データは3方向の投影データをセ  
ットとし、おのおの90度の角度をなすものを4セット集めた方が画質が向上すること  
が明らかになった。

## D 考察

### 1) シミュレーション結果に対する考察

シミュレーションでは各選択方法における画質の違い、吸収補正のあり、なしによる画  
質の違い、ノイズの影響などを主に検証した。選択方法1では選択する方向に偏りか出て  
しまい、再構成画像の画質も劣化したものとなってしまった。それに比べ選択方法2(3つ  
のデータを1つのサブセットとして選択)や選択方法3(2つのデータ組を1つのサブ  
セットとして選択)は12投影程度の投影数でも比較的高画質な再構成画像を得ることが  
可能である。

吸収補正が再構成画像に与える影響であるか、結果からわかるように吸収補正を行った  
場合は、我々の提案する3次元収集から投影データを測定し12投影程度の少ない投影デー  
タからの画像再構成でも、目標としている通常軌道収集の30投影に近い高画質な画像を得  
ることができた。それに対し吸収補正を行わない場合は我々の提案する3次元収集によ  
り得られたデータからの再構成では、通常軌道収集のものよりも検出器からの位置が遠く  
なる位置で吸収の影響が大きくなり濃度値が低下してしまう問題点があることがわかつた。  
今回男性の吸収係数ファントムのみシミュレーションを行ったが男性のファントムは楕円  
形をしているために通常軌道のもものは3次元収集のものよりも吸収の影響かとの方向のテ  
ータでも等しいようになったため、に比較的好い結果が得られたのではないかと考えられ  
る。そのため今後は女性の体の吸収係数ファントムを用いても同様のシミュレーションを  
行う必要かあると思われる。またRODファントムを用いたシミュレーションでは上部や下  
部などのスライスでは吸収の影響をあまり受けていないために3次元収集のものの方が  
通常軌道収集よりも良い結果が得られている。RODファントムの結果からもわかるように  
我々の提案する手法は心筋のような形状のファントムだけでなく一般的なその他の形状の  
ものの画像再構成に対しても有効であると考えられる。

また、今回用いたシミュレーションでは検出器の位置によるホケの影響などが考慮され  
ていないため、我々の提案する手法のメリットである検出器を小型化し体に近づけること  
により高SN比の投影データを収集するというものか完全にはいかしきれていない。従つて  
今後はモンテカルロ法などを用いてより臨床に近い形でのシミュレーションか必要となつ  
てくるとと思われる。また、そのようなメリットを最大限に生かすことを考えるならば現在  
のように3次元収集の場合の座標軸の中心を体軸に合わせるのではなく、心臓の中心に座  
標軸の中心を持つてくることにより通常軌道で収集するよりも体に近い位置から収集する  
ことが可能となり高SN比のデータ収集か可能となるとと思われる。またデータ収集範囲も検  
出器の大きさなども考慮に入れながら決定していくことが今後の課題であると思われる。

### 2) 実験結果に対する考察

心筋ファントムの実験ではスライス画像を見る限りは大きな差はないように思われるか

bull's eye 画像を見ると3次元収集のものは多少不均一になっていることが確認できる。また平均値を見ても3次元収集のものは通常軌道収集のものよりも値が低下してしまっているものとなっている。RODファントムを用いた実験では上部や下部のスライスでは3次元収集のものの方がコントラストの高い画像が得られていることが確認できた。また今回行った実験は現在市販されているSPECTシステムを用いてアタッチメントをつけて行っているために、アタッチメントが邪魔になり3次元収集の場合は投影データに影響が多少出てしまっている、また検出器が大型のために物体にあまり近づけることができないので本手法のメリットを最大限に生かしていきたくないという問題があることを考慮に入れる必要がある。しかし、現在開発中の半導体検出器を用いたSPECTのシステムを用いることにより、上記2点の問題点が改善されるので、今後実験を行いより臨床に近い形での実験を行い、本手法の有効性の検証が可能となると思われる。また今まで心筋の画像再構成を目的として考えていたが、今後は心臓のデータ収集の時よりも検出器を自由に動かすことのできるメリットがより生かせる頭部の画像再構成においてもシミュレーションや実験を行い検証していくことも重要である。

## E 結論

半導体検出器の特徴である小型軽量であることを活かした心筋SPECTにおける最適な投影データの選択法を提案し、それについて検討を加えた。この手法を用いれば、吸収補正を行うことにより通常軌道の30投影に近い画質のものをその半分以下投影数の12投影程度でも得ることができた。また、心筋以外の形状のファントムにおいても本手法は有効であることが確認できた。少数の方向からの撮像で、臨床応用可能な程度の画質の断層画像が得られる可能性が示された。

## F 健康危険情報

特記すべき事項なし

## G 研究発表

### 論文発表

- 1) Norihiko Kobayashi, Koichi Ogawa, Nobutoku Motomura, Hirofumi Fujii, Atsushi Kubo "The performance of data acquisition scheme in a new myocardial SPECT system" Medical Imaging Technology, vol 22, No 2, pp 85-91 2004/3
- 2) Norihiko Kobayashi, Koichi Ogawa, Nobutoku Motomura, Hirofumi Fujii, Atsushi Kubo "Evaluation of data acquisition scheme in a new myocardial SPECT system" IIEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference CD-ROM 2003/11

### 学会発表

- 1) 尾川浩一、本村信篤、藤井博史、久保敦司 "心筋SPECTのための3次元データ収集" 第43回日本核医学会 東京 2003/10/27-29
- 2) 小林紀彦、尾川浩一 "選択された特定方向の投影データを用いた心筋SPECT

第22回日本医用画像工学会大会 (Med Imag Tech vol 20, Supplement OP6-31)  
2003/7/25-26

H 知的財産権の出願・登録状況  
特記すべき事項なし





---

# 選択された特定方向のデータを 用いた心筋SPECT

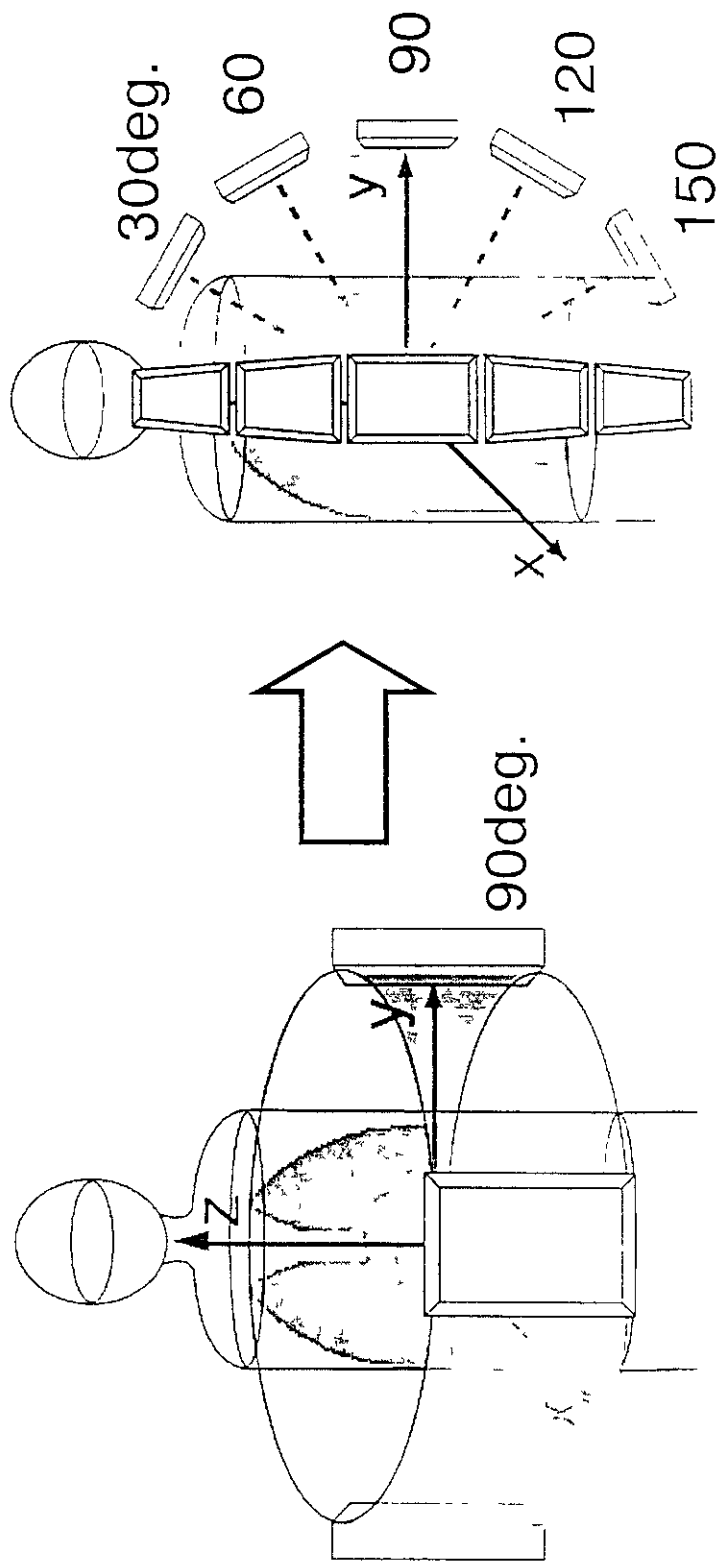
法政大学工学部 尾川浩一

# 1. 半導体検出器の利用

半導体検出器は従来用いられていた  
シンチレーション検出器より小型軽量

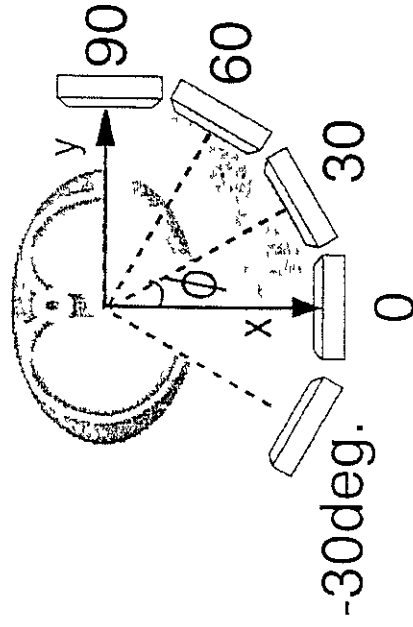


空間的に任意な方向からのデータの収集が可能となる



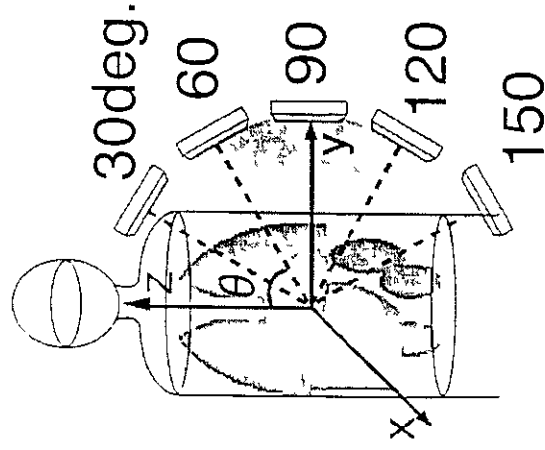
## 2. 提案する手法

### 検出器の位置



x-y面:  $-30^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  (5方向)

S/Nの高い投影データ  
少数方向からの投影データ



y-z面:  $30^\circ \leq \theta \leq 150^\circ$  (5方

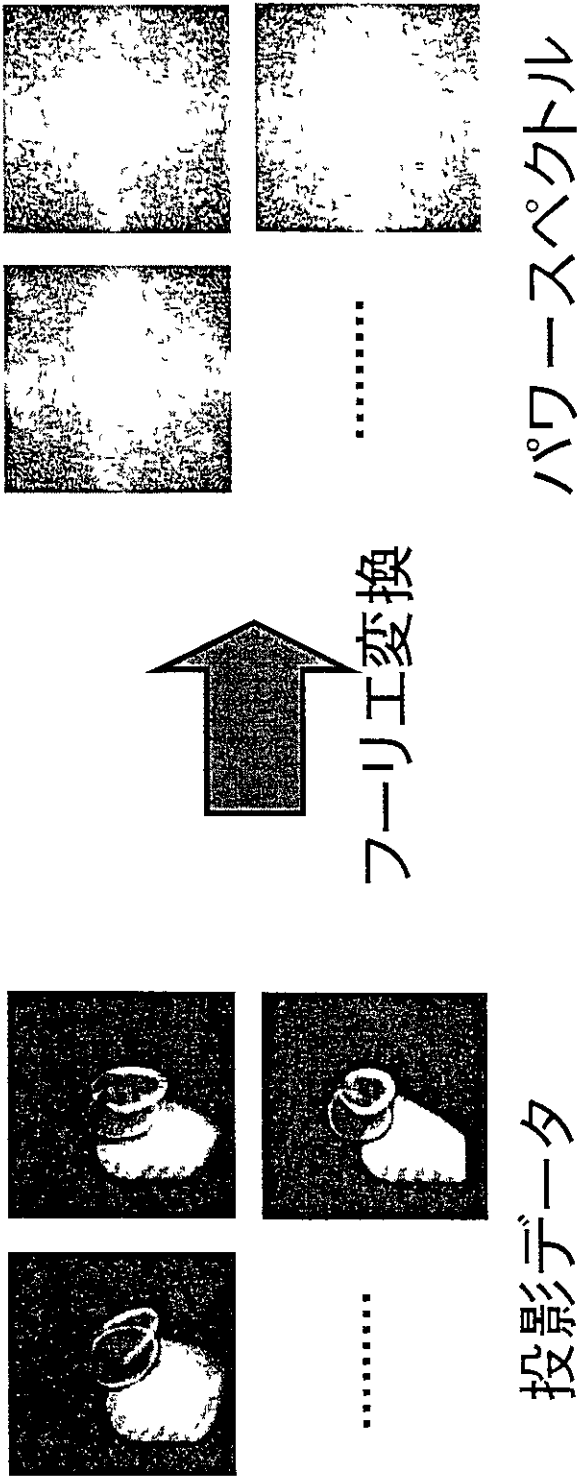
向)  
これらのデータから画像再構成を行う

少数方向からのデータを用いた画像再構成では、用いる投影データにより画質が大きく変化する

投影データの最適測定位置を決定することが重要

### 3. 最適位置の投影データの決定

(1) 25方向からの投影データをフーリエ変換してパワースペクトルを求めめる

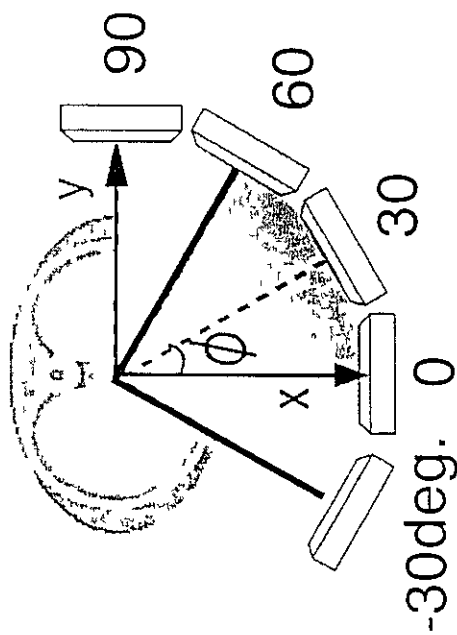


(2) 直流成分を除きパワーの和を求め、大きい順に投影データを並び替える

(3) パワーの大きいデータとそれに直交するデータを1つのサブセットとし選択しOS-EM法を用いて画像再構成を行う

# 4. データセットの決定法

$(\phi, \theta) = (60^\circ, 120^\circ)$  に対して直交する  
データを選ぶとき



x-y平面では

$\phi = 60^\circ$  に対して直交

$$\phi = 30^\circ$$

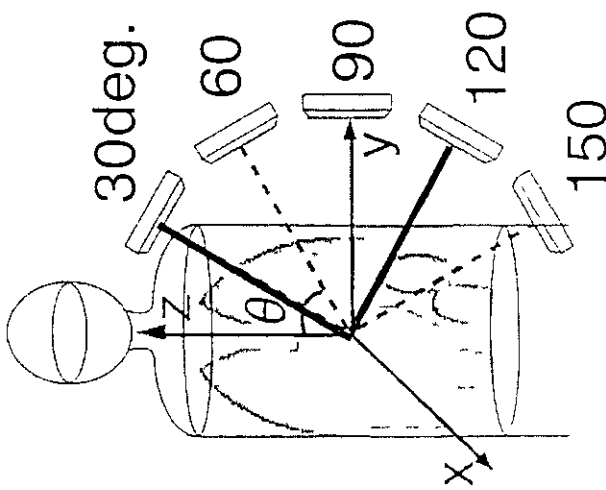
$$(\phi, \theta) = (-30^\circ, 120^\circ)$$

y-z平面では

$\theta = 120^\circ$  に対して直交

$$\theta = 30^\circ$$

$$(\phi, \theta) = (60^\circ, 30^\circ)$$



# 5. シミュレーション(MCAT ファントム)

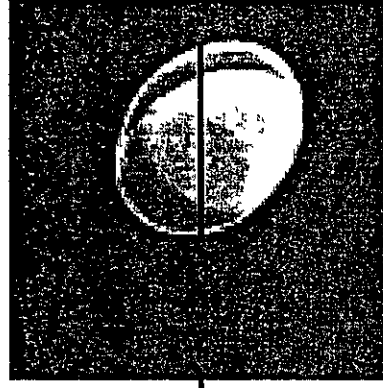
## シミュレーション条件

マトリクスサイズ	128×128×128
ピクセルサイズ	2.8×2.8×2.8mm
回転半径	260mm
放射性同位元素	Tc-99m
投影数	30, 25, 12 proj.
吸収補正	$\mu$ -mapによる補正
再構成方法	OS-EM 法
反復計算回数	6 (30proj.) 4 (25, 12proj.)

## MCAT ファントム



放射能分布



スライス位置

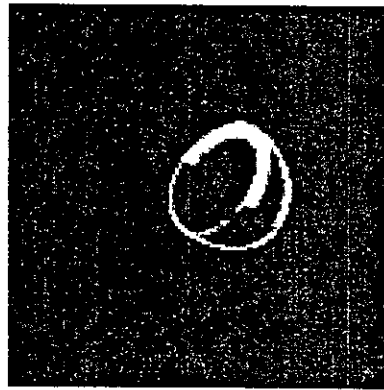


$\mu$ -map(1/cm)

# 6. シミュレーション結果 (MCAT、吸収補正あり)

30 投影

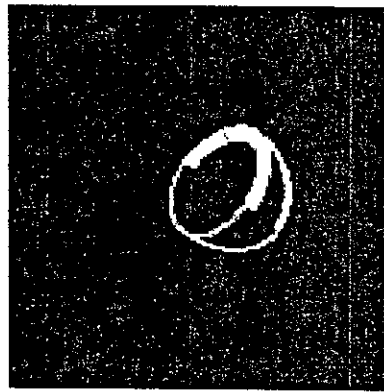
通常軌道  
180度収集



雑音なし

25 投影

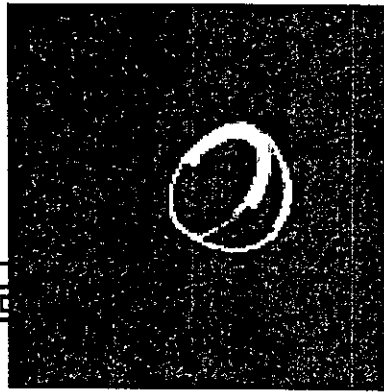
3次元データ  
収集



雑音を考慮

12 投影

3次元データ  
収集(選択方  
向)



カウント

2.7M

2.25M

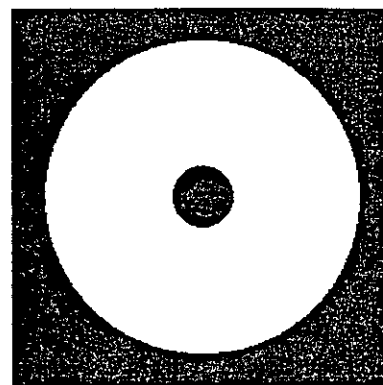
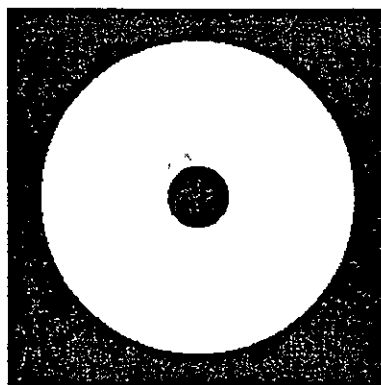
1.08M



# 7. シミュレーション結果 Bull's eye表示(MCAT)

30 投影

通常軌道  
180度収集

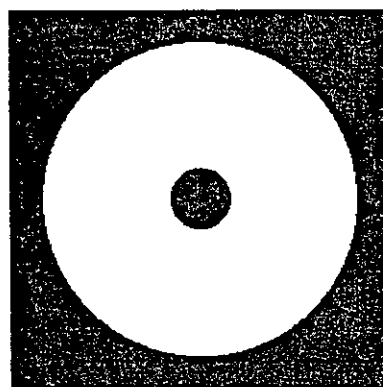
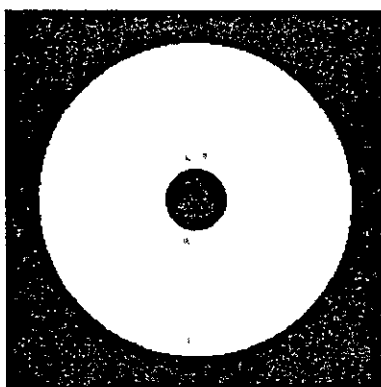


2.7M

雑音なし

25 投影

3次元データ  
収集

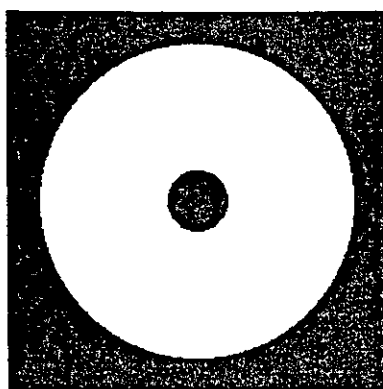
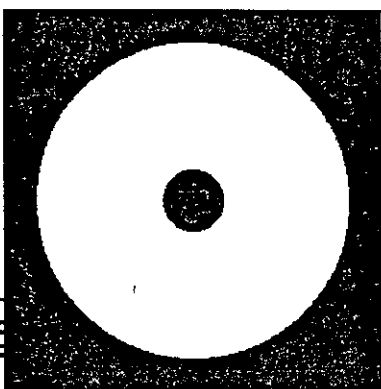


2.25M

雑音を考慮

12 投影

3次元データ  
収集(選択方  
向)

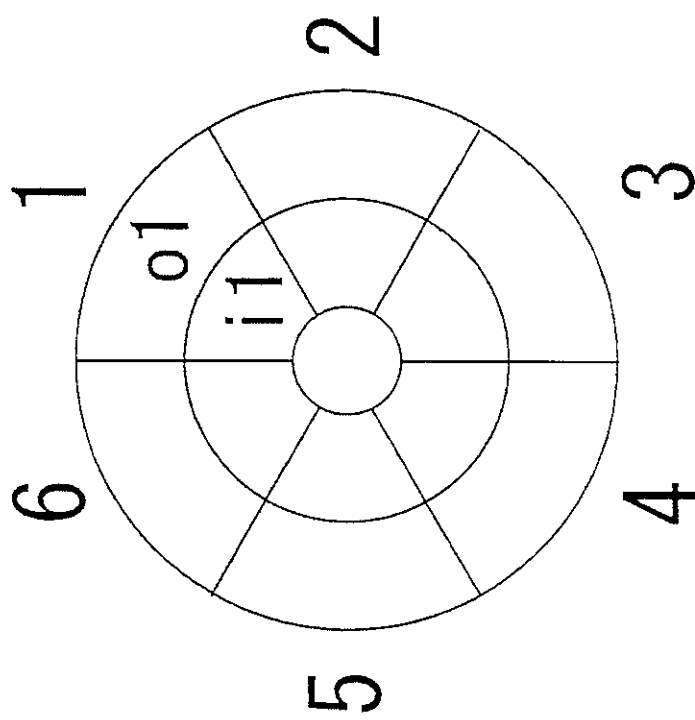


1.08M

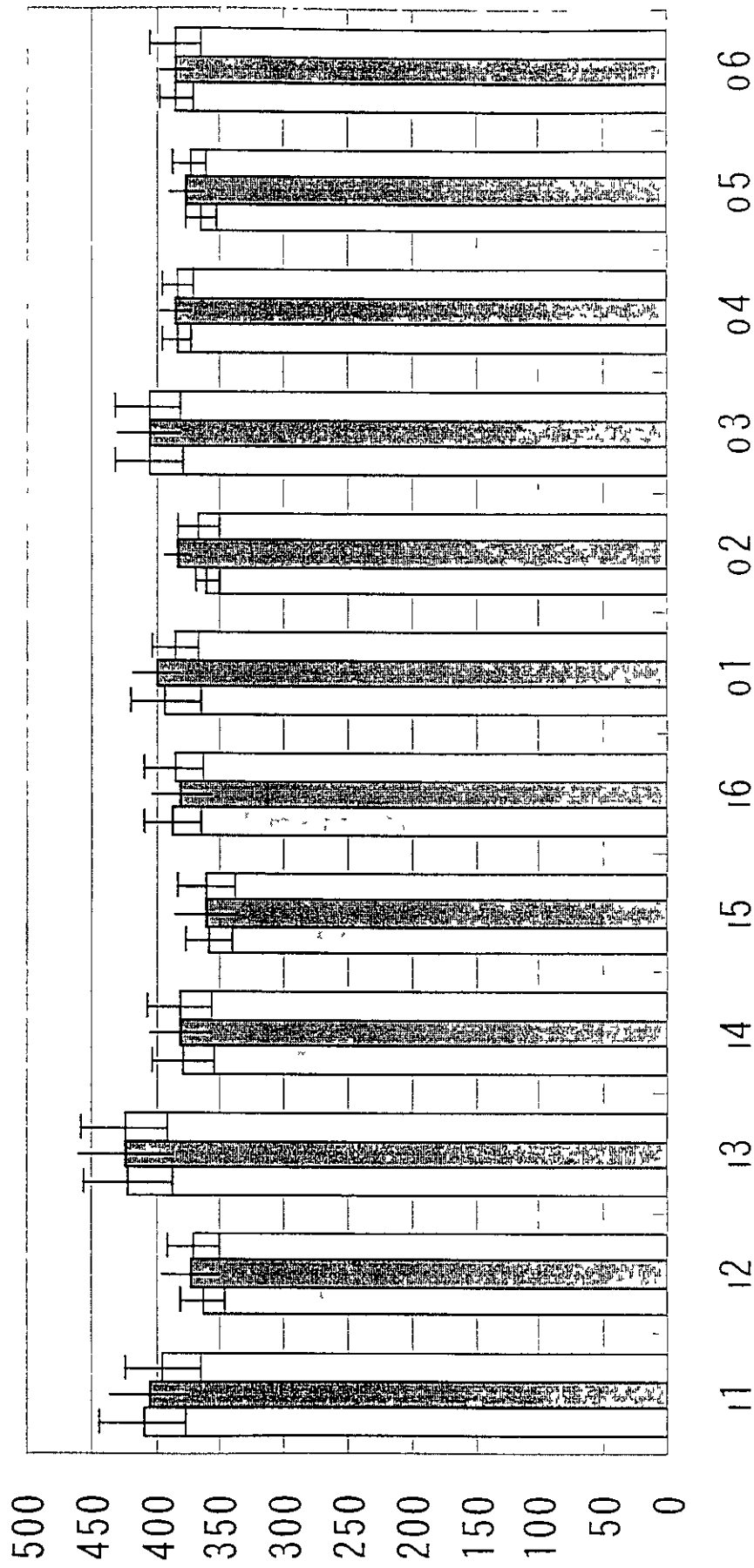
カウント

# エリアの説明

---

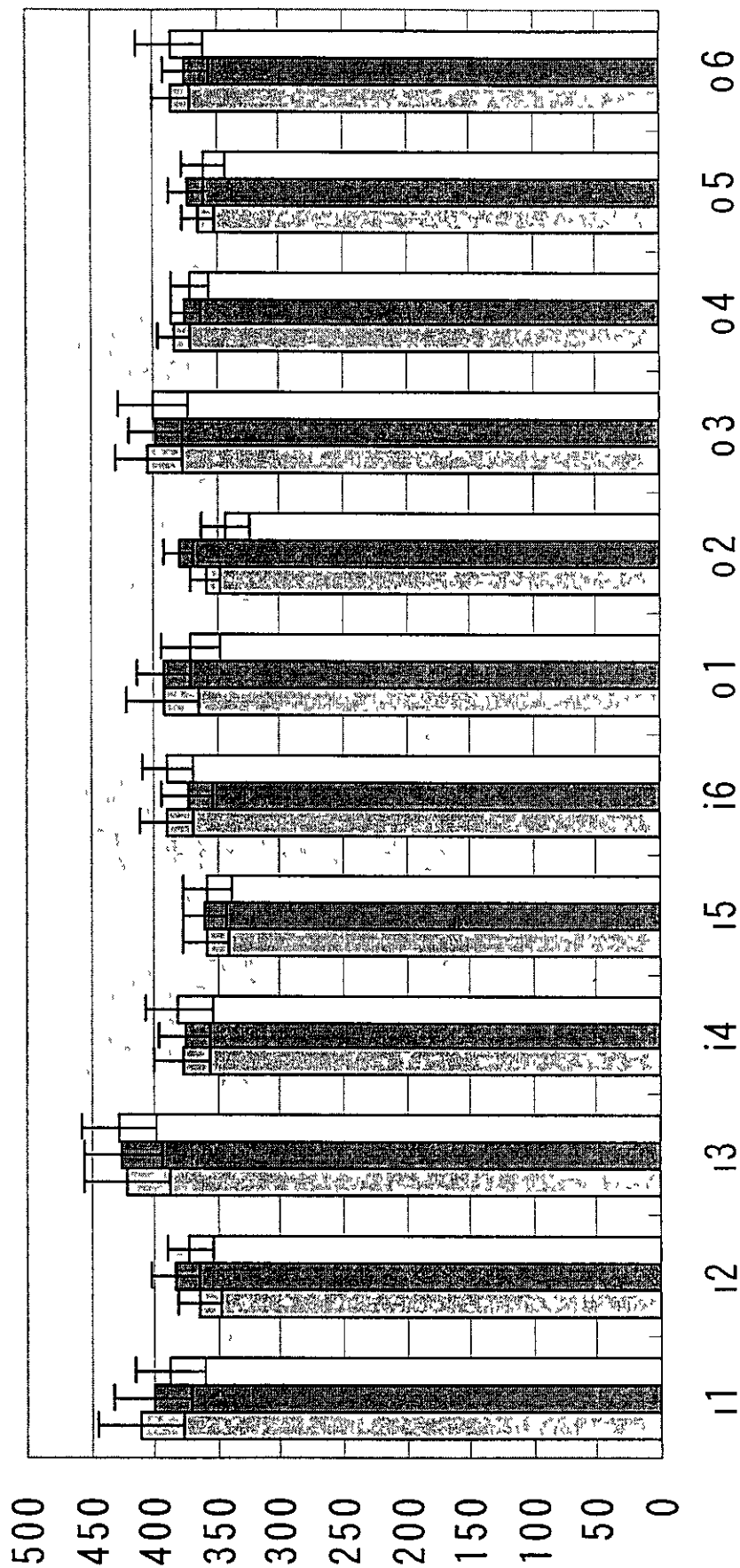


# 平均値、分散 (MCATフアントムノイズなし)



□ 通常軌道180° 収集    ▨ 3次元収集25投影    □ 3次元収集12投影

# 平均値、分散 (MCATフアントムノイズあり)



□ 通常軌道180° 収集 ■ 3次元収集25投影 □ 3次元収集12投影