

## 頸部腫瘍ラットにおけるPARPイメージング MRI・PETフュージョン撮像

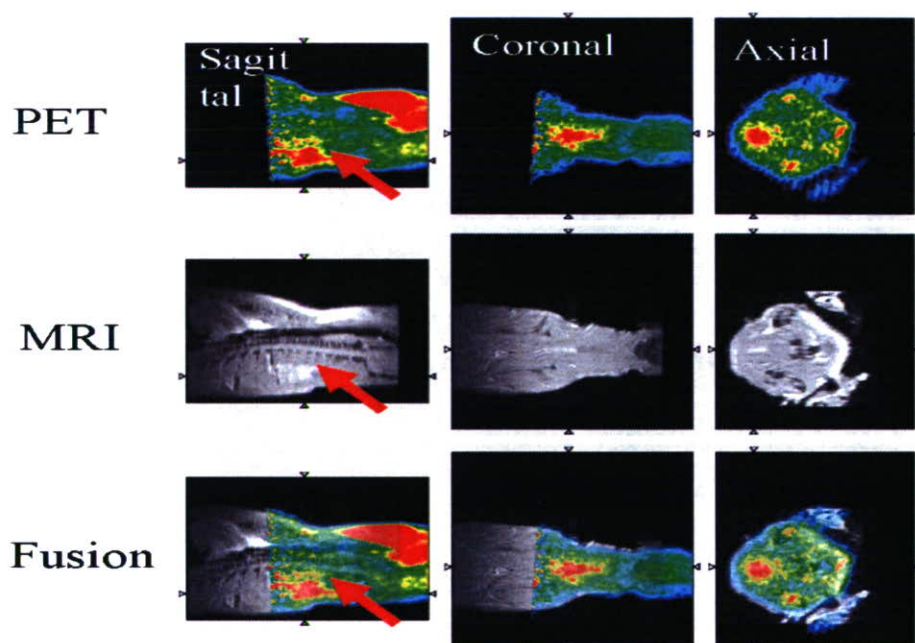


図13 頸部腫瘍ラットにおけるPET-MRI重ね合わせ

頸部C6グリオーマ細胞の集積をPET ( $[^{11}\text{C}]\text{MDDI}$ ) において確認し、高分解能MRIとの重ね合わせに成功した。これによりMRIの持つ様々なコントラスト情報とPETの持つ分子生物学的な情報を有機的に解析できる基盤が整った。

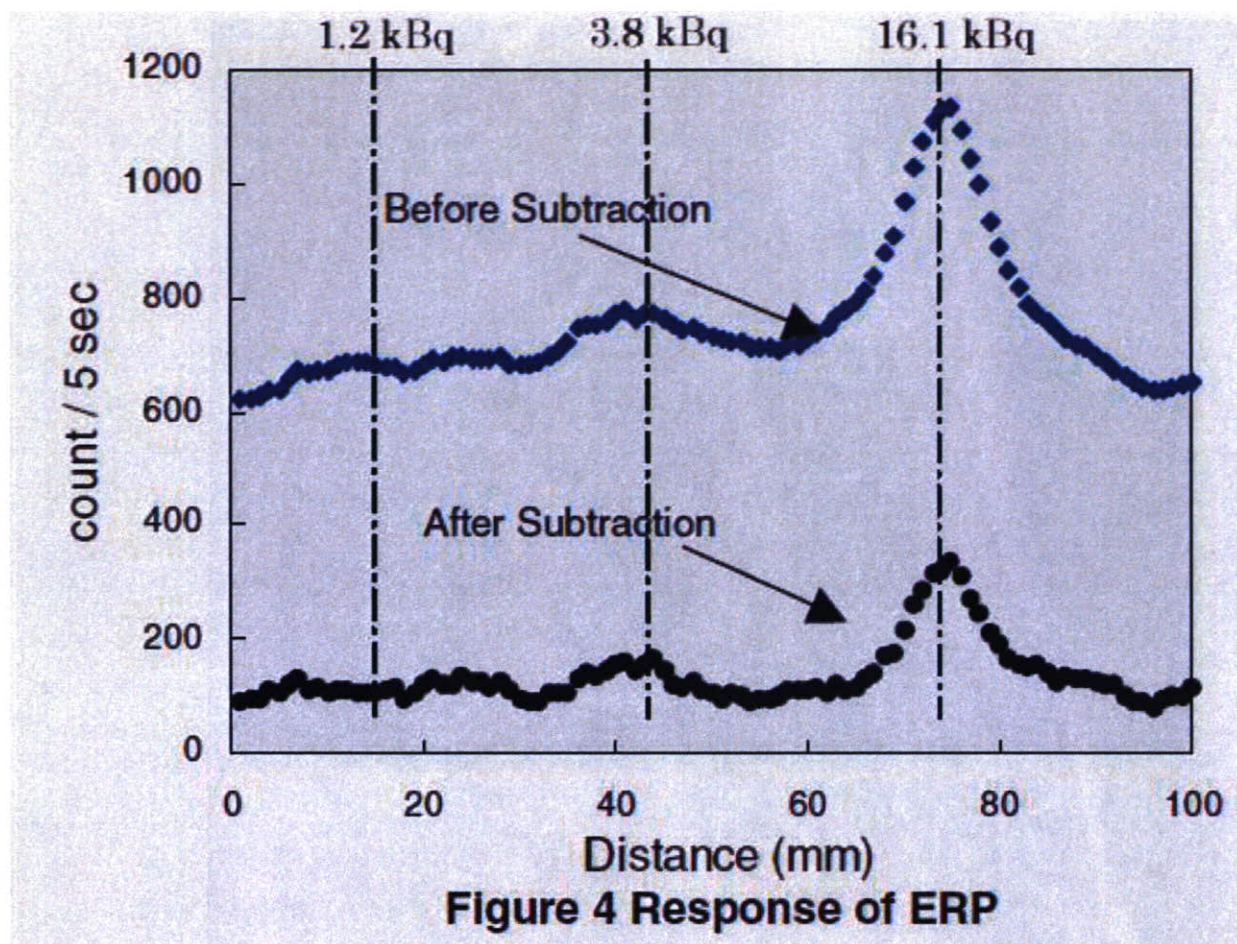


図1 4 内視鏡型シンチレータの評価。内視鏡型シンチレータの感度は高く、点線源のプロファイルの観察が可能であった。

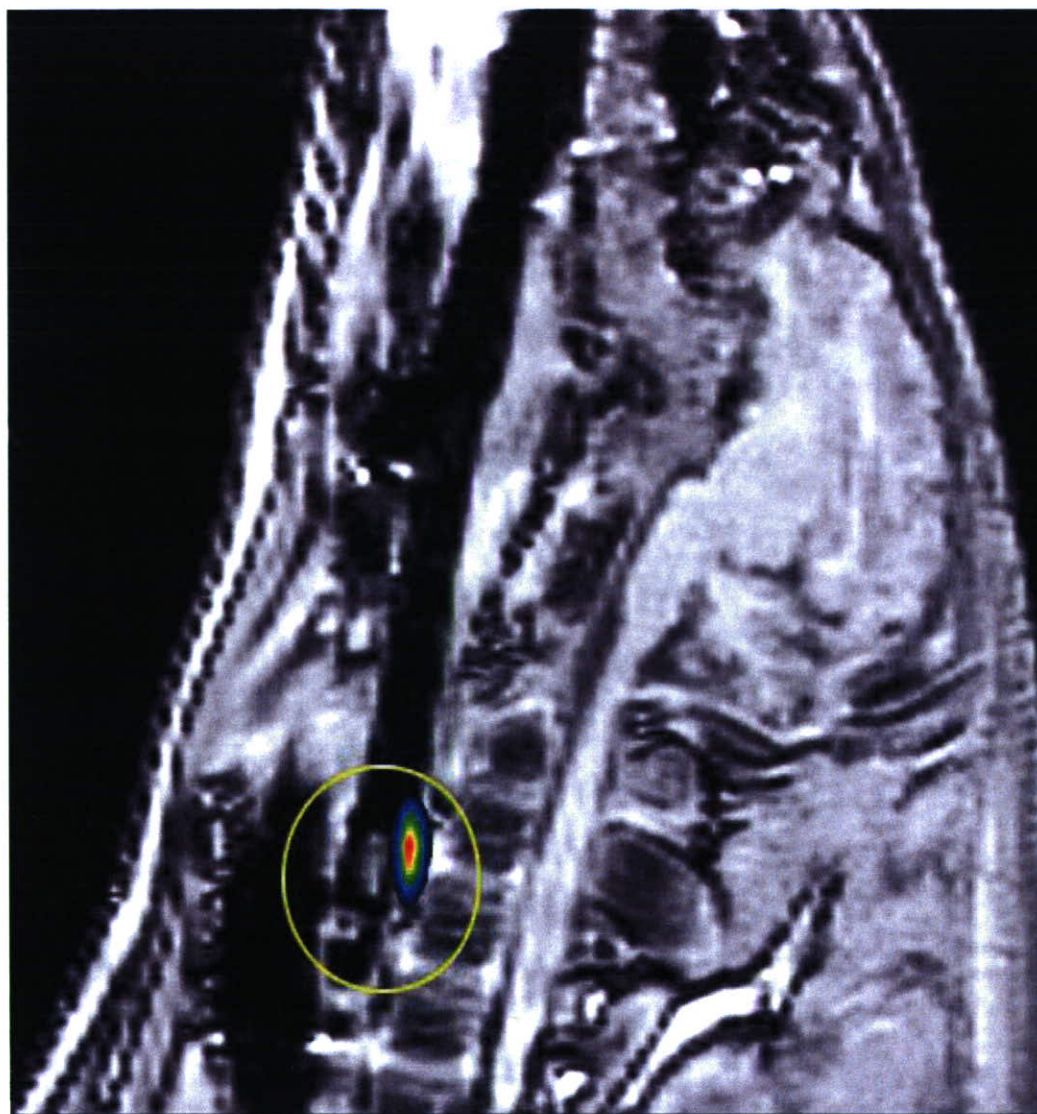
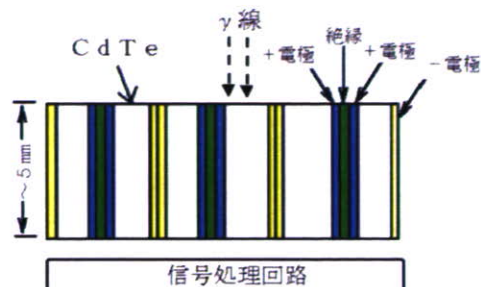


図15 食道領域に $^{18}\text{F}$ 線源を挿管した家畜ブタのPETおよびMRI融合画像。独自の光学トラッキング方式に基づく位置合わせにより高精度で画像の重ね合わせ処理が可能になった。放射性同位元素プローブを投与したPET・SPECT画像とMRI画像を同一個体で撮像するための実験環境が整備された。

# MRIボア内における半導体検出器の開発



MRI内移動治具  
の開発により  
検出器を縦横3x3の  
場所に移動可能



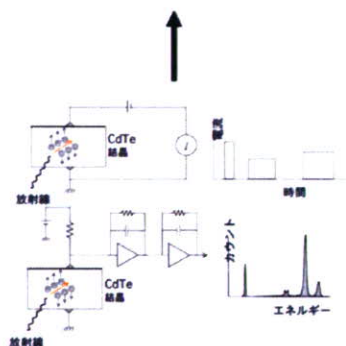
## 特長

強磁場内における常温動作、  
小型高分解能、  
連続動作時のCdTeの偏極は  
4分毎の電圧リセットにより回避

専用ASICによる多チャンネル同時処理

## 仕様

CdTe P-Type Semiconductor  
Pixel Size 1.4x1.4mm  
Array Size 10x10ch  
FOV 14x14mmx9Location (41x41mm)  
Relative Resistance 3(GΩ cm)  
Drift Length(M<sub>r</sub>) electron:10<sup>-3</sup> proton:10<sup>-4</sup>(cm<sup>2</sup>/V)  
Effective Absorption Thickness 5mm  
Collimeter Piled Tungsten 20mm  
Energy Range 60-300keV  
Energy Band Gap 1.47eV  
Energy Resolution <6%



結晶間の電流計測モードと電荷増幅による  
エネルギースペクトル計測モードに対応

図16 MRIボア内における半導体検出器の開発

単結晶カドミウム (Cd)、テルル (Te) を使用することで高感度化を達成した。CdTe素子間隔は1.4mmであり、この素子を10x10チャンネル計100個を正方形アレイ配置した。撮像視野を確保するため、このアレイ全体を3 x 3の自由度を持って稼働させる機構を採用した。それぞれのチャンネル間はタングステン20mmのコリメータを配置し、独立性を確保した。制御はチャンネル独立のASIC回路により高速制御を可能とした。

# MRI内におけるガンマ線イメージング

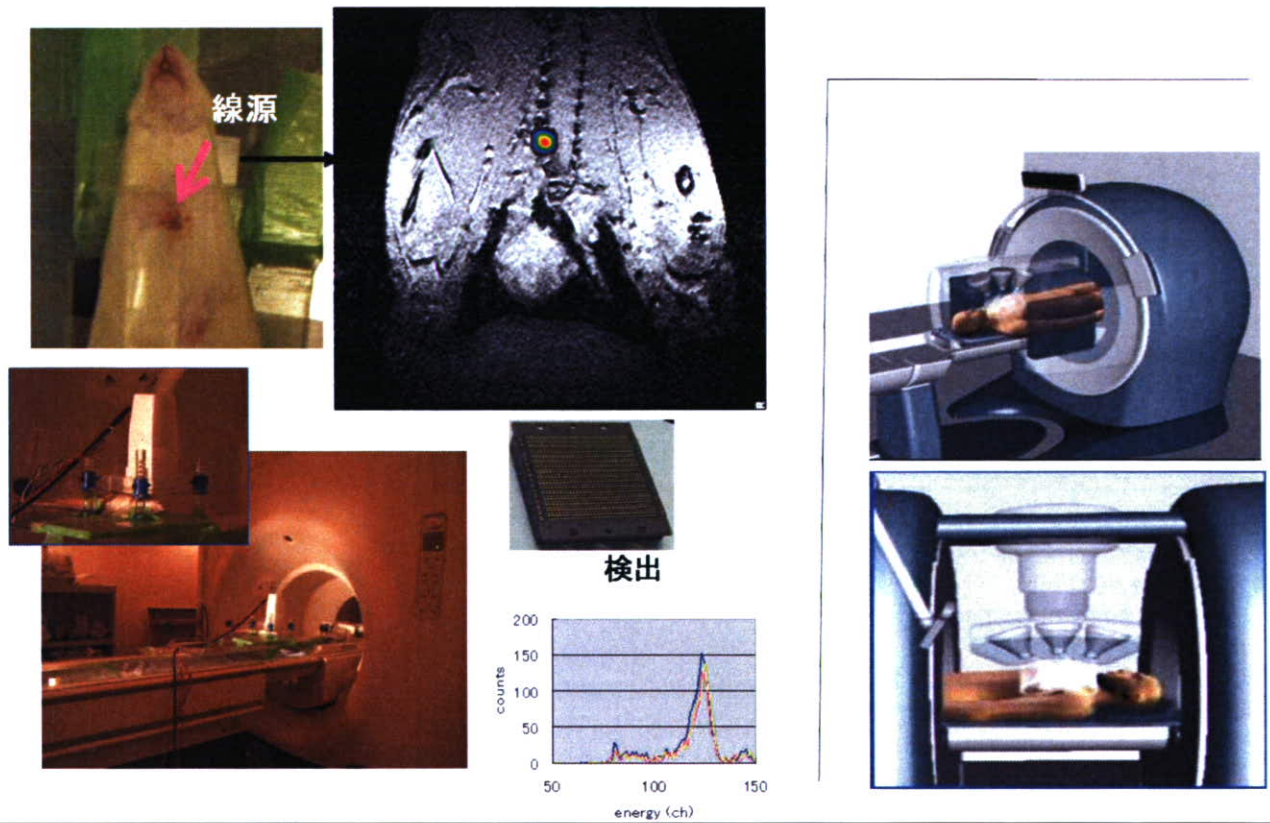


図 1 7 MRI内において動作可能な半導体検出の開発

検出効率が高く、強磁場（3T）内で動作可能なCdTe半導体を100チャンネル（10x10マトリクス）構成し、タングステンコリメータ（20mm）によるラット頸部における点線源（ $^{57}\text{Co}$ 0.36MBq）プロジェクション画像をMRIに重ね合わせを行った。スペクトルにおける磁場による影響、半導体検出器によるMRIへの影響がないことを確認した。検出器を3 x 3箇所に移動させることにより分解能1.4mm、撮像視野41.4mmを達成した。



図18 プラークイメージング、ペプチドイメージングへの応用

開発した食道コイルを頸動脈に応用してプラーク描出に応用（左）、 $^{123}\text{I}$ -Neuromedine-Uによるペプチドイメージングを小動物用SPCETで応用した例（右）

#### D. 考察

座標変換マトリクスによる変換アルゴリズムによる誤差の平均は角度において0.3度、位置において1.5mmであり、現在臨床で使用されているMRIの分解能（面内約0.5-3mm、スライス方向約1-7mm）から考えて、けっして十分とは言いきれないが、実際の使用状況から実用に耐えうる可能性があり、今後の臨床応用研究する価値が大きいことが示唆される。赤外線カメラは2眼のカメラからの幾何光学的立体計測に基づいているため、非検体がカメラから離れれば離れるほど、奥行き方向の誤差が大きくなる懸念がある。今回行った測定距離依存性の評価において、その傾向が観察され、理論を裏付け、また逆に重ね合わせシステムが総合的に理論的限界に近づいていることも示唆される。臨床応用した場合には、患者の体型や体位、必要な点滴などの医療器具に遮蔽されて赤外線反射マーカーが見えない可能性がある。今回の評価において、マーカーの一部分がたとえ見えない場合においても、その影響は小さいことが実証されたと考えられる。数値モデルによるシミュレーション解析とファントム実験により基礎的な精度を検証し、最終的に頸部炎症モデルブタによる画像評価において、システムのトータルな性能が確かめられたと考えられる。臨床上求められる数値化されにくい画質に関して、言及できたことで、臨床応用へのきっかけを築くことができた。

$^{11}\text{C}$ MDDIによるPET検査の有望性を示したが、がんの早期診断法として確立するためには、多くの動物で統計的に解析する必要がある。さらに担がんラ

ットモデルにおける統計的検討、中動物における安全性検証、他のモダリティとの情報比較を行う必要がある。

ピンホール型SPECTを用いたイメージング撮像システムを独自に構築することにより、約100  $\mu\text{m}$ の高空間解像度で小動物のイメージングが可能となり、新規薬剤の小動物による定量的評価が今後可能となると考えられる。ピンホールSPECTにおいて、コリメータを被写体に近接させると、より高解像度かつ高感度の撮像が可能である。しかし、視野外に分布するRIによって得られるデータにトランケーションが生じ、再構成画像の画素値は過大評価され、定量評価の妨げとなっていた。本研究において提案されたTC-3DOSEM法は、ピンホールコリメータで撮像されたデータに対し過大評価されていたカウント値14~23%を有意に下げうる2-3%ことが示された。本提案手法はラットにおいても有効であることが心筋梗塞モデルによる実験で確かめられた。高分解能化による定量値のエラーを減少させることが可能となり、標識薬剤の開発を組み合わせることができれば、より微小ながんの分子挙動を観察することが可能になっていくと期待される。

高分解能MRIにおける今回提案した $\text{T}_2$ 強調撮像法は、粘膜層と筋層の分離が確認でき、これまで食道への応用が限られていたMRIの新しい方法となりうることを示せたと考えられる。

赤外線ステレオカメラによるPET機能とMRI解剖画像の重ね合わせは、高価な一体型PET-MRIシステムの新規開発に比べて、既存のシステムに安価で追加

可能な手法であり、その有用性は期待が大きい。剛体ではない生体に対し、可動範囲や自由度を考慮した最適化が必要と思われる。本研究において開発された重ね合わせシステムは、分子イメージング法そのものの高分解能化技術、6-(4-[<sup>11</sup>C]Methoxy-phenyl)-3,4-dihydro-2H-[1,4]diazepino-[6,7,1-hi]indol-1-one ([<sup>11</sup>C]MDDI)をはじめとする標識薬剤、MRIの体動補正技術、高分解能化、高コントラスト化技術と組み合わせることにより、早期がん検出における有望な方法論となりうる。

剛体ではない生体に対し、可動範囲や自由度を考慮した最適化が必要と思われる。今回は小動物ラットに特化した固定治具を開発し、動きやすい頸部においても高い精度で重ね合わせができることを示したが、ヒトにおいてはスケールが一桁違うため、そのまま拡張することはできない。小動物におけるノウハウを蓄積し、中動物における評価につなげたい。今後の計画として、新規プローブの標識と体内動態の追跡として、

- ・イリノテカンの消化管への集積
- ・アドリアマイシンの心筋への集積
- ・シスプラチンの腎（尿細管）への集積
- ・イレッサの肺（あるいはそれ以外）への集積

が考えられる。また、疾患関連タンパク、ペプチドの受容体同定、遠隔転移の前兆としての骨髄機能イメージング、腫瘍（癌）の血流量、酸素代謝量定量評価法の開発が望まれる。

内視鏡型シンチレータの開発に成功し、PET装置では検出不能な放射強度におけるの感度を検証したが、本手法は侵襲度が高く、臨床プロトコルに組み込む段階で問題となる可能性が否定できず、他の手法と比較して実用性を再検討すべきである。

CdTeモジュールの開発は、病態解明のためのより高い精度的要求やロバストネス、簡便性、撮像時刻の同一性を考えた場合、有効である。本システムは、臨床で一般化されてきた磁場強度3Tで動作し、また逆にMRIの画像に影響を与えなかった。これは半導体素子、ASIC制御回路や光ファイバー伝送による方式有効であったと考えられる。得られたスペクトラムやプロジェクション画像から、将来におけるMRIボア内で動作するSPECT開発への基礎データとして有効であると考えられる。今後は技術的問題だけでなく、放射線管理区域と強磁場管理区域を同一場所にし、関連法規を守り、安全性を確保する検討まで、幅広い検討が期待される。

本研究において開発されたブタにおける頸動脈ブラークモデルは、重ね合わせのシステムの精度を評価する上で、作製が容易であり、一般的なFDGを用いることができるため、有用であった。

#### E. 結論：

PET-MRI画像位置合わせを実現するため、赤外線ステレオカメラを用いた重ね合わせシステムを開発し、その評価を行った。PET単独では不明であった軟部組織における腫瘍の位置同定を行えるシステムを開発し、実験動物において有効な技術であることを示した。数値モデルによるシミュレーション、ファントムによる誤差解析により、アルゴリズムによる誤差は平均1.5mmであり、中動物モデルにおいて疾患部位の位置も検証され、今後の臨床応用に期待が持てるシステムであることが実証できた。また将来における臨床へのトランスレーションや一体型システムの開発へとつながるものである。

[<sup>11</sup>C]MDDIによるPET検査を評価できる実験基盤を整備し、ラットにおいて体内集積、脳における薬物動態を観察した。さらにC6グリオーマのラット頸部集積を確認し、[<sup>11</sup>C]MDDIが早期がん検出のための候補薬剤として有望であることを示した。

ピンホール型SPECTを用いたイメージング撮像システムを構築し、約100μmの高空間解像度で小動物のイメージングが可能となり、マウス大腿骨、背骨において骨（<sup>99m</sup>Tc HMDP）と骨髄（<sup>99m</sup>Tc tetrofosmine）の画像化において検証した。さらにコリメータを非検体に接近させた時のトランケーションによるエラーを回避するTC-3 DOSEM法を開発し、その効果をシミュレーション、ラットモデルで検証した。SPECTにおける分子イメージングの高分解能化に対するポストプロセッシング技術のひとつのアプローチとして有効であった。

MRIにおいて新規コイルとシーケンスの開発により0.3mmの分解能を達成し、食道部粘膜層と筋層の分離が可能となった。

内視鏡型シンチレータの開発に成功し、PET装置では検出不能な放射強度におけるの感度を検証した。

高磁場MRI(3T)中において使用可能な半導体検出器(CdTe)、内視鏡型検出器を開発した。一体型MRI-γカメラシステムは、空間解像度1.4mm、撮像視野41mmを達成した。本システムは将来の一体型MRI-SPECT開発のためのフィジビリティデータとして期待の高いものであった。

また、他のナショナルセンターPET部門との連絡会議発足のため、当該事業で開発される標識システムや画像解析プログラムなどを共有し、分子イメージング技術を疾患横断的に共同利用し、大規模臨床研究の環境を構築していく準備を進めている。

#### F. 健康危険情報：

なし

#### G. 研究発表：

## 1. 論文発表

- Sato H, Enmi J, Teramoto N, Hayashi T, Yamamoto A, Tsuji T, Naito H, Iida H (2008) Comparison of Gd-DTPA-induced signal enhancements in rat brain C6 glioma among different pulse sequences in 3-Tesla magnetic resonance imaging. *Acta Radiol*, 49 (2). pp. 172-9. ISSN 1600-0455
- Yokoyama Ikuo, Inoue Yusuke, Kinoshita Toshiyumi, Itoh Hiroshi, Kanno Iwao, Iida Hidehiro (2008) Heart and Brain Circulation and CO<sub>2</sub> in Healthy Men. *Acta Physiol (Oxf)*, Feb.12 [Epub ahead of Print] . ISSN 1748-1716
- Iida Hidehiro, Eberl Stefan, Kim Kyeong-Min, Tamura Yoshikazu, Ono Yukihiko, Nakazawa Mayumi, Sohlberg Antti, Zeniya Tsutomu, Hayashi Takuya, Watabe Hiroshi (2008) Absolute quantitation of myocardial blood flow with (201)Tl and dynamic SPECT in canine: optimisation and validation of kinetic modelling. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. ISSN 1619-7070
- Ikoma Y, Watabe H, Shidahara M, Naganawa M, Kimura Y (2008) PET kinetic analysis: error consideration of quantitative analysis in dynamic studies. *Ann Nucl Med*, 22 (1). pp. 1-11. ISSN 0914-7187
- Sohlberg A, Watabe H, Shidahara M, Iida H (2007) Body-contour versus circular orbit acquisition in cardiac SPECT: Assessment of defect detectability with channelized Hotelling observer. *Nucl Med Comm* (12). pp. 937-42.
- Shimamura Munehisa, Sato Naoyuki, Sata Masataka, Kurinami Hitomi, Takeuchi Daisuke, Wakayama Kouji, Hayashi Takuya, Iida Hidehiro, Morishita Ryuichi (2007) Delayed Postischemic Treatment With Fluvastatin Improved Cognitive Impairment After Stroke in Rats. *Stroke*, 38 (12). pp. 3251-3258. ISSN 1524-4628
- Zeniya T, Watabe H, Sohlberg A, Iida H (2007) Accelerated 3D-OSEM image reconstruction using a Beowulf PC cluster for pinhole SPECT. *Ann Nucl Med*, 21 (9). pp. 537-43.
- Kudomi N, Watabe H, Hayashi T, Iida H (2007) Separation of input function for rapid measurement of quantitative CMRO<sub>2</sub> and CBF in a single PET scan with a dual tracer administration method. *Phys Med Biol*, 52 (7). pp. 1893-908. ISSN 0031-9155
- 銭谷 勉, 渡部 浩司, 飯田 秀博 (2008) SPECTイメージング. 遺伝子医学 MOOK (9). pp. 75-81.
- 越野 一博 (2008) PET 検査における体動補正手法. *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, 26 (1). pp. 3-8.
- 渡部 浩司 (2008) SPECTの定量化と標準化 Quantitative and Standardized SPECT Imaging. *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, Vol.26 (No.1 January 2008). pp. 9-13.
- Aoi T, Zeniya T, Watabe H, Deloar HM, Matsuda T, Iida H. System design and development of a pinhole SPECT system for quantitative functional imaging of small animals. *Ann Nucl Med* 20(3):245-251, 2006
- Sohlberg A, Watabe H, Zeniya T, Iida H. Comparison of multi-ray and point-spread function based resolution recovery methods in pinhole SPECT reconstruction. *Nucl Med Commun* 27(10): 823-827, 2006
- Watabe H, Ikoma Y, Kimura Y, Naganawa M, Shidahara M. PET kinetic analysis--compartmental model. *Ann Nucl Med* 20 (9):583-589, 2006
- Watabe H, Matsumoto K, Senda M, Iida H. Performance of list mode data acquisition with ECAT EXACT HR and ECAT EXACT HR+ positron emission scanners. *Ann Nucl Med* 20 (3):189-194, 2006
- Zeniya T, Watabe H, Aoi T, Kim KM, Teramoto N, Takeno T, Ohta Y, Hayashi T, Mashino H, Ota T, Yamamoto S, Iida H. Use of a compact pixellated gamma camera for small animal pinhole SPECT imaging. *Ann Nucl Med* 20 (6):409-416, 2006
- 越野 一博, 渡部 浩司, 飯田 秀博. PETによる脳・心臓循環代謝イメージング. *クリニカルプラクティス* 25 (12):1135-1138, 2006

渡部 浩司, 飯田 秀博. 分子イメージング.  
Cardiac Practice 17 (4): 35-38, 2006

飯田 秀博, 寺本 昇, 越野 一博, 大田 洋一郎, 渡部 浩司, 久富 信之, 林 拓也, 猪股 亨, 錢谷 勉, 金 敬?, 佐藤 博司, 朴日淑. 病態生理からみた心筋viability. 臨床放射線 51 (9):1035-1041, 2006

飯田 秀博, 渡部 浩司, 林 拓也, 寺本 昇, 三宅 義徳, 大田 洋一郎, 錢谷 勉, 越野 一博, 猪股 亨, 圓見 純一郎, 佐藤 博司, 山本 明秀, 朴日淑, Sohlberg Antti, 黒川 麻紀, 樋掛 正明, 合瀬 恭幸, 山内美穂. PET/SPECT分子イメージング研究の展望. INNERVISION 21 (12):18-24, 2006

飯田秀博, 渡部浩司, 三宅義徳, 大田洋一郎, 寺本昇. 創薬・再生医療につながる生体分子イメージング. 新医療33(3):113-116, 2006

Kimura U, Naganawa M, Shidahara M, Ikoma Y, Watabe H. PET kinetic analysis -Pitfalls and a solution for the Logan plot. Ann Nucl Med 21 (1):1-8, 2007

錢谷勉, 渡部浩司, 工藤博幸, 飯田秀博. 完全データを利用したピンホールSPECT. Med Imag Tech 23:9-16, 2005

・猪股亨, 飯田秀博, 久富信之, 藤原守, 三浦岩.  
PET用150製造のための小型サイクロトロン開発計画.  
原子核研究 49:89-94, 2005

## 2. 学会発表

岩田 倫明, 越野 一博, 山本 明秀, 佐藤 博司, 渡部 浩司, 湊 小太郎, 飯田 秀博 (2007) USBカメラを用いた医用画像の重ね合わせシステムの開発. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台国際センター.

松原 佳亮, 渡部 浩司, 飯田 秀博, 湊 小太郎 (2007) コンプリートモデルを用いた[18F]F-Dopaデータ解析におけるバイアスの評価. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台, 日本.

岩西 雄大, 渡部 浩司, 林 拓也, 湊 小太郎, 飯田 秀博 (2007) DARG法における残存15O-CO放射能の影響評価と検査時間短縮に関する研究. In: 第47回日本核医学会学術総会, 2007年11月4-6

日, 仙台.

越野 一博, 渡部 浩司, 寺本 昇, 合瀬 恭幸, 山本 明秀, 樋掛 正明, 福田 肇, 大田 洋一郎, 佐藤 博司, 林 拓也, 飯田 秀博 (2007) 光学式マルチモダリティ画像位置合わせシステムの動物実験における有効性. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 宮城県仙台市, 日本.

大田 洋一郎, 三宅 義徳, 錢谷 勉, 寺本 昇, 合瀬 恭幸, 黒川 麻紀, 渡部 浩司, 飯田 秀博 (2007) ニューロメジンの123I標識化. In: 第47回日本核医学会学術総会, 2007年11月4日-6日, 仙台国際センター.

黒川 麻紀, 大田 洋一郎, 三宅 義徳, 樋掛 正明, 飯田 秀博 (2007) ホスゲンの合成. In: 第47回日本核医学会学術総会, 2007年11月4日-6日, 仙台.

合瀬 恭幸, 寺本 昇, 渡部 浩司, 樋掛 正明, 久富 信之, 飯田 秀博 (2007) ラット大腿動脈シャントによる入力関数収集法を用いた脳血流の定量化への試み. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台国際センター.

渡部 浩司, 赤松 哲哉, 飯田 秀博 (2007) I-123 I-MP DTARG法のキャリブレーション画像の最適化. In: 第47回日本核医学会学術総会, 11月4日-6日, 仙台.

生駒 洋子, 伊藤 浩, 志田原 美保, 関 千江, 木村 裕一, 須原 哲也, 菅野 巖 (2007) PETを用いた脳内ドーパミンD2受容体の占有率測定における精度評価. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台.

岩田 倫明, 越野 一博, 山本 明秀, 佐藤 博司, 渡部 浩司, 湊 小太郎, 飯田 秀博 (2007) USBカメラを用いた医用画像の重ね合わせシステムの開発. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台国際センター.

渡部 浩司 (2007) 定量SPECT画像再構成・画像解析プログラムの開発状況. In: 第47回日本核医学会学術総会 ワークショップ, 11月5日, 仙台国際センター.

渡部 浩司 (2007) 小動物用核医学機器の最近の進歩. In: 第47回日本核医学会学術総会, 11月4日-6日, 仙台.

- 飯田 秀博 (2007) QSPECT-DTARG プロジェクト-SPECT核医学における定量評価と標準化の試み-. In: 第19回日本脳循環代謝学会総会, 2007年10月25日(木) - 26日(金), ホテルメトロポリタン盛岡NEW WING.
- 飯田 秀博 (2007) SPECTを用いた脳血流・血管反応性の定量評価と標準化. In: 第19回日本脳循環代謝学会総会, 25-26 Oct 2007, 岩手県盛岡市.
- 岩西 雄大, 渡部 浩司, 林 拓也, 湊 小太郎, 飯田 秀博 (2007) DARG法における残存150-CO放射能の影響評価と検査時間短縮に関する研究. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台市.
- Iida Hidehiro, Watabe Hiroshi, Akamatsu Tetsuya, Kyeong-Min Kim, Nakagawara Joji, Kurokawa Toru, Nakazawa Mayumi, Hayashida Kohei (2007) Validity and value of quantitative SPECT reconstruction package (QSPECT) for a multi-center clinical study in Japan. In: 2007 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 28 Oct - 03 Nov 2007, Hawaii.
- 飯田 秀博 (2007) 「脳SPECT核医学における定量評価と標準化の意義」QSPECT&DTARG法研究会にて. In: QSPECT&DTARG法研究会, 2007年9月22日, 神戸ポートピアホテル.
- 飯田 秀博, 林 拓也, 渡部 浩司, 三宅 義徳, 寺本 昇, 永沼 雅基, 横田 千晶, 上原 敏志, 森脇 博, 武信 洋平, 成富 博章, 峰松 一夫 (2007) 150ガスをを用いた迅速PET定量法. In: 第23回BFIC, 22 Sep 2007, 神戸ポートピアホテル.
- 佐藤 博司, 林 拓也, 川畑 義彦, 中島 巖, 圓見 純一郎, 山本 明秀, 飯田 秀博 (2007) 小型高信号雑音化8ch Phased Array Coilの開発. In: 第35回日本磁気共鳴医学会大会, 27-29 Sep 2007, 神戸ポートピアホテル.
- 飯田 秀博, 尾川 浩一 (2007) SPECTの定量化と標準化への道筋. In: 第40回日本核医学近畿地方会ミニレクチャー, 30 Jun, 兵庫県 西宮市.
- 飯田 秀博 (2007) 核医学機器の将来展望 (画像集積と処理). In: 核医学会近畿地方会ミニレクチャー, 30 Jun 2007, 西宮市.
- 圓見 純一郎, 佐藤 博司, 山本 明秀, 久富 信之, 飯田 秀博 (2007) DSC-MRIによる脳血流量測定における動脈入力関数推定方法に関する検討. In: 第35回日本磁気共鳴医学会大会, 27-29 Sep 2007, 神戸.
- Sohlberg A, Watabe H, Iida H (2007) Optimal Collimator Design for Cardiac SPECT when Resolution Recovery is Applied in Statistical Reconstruction. In: Society of Nuclear Medicine 2007, Washington DC.
- 林 拓也 (2007) 線条体と大脳皮質の線維連絡ーサルとヒトの対応. In: 第31回関東臨床神経生理研究会, 26 May 2007, 東京.
- Zeniya T, Watabe H, Ose T, Hayashi T, Teramoto N, Myojin K, Taguchi A, Sato H, Yamamoto A, Sohlberg A, Inomata T, Iida H (2007) Absolute quantitation of regional cerebral blood flow in mouse using 123I-iodoamphetamine and pinhole SPECT. In: Brain'07 & BrainPET'07, 20-24 May 2007, Osaka.
- Koshino Kazuhiro, Watabe Hiroshi, Yamamoto Akihide, Sato Hiroshi, Ose Takayuki, Hikake Masayuki, Teramoto Noboru, Hayashi Takuya, Iida Hidehiro (2007) APPLICATION OF HARDWARE-BASED MULTIMODAL REGISTRATION SYSTEM TO FUSION OF PET AND MRI IMAGES. In: Brain07/BrainPET07, 20-24 May 2007, Osaka, Japan.
- Watabe H, Van den Hoff J, Kimura Y (2007) Linearisations. In: PET Pharmacokinetic Course, 神戸TRI.
- 林 拓也 (2007) 大脳皮質・基底核間の線維連絡拡散テンソル・拡散神経束追跡法 (DT法) による解明. In: 日本神経学会, 16-May 2007, 名古屋.
- Watabe H, Hayashi T, Ohta Y, Teramoto N, Miyake Y, Kurokawa M, Yamamoto A, Ose Y, Ikoma Y, Iida H (2007) DEVELOPMENT OF REFERENCE TISSUE METHOD FOR MULTIPLE INJECTIONS OF [C-11]RACLOPRIDE. In: Brain and BrainPET'07, Osaka.
- Tachibana Yoichi, Ennmi Jyunichiro, Iida Hidehiro, Yamaoka Tetsuji (2007) Synthesis and Applications of New Contrast Agents for In Vivo Cell Tracking. In: Society For Biomaterials, 18-21 Apr 2007, Chicago, USA.
- Zeniya T, Watabe H, Sohlberg A, Inomata T, Kudo H, Iida H (2007) 3D-OSEM reconstruction from

truncated data in pinhole SPECT. In: 2007 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 28 Oct - 03 Nov 2007, Hawaii.

銭谷 勉, 渡部 浩司, 林 拓也, 合瀬 恭幸, 明神和紀, 田口 明彦, 寺本 昇, 猪股 亨, 山道 芳弘, 飯田 秀博 (2007) ピンホールSPECTと<sup>123</sup>I-IMPを用いたマウス局所脳血流定量測定. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台.

銭谷 勉, 渡部 浩司, 猪股 亨, Sohlberg Antti, 工藤 博幸, 飯田 秀博 (2007) ピンホールSPECTにおけるトランケーションデータからの3D-OSEM画像再構成. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台.

谷本 達昭, 渡部 浩司, 黒田 嘉宏, 大城 理 (2007) リストモードデータを用いたRIトレーサ動態軌跡の抽出. In: MEとバイオサイバネティクス研究会, 11 Oct 2007, 大阪電気通信大学四條畷キャンパス.

矢戸 博紀, 渡部 浩司, 森田 浩一, 大塚 信昭, 飯田 秀博, 玉木 長良 (2007) PET/CTと<sup>13</sup>N-NH<sub>3</sub>を用いた心筋血流測定のための最適呼吸条件の検討. In: 第47回日本核医学会学術総会, 4-6 Nov 2007, 仙台国際センター.

Iida H. Validity and Value of Multi-Center Clinical Evaluation using Quantitative SPECT Reconstruction Package (QSPECT) for I-123 radiopharmaceuticals. *6th Neuroreceptor Mapping Conference*, Copenhagen, Denmark, 2006 7.6-8

Iida H. Innovation of oxygen-15 PET for molecular imaging. *Computer Assisted Radiology and Surgery 20th International Congress and Exhibition*, Japan, Osaka., 2006 29 Jun

Kubo A, Zeniya T, Watabe H, Inomata T, Sohlberg A, Iida H, Minato K. Performance evaluation of a new image acquisition strategy in pinhole SPECT using Monte Carlo simulation. *The 53rd Annual Meeting of the Society of Nuclear Medicine*, San Diego, America., 2006 3-7 Jun

Sohlberg A, Watabe H, Iida H. Body-contour Acquisition Versus Circular Orbit Acquisition with Resolution Recovery in Cardiac SPECT. *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, San Diego, 2006 29 Oct - 04 Nov

ence, San Diego, 2006 29 Oct - 04 Nov

Watabe H, Ohta Y, Teramoto N, Miyake Y, Kurokawa M, Yamamoto A, Ose Y, Hayashi T, Iida H. A Novel Reference Tissue Approach for Multiple Injections of [<sup>11</sup>C]Raclopride. *NeuroReceptor Mapping*.

Zeniya T, Inomata T, Watabe H, Teramoto N, Ose Y, Sohlberg A, Nakazawa M, Yamamichi Y, Iida H. Development of dynamic pinhole SPECT system for absolute quantitation of regional myocardial blood flow in conscious small animals: first study on rats. *9th Congress of World Federation of Nuclear Medicine and Biology*, Seoul, Korea., 2006 22-27 Oct

Zeniya T, Watabe H, Sohlberg A, Inomata T, Kudo H, Iida H. Effect of truncation in quantitative cardiac imaging with small field-of-view pinhole SPECT. *2006 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, San Diego., 2006 29 Oct - 04 Nov

越野 一博, 渡部 浩司, 山本 明秀, 佐藤 博司, 飯田 秀博. 光学式トラッキング装置を用いたMRI-PET画像重ね合わせシステムの開発. 第46回日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 09-11 Nov

越野一博. 光学式モーショントラッキング装置を用いた動き補正. *PETデータ解析ゼミ*, 放医研, 2006 3. 23

岩館雄治, 後藤隆男, Edgar C, 佐藤博司, 渡部浩司, 寺本昇, 本村廣, 叶井徹, 齋藤数弘, 飯田秀博, 塚元鉄二. 消化管挿入型放射線検出器とMRIの融合による食道癌検出システム Esophageal Cancer Detection System with Endoscopic Radiation Probe and MRI. 日本分子イメージング学会設立総会, 京都大学百周年時計台記念館, 2006 23-24 May

橘 洋一, 圓見 純一郎, 飯田 秀博, 山岡 哲二. MRIを用いた細胞の可視化. 第28回 バイオメディカル学会, Tokyo, Japan., 2006 27-28 Nov

佐藤 耕平, 三宅 義徳, 渡部 浩司, 猪股 亨, 久富 信之, 寺本 昇, 大田 洋一郎, 林 拓也, 飯田 秀博. 150標識化合物PET迅速検査システムの為の合成供給装置の開発. 第46回 日本核医学会学術総会, 鹿児島, 2006 11月10日

松原 佳亮, 大田 洋一郎, 三宅 義徳, 石田 良雄, 渡部 浩司, 飯田 秀博. [18F]F-を出発物質とする高比放射能[18F]F2自動合成装置の開発. 第46回日本核医学会学術総会, 鹿児島市, 日本, 2006 8-10 Nov

銭谷 勉, 渡部 浩司, 青井 利行, キム キョンミン, 寺本 昇, 林 拓也, Sohlberg Antti, 久保 敦子, 工藤 博幸, 飯田 秀博. ピンホールSPECTイメージング. PETデータ解析ゼミ, 放射線医学総合研究所, 千葉, 2006 23 Mar

銭谷 勉, 渡部 浩司, 青井 利行, キム キョンミン, 寺本 昇, 林 拓也, Sohlberg Antti, 工藤 博幸, 飯田 秀博. 完全データ収集による小動物SPECT画質改善. 平成17年度研究所セミナー, 国立循環器病センター研究所新館講堂, 2006 17 Jan

銭谷 勉, 渡部 浩司, 猪股 亨, Sohlberg Antti, 飯田 秀博. 小視野ピンホールSPECTを用いた心筋画像定量におけるトランケーションの影響. 第46回日本核医学会学術総会, 鹿児島, 2006 9-11 Nov

大田 洋一郎, 三宅 義徳, 石田 良雄, 飯田 秀博. Poly(ADP-ribose)polymeraseイメージング薬剤の開発 - [11C] MDDIの合成-. 第6回放射性医薬品・画像診断研究会, Kyoto, Japan., 2006 30 Sep

大田 洋一郎, 三宅義徳, 寺本 昇, 黒川 麻希, 渡部 浩司, 石田 良雄, 飯田 秀博. 6-(4-[11C]Methoxyphenyl)-3,4-dihydro-2H-(1,4)diazepino(6,7,1-hi)indol-1-oneの合成. 第46回 日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 9-11 Nov

猪股 亨, ソルベルグ アンティ, 合瀬 恭幸, 銭谷 勉, 渡部 浩司, 寺本 昇, 岳野猛, 飯田 秀博. 小動物用ピンホールSPECTシステムの開発. 第46回 日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 9-11 Nov

渡部 浩司. 新しい定量SPECT解析パッケージ. SPECTの定量化と標準化に関する講演会, 鹿児島県民交流センター, 2006 9 Nov

渡部 浩司. 小動物イメージングの最近の動向. 第46回 日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 9-11 Nov

渡部 浩司. 分子イメージングに基づく前臨床～臨床評価系の構築. NCVF分子イメージング講演会, 新大阪ワシントンホテルプラザ., 2006 11 Apr

渡部 浩司, 銭谷 勉, 宍戸 博紀, 飯田 秀博. モンテ

カルロシミュレーションコードGATEを用いたピンホールSPECTカメラの最適化. 第46回日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 09-11 Nov

渡部 浩司, 大田 洋一郎, 三宅 義徳, 山本 明秀, 合瀬 恭幸, 林 拓也, 飯田 秀博. マルチインジェクション[C-11]Racloprideによる短時間結合能定量法の開発. 第46回 日本核医学会学術総会, 鹿児島県民交流センター, 2006 9-11 Nov

飯田秀博. 慢性期脳血管障害のPET・SPECTイメージング評価の意義. 第26回日本脳神経外科コンgres総会, 東京, 2006 13, May

樋掛 正明, 大田 洋一郎, 黒川 麻希, 三宅 義徳, 飯田 秀博. ホスゲン合成法の開発の試み. 第46回 日本核医学会学術総会, Kagoshima, Japan, 2006 9-11 NOV

Goto T, Iwadata Y, Carlos E, Sato H, Watabe H, Motomura H, Maekawa A, Kanoi T, Saito K, Iida H, Tsukamoto T. Development of Endoscopic Radiation Probe for fusion imaging with MRI. 14th International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Seattle, America., 2006 6-12 May

Iida H, Hayashida K, Nakazawa M, T K. Multicenter Evaluation of Quantitative SPECT Reconstruction Package - QSPECT&DTARG. The 53rd Annual Meeting of the Society of Nuclear Medicine, San Diego, America., 2006 3-7 Jun

IKoshino K, Watabe H, Yamamoto A, Sato H, Iida H. Development of registration system between PET and MRI images using optical motion tracking system. The 53rd Annual Meeting of the Society of Nuclear Medicine, San Diego, USA., 2006 3-7 June

Sato H, Watabe H, Teramoto N, Koshino K, Yamamoto A, Enmi J, Goto T, Iwadata Y, Tsukamoto T, H I. Registration Technique of Endoscopic Scintillator on MRI Using Optical Position Sensor for Early Detection of Gastrointestinal Stromal Cancer. 14th International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Seattle, America., 2006 6-12 May

佐藤博司, 渡部浩司, 越野一博, 山本明秀, 寺本昇, 圓見純一郎, 岩館雄治, 後藤隆男, 塚元鉄二, 飯田秀博. ステレオ赤外線カメラによるPET機能画像のMRI

解剖画像への重ね合わせ法の検討 Initial Study of registration method for PET functional images on MRI anatomical image using a stereo infrared camera. 日本分子イメージング学会設立総会, 京都, 2006 23-24 May

猪股亨, Sohlberg A, 銭谷勉, 渡部浩司, 寺本昇, 岳野猛, 飯田秀博. コンパクトガンマカメラを用いた小動物用ピンホールSPECTシステムの開発 Development of pinhole SPECT system using compact gamma cameras for small animal imaging. 日本分子イメージング学会設立総会, 京都, 2006 23-24 May

猪股亨, 飯田秀博, 久富信之, 藤原守, 三浦岩, ハンヌ シ. PET用小型サイクロトロンから発生する放射線の低減化 Reduction of radiation generating from a small cyclotron for PET. 日本分子イメージング学会設立総会, 京都, 2006 23-24 May

飯田秀博. PET・SPECT核医学分子イメージングにおける機器・解析技術の役割. 日本分子イメージング学会設立総会, 京都, 2006 23-24 May

Iida Hidehiro. 創薬のための小動物分子イメージング 動態機能の撮像と解析にかかる最近の進歩. 分子イメージング研究シンポジウム2007, 神戸国際会議場, 2007 18-19 Jan 2007

Tachibana Yoichi, Ennmi Jyunichiro, Iida Hidehiro, Yamaoka Tetsuji. Synthesis and Applications of New Contrast Agents for In Vivo Cell Tracking. Society For Biomaterials, Chicago, USA, 2007 18-21 Apr

越野 一博. PET-MRI位置合わせシステムの現状と課題. 放射線医学部セミナー, 先進医工学センター3F セミナー室, 2007 2月14日

橘 洋一, 圓見 純一郎, 飯田 秀博, 山岡 哲二. 細胞ラベルを目的とした新規MRI用高分子造影剤の開発. 第6回 日本再生医療学会, Kanagawa, Japan., 2007 13-14 Mar

山内 美穂, 林 拓也, 山本 明秀, 佐藤 博司, 飯田 秀博. メロディの認知に関わる脳内機構-fMRIによる検討. 第9回日本ヒト脳機能マッピング学会, 秋田, 2007 16-17 Mar

渡部 浩司. 繰り返し投与法によるPET/SPECT解析. PETデータ解析ゼミ in 2007, 独立行政法人理化学研究所 フロンティア研究システム 2F大会議室, 20

07 2 Feb

渡部 浩司. 分子イメージング機器の最近の動向. バイオ応用技術研究ユニットワークショップ2007, 日本原子力研究開発機構高崎, 2007 1月30日

渡部 浩司. PET検査の定量性の向上および解析法の簡便化に向けた検査法の確立. PETの新しい診断分野の開拓に関する基礎的・臨床的研究, 北海道大学医学部, 2007 1-26

渡部 浩司, 寺本 昇. 小動物～大動物を対象とした先駆的画像診断機器 (PET・SPECT・MRI) による組織再生過程の低侵襲追跡システムの確立. 平成18年度循環器病研究委託費 (18指-2) 「医工学的再生治療技術に関する分野横断的研究」第2回班会議, 先進医工学センター 3F 301 カンファレンスルーム, 2007 6 Mar

飯田 秀博, 渡部 浩司, 中澤 真弓. SPECT画像診断の定量化と標準化. 第9回日本ヒト脳機能マッピング学会, 秋田, 2007 16-17 Mar

PET解析モデルの応用と実際, 渡部浩司. PET化学ワークショップ2005, 愛知, 2005 .2.

PET分子イメージングによる創薬支援システムの構築にむけて, 飯田秀博. 第44回日本生体医工学会 (日本エム・イー学会) オーガナイズドセッション, 東京, 2005. 4.

QSPECTの基礎と臨床利用について, 銭谷勉, キムキョンミン, 渡部浩司, 飯田秀博. 日本核医学技術学会 近畿地方会 第252回定例会, 島津製作所関西支社ホール. 2005 5 .14.

Development of mobile pinhole SPECT system using compact gamma camera for small animal imaging. Zeniya T, Watabe H, Aoi T, Kim KM, Teramoto N, Takeno T, Ohta Y, Hayashi T, Iida H. Society of Nuclear Medicine, Toronto, Canada, 2005. 6. 18-22.

ラージボア装置における小動物撮像システム開発によるラット脳血管MCA枝血流描出の試み, 山本明秀, 佐藤博司, 圓見純一郎, 合瀬恭幸, 寺本昇, 林拓也, 藤原英明, 木村敦臣, 飯田秀博. 第33回日本磁気共鳴医学会, 東京. 2005. 9.

Registration Technique of Endoscopic Scintilla

tor on MRI Using Optical Position Sensor for Early Detection of Gastrointestinal Stromal Cancer, H. Sato, H. Watabe, N. Teramoto, K. Koshino, A. Yamamoto, J. Enmi, T. Goto, Y. Iwadate, T. Tsukamoto, H. Iida, ISMRM2006, 14<sup>th</sup>

Performance evaluation of a new image acquisition strategy in pinhole SPECT: a simulation study. Zeniya T, Watabe H, Aoi T, Kubo A, Iida H. IEEE MIC 2005, Puerto Rico, 2005. 10.26-29.

急ピンホールSPECTにおける2軌道完全データ収集法のシュミレーションによる評価, 銭谷勉, 渡部浩司, 青井利行, 久保敦子, 飯田秀博. 第45回日本核医学会, 東京, 2005. 11.

高解像度ピンホールSPECTによるマウス大腿骨髄イメージング, 銭谷勉, 若杉茂俊, 加奈川優, 久保敦子, 渡部浩司, 飯田秀博. 第45回日本核医学会, 東京, 2005. 11.

A new reconstruction strategy for image improvement in pinhole SPECT. 銭谷勉, 渡部浩司, 青井利行, Kim Kyeong Mim, 寺本昇, 林拓也, Sohlberg Antti, 工藤博幸, 飯田秀博. 第45回日本核医学会, 東京, 2005. 11.

18F-を出発原料とする高比放射能18F2 自動合成装置の開発-[18F]フッ化メチル収率の向上, 大田洋一郎, 飯田秀博, 三宅義徳, 石田良雄. 第45回日本核医学会総会, 東京, 2005. 11.

定量的なSPECT画像再構成プログラムの開発 (QSPECT) 赤松哲也 (アルファシステムズ), 飯田秀博. 第45回日本核医学会総会, 東京, 2005. 11.

定量的なSPECT画像再構成パッケージQSPECTを用いた基礎的検討, 飯田秀博. 第45回日本核医学会総会, 東京, 2005. 11.

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む) :

1. 特許取得

名称: 断層撮影装置のキャリブレーション (体動補正と画像重ね合わせの方法)

出願番号: 特願 2005-281567

発明者: 飯田秀博、渡部浩司、太田稔宏

出願日: 平成 17 年 9 月 28 日

出願人: 財団法人ヒューマンサイエンス振興財団

発明の内容の概略: 体の固定したマーカーの動きをモニターすることで、既存の画像診断装置

(PET) で得られたデータにおける体動の影響を正確に補正する手法に関するものである。異なる画像撮像装置の絶対座標とのキャリブレーションを行うためのキャリブレーション治具も本発明の一部である。

名称: 心筋層別トラクトグラフィMYLT法

出願番号 特願2006-231757

発明者 佐藤博司、飯田秀博

出願人: 財団法人ヒューマンサイエンス振興財団

発明の内容の概略: MRIのコントラストにおいて拡散情報を利用し、繊維方向の3次元可視化を行う方法

2. 実用新案登録  
なし

3. その他  
なし

## 研究成果の刊行に関する一覧表レイアウト

## 書籍

| 著者氏名              | 論文タイトル名                                                      | 書籍全体の編集者名      | 書 籍 名                      | 出版社名         | 出版地 | 出版年  | ページ   |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|--------------|-----|------|-------|
| 市原隆, 飯田秀博         | 3D PETの理論と実践                                                 | B B, WT D, eds | 3D PETの理論と実践               | 東京メディカルシステムズ | 東京  | 2005 |       |
| 銭谷 勉, 渡部浩司, 飯田 秀博 | SPECTイメージング                                                  | 株式会社メディカルドゥ    | 遺伝子医学                      | 株式会社メディカルドゥ  |     | 2008 | 75-81 |
| 越野 一博             | PET 検査における体動補正手法                                             | MIT誌編集部        | MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY | 日本医用画像工学会    | 東京  | 2008 | 3-8   |
| 渡部 浩司             | SPECTの定量化と標準化<br>Quantitative and Standardized SPECT Imaging | MIT誌編集部        | MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY | 日本医用画像工学会    | 東京  | 2008 | 9-13  |

## 雑誌

| 発表者氏名                                                    | 論文タイトル名                                                                                                              | 発表誌名            | 巻号     | ページ     | 出版年  |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|---------|------|
| 銭谷勉, 渡部浩司, 工藤博幸, 飯田秀博                                    | 完全データを利用したピンホールSPECT                                                                                                 | Med Imag Tech   | 23     | 9-16    | 2005 |
| 猪股亨, 飯田秀博, 久富信之, 藤原守, 三浦岩                                | PET用150製造のための小型サイクロترون開発計画                                                                                          | 原子核研究           | 49     | 89-94   | 2005 |
| Aoi T, Zeniya T, Watabe H, Deloar HM, Matsuda T, Iida H. | System design and development of a pinhole SPECT system for quantitative functional imaging of small animals.        | Ann Nucl Med    | 20(3)  | 245-251 | 2006 |
| Sohlberg A, Watabe H, Zeniya T, Iida H.                  | Comparison of multi-ray and point-spread function based resolution recovery methods in pinhole SPECT reconstruction. | Nucl Med Commun | 27(10) | 823-827 | 2006 |
| Watabe H, Ikoma Y, Kimura Y, Naganawa M, Shidahara M.    | PET kinetic analysis--compartmental model.                                                                           | Ann Nucl Med    | 20 (9) | 583-589 | 2006 |
| Watabe H, Matsumoto K, Senda M, Iida H.                  | Performance of list mode data acquisition with ECAT EXACT HR and ECAT EXACT HR+ positron emission scanners.          | Ann Nucl Med    | 20 (3) | 189-194 | 2006 |

|                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                   |                         |         |           |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------|------|
| Zeniya T, Watabe H, Aoi T, Kim KM, Teramoto N, Takeno T, Ohta Y, Hayashi T, Mashino H, Ota T, Yamamoto S, Iida H.                                    | Use of a compact pixellated gamma camera for small animal pinhole SPECT imaging.                                                                  | <i>Ann Nucl Med</i>     | 20 (6)  | 409-416   | 2006 |
| 越野 一博, 渡部 浩司, 飯田 秀博.                                                                                                                                 | PETによる脳・心臓循環代謝イメージング.                                                                                                                             | クリニカルブ<br>ラクティス         | 25 (12) | 1135-1138 | 2006 |
| 渡部 浩司, 飯田 秀博.                                                                                                                                        | 分子イメージング.                                                                                                                                         | <i>Cardiac Practice</i> | 17 (4)  | 35-38     | 2006 |
| 飯田 秀博, 寺本 昇, 越野 一博, 大田 洋一郎, 渡部 浩司, 久富 信之, 林 拓也, 猪股 亨, 銭谷 勉, 金 敬玫, 佐藤 博司, 朴日淑.                                                                        | 病態生理からみた心筋viability.                                                                                                                              | 臨床放射線                   | 51 (9)  | 1035-1041 | 2006 |
| 飯田 秀博, 渡部 浩司, 林 拓也, 寺本 昇, 三宅 義徳, 大田 洋一郎, 銭谷 勉, 越野 一博, 猪股 亨, 圓見 純一郎, 佐藤 博司, 山本 明秀, 朴日淑, Sohlberg Antti, 黒川 麻紀, 樋掛 正明, 合瀬 恭幸, 山内美穂.                    | PET/SPECT 分子イメージング研究の展望.                                                                                                                          | INNERVISION             | 21 (12) | 18-24     | 2006 |
| 飯田秀博, 渡部浩司, 三宅義徳, 大田洋一郎, 寺本昇.                                                                                                                        | 創薬・再生医療につながる生体分子イメージング.                                                                                                                           | 新医療                     | 33(3)   | 113-116   | 2006 |
| Kimura U, Naganawa M, Shidahara M, Ikoma Y, Watabe H.                                                                                                | PET kinetic analysis -Pitfalls and a solution for the Logan plot.                                                                                 | <i>Ann Nucl Med</i>     | 21 (1)  | 1-8.      | 2007 |
| Sohlberg A, Watabe H, Shidahara M, Iida H                                                                                                            | Body-contour versus circular orbit acquisition in cardiac SPECT: Assessment of defect detectability with channelized Hotelling observer           | <i>Nucl Med Comm</i>    | (12)    | 937-42    | 2007 |
| Shimamura Munehisa, Sato Naoyuki, Sata Masataka, Kurinami Hitomi, Takeuchi Daisuke, Wakayama Kouji, Hayashi Takuya, Iida Hidehiro, Morishita Ryuichi | Delayed Postischemic Treatment With Fluvastatin Improved Cognitive Impairment After Stroke in Rats                                                | <i>Stroke</i>           | 38 (12) | 3251-3258 | 2007 |
| Zeniya T, Watabe H, Sohlberg A, Iida H                                                                                                               | Accelerated 3D-OSEM image reconstruction using a Beowulf PC cluster for pinhole SPECT                                                             | <i>Ann Nucl Med</i>     | 21 (9)  | 537-43    | 2007 |
| Kudomi N, Watabe H, Hayashi T, Iida H                                                                                                                | Separation of input function for rapid measurement of quantitative CMRO(2) and CBF in a single PET scan with a dual tracer administration method. | <i>Phys Med Biol</i>    | 52 (7)  | 1893-908  | 2007 |

|                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                |                                   |        |       |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------|-------|------|
| Sato H, Enmi J, Teramoto N, Hayashi T, Yamamoto A, Tsuji T, Naito H, Iida H                                                                                  | Comparison of Gd-DTPA-induced signal enhancements in rat brain C6 glioma among different pulse sequences in 3-Tesla magnetic resonance imaging | <i>Acta Radiol</i>                | 49 (2) | 172-9 | 2008 |
| Yokoyama Ikuo, Inoue Yusuke, Kinoshita Toshibumi, Itoh Hiroshi, Kanno Iwao, Iida Hidehiro                                                                    | Heart and Brain Circulation and CO2 in Healthy Men.                                                                                            | <i>Acta Physiol (Oxf)</i>         | Feb.12 |       | 2008 |
| Iida Hidehiro, Eberl Stefan, Kim Kyeong-Min, Tamura Yoshikazu, Ono Yukihiro, Nakazawa Mayumi, Sohlberg Antti, Zeniya Tsutomu, Hayashi Takuya, Watabe Hiroshi | Absolute quantitation of myocardial blood flow with (201)Tl and dynamic SPECT in canine: optimisation and validation of kinetic modelling.     | <i>Eur J Nucl Med Mol Imaging</i> |        |       | 2008 |
| Ikoma Y, Watabe H, Shidahara M, Naganawa M, Kimura Y                                                                                                         | PET kinetic analysis: error consideration of quantitative analysis in dynamic studies.                                                         | <i>Ann Nucl Med</i>               | 22 (1) | 1-11  | 2008 |

## 特集論文 / 3D / 4D イメージングの最前線

完全データを利用したピンホール SPECT  
Pinhole SPECT Using Complete Data銭谷 勉<sup>\*1</sup> 渡部 浩司<sup>\*1</sup> 工藤 博幸<sup>\*2</sup> 飯田 秀博<sup>\*1</sup>  
Tsutomu ZENIYA Hiroshi WATABE Hiroyuki KUDO Hidehiro IIDA

## 要 旨

ピンホール SPECT は生体内の放射性同位元素の 3 次元分布を高解像度で比較的簡単に得ることができるので、ラットやマウスなどの小動物の生理機能撮像に有効である。しかし、従来のピンホール SPECT で得られる再構成画像は体軸方向において解像度が不均一であるため、得られる画像は定性的評価のみに用いられ、研究の域を越えていなかった。最近、著者らは完全データ収集軌道システムと、これに対する統計学的 3 次元画像再構成法を開発し、ピンホール SPECT において画像歪みのない、均一な解像度を有する 3 次元再構成画像を得ることに成功した。これにより、ピンホール SPECT の 3 次元再構成画像においても小動物 PET 同様に機能定量評価が可能になると考えられる。本論文では、ピンホール SPECT の基礎を簡単に述べ、著者らが開発したピンホール SPECT システムについて紹介する。

キーワード：SPECT, ピンホールコリメータ, 3D-OSEM, 完全データ, 小動物

Pinhole SPECT (single photon emission computed tomography) is useful for imaging physiological functions of small animals such as rat or mouse because it can easily provide information on the three-dimensional distribution of several radioligands with ultra-high spatial resolution. However, it has a major limitation of non-uniformity of axial spatial resolution in reconstructed image (i.e. axial blurring) due to incomplete data acquisition. Recently, we developed a complete data acquisition system and a dedicated statistical 3D image reconstruction method so as to obtain 3D images without the axial blurring. This paper describes the basis in pinhole SPECT and our system using complete data.

**Key words:** SPECT, Pinhole collimator, 3D-OSEM, Complete data, Small animal

Med Imag Tech 23 (1): 9-16, 2005

## 1. はじめに

創薬や組織再生を目的とした新規治療法の前臨床研究において、ラットやマウスなどの小動物を対象とした研究は不可欠である。組織および細胞の生理機能を、動物個体を生かしたまま非侵襲的に 3 次元かつ定量的に評価する方法の確立が望まれている [1]。生体内の生理機能は

放射性同位元素で標識した化合物を体内に投与して、その振る舞いを追跡することで観察できるが、オートラジオグラフィや組織を直接カウントする方法では、放射性薬剤の経時的な体内動態を得るのに数十から数百匹の小動物を必要とする [2]。最近の小動物専用 PET (positron emission tomography) 装置の開発 [3~7] によって、遺伝子操作動物などの貴重な同一個体の種々の生理機能画像が非侵襲的に繰り返し観察できるようになった。その結果、個体による結果のばらつきがなくなり、経費節約、実験の効率化が図られている [3]。

小動物用 PET は高感度であるが、空間分解能は 1 mm 程度であるため、小動物の小病変の画像化に不十分である。また、PET の利用にはサイクロロンや放射性薬剤合成装置などの大掛か

<sup>\*1</sup> 国立循環器病センター研究所先進医工学センター放射線医学部〔〒565-8565 大阪府吹田市藤白台5-7-1〕: Department of Investigative Radiology, Advanced Medical Engineering Center, National Cardiovascular Center Research Institute.

e-mail: zeniya@ri.ncvc.go.jp

<sup>\*2</sup> 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

論文受付: 2005 年 1 月 24 日

最終稿受付: 2005 年 2 月 2 日

りな設備が必要である。一方、同じく核医学検査装置である SPECT (single photon emission computed tomography) での小動物撮像は、ピンホールコリメータと位置検出型ガンマカメラを組み合わせることで 1 mm 以下の高解像度撮像が、単純な機構で容易に実現できる [8 ~ 11]。また、SPECT で利用される放射性薬剤の物理的半減期は長く、他施設からの入手が可能であるため、安価で手軽に検査が実施できる。しかしながら、ピンホール SPECT には、(1) 低感度 (PET の 1/100 ~ 1/1000 程度) および (2) データの不完全性による再構成画像の歪みという問題があり、従来は、定性的評価のみに利用されてきた。低感度に関しては、SPECT 製剤の高集積率、近接撮像、マルチピンホール [12 ~ 16] などによって十分改善可能と考えられる (ただし、マルチピンホールシステムの中でも別のピンホールの投影データが同一検出器上でオーバーラップする場合、位置情報のロスによる再構成画像の画質劣化の可能性がある [12, 13])。また、最大事後確率 (maximum a posteriori) 推定による期待値最大化 (EM: expectation maximization) 法の 1 つである、画素近傍の中央値との相対誤差を重みとして与える方法 (MRP: median root prior) を EM 再構成法に組み込むことによって、低カウント画像の統計ノイズ抑制に効果的であることが報告されている [17, 18]。一方、データの不完全性に起因する再構成画像の歪みの問題に対して、著者らは完全データ収集撮像軌道を有するピンホール SPECT システムおよび完全データを利用する統計学的 3 次元画像再構成法を開発し、歪みのない 3 次元再構成画像を得ることに成功した。これにより、ピンホール SPECT においても小動物 PET 同様に機能定量評価が可能になると考えられる。

本論文では、ピンホール SPECT の基礎を簡単に述べ、著者らの開発した完全データを利用したピンホール SPECT システムについて紹介する。

## 2. ピンホール SPECT

SPECT 装置は、体内に投与された放射性同位元素 (RI: radioisotope) から放射されるガンマ線

を被写体の周りで多方向から位置検出型ガンマカメラで収集する装置である。得られたデータを投影データとして画像再構成することによって目的臓器に集積した RI の 3 次元分布が得られる。ガンマカメラの前面には特定の方向から飛来したガンマ線のみを通過させるためのコリメータが取り付けられる。臨床では主に平行ホールコリメータやファンビームコリメータが利用される。ピンホールコリメータは小さな臓器を拡大して撮像したり、小動物の SPECT 撮像を目的とする場合に使用される。鉛製の円錐状の遮蔽体と、その頂点に小さな穴の開いた減弱係数の高いタングステンなどの高原子番号の材質の先端部から構成され、先端の穴から線源までの距離に応じて像が拡大され撮像される (Fig. 1)。

### 1) 空間分解能

ピンホールコリメータを装着したときのブローナ像における幾何学的空間分解能  $R_g$  は、

$$R_g = d_e \frac{f+b}{f} \quad (1)$$

で表される [19]。  $f$  はピンホールと検出器との距離 (焦点距離)、  $b$  は回転中心とピンホールの距離 (回転半径, ROR: radius of rotation)、  $d_e$  はピンホールの実効直径で、

$$d_e = \sqrt{d \left\{ d + \frac{2}{\mu} \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right\}} \quad (2)$$

で表される。ここで、  $d$  はピンホールの直径、  $\mu$  はピンホールコリメータ先端部の材質の線減弱係数、  $\alpha$  はピンホールコリメータの見込み角で

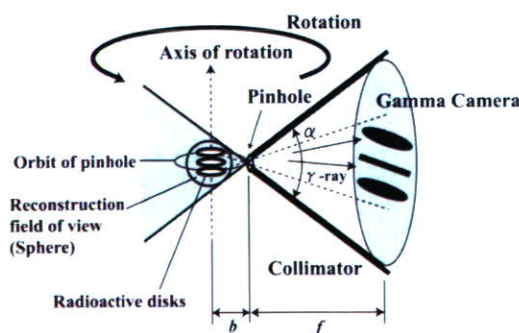


Fig. 1 Schematic diagram of pinhole SPECT.

ある。また、総合分解能  $R_o$  はピンホールコリメータの幾何学的分解能  $R_g$  と検出器の固有分解能  $R_i$  を用いて次式で表される。

$$R_o = \sqrt{\left(\frac{b}{f} R_i\right)^2 + R_g^2} \quad (3)$$

Fig. 2 に示されるように、ピンホールコリメータは、被写体とピンホールの距離が小さくなるほど、あるいは、ピンホールの穴径が小さくなるほど空間分解能が高くなる。

## 2) 検出効率

ピンホールコリメータの幾何学的検出効率(感度)  $S$  は、

$$S = \frac{d_e^2 \cos^3 \gamma}{16b^2} \quad (4)$$

で表される [19]。ここで、 $\gamma$  はガンマ線の入射線と検出面に対する垂線が作る角度である。空間分解能と同様に、被写体とピンホールの距離が小さくなるにつれ、検出効率は改善する (Fig. 2)。距離の逆 2 乗に比例して改善されるので、近接撮像はとくに検出効率の改善に効果的である。

## 3) 画像再構成視野

ピンホール SPECT の再構成画像は Fig. 1 のように球状の 3 次元領域に生成される。球の直径  $d_s$  は、

$$d_s = 2b \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (5)$$

で表される。たとえば、 $\alpha=60^\circ$  の場合、 $d_s=b$  である。被写体とピンホールの距離を小さくすることで、空間分解能と感度が改善されるが、再構成視野はこれとトレードオフの関係にあり、小さくなる。そのため、ピンホール SPECT は小動物撮像により適しているといえる。

## 3. 単一軌道ピンホール SPECT の問題点

### 1) 画像再構成法と画像歪

ピンホール SPECT とコーンビーム CT は幾何学的に類似しており、コーンビーム CT の再構成アルゴリズムはピンホール SPECT に応用できる。これまで、ピンホール SPECT の 3 次元画像再構成には、解析的手法であるフィルター補正逆投影法を応用した Feldkamp 法 [20] がもっと

も広く使用されていた。この手法は、円錐ビーム投影は多数のファンビームから成り立っているという考え方に基づくものであるためわかりやすく、比較的高速に 3 次元画像が計算できる点で実用的である。当初、コーンビーム CT 画像再構成法として設計され、その後、ピンホール SPECT 画像再構成に応用された [21]。しかしながら、Feldkamp 法はピンホール軌道面においては正しい再構成値を得ることができるが、それ以外の平面では正しい再構成値は得られない。これは体軸方向の解像度の低下として現れ、軌道面から離れるに従って解像度は大きく低下し、画像が歪む。したがって、得られる 3 次元画像は近似的なものとなり、画像の定量性は保証されない。

その後、逐次近似画像再構成法の 1 つである MLEM (maximum likelihood expectation maximization) 法 [22] や投影データをサブセット化し、再構成を高速にした OSEM (ordered subsets expectation maximization) 法 [23] が 3D-MLEM 法および 3D-OSEM 法としてピンホール SPECT 3 次元画像再構成に適用された [8, 24, 25]。これらは統計学に基づいた手法であるため、ノイズ抑制効果があり、また画素値の非負制約条件により体軸方向で低下した解像度を改善した。しかし、なお周辺部分では空間分解能の低下が見られ、画像の歪みは依然存在する [8, 25]。

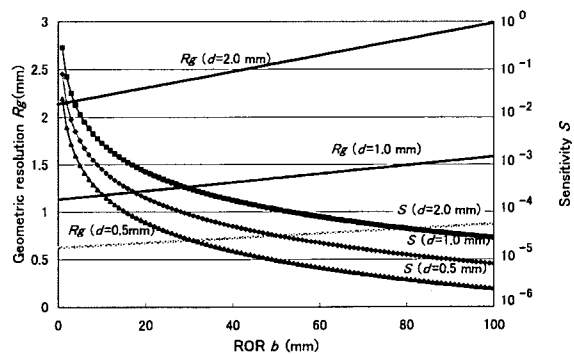


Fig. 2 Geometric spatial resolution and sensitivity in pinhole collimator. They were calculated with  $f=251\text{mm}$ ,  $\mu=4.0989\text{mm}^{-1}$  for tungsten at 140keV,  $\alpha=60^\circ$  and  $\gamma=0^\circ$ , and are dependent on ROR(radius of rotation) and pinhole diameter.