

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19300188

研究課題名 (和文) PET 検査の超低被ばくを実現する要素技術研究

研究課題名 (英文) Studies of fundamental technologies to realize PET diagnoses with very low radiation dose

研究代表者

村山 秀雄 (MURAYAMA HIDEO)

独立行政法人放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・チームリーダー

研究者番号：50166310

研究成果の概要：

感度と解像度を共に向上しPET検査の超低被ばくに貢献する検出器として、検出素子配列を3次元的に光学結合するX'tal cube 検出器を提案し、その実現可能性を実証した。検出素子間に充填する接着剤の屈折率の最適化により、性能向上の図れることを実証した。さらに検出器の層ごとにエネルギーウィンドウを設定して、被検者散乱を低減する手法と時間性能を向上させる手法を提案した。また、体軸方向に2分割した検出器リングを離して配置し、物理的に開放された視野領域を有するOpenPET方式を新規に提案し、その実現可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2008年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
年度			
年度			
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：PET、核医学、画像診断装置、同時計数、放射線検出器

1. 研究開始当初の背景

トレーサ技術を利用する核医学診断において陽電子放射撮像法 (PET) は、生体内におけるサブフェムトモル領域の極微量物質を映像化する優れた手法である。形態の異常に先立って機能異常を発見できることから、がんの鑑別診断やがん検診に威力を発揮し、脳科学においてもアルツハイマー病の早期発見などに極めて有用である。しかし、現

状ではPETイメージング技術のもつ潜在力を十分活かしていない。高感度の検出器を被検体に近づけると、視野全体で一様な高解像度を得る事は不可能であるため大型の装置となり、高価な検出器を多数使用せざるを得ないだけでなく、感度不足のため検査時の被ばく線量の低減には限界がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、昨年度放医研を中心に作り上げた国産のPET試作機「jPET-D4」を実際の臨床に使用することを意図して、必要な要素技術を研究開発し、次世代のPET装置を実現することである。本試作機は高感度のため検査時間が短縮し、受診者への負担が軽減されるだけでなく、放射性薬剤の投与量を減らすことが可能である。具体的な臨床応用に向けた研究として、体動補正、測定時間の短縮、被曝線量の軽減、装置製造の低価格化に関わる技術的課題の克服が標的となる。

「jPET-D4」には、独創的な検出器である深さ位置情報が取得可能な放射線検出器が実装されており、被検体に近づけた検出器配置でも高解像度を得る事ができる。本研究では、試作した人体頭部用の次世代PET装置を用いて被ばく量を10分の1以上低減する新しいデータ収集法を研究し、次世代PET用の検出器校正や画像再構成、吸収および散乱線・偶発同時計数の補正を総合的に研究する。さらに、臨床応用に関して体動補正の研究を行い、これらの研究を集学的に行う事でPET画像の定量性向上とPET検査時の被ばく線量低減化手法を実現する。

3. 研究の方法

(1) 次世代PETの要素技術の開発

平成17年度末には次世代PET装置の試作を完成させ、最初の脳機能画像を得ることに成功した。この試作機の性能向上のための重要な要素技術である、高速シンチレーション検出器系、散乱線成分補正手法、画像再校正手法の研究開発を進め、8層のDOI方式を実現するとともに、高精度放射線時間情報の検出器及び情報処理技術の研究開発を行う。

①シンチレータの開発研究

時間情報を高精度に得るために、一般にはシンチレータの蛍光減衰時定数を短くすることと発光量を増加させることが行われているが、本研究では、発光初期の立ち上がり時間を改善することで高精度の時間情報を得る方式を試行する。シンチレータに添加する微量物質とその量を選択することで改善が期待できる。本研究は、主に放医研内の連携で行う。

②受光素子の利用研究

位置感応型光電子増倍管をPET用受光素子として活用するために、マルチアノード出力の並列読み出し方式と抵抗チェイン読み出し方式との比較を行い、最適な方式になると予想される両者のハイブリッド方式を研究開発する。具体的には、アノー

ド出力信号の最適グループ化と高速信号演算方式の開発研究を行う。本研究は、千葉大・河合秀幸および東大・高橋浩之と連携する。

③多層DOI検出器の研究

光分配方式と波形弁別方式を有効に活用して従来の4層DOI検出器の多層化を目指す。特に、受光素子から離れた結晶素子に対して、光を効率よく受光素子に到達させることと、位置弁別性能を向上させることを同時に満たす光学的条件を探索することが大きな研究課題になる。本研究は、千葉大・河合秀幸と連携する。

④高速信号処理の研究

DOI検出器の多層化とともに、結晶内多重相互作用の処理が検出効率及び解像度向上に重要な鍵になる。検出器ユニット当たりの結晶素子数が2000個以上と膨大であり、位置・エネルギー・時間の情報を1 Mcps以上でリアルタイム処理する技術を研究する。本研究は、東大・高橋浩之および島津製作所・北村圭司と連携する。

(2) 生体動きの計測手法の開発

既に独自の頭部動き計測手法を考案して特許出願済みである。この手法は、1つの立体マーカと1つの動画撮影装置から構成され、細長いトンネル状の患者ポートにも適用できるという従来にはない特徴を有する。それゆえ、開発中の頭部専用次世代PET装置に適する手法である。具体的には、装置性能向上と立体マーカの精度向上により計測精度・スピードを向上させる。また、頭部の動きをモデル化し、計測データの相関関係を利用しながら最終的な計測精度を高める手法を開発する。

なお、連携については主たる連携という意味である。また、本申請書に氏名を記さない大学院生や卒業研究生なども適宜本研究の遂行に協力する。

4. 研究成果

全身用PET装置へ応用できるような低価格な検出器の開発を試みた。ライトガイドを用いず結晶配列内で光の広がりを作ることを考えるが、その際に、結晶間の反射材を取り除くだけでなく、底の一部にも反射材を挿入する手法を新規に考案し、低価格で汎用の光電子増倍管を用いる基礎研究を行った。新しい手法により位置弁別型光電子増倍管が不要な低価格な検出器の実現可能性を示すことができた。

Depth-of-interaction (DOI) 検出器は、シンチレータを積層することによって検出深さの情報を得ることができる。散乱線は検出器に到達する前に 511 keV のエネルギーの一部を損失していることから検出深さが深いほど散乱線の影響を受けにくいと考えられる。DOI 検出器の層ごとにエネルギーウィンドウを最適化することで散乱線を低減しつつ、装置の S/N を改善する手法を提案した。全身用 DOI-PET 装置を模擬したシミュレーションにより、被検者散乱を低減しつつ検出器散乱を取得するためにエネルギーウィンドウを DOI 検出器の層ごとに拡張する本手法の有用性を示すことができた。

体軸方向に 2 分割した検出器リングを離して配置し、物理的に開放された視野領域を有する OpenPET について、画像再構成手法を開発し、HR+ (検出器リング直径 $D=827.0$ mm, 体軸視野 $H=153.6$ mm) を 2 台配置した OpenPET をシミュレーションし、OpenPET の実現可能性を示した。また、OpenPET における体軸分解能劣化の主原因は、検出器の欠損ではなく、結晶厚みによる視差であることが明らかになった。結晶を薄くすると感度が低下してしまうことから、検出器の深さ位置 (DOI) 情報を計測可能な検出器を用いて、結晶厚みを維持しつつ視差を抑制することが重要である。また、Open PET 方式において画像最構成が可能な検出器の配列の条件を導出し、体軸視野を拡張するための検出器配列法を考案した。

PET 装置の解像度と感度をともに向上する DOI 検出器の性能向上は重要である。DOI 検出器を構成する結晶素子間に充填する接着剤の屈折率により DOI 特性は変化する。そのため実験により、素子に使用する結晶の条件により最適な屈折率を持つ結晶間物質を選ぶことで、検出器の結晶識別性能が向上することを明らかにした。また、DOI 検出器において、層ごとにシンチレータの種類を変えることにより散乱成分の軽減が可能となり画質が向上できることを、シミュレーションで立証した。また、四角柱型結晶を三角柱型に変えることで、全身 PET 用検出器としてサンプリング間隔の大きな位置弁別型の受光素子を用いる場合に結晶配列内の光の広がり方が変わり、結晶識別を向上できる可能性があることを示した。さらに、受光素子として光電子増倍管の代わりにガイガーモード APD を用いた 4 層 DOI 検出器を試作し、その DOI 特性が良好であることを実験により示した

感度を向上するための TOF-PET 装置用の検

出器では、時間特性の向上が望まれる。そのための検出器を設計する場合、結晶ブロックの視野に近い側に受光素子を光学結合した方が、時間特性を向上していることから、画質向上を期待できることを基礎実験で示した。さらに、PET の次世代高速・高感度・高解像力検出器として、シンチレータ素子配列に対して受光素子配列を 3 次元的に光学結合する X' tal cube 検出器を新規に提案した (図 1)。実用的な X' tal cube 検出器を実現する第一歩として、一面に受光素子を配列した検出器を試作し、位置弁別を最適化する受光素子配列法を見いだした。

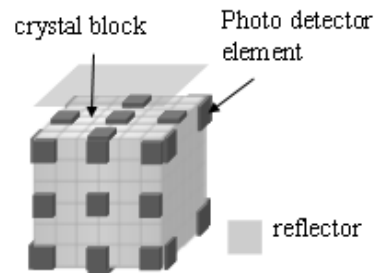


図 1 X' tal cube 検出器の概念図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 27 件)

- (1) Lam, CF., Yamaya, T., Obi, T., Yoshida, E., Inadama, N., Shibuya, K., Nishikido, F., Murayama, H.: Parallel implementation of 3-D iterative reconstruction with intra-thread update for the jPET-D4. IEEE Trans. Nucl. Sci., 56, (1), pp. 129-135, 2009. (有)
- (2) Yamaya, T., Yoshida, E., Toramatsu, C., Nishimura, M., Shimada, Y., Inadama, N., Shibuya, K., Nishikido, F., Murayama, H.: Preliminary study on potential of the jPET-D4 human brain scanner for small animal imaging. Ann. Nucl. Med., 23, pp. 183-190, 2009. (有)
- (3) Yoshida, E., Kitamura, K., Shibuya, K., Nishikido, F., Hasegawa, T., Yamaya, T., Lam, C., Inadama, N., Murayama, H.: A DOI-dependent extended energy window method to control balance of scatter and true events. IEEE Trans. Nucl. Sci., 55, (5), pp. 2475-2481, 2008. (有)
- (4) Yamaya, T., Inaniwa, T., Mori, S., Furukawa, T., Minohara, S., Yoshida, E., Nishikido, F., Shibuya, K., Inadama, N.,

- Murayama, H.: Imaging simulations of an "OpenPET" geometry with shifting detector. Radiol. Phys. Technol., 2, (1), pp. 62-69, 2008 (有)
- (5) Hasegawa, T., Yoshida, E., Shibuya, K., Murayama, H.: Optical Observation of Energy Loss Distribution and Practical Range of Positrons from an 18F Water Solution in a Water-equivalent Phantom. Med. Phys., 36, (2), pp. 402-410, 2008. (有)
- (6) Shibuya, K., Nishikido, F., Tsuda, T., Kobayashi, T., Lam, C., Yamaya, T., Yoshida, E., Inadama, N., Murayama, H.: Timing resolution improvement using DOI information in a four-layer scintillation detector for TOF-PET. Nucl. Instrum. & Methods A, 593, pp. 572-577, 2008. (有)
- (7) Yamaya, T., Yoshida, E., Obi, T., Ito, H., Yoshikawa, K., Murayama, H.: First human brain imaging by the jPET-D4 prototype with a pre-computed system matrix. IEEE Trans. Nucl. Sci., 55, (5), pp. 2482-2492, 2008. (有)
- (8) 大村篤史, 村山秀雄, 稲玉直子, 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 高橋慧, 鳥居祥二: PET 用光分配方式DOI検出器における接着剤の屈折率の影響. 医学物理, 28 卷 Sup.2, pp. 41-42, 2008. (無)
- (9) 錦戸文彦, 稲玉直子, 吉田英治, 澁谷憲悟, ラム・チフグ, 山谷泰賀, 村山秀雄, 小田一郎: APDを受光素子として用いた4層DOI-PET検出器の開発. 医学物理, 28 卷 Sup.2, pp. 45-46, 2008. (無)
- (10) 吉田英治, 北村圭司, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 長谷川智之, 山谷泰賀, 村山秀雄: 実効原子番号の低い無機シンチレータを用いた高感度PET装置の検討. 医学物理, 28 卷 Sup.2, pp. 47-48, 2008. (無)
- (11) 木内尚子, 小林哲哉, 山谷泰賀, 長谷川智之, 村山秀雄, 菅幹生: 体動補正付PET画像再構成における感度画像計算法の基礎的検討. 医学物理, 28 卷 Sup.2, pp. 57-58, 2008. (無)
- (12) 村山秀雄: 次世代PET装置の可能性と開発の現状. 新医療, 35(3), pp. 60-63, 2008. (無)
- (13) 村山秀雄: ET-DOI-PETの研究動向と課題一. 電子情報通信学会論文誌 D, J91-D (7), pp. 1695-1707, 2008. (有)
- (14) Inadama, N., Murayama, H., Ono, Y., Tsuda, T., Hamamoto, M., Yamaya, T., Yoshida, E., Shibuya, K., Nishikido, F., Takahashi, K., Kawai, H.: Performance evaluation for 120 four-layer DOI block detectors of the jPET-D4. Radiol. Phys. Technol., 1, pp. 75-82, 2008. (有)
- (15) Yamaya, T., Inaniwa, T., Minohara, S., Yoshida, E., Inadama, N., Nishikido, F., Shibuya, K., Lam, C.F., Murayama, H.: A proposal of an open PET geometry. Phys. Med. Biol., 53, pp. 757-773, 2008. (有)
- (16) Haneishi, H., Sato, M., Inadama, N., Murayama, H.: Simplified simulation of four-layer depth of interaction detector for PET. Radiol. Phys. Technol., 1, pp. 106-114, 2008. (有)
- (17) Hasegawa, T., Yoshida, E., Kobayashi, A., Shibuya, K., Nishikido, F., Kobayashi, T., Suga, M., Kitamura, K., Maruyama, K., Murayama, H.: Evaluation of static physics performance of the jPET-D4 with Monte Carlo simulations. Phys. Med. Biol., 52(1), pp. 213-230, 2007. (有)
- (18) Yoshida, E., Kitamura, K., Kimura, Y., Nishikido, F., Shibuya, K., Yamaya, T., Murayama, H.: Inter-crystal identification for a depth-sensitive detector using support vector machine for small animal PET. Nucl. Instrum. & Methods A, 571, pp. 243-246, 2007. (有)
- (19) Kitamura, K., Ichikawa, A., Mizuta, T., Yamaya, T., Yoshida, E., Murayama, H.: Detector normalization and scatter correction for the jPET-D4: A 4-layer depth-of-interaction PET scanner. Nucl. Instrum. & Methods A, 571, pp. 231-234, 2007. (有)
- (20) Shibuya, K., Yoshida, E., Nishikido, F., Suzuki, T., Tuda, T., Inadama, N., Yamaya, T., Murayama, H.: Annihilation photon acollinearity in PET: volunteer and phantom FDG studies. Phys. Med. Biol., 52, (1), pp. 5249-5261, 2007. (有)
- (21) Shibuya, K., Koshimizu, M., Asai, K., Muroya, Y., Katsumura, Y., Inadama, N., Yoshida, E., Nishikido, F., Yamaya, T., Murayama, H.: Application of accelerators for the research and development of scintillators. Rev. Sci. Instr., 78, pp. 083303 1-7, 2007. (有)
- (22) 吉田英治, 大村知秀, 小林彩子, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 北村圭司, 村山秀雄: 頭部用試作機 jPET-D4 における計数率特性の改善. 医学物理, 27 卷 Sup. 2, pp. 76-77, 2007. (無)
- (23) 山谷泰賀, 吉田英治, 村山秀雄: 検出器エラーを補正する核医学画像再構成手法の提案. 医学物理, 27 卷 Sup. 2, pp. 80-81, 2007. (無)

- (24) 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 澁谷憲悟, 錦戸文彦, ラム・チフグ, 長谷川智之, 西村義一, 西村まゆみ, 島田義也, 村山秀雄: 頭部用試作機 jPET-D4 による小動物PETイメージングの可能性. 医学物理, 27 卷 Sup. 2, pp. 82-83, 2007. (無)
- (25) 小林哲哉, 山谷泰賀, 高橋悠, 北村圭司, 長谷川智之, 村山秀雄, 菅幹生: PETイメージングにおけるDOI情報とTOF情報の併用による画質改善. 医学物理, 27 卷 Sup. 2, pp. 84-85, 2007. (無)
- (26) 高橋悠, 山谷泰賀, 小林哲哉, 北村圭司, 長谷川智之, 村山秀雄, 菅幹生: 近接撮影型DOI-PET装置に適した3次元観測モデルの提案. 医学物理, 27 卷 Sup. 2, pp. 86-87, 2007. (無)
- (27) 村山秀雄: 次世代陽電子放射型断層画像診断装置の開発. 応用物理, 76(4), pp. 375-382, 2007. (有)

[学会発表] (計 12 件)

- ① Nishikido, F. (Murayama, H): Development of a prototype system of a small bore DOI-PET scanner. 2008 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf., Dresden, Germany, 2008.11.24.
- ② Yazaki, Y. (Murayama, H): Preliminary study on a new DOI PET detector with limited number of photo-detectors. The 5th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, Jeju, Korea, 2008.9.11.
- ③ Inadama, N. (Murayama, H): Application of scintillation crystals cut as a triangular prism for a PET detector. The 5th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, Jeju, Korea, 2008.9.11.
- ④ Osada, H. (Murayama, H): Comparison of two DOI crystal blocks composed of different GSO types for optimization of a DOI PET/optical imaging detector. The 5th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, Jeju, Korea, 2008.9.11.
- ⑤ Hasegawa, T.: A novel point-like radioactive source for performance evaluation of PET scanners. The 5th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, Jeju, Korea, 2008.9.11.
- ⑥ Yoshida, E. (Murayama, H): Feasibility study of a highly sensitive LaBr3 PET scanner based on the DOI-dependent extended-energy window. The 8th Intern. Conf. on Position Sensitive Detectors - PSD8, Glasgow, United Kingdom, 2008.9.4.
- ⑦ Lam, C.F. (Yamaya, T.): Parallel Implementation of 3-D Dynamic Iterative Reconstruction with Intra-node Image

Update for the jPET-D4. 2007 IEEE Nucl. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf., Honolulu, USA, 2007.11.2.

- ⑧ Yoshida, E. (Murayama, H): A DOI-dependent extended energy window method to control balance of scatter and true events. 2007 IEEE Nucl. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf., Honolulu, USA, 2007.11.1.
- ⑨ Inadama, N. (Murayama, H): DOI Encoding on the PET Detector Using 2 X 2 PMT Array. 2007 IEEE Nucl. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf., Honolulu, USA, 2007.11.1.
- ⑩ Lam, C.F. (Yamaya, T.): 3D PET image reconstruction with on-the-fly system matrix generation accelerated by utilizing shift and symmetry properties. The 9th Intern. Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconst. in Radiol. and Nucl. Med., Lindau, Germany, 2007.7.11.
- ⑪ Kobayashi, T. (Suga, M.): Improvement of PET image quality using DOI and TOF information. The 9th Intern. Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconst. in Radiol. and Nucl. Med., Lindau, Germany, 2007.7.11.
- ⑫ Yamaya, T.: Implementation of 3D image reconstruction with a pre-computed system matrix for the jPET-D4. The 9th Intern. Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconst. in Radiol. and Nucl. Med., Lindau, Germany, 2007.7.10.

[図書] (計 2 件)

- ① 村山秀雄, 山谷泰賀: 平成 20 年度次世代 PET 研究報告書. 放射線医学総合研究所発行, 総頁 146, 2009.3.1.
- ② 菅野 巖, 村山秀雄: 平成 19 年度次世代 PET 研究報告書. 放射線医学総合研究所発行, 総頁 146, 2008.3.1.

[産業財産権]

○出願状況 (計 7 件)

- ① 開放型PET装置 γ 線を放出する陽電子崩壊核種の放射能絶対測定方法、放射線検出器集合体の検出効率決定方法、及び、放射線測定装置の校正方法: 佐藤泰, 村山秀雄, 山田崇裕, 長谷川智之, 織田圭一, 特願 2008-306087号, 平成20年12月1日, 国内.
- ② DOI型放射線検出器: 稲玉直子, 村山秀雄, 澁谷憲悟, 錦戸文彦, 津田倫明, PCT /JP2008/062804, 平成20年7月16日, 外国

- ③放射線検出方法、装置、及び、陽電子放射断層撮像装置：澁谷憲悟，山谷泰賀，稲玉直子，錦戸文彦，吉田英治，村山秀雄，PCT/JP2008/057035，平成20年4月9日，外国。
- ④開放型PET装置：山谷泰賀，稲玉直子，村山秀雄，PCT/JP2008/56451，平成20年4月1日，外国。
- ⑤エネルギーと位置情報を利用した放射線検出方法及び装置：吉田英治，澁谷憲悟，山谷泰賀，村山秀雄，北村圭司，PCT/JP2007/066940，平成19年8月30日，外国。
- ⑥放射線位置検出器：稲玉直子，村山秀雄，澁谷憲悟，錦戸文彦，大井淳一，津田倫明，特願2007-221441号，平成19年8月28日，国内。
- ⑦エネルギーと位置情報を利用した放射線検出方法及び装置：吉田英治，澁谷憲悟，山谷泰賀，村山秀雄，特願2007-112925号，平成19年4月23日，国内。

○取得状況（計 3 件）

- ①四角柱形セルの配置器具及び配置方法：村山秀雄，稲玉直子，奥野敦，特許第4187093号，平成20年9月19日，国内。
- ②入射位置検出装置：高橋浩之，村山秀雄，石津崇章，特許第4178232号，平成20年9月5日，国内。
- ③深さ位置認識型放射線検出器：長谷川智之，村山秀雄，特許第4168138号，平成20年8月15日，国内。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村山 秀雄 (MURAYAMA HIDEO)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・チームリーダー
研究者番号：50166310

(2) 研究分担者 2007 年度

- ① 棚田 修二 (TANADA SHUJI)
国際医療福祉大学三田病院・放射線科・教授
研究者番号：40116950
- ② 赤羽 恵一 (AKAHANE KEIICHI)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・研究員
研究者番号：80202521
- ③ 山谷 泰賀 (YAMAYA TAIGA)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員
研究者番号：40392245
- ④ 河合 秀幸 (KAWAI HIDEYUKI)

千葉大学・理学部・助教授
研究者番号：60214590

- ⑤ 菅 幹生 (SUGA MIKIO)
千葉大学・工学部・助教授
研究者番号：00294281
- ⑥ 北村 圭司 (KITAMURA KEISHI)
島津製作所・医用機器事業部・研究員
研究者番号：30395941
- ⑦ 高橋 浩之 (TAKAHASHI HIROYUKI)
東京大学・工学研究科・教授
研究者番号：70216753
- ⑧ 羽石 秀昭 (HANEISHI HIDEAKI)
千葉大学・工学部・助教授
研究者番号：20228521
- ⑨ 長谷川 智之 (HASEGAWA TOMOYUKI)
北里大学・医療衛生学部・講師
研究者番号：10276181

(3) 連携研究者 2008 年度

- ① 棚田 修二 (TANADA SHUJI)
国際医療福祉大学三田病院・放射線科・教授
研究者番号：40116950
- ② 赤羽 恵一 (AKAHANE KEIICHI)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・研究員
研究者番号：80202521
- ③ 山谷 泰賀 (YAMAYA TAIGA)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員
研究者番号：40392245
- ④ 河合 秀幸 (KAWAI HIDEYUKI)
千葉大学・理学部・准教授
研究者番号：60214590
- ⑤ 菅 幹生 (SUGA MIKIO)
千葉大学・工学部・准教授
研究者番号：00294281
- ⑥ 北村 圭司 (KITAMURA KEISHI)
島津製作所・基盤技術研究所・主任研究員
研究者番号：30395941
- ⑦ 高橋 浩之 (TAKAHASHI HIROYUKI)
東京大学・工学研究科・教授
研究者番号：70216753
- ⑧ 羽石 秀昭 (HANEISHI HIDEAKI)
千葉大学・フロンティアメディカル工学研究開発センター・教授
研究者番号：20228521
- ⑨ 長谷川 智之 (HASEGAWA TOMOYUKI)
北里大学・医療衛生学部・講師
研究者番号：10276181