

平成27年度
次世代PET研究報告書



平成28年3月

国立研究開発法人
放射線医学総合研究所

まえがき

本報告書は、国立研究開発法人放射線医学総合研究所（放医研）を中心にして行っている次世代の PET 装置および要素技術の研究開発について、外部の専門家からのご寄稿も頂きながらまとめた年次報告書です。2001 年度から毎年発行しており、今回が 15 冊目になります。今年度は、5 年間の第 3 期中期計画の最終年度であるため、この 5 年間の成果についてもまとめました。

2001 年当時は PET/CT が登場し、PET が研究用装置から身近な臨床装置へ変貌するターニングポイントだったかと思います。その後 PET の普及に伴い、time-of-flight 方式の PET や PET/MRI の実用化など、さまざまなイノベーションが世界で起こってきました。我々はこの間、こういう動向に注目しつつも、解像度と感度の両立という PET の本命課題の追及に集中して、DOI (depth-of-interaction) という 3 次元放射線位置検出器の技術の確立に力を注いできました。その結果、DOI 検出器の技術は国内メーカーによって採用され、ついに製品化に至りました。一方で、DOI 検出器から、これまで誰も考えてこなかったような独創的 PET の着想に至りました。具体的には、(1) PET ガイド化の治療が可能になる OpenPET、(2) 既存 MRI でも PET/MRI にアップグレードできるアドオン PET、(3) 頭部診断に最適化されたヘルメット型 PET です。今年度は、それぞれ試作機を開発し、コンセプト実証に成功しました。

これらは、第 1 期中期計画からの 15 年間の研究開発を通じて力をつけてきた研究チームの成果の集大成です。すなわち、DOI 検出器を中心とした要素技術は、これまでの長年の研究の成果が実を結び、やっと実用化が見えるような段階に移行しつつあります。農業に例えると、収穫のステージです。一方、収穫の傍ら、次の芽を育てることも忘れてはいけません。放医研は、4 月から国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の一部と合併して、新法人として新しいスタートを切ることになりました。次世代 PET 研究会は、幅広い要素技術やニーズと触れ合って、新しいイノベーションを創出する場として、より一層その役割が期待されます。引き続き、アカデミアと産業界・医療出口を弾力的に結びつける拠点としての役割を担っていく所存でございますので、今後とも、ご支援、ご指導をよろしく申し上げます。

末筆ながら、皆様のご健勝とご発展を心よりお祈りします。

平成 28 年（2016 年）3 月吉日
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
先端生体計測研究プログラム
生体イメージング技術開発研究チームリーダー
山谷泰賀

目次

		ページ
(1)	生体イメージング技術開発研究チームの5年間	山谷泰賀 1
1. 次世代 PET への期待 (特別寄稿)		
(2)	次世代 PET への期待: 医療の現場から	畑澤順、他 15
(3)	Radiofrequency field penetrability studies of an electrically floating PET insert for simultaneous PET/MR	Craig S. Levin、他 16
(4)	農学分野における PET 技術のスタンス	藤巻 秀 19
(5)	経済産業省における医療機器産業政策について	土屋博史 20
(6)	産官学連携による PET 装置の開発	北村圭司 23
2. OpenPET		
(7)	重粒子線治療装置の最前線	白井敏之 27
(8)	OpenPET 実証機の開発	吉田英治、他 29
(9)	Optimization of ^{15}O beam for OpenPET	A. Mohammadi、他 31
(10)	In-Beam OpenPET を用いた ^{10}C , ^{11}C , ^{15}O イオン照射における生体内 RI 洗い出し効果の測定	寅松千枝、他 33
(11)	患者情報を元にした In-beam OpenPET イメージングシミュレーション	田島英朗、他 35
(12)	不完全 PET ジオメトリにおける TOF 情報の欠損周波数補填効果	田島英朗、他 37
3. 頭部 PET (1)		
(13)	分子イメージングによる精神・神経疾患の診断と創薬への展開	須原哲也 41
(14)	ヘルメット PET 実証機開発	田島英朗、他 43
(15)	Sensitivity comparison of the helmet-chin PET with a cylindrical PET based on similar conditions using Monte-Carlo simulation	Abdella M. Ahmed、他 45
(16)	ヘルメット型 PET の吸収補正法の検討	岩男悠真、他 48
4. 頭部 PET (2)		
(17)	PET/RF コイル一体型アドオン PET/MRI の実証機開発	錦戸文彦、他 51
(18)	PET/MRI 一体型検出器に用いる電磁波シールドボックスと電源用ローパスフィルタの MRI 測定に与える影響の評価	菅 幹生、他 53
(19)	PET/MRI の PET 部回路系開発	清水啓司 55
(20)	Performance evaluation of a PET/RF-coil integrated modality for 3 T MRI system	Md S.H. Akram、他 57

5. 新規応用・要素技術

- | | | | |
|-------|--|--------|----|
| (2 1) | 0.77 mm 等方分割 X' tal Cube 検出器の試作と分解能評価 | 新田宗孝、他 | 61 |
| (2 2) | 3次元位置情報を保持とチャンネル数削減を両立する
X' tal cube 用抵抗チェーンの開発 | 蛭海元貴、他 | 64 |
| (2 3) | 多層検出器を用いたコンプトン PET の実現可能性の検討 | 吉田英治、他 | 66 |
| (2 4) | 有機フォトダイオードを用いた IVR 用リアルタイム線量
分布測定システムの開発 | 錦戸文彦、他 | 68 |

6. 生体イメージング技術開発研究チーム研究業績

70

(1) 生体イメージング技術開発研究チームの5年間

山谷泰賀

放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

1. はじめに

Positron Emission Tomography (PET) は、がん診断など臨床現場で活躍するほか、分子イメージング研究を推進する手段としても有望視されています。生体透過性に優れる放射線を使って体内情報を得る核医学イメージングにおいて、PET は原理的に感度および定量性に優れる方法です。PET/CT 装置の実用化や FDG-PET 検査の保険適用によって PET は比較的身近な診断法になりましたが、未だその潜在能力を十分に活かしきれていません。具体的には、分解能や感度、さらにはコストに課題が残され、次世代 PET 装置の研究開発は世界的な競争下にあります。

そこで、放医研・生体イメージング技術開発研究チームでは、がんや脳の疾患で困ることのない未来をなるべく早く実現するために、次世代の PET 装置および要素技術の研究開発を推進しています。具体的には、放射線検出器など独自技術の強みを活かし、これまでの常識を覆すような新しいアイデアの創出と試作機開発による実証までを行う PET イノベーションと、メーカーへの技術移転を進めています。

2. これまでの経緯 (2001-2010 年度)

放医研第 1 期中期計画 (2001 年度～2005 年度) において世界に先駆けて我々が実用化に成功した

DOI 検出器 (3 次元放射線検出器) は、PET の長年の課題であった分解能と感度の両立を解決できる技術です。本技術は、第 2 期中期計画 (2006 年度～2010 年度) において、株式会社島津製作所により乳がん診断専用 PET としての実用化が進められ、2014 年に製品化に至りました。放医研では次のステップとして、OpenPET やクリスタルキューブなど、DOI 検出器を応用した独創的な PET システムや要素技術の研究開発に着手しました。

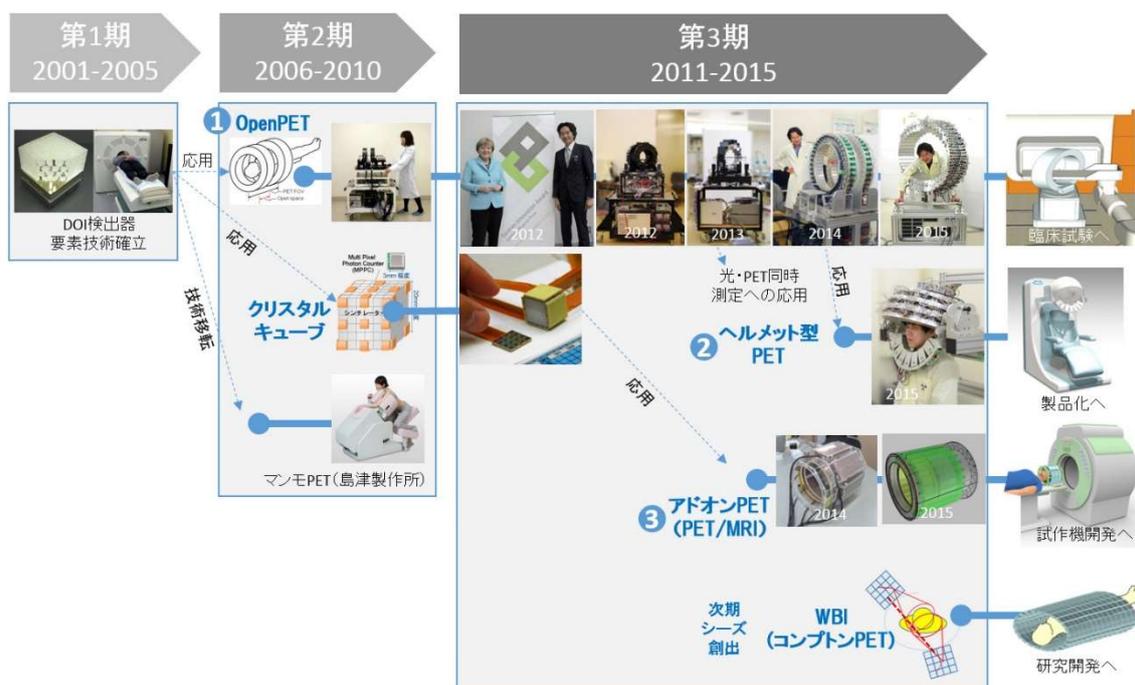
3. 5 年間の研究成果概要 (2011-2015 年度)

第 3 期中期計画における生体イメージング技術開発研究チームの研究成果概要を **下図** にまとめます。

(1) OpenPET

OpenPET は、DOI 検出器によって具現化された世界初となる開放型 PET です。これまでに 12 件以上の特許を取得しています。またドイツノベアションアワード最優秀賞を受賞するなど、国内外から高い評価を受けています。OpenPET によって、たとえば PET で患部をイメージングしながら放射線治療するなど、新しい診断・治療のかたちが期待されます。特に、重粒子医科学センターと共同で、重粒子線がん治療装置 HIMAC への応用を目指しています。また、OpenPET はマルチモーダル撮像も容易にし、顕微鏡と融合した革新的な PET・光同

独自技術により、PETの常識を覆す新しいアイデア創出とその具現化を目指す



時測定システムの開発にも成功しました。ほぼ1年に1台のペースの試作開発により要素技術の確立を進め、昨年度の2リング式実証機に続いて、今年度はついに1リング式の実証機の開発に成功しました。

(2) ヘルメット型 PET

PET 装置は円筒型という常識を覆す、世界初のヘルメット型 PET 装置を開発しました。半球状の検出器配置は、頭部診断に最も適した検出器配置です。高性能化と低コスト化を同時に実現できることから、今後期待されている認知症 PET 診断の普及に貢献できます。OpenPET の検出器システムは拡張性の高い設計思想に基づいて開発したため、これを応用することで、短期間での実証機の開発に成功しました。今後は、共同研究先である株式会社アトックスによる製品化が予定されています。

(3) アドオン PET (PET/MRI)

アドオン PET は、クリスタルキューブ検出器の要素技術を応用した独自の PET/MRI 装置のアイデアです。CT ではなく MRI と組み合わせた PET/MRI はここ数年のホットな話題ですが、我々は、既存の MRI にも後付けできる PET 付き MRI コイルの方式を提案しました(特許技術)。この方式により、頭部撮影において、従来装置よりも大幅に高性能化と低コスト化を図ることができます。AMED 先端計測分析技術・機器開発プログラムの委託により、浜松ホトニクス、横浜市立大学、千葉大学、東京大学、放医研・応用診断研究 (MRI) チームと共同で進めている本開発は最終年度を迎え、実証実験機の完成は目前です。

(4) Whole Gamma Imager

研究開発を農業に例えると、実証機開発は収穫に近いフェーズにあります。一方で、将来の芽を育てる基礎研究も重要です。Whole Gamma Imager は、PET システムとコンプトンカメラを融合させた新しいアイデアであり、我々の次期シーズの一つとして注力しています。具体的には、放医研国際オープンラボ (H27-H29) のテーマの一つとして選定され(研究交流旅費の支援)、ミュンヘン大学 (LMU) Katia Parodi 教授と共同研究を開始したところ。4月には、日本原子力研究開発機構の一部と放医研の統合が予定されていますので、高崎量子応用研究所が持つコンプトンカメラの技術との融合による加速も期待されます。

4. 統計

第3期中期計画における生体イメージング技術開発研究チームの予算、スタッフ、成果に関するデータを表1にまとめます。

(1) 研究スタッフについて

- 2009年度以来の定年制職員1名体制から、今年度ようやく定年制職員2名体制となった。

- フルタイムの研究者とそれに準ずる博士研究員等を合わせた人数は、平均で6.8人であった。
- 装置開発のペースは年々増しており、第1~2期はそれぞれ1台ずつだったが、第3期では、大小合わせて計7台 (OpenPET4台、ヘルメット型PET1台、PET/MRI2台)の開発を行ったため、常に人材不足の状態が続いた。
- 放射線計測物理、とくに医用イメージングを専門とする研究者は人材が欠乏しており、若手研究者の育成を含めて、長期的視点での人材確保を計画的に実施することが重要である。
- よって、今中期計画後半からは、予算の許す範囲で博士研究員の雇用を積極的に行った。

(2) 研究費について

- OpenPET 実証機開発は運営費交付金によるプロジェクトとして実施したが、運営費交付金は右下がりであった(5年で約1/3に(64%減))。
- 外部資金が取得できたため、運営費交付金の減少を補い、研究室の活動を維持することができた。外部資金の割合は、2011年度は28%であったが、2015年度は66%にまで増加した。
- 特に、ヘルメット型 PET やアドオン PET (PET/MRI) のアイデアは、外部資金によっではじめて具現化できた。
- 外部資金は当たり外れが大きい。2015年度外部資金(77,591千円)のうち92%(71,073千円)は2015年度で終了のため、来年度の外部資金はごく小額になる恐れがある。

(3) 研究成果について

- 原著論文数は、毎年約40%増の傾向であったが、2015年の論文数は前年比-70%と大きく減少した。複数の装置開発を平行して行ったことによるマンパワー不足が主因と考えられる。
- 特許数は、出願数(計12件)が減少して、登録数(計39件)が増加する傾向が見られた。特許は出願から数年して登録となるのが一般的であるため、多い登録数は過去の実績であり、むしろ出願数の減少が問題である。装置開発に偏ったマンパワー配分が創造性を損ねている可能性がある。
- 5年間の成果件数をフルタイムの研究者とそれに準ずる博士研究員等を合わせた人数で平均化したものと、外部配分額(約15%)も含む研究費総額を成果件数で平均化したものを下表にまとめる。

	件/5年	件/5年/人	費やした研究費 千円/件
学会発表	295	43.3	2,123
原著論文	41	6.0	15,276
特許	51	7.5	12,280

生体イメージング技術開発研究チームの研究実績

中期計画(2011-2015 年度)	実績
OpenPET 装置などの実証機を開発し、画像誘導放射線治療技術へ応用する手法を研究するとともに、PET 診断の高度化に向けた要素技術やシステムについての研究開発を行う。	DOI 検出器などの独自技術により、画像誘導放射線治療を可能にする OpenPET や OpenPET 技術を応用したヘルメット型 PET、既存 MRI に適用できる PET 付き MRI コイルなど、常識を覆す新しい PET 装置のアイデアの創出および実証を行い、PET 診断の高度化に向けた要素技術を確立した。

年度	実績
2011 (H23)	<ul style="list-style-type: none"> 画像誘導放射線治療に最適な第二世代 OpenPET を発明した(特許出願済)。 OpenPET 検出器モジュールの一次試作を行い、重粒子線照射野イメージングに適したシンチレータと光電子増倍管の組み合わせを実験的に明らかにした。 OpenPET 小型試作機を用いて、生きたラットに照射した重粒子線ビームの体内分布をその場で 3 次元画像化できることを実証した。また、Washout 効果(入射粒子の血流による拡散)が重粒子線照射野イメージングの障壁であることが示され、これを解決する方法として、半減期 19 秒の ^{10}C 炭素線照射による高感度かつ短時間計測を試行した。 クリスタルキューブの解像性能を飛躍的に高め、世界最高の 1mm 等方解像度を達成した(プレス発表)。 クリスタルキューブの量産化を目指し、一塊のシンチレータに外部からレーザー加工を施す新技術を導入した結果、2mm 等方解像度まで実現できた。また、1 ペア検出器による同時計数試験システムを開発し、PET 画像上で 1.7mm の解像度が得られることを実証した。 PET/CT の課題とされる CT 被ばくを回避できる PET/MRI について、世界初となる MR コイル一体型 PET を発明し(特許出願済)、ヘッドコイルと 1 個の DOI 検出器を用いたコンセプト実証を行った。 第 1 回 OpenPET 研究会、第 1 回放医研-ソウル大国際 Workshop、平成 23 年度次世代 PET 研究会を開催し、国内の PET 開発の活性化および国際化に貢献した。
2012 (H24)	<ul style="list-style-type: none"> OpenPET の実証機開発に向けて、重粒子線照射場でも安定動作する小型フロンエンド回路を開発し、検出器モジュールの二次試作および実験評価により、OpenPET 用検出器の設計を完了した。そして、220 個分の部品を調達した。 Single-ring OpenPET について、中型試作機を開発し、コンセプト実証を行った。特に、昨年度の第一世代 OpenPET の小型試作機では、装置サイズの制限のためラット実験が限界であったが、今回初めて、ウサギに照射した重粒子線ビームの体内分布をその場で 3 次元画像化できることを実証した。 クリスタルキューブについて、分割結晶を光学接着する昨年度までの方式に代わり、一塊のシンチレータに外部から 3 次元的にレーザー加工を施すという、量産化に適した新方式においても、世界最高の 1mm 等方解像度を達成した。 PET/CT に取って代わる可能性が注目されている PET/MRI 装置の高精度化に不可欠な、MR 画像ベースの PET 吸収補正に関して、セグメンテーションとデータベース参照を複合した新手法を開発し、特許出願した。 インターベンショナル・ラジオロジー(IVR)における高精度な皮膚被ばく線量管理へのニーズに対して、PET 検出器開発で培った技術を応用したリアルタイム型線量計測システムの研究開発に着手し、一次試作による原理実証を行った。 測定範囲に合わせて自在に体軸視野を拡大できる新方式として、OpenPET の発想を大きく発展させた多重円筒型 PET 装置を提案し、シミュレーションにて原理検証を行った。 第 2 回 OpenPET 研究会および平成 24 年度次世代 PET 研究会を企画・開催し、成果普及および国内の PET 開発研究の活性化に貢献した。 OpenPET 研究に関して、ドイツイノベーションアワード「ゴッドフリード・ワグネル賞」最優秀賞、医用原子力技術研究振興財団平成 24 年度安成弘記念賞および堀場雅夫賞を受賞し、国内外から高い評価を得た。

2013 (H25)	<ul style="list-style-type: none"> • OpenPET 実証機開発においてイメージング性能を決定付ける DOI 検出器モジュールの開発については、シンチレータブロックと光電子増倍管を組み合わせるノウハウを確立し、160 個まで量産を行った。また、最大 200 個の DOI 検出器に対応するデータ収集回路の基本設計を行い、開発委託した。 • 世界最高の 1mm 等方解像度をもつクリスタルキューブ検出器の応用を想定した PET 装置の計算機シミュレーションを行い、画像中心だけでなく視野部においても 1mm 以下の空間分解能が得られることを示した。 • Single-ring OpenPET について、検出器が体軸方向に自在にシフト移動する新しいアイデアに基づく中型試作機を開発し、コンセプト実証を行った。一つの装置で通常 PET と OpenPET の切り替えが可能になり、OpenPET の応用が広がると期待される。 • 核医学イメージング物理に関する放医研-ソウル大第 2 回国際 Workshop をソウルにて開催した。 • PET 物理分野の世界的中心学会である IEEE Nuclear Science Symposium (NSS) and Medical Imaging Conference (MIC)において、次世代要素技術などについて、学会全体で世界 6 位で全演題数の 1.2%を占める 20 件(MIC 分野では世界 1 位の 17 件)の研究発表を行った(8 件の外部資金研究、6 件の大学共同研究課題を含む)。 • 2001 年から毎年開催してきた次世代 PET 研究会の初の国際版として、NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013)をパシフィコ横浜にて開催した。 • 核医学イメージング物理に関する放医研-ソウル大第 3 回国際 Workshop を放医研にて開催した。
2014 (H26)	<ul style="list-style-type: none"> • OpenPET について、これまでの要素技術開発成果を集約したモバイル型の二重リング方式試作機を開発し、重粒子線治療の照射野をその場で 3 次元的に可視化して確認するコンセプトをファントム実験によって実証した。 • 既設 MRI でも頭部用 PET/MRI へのアップグレードが可能であることの実現を目指した PET 付き MRI コイルの独自アイデアについて、クリスタルキューブ検出器開発で得た知見を応用した PET 検出器を配置したヘッドコイルを試作し、PET と MRI の同時撮像性能を実証した。 • 光学的計測システムと前年度開発した OpenPET 小型実証機を組み合わせ、世界初の PET・光同時測定システムを開発し、低拘束かつ覚醒状態におけるマウスで PET 受容体リガンドの集積とレーザースペックルイメージングの脳血流を同時に測定するデモンストレーションに成功した。 • 同 OpenPET 小型実証機をサル PET に転用する共同研究を製薬企業と実施した。 • OpenPET 用として開発した検出器を応用してヘルメット型 PET(特許出願済)を開発する共同研究を株式会社アトックスと開始した。 • 研究成果の普及や新規アイデアの創出を目的として、「次世代 PET 研究会 2015」を開催した。
2015 (H27)	<ul style="list-style-type: none"> • 世界初となる開放型 PET「OpenPET」(特許 12 件以上)について、最大 43cm の開放空間幅を有する実サイズ試作機を開発し、重粒子線がん治療における標的内の治療ビーム停止位置の可視化に成功した。 • PET 付き MRI コイルの新規アイデア(特許取得済)の実現の鍵となる PET・MRI 間相互影響抑制技術を確立し、実証機において、MRI による PET 影響(空間分解能とエネルギー分解能)を 5%以内に抑えることに成功した。 • OpenPET 用検出器システムを応用して、世界初のヘルメット型 PET 装置を開発し、市販装置と比べて 1/5 の検出器数でも約 3 倍の感度を達成し、健常ボランティア撮像試験結果をプレス発表した(株式会社アトックスとの共同研究)。 • OpenPET 試作機をサル全身同時 PET 撮像に応用する共同研究を製薬企業と実施した。 • 国際オープンラボ課題として、Whole Gamma Imager の研究開発を開始した(ミュンヘン大学との共同研究)。

表1 生体イメージング技術開発研究チームの統計(2011年度から2015年度)

年度	2011(H23)	2012(H24)	2013(H25)	2014(H26)	2015(H27)	5年計
1. 研究費[千円]	144,380	108,649	134,001	121,711	117,564	626,305
ー 運営費交付金(人件費以外)	102,350	92,730	86,482	55,299	36,973	373,834
ー 所内競争的資金	1,170	0	0	0	3,000	4,170
ー 外部資金	40,860	15,919	47,519	66,412	77,591	248,301
ー チーム分	28,460	14,919	35,269	33,234	42,935	154,817
ー 外部配分額	12,400	1,000	12,250	33,178	34,656	93,484

2. 研究員[人]	6	6	6	7.4	8.7	6.8
ー 定年制職員	1	1	1	1	1	2
ー 任期制フルタイム職員	3	3	3	3	3.5	2.7
ー ホストク(学振特別研究員含)	2	2	2	2.9	4	1 平均人数

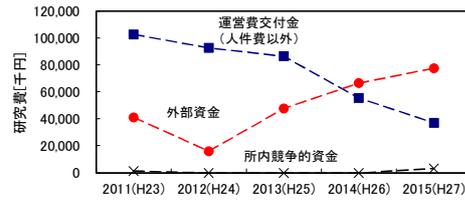
3. 成果(集計は年度ではなく年単位)						
学会発表数(アクティビティ)	54	63	72	48	58	295
研究員一人あたり[件/人]	9.0	10.5	12.0	6.5	6.7	43.3
費やした研究費[千円/件]	2,674	1,725	1,861	2,536	2,027	2,123
原著論文数(成果)	5	7	11	14	4	41
研究員一人あたり[件/人]	0.8	1.2	1.8	1.9	0.5	6.0
費やした研究費[千円/件]	28,876	15,521	12,182	8,694	29,391	15,276
特許	5	13	14	5	14	51
特許出願数	3	6	1	2	0	12
特許登録数	2	7	13	3	14	39
研究員一人あたり[件/人]	0.8	2.2	2.3	0.7	1.6	7.5
費やした研究費[千円/件]	28,876	8,358	9,572	24,342	8,397	12,280
評価・アウトリーチ						
表彰	5	4	6	2	3	20
招待講演	2	1	2	7	4	16
著書・総説	2	11	6	5	7	31
新聞発表・広報・出展など	20	30	6	11	11	78
講義・講演	20	20	10	13	12	75

年度	2011(H23)	2012(H24)	2013(H25)	2014(H26)	2015(H27)
----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

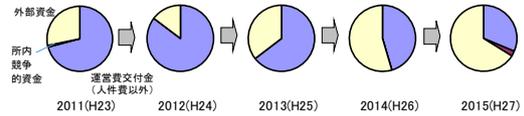
主な研究・技術スタッフ	
職員	
山谷泰賀	チームリーダー(定年制)
吉田英治	主任研究員(任フル) (定年制)
稲玉直子	主任研究員(任フル) (任短)
錦戸文彦	研究員(任フル)
阿部貴之	研究員(任短) ←2011/9-2012/1
中島祥紀	研究員(任短)
平野祥之	博士研究員(2011/7-2014/10)
田島英朗	博士研究員 学振特別研究員(~2014/9) 研究員(任フル) 2014/10~
Akram Mohammadi	博士研究員 研究員(任フル) 2015/8~
Abdella M. Ahmed	博士研究員(2014/5~)
岩男悠真	博士研究員
MD Shahadat Hossain Akran	博士研究員
Jiang Jianyong	博士研究員
脇坂秀克	准技術員(任フル)
小島藤乃	業務補助員 技術員(任短)
学生雇用(フレドク)	
木内尚子	大学院課程研究員
品地哲也	大学院課程研究員 研究員(任短)
新田宗孝	大学院課程研究員

任フル=任期制フルタイム職員
任短 = 任期制短時間職員

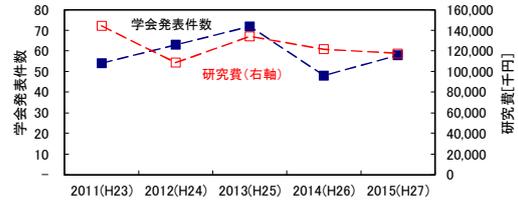
生体イメージング技術開発研究チームの研究費の推移



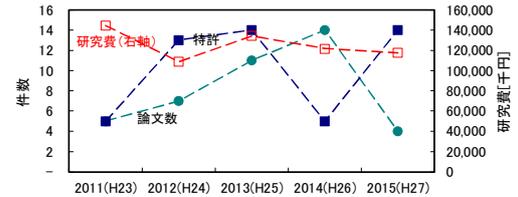
研究費の内訳の推移



研究費と研究アクティビティの関係



研究費と成果の関係



2015 年度 生体イメージング技術開発研究チーム まとめ

チームメンバー

チームリーダー	山谷泰賀
主任研究員	吉田英治
主任研究員(短時間)	稲玉直子
研究員	錦戸文彦、田島英朗、Akram Mohammadi (7 月末まで博士研究員)
技術員(短時間)	小島藤乃
准技術員	脇坂秀克
博士研究員	Abdella M. Ahmed、岩男悠真、MD Shahadat Hossain Akram、Jiang Jianyong (10 月採用)
大学院課程研究員	新田宗孝
(チーム事務担当)	大野まどか、田中真澄)

外部メンバー (50 音順、敬称略)

客員協力研究員

小尾高史	東京工業大学
熊谷雅章	株式会社アトックス
櫻井 浩	群馬大学
島添健次	東京大学
澁谷憲悟	東京大学
菅 幹生	千葉大学
高田英治	富山高等専門学校
田沢周作	株式会社アトックス
田中常稔	株式会社アトックス
長谷川智之	北里大学
羽石秀昭	千葉大学
山下大地	株式会社アトックス
Jorge Cabello	ミュンヘン工科大学(TUM)

学振外国人研究員

Craig Levin	Stanford University (12 月まで)
-------------	------------------------------

実習生(受入学生)

尹 雁南	東京工業大学(小尾研究室 D3)
忽那拓実	千葉大学(菅研究室 B4)
小山晃広	東京大学(高橋研究室 M2)
佐藤 謙	千葉大学(山谷研究室 B3)
篠原滉平	千葉大学(菅研究室 M2)
中村泰明	東京大学(高橋研究室 D3)
野上光博	富山高専(専攻科 1・高田研究室)
蛭海元貴	千葉大学(山谷研究室 B4)
前田哲哉	富山高専(5 年・高田研究室)
吉原有里	東京大学(高橋研究室 M2)

招聘外国人研究員(手続中)

Saad Aldawood	ミュンヘン大学(LMU)
Silvia Liprandi	ミュンヘン大学(LMU)
Ingrid Valencia Lozano	ミュンヘン大学(LMU)
Katia Parodi	ミュンヘン大学(LMU)
Peter Thirolf	ミュンヘン大学(LMU)

主な研究協力先 (50 音順、敬称略)

	共同研究先	テーマ(担当者)
1	小尾高史(東工大)	全身用 OpenPET/CT 同時撮影システムに関する研究(D3 尹 雁南) MRI 画像を利用した少数 PET データからの画像再構成(M2 崎田 賢太郎)
2	河合秀幸(千葉大理学研究科)	DOI 検出器の研究(D2 新田宗孝)
3	菅 幹生 (千葉大フロンティア医工学センター)	シンチレータ内散乱線解析手法およびコンプトン PET の研究(M2 篠原滉平) PET/MRI 用シールドボックスの開発・評価(B4 藤原理伯) PET 検出器シミュレータの改良(B3 奥村勇介)
4	高橋浩之・島添健次(東大)	OpenPET 用放射線耐性 ASIC の研究ほか
5	山谷泰賀 (千葉大フロンティア医工学センター)	改良型 PET 用 DOI 検出器の研究(B4 蛭海元貴) PET 検出器用新型光電子増倍管の性能評価(B3 佐藤 謙)
6	Craig Levin(スタンフォード大)	コンプトン PET の研究
7	Katia Parodi(ミュンヘン大学)	In-beam PET シミュレーション、国際オープンラボ・Whole Gamma Imager 開発
8	Sibylle Ziegler(ミュンヘン工科大学)	モノリシック PET 検出器、in-beamPET 画像再構成(Jorge Cabello)

共同研究契約（50音順、敬称略）

	共同研究先	テーマ
1	株式会社アトックス	頭部専用 PET 装置の実用化に関する研究
2	三樹工業株式会社、産業医科大学（盛武 敬）、筑波大学（榮 武二）	IVR 用リアルタイム被曝線量位置分布計測のための試作システム開発および評価
3	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所	次世代PET検出器および画像化技術に関する基礎的研究
4	みずほ情報総研株式会社	PET画像再構成に関する散乱補正手法の研究
5	（企業名非公表）	サル PET 計測システムに関する研究

運営費交付金（人件費除く）(計 39,973 千円)

	予算名	金額
1	OpenPET 実証機開発（人件費除く）	36,973 千円
2	国際オープンラボ(IOL) 研究交流旅費	3,000 千円

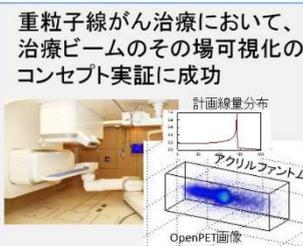
外部資金（直接経費計 77,591 千円、うち外部分配額 34,656 千円） 敬称略、下線は代表者

	事業	課題名	直接/間接経費[千円]	チーム内メンバー	チーム外の共同研究者
1	AMED 医療分野研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム）	普及型・高精細PET/MRI一体型装置の開発	36,040/10,812 (うち外部配分 32,096/9,629)	山谷泰賀 (吉田、錦戸、田島)	清水啓司(浜ホト)、井上登美夫(横浜市大)、羽石秀昭・菅幹生(千葉大)、高橋浩之(東大)、小島隆行・佐野ひろみ(放医研)
2	共同研究 (株式会社アトックス)	頭部専用 PET 装置の実用化に関する研究	26,363/2,636	山谷泰賀、吉田、稲玉、錦戸、田島、Ahmed、Mohammadi、脇坂、小島、岩男、Hossain	藤林康久(放医研)
3	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究(A))	OpenPETによる「その場」がん治療イメージング手法の研究	8,500/2,550 (うち外部配分 2,560/768)	山谷泰賀 (吉田、稲玉、錦戸、田島、Mohammadi、Ahmed、Akram)、岩男、脇坂、新田)	高橋浩之(東大)、羽石秀昭・菅幹生・河合秀幸・川平洋(千葉大)、志田原美保(東北大)、辻厚至・稲庭拓・小島隆行・佐藤真二(放医研)
4	共同研究 (企業名非公表) 分担	サル PET 計測システムに関する研究	1,988/198	山谷泰賀、吉田、田島、脇坂	藤林康久、辻厚至、南本敬史、永津弘太郎、鈴木寿、大矢智幸、深田正美、関千江、脇厚生(放医研)
5	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (若手研究(B))	高感度な脳機能計測を可能とするあご紐付ヘルメットPET装置に関する基礎検討	1,700/510	田島英朗	—
6	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究(C))	有機フォトダイオードを用いた IVR 用リアルタイム線量分布測定システムの開発	1,600/480	錦戸文彦	—
7	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究(C))	コンプトンカメラ型 PET 装置の基礎的検討	1,100/330	吉田英治	—
8	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究(C)) 分担	実測線量データに基づく IVR 被曝管理技術の開発他職種連携治療支援体制の構築	200/60	錦戸文彦	松丸祐司(沖中記念成人病研究所)
9	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究(B)) 分担	固体線量計を用いた頭部 IVR 診断参考レベルの策定と術者水晶体被曝の評価	100/30	錦戸文彦	盛武敬(産業医科大)、千田浩一(東北大)、吉永信治(放医研)、綿貫啓一(埼玉大)、松丸祐司(沖中記念成人病研)、松原俊二(川崎医科大)、岡崎 龍史(産業医科大)

OpenPET

H27 計画	H27 成果
画像誘導放射線治療に最適な形態の OpenPET 実証機を開発し、OpenPET 開発プロジェクトを総括する。	世界初となる開放型 PET「OpenPET」(特許 12 件以上)について、最大 43cm の開放空間幅を有する実サイズ試作機を開発し、重粒子線がん治療における標的内の治療ビーム停止位置の可視化に成功した。

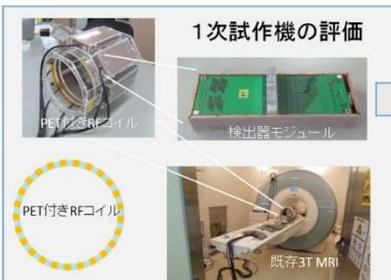
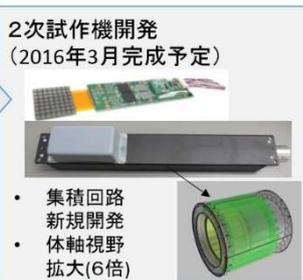
- DOI検出器が可能にした世界初の開放型PETの発明(12件以上の特許取得)
- 今年度は1リング式実証機の開発に成功(昨年度の2リング式に比べ開放空間4倍拡大)
- PETガイド下のがん治療など、PETの可能性を大きく広げる革新的技術

市販PET	OpenPET(今年度成果)
 <p>大型・閉鎖型 形状 小型・開放型</p> <p>固定 可搬性 可搬</p> <p>なし DOI あり</p> <p>4mm以上 解像度 3mm以下</p>	<p>1リング式OpenPET実証機を開発</p>  <p>開放空間43cm幅</p> <p>重粒子線がん治療において、治療ビームのその場可視化のコンセプト実証に成功</p>  <p>現在、RIビーム(^{11}Cや^{15}OなどPET核種を治療ビームとする)技術の研究中</p> <p>今後</p> <ul style="list-style-type: none"> • HIMAC臨床試験 • 外科治療等への応用検討

アドオン PET (PET/MRI)

H27 計画	H27 成果
既設 MRI を頭部用 PET/MRI へアップグレードする PET 付き MRI コイルの実証機開発を完了し、PET 診断の高度化に向けた要素技術及びシステムの研究開発について総括する。	PET 付き MRI コイルの新規アイデア(特許取得済)の実現の鍵となる PET・MRI 間相互影響抑制技術を確立し、実証機において、MRI による PET 影響(空間分解能とエネルギー分解能)を 5%以内に抑えることに成功した。 (AMED 先端計測分析技術・機器開発プログラム)

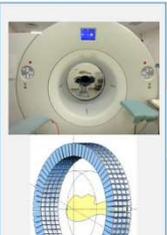
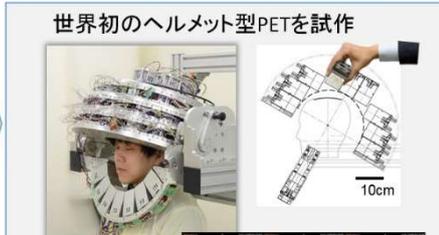
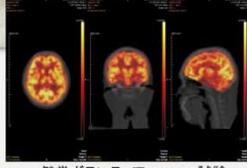
- 期待が高まるPET/MRI同時撮像について、PET付きRFコイルのアイデア(特許取得済)。
- DOI検出器を搭載した試作機の開発に成功。
- 既設の市販MRIに後付けして、頭部用PET/MRIにアップグレードできる。

市販PET/MRI	アドオンPET(今年度成果)
 <p>なし DOI あり</p> <p>PETリング>RFコイル→PETリング=RFコイル</p> <p>一体型 → PET付きRFコイル</p> <p>高価 → 普及タイプ</p>	<p>1次試作機の評価</p>  <p>2次試作機開発(2016年3月完成予定)</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 集積回路新規開発 • 体軸視野拡大(6倍) <p>今後</p> <ul style="list-style-type: none"> • 試作機開発プロジェクト化を模索

ヘルメット型 PET

OpenPET 用検出器システムを応用して、世界初のヘルメット型 PET 装置を開発し、市販装置と比べて 1/5 の検出器数でも約 3 倍の感度を達成し、健常ボランティア撮像試験結果をプレス発表した(株式会社アトックスとの共同研究)。

- DOI検出器が可能にする独自の半球状検出器配置の考案(特許出願済)
- OpenPET用検出器を応用した試作機を開発し、検出器数1/5でも3倍感度を達成
- 高性能・小型の頭部専用装置で認知症早期診断の普及へ

市販PET	ヘルメット型PET(今年度成果)																
	世界初のヘルメット型PETを試作 																
	プレスリリース(2015/11/5) 																
	今後 <ul style="list-style-type: none"> • 製品化支援 (高性能・小型・低価格) • 認知症早期診断の普及へ 																
	健常ボランティアFDG-PET試験 (70MBq, 18分計測) 																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>円筒</th> <th>形状</th> <th>半球</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>なし</td> <td>DOI</td> <td>あり</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>検出器数</td> <td>約1/5</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>検出効率</td> <td>約3倍</td> </tr> <tr> <td>4mm以上</td> <td>解像度</td> <td>3mm以下</td> </tr> </tbody> </table>		円筒	形状	半球	なし	DOI	あり	1	検出器数	約1/5	1	検出効率	約3倍	4mm以上	解像度	3mm以下
円筒	形状	半球															
なし	DOI	あり															
1	検出器数	約1/5															
1	検出効率	約3倍															
4mm以上	解像度	3mm以下															



ニュース

ドイツ連邦共和国アンゲラ・メルケル首相との懇談に出席しました

分子イメージング研究センターの山谷 泰賀 チームリーダーが、2015年3月9日に日本科学未来館で開催された、メルケル首相との懇談会に出席しました。懇談会には、日独協力経験を有し各分野をリードする日本人研究者や、総合科学技術・イノベーション会議の有識者など9名の日本人が招待されました。

ドイツ・イノベーション・アワードゴットフリート・ワグネル賞 2012 最優秀賞を受賞し、ミュンヘン工科大学附属病院核医学部門に研究滞在の経験をもつ山谷チームリーダーは懇談会の様子を次のように語っていました。

「懇談会では、日本人研究者から見たドイツの研究拠点の姿や、日本の研究環境について、自由活発な意見交換が行われました。科学技術イノベーションに対するメルケル首相のリーダーシップと日独研究交流促進への強い期待を感じました。」

放医研としても、ドイツを含む各国と研究交流をより一層進め、革新的な技術を開発し、広く国際社会に貢献していきたいと考えています。



プレスリリース

世界初、ヘルメット型 PET の開発に成功

— 高性能・小型の頭部専用装置で認知症早期診断の普及へ —

平成 27 年 11 月 5 日

国立研究開発法人放射線医学総合研究所(理事長:米倉 義晴)

分子イメージング研究センター先端生体計測研究プログラム

山谷 泰賀チームリーダー

- 独自の半球状検出器配置で検出器数 1/5 でも 3 倍感度を達成
- 微量な認知症の原因タンパク質の画像化による早期診断に期待

国立研究開発法人 放射線医学総合研究所(理事長:米倉義晴、以下、放医研)と、株式会社アトックス(代表取締役社長:矢口敏和)の研究チームは、世界初となるヘルメット型 PET の開発に成功しました。超高齢化社会を目前にした認知症対策として、PET による早期診断等の実現が期待される一方、脳内のごく微量な原因タンパク質を検出する上で、従来の PET 装置の感度や解像度は十分とは言えません。感度を上げるには検出器を測定対象に近づける必要がありますが、従来の検出器はそれにより解像度が劣化してしまいます。そこで近づけても解像度を維持できる独自技術である 3 次元放射線検出器(DOI 検出器)を、頭部に最も近づくよう、世界で初めてヘルメット型(半球状)に配置した頭部専用 PET 装置を開発しました(特開 2015-087260)。従来の円筒型の全身用 PET 装置と比較した場合、近接化により 3 倍以上感度が向上し、微量な脳内タンパク質の画像化も可能になります。検出器数も 1/5 に削減でき、従来技術では相容れることがない高性能化と低価格化を同時に実現できる可能性があります。高性能、小型かつ低価格で導入、設置がしやすいヘルメット型 PET は、認知症早期診断の普及に役立つと期待されます。本成果の詳細は、第 55 回日本核医学会学術総会(東京、11 月 5 日~7 日)で報告されます。



がん診断や分子イメージング研究に大活躍の PET。PET カメラは年々進化していますが、1975 年の誕生以来変わっていないことがひとつあります。それは CT と同じような筒状の形状であること。これは、シンチレータ(放射線感受部)の厚みによって斜め入射の放射線がうまく検出できないという、従来検出器の特性に一因がありました(図 1 (a))。そのため、これまでの PET カメラでは、検出器になるべく垂直に放射線が入射するように、大きな円筒状に検出器を並べていました。しかし、この検出器配置が PET カメラの進化を妨げてきました。

そこで我々は、シンチレータ内の放射線位置を 3 次元的に検出できる depth-of-interaction (DOI) 検出器を世界に先駆けて開発しました。DOI 検出器は、あらゆる方向から入射した放射線も正しく検出できます(図 1 (b))。

DOI 検出器は、PET の世界をどのように変えるのでしょうか？我々が発明した新しい PET カメラを 2 つ紹介しましょう。

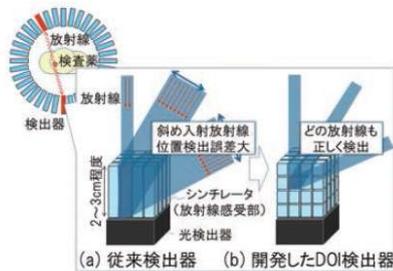
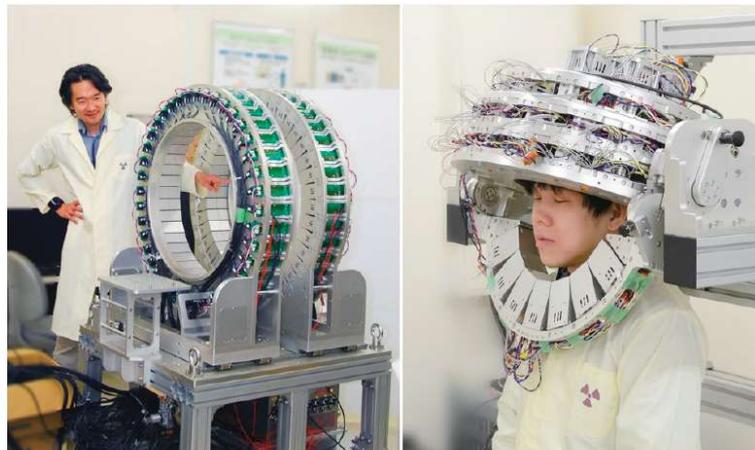


図 1: PET 用放射線検出器の比較

1 つ目は、世界初の開放型 PET カメラ「OpenPET®」です(図 2(a))。検出器リングが 2 つに分かれています、DOI 検出器によって開放空間が画像化できます。これまでの PET はいわば閉鎖型であるため、PET 診断をしながら治療することは誰も考えてこなかったでしょう。OpenPET® の応用例として、粒子線がん治療と組み合わせると、がんの位置を PET で見ながら、かつ、がんの治療ビームがきちんと届いているかもその場で確認できる、未来のがん治療が可能になります。OpenPET® は、2012 年にドイツノベーションアワード最優秀賞を受賞するなど、国内外から高い評価を得ています。

新しい PET カメラの 2 つ目はヘルメット型 PET です。頭部に特化した検出器配置によって、PET カメラのさまざまな問題を一気に解決する世界初のアイデアです。企業と共同で実証機を開発しました(図 2(b))。市販 PET カメラと比べ、わずか 1/5 程度の検出器数でも放射線検出効率は約 3 倍です。放射線検出効率が高いほど、診断精度の向上、検査時間の短縮、被ばく量の低減が可能になります。また、検出器の素材は高価なので、検出器数削減は装置の低価格化にもつながります。超高齢化社会を目前にして、PET による認知症の早期診断が期待されていますが、コンパクトなヘルメット型 PET は、認知症 PET 検査の普及に大きく貢献するでしょう。



(a) OpenPET® 試作機 (b) ヘルメット型 PET 試作機

図 2: 放医研による進化型 PET カメラの開発例

次世代 PET 研究会 2016

平成28年1月15日(金)
13:30-18:00(受付開始13:00)
アキバホール
(富士ソフト アキバプラザ 5階)
参加費無料(事前登録不要)

開会挨拶

米倉義晴 放医研理事長

OpenPET

- ・ 重粒子線治療装置の最前線
- ・ OpenPET実証機の開発

白井敏之 氏(放医研)
吉田英治 氏(放医研)

頭部PET

- ・ 分子イメージングによる精神・神経疾患の診断と創薬への展開
- ・ ヘルメットPET実証機開発
- ・ PET/RFコイル一体型アドオンPET/MRIの実証機開発

須原哲也 氏(放医研)
田島英朗 氏(放医研)
錦戸文彦 氏(放医研)

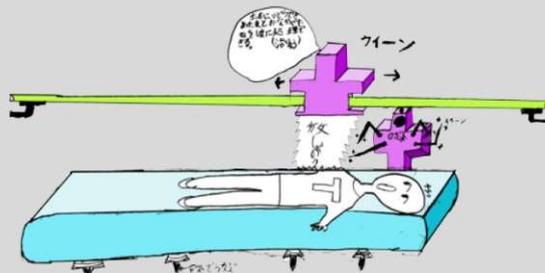
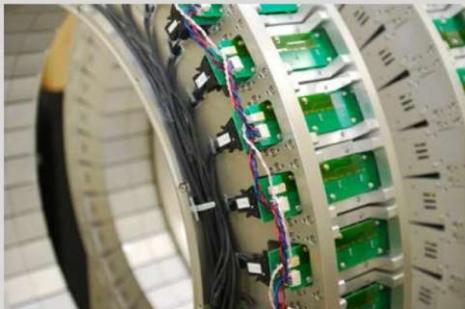
パネルディスカッション: PET機器開発研究のこれから

- ・ Radiofrequency field penetrability studies of an electrically floating PET insert for simultaneous PET/MR
- ・ 農学分野におけるPET技術のスタンス
- ・ 経済産業省における医療機器産業政策について
- ・ 産官学連携によるPET装置の開発

Craig Levin 氏(Stanford大)
藤巻 秀 氏(原子力機構)
土屋博史 氏(経産省)
北村圭司 氏(島津製作所)

閉会挨拶

明石真言 放医研理事



「未来のPET」山谷泰礼(美浜打瀬小学校4年生)作



http://www.nirs.go.jp/information/event/2016/01_15.shtml
主催 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター (問合せ: jpet@nirs.go.jp)



1. 次世代 PET への期待

(2) 次世代 PET への期待：医療の現場から

畑澤順¹⁾、下瀬川恵久²⁾、巽光明³⁾、加藤弘樹¹⁾、渡部直史¹⁾

¹⁾ 大阪大学大学院医学系研究科核医学講座、²⁾ 医薬分子イメージング学寄附講座

³⁾ 大阪大学医学部附属病院放射線部

1. はじめに

PET は 1960 年代に一对の検出器として開発され、呼吸生理学を創始する礎となった。以後、臓器毎の核医学断層撮像法として中枢神経疾患、循環器疾患、精神疾患の病態解明と診療に寄与し、PET-CT による全身撮像が可能になって、悪性腫瘍の診療になくてはならない手法となった。認知症、炎症疾患、動脈硬化、糖尿病などへの応用も目前である。次世代 PET の開発には技術的進歩だけではなく、医学・医療の方向性やニーズを反映させる必要がある。

2. 臨床からのニーズ：高感度化、普及型装置、ビッグデータ化

悪性腫瘍の診断には微小がんの検出のために分解能重視の PET 開発が必要であった。一方、認知症のアミロイドイメージングでは脳組織に広汎に生じる微少なアミロイドの沈着を検出する必要があり、分解能よりは感度重視の装置が必要である。高感度装置には撮像時間の短縮、放射性トレーサ投与量の減少が期待できる。悪性腫瘍の 5 年生存率が向上し、治癒に至った症例では再発評価のために繰り返し PET 検査を受けることになる。放射線被曝による二次発がんを抑制するために、検査に伴う被曝線量を低減させなければならない。

FDG-PET 検査は得られる生体情報量が極めて大きいので、初診時検査として優れている。胸部単純写真のように容易に行うことができれば、その恩恵は極めて大きい。現在国内 400 医療機関に設置されているが、普及型 PET-CT 装置（低価格、低維持費、高耐久性）の開発により SPECT 並の普及（国内 1300 病院）が期待される。

各医療機関で得られた FDG PET-CT 検査はデータベース化されていない。同様の所見の症例がその後どのように治療され、予後がどうであったかを蓄積し、臨床に役立てることができる。このようなビッグデータの構築には、装置間の校正法の開発、標準化、守秘性の確保を要する。

3. PET Imaging Biomarker

PET は、再生医療・分子標的治療薬・創薬候補化合物の評価の際に Imaging Biomarker として用いられている。大阪大学では筋芽細胞から心筋細胞シ

ートを作成し、心不全の治療に応用して成果をあげている。開発に際して、動物実験モデル心筋による前臨床試験に PET が用いられた。分子標的抗がん剤の開発に PET が用いられている（医師主導臨床試験・治験）。北米放射線学会を中心に Quantitative Imaging Biomarker Alliance (QIBA) が組織され、FDG PET-CT やアミロイド PET が imaging biomarker として候補に挙がっている。開発研究者、医師、企業、規制当局 (FDA) など産学官一体となって、PET 技術の標準化、最適化、普及について活動している。ここでは撮像結果の再現性が重視される。画像再構成法、関心領域の設定法、ノイズ除去法の最適化が必要である。また、投与量や被験者の体格など、異なる条件下（放射能濃度）でのデータ採取が予想され、広い範囲での計数率-放射能濃度の直線性が要求される。PET 単体として利用されるよりは他の画像データを参照にして用いられるので、院内の PACS に DICOM データとして保存される。ハンドリングを容易にするためには画像データの標準化が必要となる。

4. フリーラディカルの画像化

原子核からの放射されるエネルギーを利用して、進行がんの治療を行う核医学内用療法が注目されている。 β 線や α 線の細胞殺傷効果は生体内で生成されるフリーラディカルに由来する。生体内フリーラディカルを画像化する試みが放医研 (MR 造影剤の利用)、大阪大学 (オーバーハウザー MR を利用) で行われている。FDG PET で腫瘍の範囲、代謝活性を検出する。MR で内用療法によるフリーラディカルの生成を評価する。この分野に最適化された PET-MR の開発が続いている。

5. 結論

臨床現場からみた次世代 PET システム開発のキーワードは、定量性、高分解能、高感度、再現性、標準化、経済性、ビッグデータ化である。次世代 PET は画像診断システムの一部として利便性を増しながら成熟する必要がある。一方では、Molecular Biology (生命現象・疾患を分子レベルで理解する) を基にした Imaging System Biology (システムとして理解する) を可能にする生体計測法として、さらなる技術的進歩が望まれる。

(3) Radiofrequency field penetrability studies of an electrically floating PET insert for simultaneous PET/MR

Craig S. Levin, Brian J. Lee, Alexander M. Grant, and Chen-Ming Chang

Abstract—Combined positron emission tomography (PET) and magnetic resonance imaging (MRI) has shown potential to provide a powerful tool for disease characterization as it enables the simultaneous measurement of molecular, functional and anatomical information of the body. However, the availability of whole-body simultaneous PET/MRI has been limited by its high cost. To address this issue, we have developed an RF-penetrable PET technology that can be inserted into an MRI system without requiring modifications to the MR hardware.

The prototype PET insert consists of 16 PET detector modules in a 32 cm ring pattern with 1 mm inter-modular gaps. By using electro-optical coupling technology, and batteries for power, the PET insert is electrically floating relative to the MRI RF ground which allows the RF field transmitted from the built-in body coil to penetrate through the PET ring.

We performed experiments with various configurations to study the RF-penetrability of the PET insert in the MR system: No PET insert, with PET insert (powered with batteries), with PET ring gaps blocked with copper conductor but ends open, and with PET inserted, ends blocked with copper conductor but gaps open. With these configurations, we acquired B_1 maps and performed electromagnetic simulations. We then compared the magnitude and homogeneity of the acquired B_1 maps and simulation results.

We have found that negligible amount of RF field enters through the gaps with the ends blocked, but this contributes to increasing the uniformity by $\sim 400\%$ when ends and gaps are both open. Then, the electromagnetic simulations show that by either decreasing the detector height and/or widening the inter-module gaps improve the RF-penetrability by nearly 300%.

1. INTRODUCTION

Combining magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography (PET) shows promise to be a powerful tool as it provides complementary anatomical and molecular information about diseases (1, 2). However, the availability of integrated PET/MRI (with PET and MRI “locked” together) has been limited due to its high cost. A few research groups have developed PET inserts for simultaneous PET/MRI operation with the insert sharing the same electrical ground as the MRI RF coil; in this case the RF field cannot penetrate the grounded insert, requiring the RF transmitter to be moved inside the PET ring (3-5). Instead, we have developed a PET insert that is electrically floating with respect to the MR system, enabling an external RF field from the MR body coil to penetrate inside.

In our previous work, we have shown that the RF transmit field penetrates through the gaps between detectors as well as the ends PET insert with no significant mutual interference (6-8).

In this work, we analyzed the B_1 maps and performed EM simulations with various PET configurations to better understand how the RF field enters the PET insert.

2. MATERIALS AND METHODS

To investigate the RF penetrability in various configurations we have performed MR experiments using 3-Tesla MRI (GE Healthcare) and simulation studies using XFDTD (Remcom) for 3D analyses and Maxwell (ANSYS) for 2D studies.

2.1 MR experiments and Electromagnetic simulations

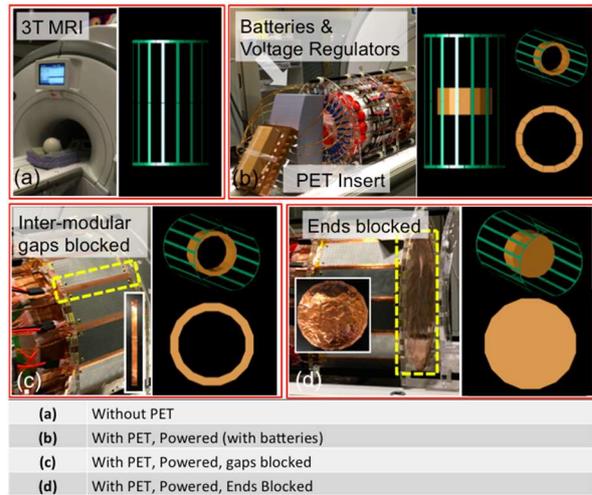


Fig. 1. PET insert configurations to test RF-penetrability

We experimentally and numerically examined the effect of powering the PET detector modules and the importance of inter-modular gaps and end openings of the PET insert to achieve the goal of RF-penetrability. The PET system comprises a ring of 16 copper-shielded PET detector modules with 1 mm inter-module gaps. Electrical isolation was achieved via analog optical links and floating battery power. The gaps or ends of the PET insert were alternately blocked using the copper shielding tape (Figure 1). For the MR experiment, B_1 field maps were acquired using the MRI body coil as both transmitter and receiver (requiring the RF field to penetrate into and out of the PET insert). The B_1 field maps were acquired using the double angle method. Configuration (a,b,c) in Figure 1 were auto-prescanned and (c, d) were manual-prescanned to the TG of (b).

2.2 Methods to improve RF-penetrability: 2D electromagnetic simulations

EM simulation studies with various module shielding dimensions and inter-module gap size were performed to improve the RF-penetrability. For Maxwell 2D simulations, AC conduction solver was used to numerically solve the simulation problems. The transmit RF field was generated by applying voltages with azimuthal phase difference. To study the dimensional effects of the PET insert on the RF-penetrability, the inter-module gap was increased from 1 to 21 mm with increments of 5 mm and the detector height was shortened from 40 to 20 mm with decrements of 5 mm (Figure 2). The magnitudes and uniformities of the electric field inside the PET field-of-view (FOV) were compared between various configurations.

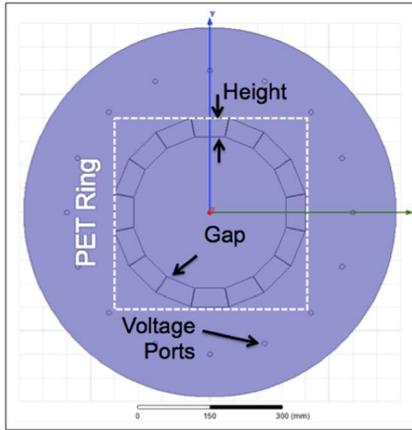


Fig. 2. 2D electromagnetic simulation schematic of detector module height and inter-module gaps

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Results of MR experiments and electromagnetic simulations

The results from MR experiments and electromagnetic simulations are shown in Figure 3.

From the B_1 map analysis, surprisingly, higher B_1 uniformity was acquired with the PET detector present (auto-pre-scanned) (b) compared to the no-PET case (a).

When either gaps (c) or ends (d) are blocked, poor B_1 maps are acquired due to extremely low receive sensitivity. RF field entering through the ends contributes to the B_1 field magnitude, but poor uniformity (Figure 3 (c)). On the other hand, RF field entering through the gaps is negligible when the ends are closed; however, contribute extremely to the uniformity as long as the ends are open (Figure 3 (b), (c)) by increasing the uniformity from 17.28% (c) to 95.83% (b).

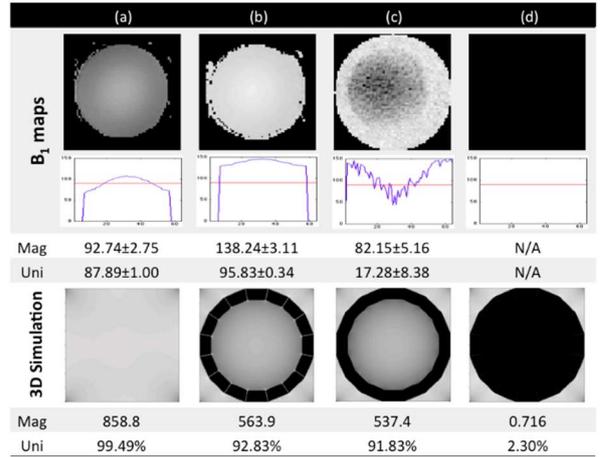


Fig. 3. Results of MR experiments (B_1 maps) and 3D simulations with various configurations

Similar trends were observed in the simulation results as well. Negligible RF field was measured when the ends were blocked and the RF field entering through the ends (c) were contributing to the majority of the RF fields through the ends and gaps (b).

3.2 Results of MR experiments and electromagnetic simulations

For improving the RF-penetrability, shortening the length, height of the PET detector module shielding and/or widening the inter-module gaps can improve the RF-penetrability of the PET insert (Figure 4).

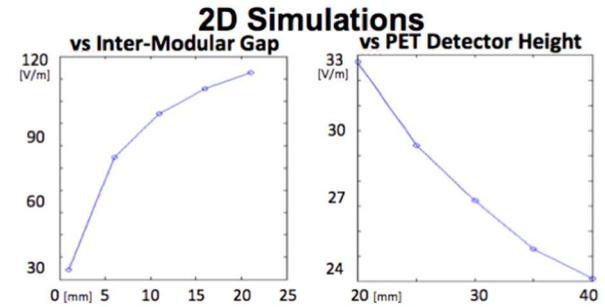


Fig. 4. Results of 2D electromagnetic simulations to improve the RF-penetrability versus (LEFT) the inter-module gap and (RIGHT) PET detector module height

By increasing the inter-module gap from 1 mm to 21 mm, the RF penetrability was increased significantly by ~300%. By decreasing the height from 40 mm to 20 mm, the RF penetrability was increased by 37.5%.

4. CONCLUSION

We have shown that the RF field from the MR body coil penetrates through the inter-module gaps and the ends of an electrically floating PET insert. The RF field transmitted through the ends mostly contributes to the field magnitude while the field entering through the gaps improves the uniformity when the ends are also opened. The electromagnetic simulations show that decreasing the detector height and/or widening the inter-module gaps enhance the RF-penetrability by ~300%.

ACKNOWLEDGMENT

We thank Dr. Gary Glover and Ronald Watkins for useful discussions and assists on MRI acquisitions.

REFERENCES

- [1] Judenhofer MS, Wehrl HF, Newport DF, et al. Simultaneous PET-MRI: a new approach for functional and morphological imaging. *Nat Med.* 2008;14:459-465.
- [2] Zaidi H, Del Guerra A. An outlook on future design of hybrid PET/MRI systems. *Med Phys.* 2011;38:5667-5689.
- [3] Jung JH, Choi Y, Hong KJ, et al. Development of brain PET using GAPD arrays. *Medical Physics.* 2012;39:1227-1233.
- [4] Wu YB, Catana C, Farrell R, et al. PET Performance Evaluation of an MR-Compatible PET Insert. *IEEE transactions on nuclear science.* 2009;56:574-580.
- [5] Bjoern W, Pierre G, Christoph WL, et al. MR compatibility aspects of a silicon photomultiplier-based PET/RF insert with integrated digitisation. *Physics in Medicine and Biology.* 2014;59:5119.
- [6] Lee BJ, Olcott PD, Key Jo H, Grant AM, Chen-Ming C, Levin CS. Studies of electromagnetic interference of PET detector insert for simultaneous PET/MRI. 2013 *IEEE NSS/MIC*; Nov. 2013.
- [7] Chang C-M, Grant A, Lee B, Levin C. Preliminary PET performance evaluation of an RF field-penetrable brain-sized PET insert for simultaneous PET/MR imaging. *Journal of Nuclear Medicine.* 2015;56:99-99.
- [8] Peter O, Ealgoo K, Keyjo H, et al. Prototype positron emission tomography insert with electro-optical signal transmission for simultaneous operation with MRI. *Physics in Medicine and Biology.* 2015;60:3459.

(4) 農学分野における PET 技術のスタンス

藤巻 秀

日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究センター

1. はじめに

農学・植物科学の分野で、本格的に PET 技術が応用されるようになったのは、日本原子力研究所が浜松ホトニクスと共同で"positron-emitting tracer imaging system (PETIS)"を開発した 1990 年代以降のことである。ここでは、現在我々が目指している研究の方向性を、技術論の観点から紹介する。

2. 「核農学」の確立へ

植物が土・水・空気に含まれる元素を集め、収穫部位に蓄積する機能は、食料、衣料、紙・木材、肥料、飼料などの形となって、人間の生存を支えている。世界中で発生している土壌中の栄養元素の不足や、有害元素による環境汚染などの状況下でも、この植物機能が人間にとって最適に働くよう工夫することが、農学の使命の一つである。

実際の農業現場で、この植物機能に人間が干渉する術は、光・温度・施肥の管理、栽培品種の選択など、多岐にわたる。こうした条件を評価するため、従来は土壌や作物のサンプリングと化学分析などが主に行われてきた。これに対して我々は、「土・水・空気から収穫部位に至る元素の動きそのものを、イメージングにより解析する」という、直接的な評価方法を提案している。作物栽培の改善に必要な情報を得ようとするこの理念を、人間の診断と治療に必要な情報を得る「核医学」のアナロジーとして、我々は「核農学」と呼んでいる。

これまで我々は、PETIS を利用することにより、作物の中での栄養元素や有害元素の動きが、どのような条件下でどのように変化するかという問いに答える定量的解析の手法を開発してきた。今後はこれを、いわば「診断メニュー」として拡充することで、核農学の確立を目指していく。

3. 核農学が RI イメージング技術に求めるもの

(1) コンパクトな検出器

植物は、様々な波長の光、温度、湿度などに鋭敏に反応する。また、観察期間は長い場合で一週間に及ぶ。そのため、光と空調を完全に制御できる植物栽培庫の内部に検出器一式を収納することが求められる。むろん、検出器が植物に「日陰」を作ることなども避けなければならない。

(2) 重要元素を網羅する RI の製造法

研究用の RI は、関心対象の元素の同位体の中から、半減期、放射線の種類とエネルギー、加速器に

よる製造のしやすさ等を基準にして選ぶ。農地汚染が世界的問題となっているヒ素をイメージングするための RI の開発などが、今後の課題である。

(3) 多様なモダリティ

定量性などの性能や過去の実績から見て、PETIS を含む PET 応用技術が、今後もこの分野の主力であり続けることには疑いが無い。しかし、リンやイオウなどの重要元素に適切なポジトロン放出核種が存在しないことから、原理的に PET 技術単独では核農学を支えられないことも事実である。また、シャーレの中のシロイヌナズナから樹木に至るまで、幅広いサイズと形状の植物に一種類の装置で対応するには限界がある。そこで、我々や他の研究グループでは、ベータ線やガンマ線（ガンマカメラ、コンプトンカメラ）、さらにはチェレンコフ光を対象とした様々なタイプのイメージング技術を近年開発しており、将来的にはこれらの長所・短所を踏まえて相補的・複合的に利用するスタイルになっていくと考えている。

4. 医学用イメージング技術開発への貢献

植物は育てやすく、切り取って分析するのも、アイロンを掛けてオートラジオグラフィを行うのも、倫理上は全く自由である。手軽さの一方、体内の物質動態が外部環境に敏感であり、解析しがいのある対象でもある。したがって、もしイメージング技術の萌芽的アイデアを試したいなら、最初に植物を相手にすることをお勧めしたい。そこで社会からの反響の大きな農学的成果(図1:最近の例[2])も得られれば、言うことなしである。

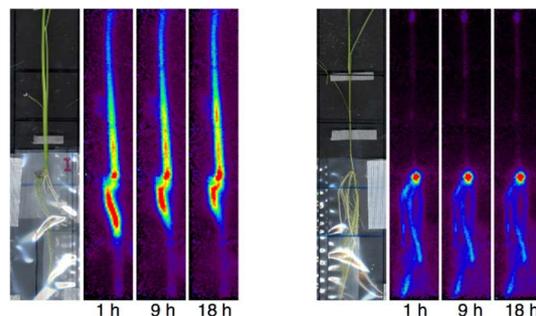


図1 同じイネ科でありながら耐塩性が低いイネ(左)と高いヨシ(右)における Na 移行の違い。

参考文献

- [1] 藤巻 秀、化学と生物 **52**: 582-587, 2014
 [2] <http://www.jaea.go.jp/02/press2015/p15042301/>

(5) 経済産業省における医療機器産業政策について

土屋博史

経済産業省 商務情報政策局 医療福祉機器産業室長

高齢化の進展と新興国における医療需要の拡大に伴い、世界の医療機器市場は約8%の高い成長率を維持しています。その中で、日本の医療機器の輸出額は増加傾向にあるものの、世界市場での上位企業は欧米メーカーが多くを占めています。経済産業省としても、日本の医療機器産業の活性化を加速するべく、関係省庁や企業・大学・医療関係機関等との連携を通じ、医療ニーズを踏まえた医療の質と効率性の向上、健康寿命の延伸に貢献する機器の開発・事業化を戦略的に進めています(図1)。

医療機器産業政策の柱となるのが、医工連携を推進する「医療機器開発支援ネットワーク」です。このネットワークでは、医療機器の開発や事業化において、各地域における医工連携の取り組みを支援しています。開発初期段階から事業化に至るまで、専門スタッフによる「伴走コンサル」によって、切れ目のないワンストップの支援を行います。具体的には、全国63カ所の地域支援機関や、PMDA(医薬品医療機器総合機構)等の専門支援機関と連携しながら、医療機器開発の市場探索・コンセプト設計を中心とした、医療現場のニーズ発掘や事業化(薬事、知財、販路開拓、ファイナンス)への支援に取り組んでいます。昨年10月の立ち上げ以降、同ネットワークへの相談はこれまで850件を超え、うち伴走コンサル件数は(予定も含めて)約240件にのぼります。最近、特に増えているのが海外の販路開拓に関する個別・具体的な相談です。現

在、こうした専門的な相談にも対応できるよう、伴走コンサルの底上げ等を通じて、支援内容の充実を図っています。27年度は「医工連携事業化推進事業(31.9億円)」により、ネットワークの取組等を推進しています(図2)。

もうひとつの柱が世界最先端の医療機器開発です。これは、拡大が見込まれる医療機器の世界市場を見据えて、日本が強みを持つ診断技術やロボット技術等を活用し、重点分野に基づく日本発の革新的医療機器の開発を、産学官連携により強化するものです。27年度は「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業(41.5億円)」により実施しています(図3)。

医療機器・サービスの国際展開では、事業展開手法の有効性など採択基準を明確化し、戦略的かつ重点的な支援を行っています。27年度は「医療技術・サービス拠点化促進事業(7.4億円)」により、実証調査事業(公募補助事業・本年度公募は終了)をはじめ、日本式医療の国際展開を推進するMEJ(メディカルエクセレンスジャパン)を通じたミッションの派遣や海外セミナーの開催、インバウンド環境の整備を推進しています。また、これらの事業は、JICA(ODA事業・民間連携事業など)、HIDA(人材育成事業)、JETROとの効果的な連携を図ることで、官民が一体となった医療の国際展開を目指しています(図4)。

世界の医療機器市場の動向

- 高齢化の進展と新興国における医療需要拡大を受け、世界市場は約8%の成長率を維持。
- 日本の医療機器の輸出は拡大傾向。日本企業の規模は、外資系企業と比べ相対的に小さい。

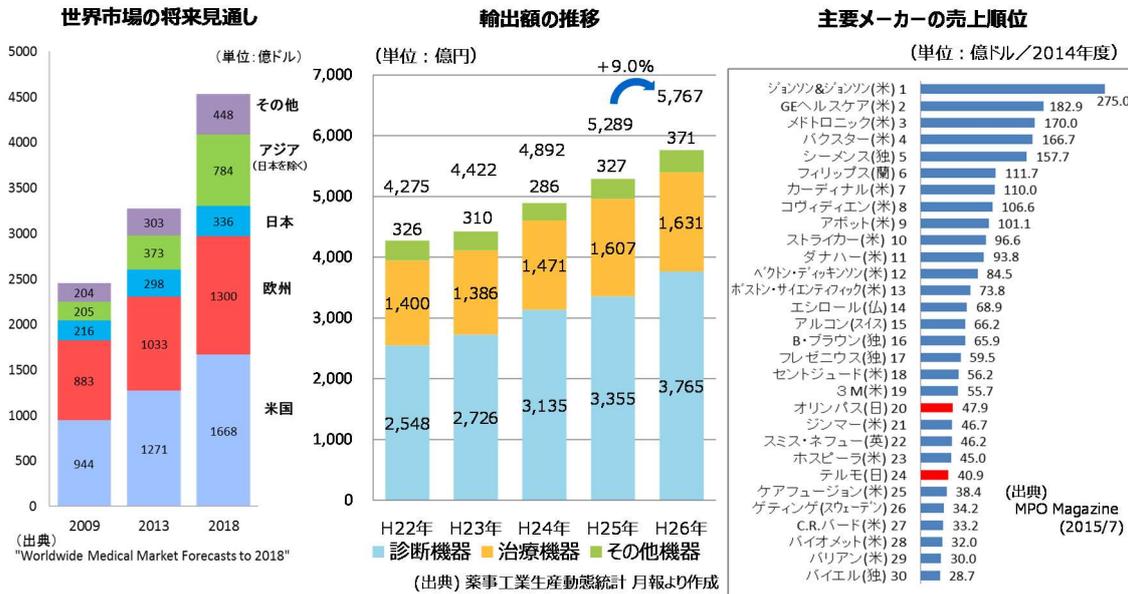


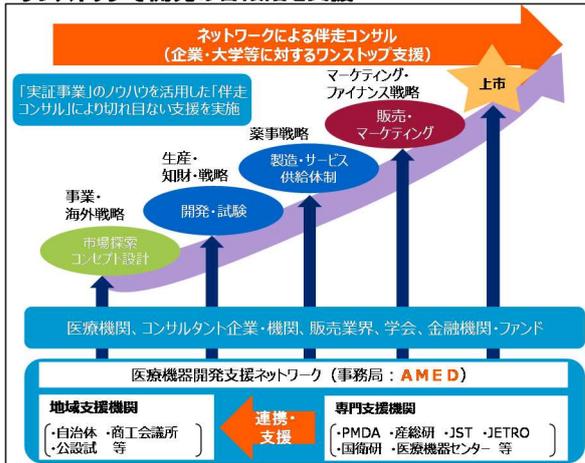
図1 世界の医療機器市場の動向

医工連携事業化推進事業

(平成28年度概算要求額: 35.0億円 (31.9億円))

- ▶ 我が国のものづくり技術を、医療機器に積極的に応用（新規参入や異分野展開の支援）。
- ▶ **関係省（厚労省、文科省）及び関係機関（PMDA、産総研、JST、JETRO等）が連携し**、開発段階から事業化に至るまで、切れ目ないワンストップ支援を提供。加えて、**地方自治体や公設試等と連携し**、地域レベルでの支援体制を強化することで、我が国の医療機器産業の裾野の拡大を図る。

ワンストップで開発の各段階を支援



ものづくり技術の活用

高度なものづくり技術を有する中小企業と医療機関等との連携（医工連携）により、**医療現場のニーズに応える医療機器の開発・実用化を推進。**

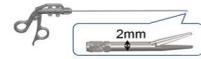
《医療機器の開発例》



デンタバックココロ

(社) 日本歯科商工協会 (東京都)

日本歯科医学会と日本歯科医師会、日本歯科商工協会とが**開発初期から連携し**、在宅訪問歯科診療の専用器材パッケージを開発。



内視鏡下手術用の微細鉗子

(株) スズキプレシオン (栃木県)

自動車などの**超微細・精密部品の製造技術**（切削加工技術）を活かし、低侵襲な単孔式内視鏡下手術に用いる微細鉗子（かんし）を開発。

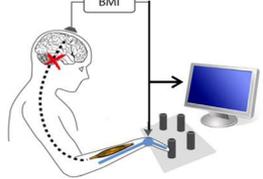
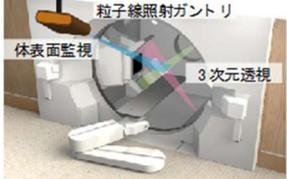
➡ KPI: 2020年頃までに、国内における医療機器市場規模の拡大を目指す。

図2 医工連携事業化推進事業

未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業 (平成28年度概算要求額：51.1億円(41.5億円))

- ▶ 日本が強みを持つロボット技術や診断技術等をフルに活用し、**重点分野(手術支援ロボ、人工組織・臓器、低侵襲治療、画像診断、在宅医療)**を中心に、手術支援技術、早期に疾患を発見する診断装置や低侵襲の治療装置等、**世界最先端の医療機器・システム**を、各省連携で開発・実用化。
- ▶ 具体的には、先端技術を有する企業・大学等がコンソーシアムを形成し、開発に比較的長期間を要し、開発費用や開発リスクが高い医療機器の開発を進める。

《技術開発の事例》

ロボット・ICT技術を活用	身体組織・機能の回復技術	低侵襲・高精度な治療技術
 <p>スマート治療室</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 手術室内の各医療機器を接続し、患者・医療機器の情報を一元管理して手術スタッフで共有、手術中の診断・治療を支援。 ✓ 当該情報を、術後のフォローや医師の訓練等に活用。 	 <p>運動機能の回復支援システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 検出した脳波の状態に応じて手足を動かすことで、重度の麻痺からの回復を支援。 ✓ 回復の程度に応じて、リハビリ内容を自動的に設定。 	 <p>高精度な放射線治療装置</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 呼吸等で常に動く臓器(肺等)に対して、がん部位を高精度に特定することにより、がん細胞へ放射線を集中的に照射。

➡ **KPI：2020年頃までに、5種類以上の革新的医療機器の実用化を目指す。**

図3 未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業

経済産業省が実施している医療国際展開支援事業(概要)

- **医療機器・サービスの国際展開(アウトバウンド)**については、平成23年度より、有望なプロジェクトを公募により採択し、F S調査・実証を支援。平成26年度まで、**19カ国で約60件のF S調査・実証事業を実施**。平成27年度からは、**事業展開手法の有効性など採択基準を明確化**し、戦略的・重点的な支援を行う。
- また、**外国人患者の受入促進(インバウンド)**についても、**取組を拡充**。

平成23～26年度 医療機器・サービス国際化推進事業(10億円)	平成27年度 医療技術・サービス拠点化促進事業(7.4億円)
<p>①海外展開実証・事業性調査事業</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 公募委託事業 ▶ 様々な分野のプロジェクトを幅広く採択 【採択件数】平成23年度：8件 平成24年度：22件 平成25年度：29件(※) 平成26年度：21件 <p>②MEJミッション派遣・海外セミナー開催</p> <p>③インバウンド環境整備事業 (インバウンド実態調査事業、国内セミナー)</p>	<p>①医療拠点化促進実証調査事業</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 公募補助事業(中小企業は2/3補助、大企業は1/2補助) ▶ 医療機器の競争力、事業展開手法の有効性等を踏まえ、重点的に支援。 ▶ 公募時期：平成27年5月19日～6月9日 ▶ 採択件数：12件 <p>②MEJミッション派遣・海外セミナー開催</p> <p>③インバウンド環境整備事業 (インバウンド実証調査事業、国内セミナー)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>JICA(ODA事業・民間連携事業など)、HIDA(人材育成事業)、JETROとも一層連携</p> </div>

※平成25年度は、補正予算(医療国際展開加速化促進事業：20億円)を活用し、当初予算採択案件のうち有望な案件を追加的に支援。

図4 経済産業省が実施している医療国際展開支援事業(概要)

(6) 産官学連携による PET 装置の開発

北村圭司

株式会社島津製作所・基盤技術研究所

1. はじめに

島津製作所では PET の黎明期から産官学連携による装置開発を行ってきた。秋田県立脳血管研究センターとの共同研究による頭部用および全身用 PET 装置（製品名 Headtome シリーズ）の開発、先端医療センターとの共同研究による全身用 PET 装置（製品名 Eminence）の開発、さらに最近では、放射線医学総合研究所（放医研）等との共同研究による乳房専用 PET 装置（製品名 Elmammo）、マルチモダリティ対応フレキシブル PET 装置の開発を行った。本稿では最近の産官学の連携による PET 装置開発について紹介する。

2. 乳房専用 PET 装置

PET 装置の空間分解能の向上のためには検出器のシンチレータサイズを小さくし、高感度のためには検出器径を小さくし被検体の近くで撮像を行う必要があるが、視野周辺での分解能が劣化する。この課題を解決するために放医研を中心とした次世代 PET 装置開発プロジェクト（2001 年～2005 年）が実施され、光分配方式の 4 層 DOI 検出器が開発された[1]。この優れた検出器の技術を応用して、2006 年度からは新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器の開発」において高分解能と高感度を両立する乳房専用 PET 装置の開発を進め、2009 年に試作機を完成させた。その後、京都大学医学部附属病院で物理性能評価[2]と臨床研究[3]を行い、薬事承認を得て 2014 年 9 月に製品として発売した。

本装置の外観写真を図 1 に示す。寝台部には円形の穴が開いており、被検者がうつ伏せの体位で乳房を片方ずつ挿入して PET 撮像を行う。従来の検査装置と異なり乳房を圧迫しないため被検者に苦痛がなく、体位のセッティングも容易である。



図 1 乳房専用装置 Elmammo の外観

検出器は寝台部の円形の穴を囲う様に円周状に配置され、検査対象である乳房に対して高い感度

での PET 撮像が可能になっている。また、4 層 DOI 検出器によって視野内で均一な 1.5 mm の空間分解能をもつ三次元断層画像を得ることができる。さらにガンマ線の減弱・散乱補正も行っていることから、定量性に優れた PET 画像を提供できる。本装置での PET 検査は全身用 PET 検査の前後に行なうため放射性薬剤による追加被曝は発生しない。片側の乳房につき 5 分程度、両方で 10 分程度の撮像である。

図 2 に本装置で得られた臨床画像例を示す。全身用 PET/CT 装置では 1 つの塊に見える乳がんが、乳房専用 PET 装置の高精細画像によって、複数の病変の集まりであることがよくわかる。このように、微小病変の検出や広がり診断、さらには術前薬物療法の早期効果判定などに応用されることが期待されている。

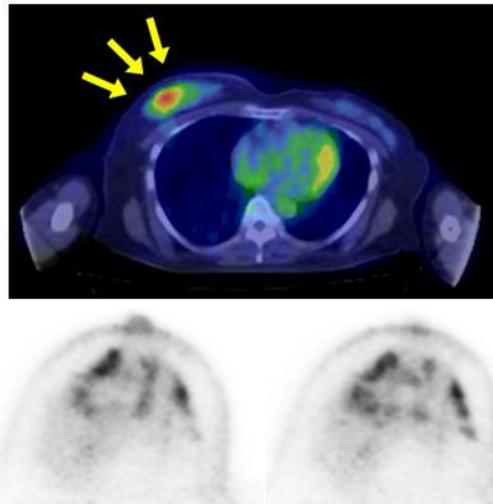


図 2 乳房専用 PET 装置 Elmammo の臨床画像例
(上は通常の全身 PET/CT 画像)

データ提供：木沢記念病院 西堀弘記先生

3. マルチモダリティ対応フレキシブル PET

放射線被曝が少なく組織コントラストの高い融合画像が得られる PET/MRI は世界中で研究が行われ臨床的な有用性も示されつつあるが[4]、市販されている一体型 PET/MRI 装置は非常に高額で導入があまり進んでいない。そこで NEDO「がん超早期診断・治療機器の総合研究開発」プロジェクト（2010～2014 年度）において、MRI や CT などの既存装置と組み合わせが可能な着脱・可搬型のマルチモダリティ対応フレキシブル PET を開発した[5]。図 3 に装置のコンセプト図を示す。円弧形状

の二つの検出器ヘッドは個別の C アームに搭載され、撮像目的に合わせて上下、左右配置等の撮像形態をとることが可能である。そのため、既存装置の寝台にも容易にセッティングできる。

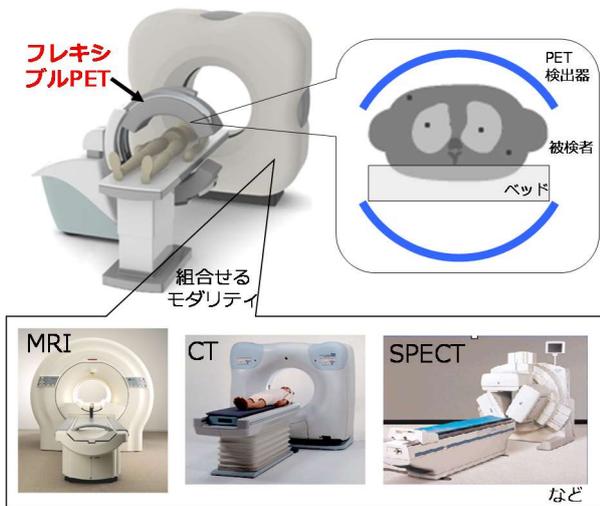


図3 フレキシブル PET の概念図

検出器は乳房専用 PET 装置 Elmammo と同様の光分配方式の 4 層 DOI 構造を採用した。受光素子には MRI の高磁場中でも動作可能な SiPM (Silicon Photomultiplier) を使い、新たに開発した信号処理回路によって TOF (Time Of Flight) の性能として約 500ps の時間分解能を達成した。従来型検出器と比較すると、DOI-TOF 検出器は対消滅ガンマ線の発生位置を推定する範囲が DOI により狭く、TOF により短くなる (図 4)。フレキシブル PET では検出器ヘッドを固定して撮像することを想定しており、得られる収集データは不完全な投影データとなるが、ガンマ線発生位置の推定精度を上げることで、データ欠損に由来するアーチファクトとノイズを抑制することができる。

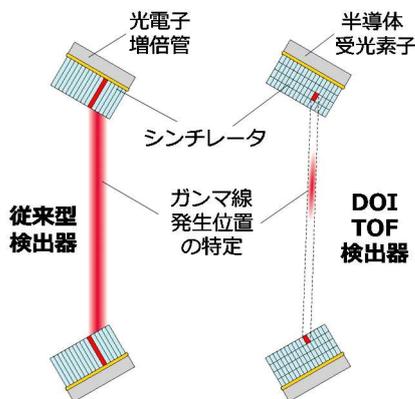


図4 従来型検出器と DOI-TOF 検出器との違い

また、不完全投影データの画質を改善する画像再構成アルゴリズムを筑波大学と開発し、MR 画像を利用した減弱補正法を放医研で開発した。さらに、本装置と MRI 装置との相対位置を計測するシステムを開発し、高精度な画像位置合わせが可能になることを確認した。

2015 年から京都大学医学部附属病院にてプロトタイプ機と MRI 装置と組み合わせた臨床研究を開始した。図 5 に臨床撮像時の装置のセットアップ、図 6 に PET と MRI の融合画像例を示す。今後さらに改良を進めると共に、日本医療研究開発機構 (AMED) 「革新的がん医療実用化研究事業」において京都大学薬学部が開発したがんの特性識別型分子プローブを用いた臨床研究も予定している。



図5 フレキシブル PET と MRI の組み合わせ

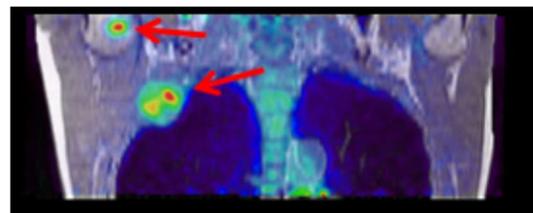


図6 フレキシブル PET と MRI の融合画像例 (冠状断面、カラー：PET 画像、白黒：MR 画像) データ提供：京都大学医学研究科 中本裕士先生

4. 結論

これまで数多くの関係機関のご協力を得て、最先端の PET 装置開発を行うことができた。ここに関係各位に深く感謝すると共に、今後も産官学の連携によって臨床的に有用な PET 装置の実用化を目指していきたい。

参考文献

- [1] Tsuda T et al.: *IEEE Trans Nucl Sci* **51**: 2537-42, 2004
- [2] Miyake KK et al.: *J Nuc Med* **55**: 1198-203, 2014
- [3] Iima M et al.: *J Nuc Med* **53**: 1534-1542, 2012
- [4] Jadvar H et al.: *Eur J Radiol* **83**: 84-94, 2014
- [5] Yamakawa Y et al.: *IEEE NSS&MIC Conf Rec*, M11-69, 2014

2. OpenPET

(7) 重粒子線治療装置の最前線

白井 敏之

放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター

1. はじめに

重粒子線がん治療は、重粒子線がもつ生物学的効果の高さにより、骨軟部腫瘍など放射線抵抗性のがんに有効であることに加え、線量集中性が良いことから、他の放射線治療に比べ治療期間が短く副作用の小さい治療法です。最近では、神奈川県立がんセンターで治療が開始され、大阪府立病院機構、山形大学でも導入が決定されるなど、国内外で注目を集めています。

重粒子医科学センター物理部門は、HIMAC の医療用重粒子線加速器とワブラー照射装置を用いた治療システムを建設した後、重粒子線治療の適用の拡大と精度の向上を目指して、様々な高度化研究を実施してきました。これらの研究成果は、HIMAC において臨床応用されるとともに、装置小型化技術と合わせて、重粒子線治療機器メーカーに技術移転され、群馬大学などの重粒子線治療施設で使用されています。

こうした HIMAC での臨床運用の経験および研究開発の成果をさらに発展させるため、より患者への負担が小さい治療を実現する重粒子線治療装置開発を 2006 年度から開始しました。これは患者に対し 360 度最適な方向から、腫瘍の日々のサイズ・形状変化に合わせて、高精度かつ短時間で重粒子線照射を行う次世代の装置です。この開発プログラムの中では、超伝導電磁石を使用して装置の大幅な小型化を実現した回転ガントリー装置、体幹部への呼吸同期照射が可能な高速 3 次元スキャンニング照射装置、微視的領域 ($\sim \mu\text{m}$) における線量計算モデル(MKM)に基づく高精度な生物線量計算アルゴリズムを実装した治療計画装置、治療時間を大幅に短縮化した自動 X 線患者位置決め装置、患者に金属マーカーを埋め込む必要のないマーカーレス X 線透視型呼吸同期装置、効率のよい治療ワークフローを実現する治療管理システムなどを開発してきました。

本発表では、放医研新治療研究棟に設置されている重粒子線回転ガントリーを中心に、これらの研究成果を報告します。

2. 重粒子線回転ガントリー

一般的に放射線治療では、患者に対し 360 度どの角度からでも放射線を照射できるガントリーが使用されているのに対し、重粒子線がん治療ではそのような装置が市販されていませんでした。世

界的にも重粒子線回転ガントリーはドイツの施設に非常に大型（全長 25m）の装置が 1 台あるのみで、一般的な利用は全く進んでいません。そのため、決まった方向からしか重粒子線を照射することができず、脊髄や神経などの重要器官を避ける必要がある場合には、患者さんを傾けて不自然な体位で治療をする必要があるなどの制約がありました。

普及可能な回転ガントリーの開発により、このような制約を無くして患者さんの負担がより小さい治療を実現できるとともに、複雑な線量分布を形成できる 3 次元スキャンニング照射装置と組み合わせて、図 1 のような強度変調重粒子線治療 (IMIT) が実現できます[1]。この例では、5 方向から重要臓器（白丸）を避けて、それを取り囲む扇形の腫瘍に線量を集中させています。

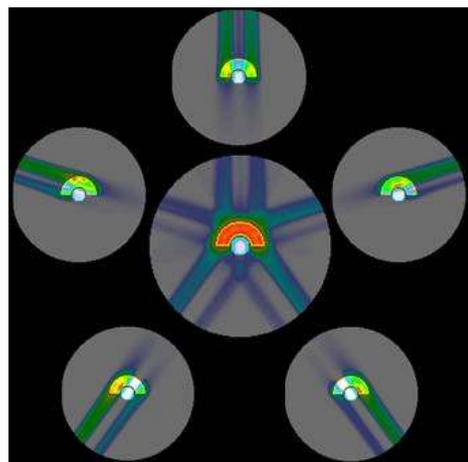


図 1 回転ガントリーを使用した強度変調重粒子線治療の照射例。中央の白丸部分が重要臓器で、それを囲む扇形の腫瘍に 5 つの方向から照射している。

放医研で開発した重粒子線回転ガントリー装置（図 2）においては、回転体に固定した電磁石によって重粒子線を治療室まで輸送し、回転体を回すことで患者さんに対して重粒子線を 360 度どの角度からでも照射を可能にしています[2]。重粒子線を曲げるには、陽子線などに比べて強力な磁場が必要になるため、ガントリーに搭載できる小型軽量の超伝導電磁石を開発することで、全体の重量を軽減するとともに小型化を実現しました。

この超伝導電磁石は、直接冷却方式の小型冷凍技術を応用することで、液体ヘリウムをほとんど使用せずに超伝導コイルを 4K（ケルビン）以下ま

で冷却できます。これにより、一般の医療施設でも容易に扱うことができ、万が一の事故においてもヘリウムガスによる窒息の心配のない極めて安全な装置となりました。また、構造上の最適化により超伝導電磁石の弱点である振動や磁場変化に弱いという課題を克服するとともに、特殊な超伝導線材を使用することで、治療中（約1分間）に磁場を1T（テスラ）から2.9Tまで大きく変化させても超伝導状態を維持でき、大きな腫瘍の照射も安定して行うことが出来ます。

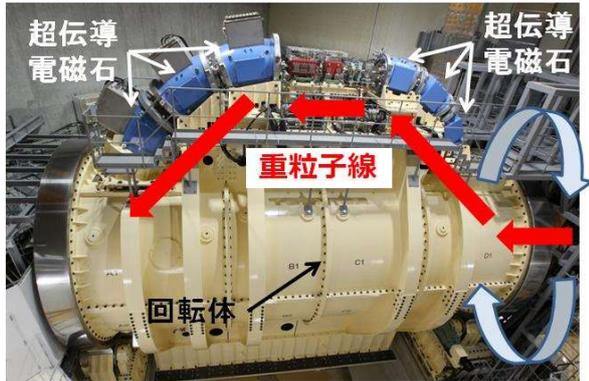


図2 重粒子線回転ガントリーの回転体

3. 回転ガントリー治療室

回転ガントリー治療室（図3）では、患者がロボット制御の治療台の上に寝ると、照射ノズルが回転して最適な角度から、3次元スキャンニング照射装置によって腫瘍の形状に合わせた重粒子線が照射されます。また、照射ノズルの両側に2つのX線検出器（フラットパネルディテクタ）を設置し、照射開始前に骨位置を治療計画CTと比較することで自動患者位置合わせをおこないます。このX線システムは、X線透視により呼吸で動く腫瘍の位置をリアルタイムに計算しながら照射するX線呼吸同期装置としても使用されています[3]。これによりX線透視による呼吸同期と3次元スキャンニング照射を組み合わせた治療が可能です[4]。

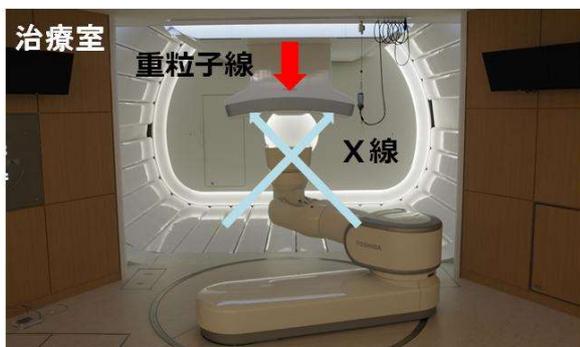


図3 重粒子線回転ガントリー治療室

X線呼吸同期装置は、放医研で開発したマーカーレスX線動体追跡システム（図4）にもとづいています。これは、標的周辺の画像パターンを認識して標的の移動を追跡することができるもので、金属マーカーを埋め込むことのできない患者に対しても、標的の動きを追って照射することが可能です。2013～14年度にわたって、F治療室において、このシステムの臨床試験を実施し、さまざまな検証・改良を行ってきました。2015年より同じF治療室で始まった呼吸同期スキャンニング照射の臨床試験においては、全例でこのX線呼吸同期装置が使用されています。ガントリー治療室では、どの照射角度においてもこのX線呼吸同期装置が使用できます。

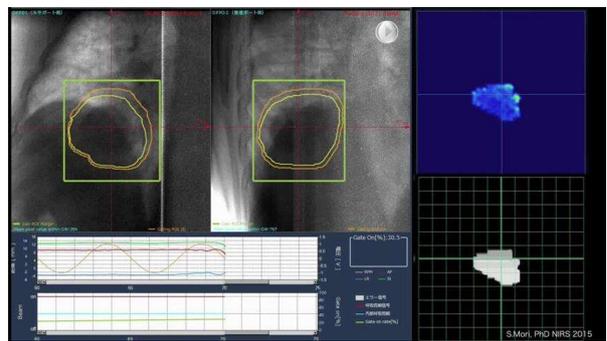


図4 X線呼吸同期装置を用いた呼吸同期スキャンニング照射時の制御画面。左上画面にはX線透視画像上に標的（黄色）と照射範囲（橙色）がリアルタイムに描画されており、左下画面には呼吸波形が、右側画面はスキャンニング照射モニターの出力が表示されています。

4. 結論

最初に述べた開発課題であった、高速3次元スキャンニング照射装置、高精度治療計画装置、自動X線患者位置決め装置、X線透視型呼吸同期装置、治療管理システムなどの技術は、新治療研究棟のE/F治療室で臨床試験が実施され、一部は先進医療でも使用されています。回転ガントリー治療室では、E/F治療室の経験にもとづき、これらの技術がより改良され、統合された形で組み込まれています。現在、この回転ガントリーはコミショニング中であり、2016年内に臨床試験を開始する予定です。

参考文献

- [1] Inaniwa, T. et al., *Phy Med Biol*, **56**, 4749-4770, 2011.
- [2] Iwata, Y. et al., *Phys. Rev. ST AB*, **15**, 044701, 2012.
- [3] Mori, S., *Br. J. Radiol.* **87**, 20140001, 20.
- [4] Furukawa, T. et al., *Med. Phys.*, **37**, 4874-4879, 201.

(8) OpenPET 実証機の開発

吉田英治¹⁾、田島英朗¹⁾、錦戸文彦¹⁾、稲庭拓²⁾、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

²⁾ 放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター

1. はじめに

我々のチームではフルリングでありながら 3 次元画像化が可能な開放空間を有する世界初の開放型 PET 装置「OpenPET」を 2008 年に提案[1]した。今回、がん治療イメージングのための OpenPET 実証機を開発したので報告する。

2. OpenPET 開発

2008 年に提案した初期アイデア[1]では、図 1(a)に示すように、体軸方向に 2 分割した検出器リングを離して配置することで、解像度や感度を犠牲にすることなく、物理的に開放された視野領域を実現可能とした (Dual ring OpenPET: DROP)。本アイデアを実証するために、2010 年に小型の DROP 試作機[2]を作成した。2014 年には、本小型試作機の知見をもとにヒトサイズ DROP 実証実験機 (図 1(f) [3])を作成し、アクリルファントムに入射した重粒子線ビーム (^{12}C) の停止位置をその場で可視化することに成功した (図 1(g))。 ^{12}C 自身は陽電子放出核種ではないため、標的核破砕反応と入射核破砕反応によって生成される陽電子核種を画像化する。しかし、入射核破砕反応での核種生成位置のばらつきや核種依存の飛程の違いから、陽電子核種分布は線量分布に厳密には一致しない。そこで、電子放出核種である RI ビーム (^{10}C , ^{11}C) を用いた実験を行い、画像化に成功した。RI ビームは 1 次粒子 (^{10}C , ^{11}C) 自体の分布が破砕反応で生成される陽電子放出核種よりはるかに大きいため、より高精度なビーム停止位置の可視化につながる知見を得た。

一方、よりがん治療イメージングに効率的な検出器配置として、図 1(c)に示すように、2011 年に第 2 世代 OpenPET (Single ring OpenPET: SROP) [4]を提案した。SROP は、開放空間のイメージングに特化することで、DROP より高い検出効率を期待できる。SROP の検出器配置としては、楕円のリングを 45 度傾ける Slant-ellipse geometry (図 1(d)) と円形のリングから検出器を体軸方向に少しずつシフトして開放空間を作成する Axial-shift geometry (図 1(e)) の 2 種類を 2012 年[5]と 2013 年[6]に試作し、性能評価試験を実施した。どちらも検出器配置も期待通りの結果を得たが、ガントリー作成の容易さ等から SROP としては Axial-shift geometry を採用した。本年度は図 1(h)に示すようにヒトサイズの SROP 実証実験機[7]を作成した。

ヒトサイズの SROP 実証実験機開発においては、粒子線照射場においても安定に動作する検出器の開発、2 次粒子が起因となる偽の同時計数を取り除くためのデータ収集法の開発、OpenPET に特化した画像再構成法の開発等も実施した。

3. ヒトサイズ SROP 実証実験機

図 1(h)に 2015 年に開発したヒトサイズ SROP 実証実験機を示す。ヒトサイズ SROP 実証実験機は 160 個の検出器から構成され、体軸方向に配置した検出器モジュールを徐々に体軸方向にずらしていくことで、最大 43 cm の開放空間を得ることができる (図 2)。検出器部では自己放射能が無視できる GSOZ シンチレータを用いた。GSOZ シンチレータのサイズは $2.8 \times 2.8 \times 7.5 \text{ mm}^3$ であり、 16×16 のアレイ状に配置し、4 層に重ねた Depth-of-interaction(DOI)検出器を構成した。2 次粒子による回路系の誤動作や故障を防ぐために、検出器と信号処理回路は 8 m の同軸ケーブルで延長した。また、従来の PET 装置と異なり、同時計数判定前のシングルデータの収集のみを行う。シングルデータは、多段の multiplex 回路によって束ねられた後、光ケーブルを用いた伝送を経て PC に保存されるため、後で複雑な処理も可能である。設計上 100 Mcps の最大データ転送率は、シングルデータに対しても十分な性能といえる。同時計数判定はデータ収集後またはデータ収集中にソフトウェアによって行う。

放射能強度の 1 MBq 以下の ^{22}Na 点線源を用いて感度測定を実施した結果、視野中心での感度は 3.2%であった。また、同点線源を用いて空間分解を測定した結果、特異な検出器配置をしているにもかかわらず視野内ではほぼ一様に約 2 mm の高い分解能を得ることができた。次に本装置を HIMAC に持ち込んで、 10^6 - 10^9 particle per second (pps)の範囲のビーム強度で PMMA ファントムへの ^{12}C 照射実験を行った。図 3 にヒトサイズ SROP から得られた陽電子分布と別途クロスモニタによって得られた線量分布を示す。いずれのビーム強度においても PET 画像は Bragg ピーク位置と高い相関性を示した。ヒトサイズ SROP は臨床ビーム強度 (10^8 pps 以上)においても問題なく動作することを確認した。

4. 結論

OpenPET プロジェクトではこれまでに小型製作機で得られた知見を元に、がん治療イメージング

のための PET 装置を開発することができた。装置開発のフェーズは終了し、今後は臨床応用に向けた研究開発を進める予定である。

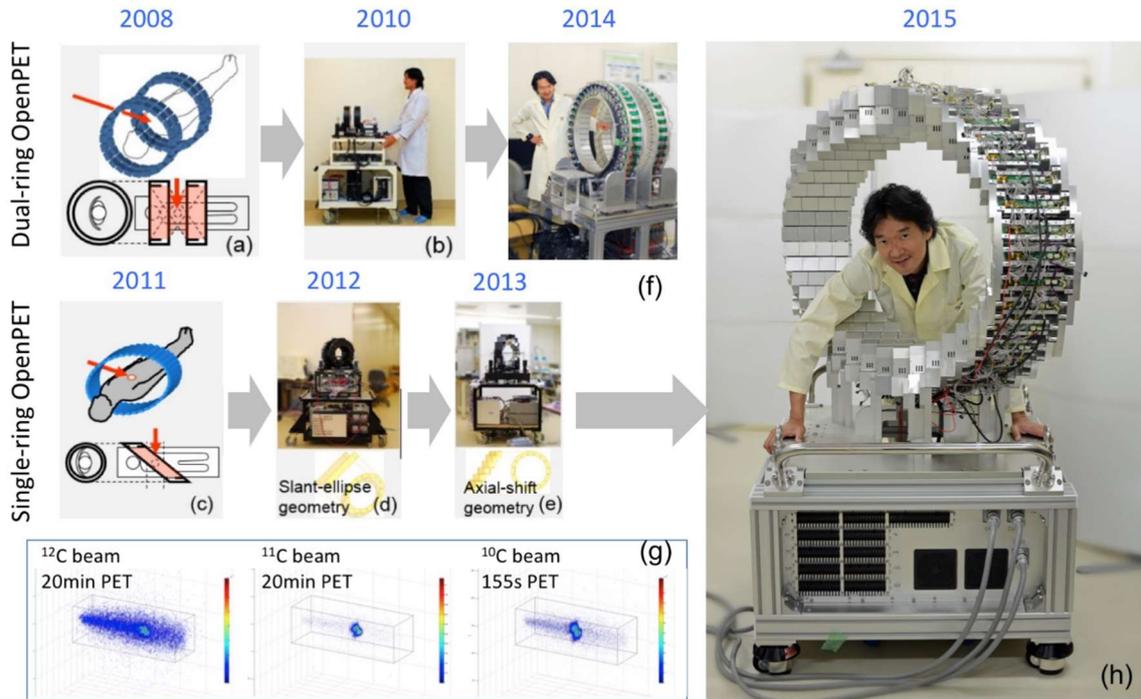


図1 OpenPETプロジェクト概要

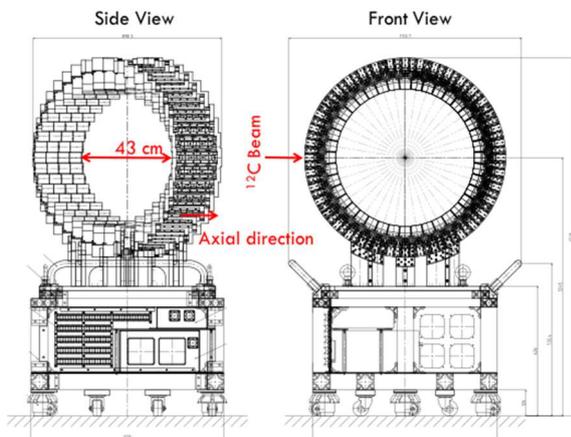


図2 ヒトサイズ SROP 実証実験機

参考文献

- [1] T. Yamaya, et al., *Phys. Med. Biol.*, 53, 3, 757–773, 2008.
- [2] T. Yamaya, et al., *Phys. Med. Biol.*, 56, 4, 1123–1137, 2011.
- [3] T. Yamaya, et al., 2014 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M15-8, 2014.
- [4] H. Tashima, et al., *Phys. Med. Biol.*, 57, 1, 4705–4718, 2012.
- [5] E. Yoshida, et al, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 729, 800–808, 2013.
- [6] T. Yamaya, et al., 2013 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, HT3-2, 2013.
- [7] E. Yoshida, et al., 2015 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M4CP-314, 2015.

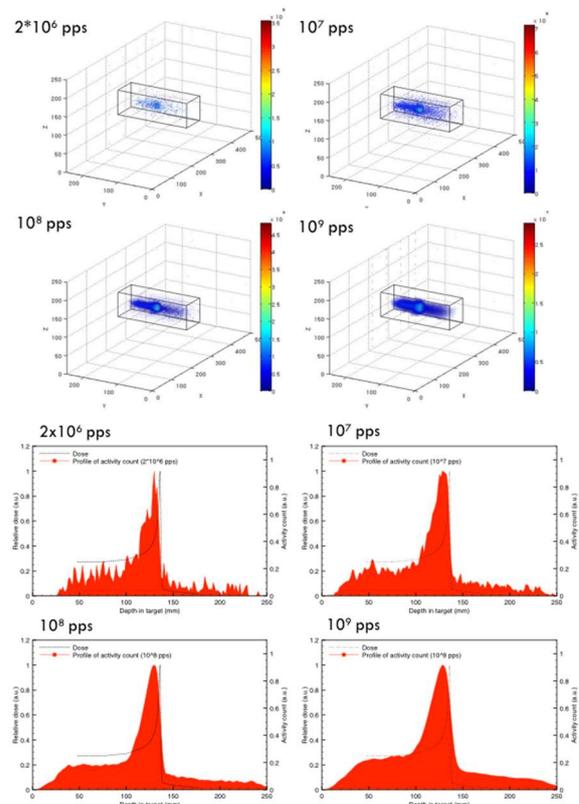


図3 ^{12}C 照射における再構成画像とビームプロファイル

(9) Optimization of ^{15}O beam for OpenPET

A. Mohammadi¹, E. Yoshida¹, H. Tashima¹, F. Nishikido¹, A. Kitagawa², T. Inaniwa², and T. Yamaya¹

¹Molecular Imaging Center, National Institute of Radiological Sciences,

²Research Center for Charged Particle Therapy, National Institute of Radiological Sciences

1. INTRODUCTION

In advance ion therapy it is important to monitor the delivered dose in the tumor and surrounding normal tissues [1]. PET imaging, in-beam or off-beam imaging, is the only diagnostic technique that allows non-invasive 3D monitoring of dose delivered to the patient [2, 3]. In-beam PET imaging, i.e., a PET measurement during patient irradiation, is desired for accurate evaluation of the delivered dose by considering positron emitters with short half-lives (e.g., ^{10}C , ~ 19 s; and ^{15}O , ~ 2 min) which are produced through fragmentation reactions of treatment beam with tissue atoms. A prototype open PET, OpenPET, for in-beam PET has already been developed by Yamaya *et al* and three dimensional distribution of positron emitters was successfully imaged in a phantom irradiated by carbon ion beams [4-6].

The low activity of the produced positron emitters is an issue for PET imaging in ion therapy using stable beams. The issue can be solved properly using radioactive ions as treatment beams. The stopping position of ^{11}C ion beams, which are available for physics experiment in the carbon therapy facility of the Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba (HIMAC) [7], has already been imaged clearly in a polymethyl methacrylate (PMMA) phantom by OpenPET [6].

Oxygen ion is a good candidate for treatment of hypoxia tumors because it exhibits an increased relative biological effectiveness (RBE) in the Bragg peak as compared to the entrance region [8]. A combination of different ion beams such as protons plus carbon ions or oxygen ions might be favorable for a selected clinical situation in the near future. Moreover, the ion beam of ^{15}O , which is a positron emitter ion, has a high potential to be used for tumor treatment and accurate monitoring of dose delivery in tumors.

We recently produced radioactive ion beams of ^{15}O in the HIMAC for the first time using an optimized target of polyethylene and we also investigated the feasibility of in-beam PET [9]. But there was an issue related to the low purity (about 75%) of the produced beam, which makes the produced beam inconvenient for clinical utilization. The goal of this study is to improve the ^{15}O beam purity by applying a wedge-shape degrader in the secondary beam line. Production rate and purity of ^{15}O beams were measured for two polyethylene targets and in-beam PET imaging were performed for the improved beam.

2. MATERIALS AND METHODS

A polyethylene target was selected from simulations as the optimum material [9]. The polyethylene target with a thickness of 5 cm or 11 cm was set in the HIMAC secondary beam line as a production target and irradiated with ^{16}O beam of 430 MeV/u, as shown schematically in Fig. 1 [9]. The production rate and purity of the ^{15}O beam were measured by inserting an aluminum degrader with the thickness of 1.76 cm in the middle of the beam line at F1. In the secondary beam line SB1, momentum and angular acceptance were set to $\pm 2.5\%$ and ± 13 mrad, respectively.

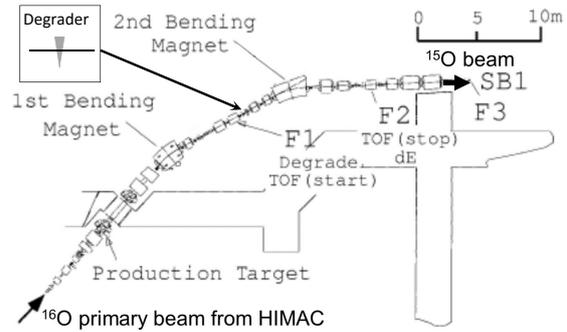


Fig. 1. Layout of the secondary beam line, SB1, used to produce ^{15}O beams.

A PMMA phantom of $10 \times 10 \times 30$ cm³ was irradiated with the produced ^{15}O beams and in-beam PET images were obtained using our whole-body dual-ring OpenPET prototype [9], Fig. 3 (a).

3. RESULTS

The production rate and purity of the produced beams were measured at F2 by a time-of-flight (TOF) counter and an energy loss (ΔE -E) counter. The maximum production rates (%) of the ^{15}O beams with and without the Al degrader at F2 position are illustrated in Fig. 2.

Purity of the ^{15}O beams produced with and without the degrader are compared for both targets in Table I. The beam purity was increased to 97% by inserting the degrader into the beam line; however, the production rate was decreased more than 30% for both targets.

A PMMA phantom of $10 \times 10 \times 30$ cm³ was irradiated with the ^{15}O beams from a polyethylene target of 5 and 11 cm thicknesses as shown in Fig. 3(a).

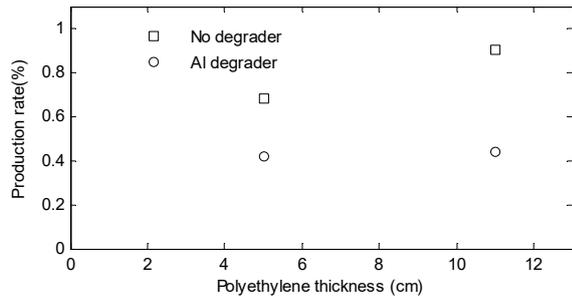
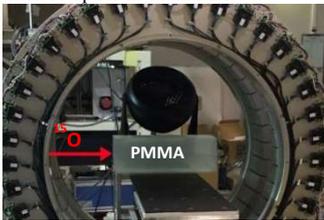


Fig.2. Maximum production rate of ^{15}O beams produced by ^{16}O with energy of 430 MeV/u from polyethylene targets with and without the Al degrader.

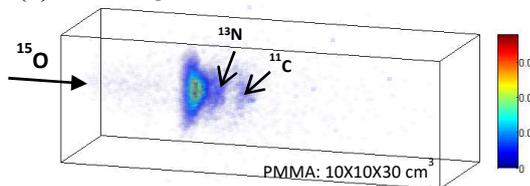
Table I. Purity (%) of ^{15}O beam from irradiated polyethylene targets with and without the degrader.

Polyethylene thickness (cm)	Degrader	5	11
Purity (%)	-	75.9	73.8
	Al	97.4	97.1

(a) Experimental setup for in-beam PET



(b) Without degrader



(c) With degrader

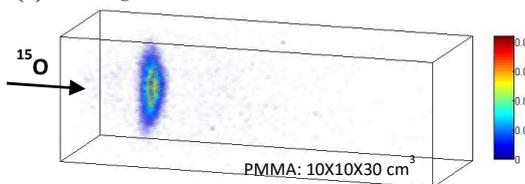


Fig.3. Experimental setup for in-beam PET imaging in the HIMAC (a) In-beam PET image of the irradiated PMMA phantom with the ^{15}O beams produced without (b) and with (c) the Al degrader.

In-beam PET imaging was performed for the produced beams and the images are shown in Figs. 3(b) and (c) for the polyethylene target of 11 cm thickness with and without the degrader in the beam line, respectively. The irradiation time was about 6.6 s and the PET data were measured immediately after irradiation for 13 min by our whole-body OpenPET.

The total activity of the produced positron emitters within the PMMA phantom were extracted from the PET images (Fig. 4). The high purity of the produced ^{15}O beam is clearly observable from the in-beam PET image in Figs. 3(c) and 4(b). Additionally, the reduction of the

beam range when the aluminum degrader is in the beam line is observed in Figs. 3 and 4.

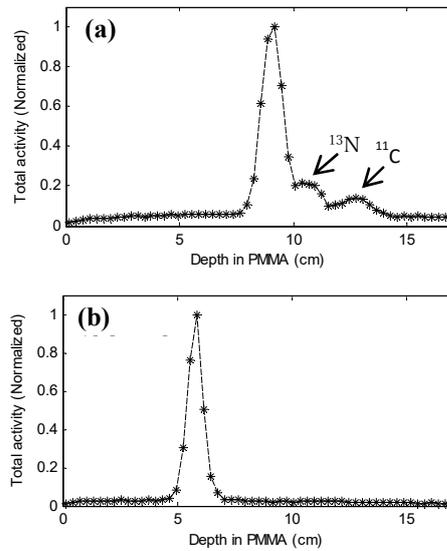


Fig.4. Total activity of positron emitter fragments as a function of PMMA thickness extracted from the in-beam PET images for ^{15}O beams produced without (a) and with (b) the Al degrader.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Radioactive beam of ^{15}O beam have recently been produced at the HIMAC using polyethylene targets but the produced beams were highly contaminated with ^{13}N and ^{11}C fragments. In this study we improved the purity of the beam produced by using an aluminum degrader with thickness of 1.76 cm in the middle of the secondary beam line. The production rate and purity of the produced beam were measured for the polyethylene targets with thicknesses of 5 cm and 11 cm. The in-beam PET images of the beams with and without the aluminum degrader in the beam line were obtained using our whole-body OpenPET prototype system. The beam purity was increased from 75% to 97% by inserting the degrader into the beam line although the production rate was reduced more than 30%.

REFERENCES

- [1] A. Brahme, "Biologically optimized 3-dimensional in vivo predictive assay-based radiation therapy using positron emission tomography-computerized tomography imaging.", *Acta Oncol.*, 42, pp. 123-136, 2003.
- [2] A. Brahme, "Optimal use of light ions for radiation therapy.", *Radiological Sciences*, 53, pp.53-61, 2010.
- [3] W. Enghardt et al, "charged hadron tumor secondary beam courses by means of PET.", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A* 525, pp. 284-8, 2004.
- [4] T. Yamaya et al, "A prototype of a novel transformable single-ring OpenPET.", *IEEE NSS-MIC 2013*, M07-1, 2013.
- [5] T. Yamaya, et al, "A proposal of an open PET geometry." *Phys. Med. Biol.*, 53, pp. 757-73, 2008.
- [6] Y. Nakajima et al, "Dosimetry by means of in-beam PET with RI beam irradiation.", *IEEE NSS-MIC 2013*, M07-2, 2013.
- [7] M Kanazawa et al, "present statues of secondary beam courses in HIMAC.", *Nucl. Phys. A* 746, pp. 393c-6c, 2004.
- [8] O. Jakel et al, "Heavy ion therapy: status and perspectives.", *Technology and cancer research and treatment*, 2, 377-388, 2003.
- [9] A. Mohammadi et al, "Feasibility of secondary ^{15}O beam production for in-beam PET.", *IEEE NSS-MIC 2014*, M19-54, 2014.

(10) In-Beam OpenPET を用いた ^{10}C 、 ^{11}C 、 ^{15}O イオン照射における 生体内 RI 洗い出し効果の測定

寅松千枝¹⁾、吉田英治²⁾、生駒洋子²⁾、脇坂秀克²⁾、Akram Mohammadi²⁾、田島英朗²⁾、
錦戸文彦²⁾、北川敦¹⁾、稲庭拓¹⁾、山谷泰賀²⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター

²⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

1. はじめに

粒子線治療において、ポジトロン断層法 (PET) によるイメージングは非侵襲な生体内線量測定として期待される。しかし、3 次元的に飛程や線量分布の正確な検証を可能にするには生体内における生物学的洗い出し効果の補正が必須である。今回、炭素ビームと共に、近年開発された技術により二次重粒子線として生成した酸素ビームをウサギに照射し、In-beam OpenPET により生体内の RI 洗い出し速度の測定を行ったのでその結果を報告する。本研究の最終的な目的は生物学的洗い出し効果の補正だけでなく腫瘍の viability 推定のために必要となる、適切な生体内 RI 洗い出し効果のモデル化を行う事である。

2. 方法

本測定には体幹部用に試作された In-beam OpenPET [1] を用いた。本試作機は二重のリング型検出器 (φ660 mm) で構成され、その 90 mm のギャップからビーム照射ができる (図 1)。視野中心 (CFOV) での空間分解能は、フィルタ補正逆投影法 (FBP 法) で再構成した場合は約 3.3 mm (FWHM)、逐次近似法 (OSEM 法) で再構成した場合は約 1.5 mm (FWHM) である。

本実験では 3 種類の RI ビーム ^{11}C 、 ^{10}C 、 ^{15}O を用いた。 ^{11}C 、 ^{10}C ビームは放射線医学総合研究所の HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) にてベリリウムターゲットに当てた 430 MeV/u の ^{12}C ビームの入射核破砕反応により生成し、その純度は約 93% である。また、 ^{15}O ビームは同じく HIMAC にてポリエチレンターゲットに当てた 430 MeV/u の ^{16}O ビームの二次ビームとして生成した。その純度は約 97% である [2]。

実験のセットアップの様子を図 1 に示す。深麻酔下のウサギをアクリル製シリンダーに固定し、 ^{10}C は 3x20 スピル、 ^{11}C と ^{15}O は 3 スピル、それぞれ時間を分けてウサギの脳と脚へ照射した。 ^{10}C は 2 分間、 ^{11}C は 58 分間、そして ^{15}O は 20 分間の OpenPET による測定を行い、その後、麻酔薬静注によりウサギを屠殺した。そして、半減期に対して十分な時間を置いた後、それぞれ同量の照射と測定

を行った。これにより、生存時・死亡時 (Live・Dead データ) の差を比較し、洗い出し効果を測定した。

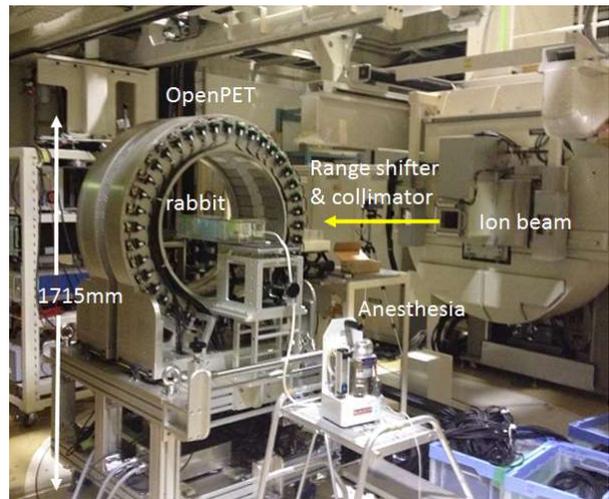


図 1 Setup for animal irradiation and OpenPET imaging

取得したリストモードデータは 30 秒ずつフレーム分けし、OSEM 法により画像再構成を行った。そして、Dead データの再構成画像上のホット領域を参照し、画像フレームごとに直径 10 mm の ROI (Region of Interest) を 7 スライスにおいて設置し、約 1.1 mL の VOI (Volume of Interest) の強度により減衰曲線を求めた。炭素イオンの洗い出し速度の導出には、3 成分モデル (速い成分、中間の成分、遅い成分) [3] を、また、酸素イオンの場合には 2 成分 (中間の成分、遅い成分) を仮定することにより解析した。仮定したモデルは以下の式で表される。

dead 照射時 ($t > 0\text{s}$)

$$N \cdot \{p \cdot \exp(-\lambda_{2nd} \cdot t) + (1-p) \cdot \exp(-\lambda_{imp} \cdot t)\}$$

live 照射時 ($t \gg \tau_{biom}$)

$$M_s \cdot (1-p) \cdot \exp\{(-\lambda_{imp} + \lambda_{bios}) \cdot t\}$$

live 照射時 ($t \gg \tau_{biof}$)

$$M_m [p \cdot \exp\{-(\lambda_{2n} + \lambda_{biom}) \cdot t\} + (1-p) \cdot \exp\{(-\lambda_{imp} + \lambda_{biom}) \cdot t\}] + M_s$$

ここで、 λ_{imp} と λ_{2nd} は、それぞれ入射ビーム核種と

その核破砕反応により生成された二次ビームの物理的半減期であり、 p はその寄与を示す。そして、 M_s と M_m 、 λ_{bios} と λ_{biom} はそれぞれ遅い成分と中間の成分の割合とその生物学的洗い出し速度を表す。これらの関数のフィッティングによりそれぞれの値を求めたのち、 ^{10}C の減衰曲線より速い成分を求めた。

3. 結果

それぞれの照射・測定 of 再構成画像において、Live データには RI 洗い出し効果による信号の広がり確認された。例として、図2にウサギの脳に ^{15}O を照射した場合の OpenPET 測定による再構成画像を示す。図2-a)が Live データ、b)が Dead データであり、明らかに違いが見られる。 ^{11}C の照射測定でも同様の結果が得られている。

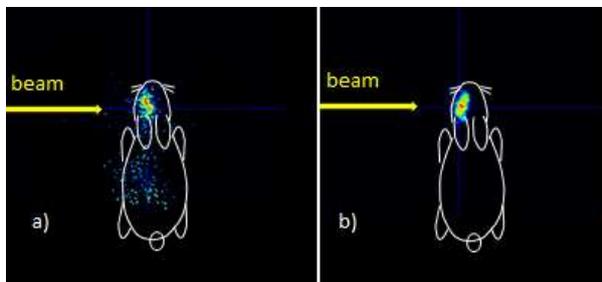


図2 Summed images of rabbit brain acquired by the ^{15}O beam: live (a) and dead (b) scans. (Intensity of the live image was adjusted.)

図3に減衰曲線とともにモデルによるフィッティング結果を示す。 ^{11}C の減衰曲線(図3-b)の初期に急なカーブが見られるが、これは ^{11}C の核破砕反応から生成された ^{10}C の成分の影響である(図3-a)。解析により得られた ^{11}C 洗い出し効果の中間の成分と遅い成分はそれぞれ $0.30 \pm 0.02 \text{ min}^{-1}$ 、 $0.004 \pm 0.001 \text{ min}^{-1}$ であり、これは一対のシンチレーションカメラにて測定された過去のスタディの結果[1]と良く一致する結果である。また、脳に照射した ^{15}O の洗い出し効果による中間の成分と遅

い成分はそれぞれ $0.98 \pm 0.2 \text{ min}^{-1}$ と $0.01 \pm \text{min}^{-1}$ であった。

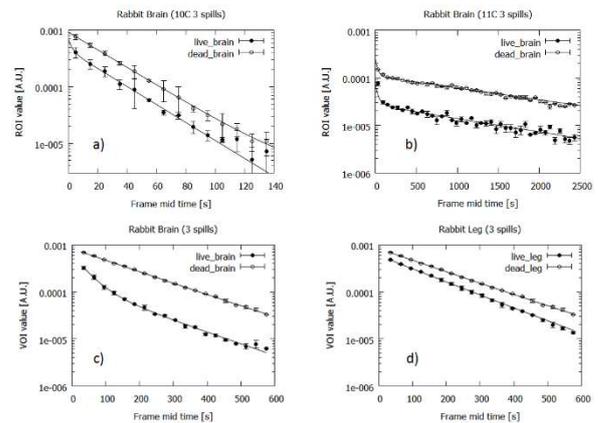


図3 Time activity curves (TACs) of rabbit brain and thigh muscle with fitting results. (a) Brain- ^{10}C , (b) brain- ^{11}C , (c) brain- ^{15}O and (d) thigh muscle- ^{15}O .

4. 議論・結論

In-beam OpenPETを用い、ウサギに照射した ^{10}C 、 ^{11}C 、 ^{15}O のRI洗い出しの速度の測定を行った。炭素と酸素イオンではその洗い出しの速度が異なることが分かった。今回の結果は適切な洗い出し効果のモデル化を行うために必要な化学組成について考察するための重要なデータである。今回の ^{15}O の減衰曲線の解析により洗い出し速度に2成分あることが示唆されたが、今後は他の可能性も検討していく予定である。

参考文献

- [1] T.Yamaya et al, IEEE NSS-MIC 2014,M15-8
- [2] A.Mohammadi et al, IEEE NSS-MIC 2014,M19-54
- [3] H.Mizuno et al., Phys.Med.Bio.,48,pp2269-2281,2003

(11) 患者情報を元にした In-beam OpenPET イメージングシミュレーション

田島英朗¹⁾、Christopher Kurz^{2,3)}、吉田英治¹⁾、Wenjing Chen^{3,4)}、Julia Bauer^{3,4)}、Jürgen Debus³⁾、Katia Parodi^{2,3)}、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

²⁾ Ludwig-Maximilians University, ³⁾ Heidelberg University Hospital, ⁴⁾ Heidelberg Ion-Beam Therapy Center

1. はじめに

現在放射線医学総合研究所にて開発を進めている世界初の開放型 PET (Positron Emission Tomography) 装置「OpenPET」は、開放空間に粒子線がん治療のビームを通すことで、照射と PET 測定を同時に行うことが可能である[1-4]。粒子線と生体内の物質との核破砕反応によって、陽電子放出核が生成されるため、照射中もしくは照射直後に PET 測定を行うことで、実際に照射された領域が治療計画と一致しているかどうかの確認を、その場で行うことができる。これまでに、照射後患者を PET 装置へ移動させてから測定を行うオフライン PET 及び In-room PET、並びに対向型の PET 装置によるオンライン測定が実施されている[5-11]。オフライン測定の場合には、血流による洗い出しによる影響の他、特に短半減期の核種の減衰によって放射能が少なくなり、測定時間を長くする必要があり。また、対向型 (パーシャルリング) でのオフライン測定では、リミテッドアングルの影響で強いアーチファクトが現れ、検出器が向き合う方向の解像力が乏しい。これらに対し、OpenPET はオンライン測定で、3 次元的な等方分解能を達成可能なジオメトリであるため、これまでない知見が得られると期待できる。そして、ビーム照射中は即発 γ 線の影響でイメージングは困難だとしても、照射直後から測定できるため、線量確認のための患者の拘束時間を大幅に短縮できる可能性がある。本研究では、 ^{12}C ビーム照射による治療を行った実際の治療計画を含む臨床データを元に、モンテカルロシミュレーションと解析的なモデルを組み合わせることで、In-beam OpenPET イメージングの効果を、フルリング PET によるオフライン測定とパーシャルリング PET によるオンライン測定と比較し行った。

2. 方法

シミュレーションの流れを図 1 に示す。治療計画の CT 画像と線量の情報を元に、モンテカルロシミュレーションツールである FLUKA[12,13]を用いて、陽電子放出核種の生成率を求めた。そして、血流による洗い出し及び生成された核種の減衰をモ

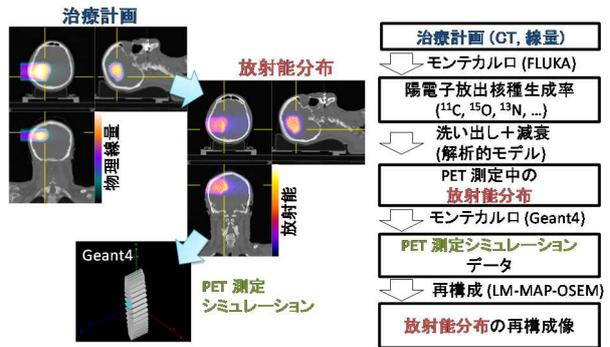


図 1 シミュレーションの流れ

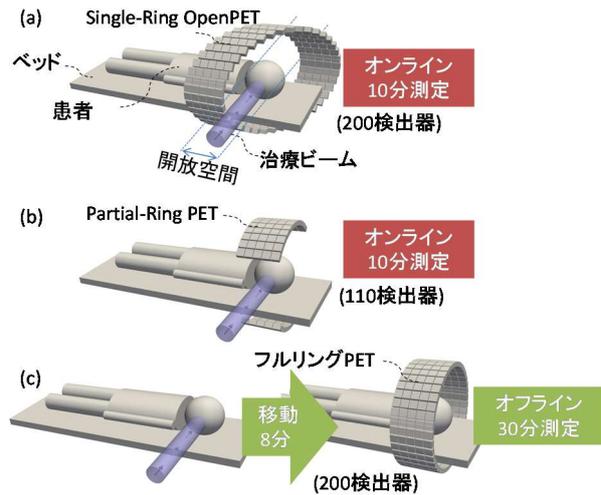


図 2 シミュレーションを行ったジオメトリ: (a)オンライン OpenPET、(b)オンライン Partial-Ring PET、(c)オフライン PET

デル化した次式によって、各位置の PET 測定中の平均放射能濃度 A を求めた。

$$A = \sum_{i \in s, m, f} M_i \sum_j N_j \frac{1 - e^{-\lambda_j t_{irr}}}{t_{irr}} e^{-(\lambda_j + \lambda_i) \Delta t} \frac{1 - e^{-(\lambda_j + \lambda_i) t_{frame}}}{(\lambda_j + \lambda_i) t_{frame}} \quad (1)$$

ここで、 M_i は洗い出しの成分として遅い成分 (半減期 λ_s)、中間成分 (半減期 λ_m)、速い成分 (半減期 λ_f) の割合を表し、合計が 1 となる。また、 N_j は照射による半減期が λ_j の陽電子放出核種 j の生成率、 t_{irr} は照射時間、 Δt は照射終了から測定開始までの時間、 t_{frame} は測定時間である。洗い出し成分の割合は組織ごとに決まっていると仮定し、組織分類は CT 値を閾値によってセグメンテーションすることで行った。具体的なパラメータは文献[6]に記載されている値を使用した。

シミュレーションを行ったジオメトリを図 2 に示す。全てのジオメトリで共通の DOI (Depth of Interaction) 検出器を用い、シンチレータとして $3.0 \times 3.0 \times 7.5 \text{ mm}^3$ の GSO 結晶を $16 \times 16 \times 4$ の配列に並べた。OpenPET は第二世代の Single-Ring OpenPET ジオメトリとし、開放空間は 26 cm、検出器は 1 リングあたり 40 個 \times 5 リングの 200 個とした。フルリング PET の検出器数も同様とした。Partial-Ring PET は 110 個で構成した。オフライン測定では、移動に 8 分かかるとした。なお、照射時間はすべて 4 分とした。PET 測定シミュレーションには Geant4 (version 9.6) を使用した[14]。オンライン測定及びオフライン測定時の陽電子放出核種分布を確率密度関数として、核種崩壊の場所を確率的に決め、 γ 線対を発生させた。ただし、ここでは陽電子飛程は考慮に入れていない。崩壊の数は核種分布の合計から見積もった。そして、同時計数されたリストモードデータを記録した。画像再構成は、2 次の平滑化関数を用いた List-mode MAP OSEM (Maximum a Posteriori Ordered Subset Expectation Maximization) 法によって行った。感度補正は回転線源を想定したシミュレーションによって行った。減弱補正及び散乱補正は治療計画の CT 画像を用いて行った。なお、偶発同時計数は考慮に入れていない。

3. 結果

図 3 に治療計画の CT 画像と各ジオメトリで得られた再構成像を示す。また、図 4 に放射能濃度のプロファイルを示す。OpenPET のオンライン 10 分測定では、オフライン PET の 30 分測定に匹敵するカウント数を取得することが可能であった。そして、ノイズの少ない画像を得ることができた。オフライン PET では、洗い出しと減衰の影響でブラッグピークより手前の領域の放射能濃度が低下し、ノイズが目立つ結果となった。Partial-Ring PET では、冠状面画像の分布は良好であるが、それ以外の断面ではアーチファクトによって分布が大きく広がった。

4. 結論

粒子線治療中のオンライン OpenPET で測定可能な情報を検討するために、治療計画を元にしたシミュレーションを行った。その結果、オンライン OpenPET 測定によって、短い測定時間で、ノイズの少ない 3 次元画像を得られる可能性があることが示唆された。今後の予定として、線量評価で重要なビームレンジの評価をシミュレーション結果に対して行う。

参考文献

[1] Yamaya T, Inaniwa T, Minohara S, et al.: *Phy Med Biol* **53**: 757-775, 2008

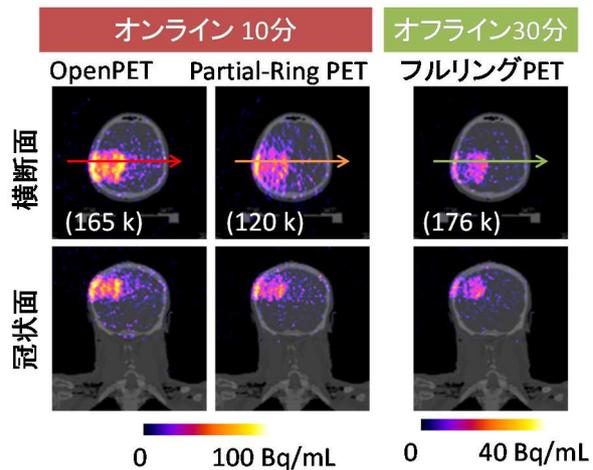


図 3 シミュレーション結果：括弧内の数字は測定されたカウント数

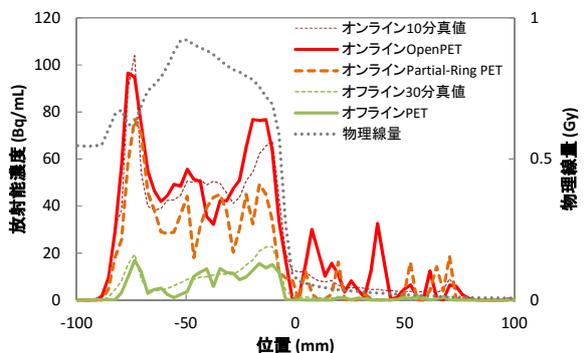


図 4 図 3 の矢印で示す箇所のプロファイル

[2] Yamaya T, Yoshida E, Inaniwa T, et al.: *Phys Med Biol* **56**: 1123-37, 2011

[3] Tashima H, Yamaya T, Yoshida E, et al.: *Phys Med Biol* **57**: 4705-18, 2012

[4] Yoshida E, Tashima H, Wakizaka H, et al.: *Nucl Instr Meth Phys Res A* **729**: 800-8, 2013

[5] Iseki Y, Kanai T, Kanazawa M, et al.: *Phys Med Biol* **49**, 3179-95, 2004

[6] Parodi K, Bortfeld T, Haberer T, et al.: *Int J Radiation Oncology Biol Phys* **71**: 945-56, 2008

[7] Bauer J, Unholtz D, Sommerer F, et al.: *Rad. Oncol* **107**, 218-26, 2013

[8] Enghardt W, Crespo P, Fiedler F, et al.: *Nucl Instr Meth Phys Res A* **525**: 284-8, 2004

[9] Nishio T, Ogino T, Nomura K, et al.: *Med Phys* **33**: 4190-7, 2006

[10] Crespo P, Shakirin G, Enghardt W: *Phys Med Biol* **51**, 2143-63, 2006

[11] Zhu X, España S, Daartz J, et al.: *Phys Med Biol* **56**: 4041-57, 2011

[12] Ferrari A, et al., CERN 2005-10 (2005), INFN/TC_05/11, SLAC-R-773

[13] Böhlen TT et al., *Nuclear Data Sheets* **120**: 211-4, 2014.

[14] Agostinelli S, Allison J, Amako K, et al.: *Nucl Instr Meth A* **506**: 250-303, 2003

(12) 不完全 PET ジオメトリにおける TOF 情報の欠損周波数補填効果

田島英朗¹⁾、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

1. はじめに

TOF (Time of Flight) 情報を用いることによって、PET (Positron Emission Tomography) の画質を上げることができ、画像再構成問題での有効性が活発に研究されている[1-8]。さらに、TOF 情報を用いることで、Partial-Ring PET や、我々が開発を進めている Dual-Ring OpenPET の開放空間のイメージングのような、投影定理の完全性が満たされない不完全 PET ジオメトリにおけるアーチファクトを大幅に低減できることが示されている[9-13]。これらのジオメトリは粒子線治療のその場モニタリングのために提案されているが、特に Partial-Ring PET は、TOF 情報がないと対向する検出器方向に強いアーチファクトを生じる。Dual-Ring OpenPET の場合、MLEM (Maximum Likelihood Expectation Maximization) 法などの逐次近似型画像再構成法を用いることで、欠損周波数をある程度復元し、良好な画像が得られることをこれまでに示している[14]。さらに、ブリッジ検出器を2つのリングを繋げるように配置することで、欠損周波数を埋めることができ、アーチファクトのない画像が得られること理論的に示した[15]。本研究では、低周波成分の欠損がある Dual-Ring OpenPET に対する TOF 情報適用の検討を行う。さらに、TOF 情報が不完全ジオメトリの周波数成分に対してどのような効果をもたらすかを理論的に明らかにする。

2. 理論

2.1 TOF 無し 3D 投影定理

まず、3次元の投影定理（中央断面定理）から考える[16]。3DPET の投影定理では、図1のように、投影データを方位角 ϕ 、仰角 θ の 2次元平行投影像とする。3次元物体 f の 2次元投影像は、

$$p(x_r, y_r, \phi, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) dz_r \quad (1)$$

となる。ここで、3次元の回転による座標変換は次式によって与えられる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi & -\cos \phi \sin \theta & \cos \phi \cos \theta \\ \cos \phi & -\sin \phi \sin \theta & \sin \phi \cos \theta \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

そして、 $p(x_r, y_r, \phi, \theta)$ を x_r, y_r について 2次元フーリエ変換する。

$$P(v_{xr}, v_{yr}, \phi, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x_r, y_r, \phi, \theta) e^{-i(x_r v_{xr} + y_r v_{yr})} dx_r dy_r \quad (3)$$

ここで、 v_{xr} と v_{yr} は、それぞれ x_r と y_r に対応する方向である。物体 f の 3次元フーリエ変換は次式で与えられる。

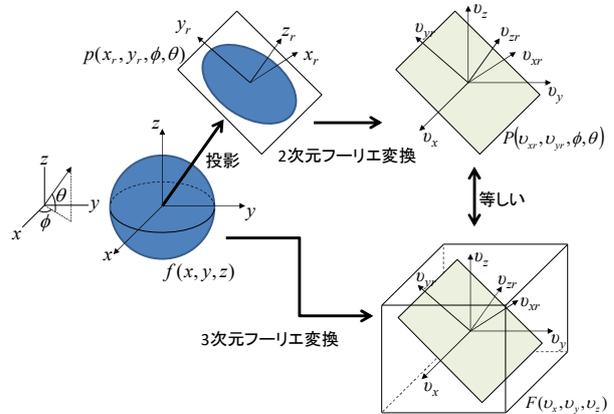


図1 3D 投影定理

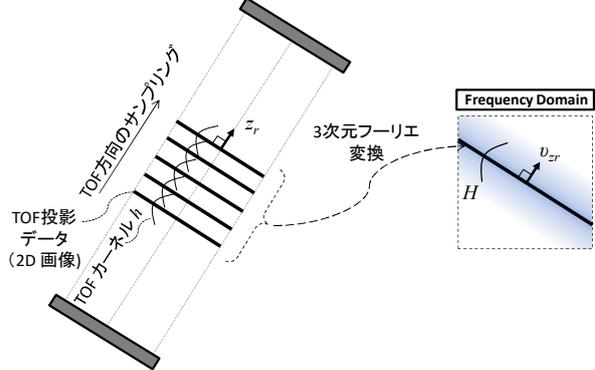


図2 3D-TOF 投影定理

$$F(v_x, v_y, v_z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) e^{-i(xv_x + yv_y + zv_z)} dx dy dz \quad (4)$$

ここで、 v_x, v_y, v_z はそれぞれ、 x, y, z に対応する方向である。式(1)を式(3)に代入し、式(4)と比較することで、3D 投影定理が次のように導出される。

$$P(v_{xr}, v_{yr}, \phi, \theta) = F(v_x, v_y, v_z) |_{v_z=0} \quad (5)$$

ここで、画像と投影空間の周波数座標は、式(2)と同様の回転行列によって関連付けられる。

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi & -\cos \phi \sin \theta & \cos \phi \cos \theta \\ \cos \phi & -\sin \phi \sin \theta & \sin \phi \cos \theta \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{xr} \\ v_{yr} \\ v_{zr} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2 3D-TOF 投影定理

TOF 情報の測定が可能な場合、3次元物体 f の 2D-TOF 投影データは、

$$p(x_r, y_r, \phi, \theta, t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - z_r) f(x, y, z) dz_r \quad (7)$$

となる。ここで、 h は TOF のカーネル関数とし、3次元回転による座標変換は TOF 無しの場合(式(2))と同様とする。まず、式(7)を t について 1次元フーリエ変換する。

$$\begin{aligned}
P(x_r, y_r, \phi, \theta, \omega_t) &= \int_{-\infty}^{\infty} p(x_r, y_r, \phi, \theta, t) dt \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(t - z_r) f(x, y, z) dz_r dt \quad (8) \\
&= H(\omega_t) \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) e^{-i\omega_t z_r} dz_r
\end{aligned}$$

ここで、 H は h の周波数応答（1次元フーリエ変換）である。そして、式(8)を、 x_r, y_r について2次元フーリエ変換する。

$$\begin{aligned}
&\tilde{P}(v_{xr}, v_{yr}, \phi, \theta, \omega_t) \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x_r, y_r, \phi, \theta, \omega_t) dx_r dy_r \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega_t) \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) e^{-i\omega_t z_r} dz_r e^{-i(x_r v_{xr} + y_r v_{yr})} dx_r dy_r \\
&= H(\omega_t) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, z) e^{-i(x_r v_{xr} + y_r v_{yr} + \omega_t z_r)} dx_r dy_r dz_r \quad (9)
\end{aligned}$$

ここで、3次元回転による座標変換は式(6)と同様である。座標変換と式(4)との比較により、3D-TOF 投影定理は次のように導出される。

$$\tilde{P}(v_{xr}, v_{yr}, \phi, \theta, \omega_t) = H(\omega_t) F(v_x, v_y, v_z) \Big|_{v_{xr}=\omega_t} \quad (10)$$

これとよく似た表現は文献[6]でも登場している。3D-TOF 投影定理の概念図は図2のように表される。TOF 情報がない場合には、一方向の2次元投影データにより、投影方向と法線が一致し原点を通る平面の情報が周波数空間において得られる。それに対して、TOF 情報を用いた場合には、周波数空間の平面に加えて、その法線方向も TOF カーネルの周波数応答を乗じた強度で埋めることが可能である。

2.3 Dual-Ring OpenPET における TOF 効果

Dual-Ring OpenPET は、検出器リングを離して開放空間を形成し、リング内のみならず、リング間の開放空間も含めたイメージングが可能な放医研独自のアイデアである。実際のリング幅よりも、体軸方向に長い視野を持つため、全身用 PET を低コストに実現可能であると期待されている。また、開放空間を利用して、粒子線治療中の PET 撮影 (In-beam PET) が可能になると期待されている(図3(a))。しかしながら、開放空間のイメージングは、斜めの LOR (Line of Response) のみで行われるため、低周波が欠損する不完全問題となる。ここで、単純化のため、投影データに欠損 (物体の欠け) がないように、解析対象を図3中に示される2つの円錐の底面どうしを合わせた形状の領域とし、投影角度が θ と θ のものに限定して解析を行った。3D-TOF 投影定理を Dual-Ring OpenPET の開放空間に適用した結果、図4に示すように、TOF 情報無しだと欠損する領域が、TOF カーネルの周波数応答の範囲に応じて埋められることが示された。TOF カーネル h を標準偏差 σ のガウス関数と仮定した場合、その周波数応答は標準偏差 $1/\sigma$ のガウス関数となる。つまり、TOF の分解能が向上すればするほど、埋められる周波数領域が広がることを意味している。図

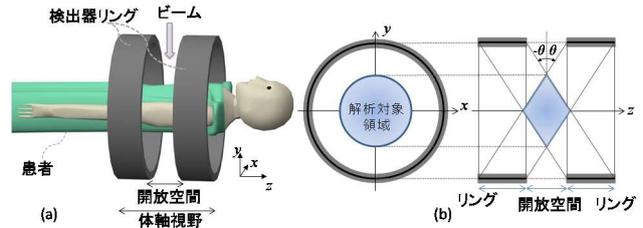


図3 Dual-Ring OpenPET の概念図 (a) と、解析対象領域 (b)。

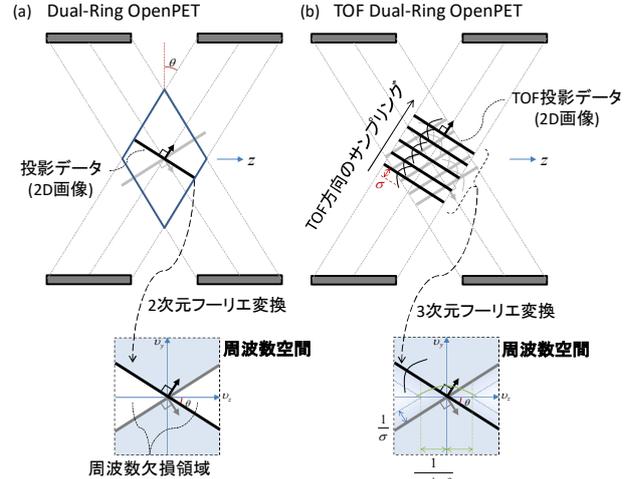


図4 開放空間 (菱形領域) で取得可能な投影方向と、その投影データにより取得可能な周波数成分。TOF 情報無し (a) と、TOF 情報あり (b) の場合。

4(b)に示されるように、埋められる周波数空間の体軸方向の広がり、標準偏差で $1/(\sigma \sin \theta)$ となる。

3. 方法

TOF 情報による欠損周波数の復元効果を検証するために、ノイズフリーのシミュレーションを行った。図5に示すように、Dual-Ring OpenPET の開放空間にファントムを設定し、検出器応答関数 (DRF: Detector Response Function) を考慮したシステムマトリクスによる順投影演算で投影データを生成した。DOI 検出器として、 $6.0 \times 6.0 \times 7.5 \text{ mm}^3$ のシンチレータを $8 \times 8 \times 4$ に配列したものを仮定し、1リングあたりの検出器数を48とした。体軸方向には二重リングの片側の長さが210mm、開放空間の幅が180mmとなるように、検出器リングを4×2個並べた。そして、TOF 分解能は半値幅で500psとした。これは、画像空間では75mmの半値幅に相当する。ファントムとしては、直径400mm、長さ150mmの円筒形のバックグラウンドに、直径200mm、厚さ25mmのディスクを3つ、互いに25mm離して並べた。この構造は、コーンビームアーチファクトを評価する際に用いられている Defrise ファントムと似ている。画像再構成は OSEM (Ordered Subset Expectation Maximization) 法 (8 サブセット10 反復) によって行った。その際、DRF は、投影データ生成時と異なる精度のものを用いることで、

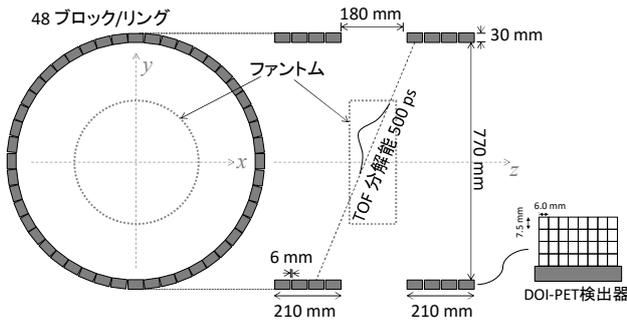


図5 TOF Dual-Ring OpenPETのシミュレーションジオメトリ

再構成結果が過大評価とならないようにした。また、図3での理論的解析では、単純化のため、投影データの角度を制限して考えたが、OSEMには法では、欠損も考慮して計算を行うことができるため、用いる投影データの角度制限は行わなかった。そして、TOF情報ありの場合と、なしの場合でそれぞれ再構成像を得た。

周波数領域での誤差を評価するため、再構成像と元のファントム画像の3次元フーリエ変換を行った。その際、3次元のフーリエ像の振幅を合計値が1となるように正規化し、比較した。

4. 結果

図6にTOF情報ありとなしで再構成した画像、そして、3次元フーリエ変換による解析結果を示す。TOF情報なしで再構成した画像では、強いアーチファクトが表れた。一方で、TOF情報を用いて再構成した画像はアーチファクトのない良好なものであった。欠損周波数領域の評価のために再構成像を3次元フーリエ変換し、矢状面に対応するフーリエ空間のスライスを示す。ディスクファントムは、Dual-Ring OpenPETでは直接は得ることができない周波数成分を含んでいるが、OSEMなどの逐次近似型画像再構成法によって、ある程度復元することができている。しかしながら、その誤差は大きく、アーチファクトとして再構成像に表れている。一方で、TOFの情報を用いて再構成した場合には、TOF情報なしでは欠損している領域の情報を十分に含んでいることが分かる。そして、周波数空間の欠損領域の誤差はTOF情報によって大幅に低減できることが示された。

5. 結論

本研究では、投影定理を満たさないジオメトリに対して、TOF情報を含む投影データがどのような効果を持つかを理論的に解析した。TOF情報なしの平行投影データでは、物体に関する周波数空間において、1つの平面の情報が取得できるのに対し、TOF情報が取得できれば、その平面に加えて、TOFカーネルの周波数応答関数を乗じた強度で、

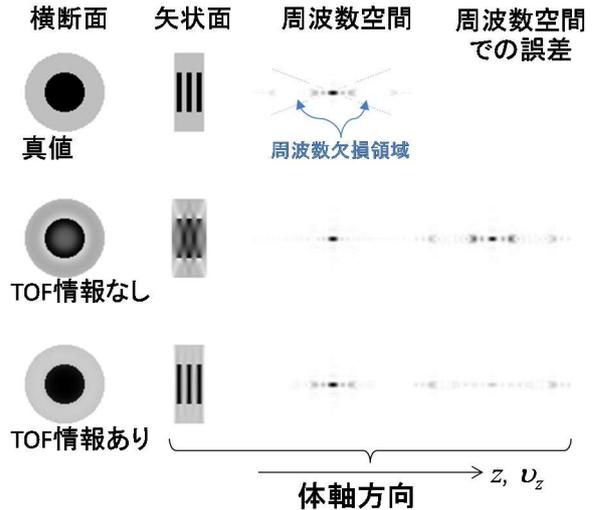


図6 シミュレーションによるディスクファントムの再構成画像とフーリエ解析結果。

その平面の周辺の領域の情報も取得できることを示した。従って、欠損周波数があるジオメトリにおいて、欠損を補う効果があることを示し、低周波領域に欠損のあるDual-Ring OpenPETの開放空間のイメージングについて、理論的な解析と、計算機シミュレーションによって、TOF情報が欠損周波数領域の誤差を十分な精度で低減できることを示した。

参考文献

- [1] Karp J S, Surti S, Daube-Witherspoon M E et al.: *J Nucl Med* **49**: 462-470, 2008
- [2] Lois C, Jakoby B W, Long M J et al.: *J Nucl Med* **51**: 237-245, 2010
- [3] Surti S, Kuhn A, Werner M E et al.: *J Nucl Med* **48**: 471-480, 2007
- [4] Conti M: *Phys Med Biol* **56**: 155-168, 2011
- [5] Defrise M, Casey M E, Michel C, et al.: *Phys Med Biol* **50**: 2749-63, 2005
- [6] Cho S, Ahn S, Li Q et al.: *Phys Med Biol* **53**: 2809-21, 2008
- [7] Cho S, Ahn S, Li Q et al.: *Phys Med Biol* **54**: 467-84, 2009
- [8] Defrise M, Rezaei A, and Nuyts J, *Phys Med Biol* **57**: 885-899, 2012
- [9] Yamaya T, Inaniwa T, Minohara S et al.: *Phys Med Biol* **53**: 757-775, 2008
- [10] Surti S and Karp J S, *Phys Med Biol* **53**: 2911-21, 2008
- [11] Surti S, Zou W, Doube-Witherspoon M E et al.: *Phys Med Biol* **56**: 2667-85, 2011
- [12] Yamaya T, Yoshida E, Nishikido F et al.: *IEEE NSS/MIC Conf Rec*: 2651-2653, 2009
- [13] Tashima H and Yamaya T: *IEEE NSS/MIC Conf Rec*: M22-13, 2013
- [14] Tashima H, Katsunuma T, Kudo H et al.: *Radiol Phys Technol* **7**: 329-39, 2014
- [15] Tashima H, Yamaya T, and Kinahan P E: *Phys Med Biol* **59**: 6175-93, 2014
- [16] Defrise M and Kinahan P E: in *The theory and practice of 3D PET*, Bendriem B and Townsend D W Eds. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers: 11-53, 1998

3. 頭部 PET (1)

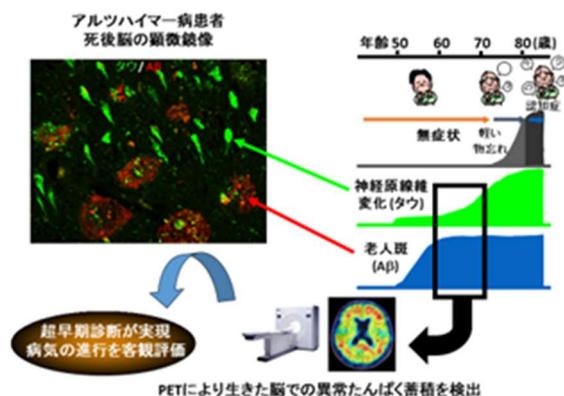
(13) 分子イメージングによる精神・神経疾患の診断と創薬への展開

須原哲也

放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター
分子神経イメージング研究プログラム

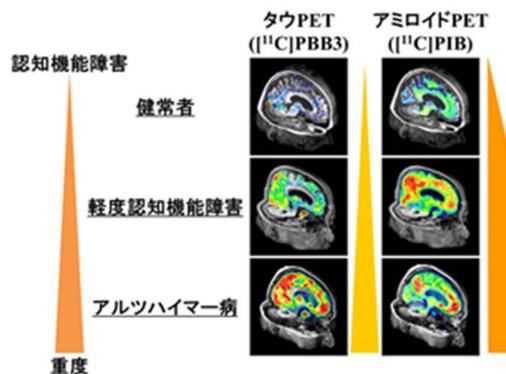
1. 認知症の診断

アルツハイマー病 (AD) の確定診断はアミロイドとタウの蓄積量と分布に基づいてなされているが、これらの蓄積は死後脳の病理解析によってのみ確認できるので、生前に AD の確定診断を行うことは難しい。そこでアミロイドやタウの病変を生体で画像化できれば、生前に確定診断に近い情報が得られるのみならず、病変形成と神経細胞死ひいては症状発現の関係を明らかにして、根本治療の標的となるメカニズムを同定できると見込まれる。アミロイドやタウは AD のみならず、レビー小体型認知症患者の一部でも蓄積し、これに加えてタウは前頭側頭葉変性症患者の一部でも蓄積を認める。従ってアミロイドとタウの蓄積量や分布を指標として、多くの認知症の鑑別診断が実現すると予想される。アミロイドに関しては ^{11}C 標識ピツバーグ化合物 (^{11}C]PIB) をはじめとして様々なアミロイド結合性放射性薬剤の開発により、ポジトロン断層撮影 (PET) で AD 患者のアミロイド蓄積を画像化できるようになった。この技術を用いることで、正常高齢者や軽度認知機能障害の症例でもアミロイドが溜まっている人がいることが示された。しかしアミロイド蓄積量は軽度認知機能障害 (mild cognitive impairment; MCI) の時点ですでに AD レベルに達していることが明らかになり、アミロイド陽性の正常高齢者が MCI を経て AD に至る過程を、アミロイド PET のみに基づき詳しく評価することは難しいこともわかってきた。



一方タウはヒト死後脳や認知症モデルマウスの解析により、アミロイド蓄積以上に神経細胞死に密接に関与することが示されている。タウ遺伝子

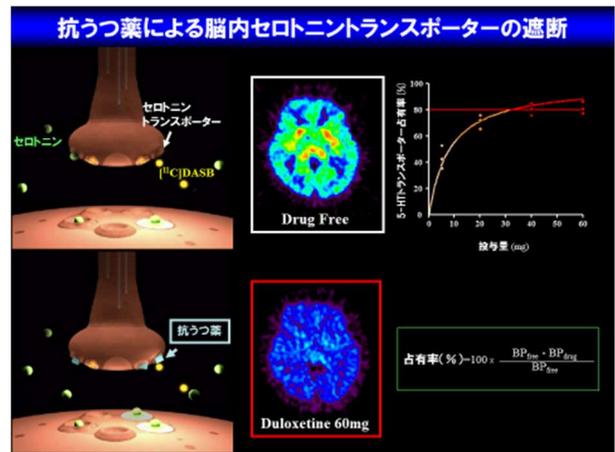
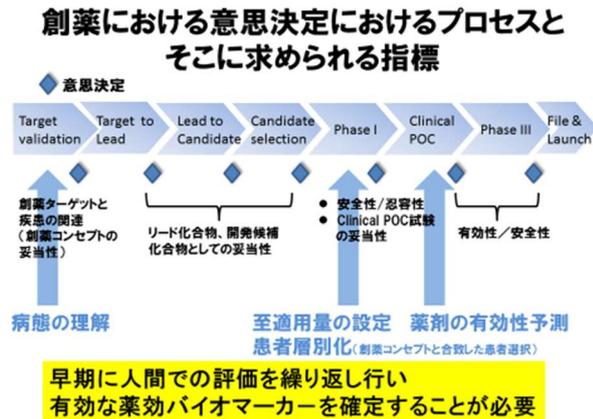
異常によりアミロイド蓄積なしにタウが蓄積して神経細胞死が起こり、家族性認知症が発症することからも、タウ病変が認知症の症候や神経細胞死の分子基盤として重要と考えられる。AD 患者においては、健常高齢者に比べて脳萎縮を認める傍海馬領域で放射線医学総合研究所において開発されたタウイメージング用の PET リガンド [^{11}C]PBB3 の集積が顕著に見られる。さらに [^{11}C]PBB3 で評価したタウ蛋白病変は嗅内野を含む側頭葉内側面から始まり、徐々に新皮質へと上行するように広がっていくかのような傾向を認める。これは神経病理学的なタウ蛋白病変の進展様式に類似しており、[^{11}C]PBB3 によるタウイメージングの集積が神経障害の重症度を反映しているものと考えられる。さらにタウイメージングは創薬分野においても、臨床試験における組み入れ段階において適切な対象被験者を選別することが可能となり、さらには客観的な治療効果判定を行うイメージングバイオマーカーとして活用できるなどの役割が期待され、認知症の新規治療薬の開発を促進する可能性が期待される。



2. 精神・神経疾患の治療薬開発への展開

向精神薬の評価、特に臨床効果に関しては現在のところ数値で客観的に評価できる指標はきわめて限られている。新しい薬の評価に当たってはまずヒトでその薬が標的臓器に十分な量入っているかどうかが重要となる。さらに脳内へ入った薬物が目的のタンパクに結合しているか、その結果どの程度の服薬量で薬に由来する脳機能の変化が起こるかなど、精神科領域においては診断に使える検査が限られていることから薬の評価に関しても、その手段はきわめて限られるのが現状である。そ

の中でいろいろな脳イメージングは脳内の変化をヒトで非侵襲的に測定できる有力な手段であり、特に薬の標的分子を直接可視化できる PET は、現在向精神薬の開発に欠かせない手段となっている。PET による向精神薬の評価は、まず標的となる脳内分子、たとえば抗うつ薬であればセロトニントランスポーターなどを分子に特異的に結合する標識薬物で可視化し、開発中の薬物がもしその標的に結合すれば標識化合物の結合が少なくなることから、脳内での薬物の標的分子への結合とその程度を直接測定することが可能になる。



しかし全く新しい標的に結合する薬の場合、時にはその薬の類似分子から新たな標識化合物を作り出すことも必要となる。さらに新薬の評価に当たっては薬物の効果そのものだけではなく、対象となる患者をどのように選択するかといった患者の層別化の指標や、またプラセボ効果をどのように除外するかといった視点も重要となる。

(14) ヘルメット PET 実証機開発

田島英朗¹⁾、吉田英治¹⁾、錦戸文彦¹⁾、脇坂秀克¹⁾、岩男悠真¹⁾、Abdella M. Ahmed¹⁾、
Akram Mohammadi¹⁾、木村泰之¹⁾、田沢周作²⁾、山谷泰賀¹⁾

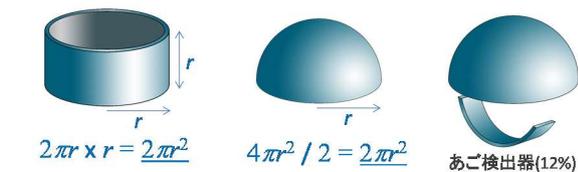
¹⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

²⁾ 株式会社アトックス

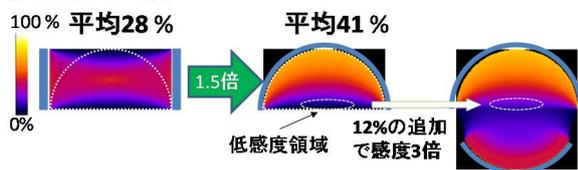
1. はじめに

アルツハイマー型認知症などの脳疾患を発症前の早い段階で発見することが可能な診断薬の臨床応用が進められており、それに伴い頭部専用の PET (Positron Emission Tomography) 装置 (脳 PET) の潜在的な需要が高まってきている。スクリーニング検査用の脳 PET として広く普及させるためには、1)高感度、2)高分解能、3)低コストであることが要求される。これまでも、脳 PET 装置が開発されているが、それらは全てブロック検出器を円筒状に配置したものであった[1-6]。それに対して我々は、半球状の検出器配置で、ヘルメットのように近接させて頭頂部を覆うことで、同じ検出器数の円筒型 PET と比較して、大脳部の感度を大幅に高められることを示した (図 1) [7,8]。さらに、あごの部分の覆うように検出器を追加することで、半球型の検出器配置のみでは円筒型配置の端部分と同様に低感度となる小脳部の感度を向上させることができる。本研究では、検出器を近接させることによる空間分解能の劣化を抑えるために、放射線医学総合研究所 (放医研) で開発された 4 層 DOI (Depth-of-Interaction) 検出器[9, 10]を用いて、提案するヘルメット PET の実証機を開発した[11]。

表面積 (検出器量)



幾何学的感度



円筒型PET

ヘルメットPET

図 1 ヘルメット PET と円筒型 PET の幾何学的感度解析結果

2. 方法

図 2 に開発した実証機の写真と検出器配置の立体図を示す。ヘルメット PET は半球型のヘルメット部と、あごの周りを覆うように検出器を配置したあご部によって構成される。DOI 検出器を用い

て提案装置を実現するために、直径の異なる複数のリングを半球に接するように並べ、頭頂部では十字型に配置した。半球型のガントリーの内径は 25 cm とした。そして、あごの部分には円弧状に配置した。DOI 検出器は、高感度型の 64ch 光電子増倍管 (PMT: Photo Multiplier Tube) (浜松ホトニクス社製 R10551-00-64) と 16×16×4 配列の GSO 結晶 (2.8 mm×2.8 mm×7.5 mm) からなり、ヘルメット検出器 47 個、あご検出器 7 個の計 54 個用いた。

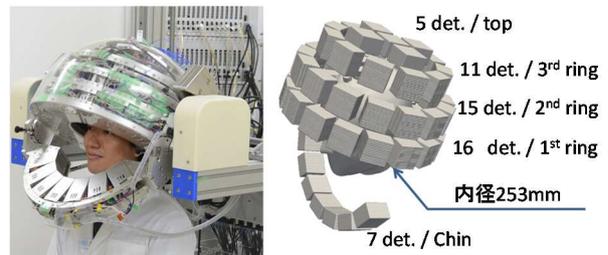


図 2 ヘルメット PET 実証機の写真と検出器配置の立体図

実証機のデータ収集システムではシングルイベントを記録し、後処理で同時計数イベントを抽出した[12]。エネルギーウィンドウは 400 keV から 600 keV とし、同時計数の時間窓は 20 ns とした。

開発した実証機を用いて、絶対感度及び空間分解能の評価と、3次元脳ファントムを用いたイメージング性能評価を行った。絶対感度と空間分解能評価では、中心から頭頂へのオフセット毎に、0.18 MBq の ²²Na 点線源を 5 分間ずつ測定した。なお、中心は 16 検出器からなる第一リングの中心部とした。そして、FBP (Filtered Back Projection) 法と LM-OSEM (List-Mode Ordered Subset Expectation Maximization) 法によって画像を再構成した。ボクセルサイズは 0.5×0.5×0.5 mm³ とした。FBP 法のフィルタ関数はカットオフなしの Ramp フィルタを用いた。また、LM-OSEM 法では、検出器の応答関数を考慮したシステムマトリクスを使用し、サブセット数 8、反復回数 10 とした。

イメージング性能評価では、20 MBq の ¹⁸F 水溶液を 3次元脳ファントム (モレキュラーイメージングラボ社製) に満たし、20 分間測定した。減弱補正は事前に撮影した X 線 CT 画像を手動で位置合わせすることで行った。偶発同時計数の補正は遅延同時計数によって行った。感度補正はガン

リーの内側に合わせ、直径の異なる 2 つの円筒を重ねた形状のプールファントム (^{18}F 水溶液 38 MBq) を 12 時間測定することで行った。散乱補正はヘルメット PET に適用可能な SSS (Single Scatter Simulation) 法を新たに開発して適用した。

3. 結果・考察

図 3 に絶対感度と空間分解能の評価結果を示す。装置感度は頭頂付近で 10%以上、小脳部で 5%であった。また、平均空間分解能 (半値幅) は、FBP 法で 3.0 mm、LM-OSEM 法で 1.4 mm であった。放医研でこれまでに開発した頭部 PET である jPET-D4 では、256ch PMT (浜松ホトニクス社製 H9500) と $16 \times 16 \times 4$ 配列の GSO 結晶 (3.0 mm \times 3.0 mm \times 7.5 mm) からなる DOI 検出器を 120 個用いており、中心感度は 11%であったが[3]、ヘルメット PET ではほぼ同程度の検出器 54 個で同等な最大感度を達成できることが示された。

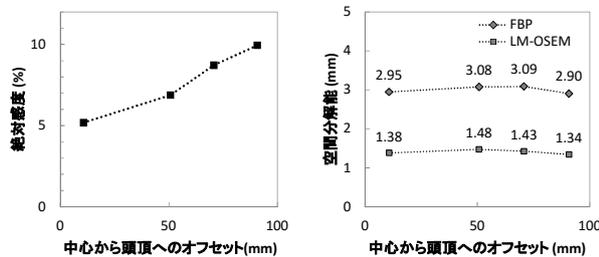


図 3 実証機の絶対感度と空間分解能

図 4 に 3 次元脳ファントムを測定し、画像再構成であご検出器に関するデータを使用した場合 (あご検出器あり) と、間引いた場合 (あご検出器なし) について比較した。その結果、あご検出器の追加によって、特に半球底部部のスライスのノイズが低減されることが示された。

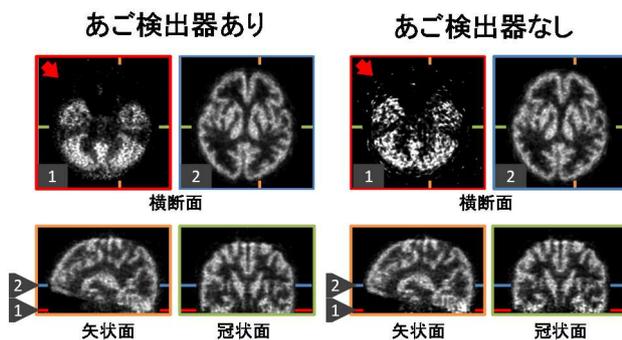


図 4 あご検出器ありとなしの場合の 3 次元脳ファントムの再構成像の比較 (数字はスライスの位置を示す)

4. 結論

ヘルメット PET 実証機開発により、提案装置によって、高感度、高分解能かつ低コストな脳 PET 測定が実現可能なことを示した。今後、検出器配置の最適化及び、検出器の最適化によりさらなる高性能化を目指す。

参考文献

- [1] L. Eriksson, et al., "The ECAT HRRT: NEMA NEC evaluation of the HRRT system, the new high-resolution research tomograph," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 49, pp. 2085–88, 2002.
- [2] T. Yamaya, et al., "Transaxial system models for jPET-D4 image reconstruction," Phys. Med. Biol., vol. 50, pp. 5339–55, 2005.
- [3] T. Yamaya, et al., "First Human Brain Imaging by the jPET-D4 Prototype With a Pre-Computed System Matrix," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 55, pp. 2482–92, 2008.
- [4] S. Yamamoto, et al., "Development of a Brain PET System, PET-Hat: A Wearable PET System for Brain Research," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 58, pp. 668–73, 2011.
- [5] S. Majewski, et al., "HelmetPET: A silicon photomultiplier based wearable brain imager," IEEE NSS&MIC Conf. Rec., pp. 4030–4034, 2011.
- [6] T. Omura, et al., "Development of a High-Resolution Four-Layer DOI Detector Using MPPCs for Brain PET," IEEE NSS&MIC Conf. Rec., pp. 3560–3563, 2012.
- [7] H. Tashima, et al., "A Proposed Helmet-PET with a Jaw Detector Enabling High-Sensitivity Brain Imaging," IEEE NSS&MIC, M11-11, 2013.
- [8] 田島英朗, 他: あご検出器付ヘルメット型 PET 装置の提案, 平成 25 年度次世代 PET 研究報告書: pp. 74-75, 2014
- [9] T. Tsuda, et al., "A four-layer depth of interaction detector block for small animal PET," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, pp. 2537–2542, 2004.
- [10] Y. Hirano, et al., "Performance evaluation of a depth-of-interaction detector by use of position-sensitive PMT with a super-bialkali photocathode," Radiol. Phys. Technol., vol. 7, pp. 57–66, 2014.
- [11] 放医研プレスリリース, 2015/11/5, http://www.nirs.go.jp/information/press/2015/11_05.shtml
- [12] E. Yoshida, et al., "Development of a Singles-Based Scalable Data Acquisition System for the Whole-Body OpenPET," IEEE NSS&MIC, M11-7, 2014

(15) Sensitivity comparison of the helmet-chin PET with a cylindrical PET based on similar conditions using Monte-Carlo simulation

Abdella M. Ahmed, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, and Taiga Yamaya
Molecular Imaging Center, Biophysics Program, National Institute of Radiological Sciences, Japan

1. INTRODUCTION

Dedicated brain PET scanner becomes an important tool for early diagnosis of Alzheimer’s disease and brain function studies. Improving the sensitivity and achieving high spatial resolution of such scanner are active areas of research. The spatial resolution of the PET system can be improved by use of advanced depth-of-interaction (DOI) detectors, and its sensitivity can be increased by increasing the solid angle coverage. A four-layer DOI detector has been proven to achieve high spatial resolution in the jPET [1]. Recently, there is a high interest to develop a PET system which can be placed near the subject; the PET-hat [2] and HelmetPET [3] are examples of such a system. In the former, the sensitive area is constructed from 2-layer GSO scintillation detectors coupled with flat-panel PMTs. In the latter system, the PET scanner is developed using LYSO detectors coupled with SiPMs and the detectors can be arranged in a helmet and can be placed near the patient’s head. In both systems mentioned above, the geometry of the scanners is based on the conventional cylindrical geometry. However, the design based on a cylindrical geometry limits the solid angle coverage of the scanner, and may not be the most efficient design for brain function studies and early diagnosis of brain disease. On the other hand, we have proposed a dedicated brain-PET scanner based on a hemispheric geometry and a chin detector (referred to as the helmet-chin PET) [4] for high sensitivity. The chin detector helps to increase the number of possible lines-of-response (LORs) in the hemisphere. In this study, we evaluate the sensitivity and count rate performance of the helmet-chin PET under a realistic scanner design using a Monte-Carlo simulation. The performance of the helmet-chin PET was compared to that of the conventional cylindrical PET under similar conditions such as use of the same type and number of detectors as well as similar positioning of a point source at several positions in the field-of-view (FOV). Recently, we developed the first helmet-chin PET prototype using the 4-layered GSO detectors [5], which were originally developed for our OpenPET [6-7]. The simulation was carried out by using the same type of detector.

2. Methods

2.1. Scanner Design

The photon tracking simulations were performed using Geant4. Geant4 is a simulation toolkit which has been successfully applied to simulate the passage of particles through matter [8-9]. In the simulation, the helmet-chin PET was constructed from four-layer DOI block detectors arranged in a hemisphere of radius 126.5 mm and a chin detector. The specifications of the scanner are given in Table 1. The helmet part had three rings with different radii and number of block detectors, and a top cover with 5 block detectors arranged in a cross-shaped geometry (Fig. 1).

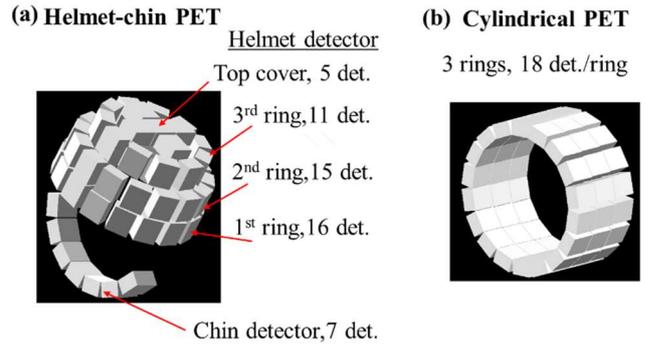


Fig. 1. Block Detector configurations of the (a) helmet-chin PET scanner, and (b) cylindrical PET scanner.

Table 1. Scanners Specifications

Scintillation material	GSO
Size of scintillator crystal	2.8×2.8×7.5 mm ³
Number of crystals per detector	16×16×4
Energy window	400-600keV
Coincidence time window	20 ns
<u>Helmet-chin PET</u>	
Hemisphere radius	126.5 mm
Radius of: 1 st rings	126.5 mm
2 nd ring	122.5 mm
3 rd ring	92 mm
Number of detectors	54
<u>Cylindrical PET</u>	
Ring radius	137.5 mm
Number of rings	3
Number of detector per ring	18

The chin detector had 7 block detectors arranged on a circle of radius 140 mm and whose center was placed 60 mm below the center of the bottom ring. This arrangement would give enough space between the chin detector and the chin of the subject. A cylindrical PET scanner with the same type and number of block detectors and having a radius of 137.5 mm was simulated (Fig. 2 (b)) for sensitivity comparison. A non-paralysable dead time of 250 ns was applied on each block detector. At this point, the coincidence events have been acquired without multiplexing among the detectors.

2.2 Sensitivity and noise equivalent count rate (NECR)

The sensitivity of the scanners was evaluated using a point source placed in the FOV at offset positions along line 1 and line 2 as shown in Fig. 2. True coincidence counts were obtained to evaluate the sensitivity. The count rate performance of the two scanners was evaluated using a hemispherical phantom of radius 114 mm. The phantom was placed so that its center coincides with the centers of the 1st rings of the scanners (Fig. 2). The NECR, which is an indirect measure of the signal-to-noise ratio of the image, was evaluated using the formulae given by [10]

$$NECR = \frac{T^2}{T + S + 2R}, \quad \text{eq. (1)}$$

where T, S, and R are the true, scatter, and random count rates, respectively.

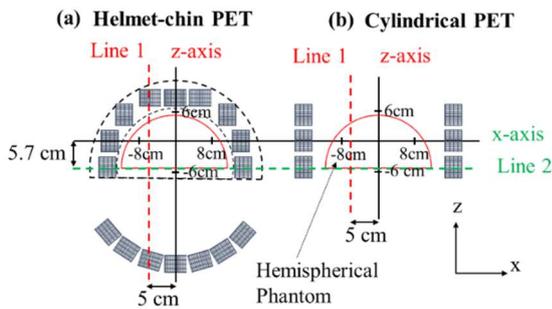


Fig. 2. Setup for sensitivity of (a) the helmet-chin PET and (b) the cylindrical PET.

3. Results

3.1. Sensitivity profile

Figs. 3 (a) and (b) show the sensitivity profiles of a point source along line 1 and line 2, respectively. The helmet-chin PET had higher sensitivity around the bottom part of the helmet due to the chin detector effect. At the top part of the helmet, the sensitivity of the helmet-chin PET had a significant increase compared to the cylindrical PET (Fig. 3 (a)).

3.2. NECR

Fig. 4 shows the NECR curves of the two scanners. The peak-NECR of the helmet-chin PET occurred near 40 MBq and had a value of 506 keps which was more than twice compared to that of the cylindrical PET which occurred at 60 MBq having a peak NECR of 223 keps. The apparent shift of the peak NECR of the Helmet-chin PET towards lower activity is due to its high efficiency for singles which is expect in PET scanners with high solid angle coverage.

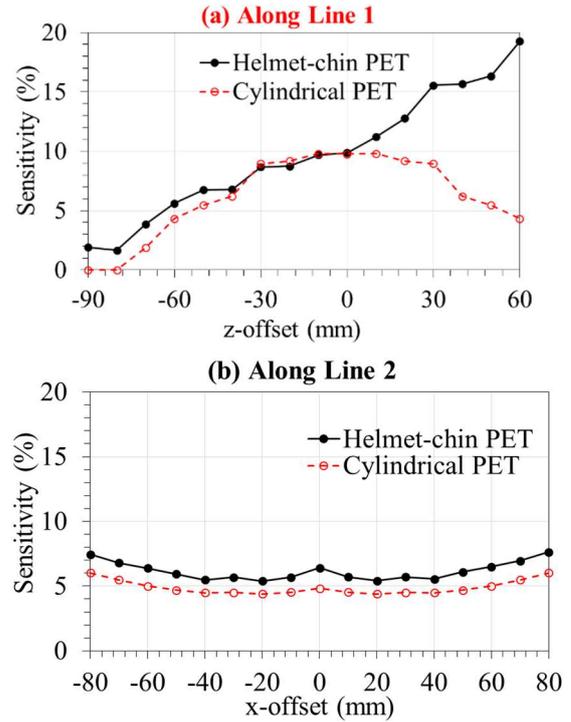


Fig. 3. Sensitivity profiles of the two scanners for a point source placed at several positions along (a) line 1, which is parallel to z-axis at a distance of 50 mm, and (b) line 2, which passes through the center of the 1st ring parallel to the x-axis.

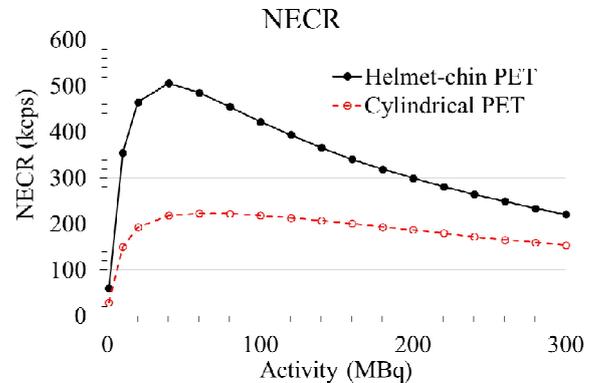


Fig. 4. NECR curves of the two scanner for a hemispherical phantom.

4. Discussion and conclusions

We showed that the helmet-chin PET had high

sensitivity, and high count rate performance. Its sensitivity was about 1.4 times higher than the cylindrical PET near the bottom part of the helmet due to the chin detector effect, which helped to obtain additional LORs in the hemisphere. At the top part of the helmet, the sensitivity of the helmet-chin PET was 4 times higher compared to the cylindrical PET. This significant increase was obtained due to the close arrangement of the detectors at the top part of the hemisphere. If we assume a brain PET imaging with beta-amyloid imaging tracer $^{11}\text{C-BTA-1}^{[11]}$ with an injected dose of 283 MBq and an uptake of 11% by the brain at a specific time, the helmet-chin PET could achieve about 2.4 time higher performance than that of the cylindrical PET. This mean the reconstructed images will have significantly high signal-to-noise ratio. It should be pointed out that the uptake of the tracers by the brain depends on the progress of the disease as well as several other factors such as thinking and exercise of the subject.

In the current prototype, the helmet part of the helmet-chin PET was constructed from three cylindrical rings and a top cover in a cross-shaped geometry (Fig. 1). This geometry was preferred to increase the packing fraction of the scanner for the current block detector size. As a future work, the size of the block detectors will be optimized and the scanner will be constructed by arranging the detectors on the surface of a hemisphere.

In conclusion, the helmet-chin PET appears promising for early diagnosis of Alzheimer's disease and accurate brain function studies.

REFERENCES

- [1] Yamaya T, Hagiwara N, Obi T et al.: *Phys Med Biol* **50**: 5339–5355, 2005
- [2] Yamamoto S, Honda M, Oohashi T et al.: *IEEE Nucl Sci Trans* **58**: 668 - 673, 2011
- [3] Majewski S, Proffitt J, Brefczynski-Lewis J et al.: *IEEE Nucl Sci Symp confrec* pp. 4030- 4034, 2011.
- [4] Tashima H, Ito H, Yamaya T et al.: *IEEE Nucl Sci Symp confrec* pp. 1-3, 2013
- [5] Tashima H, Yoshida E, Nishikido F et al.: *IEEE NSS-MIC, M3CP-97*, 2015
- [6] Yamaya T, Yoshida E, Tashima H et al.: *IEEE NSS-MIC, M15-8*, 2014
- [7] Yoshida E, Shimizu K, Shinaji T et al.: *IEEE NSS-MIC, M11-7*, 2014
- [8] Agostinelli S, Allison J, Amako K et al.: *Nucl Inst Meth Phys* **506**: 250-303, 2003
- [9] Allison J, Amako K, Apostolakis J et al.: *IEEE Nucl Sci Trans* **53**: 270-278, 2006
- [10] Strother S, Casey M, Hoffman E et al.: *IEEE Nucl Sci Trans* **37**: 783-788, 1990
- [11] Thees S, Neumaier B, Glatting G et al.: *Nuklearmedizin* **46**: 175-80, 2007

(16) ヘルメット型 PET の吸収補正法の検討

岩男悠真¹⁾, 田島英朗¹⁾, 吉田英治¹⁾, 佐野ひろみ¹⁾, 木村泰之¹⁾, 山谷泰賀¹⁾
¹⁾放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

1. はじめに

放射線医学総合研究所の独自アイデアであるヘルメット型 PET (Positron-Emission-Tomography) は、4層 DOI (Depth-of-Interaction) 検出器を用いることで、半球型の検出器配置とあご検出器を備えたジオメトリを実現する[1][2]。本装置は従来の円筒形の検出器配置に比べ、少ない検出器数で高い感度を得られるため、装置の小型化や、コストの低減、さらには測定精度の向上といった多数のメリットが期待される。一方で、一般的な PET-CT のような一体型の装置と異なり、ヘルメット型 PET は CT 装置を含まない独立した装置であり、吸収補正に際して特別の配慮が必要となる。本研究では、ヘルメット型 PET の吸収補正方法の検討を行った。具体的には、別途撮像した CT データと、PET データとの位置合わせにより、画像座標の対応した減弱係数マップ (μ マップ) を構成する方法について実データによる実験を通して検証を行った。

2. 方法

吸収補正の流れを図 1 に示した。はじめに、吸収補正無しでの再構成を行い、位置合わせの基準となる初期 PET イメージを作成する。また、 μ マップは別途撮像した CT 装置によるスキャンデータから構成する。両者は撮像タイミング、姿勢等が異なるために、頭部の位置や傾きが一致するよう μ マップのキャリブレーションが必要となる。頭部は剛体領域であるため、剛体変形が仮定できる。したがって求めるパラメータは、3次元の平行移動量、3軸周りの回転量の6つとなる。パラメータの導出法としては、剛体の3次元キャリブレーション手法として種々の方法が提案されているが、今回は位置合わせの精度と、迅速なヘルメット PET 性能評価を優先し、マニュアル操作による位置合わせを行うシステムを試作した。システムでは、初期 PET と μ マップを任意の透過率で重ね合わせて表示し、6パラメータを任意に調整することで、 μ マップの位置合わせが可能である。システムを用いて、目視にて頭部の重なり具合や、脳の形状、頭蓋等を参照しつつ、マニュアルでのパラメータ調整を行い、キャリブレーションされた μ マップを取得する。この μ マップを用いて、吸収補正を付加した PET データの再構成を行い、最終的な画像を得る。

また、提案する吸収補正法の評価として ROI 解析による比較を行った。ROI の作成には、再構成された PET イメージと、提案手法により位置合わせされた μ マップを用いる。初めに、 μ マップに対し、しきい値処理とマニュアル処理を併用し、頭部データから脳部位の抽出を行う。さらに、得られた脳部位内において、PET データにしきい値処理を施し高信号領域を灰白質、低信号領域を白質と分類した。得られた3次元 ROI に対し、それぞれの領域内の平均値を求め、吸収補正の有無による再構成像の比較を行った。

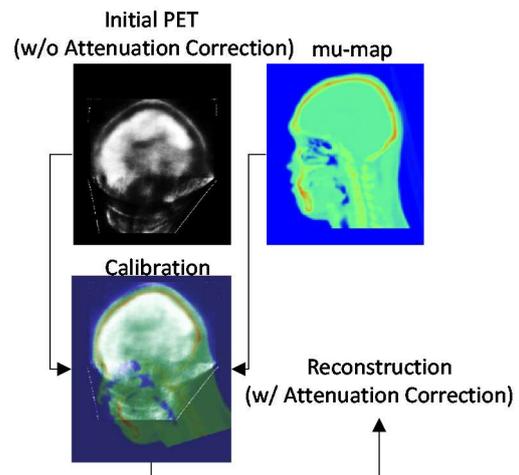


図1 吸収補正処理の流れ

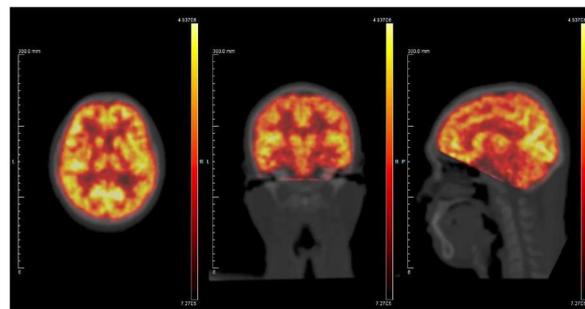


図2 ヘルメットPET再構成像の
 μ マップとのフュージョンイメージ

3. 結果

ヘルメット型 PET を用いたボランティア撮像を行い、提案手法による吸収補正を含めた再構成を行った。被験者である健常者ボランティアは、FDG 70MBq(1.9mCi)を投与後、85 分後より、ヘルメット型 PET にて、18 分間の測定を行った。

得られたシングルデータを OSEM 法により、吸収補正無しでの再構成を行い初期 PET データを取得する。次いで試作システムによる μ マップの位置合わせを行い、吸収補正を考慮した再構成を行った。再構成像と μ マップのフュージョンイメージを図 2 に示した。また、吸収補正の有無による再構成像の差異を比較するため、吸収補正無しの初期 PET と、吸収補正を加味した最終的な再構成像を、同一位置のスライスについて図 3 に示した。なお、図 3 のコントラストは同一値となるよう調整している。図 2, 3 より、吸収補正の効果により、再構成像において白質部位を初めとする脳内の構造が、詳細に表れていることがわかる。

さらに、比較評価のため作成した 3 次元脳 ROI を図 4 に示し、ROI 内の信号の平均値を図 5 のグラフにまとめた。グラフより、吸収補正の効果により、ROI 内のカウントが向上していることがわかる。さらに、PET 画像中に高信号領域として表れる灰白質部位と、低信号領域として表れる白質部位とに顕著な差が見受けられる。したがって、ヘルメット型 PET では脳内部の構造を描出するのに十分なコントラストを備えていると考える。

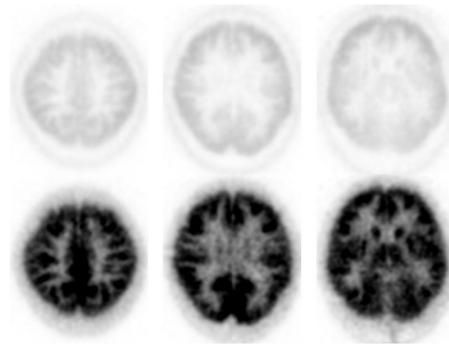


図 3 ヘルメット型 PET による再構成像
上端 吸収補正無し下段 吸収補正有り

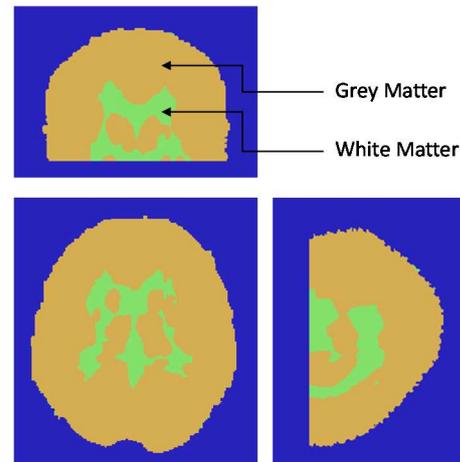


図 4 脳 ROI における灰白質、白質部位

4. 結論

ヘルメット型 PET において、吸収補正を行う手法について検討した。別途撮像した CT データから構成した μ マップに対し、あらかじめ吸収補正無しで再構成した PET データを重ね合わせて表示し、位置合わせのパラメータを任意に調整可能なシステムを試作した。ボランティア撮像したデータに対し、試作システムを用いたマニュアル調整により μ マップを作製し、吸収補正を付加した再構成を行った。吸収補正の有無による比較を行い、良好な画像が得られていることを確認した。また、脳内部の ROI を作成し、脳の構造から生じるコントラストが得られていることを確認した。

今後は、マニュアルによる調整を行っている μ マップと PET 画像とのキャリブレーションについて、自動調整を行う方法について検討を進め、実用化に向けた検証を行う。

参考文献

- [1] H. Tashima, H. Ito and T. Yamaya, "A proposal of a helmet PET with jaw detectors for high-sensitive brain imaging", J Nucl Med. 2013; 54 (Supplement 2):2167, 2013
- [2] H. Tashima, E. Yoshida, F. Nishikido, et al., "Development of the Helmet-Chin PET Prototype", 2015 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf. M3CP-97, 2015

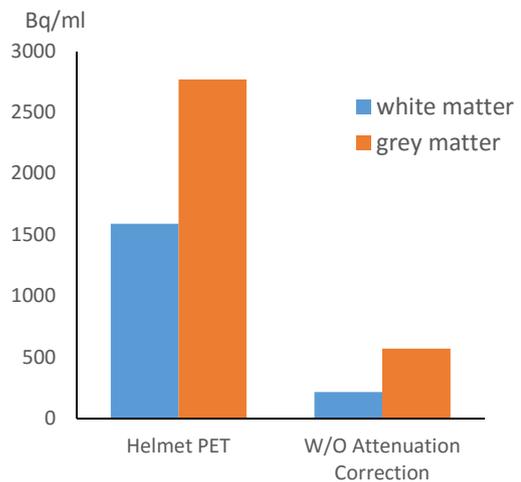


図 5 脳 ROI 内の信号値の比較

4. 頭部 PET (2)

(17) PET/RF コイル一体型アドオン PET/MRI の実証機開発

錦戸文彦¹⁾、菅幹生²⁾、清水啓司³⁾、酒井利明³⁾、小島隆行¹⁾、吉田英治¹⁾、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所

²⁾ 千葉大学、³⁾ 浜松ホトニクス

1. はじめに

我々の開発している「PET/RF コイル一体型アドオン PET/MRI」は、図 1 に示すような頭部専用の PET/MRI 装置である[1]。本装置は我々の開発した 4 層 DOI 検出器[2]の特徴を生かして、PET 装置のリング径を小さくしシンチレータを測定対象に可能な限り近づけることによって、高い空間分解能・装置感度を得ることを目的としている。また、PET 装置が RF コイルと一体となっているため、既存の MRI 装置での使用が可能なことや着脱が簡便であるなどという特徴も持っている。図 1 のように MRI 用の RF コイルを RF 信号の送受信の邪魔にならないよう PET 検出器のシンチレータの間に挿入することで、近接撮像を実現する。

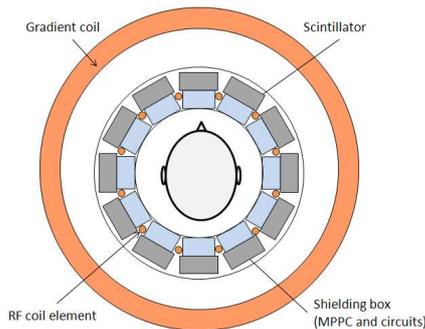


図 1 PET/RF コイル一体型アドオン PET/MRI の基本コンセプト

昨年度までに、1 次試作機[3]を用いたイメージングの評価実験を行い、視野全体で 1.6mm 以下の位置分解能が得られることを示した。一方で 1 次試作機は体軸方向に 1cm 程度の視野しか持たない、温度補償回路が無い等のいくつかの改良が必要な点が残っていた。今年度はそれらの改良を加えつつ、実証機の開発を進めてきた。

アドオン PET/MRI の実証機における PET 検出器の主な仕様を表 1 に示す。結晶ブロックには 2.0mm × 2.0mm × 4.0mm の LFS 結晶を 14×14×4 層に組み上げた 4 層 DOI 方式を使用する。受光素子には 8×8 の MPPC アレイ(4.1mm ピッチ)を用いる。F/E 回路には信号増幅のための ASIC 回路や信号数を圧縮するための抵抗チェーン回路、温度変化に対する電圧補正回路などが搭載されている。

今年度は、実証機用 PET 検出器が問題無く PET/MRI で十分な性能を得ることが可能かを、評価を行った。

表 1 実証機用 PET 検出器の主な仕様

シンチレータ結晶	LFS
結晶アレイ数	2
結晶サイズ (mm ³)	2.0 × 2.0 × 4.0
結晶アレイサイズ	14 × 14 × 4
体軸視野(mm)	60
MPPC	S12641PA-050 (Single pixel, TSV type)
MPPC アレイサイズ	8 × 8 (4.1mm pitch)
読み出し回路	ASIC 有り
温度補償回路	有
シールドボックス	カーボンファイバ

2. 試作 PET 検出器を用いた評価実験

検出器の評価実験では 3T の MRI(Siemens MAGNETOM verio)を用いて行った。図 2 に測定の様子を示す。評価用検出器は RF コイルの左右に 1 つずつ取り付けられており、その他はダミーの検出器が取り付けられている。データ収集システムや MPPC・F/E 回路用の電源は MRI 室外に置いており、ペネトレーションパネルを通して接続してある。信号線、電源線は全てシールドされており、ペネトレーションパネルでアースされている。また、シールドボックスには冷却用のチューブが取り付けられており、MRI 室外にあるポンプを用いて内部の空気を吸引しボックス内の空気を循環させた。

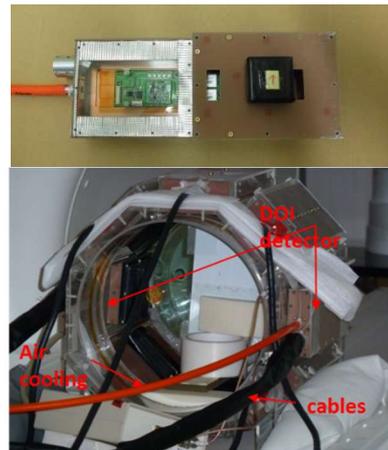


図 2 評価用検出器(上)と実験セットアップ(下)

図 3 に評価実験で得られた ²²Na に対する flood histogram を示す。MRI で測定を行わない場合(MRI off)、Fast Spin Echo 法(FSE)、Echo Planner Imaging 法(EPI)を用いて同時撮像を行った場合の結果を示す。flood histogram は PET 検出器の位置弁別性能を

示す指標であり、どの条件でもほぼ全てのスポットがクリアに別れていることから、MRI との同時撮像下でも結晶サイズである 2mm 以下の空間分解能が得られることが示された。図 4 に flood histogram と同じ条件で得られたエネルギースペクトルを示す。flood histogram の場合と同じく、同時撮像における性能劣化は見られていない。これらのことから本 PET 検出器は同時撮像下でも十分な性能が得られていることが示された。

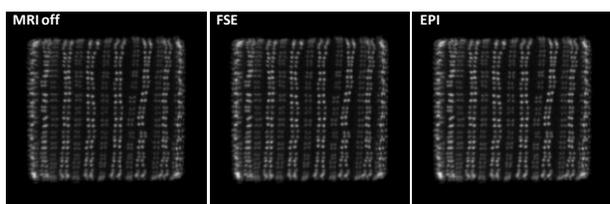


図 3 MRI 同時撮像下で得られた flood histogram

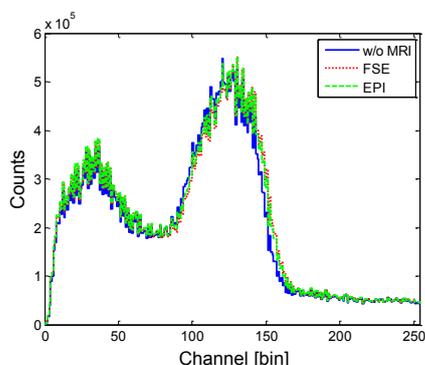


図 4 MRI との同時撮像下で得られたエネルギースペクトル

また、MRI 側の性能評価として、PET 検出器の静磁場への影響・画像の S/N への影響・シールドボックスに発生する渦電流からの影響などを調べた。特に実証機で用いる予定であるカーボンファイバ製シールドボックスが十分な性能を持つかの検証を行った。その結果、銅製のシールドボックス同様に S/N の低下を抑えることが可能であることに加え、渦電流の影響も抑えることが可能であることが示された[4]。

3. アドオン PET/MRI の実証機

前述の評価実験の結果を受けて、現在実証機の開発を進めているところである。図 5 に実際に作成した実証機用 PET 検出器の写真を、図 6 に実証機での PET 検出器とコイルの幾何学的配置を示す。結晶ブロック、MPPC や FE 回路は評価実験に使用したものから大きな変更はされておらず、シールドボックスのみ形状などが変更されている。シールドボックスの素材にはカーボンファイバを使用

しており、サイズが試作検出器よりも幅が狭く変更されている。そのため図 6 のように、24 検出器ユニットで 1 リングが構成される。また、RF コイルのエレメント数は 8 のまま変更はなく、3 検出器ユニットの結晶ブロック毎にエレメントが挿入される形となる。RF コイルについては現在製作を進めているところである。



図 5 実証機用 PET 検出器。上から検出器モジュール(MPPC と FE 回路)、検出器モジュールをシールドボックスに組み込んだ状態、完成形

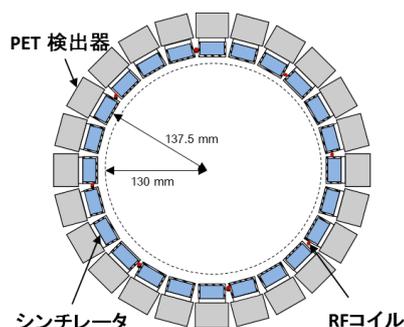


図 6 アドオン PET/MRI の実証機の幾何学的配置

4. 結論

本年度は実証機用 PET 試作検出器を用い性能評価実験を行い、十分な性能が得られことを示した。現在実証機制作・組み立てを進めているところであり、本年度中に MRI との同時撮像下での評価実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Nishikido F, et al., IEEE NSS-MIC, M13-7, 2011.
- [2] T. Tsuda, H. Murayama, K. Kitamura, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, No. 5, pp. 2537-2542, Oct., 2004
- [3] Nishikido F, et al., Nucl. Instruments Methods. A. 756 (2014) 6-13
- [4] Suga M, et al., IEEE NSS-MIC, M3CP-93, 2015.

謝辞

本研究の一部は、AMED 医療分野研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム）の委託により行われた。

(18) PET/MRI 一体型検出器に用いる電磁波シールドボックスと電源用ローパスフィルタのMRI測定に与える影響の評価

菅 幹生¹, 錦戸 文彦², 藤原 理伯¹, 川畑 義彦³, 山谷 泰賀², 小島 隆行²

¹千葉大学, ²放射線医学総合研究所, ³高島製作所株式会社

1. はじめに

複合型診断装置であるPET/CTの臨床応用が進んでいる。CTにより高空間分解能で形態画像が得られるが、軟組織のコントラストが乏しく、放射線被ばく量が多いことが課題となっている。一方、MRIはCTより高いコントラストで軟組織を描画でき、放射線による被曝を回避できるため、新たな複合型診断装置としてPET/MRIが期待されている。

現在、放射線医学総合研究所では、MRIのヘッドコイルにPET検出器を取り付けた、「PET/MRI一体型検出器」を開発している。本検出器は、PET検出器リングの直径を縮小し、MRIのRFコイルより内側にシンチレータ結晶を配置することで、検出器個数の削減によるコスト抑制と、DOI検出器の利用により、高分解能・高感度なPET画像の取得ができると期待されている[1]。本検出器はヘッドコイルとPET検出器が近接しているという特徴により、互いが発する電磁波の影響を受けやすい欠点があるため、PET検出器を電磁波シールドボックスで覆う必要がある。しかし、MRI撮影時に位置情報を付加するために利用する傾斜磁場により、導体であるシールドボックスに渦電流が発生する。このうち、時定数の長い渦電流はシールドボックスの周りに二次磁界を発生させ、MRIの均一な静磁場に歪みを引き起こし、時定数の短い渦電流はMRI信号の位相シフトを引き起こす。渦電流によるアーチファクトとして主にあげられるのが、エコープラナーイメージングでのN/2アーチファクトである。

昨年度、MR画像の信号対ノイズ比(SNR)と、時定数の短い渦電流の二つの観点から様々なシールド素材を定量的に評価した結果、銅箔と銅メッシュ、カーボンロービングはいずれも同程度の高いシールド性能を有していることを確認した。一方、時定数の短い渦電流は、銅箔と銅メッシュで発生したのに対し、カーボンロービングではほとんど発生しないことを明らかにした[2]。

今年度は、PET電源系を原因としたMRIへのノイズ対策の効果と、静磁場強度と静磁場方向の異なるMRI環境下での電磁波シールドの有効性を確認することを目的とした。

2. 方法

PET 装置

Fig. 1にPET検出器を取り付けたヘッドコイルの模式図と、PET検出器の写真を示す。PET検出器はシンチレータブロックとMulti-pixel photon counter (MPPC) アレイ(S12641PA-050, 浜松ホトニクス), ASIC, シールドボックスで構成される。

シンチレータブロックは $2.0 \times 2.0 \times 4.0 \text{ mm}^3$ のLYSOを $16 \times 16 \times 4$ 層のアレイ状に組み上げたものを使用した。MPPCアレイの上にシンチレータブロックが2個置かれており、シールドボックスの開口部より飛び出す形で設置されている。

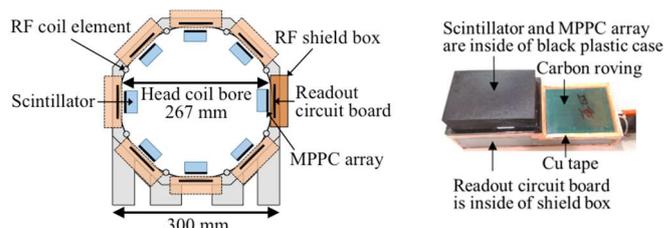


Fig. 1 Birdcage coil of the proposed PET-MRI and a PET detector shielded by carbon roving

MRI 装置

MRIは3 T MRI (MAGNETOM Verio, Siemens)と0.3 T MRI (AIRIS Vento, 日立メディコ)を使用した。それぞれのプロトンの共鳴周波数は123.2 MHzと12.3 MHzである。3 T MRI中にはFig. 1に示したPET検出器を取り付けたバードケージコイルを設置した (Fig. 2)。バードケージコイルには8つのエレメントが267 mm径で並べられており、エレメント間に8つのシールドボックスが取り付けられるようになっている。シールドボックスにはシールドされたケーブルがつながっており、ペネトレーションパネルを通じてMR室外の電源やデータ収集装置に接続した。本実験では、ボックスにシンチレータ、MPPC、基板を搭載の上、MR画像のSNR測定の際には右側のシールドボックスのみに通電した。0.3 T MRIは、3 T MRIとは静磁場方向が異なり、同じバードケージコイルが利用できないため、ファントムとPET検出器を近接して配置可能な0.3 T MRI用の膝用コイルを利用し、PET検出器を右に一つだけ配置した。電源とペネトレーションパネルの間には、各MRI装置の共鳴周波数において-70dBとなるローパスフィルタを設置した。

シールド素材

35 μm の銅箔製のシールドボックス ($224.8 \times 94.0 \times 36.6 \text{ mm}^3$)と、同サイズのガラスエポキシパネル製のボックスにカーボンロービングを4重に貼り付けて、シールドボックスとして使用した。カーボンロービングは、繊維径7 μm のカーボンファイバー24,000本の束を幅約1 cmのリボン状にまとめたもの(UTS50 24k, Toho Tenax Co., Ltd.)を利用した。ボックスの縁には銅テープ(50 μm 厚, 15mm幅)を貼り、面同士を電氣的に接続した。

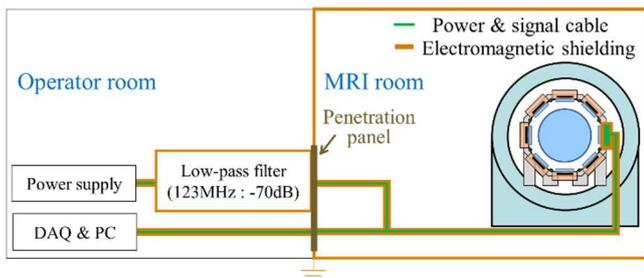


Fig. 2 Setup of the performance test using 3 T MRI

評価手法

本検出器に用いるシールド素材は、プロトンの共鳴周波数帯域でのシールド性能が高く、傾斜磁場の切り替え周波数帯での渦電流による二次磁界が発生しにくいものが望ましい。

はじめに、シールド性能を評価するため、スピンエコー法を用いて、ヘッドコイルに挿入した塩化ニッケル水溶液ファントムの絶対値画像を2枚取得する。画像の信号対ノイズ比 (SNR) は以下の式で求められる [3]。

$$SNR = S / (N / \sqrt{2}) \quad (1),$$

ここに、 S は2枚のうちの片方の画像の関心領域における平均値、 N は2枚の差分画像の関心領域における標準偏差を示す。

シールド素材を変えることでヘッドコイルの感度が変わるため、PET の撮像をしない場合の画像の SNR を基準として、PET 同時撮像の際の SNR を正規化した (式 2)。

$$SNR_{normalized} = \left(1 - \frac{SNR_{simultaneous}}{SNR_{without PET operation}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

この数値を SNR 減衰率とし、シールド素材ごとに比較する。この値が小さいほど、シールド性能が高いことを示す。

3. 結果と考察

3 T MRI でのシールド素材および PET 電源系へのローパスフィルタの有無による SNR 減衰率の評価結果を Fig. 3 に示す。PET 電源系へのローパスフィルタを用いる条件下で、シールド素材を用いない場合の SNR 減衰率は 25.7% に対し、シールド素材として銅箔を用いた場合は 6.7%、カーボンロービングでは 3.8% となった。一方、PET 電源系へのローパスフィルタを用いない条件下で、シールド素材としてカーボンロービングを用いた場合は 15.5% となった。

0.3 T MRI でのシールド素材による SNR 減衰率の評価結果を 3 T MRI での評価結果と共に Fig. 4 に示す。PET 電源系へのローパスフィルタを用いる条

件下で、シールド素材を用いない場合の SNR 減衰率は 20.8% に対し、シールド素材として銅箔を用いた場合は 5.6%、カーボンロービングでは 8.4% となった。

これらの結果より、PET 電源系からのノイズの抑制にローパスフィルタを利用すると共に、PET 検出器からのノイズ低減に電磁波シールド素材を利用することが有効であることが示された。また、昨年度実施した渦電流の評価結果と合わせると、渦電流の発生が少ないカーボンロービングが静磁場強度によらず有効と考えられる。

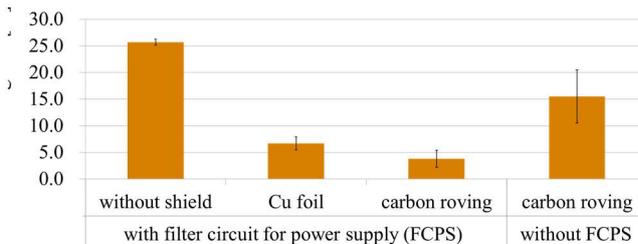


Fig. 3 Decreasing rate of SNR in the simultaneous operations with and without the filter circuit for power supply using 3 T MRI

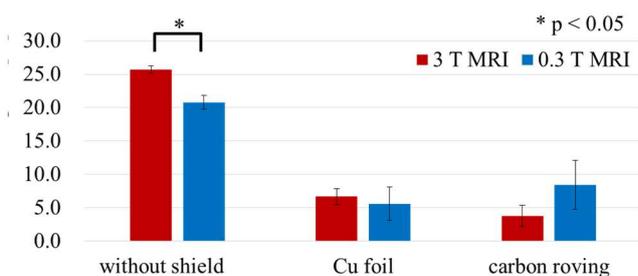


Fig. 4 Comparison between 3 T MRI and 0.3 T MRI of decreasing rate of SNR in the simultaneous operations

4. 結論

PET 電源系へのローパスフィルタは、PET 検出器からのノイズの低減に有効であった。また、静磁場強度の違いによらず、銅箔とカーボンロービングは電磁波シールド素材として有効であった。渦電流の発生しにくさと合わせると、電磁波シールドボックスに使用する素材としてカーボン繊維が適していると考えられる。

参考文献

- [1] Nishikido F, et al., "Feasibility study for a PET detector integrated with an RF coil for PET-MRP", IEEE NSS-MIC, M13-7, 2011.
- [2] 清水浩大 他, 「PET/MRI 一体型検出器に用いる電磁波シールドボックスの計測に与える影響の定量評価」, 平成26年度次世代PET研究報告書, 56-58, 2015
- [3] Kaufman L, et al., "Measuring Signal-to-Noise Ratios in MR imaging", Radiology, 173: 265-267, 1989.

謝辞

本研究は国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) の研究成果展開事業の支援によって行われた

3. データ収集ユニット (DAQ)

データ収集ユニットでは前述の検出器出力からγ線の入射位置と時刻情報を抽出してシングルズデータストリーム化する信号処理回路(PA基板)、データストリームを束ねて伝送する回路などで構成される。ストリームは外部のPCで受信しファイル化される。本回路方式は既にOpenPETにおいて実績があり[4]、同時事象検出は収集後にソフトウェアで行われる。

検出器単体のMRI環境下評価実験においては、DAQ回路はMRII環境外に設置され、検出器の出力信号は同軸線でMRI室のペネトレーションパネルを介して接続された。しかし、この方式でフルシステムを構築するためには240個もの同軸コネクタをペネトレーションパネルに設置しなくてはならず現実的ではない。そのためDAQをMRI室内に設置する方法を検討を進めた。ブロック図を図4に示すが、回路部をシールドされた筐体に格納し、電源はMRI室外からRF周波数である123.2MHzを除去するフィルターを介して供給され、DAQの出力であるデータストリームは光ファイバーにより導波管を介してMRI室外の収集PCに送られる。

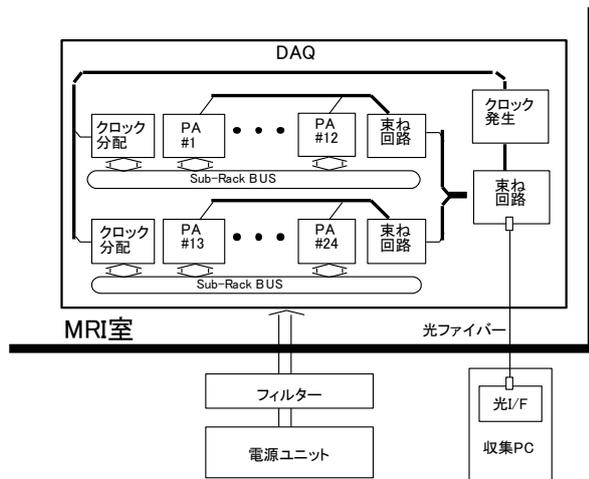


図4. DAQブロック図

市販のEMCラックは大型かつスチール製が主流であり、MRI室内に設置するには不向きであるため、小型アルミラックを改造してシールド補強を施した。図5にパネルを外した状態での外観を示す。筐体単体でのシールド効果を確認するために10m電波暗室にてコムジェネレータを用いたエミッション計測を行ったところ、123MHz付近では少なくとも20dB以上のシールド効果が有ることが確認できた。(20dBはコムジェネレータの特性による限界。)

なお、検出器への電源供給もこの筐体を介して行われ、DAQと検出器シールドボックス間のケーブルは信号線も含め銅箔を内側に貼ったシールドチューブで保護される。



図5. DAQ外観

4. さいごに

RFコイル一体型PETシステムの回路部開発を行った。プレテストではMRI環境下で検出器のフラッドマップが収集されることが確認されている。今後はシステムの評価を行ってゆく予定である。

参考文献

- [1] K. Shimizu et al., "Multi-pixel Photon Counter Module for MRI Compatible Application," IEEE NSS/MIC 2015 conference record, [M3CP-85].
- [2] T. Nagano et al., "Timing Resolution Dependence on MPPC Performance Parameters," IEEE NSS/MIC 2014 conference record, [N26-3].
- [3] F. Nishikido et al., "Development of the 2nd prototype of add-on PET: a head coil with DOI-PET detectors for PET/MRI," IEEE NSS/MIC 2015 conference record, [M4CP-94].
- [4] 清水啓司, "検出器信号処理及びデータ収集系," 平成25年度次世代PET研究報告書, pp.43-

謝辞

本研究の一部は、AMED医療分野研究成果展開事業(先端計測分析技術・機器開発プログラム)の委託により行われた。

(20) Performance evaluation of a PET/RF-coil integrated modality for 3 T MRI system

Md Shahadat Hossain Akram¹⁾, Takayuki Obata¹⁾, Mikio Suga²⁾, Fumihiko Nishikido¹⁾, Eiji Yoshida¹⁾,
Taiga Yamaya¹⁾,

¹⁾National Institute of Radiological Sciences, Molecular Imaging Center

²⁾ Chiba University, Frontier Medical Center

1. Introduction

The simultaneous imaging of positron emission tomography (PET) and magnetic resonance imaging (MRI) systems (PET/MRI system) have emerged as a potential tool for evaluating both the functional and anatomical states of the subject under investigation. Because of extremely high cost and requirements of extra spaces for installation, the potentiality of this multi-modal system could not be spread that much as it is required all over the world. To mitigate these facts and to further enhance the imaging performance, several groups [1-3] are working on developing MRI compatible extremity PET modality to be used with the existing MRI systems. Brain imaging of PET/MRI is a highly potential area to work with diseases like Alzheimer's and different brain tumors. We are developing an extremity PET/MRI modality for human brain imaging [2]. In this design, shielded PET modules are integrated with a Birdcage radiofrequency (RF) coil.

The insertion of PET detector circuits with shielding materials inside the MRI bore creates different hardware design challenges. The MRI system, in general, uses three types of magnetic fields generated by three type of coils: (a) a large static magnetic field (e.g., 1.5 T, 3 T, etc.); (b) gradient magnetic field; and (c) radiofrequency (RF) field. Also magnetic field shimming and shielding are done by different coil and shielding materials. The PET circuits are prone to RF interferences generated by the MRI RF coil and gradient coil assembly. Shielding of these circuitries from RF interferences has been done following different design criteria, like, the type of material to be used for shielding, thickness vs. skin depth, grounding the shield and so on. But inserting these conductive shielding materials and PET circuits inside the MRI bore generates different kinds of electromagnetic couplings with the above mentioned various coils and shielding materials, that results in the unwanted changes in the static magnetic field (or, B_0 inhomogeneity), gradient field (e.g., eddy current, noisy sound and so on), and RF field (or, B_1 inhomogeneity) performances; introduces noise or reduces the MR signal intensity, degrades the MRI signal-to-noise ratio (SNR) and ultimately affects the MR imaging performances. In this study we have provided comparative results for the MRI performance evaluation for the case of RF-coil-only and PET/RF-coil modality inside the MRI system.

2. Methods and Materials

We have implemented an 8-element Tx/Rx Birdcage RF coil with inner diameter of 270 mm and axial length of 280 mm. The hybrid modality with the clinical MRI system is shown in Fig. a. 8 PET modules were designed to integrate in between the 8 elements of RF coil. Each PET module is consisted of scintillation crystals, MPPC circuits, amplifiers and resistive-chain circuits that are installed inside a copper (Cu) shielded rectangular cubic FRP box (Fig. b).

For the scintillation crystal, we implemented 4-layer depth-of-interaction (DOI) LYSO (Lutetium Yttrium Orthosilicate) detectors. The scintillators were arranged as 19×6×4 matrix (Fig. c) block in which the dimension of each crystal cube was 2 mm×2 mm×5 mm and the gap between the crystal blocks were filled up with 0.065 mm thick multilayer polymer mirror of 98% reflectivity (Sumitomo 3M, Ltd.). The axial FOV of the PET detectors was 12 mm. 6 MPPC arrays (S11064-050P, Hamamatsu Photonics, K.K.) were connected with DOI scintillator sets. Each MPPC in one array of 4×4 readout channels has 3 mm×3mm sensitive area. A weighted sum circuit (WSC) concept was implemented to reduce the total 96 readout channels of 6 MPPCs into 4 channels and amplifier circuits were implemented with the readout circuit board. The readout signals were collected in the data acquisition system outside the MRI magnet room by 10-meter long coaxial cables. The overall dimensions of each shielding box (Figs. B.) were 218 mm×95 mm×38 mm and the thickness of Cu sheet was 35 μ m. The distance between the shield box and a coil element was around 4 mm and, the diameter of the PET ring was 255 mm. Fig. a illustrated the complete PET-integrated Birdcage RF coil. In this study a homogeneous cylindrical phantom (NiCl₂ solution) with axial length of 120 mm and diameter of 200 mm was used for different MRI experiments.

Experiments were conducted using a 200 mm dia. × 120 mm length cylindrical homogeneous phantom (Nickel Chloride Solution) in a 3T Siemens Magnetom Verio MRI system. We have performed evaluation of RF field distribution (B_1), specific absorption rate (SAR), and static field homogeneity (B_0) for the RF coil with- and without-PET modules. For B_1 mapping we have implemented double angle method (DAM) [4]. Two spin-echo (SE) magnitude images with longer TR (>5T₁) were taken for the excitation flip-angle of one image twice (i.e., 120°) than that of other image (i.e., 60°) – keeping all other parameters same. The other imaging

parameters were: TR = 3000 ms; TE = 12 ms; slice thickness = 5 mm, image matrix=128×128, FOV = 300 mm and refocusing flip-angle = 180°. For the SAR calculation we have implemented electric properties tomography approach [5] that calculates the SAR from the B_1 maps using Ampere’s law in differential form for time-harmonic signal. For the B_0 inhomogeneity measurement we have followed the gradient echo phase difference method [6]. Following this approach two gradient echo phase images with different echo times (30 ms and 35 ms) were taken. The phase difference is used to calculate B_0 .

3. Results and Discussion

The B_1 , SAR and B_0 distribution maps for the central transverse plane are shown in Fig. (d)-(i). For comparative study, results are given for both the cases of RF coil with and without PET modules. Because of the RF currents generated on the shields and the effects of coaxial cables on tuning-matching of RF coil, the B_1 field distribution was found slightly distorted than that of without PET modules case. For PET data acquisition we have used long (10 m) coaxial cables, which is highly sensitive for generating impedance mismatch between

the coil and its power source. As result transmission power changes from the expected level and changes the field value. Still about 70% central area of the phantom shows very high homogeneity and they agree to a greater level – 96% without PET and 90% with PET. SAR was calculated using the B_1 field distribution data. As SAR represents the electric power absorption in the phantom, higher SAR value was found at the boundary of the phantom as there was smaller magnetic field in those areas compare to the center. At the center transverse slice, the B_0 inhomogeneity due to PET circuits increases from absolute 2.5 μ T to 6 μ T due to PET modules.

References

- [1] A. Kolb, et al, Eur Radiol 22 (2012) 1776–1788.
- [2] F. Nishikido, et al, Nucl Instru Method Phys Res A 756 (2014) 6–13.
- [3] P. Olcott, et al, Phys Med Biol 60 (2015) 3459–3478.
- [4] E.K. Insko et al, JMR 103(1993)82-85.
- [5] U. Katscher et al, IEEE Trans. Med. Imag. 28(2009)1365-1374.
- [6] AAPM Report No. 34, Medical Physics, 19(1992)217-229.

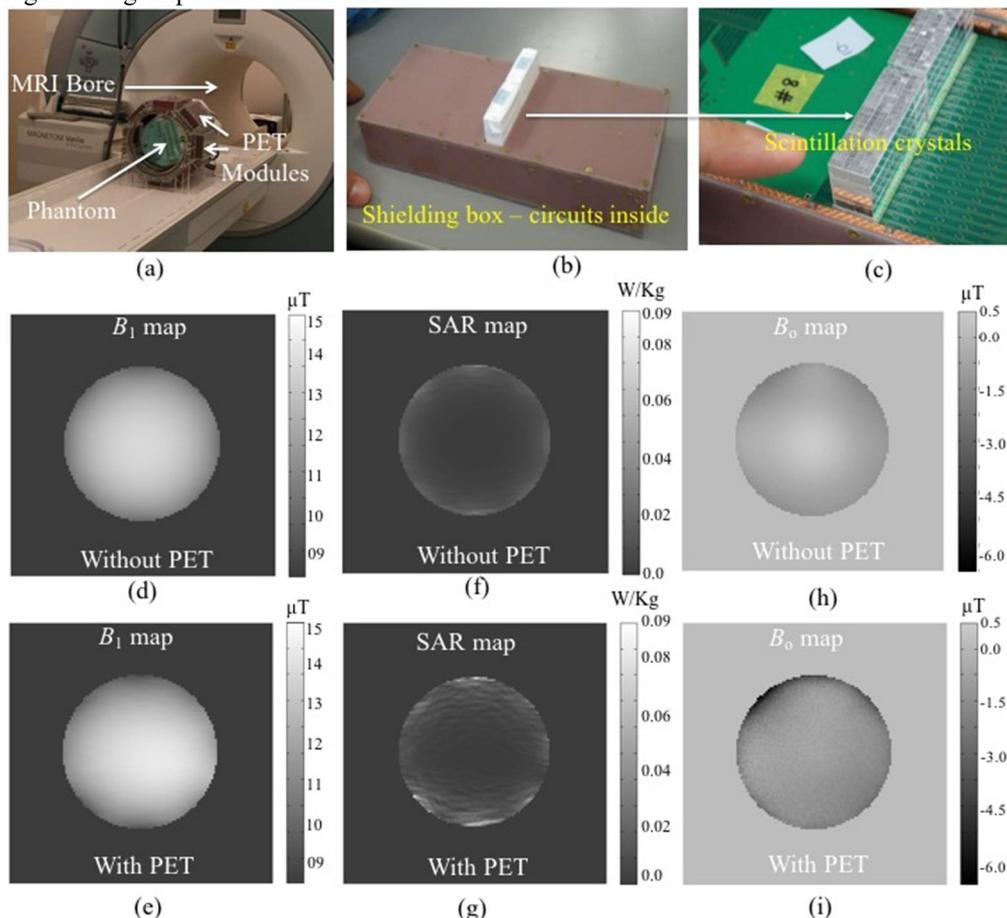


Fig. (a) PET/RF-coil system with MRI system; (b)-(c) shielded PET module. (d)-(e) B_1 map; (f)-(g) SAR map; (h)-(i) B_0 map for RF-coil without and with PET modules

5. 新規応用・要素技術

(21) 0.77 mm 等方分割 X'tal Cube 検出器の試作と分解能評価

新田宗孝^{1),2)}、稲玉直子²⁾、錦戸文彦²⁾、吉田英治²⁾、田島英朗²⁾、河合秀幸¹⁾、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 千葉大学理学研究科

²⁾放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

1. はじめに

小動物 PET 装置やマンモ PET 装置、頭部専用 PET 装置の開発などを目的として、PET 検出器の高空間分解能化は世界的に研究され、1 辺 1 mm の立方体結晶を用いた検出器[1]や断面積が 1 mm² 未満の結晶を用いた検出器[2]などが開発されている。装置の視野全体において高感度と高空間分解能を達成するためには、検出器内でのガンマ線の検出位置を 3 次元的に計測する depth of interaction (DOI) 検出器の採用が不可欠である。

そこで、我々は次世代 DOI 検出器である X'tal Cube 検出器を開発してきた[3],[4]。具体的には、内部にレーザー加工が施されたシンチレータブロックの各面に、薄型の半導体光検出器である multipixel photon counter(MPPC、浜松ホトニクス社製)を光学結合し、当検出器を作成する。図 1 (a)に X'tal Cube 検出器の概念図を示す。内部に細かな立方体状の結晶セグメントが形成され、シンチレーション光は各 MPPC に広がり、その信号の重心演算の結果を 3 次元ヒストグラム上に描くことでガンマ線検出セグメントを決定する (図 1(b))。

我々は前年度、13.6 mm 立方の結晶ブロックと 13mm 平方の MPPC アレイを組み合わせて X'tal Cube 検出器試作した[5]。結晶ブロックは 17x17x17 の結晶セグメントに分割され、各セグメントのサイズは 0.8mm 立方であった。ガンマ線照射実験の結果、試作検出器の中央部分 15x15x15 のセグメントは弁別することが可能であった。しかし、割合にして約 3 割にあたる端の結晶応答の識別は困難であるという問題があった。原因は MPPC アレイの受光面が結晶ブロックの端の結晶セグメントを覆いきれていないことにあった。そこで、本研究では、結晶ブロックと MPPC アレイのサイズを揃えた X'tal Cube 検出器を試作し、端結晶応答識別を改善した。また、コリメータを用いたガンマ線のスリット照射により、本検出器の位置分解能を調べた。

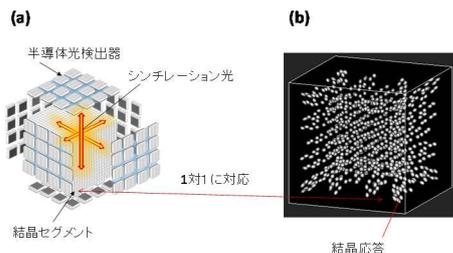


図 1 (a) X'tal Cube 検出器概念図と(b)Anger 計算の結果を描いた 3 次元ヒストグラム

2. 方法

本研究で用いたシンチレータは Lu₂(1-x)Y_{2x}SiO₅(LYSO, x = 0.1, Crystal Photonics Inc. (CPI); USA)で、結晶ブロックのサイズは 13.1 x 13.1 x 13.1 mm³ である。浜松ホトニクス社によるレーザー加工技術[6]により結晶ブロック内部には 0.77mm 間隔で光学的不連続面が生成され、17 x 17 x 17 個のセグメントが作成された (図 2(a))。光検出器としては 4 x 4 アレイタイプの MPPC (S12642-0404PB-50(X), 浜松ホトニクス社, ピクセル数 3600、ピクセルサイズ 50 μm x 50 μm; 有効感度領域 3.0 mm x 3.0 mm) を用いた(図 2(b))。MPPC アレイは結晶ブロック各面に RTV ゴム (KE420, 信越シリコン社製; 屈折率 1.45) を介し接着した。図 2 に MPPC アレイ受光面と結晶セグメントの位置関係を示す。

1) 一様照射実験

²²Na 線源からのガンマ線を検出器に一様照射し、NIM、CAMAC システムを用いデータ収集を行った。ガンマ線と結晶セグメントの相互作用位置は 3 次元 Anger 計算を用いて計算した。3 次元位置ヒストグラムを描き、各応答が弁別可能か確認した。

2) スキャニング照射実験

位置分解能を調べるために、鉛スリットと移動ステージを用意してスキャニング照射実験を行った。図 3 に実験セットアップの模式図を示す。厚さ 50mm の鉛ブロックを用いて、幅 0.2mm のスリットを作成した。鉛スリット上に ²²Na 線源を取り付け、スリット照射を行った。本実験においては、X'tal Cube 検出器の LYSO に含まれる放射性核種である ¹⁷⁶Lu 由来のバックグラウンドの影響を減らすために、同時計数検出器を用意した。同時計数検出器は、3 x 3 x 5 mm³ の (LuGd)Si₂O₅ シンチレータと MPPC(S12572-50P, 浜松ホトニクス社)を用いて作成した。

X'tal Cube 検出器は移動ステージ上に設置され、0.2 mm ピッチでステージを動かしていった。そして、検出器の X,Y 及び Z 方向に対してスキャニング照射実験を行った。

分解能評価のための応答関数を次のような方法で作成した。まず、スキャン方向に対し、垂直な面に配列されている結晶応答を、位置ヒストグラムから選択した。全部で 17 層分の応答が選択される。さらに、その各層の応答から 1 列分の応答を選択した。このように、3 次元位置ヒストグラムから結晶応答の Region of Interest(ROI)を選択した。スキャ

ン照射位置ごとに、各々の ROI に蓄積されたイベント数を取得した。検出器の分解能を調べるため、各応答関数に対し、2成分のガウス関数でフィッティングを行った。バックグラウンド成分としてガウス関数を仮定した。フィッティング関数から半値幅を見積もった。

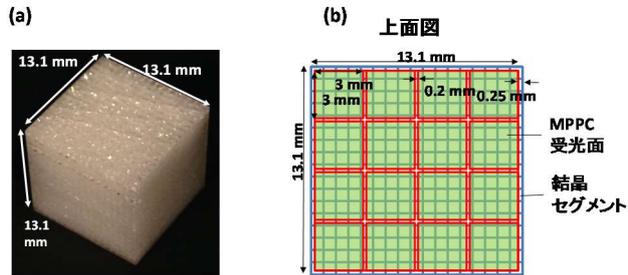


図 2 (a)レーザー加工された結晶ブロック、(b)結晶セグメントと MPPC アレイの位置関係

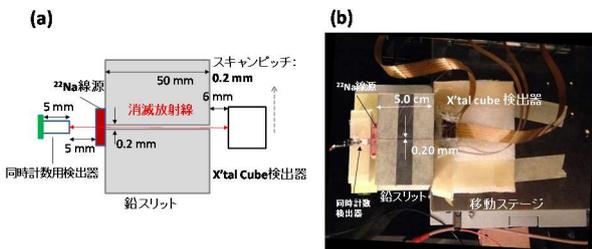


図 3 (a)スキャニング照射実験模式図と(b)実験の様子

3. 結果

1)一様照射実験

96 個の MPPC の全出力を図 4(a)に、エネルギーウィンドウを 511 keV ガンマ線ピークに対して採り、Anger 計算を実行したときの 3 次元ヒストグラムを図 4(b)に示す。図 4(b) の各応答は各結晶セグメントと 1 対 1 に対応する。8 層目に対応する結晶応答を選択して、その応答を図 5 に描いた。その辺縁部分と中央部分のプロファイル 1, 2 を図 6 にそれぞれ示す。17 の結晶応答が識別可能であることが分かる。プロファイル 1 及び 2 の peak to valley ratio はそれぞれ 6.1 ± 2.6 、 3.26 ± 0.87 であった。結晶中央部分においては、結晶内散乱のイベントが多くなるため、peak to valley ratio が低くなると考えられる。端結晶応答の分離を達成することができた。

2)スキャニング照射実験

X、Y 及び Z 方向にスキャンに対して、結晶ブロック表層部分に位置する 1 列目および、結晶ブロック中央部分に位置する 9 列目の結晶セグメントに対応する応答関数をそれぞれ描いた (図 7)。各応答関数に対して、半値幅を調べるために 2 成分のガウス関数でフィッティングを行った。尚、スキャン方向 17 層分の応答関数を同一ヒストグラム上に描いているため 17 個のピークが描画されている。表 1 に図 7~図 9 に示される応答関数の半値幅

をまとめた。結晶セグメントサイズと同程度の分解能が得られた。

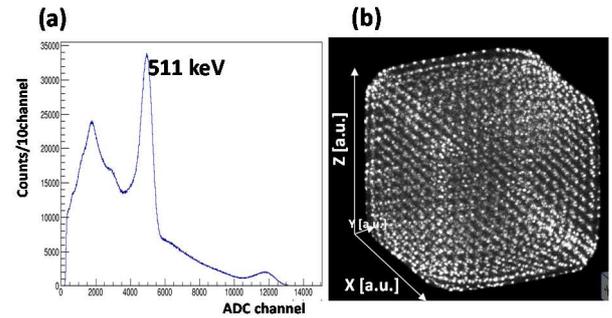


図 4 (a)エネルギースペクトルと(b)3次元位置ヒストグラム

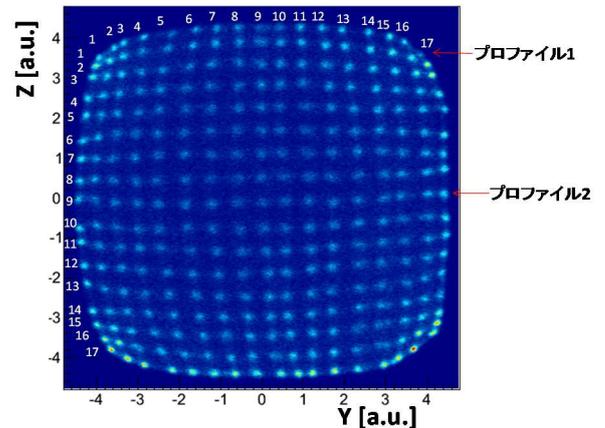


図 5 3次元位置ヒストグラムから YZ 平面の 8 層目に相当する結晶応答を描いた 2次元ヒストグラム

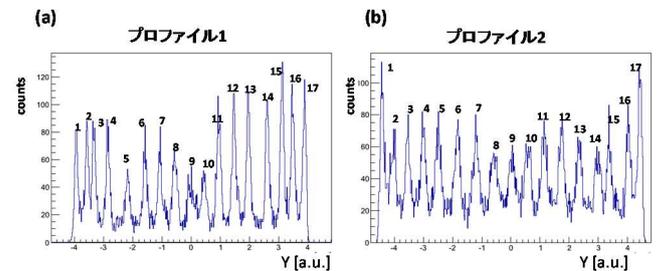


図 6 図 5 に示す応答の列に対して取得したプロファイル

表1. 各スキヤニング照射実験の結果得られた応答関数から、各層の1列目と9列目の結晶応答に対応する半値幅の平均値を示す。

半値幅(FWHM) (mm)			
	X スキャン	Y スキャン	Z スキャン
1 列目	0.68 ± 0.13	0.68 ± 0.05	0.78 ± 0.06
9 列目	0.78 ± 0.11	0.86 ± 0.14	0.84 ± 0.11

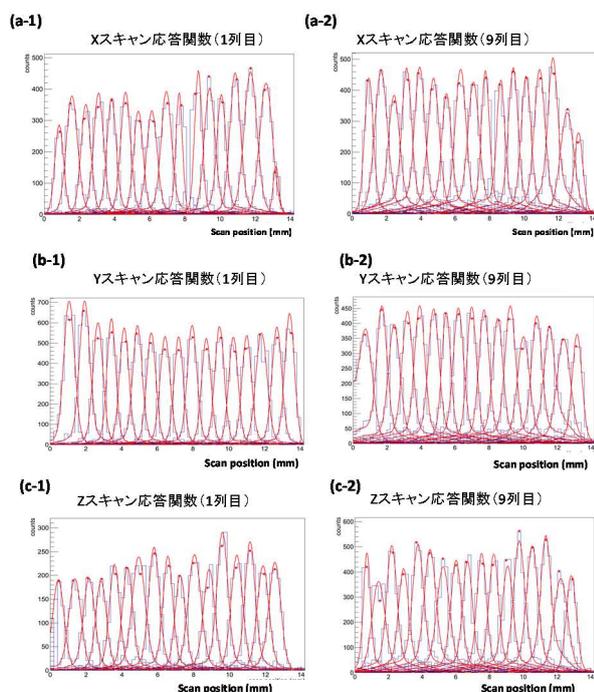


図7 X、Y 及び Z 方向スキヤニングの結果得られた応答関数のうち、結晶セグメントの1列目と9列目に対応する応答関数を示す。

4. 結論

新たに縦、横、深さ方向に0.77mm 間隔でセグメント化された X'tal Cube 検出器を試作した。結晶ブロックの断面と MPPC アレイのサイズを合わせることで、辺縁部の結晶応答の識別が可能になった。また、スキヤニング照射実験の結果、X,Y 及び Z 方向に対して半値幅で1mmを下回る、結晶セグメントサイズ程度の等方位分解能を得た。

参考文献

- [1] A V Andenbroucke, A M K Foudray, P D Olcott and C S Levin *Phys. Med. Biol.* vol55 5895–5911, 2010
- [2] Yamamoto S et al. : *Phys Med Biol.*,vol 58, pp. 7875-7888, 2013
- [3] Yazaki Y, Inadama N et al. : *IEEE TNS*, vol. 59, No. 2, pp. 462-468, April 2012.
- [4] Yamaya T., Mitsuhashi T., et al. : *Phys. Med. Biol.*, Vol. 56, pp. 6793-6807, 2011.
- [5] 新田宗孝 他, 「0.8mm 分割 X'tal Cube 検出器の試作」, 平成 26 年度次世代 PET 研究報告書, pp31-32.
- [6] Moriya T, et al. : *IEEE, TNS*, VOL.61,NO.2, pp1032-1038, 2014

(22) 3次元位置情報を保持とチャンネル数削減を両立する X'tal cube 用抵抗チェーンの開発

蛸海元貴¹⁾、錦戸文彦²⁾、新田宗孝^{2),3)}、吉田英治²⁾、羽石秀昭⁴⁾、山谷泰賀^{2),4)}

¹⁾千葉大学工学部、²⁾放射線医学研究所・分子イメージングセンター

³⁾千葉大学理学研究科、⁴⁾千葉大学フロンティア医工学センター

1. はじめに

放射線医学総合研究所は、PET 用 DOI 検出器の発展型として、X'tal cube (クリスタルキューブ) [1][2] 検出器を開発した。従来の検出器ではシンチレータブロックの 1 面だけに光電子増倍管を接続していたが、X'tal cube では全ての面に半導体光センサを接続した。光センサが 3 次元的に配置されたことで、 γ 線の検出位置を、 $0.8 \times 0.8 \times 0.8 \text{ mm}^3$ の微細な空間まで特定できるようになった[3]。上述の研究ではシンチレータの 6 面全てに半導体光センサを配置していた。よって、一つの検出器あたり 96 の独立した信号が出力される。昨年度、出力信号数を抑えるために、信号の 3 次元位置情報を保持できる 8 出力の新型抵抗チェーンを提案した[4]。本研究では更に出力数を減らした 6 出力の抵抗チェーンを提案し、6 及び 8 出力の抵抗チェーンを試作し性能評価実験を行った。

2. 方法

2.1 8 出力 3 次元抵抗チェーン

まず、作成した 8 出力の抵抗チェーンを図 1 に示す。 R_a と R_b は 100Ω 、 R_c, R_d, R_e は 0Ω と設定した。こうして得られた信号を位置演算し、結晶応答の位置情報を 3 次元ヒストグラム (マップ) に投影した。具体的には、 X 方向への投影座標を決める場合、出力信号 A, B, C, D, E, F, G に対し次の計算を行った。

$$X = \frac{(A+B+C+D)-(E+F+G+H)}{A+B+C+D+E+F+G+H}$$

また、同様にして Y と Z 方向の座標も求めた。

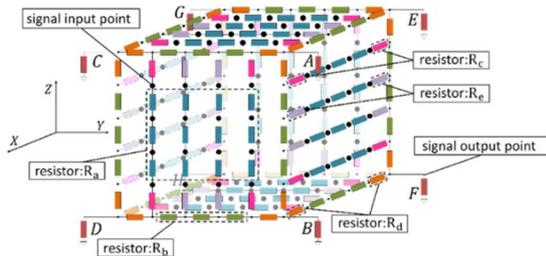


図 1 8 出力 3 次元抵抗チェーン[4]
(R_a, R_b, R_c, R_d, R_e) = (100, 100, 0, 0, 0)

2.2 6 出力 3 次元抵抗チェーン

作成した 6 出力の抵抗チェーンを図 2 に示す。こちらの実験では R_a を 91Ω 、 R_b を 100Ω 、 R_c, R_d, R_e, R_f を共に $1 \text{ k}\Omega$ 、 R_g を 20Ω 、 R_h を 10Ω に設定した。また、信号 A, B, C, D, E, F を用いた位置演算では次の

式を用いて、 X 方向の投影座標を求めた。

$$X = \frac{A-D}{A+D}$$

なお、 Y と Z 方向についても同様である。

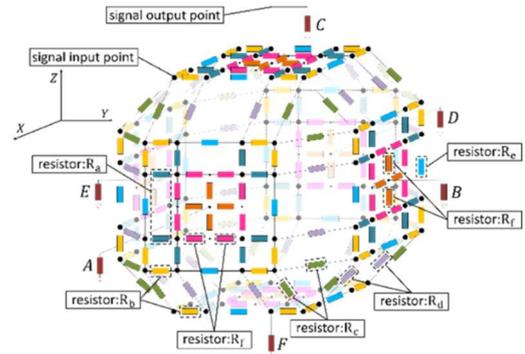


図 2 6 出力 3 次元抵抗チェーン[4]
($R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f, R_g$) = (91, 100, 1k, 1k, 1k, 20, 10)

2.3 性能評価実験

本研究では、作成した抵抗チェーンに X'tal cube 検出器から得られた 96 端子の信号を入力した。この検出器のシンチレータには $13.1 \times 13.1 \times 13.1 \text{ mm}^3$ の $\text{Lu}_{2(1-x)}\text{Y}_{2x}\text{SiO}_5$ (LYSO, $x=0.1$, CPI:Crystal Photonics Inc., USA) 結晶を用いた。このシンチレータは浜松ホトニクス社のレーザー加工技術で $0.77 \times 0.77 \times 0.77 \text{ mm}^3$ ごとに分割され、 $17 \times 17 \times 17$ 個のセグメントに光学分離されている。また、半導体光センサには 4×4 アレイタイプの MPPC (S12642-0404PB-50(X), 浜松ホトニクス社製, ピクセル数:3600, ピクセルサイズ: $50 \times 50 \mu\text{m}^2$, 受光領域: $3.0 \times 3.0 \text{ mm}^2$) を 6 つ採用してある。これらの MPPC をシンチレータの各面に配置し、一液型 RTV シリコンゴム (KE450, 信越化学工業社製, 屈折率:1.45) で接着した。

^{137}Cs 点線源による γ 線の一様照射から、上述した検出器の応答を取得した。MPPC からの信号は、8 出力または 6 出力の 3 次元抵抗チェーンで信号数を削減するよう変換し、ADC を用いて記録した。また、比較として 96ch を独立して読み出し、記録した場合の実験も行った。得られたデータに前述の Anger 計算 (重心演算) を施し、 γ 線検出位置の 3 次元情報を得た。

得られた実験結果から、応答の分解能を定量的に評価した。ここでは、各応答の中心間距離において各応答の広がり占める割合を結晶応答識別能と呼び、これらの値を比較した。具体的には、プロファイルを取得し、標準偏差の値を広がりとして、それを応答同士のピーク間距離で割った値を算出した。この数値が

低いほど、高い結晶応答分解能を持つと判断した。

3. 結果と考察

3.1 8出力3次元抵抗チェーン

まず、8出力抵抗チェーンから得られた3次元マップを図3に示す。右図は、得られた3次元マップをz方向にスライスし、中央の応答群のみ2次元マップとして抽出したものである。この結果では、17x17個の応答が分離できていた。

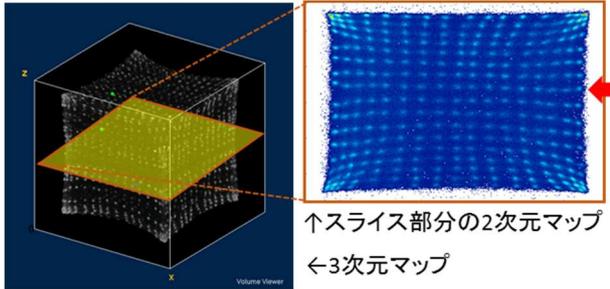


図3 8出力によって得られた結果

3.2 6出力3次元抵抗チェーン

6出力の抵抗チェーンについても、8出力のものと同様にして、実験結果を図4に示す。こちらでも、17x17個の応答は分離できていた。しかし、シンチレータの中心に近づくほど応答の幅が広がっていき、バックグラウンドと応答のコントラストが小さくなっていった。

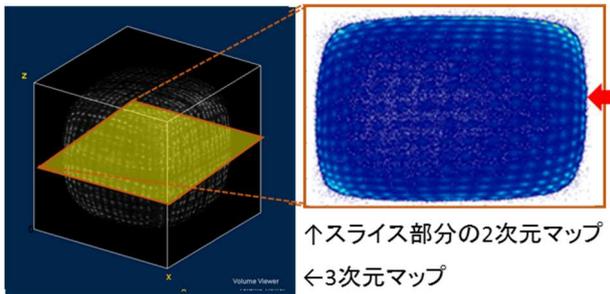


図4 6出力によって得られた結果

3.3 独立読み出しとの比較

上に示したのは、抵抗チェーンを用いない場合との比較として、同じ条件で測定した従来通りの独立読み出し(96ch)での結果である。図3,4,5の右図に示した2次元マップについて、赤矢印が指す一列のみプロファイルを取得し、結晶応答分解能の評価を行った。図6は8出力、図7は6出力でのプロファイルを示す。また、96出力による結果を図8に示す。実験から得られた結晶識別能は、8出力で 30.1 ± 2.4 、6出力で 28.9 ± 1.6 、96出力で 28.2 ± 1.2 だった。よって、3次元抵抗チェーンによる読み出しを行うことでは、識別能の大きな劣化は見受けられなかったことがわかる。また、8出力と6出力の抵抗チェーン同士でも、大きな差がなかった。以上から、作成した2つの抵抗チェーン

では十分な応答識別能と信号数の削減を達成したことがわかった。

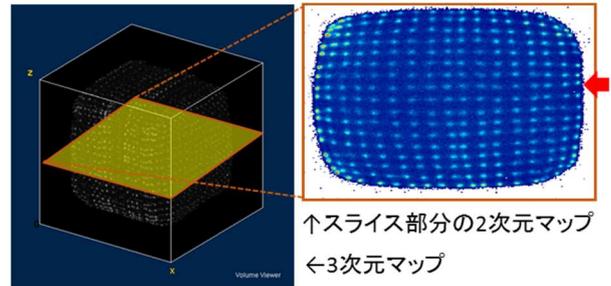


図5 96出力によって得られた結果

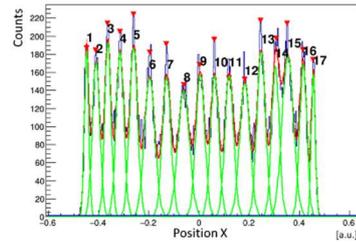


図6 8出力でのプロファイル

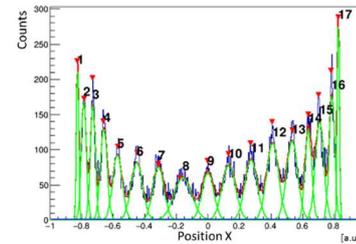


図7 6出力でのプロファイル

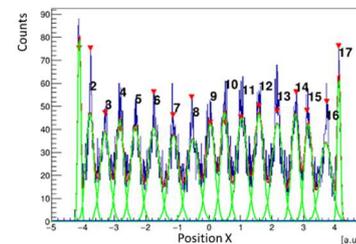


図8 96出力でのプロファイル

4. 結論

8出力と6出力の、X'tal cube用3次元抵抗チェーンを作成し、その性能評価を行った。その結果、いずれの抵抗チェーンでも、十分な性能を持つことが実証された。

参考文献

- [1] Yamaya T, et al., Phys. Med. Biol., Vol. 56, 1123-1137, 2011.
- [2] Yazaki Y, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 59, 462-468, 2012.
- [3] Nitta M, et al., IEEE, NSS MIC CR:M04-1, 2014.
- [4] 青島広武 他、「クリスタルキューブ検出器3次元抵抗チェーンによる読み出しチャンネル削減」、平成26年度次世代PET研究報告書、2015

(23) 多層検出器を用いたコンプトン PET の実現可能性の検討

吉田英治¹⁾、篠原滉平²⁾、田島英朗¹⁾、Ahmed Abdella Mohammednur¹⁾、菅幹生²⁾、山谷泰賀¹⁾

¹⁾ 放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター

²⁾ 千葉大学

1. はじめに

PET 検出器は、バランスのとれた非常に高い性能を有しているが、コンプトンカメラ[1]の手法を取り入れてガンマ線の相互作用位置をトラッキングすることで、更なる性能向上が期待できる。また、PET 検出器による高感度シングルガンマイメージングが実現できれば、イメージング装置として様々な応用が期待できる。本研究では、散乱部と吸収部からなる 3 次元 PET 検出器[2][3]を想定し、モンテカルロ・シミュレーションによって 3 次元 PET 検出器によるコンプトンカメラ型 PET 装置の実現可能性を検討することを目的とする。

2. Compton PET

図 1 に示すように、散乱層と吸収層の 2 層のリングからなるコンプトン PET を Geant4 を用いて模擬した。散乱層には、Si と Gd₃Al₂Ga₃O₁₂(GAGG) の 2 種類の検出素子を用いた。Si はコンプトンカメラに一般的に用いられる半導体検出器であり、エネルギー分解能が非常に高いがシンチレータと比べて検出効率が低く、単位面積当たりのコストも高い。一方、GAGG は近年開発されたシンチレータ結晶であり PET 用検出器として十分な性能を有し、他の PET 用シンチレータ結晶の中でもエネルギー分解能が高い。コンプトンカメラにおいて、角度分解能は有限であるため、イメージング対象物と検出器の距離が近い程、空間分解能が大きく向上する。従って、散乱層の直径は、40 cm から 76 cm の 5 パターンを検討し、検出器の数はそれぞれの直径に対し 24 個から 44 個とした。散乱層の検出器ブロックは、それぞれ 2.9 mm × 2.9 mm × 6.0 mm の GAGG と Si を 16×16×1 に配列したもので構成される。吸収層には検出効率が高い GAGG を用いた。48 個の DOI 検出器ブロックを用い直径 80 cm のリングを体軸方向に 5 つ配列した。DOI 検出器ブロックでは、2.9 mm × 2.9 mm × 5.0 mm のシンチレータを 16×16×4 に配列した。使用した検出素子の密度、エネルギー分解能を表 1 に示す。エネルギーウィンドウは、400-600 keV とし、シングルイベントの散乱層では、後方散乱(吸収層→散乱層)を除くために 50-160 keV に設定した。また、コンプトンイベントは同時計数イベントとして検出されなかったシングルイベントの中から判別した。

感度評価では、図 2 に示すように、人体サイズを模擬した NEMA ファントム(直径 20 cm, 長さ 70

cm, 中心に線線源を配置)を用いた。PET, コンプトンにおける感度は、以下の式で評価した。

$$\text{PET 感度} = \frac{\text{同時計数イベント数}}{\text{消滅ガンマ線発生数}}$$

$$\text{コンプトン感度} = \frac{\text{コンプトンイベント数}}{\text{消滅ガンマ線発生数}}$$

空間分解能評価では、図 2 に示すように、点線源を用い、OSEM 法(Voxel size:1.0×1.0×1.0 mm, Matrix size:200×200×100)により画像再構成を行った。画像の点線源部分をガウスフィッティングした後、半値幅(FWHM)で空間分解能を評価した。

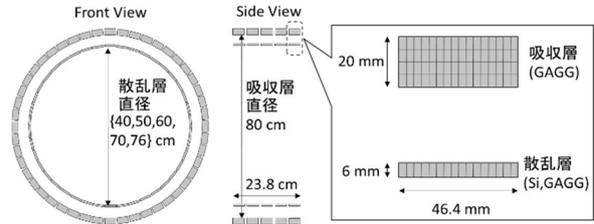


図 1 コンプトン PET ジオメトリ

表 1 結晶種類による密度とエネルギー分解能

検出素子	密度 (g/cm ³)	エネルギー分解能 (511 keV に対する)
Si	2.32	0.6 %
GAGG	6.63	6.3 %

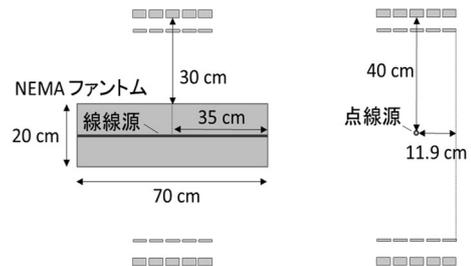


図 2 感度評価(左図)と空間分解能評価(右図)におけるファントム

3. 結果

コンプトン PET における PET とコンプトンの感度を図 3 に示す。PET 感度は検出効率が高い GAGG が Si より高くなった。GAGG では、リング径が大きくなるほど、感度は低くなった。Si ではリング径によって変化せず約 0.19% となった。これは、GAGG が散乱層でもある程度光電吸収し、Si は光電吸収の確率が低いことによる。コンプトン感度も GAGG のほうが Si より高い。また、どちらの検出素子においても、リング径が大きいくほど感度は

高くなった。また、全ての条件で PET 感度よりもコンプトン感度のほうが高くなった。コンプトン PET の感度(PET 感度+コンプトン感度)は PET のみの感度と比べ 2.5 倍以上となり、検出効率が高い GAGG だけでなく検出効率が低い Si でも高い感度ゲインを得られた。

PET の空間分解能を図 4 に示す。PET の分解能は検出素子、散乱層のリング径によって変化しなかった。FWHM は全ての条件で約 1 mm となった。コンプトンイメージングの空間分解能を図 5 に示す。同じリング径で比較すると、エネルギー分解能が優れている Si が GAGG よりも高い空間分解能であった。GAGG を用いた際の FWHM は、最小のリング径でも 13 mm を超えており、高い空間分解能を得られなかった。

コンプトンの角度分解能は有限であるため、リング径が大きくなるにつれ空間分解能は劣化した。また、リング径が 60 cm を超えると大幅に空間分解能が劣化した。これは、散乱層と吸収層の距離が小さくなることで角度分解能が劣化するためだと考えられる。これらの結果から、散乱層には Si を使用し、リング径を小さくすることで、コンプトン事象でも高い空間分解能を得られることを示した。しかしながら、コンプトンだけでは PET の空間分解能には及ばないため、更なる検出器の最適化や画像再構成法の改良が必要である。

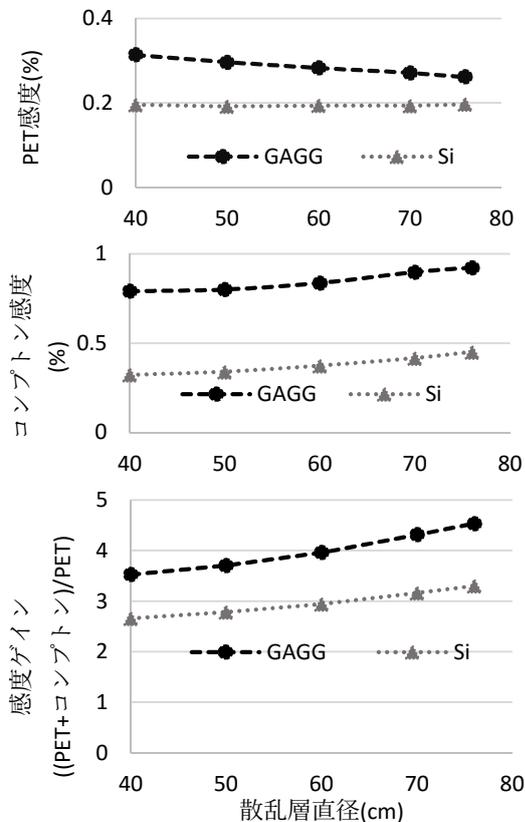


図 3 コンプトン PET の感度
PET 感度(上)、コンプトン感度(中)、感度ゲイン(下)

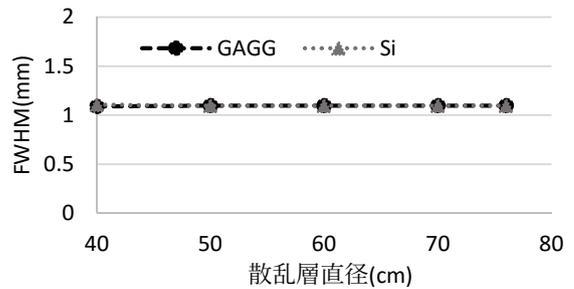


図 4 PET イメージングの空間分解能

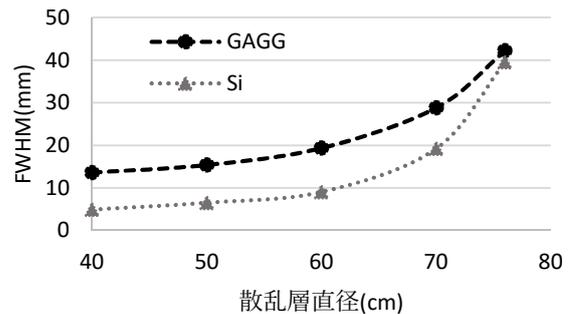


図 5 コンプトンイメージングの空間分解能

4. 結論

本研究では、モンテカルロシミュレーションによってコンプトン PET の実現可能性を検討した。散乱層の種類とリング径を変えながら、ポジトロン核種に対する PET イメージングとコンプトンイメージングの感度と空間分解能を評価した。その結果、コンプトン PET では、従来の PET よりも高感度なイメージングが可能になることが示唆された。また、散乱層には Si を使用し、リング径を小さくすることで、PET とコンプトンで高い空間分解能を両立できることが示された。

参考文献

- [1] S.Takeda, et al, "Experimental Results of the Gamma-Ray Imaging Capability With a Si/CdTe Semiconductor Compton Camera", IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 56, NO. 3, 2009
- [2] T.Tsuda, et al, "Performance Evaluation of a Subset of a Four-Layer LSO Detector for a Small Animal DOI PET Scanner: jPET-RD", IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 53, NO. 1, 2006
- [3] T.Yamaya, et al, "A SiPM-based isotropic-3D PET detector X'tal cube with a three-dimensional array of 1 mm³ crystals", Phys. Med. Biol. 56, pp6793-6807, 2011

(24) 有機フォトダイオードを用いた IVR 用リアルタイム線量分布測定システムの開発

錦戸 文彦¹, 高田 英治², 盛武隆司³, 山谷泰賀¹
1 放射線医学総合研究所, 2 富山高専, 3 産業医科大

1. はじめに

インターベンショナルラジオロジー (IVR) は患者への侵襲が少ないことから様々な疾患の治療に広く利用されているが、X線撮像による放射線被曝による人体への影響が指摘されており、その被曝線量の測定を行うことが求められている。現在でも様々な線量計が存在するが、術中にリアルタイムに患者体表の被曝線量の位置分布の計測を行うことができ、より簡便に精度の良く記録を行えるという要素を十分に満たしているとはいえない。本研究は上記の要求を満たすIVR用のリアルタイム被曝線量計測装置の実現を目的としている。

被曝線量の位置分布を測定するためには多数の検出器を患者体表に取り付ける必要があり、検出器がX線撮像装置に写り込んでしまうと治療の邪魔となってしまう。そこで、プラスチックシンチレータ上に直接に有機フォトダイオードを作成する技術[1]を用いた装置の開発を富山高専との共同研究で進めている(図1)。有機フォトダイオードは有感部に有機物を使用し、加えて非常に薄い電極で出来ており、X線に対して透過であると考えられる。そこで、電気信号を読み出すための導線をX線に透過な材質を選ぶことで、多数の検出器を配置してもX線透視装置に写らない測定システムが可能となる。

昨年度までは本検出器の基礎特性を評価し、リアルタイムIVR用線量計としての可能性を示した。本研究では、透過性の高いフレキシブル基盤を用いた読み出しシステムを用いて測定を行い、リアルタイムIVR用線量計としての性能評価を行った。

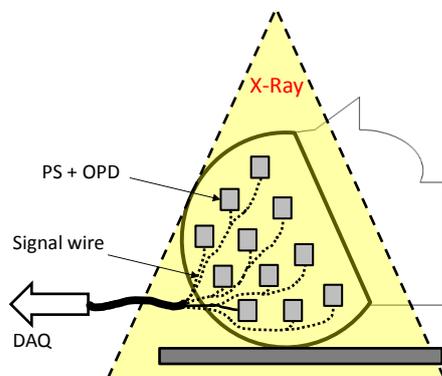


Fig. 1. 提案する IVR 用リアルタイム線量分布測定システム

2. 方法

図2に線量測定システムのX線検出部分である、有機フォトダイオードとプラスチックシンチレータからなるX線検出器の構造を示す。有機フォトダイオードはプラスチックシンチレータ上に直接作成する。プラスチックシンチレータ上にIZO電極(100 μ m)をスパッタリングで作成した後、P3HT(p)とPCBM(n)の混合物をスピコート塗布し(200 μ m)、最後にAl電極(70 μ m)を真空蒸着によって作成する。図3に実際に作成したX線検出器を示す。中央の6 \times 4mm²の部分が、プラスチックシンチレータからのシンチレーション光に対して感度を持つ部分であり、その両側の部分が読み出し用の電極となっている。また、図1の通り信号読み出し線も透視装置の視野内に置く必要があるため、X線に対して透過性が高い必要がある。そこで図4に示すような薄型のフレキシブル基盤を用いた読み出し線を作成した。基板全体で厚みは50 μ m以下であり、写真の通り柔軟性も十分であり、右図の通り伸縮性の高い装具[2]に取り付けて使用も可能である。素子の評価は小動物CT(R_mCT2, RIGAKU)の透視撮像モードを用いて行った。管電流や管電圧の値を変化させながら出力電流の測定を行った。

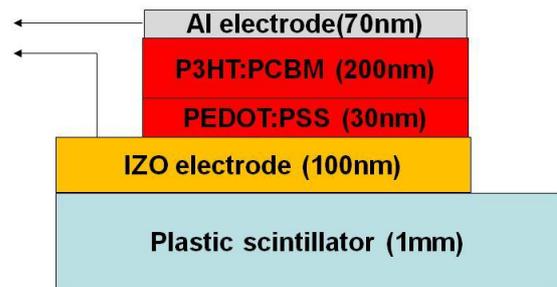


Fig. 2. テストに用いた X 線素子の構造

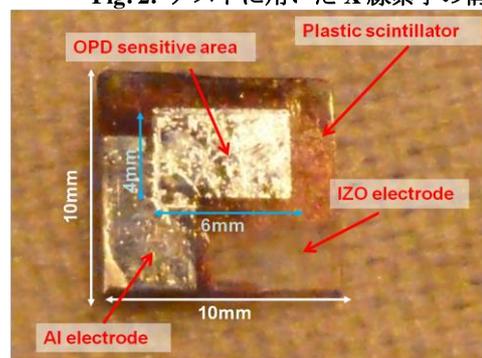


Fig. 3. テストに用いた X 線検出素子



Fig. 4. フレキシブルケーブルと専用装具に固定した状態

3. 結果

図5に動物用CTで得られた透視画像を示す。左側が今回作成したテスト用X線検出器であり、右側に以前作成したプラスチックシンチレータと光ファイバを用いたX線検出器が置かれている。以前作成した検出器は、臨床用X線透視装置と頭部ファントムを用いて透過性は十分であることは確認済みである。比較すると本検出器もほぼ同程度の透過率であることがわかる。

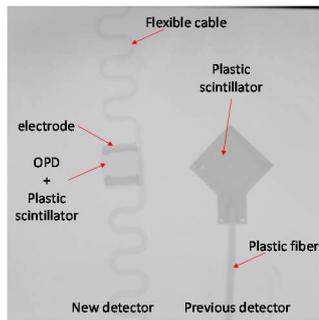


Fig. 5. IVR線量測定用検出器のX線透視画像

図6に電流計で1秒おきに記録し値の平均値を取ることで得られた、管電流と出力電流の関係を示す。高い管電流での照射でも完全に飽和することはなく、ほぼ直線の関係が得られている。図7に電流計で1秒おきに記録し値の平均値を取ることで得られた、管電圧と出力電流の関係を示す。青と赤のプロットはそれぞれ管電圧を上昇・下降させた場合の出力電流を示す。こちらも管電流の場合と同様に、ほぼ直線の関係が得られている。図8に連続的に照射角度を変えながら測定した結果を示す。それぞれのプロットは1つのフレキシブル基板上に取り付けた3つの素子からの出力信号を示す。図からわかる通り角度依存性はほとんど観察されなかった。50秒付近の落ち込みは検出器を置いているベッドが原因である

4. 結論

本研究では有機フォトダイオードとプラスチック

シンチレータからなる検出器を作成、薄型フレキシブルケーブルにつなぎ評価を行った。X線透過性・X線に対する感度を評価した結果、IVR用線量測定システムとして十分な性能が得られることを示した。今後は多チャンネル読出しを行い、実際に位置分布が得られるかを確かめていく予定である。

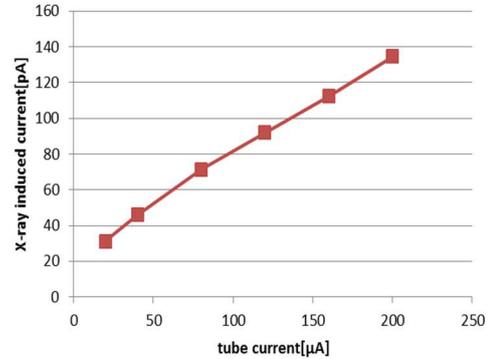


Fig. 6. 管電流と出力電流の関係

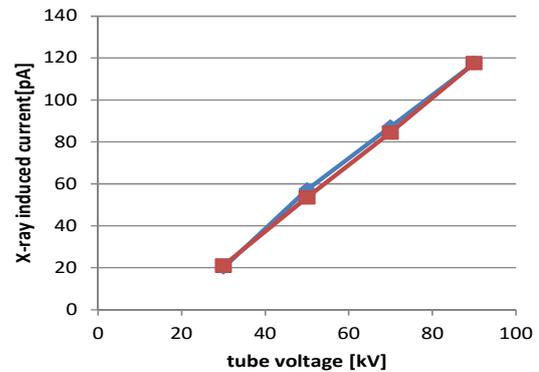


Fig. 7. 管電圧と出力電流の関係

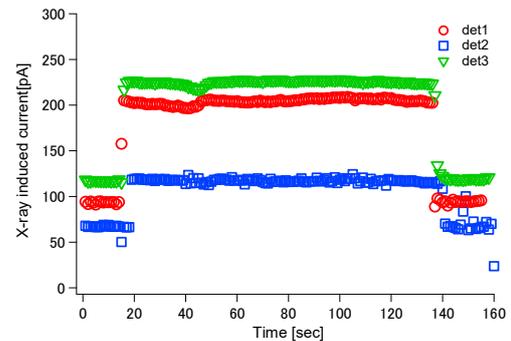


Fig. 8. 連続的に照射角度を変えながら測定した結果

参考文献

- [1] E. Takada, et al., Application of Organic Photodiodes to X-ray Measurements—A Feasibility Study. Journal of Nuclear Science and Technology, 48(8), 1140–1145, 2011
- [2] T. Moritake, et al., Dose measurement on both patients and operators during neurointerventional procedures using photoluminescence glass dosimeters. AJNR Am J Neuroradiol. 2008

6. 生体イメージング技術開発研究 チーム研究業績

生体イメージング技術開発研究チーム研究業績 2011(2011年1月～2011年12月)

1. 研究成果

1.1 原著論文(5)

- [1] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Taku Inaniwa, Shinji Sato, Yasunori Nakajima, Hidekatsu Wakizaka, Daisuke Kokuryo, Atsushi Tsuji, Takayuki Mitsuhashi, Hideyuki Kawai, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Hideaki Haneishi, Mikio Suga, Shoko Kinouchi, "Development of a small prototype for a proof-of-concept of OpenPET imaging," Phys. Med. Biol., 56, pp. 1123-1137, 2011.
- [2] Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Hiroto Osada, Hideyuki Kawai, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Tomoaki Tsuda, Taiga Yamaya, "Basic performance of a large area PET detector with a monolithic scintillator," Radiol. Phys. Technol., vol. 4, pp. 134-139, 2011.
- [3] Taiga Yamaya, Takayuki Mitsuhashi, Takahiro Matsumoto, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Hideyuki Kawai, Mikio Suga and Mitsuo Watanabe, "A SiPM-based isotropic-3D PET detector X'tal cube with a three-dimensional array of 1 mm³ crystals," Phys. Med. Biol., Vol. 56, pp. 6793-6807, 2011. FEATURED ARTICLE <<http://iopscience.iop.org/0031-9155/56/21/003>>
- [4] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Yuji Miyoshi, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Mikio Suga, "New component-based normalization method to correct PET system models," Medical Imaging Technology, Vol.29, No.5, pp. 239-249, November, 2011.

(共同研究)

- [5] Yasunori Nakajima, Toshiyuki Kohno, Taku Inaniwa, Shinji Sato, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, Yuki Tsuruta and Lembit Sihver, "Approach to 3D dose verification by utilizing autoactivation," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 648 S119-S121, 2011.

1.2 プロシーディング・学会発表(54)

・国際会議(口頭発表)(15)

- [1] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroyuki Kudo, Mikio Suga, "GPU-based image reconstruction method including geometrical detector response functions for OpenPET," International Forum on Medical Imaging in Asia(IFMIA) 2011, O9-2, 2011/1/18-19. (@Okinawa)
- [2] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Shoko Kinouchi, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "In-beam imaging performance of the small OpenPET prototype with 11C beam irradiation," PTCOG 50 2011 Scientific Session Abstract Book, p. 4.1.5, 2011/5/12@Philadelphia.
- [3] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Shoko Kinouchi, Mikio Suga, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Shinji Sato, Taku Inaniwa, and Kyosan Yoshikawa, "In-beam imaging performance of the small OpenPET prototype for carbon ion therapy," J. Nucl. Med., 52 (Supplement 1), #325, 2011 (2011 SNM Annual Meeting Scientific Abstracts, Oral presentation, 2010/6/7@San Antonio).
- [4] Naoko Inadama, Hideo Murayama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Takahiro Moriya, and Taiga Yamaya, "Performance evaluation of the X'tal cube PET detector using a monolithic scintillator segmented by laser processing," J. Nucl. Med., 52 (Supplement 1), #322, 2011 (2011 SNM Annual Meeting Scientific Abstracts, Oral presentation, 2010/6/7@San Antonio).
- [5] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroyuki Kudo and Mikio Suga, "Multi-GPU based acceleration of a list-mode DRAMA toward real-time OpenPET imaging," Fully 3D 2011 Proceedings (The 11th International Meeting of Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine and the 3rd Workshop on High Performance Image Reconstruction), pp. 37-40. (2011/7/11-15, Potsdam)
- [6] Hideaki Tashima, Takayuki Katsunuma, Shoko Kinouchi, Mikio Suga, Takashi Obi, Hiroyuki Kudo, Hideo Murayama, and Taiga Yamaya, "Restoration of the Analytically Reconstructed OpenPET Images by the Method of Convex Projections," Fully 3D 2011 Proceedings (The 11th International Meeting of Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine and the 3rd Workshop on High Performance Image Reconstruction), pp. 109-112. (2011/7/11-15, Potsdam)
- [7] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroyuki Kudo, Mikio Suga, "GPU implementation of one-pass list-mode DRAMA toward real-time OpenPET image reconstruction," 医学物理, 第31巻 Sup. 4, p. 224, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡) (Young Investigator Award Finalist に選定)

- [8] Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Shunsuke Yoshioka, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Mikio Suga, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Response function measurements of PET detector X'tal cube using a monolithic scintillator segmented by laser processing," 医学物理, 第31卷 Sup. 4, p. 136, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, C4-2)
- [9] Naoko Inadama, Shunsuke Yoshioka, Hideo Murayama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Takahiro Moriya, Taiga Yamaya, "Basic study of the PET detector "X'tal cube": characteristic of the scintillation crystal block segmented 3-dimensionally by laser processing technique," 医学物理, 第31卷 Sup. 4, p. 138, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, C4-4)
- [10] Shunsuke Yoshioka, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Hideyuki Kawai, Taiga Yamaya, "Comparison of four PMTs for the four-layer DOI detector," 医学物理, 第31卷 Sup. 4, p. 188, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, C7-5)
- [11] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Yasunori Nakajima, Shoko Kinouchi, Mikio Suga, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "In-beam imaging performance of the small OpenPET prototype with ¹¹C beam irradiation," 医学物理, 第31卷 Sup. 4, p. 210, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, D7-2)
- [12] Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Evaluation of secondary particles in the small OpenPET detector by use of Geant4 simulation," 医学物理, 第31卷 Sup. 4, p. 211, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, D7-3)
- [13] T. Yamaya, E. Yoshida, Y. Nakajima, S. Sato, T. Inaniwa, S. Kinouchi, M. Suga, F. Nishikido, H. Tashima, N. Inadama, H. Murayama, "In-Beam Imaging Performance of the Small OpenPET Prototype with ¹⁰C Beam Irradiation," 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 234, 2011. (MIC4-5, 2011/10/23-29@Valencia)
- [14] E. Yoshida, N. Inadama, F. Nishikido, H. Tashima, S. Yoshioka, T. Moriya, T. Omura, M. Watanabe, M. Suga, H. Murayama, T. Yamaya, "Isotropic Resolution PET Detector "X'tal Cube" Using a Monolithic Scintillator Segmented by Laser Processing," 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 240, 2011. (MIC7-2, 2011/10/23-29@Valencia)
- [15] F. Nishikido, A. Tachibana, T. Obata, S. Yoshioka, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, M. Suga, H. Murayama, T. Yamaya, "Feasibility Study for a PET Detector Integrated with a RF Coil for PET-MRI," Conf. Rec. of 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, MIC13-7, 2011. (2011/10/23-29@Valencia)

・国際会議（ポスター発表）（14）

- [1] Yuji Miyoshi, Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima and Mikio Suga, "A new component-based normalization method for OpenPET image reconstruction," International Forum on Medical Imaging in Asia(IFMIA) 2011, P1-17, 2011/1/18-19. (@Okinawa) (Best poster award 受賞)
- [2] Takayuki Katsunuma, Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Hiroyuki Kudo, Takashi Obi, Hideaki Tashima, Shoko Kinouchi, Mikio Suga, "Analytical approach to compensate loss of low frequency information in OpenPET image reconstruction," International Forum on Medical Imaging in Asia(IFMIA) 2011, P1-18, 2011/1/18-19. (@Okinawa)
- [3] Takahiro Yokoyama, Takayuki Mitsuhashi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Mikio Suga, "Development of statistical position determination method for the next generation PET detector X'tal cube," International Forum on Medical Imaging in Asia(IFMIA) 2011, P2-25, 2011/1/18-19. (@Okinawa)
- [4] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Kyosan Yoshikawa, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Taiga Yamaya, "Toward real-time PET-guided tumor-tracking radiation therapy by the OpenPET," PTCOG 50 2011 Posters Abstract Book, p. #2, 2011/5/12-14@Philadelphia.
- [5] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Kyosan Yoshikawa, Mikio Suga, Hideaki Haneishi and Taiga Yamaya, "Demonstration of real-time imaging system for the OpenPET toward PET-guided tumor-tracking radiation therapy," J. Nucl. Med., 52 (Supplement 1), #1947, 2011 (Awarded as the First Place Poster - Instrumentation & Data Analysis Track at 2011 SNM)

Annual Meeting Scientific Abstracts, 2010/6/7@San Antonio).

- [6] Tetsuya Shinaji, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Hideaki Haneishi, "Realtime Tumor Tracking by OpenPET for Radiation Therapy," 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 276, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-49)
- [7] Hiroki Yamashita, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hideaki Tashima, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Mikio Suga, "Design study of DOI-PET scanners toward sub-millimeter spatial resolution," 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 314, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-86)
- [8] Kiyoshi Masuda, Eiji Yoshida, Shoko kinouchia, Taiga Yamaya, Mikio Suga, "Basic investigation of effective geometries for OpenPET scanners," 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 315, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-87)
- [9] Yuma Ogata, Takahiro Moriya, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Hideaki Haneishi, "GPU-based Light Propagation Simulation for the PET Detector X'tal Cube," 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 316, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-88)
- [10] Takahiro Matsumoto, T. Yamaya, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Murayama, M. Suga, "Simulation studies of the PET detector Xtal cube Effects of reduced number of photodetectors on positioning performance," 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 333, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-104)(Poster Award 受賞)
- [11] Y. Ogata, T. Moriya, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, H. Murayama, T. Yamaya, H. Haneishi, "GPGPU-Based Optical Propagation Simulator of a Laser Processed Crystal Block for the "X'tal" Cube PET Detector," 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 277, 2011. (MIC9.S-310, 2011/10/23-29@Valencia)
- [12] Y. Ogata, T. Moriya, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, H. Murayama, T. Yamaya, H. Haneishi, "GPGPU-Based Optical Propagation Simulator of a Laser Processed Crystal Block for the "X'tal" Cube PET Detector," Conf. Rec. of 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, MIC9.S-310, 2011. (2011/10/23-29@Valencia)
- [13] S. Kinouchi, T. Yamaya, H. Tashima, E. Yoshida, F. Nishikido, H. Haneishi, M. Suga, "Simulation Design of a Single-Ring OpenPET for in-Beam PET," Conf. Rec. of 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, MIC15.S-275, 2011. (2011/10/23-29@Valencia)
- [14] T. Hasegawa, K. Oda, Y. Yada, Y. Sato, H. Murayama, T. Yamada, M. Matsumoto, M. Igarashi, J. Iryo, H. Kamitaka, "ICalibration of PET scanners with a new traceable point-like Ge-68/Ga-68 source," 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 234, 2011. (MIC12-M39, 2011/10/23-29@Valencia)

・国内会議(25)

- [1] 三橋隆之, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 村山秀雄, 河合秀幸, 羽石秀昭, 森谷隆広, 山谷泰賀, "レーザーによるシンチレータ内部加工技術の PET 用検出器クリスタルキューブへの応用," 第 58 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 26p-EA-9, 2011 (神奈川工科大学-震災により開催中止)
- [2] 稲玉直子, 三橋隆之, 村山秀雄, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英朗, 森谷隆広, 山谷泰賀, "PET 用検出器クリスタルキューブに用いる MPPC の検討," 第 58 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 26p-EA-10, 2011 (神奈川工科大学-震災により開催中止)
- [3] 錦戸文彦, 三橋隆之, 橋篤志, 黒岩大悟, 小島隆行, 稲玉直子, 吉田英治, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, "PET-MRI 同時撮像のための RF コイル一体型 PET 検出器の開発," 第 58 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 24p-EA-14, 2011 (神奈川工科大学-震災により開催中止)
- [4] 稲玉直子, 三橋隆之, 村山秀雄, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英朗, 岸本彩, 吉岡俊祐, 渡辺光男, 山谷泰賀, "PET 用 3 次元放射線検出器クリスタルキューブの開発: 1mm 等方分解能の実証," 医学物理, 第 31 卷, Sup. 1, p. 96, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-022, 震災により Web 開催に変更)
- [5] 山下浩生, 吉田英治, 木内尚子, 田島英朗, 村山秀雄, 伊藤浩, 山谷泰賀, 菅幹生, "サブミリ分解能を持つ頭部用 PET 装置の実現可能性の基礎的検討," 医学物理, 第 31 卷, Sup. 1, p. 97, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-023, 震災により Web 開催に変更)
- [6] 松本貴宏, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, 山谷泰賀, 菅幹生, "クリスタルキューブ PET 検出器の受光素子配置最適化に向けた計算機シミュレーション" 医学物理, 第 31 卷, Sup. 1, p. 98,

- 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-024, 震災により Web 開催に変更)
- [7] 緒方祐真, 横山貴弘, 森谷隆広, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, “PET 用 3 次元放射線検出器クリスタルキューブのための光伝搬シミュレータの開発”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 99, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-025, 震災により Web 開催に変更)
- [8] 吉田英治, 田島英朗, 木内尚子, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, 山谷泰賀, “小型 OpenPET 試作機の性能評価と改良計画”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 103, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-029, 震災により Web 開催に変更)
- [9] 吉岡俊祐, 稲玉直子, 吉田英治, 錦戸文彦, 村山秀雄, 河合秀幸, 山谷泰賀, 三橋隆之, 岸本彩, “LGSO シンチレータを用いた OpenPET 用 8 層 DOI 検出器の開発”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 104, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-030, 震災により Web 開催に変更)
- [10] 木内尚子, 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 工藤博幸, 菅幹生, “OpenPET のための one-pass リストモード画像再構成法 DRAMA の最適化”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 105, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-031, 震災により Web 開催に変更)
- [11] 佐藤泰, 村山秀雄, 織田圭一, 吉田英治, 錦戸文彦, 佐藤友彦, 山田崇裕, 長谷川智之, 山谷泰賀, 稲玉直子, 海野泰裕, 柚木彰, “PET 装置校正用点線源の放射能絶対測定におけるシンチレータの影響”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 108, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-034, 震災により Web 開催に変更)
- [12] 山谷泰賀, 吉田英治, 木内尚子, 中島靖紀, 佐藤眞二, 稲庭拓, 田島英朗, 錦戸文彦, 菅幹生, 羽石秀昭, “小型 OpenPET 試作機の重粒子線照射野イメージング性能の検証”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 133, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-060, 震災により Web 開催に変更)
- [13] 田島英朗, 木内尚子, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, 山谷泰賀, “小型 OpenPET 試作機におけるリアルタイムイメージングシステムの開発”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 134, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-061, 震災により Web 開催に変更)
- [14] 錦戸文彦, 三橋隆之, 稲玉直子, 吉田英治, 田島英朗, 稲庭拓, 佐藤眞二, 村山秀雄, 山谷泰賀, “重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 用 4 層 DOI 検出器の最適化”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 135, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-062, 震災により Web 開催に変更)
- [15] 岸本彩, 錦戸文彦, 稲玉直子, 吉田英治, 盛武敬, 片岡淳, 村山秀雄, 山谷泰賀, “IVR 用リアルタイム被曝線量分布モニタリングシステムの基礎研究”, 医学物理, 第 31 巻, Sup. 1, p. 200, 2011/4. (第 101 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-127, 震災により Web 開催に変更)
- [16] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 田島英朗, 村山秀雄, “DOI 検出器が切り拓く次世代 PET : OpenPET とクリスタルキューブ”, 日本分子イメージング学会機関紙, Vol. 4, No. 2, p. 135, 2011 (日本分子イメージング学会第 6 回総会・学術集会, P-061, 2011/5/24@神戸)
- [17] 田島英朗, 吉田英治, 木内尚子, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, 吉川京燦, 菅幹生, 羽石秀昭, 山谷泰賀 “リアルタイム PET イメージングシステムの提案と OpenPET 小型試作機への実装”, MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY (SUPPLEMENT) 第 30 回日本医用画像工学会大会予稿集 CD-ROM, CP10-7. (2011/8/6, 国際医療福祉大学)
- [18] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 木内尚子, 中島靖紀, 佐藤眞二, 稲庭拓, 錦戸文彦, 村山秀雄, 菅幹生, 羽石秀昭, “OpenPET 小型試作機による重粒子線がん治療イメージングの実証と今後の展開”, MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY (SUPPLEMENT) 第 30 回日本医用画像工学会大会予稿集 CD-ROM, CP10-8. (2011/8/6, 国際医療福祉大学)
- [19] 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 田島英朗, 吉岡俊祐, 森谷隆広, 大村知秀, 渡辺光男, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, “レーザーによるシンチレータ内部加工を施した PET 用検出器クリスタルキューブの性能評価”, 第 72 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 01-027, 2011. (31a-T-7, 2011/8/29-9/2@山形大学)
- [20] 錦戸文彦, 橘篤志, 小島隆行, 吉岡俊祐, 稲玉直子, 吉田英治, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, “RF コイル一体型 PET-MRI 装置用 PET 検出器の開発”, 第 72 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 01-029, 2011. (31a-T-9, 2011/8/29-9/2@山形大学) (放射線分科内招待講演)
- [21] 錦戸文彦, 橘篤志, 小島隆行, 吉岡俊祐, 稲玉直子, 吉田英治, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, “PET-MRI 同時測定のための PET-RF コイル一体型装置の基礎研究”, 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 31 supplement, p. 451, 2011 (第 39 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, P-3-226, @小倉).
- [22] 品地哲弥, 田島英朗, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, “OpenPET における腫瘍トラッキング”, 生体医工学シンポジウム 2011, 1-3-6, 2011/9/16-17(@長野市)
- [23] 田島英明, 吉田英治, 木内尚子, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, 吉川京燦, 菅幹生, 羽石秀昭, 山谷泰賀, “OpenPET リアルタイムイメージングシステムの試作と性能評価”, 核医学, 第 48 巻, 第 3 号, p. S241, 2011. (第 51 回日本核医学会学術総会, M2VIII C5, 2011/10/28, つくば)

- [24] 稲玉直子, 森谷隆広, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英明, 村山秀雄, 山谷泰賀, “DOI-PET 検出器クリスタルキューブの開発: レーザー加工によるシンチレータ部の3次元分割の性能評価,” 核医学, 第48巻, 第3号, p. S292, 2011. (第51回日本核医学会学術総会, M3VIII B5, 2011/10/29, つくば)
- [25] 長谷川智之, 織田圭一, 和田康弘, 佐藤泰, 山田崇裕, 村山秀雄, 斉藤京子, 武田徹, 菊池敬, “PET装置の定量性校正・評価のための新しいGe-68/Ga-68点状線源,” 核医学, 第48巻, 第3号, p. S292, 2011. (第51回日本核医学会学術総会, M3VIII B6, 2011/10/29, つくば)

1.3 研究会など(4+)

- [1] 山谷泰賀, “次世代のPET装置の開発研究” 第9回千葉大学医工学シンポジウム ポスター講演予稿集, p. 53, 2011/2/18 (千葉大).
- [2] 木内尚子, 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英明, 菅幹生, “GPUを用いた高精度OpenPET画像再構成の高速実装” 第9回千葉大学医工学シンポジウムポスター講演予稿集, p. 54, 2011/2/18 (千葉大).
- [3] 発表多数, 平成22年度次世代PET研究講演会, 2011/1/24 (放医研)
- [4] 発表多数, 第1回OpenPET研究会, 2011/7/25 (放医研)

1.4 特許(5)

・出願(3)

- [1] 山谷泰賀, 小島隆行, 菅野巖, ほか, “PET装置及びPET-MRI装置,” 特願2011-003413 (2011/1/11 出願)
- [2] 錦戸文彦, 山谷泰賀, 菅幹生, “放射線検出器の放射線検出位置弁別用応答関数作成方法、装置及び放射線位置弁別方法,” PCT/JP2011/050475, 出願日: 2011年1月13日
- [3] 山谷泰賀, 田島英朗, ほか “傾斜PET装置及びPET複合装置,” PCT/JP2011/62394, 出願日 2011年5月30日

・登録(2)

- [1] 吉田英治, 澁谷憲悟, 山谷泰賀, 村山秀雄, 北村圭司, “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,” 特許第4660706号, 2011年1月14日.
- [2] 山谷泰賀, 村山秀雄, 蓑原伸一, “PET装置、及び、その画像再構成方法,” 特許第4756425, 2011年6月10日.

2. 成果普及などへの取り組み

2.1 研究会など開催(2)

- [1] 平成 22 年度次世代 PET 研究講演会(予稿集発刊), 2011/1/24 (@放医研) (参加者 108 名うち所外 77 名)
- [2] 第 1 回 OpenPET 研究会(資料集発刊), 2011/7/25 (@放医研) (参加者 84 名うち所外 33 名)

2.2 核医学物理セミナー開催(21)

- [1] 2011/2/1, Recent Advances in instrumentation and quantitative image reconstruction methods in ECT, Benjamin M. W. Tsui (Professor, Department of Radiology, Johns Hopkins University)
- [2] 2011/2/14. 「第 1 回分子追跡放射線治療国際会議」参加報告, 田島英朗 (放医研)
- [3] 2011/2/28, PET 動態計測による脳機能解析研究の解説, 生駒洋子 (放医研) / OpenPET 画像再構成研究の進捗報告, 木内尚子 (千葉大) / 先見情報を利用した PET 画像再構成 (学位論文の紹介), 小林哲哉 (筑波大)
- [4] 2011/3/7, PET のデータ収集系に関する論文紹介, 吉田英治 (放医研)
- [5] 2011/3/14, 解析的な ROI 画像再構成に関する論文紹介, 田島英朗 (放医研)
- [6] 2011/3/28, フォトディテクターに関する情報提供, 錦戸文彦 (放医研)
- [7] 2011/5/17, PTCOG(粒子線治療世界会議)参加報告および Johns Hopkins 大学 Tsui ラボ&Pennsylvania 大学 Matej ラボ&Karp ラボ訪問報告, 山谷泰賀、田島英朗 (放医研)
- [8] 2011/5/30, SNM 予演会, 稲玉直子、田島英朗、山谷泰賀 (放医研)
- [9] 2011/6/13, SNM 参加報告および Stanford 大 Levin ラボ訪問報告, 稲玉直子、田島英朗、山谷泰賀 (放医研)
- [10] 2011/6/20, SNM 参加報告 (2), 稲玉直子、田島英朗 (放医研)
- [11] 2011/7/4, Fully 3D meeting (画像再構成の国際会議) 予演会, 木内尚子 (千葉大)、田島英朗 (放医研)
- [12] 2011/7/19, Fully 3D meeting 参加報告およびミュンヘン工大 Ziegler ラボ訪問報告, 木内尚子 (千葉大)、田島英朗、山谷泰賀 (放医研)
- [13] 2011/9/5, 電子飛跡コンプトンカメラを用いたイメージング診断手法, 株木重人 (東海大学医学部付属病院)
- [14] 2011/9/12, 磁場中における MP PC 基本特性の測定, 平野祥之 (放医研)
- [15] 2011/9/26, 日韓医学物理学術合同大会 (Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics) の発表予演会, 放医研・千葉大などから発表者数名
- [16] 2011/10/3 Hybrid resolution spectral imaging (圧縮型分光画像センシング), 村上百合 (東工大)
- [17] 2011/11/7, IEEE NSS-MIC 報告(1) 概要報告, 山谷泰賀 (放医研)
- [18] 2011/11/28, IEEE NSS-MIC 報告(2) 検出器、PET/MRI ほか, 錦戸文彦 (放医研)
- [19] 2011/12/5, IEEE NSS-MIC 報告(3) 画像再構成ほか, 木内尚子 (放医研/千葉大)
- [20] 2011/12/19, IEEE NSS-MIC 報告(4) ソフトウェア、PET/MRI データ処理ほか, 菅幹生 (千葉大)、緒方祐真 (千葉大羽石研)
- [21] 2011/12/26, IEEE NSS-MIC 報告(5) 検出器、装置、システムほか, 吉田英治 (放医研)

2.3 報告書出版(1)

- [1] 山谷泰賀, 編, “平成 22 年度次世代 PET 研究報告書,” 2011/3/15.

2.4 総説(2)

- [1] 山谷泰賀, “PET および PET/CT における画像再構成法の特徴と問題 最先端画像再構成法の理論と実際-PET での実装を中心に-,” 日本放射線技術学会雑誌, 第 67 巻, 第 7 号, pp. 808-812, 2011.
- [2] 田島英朗, OpenPET リアルタイムイメージング, 光学 vol. 40 (8), pp. 448-449, 2011.

2.5 講演・講義(22)

・シンポジウム等における招待講演(2)

- [1] Taiga Yamaya, “DOI detectors and systems toward the future PET and PET/MRI PET-MRI,” The 2nd International Symposium on Integrated PET-MRI, 2011/1/29@Osaka. (invited talk)
- [2] Taiga Yamaya, “Development of the next generation PET scanners for molecular and cancer imaging,” 3rd International Symposium of Osaka Medical Center for Cancer&Cardiovascular Diseases (OMCCCD) -Future Technology in Cancer Medicine- Program and Abstract Book, pp. 18-19, 2011/12/3@Osaka. (invited)

・講演(16)

- [1] 山谷泰賀, “DOI 検出器が可能にした OpenPET と重粒子線がん治療モニタリングへの展開,” 第 577 回高崎研オープンセミナー (リサーチ) にて講演, 2011/2/23 (高崎).
- [2] 錦戸文彦, “OpenPET における PET 検出器の重粒子照射線からの影響,” 第 577 回高崎研オープンセミナー (リサーチ) にて講演, 2011/2/23 (高崎).
- [3] Taiga Yamaya, “OpenPET & X’tal Cube: New concepts toward future PET,” Seminar @ Prof. B.M.W. Tsui Lab., Johns Hopkins Medical Institutions, 2011/5/11 (@Baltimore).
- [4] Hideaki Tashima, “Real-time imaging system for the OpenPET,” Seminar @ Prof. B.M.W. Tsui Lab., Johns Hopkins Medical Institutions, 2011/5/11 (@Baltimore).
- [5] Taiga Yamaya, “OpenPET & X’tal Cube: New concepts toward future PET,” Reconstruction seminar @ Profs. J. Karp, S. Matej and R. Lewitt, Pensilvania University, 2011/5/12 (@Philadelphia).
- [6] Hideaki Tashima, “Real-time imaging system for the OpenPET,” Reconstruction seminar @ Profs. J. Karp, S. Matej and R. Lewitt, Pensilvania University, 2011/5/12 (@Philadelphia).
- [7] Taiga Yamaya, “Overview & OpenPET” Seminar @ Prof. C. Levin lab., Standord University, 2011/6/9.
- [8] Hideaki Tashima, “Real-time imaging using one-pass list-mode DRAMA,” Seminar @ Prof. C. Levin lab., Standord University, 2011/6/9.
- [9] Naoko Inadama, “X’tal cube detector,” Seminar @ Prof. C. Levin lab., Standord University, 2011/6/9.
- [10] Taiga Yamaya, “OpenPET & X’tal Cube: New concepts toward future PET,” Seminar @ Prof. S. Ziegler lab., TUM 2011/7/15
- [11] Hideaki Tashima, “Real-time imaging system toward PET-based tumor tracking,” Seminar @ Prof. S. Ziegler lab., TUM 2011/7/15
- [12] Shoko Kinouchi, “System modeling for GPU implementation,” Seminar @ Prof. S. Ziegler lab., TUM 2011/7/15
- [13] 山谷泰賀, “新たな展開を切り拓く次世代 PET 装置の研究開発,” 福岡和白 PET 画像診断クリニックにて講演 2011/9/28.
- [14] 稲玉直子, “次世代 DOI 検出器クリスタルキューブの開発,” 福岡和白 PET 画像診断クリニックにて講演 2011/9/28.
- [15] 錦戸文彦, “RF コイル一体型 PET-MRI 装置用 PET 検出器の開発,” 福岡和白 PET 画像診断クリニックにて講演 2011/9/28.
- [16] 山谷泰賀, “医療にもっと役立つ放射線 放医研がつくる未来の PET 装置,” 第 6 回分子イメージング研究センターシンポジウム 近未来の画像診断, 2011/11/22@千葉.

・講義(4)

- [1] 山谷泰賀, “PET 計測の原理と機器開発,” 第 5 回画像診断セミナー講演 2011/2/21 (放医研).
- [2] 村山秀雄, 吉田英治, “核医学物理学,” 医学物理コース担当(放医研)
- [3] 日本医学物理学会サマーセミナー講師「Nuclear Medicine/Imaging」, 2011/9/2@阿蘇.
- [4] 山谷泰賀, 東工大非常勤講師, 医歯工学特別コース「核医学物理」 2011/10/17-21.

2.5 プレス発表、広報物掲載(19)

・プレス発表(2)

- [1] “世界初!開放型 PET 装置の実証に成功-「PET で見ながらがん治療」の実現に弾み-,” 放医研プレス発表, 2011/1/21. (http://www.nirs.go.jp/news/press/2011/01_21.shtml)
- [2] “理論限界に迫る PET 解像度の実現に向けた 3 次元放射線検出器を開発,” 放医研プレス発表, 2011/10/5 (http://www.nirs.go.jp/information/press/2011/10_05.shtml)

・広報物掲載(16)

- [1] “山谷泰賀氏が第 50 回日本核医学会で「第 7 回日本核医学会最優秀研究奨励賞」と「久田賞 (日本核医学会機関誌論文賞) 金賞」を受賞,” 放医研 NEWS, No. 170, p. 6, 2011/01.
- [2] 山谷泰賀, “新型 DOI 検出器から世界初の開放型 PET へ,” 放医研研究レポート 2006-2010, pp. 16-17, 2011/1
- [3] “放医研が試作機 画像を見ながら照射実現,” 日刊工業新聞 22 面, 2011 年 1 月 24 日.
- [4] “がん放射線治療で実証 照射、3 次元で把握 放医研,” 日経産業新聞 11 面, 2011 年 1 月 24 日.

- [5] “放医研 開放型 PET を試作 重粒子線治療ビームを可視化,” 保健産業事報 1 面, 2011 年 2 月 10 日.
- [6] “世界初の開放型 PET 装置 リアルタイム画像化実証 放医研,” 科学新聞 7 面, 2011 年 2 月 11 日.
- [7] 山谷泰賀, “12 年目を迎える「次世代 PET 研究講演会」イメージング物理研究が目指す PET の未来,” 放医研 NEWS, No. 172, 2011 年 3 月, p. 6.
- [8] “PET 解像度向上 放射線検出器を新開発,” 静岡新聞(朝刊), 2011/10/6
- [9] “PET 解像度 5 倍アップ 病態解明貢献に期待,” 中日新聞(朝刊), 2011/10/6
- [10] “PET 解像度 5 倍向上させる 放医研など,” 東京新聞 3 面, 2011/10/6
- [11] “PET 向け放射線検出器 解像度 1 ミリに向上,” 日経産業新聞 11 面, 2011/10/6
- [12] “3 次元放射線検出器 PET 用, 解像度 1mm,” 日刊工業新聞 11 面, 2011/10/7
- [13] “放射性薬剤で撮影「PET」解像度向上 放医研など,” 産経新聞, 2011/10/15
- [14] “理論限界に迫る PET 解像度 実現可能な 3 次元放射線検出器開発,” 科学新聞 4 面, 2011/10/21
- [15] “X'tal cube offers flexible PET detection,” medicalphysicsweb, 2011/10/28 <
http://medicalphysicsweb.org/cws/article/research/47588>
- [16] “1mm の病変を見分けることができる新しい断層撮影装置,” 子供の科学 12 月号, p. 6, 2011.12.

・ 出展など(1)

- [1] 山谷泰賀, 稲玉直子, “次世代の PET 装置の開発”, 千葉エリア産学官連携オープンフォーラム 2011 出展, 2011/9/16 (千葉工業大学).

2.6 その他報告書(2)

- [1] 錦戸文彦, 吉田英治, 稲庭拓, 佐藤眞二, 稲玉直子, 中島靖紀 村山秀雄, 山谷泰賀, "OpenPET 用ガンマ線検出器の重粒子線照射環境での性能の基礎研究(20P250)," 平成 22 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書, pp.244-245, 2011.
- [2] 中島靖紀, 都築怜理, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, "核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(22P177)," 平成 22 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書, pp.189-190, 2011.

2.7 見学対応 (jPET/OpenPET) (11)

- [1] 2011/1/11 横浜市立大学大学院医学研究科放射線医学 井上登美雄教授 ご一行
- [2] 2011/1/18 マレーシア USM Prof. K.Olim 他 4 名
- [3] 2011/1/19 元原子力委員会委員長代理遠藤哲也氏
- [4] 2011/2/2 Department of Radiology, Johns Hopkins University, Professor Benjamin M. W. Tsui 氏他 1 名
- [5] 2011/3/1 三菱重工業株式会社原子力事業本部 原子力技術センター炉心技術部長 佐治悦郎氏
- [6] 2011/3/3 文部科学省大臣官房総務課行政改革推進室 牛尾則文室長・佐々木裕未氏
- [7] 2011/3/9 総合科学技術会議議員 奥村直樹氏、内閣府大臣官房審議官 (科学技術政策担当) 大石善啓氏、内閣府政策統括官 (科学技術政策・イノベーション担当) 付参事官 大竹暁氏他 10 名
- [8] 2011/6/3 日本学術振興会理事 小林誠氏、黒木登志夫氏
- [9] 2011/7/21 文部科学省研究振興局研究振興戦略官 岡村直子氏ご一行
- [10] 2011/10/17 クラレトレーディング 4 名
- [11] 2011/11/9 東海大学附属望洋高等学校 1 年生 30 名

3. 外部評価（表彰）(5)

- [1] Yuji Miyoshi, Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima and Mikio Suga, International Forum on Medical Imaging in Asia(IFMIA) 2011 にて Best poster award 受賞, 受賞ポスターは"A new component-based normalization method for OpenPET image reconstruction," International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2011, P1-17, 2011/1/18-19. (@Okinawa)
- [2] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Kyosan Yoshikawa, Mikio Suga, Hideaki Haneishi and Taiga Yamaya, "Demonstration of real-time imaging system for the OpenPET toward PET-guided tumor-tracking radiation therapy," J. Nucl. Med., 52 (Supplement 1), #1947, 2011 (Awarded as the First Place Poster - Instrumentation & Data Analysis Track at 2011 SNM Annual Meeting Scientific Abstracts, 2010/6/7@San Antonio).
- [3] 田島英朗, “PET 画像誘導放射線治療を可能とするリアルタイムイメージング手法の開発,” 医用原子力に関する研究助成 財団法人医用原子力技術研究振興財団 (2011/7)
- [4] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroyuki Kudo, Mikio Suga, “GPU implementation of one-pass list-mode DRAMA toward real-time OpenPET image reconstruction,” 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 224, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡) (Young Investigator Award Finalist に選定)
- [5] Takahiro Matsumoto, T. Yamaya, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Murayama, M. Suga, “Simulation studies of the PET detector Xtal cube Effects of reduced number of photodetectors on positioning performance,” 医学物理, 第 31 卷 Sup. 4, p. 333, 2011 (Abstract of the 6th Japan-Korea Joint Meeting on Medical Physics and the 11th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 2011/10/1@福岡, P-104)(Poster Award 受賞)

生体イメージング技術開発研究チーム研究業績 2012 (2012年1月～2012年12月)

1. 研究成果

1.1 原著論文(7)

- [1] Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "System design of a small OpenPET prototype using 4-layer DOI detectors," Radiological Physics and Technology, 5, pp. 92-97, 2012.
- [2] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, and Taiga Yamaya, "Real-time Imaging System for the OpenPET," IEEE Trans.Nucl. Sci., vol. 59, No. 1, pp. 40-46, Feb., 2012.
- [3] Yujiro Yazaki, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Takayuki Mitsuhashi, Mikio Suga, Kengo Shibuya, Mitsuo Watanabe, Takaji Yamashita, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, and Taiga Yamaya, "Development of the X'tal cube: a 3D position-sensitive radiation detector with all-surface MPPC readout," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 59, pp. 462-468, 2012/4.
- [4] Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Mitsuo Watanabe, Eiichi Tanaka, "A single-ring OpenPET enabling PET imaging during radiotherapy," Phys. Med. Biol., 57, pp. 4705-4718, 2012 <FREE ARTICLE>.
- [5] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroyuki Kudo, Hideaki Haneishi, and Mikio Suga, "GPU-Based PET image reconstruction using an accurate geometrical system model," IEEE Trans.Nucl. Sci., vol. 59, no. 5, pp. 1977-1983, 2012/10.

(共同研究)

- [6] Tomoyuki Hasegawa, Keiichi Oda, Takahiro Yamada, Mikio Matsumoto, Yasushi Sato, Hideo Murayama, Hideyuki Takei, "Novel point-like Ge-68/Ga-68 radioactive source with spherical positron absorber," IEEE Trans.Nucl. Sci., Vol. 59, pp. 24 - 29, Feb., 2012.
- [7] Hasegawa, T., Oda, K., Sato, Y., Ito, H., Masuda, S., Yamada, T., Matsumoto, M., Murayama, H., Takei, H. : Microfocus x-ray imaging of traceable pointlike ^{22}Na sources for quality control. Med. Phys., 39(7), pp. 4414-4422, 2012.

1.2 プロシーディング(19)

- [1] Hiroki Yamashita, Eiji Yoshida, Shoko kinouchi, Hideaki Tashima, Hideo Murayama, Taiga Yamaya and Mikio Suga, "Design study of the DOI-PET scanners with the X'tal Cubes toward sub-millimeter spatial resolution," Proceedings of Medical Engineering Week 2012 in Chiba, pp. 69-70, 2012.2/21-23.
- [2] Kiyoshi Masuda, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Mikio Suga, "Basic investigation of effective OpenPET geometries for an entire-body PET," Proceedings of Medical Engineering Week 2012 in Chiba, pp. 71-72, 2012.2/21-23 .
- [3] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Yasunori Nakajima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Hiroshi Ito, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "A small prototype of a single-ring OpenPET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M06-2, 2012.
- [4] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "One-Pair Measurement System for Efficient Imaging Performance Evaluation of Prototype DOI-PET Detectors," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M09-76, 2012.
- [5] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Simulation study of real-time tumor tracking by OpenPET using the 4D XCAT phantom with a realistic ^{18}F -FDG distribution," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M10-21, 2012.
- [6] Asuka Tanigawa, Taiga Yamaya, Hiroshi Kawaguchi, Yoshiyuki Hirano, Takahiro Shiraishi, Katsuyuki Tanimoto, Eiji Yoshida, Hiroshi Ito, Takayuki Obata, and Mikio Suga, "Hybrid segmentation-atlas method for PET-MRI attenuation correction," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M10-54, 2012.
- [7] Fumihiko Nishikido, Takayuki Obata, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Mikio Suga, Hideo Murayama, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Prototype integrated system of DOI- PET and the RFcoil specialized for simultaneous PET-MRI measurements," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M10-61, 2012.

- [8] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Feasibility study of an axially extendable multiplex cylinder PET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M12-5, 2012.
- [9] Naoko Inadama, Takahiro Moriya, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Munetaka Nitta, Hiroshi Ito, and Taiga Yamaya, "X'tal Cube Detector Composed of a Stack of Scintillator Plates Segmented by Laser Processing," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M13-5, 2012.
- [10] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Impact of the laser-processed X'tal cube detector with 1 mm isotropic resolution in PET imaging," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-15, 2012.
- [11] Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Development and performance evaluation of a singlering OpenPET prototype," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-16, 2012.
- [12] Tetsuya Shinaji, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Hideaki Haneishi, "Time delay correction method for PET-based tumor tracking," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-29, 2012.
- [13] Takahiro Matsumoto, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, and Mikio Suga, "Simulation Study to Optimize the Number of Photo-detection Faces and Inter-crystal Materials for the X'tal Cube PET Detector," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-59, 2012.
- [14] Munetaka Nitta, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hideyuki Kawai, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Influence of Misalignment of a Scintillator Array and a Multi-Anode PMT for 4-layer DOI PET detector," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-70, 2012.
- [15] Munetaka Nitta, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hideyuki Kawai, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Development of a four-layer DOI detector composed of Zr-doped GSO scintillators and a high sensitive multi-anode PMT," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M16-71, 2012.
- [16] Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Hiroshi Ito and Mikio Suga, "Total variation minimization for in-beam PET image reconstruction," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M17-42, 2012.
- [17] Hideaki Tashima, Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Eiji Yoshida, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Theoretical and Numerical Analysis of the Single-Ring OpenPET geometry for in-beam PET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M22-14, 2012.
- [18] Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Shinji Sato, Taku Inaniwa, Hideo Murayama, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Optimization of the in-beam OpenPET detector for carbon beam irradiation," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), M22-2, 2012.
- [19] Fumihiko Nishikido, Takashi Moritake, Shunji Kishimoto and Taiga Yamaya, "X-ray detector made of plastic scintillators and WLS fiber for real-time dose distribution monitoring in interventional radiology," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC), N14-173, 2012.

1.3 学会発表(63)

・国際会議（口頭発表）(10)

- [1] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hidekatsu Wakizaka, Atsushi Tsuji, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, "In-beam imaging tests of the small Openpet prototype with radioactive beam irradiation," World Congress on Medical Physics and Miomedical Engineering 2012, TH.03/03.2-6, 2012/5/29 (Beijing) (oral)
- [2] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Hideo Murayama, Naoko Inadama, Taiga Yamaya, "Imaging resolution measurement of the X'tal cube PET detector with laser-processed 2 mm segments," World Congress on Medical Physics and Miomedical Engineering 2012, TH.02/05.2-2, 2012/5/29 (Beijing) (oral)
- [3] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hidekatsu Wakizaka, Atsushi Tsuji, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Yasunori Nakajima, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "Development of OpenPET for in-beam imaging during carbon ion therapy," NIRS-Columbia University Joint

Workshop 2012, 2012/6/12, NIRS. (平野発表 oral)

- [4] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Mitsuo Watanabe, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Naoko Inadama, Taiga Yamaya, "Impact of the X'tal cube detector with isotropic resolution on PET image resolution," Journal of Nuclear Medicine, Vol. 53, Sup. 1, 15P, May 2012. (SNM2012 Annual Meeting Scientific Abstracts, #49, 2012/6/10@Miami, ORAL)
- [5] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hidekatsu Wakizaka, Atsushi Tsuji, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Yasunori Nakajima, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "Washout effect in rats during in-beam imaging by the small OpenPET prototype," Journal of Nuclear Medicine, Vol. 53, Sup. 1, 589P, May 2012. (SNM2012 Annual Meeting Scientific Abstracts, #490, 2012/6/12@Miami, ORAL)
- [6] N. Inadama, T. Moriya, Y. Hirano, F. Nishikido, H. Murayama, E. Yoshida, H. Tashima, M. Nitta, H. Ito, T. Yamaya, "X'tal Cube Detector Composed of a Stack of Scintillator Plates Segmented by Laser Processing," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 373, 2012. (M13-5, 2012/11/2@Anaheim)
- [7] E. Yoshida, Y. Hirano, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Feasibility Study of an Axially Extendable Multiplex Cylinder PET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 370, 2012. (M12-5, 2012/11/1@Anaheim)
- [8] T. Yamaya, E. Yoshida, S. Kinouchi, Y. Nakajima, F. Nishikido, Y. Hirano, H. Tashima, H. Ito, M. Suga, H. Haneishi, S. Sato, T. Inaniwa, "A Small Prototype of a Single-Ring OpenPET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 301, 2012. (M06-2, 2012/11/1@Anaheim)
- [9] Hiroshi Kawaguchi, Asuka Tanigawa, Mikio Suga, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Takahiro Shirashi, Katsuyuki Tanimoro, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Evaluation of MRI-based attenuation correction methods for quantitative human brain PET imaging," Conference records of International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA) 2012, #114, 2012/11/17 (KAIST, Korea).
- [10] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Yasunori Nakajima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Hiroshi Ito, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "Development of a novel open-type pet system for 3D dose verification in carbon ion therapy," Mini-Micro-Nano Dosimetry & International Prostate Cancer Treatment, #126, 2012/12/6-9 (University of Wollongong).

・国際会議（ポスター発表）(23)

- [1] Hiroki Yamashita, Eiji Yoshida, Shoko kinouchi, Hideaki Tashima, Hideo Murayama, Taiga Yamaya and Mikio Suga, "Design study of the DOI-PET scanners with the X'tal Cubes toward sub-millimeter spatial resolution," Medical Engineering 2012 in Chiba, 2/21-23, 2012 (千葉大)
- [2] Kiyoshi Masuda, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Taiga Yamaya, Mikio Suga, "Basic investigation of effective OpenPET geometries for an entire-body PET," Medical Engineering 2012 in Chiba, 2/21-23, 2012 (千葉大)
- [3] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Hidekatsu Wakizaka, Atsushi Tsuji, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Yasunori Nakajima, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "Washout Measurement in Rats During In-Beam Imaging By the Small OpenPET Prototype," PTCOG 51 Scientific Meetings Abstract Book, p. 217, 2012. (51st Annual Meeting of Particle Therapy Co-Operative Group, P-ID-20, 2012/5/17-19@Seoul)
- [4] Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Yoshiyuki Hirano, Shinji Sato, Eiji Yoshida, Taku Inaniwa, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Evaluation of the OpenPET detector for in-beam imaging using Zr doped GSO crystals under carbon beam," PTCOG 51 Scientific Meetings Abstract Book, p. 219, 2012. (51st Annual Meeting of Particle Therapy Co-Operative Group, P-ID-22, 2012/5/17-19@Seoul)
- [5] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Simulation study of real-time tumor tracking by the OpenPET using 4D XCAT phantom with 18F-FDG distribution," Journal of Nuclear Medicine, Vol. 53, Sup. 1, 149P, May 2012. (SNM2012 Annual Meeting Scientific Abstracts, #2420, 2012/6/12@Miami, POSTER)
- [6] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Estimating the spatial resolution limits for isotropic-3D PET detector "X'tal cube"," World Molecular Imaging Congress 2012 Program Book, P163, 2012/9/5 (Dublin, poster)
- [7] F. Nishikido, T. Moritake, S. Kishimoto, T. Yamaya, "X-Ray Detector Made of Plastic Scintillators and WLS Fiber for Real-Time Dose Distribution Monitoring in Interventional Radiology," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 175, 2012. (N14-173, 2012/10/30@Anaheim)
- [8] Y. Hirano, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, H. Ito, T. Yamaya, "Monte Carlo Estimation of Effects of Secondary Particles on in-Beam OpenPET Imaging," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 182, 2012. (N14-191, 2012/10/30@Anaheim)
- [9] H. Tashima, E. Yoshida, Y. Hirano, F. Nishikido, N. Inadama, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "One-Pair

- Measurement System for Efficient Imaging Performance Evaluation of Prototype DOI-PET Detectors," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 334, 2012. (M09-76, 2012/11/1@Anaheim)
- [10] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, Y. Hirano, S. Kinouchi, F. Nishikido, M. Suga, H. Haneishi, H. Ito, T. Yamaya, "Simulation Study of Real-Time Tumor Tracking by OpenPET Using the 4D XCAT Phantom with a Realistic 18F-FDG Distribution," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 345, 2012. (M10-21, 2012/11/1@Anaheim)
- [11] A. Tanigawa, T. Yamaya, H. Kawaguchi, Y. Hirano, T. Shiraishi, K. Tanimoto, E. Yoshida, T. Obata, M. Suga, "Hybrid segmentation-atlas method for PET-MRI attenuation correction," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 356, 2012. (M10-54, 2012/11/1@Anaheim)
- [12] F. Nishikido, T. Obata, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, M. Suga, H. Murayama, T. Yamaya, "Prototype Integrated System of DOI- PET and the RF-Coil Specialized for Simultaneous PET-MRI Measurements," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 359, 2012. (M10-61, 2012/11/1@Anaheim)
- [13] E. Yoshida, Y. Hirano, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, T. Moriya, T. Omura, M. Watanabe, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Impact of the Laser-Processed X'tal Cube Detector with 1 mm Isotropic Resolution in PET Imaging," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. , 2012. (M16-15, 2012/11/2@Anaheim)
- [14] E. Yoshida, S. Kinouchi, H. Tashima, F. Nishikido, Y. Hirano, N. Inadama, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Development and Performance Evaluation of a Single-Ring OpenPET Prototype," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 405, 2012. (M16-16, 2012/11/2@Anaheim)
- [15] T. Shinaji, H. Tashima, E. Yoshida, H. Murayama, T. Yamaya, H. Haneishi, "Time Delay Correction Method for PET-Based Tumor Tracking," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 410, 2012. (M16-29, 2012/11/2@Anaheim)
- [16] T. Matsumoto, T. Yamaya, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Murayama, M. Suga, "Simulation Study to Optimize the Number of Photo-Detection Faces and Inter-Crystal Materials for the Xtal Cube PET Detector," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 420, 2012. (M16-59, 2012/11/2@Anaheim)
- [17] M. Nitta, N. Inadama, F. Nishikido, Y. Hirano, E. Yoshida, H. Tashima, H. Kawai, H. Ito, T. Yamaya, "Influence of Misalignment of a Scintillator Array and a Multi-Anode PMT for 4-Layer DOI PET Detector," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 424, 2012. (M16-70, 2012/11/2@Anaheim)
- [18] M. Nitta, Y. Hirano, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, H. Tashima, H. Kawai, H. Ito, T. Yamaya, "Development of a Four-Layer DOI Detector Composed of Zr-Doped GSO Scintillators and a High Sensitive Multi-Anode PMT," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 424, 2012. (M16-71, 2012/11/2@Anaheim)
- [19] S. Kinouchi, T. Yamaya, H. Tashima, E. Yoshida, H. Ito, M. Suga, "Total Variation Minimization for in-Beam PET Image Reconstruction," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 440, 2012. (M17-42, 2012/11/2@Anaheim)
- [20] Y. Hirano, N. Inadama, E. Yoshida, F. Nishikido, H. Tashima, H. Ito, T. Yamaya, "A New Depth of Interaction PET Detector with Monolithic Plane Scintillator Stack," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 456, 2012. (M18-29, 2012/11/2@Anaheim)
- [21] F. Nishikido, Y. Hirano, E. Yoshida, N. Inadama, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Timing Analysis of the Xtal Cube PET Detector Based on Six-Surface Readout Using 96 MPPCs," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 457, 2012. (M18-31, 2012/11/2@Anaheim)
- [22] F. Nishikido, Y. Hirano, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, S. Sato, T. Inaniwa, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Optimization of the in-Beam OpenPET Detector for Carbon Beam Irradiation," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 504, 2012. (M22-2, 2012/11/3@Anaheim)
- [23] H. Tashima, Y. Hirano, S. Kinouchi, E. Yoshida, H. Ito, T. Yamaya, "Theoretical and Numerical Analysis of the Single-Ring OpenPET Geometry for in-Beam PET," 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract Book, p. 509, 2012. (M22-14, 2012/11/3@Anaheim)

・国内会議(30)

- [1] 緒方祐真, 森谷隆広, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "PET 検出器におけるレーザ加工結晶内の GPU ベース光伝搬シミュレーション," 電子情報通信学会技術研究報告,

- Vol. 111, No. 389, pp. 257-261, 2012. (メディカルイメージング連合フォーラム, 2012/1/19-20@那覇)
- [2] 木内尚子, 山谷泰賀, 田島英明, 平野祥之, 吉田英治, 錦戸文彦, 羽石秀昭, 菅幹生, "がん診断・治療融合に向けた開放型 PET 「OpenPET」 の新しい検出器配置法," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 389, pp. 437-439, 2012. (メディカルイメージング連合フォーラム, 2012/1/19-20@那覇)
 - [3] 吉田英治, 平野祥之, 田島英明, 錦戸文彦, 渡辺光男, 村山秀雄, 山谷泰賀, "レーザーによるシンチレータ内部加工を施した PET 用検出器クリスタルキューブの空間分解能評価," 第 59 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 16p-C4-17, p. 02-037, 2012 (2012/3/16, 早稲田大)
 - [4] 錦戸文彦, 小島隆行, 稲玉直子, 吉田英治, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, "RF コイル一体型 PET-MRI 装置用 4 層 DOI-PET 検出器の MRI 中での評価," 第 59 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 16a-C4-10, p. 02-061, 2012 (2012/3/16, 早稲田大)
 - [5] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 平野祥之, 田島英明, 木内尚子, 菅幹生, 羽石秀昭, 渡辺光男, 河合秀幸, 山下貴司, "OpenPET 実証機開発プロジェクト計画," 第 59 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集, 16a-C4-11, p. 02-062, 2012 (2012/3/16, 早稲田大) (応用物理学会よりマスコミ各社宛てに 2012 春季講演会の「注目論文」としてメール配信する際の候補論文に推薦されました)
 - [6] 山谷泰賀, 吉田英治, 脇坂秀克, 辻厚至, 田島英明, 錦戸文彦, 木内尚子, 中島靖紀, 佐藤眞二, 稲庭拓, "OpenPET : 小型試作機による C-10 ビーム照射野イメージング性能の実証," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 209, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-129, 2012/4/13, パシフィコ横浜)
 - [7] 錦戸文彦, 稲玉直子, 平野祥之, 吉田英治, 田島英明, 佐藤眞二, 稲庭拓, 山谷泰賀, "GSOZ を用いた PET 検出器の炭素線照射下における最適化と特性評価," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 210, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-130, 2012/4/13, パシフィコ横浜)
 - [8] 田島英明, 山谷泰賀, 吉田英治, 木内尚子, 渡辺光男, 田中栄一, "OpenPET: 第二世代開放型 PET 「Single-Ring OpenPET」 の提案," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 211, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-131, 2012/4/13, パシフィコ横浜)
 - [9] 中島靖紀, 河野俊之, 稲庭拓, 佐藤眞二, 吉田英治, 山谷泰賀, Sihver Lembit, "消滅放射線分布の計算方法改良による複雑形状照射野の 3 次元線量分布推定," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 212, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-132, 2012/4/13, パシフィコ横浜)
 - [10] 吉田英治, 田島英明, 平野祥之, 森谷隆広, 大村知秀, 渡辺光男, 稲玉直子, 錦戸文彦, 村山秀雄, 山谷泰賀, "近接撮像型 PET 用 1 ペア検出器評価システムの開発とクリスタルキューブの空間分解能測定," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 225, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-145, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [11] 稲玉直子, 森谷隆広, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英明, 平野祥之, 村山秀雄, 新田宗孝, 渡辺光男, 山谷泰賀, "レーザー分割シンチレータのクリスタルキューブ PET 検出器 : 3 D 加工法と 2 D 加工法の比較," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 226, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-146, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [12] 谷川明日香, 川口拓之, 平野祥之, 白石貴博, 谷本克之, 吉田英治, 山谷泰賀, 小島隆行, 菅幹生, "PET/MRI のための領域分割法と標準画像参照法によるハイブリッド PET 吸収画像生成法," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 227, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-147, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [13] 平野祥之, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 稲垣枝里, 小島隆行, 山谷泰賀, "MPPC と LGSO シンチレータを用いた PET 検出器の磁場中における動作特性評価," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 228, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-148, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [14] 木内尚子, 山谷泰賀, 田島英明, 平野祥之, 吉田英治, 錦戸文彦, 羽石秀昭, 菅幹生, "第二世代開放型 PET 「Single-ring OpenPET」 のための検出器配置方法の検討," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 231, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-151, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [15] 新田宗孝, 平野祥之, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英明, 河合秀幸, 山谷泰賀, "GSOZ と高感度 PMT を用いた OpenPET 用 DOI 検出器の試作," 医学物理, 第 32 巻, Sup. 1, p. 232, 2012. (第 103 回日本医学物理学学会学術大会報文集 O-152, 2012/4/14, パシフィコ横浜)
 - [16] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 平野祥之, 田島英明, 菅幹生, 澁谷憲悟, 羽石秀昭, 渡辺光男, "サブミリ PET に向けた次世代検出器クリスタルキューブの開発," JSMI Report, p. 47 & p. 69 (日本分子イメージング学会第 7 回総会・学術集会, MS-05 & P-003, 2012/5/24, アクトシティ浜松)
 - [17] 稲玉直子, 森谷隆広, 錦戸文彦, 平野祥之, 村山秀雄, 吉田英治, 田島英明, 新田宗孝, 山谷泰賀, "高分解能 PET 検出器クリスタルキューブにおける結晶素子間条件の検討," JSMI Report, p. 68 (日本分子イメージング学会第 7 回総会・学術集会, P-002, 2012/5/25, アクトシティ浜松)
 - [18] 品地哲弥, 田島英明, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "OpenPET における腫瘍トラッキング," 第 31 回日本医用画像工学会大会 予稿集, OP4-2, 2012/8/4 (@札幌厚生病院)
 - [19] Yannan Yin, Takashi Obi, Hideaki Tashima, Tatsuya Kon, Taiga Yamaya, Nagaaki Ohyama, "A new OpenPET

- based simultaneous whole-body PET/CT geometry and its CT imaging simulation," 第 31 回日本医用画像工学会大会 予稿集, OP4-3, 2012/8/4 (@札幌厚生病院)
- [20] 田島英朗, 山谷泰賀, 吉田英治, 木内尚子, 渡辺光男, 田中栄一, "第二世代開放型 PET 「Single-Ring OpenPET」の提案とブロック検出器による実装の検討," 第 31 回日本医用画像工学会大会 予稿集, OP4-4, 2012/8/4 (@札幌厚生病院)
- [21] 木内尚子, 山谷泰賀, 田島英朗, 吉田英治, 菅幹生, "OpenPET による粒子線照射野画像化のための Total variation 最小化画像再構成法の検討," 第 31 回日本医用画像工学会大会 予稿集, OP4-5, 2012/8/4 (@札幌厚生病院)
- [22] 錦戸文彦, 小島隆行, 菅幹生, 尾松美香, 稲玉直子, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, "PET-MRI 装置用 RF コイル一体型 PET 検出器の開発," 第 73 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 02-063, 2012. (2012/9/12 愛媛大学, 松山大学, 演題番号 12p-C7-2)
- [23] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 木内尚子, 菅幹生, 羽石秀昭, 錦戸文彦, 平野祥之, 稲玉直子, 伊藤浩, "第二世代 OpenPET の小型試作機開発," 第 73 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 02-064, 2012. (2012/9/12 愛媛大学, 松山大学, 演題番号 12p-C7-3)
- [24] 吉田英治, 平野祥之, 田島英朗, 錦戸文彦, 渡辺光男, 村山秀雄, 稲玉直子, 山谷泰賀, "レーザーによる(1mm)³ピッチのシンチレータ内部加工を施した PET 用検出器クリスタルキューブの開発," 第 73 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p. 02-059, 2012. (2012/9/13 愛媛大学, 松山大学, 演題番号 13p-C7-13)
- [25] 錦戸文彦, 小島隆行, 菅幹生, 尾松美香, 清水浩大, 稲玉直子, 吉田英治, 村山秀雄, 伊藤浩, 山谷泰賀, "一体型 PET-MRI ディテクタ用試作コイルの PET 検出器との同時計測による性能評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 32, suppl., p. 336, 2012. (第 40 回日本磁気共鳴医学会大会, P-2-99, 2012/9/7@国立京都国際会館)
- [26] 吉田英治, 平野祥之, 田島英朗, 稲玉直子, 錦戸文彦, 森谷隆広, 大村知秀, 渡辺光男, 村山秀雄, 伊藤浩, 山谷泰賀, "1mm 等方分解能を有するクリスタルキューブ検出器の空間分解能測定," 核医学, 第 9 巻, 第 3 号, p. S249, 2012. (第 52 回日本核医学会学術総会, M2XA1, 2012/10/7@ロイトン札幌)
- [27] 稲玉直子, 森谷隆広, 平野祥之, 錦戸文彦, 村山秀雄, 吉田英治, 田島英朗, 伊藤浩, 山谷泰賀, "レーザー加工により立方体に分割した板状シンチレータを用いたクリスタルキューブ PET 検出器の性能評価," 核医学, 第 9 巻, 第 3 号, p. S249, 2012. (第 52 回日本核医学会学術総会, M2XA2, 2012/10/7@ロイトン札幌)
- [28] 田島英朗, 吉田英治, 品地哲弥, 平野祥之, 木内尚子, 錦戸文彦, 菅幹生, 羽石秀昭, 伊藤浩, 山谷泰賀, "¹⁸F-FDG の薬剤分布を持つ 4D XCAT ファントムを用いた OpenPET によるリアルタイム腫瘍追跡の検討," 核医学, 第 9 巻, 第 3 号, p. S250, 2012. (第 52 回日本核医学会学術総会, M2XA6, 2012/10/7@ロイトン札幌)
- [29] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 田島英朗, 羽石秀昭, 村山秀雄, 伊藤浩, "第二世代開放型 PET 「Single-Ring OpenPET」の小型試作機開発," 核医学, 第 9 巻, 第 3 号, p. S250, 2012. (第 52 回日本核医学会学術総会, M2XA7, 2012/10/7@ロイトン札幌)
- [30] 生駒洋子, 木村泰之, 白石貴博, 山谷泰賀, 須原哲也, 伊藤浩, "[¹¹C]raclopride を用いたドーパミン D2 受容体測定における画像位置合わせ体動補正法の確立," 核医学, 第 9 巻, 第 3 号, p. S253, 2012. (第 52 回日本核医学会学術総会, M2XC5, 2012/10/7@ロイトン札幌)

1.4 研究会(6+)

- [1] 発表多数, Proceedings of the 1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, 2012. (2012/1/26@NIRS)
- [2] 発表多数, 平成 23 年度次世代 PET 研究会予稿集, 2012 (2012/1/27@放医研)
- [3] 脇坂秀克, 由井讓二, 謝琳, 曾川千鶴, 山谷泰賀, "小動物 CT の有用性～実験動物用 3D マイクロ X 線 CT 「R_mCT2」に関する技術報告～," 第 6 回技術と安全の報告会講演要旨集, PP-20, 2012/3/8(放医研)
- [4] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 稲玉直子, 辻厚至, 脇坂秀克, 稲庭拓, 佐藤眞二, 中島靖紀, "重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(23P285)," 平成 23 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2012/4/23(千葉)
- [5] 中島靖紀, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, "核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(22P177)," 平成 23 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2012/4/23(千葉)
- [6] 発表多数, 第 2 回 OpenPET 研究会資料集, 2012/7/30 (放医研)

1.5 特許(13)

・出願(6)

- [1] 山谷泰賀, 小島隆行, 菅幹生, 川口拓之, ほか, "MR 画像からの PET 吸収補正画像生成方法及びコンピュータプログラム," 出願番号: 特願 2012- 74906, 出願日: 2012 年 3 月 28 日 (428)
- [2] 山谷泰賀, 田島英朗, ほか, "楕円軌道回転機構及びPET 装置," 特願 2012-103961, 2012/4/27 出願 (429)
- [3] 山谷泰賀, 平野祥之, "3 次元放射線位置検出器," 特願 2012-122417, 2012/5/29 出願 (442)
- [4] 錦戸文彦ほか (錦戸は第四発明人), "高計数率放射線検出器用シンチレータ及び高計数率放射線検出器," 特願 2012-151297, 2012 年 7 月 5 日出願 (449)
- [5] 錦戸文彦ほか (錦戸は第五発明人), "シンチレータ," 特願 2012-151298, 2012 年 7 月 5 日出願 (450)
- [6] 吉田英治, 山谷泰賀, "PET 装置における同時係数判定方法及び装置", 特願 2012-194133, 2012 年 9 月 4 日出願 (451)

・登録(7)

- [1] 澁谷憲悟, 津田倫明, 錦戸文彦, 稲玉直子, 吉田英治, 山谷泰賀, 村山秀雄, "陽電子放射断層撮像装置及び放射線検出器," 特許 4877766, 登録日 2011/12/9 (272JP) (前年成果集計漏れ)
- [2] 山谷泰賀, 村山秀雄, 稲玉直子, "開放型 PET 装置," 特許第 4982880, 登録日 2012/5/11 (313JP)
- [3] Eiji Yoshida, Kengo Shibuya, Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Keishi Kitamura, "RADIATION DETECTING METHOD UTILIZING ENERGY INFORMATION AND POSITIONAL INFORMATION AND EQUIPMENT THEREOF," US8188437, 2012/5/29 (293US)
- [4] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, "PET scanner and method for deciding arrangement of detectors," US8222608, 2012/7/17 (314US)
- [5] 山谷泰賀, 村山秀雄, "PET 装置及び検出器の配置決定方法," 特許 5046143, 2012/7/27 (314JP)
- [6] 山谷泰賀, 村山秀雄, 吉田英治, "断層撮影装置の画像再構成方法、故障診断方法、断層撮影装置、及び、システムマトリクス管理プログラム," 特許第 5099750, 2012/10/5 登録(287JP).
- [7] 澁谷憲悟, 山谷泰賀, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 村山秀雄, "放射線検出方法、装置、及び、陽電子放射断層撮像装置," 特許第 5099792, 2012/10/5 登録 (317JP).

2. 成果普及などへの取り組み

2.1 研究など開催(3)

- [1] 1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology (2012/1/26@NIRS)を主催(参加者 53 名)
- [2] 平成 23 年度次世代 PET 研究講演会(2012/1/27, 放医研)を主催(参加者 79 名)
- [3] 第 2 回 OpenPET 研究会(2012/7/30, 放医研)を主催(参加者計 72 名)

2.2 核医学物理セミナー開催(14)

- [1] 2012/2/20, 病理診断と定量的病理画像解析, 木村文一(東工大・学術国際情報センター)
- [2] 2012/4/26, エネルギー分解能を有するフォトンカウンティング検出器を用いた新しい X 線 CT イメージング法について, 田口克行(Johns Hopkins 大学医学校放射線部)
- [3] 2012/6/18, PTCOG 参加報告およびソウル大学病院訪問報告, 錦戸文彦, 山谷泰賀(放医研)
- [4] 2012/6/25, WC2012 参加報告, 吉田英治, 山谷泰賀(放医研)
- [5] 2012/7/2, SNM 参加報告およびワシントン大学 Kinahan ラボ訪問報告, 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀(放医研)
- [6] 2012/9/10, 応用物理学会発表予演会, 担当: 錦戸文彦, 山谷泰賀(放医研)
- [7] 2012/9/24, WMIC(世界分子イメージング学会)参加報告, 吉田英治, 山谷泰賀(放医研)
- [8] 2012/10/1, IEEE NSS-MIC 予演会(発表内容の概要紹介), IEEE 発表者全員
- [9] 2012/10/15, 粒子線の体内での挙動とその生物効果(RI ビームの停止位置と生物効果), 稲庭拓(放医研・重粒子)
- [10] 2012/11/12, IEEE NSS-MIC 参加報告(1), 山谷泰賀(放医研)
- [11] 2012/11/26, IEEE NSS-MIC 参加報告(2), 吉田英治, 錦戸文彦(放医研)
- [12] 2012/12/3, IEEE NSS-MIC 参加報告(3), 稲玉直子, 平野祥之(放医研)
- [13] 2012/12/10, IEEE NSS-MIC 参加報告(4), 田島英朗(放医研), 木内尚子(千葉大/放医研)
- [14] 2012/12/17, IEEE NSS-MIC 参加報告(5), 菅幹生, 羽石秀昭, ほか(千葉大)

2.3 報告書出版(2)

- [1] Taiga Yamaya, Editing and Publication, "Proceedings of the 1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology", NIRS-M-245, 2012/1/26
- [2] 山谷泰賀, 編, "平成 23 年度次世代 PET 研究報告書", NIRS-R-65, ISBN 978-4-938987-77-0, 2012/3/31.

2.4 総説(11)

- [1] 山谷泰賀, "医療にもっと役立つ放射線 放医研がつくる未来の PET 装置," 第 6 回分子イメージング研究センターシンポジウム 近未来の画像診断, NIRS-M-248, pp. 36-45, 2012/3.
- [2] 山谷泰賀, "生体イメージング技術開発研究チーム研究概要," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 7-9, 2012.
- [3] 稲玉直子, 平野祥之, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, "次世代 DOI 検出器「クリスタルキューブ」の開発," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 10-11, 2012.
- [4] 吉田英治, 田島英明, 山谷泰賀, "OpenPET: 小型試作機の開発," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 11-12, 2012.
- [5] 平野祥之, 錦戸文彦, 稲玉直子, 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, "OpenPET: 重粒子線照射野イメージングの核反応シミュレーション," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 12-15, 2012.
- [6] 錦戸文彦, 稲玉直子, 平野祥之, "OpenPET: 重粒子線照射野イメージング用検出器の開発," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 15-16, 2012.
- [7] 田島英朗, 吉田英治, 木内尚子, 山谷泰賀, "リアルタイム PET イメージング," 放射線科学, 第 55 巻, 第 2 号, p. 17, 2012.
- [8] 山谷泰賀, "開放型 PET 装置による粒子線治療の照射野イメージング," Isotope News, 2012 年 7 月号, No. 699, pp. 2-7, 2012.
- [9] 山谷泰賀, "最先端研究開発が切り拓く新しい PET イメージング," JAMIT News Letter, No.12, pp. 12-13, 2012/7.
- [10] 山谷泰賀, "がん診断と放射線治療を融合する開放型 PET 装置の開発," Readout HORIBA Technical

Reports, 2012 年 10 月増刊号, pp. 18-22, 2010.

- [11] 山谷泰賀, "次世代装置の開発動向 3)DOI 検出器の新しい展開ークリスタルキューブ検出器と OpenPET の開発," INNERVISION, 第 27 巻, 第 12 号, pp. 62-65, 2012/12.

2.5 講義・講演(21)

・シンポジウム等における招待講演(1)

- [1] Taiga Yamaya, "OpenPET and X'tal Cube: new PET concepts based on depth-of-interaction detection," 2012 International Conference on Radiation Imaging Sciences and Medical Application / The 3rd Annual Joint Symposium of the IEEE NPSS Seoul Chapter and the Korean Council of Nuclear Medicine Image and Instrumentation, 2012/2/17 (Hayang University, Seoul) (invited)

・講演(11)

- [1] Taiga Yamaya, "Research leading to next generation PET scanners," Proceedings of the 1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 1-5, 2012. (2012/1/26@NIRS)
- [2] 村山秀雄, "オールジャパン体制の PET 装置開発研究プロジェクトを振り返る," 「放射線科学とその応用第 186 委員会」第 1 回研究会, 2012/5/31, 主婦会館プラザ.
- [3] Taiga Yamaya, "OpenPET and X'tal Cube: New PET concepts based on depth-of-interaction detection," Imaging Research Laboratory Seminar, the University of Washington, June 7, 2012.
- [4] Eiji Yoshida, "Impact of the X'tal cube detector with isotropic resolution on imaging resolution," Imaging Research Laboratory Seminar, the University of Washington, June 7, 2012.
- [5] Hideaki Tashima, "Study on real-time tumor tracking by the OpenPET," Imaging Research Laboratory Seminar, the University of Washington, June 7, 2012.
- [6] 山谷泰賀, "PET 装置とその応用," 応用物理学会放射線分科会主催 平成 24 年度 放射線夏の学校 予稿集, pp. 11-17, 2012/8/6 (つくばグランドホテル)
- [7] 山谷泰賀, "DOI 検出器が切り拓く新しい PET の展開," 日本学術振興会産業協力研究委員会「放射線科学とその応用第 186 委員会」第二回研究会, pp. 1-13, 2012/8/31 (東京大学)
- [8] 山谷泰賀, "次世代 PET 機器開発の最新動向," 医学物理士のための医学物理講習会資料 2012 JBMP2012, pp. 13-22, 2012/9/13 (第 1 回 JBMP 放射線治療品質管理・医学物理講習会, つくば国際会議場)
- [9] 山谷泰賀, "がん診断と放射線治療を融合する OpenPET," 堀場雅夫賞受賞記念セミナー, 2012/10/17@京都大学芝蘭会館
- [10] 山谷泰賀, "核医学機器開発研究の最新動向," 第 43 回多摩核医学技術検討会, 2012/11/13 (立川グランドホテル)
- [11] 山谷泰賀, "次世代 PET 機器開発の最新動向," 応用物理学会放射線分科会主催平成 24 年度第 1 回医療放射線技術研究会, 2012/12/8 (大阪大学).

・講義(9)

- [1] 山谷泰賀, "PET 計測の原理と最先端機器開発," 第 6 回 画像診断セミナー, 2012/2/6 (@放医研)
- [2] Taiga Yamaya, "Fundamentals and state-of-the-art development of PET instrumentations," IAEA-CC Molecular Imaging: Training Courses 講師 (2012/4/24, NIRS).
- [3] Fumihiko Nishkido, "Basis of radiation detection", IAEA-CC Molecular Imaging: Training Courses 講師 (2012/4/24, NIRS).
- [4] Naoko Inadama, "Detectors," IAEA-CC Molecular Imaging: Training Courses 講師 (2012/4/24, NIRS).
- [5] Eiji Yoshida, "PET systems," IAEA-CC Molecular Imaging: Training Courses 講師 (2012/4/24, NIRS).
- [6] Hideaki Tashima, "Image reconstruction," IAEA-CC Molecular Imaging: Training Courses 講師 (2012/4/24, NIRS).
- [7] 村山秀雄、吉田英治, "核医学物理学", 医学物理コース, 2012/7/12 (@放医研)
- [8] 山谷泰賀, "分子イメージング連携特別講義: PET の物理と次世代装置開発," 東北大学分子イメージング教育コース, 分子イメージングコース講義, 2012/7/20@東北大学医学部 5 号館.
- [9] 山谷泰賀, 東工大非常勤講師, 医歯工学特別コース「核医学物理」 2012/10/22-26.

2.6 プレス・広報物掲載(29)

- [1] "ドイツ・イノベーション・アワード「ゴットフリード・ワグネル賞 2012」において最優秀賞を受賞,"

分子イメージング研究センター ニュース・プレス発表, 2012/6/22.

- [2] “山谷泰賀チームリーダーら「ゴットフリード・ワグネル賞 2012」最優秀賞を受賞,” 放医研ホームページ ニュース, 2012/7/2.
- [3] “ドイツ・イノベーション・アワード 2012、開放型 PET で放射線医学総研の山谷氏が最優秀賞,” Tech-On, 2012/6/20.
- [4] “「ゴットフリード・ワグネル賞 2012」最優秀賞に「OpenPET」を開発した放医研の山谷氏,” ドイツ科学・イノベーションフォーラム, 2012/6/20.
- [5] “Five Young Japanese Researchers Awarded With the German Innovation Award 2012,” The German Research and Innovation Forum Tokyo, 20/6/2012.
- [6] “German Innovation Award zum vierten Mal an japanische Nachwuchswissenschaftler verliehen,” Deutsche Wissenschafts- und Innovationshaus Tokyo, 20/6/2012.
- [7] “ドイツ・イノベーション・アワード 最優秀に山谷氏（放医研）ら,” 日刊工業新聞 21 面, 2012/6/20.
- [8] “若手日本人研究者支援、「ゴットフリード・ワグネル賞」決定 NIRS の山谷氏ら,” 石油化学新聞, 2012/6/21.
- [9] “放医研の山谷博士ら受賞,” 化学工業日報, 2012/6/21.
- [10] “優れた日本の若手研究者「ドイツ・イノベーション・アワード」,” 山口新聞 3 面, 2012/6/22.
- [11] “受賞研究 5 件発表 ドイツ・イノベーション・アワード,” 日刊自動車新聞, 2012/6/26.
- [12] “インタビュー放射線医学総合研究所 山谷泰賀 博士 一効率的ながん診断と治療への画期的な一歩,” ドイツ科学・イノベーションフォーラム, 2012/6/27.
- [13] “独イノベーション賞 最優秀に放医研チーム,” 科学新聞 2 面, 2012/6/29.
- [14] “Mit dem Innovation Award nach Deutschland,” JAPANMARKT, JULI/AUGUST 2012, p. 29, 1/7/2012.
- [15] “ゴットフリード・ワグネル賞 2012 に山谷、吉田、田島氏ら,” Medical Tribune, 2012/7/12.
- [16] “OpenPET ideal for imaging during therapy,” medicalphysicsweb, 2012/7/16 <<http://medicalphysicsweb.org/cws/article/research/50261>>
- [17] “ドイツ・イノベーション・アワード,” 薬事日報, 2012/7/13.
- [18] “社説 世界が期待している日本の科学技術,” 化学工業日報, 2012/7/2.
- [19] “フロントランナー 挑む がんを見ながら, がんをたたく 山谷泰賀 (放射線医学総合研究所) ,” 日経サイエンス 2012 年 10 月号, pp. 10-13, 2012/8/25.
- [20] 放医研動画ニュース 山谷泰賀チームリーダーら「ゴットフリード・ワグネル賞 2012」最優秀賞を受賞 <http://www.nirs.go.jp/information/movie/GFW2012/GFW2012.shtml>
- [21] “山谷泰賀チームリーダーら「ゴットフリード・ワグネル賞 2012」最優秀賞を受賞!,” 放医研 NEWS, p. 3, 2012/09.
- [22] “堀場賞 山谷氏ら,” 京都新聞 9 面, 2012/7/31.
- [23] “堀場雅夫賞に山谷氏ら 4 人,” 日刊工業新聞 29 面, 2012/7/31.
- [24] “堀場雅夫賞に山谷氏ら 3 氏,” 日経産業新聞 27 面, 2012/7/31.
- [25] “堀場雅夫賞: 受賞者発表 「放射線計測」で,” 毎日新聞地方版, 2012/8/4.
- [26] “先端的研究 4 人を表彰,” 京都新聞 25 面, 2012/10/18.
- [27] “堀場雅夫賞 4 氏、授賞式 放医研の山谷氏ら,” 日本経済新聞 31 面, 2012/10/18.
- [28] “2012 堀場雅夫賞を受賞,” 分子イメージング研究センター ニュース・プレス発表, 2012/10/29, <http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/121025/index.html>
- [29] “田島英朗さん 確実ながん治療実現へ 開放型 PET 装置を研究,” 山口新聞 19 面, 2012/10/28.

・ 出展など(1)

- [1] 稲玉直子, 山谷泰賀, “次世代の PET (ペット) 装置の開発,” 千葉エリア産学官連携オープンフォーラム 2012 出展, 2012/7/27 (@日本大学生産工学部津田沼校舎 3 9 号館)

2.7 その他報告書(2)

- [1] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 稲玉直子, 辻厚至, 脇坂秀克, 稲庭拓, 佐藤眞二, 中島靖紀, “重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(23P285),” 平成 23 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書, pp. 273-274, 2012/8.
- [2] 中島靖紀, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, “核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(22P177),” 平成 23 年度放射線医学総合研究所重

2.8 見学対応(20)

- [1] 2012/1/26 ソウル大学 Jae Sung Lee 氏ほか 6 名
- [2] 2012/3/15 岐阜大学教育学部理科教育講座物理学専攻学生 20 名
- [3] 2012/3/28 NEDO バイオテクノロジー・医療技術部 加藤紘氏・磯ヶ谷昌文氏・戸瀬浩仁氏
- [4] 2012/4/9 平野博文文部科学大臣ほか 4 名
- [5] 2012/4/16 KEK 幅淳二氏・宇野彰二氏・三原智氏・新井康夫氏
- [6] 2012/4/19 IAEA Ravi Kashyap 氏・MGH Georges El Fakhri 氏
- [7] 2012/4/26 Johns Hopkins 大・田口克行氏・浜松ホトニクス株式会社田中栄一氏ほか 5 名
- [8] 2012/5/7 千葉市立千葉高等学校 42 名
- [9] 2012/6/1 三菱重工業株式会社宮口仁一氏ほか 1 名
- [10] 2012/6/11 コロンビア大 K. S. Clifford Chao 博士・Hei Tom K.博士・Eric John Hall 博士
- [11] 2012/6/21 ドイツイノベーションアワード事務局長 Dieth Regine 氏ほか 3 名
- [12] 2012/7/11 堀場製作所開発本部松本絵里佳氏
- [13] 2012/7/24 千葉県夢チャレンジ体験スクール 中1～高1まで 7 名
- [14] 2012/7/31 財団法人 日本原子力文化振興財団ご一行 41 名
- [15] 2012/8/2 日経サイエンス編集長中島林彦氏ほか 1 名
- [16] 2012/8/9 岐阜大学教育学部理科教育講座物理学専攻学生 20 名
- [17] 2012/8/7 医学部を目指す福島県の高校生の見学
- [18] 2012/8/22 医学部を目指す福島県の高校生の見学
- [19] 2012/11/9 Jinhun Joung 氏 NuCare Medical Systems, Inc CEO
- [20] 2012/12/4 ドレスデン工科大学 David Lars Renner 氏ら 4 名平成 24 年度欧州若手専門家交流事業

3. 外部評価（表彰）(4)

- [1] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, “がん診断と放射線治療を融合する OpenPET,” 第 4 回ドイツ・イノベーション・アワード「ゴットフリート・ワグネル賞 2012」最優秀賞受賞, 2012/6/19.
- [2] 田島英朗, “PET 画像誘導放射線治療を可能とするリアルタイムイメージング手法の開発,” 医用原子力技術研究振興財団平成 24 年度安成弘記念賞, 2012/7/13
- [3] 山谷泰賀, “がん診断と放射線治療を融合する開放型 PET イメージング手法および装置の開発,” 2012 堀場雅夫賞受賞, 2012/10/17.
- [4] 田島英朗, 日本医用画像工学会大会奨励賞受賞, 2012/9/19.

1. 研究成果

1.1 原著論文(11)

- [1] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Intrinsic spatial resolution evaluation of the X'tal cube PET detector based on a 3D crystal block segmented by laser processing," *Radiological Physics and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 21-27, 2013.
- [2] Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Mitsuo Watanabe, Taiga Yamaya, "Potential for reducing the numbers of SiPM readout surfaces of laser-processed X'tal cube PET detectors," *Phys. Med. Biol.*, 58, pp. 1361-1374, 2013.
- [3] 田島英朗, 山谷泰賀, 平野祥之, 吉田英治, 木内尚子, 渡辺光男, 田中栄一, "第二世代開放型 PET 「Single-Ring OpenPET」のモンテカルロシミュレーションによる DOI 検出器を用いた実装の検討", *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, Vol.31, No.2, pp. 83-87, March 2013
- [4] Eiji Yoshida, Hiroki Yamashita, Hideaki Tashima, Shoko Kinouchi, Hideo Murayama, Mikio Suga, Taiga Yamaya, "Design study of the DOI-PET scanners with the X'tal cubes toward sub-millimeter spatial resolution," *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, Vol. 3, pp. 131-134, 2013
- [5] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "The X'tal cube PET detector with a monolithic crystal processed by the 3D sub-surface laser engraving technique: Performance comparison with glued crystal elements," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 723, pp. 83-88, 2013.
- [6] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Spatial resolution limits for the isotropic-3D PET detector X'tal cube," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 728, pp. 107-111, 2013.
- [7] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hidekatsu Wakizaka, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Development of a single-ring OpenPET prototype," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 729, pp. 800-808, 2013.
- [8] Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Four-layer DOI PET detectors using a multi-pixel photon counter array and the light sharing method," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 729, pp. 755-761, 2013.
- [9] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Takahiro Moriya, Tomohide Omura, Mitsuo Watanabe, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Impact of laser-processed X'tal cube detectors on PET imaging in a one-pair prototype system," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 60, No. 5, 3172-3180, October 2013.
- [10] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Feasibility study of an axially extendable multiplex cylinder PET," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 60, No. 5, 3227-3234, October 2013.
- [11] Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Yoko Ikoma, Eiji Yoshida, Hidekazu Wakizaka, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Compartmental analysis of washout effect in rat brain: in-beam OpenPET measurement using a ¹¹C beam," *Phys. Med. Biol.*, 58, pp. 8281-8294, 2013.

1.2 プロシーディング(4)

- [1] 川口拓之, 谷川明日香, 菅幹生, 平野祥之, 白石貴博, 吉田英治, 木村泰之, 谷本克行, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, “MRI 画像に基づく PET 吸収補正法が脳機能の定量解析に及ぼす影響,” 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 239-244, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [2] Ismet Isnaini, Takashi Obi, Yoshida Eiji, Taiga Yamaya, “Monte-Carlo simulation of a novel 2 m-long entire-body PET scanner,” 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 105-106, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [3] 品地哲弥, 田島英朗, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, “呼吸性体動に対応した PET ベース腫瘍トラッキング,” 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 129-133, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [4] Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, and Paul E. Kinahan, "Simulation Study of the OpenPET Scanner with Bridge Detectors to Compensate for Incomplete Data," Proceedings of the 12th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, pp. 360-363, 2013 (poster, 2013/6/16-21, Lake Tahoe, California)

1.3 学会発表(72)

・国際会議 (口頭発表) (13)

- [1] Hiroshi Kawaguchi, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Asuka Tanigawa, Mikio Suga, Takahiro Shiraiishi, Katsuyuki Tanimoto, Yasuyuki Kimura, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "An MRI-based estimation of gamma-ray attenuation coefficients with a motionless radiation source for quantitative PET/MRI on human brain," PSMR2013 and 4th Jülich MR-PET Workshop, pp. 26-27, 2013/5/7 (Aachen, Germany) oral.
- [2] Naoko Inadama, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Munetaka Nitta, Taiga Yamaya, "Performance of the X'tal cube PET detector using 1 mm thick scintillator plates segmented to 1 x 1 mm² by laser processing," J. NUCL. Med. MEETING ABSTRACTS, Vol. 54, Supp. 2, p. 129P (SNMMI 2013 Annual Meeting, No. 426, Oral, Vancouver, 2013/6/11)
- [3] Taiga Yamaya, "PET physics research at NIRS," NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 1-3, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [4] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Haruhiko Futada, Takeshi Nagata, Hideaki Haneishi, Taiga Yamaya, "Real-time OpenPET imaging system toward PET-guided tumor tracking radiation therapy," NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 23-24, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [5] Haruhiko Futada, Takeshi Nagata, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Performance improvement of GPU image reconstruction for OpenPET," NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 25-26, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [6] Naoko Inadama, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Munetaka Nitta, Taiga Yamaya, "X'tal cube: 3-dimensional position sensitive PET detector," NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 31-32, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [7] Takayuki Obata, Mikio Suga, Fumihiko Nishikido, Atsushi Tachibana, Koudai Shimizu, Hiroshi Kawaguchi, Taiga Yamaya, "Development of a removable MR head coil integrated with high-resolution PET detectors" NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 43-44, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [8] T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, Y. Nakajima, F. Nishikido, Y. Hirano, N. Inadama, T. Shinaji, H. Haneishi, M. Suga, S. Sato, T. Inaniwa, "Development of an Open-Type PET for 3D Dose Verification in Carbon Ion Therapy," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, HT3-2, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul, ORAL).
- [9] N. Inadama, Y. Hirano, F. Nishikido, H. Murayama, M. Nitta, T. Yamaya, "A Convenient Light Guide for Trial Production in Its Optimization Process," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, J1-3, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul, ORAL).
- [10] T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, Y. Nakajima, F. Nishikido, Y. Hirano, N. Inadama, H. Ito, T. Shinaji, H. Haneishi, M. Suga, T. Inaniwa, "A Prototype of a Novel Transformable Single-Ring OpenPET," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M07-1, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul, ORAL).
- [11] Y. Nakajima, Y. Hirano, T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, S. Sato, T. Inaniwa, T. Kohno, L. Sihver,

"Dosimetry by Means of in-Beam PET with RI Beam Irradiation," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M07-2, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul, ORAL).

- [12] Naoko Inadama, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Munetaka Nitta, Taiga Yamaya, "Novel PET detector based on SiPM photodetectors," Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Vol. 47, Supp. 2, p. 138, 2013. (The 6th CJK Conference on Nuclear Medicine and the 52th Annual Meeting of the Korean Society of Nuclear Medicine, O-008, 2013/11/15, Jeju, Oral, Invited)
- [13] K. Shimizu, M. Suga, A. Tachibana, F. Nishikido, H. Kuribayashi, I. Nakajima, Y. Kawabata, T. Yamaya, T. Obata, "Development of a Novel MR Head Coil Integrated with PET Detectors: Design and Optimization of Shield Boxes," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M05-5, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul, ORAL).

・国際会議（ポスター発表）(23)

- [1] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Yoshiyuki Hirano, Taku Inaniwa, "OpenPET prototypes for a proof of 3D in-situ imaging of a irradiation field in carbon ion therapy," Third International Conference on Real-time Tumor-tracking Radiation Therapy with 4D Molecular Imaging Technique (第3回分子追跡放射線治療国際会議), p. 52, PC-07, 2013/2/8 (札幌).
- [2] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Feasibility study of real-time tumor tracking by OpenPET during radiotherapy," Third International Conference on Real-time Tumor-tracking Radiation Therapy with 4D Molecular Imaging Technique (第3回分子追跡放射線治療国際会議), p. 47, PB-05, 2013/2/8 (札幌).
- [3] A. Tachibana, T. Obata, K. Shimizu, F. Nishikido, H. Kuribayashi, M. Suga, T. Yamaya, "Development of a PET-integrated MRI head coil for simultaneous PET-MRI: Influence of copper shield boxes on MR images," ECR2013, Poster: C-1433, 2013. (Vienna)
- [4] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hidekatsu Wakizaka, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, and Hiroshi Ito, "Development of a small prototype of a novel transformable single-ring OpenPET," J. NUCL. Med. MEETING ABSTRACTS, Vol. 54, Supp. 2, p. 532P (SNMMI 2013 Annual Meeting, No. 2166, Poster, Vancouver, 2013/6/11). Poster Award First Place に選定
- [5] Hideaki Tashima, Hiroshi Ito, and Taiga Yamaya, "A proposal of a helmet PET with jaw detectors for high-sensitive brain imaging," J. NUCL. Med. MEETING ABSTRACTS, Vol. 54, Supp. 2, p. 532P (SNMMI 2013 Annual Meeting, No. 2167, Poster, Vancouver, 2013/6/11).
- [6] Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, and Paul E. Kinahan, "Simulation Study of the OpenPET Scanner with Bridge Detectors to Compensate for Incomplete Data," Proceedings of the 12th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, pp. 360-363, 2013 (poster, 2013/6/16-21, Lake Tahoe, California)
- [7] Eiji Yoshida, Keiji Shimizu, Taiga Yamaya, "Development of data acquisition system for the human OpenPET," NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) Abstract Book, pp. 15-16, 2013 (2013/11/4, Yokohama).
- [8] E. Yoshida, H. Tashima, T. Yamaya, "Sensitivity Booster for DOI-PET by Utilizing Compton Scattering Events Between Detector Blocks," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M16-14, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [9] H. Tashima, H. Ito, T. Yamaya, "A Proposed Helmet-PET with a Jaw Detector Enabling High-Sensitivity Brain Imaging," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M11-11, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [10] A. Gondo, T. Shinaji, Y. Hirano, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, T. Yamaya, H. Haneishi, "Optical Simulation of a DOI Detector with a Stack of Planer Scintillators," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M11-17, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [11] E. Yoshida, T. Shinaji, H. Tashima, H. Haneishi, T. Yamaya, "Performance Evaluation of a Transformable Axial-Shift Type Single-Ring OpenPET," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M11-7, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [12] F. Nishikido, T. Obata, N. Inadama, E. Yoshida, M. Suga, K. Shimizu, A. Tachibana, H. Ito, T. Yamaya, "One-Pair Prototype Integrated System of DOI- PET and the RF-Coil Specialized for Simultaneous PET-MRI Measurements," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M12-45, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [13] H. Kawaguchi, Y. Hirano, E. Yoshida, M. Suga, T. Shiraiishi, K. Tanimoto, Y. Kimura, T. Obata, H. Ito, T. Yamaya, "A MRI-Based PET Attenuation Correction with μ -Values Measured by a Fixed-Position Radiation Source," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M12-52, 2013

(2013/10/27-11/2@Seoul).

- [14] Y. Yin, H. Tashima, E. Yoshida, T. Kon, T. Obi, T. Yamaya, "Proposal of a New OpenPET Based Simultaneous Whole-Body PET/CT Geometry," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M12-53, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [15] I. Isnaini, T. Obi, E. Yoshida, T. Yamaya, "Simulation of Sensitivity and NECR of Entire-Body PET Scanners for Different FOV Diameters," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M16-15, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [16] T. Shinaji, H. Tashima, E. Yoshida, T. Yamaya, H. Haneishi, "Accuracy Improvement of Time Delay Correction Method for PET-Based Tumor Tracking," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M21-13, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [17] Y. Hirano, E. Yoshida, H. Wakisaka, Y. Nakajima, F. Nishikido, H. Ito, T. Yamaya, "Washout Studies of in-Beam Rat Imaging by the 2nd Generation OpenPET Prototype," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M21-16, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [18] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, H. Haneishi, H. Ito, T. Yamaya, "Monte Carlo Simulation of Region-of-Interest Reconstruction for Real-Time Tumor Tracking by OpenPET," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M21-25, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [19] N. Inadama, Y. Hirano, F. Nishikido, H. Murayama, M. Nitta, H. Ito, T. Yamaya, "The X'tal Cube with 1 mm³ Isotropic Resolution Based on a Stack of Laser-Segmented Scintillator Plates," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M21-47, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [20] H. Tashima, T. Yamaya, "Impact of TOF Information in OpenPET Imaging," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, M22-13, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [21] F. Nishikido, T. Moritake, H. Ito, T. Yamaya, "A Prototype Real-Time Dose Distribution Monitoring System Using Plastic Scintillators Connected to Optical Fiber for Interventional Radiology," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, NPO1-29, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [22] M. Nitta, Y. Hirano, F. Nishikido, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, Y. Nakajima, H. Kawai, T. Yamaya, "Activation Measurement for Material Selection of OpenPET Components in Particle Therapy," 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Abstract, NPO2-58, 2013 (2013/10/27-11/2@Seoul).
- [23] Hiroshi Sakurai, Fumitake Itoh, Kosuke Suzuki, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Tatsuaki Kanai and Taiga Yamaya, "Positron annihilation photon acollinearity in ¹¹C irradiation," 5th International Conference on Advanced Micro-Device Engineering (MADE 2013), p. 43, 2013/12/19. (Kiryu)

・国内会議(36)

- [1] 川口拓之, 谷川明日香, 菅幹生, 平野祥之, 白石貴博, 吉田英治, 木村泰之, 谷本克行, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, "MRI 画像に基づく PET 吸収補正法が脳機能の定量解析に及ぼす影響," 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 239-244, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [2] Ismet Isnaini, Takashi Obi, Yoshida Eiji, Taiga Yamaya, "Monte-Carlo simulation of a novel 2 m-long entire-body PET scanner," 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 105-106, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [3] 品地哲弥, 田島英朗, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "呼吸性体動に対応した PET ベース腫瘍トラッキング," 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 112, No. 411, pp. 129-133, JAMIT Frontier 2013 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2013/1/24-25 (那覇市ぶんかテンブス館)
- [4] 稲玉直子, 平野祥之, 錦戸文彦, 村山秀雄, 新田宗孝, 山谷泰賀, "DOI-PET 検出器クリスタルキューブの開発: レーザー加工により分割した板状シンチレータの使用の検討," 2013 年応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 29a-PA1-17, 2013/3/29 (神奈川工科大学) (Poster Award 受賞)
- [5] 島添健次, 織田忠, 中村泰明, 高橋浩之, 錦戸文彦, 吉田英治, 山谷泰賀, "PET 用 ASIC の放射線耐性評価," 2013 年応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 29a-PA1-15, 2013/3/29 (神奈川工科大学)
- [6] 錦戸文彦, 盛武敬, 岸本俊二, 伊藤浩, 山谷泰賀, "プラスチックシンチレータと光ファイバを用いた IVR 用リアルタイム線量計の開発," 2013 年応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 29p-A5-7, 2013/3/29 (神奈川工科大学)
- [7] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 木内尚子, 中島靖紀, 錦戸文彦, 平野祥之, 菅幹生, 佐藤眞二, 稲庭拓, "第二世代 OpenPET 小型試作機のイメージング性能評価," 2013 年応用物理学会春季学術講演会講

演予稿集, 29p-A5-8, 2013/3/29 (神奈川工科大学)

- [8] Fumihiko Nishikido, Takeshi Moritake, Shunji Kishimoto, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "X-ray detector for real-time dose monitoring in interventional radiology," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 82, 2013/4/11. (パシフィコ横浜)
- [9] Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Washout effect in RI beam irradiation of rat using small OpenPET," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 125, 2013/4/12. (パシフィコ横浜)
- [10] Tetsuya Shinaji, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Hideaki Haneishi, "The PET-based tumor tracking with error reduction method," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 127, 2013/4/12. (パシフィコ横浜)
- [11] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Shoko Kinouchi, Yasunori Nakajima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Mikio Suga, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "In-beam imaging test of a small prototype for the second generation OpenPET," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 128, 2013/4/12. (パシフィコ横浜)
- [12] Yasunori Nakajima, Toshiyuki Kohno, Taku Inaniwa, Shinji Sato, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, Lembit Sihver, "Estimation of standard deviation of range in 3-D irradiation by using Fisher's Information," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 129, 2013/4/12. (パシフィコ横浜)
- [13] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Shoko Kinouchi, Fumihiko Nishikido, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "A Monte Carlo simulation of real-time tumor tracking by the OpenPET: a feasibility study," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 130, 2013/4/12. (パシフィコ横浜)
- [14] Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Simulation study of an axially extendable multiplex cylinder PET," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 138, 2013/4/13. (パシフィコ横浜) (大会長賞受賞)
- [15] Ismet Isnani, Takashi Obi, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Monte-Carlo simulation of sensitivity and NECR of a 2m-long PET scanner," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 139, 2013/4/13. (パシフィコ横浜)
- [16] Kodai Shimizu, Atsushi Tachibana, Humihiko Nishikido, Hideto Kuribayashi, Iwao Nakajima, Yoshihiko Kawabata, Taiga Yamaya, Takayuki Obata, Mikio Suga, "Development of an integrated PET/MRI detector: Evaluation of magnetic-field distortion caused by eddy-current in shield boxes," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 142, 2013/4/13. (パシフィコ横浜)
- [17] Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Takahiro Moriya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hideo Murayama, Munetaka Nitta, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Development of a DOI-PET detector "X'tal cube": optimal position calculation for each optical condition in the scintillation crystal block," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 144, 2013/4/13. (パシフィコ横浜)
- [18] Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Performance of laser-processed X'tal cube PET detectors with reduced the numbers of SiPM readout surfaces," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 145, 2013/4/13. (パシフィコ横浜)
- [19] Akane Gondo, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya and Hideaki Haneishi, "Optical simulation of a novel DOI detector with a stack of planer scintillators: Impact of surface roughness on spatial resolution," 医学物理 Japanese Journal of Medical Physics (第 105 回日本医学物理学会学術大会報文集), p. 146, 2013/4/13. (パシフィコ横浜)
- [20] 清水浩大, 菅幹生, 橘篤志, 錦戸文彦, 栗林秀人, 中島巖, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 一体型検出器の開発: シールドボックスに生じる渦電流による位相シフトの定量評価," 第 32 回日本医用画像工学会大会予稿集, OP4-7, 2013. (2013/8/1-3, 産業技術総合研究所臨海副都心センター/日本科学未来館)
- [21] 品地哲弥, 田島英朗, 吉田英治, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "OpenPET における腫瘍トラッキング II -多変数回帰による遅延補正-, " 第 32 回日本医用画像工学会大会予稿集, OP5-4, 2013. (2013/8/1-3, 産業技術総合研究所臨海副都心センター/日本科学未来館)
- [22] 田島英朗, 山谷泰賀, Paul E. Kinahan, "ブリッジ検出器による Dual-Ring OpenPET の画質改善効果の検討," 第 32 回日本医用画像工学会大会予稿集, OP7-3, 2013. (2013/8/1-3, 産業技術総合研究所臨海副

都心センター/日本科学未来館)

- [23] 榎藤朱音, 品地哲弥, 平野祥行, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 田島英朗, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "モノリシック板積層型 PET 用 DOI 検出器の光学シミュレーション," 第 32 回日本医用画像工学会大会予稿集, PP2-11, 2013. (2013/8/1-3, 産業技術総合研究所臨海副都心センター/日本科学未来館)
- [24] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 中島靖紀, 錦戸文彦, 平野祥之, 稲玉直子, 品地哲弥, 羽石秀昭, 菅幹生, "可変型検出器配置の新しい OpenPET 小型試作機の開発," 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 18a-A12-1, 2013. (2013/9/18 同志社大学京田辺キャンパス) (注目講演推薦)
- [25] 錦戸文彦, 盛武敬, 岸本俊二, 伊藤浩, 山谷泰賀, "プラスチックシンチレータと光ファイバを用いた IVR 用リアルタイム被曝線量分布モニタシステムの開発," 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 18a-A12-2, 2013. (2013/9/18 同志社大学京田辺キャンパス)
- [26] 平野祥之, 吉田英治, 脇坂秀克, 中島靖紀, 錦戸文彦, 伊藤浩, 山谷泰賀, "Single-ring OpenPET 小型試作機を用いたラットへの RI ビーム照射における ^{11}C イオン動態解析の試み," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 234, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, M3IIB1, 福岡国際会議場, 2013/11/10)
- [27] 吉田英治, 品地哲也, 田島英朗, 羽石秀昭, 伊藤浩, 山谷泰賀, "アキシシャルシフト型シングルリング OpenPET の性能評価," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 234, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, M3IXA1, 福岡国際会議場, 2013/11/10)
- [28] 吉田英治, 田島英朗, 伊藤浩, 山谷泰賀, "コンプトン散乱を用いた PET 装置の高感度化手法の開発," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 234, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, M3IXA2, 福岡国際会議場, 2013/11/10)
- [29] 川口拓之, 平野祥之, 吉田英治, 菅幹生, 白石貴博, 谷本克之, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, "固定した放射線源と MRI 画像を用いた頭部 PET/MRI のガンマ線吸収補正," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 234, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, M3IXA6, 福岡国際会議場, 2013/11/10)
- [30] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 田島英朗, 羽石秀昭, 伊藤浩, "次世代画像誘導治療に向けた OpenPET 開発プロジェクトの中間進捗報告," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 227, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, M3IXB3, 福岡国際会議場, 2013/11/10)
- [31] 小島隆行, 菅幹生, 錦戸文彦, 橘篤志, 清水浩大, 川口拓之, 山谷泰賀, "近接・一体型 PET-MRI プローブ用 MRI 送受信コイルの製作," 核医学, 第 50 巻, 第 3 号, p. 249, 2013 (第 53 回日本核医学会学術総会, P2K2, 福岡国際会議場, 2013/11/9)
- [32] 橘篤志, 小島隆行, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 川口拓之, 栗林秀人, 山谷泰賀, "RF コイル一体型 PET-MRI Coil の開発と MRI 画像へ与える影響の評価," Advanced CT-MRI 研究会, 2013/6/15-16 (軽井沢)
- [33] 橘篤志, 小島隆行, 川口拓之, 稲垣枝理, 松尾浩一, 山谷泰賀, "Diffusion Tensor Imaging における水拡散異方性評価用ファントムの開発," 日本磁気共鳴医学会雑誌, vol. 33, supplement, p.434, 2013/9/21.
- [34] 清水浩大, 菅幹生, 橘篤志, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 一体型検出器の開発: シールドボックスが誘発する画像アーチファクト・ノイズの評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, vol. 33, supplement, p.237, 2013/9/21.
- [35] 小島隆行, 菅幹生, 錦戸文彦, 橘篤志, 清水浩大, 川口拓之, 山谷泰賀, "近接・一体型頭部用 PET-MRI ディテクタの開発," 日本磁気共鳴医学会雑誌, vol. 33, supplement, p.229, 2013/9/21.
- [36] 川口拓之, 平野祥之, 吉田英治, 菅幹生, 白石貴博, 谷本克之, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, "MRI 画像の領域分割と固定した放射線源による PET/MRI のガンマ線減弱補正法," 日本磁気共鳴医学会雑誌, 第 33 巻, Supplement, p. 219, 2013 (第 41 回日本磁気共鳴医学会大会, O-1-094, アスティとくしま, 2013/9/19)

1.4 研究会(15+)

- [1] 発表多数, 平成 24 年度次世代 PET 研究会講演予稿集, 2013/1/21.
- [2] 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 伊藤浩, 佐藤眞二, 稲庭拓, 木内尚子, 菅幹生, 羽石秀昭, 中島靖紀, "がん診断と治療の融合を目指した開放型 PET 装置 OpenPET の開発," 研究会「放射線検出器とその応用」(第 27 回)要旨論文集, pp. 3-4, 2013/2/5-7 (高エネルギー加速器研究機構, つくば)
- [3] 新田宗孝, 稲玉直子, 錦戸文彦, 平野祥之, 吉田英治, 田島英朗, 河合秀幸, 山谷泰賀, "光分配方式 PET 用 4 層 DOI 検出器の反射材とアノードの位置関係が結晶弁別に及ぼす影響," 研究会「放射線検出器とその応用」(第 27 回)要旨論文集, pp. 5-6, 2013/2/5-7 (高エネルギー加速器研究機構, つくば)
- [4] 錦戸文彦, 盛武敬, 岸本俊二, 伊藤浩, 山谷泰賀, "IVR 用リアルタイム線量計測システムのための X 線検出器の特性評価," 研究会「放射線検出器とその応用」(第 27 回)要旨論文集, pp. 7-8, 2013/2/5-7 (高エネルギー加速器研究機構, つくば)
- [5] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 稲玉直子, 辻厚至, 脇坂秀克, 稲庭拓, 佐藤眞二, 中島靖紀, "重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(11H285)," 平成 24 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2013/4/22 (平成 24 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書 発表会用暫定版, pp. 264-269) (千葉)
- [6] 中島靖紀, 宮武裕和, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, "核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(10H177)," 平成 24 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2013/4/22 (平成 24 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書 発表会用暫定版, pp. 254-256) (千葉)
- [7] Taiga Yamaya, Hiroshi Ito, "Introduction of PET Physics Research in NIRS," Proceedings for 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 7-9, 2013/4/25 (Seoul).
- [8] Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Feasibility study of novel geometry of an axially extendable multiplex cylinder PET," Proceedings for 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 15-19, 2013/4/25 (Seoul).
- [9] Fumihiko Nishikido, Takayuki Obata, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Mikio Suga, Taiga Yamaya, "Development of DOI-PET detector integrated with RF coil for PET-MRI," Proceedings for 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 32-35, 2013/4/25 (Seoul).
- [10] Hiroshi Kawaguchi, Asuka Tanigawa, Mikio Suga, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Takahiro Shiraiishi, Katsuyuki Tanimoto, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Evaluation of attenuation map for quantitative assessment of brain function on PET/MRI scanner," Proceedings for 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 40-42, 2013/4/25 (Seoul).
- [11] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Monte Carlo simulation of real-time tumor tracking by the OpenPET using the 4D XCAT phantom with a realistic 18F-FDG distribution," Proceedings for 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 56-60, 2013/4/25 (Seoul).
- [12] 権藤朱音, 品地哲弥, 平野祥之, 山谷泰賀, 羽石秀昭, "次世代 PET 検出器における光伝播シミュレータの開発と応用," 第 11 回千葉大学医工学シンポジウム研究概要, 研究成果 17, 2013/5/31 (千葉大学).
- [13] 清水浩大, 菅幹生, 橋篤志, 錦戸文彦, 栗林秀人, 中島巖, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 一体型検出器のシールドボックスに生じる渦電流による静磁場歪みの評価," 第 11 回千葉大学医工学シンポジウム研究概要, 研究成果 21, 2013/5/31 (千葉大学).
- [14] 菅幹生, 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, "X'tal cube PET 検出器における受光素子配置面数および結晶間媒質の計算機シミュレータによる最適化," 第 11 回千葉大学医工学シンポジウム研究概要, 研究成果 22, 2013/5/31 (千葉大学).
- [15] 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, "MRI による生体特性計測システムの開発," 第 9 回マルチモーダル脳情報研究会抄録集, p. 21, 2013 (2013/11/18 千葉大学)

1.5 特許(14)

・出願(1)

- [1] 田島英朗, 山谷泰賀, “ヘルメット型 PET 装置,” 特願 2013-226068, 2013/10/30 出願 (474)

・登録(13)

- [1] 山谷泰賀, 村山秀雄, 森慎一郎, “開放型PET装置,” 特許第 5191011 号, 2013/2/8 登録 (319JP)
- [2] 山谷泰賀, 村山秀雄, 小島隆行, 青木伊知男, “オープン PET/MRI 複合機,” 特許第 5224421 号, 2013/3/22 登録 (312JP)
- [3] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲庭拓, 村山秀雄, “検出器回動型放射線治療・画像化複合装置,” 特許第 5246895 号, 2013/4/19 登録 (344JP)
- [4] Naoko Inadama, Hideo Murayama, Kengo Shibuya, Fumihiko Nishikido, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, “DOI type radiation detector,” US8,436,312, 2013/5/7 登録 (329US)
- [5] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Taku Inaniwa, "COMBINED RADIATION THERAPY/PET APPARATUS," US8,461,539, 2013/6/11 登録 (326US)
- [6] 山谷泰賀, 稲庭拓, 錦戸文彦, 村山秀雄, “遮蔽型放射線治療・画像化複合装置,” 第 5339551 号, 2013/8/16 登録 (346JP)
- [7] 山谷泰賀, 村山秀雄, 蓑原伸一, 稲庭拓, 古川卓司, 森慎一郎, “検出器シフト型放射線治療・PET 複合装置,” 特許第 5360914 号, 2013/9/13 登録 (321JP)
- [8] 山谷泰賀, 吉田英治, “核医学イメージング装置の画像化方法、システム、核医学イメージングシステム及び放射線治療制御システム,” 特許第 5339562 号, 2013/8/16 登録 (379JP)
- [9] 吉田英治, 山谷泰賀, “PET 装置における同時計数判定方法及び装置,” 特許第 5339561 号, 2013/8/16 登録 (380JP)
- [10] 稲玉直子, 村山秀雄, 澁谷憲悟, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 吉田英治, “DOI 型放射線検出器”, 第 5382737 号, 2013/10/11 登録 (329JP).
- [11] 吉田英治、澁谷憲悟、山谷泰賀、村山秀雄、北村圭司, "利用エネルギーと位置情報の放射線検出方法及装置," 中国特許登録 ZL 2007 8 0052713.0, 2012/10/10 登録 (293CN)
- [12] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Shinichi Minohara, Taku Inaniwa, Takuji Furukawa, Shinichirou Mori, "Detector-shift type combined radiation therapy/PET apparatus," US8,581,196B2, 2013/11/12 登録(321US)
- [13] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Shinichi Minohara, "PET scanner and image reconstruction method thereof," US8,594,404B2, 2013/11/26 登録(292US)

2. 成果普及などへの取り組み

2.1 研究会など開催(4)

- [1] 平成 24 年度次世代 PET 研究会(2013/1/21, 放医研)を主催(参加者 91 名, 内外部 58 名)
- [2] 2nd SNU-NIRS Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology (2013/4/25, ソウル大)を主催(参加者約 70 名)
- [3] NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013) (2013 年 11 月 4 日～5 日, パシフィコ横浜)を主催(参加者 107 名(海外 24 名、日本 83 名))
- [4] NIRS-TUM Workshop on PET Physics 2013 を主催(2013 年 11 月 7 日, 放医研)

2.2 核医学物理セミナー開催(14)

- [1] 2013/2/25, バドミントン競技におけるスポーツ情報処理, 角田 貢 (日本体育大学准教授)
- [2] 2013/2/27, デジタル SiPM と GAGG を用いた PET システム, 島添健次 (東京大学助教)
- [3] 2013/3/18, 電子運動量分布を用いた PET の提案, 櫻井 浩 (群馬大学大学院工学研究科教授)
- [4] 2013/4/10, RSNA にみるイメージングモダリティの動向, 掛川誠 (浜松ホトニクス顧問)
- [5] 2013/6/17, 米国核医学会(SNM)参加報告 1, 山谷泰賀 (放医研)
- [6] 2013/6/24, 米国核医学会(SNM)参加報告 2, 稲玉直子 (放医研)
- [7] 2013/7/1, ベルリン日独センター事業 Junior Experts Exchange Program 2013 参加報告, 川口拓之 (放医研)
- [8] 2013/7/8, Fully 3D meeting 参加報告および US Davis 大 Qi ラボ訪問報告, 田島英朗 (放医研)
- [9] 2013/9/30, ミュンヘン工科大研究滞在報告 1, 山谷泰賀・吉田英治 (放医研)
- [10] 2013/11/11, ミュンヘン工科大研究滞在報告 2 および IEEE NSS-MIC 参加報告 1, 田島英朗・山谷泰賀 (放医研)
- [11] 2013/11/21, 心不全における心臓分子イメージング, 樋口隆弘 (University Hospital of Wurzburg 教授)
- [12] 2013/12/2, IEEE NSS-MIC 参加報告 2, 吉田英治・田島英朗・川口拓之 (放医研)
- [13] 2013/12/9, IEEE NSS-MIC 参加報告 3, 錦戸文彦・新田宗孝 (放医研)、菅幹生 (千葉大准教授)
- [14] 2013/12/16, IEEE NSS-MIC 参加報告 4, 稲玉直子・平野祥之・中島靖紀 (放医研)、品地哲弥 (千葉大)

2.3 報告書出版(2)

- [1] 山谷泰賀 編, “平成 24 年度次世代 PET 研究報告書,” NIRS-R-66, ISBN 978-4-938987-82-4, 2013/3.
- [2] Taiga Yamaya 編集, “NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications PIPA2013 Abstract Book,” NIRS-M-261, 2013 年 11 月 4 日.

2.4 総説(5)

- [1] 田島英朗, 山谷泰賀, “エミッション CT の逐次近似型画像再構成のオーバービュー -実用的側面-,” MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol.31, No.1, pp. 15-20, 2013.
- [2] 山谷泰賀, “トピックス 放医研の「OpenPET」開発／「OpenPET」が切り拓く新しいイメージング：小型実証機開発,” PET Journal 2013, 第 21 号, pp. 7-9, 2013.
- [3] 山谷泰賀, “がん診断・治療融合のための次世代 PET 装置およびシステムの研究,” 平成 24 年度第 16 回贈呈式 資料集, pp. 11-12, 2013.
- [4] 山谷泰賀, “次世代 PET 機器開発研究の最新動向,” 医学物理, 第 32 号, 第 3 号, pp. 155-161, 2013.
- [5] 山谷泰賀, 伊藤浩, “研究室訪問 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,” MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol. 31, No. 5, pp. 330-333, November 2013.

2.5 講義・講演(12)

・シンポジウム等における招待講演(2)

- [1] Taiga Yamaya, "PET Imaging Physics: from Basis to the State-of-the-art Technologies," Introduction to Analysis and Applications of Molecular Imaging, The 16th international conference on medical image computing and computer assisted intervention (MICCAI), 2013 (2013/9/21 Nagoya University)]
- [2] Taiga Yamaya, "OpenPET: Imaging in Radiation Therapy," The Road Map To Advanced Radiation Therapy, Workshop dedicated to Anders Brahme – a true RT visionary, Karolinska Institutet, Stockholm (2013/9/9)

・講演(7)

- [1] 山谷泰賀, "OpenPET 開発プロジェクト小型試作機による重粒子線照射野イメージング," 群馬大学が
んプロフェッショナル養成基盤推進プラン実践型粒子線治療人養成コース (インテンシブ) 重粒子
線物理セミナー, 2013/1/25 (群馬大学重粒子線医学センター)
- [2] Taiga Yamaya, "OpenPET towards in situ imaging in particle therapy," Seminar @ the Ludwig-Maximilians-
University in Munich, 2013/5/8.
- [3] Taiga Yamaya, "OpenPET towards in situ imaging in particle therapy," seminar at HIT, Heidelberg (2013/8/12).
- [4] Taiga Yamaya, "Introduction of PET Physic Research at NIRS," seminar at TUM, Munich (2013/8/26)
- [5] Taiga Yamaya, "PET physics research at NIRS," seminar at KUKA Roboter GmbH, Augsburg (2013/9/3)
- [6] Taiga Yamaya, "PET physics research at NIRS," seminar at Siemens, Erlangen (2013/9/11)
- [7] Taiga Yamaya, "PET imaging physics and application to carbon ion therapy," seminar at KIRAMS, Seoul
(2013/11/14)

・講義(4)

- [1] 吉田英治, "核医学物理学," 第9回医学物理コース, 2013/7/11 (放医研)
- [2] 山谷泰賀, "PET 計測の原理と最先端機器開発," 放射線医学総合研究所第7回画像診断セミナー,
2013/2/4 (放医研).
- [3] 山谷泰賀, "医療に役立つ放射線: 次世代の PET 装置を創る研究の紹介," 東京工業大学講義「先端
物理情報システム論」, 2013/6/5, すずかけ台.
- [4] 山谷泰賀, 東工大非常勤講師, 医歯工学特別コース「核医学物理」 2013/10/21-25.

2.6 著書(1)

- [1] 井上登美 (翻訳), 山谷泰賀(翻訳), "核医学の基本パワーテキスト-基礎物理から最新撮影技術まで,"
メディカルサイエンスインターナショナル, 2013/4/10 出版, 228 ページ.

2.7 プレス・広報物掲載(6)

- [1] 山谷泰賀, "体の中の様子を画像にする世界で最も細かい目 (放射線検出器)," 科学技術の「美」
パネル展 出展, 2013/4.
- [2] "第16回 (平成24年度) 丸文研究奨励賞を受賞", 放医研分子イメージング研究センターweb ニュ
ース, 2013/3 <<http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/130306/index.html>>
- [3] 山谷泰賀, "拓く研究人 PET でがん治療最適化," 日刊工業新聞, 21面, 2013年6月5日.
- [4] 山谷泰賀, "第60回米国核医学会(SNMMI)2013 Annual Meeting にてポスター賞 第1位を獲得," 放
医研分子イメージング研究センターweb ニュース, 2013/6/13
<<http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/130608/index.html>>
- [5] "みずほ情報総研, PET 画像再構成手法の開発に向けて、放射線医学総合研究所と共同研究を開始,"
みずほ情報総研プレスリリース, 2013/9/30.
- [6] "Researchers from National Institute of Radiological Sciences Detail Findings in Radiology," Rankings of
Hispanic Companies- HispanicBusiness.com 掲載, 2013/10/3.

・出展など(0)

2.8 その他報告書(2)

- [1] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 稲玉直子, 辻厚至, 脇坂秀克, 稲庭拓, 佐藤眞二, 中島靖紀, “重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(11H285),” 平成 24 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書, pp. 254-255, 2013/8.
- [2] 中島靖紀, 宮武裕和, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, “核破碎反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(10H177),” 平成 24 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書, pp. 210-211, 2013/8.

2.9 見学対応(19)

- [1] 2013/2/4 文部科学大臣政務官丹羽秀樹氏ほか 3 名
- [2] 2013/2/26 University of Texas, MD Anderson Cancer Center David J. Yang 氏ほか 2 名
- [3] 2013/2/27 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 Apichaya Claimon 氏ほか 1 名
- [4] 2013/4/1 Colorado State University Dean Hendrickso 氏・University of Colorado Denver Richard Krugman 氏・University of Colorado Health Kevin Unger 氏ほか 7 名
- [5] 2013/4/2 獨協医科大学長 稲葉憲之氏ほか 10 名
- [6] 2013/4/15 GE Healthcare Charles W. Stearns 氏ら 2 名
- [7] 2013/5/20 原子力規制庁原子力地域安全総括官 黒木慶英氏ほか 2 名
- [8] 2013/5/28 文部科学省研究振興局 山口氏
- [9] 2013/5/29 原子力規制委員会 原子力規制庁放射線対策・保障措置課企画官 石川直子氏ほか 2 名
- [10] 2013/6/4 放射線医学総合研究所作業部会ご一行 14 名
- [11] 2013/6/26 カナダ Robarts Research Institute Dr. Ravi S. Menon
- [12] 2013/7/5 文部科学省大臣官房付 阿蘇隆之氏・文部科学省研究振興局研究振興戦略官付専門官 宮地俊一氏
- [13] 2013/7/8 文部科学省研究振興局ライフサイエンス課先端医科学研究企画官 林昇甫氏
- [14] 2013/7/19 文部科学省科学技術学術政策局科学技術学術総括官 磯谷桂介氏・文部科学省科学技術学術政策局政策課行政調査員 立木実氏
- [15] 2013/9/18 文部科学省研究振興局ライフサイエンス課生命科学専門官 成田博氏ほか 3 名
- [16] 2013/10/24 Siemens Helthcare Robert Krieg 氏ほか 3 名
- [17] 2013/11/3 Delft 工科大学 Dennis Schaart 氏ほか 5 名
- [18] 2013/11/6 日本学術振興会放射線科学とその応用第 186 委員会 25 名
- [19] 2013/11/18 University of Washington 藪島聡氏・Seoul National University Dong Soo Lee 氏・横浜市大井上登美夫氏

3. 外部評価（表彰）(6)

- [1] 山谷泰賀, “がん診断・治療融合のための次世代 PET 装置およびシステムの研究,” 丸文研究奨励賞, 2013/3/6 (一般財団法人丸文財団).
- [2] 稲玉直子, 錦戸文彦, 村山秀雄, 山谷泰賀, “DOI-PET 検出器クリスタルキューブの開発: レーザー加工により分割した板状シンチレータの使用の検討,” 第 60 回応用物理学学会春季学術講演会 Poster Award 受賞, 2013/4/1. <http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/130330/index.html>
- [3] 吉田英治, “体軸視野サイズ可変型の新しい PET 装置の提案,” 第 105 回日本医学物理学学会学術大会 大会長賞 受賞, 2013/4/14 <http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/130418/index.html>
- [4] Taiga Yamaya, “Development of a small prototype of a novel transformable single-ring OpenPET,” FIRST PLACE POSTER - Instrumentation & Data Analysis Track, 60th Annual Meeting of the SNMMI Advancing Molecular Imaging and Therapy, Vancouver, BC, Canada, 2013/6/10.
- [5] 山谷泰賀, 職員表彰, 2013/7/1 (放射線医学総合研究所)
- [6] 田島英朗, “ブリッジ検出器による Dual-Ring OpenPET の画質改善効果の検討,” 第 32 回日本医用画像工学会大会 奨励賞受賞 2013/8 <http://www.nirs.go.jp/research/division/mic/newsrelease/131114/index.html>

生体イメージング技術開発研究チーム研究業績 2014 (2014年1月~2014年12月)

1. 研究成果

1.1 原著論文(14)

- [1] Hiroshi Kawaguchi, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Jeff Kershawa, Takahiro Shiraishi, Mikio Suga, Yoko Ikoma, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "A proposal for PET/MRI attenuation correction with μ -values measured using a fixed-position radiation source and MRI segmentation," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A* 734, pp. 156-161, 2014.
- [2] Yoshiyuki Hirano, Munetaka Nitta, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Performance evaluation of a depth-of-interaction detector by use of position-sensitive PMT with a super-bialkali photocathode," *Radiol. Phys. Technol.*, Vol. 7, pp. 57-66, 2014.
- [3] Yuma Ogata, Takashi Ohnishi, Takahiro Moriya, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Hideaki Haneishi, "GPU-based optical propagation simulator of a laser-processed crystal block for the X'tal cube PET detector," *Radiol. Phys. Technol.*, Vol. 7, pp. 35-42, 2014.
- [4] Takahiro Matsumoto, Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Mikio Suga, "Simulation study optimizing the number of photodetection faces for the X'tal cube PET detector with separated crystal segments," *Radiol. Phys. Technol.*, Vol. 7, pp. 43-50, 2014.
- [5] Naoko Inadama, Takahiro Moriya, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Munetaka Nitta, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "X'tal cube PET detector composed of a stack of scintillator plates segmented by laser processing," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 61, No. 1, pp. 53-59, 2014.
- [6] Ismet Isnaini, Takashi Obi, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Monte Carlo simulation of efficient data acquisition for an entire-body PET scanner," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 751, pp. 36-40, 2014.
- [7] F. Nishikido, T. Obata, K. Shimizu, M. Suga, N. Inadama, A. Tachibana, E. Yoshida, H. Ito, T. Yamaya, "Feasibility of a brain-dedicated PET-MRI system using four-layer DOI detectors integrated with an RF head coil," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 756, pp. 6-13, 2014
- [8] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, "Sensitivity booster for DOI-PET scanner by utilizing Compton scattering events between detector blocks," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 763, pp. 502-509, 2014.
- [9] Ismet Isnaini, Takashi Obi, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Monte Carlo simulation of sensitivity and NECR of an entire-body PET scanner," *Radiol Phys Technol*, 7, pp. 203-210, 2014.
- [10] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Reduction method for intrinsic random coincidence events from ^{176}Lu in low activity PET imaging," *Radiol Phys Technol*, 7, pp. 235-245, 2014.
- [11] Hideaki Tashima, Takayuki Katsunuma, Hiroyuki Kudo, Hideo Murayama, Takashi Obi, Mikio Suga, Taiga Yamaya, "Restoration of lost frequency in OpenPET imaging: comparison between the method of convex projections and the maximum likelihood expectation maximization method," *Radiol Phys Technol*, 7, pp. 329-339, 2014.
- [12] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Yoshiyuki Hirano, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Efficient one-pair experimental system for spatial resolution demonstration of prototype PET detectors," *Radiol Phys Technol*, 7, pp. 379-386, 2014.
- [13] Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, Paul E Kinahan, "An OpenPET scanner with bridged detectors to compensate for incomplete data", *Phys. Med. Biol.*, 59, pp. 6175-6193, 2014.
- [14] Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Optimization of the refractive index of a gap material used for the 4-layer DOI detector," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 61, No. 3, pp. 1066-1073, 2014.

1.2 査読付プロシーディング(2)

- [1] Munetaka Nitta, Hideyuki Kawai, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "Influence on crystal identification performance of the 4-layer DOI PET detector by misalignment position of the DOI block," Radiation Detectors and Their Uses (Proceedings of the 27th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses), pp. 1-11, 2014.
- [2] Fumihiko Nishikido, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, Takeshi Moritake, Shunji Kishimoto, "Prototype X-ray Detector of Real-time Monitoring System for Interventional Radiology Using Plastic Scintillators and Optical Fiber," Radiation Detectors and Their Uses (Proceedings of the 27th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses), pp. 12-20, 2014.

1.3 査読なしプロシーディング(18)

- [1] E. Yoshida, H. Tashima, T. Yamaya, "Sensitivity Booster for DOI-PET by Utilizing Compton Scattering Events Between Detector Blocks," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M16-14, 2013.
- [2] K. Shimizu, M. Suga, A. Tachibana, F. Nishikido, H. Kuribayashi, I. Nakajima, Y. Kawabata, T. Yamaya, T. Obata, "Development of a Novel MR Head Coil Integrated with PET Detectors: Design and Optimization of Shield Boxes," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M05-5, 2013.
- [3] T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, Y. Nakajima, F. Nishikido, Y. Hirano, N. Inadama, H. Ito, T. Shinaji, H. Haneishi, M. Suga, T. Inaniwa, "A Prototype of a Novel Transformable Single-Ring OpenPET," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M07-1, 2013.
- [4] Y. Nakajima, Y. Hirano, T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, S. Sato, T. Inaniwa, T. Kohno, L. Sihver, "Dosimetry by Means of in-Beam PET with RI Beam Irradiation," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M07-2, 2013.
- [5] H. Tashima, H. Ito, T. Yamaya, "A Proposed Helmet-PET with a Jaw Detector Enabling High-Sensitivity Brain Imaging," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M11-11, 2013.
- [6] A. Gondo, T. Shinaji, Y. Hirano, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, T. Yamaya, H. Haneishi, "Optical Simulation of a DOI Detector with a Stack of Planer Scintillators," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M11-17, 2013.
- [7] E. Yoshida, T. Shinaji, H. Tashima, H. Haneishi, T. Yamaya, "Performance Evaluation of a Transformable Axial-Shift Type Single-Ring OpenPET," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M11-7, 2013.
- [8] F. Nishikido, T. Obata, N. Inadama, E. Yoshida, M. Suga, K. Shimizu, A. Tachibana, H. Ito, T. Yamaya, "One-Pair Prototype Integrated System of DOI- PET and the RF-Coil Specialized for Simultaneous PET-MRI Measurements," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M12-45, 2013.
- [9] H. Kawaguchi, Y. Hirano, E. Yoshida, M. Suga, T. Shiraishi, K. Tanimoto, Y. Kimura, T. Obata, H. Ito, T. Yamaya, "A MRI-Based PET Attenuation Correction with μ -Values Measured by a Fixed-Position Radiation Source," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M12-52, 2013.
- [10] Y. Yin, H. Tashima, E. Yoshida, T. Kon, T. Obi, T. Yamaya, "Proposal of a New OpenPET Based Simultaneous Whole-Body PET/CT Geometry," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M12-53, 2013.
- [11] I. Isnaini, T. Obi, E. Yoshida, T. Yamaya, "Simulation of Sensitivity and NECR of Entire-Body PET Scanners for Different FOV Diameters," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M16-15, 2013.
- [12] T. Shinaji, H. Tashima, E. Yoshida, T. Yamaya, H. Haneishi, "Accuracy Improvement of Time Delay Correction Method for PET-Based Tumor Tracking," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M21-13, 2013.
- [13] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, H. Haneishi, H. Ito, T. Yamaya, "Monte Carlo Simulation of Region-of-Interest Reconstruction for Real-Time Tumor Tracking by OpenPET," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M21-25, 2013.
- [14] N. Inadama, Y. Hirano, F. Nishikido, H. Murayama, M. Nitta, H. Ito, T. Yamaya, "The X'tal Cube with 1 mm³ Isotropic Resolution Based on a Stack of Laser-Segmented Scintillator Plates," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M21-47, 2013.
- [15] H. Tashima, T. Yamaya, "Impact of TOF Information in OpenPET Imaging," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M22-13, 2013.
- [16] F. Nishikido, T. Moritake, H. Ito, T. Yamaya, "A Prototype Real-Time Dose Distribution Monitoring System Using Plastic Scintillators Connected to Optical Fiber for Interventional Radiology," Conf. Rec. 2013 IEEE

Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, NPO1-29, 2013.

- [17] M. Nitta, Y. Hirano, F. Nishikido, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, Y. Nakajima, H. Kawai, T. Yamaya, "Activation Measurement for Material Selection of OpenPET Components in Particle Therapy," Conf. Rec. 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, NPO2-58, 2013.
- [18] 二田晴彦, 永田毅, 田島英朗, 吉田英治, 山谷泰賀, "OpenPET 画像再構成のマルチ GPU による高速化," 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 113, No. 410, pp. 291-294, 2014. (メディアカルイメージング連合フォーラム, 2014/1/26-27@那覇)

1.4 学会発表(48)

・国際会議 (口頭発表) (7)

- [1] Hiroshi Kawaguchi, Yoshiyuki Hirano, Jeff Kershaw, Eiji Yoshida, Takahiro Shiraishi, Mikio Suga, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Optimization of transmission-scan time for the FixER method: a MR-based PET attenuation correction with a weak fixed-position external radiation source," 3rd Conference on PET/MR and SPECT/MR (PSMR2014), 2014/5/19. (Kos, Oral)
- [2] Taiga Yamaya, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Kodai Shimizu, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Keiji Shimizu, Hiroyuki Takahashi, Tomio Inoue, Takayuki Obata, "A concept proposal of a head coil with DOI PET detectors to upgrade existing MRI to PET/MRI," World Molecular Imaging Congress 2014, SS166, 2014 (2014/9/20, Seoul, Oral).
- [3] Hiroyuki Takuwa, Hidekatsu Wakizaka, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Taiga Yamaya, Yoko Ikoma, "Development of a microscope/PET simultaneous measurement system for awake mice," World Molecular Imaging Congress 2014, LBA4, 2014 (2014/9/18, Seoul, Oral).
- [4] Hideaki Tashima, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Simulation study of helmet-PET with add-on detectors for high sensitivity brain imaging," World Molecular Imaging Congress 2014, SS141, 2014 (2014/9/20, Seoul, Oral).
- [5] M. Nitta, N. Inadama, Y. Hirano, F. Nishikido, E. Yoshida, H. Tashima, H. Kawai, T. Yamaya, "The X'tal Cube PET Detector of Isotropic (0.8 mm)³ Crystal Segments," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M04-1, 2014/11/8-15 (Seattle, Oral).
- [6] T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, Y. Hirano, Y. Nakajima, T. Shinaji, M. Nitta, M. Suga, H. Haneishi, K. Masuda, K. Shimizu, S. Sato, T. Inaniwa, H. Ito, "Whole-Body Dual-Ring OpenPET for in-Beam Particle Therapy Imaging," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M15-8, 2014/11/8-15 (Seattle, Oral).
- [7] T. Yamaya, "Updates in OpenPET project toward in situ 3D imaging during particle therapy," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), HT1-7, 2014/11/8-15 (Seattle, Oral).

・国際会議 (ポスター発表) (20)

- [1] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Yoshiyuki Hirano, Hiroshi Ito, Taku Inaniwa, "OpenPET prototypes 3D in-beam imaging," FIRST Joint International Symposium Program Abstracts, PM-05, p.58, 2014 (FIRST 合同国際シンポジウム, 2014/2/24 札幌パークホテル).
- [2] Mikio Suga, Takayuki Obata, Kodai Shimizu, Fumihiko Nishikido, Atsushi Tachibana, Hideto Kuribayashi, Iwao Nakajima, Yoshihiko Kawabata, and Taiga Yamaya, "Quantitative evaluation of the short-lived eddy currents in shield boxes of the novel MRI head coil integrated with PET detectors," Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 22, p. 1406, 2014 (Joint Annual Meeting ISMRM-ESMRMB, 10-16 May 2014, Milan)
- [3] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, H. Futada, T. Nagata, H. Haneishi, T. Yamaya, "GPU-Accelerated Real-Time Imaging System for the OpenPET toward Tumor-Tracking Radiotherapy," 19th Real Time Conference, PS 4-29, 2014/5/30 (Nara)
- [4] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Munetaka Nitta, Tetsuya Shinaji, Hiroshi Ito, "Design and development of a dual-ring OpenPET for in-beam carbon ion therapy imaging," J. Nucl. Med., 55 (Supplement 1), p. 2149, 2014 (SNMMI Annual Meeting 2014, St. Luis, Abstract No. 2149, 2014/6/10)
- [5] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Yasunori Nakajima, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Naoko Inadama, Taku Inaniwa, Taiga Yamaya, "Development of a novel transformable single-ring OpenPET for in situ imaging of particle therapy," 53rd Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG53) Congress Proceeding, p. 182, 2014. (2014/6/8-14. Shanghai)
- [6] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, T. Yamaya, "Detector Response Modeling with Asymmetric 2D Gaussian Functions for GPU-Based Image Reconstruction of the Whole-Body Dual-Ring OpenPET," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M10-47, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [7] E. Yoshida, K. Shimizu, T. Shinaji, F. Nishikido, T. Yamaya, "Development of a Singles-Based Scalable Data Acquisition System for the Whole-Body OpenPET," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M11-7, 2014/11/8-15 (Seattle).

- [8] K. Shinohara, M. Suga, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, T. Yamaya, "Maximum Likelihood Estimation of Inter-Crystal Scattering events for Light Sharing PET Detectors," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M11-13, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [9] F. Nishikido, K. Shimizu, M. Suga, N. Inadama, E. Yoshida, H. Tashima, T. Obata, T. Yamaya, "A Full-Ring Prototype PET-MRI System Based on Four-Layer DOI-PET Detectors Integrated with a RF Coil," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M11-116, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [10] F. Nishikido, E. Takada, T. Moritake, T. Yamaya, "Real-Time Monitoring System of Skin Dose Distribution in Interventional Radiology Using Organic Photo Diodes Combined to Plastic Scintillator," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M11-117, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [11] Y. Hirano, D. Kokuryo, F. Nishikido, N. Inadama, I. Aoki, T. Yamaya, "Gain, Cross Talk, after Pulse and Dark Counts of MPPCs in 7T Magnetic Fields," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M11-120, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [12] T. Shinaji, E. Yoshida, H. Tashima, T. Yamaya, "An Automatic Flood Histogram Calibration Method for the 4-Layer DOI Detector Based on Light Sharing," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M18-64, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [13] Y. Yoshihara, Y. Nakamura, K. Shimazoe, H. Takahashi, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Yamaya, "Study on Four Layer Depth of Interaction LYSO Crystal on MPPC with Newly Developed Time over Threshold ASIC," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-29, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [14] A. Gondo, T. Shinaji, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Sakai, T. Yamaya, T. Ohnishi, H. Haneishi, "Investigation of a Four Layer DOI Detector Combined with Laser Processed Boundaries," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-30, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [15] A. Mohammadi, Y. Hirano, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Inaniwa, T. Yamaya, "Feasibility of Secondary 150 Beam Production for in-Beam PET," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-54, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [16] Y. Hirano, Y. Nakajima, F. Nishikido, T. Shinaji, M. Nitta, E. Yoshida, K. Parodi, T. Yamaya, "In-Beam Image Based β^+ Activity Measurement in ^{12}C and ^{11}C Irradiations Using a Small OpenPET Prototype," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-65, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [17] K. Shimizu, M. Suga, F. Nishikido, H. Kuribayashi, I. Nakajima, Y. Kawabata, T. Yamaya, T. Obata, "Quantitative Analysis of Effect of Shield Boxes for PET Electronics Combined with an MR Head Coil," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-71, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [18] H. Kawaguchi, Y. Hirano, E. Yoshida, J. Kershaw, T. Shiraiishi, M. Suga, T. Obata, H. Ito, T. Yamaya, "Parameter Optimization for the FixER Method: a PET/MRI Attenuation Correction with a Weak Fixed-Position External Radiation Source," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-75, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [19] E. Yoshida, I. Somlai-Schweiger, H. Tashima, S. I. Ziegler, T. Yamaya, "Optimization of Digital SiPMs Coupled to a Four-Layered DOI Crystal Block with Light Sharing," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-115, 2014/11/8-15 (Seattle).
- [20] F. Nishikido, Y. Hirano, A. Mohammadi, T. Yamaya, "Radiation Damage of the Multi-Pixel Photon Counter to Be Used for in-Beam PET in Carbon Therapy," IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC), M19-117, 2014/11/8-15 (Seattle).

・国内会議(21)

- [1] 二田晴彦, 永田毅, 田島英朗, 吉田英治, 山谷泰賀, "OpenPET 画像再構成のマルチ GPU による高速化," 電子情報通信学会技術研究報告(IEICE Technical Report), Vol. 113, No. 410, pp. 291-294, 2014. (メディカルイメージング連合フォーラム, 2014/1/26-27@那覇)
- [2] 稲玉直子, 平野祥之, 錦戸文彦, 村山秀雄, 新田宗孝, 山谷泰賀, "DOI-PET 検出器クリスタルキューブの開発: 板状シンチレータを用いた検出器での高分解能化と性能評価実験用光学シートの導入," 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 02-027, 2014 (青山学院大学, 19a-PA1-27)
- [3] 新田宗孝, 平野祥之, 錦戸文彦, 稲玉直子, 河合秀幸, 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, "炭素線治療におけるオンラインイメージング用 PET 検出器の放射化測定," 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 02-030, 2014 (青山学院大学, 19a-PA1-30)
- [4] 錦戸文彦, 清水浩大, 菅幹生, 小島隆行, 稲玉直子, 吉田英治, 山谷泰賀, "RF コイル一体型 PET-MRI 装置用 DOI-PET 検出器の MRI との同時測定における性能評価," 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 02-077, 2014 (青山学院大学, 20a-F2-4)
- [5] 平野祥之, 長谷川純崇, 山谷泰賀, "Geant4-DNA と MK モデルを用いた RI 内用放射線治療法における生存率曲線の見積もり," 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 02-080, 2014 (青山学院大学, 20a-F2-7)
- [6] 平野祥之, 錦戸文彦, 吉田英治, 小島隆行, 山谷泰賀, "PET-MRI 検出器開発のための磁場中における

- MPPC の基本特性評価," 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 02-068, 2014 (青山学院大学, 20p-F1-1)
- [7] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Yoshiyuki Hirano, Hideaki Tashima, Tetsuya Shinaji, Hideaki Haneishi, Shinji Sato, Taku Inaniwa. "OpenPET project: a proof-of-concept of a novel transformable geometry," 医学物理, 第 34 卷, Sup.1, , p.64, 2014. (第 107 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-040, 2014/4/10, 大会長賞受賞)
- [8] Yoshiyuki Hirano, Hidekazu Wakizaka, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "A washout study of ^{11}C in rat brain irradiation using OpenPET: Comparison of washout rate between stress and rest," 医学物理, 第 34 卷, Sup.1 , p. 65, 2014. (第 107 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-041, 2014/4/10)
- [9] Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, "Sensitivity booster for DOI-PET by utilizing Compton scattering photons between detector blocks," 医学物理, 第 34 卷, Sup.1, p. 114, 2014. (第 107 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-091, 2014/4/11)
- [10] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Hideaki Haneishi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, "Computational Cost Reduction using Region-of-Interest Reconstruction for Real-time Tumor Tracking by the OpenPET," 医学物理, 第 34 卷, Sup.1, p. 115, 2014. (第 107 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-092, 2014/4/11, 大会長賞受賞).
- [11] 田島英朗, 伊藤浩, 山谷泰賀, "顎部検出器付ヘルメット型 PET 装置の提案," 第 33 回日本医用画像工学会大会予稿集, OP1-4, pp. 1-6, 2014. (2014/7/24 東京慈恵会医科大学)
- [12] 川口拓之, 平野祥之, Jeff Kershaw, 吉田英治, 白石貴博, 菅幹生, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, "定位固定外部放射線源を用いた PET/MRI 減弱補正法(FixER 法): 線源位置の影響の解析," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 4, Supp., p. 211 (第 42 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, O-1-129), 2014. (2014/9/18-20, 京都)
- [13] 清水浩大, 菅幹生, 錦戸文彦, 中島巖, 川畑義彦, 栗林秀人, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 一体型検出器の開発: カーボン製シールドボックスの MRI への影響評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 4, Supp., p. 211 (第 42 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, O-1-130), 2014. (2014/9/18-20, 京都)
- [14] 佐野ひろみ, 川口拓之, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET-MRI 一体型検出器の開発: シールドボックスの発熱評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 4, Supp., p. 374 (第 42 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, P-2-123), 2014. (2014/9/18-20, 京都)
- [15] 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, "検出器間散乱を用いた DOI-PET 装置の高感度化手法の開発," 2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, p. 02-088, 2014. (2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-B2-1, 2014/9/18, 北海道大学)
- [16] 吉田英治, 品地哲也, 田島英朗, 清水啓司, 稲玉直子, 山谷泰賀, "全身用 dual ring OpenPET 実証機の開発," 2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, p. 02-091, 2014. (2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-B2-4, 2014/9/18, 北海道大学)
- [17] 錦戸文彦, 清水浩大, 稲玉直子, 吉田英治, 田島英朗, 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, "コイル一体型 PET/MRI 装置のフルリング試作機の開発: 同時撮像における性能評価," 2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, p. 02-095, 2014. (2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-B2-8, 2014/9/18, 北海道大学)
- [18] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 稲玉直子, 錦戸文彦, 平野祥之, 中島靖紀, 品地哲也, 新田宗孝, 稲庭拓, 伊藤浩, "全身用 Dual-ring OpenPET の開発," 核医学, 第 51 卷, 第 3 号, p. 316, 2014 (第 54 回日本核医学会学術総会, M2VIII A2, 2014/11/7, 大阪).
- [19] 山谷泰賀, 錦戸文彦, 田島英朗, 吉田英治, 伊藤浩, 菅幹生, 羽石秀昭, 清水啓司, 高橋浩之, 井上登美夫, 小島隆行, "アドオン PET/MRI: PET 検出器一体型の頭部 MRI 用 RF コイルの提案," 核医学, 第 51 卷, 第 3 号, p. 316, 2014 (第 54 回日本核医学会学術総会, M2VIII A4, 2014/11/7, 大阪).
- [20] 川口拓之, 平野祥之, 吉田英治, カーショウジェフ, 白石貴博, 菅幹生, 小島隆行, 伊藤浩, 山谷泰賀, "定位固定外部放射線源を用いた PET/MRI 減弱補正法(FixER 法)における至適な透過データ計測時間の検討," 核医学, 第 51 卷, 第 3 号, p. 323, 2014 (第 54 回日本核医学会学術総会, P2F2, 2014/11/7, 大阪).
- [21] 佐賀恒夫, 山谷泰賀, 吉川京燦, "シンポジウム「癌の新たな治療法と核医学」 重粒子線治療と PET イメージング," 核医学, 第 51 卷, 第 3 号, p. 212, 2014 (第 54 回日本核医学会学術総会, シンポジウム 6, 2014/11/8, 大阪).

1.5 研究会(7)

- [1] 谷川明日香, 川口拓之, 平野祥之, 白石貴博, 谷本克之, 吉田英治, 山谷泰賀, 小島隆行, 菅幹生, "PET/MRI のためのセグメンテーション法とアトラス法によるハイブリッド吸収補正法の提案," 第 12 回千葉大学医工学シンポジウム研究概要集, p. 3, 2014 (第 12 回千葉大学医工学シンポジウム, 2014/2/28, 千葉大).

- [2] Taiga Yamaya, "(1) Updates in PET imaging physics at NIRS," Proceedings of the 3rd NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 2-6, 2014 (2014/3/28, NIRS)
- [3] F. Nishikido, T. Obata, K. Shimizu, M. Suga, N. Inadama, A. Tachibana, E. Yoshida, H. Ito, T. Yamaya, "(3) Development of a head RF-coil with DOI detectors for PET/MRI measurement," Proceedings of the 3rd NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 10-13, 2014 (2014/3/28, NIRS)
- [4] Hideaki Tashima, Hiroshi Ito and Taiga Yamaya, "(5) Imaging simulation of a helmet-PET with a jaw detector," Proceedings of the 3rd NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology, pp. 18-22, 2014 (2014/3/28, NIRS)
- [5] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, 平野祥之, 稲玉直子, 中島靖紀, 辻厚至, 脇坂秀克, 稲庭拓, 佐藤眞二, "重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(11H285)," 平成 25 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2014/4/21 (平成 25 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書 発表会用暫定版, pp. 240-245) (千葉)
- [6] 宮武裕和, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, "核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した照射野確認システムに関する研究(13H177)," 平成 25 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2014/4/21 (平成 25 年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書 発表会用暫定版, pp. 246-248) (千葉)
- [7] 佐野ひろみ, 川口拓之, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "MRI 撮像時における光ファイバー温度計を用いた非磁性導体の発熱評価," Advanced CT・MR 2014 抄録, p. 56, 2014. (Advanced CT・MR 研究会 2014, 2014/6/14, 軽井沢プリンスホテル, 大会長賞受賞)

1.6 特許(5)

・出願(2)

- [1] 山谷泰賀, 稲玉直子, ほか, "放射線検出器," 特願 2014-155476, 2014/7/30 (493)
- [2] 山谷泰賀, 小島隆行, "PET 装置," 特願 2014-160839, 2014/8/6 (383.1)

・登録(3)

- [1] 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 装置," 特許第 5598956 号, 2014/8/22 登録. (383)
- [2] 稲玉直子, 村山秀雄, 澁谷憲悟, 山谷泰賀, 菅幹生, 羽石秀昭, 渡辺光男, "放射線位置検出器の位置演算方法及び装置," 第 5585094 号, 2014/8/1 登録. (371)
- [3] 稲玉直子, 村山秀雄, 山谷泰賀, 渡辺光男, 森谷隆広, 福満憲志, 大村知秀, "3 次元放射線位置検出器、及び、その検出位置特定方法," 特許第 5630756 号, 2014/10/17 登録 (382)

2. 成果普及などへの取り組み

2.1 研究会などの開催(3)

- [1] “OpenPET Workshop を主催”, 2014/3/24 (放医研) 参加者数 43 名
- [2] “3rd NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology を主催, 2014/3/28 (放医研), 参加者 61 名(所内 19 名 +国内所外 31 名+国外 11 名)
- [3] 次世代 PET 研究会 2015(2015/1/30, 放医研)を主催.

2.2 核医学物理セミナー開催(10)

- [1] 2014/3/7, PET monitoring of hadrontherapy, Katia Parodi 教授 (LMU)
- [2] 2014/4/14, Recent advances in molecular imaging system development at Stanford, Craig S. Levin 教授 (Stanford University School of Medicine)
- [3] 2014/6/2, ISMRM および PSMRC 参加報告, 川口拓之 (放医研)
- [4] 2014/6/6, Real time issues tools and challenges for particle therapy, Patrick Le Du 博士 (Institut National de Physique Nucleaire et de Physique des Particules (CNRS-IN2P3))
- [5] 2014/6/16, SNM 参加報告, 山谷泰賀 (放医研)
- [6] 2014/6/23, PTCOG および Real Time Conference 参加報告, 吉田英治・田島英朗 (放医研)
- [7] 2014/6/24, KUKA's Robotic Technology for Medical Application, Axel Weber 氏 (KUKA Laboratories GmbH)
- [8] 2014/12/8, RSNA 参加報告 & IEEE NSS-MIC 参加報告 (1), 山谷泰賀、錦戸文彦、品地哲也 (放医研)
- [9] 2014/12/15, IEEE NSS-MIC 参加報告 (2), 吉田英治、川口拓之 (放医研)、新田宗孝 (放医研/千葉大)
- [10] 2014/12/22, IEEE NSS-MIC 参加報告 (3), 田島英朗、Akram Mohammadi (放医研)

2.3 報告書出版(2)

- [1] 山谷泰賀 編, “平成 25 年度次世代 PET 研究報告書,” NIRS-R-67, ISBN 978-4-938987-90-9, 2014/3.
- [2] Taiga Yamaya 編, “Proceedings of the 3rd NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology,” NIRS-M-269, 2014/3/28.

2.4 総説(4)

- [1] 山谷泰賀, “ガンマ線医用イメージング: 陽電子断層撮影法(PET)機器開発研究の最新動向,” Journal of the Vacuum Society of Japan 真空, Vol. 57, No. 2, pp. 45-50, 2014.
- [2] 山谷泰賀, “NIRS Workshop on PET Imaging Physics and Applications (PIPA2013)開催報告,” Isotope News, 2014 年 5 月号, No. 721, pp. 59-61, 2014.
- [3] 山谷泰賀, “核医学における分子イメージングの最新動向 3)PET 装置の現状と展望,” INNNEVISION, 2014 年 7 月号, pp. 15-19, 2014.
- [4] 山谷泰賀, “IEEE NSS-MIC が面白い!,” JAMIT News Letter (No.19), pp. 13-17, 2014/12.

2.5 講義・講演(20)

・シンポジウム等における招待講演(7)

- [1] 山谷泰賀, “健康長寿な未来を切り拓く次世代の PET 装置の開発研究,” 静岡大学 第 6 回超領域研究会, 2014/3/4 (静岡大学静岡キャンパス) (招待講演)
- [2] T. Yamaya, “OpenPET Project for *in Situ* Imaging of Particle Therapy: Demands on Real-Time in Nuclear Medicine,” 19th Real Time Conference, OS 2-1, 2014/5/26 (Nara) (invited, oral).
- [3] 山谷泰賀, “PET イメージング物理の新たな展開,” 第 33 回日本医用画像工学会大会予稿集, SY3-1, 2014. (2014/7/26, シンポジウム 3 「新たなイメージングの展開, 東京慈恵会医科大学) (招待講演)
- [4] 山谷泰賀, “PET による分子イメージングの進歩と将来,” 大学等放射線施設協議会会報, 第 19 号, pp. 37-49, 2014 (平成 26 年度 大学等における放射線安全管理研修会, 2014/8/26, 東京大学農学部弥生講堂一条ホール) (招待講演)
- [5] Taiga Yamaya, “Depth-of-interaction detectors leading to novel PET imaging systems,” 2014 7th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, p. 17, 2014. (2014/9/26@Busan, invited)
- [6] Taiga Yamaya, “Development of a novel open-type PET system for 3D dose verification in particle therapy,” Micro, Mini and Nano Dosimetry & International Prostate Cancer Treatment Workshop (MMND & IPCT 2014), 2014/10/21 (Sheraton Mirage, Port Douglas, invited, oral)
- [7] Taiga Yamaya, “Applications of Molecular Imaging in Oncology: PET Innovation from NIRS,” Symposium on Cancer Molecular Imaging and Therapy, 2014/12/18 (Fudan University Shanghai Cancer Center).

・講演(5)

- [1] Taiga Yamaya, "PET imaging physics at NIRS," R&D Cluster Steering Committee Meeting for "Advanced Medicine", 2014/3/11 @ OIST.
- [2] Taiga Yamaya, "Progress of the OpenPET project," OpenPET Workshop, 2014/3/24 @NIRS
- [3] Taiga Yamaya, "Update on PET imaging physics at NIRS," lecture at LMU, 2014/5/22.
- [4] Taiga Yamaya, "Depth-of-interaction detectors leading to novel PET imaging systems," Special MIIL Lab Seminar at Stanford, 2014/11/17.
- [5] Taiga Yamaya, "Applications of Molecular Imaging in Oncology: PET Innovation from NIRS," Informal talk at Shanghai Proton and Heavy Ion Center, 2014/12/19.

・講義(8)

- [1] 山谷泰賀, "PET 計測の原理と最先端機器開発," 放射線医学総合研究所第 8 回画像診断セミナー, 2014/2/3 (放医研).
- [2] 山谷泰賀, "医療に役立つ放射線: 次世代の PET 装置の開発," 東京工業大学講義「先端物理情報システム論」, 2014/6/25, すずかけ台.
- [3] 山谷泰賀, "放射線医工学," 千葉大学大学院講義, 2014 年度前期毎週月曜 16:10-17:40, 2014
- [4] 吉田英治, "核医学物理学," 第 10 回医学物理コース, 2014/7 (放医研)
- [5] Taiga Yamaya, "PET & Development of Radiation Detectors," The 7th Korea-Japan Joint Summer School on Accelerator and Beam Science, Nuclear Data, Radiation Engineering and Reactor Physics, Booklet, pp. 199-215, 2014/8/21 (Dongguk University/KOMAC, Gyeongju, Korea) (invited, oral)
- [6] 山谷泰賀, 東工大医歯工学特別コース「核医学物理」 2014/10/10-17.
- [7] 山谷泰賀, "核医学検査学 II," 九州大学保健学科講義, 2014/12/9.
- [8] E. Yoshida, "PET imaging for in situ monitoring of charged particle therapy," Lecture in International Training Course on Carbon-ion Radiotherapy (ITCCIR 2014)," 2014/10/21, NIRS.

2.6 著書(1)

- [1] 山谷泰賀, "PET," 原子力・量子・核融合事典 第 IV 分冊, IV-168-169, 2014/12/25 出版, 丸善出版.

2.7 プレス・広告物掲載(5)

- [1] "開放型 PET の開発進む 世界初の実用化 放医研 医療に革新的成果期待," 原子力産業新聞 6 面, 2014/1/8.
- [2] 山谷泰賀 "オープン PET で目指す"見える"がん治療," 放医研 NEWS, No. 186, pp. 4-5, 2014/5.
http://www.nirs.go.jp/publication/nirs_news/201405/full.pdf
- [3] "がんを見ながらがんをたたく 山谷泰賀," フロントランナー 挑戦する科学者, 日本経済新聞社, pp. 216-223, 2014/6/25.
- [4] 山谷泰賀, "インパクトのある賞が、今後の研究に弾みをつけます," ドイツ・イノベーション・アワード ゴットフリード・ワグネル賞 2008-2014 (6 周年記念誌), pp. 18-19, 2014.
- [5] 稲玉直子, 山谷泰賀, "完全保存版: これをみれば応物がわかる"にクリスタルキューブが紹介された, 応用物理, Vol. 83, No. 8,, p. 623, 2014.

2.8 出展など(6)

- [1] "超早期画像診断イノベーション PET の次世代技術," 「イノベーション・ジャパン 2014 大学見本市 知の融合～広がる未来～」に出展, JH-11, 2014/9/11-12 (東京ビッグサイト)
- [2] "次世代の PET 装置の研究開発," 「千葉エリア産学官連携オープンフォーラム」出展・講演, 2014/9/16 (千葉工業大学津田沼キャンパス)
- [3] 千葉市科学フェスタ 2014 に出展, 2014/10/11-12, きぼーる, 千葉市.
- [4] 第 54 回日本核医学会学術総会にて PET 機器開発紹介ブース出展, 2014/11/6-8, 大阪.
- [5] "「放射線でのいを科学」ってどんなこと?," サイエンスアゴラ 2014 に出展, 2014/11/7-9, 東京お台場地域.
- [6] "PET イノベーション," NIRS テクノフェア 2014 に出展, 2014/12/2, 放医研.

2.9 その他報告書(0)

2.10 海外ゲスト対応(12)

- [1] 2014/1/30 Karolinska Institute, Prof. Anders Brahmem
- [2] 2014/3/5 Head of Nuclear Science and Engineering Research Group, Chalmers University of Technology, Prof. Lembit Sihver
- [3] 2014/3/6-29 Chair of Medical Physics, Ludwig-Maximilians-Universität München, Prof. Katia Parodi
- [4] 2014/3/26-28 Seoul National University College of Medicine, Prof. Jae Sung Lee, Eulji University, Prof. Seong Jong Hong, KIRAMS, Dr. Kyeong Min Kim 他 7 名
- [5] 2014/4/13 Stanford University, Prof. Craig Levin
- [6] 2014/6/6 Institut National de Physique Nucleaire et de Physique des Particules (CNRS-IN2P3), Dr. Patrick Le Du
- [7] 2014/6/24 KUKA Laboratories GmbH, Medical Robotics, Business Development Manager, Mr. Axel Weber
- [8] 2014/7/28-8/8 Technical University Munich, Mr. Ian Somlai Schweiger
- [9] 2014/9/12 Raytest CEO, Mr. Oliver Dietzel
- [10] 2014/9/24 University of Wollongong 学部生他 13 名
- [11] 2014/10/27 Guru Ghasidas University, Dr. Santosh Kumar Gupta
- [12] 2014/10/30 Shanghai Carbon and Proton Therapy Center, Dr. Wen Chien His 他 1 名

2.11 見学対応(16)

- [1] 2014/2/24 千葉大学工学部メディカルシステム工学科 1 年生 10 名
- [2] 2014/3/31 浜松ホトニクス株式会社 晝馬明代表取締役社長・三木義郎顧問・田中栄一顧問・山下貴司顧問・山下豊理事・野崎健理事
- [3] 2014/4/1 アムステルダム自由大学 14 名
- [4] 2014/4/13 杏林大学 山本智朗教授
- [5] 2014/2/18 日本体育大学 角田貢准教授
- [6] 2014/4/20 放医研一般公開(分子イメージング展示来訪者 2112 名)
- [7] 2014/4/24 ”第 1 回放射線医学基礎課程”受講生 8 名
- [8] 2014/6/25 東芝メディカルシステムズ株式会社 瀧口登志夫事業推進部長(常務), 内藏啓幸統括技師長(常務取締役), 中林和人 MR 開発部部长
- [9] 2014/7/16 株式会社アトックス 袖山康祐氏ほか 2 名, 三菱総合研究所 高木俊治氏, 山田浩祐氏,
- [10] 2014/7/18 オリンパスメディカルシステムズ(株) 後野和弘医療技術開発部長
- [11] 2014/8/8-19 千葉大学メディカルシステム工学科 3 年生計 7 名
- [12] 2014/8/19 文部科学省 岸本康夫科学技術・学術政策局次長ご一行
- [13] 2014/8/25 文部科学省 科学技術・学術政策局 渡邊その子研究開発基盤課長ほか 4 名
- [14] 2014/9/8 2014 年度関東第一回未来を担う原子力施設の見学会(JAEA 主催)ご一行 21 名
- [15] 2014/10/29 筑波大学 Md Shahadat Hossain Akram 氏
- [16] 2014/12/8 横浜国大 岩男悠真氏

3. 外部評価(表彰)(2)

- [1] 山谷泰賀, 第 107 回日本医学物理学会学術大会大会長賞 “OpenPET project; a proof-of-concept of a novel transformable geometry”, 2014/4/13
- [2] 田島英朗, 第 107 回日本医学物理学会学術大会大会長賞 “Computational cost reduction using region-of-interest reconstruction for real-time tumor tracking by the OpenPET”, 2014/4/13

生体イメージング技術開発研究チーム研究業績 2015 (2015年1月~2015年12月)

1. 研究成果

1.1 原著論文(4)

- [1] Fumihiko Nishikido, Atsushi Tachibana, Takayuki Obata, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Mikio Suga, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, "Development of 1.45-mm resolution four-layer DOI-PET detector for simultaneous measurement in 3T MRI," *Radiol. Phys. Technol.*, vol. 8, 111-119, 2015.
- [2] Eiji Yoshida, Ian Somlai-Schweiger, Hideaki Tashima, Sibylle I. Ziegler, Taiga Yamaya, "Parameter Optimization of a Digital Photon Counter Coupled to a Four-Layered DOI Crystal Block With Light Sharing," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 62, No. 3, pp. 748-755, June 2015.
(共同研究)
- [3] Shuhei Murayama, Jun-ichiro Jo, Kazutaka Arai, Fumihiko Nishikido, Rumiana Bakalova, Taiga Yamaya, Tsuneo Saga, Masaru Kato, Ichio Aoki, " γ -PARCEL: Control of Molecular Release Using γ -Rays," *Anal. Chem.*, 87 (23), pp 11625-11629, 2015.
- [4] Thonnapong Thongpraparn, Yoko Ikoma, Takahiro Shiraiishi, Taiga Yamaya, Hiroshi Ito, "Effects of point spread function-based image reconstruction on neuroreceptor binding in positron emission tomography study with [^{11}C]FLB 457," *Radiol Phys Technol*, 9, pp. 127-137, 2016.

1.2 査読付プロシーディング(0)

1.3 査読なしプロシーディング(11)

- [1] 吉田英治, 品地哲弥, 田島英朗, 山谷泰賀, "ベイズ推定を用いた 3 次元 PET 検出器自動校正法の開発," *信学技報(IEICE Technical Report)*, Vol. 114, No. 482, pp. 85-88, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [2] 川口拓之, 小島隆行, 佐野ひろみ, 吉田英治, 菅幹生, 生駒洋子, 山谷泰賀, "骨盤部 T1 強調 MRI による PET 減弱補正用画像の生成," *信学技報(IEICE Technical Report)*, Vol. 114, No. 482, pp. 221-226, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [3] 田島英朗, 吉田英治, 品地哲弥, 山谷泰賀, "全身用 OpenPET 画像再構成における検出器応答の非対称二次元ガウス関数によるモデリング手法の開発," *信学技報(IEICE Technical Report)*, Vol. 114, No. 482, pp. 301-304, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [4] H. Tashima, E. Yoshida, T. Shinaji, T. Yamaya, "Detector Response Modeling with Asymmetric 2D Gaussian Functions for GPU-Based Image Reconstruction of the Whole-Body Dual-Ring OpenPET," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M10-47, 2014.
- [5] E. Yoshida, K. Shimizu, T. Shinaji, F. Nishikido, T. Yamaya, "Development of a Singles-Based Scalable Data Acquisition System for the Whole-Body OpenPET," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M11-7, 2014.
- [6] K. Shinohara, M. Suga, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, T. Yamaya, "Maximum Likelihood Estimation of Inter-Crystal Scattering events for Light Sharing PET Detectors," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M11-13, 2014.
- [7] T. Yamaya, E. Yoshida, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, Y. Hirano, Y. Nakajima, T. Shinaji, M. Nitta, M. Suga, H. Haneishi, K. Masuda, K. Shimizu, S. Sato, T. Inaniwa, H. Ito, "Whole-Body Dual-Ring OpenPET for in-Beam Particle Therapy Imaging," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M15-8, 2014.
- [8] A. Gondo, T. Shinaji, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Sakai, T. Yamaya, T. Ohnishi, H. Haneishi, "Investigation of a Four Layer DOI Detector Combined with Laser Processed Boundaries," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M19-30, 2014.
- [9] A. Mohammadi, Y. Hirano, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Inaniwa, T. Yamaya, "Feasibility of Secondary 150 Beam Production for in-Beam PET," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M19-54, 2014.
- [10] F. Nishikido, Y. Hirano, A. Mohammadi, T. Yamaya, "Radiation Damage of the Multi-Pixel Photon Counter to Be Used for in-Beam PET in Carbon Therapy," *Conf. Rec. IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference (NSS-MIC)*, M19-117, 2014.
- [11] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, "PET Innovations for High Resolution Diagnosis and Treatment Imaging," *Proceedings of the World Engineering Conference and Convention (WECC2015)*, OS7-2-3, 2015.

1.4 学会発表(58)

・国際会議（口頭発表）（10）

- [1] Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Mikio Suga, Naoko Inadama, Yoshida Eiji, Takayuki Obata, Taiga Yamaya, "Imaging Performance of a Full-Ring Prototype PET-MRI System Based on Four-Layer DOI-PET Detectors Integrated with a RF Coil," 4th Conference on PET/MR and SPECT/MR (PSMR2015) Book of abstracts, p. 3, 2015 (2015/5/18, Isola d'Elba, Italy, oral)
- [2] Mohammadi, E. Yoshida, H. Tashima, F. Nishikido, T. Shinaji, M. Nitta, T. Inaniwa, A. Kitagawa, T. Yamaya, "Optimization of produced 15O beam and OpenPET imaging," 54th Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG 54), 2015 (Manchester Grand Hyatt, San Diego, oral, 2015/5/22).
- [3] Chie Toramatsu, Eiji Yoshida, Yoko Ikoma, Hidekazu Wakizaka, Akram Mohammadi, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Tetsuya Shinaji, Atsushi Kitagawa, Taku Inaniwa, Taiga Yamaya, "Washout effect in Rabbit: in-beam OpenPET measurements using 10C, 11C and 15O ion beams," 54th Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG 54), 2015 (Manchester Grand Hyatt, San Diego, oral, 2015/5/22).
- [4] Taiga Yamaya, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Mikio Suga, Hideaki Haneishi, Keiji Shimizu, Tomio Inoue, Takayuki Obata, "A prototype 'add-on' PET: a head coil with PET to upgrade existing MRI to PET/MRI," the Journal of Nuclear Medicine, Vol. 56, Supplement 3 (Abstract Book Supplement to the Journal of Nuclear Medicine), p. 100P, 2015. (SNMMI 2015 Annual Meeting Scientific Abstracts, #316, Baltimore, 2015/6/9, Oral, Instrumentation & Data Analysis Track Highlight Session に取り上げられる)
- [5] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Tetsuya Shinaji, Hidekatsu Wakizaka, Munetaka Nitta, Shusaku Tazawa, Tetsuya Suhara, Yasuhisa Fujibayashi, "First prototype of a compact helmet-chin PET for high-sensitivity brain imaging," the Journal of Nuclear Medicine, Vol. 56, Supplement 3 (Abstract Book Supplement to the Journal of Nuclear Medicine), p. 100P, 2015. (SNMMI 2015 Annual Meeting Scientific Abstracts, #317, Baltimore, 2015/6/9, Oral, Instrumentation & Data Analysis Track Highlight Session にて今年の2大成果として取り上げられる)
- [6] Hiroyuki Takuwa, Hidekatsu Wakizaka, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Taiga Yamaya, Yoko Ikoma, "Development of a simultaneous optical /PET imaging system for awake mice," The 9th ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME2015), OS23-3(CME_120), 2015/6/20 (oral).
- [7] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Tetsuya Shinaji, Hidekatsu Wakizaka, Munetaka Nitta, Shusaku Tazawa, Tetsuya Suhara, Yasuhisa Fujibayashi, "Development of a compact helmet-chin PET for high-sensitivity brain imaging," Abstract Book of 2015 World Molecular Imaging Congress (WMIC), SS174, 2015. (2015/9/5, Honolulu, Highlight Award Lecture に選定)
- [8] A. Mohammadi, E. Yoshida, H. Tashima, F. Nishikido, T. Inaniwa, A. Kitagawa, T. Yamaya, "Improvement of Purity of Produced 15O Beams for OpenPET," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, J3D1-2, 2015 (oral, 2015/11/4, San Diego).
- [9] H. Tashima, C. Kurz, E. Yoshida, J. Debus, K. Parodi, T. Yamaya, "Patient Data-Based Monte Carlo Simulation of in-Beam Single-Ring OpenPET Imaging," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M5A1-4, 2015 (oral, 2015/11/6, San Diego).
- [10] A. M. Ahmed, H. Tashima, E. Yoshida, F. Nishikido, T. Yamaya, "Sensitivity Comparison of the Helmet-Chin PET with a Cylindrical PET: a Simulation Study," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M6A2-6, 2015 (oral, 2015/11/7, San Diego).

・国際会議（ポスター発表）（16）

- [1] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Akram Mohammadi, Tetsuya Shinaji, Munetaka Nitta, Shinji Sato, Taku Inaniwa, Atsushi Kitagawa, "Development of OpenPET for 3D In-beam Particle Therapy Imaging," 54th Annual Conference of the Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG 54), poster #189, 2015 (Manchester Grand Hyatt, San Diego, 2015/5/22).
- [2] Hideaki Tashima and Taiga Yamaya, "Effect of Time-of-Flight Information to Fill Lost-Frequency in Incomplete PET Geometry," Proceedings of the 13th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, pp. 352-355, 2015 (2015/6/3, Newport)
- [3] Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, "Development of flexible data acquisition system with 4-layered DOI detector," the Journal of Nuclear Medicine, Vol. 56, Supplement 3, (Abstract Book Supplement to the Journal of Nuclear Medicine), p. 461P, 2015. (SNMMI 2015 Annual Meeting Scientific Abstracts, #1840, Baltimore, 2015/6/9, poster)
- [4] Shuhei Murayama, Jun-ichiro Jo, Kazutaka Arai, Fumihiko Nishikido, Rumiana Bakalova, Taiga Yamaya, Tsuneo Saga, Masaru Kato, Ichio Aoki, "γ-PARCEL: Molecular Controlled Release Gel Using γ-Rays," 75th FIP World Congress of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences 2015
- [5] K. Shimizu, K. Hakamata, T. Sakai, H. Yamauchi, H. Uchida, M. Hirayanagi, S. Nakamura, F. Nishikido, E.

- Yoshida, M. Suga, T. Obata, T. Yamaya, "Multi-Pixel Photon Counter Module for MRI Compatible Application," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M3CP-85, 2015 (poster, 2015/11/4, San Diego).
- [6] M. Suga, F. Nishikido, Y. Kawabata, T. Yamaya, T. Obata, "Effect of Shielding Material and Power Supply Filter for the Second Add-on PET Prototype," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M3CP-93, 2015 (poster, 2015/11/4, San Diego).
- [7] H. Tashima, E. Yoshida, F. Nishikido, H. Wakizaka, M. Nitta, A. M. Ahmed, A. Mohammadi, S. Tazawa, Y. Kimura, T. Suhara, Y. Fujibayashi, T. Yamaya, "Development of the Helmet-Chin PET Prototype," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M3CP-97, 2015 (poster, 2015/11/4, San Diego).
- [8] E. Yoshida, H. Tashima, C. S. Levin, K. Parodi, T. Yamaya, "Simulation Study of a DOI-Based PET-Compton Imaging System for Positron Emitters," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-2, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [9] M. Nitta, N. Inadama, F. Nishikido, E. Yoshida, H. Tashima, H. Kawai, T. Yamaya, "From (0.8mm)³ to (0.77mm)³: Improved X'tal Cube PET Detector for Better Crystal Identification," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-22, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [10] J. Cabello, N. Munetaka, N. Inadama, E. Yoshida, F. Nishikido, T. Yamaya, S. I. Ziegler, "Comparison of Monolithic Crystals Using Specular and Diffusive Reflectors," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-70, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [11] F. Nishikido, M. Suga, K. Shimizu, T. Sakai, E. Yoshida, T. Obata, T. Yamaya, "Development of the 2nd Prototype of Add-on PET: a Head Coil with DOI-PET Detectors for PET/MRI," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-94, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [12] E. Yoshida, H. Tashima, F. Nishikido, M. Nitta, K. Shimizu, T. Inaniwa, T. Yamaya, "Development of a Whole-Body Single-Ring OpenPET for in-Beam Particle Therapy Imaging," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-314, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [13] Toramatsu, E. Yoshida, Y. Ikoma, H. Wakizaka, A. Mohammadi, H. Tashima, F. Nishikido, A. Kitagawa, T. Inaniwa, T. Yamaya, "In-Beam OpenPET Measurement of Washout Rate in Rabbit Brain and Thigh Using ¹⁰C, ¹¹C and ¹⁵O Ion Beams," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M4CP-326, 2015 (poster, 2015/11/5, San Diego).
- [14] M. S. H. Akram, T. Obata, M. Suga, F. Nishikido, E. Yoshida, T. Yamaya, "Evaluation of the Effects of PET Modules on the RF Field Distribution of an Integrated PET/RF-Coil Modality," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M5BP-83, 2015 (poster, 2015/11/6, San Diego).
- [15] J. Cabello, H. Tashima, E. Yoshida, S. I. Ziegler, T. Yamaya, "Total Variation Reconstruction of 12C Beams Measured with the Whole Body Dual Ring OpenPET Scanner," 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, M5BP-319, 2015 (poster, 2015/11/6, San Diego).
- [16] K. Shinohara, M. Suga, E. Yoshida, F. Nishikido, N. Inadama, H. Tashima, T. Yamaya, Shinohara, "Evaluation of maximum likelihood estimation of inter-crystal scattering events for light sharing PET detectors with numerical simulation," 2015 International Symposium on InfoComm & Medical Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (IS-3T-in-3A) (2015/11/15-18, Chiba University).

・国内会議(32)

- [1] 吉田英治, 品地哲弥, 田島英朗, 山谷泰賀, "ベイズ推定を用いた 3 次元 PET 検出器自動校正法の開発," 信学技報(IEICE Technical Report), Vol. 114, No. 482, pp. 85-88, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [2] 川口拓之, 小島隆行, 佐野ひろみ, 吉田英治, 菅幹生, 生駒洋子, 山谷泰賀, "骨盤部 T1 強調 MRI による PET 減弱補正用画像の生成," 信学技報(IEICE Technical Report), Vol. 114, No. 482, pp. 221-226, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [3] 田島英朗, 吉田英治, 品地哲弥, 山谷泰賀, "全身用 OpenPET 画像再構成における検出器応答の非対称二次元ガウス関数によるモデリング手法の開発," 信学技報(IEICE Technical Report), Vol. 114, No. 482, pp. 301-304, 2015 (JAMIT Frontier 2015 (メディカルイメージング連合フォーラム), 2015/3/2-3, 石垣島).
- [4] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 稲玉直子, 錦戸文彦, 品地哲弥, 新田宗孝, 中島靖紀, Mohammadi Akram, 脇坂秀克, M. Ahmed Abdella, 稲庭拓, 北川敦志, 増田圭介, 清水啓司, "重粒子線照射野イメージングのための二重リング式 OpenPET 実証機開発," 第 62 回応用物理学学会春季学術講演会講演予稿集, p. 03-010, 2015 (2015/3/11 東海大学湘南キャンパス, 演題番号 11a-A19-9).
- [5] 錦戸文彦, 田島英朗, 稲玉直子, 清水浩大, 菅幹生, 小島隆行, 吉田英治, 山谷泰賀, "1 リング試作機を用いた RF コイル一体型頭部用 PET/MRI 装置のイメージング性能評価," 第 62 回応用物理学学会春季学術講演会講演予稿集, p. 03-011, 2015 (2015/3/11 東海大学湘南キャンパス, 演題番号 11a-A19-10).

- [6] 新田宗孝, 稲玉直子, 平野祥之, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英朗, 河合秀幸, 山谷泰賀, "PET 用 3 次元位置検出器 X' tal Cube の開発 : (0.8mm)³ 分解能への挑戦," 第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p. 03-055, 2015 (2015/3/11 東海大学湘南キャンパス, 演題番号 12a-P2-8).
- [7] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Tetsuya Shinaji, Munetaka Nitta, Yasunori Nakajima, Shinji Sato, Taku Inaniwa, "Development of a whole-body OpenPET," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 123, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-091, 2015/4/17).
- [8] Akram Mohammadi, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Taku Inaniwa, Atsushi Kitagawa, Taiga Yamaya, "First OpenPET imaging of produced 15O ion beams," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 124, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-092, 2015/4/17).
- [9] Akane Gondo, Tetsuya Shinaji, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, Toshiaki Sakai, Takashi Ohnishi, Hideaki Haneishi, "Development of layer discrimination method for four layer DOI detector with laser processed boundaries," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 134, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-105, 2015/4/18).
- [10] Eiji Yoshida, Keiji Shimizu, Tetsuya Shinaji, Taiga Yamaya, "Development of a singlesbased flexible data acquisition system for the OpenPET," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 135, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-106, 2015/4/18).
- [11] Abdella M Ahmed, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "Sensitivity Analysis of the Helmet-with-Jaw PET Using Geant4," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 136, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-107, 2015/4/18). [英語プレゼンテーション賞受賞]
- [12] Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Tetsuya Shinaji, Taiga Yamaya, "Proposed Model of Detector Response Functions using Asymmetric 2D Gaussian Functions and GPU Implementation for the Whole-Body OpenPET," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 138, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-109, 2015/4/18).
- [13] Hiromu Aoshima, Takashi Obi, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Shinaji Tetsuya, Munetaka Nitta, Mikio Suga, Taiga Yamaya, "Reduction of readout channels by 3D resistor networks for X' tal cube PET detector," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 1, p. 185, 2015 (第 109 回日本医学物理学会学術大会報文集, O-158, 2015/4/19).
- [14] 村山周平, 新井和孝, 錦戸文彦, BAKALOVA Rumiana, 山谷泰賀, 佐賀恒夫, 加藤大, 青木伊知男, "放射線応答性ナノ粒子によるタンパク質機能制御," 第 10 回日本分子イメージング学会総会・学術集会, 2015.
- [15] 藤原理伯, 菅幹生, 錦戸文彦, 新田宗孝, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "PET/MRI 一体型検出器の開発 : 静磁場強度が異なる
- [16] MRI におけるシールド性能評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 35, Supp., p. 204, 2015 (第 43 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, 2015/9/10-12 東京ドームホテル)
- [17] 錦戸文彦, 田島英朗, 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, "PET/MRI 一体型検出器の開発 : 1 リング試作機を用いた同時測定下でのイメージング性能評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 35, Supp., p. 205, 2015 (第 43 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, 2015/9/10-12 東京ドームホテル)
- [18] エムディシャハダトホサイン アクラム, 小島隆行, 菅幹生, 錦戸文彦, 吉田英治, 佐野ひろみ, 山谷泰賀, "PET/RF コイル一体型検出器の 3TMRI 内での B1 分布と SAR の評価," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 35, Supp., p. 207, 2015 (第 43 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, 2015/9/10-12 東京ドームホテル)
- [19] 川口拓之, 小島隆行, 佐野ひろみ, 吉田英治, 菅幹生, 生駒洋子, 谷川ゆかり, 山谷泰賀, "骨盤部 PET/MRI における減弱補正のための T1 強調画像の領域分割法," 日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol. 35, Supp., p. 229, 2015 (第 43 回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, 2015/9/10-12 東京ドームホテル)
- [20] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, Ahmed Abdella M, 岩男悠真, 錦戸文彦, 新田宗孝, 脇坂秀克, 木村泰之, 田沢周作, "ヘルメット型 PET 装置の開発, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-2W-4, 2015 [放射線分科内招待講演] (名古屋国際会議場 2015/9/16)
- [21] 吉田英治, 田島英朗, 岩男悠真, 錦戸文彦, 新田宗孝, 蛭海元貴, 清水啓司, 稲庭拓, 山谷泰賀, "シングルリング型ヒトサイズ OpenPET の開発," 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-2W-3, 2015 (名古屋国際会議場 2015/9/16)
- [22] 錦戸文彦, 清水啓司, 酒井利明, 藤原理伯, 菅幹生, 小島隆行, 吉田英治, 山谷泰賀, "頭部用 RF コイル一体型 PET 装置のための 2 次試作用検出器の開発," 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-2W-5, 2015 (名古屋国際会議場 2015/9/16)
- [23] 錦戸文彦, 高田英治, 野上光博, 盛武敬, 山谷泰賀, "プラスチックシンチレータと有機フォトダイオードを用いた IVR 用リアルタイム線量計の開発," 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-2W-3, 2015 (名古屋国際会議場 2015/9/16)
- [24] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 錦戸文彦, Mohammadi Akram, 新田宗孝, 北川敦志, 稲庭拓, "全身用 single ring OpenPET の試作," 医学物理, 第 35 卷, Sup. 3, p. 94, 2015 (第 110 回日本医学物理学会学術大会, O-053, 北海道大学, 2015/9/19).
- [25] 田島英朗, 吉田英治, 錦戸文彦, 脇坂秀克, アーメッド アブデラ, 田沢周作, 木村泰之, 山谷泰賀,

- "高感度ヘルメット型 PET 装置の試作," 医学物理, 第 35 巻, Sup. 3, p. 102, 2015 (第 110 回日本医学物理学会学術大会, O-061, 北海道大学, 2015/9/20).
- [26] 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, "高感度コンプトン PET に向けた基礎的検討," 医学物理, 第 35 巻, Sup. 3, p. 108, 2015 (第 110 回日本医学物理学会学術大会, O-067, 北海道大学, 2015/9/20).
- [27] 佐野ひろみ, 小島隆行, 錦戸文彦, Md.Shahadat Hossain Akram, 菅幹生, 山谷泰賀, "PET-MRI 一体型検出器の開発: シールドボックスの発熱評価," 第 51 回日本医学放射線学会秋季臨床大会抄録集, S511, 2015.
- [28] 田桑弘之, 脇坂秀克, 吉田英治, 山谷泰賀, 生駒洋子, "覚醒マウスを用いた PET と光イメージングの同時測定システムの開発," 核医学, 第 52 巻, 第 3 号, p. S204, 2015 (第 55 回日本核医学会総会, M1VIC6, 2015/11/6).
- [29] 山谷泰賀, 錦戸文彦, 田島英朗, 吉田英治, 菅幹生, 羽石秀昭, 清水啓司, 高橋浩之, 井上登美夫, 小島隆行, "アドオン PET/MRI: PET 検出器一体型の MRI 用頭部 RF コイルの試作," 核医学, 第 52 巻, 第 3 号, p. S215, 2015 (第 55 回日本核医学会総会, M1IXA2, 2015/11/5).
- [30] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 錦戸文彦, 藤林康久, "全身用 Single-ring OpenPET の開発," 核医学, 第 52 巻, 第 3 号, p. S216, 2015 (第 55 回日本核医学会総会, M1IXA5, 2015/11/5).
- [31] 山谷泰賀, 吉田英治, 田島英朗, 木村泰之, 須原哲也, 田沢周作, 藤林康久, "ヘルメット型 PET 試作機による高感度脳イメージング," 核医学, 第 52 巻, 第 3 号, p. S216, 2015 (第 55 回日本核医学会総会, M1IXA6, 2015/11/5).
- [32] 伊藤浩, 生駒洋子, 関千江, 木村泰之, 川口拓之, 田桑弘之, 山谷泰賀, 須原哲也, 菅野巖, "グラフプロット法による脳レセプター測定用 PET トレーサーの動態特性の視覚的評価," 核医学, 第 52 巻, 第 3 号, p. S244, 2015 (第 55 回日本核医学会総会, M2VIII6, 2015/11/6).

1.5 研究会(23)

- [1] 山谷泰賀, " (1) 2014 年度 生体イメージング技術開発研究チーム 研究成果概要," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 1-6, 2015/1/30).
- [2] 錦戸文彦, 稲玉直子, 田島英朗, 清水浩大, 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, " (3) 1 リング試作機を用いた RF コイル一体型頭部用 PET/MRI 装置の性能評価," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 9-10, 2015/1/30).
- [3] 田桑弘之, 脇坂秀克, 吉田英治, 品地哲弥, 山谷泰賀, 生駒洋子, " (4) PET と光イメージングを融合したマルチモダルイメージング法の開発," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 11-12, 2015/1/30).
- [4] 栗原治, 山谷泰賀, " (8-1) Whole Body Radiation Imager コンセプト(1)一次世代 Whole Body Counter としての現場側からの期待-, " 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, p. 18, 2015/1/30).
- [5] 山谷泰賀, 栗原治, " (8-2) Whole Body Radiation Imager コンセプト(2)スーパーPET の提案-, " 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, p. 19, 2015/1/30).
- [6] 吉田英治, 品地哲也, 清水啓司, 田島英朗, 錦戸文彦, 山谷泰賀, " (1 2) ヒトサイズ OpenPET 開発," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 26-28, 2015/1/30).
- [7] 田島英朗, 平野祥之, 吉田英治, C. Kurz, K. Parodi, 山谷泰賀, " (1 3) In-beam OpenPET シミュレーション," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 29-30, 2015/1/30).
- [8] 新田宗孝, 稲玉直子, 平野祥之, 錦戸文彦, 吉田英治, 田島英朗, 河合秀幸, 山谷泰賀, " (1 4) 0.8 mm 分割 X'tal Cube 検出器の試作," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 31-32, 2015/1/30).
- [9] 青島広武, 小尾高史, 吉田英治, 錦戸文彦, 品地哲弥, 新田宗孝, 菅幹生, 山谷泰賀, " (1 5) クリスタルキューブ検出器 3 次元抵抗チェーンによる読み出しチャンネル削減," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 33-34, 2015/1/30).
- [10] 篠原滉平, 菅幹生, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 田島英朗, 山谷泰賀, " (1 6) 最尤推定法を用いた結晶内散乱を考慮した位置弁別アルゴリズムの開発," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 35-37, 2015/1/30).
- [11] 吉原有里, 中村泰明, 島添健次, 高橋浩之, 錦戸文彦, 吉田英治, 山谷泰賀, " (1 7) MPPC と抵抗分割を用いた 4 層 LYSO アレイの評価," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 38-40, 2015/1/30).
- [12] 権藤朱音, 品地哲弥, 稲玉直子, 錦戸文彦, 吉田英治, 山谷泰賀, 酒井利明, 大西峻, 羽石秀昭, " (1 8) 4 層 DOI 検出器における重複結晶応答の分離法," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 41-42, 2015/1/30).

- [13] 品地哲弥, 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀, " (1 9) 4 層 DOI 検出器における 2 次元ポジションヒストグラムの自動セグメンテーション法," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 43-45, 2015/1/30).
- [14] A. Mohammadi, Y. Hirano, F. Nishikido, E. Yoshida, A. Kitagawa, T. Inaniwa, T. Yamaya, " (2 0) Production of 150 beam for in-beam PET," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 46-48, 2015/1/30).
- [15] 錦戸文彦, Akram Mohammadi, 山谷泰賀, " (2 1) 炭素線治療下の OpenPET 検出器配置における MPPC の放射線損傷の評価," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 49-50, 2015/1/30).
- [16] 田島英朗, 吉田英治, 品地哲弥, 山谷泰賀, " (2 2) 全身用 Dual-Ring OpenPET 画像再構成における非対称二次元ガウス関数を用いた検出器応答関数の GPU 実装," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 51-52, 2015/1/30).
- [17] 二田晴彦, 永田毅, 田島英朗, 吉田英治, 山谷泰賀, " (2 3) マルチ GPU を用いた OpenPET 画像再構成の検討," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 53-55, 2015/1/30).
- [18] 清水浩大, 菅幹生, 錦戸文彦, 栗林秀人, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, "(2 4) PET/MRI 一体型検出器に用いる電磁波シールドボックスの計測に与える影響の定量評価," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 56-58, 2015/1/30).
- [19] 川口拓之, 平野祥之, 吉田英治, ジェフカーショウ, 白石貴浩, 谷本克之, 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, " (2 5) MR 画像の領域分割と定位固定外部放射線源を用いた PET 減弱補正画像生成法(FixER 法)における至適条件の検討," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 59-60, 2015/1/30).
- [20] Abdella M. Ahmed, Hideaki Tashima, Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, " (2 6) Feasibility study of the Helmet-Jaw PET using Monte-Carlo Simulation," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 61-62, 2015/1/30).
- [21] 錦戸文彦, 高田英治, 山谷泰賀, " (2 7) 有機フォトダイオードを用いた IVR 用リアルタイム線量分布測定システムの開発," 次世代 PET 研究会 2015, 2015/1/30@放医研 (平成 26 年度次世代 PET 研究報告書 NIRS-R-68, pp. 63-64, 2015/1/30).
- [22] 阿南佑樹, 河野俊之, 佐藤眞二, 稲庭拓, 吉田英治, 山谷泰賀, "核破砕反応により生成される陽電子崩壊を利用した照射野確認システムに関する研究(13H177)," 平成 26 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2015/4/20.
- [23] 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 田島英朗, A. Mohammadi, 稲玉直子, 中島靖紀, 辻厚至, 脇坂秀克, 北川敦志, 稲庭拓, 佐藤眞二, "重粒子線照射野イメージングのための OpenPET 装置開発に関する研究(14H285)," 平成 26 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会, 2015/4/20.

1.6 特許(14)

・ 出願(0)

・ 登録(14)

- [1] Naoko Inadama, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, Takahiro Moriya, Kenshi Fukumitsu, Tomohide Omura, "Three-dimensional position-sensitive radiation detector and method of identifying radiation detected positions therein," US8,933,410, 2015/1/13 (382)
- [2] 山谷泰賀, 錦戸文彦, 小島隆行, 菅幹生, 齊藤一幸, 渡辺光男, 田中栄一, "PET/MRI 一体型装置," 特許第 5713468 号, 2015 年 3 月 20 日登録 (394)
- [3] 小島隆行, 山谷泰賀, 菅野巖, 山形仁, 高山卓三, 岡本和也, "PET-MRI 装置," CN102665545, 2015 年 2 月 25 日登録 (400)
- [4] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, "MULTI-PURPOSE PET DEVICE," US9,029,787, 2015/5/12 登録 (348)
- [5] Kengo Shibuya, Taiga Yamaya, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Hideo Murayama, "Method for detecting radiation, device thereof, and positron emission tomography scanner," US 9,029,789 B, 2015/5/12 登録 (317)
- [6] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, "Method and system for imaging using nuclear medicine imaging apparatus, nuclear medicine imaging system, and radiation therapy control system," US 9,029,790 B2, 2015/5/12 登録 (379)
- [7] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Takayuki Obata, Ichio Aoki, "Open PET-MRI mashine," EP 2 407 101 B1, 2015/1/4 登録 (312)
- [8] Taiga Yamaya, Hideo Murayama, Takayuki Obata, Ichio Aoki, "Open PET-MRI mashine," ドイツ 602009030414.3, 2015/2/4 登録 (312)

- [9] 山谷泰賀, 小島隆行, 菅幹生, 川口拓之, 山川善之, “MR 画像からの PET 吸収補正画像生成方法及びコンピュータプログラム,” 特許第 5741980 号, 2015/5/15 登録 (428)
- [10] 山谷泰賀, 小島隆行, 菅野巖, 高山卓三, 山形仁, 岡本和也, "PET 装置及び PET-MRI 装置," 特許第 5750685, 2015/5/29 登録 (398)
- [11] 小島隆行, 山谷泰賀, 菅野巖, 山形仁, 高山卓三, 岡本和也, "PET-MRI 装置," 特許第 5789861, 2015/8/14 登録 (400)
- [12] 山谷泰賀, 田島英朗, 渡辺光男, 田中栄一, "傾斜 PET 及び PET 複合装置," 特許第 5808024 号, 2015/9/18 登録 (415)
- [13] Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, "COINCIDENCE DETERMINATION METHOD AND APPARATUS OF PET," US9,176,237, 2015/11/3 登録 (415).
- [14] 菅野巖, 小島隆行, 山谷泰賀, 岡本和也, 高山卓三, 山形仁, “PET-MRI 装置,” 特許第 5750684 号, 2015/5/29 登録 (399)

2. 成果普及などへの取り組み

2.1 研究会などの開催(1)

- [1] 次世代 PET 研究会 2015” を主催, 2015/1/30 放医研, 参加者数 142 名(所内 41 名, 所外 101 名)

2.2 核医学物理セミナー開催(3)

- [1] 2015/1/19, Clinical and pre-clinical activities at the medical physics group in Klinikum rechts der Isar, Jorge Cabello (TUM)
- [2] 2015/1/19, IEEE NSS-MIC 参加報告 (4), Abdella Ahmed (放医研), 千葉大学生
- [3] 2015/7/13, Recent advances in molecular imaging system technology research at Stanford, Craig S. Levin (Stanford University School of Medicine)

2.3 報告書出版(1)

- [1] 山谷泰賀 編, “平成 26 年度次世代 PET 研究報告書,” NIRS-R-68, 2015/1/30.

2.4 総説(4)

- [1] 山谷泰賀, “OpenPET 次世代検出器が可能にする PET イノベーション,” 応用物理, 第 84 巻, 第 6 号, pp. 520-524, 2015.
- [2] 山谷泰賀, “PET 装置の最新技術と将来展望,” 医学物理, 第 35 巻, 第 1 号, pp. 16-23, 2015
- [3] 山谷泰賀, “次世代検出器が可能にする PET イノベーション,” INNERVISION, vol. 30, No. 12, pp. 48-49, 2015.
- [4] 吉田英治, “2015 IEEE NSS-MIC 参加報告,” JAMIT News Letter, No. 22, p. 8-9, 2015.

2.5 講義・講演(16)

・シンポジウム等における招待講演(4)

- [1] Taiga Yamaya, “PET Innovation: How Imaging Improves Quality of Life,” Program and proceedings of the 1st International Conference on Advanced Imaging (ICAI2015), pp. 448-451, 2015. (2015/6/18, National Center of Science, Tokyo, invited)
- [2] Taiga Yamaya, “PET imaging innovation by DOI detectors,” International Symposium 2015 – Perspective on Nuclear Medicine for Molecular Diagnosis and Integrated Therapy -, abstract book, p. 10, 2015. (2015/7/31, Invited talk, Keio Plaza Hotel Sapporo)
- [3] Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Hideaki Tashima, “PET Innovations for High Resolution Diagnosis and Treatment Imaging,” World Engineering Conference and Convention (WECC2015) Abstract book, p. 74, 2015 (OS7-2-3, 2015/12/1, Kyoto).
- [4] Akram Mohammadi, Chie Toramatsu, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Fumihiko Nishikido, Taku Inaniwa, Atsushi Kitagawa, Taiga Yamaya, “15O beam productoin for in-beam PET imaging,” Abstracts of the 2nd International Symposium of Gunma University Medical Innovation (GUMI2015), p. 8, 2015 (2015/12/8, Gunma University) (invited).

・講演(7)

- [1] Taiga Yamaya, “PET innovation from NIRS,” 中国雲南省(Cancer Hospital of Yunnan Province, The third Affiliated Hospital of Kunming Medical University)医師研修, 2015/1/20 @NIRS.
- [2] Taiga Yamaya, “Updates on PET imaging physics at NIRS,” lecture at LMU, 2015/3/26.
- [3] 山谷泰賀, “世界初のヘルメット型 PET 装置の開発研究,” 先端医療センターカンファレンス, 2015/9/8.
- [4] Taiga Yamaya, “Updates on PET imaging physics at NIRS,” Seminar at LMU, 2015/11/25.
- [5] Eiji Yoshida, “Potential benefit of Compton-DOI detectors for PET imaging,” lecture at LMU, 2015/3/26.
- [6] Hideaki Tashima, “Monte carlo simulation of in-beam OpenPET imaging,” lecture at LMU, 2015/3/26.
- [7] 山谷泰賀, “ヘルメット型 PET の開発,” 会計実地検査における研究活動説明, 2015/12/14.

・講義(5)

- [1] 山谷泰賀, “PET 計測の原理と PET イノベーション,” 放射線医学総合研究所第 8 回画像診断セミナー, 2014/2/2 (放医研).
- [2] 山谷泰賀, “医療に役立つ放射線: 次世代の PET 装置の開発,” 東京工業大学講義「先端物理情報システム論」, 2015/6/24, すずかけ台.
- [3] 山谷泰賀, “放射線工学,” 千葉大学大学院講義, 2015 年度前期毎週月曜 16:10-17:40, 2015
- [4] 吉田英治, “核医学物理学,” 第 11 回医学物理コース, 2015/7 (放医研)

- [5] 山谷泰賀, “PET Innovations for High Resolution Diagnosis and Treatment Imaging,” 九州大学大学院医学系学府保健学専攻分子機能画像科学論 2015/11/17.

2.6 著書(3)

- [1] 山谷泰賀(分担執筆), “核医学物理 第7章 第10節 3次元画像再構成の高速化, 第11節 ハイブリッド型 PET,” pp. 247-259, 2015/3/30 (国際文献社).
- [2] 吉田英治(分担執筆), “核医学物理学 第7章 第3節～第6節,” pp. 212-223, 2015/3/30 (国際文献社).
- [3] 田島英朗(分担執筆), “核医学物理学 第7章 9節,” pp. 236-247, 2015/3/30 (国際文献社).

2.7 プレス・広告物掲載(8)

- [1] “ドイツ・イノベーション・アワードの受賞者がメルケル首相との懇談会に出席,” ドイツ科学・イノベーションフォーラム東京 ニュース, 2015/3/18. <<http://www.dwih-tokyo.jp/>>
- [2] “ドイツ連邦共和国アンゲラ・メルケル首相との懇談に出席しました,” 放医研 HP ニュース掲載 <http://www.nirs.go.jp/information/event/report/2015/0325.shtml>
- [3] “世界初、ヘルメット型 PET の開発に成功—高性能・小型の頭部専用装置で認知症早期診断の普及へ—,” 放医研プレス発表, 2015/11/5 <http://www.nirs.go.jp/information/press/2015/11_05.shtml>
- [4] “PET 装置 ヘルメット型開発 放医研など 認知症診断感度 3 倍,” 日刊工業新聞 29 面, 2015/11/6.
- [5] “ヘルメット型医療機器開発 放医研など PET 認知症早期診断に一役,” 日本経済新聞夕刊 3 版 14 面, 2015/11/6.
- [6] “ヘルメット型 頭部の断層撮影,” 読売新聞 夕刊 9 面, 2015/11/12.
- [7] “レーザー 山谷さん 脳疾患にも活用,” 日刊工業新聞, 2015/11/26.
- [8] “ヘルメット型 PET を開発、認知症の早期診断へ”, 産経新聞, 2015/12/2

2.8 出展など(3)

- [1] 放医研一般公開にて PET 開発ラボの展示公開, 2015/4/12
- [2] サイエンスアゴラ 2015 出展, 2015/11/13-15
- [3] NIRS テクノフェア 2015 出展, 2015/12/11

2.9 その他報告書(0)

2.10 海外ゲスト対応(7)

- [1] 2015/1/11-25 Technical University Munich, Dr. Jorge Cabello
- [2] 2015/5/29 Chinese Academy of Sciences, Dr. Jinda Chen
- [3] 2015/7/7-9/1 Stanford University School of Medicine, Prof. Craig Levin
- [4] 2015/7/14 オックスフォード大チャーチル病院, Dr. Andrew Gosling
- [5] 2015/8/3-4 Dr. Wen Chien Hsi, Dr. Jingyi Cheng Shanghai Proton and Heavy Ion Center Proton and Heavy Ion Center
- [6] 2015/8/23-9/5 Technical University Munich, Dr. Jorge Cabello
- [7] 2015/10/16 Ministry of Health (Malaysia), Dr. Ahmad Riadz bin Mazeli

2.11 見学対応(13)

- [1] 2015/1/20 中国 Cancer Hospital of Yunnan Province, The third Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Dr. Shen Lida 他 5 名
- [2] 2015/2/2 アトックス矢口敏和社長ほか 4 名
- [3] 2015/2/2 第 8 回画像診断セミナー見学計 27 名
- [4] 2015/2/19 東京都医学総合研究所 星詳子氏ほか 13 名
- [5] 2015/4/6 文部科学省研究振興局研究振興戦略官付先端医科学研究企画官小林秀幸氏ほか 3 名
- [6] 2015/5/8 株式会社島津製作所医用機器事業部副事業部長伊藤邦昌氏ほか 3 名
- [7] 2015/6/25 国立研究開発法人日本医療研究開発機構産学連携部長森田弘一氏ほか 7 名
- [8] 2015/8/4 千葉大学メディカルシステム工学科学生 8 名
- [9] 2015/10/14 文部科学省研究振興局研究振興戦略官松岡謙二氏ほか 1 名
- [10] 2015/12/7 Chinese Academy of Sciences, Institute of High Energy Physics, Prof. Hesheng Chen 他 1 名
- [11] 2015/12/10 堀場製作所伊藤浩史氏ほか 2 名
- [12] 2015/12/14 会計実地検査に伴う施設見学 6 名

[13] 2015/12/18 中国甘肃省病院研修3名)

3. 外部評価（表彰）(3)

- [1] Ahmed Abdella Mohammednur, 第109回日本医学物理学会 英語プレゼンテーション賞受賞
- [2] Ahmed Abdella Mohammednur, 2015 IEEE NSS-MIC Trainee Grant
- [3] MD Shahadat Hossain Akram, 2015 IEEE NSS-MIC Trainee Grant

平成 27 年度次世代 PET 研究報告書

平成 28 年 3 月 31 日刊行

編 集	山谷 泰賀
発 行	国立研究開発法人 放射線医学総合研究所
郵便番号	263-8555
住 所	千葉県千葉市稲毛区穴川 4 丁目 9 番 1 号
連 絡 先	国立研究開発法人 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター
メールアドレス	jpet@nirs.go.jp
ホームページ	http://www.nirs.go.jp
印 刷	株式会社 さくら印刷

