

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700417

研究課題名（和文） オープンPETイメージング手法の研究

研究課題名（英文） Innovative methods for open PET imaging

研究代表者

山谷 泰賀（YAMAYA TAIGA）

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

研究者番号：40392245

研究成果の概要（和文）：

我々は平成 18 年度に、体軸方向に 2 分割した検出器リングを離して配置し、物理的に開放された視野領域を有する世界初の「オープン PET」を提案し、実現可能性を示してきた。一方近年、検出器深さ位置（DOI）情報や飛行時間差（TOF）情報を計測可能な PET 検出器の研究開発が盛んに行われている。そこで本研究では、DOI 情報や TOF 情報に注目し、これらの情報を付加することで画質向上を図るオープン PET 画像再構成について研究した。

研究成果の概要（英文）：

Open PET is our new idea to visualize a physically open field-of-view by placing two detector rings separated with a gap. On the other hand, PET detectors which have depth-of-interaction (DOI) capability and time-of-flight (TOF) capability are becoming available. In this work, therefore, we developed image reconstruction methods utilizing DOI and TOF information to improve open PET imaging.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：PET, ポジトロン CT, 画像再構成, DOI, depth-of-interaction, TOF, time-of-flight

1. 研究開始当初の背景

我々は平成 18 年度に、体軸方向に 2 分割した検出器リングを離して配置し、物理的に開放された視野領域を有する世界初の「オープン PET」を提案し、実現可能性を示したが、開放化に伴う画質低下が生じることも分かった。オープン PET は、検査ストレス低減に留まらず、リアルタイム PET/CT や全身同時

視野 PET を可能にし、さらにはがん診断と放射線がん治療の新たな融合にまで繋がると期待される。一方、開放視野は、傾斜同時計数線のみから画像再構成されるため、オープン PET の画像再構成問題は、低周波成分が欠損する不完全問題となる。

一方近年、検出器深さ位置（DOI）情報や飛行時間差（TOF）情報を計測可能な PET 検

出器の研究開発が盛んに行われている。

2. 研究の目的

本研究では、データ欠損を補う付加的な情報として DOI 情報や TOF 情報に注目し、これらの情報を付加することで画質向上を図るオープン PET 画像再構成の開発を目的とした。

3. 研究の方法

以下に示す 4 つの項目からなる。

- (1) DOI 情報を付加したオープン PET 画像再構成手法の実装
- (2) オープン PET の感度特性を改善する新しい検出器配置方法の考案
- (3) オープン PET 用 DOI 検出器の試作と評価
- (4) DOI 情報および TOF 情報を付加したオープン PET 画像再構成手法の実装

4. 研究成果

- (1) DOI 情報を付加したオープン PET 画像再構成手法の実装

オープン PET の課題のひとつである検出素子の厚みによる体軸方向分解能の劣化に対して、DOI 情報を用いることで体軸方向分解能の回復を図る。具体的には、DOI 情報を含めた検出器応答をモデル化し、システムマトリクスを構築し、逐次近似型画像再構成手法を実装した。

- (2) オープン PET の感度特性を改善する新しい検出器配置方法の考案

オープン PET のもうひとつの課題は、開放領域の中央に感度が集中し、開放領域の周辺で感度が極端に低下してしまうことである。これに対し、左右の検出器リングの間隔が変化するように、検出器を体軸方向に移動させながら計測を行うことによって、感度のばらつきを抑制する方法を提案した。

- (3) オープン PET 用 DOI 検出器の試作と評価

オープン PET のひとつの応用として、重粒子線がん治療におけるビーム照射野のリアルタイムモニタリングを検討している。そこで、オープン PET 用の DOI 検出器を試作し、重粒子線照射下での動作試験を行った。

- (4) DOI 情報および TOF 情報を付加したオープン PET 画像再構成手法の実装

欠損情報を補う方法として TOF 情報に着眼し、TOF 情報による画質改善効果を計算機シミュレーションにより示した。具体的には、2 本の検出器リング (直径 827.0 mm、幅 153.6 mm) を 153.6mm 離して配置した計算機シミュレーションを行った。検出器は、8 層の DOI 分解能と 400ps の TOF 分解能を持つと仮定した。TOF 情報を含まない従来型 OpenPET の場合、スポット状物体であれば良好に画像化で

きるが、低周波成分を多く含むディスクファントムに対しては、開放空間において歪みが生じてしまう。これに対して、TOF 情報を付加して画像再構成を行うと、上記の歪みが大幅に低減された。通常の PET 装置では、現在の TOF 分解能 (数百 ps 程度) による画像の S/N 比改善効果は限定的であるとされるが、OpenPET においては、TOF 情報による不完全画像再構成問題の改善効果が顕著に見られることから、TOF 情報の新たな活用方法として期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Kengo Shibuya, Makoto Higuchi and Hideo Murayama, "A multiplex "OpenPET" geometry to extend axial FOV without increasing the number of detectors," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 56, No. 5, pp. 2644-2650, Oct. 2009.
- ② Taiga Yamaya, Taku Inaniwa, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Kengo Shibuya, Naoko Inadama and Hideo Murayama, "Simulation studies of a new 'OpenPET' geometry based on a quad unit of detector rings," Phy. Med. Biol., vol. 54, pp. 1223-1233, 2009.
- ③ Taiga Yamaya, Taku Inaniwa, Shinichiro Mori, Takuji Furukawa, Shinichi Minohara, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Kengo Shibuya, Naoko Inadama, Hideo Murayama, "Imaging simulations of an "OpenPET" geometry with shifting detector rings," Radiol. Phys. Technol., Vol. 2, pp. 62-69, Jan. 2009.

[学会発表] (計 1 2 件)

- ① Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido and Hideo Murayama, "Development of New Technologies for the Next Generation PET Scanner," "IEEE ISBME 2009 the 4th International Symposium on Biomedical Engineering, 2009. (2009/12/14-18, Bangkok). Invited for special session.
- ② Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido and Hideo Murayama, "Development of the next generation positron emission tomography (PET) - from

- depth-of-interaction (DOI) detectors to Open PET -,” Advanced Science Research Symposium (ASR) 2009 Abstract book, p. 32, 2009. (invited special talk, 2009/11/11@Tokai).
- ③ Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Fumihiko Nishikido, Naoko Inadama, Kengo Shibuya and Hideo Murayama, “Influence of TOF information in OpenPET image reconstruction,” Conf. Rec. 2009 IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imag. Conf., M5-82, 2009. (2009/10/25-10/30, Orland)
- ④ 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 村山秀雄, “OpenPET画像再構成におけるTOF情報の効果,” 核医学, 第46巻, 第3号, S191, 2009. (第49回日本核医学会学術総会, M1111A4, 2009/10/1, 旭川)
- ⑤ 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 澁谷憲悟, 稲庭拓, 村山秀雄, “がん診断と治療の融合に向けたOpenPETの開発: TOF情報を利用した画像再構成の検討,” 医学物理, 第29巻, Sup. 3, (第98回日本医学物理学会大会報文集, M0-82), pp. 195-196, 2009/9 (京都).
- ⑥ 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲玉直子, 澁谷憲悟, 村山秀雄, 稲庭拓, 森慎一郎, 古川卓司, 蓑原伸一, 野田耕司, 吉川京燦, 樋口真人, 小泉満, “OpenPET装置の基本設計と分子イメージングへの展開,” 日本分子イメージング学会機関紙, Vol. 2, No. 2, p. 82, 2009 (日本分子イメージング学会第4回総会・学術集会, P2-5, 2009/5/14-15@東京)
- ⑦ 山谷泰賀, 吉田英治, 錦戸文彦, 稲庭拓, 森慎一郎, 古川卓司, 蓑原伸一, 野田耕司, 吉川京燦, 樋口真人, 澁谷憲吾, 稲玉直子, 村山秀雄, “オンラインPETのためのQuad-unit型OpenPETの提案,” 医学物理, 第29巻, Sup. 2, pp. 73-74, 2009 (第97回日本医学物理学会大会報文集, 0-014, 2009/4/17).
- ⑧ 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 村山秀雄, “全身同時視野PETの実現に向けた”OpenPET”の拡張,” 核医学, 第45巻, 第3号, p. 289, 2008. (第48回日本核医学会学術総会 2008/10/26, M3VB2)
- ⑨ T. Yamaya, E. Yoshida, N. Inadama, F. Nishikido, K. Shibuya, H. Murayama, “A Multiplex ”OpenPET” Geometry to Extend Axial FOV Without Increasing the Number of Detectors,” Conf. Rec. 2008 IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imag. Conf., M10-2, 2008. (2008/10/19-10/25, Dresden)

- ⑩ 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 村山秀雄, “PETの新たな可能性を拓く” OpenPET”, ” 第69回応用物理学学会学術講演会予稿集, 2p-CF-6, p.12, 2008. (2008/9/2 中部大学, シンポジウム「非破壊検査用結晶材料と応用機器」)
- ⑪ 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 森慎一郎, 蓑原伸一, 村山秀雄, “検出器シフトによる開放型PET装置”OpenPET”の画質改善,” 第27回日本医用画像工学会大会予稿集CD-ROM, C5-06, 2008.
- ⑫ 山谷泰賀, 吉田英治, 稲玉直子, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 村山秀雄, “開放型PET装置”OpenPET”の概念設計と分子イメージングへの展開,” JSMI Report, vol. 1, No. 2, p. 50, 2008. (日本分子イメージング学会第3回総会・学術集会 2008/5/22)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計10件)

名称: 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

発明者: 山谷泰賀, 吉田英治
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許権
番号: PCT/JP2010/055733
出願年月日: 2010年3月30日
国内外の別: 国外

名称: PET装置における同時計数判定方法及び装置

発明者: 吉田英治, 山谷泰賀
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許権
番号: PCT/JP2010/055185
出願年月日: 2010年3月25日
国内外の別: 国外

名称: PET/MRI装置、PET装置及び画像再構成システム

発明者: 山谷泰賀, 小島隆行
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許権
番号: 特願2010-052389
出願年月日: 2010年3月9日
国内外の別: 国内

名称: 遮蔽型放射線治療・画像化複合装置

発明者: 山谷泰賀, 稲庭拓, 錦戸文彦, 村山秀雄
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許権

番号：PCT/JP2009/055702
出願年月日：2009年3月23日
国内外の別：国外

名称：検出器回動型放射線治療・画像化複合装置

発明者：山谷泰賀，吉田英治，錦戸文彦，稲庭拓，村山秀雄

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2009/055701

出願年月日：2009年3月23日

国内外の別：国外

名称：多目的PET装置

発明者：山谷泰賀，村山秀雄

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2009/054781

出願年月日：2009/3/12

国内外の別：国外

名称：オープンPET/MRI複合機

発明者：山谷泰賀，村山秀雄，小島隆行，青木伊知男

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2009/054780

出願年月日：2009/3/12

国内外の別：国外

名称：放射線治療・PET複合装置

発明者：山谷泰賀，村山秀雄，稲庭拓

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2008/063862

出願年月日：2008/8/1

国内外の別：国外

名称：検出器シフト型放射線治療・PET複合装置

発明者：山谷泰賀，村山秀雄，蓑原伸一，稲庭拓，古川卓司，森慎一郎

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2008/063861

出願年月日：2008/8/1

国内外の別：国外

名称：開放型PET装置

発明者：山谷泰賀，村山秀雄，森慎一郎

権利者：放射線医学総合研究所

種類：特許権

番号：PCT/JP2008/058432

出願年月日：2008/5/2

国内外の別：国外

〔その他〕
ホームページ等

次世代PET開発研究報告書

<http://www.nirs.go.jp/usr/medical-imagining/ja/study/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山谷 泰賀

独立行政法人放射線医学総合研究所・
分子イメージング研究センター・

チームリーダー

研究者番号：40392245

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者