

Positron emission tomography (PET) は、放射性核種で標識した特殊な薬剤を体内に投与し、薬剤の体内分布を画像化する断層撮影法です。特に、ブドウ糖に似た性質をもった薬剤であるフルオロデオキシグルコース (FDG) を用いる PET 検査は、全身のがん診断に有効であると大きな注目を集めています。ちなみに、通常の FDG-PET 検査 1 回あたりの被曝の程度は、1 年間に自然界から日常的に受ける被曝の 1.5 倍程度であるとされています<sup>1)</sup>。現在、PET 装置は日本国内に数百台ほど導入が進んでいます<sup>2)</sup>が、空間解像度と装置感度に課題が残され、次世代装置の研究開発が各国で盛んに行われています。

そもそも放射線自体が光ですが、それ以上に PET と光には深い関係があります。診断用としてはエネルギーの高い 511 keV の放射線を効率よく検出するために、一般的な PET の検出器では、シンチレーターで放射線を可視光 (シンチレーション光) に変換し、光電子増倍管などの受光素子でそれを電気信号に変換するという 2 段階の方式を用いています。放射線 1 カウントごとに、放射線の入射位置、入射時間、エネルギー情報を得る必要がありますが、その精度を高めるためには、シンチレーション光がもつ情報量をなるべく落とさずに受光素子へ導くことが重要になります。筆者らのグループは、シンチレーター間に挿入する反射材の配置パターンをシンチレーターの深さ方向に変化させる方式を開発し、三次元放射線位置 (DOI) 検出器の実用化に成功しています<sup>3)</sup>。DOI 検出器については文献<sup>2)</sup>などを参照していただくとして、本稿では、DOI 検出器の応用として考案に至った、世界初の開放型 PET 装置 “OpenPET” についてご紹介します。

PET は、フッ素や炭素など同位体である陽電子放出核種を使用し、崩壊によって 180 度反対方向に発生する一対の放射線 (消滅放射線) を検出します。具体的には、2 つの検出器で消滅放射線のそれぞれ一方を同時に計測したとき、2 つの検出器を結ぶ線分 (同時計数線) 上に核種が存在することがわかります。画像再構成には多方向からの計測データが必要であることに加え、さまざまな方向に放出される放射線を効率よく検出するために、最近の

PET 装置は、図 1 (a) に示すようにトンネル状に検出器を配置しています。しかし、長いトンネル状の患者ポートは、検査中の患者の心理的ストレスを高めてしまったり、医師や技師による患者へのケアの障害になったりします。これに対して筆者らは、図 1 (b) 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し、物理的に開放された視野領域を有する OpenPET を提案しました<sup>3)</sup>。PET 装置は装置中央が最も感度に優れる特性がありますが、OpenPET は、装置中央を囲む検出器を除去し、感度最大エリアを開放化している点に特徴があります。

OpenPET は、PET データがもつ冗長性に着眼した方法です。同時計数線には、同一リング内のものと、異なるリング同士のものがありますが、前者だけからでも、断層画像を積層していけば三次元ボリュームが画像再構成できます。よって、後者の同時計数線は冗長成分と考えられます。従来の PET 画像再構成研究では、後者の冗長成分を前者の同時計数線に加算する方法について議論がなされてきましたが、OpenPET では、この冗長成分のみから画像化を行うこととなります。OpenPET の画像再構成問題は、低周波成分に欠損が生じる不完全問題に属しますが、計算機シミュレーションや実験の結果、開放化しても良好に画像化できることがわかりました。物体依存の性質は残りますが、逐次近似型の画像再構成による修復効果が効いているのではな

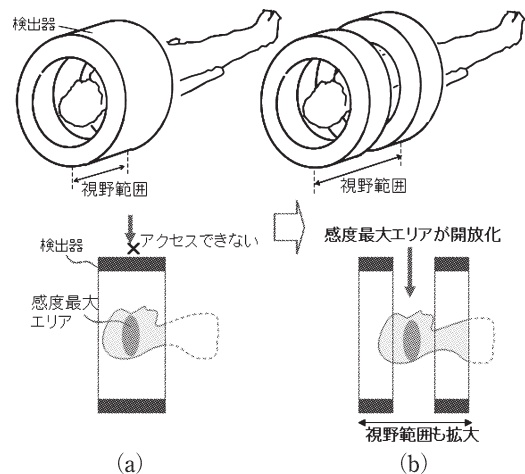


図1 従来PET装置 (a) と OpenPET 装置 (b) の比較。

いかと予想され、現在詳しい解析を進めています。

OpenPET には3つの応用が期待できます。OpenPET は、検出器数を増やすことなく視野範囲を拡大する効果があります。つまり、体軸視野 20 cm 程度の装置をスライドしながら全身撮影する従来方式に対して、全身を一度に診断できる装置を比較的 low コストで実現できる可能性があります。全身同時視野の装置は、医薬品の開発効率を劇的に高める方法として注目されているマイクロドーズ試験<sup>4)</sup>の推進に役立つものと期待されます。従来<sup>5)</sup>の創薬においては、動物実験などさまざまな基礎実験をパスしてはじめてヒトでの試験を行いますが、動物実験ではうまくいった薬剤がヒトではうまくいかないことが多く、これが薬剤の開発期間とコストを高める要因であると指摘されています。マイクロドーズ試験は、創薬の早期段階において、超微量の化合物をはじめからヒトに投与して、ヒトにおいて最適な薬物動態を示す開発候補を選択する方法です。

一方、検出器を分離した開放空間は、治療スペースや X 線 CT 装置など別の診断装置の設置場所として活用でき、粒子線がん治療における治療ビームモニタリングの実現や新しいマルチモダリティ装置への応用が期待できます。具体的には、マルチモダリティ装置として PET/CT 装置が普及していますが、従来装置は、単に PET 装置と X 線 CT 装置を並べた構造であるため、同一部位を同時に撮影することができません。これに対して OpenPET を用いれば、図 2 (a) に示すように、開放空間に X 線 CT 装置を組み合わせることで、同一部位をリアルタイムに撮影する新しい PET/CT 装置が実現できます。

また、診断で見つかったがんに対する治療も重要です。重粒子線や陽子線による粒子線治療は、線量集中性が高いため、正常組織への線量を極力抑えて、がん病巣に絞って照射できる放射線治療法として注目されています<sup>4)</sup>。照射は、患者の CT 画像をもとに綿密に計算された治療計画に基づいて行われますが、照射中に体内の標的が動いたり変形したりして、治療計画からずれてしまう可能性は否定できません。しかし、実際の患者体内において、毎回の照射が計画通りの線量分布になっているかを外部から

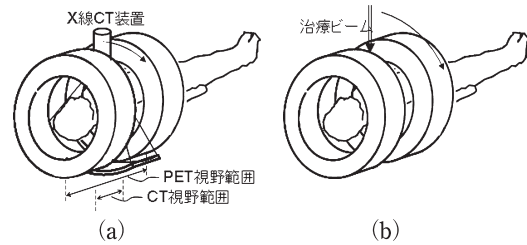


図2 期待される OpenPET 装置の応用。(a) リアルタイム PET/CT 装置、(b) 粒子線がん治療のモニタリング。

経時的に確認する手法は確立されていません。これに対して、粒子線ビーム照射による核反応によって、照射野に沿って陽電子放出核種が生成される現象が注目されています。これまでに、対向ガンマカメラ型の PET 装置を用いて、照射野を二次元画像として可視化する試みがなされてきましたが、ビームを通す隙間を有し、かつ三次元の画像化が可能な PET 装置が切望されてきました<sup>6)</sup>。OpenPET は、開放空間を利用してビーム経路を確保することができ、照射野の三次元画像化を可能とし、治療精度の向上に貢献できると期待されます。

OpenPET は、まだまだアイデアの段階ではありますが、開放化という点で、PET のフィールドを大きく広げるポテンシャルをもつと自負しています。その実現には、ハードウェアとソフトウェアの要素技術と、それらを統合するシステム化が重要です。OpenPET の実現および普及を通じて、国民の生活の質向上に役立てればと思います。

(放射線医学総合研究所 山谷泰賀)

## 文 献

- 1) PET 検査 Q&A (日本核医学会・日本アイソトープ協会, 2007)
- 2) 平成 19 年度次世代 PET 研究報告書 (放射線医学総合研究所, 2008)
- 3) T. Yamaya *et al.*: *Phys. Med. Biol.*, **53** (2008) 757-773.
- 4) 杉山雄一, 栗原千絵子編: マイクロドーズ臨床試験理論と実践 (じほう, 2007)
- 5) K. Noda *et al.*: *J. Radiat. Res.*, **48**, Suppl. (2007) A43-54.
- 6) P. Crespo *et al.*: *Phys. Med. Biol.*, **51** (2006) 2143-2163.