

課題名 (タイトル) :

新規 PET 装置の臨床応用へ向けた検討

利用者氏名 : ○福地 知則

所属 : ライフサイエンス技術基盤研究センター 次世代イメージング研究チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

陽電子断層撮影法 (PET) は、陽電子放出核種を用いて生体内のプロープ分布を可視化するイメージング手法である。プロープの分布とダイナミクスを非侵襲的に画像化できるため、基礎研究から臨床診断にまで幅広く利用されている。特に、プロープとしてがんや、その他の病変へ特異的集積する薬剤と合わせて使用することにより、疾患の早期発見が可能となることから、一般的な定期検診などにも広く利用されている。しかしながら、一般にがんなどの疾患は、病態が進行すればする程治療が困難になることが知られており、近年増加の一途をたどる国民医療費に歯止めをかけるためにも、より早期の診断を可能にする新規の高性能 PET 装置の開発要望は高く、現行の装置よりさらに解像度の高い装置を開発し、微小な病変を発見可能とすべく日進月歩の研究が行われている。

一般的な PET 装置は、リング状に並べられた数千から数万個の検出器群とその信号処理装置、画像処理装置から成り、非常に複雑な装置構成となっている。そのため新規の装置をデザインする際に実際に装置を組み立て検証することは、時間とコスト面において困難であり、コンピュータ・シミュレーションによる設計が欠かせないものとなっている。また、精度の高い大規模な PET シミュレーション手法を確立することにより、新規装置の開発のみではなく、既存の装置の性能向上や実験プロトコルの最適化にもつながる。

特に、利用者の研究室では、PET とガンマ線スペクトロメトリーの融合により、従来困難であった複数プロープの同時イメージングが可能となる新規 PET 装置の開発プロジェクトを進めている。このプロジェクトに、計算機シミュレーションを導入し迅速に開発を進めることが本課題の目的である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

計算には、物質と放射線の相互作用をモンテカルロ

法によりシミュレートするツール Geant4 [1] を核医学イメージングに特化させたツール GATE [2] を用いた。Geant4 および GATE は、放射線の放出時刻、放出方向、物質との相互作用を、すべて乱数をもとに、飛跡追跡 (トラッキング) することにより計算するモンテカルロ・シミュレーターである。多数の事象についてトラッキングをおこない、最終的に放射線検出器における放射線のエネルギー分布、検出位置分布などを統計的に得ることができる。本研究では、GATE を並列計算用に拡張したものを使用した。

具体的には、前述の新規 PET 装置開発プロジェクトにおいて、シミュレーションを用いて下記の二つの計算を行った。

(1) 新規装置の最適な検出器配置の検討・評価

既存の PET 装置 (ライフサイエンス技術基盤研究センターが所有するシーメンス社製 microPET Focus 220) にガンマ線検出器を追加した場合 (図 1) について、デレンツ・ファントム (径の違う円柱状のプロープ分布により解像度をチェックするもの) の複数プロープ同時イメージングのシミュレーションを行った。さらに、実際の小動物 PET 実験によって得られたプロープ分布をもとにつくったデジタル・ファントムにより、複数プロープのイメージング性能を評価した。

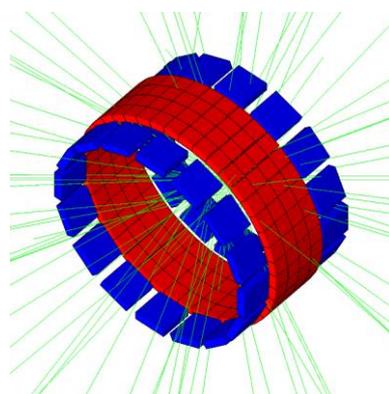


図 1 : 新規 PET 装置のシミュレーション

(2) 稼働中のプロトタイプ装置のシミュレーションによる再現

利用者の研究室では簡易型のPET装置（プレーン型PET）にゲルマニウム半導体ガンマ線検出器を組み合わせた原理実証用のプロトタイプ装置（図2）を構築している。この装置をシミュレーション上に再現し、実際の装置で得られた複数プローブ同時イメージングの結果とシミュレーションの直接比較を行った。

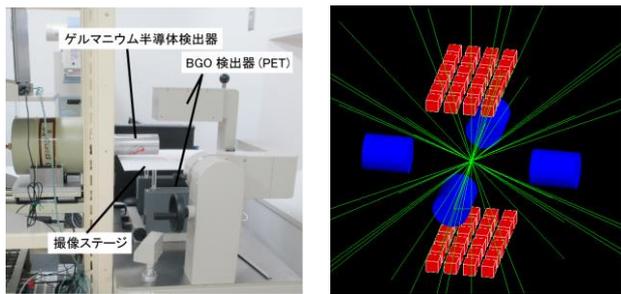


図2：実際のプロトタイプ装置（左）とそのシミュレーション（右）

3. 結果

前記二つのシミュレーション結果について述べる。

(1) 新規装置の最適な検出器配置の検討・評価

リング状PETにガンマ線検出器を追加した装置による、デレンツ・ファントムの撮像シミュレーションにより、本来のPETが持つ解像度を損なわずに2つのプローブ同時イメージングが可能であることが分かった（図3）。さらに、小動物PET実験で得られた実際の画像をもとにした、デジタル・ファントムのシミュレーションにより、生体での複数プローブの撮像においても実用的な画像が得られることを示した。

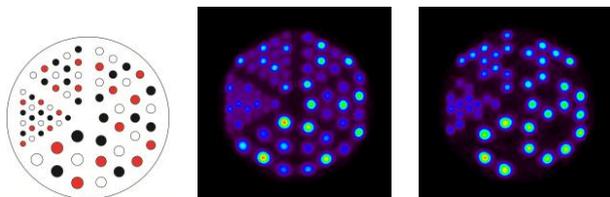


図3：デレンツ・ファントムの撮像シミュレーション結果。（左）プローブの配置（黒： $^{18}\text{F}+^{44}\text{Sc}$ 、白： ^{18}F 、赤： ^{44}Sc ）、（中央）脱励起ガンマ線検出なし、（右）脱励起ガンマ線検出あり

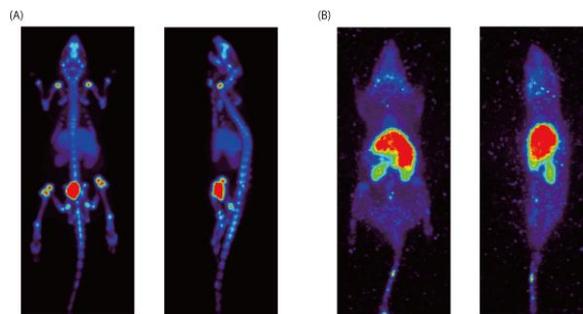


図4：小動物のデジタル・ファントム撮像結果。
（左） ^{18}F 、（右） ^{44}Sc

(2) 稼働中のプロトタイプ装置のシミュレーションによる再現

プロトタイプ装置とそれを再現したシミュレーションの比較により、実際の装置では、2つのプローブの分離能がシミュレーション結果よりも悪い事が分かった（図5）。この結果をもとに、現在、プロトタイプ装置の信号処理系に問題がないか調査中である。

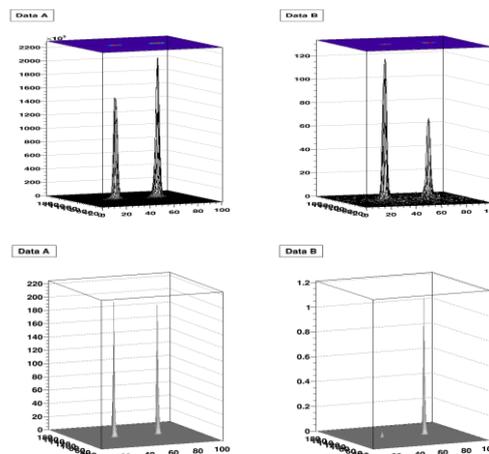


図5：プロトタイプ装置を用いた実験による2つの点線源のイメージング結果（上）と、それをシミュレーションにより再現した結果（下）。

4. まとめ

新規PET装置の開発において、大規模なモンテカルロ・シミュレーションを用いることにより、実際の装置を作成することなく、装置の持ち得る性能を予測することができた。さらに、すでに稼働中の装置についても、シミュレーションと比較する事により、装置の問題点を洗い出すことができた。

5. 今後の計画・展望

今後、プロトタイプ装置による原理実証が済んだ後、リング状のPETにガンマ線検出器を追加した装置を構築する予定である。この装置について、シミュレーションとの比較を行い結果の妥当性を評価するとともに、シミュレーションを用いて検出器配置等の最適化を図る計画である。また、今回の新規PET装置開発において、大規模なモンテカルロ・シミュレーションが有用である事が示されたため、今後、他の核医学イメージング装置の開発についても、シミュレーションをベースに進めることで、時間とコストの大幅な削減が可能になると考える。

- [1] J. Agostinelli *et al.*, "Geant4 a simulation toolkit"
Nucl. Inst. and Meth. A vol.506, 250 (2003),
- [2] D. Strul *et al.*, "GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission): a PET/SPECT general-purpose simulation platform,"
Nucl. Phys. B vol. 125, 75(2003)

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

該当なし

【国際会議などの予稿集、proceeding】

該当なし

【国際会議、学会などでの口頭発表】

「Experimental and Simulational Study of Positron Emission Tomography for Multiple Molecular Imaging」
Tomonori Fukuchi, Takahisa Hanada, Hiromitsu Haba, Yasuyoshi Watanabe, Shuichi Enomoto,
World Molecular Imaging Congress 2013, Savannah, Georgia, USA, September, 2013
(国際会議)

「The development of a next generation PET for multiple molecular imaging」
Takahisa Hanada, Tomonori Fukuchi, Shinichiro Kamino, Atsushi Shinohara, Hiromitsu Haba,
Yasuyoshi Watanabe, Shuichi Enomoto,
Tracer Element Research on Health and Diseases 2013, Tokyo, Japan, November, 2013
(国際会議)

【その他】

「複数分子同時イメージング PET の開発研究」
花田貴寿、福地知則、神野伸一郎、篠原厚、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一
第 5 3 回日本核医学会学術総会、福岡、2013 年 12 月