

課題名 (タイトル) :

次世代PET装置の開発

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

核医学イメージングにおける陽電子断層撮影法 (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に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とする新規の高性能PET装置の開発要望は高く、現行の装置よりさらに高機能な装置を開発し、微小な病変を発見可能とするべく日進月歩の研究が行われている。

この様な状況の中、我々の研究チームでは、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のプロープを同時イメージング可能な新規の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用いた検証を導入し、装置開発を迅速に進めることが本課題の目的である。また、プロジェクトでは、簡易型のPET装置 (プレーナ型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を構築している。このプロトタイプ装置を、計算機上に再現しシミュレーションを行う。シミュレーションにより、実際の複数プロープの同時イメージング実験を再現し、装置の問題点を洗い出すことも本課題の目的である。特に、新規PET装置においては、検出器の時間分解能が性能を決める重要なパラメータとなるため、デジタル信号処理技術を用いて検出器信号の波形解析により時間分解能を向上させる開発を進めている。時間分解能をパラメータとしたイメージング性能をシミュレーションにより調べることにより、時間分解能向上の目標値 (検出器の種類を選択等にも

反映される) を設定することが可能となる。

さらに、今後、プロトタイプ装置の次のステップとして、リング状PET装置をベースとした実用機を構築する予定である。この実用機についても、計算機シミュレーションを行うことにより、装置の構築前に持ち得る性能を予測することが可能である。また、装置を構築する際には、シミュレーション結果をベースとして、具体的な検出器配置を最適化し、装置性能の向上を図ることができる。さらに、実用機を実際に使用した場合に、どれくらいの放射線投与量でイメージングが可能であり、被験者や作業従事者がどれくらいの被曝を受けるか等の実用に即した定量的検討を行うことも本課題の目的である。

これらの研究は、逆にシミュレーション結果の妥当性を評価することにもなり、核医学イメージングのみではなく、放射線計測全般にわたって、モンテカルロ・シミュレーションおよび、それに用いられる物質と放射線の相互作用確率のデータベース等が、どれくらいの精度を持つか検証することにもなる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究は具体的には、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]と、それを核医学イメージング装置に特化したツール GATE[2]を用いて進めた。これらのツールは、放射線の放出時刻、放出方向、物質との相互作用を、乱数をベースとした、飛跡追跡 (トラッキング) により計算するものであり、多数の事象についてこの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。これらのシミュレーション・ツールは、任意の素材の検出器を自由に配置することが可能であり、このシミュレータ上に、イメージング装置を構築し計算を実行する。また、イメージング装置は多数の検出器により構成されているが、より精度の高いシミュレーションを行うために、個々の検出器単体で検出効率等の測定が可能なものについては、測定

結果とシミュレーション結果を直接比較する。なお、実際の演算においては、1回の放射線放出を1つのイベント単位として、イベントそれぞれを独立した演算として実行するため、イベント単位で複数コアに振り分けることにより並列計算を実行するが、これらのプログラムはすでに導入済みである。

3. 結果

複数プローブ同時イメージングPET装置では、脱励起ガンマ線の検出に基づいてプローブの同定を行う。したがって、脱励起ガンマ線の検出効率が、装置性能を決める上で、重要なパラメータとなる。そこで、シミュレーションにより、追加検出器(Ge)とPET検出器の脱励起ガンマ線検出効率のエネルギー依存性および位置依存性を調べた(表1)。その結果、PET検出器の方が、追加検出器より検出効率が高いが、エネルギーの高いガンマ線に対しては、追加検出器の方が、検出効率の低下が抑えられていることがわかった。また、ガンマ線源の位置により検出効率の依存性も、追加検出器の方が小さいことがわかった。

表 1：追加検出器 (Ge) とPET検出器についての脱励起ガンマ線の検出効率。ガンマ線源の位置は、PET検出器の軸方向 (x) と動径方向 (z) で示した。

x,z (mm)	Ge (%)		PET (%)	
	609 keV	1044 keV	609 keV	1044 keV
0, 0	1.41	0.53	5.07	1.51
30, 0	1.39	0.52	5.31	1.58
60, 0	1.43	0.53	6.13	1.84
0, 18	1.35	0.51	4.95	1.49
0, 36	1.32	0.49	4.73	1.41
30, 18	1.38	0.51	5.21	1.55
60, 36	1.43	0.54	5.50	1.66

さらに、ロッド状に2核種が分布したファントムのイメージングシミュレーションも行った(図1)。その結果、リング状のPETに検出器を追加した装置により、通常のPET装置と同等の解像度、定量性で、複数プローブの同時イメージングが可能であることが分かった。

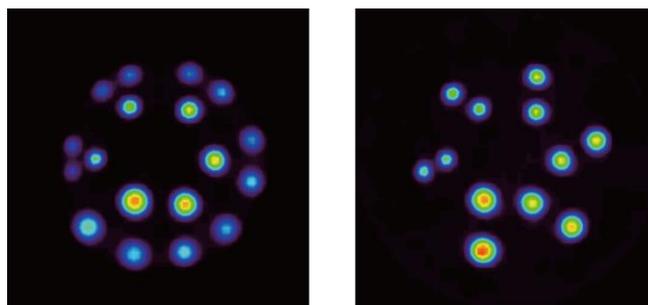


図 1：3次元イメージング用、リング状複数プローブ同時イメージングPETによる、ロッド・ファントムの2核種同時撮像シミュレーション(プローブA: ^{18}F , B: ^{44}Sc (脱励起ガンマ線放出核種))。

左:脱励起ガンマ線検出無しの画像(プローブA+B)
右:脱励起ガンマ線検出有りの画像(プローブB)

4. まとめ

モンテカルロ・シミュレーションにより、複数プローブ同時イメージングPETの詳細な性能を定量的に計算した。その結果、リング状のPETに検出器を追加した装置により、通常のPET装置と同等の解像度、定量性で、複数プローブの同時イメージングが可能であることがわかった。また、装置性能を決める具体的なパラメータである、脱励起ガンマ線の検出効率について、エネルギーおよび位置の依存性を詳細に計算した。これにより、実際の装置を構築する際の検出器配置等に関する重要な情報を得ることができた。

5. 今後の計画・展望

今後、新規の装置を用いた場合の、最適な放射能投与量や、撮像対象の放射線被爆量などの。実用に則したシミュレーションを進めて行く計画である。これにより、最終目標である、臨床用の大型装置の開発にまで、プロジェクトを推進して行く計画である。

[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 26 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】

複数プローブ同時イメージング PET の実験的および理論的研究

福地知則、花田貴寿、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一

日本分子イメージング学会機関誌 トピックス JSMI Report Vol.8 No.1 November 2014, pp.72-74

(学術雑誌総説)

【国際会議、学会などでの口頭発表】

複数プローブ同時イメージング PET の実験的および理論的研究

福地知則、花田貴寿、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一

日本分子イメージング学会 第 9 回総会・学術集会 大阪府豊中市 2014 年 5 月 23 日

生体内金属の動態研究への複数プローブ同時イメージング PET 装置の応用」

福地知則、花田貴寿、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一

第 24 回 金属の関与する生体関連反応シンポジウム (SRM2014) 京都薬科大学 2014 年 6 月 15 日

【その他】

日本分子イメージング学会 第 9 回総会・学術集会 最優秀発表賞受賞

「複数プローブ同時イメージング PET の実験的および理論的研究」

福地知則、花田貴寿、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一、

平成 26 年 5 月 23 日