

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24791340

研究課題名(和文)電子飛跡検出型コンプトンカメラによる次世代ガンマ線カメラの開発

研究課題名(英文)Development of next-generation gamma-ray camera by Electron-Tracking Compton Camera

研究代表者

株木 重人(KABUKI, Shigeto)

東海大学・医学部・講師

研究者番号：00402777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：核医学診断機器では計測できるエネルギーに制限があり新しい放射性薬剤の開発が自由に進めることができない。そこで我々は、電子飛跡検出型コンプトンガンマ線カメラ(ETCC)の開発を推進してきた。ETCCは核種を選ばないので、既存のカメラでは撮像できない数10核種にわたるRIを候補として薬剤を自在に開発できる。本申請では現状の開発機カメラの性能向上を目標に開発を進め、重要な知見を得た。今後この開発が進めば、創薬分野の発展と、核医学検査の応用範囲を著しく拡大し、多くの患者の助けになると考えられる。

研究成果の概要(英文)：It is not possible that development of new radiopharmaceutical proceed freely because of a limit of the energy that can be measured in the nuclear medicine diagnosis equipment. Therefore, we have been promoting the development of Electron Tracking Compton Gamma-ray Camera (ETCC) for nuclear medicine and molecular imaging. ETCC can choose any nuclear species for imaging because of no energy limit, it can be developed freely using RI drug candidates over several 10 species that can not be caught in the conventional nuclear medicine camera.

And developed with the goal of improving the performance of the ETCC, we got an important finding in the present application. It is believed that this development will be significantly expanding the field of RI-drug development for nuclear medicine and molecular imaging, and will help many patients.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：コンプトンカメラ ガンマ線カメラ 核医学 PET SPECT

1. 研究開始当初の背景

核医学では放射性同位元素核種(RI)薬剤を投与し、単一光子放射断層撮影(SPECT)や、陽電子放射断層撮影(PET)を用いて撮像し、患部の機能的な画像を得る。これらは診断に重要な情報を得ることができるため、SPECT/PETは臨床において必須のモダリティとなっている。近年、分子イメージング分野が世界中で急速に発展してきており、新薬設計や、マイクロドージングはキーテクノロジーとして期待されている。今後、SPECT/PET核種以外の、より広範囲なエネルギーを持つ核種をイメージング可能な新しいモダリティがあれば、劇的にこの分野が発展することは必至である。

我々は、現状を打破すべく、新たなモダリティとして電子飛跡検出型コンプトンガンマ線カメラ(ETCC)の開発を推進してきた。ETCCは、従来のコンプトンカメラ(CC)を大幅に改良したカメラであり、“エネルギー計測範囲が広い”、“視野が広い”、“低雑音装置”、“一方向からのみの撮像で3次元再構成が可能”、“低コスト”等の原理的メリットを実現出来る次世代の革新的ガンマ線カメラある。

ETCCはエネルギー計測範囲が広く、核種を選ばないので、SPECT/PETが用いることの出来ない数10核種にわたるRIを候補として薬剤を自在に開発できる。このためETCCの臨床応用は、創薬分野の発展と、核医学検査の応用範囲を著しく拡大し、臨床的有用性が非常に高まると考えられる。

2. 研究の目的

カメラ本体、モンテカルロシミュレーション(MC)、データ解析法、画像再構成を改良することにより、ETCCの高機能化を狙う。特に検出効率および位置分解能の改善の2点にしばり開発を行う。電子飛跡検出用検出器の粒子選別の最適化、解析アルゴリズム

の改良で、装置単体として数倍程度の感度向上を狙う。また法政大と共同開発した再構成法を適用し、約5mmの画像分解能を目指す。更にMCを構築し、実機との系統誤差を10%以内に抑え、ヒトのデジタルファントムを用いて、イメージングするために必要なパラメータの抑え込みを行う。

3. 研究の方法

シミュレーションまわりに関しては、Geant4を用いた本学専用モンテカルロシミュレーションを構築した。またデータ解析に関しては、電子飛跡弁別法を構築と、最尤法を用いた解析を構築し感度の向上を図った。

医療における画像再構成は非常に重要である。目標分解能最高5mmを達成するために、現在、主に使用しているMLEM(Maximum Likelihood Expectation Maximization)の精度をMCの情報を用いて向上させた。

4. 研究成果

本研究では主に再構成アルゴリズム、モンテカルロシミュレーション、電子飛跡取得アルゴリズムの3つに関して開発を進めた。また新しい核種に関する画像化実験を行った。中でも特に電子飛跡取得アルゴリズムに注力した。

電子飛跡取得アルゴリズム開発では、飛跡情報を精度良く解析する手法を検討した。本検出器では、2段構成になっており、京大で開発された2次元平面検出器uPICを用いた、TPC(Time Projection Chamber)で入射ガンマ線をコンプトン散乱させ、反跳電子のエネルギーと飛跡を捉え、後段のピクセル型シンチレータ検出器で散乱ガンマ線の位置とエネルギーを捉える仕様になっている。このカメラは、他のガンマ線カメラでは検出できないコンプトン散乱時の

反跳電子の飛跡を TPC で精度良く捉えることが特徴であり、この部分の開発が最も重要となる。この飛跡情報は京大での開発で、今までの離散的な飛跡情報が、連続に近い状態で取得できるようになっており、このシステムを導入してデータを取得することを行った。その一例を図 1 に示す。

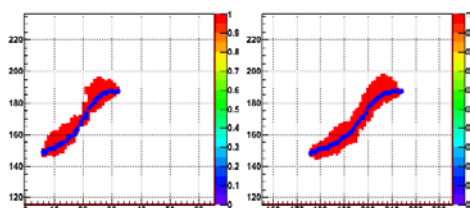


図 1、TPC における 3 次元飛跡情報の一例。赤い分布が電子雲となるが、飛跡の情報を抽出するにあたり、青い点を基準にして飛跡を取り出した。右図はクロック（時間情報）vs アノードの情報。左図はクロック vs カソードの結果。

本学ではカメラ開発で重要なこの部分を中心に開発を行い、連続的な情報を適切な飛跡情報に直すアルゴリズムを開発した。この解析手法をもちいることにより、以前のシステムよりヒット情報の取得感度が向上した。このヒット情報の分布を図 2 に示す。

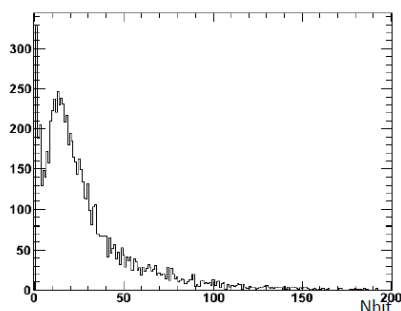


図 2、 ^{137}Cs を用いた電子飛跡ヒット分布。解析手法の向上により詳細なヒット情報が取得できるようになった。

上記の開発を含めて性能評価を行った。検出感度は実臨床にとってはまだ不足しているが感度向上が見込まれ今後に期待がも

てる結果となった。また一般に臨床で用いられているガンマ線カメラの空間分解能が 5 mm 程度に対して 10mm 前後となり、まだまだ再構成アルゴリズムの改善が必要という結果になった。しかし継続的な開発により臨床での使用に関して良い示唆を得た。その一例を以下に示す。今回の開発を基に画像化した原子力研究所の生成した $^{95\text{m}}\text{Tc}$ を京大薬学部との協力で行った画像化試験の結果を図 3 に示す。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は ^{99}Mo から生成されるが、この ^{99}Mo はほぼ輸入に頼っている。 ^{99}Mo は海外の原子炉から供給されているが、原子炉の老朽化や事故、火山等の自然現象による空路の閉鎖等により日本に ^{99}Mo が不足した事態も過去に生じた。このような事態を避けるためにも別の同位体での画像化は核医学検査を安定に行うために非常に重要である。本結果は今後の核医学にとって重要な画像であると考えられる。

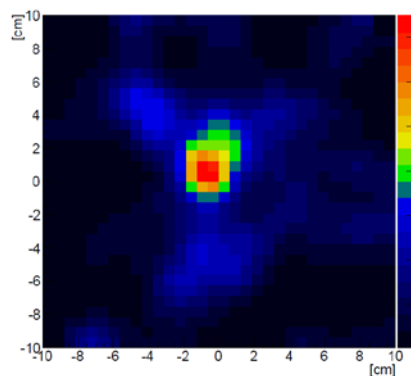


図 3、 $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の画像化。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 以外のテクネシウムは画像化に成功した。

今後は京大で開発されているデータ処理回路の導入を図り感度の向上を目指す。統計数が多くなれば再構成アルゴリズムの負担も軽減し分解能が向上することが期待できる。

薬剤に関しても京大薬学部や原子力研究所と共に新しい放射性核種の検討を行い、積極的に画像化試験を行っていく。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

①株木重人 他、放射線計測の医学利用、日本物理学会 第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013 年 3 月 28 日

②Shigeto Kabuki 他、Imaging Study of an Electron-Tracking Compton Camera for Nuclear Medicine, The AAPM 55th Annual Meeting, The Indiana Convention center, Indianapolis, America, August 4, 2013

③Shigeto Kabuki 他、Performance Study of an Electron-Tracking Compton Camera for Medical Imaging, The AAPM 54th Annual Meeting, Charlotte Convention Center, NC, America, July 29, 2012

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

株木 重人 (KABUKI Shigeto)

東海大学・医学部・講師

研究者番号：00402777