

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659555

研究課題名(和文)コンプトン散乱を用いた新型PETの原理実証試験

研究課題名(英文)Basic Experiments for new type PET using Compton scattering

研究代表者

郡司 修一 (Gunji, Shuichi)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：70241685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：PETはガンを早期に発見する優れた医療装置であるが、さらに優れたイメージング性能や低被曝で検査できる事が望まれている。そのため、プラスチックシンチレーターを使ったコンプトン散乱型のTOF-PETを考案し、プロトタイプ検出器を使って原理実証試験を行った。試験の結果世界最高性能の時間分解能を得る事はできなかったが、500～600psec程度の時間分解能が達成できた。さらに性能を向上させるにはシンチレーターのサイズを小さくして、一つのプラスチックシンチレーターで多重コンプトン散乱が起こらない様にすればよいという指針もこの実験から得られた。

研究成果の概要(英文)：The PET is excellent medical instrument for the early discovery of cancers. However, better imaging performance and lower dose to human body are required. So I hit on the idea to utilize the Compton scattering in the plastic scintillator to Time-of-Flight PET and I have carried out the basic experiments constructing the prototype detector. Though I can not obtain the world record for the time resolution, it is confirmed that the prototype detector can obtain the time resolution of 500-600 psec. Moreover, I recognized that the time resolution will go up suppressing the multiple Compton scattering if the size of the plastic scintillator becomes smaller.

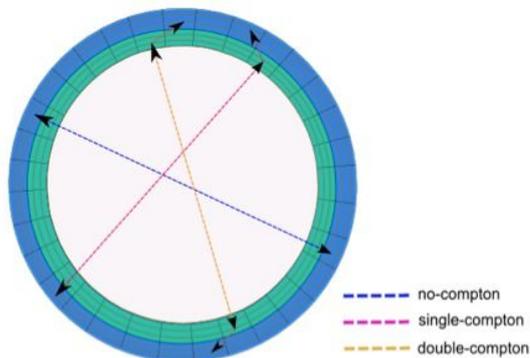
研究分野：医歯薬学

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：TOF-PET コンプトン散乱

### 1. 研究開始当初の背景

自分は宇宙物理学で使用するための硬X線偏光度検出器の開発を専門としており、この技術が他の分野に活かさないか考えていた。そして自分の研究者仲間には、医療物理学で使用する検出器の開発を行っているものがあり、その分野に関して調べてみた。その結果、現在自分が開発しているコンプトン散乱型の偏光度検出器を、TOF-PET に役立たせる事が可能性だという着想を得た。TOF-PETとは、Time-Of-Flight PET の略である。通常のPETでは、一組の線がどの場所で吸収されたのかを調べ、その2点を繋いだ線のどこからか線が出てきたと考える。しかしながら、TOF-PETの場合、線が捕まった時間も同時に記録する。そして、この時間の差から、線上のどの場所から線が放出するのかまで調べる事を可能にした検出器である。一方コンプトン散乱型の偏光度検出器はプラスチックシンチレーターでできた散乱体と原子番号が大きな吸収体無機シンチレーターを組み合わせる。仮に以下の図のように人体に近い方にプラスチックシンチレーターを円筒状に配置し、さらにその外側に無機シンチレーターを配置したとする。



人体から出てきた2本の線は、まず内側のプラスチックシンチレーターに入る。プラスチックシンチレーターでは線を止める事はできないが、コンプトン散乱をする確率が高い。計算によれば、4cm厚のプラスチックシンチレーターの場合25%の確率で両方の線がコンプトン散乱を起こす。プラスチックシンチレーターは通常のPETで使われている無機シンチレーターの10倍速い蛍光減衰時間を持つ。つまり、プラスチックシンチレーターからの信号を使えば、従来のPETより10倍速い蛍光減衰時間で信号が出力される。そうなればおのずとその時間分解能も上がるはずであり、非常に高時間分解能のTOF-PETを開発できるはずである。

プラスチックシンチレーターで散乱された後は、線はその外側に存在する無機シンチレーターで止まる。もし散乱された位置と吸収された位置、そしてそれぞれでのエネルギーデポジットが分かれば、コンプトン散乱の運動学というものを使う事で、線がどちらの方向から来たのかが円錐状の方向で決

まる。2本の線に対してその様な解析を行うと、コンプトン散乱した場所からだけでなく、線がどちらからやってきたかを定める事ができる。

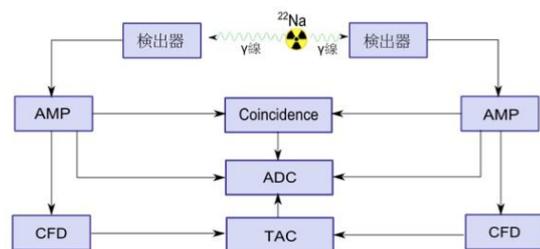
コンプトン散乱によって、散乱される線の方向は入射ガンマ線の偏光方向に依存している。つまり散乱方向を検出器で取得すれば入射ガンマ線の偏光方向を調べる事ができる。511keVは反対方向に2本放出されるが、その偏光方向は直交しているはずである。そのため、検出器でその偏光方向を測定し、直交していないものをバックグラウンドとして落とせば、S/N比が上がり、人体に多くの放射性同位元素をドープしなくても良いと考えた。以上の着想を使って本当に新しいタイプのTOF-PETが製作できるのかを調べたいと思い、本研究に応募した。

### 2. 研究の目的

コンプトン散乱型のPETには主に3つの特徴がある。1)プラスチックシンチレーターを使っている事による高時間分解能のTOF-PETが実現できる可能性。2)偏光を使ったバックグラウンド除去。3)コンプトン運動学を使ったバックグラウンド除去である。その中で、まず一番重要なのはプラスチックシンチレーターを使って高時間分解能が実現できるのかという部分である。そこで、まずは高時間分解能が得られるような回路システムを開発し、その後プロトタイプ検出器を作る事で、実験的にどの程度の時間分解能が達成できるのかを調べる事を第一の目的とした。第二番目に、このプロトタイプ検出器を使って、 $^{22}\text{Na}$ から出てくる511keVの線の偏光方向が直交しているかを実験的に調べる事を目的とした。

### 3. 研究の方法

まず我々は高精度で時間を測定できる回路システムの構築を行った。以下にその図が描かれている。

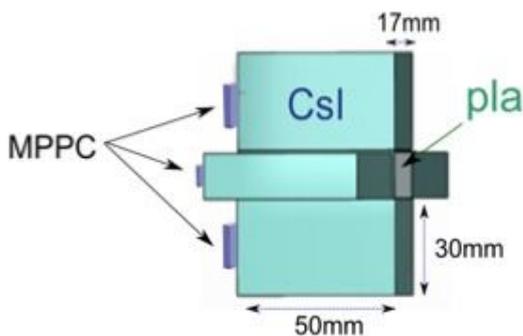


その際にCFD(Constant Fraction Discriminator)という装置と高時間分解能のTAC(Time Analog Converter)かTDC(Time Digital Converter)のどちらかが必要になる。CFDに関しては市販品として優れたものがあったが、TAC若しくはTDCに関しては我々の仕様に適合する機器が無かった。そこで、我々はNIM規格で23psecの時間分解能を有するTACを企業と共同で開発した。そして、その時間測定システムの基礎テストをまず

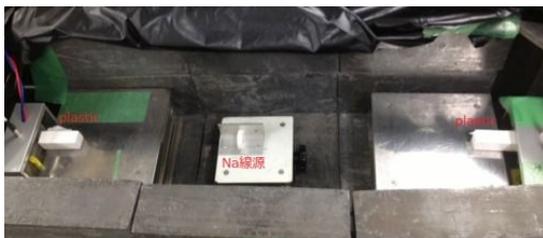
行い、十分な時間性能が得られているかを確認した。右にその開発した TAC の写真を示す。



次にプラスチックシンチレータとその4方をCsI(Tl)シンチレータで囲み、それぞれにMPPCという光検出器を取り付けた機器を2セット製作し、それを一直線上に配置した。以下に1セットの検出器の概略図を示す。



製作した。それが以下の図である。そして、実際に一組の511keVの線を捕らえて、どの程度の時間分解能が得られるのかを試験した。

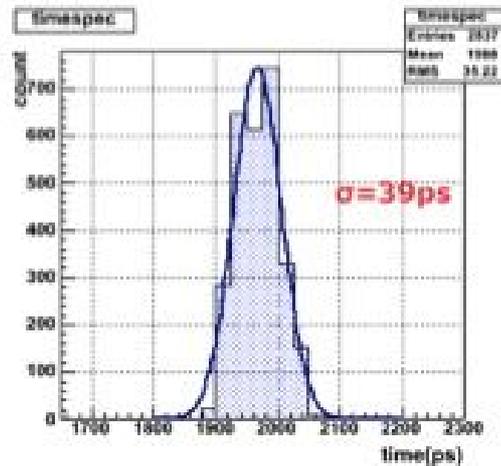


した。

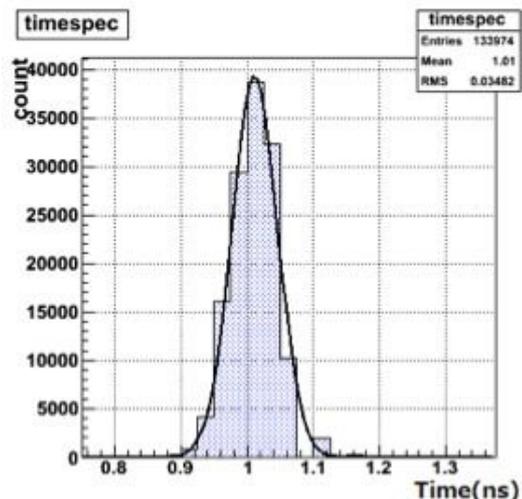
#### 4. 研究成果

まず我々が自作したTACだけの時間分解能を調べてた結果が次の図である。この図で分かるとおり、開発したTACの時間分解能はほぼ39psec以下程度であった。これは非常に優れた性能であると言える。

またCFDなどと組み合わせた総合的な回路システムの時間分解能を測定してみた。その際には、線源を使わずに中間に電気的なパルサーを置き、同時に2つの回路にパルスを送り、その時間差を調べてみた。本来、プラスチックシンチレータには、様々な波高のパルスが入ってくるため、そのヨークが存在する。しかし、我々が使っているORTEC社のCFDは非常に高い性能を持っており、パルスハイトの違いによって生じるヨークは精々30psec程度である。そのため、この試験では、

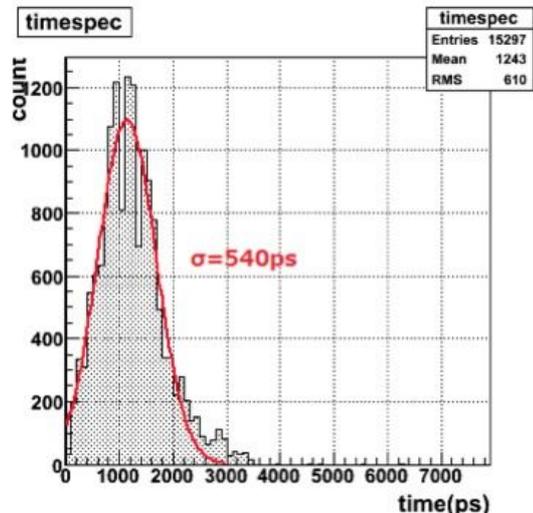


両者に同じパルスハイトの信号を与えて試験した。その結果が以下の図に示されている。この時間分解能は、41psec程度であり、回路システム全体にわたっても、精々50psec弱の



時間分解能が得られている事が確認できた。

最後に線源を中心において、両側のプラスチックシンチレータで散乱されたイベントの時間分解能を計測してみた。その結果が、以下に示されている。この結果を見ると540psecという値が得られているのが分かる。現在存在する世界最高のTOF-PET(まだ実用



化されていないもの)は、時間分解能が300psec程度であるため、今回の測定では世界最高の性能を出す事ができなかった。しかしながら、オシロスコープで信号を観測していたところ、プラスチックシンチレータの中で多重コンプトン散乱を起こしているイベントが一定量見つかった。多重コンプトン散乱が起こると、信号のパルスの波形が崩れてしまい、しっかりとした時間分解能が出にくい。もし、多重コンプトン散乱が起きないように、プラスチックシンチレータのサイズをもう少し小さくすれば、より良い性能が得られるのではないかという展望が開けた。

## 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 1件)

Shuichi Gunji et al., 「The Development of Gamma-ray Burst Polarimeter for a Small Satellite」2014, SPIE、査読有り、Accepted

〔学会発表〕(計 1件)

木村沙也香、「MPPCを用いたコンプトン散乱型PETの原理実証試験」2013年春季日本物理学会

〔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

<http://xpolar.kj.yamagata-u.ac.jp/research/cpet.html>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

郡司修一 (GUNJI Shuichi)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：70241685