

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月24日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22611008

研究課題名（和文）

シリコンストリップ検出器を用いた小型陽子線断層写真装置の開発

研究課題名（英文）

Development of silicon micro strip detector for proton computed tomography

研究代表者

泉川 卓司（TAKUJI IZUMIKAWA）

新潟大学・研究推進機構アイソトープ総合センター・准教授

研究者番号：60282985

研究成果の概要（和文）：

本研究はシリコンストリップ検出器を用いた小型の陽子線断層写真撮影装置を開発すること、および、開発した装置を用いた実験的基礎研究を行い基礎データの収集と本手法による測定原理の検証を目的として実施した。測定対象物の上流側と下流側それぞれに位置検出型のシリコン検出器を二組ずつ配置し、最後部に残留エネルギー測定用の NaI(Tl)検出器を配した測定装置を開発した。陽子線ビームを用いた実験を行い、簡単な形状の物体の二次元像を測定した。上流側と下流側の陽子線の軌跡を独立して測定する事は、二次元像の位置分解能の向上に有用であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to develop a small detection apparatus for proton computed tomography. Silicon micro strip detectors (SSD) were used to obtain the proton track. Two sets of the X- and Y-strip detectors were each placed behind and ahead of the object. The residual proton energy was measured by the NaI(Tl) detector. We have measured the energy resolution of the NaI(Tl) detector and the 2D images of simple-shaped objects. It is found that the measurement of the upstream trajectory and the downstream independently is quite useful for spatial resolution of the object.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	1,900,000	570,000	2,470,000
平成23年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成24年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：陽子線写真、画像診断、シリコンストリップ検出器

1. 研究開始当初の背景

加速器を用いた粒子線治療はその線量集中性や細胞致死効果の高さなど、X線や電子線治療に比し優れた特性を有していること

から近年めざましい発展を遂げており、各地に新規の施設が設置されはじめている。さて、粒子線治療に際しては、腫瘍の位置や物質密度を測定して、粒子線により与える放射線量

を決定する必要がある。現在、そのためにX線CTによる画像診断を行っているが、粒子線とX線では人体や物質との相互作用が異なるため、X線CT値から推定された線量分布には数パーセントの不定性が残ってしまう。そこで、X線ではなく粒子線を用いて電子密度を直接に測定できれば、この不定性が取り除かれることから、より精度の高い線量分布予測が可能となり、より適切な治療計画を策定することができる。

我が国における粒子線を用いた断層写真に関する研究は、1980年代に筑波大グループにより行われて以来、幾つかの手法により行われてきたが、空間分解能や計測に要する時間などに十分な結果が得られていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、近年、高精細化の進んだシリコンストリップ検出器を使用して、小型の陽子線写真および陽子線断層写真撮影装置の開発を行うとともに、作成した装置による撮影実験を実施し、得られたデータから本手法による撮影原理の検証を行うことを目的とする。最新のシリコンストリップ検出器を用いる利点は、従来の位置検出器を用いた試みに比べてコンパクトで位置分解能の優れた装置の開発が期待できる点にある。また、シリコンストリップ検出器を複数枚用いて、測定対象物の前方と後方の粒子軌跡を完全に追跡するところも本研究の新しさの一つである。

3. 研究の方法

(1) 開発した検出器システムについて

シリコンストリップ検出器は、大きさ $9\text{cm} \times 9\text{cm}$ 、厚さ $400\mu\text{m}$ 、ストリップ間距離は約 $228\mu\text{m}$ ピッチの物を使用した。但し、データ収集回路の単純化・高速化のために、使用領域は約 $4.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ に制限、また、信号の読み出しは1本飛ばしに行った(すなわち $456\mu\text{m}$ ピッチで読み出した)。各ストリップからの信号読み出しはASICを用いた自作インターフェースを介して、一般的なPC用AD変換ボードにて行った。

(2) 実験セットアップ

陽子線ビームライン上に以下に述べるように各検出器を配置した(図1)。90度の角度で交差させたX方向用とY方向用のストリップ検出器の組を一組として、被写体の前方に2組、後方にも2組を配置し、被写体前後での粒子線の軌跡を正確に測定し、最後部に置かれたNaI検出器により粒子のエネルギーを測定する。これら粒子の軌跡とエネルギーの情報から粒子線透過像を得ることができる

ビームラインの最後方に3インチ×φ3インチ(研究初期には2インチ×φ2インチ)のNaI(Tl)検出器を配置した。NaI(Tl)検出器の直前には、厚さ一定のアクリル板を置いたが、これは陽子ビームのNaI(Tl)検出器中の最大飛程を制御するためである。また、厚さ3mmのプラスチックシンチレーターストリップ検出器の最前方と最後方に配置し、これらを測定のトリガー検出器とした。

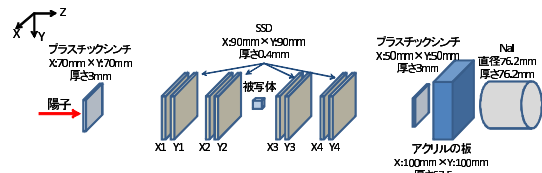


図1 実験装置セットアップ

(3) 実験条件

ビーム実験は放射線医学総合研究所のがん治療装置HIMACを利用した。ビームエネルギーは160MeV、ビーム強度は約1000ppsにであった。装置の開発段階では、国立がんセンター東病院の陽子線治療装置も用いた。

4. 研究成果

図2に使用したNaI(Tl)シンチレータ(3"×φ3")のエネルギー分解能を示す。80MeV以上のエネルギーに於いてエネルギー分解能1%以下が得られた。ビームエネルギーはアクリル製のアブソーバーを置くことで変化させた。そのため分解能はアブソーバーによるエネルギーの広がりも含んだ値である。

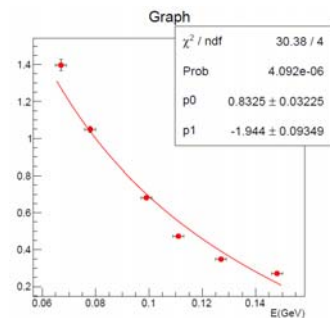


図2 NaI(Tl)検出器のエネルギー分解能

陽子線透過像の撮像実験に用いた被写体は、5mm幅の階段状のポリエチレン製の物と1.5cmφのアクリルの円柱の中心に5mmφの

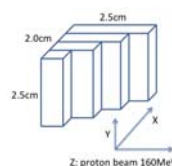


図3 階段状被写体

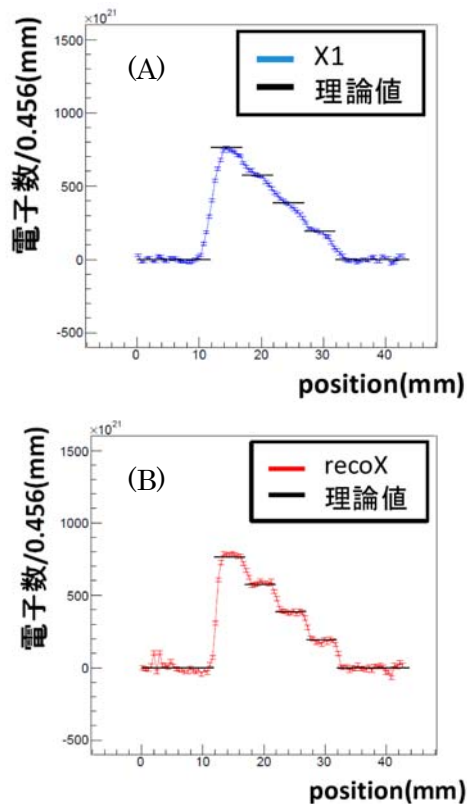


図4 1次元電子数分布。(A) 被写体前方の位置情報だけを用いた場合。(B) 前方、後方の交点を位置座標とした場合。

アルミニウムを挿入した物の2種類で行った。エネルギー情報から得られた被写体の電子数をX軸に射影した結果を図4に示す。粒子の位置決めの解析方法として以下に述べる2つの方法で行い、比較した。すなわち、方法のひとつは被写体前方の1枚目の検出器の情報だけで位置を指定した場合である(方法A)。もうひとつは軌跡の情報を活用し、被写体の前方と後方の軌跡を独立して求めて、前方と後方の軌跡の交点(交わらない場合は再近接点の中間点)を位置座標として指定した場合である(方法B)。図4の階段状の実線は計算から求められた被写体の電子数を表している。数値的に評価するため、誤差関数 $EFRC[(x-p)/\sqrt{2}\sigma] + p/3$ にて空気と被写体との境界部を解析すると、境界部のスロープを表すパラメーター σ は、方法Aで1.0mm(最初の1枚(X1)だけを用いた場合)もしくは0.7mm(2番目の1枚(X2)だけを用いた場合)、方法Bでは0.5mmであった。明らかに前方と後方の軌跡の交点を求める方法Bの方が被写体の境界部を、より良く再現していることが分かる。これらの結果は、本装置の特徴である前方と後方の軌跡を独立して測定しているからこそ得られたものであり、本研究手法が物質密度の再現に当たってきわめて有効な手法であることが分かつ

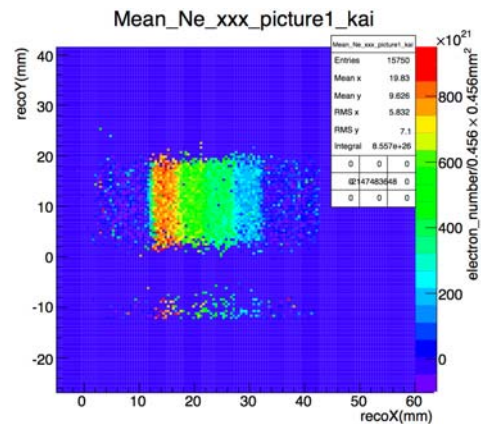


図5 2次元電子数密度分布

た。図5に方法Bによる2次元像を示す。アクリルとアルミニウムからなる同心円状の円柱被写体においても、方法Bによる解析が実際の電子数を良く再現した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

・木村泰一朗、「陽子線断層撮影における空間分解能改善のための研究」、修士論文(新潟大学自然科学研究科)、査読有(2013)。

・皿谷有一、「シリコンマイクロストリップ検出器を使用した陽子線断層撮影システムの研究」、修士論文(新潟大学自然科学研究科)、査読有(2011)。

〔学会発表〕(計7件)

・皿谷有一, 泉川卓司, 後藤淳, 川崎健夫, 木村泰一朗, 「シリコンマイクロストリップ検出器を使用した陽子線断層撮影システムの研究」, 日本物理学会新潟支部第41例会, 日本歯科大学新潟生命歯学部, 2012.12.8.

・木村泰一朗, 泉川卓司, 川崎健夫, 後藤淳, 皿谷有一, "陽子線CTにおける空間分解能改善のための研究", 日本物理学会新潟支部第41例会, 日本歯科大学新潟生命歯学部, 2012.12.8.

・Yuichi Saraya, Takuji Izumikawa, Jun Goto, Takeo Kawasaki, Taichiro Kimura, "Development of proton computed tomography system using silicon micro strip detector", 第8回国際放射線モニタリングに係る国際ワークショップ、大洗、2012.12.2.

・Yuichi Saraya, Takuji Izumikawa, Jun Goto, Takeo Kawasaki, Taichiro Kimura,

"Development of proton computed tomography system using silicon micro strip detector", The 2nd International Congress On Natural Sciences, 2012.10.24, Kaohsiung, Taiwan.

・ Taichiro Kimura, Takuji Izumikawa, Takeo Kawasaki, Jun Goto, Yuichi Saraya, "Study for improvement of spatial resolution in proton Computed Tomography", The 2nd International Congress On Natural Sciences, Kaohsiung-Taiwan, 2012.10.24.

・ 木村泰一朗・他、「陽子線 CT における空間分解能改善のためのシミュレーション」、春季第 59 回応用物理学関係連合講演会、平成 24 年 3 月 16 日、早稲田大学（新宿区）。

・ 皿谷有一・他、「陽子線写真撮像のためのシリコンマイクロストリップ検出器を使った陽子線測定システムの開発」、第 71 回応用物理学学会学術講演会 平成 22 年 9 月 14 日、長崎大学（長崎市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

泉川 卓司 (IZUMIKAWA TAKUJI)
新潟大学・研究推進機構アイソトープ総合センター・准教授
研究者番号：60282985

(2) 研究分担者

- ・ 川崎 健夫 (KAWASAKI TAKEO)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号：00323999
- ・ 後藤 淳 (GOTO JUN)
新潟大学・研究推進機構アイソトープ総合センター・助教
研究者番号：90370395
- ・ 長坂 康史 (NAGASAKA YASUSHI)
広島工業大学・情報学部・教授
研究者番号：20299655

(3) 連携研究者

- ・ 阿蘇 司 (ASO TUKASA)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号：30290737
- ・ 木村 彰徳 (KIMURA AKINORI)
足利工業大学・工学部・准教授