

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18510046

研究課題名（和文） 粒子識別型組織等価比例計数管の開発

研究課題名（英文） Development of particle identifying tissue equivalent proportional counter (PID-TEPC) system

研究代表者

遠藤 暁 (SATORU ENDO)

広島大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90243609

研究成果の概要：組織等価型ガス比例計数管（TEPC）に半導体検出器（SSD）とプラスチックシンチレーションカウンタを組み合わせたシステムを構成し測定試験を行った。SSD の厚みとしては $500\ \mu\text{m}$ 程度は必要で、更に厚いほうがより粒子識別能は向上することが示唆された。2枚のSSD（厚み $500\ \mu\text{m}$ ）とプラスチックシンチレーションカウンタを用いることで、炭素、酸素、ネオンイオンが人体を模擬したファントム中で生成するフラグメント粒子の同定が可能であることが示された。重いフラグメント粒子（ $Z \geq 6$ ）では2枚SSDのみで十分な粒子識別が可能であることが示された。軽いフラグメント粒子（ $Z < 6$ ）では、プラスチックシンチレーションカウンタの情報を利用することで識別可能である。また同構成を用い veto 法を利用すると中性子の同定が可能であることを示唆した。広いエネルギー分布を持つ炭素線 SOBP ビームのマイクロシメトリを行ったところ、プレリミナリながら、陽子、ヘリウム、リチウム、ベリリウム、ボロン、炭素及び中性子の同定しマイクロシメトリスペクトルを決定できることを示した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|----------|------------|
| 2006年度 | 2,200,000円 | 0円 | 2,200,000円 |
| 2007年度 | 700,000円 | 210,000円 | 910,000円 |
| 2008年度 | 700,000円 | 210,000円 | 910,000円 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,600,000円 | 420,000円 | 4,020,000円 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：マイクロシメトリ、TEPC、重イオン、フラグメント、粒子識別

1. 研究開始当初の背景

一般に、組織等価比例計数管は粒子識別ができず全粒子のエネルギー付与スペクトル

として測定される。しかしながら、粒子線治療や宇宙環境においては、多種類の粒子線が混在し、各々の線質が問題とされる。また、このような環境下では、高エネルギー中性子

の線質も大きく寄与してくる。高エネルギー粒子線治療の治療成績向上のためには、粒子線が生成するフラグメント中の荷電粒子はもとより、中性子成分の線質・線量の評価も不可欠であるが、これまではあまり行われてこなかった。荷電フラグメントと比較した場合、中性子フラグメント成分は、線量コントロールが難しいため、線量評価されていないのが現状である。

本課題申請者は、放医研 HIMAC からの炭素線のマイクロシメトリとして、生成フラグメント粒子ごとのマイクロシメトリを行ってきた。これまで行ってきた経験をもとに、組織等価型比例計数管 (TEPC) とシリコン検出器を併用し、粒子識別を可能とする組織等価型比例計数管 : PID-TEPC を開発する。本研究で目指す測定システム PID-TEPC は、粒子を識別して線質を評価できるため、放射線治療場で生成される中性子成分の生体組織への影響や宇宙放射線場での中性子成分の被ばく線量評価も行うことが可能となる。

2. 研究の目的

組織等価型比例計数管 (TEPC) とシリコン検出器を併用し、粒子識別を可能とする組織等価型比例計数管 : PID-TEPC システムを開発することである。

3. 研究の方法

放医研 HIMAC 炭素ビームのマイクロシメトリを行ってきた。測定に用いたシステムでは、FSC-BSC 間の飛行時間 (TOF) を測定することで ΔE -TOF 法により粒子識別を行った。また、FSC で veto (反同時計数) を行うことで中性子成分の解析も行っている。しかしながら、この方法では FSC-BSC 間が 2m 程度必要でコンパクトな測定器にはならない。このシンチレーションカウンタシステムをシリコン検出器のシステムに置き換え、 ΔE 法で粒子の識別ができればコンパクトな粒子識別形組織等価型比例計数管となると考える。シンチレーションカウンタや SSD などの測定器の基礎的測定は所属期間内で行い、放射線計測実験は、主に放射線医学総合研究所 HIMAC を利

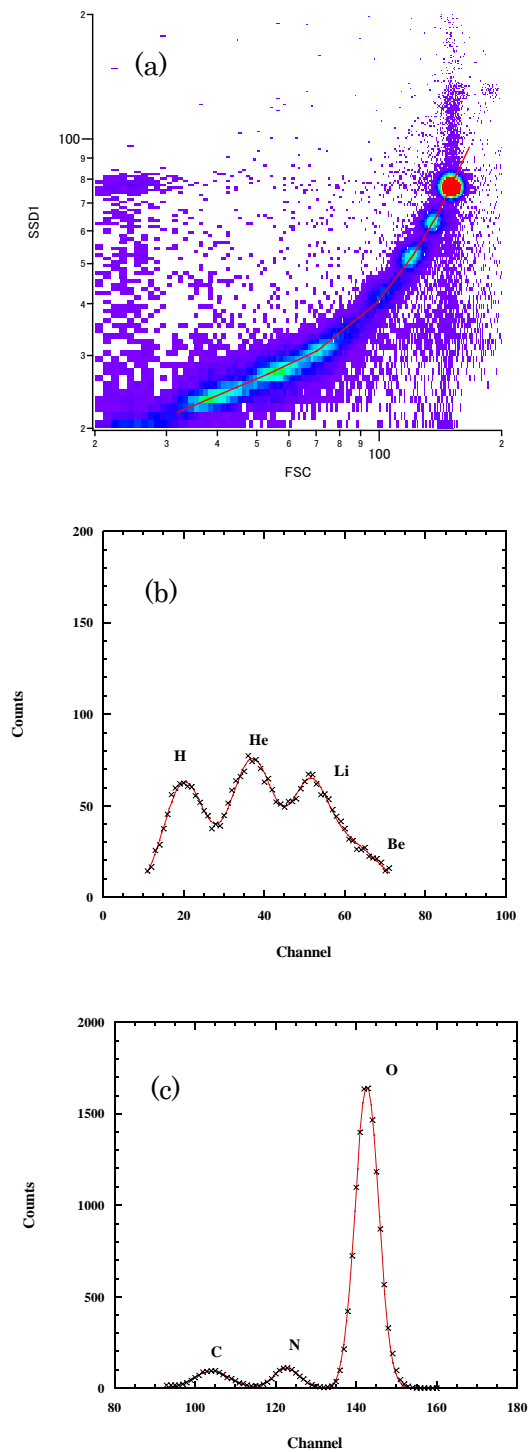


図 1. 酸素ビーム入射に対してシンチレーションカウンタと SSD を併用した粒子識別の例。(a) 散布図、(b) 低 Z 粒子 (H, He, Li, Be) の粒子識別、(c) 高 Z 粒子 (B, C, N, O) の粒子識別

用し粒子識別可能な条件を決定する。

4. 研究成果

まず、基礎的な SSD の試験を行い $500\ \mu\text{m}$ 程度の空乏層厚において、 $Z \geq 6$ の荷電粒子粒子に関して十分な粒子識別が可能であることを確かめた。その結果を利用し SSD2 枚、薄いプラスチックシンチレーションカウンタを併用したシステムを構成し粒子識別能の確認を行った。

測定は、MONO エネルギーの炭素線、酸素線、ネオン線、また SOBП 炭素線、ネオン線に対し Si 半導体検出器を利用して重粒子線が生成する 2 次粒子の識別を行いマイクロドシメトリスpekトルの評価する基礎データを収集した。その結果、ブラックピーク近傍においては粒子識別能が低下するものの、荷電粒子識別が可能であることが分かり、さらに中性子同定にも応用できることが示唆された。荷電粒子と中性粒子についてそれぞれ概要を以下に示す。

荷電粒子

粒子識別に関して、 $Z=6$ 以上の重い粒子に関しては SSD を用いて、それよりも軽い核に関してはプラスチックシンチレータを併用することで、2 次生成粒子を識別して、マイクロドシメトリスpekトルを計測出来ている。図 1 に、MONO エネルギー酸素線の粒子識別例を示す。図 1(a) は、SSD と薄いシンチレーションカウンタの波高相関を密度別に色分けした濃度散布図である。図より酸素ビームに対し 8 つのクラスターが確認でき粒子種を識別できていることがわかる。粒子識別能を評価するため、赤線上のヒストグラムを作成し隣り合ったクラスターの混じりこみ度を評価した。図 1 (b)、(c) は赤線上のヒストグラム (ラインプロット) を示している。8 つのクラスターは正規分布上に現れている。正規分布を仮定しフィッティングを行うことで混じりこみを評価できる。

入射粒子のエネルギーが広がっている場合を想定し炭素線 SOBП ビームの粒子識別能解析例を示す。粒子識別能は、最も悪い場合である炭素線レンジ以深において、同定した粒子の識別能は、He-Li 間で Li と同定した 55% が He のテールであり、Li の 20% 程度が He と分類されていた。その他の場合では、Li

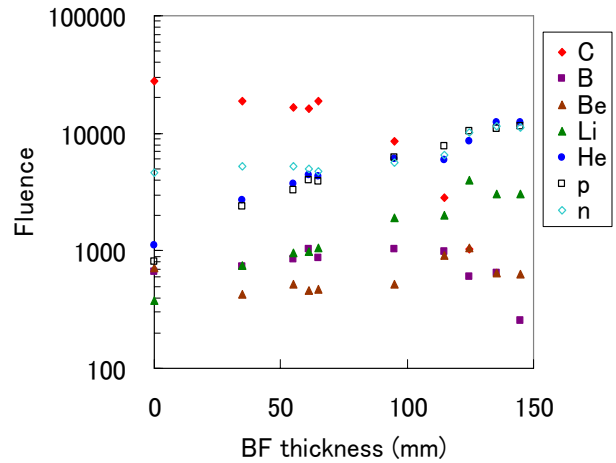


図2. SOBП炭素線がバイナリーフィルタで生成する2次粒子をTEPC直前のシンチレーションカウンタで0パルスハイト (ペダスタル) 事象を中性子と同定したときの粒子束の深さ分布

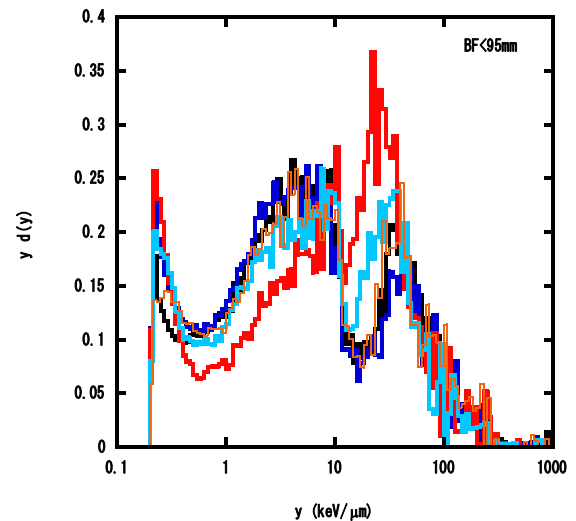


図3. 中性事象で作成したマイクロドシメトリスpekトル

—Be 間、また Be-B 間では 10% 以下で分離できており、まずまずの分離が得られることが示されている。ブラックピーク近傍では、検出器中で止まってしまう粒子の影響で、弁別能が下がってしまうが、粒子識別は可能である。

中性粒子

一方、中性子同定に関しては現構成で十分なデータ収集を行っていないが、veto 法を用いて中性子成分と考えられる事象が同定で

きていることを確認している (図 2 参照)。同定された中性事象に対し作成したマイクロドシメトリシングルイベントスペクトルを図 3 に示す。図 3 では、10keV/ μm 以下の分布と 10keV/ μm 以上の分布で 2 方性を示し、中性子測定でよく見るガンマ線と中性子線の分布に良く似ている。確認が必要であるが、中性子線とガンマ線のマイクロドシメトリスペクトルが得られているものと考えられる。

現在中性子成分と考えている事象は、SOBP ビーム特有の問題と思われる、MONO ビームでは無視できていた非荷電粒子成分 (中性子とガンマ線) より大きな寄与を示している。この事象が中性子成分であることを確かめるために中性子に対する同定効率の評価や中性子エネルギースペクトルの情報を収集し確認することが必要であると考えている。

まとめ

本研究の成果として、SSD と TEPC の組み合わせで、ブラックピーク近傍を除けば、粒子ごとのマイクロドシメトリスペクトルの導出が可能であることが示された。また中性子線の同定の可能性も示唆された。

これらのことから、粒子識別型ガス比例計数管システムは、可能であることが示された。

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 7 件)

1. 遠藤 暁, 高田真志, 田中浩基, 鬼塚昌彦, 田中憲一, 宮原信幸, 星 正治, 石川正純, 木村真三, 静間 清, 炭素 SOBP ビームおよび生成フラグメント粒子のマイクロドシメトリ, Jpn. J. Med. Phys. 29 sup. 1, 133-134, 2009. (査読あり)
2. S. Endo, K. Tanaka, K. Fujikawa, T. Horiguchi, T. Itoh, Y. Onizuka, M. Hoshi, A. Murataka, Y. Kojima and K. Shizuma, Microdosimetry on a Mini-Reactor UTR-KINKI for Educational Uses and

Biological Researches, J. Radiat. Res. 50, 83-87, 2009. (査読あり)

3. K. Tanaka, H. Yokobori, S. Endo, T. Kobayashi, G. Bengua, I. Saruyama, Y. Nakagawa, M. Hoshi, Characteristics of proton beam scanning dependent on Li target thickness from the viewpoint of heat removal and material strength for accelerator-based BNCT, Appl. Radiat. Isot. 67, 259-265, 2009. (査読あり)
4. S. Endo, M. Takada, Y. Onizuka, K. Tanaka, N. Maeda, M. Ishikawa, N. Miyahara, N. Hayabuchi, K. Shizuma and M. Hoshi, Microdosimetric evaluation of secondary particles in a phantom produced by carbon 290 MeV/nucleon ions at HIMAC, J. Radiat. Res. 48, 397-406, 2007. (査読あり)
5. S. Endo, K. Tanaka, M. Takada, Y. Onizuka, N. Miyahara, T. Sato, M. Ishikawa, N. Maeda, N. Hayabuchi, K. Shizuma and M. Hoshi, Microdosimetric evaluation of secondary neutrons in a phantom produced by a 290 MeV/nucleon carbon beam at HIMAC, Med. Phys. 34 (9), 3571-3578, 2007. (査読あり)
6. S. Endo, K. Tanaka, K. Fujikawa, T. Horiguchi, T. Itoh, G. Bengua, T. Nomura and M. Hoshi, Distortion of Neutron Field during Mice Irradiation at Kinki University Reactor UTR-KINKI, Appl. Radiat. Isot. 65, 1037-1040, 2007. (査読あり)
7. 遠藤 暁, 鬼塚昌彦, 田中憲一, 高田真志, 前田直子, 宮原信幸, 早淵尚史, 石川正純, 星 正治, 290MeV/核子炭素ビームが生成する中性 2 次フラグメントのマイクロドシメトリ, Jpn. J. Med. Phys. 26 Sup. 2, 117-118, 2006. (査読あり)

[学会発表] (計 2 件)

1. 遠藤 暁, 高田真志, 田中浩基, 鬼塚昌彦, 田中憲一, 宮原信幸, 星 正治, 石川正純, 木村真三, 静間 清, 炭素 SOBP ビームおよび生成フラグメント粒子のマイクロドシメトリ, 第 97 回日本医学物理学会, 横浜,

4. 17-19, 2009.

2. 遠藤 暁, 鬼塚昌彦, 田中憲一, 高田真志, 前田直子, 宮原信幸, 早淵尚史, 石川正純, 星 正治, 290MeV/核子炭素ビームが生成する中性 2 次フラグメントのマイクロシメトリ, 第 92 回日本医学物理学会, 福岡, 9.29-30, 2006.

[その他]

平成 18 年度放射線医学総合研究所研究成果報告書

平成 19 年度放射線医学総合研究所研究成果報告書

平成 20 年度放射線医学総合研究所研究成果報告書

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 暁 (ENDO SATORU)
広島大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90243609

(2) 研究分担者

田中 憲一 (TANAKA KENICHI)
札幌医科大学・医学部・講師
研究者番号：70363075

(3) 連携研究者

高田 真志 (TAKADA MASASHI)
放射線医学総合研究所・主任研究員
研究者番号：90243609