

機関番号：17102  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20760595  
 研究課題名（和文） 医療用重粒子線のトラック構造直接測定システムの開発と系統的な実験データの整備  
 研究課題名（英文） Development of track structure measurement system for medical heavy ion beams and the collection of systematic experimental data  
 研究代表者  
 若林 源一郎 (WAKABAYASHI GENICHIRO)  
 九州大学・工学研究院・助教  
 研究者番号：90311852

## 研究成果の概要（和文）：

マイクロパターンガス検出器の技術を応用することにより、低圧の人体組織等価ガス中で医療用重粒子線の飛跡に沿って生じる3次元の電離分布を直接測定することを目的とした測定システムの開発を行った。具体的には、マイクロパターンガス検出器の一つであるガス電子増幅器（Gas Electron Multiplier: GEM）を用いて、組織等価ガス中での動作特性を調査し、タイムプロジェクションチェンバー（Time Projection Chamber: TPC）として使用するための基礎実験を行った。

## 研究成果の概要（英文）：

In order to observe the three-dimensional ionization distribution produced along the path of a medical heavy ion beam in low pressure tissue equivalent gas, the measurement system using micro pattern gas detector technology has been developed. In the development, gas electron multipliers were used and the basic properties were measured in several operational conditions to use the system as a time projection chamber.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：放射線工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：マイクロパターンガス検出器、GEM、組織等価ガス、トラック構造、重粒子線

## 1. 研究開始当初の背景

放射線の被ばくによる生物学的な影響は、究極的には細胞内の極微小領域で放射線がどのような物理相互作用を行っているのかによって支配されている。このような観点から、荷電粒子の物質中におけるトラック構造、すなわち荷電粒子の飛跡に沿って直接生じる電離や二次的に生じた荷電粒子

によるさらなる電離の空間分布は、放射線物理の基礎となる物理情報であると考えられ、放射線防護の分野をはじめとする放射線にかかわる様々な分野で従来から大きな関心を集めてきた。しかしながら、このような極微小領域における相互作用を直接観測することは従来非常に困難であり、放射線と物質のミクロな物理相互作用からマクロな生物学的効果を予測する信頼性の高い

物理モデルはいまだ存在していないのが現状である。

ところが近年、高エネルギーの陽子線や重粒子線を利用したがん治療が行われるようになり陽子線や重粒子線が人体組織に付与する線量分布を正確に計算することが求められるようになった。精度の高いシミュレーション計算を行うには、粒子線と細胞内組織との微視的な相互作用に関する信頼性の高い物理モデルを構築することが不可欠である。例えば、粒子線によるDNAの損傷をシミュレーション計算するには、DNA等の細胞内組織のサイズである数十から数百ナノメートルのスケールで粒子線と物質の相互作用をモデル化する必要がある。しかしながら、このような相互作用を直接観測することは極めて困難であり、また比較する実験データもほとんど存在していない。そのため、従来用いられてきた様々な物理モデルでは、主に水を標的とした非常に限られた原子分子断面積データをもとにトラック構造の計算を行っているのが現状であり、実験データの裏付けが不十分である。したがって、現在の線量分布計算の中で最も不確かな部分となっており、陽子線や重粒子線の人体組織中におけるトラック構造に関する系統的な実験データの整備とそれに裏付けられた信頼性の高いトラック構造計算モデルの構築が強く求められている。

## 2. 研究の目的

高エネルギーの陽子線や重粒子線の人体組織中におけるトラック構造を調査するため、マイクロパターンガス検出器の技術を応用することにより、低圧の人体組織等価ガス中で医療用重粒子線の飛跡に沿って生じる3次元の電離分布を直接測定する測定システムを開発することを目的として研究を行った。具体的には、マイクロパターンガス検出器の一つであるガス電子増幅器 (Gas Electron Multiplier: GEM) を用いて、様々な測定条件下で測定を行い、システムをタイムプロジェクションチェンバー (Time Projection Chamber: TPC) として動作させるための基礎的な動作特性を評価した

## 3. 研究の方法

第一段階として、ガス電子増幅器 (GEM) を用いたマイクロパターンガス検出器を製作し、標準的な検出器ガス (アルゴン・二酸化炭素混合ガス) を用いて比例計数管としての標準的な動作特性を調査した。その際、GEM

として近年新しく開発された液晶ポリマーを絶縁材として用いたものを採用し、GEM 検出器製作技術の開発も合わせて行った。

第二段階では、人体組織等価ガスを様々なガス圧下で用いて測定を行うため、ガス圧をコントロールできるテストチェンバーを製作した。その中でGEM 検出器を様々な動作条件で使用するにより、最適動作領域を決めるとともに、低圧下で発生する様々な問題についても考察した。

第三段階として、組織等価ガスとしてメタンベースのものとプロパンベースのものを用いて、様々なガス圧下でガス増幅特性等の動作特性を評価するとともに、3次元位置決定に必要な電離電子のドリフト時間測定の評価も行った。

## 4. 研究成果

(1) 液晶ポリマー製 GEM を用いたマイクロパターン検出器の製作技術の確立し、標準的な検出器ガス (アルゴン・二酸化炭素混合ガス) を用いて、GEM の使用条件 (使用枚数、絶縁体厚さ) による比例領域での動作特性の評価を行った。

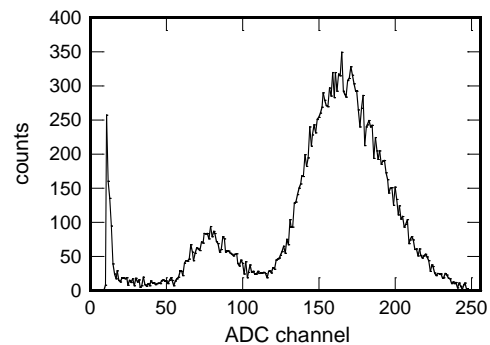


図1: Fe-55 X線源を用いて得られたエネルギースペクトルの例。50  $\mu\text{m}$  厚の液晶ポリマーGEMを2枚使用。混合ガスはアルゴン・二酸化炭素 (70/30)。

(2) 低圧でマイクロパターン検出器を動作させるためのテストチェンバーを製作した。

50  $\mu\text{m}$  厚の GEM を用いた場合、300 hPa から 1000 hPa の範囲で  $10^2$  から  $10^4$  のガス増幅率が得られ、安定に動作することが分かった。また 100  $\mu\text{m}$  厚の場合も同様に 200 hPa から 1000 hPa の範囲で  $10^2$  から  $10^4$  のガス増幅率が得られ、安定に動作することが分かった。

(3) メタンベース及びプロパンベース組織等価ガスを用いた様々なガス圧下での測定を行い、最適な測定条件の決定を行った。その結果、50  $\mu\text{m}$  厚の GEM を用いて安定的に  $10^3$  ~  $10^4$  のガス増幅率が得られることが分かった。

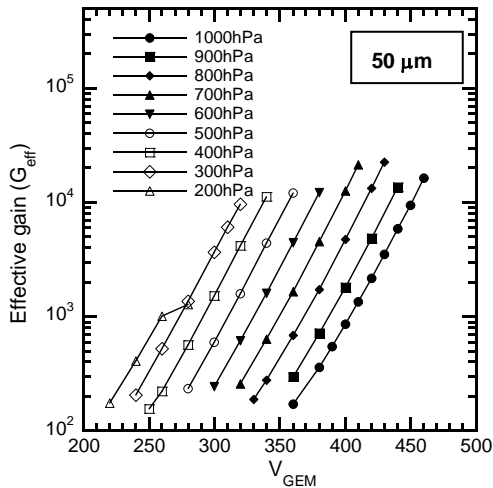


図 2: アルゴン・二酸化炭素混合ガスを様々なガス圧で用いたときの GEM 検出器 (50  $\mu\text{m}$  厚) のガス増幅率特性

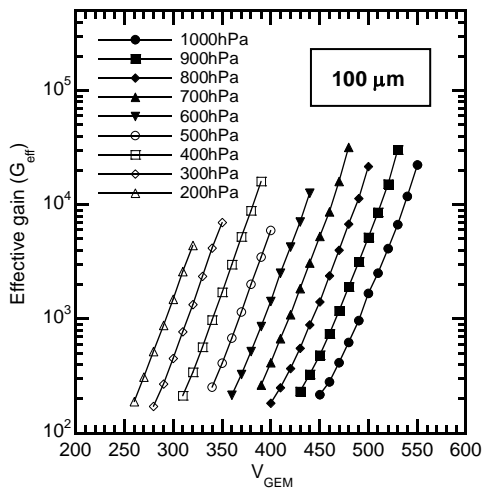


図 3: アルゴン・二酸化炭素混合ガスを様々なガス圧で用いたときの GEM 検出器 (100  $\mu\text{m}$  厚) のガス増幅率特性

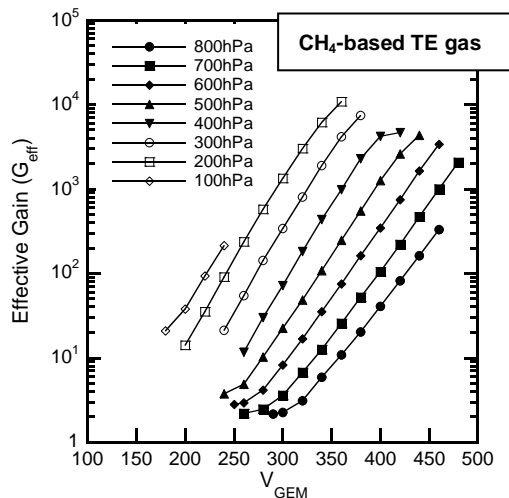


図 4: メタンベース組織等価ガスを様々なガス圧で用いたときのガス増幅率特性。

(4) 検出器ガスを低圧で用いたときに発生するイオンバックフロー現象による問題を観測し、発生機構を考察した。これは、組織等価ガスを 100 hPa 以下で用いたときに発生し、疑似パルスにより測定がきわめて困難であった。したがって、実際に運用ではイオンバックフロー現象を抑制する方法を考案するか、100 hPa 以上のガス圧で使用する必要があることが分かった。

(5) メタンベース及びプロパンベース組織等価ガス中で電離によって発生した電子のドリフト時間を測定し、電子の発生位置を決定するための評価を行った。

(6) 位置読み出しのための 2 次元位置読み出し電極の製作を行った。

これら一連の調査、開発により検出器システムを TPC として動作させ、入射重粒子による電離の 3 次位置分布の測定が可能となった。今後、得られた成果を国内外の学会で報告するとともに、学術論文誌に投稿する予定である。また、検出器システムは今後も維持し、継続して実験を行っていく予定である。

#### 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)

- ① Yousuke Morimoto, Genichiro Wakabayashi, Yohei Fukuda, Kazuya Tahara, "Operation of Gas Electron Multipliers using Liquid Crystal Polymer as an Insulating Foil in Tissue Equivalent Gas", Progress in Nuclear Science and Technology, 査読有, 2011, vol. 1, pp. 320-323.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 「組織等価ガスを用いた GEM 検出器の動作特性」、森元陽介、福田洋平、若林源一郎、日本原子力学会「2008 年秋の大会」、2008 年 9 月 4-6 日、高知工科大学 (高知県香美市)
- ② "Operation of Gas Electron Multipliers using Liquid Crystal Polymer as an Insulating Foil in Tissue Equivalent Gas", Yousuke Morimoto, Genichiro Wakabayashi, Youhei Fukuda and Kazuya Tahara, The Fifth International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-5), 2009 年 7 月 17 日、北九州国際会議場 (福岡県北九州市)

- ③ 「プロパンベース組織等価ガスを用いた GEM 検出器の動作特性」、井原章博、田原和弥、新納史朗、表和歩、若林源一郎、日本原子力学会九州支部第 29 回研究発表講演会、2010 年 12 月 10 日、九州大学（福岡県福岡市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

若林 源一郎 (WAKABAYASHI GENICHIRO)  
九州大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号：