

東京大学大学院 工学系研究科
原子力国際専攻 博士課程 二年
二河久子

「大面積マルチグリッド型マイクロストリップガス検出器の開発」

課題番号:2005A-BRS-04

利用ビームライン:BL46XU

Recently, we have proposed a new Global-Local Grouping method, which divides a signal charge into two parts: one provides a coarse position and the other provides a fine position. In this paper, we introduce a new Global-Local Grouping readout method, which utilizes a geometrical charge division method for cathode signals. We have fabricated an ultra-long microstrip detector whose sensitive length is 640 mm. Test measurement with neutron beam showed good global and local position resolutions, that were estimated to be 32mm and 1.2mm, respectively.

1.はじめに

マイクロパターンガス検出器は、微細加工技術を活用して電極構造を製作することで、高い位置分解能と高計数率特性を実現する新世代のガス比例計数管である。このような特徴を生かすために世界各国の放射線施設や中性子散乱施設において、GEM(Gas Electron Multiplier) やマイクロストリップガス検出器(MSGC; MicroStrip Gas Counter)等の検出器の開発が進められている。しかし、国内の放射光施設においては、従来型の比例計数管や電離箱は広く用いられているものの、マイクロパターンガス検出器の本格的な利用には至っていない。第一世代のマイクロパターンガス検出器である MSGC は、放電損傷などの問題からガス増幅率に大きな制約があったが、我々は電場を安定化し、高いガス増幅率を実現するマルチグリッド型MSGC(M-MSGC; Multi-grid-type MSGC)の開発を進めてきた¹⁻²⁾。M-MSGCは、従来のアノード電極とカソード電極の間に電荷収集には直接関与しない新たな電極(グリッド)を複数本挿入することで、空間電場の安定化を図ったものである。そして、これまでに M-MSGC の可能性を追求する研究を重ね、高いガス増幅率を実現し、安定して動作することを確認してきた。現在は、建設が進められている J-PARC などの新たな大強度放射線源での M-MSGC の利用を目指し、検出器の開発を進めている。次世代の放射線源では、検出器に対して高い計数率下での動作、高位置分解能、リアルタイム測定、大面積化などが期待されている。特に、検出器の大面積化への期待は大きい。本研究では大面積化の実現に向け、初期段階の開発として、640 mm 長の一次元 M-MSGC プレートを試作した。我々はより高い位置分解能を達成するために、新たに Global-Local Grouping 法(GLG 法)を考案し、試作プレートに適用した。本論文では GLG 法の概念を説明する。また、GLG 法を適用した試作プレートでの X 線及び中性子照射実験の結果について報告する。

2.Global-Local Grouping 法

2.1 原理

GLG 法では検出器自体に信号処理の役割を持たせ、意図的に、得られるパルス信号を大ききの等しい二つの信号に分割し、それぞれを独立に測定する。アノード電極近傍で生じた電

子雪崩によって生じる正の電荷を二分し、アノードを挟み両サイドに位置するカソード電極で吸収するのである。二分された電荷の一方は大きなセクションに分割した電極に収集され、大局的(グローバル)な位置情報を与える。他方は細かく分割した電極に収集され、局所的(ローカル)な位置情報を与える。グローバルとローカルのカソード電極に到来するイベントのコインシデンスをとって位置情報を得る。GLG 法の概念図を図 1 に示す。概念図では、グローバルの粗い分割の 1 セクション内でローカルは 10 個のパッドに分割されている。パッドの面積は全て等しい。位置を決定するには、イベントが到達して二分された電荷を受け取ったグローバルと、それに対応するローカルのパッド番号のそれぞれが分かれば良い。グローバルの 1 セクション内でローカルの位置が決定されるので、対となるグローバルが分かれば、ローカルの全てのパッドを個別に読み出す必要はない。そこで、各グローバルに対応するローカルの 1 から 10 に分割したパッドは同じ番号同士を信号線に接続し、グループ化している。図 1 では、グローバル 1、2、3 のパッドのそれぞれに対応するローカル 8、9、10 のパッドをグループ化して信号線に接続している様子を示している。このようにグループ化することによって、信号線の本数を減らすことができる。この GLG 法は二次元位置検出器にも応用でき、その場合にはグローバルのセクションもグループ化する。今、グローバルのセクション数を M 、ローカルのパッド数を N とすると、 $M \times N$ の異なる位置は、GLG 法の適用によって $M+N$ 本の信号線だけで読み出すことができる。これは、各位置毎に増幅器を用意して個別に読み出す場合と比較して、検出器に接続するエレクトロニクスのコストを飛躍的に下げることが可能にする。また、エレクトロニクスが簡略化されることにより、これまではエレクトロニクスの煩雑さ及びコスト面から不可能であった大面積かつ高位置分解能を示す検出器の実現も期待できる。

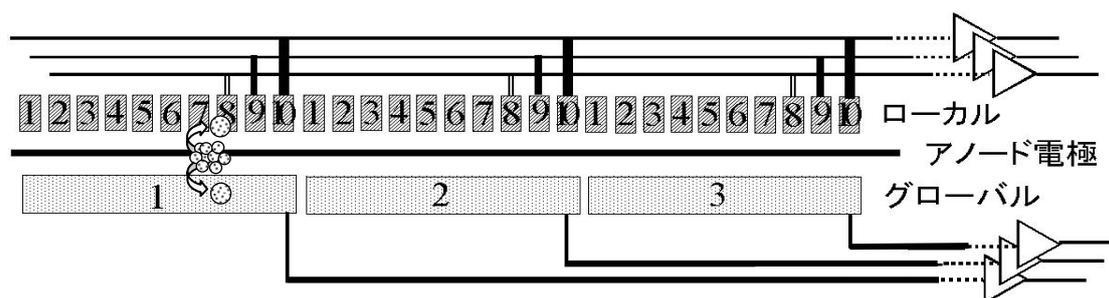


図 1 GLG 法概念図。

電荷は二分されてグローバルとローカルの位置情報を与える。
紙面の都合でローカル側は 8、9、10 の読み出しのみ示した。

さらに、電荷分割法で読み出す一次元検出器に GLG 法を応用することもできる。単純な電荷分割法では、大面積化に伴って読み出す抵抗線が長くなるために位置分解能が低くなる。読み出し線の本数を少なくし、かつ高い位置分解能を達成するには、電荷分割法に GLG 法を応用することが有力な手段となる。グローバルとローカルのカソード電極をパッドに分割し、増幅器 A、B に接続する。A に接続されたパッドと B に接続されたパッドの面積を、位置に応じて変化させれば、A、B それぞれのパッドで収集される電荷量とカソード電極の和で求められる全電荷量との比から、信号の発生位置を求めることができる。このパッドの面積を位置によって変化させるアイデアに類似した位置読み出し法に電荷密度法³⁾がある。しかしながら、電荷密度法ではワイヤの密度変化を用いていたため、ワイヤピッチの制約から精度よく信号比を制御することは困難であった。GLG 法を応用した一次元プレートの概念図を図 2 に示す。カソード電極を櫛の歯状に噛み合わせた形状をとっている。これは、プレート製作上での効率の良さと、プレート表面のガラス部分が露出することによる表面電荷の蓄積を防ぐ点でも利点となる。グローバルのパッドは 1 セクションの中で同じ面積を保つ。対応するローカルのパッドは面積を単

調に変化させる。ローカルのパッドは、隣合うグローバルの2セクション内で面積を周期的に変化させる。

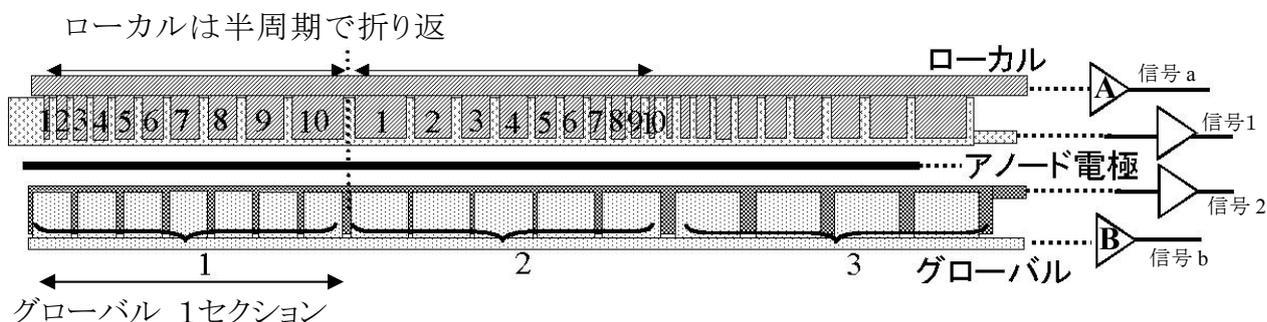


図2 GLG法を応用した一次元プレート。

アノード電極の両サイドに配されるカソード電極に幾何学的な工夫を施している。信号の読み出しは電荷分割法を用い、一本のカソード電極からは一本の読み出し線しか引き出さない。そのため、パッドのサイズを変えて信号の大きさが異なることを利用して位置の決定を行う。それぞれのパッドは信号線に接続され、外側(a, b)と内側(1, 2)から四本の信号が読み出される。

2.2 プレートデザイン

アノード電極の両側に配されるカソード電極に、それぞれグローバルとローカルの位置情報を取得する役割を担わせ、GLG法を適用した。グリッドは四本挿入している。図3に試作プレートの写真を示す。グローバルは有感領域全長に渡って32mmごとに、パッドの面積が単調に変化するようにデザインしている。ローカルは、グローバルでの1セクション(32mm)の中で、0.4mmごとにパッドの面積を変化させている。先の2.1項でも説明したように、グローバルからの信号の大きさは単調に変化し、ローカルからの信号の大きさは、グローバルの2セクション内で周期的に変化する設計となっている。

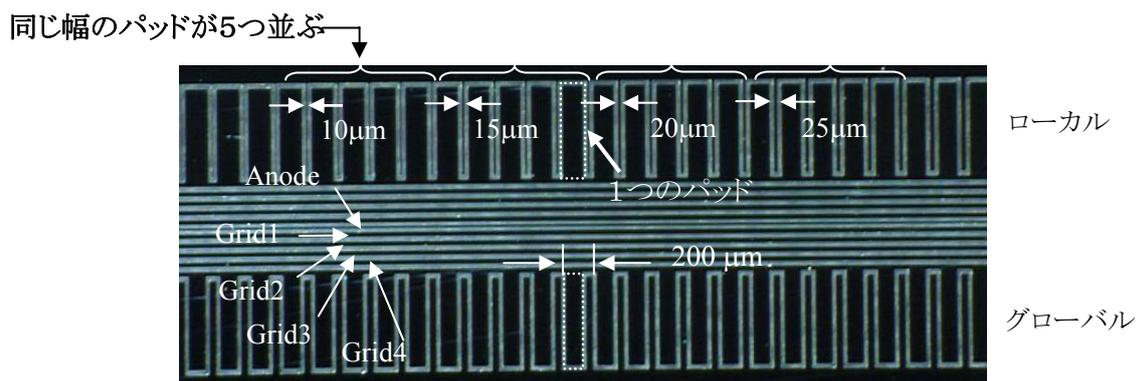


図3 GLG法を適用した一次元プレートの写真。

パッドは櫛の歯状に噛み合せた外側と内側で、合わせて200μm内でその幅を変化させる。グローバルではパッド幅を16μm, 32μm, 48μm, …と、セクションごとに変化させる。ローカルではパッド幅を5μm, 10μm, 15μm, …と、5つのパッドごとに変化させる。32mmの1セクションには160個のパッドが配列されている。

3. 実験

3.1 X線照射実験

カソード電極に適用した GLG 法の基本動作の確認を目的とし、SPring-8 の、ビームライン BL46XU において 12keV の X 線を 20 μ m 角にコリメートして照射した。Ar(70%) + CH₄(30%) のガスを流し、ガス増幅率 1000 の条件で、アノード電極とカソード電極 1、2 の信号を読み出した。これは、カソード電極 1、2 の線幅が太く、抵抗値が小さいからである。X 線ビームをアノード電極に平行にスキャンしたときに得た結果を図 4 に示す。グローバルの信号は単調増加を示した。ローカルの信号は、対応するグローバルの 1 セクションの中で半周期分の変化を示した。位置分解能はローカルでは 9.85mm(FWHM) と求まった。グローバルの位置分解能は設計した値を達成できなかった。グローバルで十分な位置分解能を達成できなかった理由は、全長が 640mm と長いために電極の静電容量が大きくなり、期待した大きさの信号対雑音比(S/N 比)を得ることができなかったことによるとこの時点では考えた。

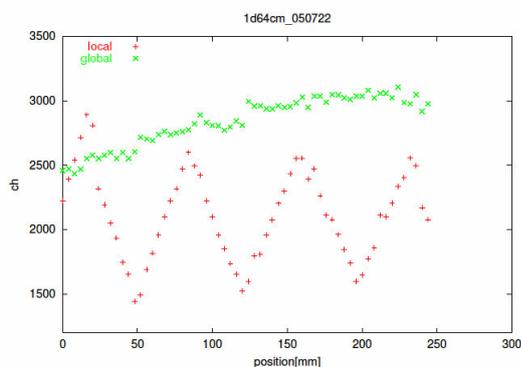


図 4 X 線ビームをスキャンしたときに得たグローバルとローカルからの信号。縦軸はチャンネル、横軸は X 線ビームの位置。

3.2 中性子照射実験

X 線照射実験で GLG 法を適用したプレートの基本動作を確認したことに続き、日本原子力研究開発所(JAERI)、JRR-3 のビームライン(NOP)において、波長 8 \AA の中性子ビームを 1mm 径にコリメートして照射した。³He (0.5 atm) + CF₄ (2.5 atm) のガスを封入し、ガス増幅率 350 の条件で、X 線と同様の信号読み出しの配線を組んだ。また、先の X 線照射実験を受け、カソード電極を中央で分割し、静電容量を半分にして S/N 比の向上を図った。結果を図 5 に示す。位置分解能はグローバルで 74mm、ローカルで 3.6mm と求まった。

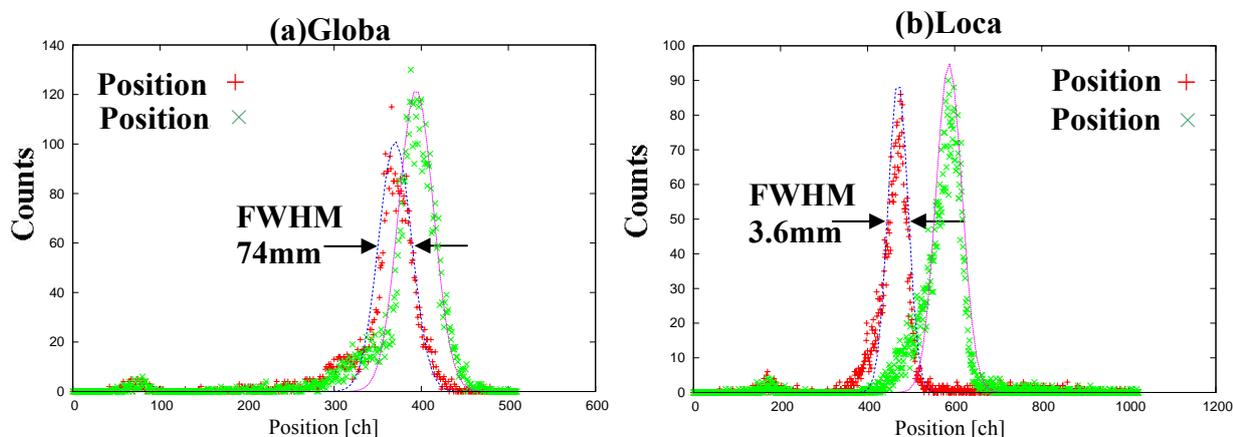


図 5 中性子ビームをスキャンしたときに得たグローバルとローカルからの信号。縦軸はカウント数、横軸は中性子ビームの位置。(a)グローバル、(b)ローカルからの信号。中性子ビームの照射位置は position1 を原点として、position2 が 12mm、position3 が 32mm の位置。

4. データ解析

X線照射実験を受けて、中性子照射実験では雑音の低減を図ったにも関わらず、グローバルでの位置分解能は向上しなかった。そこで、位置分解能を決める S/N 比以外の要素を見出すために、中性子を一点にコリメートして照射した時の、イベント毎のグローバル対ローカル信号の波高値二次元マップを作成した。それを図 6 に示す。今回の実験では、櫛の歯状に噛み合わせた外側のカソード電極から信号 a, b のみを読み出し、アノード電極から読み出した信号量として用いたため、イベント毎に収集される電荷の分割で生じるばらつきが見えた。本来ならば一点に集中するべきデータ点が、グローバルの位置(図 6 X 軸)とローカルの位置(図 6 Y 軸)に相関を持つ直線上($X+Y=$ 一定)に分布している。これは、イベント毎にグローバルとローカルへ電荷が均等に二分されるのではなく、分割にばらつきがあることを示している。そこで、二次元マップを元に、グローバルとローカルでの電荷収集量のばらつきを取り除く補正を行い、位置分解能を計算した。補正では、(1) $X+Y =$ 一定の直線上に分布したプロットを、この直線と垂直な直線上に射影し、(2) (1)での射影によって電荷収集量のばらつきを除いた二次元プロットを、それぞれグローバルとローカルの位置へと射影する作業を行った。電荷収集量のばらつきを除いた後には、グローバルで 32mm、ローカルで 1.2mm の位置分解能を達成した。これは、設計当初に狙った通りの位置分解能である。

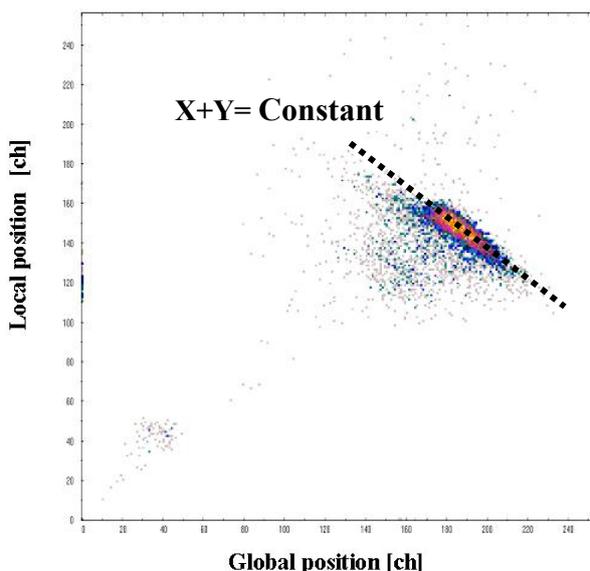


図 6 任意の場所で中性子を照射した時の波高値二次元マップ。各イベントをグローバル対ローカルで二次元にプロットしている。X 軸がグローバルの位置、Y 軸がローカルの位置。

5. 二次元 GLG 試作プレート

一次元GLGプレートの実験と並行して、多層膜技術を用いた二次元 GLG 試作プレートの開発も進めた。試作品は 65mm 角の有効面積を持ち、グローバルとローカルを 9 本ずつ、アノードとローカルのそれぞれから読み出すようにデザインされている。14keV の X 線を $\Phi 400\mu\text{m}$ にコリメートして照射した。本試作品は、挿入した 2 本のグリッドに欠損があったため、ガス増幅率は 50 程度と低めであった。Ar(70%) + CH₄(30%) のガスを流し、アノード電極のグローバルとローカルの信号を読み出した。位置分解能は 0.8mm (FWHM) を達成した。位置スキャンの結果を図7に示す。

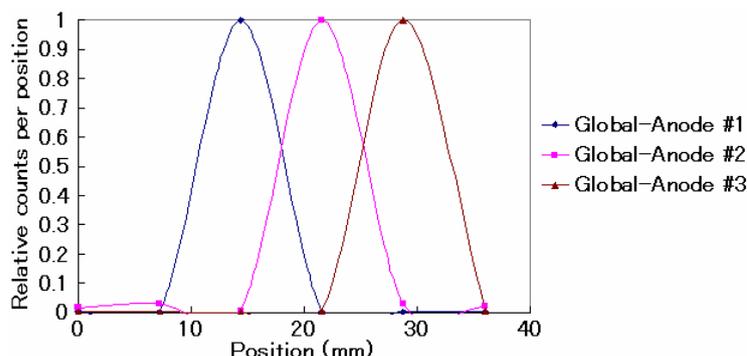
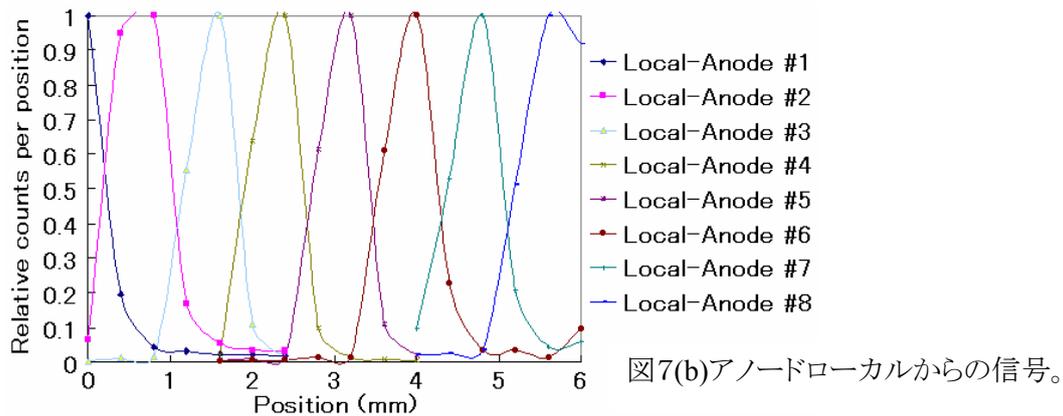


図7(a)X線ビームをスキャンしたときに得たアノードグローバルからの信号。縦軸はチャンネル、横軸はX線ビームの位置。



6.まとめ

M-MSGC でこれまで用いられてきた電荷分割法に加え、新たに検出器を大面積化し、かつ高位置分解能を実現する GLG 法を開発した。GLG 法を適用した 640mm 長の一次元のプレートを試作し、X 線及び中性子ビームの照射実験を行った。本実験で GLG 法の有効性を確認し、位置分解能はグローバルで 32mm、ローカルで 1.2mm を達成した。今回は、アノード電極からの信号を用いることとし、カソード電極の外側からしか信号を読み出さなかったために、イベント毎に電荷収集量のばらつきが生じ、補正が必要となった。今後、櫛の歯状に噛み合わせたカソード電極の内側からも信号 1、2 を読み出すことで問題は解決されると思われる。四本のカソード電極から信号を読み出し、データ取得時に、イベント毎の電荷収集量のばらつきを排除できるようにする。多層膜技術を用いた二次元 GLG 試作プレートは、GLG 法の原理を確認することができた。欠損のないプレートの作成と、今後は信号読み出し回路の開発に取り組む。

参考文献

- 1) H. Takahashi, K. Mori, *et al.*, "Development of a new multi-grid-type microstrip gas chamber", Nucl. Instr. and Meth., A 477, (2002)13.
- 2) H. Takahashi, P. Siritiprussamee, *et al.*, "Development of a two-dimensional multi-grid-type microstrip gas chamber for spallation neutron source", Nucl. Instr. and Meth., A 529, (2004)348.
- 3) E. Mathieson, G.C. Smith and P.J. Gilvin, Nucl. Instr. and Meth. A174(1980)221.