

Title	二次元位置検出多線比例計数管の基礎的研究
Author(s)	山本, 卓; 佐藤, 一弘; 入江, 五朗
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1978, 38(8), p. 792-799
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20723">https://hdl.handle.net/11094/20723</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 二次元位置検出多線比例計数管の基礎的研究

北海道大学応用電気研究所 ME 部門 (主任: 吉本千禎教授)

山 本 卓 佐 藤 一 弘

北海道大学医学部放射線医学講座

入 江 五 朗

(昭和53年2月20日受付)

(昭和53年3月17日最終原稿受付)

## A Fundamental Study of Multiwire Proportional Chamber

Takashi Yamamoto and Kazuhiro Sato

Department of Medical Electronics, Hokkaido University Research Institute of

Applied Electricity (Director: Prof. Chiyoshi Yoshimoto)

Goro Irie

Department of Radiology, Hokkaido University School of Medicine

---

Research Code No.: 705

---

Key Words: MWPC, Radionuclide imaging, Spatial resolution,  
Sensitivity

---

Recently, multiwire proportional chambers(MWPC) have been used for a variety of applications including X-ray radiography, neutron radiography and particle trajectory measurements.

For the application to medical radionuclide imaging, a MWPC with sensitive area of  $120 \times 120$  mm- was constructed and studies were made on the characteristics for gamma-rays, particularly for 140 keV gamma-rays from Tc-99 m. In this system, delay-line readout method was used and data rate of about 200 k counts/ sec was possible. Its spatial resolution for Tc-99 m was 6 mm FWHM with PR-gas and 4.5 mm FWHM with Xe-gas. For Am-241 (60 keV), 3.6 mm FWHM with PR-gas was obtained. In addition, the sensitivity of MWPC was compared to that of scintillation camera. From phantom study, it was demonstrated that it separates the 3 mm lead bar pattern for Tc-99 m.

### I. 緒 言

3次元 RI イメージング, コーデットアパーチャ・イメージング, 動態機能検査など広範な分野で大視野, 高分解能のガンマ線検出器が望まれている. 現在最もよく使われているアンガー型シンチカメラでは, コストおよび感度の不均一の問題から視野の拡大は容易ではなく, その形状も光電

子増倍管の配置の問題から制限をうける.

我々は大視野のガンマ線検出器として, 現在X線回折, 荷電粒子の飛跡検出, ポジトロンカメラなどその利用分野<sup>1)2)</sup>が広がりつつある多線比例計数管(MWPC; multiwire proportional chamber)が有利であると考えている. MWPCは大視野の実現が容易で形状の変化<sup>3)</sup>も比較的容

易であり、適度な時間分解能をもつという特長を備えている。MWPCの核医学への応用<sup>4)</sup>に関してもこれまでいくつか研究がなされ、キセノンガス1気圧の動作条件で、MWPCは100keV以下のエネルギーのガンマ線に対して、感度および空間分解能ともすぐれた特性を示すことが報告されている。しかしながらガンマ線のエネルギーが高くなるにつれてガス分子などと相互作用する確率が減少し、また相互作用で生じる電子のエネルギーが高くなるためにガス中での飛程も大きくなり、感度、空間分解能とも低下し、<sup>99m</sup>Tc(140keV)に対しては感度および空間分解能ともシンチカメラに比べて劣ると報告されているが、定量的な評価はなされていない。また計数管用のガスとして安価なPRガスを使用した場合の特性についても報告されていない。

本論文では外形350mm×350mm、検出部面積120×120mm<sup>2</sup>、ガスフロー方式のMWPCを試作し、PRガス(Ar 90%+CH<sub>4</sub> 10%)とキセノンガス(Xe 93%+CO<sub>2</sub> 7%)の2種類のガスを用いてガンマ線とくに核医学の分野で広く用いられている<sup>99m</sup>Tcに対する基礎特性について実験した結果を報告する。

## II. MWPC 画像装置の概要

MWPCは一般に使われている比例計数管を位置検出用に2次元に拡張したもので、動作原理は同一である。試作したMWPCの概略図および写真をFig. 1に示す。一般の比例計数管と構造上大きく異なる点は、陰極および陽極がそれぞれ平行に張られた多数の細いワイヤから構成されている点である。互いに直交した両陰極の各ワイヤはほぼ独立した位置検出器となっており<sup>5)</sup>、それぞれX、Y座標を検出する。しかし信号パルスが1本のワイヤ上だけでなく、そのワイヤを中心に近傍の数本のワイヤ上に同時に生じるため<sup>6)</sup>、この信号の広がり解像度を劣化させる原因となる。この問題に関しては、一連のパルスの中心(重心)を検出する読み取り方式を用いることにより改善できる。これまで種々の読み取り方式が研究されてきたが<sup>7)8)</sup>、中心座標読み取り方式の

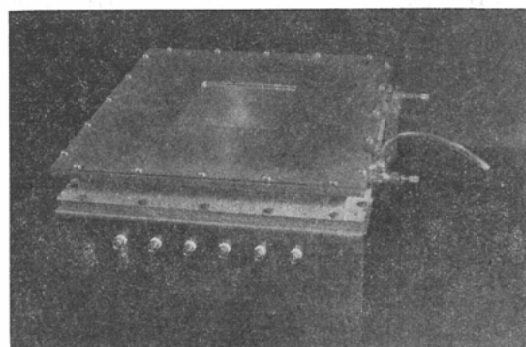
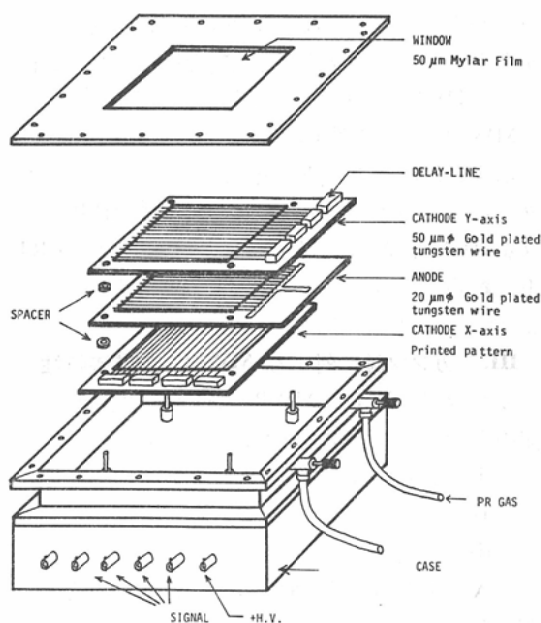


Fig. 1 Schematic diagram and photograph of the constructed MWPC.

Table 1. Details of MWPC.

Anode wire : 20μmφ Gold plated tungsten wire
Space between wires : 3mm
Cathode wire : 50μmφ Gold plated tungsten wire
Space between wires : 3mm
Cathode-Anode gap : 3~5mm
Window : 50μm Aluminized mylar film
Chamber size : 350mm×350mm
Sensitive area : 120mm×120mm
Gas-flow type : PR gas, Xe Gas, 1 atm.
Readout : Delay line method
Delay time between wires : 20nsec

一つの方法として位置情報を時間遅れに変換して検出するディレイライン方式<sup>9)</sup>を採用した。試作した MWPC の詳細を Table 1 に示す。

MWPC 画像装置全体のブロック図を Fig. 2 に示す。XY 座標は読み出し回路から直接デジタル量で出力されるが、現在の装置では位置データを D/A 変換し、それをオシロスコプの CRT 上に輝点で表示し、フィルム上で集積することにより画像を得ている。

### III. ガンマ線に対する MWPC の基礎特性

ガンマ線に対する MWPC の基礎特性として下記のものについて検討した。すなわち、

- (i) 計数率特性
- (ii) 感度
- (iii) 空間分解能
- (A) 中心座標読み取りを行わない場合の空間分解能
- (B) 中心座標読み取りを行なった場合の空間分解能

各検討課題に対する実験方法および結果を以下に述べる。

#### (i) 計数率特性

MWPC の分解時間については、イオン・シースが陽極の一部に局所的に生じるため、他の部分での計測が可能であり、GM 計数管、スパーク・チェンバーなどの不感時間に相当するものはない。同一部分に対する分解時間は 200~500nsec<sup>6)</sup>と報告されており、分解時間はほとんど増幅器、読み出し回路、ディスプレイ装置などの電子回路の分解時間で決定されるものと考えてよい。

ディレイライン方式を用いた現在のシステムでは、読み出し回路における分解時間が約 1.8 $\mu$ sec、ディスプレイのための Z-unblank 信号パルス幅が約 2 $\mu$ sec であり、主としてこの 2つが装置の計数率に制限を加えている。計算の結果、システム全体の分解時間は約 4 $\mu$ sec となり、計数損失 80% において毎秒約 200k カウントの計測が可能である。実験において毎秒約 100k カウントまで確認しているが、高計数率での計測が画像に及ぼす影響については検討していない。

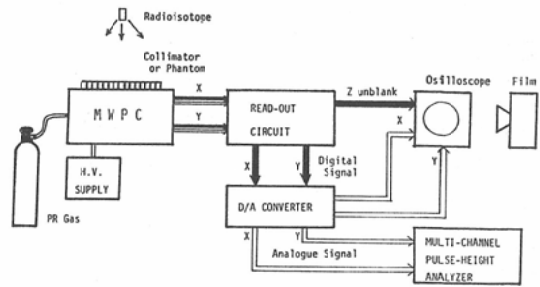


Fig. 2 Schematic diagram of the MWPC radio-nuclide imaging system.

#### (ii) 感度

MWPC への印加電圧、ガスの種類が感度に及ぼす影響およびアンガー型シンチカメラとの感度比較実験を行なった結果について述べる。

印加電圧およびガスの種類が感度に及ぼす影響を調べるため、線源として 5mCi の <sup>99m</sup>Tc を水で薄めて試験管に満たしたものをを用い、MWPC からの距離および配置を固定することで同一濃度の線源とみなし、PR ガスとキセノンガスの 2 種類のガスに関して、印加電圧を変化させて各電圧に対する毎秒カウント数を測定し、その結果からバックグラウンドを差し引いた値を求めた。ガス交換のために 30 分程度の時間差があるが時間補正は行なっていない。実験結果を Fig. 3 に示す。印加電圧の増加とともにガス増幅率は増大し<sup>11)</sup>、

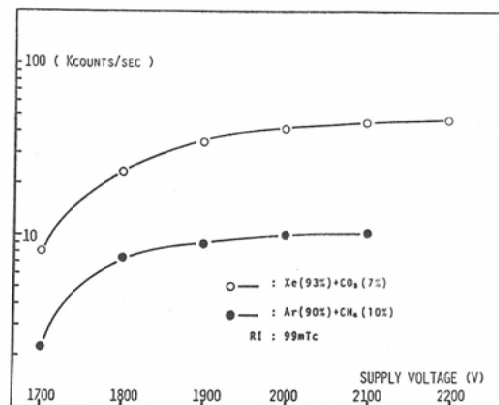


Fig. 3 Relationship between supply voltage and sensitivity of MWPC. : Over 2.2 kV, measurements were often troubled by the discharge of chamber.

カウント数も増加した。試作した MWPC では、約 2kV 以上でカウント数はほぼ一定の値を示した。この状態で MWPC の最高感度が得られ、原子番号の高いキセノンガスを用いた場合、PR ガスに比較して約 4 倍感度が増加することを確認した。

MWPC の他のガンマ線検出器に対する相対的な感度を検討するため、最も多く使用されているアンダー型シンチカメラとの感度比較実験を行なった。実験はシンチカメラ (Pho/Gamma III ; Nuclear-Chicago) のコリメータを取りはずした状態で行ない、シンチカメラと MWPC の視野が異なるため、直径 3cm 程度の円内にだけ照射するようにコリメートし幾何学的効率を等しくして同時に測定を行なった。線源として約 5 $\mu$ Ci の  $^{99m}\text{Tc}$  を用いた。この場合も測定値からバックグラウンドを差し引いた値に関して比較した。実験の結果、シンチカメラの毎分約 114600 カウントに対して MWPC では毎分 570 カウントという値を得た。即ち PR ガスを使用した MWPC の  $^{99m}\text{Tc}$  に対する感度はシンチカメラ (20% window) に比較して約 200 分の 1 であった。

(iii) 空間分解能

はじめに中心座標読み取りを行わない場合の空間分解能について述べ、さらに中心座標読み取り方式としてディレイライン方式を用いた現在のシステムに関して、MWPC への印加電圧、ガスの種類、核種のちがいが空間分解能に及ぼす影響について検討した結果を述べる。

(A) 中心座標読み取りを行わない場合の空間分解能

この実験では陰極ワイヤ数 12 本、ワイヤ間隔 1mm、陽極ワイヤ 1 本から構成された基礎実験用の MWPC を使用した。各陰極ワイヤは 100k $\Omega$  の抵抗を通じて接地されている。線源は 1mCi の  $^{99m}\text{Tc}$  および  $^{125}\text{I}$  を用い、細いビーム状にコリメートしたガンマ線を 1 本の陰極ワイヤ上に入射させ、各陰極ワイヤからの信号パルス数を測定した。各ワイヤからのパルス数を同時に測定することが望ましいが、ここでは順次各ワイヤの毎分

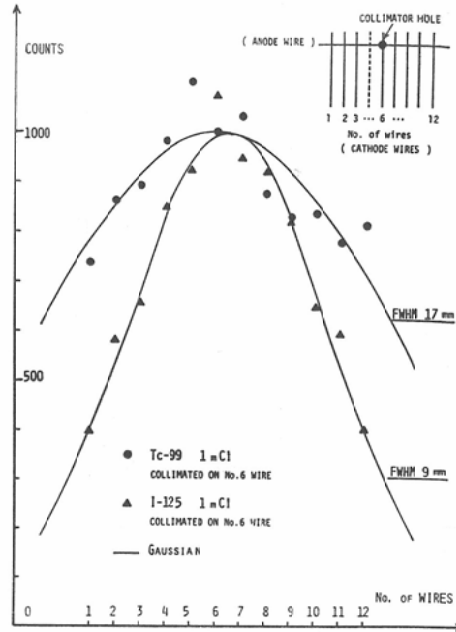
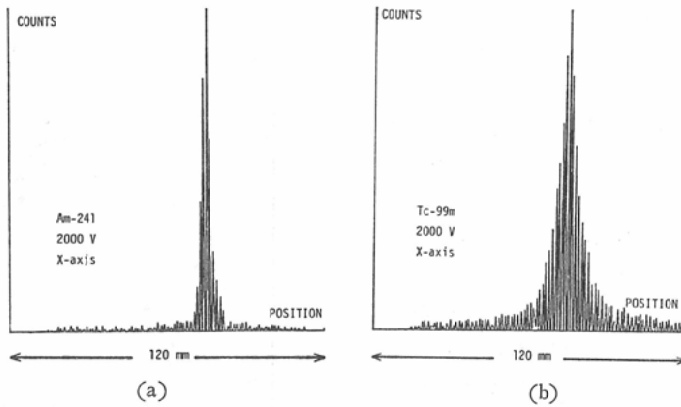


Fig. 4 Examples of point spread functions taken with MWPC without delay line readout. : These were approximated by a Gaussian.

カウント数を測定することにより Point Spread Function (PSF) を得た。この様にして得られた PSF はバラツキの大きい分布であるので、電子計算機を用いて最小二乗法によりガウス分布近似を行ない、空間分解能はこの分布の FWHM (Full Width at Half Maximum) で表わした。実験結果は近似した分布の最大値が 1,000 カウントになる様に正規化して Fig. 4 に示した。 $^{99m}\text{Tc}$  に対して FWHM 約 17mm,  $^{125}\text{I}$  に対して約 9mm という実験結果を得た。これらの値は位置検出器として不十分であるが、これはすでに述べた様に座標の読み取りにおいて信号の広がりに対する処理を行なっていないことに起因するものと思われる。

(B) 中心座標読み取りを行なった場合の空間分解能

実験は細いビーム状にコリメートしたガンマ線を MWPC に入射させ、X, Y 各座標に関する位置データを D/A 変換し、これをマルチチャン



(a) Am-241 (60 keV), 10 $\mu$ Ci, anode voltage=2.0kV, measuring direction ; X-axis  
 (b) Tc-99m (140 keV), 2mCi, anode voltage=2.0kV, measuring direction ; X-axis  
 Fig. 5 Examples of point spread functions taken with MWPC with delay line readout.

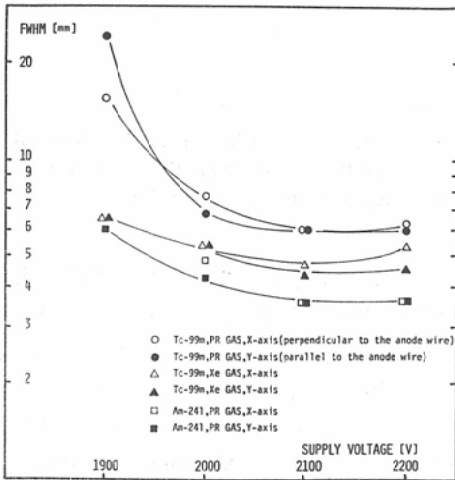


Fig. 6 Relationship between supply voltage and spatial resolution (FWHM) of MWPC. : Effects of the gas and energy of source are shown.

ネル波高分析器に入力し、X、Y各軸に関するPSFを測定した。線源として2mCiの<sup>99m</sup>Tcと10 $\mu$ Ciの<sup>241</sup>Amを用いた。得られたPSFの1例をFig. 5に示す。Fig. 5において縦軸は最大カウント数により正規化されている。空間分解能はこの分布のFWHM[mm]で表わした。実際にはできるだけ誤差を少なくするため、横軸を2倍に引き伸ばして描いたPSFから求めた値を用いた。X座標は陽極ワイヤと直角方向の陰極ワイヤにより、Y座標は陽極ワイヤと平行に張られたワ

イヤにより検出されるため、X、Y両方向に対して空間分解能を検討する必要がある。実験結果のまとめをFig. 6に示す。

全体の傾向として印加電圧の低いところでは空間分解能は悪い。これはガス増幅率が不十分なため、得られた信号パルスの振幅が小さすぎて読み取りが不完全であつたり、S/N比が低いために空間分解能が低下していると考えられる。印加電圧の増加とともにガス増幅率も増加し、S/N比が向上するため分解能は向上する。しかし、さらに印加電圧を増加させるとかえつて分解能は低下している。これはコンプトン散乱電子の検出、ワイヤ上の突起などのために生じる局所的な放電による雑音など空間分解能劣化の因子が増加したためと考えられる。主な原因が局所的な放電である場合には工作精度の向上により改善できるものと思われる。また、X軸とY軸とで空間分解能が異なるのは位置検出器として不都合であるが、Fig. 6でも示した様に適当な印加電圧で動作させれば問題はない。PRガス1気圧の動作条件で<sup>99m</sup>Tc(140keV)に対してFWHM約6mm、<sup>241</sup>Am(60keV)に対しては約3.6mmの空間分解能を示した。さらに高エネルギーのガンマ線に対しては電子の飛程が増加するため分解能は低下するものと考えられる。図には示していないが、<sup>137</sup>Cs(660keV)に対してはFWHM約25mmを得た。

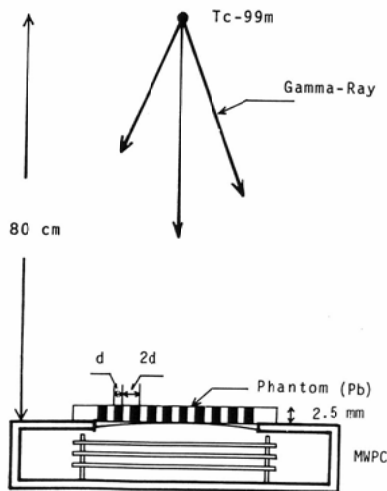


Fig. 7 Relation of MWPC, phantom and source for imaging bar-pattern.

これまでも述べた様に、MWPC は低いエネルギーのガンマ線に対してすぐれた空間分解能をもつものと考えられる。

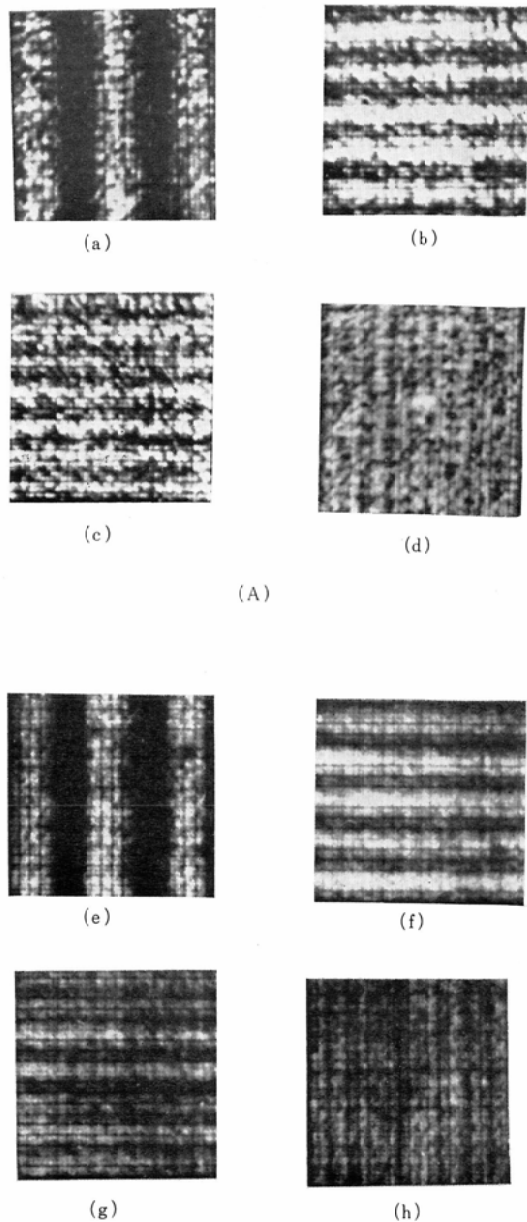
また、原子番号の高いキセノンガスを用いて実験した結果、 $^{99m}\text{Tc}$  に対し FWHM 約4.5mm と空間分解能が少し改善された。これは感度の増加による S/N 比の向上および電子のガス内での飛程の減少によるものと考えられる。

#### IV. ファントム実験

現在の装置で分離できる限界を確認するため、厚さ2.5mm、幅  $d$  の鉛を  $2d$  の周期で並べた鉛バーファントムを作製し、このファントムを Fig. 7 に示す様に MWPC の検出窓に密着させ、ガンマ線を一様に入射させて画像を撮影し、このファントムを分離して撮影できる最小の  $d$  の寸法を調べた。線源は 5mCi の  $^{99m}\text{Tc}$  を水で薄めて試験管に満したものをを用い、MWPC から 80cm の距離に置き平行線源とみなした。実験結果を Fig. 8 に示した。Fig. 6 に示した結果から予想される様に、 $^{99m}\text{Tc}$  に対して 3mm の鉛バーファントムをほぼ分離することができた。

#### V. 考察

ここでは MWPC により大視野のガンマ線検出器を実現する場合に問題となる点を中心に、実



(A)

(B)

Bar-size and exposure time are, (a) 10mm, 60sec, (b) 5mm, 120sec, (c) 4mm, 120sec, (d) 3mm, 90 sec, (e) 10mm, 30sec, (f) 5mm, 60sec, (g) 4mm, 60sec, (h) 3mm, 60sec,

Fig. 8 Transmission bar-patterns taken with MWPC. These were taken at 140keV( $^{99m}\text{Tc}$ , 5mCi), (A) with PR gas and (B) with Xenon gas.

験結果に対する考察を行なった。

MWPC の特長は計算機処理に関して都合の良い四角形の視野をもち、ワイヤ数を増加してゆくことで視野の拡大ができるという点であるが、ワイヤが長くなつた場合に陽極ワイヤの強度の問題が生じ、陽極ワイヤをナイロン線などで支持するなどの工夫<sup>6)</sup>が必要となつてくる。2.6m×1.3mという大視野の MWPC<sup>12)</sup>も作製されており、これら工作技術上の問題に関して報告されている。

計数率はシステムの電子回路の分解時間でほぼ決定され、ディレイライン読み取り方式を用いた現在のシステムの分解時間は約4 $\mu$ secであつた。しかし現在のシステムのまま1m×1mの視野に拡大した場合、分解時間は約17 $\mu$ secとなり計数率特性が低下するという問題が生じる。しかしながらこの問題に関しては、読み出し回路におけるクロックパルスの周波数を高くして、ワイヤ間のディレイタイムを減少することにより、あまり空間分解能を低下させずに分解時間を改善できると考えている。さらに高計数率での測定を必要とする場合には他の読み取り方式<sup>13)14)</sup>を検討する必要がある。

MWPC に適した核種として <sup>125</sup>I (35keV), <sup>197</sup>Hg (77keV), <sup>133</sup>Xe (81keV), <sup>195</sup>Au (99keV)があげられているが<sup>4)</sup>, <sup>99m</sup>Tc に対する感度は PR ガス 1 気圧の動作条件において、アンガー型シンチカメラの約200分の1という実験結果が得られた。キセノンガスを用いることにより約4倍感度が增加され、さらに空間分解能も改善されることを示したが、キセノンガスは非常に高価であるためガスフロー型での使用は現実には不可能と思われる。キセノンガスを使う場合には密封型にする必要があり、チェンバーの気密性、耐久性、材質、構造など工作技術上の問題点が増加する。

他の感度増加の方法として、有効容積を増加させる方法<sup>15)</sup>、ガス圧を増加させる方法<sup>16)</sup>、固体コンバータを用いる方法<sup>15)17)</sup>などが報告されている。有効容積を増加させる方法は、検出窓と検出部の間のガス容積を増加させる方法で最も簡単な

方法であるが、その効果はあまり大きくなく、検出窓と検出部の間の距離が増加することにより空間分解能が低下するという問題が生じる。ガス圧を増加させる方法により、感度および空間分解能の改善がなされたと報告されているが、同じガス増幅率を得るためにはより高い印加電圧が必要となり、高圧電源および絶縁の点からも問題が生じ、工作技術の困難さとあわせて大視野の実現は容易ではないと考えられる。困体コンバータを用いる方法は、固体と放射線との相互作用で生じた2次電子を電界により MWPC の検出部へ導くという原理を使つたもので、この方法を使つて MWPC の中性子検出器およびポジトロンカメラへの応用<sup>15)</sup>が研究されている。現在のところ、<sup>99m</sup>Tc に対する感度増加法としてどの方法が良いかという評価は下せないが、我々は固体コンバータを用いる方法を現在検討中である。大視野の実現の容易さという点からは、安価な PR ガスを用いてガスフロー型にする方法が望ましく、この方法はチェンバーの構造をほとんど変えないで感度増加が実現できるという利点があり、現段階では PR ガスを用いた MWPC に関して2~3倍の感度増加を確認している<sup>18)</sup>。

エネルギー分解能については検討していないが、5.9keV の X 線に対して15%のエネルギー分解能が得られたという報告<sup>1)</sup>がある。しかし、ガンマ線とガス分子との相互作用だけでなく、壁およびワイヤから放出される電子の効果も大きいと思われるので、MWPC はエネルギーの測定を目的とした応用には適さないと考えている。

## VI. 結 語

検出面積120×120mm<sup>2</sup>の MWPC を試作し、計数管用ガスとして PR ガスおよびキセノンガスの2種類のガスを用いて、ガンマ線とくに核医学の分野で広く用いられている <sup>99m</sup>Tc に対する基礎特性に関して定量的な評価を行なった。現在の装置の分解時間は約4 $\mu$ secであり、比較的高計数率での測定も可能と思われる。空間分解能に関しては、印加電圧、ガスの種類、核種のちがいが分解能に及ぼす影響について検討し、PR ガス1



気圧の動作条件において、 $^{99m}\text{Tc}$  に対して 3mm の鉛バーストームを分離できることを確かめた。また、この動作条件における  $^{99m}\text{Tc}$  に対する感度は、アンガー型シンチカメラに比べて約200分の1という実験結果を得た。現在、感度増加の1つの方法として固体コンバータを用いる方法を検討中である。

稿を終えるにあたり、MWPC の製作に関して御助言いただいた東大薬学部、飯高洋一教授、同大総合試験所の橋爪弘雄助教授に深謝します。

#### 引用文献

- 1) Kaplan, S.N., Kaufman, L., Perez-Mendez, V. and Valentine, K.: Multiwire proportional chamber for biomedical application, Nucl. Inst. & Methods, 106: 397—406, 1973
- 2) Lim, C.B., Chu, D., Kaufman, L., Perez-Mendez, V., Hattner, R. and Price, D.C.: Initial characterization of a multiwire proportional chamber positron camera, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-22, 388—394, 1975
- 3) Glässel, P., Rösler, H., Männer, R. and Specht, H.J.: A position sensitive multiwire proportional chamber for fission fragments with large solid angle. Nucl. Inst. & Methods, 141: 111—114, 1977
- 4) Kaufman, L., Perez-Mendez, V., Shames, D. and Stoker, G.: A multiwire proportional chamber for nuclear medicine applications. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-19: 169—172, 1972
- 5) Charpak, G., Bouclier, R., Bressani, T., Favier, J. and Zupančič, Č.: The use of multiwire proportional counters to select and localize charged particles. Nucl. Inst. & Methods, 62: 262—263, 1968
- 6) Charpak, G., Rahm, D. and Steiner, H.: Some developments in the operation of multiwire proportional chambers. Nucl. Inst. & Methods, 80: 13—34, 1970
- 7) Charpak, G., Bouclier, R., Bressani, T., Favier, J. and Zupančič, Č.: Some read-out system for proportional multiwire chambers. Nucl. Inst. & Methods, 65: 217—220, 1968
- 8) Borkowski, C.J. and Kopp, M.K.: Some applications and properties of one- and two-dimensional position-sensitive proportional counters. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-17(3): 340—349, 1970
- 9) Sitar, B., Stubbs, R.J. and Breare, J.M.: Two-dimensional readout of a multiwire proportional chamber using a helical delay line. Nucl. Inst. & Methods, 134: 267—270, 1976
- 10) 三浦 功, 菅 造一, 俣野恒夫: 放射線計測学. 第9版, 62, 1974, 裳華房(東京).
- 11) Charles, M.W.: Gas gain measurements in proportional counters. J. Phys. E-5: 95—100, 1972
- 12) Cavalli-Sforza, M., Goggi, G., Piazzoli, A., Rossini, B. and Scannicchio, D.: A system of multiwire proportional chamber for a large aperture spectrometer. Nucl. Inst. & Methods, 124: 73—82, 1975
- 13) Anderson, A.N., Barret, R.J. and Wadlinger, E.A.: Low dead-time delay-line read-out for position sensitive proportional counters. Nucl. Inst. & Methods, 119: 365—366, 1974
- 14) Glässel, P.: A multiwire proportional chamber system with digital read-out for the Munich Q3D-spectrograph. Nucl. Inst. & Methods, 140: 61—70, 1977
- 15) Perez-Mendez, V.: The application of high energy physics techniques in medical research. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-23, No. 4, 1334—1343, 1976
- 16) Kaufman, L., Perez-Mendez, V. and Stoker, G.: Performance of a pressurized Xenon-filled multiwire proportional chamber. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20: 426—428, 1973
- 17) Jeavons, A.P. and Cate, C.: The proportional chamber gamma camera. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-23, No. 1976
- 18) 山本 卓, 佐藤一弘, 吉本千禎: 3次元 RI 画像のための Multiwire Proportional Chamber, 第16回日本 ME 学会大学論文集, Vol. 15, 86—87, 1977.