

硬 X 線観測用高圧 Xe 比例計数管と波形弁別の応用

藤井正美・土井恒成

概 要

これまで開発を行って来た高圧 Xe 比例計数管の特徴、検出効率、エネルギー分解能などをまとめる。又バックグラウンドの減少に効果を発揮する波形（立上り時間）弁別の応用について述べる。

1. はじめに

硬 X 線 (≥ 20 keV) の検出器としては、普通 NaI シンチレーションカウンタが使われている。著者らは、シンチレーションカウンタとは違った特徴をもつ検出器として、高圧 Xe 比例計数管の開発を行って来た [1~3]。比例計数管は NaI よりエネルギー分解能が非常によいこと、大面積化が比較的容易であること、ポジションセンシティブにできることなどの利点を持っている。

エネルギー分解能の良さは特に線スペクトルの観測に適しており、実際にそのような目的で観測に使用された例がある [4]。しかし、銀河 X 線源の連続スペクトルのパラメータを正確に求めるような目的には必ずしも向いていない。それは、KX 線エスケープの割合が大きいためエネルギー情報に両意性を生ずるからである。

大面積化は、これからの X 線観測に特に必要となるものと考えられる。例えば、Cyg X-1 のような速く変動する X 線源、X 線バーストやガンマ線バーストなどの過渡的現象などへの応用があげられよう。実際、著者らは高圧 Xe 比例計数管によって大面積 X 線望遠鏡を製作し、Cyg X-1 の短時間変動の観測を行っている [5]。

比例計数管は、アノードに抵抗線を用いるか又はカソードをスパイラル構造にすることによって、比較的簡単にポジションセンシティブにできる。このような硬 X 線用位置検出器は例えばアダマール望遠鏡 [6] に応用すれば、X 線像観測やガンマ線バーストのモニターに威力を発揮するであろう。

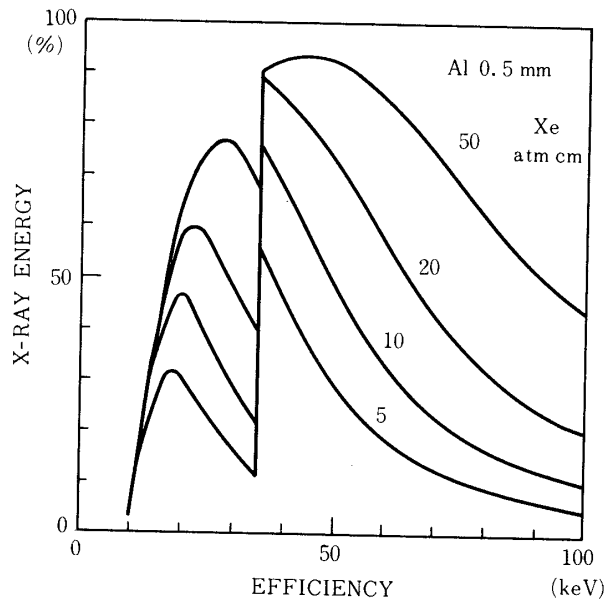
2. 検出効率

硬 X 線領域で十分な検出効率を得るためには、マルチワイヤー方式にして計数管の厚さを大きくする方法も考えられるが、我々は比較的構造の簡単な円筒型の計数管にし、X 線の吸収係数の大きい Xe ガスを高圧につめる方式をとっている。大面積化は、この計数管を多数並べることにより容易に行える。

計数管の容器としては、強度が大きくかつ X 線の吸収係数の小さい材料をできるだけ薄く

して使う必要があるが、現在一般に使いやすい材料としてアルミを使用している。構造が円筒型であるため強度が大きいという特徴があり、一例として直径4 cm、肉厚0.7 mmの計数管では耐圧40気圧となる。ただし常用圧は安全性を考慮して耐圧の1/6である。

ガス圧と検出効率の関係を図1に示した。計数管の直径とガス圧の積をパラメーターにして



第1図 X線検出効率

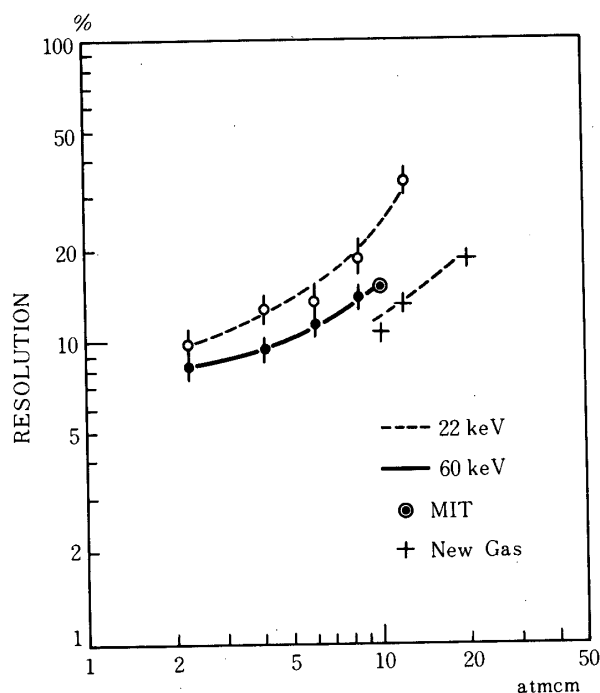
あるので、たとえば直径4 cm、ガス圧5 atmの場合には20 atm・cmのカーブになりこれが現在までに試作した計数管の中で最も検出効率の高いものである。

3. エネルギー分解能

一般に、ガス圧を上げるとXeの中に少量含まれている O_2 および H_2O の影響が出て分解能が悪くなる傾向がある。すなわち入射X線によるガスの電離により生じた電子が、芯線に集まる前に不純物である O_2 とか H_2O に附着して負イオンを作るため、電子が最初に生じた場所の違いで、計数管の出力電圧が入射エネルギーに比例しなくなる。

分解能を上げる方法の一つとしては、よく知られているようにXeに CH_4 、 CO_2 、 N_2 などを少量まぜるとよい。このようなガス分子をまぜると、電子のドリフト速度が上がり負イオンを作りやすい O_2 や H_2O と衝突する確率が下るわけである。まぜるガスとしては、超高純度のものが手に入りやすい N_2 や電子のドリフト速度が特に大きい CH_4 などを数パーセントまぜて使用している。

これまで試作した種々の比例計数管について、エネルギー分解能とガス圧の関係をまとめたのが図2である。この図からもわかるように、電子のドリフト速度を上げる方法には限界がある。最もよいのはXeの純度を上げることで、液体Xe比例計数管の場合は一般にXeを精製して用いている。現在我々はXeの精製装置を持っていないので、純度のよいガスを



第2図 エネルギー分解能とガス圧の関係

さがす努力をした。そして O_2 の濃度が 1 ppm 以下という従来のものより一段純度のよいものが入手でき、その結果が図2の+印で示すものである。ガス圧 20 atm・cm で分解能 18% (22 keV) という良い結果が得られている。

4. 安定性

ガス封じ切り型の比例計数管では、容器の壁からのアウトガスのため特性が劣化することがあり得るが、気球等に搭載する場合少なくとも数カ月は性能が安定していることが望ましい。今までに試作品や気球搭載用のカウンターを多数製作した経験からすると、2~3月で特性の劣化はほとんどない。6カ月では半数位は生き残っており、中には1年以上経過しても特性変化のほとんど無いものもある。従って、製作時に耐熱型のエポキシ接着剤をできるだけ少量使いベーキングを十分に行って完全に封じ切りもれさえ生じなければ、かなりの長寿命が期待できる。この型のカウンターは薄膜の窓がないため、ピンホールのできる可能性がきわめて小さい。

5. 波形弁別の応用

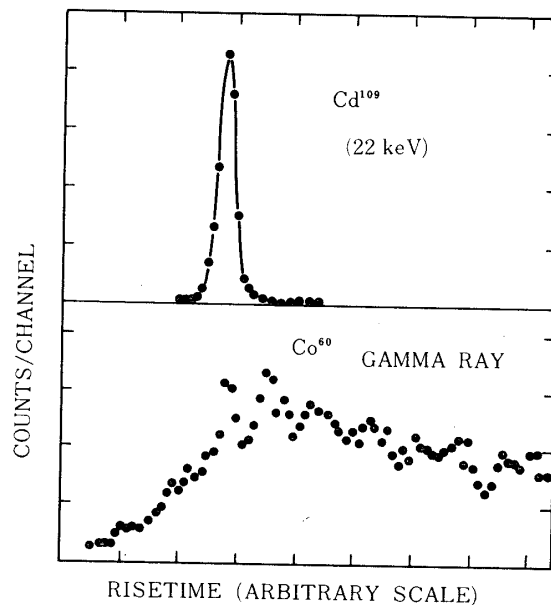
はじめに述べたように高圧計数管は特に大面積化の用途において有用であるが、大面積検出器の場合高エネルギー荷電粒子やガンマ線によるバックグラウンドを除く手段を講ずることが重要である。バックグラウンド率が高いと、データの統計的な質が落ちるのみならず、データ伝送のビットレートに非常に大きい負担をかけることになるからである。

波形弁別は、荷電粒子やガンマ線のパルスがX線のそれより立上り時間が長いことを利用して弁別を行う方法であるが、この手法は通常圧のXe比例計数管には応用されていたが[7]、高圧型にも適用できるかどうかは自明ではなかった。特に通常圧のものでは、硬X線はカウンター中を作る電離跡が広がって荷電粒子などと似てくるため区別が難しいという事情があった[8]。しかし、ガスが高圧であるため、硬X線でも電離跡はそれほど広がらず、結局通常の計数管と同様に波形弁別が使えることがわかった。

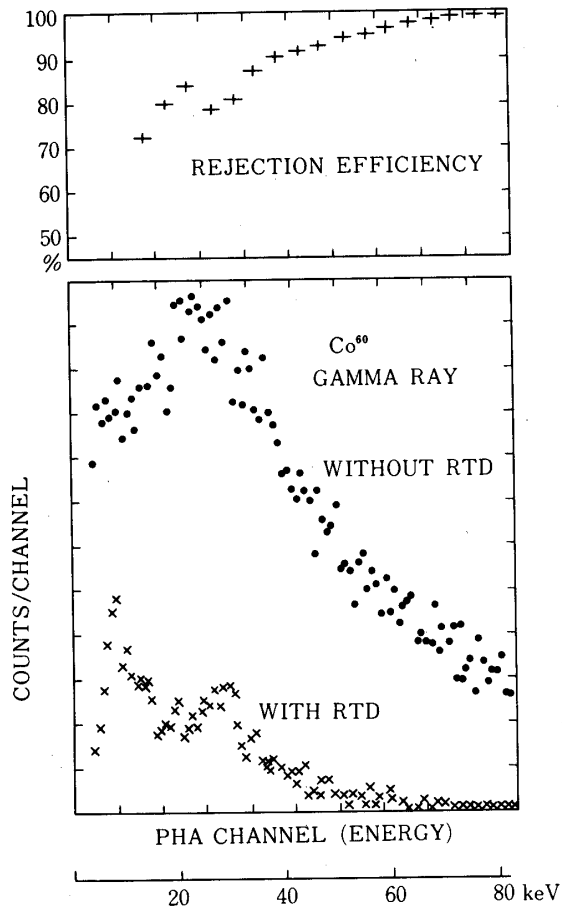
電離が芯線から離れた所でおこると、ドリフトする間に電子の拡散がおこり信号パルスの立上り時間をおそくするため、ドリフト時間をできるだけ短くする必要がある。この効果は特に高圧計数管で大きいため、Xeにまぜるガスの種類と計数管のサイズの両方が非常に重要になってくる。

波形弁別の特性を直径2~4 cm、芯線30 μ 金メッキタングステン、ガスはXeにCH₄、N₂、プロパン、イソブタンなどを混合した種々の計数管について調べた。最良の結果は直径2 cm、Xe-CH₄(2%)混合ガスを3.3 atm 詰めた計数管で得られた。図3にそのCd¹⁰⁹のX線(22 keV)とCo⁶⁰のガンマ線に対する立上り時間の分布を示す。又図4にCo⁶⁰の波形弁別をかけた時とかけない時のエネルギー(パルス波高)スペクトルとそれに対応する減少率を示す。但しこの場合22 keV X線の効率は85%であった。バックグラウンド減少率は通常の計数管にはわずかに及ばないが、この程度あれば実用的価値は大きい。

すでに述べたように、エネルギー分解能はガスの純度に非常に敏感に左右される。しかし立上り時間の特性(X線に対する分布の鋭さ)はそれほどでもないようであり、従ってエネルギー分解能の良さと波形弁別特性の良さは必ずしも相関しない。



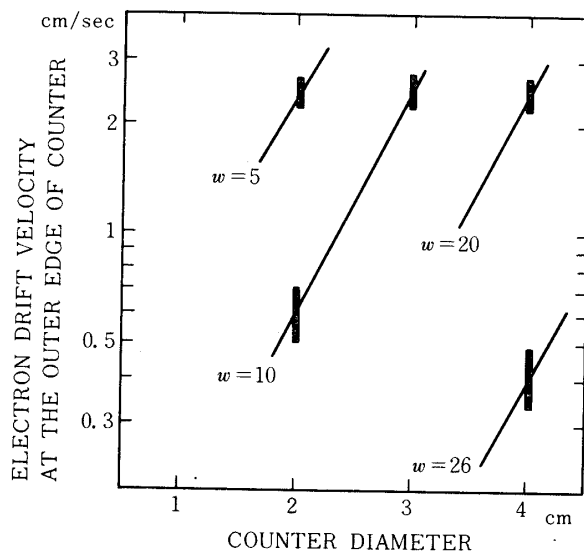
第3図 X線(Cd¹⁰⁹, 22 keV)とガンマ線(Co⁶⁰)の立上り時間分布



第4図 波形弁別をかけた時とかけない時のガンマ線 (Co^{60}) のエネルギースペクトルと対応する減少率

$\text{Xe} - \text{N}_2$ 混気ガスでは、波形弁別に関するかぎりよい結果は得られなかったが、これは電子のドリフト速度が比較的小さいためと考えられる。プロパンやイリプタンなども試みたが結果はメタンより良くはなかった。種々の計数管について、立上り時間特性（分布の中）を試みに、電子のドリフト速度と計数管のサイズで整理したものが図5である。電子のドリフト速度のふるまいはかなり複雑であり [9], [10], 我々のデータは断片的であるが、定性的な傾向は図から読みとれるであろう。

我々は波形弁別をほどこした高圧 Xe 比例計数管による観測を実際に行ったが、この方法はバックグラウンド減少に大きな役割を果たした [5]。



第5図 立上り時間特性を電子ドリフト速度と計数管サイズで整理したもの。Wは分布の中を表わす (arbitrary scale)。

謝 言

この研究を進めるに当り有益な御助言をいただいた西村純, 小田稔の両教授に感謝の意を表します。

1978年5月27日 新設部 (科学)

参考文献

- [1] 藤井正美, 梶原正男 1973 (昭48), 大気球シンポジウム, 214.
- [2] 藤井正美, 梶原正男 1974 (昭49), 大気球シンポジウム, 142.
- [3] 藤井正美, 梶原正男 1975 (昭50), 大気球シンポジウム, 252.
- [4] I. S. Glass 1969, Ap. J., **157**, 215.
- [5] 土井恒成 1978, 学位論文 (東京大学)
- [6] S. Miyamoto 1978, Space Science Instrumentation (in press).
- [7] K. Doi 1975, Nucl. Instr. and Meth., **125**, 183.
- [8] T. J. Harris and E. Mathieson 1971, Nucl. Instr. and Meth., **96**, 397.
- [9] G. R. Ricker and J. J. Gomes 1969, Rev. Sci. Instr., **40**, 227.
- [10] Handbuch der Physik **XLV** (1958), 19.