

気球搭載用 1024 チャンネルパルス波高分析器の開発*

村上浩之**・佃 正 昊**

概 要

宇宙線観測において半導体検出器が用いられるようになり高分解能測定が必要となってきた。特に銀河ライン γ 線観測においては広いエネルギー範囲にわたって 5 keV 程度のエネルギー分解能で観測が行なわれる。このような観測に使用する目的で気球搭載用 1024 チャンネル・パルス波高分析器の開発を行った。特性試験の結果は次の通りであった。積分直線性 0.1% 以下, 微分直線性 $\pm 2\%$ 以下 (300 チャンネル以上), 温度変化 0.1 チャンネル/ $^{\circ}\text{C}$, 最大計数率約 600 cps.

これらの特性は実用的にはほぼ満足すべき性能のものであると考えられる。しかし今後の問題としてデータ伝送方式, 消費電力の低減などを改良する必要がある。

1. はじめに

宇宙線観測などの放射線測定において, パルス波高分布の測定は基本的な測定項目となっている。放射線検出器の進歩により, 原子核実験などの地上測定では 0.1~0.01% の分解能でパルス波高測定が行なわれている。また宇宙線観測においても, 宇宙ライン γ 線, 同位素分析などの観測 [1][2][3][4][5]が半導体検出器を用いて行なわれるようになり高分解能測定が必要となってきた。たとえば, エネルギー分解能 (半値幅) が 5 keV の Ge(Li) 検出器を用いて 2 MeV までの γ 線を測定するとき, 1024 チャンネル・パルス波高分析器で測定しても半値幅は 2.5 チャンネルにしかならない。このように広いエネルギー範囲にわたって高分解能測定を行うためには 1000~4000 チャンネルのパルス波高分析器が必要となってくる。

気球に搭載して宇宙線観測を高分解能で行う場合, 大きく分けて二つの問題点がある。

一つは温度変化による特性の変動である。上空においては気温, 気圧の低下, 日照の変化などにより回路の周囲温度の変化は非常に大きくなる可能性があるため, 周囲温度の変化による微分, 積分直線性などの特性の変化を少なくしなければならない。

他の一つはデータ伝送の問題である。テレメータ, データレコーダなどの帯域幅の制限内で誤りなく多量のデータを伝送する必要がある。

前者は回路設計, 部品の選択, 実装方法などを注意して行なえば解決できる問題と考えられる。しかし後者はテレメータシステム, 地上でのデータ処理装置, 搭載計器の種々の制約 (体積, 重量, 電力, 価格等) などの制限から, 優れた性能であっても複雑なシステムは避けるべきである。

以下に, Ge(Li) 検出器による銀河ライン γ 線観測を行う目的で開発した 1024 チャンネル・

* 宇宙研特別事業費による研究

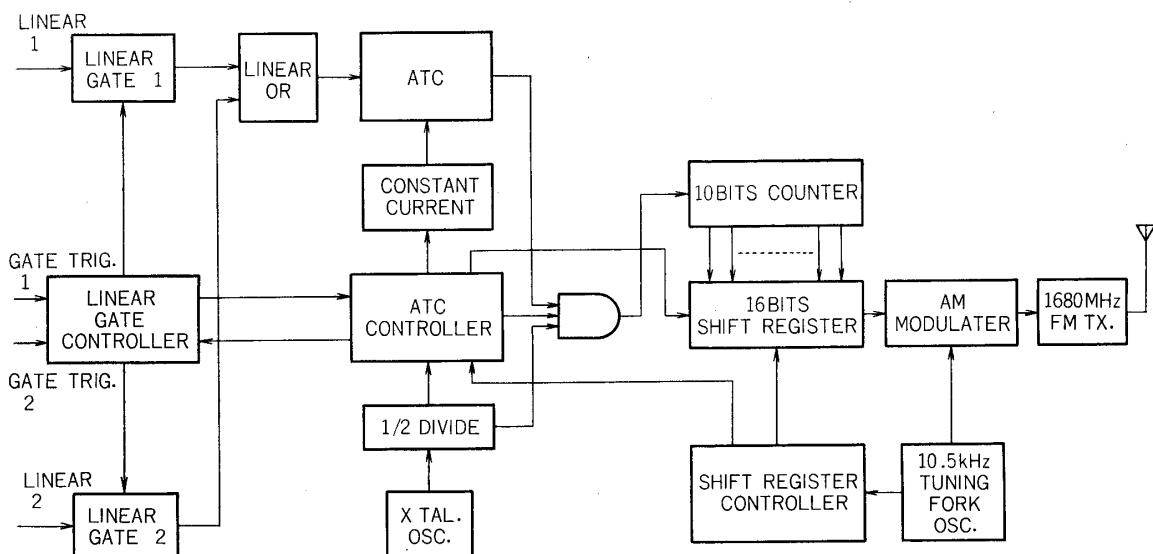
** 立教大学理学部

パルス波高分析器の構成，データ伝送方式，特性などについて述べる。

2. パルス波高分析器の構成

現在，放射線統計測に用いられているパルス波高分析器 (PHA) は，パルス波高値を数値 (チャンネル数) に変換する ADC (Analogue to Digital Converter) 部と，チャンネルごとにパルス数等を分類集計する演算記憶部とに分割される。気球等の乗物に PHA を搭載しようとする場合に一般に二通りの方式が行なわれている。一つは，ADC 部分，演算記憶部の両方を搭載して，一定時間ごとに記憶装置に集積されているデータを読み出し地上に伝送するものである [6][7]。この方式は，波高分析の機能 (一般にデータ処理) の大部分を機上で行っているため地上に伝送しなければならない情報の量を少なくすることができる。このため，ロケット，衛星など一つの観測装置の使用できるテレメータの伝送容量が少なく，高計数率で計測 (観測) を行う必要のある場合には有効な方式である。しかし，チャンネル数が多くなると記憶装置の価格が非常に高くなること，重量，消費電力等の制限から複雑なデータ処理を行うのが困難となるなどの問題がある。他の方式は，ADC 部分だけを搭載して，機上ではデータ処理を行わずに，放射線 (パルス) が検出されるごとに逐次パルス波高 (チャンネル数) 等を地上に伝送して地上において波高分析等のデータ処理を行うものである [8][9]。しかし機上でデータ処理を行わないので，伝送する情報の量が多くなり高計数率で観測を行なう場合には大容量のテレメータが必要となる。また記憶装置等を搭載しないので比較的 low 価格で重量，消費電力等も少なくすることができる。気球観測においては一つの観測器機が FM 送信器を専有して観測を行なえるので 50 kbits/sec 程度のデータ伝送が可能である。したがって気球観測では特別な場合を除いて後者の方式が適していると考えられる。

図1は後者の方式による 1024 チャンネル・パルス波高分析器のブロックダイアグラムであ



第1図 1024 チャンネル・パルス波高分析器ブロックダイアグラム

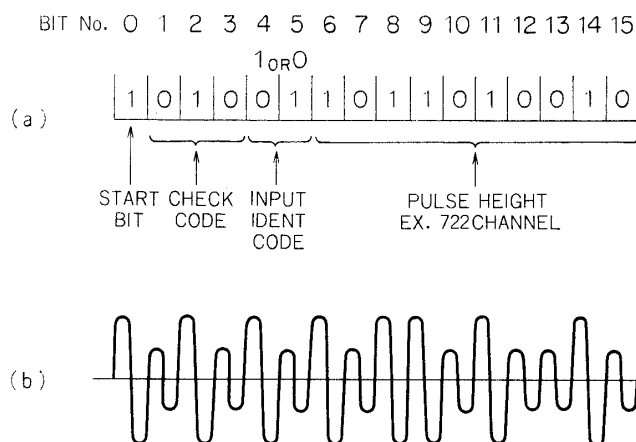
る。二つのエネルギー範囲のラインア線を観測するので、直線ゲートを二組用いて二現象型の PHA となっているが、基本的には一現象と同じである。

PHA は gate trig 信号 1 または 2 により起動され、一定時間 linear gate 1 または 2 を開き選ばれた一方の入力信号パルスを通させる。同時に AD 変換が終了するまで次のパルスを阻止するために linear gate controller に ATC (Amplitude to Time Converter) BUSY flag を立て linear gate controller を off にする。ATC BUSY flag の立っている間は、PHA の dead time となる。linear gate を通過したパルスの波高値は ATC 内のコンデンサに電荷量として記憶される。次に ATC controller より水晶発振器に同期させた定電流放電開始信号が出され ATC のコンデンサを定電流放電する。放電開始から電荷が零となるまでの時間はパルスの波高値に比例するのでその時間を水晶発振器から得られる 10 MHz のクロックパルスを 10 bits の 2 進計数器で計数することにより AD 変換を行っている。計数器が over flow した場合は計数を停止し計数器を reset する。AD 変換終了後、shift register (SR と省略) が空であれば、ただちに計数器の内容を SR に移し計数器、ATC BUSY flag を reset して次のパルスを受け入れ可能な状態とする。また前のデータの送信を行っている最中で SR が空でないときには空になるまで待ってから計数器の内容を SR に移す。SR の内容は次に述べるような伝送型式で地上に伝送される。

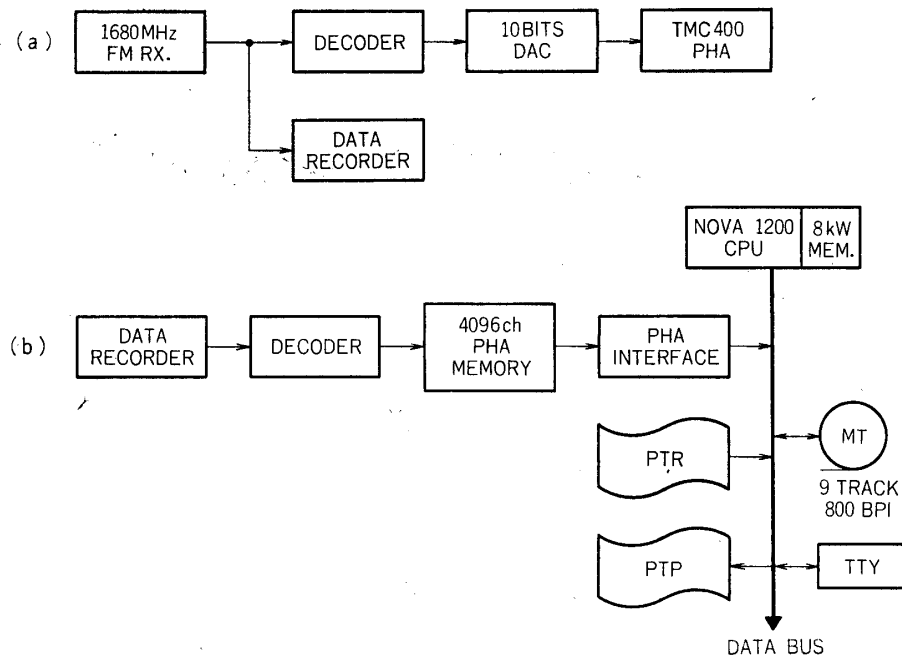
3. データ伝送方式及び地上処理装置

地上へ伝送するデータは AD 変換終了後、スタート符号 1 bit, 同期判定符号 3 bits, 入力識別符号 2 bits, パルス波高データ 10 bits の計 16 bits が SR に図 2(a) のような型式でセットされる。SR の内容は 10.5 KHz の音叉発振器に同期して、bit 0 から順次左にシフトして直列に読み出される。SR から読み出された直列信号は AM 変調器に入り図 2(b) のようにサブキャリアの 10.5 kHz 正弦波を一周単位にデータの 1, 0 に対応して振幅変調する。AM 変調されたサブキャリアは 1680 MHz FM 送信器により地上に送信される。

図 3(a) は三陸実験場におけるデータ処理システムである。1680 MHz FM 受信器により復調されたサブキャリアはその時間信号とともにデータレコーダに記録して研究室に持ち帰



第 2 図 データ伝送型式



第3図 地上データ処理システム

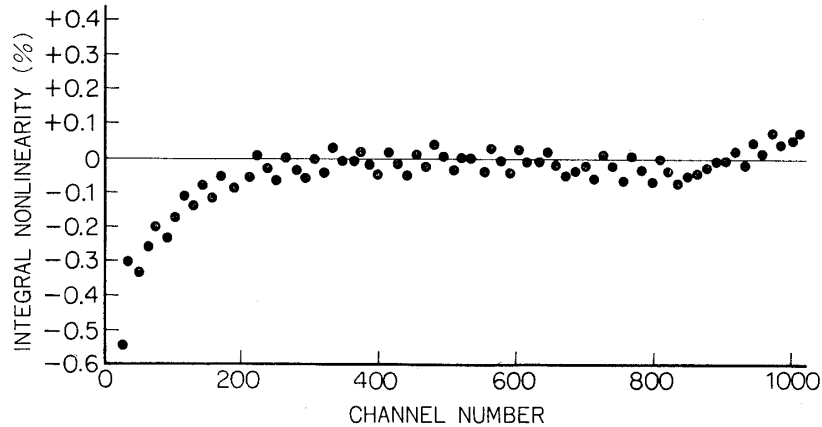
る。一方観測装置の調整，受信データのモニタ等は次のように行う。サブキャリアを解読器に入れ並列 12 bits パルス符号に変換し，さらに 10 bits DA 変換器によりアナログパルスに変換して 400 チャンネル PHA (TMC 400) によりパルス波高分析を行う。図 3 (b) は研究室におけるデータ処理システムである。データレコーダにより再生されたサブキャリアはモニタと同じ解読器により並列 12 bits のパルス符号に変換される。このパルス符号は 4096 チャンネル PHA の演算記憶部に入れ集計を行う。集計されたデータはミニコンピュータを用いた PHA データ処理システムにより 9 track, 800 BPI の磁気テープに記録される。磁気テープに記録されたデータはこのシステムにより TTY, PTP 等に出力される。またこのテープはオフラインで大型汎用計算機に接続することができる。現在は未完成であるが将来は 4096 チャンネル PHA を通さずにミニコンピュータで直接データ集計を行う予定である。

データ伝送方式として AM-FM 方式を用いているが，この方式は非常に簡単な回路でランダムに発生するデータに対して容易にビット同期，ワード同期が得られる。またデータレコーダのワウ等が大きな場合でも同期がはずれにくい。しかし計数率が高い場合には周波数帯域が広くなり低周波領域を利用しようとする場合この領域の S/N が悪くなる。将来は SPM, FM 等の伝送方式に変えて低周波領域を直流電圧測定用の PCM テレメータに使用する予定である。

4. 1024 チャンネル・パルス波高分析器の特性

(1) 積分非直線性

積分非直線性はパルス波高値対チャンネル数の比例関係の直線（一次関数）からのずれと最



第4図 積分非直線性

大パルス波高値との比を%であらわしたもので次の式であらわされる [10].

$$L_I = \frac{100 \Delta V}{V_{\max}}$$

図4はパルス波高対チャンネル数の測定結果から次のような一次式を基準となる直線と仮定して計算した L_I をプロットしたものである.

$$V = 0.007326 N + 0.06593$$

V : 入力電圧
 N : チャンネル数

図から 150 チャンネル以上では $\pm 0.1\%$ 以内の非直線性が得られている.

入力パルスの積分非直線性は FLUKE MODEL 332 B 標準電圧発生器を外部基準電圧に用いた BNC MODEL GL-3 トランジスタ・チョップパルス発生器を用いているので 0.001%以下であると考えられる. したがって入力パルスの非直線性はほとんど無視することができる.

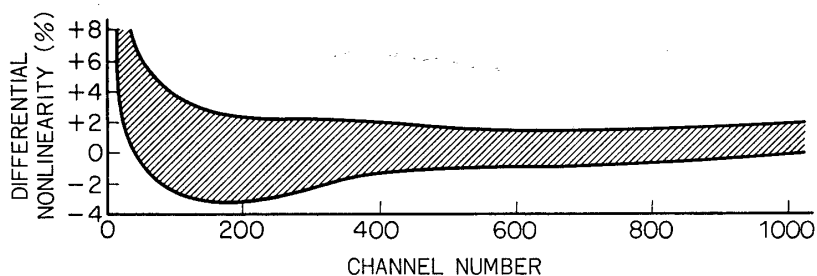
(2) 微分非直線性

微分非直線性は個々のチャンネルのチャンネル幅と平均チャンネル幅との偏差を%で表わしたものである [10]. チャンネル幅の測定は上のような高精度パルス発生器を用いても測定できるが, チャンネル数が多い場合にはこの方法では非常に困難となる. したがって微分非直線性は通常次のような方法により測定する.

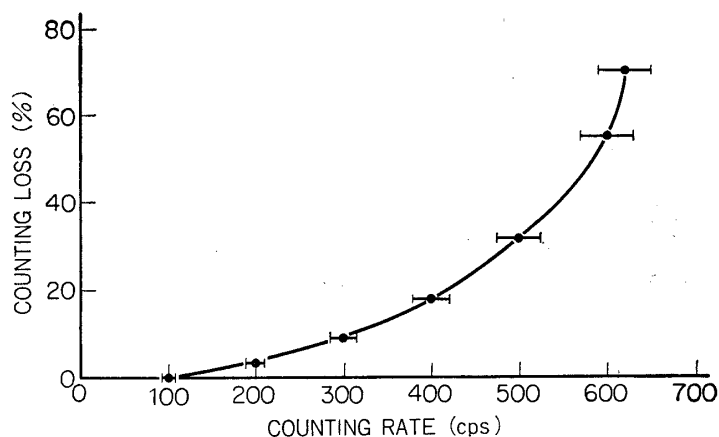
直線性の非常に良い三角波 (周期数十秒) を基準電圧としたトランジスタチョップパルス発生器 (水銀パルス発生器でもよい) をランダムパルス発生器で Trigger すると, パルス波高分布の様なパルスが得られる. (このようなパルス発生器をスライディングパルス発生器という) このパルスをパルス波高分析器で測定すれば, 個々のチャンネルに集積されたパルスの数はチャンネル幅に比例したものとなるので微分非直は次の式で表わされる.

$$L_D = 100 \left[1 - \frac{N_{\text{avg}}}{N_x} \right]$$

N_x : 個々のチャンネルの計数値
 N_{avg} : 平均計数値



第5図 微分非直線性

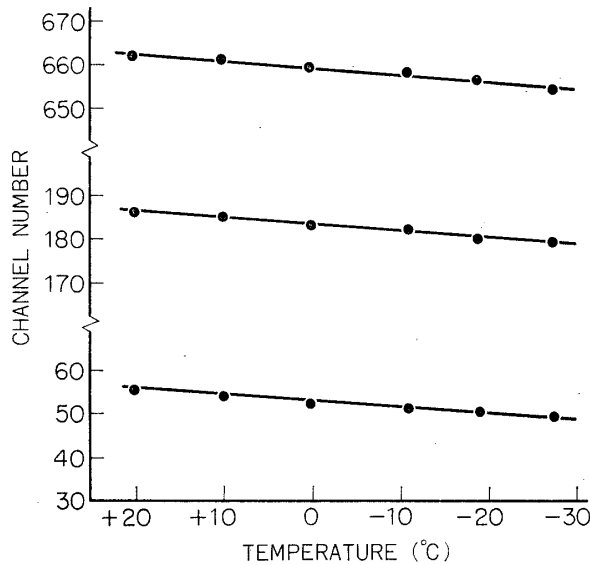


第6図 計数損失

測定精度は三角波の非直線性と集積したパルス数の統計的変動によって決まる。三角波の非直線性を無視した場合、測定精度は $1/\sqrt{N}$ となる。したがってチャンネル数の多い波高分析器の微分非直線性を高精度で測定しようとする場合は非常に長い時間集積する必要がある。図5はこのような方法により測定した微分非直線性で、個々のチャンネルの測定点は斜線で囲まれた部分の中に分布している。集積した平均パルス数は約46000個であるので測定精度は約0.46%である。スライディングパルス発生器はBNC MODEL GL-3を用いた。GL-3に内蔵されている三角波発生器の非直線性は0.1%である。

(3) 計数損失

AD変換、データ伝送等に要する時間はdead timeとなり、その分だけ真の観測時間は短くなり数え落しが生じる。緩衝記憶装置のあるPHAでは伝送された波高データのみで正確なdead timeを算出することはできない。dead timeはパルス波高分布、計数率等により大幅に変わるので、実際の観測に近い状態で計数損失の測定を次のように行った。PHAにGe(Li)検出器、AMP等を接続して γ 線によるバックグランド計数に水銀パルス発生器からのテストパルスをPre AMPに重複させ、テストパルスの計数損失を種々の γ 線強度において測定する。測定結果を図6に示す。計数損失の測定誤差はrate meter等の精度から10%程度と考えられる。図6から100 cps以下ではほとんど数え落しはないと考えてよい。また計数率が500 cpsのときでも計数損失は約32%であるので、補正を行えば数%程度の



第7図 温度特性

精度で真の計数率を求められる。しかし高計数率で精度良く計数率を求めるためには dead time を機上で測定して地上に伝送する必要がある。

(4) 温度特性

図7に3種類のパルス波高に対するチャンネル数の温度変化を示す。温度変化は0.1チャンネル/°C程度のベースラインの変化だけでAD変換利得の変化はほとんど無いと考えられる。微分非直線性の温度特性は測定が困難なため行なわなかった。AD変換利得の変動が少くないので微分直線性の変動も少くないと思われる。

5. おわりに

気球搭載用1024チャンネルパルス波高分析器の構成、特性などについて述べたが、これらの特性は1024チャンネルパルス波高分析器としては一応満足できる水準のものが得られた。しかし計数回路、制御回路等の高速を必要とする一部の回路に74S, 74シリーズのICを使用したため+5Vの電力消費量が非常に大きくなった。消費電力の増大は電池重量の増加、局所的な過熱などの問題を生ずるので、これらのICを74LSシリーズ、C-MOS(低速制御回路にはC-MOSを使用している)のICに置き変えた方が良いと思われる。

宇宙ラインア線の観測としてはさらに広いエネルギー範囲にわたって観測を行うとともに大きな検出器を用いてより高い計数率で観測を行う必要がある。今後はチャンネル数の増加、伝送方式の改良等を行う必要がある。またアイソトープ分析等の観測を行うためには、多次元高分解能パルス波高分析器の開発も重要な問題となっている。

終りに本研究を進めるにあたり種々のご討論、ご協力をいただいた立教大学原子核放射線研究室、宇宙線研究室の皆様、気球飛揚ならびに観測全般にご協力いただいた東京大学宇宙航空研究所の皆様に深く感謝いたします。

1974年1月30日

参 考 文 献

- [1] 中川他：宇宙観測シンポジウム（昭和43年）p. 217.
- [2] 中川他：宇宙観測シンポジウム（昭和46年）p. 261.
- [3] 永田他：宇宙観測シンポジウム（昭和47年）p. 281.
- [4] 中川他：宇宙観測シンポジウム（昭和45年）p. 162.
- [5] 中川他：宇宙観測シンポジウム（昭和47年）p. 293.
- [6] D. W. Buris, D. Aalami R. H. Evelyn-Veere. A. A. Sarkady: IEEE Trans. NS-19 [1] (1972). 613.
- [7] G. R. Streeter: IEEE Trans. NS-16 [1] (1969) 371.
- [8] C. J. Ewald, A. A. Sarkady: IEEE Trans. NS-13 [1] (1966) 537.
- [9] R. H. Baldry: IEEE Trans. NS-17 [1] (1970) 177.
- [10] USA Standard and IEEE Test Procedure: IEEE Trans. NS-16 [6] (1969) 285.