

多次元多事象割り込みデータ収集処理システムの開発

高橋, 祐邦
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

大垣, 英明
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

日隈, 精二
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

今別府, 悟
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

他

<https://doi.org/10.15017/17627>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 7 (1), pp.61-68, 1985-08-01. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

多次元多事象割り込みデータ収集 処理システムの開発

高橋 祐邦 ・ 大垣 英明 ・ 日隈 精二
今別府 悟 ・ 浦瀬 賢治 ・ 藤田 泰之
前迫 浩範 ・ 亀谷 均* ・ 井尻 秀信**
的場 優** ・ 栄 武二*** ・ 桑折 範彦***
(昭和60 3月29日 受理)

Development of a data acquisition and analysis system for multi-dimensions and multi-events

Yuhu TAKAHASHI, Hideaki OHGAKI, Seiji HIGUMA
Satoru IMABEPPU, Kenji URASE, Yasuyuki FUJITA
Hironori MAESAKO, Hitoshi KAMETANI*, Hidenobu IJIRI**
Masaru MATOBA**, Takeji SAKAE*** and Norihiko KOORI***

A multi channel analyzer (MCA) system that consists of ratio to digital converters (RDC's), ADC's and a microcomputer has been developed. It has been tried to realize a data acquisition and analysis system for multi-dimensions and multi-events. Physics experiments have been performed using this system at Research Center for Nuclear Physics (RCNP).

The detailed diagram and operation of the data acquisition and analysis system and some examples of measurement have been described.

1. 序

我々は、大阪大学核物理研究センター (RCNP) の大型サイクロトロン等を使用し、原子核反応実験を行い、原子核の高励起 (高温) 状態、内部構造、原子核内部における核反応メカニズムなどに関する研究を行っている。

原子核物理実験で得られるデータは、多数の変数 (パラメータ) を同時に記録する事が重要となる場合が多い。例えば、入射粒子のエネルギー分布と入射位置の情報を同時に測定する場合は2次元 (2パラメータ) 実験と呼ばれる。また、散乱、核反応、壊変などによって放出された粒子の個々の事象 (event) を別々に記録する事も重要となる (多事象データ)。このような実験では、物理的意味を持つ実時間情報を的確に引き出す多次元多事象ランダムデータの取り扱いが重要とな

る。

本研究室では、パルス波高比デジタル変換器 (RDC)¹⁾²⁾、ADC、マイクロコンピュータを結合して簡単に高性能な計算機付き4096チャンネル多重波高分析器 (MCA) を開発している。今回、これらのシステムを拡張し、多次元多事象割り込みデータ収集処理システム (今回は2次元2事象) の実現を試み、開発したシステムのテスト実験を本研究室と大阪大学核物理研究センター (RCNP) において行った。

ここでは、対象とするデータの特徴と収集システムの概念を述べ、このシステムのハードウェア、ソフトウェアについて報告し、具体的な測定例を示してシステムの特徴を整理する。

2. 原子核物理実験データ収集処理の概念

2.1. 原子核物理実験データの特徴

a) 一般に放射線検出器からの信号は微弱で、その信号は電荷パルスとして得られる。

エネルギー変換工学専攻修士課程
* エネルギー変換工学専攻博士課程
** エネルギー変換工学専攻
*** 工学部応用原子核工学科

- b) 放射線検出器のパルス信号は、ランダムに発生する。
- c) 計数率が非常に大きく変化する（ここで取り扱うシステムでは、 $1 \sim 10^5$ 個/sec）。
- d) それぞれのデータの相関、非相関関係が重要となる。

2.2. データ収集処理

データ収集処理システムの構成を Fig. 1 に示す。

一般に、放射線検出器から得られるパルス信号は前置増幅器 (Pre-Amplifier), 主増幅器 (Spectro Scopy Amplifier) を使って波形整形され増幅される。その信号の波高値を正確に読みとり、デジタル信号に変換することで、マイクロコンピュータによる処理が可能となるが、その為に高精度の ADC が必要となる。

以前、我々の研究室で開発した ADC は、線型スイープ放電を利用した Wilkinson 方式³⁾を基本とし、入力電圧パルス波高に等しく充電したコンデンサの線型放電時間を 100 MHz のクロックパルスで計数することにより、デジタル化している。

また、検出器での入射位置情報は、同時に得られる 2 つのパルス波高値を割算することにより求められる。従って、このパルス波高比を正確に求めることにより割算機能を付加した RDC としての使用が可能である。この割算回路は、Westphal⁴⁾によって発表された回路を基本としている。

ADC (RDC) とマイクロコンピュータの接続には、広島大グループが発表した CAMAC (Computer Aided Measurements And Control) 規格, CCP (Crate Control Port) 用標準バス⁵⁾を採用している。

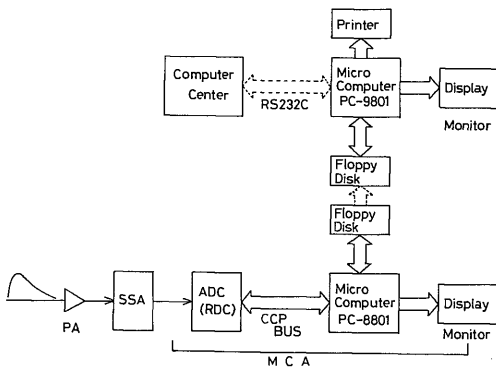


Fig. 1 Data acquisition and analysis system

2.1 の b), c) の条件に十分対応できるように、マイクロコンピュータに割り込みをかけてデータ収集処理を行なっている。この場合、ADC からの割り込み要求信号 (LAM: Look At Me) により、マイクロコンピュータから ADC (RDC) に TOK (Transfer O. K.) 信号が送られる。データ収集処理プログラムは、処理速度、ハードウェアの点から機械語 (Z80CPU) で書かれている。

2.3. 多次元多事象データ収集処理

現在一般に、多次元多事象データ収集処理システムはミニコンピュータ (PDP11, VAX11) を使用していたが、最近のマイクロコンピュータの普及に伴い、高性能化、大容量化、コストダウン等により、従来のシステムの代わりとしてマイクロコンピュータの使用が十分可能となった。

そこで我々はまず、マイクロコンピュータを使用した 2 次元 2 事象データ収集処理システムを開発した。そのシステム構成を Fig. 2 に示す。

ADC (RDC) 2 台と事象情報 (Event signal) とを CCPBUS 上を介してマイクロコンピュータに接続している。この様に CCPBUS を採用する事により、ADC (RDC) を増やす事が可能となる。又、各 ADC からの割り込み要求信号の処理方法により、データの同時収集か独立収集かの選択が可能となる。例えば、ADC (RDC) 2 台からの割り込み要求信号の論理和 (OR) をとる場合には同時収集処理が可能となり、相関、非相関関係が明確となり、また、別々の割込み (多重割り込み処理) を行わせる事により独立収集が可能となる。

事象情報としては、RCNP 実験での原子核スピン (UP と DOWN) の 2 事象を取り扱う。

データ収集方法としては、入力データに対応するチ

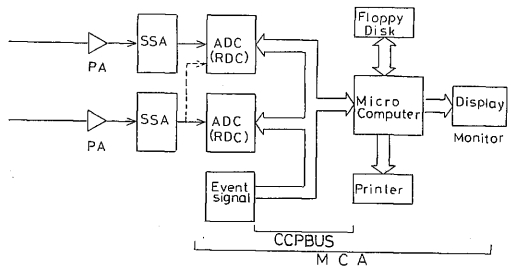


Fig. 2 Data acquisition and analysis system (Two dimensions and two events)

```

***** INLIS3.ASM *****
*
*   Interrupt -
*   List-Mode Asemble Program for MCA-LIST5
*   1985# 1A 17B
*
*****
;
;       ORG 08000H
;
EF3F      ISTORE:EQU 0EF3FH ;Interrupt Level Store Address
E6F1      INFLAG:EQU 0E6F1H ;Interrupt Flag Address
E6C3      ILEVEL:EQU 0E6C3H ;Interrupt Level Address
00E4      PORT: EQU 0E4H ;8214 Current Status Register Port Address
;
809E      NOWA00:EQU 08D9EH ;Data Now Ad. Stack Address
E5FC      ENDA00:EQU 0E5FCH ;Data-in Memory End Address
BE01      STA001:EQU 08E01H ;Top Address for ADC-1 Spectrum Mode
C201      STA002:EQU 0C201H ;Top Address for ADC-2 Spectrum Mode
;
;
; *Disable Interrupt
; *Save Register
8000 C5      PUSH BC
8001 05      PUSH DE
8002 E5      PUSH HL
8003 F5      PUSH AF
;
; *Store Level Data
8004 3AC3E6   LD A,(ILEVEL)
8007 F5      PUSH AF ;Save Level
;
; *Set Interrupt Level
8008 3E04      LD A,04H ;INT4 Level
800A 03E4      OUT (PORT),A
800C 323FEF   LD (ISTORE),A
800F 32F1E6   LD (INFLAG),A
8012 FB      EI ;Enable Interrupt
;
; *Get ADC Data-1
8013 0603      LD B,03H ;Set Crate No. for ADC-1
8015 0EC0      LD C,0C0H ;Set CCP-3US Register No. for ADC-1
8017 CD478D   CALL INPAOC
801A E5      PUSH HL ;Get ADC-1 Data
;
; *Get ADC Data-2
801B 0604      LD B,04H ;Set Crate No. for ADC-2
801D CD478D   CALL INPAOC ;Get ADC-2 Data
;
; *Set Data to Memory-2
8020 3E20      LD A,020H ;Set ADC-2 Number
8022 1101C2   LD DE,STA002 ;Set Top Memory Address for ADC-2
8025 C0528D   CALL SETMEM
;
; *Set Data to Memory-1
8028 E1      POP HL ;Set ADC-1 Data
8029 3E10      LD A,010H ;Set ADC-1 Number
802B 1101BE   LD DE,STA001 ;Set Top Memory Address for ADC-1
802E C0528D   CALL SETMEM
;
; *Output Transfer O.K.
8031 E079      OUT (C),A ;Output Transfer O.K. for ADC-2
8033 0603      LD B,03H
8035 E079      OUT (C),A ;Output Transfer O.K. for ADC-1
;
; *Restore Level
8037 F1      POP AF
8038 323FEF   LD (ISTORE),A
803B 03E4      OUT (PORT),A
803D F1      POP AF ;Restore Register
803E E1      POP HL
803F 01      POP DE
8040 C1      POP BC
8041 00      NOP
8042 C9      RET
;
8043 00      NOP
8044 00      NOP
8045 00      NOP
8046 00      NOP

```

```

;
;----- INPADC -----
; Input ADC Data Subroutine
;
;
8047 ED78 INPADC:IN  A,(C)      ;Get Upper 8bits Data
8049 67      LD  H,A
804A 0C      INC  C
8048 ED78      IN  A,(C)      ;Get Lower 8bits Data
8040 6F      LD  L,A
804E 00      DEC  C
804F C9      RET
;
8050 00      NOP
8051 00      NOP
;
;----- SETMEM -----
; Set ADC-Data to Memory
; Subroutine
; HL;ADC Data
; DE;Top Memory Address
; A ;ADC Number
;
; *Set ADC-Data to Spectrum Mode Memory
;
8052 C5      SETMEM:PUSH BC
8053 C88C      RES  7,H      ;Let HK7)=0
8055 CB74      BIT   06H,H    ;If HK6)=0 Then Z=1 Else Z=0
8057 C884      RES  06H,H    ;Let HK6)=0
8059 2805      JR   Z,DOWN    ;if Z=1 Then go to DOWN
;
805B 010000      LD  BC,0H      ;for UP
805E 1803      JR   CON      ;go to CON
;
8060 010002      DOWN: LD  BC,0200H ;for DOWN
8063 E5      CON:  PUSH HL      ;Save ADC-Data
;
; *Convergn Gain
8064 CB3C      SRL  H
8066 CB10      RR  L
8068 CB3C      SRL  H
806A CB10      RR  L
806C CB3C      SRL  H
806E CB10      RR  L
8070 CB3C      SRL  H
8072 CB10      RR  L      ;HL=INT(HL/16)
;
8074 29      AOD  HL,HL      ;HL=HL*2
8075 19      AOD  HL,DE
8076 09      AOD  HL,BC      ;Set Effective Memory Address
8077 34      INC  (HL)      ;Add One
8078 2002      JR   NZ,SETDAT    ;If not Carry Over Then go to LOOP
807A 28      DEC  HL      ;for Carry Over
807B 34      INC  (HL)      ;Add One
;
; *Set ADC-Data to List Mode Memory
;
; *Check Address
807C 2A9E8D      SETOAT:LD  HL,(NOWADD);Set Now Address
807F 11FCES      LD  DE,ENDADD ;Set End Address
8082 E5      PUSH HL
8083 87      OR  A      ;Reset Carry Flag
8084 ED52      SBC  HL,DE      ;HL =Now Address - End Address
8086 E1      POP  HL
8087 01      POP  DE      ;Restore AOC-Data
8088 C1      POP  BC
8089 C8      RET  Z      ;If Now Ad.=End Ad. Then Return
;
808A 82      AOD  A,D      ;Add ADC Number to AOC-Data
808B 57      LD  D,A
808C 73      LD  (HL),E    ;Load Lower 8bits Data to Memory
808D 23      INC  HL
808E 72      LD  (HL),D    ;Load Upper 8bits Data to Memory+1
808F 23      INC  HL
8090 229E8D      LD  (NOWADD),HL;Save Now Address
8093 C9      RET
;
8094      END

```

```

CON      8063      DOWN  8060      ENDAOD  E5FC      ILEVEL  E6C3      INFLAG  E6F1
INPADC  8047      ISTORE E73F      NOWADD  809E      PORT    00E4      SETDAT  807C
SETMEM  8052      STADD1  BE01      STADD2  C201

```

Fig. 3 Program of list mode data acquisition and analysis (Two dimensions and two events)

チャンネル数に1を加えていくヒストグラムモードとADC (RDC) からのデータに事象情報やADC番号などを加え、そのままメモリやフロッピーディスクに記録していくリストモードがある。2次元2事象リストモードデータ収集処理プログラムをFig. 3に示す。

データ処理方法としては、リストモードデータからADC番号、事象情報、ADC (RDC) データを読みとり、ヒストグラムモードによるスペクトル表示用メモリに振り分ける。また、Fig. 4に示すように入射位置情報を横軸(X)に、エネルギー分布情報を縦軸(Y)にとり、対応する(X, Y)マトリックスに1を加えていく(2次元データマップ処理)。これは、(X, Y)とz軸によって表され、3次元表示、2次元マップ表示が可能となり、より立体的に物理現象などを表現することができ、原子核物理実験の解析や検出器の開発に極

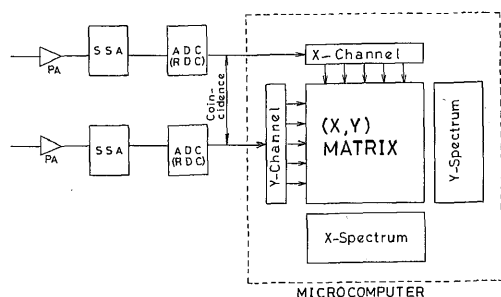
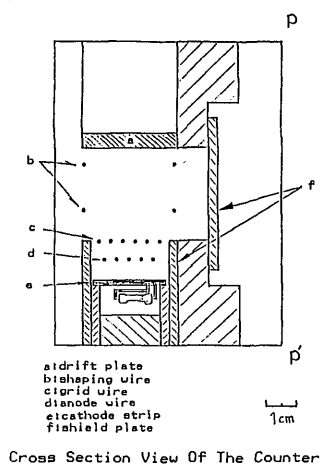


Fig. 4 The concept of two dimensions map



Cross Section View Of The Counter

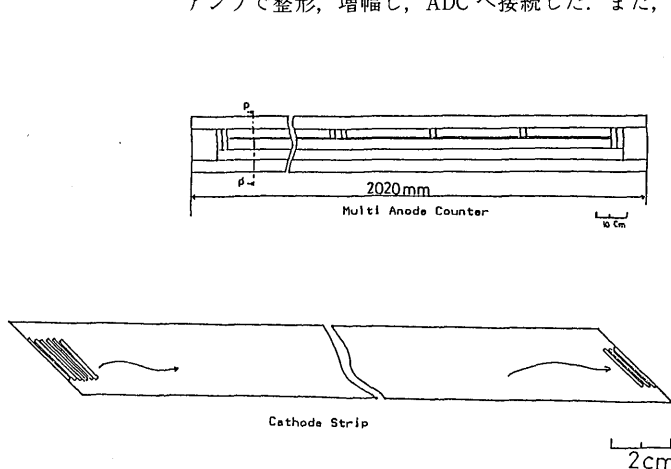


Fig. 5 Schematic view of the counter

めて有用となる。

3. 実験及びその結果

この節では、今回開発した多次元多事象ランダムデータ収集処理システムのテスト実験として、

1) 本研究室の軟X線発生装置とガス計数管などを使用して行った実験、

2) RCNPにおける原子核物理実験、
を行った際の実験装置、測定回路及びその結果、
について述べる。

3.1. 本研究室におけるテスト実験

この実験では、強電界放出現象を利用した数keVのエネルギーの軟X線発生装置⁶⁾を使用した。放射線検出器としては、分割陰極多重陽極型位置検出比例計数管⁸⁾を使用した。ガス計数管の構造はFig. 5に示す。分割陰極からの信号は、まず電荷有感型前置増幅器(以後プリアンプ)を使用して増幅した。ガスは主にAr:CH₄ = 70:30, Ar:CH₄ = 80:20の混合ガスを用いている。

実験方法としては、Fig. 6に示すように(a) TYPE. Iと(b) TYPE. IIの2通りの方法で行った。TYPE. Iは位置分解能と陰極出力全電荷パルス振幅の同時測定で、TYPE. IIは陽極出力全電荷パルス振幅と陰極出力全電荷パルス振幅の同時測定である。

全電荷パルスの測定(TYPE. II)では、陰極両端からの信号をサムアンプで和をとり、スペクトロスコピーアンプで整形、増幅し、ADCへ接続した。また、X

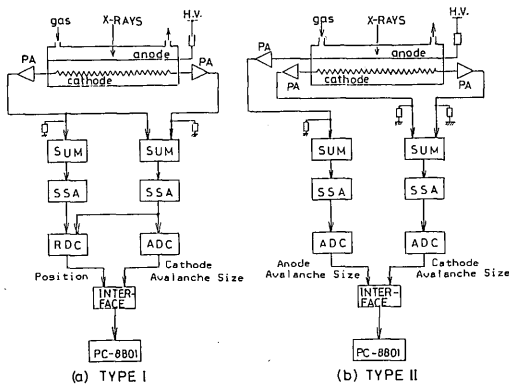


Fig. 6 Electric block diagram

線入射位置測定 (TYPE. I) では、陰極左側の出力を 1 台のサムアンプに、また陰極両端の出力をもう 1 台のサムアンプに入れ和をとり、それぞれ同じ型のスペクトロスコピーアンプで整形、増幅する。陰極両端の和をとった信号と陰極左側のみの信号をそれぞれ RDC の分母側と分子側に接続した。陽極芯線からの信号は、プリアンプ、スペクトロスコピーアンプを通して整形、増幅し、ADC に接続した。

以上のデータ収集には 8 ビットマイクロコンピュータ PC-8801, 8' フロッピーディスク装置, 5' フロッピーディスク装置を接続して、主に 2 次元 1

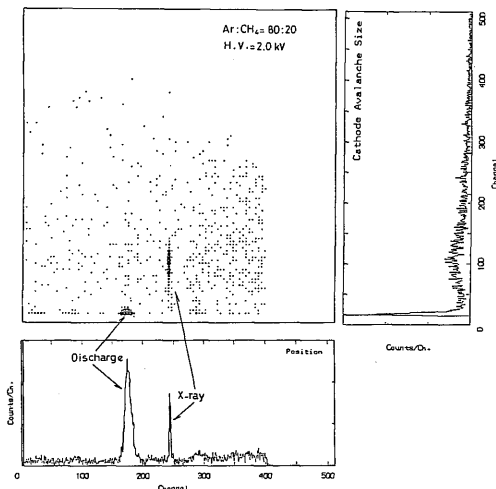


Fig. 7 Map of two dimensions (Position resolution VS Avalanche size of cathode output)

事象データ収集処理プログラムを使用した⁹⁾。データ処理には PC-8801 上で 2 次元 1 事象ソーティング・データ処理プログラムを使用し、PC-9801 上では 2 次元マップデータ処理プログラムを使用した。

実験結果は、TYPE. I によるものを Fig. 7 に、TYPE. II によるものを Fig. 8 に示す。Fig. 7 の 2 次元マップの横軸は位置分解能、縦軸は陰極出力全電荷パルス振幅に、Fig. 8 の 2 次元マップの横軸は陽極出力全電荷パルス振幅、縦軸は陰極出力全電荷パルス振幅に対応する。

3. 2. RCNP における実験

我々は、RCNP の AVF サイクロトロン施設において大型の QDMDQ 型荷電粒子スペクトログラフ¹⁰⁾ (RAIDEN) を使用して原子核反応の研究を行っている。このスペクトログラフの位置検出システムとして、1.8 m 長の抵抗芯線型の比例計数管数台と 2 m 長プラスチックシンチレータから構成されるシステム (KYUSHU 検出器システム)¹¹⁾ を開発し、実験に使用している。

これまでは、RDP (Raw Data Processor)¹²⁾、ミニコンピュータ PDP11 等のデータ収集処理システムを使用してきたが、今回の実験ではマイクロコンピュータを使用し、実際に我々が開発したデータ収集処理システムのテスト使用を行った。

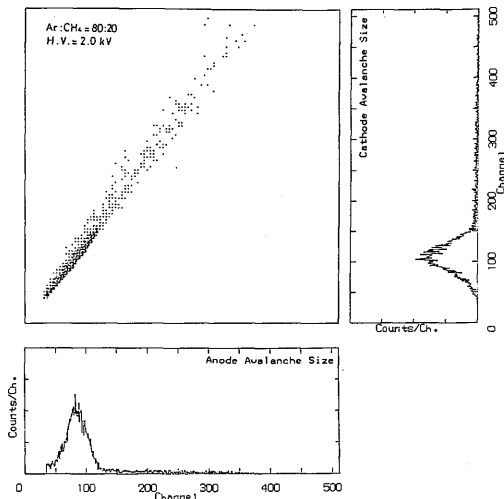


Fig. 8 Map of two dimensions (Avalanche size of anode output VS Avalanche size of cathode output)

実験に使用した検出器システムの配置と測定回路系を Fig. 9 に示す。ガス計数管 (X1, X2, ΔE ガス計数管) は、単芯線型比例計数管 (SWPC) を用い、その陽極芯線には長さ 1800 mm、直径 20 μm のステンレス線を使用している。このガス計数管 (X1, X2, ΔE ガス計数管) に軟 X 線を入射させてテストした際の 2 次元マップを Fig. 10 に示す。2 次元マップの横軸と縦軸はそれぞれ位置分解能 (4096 チャンネルのうち 1700~2000 チャンネル) と陽極出力全電荷パルス振幅に対応している。

今回の RCNP 実験では、ガスは Ar: CH₄ = 70:30 の混合ガスにエチルアルコールを飽和させたものを用いた。また、各ガス計数管 (X1, X2, ΔE ガス計数管) から得られる電荷パルス信号は、プリアンプ、スペクトロスコピーアンプにより波形整形後、増幅した。X1 ガス計数管の入射粒子位置情報は次の方法で収集した。

- 1) 割算回路¹²⁾の出力を ADC によりデジタル化し、パルス波高分析器 (Pulse Height Analyzer) により処理した後、磁気テープに記録。
- 2) RDC をマイクロコンピュータ (PC-8801) に接続してデータ収集処理を行い、データをフロッピーディスクに記録。

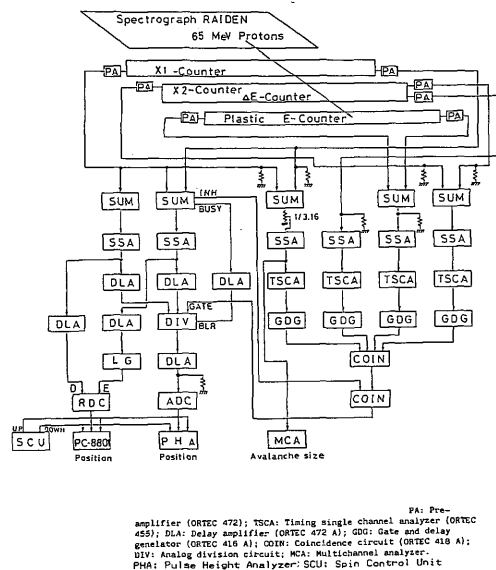


Fig. 9 Electric block diagram (RCNP experimentation)

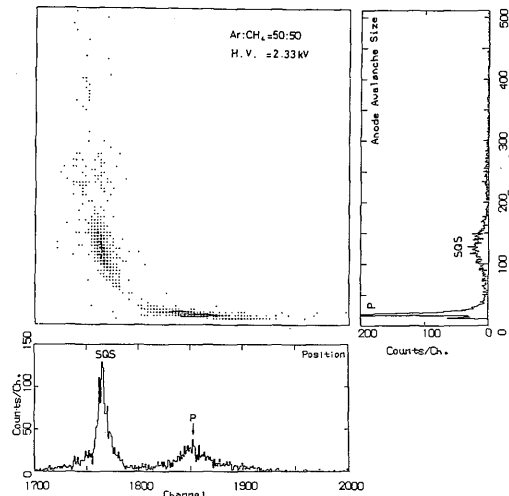


Fig. 10 Map of two dimensions (Position resolution VS Avalanche size of anode output; for ultra soft x-rays generator)

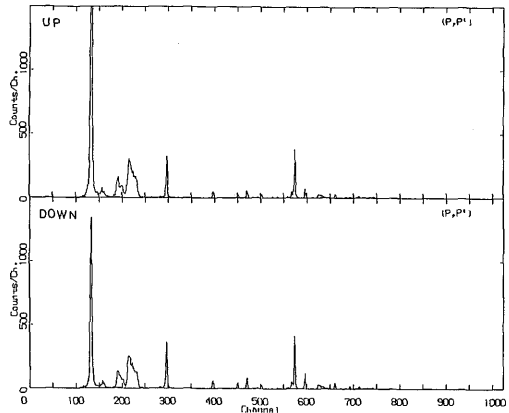


Fig. 11 One dimension and two events spectrum for elastic protons

なお、マイクロコンピュータでは 1 次元 2 事象データ収集処理プログラムを使用し、X1 ガス計数管の入射粒子位置情報と原子核スピン (Up と Down) 事象情報を読み込み、ヒストグラムモードによるスペクトル表示 (Up と Down) を行った。また、別のマイクロコンピュータ (PC-8801) を使用する事でデータ収集と同時並列にデータ処理解析を行った。

実験は弾性散乱させた陽子と ³He 粒子を検出器システムに 36° の入射角で入射させ行った。 Fig. 11

は、弾性散乱された陽子を検出器システムに入射させた場合の X1 ガス計数管位置分解能スペクトルの測定例を示す。原子核スピン Up 事象は上段、Down 事象は下段に対応している。

4. 考 察

従来のシステムに代わり、マイクロコンピュータを使用する利点として次の4点が考えられる。

- 1) 従来のミニコンピュータ CPU 時分割多重使用のノイマン的使用に対して、マイクロコンピュータ数台の同時並列処理による非ノイマン的使用が可能となる。
- 5) 従来のシステムに対して約 1/100 のコストダウンが計れる。
- 3) システムアップが比較的簡単に行える。
- 4) ソフトウェア開発、データ収集処理等が個人(研究室)単位で専有可能となり、即ち、データ処理解析が可能となる。

しかし、次のような問題点もある。

- 1) データ収集処理速度が遅い。
- 2) 多次元多事象化する程、計数率が下がる。

このような問題点に対し、将来、16, 32 ビット高性能 CPU を持つマイクロコンピュータを使用することで解決可能と思われる。

5. 結 論

- 1) 今回、2次元2事象までのデータ収集処理システムを実現したが、これにより、多次元多事象のデータ収集処理システムを開発する際の指針を与えた。

- 2) マイクロコンピュータによるリストモードデータ収集処理、3次元データ処理(2次元マップ)を実現し、これまで以上にデータ処理能力を向上させた。
- 3) 実際の原子核物理実験で、2台のマイクロコンピュータを使用してデータ収集処理、データ解析を行い、マイクロコンピュータの同時並列処理による安価で高性能なデータ収集処理システムを実現した。

REFERENCES

- 1) M. Matoba, H. Kurokawa, T. Sakae, H. Ijiri, H. Kametani and K. Komatsu: Nucl. Instr. and Meth. 224 (1984) 173.
- 2) 黒川浩彦: 修士論文, 昭和58年3月.
- 3) D. G. Wilkinson: Proc. Cambridge Phil. Soc. 46 (1950) 508.
- 4) G. P. Westphal: Nucl. Instr. and Meth. 134 (1976) 387.
- 5) 遠藤一太: パーソナルコンピュータによるCMACC制御方式標準化. Progress report No.1 (1980); No.2 (1981).
- 6) 藤田泰之: 卒業論文 昭和59年3月.
- 7) A. W. Kofschtoten, H. W. Vandervan and A. Buijs: Nucl. Instr. and Meth. 188 (1981) 477.
- 8) 大垣英明: 修士論文 昭和60年3月.
- 9) 川村清: PC-8801 解析マニュアル (1982, 秀和システムトレーディング)
- 10) H. Ikegami: RCNP Annual Report (1977) 64.
- 11) M. Matoba, K. Tsuji, K. Marubayashi, T. Shintake, H. Ikegami, T. Yamasaki, S. Morinobu, I. Katayama, M. Fujiwara and Y. Fujita: Nucl. Instr. and Meth. 180 (1981) 419.
- 12) I. Katayama and H. Ogata: Nucl. Instr. and Meth. 174 (1980) 295.