九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

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. 九州大学大学院総合理工学研究科
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

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

Yuho 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 mesurement 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，パルス波高比ディジタル変換器 (RDC)[1)2)]，ADC，マイクロコンピュータを結合して簡単で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性を整理する．

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，1～10^5 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，ディ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，線型スィ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，ディジタル化している．

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，Westphal[4] 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．

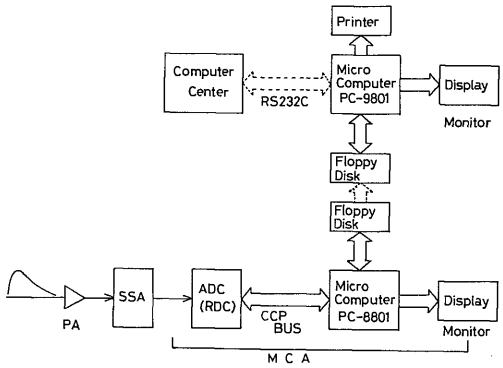


Fig. 1　Data acquisition and analysis system

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

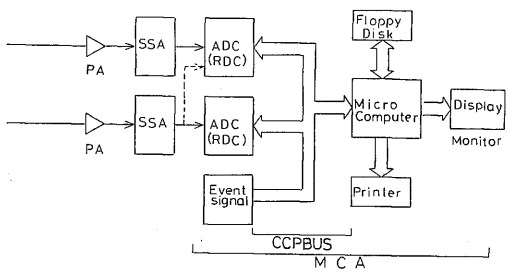


Fig. 2　Data acquisition and analysis system (Two dimensions and two events)

```
*******  INLIS3.ASM  ******************************
*                                                  *
*    Interrupt -                                   *
*      List-Mode Asemmble Program for MCA-LIST5    *
*              1985年 1月 17日                      *
*                                                  *
****************************************************
                ;
                        ORG   0BD00H
                ;
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
                ;
BD9E            NOWAOO:EQU   0BD9EH ;Data Now Ad. Stack Address
E5FC            ENDAOO:EQU   0E5FCH ;Data-in Memory End Address
BE01            STAOO1:EQU   0BE01H ;Top Address for AOC-1 Spectrum Mode
C201            STAOO2:EQU   0C201H ;Top Address for AOC-2 Spectrum Mode
                ;
                ;
                ;*Disable Interrupt
                ;*Save Register
BOOO C5                 PUSH BC
BOO1 D5                 PUSH DE
BOO2 E5                 PUSH HL
BOO3 F5                 PUSH AF
                ;
                ;*Store Level Data
BOO4 3AC3E6             LD   A,(ILEVEL)
BOO7 F5                 PUSH AF         ;Save Level
                ;
                ;*Set Interrupt Level
BOO8 3E04               LD   A,04H      ;INT4 Level
BOOA D3E4               OUT  (PORT),A
BOOC 323FEF             LD   (ISTORE),A
BOOF 32F1E6             LD   (INFLAG),A
BO12 FB                 EI                      ;Enable Interrupt
                ;
                ;*Get AOC Data-1
BO13 0603               LD   B,03H      ;Set Crate No.            for AOC-1
BO15 0EC0               LD   C,0C0H     ;Set CCP-BUS Register No. for AOC-1
BO17 CD47BO             CALL INPAOC
BO1A E5                 PUSH HL         ;Get AOC-1 Data
                ;
                ;*Get AOC Data-2
BO18 0604               LD   B,04H      ;Set Crate No. for AOC-2
BO1D CD47BO             CALL INPAOC     ;Get AOC-2 Data
                ;
                ;*Set Data to Memory-2
BO20 3E20               LD   A,020H     ;Set AOC-2 Number
BO22 1101C2             LD   DE,STAOO2  ;Set Top Memory Address for AOC-2
BO25 CD52BO             CALL SETMEM
                ;
                ;*Set Data to Memory-1
BO28 E1                 POP  HL          ;Set AOC-1 Data
BO29 3E10               LD   A,010H     ;Set AOC-1 Number
BO2B 11O1BE             LD   DE,STAOO1  ;Set Top Memory Address for AOC-1
BO2E CD52BO             CALL SETMEM
                ;
                ;*Output Transfer O.K.
BO31 ED79               OUT  (C),A      ;Output Transfer O.K. for AOC-2
BO33 0603               LD   B,03H
BO35 ED79               OUT  (C),A      ;Output Transfer O.K. for AOC-1
                ;
                ;*Restore Level
BO37 F1                 POP  AF
BO38 323FEF             LD   (ISTORE),A
BO3B D3E4               OUT  (PORT),A
BO3D F1                 POP  AF         ;Restore Register
BO3E E1                 POP  HL
BO3F D1                 POP  DE
BO40 C1                 POP  BC
BO41 00                 NOP
BO42 C9                 RET
                ;
BO43 00                 NOP
BO44 00                 NOP
BO45 00                 NOP
BO46 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
804B ED78              IN   A,(C)       ;Get Lower 8bits Data
804D 6F                LD   L,A
804E 0D                DEC  C
804F C9                RET
                        ;
8050 00                NOP
8051 00                NOP
                        ;
                        ;
                        ;┌──── SETMEM ──────────────────┐
                        ;│ Set ADC-Data to Memory       │
                        ;│  Subroutine                  │
                        ;│        HL;ADC Data           │
                        ;│        DE;Top Menory Address │
                        ;│        A ;ADC Number         │
                        ;└──────────────────────────────┘
                        ;
                        ;*Set ADC-Data to Spectrum Mode Memory
                        ;
8052 C5         SETMEM:PUSH BC
8053 CB8C              RES  7,H         ;Let H<7>=0
8055 CB74              BIT  06H,H       ;If  H<6>=0 Then Z=1 Eles Z=0
8057 CB84              RES  06H,H       ;Let H<6>=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
                        ; *Convergion Gain
8064 CB3C              SRL  H
8066 CB1D              RR   L
8068 CB3C              SRL  H
806A CB1D              RR   L
806C CB3C              SRL  H
806E CB1D              RR   L
8070 CB3C              SRL  H
8072 CB1D              RR   L           ;HL=INT(HL/16)
                        ;
8074 29                ADD  HL,HL       ;HL=HL*2
8075 19                ADD  HL,DE
8076 09                ADD  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 2B                DEC  HL          ;for Carry Over
807B 34                INC  (HL)        ;Add One
                        ;
                        ;
                        ;*Set ADC-Data to List Mode Memory
                        ;
                        ;*Check Address
807C 2A9E8D     SETDAT:LD   HL,(NOWADD);Set Now Address
807F 11FCE5            LD   DE,ENDADD   ;Set End Address
8082 E5                PUSH HL
8083 B7                OR   A           ;Reset Carry Flag
8084 ED52              SBC  HL,DE       ;HL =Now Address - End Address
8086 E1                POP  HL
8087 D1                POP  DE          ;Restore ADC-Data
8088 C1                POP  BC
8089 C8                RET  Z           ;If Now Ad.=End Ad. Then Return
                        ;
808A 82                ADD  A,D         ;Add ADC Number to ADC-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    ENDADD E5FC     ILEVEL E6C3     INFLAG E6F1
INPADC  8047    ISTORE EF3F     NOWADD 8D9E     PORT   00E4     SETDAT 807C
SETMEM  8052    STADD1 8E01     STADD2 C201
```

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

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ーに振り分ける．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めて有用となる．

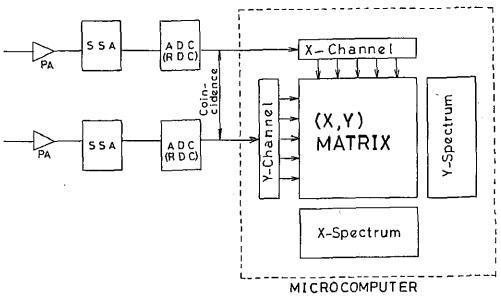


Fig. 4 The concept of two dimensions map

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][7]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 $Ar : CH_4 = 70 : 30$，$Ar : CH_4 = 80 : 20$ 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

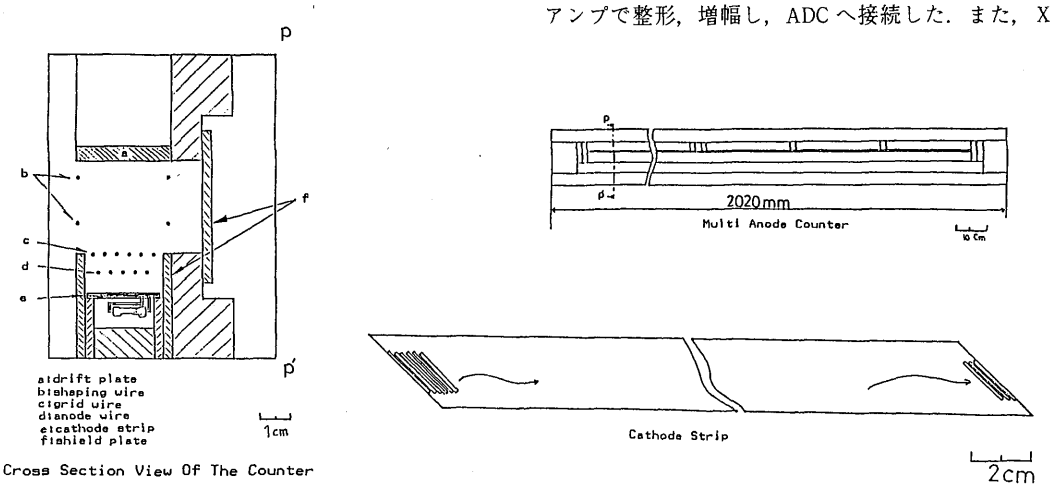


Fig. 5 Schematic view of the counter

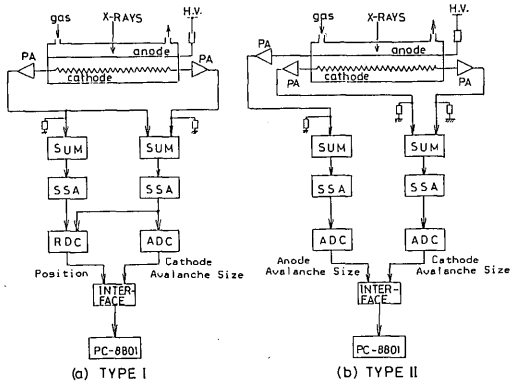


Fig. 6　Electric block diagram

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ー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．

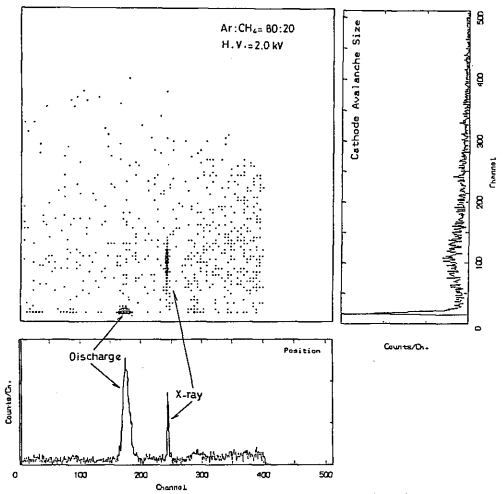


Fig. 7　Map of two dimensions (Position resolution VS Avalanche size of cathode output)

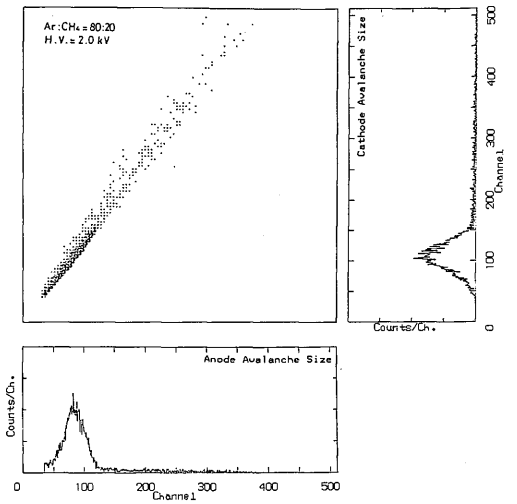


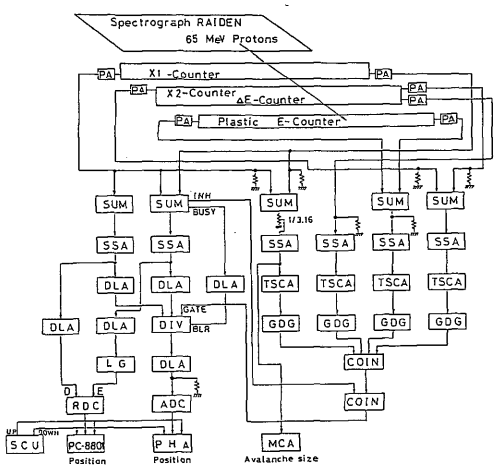
Fig. 8　Map of two dimensions (Avalanche size of anode output VS Avalanche size of cathode output)

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 $Ar: CH_4 = 70:30$ 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[1)2)] の出力を ADC によりディジタル化し，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．



PA: Pre-amplifier (ORTEC 472); TSCA: Timing single channel analyzer (ORTEC 455); DLA: Delay amplifier (ORTEC 472 A); GDG: Gate and delay generator (ORTEC 416 A); COIN: Coincidence circuit (ORTEC 418 A); DIV: Analog division circuit; MCA: Multichannel analyzer. PHA: Pulse Height Analyzer; SCU: Spin Control Unit

Fig. 9 Electric block diagram (RCNP experimentation)

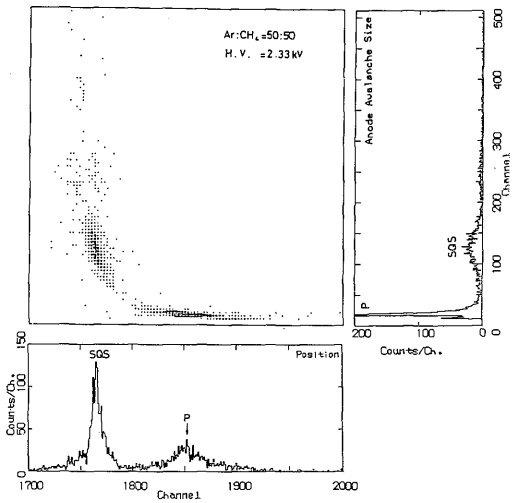


Fig. 10 Map of two dimensions (Position resolution VS Avalanche size of anode output; for ultra soft x-rays generator)

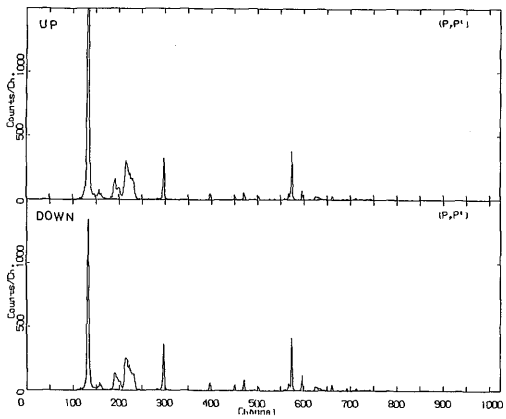


Fig. 11 One dimension and two events spectrum for elastic protons

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 ^{3}He 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. Kolfschoten, H. W. Vanderven 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.