

パルス波高比デジタル変換器（RDC）用データ収集システムへの SCSI バスの応用

榑, 泰直

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

井尻, 秀信

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

渡辺, 幸信

Department of Energy Conversion Engineering, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

榮, 武二

九州大学大学院総合理工学研究科応用原子核工学科

<https://doi.org/10.15017/17364>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 17 (1), pp.15-21, 1995-06-01. 九州大学大学院総合理工学研究科

バージョン：

権利関係：

パルス波高比デジタル変換器 (RDC) 用データ収集 システムへの SCSI バスの応用

榎 泰直*・井尻 秀信
渡辺 幸信・榮 武二**
(平成7年2月28日 受理)

Application of SCSI Bus to an On-line Data Acquisition System with RDCs (Ratio to Digital Converters)

Hironao SAKAKI, Hidenobu IJIRI
Yukinobu WATANABE and Takeji SAKAE

An on-line data acquisition system with RDCs has been extended by incorporation of an interface between the KYU-IB bus used exclusively in the original RDC system and the SCSI bus used widely with general purposes. This extension enables us to widen a choice of personal computers and workstations available for the data acquisition with RDCs. A prototype of such RDC data acquisition system was developed and the performance was evaluated through some feasibility tests. The system was successfully applied to nuclear physics experiments in which energy spectra of charged particles emitted from nuclear reactions were measured with a ΔE -E counter telescope consisting of three silicon semiconductor detectors.

1. 序

原子核物理や高エネルギー物理の大規模・高精度実験を目指したフロンティアでは、膨大な数の検出器から構成される測定器や大型加速器の制御ならびに測定器で発生する大量のデータの高速オンライン処理に、高速・高機能ワークステーション (WS) の先端的な応用が行われている¹⁾。一方、小規模な実験や検出器のテスト実験などに利用されている計算機の主流は、現在でも小回りのきくパーソナルコンピュータ (PC) である。近年 PC の計算処理能力の飛躍的な向上と低価格化の流れの中で、高度化する実験に対応できるように、多次元データ収集機能を有する PC ベースの高性能な小規模計測システムの構築が可能になってきている。

これまで、我々のグループは、電荷分割型位置検出器のパルス処理を行うために開発されたパルス波高比

デジタル変換器²⁾ (RDC) と PC で構成される多重チャンネル波高分析システムを製作し、九州大学理学部タンデム加速器等を利用した原子核反応実験に用いてきた。このシステムでは、独自のインターフェースバス規格である PC 用 KYU-IB バス³⁾ を介して PC と RDC 間でデータ転送を行っているが、KYU-IB を他の標準インターフェースバスに接続することで、従来使用してきた機器と互換性を保ちつつ、さらに拡張性を有する RDC データ収集システムの開発が可能となる。その一環として、最近、松本等⁴⁾ は KYU-IB を原子核実験における標準インターフェースである CAMAC に接続し、RDC を CAMAC の 1 つのモジュールとして制御できるデータ収集システムを試作し、その有効性を示した。

一方、今日市販されている多くの PC や WS は、高性能・高機能化に伴って何らかの汎用バスを装備しており、豊富な周辺デバイスを組み合わせたシステムの構築とそれらの周辺デバイスとホストマシン間的高速データ転送を可能にしている。この種の標準インターフェースバスの 1 つに、最近急速に普及している

*エネルギー変換工学専攻

**エネルギー変換工学修士課程 (現在日本原子力研究所)

**工学部応用原子核工学科

SCSI (Small Computer System Interface) バスがある。SCSI は、高速転送が出来る上に、バスに直接接続されるデバイスはすべてインテリジェンス機能を持ち、通信中にプロトコルを双方が理解できるという特徴がある。この SCSI バスと先に述べた KYU-IB バス間のインターフェースが可能となると、RDC システムに使用できる PC や WS の枠が広がり、よりフレキシブルなシステム構築の可能性が期待される。このような拡張性の確保は、高速演算処理が要求されるデータ解析や数値計算、さらにはワープロとしての文房具的な利用等の役割も終えた PC を、小規模な実験データ計測・制御システムに組み込み、その有効利用を図る道を開くことにも役立つであろう。

本研究では、KYU-IB と SCSI 間の専用変換インターフェースモジュール製作に先立ち、SCSI-KYU-IB インターフェース機能を PC 側に持たせた簡易システムの試作を行い、SCSI バス搭載の PC を利用した RDC データ収集処理の性能評価を行った。さらに、本計測システムを実際の原子核反応実験の 2 パラメータオンライン計測に応用し、その有効性を調べたので報告する。

2. SCSI バスおよび KYU-IB バス規格

2.1 SCSI 規格

SCSI は、1986年にアメリカの ANSI に制定された (ANSI X3.131-1986) 標準規格である。この規格は、PC や WS の入出力ポートとして、ハードディスクデバイス、CD-ROM デバイス、光磁気ディスクデバイス等に採用されている。SCSI バスの働きは、8ビットのデータをホストマシンと周辺デバイス間でやり取りすることである。SCSI 規格によると双方のデバイスには、インテリジェンス機能を有することが前提であり、このことにより共通のプロトコルを理解でき、通信を確実かつ高速に行える。バス上には最大 8 台のデバイスが接続可能で、これらは命令を出すユニシエータと、命令を受け取り実行するターゲットに分類できる。この区別は、固定されるものではなく各デバイスは状況に応じそれぞれに成り得る柔軟性を持っている。また、バス上に複数にホストを接続し、各ホストでターゲットデバイスを並列利用できるアービトレーション機能も持つ。SCSI の特徴をまとめると、

1. 高速である。

2. 共通のプロトコルをデバイス間で理解できる。
3. ターゲットデバイスの並列利用が可能。

等があり、短所としては、

1. 一般的に不平衡型終端を行うため、ケーブル長が最大 6m と短い。
2. 最大 8 台しかデバイスを接続できない。
3. 簡単なデータ入出力にも長いプロトコルが必要。等が挙げられる。

2.2 KYU-IB 規格

KYU-IB³⁾ は、最大 8 台までの周辺機器を 1 台の PC に接続してシステムを構成する。PC と周辺機器は、KYU-IB インターフェースを介して、バスラインを通じて信号を入出力する。KYU-IB は、基本的に小規模で変更の多い PC システムに適した簡単な構造を持ったバスであり、その特徴は以下のように要約できる。

- (1) 詳細規定を避けシステムを構成するためのハード、ソフトウェアの設計製作が容易。
- (2) データ転送の手続きが簡単 (ストロブ信号で同期転送)。
- (3) 1 台のコントローラに最大 8 台まで接続可能。ただし、コンピュータによる割り込み処理によるデータ収集では 4 台に制限される。

3. RDC 用データ収集試作システム

Fig. 1 に本研究で試作した SCSI を用いた RDC 用 2 次元データ収集システムの構成図を示す。以下、本システムを構成している主要なハードウェアならびにデータ転送のソフトウェアについて述べる。

3.1 RDC とステータスエンコードモジュール (SEM)

RDC は、1984年に Westphal の回路を基に九州大学の場グループ²⁾によって開発された、電荷分割法による高精度の位置検出用パルス波高比アナログ・デジタル・コンバータである。その精度は、16000チャンネルの ADC 2 台を用いて数値での割り算を行ったものに匹敵する。デジタル変換部には、ウィルキンソン型の回路を使用しており、分母側の入力を定電圧源に接続する内部切替スイッチで通常の ADC にもなる。コンピュータへのインターフェースには上述の KYU-IB を利用している。なお、後述の試作システムのテスト実験では、RDC を ADC として利用している。

Fig. 1 で 2 台の RDC が接続されているモジュール

(ステータスエンコードモジュール：SEM)は、多数パラメータの同時測定時に、複数のRDC等のデータ収集用周辺機器を1台のコントローラで制御出来るようにするためのモジュールである⁵⁾。本研究では、2次元データ測定を前提としたシステム用に、2パラメータ専用のSEMを再設計・製作した。SEMの回路構成、タイミング等に関しては文献⁶⁾に詳しい。

3.2 SCSIバス上のPCの役割

Fig. 1に示すSCSIバスライン上のIDは、各SCSIデバイスの固有番号で、0~7まで8台分の番号を有する。番号は、大きい程優先準位が高く、イニシエータに成り易い。本システムのSCSIバスには3台のデバイスが接続されている。

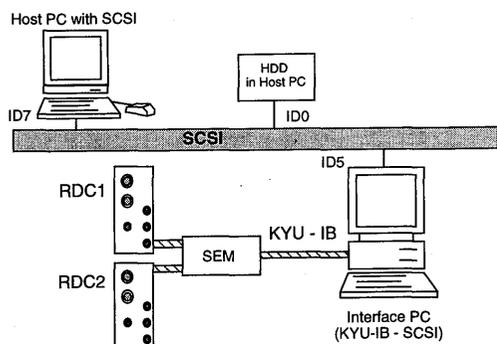


Fig. 1 Layout of two parameter RDC data acquisition system with SCSI bus.

ID=7のデバイスは、SCSIを標準装備している「ホストPC」である。SCSIデバイスの中ではイニシエータとしての役割をもち、以下に述べるSCSI-KYU-IB間インターフェース用PCを介して、RDCを制御し、そのデータを収集、画面にリアルタイム表示する役割をもつ。本研究では、ホストPCとしてMacintosh(以下、Macと略す)を選んだ。Macには、SCSIマネージャ⁷⁾というSCSI基本制御モジュールがROM中にある。これにより、SCSIデバイスの制御はSCSIマネージャを用いることで容易に行える特徴を持つ。Mac内蔵のハードディスクドライブ(HDD)は、ID=0としてSCSIバスに接続される。本システムでのHDDの役割は、RDCから送られるデータを最終的に記録・保存することである。

SCSIを用いたRDC用データ収集システムの可能性を探ることが本試作研究の第一目的であるので、KYU-IBとSCSIの変換専用インターフェースモジュールを作成する前に、この役割を98系のPC(「イ

ンターフェースPC」,以下IF-PCと略す)に持たせたシステムを試作した。即ち、イニシエータに対して命令を受け取り、実行するターゲットコントローラの機能をIF-PCが持つことになる。さらに、IF-PC内のRAMはシステム上のデータバッファとして利用され、KYU-IBインターフェースを介して接続されているRDCのデータを一時的に蓄える。IF-PCのID番号は、ID=5と設定した。ここでのID番号はハード的には認識されず、ソフト上で論理的に認識される。今回使用したいずれの98系IF-PCもSCSIを標準装備していないので、SCSIバスに接続するために、以下に述べるPC98用SCSIボードを製作した。

3.3 SCSIボード

Fig. 2に本研究で製作したPC98用SCSIボード⁸⁾の回路図を示す。SCSIボードには、SCSIコントロール用LSI(NCR53C80)⁹⁾を使用した。このLSIはSCSIコントロール用のLSIの中でも単純な構造で低価格であり、細かな制御の部分に至るまでホストのソフトウェア構築が可能で、SCSIプロトコルフェーズの1つ1つにわたってソフト制御できるという利点がある。このLSIの転送速度仕様は1.5Mbps以下と規定されている。SCSIボードのI/Oアドレスは16ビットに設定した。下位8ビットではディップスイッチと、

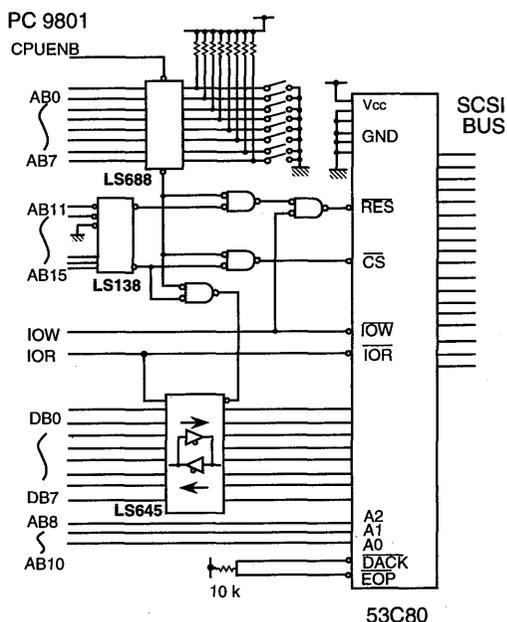


Fig. 2 Circuit diagram of a SCSI board for PC 9801.

LS688 (TTL-IC) でハード的に SCSI ボードを選択できるようにし、上位 8 ビットでは NCR53C80 内のレジスタが選択できるようになっている。本システムでは、SCSI ボード選択用下位 8 ビットを PC98 のユーザ拡張用アドレスに対応させ、KYU-IB 等のアドレスと一致しないようにしている。このことで、98系の IF-PC 内で同時に使用する拡張デバイスアドレスとのアドレスの一致を回避できる。上位 8 ビットでの NCR53C80 レジスタの選択はソフト上で行う。

3.4 SCSI コントロールソフトウェア

SCSI バスをコントロールし、Mac 側から KYU-IB に接続された RDC を制御してデータを収集し、Mac の CRT に表示する一連の処理プログラムを開発した。Mac 側の SCSI コントロールについては、Mac OS の SCSI マネージャが準備している関数ライブラリを利用した。一方、IF-PC 側に常駐するソフトウェアは、上述の SCSI マネージャに対応させて開発し、SCSI 制御、RDC からのデータの割り込み処理、データバッファ上に一時蓄積するなどの基本的な機能を有する。Mac から RDC へ送る SCSI コマンド命令の中に、(1) データを Mac 側で転送するコレクト機能、(2) データ転送をやめるストップ機能、(3) 全てのデータをメモリから消去するクリア機能などを新たに定義して追加した。

3.5 RDC データ転送の手続き

KYU-IB バス上の RDC で収集したデータをホスト PC である Mac に転送する際、バッファ機能を持った IF-PC に対して最適なデータ形式と格納・転送方法を調べた。2 種類の転送モードとして、スペクトル転送モード (ヒストグラムモード) とリスト転送モードを相互比較し、最終的に 2 次元データ収集に適したリスト転送モードを採用することにした。

Fig. 3 に、2 次元のリスト転送モードのフローチャートを示す。RDC 1 台のみの場合の 1 次元データ転送モードも、まったく同様な処理となる。リストデータ転送は、割り込みによって取り込まれた RDC の 2 バイトの数値データを、データの順序を保持しながら逐次転送するやり方で、この転送方法の特徴としては、データバッファを転送用配列と、収集用配列に分けている点を挙げることができる。データ収集用の配列の偶数番号に X 軸データ、奇数番号に Y 軸データを格納する (1 次元データ転送では、偶・奇数番号の区別がない) ようにした。Mac 側へデータ転送中、転送用配列は転送に専念させ収集には使わず、データ

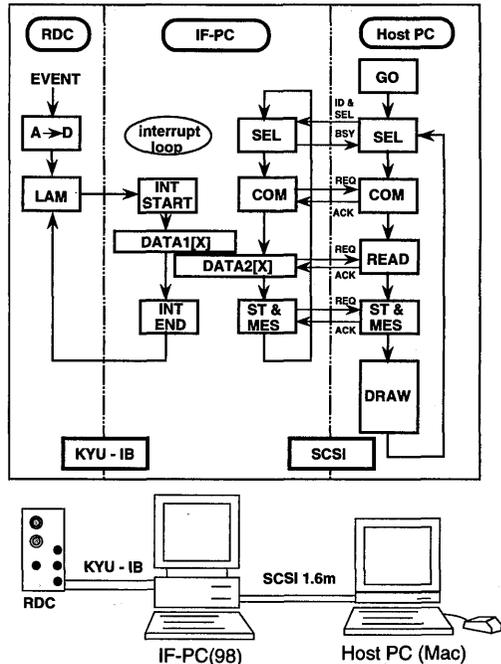


Fig. 3 Flow chart diagram of the list data transfer mode between the RDC and the Host PC.

は収集用に蓄えられる。1 回の転送は、1 回の SCSI プロトコルで行われ、転送が終了すると転送用、収集用を切り替えて再び転送を開始する。このようにすることで、収集中のデータの取りこぼしを少なくしている。

2 次元転送モードは、X 軸、Y 軸をそれぞれ (256 × 256) チャネルとした場合と、(1024 × 256) チャネルとした場合の 2 タイプを用意した。これらの違いは配列の大きさだけでなく、SCSI で転送するイベントデータのバイト数である。(256 × 256) チャネルのときは、X 軸、Y 軸共に 256 チャネルで、1 イベントデータに対し 1 バイトずつの 2 バイト転送、一方、(1024 × 256) チャネルのときは、X 軸 1024 チャネル (2 バイト)、Y 軸 256 チャネル (1 バイト)、つまり 1 データに対し 3 バイト転送を行う。また CRT 表示に関しては、Mac 側では 1 回の転送で全てのリストデータをディスプレイに表示するのではなく、CPU 使用時間短縮のため転送配列の中の 1 点しか表示を行わない。

4. 試作システムの性能評価

4.1 データ転送速度性能の評価

コンピュータシステムを構成していく上で評価して

おくべき能力の一つに、バス上のデータの転送速度がある。これが、計測システムの不感時間に大きく影響を与えるからである。

本システムの、転送速度の測定はターゲット(IF-PC)とイニシエータ(ホストPCのMac)を接続し、RAMに蓄えられた一定量のデータを直接SCSIに転送し、所要時間を計測する方法を採用した。なお、使用したPCは、転送速度のCPU処理能力依存性を調べるため、Mac側にLCII(16MHzの68030CPU)とIISI(20MHzの68030CPU)、IF-PC側がPC286(以下286)と、PC386(以下386)であった。ノープランドモードでのSCSIデータ転送法(1個のデータを送る度に、REQとACKのハンドシェイクを行う)を採用した。それぞれIF-PC側のクロック周波数を変えて測定した場合の転送速度の結果をFig. 4に示す。縦軸は測定された転送速度で、横軸はクロック周波数である。たとえ、どちらか一方のPCの処理速度が高くても、他方の側が劣っていれば、劣る方の性能に依存して転送速度は収束するが、両者とも処理速度が高い場合は、可能な限り転送速度を上げることがわかった。

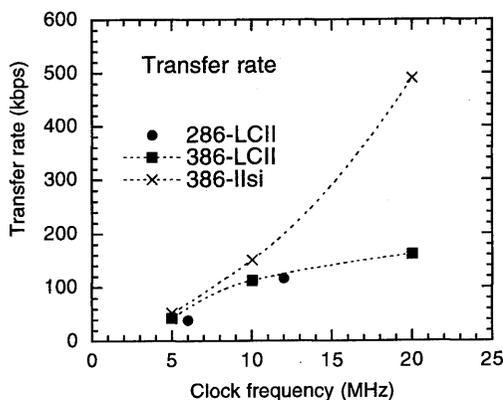


Fig. 4 Dependence of data transfer rate on the SCSI bus line upon clock frequency of PCs used in the present system.

4.2 システム処理能力の評価

3章で述べた試作システムを放射線計測実験に用いて、データ収集・処理能力の評価を行った。軟X線発生装置¹⁰⁾からのX線を比例計数管に入射し、そのランダム出力パルスを増幅・整形後に2つの信号に分岐して2台のRDCの入力アナログ信号とした。このテス

ト実験では、データ収集における数え落しの割合(ある一定の測定時間におけるRDCへの入力信号の総称に対する計測システムが取り損ねたイベントの総数の比)を調べた。RDCへの入力信号の総数は、増幅・整形後のパルス信号をタイミングシングルチャネルアナライザ(TSCA)に入力して、その出力をスケラで計数して求めた。

本システムで数え落しが発生する理由は次の2つが考えられる。1つは(a)RDCでのアナログデジタル変換に要する変換時間の有限性と接続されたIF-PCの割込処理能力、もう1つは(b)IF-PCとホストPC間のSCSIデータ転送に要する時間がトータルなデータ収集時間を制限する点である。以下、IF-PCとホストPCのマシン依存性を考慮しながら行った数え落しの評価結果を整理する。

まず、1次元および2次元データ収集においてRDC部で生じた数え落し(上述の理由(a)による)を調べた。その結果をFig. 5に示す。IF-PCとホストPCは、それぞれPC9801VM(10MHzのV30CPU: 図中ではVMで略記)とLCIIである。黒丸は1次元4096チャンネルのデータ収集の場合、白丸は2次元1024×256チャンネルのデータ収集に対応する。2次元の場合、1次元に比べ約1.5倍の効率低下が見られる。当グループが行っている実際の原子核物理実験では、放射線計測回路系のパイラアップイベントを減少させ、エネルギー分解能を上げるために、1000カウント/秒以下の事象を測定する場合が多い。Fig. 5からわかる

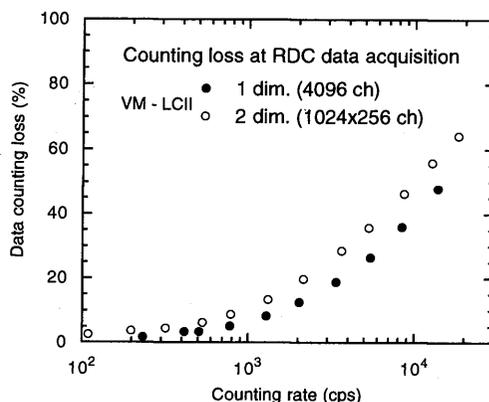


Fig. 5 Data counting loss versus counting rate in RDC data acquisition for one- and two-dimensional data.

ように、この条件下では、2次元測定で約10%程度の数え落しになる。

次に、4.1節のデータ転送速度性能のテストで良い成績をあげた IF-PC とホスト PC の組み合わせ (386 と IIsi) を用いた場合の結果を Fig. 6 に示す。より高速の PC を選んだことで、数え落しの割合が大幅に改善され、1000カウント/秒程度の計数率では約2%以下になっている。ホスト PC を含めたトータルな数え落しの割合が3000カウント/秒以上でいずれの組み合わせでも急激に増加する傾向を示している。これは、ホスト PC へのデータ転送速度に限界があり、上述 (b) の理由により、IF-PC 内のバッファに確保されたデータ収集用配列にオーバフローが発生していることが原因である。

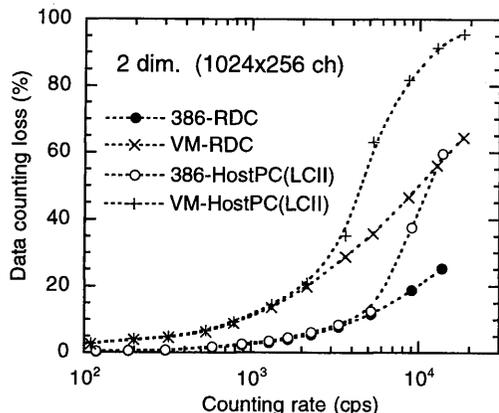


Fig. 6 Dependence of counting loss for two dimensional data with 1024 × 256 channels upon PCs used in the data acquisition system.

本試作システムは、より高速な PC (386 と IIsi の組み合わせ) を使用した場合、3000カウント/秒までの計数率に耐えうるデータ収集能力を有することがわかった。そこで、低速の PC を使用した場合にも数え落しを減らし、システムの効率を向上させる方法を検討した。

問題はデータ収集システムが数え落しを発生する理由 (a) で述べた IF-PC のデータ取込み速度にあるので、RDC と IF-PC 間にデータバッファを入れ、データ収集部とデータ処理部の機能を分離し、各部を独立に動作させることで不感時間の短縮化を図る方法が有望と考えられる。この方法では、不感時間は RDC の変換時間とバッファメモリのデータ収集時間に依存す

るだけになる。データバッファには取り込まれたデータの順序を維持しながら保存できる FIFO (First In First Out) メモリを採用し、8個のデータが蓄えられると IF-PC へのデータ割込が1回発生するように割込回数の減少を図る工夫を併せて行った。使用した FIFO メモリは、MMI 社製の16ビットデータが64個蓄えられるもので、データ取込み速度は、100nsec とかなり高速で、データ収集時間の短縮が期待される。この FIFO メモリを用いて測定した結果を Fig. 7 に示す。1次元4096チャンネルのデータ収集の結果であるが、386-IIsi を用いた場合と同等の性能を持ち得ることが確認できた。

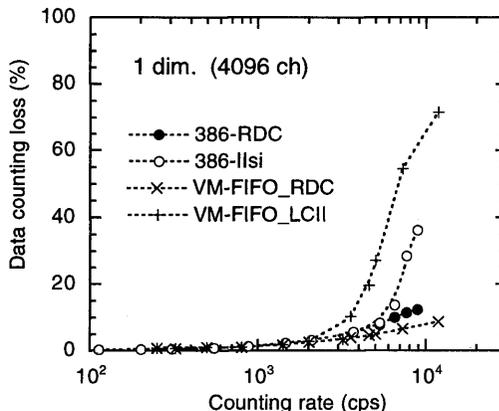


Fig. 7 Usefulness of FIFO memory for the system with low performance PCs. Data counting loss for one-dimensional data (4096 channels) is plotted against counting rate for two kind combination of PCs (386-IIsi, and VM with FIFO-LCII).

4.3 原子核物理実験への応用

本試作システムを日本原子力研究所タンデム加速器を利用した原子核反応実験に応用した。実験では、金属薄膜ターゲットに 26MeV 陽子を入射し、核反応から放出されるすべての荷電粒子 (陽子、重陽子など) のエネルギースペクトルを ΔE-E シリコン半導体検出器カウンターテレスコープを用いて同時に測定した。ΔE-E 検出器からの信号は最終的に粒子識別回路モジュールからの2パラメータ出力信号 (エネルギー信号と粒子識別信号) となり、2台の RDC を用いた2次元オンラインデータ収集を行った。この実験では、ホスト PC として Macintosh IIsi (25MHz の 68030CPU)、IF-PC として386マシンを使用した。実

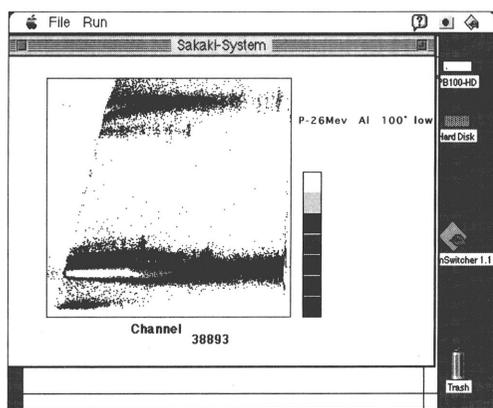


Fig. 8 Two-dimensional contour map display for experimental data taken using the prototype system of the RDC data acquisition with SCSI bus. See details in text.

験方法の詳細については文献¹¹⁾¹²⁾に報告されている。

アルミニウムターゲットの場合の測定結果を **Fig. 8** に示す。これは、ディスプレイ表示をハードコピーしたものである。図の縦軸は放出エネルギーに対応するチャンネル数を示す。濃淡によってイベントの頻度を区分している。図の上から下にかけて、 α 粒子、 ^3He 、重陽子、陽子の順にスペクトルが現れ、粒子弁別がうまくいっていることがわかる。また、他の測定システムとの性能比較を行うため市販の多次元データ収集システム (Canberra 社製 MPA/PC) を用いた計測も同時に行った。数 100cps 程度の計数率のデータ収集では、両者の総計数の差は 5×10^{-2} % 程度であり、数え落しの観点から見ても性能的に遜色がないことがわかった。以上の結果から、今回の試作システムは、実際の小規模な原子核物理実験に応用できることがわかった。

5. ま と め

本研究では、小規模データ収集用 KYU-IB バスと、

標準インターフェース SCSI バスの 2 つのデータベース系を組み合わせた RDC 用 2 次元データオンライン収集システムを試作し、SCSI インターフェースを搭載した PC を用いた RDC データ収集システムの性能評価を行った。最終的に、本計測システムを原子核反応実験の 2 パラメータオンライン計測に応用し、十分な性能を有することが確認できた。今後は、より高速な SCSI-2 への拡張も含めて、ターゲットコントローラの役割を持った専用の SCSI と KYU-IB 間インターフェースモジュール (80386 同等以上の CPU ボードを搭載したもの) の設計製作および汎用システムを指向したソフトウェアの改良が課題である。

参 考 文 献

- 1) 安 芳次, 竹内康雄, 日本物理学会誌 Vol. **48**, No. 11, 886 (1993); 渡瀬芳行, 藤井啓文, 日本物理学会誌 Vol. **49**, No. 2, 83 (1994).
- 2) M. Matoba et al.: Nucl. Instr. & Method **224**, 173 (1984).
- 3) 榮 武二等: 原子核研究 Vol. **33**, No. 4, 97 (1988).
- 4) 松本浩典等: 九州大学工学集報, 第 65 巻, 第 4 号, 283 (1992).
- 5) 木下和則: 九州大学大学院総合理工学研究科修士論文 (平成 3 年 2 月).
- 6) 楠 泰直: 九州大学大学院総合理工学研究科修士論文 (平成 5 年 2 月).
- 7) "Apple Inside Macintosh Volume III & IV", Apple Computer Japan (1988).
- 8) "最新 SCSI マニュアル" CQ 出版社 (1986).
- 9) "NCR 5380-53C80 SCSI Interface chip 仕様書", ジャパンマクニクス (1987).
- 10) 井尻秀信等: 九州大学大学院総合理工学研究科報告第 14 巻, 第 3 号, 345 (1992).
- 11) 榎本寛徳: 九州大学大学院総合理工学研究科修士論文 (平成 5 年 2 月).
- 12) Y. Watanabe et al.: Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Sci. and Tech., May 9-13, 1994, Gatlinburg, Tennessee, USA (Ed., J. K. Dickens, American Nuclear Society, Inc., 1994), 308.