

1. はじめに

「高エネルギー物理学実験におけるデータ収集システムの最近のトレンド」という大変に間口の広いタイトルですので、なるべくデータ収集の様々な面について広く浅く触れる様に心掛けます。こういう事を忘れないようにするつもりですが、不用意に業界のスラングを用いてしまった場合は御容赦を。FASTBUSについては、高エネルギーニュース (VOL 3, No 3-5) に KEK の新井康夫氏が読み易い入門を連載されたので、そちらも併せて御覧下さい。また、TKO BOXについては、HIGH ENERGY QUARTERLY (No2, June1985) に KEK の大須賀闘雄氏が開発の経緯、近況等、詳しく報告されています。

1.1 加速器の種類と実験のスタイル

高エネルギー物理学実験では、主として加速器ビームを用い、ビーム粒子と標的粒子(あるいはビーム粒子同志)の衝突反応の様子を各種の測定装置で測定する。測定装置には、粒子の軌跡を知る為のもの、粒子の種類を知る為のもの、粒子のエネルギーを知る為のもの等があり、それら測定装置からの信号はデジタル化されて計算機に取り込まれ、解析される。

データ処理の観点から見ると、加速器の種類、特に加速器ビームの時間構造はシステム構築に影響を与える。例えば、高エネルギー研究所内でも、陽子シンクロトロンでの実験とトリスタン主リングでの実験とは実験のスタイルが異なる。

- (a) 12Gev 陽子シンクロトロン・約2.5秒おきに約400ms 幅のビームが出る (ビーム・スピル)。測定すべき事象は400ms のビーム・スピル間にランダムに発生する (図1-1)。
- (b) トリスタン主リング・ $2.5\mu\text{s}$ おきに電子と陽電子が衝突する。測定すべき事象 (収集に値するものは毎秒1事象程度) は、この衝突に同期して発生する (図1-2)。

この2つを比較しながら、加速器ビームがデータ収集・処理にどのような影響を与えるか、更に詳しく見てみよう。

(1) トリガーの方法

収集に値する事象が発生したかどうかを判断し、データ収集系にたいして事象の取込みの是非を通知するのがトリガー (引金) システムの役割である。

陽子シンクロトロンの場合は、測定器中を通過したビーム粒子や反応粒子の方向、個数等を手掛りに

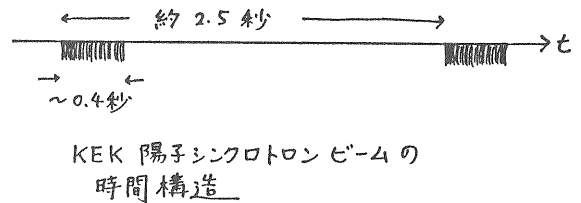


図1. 1

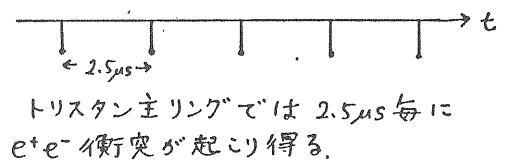
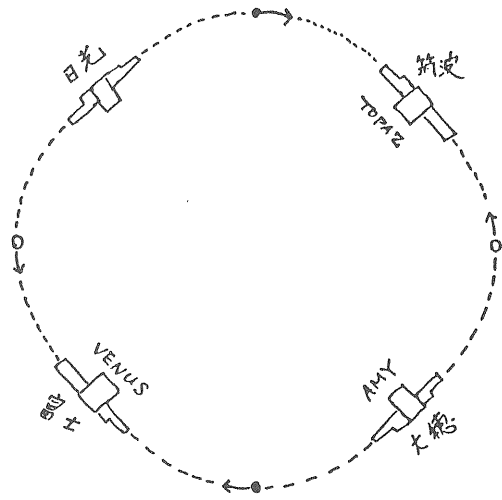
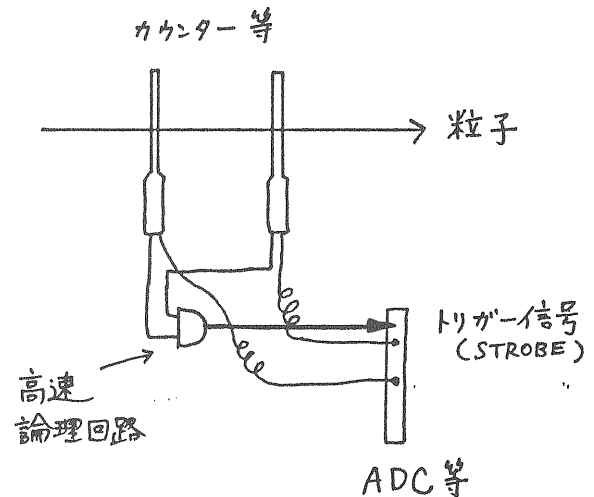


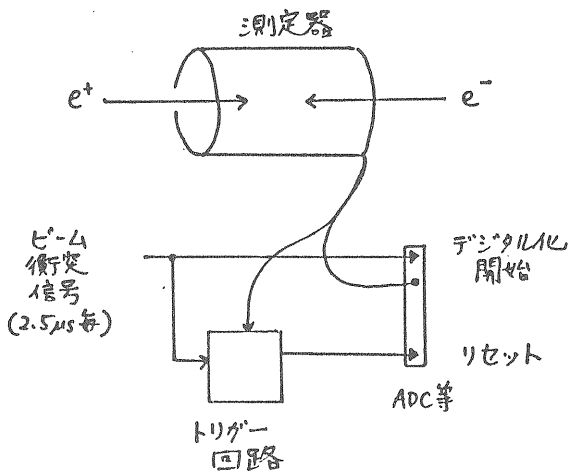
図1. 2



ストロブ法

図1. 3

「今起きた事象は取りこむべきか」をトリガー・システムで判断する。トリガーを契機に信号のデジタル化が開始される。この様な方式を仮に「ストロブ法」と呼ぶことができよう (図1-3)。トリガー回路が複雑になり判断時間が長くなると、それに合せ



FAST CLEAR 法

図 1. 4

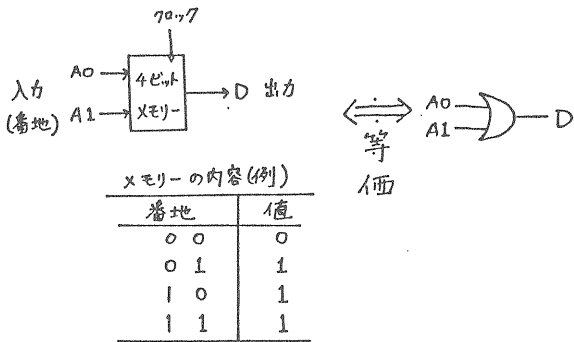


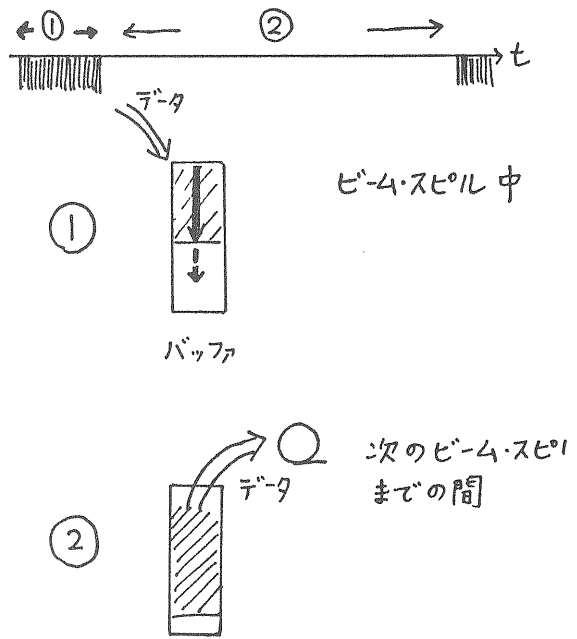
図 1. 5

測定器からのアナログ信号を遅延ケーブル等で遅らせる必要が生ずる。実験現場では、これがかかなり鬱陶しい問題となる事が多い。

トリスタンのような衝突ビーム型加速器の場合は、事象発生はビーム衝突と同期しているの、2.5μs 毎の衝突に同期してすべての測定器信号のデジタル化を開始させてしまう(言わばフライング・スタート)。同時にトリガー・システムは測定器内の飛跡等の情報から、何か事象が発生したかどうかを判断し、「何も起きなかった」場合には全系にリセット信号を配布する。リセットが次のビーム衝突までに完了すれば、原理的に不感時間は生じない。この様な方法を仮に「Fast Clear 法」と呼ぶことができよう(図 1-4)。

通常は、測定器からの信号を高速論理回路で処理することによってこの判断を行うが、最近では高速のメモリーを用いる事も多い。極端に単純化した例を図 1-5 に示す。図の左下に示した内容をメモリーに書き込んでおくと、このメモリーは図の右のような 2 入力 OR 論理回路と等価な働きをする。

大規模な実験では、トリガーを何段階かに分け、



時間構造のあるビームでのバッファの役割。

図 1. 6

最終段では計算機を用いて本格的な解析を行い、その結果を見て事象の取舍を行う場合が増えている。これについては 3 章で触れる機会がある。

(2) データのバッファリング

陽子シンクロトロンのように、ビームに時間構造がある場合には、データのバッファリング(溜め込み)が重要である。理想的には、1 回のビーム・スピルで発生する全事象を蓄積するのに十分なバッファ・メモリーを用意し、ビームが出ている最中はデータ収集に専念して可能な限り多くの事象をバッファに溜め込み、次のビームが来るまでの「休み」時間にデータの記録や解析を行うのが良い。この事情を図 1-6 に示した。現在陽子シンクロトロンで使用されているデータ収集システムはすべてバッファリングについて十分な配慮がなされている。

トリスタンのように、ビームに大局的な時間構造が無い場合は、大量なバッファを用意して事象を溜め込む事によるゲインは無いが、若干のバッファを用意してデータの流れの平滑化を行う事は重要である。また、大規模な衝突ビーム型実験では、不感時間を減らすためにデータ収集行路の各所にバッファを設ける事が行われているが、これについても 3 章で述べる。

1.1 データ量とその流れ

1) データ量

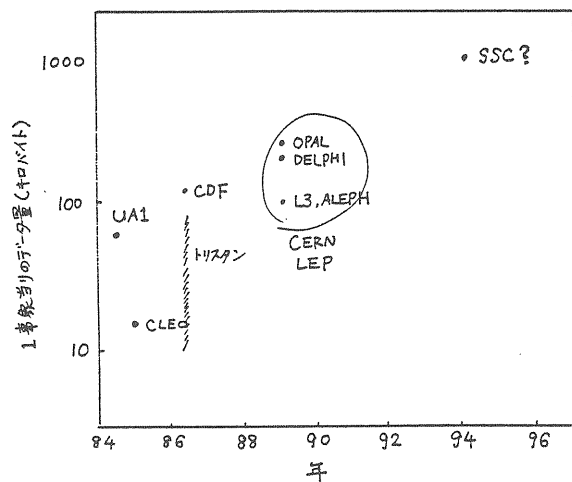


図 1. 7

表 1
CERN UA1 測定器のデータ量

測定器部分	信号数	データ量 (バイト)
中央チェンバー	6 2 0 0	8 0 0 0 0
トロンシチャー	1 2 0 0	2 4 0 0 0
電磁位置情報	2 2 0 0	4 4 0 0 0
前方デモン	4 0 0 0	8 0 0 0 0
ミュオン	2 0 0 0	8 0 0 0 0
	6 0 0 0	2 0 0 0 0

平均データ量 1 0 0 キロバイト/事象
不感時間 3 0 0 ms
最終トリガー 4 事象/秒

注) 中央チェンバーのデータ量は、前処理をしないと6メガバイトあるが、必要部分を捨てて圧縮することによって80キロバイトにまで減らしている。

高エネルギー実験の測定器が発生するデータ量、特に衝突ビーム型の実験のデータ量は、年々増加している。その様子を図 1-7 に示す。また、大規模測定器の代表例として、CERNのUA1 (陽子・反陽子衝突ビーム反応による弱ボソンを発見した) 測定器の1事象当りのデータ量を表 1 に示す。データ量は約100キロバイトで、毎秒4事象程度が最終的に記録される。トリスタンでのデータ量はこれほど多くはないが、それでも10-100キロバイト/事象、最終トリガーは1-5事象/秒になる予定である。一方、陽子シンクロトロンでの実験は1事象当りのデータ量が0.5-5キロバイト程度と少ない代りに、トリガーがビーム・スピル当たり50-500と多く、最終的に記録されるデータ量としてはトリスタンでの実験に匹敵する場合もある。目安として、現在おこなわれている大規模な実験では加速器や実験の種類に関係無く、データ・サイズ/事象×事象/秒=約100キロバイト程度という関係が成り立つが、これは後に述べるよ

うに主として磁気テープ等へのデータ記録速度や、データ解析能力から来る制限によって決まっている量と考えることができる。

2) データの流れ

測定器からのデータの流れを示す例として、陽子シンクロトロンで行われた実験の場合を図 1-8 に示す。測定器からのアナログ信号は、信号ケーブルでフロント・エンド・エレクトロニクスと総称される信号処理系に接続される。信号はここでデジタル化される。最近の例では、フロント・エンド・エレクトロニクスからデジタル・データを直接計算機に読み出すよりも、図 1.8 の例に示したように一度何がしかのデータ圧縮等の処理を施した上で、メモリー・モジュールにデータを詰め、計算機はそのメモリー・モジュールからデータを読み出すというスタイルを取る事が多い。この方法によれば、多数のフロント・エンドからのデータの読み出しを並列化することが出来る上、不要データの除去等によって、最終的に読み出すデータ量を減らすことができる等のメリットがある。

計算機に収集されたデータは通常磁気テープに記録され、大型計算機で最終的に解析される。陽子シンクロトロンの実験でも1実験あたりテープ1000巻程度に達する例が多く、また、トリスタン実験全体では生データテープと解析によって生ずるテープの合計が年間2万本に達すると見積られている。

1.3 目安となる数値

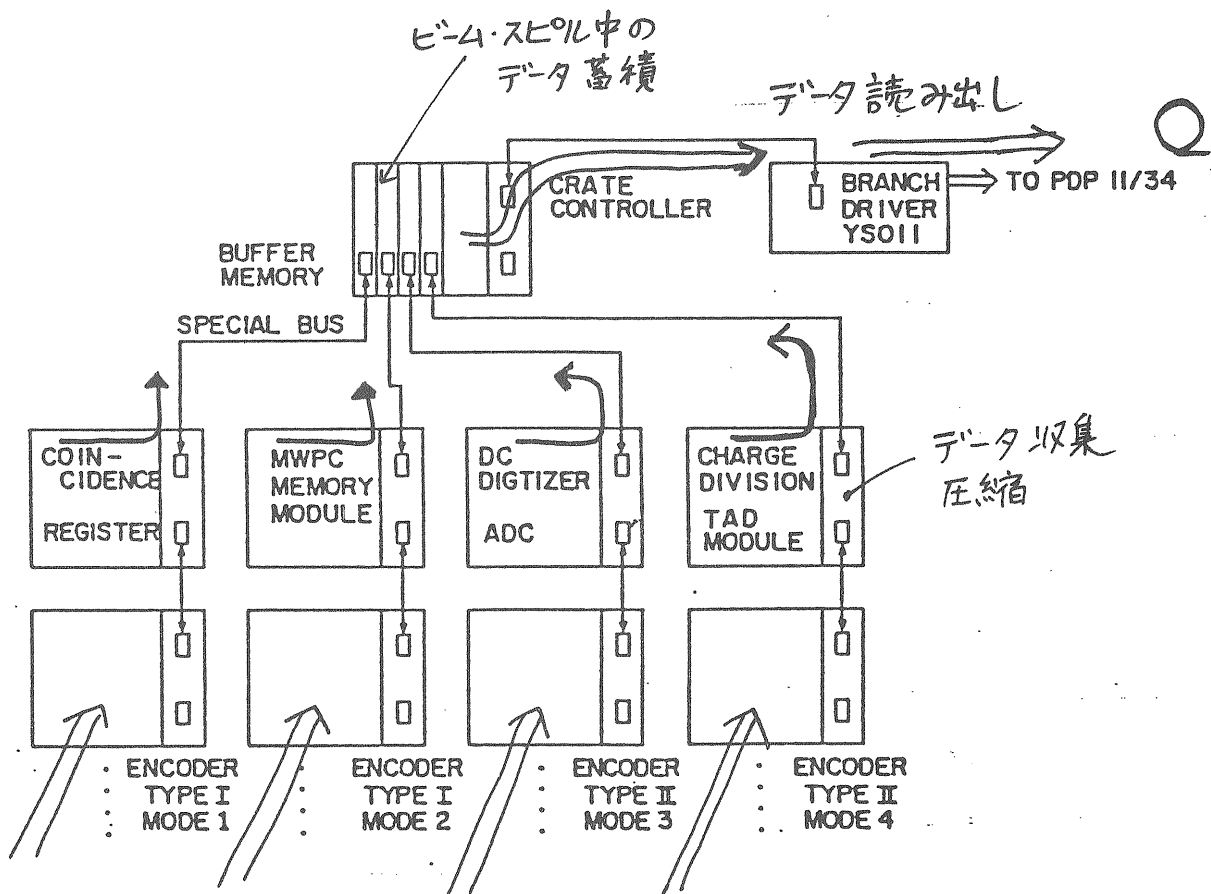
データ収集を論じる上で目安となる数値をいくつか並べてみよう。

1) 磁気テープ

現在実験データを最終的に記録する標準的な媒体である磁気テープについて...

- 長さ 2400フィート
- 記録密度 1600バイト/インチ
- 或いは6250バイト/インチ
- テープ速度 75又は125インチ/秒
- 最大200インチ/秒
- テープ一本の容量 約150メガバイト (6250バイト/インチ使用)

したがって、原理的には最大毎秒1.25メガバイトまでの速度でデータを記録することが可能であるが、もしも本当に平均してこんなに高速でデータが記録される様な実験を行ったとすると、およそ現実的でない。前述したように、平均100キロバイ



測定器からの信号

KEK 陽子シンクロtron

πI 実験での例

図 1. 8

ト毎秒程度でデータを収集した場合には、磁気テープが25分に一本の割合で書かれる事になり、これとてもその後の解析の事等も考えると膨大なデータ量である。

2) データ収集速度

測定器系から計算機へのデータ収集は、通常ブロック転送（計算機のメモリーへの直接転送：Direct Memory Access [DMA]）を活用して行う。この場合の速度の目安は、

CAMAC 最大500キロバイト／秒程度

FASTBUS 最大5メガバイト／秒程度

である。CAMACにおける転送速度は、主としてCAMAC規格で定められたCAMACデータウェイのタイミングによって決っており、FASTBUSの場合（KEKでの実測例）は、データを受け取る計算機のメモリーの速度によって決っている。

1.4 データ収集システムの役割

実験を行う場合、データ収集システムの果すべき役割は、単にデータを測定器系から収集してテープ等に記録するだけにとどまらない。実験が正常に進行している事を常時確認し、また、ある程度のデータ解析を同時に行う事が重要である。

実験が正常に進行している事を確認する為には、測定器の環境をモニターしたり（例えば各部の電圧、温度、ガス流量等）、収集したデータを部分的に解析して各種の統計を取ったり、事象をグラフィック・ディスプレイに表示して大きな誤りが無い事をチェックしたりする。データ収集用の計算機は、この為にかかなりの演算能力を必要とするし、又、データ解析のプログラム等のソフトウェア開発環境が良好である事も求められる。

極端な想定としては、いっその事、収集したデータを実時間ですべて解析して最終結果を導くのに十

分な大型計算機を用いれば良さそうな気がするが、現実にはその様な事をしても大して意味がない。現実の実験では測定器の詳細な振舞いに関するパラメータや、最も良い解析方法と言った重要な問題は、実験の進行に伴って数々の試行錯誤の結果序々に決ってゆくものである、実験の最中に最終解析と称するものを行ったとしても後日再解析となる事は避けられない。

それでは、データ収集の現場での解析はミニマルで良いかということ、そうでもない。最近の傾向としては、データ収集の行路の一部にかなり大きなデータ解析能力を持たせる努力をする実験グループが増えている。その理由としては、

- 1) かなり本格的な解析プログラムによるデータ解析を行った上でないと、本当の事象とゴミとの区別が付きにくい (KEKの陽子シンクロトロンで計画の中性K中間子稀崩壊実験などがこの例にあたる。この実験では、磁場中での崩壊粒子軌道を再構成して親粒子の質量を求め、これがK中間子の質量に近いものだけを事象として取り込む事を計画している)。
- 2) 特別に早く結果を知りたい事象のみをデータ収集時に選別して、場合によっては別のテープに書いてしまう。CERNのUA1では弱ボソン崩壊の候補になりうる事象だけを特別にデータ収集の時点で選別し、早く結果を得ること成功した (Express Line)。

また、実験者に対するデータ収集計算機の対話 (マン・マシン・インターフェイス) の重要性は今に始まったことではないが、実験が大規模になり、実験メンバーの中には月に一度程度しかデータ収集のシフトを行わない人がいたりするようになると、ますますエラー回復等に高度な配慮が必要となってきている。また、大量にある測定器やエレクトロニクスのパラメータ設定値や、回路モジュールの較正・交換日記などに、データベースを利用するケースも増えており、今後盛んになると考えられる。

2. 計算機

データ収集システムは通常、小型計算機を中心に組立てられる。今後もこのスタイルは踏襲されるのだろうか。

2.1 ハードウェア

KEKの陽子シンクロトロンの実験では、DEC社のPDP-11を中心とする16ビットの小型計算機 (い

わゆるミニコン) が主にデータ収集に使用され、現在に至っている。このうち最も古いものは既に10年を経過しているが、今でも現役で活躍している。しかし、この10年間の計算機のハードウェア面での進歩はめざましく、世代交替の時期を迎えていると言えよう。

- 1) 中央処理装置 (CPU)。現在では32ビット機が主流である。この10年で、演算能力の向上よりも、むしろCPUのVLSI化などによる価格性能比の向上がめざましい。大型計算機分野では、概略年率35%でCPUの価格性能比が向上していると言われているが、小型計算機においてもそれに近い比率で向上している。ちなみにトリスタンのデータ収集に用いているVAX-11/780は約1 MIPSの演算能力を持つ (これはKEKの中央計算機M280-Hの約1/15に相当する)。

68000等高性能のマイクロプロセッサを用いたワークステーションが登場した頃には、その価格性能比の高さから、VAX等のミニコンが果している役割は将来これらマイクロコンピュータに取って替わられるのではないかとされた時期もあったが、今までのところ必ずしも大勢はその方向には進んでいないようだ。最近マイクロVAXの様にミニコンピュータをVLSI化した製品が登場した事により、ミニコンの価格性能比も飛躍的に向上した (これらをマイクロコンピュータと呼ぶべきかミニコンと呼ぶべきかは判然としなないけれど)。

もちろん、大きな実験ではミニコン一台で事足りるという訳には行かなくなって来ており、高性能のマイクロプロセッサが (多くの場合部品として) 多数利用されるようになって来た。

- 2) 主記憶。10年前は小型計算機のメモリーの主流がコア・メモリーであった事を思い起していただきたい。16ビット計算機で、64キロバイトのメモリーまでしかアドレスできない時代は既に昔の事となり、今では数メガバイトのメモリー、仮想記憶、キャッシュ・メモリー等、大型計算機と同様な機能が小型計算機にも与えられるようになった。
- 3) 小型計算機と同様の磁気テープは10年前には800バイト/インチが標準であったが、現在1600あるいは6250バイト/インチが標準となった。但し価格的には大巾な変化は無いために、計算機本体のコストが下がるにつれ、磁気テープ装置の購入・維持が急速に割高となって来た。本番の実験ではテープドライブ2台 (願わくば6250バイト/インチ) が欲しいところであるが、その価格は今やマ

マイクロ VAX システムよりも高価である。

4) 磁気ディスク。10年前には標準的であった2.4メガバイトのカートリッジ式ディスクは、実験室の劣悪な環境で頻繁にヘッド・クラッシュを起したが、最近の密閉式・数百メガバイトのディスクは遙かに信頼性が高い。

5) 磁気テープに代る記録メディア。今後大規模な実験を行う上で、現在の6250バイト/インチテープを使い続ける事はあまりに問題が多い。より高速で、コンパクトで大容量のメディアが欲しいという要求はかねてから強かったが、未だにテープに代る決定的な解決法は無い。

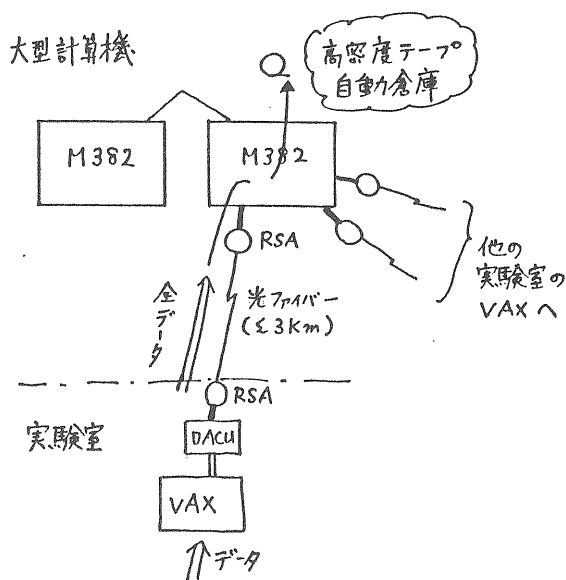
トリスタン実験では、30000バイト/インチのカセット磁気テープにデータを格納する方針を立てている。この新しいテープについては、近い将来大規模なテープ自動倉庫が建設できる見通しがあり、年間テープ2万本に達するであろう大量データを扱うのに適している。

しかし、何と言っても光ディスクに対する期待は大きい。今のところ、大型計算機用の光ディスクは2度書きが出来ないが、実験データの格納に用いるならばこれは一向に構わない(むしろ望ましい位である)。現在発表されている製品はテープや磁気ディスクに比べて書き込み速度が1/5 - 1/10と遅いのが難点であるが、各社とも光ディスクの開発には力を注いでおり、近い将来光ディスクが磁気テープに置き換わる日が来るとされる。

6) ネットワーク。KEKの陽子シンクロトン実験のために建設された KEKNET は、実験データの一部を中央計算機に転送して解析し、実験のモニターを助けるために構築された。

現在トリスタン実験用に構築している高速データリンクはこれと異なり、実験室の VAX で収集した全データを大型計算機に転送し、中央側で高密度磁気テープに記録する為に使用される(図2-1)。大型計算機のチャンネルを光ファイバーで最大約3 km 延長して実験室まで延し、その先でパラレル信号に変換して VAX と接続する。4つの実験室との接続は互いに独立であり、すべての実験から同時に400キロバイト/秒以上のデータ転送が可能となる。

この様なデータリンクに加え、Ethernet 等を用いた構内ネットワークも実験に多く用いられるようになって来た。特にデータ収集計算機系を機能分散型のネットワークの考え方で構築する場合(データ収集、テスト、モニター、解析等を機能



トリスタンで使用するデータ・リンク

図 2. 1

別に分散させる場合、また、大規模な測定器の部分毎にローカルなテスト・モニター計算機を配する場合、計算機相互をネットワークで接続する事が必須となる。これを大胆に多用した例として CERNLEP 測定器の一つである Aleph のシステムを図2-2に示す。

現在最も多く使われているのは、一本の同軸ケーブルを用いて10Mbps(メガビット毎秒)の速度でデータを交換する Ethernet 方式のネットワークで、KEKにおいても昨年からの敷設を開始した(図2-3)。

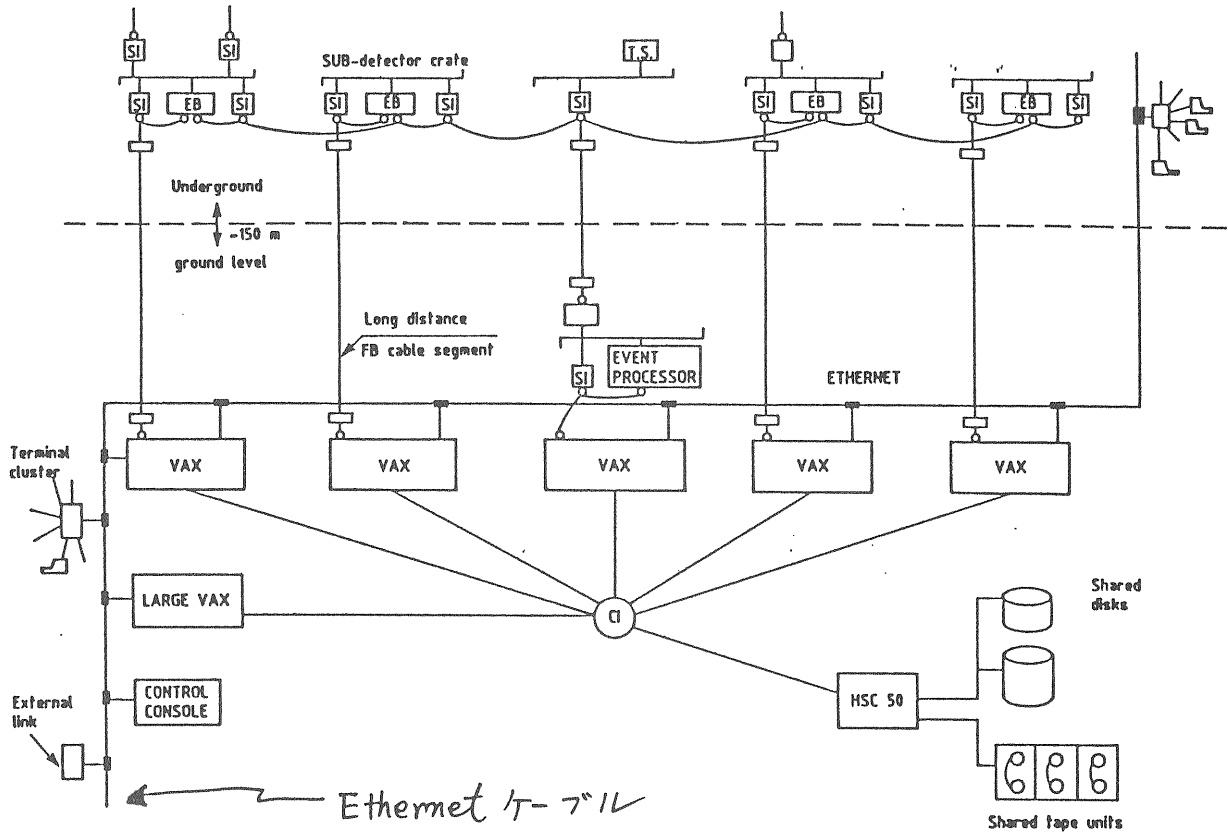
2.2 ソフトウェア(殊にオペレーティング・システム)

データ収集系で使用されるオペレーティング・システム(OS)はリアルタイム用にいくつか特有な制御機能を持つものが利用され、一般のタイム・シェアリング用のシステム(標準のUNIX等)は不向きである。システム内でのタスク制御の方法は基本的にはイベント起動型である事が必要で、時分割による均等配分では困る。多用される機能としては、

- (1) 割込み信号を受信し、データ収集プログラムを起動するための道具立て、
- (2) 複数プログラムでコモン・ブロックを共有するための道具立て、イベントの待ち合せを行うための道具立て。また、
- (3) プログラム間で同期を取ったり、プログラム間で制御メッセージの交換等の通信を行うための道具立て、

測定器

(地下 ~150 m)



ALEPH central readout (preliminary)

図 2. 2

TRISTAN 構内ネットワーク

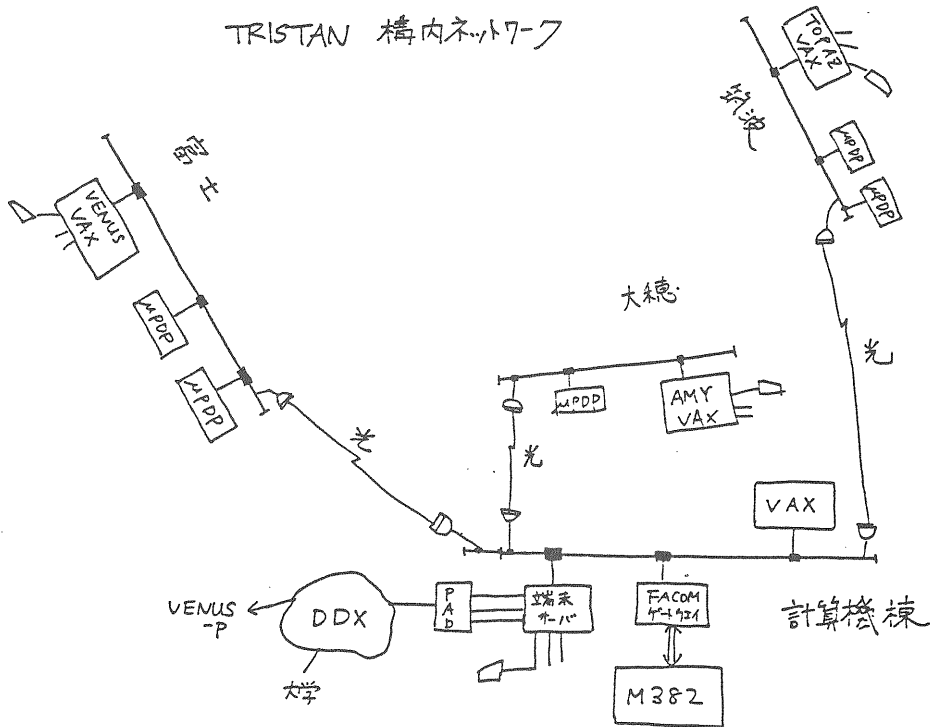


図 2. 3

(4) 測定器との接続のためのインターフェイス・ソフトウェアをシステムに組み込むための道具立て、
等がある。

現在の主流はマルチタスクのリアルタイム用 OS である。これらの OS はプログラム開発環境としてすぐれたものであるし、また、ソフトウェアを機能別にタスク分割することによって開発・維持を容易にすることもできる。

しかし、一方でマルチタスク処理をしている事に起因して性能が低下する例もある。特に問題になりうるのは、トリガーからの割込み受信からデータ読み出し開始までの時間であり、実験によっては、この遅延がそのまま測定系の不感時間となってしまうので注意を要する。シングルタスクであれば、高々レジスタをいくつか退避させれば十分であったものが、最近のマルチタスクの場合はレジスタ退避の他にも仮想記憶のマッピング情報など、退避せねばならない情報が多くある。また、割込み処理の中からユーザが FORTRAN で書いた処理ルーチンを起動させたいと言った場合には更に OS 側の手数が増え、最悪 1 ms 程度にもなりうる。

大規模な実験では、データのデジタル化からデータの読み込みまでに全体でいずれにせよ数十ミリ秒(先に示した UA1 の例でも 30ms) かかるのであるから、割り込み処理の 1 ms くらいは近似的に無視できるという乱暴な議論もある。事実最近ではデータは計算機で読み出す以前の段階ですでにメモリー・モジュール等に収集されている事が多く、特にこれがマルチ・イベント・バッファ(複数の事象を記録しておくことができるバッファ・メモリー)である場合には割り込み処理の若干の遅れはシステム全体の不感時間に無関係となる。

この方法が適用できない場合には、データ収集のインターフェイスに工夫をするなどの対処が必要である。

2.3 マイクロコンピュータ

マイクロコンピュータやパソコンは今や高エネルギー実験に欠かすことのできないものであり、今後依存度は更に上がると思われる。

パーソナル・コンピュータは現在 CAMAC や FASTBUS と接続して回路のテストや、小規模なテスト実験で活躍している。また、実験中の測定器のモニター(電圧等)などの目的で補助的使用するのも適している。データを磁気テープに記録する必要が無い程度の実験であれば、パソコンは最もコス

表 2

UA1 でのマイクロプロセッサ利用

エレクトロニクス	CAMAC	クレート	200	台
	VME	クレート	282	台
		ブランチ	12	台

8ビットプロセッサ	MSX	3000	200	台
	Sup	000	110	台
	Cam	000	20	台
	000	000	7	台
16ビットプロセッサ	M68000	010	6	台
32ビットプロセッサ	168	/E	6	台

データ収集	Nord	1000	2	台
	6250	0bpi	500	台
		テープ		

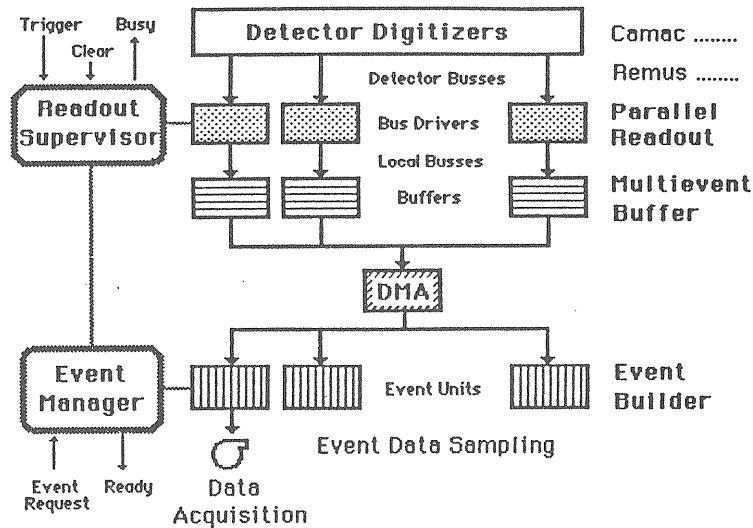
ト・イフェクティブであろう。1600バイト/インチの磁気テープ装置一台の価格がパソコン 5-6 台分近いことを考えると、パソコンに磁気テープをつないでデータ収集するのはコスト的に不釣合である。したがって、「テープを書くか書かないか」がパソコン適用の適不適を判断する基準となっている。

一方、マイクロコンピュータは CAMAC や FASTBUS モジュールの回路部品の一部として、データの読出しや前処理等に多く利用されるようになってきている。また、高性能のものをトリガー判断に利用する例も増えている。UA1 でのマイクロプロセッサ利用の例を表 2 に示す。このうち、8ビットプロセッサは主として CAMAC からのデータ収集と局所メモリーへの詰め込みに、16ビットプロセッサはトリガー判断及びデータの局所メモリーからの収集に使われている。32ビットプロセッサは IBM370/168 のエミュレーターであって、この上で FORTRAN で書かれたデータ解析プログラムを走らせている。

3. データ収集のトポロジー

必要なデータを如何に高速で収集するか、また、不要なデータを如何に上手に捨てるか。その為にインテリジェンスを何処に使い、どの部分を並列化し、どこにどの位の量のバッファを設けるのが良いか。各部のデータ転送速度はどの程度必要か。これらの問題を十分に理解する事は、データ収集を CAMAC で行うのか FASTBUS で行うのかと言った論議よりも本質的である。

最新の大型データ収集システムは、どの規格のエレクトロニクスで構築するかという詳細を超えてトポロジカルに(データの流れ、蓄積等の形態の点で)共通点が多い。ここでは、その共通点をまとめてみる事にしよう。



UA1 のデータの流れ

図 3. 1

- (1) デジタル変換したデータは、分散されたスキャナーによって一斉に並列に読み出される。
- (2) スキャナーはデータが入っていない所（粒子が通過しなかった測定器部分）は読み飛ばし、場合によっては必要な補正を行う。
- (3) スキャナーはデータをマルチ・イベント・バッファに書き込む。この時点ですでに次の事象のデジタル化に備えることが可能となる。
- (4) 1 事象のデータは複数のマルチ・イベント・バッファの中に散在しているので、これをブロック転送で掻き集めて 1 事象分の形にする。
- (5) こうして作ったデータをマルチマイクロプロセサで構成されたトリガー・システムに渡し、不要な事象を捨てる、あるいは興味深い事象を選り分ける。
- (6) データ収集の主計算機がデータをマイクロプロセサのメモリーからブロック転送し、これをテープ等に記録する。

図 3-1 は UA1 のデータの流れを大まかに図示したもので、上に述べたトポロジーが良く分る。もう一つの例として LEP の L3 のデータの流れを図 3-2 に示すが、こちらは更にもう一段階マルチ・イベント・バッファの階層を増やしている。

トリスタンでは、上記の(1)(2)は標準的に行っており、また部分的に(3)(例えば TOPAZ のタイム・プロジェクション・チェンバ：TPC の読み出しはダブル・バッファをしている)をおこなっている。

事象の選別のためにマルチマイクロプロセサを用いるのは非常に理に叶った方法であり、今や標準的な手法となりつつある。素粒子反応の事象は各々独

立であるので、1 事象ずつを別々の計算機に分配し、独立に解析させて一向に構わない。事象の複雑さによって、解析結果が事象を収集した順序に得られない事もあろうが、それも構わない。もし、処理能力が不足であれば、プロセサの台数を追加して容易に能力増強をはかることができる。図 3-1 で CMA と書かれている所から下の部分の詳細を図 3-3 に示すが、データは 5 台の 168/E プロセサのうち空いているものに配られ、解析される(5 台の 168/E は VAX 換算 13 台程度の処理能力である)。

トポロジーという観点から更に気付く点をあと 2 つ挙げておく。

- (7) 測定器からの信号を処理するエレクトロニクスのある場所と、データ収集計算機が設置されていて、データを記録したり実験の制御をしたりする場所との距離が長い場合が多くなっている。トリスタンの場合でも、VAX とエレクトロニクス小屋との間の距離はケーブル長にして 50 m 程あり、この間で大量データの高速度転送を行うのには高度な技術が必要である。LEP の場合などは 150m 以上の転送を行う。
- (8) 測定器各部のテスト、データの部分的なモニター、環境モニター等々で VAX クラスの計算機を複数用いる例が増えている。一例はすでに図 2-2 で示した。

4. CAMAC の次に来るもの

高エネルギー実験でのデータ処理を特徴づけているのは、測定器に接続されている大量の信号ケーブルである。データの分量や、処理内容だけを問題に

CERN LEP
L3のデータの流れ

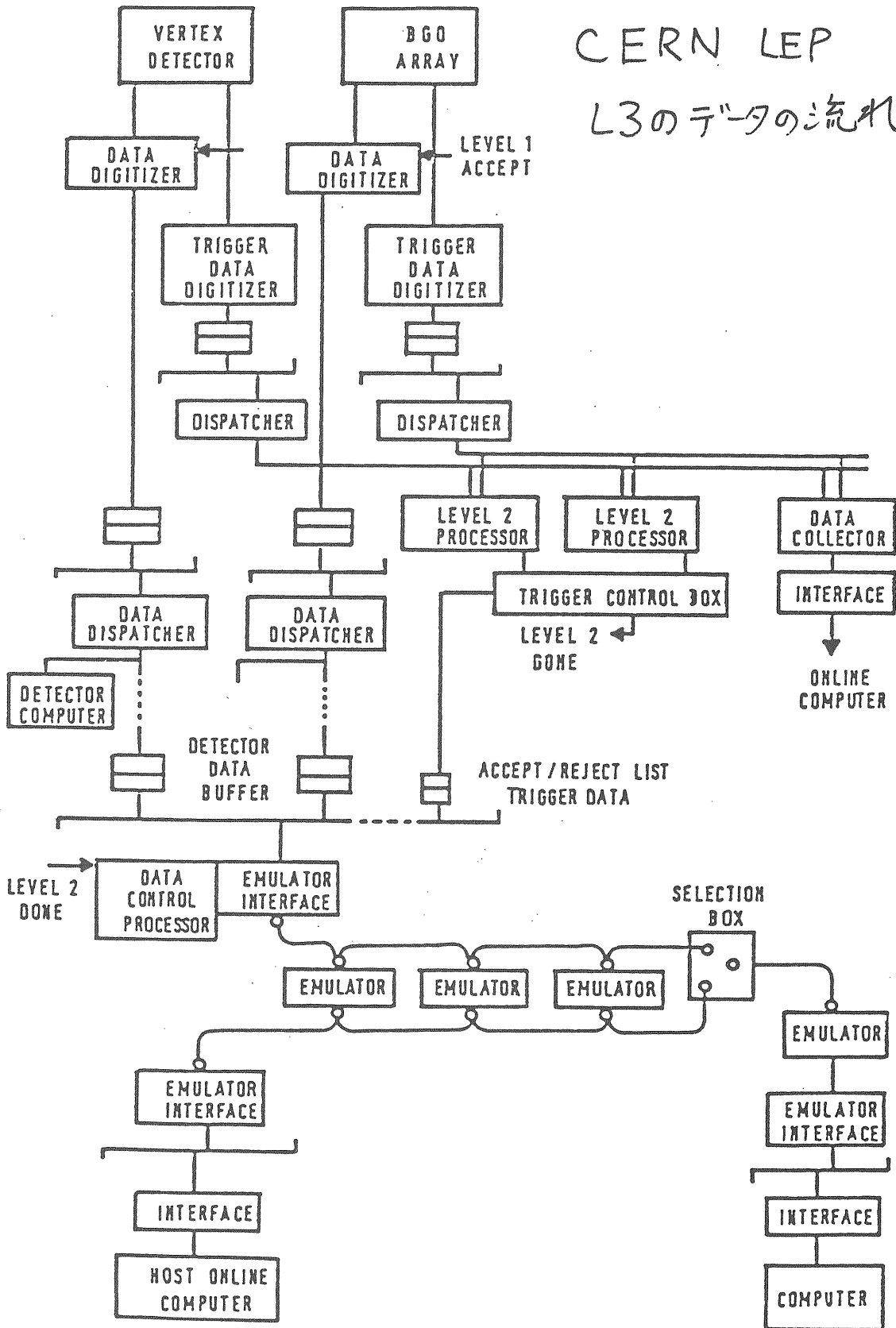
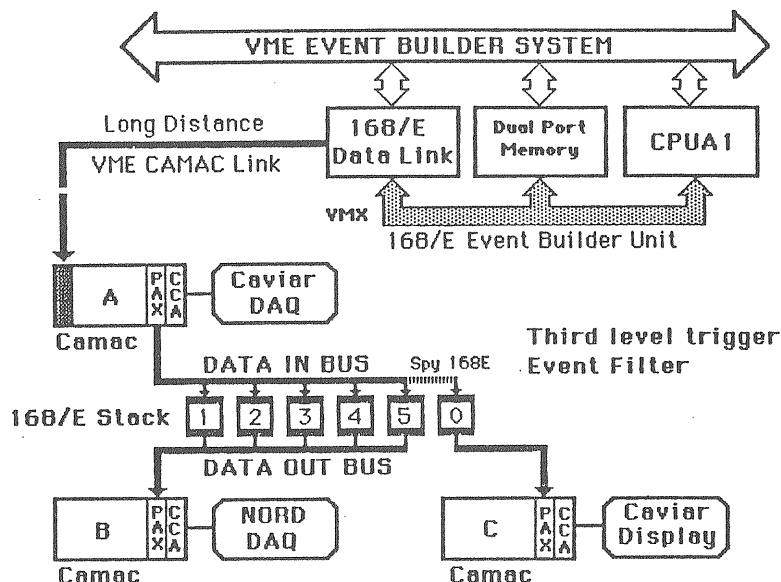


図 3. 2



UA1 最終トリガー周辺図

図 3. 3

するのであれば、CAMACとかFASTBUSとか言った高エネルギー実験独特のエレクトロニクスを開発しなくても、(特に最近)業界標準のマイクロプロセッサ用のバス等で賄える部分がある事は確かである。しかし、大量のケーブルからの信号を処理し、デジタル化する部分については世の中に同様な物が存在しない以上、高エネルギー実験者の手で開発してゆかなければならない。

CAMACはそのようなものとして考えられ、現在広く用いられているし、今後完全に他の物で置き換えられる事も無いであろうが、前節で見たような新しいスタイルのデータ収集システムを構築するには、明らかにCAMACを超える何かが必要である。

既に図1-8で示した陽子シンクロトンでの実験の例においても、信号処理エレクトロニクスの大半はCAMACであり、計算機とのインターフェイス部分もCAMACを用いているものの、データを並列に読み出してメモリー・モジュールに格納する部分では独自のデータバスを用いている。

並列読み出し、読み出し径路の階層化、マルチプロセッサを利用した処理等のデータ収集のトポロジーに関する問題の他にも、以下に述べるような様々な理由から、CAMACに代る、あるいは補うものが必要とされるようになった。

- (1) 一枚のモジュールでもっと沢山の信号を処理したい。これによって、全体として必要とされるモジュール数やクレート、ラック、電源数などを減らし、信頼性の向上をはかりたい。

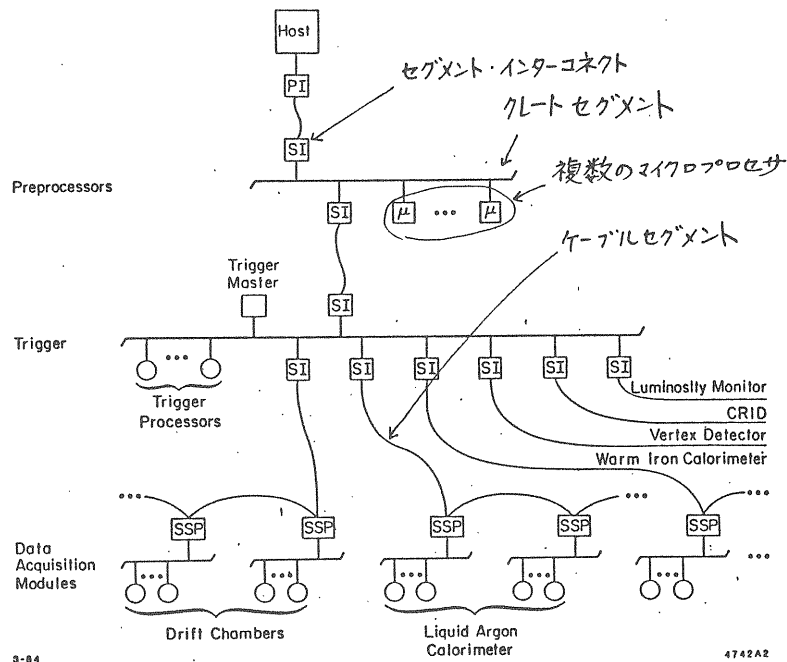
このためには、基板の面積を広くしたいし、基板一枚当りで消費可能な電力も余裕を持たたい。

- (2) CAMACのデータ転送サイクルは1 μ s程度であるが、これの10倍程度速いものが欲しい。
- (3) CAMACのデータ幅は16ビット(24ビット)であるが、最近の計算機のデータ幅の主流である32ビットまで広げたらどうか。
- (4) まばらに分散しているデータの高速度スキャンを可能にし、また効率の良いブロック転送ができるようにしたい。
- (5) CAMACで使用しているカードエッジ・コネクタは信頼性に問題があるので、より良いものに変えたい。

4.1 FASTBUS 概観

これらの要求を満たすCAMACの次の規格としてFASTBUSの規格の検討が開始されたのは1975年の事であるが、規格書が米国のエネルギー省から出版されたのは1983年の暮になってからであった(その後も変更、追加等がある)。名前が象徴するように、FASTBUSは40メガバイト/秒を超える高速のデータ転送が可能である上、計算機のデータとしての特質が多く盛り込まれている。それも、非常に自由なトポロジーのマルチプロセッサ・システムを構築できるように考慮されている。

FASTBUSの基本的な単位にはCRATEセグメントとCABLEセグメントの2種類がある。このう



米国 SLAC での SLD 測定器 データ収集系

図 4. 1

ち CRATE セグメントは CAMAC クレートに似て、26枚のモジュールが入るようにになっている。基板はタテ366.7mm、ヨコ400.0mmと CAMAC に比べて約2.5倍の面積である。モジュール相互はバックプレーンと呼ばれる信号ラインで接続されており、モジュールとバックプレーンとは130ピンのボックス型ピン・コネクタで接続される。

ここまでは CAMAC とあまり大きな違いは無い。FASTBUS に特徴的なのは、クレートのバックプレーン信号と同じ60ヶの信号を差動ラインにしてケーブルに取り出した「CABLE セグメント」と、セグメント相互を接続し、セグメントを越えるデータバス転送を可能にする道具「セグメント・インターコネクト」である。これを使うことにより、FASTBUS システムを自由なトポロジーに組み、しかもシステム全体として統一的な手順でデータ転送を行うことが可能となる。図 4-1 と 4-2 に FASTBUS を中心に構築したデータ収集のトポロジーの例を示す。又、FASTBUS の特徴を表 4-1 にまとめる。

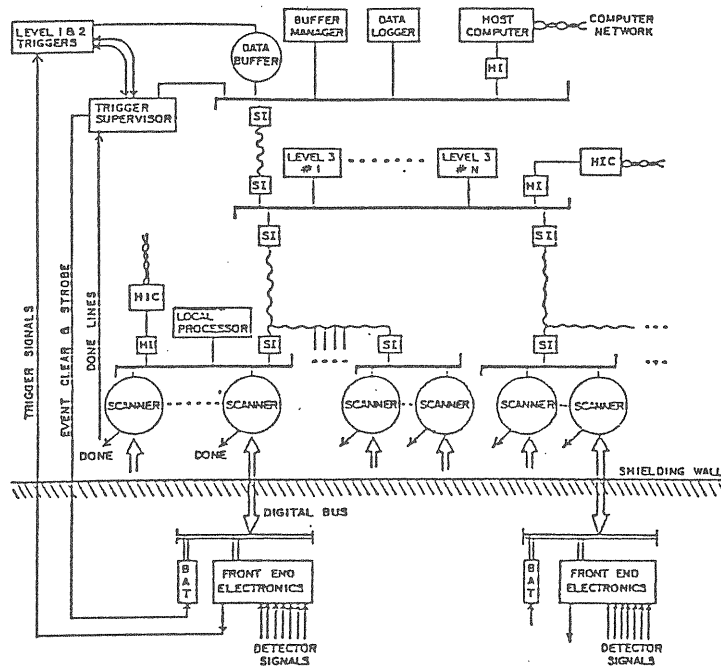
FASTBUS はこのような自由なトポロジーを許すものであるが、個々のモジュールが守るべき約束事は CAMAC に比べるとはるかに多く、数十個の IC が必要とされる程である。このため、FASTBUS の普及には FASTBUS プロトコルを LSI 化した「プロトコル・チップ」が不可欠であると以前より言われて来たが、様々屈折があり、漸く今年になって

カナダの TRIUMF 研究所で設計された全世界統一バージョンに基づくプロトタイプが生産が開始された。モジュールあたり、プロトコル部を受け持つ PCL チップ 1 個と、アドレス/データ部分を受け持つ ADI チップ 2 個、及びバックプレーン・バスとの信号の出し入れをするトランシーバ等が必要で、基板上でのレイアウトは図 4-3 の様になる。PCL と ADI は 88ピンの日本製ゲート・アレイを利用して設計されており、1 個あたり約 1.3ワットを消費する。

4.2 その他の解決法

データ収集のトポロジーを改めて眺めるまでもなく、測定器からの信号を処理する部分が最も大量のエレクトロニクスを必要としている。そして、圧倒的に多量のモジュールはスレーブ・モジュールである。FASTBUS で考慮されているように、複数のインテリジェントなマスター・モジュールがバスの使用権を争いながら高速転送を行うと言った「高級な」使い方は、これら大多数の末端部では不必要である。

測定器信号のデジタル化を行うこれらの部分に使う事に焦点を絞れば、FASTBUS とは自ずと異なるシステムが出来上がる。KEK で昨年来開発を進めてきた TKO なる規格は、測定器からの大量な信号を効率良く安価に処理することに力点を置いたものである。これは基本的にはデータ16ビット、アドレ

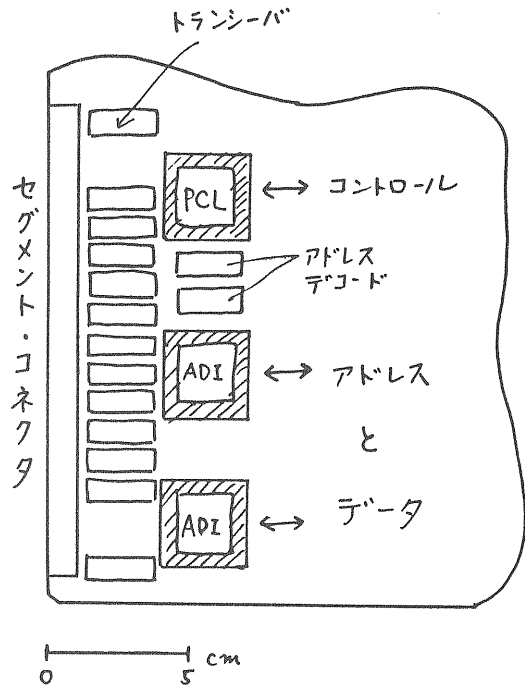


米国フェルミ研究所 CDF 測定器でのデータ収集系

図 4. 2

表 4-1 FASTBUS の特徴

速度	40メガバイト/秒 (ECL 使用時)
モジュール	クレート・セグメント当り 26 モジュール、ケーブル・セグメント当り 32 モジュール。
トポロジー	同一セグメント内に複数のマスター。セグメントを超えてのデータ転送処理。セグメント毎に独立したバス使用権の獲得。
プロトコル	クレート、ケーブルを問わず同一。
アドレス方式	地域アドレス、論理アドレス、ブロードキャスト。
アドレス/データ	32ビット。同一のラインをマルチプレクスして使用。
データ転送モード	1ワード転送 (非同期) ブロック転送 (非同期) パイプライン転送 (同期) スパーズデータ・スキャン (どのモジュールが転送すべきデータを持っているかを高速に調べ)



FASTBUS プロトコルチップを使用した場合の基板上的様子

図 4. 3

ス16ビットの非同期デジタル・バスで、TKO BOX と呼ばれるクレートの左側に位置するコントローラによってデータの読出しが制御される。

コントローラは標準機能として不要データの除去と圧縮の機能を持ち、結果は TOWEL と呼ばれる規格バスを通して CAMAC あるいは FASTBUS のメモリーモジュールに蓄積される。TKO はこのように測定器に密接な先端部分で使用する為の物として開発されており、一旦メモリーに格納されたデー

タに更に高度な処理を施す必要がある場合は、FASTBUS なり VME なり、その様な処理に適したシステムで行えば良いという立場を取るものである。

TKO の特徴としては、

- (1) 簡単、かつ将来スピード・アップの余地を残した非同期プロトコル。
- (2) 測定器からの信号はすべて BOX の裏のコネクターに接続される（信号ケーブルを外すことなく不良モジュールの交換が可能である）。
- (3) トリガーやゲート信号をバックプレーンを通して各モジュールに分配するための考慮がなされている。
- (4) CAMAC の 2 倍以上の基板面積、FASTBUS より遙かに低く定められた電力消費上限。

等を挙げる事ができる。

一方、一旦データがデジタル化され、測定器との大量なケーブルの出入り等、高エネルギー物理実験固有の問題を心配しなくて良い段階になれば、MULTIBUS や VME と行った市販の製品が十分に利用できることは既に見た通りである。FASTBUS がその開発目的通りに CAMAC に代って高エネルギー実験で広く用いられる規格になるかどうか、必ずしも明白でないと言われるのには、この辺りの事情もある。