16 ビット・ワンボードマイコンの利用

——動物・生理実験の制御・計測と
大型計算機のオンライン利用——

石 井 巖*

APPLICATION OF 16 BIT ONE-BOARD MICROCOMPUTERS TO ANIMAL
PHYSIOLOGICAL EXPERIMENT AND COMPUTER COMMUNICATION

Iwao ISHII

This paper describes a one-board microcomputer system for the experimental study of animal physiological psychology. The system consists of three interconnected one-board microcomputers, I/O devices, interfaces for experimental apparatus, and an acoustic coupler. One of the three one-board microcomputers is Intel SDK-85 which has 8 bit CPU. The other two are Hitachi H680 TRs which have 16 bit CPUs. Each of these microcomputers is assigned to its specialized sub-function of this system, and they operate concurrently. This is a low-cost optimized system. The system is used both for the control of experiment and the acquisition and primary processing of experimental data, and for the on-line communication with the computer centers through the acoustic coupler and the switched line; higher processing of data, software development, literature search, model development, etc. This system is low-cost, understandable, amenable to maintenance, expandable, and easy to connect with experimental apparatus.

マイクロ・コンピューターが諸研究に用いられている。マイコンを利用している研究分野が広がっているが、用いられるマイコンの種類も多く、利用の仕方も多様である。筆者の属する心理学研究室にも、おなじみの PC-8001 など数種のマイコンが使われているが、ここに報告するのは、そのうちの 1 つで、現在改造作業中のところもあるが、ワンボード型のマイコンが中心になっているシステムである。つまり、よく見られるパソコンのような“完成品”の形をしたマイコンではなく、1 枚の板の上に IC を配列しただけのむき出しの形のマイコンを使用しているシステムである。このシステムをこの報告でとり挙げたのは、その用途も含めてこの特集に多様性を持たせることになるのではな

いかと考えたからである。

1. システムの特徴

このシステムは、大型計算機と TSS 結合された形になっている動物・生理実験の制御・計測システムである。このシステムに組込まれているマイコンは、ワンボード型のマイコン 3 個である。1 個 13 万円ほどの低価格でメモリが 152 K バイトもついた日立の H680TR という 16 ビットのワンボードのマイコンが 2 個と、数万円の Intel の 8 ビットのワンボード・マイコン SDK-85 が 1 個である。これらのマイコンは互に結合されているが、動物・生理の実験器機、プリンター・タイプライターや X-Y プロッタなどの端末、および大型計算機との TSS 結合用の音響カプラーとも結合している。したがって、このシステムは、一方では動物・生理実験の制御・計測に用いられ、他方では大型計算機のオンライン利用にも用いられる。

最近では、有名ブランドの OS を備え使い易そう

* 立教大学文学部 (Faculty of Literature, Rikkyo University)

この研究には昭和 57 年度文部省科学研究費補助金(一般研究 C, 課題番号 57510057)と東大大型計算機センターが用いられた。

に見えるパソコンが多く氾濫している。このような時期に当研究室でワンボード・マイコンを実用している理由やメリットは何かを考えてみる。そのひとつには、当初この動物・生理実験システムを作った時にワンボード・マイコンを採用し、その後このシステムを改良・拡張してきているという流れがあり、システム作りには多大の労力を要するということがある。しかし、より主要な理由としては、低経費で資源の有効利用、大型計算機網の共同利用、およびシステムの最適化の発想がある。この考えは、このシステム設計の当初からあり、現在にも受け継がれている。

ミリ秒のオーダーの処理を要するチャンネルや μ 秒オーダーのA/D変換のチャンネルなどをいくつか含む複雑な実験を精密に実施するには、コンピューターが助けになる。これから記す当研究室のシステムが行う動物・生理心理学の実験もこの部類に属する。コンピューターをこのような実験に使うには、オンライン・リアルタイム利用による即応処理を要し、独占使用となる。大型計算機は1実験に独占使用するには適さず、比較的安価なマイコンが適している。マイコンにも多種類があり、汎用的OSも完備しミニコンに近い“完成品”から、シンプルなワンボードのマイコンまである。“完成品”は使いやすそうに思えるが、使いやすさは、当然のことながら、使用者側の条件と使用目的・内容によって決まるものである。“完成品”が暗に念頭に置いている使用者と使用法には適していて使い易いであろうが、それ以外のためにはそうではない。単に数値計算をさせるだけの使用であっても、演算回数の多い数値計算、収束計算、シミュレーションなどの場合には、現状のマイコンではその計算に数日を要することもあり得る。その計算にエラーを伴う場合はなお手間がかかる。このような作業には使い易くなく、スーパーコンピューターの方が使い易い。実験の制御・計測に使用するには、マイコンと実験器機とを接続しなければならない。“完成品”の中には、外部器機との接続用の端子がついていないものも多い。それでもシステムが公開されていれば、分解してハードウェアの工作をして実験器機と接続できるが、“完成品”であるだけにハードとソフトの両面で既成部分からの影響と既成部分への影響が心配になり、結局他の人が作ったシステムを全部掌握しなければならず使いにくい。システムが公開されていなければお手上げである。外部器機との接続用の端子が本体についているか、または拡張用ユニットとしてついている場合には、外部器機と

接続できる。この場合にも2つのケースがある。その1つは、接続用端子はハード的についてはいるが、その利用に関してはシステムのソフトは何もなく、マニュアルも簡単なものだけの場合である。この種のマイコンの端子を利用するには、まずこの機種についての市販の詳しい書を求めて(システムが公開されていて、しかもこのような書が出ているものについてのみ可能)、システムの構成を理解し、既成のシステムソフトウェアの外で使うことになる。つまり、これらの端子、たとえば割込み用端子の利用可能な高級言語がシステムソフトになく、アセンブラーもシステムソフトにならないために、他の“一般向け”のシステムソフトは完備しているのにそれらを使うことなく、機械語になった実験用ソフトをユーザーが作りそれをマイコンに直接入れることによって外部器機との接続端子を利用することになる。もう1つのケースは、外部器機との接続端子がついていて、しかもシステムのソフトウェアでその利用についても面倒をみている機種である。一応完備していいが、このクラスの機種になると最小構成でも価格が100万円を超えるようであり、しかもシステムの無駄が多かったり足りなかったりする。完備しているので、実験の制御・計測に直接関係のないこともシステムプログラムがいろいろと面倒をみるようになっている。このため、せっかくのメモリのうちのかなりの部分をシステムが占めてしまうし、システムの中で実験ソフトのユーザプログラムが動くので実験処理以外のことも行っているので実験処理の動作が遅くなる。完備している端子にしても、“一般的水準”を念頭において設計されているので足りないこともある。たとえば、外部割込み用の端子が3~4チャンネル備わっているのもあるようだが、当研究室の実験には少くとも8~10チャンネル必要である。完成したシステムで不足を感じた場合にそれを変更するのはむずかしい。

メンテナンスの費用も含めての低経費、マイコンの長所を生かした贅肉のない小回りのきく、実験の条件にフィットした、知り尽されたシステムという発想から、ワンボードのマイコンが使われている。ワンボードのマイコンは、ハードとソフトの両方が公開されていてシンプルなので、全体の把握が比較的容易である。よく把握した上で、必要に応じて安価なICを追加したりメモリ・ボードを追加したりしていけばよい。たとえば外部割込用の端子が不足であれば、必要な数だけ割込コントロール用のICなどを付加すればよい。

使用条件に適合したシステムソフトを作って使う。数キロバイトもあれば、かなり便利なシステムソフトができる。

ただ単に、外部実験器機との接続使用がハードとソフトの面でしやすく実験の制御・計測に向いているということだけでマイコンの選択を考えるのは不十分であろう。その他の機能についても配慮すべきである。たとえば、実験実施に先立ってのその実験用ソフトウェアの作成、実験で得られたデータの保存と分析、分析のためのプログラムの準備、分析結果の図表化、シミュレーションによるモデルの検討、学術文献情報の利用、論文の作成などのための機能はどうであろうか。“完成品”のマイコンは、これらの機能のうちのいくつかを有しているが、ワンボードのマイコンにはほとんどない。そこで、当研究室のシステムでは、大型計算機をオンライン結合で利用することで、これらの機能を補い強化している。実験器機との接続とその利用、タイプライターなどの端末との接続とその利用のほかに、音響カプラーを通しての大型計算機の TSS オンライン利用が含まれている。当システムを使用していると、小回りのきくヴァーチャル（仮想）大型計算機を専用に組込んだシステムを使用しているような感じになる。大型計算機の豊富な機能や器機が利用できる。現状では、“完成品”のマイコンでもこれほどの機能や器機は備えていない。つまり、当システムは、現時点でのマイコンの長所と大型計算機の長所とを取り込んだシステムといえそうである。もちろん、心理学の実験といっても種々あるので、それほどの即応を要しないもの、外部実験器機との接続をほとんど要しないものもあるので、実験の種類によっても適するマイコンの種類は異なることは付言すべきである。とにかく、マイコンには、マイコンに“適した”比較の簡単な部分だけを分担させ、その他は大型計算機にさせられるような統合されたシステムにしておくと、システムの性能アップにも都合がよい。コンピュータ関係の技術の進歩は著しい。大型計算機もさらに性能アップした新機種に入れかえられていく。サービス内容もよくなる。学術文献データ・ベースなどのサービスの大型計算機システムなども改善されてくる。このようなときにも、当システムにはほとんど変更なしに、これらの性能アップした大型機の機能をシステムに組込んだ形で利用できる。マイコンの側の性能アップにも比較的低価格で対応できる。当システムのマイコンも、当初は 8 ビットのワンボード型マイコン SDK-85 のみであっ

たが、その後メモリ量、命令の種類、演算対象のデータ長、処理速度などの点で性能の向上した 16 ビットのワンボード型のマイコンが比較的低価格で出現したので、これをシステムに組み込みシステムの性能を飛躍的に向上させることになった。

2. システムの構成

システム構成の概略は図 1 に示されている。システムの中心的位置にワンボードマイコン SDK-85 がある。このマイコンは、パラレル I/O、シリアル I/O、および割込みチャンネルを介して、他の 2 つのワンボードマイコン H680TR と結合している。大型計算機とは、音響カプラーと公衆回線を通して接続される。SDK-85 は、タイプライター、紙テープ装置、X-Y プロッター、ディスプレイなどの入出力器機、および実験器機やクロックとも接続している。SDK-85 は、実験の制御・計測のほかに、システムのこれらの各部分の統合的利用のための働きもしている。この働きは、ROM に入ったシステムプログラムによっている。このようなシステム構成のうち、2 つのワンボード・マイコン H680TR とその関連部分以外の部分は、基本的には旧システムと同じであり、旧システムについては既に報告しているので（石井（1979）、石井（1980））、ここでは主として H680TR とその関連部分について記す。

一方のワンボード・マイコン H680TR は、動物・生理実験における動物の行動パターンの計測のための画像解析に用いられる。もう一つの H680TR は、同じく動物・生理実験におけるその他の計測、特に、多チャンネル（微小電極）から 10 ミリ秒ごとの神経パルス数の比較的長時間に及ぶ計測に用いられたり、微小電極からの神経パルス活動の波形の連続のアナログ情報を比較的長時間にわたって A/D 変換により計測し記憶し D/A 変換で再現するのに用いられる。

ワンボード・マイコン H680TR の CPU は 16 ビットタイプの 68000 である。バスがマルチ化されていないこともあって CPU の足は 64 本もある。マルチ化されていないのでハード的に扱いやすい。16 本のデータ線と $A_0 \sim A_{23}$ のアドレス線とが分離されている。メモリは 16 メガバイトまで設定できるが、購入時には 128 K バイトの RAM と 24 K バイトの ROM（モニタ、アセンブラー、テキストエディタ）が実装されている。ROM は差し換えることで 32 K バイトになる。さらに必要に応じて 40000 番地から FFFFFF 番地までメモリの拡張が可能である。このように大量のメモリを有

図1. システムの概略

するので、10 ミリ秒間隔での神経パルスの計測などの際に感じていた1次データ用のメモリ不足が改善される。128 K バイトでも10年前の中型コンピュータや現在のミニコンに匹敵する。CPUの処理対象のデータタイプは、標準は16ビットで1ワードであるが、32ビットのロングワード、8ビット、1ビットも扱える。たとえばMOVE命令では、このままでは16ビットを対象とするが、MOVE.Lとするとロングワードを対象にし、MOVE.Bとすると8ビットを対象にする。16ビット長、32ビット長の処理が1命令のできるの、実験の計測・制御のプログラムの作成には助けになる。旧システムは8ビット・マイコン SDK-85 だけだったので、同じことをさせるのにいくつかの命令を使ってプログラミングをしなければならなかった。動物・生理実験の計測・制御において8ビット長より長い数値を扱うことも多いが、当システムは、そのプログラム作成の時間を短縮させ労力も軽減させる。それに伴ってプログラミングの誤りを減少させ、プログラムの実

行時間を短縮させ、処理速度を速め即時処理の精度を高める。CPUのもつレジスタも豊富である。32ビット長のデータ・レジスタ8個・32ビット長のアドレス・レジスタ7個、32ビット長のスタック・ポインタ2個、32ビット長のプログラム・カウンタ1個、16ビット長のステータス・レジスタ1個を有する。32ビット・マシン指向のマイコンと言える。アドレス・モードも豊富で、14種類ある。レジスタを使つての、アドレス・レジスタ間接、インデックス付アドレス・レジスタ間接、デイスプレースメント付アドレス・レジスタ間接、インデックス付プログラム・カウンタ相対形成などのモードもある。このようなアドレス・モードの豊富とレジスタの豊富さ、およびレジスタを用いてのアドレス計算などが、実験用プログラムの作成の助けになる。たとえば、アセンブリ言語による画像処理プログラムの2次元データの扱いや、データをくり返し得るループでの扱いなどの場合である。

使い易い命令が豊富なこともプログラミングを助け

る。68000 には乗算命令や除算命令がある。演算結果が 32 ビット長まで求められる符号付き 2 進乗算命令 MULS, 32 ビット長の被除数を扱える符号付き 2 進除算命令 DIVS, 同様の符号なし乗算命令 MULU と符号なし除算命令 DIVU があり、1 命令で乗算または除算が行える。10 進加算命令の ABCD および 10 進減算命令の SBCD もある。減算付き条件分岐命令 DBcc は、オペランドに示されたデータ・レジスタの内容を 1 減じ、16 種の条件のうち指定された 1 つの条件 cc が満たされているか、または、オペランドに示されたデータ・レジスタの内容が -1 になっているかによって分岐する。ある条件が満たされるまで、または、ある一定の回数になるまで、くり返しをするループのプログラム作成に便利である。クリア命令 CLR は、オペランドの内容を 0 にする。実効アドレス・ロード命令 LEA は、アドレスの値をアドレス・レジスタに入れる。アドレスの値の操作に使える。符号拡張命令 EXT は、語長の異なる数値間の演算に便利である。LINK 命令は、オペランドに与えられたレジスタの内容をスタックに退避させ、スタック・ポインタをその分だけ減じ、その減じた結果のスタック・ポインタ値をレジスタに与えて知らせてくれ、さらにオペランドに与えた数値 d だけスタック・ポインタの値を減じてくれる。したがって、サブルーチン内で、d バイトだけ余分にスタック領域が退避用またはサブルーチン用に使える。UNLINK 命令は、LINK 命令の逆操作を行ない、スタックをもどすことをする。プレ・ディクレメント・アドレスレジスタ間接およびポスト・インクレメント・アドレスレジスタ間接のアドレス形式があるので、連続したメモリ番地の内容を順に処理していくのに便利である。たとえば、MOVE (A1)+, D1 は、ポスト・インクレメント・アドレスレジスタ間接形式を用いた例であるが、アドレスレジスタ A1 の内容が示す番地の内容 (1 語長) をデータレジスタ D1 へ入れ、その後 A1 の内容を 2 だけ増加させる。したがって、次にこの命令を実行するときには、2 番地先のアドレスの内容を自動的に処理することになる。

CPU 68000 の処理モードにはスーパーバイザー・モードとユーザ・モードがあり、ステータス・レジスタの S フラグに示される。スーパーバイザー・モードでプログラム参照であるかデータ参照であるか、ユーザ・モードでプログラム参照であるかデータ参照であるかを示すために、68000 には 3 本の端子 FC₀, FC₁, FC₂ が出ている。これとアドレスバスとを組合わせる

ことにより、メモリ保護もできる。ユーザ・モードでは使えない命令もある。特権命令であり、ユーザ・モードでそれを使うと特権命令違反の例外が発生するようになっていて、安全策がとられている。

68000 の例外処理の種類も豊富で数も多い。例外処理ベクタによって例外処理要求を区別するが、そのベクタ番号は 0~255 の 256 個が可能である。システム用に設定されている例外処理とユーザが設定する例外処理とがある。システム用の例外処理のなかには、内部割込に属するものもいくつかあり、プログラム作成の助けになる。ゼロディバイドによる例外処理、算術演算のオーバーフローに関連する TRAPV 例外処理、ユーザ・プログラムが実行中に参照するデータ領域の境界越えに関する CHK 例外処理、特権命令違反の例外処理、アドレス・エラーによる例外処理などがある。特権命令違反の例外は特権命令をユーザ・モードで実行しようとするときと発生する。アドレス・エラーによる例外は、ワード長またはロング・ワード長のオペランドの番地が奇数で始まっているとき、または、命令が奇数番地からのメモリにあるとき、それらへのアクセスによって発生する。TRAP 命令による例外は、TRAP 命令を実行することによって発生する。TRAP 命令は、オペランドとして #0 から #15 までの 16 種類のイメディエート・データが可能であり、それに対応して 16 種類の TRAP 命令例外がある。H680TR のモニタでは、スナップショット・ダンプ、タイプライタからメモリへの入力、メモリからタイプライタへの出力、紙テープリーダからメモリへの入力、メモリから紙テープパンチャへの出力、2 進数から 16 進数への変換、2 進数から 10 進数への変換、16 進数から 2 進数への変換、10 進数から 2 進数への変換、モニタへの分岐などの機能を、TRAP 命令例外処理に割り当てている。この例外処理ルーチンは、モニタの中にあってモニタが使っているが、ユーザも使えるようになっている。不当命令の例外、バス・エラーの例外、トレースの例外、リセットの例外などもある。不当命令の例外は、フェッチされたオペコードのビットパターンがどの命令のビットパターンとも一致しないときに発生する。バス・エラーの例外は、メモリの配置されていない番地へアクセスしたとき、または、書き込むべきでないメモリへ書き込み命令を出したときに発生する。トレースの例外は、ステータスレジスタのビット 15 がセットされているとき 1 命令の実行終了ごとに発生する。リセットの例外は、リセットスイッチを押すこと

によって発生する。これらの豊富な例外は、実験用プログラムの誤りの発見と除去、誤ったプログラムの効果の抑制、プログラムの作成の助力、システムの初期化などに使われる。これらの外に、ユーザが設定できる外部からの割込みの例外があり、新システムでは実験器機やタイマなどからの割込み処理に使用している。

H680TR には、8 K バイトのモニタと、16 K バイトのアセンブラとテキスト・エディタがついている。当システムはこれらも利用する形にした。モニタの利用には、モニタのコマンドの利用、モニタからのメッセージの利用、モニタのルーチンの一部を TRAP 命令の形でプログラムに取り入れて利用などがある。モニタ・コマンドには 16 種類がある。アセンブラを呼出す AS コマンド、ブレークポイントの設定や設定されたブレークポイントのタイプライタへの表示をさせる BR コマンド、レジスタの内容をタイプライタに表示させる DF コマンド、任意の番地からプログラムの実行を開始させる GO コマンド、メモリ内のオブジェクト・プログラムを紙テープへ出力させる PU コマンド、アセンブラによって作られたメモリ内または紙テープ上にあるオブジェクト・プログラムを指定されたメモリへロードさせる LO コマンド、メモリ内容をタイプライタへ表示させる MD コマンド、メモリ内容の参照と変更をさせる MM コマンド、設定されているブレークポイントを解除させる NOBR コマンド、レジスタ内容の表示用指定を解除させる NODF コマンド、アドレスのオフセットを設定する OF コマンド、レジスタの内容の参照と変更をさせる RM コマンド、1 命令実行ごとにレジスタの内容をタイプライタに表示させて指定した命令数だけトレースをさせる TR コマンド、テキスト・エディタを呼び出させる TX コマンド、アセンブラで作られてメモリ上または紙テープ上にあるオブジェクトプログラムとロードされているオブジェクトプログラムとの一致を調べさせる VE コマンドなどである。これらのコマンドは、当システムのソ

フトウェアや実験用プログラムの作成、試用、実行、保存に使われる。H680TR のテキスト・エディタは 12 種のサブコマンドを持っている。紙テープからテキストを入力する A サブコマンド、紙テープへテキストを出力する P サブコマンド、テキストをタイプライタへ表示する T サブコマンド、ポインタをバッファの先頭へ移動する B サブコマンド、ポインタをバッファ内のテキストの最後へ移動する Z サブコマンド、ポインタを指定した行だけ移動させる L サブコマンド、文字列をテキストの中からさがしポインタをその文字列のある行の先頭へ移動する S サブコマンド、テキストを挿入する I サブコマンド、文字列を入れかえる C サブコマンド、テキストを行単位で削除する K サブコマンド、コマンド列のくり返しを行なう N サブコマンド、テキスト・エディタを終了させる E サブコマンドである。H680TR のアセンブラには、サブコマンド P1, P2, P3, PM, PT, QU がある。P1, P2, P3 は、紙テープ上のアセンブリ言語のソースプログラムを 3 パス方式でアセンブルする場合の、それぞれパス 1、パス 2、パス 3 実行のサブコマンドである。PM は、テキスト・エディタで作成したメモリ上にあるソースプログラムを一挙にアセンブルするサブコマンドである。PT は、紙テープ上にあるソースプログラムを一挙にアセンブルするためのサブコマンドである。QU は、アセンブラを終了させるサブコマンドである。H680TR の命令セット、モニタ、テキスト・エディタ、アセンブラなどの詳細については、日立製作所の文献を参照されたい。当システムでも、これらのモニタ、アセンブラ、テキスト・エディタを使うようにしてある。システムプログラムや実験実施用プログラムのデバッグ、試用、実行にモニタは便利である。アセンブラやテキスト・エディタも、比較的簡単なプログラムのときは、手軽に使えて便利である。しかし、やや大きなプログラムのときは、東大大型計算機とオンライン TSS で、その OS やクロスソフトウェアを利用した方がよい。より使い易いエディタや 68000 用クロスソフトウェアもある (山

表 1. H680TR ワンボード・マイコンのメモリ・マップ

000000 0003FF	000400 01FFFF	020000 021FFF	022000 023FFF	024000 027FFF	028000 03FEFF	03FF00 03FF3F	03FF40 03FFFF	040000 FFFFFF
RAM (1 KB)	RAM (127 KB)	EPROM (8 KB)	EPROM (8 KB)	EPROM (16 KB)	—	—	—	I/O とメモ リの拡張用領 域
例外処理ベ ク・アドレス	実験用プロ グラムとデー タなど	モニタ	システム・プ ログラム	アセンブラと テキストエ ディタ	—	I/O	—	

本(1982))、大容量ファイルもある。

当システムに組込まれた16ビット型のワンボード・マイコン H680TR のメモリ・マップを表1に示す。例外処理ベクタ・アドレスの領域は、前述のシステム例外処理、および実験器機や他のワンボードからの割込処理のためのジャンプ・テーブルである。256種まで設定可能である。000400~01FFFF は、実験用プログラム、実験データ、システム・パラメータ、モニタ・パラメータの領域である。エディタやアセンブラを使うときには、一部がワーク・エリアにもなる。020000番地からの8Kバイトのモニタは前述のモニタである。022000番地から8Kバイトのシステムプログラムは、SDK-85のワンボード、周辺器機および大型計算機と連携して当システムを機能させるための当システムのプログラムの部分である。システムプログラムの他の部分は、もう一方のH680TRのワンボードおよびSDK-85のワンボード内にある。つまり3つのワンボード上に分散して互に連携して機能する。024000番地からの16Kバイトには前述のアセンブラとテキスト・エディタが入っている。03FF00番地から03FF3F番地までは、メモリマップトI/Oである。040000番地からFFFFFF番地までは、メモリまたはI/Oの拡張可能な領域である。

H680TRのワンボードには、実験器機、SDK-85ボード、クロック、サンプル・スイッチ、A/D変換、D/A変換、1次画像処理装置などが接続される。これらの接続に、H680TR側では、HD46821というPIAのICやHD46850というACIAのICも使われている。HD46821のIC1個につき、8ビット並列の入出力用ポートが2ポートと、割込要求端子4本がある。このICを2個並列に用いることによって、16ビット並列の入出力ポートが2個できる。アンプから出てきた神経パルス波形のアナログ信号をA/D変換にかけ、その出力をクロック割込に同期して並列入力出力ポートからメモリへ取り込んでいく。メモリに貯蔵された波形データは、別の並列入出力ポートから出力されD/A変換を通してモニタ・オシロスコープやX-Yレコーダへ与えられる。メモリ内波形データは、パルス巾度数分布やパルス振巾度数分布などの諸パルス分析処理にかけられたり、混入している不用波の削除などの波形整形を受けた後にモニタ出力されたり分析されたりもする。並列入出力ポートは、1次画像処理装置とも接続されている。テレビ・カメラから1次画像処理装置へ1ドット16段階の濃淡の1画面分の情報(256×256)を

1/60秒ごとに取り込み1次画像処理装置内のメモリに保持される。これにその都度H680TRが並列入出力ポートを介して高次の画像処理をしてその時の行動を判定する。その時その時の判定された行動は、行動パターン名のデータとして貯蔵される。このデータは、後に神経パルスデータと対応がとられ分析される。H680TRの並列入出力ポートは、SDK-85のワンボードとの連絡にも使われる。H680TRで得られたデータの転送、実験の進行状況の情報の授受、システムのステータス情報の授受などに使われる。

ACIAのHD46850は直列入出力用ポートであり、SDK-85ボードとの接続に用いられる。300ボーから9600ボーまでのレベルの速度のうちの1つで直列入出力が行なわれる。このACIAは、H680TRの入出力用としてのASRタイプのコンソールを接続するために始めからついているものであるが、当システムでは、これをSDK-85ボード上の新設のRS-232Cレベル直列入出力部と接続している。これを介してH680TRとSDK-85との情報の授受も行われる。これは、SDK-85ボードを介してのH680TRボードと高速タイプライタ0262との情報の授受(入出力)にも使用される。このACIAは、SDK-85ボードを介してのH680TRボードと大型計算機との情報の授受にも使われる。SDK-85ボードは、柄は小さいが、2つのH680TRボード、周辺器機、大型計算機、および実験器機などを仲介・統合する中心的位置にあることになる。

H680TRボードに対する外部割込には、外部割込制御回路が使われている。この回路には、実験器機からの入力信号、クロックからの入力、サンプル・スイッチからの信号、およびボード間の同期信号が接続される。この回路は、諸入力信号に応じて割込みに関するコントロール信号の処理とベクタ番号の発生とを行なう。この番号をCPUが読み込み、その番号の例外処理ジャンプ・テーブル内のアドレスに処理がうつり、割込み処理がなされる。つまり、割込入力信号の種類に応じた処理がされることとなる。

SDK-85ボード部分については、前述のように既に報告した旧システム(16ビット・マイコンを用いない、8ビットマイコンSDK-85を中心にしたシステム)と基本的には同じところも多いが、この新システムの中心的位置を占めているので、当システム全体の把握のために簡単に記す。CPUはIntelの8085である。CPUに割込用信号入力のピンが5本ついている。このうちの4本は、信号入力によってそれぞれ特定番地へ分岐

をひき起す。残りの1本は、割込みコントローラ IC の 8259 へ接続することで、最大 64 個の割込み処理が可能となる。実験制御やシステム制御に便利である。SDK-85 のメモリは、購入時についている簡単なモニタの入った ROM (2 KB), システムプログラムを入れた EPROM (6 KB), RAM (約 33 KB), 簡易 EPROM ライターである。SDK-85 と、前記の H680TR の ACIA との接続、高速タイプライタとの接続、および大型計算機との接続のための音響カプラーとの接続には、それぞれ別個に直並列変換 IC の 8251 と電圧レベル変換 IC の MC 1488 と 1489 が用いられている。実験器機との並列結合、モニタ CRT や X-Y プロッタなどの周辺器機との並列結合、および前記の H680TR の PIA との並列結合には、並列 I/O を含む IC の 8155, 8255, 8355, 8755 が用いられている。Intel の 8 ビットマシンは、このように周辺用 IC が豊富なハードウェア面での利用のし易さにおいてすぐれている。この点では 68 系マシンは劣っているように思える。

以上は当システムの構成の概略である。このシステムの機能や使われ方について以下に記す。

3. システムの機能と用途

既に述べたように、このシステムは、動物・生理実験の制御・計測および大型計算機との TSS オンライン結合利用に使われる。いずれの場合も、SDK-85 のボードがシステムの中心的位置を占め、よろずや的に種々の働きと統合の働きをしている。H680TR のボードは、動物・生理実験における画像処理による行動パターンの計測、神経パルスの波形の記憶・処理、および神経パルス数のカウントなどの、特定の処理とその関連事項に主に使われる。つまり、H680TR は、全処理のうちで、多くのメモリと多くの処理時間を要するまとまった一部の処理のみを専ら分担する。SDK-85 のボードは、その他の処理を分担し、さらに全体を統合する働きの多くの部分も受け持っている。

このシステムを用いての動物・生理実験は、主としてラットを被験体としての動因間交互作用に関するものである。Warden 型の障害箱の実験、Y 迷路での 2 動因の弁別、スキナー箱での 2 動因の弁別、これら 2 動因弁別時における第 3 の動因導入の効果、さらに動因強度の弁別などの実験、これらの事態における行動の計測と脳内関連諸部位の神経パルス活動の計測などがなされる。脳内の複数部位からの同時並行しての神経パルスのデジタル情報入力、アナログ波形入力、左

右のバー押し情報の入力、選択点や通過点情報入力、波形処理のためのマイクロ秒、パルス・カウントのためのミリ秒、バー押し間隔のための 1/10 秒または秒などのオーダの時間信号の入力、処理の同期のための信号の入出力、サンプル指示信号入力、刺激の出力、強化のための信号の出力、モニタ CRT や経過記録のための出力など、実験実施に当たってのこれらの情報の適切な処理のために、当システムが使われる。

当システムをこのような実験に使うためには、そのようにマイコンを動かすプログラムが必要である。実験ソフトの作成であるが、この作成のためにも当システムが使われる。CS モードで行なわれる。当システムは、各モード別に動く。タイプライタから入力されたモードの設定、変更によってマイコン内にモードフラグのビットがセットされ、それに応じてシステムプログラムが分岐して動く。CS モードは大型計算機と SDK-85 ボードとが音響カプラーを介してオンライン結合して TSS で動くモードである。この場合、当システムの SDK-85 ボードとタイプライターとはインテリジェント端末化したことになり、H680TR ボードとは独立に動くので、H680TR ボードに別の作業、たとえば実験の制御などを並行してさせておくことも可能である。CS モードで大型計算機の便利で豊富な OS やシステムソフトを使って実験プログラムが作られる。まず、エディタを呼び出してそれを使って実験用プログラムをタイプライターから入れ、必要に応じて編集し、大型計算機のファイルに保存する。SDK-85 ボード用の実験プログラムは、8085 のアセンブリ言語または高級言語の PL/M で書かれており、H680TR ボード用の実験プログラムは、68000 のアセンブリ言語で書かれたものである。このようにして、実験用ソースプログラムができると、次にこれをアセンブルまたはコンパイルしてマイコンの機械語に変換しなければならない。東大大型計算機センターには、このような変換をしてくれる便利なクロスアセンブラーやクロスコンパイラがあるので、それを使って変換を行なう（詳細については、池田・山本(1979), McCracken (1978), 石田 (1980), 石田・小野 (1978), 山本 (1982) を参照のこと)。この変換によって得られたマイコン用機械語のオブジェクトプログラムは、コマンドの入れ方によって、直接当システム側へ送出することも、大型計算機のファイルに保存することもできる。アセンブル時またはコンパイル時にプログラムの誤りが指適されればエディタに戻ってソースプログラムを修正し、再

び変換を試みる。でき上ったオブジェクトプログラムは、通常は大型計算機のファイルに保存し、必要に応じて当システムへ送出して使う。変換時には指摘されずに実行時にはじめて見つかるプログラムエラーもある。この種の誤りを本番の実行前に発見し、実験用プログラムが期待通りに動くかどうかを点検することも必要であるが、マイコンプログラムの実行を大型計算機上で模倣してくれるクロスシミュレータが東大大型計算機にはあるので、これを使って点検ができる。これを使うと、マイコンプログラムの1ステップずつまたは指定したポイントまでを“実行”させ、その都度直後のレジスタやメモリや実行番地などの状況を知ることができるので、プログラムが予定通り動くかどうかを追っていくことができる。

でき上って大型計算機のファイルに保存された実験用オブジェクトプログラムは、実験時に当システムのマイコン内へオンラインで直接送り込まれて使用される。オブジェクトがSDK-85ボード用のものであれば、当システムはCSモードで動くことでSDK-85ボードのメモリの該当番地からオブジェクトが入れられる。H680TRボード用のものであれば、CSHモードでシステムを動かすことでオブジェクトは、大型計算機からSDK-85で仲介されて、H680TRボードのメモリの該当番地から入れられる。このようにしてマイコン内にプログラムがロードされた後に、それぞれのプログラムにスタートをかければ、実験の制御・計測が進行する。当システムのタイプライタには紙テープ装置も付いているし、それを利用するシステムソフトもあるので、マイコンにロードされた実験用プログラムを紙テープに出して保存しておき、次回からはその紙テープから実験用プログラムをマイコンへロードすることができる。各ボード上のプログラムへスタートをかけるときとか紙テープ利用のときなどは、SモードまたはSHモードで行なう。SDK-85ボードが対象のときはSモードで直接行ない、H680TRボードが対象のときはSHモードでSDK-85を介してH680TRへ働きかける。

比較的簡単な実験の制御・計測には、SDK-85のボードだけ、またはH680TRのボード1つだけが用いられる。フル展開の規模の大きい実験のときは、全ボード(SDK-85と2つのH680TR)が同時に用いられ、ボード間で同期がとられ必要な情報が交換されて、制御・計測が進行する。たとえば、1つのH680TRボードは、テレビカメラと1次画像処理装置からの行動の光景を

高次の画像処理し、その時々への行動パターンを計測することを専ら分担する。もう1つのH680TRボードは、脳内諸部位からの神経パルス活動のアナログ波形処理とディジタル・パルスカウントを専ら分担する。アナログ波形処理は、比較的長時間に及ぶ連続した神経パルス波形をA/D変換しメモリに貯蔵すること、貯蔵された波形のうち混入不要成分を除去・整形すること、貯蔵された波形のドウェルタイム、パルス間インタバル、パルスハイトなどの分布を求めること、貯蔵された波形をD/A変換しモニタ・オシロスコープやX-Yレコーダに出力することなどである。ディジタル・パルスカウントは、10 msec, 20 msec, 50 msecなどの時間間隔ごとに神経パルスの数をカウントし貯蔵することである。SDK-85ボードは、実験の制御・計測の残りの部分と全体の統合とを分担する。たとえば、スキナー箱のバー押しに関する処理、刺激条件に関する処理、強化条件に関する処理、試行数に関する処理、データの獲得の時期に関する処理などを行なう。データの獲得は、たとえば、ある特定条件に合致したバー押しが出現した時点からさかのぼっての一定時間、または、ある特定条件の行動パターンが出現した時の一定時間、または、実験者によってサンプルスイッチが押された時の一定時間などについてなされる。フル展開の場合は1台の“完成品”では扱えない。

得られたデータは、CSまたはCSHモードで大型計算機へオンラインで直接送られ、ファイルに保存され、分析される。分析結果は、当システムのタイプライタやX-Yプロッタに出される。紙数の都合で記述が簡単になるが、これまでの記述から概略は理解されると思われる。当然のことであるが、大型計算機との接続は必要なときだけすればよい。

当システムの用途としては、上記以外に、動物・生理実験関係の学術文献データ・ベースの利用、ワードプロセッサに類する大型計算機の論文作成のための強力機能の利用、モデル検討のためのシミュレーションの実行、大型計算機センター間ネットワーク利用による共同研究(将来)などがある。低経費で高性能、資源の有効利用、強力な大型機の共同利用、システムの最適設計などの観点から、ワンボード型マイコンの利用が推奨される。

参 考 文 献

池田宏明, 山本 博(1979)インテル 8085 クロスアセンブラ——8080 クロスアセンブラの拡張, 東京大

- 学大型計算機センター・ニュース, Vol. 11, No. 1, 43-46.
- 石田晴久 (1980) マイコン・ソフトウェア開発のためのクロスソフトウェアの使い方. 東京大学大型計算機センター・ニュース, Vol. 12, No. 11, 83-89.
- 石田晴久, 小野芳彦 (1978) マイコン・ソフトウェア開発のためのクロスソフトウェアの使い方. 東京大学大型計算機センター・ニュース, Vol. 10, No. 9, 48-59.
- 石井 巖 (1979) 動物・生理実験のための東大大型計算機センターとのオンライン TSS マイクロコンピュータ・システム. 立教大学心理学科研究年報, 第 21・22 号, 34-41.
- 石井 巖 (1980) 動物・生理実験のための東大大型計算機センターとのオンライン TSS マイクロコンピュータ・システム——その機能と利用法. 立教大学心理学科研究年報, 第 23 号, 16-26.
- McCracken, D.D. (1978) *A Guide to PL/M Programming for Microcomputer Applications*. Addison Wesley. (石田晴久監訳, PL/M マイクロコンピュータプログラミング, 1979, 産業図書.)
- 山本和男 (1982) マイクロプロセッサ 68000 用クロスソフトウェアの使い方. 東京大学大型計算機センター・ニュース, Vol. 14, No. 1・2, 97-114.
- 日立製作所, HD 68000 MPU 暫定仕様.
- 日立製作所 HMCS 68000 16 ビット・トレーニングモジュール H680TR01 ユーザーズ・マニュアル.
- 日立製作所 68000 アセンブリ言語マニュアル.
- 日立製作所 HMCS 68000 16 ビット・トレーニングモジュール アセンブラー・テキストエディタユーザーズ・マニュアル.

—1983 年 6 月 受付—