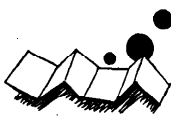


解説



高機能ワークステーションのアーキテクチャ†

坂村 健††

1. はじめに

近年、従来のパーソナルコンピュータやインテリジェント・ターミナルまたはグラフィック端末とは異なるコンピュータと人間の対話性（マンマシン・インタフェース）の向上に特に重きを置いて設計された計算機システムが注目を浴びている。これらは高機能ワークステーションと呼ばれるが、従来のパーソナルコンピュータの設計思想がボトムアップ的であった、つまりマイクロプロセッサのような高機能な部品が低価格で容易に入手可能になったため作られたのに比べ高機能ワークステーションはトップダウン的な設計思想に基づいて生まれたものといえる。

高機能ワークステーションの設計にあたっては、まずユーザの立場に立って設計思想が作られそれからシステムの構造が決まられていく。何に使うのかを分析し、人間にとって使い易くすることを前提に機能を決め、それから論理設計へと進めていくわけだ。半導体の進歩に伴いボトムアップな思想に基づいて作られたものであっても機能増強は年々行われるわけだから行き着く先は同じであるという考え方もあろう。しかし、設計の方法の相違からくる差は大きく、両者は似て非なるものになると思われる。

本稿では主として高機能ワークステーションをどのように構築して行くかというアーキテクトの立場から解説をする。本来はユーザの要求から始め、キー配置、画面とキーボードの位置関係、コマンド体系や画面内のウィンドウの構成法など各部分を人間工学的な立場から詳細に論じるべきであろうがスペースの関係でそれらは他稿を参照されたい。ここでは、高機能ワークステーションをシステムアーキテクチャ・レベルを中心として述べる。よってユーザの要求、マンマシン・インタフェースについては必要最低限に留め、

以下議論を進めていく。

2. システムアーキテクチャの決定

システムアーキテクチャを決定する場合にまず考慮しなければならないのはユーザからの要求をどう受け止めるかである。たとえば、オフィス用高機能ワークステーションの場合を考えると、現在オフィスでは事務員が紙と筆記用具を用いて仕事をしており、高機能ワークステーションにはこれらを置き換える性能がまず第一に要求される。ディスプレイは紙に匹敵する解像度で書類が表示可能で、ハサミやのりに対応する編集機能を備え、容易に操作でき、ポータブルで価格も低廉といった要求である。また、エンジニアリング用の高機能ワークステーションには製図台上での作業を置き換える、あるいは設計の試行錯誤過程への援助等、別の要求も加わる。

そして、これを実現するに当っては実現できる技術と機能のバランスを考えて、要求機能に優先順位を付け、アーキテクチャを決めて行く必要がある。ユーザの要求をすべて満たすマシン（高機能ワークステーション）の構築は現在の技術では困難を伴い、非実用的である。どのように機能を選択していくかは、その時の技術水準（State of the art）を考えて、実現を考えた工学的な見地から検討する必要がある。そのときに首尾一貫した思想を持たせて作りたいいわゆるアーキテクチャのあるマシンとそうでないマシンとの違いは大きい。すなわち、ユーザからの要求をどう捕え、いかに整理するかはマシンの成功がかかっている。

なお、簡単に高機能ワークステーションの歴史を述べるならば、第二次大戦中の MIT の Vannevar Bush の memex の提案¹⁾、それに触発された SRI の Douglas C. Engellbart らが 1960 年代に行った一連の研究²⁾、Alan C. Kay らが 1960 年代の後半にユタ大学で行った FLEX システム³⁾の研究などが先駆的と言える。実用的な高機能ワークステーションとしては XEROX 社パロアルト研究センター（PARC）が

† Super Workstation: Architecture by Ken SAKAMURA (Department of Information Science, University of Tokyo).

†† 東京大学理学部情報科学科

表-1 主要な高機能ワークステーション ('83年11月現在)

| | 機種 | 製造会社 | 発表年 | 用途 | 分類 | |
|------------------|--------------------|-----------------------------|----------|----------------|-----------|------|
| 汎用エンジニアリング | Alto | XEROX (実験機) | 1973 | 研究開発, OA | P D | |
| | PERQ | PERQ Systems (前 TRC) | 1979 | 研究開発, 汎用科学技術 | I a1 | |
| | PERQ 2 | " | 1983 | " | " | |
| | DOMAIN | Apollo Computer | 1980 | 汎用科学技術 | II b | |
| | DN 400, DN 420 | " | 1982 | " | " | |
| | DN 600 | " | 1982 | " | " | |
| | DN 300 | " | 1983 | " | " | |
| | DN 460 | " | 1983 | " | I b | |
| | DN 660 | " | 1983 | " | " | |
| | CONCEPT | Corvus Systems | 1982 | OA, パソコン機能 | II a2 | |
| | SUN-1 | SUN Microsystems | 1982 | 研究開発, 汎用科学技術 | II b | |
| | SUN-1/100 U, 150 U | " | 1983 | " | " | |
| | SUN-2/120 | " | 1983 | " | " | |
| | Gateway | Forward Technology | 1982 | 研究開発, 汎用科学技術 | II b | |
| | Ridge Thirty Two | Ridge Computer | 1982 | 汎用科学技術 | I b | |
| | HP 9000 | Hewlett-Packard | 1982 | 汎用, 科学技術計算 | III | |
| | Lilith | Modula Research Institute | 1982 | ソフト開発 | I a1 | |
| | 5620 | Teletype | 1983 | 汎用, UNIX 開発 | III | |
| | Cadmus 9000 | Cadmus Computer Systems | 1983 | 汎用科学技術 | II | |
| | WorkStation 500 | Masscomp | 1983 | 汎用科学技術 | II b, c | |
| | Canaan computer | Canaan Computer | 1983 | 汎用科学技術, 370 代替 | I | |
| | Nu Machine | Western Digital. TI | 1983 | 汎用 | II | |
| | IRIS workstation | Silicon Graphics | 1983 | 実時間グラフィックス | II b | |
| | SYTE 3000 | SYTE Information Technology | 1983 | 汎用科学技術 | II a2, b | |
| | CAD 用 | λ 750 | Metheus | 1982 | VLSI 設計専用 | II b |
| | | CDX 5000 | Cadnetix | 1983 | PCB 設計専用 | II ? |
| | オフィス用 | Star | XEROX | 1981 | OA, CAD | I a1 |
| JStar | | 富士 XEROX | 1982 | OA | " | |
| Lisa | | Apple Computer | 1983 | OA | II a2 | |
| OAsys System One | | NBI | 1983 | OA, 汎用 | II | |
| LISP マシン | SIP 1100 (Dolphin) | XEROX | 1981 | 人工知能研究 | I a1 | |
| | 1132 (Dorado) | " | 1982 | " | I " | |
| | 1108 (Dandelion) | " | 1982 | " | I " | |
| | LM-2 | Symbolics | 1981 | 人工知能研究 | I | |
| | 3600 | " | 1982 | " | I | |
| | Series III CADR | Lisp Machine (LMI) | 1980 | 人工知能研究 | I | |
| | Lambda | " | 1982 | " | I | |

注)
分類記号
・ P (主プロセッサ)
I 自社製プロセッサ
II 市販のマイクロプロセッサ
III カスタム・マイクロプロセッサ

・ D (表示用記号)
a1 主記憶内のウィンドウバッファ
a2 主記憶内のフレームバッファ
b フレームバッファと主記憶
c ウィンドウバッファと主記憶

1973年に開発した Alto コンピュータ・システム⁵⁾が初めてのものである。そして Alto を用いた各種の研究がオフィス用高機能ワークステーション Star (XEROX 社) や LISP マシン SIP 1100 シリーズ (XEROX 社) の商品化の基礎を作った。また Alto は CMU, MIT, スタンフォード大などに多数設置された結果、直接的に今日のほとんどの高機能ワークステーションのひな型となり、PERQ Systems 社 PERQ,

Texas Instruments 社 Nu Machine, SUN Micro Systems 社 SUN などの商用機が生まれるきっかけとなった。現在はオフィス用、エンジニアリング用、

5) * 残念ながら高機能ワークステーションは米国を中心として独自開発されたもので国にはまだ、(1984年1月現在) 商品化は無い。実験機はいくつかあるが未公表である。また米国以外の国たとえば欧州においてもほとんど例を見ない。高機能ワークステーションはその性質から特にオフィス用等は言語の問題もあるためそれぞれの国が独自に開発する必要があり今後期待されることである。

(CAD 用は一部のみ)

| CPU | メモリ (バイト) | 仮想記憶 | ディスプレイ | | OS |
|--------------------|--------------|------------|------------|------------------|-------------------------|
| カスタム (S-TTL) | 128k~512k | 無 | 808×606 | 15" 縦 | |
| カスタム (S-TTL) | 512k~1M | S (32) | 1024×768 | 15" 縦 | POS, PNX |
| " | ~2M | P (32) | 1280×1024 | 20" 横 色 OPT | " |
| 68000×2 | | | 1024×800 | 15" 縦 | AEGIS, AUX |
| 68000(10)×2 | 512k~3.5M | P (24) | 1024×800 | 15" 縦, 19" 横 | " |
| 68000(10)×2 | " | " | 1024×1024 | 19" 横 色 | " |
| 68010(10) | 512k~1.5M | " | 1024×800 | 17" 横 | " |
| カスタム | 1M~4M | P (28) | 1024×800 | 19" 横 | " |
| " | " | " | 1024×1024 | 19" 横 色 | " |
| 68000(8) | 256k~512k | 無 | 720×560 | 15" 縦横 | MERLIN (UNIX 系), UNIX |
| 68000(10) | 1M~2M(+α) | 無 | 1024×800 | 17" 横 色 OPT | UNIPLUS |
| 68010(10) | " | P (24) | " | " | UNIX (4.2 BSD) |
| 68010(10) | 1M~4M(+α) | P (24) | 1152×900 | 19" 横 色 OPT | " |
| 68000(10) | 256k~2M(+α) | 無 | 1024×800 | 15" 縦 | XENIX (UNIX V7) |
| カスタム (S-TTL) | 1M~8M | P (33) | 1000×800 | 横 色 OPT | ROS, UNIX (4.1 BSD) |
| カスタム VLSI (NMOS) | 512k~2.5M | P (30) | 560×455 | 横 色 | HP-UX |
| カスタム (S-TTL) | 256k | 無 | 768×594 | 横 | 独自 |
| BELLMAC 32 (CMOS) | 256k+48 KROM | 無 | 1024×800 | 15" 縦 | UNIX (rel. V) |
| 68000, 68010(10) | 512k~4M | 有 | 1024×800 | 17" 横 | UNIX |
| 68000, 68010(10) | ~6M | P (24) | 1024×800 | 19" 横 色 | UNIX |
| カスタム | 1M~4M | 無 | 1024×768 | 横 | 独自 (VM/CMS 系) |
| 68010(10) | 512k~ | P (24) | 1024×800 | 15" 縦 | UNIX |
| 68000, 68010 | 512k~ | P (24) | " | 横 色 | UNIX (4.2 BSD) |
| 16032(10) OR 32032 | 256k~16M | P (24) | 1024×800 他 | 色 OPT | GEM, UNIX (V, 4.2 BSD) |
| 68000(12)×2 | 1M~4M | P (24) | 1024×768 | 19" 横 色 19" 横 | UNIX (4.1 BSD) |
| カスタム (S-TTL) | 512k~ | P (23) | 1024×808 | 17" 横 | (PILOT) |
| " | 768k~ | " | " | " | |
| 68000(5) | 1M~ | | 720×364 | 12" 横 | 独自, その他 UNIX, XENIX |
| 68010 | 512k~ | | 1024×768 | 横 | 独自, その他 UNIX |
| カスタム (S-TTL) | 1.15M | P (23) | 1024×808 | 17" 横 | Interlisp, Smalltalk 環境 |
| カスタム (ECL) | 2M~8M | P (29) | " | 色 OPT | |
| カスタム (S-TTL) | 1M~1.5M | " | " | " | |
| カスタム | 1M~4M | " | " | 縦 | |
| カスタム | 1.125M~36M | P (30+) | 1100×800 | 17" 横 色 OPT | Zetalisp 環境 |
| カスタム | 512k~ | " | " | 縦 | |
| カスタム (ECL, S-TTL) | 1M~4M | P (26, 34) | 1024×800 | 縦 色 OPT | LISP マシン環境, UNIX (BSD) |

・CPU の項で 68000, 68010, 16032, 32032 に続く () 内はクロック周波数 (MHz).

・仮想記憶の項の P はページング, S はセグメンテーション. () 内は仮想空間のアドレス. (32) は 2**32 バイトを表わす.

・ディスプレイの項は解像度, 画面の大きさ (インチ), 縦置きか横置きか, 色はカラー (OPT: オプション) の順.

人工知能等合わせて数十機種が米国市場に出回っている*. (表-1)

3. システム構成

高機能ワークステーションがどのような機能を持たねばならないかを概観してみる. まず, ブロックダイアグラムレベルで高機能ワークステーションを見ると, 一般のコンピュータ・システム (特にミニコンピ

ュータ) と同様にシステム・バスが全体のパフォーマンスを決める. 主プロセッサも中高位ミニコンピュータ相当が用いられている. ただ, 高機能ワークステーションの性質から机の上における紙と鉛筆による作業の置き換え等が要求され, 紙のようにすばやく移動, 積み重ね, 分類, 整理できる可視媒体を提供しなければならないという点がミニコンピュータ等とは異なる. 現在の技術では CRT を用いたディスプレイ画面

上で紙を模倣的に真似るが、画面の高速操作が必須であるためグラフィック専用システム並みの特に高いデータ転送速度がディスプレイ・プロセッサ間に必要である。主記憶もそれに伴い高速で広帯域でなければならない。ディスプレイは、紙を模して面表示を行うため30本/cm以上の解像度をもつ高解像度のラスタスキャン型CRTディスプレイが必要であり、現在作られているものではユーザの疲労軽減のためにノンインタレース方式で画面リフレッシュを60回/秒以上行ってちらつきを低減させる機種が増えてきている。表示方式は紙のようにいかなる場所にも数字、文字、図形などが自由に表示できるようにディスプレイ画面の画素1つ1つを直接操作可能なビットマップ方式が用いられることが多い。また、紙は机上に複数枚を広げ操作することができるので、ディスプレイ画面に1枚の紙を模したウィンドウが何枚も現われるマルチウィンドウ表示や、ディスプレイ画面の大きさは限られているため、紙を重ねて必要な部分のみが見える効果を出すオーバーラップ・マルチウィンドウ機能を持つものも多い。これらに加えオフィス用高機能ワークステーションでは非専門家の操作を想定し、機能およびデータの指定にコマンドの代わりにアイコンというグラフィック・シンボルを用いるのが一般的である。ただアイコンが熟達者にも適したマンマシン・インタフェースであるかどうかについては議論が多い。

また、筆記用具を置き換える手段としては通常入力装置としてキーボード装置が、画面上の位置を指定するための装置として操作性の良いポインティング・デバイスが用いられる。ディスプレイ画面上で作られた書類、計算結果、図面を蓄えるためにはファイル・キャビネットに相当する数十Mバイト以上の二次記憶装置が必要で、ハードコピーに残すには一般にビットイメージ・プリンタが用いられる。

さらに書類の手渡しや郵送に相当するワークステーション間あるいは大型機等との通信のために通信回線、またはローカルエリアネットワーク(LAN)のインタフェースも必須である。

オペレーティングシステム(OS)はマルチウィンドウにより複数の仕事を同時並行して進めるために、シングル・ユーザ用であってもマルチタスク、マルチプロセスあるいはマルチジョブをサポートするOSが必要である。ウィンドウ間のデータの移動が自由に行えるような機能も必要である。

実装に当たっては、紙と鉛筆の置き換えを考えた場合

は机上にディスプレイとキーボード、ポインティング・デバイスを配し、その他の本体は機の脇や下に設置したり、ディスプレイ中に収める。つまり、従来のコンピュータ・システムと比べて人間の生活環境により密接するための配慮が要求されるわけだ。

結局、高機能ワークステーションは

- 高性能プロセッサ、高帯域バス
- 大容量主記憶、二次記憶
- 高速グラフィックス
- 容易なマンマシン・インタフェース
- 高機能オペレーティング・システム
- 通信、ローカルエリアネットワーク・インタフェース

- コンパクトで高信頼、実用的な実装

等の特長から成る。これはもはや高性能なコンピュータ・システム以外の何物でもない。それゆえ実現にあたっては、一般のコンピュータ・システムと同様にハードウェア、ソフトウェアの役割分担をどのようにするか、そしてハードウェアに限ればC.G. Bellの定義になるPMSレベル(いわばブロックダイアグラムのレベル)のアーキテクチャ⁶⁾をどうするかが重要になってくる。そこでここではシステム構成上の問題点を述べるために以下各々の機能について検討する。

3.1 システムバス

一般の中小型コンピュータ・システムと同様に数Mバイト/秒以上の転送速度のバスを持つ機種が一般的である。周辺機器の接続を考慮して業界標準となりつつあるマルチバス(MULTIBUS)やバーサバス(VERSABUS)を採用している機種も多い。ただこの種のバスは転送速度がそれほど早くないので、SUN, Forward Technology社 Gatewayなどのようにマルチバスをシステムバスとしているが主記憶はバスを介さない構造になっていたり、またはMASSCOMP社 WorkStation 500のように主記憶や付加演算機構用に別の高速バスを設けたり、あるいはApollo社 DOMAINのようにシステムバスは独自の高速バスとし増設周辺機器の接続のためにマルチバスを用意しているなど各社各様に性能向上への努力を払っている。

またPERQやDORADOのように特に高速性を要求されるディスプレイ関係に別にバスを設ける機種もある。また、二次記憶へのアクセスは書類のキャビネットの出し入れに相当し頻繁に生じるため、やはり高速転送を要する。現存のマシンの中にはユーザの立場からは遅いと感じられる機種も存在する。そのため

Metheus 社 λ750 や DOMAIN のように二次記憶を高速内部バスに接続している機種もある。

3.2 主プロセッサ (CPU)

十分な応答速度を持つには少なくとも基本整数演算で 1MIPS 以上の、16 または 32 ビットのプロセッサが必要であろう。現在のところ、Alto, PERQ, DORADO などのいわゆる XEROX 系のマシン及び Symbolics 3600, LMI lambda などの LISP マシン等マイクロプログラム制御のカスタム CPU を採用したタイプ I と DOMAIN, SUN, Nu 等 MC 68000 に代表される市販の 16/32 ビットマイクロプロセッサを CPU としたタイプ II に大別できる。タイプ I で XEROX 系のマシンではディスプレイ画面の操作も CPU のマイクロプログラム化された手続きで行いディスプレイ関係のハードウェアは軽くしている。タイプ II は専用ディスプレイ・コントローラを設け処理の分散化を図ってマイクロプロセッサの弱点を補っている。なお、エンジニアリング用ワークステーションにおいては CPU の他に浮動小数点演算プロセッサ、アレイ・プロセッサなどが付加可能な機種もある。また、キャッシュメモリを内蔵または付加可能な機種も多い。このような選択は設計時期、部品の入手状況、設計者の好み、経験等により決定されるが商用機としては現在のところコスト的要因からタイプ II が多い。なお、タイプ II グループで各種マイクロプロセッサのなかでも MC 68000 が多用されるのは、アーキテクチャが簡潔、内部構造が 32 ビットプロセッサと等価で拡張性がある、アドレス空間が線形で 16M バイト、容易に入手可能であるといった理由による。今後は 68000 に十分対抗できる NS 16000 等の市販マイクロプロセッサの採用も増えるであろう。また需要の拡大とともに BELLMAC 32 (WE 32000) のような自社カスタム VLSI を使用したマシン (タイプ III) が増加すると思われる。

3.3 記憶装置

主記憶は、半導体技術の進歩にともなって容量が増加しており、サイクルタイム 500 ns 程度のメモリを最低 0.5M バイトから最大 8M バイトを実装する機種が増えている。オフィス用でも Apple 社 Lisa のように統合化ソフトウェアを搭載すると最低 1M バイト必要となる。帯域幅も増加しており 4 k から 8 k バイトのキャッシュを持つ機種もある。マイクロプロセッサを用いていても SUN のようにメモリ専用バスを設けてメモリのウェイトステートをし、アクセス速度の

低下を防いでいる機種も目立つ。誤り訂正機構 (1 ビット訂正, 2 ビット検出) もごく標準となり低価格機種でもパリティは最低付いている。仮想記憶はプログラミングを容易にするためかなりの機種が行っており、多くはデマンドページングを用いている。論理空間はマイクロプロセッサを用いた機種 (タイプ II) では 16M バイトが多い。仮想記憶を行っていない機種でも OS の効率向上のために何らかのメモリ管理ハードウェアを備えている。二次記憶に関しては、ウインチェスタ型の 10M~100M バイトの固定ディスクが用いられている。仮想記憶や書類の出し入れ用としては決して速くないので、固定ヘッド型の高速度ディスクやディスクキャッシュの採用も考えられる。書類の半永久記録用としては容量面で光ディスクも使われよう。

3.4 ディスプレイ制御

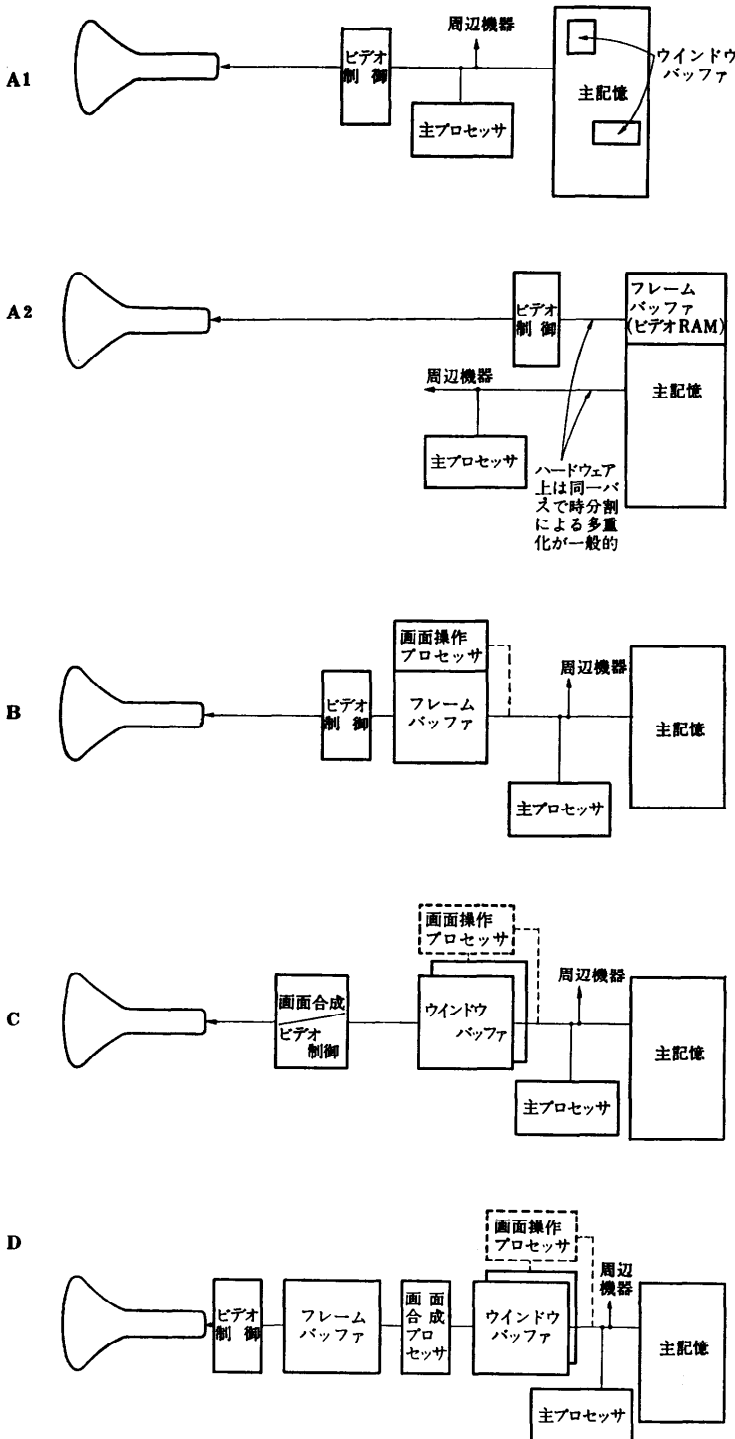
高機能ワークステーションの設計の際に大きな比重を占めるのがディスプレイ回りになるのは先に触れたとおりである。現在、作られているものとしては 15 から 19 インチで 1000×800 程度の高解像度モノクロ CRT に紙と同様に白地に黒の表示を行う機種が多い。カラー表示はエンジニアリング用ではオプションとして用意している機種が多い。Alto のように CRT を縦長に配置した機種もあるが、上記のように充分解像度が得られるようになり一画面に文書は 2 頁分が表示可能になったため採用した例は多くない。ただ縦長にも横長にも設置可能な機種は増えるであろう。

ビットマップ・ディスプレイ上に高速に移動するオーバーラップ・マルチウィンドウを表示させるアーキテクチャとしては、画面操作処理及びメモリの分散処理から以下のように分類できる。

3.4.1 画面操作処理による分類

(1) 画面操作 (画面生成, ウィンドウの切り出し, 移動, 拡大, 縮小, 重ね合わせなどの合成) を主プロセッサのみで行う。高速性が要求されるため、一般に命令セットレベルで画面操作をサポートする必要がある。それゆえマイクロプログラム・レベルで画面操作手続きを記述しているタイプ I のマシンに多い。ただ、Lisa や Corvus CONCEPT 等のように市販のマイクロプロセッサにシフト, マスク等の若干のハードウェアを付加したのみでプロセッサ自身で画面操作を行っている機種もある。

(2) 画面操作を主プロセッサ以外に付加ハードウェアで行う。たとえば、RasterOP 機能⁹⁾つまり、Src (ソース), Dst (デスティネーション), Msk (マスク)



A1. 主記憶中にウィンドウバッファ。(Alto等)

主記憶中に論理的につくられたウィンドウバッファを高速の主プロセッサが画面を組み立てて、ビデオ制御に送り表示するという構成が一般的、XEROX系のマシンに多い。

A2. 主記憶中にフレームバッファ。(Lisa等)

主記憶中に論理的あるいは物理的にフレームバッファが存在している。フレームバッファを主プロセッサがアクセスする場合はビデオ制御からのアクセスと衝突しないように多重化されているのが一般的。

B. フレームバッファと主記憶 (DOMAIN, SUN等)

最も普及の著しい形式。フレームバッファは主プロセッサからアクセスが可能としても物理的に完全に主記憶とは分離しており、フレームバッファに高速の画面操作プロセッサが結合しているのが一般的。主記憶とフレームバッファ間の転送は画面操作プロセッサが行うことも主プロセッサが行う構成も考えられる。

C. ウィンドウバッファと主記憶
純粋な形でこのような構成の製品は見当たらないが、ウィンドウバッファが主記憶と分離しており、ウィンドウ合成はハードウェアで行われる。画面操作プロセッサはある場合も無い場合も考えられる。

D. ウィンドウバッファとフレームバッファと主記憶
このような形式も原理的には考えられる。BとCの組み合わせである。ウィンドウ中でアニメーションを行う等、画面操作の処理が複雑な用途への利用が考えられる。画面操作プロセッサはある構成も無い構成も考えられる。

図-1 マルチウィンドウ表示実現のためのディスプレイメモリアーキテクチャ

をそれぞれフレームバッファ上あるいは主記憶上の1ビットとすると

$Dst \leftarrow F(Src, Dst, Msk)$

という論理関数(またはその一部)を画面の水平方向に16ビット程度並列に行うといった基本的な高速の画面移動、合成手続きをハードウェア化しているものが多い。速度は数Mバイト/秒程度で1画面の書き換えが0.1秒以下で可能となっている。主プロセッサとして市販のマイクロプロセッサ(MC 68000等)を用いたタイプIIのエンジニアリング用ワークステーションに多く見られる。

3.4.2 メモリの分散化による分類

オーバーラップしたマルチウィンドウの生成のために主記憶、ディスプレイ画面一枚分のフレームバッファ、各ウィンドウを蓄えるウィンドウバッファのいずれかを備えるかにより以下のように分類できる。(図-1)ただし、以下の分類は主としてシステムプログラマや応用プログラマから見えるアーキテクチャ上の相違を基準にしている。

A 主記憶のみ

A1. 主記憶中のウィンドウバッファ

Alto が代表的。主記憶中にウィンドウを作り、制御ブロック(高級言語計算機等で用いられるディスクリプタに相当)でウィンドウを指定すると、ウィンドウが合成されてディスプレイ画面に表示される。ウィンドウバッファが主記憶と同一のアドレス空間にあると解釈できる。ウィンドウを合成して画面に表示する手続きはマイクロプログラムで記述されている。ただし、Alto の場合重なりを許さない制限の強い合成しかできないので、ソフトウェアで制御ブロックを書き換えてオーバーラップ・ウィンドウを作る。このため複雑な表示では主プロセッサの処理能力のほとんどをディスプレイ表示に費やしてしまう。ただ主記憶のどこにでもウィンドウバッファを作ることができる。一般にこの方式は制限なくウィンドウの合成ができ、主プロセッサの性能低下がなければ、主記憶のアドレス空間中での操作のため、最も使い易く柔軟性がある。PERQ、DORADO もこの部類に分類できると考えられる。Star は少々特殊だが、主記憶中の固定域にウィンドウバッファが存在すると考えることができる。

A2. 主記憶中のフレームバッファ

フレームバッファを主記憶と同一のアドレス空間に納めたいいわゆるビデオ RAM 方式で Lisa、CONCEPT などタイプIIの機種でマイクロプロセッサのみで画面

操作を行う機種に見られる。主記憶(の全体または一部)をビデオ表示のために時分割などにより多ポート化する必要があるが低価格で実現できる。ただし画面操作は低速である。この場合 Lisa のようにフレームバッファの主記憶中のアドレスが可変なものは柔軟性が大きくソフトウェアの構築に便利である。

B フレームバッファと主記憶

A2でフレーム・バッファ領域を固定し、分離した形態^{*}。市販のマイクロプロセッサを用いたタイプIIの機種に多い。メモリの分散化を図り、画面操作に向かないマイクロプロセッサの弱点を補っている。そのためフレームバッファ内あるいは主記憶との間で数M~10Mバイト/秒の高速ブロック転送、合成ハードウェア(RasterOP機能)をもつ機種が多い。主記憶中にウィンドウを作り、これをフレームバッファに高速転送、合成してオーバーラップ・ウィンドウを形成する。DOMAIN、SUN、Gatewayなどが代表的であるがこの手法を取る機種は多い。柔軟性も大きいので転送、合成用のLSIなどの出現によりハードウェアが低廉化すれば最も実用的であろう。たとえばSUN-2がRasterOP機能を、またSilicon Graphics社IRIS Workstationがマトリクス演算、クリップ等(Geometry Engine)をそれぞれLSI化しているように徴候は現われてきている。

C ウィンドウバッファと主記憶

A1でウィンドウバッファを専用化、分離した形態^{*}。フレームバッファは持たずに、ウィンドウバッファ(の一部)にウィンドウを作り(または主記憶中で作って転送する)それを専用ハードウェア(ディスプレイ・コントローラ)で切り出し、合成してディスプレイ画面に表示する。あまり例はないがWorkStation 500や高機能ワークステーションではないがパソコンではシャープMZ5500等(但し両者ともウィンドウバッファはフレームバッファと兼用)。専用ハードウェアを持つため高速で、あるウィンドウを他とは独立に書き換え可能等の利点を持つが同時に表示可能なウィンドウ数などがハードの持つ資源によって制限される。

^{**} フレームバッファやウィンドウバッファを専用化し主記憶から分離するという事は、ハードウェアの実現上での意味である。論理アーキテクチャ上は主プロセッサのアドレス空間に入っている。バッファのために画面リフレッシュ、画面操作などのハードウェアを付加したり、あるいは主プロセッサからのアクセスに際し主記憶に比して速度ペナルティがあるなどが一般的である。これは効率に直接響くためシステムプログラマがこの構造を知っていることが必要である。

D ウィンドウバッファとフレームバッファと主記憶

ウィンドウバッファとフレームバッファの両者を専用化、分離した形態²⁴。ウィンドウバッファに各ウィンドウを作り、これをフレームバッファに転送して合成する。フレームバッファの内容が画面に表示される。転送、合成用ハードウェアは専用の高速ハードでなくともバッファが多いため、市販のマイクロプロセッサを用いて順次合成することも速度的に可能である。また、専用ハードウェアを設けるとデータをバイプライン的に流せるので、画面の書き換えを非常に高速にすることが可能になる。やはりハードウェア資源により制限が生じる。

いずれの方式を取るにせよ画面操作専用LSIが普及することが肝心であろう。これは時間の問題と思われる。その上でハードを使いこなしたディスプレイ管理プログラム、マルチウィンドウを効果的に用いた応用プログラムの提供がシステムの成功の鍵を握っている。

3.5 マンマシン・インタフェース

一般的な高性能ワークステーションのマンマシン・インタフェースとしては入力には一般にキーボードとポインティング・デバイスとして平面上の位置移動を検出するマウスが使われている。マウスは1960年代のSRIからの伝統で、XEROX社に受け継がれて今日の普及に至っており、ごく一般的なパソコンにも使われるようになってきている。位置指定デバイスとしてマウスが必ずしも最善のものではなく習熟者からの苦情も多いが何よりも初心者にも操作が容易な点で現在のところ他を制している。位置の移動をボールの回転で検出する機械式がまず発明され、初期はアナログ量で検出していたが、精度の良いデジタル量検出型になって普及を見せた。さらに耐久性を上げるために光で検出する光学式が生まれた。信頼性は高いが高価な光学式の回路もLSI化により低廉に入手が可能となる。将来的にはマウスを越えた対話性を有するマンマシン・インタフェース手法に移行していこう。

3.6 通信, LAN インタフェース

他のワークステーションや大型機との通信は分散処理を進める際に必要となる。大型機との通信では現在のところIBM互換マシンには3270エミュレータが重要であろう。また、X.25規約のパケット交換網への接続も一般化してこよう。LANでは現行のマシンのほとんどが転送速度10Mビット/秒のEthernet相当

を提供しているが、ソフトウェアのサポートは手薄である。DOMAINのようにOSレベルでLANをサポートしてネットワークのいかなる地点のノードのプログラムやデータでもアクセス可能なシステムはまだ少ない。また、ベースバンドの10Mビット/秒程度のシステムでは文書など多量のデータを送る場合、かなり遅く感じられるのでブロードバンドのシステムが容易に入手可能になることが望まれる。通信やLAN関係は半導体各社から続々とLSIが発売されているので低廉化は時間の問題であろう。

3.7 オペレーティングシステム

OSは、先にも触れたようにマルチウィンドウを扱う以上、シングルユーザ用ではあっても、マルチタスク、マルチプロセスあるいはマルチジョブをサポートするものが必要となる。ユーザは一度に複数の仕事を並行して行う事も多いからである。SIP1100シリーズ等LISPマシンではOSとプログラミング・システムが一体となったプログラム環境となっているがこのようなOSの基本機能が必要である。また、他のワークステーションや各種サーバと資源を共有する場合は本格的な分散処理OSが必要となる。現在の機種種では、エンジニアリング用ではUNIX系のOSが多く、マルチウィンドウ対応としたものも見受けられる。オフィス用ではStarにしてもLisaにしてもOSはユーザには見えない。どのアプリケーション・プログラムからもデータの交換が可能で自由に制御の移行が可能な統合化環境をサポートするためにはOSで統一インタフェースを提供する必要がある。また、アイコンやグラフィック図形などによるマンマシン・インタフェースをサポートする場合はたとえば、Symbolics社3600上のFlavors²⁵のようなオブジェクト指向型のプログラムをサポートする機構をOS自体で備えておくことが望まれる。

3.8 実装

ワークステーションの理想像としてはA4判程度の平面ディスプレイに、操作性の良いシート状キーボードを用いたものたとえば筆者が文献²⁶で出現を予想した形態が考えられるが技術的に困難なため製品レベルにおいては、ここしばらくは実現されないだろう。現時点では、CRTディスプレイとキーボードは机の上に、その他の本体は別筐体として机の下や横に置く形態を取るものが多い。LSI化がさらに進展するとディスプレイと一体化した形態が一般化し、さらに平面デ

* グラスの概念を取り入れ、LISPの上に構築された言語。

ディスプレイを備えた機種も現われてこよう。使用素子は現在の S-TTL IC, MOS LSI 中心から電力消費、放熱の少ない CMOS VLSI ファミリーへ移って行き、基板 1 枚でシステムが構成できるようになる。

4. 今後の動向

4.1 日本独自のワークステーション

以上述べてきたものは主として概念、開発、商用化するすべてにわたってハードウェア、ソフトウェアともに米国で作られたものであって、すべて英語ベースのものである。よって日本語取り扱いの考慮は無い。そこで日本語ベースのワークステーションはわが国で開発しなければならない。筆者の考えとしては開発の当初から日本語を念頭に置いたワークステーションでないとして一般に普及しないように思われる。たとえば、キーボードが変わっただけでもアーキテクチャ設計のやりなおしを要する。OS 自身にも仮名漢字変換機能のような日本語処理をサポートする機構が必要である。その意味で米国で流布している OS を改良して日本語ワークステーションの OS とするのは中途半端に思え、基本入出力システムの 1 つとして各種辞書や漢字変換ソフトウェア等の日本語処理機能を持つ独自の OS¹⁰⁾が望まれる。

4.2 マルチメディア・マシン

本解説で取り上げた高機能ワークステーションは数字、文字、グラフィックスといったいわゆるデジタル情報のみを取り扱うものであったが、将来のワークステーションは画像イメージ、音声、音響などのアナログ情報をも統一して高速に取り扱うことが望まれる¹¹⁾。印刷、放送などの分野では大規模な専用システムにより画像、図形、文字等をまとめて扱っているのハードウェア的には現在の技術でも可能である。ハードの低価格化が時間の問題とすれば、統一化のためのアーキテクチャやソフトウェアが実現する上での要となろう。

4.3 専用化

高機能ワークステーションは、現在でもオフィス用、エンジニアリング用、人工知能などと分かれているが、今後はより専用化されたもっと仕事に密着したワークステーション出現の要求が強まろう。そしてその実現の鍵をにぎるのがアプリケーションに対する性能測定を元にしたアーキテクチャのチューニング¹²⁾である。マイクロプログラムの書き換えや補助プロセッサの増設によりこれらは可能でまたその効果は大き

い。

4.4 人工知能用ワークステーション

現在の高機能ワークステーションは人工知能用と銘打ってあってもベースがノイマン型だがさらに性能を向上させるために LISP や PROLOG 専用の非ノイマン型マシンが現われよう。今後の高機能ワークステーションが将来的に行き着く姿の一つはマンマシン・インタフェースに自然言語を用いて、知識ベースをサポートするものである。その実現のためプロセッサをノイマン型から非ノイマン型へ変えて行く試みも必要であろう。

5. おわりに

本文で何回か述べてきたように、コンピュータというのは文化に土着したものでマンマシン・インタフェースを高めようとする、人工知能技術の応用に進む前にやっておかねばならないことが多い。日本においては、日本の風土に適合したマシンを構築することが急務であると思われる。人工知能、推論機構、知識ベースの有効利用はその後であろう。

また、ワークステーションが広範囲に普及し、業界標準が市場の競争原理などにより明確になった時、その機能を高性能、低価格で実現するために VLSI 化が進むであろうが、そのときにはプロセッサ・チップのレベルで高機能ワークステーションに適応したアーキテクチャが要求されよう。蓄えられてきたソフトウェア資産をどのように生かしながら VLSI 化していくかが今後の課題である。

ともかく、高機能ワークステーションは、ユーザの要求からトップダウン的にこの世に現われたものでユーザに広く受け入れられる要素は強い。高機能ワークステーションが現在のパーソナルコンピュータ、インテリジェント・ターミナルといった範疇に属するマシンの大半を置き換えてしまい大規模な普及を見せるのはまず確実である。

参考文献

- 1) Bush, Vannevar: As We May Think, Endless Horizons, Public Affairs Press (1946).
- 2) Engelbart, D.C. and English, W.K.: A Research Center for Augmenting Human Intellect, FJCC (1968).
- 3) Kay, A.C.: The Reactive Engine, Ph. D. Thesis, University of Utah (1969).
- 4) Kay, A.C. and Goldberg, A.: Personal Dynamic Media, IEEE Computer, Vol. 10, No. 3,

- pp. 31-41 (1977).
- 5) Thacker, C. P., McCreight, E. M., Lampson, B. W., Sproull, R. F. and Boggs, D. R.: Alto: A Personal Computer, Computer Structures: Principles and Examples, McGraw-Hill (1982).
 - 6) Siewiorek, D. P., Bell, C. G. and Newell, A.: Computer Structures: Principles and Examples, McGraw-Hill (1982).
 - 7) Lampson, B. W. and Pier, K. A.: A Processor for a High-Performance Personal Computer, Proc. of the 7th Symposium on Computer Architecture, pp. 146-160 (1980).
 - 8) 日本電子工業振興会: フューチャ・オフィスシステム (FOS) に関する調査報告書, 昭和56年, 57年 (なお入手しやすい文献としては坂村 健: フューチャ・オフィスのイメージ, コンピュートピア昭和58年10月).
 - 9) Newman, W. M. and Sproull, R. F.: Principles of Inter-active Computer Graphics, McGraw-Hill (1979).
 - 10) 坂村 健: マイクロプロセッサ用標準リアルタイムオペレーティングシステム原案: TRON, 情報処理学会第28回全国大会 (昭和59年前期) 論文集 (1984).
 - 11) 坂村 健: 異種複合データ取扱い可能計算機 TOM³ アーキテクチャ, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会41-1 (1983).
 - 12) 坂村 健: 問題適応化技術, ダイナミック・アーキテクチャ, 共立出版 (1980).
(昭和58年10月27日受付)