



知的情報処理と計算機アーキテクチャ —LISP マシンについて—

安 井 裕*

はじめに

コンピュータは、永い間に亘って数値計算を高速大量に行うことを得意としてきた。しかし人間の頭脳がつかさどる仕事や機能には、それ以外の非数値計算とも云われる情報処理に重要な事柄が多い。物事の認識や判断、学習、抽象化、推論、問題解決や意思決定、設計すること、創造、工夫等々の知的な情報処理がある。また処理する対象となるデータにも、文字、記号、画像・図形、音声、感覚など五官と称せられる感覚器管を經由して取込まれる情報すべてが対象となることは勿論であり、さらにもっと高次のデータを内蔵処理する場合が多い。すでに Stored Program の計算機の出現以来、コンピュータを道具として人間の知的な働きをモデル化する人工知能の研究がその第一波として1950年代から世界各所で行われ、ひと頃盛んとなった。しかしながら、いわゆる第3世代程度のコンピュータのアーキテクチャや技術では、大がかりなものとなり基礎的研究が主であり、到底実用的な段階を迎えるまでには至らなかった。しかし近年の LSI, VLSI 等にみられる半導体集積回路技術の進歩は、コンピュータの超小型化、高性能化を齎し、また非数値情報処理における、旧世代の計算機のアーキテクチャへの批判にのみ終ることなく、その解決のための新しい方式による計算機実現への努力に貢献しつつある。そしてコンピュータによる数式処理や、限定された範囲内の文字、図形の認識や音声の認識等に見られるように、少しずつ実用化が可能な世界に対象を絞りながら人間の機能の代替が徐々に行われつつある世代に

なってきた。

いま、本誌名の「生産と技術」から、知的情報処理システムの応用の例を考えるならば、既知情報の単なる機械的な選択のみでなく、問題解決過程とも云える heuristic な過程を伴った知的な情報処理を經由する自動設計システムによって、製作のための詳細情報を得ることや、さらには生産することも可能な環境の実現に近づこうとする、より進歩した CAD システムなども考えられよう。

われわれの研究室ではすでにリスト処理の重要性を認識し、1960年代から人工知能研究においてその対象システムの記述に有用さが認められ内外で広く用いられてきている LISP 言語¹⁾とその実行システムについて研究開発^{2),3)}を行ってきたが、現在新しいアーキテクチャによるリスト並列処理専用計算機を研究試作し、その高速性と共に実用しつつあるのでここにその研究成果の一端について述べる。

リスト処理と LISP マシン

計算機内で、データの間に関連をもたせ、かつ自由にそれらの関連の増減あるいは組換え等が容易に行えるよう、ポインターによってつなぎのあるデータ構造としての、情報の表現形式にリスト (list) がある (図1)。そしてリストをデータとした処理手続きの記述に有効な言語の一つとして LISP (list processor) がある。

LISP ではリストにより全ての情報が表現されており、データもプログラムも同一に表現され取扱われる。そしてデータもプログラムとなり得る。またすべての手続き (プログラム) は再帰的 (recursive) 使用を許された環境において、少数の基本関数群から新たな手続きを作成し、より大規模な機能をもった関数として利用

*安井 裕 (Hiroshi YASUI) 大阪大学, 工学部, 応用物理学科, 第1講座山本研究室, 助教授, 工学博士, 計算機工学

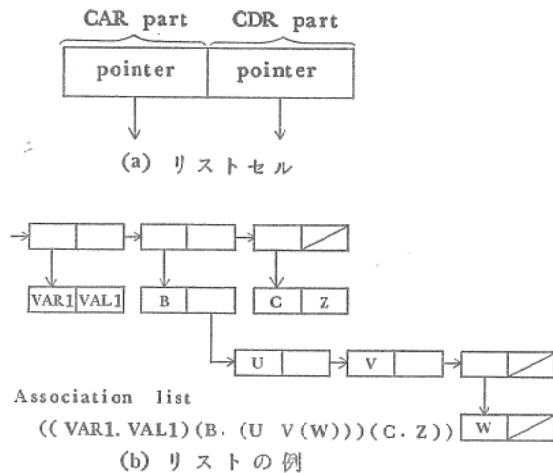


図1 リストセルとリストの例

することができる。図1-(a)において1つのリストセルの前半のポインター部を CAR 部、後半のポインター部を CDR 部と名付けている。そして基本操作を受持つ基本関数群としては、 $\text{car}[x]$ 、 $\text{cdr}[x]$ のようにそれぞれリストセル x 内の対応するポインターを取り出しその値とする関数を始め、その他新しいセルを一つ準備してリスト要素をつくる $\text{cons}[x; y]$ 、データの同一性を判定する $\text{eq}[x; y]$ 、データの型を調べる $\text{atom}[x]$ 、NIL か否かを調べる $\text{null}[x]$ 、つながりを切断、変更するためにポインターを書き換える $\text{rplaca}[x; y]$ 、 $\text{rplacd}[x; y]$ などがある。そして利用者が構築した新しい関数の定義を行うための関数 define 等の関数その他が準備されている。そして LISP の処理系としてはこれらを汎用機の命令で実現することになる。さて現時点でも通常の汎用計算機上での LISP の環境では、まずその処理に CPU タイムが非常にかかり、かつ TSS 等の多重処理環境での計算機利用では、使用可能メモリ領域の不足や、メモリスワップの頻発等の不都合が問題点となってきている。これは、LISP 言語と計算機アーキテクチャの間の不整合や、リスト処理固有の特性として、リストがメモリを大量に消費し、かつリストの探索と生成、消滅にメモリへ頻りにアクセスすること等が原因となっている。そしてこれらの問題の解決のため、大きいアドレス空間と共にパーソナルな利用環境でかつ高速、高性能な LISP のためのアーキテクチャをもった専用マシンの研究開発を

促すこととなる。すでに国内外において LISP マシンの研究開発が進んでおり⁴⁾、その中には米国で商用化され我が国にも1983年から輸入されているものもあるが、それらに比して現時点では恐らく最高速であると考えられる⁵⁾我々のリスト処理専用計算機-EVLIS マシン-の概要を次に述べ、LISP マシンおよび Prolog マシンとしての性能を示す。

EVLIS マシンの概要

LISP において、その処理系の本体とも云える万能関数としての LISP インタープリタの中で、しばしば機能する関数 $\text{evlis}[m; a]$ に我々は着目して、リスト並列処理マシンを提案、試作し、EVLIS マシン^{6),7)}と名付けている LISP マシンについて述べる(図2)。我々が発表した当時には、リスト処理そのものを複数のプロセッサで並列処理している例は、他に存在していなかった⁴⁾。関数 evlis の内容はインタープリタが処理しようとする関数の引数の評価に関与しており、我々は evlis の第1引数の要素の数に相当するリスト処理のタスクとして、それぞれに複数の EVAL II プロセッサ(現在2台実装)を対応させ並列に処理できるように並列性を導入している。

また図2の q-buffer は FIFO スタックからなり並列処理のための環境管理の主要な機能の一部をハードウェア化したものであり、他にさきがけた特徴を有している。

そして EVLIS マシンの並列処理用プロセッサとして設計した EVAL II プロセッサ⁸⁾は単体の LISP マシンとしても充分高速であるようにアーキテクチャが考慮されている(図3)。その主要な機能としては強力なディスパッチ機能、スタック用ハードウェアに加えて、リストをたぐることの多い LISP のために、メモリから読み込んだデータをそのまま次のアドレスとして使用できるようにした PCAR, PCDR のレジスタをもち、この CAR, CDR 演算とその他の EVAL II プロセッサ上の演算とは並列に処理されるようになっており、他にない特徴として高速化に貢献している。その他リスト処理では、オペランドとしてのポインターが頻りに取

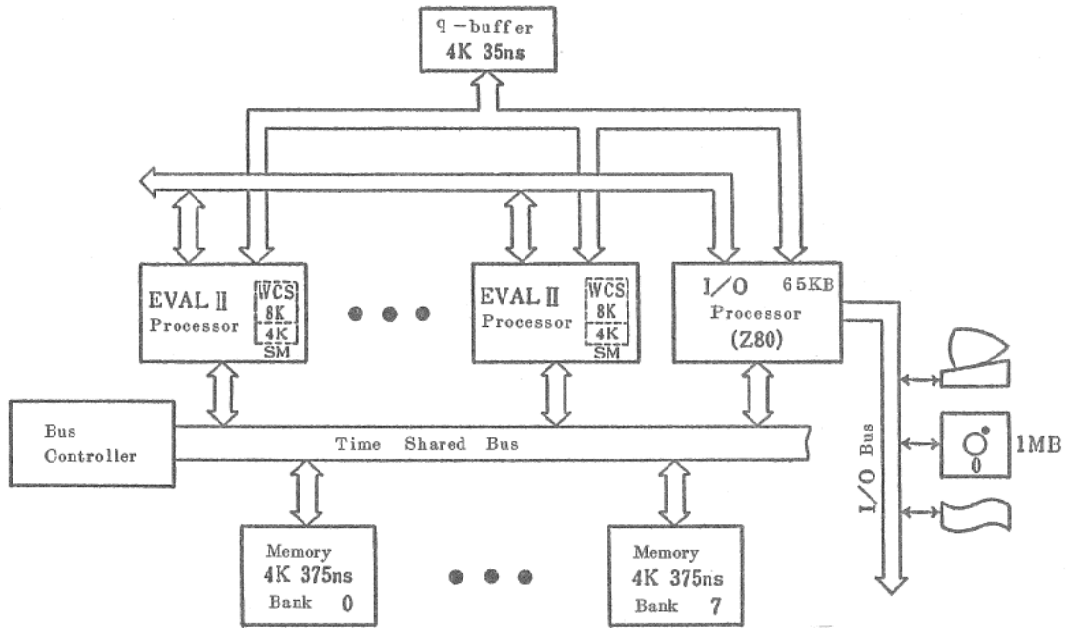


図2 EVLIS マシンの構成図

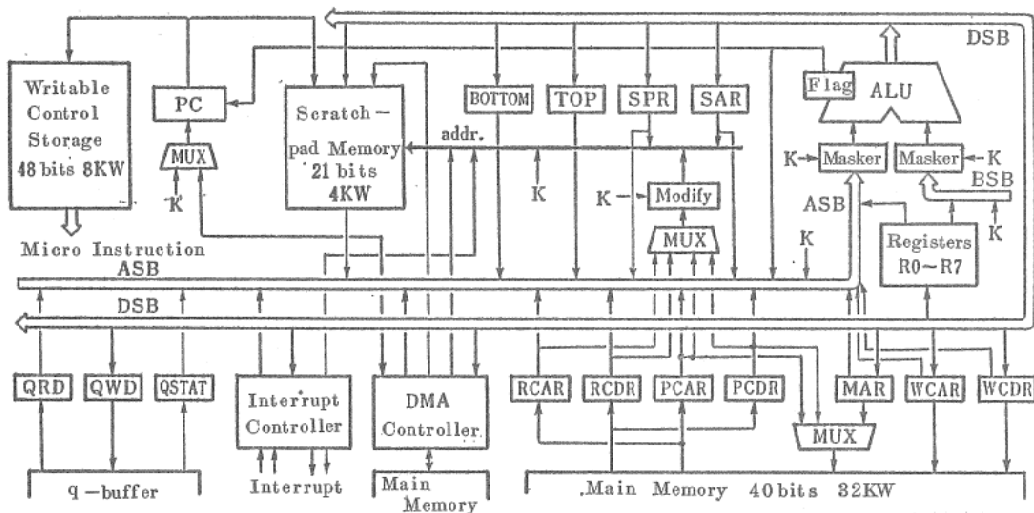


図3 EVAL II のブロック図

扱われることを考慮して、バス上ではデータとアドレスを区別せず、一つのデータとして取扱っている。マイクロ命令は分岐の実行のためのフィールドが設けてあり、他の演算と並行処理が行われる。その命令のフェッチと実行はパイプライン化されている。また、マシンのハードウェアとソフトウェアのデバッグ、リスト処理実行時の動作特性測定等のための諸情報を収集するハードウェアでサポートした診断用インターフェイスが準備されており、I/O プロセッサを介して各レジスタ、バス、カウンタ等の内容

が読み出され、また外部より値をセットできるようになっている。図3の EVAL II プロセッサは特徴あるアーキテクチャを実現するため、すべて TTL の論理 IC、フリップ・フロップ等で製作されており、昨今巷間に流行している既製のマイクロプロセッサの流用システムではない。

本システムは研究室内で昼夜の区別なく専有して使用できると云うパーソナルなリスト処理マシン（図4）としての便利な利用環境に加えて、材料費 300 万円程度の手作りのマシンにも

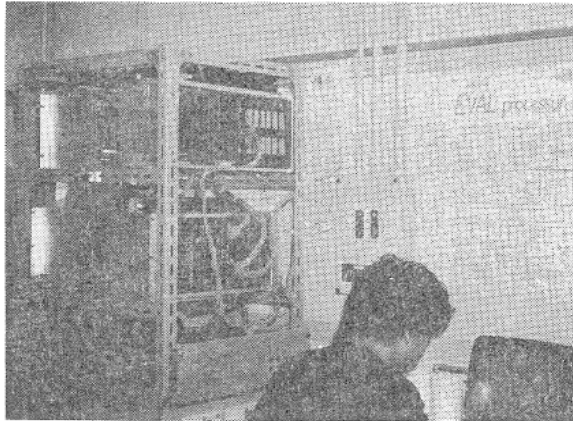


図4 EVLIS マシン

表1 ベンチマーク問題の処理時間
表1-a 本LISP マシンと汎用超大型機での
処理時間比較

— Interpreter Version —

System (machine) Var. binding Problem	Experimental LISP Machine		UTILISP (M200-H)	OLISP (ACOS-1000)
	shallow	deep	shallow	deep
TARAI -3	24	40	21	34
-4	461	755	420	638
-5	12,559	20,556	11,210	17,344
T P U -1	346	490	234	433
-2	1,372	2,262	1,079	1,879
-3	542	866	419	724
-4	716	1,095	558	945
-5	97	171	82	135
-6	2,760	4,385	2,225	3,681
-7	533	952	440	753
-8	494	902	411	705
-9	339	614	285	482

(unit : msec.)

表1-b 本マシン上で 8-Queen 問題の全ての
解(92個)を得るための所要 CPU 時間

LISP Machine	Prolog Machine
3,009	8,247

(unit : msec.)

かかわらず単体でも LISP マシンとしての実行性能は、開発当時の七大学の大型計算機センターの汎用超大型計算機とも匹敵し得る性能を有している⁹⁾。学会でよく用いられているベンチマーク問題の実行例の一部を表1に示す。また

問題解決システム等の基礎的なモデルとして、しばしば例に挙げられる 8-queen 問題等について、第5世代の計算機の核言語とされ最近話題が多い Prolog マシンとしての実行例¹⁰⁾も含めて示す。Prolog の実測値は、マイクロプログラムによる Prolog の処理系の実行例として、現時点では、他に比較するデータはない。

リスト処理に興味をもたれている方々には、これらの値は充分手応えのある数値であるものと思う。

おわりに

シングルプロセッサによる LISP マシンは近年その完成度を高めつつあり、さらに飛躍的な処理能力の向上実現にはマルチプロセッサによる並列処理に可能性を求めることになる。

データ・フローマシン、リダクション・マシンも含め今後の並列処理による LISP マシンの発展に期待したい。LISP マシンは計算機開発環境の著しい発展とともに研究対象の試作機から実用機へと高性能を追求しながら早いテンポで成長を続けてきており、一面ではマシン或はプロセッサのチップ化によりさらに量産化が行われる時代を迎えようとしている。そしてバックエンド・プロセッサとしての高性能大規模 LISP マシンへの道を歩むかたわら、スタンドアロンで知的な機能を取り入れた CAD, OA 等の専用マシンとしての高性能パーソナル・コンピュータとして LISP マシンが普遍する世代を実現しつつある。

半導体回路技術の高度化、および新素子の開発は広く一般にメモリーをも含めた計算機のスピードをますます高速なものとするであろう。そしてその上に立って、さらに経済性とともに高速高性能を追求し、かつソフトウェアにおいても優位を獲得するためには、よりすぐれたデータ構造、言語および新しい計算機アーキテクチャ研究開発への休むことのない積極的な挑戦を我々は続けなければならないものとする。

参考文献

- 1) McCarthy, J., et al. : LISP1.5 Programmer's Manual, the M.I.T. Press (1962).
- 2) 安井 裕, 立花道明, 山本昌弘 : NEAC 2206

- のための LISP について, 情報処理学会昭和41年度全国大会予稿集, pp. 36—37 (1966).
- 3) Ishida, T., Yasui H., Sugiyama, H. and Joh, K. : A Self-Programming System with Experiments, Information Processing In Japan, pp. 1—10 (1968).
 - 4) 安井 裕 : LISP マシン, 情報処理, Vol. 23, No. 9, pp. 757—772 (1982).
 - 5) 記号処理研究会ニュース, 情報処理学会研究会資料記号処理24, pp. 1—2 (1983).
 - 6) 安井 裕, 斎藤年史, 三石彰純, 宮崎洋一 : LISP での並列処理における動的特性と EVLIS マシンの構成, 情報処理学会研究会資料記号処理10—1 (1979).
 - 7) 安井 裕, 斎藤年史 : EVLIS マシンの試作について, 理化学研究所, 理研シンポジウム : リ
スプ・マシン報告集, pp. 29—32 (1982).
 - 8) 前川博俊, 斎藤年史, 土井俊雄, 西川 岳, 安井 裕 : 高速 LISP マシンとリスト処理プロセッサ EVAL II —アーキテクチャとハードウェア構成—, 情報処理学会論文誌, Vol. 24, No. 5, pp. 683—688 (1982).
 - 9) 斎藤年史, 西川 岳, 土井俊雄, 前川博俊, 安井 裕 : 高速 LISP マシンとリスト処理プロセッサ EVAL II —インタプリタによるマシンの評価—, 情報処理学会論文誌, Vol. 24, No. 5, pp. 689—695 (1983).
 - 10) 大寺信行, 斎藤年史, 清原良三, 西開地秀和, 安井 裕 : EVLIS マシンにおける Prolog インタプリタとその動特性, 情報処理学会研究会資料記号処理27—4 (1984).

