

マルチコンピュータ画像生成システム MC-1

日高 教行 平井 誠 中瀬 義盛 浅原 重夫 鷺島 敬之

(松下電器産業(株) 無線研究所)

1. まえがき

集積回路技術の急速な進歩に支えられたコンピュータの高機能化、高速化に伴い、コンピュータによるリアルな3次元画像生成が可能となった。しかしながら、3次元画像生成は一般に極めて大きな浮動小数点演算量を必要とするため、複雑な形状、テクスチャを持つ物体の陰影付き表示は、現在のスーパーコンピュータをもってしてもリアルタイムで処理することができない。

最近マイクロコンピュータが高機能かつコンパクトになり、半導体メモリの高集積化が著しい点に着目し、マルチプロセッサ構成と実行時画像データベースのメモリ常駐化により、画像生成速度の向上を計った例がいくつか報告されている。^{[1] [2] [3]}

また、3次元画像生成における物体データの座標値や表面属性は、浮動小数点データとして処理されるべきものであり、かつ座標変換や隠面消去、物体表面の輝度計算等の演算が、ほとんど加減乗除の四則演算並びに \sin , \cos を組合わせて実行できる。

我々は上記の観点に立ち、高速の浮動小数点演算ユニット(以下 A P U と略す)を開発し、この A P U と16ビットマイクロコンピュータとの対をユニットコンピュータとし、それらを H D L C 回線により結合したマルチコンピュータシステム M C - 1 を開発したので、以下に報告する。

2. システム構成

図1は M C - 1 のシステム構成図である。

M C - 1 は、ルートコンピュータ(以下 R C と略す)とノードコンピュータ(以下 N C と略す)が H D L C 回線(4 Mbps)により図1の様に接続されたマルチコンピュータシステムであり、R C による監視のもと、各 N C では共通のプログラムが実行される。画像生成時、まず R C は、H D L C 回線を用いてプログラム及びデータを N C にダウンロードし、N C 上のプログラムを起動する。その後 R C は、ブロック(分割されたスクリーンの一部)単位の負荷を各 N C に分散し、各 N C の実行を監視する。各 N C は、割り当てられた ブロック 内の各ピクセルの輝度を計算し、専用の高速 イメージバス に出力する。各 N C から イメージバス 上に出力された画像データは、データコレクタ(以下 D C と略す)により集められ フレームメモリ(以下 F M と略す)に書き込まれる。

R C には、プログラムおよびデータファイル管理のため、CP/M-68K が稼動している。

プログラム開発は V A X / U n i x 上で行い、V A X 上の機能シミュレータを用いてプログラムの動作確認を行った後、R C に転送し、CP/M 上で実行ファイルを作成する。V A X 上で動作確認したプログラムは、M C 上で問題なく動作している。

2. 1 ルートコンピュータ

ルートコンピュータ(R C)は図2に示すように、16ビットマイクロコンピュータ

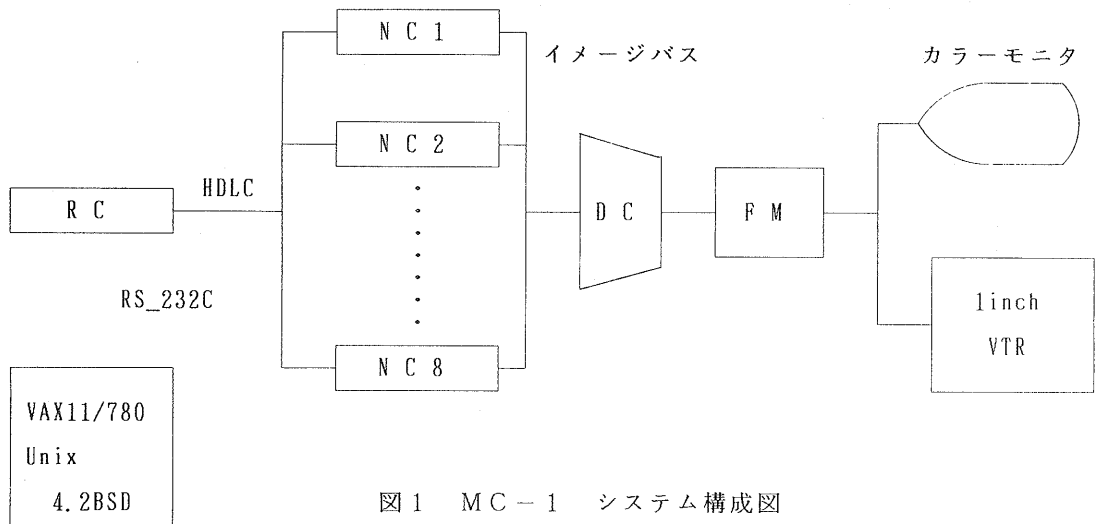


図1 MC-1 システム構成図

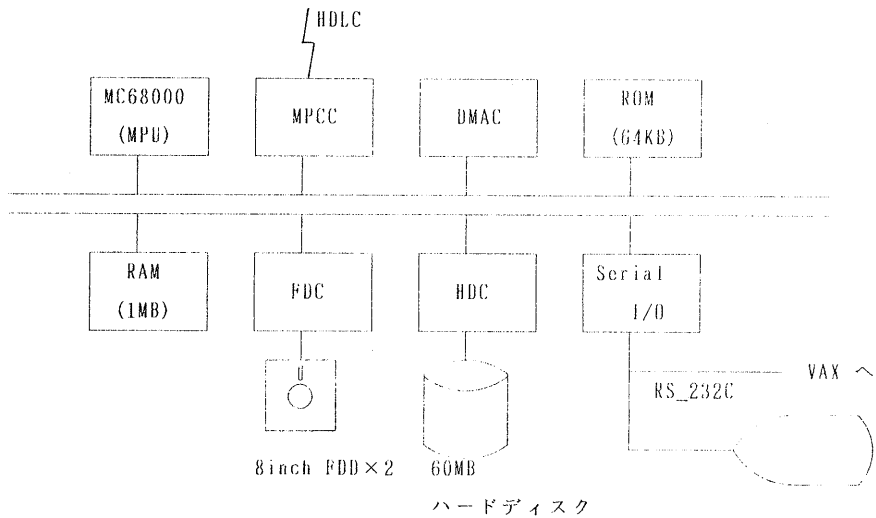


図2 RCの構成図

MC68000, 1Mバイトメインメモリ, 64KバイトROM, 8インチフロッピーディスク×2台, 60Mバイトハードディスク, DMAC, HDLC通信コントローラにより構成される。RCは、3次元アニメーションデータの作成, 画像生成用実行型シーンデータの作成, 画像生成時のNCへの動的負荷分散等の処理を行なう。

2.2 ノードコンピュータ

ノードコンピュータ (NC) は図3に示す構成になっており、MC68000 (MPU), 1Mバイトメインメモリ, 64KバイトROM, 浮動小数点演算ハードウェア (APU) からなっている。NCではROM上のモニタが、RCから送られてくるMPUプログラム及びデータをメモリ上に配置し、RCからのコマンドによりMPUプ

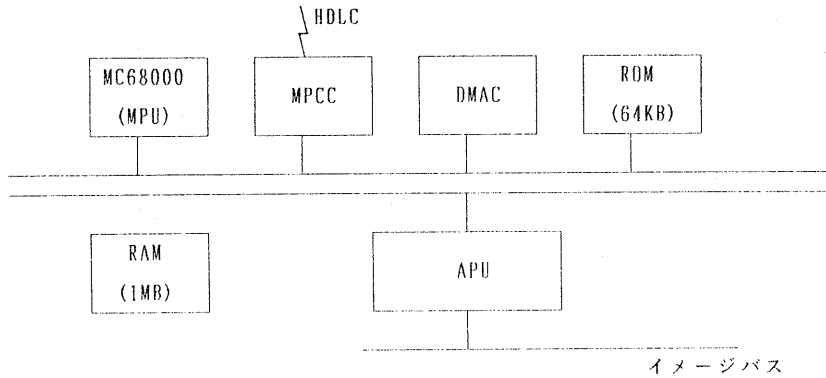


図3 ノードコンピュータ構成図

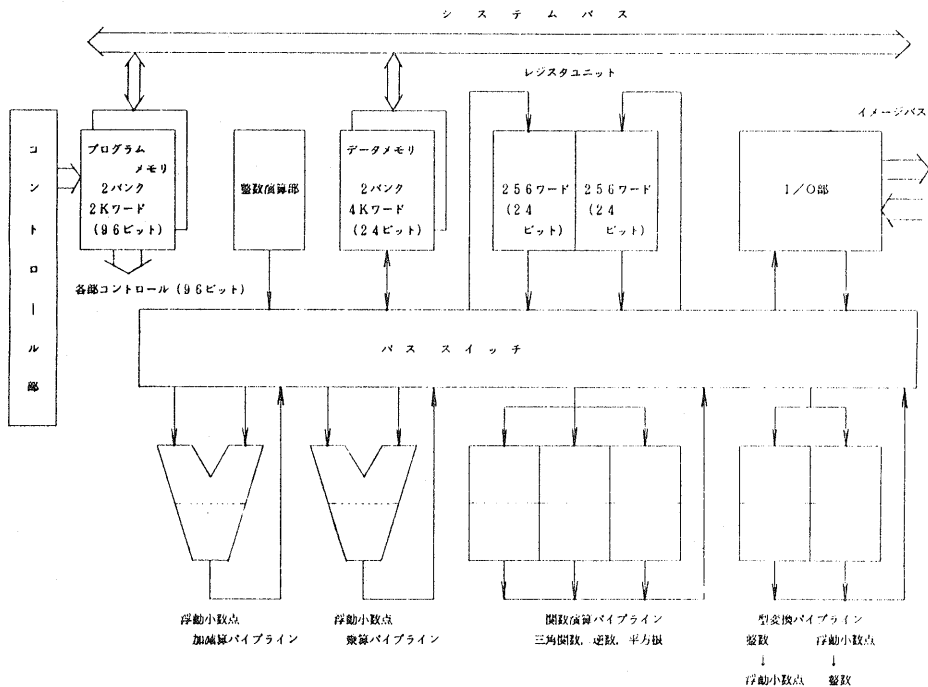


図4 APU機能ブロック図

プログラムを起動する。さらに、NC上のMPUプログラムは、APUプログラム及びデータをそれぞれAPUのプログラムメモリ、データメモリに書き込んだ後、APUを起動し、以後MPUとAPUは並列に動作し、画像を生成する。

2.3 APU

APUは、浮動小数点乗算器、加減算器、

関数演算器 (sin, cos, 逆数, 平方根) を持ち、それぞれ基本的に2ステージのパイプライン構成をとり、24ビットの浮動小数点演算を最大4M回/秒実行できる。また、プログラムメモリ及びデータメモリはそれぞれ2バンクからなり、APUが演算を行っている間に、MPUは次の処理のためのプログラム及びデータを準備することができる。そのため、APUへのプログラ

ム及びデータの準備時間を無視することができる。APUの各処理ユニットは、1命令96ビットからなるAPUプログラムにより水平同期的に処理されるため、各演算器は並列に処理を行なうことができる。

図4にAPUの構成を、表1にAPUの演算時間を示す。

2. 4 通信

RC-NC間は、全二重・4Mbpsのシリアル回線で接続されており、RCとNCはHDL C手順^[4]により通信する。RCは1次局、NCは2次局として動作し、RCが通信の制御を行なう。

通信には、ブロック通信モード及び文字列通信モードがある。ブロック通信モードとは、送信先の任意のアドレスへまとまった量のデータを送信するものであり、RCからNCへのプログラム及びデータのダウンロード、NCからRCへのデータのアップロード等に使われる。文字列通信モードとは、RCとNCの間に仮想の文字列専用通信路を用意し、RC及びNCが互いに相手を仮想端末とみなして通信できるようにしたものであり、RCからNCへのコマンド送信、NCからRCへのステータス送信等に使われる。

また、RCからのデータ及び文字列の送信には、全てのNCへ、同時に同一のデータまたはコマンドを送ることができるグローバル通信が用意されている。一方、NCからの送信要求に対しては、RCがポーリングすることにより送信要求を検出し、そのNCに送信許可が与えられる。

演算の種類	非パイプライン演算 (μsec)	パイプライン演算 (μsec)
加算	0.5	0.25
減算	0.5	0.25
乗算	0.5	0.25
除算	1.0	0.25
sin / cos	1.75	0.75
平方根	0.5	0.25

表1 APUの浮動小数点演算時間

2. 5 フレームメモリ 並びに データコレクタ

フレームメモリ(FM)は、 768×480 ピクセルの解像度を持ち、各ピクセル当りRGB各8ビットの色情報を持つ。

データコレクタ(DC)は、イメージバスに接続されているAPUを順にポーリングし、画像データがあればそれを読み込み、FMに出力する。画像データは1ピクセル当り、スクリーン内のX、Y座標、R、G、Bの5ワード(16ビット/ワード)からなる。DCは1ピクセルの画像データ読み込みにおよそ $0.6 \mu\text{sec}$ を必要とし、FMの1画面全てのピクセルにデータを出力した場合、およそ0.2秒必要である。

3. アニメーション作成

アニメーションはシーン(1コマごとの画像)の連続したものであり、シーンを次々に生成し、VTR等によりコマ撮りすることによりアニメーションができる。

図5にMC-1を使用したアニメーション作成手順を示す。始めに、3次元アニメーション記述言語を用いて物体、光源、カメラ及びそれらの動きを記述した、3次元

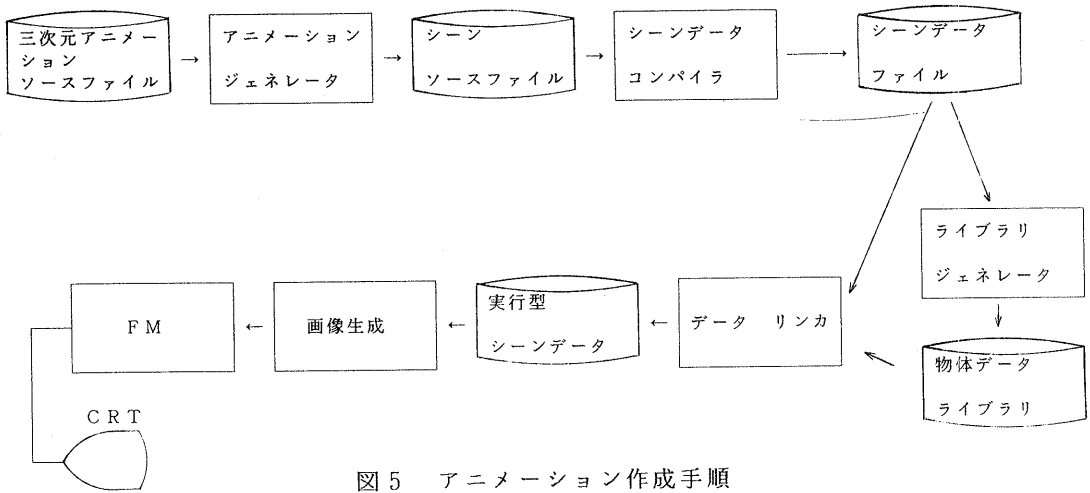


図5 アニメーション作成手順

アニメーション・ソースファイルを作成する。アニメーションジェネレータにより、アニメーション・ソースファイルから、指定されたシーンの物体、光源、カメラ位置を定義するシーン・ソースファイルが作られる。このシーン・ソースファイルをコンパイルすることにより、シーン・データファイルが作られ、データリンカによりシーン・データファイルと物体データベースから、画像生成プログラムが参照可能な実行型シーンデータが作成される。RCはこのシーンデータを各NCに送信し、NC上で画像を生成する。

連続的に画像を生成する場合は、RC上で、NCへの負荷分散と同時に、次のシーンに対する実行型シーンデータを作成する。

3. 1 画像生成

図6にMC-1上での1シーンの画像生成手順を示す。既にNC上には、画像生成プログラムがダウンロードされているものとする。

① RCは実行型シーンデータを全てのNCにグローバル送信し、NCの画像生成プログラムを起動する。NCは物体及び光源を視点座標系に変換し、それぞれの物体を囲むboxを算出する。このとき、APUが一方のデータメモリバンクで座標変換している間、MPUが他方のデータメモリバンク上で、既に変換された物体データ、boxデータの回収及び次の物体データの書き込みを行うことができるため、APUへのデータの準備時間を無視することができ、効率良く座標変換を行なうことができる。

② 次にboxデータをスクリーン上に投影し、ブロックリストを作成する。ブロックリストとは、スクリーンをブロックと呼ぶ単位に分割し、それぞれのブロックに写る可能性のある物体名を、視点に近い順にソーティングしたリストである。図7にブロック及びブロックリストの例を示す。

各NCは、RCによって割り当てられたスクリーンの範囲内のブロックに対してブ

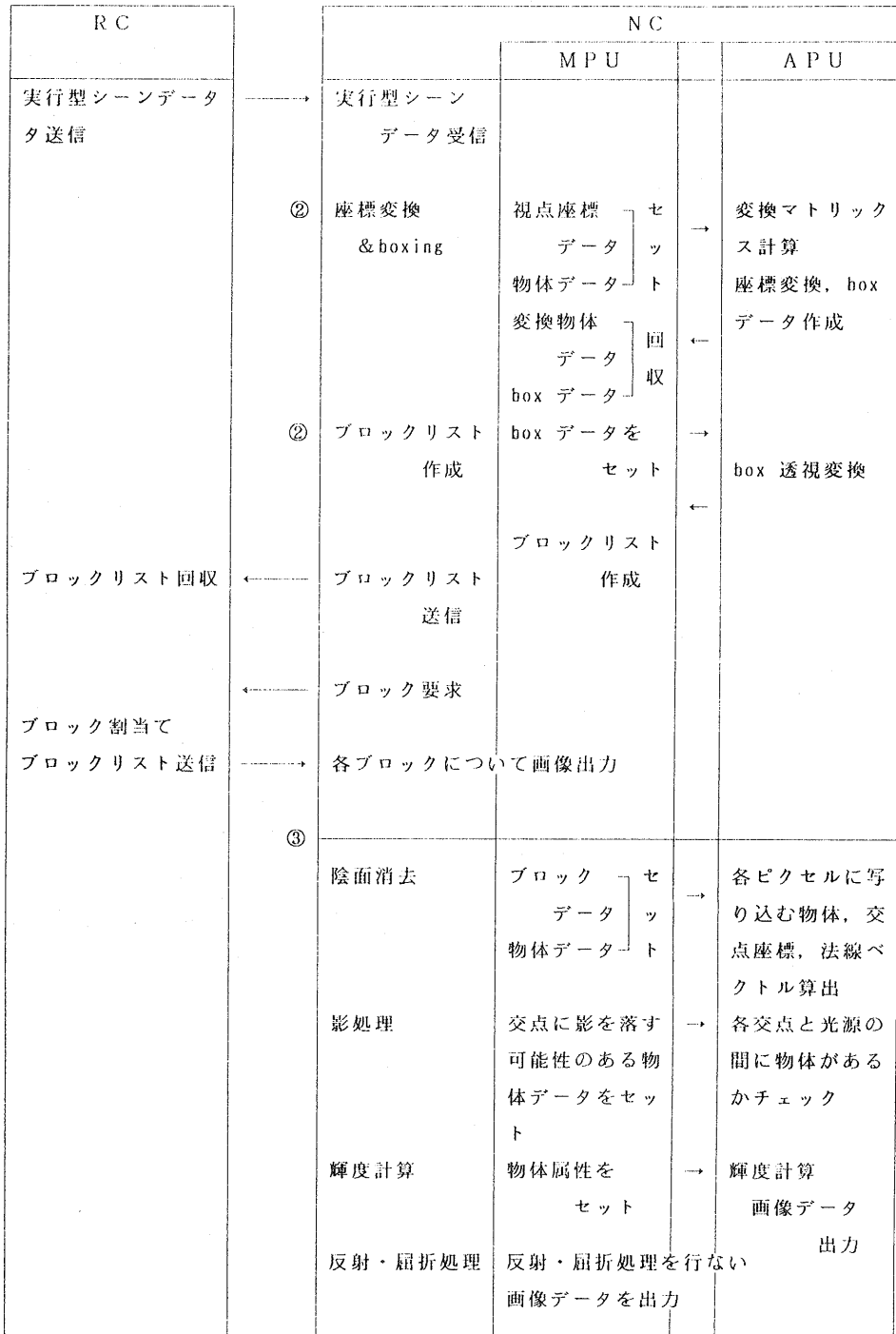


図6 MC-1における画像生成の流れ

ロックリストを作成し、RCに送信する。

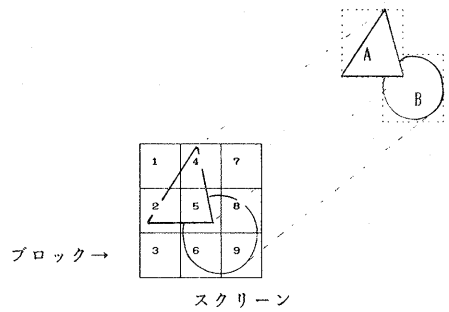
③ RCは全てのNCからブロックリストを回収した後、それぞれのNCに処理すべきブロックを割り付け、対応するブロックリストを各NCに送信する。以後RCは、各NCからのブロック割り当て要求に対し、動的にブロックを割り付け、すべてのブロックの割り付けが終了するまでこれを続ける。

NCでは、割り付けられた各ブロックについて、隠面消去^[5]、影処理、輝度計算^[6]、反射・屈折処理^[7]を行ない、画像データをイメージバスに出力する。

隠面消去では、MPUは、ブロックリスト中の物体データをAPUに転送し、APUは、各ピクセルに写り込む物体を探索し、その物体と視線との交点座標及び交点における法線ベクトルを算出する。

影処理では、MPUは、隠面処理で求めた各ピクセルに写り込んでいる物体に、影を落とす可能性のある物体のデータをAPUに渡す。APUは、隠面消去で求めた交点と光源を結ぶ線分上に他の物体データが存在するかどうかを判断し、物体が存在すればその光源からの光がさえぎられたものとし、そのピクセルの影フラグをセットする。(図8参照)

輝度計算では、MPUはブロックに写り込んだ物体の属性データをAPUに渡し、APUは交点の座標、法線ベクトル、属性からピクセルの輝度を計算し、イメージバスに出力する。あるピクセルに写り込んだ物体が、反射・屈折属性を持つ場合には、そのピクセルに対応する反射・屈折フラグをセットし、画像データを出力せず後段で



(a) スクリーンのブロック分割

ブロック番号

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	A		A	A	B		B	B
				B				

(b) ブロックリスト

図7 ブロックとブロックリスト

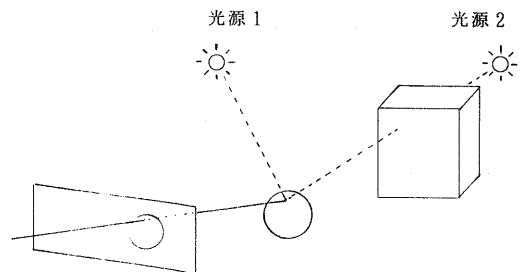


図8 影処理の例

処理する。

輝度計算後、反射・屈折フラグがセットされているピクセルについて、反射・屈折処理を行なう。ここでは、各交点を仮想的に視点とみなし、反射・屈折方向の仮想的な視線に対し交差判定・影処理をくり返し、輝度計算を行い画像データを出力する。

NCは、RCから送られた全てのブロックの処理が終了した時点で、RCに対し次のブロックリストを要求する。

以上の画像生成手法によりMC-1は、ブロック単位に動的に各NCに負荷分散しながら、リアルな3次元画像を高速に生成することができる。

4. 今後の課題

MC-1は、動き出したところであり、現在その性能評価を行っている。

現在までの評価実験の結果では、MC-1による画像生成の効率が、APUの実行効率に大きく依存していると思われる。APUの実行効率を上げるためには、MPUとAPUの間でやりとりするデータ量をより少くし、2バンクデータメモリを有効に生かすものに画像生成アルゴリズムを改良して行く必要がある。

また、APU内のデータの流れ、演算ユニットの並列度の評価を行ない、命令セットの改良、データバスのボトルネックの解消、そしてデータメモリの容量アップ等、APU本体の改良も必要である。

さらに、APUプログラム内の演算ユニットの並列度を評価し、APUコンパイラをより効率の良いものにして行かなければならない。

今後、MC-1の性能評価を進め、画像生成アルゴリズムの改良、APUコンパイラの改良、さらにAPU本体の改良を行っていく予定である。

最後に、本研究に際し有益なご助言をいただいた大阪大学工学部 電子工学科 大村助教授、白川助教授、京都大学工学部 情報工学科 富田助教授に感謝の意を表します。また、本研究の機会を与えていただいた当研究所 中島所長、三木部長に感謝

します。

参考文献

1. 西村仁志他, "LINKS-I: コンピュータグラフィックスシステム", 情報処理学会マイクロコンピュータ研究会資料, 1982年11月
2. Niimi H., et. al., "A Parallel Processor System for Three-Dimensional Color Graphics," ACM Computer Graphics, Vol. 18, No.3, pp. 67-76, (July, 1984).
3. Adam L., et. al., "Chap-A SIMD Graphics Processor," ACM Computer Graphics, Vol. 18, No.3, pp. 77-82, (July, 1984).
4. JIS C 6363-6365 "ハイレベルデータリンク制御手段のフレーム構成" 他
5. Newman W. M. and Robert F. S., "Principles of Interactive Computer Graphics," 2nd Ed. McGRAW-HILL
6. Phong B. T., "Illumination for Computer Generated Pictures" CACM, Vol. 18, No.6, pp.311-317, (June, 1975).
7. Whitted, Turner, "An Improved Illumination Model for Shaded Display," CACM, Vol. 23, No.6, pp. 343-349, (June, 1980).