

高性能グラフィクスコントローラ

High-Performance Graphics Controller

あらまし

カーナビゲーション，メータ，表示パネルなどの組み込み用途に適した高性能グラフィクスコントローラ「MB86290シリーズ」を紹介する。第3世代のMB86293は，レンダリングエンジン，ジオメトリエンジン，ディスプレイコントローラ，ビデオキャプチャ，ホストインタフェース，そして外部メモリインタフェースを集約統合し，組み込み用途向けグラフィクスに最適化したシステムLSIとして製品化する。パソコンやゲーム向けグラフィクスと違い，組み込み用途では2次元グラフィクスや画面重畳に対する要求が依然として強いが，本LSIはこれらの市場要求に応えるものである。

本稿では，本LSIが実装した，特長的な表示ならびに描画処理に対する工夫について説明する。また，性能評価をとおして，組み込み用途向けシステムにおける本LSIの効能について述べる。

Abstract

This paper introduces the MB86290 series of high-performance graphics controller LSIs. This series is ideal for various types of embedded applications, for example, car navigation, digital panel meters, and display panels. The third-generation product of this series, the MB86293, contains a 2D/3D rendering engine, geometry processor, display controller, video capture unit, external memory controller, and host interface controller. This LSI now makes it possible to embed the graphics capabilities found in PCs and home game machines, for example, high-quality, high-performance 2D graphics rendering and multi-layered display. This paper mainly describes some actual applications of an advanced display controller and rendering engine that is based on this LSI. It also presents a performance comparison that shows the advantages of using this LSI in embedded applications.



阿波賀 信人（あわが まこと）
第二システム事業部第三設計部
所属
現在，マルチメディアモバイル向
けシステムLSI開発に従事。



中原 誠（なかはら まこと）
第二システム事業部第三設計部
所属
現在，3次元グラフィクスLSI開発
に従事。

ま え が き

これまで3次元グラフィクス（以下、3DG）といえば、パソコンやゲーム機などの限られた用途で使われている印象が強かったが、半導体の集積度の向上に伴い、3DG機能を取り込むコストが低減し、今やカーナビゲーション（以下、カーナビ）、メータ、表示パネルなどの組み込み用途向けシステムにおいても使われ始めている。

組み込み用途向けグラフィクスの特徴は、パソコンやゲーム向けグラフィクスが3DG中心で表現されるのに対し、依然として2次元グラフィクス（以下、2DG）での表現も併用される点である。2DGの特徴は、点、ライン、任意多角形といった三角形以外のプリミティブ（基本形状）に代表されるが、これらをフル実装するチップは意外と少ない。

また、組み込み用途向けシステムで用いられるCPUがパソコンで使われるものと比べ低性能であること、3DGで必要な浮動小数点演算ユニット（以下、FPU）を必ずしも搭載していないなどの理由から、描画チップ側に求められる機能が多種多様であることも組み込み用

途向けグラフィクスの特徴である。

富士通はこのような市場動向をいち早くキャッチし、2D/3D描画プリミティブのフル実装、ジオメトリエンジンの搭載、多レイヤの画面重畳対応など、組み込み用途向けに適した高性能グラフィクスコントローラを開発してきた。

本稿では、富士通の高性能グラフィクスコントローラ「MB86290シリーズ」について紹介する。

組み込み用途向けグラフィクスに対する要求

3DGを実装する場合、常に議論されるのがホストCPUと描画チップとの負荷分散である。3DGは、3次元座標で表現される物体の頂点データを視点や物体の移動に応じて座標変換するジオメトリ処理と、座標変換された図形を奥行き情報をもとにスクリーン座標へマッピングし着色していくレンダリング処理からなる。カーナビを例にとると、自動車の走行方向・視点位置に合わせて地図を回転、移動、射影といった座標変換を行うのがジオメトリ処理で、道路や建物の着色、模様の張り付けなどを行うのがレンダリング処理である。CPUが十分高速な場合、CPU側でジオメトリ処理を実行し描画チッ

表-1 MB86290シリーズ諸元

諸元		MB86290A	MB86291	MB86292	MB86293（開発中）
動作周波数		最大100 MHz	最大100 MHz	最大100 MHz	最大166 MHz
ピーク性能	描画 フィル	100 Mピクセル/秒	100 Mピクセル/秒	100 Mピクセル/秒	133 Mピクセル/秒
	ライン	1.6 Mライン/秒	4.0 Mライン/秒	4.0 Mライン/秒	5.0 Mライン/秒
	矩形 フィル	800 Mピクセル/秒	800 Mピクセル/秒	800 Mピクセル/秒	1 Gピクセル/秒
表示	画面サイズ	320 × 240 ~ 1,024 × 768	320 × 240 ~ 1,024 × 768	320 × 240 ~ 1,024 × 768	320 × 240 ~ 1,024 × 768
	カラーパレット	8ビット (256/262,144色)	8ビット (256/262,144色)	8ビット (256/262,144色)	8ビット (256/262,144色)
	アルファブレンディング	16段階	16段階	16段階	256段階
ビデオ	デジタル入力	なし	YUV入力 (ITU RBT-656)	YUV入力 (ITU RBT-656)	オプション
メモリI/F	種類	SDRAM	DRAM混載	SDRAM/FCRAM	SDRAM/FCRAM
	バス幅	32/64ビット	64ビット	32/64ビット	32/64ビット
ビットBlk	透過	なし	あり	あり	あり
	アルファブレンディング	なし	なし	なし	あり
描画	グーロシェーディング	あり	あり	あり	あり
	アルファブレンディング	あり	あり	あり	あり
	テクスチャマッピング	あり	あり	あり	あり
	アンチエイリアス	あり	あり	あり	あり
	始点・終点・破線垂直化	なし	なし	なし	あり
	縁取り・影付け	なし	なし	なし	あり
ジオメトリ		なし	あり	あり	あり
パッケージ		QFP240ピン	QFP208ピン	QFP256ピン	QFP256ピン
テクノロジー		0.25 μ mCMOS	0.25 μ mCMOS	0.25 μ mCMOS	0.18 μ mCMOS

ブ側でレンダリング処理をするのが一般的だが、組み込み用途向けでは、CPUの負荷軽減のため描画チップ側にジオメトリ処理を求める声大きい。これは汎用CPUに搭載されているFPUが必ずしも3DGに使用されるような大量のデータフロー処理に最適化されていないため、実働上のオーバーヘッドが大きいこと、グラフィクス以外に音声認識・合成、画像伸長なども担当し、CPUの全パワーをジオメトリ処理のみに消費することができないことなどの理由による。

メモリバスバンド幅の向上に伴い、画面重畳に対する要求も厳しくなっている。ゲーム向けグラフィクスでは、視点位置が常に変化したり、キャラクタやその周りのオブジェクトが常に動き回ったりすることを想定し、全面描き換えを行うのが主流で画面重畳に対する要求はさほど強くない。それに対し、組み込み用途向けグラフィクスでは、例えば、カーナビのように、分割した画面に視点の異なる地図を描画、その上に渋滞情報を図示、さらに標識、交差点情報、メッセージ、ビデオ映像などを重ね描きするなど、画面重畳に対する要求が特に厳しい。

製品概要

上記の市場要求に応えるため、富士通は富士通研究所と共同でグラフィックスコントローラをシリーズ化してきた(表-1)。第1世代品“MB86290A”では、2DG/3DG機能をフル実装し、4レイヤ画面重畳(図-1)を可能とした。第2世代品“MB86291/2”では、ジオメトリエンジン、ビデオキャプチャを搭載した。そして第3世代品“MB86293”では、太線・破線の垂直化、縁取り、影付けなどの従来CPUが行っていた処理を取り込み、さらに6レイヤ画面重畳(図-2)を可能とした。

ここでは、第3世代品“MB86293”の描画・表示機

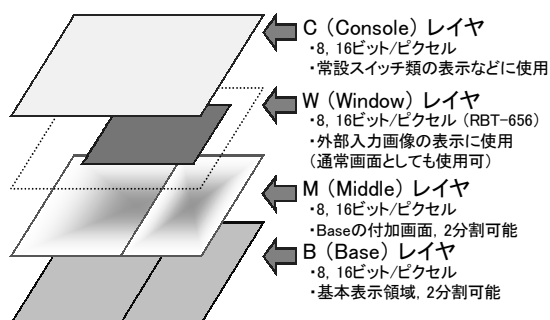


図-1 MB86290Aの画面の階層構造
Fig.1-Display structure of MB86290A.

能を中心に、各機能ブロック(図-3)の特長について紹介する。

● レンダリングエンジン

MB86293は、第1世代品からの上位互換性を持つ2D/3Dのレンダリングエンジンを実装した。描画プリミティブとして、ポイント、ライン、三角形、任意多角形、矩形、そして文字に対応した。特殊効果として、三角形の各頂点カラーに基づき表面のカラーを連続的に表現するグーロシェーディング、各頂点に2次元のパターン座標を指定して模様を付けるテクスチャマッピング、透かし効果を演出するアルファブレンディング、エイリアシングから生じるジャギーを除去するアンチエイリアシングなどを実装した⁽¹⁾。

前世代品から追加された新機能として、まず太線・破線の垂直化に対応した。第2世代品まで太線の始点・終点は、X軸主軸の太線の場合、始点・終点はX軸に垂直な形状で表現され、Y軸主軸の太線の場合、始点・終点はY軸に垂直な形状で表現されていた。同様に破線模様についても主軸に垂直に表現されていた{図-4(a)}。この太線・破線の見目の向上のために、MB86293で

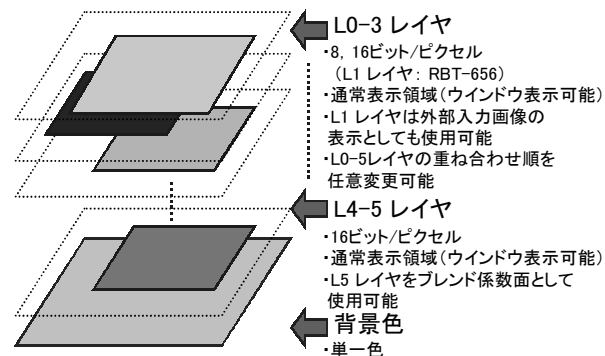


図-2 MB86293の画面の階層構造
Fig.2-Display structure of MB86293.

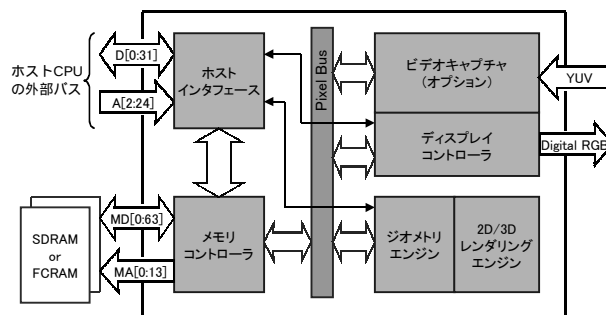
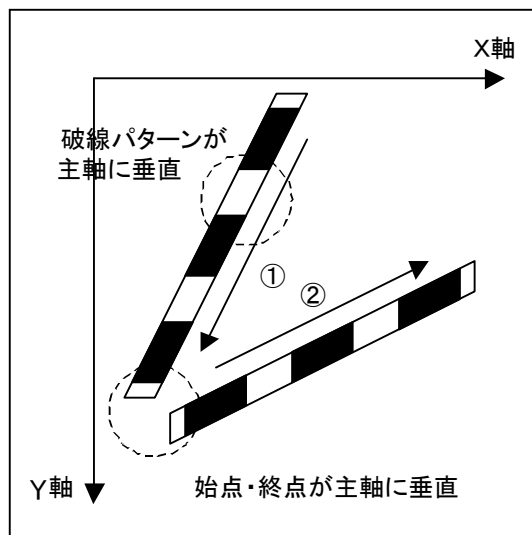
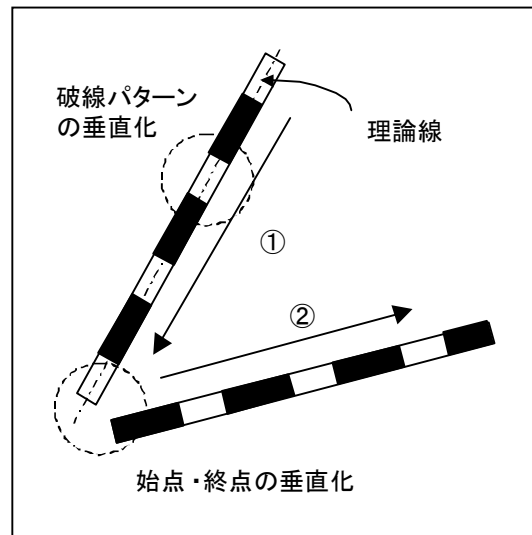


図-3 MB86293内部ブロック構成
Fig.3-MB86293 block diagram.



(a) MB86290Aの太線



(b) MB86293の太線

図-4 太線破線の比較

Fig.4-Comparison of bold broken line.

は、理論線に対し垂直な始点・終点、破線模様の表現を可能とした〔図-4 (b)〕。

さらに縁取りラインおよび影付けに対応した。縁取りラインを表現する場合、第2世代品までは本体ラインの両側の縁ラインを2本描画するか、または幅の違う2本のラインを重ね描きする必要があった。これら複数本のラインの描画順の管理やデータ転送はCPUが行っていた。MB86293では、CPUから本体ラインを与えるだけで縁ラインを自動生成することを可能とした。また、影付けでは、本体プリミティブを与えるだけで同形状の影プリミティブを自動生成することを可能とした。

● ジオメトリエンジン

MB86293では、第2世代品からの上位互換性を持つIEEE754規格に準拠する単精度浮動小数点形式データの乗算および加減算をパイプライン実行するジオメトリエンジンを実装した。入力頂点に対し、 4×4 の変換行列によるモデルビュー + プロジェクション変換、視界の外にある図形を描画しないようにするビューボリュームクリッピング、裏面を描画しないようにするバックフェースカリング、透視法のWの除算、正規化された2次元の座標をスクリーン座標へマッピングするビューポート変換、そして各種スロープ計算などを行うプリミティブセットアップを行う⁽¹⁾。

また、これらの処理を高速に実行するために、積和演算を効率良く実行可能なパイプライン演算器、クリップ判定のための専用演算器、整数、固定小数点、浮動小数

点データ間の型変換を行う専用演算器、そして三角形の3頂点のソートを行う専用演算器など、汎用CPUがサポートしないハードウェア機能を実装した。

● ディスプレイコントローラ

MB86293は、6レイヤ画面重畳の表示機能を実装した。また、各レイヤはウインドウ形式の表示を可能とした〔図-2〕。従来のフル画面サイズの重畳に比べ、全面ウインドウサイズの重畳が可能のため、隠面の不要な表示処理に伴う性能劣化が抑制できる。

各レイヤは重ね合わせ順を任意に変更可能とした。従来、各レイヤの重ね合わせ順を換える場合、各レイヤのパラメタを入れ換えることで実現していたが、レイヤの切り換えが頻繁に起こるアプリケーションでは、この時間が無視できなくなっており、その要求に応えるものである。

さらにレイヤの一つをブレンド係数面として使用可能とした。第2世代品までは、レイヤ全体に同一のブレンド係数を使用していたが、ブレンド係数面の適用により、ピクセル単位にブレンド係数を変更することが可能となった。

● ビデオキャプチャ

MB86293は、オプション機能として第2世代品からの上位互換性を持つビデオキャプチャ機能の拡張が可能である。MB86291/2では、ITU RBT-656フォーマットに準拠した8ビットのビデオデータを取り込み、1～1/32倍の縮小スケーリングが可能なビデオキャプチャ機

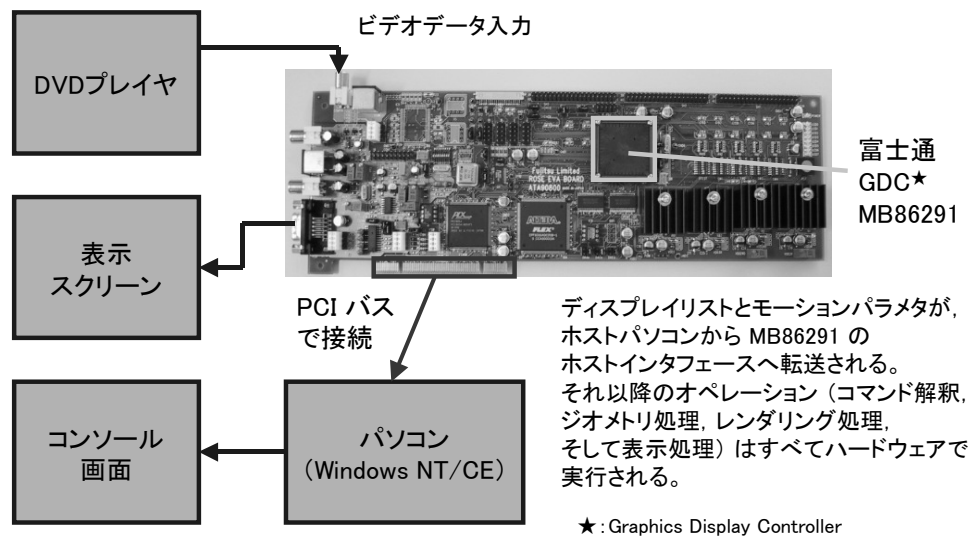


図-5 MB86291 PCIボード
Fig.5-MB86291 PCI board.

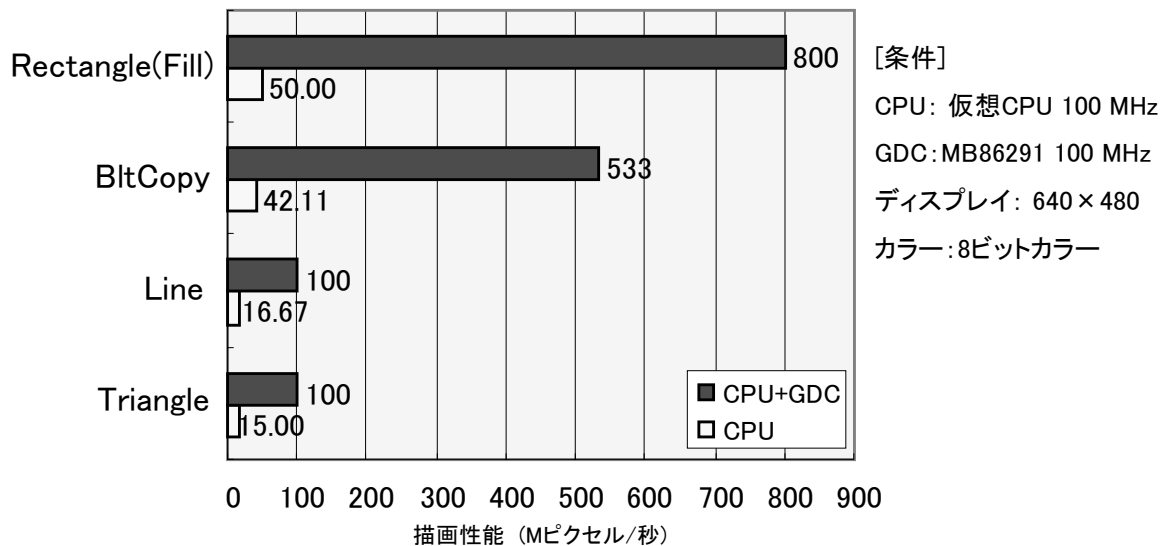


図-6 描画性能比較 (理論)
Fig.6-Comparison of graphics performance (peak performance).

能を実装した。レンダリングエンジンにより描画された画像とビデオ画像を同一の画面に表示するピクチャインピクチャが可能となった。

● ホストインタフェース

MB86293は、外部回路なしで直接接続可能なSRAMアクセスをベースとしたホストインタフェースを実装した。また、ノーマリレディまたはノットレディの2種類のレディモードに対応、バストランザクションの開始を示すバススタート (BS) 信号あり、またはなしの両方のプロトコルに対応するなど、各種CPUとの接続が容

易となるような工夫を施した。

DMA転送は、各種CPUが搭載するDMAコントローラに対応可能なように、転送元・転送先アドレスの指定モードとしてデュアル/シングルアドレスモードの2種類、バスプロトコルとしてサイクルスチール/バーストモードの2種類に対応した。また、グラフィクスメモリに置かれたディスプレイリストを本チップ内でDMA転送するローカルディスプレイリスト転送機能も実装した。

● メモリコントローラ

MB86293は、グラフィクスメモリとしてSDRAMお

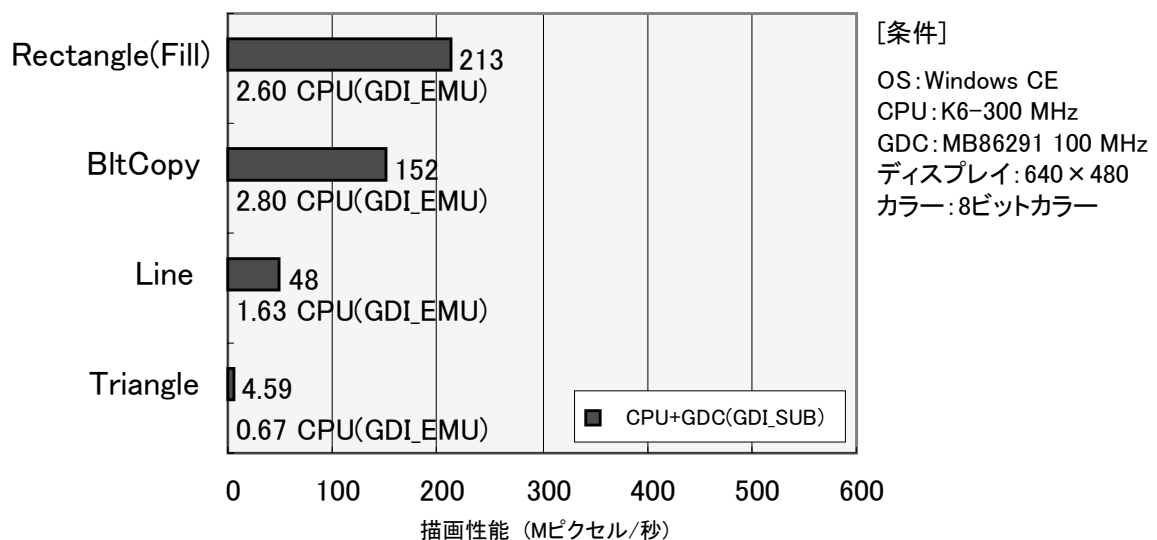


図-7 描画性能比較 (実効)
Fig.7-Comparison of graphics performance (system performance).

表-2 CPU処理時間比較

描画チップ名	CPU処理時間(ms)	描画終了までの時間 (ms)
MB86290A	22,448	32,786
MB86291	11,237	20,124
差分 = ジオメトリ 処理時間	11,211	12,662

CPU: SH4/200 MHz
フレーム数: 200フレーム
ポリゴン数: 2,226個 (三角形)

よびFCRAMに接続可能なメモリアンタフェースを実装した。メモリバス幅は64/32ビットの切り換えが可能で、目標性能、メモリのコストに合わせて構成を柔軟に変更可能とした。

性能評価

組み込み用途向けシステムにおけるグラフィクスLSIの有効性を検証するためにMB86290シリーズの性能評価を行った。

なお、評価にあたっては、図-5に示すMB86291PCIボードとWindows/パソコンを接続した環境を使用した。

図-6は、グラフィクス処理をCPUのみで実行した場合とCPU+MB86291で実行した場合の理論性能を比較したものである。評価を行った処理は、矩形の塗りつぶしを行うRectangle (Fill), 矩形領域のメモリ間コピーを行うBltCopy, ライン描画 (Line), そして三角形描

画 (Triangle) の4種類である。

なお、理論性能算出のため、CPUは仮想のものとし、MB86291と同じ100 MHzで動作し、グラフィクス処理に100%従事するCPUと定義した。その結果、6～16倍の性能差が生じると見積ることができた。つぎに、WindowsCE上でアプリケーションを実行させた場合の実効性能を比較した。CPUには、米国AMD製K6-300 MHzを使用した。図-7に示すように、性能差は理論性能と同様の傾向が見られ、6～30倍の開きがあることが確認できた。理論性能に対し実効性能がかなり低い結果となったが、これは表示・描画のための前処理やOSのタスクスイッチングによるオーバーヘッドに起因するものと思われる。

つぎにジオメトリエンジン搭載の効能を調べるために、3DGを実行する際のCPUの処理時間を測定した。表-2は、シナリオ作成からライティング+ジオメトリ処理を実行しMB86290Aへディスプレイリストを出力するまでのCPUの処理時間と、ジオメトリ処理をMB86291に実行させる場合のディスプレイリスト出力までのCPU処理時間を比較したものである。CPUには日立製SH4/200 MHzを使用、データ出力はDMA転送、ライト数は平行光1個、ポリゴン数は2,226個の三角形、という条件で行った。その結果、CPUの処理時間の差が全体の約50%になることが確認できた。これはCPUではジオメトリ処理に全体の約50%の時間が費やされていることを意味する。

続いてCPU - グラフィクスLSI間の転送データ数について考察する。表-3は、ジオメトリエンジンを搭載しないMB86290Aと搭載するMB86293とで、三角形を描画する際に必要なディスプレイリスト数を比較したものである。ジオメトリエンジンを搭載した場合、搭載しない場合に対し約1/3まで圧縮が可能であることが分かる。また、前述のとおりMB86283で新規追加した縁取り・影付け描画では、ディスプレイリスト数を約1/2まで圧縮可能であり、これらデータ圧縮がシステム性能の向上に寄与することが分かる。

む す び

組み込み用途向けの高機能グラフィクスコントローラ「MB86290シリーズ」について述べた。代表的なプリミティブを描画させるグラフィクス処理において、MB86290シリーズではCPUのみで実行する場合と比べ実効性能で6倍以上の性能が発揮できることを示した。組み込み用途向けのグラフィクスにかかるコストを考えた場合、より高速・高機能なCPUを求めるより、MB86290シリーズのような2DG/3DGの機能を有し、多面重畳が可能なグラフィクスLSIとの組み合わせが最適と考えられる。また、システムの負荷バランスを考えた場合、ジオメトリ処理はグラフィクスLSI側に担当させる方が有利であることも示した。

表-3 ディスプレイリスト数比較

頂点/パラメタ	MB86290A	MB86293
XY	DrawTrap (10)	G_Vertex_XY (3)
XYZ	DrawTrap+Z (14)	G_Vertex_XYZ (4)
XYRGB	DrawTrap+RGB (20)	G_Vertex_XYRGB (6)
XYZRGB	DrawTrap+Z+RGB (24)	G_Vertex_XYZRGB (7)
XYSTQ	DrawTrap+STQ (20)	G_Vertex_XYST (5)
XYZSTQ	DrawTrap+Z+STQ (24)	G_Vertex_XYZST (6)
XYRGBSTQ	DrawTrap+RGB+STQ (30)	G_Vertex_XYRGBST (8)
XYZRGBSTQ	DrawTrap+Z+RGB+STQ (34)	G_Vertex_XYZRGBST (9)

(注1) 三角形ストリップ/ファンでの比較

(注2) 表中DrawTrap, G_Vertexはディスプレイリストコマンド名, () 内はディスプレイリスト数

アプリケーションの多様化に伴い、CPUにかかる負荷は重くなる一方だが、この傾向はしばらく続くと思われる。富士通は今後もCPUの負荷を軽減するグラフィクス機能を盛り込んだ製品展開を進めていく予定である。

参 考 文 献

- (1) Jackie Neider et al.: Open GL Programming Guide.
Addison-Wesley Publishers Japan .