4. CAD・CAM の産業応用

4-1 LSI 設計 CAD システム

渡 辺 隆[†], 井 上 純 次[†]
唐 津 修[†]

1. LSI 設計 CAD システム

LSI 設計 CAD システム¹⁾において扱われる図形データは大きく2つに分類できる。ひとつは回路設計を受けて設計されたデータベースに保存されるレイアウトデータであり、これは LSI の設計段階での最終産物であって、このシステムにとって図形であることが本質的なものである。2つ目は、データを扱い易くするために入出力や会話処理上で導入される便宜的や一時的な図形表現である。

後者は、いわゆる LSI 設計用と称して販売されている、EWS でおなじみの論理図入力、論理シミュレーション結果の波形表示等であり、設計効率の向上に大きな役割を果たしている。この後者の図形表示に係る技術は LSI CAD に特徴的な要素よりは、会話処理一般の技術、汎用的グラフィック端末やワークステーション技術に展開できるものが多いため、以下では、前者のレイアウトデータにしばって話を進めたいと思う。

2. LSI レイアウトデータの特徴

LSI のレイアウトデータは LSI 機能仕様に始まる一連の設計の結果であると同時に、次の LSI 製造工程で直接使用されるデータでもある。したがって、設計と製造の両者の特徴が合わせて具現化されている。

その性質を列記すると以下ようになる。

(1) 階層構造をもっている (図 1(a))

一番下位の構造は、NOR 回路とか Flip・Flop 回路とかの基本回路であり、これが組合されて加算器等の機能回路となり、これを繰り返して最上位のチップに

達する。設計が階層的に実行されることの反映であるが、データ容量を圧縮するのに役立っている。

(2) 水平・垂直の線分データを主要素とした2次元の矩形データ、多角形の集合である

図 1(b)にこれら基本図形からみた階層構造を示す。高耐圧を要求するパワー IC 等の一部例外を除いて円弧のような曲線成分は使用されない。これは高い集積度の実現、設計容易性を確保するうえで効果的であり、無用な複雑度を嫌った結果である。

(3) 製造時のリソグラフィープロセスで使用されるマスク単位毎に“層”と呼ぶ図形群を構成する

ひとつの“層”上のデータは、たとえば不純物拡散の形状や酸化膜にエッチングで穴をあける図形模様に対応している。上記項目(1)がこのデータの LSI 機能側からの見え方に対し、本項目は製造工程側からの

図 1(a) LSI 設計データの階層構造

図 1(b) LSI レイアウトデータの階層構造（基本図形からみた表現）

[†] NTT 厚木電気通信研究所

4. “Applications of CAD・CAM Systems for Industrial Use; 4-1 CAD System for LSI Design” by Takashi Watanabe, Sumitsugu Inoue and Osamu Karatsu (NTT Atsugi Electrical Communication Laboratories, Atsugi)

見え方であり、両者は互いに独立した図形属性となっている(図2)。すなわち LSI レイアウトデータは、どちらの見え方も可能なような内部構造を持っている。

(4) データ量が膨大である

100 K ゲート規模の論理回路搭載が珍しくない最近の LSI は、項目(1)の階層構造をとっても、なおかつ数 10 万~100 万ベクタの図形データをもっており、計算機上で格納するためのメモリー量は 10~20 M Byte に達する。

(5) データの定義されているモデリング座標空間の座標精度は 16 ビットでは表現しきれない

例えば、0.05 μm 精度で 10 mm 角の LSI チップは 18 ビット以上のビット幅を必要とする。これに、今後の技術の発展、演算上の精度を考慮しなければならない。

以上の性質を持つ LSI レイアウトデータを設計するために専用の図形処理システムが開発、市販され広範に使用されている。次にこれらシステムについて概観し技術的課題、問題点について眺めたい。

3. レイアウト設計と市販専用図形処理システム

従来の専用図形処理システムの基本構成を図3に示

図2 LSIレイアウトデータの「層」属性

図3 市販 LSI レイアウト設計用図形処理システムの構成

す。いわゆるミニコンを CPU とし、入力機器、グラフィック端末等を接続したスタンドアロン型が中心であり、汎用的なグラフィック処理部を除いてソフトウェア処理中心の構成となっている。システムを機能と処理速度の 2 つの面から見てみたい。

機能的にみると、現在市場にあるこれらシステムのほとんどは、もともと単なる図形編集システム以上のものではない。システムにとっては図形データの個々の位置座標のみが本質的であり、図形相互の位置関係が正しく“回路”を表現しているか、設計ルールを満たしているかには直接関与しない。

この事情はシステムの責任というよりは、論理/回路データから高密度のレイアウトデータへの翻訳が技術的に容易でないことによる。この状況を反映して、各種の検査プログラムの開発や直接図形を扱わないシンボリック設計手法の検討が精力的に行われてきた。

最近では、AI 手法の適用やシリコンコンパイラ技術の導入が試みられている。一方、図形編集システムと割り切ってみる限り、編集機能の多様さ、使い勝手の良さは相当の充実度に達している。この種のシステムの編集関連コマンドは図形の移動・複写・削除など全体的に複雑な演算を要する機能はみられず、処理技術よりもいかに上手に機能の組合せやコマンド入力方法を見せるかに要点がある。表示機能については、いわゆる CAD・CAM の標準的な水準、すなわち、解像度 1024×1024、19~20 インチ、16~32 色のラスター型カラーグラフィック端末が標準的である。

次に処理速度を考えてみよう。システムの基本構成から明らかに、処理速度全体は汎用の計算機と汎用のグラフィック端末とで規定されているわけで、3次元グラフィック応用のような特別なハードにより特別な処理速度を得るための工夫はされていない。

CPU 処理速度で 0.5~1 MIPS、グラフィック表示速度で 1~5 万ベクタ/s が標準的な水準である。この水準にとどまっている理由は、第一に、もともとが手書き設計を対象として発展したシステムであるから、大量データ処理は希にしか生じない使い方が多かったこと、第二の理由は、反応時間が図形群の移動や複写などの編集処理時間にも大きく依存していることである。すなわち、反応時間の短縮をめざして表示時間だけむやみに高速化するのは無意味であり、また、編集の高速化も同時に実現する努力はされていないことによる。

しかし、100 K G 規模の LSI 開発をかかえ始めている設計現場からみると、現状の市販図形処理システムは満足できる処理速度を所有していない。個々の機能

ブロック内のデータは処理しえたとしても、チップ全体となると全データ対象の表示だけで10分以上経過することも珍しくない。自動配置配線プログラムの使用や直接図形を扱わないシンボリック設計など、人手に依存した要素の排除が進んできているとはいえ、最終段階での細かな調整や高集積度追求のための緻密な設計への要求は根強いものがある。

自動化がすべての課題にこたえるにはまだ歳月を要するのが現状であり、専用図形処理システムは引続きレイアウト設計に不可欠なものであるが、真にLSI時代の要請にこたえるためには飛躍的な処理速度の向上が必要とされている。この要求にこたえるためには、思いきった高速化の努力、新しい概念の導入が求められるが、以下にそのひとつの試みについて述べてみよう。

4. LSI レイアウト設計用高速図形処理システム²⁾

4.1 開発の基本方針

以下に述べる図形処理システムは、LSI 設計現場からの切実な要求を直接の動機とし、市販図形処理システムでは得られない効率的なレイアウト設計環境を提

供しようとするものである。そのために、次の新しい構成、方式を採用することとした(図4)。

(1) システムは汎用計算機、グラフィックプロセッサ(GP)、表示部の3つの部分からなる。汎用計算機はLSI CADのデータベースが存在する計算機と同一あるいは密な結合のもとにあるものとする。計算機とGPとは高速転送可能な接続形態とする。

(2) システムが管理、格納するモデリングのデータと表示用ハードが理解し管理するディスプレイリストのデータとを一体化し、同一のデータ構造にする。このことにより、従来はデータの変更時毎に必要であったモデリングの原データから表示用データへの変更が不要となったり、次の(3)項で述べる編集処理のハード化が可能になる、等の効果が得られる。

(3) 主要な編集処理をハード処理化しGPで実行する。これは、レイアウト設計システムで取り扱う編集が比較的単純であることに依拠している。ハード化の範囲は、各編集処理の使用頻度とそれをハード化するコストとの兼ねあいでハード化の効果を勘案して決める。

(4) 項目(3)による高速化の効果を最大限に享受するために、当面の編集対象データのすべてを格納し

図4 グラフィックプロセッサのブロック構成

図5 高速LSIレイアウト設計用図形処理システムの構成

うようなバッファメモリを用意して、これをGPの直接管理のもとに置く。

(5) 座標変換等の定形的な図形表示処理は、パイプライン化して高速化を図る。また、システムで多用されるウィンドウ処理の要点のひとつであるクリッピング処理に焦点をあわせて高速化手法を導入する。

これらの方針に基づいて32ビットGPを試作した。システムの内部ブロック構成を図5に示す。以下、各ブロックの処理内容について概観してみよう。

4.2 表示・編集プロセッサ部

ここでの処理はバッファメモリ部から図形データを読んでくるところから始まる。このデータ上の座標値の持ち方は相対値か絶対値かなど、基本図形の種類によって異なる。また、“層”属性など、この分野独特の情報がヘッダ上に含まれる。相対値の良さは図形移動時に基準座標1個を書き替えるだけですむなど、主として編集の容易さにある。ユーザの指示コマンドに応じてデータの修正を実行するのがこのプロセッサのひとつの役割である。表示のための処理としては、設定されている表示“層”のデータを選び出して、各図形種類毎の異なった座標表現をすべて絶対座標の、かつベクタ表現に統一的に変換する。

4.3 表示パイプラインプロセッサ

ここでは主として座標変換処理が実行される。まずこのモデリングデータの階層構造に対する座標変換が計算される。各構造単位の平行移動値、回転値、反転情報等は、表示・編集プロセッサを通過した時点で本プロセッサのレジスタに設定されており、この値に基づいてアフィン変換を実施する。

次に、表示上のズームやパニングなどのビューポート変換が、ダイヤルによって実時間で入力された値やコマンドで設定された値を使って実行される。これら一連の処理は定形的であり表示処理上の速度決定要因のひとつであるので、パイプライン化による高速処理を導入した。

このプロセッサの最後の処理であるクリッピング処理は、LSIレイアウト設計で多用される表示環境、す

表1 グラフィックプロセッサの処理性能

	処理項目	処理速度
表示処理	パイプラインプロセッサ1段	250 ns/座標値
	〃 全段	2.25 μ s/座標値
	ベクタスタ変換	125 ns/ピクセル
	フレームバッファ書込み	550 ns/ピクセル
編集処理	マイクロ インストラクションサイクル	125 ns
	マイクロ ブランチアンドジャンプ	250 ns
	図形データの リードモディファイライト	2.25 μ s/word

表2 グラフィックプロセッサの編集処理速度

編集の種類	処理時間(秒)			
	2Kゲート LSIの例	5Kゲート LSIの例	9Kゲート LSIの例	市販システム 9Kゲートの例
移動	0.7	1.6	2.4	940
回転	0.7	1.8	2.9	8040
鏡像	0.7	1.6	2.5	6720
複写	0.8	10.6	18.4	4040
消去	0.7	1.2	1.6	410

なわち、広い面積を占めるデータの一部を選択して表示する場合の主たる速度律速要因である。今回の例のように、32ビット座標空間で従来のクリッピング手法による高速化を図ろうとすると、ハードコストが極めて大きいため、これを避けた新しいアルゴリズムを導入し³⁾、比較的簡単なハードで所望の処理速度の獲得を実現した。

4.4 GPハードウェアの概要

本システムは、基本構成検討を主たる目的とした研究試作機であり、検討段階での仕様変更の容易性を考慮して大部分をMSI規模のSTTLによって製作したため、結果として約6000 ICを搭載した64枚のボードにおよぶシステム規模になった。総論理ゲート数は170 Kゲートである。バッファメモリは64 K-DRAMで、当面8 MByte実装(最大64 Mまで可能)、フレームバッファは16 K-DRAMで1024×1024×4の構成である。各プロセッサのスループットを表1に示した。

4.5 実験結果

367万ベクトルの実データを図形メモリから読んで座標変換し表示する時間として25秒を得た。すなわち、実環境での表示速度として15万ベクタ/sを達成した。この数値は表示内容が変更された時を含めて通常使用時に常に保証されている性能であり、表示内容の変更に伴うモデリングデータから表示データへの

変換とグラフィック端末への再転送処理はまったく発生しない。実は、この処理こそはほとんど毎回実行され、実使用環境での実質的表示速度を決めているものであり、端末単体での仕様上の表示速度を限定条件下のトップデータに過ぎなくさせている要素である。

編集速度については、市販システムの値と比較して表2に示した。おおむね3桁の高速化を達成しており、評価は明瞭である。このことは、①編集速度を表示速度とおなじオーダーに近づけたこと、②システム反応時間の絶対値を従来の数分あるいは数十分から数秒という会話処理にふさわしい段階にした、という2点でレイアウト設計効率の向上に大きく寄与するものである。

5. む す び

LSI CADにおける図形表示をレイアウト設計システムに焦点をあわせて概括した。この分野での最大の課題はLSIの大規模化による大量データ処理をいかに会話処理の範囲で提供できるかにある。問題解決のための新しい試みの例を示し、今後の方向について議論した。

(昭和62年2月10日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) O. Karatsu, et al.: "An Integrated Design Automation System for VLSI Circuits", IEEE Design and Test, 2, 5, pp. 17-26 (Oct., 1985)
- 2) 井上, 渡辺: "ハードウェアによる編集機能を有するVLSIマスタパターン設計システム", 昭60信学総全大, 423 (1985)
- 3) 井上: "グラフィックディスプレイにおける高速クリッピング手法", 昭56信学情報・システム全大, 225 (1981)

わたなべ たかし
渡辺 隆 昭和48年、早稲田大学理工学部電気通信学科大学院修士課程修了。同年、NTT武蔵野電気通信研究所入所。VLSI設計、VLSICAD(主として図形データ処理関係)の研究に従事。現在、同社厚木研究所主任研究員。

いのうえ すみつぐ
井上 純次 昭和50年、同志社大学工学部電気工学科卒業。同年、NTT武蔵野電気通信研究所入所。現在、同厚木電気通信研究所主任研究員。主にLSI-CADの研究、特にLSI-CAD用グラフィックシステムの研究開発に従事。

からつ おさむ
唐津 修 昭和50年、東京大学工学部物理工学科大学院博士課程修了。NTT入社後、武蔵野電気通信研究所においてVLSI設計、VLSI CAD、VLSIアーキテクチャの研究に従事。現在、同社厚木研究所主幹研究員。

4-2 CADの印刷分野への応用

正会員 久保田 靖 夫[†], 針 間 博 嗣[†]

1. ま え が き

CADの歴史に比べると、印刷業界とCADとの付き合いは比較的浅く、1975年頃から、版下と呼ばれる文字・野線・イラスト・写真などをレイアウトした完全原稿を製作する装置として登場してくるのが最初である。ベテラン作業者の勘と経験に頼っていた版下作成工程が、レイアウト情報をディジタル化から入力するだけで、高精度で品質の良い版下を何枚でも作成できるこのシステムは、印刷とCADとの関係を語る時には欠くことのできないものである。

一般産業のCADと異なり、印刷におけるCADは

画像(線画ばかりでなくカラー画像)や文字を中心に扱うことを大きな特徴としている。ここで、印刷の各工程とCAD・CAMとの関係を図1に示す。

印刷業界におけるCADは、得意先と印刷会社営業が一体となって企画を練り上げ、実際に印刷物を製造するための図面を作成するときに必要なデザイン

図1 印刷におけるCAD・CAMとは

[†] 大日本印刷株式会社 生産技術研究所

4-2. "The Application of CAD to Printing Field" by Yasuo Kubota and Hiroshi Harima (Engineering Research Laboratory, Dainippon Printing Co., Ltd, Tokyo)