

# 図形演算処理プログラム (VSOP) 高速化の一方式

加藤 浩 鈴木 俊夫 松井 隆 築添 明  
(株)日立製作所

LSIのレイアウトパターンを対象としたDAシステムで共通に使用されている、図形演算プログラム(VSOP)の高速化について述べる。LSIの大規模化に伴いDAシステムの処理時間が増大し、図形演算処理の高速化が必要になっている。そこで高速化の一方式として、従来は計算機の外部記憶上で処理していた大量の図形データを計算機内部の主メモリ上に置き換えることにより、外部記憶との入出力時間削減を図ることを試みた。その結果、計算機の使用時間(USE時間)で、約1.5倍の高速化を得ることができた。

## A SPEED-UP TECHNIQUE FOR PATTERN OPERATION PROGRAM (VSOP)

Hiroshi Kato Toshio Suzuki Yutaka Matsui Akira Tsukizoe  
Hitachi, Ltd.

2326, Imai, Ome-Shi, Tokyo 198, Japan

A speed-up technique for pattern operation program(VSOP) which is used in many LSI DA systems is discussed. Since the computing time of DA systems is continually increased by enlargement of LSI, faster pattern operation is strongly needed. We attempted reduction of data I/O by keeping whole pattern data on main memory. As the result, speed-up of 1.5 times is achieved.

# 1. まえがき

ウエハプロセスの微細化、LSIの大規模化に伴い、LSIの開発期間、設計工数の増大が問題となっている。設計不良によるLSIの試作回数をできる限り少なくすることが重要で、LSIマスクパターンの不良をマスク作成前に取り除くためのレイアウト検証DA/CADシステムの機能・性能向上が望まれている。図形演算処理は、このようなLSIマスクパターンを対象としたシステムで共通に行われる処理であり、システムの性能向上には図形演算処理の高速化が必要である。高速化の手法として、アルゴリズム<sup>1)2)</sup>、並列処理<sup>3)</sup>、専用プロセサ<sup>4)</sup>などの研究がなされている。

処理対象である図形データの大規模化に対しては、メモリなどの規則性のあるものはデータ圧縮の努力がなされているが<sup>5)</sup>、それでもデー

タ量は着実に増加している。圧縮が困難なランダム論理部のデータ量は急激に増加し、メモリの圧縮後データ量をしのぐ勢いである。したがって、これらのデータ圧縮技術と同時に図形演算処理そのものの高速化が必須である。

一方、大型計算機のアーキテクチャでは、処理プロセサの高性能化、及びアプリケーションプログラムが扱うデータ量の増大に対応するため、仮想記憶、実記憶ともに大容量化し、従来外部記憶上で扱っていた大量データを内部記憶域上に展開して、入出力時間を削減し処理の高速化を図るという動向が見られる<sup>6)</sup>。

本報告では、図形演算処理プログラム高速化の一方式として、従来ワークファイル上で処理していた図形データを、主メモリ上に置き換えて処理することを試みたので、以下その方式と評価結果について報告する。

No.	演算子の種類	説明	図
論理演算子	OR		
	AND		
	SUB		
	EOR		
	NOR		
	NAND		
位相演算子	MEET		
	MATCH		
	COVER		
	COVERED		
幾何演算子	SIZE		

[注] A, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, Bは、入力パターンの識別名。

No.	演算子の種類	説明	図
接続演算子	LAP		
	TOUCH		
寸法	WIDTH		
演算子	INCUR		
	NOTCH		
演算子	SPACE		
	ENCLO		
演算子	AREA		
	PERI		
分解演算子	SLICE		

図2. 1 VSOPの演算機能

## 2. VSOPの概要

図形演算処理プログラムVSOP (Virtual Slit Operation Program)<sup>1)</sup>は、基本的で汎用的な図形演算機能を種々のDA/CADシステムに提供する、汎用プログラムパッケージである。以下では、その概要について述べる。

### 2.1 演算機能

VSOPは、LSIマスクパターンデータを対象としたシステムに必要な、図2.1に示す機能を持つ。演算性能は、OR演算で約30,000<sup>2)</sup>バイト/秒 (M-680H, CPU)である。

VSOPを使用するシステムは図2.2に示すように、設計規則検証、電気的特性検証、論理接続検証、電子線描画データ作成などの各システムである。これらのシステムは、図2.1の機能を組合せてそれぞれの機能を実現する。

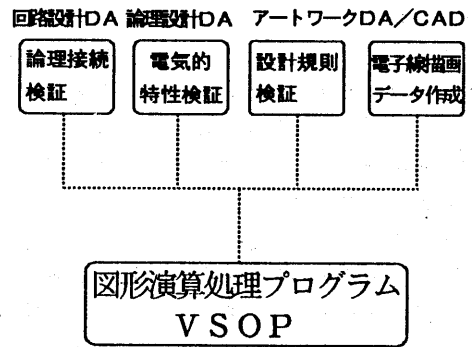


図2.2 VSOPとDA/CADシステム

### 2.2 処理方式

VSOPの論理演算の処理フローを図2.3の(A)に示す。論理演算以外の演算処理方式もこれと同様である。論理演算は以下の3つの処理フェーズよりなる。

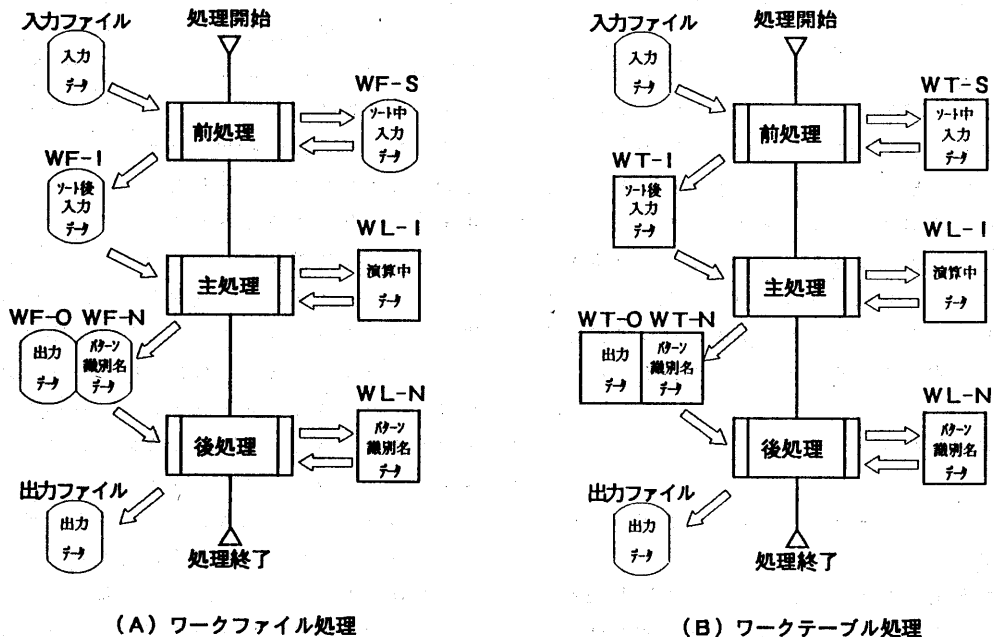


図2.3 VSOPの論理演算処理フロー

### [前処理]

入力ファイルから入力図形データを読み込んで、次の主処理のために図形データをソートする。ソートワークファイルとソート済み入力データを格納するワークファイル（以降WF-Iとする）を使用する。

### [主処理]

ソート済み入力図形に対して論理演算を行い出力図形を作成する。演算法は、平面掃引法を応用したもので、仮想スリット法と呼んでいる<sup>1)</sup>。出力図形データとパターン識別名データ（同一にすべき識別名ペア）をワークファイルに出力する（WF-O、WF-Nとする）。

### [後処理]

主処理の出力図形は、一時的なパターン識別名が付与されており、各出力図形毎に異なったパターン識別名となっていない。後処理では、主処理で出力されたパターン識別名データに基づいて、パターン識別名のみを正しい連続番号となるように付け変え、最終的な出力図形データとして出力ファイルに書き出す。

以上のように、VSOPではワークファイルを多用し、図形データの入出力が多い処理となっている。ワークファイルとの入出力回数合計は、入力図形データは4回、出力図形データとパターン識別名データは2回ずつである。

図2.4は、VSOPの各演算処理時間の内訳で、CPU時間と入出力時間の比を示したものである。入出力時間が、全体の処理時間の半分以上を占めている演算が多いことが分かる。

### 3. 高速化方式

VSOPの高速化方式として、図形データをワークファイルから主メモリ上のワークテーブルに置き換えることによる入出力時間削減を行った。図2.3の(B)は、この方式の考え方を示した処理フローで、従来とは以下の方式変更がある。

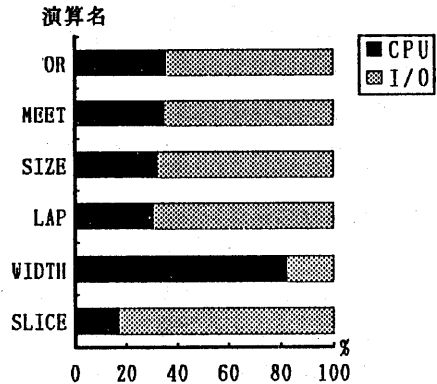


図2.4 VSOP処理時間内訳

- ①各処理フェーズでのワークテーブルを主メモリ上に必要なだけ確保する。
- ②前処理での図形データソートは、ディスクソートからメモリソートに変更する。

しかし、実際には使用できる主メモリ量には制限があり、常に必要なだけの主メモリ量が確保できるとは限らない。そこで、各処理フェーズでの処理方式に合わせて与えられた主メモリを効率よく使用する必要がある、以下のような主メモリ確保方式を提案する。

主メモリ上に確保したいワークテーブルは、①ソートワークテーブル(WT-S)、②入力図形ワークテーブル(WT-I)、③出力図形ワークテーブル(WT-O)、④パターン識別名ワークテーブル(WT-N)、⑤主処理のワークリスト(WL-I)、⑥後処理のワークリスト(WL-N)の6種である。

まずワークリスト(WL-I、WL-N)は図2.3の(A)に示すように従来から主メモリ上に確保していたので、それを継承する。

ソートワークテーブル(WT-S)は、前処理でのみ必要であるので、前処理開始時点で確保し終了時点で開放する方式とする。但し、入

表 3. 1 主メモリ確保方式比較

	内 容	特徴・問題点
確保方式 1	各々のワークテーブルを静的確保、固定長割当て	主メモリの使用効率に対する考慮なし
確保方式 2	1つの領域を静的確保、その領域内でワークテーブルを可変長割当て	主メモリの使用効率に対する考慮あり 確保領域は1つだけ
確保方式 3	各々のワークテーブルを必要な時に必要なだけ少しずつ確保	主メモリの使用効率が最も良い 確保領域が多数分散し管理が複雑

力データ量大のため、主メモリ量が確保できないときは、ディスクソートを行う。

入出力ワークテーブル (WT-I, WT-O, WT-N) に対しては表 3. 1 に示す 3 方式が考えられる。

〔確保方式 1〕

全演算開始前に、WT-I, O, N用の領域をそれぞれ一定の大きさで確保し、以降の演算でそれらを使用する方式。VSOPのユーザであるDA/CADシステムは、通常VSOPの各演算を複数回連続して行うが、確保方式1ではどの演算でも最初に確保した各種ワークテーブルをそのまま固定長で使用するので、もしワークテーブル上に格納し切れないデータが発生しても、他のワークテーブルの空き領域を使用することができずディスクファイルを使用する事になる。従って、演算毎に変化する必要主メモリ量に対する融通性がなく、主メモリ使用効率が悪い。

〔確保方式 2〕

全演算開始前に、WT-I, O, Nの合計として1つの領域を確保して、以降の各演算開始時にその領域をWT-I, O, Nのそれぞれに割当てる方式。確保する大きさは、使用できる上限値から前処理で使用するソートワークテーブルの分を除いた大きさとする。各演算毎にワークテーブル長を可変にできるので、演算毎に変化する必要主メモリ量に対して融通性がある。

〔確保方式 3〕

各演算実行中に、各種ワークテーブル用領域が必要となった時点で必要量を少しずつ確保していき、不要になった時点で不要分を開放していく方式。主メモリ使用効率は最も良いが、確保した領域が主メモリ上で分散するため、空き領域を整理する等の管理が複雑になる。

以上の3方式を検討した結果、入出力データは10MB以上にも及ぶが、パターン識別名データは実例の最大値でも200kB程度であるので、WT-Nに対しては確保方式1を採用して、WT-I, WT-Oに対しては単純でかつ主メモリ使用効率が良いという点で確保方式2を採用する。WT-IとWT-Oの割当ては、入力データが一般に最もデータ量が多く入出力回数も多いので、WT-Iを優先して入力データ量分だけ割当て、WT-Oは残りの分を割当てる(図3. 1)。入力データ量が主メモリ確保長より大のときは、入力データはワークファイル上で処理しWT-Iとしてはバッファテーブル分のみを割当て、残りをWT-Oに割当てる。演算途中で出力データ量がWT-Oの割当て量を超えた場合は、その時点からワークファイルを使用する方式とする。

4. 評価結果

提案した主メモリ化方式をVSOPに組み込み処理時間を評価した。主メモリ化前後のOR

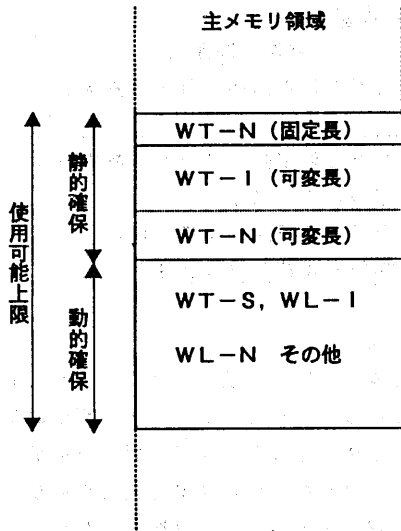


図3. 1 主メモリ確保・割当方式

演算の処理時間（USE時間）を図4. 1に示す。これは処理の実行時刻を任意に変え、約一週間で23回実行した結果の平均値である。高速化率は約1.5倍であった。処理時間の最小値を比較すると、主メモリ化前が201秒、主メモリ化後が52.7秒で約3.8倍高速化できた。最大値では、主メモリ化前が332秒、主メモリ化後が398秒で約1.2倍遅くなった。高速化の効果が顕著なのは、図に見られるように後処理の部分である。これは後処理が単純な処理であり、従来の処理時間の殆どが入出力であったためである。

5. まとめ

LSIのマスクパターンデータを対象としたDA/CADシステムで共通に使われる図形演算処理プログラムVSOPの高速化を行った。従来ワークファイル上で処理していた図形データを、主メモリ上のワークテーブルに置き換えて入出力時間の削減を図り、約1.5倍の高速化結果を得た。

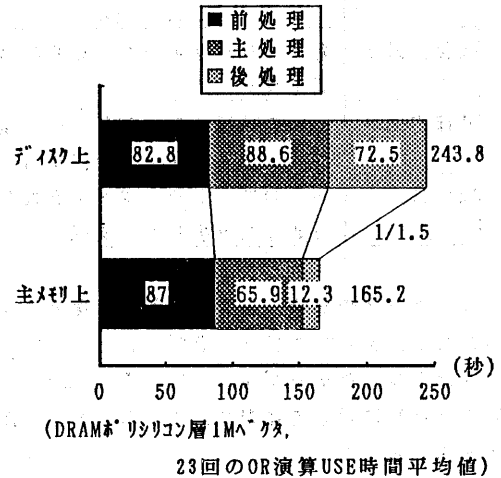


図4.1 主メモリ化の効果

参考文献

- 1) 築添, 小澤, 酒見, 三浦, 石井, "VLSI マスクデータに対する論理演算と交点計算を同時処理するパターン論理演算手法", 信学論(D), J69-D, 6, p975 (昭和61-6)
- 2) K.W.Chiang, et al. "Time-Efficient VLSI Artwork Analysis Algorithms in GOALIE2", IEEE Trans. on CAD, p640 (June 1989)
- 3) E.C.Carlson and R.A.Rutenbar, "Mask Verification on the Connection Machine", Proc. 25th DA Conf. p134 (June 1988)
- 4) E.C.Carlson and R.A.Rutenbar, "A Scan-line Data Structure Processor for VLSI Geometry Checking", IEEE Trans. on CAD of IC's and Systems, p780 (Sept. 1987)
- 5) 鈴木他, "電子線描画データ変換システムにおけるデータ圧縮法", 情報処理学会, 第51回設計自動化研究会, 51-5 (1990)
- 6) 柳田, "大型機アーキテクチャはどこへ向かうか", 日経B P社, 日経コンピュータ, 1989年9月11日号, no. 208, p56