

実部品連動論理シミュレータLDSIM2

天野 亘孝* 多田 修* 森田 正人* 大江 公夫** 土屋 洋次***

* (株)日立製作所
** (株)日立マイコンシステム
*** 日立コンピュータエンジニアリング(株)

本稿は、実部品のLSIチップをハードウェアモデルとして利用する実部品連動論理シミュレータに関するものである。多重のシミュレーションジョブを処理するために、汎用大型計算機をホスト計算機とし、複数台のハードウェアモデルをネットワーク接続したシステム構成を採用した実部品連動論理シミュレータLDSIM2を提案し、本システムに対する要求スループットを満たすように、各シミュレーションジョブが必要とする実部品を各々、ハードウェアモデル上の搭載実部品に最適に割当ててアルゴリズムの提案とその性能評価について述べる。

LDSIM2: A Real Chip Logic Simulator Based on a Mainframe Computer

Nobutaka Amano* Osamu Tada* Masato Morita* Kimio Ooe** Yoji Tuchiya***

* Hitachi, Ltd.
** Hitachi Microcomputer System Ltd.
*** Hitachi Computer Engineering Co., Ltd.

This paper describes a real chip logic simulator LDSIM2.
LDSIM2 employs new system organization based on a mainframe computer, networked with several hardware modelers to effectively process multi simulation jobs. A method to assign each one of hardware models used on a simulation job to a hardware model on one of several hardware modelers, is necessary to realize required throughput for LDSIM2 system.
An optimal algorithm is proposed and its performance estimation result is summarized.

1. はじめに

近年の計算機システムの開発では、設計期間短縮のために、市場で購入したLSI（以下、市販LSIという）を装置に取り込んだ設計が一般的になっている。このような装置を早期開発するためには、論理設計期間中に論理不良を抽出し尽くして、実機調整期間に論理不良を持ち越さないことが必須である。そのためのツールとして論理シミュレータ[1,2]の役割は増々大きくなっている。

装置全体の論理シミュレーションを実施するためには、市販LSIについてのシミュレーションモデルが必要であるが、市販LSIの内部論理は一般には公開されていないため、モデルを自ら開発する場合には、市販LSIの外部仕様からソフトウェアモデル[3]を開発する必要がある。しかし、市販LSIの外部仕様からのソフトウェアモデル開発には、以下の問題点がある。

- (1) 外部仕様から内部論理を記述するには、相当の上級設計者の能力が必要であり、その開発工数も大きい。
- (2) すべての機能を記述するためには、莫大な工数が必要のため、実際には必要最小限の機能に限定して記述している。そのため、必要十分な論理シミュレーションが行えない。

これらの問題点を解決するものが実部品連動論理シミュレーション方式である。この方式は、市販LSIについては、実部品そのもののハードウェアモデルを用い、市販LSIを除く装置全体の論理についてはソフトウェアモデルを用いる。これによって市販LSIのためのソフトウェアモデル開発を不要にするものである。

ハードウェアモデルの搭載装置であるハードウェアモデラを用いる実部品連動論理シミュレータは、各社より発表されている。[4-7]これらのシステムは、概ねスタンダード型システムが主であるため、複数ユーザによる同時多数のシミュレーションジョブの本格的なサポートが困難であるという事情があった。

本実部品論理シミュレータLDSIM2(detailed Logic Diagram Simulator 2)は、汎用大型計算機をホスト計算機に採用し、ネットワークを介してハードウェアモデラを接続する構成を採用することによって、複数ユーザの同時多数のシミュレーションジョブの処理を可能にした。

また、計算機システムの開発プロジェクトが要求するシミュレーションジョブのスループットを実現するためには、複数の汎用大型計算機と、複数のハードウェアモデラをネットワーク接続した構成を採用し、各シミュレーションジョブで使用するLSIを各ハードウェアモデラ上の搭載実部品に最適に割当てての処理が必須である。本稿では、この実部品割当て問題に対して、一括割当て方式を提案し、その概要について述べる。

以下本稿では、実用的に十分な、一台の汎用大型計算機に、複数台のハードウェアモデラをネットワーク接続した構成について述べることにする。まず、第2章では、実部品連動論理シミュレーションの原理について、第3章では、LDSIM2システムの基本的な考え方について、第4章では、LDSIM2システムの概要について、第5章では、実部品割当て方式について、第6章では、性能評価について述べる。

2. 実部品連動論理シミュレーションの原理

実部品連動論理シミュレーションでは、ソフトウェアモデル側からハードウェアモデルをサブルーチンのようにコールし逐次的にシミュレーションを進めて行く。

図1を用いて実部品連動論理シミュレーションの原理を説明する。

(1) サンプリング ①

ソフトウェアモデル上で、前段のゲートから市販LSIの入力ピンにイベントが伝播すると、ハードウェアモデル上の実部品への入力ベクトルとして市販LSIの全入力ピンについての信号値をサンプリングする。

(2) 入力ベクトル転送 ②

入力ベクトルをハードウェアモデルに転送し、ハードウェアモデル上の履歴メモリに格納する。

(3) ドライブ ③

(a) 履歴メモリより、すでに蓄積された入力ベクトルを順次取りだし、入力ラッチを介して実部品に印加し、実部品をドライブする。

(b) 適切なタイミングで実部品の出力結果(出力ベクトル)を出力ラッチに格納する。

(4) 出力ベクトル転送 ④

出力ベクトルをソフトウェアモデルに転送する。

(5) 続行 ⑤

出力ベクトルを後段のゲートに対するイベントとして伝播させて、ソフトウェアモデルのシミュレーションを続行する。

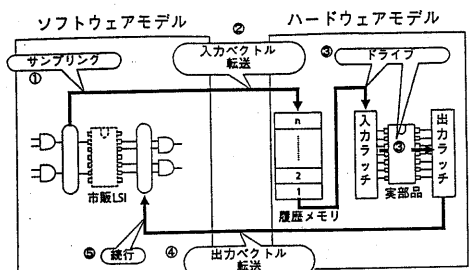


図1 実部品連動論理シミュレーションの原理

3. 基本的な考え方

複数の新製品開発プロジェクトが同時進行し、各々の開発プロジェクトにおいて、複数の設計者が各々、論理を分担開発している状況下では、LDSIM2システムは、次の2つの基本的な要請を満足させる必要がある。

(1) 多重のシミュレーションジョブをサポートする必要がある。

各設計者は、担当の論理を主体とするシミュレーションを各自別個に流したいと考えているため、同時多数の論理シミュレーションジョブを処理可能とする必要がある。

(2) 複数台のハードウェアモデラをホスト計算機に接続し、高スループットのシステムを実現する必要がある。

複数の開発プロジェクトが同時進行する状況下では、一台のハードウェアモデラの搭載実部品数では絶対数が不足するため、複数台のハードウェアモデラをホスト計算機に接続する必要がある。また、各開発プロジェクトの限られた期間内で、従来のソフトウェアモデルの論理シミュレータ使用時と同等程度の論理品質を保障するためには、数百のシミュレーションジョブ/日のスループットを保障する必要がある。

上記(1)に対しては、汎用大型計算機をホスト計算機に採用し、多重のシミュレーションジョブのサポートについては、汎用大型計算機のオペレーティングシステムの機能を利用することで解決した。

上記(2)に対しては、複数台のハードウェアモデラをネットワーク接続した際、各ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突による待ち状態の発生がスループット低下の最大要因であることに着目し、各シミュレーションジョブに必要な実部品をどのハードウェアモデラ上のどの搭載実部品に割当ててくるかを最適に決定する実部品割当て処理アルゴリズムを開発することにした。

以下、LDSIM2システムの概要を簡単に述べた後、実部品割当て処理について詳細に述べる。

4. LDSIM2システムの概要

4. 1ハードウェア構成

LDSIM2のハードウェア構成を図2に示す。

(1) ホスト計算機

ホスト計算機としてMシリーズ汎用大型計算機を採用し、シミュレーション対象論理の内、市販LSIを除く装置全体のソフトウェアモデルについてシミュレーションを実行する。

(2) ハードウェアモデラ

市販製品のハードウェアモデラを採用し、シミュレーション対象論理の内、市販LSIのハードウェアモデルについてシミュレーションを実行する。

一台のハードウェアモデラには、異種複数の実部品が搭載可能である。搭載実部品は複数のシミュレーションジョブでシェア可能である。実部品が使用中の場合、同じ実部品を使用する他のアクセスはハードウェアモデラ内で待たされる。

(3) ネットワークシステム

ネットワークを介して、Mシリーズ汎用大型計算機と複数台のハードウェアモデラを接続し、ソフトウェアモデルとハードウェアモデル間の信号相互転送を行う。ネットワーク制御用に、市販製品のネットワークコントローラとネットワーク用プロトコルコンバータを採用した。

4. 2ソフトウェア構成

LDSIM2のソフトウェア構成を図3に示す。

(1) 論理コンパイル

シミュレーション対象論理の論理マスタファイルを入力し、シミュレーション実行制御部が解釈実行可能な論理接続テーブルに展開する。このときシミュレーション対象論理に使用されている実部品のタイプ名称を実部品テーブルに格納する。

(2) 実部品割当て用評価データ取得

実部品管理ファイルには、システムに接続されているハードウェアモデラのI/Oアドレスが格納されている。これらのハードウェアモデラのI/Oアドレスによって、ハードウェアモデラ1, 2, ..., nを順次アクセスして、実部品割当て用評価データを得る。

(3) 実部品割当て

各ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突を最少にするように、割当て用評価データを基に、シミュレーションジョブに必要な実部品を各々ハードウェアモデラ上の搭載実部品に割当てる。割当てられたハードウェアモデラのI/Oアドレスを実部品テーブルに格納する。

(4) シミュレーション実行制御

論理接続テーブルとテストデータを入力し、テストデータに基づいてシミュレーションを実行する。シミュレーションの過程で実部品へのイベントが発生した場合、当該実部品に対する入力ベクトルを実部品テーブルに格納されているI/Oアドレス上のハードウェアモデラに転送し、ハードウェアモデラ上の実部品を動作させ、実部品の出力ベクトルを得る。

(5) 実部品解放

シミュレーション終了後、使用した実部品を解放する。

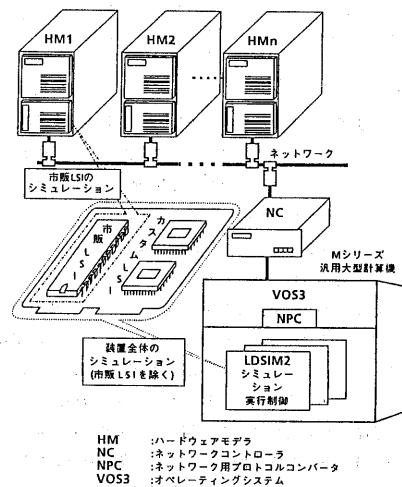


図2 LDSIM2ハードウェア構成

5. 実部品割当て方式

LDSIM2システムに対する要求スループットを実現ためには、シミュレーションジョブに必要な実部品を各々、ハードウェアモデラ上の搭載実部品に割当てする際、ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突回数をできるだけ少なくする実部品割当て方式が必須である。

以下、まず通常の分散割当て方式を述べ、その後提案方式である一括割当て方式とその適用例について述べる。

5. 1 分散割当て方式

本方式は、ハードウェアモデラの使用率を平均化して、各ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突回数の平準化を狙った通常の割当て方式である。この割当て方式による実部品割当て結果とシミュレーション過程のタイムチャートの例を図4に示す。

まず、図4(a)において、LSI AとLSI Bを使用するシミュレーションジョブS1がシステムに投入されるものとする。本方式は、ハードウェアモデラの使用率の平均化を狙っているため、LSI AはハードウェアモデラH1上の実部品Aに、LSI BはハードウェアモデラH2上の実部品Bに割当てられる。

つぎに、LSI BとLSI Cを使用するシミュレーションジョブS2がシステムに投入されるものとする。S1と同様に、LSI BはH1上の実部品Bに、LSI CはH2上の実部品Cに割当てられる。

さて、図4(b)のタイムチャートにおいて、時刻 t_1 でシミュレーションジョブS1がH1上の実部品Aを使用開始し、時刻 t_2 でシミュレーションジョブS2がH1上の実部品Bを使用開始する場合を考えると、S1とS2のH1へのI/O要求の衝突が発生し、後にI/O要求を送出したS2はS1のH1使用終了まで待たされる。

このように、本分散割当て方式では、シミュレーションジョブ間の同一ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突回避についての配慮が不足しているため、スループットが低下する可能性がある。

5. 2 一括割当て方式

(1) 概要

本実部品連動論理シミュレーションでは、第2章の原理説明で述べたように、実部品のハードウェアモデルを従来のソフトウェアモデルと同様に取扱い、ソフトウェアモデル側からハードウェアモデルを逐次的にコールしてシミュレーションを進める。したがって、一つのシミュレーションジョブでは、同時に複数の実部品へI/O要求を送出することがないことに着目し、一つのシミュレーションジョブに必要な実部品を、できるだけ一台のハードウェアモデラに一括して割当てする方式（以下、一括割当て方式とよぶ）を採用することによって、ハードウェアモデラへのI/O要求の衝突回数を、上記分散割当て方式より更に削減することが可能である。

図4と同じ例題について、本方式の割当て結果とシミュレーション過程のタイムチャートの例を図5に示す。シミュレーションジョブとハードウェアモデラが一对一対応で割当てられており、図4の

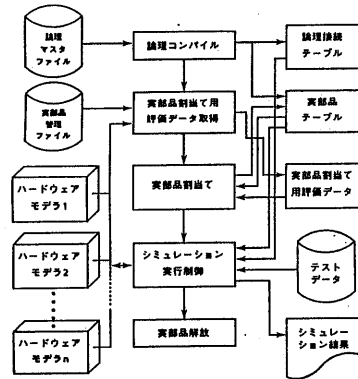


図3 LDSIM2 ソフトウェア構成

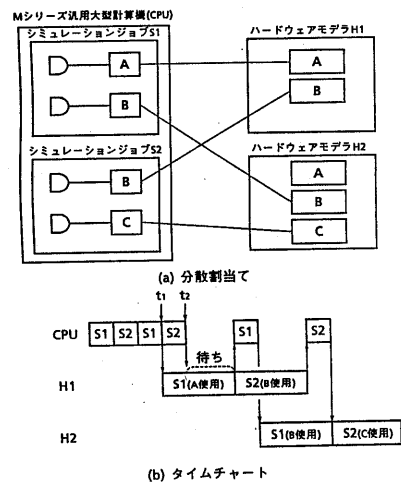


図4 分散割当て方式

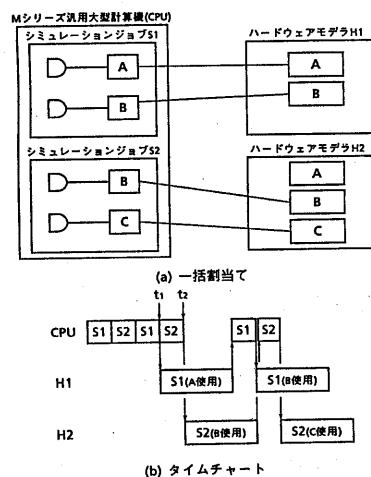


図5 一括割当て方式

分散割当て方式のようなI/O要求の衝突を回避することができる。

(2) 処理アルゴリズム

一括割当て方式の処理アルゴリズムを図6に示す。

(a) 実部品割当て用評価データ取得

実部品管理ファイルに格納されているI/Oアドレスによりハードウェアモデラを順次アクセスして実部品割当て用評価データを得る。評価用データは、各ハードウェアモデラに関して、以下の3項目から構成されている。

①実部品搭載数

②他のシミュレーションジョブで使用中的実部品数

③当該シミュレーションジョブに必要な実部品の内、当該ハードウェアモデラに搭載している実部品数

本アルゴリズムは、この評価用データを基に、対象外になるハードウェアモデラをふるい落して、最適なハードウェアモデラを選択してゆく。

(b) 選択処理

(i) 選択処理1

評価データ項目(③)を利用して、当該シミュレーションジョブに必要な実部品を搭載していないハードウェアモデラを割当て対象外とする。

(ii) 選択処理2

選択処理1で残ったハードウェアモデラの内、評価データ項目

(②)を利用して、すでに他のシミュレーションジョブで使用中的実部品の数が最少であるもの(すなわち、実部品使用率が最低のもの)以外のハードウェアモデラを割当ての対象外とする。

(iii) 選択処理3

選択処理2で残ったハードウェアモデラの内、評価データ項目

(③)を利用して、当該シミュレーションジョブに必要な実部品の搭載数が最多のもの以外のハードウェアモデラを割当ての対象外とする。

(iv) 選択処理4

選択処理3で残ったハードウェアモデラの内、評価データ項目

(①)を利用して、当該シミュレーションジョブに必要な実部品以外に余分な実部品の搭載数が最少のもの以外のハードウェアモデラを割当ての対象外とする。

(c) 実部品の割当て

上記の選択処理で残った一台のハードウェアモデラの搭載実部品を割当てする。複数台残った場合は、その中から任意のハードウェアモデラを一台選択する。

(d) 終了判定

当該シミュレーションジョブに必要なすべての実部品の割当てができない場合には、(a)からの処理に戻る。当該シミュレーションジョブの割当て済み実部品を考慮して実部品割当て評価用データを更新し、残された実部品の割当てを行う。

(3) 適用例

一括割当て方式の適用例を図7に示す。

システムにはシミュレーションジョブS1からS4までこの順序

でジョブが投入されるものとする。また、各シミュレーションジョブに必要な実部品、およびシステムに接続されているハードウェアモデラと各ハードウェアモデラ上の搭載実部品は図示した通りとする。

(a) S1が投入されると、選択処理4でこのシミュレーションには不要な実部品Cを搭載しているH2が対象外になり、H1が選択される。

(b) S2に対しては、選択処理2で、H1はすでにS1で使用中的であるが、一方H2は未使用のためH1は対象外になり、H2が選択される。

(c) S3に対しては、S1の割当て処理と同じく選択処理4でH2が対象外になり、H1が選択される。

(d) 最後にS4が投入されると、選択処理2でH1の使用率がH2より大きいためH1が対象外になりH2が選択される。

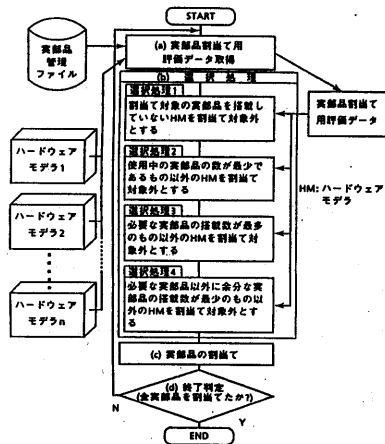


図6 一括割当て方式の処理アルゴリズム

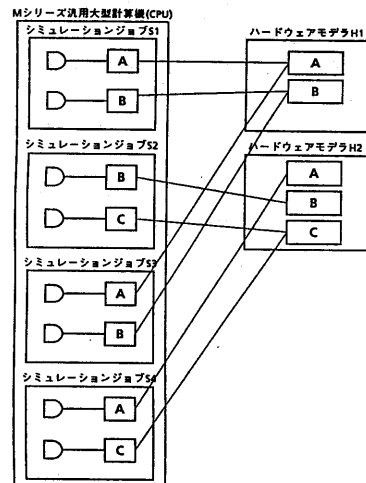


図7 一括割当て方式の適用例

6. 性能評価

本章では、例えば、200シミュレーションジョブ/日の要求スループットを達成するために、必要なハードウェアモデラ数やシミュレーションジョブの多重度などの主要なパラメータを決定するとともに、第5章で述べた一括割当て方式の有効性について、性能評価用シミュレーションモデルを用いて評価する。

図8は性能評価のためのシミュレーションモデルを示す。

(1) シミュレーションジョブの発生およびキュー

シミュレーションジョブの時間的変動を考慮して、200シミュレーションジョブを指数分布間隔で発生させる。予め、使用実部品が決められた数種のシミュレーションの中から乱数的に当該シミュレーションジョブを決定する。その後多重のシミュレーションジョブによるシミュレーション実行のキューに入る。

(2) 実部品割当て処理

当該シミュレーションジョブに必要な実部品を搭載するハードウェアモデラを一括割当て方式および分散割当て方式によって決定する。

(3) ハードウェア資源の使用

シミュレーションジョブでは、CPU、ネットワークコントローラ、ハードウェアモデラの各ハードウェア資源を順番に使用する。これらの資源は同時に複数のシミュレーションジョブで共用できないので、他のシミュレーションジョブが使用中のときには、その資源の前でキューに入り、当該シミュレーションジョブは待ち状態になる。CPU、ネットワークコントローラ、およびハードウェアモデラのそれぞれの1シミュレーションクロック当りの使用時間を t_c 、 t_N 、 t_H として、標準的なベンチマークのシミュレーションクロック数分繰り返す。

以上のシミュレーションモデルをGPS S (General Purpose Simulation Sytem)[8]で記述し性能評価を行った結果を図9に示す。

(1) 設計論理約10Kゲート、実部品128ピン×4ケ、シミュレーションクロック数2Kクロックの標準的なシミュレーションジョブを設定した場合、ホスト計算機にM68Xを採用し、平均5多重のシミュレーションジョブの条件下で、200シミュレーションジョブ/日を達成するためには、ハードウェアモデラが3台以上必要であるという結果を得た。

(2) また、同じ条件下で、一括割当て方式は分散割当て方式に比べて20%以上スループットを向上させることができることが明らかになった。

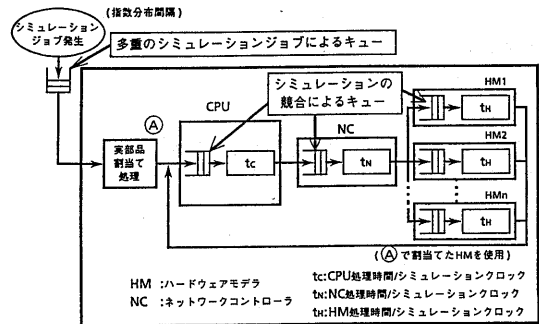


図8 性能評価用シミュレーションモデル

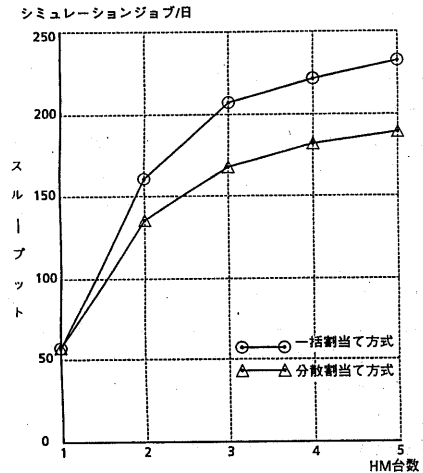


図9 性能評価結果

7. おわりに

市販LSIを含む計算機システムの装置シミュレーションにおいて、市販LSIについては実部品そのもののハードウェアモデルを用い、市販LSIを除く装置全体の論理についてはソフトウェアモデルを用いる実部品連動論理シミュレータLDSIM2について述べた。

本LDSIM2は、多重のシミュレーションジョブをサポートするために、汎用大型計算機をホスト計算機とし、複数台のハードウェアモデラをネットワーク接続したシステム構成を特徴としている。本システムに対する要求スループット(200シミュレーションジョブ/日)を満たすように、各シミュレーションジョブが必要とする実部品を各々、ハードウェアモデラ上の搭載実部品に最適に割当て一括割当て方式を提案し、その性能評価について述べた。

今後の課題としては、LDSIM2を更に実用的なシステムにするために、シミュレーションジョブのターンアラウンドタイムを短縮する必要がある。

そのためには、実部品のデレイ時間内では、ソフトウェアモデルのシミュレーションが進められることなどを利用して、ハードウェアモデルとソフトウェアモデルの並列動作をサポートしてゆく必要がある。

謝辞

本研究の機会を与えていただいたシステム開発研究所の堂免所長と久保部長(当時)ならびに神奈川工場の大野副工場長と寺井部長に感謝致します。また、本研究を進めるに当り、有益な助言を戴いた神奈川工場の三善副部長に感謝致します。

参考文献

- [1]Miyoshi,M.,et al : An Extensive Logic Simulation Method of Very Large Computer Design, Proc. of 23rd DA Conf.,pp360-365(1986)
- [2]Nagashima,S.,et al : Hardware Implementaion of VELVET on the Hitachi S-810 Supercomputer, Proc. of ICCAD '86 ,pp390-393(1988)
- [3]Lipsett, R.,et al : VHDL-The Language, IEEE Design and Test, pp28-41, April (1986)
- [4]Stoll,P. : PMX:A Hardware Solution To the VLSI Model Availability Problem, Proc. of ICCD '85,pp719-723(1985)
- [5]Giles,D.,et al : Maintaining Simulation Accuracy Through Physical Device Models, Proc. of International Test Conf., pp692-695(1985)
- [6]Widdoes Jr.,L.,et al : Hardware Modeling, VLSI Systems Design,pp30-98,July(1988)
- [7]Kelly,N.,et al : Hardware Modeler Spans Multiple Environments, High Performance Systems,pp24-40, April(1989)
- [8]HITAC マニュアル : VOS1/VOS2/VOS3 離散型シミュレーションシステム GPSS 機能編