

カスタムLSI用統合化CADシステム

小池 豊 田代 雅久 吉永 和弘 川村 弘哉 上乘 彰

沖電気工業株式会社 超LSI開発センタ

著者らは、カスタムLSI用のフレームワークは、自社開発ツールおよびマルチベンダのツールのバックボーンとして稼動し、操作環境の設定、設計工程の規定、設計データ管理、リアルタイムのCADツール間の通信の機能を持つものを理想とした。そして、標準ウィンドウシステムとリレーショナル型データベースを用いて、これら機能の実現性と機能実現のための組込み容易性を評価するために、ライブラリ検索システムを開発した。評価結果として、理想とのギャップは多いものの、操作環境の設定と設計工程の規定に対しては、ほぼ満足する結果を得られた。

Integration CAD system
for Designing custom LSIs

(Library retrieval system)

Yutaka Koike Masahisa Tasiro Kazuhiro Yosinaga Hiroya Kawamura Akira Jyounori

VLSI Research & Development Center

OKI Electric Industry Co., Ltd.

550-1, Higashiasakawa-cho, Hachioji-shi, Tokyo 193, Japan

We believe that ideal CAD Frame Work for designing custom LSIs which works as backbone of CAD tools. And then, Frame Work has function of tool environment setting, design process management, design data management, and inter-tool communication. In order to evaluate possibility of implementing these functions and encapsulation efforts, we developed library retrieval system by using standard window system and relational database.

As evaluation results, there are many gaps of ideal system, but we are almost satisfied with tool environment setting and design process management.

1. まえがき

近年、各産業界で製品の差別化要求のためにゲートアレイ、スタンダードセル、およびカスタムLSIに代表されるASICの需要が拡大している。このASICの需要拡大に合わせて各種CADシステムの改良が行なわれている。その改良は、個々のCADツールの高速化からマルチベンダのツールの統合化まで、さまざまなレベルで行われている。特に、設計言語の標準化やフレームワークのガイドライン設定など重要な項目は、専門委員会や学会などで、多くの提案¹⁾²⁾⁵⁾や実験³⁾⁴⁾が行われている。

著者らは、同一OS内で稼働する、自社開発ツールとマルチベンダの市販ツールの組合せで構築したカスタムLSI用CADツール⁶⁾を、どの程度統合化できるかを評価した。以下、2節では、カスタムLSI設計の特徴を、3節ではカスタムLSI用統合化CADシステムのねらいを、4節では統合化の評価のために開発したライブラリ検索システムの構成、データベース構造、適用例、および評価結果を述べる。

2. カスタムLSI設計の特徴

本節では、これから取り上げるカスタムLSIの定義をした後、カスタムLSI設計の特徴を述べる。ここでいうカスタムLSIとは、標準セル(スタンダードセル)の組合せだけでは、ユーザの要求する機能、性能、またはチップ面積を実現できないLSIとする。

そのため、カスタムLSI設計の特徴として、まず第1に、専用セル設計が挙げられる。専用セル設計では、性能を最大限に上げるためとチップ面積を小さくするために、新たな回路を設計したり、スタンダードセルの回路構成を工夫して冗長トランジスタを削除したり、ゲート長、ゲート幅を最適化したりする。またLSIファミリを構成する必要性と設計生産性向上のために、既設計回路の一部を改良したり、そのまま流用したりする。

第2に、設計期間短縮とチップ面積縮小のト

レードオフを図ることである。カスタムLSI設計では、性能向上とチップ面積縮小を重視するために、人手処理に依存する部分もあるが、他方大規模化に伴う設計工数の増大、加えてユーザからの設計期間短縮の要求からは、自動処理の部分を増加させる必要がある。

第3に、さまざまな検証手段を必要とすることである。カスタムLSI設計では、要求される機能、性能、チップ面積のバリエーションによって、アナログ回路が存在したり、部分的にクリティカルな回路があったり、また人手が介入したりするため、ゲートアレイ設計手法のように確認済みのネットリストを使用した全自動配置配線、タイミング検証という設計手法を採れない。しかも設計誤り低減要求からは、さまざまな検証ツールの設計工程への適用拡大が急務である。

3. カスタムLSI用統合化CAD

システムのねらい

自社開発CADツールおよびマルチベンダのCADツールの組み合わせで実現したCADシステムに、個々のCADツールの起動環境の設定、設計工程の規定、設計データ管理、リアルタイムのツール間の交信の機能を付加することを、統合化のねらいとした。というのは、適宜優れた市販CADツールを採り入れ、設計手法に自由度をもたせながら、自動処理の部分の増大と設計誤りの低減を実現していくためである。以降、統合化のねらい、ハードウェア、ソフトウェアの考え方について述べる。

3.1 統合化のねらい

カスタムLSI用CADツールの統合化のねらいの第1は、設計工程を規定することである。設計者のノウハウを反映可能な範囲で設計工程を規定し、さらにデータ変換などの手続き処理を隠ぺいし、設計本来の操作のみを設計者に提供することが、統合化の第一歩と考えたためである。

第2は、設計データの管理である。LSIの設計データは、論理シンボル、機能記述、論理回路図、トランジスタ回路図、レイアウトと、その工程毎にまったく異なったデータフォーマットで表現される。これら異なる表現の設計データが各々誤りなく1対1に対応していることが、誤り低減の観点から重要である。

第3は、CADツールの組込みや保守の容易性である。カスタムLSI設計の自動処理の部分を増加させるために、既存のCADツール群や新規CADツールの組込みが、容易である必要がある。またCADツール単体の機能拡張を行うと、組込み方法の変更が必要になる場合がある。その組込み方法の変更を短期間で行うことが、統一された環境下で、早期に機能拡張したCADツールを稼動するために重要である。

第4は、リアルタイムの設計ツール間の通信である。例えば、既設計回路の一部を変更して流用したりする場合、既設計回路の解析という工程がある。この解析工程では、論理回路図中のネットを選ぶと対応するレイアウトの部分がハイライトするような、リアルタイムの設計ツール間の通信が、設計者の大きな手助けになると考えたからである。

3.2 ハードウェアの考え方

図1に、カスタムLSI用統合化CADシステムのハードウェア構成を示す。プラットフォームは、対話的に設計者のノウハウの反映が可能なこと、必要に応じて市販の優れたCADツールが利用できることなどから汎用ワークステーションを基本とした。また、分割設計が可能なようにネットワーク機能を利用した分散処理システムとした。さらにカスタムLSIの用途毎に組織された設計グループ内で、細やかな設計や運用の管理ができるように、ネットワークグループを構成した。各ネットワークグループ内には、ワークステーションの負荷分散および資源の共通利用の観点から、CPUサーバ、ディスクサーバを採り入れた。

3.3 ソフトウェアの考え方

図2、にカスタムLSI用統合化CADシステムのソフトウェア構成を示す。統合化CADシステムは、設計の自動化や検証を行う従来のCADツール群と管理サーバからなる。論理回路図入力からレイアウト検証までは、自社開発CADツールとマルチベンダの市販CADツールの組合せで構築した。また各CADツールは、

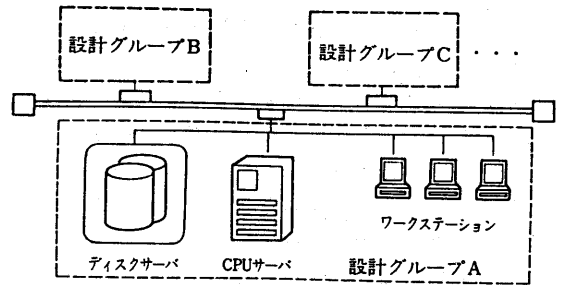


図1 ハードウェア構成

Fig.1 Configuration of hardwares

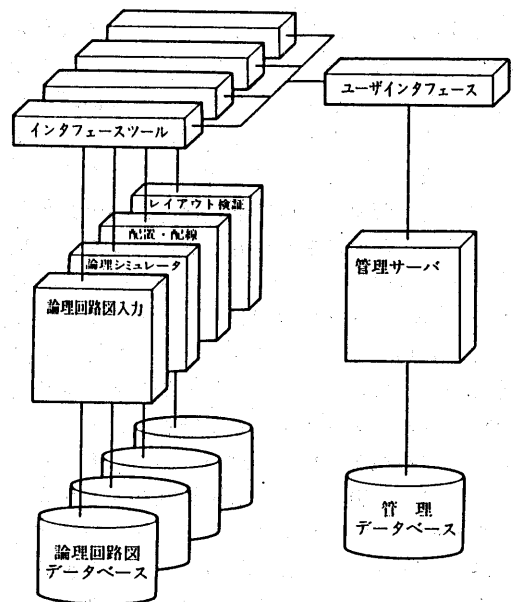


図2 ソフトウェア構成

Fig.2 Configuration of softwares

各々独自のデータベースを持つため、専用のインタフェースツールにより、各CADツールへデータを受け渡す方式とした。

管理サーバは、操作環境設定、設計工程規定、設計データ管理、および管理データベースからなる。操作環境設定は、各CADツール起動時の環境設定ファイルの生成やライブラリの割付け設定を自動で行う。設計工程の規定は、標準ウィンドウシステムから起動されるユーティリティ群からなる。設計データ管理は、各々のCADツールの設計データと、それら設計データの対応を管理する。管理データベースは、設計基準や設計データの対応付け情報からなる。

また、OSはユーザインタフェースの統一とソフトウェアの移植性の観点から、ワークステーション業界標準のUNIXとした。さらに、統一した操作環境を提供していくために、業界標準のウィンドウシステムを基本とした。

4 ライブラリ検索システム

まず最初に、標準のウィンドウシステムから起動可能なユーティリティ群とリレーショナル型データベースを用いて、ライブラリ検索システムを開発することにより、操作環境設定、設計工程規定、設計データ管理、リアルタイムの設計ツール間交信の機能実現性と、機能実現のための組込み容易性を評価した。ライブラリ検索システムは、CADツールの操作中に、流用可能な既設計回路を検索してコピーしたり、設計した専用セルをライブラリとして登録する機能を持つ。また、ライブラリ検索システムを統合化の評価用システムとした理由は、カスタムLSIの特徴が専用セル設計にあり、その専用セル設計の半数以上が、既設計回路の一部改良やその組合せで実現できること、および専用セル設計工程が、論理設計からレイアウト設計までのすべての設計工程を含むため、今後チップ設計まで適用範囲を拡大する場合の基本的な問題点を、模擬実験できると考えたためである。以降、ライブラリ検索システムの構成、データ

ベース構造、適用例、および評価結果を述べる。

4.1 システム構成

図3、にライブラリ検索システムの構成を示す。ライブラリ検索システムは、ライブラリ検索用のリレーショナル型データベース、設計図面表示用のデータベース、および標準ウィンドウシステムから呼び出されるユーティリティ群からなる。

検索用データベースは、各設計グループ毎のライブラリデータベースの一覧を格納した1つの一覧データベースと、各設計グループ毎の複数のライブラリデータベースからなる。

表示用データベースは、検索したライブラリが流用可能か否かの判断が容易なように、設計図面データを表示するために設定した。設計図面データは、各CADツール毎の専用データベースから、ライブラリ登録時に自動変換する。また各設計図面データは、データ量削減のために、ビットマップデータでなく、検索システム内で共通のベクタフォーマットで表現した。

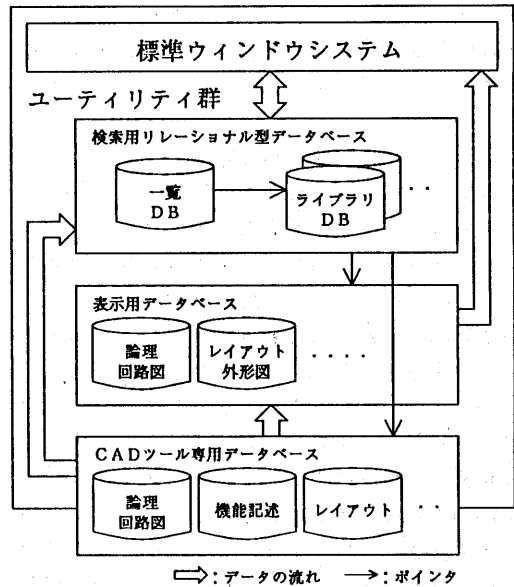


図3 ライブラリ検索システムの構成
Fig.3 Configuration of retrieval system

ユーティリティ群は、検索用リレーショナル型データベースに問い合わせを行うSQL言語、CADツール専用のデータベースをアクセスし表示用データベースおよび検索用データベースに格納するまでの工程を起動するCシェル、および各種の変換や表示用ツールからなる。

4.2 データベース構造

設計データ管理は、各CADツール毎の専用データベース、表示用データベース、および検索用リレーショナル型データベースを対象とした。各CADツール毎の専用データベースと表示用データベースは、図4に示すように各CADツール対応にディレクトリ構造を決定し、さらに論理シンボルからレイアウトにいたるまでの異なる表現の設計データを、セル名で対応付けて管理した。

図5に、検索用データベースの構造を示す。データベース一覧は、検索対象となるライブラリデータベースを限定するために用い、テクノロジー名や設計グループ名を記述したテーブル、各CADツール毎のライブラリ格納場所を記述したテーブル、および回路パラメータやDRC手順などの設計基準の格納場所を記述したテーブルからなる。各々のテーブルは、ライブラリ

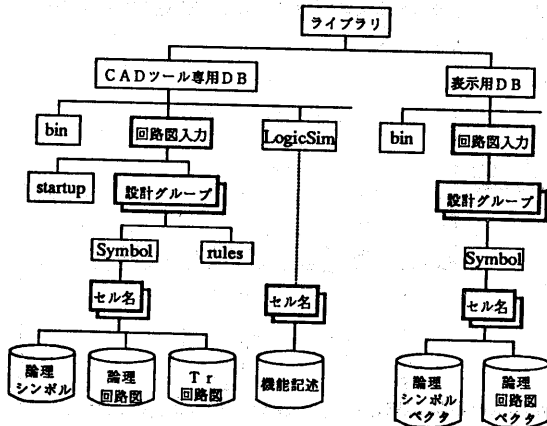


図4 ライブラリのディレクトリ構造
Fig.4 Construction of Tool libraries

データベース名で対応付け、設計グループ毎に管理した。

一方、ライブラリデータベースは、ライブラリの検索キーとして使用する機能分類表、各セル名対応の機能テーブル、各セルの端子名対応の性能テーブル、および各セルの設計履歴テーブルからなる。機能分類表は、予め設計グループ毎に決定する。その他のテーブルは、セル名で対応付けて、ライブラリ設計中に登録される。

4.3 ライブラリの検索、登録

図6はライブラリの検索画面例である。ライブラリ検索システムは、図6右上の初期画面から右下のセル採用画面へと、各画面上のメニューをクリックすることにより、画面を順次起動する。例えば初期画面からその下の機能検索画面の起動は、まずテクノロジー(CMOS)をクリックすると、そのテクノロジーに対応したデザインルール一覧の検索項目が表示される。次に、デザインルール(2.0 μ m)をクリックすると、登録済みのデータベース一覧が表示される。さらにデータベース名をクリックし、検

テクノロジー	ライブラリ格納場所	設計基準格納場所
<ul style="list-style-type: none"> ライブラリDB名 テクノロジー名 デザインルール名 設計グループ名 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリDB名 論理回路図入力 デザインルール名 配置・配線 	<ul style="list-style-type: none"> ライブラリDB名 回路パラメータ デザインルール値 DRC手順

(a) データベース一覧テーブル

機能	性能	履歴
<ul style="list-style-type: none"> 機能大分類 機能中分類 セル名 機能大分類 機能中分類 機能詳細 	<ul style="list-style-type: none"> 端子名 セル名 I/O属性 素子遅延 	<ul style="list-style-type: none"> セル名 設計者名 作成年月日 更新者名 更新内容

(b) ライブラリテーブル

図5 検索用データベースの構造

Fig.5 Construction of retrieval database

索ボタンを押すと、機能検索画面が起動される。このようにライブラリ検索システムは、子プロセスを順次起動し、機能検索画面、セル情報画面、伝搬遅延時間表、および各設計図面データをオープンする。各設計図面データは、ボディ図と呼ぶ論理シンボル図、論理/TR回路図、およびアブストラクトと呼ぶレイアウト外形図からなり、表示用データベース中から専用ツールで表示される。また大規模ライブラリの構造を詳細に解析可能なように、検索画面および設計図面データに対して、ズームやウィンドウな

どの機能を持たせた。

伝搬遅延時間表は、ライブラリの素子遅延時間、ファンアウトあたりの遅延時間、配線容量あたりの遅延時間からなり、あらかじめ規定されたフローにしたがって、セルレイアウトから自動算出された結果である。図7に遅延時間算出フローを示す。遅延時間算出にあたっては、まずレイアウトから抽出したトランジスタネットリストと指示データから遅延算出モデルを生成する。指示データ中には、入力波形指定端子名、出力波形観測端子名、電源がGNDへ接地

伝搬遅延時間表: TRベース検索システム (沖電気TRベース検索システム Ver. 0.5 (沖電気工業株式会社))

終了

テクノロジー: CMOS
データベース名: ok111b_s20
中分類: and_or

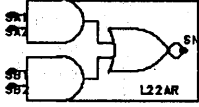
デザイン大分類: and_or
セル名:

端子名	I/O属性	ファンイン数	最大ファンアウト数	Tpdlh		
				Tpd0 (ns)	α lh (ns/F0)	
sa1	I	1				
sa2	I	1				
sb1	I	1				
sb2	I	1				
sn	O		7	1.20	0.30	3.08

ボディ図: TRベース検索システム TR回路図: TR

テクノロジー: CMOS デザイン大分類: and_or
データベース名: ok111b_s20 セル名:

(FIT) Zoom IN Zoom OUT Window 終了



検索 終了

テクノロジー: CMOS
デザインルール: 1.20um 0.80um 2.00um

データベース名: ok111b_s20

検索 登録 終了

テクノロジー: CMOS デザインルール: 2.00um
データベース名: ok111b_s20

機能大分類: gate, complex_gate, dr
機能中分類: and_or, or_and
セル名一覧: L22AR, LG101

TRベース検索システム Ver. 0.5 (沖電気工業株式会社)

Tpd ボディ図 回路図 アブストラクト図 採用

テクノロジー: CMOS デザインルール: 2.00um
データベース名: ok111b_s20

中分類: and_or
セル名:

データ種類: ALL
ディレクトリ名: /usr1/demo

テクノロジー: CMOS デザインルール: 2.00um
データベース名: ok111b_s20
中分類: and_or
セル名:

セル機能: 2-Input 2-Wide AND-NOR Gate

(FIT) Zoom IN Zoom OUT Window

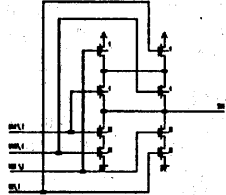


図6 ライブラリ検索例

Fig.6 Example of search menus

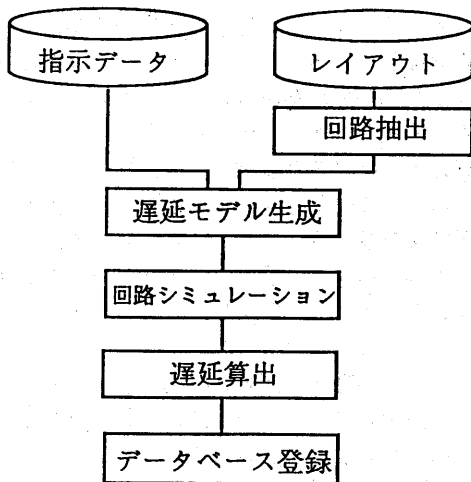
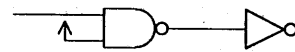


図7 遅延時間算出フロー

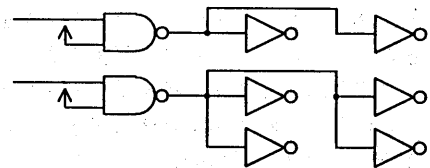
Fig.7 Propagation delay time extraction

する入力端子名、負荷容量値、ファンアウト数、および入力波形などからなる。その指示データに基づいて、図8の2入力NANDゲートの遅延算出モデル例に示すような遅延算出用のトランジスタネットリストを生成し、回路シミュレータを起動する。次に回路シミュレーションの結果から、各遅延時間を算出し、検索性データベースへ登録する。

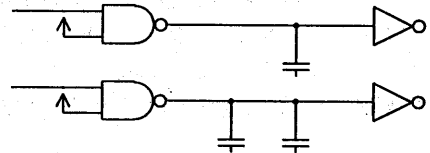
検索したライブラリを各CADツールで流用する場合の手続きは、まず図6のセル情報画面上の採用ボタンを押すと、図6右下の採用画面がオープンされる。次に採用画面で、設計データの種別をサイクルボタンで選択し、(図6では、ALLを選択) LSI設計をしている作業ディレクトリ名をキーインした後、実行ボタンを押すと、コピー用ツールが起動される。コピー用ツールは、指定されたディレクトリ名と図4のディレクトリ構造から、ライブラリを参照可能なディレクトリを生成し、生成したディレクトリ中の同一セル名の有無や採用者の書き込み許可などをチェックし、採用条件が満足されれば、そこにライブラリをコピーする。逆に条件が満足されないときは、その満足されない項



(a) 素子遅延算出モデル



(b) ファンアウトあたりの遅延算出モデル



(c) 配線容量あたりの遅延算出モデル

図8 2入力NANDの遅延算出モデル例

Fig.8 Propagation delay model for 2NAND

目により、採用できない理由や上書きや中止などを選択可能な判断画面をオープンする。

図9は、図6の例で検索したライブラリを、論理回路図入力ツールで変更し、新たなライブラリとして登録する例である。図9の左中央は論理回路図入力ツールの専用画面、左上下と右上はライブラリの検索画面、右下はライブラリの登録画面である。ライブラリの登録は、まず図9右上の機能検索画面上で、機能大分類と機能中分類をクリックして、登録するライブラリの機能分類を行う。次に論理回路図入力を行っている作業ディレクトリ名、セル名、および機能詳細をキーインしてから追加ボタンを押すと、登録用ツールが起動される。登録用ツールは、ライブラリデータベース中の同一セル名の有無や登録者の書き込み許可などをチェックし、登録条件が満足されれば、図4のディレクトリ構造に従って、修正したセルを、ライブラリデータベースと表示用データベースに登録する。逆に満足されないときは登録できない理由を表示する。

4.4 適用結果の評価結果

設計工程の規定は、専用セル設計終了から検索用データベースへの登録までの処理の隠べいの割合で評価した。結果は、各CADツールの専用データベースのアクセス用キットで開発したツールや専用で開発したツールをCシェルを介して、標準のウィンドウシステムから起動することによって、すべて隠べい可能であった。

データ管理は、どの程度各々異なる設計データの一致が保証されるかを評価尺度とした。各々の設計データは、基本的に、ディレクトリ構造を規定しセル名で対応付けた。また各種チェックツールの組み込みや参照、登録の特権を、全てのデータベースについて細かく規定したが、完全なものとはいえない。それは、各CADツールを起動した場合、設計者がどのような修正

を行ったかを判断することが困難なためである。セルの入出力端子名の整合程度は保証していきたく考えたが、バス端子の表現、電源端子、等電位端子、論理シミュレータ特有の観測端子、および自動配置配線特有のフィードスルー端子など、再度整合する必要があった。

組込みや保守の容易性は、CADツールの組込みのための制約と性能算出モデル生成機能の拡張性を評価尺度とした。結果は、レイアウトデータ中に端子を表現するテキストを必要とするなどの手続き上の制約以外に、ある市販のCADツールのデータベースアクセス用キットが、C言語などの標準言語に組み込めないためモジュールを分けCシェルから間接的に起動しなければならない、また、独自のウィンドウシステムを使用する市販ツールもあり、その市販ツ

TRベース検索システム Ver. 0.5 (中電気工業株式会社)		TRベース検索システム Ver. 0.5 (中電気工業株式会社)	
<input type="button" value="検索"/> <input type="button" value="終了"/>		<input type="button" value="検索"/> <input type="button" value="登録"/> <input type="button" value="終了"/>	
テクノロジー	<input checked="" type="checkbox"/> CMOS	テクノロジー : CMOS	デザインル 機能詳
デザインルール	<input checked="" type="checkbox"/> 1.20um <input checked="" type="checkbox"/> 0.80um <input checked="" type="checkbox"/> 2.00um	データベース名 : okilib_s20	
データベース	<input checked="" type="checkbox"/> okilib_s20 : OKIのライブラリ	機能大分類	機能中分類
		<input checked="" type="checkbox"/> gate	<input checked="" type="checkbox"/> and_or
		<input checked="" type="checkbox"/> complex_gate	<input checked="" type="checkbox"/> or_and
		<input type="checkbox"/> driver	
		<input type="checkbox"/> latch	
		<input type="checkbox"/> flip_flop	
		<input type="checkbox"/> multiplexer	
		<input type="checkbox"/> decoder	
		<input type="checkbox"/> counter	
		セル名一覧	
		<input checked="" type="checkbox"/> LG103 <input type="checkbox"/> LG104 <input type="checkbox"/> LG107 <input type="checkbox"/> LG108 <input type="checkbox"/> LG109 <input type="checkbox"/> LG110 <input type="checkbox"/> LG111 <input type="checkbox"/> LG114	
セルデータ登録 : TRベース検索システム (中電気工業株式会社)			
<input type="button" value="追加"/> <input type="button" value="更新"/> <input type="button" value="終了"/>			
テクノロジー : CMOS		デザインルール : 2.00um	
データベース名 : okilib_s20		大分類 : complex_gate	
中分類 : and_or			
データ種類 : <input checked="" type="radio"/> ALL			
ディレクトリ名 : /usr1/deno			
セル名 : test			
セル機能 : 3 Input 2 Wide AND-NOR Gate test case			
TRベース検索システム Ver. 0.5 (中電気工業株式会社)			
<input type="button" value="Top"/> <input type="button" value="ボディ図"/> <input type="button" value="回路図"/> <input type="button" value="アブストラクト図"/>			
テクノロジー : CMOS	デザインルール		
データベース名 : okilib_s20	大分類		
中分類 : and_or	セル名		
セル機能 : 3 Input 2 Wide AND-NOR Gate			

図9 ライブラリ登録例

Fig.9 Example of library-registration

ル使用時にライブラリ検索システムの起動ができないなどの制約があった。

性能算出モデルも、遅延回路のように入力が存在しない場合や多相クロックの回路などでは問題が複雑になり、異なる算出モデルの人手生成を必要とした。

リアルタイムの設計ツール間の通信は、異なる市販ツールのデータベース間の整合がとれていないなど、実現されていない項目が多いため今後の課題とした。

全体として、統合化のねらいとのギャップはあるものの、操作環境の設定、設計工程の規定、設計データ管理は、ほぼ満足するものであった。

5. あとがき

著者らは、カスタムLSI用のフレームワークは、自社開発ツールおよびマルチベンダのツールのバックボーンとして稼動し、操作環境の設定、設計工程の規定、設計データ管理、リアルタイムのCADツール間の通信の機能を持つものを理想とした。そして、標準ウィンドウシステムとリレーショナル型データベースを用いて、これら機能の実現可能性と機能実現のための組み込みの容易性を評価するために、ライブラリ検索システムを開発した。評価結果は、操作環境の設定、設計工程の規定は、初期の目標にほぼ満足の行くものであった。そのため今後は、ライブラリ検索システムをLSI設計に適用し、さらに問題点の整理を行っていく予定である。

最後に、カスタムLSICADシステムの統合化の検討、およびライブラリ検索システムの開発にあたり、沖電気工業(株)平川 和之 L S I C A D 研究第一部長、白木 昇 室長、および相原 茂夫 室長に多大の助言をいただいたことを感謝いたします。

6. 参考文献

- (1) T. Rhyne: "An overview of The CAD Framework Initiative", Dec. 5-8, 1989, Japanese CFI visit OHP
- (2) N. R. Strander: "Framework Architecture" Oct. 20, 1989, CAD Framework Initiative
- (3) R. Smith, N. Kenagy: "A Demonstration of CAD at the 1990 DAC Project Plan V.1.0", Nov. 22, 1989 CAD Framework initiative
- (4) Micheal C. Markowitz: "CADツール統合用フレームワーク", Feb. 5, 1990, no. 492, pp187-194, 日経エレクトロニクス
- (5) R. Smith, A. Cavalli: "Building a Fourth-Generation Framework", Jun. 1990. High Performance systems, pp63-67
- (6) 小池、吉永、川村、上乘: カスタムLSI統合化CADシステム、沖研究開発148号