

スタンダードセル方式LSIの  
セル配置エキスパートシステム (K/cp) について

浜崎良二 白木昇 平川和之  
(沖電気工業株式会社)

エキスパートシステムのLSICADへの適用性を評価する観点からルールベース型のセル配置エキスパートシステム (K/cp) を構築し、その方式、及び実データによる評価を実施した。

エキスパートシステムは、従来システムでは表現しづらかった大局的・局所的問題を同時に扱う様な問題解決に向いており、かつその記述方法が機能中心であることからエンドユーザのニーズが盛り込み易い開発手法であり、LSICADへの効果的応用が期待できることを確認した。

本稿では、セル配置エキスパートシステムの概要、構成、及びその方式について説明し、最後にその評価結果について報告する。

"Cell Placement Expert System K/cp For VLSI Design" (in Japanese)

by Ryoji HAMAZAKI, Noboru SHIRAKI and Kazuyuki HIRAKAWA (VLSI Research & Development Center, Oki Electric Industry Co., Ltd., 550-1, Higashiasakawa-cho, Hachioji-shi, Tokyo, 193 Japan)

The rule base type cell placement expert system (K/cp) has been constructed in view of evaluation for applicability of an expert system to LSICAD, and the evaluation is performed with its system and data.

It is confirmed that an expert system can be effectively applied to LSICAD because it is suitable for resolving the problem to deal with a total and local ones simultaneously, which is difficult to resolve with conventional system, and it is a development method able to easily meet end user's needs because its description is made mainly for a function.

The paper will describe outline, composition and system of Cell Placement Expert System, and finally the result of its evaluation.

## 1. はじめに

エキスパートシステムのLSICADへの適用性を評価する観点からスタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム(K/cp)<sup>[1]</sup>を構築し、実データによる評価を実施したので報告する。

本システムは、ポリセル方式ブロックのセル配置問題を、IF-THEN形式のルール(セル配置作業に必要な知識・ノウハウを表現)で記述し推論機構を利用して解く、ルールベース型のエキスパートシステムである。

評価結果に関しては後で詳細に述べるが、従来開発手法と同等の機能が設計ノウハウを記述することで構築できることから、エンドユーザのニーズがもり込み易い開発手法であり、LSICADへの効果的応用が期待できることを確認した。

本稿では、セル配置エキスパートシステムの概要、構成、及び方式について説明し、最後にその評価結果について述べる。

## 2. システム構成

K/cpは、既存のVLSI-CADシステムとのインタフェースをCAD用データベース<sup>[2]</sup>とインタフェースすることで行い、パーソン・マシンインタフェースは、グラフィック端末を用いてGKS<sup>[3]</sup>インタフェースにより行っている。図1にシステム構成を示す。

CAD用データベースは、配置対象ブロックに関するすべての設計データ

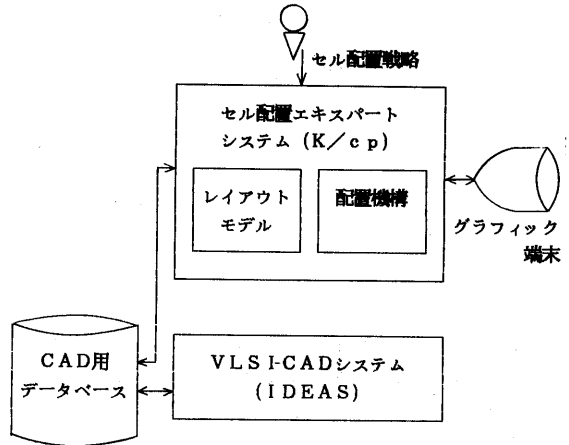


図1 システム構成

が格納されており、既存のVLSI-CADシステムは、当該データベースを核として統合されている。

K/cpは、CAD用データベースから配置対象ブロックの論理情報、ライブラリセルのレイアウト情報、及び、設計者の立てたセル配置戦略情報を入力し、配置結果を出力している。

配置結果の評価は、既存の配線システム<sup>[4]</sup>で実際に配線しその配線結果により行った。

## 3. 処理方式概要

本システム(K/cp)は、ポリセル方式ブロックのセル配置問題を解くエキスパートシステムである。ルールベース型エキスパートシステムの実行形態を図2に示す。プロダクション記憶にはIF-THEN形式のルールが、作業記憶には各種事象が表現されて

いて、推論部がプロダクション記憶のIF部と作業記憶の事象とのマッチング、及びTHEN部の実行（作業記憶の事象の書換え等）を制御し、これらがくりかえされることで推論が進む仕組みになっている。

K/cpは、配置対象ブロック（配置対象のポリセルブロック）の論理情報、及びブロックのレイアウトプランであるブロック形状・セル行数・下位セルのグルーピング、及びその概略位置等のセル配置戦略情報を事象として作業記憶上にモデル化し、プロダクション記憶にセル配置に関する設計ノウハウ等を記述した配置機構を表現している。

配置処理は、これらレイアウトモデル、配置機構、及び推論機構によって、レイアウトモデルの各種事象を配置機構のルールにより書換え更新することで各セルの配置位置を決定して行きすべてのセルが安定する（配置されるか配置不可能が判明する）まで行われる。

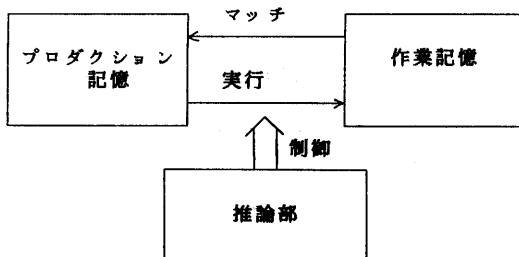
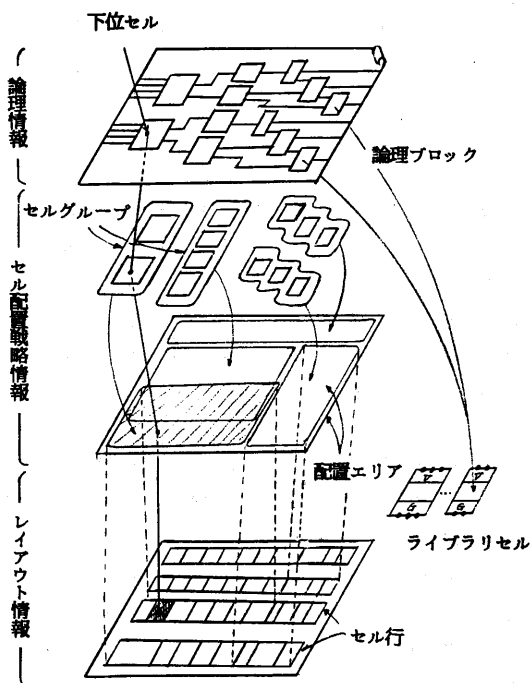


図2 推論部による実行の概要

#### 4. レイアウトモデル

##### 4.1 概略構造

レイアウトモデルは、配置対象ブロック、配置対象ブロックが参照する下位セル等の設計情報、設計者より指示されるセル配置戦略情報、及び配置対



象ブロックのレイアウト情報等をその情報の種類・属性により分類し、各々の構成要素、及びそれらの関係を表現することで体系化している。

K/cpでは、扱う情報を各設計単位である論理情報、セル配置戦略情報、レイアウト情報ごとに管理し、かつ情報の種類であるクラスに分類している。図3にレイアウトモデルの概略構造を示す。

論理情報とは、論理設計済の論理回路（論理素子、端子、接続、及びクリティカルパス等）に関する情報であり、セル配置戦略情報とは、通常設計者の配置に関する知識・ノウハウより決定した配置プラン情報である。レイアウト情報は、ライブラリセルのレイアウト情報、及び配置対象ブロックのレイアウト結果等の情報である。

## 4.2 クラス

設計情報をもその種類により分類したものをクラスといい、そのクラスごとに属性を持たせ表現している。

### (1) ライブラリセル

配置対象ブロックで使用する論理ブロック (NAND, FF等) に関する情報であり、機能コード・外形状・配置制約 (配置可能な方向) 等の配置状態に関係しないセル自身の持つ属性を表現している。

### (2) 下位セル

配置対象ブロックの中に配置されようとしている個々の論理ブロックに関する情報で、それらにユニークに付与されたセルネーム・ライブラリセルと対応付けるセルコード、及びセル配置戦略情報であるセルグループの名称等の属性を表現している。

また、下位セルは配置操作の対象であり、配置状態 (配置座標・配置方向等) に関する属性も表現している。配置対象ブロックの端子は、下位セルとして同様に表現されセルタイプ属性により区別される。

### (3) 接続

配置対象ブロックの下位セル間の接続関係を結合度 (接続数・クリティカルパスの場合は接続数 \* n) と共に表現している。

### (4) セルグループ

下位セルを配置プランに沿ってグルーピングしたセルグループに関する情報で、セルグループの名称・概略配置エリア (セル行・セル行内範囲) 等の属性を表現している。

### (5) セル行

配置対象ブロックの配置可能エリアを示すセル行に関する情報で、セル行・位置・配置状態 (配置済セルの混み具合等) の属性を表現している。

## 5. 配置機構

### 5.1 概略構成

配置機構は、ポリセル方式LSIのセル配置に関する設計ノウハウを盛り込んだルール群で表現されており、それらは以下の5つのルール部に分割されている。

#### 1) モデル構築部

CAD用データベース、及びセル配置戦略情報よりレイアウトモデルを構築する。

#### 2) 強制配置部

予め指定された位置へセルを強制的に配置する。

#### 3) 配置順序決定部

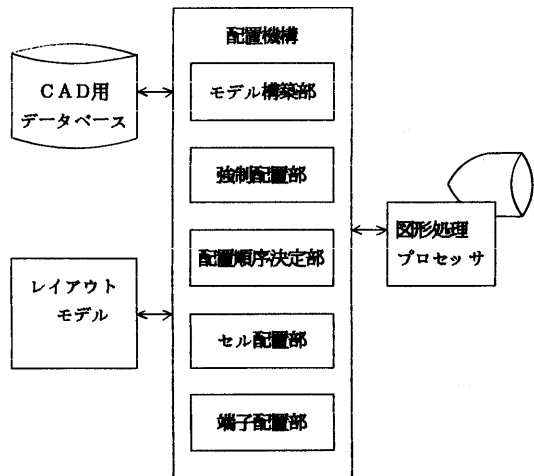
セルの配置順序を決定する。

#### 4) セル配置部

セルを配置制約に違反しない様に配置しながら、結果をグラフィックス端末に表示する。

#### 5) 端子配置部

設計対象ブロックの端子を配置制約に違反しない様に配置しながら



ら、結果をグラフィックス端末に表示する。

図4に配置機構の概略構成を示す。ここで、図形処理プロセッサは、GKSインタフェースを実現するサブプログラムでありここでは説明を省く。

## 5.2 配置方式概要

下位セルは、配置済セルとの接続関係により配置順序が決定され、当該セルと配置済セルとの結合度、及び配置済セルとの位置関係により配置位置が決定される。なお、配置位置は当該セルの属するセルグループの概略配置エリア内に限られる。なお、配置対象ブロックの端子は最初仮位置におかれて配置済セルとして扱われ、最後に詳細位置が決定される。

また、配置しようとしたセル行内に収まらない場合は、配置済セルの移動等により対処している。

## 6. ルール部概要

前述の各ルール部についてその内容を概説する。

### 6.1 モデル構築部

CAD用データベース中より、配置対象ブロックの論理情報（セルネーム・セルコード・接続等）、及びライブラリセルのレイアウト情報（外形状・配置制約等の各種属性）を、また、設計者より配置対象ブロックの外形状、下位セルのグルーピング情報、及び配置エリアに関する情報を入力し、レイアウトモデルの初期状態を構築する。

### 6.2 強制配置部

強制配置部の主要ルールを以下に示す。

#### i) 強制配置ルール

配置位置が指定されている下位セル

、又は端子があるなら、それらを指定位置に仮配置する。

ii) 配置制約違反チェックルール  
仮配置セルに配置制約違反があるなら、違反内容を設定する。

#### iii) セル行内移動ルール

配置制約に違反している仮配置セルを、違反内容に応じて同一セル行内で配置状態を変更（ズラす、反転させる等）する。

#### iv) セル行パックスルール

指定されたセル行に当該下位セルが配置できる連続したエリアが存在しないなら、配置済セルの配置状態を変更する。

#### v) セル行間移動ルール

指定されたセル行に当該下位セルが配置できるエリアが存在しないなら、指定セル行を変更する。

#### vi) 強制配置終了ルール

配置位置の指定された下位セル、及び端子がすべて配置済となれば、強制配置は終了する。

### 6.3 配置順序決定部

下位セルの配置順序は、次に配置すべき下位セルを決定する時点での、配置済セルと未配置セルとの接続関係により決定しており、すべての配置済セルと未配置セルとの接続関係において最も結合度が高く、かつ配置面積の大きい未配置セルから順次配置される様順序付けている。

なお、配置対象ブロックの端子は、前述の通り配置済セルとして扱っている。

図5に配置順序の例を示す。

### 6.4 セル配置部

セル配置部の主要ルールを以下に示す。

#### i) 制御ルール

処理の手順・状態・結果を管理し、

各ルールの実行制御、機能単位での後戻り処理等を行う。

ii) 初期位置決定ルール

配置セルと最も結合度の高い2つ（配置されてない場合は1つ）の配置済セルの重心を結ぶ直線上の結合度の比率に応じた位置を決定する。

（図6参照）

iii) 移動位置決定ルール

仮配置セルに配置制約違反が存在するなら、セルを移動させるための位置を決定する。移動は初期配置位置を中心とする当該セルの配置エリア内である。

iv) 配置ルール

指定位置（初期位置・移動位置）へセルを仮配置する。また、配置が決定するまでの配置履歴を取る。

v) セル交換ルール

配置セルの指定配置エリア内に、当該セルを収納できるセル行が存在しないなら、配置エリア内のセル行間でセルの交換を行い空エリアを確保する。

vi) セル安定ルール

仮配置セルに配置制約違反が存在しないなら、当該セルを配置済にする。

vii) セル配置終了ルール

未配置セルが存在しなくなったら、セル配置は終了する。

viii) その他

配置制約違反チェックルール

セル行パックルール

については、6.2参照のこと

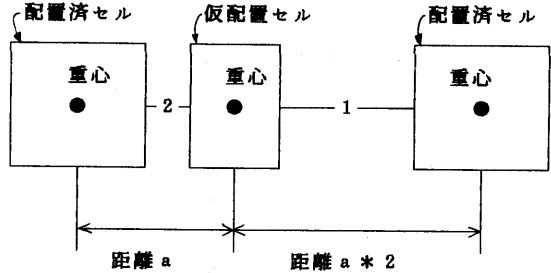


図6 初期配置位置

6.5 端子配置部

端子の配置ルールは、概略配置位置である配置対象ブロック外形の上下辺部（N、Sタイプ）と左右辺部（W、Eタイプ）により異なっている。

i) 配置端子順序決定ルール

〈W、Eタイプ〉

配置済セルとの結合度が高いものから決定。

〈N、Sタイプ〉

上辺、又は下辺部セル行の配置済セルとの結合度が高いものから決定。

ii) セル行間割当ルール

〈W、Eタイプ〉

配置済セルとの結合度の高いセル行間で、より端子配置密度の低いセル行間に割り当てる。

iii) 端子配置ルール

〈W、Eタイプ〉

セル行間での位置を決定する。

a) 結合のある配置済セルとの距離が長いものは上下端。

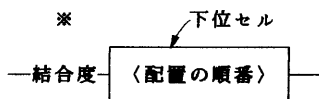
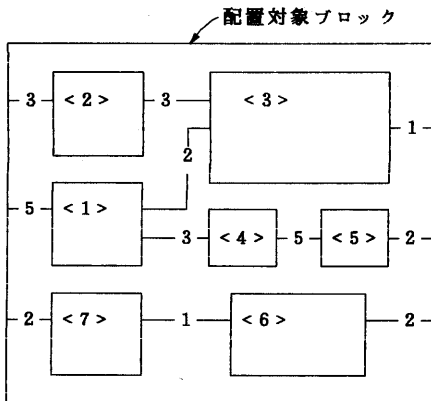


図7 配置対象ブロック

b) 結合のある配置済セルが上下セル行のものは中央。

(図7参照)

(N、Sタイプ)

結合のあるセル行中で距離が最短のセル行にある配置済セルのx座標値により以下の式で算出する。

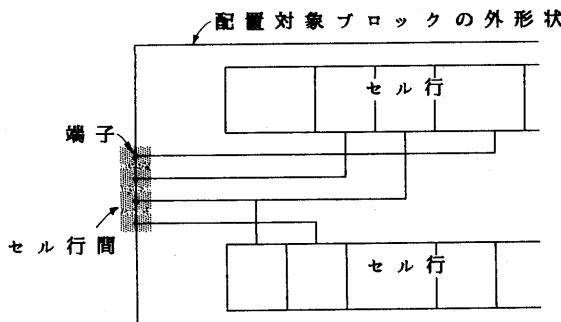
$$x \text{ 座標位置} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{配置済セル数} \times \text{結合度} i)}{\sum_{i=1}^n (\text{配置済セル数} \times \text{結合度} i)}$$

iv) その他

配置制約違反チェックルール

セル行内移動ルール

については、6.2参照のこと。



端子配置位置の例

## 7. 評価結果

K/cpを実際のポリセル方式ブロックに適用し、その配線結果を基に性能、配置方式、開発手法の評価を行った。

### 7.1 性能

K/cpと人手配置による配線結果の比較を表1に、K/cpによる配置とその配線結果(コンパクション前)を図8に示す。

表1の配線結果の比較項目からは、

表1 配線結果

ブロック	Aブロック		Bブロック	
下位セル数	233		278	
端子数	62		162	
グループ数	9		13	
配置方法	人手	K/cp	人手	K/cp
未結線区間	9	21	3	2
結線率(%)	98.1	95.6	99.5	99.7
論理総線長	127830	144544	-	-
物理総線長	139576	152725	-	-

人手配置の場合とほぼ同等の結果が得られたが、図8の配線結果を見るかぎり配線密度の高低が目立っている。これは、現システムに配線密度を考慮したルールがないための結果と思われる。

### 7.2 配置方式

従来の配置プログラムでは、通常、初期配置部、配置改善部に機能分割し、異なった評価関数により処理を行う方式を取っており、初期配置部では、各セル中心の評価関数に従ってセルを配置し、その後配置改善部で、その配置結果を基に配置セル全体の評価関数に従い配置改善を行っている。

しかしながら、配置問題等においては、大局的見地と局所見地との両面から解を決定する、いわば日本語的な解決法が必要であり、本来同時に判断し決定すべき処理を処理の都合上から分割したり、制御の複雑さから処理手順を一意に固定化してしまったりする数学的な問題解決法はそぐわない。

K/cpでは、各評価関数による矛盾を排除し、その場その場に適応した処理(配置セルの最適位置が重複した場合の各評価関数からくる移動セルの

決定等)が実現できるよう、従来の初期配置部・配置改善部の両方に相当する評価を同時に行う方式を取っている。

これは、エキスパートシステムが、複数の評価関数を同時に扱え、動的に変化する状況下でのデータパターンにあった処理が容易に表現できるためであり、これを従来手法で実現しようとするセルを配置しようとする度に評価関数に用いるすべてのテーブルのサーチ・更新が必要となり実行効率を著しく低下させることになる。

### 7.3 開発手法

K/cpの開発は、機能レベル(ルール)の作成を部分ごと試作・実験しその効果を確認しながら徐々に改良、詳細化していった。そのため、従来プログラムの様に作成が全て終了するまで不明確に近かった処理能力が早めに把握でき、かつ比較的容易に改良することができた。

また、エキスパートシステムの開発においては、従来手法では極当然の処理である前処理部(基本アルゴリズムの処理部分が容易に実現できる様、あらかじめ探索手法等を考慮して、ソート等により各種テーブル・グラフ等を事前に編集する処理)等の本来の配置機能とは直接関係しないデータ操作を必要とせず、配置機能の記述を行うことで実現できた。

プログラムを開発するにあたって機能記述のみをクラス・属性名等による比較的馴染み易い(テーブルの配列と比べれば)文法で行えることは、人間(筆者)にとって得意とするところであり、その分誤りも減少(従来のデータ操作を思えば天と地)し読み易いプログラムとなっている。

また、配置制約違反チェックの様なある時点で必ず行う処理等は、1度記述するだけで済み、従来手法のように

チェックルーチンを必要箇所すべてからCALLする等の煩わしさがなく、かつチェック漏れ等による問題はまったく起きなかった。これは、ルールの追加・変更を行った際も同様であり、レイアウトモデルの構成を把握することで、従来のモジュール間の関係やCALL箇所の検索・修正等から解放された。

ただ、ファイルの入出力処理の様なある決まりきったデータ処理や演算処理(エキスパートシステムでは関数が不十分)においては、従来手法の方が効率が高く、そのため、大量データ(メインメモリ中に納まらない)を扱う様な処理(複数ファイルを参照しながらの分割処理)においては従来手法に比べエキスパートシステムの方が方式上の工夫を必要とする。

### 8. おわりに

本稿では、エキスパートシステムのL S I C A Dへの適用性を評価する観点から構築したルールベース型のセル配置エキスパートシステムの方式、及び実データによる評価結果について報告した。

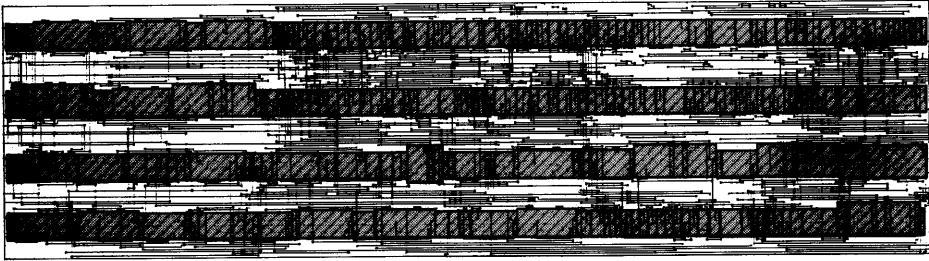
エキスパートシステムは、従来システムでは表現しづらかった大局的・局所的問題を同時に扱う様な問題解決に向いており、かつその記述方法は機能中心であり従来に比べよりシンプルで扱い易くなっている。

また、開発手法の面からは、概略機能の作成から詳細機能の作成へと徐々に開発・実験が進められることから問題点の早期発見・改良が比較的容易に行える効果があった。

なお、K/cpは、現在試行運用中であり、ルールの追加・改良を重ねている。今後は、さらに配置の基本設計である配置戦略問題へと発展させていく予定である。



A ブロック



B ブロック

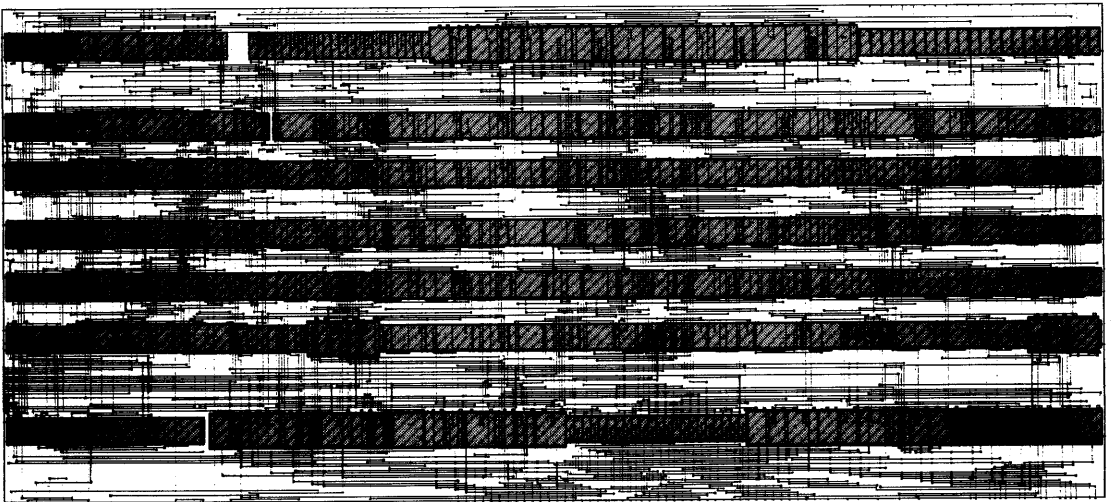


図 9 K/c p による配置 & 配線結果

【参考文献】

- [1] 浜崎他「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/c p) について」  
情処第32回全国大会 1986
- [2] 末永他「VLSI-CADシステム (IDEAS) における設計データの分散管理と制御について」  
情処第30回全国大会 1985
- [3] 「Information Processing - Graphical Kernel System (GKS) - Functional Description」  
ISO DIS 7942 1982
- [4] 山本他「VLSIレイアウトシステム (VILLA) 用自動配線プログラムについて」  
設計自動化研究会 資料24-3 1984