

# MAGICの使い方

1AEPM024 近 千秋

東海大学 大学院 工学研究科 清水研究室

MAGICはカリフォルニア州立大学バークレー校で開発されたVLSIマスキレイアウトCADです。この授業では、MAGICを使ってVLSIのマスキ設計を行ない、SPICEシミュレータを使って設計した回路の検証を行なっていきます。

## 1 使ってみよう

細かい説明をする前に、まずMAGICを起動していろいろと遊んでみましょう。MAGICはウインドウのメニューからでも立ち上がりますが、ここではターミナルから立ち上げて使用する方法で説明します。まず、ターミナルを1つ起動してください。そこで、

```
$ magic
```

と入力してください。ちなみに”\$”はプロンプトなので打ち込む必要はありません。ターミナルの他にもう1つデザイン入力用のウインドウが立ち上がるはずですが、MAGICではコマンド入力画面とデザイン入力画面の2つのウインドウを使います。ウインドウを図1のように配置するといろいろと便利です。

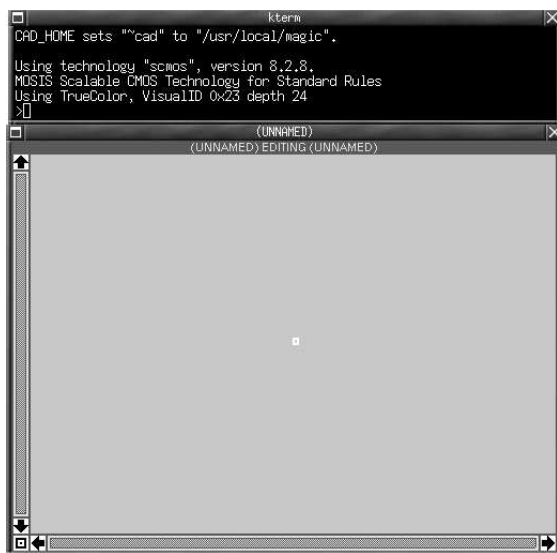


図 1: ウィンドウ配置



図 2: 初期画面

立ち上げると図2のように、何も無いところに小さなボックスがあるような画面になっています。それでは、とりあえず何か描いてみましょう。デザイン入力画面で1回左クリックしてください。小さなボックスがクリックした場所まで移動します。次に四角から右上にマウスポインタを移動し、右クリックをします。図3のようにボックスが大きくなります。そこで今度はコマンド入力画面で、

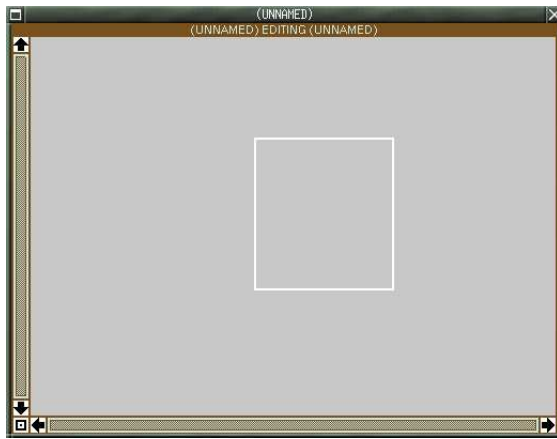


図 3: ボックスを作る

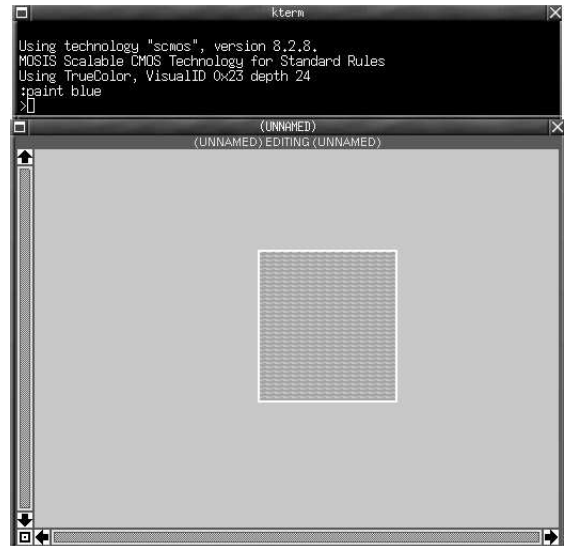


図 4: paint コマンドの実行

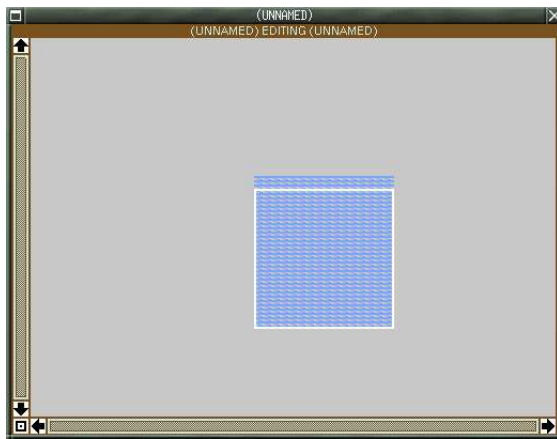


図 5: 矢印ポインタで選択

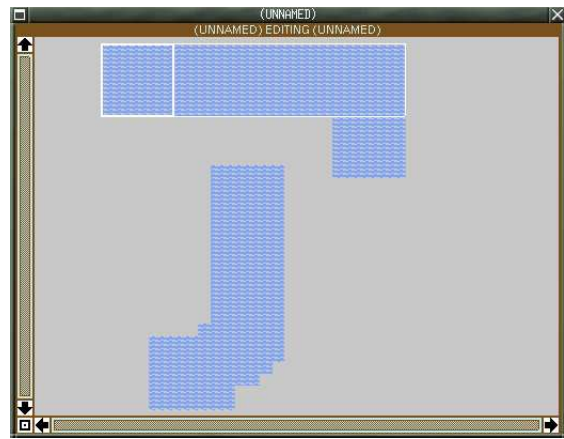


図 6: 右クリックで伸びる

:paint blue

と打ち込んでみてください。画面上のボックス内が青く塗りつぶされます。

次に、space キーを 1 回押してみます。画面上のマウスポインタが十字マークから矢印に変わるはずですが、この状態で先ほど描いた青い四角をクリックしてください。青い領域の一部が正方形で囲まれるはずですが、そこで、マウスポインタを画面上のほかの場所に移し、右クリックをしてみてください。図 6 のように青い領域が、ポインタの位置まで伸びるはずですが、ここで、MAGIC では斜めへの配線はできないので、斜め方向にポインタを移動した場合は、縦か横にマウスポインタがある位置と同座標まで伸びてきます。マウスポインタの形は space キーを押すごとに 4 種類に変化します。とりあえず今は、上記の 2 つのものしか使いません。それでは、この手順でいろいろ描いてみてください。

MAGIC による設計の基本はこの操作です。さて、一通り使ってみたら MAGIC を終了させましょう。ウインドウ右上の close ボタンを押すなどという事をしてはいけません。コマンド画面で、

:quit

と入力してください。データが失われてもいいかというメッセージが出てくるので、ここでは y を入力して MAGIC を終了させてください。

表 1: 領域の名前と意味

名前	その領域の意味
ndiff, green	N 型拡散領域
pdiff, brown	P 型拡散領域
poly, red	ポリシリコン
m1, blue	アルミ第 1 層
m2, purple	アルミ第 2 層
pwell	P 型ウェル
nwell	N 型ウェル
pc	ポリシリコンコンタクト
ndc	N 拡散コンタクト
pdc	P 拡散コンタクト
via	アルミコンタクト
psc	P ウェルコンタクト
nsc	N ウェルコンタクト

## 2 MAGIC による設計

前章で、MAGIC による設計の基本中の基本を覚えました。しかし、当然ながらこれだけで設計できるわけではありません。この章では、MAGIC でレイアウト設計をするために必要なコマンドを覚えていきます。はじめに重要なことを 2 つ挙げておきます。

- コマンドの前には必ず ":" ( コロン ) を打つ
- コマンドを打つときには、マウスポインタをデザイン入力画面上に持っていく コマンド入力画面ではない

以上のことを前提に説明していきます。

### 2.1 paint コマンドと erase コマンド

第 1 章で行なったように、設計の基本はボックスで場所を指定して、そこに色を塗ることです。MAGIC でレイアウトに色を塗るとき表 1 のような意味があります。

つまり、MAGIC で塗った色と半導体上の領域は 1 対 1 で対応します。ボックスで指定した場所に色を塗るには paint コマンドを使います。

```
:paint layers
```

*layers* には、表 1 の左側に示した領域の名前を入力します。領域の消去を行なうには erase コマンドを使います。

```
:erase layers
```

*layers* には、消したい領域の名前を入力します。領域名を指定しなかった場合、ボックスで指定した場所が全て消えます。

MAGIC でコンタクトを掘ったときには、コンタクトとその周辺に必要な階層記述を含んだ領域が作成されます。コンタクト領域がコンタクトホールのみを表しているのではないことに注意してください。

表 2: 選択領域への操作

コマンド	動作
:delete	選択領域の削除
:move	選択領域の移動 $q, w, e, r, t$ を用いる
:stretch	選択領域の変形 $Q, W, E, R, T$ を用いる
:copy	選択領域のコピー
:upside-down	上下反転
:sideways	左右反転
:clockwise	回転

## 2.2 select コマンドと操作

設計中の回路の修正には、移動、変形、コピーなどの操作を加える必要があります。修正を加えたい個所の選択には select コマンドを使います。まず、修正を加えたい個所をボックスで指定して以下のコマンドを入力します。

```
:select
```

ボックスの移動を行わずに再び select コマンドを実行すると、選択領域に接続されている選択領域と同一色の領域全体に選択範囲を広げ、更にもう 1 回実行すると電氣的に接続されている領域全域に選択範囲を広げます。ボックスを移動すると選択結果はクリアされます。選択を解除するには次のコマンドを入力します。

```
:select clear
```

select コマンドで選択した領域には、表 2 の操作が可能です。

変形は、電氣的な接続を保って変形を行ないますが、斜め方向への変形はできず、場合によっては縦横方向への変形でも電氣的接続を保つことが不可能になります。

## 2.3 grid コマンド

マスクレイアウト設計の際は、デザインルールを考えて設計を行なう必要があります。grid コマンドを使うことで図 7 のようにデザイン入力画面にグリッドが表示されるので、これを基準にデザインルールを満たすことができるように設計を行ないます。

```
:grid spacing
```

spacing は、グリッドの幅 (整数値) を指定します。

## 2.4 画面表示コマンド

デザイン画面の表示を変えるコマンドがいくつかあります。デザイン入力画面の比率を変えるには zoom コマンドを使います。

```
:zoom factor
```

factor には倍率を指定します。

findbox コマンドは、ボックスが画面中央にくるように画面を移動させます。

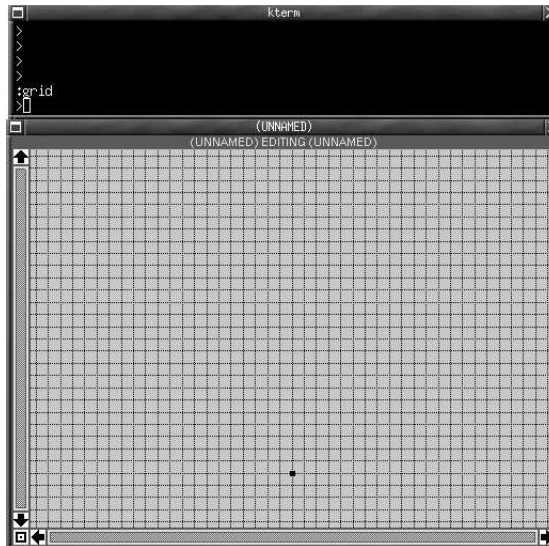


図 7: grid コマンドの実行

```
:findbox
```

zoom オプションを付けるとそのボックスがちょうど入るように画面を移動します。

```
:findbox zoom
```

view コマンドは設計中のデザイン全体が画面に収まるように画面を調整します。

```
:view
```

box コマンドは、ボックスの位置と大きさの情報を出力します。

```
:box
```

## 2.5 undo コマンドと redo コマンド

設計中に間違えてコマンドを打ってしまったり、デザインを変更前の状態に戻したい場合があります。このようにするとき undo コマンドと redo コマンドを使います。

```
:undo
```

```
:redo
```

undo コマンドは直前の変更を無効にします。間違えてコマンドを打ってしまった場合、undo コマンドを実行すれば間違ったコマンドを打つ前の状態に戻ります。redo コマンドは、undo コマンドで前の状態に戻ったとき、無効にした変更と、同様の変更を行ないたい場合に使います。つまり、あるコマンドでデザインを A から B に変えたとき、undo コマンドを実行すると A に戻り、更に redo コマンドを使うと再び B になります。

## 2.6 label コマンドとラベル名

設計の終了後、シミュレーションを行なうために各端子に名前をつける必要があります。この名前をラベルといいます。ラベルをつけるには、label コマンドを使います。

図 8 に label コマンドの実行例を示します。まず、デザイン入力画面でラベルをつけたい端子にボックスを持っていきます。ラベルはそのボックスで指定された領域全てに有効であるので、複数の領域が重なっているような場所に付けるべきではありません。また、ラベルを付けるときにはボックスをなるべく小さくするべきです。左クリックの後、同じ場所で右クリックをすると、ボックスは小さな十字になります。ラベルをつけるときはこの十字

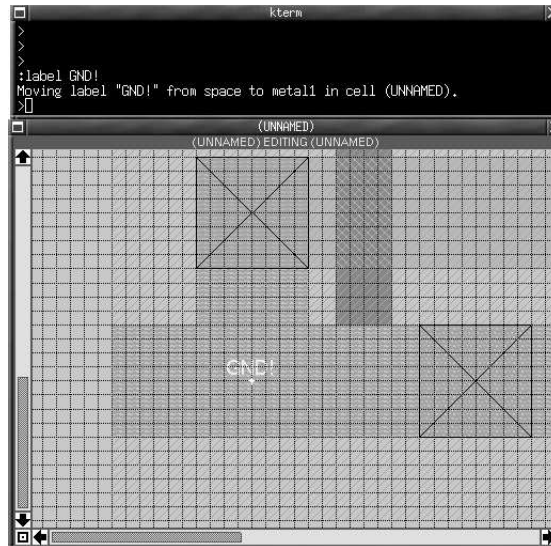


図 8: label コマンドの実行

で十分です。

ラベルをつけたい端子の指定ができれば、label コマンドを打ちます。

```
:label name
```

*name* には、端子名を入力します。端子名にはアルファベット、数字などを用います。このとき決まりとして、電源には "Vdd!" を、GND には "GND!" というラベルを付けなければいけません。"! " が最後についているラベルは、それが大域ラベルであることを表しています。大域ラベルにすると、同じ名前の端子であれば電氣的に接続されることになります。

## 2.7 save コマンドと writeall コマンド

設計したレイアウトは、save コマンドで保存します。

```
:save name
```

*name* には、ファイル名を入力します。ファイルが存在しない場合にはそのファイルを作成し、存在する場合には動作の確認をします。"y" を入力すれば上書きされます。writeall コマンドは save コマンドでファイルが存在する場合と同様の働きをします。一度セーブしたファイルは

```
$ magic name
```

で開くことができます。

## 3 マクロの利用

さて、ここまで考えて考えるのは "打つコマンドが長い" という事だと思います。そこでコマンドの代わりにマクロを利用します。マクロはコマンドを打って実行する動作と同等の働きをします。マクロとコマンドの対応を表 4 に示します。また、

```
:macro
```

というコマンドを打つことでマクロを参照できます。マクロを実行するにはマウスポインタをデザイン入力画面上位置いた状態で、実行したいマクロに対応するキーを押すだけです。例えば、

```
:paint blue
```

を実行したい場合 F5 キーを押せば、同等の働きを行なえます。

## 4 マウスの利用

ここまではボックスを作って設計する場合について説明しました。この章では、マウスを利用して設計を進める方法を説明します。

マウスポインタの形は space を押すごとに、十字、矢印、四角、手の 4 種類に変化します。ボックスを作って設計を進める場合はマウスポインタの形を十字にしておきます。ここでは、マウスポインタが矢印の場合の操作を説明します。

### 4.1 ワイヤリング

マウスポインタが矢印であるとき画面上の領域を左クリックすると、その領域がボックスで指定されます。これは、配線の領域と幅の選択に使われています。

配線したい領域と幅を指定したら、配線を行ないたい場所にマウスポインタを移動し、そこで右クリックをします。選択した領域が、選択した幅で右クリックした場所まで延長されます。斜め方向に延長を行なった場合は、長く配線される方向にのみ延長されます。

### 4.2 コンタクト

階層間の接続を行なうコンタクトを簡単に配置することができます。コンタクトを配置したい場所を左クリックで指定し、マウスの中央ボタンをクリックします。2 ボタンマウスの場合は、左右同時押しで同等の働きをします。ただし、同じ場所に複数のコンタクトができる可能性がある場合、コマンドを使ってコンタクトを取るほうがよいでしょう。

## 5 設計ルール違反

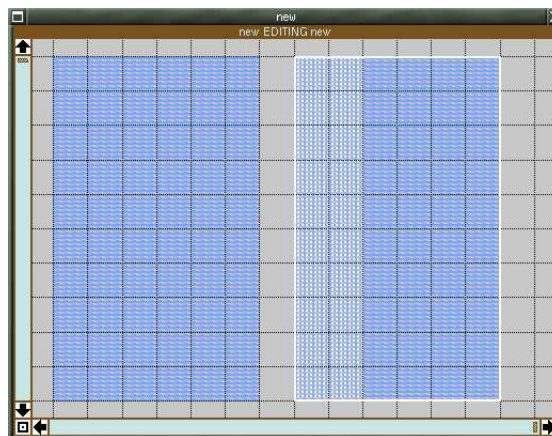


図 9: 白い点が表示される

MAGICは設計中のレイアウトを常にチェックし、設計ルールの違反があった場合に、図9のように違反部分に白い点を表示して警告します。設計ルール違反の原因がわからない場合は、白い点が表示されている部分をボックスで指定し

```
:drc why
```

と、コマンドを打つことで設計ルール違反の原因がコマンド入力画面に表示されます。

## 6 ネットリストの抽出

設計ルールを満たしているレイアウトからは、ネットリストを抽出することができます。このネットリストを使って回路のシミュレーションを行います。

```
:extract
```

これで、現在 MAGIC を実行中のディレクトリに、.ext の拡張子がついたファイルが出力されます。このファイルを SPICE3 のネットリストに変換するにはターミナル上で

```
$ ext2spice -f spice3 file_name
```

と、コマンドを打ちます。同じディレクトリに、.spice の拡張子がついたファイルが出力されます。このファイルを使って SPICE のシミュレーションファイルをつくります。このファイルは、単にトランジスタの接続関係のみしか出力されていないので、シミュレーションを行なう際には MOS モデルと、入力電圧と解析方法の記述を付加する必要があります。端子名には MAGIC でつけたラベル名が反映されているので、つけたラベル名を元に SPICE のシミュレーション記述をします。

## 7 階層設計

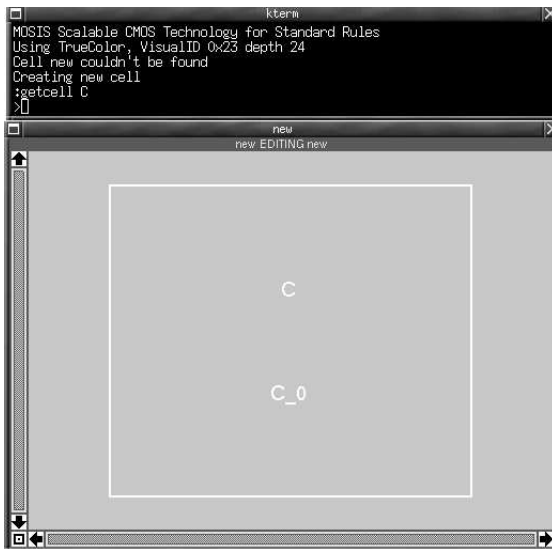


図 10: サブセルを呼び出す

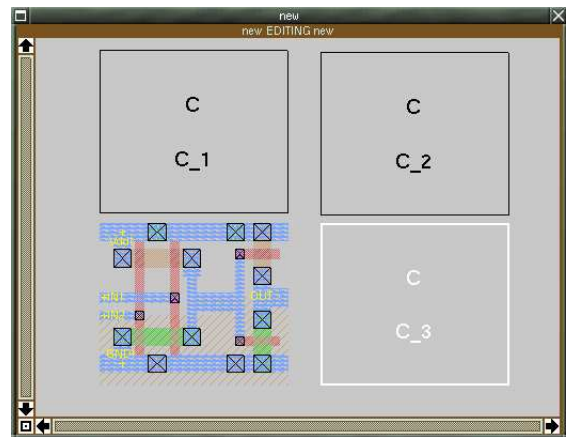


図 11: C をたくさん呼び出す

レイアウトの規模が大きくなってくると、階層設計を導入する必要があります。階層設計に関連するコマンドは表3のコマンドです。

階層設計とは、以前に設計したセル A を、現在設計中のセル B でサブセルとして参照することで、その部分の設計を済ませようといったものです。設計中のセル B にセル A への参照を挿入したいときには、getcell コマンドを使います。レイアウトをコピーして貼り付ける、つまり設計中のセル B にセル A のレイアウトを挿入したいと



表 3: 階層設計の際使うコマンド

コマンド	動作
:expand	選択されたセルのレイアウトを表示する
:unexpand	選択されたセルのインスタンス名を表示する
:getcell <i>name</i>	<i>name</i> で指定したセルのインスタンスを作成する
:dump <i>name</i>	<i>name</i> で指定したセルのレイアウトを貼り付ける
:identify <i>newid</i>	セルの識別子を変更する
:erase subcell	ボックス内のサブセルを削除する
:select cell	ボックス内のサブセルを選択する

きには、dump コマンドを使います。

ここでセルの参照というのは、セル A のレイアウトをコピーして貼り付けるということではなく、セル B 中のセル A の部分は、セル A の保存ファイルから情報を読み出すということです。つまり、参照しているセル A のレイアウトの実体は設計中のセル B のレイアウトにはありません。サブセルとして参照しているセルは、あくまでも参照なので、設計しているセルから変更することはできません。不便に感じるかもしれませんが、実際には階層化したほうが便利な場合があります。図 12 において、copy は dump によって読み込んだセル A のレイアウト、ref は getcell によって呼び出したセル A への参照とします。セル B の設計後、セル A のレイアウトに変更が必要になったとします。このとき、ref はセル A のレイアウトを変更すればセル B 上でもその変更が有効になりますが、copy はセル B 上での変更を行わなければなりません。いくつかのセルを組み合わせると大きなレイアウトを設計したときに、組み合わせたセルの 1 つが間違っただけで設計を行なっていて変更が必要になった場合、getcell で呼び出しておけば、レイアウトの変更を最小限で済ませることが出来ます。

注意が必要なのは、設計中のセルと同じ名前のセルを呼び出すことはできないということです。これはつまり、自分自身を呼び出していることとなります。自分自身を呼び出すということは、呼び出している自分もまた自分を呼び出すこととなり、結局無限ループに陥ります。

この章の考え方は少々複雑ですが、回路設計を行なう上で非常に重要なことです。将来回路設計を行なっていたいと思っている人は、この考えをしっかりと頭に入れておいてください。

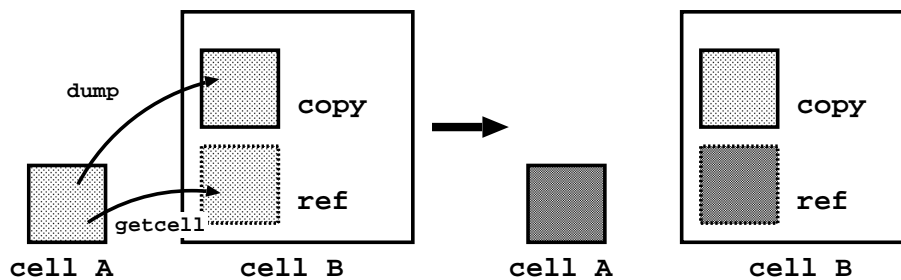


図 12: getcell と dump の違い

## 8 設計のための tips

- セルとセルを接続する場合にはメタルを使うこと。ポリシリコンを使用すると回路の遅延が大きくなります。
- コンタクトはなるべく少なくした方が回路は高速になります。横方向への配線にはメタル 1、縦方向の配線にはメタル 2 といったように決めてから配線していくと分かり易いと思います。

- コマンド表示画面は必ず見えるようにしておきます。重要なメッセージは全てここに表示されます。
- セルの入出力端子は、入力が入力側、出力は出力側といったように、1つの辺にまとめておいた方が、階層化するとき便利です。
- MAGICの複数起動は避けるべきです。システムが不安定になり、マシンがフリーズしたような状態になります。
- 間違ったコマンドを入力したときには、すかさず undo コマンドを打ちます。
- 階層化したレイアウトは最上位の階層にできるだけ多くのラベルをつけると、回路の中間点での値を出力することができ、シミュレーションでの確認が楽になります。

表 4: MAGIC マクロ一覧

マクロキー	対応するコマンド	動作
a	:select visible	ボックスで指定した部分を全て選択
A	:select more visible	ボックスで指定した部分を全て追加選択
^A	:select less visible	ボックスで指定した部分を選択から除外
b	:box	ボックスの情報を得る
c	:copy	選択したセルをコピー
f	:sideways	左右反転
F	:upsidedown	上下反転
g	:grid	グリッドの表示
i	:select cell	ボックスで指定したセルを選択
I	:select cell	ボックスで指定したセルを追加選択
l	:label	ラベル 続けてラベル名を入力
p	:paint	ペイント 続けて領域名を入力
r	:clockwise	90 度回転
R	:clockwise 270	270 回転
^R	:clockwise 180	180 回転
s	:select	ボックスで指定した部分の最大領域を選択
S	:select more	ボックスで指定した部分の最大領域を追加選択
^S	:select less	ボックスで指定した部分の最大領域を選択から除外
u	:undo	コマンド実行前の状態に戻す
U	:redo	undo する前の状態に戻す
v	:view	全セルが画面に収まるように調整
w	:writeall	セルをセーブ
W	:writeall force	セルを強制的にセーブ
x	:expand	セルの中身を表示する
X	:unexpand	セルの名前とインスタンス名を表示する
z	:zoom .5	2 倍ズーム
Z	:zoom 2	1/2 倍ズーム
^Z	:findbox zoom	ボックスがちょうど入るように画面を調整
?	:drc why	設計ルール違反の説明
,	:select clear	選択の解除
F1	:paint ndiff	
F2	:paint pdiff	
F3	:paint poly	
F4	:paint poly2	
F5	:paint m1	
F6	:paint m2	
F7	:paint m3	
F8	:paint m4	
F9	:paint ndc	
F10	:paint pdc	
F11	:paint pc	
F12	:paint via	
Number Key		各方向へ move
Number + Shift		各方向へ stretch
Arrow Key		各方向へスクロール