

# チュートリアル 1 : WaveFormer Pro(TestBencher Pro)チュートリアル

本チュートリアルは、WaveFormer Pro (TestBencher Pro)を利用しながら、どのようにデジタル回路のタイミング・エラーを発見するかについて解説します。

また、WaveFormer Pro の遅延、セットアップ、クロックおよびパーツ・ライブラリを使いながらのタイミング・ダイアグラムの描き方、編集、計測そしてクイック・アクセス・ボタンについても解説します。

## はじめに

まず、図1に示す回路のタイミング・ダイアグラムを描いてみましょう。この回路はクロック信号の周波数を半分に分周します。D フリップフロップおよびインバータとも、信号の伝播に遅れを生じます。もし、Dinput 信号の伝播があまりにも遅いと data-to-clock のセットアップ時間が保持されなくなります。このことはフリップフロップがクロック信号に同期して動作しなくなるばかりか、メタ・ステーブル状態に陥る危険性があることを示します。

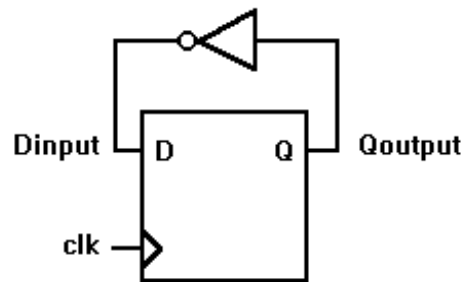


図1 チュートリアル回路

チュートリアル回路のパラメータは以下のとおり：

clk = 20MHz (50ns period)

D flip-flop (74ALS74):

tpCKtoQ = Clock to Q propagation time = 5-18ns

tsDtoCK = D to rising edge Clock setup time = 15ns minimum

Inverter (74ALS04):

tpINV = inverter propagation time = 3-11ns

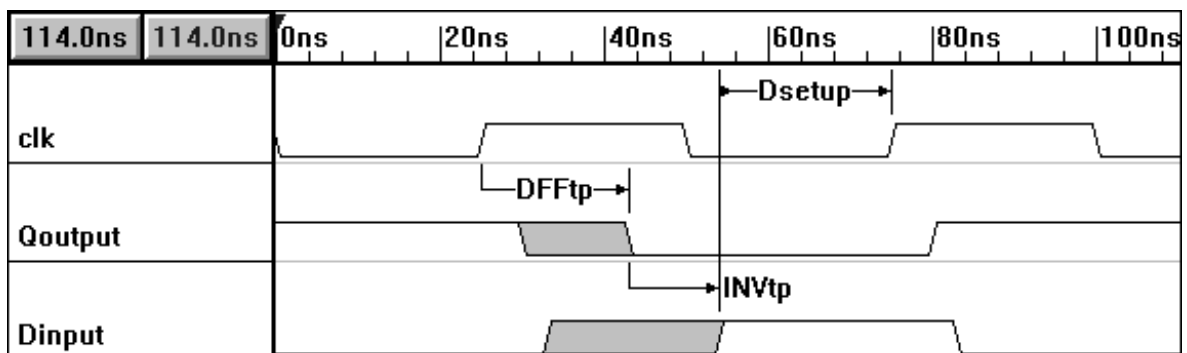


図2 完成したタイミング・ダイアグラム

(本図は WaveFormer の画面キャプチャ機能を使って取り込んだもの)

図2はチュートリアル回路の動作をあらわすタイミング・ダイアグラムです。たぶん、タイミング・ダイアグラムの灰色であらわされた部分に注目されることと思いますが、これはパーツのもつ遅延が最小遅延時間または最大遅延時間であるときの値の変化を表している、ということです。灰色の部分は、その期間中のいずれかに信号の変化が起こりうるという不確かな期間をあらわしています。もしあなたが最小遅延/最大遅延を同時に計算できないようなロー・エンドのシミュレータを使っている場合、WaveFormer Pro のこのような機能に驚かれることでしょう。このような豊かな表現によって回路の有効な動作範囲をすべて把握できるのです。WaveFormer Pro を使えば、特性のばらつきが大きい部品を使いながらの製品製造にも十分対応できることでしょう。

## 基本時間単位の設定

新規プロジェクトの作成にあたり，最初に基本時間単位の設定を行います．基本時間単位とは WaveFormer Pro が表示する最小の時間幅のことで，作成したタイミング・ダイアグラム上に表示する時間幅を規定します．すべての時刻情報はこの基本時間単位をもとに内部に保持されます．

図1に示したチュートリアル回路ではゲートの信号伝播時間はナノ秒であらわされ，クロック信号は50[ns]の周期を持つこととなります．なお，基本時間単位は作業のしやすい単位に設定するとよいでしょう．それでは基本時間単位の設定例を以下に示します．

[Options]-[Base Time Unit]メニューを選択すると基本時間単位を設定するラジオ・ボタンを含んだダイアログ・ボックスが表示されます．なお，他のオプションは現在あるパラメータや信号が，基本時間単位の変更によりどのように変化するかを制御するためのものです(信号などが何も定義されていないときはこのパラメータは無効)．詳細についてはオンライン・ヘルプを参照してください．基本時間単位としてナノ秒を選択する場合，nsのラジオ・ボタンをクリックします．OKボタンをクリックしてダイアログ・ボックスを閉じます．

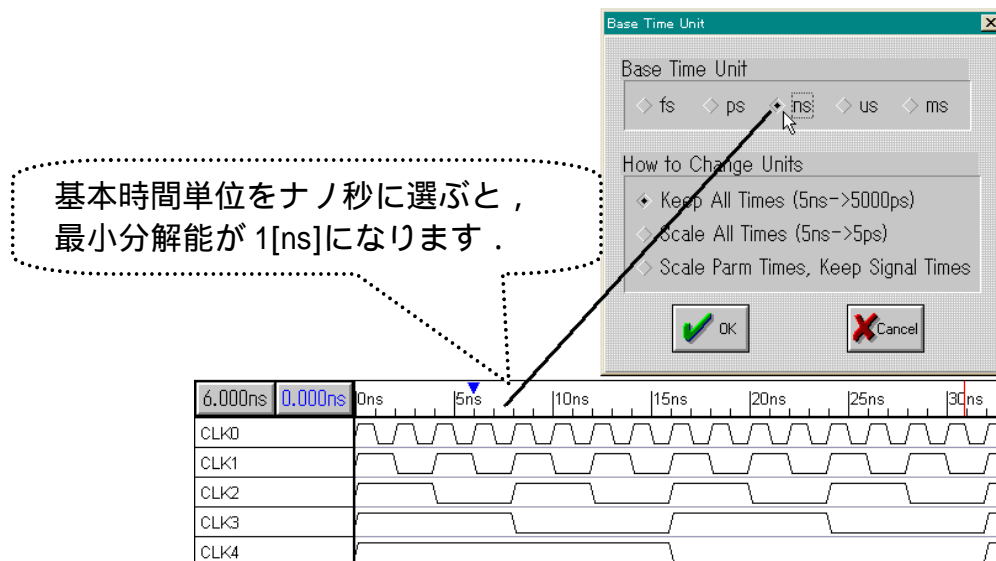


図3 基本時間単位の設定例

## 表示時間単位の設定

つぎに表示時間単位を設定します．表示時間単位は入力された時間および WaveFormer Pro が表示する時間の単位です．表示時間単位は，よく使う単位に設定するとよいでしょう．

表示時間単位の設定例を以下に示します．

[Options]-[Display Unit]メニューを選択すると表示時間単位を設定するサブ・メニューが現れます．ここで，チェックのついた時間が現在の表示時間です(デフォルトはナノ秒)．表示時間単位としてマイクロ秒を選択する場合，usを選択します．

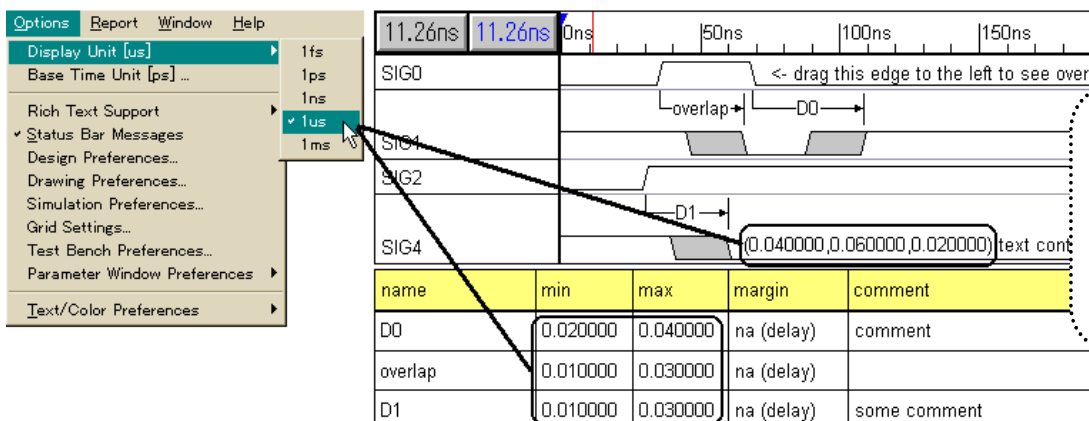


図4 表示時間単位の設定例

## クロック信号の追加

以下に示す手順にしたがってクロック信号を追加してみましょう。信号名を clk とし、周期を 50[ns] (20[MHz])とします。

ダイアグラム・ウィンドウ上の左上にある Add Clock ボタン上でマウスを左クリックすると Edit Clock Parameter ダイアログ・ボックスが表示されます(図5)。

Label の項目に “ clk ” と入力します。

Period の項目に 50 と入力します。ここで，“ MHz/ns ” のラジオ・ボタンが選択されているかを確認してください。なお，Freq の項目は(周波数をあらわす)他の項目への入力を行うことにより，入力された周期にあわせて自動的に更新されます。

Invert チェック・ボックスにチェックを入れます。通常クロック信号は時刻 0[s]において high となりますが，このチェック・ボックスをチェックしておくことにより時刻 0[s]で low となります。

OK ボタンを左クリックしてエディット・ボックスを閉じます。

なお，クロック信号に関する詳細な情報(式によるクロック信号の自動生成，クロック信号のグリッド表示など)については，オンライン・ヘルプの第 2 章を参照してください。

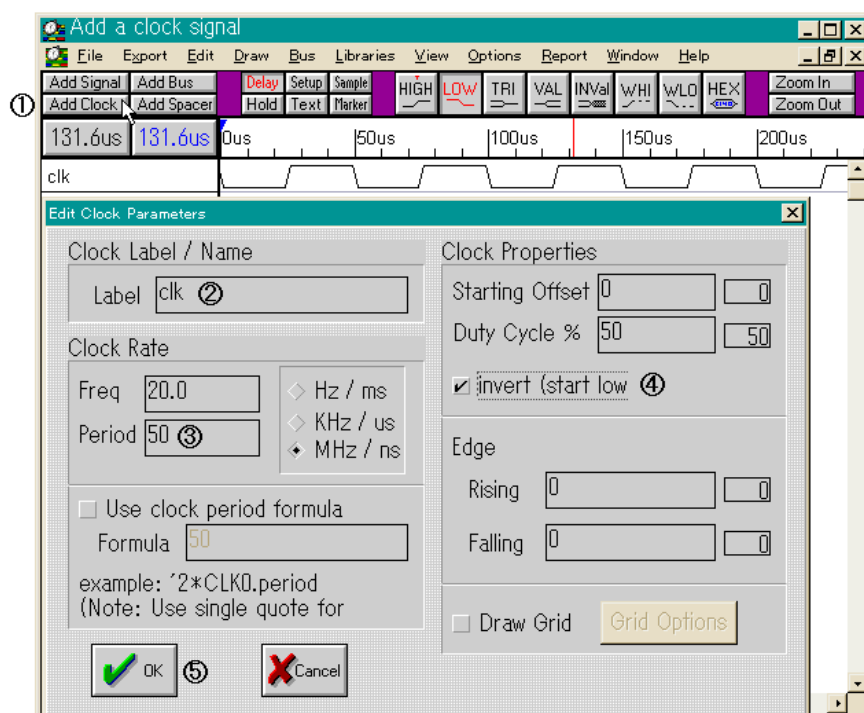


図5 クロック信号の追加例

### クロック信号の属性変更

クロック信号の属性を変更したい場合は以下のとおり操作してください(図6)。

ダイアグラム・ウィンドウ内の該当するクロック波形セグメントを左ダブル・クリックしてください。Edit Clock Parameter ダイアログ・ボックスが表示されるので，必要な箇所を修正します。

このほか，クロック信号名を左ダブル・クリックして開く Signal Properties ダイアログ・ボックス内の properties ボタンをクリックしても Edit Clock Parameter ダイアログ・ボックスを開けます。

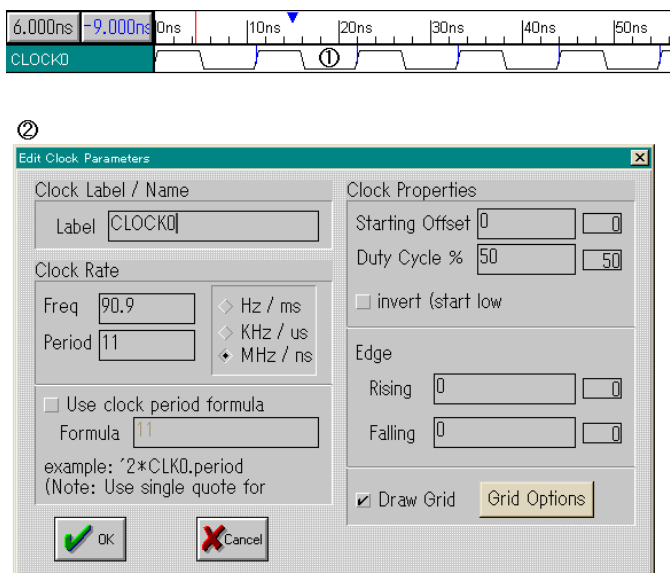
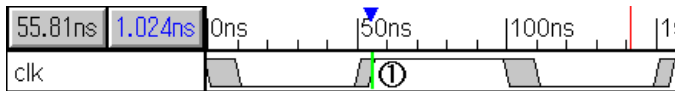


図6 クロック信号属性の変更手順



**クロック・エッジの時間幅の表示**  
 クロック信号のエッジ幅を確認したい場合は以下のとおり操作してください(図7)。

ダイアグラム・ウィンドウ内の該当するクロック波形のエッジを左ダブル・クリックしてください。エッジ・プロパティ・ダイアログ・ボックスが表示され、色付き表示されたエッジの時間幅情報が表示されます。

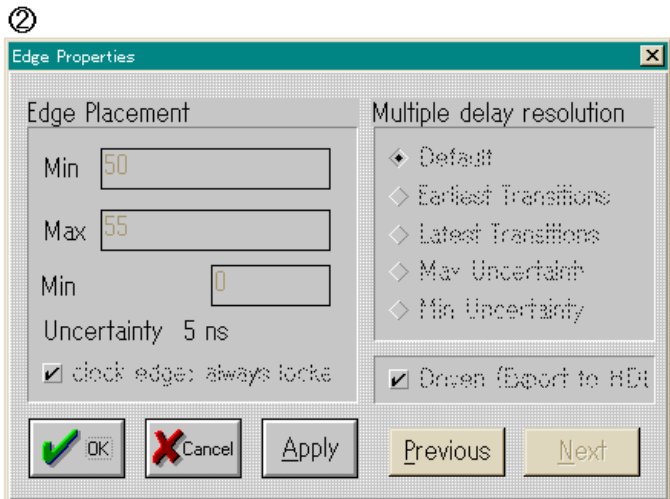


図7 クロック・エッジの時間幅の表示

## 信号の追加

つぎに二つの信号を追加してみましょう(図8)。これらの名前をそれぞれ"Qoutput"と"Dinput"とします。

信号を二つ追加するために、ダイアグラム・ウィンドウ内左上部の Add Signal ボタンを二回クリックします。ダイアグラム・ウィンドウ内に追加された二つの信号には SIG0 と SIG1 といったようなデフォルトの名前がつけられています。

信号名 SIG0 をダブル・クリックして Signals Properties ダイアログ・ボックスを開きます。

Name edit の項目に "Qoutput" と入力します(この段階でダイアログ・ボックスを閉じないでください)。

つぎにダイアログ・ボックス内の Next Sig ボタンをクリックするか ALT-N キーを押して次の信号に移ってください。信号名 SIG1 が Name edit の項目に表示されます。

name edit の SIG1 を "Dinput" に書き換えて OK ボタンをクリックしてダイアログを閉じます。

もし何らかの原因で Signals Properties ダイアログ・ボックスを閉じてしまった場合、ダイアグラム・ウィンドウ内の該当する信号名をダブル・クリックすれば再度開くことができます。

また、Next Sig や Prev Sig ボタンをクリックして信号を前後に選択できます。

なお、Boolean Equation や Simulation の機能についてはチュートリアル2を参照してください。

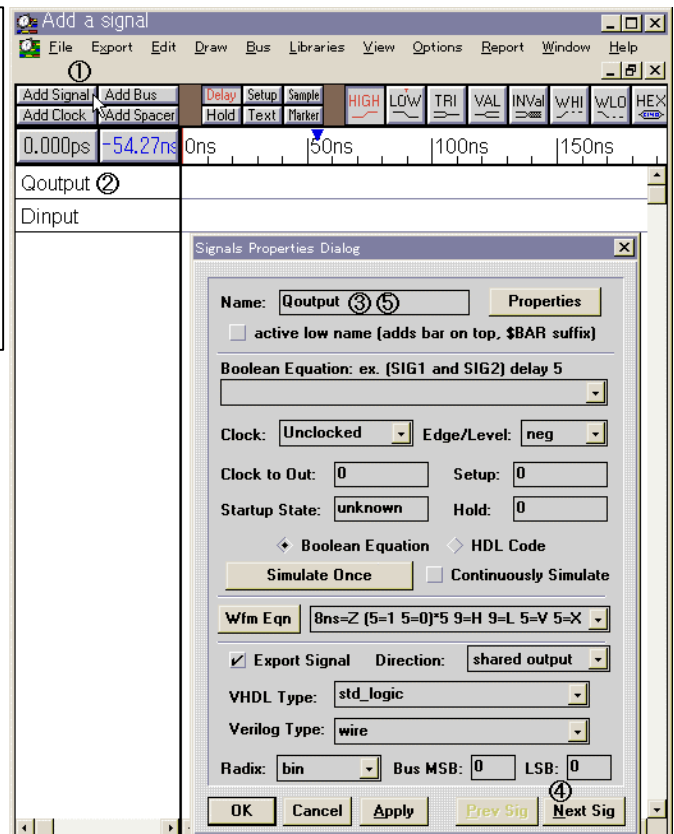


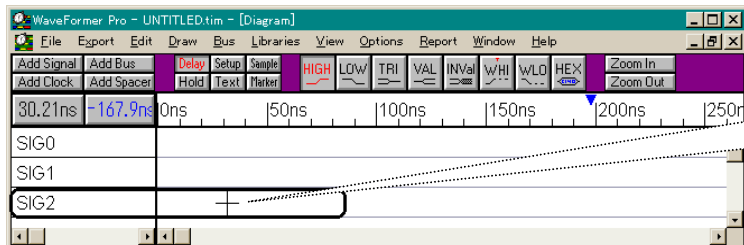
図8 信号の追加手順

## 信号波形の描画

以下の手順にしたがって任意の波形を描く練習をしましょう。

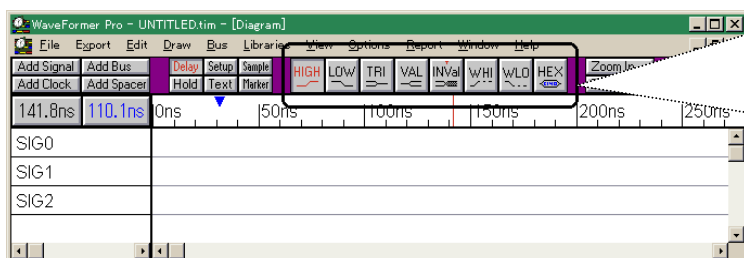
マウス・カーソルをダイアグラム・ウィンドウ内の信号名と同じ高さに置きます(図9)。

マウスを左クリックして波形を描きます。このとき描かれる波形の種類は(high, low, 3state, バスなど)は State ボタンで選択します(図10)。また、直前に描かれた信号の端から現在のマウス・カーソルの位置まで State ボタンで選択した波形が描かれます(図11)。



SIG2 の信号を定義する場合、SIG2 のある枠内にマウス・カーソルを配置します。

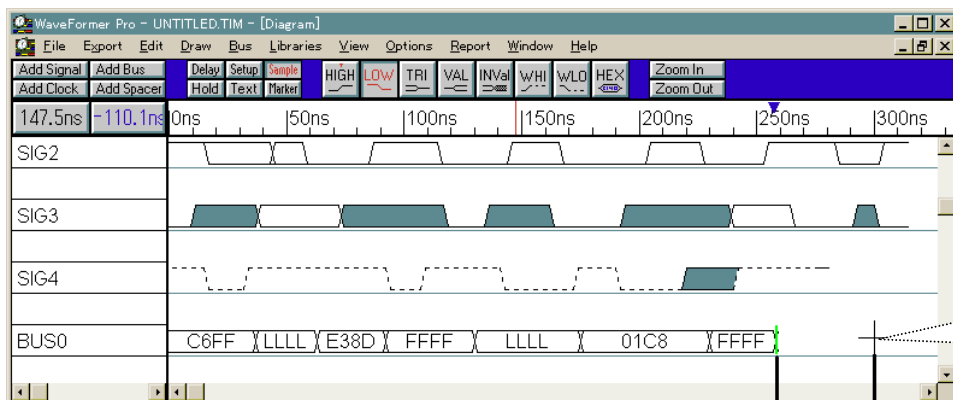
図9 マウス・カーソルの位置



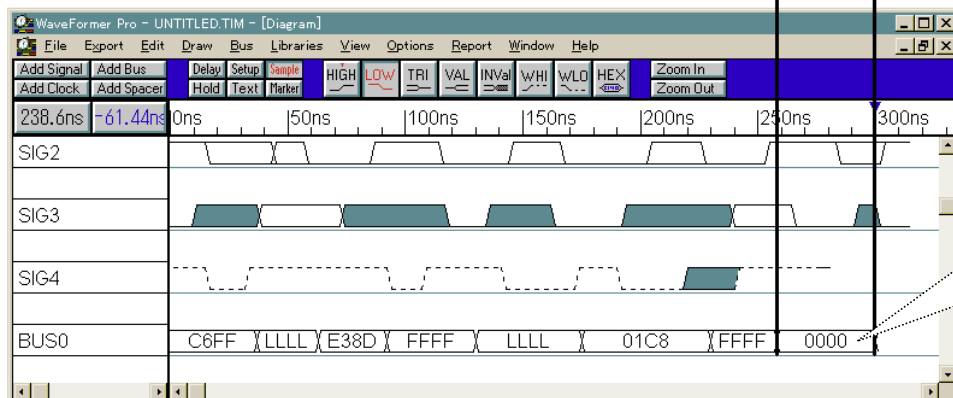
State ボタン。内容は以下のとおりです。

- HIGH：次に描かれる波形は high
- LOW：次に描かれる波形は low
- TRI：次に描かれる波形は 3state
- VAL：次に描かれる波形は有効
- INVal：次に描かれる波形は無効
- WHI：次に描かれる波形は弱い high
- WLO：次に描かれる波形は弱い low
- HEX：次に描かれる波形は数値(ベクタ)

図10 State ボタンの種類



LOW State を選択してこの位置でマウスをクリックすると....



直前の波形(16進 FFFF)の端からマウスを置いたところまで LOW(16進 0000)が描かれる

図11 波形描画の動作

なお、state は直前に選択されたものと現在選択中の二つの間を自動的にトグルします。この機能により、たとえば high low を繰り返すような波形を描く場合、はじめに high を選択して high 波形を描いた後、low



を選択して low 波形を描きます。以降，state ボタンをその都度操作しなくても low 波形を描くとつぎの state は自動的に high に切り替わります(図 12)。

なお，自動的に切り替わる state はそのボタン上に赤い印がつくのでどのような波形が描かれるかを容易に確認できます(図 12)。また，3 ボタン・マウスを使っている場合，中央のボタンをクリックすることにより，つぎに移る state を切り替えることもできます(図 12)。

state をいろいろ切り替えて波形をたくさん描いてみます。どのような波形が描けましたか？

State ボタンが右図のような状態のとき，カレント state が LOW，つぎの state が HIGH なので，high low high low high...と自動的に繰り返します。

なお，HIGH ボタン上部には赤印がつけられています。また，3 ボタン・マウスの中央ボタンをクリックすることにより赤印のつくボタンを HIGH LOW HIGH...と切り替えられます。



図 12 State ボタンと波形描画の関係

## 信号波形の編集

既存波形の編集作業には大きく四つの種類があります。(注：これらの編集方法はクロック信号の編集には使えません)。もっともよく行われる作業は信号の値の変化時刻を調整することです。そのほかの三つの作業内容はすべて波形セグメント上で行うものです。

波形セグメントは変更，削除が行え，新規波形セグメントの既存波形セグメント内への挿入も可能で，以下の方法にしたがって操作します。

### 1. 信号値変化点の移動：

信号値が変化する点で左マウス・ボタンを使って希望する点までドラッグします。変化点で左マウス・ボタンをクリックすると緑のバーが現れるので，このバーが希望の位置まで移動するようマウスをドラッグします。希望の位置までドラッグしたらマウス・ボタンを離します。すると変化点の移動が完了します(図 13)。

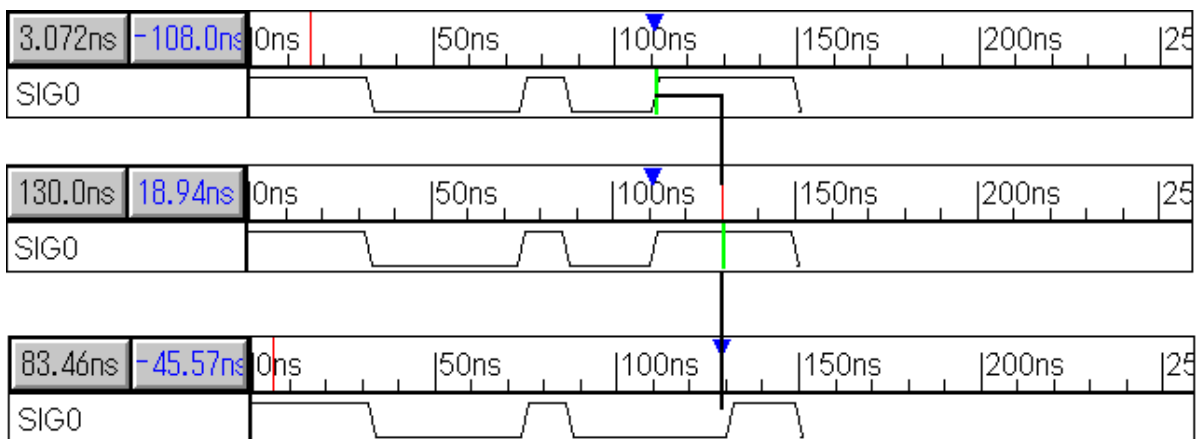


図 13 信号値変化点の移動

### 2. 波形セグメントの種類の変更：

波形セグメントとは隣り合う二つの信号値変化点間の波形のことですが(図 14)，この属性を変更するには次のように作業を行います。編集したい波形セグメント内で左マウス・クリックします。

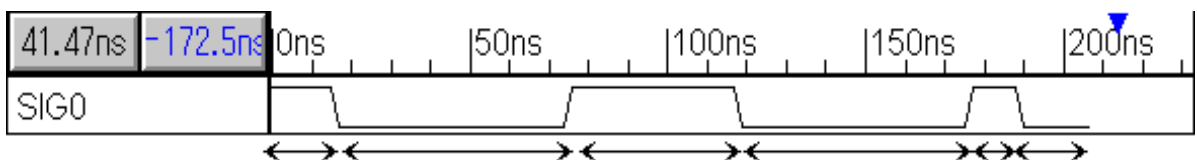


図 14 セグメントとは

選択された波形セグメントは四角の枠で囲まれます。もし幅の狭い波形セグメントを選択する場合、波形のエッジが選択されてしまう場合があります。このような時はダイアグラム・ウィンドウ右上部にある Zoom In ボタンをクリックして拡大表示すれば選択しやすくなります。

波形セグメントを選択したら、希望する種類の state ボタンをクリックすれば変更は完了です(図 15)。

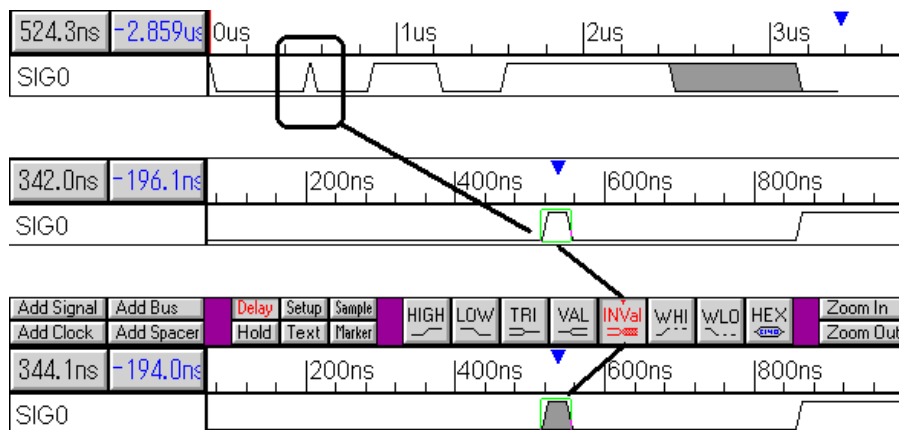


図 15 セグメントの種類の変更例

### 3. 波形セグメントの削除:

セグメントを選択(上述参照)した後 Delete キーを押せば削除できます(図 16)。

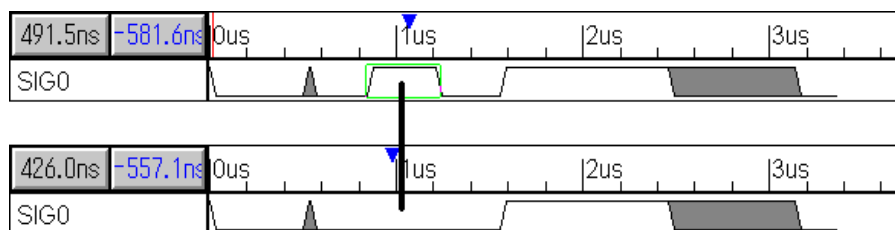
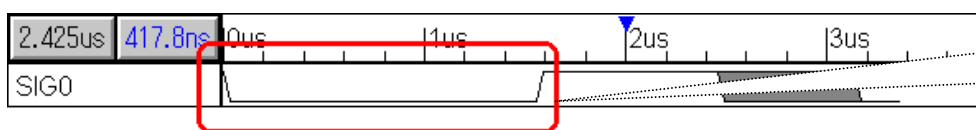


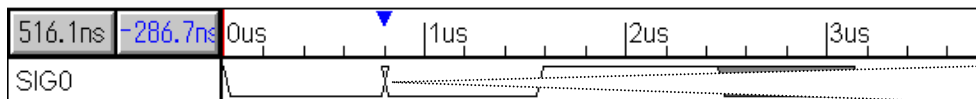
図 16 セグメントの削除例

### 4. 波形セグメントの挿入:

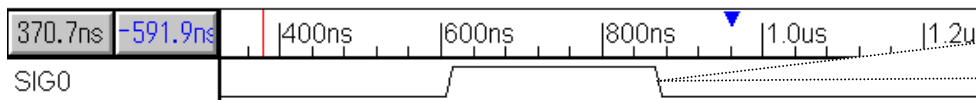
1 基本時間単位以上の幅を持つ波形セグメントを挿入するには、挿入したい位置で左マウス・ボタンをダブル・クリックします。ごく短い幅を持つ波形セグメントが作成されるので、セグメントの幅を修正した後、希望する種類の波形セグメントに変更します(図 17)。



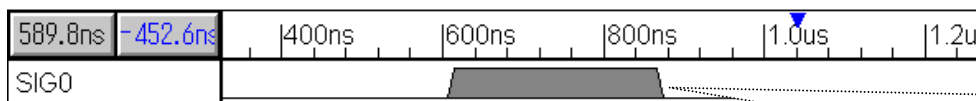
赤枠で囲んだセグメント内に波形セグメントを挿入します。



ここで左マウス・ボタンをダブル・クリックすると微小セグメントが作成されます。



セグメントの幅を修正します。なお、作業しやすいように画面を拡大するとよいでしょう。



State ボタンを使って希望の波形種類にします。なお、最下部の図は元のスケールで表示したものです。

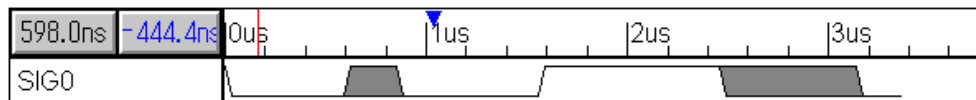


図 17 セグメントの挿入例

なお、この作業を正常に実行するために、新規セグメントが挿入される元の波形セグメントの幅を画面拡大によって十分広く取ってください。

## クロック信号の編集方法

今までに述べた編集方法はクロック信号に対しては使えません。これはクロック信号はある固定したエッジとセグメント幅を持つためです。クロック信号を編集するにはクロック信号のセグメントをダブル・クリックします。すると Edit Clock Parameters ダイアログ・ボックスが現れます。クロック信号に関するすべてのパラメータはこのダイアログ・ボックスから変更できます。

なお、セグメントの幅が狭く、セグメントではなくエッジが選択されてしまうような場合は Zoom In ボタンを使って十分拡大表示して作業を行います。

それでは、(これは一般的なタイミング・ダイアグラム作成の手順ではないが)以上の編集作業方法を使って図2と同じタイミング・ダイアグラムを作成し、この作業を通じて WaveFormer Pro の編集機能をマスターしてください。このとき、すべての編集機能を使うようにしてください。また、灰色の不確定領域は描く必要はありません。これは遅延情報を付加すると自動的に描かれるからです。

なお、さらに詳細なチュートリアルが必要なときはオンライン・ヘルプの第4章 "Drawing Waveforms" を参照してください。

## 図2と同じタイミング・ダイアグラムを描けましたか？

作成したタイミング・ダイアグラムはクロック信号一つと二つの信号からなっているはずですが、もし余分な信号などを設定してしまった場合はここで削除しましょう。ダイアグラム内のほとんどのオブジェクトは選択後に Delete キーの押下で削除できます。詳細についてはオンライン・ヘルプを参照してください。

作成したタイミング・ダイアグラムは図2とほぼ同じ位置付けになっていると思いますが、ずれが大きい場合は前述した編集手順を使って位置を修正しましょう。

パラメータとタイミング・ダイアグラム・ウィンドウをならべて表示すると、これら二つのウィンドウの内容を相互に確認することができます。なお、レポート・ウィンドウは本チュートリアルでは使わないので、ディスプレイ・サイズが小さい場合は省略しても構いません(図18)。

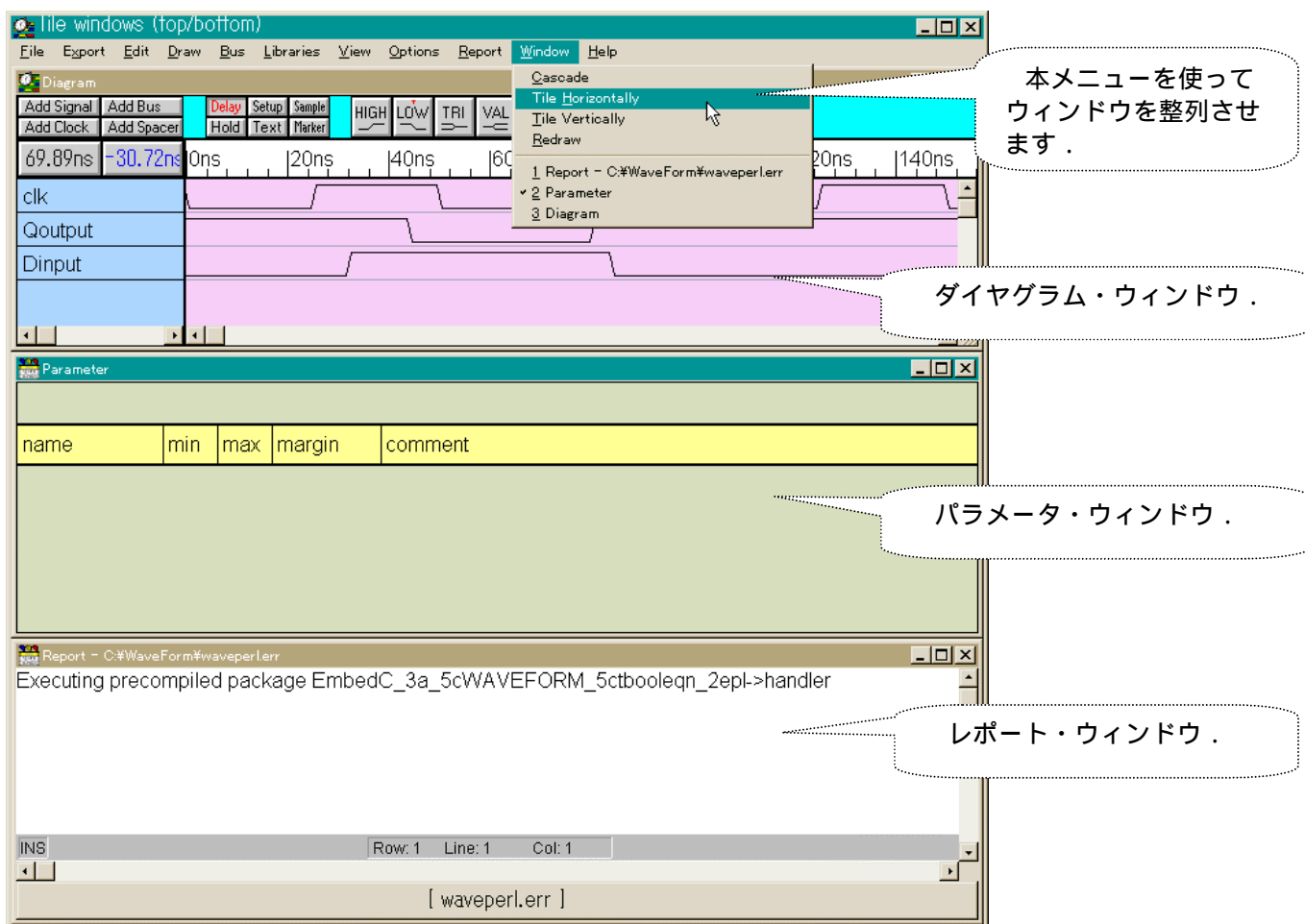


図18 WaveFormer Pro 画面例



拡大率やウィンドウ・サイズを調整してクロック信号の3周期分のみが表示されるようにします。

なお、画面を拡大するには Zoom In, また縮小するには Zoom Out ボタンを使います。なお、これらのボタンはウィンドウミグ上部にあります。

### 右マウス・ボタンについて(モード・ボタン):

つぎにタイミング・ダイアグラムに遅延, セットアップそしてコメントを追加してみます。これらはすべて右マウス・ボタンの操作で追加できます。右マウス・ボタンを使って実行する各機能はボタンとして定義されています。これらはダイアグラム・ウィンドウ左方上部にある DELAY, HOLD, SETUP, TEXT, SAMPLE そして MARKER の六つのボタン群です。押されて赤色表示となっているボタン名が、右マウス・ボタンで実行できる機能を表しています。機能を切り替えるには希望するボタンを左マウス・クリックします(図19)。

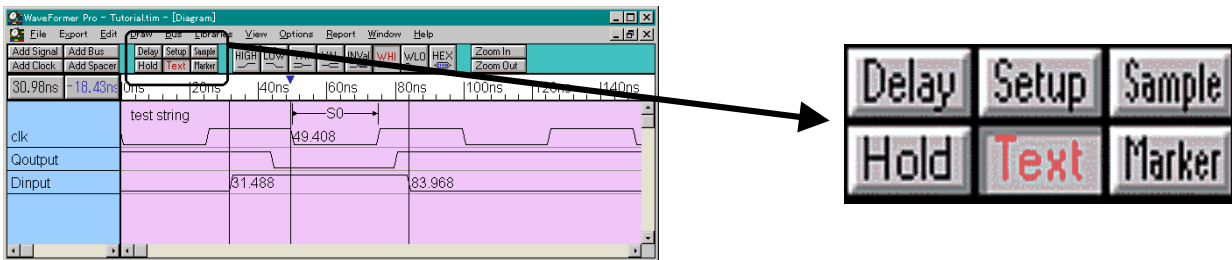


図19 六つのボタン群の位置と形状

ここで、たとえば“Text モードを有効にする”といったような文は、図19に示す Text ボタンを左マウス・クリックして赤色表示にする、というように解釈してください。

### D フリップフロップの伝播遅延を追加する

それではD フリップフロップのクロック信号立ち上がってから Qoutput に出力が現れるまでの伝播遅延時間を追加してみましょう。以下にしたがって操作してください。

DELAY モードを有効にする

クロック信号の最初の立ち上がりエッジで左マウス・クリックします。

信号 Qoutput の最初の立ち下がりエッジで右マウス・クリックします。

以上の操作によって空の遅延パラメータがダイアグラム・ウィンドウに追加されます(図20)。

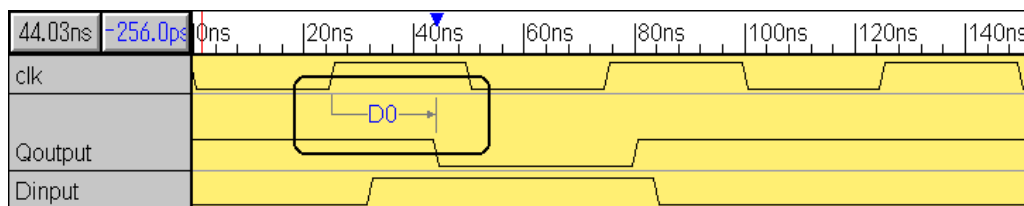


図20 遅延パラメータの追加例

遅延パラメータが新規追加された時点では、それは空のまま遅延が発生するようなことはありません。

なお、遅延パラメータは灰色の線で描かれることに注意してください。これは、この遅延パラメータは、この時点では信号 Qoutput の最小/最大エッジ幅のどちらにも影響を与えない、ということを意味します。

つぎに遅延時間を設定します。これはパラメータ・ウィンドウ内のパラメータを設定することによって行います。以下にしたがって作業を行ってください(図21)。

パラメータ・ウィンドウ内のパラメータ上で、左マウス・ボタンをダブル・クリックします。

Parameter Properties ダイアログ・ボックスが開くので、ダイアグラム・ウィンドウとパラメータ・ウィンドウ内の遅延パラメータが見えるようにこの位置を調整します。

Parameter Properties ダイアログ・ボックス内の min の項目に 5 を入力します。

TAB キーを押して max の項目に移動します(ここではこの項目は空のままにしておきます)。

以上の作業によりパラメータ・ウィンドウ内の min の項目には 5 が入力されます。なお、この単位は [Options]-[Display Unit]メニューで選択された時間単位になります(この場合 5[ns])。

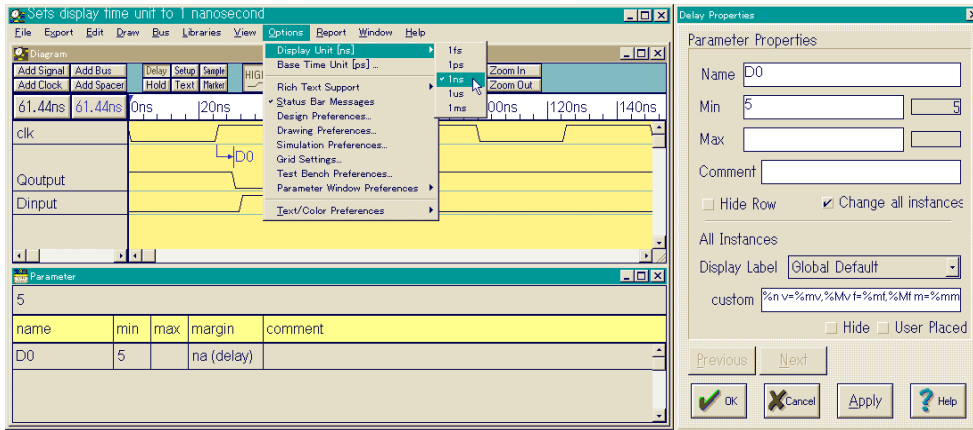


図 21 遅延パラメータ値の設定例

図 21 に示すように、

- 1) 信号 Qoutput の立ち下がりがエッジ幅がクロック・エッジから見て 5[ns]に変更されました。5[ns]に調整されているかはダイアグラム・ウィンドウ内の信号名上部に配置されたタイム・リードアウトによって確認できます(図 22)。

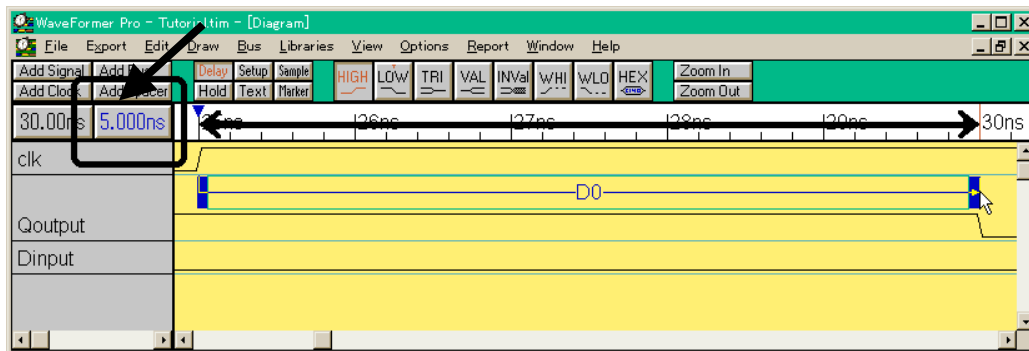


図 22 遅延パラメータ値のリード・アウト例

まず、計測を開始する点でマウスをクリックします。クリックした点がリード・アウト開始点となり、青い三角マークがつけられます。つぎにマウス・カーソルを動かすとリード・アウト開始点からのオフセット時間が青字のタイム・リードアウトに表示されます。

注：リード・アウト値は正確に 5[ns]表示される場合、あるいは 5[ns]に近い値が表示される場合があります。これは画面の拡大率と基本時間単位の設定値に依存します。

なお、正確な遅延時間を表示させるためには、Parameter Properties ダイアログ・ボックス内の Display label セクションから distance を選択します(図 23)。

なお、この機能を試した後は "Global Default" に戻してください。

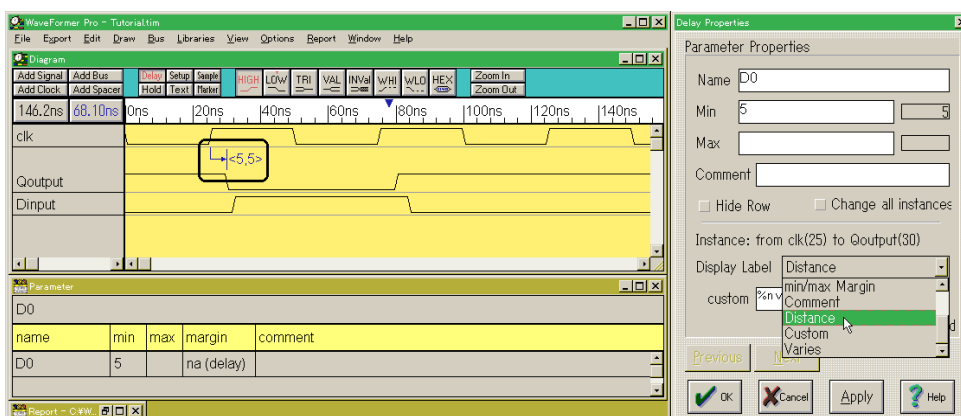


図 23 遅延パラメータ値のリード・アウト例

2) つぎに、遅延パラメータが灰色から青字表示に変わります。これは、信号の最小/最大エッジ幅に影響を与えるかどうかを遅延パラメータの表示色で区別する機能が働いているためです。  
 タイミング・ダイアグラム上で多重遅延が影響するような信号に対して、このようなクリティカル・パスの表示が重要です。  
 なお、遅延パラメータの表示色と、その意味は次のとおりです(図24)。

- 灰色：最小/最大いずれにも影響を与えない( )。
- 青色：最小値にのみ影響を与える( )。
- 緑色：最大値にのみ影響を与える( )。
- 黒色：最小/最大いずれにも影響を与える( )。

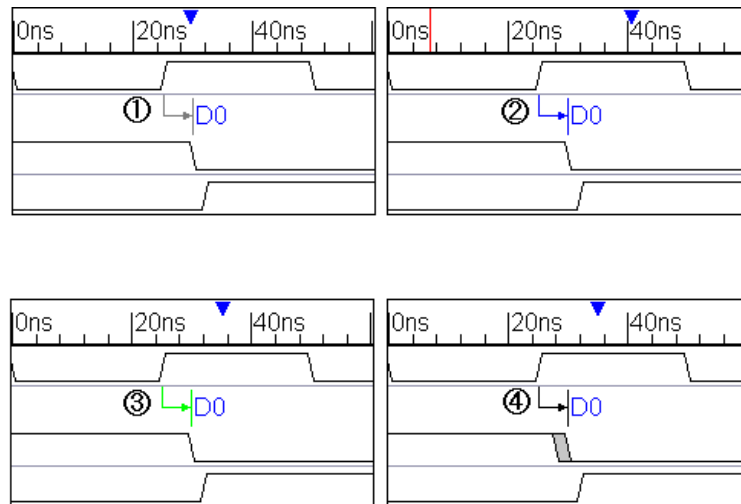


図24 遅延パラメータ値の色別表示例

本チュートリアル終了後に、サンプル・ダイアグラム “multdely.tim” を使って多重遅延の効果とクリティカル・パスの色別表示機能の実際を体験してください。

つぎに残りのパラメータの設定を行います。遅延パラメータ名を "DFFtp" に変更し、最大値 18[ns] を追加します。また、"Ck to Q propagation time" というコメントを付けてみます。  
 Parameter Properties ダイアログ・ボックスを使って以下のパラメータを追加します(図25)。

- Name の項目にマウス・カーソルを移して “ DFFtp ” と入力します。
- TAB キーを二回押して max の項目に移動します。
- 18 を入力します。これは 18 表示時間単位をあらわします(この場合 18[ns])。
- TAB キーを一回押して comment の項目に移動します。
- "Ck to Q propagation time" と入力して OK ボタンをクリックします。

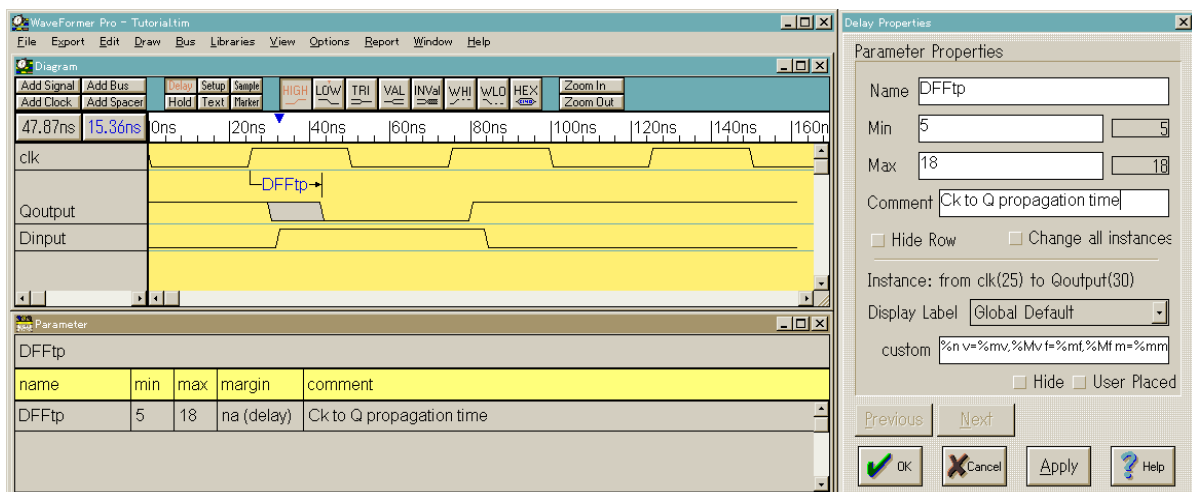


図25 遅延パラメータの入力例

遅延 DFFtp は黒色で表示されていますが、これは信号 Qoutput の最小/最大の両方の遅延値に影響を与えることを示しています。また、信号 Qoutput の立ち上がりエッジは灰色の不確定領域を持っています。

リード・アウト機能を使って、この灰色の部分から見て 5[ns]後に始まり、18[ns]後に終わっていることを確認してください(したがって幅は 13[na])(図 26)。また、クロックおよび Qoutput の不確定領域のエッジをダブル・クリックして正確な開始時刻を観測してみてください。

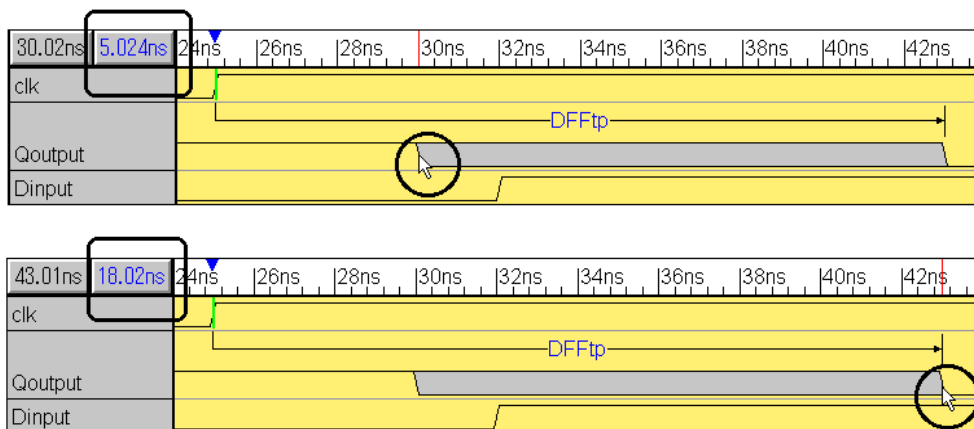


図 26 遅延パラメータ値の計測例

### インバータの伝播遅延を追加する

インバータの入力 Q から出力 D の遅延パラメータを以下にしたがって追加してみましょう。

DELAY モードを有効にします。

信号 Qoutput の最初の立ち上がりエッジで左マウス・クリックします(遅延 "DFFtp" の終了点と同じ)。

信号 Dinput の最初の立ち上がりエッジで右マウス・クリックします。

以上でインバータの遅延が作成され、空の遅延パラメータがダイアグラム・ウィンドウ内に作成されます。今度はダイアグラム・ウィンドウ内に新規作成された遅延パラメータを左マウス・ダブル・クリックしてダイアログ・ボックスを表示し、ボックス内に以下の値を入力してください。

- 名前を INVtp とする。
- 最小時間を 3[ns]にする。
- 最大時間を 11[ns]にする。
- “ Inverter (Q to D) delay ” というコメントを付ける。
- OK ボタンを押してダイアログを閉じる。

以上の値を入力すると、以下のようなタイミング・ダイアグラムが作成されます(図 27)。

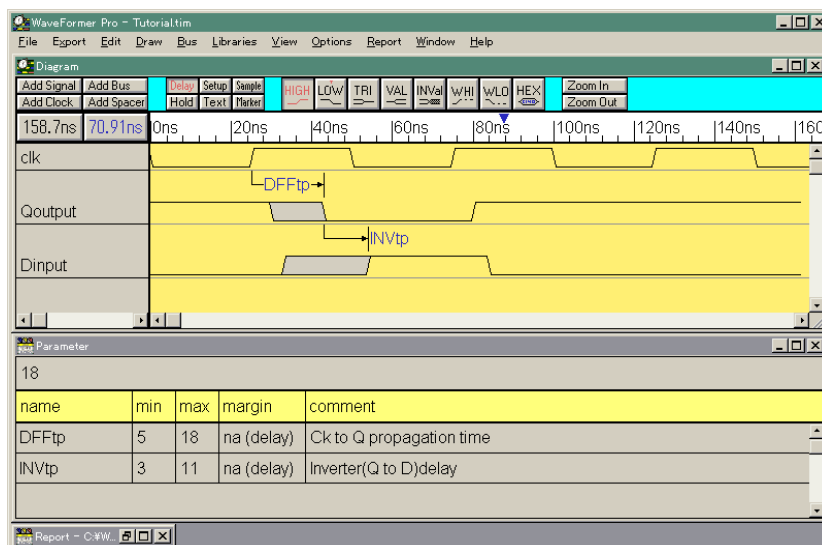


図 27 インバータの遅延パラメータ値の追加例

図 27 に示すように、信号 Dinput に大きな不確定領域が作成されることがわかつています。

ここでもこの不確定領域の幅を計測してみましょう。信号 Dinput の最初の立ち上がりエッジをクリックしてから、不確定領域の終了点にマウス・カーソルをあわせると 21[ns]あることがわかります。これは、遅延 DFFtp が 13[ns]の幅を持つことと、遅延 INVtp が 8[ns]の幅を持つので、 $13[ns]+8[ns]=21[ns]$ の幅を持つことになります。

つぎにクロックの最初の立ち上がり・エッジをクリックして、ここから信号 Dinput の不確定領域の終了点までの幅を計測してみましょう。もし、インバータと D フリップフロップともに最悪の遅延時間で動作する場合、信号 Dinput はクロックの立ち上がりから 29[ns]たないと信号 Dinput の値は変化しないことも分かります。

## Dinput clock のセットアップ時間の追加

つぎに Dinput clock のセットアップ時間を追加してみます。以下にしたがって作業を行ってください。

SETUP モードを有効にします。

信号 Dinput の最初の立ち上がりエッジで左マウス・クリックします(遅延"INVtp"の終了点と同じ)。

クロックの二番目の立ち上がりエッジで右マウス・クリックします。

以上でセットアップ・パラメータが追加されました。ここで、セットアップ・パラメータの矢印は制御信号を指していますが、これはセットアップ・パラメータを正しく追加したことを意味しています。

遅延パラメータと同様、空の最小/最大値をもつセットアップ・パラメータが追加されます。ここで、データ信号の位置を表示する前に、セットアップには最小値を定義する必要があります。

以下にしたがって設定を行ってください(図 28)。

- ダイアグラム・ウィンドウ内の空のセットアップ・パラメータを左マウス・ダブル・クリックします。
- Parameters Properties ダイアログ・ボックスが開くので、名前を Dsetup とします。
- min の項目に 15 を入力します。
- コメントとして "Check for metastable condition" を入力します。
- OK ボタンを押してダイアログを閉じます。

| name   | min | max | margin     | comment                       |
|--------|-----|-----|------------|-------------------------------|
| DFFtp  | 5   | 18  | na (delay) | Ck to Q propagation time      |
| INVtp  | 3   | 11  | na (delay) | Inverter(Q to D)delay         |
| Dsetup | 15  |     | 6          | check for metastablecondition |

図 28 セットアップ時間の追加例

パラメータ・ウィンドウ内の margin の項目に 6 と表示されていますが、これはセットアップ時間を正常に保持するために、あと 6[ns]の余裕があることを示しています。それではこれを実際に計測してみましょう。クロックの二番目の立ち上がりエッジをクリックしたのち、マウス・カーソルを信号 Dinput の不確定領域の終了点に置きます。リード・アウトに -21[ns]と表示されます。つまり、セットアップ時間 15[ns] - 計測された 21[ns] = -6[ns]となるので、余裕時間は 6[ns]となります。



つぎにセットアップ時間が保持されない場合、どのようなことが起こるかを実演してみましょう。  
以下にしたがってインバータの伝播遅延を 11[ns]から 18[ns]に増やしてみましょう。

- 遅延パラメータ INVtp を左マウス・ダブル・クリックします。
- max の項目に 18 を入力します。

上述にしたがって値を変更すると、ダイアグラムとパラメータ・ウィンドウの両方でセットアップ・パラメータが赤字で表示されます(図 29)。

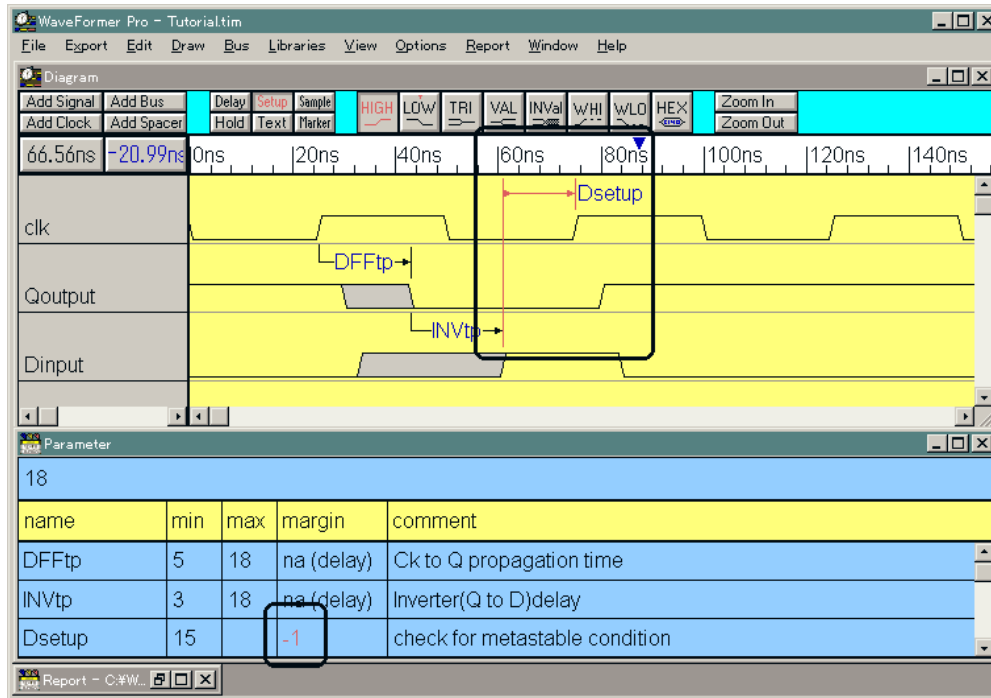


図 29 セットアップ時間を保持できない場合の例

それではインバータの遅延をもとの 11[ns]に戻してください。

## フリー・パラメータの追加

いままでは各パラメータの値を直接編集してきましたが、これは大規模な回路のダイアグラムを作成する場合あまり効率的でなくミスを犯しやすい方法です。もしある値を保持する変数があり、その値を参照する他のパラメータはすべてその変数にアクセスできるようにすればいいでしょう。そして値の変更が必要なときはその変数の値のみを変えるような仕組みが望まれます。

フリー・パラメータは他のパラメータから参照できる変数として働きます。これが"フリー"と呼ばれるのは、これはダイアグラム・ウィンドウ内の信号の遅延をあらわすパラメータとしては割り当てられないからです。

それでは以下にしたがってインバータの伝播遅延を保持するフリー・パラメータを追加してみましょう。

[Draw]-[Add Free Parameter]メニューを起動すると、パラメータ・ウィンドウ内に空のフリー・パラメータが追加されます。

フリー・パラメータ名をダブル・クリックして Parameters Properties ダイアログ・ボックスを開きます。そして以下の各パラメータを入力します。

("tpFreeInv", 3[ns], 11[ns], "74ALS04 inverter delay") (name, min, max そして comment の各項目)

入力したら Parameters Properties ダイアログ・ボックス内の左下部にある Previous または Next ボタンをクリックして遅延パラメータ " INVtp " 表示させます。

INVtp の min と max の項目に " tpFreeInv " と入力します。

以上で INVtp の最小/最大値はフリー・パラメータ " tpFreeInv " の最小/最大値をもとに制御されます(図 30 を参照)。

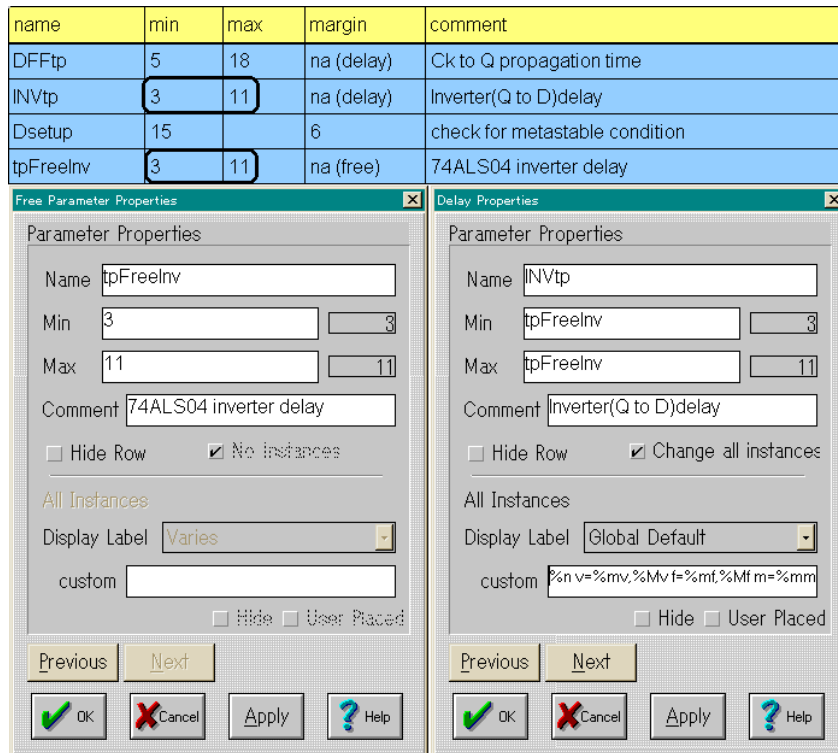


図30 フリー・パラメータの利用例

フリー・パラメータは特別なライブラリ・ファイルに記録されます。これは他のプロジェクトと統合することができます。また、プロジェクト・ファイルにフリー・パラメータを含めなくても、ライブラリ・ファイルの検索パスを設定しておくことにより、それらを参照できます([Libraries]-[Library Preferences]メニューで設定を行う)。詳細についてはオンライン・ヘルプの第9章"Libraries"またはチュートリアル3を参照してください。

## 公式と定数の使用について

パラメータには数値のほか数学的な公式を含めることができます。有効な演算子として\*(乗算)、/(除算)、+(加算)そして-(減算)があります。

たとえば、本チュートリアルにおけるインバータは実際の9[ns]という最小遅延を実現するために、インバータを3段縦続接続したものになるでしょう。これを表現するには以下のようにします。

- INVtp の min の項目に “ tpFreeInv \* 3 ” と入力

**注：**数字3の前のシングル・クォーテーション・マークは定数であることをあらわしています(これは無次元量で、基本単位時間を変更しても変わらない)。もし、シングル・クォーテーション・マークを付けないと、3は時間を表すものと解釈され、表示時間単位がナノ秒で、基本単位時間がピコ秒の場合、WaveFormer Pro 内部では3000[ps] (3[ns] = 3000[ps])として保持されます。同様に、tpFreeInv.min も3000[ps]として内部で保持されます。これを乗算すると、 $3000 \times 3000 = 9,000,000[ps?] = 3000[ns?]$ ? となってしまいます(が、これはまったく望まざる結果である！)。

さらに根本的な問題は時間の単位をもつ数字同士を乗算しているということです。したがって原理的には上述の乗算結果は $ns^2$ の単位を持つことになるのです。

定数は無次元量なのでこのような問題は発生しません。要するに時間同士の加減算は物理的に意味を持ちますが、乗除算を行う場合は乗除数は定数でなければ物理的に無意味である、ということです。

フリー・パラメータの名前は、たとえば tpFreeInv.min や tpFreeInv.max といったように属性付きのパラメータ名としても使えます。これにより自由な形式で公式を設定できます。もし属性がつかない場合は、その公式が min または max のどの項目に置かれているかによって値が決まります(minの項目にあれば min 値が、maxの項目にあれば max 値が適用される)(図31)。

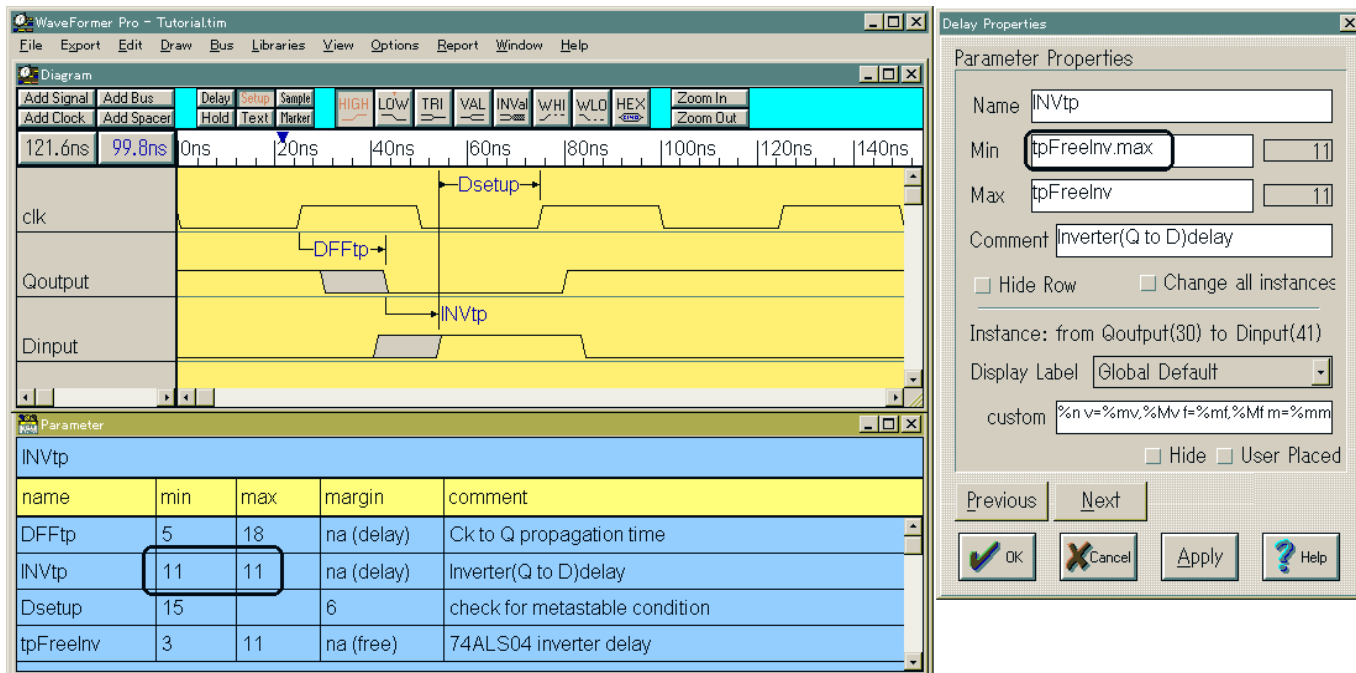


図 31 属性付きのフリー・パラメータの利用例

## サマリ(作業方法の要約)

本チュートリアルで以下の三つの大きなトピックを取り上げました。

1. 新規プロジェクトの開始方法
2. クロック，信号の取り扱い方法と信号波形の作成方法
3. 各種パラメータの取り扱い方法

### 1)新規プロジェクトの開始

つねに表示時間単位の下で基本時間単位を一つ定めること。これは、無用なトラブルを避けるために重要な事項です。デフォルトでは、基本時間単位はピコ秒，表示時間単位はナノ秒です。

### 2) 信号

Add Clock および Add Signal ボタンを使って各信号を追加していきましょう。

信号名を編集するには、その信号名を左マウス・ダブル・クリックします。

波形を描く場合は、state ボタンで波形の種類を選択した後左マウス・クリックします。

### 波形の編集

#### 信号波形の遷移位置の変更:

波形の遷移部分で左マウス・ボタンを押し、希望の位置までドラッグします。希望の位置まで緑色のカーソルが移動したらマウス・ボタンを離します。

#### 波形セグメントの種類の変更:

セグメントとは隣り合う二つの遷移部分の間の波形部分のことです。編集したいセグメントを左マウス・クリックします。つぎに変更したい state ボタンを押します。

#### セグメントの削除:

削除したいセグメントを選択して Delete キーを押します。

#### セグメントの挿入:

挿入したい位置で 左マウス・ダブル・クリックします。このときうまくセグメントを選択するために十分画面を拡大しておきます。

### 3) パラメータ

delay, setup そして hold パラメータを追加するには次のように操作します。

- (1) 希望するパラメータの種類を有効にします。
- (2) 最初の信号の遷移部分を左クリックします。
- (3) 二番目の信号の遷移部分を右クリックします。

パラメータを編集するにはダイアグラムまたはパラメータ・ウィンドウ内のパラメータ名を左クリックします。

フリー・パラメータは、他のパラメータから参照される変数として働きます。フリー・パラメータを追加するには[Draw]-[Add Free Parameter]メニューを起動します。

フリー・パラメータを使うにはフリー・パラメータ名を Parameter Propaties ダイアログ・ボックス内の min あるいは max の項目に入力します。フリー・パラメータは.min または.max 属性子を付けて、フリー・パラメータのもつ min 値あるいは max 値を規定することもできます。たとえば、Inverter.min は Inverter と名付けられたフリー・パラメータの min 値のみを取り出します。

---

以上でチュートリアルは終了です。本チュートリアルについてのご質問などは小社デザインウェブ企画室間をお願いいたします。

WaveFormer Pro , Timing Diagrammer Pro そして SynaptiCAD は SynaptiCAD Inc.のトレード・マークです。

CQ 出版株式会社 デザインウェブ企画室  
〒170-8461 東京都豊島区巣鴨 1-14-2 CQ ビル 4F  
TEL : 03-5395-2126 FAX : 03-5395-2127  
E-mail : [edasupport@cqpub.co.jp](mailto:edasupport@cqpub.co.jp)  
web : <http://www.cqpub.co.jp/>