

アナログ／デジタル混在

電子回路シミュレータ

Micro-Cap 7

チュートリアル

ver. 0.9a

## 目次

1. 回路シミュレータ Micro-Cap 7 とは.....	4
1.1. 回路シミュレータとは.....	4
1.2. Micro-Cap 7 の特徴 .....	4
1.3. Micro-Cap の略歴 .....	5
1.4. SPICE の基礎知識 .....	5
「部品モデル」とは .....	5
1.5. Micro-Cap 7 評価版について .....	6
製品版との主な相違点.....	6
評価版の動作条件.....	6
評価版のインストール方法.....	6
2. 回路図の作成方法.....	7
2.1. 回路図エディタの操作の基本.....	7
部品を配置するには .....	7
部品どうしを配線するには.....	7
回路を編集・修正するには.....	7
2.2. 値の入力について.....	8
2.3. その他 便利な機能.....	8
3. 基本的な解析.....	9
3.1. ダイナミック DC 解析.....	9
「Operating Point」とは .....	9
「ノード」とは .....	9
3.2. 3つの基本解析モード .....	10
3.3. Transient 解析: 回路に時間波形を入力してみる .....	10
カーソルモード .....	12
性能関数 .....	13
3.4. AC 解析: 周波数応答をみる .....	14
3.5. DC 解析: DC カーブを見る.....	15
4. 一歩進んだ解析機能 .....	17
4.1. ステッピング .....	17
4.2. 性能プロット .....	18
5. サンプル回路集 .....	19
5.1. 回路図ファイル(Schematic ファイル、拡張子.cir) .....	19
5.2. SPICE ファイル.....	23

6. 参考文献 .....	24
6.1. Micro-Cap 7 の使用方法に関するもの .....	24
製品に付属するもの .....	24
現在準備中のもの .....	24
市販されているもの .....	24
6.2. 半導体部品のモデリング .....	24
6.3. その他 .....	24

改訂履歴:

ver. 0.9a (2002/02/12): PDF 変換時の文字化け修正。

ver. 0.9 (2002/02/07):

「サンプル回路集」「参考文献」の章を追加。「FAQ」を他文書へ移動。

## 1. 回路シミュレータ Micro-Cap 7 とは

### 1.1. 回路シミュレータとは

回路シミュレータ = 電子回路の動作を計算によって模擬するソフトウェア



パーソナルコンピュータ上に実現された「仮想的な実験環境」

- アイデアが正しいかどうか、確認しながら設計することができる。
- 実際の基板を試作する前に、回路の動作を検証できる。

### 1.2. Micro-Cap 7 の特徴

#### 習得しやすいユーザ・インターフェイス

- ・ Windows の操作体系で回路編集が出来る。

#### SPICE 互換

- ・ SPICE の部品モデル/シミュレーションテクニック等、ノウハウを活用できる。

#### 統合化された論理シミュレータ

- ・ アナログ/デジタル混在のシミュレーションが可能。

#### 強化された部品ライブラリ(15,000 種類以上)

#### 強力なプロット機能

- ・ 四則演算や各種関数に加え、微分・積分等の演算子が使用可能

#### 高度な解析機能を標準搭載

- ・ ステッピング等の複数回解析機能を搭載

#### プロット後の波形解析機能

- ・ 出力波形の FFT 解析、性能解析等

### 1.3. Micro-Cap の略歴

開発元：米国 Spectrum Software 社

最初のリリース：1982 年 Micro-Cap (MC1)

- ・ Apple II および IBM PC に対応。
- ・ 当初から、パソコン用シミュレータとしては画期的な、回路図入力方式を採用。

：

最新バージョン：2001 年 9 月 Micro-Cap 7 (MC7)

- ・ Windows 95/98/Me/NT4.0/2000 に対応。
- ・ 新機能：オプティマイザ、スミスチャートプロット、etc.
- ・ ユーザインタフェイスの強化。

### 1.4. SPICE の基礎知識

- ・ 1970 年代初頭 カリフォルニア大学バークレー校にて研究の一環として開発された アナログ回路シミュレータ。「トランジスタレベル」で回路をシミュレートするため、計算力を要するが、モデル次第で比較的高精度な結果を出力可能。
- ・ **SPICE = Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis**  
「IC に重点を置いたシミュレーションプログラム」が名称の由来。当初は、IC の性能を製造前に評価することが目的だった。  
⇒ 今日では、汎用的なアナログ電子回路シミュレータとして利用されている。
- ・ オリジナルの **SPICE** では、基本的に回路はテキスト形式で入力。  
⇒ **Micro-Cap** では、回路図入力をサポート。
- ・ 半導体メーカー各社から、**SPICE** でシミュレーションを行なうため **部品モデル** が供給されている。

#### 「部品モデル」とは

電子部品をパラメータ化し、シミュレータで利用できる形式にしたものを「部品モデル」と呼んでいます。**Micro-Cap** では、半導体メーカーが **Web** 等で公開している、**SPICE** 形式の部品モデルを利用することができます。

## 1.5. Micro-Cap 7 評価版について

評価版は Micro-Cap の紹介用に、無償で配布されているバージョンです。部品パラメータの抽出に利用する MODEL プログラムは含まれませんが、回路図の作成／保存／印刷／解析等、基本的な機能については支障なく利用できます。

### 製品版との主な相違点

**回路規模**：約 100 ノード程度まで解析できます。

**解析速度**：小さな回路では製品版と同等ですが、回路規模が大きくなると、製品版の 4 倍程度の時間がかかることがあります。

**機能制限**：オプティマイズ／フィルタデザイナー／3D プロット／PCB 機能／性能プロット／複数パラメータのステップングなど、一部機能の利用に制限があります。

**部品ライブラリ**：製品版で利用できる 15,000 種類の部品ライブラリのうち、一部の部品のみ利用可能です。(利用できない部品は、メニューの中でグレイ表示されています。)

### 評価版の動作条件

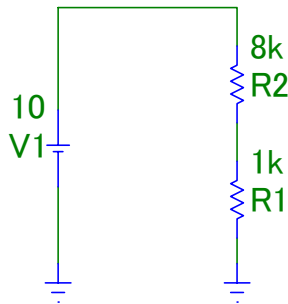
- ・ Pentium II 以降のプロセッサ
- ・ システムメモリ 64MB 以上
- ・ HDD 空き容量 100MB 以上推奨
- ・ Windows 95／NT4.0 Service Pack 3 もしくはその後継バージョン

### 評価版のインストール方法

- 1) Micro-Cap 7 評価版のインストール CD を CD-ROM ドライブに挿入するとセットアッププログラムが起動します。しばらく待っても起動しない場合は、手動で setup.exe を実行してください。
- 2) セットアッププログラムの指示に従って、インストールを行ってください。


## 2. 回路図の作成方法

Micro-Cap を最初に起動すると、回路図エディタの画面が現れます。最初に、以下のような簡単な回路図を作成してみます。




### 2.1. 回路図エディタの操作の基本


部品を配置するには

1. ツールバー  もしくは[Component]メニューから、部品を選択します。(このとき、自動的に「部品モード」になります。)
2. 回路図の白い部分をクリックすると、部品が配置されます。
3. 必要に応じて、属性ダイアログが表示されるので、値を入力してください。

部品どうしを配線するには

1. ツールバーのワイヤモードボタン  をクリックします。
2. マウスでドラッグすると、ワイヤが描画されます。

回路を編集・修正するには

1. ツールバーの選択モードボタン  をクリックします。
2. 次のような操作が実行できます。
  - ・ 部品をダブルクリックすると、部品の属性を変更できます。
  - ・ 部品をドラッグすると、部品を移動できます。
  - ・ 部品をドラッグしながら右クリックすると、部品の向きを8通りに変更できます。
  - ・ 部品をクリックすると、部品が「選択」されます。また、領域指定(何もないところからドラッグ)や、Shift+クリックを行うことにより、複数の部品をまとめて選択することができます。選択された部品は、コピー(Ctrl+C)/カット(Ctrl+X)/ペースト(Ctrl+V)の対象となります。
  - ・ Ctrl+ドラッグによっても、部品をコピーできます。

## 2.2. 値の入力について

以下の3通りの表現方法が利用できます。値を入力する際、V, A, ohm等の単位をつける必要はありません。

- 普通の実数 1.0, 6, 12.7 など
- 浮動小数点 1E-12, 1E+3, -7.832e-8, 100e9 など
- べき乗を略記 1f, 1n, 1u, 1m, 1, 1k, 1meg, 1g, 1t など

※ Micro-Cap では基本的に大文字／小文字は区別されません。そのため「m」「M」はどちらも「ミリ」を表します。「メガ」を表すには、「meg」「Meg」等を使用してください。

## 2.3. その他 便利な機能

- **Help** モードボタン **?** を押して、部品をクリックすると、部品の設定方法のヘルプ(英文)が表示されます。
- **Info** モードボタン **I** を押して、部品をクリックすると、部品の定義位置へジャンプします。




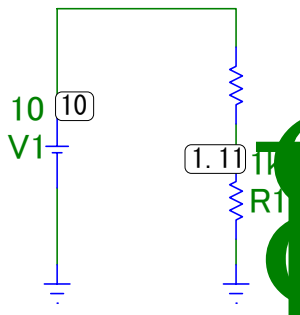
### 3. 基本的な解析

#### 3.1. ダイナミック DC 解析

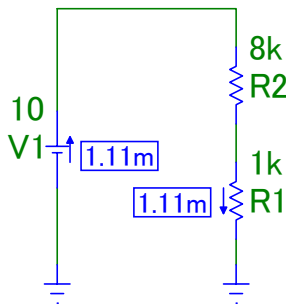
本格的な解析を行う前に、回路に間違いがないか確認できると便利です。ダイナミック DC 解析機能を使用すると、手軽に DC 的な電圧／電流値を確認することが出来ます。


[Analysis]メニューの[Dynamic DC]をチェックすると、回路の「Operating Point」が自動計算されるようになります。それぞれの表示は、以下のボタンで on/off を切り替えられます。

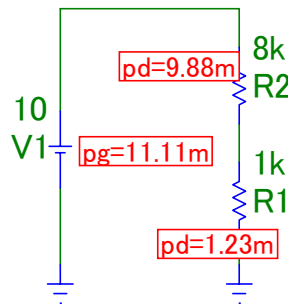
 電圧の表示



 電流の表示



 消費電力の表示




#### 「Operating Point」とは

回路の定常状態における電圧、電流、etc.を Operating Point といいます。動作点、バイアス点とも言います。Operating Point の計算においては、コンデンサは開放、インダクタは短絡として扱われます。

#### 「ノード」とは


回路内の中で、同じ配線によって互いに接続されている部分を、ノードといいます。回路中の電圧値は、ノードごとに保持されます。これをノード電圧といいます。上の回路では、グラウンドを入れて 3つのノードがあります。

##### ノード番号

回路図エディタによって自動的に割り振られます。 ボタンを押すと表示されます。

ノード番号表示は、接続のチェックに使用できます。

##### ノード名

 ボタンを使用して配線上に短いテキストを置きます。

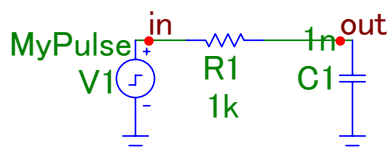
### 3.2. 3つの基本解析モード

以下の3つが Micro-Cap の基本的な解析モードとして特に重要です。

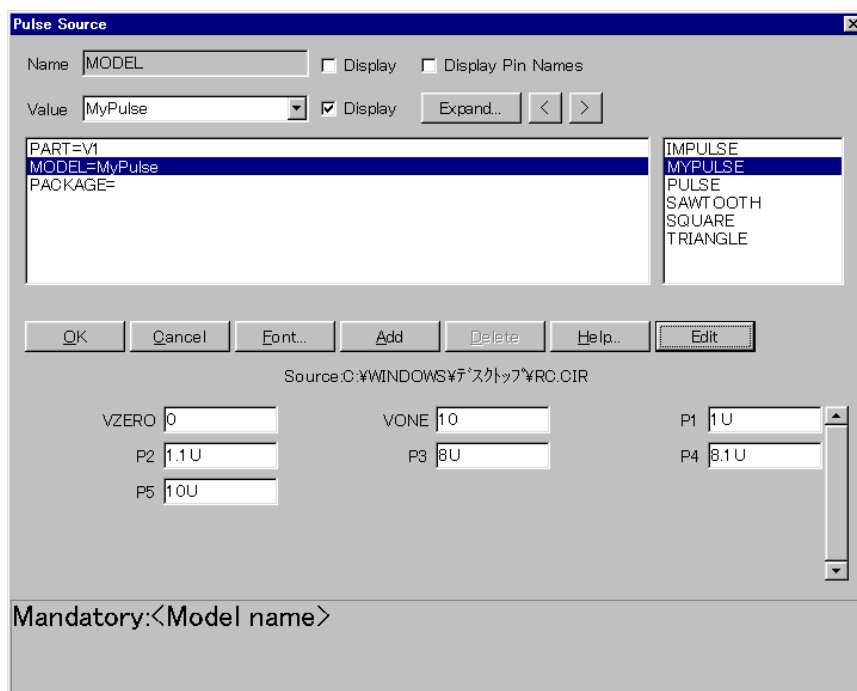
- Transient 解析      時間領域波形のプロット      ≡ オシロスコープ
- AC 解析              周波数特性のプロット      ≡ スペクトラム アナライザ
- DC 解析              DC 特性のプロット      ≡ カーブ トレーサ

### 3.3. Transient 解析: 回路に時間波形を入力してみる

観測対象が時間領域の事象である場合は、Transient 解析を使用します。ここでは、以下の回路を使用して、コンデンサの充放電を観測してみます。

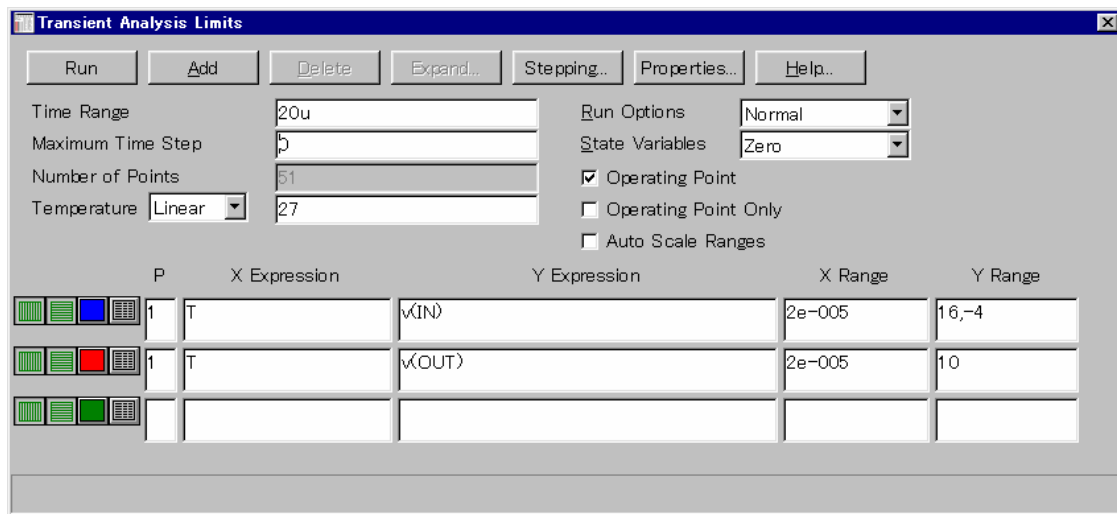


パルス源 V1 の属性ダイアログでは、MODEL=MyPulse として [Edit] ボタンを押し、以下のような値を入力します。

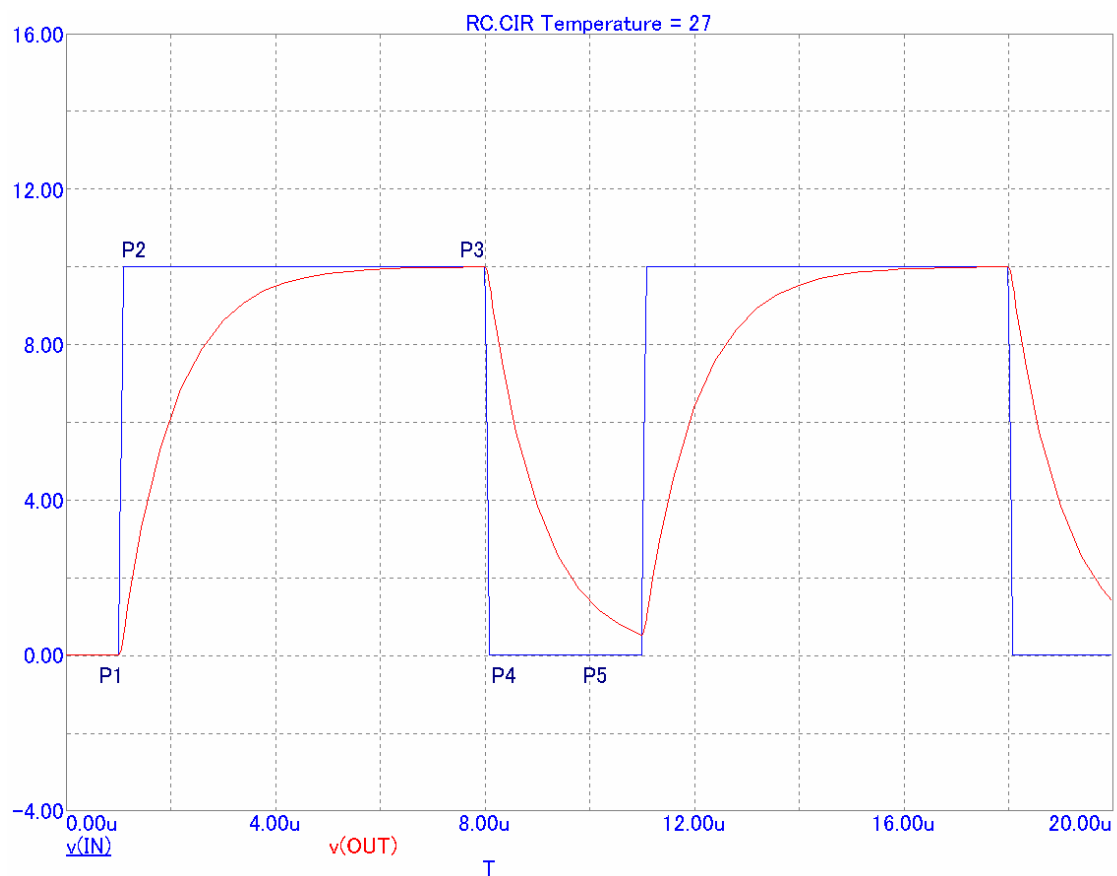


観測したいポイントには、Text モード([T]アイコン)を使用して「in」「out」等のノード名をつけます。

[Analysis]メニューの[Transient Analysis]を選択し、以下のように設定します。




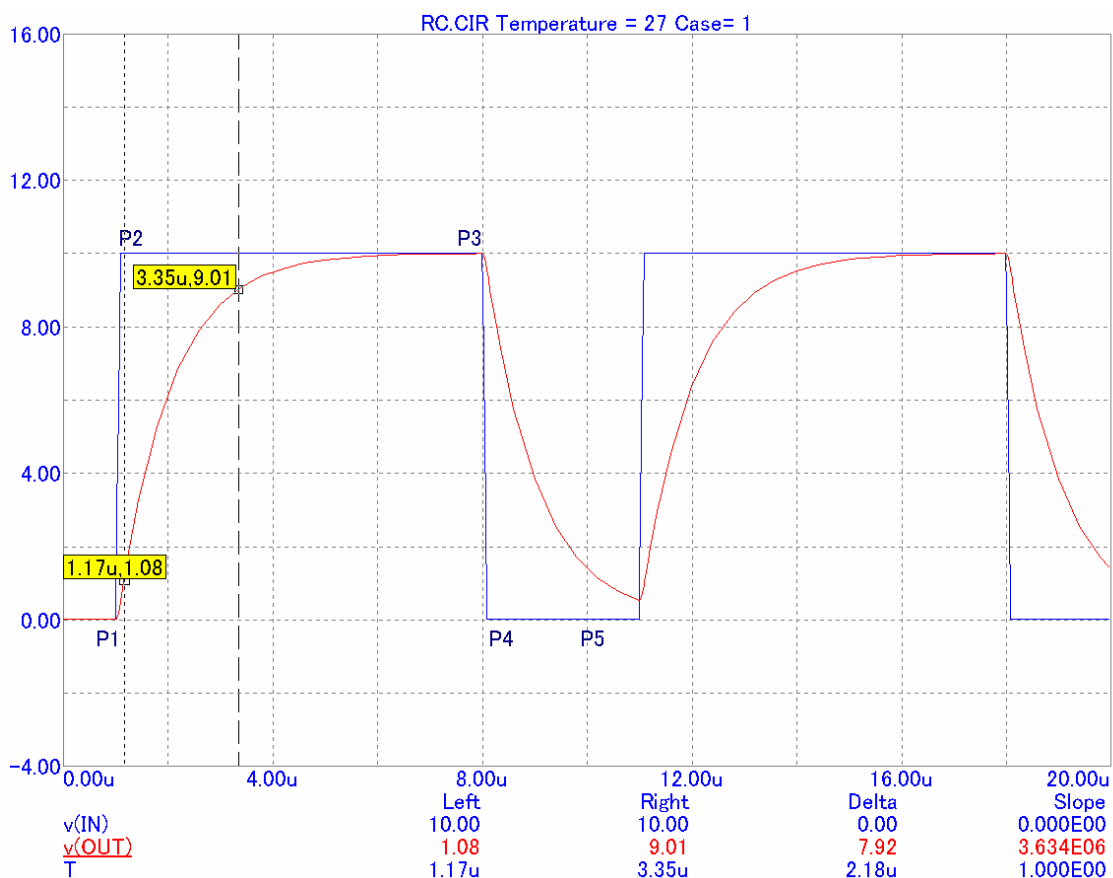
[Run]ボタンを押すと以下のようにグラフがプロットされます。



## カーソルモード

出力波形について 10% ⇒ 90%の立上り時間を測定してみましょう。

ツールバーの  ボタンを押すと、カーソルモードとなります。ここでは、カーソル位置における数値や2つのカーソル間の差や傾きを読み取ることができます。




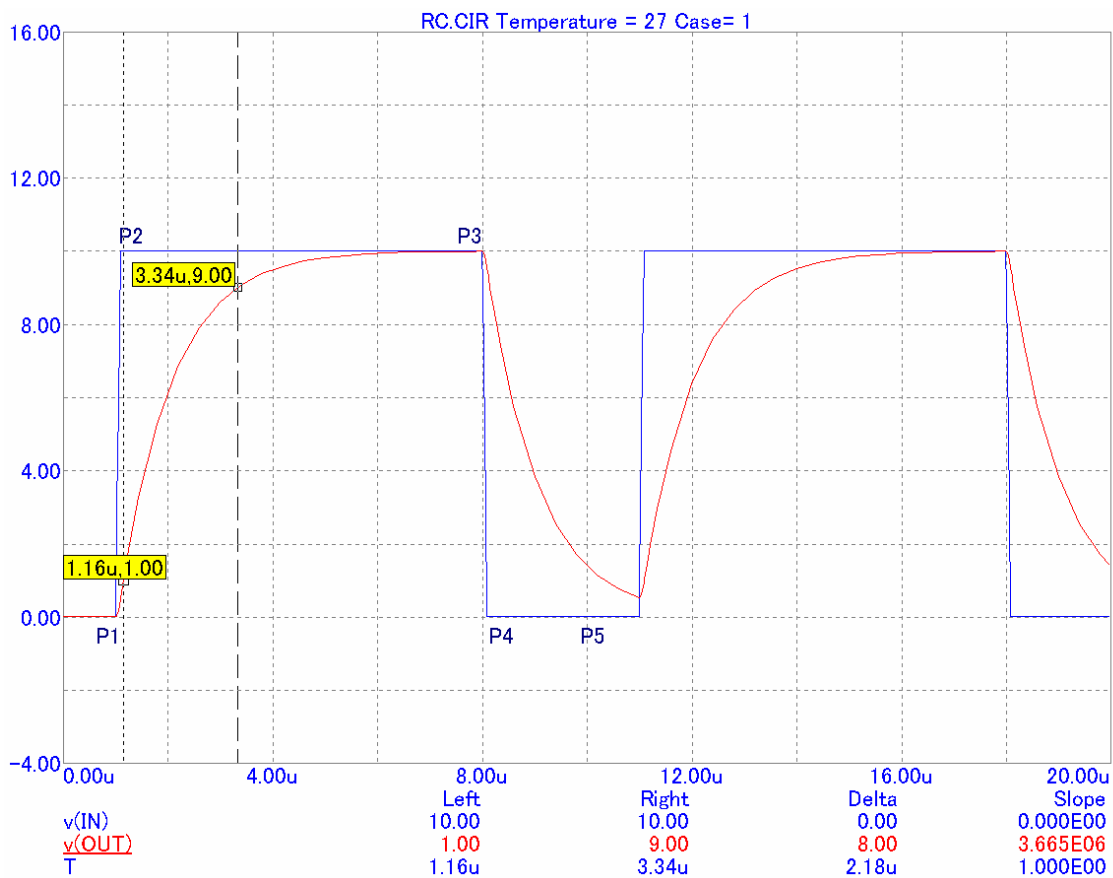
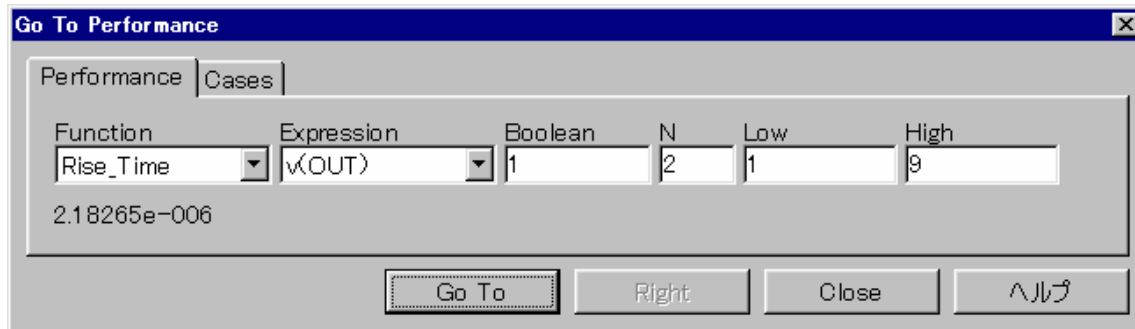
カーソルは **Left** と **Right** の2つが用意されており、それぞれ左右のマウスボタンによって移動できます。

**Left** カーソルにおいて  $T = 1.17\mu\text{s}$ 、**Right** カーソルにおいて  $T = 3.35\mu\text{s}$  となるようにカーソルを移動させると、両者の差(Delta)  $\Delta T = 2.18\mu\text{s}$  より、10% ⇒ 90%の立上り時間が  $2.18\mu\text{s}$  であることがわかります。

## 性能関数

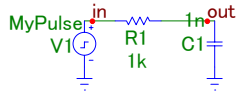
Micro-Cap には、解析波形をもとに、性能に関する特性値を算出する機能が搭載されています。これを性能関数(Performance Function)といいます。これを利用すると、立上り時間などを簡単に求めることができます。

ツールバーの  ボタンを押すと、[Go To Performance]ダイアログを表示されます。適切な値をセットし、[Go To]ボタンを押すと、自動的にカーソルが移動し、値が表示されます。



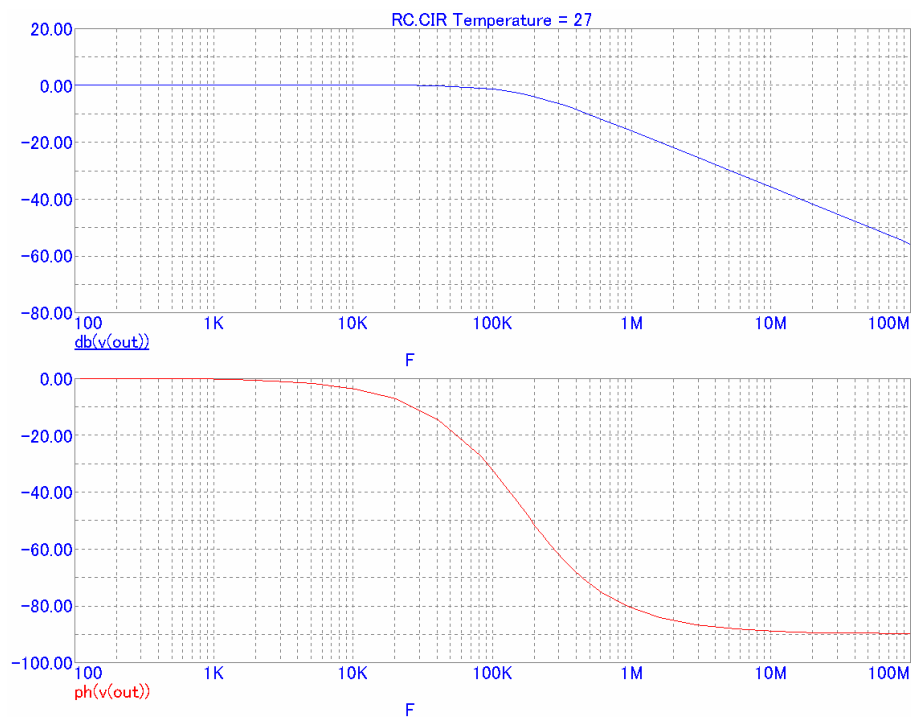
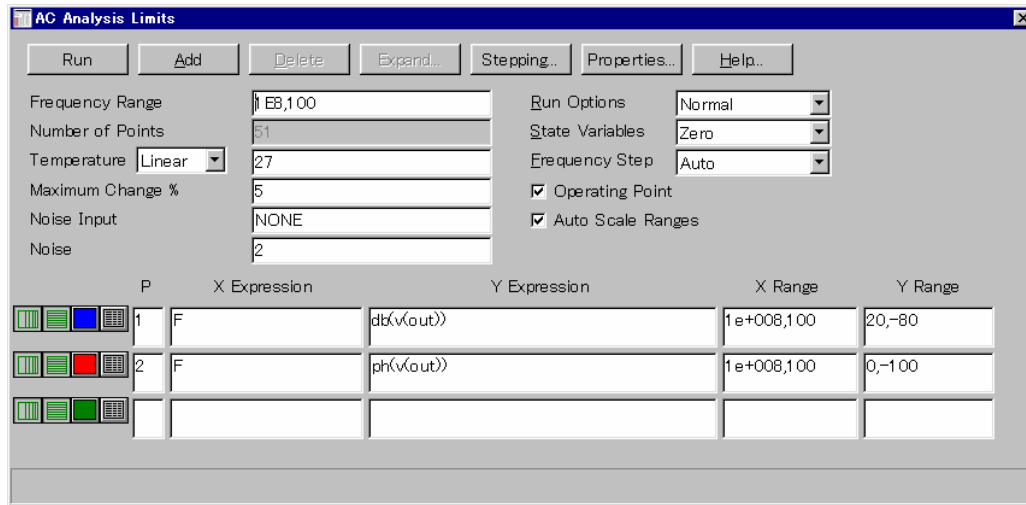
### 3.4. AC 解析: 周波数応答をみる

周波数特性を観測するには、AC 解析を使用します。



AC 解析では、パルス源は、振幅 1、位相 0 のサイン波として扱われます。

[Analysis]メニューの[AC Analysis]を選択し、以下のような設定で解析してみます。

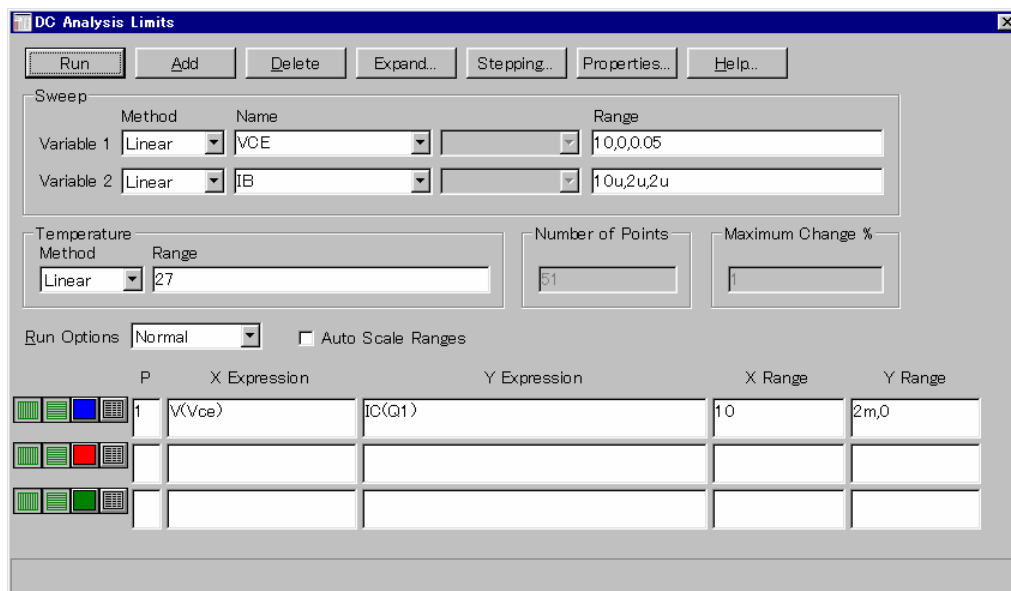
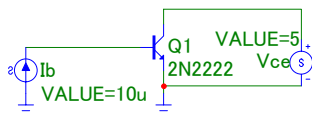


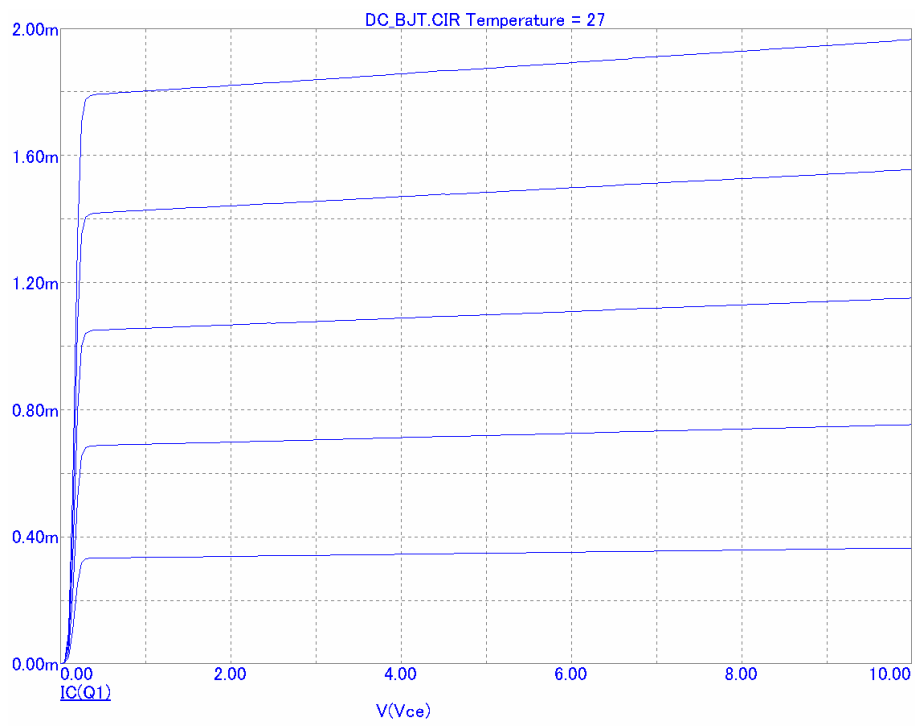
作成した回路は、あとでまた使用するので RC.CIR というファイル名で保存しておきます。

### 3.5. DC 解析: DC カーブを見る

半導体の I-V 曲線等、時間／周波数に依存しない DC 的な特性を調べるには、DC 解析を使用します。ここでは、トランジスタの I-V カーブを解析してみます。

[Analog Primitives]-[Waveform Sources]の[V]および[I]を利用して以下のような回路を作成します。





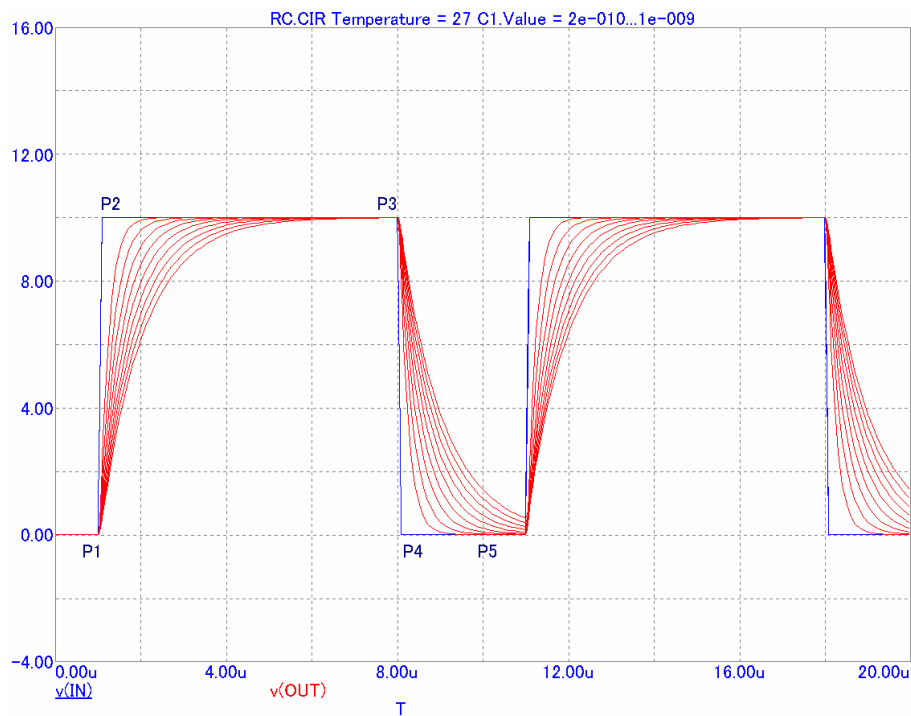
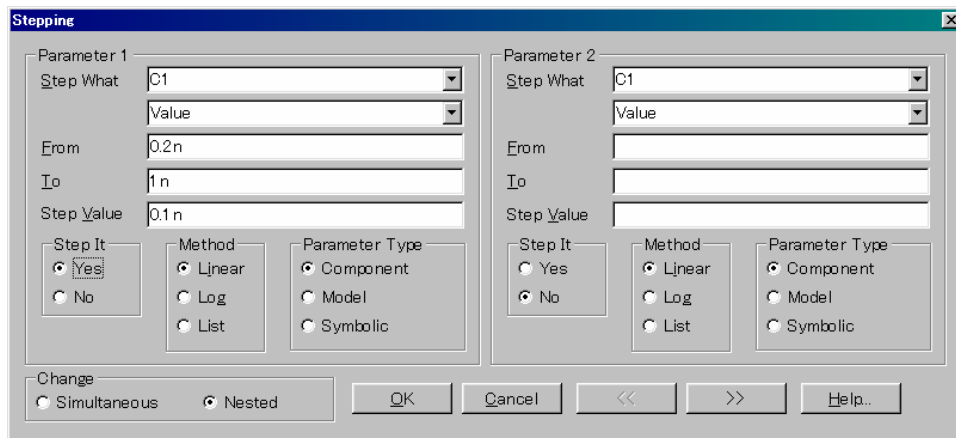


## 4. 一歩進んだ解析機能

### 4.1. ステッピング

ステッピング機能を利用すると、部品の値等を変化させながら、複数回の解析を繰り返すことができます。

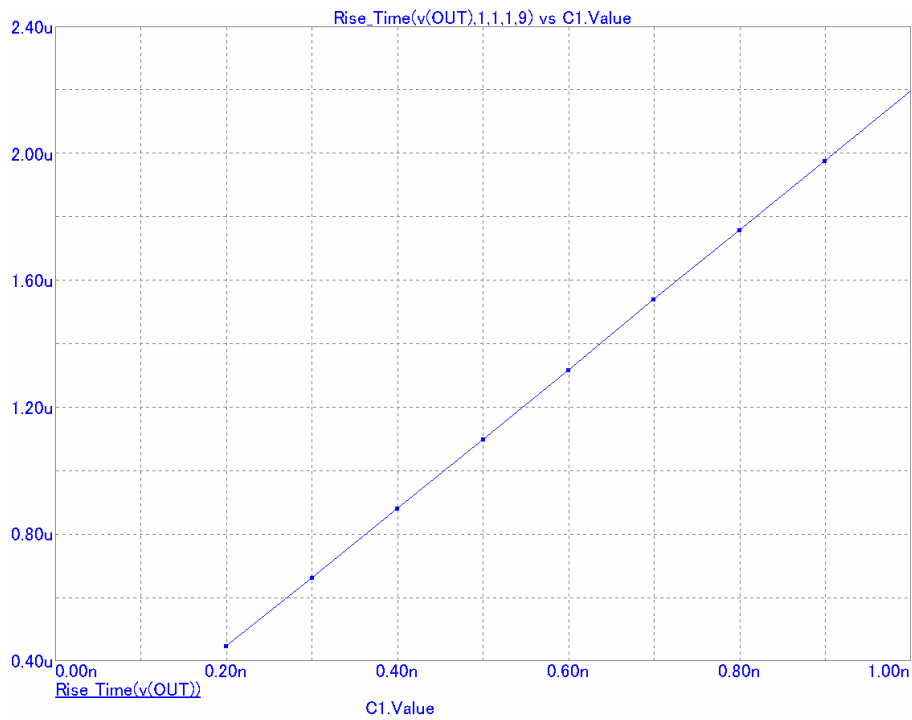
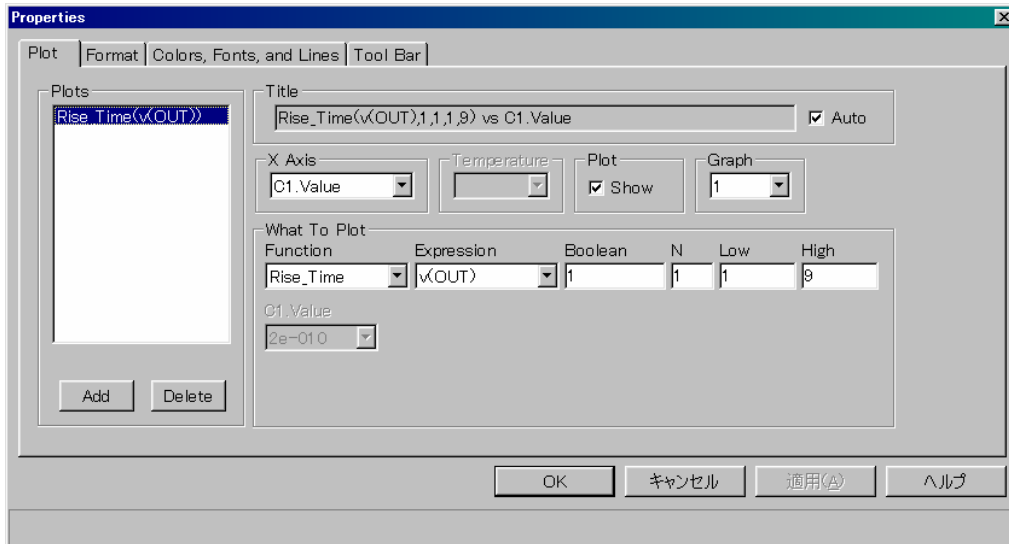
RC.CIR の[Transient Analysis Limits]において[Stepping...]ボタンを押して設定します。



## 4.2. 性能プロット

ステップングした結果を評価するのに、性能関数を使用することができます。

[Transient] – [Performance Windows] – [Add Performance Window...]を選択して、立上り時間をグラフにしてみます。



## 5. サンプル回路集

C:\¥MC7¥DATA ディレクトリには、様々な回路の解析例が収録されています。実際に解析してみることをお勧めします。

### 5.1. 回路図ファイル(Schematic ファイル、拡張子.cir)

(ファイル名)	(内容)
283	Use of digital primitives to model a 283 logic unit
381	Use of digital primitives to model a 381 logic unit
3D1	Use of 3D plots
3D2	Use of 3D plots
555ASTAB	Use of the 555 macro in an astable application
555MONO	Use of the 555 macro in a monostable application
A_BOOST_CM_OL	Boost current mode averaged model open loop plot
A_BOOST_CM_ZOUT	Boost current mode averaged model Zout plot
A_BOOST_VM	Boost voltage mode averaged model open loop plot
A_BUCK_CM	Buck current mode averaged model open loop plot
A_BUCK_VM	Buck voltage mode averaged model open loop plot
A_BUCKBOOST	Buckboost current mode averaged model open loop plot
A_FLYBACK	Flyback voltage mode averaged model open loop plot
A_FORWARD	Forward voltage mode averaged model open loop plot
A_NCP	NCP1200 Converter
A_RESO_DC	Resonant converter DC analysis
A_RESO_OL	Resonant converter averaged model open loop plot
A_SEPIC	Single Ended Primary Inductance Converter
AD16	Use of the AtoD and DtoA elements
ANIM	Use of the animation components
ANIM3	Use of the animation components
BAX	Steps a resistor to model a pot element
BPFILT	Analysis of a bandpass filter
BUTTERN	Use of a Laplace source to represent a Butterworth filter
CARLO	Monte Carlo routines in transient and AC analysis
CARLO2	Monte Carlo routines in DC analysis
CARLO4	Monte Carlo routines in transient and AC analysis
CHOKE	Analysis of a diode choke circuit
CMOS	MOSFETs in an inverter configuration

COLPITTS	Analysis of a colpitts oscillator
CONVERTER3	Three-phase converter with zero-crossing detectors
CORE	Use of the core model and plotting a BH curve
CORE3	Use of the nonlinear core model with multiple inductors
COUNTER	Analysis of a binary counter
COUNTER2	Analysis of a BCD counter
CROSSOVR	Analysis of a passive 1kHz cross-over network
CURVES	BJT IV curves
DECODER	Use of a digital subcircuit as a decoder
DIFFAMP	Analysis of a differential amplifier
DIG_POWER	How to change the digital power supplies
DIRA	Use of the operators d, avg, sum, and rms
ECLGATE	Analysis of an analog equivalent ECL gate
F1	Use of the VCO macro
F2	Use of a nonlinear function source
F3	Use of a nonlinear function source
F4	Use of the Triode macro
FFT1	Use of DSP and complex operators
FFT3	Use of cross-correlation and auto-correlation operators
FFT4	Use of the IFT operator
FFT5	Use of the auto-correlation operator
FFT7	Use of the DSP dialog box to eliminate startup transients
FILTER	Analysis of a Chebyshev filter and use of the Noise macro
FSK2	Use of the FSK modulator macro
FSTIM8	Use of the file stimulus component
GASFET	Use of the GaAsFET component
GILBERT	Analysis of a Gilbert multiplier
GUMMEL	Use of the Gummel-Poon SPICE BJT model
GYRTEST	Use of the gyrator macro
IVBJT	Use of DC analysis to plot the IV curves of a BJT
L1	Use of a Laplace source to model a passive network
L2	Use of Laplace sources to model transmission lines
L3	Use of a Laplace source to model a Butterworth filter
LM117REG	Using the LM117 model
LTRA3	Use of the lossy transmission line
MIXED	Analysis of a mixed-mode circuit

MIXED1	Analysis of a mixed-mode circuit
MIXED4	Analysis of a mixed-mode circuit
MODELRLC	Use of temperature stepping
MOSCAPS	Plotting of MOSFET capacitance curves
MOSDIFF	Analysis of a MOSFET differential amplifier
NOISEBJT	Plotting of input and output noise
NYQUIST	Plotting of a Nyquist graph
O7	Analysis of a mixed-mode circuit
OPAMP1	Use of the three levels of opamps
OPT1	Using the Optimizer to maximize power transfer
OPT2	Using the Optimizer to maximize low frequency gain
OPT3	Using the Optimizer to design matching networks
OPT4	Using the Optimizer in curve fitting
OSC1	Use of the Schmitt macro in an oscillator
P1	Use of the Laplace table source for a RC network
PERF1	Demonstrates the use of performance plots
PERF2	Demonstrates the use of performance plots
PLA2	Use of a PLA subcircuit as an equality comparator
PLA3	Use of the PLA digital primitive
POTDEMO	Use of the pot macro
PRINT	Use of the print preview for the schematic
PRLC	Analysis of a simple passive network
PSK2	Use of the PSK modulator macro
RCA3040	Analysis of a RCA3040 component
RELAY	Using the relay models
RISE	Use of Monte Carlo routines for rise times
S_2FLY_CM	Two-Switch Flyback Converter
S_2FOR_CM	Two-Switch Forward Converter
S_BOOST_CM	Boost Current Mode Converter
S_BOOST_VM	Boost Voltage Mode Converter
S_BUCK_CM	Buck Current Mode Converter
S_BUCK_SYN	Synchronous Buck Voltage Mode Converter
S_BUCK_SYN2	Synchronous Buck Current Mode Converter
S_BUCK_VM	Buck Voltage Mode Converter Converter
S_BUCKBOOST_CM	Buck-Boost Current Mode Converter
S_BUCKBOOST_VM	Buck-Boost Voltage Mode Converter

S_FLYBACK_CM	Flyback Current Mode Converter
S_FLYBACK_VM	Flyback Voltage Mode Converter
S_FORWARD_CM	Forward Current Mode Converter
S_FORWARD_VM	Forward Voltage Mode Converter
S_FULL_CM	Full Bridge Current Mode Converter
S_FULL_VM	Full Bridge Voltage Mode Converter
S_FULL_XFMR	Full Bridge with XFMR Current Mode Converter
S_HALF_CM	Half Bridge Current Mode Converter
S_HALF_VM	Half Bridge Voltage Mode Converter
S_HALF_XFMR	Half Bridge with XFMR Current Mode Converter
S_NCP	NCP1200 Converter
S_PUSH_CM	Push-Pull Current Mode Converter
S_PUSH_VM	Push-Pull Voltage Mode Converter
SH2	Use of the sample and hold component.
SMITH	Use of the Smith chart
SPARK	Use of the spark-gap macro
STIM_DEMO	Use of the digital stimulus generators
STIMSAMP	Use of the digital stimulus generators
STIMTST2	Use of a Stim generator in counting from 0 to F
STIMTST3	Use of the INCR command in a Stim generator
STIMTST4	Use of the random characters in a Stim generator
SUBCKT	Use of an analog subcircuit
SUBCKT1	Adding subcircuits to the library
SWITCH	Use of the three types of the Switch component
SYSTEM1	Analysis of a mechanical system
SYSTEM2	Use of behavioral modeling components
T1	Use of nonlinear table sources
THY1	Use of the Put, Triac, and SCR macros
THY2	Analysis of a SCR phase control
TL1	Use of transmission line and plotting line variables
TL2	AC simulation of a transmission line
TL3	Plotting the input small signal impedance
TRANS	Use of the three methods of implementing a transformer
TTLINV	Use of mixed mode analysis
TUBE_AMP	Vacuum tube amplifier
TUBE6L6	Vacuum tube circuit

UA709	Analysis of a UA709 opamp
UA723_REG	Using the UA723 model
UA741	Analysis of a UA741 opamp
USER	Use of the User source
USER2	Use of multiple User sources
XTAL1	Use of the crystal macro
ZDOMAIN	Use of the Z transform source

## 5.2. SPICE ファイル

(ファイル名)	(内容)
ASTABLE.CKT	Analysis of a SPICE circuit
CHOKE.CKT	SPICE equivalent of CHOKE
ECLGATE.CKT	SPICE equivalent of ECLGATE
PLA1.CKT	Use of a PLA subcircuit in a SPICE file
PLA2.CKT	The PLA subcircuit that is used in PLA2
RCA3040.CKT	SPICE equivalent of RCA3040
RTLINV.CKT	Analysis of a SPICE equivalent inverter
SCHMITT.CKT	Analysis of a SPICE Schmitt trigger
TTLINV.CKT	SPICE analysis of a TTL inverter
UA709.CKT	SPICE equivalent of UA709
UA741.CKT	SPICE equivalent of UA741

## 6. 参考文献

### 6.1. Micro-Cap 7 の使用方法に関するもの

#### 製品に付属するもの

「Micro-Cap 7 User's Guide」(英語、約 254 ページ、著: Spectrum Software)

「Micro-Cap 7 Reference Manual」(英語、約 712 ページ、著: Spectrum Software)

「Micro-Cap 7 セットアップの手引き」(日本語、約 10 ページ、著: 東陽テクニカ)

#### 現在準備中のもの

2002 年 2 月現在、日本語訳を準備中です。完成次第、製品版ユーザの方へ送付させていただきます。

「Micro-Cap 7 ユーザーズガイド」

「Micro-Cap 7 リファレンスマニュアル」

#### 市販されているもの

「トランジスタ技術 SPECIAL No.56 電子回路シミュレータ活用マニュアル」

「トランジスタ技術 SPECIAL No.62 電子回路シミュレータの本格活用法」

### 6.2. 半導体部品のモデリング

「SPICE - Practical Device Modeling」

著: Ron Kielkowski、出版: McGraw Hill 1995. ISBN# 0-07-911524-1

“reasonable”な半導体モデルを作成する方法について解説した良書です。

「Semiconductor Device Modeling with SPICE」

著: Paolo Antognetti, and Giuseppe Massobrio、出版: McGraw-Hill, 1988

SPICEの部品モデルに関するリファレンスの書籍です。

### 6.3. その他

「Switch-Mode Power Supply SPICE Simulation Cookbook」

著: Christophe Basso、出版: McGraw-Hill, 2001

SPICE でスイッチング電源をシミュレーションするための解説書です。Micro-Cap 7 のサンプル回路ディレクトリ(C:\MC7\DATA)には、この本で解説されている回路を多数収録しております。



