

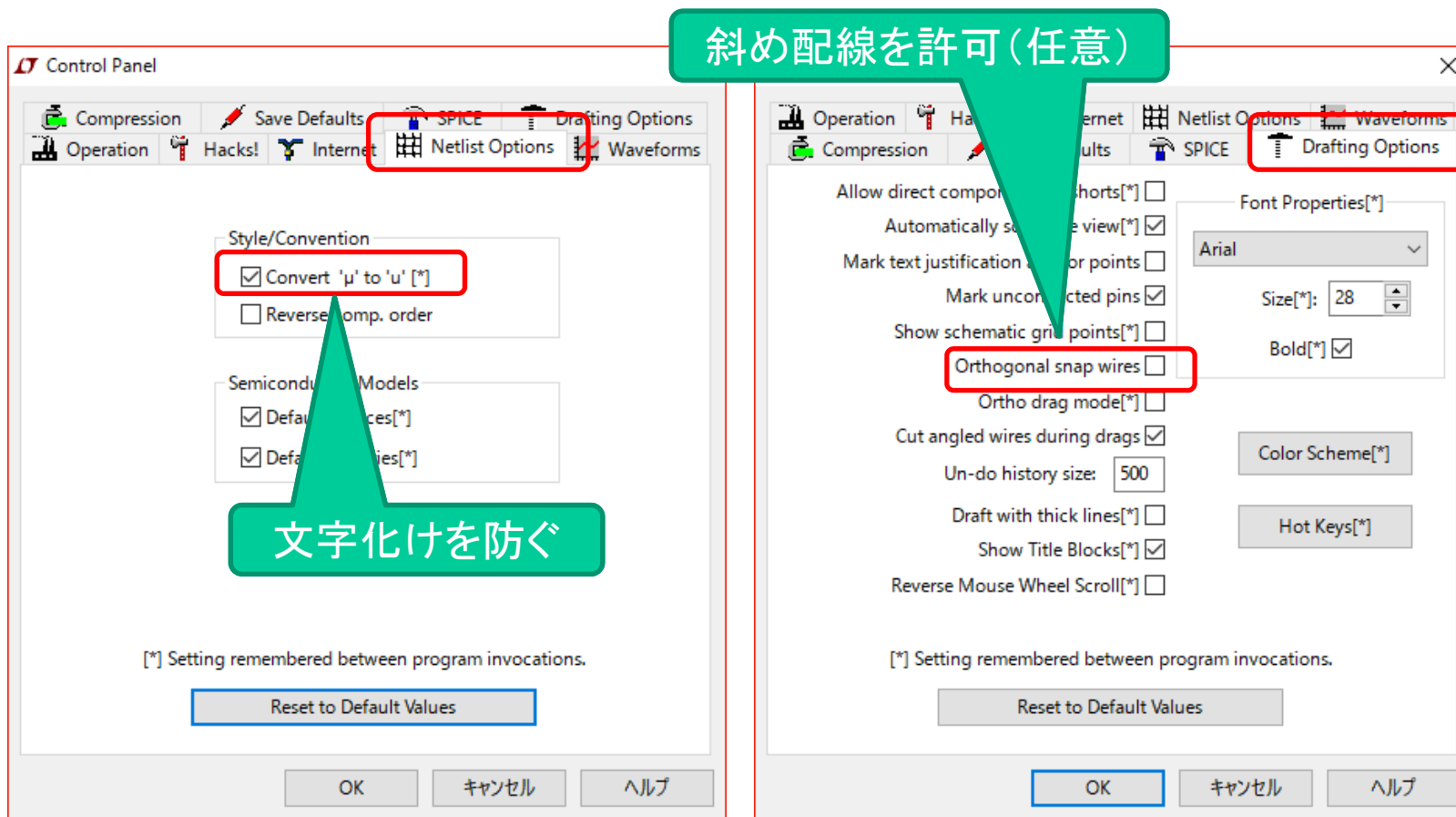
1.3 LTspiceの基本操作

回路図入力～シミュレーションの実行まで

1. 3. 1 初期設定

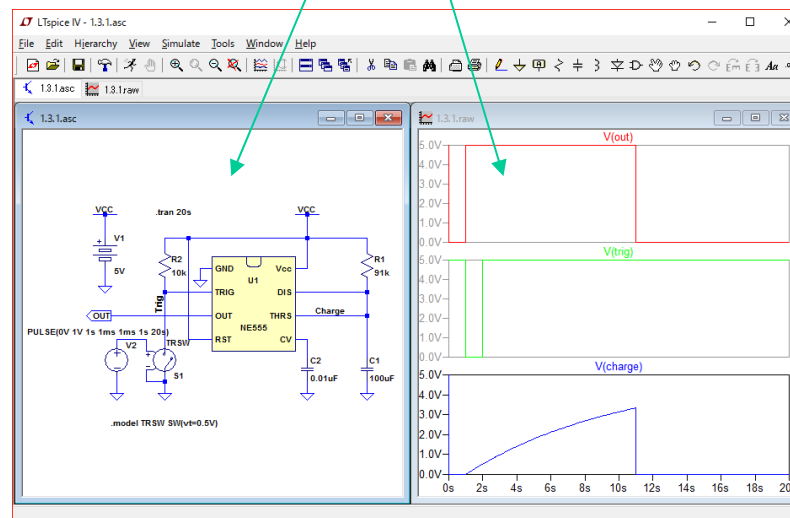
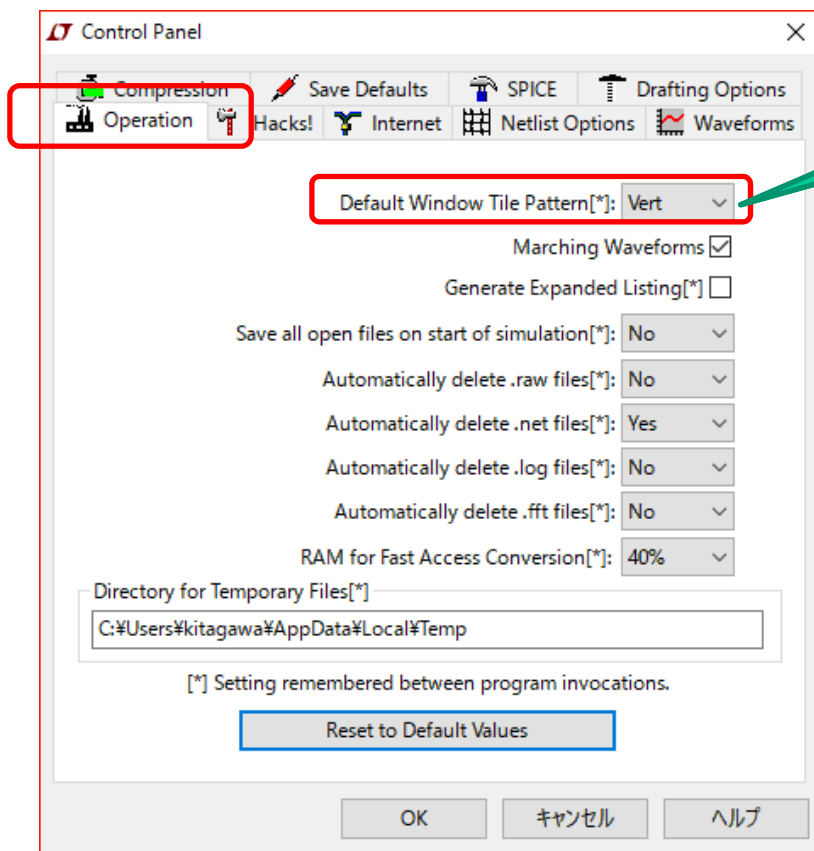
LTspiceを使いやすくするための準備

初期設定1



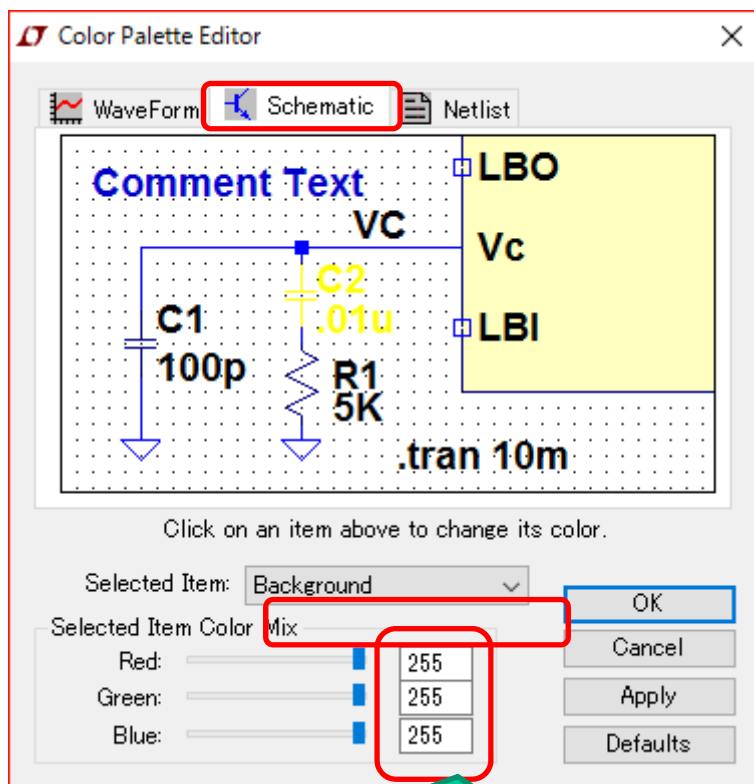
初期設定2

回路図とグラフを横に並べて表示(任意)

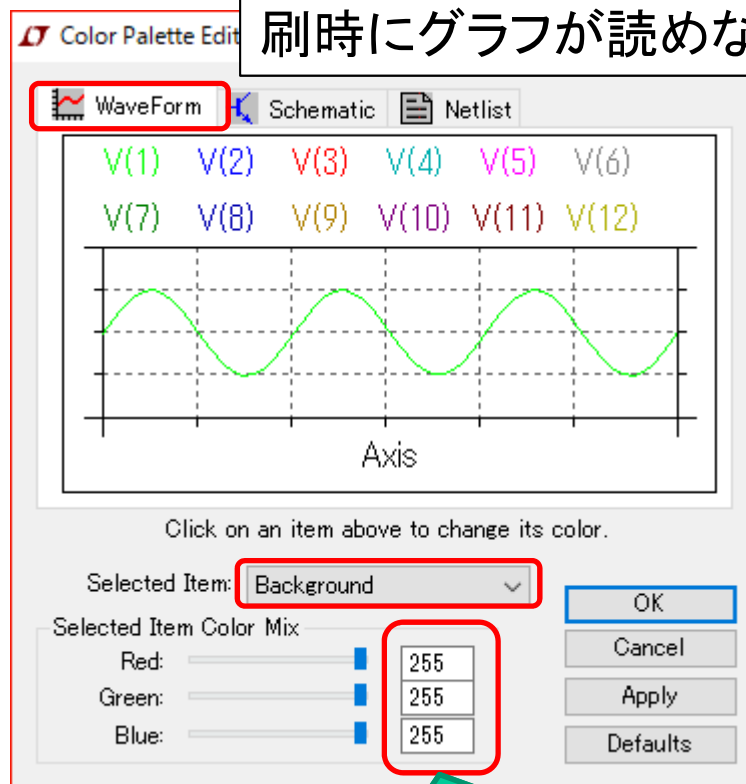


カラー設定

グラフの背景が黒だと印刷時にグラフが読めない



回路図の背景を白に
(任意)

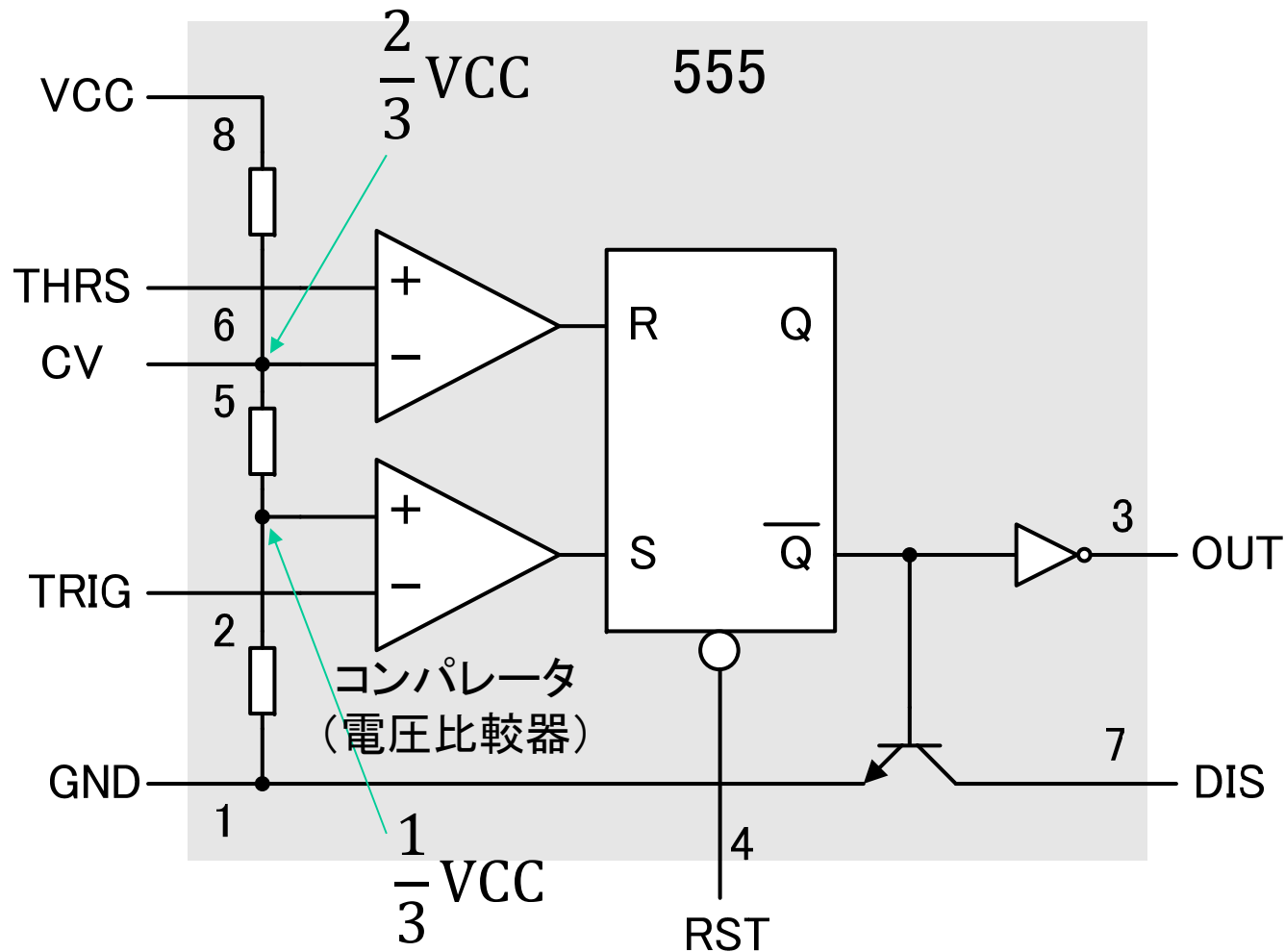


グラフの背景を白に
(必須)

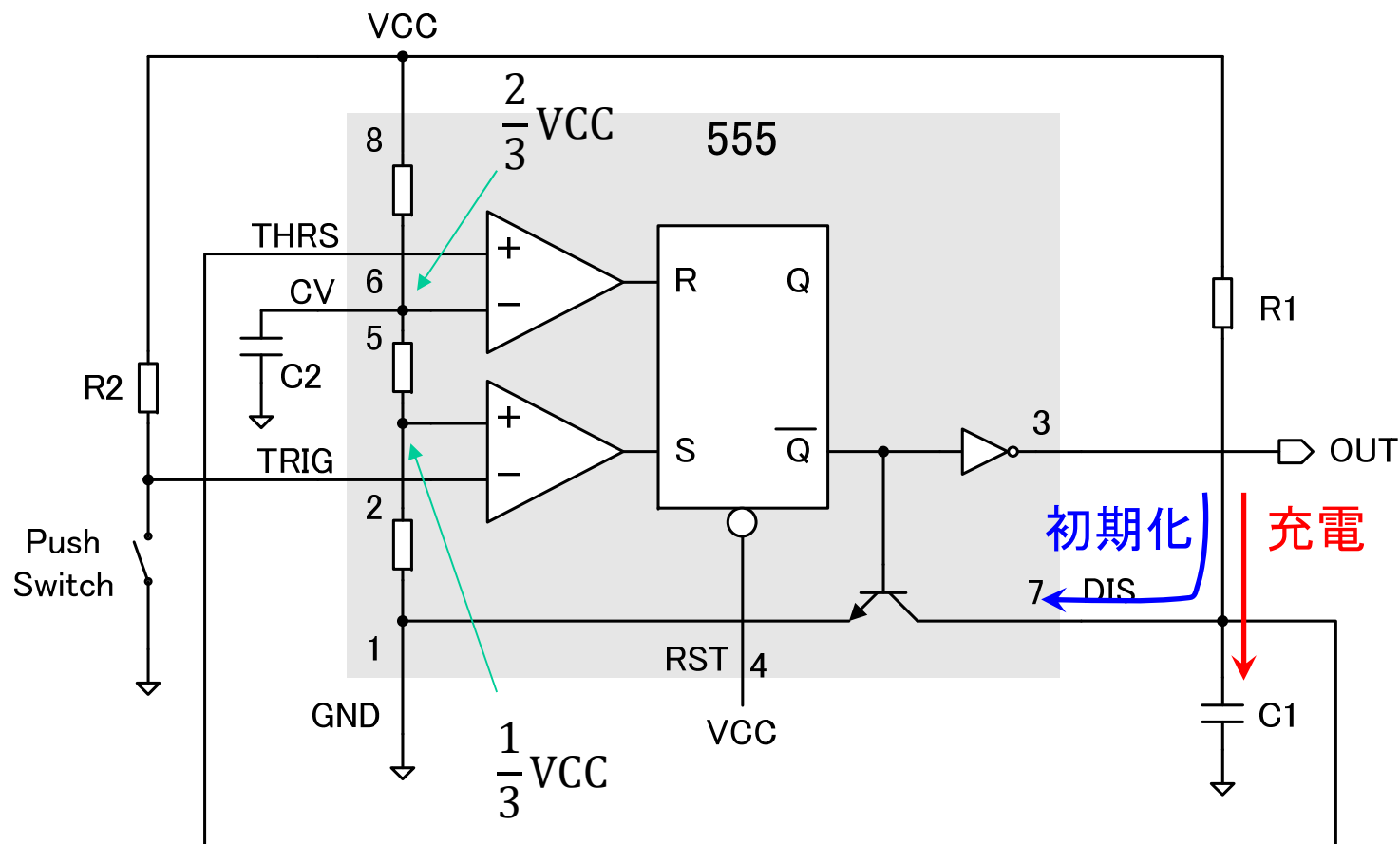
1. 3. 2 例題:Lチ力回路

Lチ力回路 = LEDを点滅させる回路

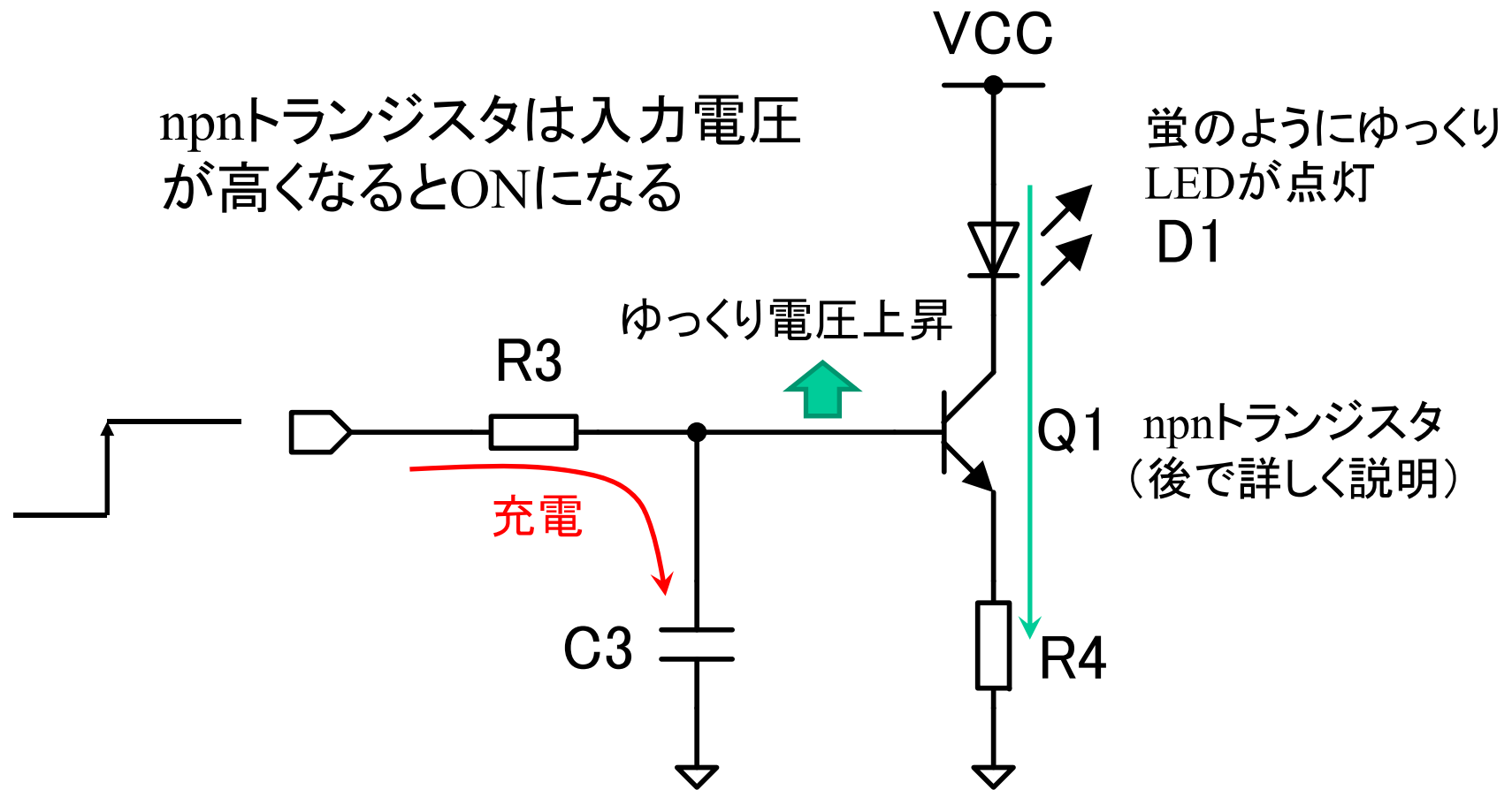
NE555 (タイマーIC) の内部回路



NE555を用いたタイマーの例



ソフトなLED点灯回路



回路図の作成

- 教科書2-1を参考にLチカの回路図を入力する
- **注意:** 保存は、ツールバーのディスクアイコンを使用**しない**で、メニューの[File] - [Save As] を使用すること
 - ツールバーから保存すると、ファイル名がDraft1.ascのようなデフォルト名になってしまい、後でファイルを探しにくい
 - 回路図ファイルの拡張子は、.ascとなる。回路図ファイルをダブルクリックすると、LTspiceを起動することができる

回路定数の書き方

覚えておこう

1. 定数に単位を付けるとき、数値との間にスペースを空けないこと(V, A, F, Hなどの単位は省略可)
 - 例: 100fF(フェムトファラッド), 1mH(ミリヘンリー)
2. マイクロはuで表す(※)
3. メガはMEG, ミリはmとする
 - SPICE系シミュレータでは大文字と小文字は同じものとして扱われるため

※ 回路シミュレータ特有の約束だが、回路分野の文書でも u が使用されることが多い。

SI接頭辞

SI: International System of Units

- 電子回路で出てくる数値には、非常に小さい値や大きい値が多い
- 接頭辞を用いて表記を簡略化する(記憶すること)

記号	読み方	指数部
PET	ペタ	10^{15}
T	テラ	10^{12}
G	ギガ	10^9
MEG	メガ	10^6
k	キロ	10^3
m	ミリ	10^{-3}
u	マイクロ	10^{-6}
n	ナノ	10^{-9}
p	ピコ	10^{-12}
f	フェムト	10^{-15}

Transient解析（横軸＝時間）の設定

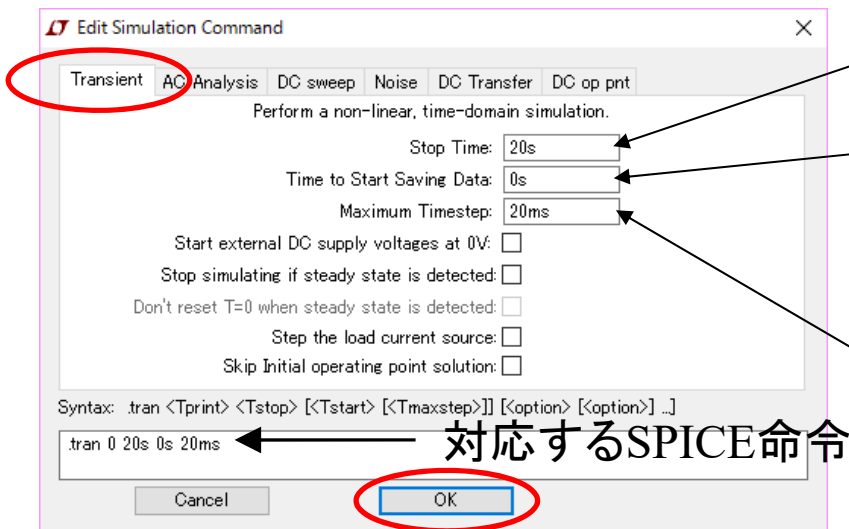
AC解析と同様に、回路図エディタの部品や配線がないスペースを右クリック

→ Edit Simulation Cmd. を選択

→ Transientタブを設定（教科書参照）

→ SPICEコマンドの文字列を回路図エディタ画面に配置

→ 再びスペースを右クリックし、Runでシミュレーション開始



シミュレーションを終了する時間

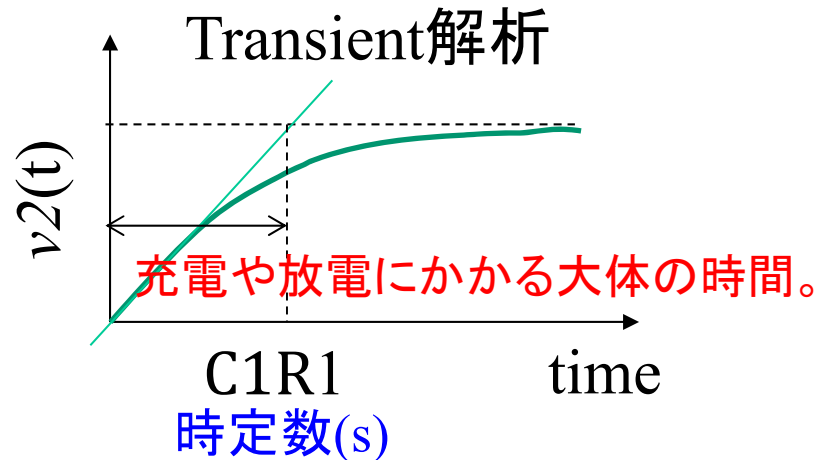
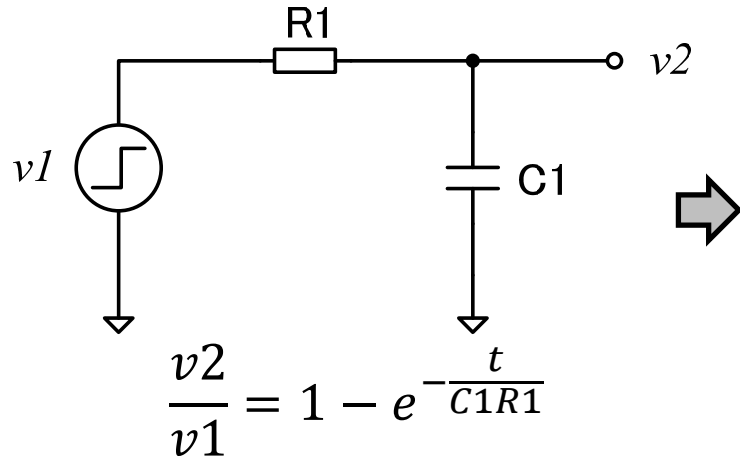
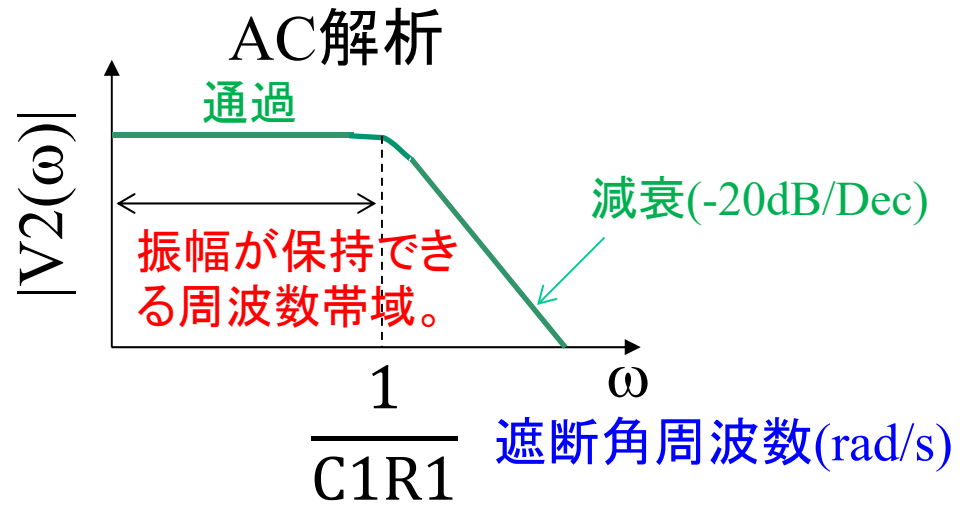
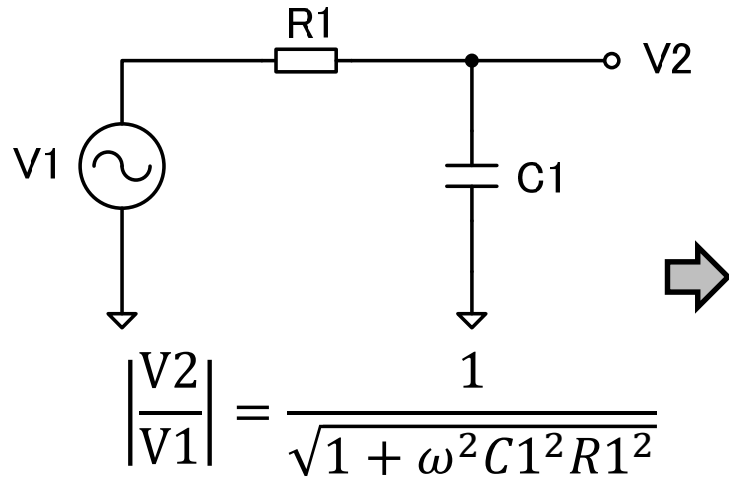
データの保存を開始する時間
(定常状態の波形を見たい場合などは、最初の方の結果は必要ないため。)

時間刻み幅の上限(シミュレータは時間刻みを自動調整している。)

課題1. 3. 2(1)

1. NE555を用いたタイマーのスイッチを入れた後、出力OUTが 'H' になり続ける時間 T_1 をR1, C1で表せ
2. NE555を用いた発振器の発振周期 T_2 をR1, R2, C1で表せ

(参考) RC回路の特性



課題1.3.2(2)

3. 教科書2.1節のLチカ回路のシミュレーションを行い、回路図、結果のグラフをPDFにして提出せよ(ワープロ等に貼り付けて、PDF出力すればよい)
 - 結果のグラフには、 $I(D1)$, LEDに加わる電圧, $V(BASE)$, $V(TRIG)$, $V(OUT)$ を示すこと
4. シミュレーション結果から、点灯時間 T_{ON} , 消灯時間 T_{OFF} , 発光周期 T_p を測定し、それぞれの計算値に対する相対誤差(%)を求めよ
 - ただし、 T_{ON} は、 $V(OUT)$ が'HIGH'となる時間、 T_{OFF} は、 $V(OUT)$ が'LOW'となる時間と定義する。

エクスポート

回路図の出力

回路図エディタで作成した回路図をOfficeソフト等を使用するとき

1. メニュー: Tools → Write to a .wmf file
2. 適当なファイル名を付けて保存
3. 保存できる形式はWMF(Windows Meta File)のみ

シミュレーションデータの出力

シミュレーション結果(数値)をExcelや他のソフトウェアで使いたいとき

1. 保存したいグラフのウィンドウをクリック
2. メニュー: File → Export
3. 保存したい電圧、電流を CTRLキーを押しながら選択し、OKボタンをクリック
4. ファイル名は、自動的に"回路名.txt"となる(PRN形式)

画面のコピー

回路図やグラフをコピーしたいとき

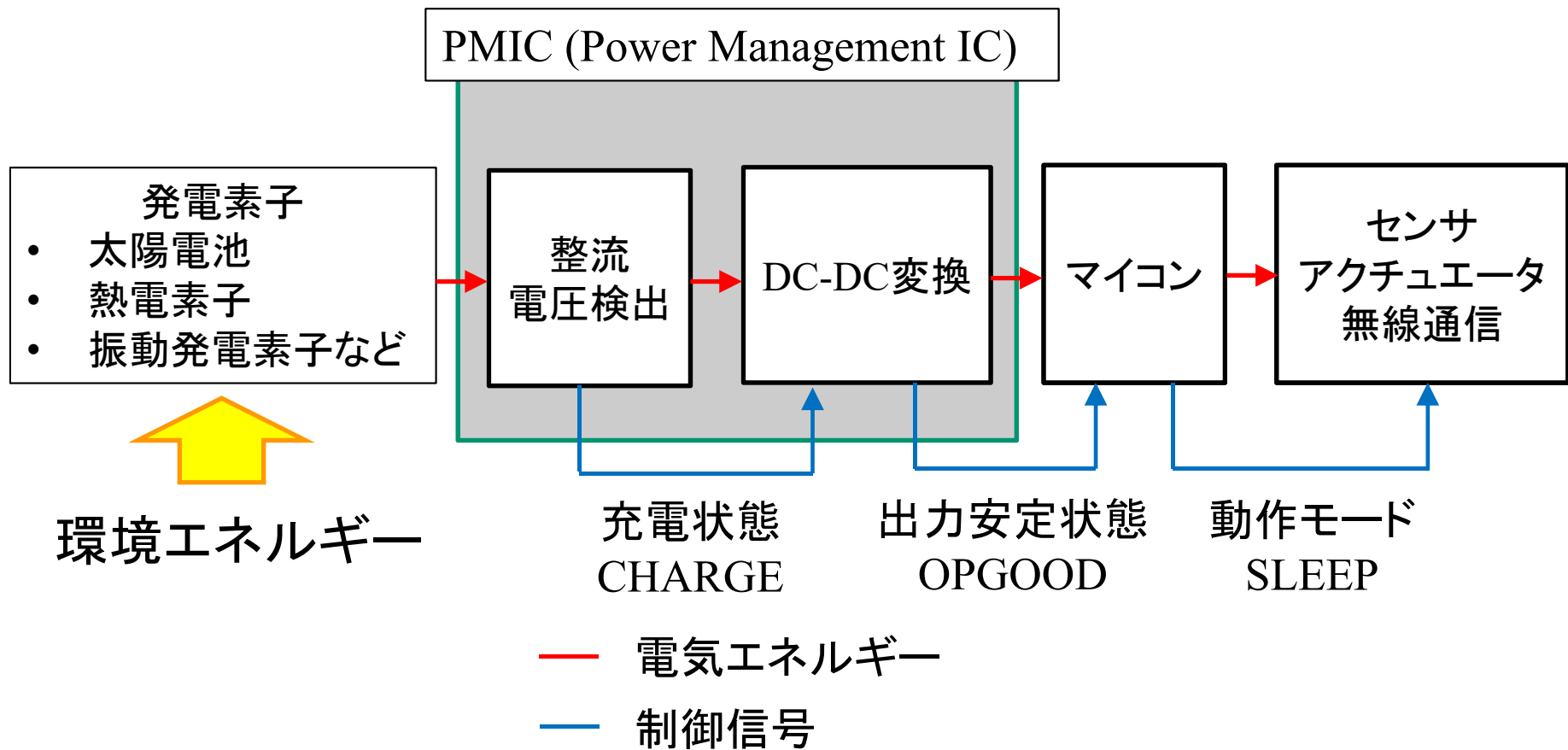
1. 回路図をコピーしたい場合は、回路図のウィンドウをクリック
2. グラフをコピーしたい場合は、グラフのウィンドウをクリック
3. メニュー: Tools → Copy bitmap to Clipboard
4. 貼り付け先でペースト(CTRL + v)を実行

(注意) 表示されているままの形でコピーされるので、予め貼り付け先の大きさに合わせてから実行すること。ビットマップデータなので、後で拡大縮小するときたなくなる。

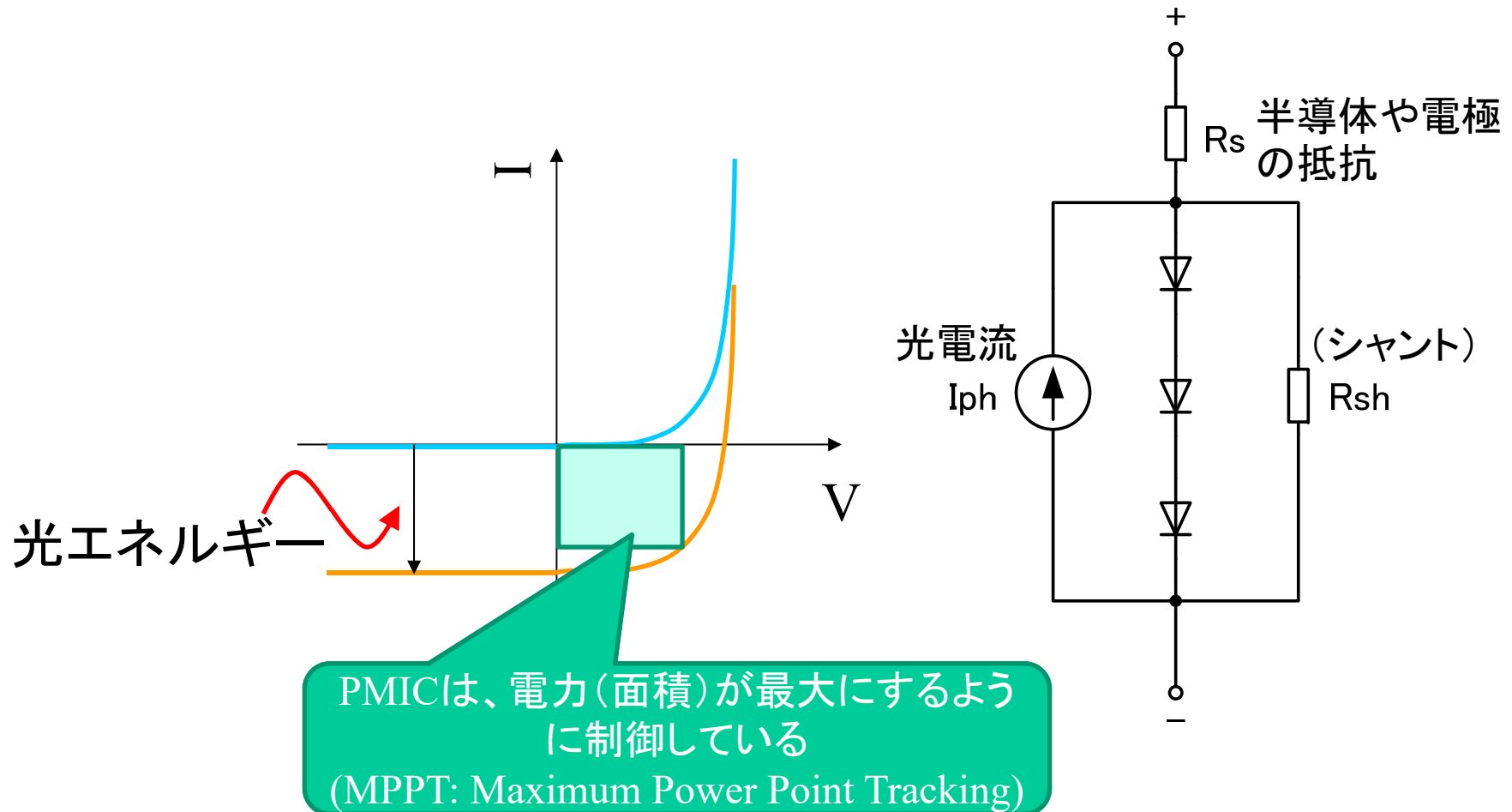
1. 3. 3 例題: エナジーハーベ スティング

エナジーハーベスティング = 環境エネルギーの電力への変換

エネルギーハーベスティング回路



太陽電池の等価回路

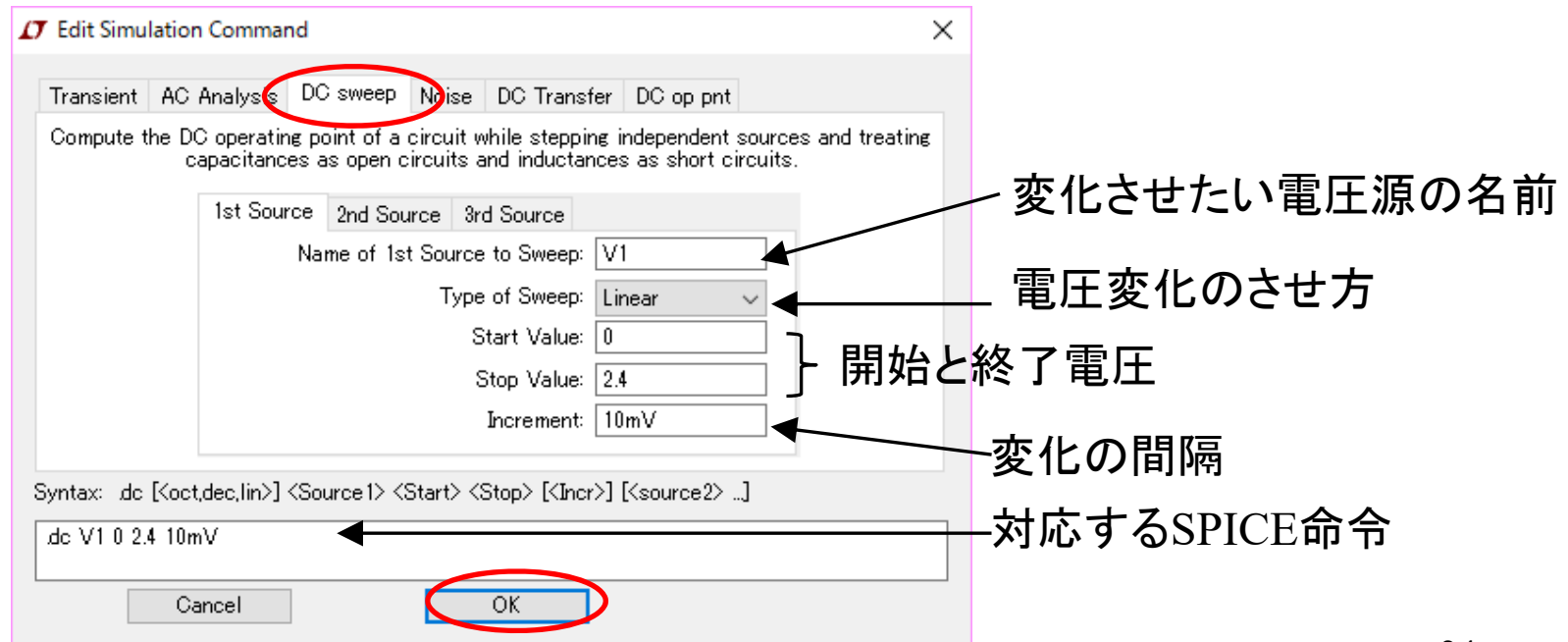


太陽電池のモデル

- 発電素子のような特殊な部品は、回路シミュレーション用のモデルが無い場合が多いため、等価回路を作成して、データシートの特性と合わせ込む必要がある
- 教科書3-1を参考に、太陽電池の等価回路を入力する

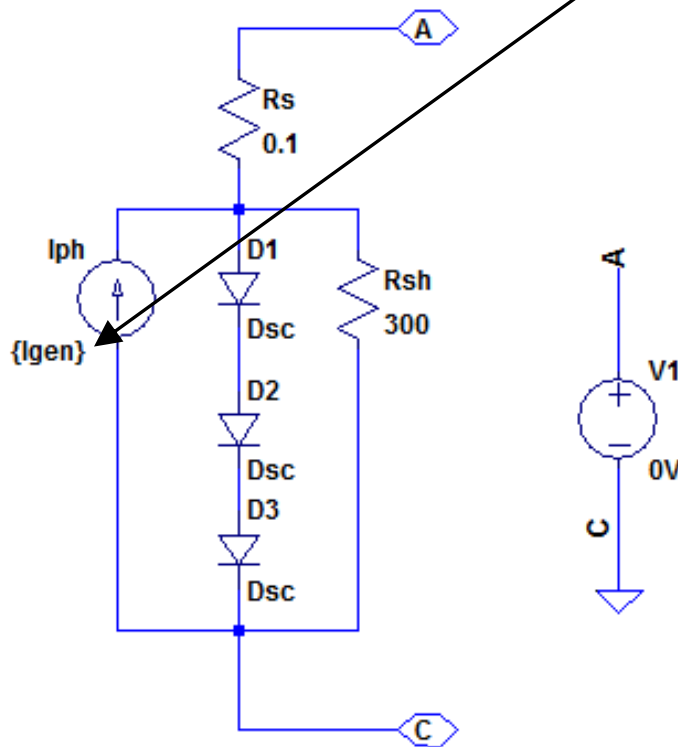
DC解析(横軸=電圧)の設定

- 回路図エディタの部品や配線がないスペースを右クリック
- Edit Simulation Cmd. を選択
- SPICE命令の文字列(.dc~)を回路図エディタ画面に配置
- 再びスペースを右クリックし、Runでシミュレーション開始



パラメータスイープ

```
.dc V1 0 2.4 10mV  
.step param Igen list 0mA 100mA 200mA 300mA  
.meas dc Pmax max I(V1)*V1  
.meas dc Vmax find V1 when I(V1)*v1=Pmax  
.meas dc Imax find I(V1) when I(V1)*v1=Pmax
```



```
.model Dsc D(Is=80n Rs=0.1 N=1.9)
```

.step 命令で変数値を指定する。
変数は、{Igen}のように{}で囲む。

.meas 命令で自動測定を行う。

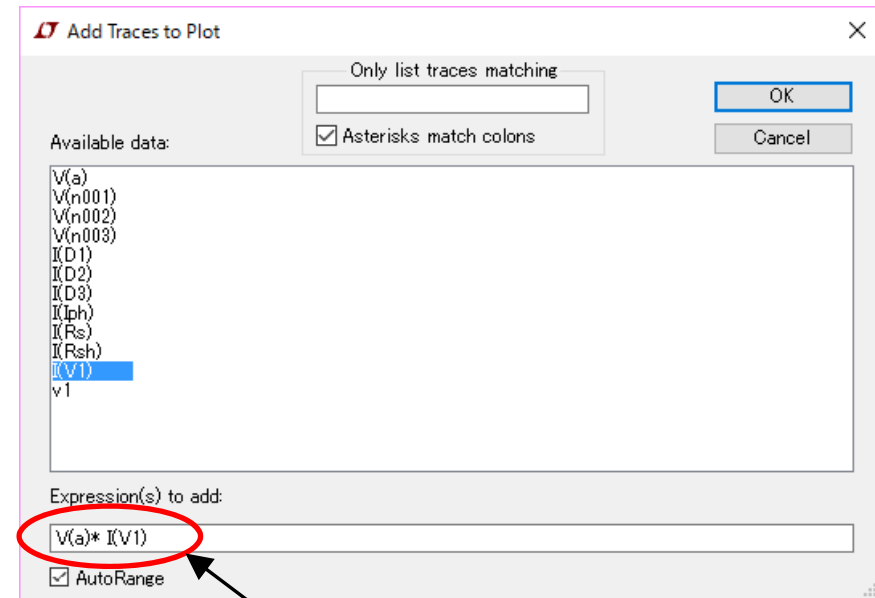
- Pmax 最大電力
- Vmax 最大電力となる電圧
- Imax 最大電力となる電流

素子値を変化させて特性変化を解析することを**パラメータスイープ**と呼ぶ。

命令(ディレクティブ)の入力は、.opアイコンをクリック。

波形演算

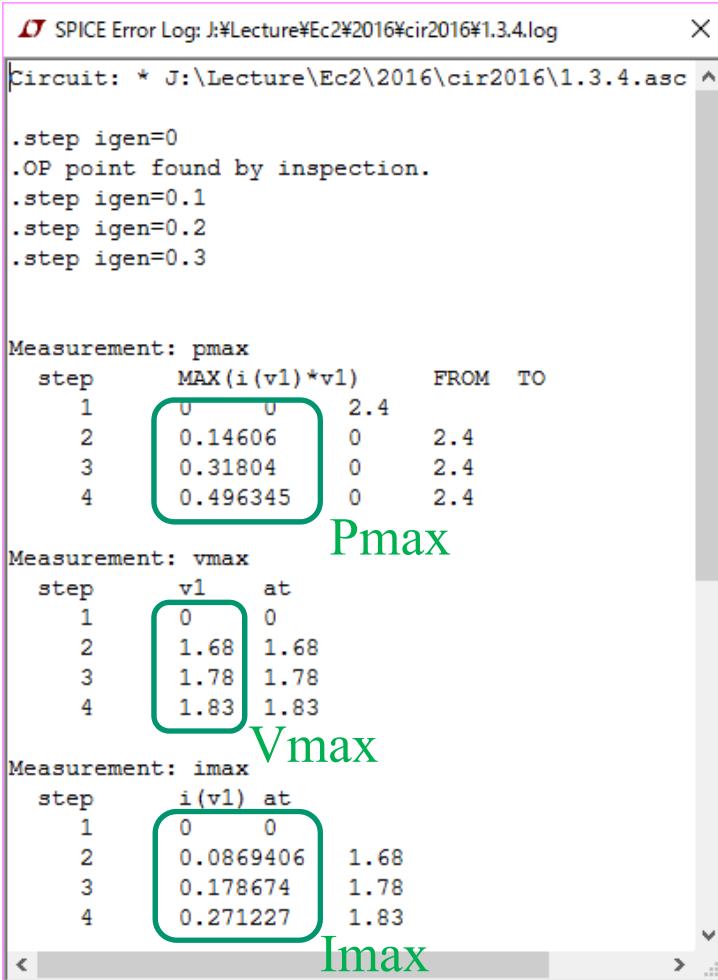
- グラフの上で右クリック
- Add Plot Paneを選択
- 追加された空のグラフ枠内を右クリック
- Add Traceを選択
- Expression(s) to add:欄に $V(A)*I(V1)$ を入力
 - ALTを押しながらV1をクリックでも、電力表示できる
- 縦軸の数字をクリックして、Top = 600mW, Bottom=-100mWに変更



求めたい値の計算式を入力

.measの結果の確認

- グラフまたは回路図の上で
右クリック
- ポップアップメニューから
[View] - [SPICE Error Log]
を選択
- SPICE Error Logウィンドウ
が開き、結果が表示される



```
SPICE Error Log: J:\Lecture\Ec2\2016\cir2016\1.3.4.log
Circuit: * J:\Lecture\Ec2\2016\cir2016\1.3.4.asc
.step igen=0
.OP point found by inspection.
.step igen=0.1
.step igen=0.2
.step igen=0.3

Measurement: pmax
step    MAX(i(v1)*v1)    FROM  TO
1       0 0            2.4
2       0.14606        0     2.4
3       0.31804        0     2.4
4       0.496345       0     2.4

Measurement: vmax
step    v1    at
1       0    0
2       1.68 1.68
3       1.78 1.78
4       1.83 1.83

Measurement: imax
step    i(v1) at
1       0    0
2       0.0869406 1.68
3       0.178674 1.78
4       0.271227 1.83
```

Pmax

Vmax

Imax

ネットリスト

- 回路の接続情報を表すデータを**ネットリスト(Netlist)**と呼ぶ
 - 回路図エディタは、回路図をネットリストに変換する
 - 回路シミュレータは、ネットリストに基づき回路方程式を作成する
- LTspiceでシミュレーションを実行すると、拡張子 `.asc`, および `.net` というファイルが作成される
 - `*.asc`: 回路図エディタのデータ(ダブルクリックで回路図エディタ起動)
 - `*.net`: ネットリスト(SPICE形式)
- 保存した `*.net` ファイルをテキストエディタで開いてみよう
 - ネットリストは、終了時に削除される(デフォルト設定の場合)
 - ネットリストを保存したい場合は、メニュー: View → SPICE Netlist
 - ネットリストが表示されるので、ネットリスト上を右クリック → Edit as Independent Netlist で保存(この場合は、拡張子 `.cir`となる)

SPICEネットリストのフォーマット

```
* J:\Lecture\Ec2\2016\cir2016\1.3.4.asc  
Iph 0 N001 {Igen}  
Rsh N001 0 300  
Rs A N001 0.1  
V1 A 0 0V  
D1 N001 N002 Dsc  
D2 N002 N003 Dsc  
D3 N003 0 Dsc  
.model Dsc D(Is=80n Rs=0.1 N=1.9)  
.dc V1 0 2.4 10mV  
.step param Igen list 0mA 100mA 200mA 300mA  
.backanno  
.end
```

← 行頭の*はコメント行。

← Rshがノード"N001"とノード"0"の間に接続されている。抵抗値は300Ω。ノード番号'0'は、GND(Ground)を表す。

} .で始まる行はシミュレータに渡す命令行(SPICE Directive)。

(参考) ネットリストの使い道

- 回路の表記法にはネットリスト以外の色々な方法がある
 - Verilog-A
 - アナログ回路やMEMS (Micro Electro Mechanical Systems・・・所謂マイクロマシン) や新デバイスなどのあらゆる機能と特性を記述できるCに似た言語
 - Verilog-HDL, VHDL
 - デジタル回路の機能を記述し論理合成 (回路の自動合成) に使うCに似た言語
 - SystemC
 - ハードウェアとソフトウェアを一緒に記述し、ハードウェアに割り当てた部分の Verilog-HDL, VHDL を自動作成できる言語 (C++ を拡張したもの)
- 言語記述と回路を混在させてシミュレーションするためには、ネットリスト記述を知っておくと役立つ
- シミュレーションがエラーとなったときにも、ネットリストが解ると、原因の特定のために役立つ

課題1.3.3

- 教科書3-2, 3-3を参考にして、環境発電回路のシミュレーションを行い、回路図、結果のグラフをPDFにして提出せよ。グラフには、 $V(VDD)$, $V(IN)$, $V(LDO)$, $V(MPPC)$, $V(PGOOD)$, $V(AUX)$, $I(L1)$, $I(R5)$ を示すこと。

1. 3. 4 WAVファイル入出力

トーンコントロールの実験

1. wavファイルを用意する
 1. ビット数16, サンプリングレート44.1kHz, 長さ1~2秒(あまり長くするとシミュレーション時間がかかる)
 2. Windowsでは、スタートメニューより、アクセサリ - ボイスレコーダー(またはサウンドレコーダー)によりwavファイルに録音できる
 3. ICLレコーダやCDからwavファイルを作成してもよい
2. 次ページを参考に、wavファイルの波形をV1の波形に指定する
3. シミュレーションを実行しOUT2とOUT3の波形を再生して音の変化を耳で確認せよ
4. LTspiceで、V(IN), V(OUT2), (VOUT3)の波形を表示せよ
5. V(IN), V(OUT2), V(OUT3)をFFT(高速フーリエ変換)して、スペクトラムを表示し、レポートに貼り付けせよ
 1. 波形表示ウインドウを選択してから、メニューより、[View] - [FFT] を実行
6. 音質の変化とスペクトラムの変化の原因について考察せよ

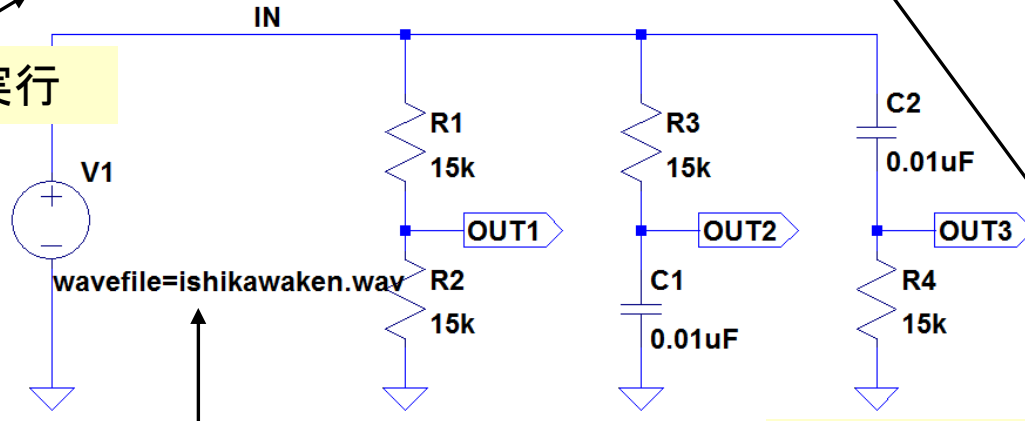
WAVファイルの入出力

Stop Time = 音声の時間
Max. Timestep = 1/ビットレート

ビットレートは、音声ファイルのプロパティで調べる。

Transient解析を実行

```
.wave ishikawaken_lpf.wav 16 44.1k V(OUT2) V(OUT2)  
.wave ishikawaken_hpf.wav 16 44.1k V(OUT3) V(OUT3)  
.tran 0 1.950 0 0.708u
```



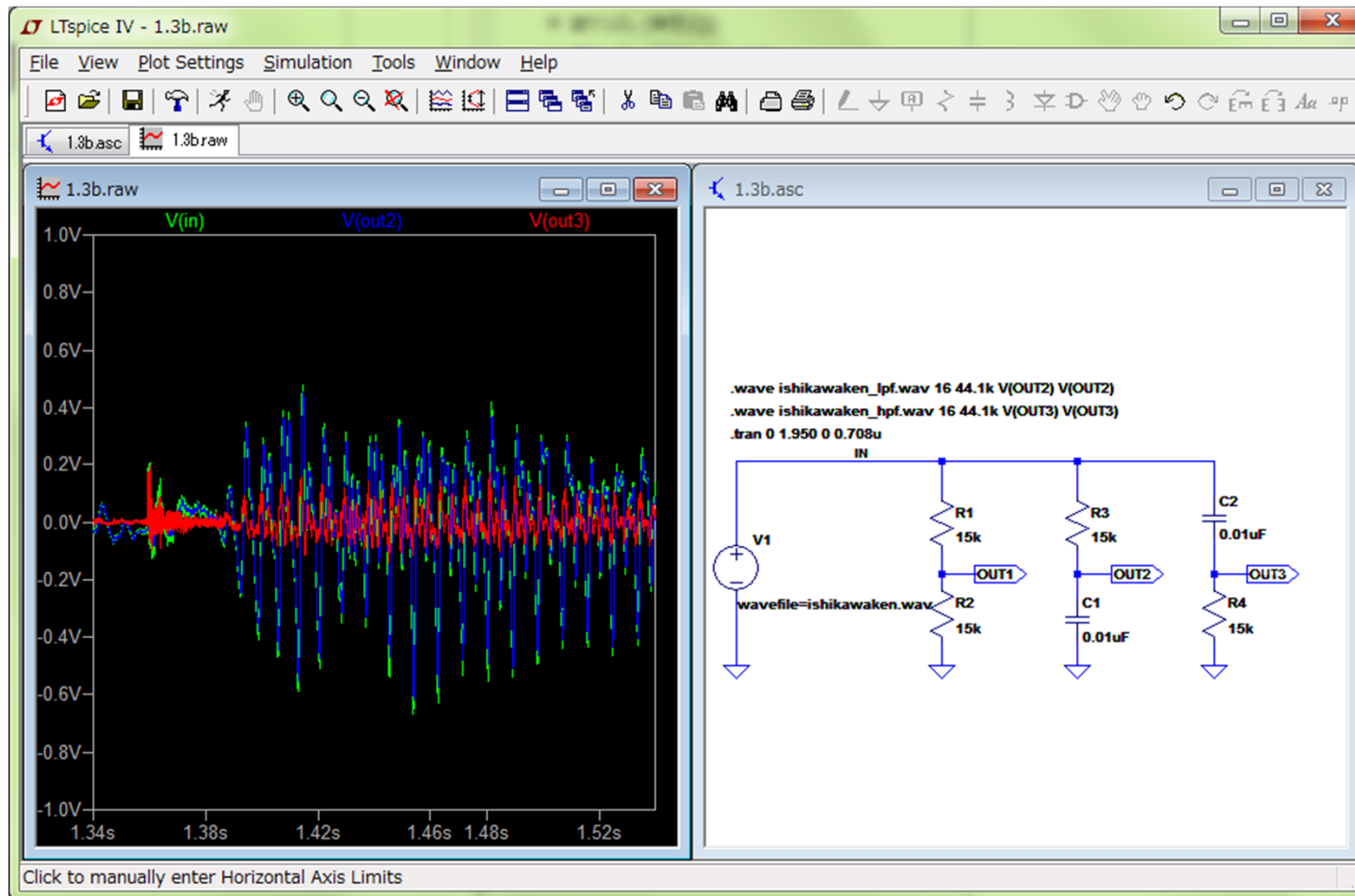
V1の電圧値をクリックまたはCTRL+右クリックにより、Valueとして、wavefile=入力ファイル名を入力

.opボタンにより、.waveコマンドを入力(WAVファイルへの出力設定)

出力ファイル名 = ishikawaken_lpf.wav
bit数 = 16
サンプリング周波数 = 44.1kHz
出力する電圧波形 = 左V(OUT2) 右V(OUT2)

(参考) WAVファイルは、MATLABなどにも受け渡しができる。

(参考) wavファイルを利用したシミュレーションの例



1.3節のまとめ

- LTspiceの基本的な使い方
 - デバイス(シンボル)の配置、配線
 - 素子値の設定
 - 半導体デバイスモデルとモデル名の指定
 - 電圧源、電流源の設定
 - 解析の設定(.DC, .TRAN命令の設定)
 - グラフ表示
 - 回路図とシミュレーション結果のエクスポート
 - wavファイルの入出力
- LTspiceの少し高度な使い方
 - .stepによるパラメトリック解析
 - .measによる自動測定
 - 波形演算機能によるシミュレーション結果に対する演算
 - ネットリストの出力