

第9章 モンテカルロ解析

ns-spice では、素子ばらつきによる回路動作への影響を評価するために用いられるモンテカルロ解析を簡単に行うことができます。

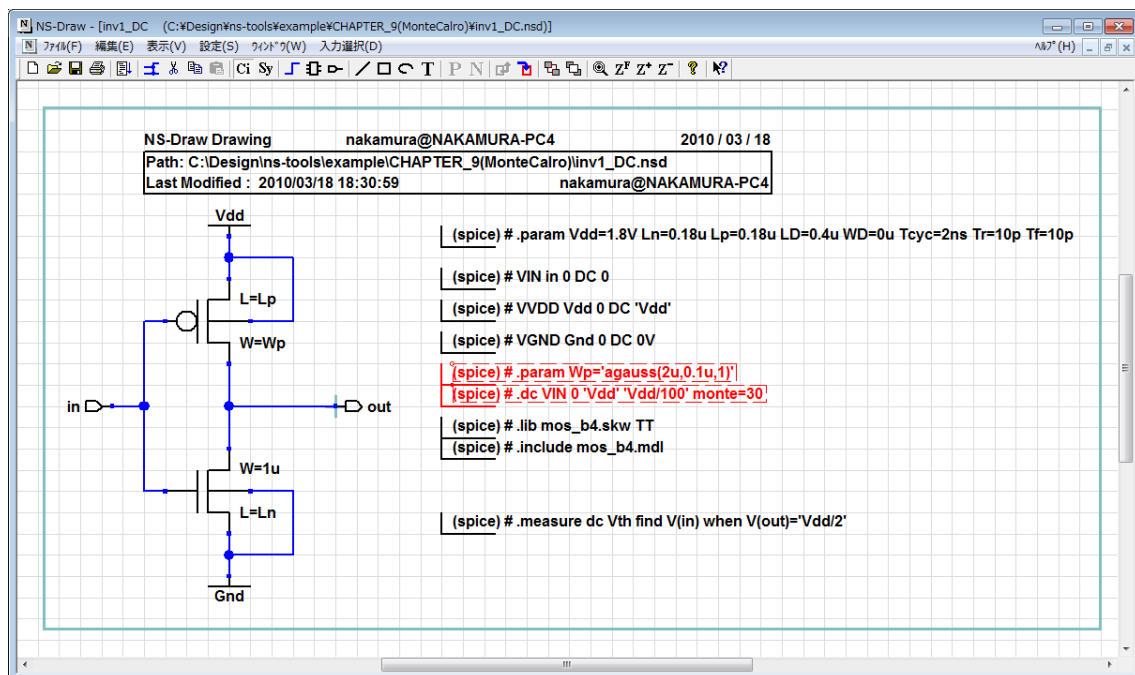


図1 モンテカルロ解析のサンプル回路図 (inv1_DC.nsd)

図1の `c:\Design\ns-tools\example\CHAPTER_9(MonteCalro)\inv1_DC.nsd` の例では、pMOSFETの W を変動させて、論理しきい値の変化をシミュレーションします。図中赤字の部分でモンテカルロ解析を行うために必要な部分です。まず、`.param` 文で、`Wp='agauss(2u, 0.1u, 1)'` と指定します。`agauss(x, y, z)` 関数は、関数が呼ばれる毎に、 x を中心値として、 $z\sigma$ が、 y となる正規分布の中から、乱数を用いて値を決定するものです。これにより、シミュレーションを実行する毎に、異なる値が Wp に代入されます。次に、`.dc` 行の末尾に `monte=30` と記述します。これにより、シミュレーションを30回繰り返します。リスト1に、図1の回路のシミュレーションの実行状況を示します。赤字で示すように、毎回のシミュレーションで、`agauss()` で、異なる値が生成されることが分かります。

リスト1 モンテカルロシミュレーションの実行結果 (コマンドプロンプト)

```

*****
** NS-Spice.                    Ver. Mar 18 2010 (Nanodesign Corp.) **
*****
  
```

```

*-----*
*--          Monte Carlo Analysis :   1( 1)   1/ 30  --*
*-----*
### agauss(2e-006, 1e-007, 1) => 1.93746e-006
*--          Result of .measure   --*
@wp          = 1.9374646538e-006
vth          = 0.895675747
*-----*
*-----*
*--          Monte Carlo Analysis :   2( 1)   2/ 30  --*
*-----*
### agauss(2e-006, 1e-007, 1) => 1.9437e-006
*--          Result of .measure   --*
@wp          = 1.9436971917e-006
vth          = 0.8961976378
*-----*
*-----*
*--          Monte Carlo Analysis :   3( 1)   3/ 30  --*
*-----*
### agauss(2e-006, 1e-007, 1) => 2.12556e-006
*--          Result of .measure   --*
@wp          = 2.125588913e-006
vth          = 0.9108233516
*-----*
*-----*
*--          Monte Carlo Analysis :   4( 1)   4/ 30  --*
*-----*
### agauss(2e-006, 1e-007, 1) => 1.99061e-006
*--          Result of .measure   --*
@wp          = 1.9906072770e-006
vth          = 0.900112736
*-----*
. . .
. . .
(中略)
. . .
. . .
*-----*
*--          Monte Carlo Analysis :  30( 1)  30/ 30  --*
*-----*
### agauss(2e-006, 1e-007, 1) => 2.05424e-006
*--          Result of .measure   --*
@wp          = 2.0542373002e-006
vth          = 0.9053007523
*-----*
*-----*
*--          Monte Carlo Analysis : Finished   --*
*--          measured.csv is created.         --*
*-----*

```

また、モンテカルロ解析の結果も、measured.csv に出力されています。これを表計算ソフトで読み込んで、図2のようなグラフを作成することができます。図2の結果が

ら、Excel の組み込み関数 STDEVP () を用いることで、 V_{th} の標準偏差は、6.5mV 程度であることが分かります。ただし、モンテカルロ解析の精度を上げるためには、繰り返し回数をさらに増やしたほうがよいと思われます。

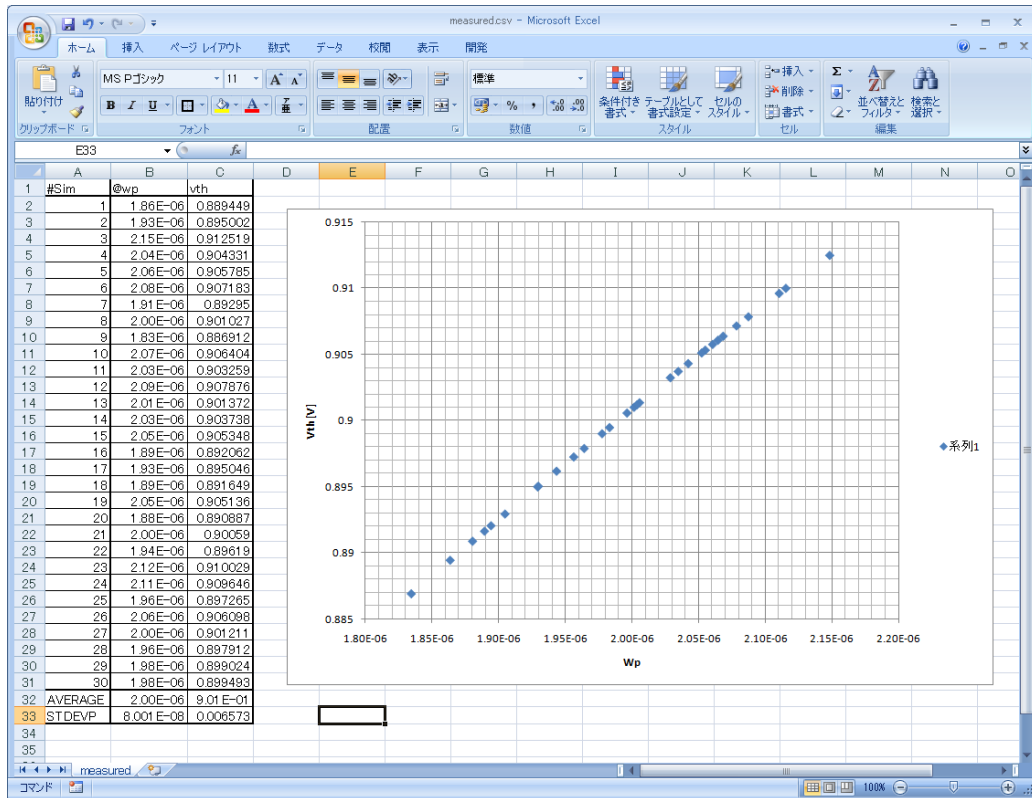


図2 モンテカルロ解析結果の CSV ファイル出力

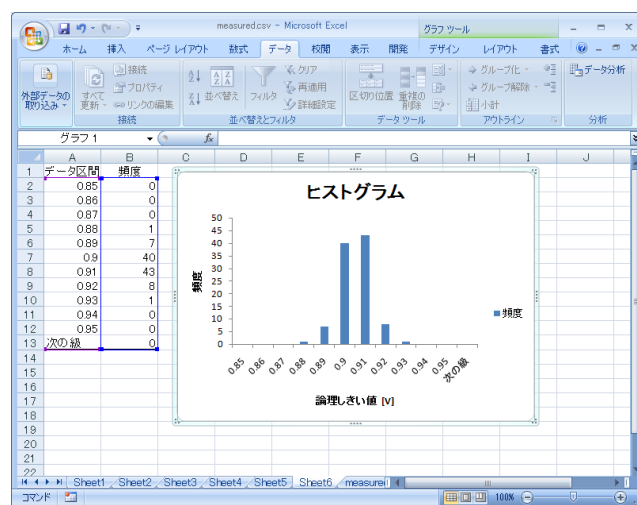


図3 ヒストグラムの作成 (monte=100)

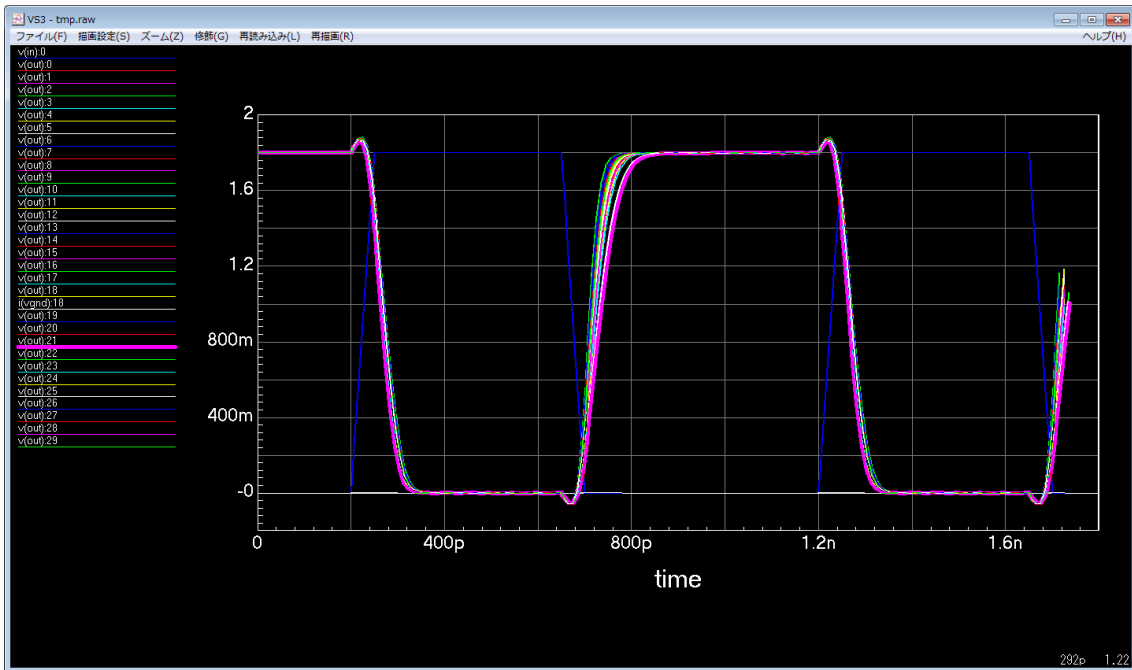


図5 モンテカルロ解析時の波形

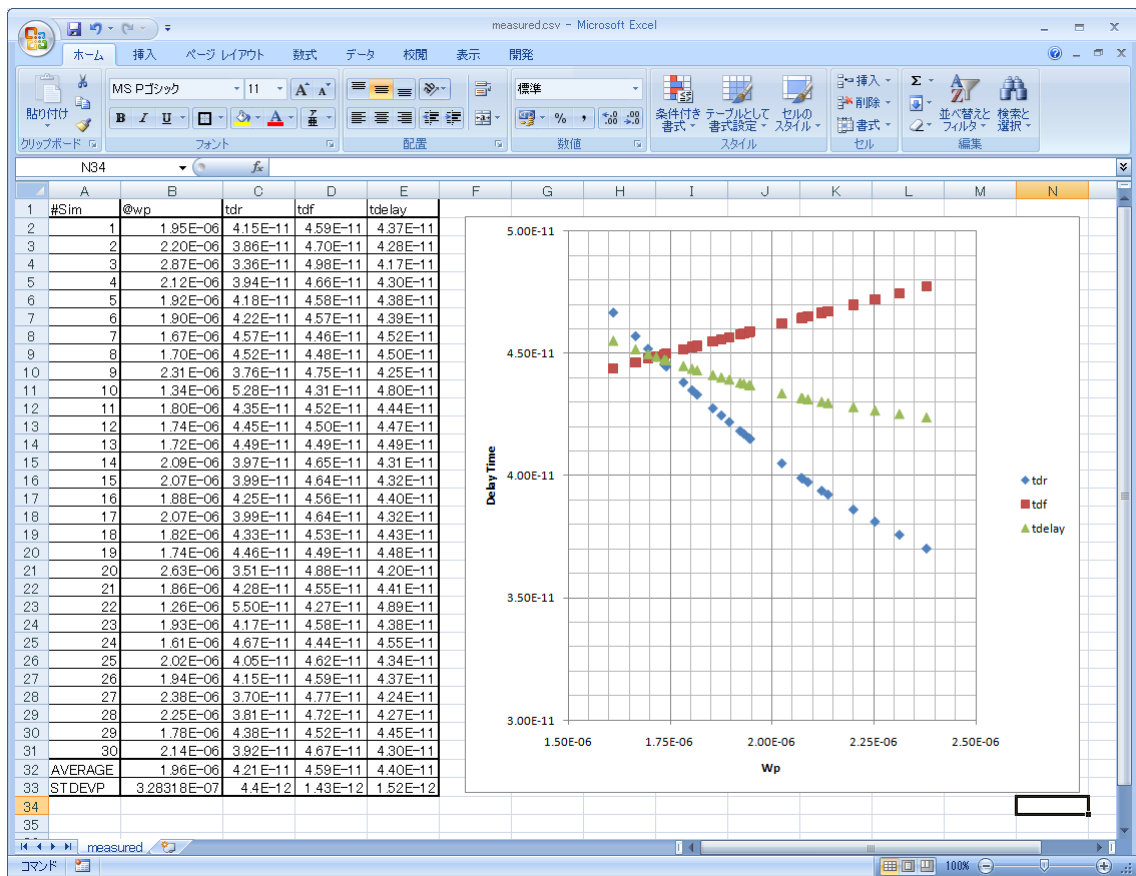


図6 Tdr, Tdf, Tdelay のモンテカルロ解析結果