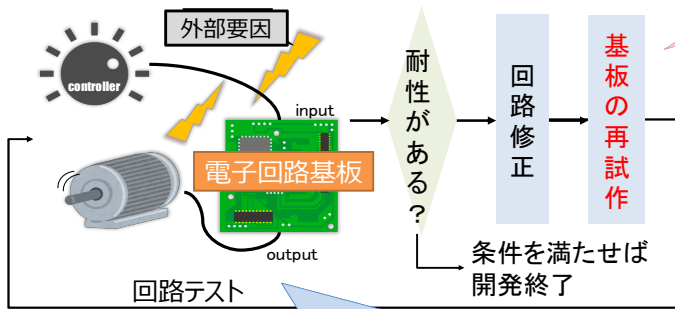


# FPGAによる電子回路シミュレーションの高速化

広島市立大学大学院情報科学研究科情報工学専攻  
 コンピューティング講座コンピュータアーキテクチャ研究グループ  
 弘中哲夫 谷川一哉 児島彰 窪田昌史

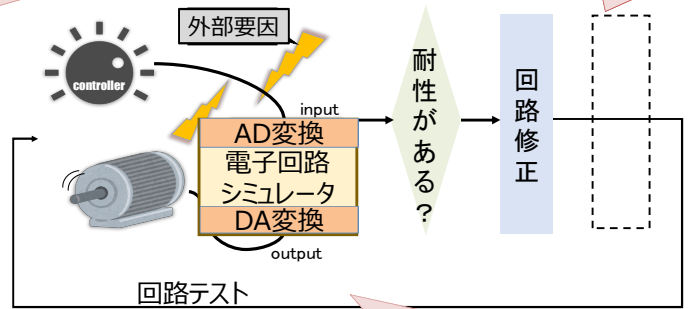
## 様々な機器に組み込まれた電子回路の開発



電子回路基板単体のテストだけではなくシステムと接続された状態でのテストも重要

試作を繰り返すと開発期間が長期化・試作コスト増大

基板再試作の回数が減少



電子回路シミュレータの導入  
 外部とはアナログ・デジタル信号を変換して接続

## 電子回路シミュレータに置き換えるには？

- リアルタイム処理
- 外部の機器からの信号入力に対して低遅延で信号を出力

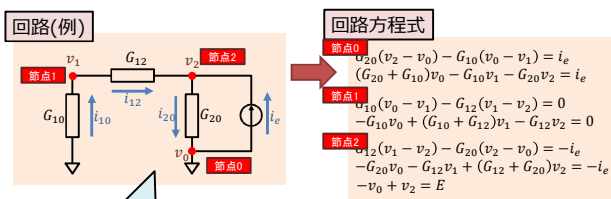
FPGA(Field-Programmable Gate Array)  
 書き換え可能なハードウェア  
 アプリケーション(この場合は電子回路シミュレーション)  
 専用のハードウェアによる高速化が可能

## FPGAによる電子回路シミュレーション

- ハードウェアによるシミュレーションの高速化
- シミュレータ外部のアナログ信号とシミュレーション内部のデジタル信号の変換(AD/DA変換)を含めた一体化したハードウェアによる高速化

## 電子回路シミュレータの実現

### 1. 節点解析法



$$Gv = b$$

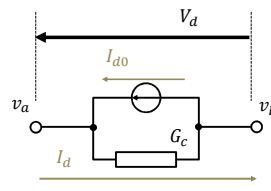
$$\begin{bmatrix} g_{10} + g_{12} & -g_{10} & -g_{12} & 0 \\ -g_{10} & g_{10} + g_{12} & -g_{12} & 0 \\ -g_{12} & -g_{12} & g_{12} + g_{20} & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_0 \\ i_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -i_e \\ E \end{bmatrix}$$

コンデンサやダイオードなどの素子は等価回路に置き換える

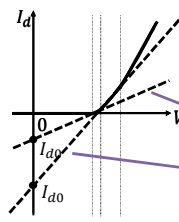
各節点の電位を表すベクトル列  $v$  を導出

タイムステップ毎に連立一次方程式の係数を修正して解く必要あり  
 処理に時間がかかる

### 2. 回路モデルに近似計算方法への適用 ダイオードの例:



- $V_d - I_d$ 特性を区分的に線形近似  
 ✓ 高速化のため
- 一次関数で表現  
 $I_d = G_d(V_d) \times V_d - I_{d0}(V_d)$   
 ✓  $G_d \rightarrow$  一次関数の傾き  
 ✓  $I_{d0} \rightarrow$  一次関数の切片



$G_d, I_{d0}$  をあらかじめテーブルで用意する

$V_d$ の値	$G_d$ の値	$I_{d0}$ の値
0.6~0.7	0.01	-0.01
0.7~0.9	1.18	-0.82
...	...	...

## 評価: 8段コッククロフトウォルトン昇圧回路

100MHzで動作するFPGAに回路シミュレータを実装  
 FPGA: Xilinx ZCU102ボード (CPUとの混載)  
 合成ツール: Xilinx Vivado 2017.4  
 高位合成(C言語による設計)

FPGA: 5.258kHz  
 ソフトウェアシミュレータ: 0.001kHz

FPGAを利用するとソフトウェアよりはるかに高速

## 今後の展開

- 規模の大きな回路のリアルタイムシミュレーション実現
- 計算方法の改良による高速化