

# 回路シミュレータ/MATLAB®リンク ～詳細回路設計におけるシステムレベル検証～

MathWorks Japan  
アプリケーションエンジニアリング部  
シニアアプリケーションエンジニア  
初井良治

# MathWorks®とCadence®社パートナーシップ

## OrCAD® PSpice®

### 回路設計

アナログ・デジタル混在の回路シミュレーション

**回路設計者**  
**PSpice**

- 回路図作成
- 部品データベース連携
- アナログ・デジタル混在回路の解析
- モンテカルロ解析
- スモーク解析

<https://www.innotech.co.jp/orcad/products/orcad-overview/>

+

## MATLAB®/Simulink®

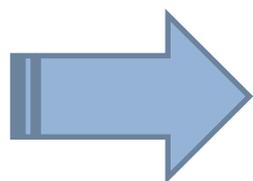
### システム設計

複合物理領域に跨る制御システム全体のシミュレーション

**制御設計者**  
**Simulink**

- 制御ロジック設計
- 複合物理領域の解析
- 最適化・レポート生成
- アナログ・デジタルシステム設計
- 2D/3Dグラフィックス
- 組み込み用コード生成

<https://jp.mathworks.com/products/simulink.html>



PCBの設計・実装で、両ツールを組み合わせることで、開発初期段階から、システムレベルのシミュレーションを可能にし、生産性の向上、開発品のより早い市場投入に貢献します。

ケイデンスとMathWorksパートナーシップ（プレスリリース）

[http://www.innotech.co.jp/wp2/wp-content/uploads/2016/11/MathWorks-Partnership-Release\\_20161104.pdf](http://www.innotech.co.jp/wp2/wp-content/uploads/2016/11/MathWorks-Partnership-Release_20161104.pdf)

# MATLAB/SimulinkとOrCAD® PSPICE®の統合環境



<http://www.innotech.co.jp/orcad/pspice-and-simulink-integration/>

# アジェンダ

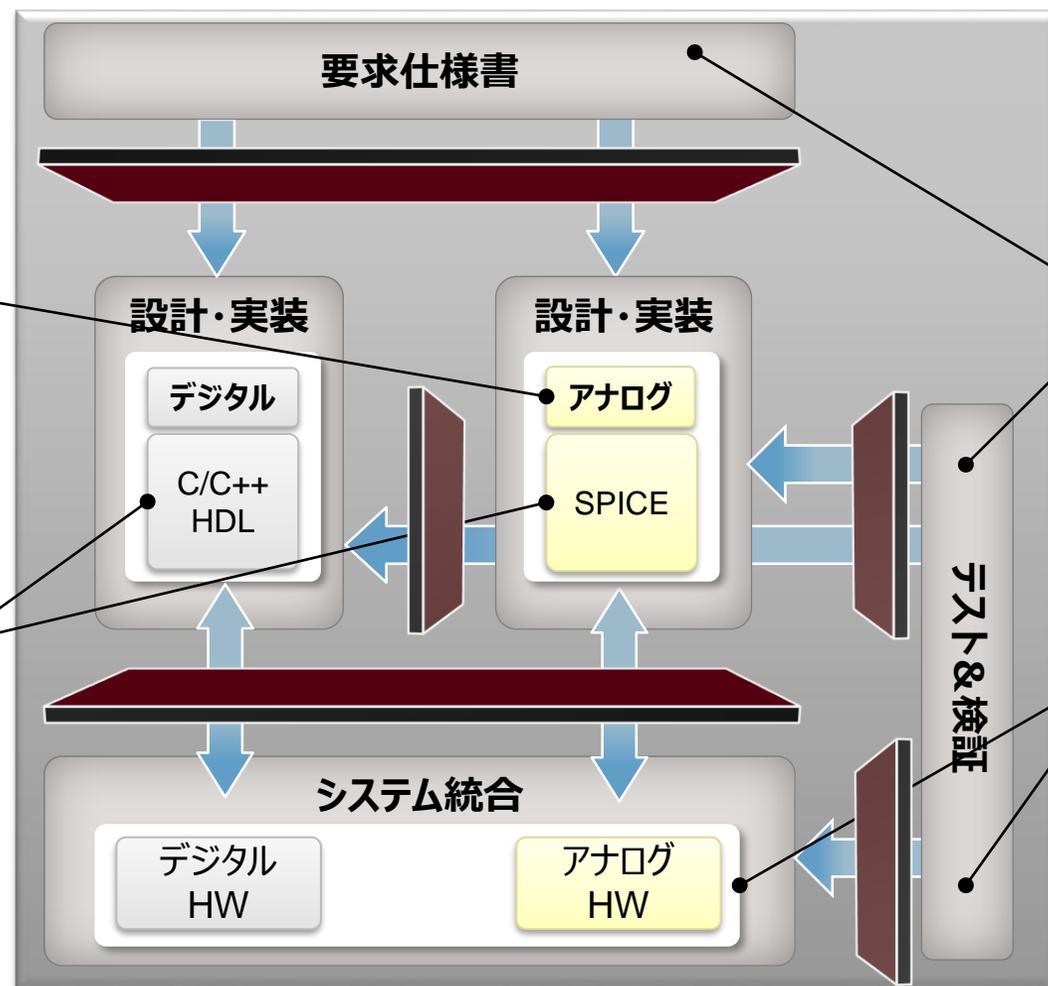
- **回路設計におけるシステムレベルシミュレーション**
- **MATLAB/Simulink OrCAD PSpice 統合設計環境**
- **まとめ**

# アジェンダ

- **回路設計におけるシステムレベルシミュレーション**
- MATLAB/Simulink OrCAD PSpice 統合設計環境
- まとめ

# 回路設計・実装の課題：開発初期のシステム設計が不十分

**改善策：開発工程間の壁を無くし、個々の詳細設計に入る前にシステムの機能・性能の検討に注力**



**例) アナログ素子の機能検証**

→ 設計検証テストベンチを自作の工数およびテストが個人依存

**例) 要求仕様書とテスト&検証**

→ 設計バグに加えて、仕様バグが混入し、テストでの切り分けが困難

**例) デジタル/アナログの設計・実装**

→ 別ツールを統合してトレードオフなどの検証が困難

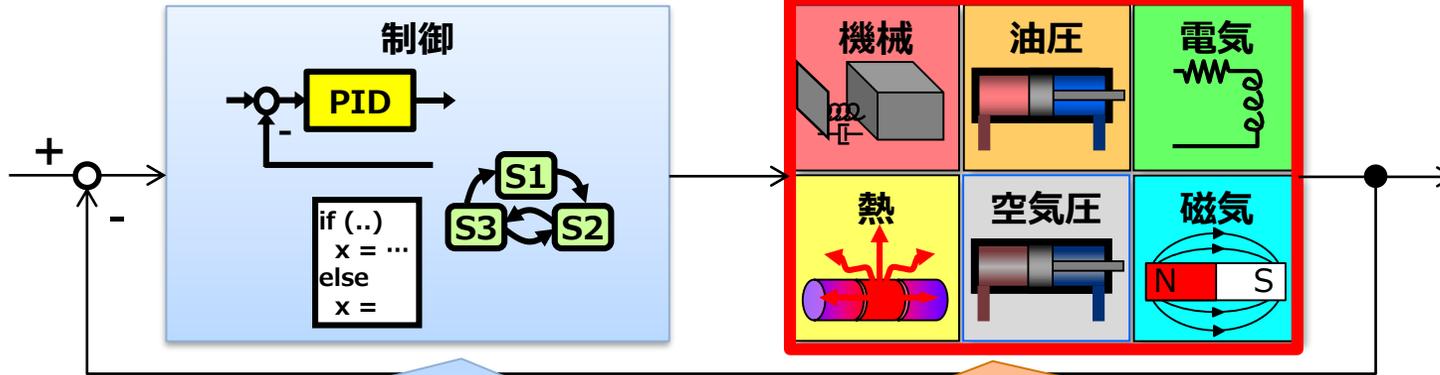
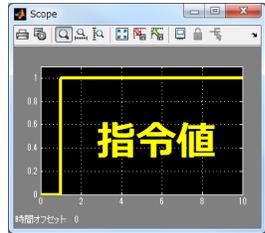
**例) システム全体の統合テスト**

→ 最終テストでの問題発覚により大きな手戻り発生

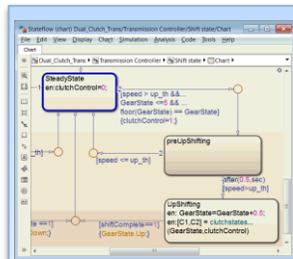
# 回路設計・実装のソリューション： MATLAB/Simulinkによるシステム設計

コントローラ（制御・監視・診断） プラント（機械・電気・油圧・熱など）

MATLAB/Simulink



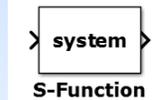
高機能、  
高性能、  
省エネ、  
高効率、  
安全性、  
コスト、  
など



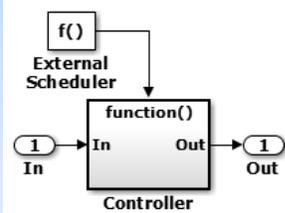
フローチャート  
状態遷移図  
状態遷移表



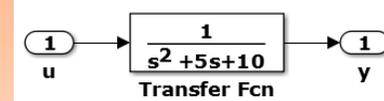
数式



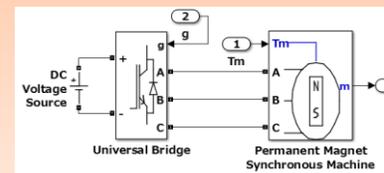
既存コード



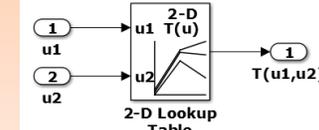
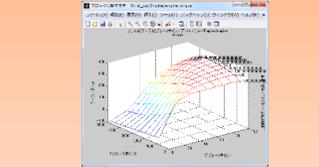
周期/非周期  
の制御ロジック



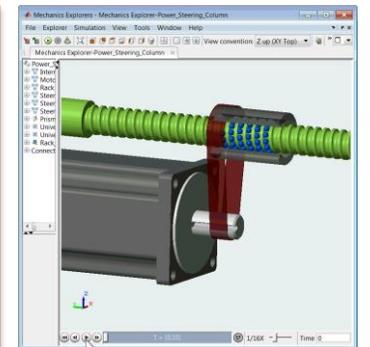
数式



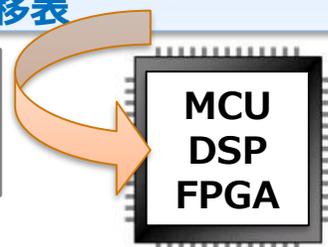
物理コンポーネント



実験データ



コード  
HDLコード

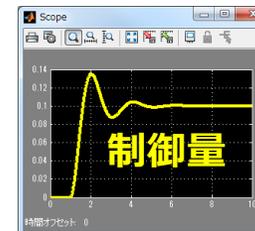
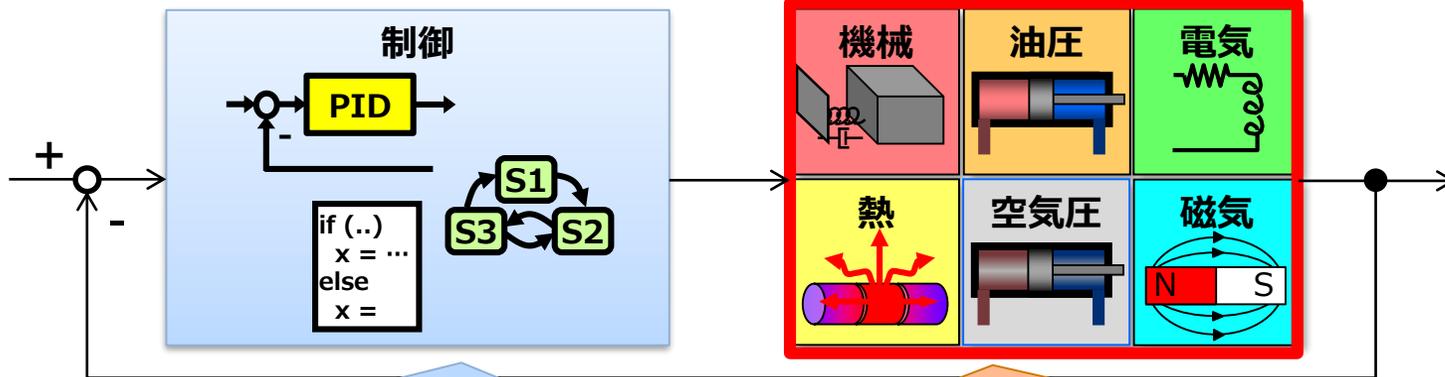
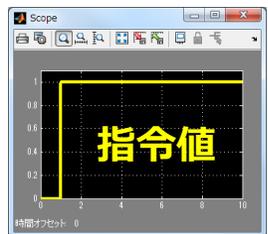


1. 様々なモデリング手法を混在（本質を捉えたシンプルなモデルを作成）
2. モデルのシミュレーション（デジタル・アナログを混在した解析）
3. モデルからコードを自動生成（コーディングのエラー・工数を削減）

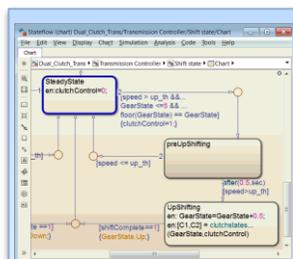
# 回路設計・実装のソリューション： MATLAB/SimulinkとP Spiceによるシステム設計・検証

コントローラ（制御・監視・診断） プラント（機械・電気・油圧・熱など）

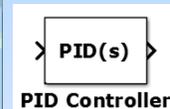
MATLAB/Simulink



高機能、  
高性能、  
省エネ、  
高効率、  
安全性、  
コスト、  
など



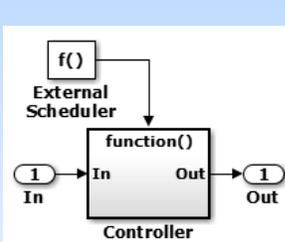
フローチャート  
状態遷移図  
状態遷移表



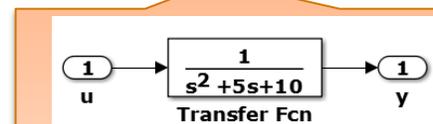
数式



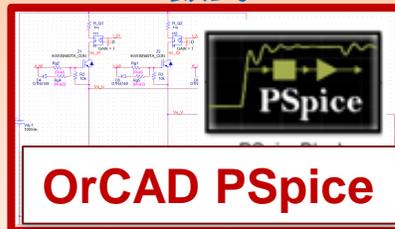
既存コード



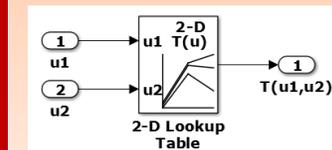
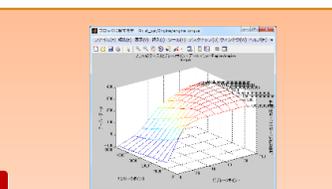
周期/非周期  
の制御ロジック



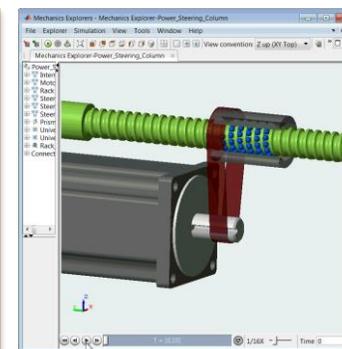
数式



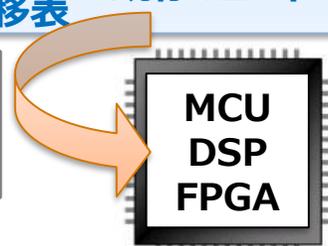
OrCAD PSpice



実験データ

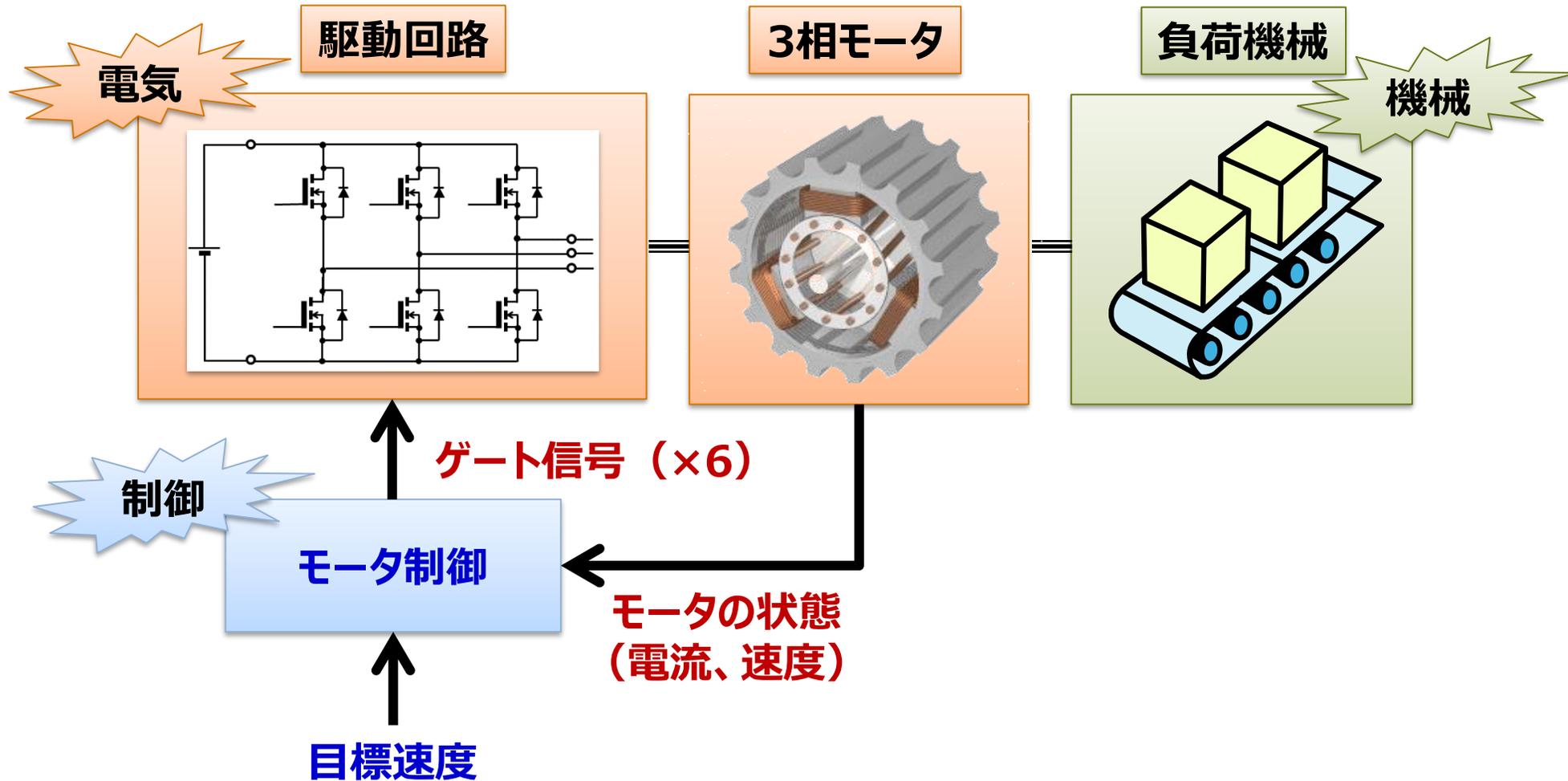


コード  
HDLコード

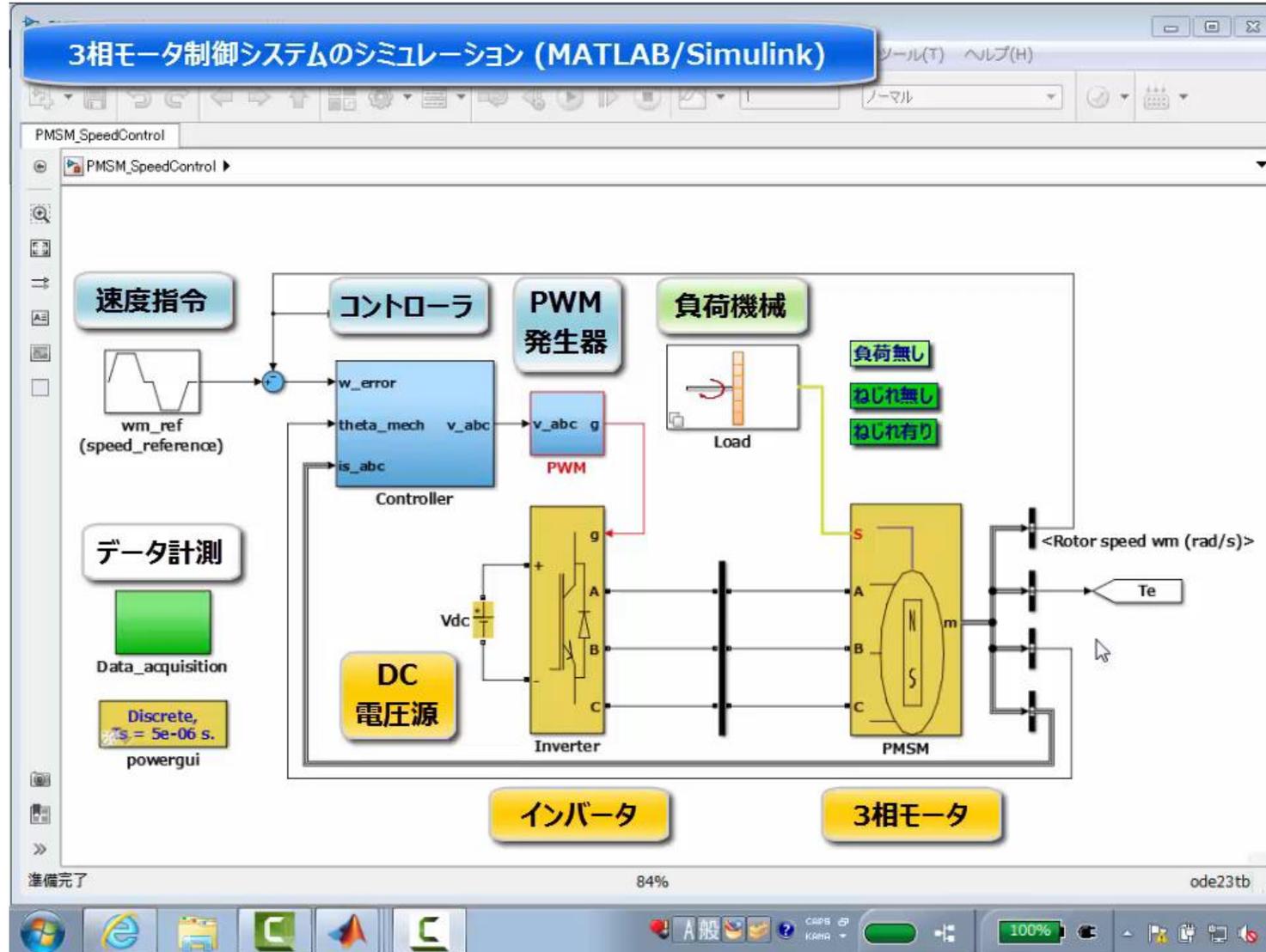


1. 様々なモデリング手法を混在（本質を捉えたシンプルなモデルを作成）
2. モデルのシミュレーション（デジタル・アナログを混在した解析）
3. モデルからコードを自動生成（コーディングのエラー・工数を削減）

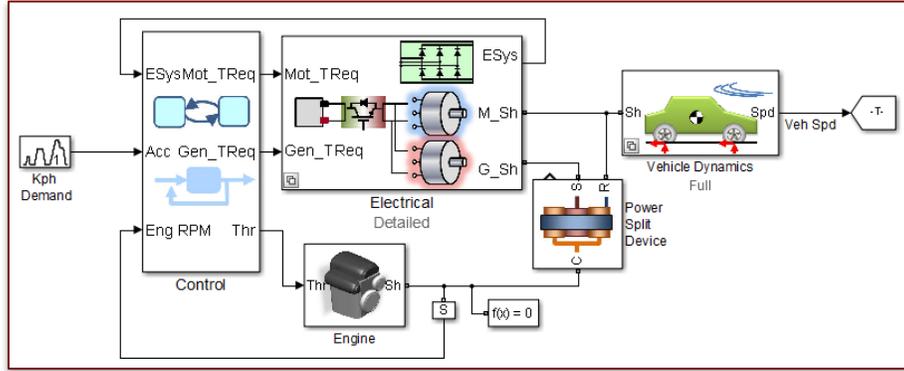
# MATLAB/Simulinkのデモ： ブラシレスモータ制御システムのシステム設計



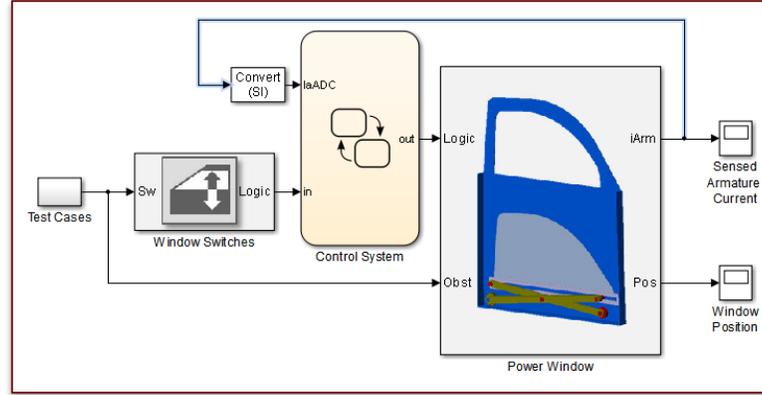
# MATLAB/Simulinkのデモ： ブラシレスモータ制御システムのシステム設計



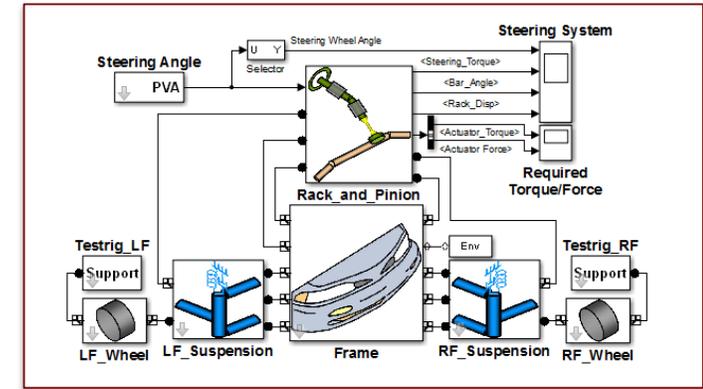
# システムレベルシミュレーションの適用例



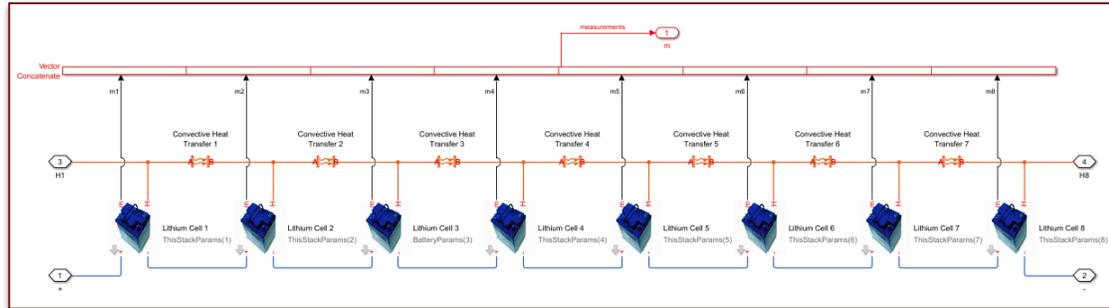
## ハイブリッド自動車



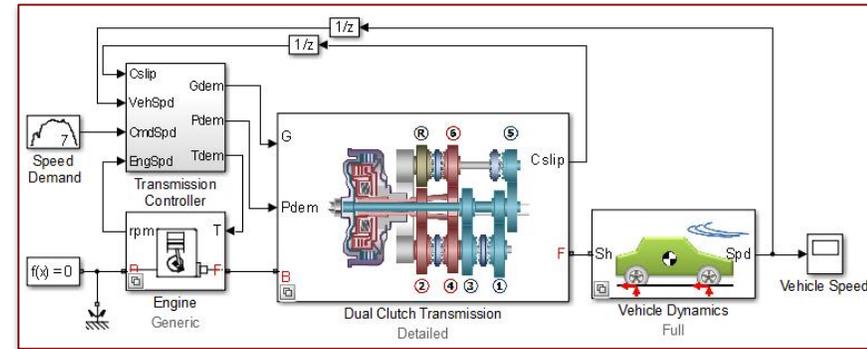
## パワーウィンドウ



## パワーステアリング



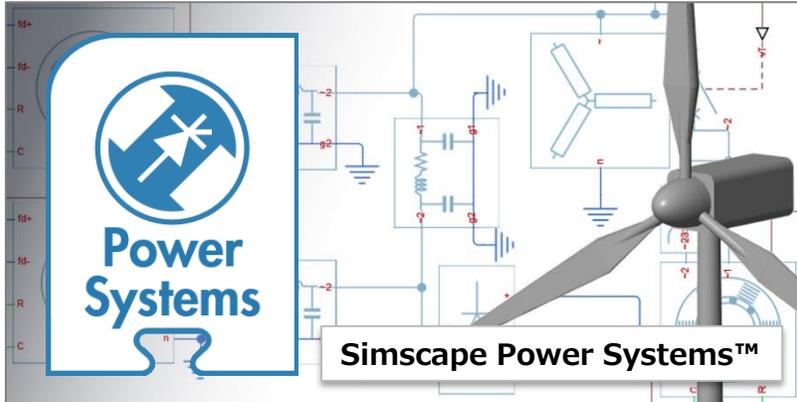
## バッテリー



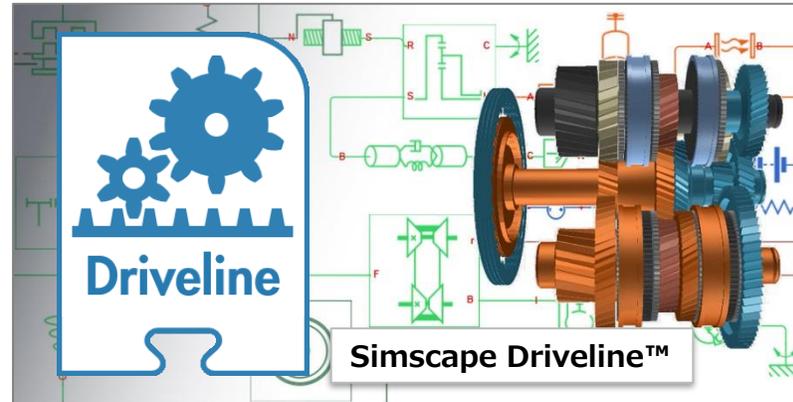
## デュアル・クラッチ・トランスミッション

# 物理モデリング支援ツール (Simscape™)

パワエレ/電力系統



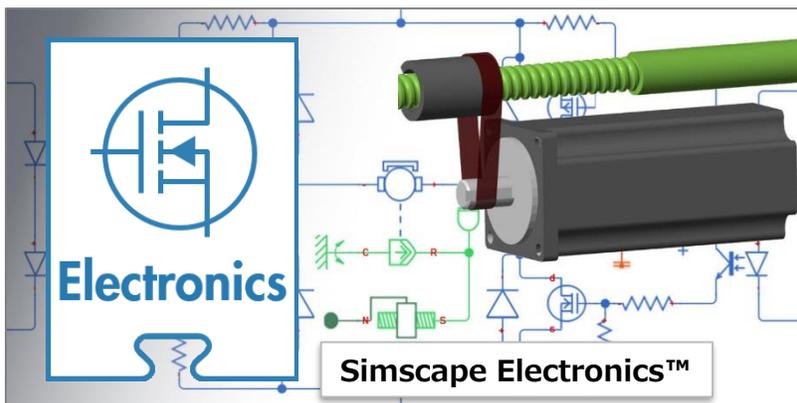
動力伝達 (1D駆動系)



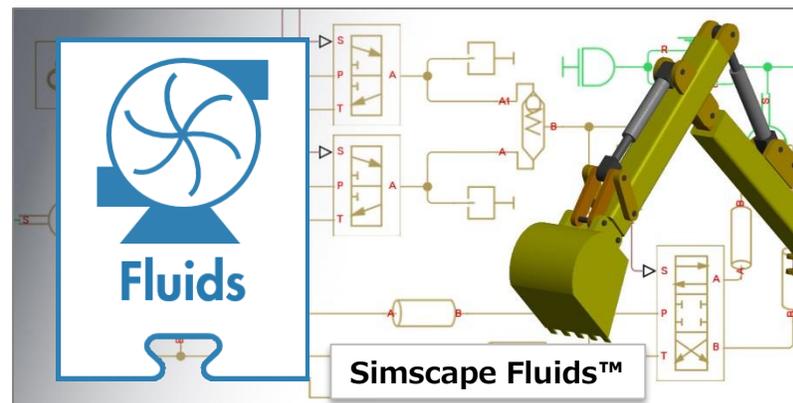
回路図ベースの複合物理モデリング



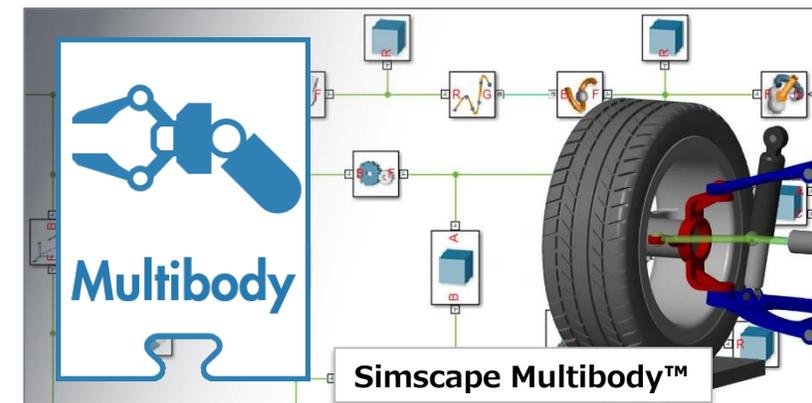
電子回路 (アナログ/デジタル/センサ)



熱流体 (油圧回路)



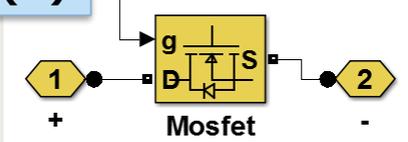
機構 (3Dマルチボディ系)



# 設計用途に合わせた詳細度の半導体素子モデルを使う

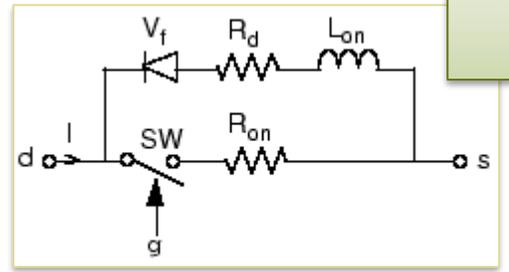
## 制御設計

**ゲート信号**  
ON(1), OFF(0)



Mosfet

## 等価回路モデル

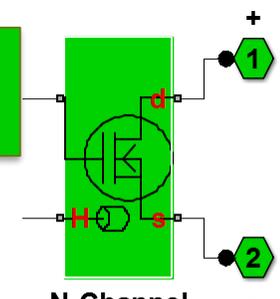


詳細度  
低

**Simscape Power Systems**

## 回路設計

**ゲート駆動回路**  
電圧が閾値以上でON



**ヒートシンク**  
Simscapeの  
熱回路モデル

N-Channel  
MOSFET

## 半導体物性モデル

- In the off region ( $V_{GS} < V_{th}$ ) the drain-source current is:
 
$$I_{DS} = 0$$
- In the linear region ( $0 < V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$ ) the drain-source current is:
 
$$I_{DS} = K \left( (V_{GS} - V_{th})V_{DS} - V_{DS}^2 / 2 \right) (1 + \lambda |V_{DS}|)$$
- In the saturated region ( $0 < V_{GS} - V_{th} < V_{DS}$ ) the drain-source current is:
 
$$I_{DS} = (K / 2) (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda |V_{DS}|)$$

詳細度  
高

**Simscape Electronics**

# アジェンダ

- 回路設計におけるシステムレベルシミュレーション
- **MATLAB/Simulink OrCAD PSPICE 統合設計環境**
- まとめ

# PSpiceとMATLABの連携機能（4つ）

## 新機能①

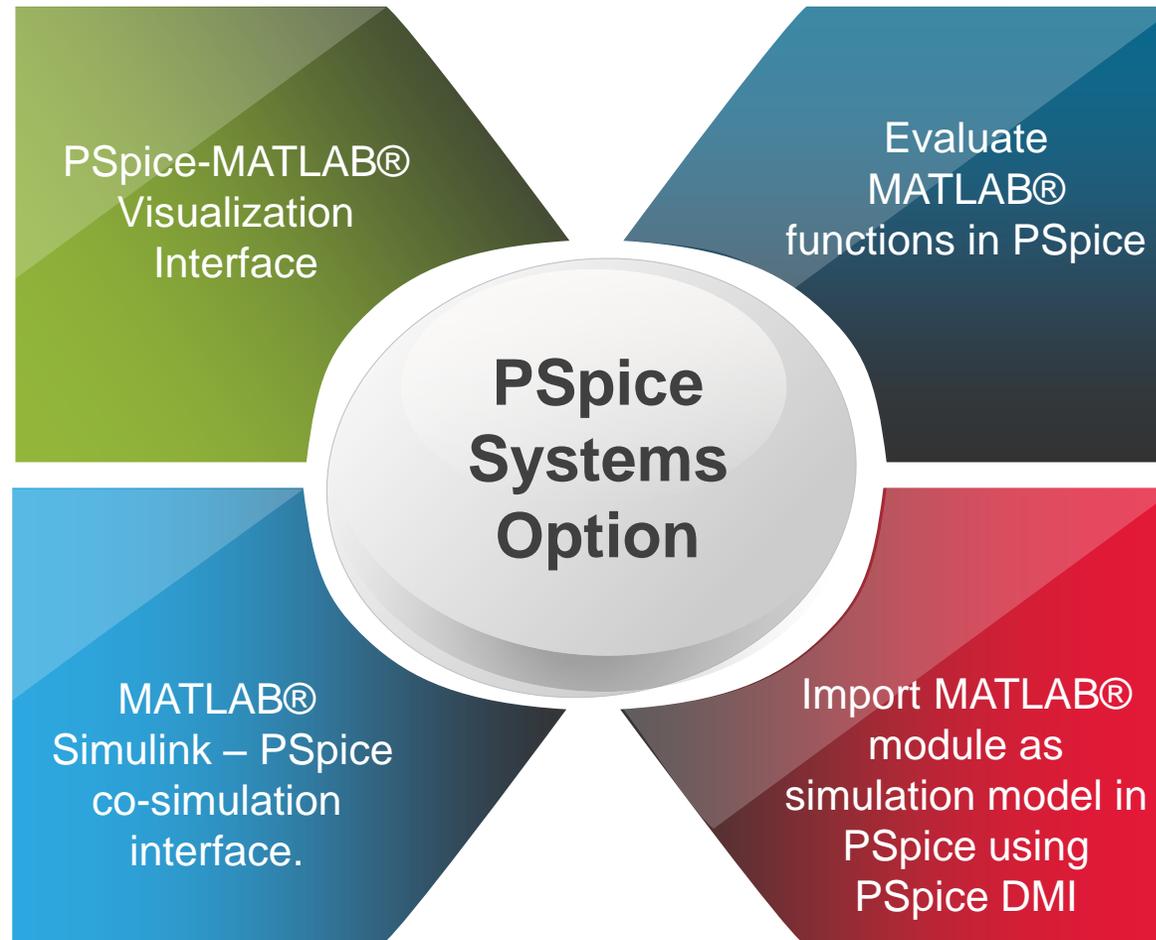
### 多種多様なグラフィックス機能

PSpiceの解析結果をよりビジュアルにするために、MATLABのグラフィックス、プログラミング機能を利用。

## 新機能③

### MATLAB/SimulinkのシステムモデルとPSpiceの詳細回路モデルの協調解析

システム全体（詳細回路、制御や機械・油圧など）の機能・性能を机上検証するために、協調解析を利用。



## 新機能②

### カスタムコンポーネント作成支援

PSpiceのカスタムコンポーネントをより手早く簡単に作成するために、MATLAB言語を利用。

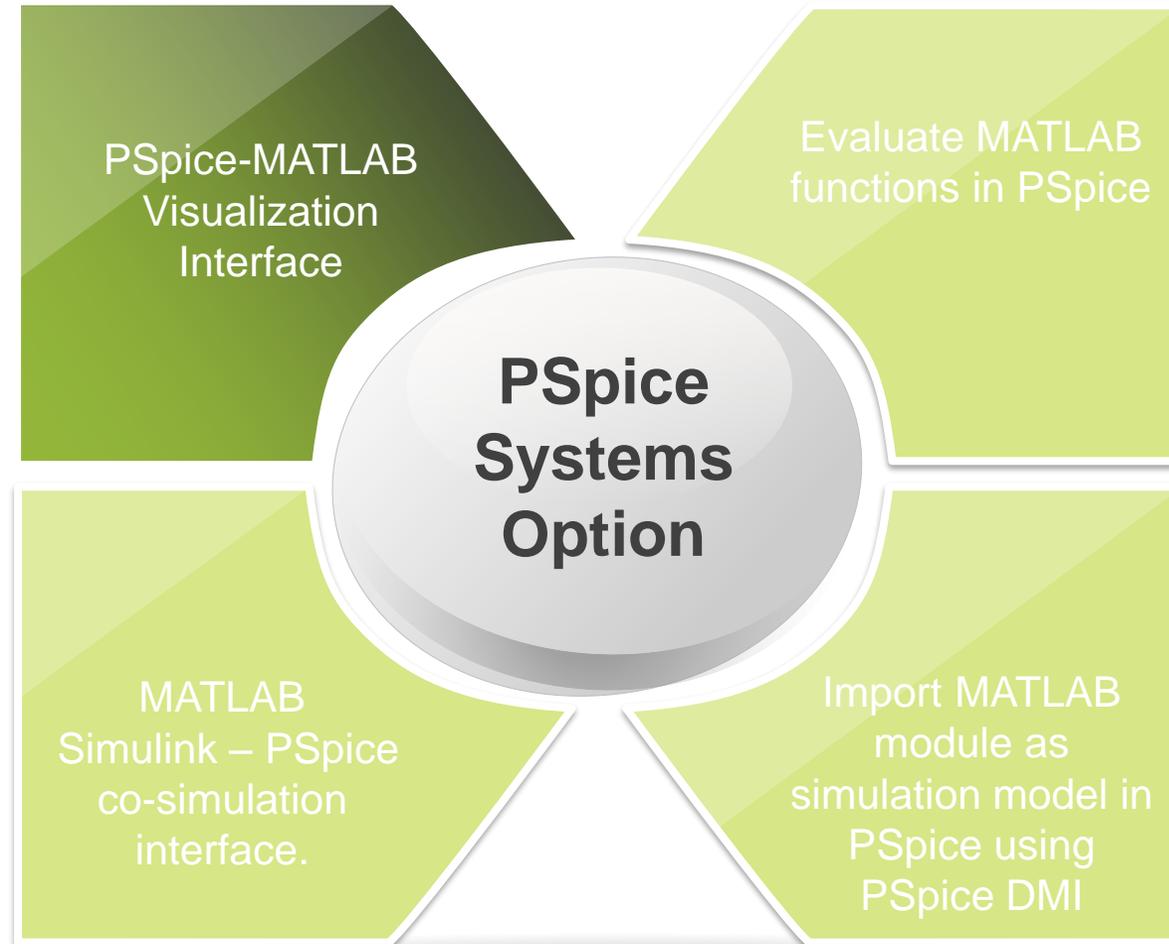
## 新機能④

### PSpiceの詳細回路モデルのテストベンチ作成

PSpiceの詳細回路の検証をするために、MATLAB/SimulinkのシステムモデルをCコード化してインポートする機能を利用。

<https://www.innotech.co.jp/orcad/pspice-and-simulink-integration/>

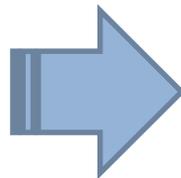
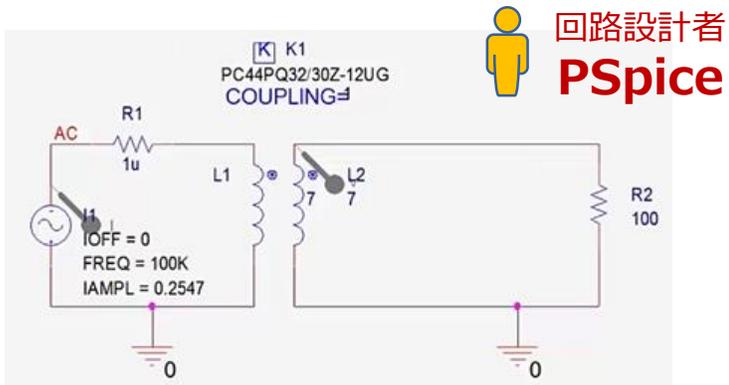
# 機能① : 多種多様なグラフィックス機能



# 機能①：多種多様なグラフィックス機能

## <従来>

PSpiceの回路解析では、主に時間応答・周波数応答を表示。



## <新機能>

MATLABの2D/3D可視化・プログラミング機能を活用することで、回路解析に役立つ多種多様なグラフを簡便かつ自動で表示。

### ① 多種多様な2D/3Dのプロット関数

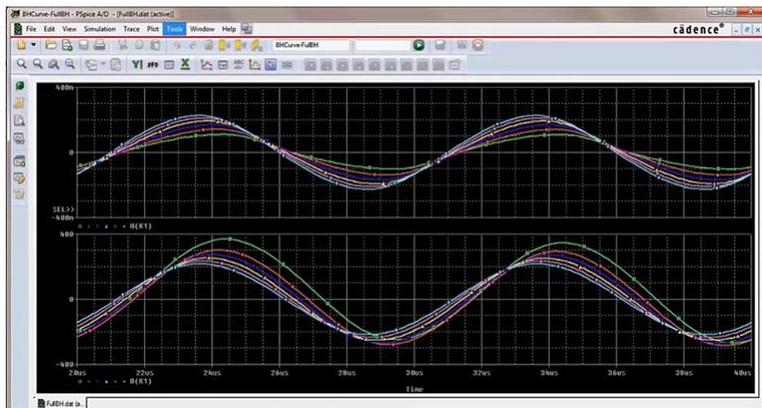
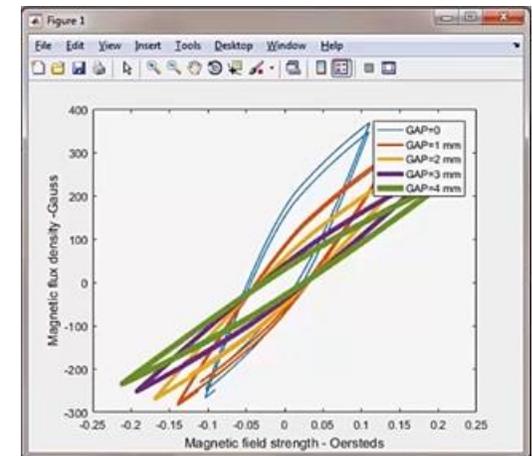
「ラインプロット」	「円グラフ、棒グラフ、ヒストグラム」	「離散データプロット」	「極座標プロット」	「等高線図」	「ベクトル場」	「表面プロットとメッシュプロット」
plot	area	stairs	polar	contour	quiver	surf

### ② プログラムによる処理の自動化

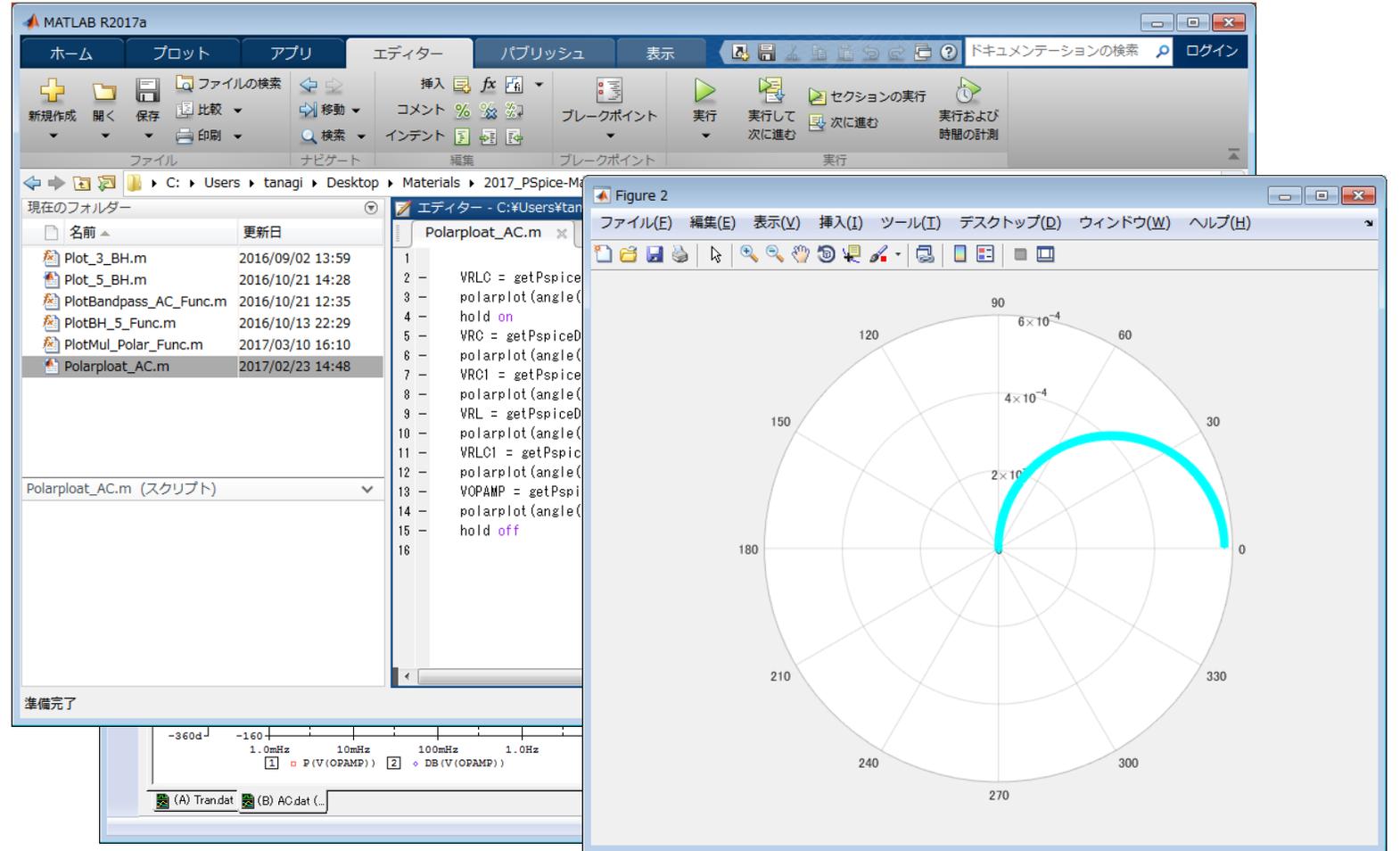
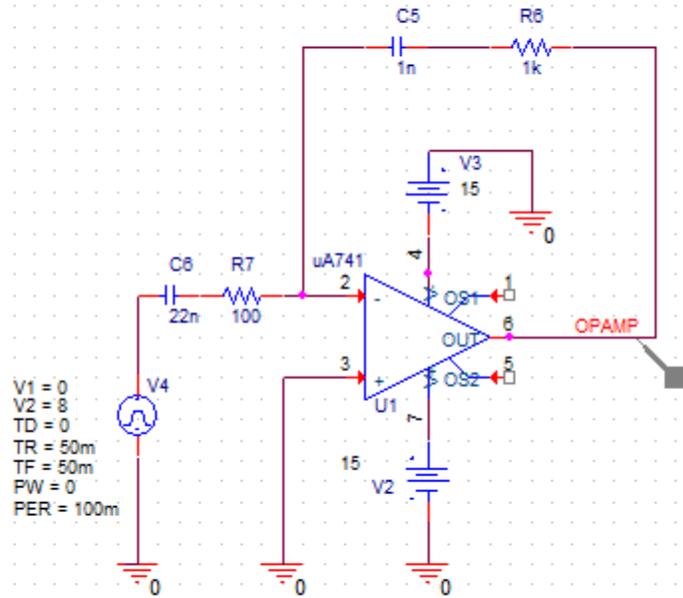
```

1 % BH plot for first 5 sec to show airgap effect
2
3 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(1).Analog_Trace
4 hold on
5 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(2).Analog_Trace
6 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(3).Analog_Trace
7 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(4).Analog_Trace
8 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(5).Analog_Trace
9 plot(PSpiceData_1.Analysis.Sweep(6).Analog_Trace
10
11 xlabel('Magnetic field strength - Oersteds')
12 ylabel('Magnetic flux density - Gauss')
13 legend('show')
14 legend('GAP=0','GAP=1 mm','GAP=2 mm','GAP=3 mm',
15 hold off
    
```

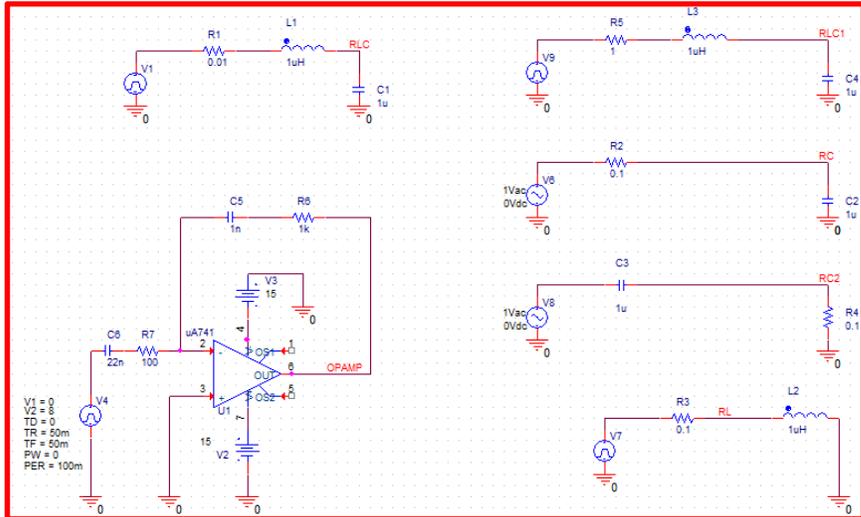
### ③ ユーザ所望の形式でグラフ表示



# 表示例 - AC解析結果の極座標表示



# デモ - AC解析結果をMATLABの機能でレポート生成



PSPICE回路

PSPICE結果解析データ

## MATLAB/PSpice連携 レポート生成

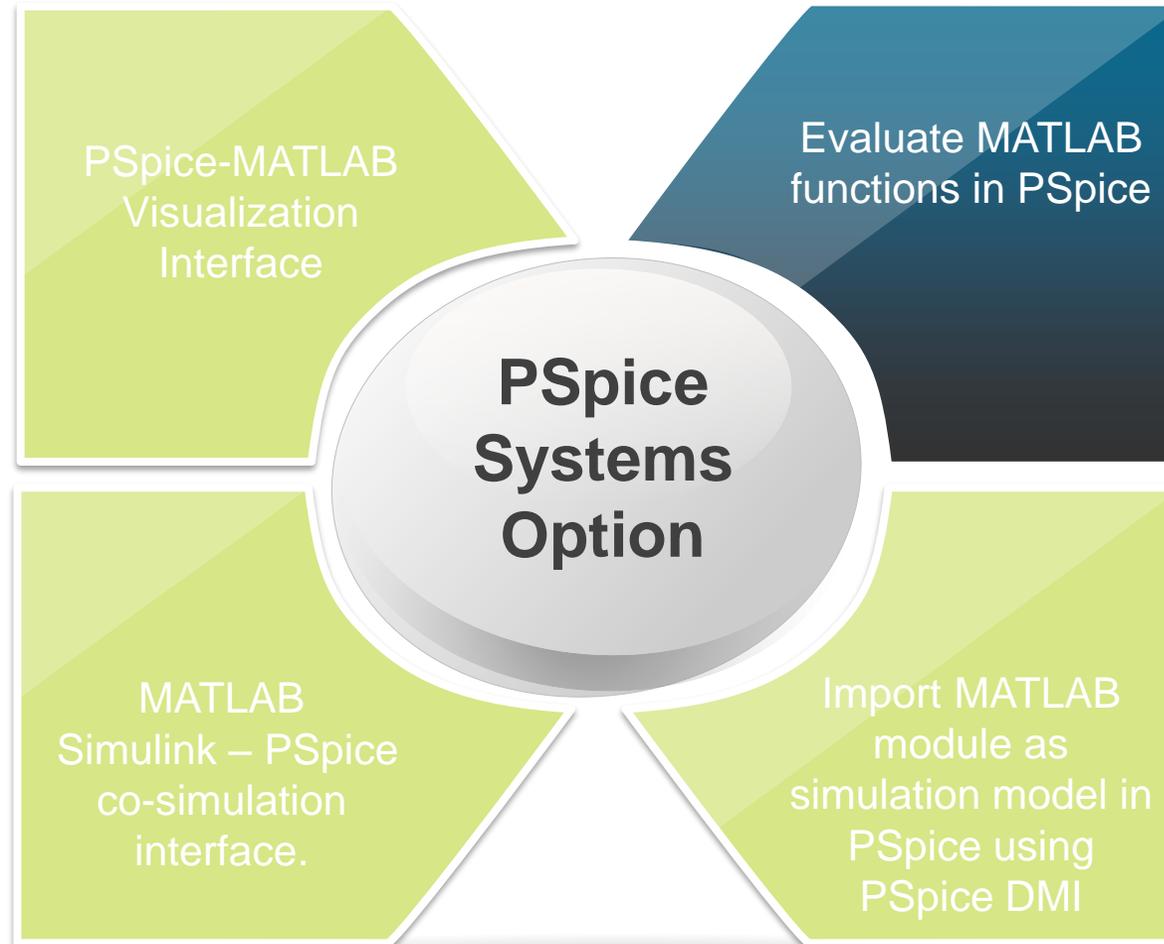
6つのシンプルな回路のAC特性をプロットして簡単なレポートにまとめるサンプル。

### Contents

- RL回路の周波数特性
- RC回路(その1)の周波数特性
- RC回路(その2)の周波数特性
- RLC回路(その1)の周波数特性
- RLC回路(その2)の周波数特性
- オペアンプ回路の周波数特性

### RL回路の周波数特性

## 新機能② : カスタムコンポーネント作成支援



# 新機能②：カスタムコンポーネント作成支援

## <従来>

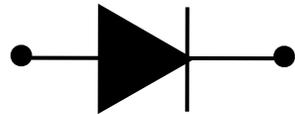
PSpiceでカスタムコンポーネントを自作するには、専門スキルが必要。



カスタムコンポーネントを、

- プリミティブモデル (.MODELで定義)
  - サブサーキットモデル (.SUBCKTで定義)
- などを使って、自作する必要がある。

(例) 理想ダイオードモデルの記述例



```
.SUBCKT SimpleDiode 1 2
R1 1 3 100
D1 3 2 DMOD1
.MODEL DMOD1 D(Is=1e-13 Rs=0.1)
.ENDS SimpleDiode
```

## <新機能>

PSpice特有のカスタムコンポーネントの作成方法を意識せずに、MATLABを使って手早く簡単にカスタムコンポーネントを作成。



```
1 function i=Ideal_Diode(v, Vf, Ron, Goff)
2
3 % Vf = 0.6; % Vf[V]: 順方向電圧降下
4 % Ron = 0.3; % Ron[Ω]: ON抵抗
5 % Goff = 1e-8; % Goff[1/Ω]: OFFコンダクタンス
6
7 if v > Vf
8     i = (v - Vf*(1-Ron*Goff))/Ron;
9 else
10    i = v*Goff;
11 end
```

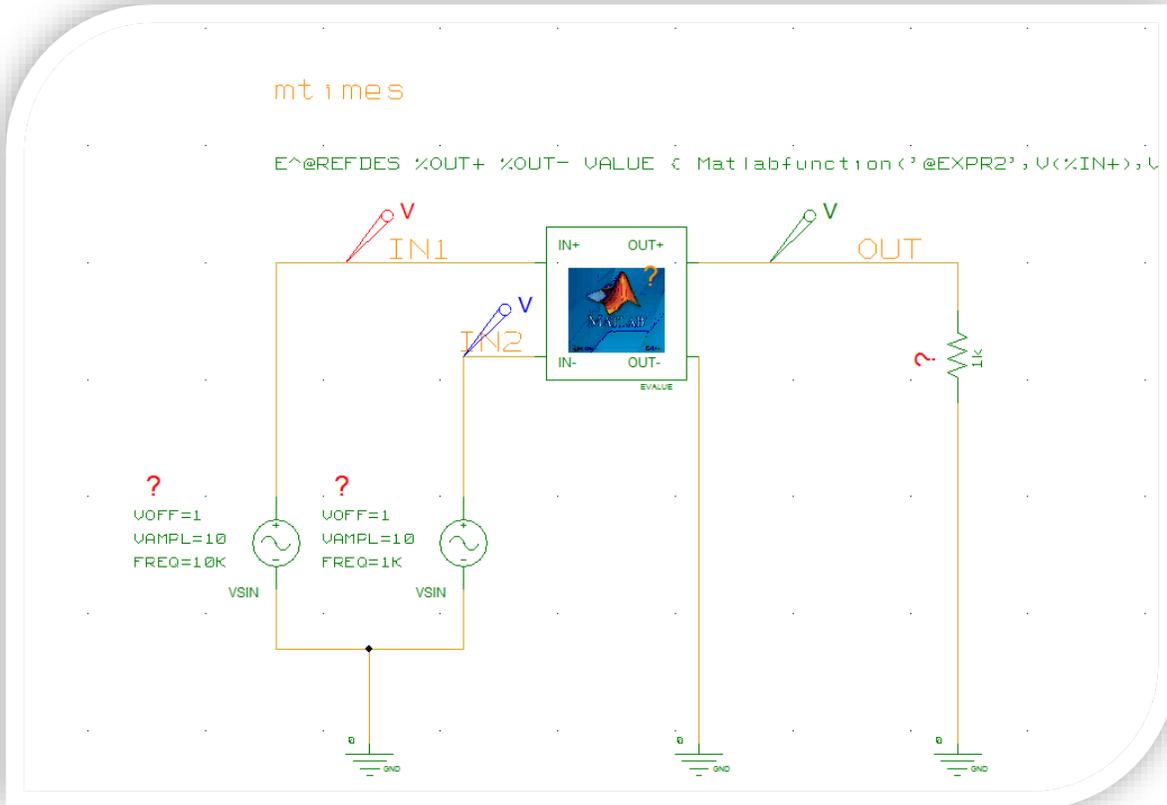
カスタムコンポーネントの特性を表す数式を記述

- 条件分岐処理 (if文)
- MATLAB関数
- コメント文

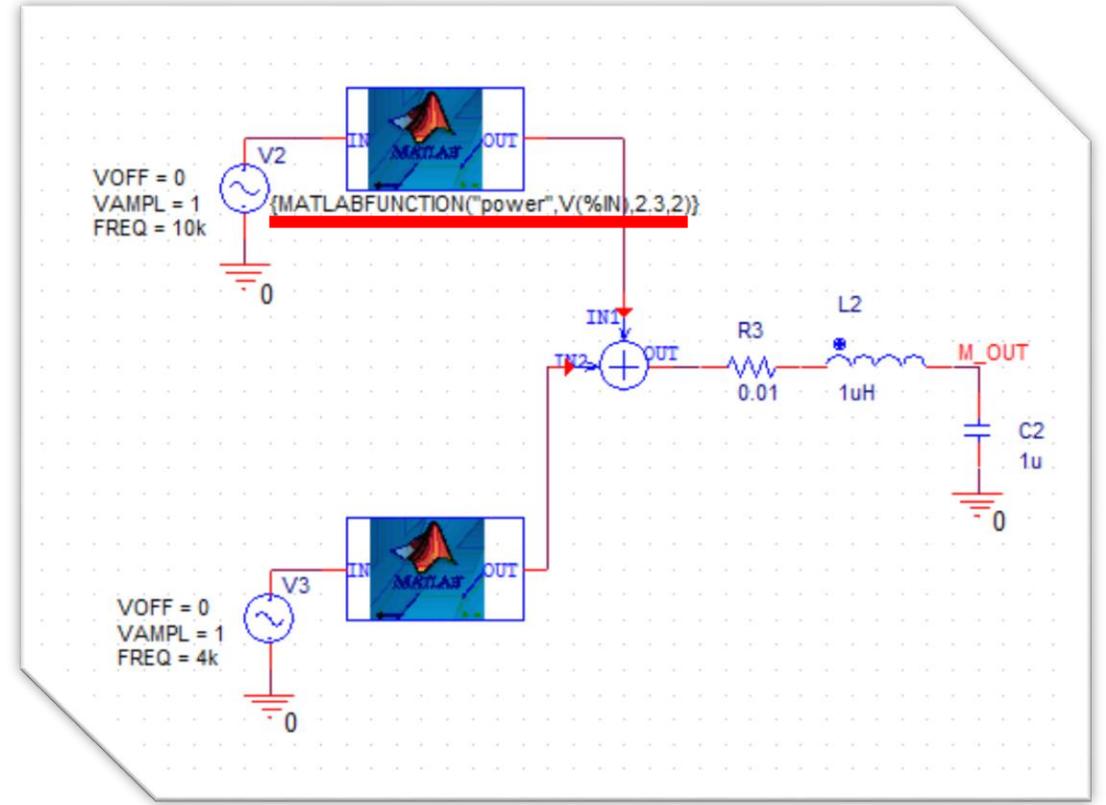
# PSpice上でMATLAB関数- ビヘイビアモデル

- PSpiceによるシミュレーションでの MATLAB関数の利用
  - 電圧制御電圧源、電圧制御電流源にMATLAB関数を割り当て

Allegro Design Authoring: Allegro Design Entry HDL



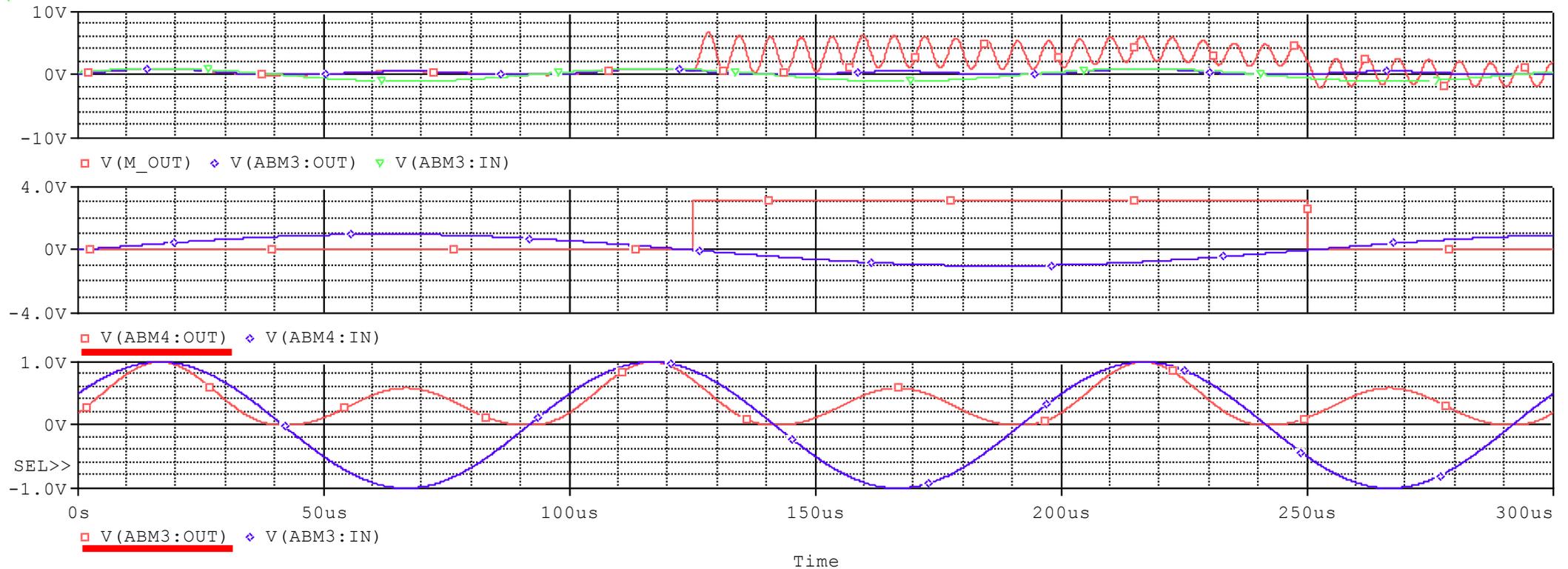
OrCAD Capture - [/ - (Function : PAGE1)]



# PSpice上でMATLAB関数 – ビヘイビアモデル

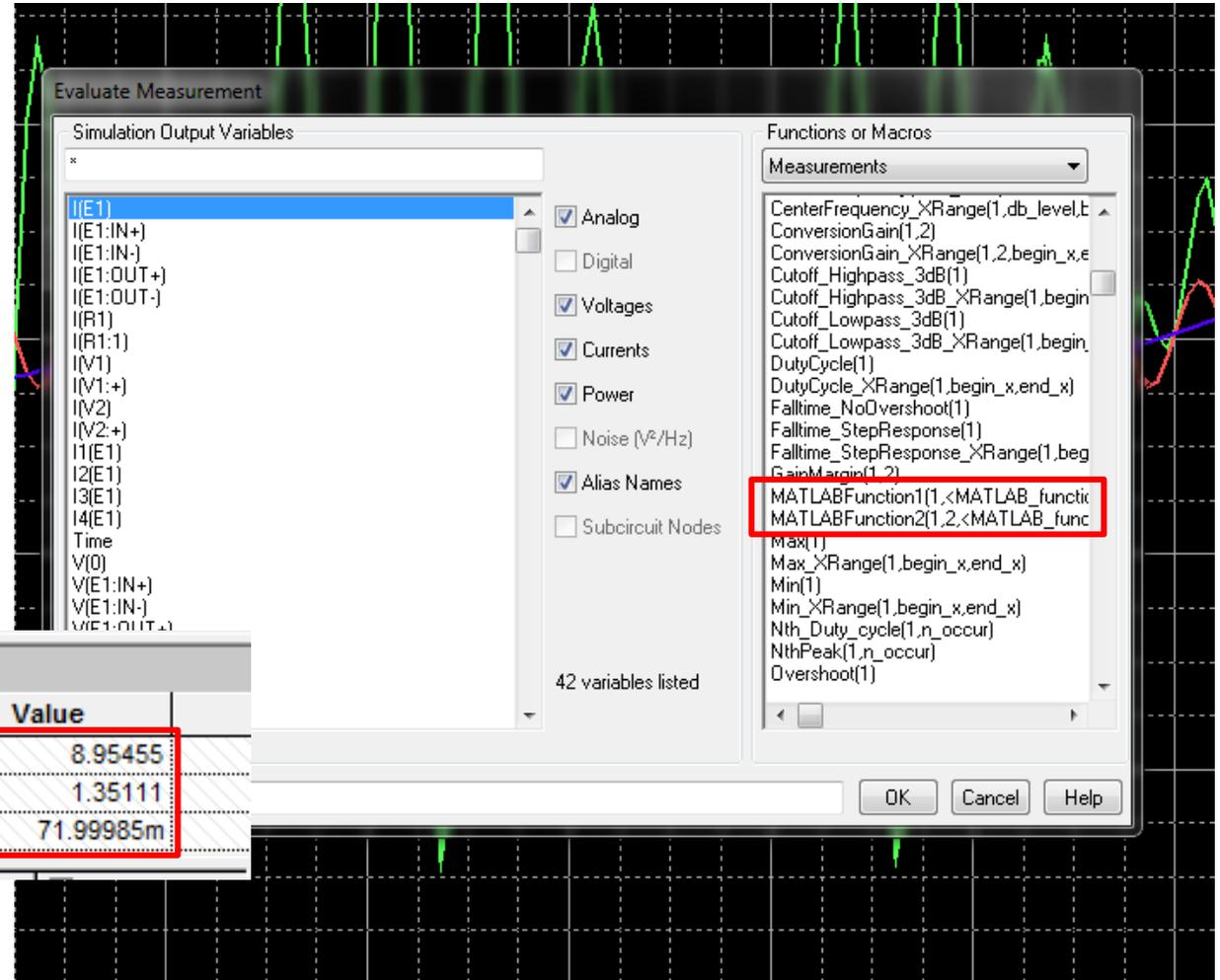
## PSpiceによるシミュレーションでの MATLAB関数の利用

- 電圧制御電圧源、電圧制御電流源にMATLAB関数を割り当て



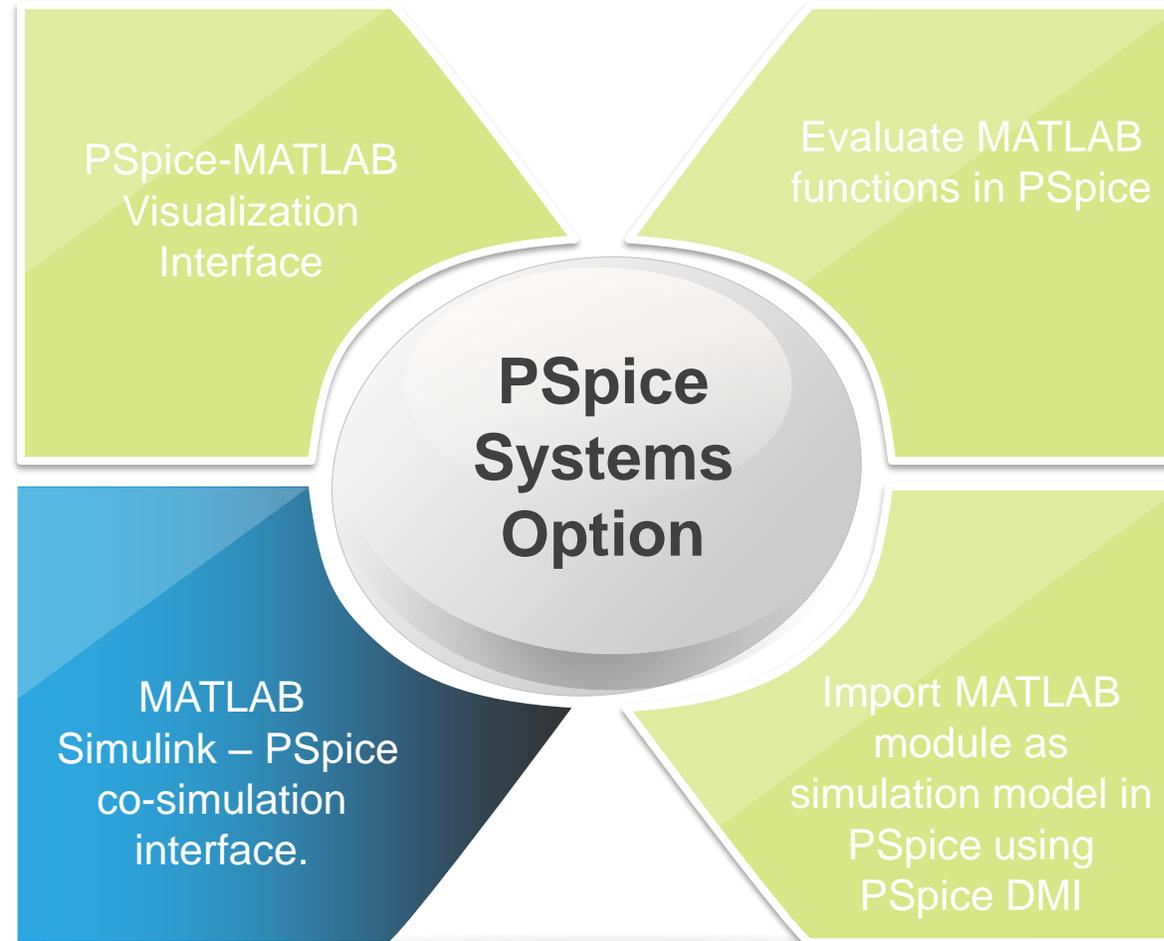
# PSpice上でMATLAB関数- 評価メジャメント

- MATLAB 関数をPSpice の評価メジャメントに利用



	Evaluate	Measurement	Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	matlabFunction1(V(RLC),risetime)	8.95455
	<input checked="" type="checkbox"/>	matlabFunction1(V(ABM3:IN),peak2rms)	1.35111
	<input checked="" type="checkbox"/>	matlabFunction1(V(R2:2),peak2peak)	71.99985m

## 機能③ : MATLAB/Simulinkのシステムモデルと PSpiceの詳細回路モデルの協調解析



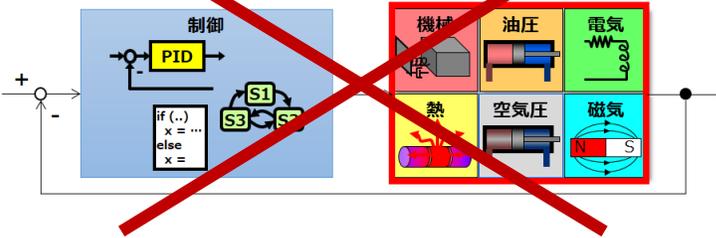
# 機能③ : MATLAB/Simulinkのシステムモデルと PSpiceの詳細回路モデルの協調解析

## <従来>

PSpiceによる回路解析だけでは、制御や機械・油圧などと組合せてシステム全体を俯瞰して、システムの機能・性能の検証ができない。

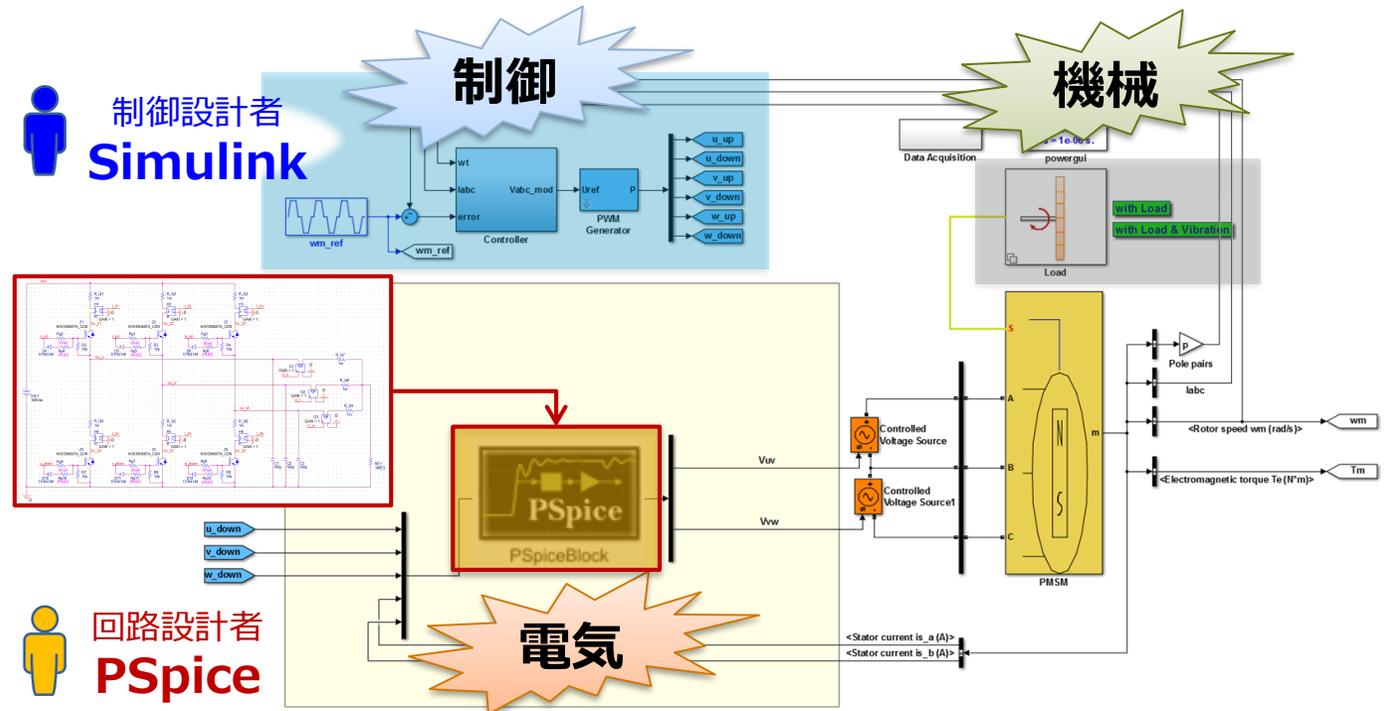


コントローラ (制御・監視・診断) プラント (機械・電気・油圧・熱など)



## <新機能>

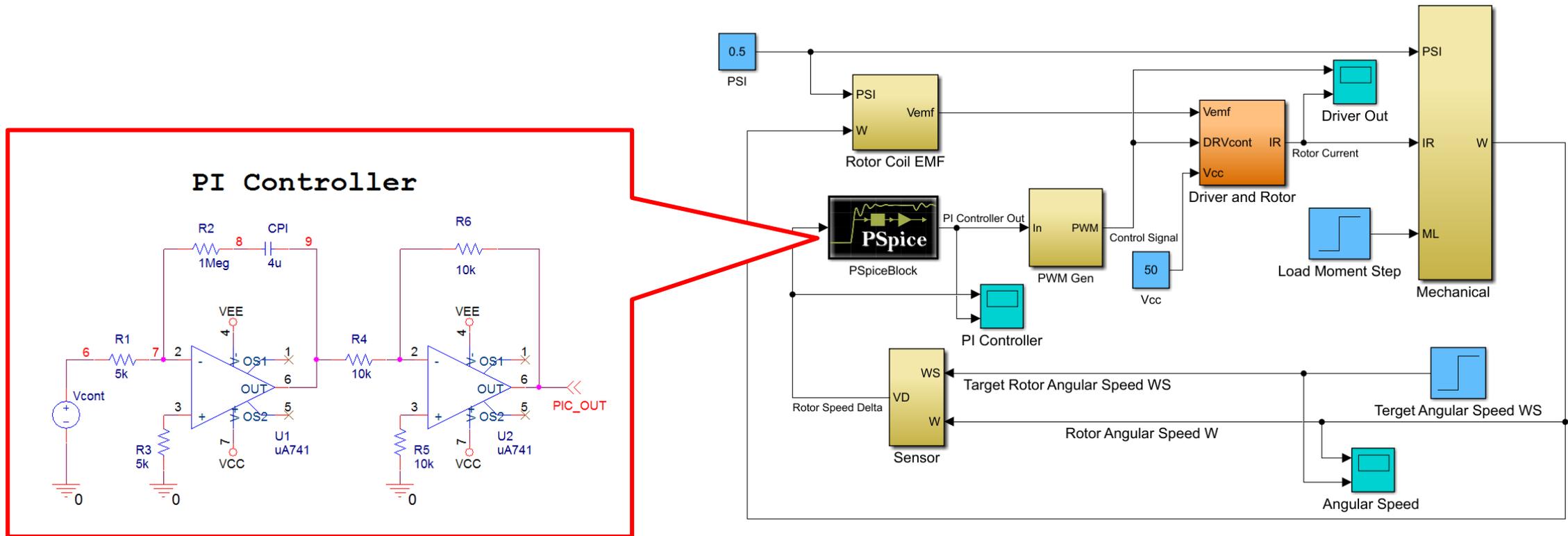
MATLAB/SimulinkとPSpiceを繋げるインターフェースを活用することで、複合物理領域のシステム全体の機能・性能を検証できて、モデル化した全てのコンポーネントの過渡応答を詳細に把握できる。



PSpiceエンジン ⇔ MATLAB/Simulinkエンジン

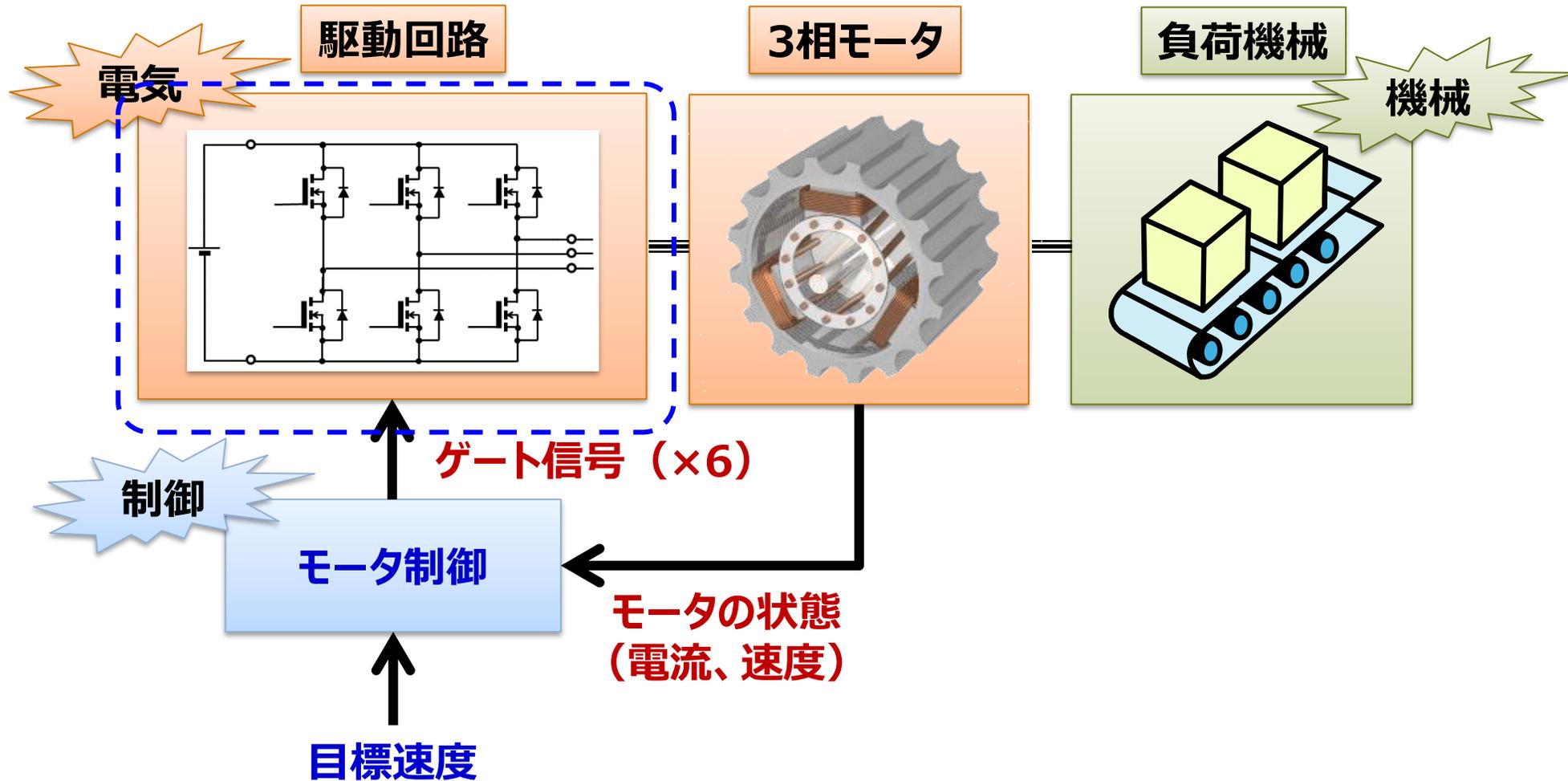
# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析：概要

- MATLAB / Simulink 上で構成されたシステムモデル中に、OrCAD PSpice上で構成された電気回路モデルを挿入
- Simulink によるシステムシミュレーションを実行する際に、アナログ電気詳細回路の振る舞いを考慮したシミュレーションが可能

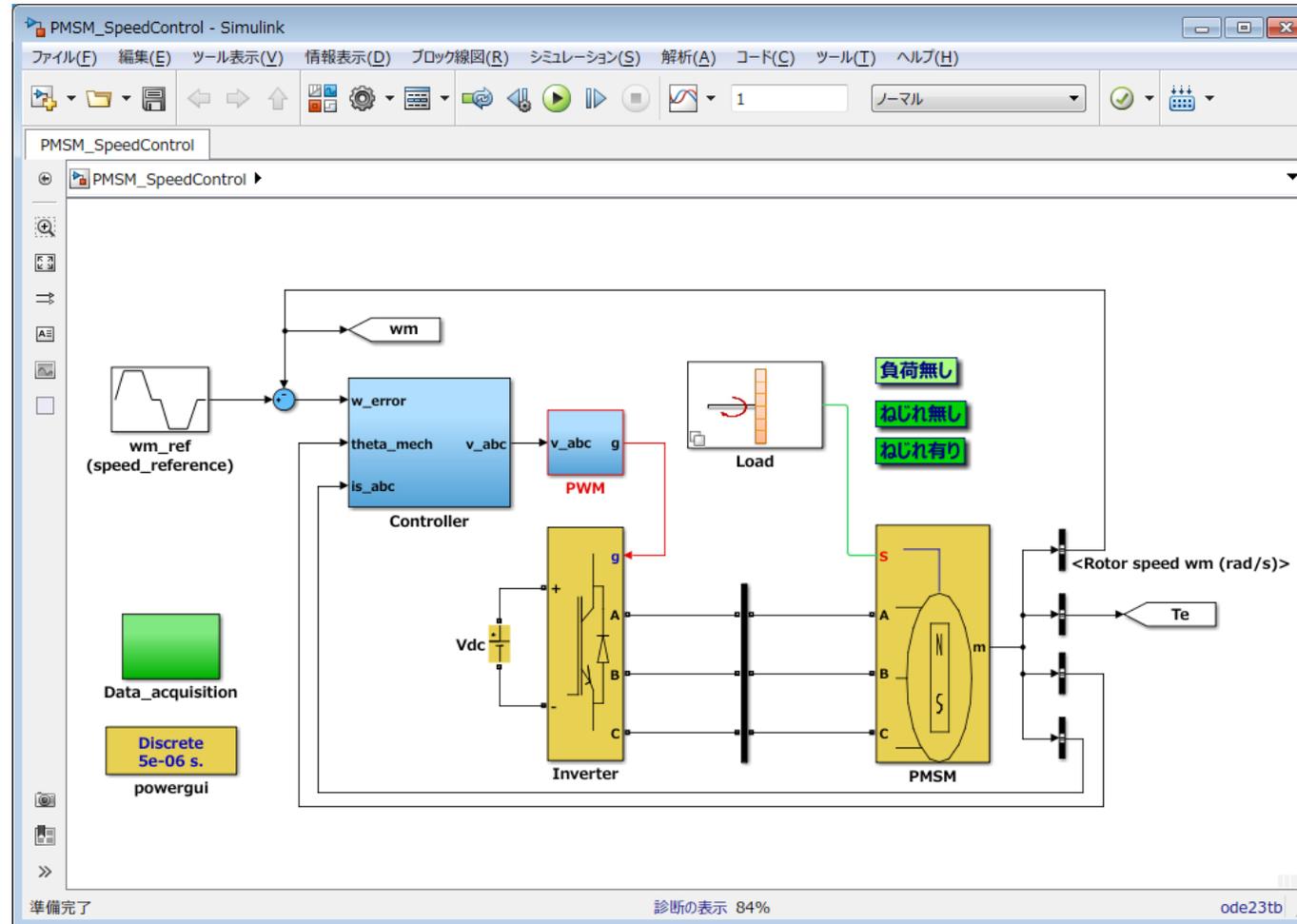


# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : フロー紹介

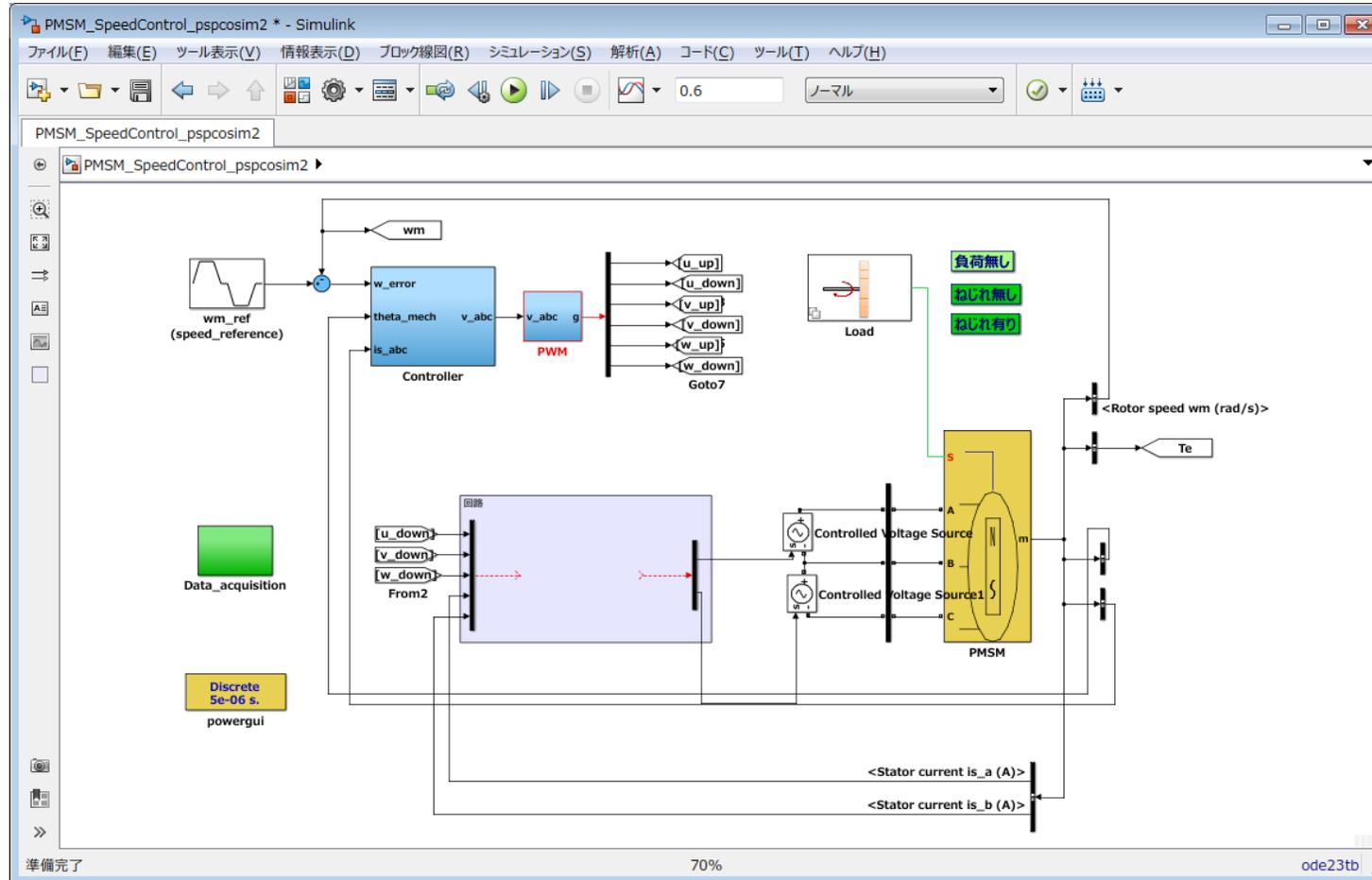
## ブラシレスモータ制御システムの回路検証



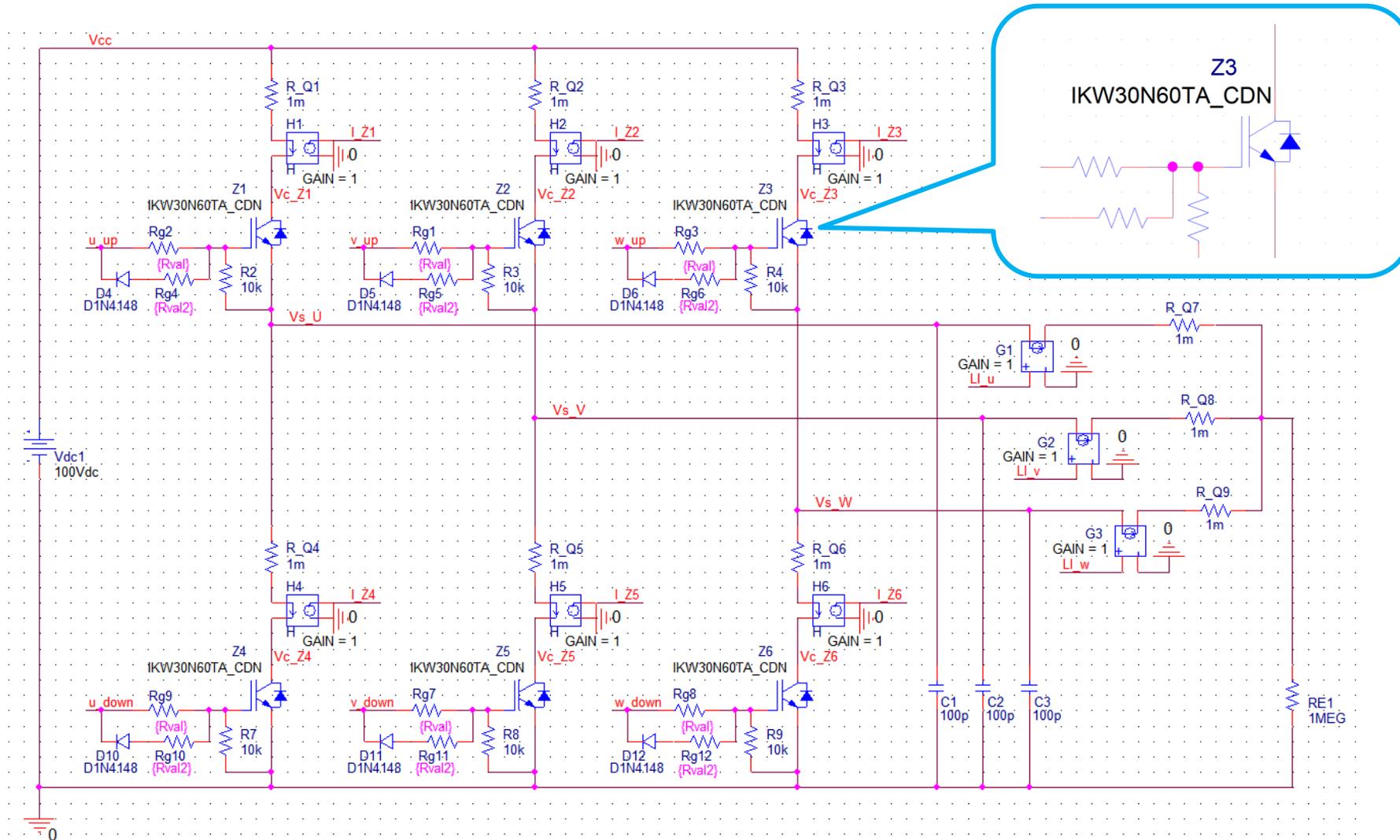
# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : フロー紹介



# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : フロー紹介

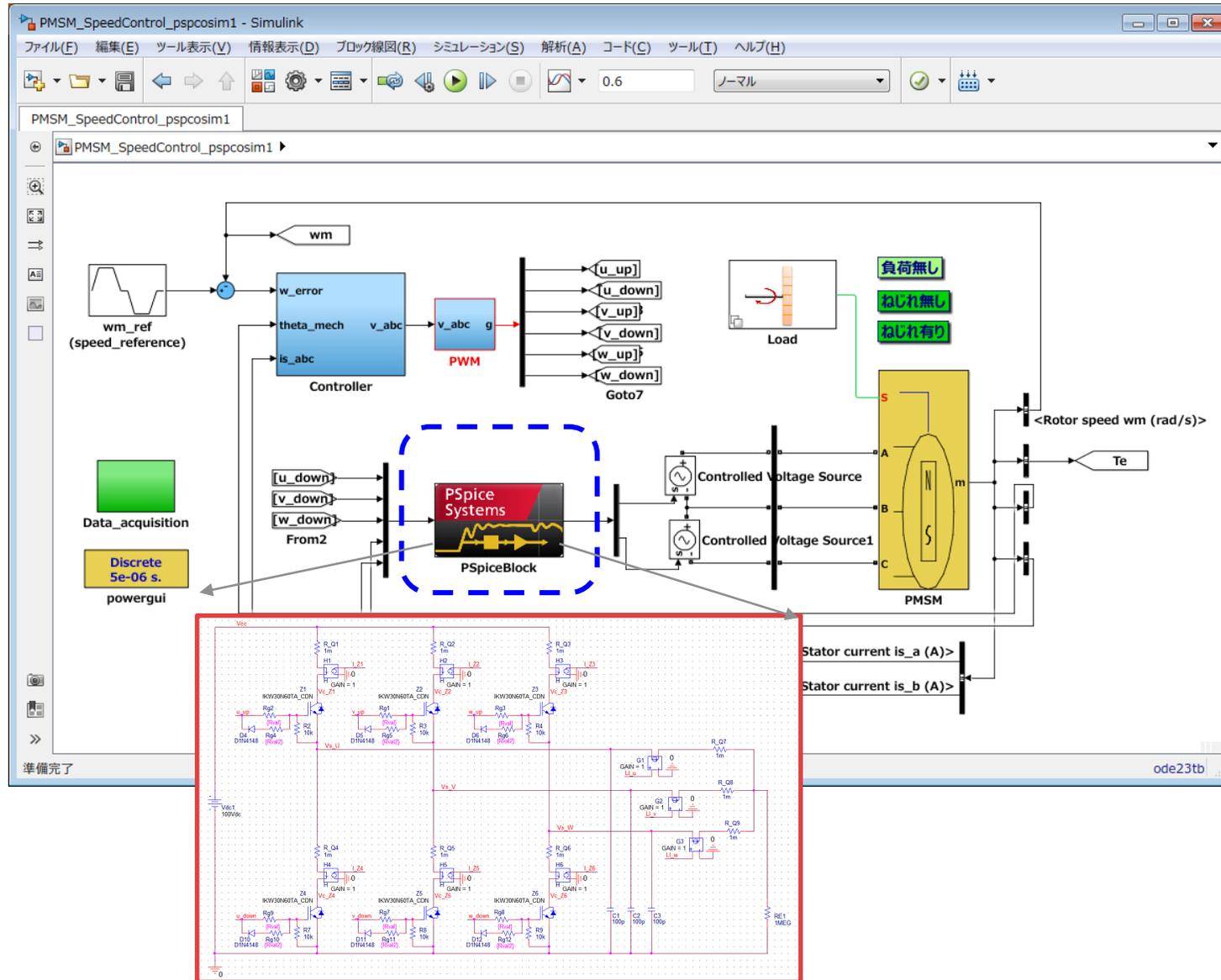


# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : フロー紹介



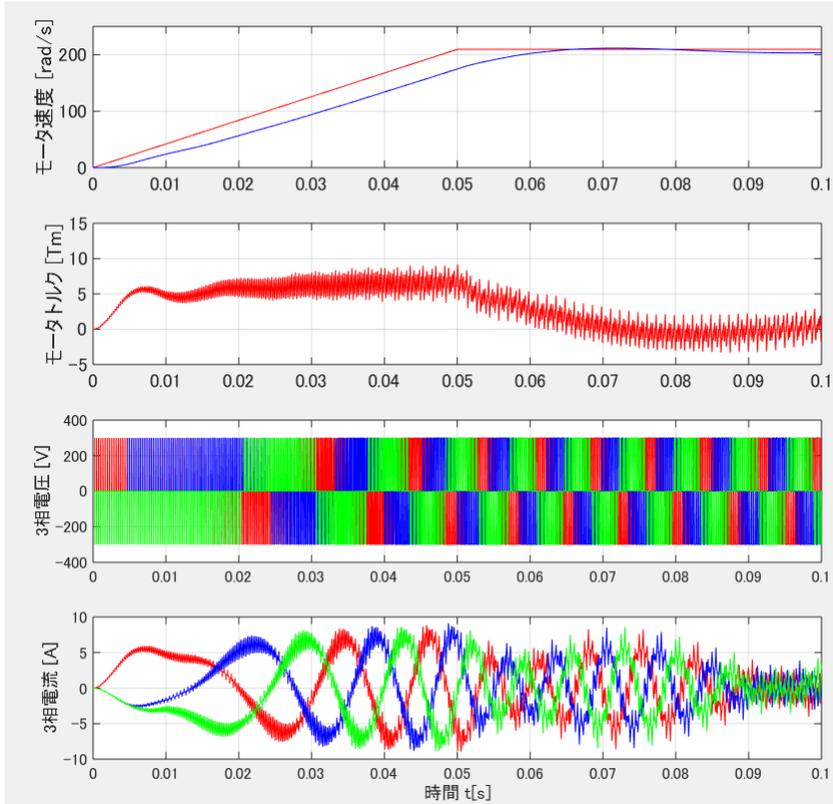
詳細デバイスモデル  
(IGBT)

# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : フロー紹介

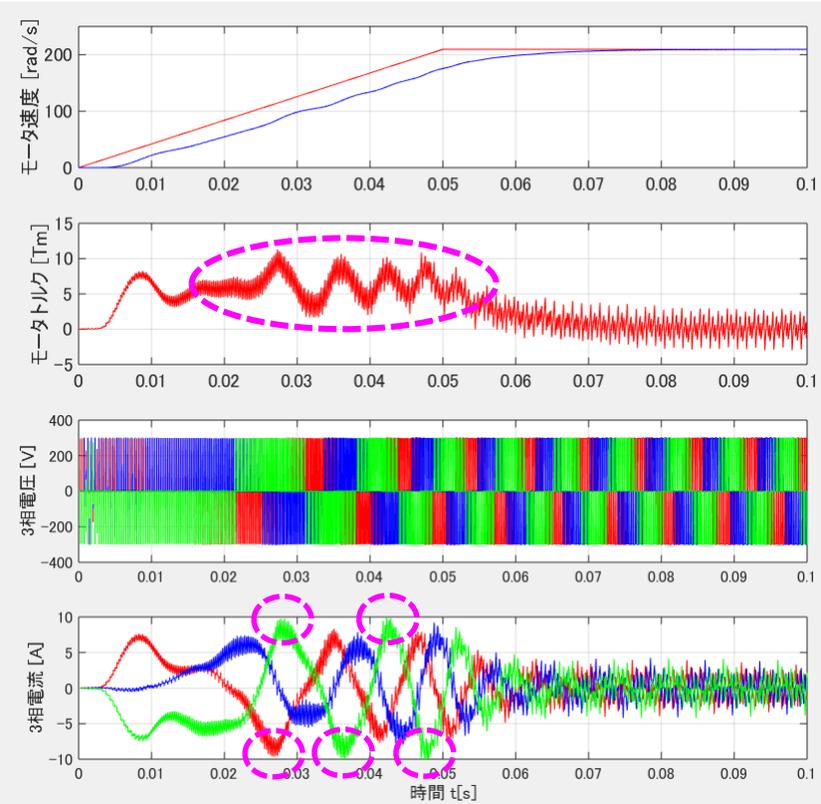


# MATLAB/Simulink-PSpice 協調解析 : 解析結果

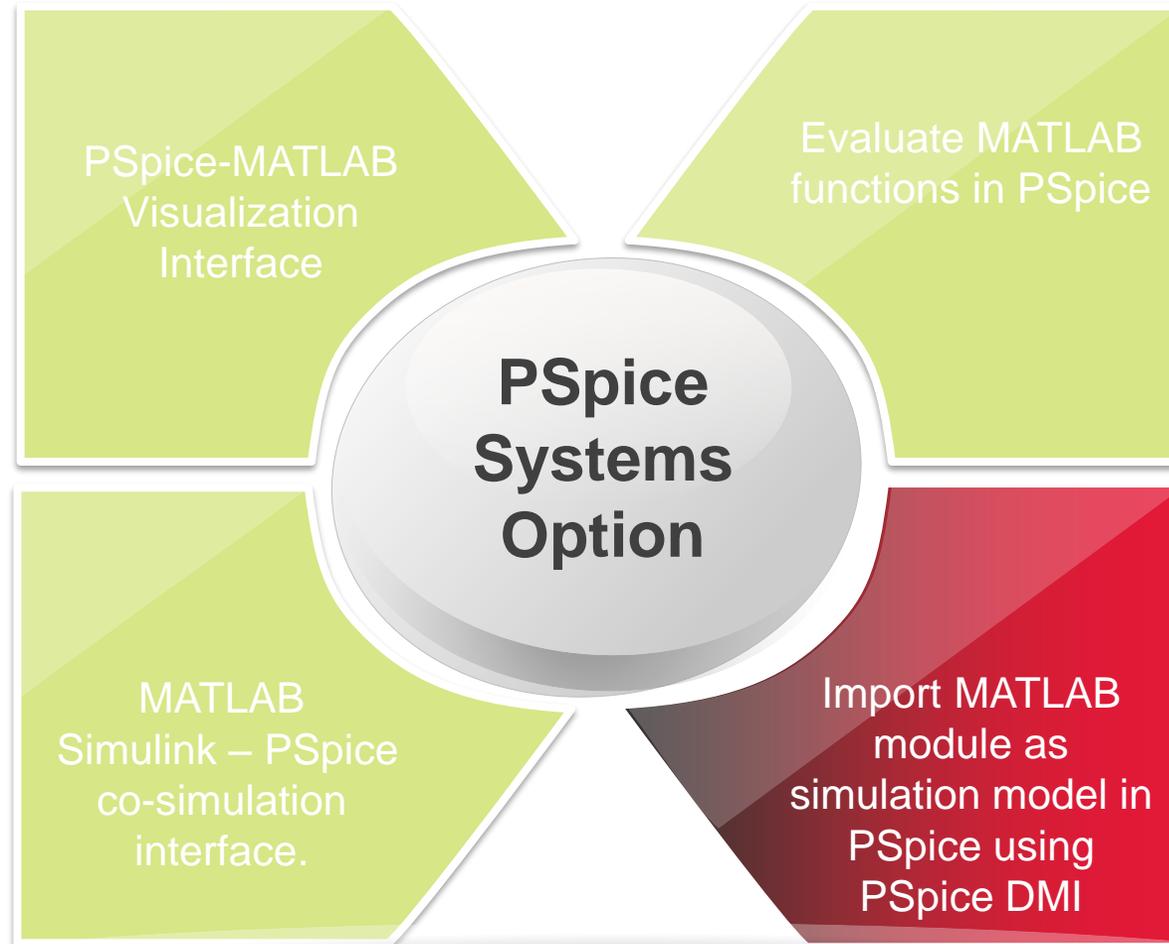
Simulink モデル



PSpice モデル



## 機能④ : PSpice向けモデル生成

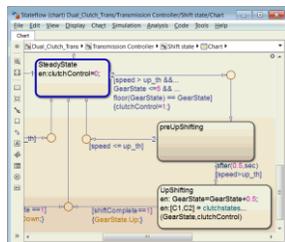


# 機能④ : PSpice向けモデル生成

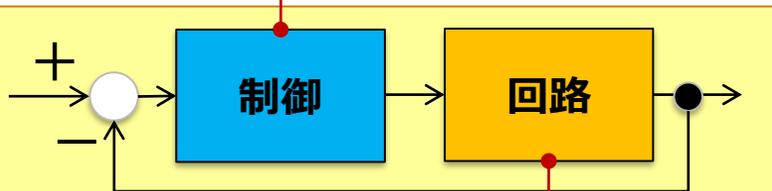
## SimulinkからCコード生成 + DMI向けラッパーコード (カスタマイズ機能)

### <従来>

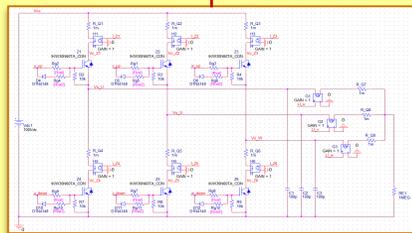
PSpiceで設計した詳細回路モデルを、別部署で作った制御モデルと組合せたときに、回路が所望の振舞いをするかをPSpice環境だけで検証できない。



制御設計者  
Simulink

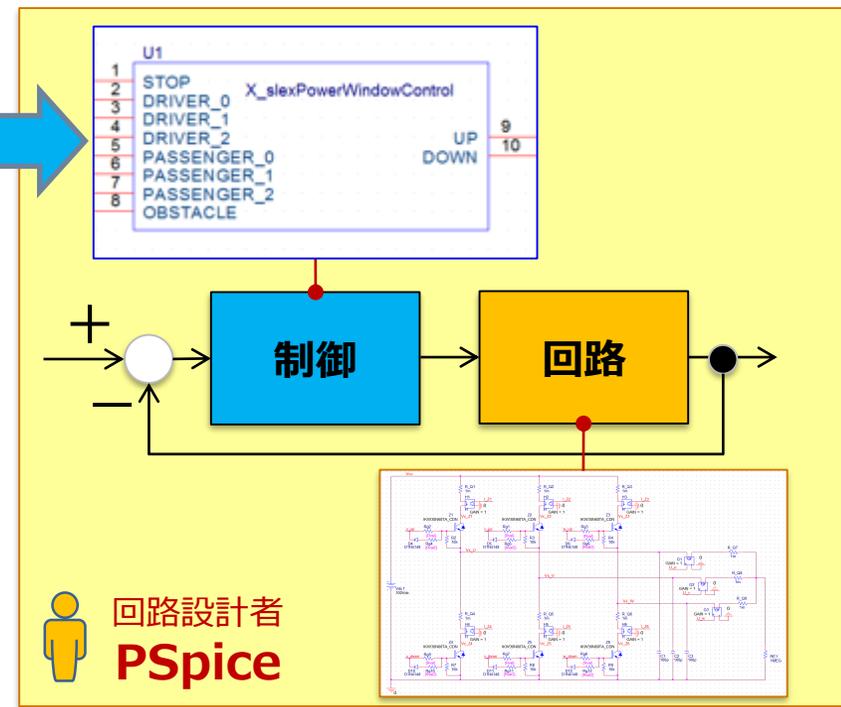
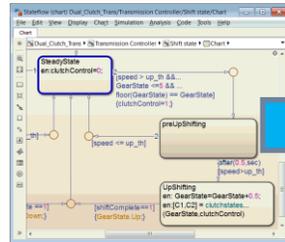


回路設計者  
PSpice



### <新機能>

別部署のエンジニアがMATLAB/Simulinkで作った制御モデルをCコードに変換してPSpice環境に取り込む機能を活用することで、PSpice環境だけで制御と回路を含む動作の検証ができる。



回路設計者  
PSpice

# PSpice向けDMI向けモデル生成（カスタマイズ機能）

## Simulink

The Simulink interface displays a control block with inputs for 'endstop', 'driver', 'passenger', and 'obstacle', and outputs for 'moveUp', 'moveDown', 'passenger[1]', 'passenger[2]', and 'passenger[3]'. Below it, the Stateflow chart shows a complex state machine with states like 'Safe', 'passengerNeutral', 'passengerDown', 'passengerUp', 'driverDown', and 'driverUp', each with associated entry and exit actions.

Cコード

DMI ラッパーコード

## PSpice

```

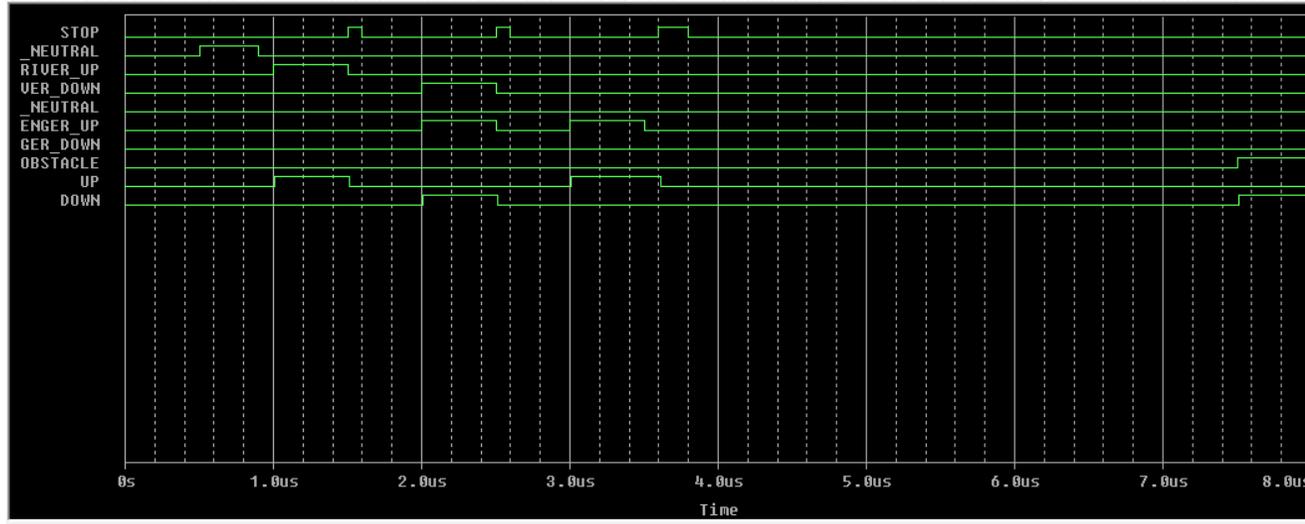
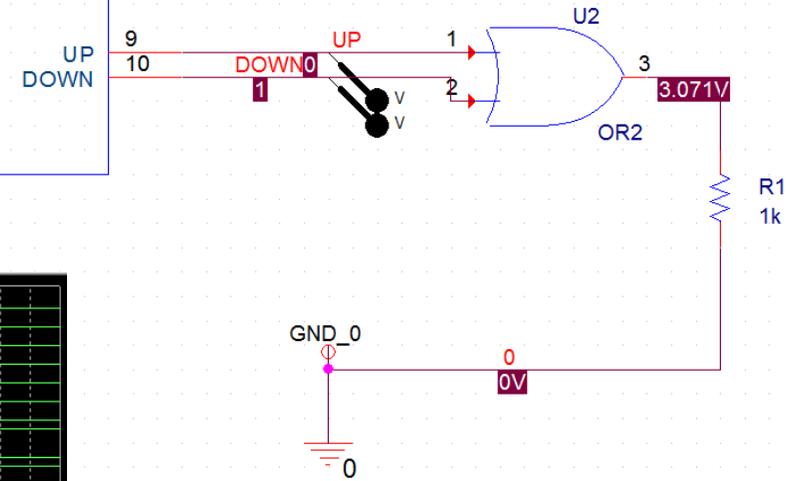
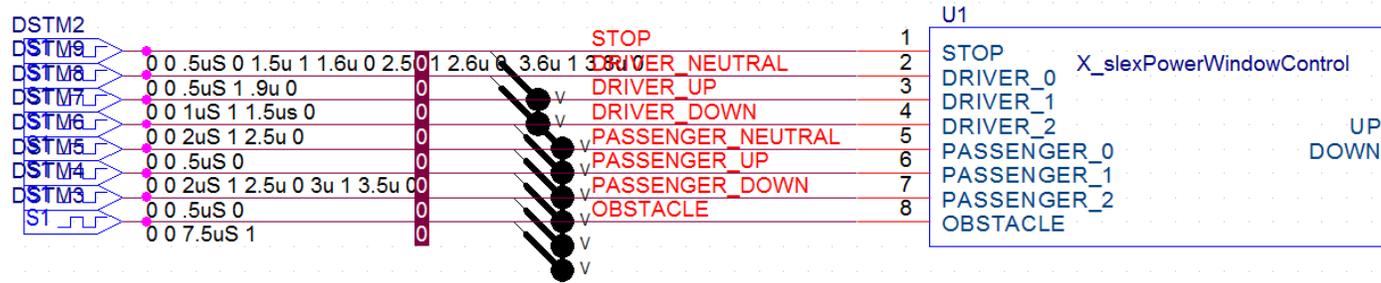
U1
1  STOP
2  DRIVER_0  X_slexPowerWindowControl
3  DRIVER_1
4  DRIVER_2
5  PASSENGER_0
6  PASSENGER_1
7  PASSENGER_2
8  OBSTACLE
9  UP
10 DOWN
    
```

The dialog box 'DMI Template Code Generator' contains the following fields and options:

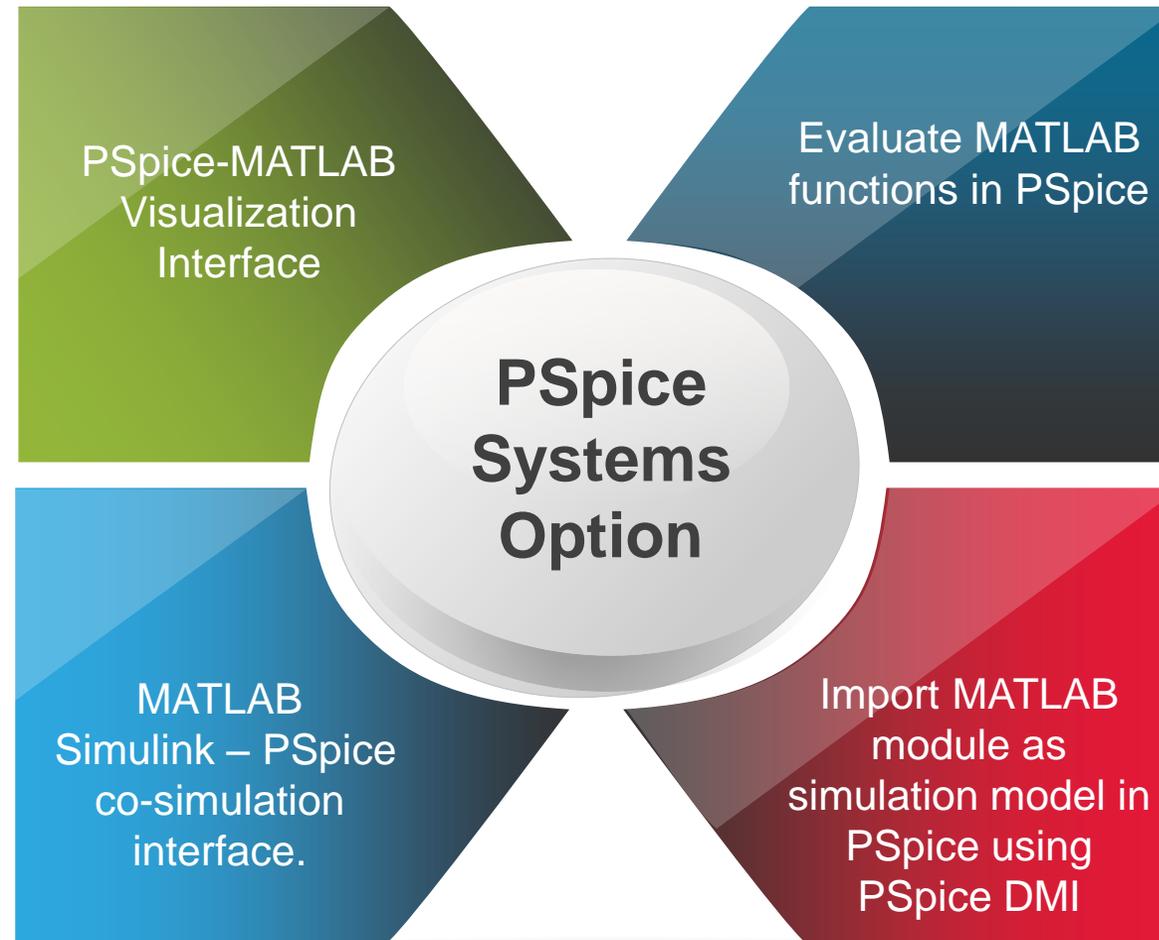
- Part Details:** Part Name: customPart, Part Type: Digital C/C++
- Ports:** Interface Type: Combinatorial, Port Entry: Ports
- Parameters:** Global Parameters: -, Device Parameters: -
- Output:** DLL File Name: customPart.dll, Log File Name: customPart.log, DLL Location: C:\Users\yhatsumi\Documents\DMIModels

# デジタル制御モデルを活用 : デモ

PARAMETERS:  
NUM\_TICK\_DELAY = 100

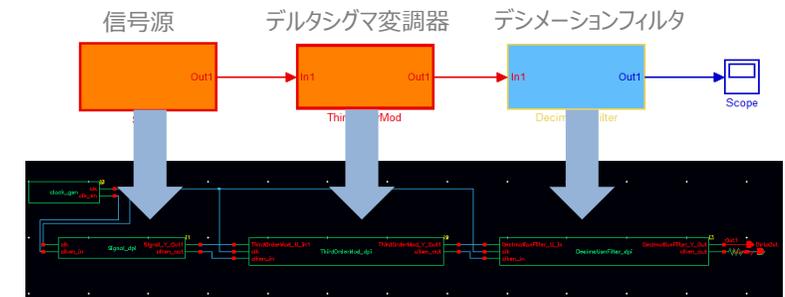


# PSpiceとMATLABの連携機能（4つ）



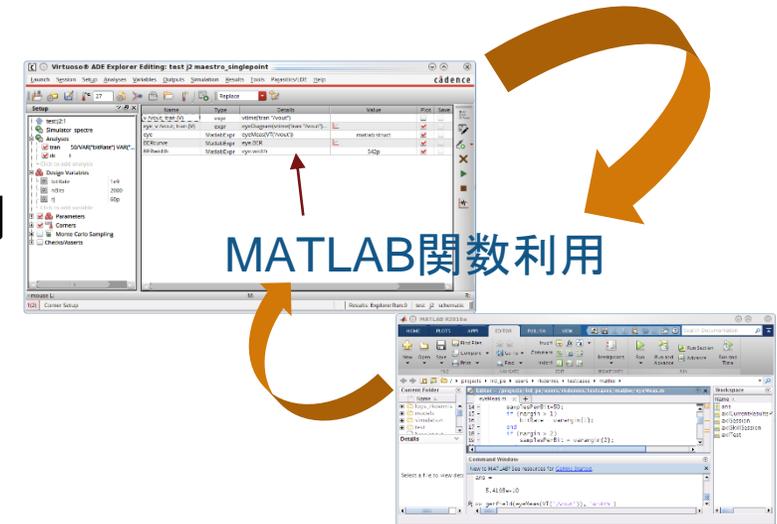
# MATLAB/Simulink Cadence Virtuoso®リンク環境

- SimulinkモデルをVirtuoso環境で活用
  - HDL Verifier™のSystemVerilog DPI-Cモデル生成機能  
SimulinkモデルをVirtuoso上でビヘイビアモデルで活用



SystemVerilog DPI-C生成機能

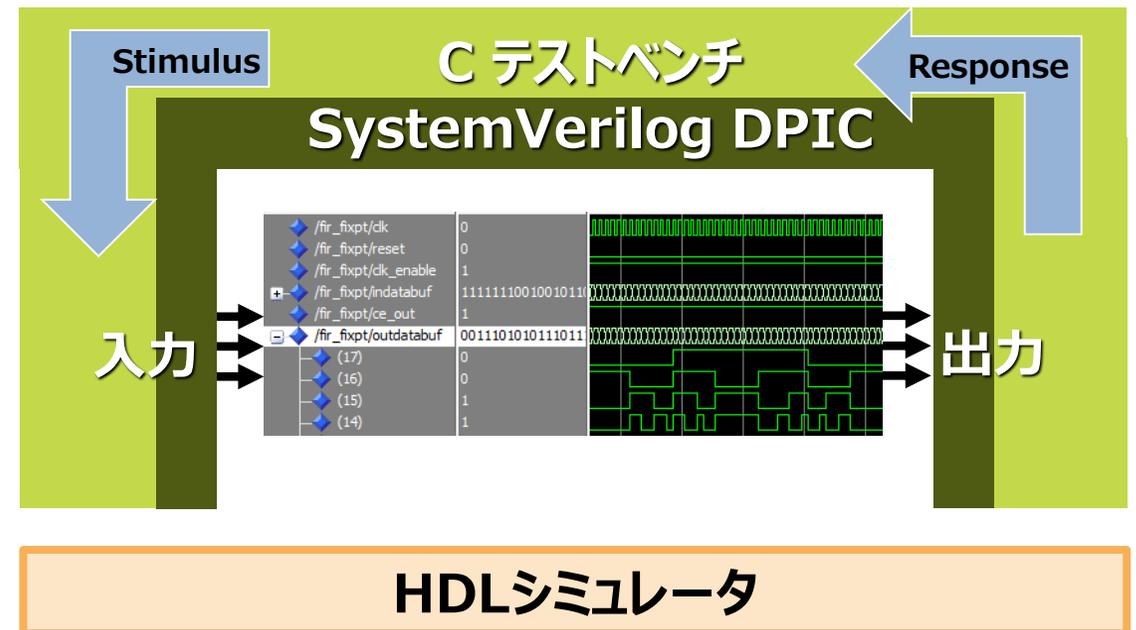
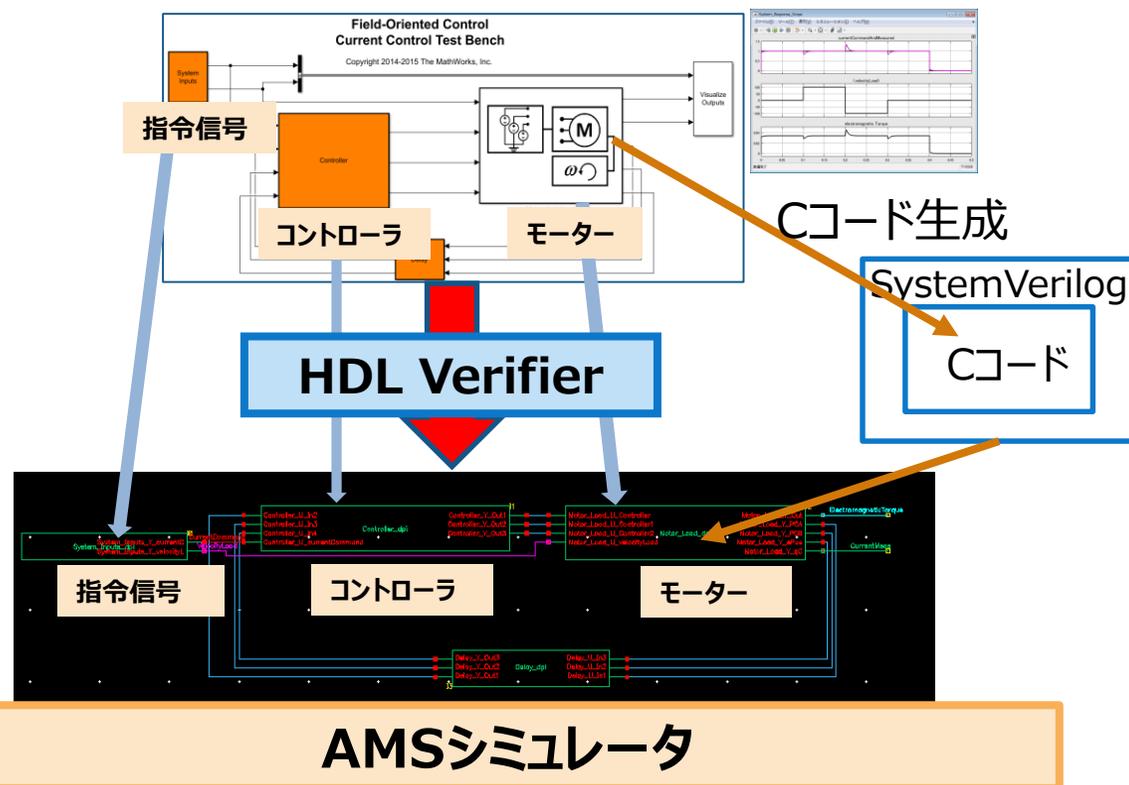
- Virtuoso ADE環境上でMATLABの解析機能を活用
  - Virtuoso ADE MATLAB Integration機能：  
MATLABの豊富な解析、可視化の関数、レポート生成機能を活用



Virtuoso ADE MATLAB Integration機能

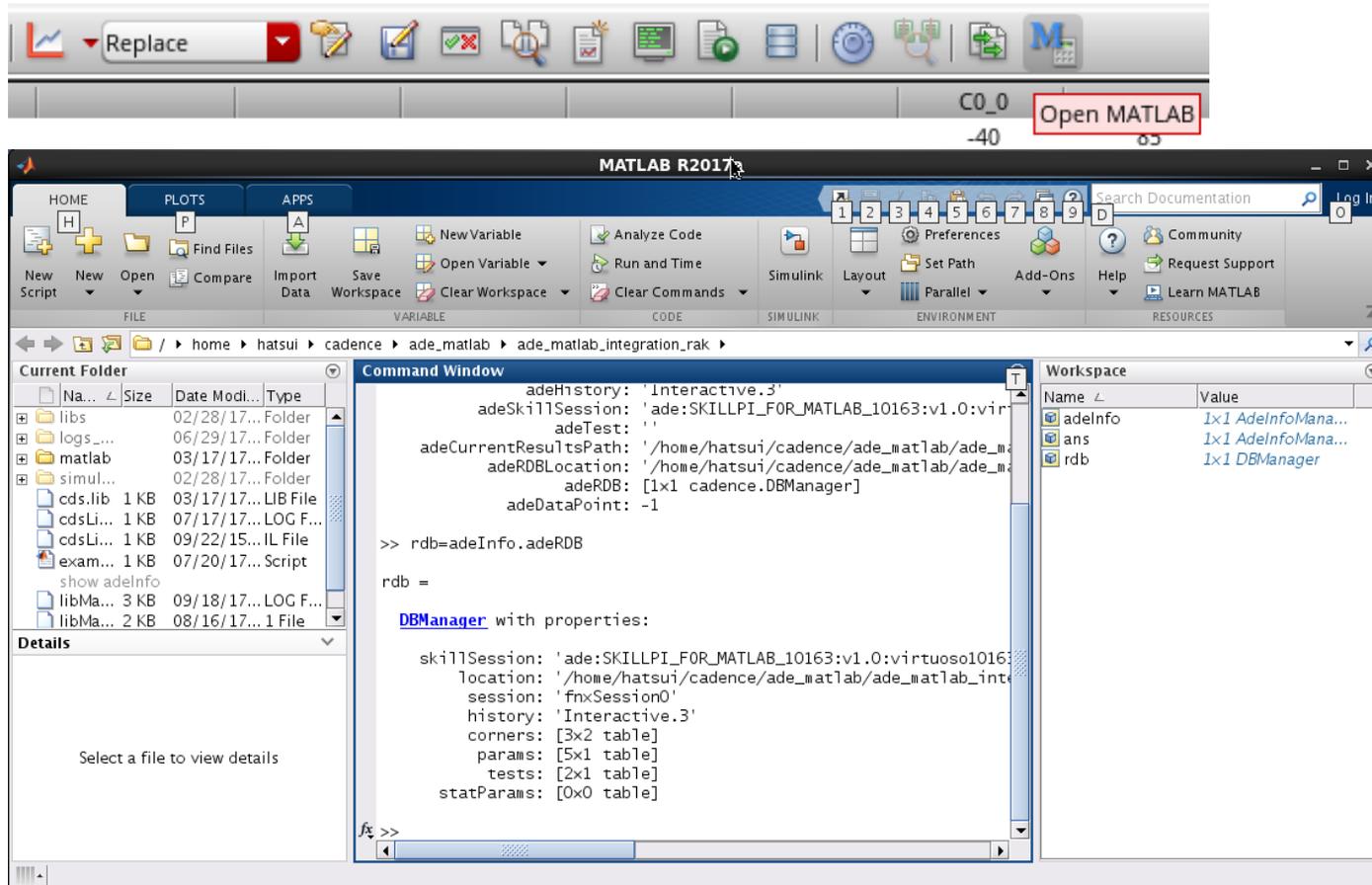
# HDL Verifier SystemVerilog DPI-C生成機能

- HDL VerifierのSystemVerilog DPI-Cモデル生成機能
  - AMSシミュレータ上でSimulinkモデルを、ビヘイビアモデルとして、アナログ・デジタル(ミックストシグナル)検証で活用
  - HDLシミュレータ上でSimulinkモデルを検証テストベンチで活用



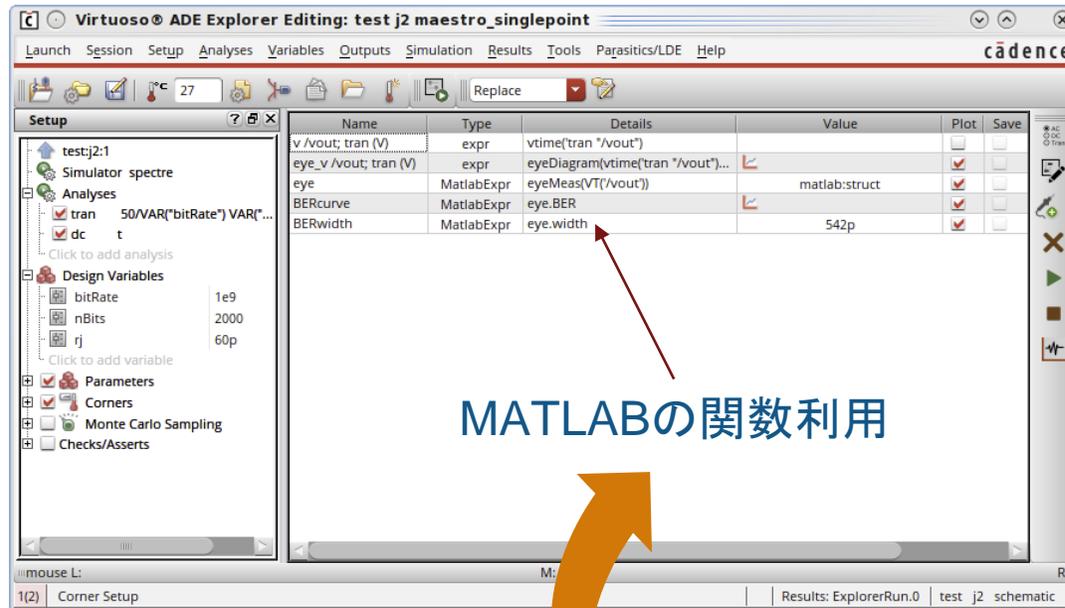
# MATLAB Virtuoso ADEリンク MATLABからADEの結果にアクセス

- MATLABのインタラクティブセッションを起動して、ADE結果データにアクセス



- ADEのデータにアクセスする為のコマンドを用意
- MATLAB上で各種関数、スクリプトをデバックしながら作成
- 関数は、ADE上から使用可能

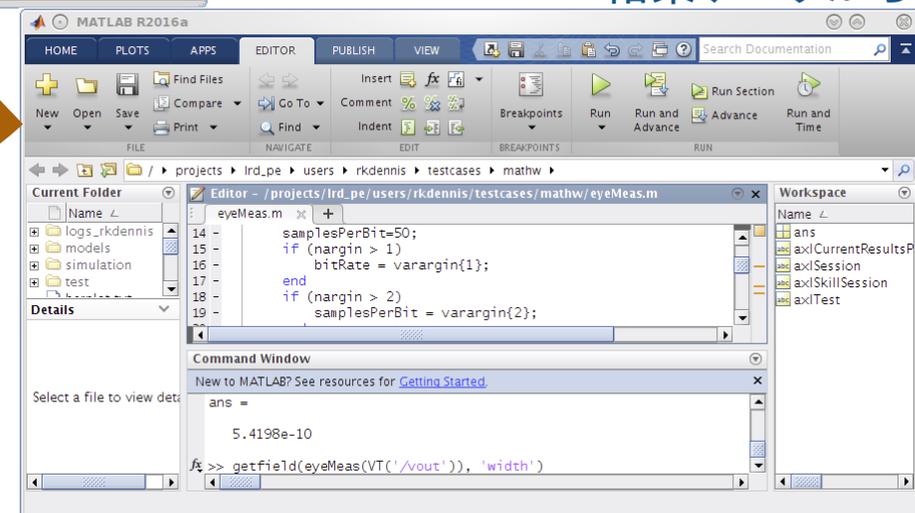
# MATLAB Virtuoso ADEリンク MATLAB関数をADE上で使用



MATLABの関数利用

結果データからレポート生成

- ADE結果データをMATLABから読み込み
- MATLAB上スクリプトをエディットしてデバック、その後にADE上で使用



# アジェンダ

- 回路設計におけるシステムレベルシミュレーション
- MATLAB/Simulink OrCAD PSPICE 統合設計環境
- **まとめ**

# まとめ

MATLAB/Simulinkの環境をOrCAD PSpiceで回路設計と組合せて活用することで、開発初期段階から詳細回路設計段階までシステム全体を俯瞰したPCBシステム設計作業を行うことができます。

ぜひ、両ツールを組合せたソリューションを、一度お試し下さい。

## OrCAD® PSpice®

### 回路設計

アナログ・デジタル混在の回路シミュレーション

**回路設計者**  
**PSpice**

- 回路図作成
- 部品データベース連携
- アナログ・デジタル混在回路の解析
- モンテカルロ解析
- スモーク解析

<https://www.innotech.co.jp/orcad/products/orcad-overview/>

+

## MATLAB®/Simulink®

### システム設計

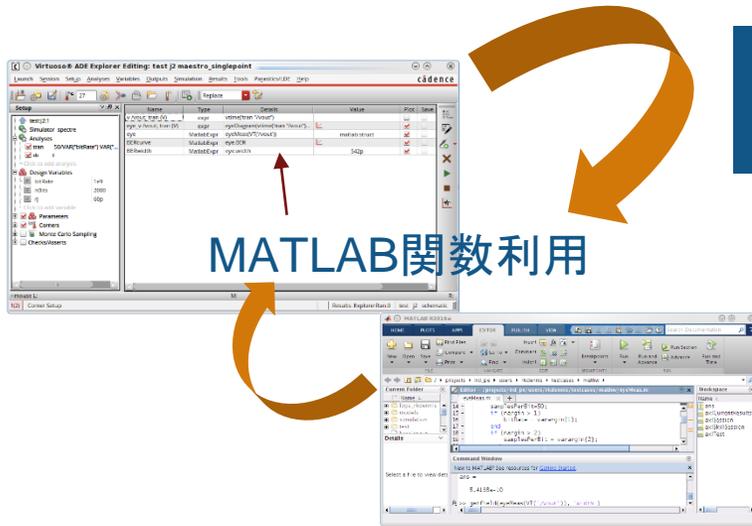
複合物理領域に跨る制御システム全体のシミュレーション

**制御設計者**  
**Simulink**

- 制御ロジック設計
- 複合物理領域の解析
- 最適化・レポート生成
- 2D/3Dグラフィックス
- 組み込み用コード生成

<https://jp.mathworks.com/products/simulink.html>

# Next Steps : 展示ブースへ是非お越し下さい



MATLAB/ADEリンク  
環境デモ

MATLAB/PSpiceリンク  
環境デモ

