

## 必要なツールボックス

- MATLAB R2020a
- Simulink
- Simscape
- Control System Toolbox
- Simulink Control Design
- Simulink Design Optimization
- Optimization Toolbox

[任意]

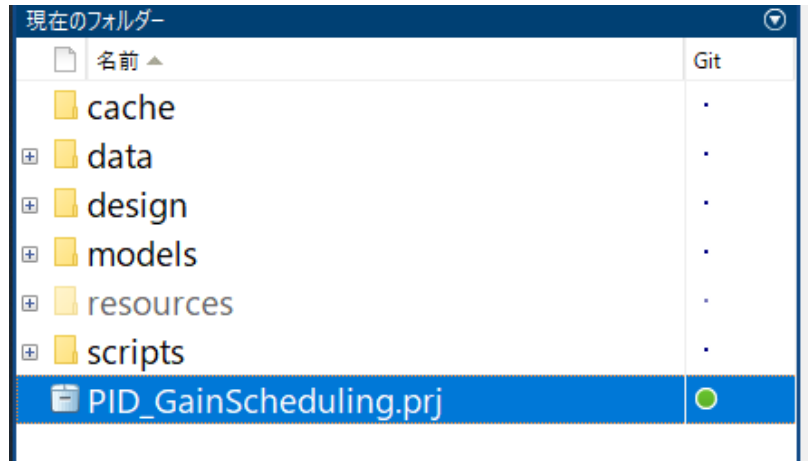
- Global Optimization Toolbox
- Parallel Computing Toolbox
- Mexを生成できるコンパイラ

※Simulinkに慣れていない方は、先にSimulink入門を受講されることをお勧めします。

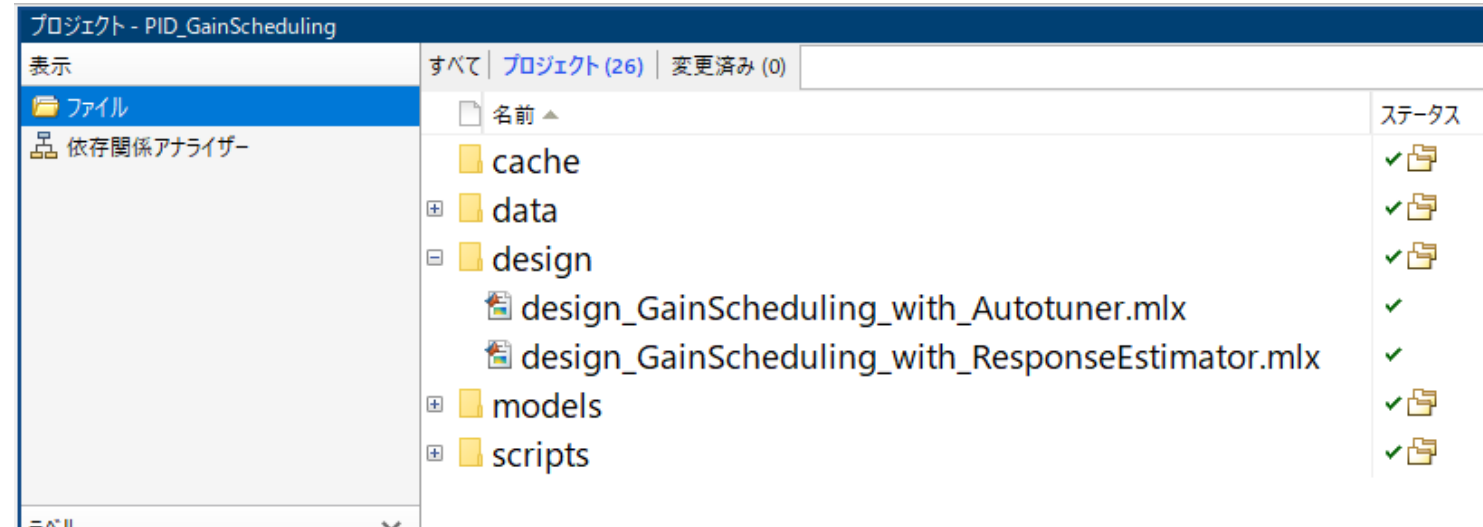
<https://jp.mathworks.com/learn/tutorials/simulink-onramp.html>

# サンプルモデルの起動手順

## 1.「PID\_GainScheduling.prj」をダブルクリック



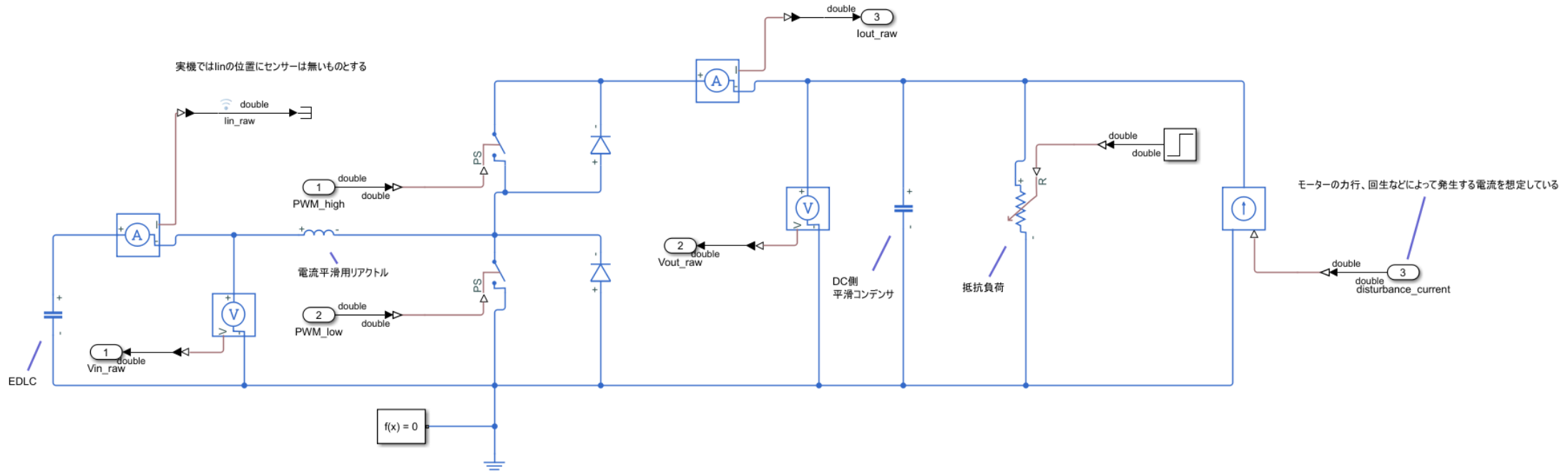
## 2.「design」を展開し、それぞれのmlxファイルをダブルクリックして開く



# サンプルモデルの起動手順

## 3.「models」の「system\_model.slx」、「system\_model\_optim.slx」を開いてモデルの構造を確認する

制御対象はDC-DCコンバータである。スイッチングは片側のみ行う仕様になっており、非線形なプラントモデルとなっている。また、線形解析ツールで線形化できないモデルである。



## PID自動チューニング(Autotuner) vs 応答オプティマイザー

線形化できないモデルに対してゲインチューニングする機能として、以下の二つがある。  
それぞれの特徴は以下の表を参照。

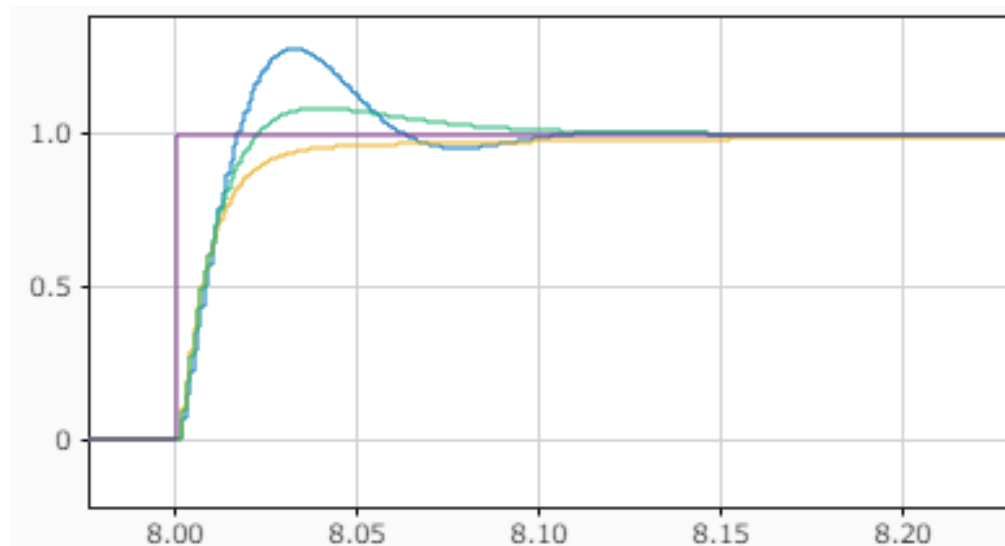
特徴	PID自動チューニング(Autotuner)	応答オプティマイザー
調整対象	PID制御器のゲイン	任意のゲイン 制御器の構造は自由に構成することができる
ゲインスケジューリング設計	各操作点におけるPIDゲインを算出することで、ルックアップテーブルを構成する	各操作点を通るテスト動作を行い、ルックアップテーブルを直接チューニングする
設計パラメータ	帯域幅、位相余裕、摂動の振幅	指定した最適化アルゴリズムのパラメータ
指定可能な要件	帯域幅、位相余裕	様々な要件を指定可能
実装	コード生成して実装可能 Simulink Coder、Embedded Coder、 Simulink PLC Coderに対応	コード生成は不可

# Closed-Loop PID Autotuner 設定方法

応答は、ブロックパラメータの「ターゲットの帯域幅(ラジアン/秒)」、「ターゲットの位相余裕(度)」で調整する。

調整目標	
ターゲットの帯域幅 (ラジアン/秒)	100 <input type="checkbox"/> 外部ソースの使用
ターゲットの位相余裕 (度)	60 <input type="checkbox"/> 外部ソースの使用

ターゲットの帯域幅を $w$ とすると、ステップ応答の立ち上がり時間は $0.7\pi/w$ [s]となると考えてよい。  
ターゲットの位相余裕が大きいほど減衰的に、小さいほど振動的になる。



立ち上がり時間

ターゲット位相余裕

- 30度
- 60度
- 90度

左図では、 $w = 100$ とした。  
よって、 $0.7 \cdot \pi / 100 = 0.022$ [s]  
が立ち上がり時間となっている。

# Closed-Loop PID Autotuner 設定方法

実験の持続時間(摂動を与える時間)は、なるべく以下の時間以上とすること

- 閉ループ調整の場合は  $200/w$  [s]
- 開ループ調整の場合は  $100/w$  [s]

正弦波摂動の振幅を、ブロックパラメータの「実験」タブで指定する。

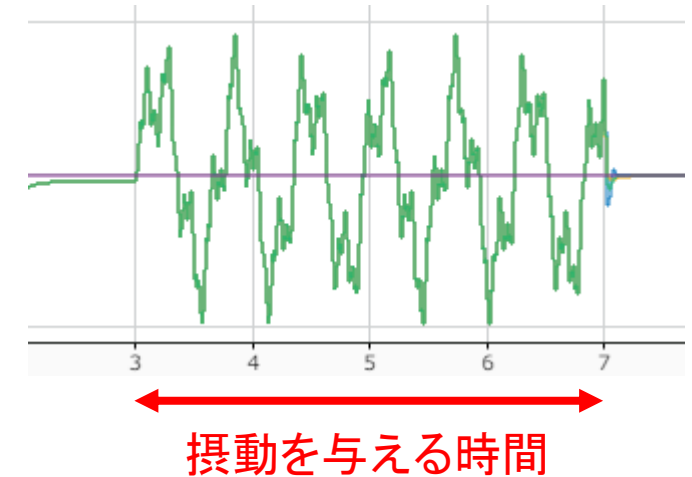
設定

正弦波振幅

摂動振幅は以下のとおりでなければならない。

- 摂動がプラント アクチュエータのすべての不感帯を克服してノイズ レベルを超える応答を生成できる程度に大きい
- 定格操作点近傍のほぼ線形の領域内でプラントを実行し続け、プラントの入力または出力の飽和を回避できる程度に小さい

実験では正弦波信号が重ね合わせられる。その振動の最大振幅は、上記で指定した振幅となる。取り得る最大摂動がプラント アクチュエータの範囲内に必ず収まるようにすること。アクチュエータが飽和状態になると、推定周波数応答に誤りが発生することがある。



# ラピッドアクセラレータモード

ラピッドアクセラレータモードでは、コンパイラが必要である。コマンドウィンドウで「mex -setup」を入力し、コンパイラがインストールされていることを確認すること。

コマンドウィンドウ

```
>> mex -setup
```

MEX は C 言語のコンパイルに 'Microsoft Visual C++ 2019 (C)' を使用するよう設定されています。

別の C コンパイラを選択するには、次のいずれかを選択してください。

[MinGW64 Compiler \(C\)](#) mex -setup:'C:\Program Files\MATLAB\R2020a\bin\win64\mexopts\mingw64.xml' C

[Microsoft Visual C++ 2017 \(C\)](#) mex -setup:'C:\Program Files\MATLAB\R2020a\bin\win64\mexopts\msvc2017.xml' C

[Microsoft Visual C++ 2019 \(C\)](#) mex -setup:C:\Users\tshintai\AppData\Roaming\MathWorks\MATLAB\R2020a\mex\_C\_win64.xml C

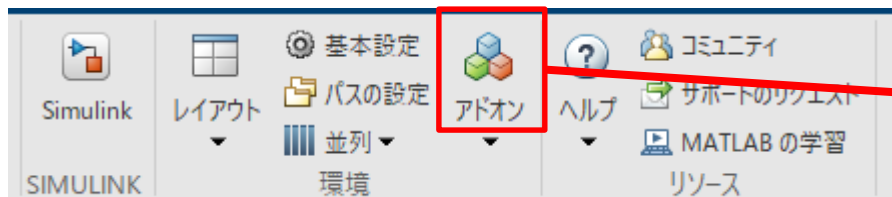
別の言語を選択するには、次のいずれかを選択してください。

[mex -setup C++](#)

[mex -setup FORTRAN](#)

このように表示されていれば  
コンパイラは設定済み

無料のコンパイラ「MinGW」は、アドオンとしてインストールすることができる。

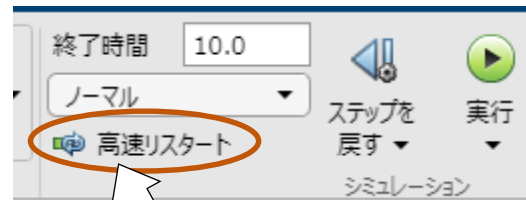
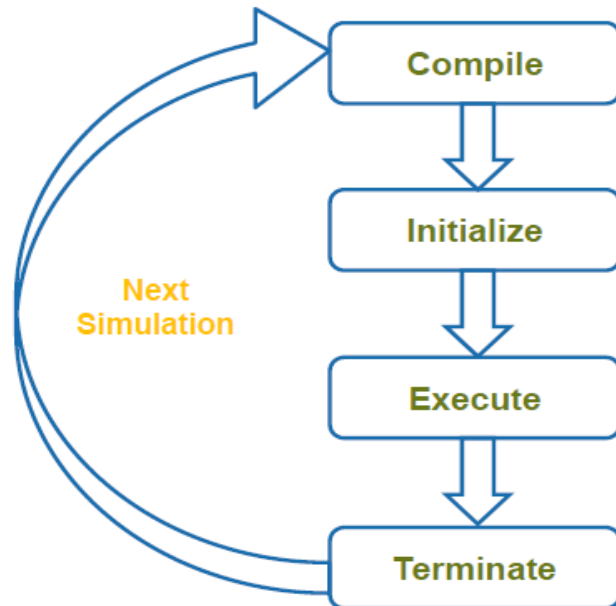


## 高速リスタート

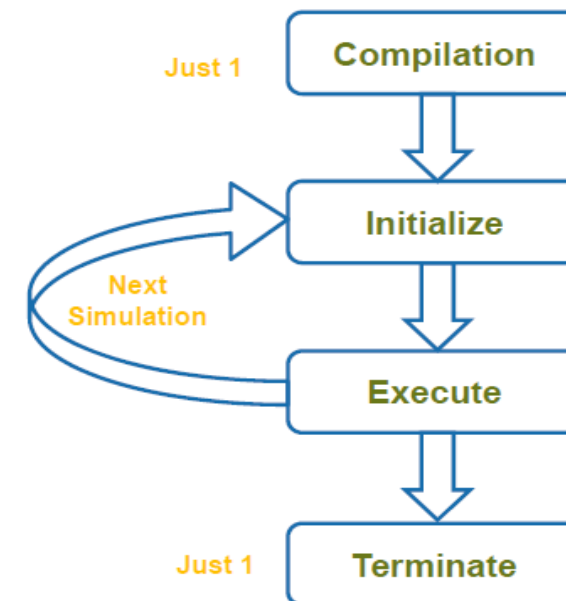
### パラメータスタディ等の繰り返しシミュレーションに威力を発揮

- 有効にすると2回目以降のシミュレーションで初期化工程をスキップして高速化
- パラメータ変更以外のモデル修正をしたい場合は、解除する必要がある

#### 通常のシミュレーション実行



#### 高速リスタート





# Simulink Design Optimizationの最適化アルゴリズム

メソッド	アルゴリズム	使用関数	使用Toolbox	PCTによる並列化
非線形最小二乗 (デフォルト)	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼領域法(デフォルト)</li> <li>レーベンバーグ・マルカート法</li> </ul>	lsqnonlin	Optimization Toolbox	×
勾配降下	<ul style="list-style-type: none"> <li>有効制約法(デフォルト)</li> <li>内点法</li> <li>信頼領域法</li> <li>逐次二次計画法</li> </ul>	fmincon	Optimization Toolbox	○
パターン探索	探索法 <ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> <li>Positive Basis Np1</li> <li>Positive Basis 2N</li> <li>遺伝的アルゴリズム</li> <li>ラテン超方格</li> <li>Nelder-Mead法</li> </ul>	patternsearch	Global Optimization Toolbox	○
シンプレックス探索		fminsearch	Global Optimization Toolbox	×

# 最適化メソッド

- 非線形最小二乗: lsqnonlin
  - 非線形最小二乗曲線近似の問題を解く
  - <https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/lsgnonlin.html>
- 勾配降下: fmincon
  - 制約付き非線形多変数関数の最小値を求める
  - <https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>
- パターン検索: patternsearch
  - 各種パターン検索のアルゴリズムを用いて最小値を求める
  - <https://jp.mathworks.com/help/gads/patternsearch.html>
- シンプレックス探索: fminsearch
  - 導関数を使用しない方法で解く非線形計画法
  - <https://jp.mathworks.com/help/matlab/ref/fminsearch.html>

# アルゴリズム

信頼領域 Reflective 法、レーベンバーグ・マルカート法、内点法については、以下のリンク先を参照。

<https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/least-squares-model-fitting-algorithms.html>

fminconのアルゴリズムについては、以下のリンク先を参照。

<https://jp.mathworks.com/help/optim/ug/constrained-nonlinear-optimization-algorithms.html>



Accelerating the pace of engineering and science

© 2020 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [www.mathworks.com/trademarks](http://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.