

2021/4/24 roboOne MATLAB セミナー資料

## **MATLAB 入門講座**

～ 事例：DC モータと負荷の速度制御 ～

### **[1] 実験データを用いたシステム同定による数式モデリング**

注記：本資料は三田 宇洋著、「MATLAB/Simulink によるモデルベースデザイン入門」、オーム社,2013 より抜粋

## 目次

### 第 1 章 はじめに

本説明書は、MATLAB の初級者の方向けのチュートリアルです。  
本チュートリアルでは数値解析ソフトウェア MATLAB とそのオプションプロダクトを用いた、簡単なシステム解析を説明します。

ある DC モータを例として、DC モータに負荷が与えられた時の回転速度のデータを MATLAB で解析する手順を一貫して体験・演習します。

#### 【本チュートリアルの特徴】

- (1) 演習形式で理解を深める形にします。
- (2) 実際に MATLAB の環境での操作を想定します。
- (3) 何故、その作業が必要かを説明します。
- (4) サンプルファイルを提供します。

#### フィードバック制御系設計への V 字プロセスの適用

本チュートリアルでは、各作業工程の流れを可視化するため、図 1-4 の V 字プロセスを想定し、V 字プロセスに沿って工程を進めていきます。これから進める工程が、図 1-4 のどこにあたるか意識してください。本演習では主に、図 1-4 の(2)を進めていきます。

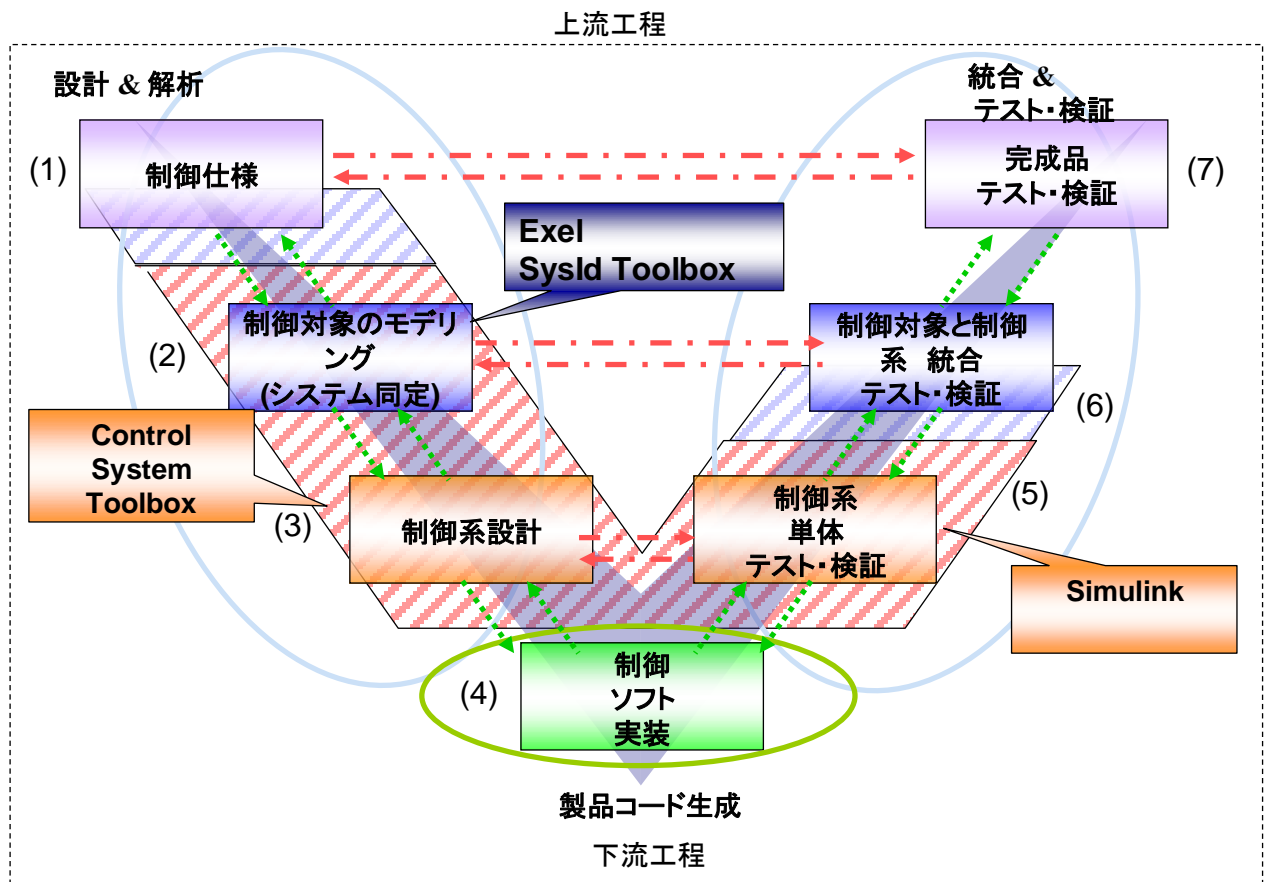


図 1-4 フィードバック制御系設計における V 字プロセス<sup>[1]</sup>

## 1.1 諸注意

### 【演習の注意】

- (1) 必要なオプションプロダクトとそのバージョンを表 2-1 で確認してください。
- (2) MATLAB のカレントディレクトリにサンプルファイルがあることを確認してください。  
必要なファイルを表 2-2 に示します。
- (3) 本チュートリアルでの演習は、手順どおり行い、そこで得られた結果を、次工程で使用するようになっています。特に、変数名の定義、大文字小文字の区別等は注意してください。
- (4) 解答例における注釈文(%以降の説明)の入力は特に必要ありません。

### 【本チュートリアルに関する注意】

- (5) 本チュートリアルは、システム同定では System Identification Toolbox(7.2 節参照)、制御系設計では Control System Toolbox(8.1 節参照)の関数を使用します。それらの関数はサンプルスクリプトのコメントで判別できるようにします。コメントの無いスクリプトは MATLAB の標準関数です。なお、本サンプルは MATLAB の機能セルモードに対応し、演習の各スクリプト単体での実行が可能です。

<コメント>

CtrTbx : Control System Toolbox

SysIDTbx : System Identification Toolbox

- (6) 関数のリファレンスについて

本チュートリアルは、使用関数の諸元について、特に説明を行いません。  
使用関数の諸元について調べる場合は次のように行ってください。

### 【例 tf 関数について調べる場合】

- [1] 簡易的な help の呼び出し

help はテキストベースの簡易的な参照です。  
MATLAB コマンドウィンドウから  
>>help tf[Enter]

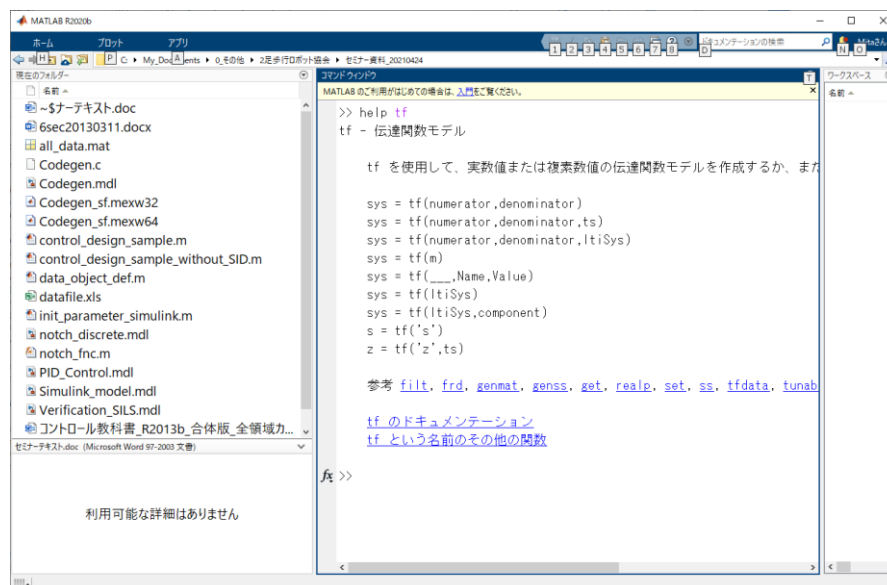


図 1-5 help の例

## [2] ドキュメントのマニュアルと同等の リファレンスの呼び出し

doc はブラウザベースの参照です。内容はドキュメントのマニュアルと等価です。

MATLAB コマンドウィンドウから

```
>>doc tf[Enter]
```

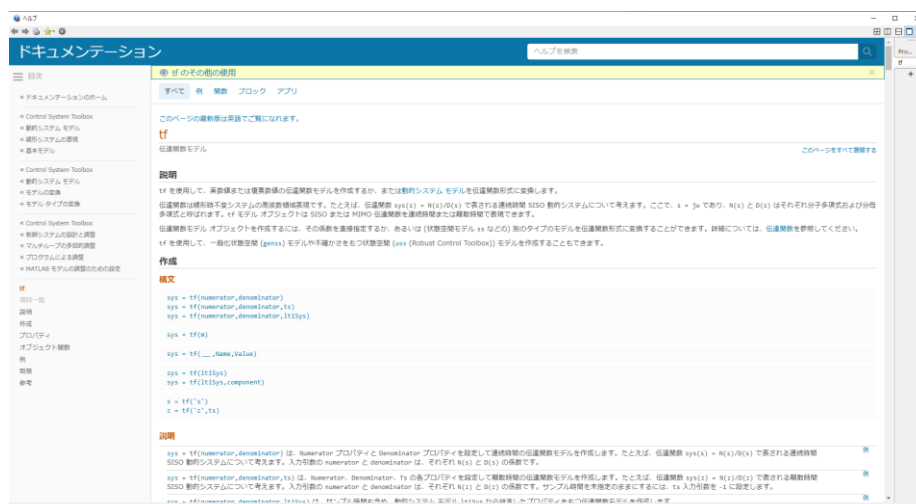


図 1-6 doc の例

## 第2章 環境設定

サンプルファイルは Windows 環境で動作を確認しています。本チュートリアルで用いる MATLAB プロダクトのバージョンとその用途を表 2-1 に示します。各サンプルファイルの説明を表 2-2 に示します。

表 2-1 各 MATLAB プロダクトのバージョンと用途

番号	MATLAB プロダクト	バージョン	用途
1.	<b>MATLAB</b>	Version 9.9 (R2020b)	基本環境 各種スクリプトの作成と実行
2.	System Identification Toolbox	Version 9.13 (R2020b)	入出力データを用いた入出力間の線形モデルの推定と評価
3.	Control System Toolbox	Version 10.9 (R2020b)	上記線形モデルを用いたフィードバック制御系の設計と評価
4.	<b>Simulink</b>	Version 7.7 (R2020b)	シミュレーション環境における上記線形モデルとフィードバック制御系の評価

表 2-2 サンプルファイル

番号	名称	説明
1.	datafile.xls	実験データのエクセルシート
2.	all_data.mat	必要なワークスペース変数を保存した全ファイル
3.	control_design_sample.m	演習の解答の全スクリプト
4.	notch_discrete.mdl	ノッチフィルタの離散化モデル
5.	notch_fnc.m	ノッチフィルタを離散化し、関数とした m ファイル
6.	PID_Control.mdl	PID 制御のシミュレーションモデル
7	data_object_def.m	Simulink データオブジェクトの定義
8	Codegen.mdl	コード生成用モデル
9	Verification_SILS.mdl	SLIS の環境モデル
10	Simulink_model.mdl	Simulink による 2 慣性系モータモデル
11	init_parameter_simulink.m	Simulink_model.mdl のパラメータファイル

## 第3章 モデリングについて

### 習得事項

- ・モデリングを総括的に捉える。
- ・物理モデリングの分類を捉える。
  - ブラックボックスモデル
  - グレーボックスモデル
  - ホワイトボックスモデル

### 3.1 モデリングの目的

モデリングは、ある現象の特徴を捉え、表現することで、市場経済のようなマクロなものから半導体素子内部の電荷の動きのようなミクロなものまで様々な分野で考えられます。ここでは、制御系設計におけるモデリングを見ていきます。さて、制御する機器本来の能力を引き出すためには、制御技術によって精度の高い制御を行う必要があります、そのためには対象機器の詳しい知識が必要です。これを数式で表すものが数式モデル(物理モデル)であり、モデル作成の作業をモデリングと呼びます<sup>13)</sup>。

### 3.2 制御における2種類のモデリング

制御におけるモデリングは、制御対象と制御器の2種類が考えられます。サーボ系の制御構造を図4-1に示します。制御対象(プラント)は、制御器(コントローラ)によりコントロールしたい物理現象です。以降で示すDCモータと負荷の動特性などが一例です。制御器は通常計算機や電気回路に搭載されるアルゴリズムです。以降で示すPID制御などが一例です。

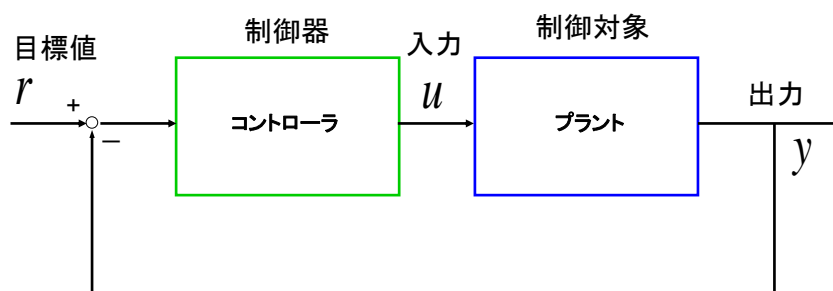


図 4-1 サーボ系の制御構造<sup>[3]</sup>

### 3.3 物理モデリング

物理モデリングとは、注目する物理現象を支配する法則や数式を抽出し、(数式のような) 普遍的な表現で系の挙動を記述することです。法則にはエネルギー保存則、電圧平衡の式、物質収支式及び熱収支式などがあります。物理モデリングには、大別して次の分類があります。図 4-2 に示したバネ、マス及びダンパーで構成される一自由度振動系のモデルで見いきましょう。図 4-2 の(a)はホワイトボックスモデルとなります。ホワイトボックスモデルは、系を支配する数式が明白なものです。図 4-2 の(b)はグレーボックスモデルです。グレーボックスモデルは、モデルの内部構造に一部不明点があるものです。この例ではダンパー要素が不明です。図 4-2 の(c)はブラックボックスモデルです。ブラックボックスモデルはモデルの内部構造が未知のものです。入力信号とそのときの出力信号の実験データから系の数式モデルを計算により求める手法にシステム同定があります。ブラックボックスモデルの計算にはシステム同定がよく使われます<sup>[4]</sup>。



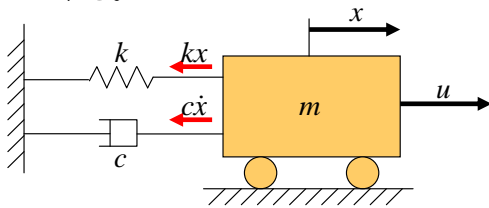
(a) ホワイトボックスモデル

運動方程式

は  $m\ddot{x} = -(c\dot{x}) - (kx) + u$

整理すると  $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = u$

初期値は  $\dot{x}(0) = 0, x(0) = 0$   
とする。



(b) グレーボックスモデル

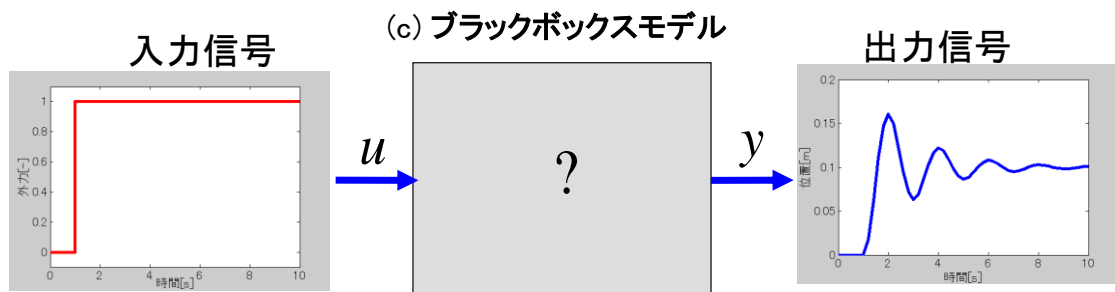
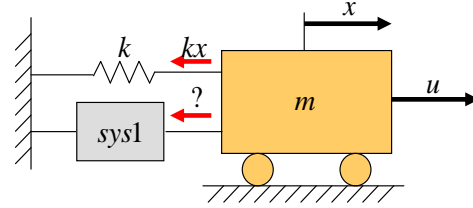


図 4-2 モデリングの分類<sup>[4]</sup>

## 第4章 システム同定実験について

図 5-1 に想定する実験システムを示します。ある DC モータと負荷が接続されます。DC モータと負荷とを接続する軸は低剛性で、ここではバネ要素と粘性要素があるとします。

DC モータに M 系列信号相当の変動する電圧を与え、負荷側の角速度を測定するケースを想定します。入力信号を電圧、出力信号を負荷側の角速度とします。測定するデータのサンプリング時間は  $T_s=0.01[s]$  です。

次章から、取得した入力信号と出力信号のデータを用いてシステム同定を行います。このとき、図 5-2 で表す system(モデル)は線形と考え、システム同定によりモデルを推定します。データは図 6-1 のように採取したとします。5 章の作業は図 1-4 の(2)に含まれます。

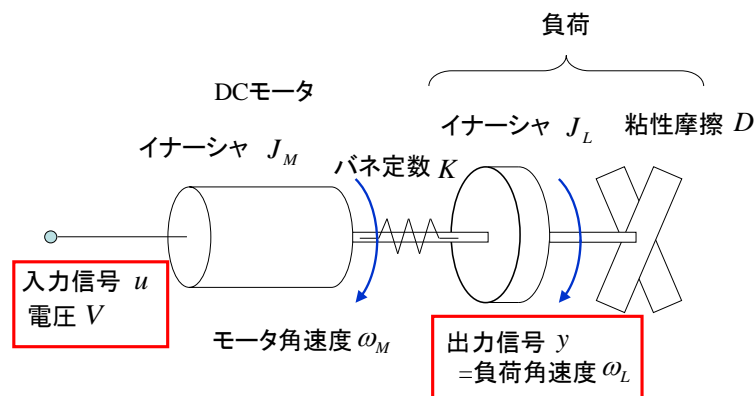


図 5-1 想定する実験システム 文献[4]に加筆

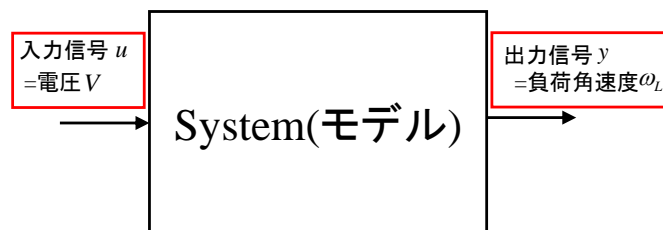


図 5-2 システムの入出力関係

## 第5章 データの事前処理

実験により取得したデータはノイズやバイアス(直達成分)、ドリフト(低周波外乱)を含んだり、サンプリング周期が適切でないことや欠損することが多々あります。システム同定を行う際には、これらの不具合が、モデリングの精度に大きく影響します。そこで、精度の良いモデリングのため、データを事前に適切に処理することが重要です。この章ではMATLABのグラフ描画など便利な機能も合わせて演習します。5章の作業は図1-2の(2)に含まれます。

注意：%は注釈文を意味するので入力する必要はありません。

### 5.1 実験データのMATLAB環境への取り込み

#### 習得事項

- ・XLSシートの実験データをMATLAB環境に取り込む。
- ・XLSシートからMATLABで使用するデータ(ワークスペース変数)に変換する。

実験データの xls シートを図 6-1 に示します。実験データは xls シート(datafile.xls)にまとめられています。

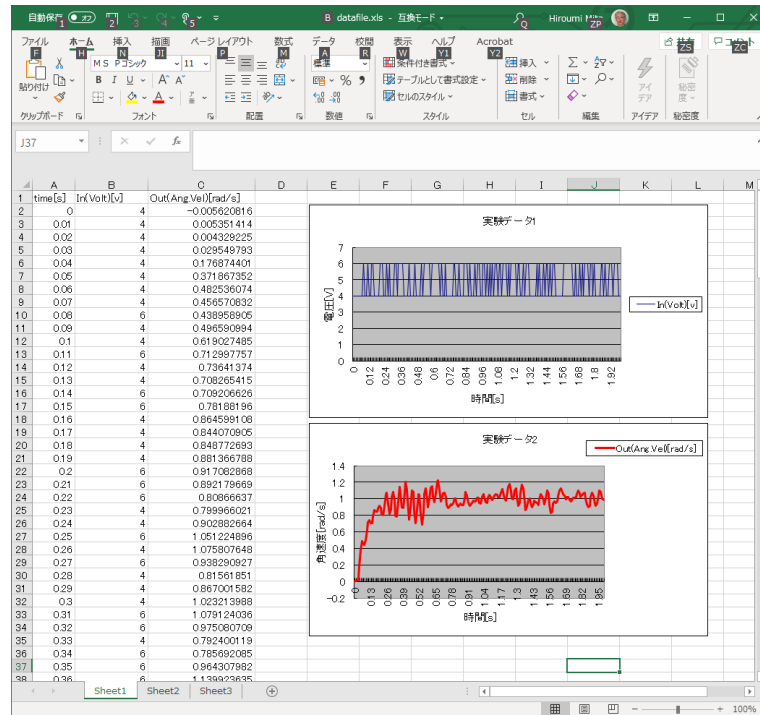


図 6-1 実験データの xls シート(datafile.xls)

### 5.1.1 演習 1 実験データの xls シート読み込み

{1} 実験データの xls シート(datafile.xls)から、数値データを変数名 : numeric、文字列データ (ヘッダ) を変数名 : txt として MATLAB のワークスペース変数として取り込んでください。

ヒント : xlsread 関数

### 5.1.2 演習 1 の回答例

```

14
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %% 工程 [1] データの事前処理
3  %作業 (1)
4  %実験データのxlsシート読み込み
5  [numeric,txt] = xlsread('datafile.xls')

```

## 5.2 実験データのグラフ化

### 習得事項

- ・ワークスペース変数をグラフに描画する。
- ・グラフの初歩的な加工方法を習得する。

### 5.2.1 演習 2 実験データのグラフ化

{1} 変数名 : numeric の 1,2 及び 3 列目を変数 : t、U1 及び Y1 として定義してください。

t は時間、U1 は入力、Y1 は出力信号のデータです。

{2} MATLAB で描画する figure 一つを 2 行に分けて、1 行目に横軸 t、縦軸 U1 のグラフ、2 行目に横軸 t、縦軸 Y1 のデータを描画してください。

ヒント : figure 関数、subplot 関数、plot 関数

{3} 変数名 : txt の 1,2 及び 3 列目を確認してください。

txt =

```
'Time[s]'    'In(Volt)[v]'    'Out(Ang.Vel)[rad/s]'
```

{4} グラフを加工します。

{3} の 1 列目を各グラフの横軸に付けてください。 ヒント : xlabel 関数

{3} の 2 列目をグラフ 1 行目の縦軸に付けてください。 ヒント : ylabel 関数

{3} の 3 列目をグラフ 2 行目の縦軸に付けてください。 ヒント : ylabel 関数

{3} の 1 列目の y 軸のレンジを [3.5 6.5] にしてください。 ヒント : ylim 関数

## 5.2.2 演習 2 の解答例

演習の解答例を示します。

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [1] データの事前処理
3 %作業 (2)
4 %実験データのグラフ化
5 %{1}
6 t = numeric(:,1)
7 U1 = numeric(:,2)
8 Y1 = numeric(:,3)
9
10 txt%{3}
11 figure(1)%{2}-{4}
12 subplot(211);plot(t,U1)%グラフ1行目
13 ylabel(txt(1,2))%y軸ラベル
14 xlabel(txt(1,1))%x軸ラベル
15 ylim([3.5 6.5])%y軸レンジ
16 subplot(212);plot(t,Y1)%グラフ2行目
17 ylabel(txt(1,3))%y軸ラベル
18 xlabel(txt(1,1))%x軸ラベル
```

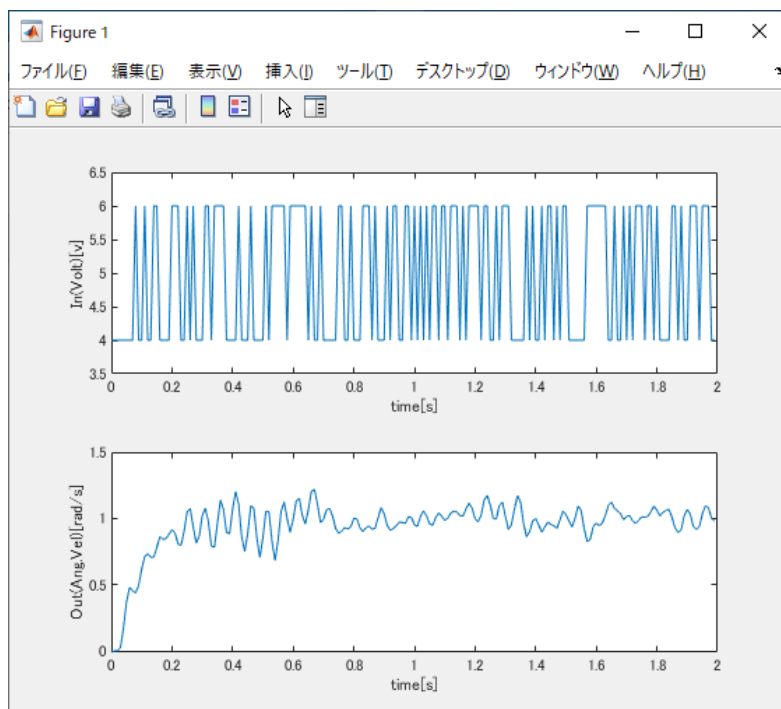


図 6-2 解答例により描画されるグラフ

### 5.3 実験データの抽出

図 6-2 から、応答の立ち上がりを除いて、データの時間 0.4[s]以降から 2.0[s]までのデータをシステム同定に使用することとします。このデータを以降では実験データと呼びます。

#### 習得事項

実験データの範囲を指定して抽出する。

#### 5.3.1 演習 3 実験データの抽出

{1} 元データの  $t=0.4$  以降のデータを抽出することとします。

変数名 :  $t$  で時間  $t=0.4$  に相当する番号を変数名 :  $No$  とします。

$t$  は時間、 $U1$  は入力、 $Y1$  は出力信号のデータの  $No$  から終端までのデータを新たに、変数 :  $t2$ 、 $U2$  及び  $Y2$  として定義します。

次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力、実行してください。

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [1] データの事前処理
3 %作業 (3)
4 %時間 $t=0.4$  [s] 以降のデータを採用
5 % $t=0.4$  [s] となるインデックス
6 %誤差を防ぐため、 $t$ が0.4以上の最小のデータを番号とする。
7  $No = \min(\text{find}(t \geq 0.4))$ 
8  $t2 = t(No:end)$ 
9  $U2 = U1(No:end)$ 
10  $Y2 = Y1(No:end)$ 
```

{2} MATLAB で描画する figure を 2 行に分けて、1 行目に横軸 t2、縦軸 U2 のグラフ、2 行目に横軸 t2、縦軸 Y2 のデータを描画してください。

ヒント：figure 関数、subplot 関数、plot 関数

{3} 変数名：txt の 1,2 及び 3 列目を確認してください。

txt =

```
'Time[s]'    'In(Volt)[v]'    'Out(Ang.Vel)[rad/s]'
```

{4} グラフを加工します。

1 列目を各グラフの横軸に付けてください。 ヒント：xlabel 関数

2 列目をグラフ 1 行目の縦軸に付けてください。 ヒント：ylabel 関数

3 列目をグラフ 2 行目の縦軸に付けてください。 ヒント：ylabel 関数

1 列目の y 軸のレンジを[3.5 6.5]にしてください。 ヒント：ylim 関数

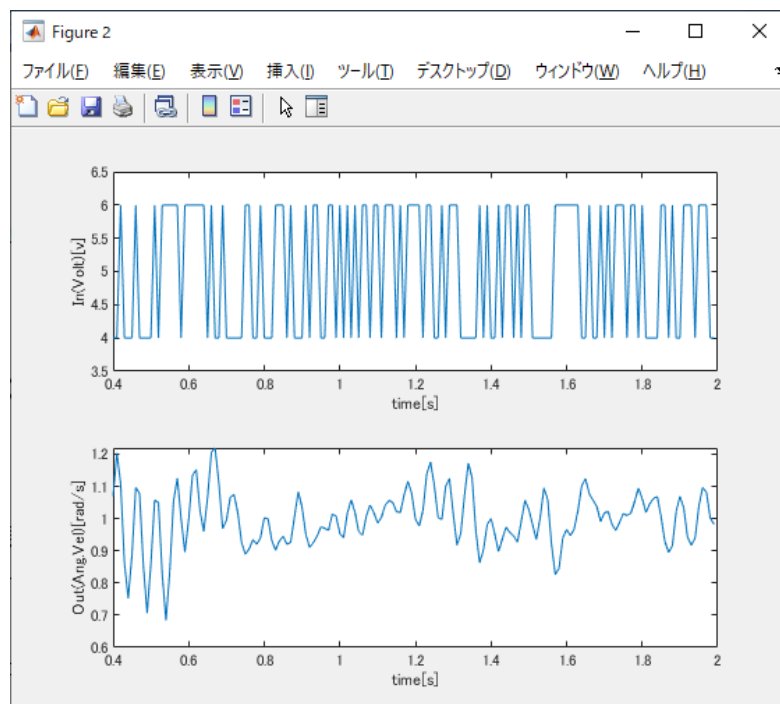


図 6-3 解答例により描画されるグラフ



### 5.3.2 演習3の解答例

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [1] データの事前処理
3 %作業 (4)
4 %実験データのグラフ化2
5 figure(2)%{2}-{4}
6 subplot(211);plot(t2,U2)%グラフ1行目
7 ylabel(txt(1,2))%y軸ラベル
8 xlabel(txt(1,1))%x軸ラベル
9 ylim([3.5 6.5])%y軸レンジ
10 subplot(212);plot(t2,Y2)%グラフ2行目
11 ylabel(txt(1,3))%y軸ラベル
12 xlabel(txt(1,1))%x軸ラベル
```

### 5.4 実験データの評価

#### 習得事項

実験データの一次近似をMATLABで行う方法について理解する。

一般的にシステム同定を行う際には、そのデータを用いたシステム同定の計算で適切な結果が得られるか否かの評価が必要です。評価項目の例としては以下が考えられます。

- {1} データの異常値の有無
- {2} データのバイアス(直達成分)の有無
- {3} データのドリフト(低周波外乱)の有無
- {4} データのサンプリング周期の再選定

図6-3を一見した限りでは、{1}データの異常値は見当たりません。{2}データのバイアス(直達成分)は明らかに有ります。

本節では、{2}と{3}を評価してみましょう。

#### 5.4.1 演習4 実験データの評価～トレンドの有無

{1} 実験データのトレンドやバイアスの有無を、MATLABにより数値的に確認します。

次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。

時間の初期値を0とする点に注意してください。

PU1は入力データU2を一次近似した式の係数です。

一次近似式： $y = a * x + b$ において  $y = PU1(1) * t + PU1(2)$

となります。

つまり、PU1(1)が0でなければドリフトがあり、PU1(2)が0でなければバイアスがあること  
になります。

同様にPY1は出力データY2を一次近似した式の係数です。

一次近似式： $y = a * x + b$ において  $y = PY1(1) * t + PY1(2)$

となります。

つまり、PY1(1)が0でなければドリフトがあり、PY1(2)が0でなければバイアスがあること  
になります。

```
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %%  工程 [1] システム同定
3  %作業(5)
4  %トレンドの有無確認
5
6  t2 = t2-t2(1) %時間の初期値を0とする
7
8  %入力データの評価
9  PU1 = polyfit(t2, U2, 1) %一次近似式の係数
10 VU1 = polyval(PU1, t2) %一次近似式の値
11
12 %出力データの評価
13 PY1 = polyfit(t2, Y2, 1) %一次近似式の係数
14 VY1 = polyval(PY1, t2) %一次近似式の値
```

### 5.4.1 演習5 トレンドの有無～グラフによる評価

#### 習得事項

- ・ワークスペース変数をグラフに描画する。
- ・グラフの初歩的な加工方法を習得する。

{2} 元データと一次近似式によるデータを重ね書きし、グラフで評価します。

次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。

図から、一次近似式の値（赤線）を見ると入力/出力データ共にバイアスとドリフトがあることがわかります。

ヒント：hold onコマンド、hold off コマンド

```
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %% 工程 [1] システム同定
3  %作業(6)
4  %実験データのグラフ化3
5
6  figure(3)
7  subplot(211);%入力データの描画
8  plot(t2,U2);%元データ
9  hold on;%上書きモード
10 plot(t2,VU1,'r');%一次近似式の値
11 hold off;%上書きモード終了
12
13 subplot(212);%出力データの描画
14 plot(t2,Y2);%元データ
15 hold on;%上書きモード
16 plot(t2,VY1,'r');%一次近似式の値
17 hold off;%上書きモード終了
```

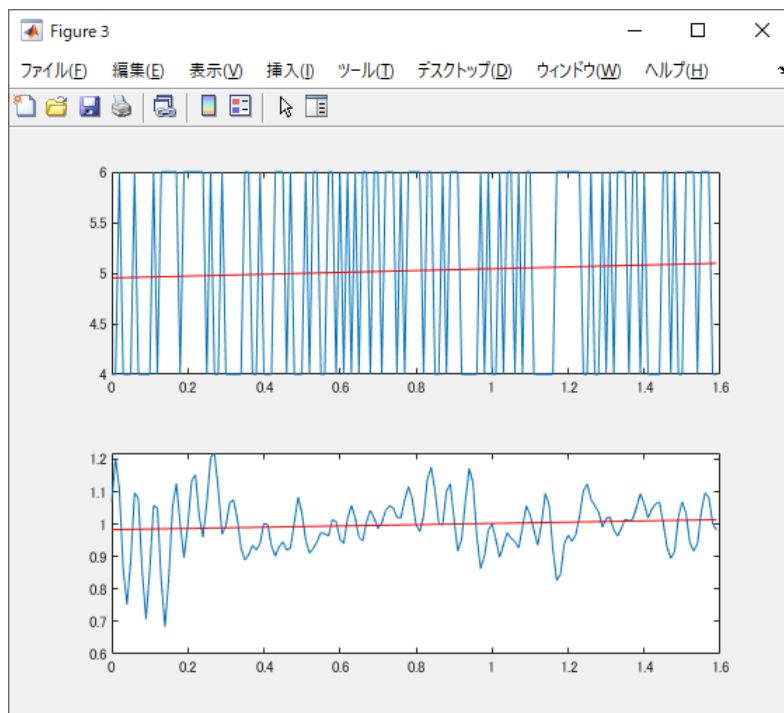


図 6-4 解答例により描画されるグラフ

#### 5.4.2 演習 6 実験データからのトレンドとバイアスの除去

##### 習得事項

実験データからトレンドとバイアスを除去する方法について理解する。

グラフの描画について複数のグラフの重ね書きを習得する。

{1} 実験データのトレンドやバイアスの有無を、MATLABにより数値的に確認します。実験データからバイアスとトレンドを除去したデータを作ります。同データを一次近似し、係数を評価します。

次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。一次近似式の係数を確認し

てください。

```
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %% 工程 [1] システム同定
3  %作業(7)
4  %バイアス、トレンド除去
5
6  %平均値除去(バイアス除去)
7  U3 = detrend(U2, 'constant')%入力データ
8  Y3 = detrend(Y2, 'constant')%出力データ
9
10 %トレンド除去
11 U4 = detrend(U3)%入力データ
12 Y4 = detrend(Y3)%出力データ
13
14 %トレンドの消去確認
15 %入力データの評価
16 PU2 = polyfit(t2, U4, 1)%一次近似式の係数
17 VU2 = polyval(PU2, t2)%一次近似式の値
18
19 %出力データの評価
20 PY2 = polyfit(t2, Y4, 1)%一次近似式の係数
21 VY2 = polyval(PY2, t2)%一次近似式の値
```

### 5.4.3 演習 7 グラフによる評価

{1} 実験データと一次近似式による計算データを重ね書きし、グラフで評価します。  
次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。図から、一次近似式の値（赤線）を見ると入力/出力データ共にバイアスとドリフトが0になったことがわかります。つまり入力/出力データの平均値は0化されました。

ヒント：hold onコマンド、hold off コマンド

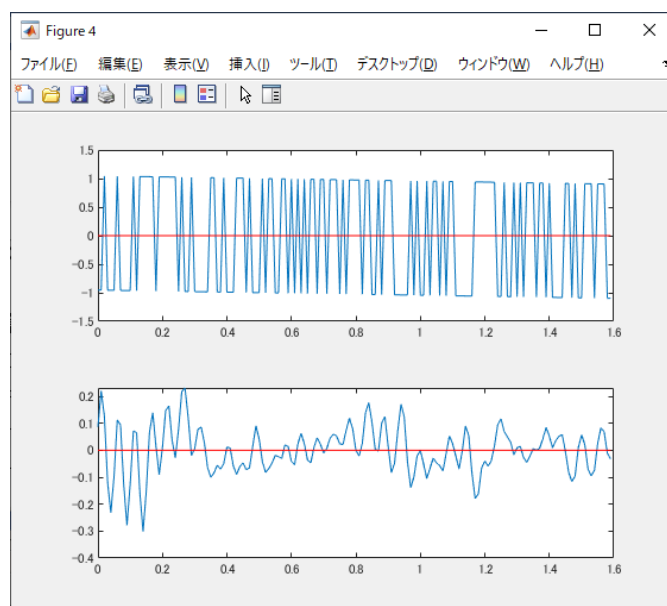


図 6-5 解答例により描画されるグラフ

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [1] データの事前処理
3 %作業 (8)
4 %実験データのグラフ化4
5 figure(4)
6 subplot(211);%入力データの描画
7 plot(t2,U4);%データ(バイアス、トレンド除去)
8 hold on;%上書きモード
9 plot(t2,VU2,'r');%一次近似式の値
10 hold off;%上書きモード終了
11
12 subplot(212);%出力データの描画
13 plot(t2,Y4);%データ(バイアス、トレンド除去)
14 hold on;%上書きモード
15 plot(t2,VY2,'r');%一次近似式の値
16 hold off;%上書きモード終了
```

## 第6章 システム同定について

### 習得事項

システム同定の基礎知識を習得する。

本章では、前章で求めた実験データを元に、系の入出力の線形の関係式を求めるシステム同定の手順について説明します。本章の工程は図 1-2 の(2)に相当します。

### 6.1 雑音を考慮した離散時間の線形時不変システムの一般的表現

まず、システム同定ではどのようなモデルが求められるのか見ていきます。システム同定では、図 7-1 のようなモデルが求められます。

図 7-1 は、離散時間の線形時不変システム(Linear Time Invariant System)の一般的な表現です。

$G(q)$ は、シフトオペレータ  $q^{-1}$  で表される離散時間 LTI システムの伝達関数です。

$H(q)$ は雑音モデルと呼ばれます。 $w(k)$ は、平均値 0、有限の分散  $\sigma_w^2$  を持つ白色雑音と仮定します。シフトオペレータ  $q^{-1}$  は、1 サンプル前の意味を持つ演算子です<sup>[6]</sup>。

ここで重要なことは、求められるモデルの入力には入力信号と雑音が 2 個あり、入力信号から出力信号までの関係式(モデル)と雑音から出力信号までの関係式(モデル)の 2 つが求められるということです。

雑音が無視できる場合、古典制御には入力信号から出力信号までの関係式(モデル)を主に用います。

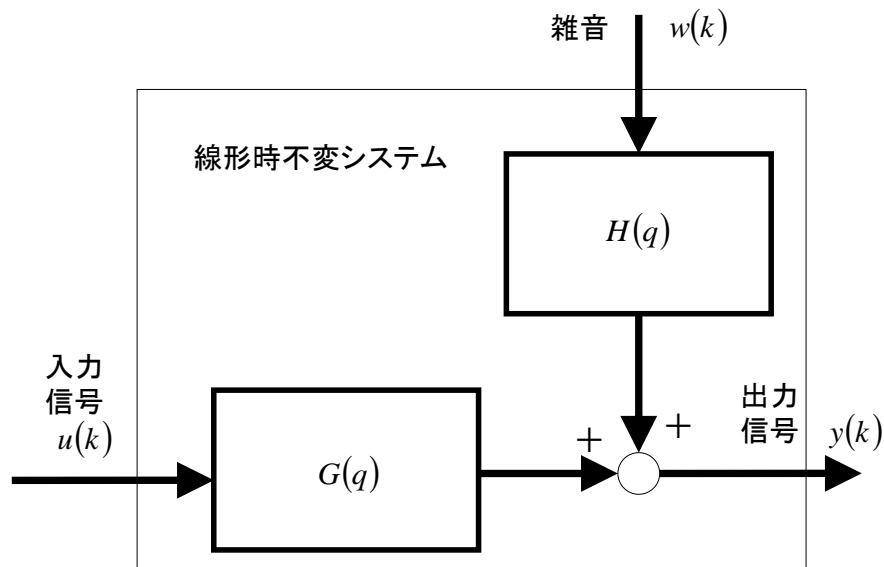


図 7-1 線形システムの一般的な表現 [6] に一部加筆

## 6.2 System Identification Toolbox について

System Identification Toolbox により、測定された入出力データから動的システムの数学モデルを構築することができます。このデータを用いたアプローチは、化学プロセスやエンジンダイナミクス等、仕様からのモデリングが容易ではないシステムの記述に有効です。System Identification Toolbox から得られたモデルは Simulink®、Control System Toolbox 等の製品を使用したシミュレーション、予測、制御システム設計に使用できます。System Identification Toolbox は線形/非線形モデルをデータに適合させることができ、そのプロセスはブラックボックスモデリングとして知られています。モデル構造には、低次元プロセスモデル、伝達関数、状態空間モデル、入力もしくは出力に静的な非線形性を付加した線形モデルおよび非線形自己回帰モデルを含みます。同 Toolbox は、システム同定の分野で世界的な権威の Lennart Ljung 博士によるものです[7]。

## 6.3 システム同定の手順

システム同定により計算されたモデルが実際の現象をどれだけ精度良く再現できるかの評価が必要です。同定の手順を図 7-2 に示します。本システム同定では、データを 2 分割します。図 7-3 の前半データでモデルを計算し、後半データで計算したモデルの評価を行うとします。



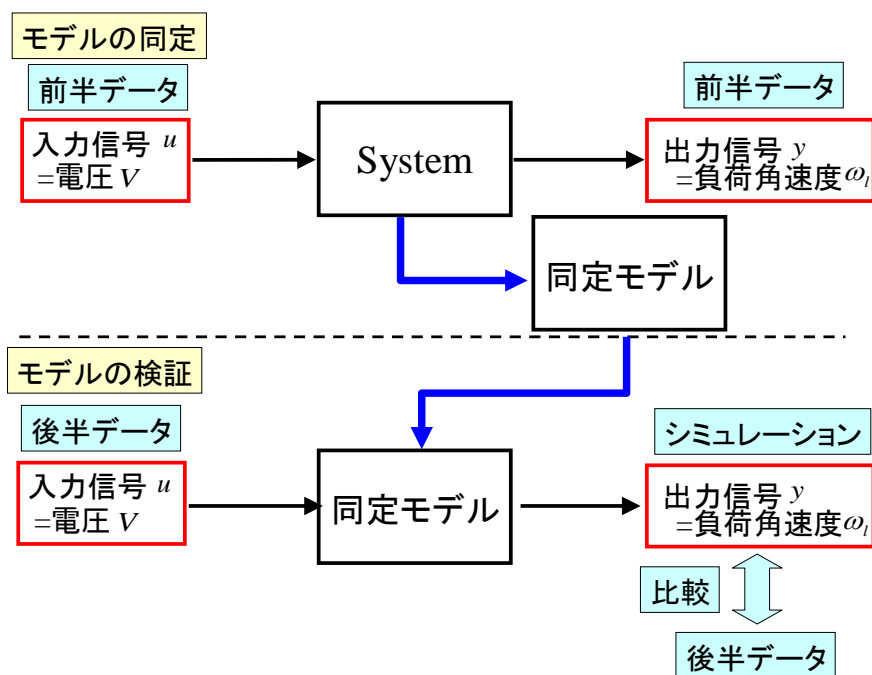


図 7-2 同定の手順

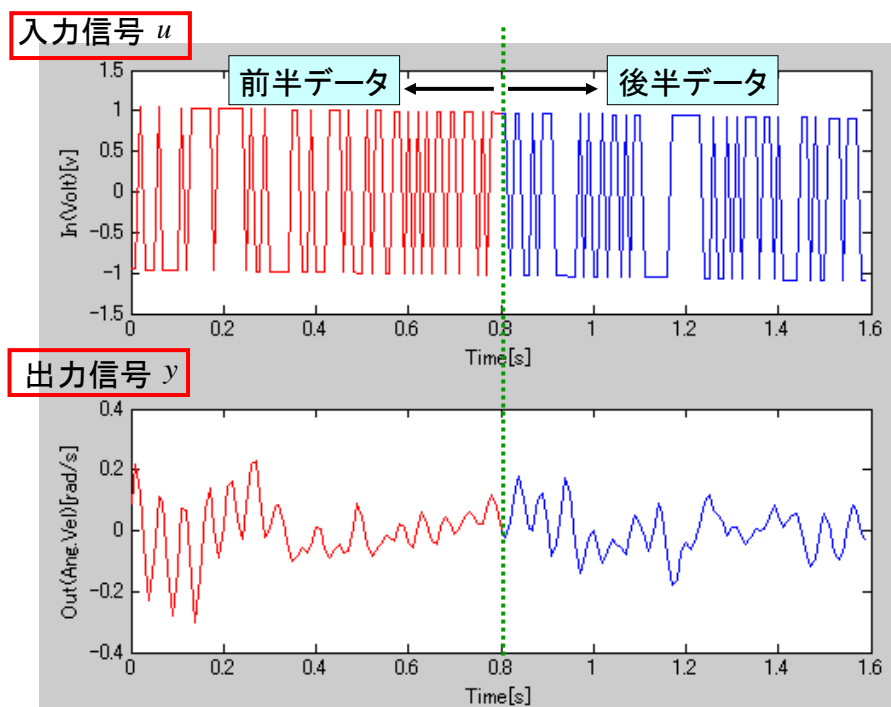


図 7-3 解答例により描画されるグラフ

## 6.4 システム同定用データの作成

### 習得事項

System Identification Toolboxで扱うデータ  
(オブジェクト)の定義方法を理解する。

System Identification Toolbox でシステム同定を行う際には、入出力データをシステム同定ルーチン用に使用できる `data` オブジェクトに変換する必要があります。この `data` オブジェクトを `iddata` オブジェクトと呼びます。

### 6.4.1 演習 8 iddata オブジェクトの定義

全体のデータを 2 分します。図 7-3 では、間  $t=0.8[s]$  の前後で、同定用と検証用のデータに分け、各々を `iddata` オブジェクトとして定義します。次のスクリプト{1},{2}を順次入力してください。また、`iddata` オブジェクトの定義には、データをサンプリングした時間間隔(サンプリング時間)が必要です。

ヒント：find関数、iddata関数

{1} データの前後分割

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [2] システム同定
3 %作業(1)
4 %データを前半後半に分割
5 %t2≡0.8[s]となるインデックス
6 %誤差を防ぐため、t2のデータ-0.8の絶対値がepsより小さいデータの番号とする。
7 No2 = find(abs(t2-0.8)<=eps)
8 %データ前半
9 U4_pre = U4(1:No2)
10 Y4_pre = Y4(1:No2)
11 %データ後半
12 U4_post = U4(No2:end)
13 Y4_post = Y4(No2:end)
```

{2} iddata オブジェクトの定義

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [2] システム同定
3 %作業(2)
4 %iddataオブジェクトの定義
5 Ts=0.01;%同定データサンプル時間[s]
6 %同定用iddata作成
7 iddataset = iddata(Y4_pre,U4_pre,Ts)%SysIDTbx
8 %検証用iddata作成
9 iddataval = iddata(Y4_post,U4_post,Ts)%SysIDTbx
10
```

### 6.4.2 演習 9 予測誤差法 (Prediction Error Method:PEM) によるモデルの同定

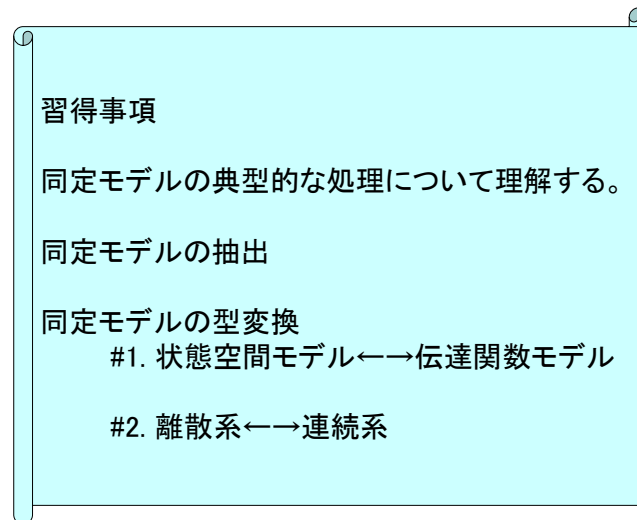


図 7-4 の手順に従い、モデルの計算を行います。

図 7-4/(1)では、定義した `iddata` オブジェクトを使い、離散系の状態空間モデルを **System Identification Toolbox** の `pem` 関数を用いて計算します。得られるモデルは雑音を考慮したモデルであることに注意してください。

図 7-4/(2)では、図 7-4/(1)で求めた離散系の状態空間モデルを `tf` 関数を用いて離散系の伝達関数モデルに変換します。

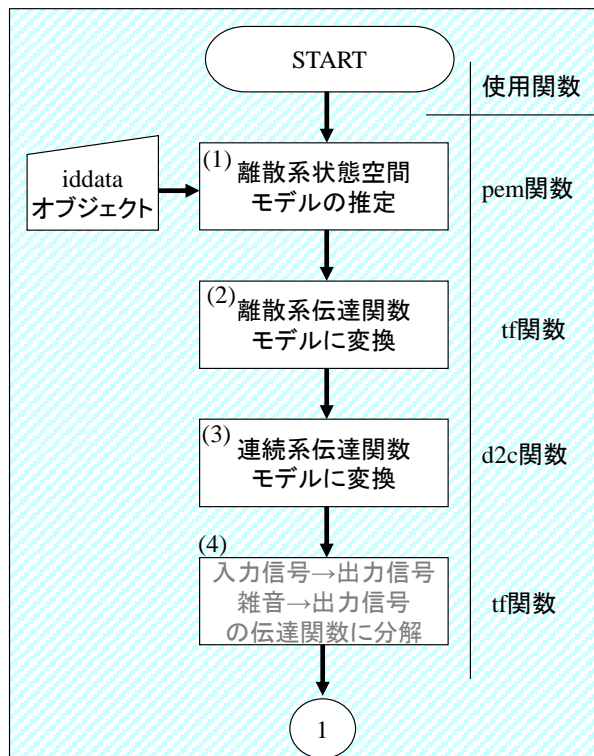
図 7-4/(3)では、図 7-4/(2)で求めた離散系の伝達関数モデルを `d2c` 関数を用いて連続系の伝達関数モデルに変換します。

図 7-4/(3)のモデルは、雑音を考慮したモデルになります。そこで、図 7-4/(4)で、入力から出力信号までの伝達関数と雑音から出力信号までの伝達関数に分解します。フィードバック制御系の設計では入力から出力信号までの伝達関数を使います。

予測誤差法(Prediction Error Method:PEM)：予測誤差から構成される評価規範を最小にするように推定値を計算するパラメータ推定法の総称<sup>[13]</sup>

詳細は文献[13]を参照してください。

## 予測誤差法によるモデルの同定



## モデルの検証

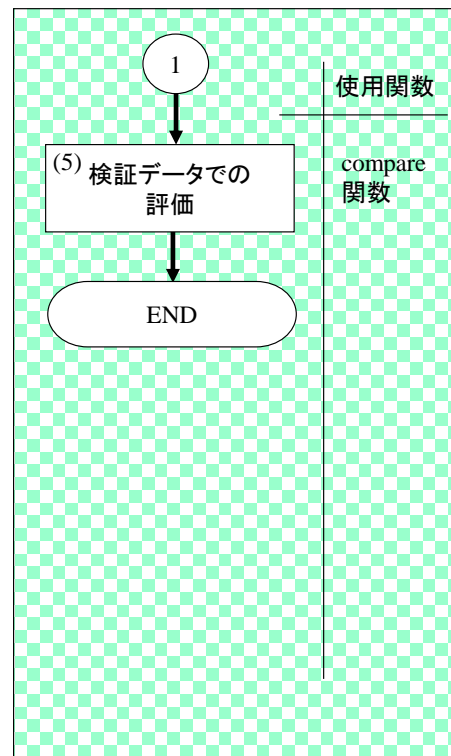


図 7-4 計算の手順

{1} システム同定 次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。

```

%%%%%%%%%%%%%%
%% 工程 [2] システム同定
%作業 (3)
%伝達関数の同定
m1 = pem(iddataset); %状態空間モデル(離散系) SysIDTbx
m2 = tf(m1) %伝達関数モデル(離散系) CtrTbx
m3 = d2c(m2) %伝達関数モデル(離散系から連続系に変換) CtrTbx
    
```

### 【結果】

記号は図 7-1 の表記にあわせます。

#### 【離散系の伝達関数】

$$G(z) = \frac{3.581e-007 z^3 - 0.000144 z^2 + 0.007437 z + 0.02431}{z^4 - 1.713 z^3 + 1.801 z^2 - 1.092 z + 0.1716}$$

但し、サンプリング時間=0.01[s]

#### 【連続系の伝達関数】

$$G(s) = \frac{-2.417s^3 + 650.1s^2 - 1.124e005s + 7.885e006}{s^4 + 176.2s^3 + 1.911e004s^2 + 2.524e006s + 4.167e007}$$

### 6.4.3 演習 10 同定モデルの検証データでの評価

#### 習得事項

モデルと生データとの比較による  
検証方法を理解する。

本工程は図 7-4/(5)に相当します。

得られたモデルを検証用の `iddata` オブジェクトを用いて検証します。

{1}次のスクリプトをコマンドウィンドウに入力してください。

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 %% 工程 [2] システム同定
3 %作業 (4)
4 %検証
5 figure(5);compare(iddataval,m1)%SysIDTbx
```

図 7-5 からおよそ 91%のフィット率が得られました。フィット率は完全に一致した場合 100%、最悪の一致率の場合 0%となる指標です。ここでは、およそ 91%のフィット率から、同定モデルは現実の現象をよく再現していると考え、このモデルを採用します。

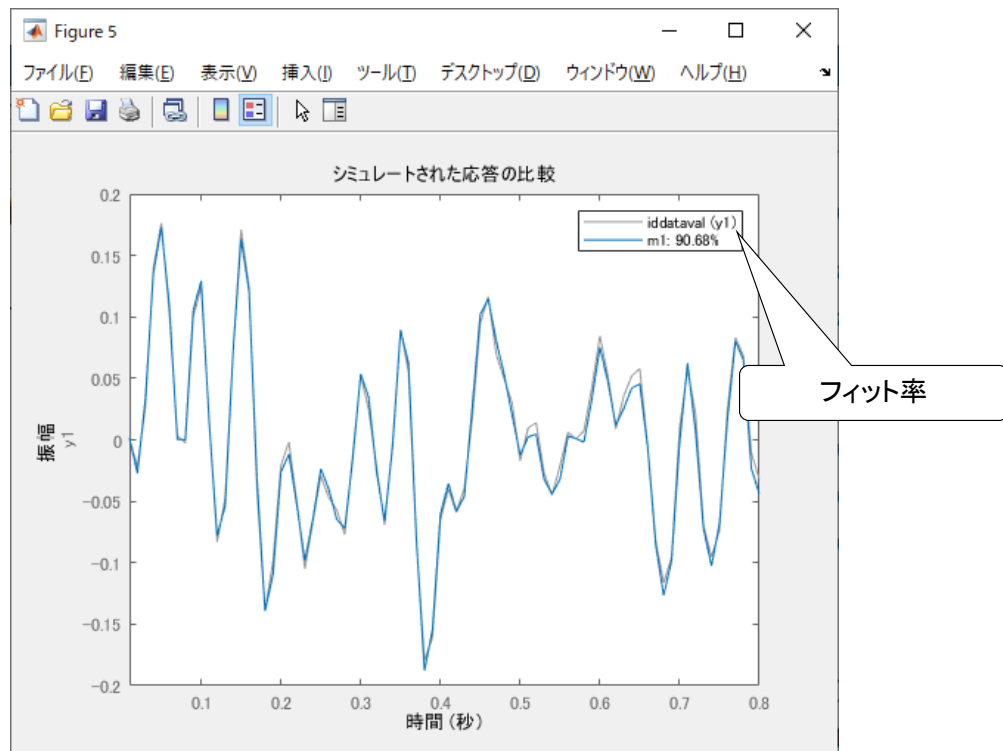


図 7-5 同定モデルの検証データによる評価

## 第7章 参考文献

- [1] 三田宇洋 編, 高島博, 宅島章夫, 田中明美 著: MATLAB/Simulink とモデルベース設計による 2 足歩行ロボット・シミュレーション, pp. 11-12, 毎日コミュニケーションズ社, 2007
- [2] 近藤文治 編: 基礎制御工学, pp. 69-70, 森北出版社, 1980 (第 14 刷)
- [3] 増淵正美, 川田誠一 著: システムのモデリングと非線形制御, コロナ社, pp. 1, 1996
- [4] 三田宇洋 著: 物理現象のモデリング, pp. 71-72, Interface 2007 年 10 月号, CQ 出版株式会社, 2007
- [5] 本田昭, 城谷聡美 著: 図解と実験で学ぶ制御数学の基礎と演習 (第 2 版, pp. 134, 日刊工業新聞社, 2000
- [6] 足立修一 著: MATLAB による制御のためのシステム同定, pp. 53, 東京電機大学出版局, 2001 (4 刷)
- [7] System Identification Toolbox7 Datasheet, The Mathworks, Inc. , 2007
- [8] Control System Toolbox 8 Datasheet, The Mathworks, Inc. , 2007
- [9] システム制御情報学会 編: PID 制御, pp. 25-26, 朝倉書店, 1992
- [10] 橋本伊織, 長谷部伸治, 加納学 著: プロセス制御工学, pp. 89, 朝倉書店、2002
- [11] 川田昌克, 西岡勝博, 井上和夫 著: MATLAB/Simulink によるわかりやすい制御工学, pp. 142, 森北出版、2004 (6 刷)
- [12] 足立修一 著: MATLAB によるデジタル信号とシステム, pp. 248, 東京電機大学出版局, 2002
- [13] 足立修一 著: MATLAB による制御のためのシステム同定, pp. 90, 東京電機大学出版局, 2001 (4 刷)

## 改定履歴

REV 1 RoboOne MATLAB セミナー用改定 2021/4/24