

知能機械設計演習
Practicum in Intelligent Machine Design

MATLAB/Simulinkの基礎2
MATLAB/Simulink Basics Tutorial 2

生命体工学研究科
人間知能システム工学専攻
s-yasukawa@brain.kyutech.ac.jp
安川 真輔
Shinsuke Yasukawa

Outline

Simulinkの基礎

Simulinkを用いたマニピュレータ制御

Stateflowの基礎

About Simulink

MATLABとSimulinkの関係は？

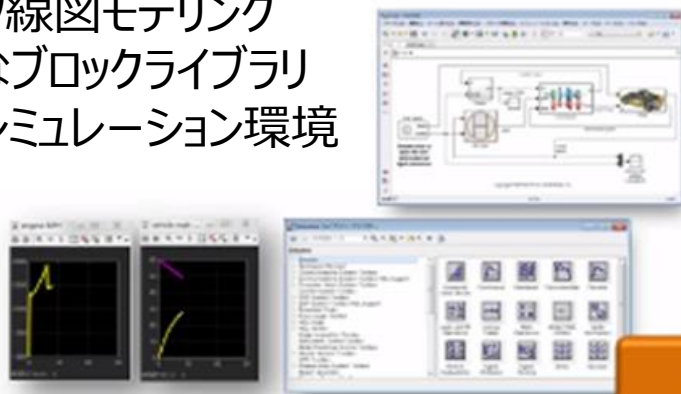
MATLAB

- 対話型プログラミング環境
- 高度な科学技術計算向け関数
- 様々なデータ可視化
- C, java, .NET, Python
などの言語との容易な接続



Simulink

- ブロック線図モデリング
- 豊富なブロックライブラリ
- 統合シミュレーション環境



Stateflow

- モードロジックの素早い設計&検証
- 状態遷移図, 表, フローチャート機能
- コード生成, モデル検証オプション機能



-Simulinkの基礎-

Simulinkの基礎

Simulinkの操作法

- Simulinkライブラリ
- 基本機能の確認
- ブロックの配置
- 結線の方法
- ブロックのコピー
- ブロック及びラインの削除
- シミュレーションの実行

(参考)簡単なモデルの作成

<https://jp.mathworks.com/help/simulink/gs/create-a-simple-model.html>

例：electric circuit model simulation (1/2)

RL並列回路 Step response

コイル L に流れる電流 i_L

$$R_1(i_L + i_{R2}) + R_2 i_{R2} = E$$

$$L \frac{di_L}{dt} = R_2 i_{R2}$$



$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} \frac{R_2}{R_1 + R_2} (E - R_1 i_L)$$

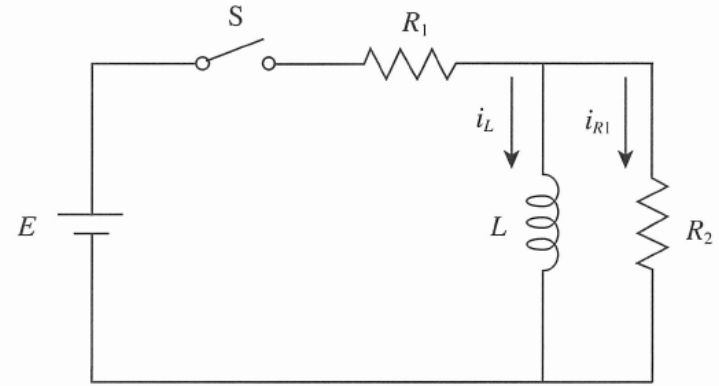
$$i_R = \frac{E}{R_1 + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_L$$

$$E=5$$

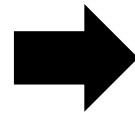
$$R_1=2$$

$$R_2=0.5$$

$$L=1$$



ラプラス変換

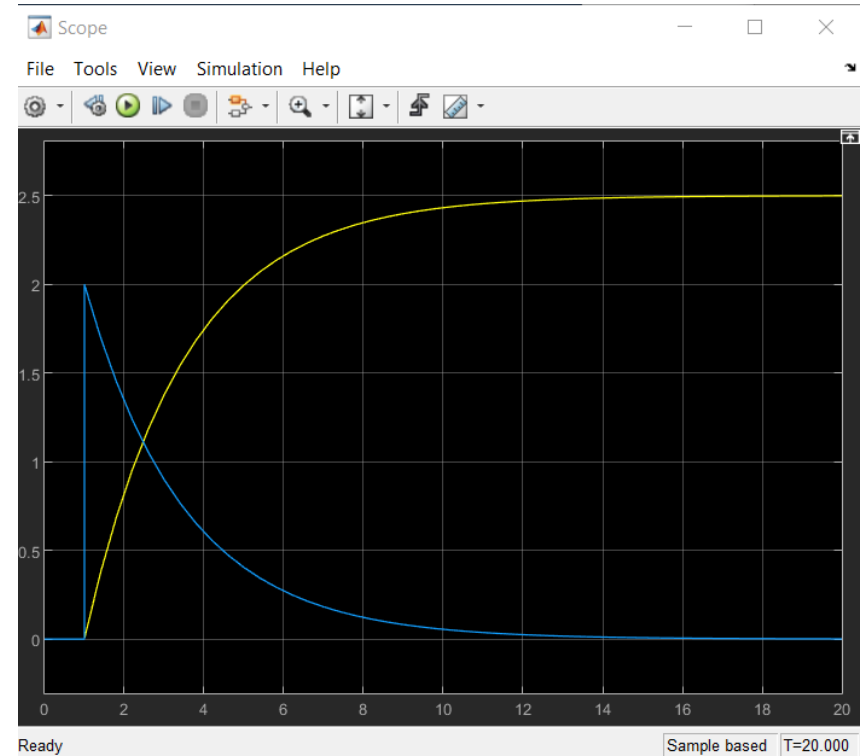
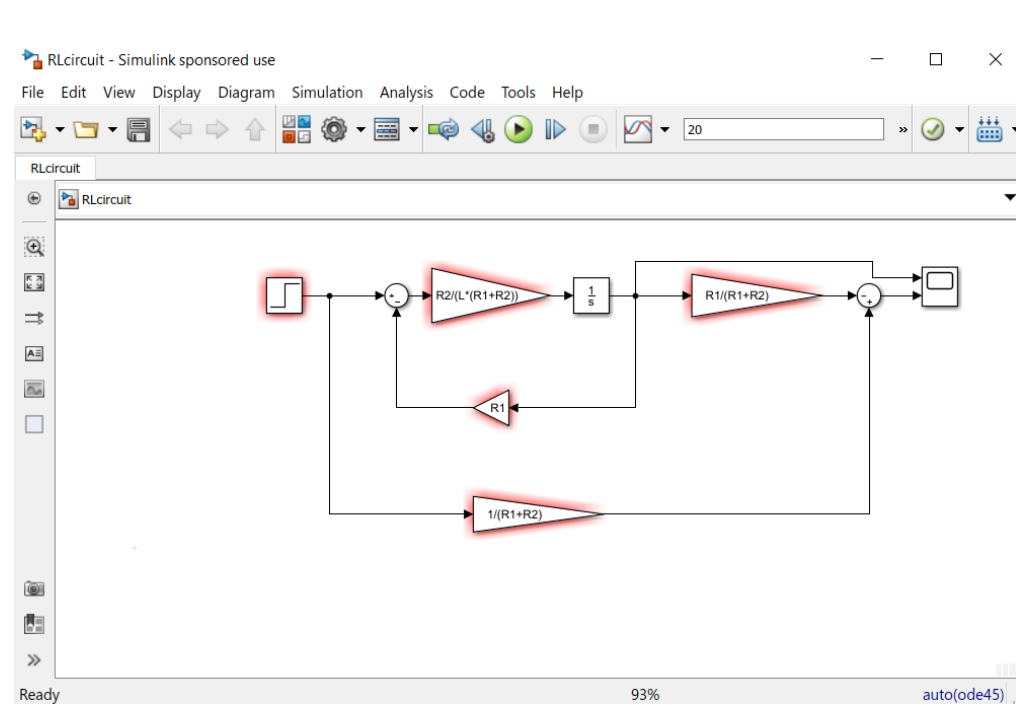


$$sI_L = (1/L)(R_2/(R_1 + R_2))(E - R_1 I_L)$$

$$I_R = (E/(R_1 + R_2)) - (R_1/(R_1 + R_2))I_L$$

-Simulinkの基礎-

例：electric circuit model simulation (2/2)



例：spring-scale with weights (1/2)

- 2つのバネで垂直に釣り下がったおもり
- 下方へ x_0 だけずらして, 手を放す

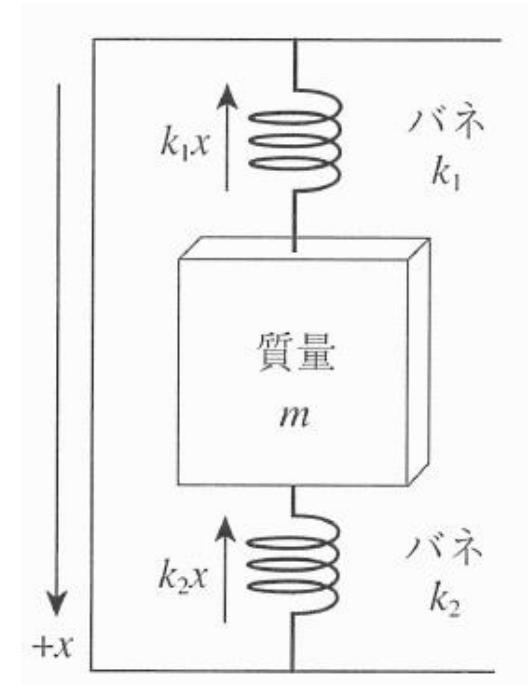
$$m\ddot{x} = mg - k_1x - k_2x - c\dot{x}$$

$$\ddot{x} = -\frac{(k_1 + k_2)}{m}x - \frac{c}{m}\dot{x} + g$$

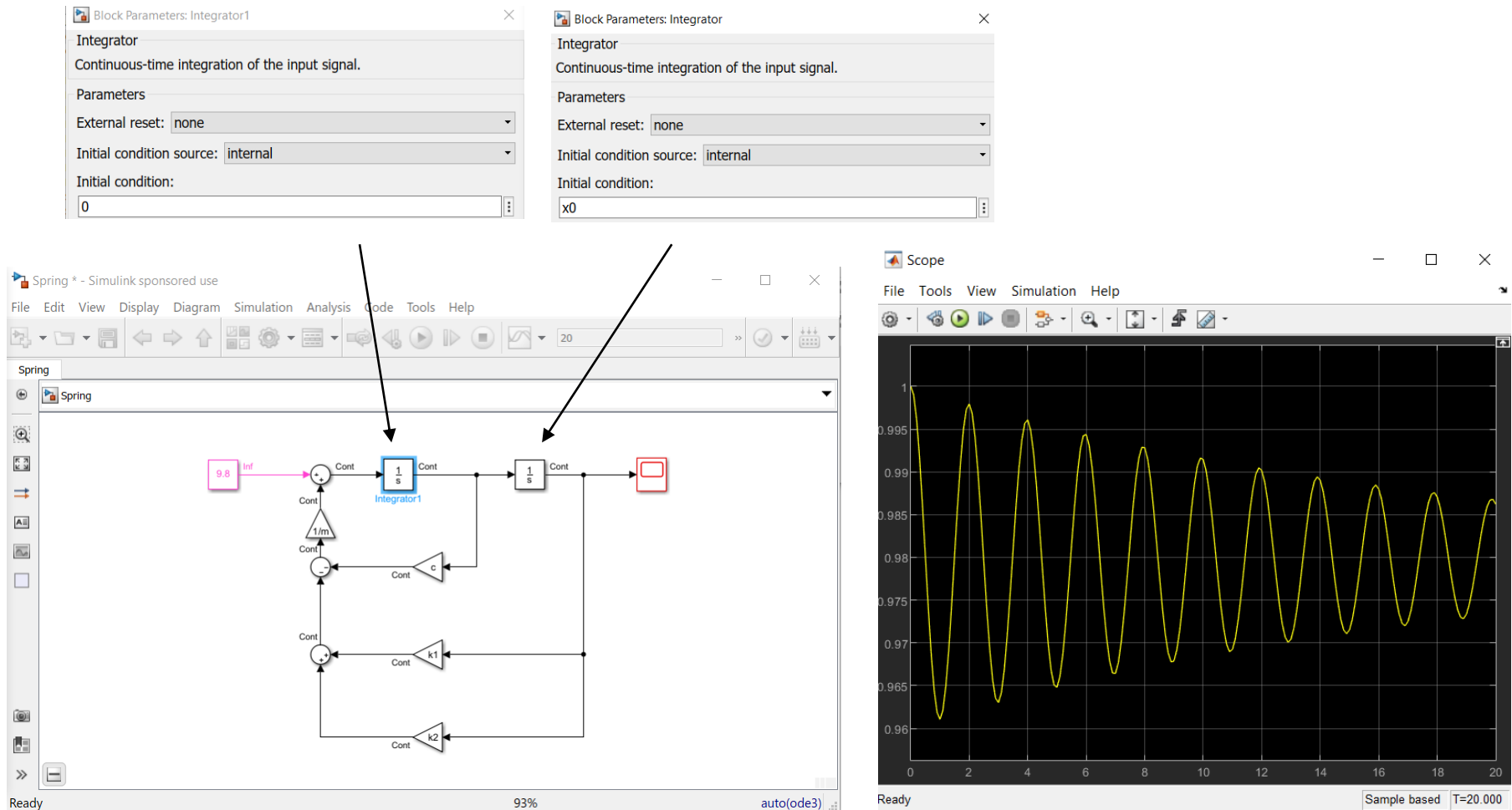
$$s^2X = -((k_1 + k_2)/m)X - (c/m)sX + g$$

$$\begin{aligned}c &= 0.2, \\k_1 &= k_2 = 10, \\m &= 2, \\x_0 &= 1\end{aligned}$$

シミュレーション時間 : 0~20



例 : spring-scale with weights(2/2)



例：Mass-Spring-Damper System(1/2)

Step response

$$\ddot{x} = \frac{1}{m}(f - c\dot{x} - kx)$$

m ：滑車の質量

k ：バネ係数

$$c=1,$$

$$k=10,$$

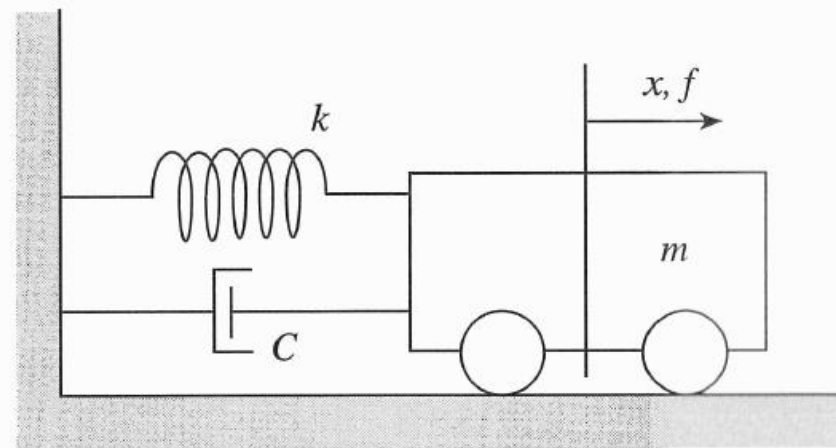
$$m=1,$$

$$f=1,$$

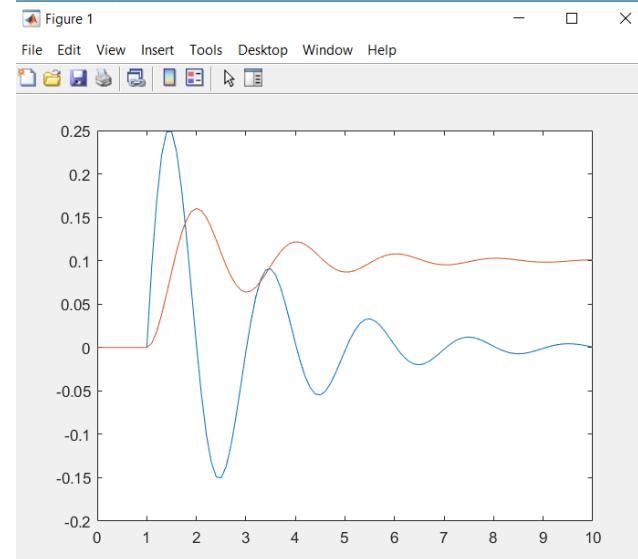
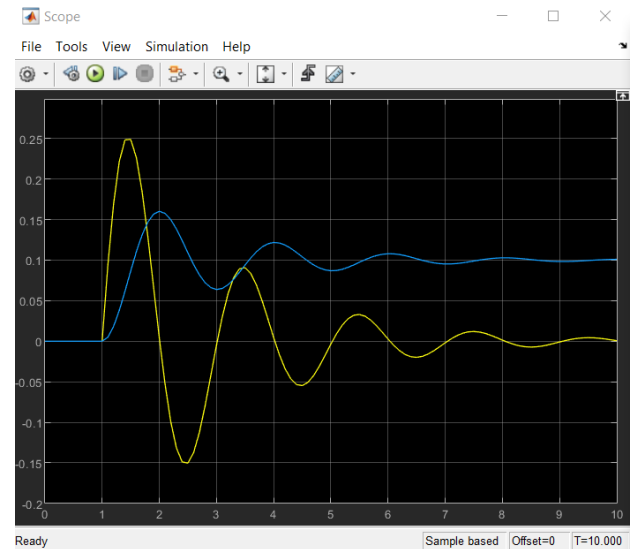
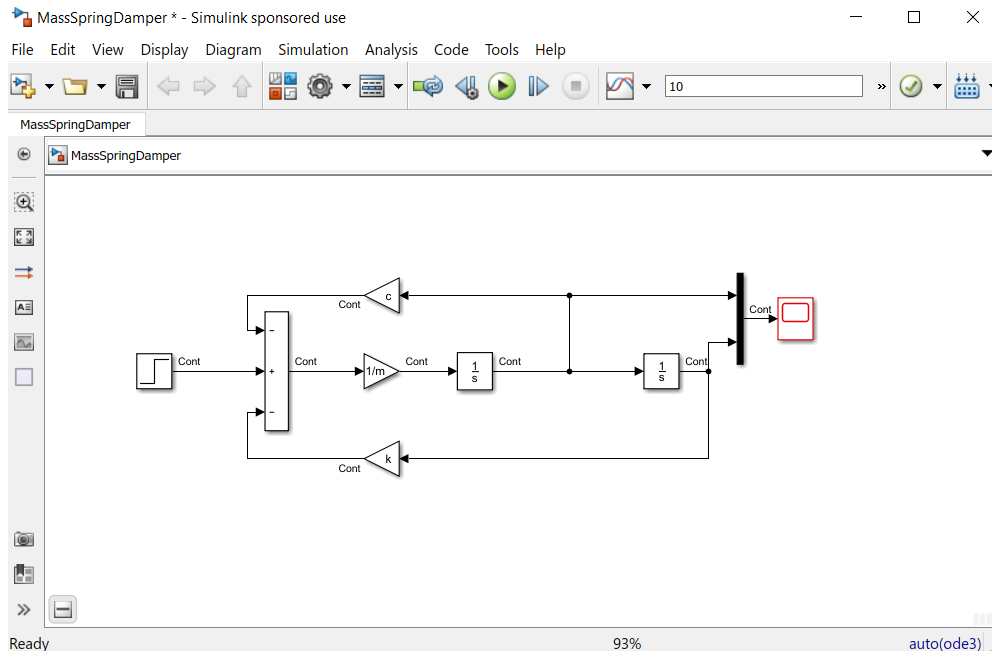
$$T=1:0.001:7;$$

シミュレーション時間: 0-10sec

```
[t  
y]=sim('MassSpringDamper',[0 T  
10])  
Plot(t,y)
```



例：Mass-Spring-Damper System(2/2)

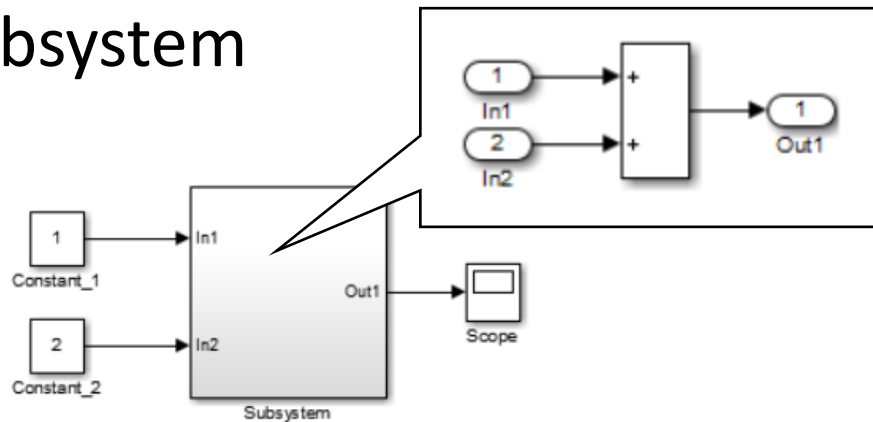


```
[t y]=sim('MassSpringDamper',[0 T 10])  
plot(t,y)
```

-Simulinkの基礎-

Subsystem, MATLAB function & S-function

- Subsystem

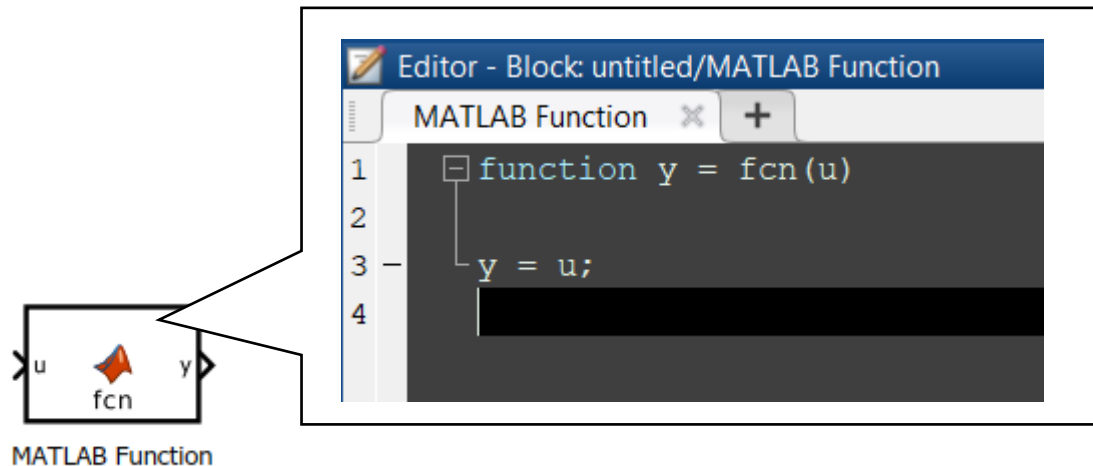


Enabled
Subsystem

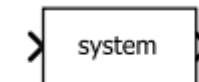


Triggered
Subsystem

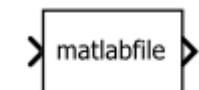
- MATLAB Function, S-function



MATLAB Function



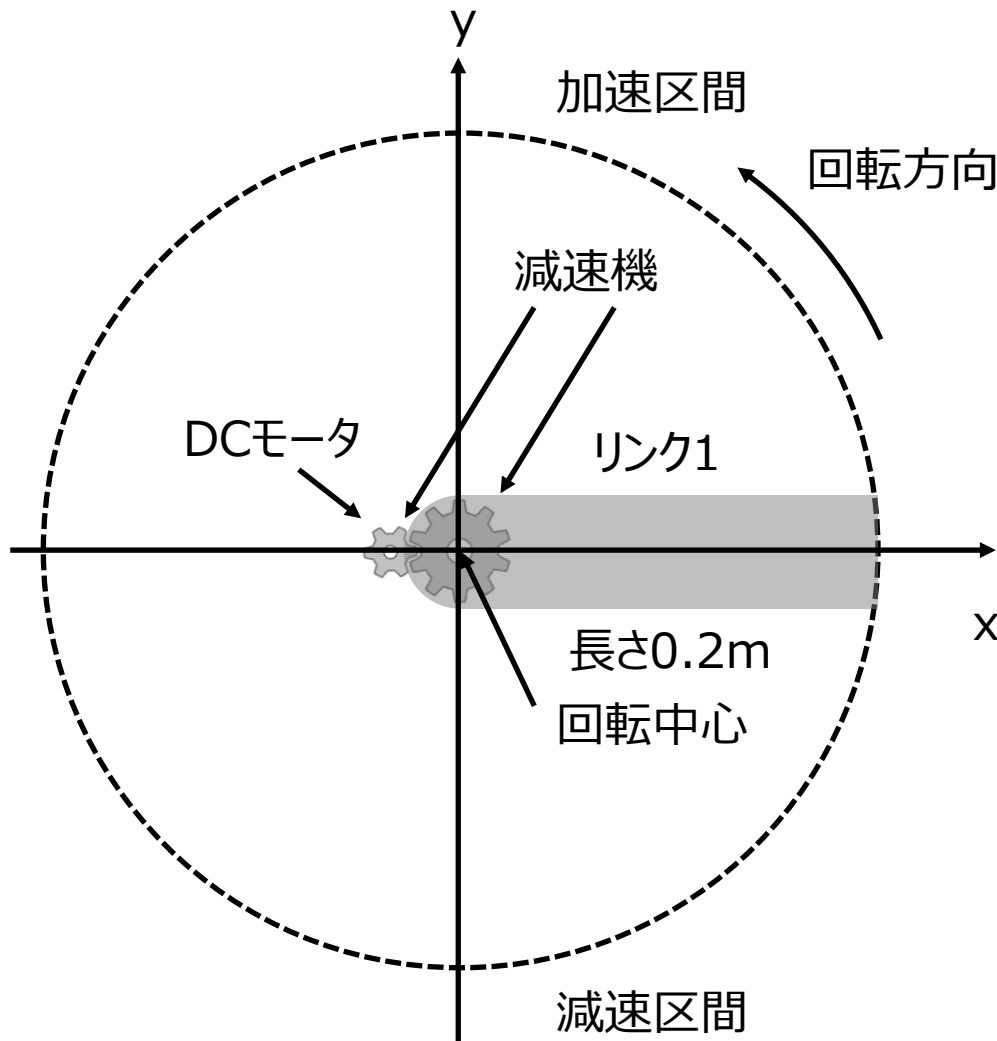
S-Function



Level-2 MATLAB
S-Function

Simulinkによる マニピュレータ制御

1リンクのロボットマニピュレータの位置制御



1. マニピュレータの位置目標の軌道関数（参照軌道）の計算
 - ・マニピュレータの動作を定める
時系列の軌跡関数の計算
2. マニピュレータの機構系・電気系のモデリング（マルチドメインモデリング）
 - ・プラント
機構のリンクと減速機, DCモータ
3. 制御系設計
 - ・制御器
制御測としてPID制御を採用
4. 制御系性能評価
 - ・PID制御の性能の評価

制御対象（プラント）とマニピュレータの動作仕様(1/2)

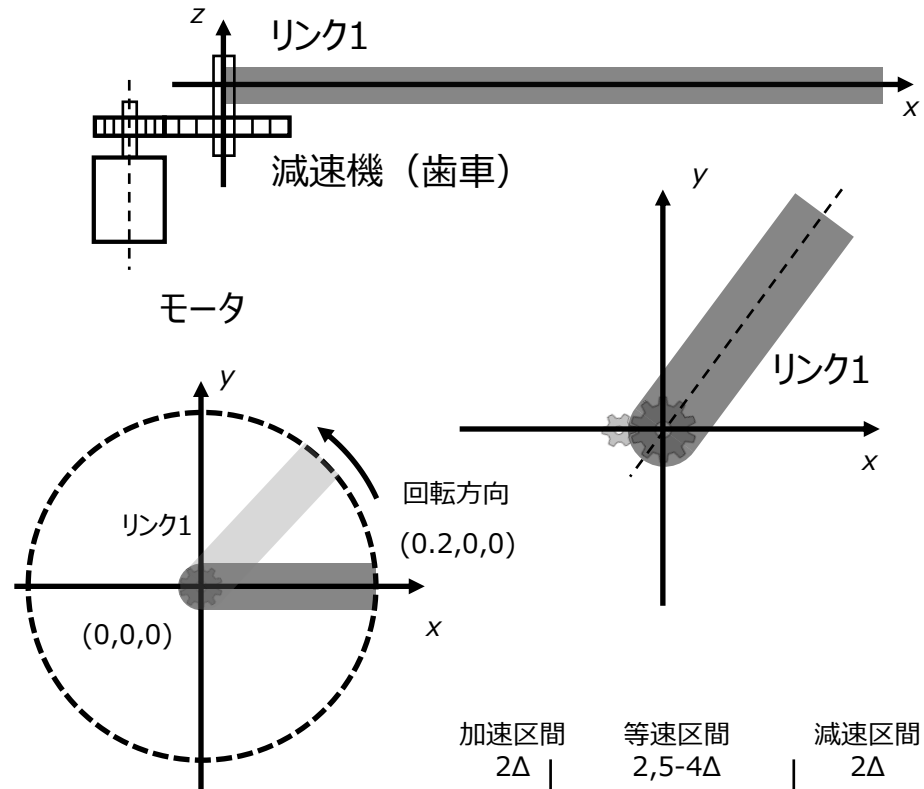
[プラントの構成]

○剛体のマニピュレータ

- ・リンク&DCモータ&減速機

○リンクについて

- ・回転部はz軸回りの回転の1自由度
- ・xy平面を水平に動作する.
- ・z軸の負方向に働く重力の影響は無視
- ・1つの剛体であり, 長方形.
- ・リンクの回転部にはモータと減速機と角度センサがつく.
- ・リンクの回転部における粘性力は考慮.



[マニピュレータの動作仕様]

【加速区間】

($0 \leq t \leq 2\Delta$)

【等速区間】

($2\Delta \leq t \leq 2.5 - 2\Delta$)

【減速区間】

($2.5 - 2\Delta \leq t \leq 2.5$)

$\Delta = 0.25[s]$

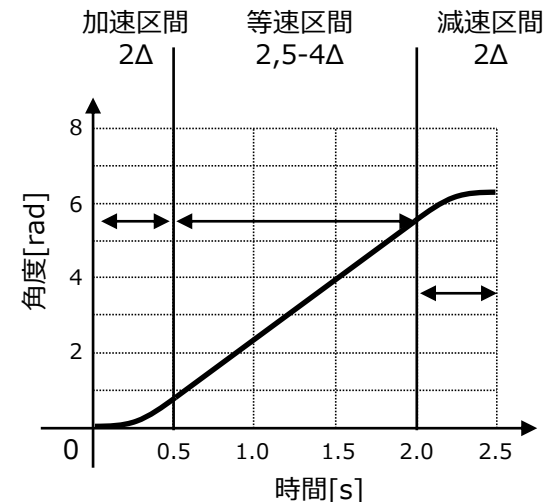
・リンクの先端

→初期位置

(0.2, 0, 0)

から反時計回り

- ・位置, 速度, 加速度が連続性を保持するように軌道関数を設計する.



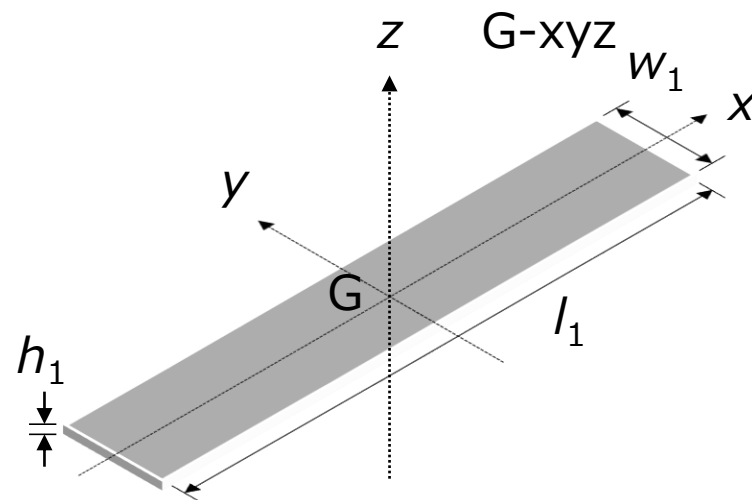
制御対象（プラント）とマニピュレータの動作仕様(2/2)

[プラントのパラメータ]

A. リンク

特性	記号	値	備考
材質	—	アルミニウム	リンクの密度は $r_o=2690[\text{kg}/\text{m}^3]$
長さ	l_1	0.2[m]	慣性モーメントは 右図の座標系の 各座標周りの値
幅	w_1	0.01[m]	
高さ	h_1	0.004[m]	
質量	m_1	0.0215[kg]	
慣性モーメント	I_{xxg1}	7.1973e-005[kg・m ²]	
	I_{yyg1}	2.0873e-007[kg・m ²]	
	I_{zzg1}	7.1762e-005[kg・m ²]	
リンクの端から 重心までの長さ	r_1	0.1[m]	
粘性係数	C_1	0.0001[N・s/rad]	リンクの回転部の 粘性係数

慣性モーメント（角加速のしにくさ）



B. DCモータと減速機

特性	記号	値	備考
電機子（回転子）抵抗	R_a	10[Ω]	—
電機子インダクタンス	L_a	4.4e-3[H]	—
トルク定数	K_t	0.05[Nm/A]	—
逆起定数	K_e	0.05[Vs/rad]	$K_t=K_e$ が成立する
ロータの慣性モーメント	J	1e-5[kg・m ²]	—
粘性トルク係数	B_m	1e-6[N・s/rad]	—

特性	記号	値	備考
ギア比	N	100	モータ側歯車の歯数/負荷側歯車の歯数=1/N
伝達効率	E	0.7	

リンクの質量

$$m_1 = r_o \times l_1 \times w_1 \times h_1$$

$$I_{xxg1} = \frac{1}{12} m_1 (w_1^2 + h_1^2)$$

$$I_{yyg1} = \frac{1}{12} m_1 (l_1^2 + h_1^2)$$

$$I_{zzg1} = \frac{1}{12} m_1 (l_1^2 + w_1^2)$$

位置目標の軌道関数（参照軌道）計算(1/3)

○軌道関数作成

参照軌道の軌道関数の設計 $\eta(t) = \theta^*$

$$\begin{array}{lll} \eta(0) = \eta_0 & \dot{\eta}(0) = \dot{\eta}_0 & \ddot{\eta}(0) = \ddot{\eta}_0 \\ \eta(t_f) = \eta_f & \dot{\eta}(t_f) = \dot{\eta}_f & \ddot{\eta}(t_f) = \ddot{\eta}_f \end{array}$$

上記の境界条件を満たす最低次数の関数

$$\begin{aligned} \eta(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \\ \dot{\eta}(t) &= a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 + 4a_4 t^3 + 5a_5 t^4 \\ \ddot{\eta}(t) &= 2a_2 + 6a_3 t + 12a_4 t^2 + 20a_5 t^3 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \eta(0) \\ \dot{\eta}(0) \\ \ddot{\eta}(0) \\ \eta(t_f) \\ \dot{\eta}(t_f) \\ \ddot{\eta}(t_f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 & t_f^4 & t_f^5 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 & 4t_f^3 & 5t_f^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6t_f & 12t_f^2 & 20t_f^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix}$$

$$\eta = Ka \quad a = K^{-1}\eta$$

→Symbolic Math Toolboxによるスクリプト

syms(シンボリック変数の宣言)

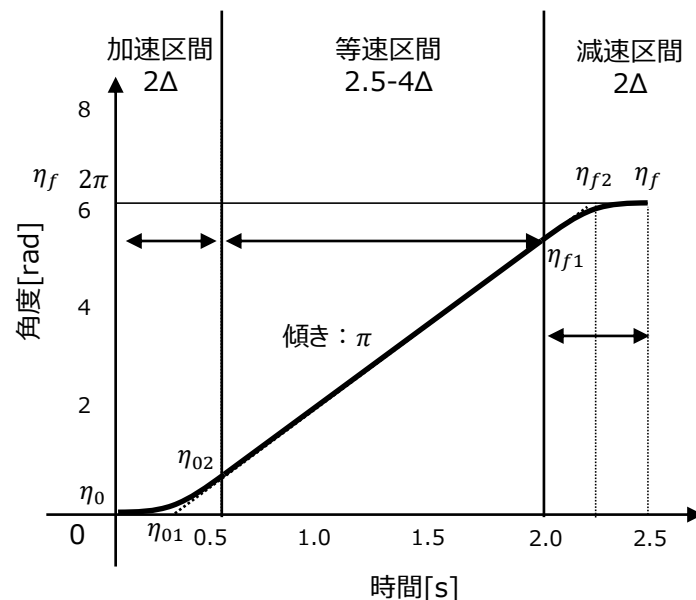
Symbolic_sample1.m

$$a_0 = \eta_0 \quad a_1 = \dot{\eta}_0 \quad a_2 = \frac{1}{2}\ddot{\eta}_0$$

$$a_3 = \frac{1}{2t_f^3} \{(-3\ddot{\eta}_0 + \ddot{\eta}_f)t_f^2 + (-12\dot{\eta}_0 - 8\dot{\eta}_f)t_f - 20\eta_0 + 20\eta_f\}$$

$$a_4 = \frac{1}{2t_f^4} \{(3\ddot{\eta}_0 - 2\ddot{\eta}_f)t_f^2 + (16\dot{\eta}_0 + 14\dot{\eta}_f)t_f + 30\eta_0 - 30\eta_f\}$$

$$a_5 = \frac{1}{2t_f^5} \{(-\ddot{\eta}_0 + \ddot{\eta}_f)t_f^2 + (-6\dot{\eta}_0 - 6\dot{\eta}_f)t_f - 12\eta_0 + 12\eta_f\}$$



位置目標の軌道関数（参照軌道）計算(2/3)

A. 加速区間($0 \leq t \leq 2\Delta$)

$$t_0 = 0, t_f = 2\Delta, \dot{\eta}_0 = 0, \ddot{\eta}_0 = 0, \eta_f = \Delta\pi, \dot{\eta}_f = \pi$$

Symbolic_sample2.m

$$\eta(t) : \theta^*(t) = \frac{\pi}{4\Delta^2} t^3 - \frac{\pi}{16\Delta^3} t^4$$

B. 等速区間($2\Delta < t \leq 2.5-2\Delta$)

傾き π , 切片 $\Delta\pi$ の直線になるので

$$\eta(t) : \theta^*(t) = \Delta\pi + \pi(t - 2\Delta)$$

C. 減速区間($2.5-2\Delta < t \leq 2.5$)

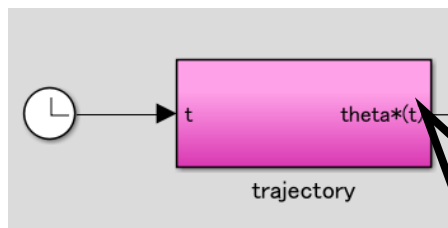
$$t_0 = 2, t_f = 2.5, \eta_0 = 2\pi - \Delta\pi, \dot{\eta}_0 = \pi, \ddot{\eta}_0 = 0, \eta_f = 2\pi, \dot{\eta}_f = 0, \ddot{\eta}_f = 0$$

Symbolic_sample3.m

$$\eta(t) : \theta^*(t) = 2\pi - \Delta\pi + \pi(t - 2) - \frac{\pi}{4\Delta^2} (t - 2)^3 + \frac{\pi}{16\Delta^3} (t - 2)^4$$

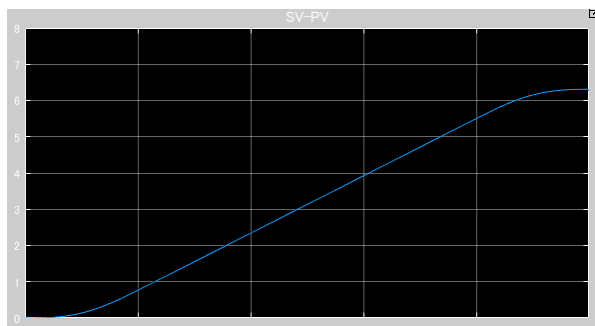
位置目標の軌道関数（参照軌道） 計算(3/3)

OSimulink上でのモデル作成

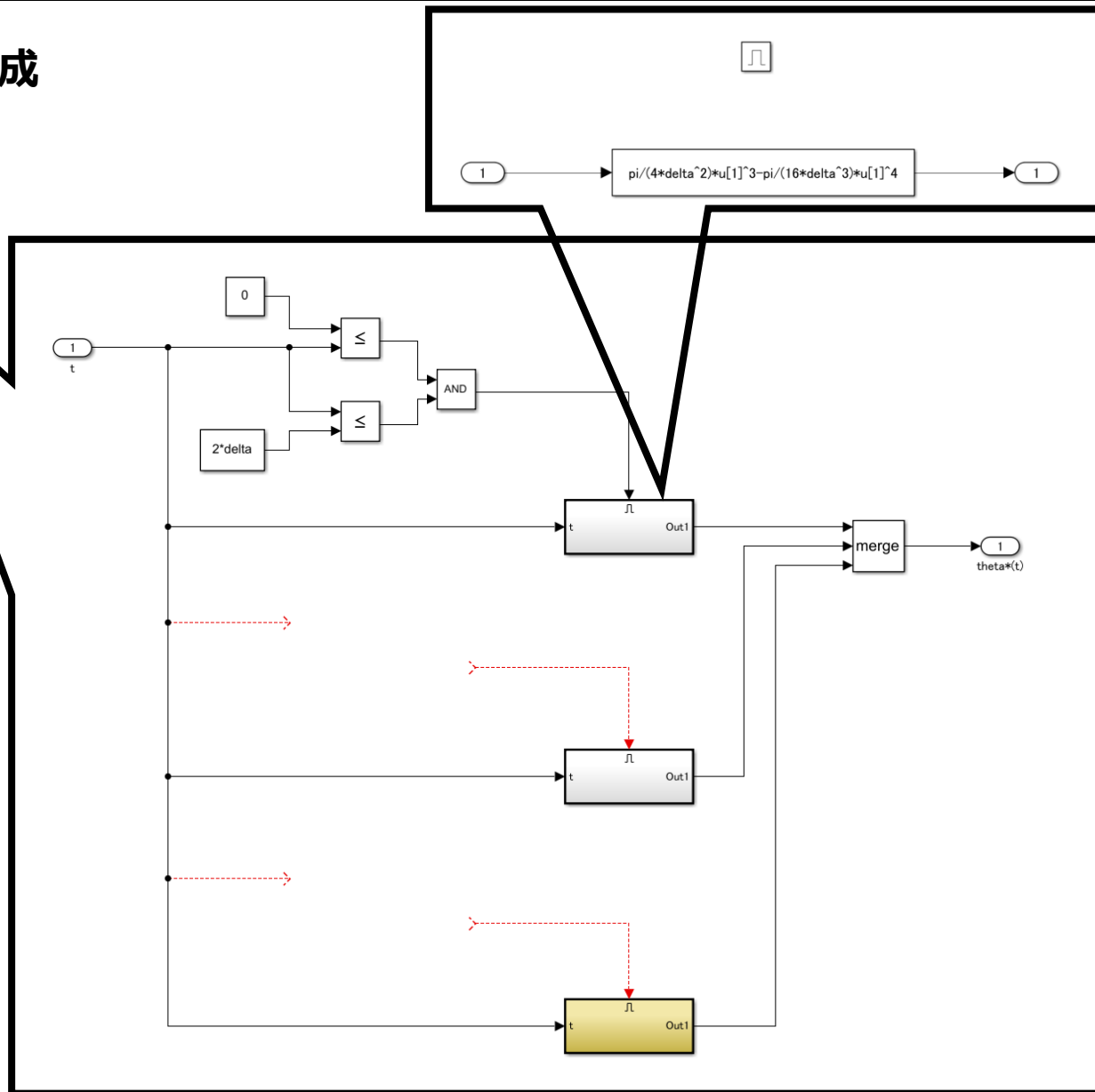


○初期化パラメータの記述

%軌道関数のパラメータ
delta=0.25;%Δ

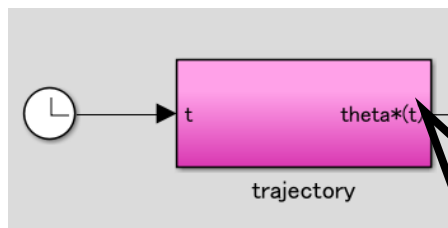


参照軌道



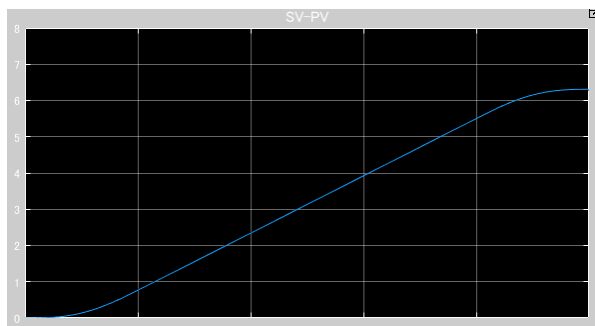
位置目標の軌道関数（参照軌道）計算(3/3)

OSimulink上でのモデル作成

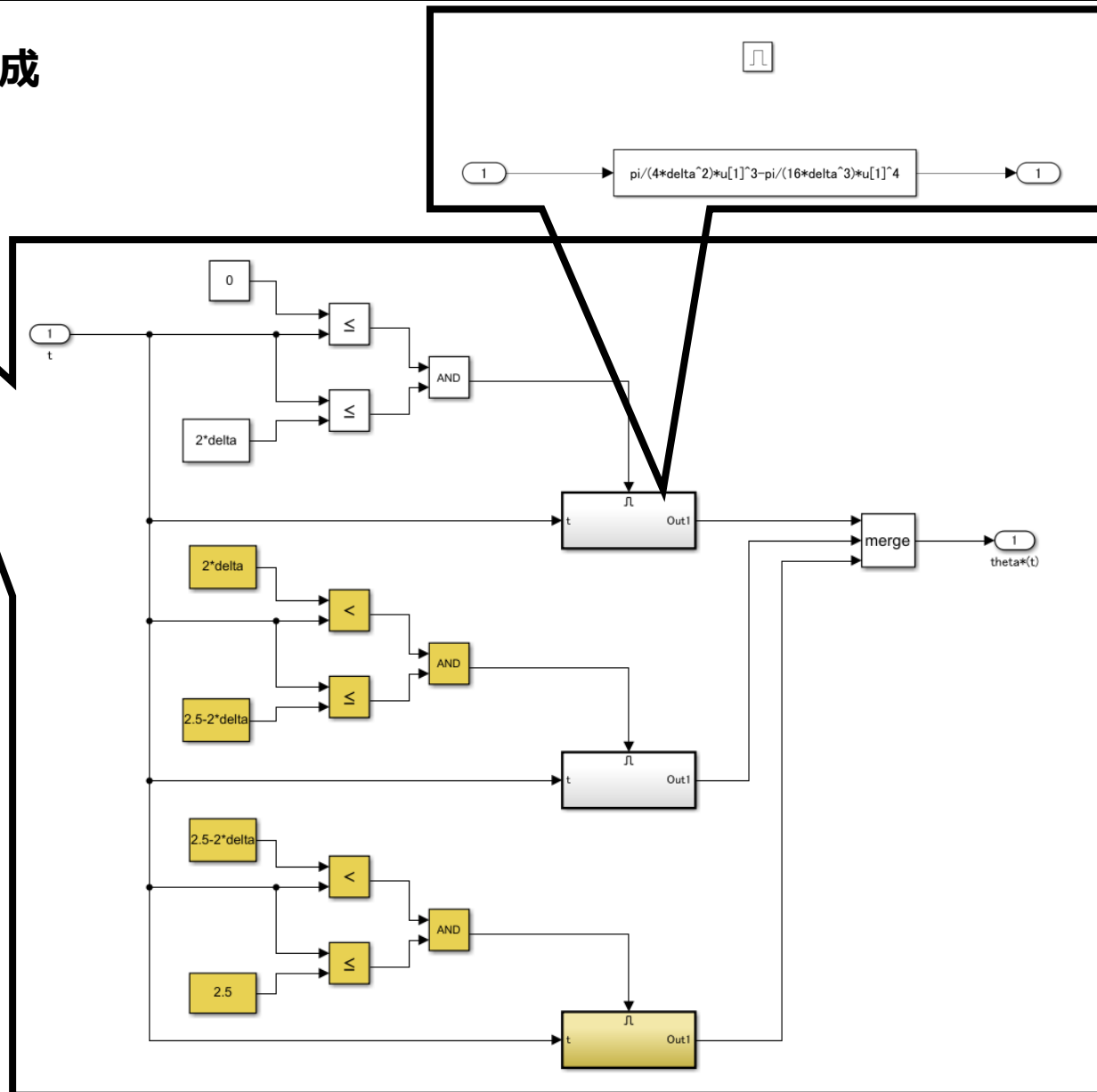


○初期化パラメータの記述

%軌道関数のパラメータ
delta=0.25;%Δ



参照軌道



プラントモデリング-機構系-(1/3)

○ラグランジュ法について

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = u_i$$

$$L = T - U \quad U \text{は} \dot{q}_i \text{の項に依存しない}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = u_i$$

・損失エネルギー D (リンク回転部の粘性摩擦を考慮)

$$D = \frac{1}{2} \sum c_i \dot{q}_i^2 \quad c_i: \text{粘性摩擦係数}$$

・手順

(1) システムの一般化座標 $q_i (i = 1, \dots, n)$ 、一般化力 u_i を設定する

(2) システムの運動エネルギー T 、損失エネルギー D 、ポテンシャルエネルギー U を計算する.

(3) (2)の計算結果を順次微分し、式に代入

○ラグランジュ法によるリンクの数式モデル導出

・リンクの運動エネルギー

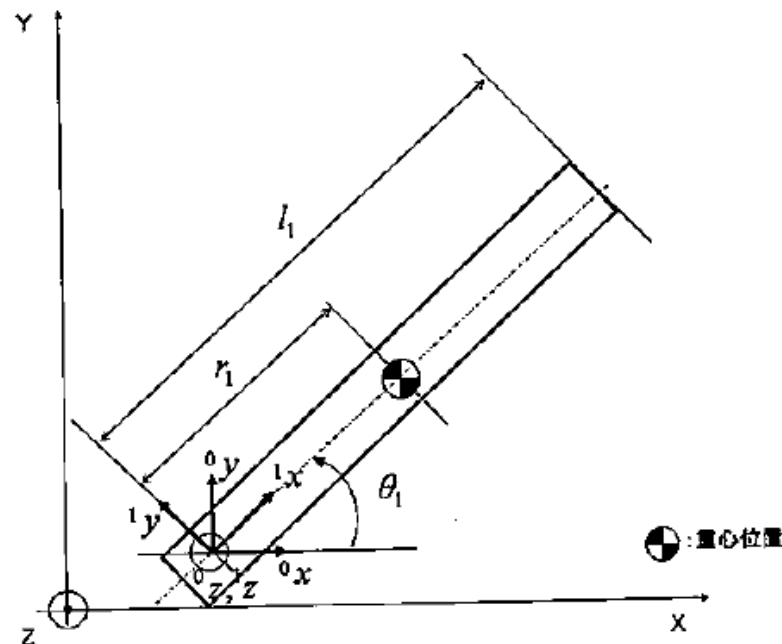
・モータ・ギアの質量, 慣性の影響は無視

・固定座標系(0), リンクに固定した座標系(1)

$${}^{(0)}\mathbf{X} = \begin{bmatrix} {}^{(0)}x \\ {}^{(0)}y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0x \\ {}^0y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad {}^{(1)}\mathbf{X} = \begin{bmatrix} {}^{(1)}x \\ {}^{(1)}y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^1x \\ {}^1y \\ {}^1z \\ 1 \end{bmatrix}$$

・座標系(0)から(1)への変換の同次変換行列表示

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



プラントモデリング-機構系-(2/3)

リンク1の重心点

Symbolic_sample4.m

$$P_{g1} = A_1 \begin{bmatrix} r_1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad P_{g1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 r_1 \\ \sin\theta_1 r_1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

重心の固定座標系に関する
並進速度ベクトル V_{g1} (時間微分)

Symbolic_sample5.m

$$V_{g1} = \begin{bmatrix} -r_1 \sin\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ r_1 \cos\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(1)からみた角速度ベクトル ${}^1\omega$

$${}^1\omega = \dot{\theta}_1 \hat{z}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}$$

\hat{z}_1 : z_1 軸方向の
単位ベクトル
 θ_1 : z_1 軸を軸
とした角速度

リンクの運動エネルギー k_1

$$k_1 = \frac{1}{2} m_1 v_{g1}^T v_{g1} + \frac{1}{2} {}^1\omega^T I_{zzg1} {}^1\omega$$

並進運動エネルギー 回転運動エネルギー

$$k_1 = \frac{1}{2} m_1 \begin{bmatrix} -r_1 \sin\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ r_1 \cos\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -r_1 \sin\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ r_1 \cos\theta_1 \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}^T I_{zzg1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}$$

全エネルギー (ポテンシャルエネルギー0→ラグランジュ関数 L)

$$T = k_1 = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} I_{zzg1} \dot{\theta}_1^2 \quad \text{Symbolic_sample6.m}$$

粘性摩擦を考慮して

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = \partial \left(\frac{1}{2} \sum c_i \dot{q}_i^2 \right) / \partial \dot{q}_i$$

運動方程式の各項の計算(一般化力 $u_1 = \tau_1$ 、一般化座標 $q_1 = \theta_1$)

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = m_1 r_1^2 \dot{\theta}_1 + I_{zzg1} \dot{\theta}_1 \quad \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = 0 \quad \text{粘性摩擦の項}$$

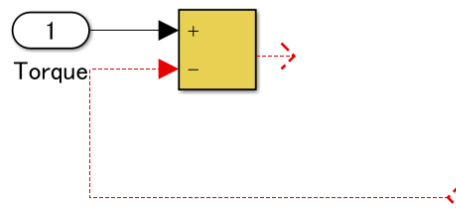
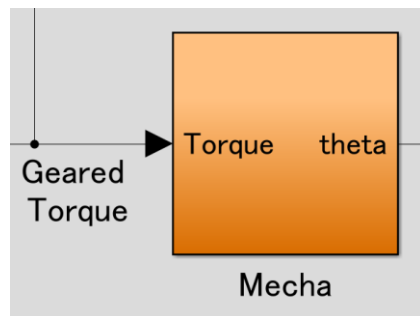
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = m_1 r_1^2 \ddot{\theta}_1 + I_{zzg1} \ddot{\theta}_1 \quad \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial \left(\frac{1}{2} c_1 \dot{\theta}_1^2 \right)}{\partial \dot{\theta}_1} = c_1 \dot{\theta}_1$$

リンクの数式モデル

$$(m_1 r_1^2 + I_{zzg1}) \ddot{\theta} + c_1 \dot{\theta} = \tau_1$$

プラントモデリング-機構系-(3/3)

○Simulink上でのモデル作成



○初期化パラメータの記述

%機構系パラメータ

$l1 = 0.2$; %リンク1の長さ[m]

$w1 = 0.01$; %リンク1の幅[m]

$h1 = 0.004$; %リンク1の高さ[m]

$r1 = 0.1$; %リンク1の端点から重心までの長さ[m]

$ro = 2.69 \times 10^{-3} \times 10^6$ %リンク1の材料密度[Kg*m⁻³]

$m1 = l1 \times w1 \times h1 \times ro$ %リンク1の質量[Kg]

$Izzg1 = (1/12) \times m1 \times (w1^2 + l1^2)$ %リンク1の慣性モーメント zz[kg*m²]

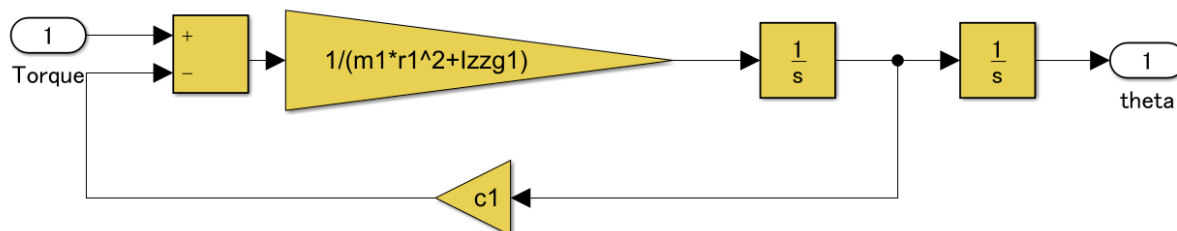
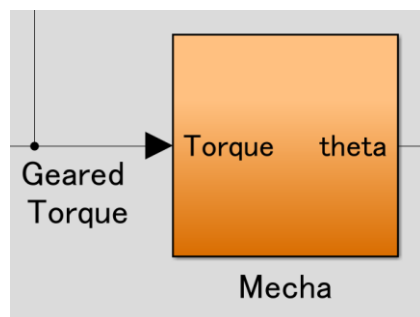
$Ixxg1 = (1/12) \times m1 \times (w1^2 + h1^2)$ %リンク1の慣性モーメント xx[kg*m²]

$Iyyg1 = (1/12) \times m1 \times (l1^2 + h1^2)$ %リンク1の慣性モーメント yy[kg*m²]

$c1 = 0.001$; %リンク1の粘性係数[N*s/rad]

プラントモデリング-機構系-(3/3)

○Simulink上でのモデル作成



○初期化パラメータの記述

%機構系パラメータ

l1 = 0.2;%リンク1の長さ[m]

w1 = 0.01;%リンク1の幅[m]

h1 = 0.004;%リンク1の高さ[m]

r1 = 0.1;%リンク1の端点から重心までの長さ[m]

ro = 2.69*1e-3*1e6;%リンク1の材料密度[Kg*m⁽⁻³⁾]

m1 = l1*w1*h1*ro;%リンク1の質量[Kg]

Izzg1 = (1/12)*m1*(w1²+l1²);%リンク1の慣性モーメント zz[kg*m²]

Ixxg1 = (1/12)*m1*(w1²+h1²);%リンク1の慣性モーメント xx[kg*m²]

Iyyg1 = (1/12)*m1*(l1²+h1²);%リンク1の慣性モーメント yy[kg*m²]

c1 = 0.001;%リンク1の粘性係数[N*s/rad]

プラントモデリング-電気系-(1/2)

ODCモータの動特性モデリング

(時間によって変化する過渡応答)

モータの生成トルク T_e

モータの電機子電流 i_a

$$T_e = K_t i_a \quad (K_t : \text{トルク定数})$$

ロータの慣性 $J [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$

粘性摩擦 $B_m [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}]$

実際負荷側に与えられるトルク T

$$T = T_e - (J\ddot{\theta} + B_m\dot{\theta})$$

入力電圧

$$v = R_e i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_e \frac{d\theta}{dt}$$

○減速機（ギア）の静特性モデリング

(時間によって変化しない定常応答)

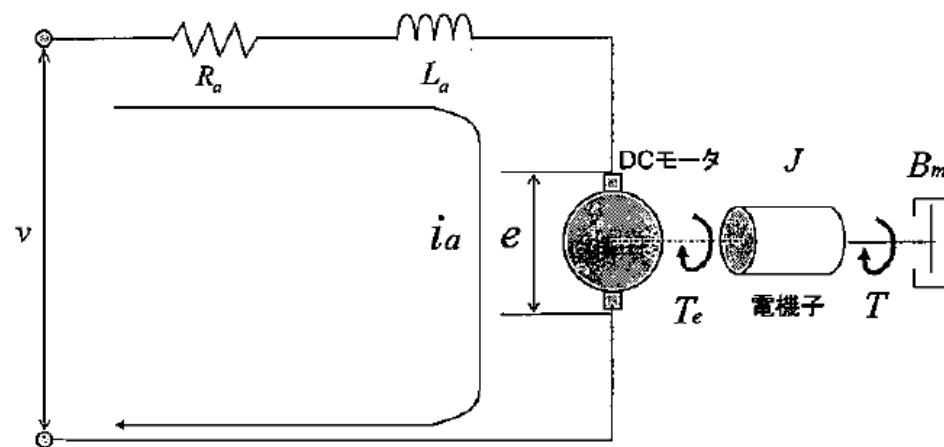
歯車1の歯数 n_1

歯車2の歯数 n_2

$$N = n_2/n_1$$

ラプラス変換後, $i_a(s)$ について整理すると

$$i_a(s) = \frac{1}{(L_a s + R_a)} v(s) - \frac{K_e s}{(L_a s + R_a)} \theta(s)$$



比例係数（伝達効率） E

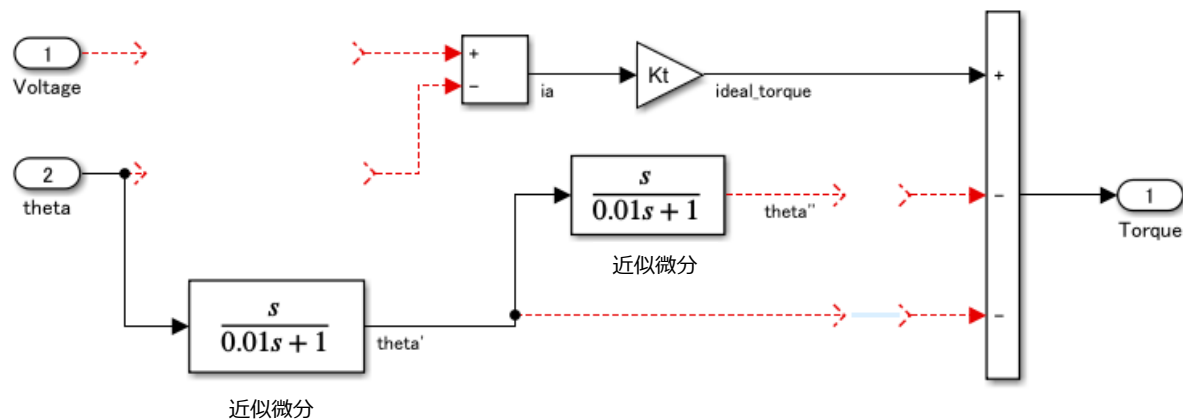
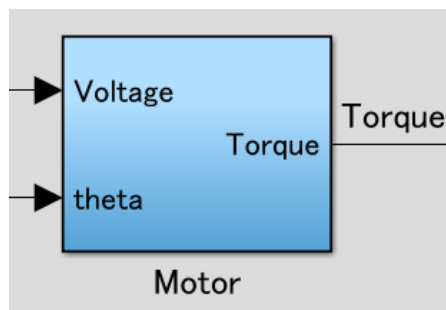
$$\tau_2 = (n_2/n_1)(\tau_1 - c\tau_1) = N \cdot (1 - c) \cdot \tau_1 = N \cdot E \cdot \tau_1$$

$$\theta_1 = N \cdot \theta_2$$

摩擦トルク
を考慮

プラントモデリング-電気系-(2/2)

○Simulink上でのモデル作成



○初期化パラメータの記述

%電気系パラメータ

Ra = 10; %電機子抵抗[Ω]

La = 4.4e-3; %電機子インダクタンス[H]

Kt = 0.05; %トルク定数[N*m/A]

Ke = Kt; %逆起電力定数[V*s/rad]

J = 1e-5; %電機子の慣性モーメント[kg*m^2]

Bm = 1e-6; % 電機子の粘性トルク係数[N*s/rad]

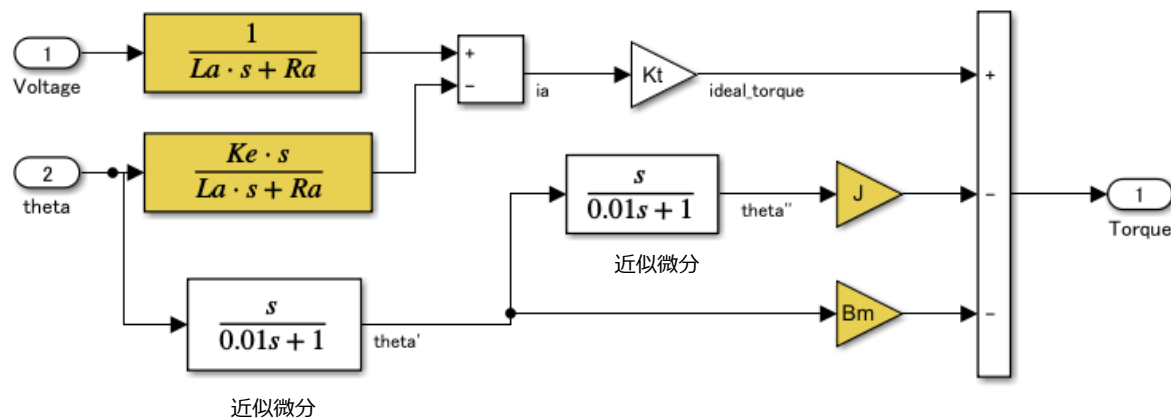
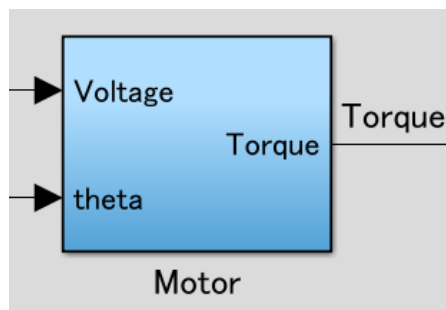
%減速機パラメータ

N = 100; %ギア比[-]

E = 0.7; %伝達効率[-]

プラントモデリング-電気系-(2/2)

○Simulink上でのモデル作成



○初期化パラメータの記述

%電気系パラメータ

$R_a = 10; \% \text{電機子抵抗} [\Omega]$

```
La = 4.4e-3;%電機子インダクタンス[H]
```

```
Kt = 0.05;%トルク定数[N*m/A]
```

```
Ke = Kt;%逆起電力定数[V*s/rad]
```

```
J = 1e-5;%電機子の慣性モーメント[kg*m^2]
```

Bm = 1e-6;% 電機子の粘性トルク係数[N*s/rad]

%減速機パラメータ

```
N = 100;%ギア比[-]
```

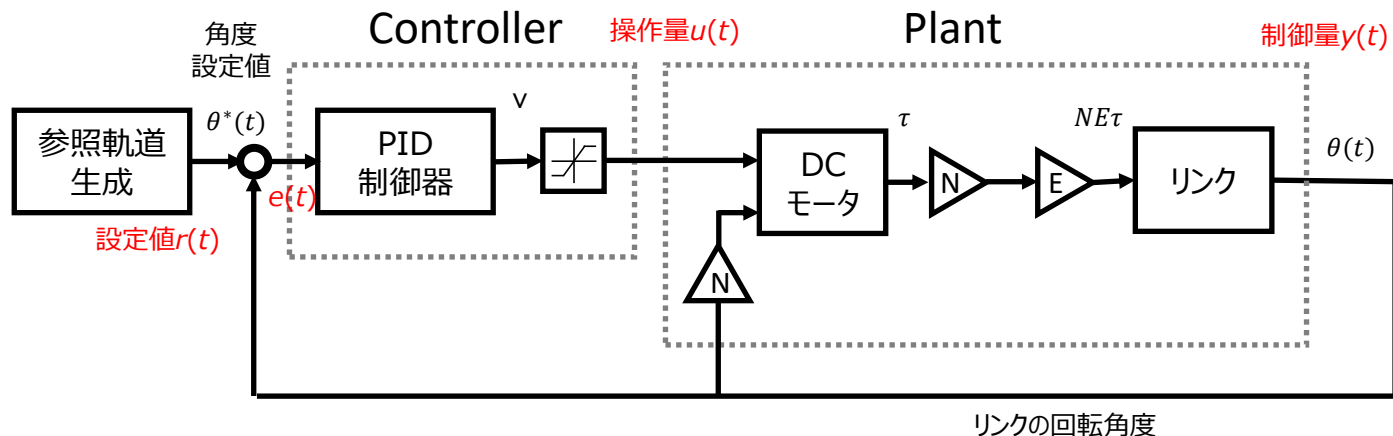
$E = 0.7$; %伝達効率[-]

PID制御器のモデリング(1/2)

○制御系の構造

・PID制御則を採用

参照軌道 $\theta^*(t)$
に角度センサ値 $\theta(t)$
を追従制御する



1. 偏差 $\theta^*(t) - \theta(t)$ から計算された電圧 v が、
上下限リミットを介してDCモータに入力。
2. DCモータ電圧 v とモータの電機子の回転角度
 $N\theta(t)$ を入力として電機子電流 i_a を計算し、
それをモータ出力トルク τ に換算
3. モータの出力するトルクは機械系動特性として
ロータの慣性と粘性摩擦を考慮する。
モータ出力トルク τ はギアを介して間接駆動トルク
 $NE\tau$ に変換。
4. この間接駆動トルクがリンクに入力されて θ が
出力される。

OPID制御

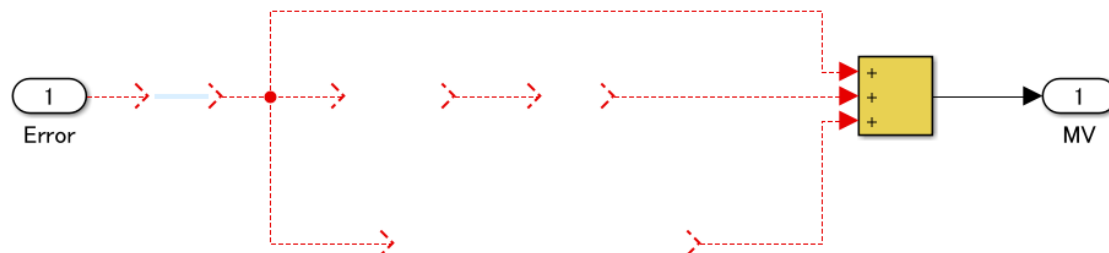
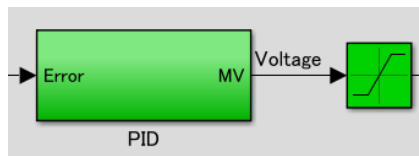
$$u(t) = k_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt})$$

$$U(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s)$$

$$U(s)/E(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

PID制御器のモデリング(2/2)

○Simulink上でのモデル作成

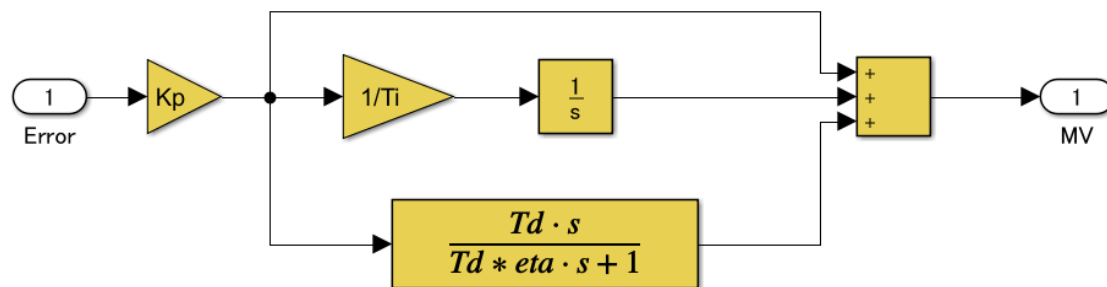
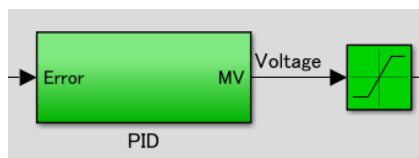


○初期化パラメータの記述

```
%PID制御パラメータ  
Kp = 100; %比例ゲイン  
Ti = 0.1; %積分時間  
Td = 3; %微分時間  
eta = 0.1; %近似微分パラメータη
```

PID制御器のモデリング(2/2)

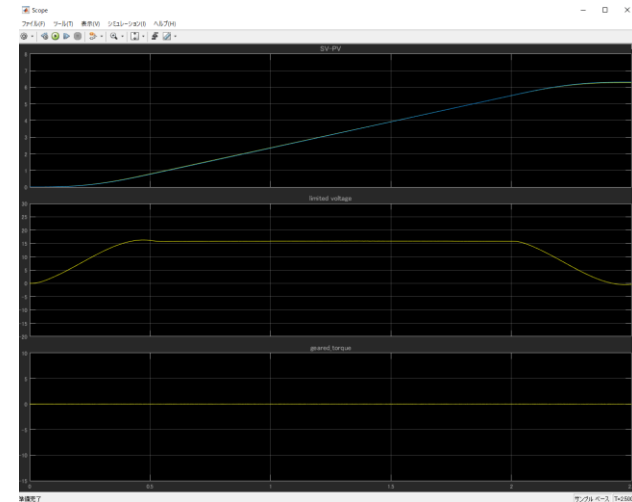
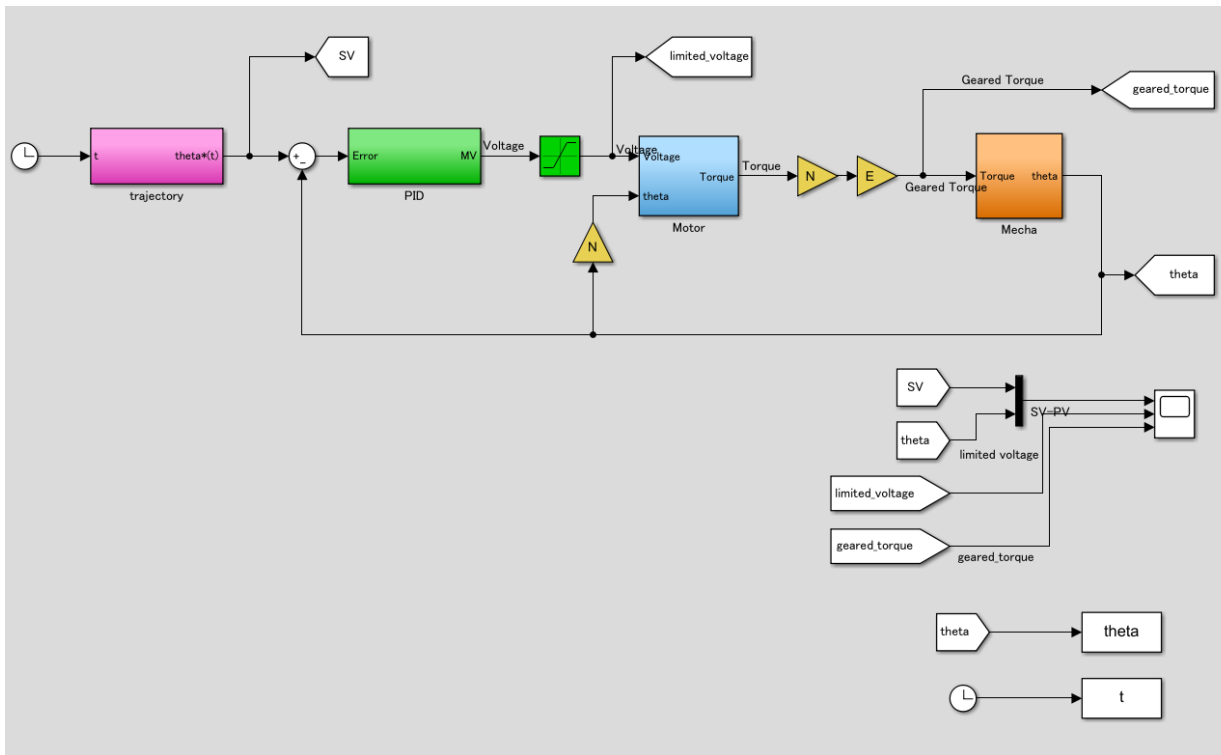
○Simulink上でのモデル作成



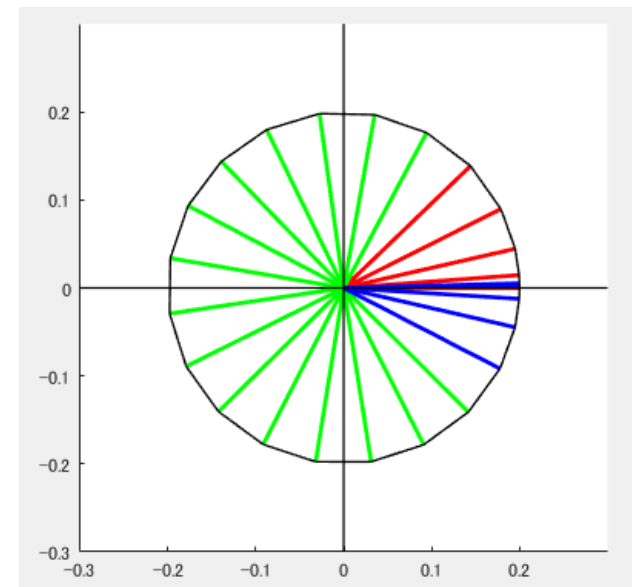
○初期化パラメータの記述

```
%PID制御パラメータ  
Kp = 100; %比例ゲイン  
Ti = 0.1; %積分時間  
Td = 3; %微分時間  
eta = 0.1; %近似微分パラメータη
```

モデルの統合と実行



1. 初期化スクリプトの実行
2. Simulinkモデルの実行
3. スコープの表示
4. プロット関数で軌跡描画



Reporting assignment 2

1. 1リンクのロボットマニピュレータの位置制御のSimulinkモデルを完成させて、0.1s周期でサンプリングしたマニピュレータの軌跡を描画すること。
結果の描画には加速区間、等速区間、減速区間で色分けするなど工夫すること。

6/11(火)の授業開始までにメールで提出すること
s-yasukawa@brain.kyutech.ac.jp

2. 次週までに以下のURLのwebサイトを参考にして仮想環境でlinux&ROS環境を整えてくること。

Virtual Machine with ROS Indigo and Gazebo
for Robotics System Toolbox™

<https://jp.mathworks.com/support/product/robotics/v3-installation-instructions.html>

Appendix 1

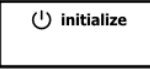
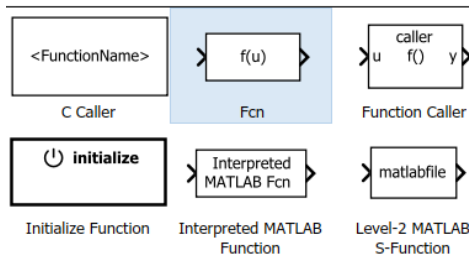
Simulink/User-Defined Functions

Simulink

- Commonly Used Blocks
- Continuous
- Dashboard
- Discontinuities
- Discrete
- Logic and Bit Operations
- Lookup Tables
- Math Operations
- Model Verification
- Model-Wide Utilities
- Ports & Subsystems
- Signal Attributes
- Signal Routing
- Sinks
- Sources
- String

User-Defined Functions

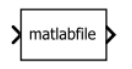
- > Additional Math & Discrete
- > Quick Insert



Initialize Function



Interpreted MATLAB Function



Level-2 MATLAB S-Function

Simulink

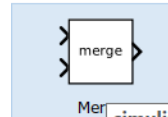
Commonly Used Blocks

- Continuous
- Dashboard
- Discontinuities
- Discrete
- Logic and Bit Operations
- Lookup Tables
- Math Operations
- Model Verification
- Model-Wide Utilities
- Ports & Subsystems
- Signal Attributes
- Signal Routing
- Sinks
- Sources
- String

User-Defined Functions

- > Additional Math & Discrete
- > Quick Insert

Simulink - 1 (simulink/Signal Routing/Merge)



Simulink

Signal Routing

Merge

Partial

Vertical

Simulink Real-Time - 1

NB Merge

Merge

simulink/Signal Routing/Merge:
Merge the input signals into a single output signal whose initial value is specified by the 'Initial output' parameter. If 'Initial output' is empty, the Merge block outputs the initial output of one of its driving blocks.

Simulink/Continuous

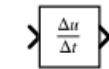
Simulink

Commonly Used Blocks

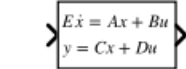
Continuous

- Dashboard
- Discontinuities
- Discrete
- Logic and Bit Operations
- Lookup Tables
- Math Operations
- Model Verification
- Model-Wide Utilities
- Ports & Subsystems
- Signal Attributes
- Signal Routing
- Sinks
- Sources
- String
- User-Defined Functions

- > Additional Math & Discrete
- > Quick Insert



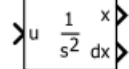
Derivative



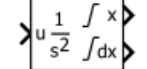
Descriptor State-Space



Integrator



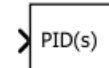
Integrator, Second-Order



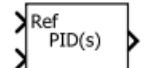
Integrator, Second-Order Limited



Integrator Limited



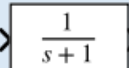
PID Controller



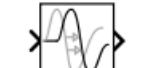
PID Controller (2DOF)



State-Space



Transfer Fcn

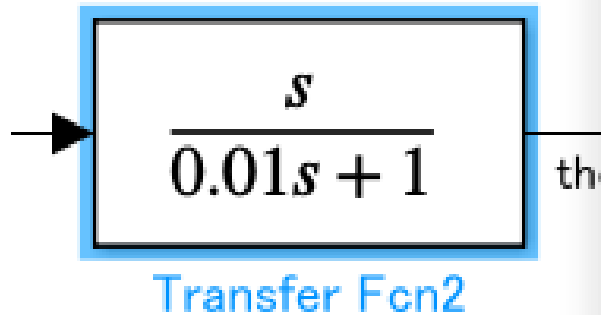


Transport Delay



Variable Time Delay

Appendix2



Block Parameters: Transfer Fcn2

Transfer Fcn

The numerator coefficient can be a vector or matrix expression. The denominator coefficient must be a vector. The output width equals the number of rows in the numerator coefficient. You should specify the coefficients in descending order of powers of s.

Parameters

Numerator coefficients:

[1 0]

Denominator coefficients:

[0.01 1]

Absolute tolerance:

auto

State Name: (e.g., 'position')

"

Stateflowの基礎

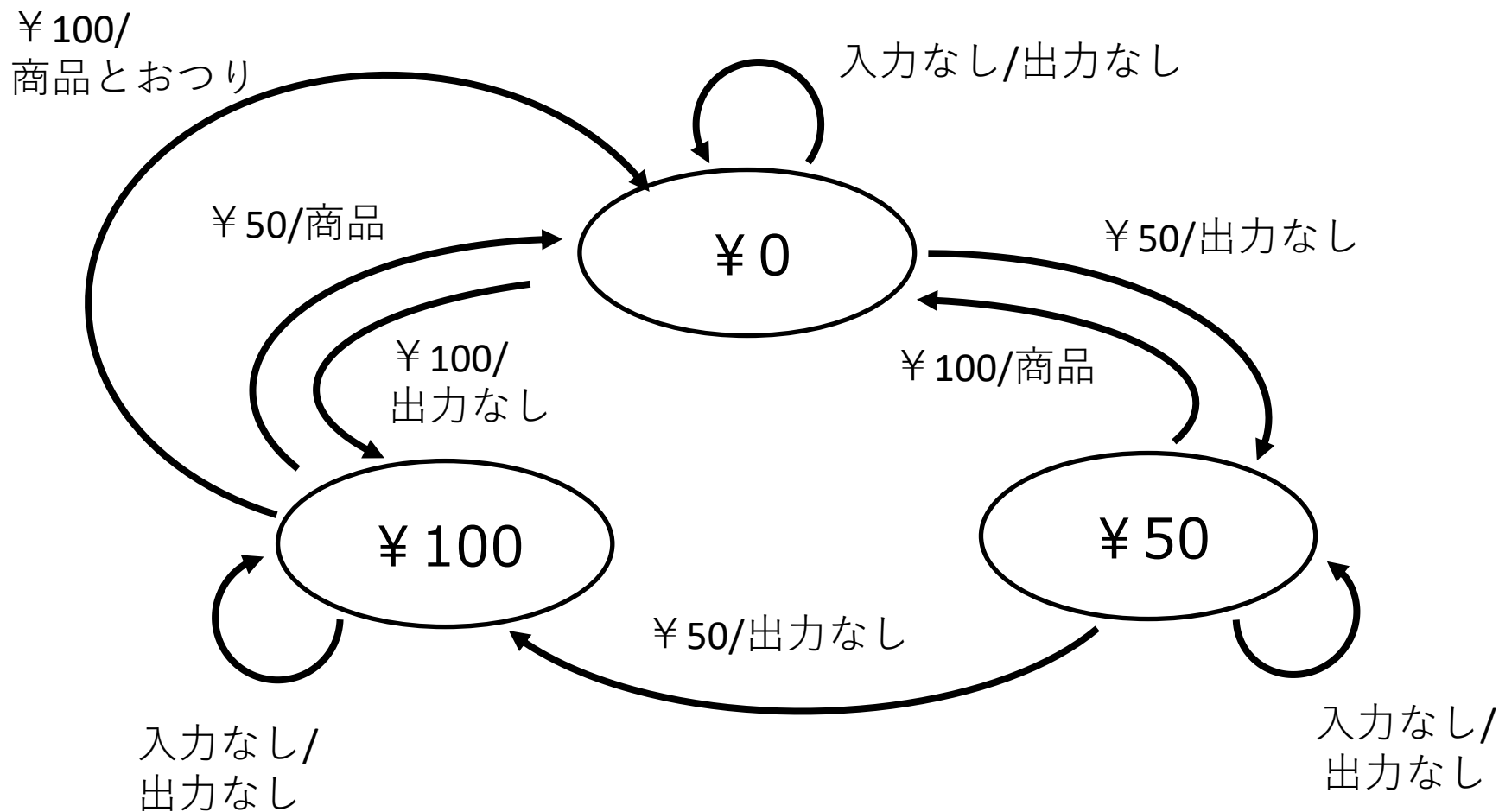
Stateflowの基礎(1/4)

例. Stateflowによる自動販売機(vending machine)の論理設計

50円, 100円の2種類に硬貨を受け付け,
150円の商品1種類を販売する自動販売機的设计

- input : {なし, 50円投入, 100円投入}
- output : {なし, 商品排出, おつり50円排出,
商品とおつり50円排出}
- state : {累積金額0円, 累積金額50円,
累積金額100円}

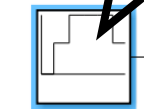
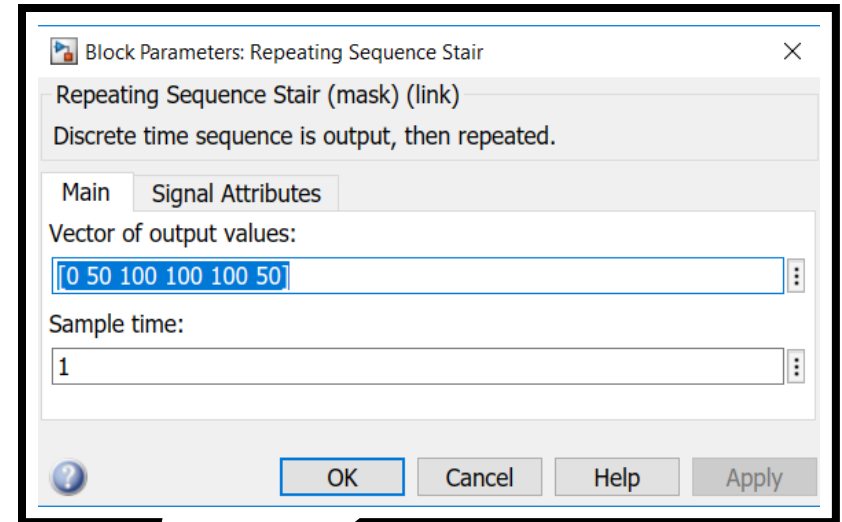
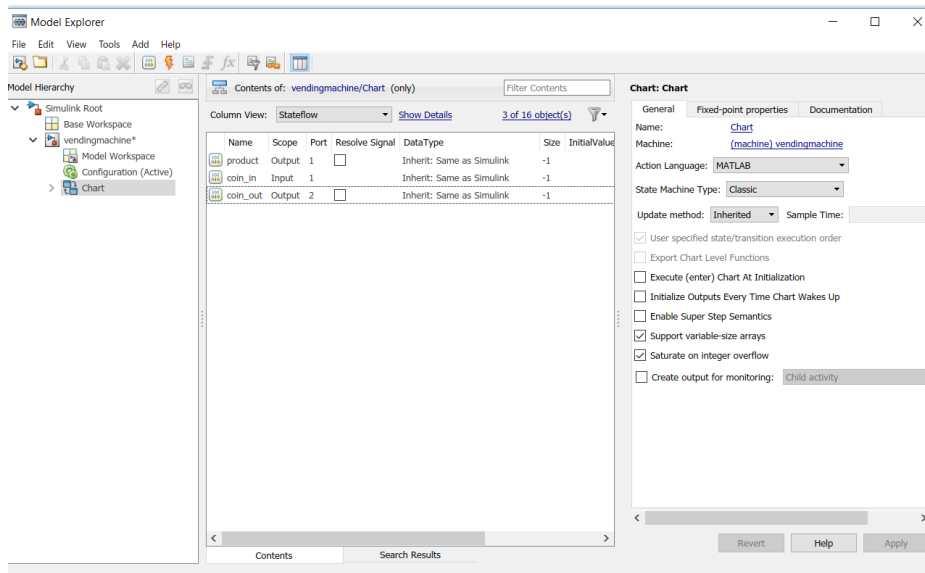
Stateflowの基礎(2/4)



Stateflowの基礎(3/4)

Stateflow: input port/output port

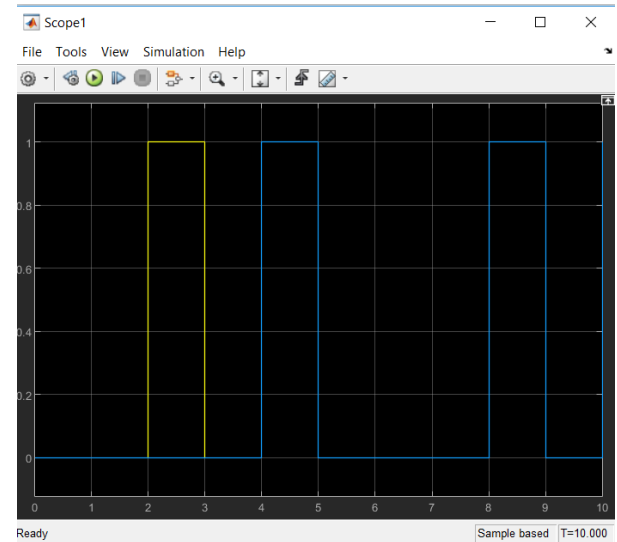
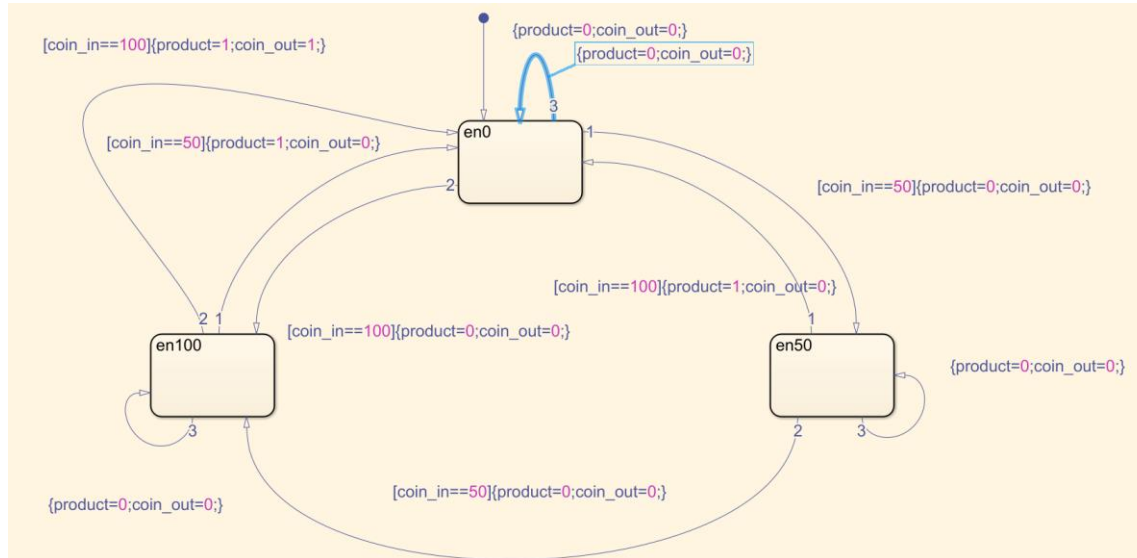
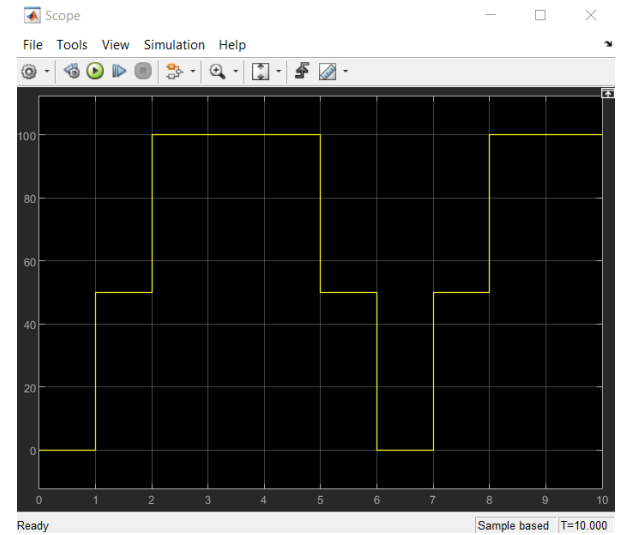
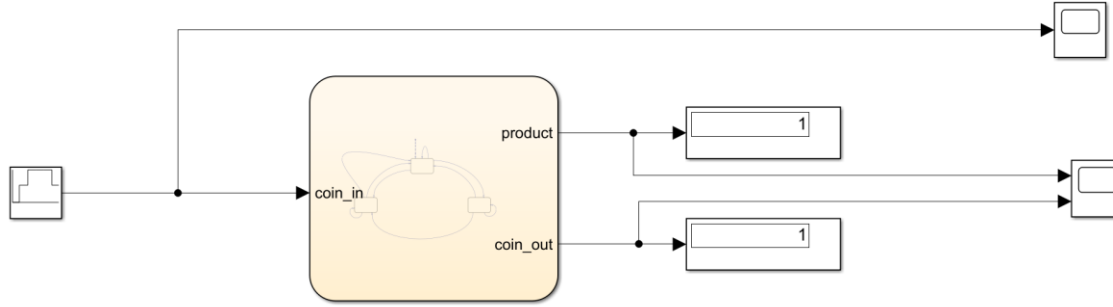
Model Explorer



Repeating
Sequence
Stair

Simulink: Sample rate

Stateflowの基礎(4/4)



その他の話題

- C-MEX
- MEX-function

<https://www.mathworks.com/help/matlab/write-cc-mex-files.html>

Reporting assignment 3

- ・ロボットの動作モードを二つの音で変更できるようにしたい.
- ・ここでコンコンと机をたたく音, もしくは口笛でモードが変更できるようにする.
- ・そのための以下の仕様のステートマシンを開発せよ.

(After lecture, I inform reporting assignments with E-mail in English)F

モード0(出力:0)

机をたたく音が聞こえたらモード1へ

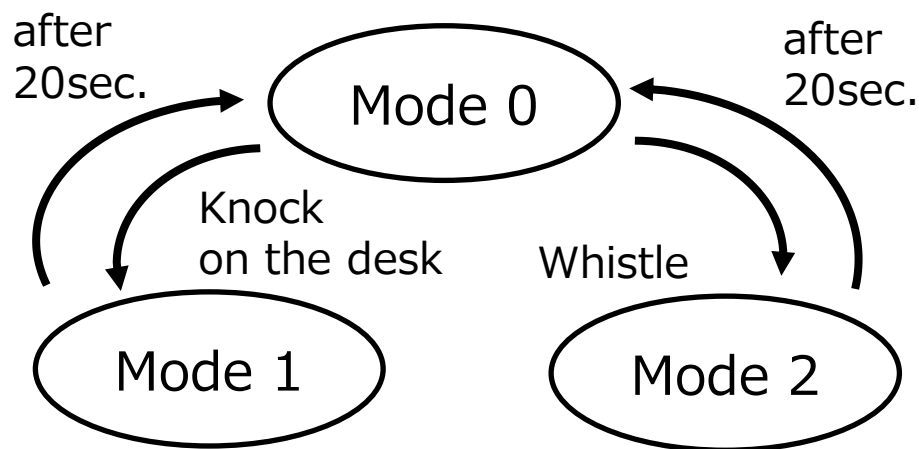
口笛が聞こえたらモード2へ

モード1(出力:1)

20秒後, モード1へ

モード2(出力:2)

20秒後, モード0へ



URL: <https://github.com/syasukawa/PIMDst/02>

にある音声データ1, 2, 3もしくは



Audio Device
Reader

を使ってテストせよ.