

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？

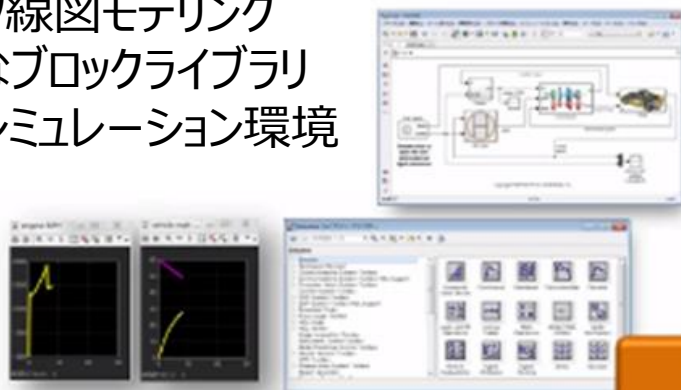
MATLAB

- 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



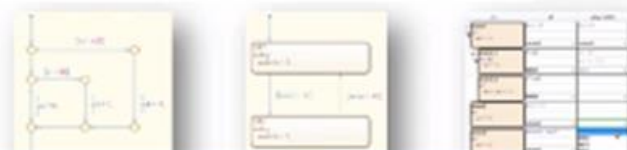
Simulink

- 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

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

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



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

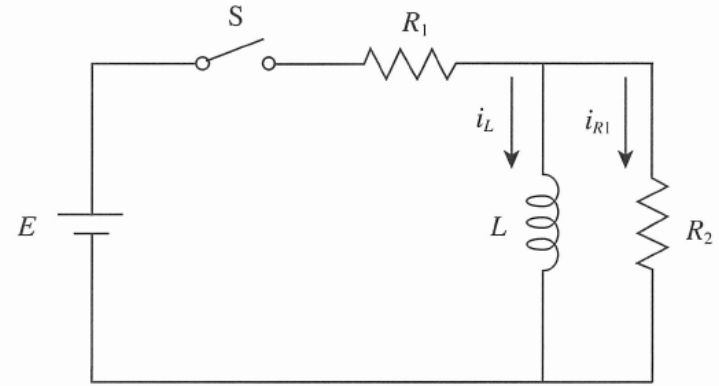
$$i_R = \frac{E}{R_1 + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_L$$

$$E=5$$

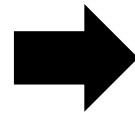
$$R_1=2$$

$$R_2=0.5$$

$$L=1$$



ラプラス変換

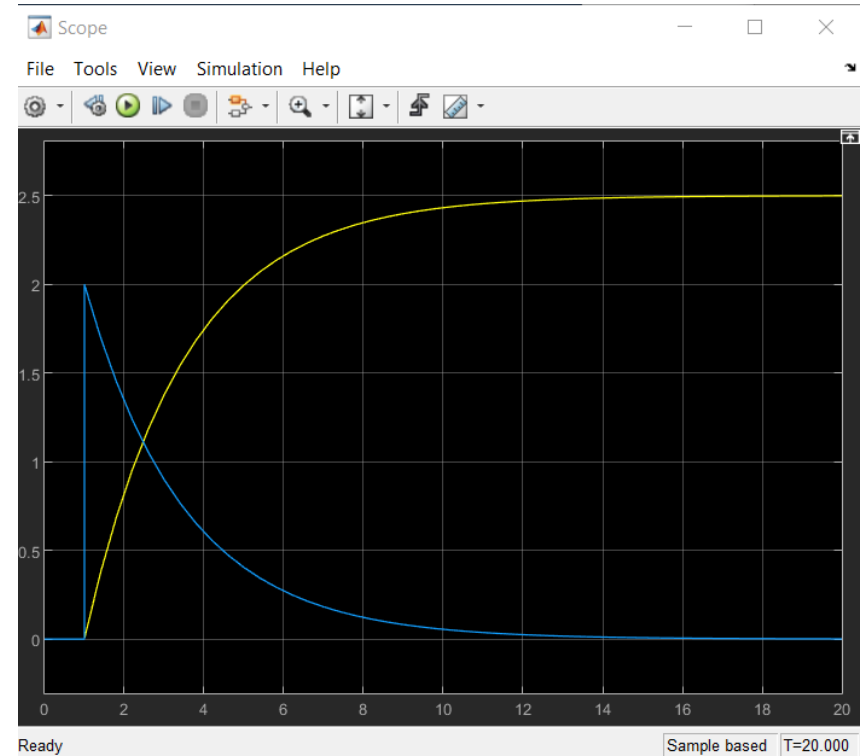
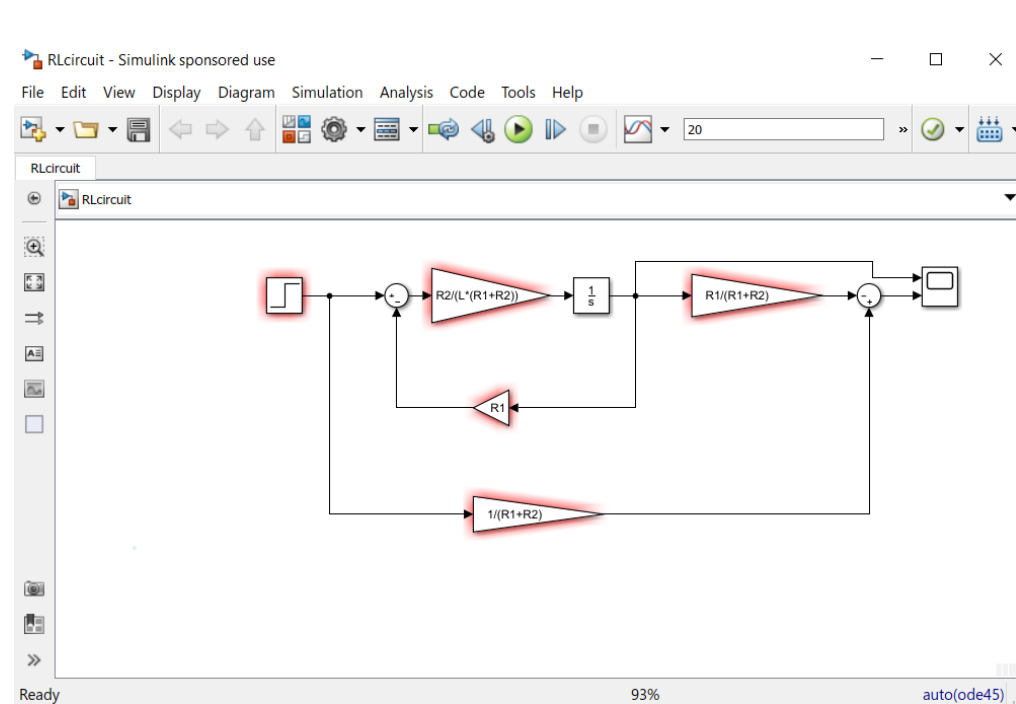


$$sI_L = (1/L)(R_2/(R_1 + R_2))(E - R_1 I_L)$$

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

-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

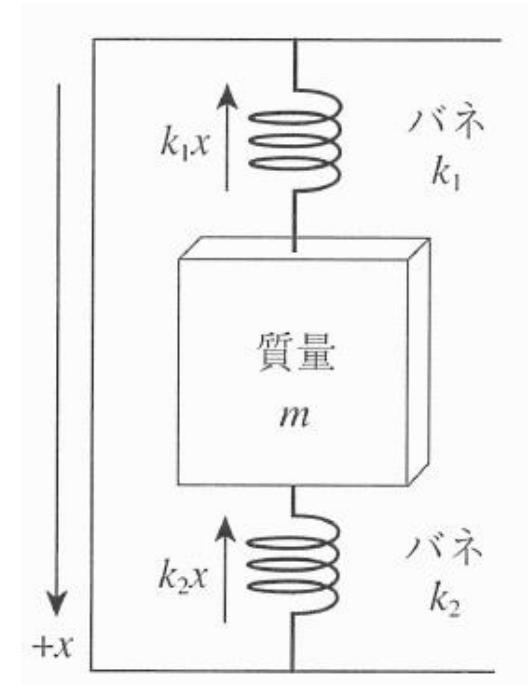
$$m\ddot{x} = mg - k_1x - k_2x - c\dot{x}$$

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

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

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

シミュレーション時間 : 0~20



例：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

$$c=1,$$

$$k=10,$$

$$m=1,$$

$$f=1,$$

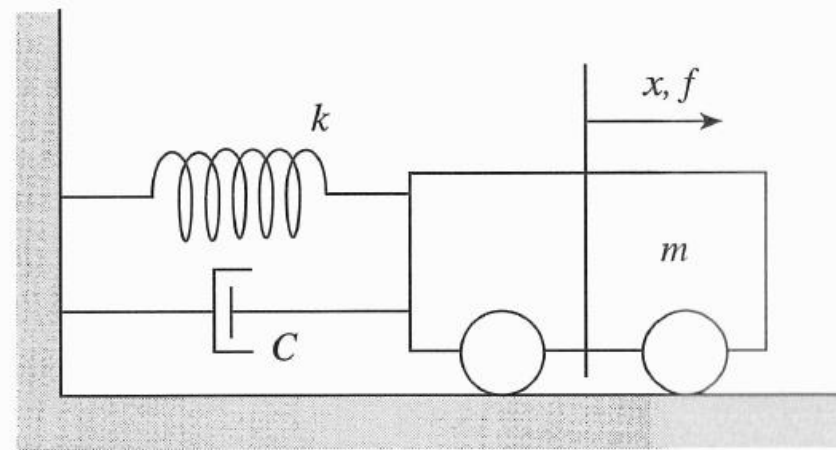
$$T=1:0.001:7;$$

シミュレーション時間: 0-10sec

[t

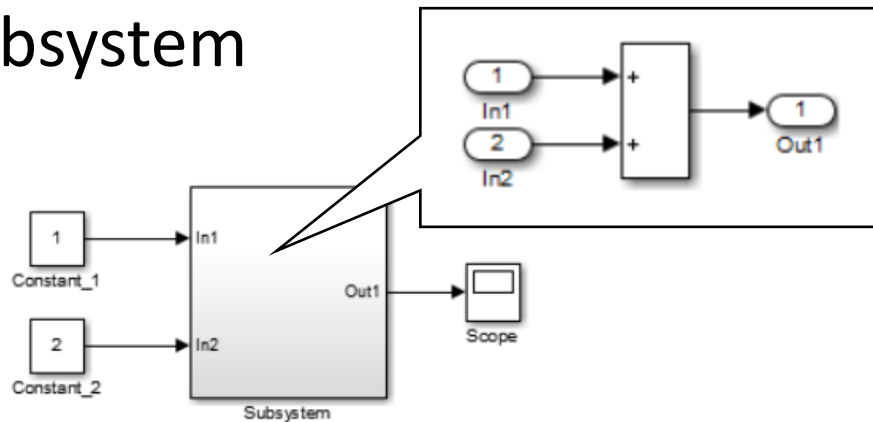
y]=sim('MassSpringDamper',[0 T
10])

Plot(t,y)



Subsystem, MATLAB function & S-function

- Subsystem

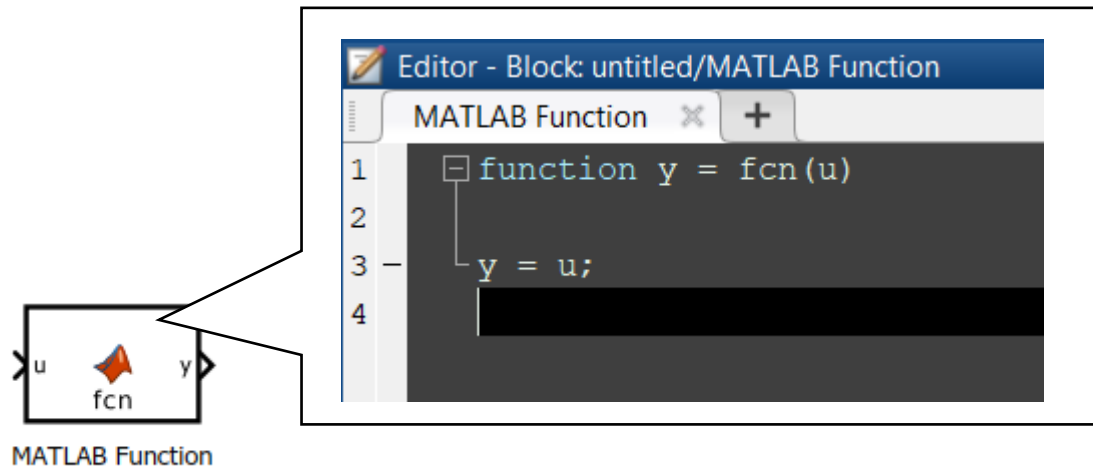


Enabled
Subsystem

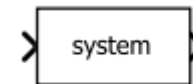


Triggered
Subsystem

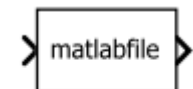
- MATLAB Function, S-function



MATLAB Function



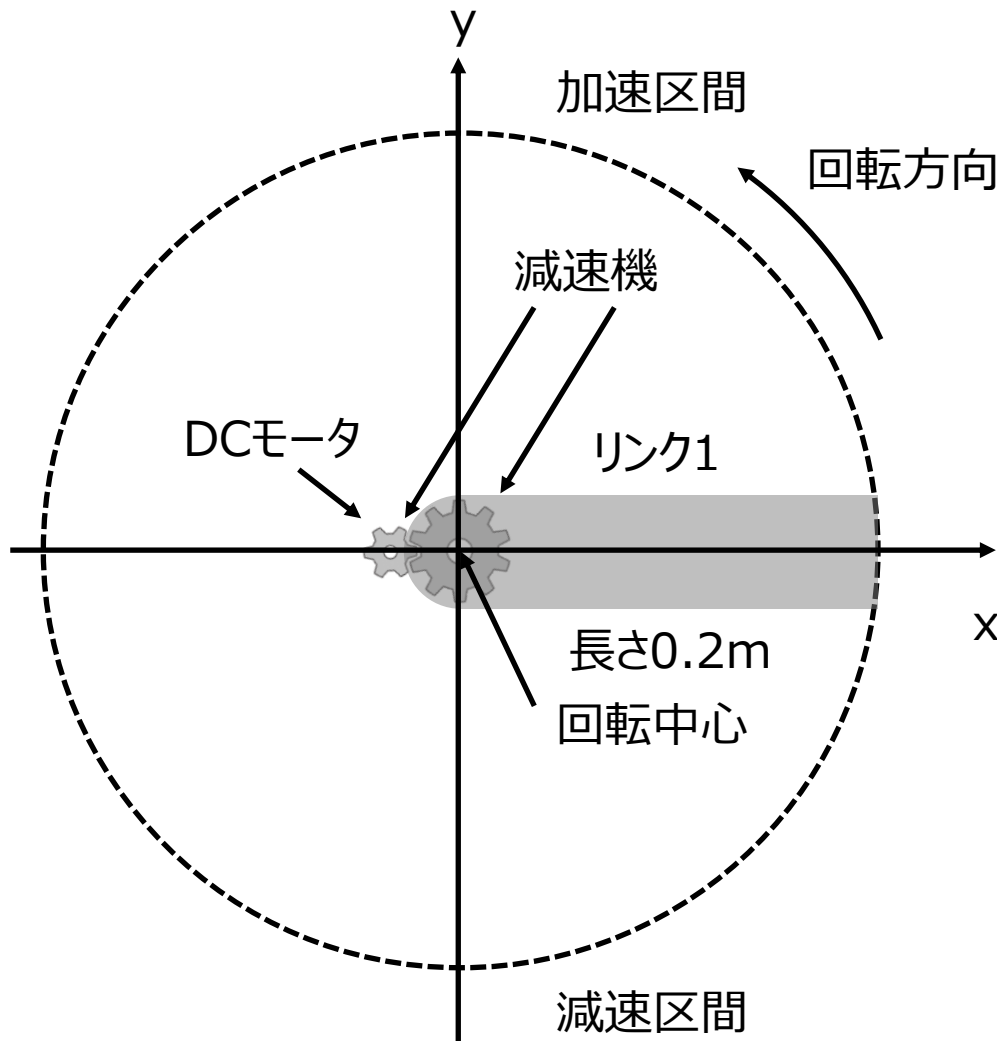
S-Function



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)

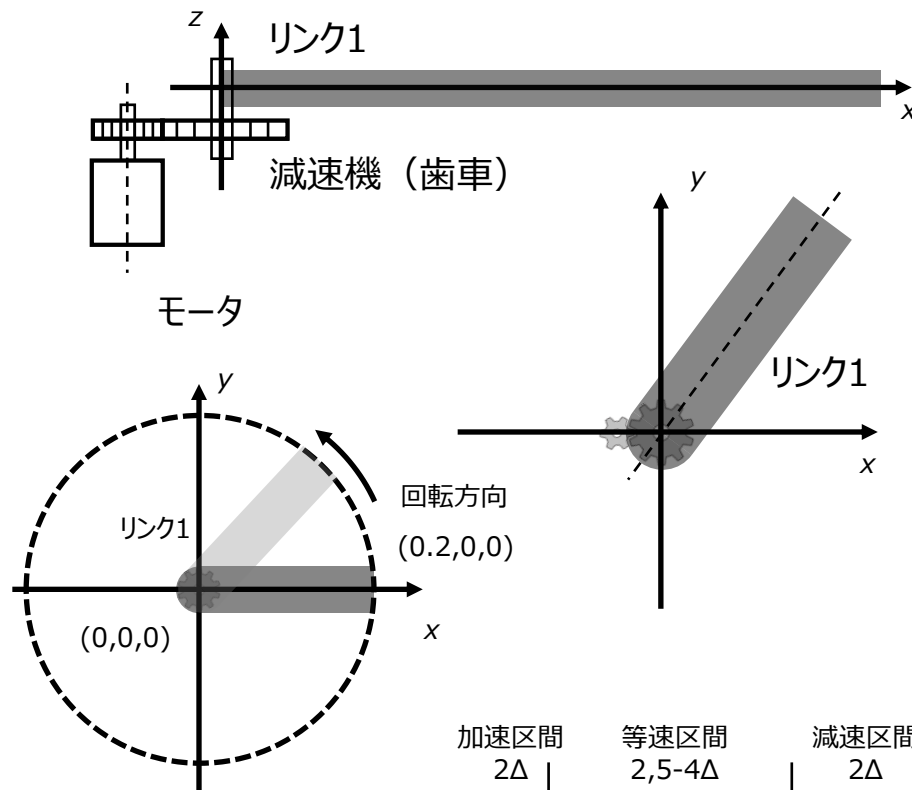
[プラントの構成]

○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】

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

$\Delta = 0.25[s]$

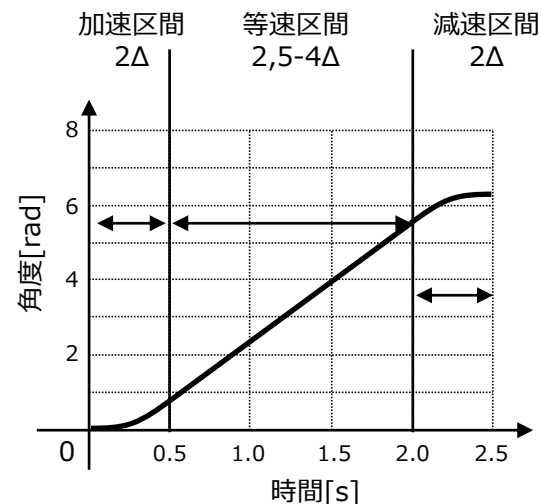
- ・リンクの先端

→ 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.



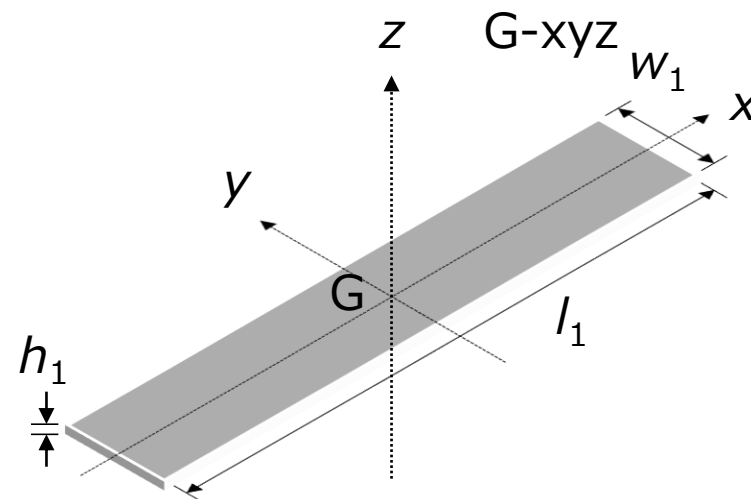
制御対象（プラント）とマニピュレータの動作仕様(2/2)

[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

$$\eta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5$$

$$\dot{\eta}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 + 4a_4 t^3 + 5a_5 t^4$$

$$\ddot{\eta}(t) = 2a_2 + 6a_3 t + 12a_4 t^2 + 20a_5 t^3$$

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

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

→Symbolic Math Toolboxによるスクリプト

syms(シンボリック変数の宣言)

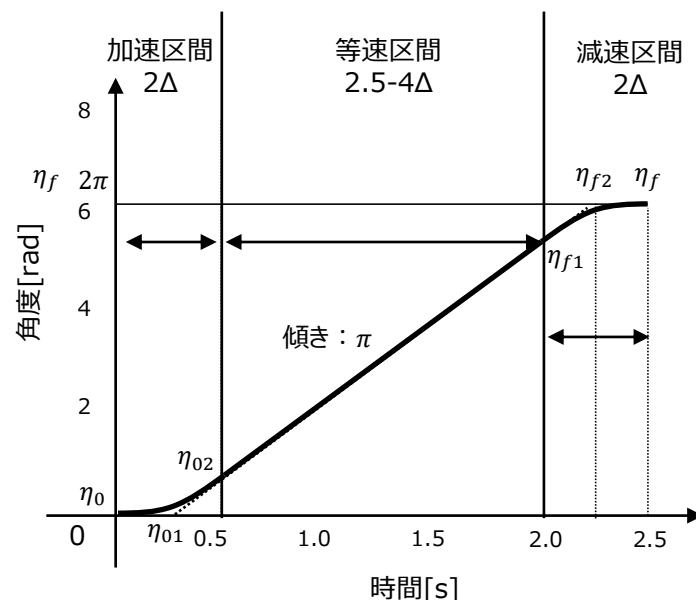
Symbolic_sample1.m

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

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

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

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



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

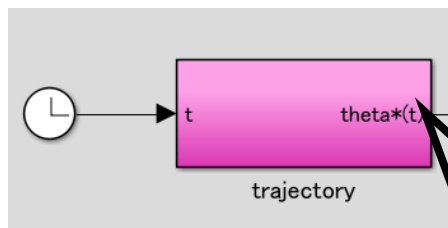
$$t_0 = 2, t_f = 2.5, \eta_0 = 2\pi - \Delta\pi, \dot{\eta}_0 = \pi, \ddot{\eta}_0 = 0, \eta_f = 2\pi, \dot{\eta}_f = 0, \ddot{\eta}_f = 0$$

Symbolic_sample3.m

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

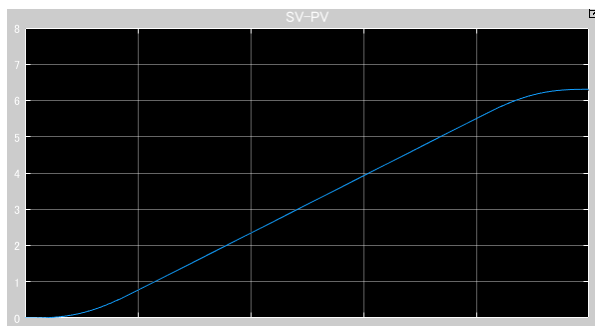
位置目標の軌道関数（参照軌道） 計算(3/3)

○Simulink上でのモデル作成

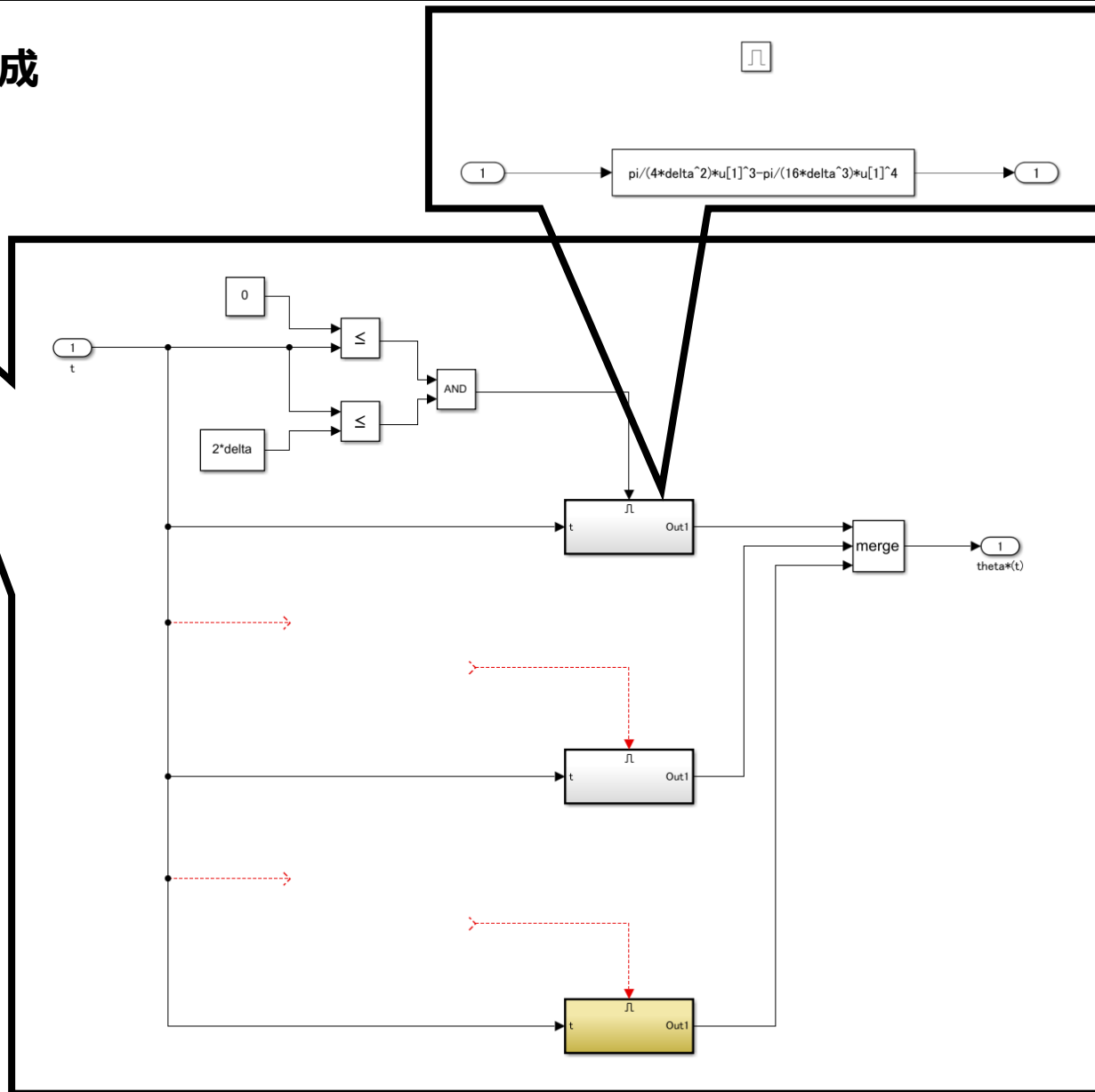


○初期化パラメータの記述

%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

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

$L = T - U$ U は \dot{q}_i 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

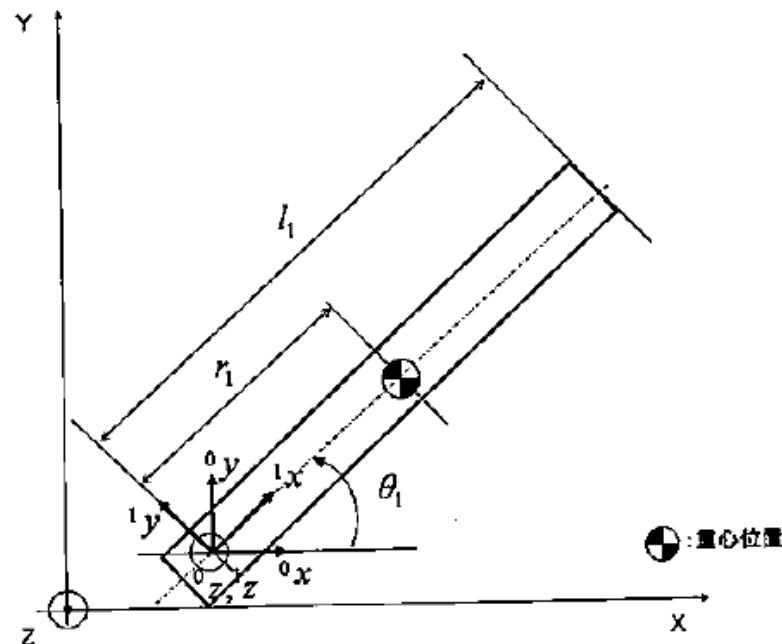
・モータ・ギアの質量, 慣性の影響は無視

・固定座標系(0), リンクに固定した座標系(1)

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

・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 $q_1 = \theta_1$)

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

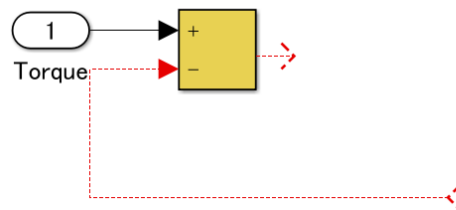
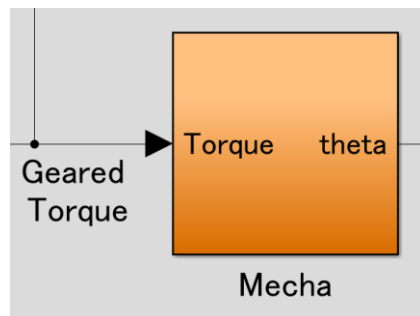
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = m_1 r_1^2 \ddot{\theta}_1 + I_{zzg1} \ddot{\theta}_1 \quad \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial \left(\frac{1}{2} c_1 \dot{\theta}_1^2 \right)}{\partial \dot{\theta}_1} = c_1 \dot{\theta}_1$$

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-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)

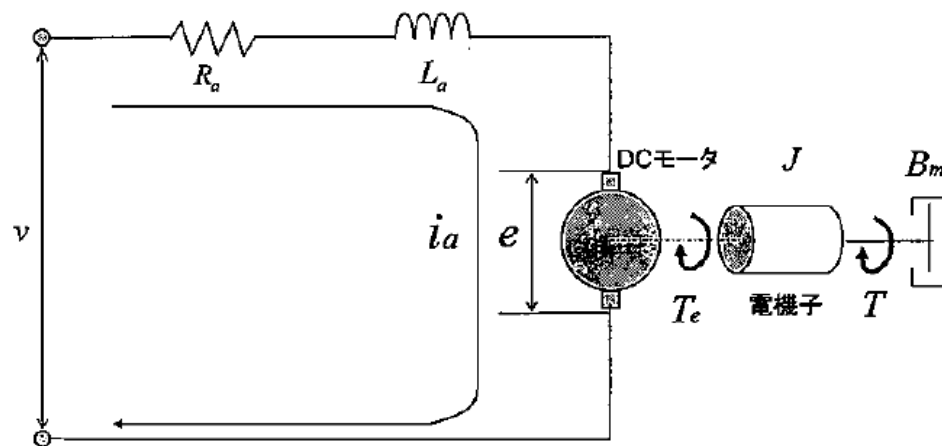
歯車1の歯数 n_1

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

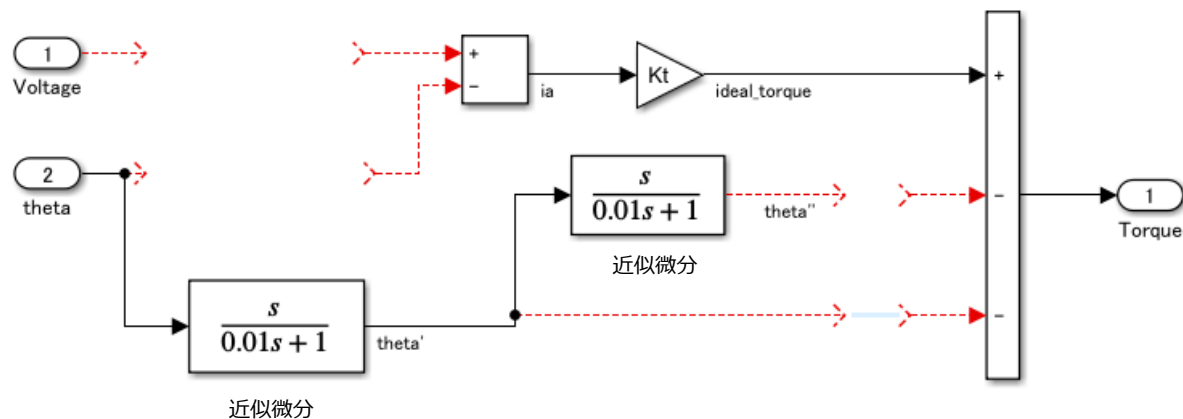
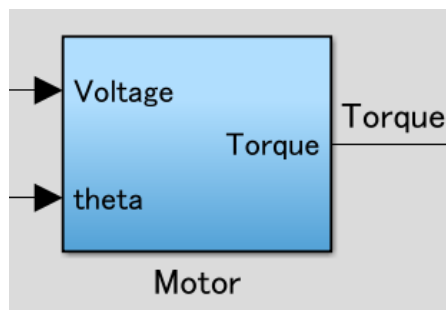
$$\tau_2 = (n_2/n_1)(\tau_1 - c\tau_1) = N \cdot (1 - c) \cdot \tau_1 = N \cdot E \cdot \tau_1$$

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

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[-]

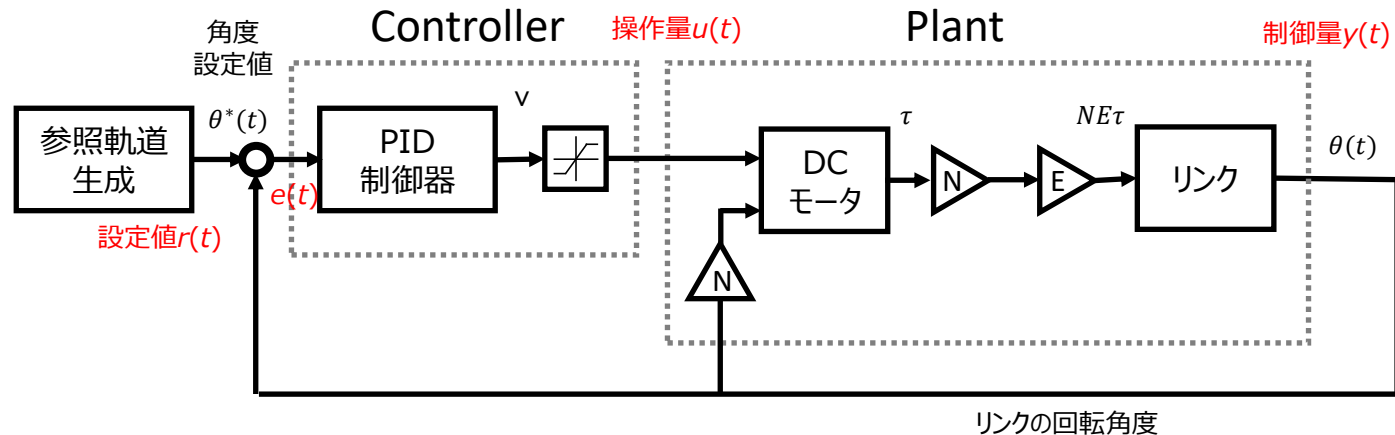
E = 0.7;%伝達効率[-]

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

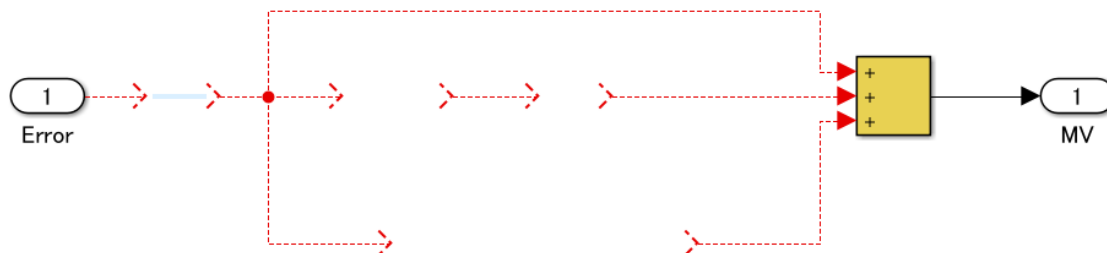
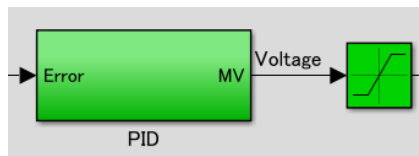
$$u(t) = k_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt})$$

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

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

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

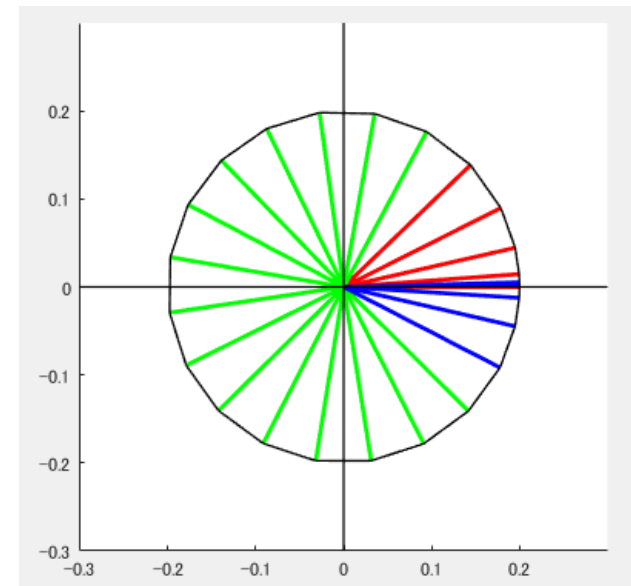
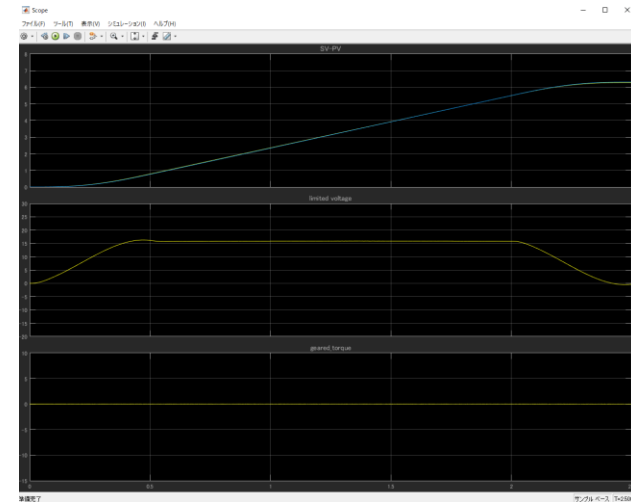
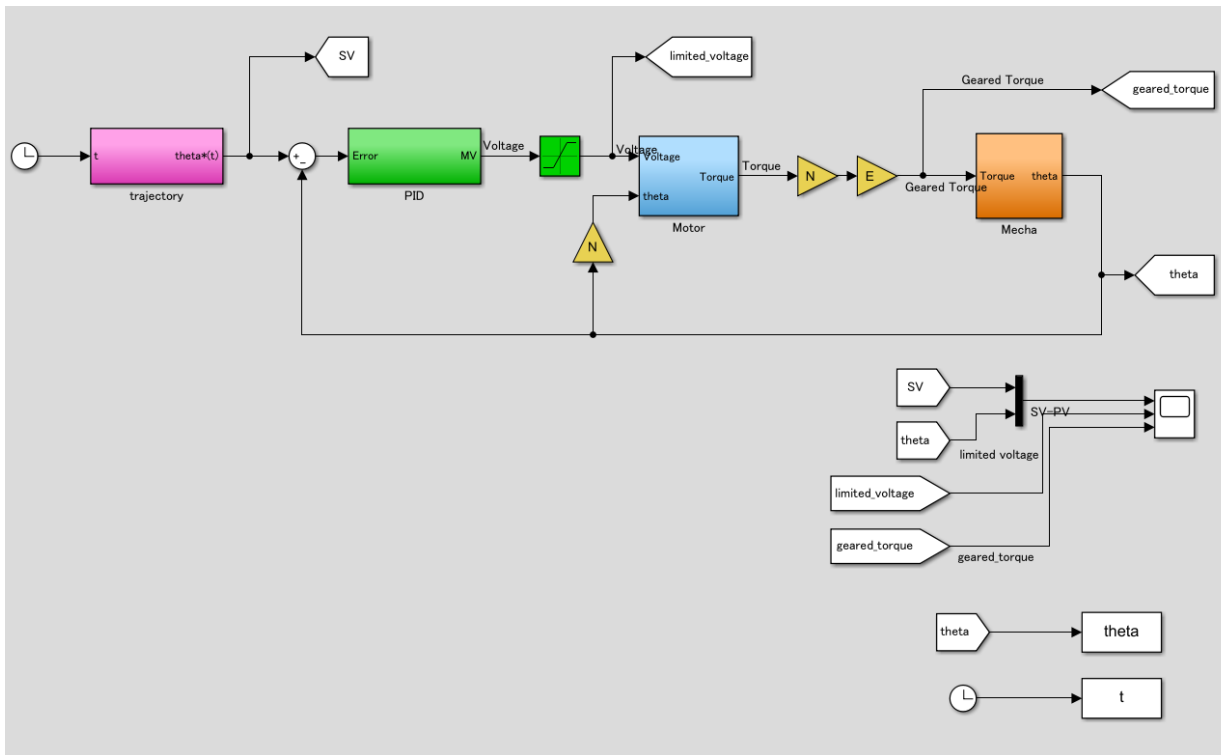
Kp = 100; %比例ゲイン

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

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。

6/4(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>

Stateflowの基礎

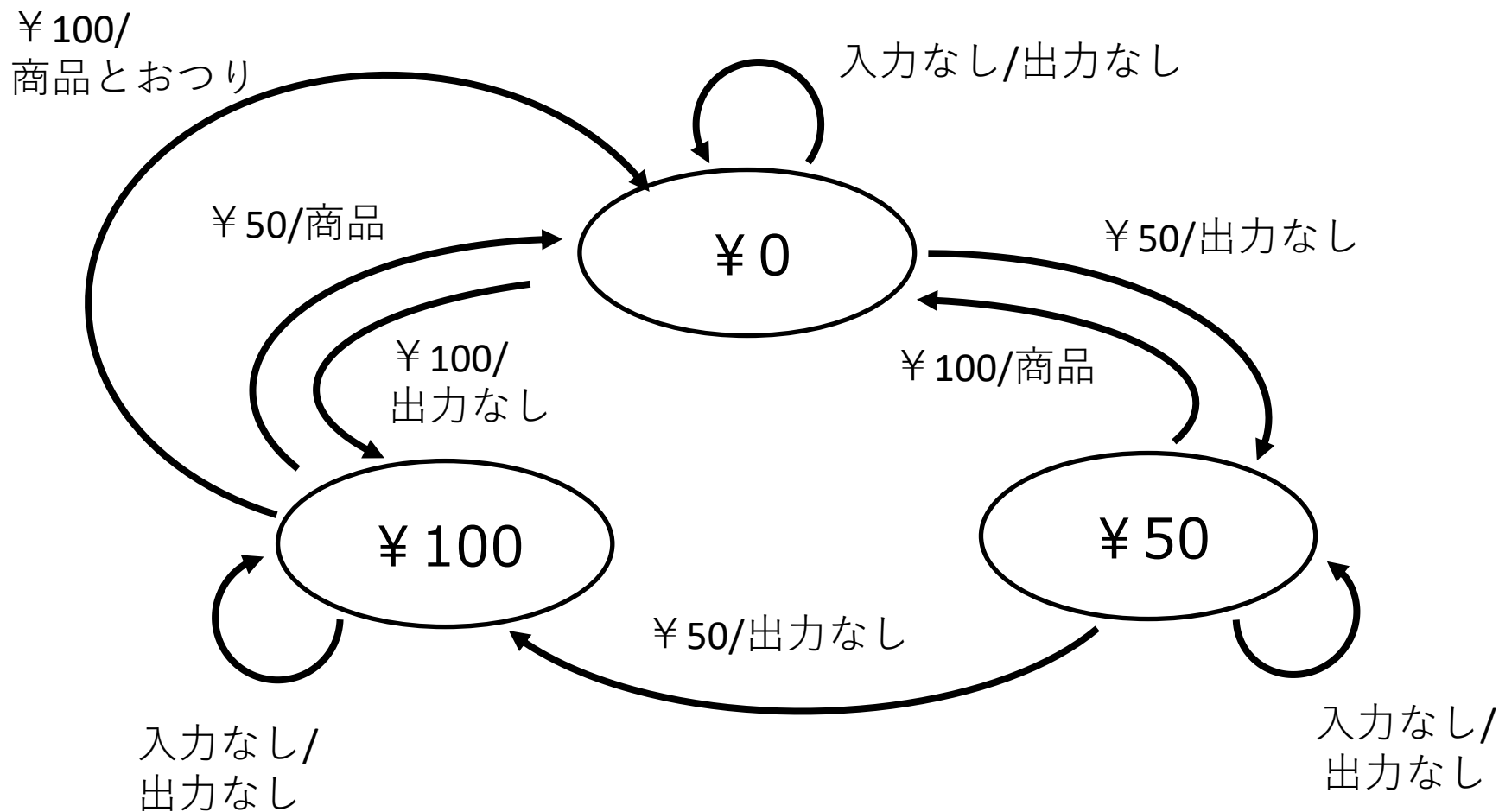
Stateflowの基礎(1/4)

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}

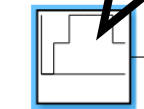
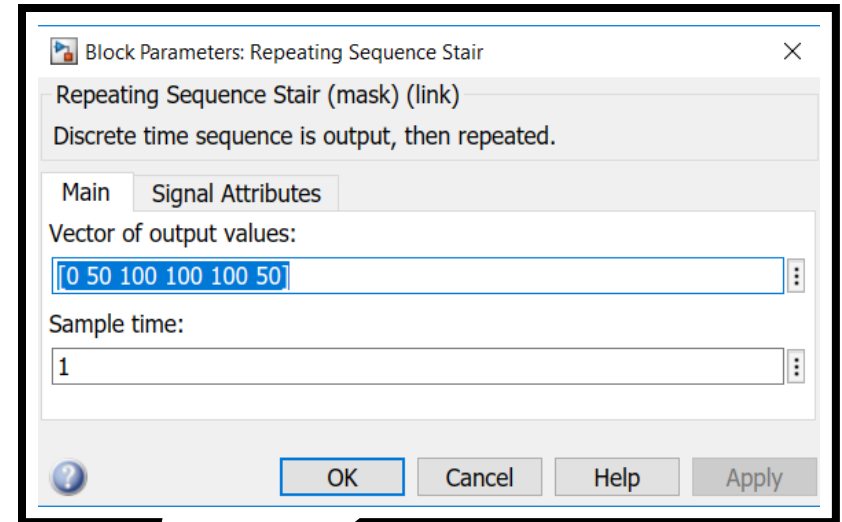
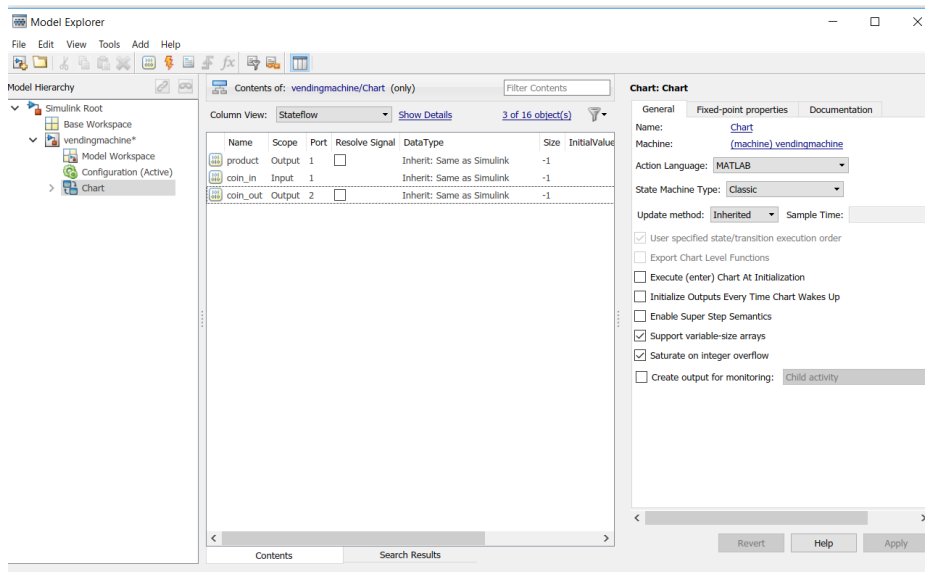
Stateflowの基礎(2/4)



Stateflowの基礎(3/4)

Stateflow: input port/output port

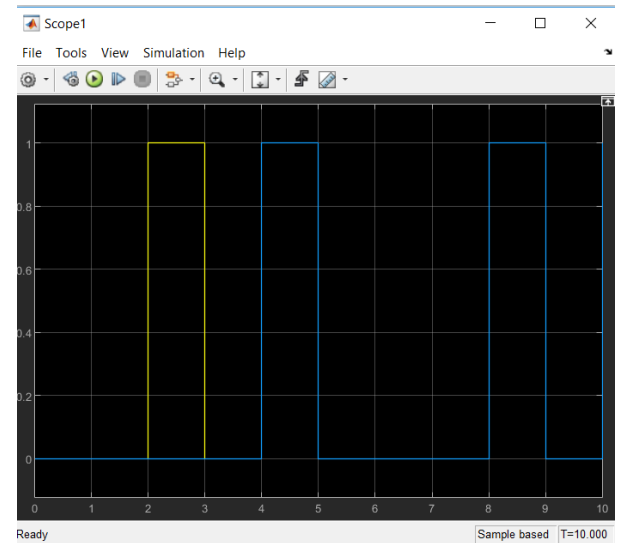
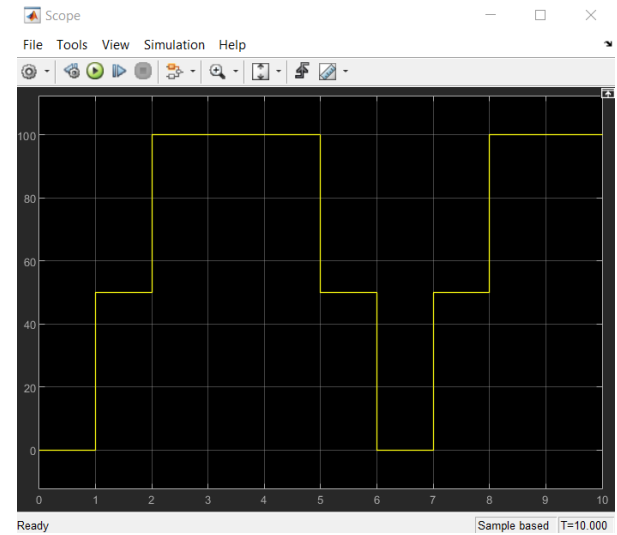
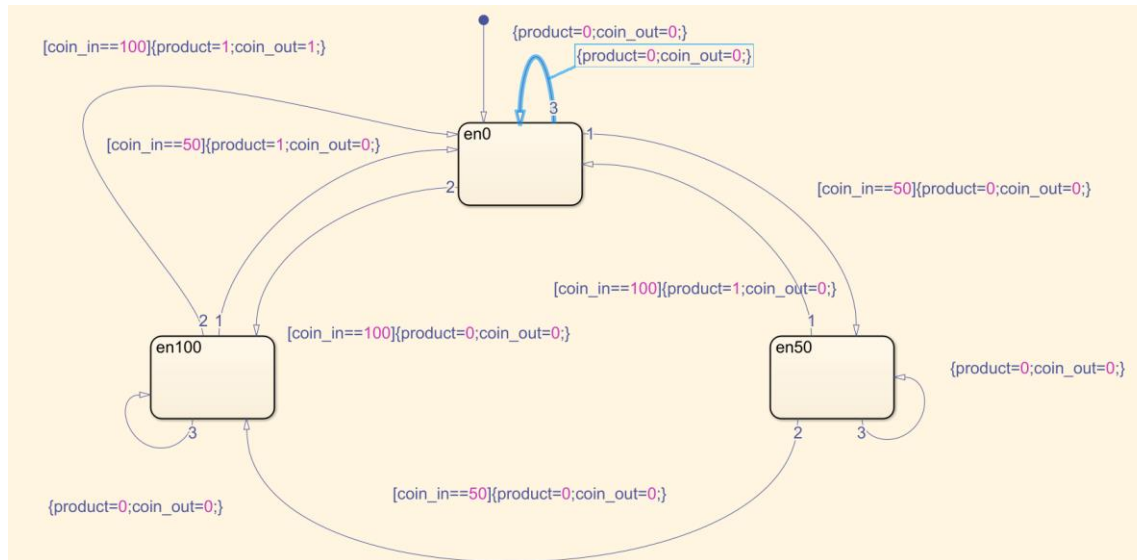
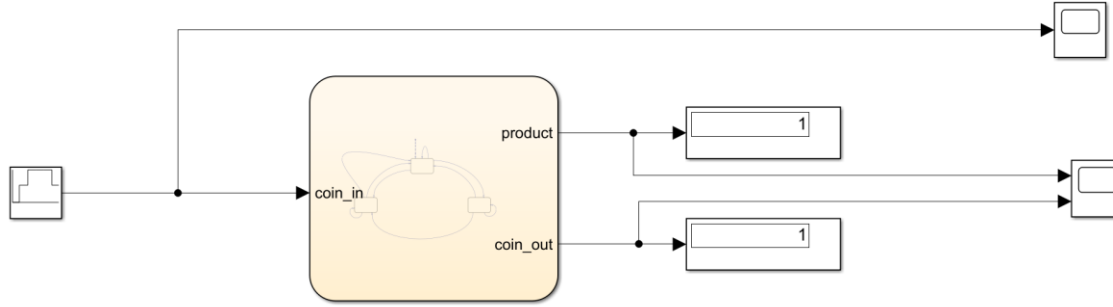
Model Explorer



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

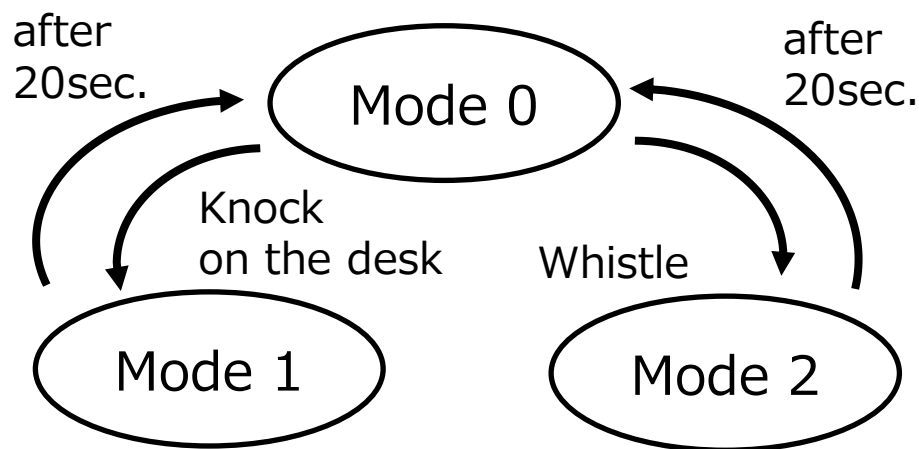
口笛が聞こえたらモード2へ

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.