

第 8 章 : フィードバック制御系の設計法

8.2 PID補償による制御系設計

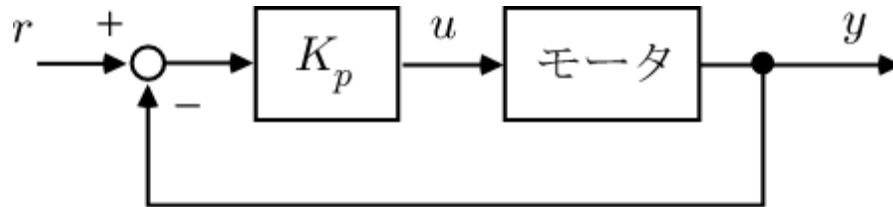
キーワード : PD制御, PI制御

学習目標 : モータのPD制御, PI制御ができる。

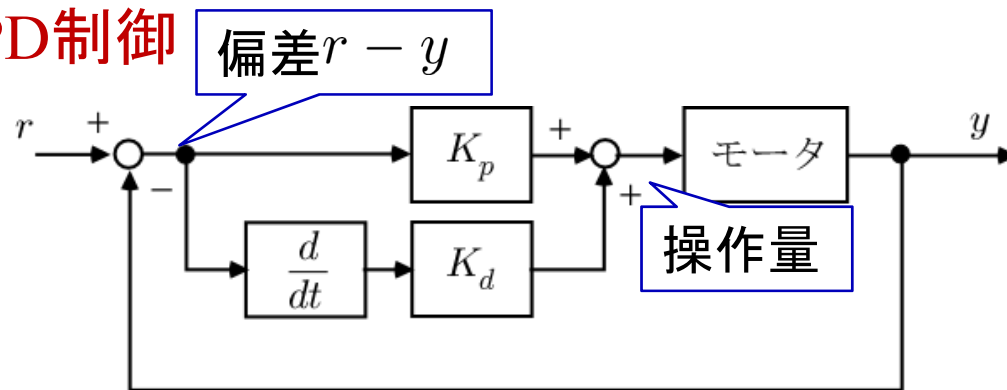
8 フィードバック制御系の設計法

8.2 PID補償による制御系設計

P制御

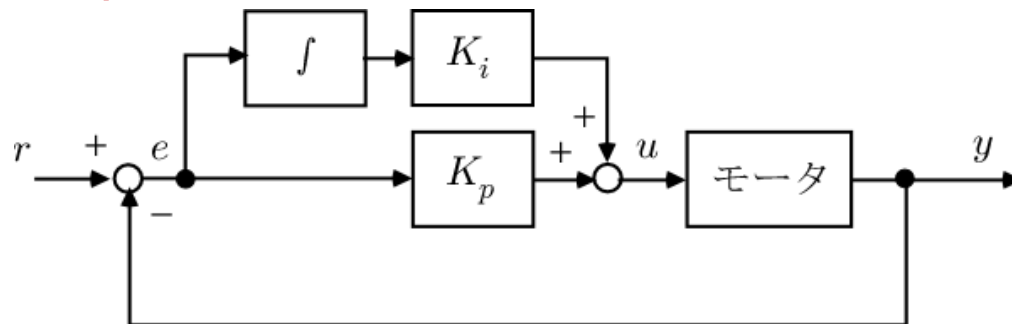


PD制御



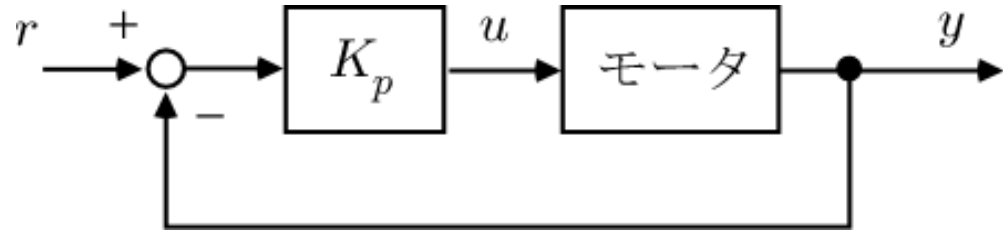
偏差が増加(減少)しつつあるとき, その先を見越して操作量を大きく(小さく)する

PI制御

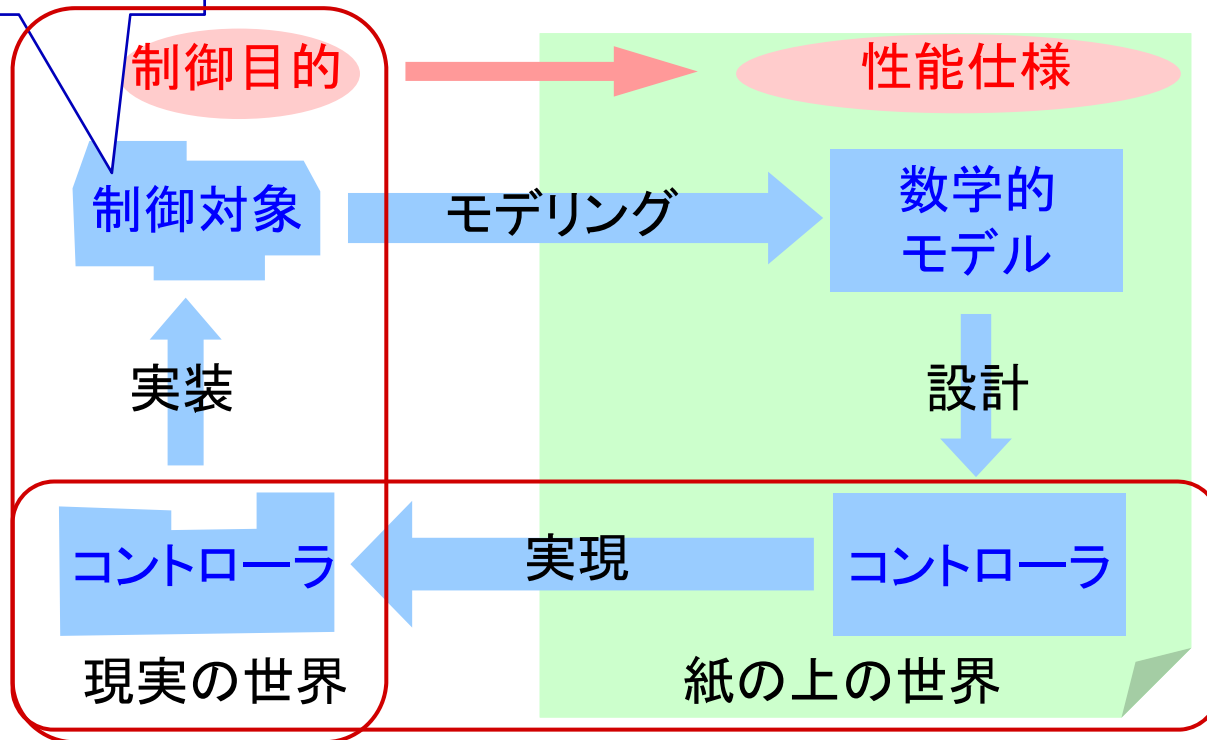


偏差が残っている限り, これが積分されて操作量に反映される

制御系の設計手順



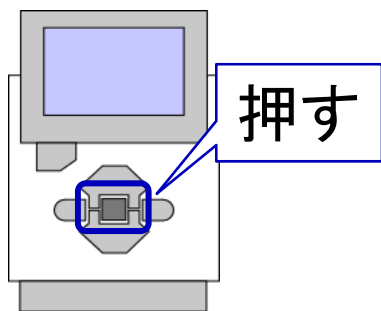
LEGOのモータ



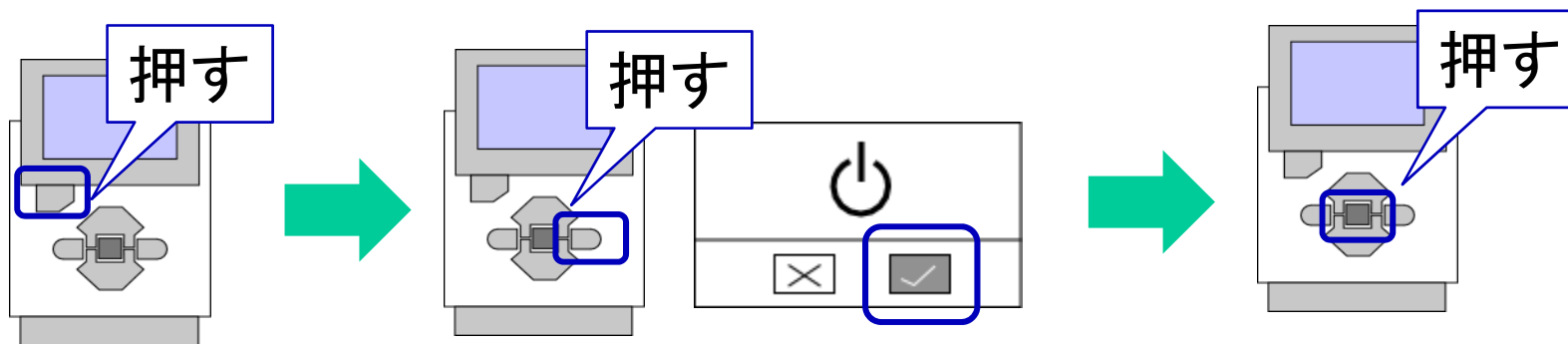
PI制御, PD制御のコントローラを設計

【確認】電源のONとOFF

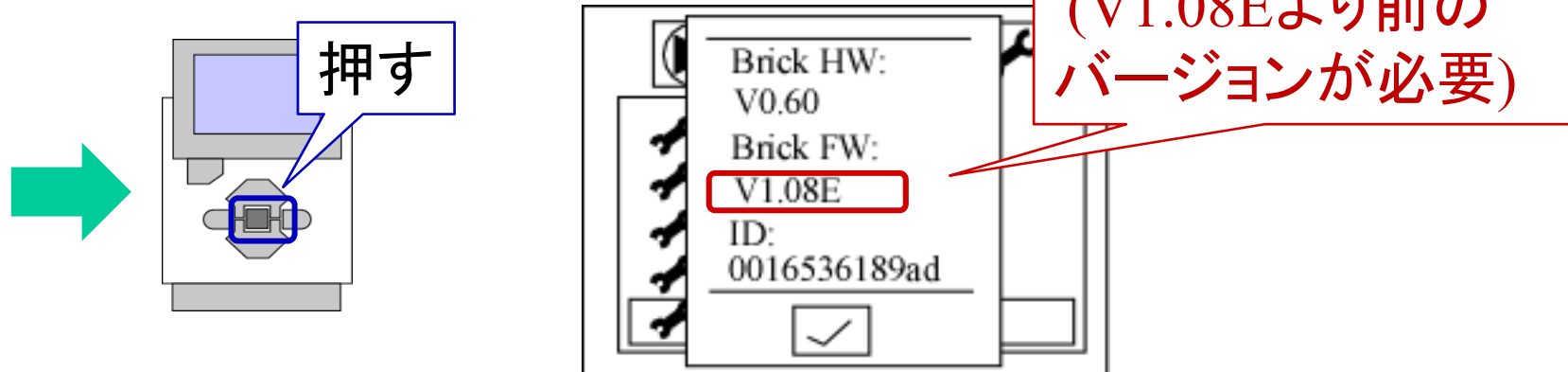
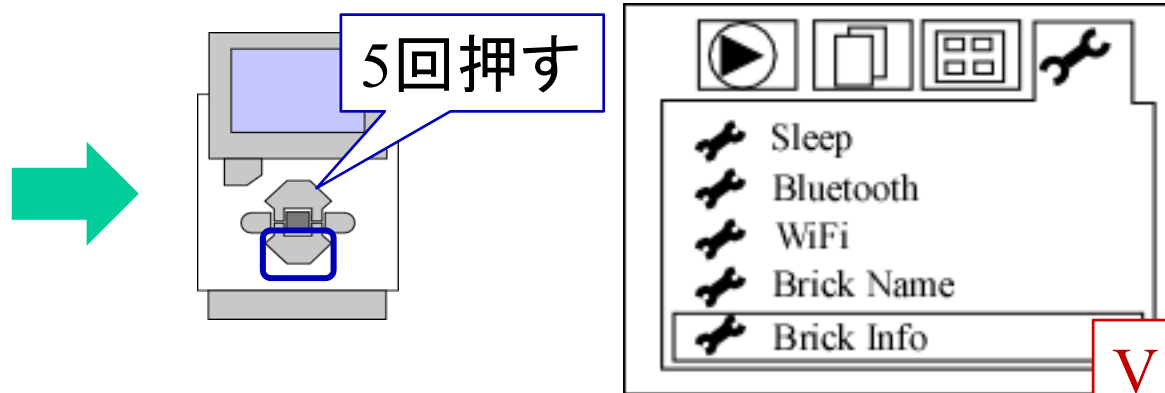
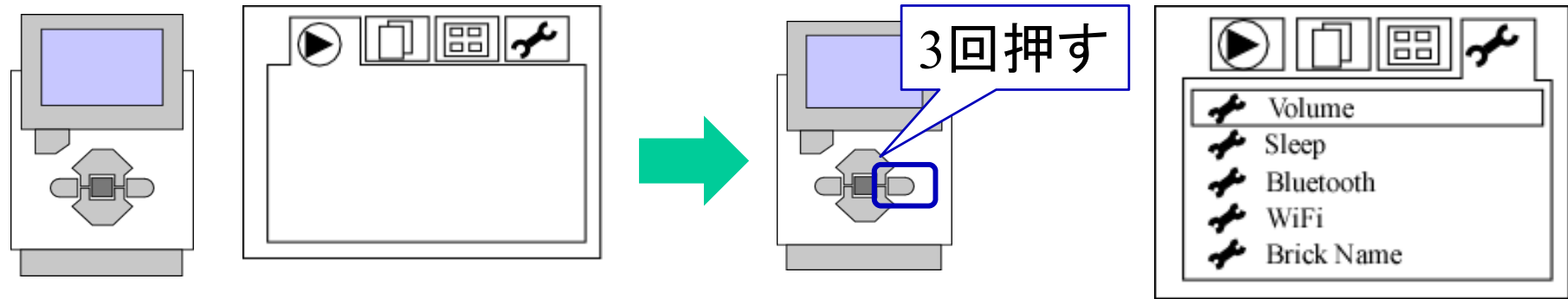
EV3の電源ON



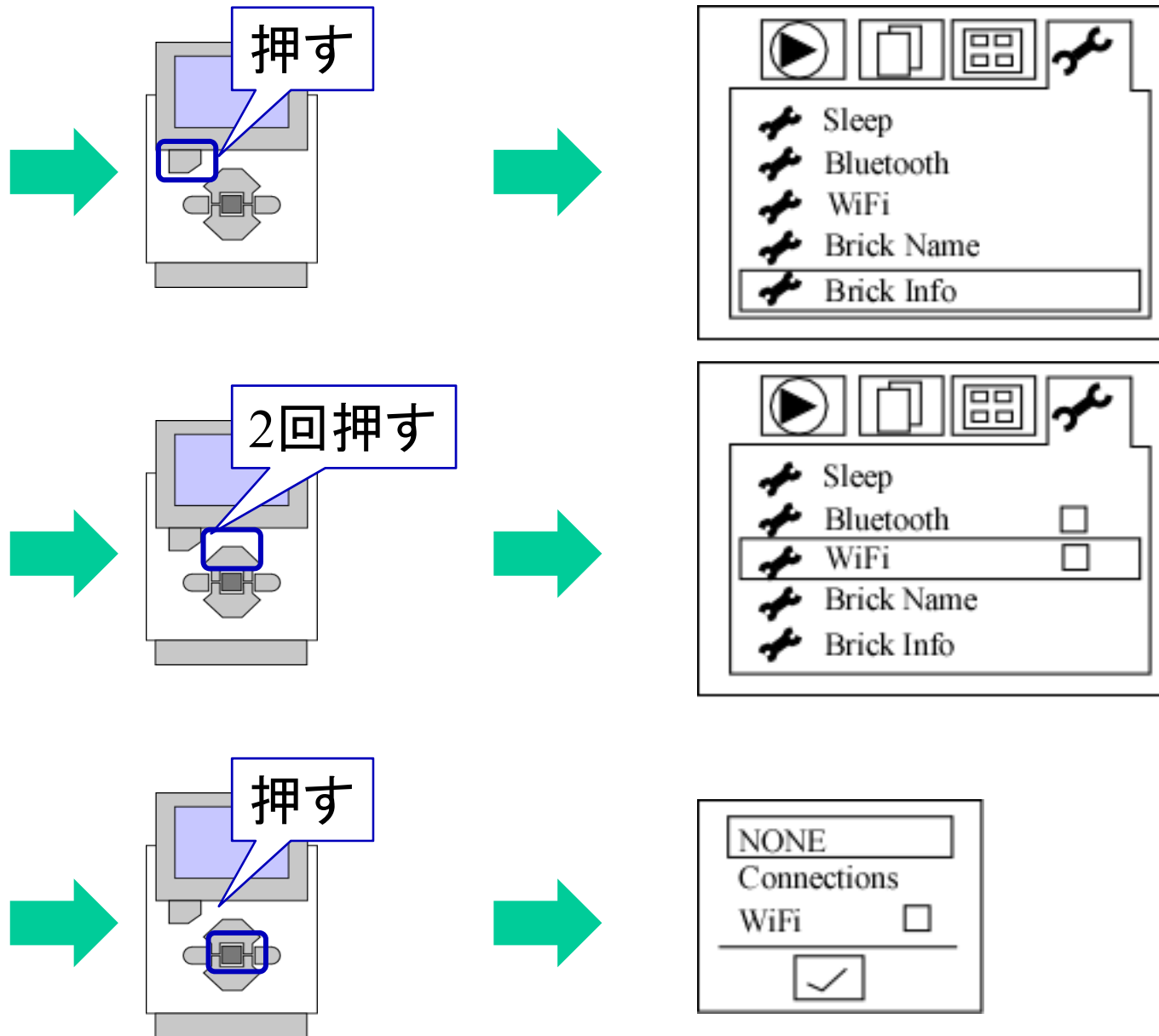
EV3の電源OFF

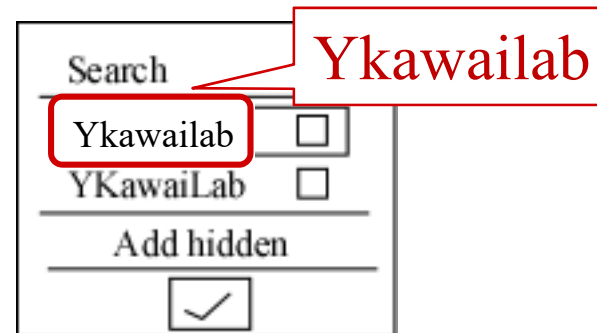
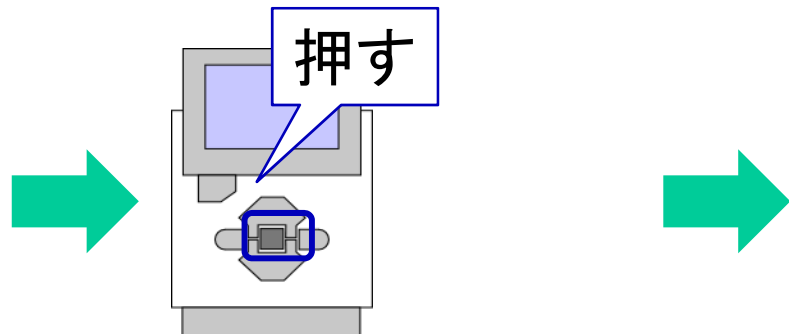
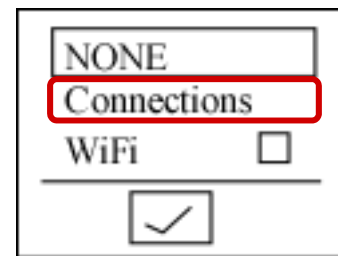
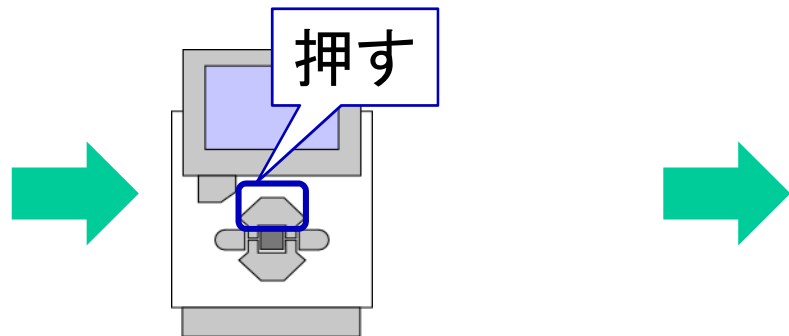
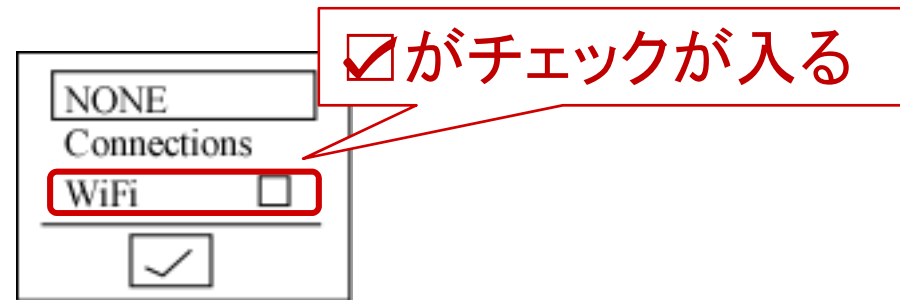
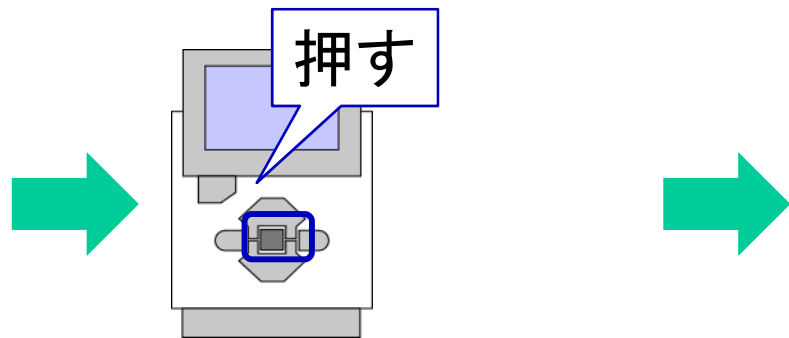
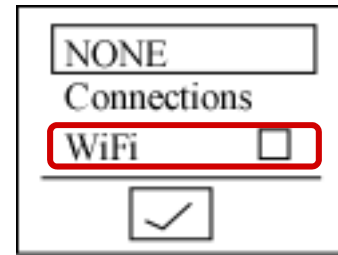
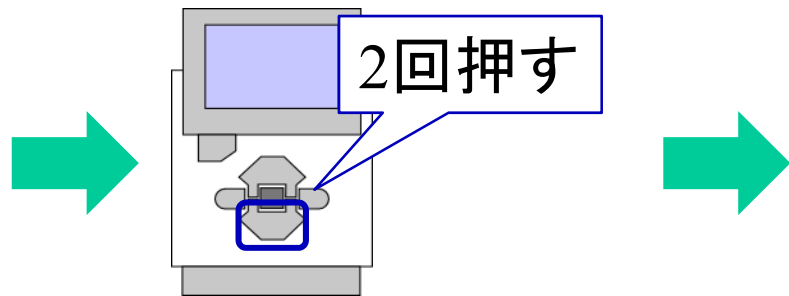


【確認】ファームウェアの確認(今回は省略)

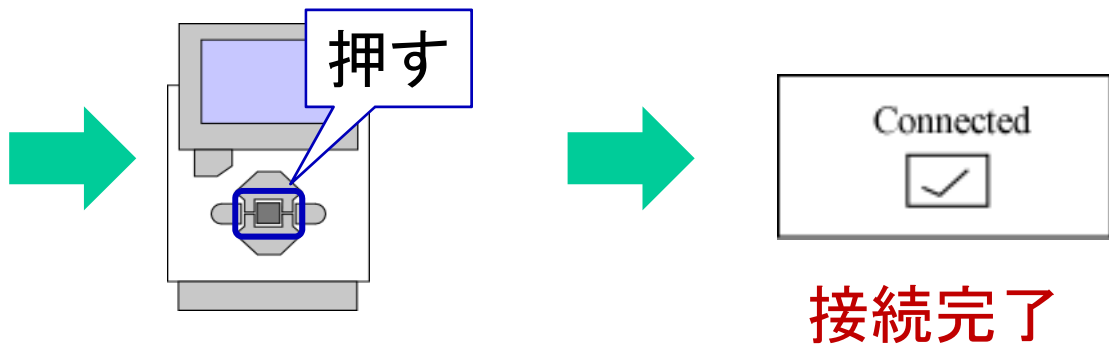
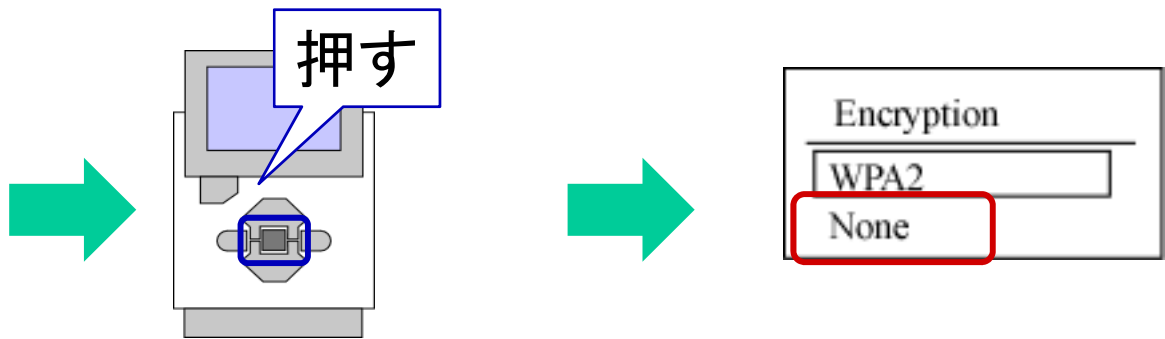
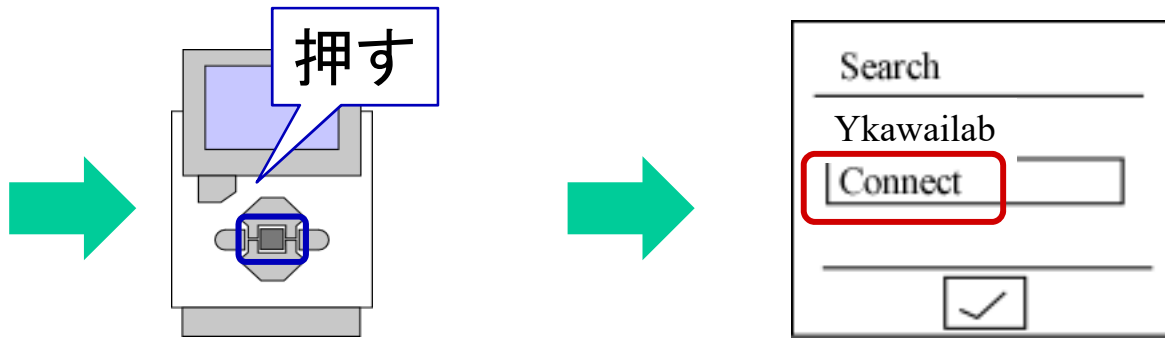


WiFi 接続(LEGO設定)

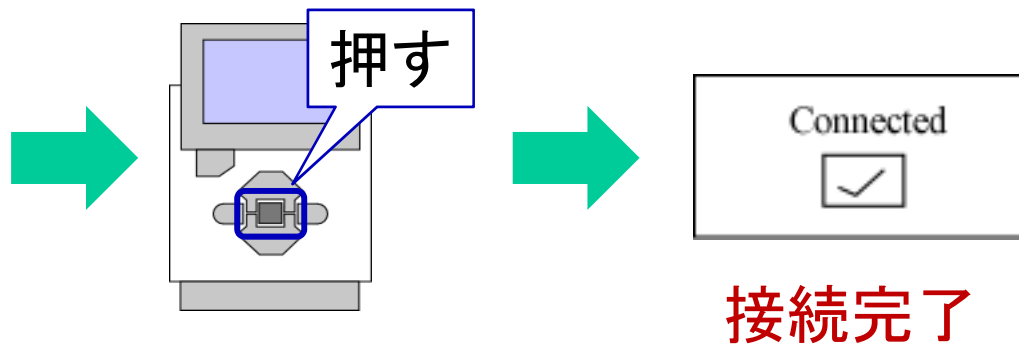
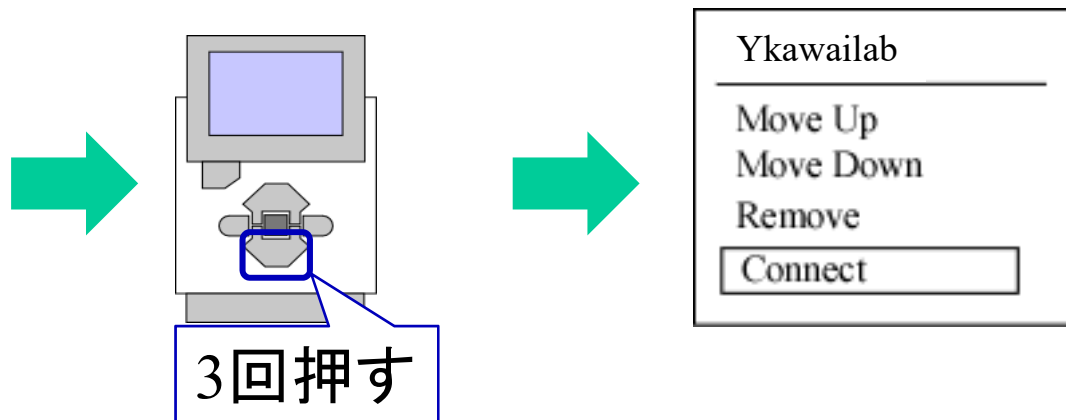
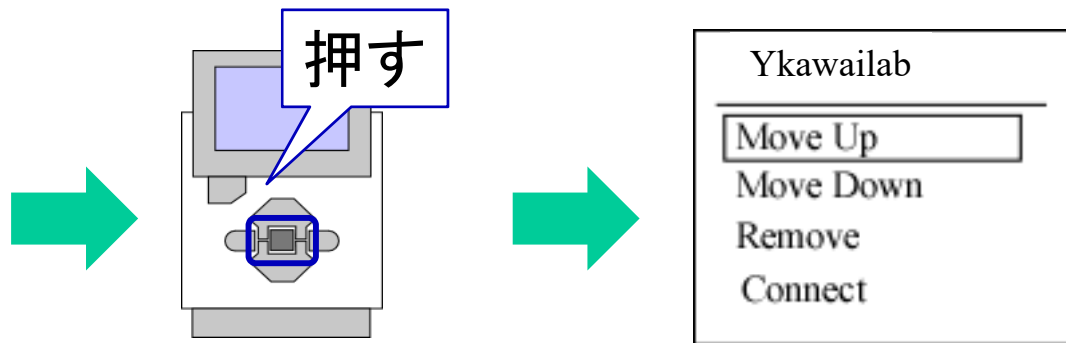




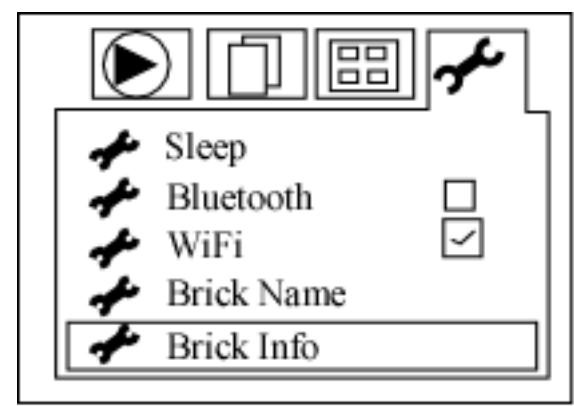
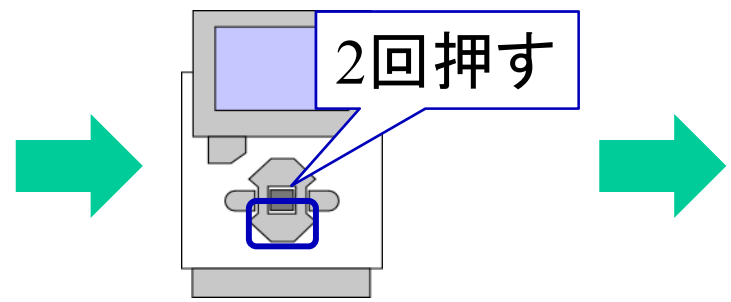
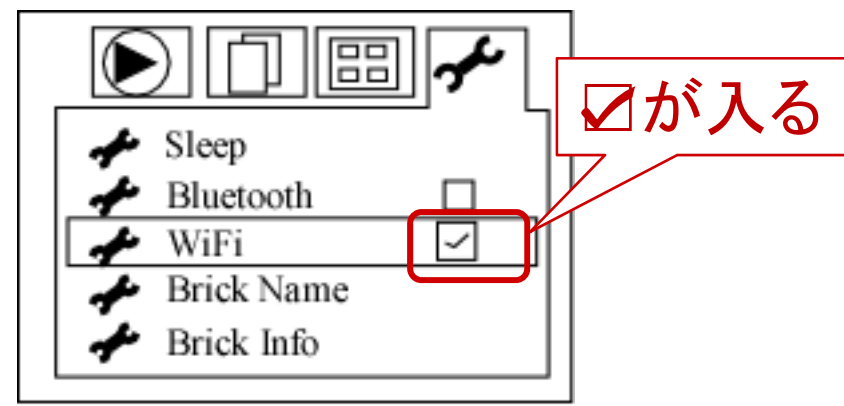
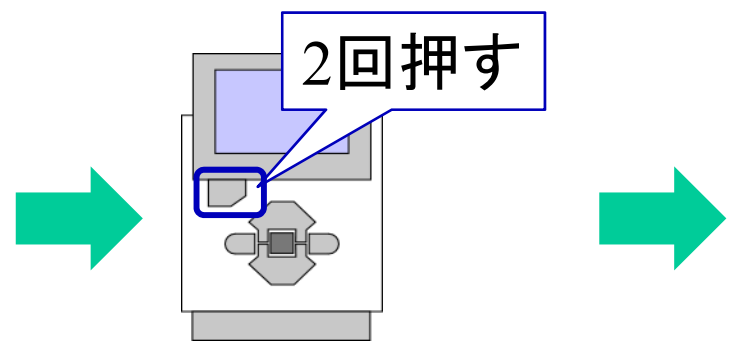
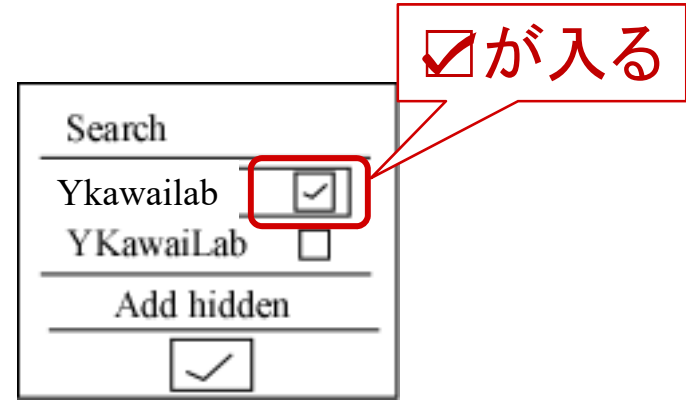
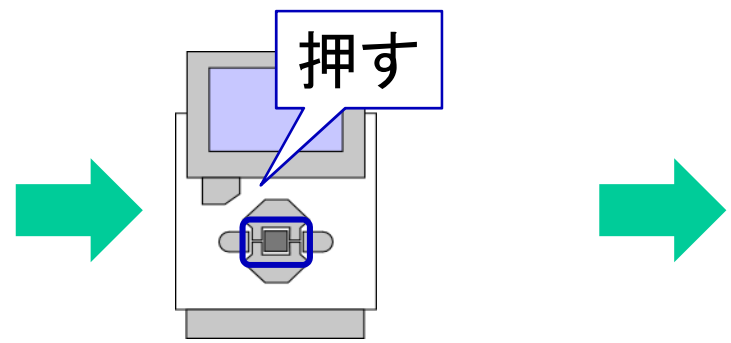
1回目のとき

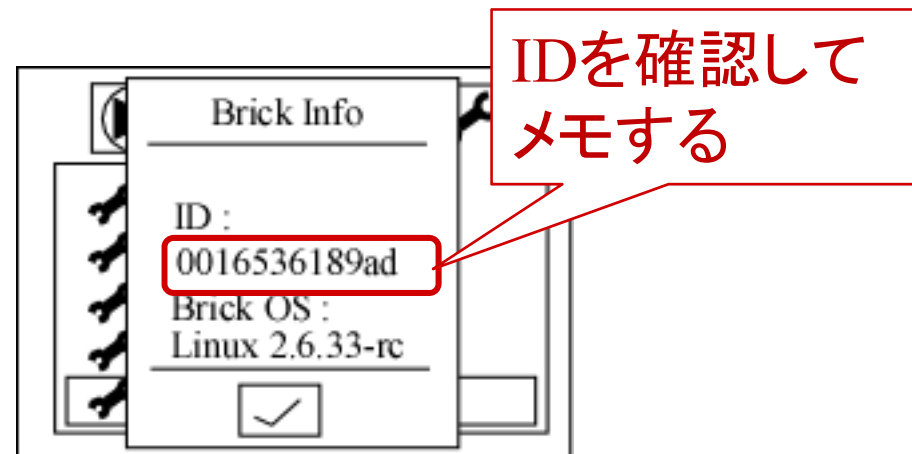
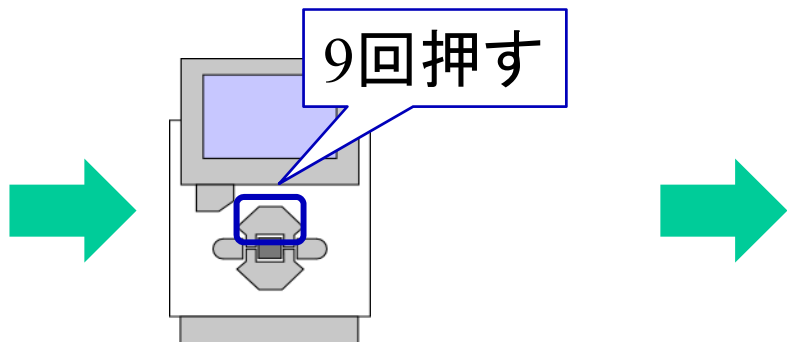
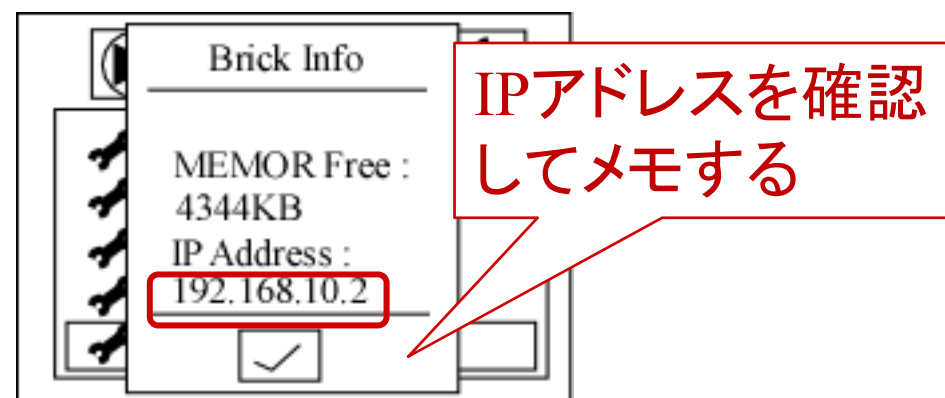
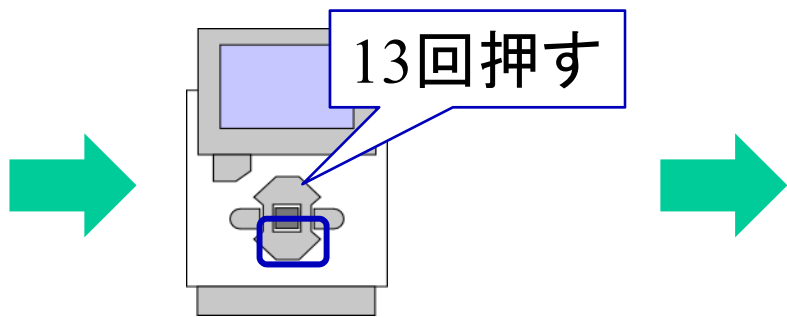
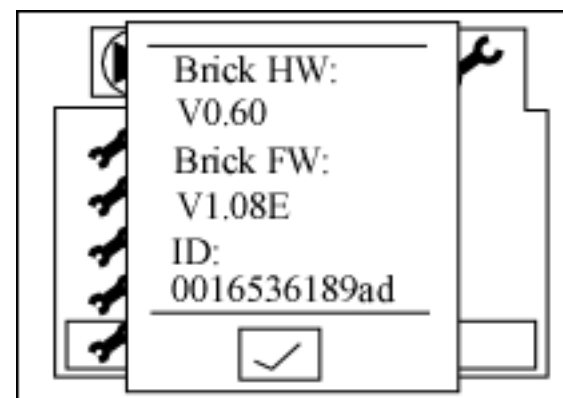
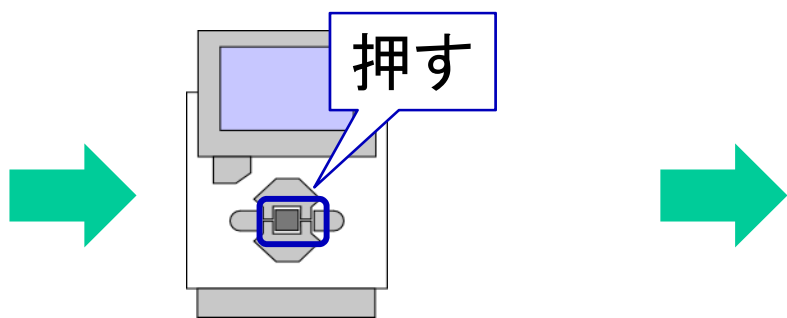


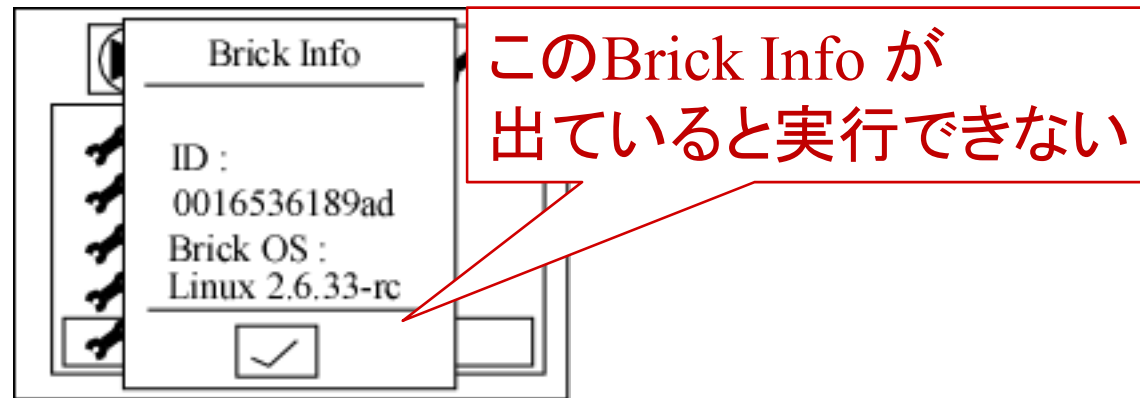
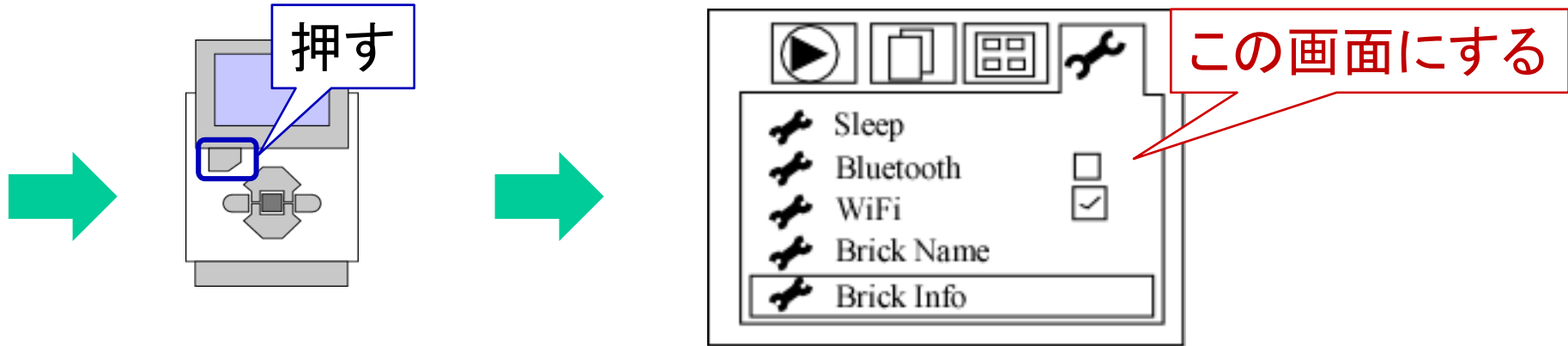
(2回目以降のとき)



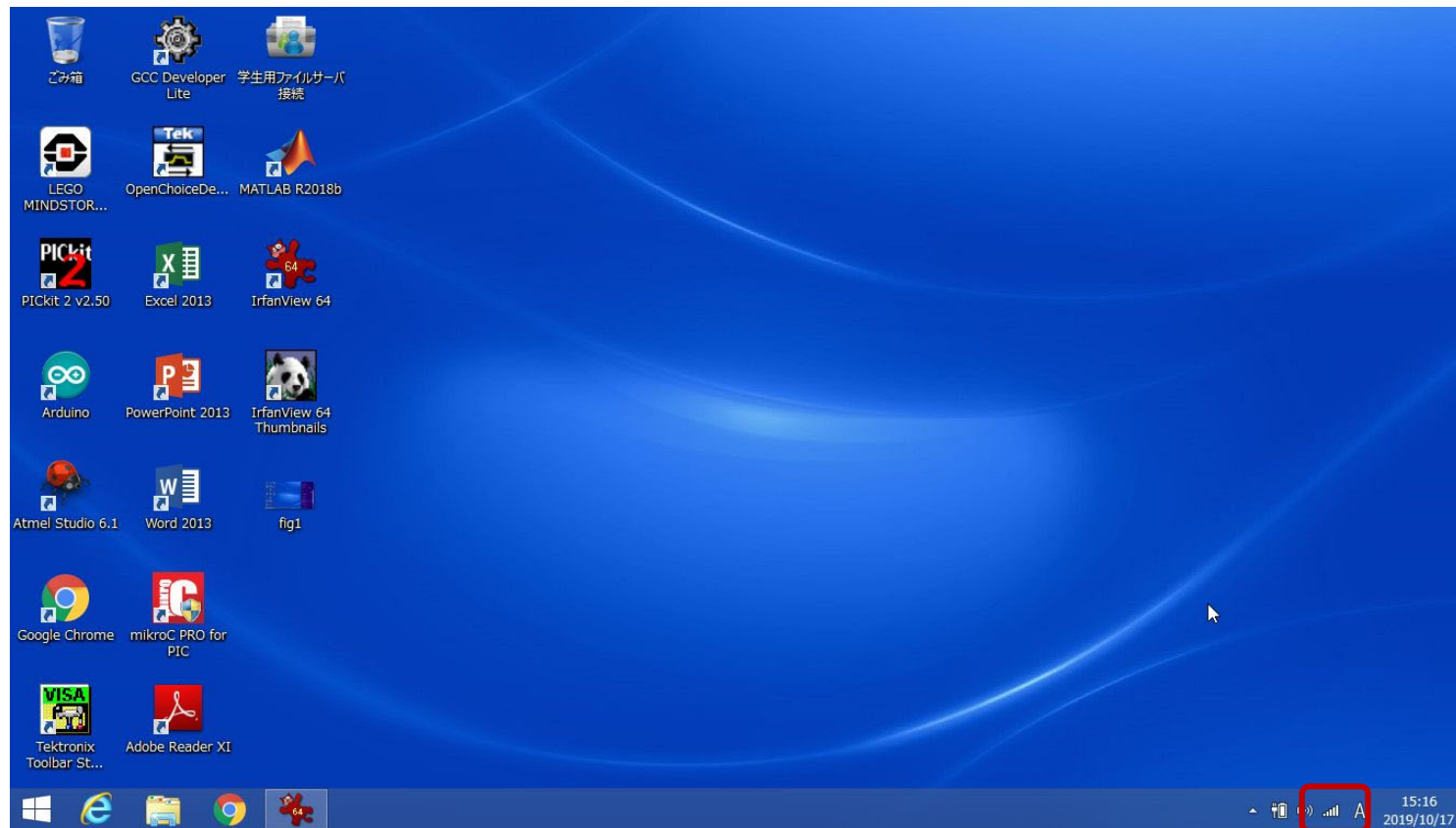
接続が完了したら







WiFi 接続(PC設定)



押す



ファイルのダウンロード

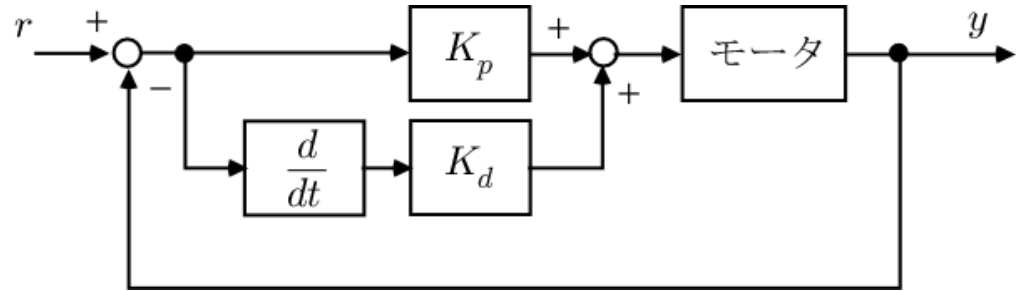
ホームページより「data4.zip」をダウンロード

http://www.ishikawa-nct.ac.jp/lab/E/y_kawai/www/course/CE2/19CE2/19CE2_Handouts.html

Zip ファイルを解凍

PD制御

PIDcontrol.slx を実行



モータの数式モデル

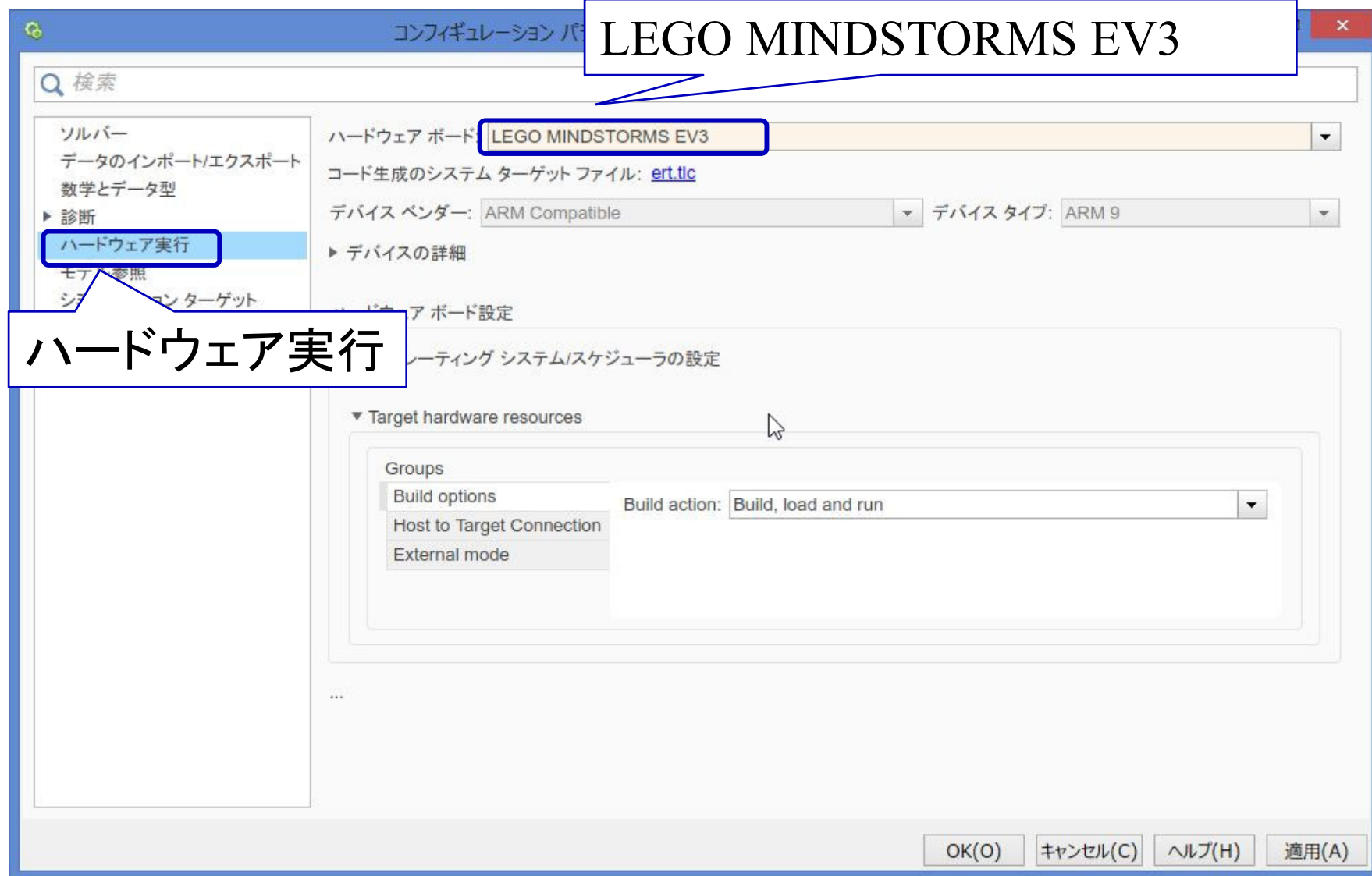
目標値を上側に切り替える

LEGOのモータ

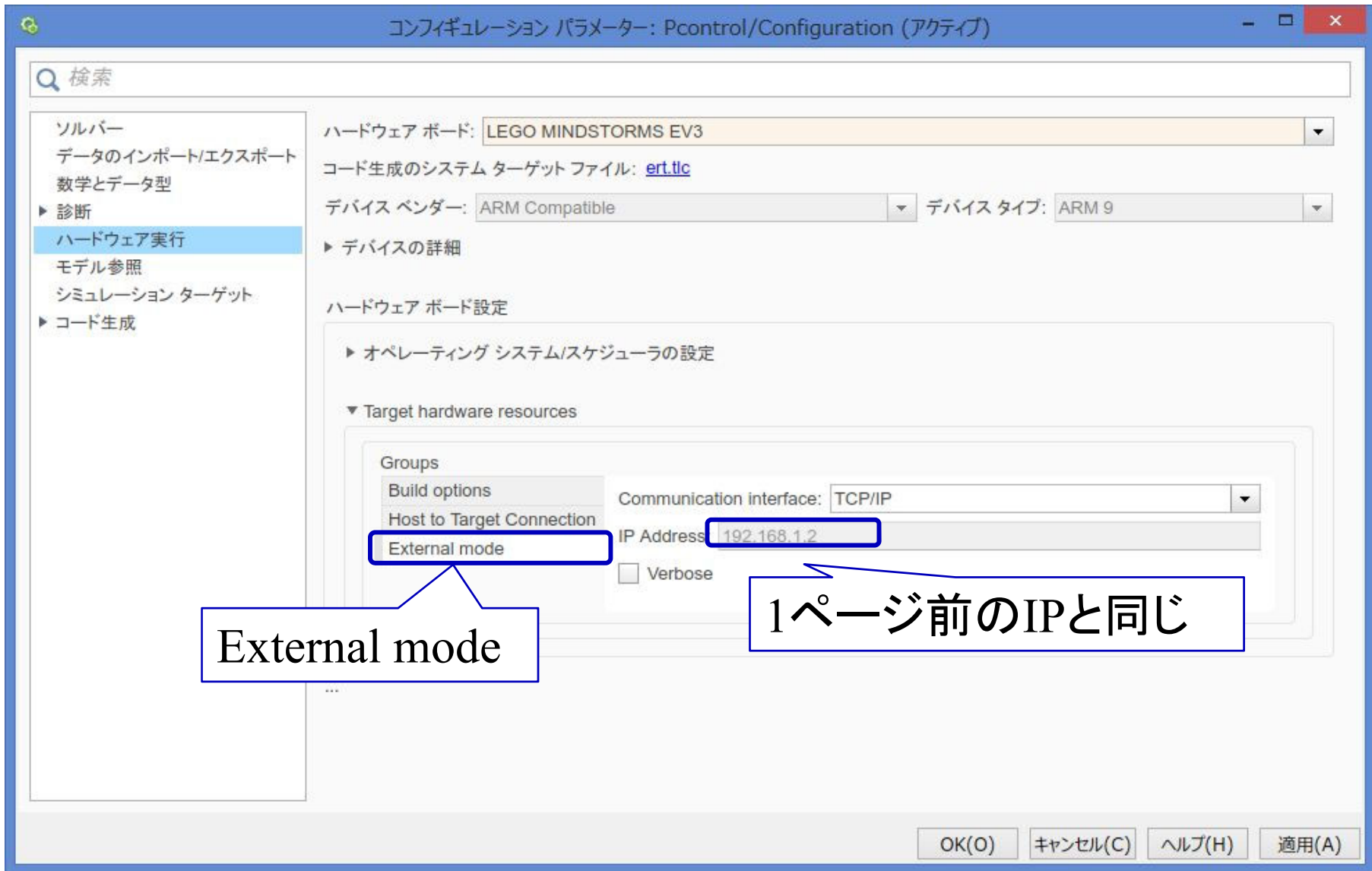
シミュレーション

The screenshot shows the Simulink environment with a PID control system. The menu bar includes options like 'シミュレーション(S)', '解析(A)', 'コード(C)', 'ツール(T)', and 'ヘルプ(H)'. The 'シミュレーション(S)' menu is expanded, showing options such as '実行(R)', '停止(T)', and 'モデルコンフィギュレーションパラメータ(F)'. The main workspace contains a 'PID制御' block with 'I制御' and 'D制御' components, two 'LEGO EV3' motor blocks, and a scope. Red text labels indicate 'モータの目標角度', 'シミュレーションのモータの角度', 'モータの角度', and '制御入力'. The status bar at the bottom shows '準備完了' and 'ode3'.

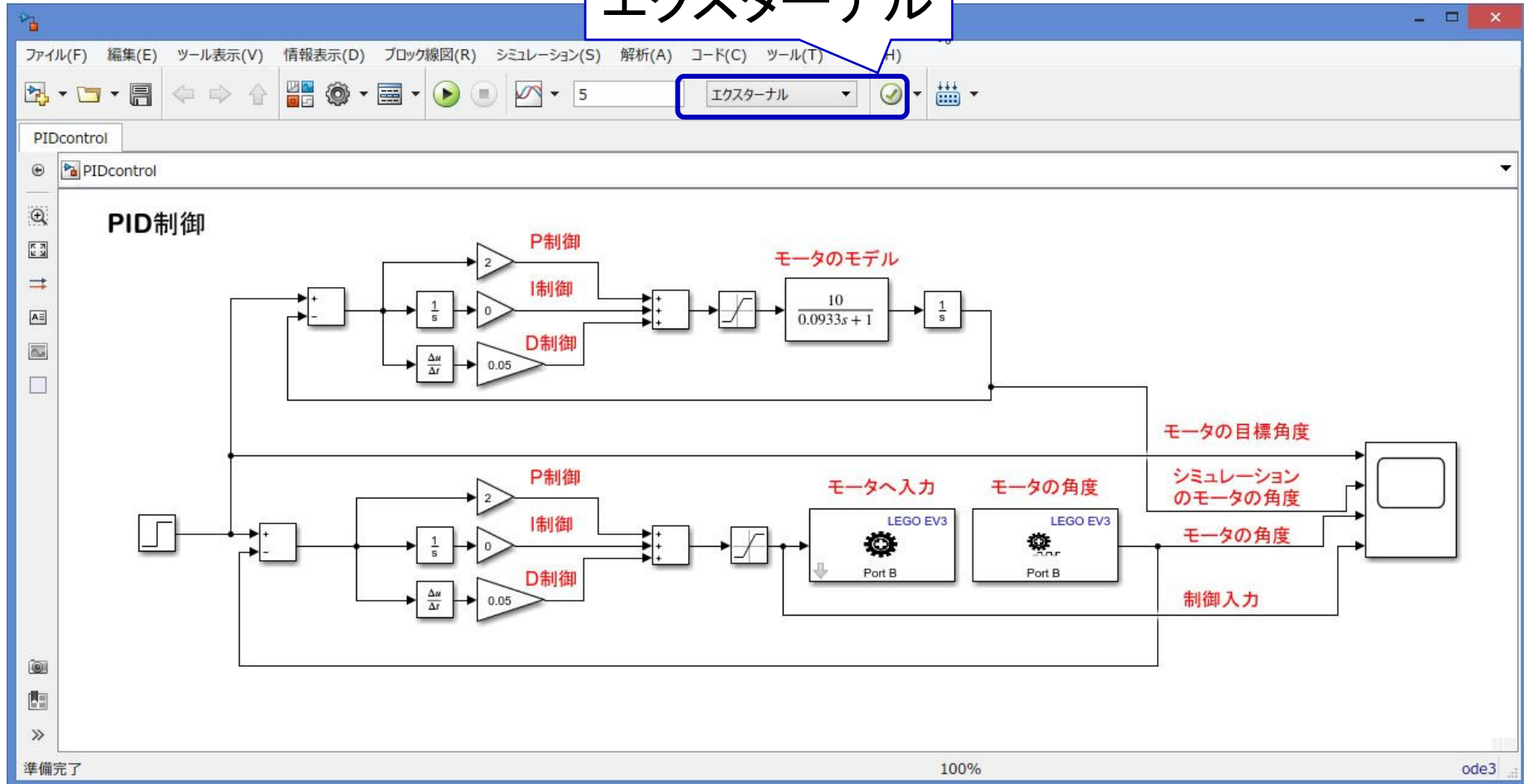
モデルコンフィグレーションパラメータ







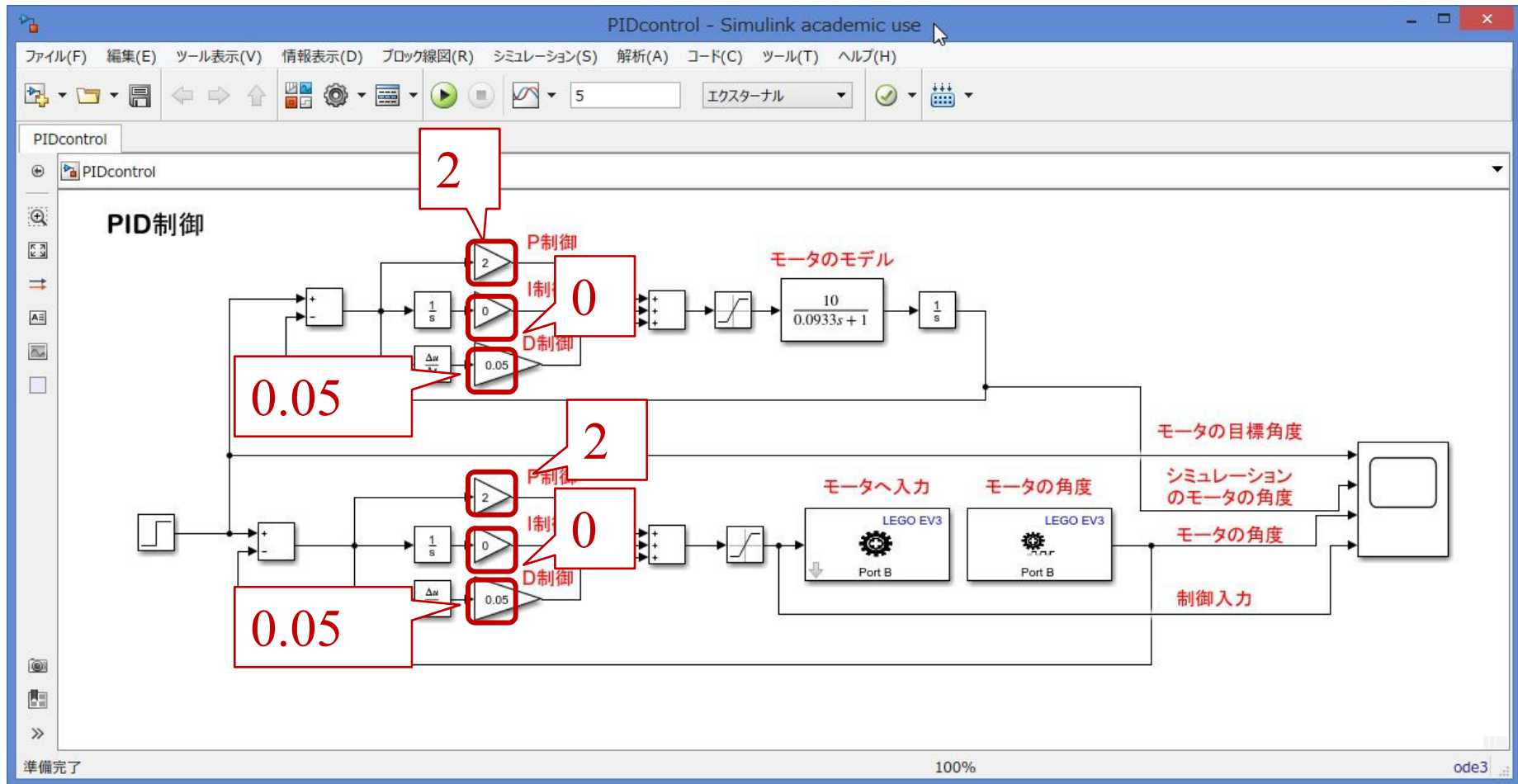
エクスターナル

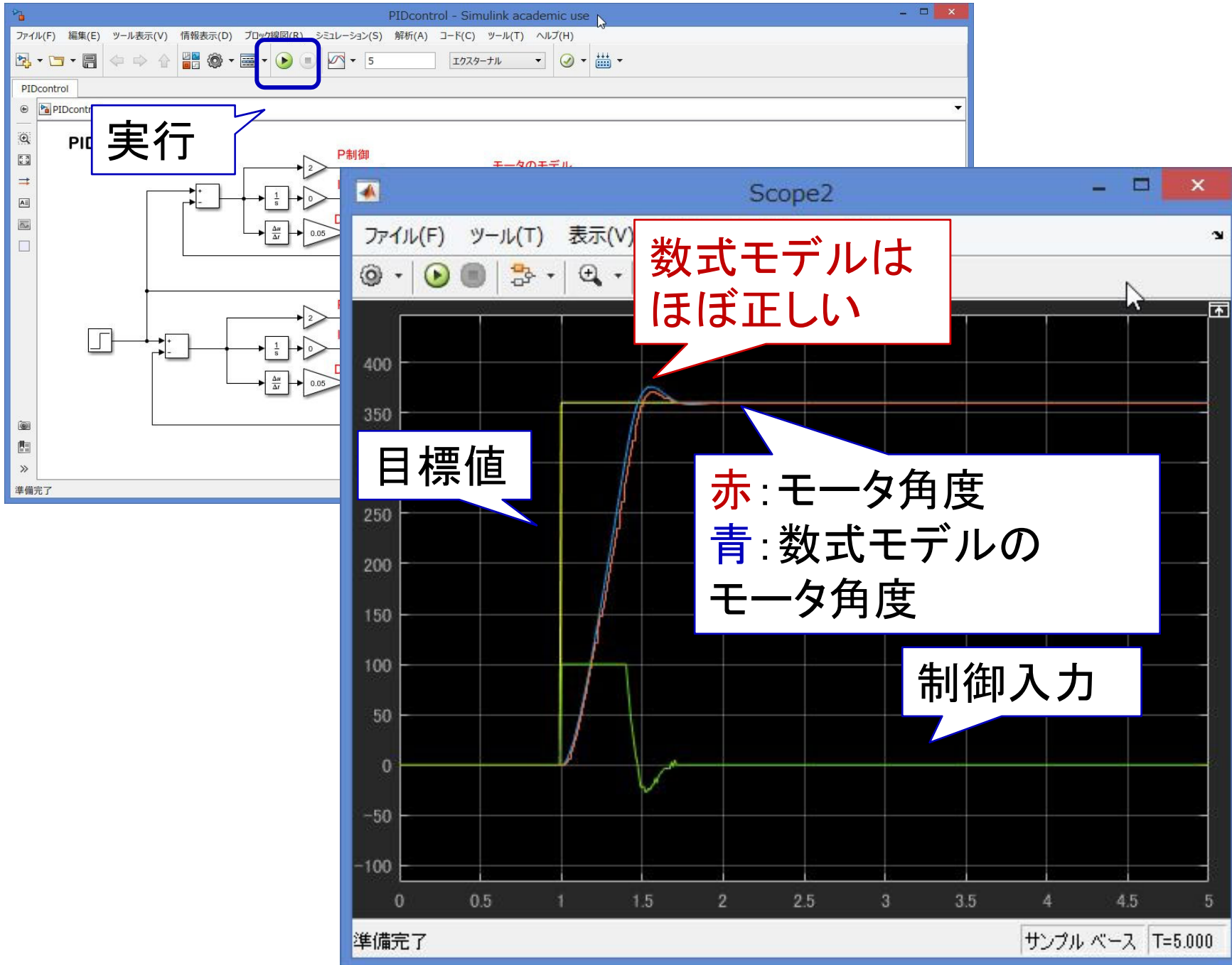


PD制御のパラメータの設計

$$K_{PD}(s) = K_P + K_D s$$

$$K_P = 2, K_D = 0.05$$

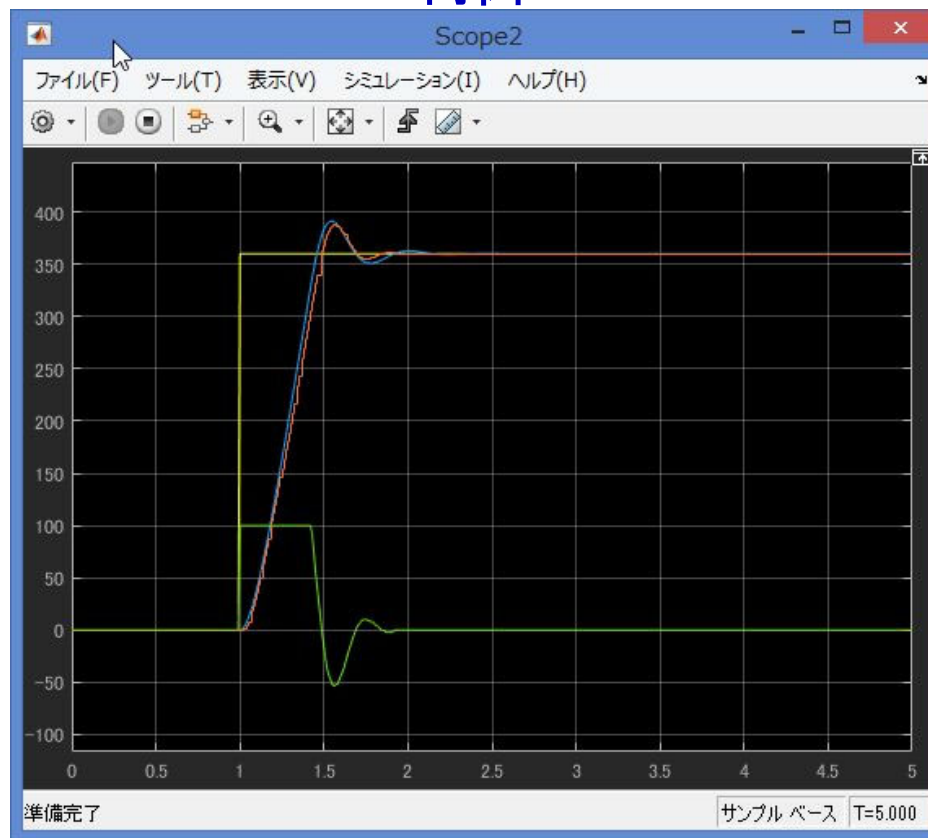


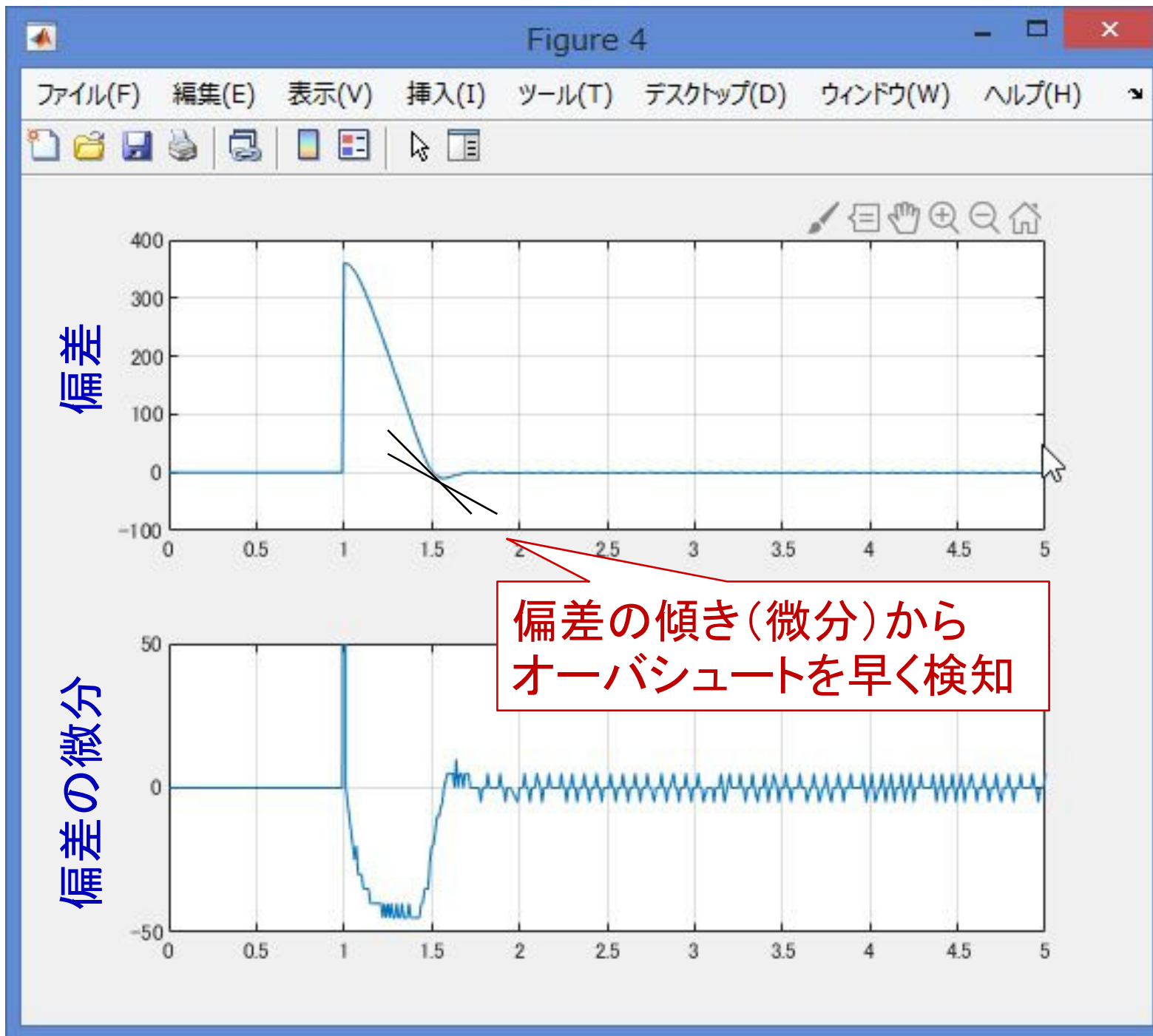


PD制御



P制御

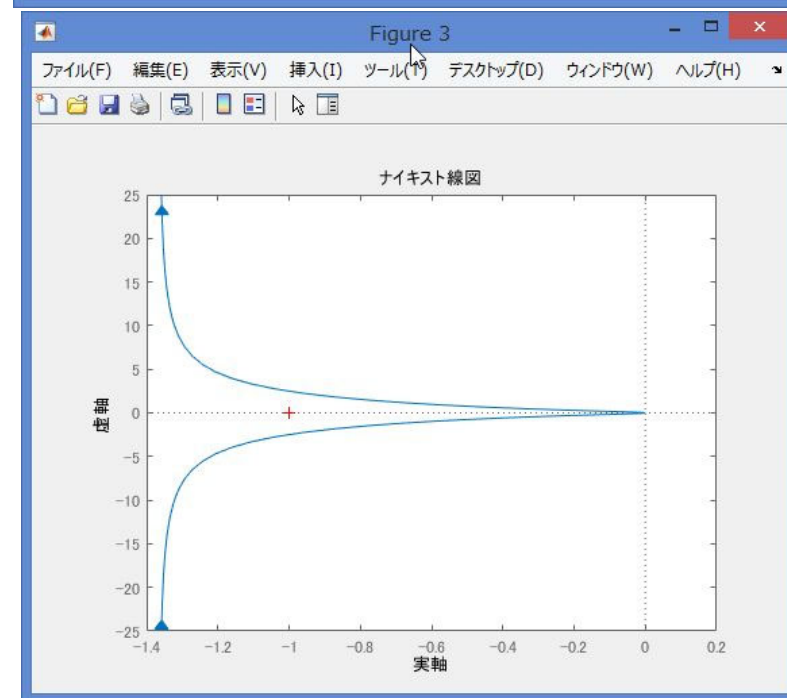
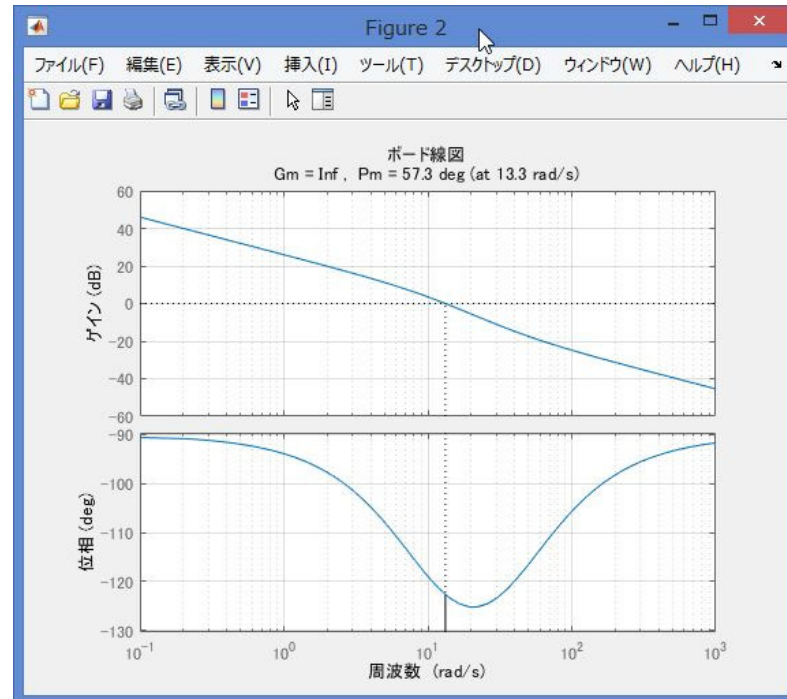
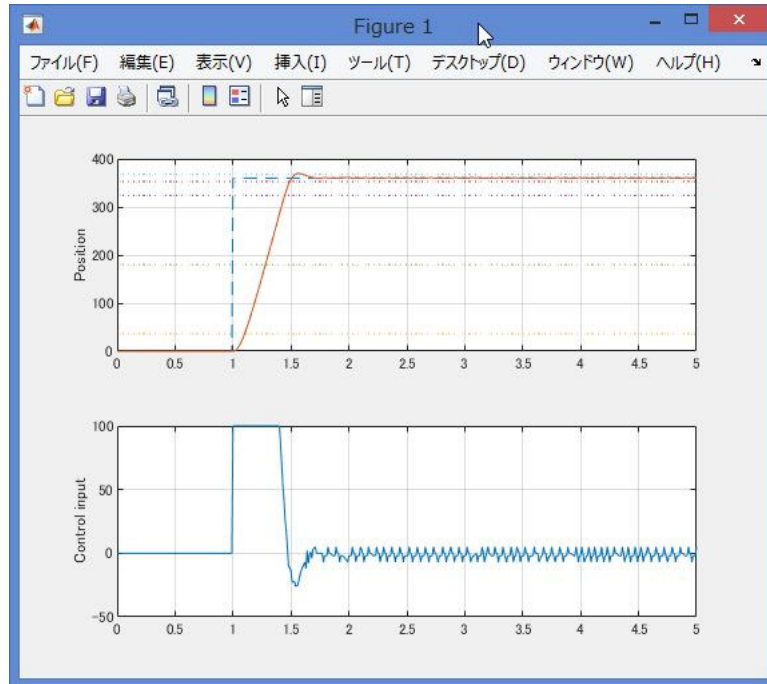




dataplotPD.m を実行

【課題1】

作成された図3枚を作成



【課題2】

下記の値を求める

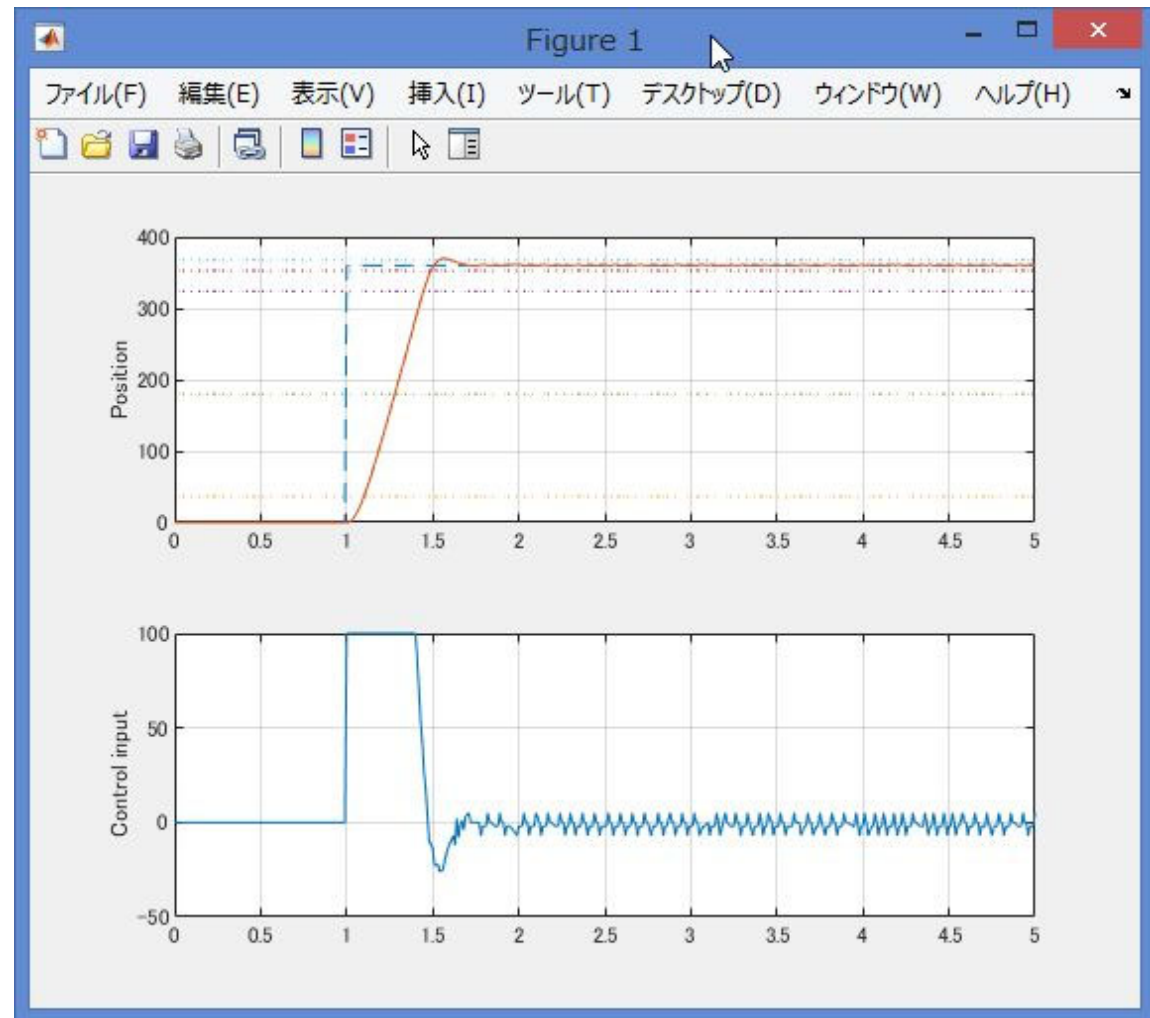
立上り時間 T_r

遅れ時間 T_d

オーバーシュート A_{\max}

整定時間 T_s

減衰比 $\frac{b}{a}$



制御系の性能評価



過渡特性

時間応答に基づく性能評価(3.4節)

立上り時間 T_r

遅れ時間 T_d

行過ぎ時間 T_p

オーバーシュート A_{max}

整定時間 T_s

減衰比 $\frac{b}{a}$

速応性: T_r, T_d, T_s, T_p

減衰特性: オーバシュート, 減衰比

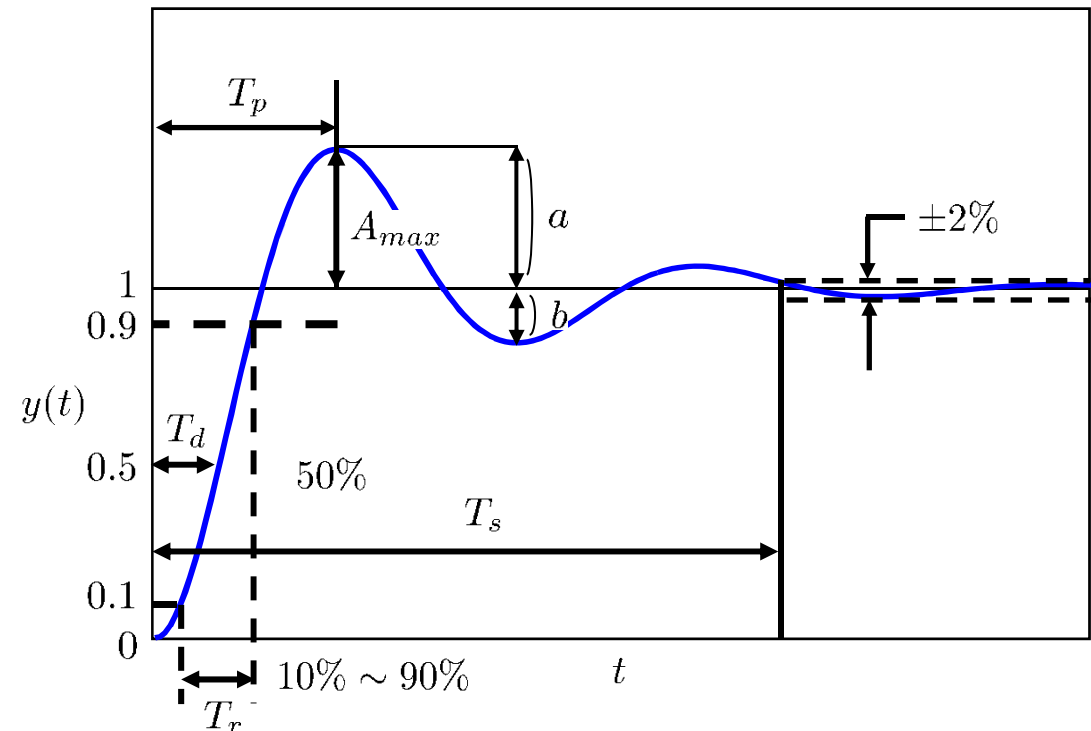


図3.10 過渡応答と諸特性値

【課題3】

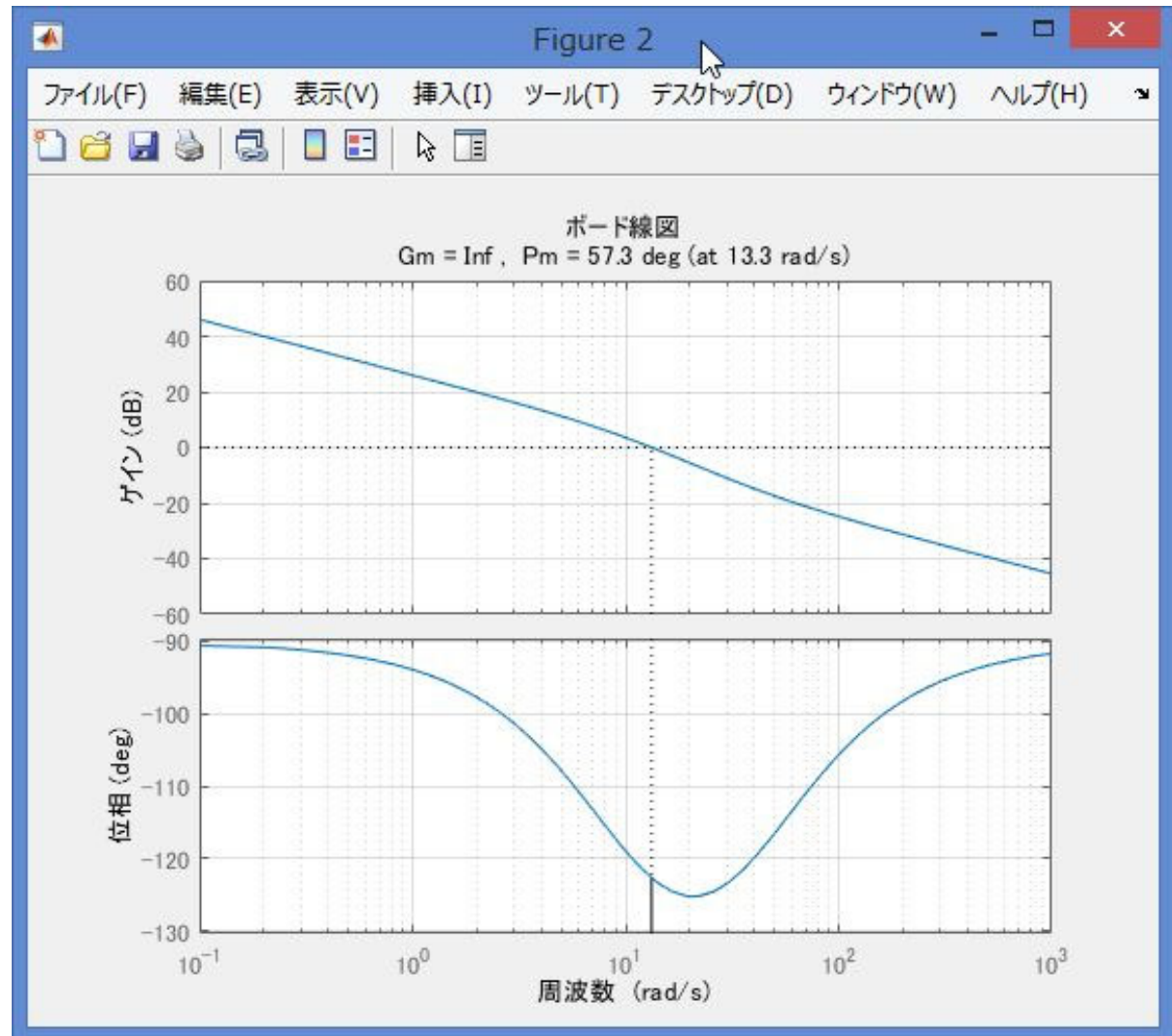
下記の値を求める

ゲイン交差周波数 ω_{gc}

位相余裕 PM

位相交差周波数 ω_{pc}

位相余裕 GM



制御系の性能評価

{ 定常特性
 過渡特性 } { 時間応答
 周波数応答 } { 閉ループ
 開ループ } 伝達関数に基づく性能評価

開ループ伝達関数に基づく性能評価

安定余裕 [ゲイン余裕 / 位相余裕]

交差周波数 [ゲイン/位相]

(速応性): ゲイン交差周波数 ω_{gc}

(減衰特性): 位相余裕 PM

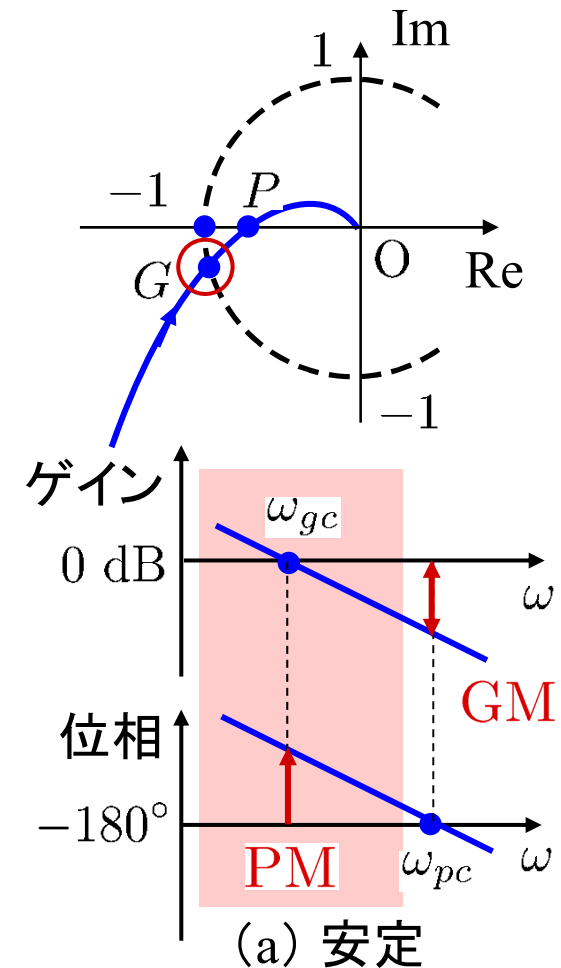
経験的指針

追従制御:

$$PM = 40 \sim 60^\circ, GM = 10 \text{ dB} \sim 20 \text{ dB}$$

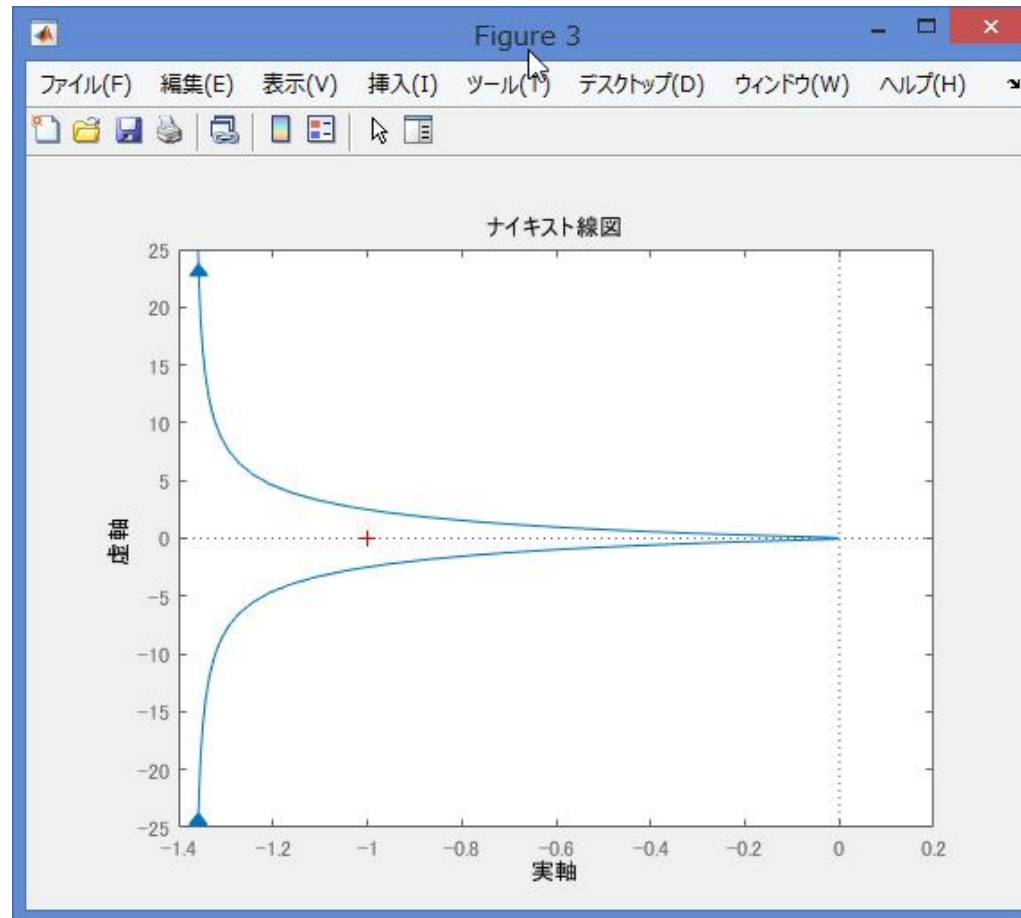
定置制御: $PM \geq 20^\circ, GM = 3 \text{ dB} \sim 10 \text{ dB}$

2次系の場合: $PM \approx 100 \times \zeta$



【課題4】

ナイキストの安定判別法を用いて安定判別



【復習6.2節】[例 6.5] (安定系の場合)

$$L(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)} \quad K = 3, 6, 12$$

$K = 3$ のとき

点 $(-1, 0)$ を常に左に見る

⇒ 安定

$K = 6$ のとき

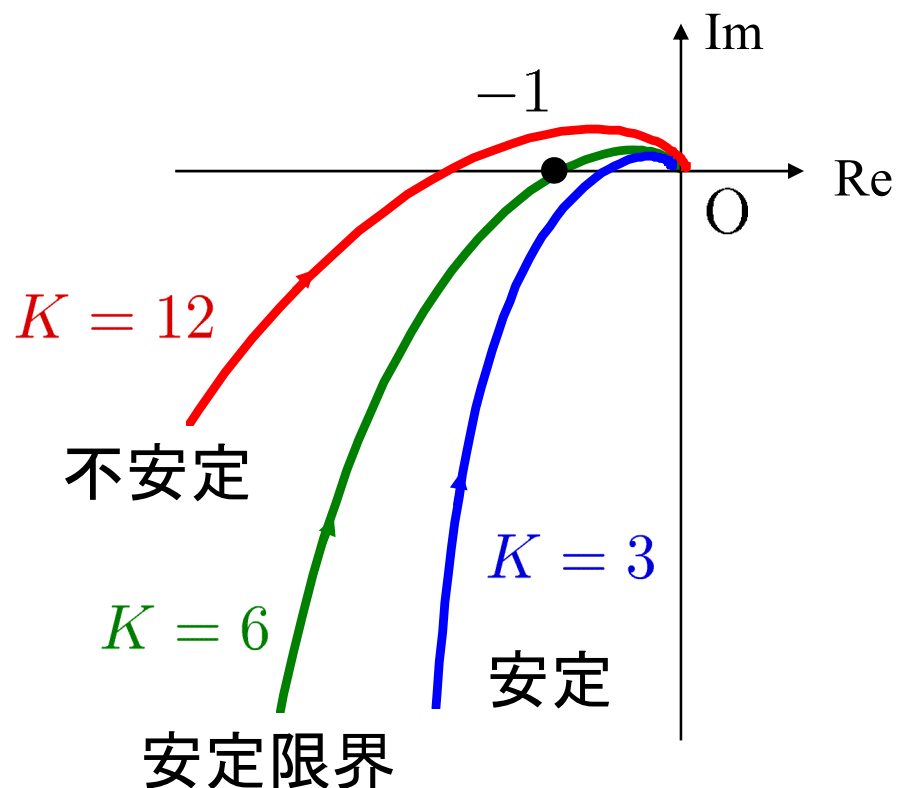
ちょうど点 $(-1, 0)$ を通過する

⇒ 安定限界

$K = 12$ のとき

点 $(-1, 0)$ を右にみるようになる

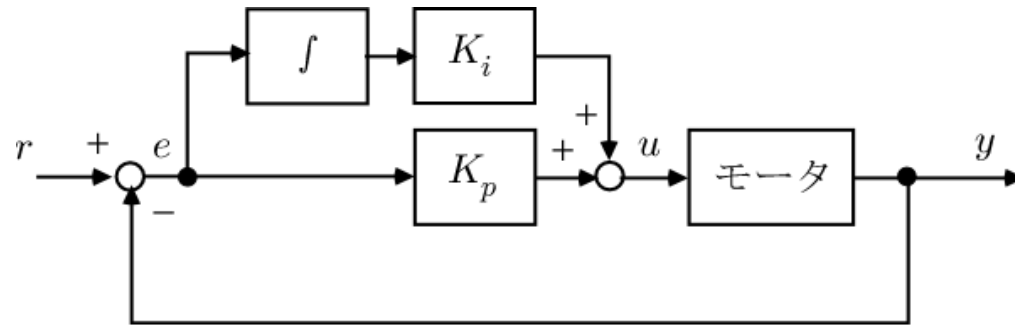
⇒ 不安定



PI制御

PIDcontrol.slx を実行

$$K_{PI}(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$



目標値を下側に切り替える

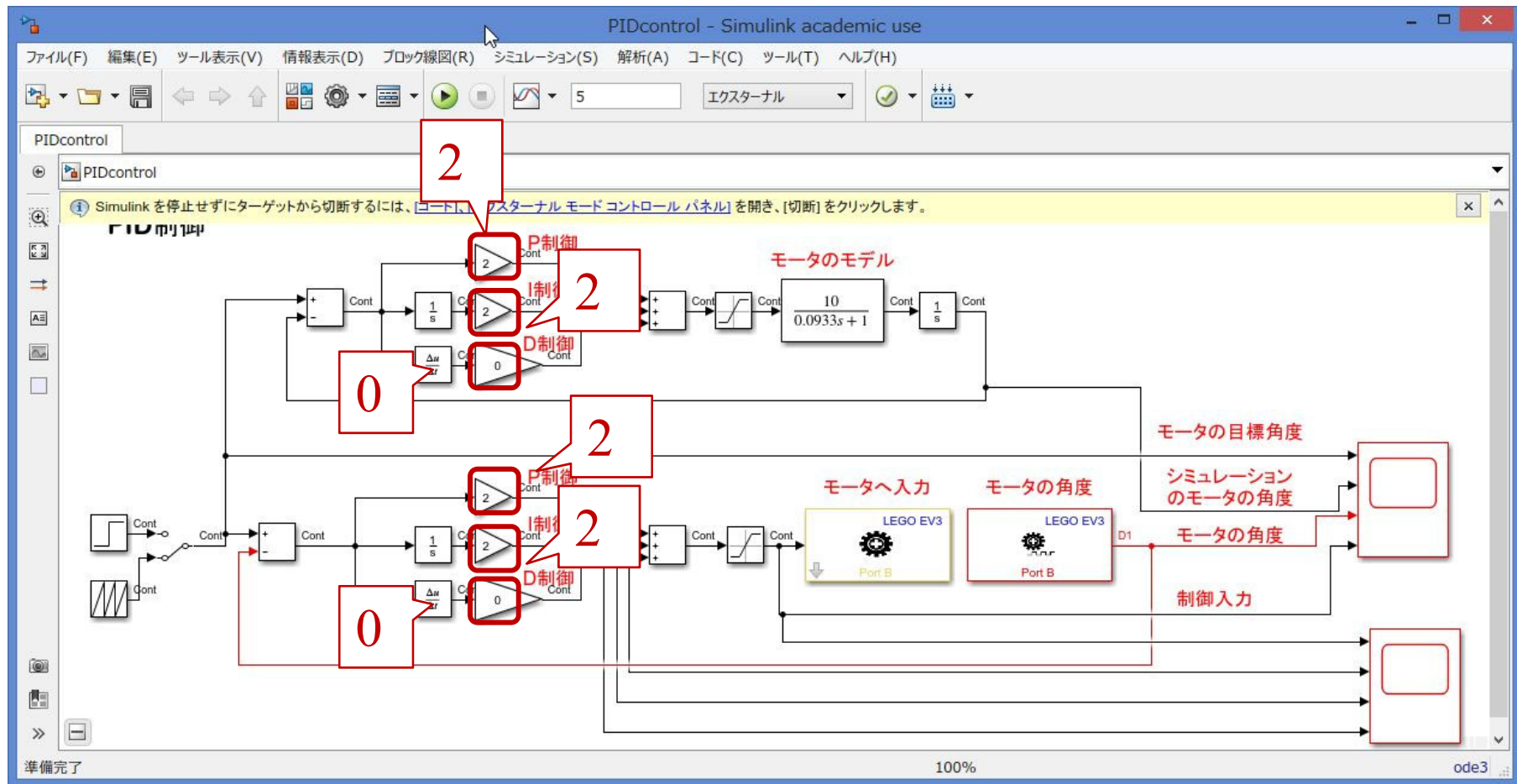
モータの数式モデル

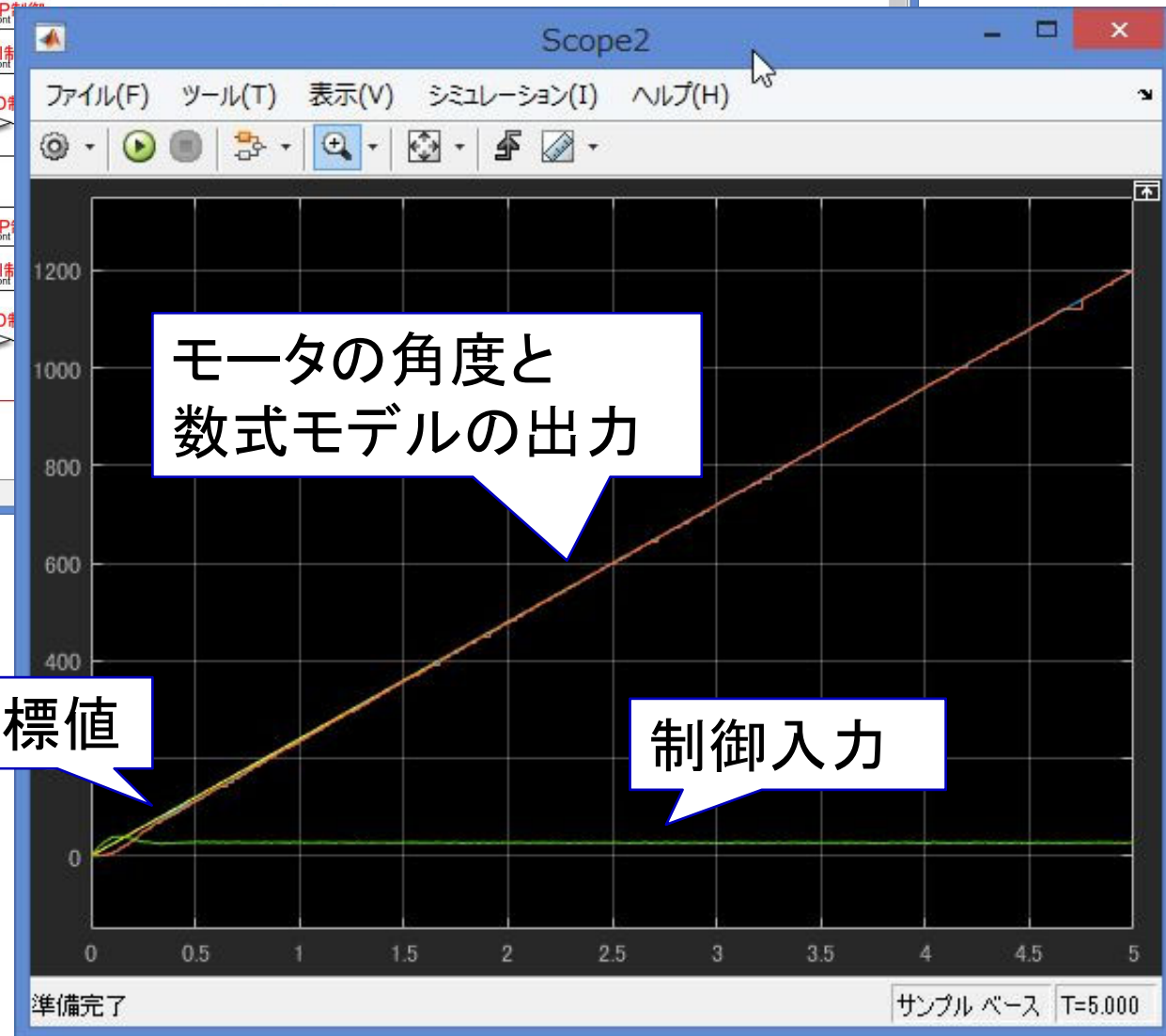
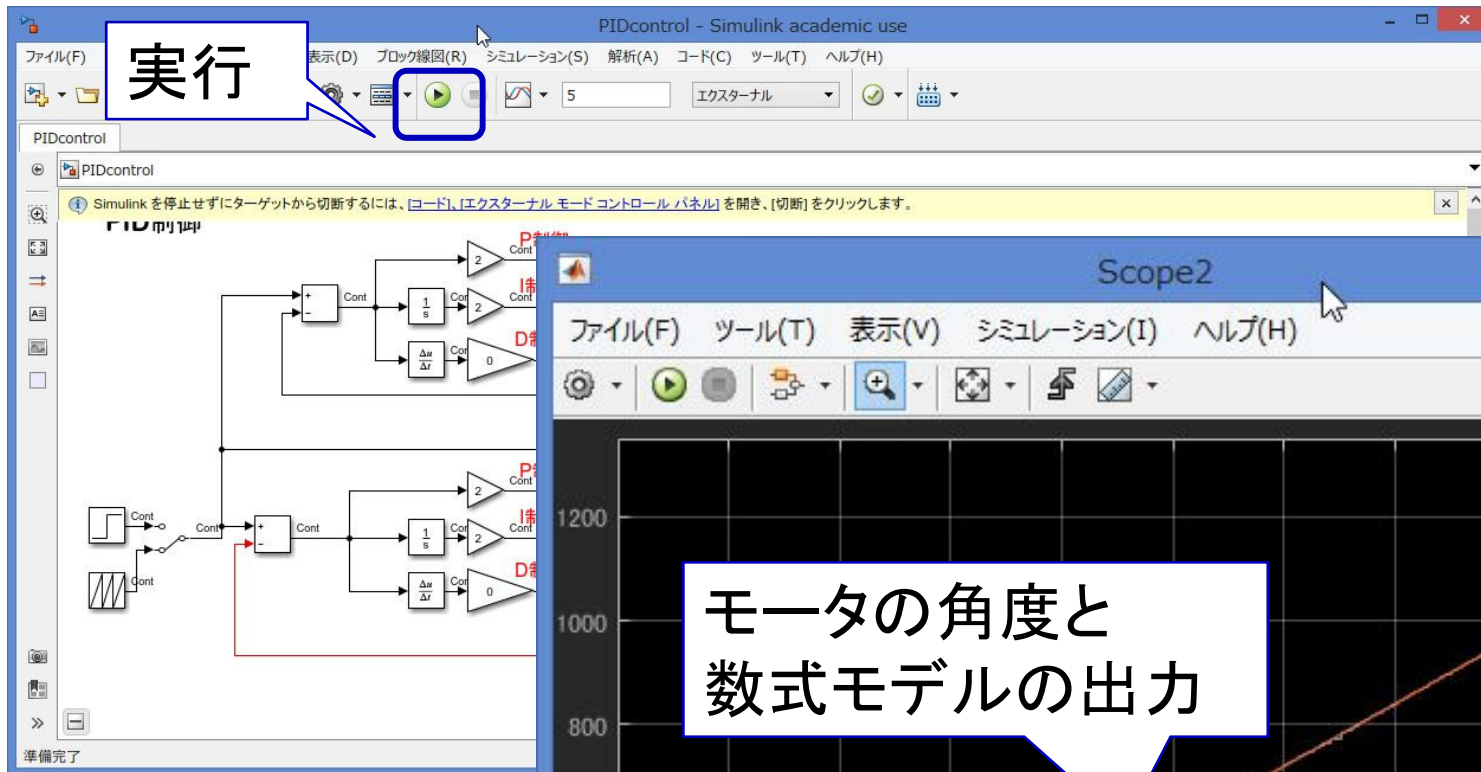
LEGOのモータ

PI制御のパラメータの設計

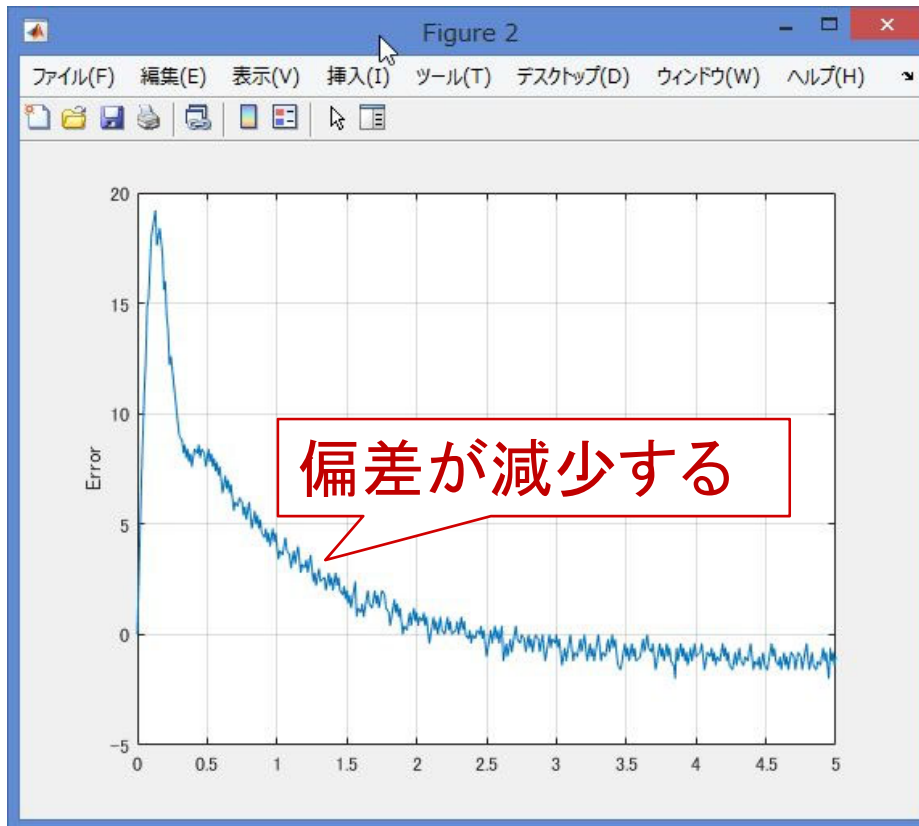
$$K_{PI}(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$

$$K_P = 2, K_I = 2$$

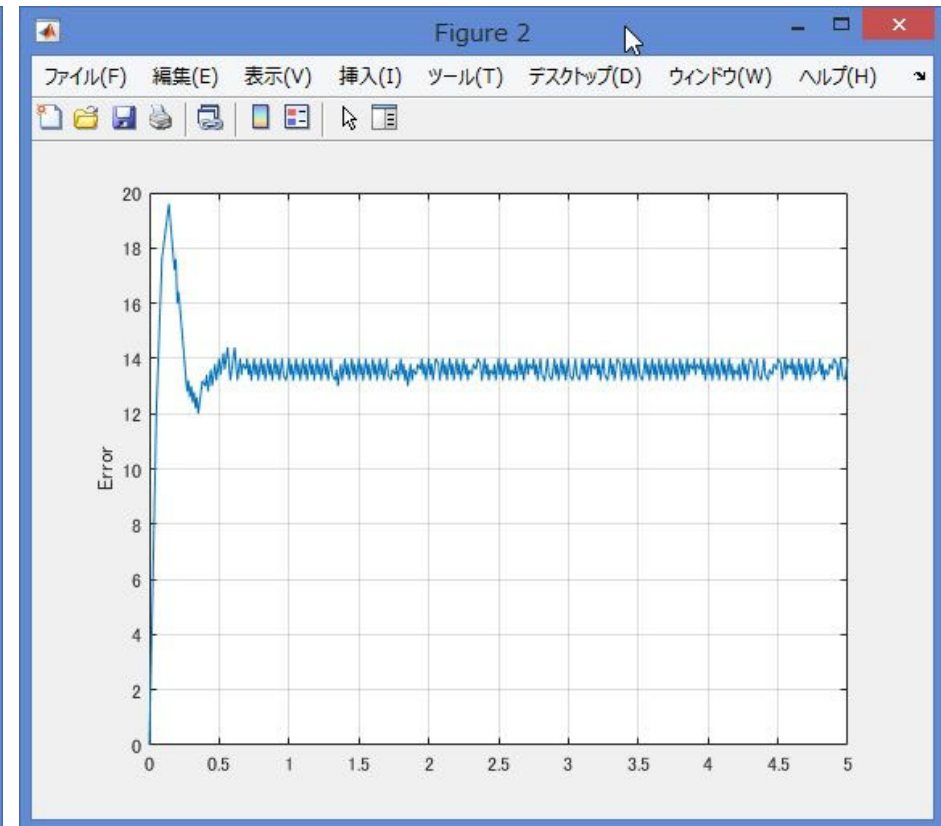




PI制御



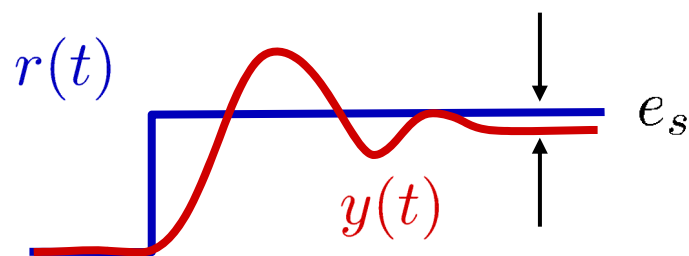
P制御



【復習4.2節】

[A] ステップ入力

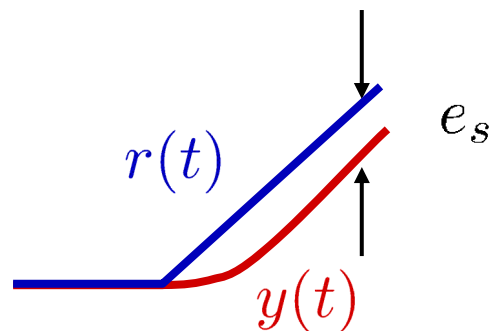
$$r(t) = 1 \quad \left(r(s) = \frac{1}{s} \right)$$



$$e_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} L(s)} \quad \text{定常位置偏差}$$

[B] ランプ入力

$$r(t) = t \quad \left(r(s) = \frac{1}{s^2} \right)$$



$$e_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} \cdot \frac{1}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s + sL(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{sL(s)}$$

定常速度偏差

【復習4.2節】

定常偏差をゼロにするためには

l 型 (タイプ l) の制御系: $L(s)$ が l 個の積分器 $\left(\frac{1}{s}\right)^l$ をもつ

$r(t) = 1$ のとき $l \geq 1$

$r(t) = t$ のとき $l \geq 2$

$r(t) = \frac{t^2}{2}$ のとき $l \geq 3$

⇒ (係数の値に関係なく)
常に, 定常偏差 = 0

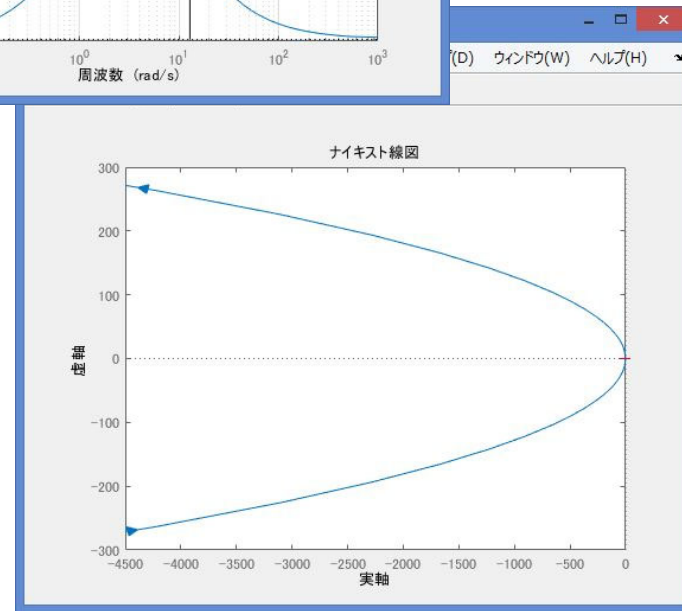
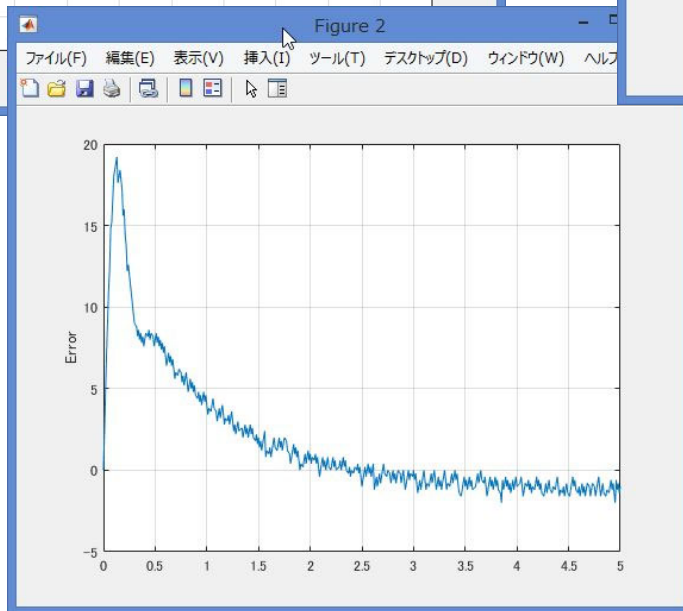
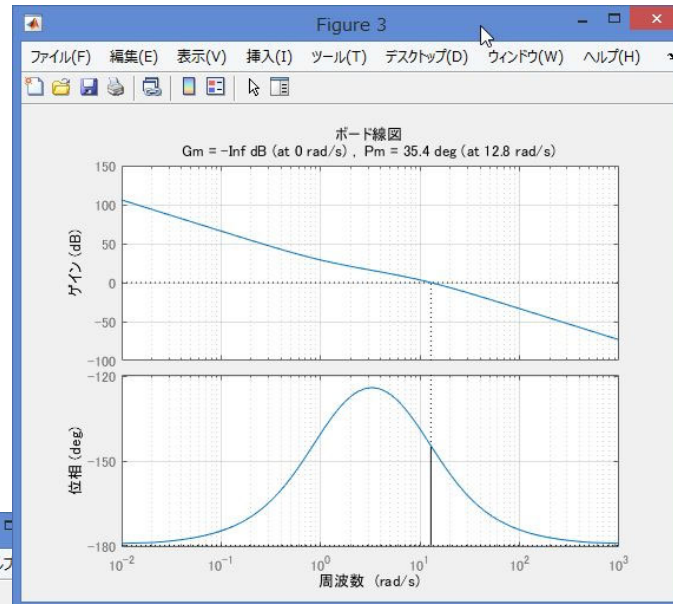
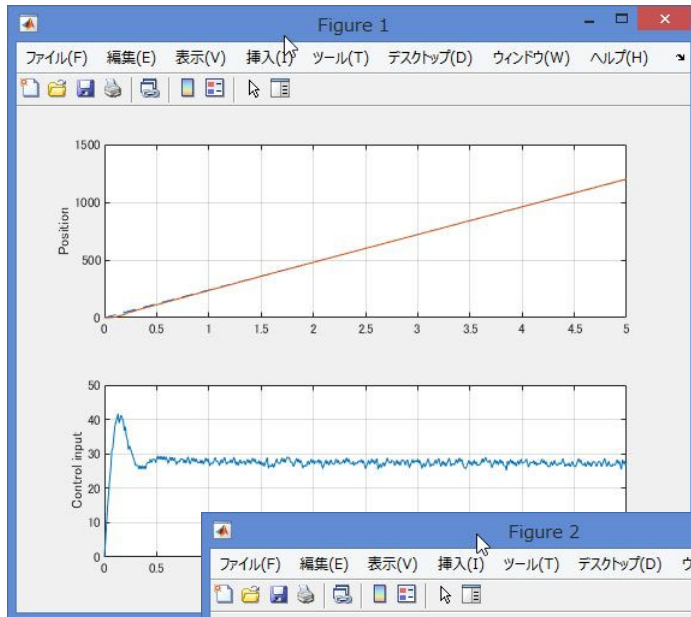
表4.1 制御系の型と定常偏差

制御系の型	$r(t) = 1$	$r(t) = t$	$r(t) = \frac{t^2}{2}$
$l = 0$ 0 型	$\frac{1}{1 + K_p}$	∞	∞
$l = 1$ 1 型	0	$\frac{1}{K_v}$	∞
$l = 2$ 2 型	0	0	$\frac{1}{K_a}$

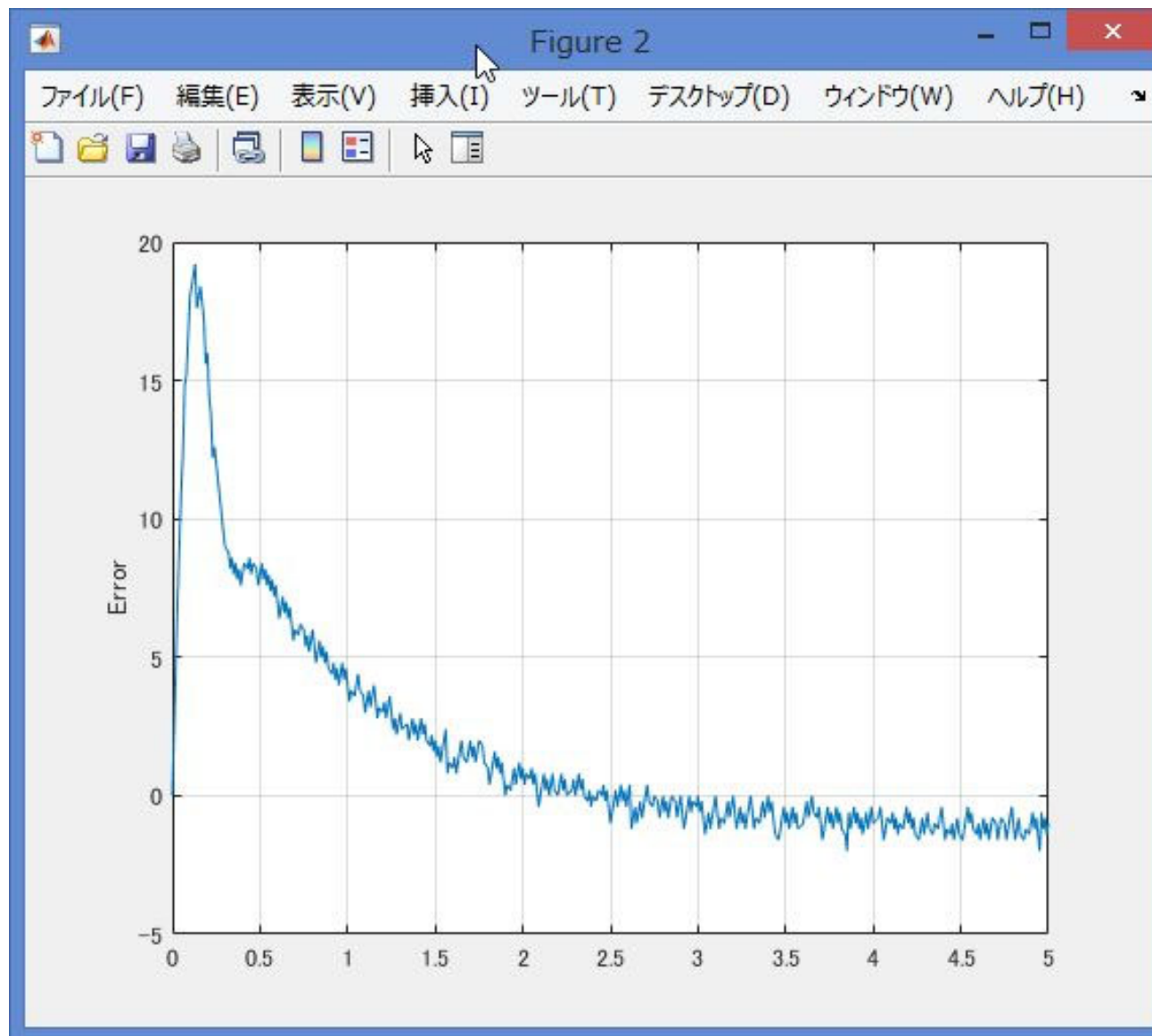
dataplotPI.m を実行

【課題5】

作成された図4枚を作成



【課題6】 偏差の最小値を求める



【課題7】

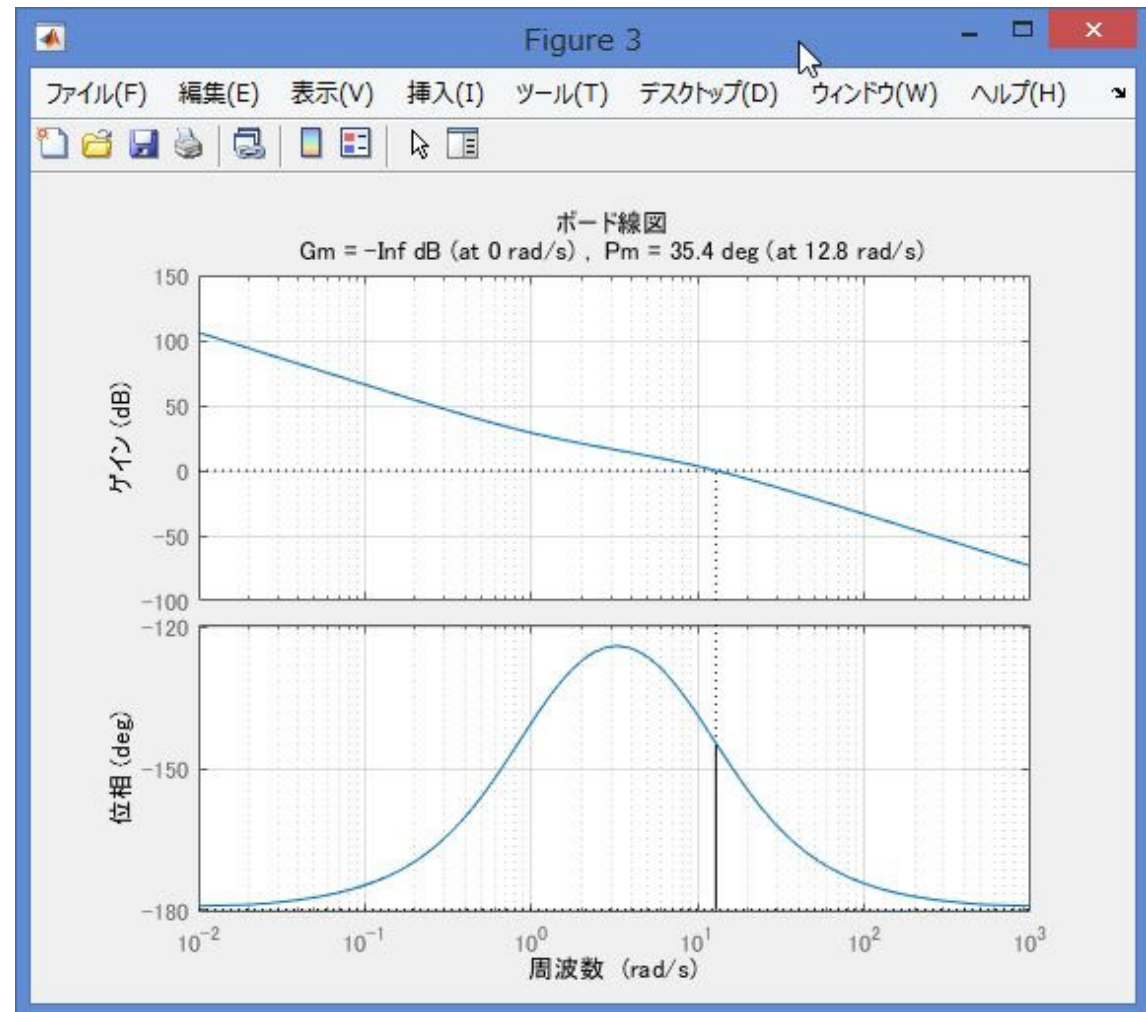
下記の値を求める

ゲイン交差周波数 ω_{gc}

位相余裕 PM

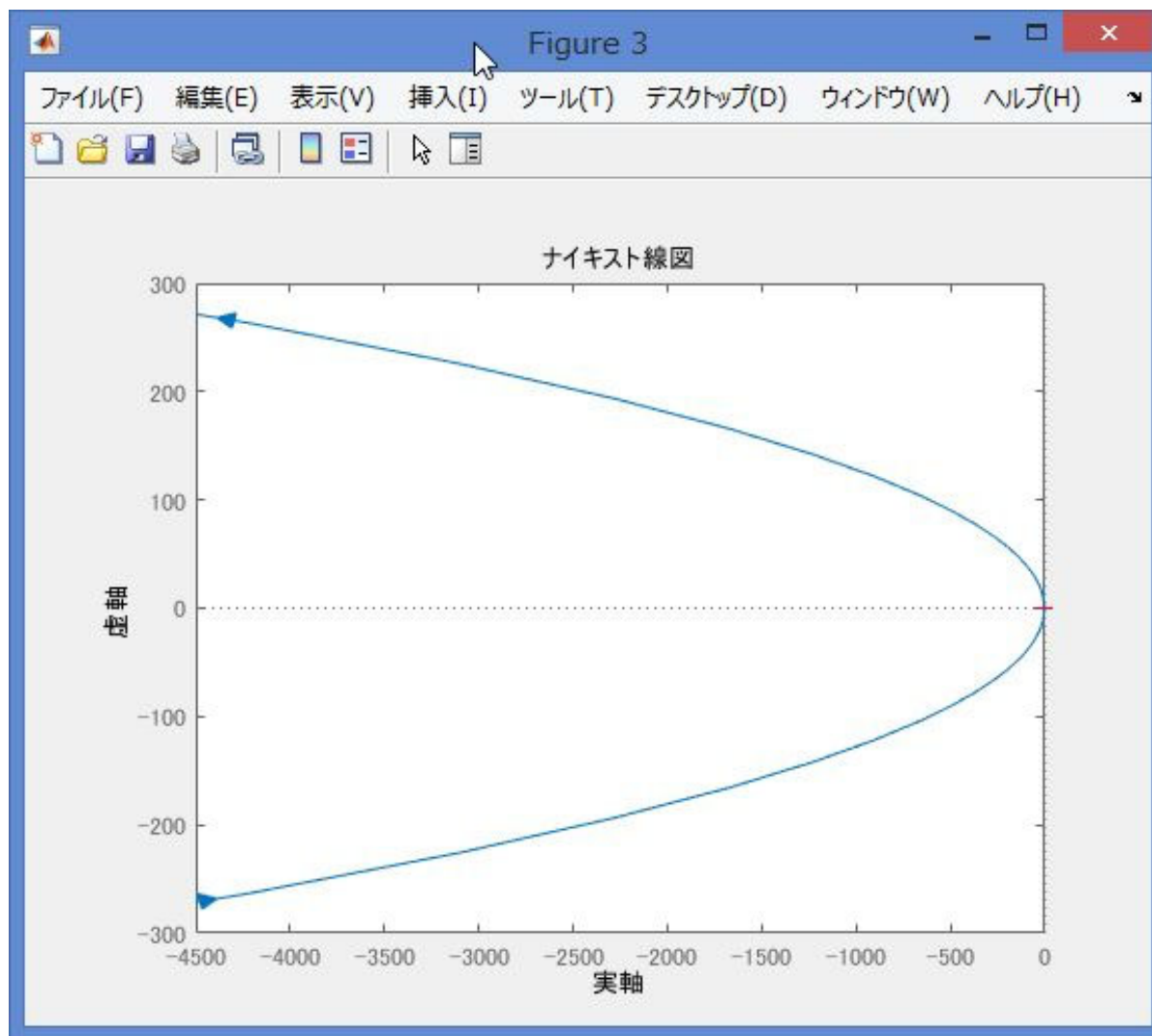
位相交差周波数 ω_{pc}

位相余裕 GM

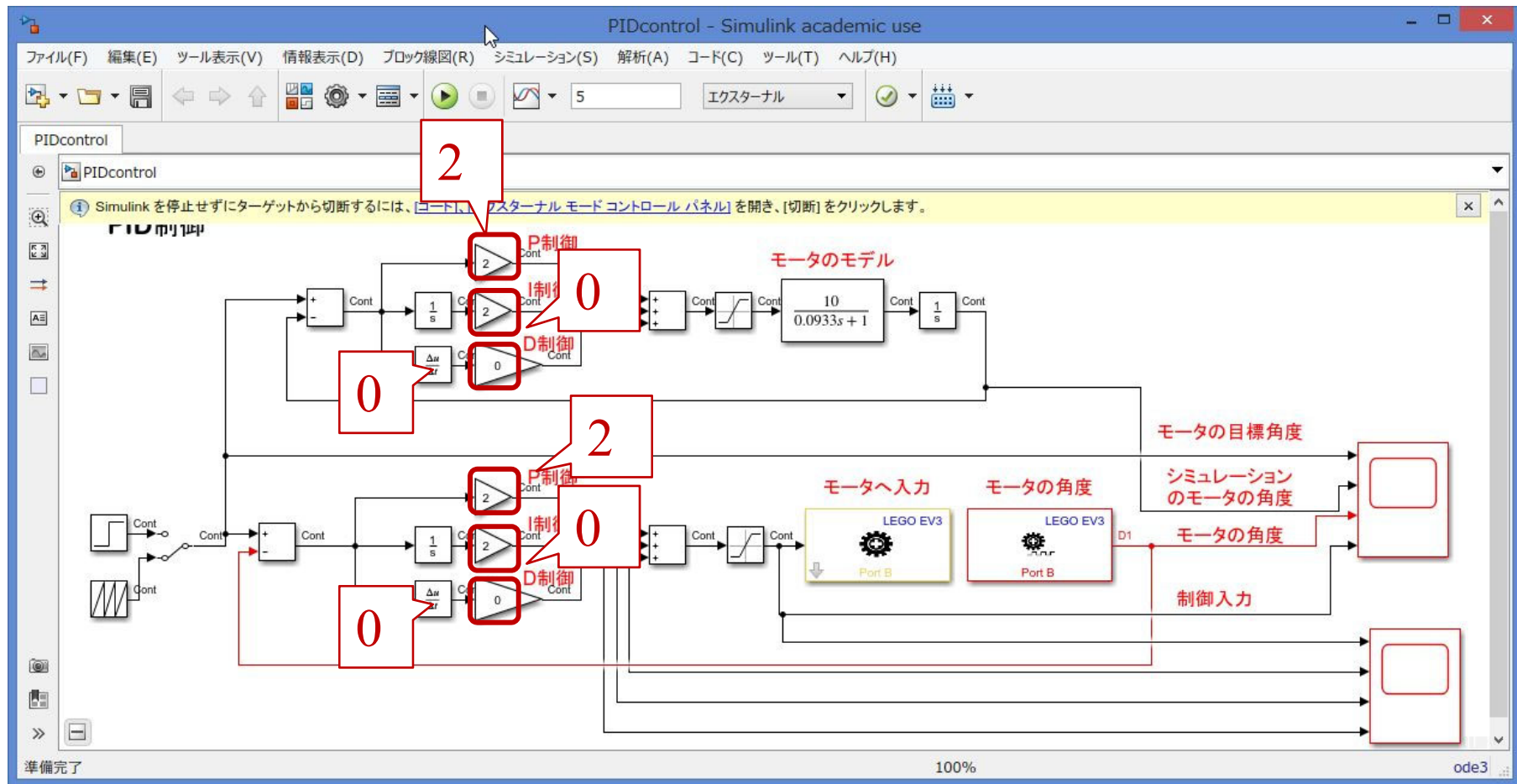


【課題8】

ナイキストの安定判別法を用いて安定判別



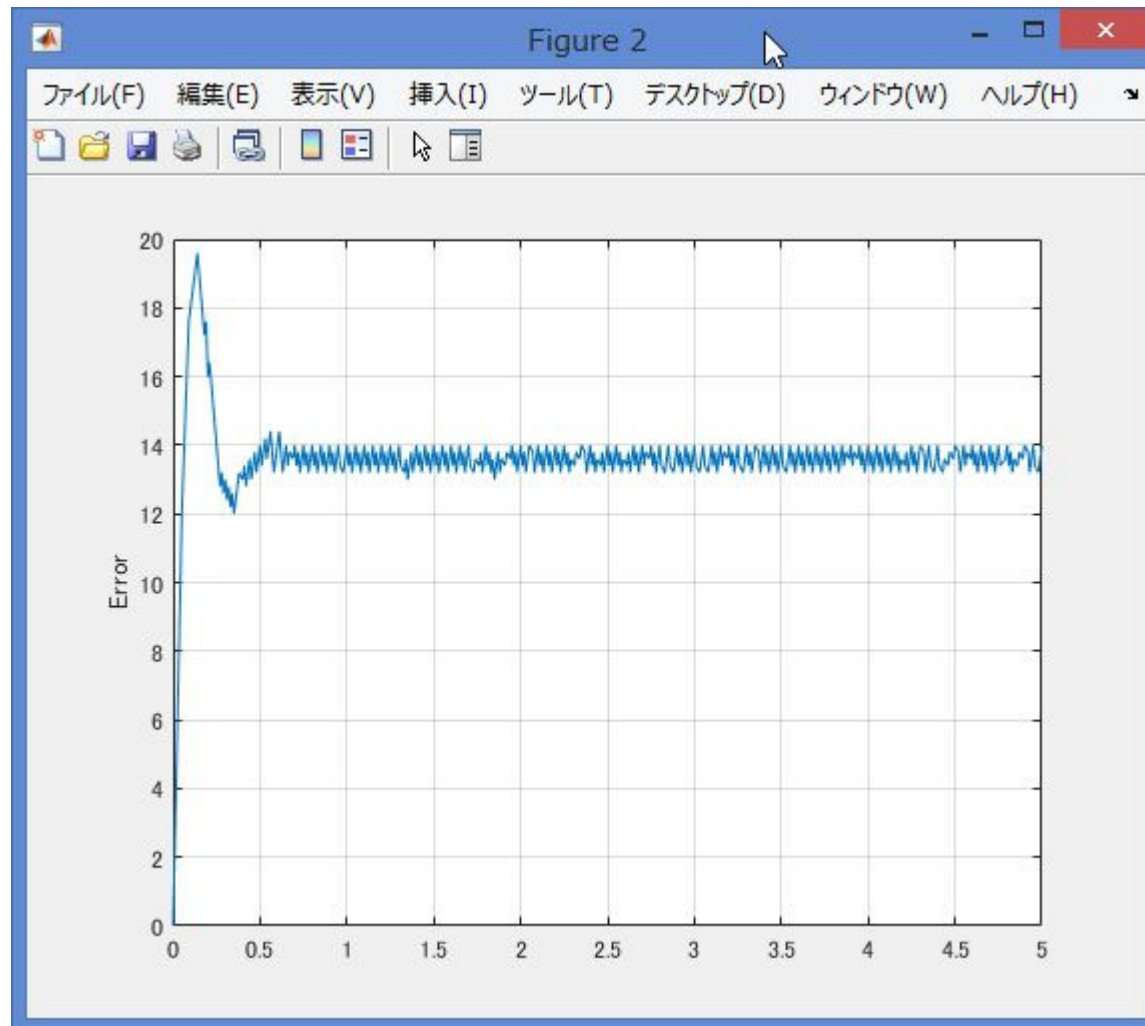
P制御との比較



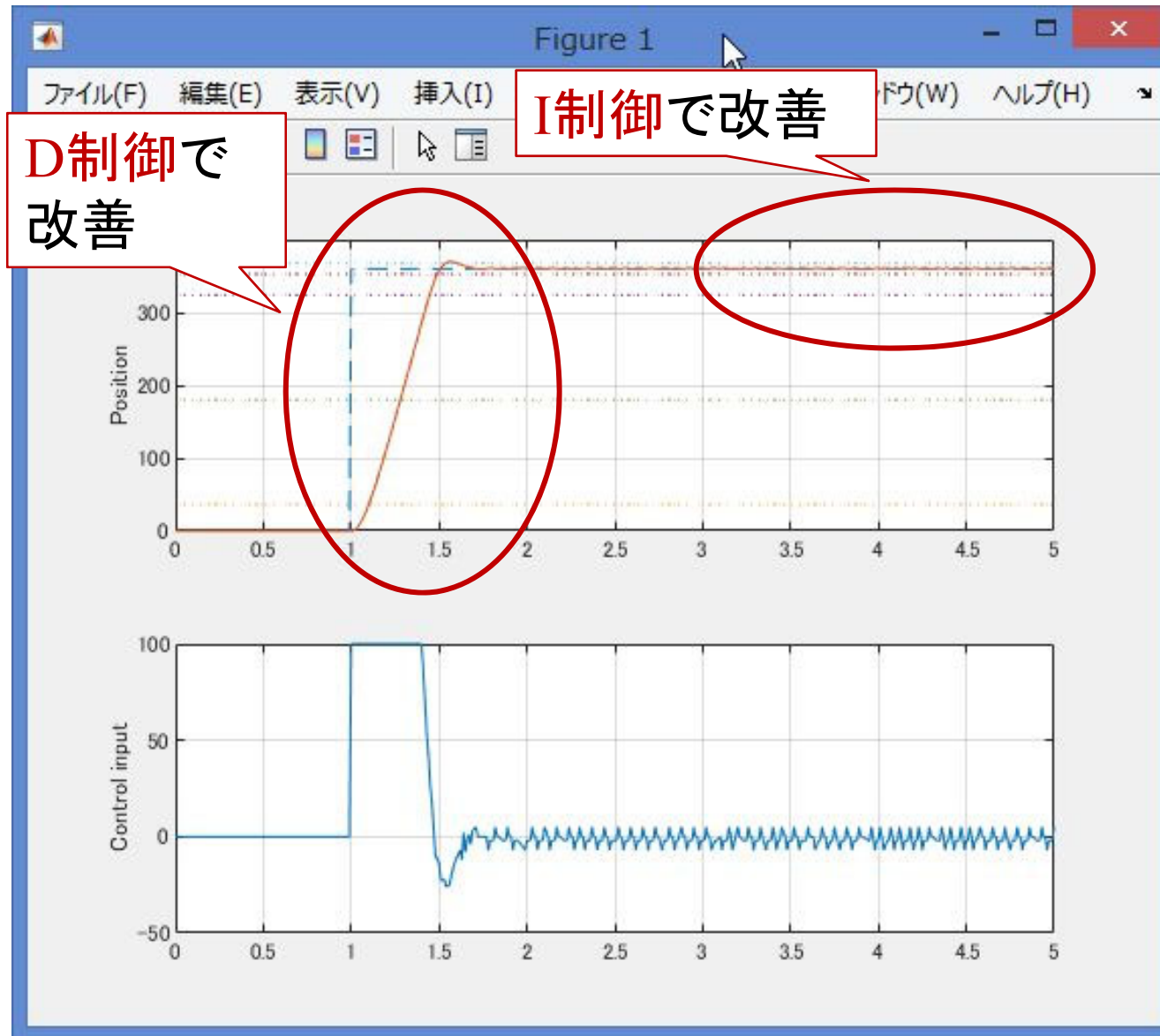
dataplotPI.m を実行

【課題9】

P制御のときの偏差の最小値を求める



まとめ



第 8 章 : フィードバック制御系の設計法

8.2 PID補償による制御系設計

キーワード : PD制御, PI制御

学習目標 : モータのPD制御とPI制御ができる。