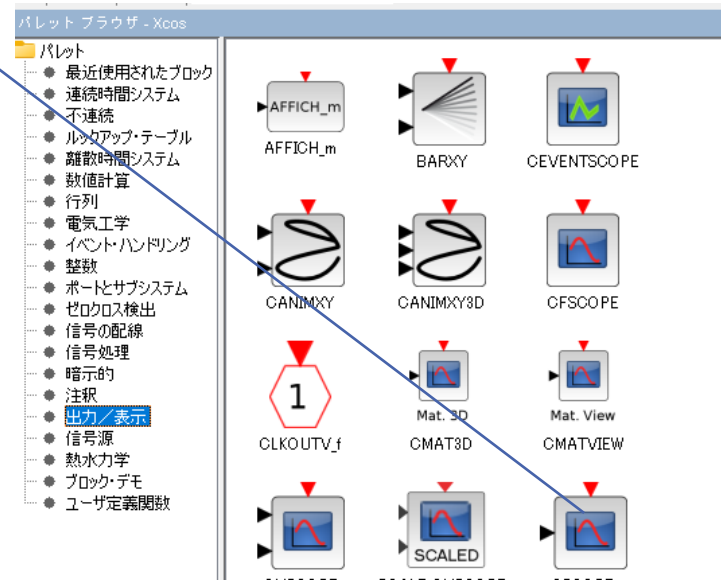
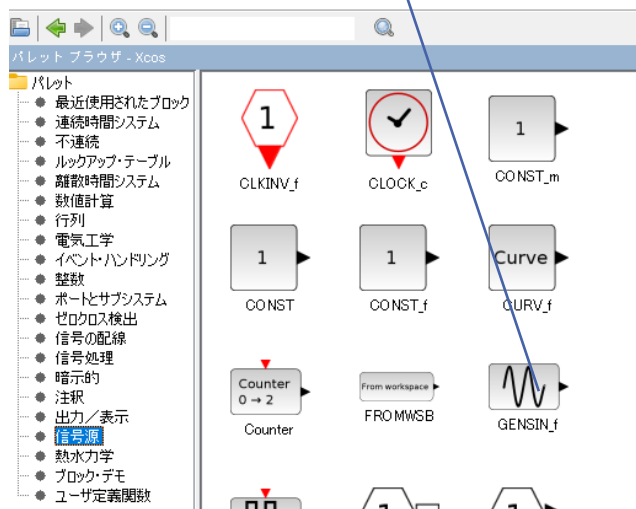
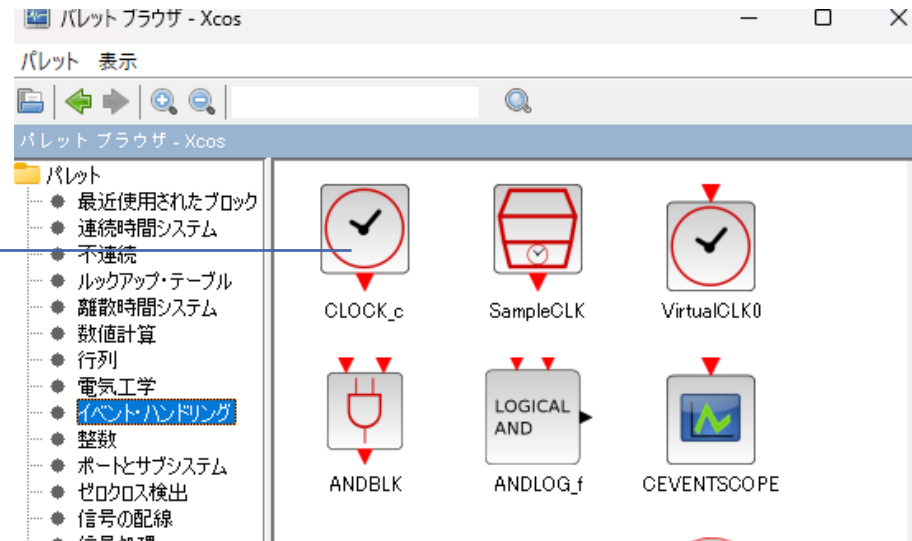
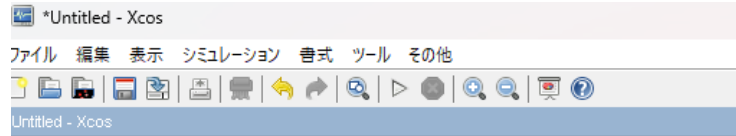


まず, なれるところから,,,
正弦波を書いてみよう
モデル化(1次遅れ, 積分, モータなど)

制御の基礎
PID制御
2自由度制御

- 信号源が1個以上必要
- 出力/表示を設定し
- クロックで解析刻みを決定し解析する

正弦波を書いてみる



*Untitled - Xcos

ファイル 編集 表示 シミュレーション 書式 ツール その他

設定
実行トレースとデバッグ
コンテキスト設定
コンパイル
Modelica初期化
開始
停止

パラメーター設定

積分終了時間	4.0E00
実時間スケール	0.0E00
積算絶対許容誤差	1.0E-06
積分相対誤差	1.0E-06
時間の誤差	1.0E-10
最大積分時間間隔	1.00001E05
ソルバーの種類	Sundials/CVODE - BDF - NEWTON
ステップ最大値 (0: 制限無し)	0.0E00

コンテキスト設定

Scilab複数値リクエスト

GENSIN_f ブロックパラメータを設定

サイン波ジェネレータ

Amplitude: 1
周波数 (rad/s): 6.28
位相 (rad): 0

OK キャンセル

CLOCK_c ブロックパラメータを設定

イベントクロック生成器

'初期化時間' が負の場合は開始しない

間隔: 0.1
初期化時間: 0.1

OK キャンセル

Scilab複数値リクエスト

CSCOPE ブロックパラメータを設定

Curve style: Color>0 | mark<0: 1 3 5 7 9 11 13 15
Output window number (-1 for automatic): -1
Output window position: 0
Output window sizes: [600;400]
Ymin: -15
Ymax: 15
Refresh period: 10
バッファの大きさ: 20
Accept herited events 0/1: 0
Name of Scope (label&Id):

OK キャンセル

何秒計算するか

サンプリング

開始時間

複数プロットするときの色番号

この値がX軸の右端になる
積分終了時刻と同じだと見やすい



制御シミュレーション

参考図書 11ステップ制御設計 酒井英樹 森北出版

(↑デンソーの実戦経験豊富な人が書いた現場指向な参考書でおすすめです
フィードフォワード制御を語る本は意外と少ない)

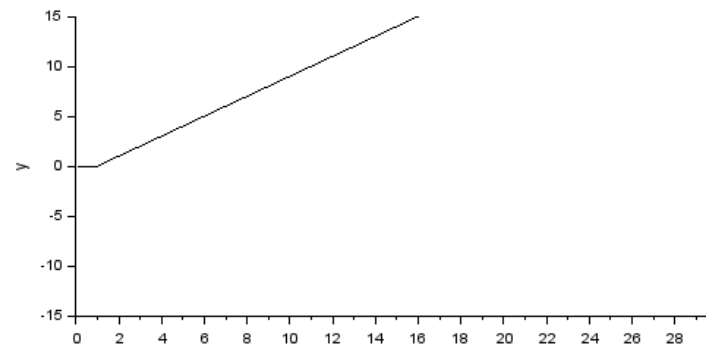
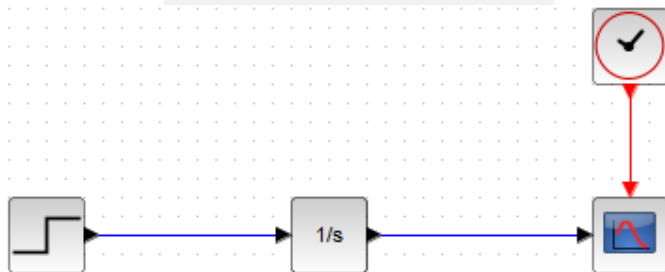
参考URL <https://controlabo.com/transfer-function-examples/>



目標は目標値センサで設定(ここが一定なら定値制御)

水位を制御量センサで設定

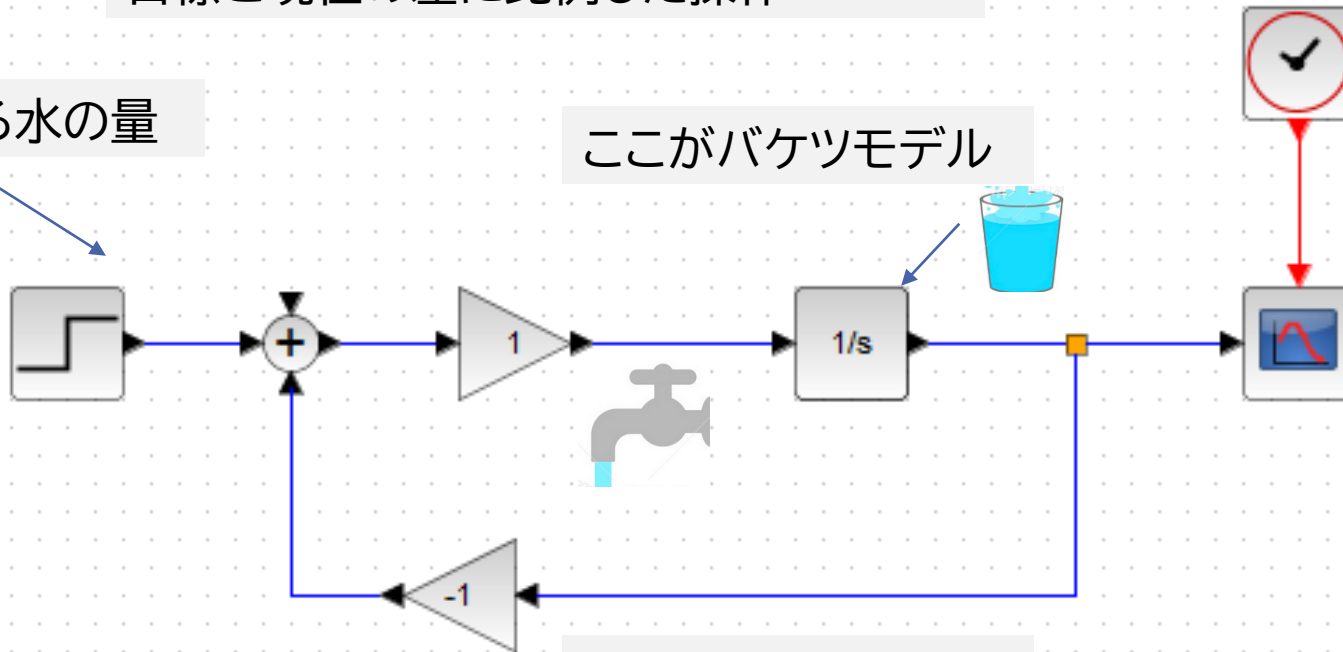
水の溜まる量は
積分なので1/S



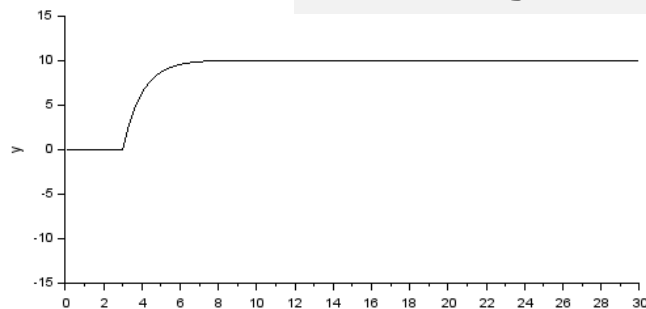
目標と現在の差に比例した操作

入れる水の量

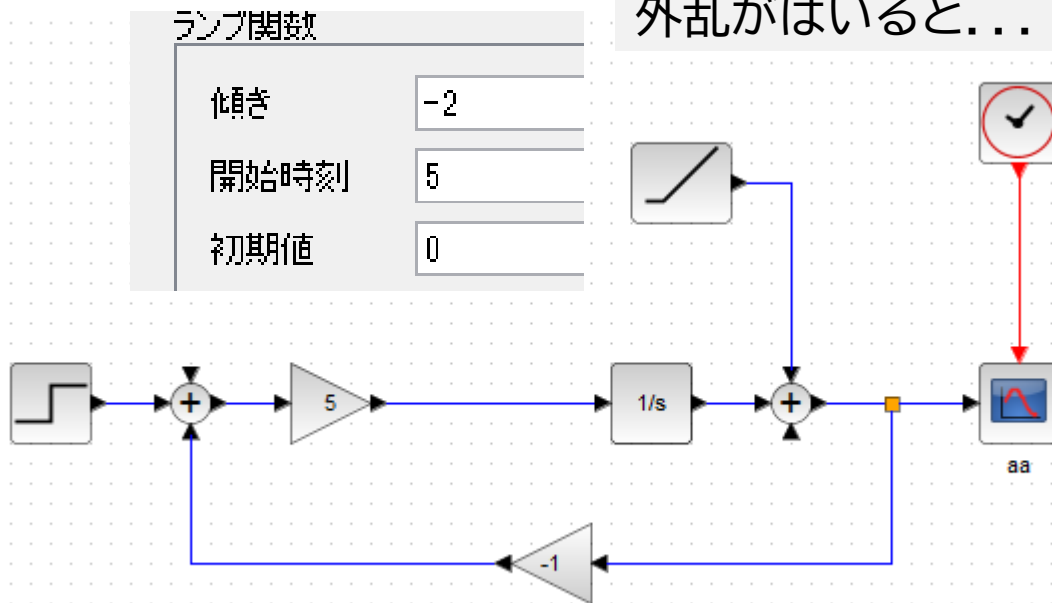
ここがバケツモデル



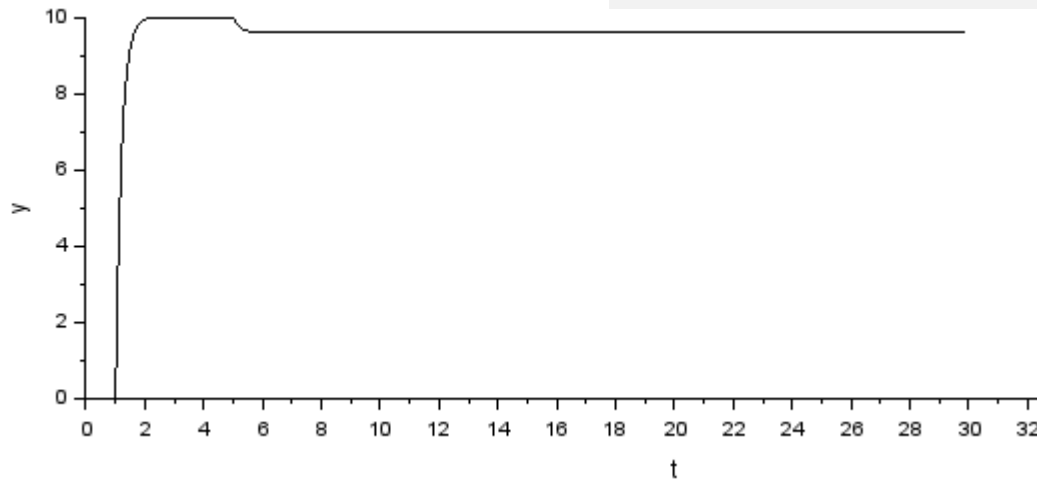
たまった水の量



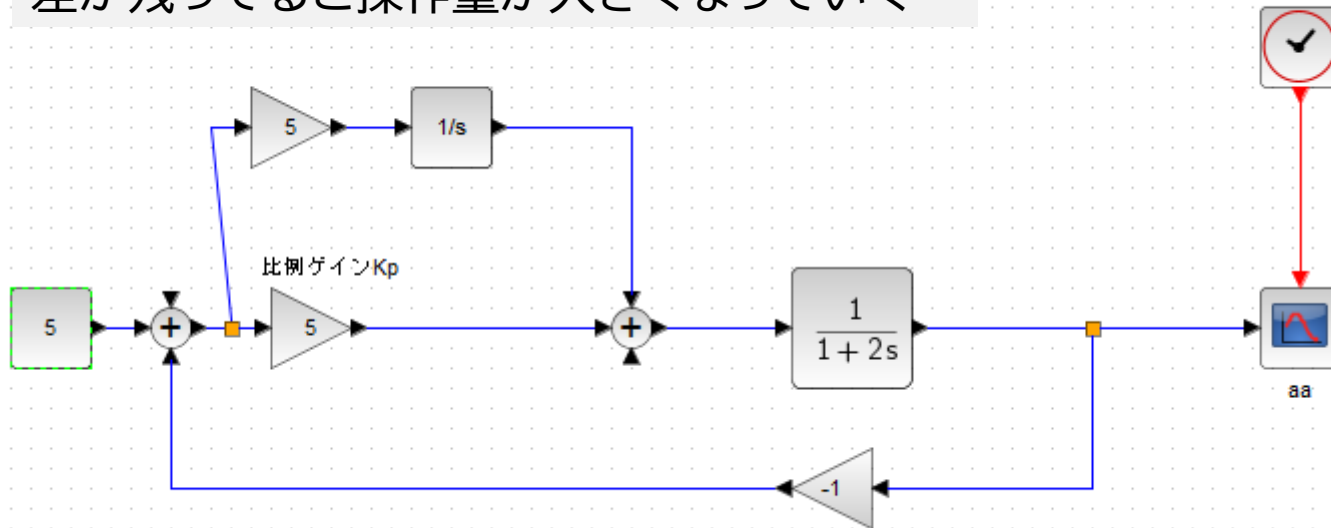
外乱がはいると...



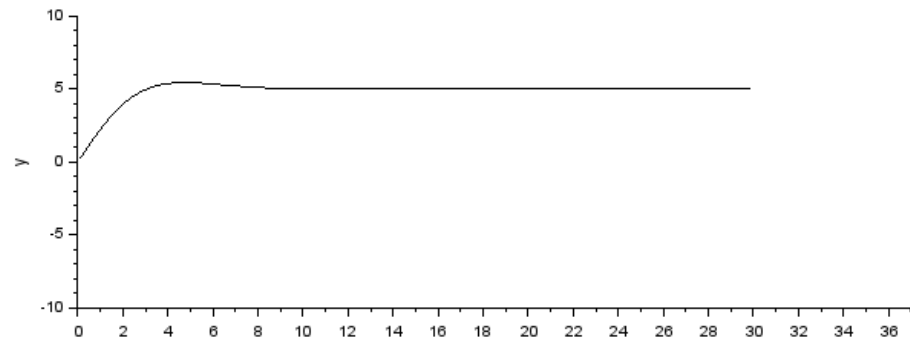
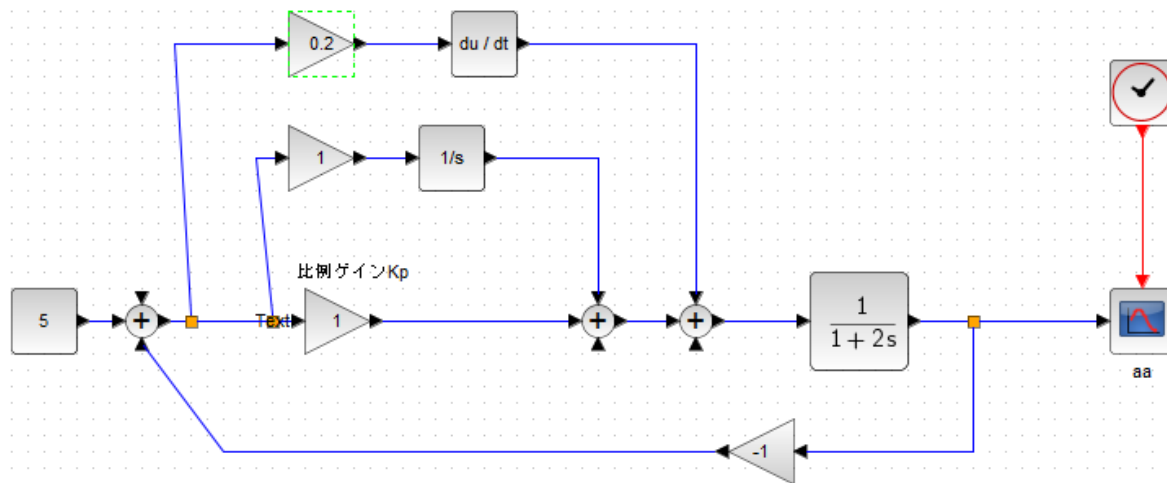
偏差が残ることに..



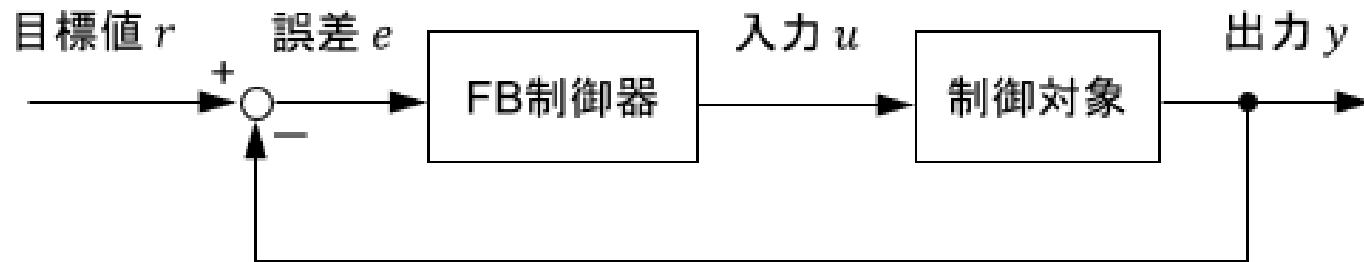
目標と現在の誤差の積分に比例した操作
差が残っていると操作量が大きくなっていく



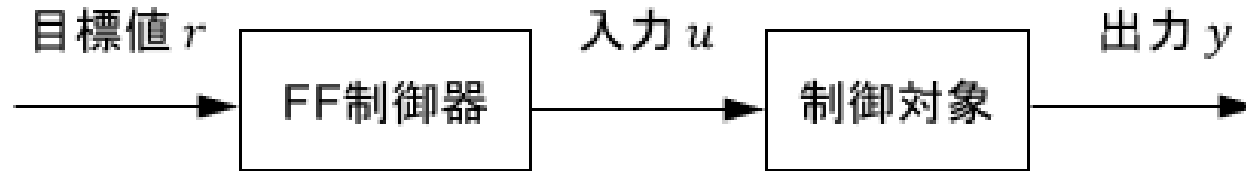
目標と現在の誤差の時間変化に比例した操作



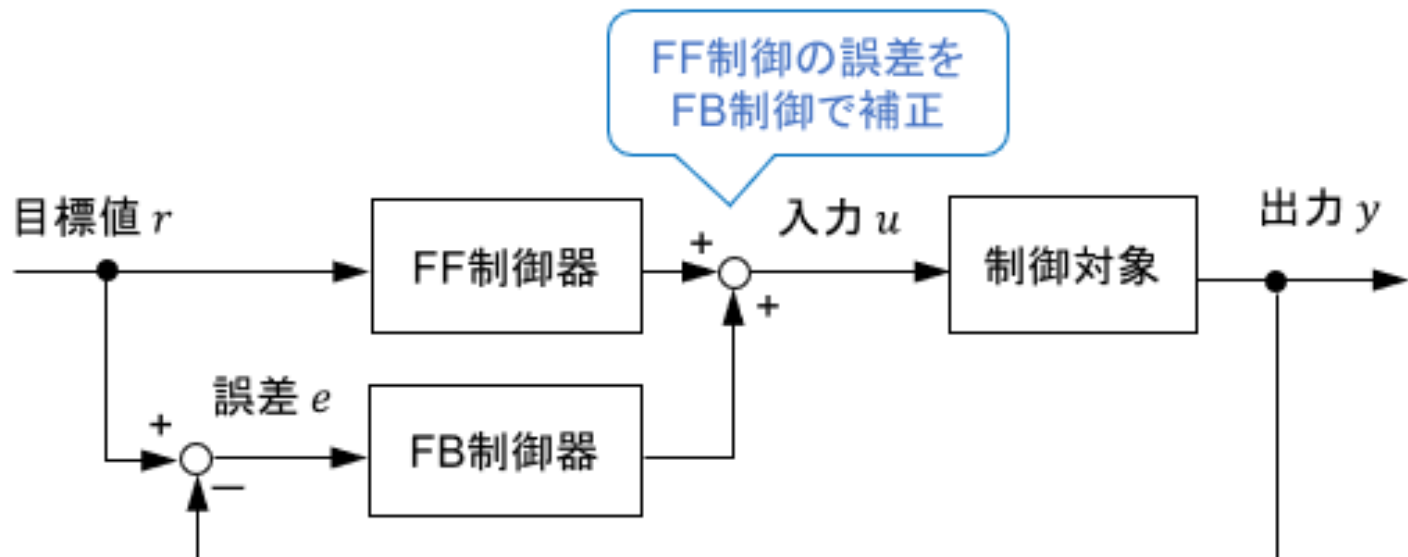
FB制御



FF制御



2自由度制御



フィードバック制御の例題



■題材：おなじみの LR回路

$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}, i(0) = 0$$

ラプラス変換して

$$V = RI(s) + LsI(s)$$

$$I(s) = \frac{1}{R+Ls} V(s)$$

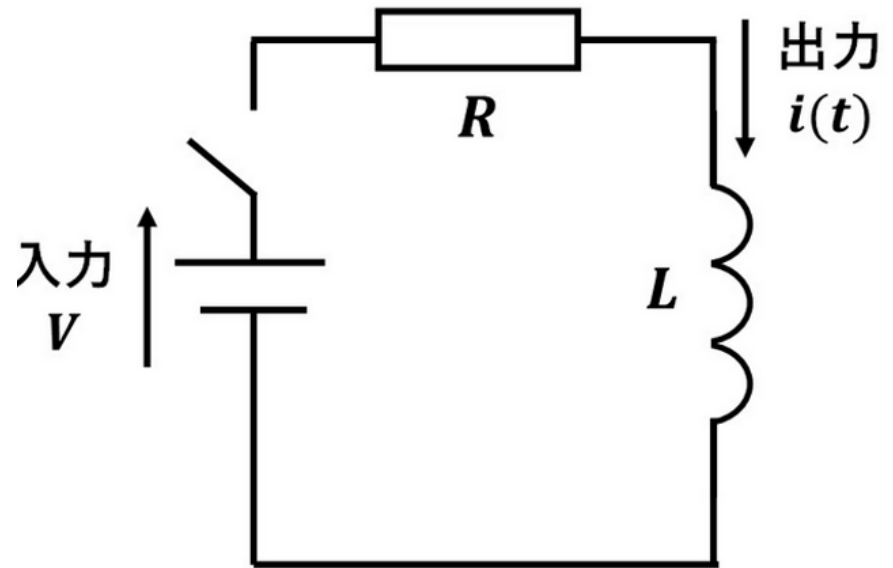
$$I(s) = \frac{\frac{1}{R}}{1+\frac{L}{R}s} V(s)$$

1次遅れのラプラス変換の一般形式下記と比較 すると
LR回路は ゲイン1/R, 時定数L/Rのモデル

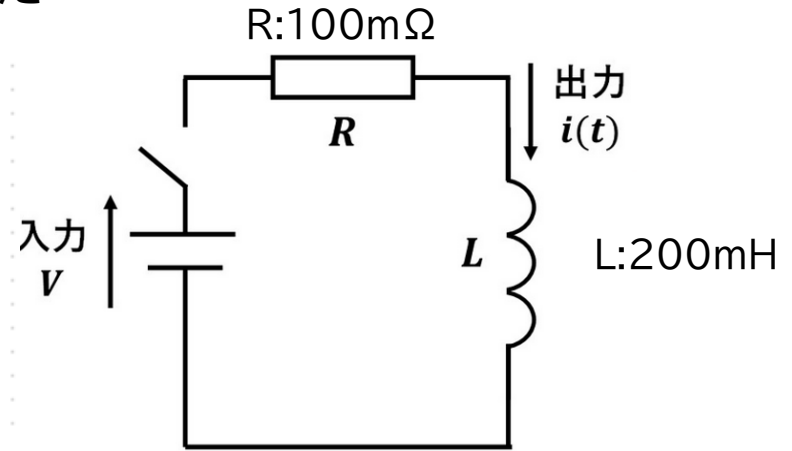
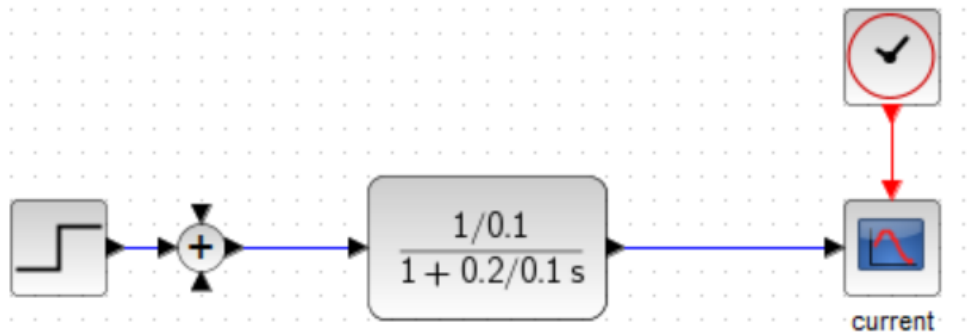
$$\frac{K}{1+Ts} V(s) \quad K \text{はゲイン, } T \text{が時定数}$$

ちなみに逆ラプラス変換した数式は、おなじみの一次遅れの指数関数(当たり前ですが)

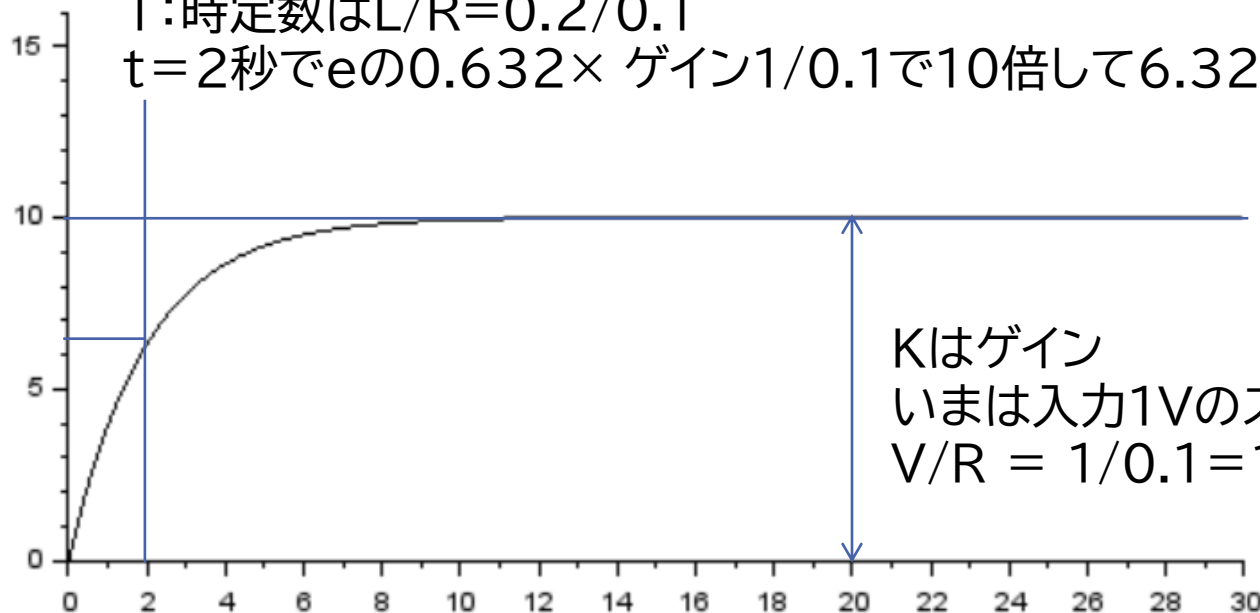
$$i(t) = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$



- $L=200\text{mH}$, $R=100\text{m}\Omega$ でモデルを作りました
ファイル 1次遅れ回路LR.zcos

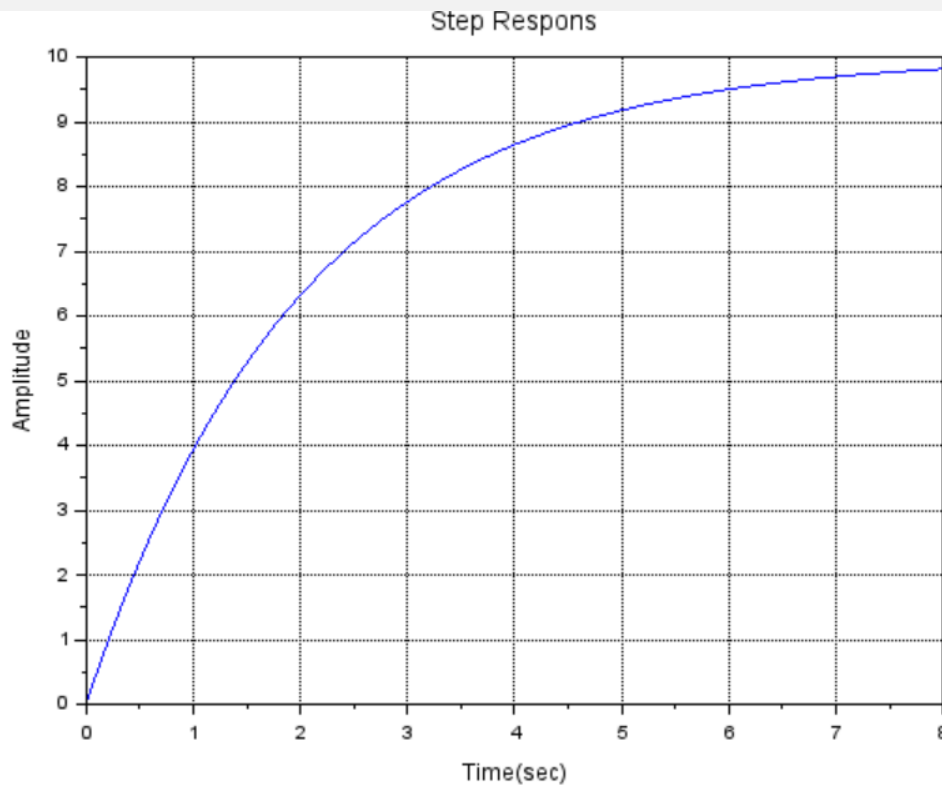


T:時定数は $L/R=0.2/0.1$
 $t=2$ 秒で e の $0.632 \times$ ゲイン $1/0.1$ で10倍して6.32 becoming: OK

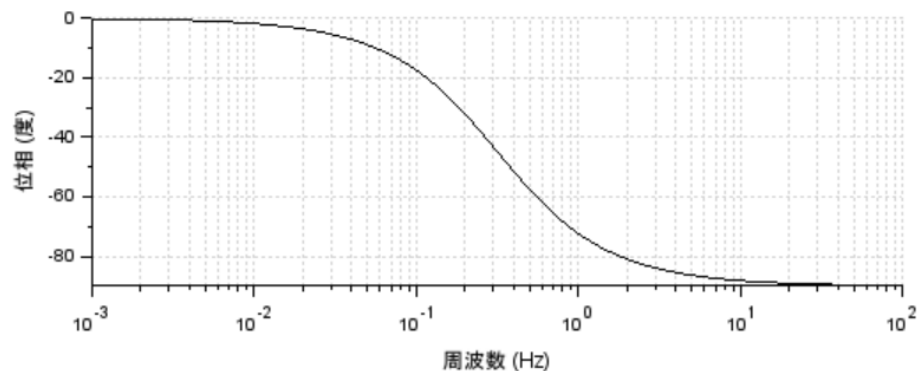
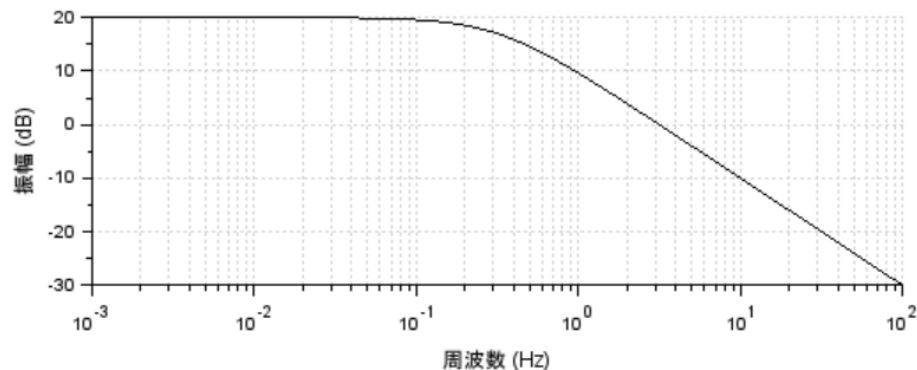


Kはゲイン
いまは入力1Vのステップ応答としたので
 $V/R = 1/0.1 = 10$ に漸近していく

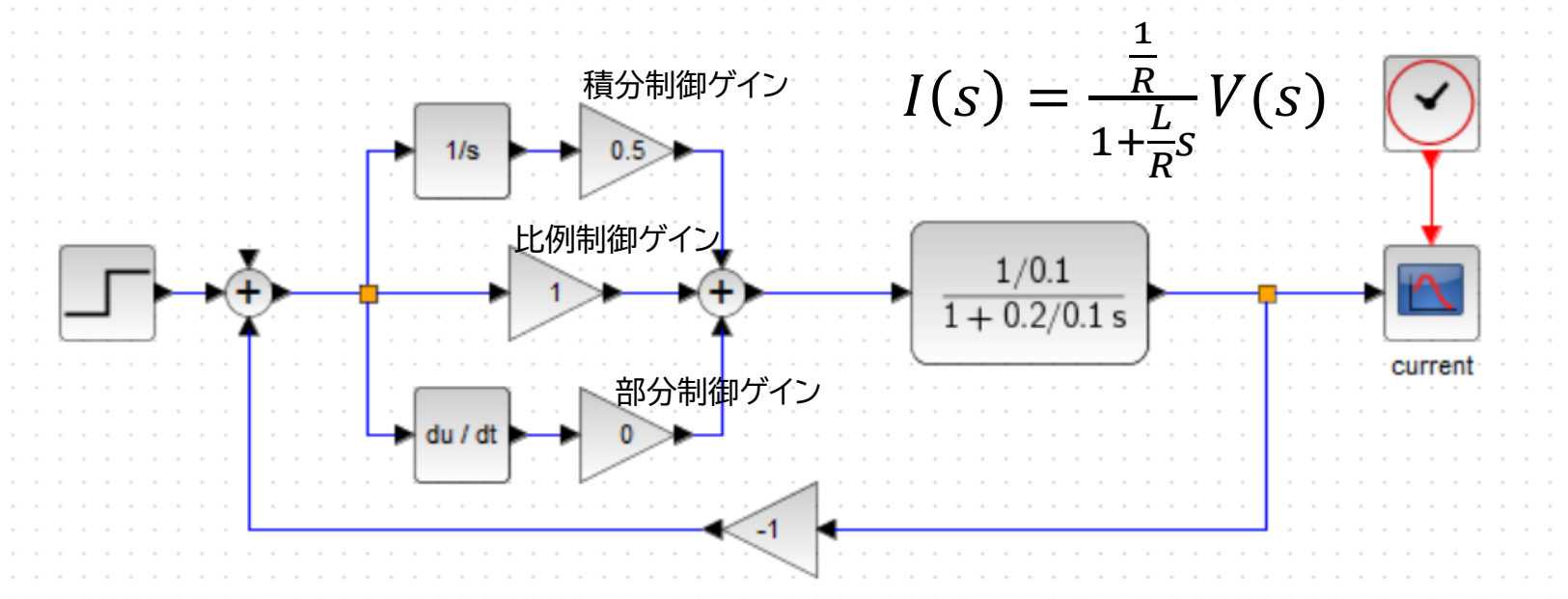
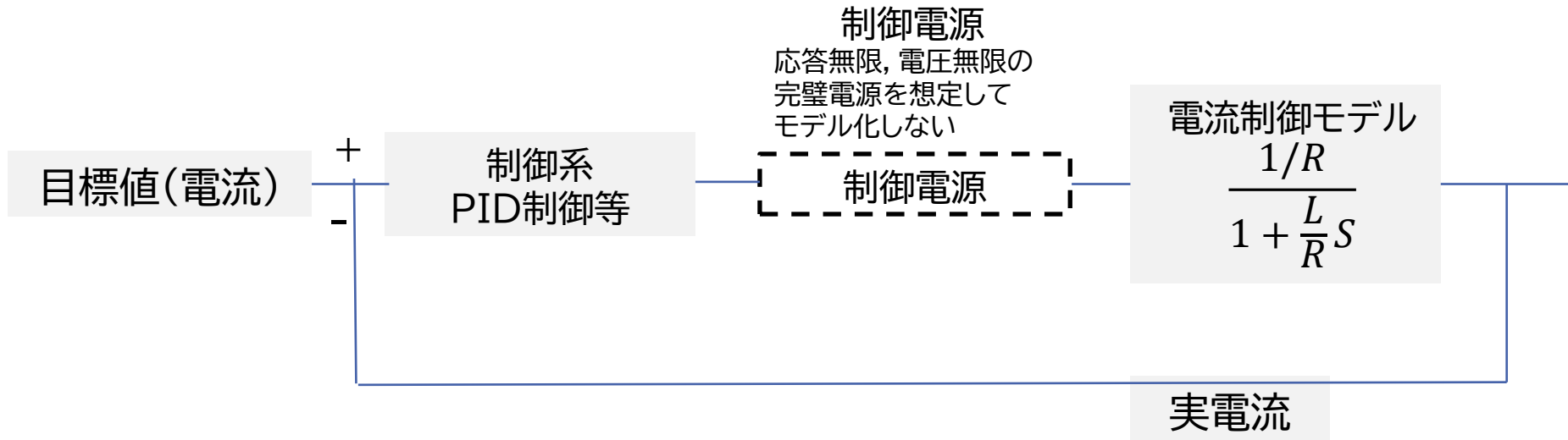
```
t=linspace(0,8,100) //←時間変数 t へ 0~8秒 を100分割した値の配列を設定
s=%s;               //ラプラス変数 sを定義。これにより伝達関数を記述可能になります。
G=(1/0.1)/((0.2/0.1)*s+1); //←積分要素の伝達関数
sys=syslin('c',G)    //←連続時間線形システムへ、関数 G を登録
y=csim('step',t,sys); //←sys ヘステップ入力( t秒 )を与えた場合の出力変化をyに得る
plot(t,y)
xgrid()
xtitle('Step Response','Time','Amplitude')
```



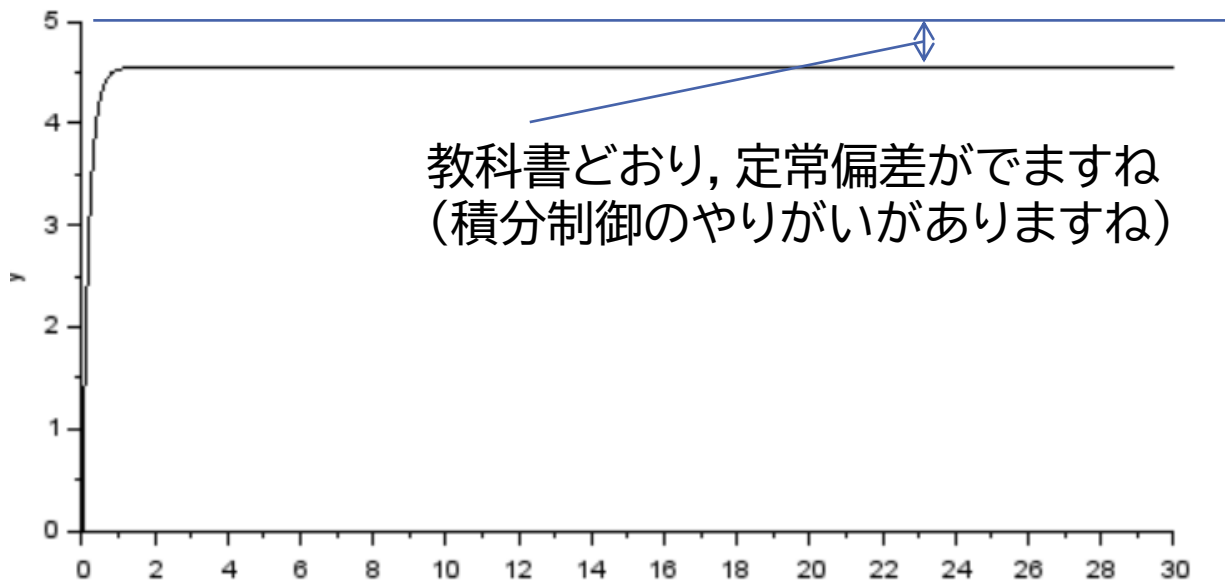
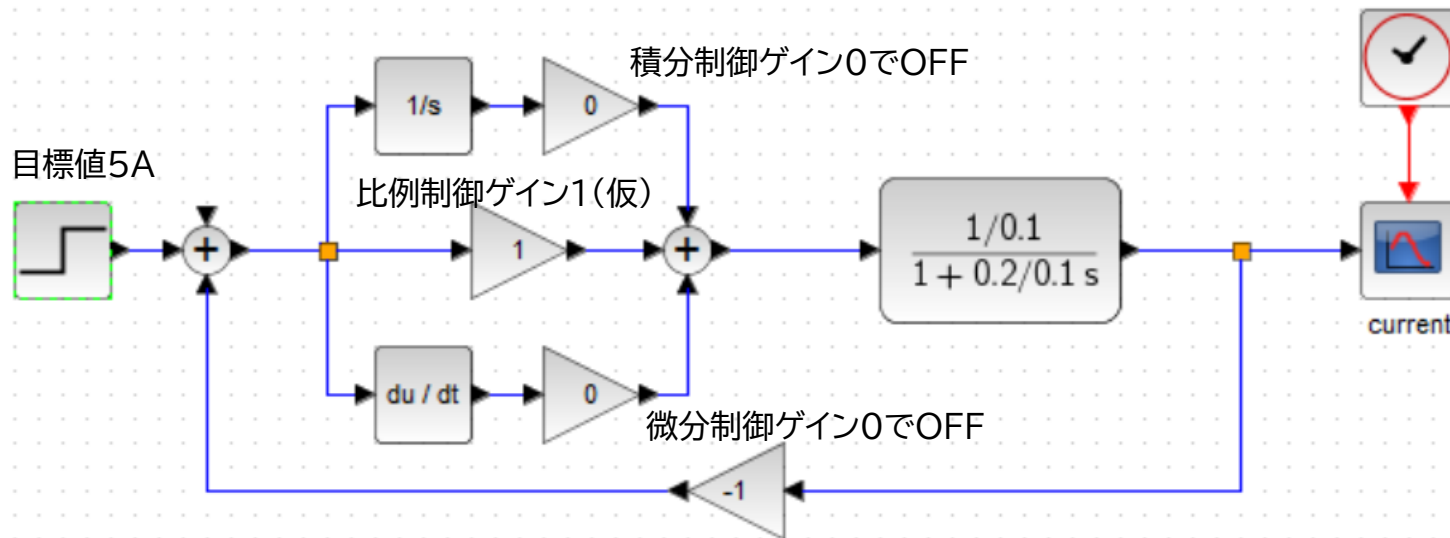
```
L=0.2;  
R=0.1;  
s=%s;  
G=(1/R)/((R/L)*s+1);           //伝達関数 G を定義  
sys=syslin('c',G);             //連続時間線形システムへ伝達関数 G を登録  
bode(sys,1e-3,1e2,0.01);       //ボード線図の描画(開始周波数, 終了周波数,周波数刻み))
```



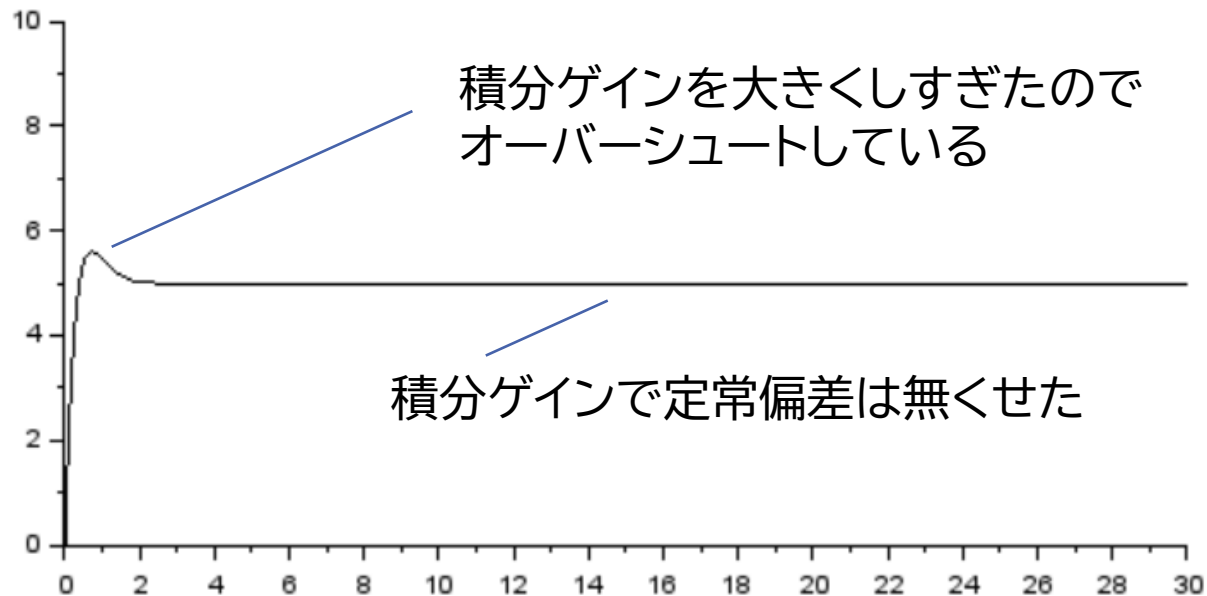
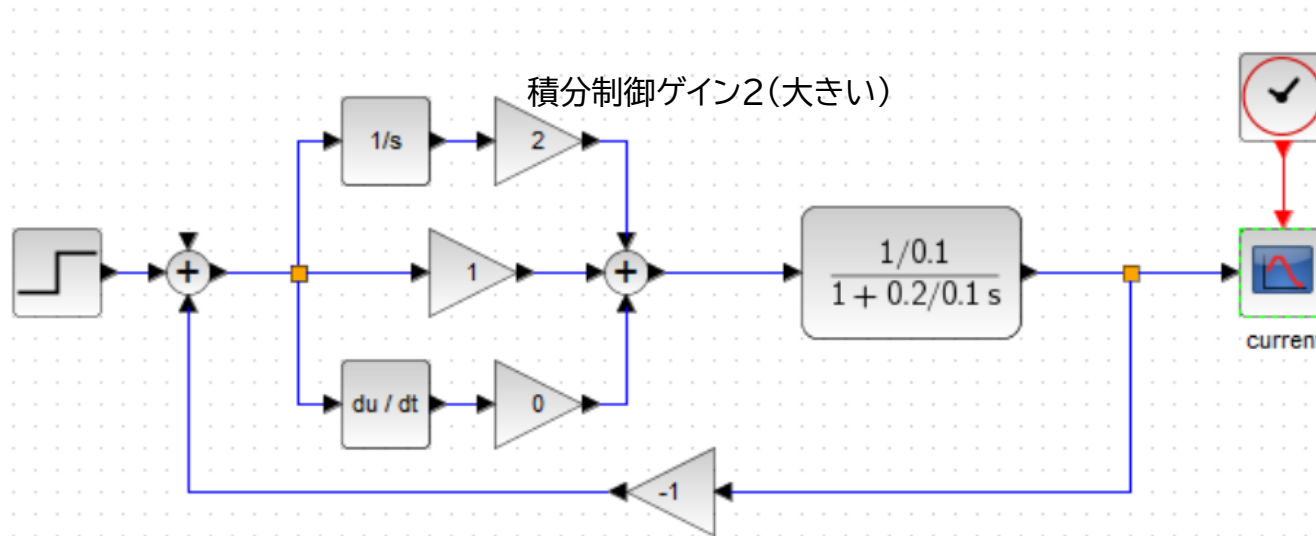
さて、電流を制御しましょう



目標値5Aを 比例制御だけでやってみる



目標値5A PI制御で偏差を消し込みます





入力は台車に加わる力 $f(t)$ 、出力は台車の速度 $v(t)$ 、 m は台車の質量、 c は空気抵抗係数です。
この台車の運動方程式を求めると、次式が得られます

$$m \dot{v} = -cv + f(t)$$

ラプラス変換して

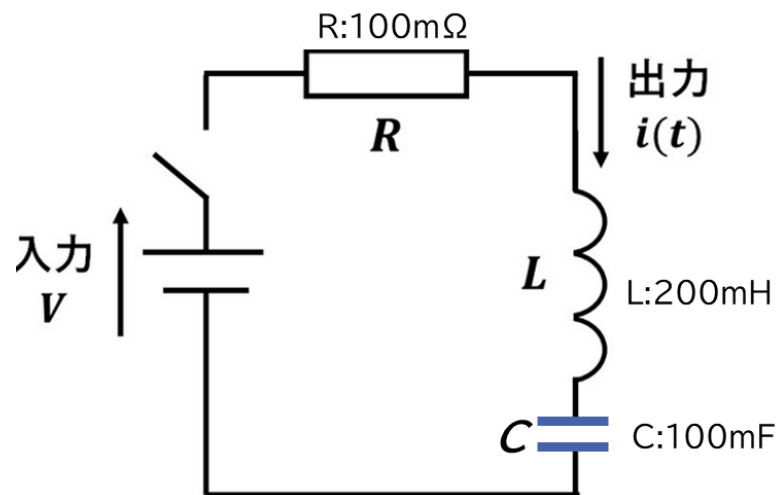
$$msV(s) = -cV(s) + F(s)$$

$$V(s) = \frac{1}{ms + c} F(s)$$

$$V(s) = \frac{\frac{1}{c}}{1 + \frac{m}{c}s} F(s)$$

2次遅れにチャレンジ LCR直列回路にて

この回路のステップ応答は？



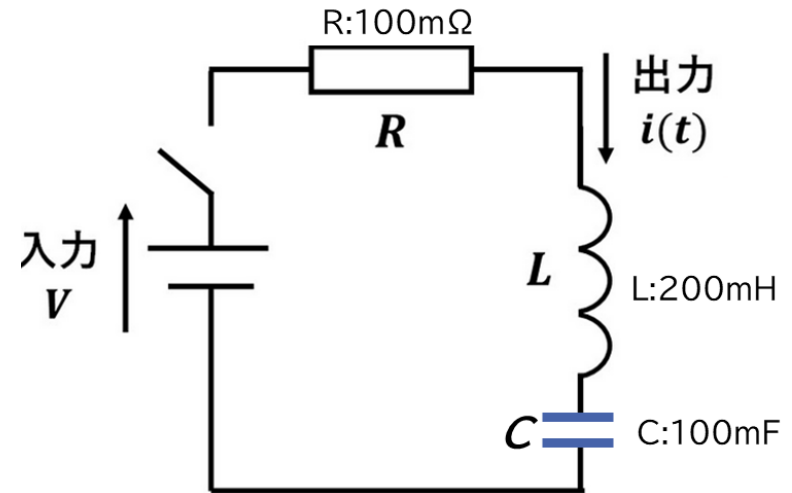
$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau, i(0) = 0$$

ラプラス変換して

$$V(s) = RI(s) + LsI(s) + \frac{1}{Cs} I(s)$$

$$V(s) = \{CRs + LCs^2 + 1\}I(s)$$

$$I(s) = \frac{\frac{1}{L}s}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} V(s)$$



$$I(s) = \frac{\frac{1}{L}s}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} V(s)$$

ステップ応答のラプラス変換は $1/s$ であるので、電圧 V に対するステップ応答は V/s
 $\therefore$

$$I(s) = \frac{\frac{V}{L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}}$$

$$\frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$

2次遅れのラプラス変換の一般形式右式と比較 すると

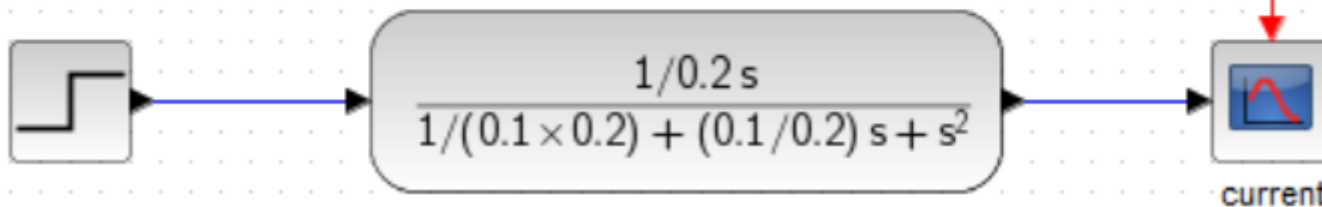
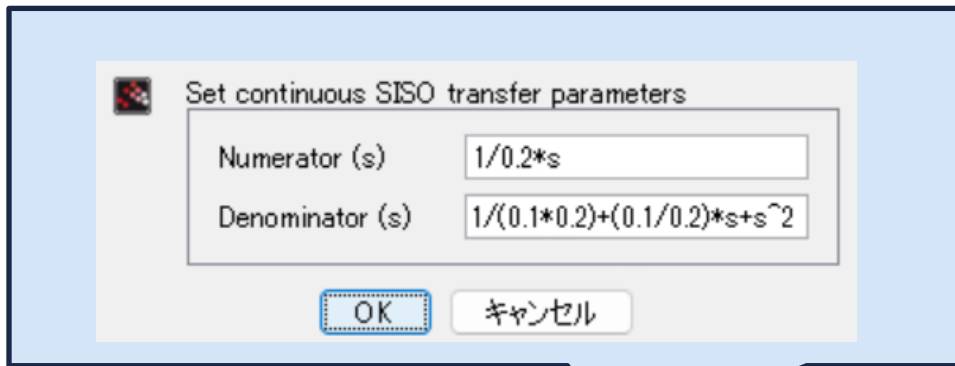
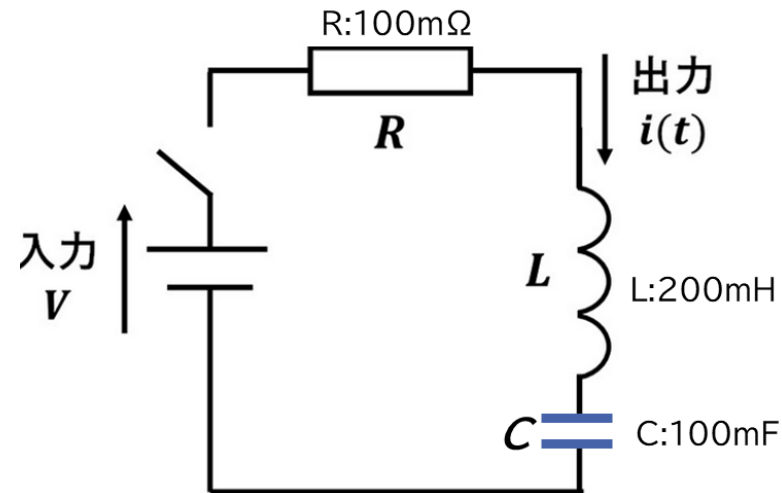
ゲイン $K = VC$, 減衰係数 $\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$, 自然角周波数 $\omega_n = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ のモデル

ζ は減衰係数, ω_n は自然角周波数 $0 \leq \zeta < 1$ で振動し, $1 < \zeta$ で振動しない

ここで $R=C=0.1$ $L=0.2$ なので $\zeta=0.05 \sqrt{\frac{0.1}{0.2}}=0.035$ で減衰振動する

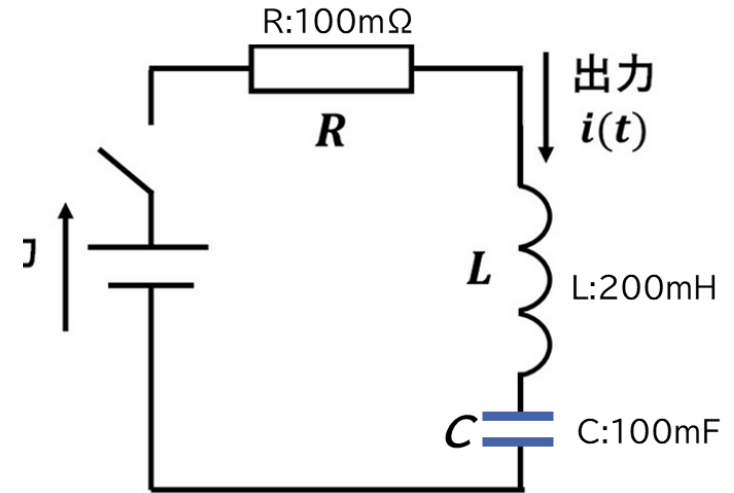
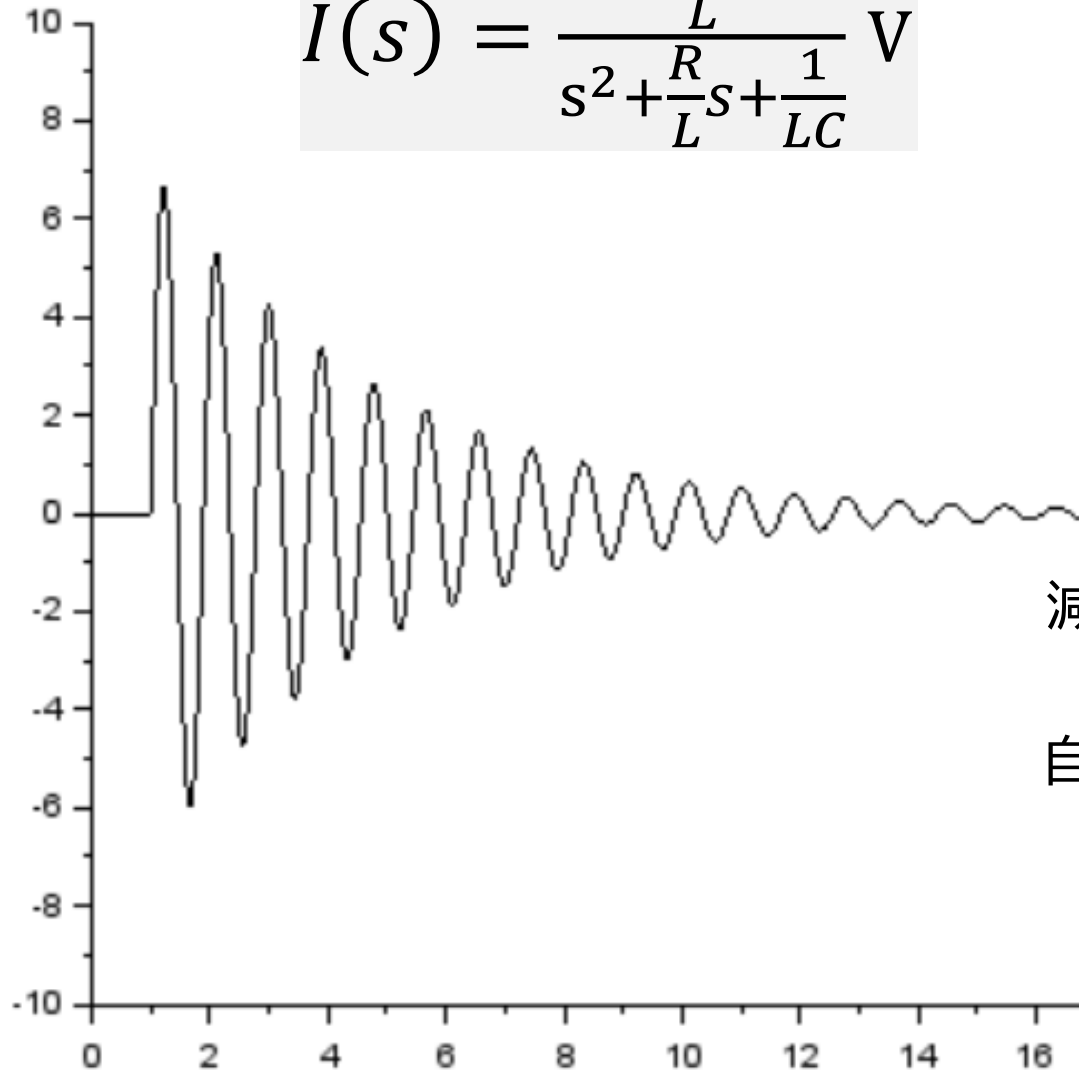
■ $L=200\text{mH}$, $R=100\text{m}\Omega$, $C=100\text{mF}$ で
モデルを作りました。
XCOSで1次遅れのブロックを開いて右記のよう
に
かいたら2次要素がつくれます

$$I(s) = \frac{\frac{1}{L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} V$$



出力は
次ページ

$$I(s) = \frac{\frac{1}{L}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} V$$

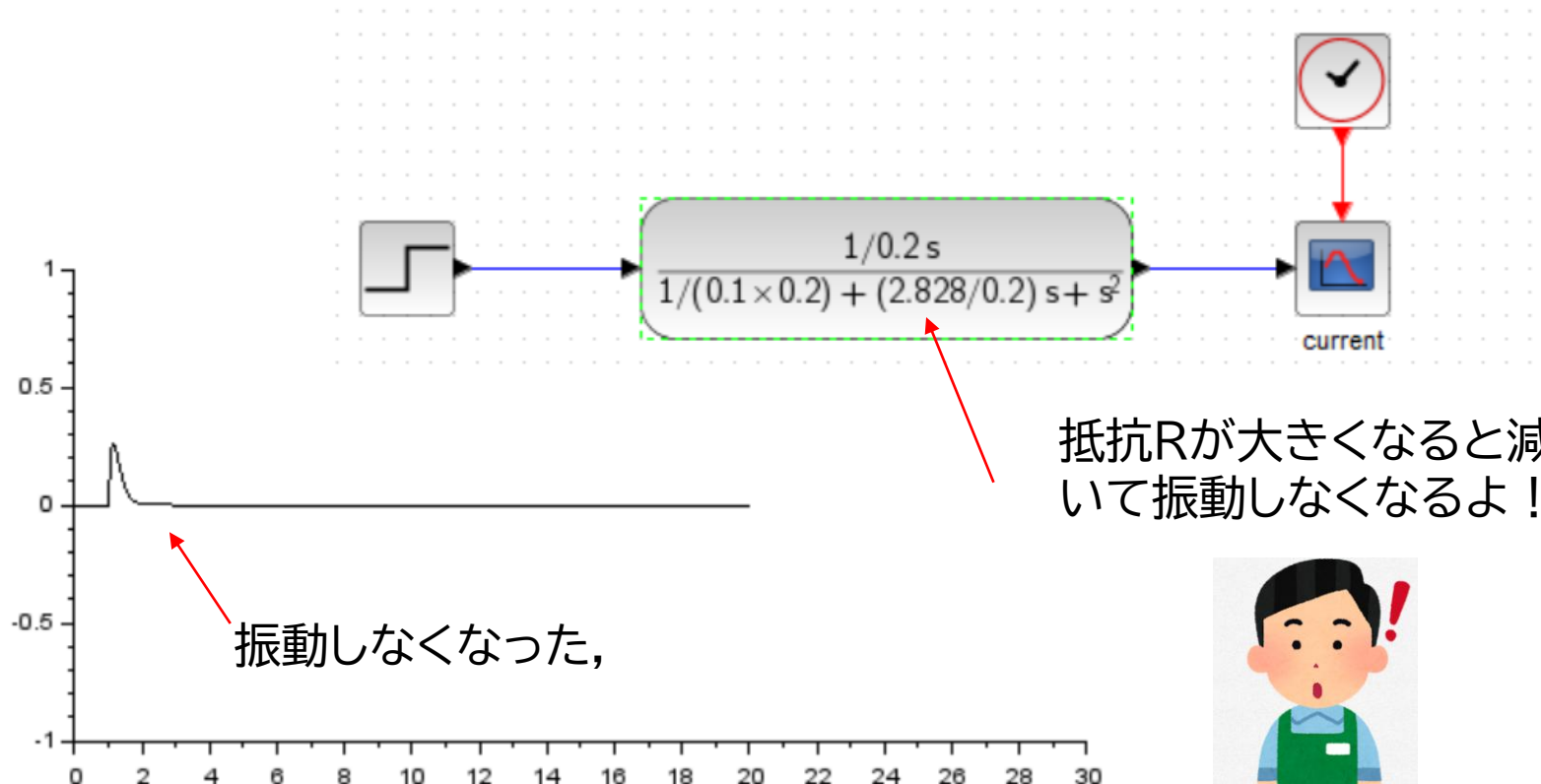


$$\text{減衰係数 } \zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = 0.035$$

$$\text{自然角周波数 } \omega_n = \sqrt{\frac{1}{LC}} = 7.07$$

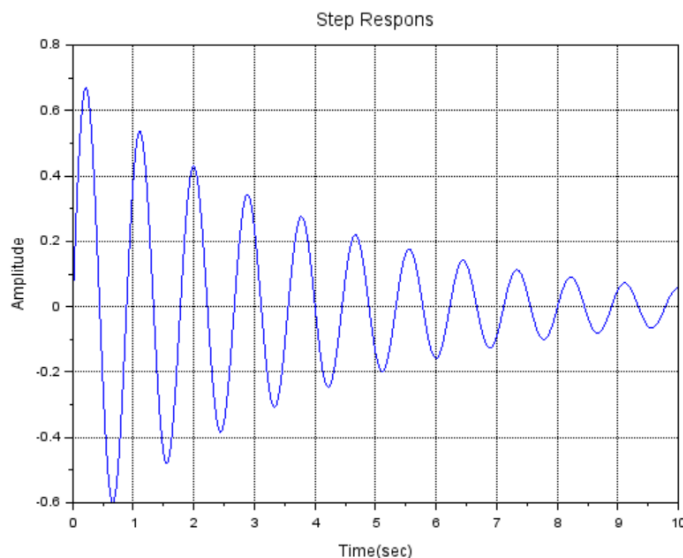
ここで $R=C=0.1$ $L=0.2$ なので $\zeta=0.05 \sqrt{\frac{0.1}{0.2}} = 0.0035 < 1$ で減衰振動する

減衰係数 $\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} > 1$ 狙いで $\sqrt{\frac{C}{L}} = 0.707$ より $R > 2.828$ にしてみると,,,



(参考)ブロック線図が面倒なら,SCILABの文字ベースでもおなじことができます

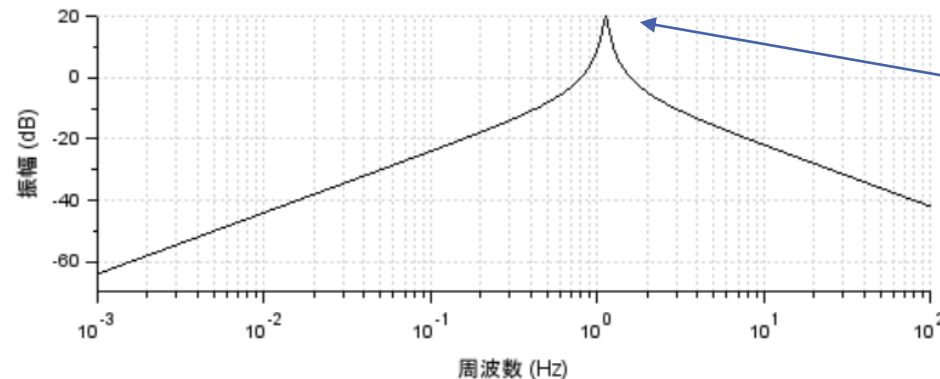
```
R=0.1;           //←抵抗値 0.1 Ω
L=0.2;           //←インダクタンス 0.2H
C=0.1;           //←キャパシタンス 0.1F
t=linspace(0,10.0,1000); //←0~0.0003secを1000分割
s=poly(0,'s');    //←多項式の変数 s を定義
G=(s/L)/(s^2+R/L*s+1/(L*C)); //←RLC直列回路の伝達関数
sys=syslin('c',G) //←連続時間線形システムへ、関数 G を登録
y=csim('step',t,sys); //←sys ヘステップ入力( t秒 )
plot(t,y)
xgrid()
xtitle('Step Respons','Time(sec)','Amplitude') //←sys ヘステップ入力( t秒 )
plot(t,y)
xgrid()
xtitle('Step Respons','Time(sec)','Amplitude')
```



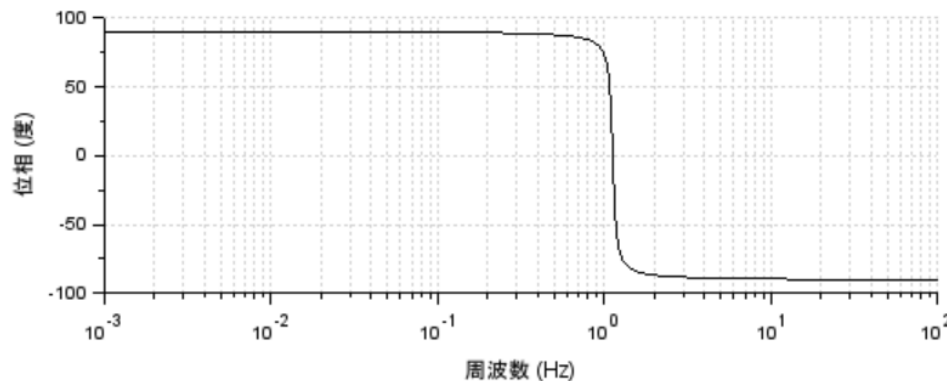
(参考)2次遅れのボード線図 (SCILABでかなり便利な機能です)

```
L=0.2;  
R=0.1;  
C=0.1  
s=%s;  
G=(s/L)/(s^2+R/L*s+1/(L*C));  
sys=syslin('c',G);  
bode(sys,1e-3,1e2,0.01);
```

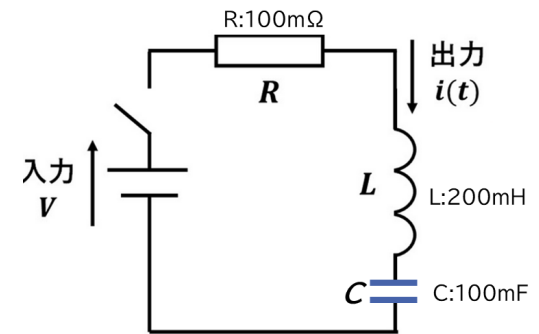
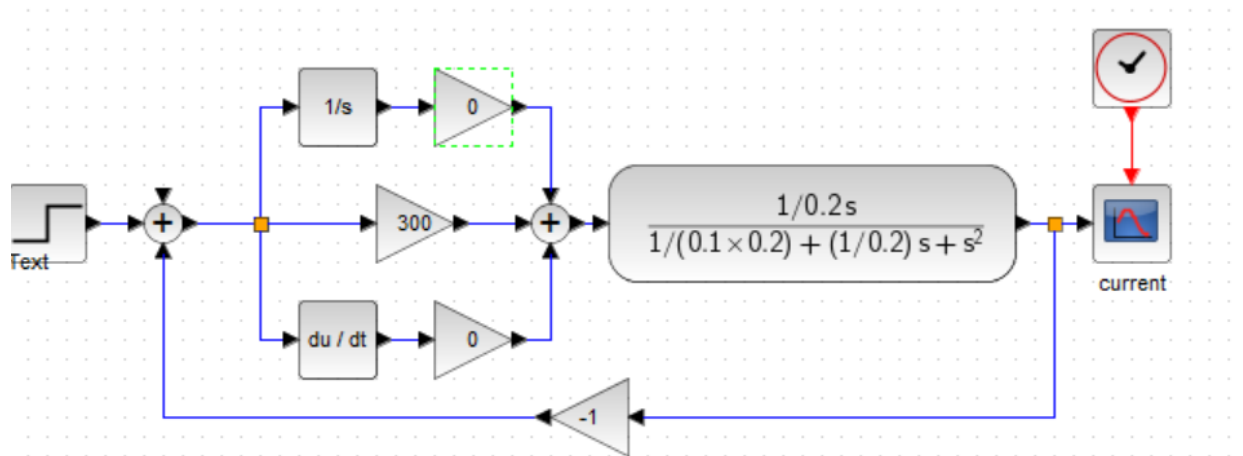
//多項式の変数 s を定義 poly(0,'s')と同じ意味
//←RLC直列回路の伝達関数
//連続時間線形システムへ伝達関数 G を登録
//ボード線図の描画(開始周波数, 終了周波数,周波数刻み))



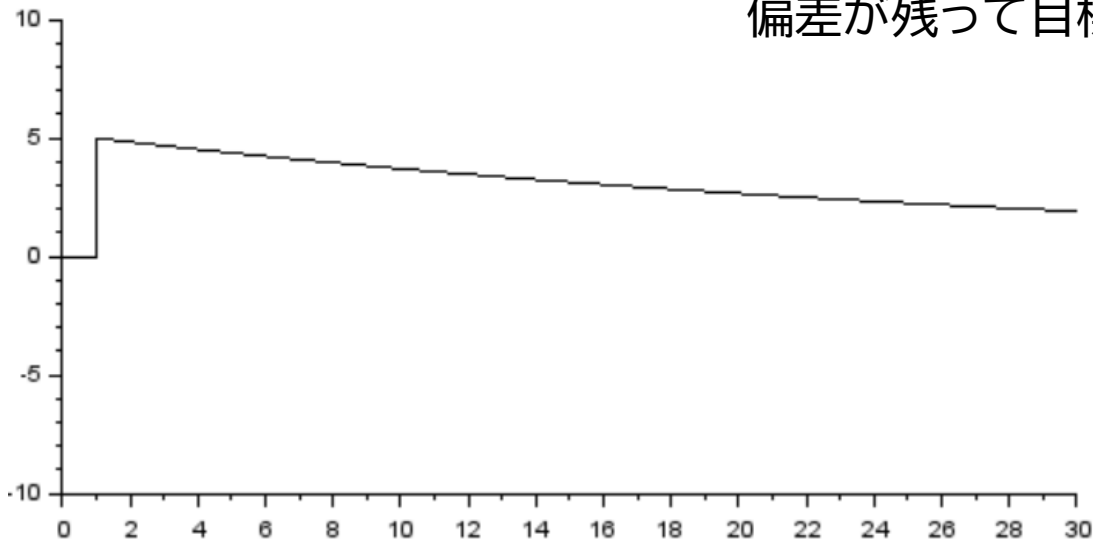
$$\text{自然角周波数 } \omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} = 1.1$$



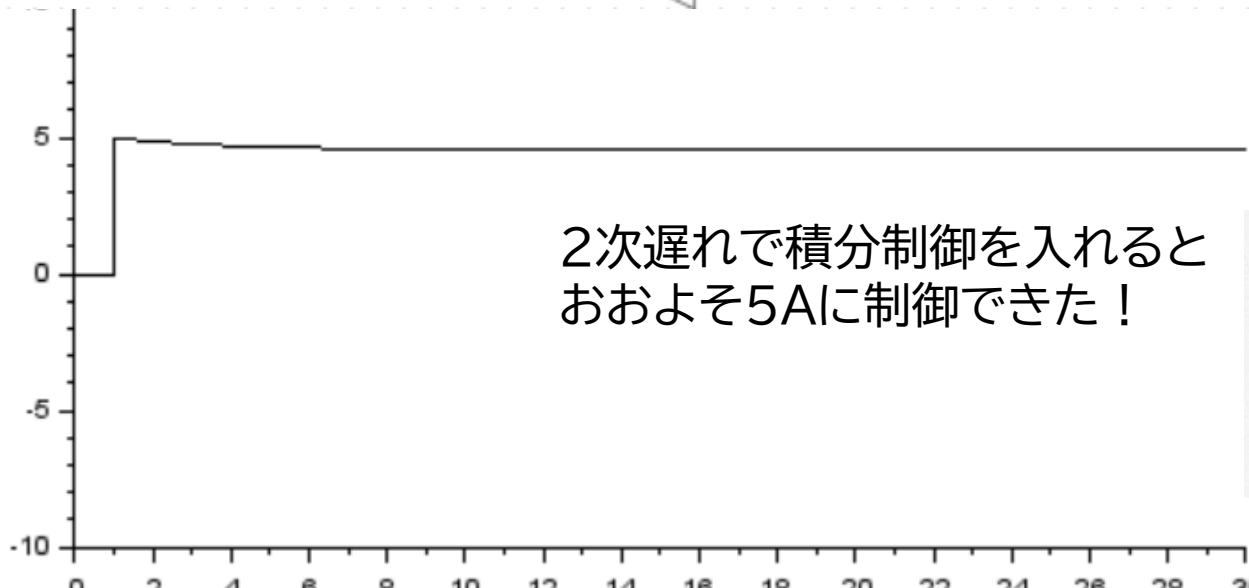
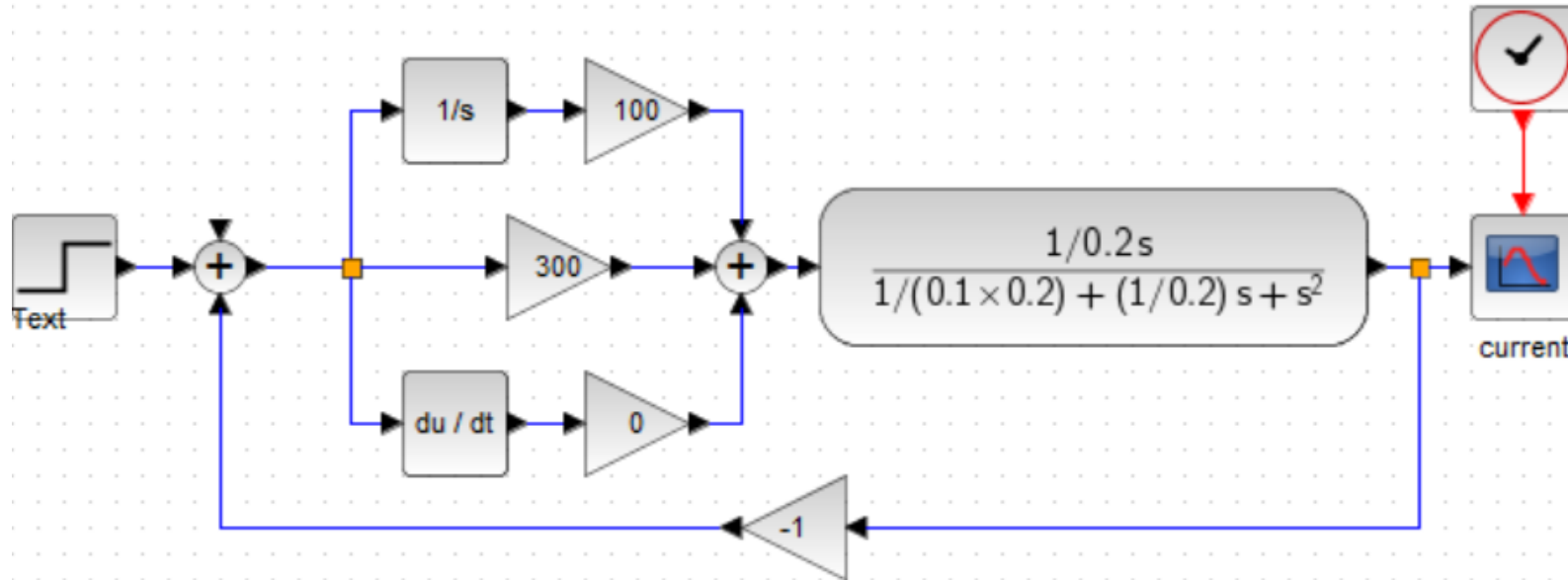
2次遅れモデルに対して目標値5AをP制御だけでやってみる



比例制御で一定値を指令しても
偏差が残って目標値には制御できない

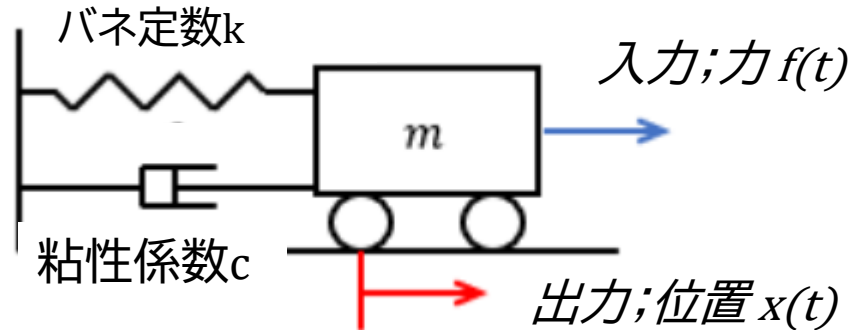


目標値5AをPI制御でやってみる



2次遅れで積分制御を入れると
おおよそ5Aに制御できた！





入力は台車に加わる力 $f(t)$ 、出力は台車の位置 $x(t)$ 、 m は台車の質量、 k はばね定数、 c は粘性係数です。
この台車の運動方程式を求めると、次式が得られます

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

ラプラス変換して

$$ms^2X(t) = F(t) - csX(t) - kX(t)$$

$$X(t) = \frac{1}{s^2 + \frac{c}{m}s + \frac{k}{m}} F(s)$$

PID制御を含む2次遅れ要素の伝達関数は下記となります

$$T(s) = \frac{\left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 + \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) K \omega_n^2}$$



ラウス・フルビッツの安定判別法を使ってこのシステムが安定である条件を導くことができます(詳細は制御工学の専門書を読んでください)

$$K_i > 0$$

$$K_d > -\frac{2\zeta}{K\omega_n}$$

$$K_p > \frac{K_i}{2\zeta\omega_n + K_d K \omega_n^2} - \frac{1}{K}$$

$$\text{減衰係数 } \zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\text{自然角周波数 } \omega_n = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

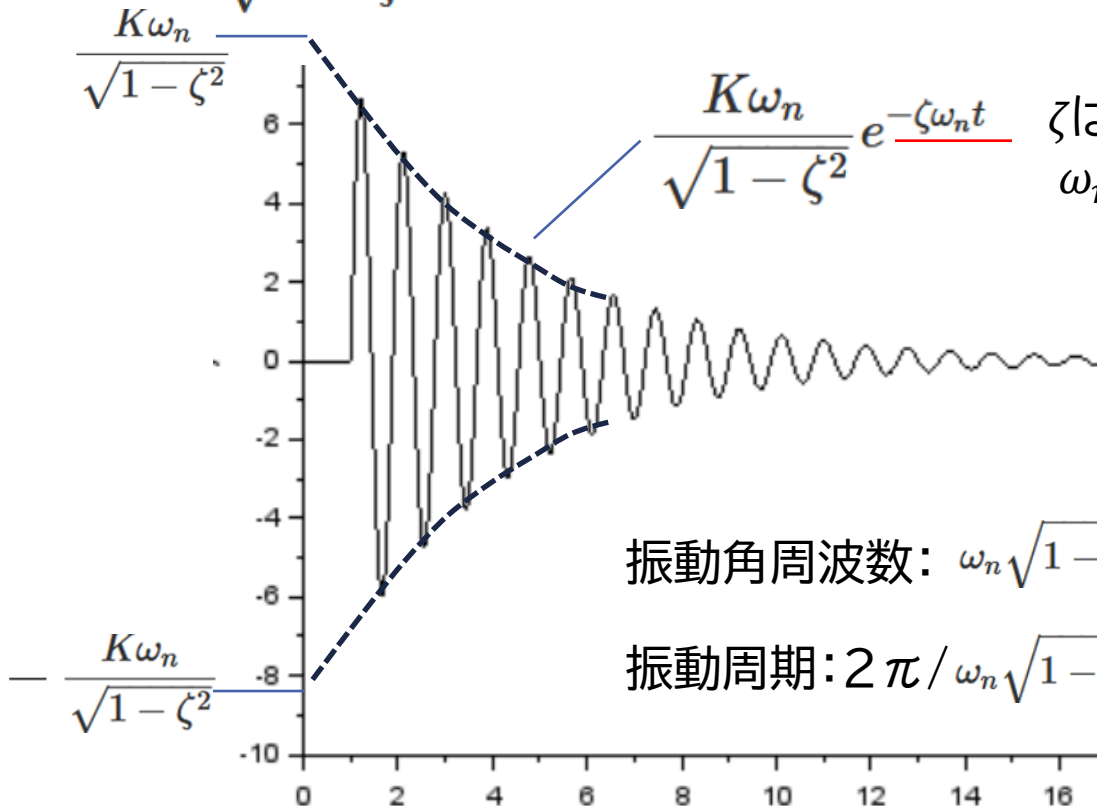
つまり回路定数がわからないと
ゲイン設定ができないということです
モータ屋(磁界解析)は回路定数
を制御屋さんへ渡すことが求められます

$$\frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} V$$

ζ は減衰係数, ω_n は固有値
 $0 \leq \zeta < 1$ で振動し, $1 < \zeta$ で振動しない

逆ラプラス変換した一般式(詳細略, $0 \leq \zeta < 1$ の場合)

$$y(t) = \frac{K\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t)$$

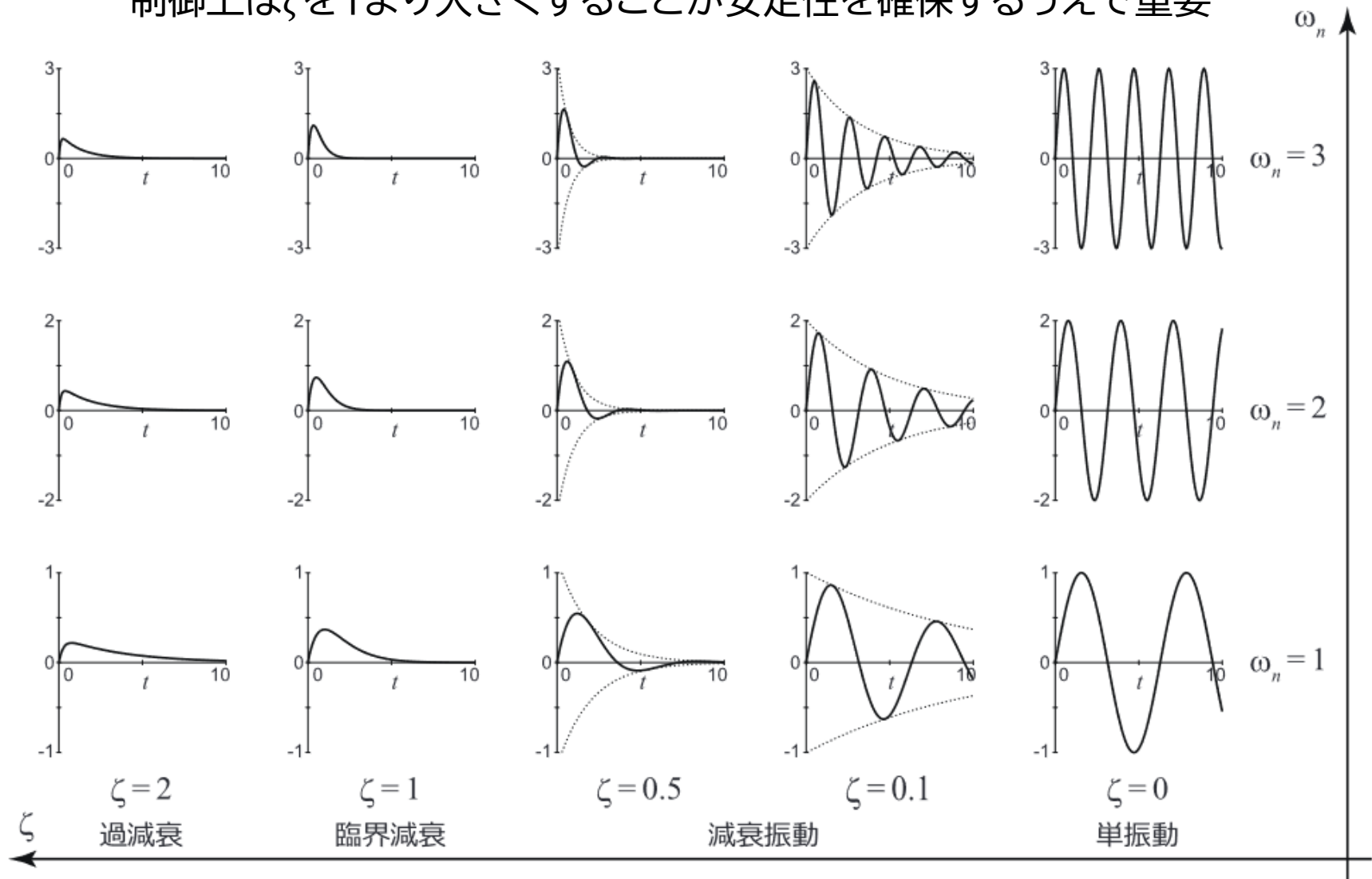


ζ は減衰係数で 振幅の減衰を決める
 ω_n は自然角周波数で常に正なので
 $0 \leq \zeta < 1$ で減衰振動
 $1 < \zeta$ で振動しない
 ζ が負で発散する

振動角周波数: $\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$

振動周期: $2\pi / \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$

ζ は減衰係数, ω_n は固有値 で波形は下記のようなイメージになる
制御上は ζ を1より大きくすることが安定性を確保するうえで重要



$$v = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K\Phi\omega_m$$

ここで、 v : 電源電圧[V], i_a : 電機子電流[A], $e_a = K\Phi\omega_m$: 誘導起電力[V]

K : 定数, Φ : 界磁磁束[Wb] (一定)

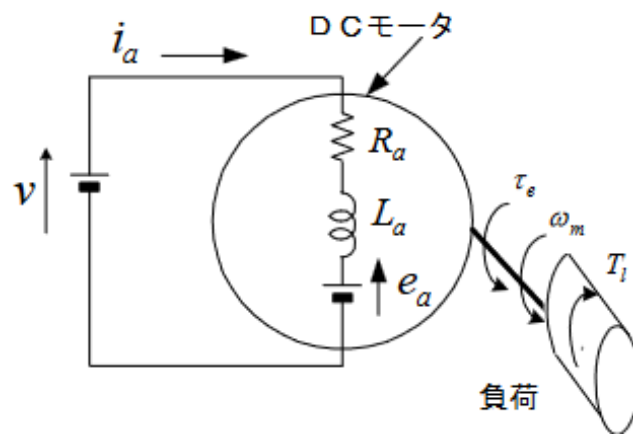
R_a : 電機子巻線の抵抗[Ω], L_a : 電機子巻線のインダクタンス[H]

$\omega_m = 2\pi \frac{N}{60}$: 回転角速度[rad/s], N : 1 分間の回転数[r/m]

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = K\Phi i_a - R_m \omega_m - T_l \quad \textcircled{2}$$

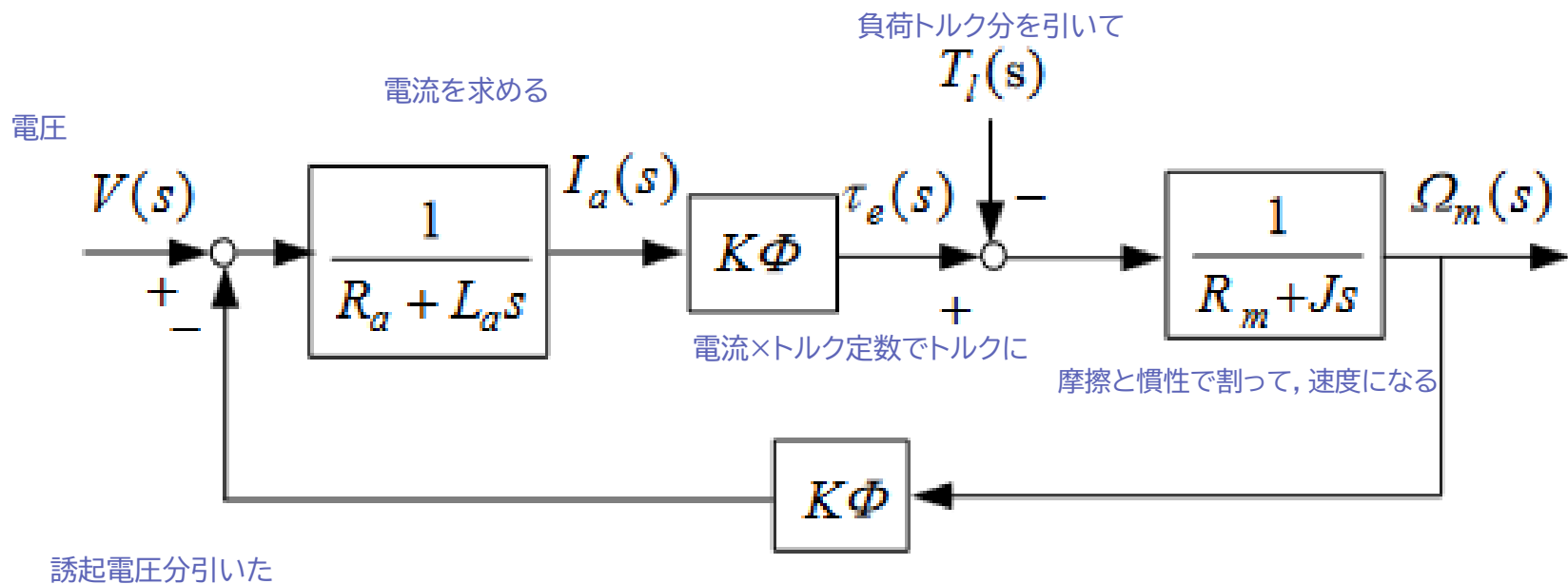
ここで、 $\tau_e = K\Phi i_a$: 発生トルク[Nm], J : 慣性モーメント[kgm²] (DC モータ+負荷)

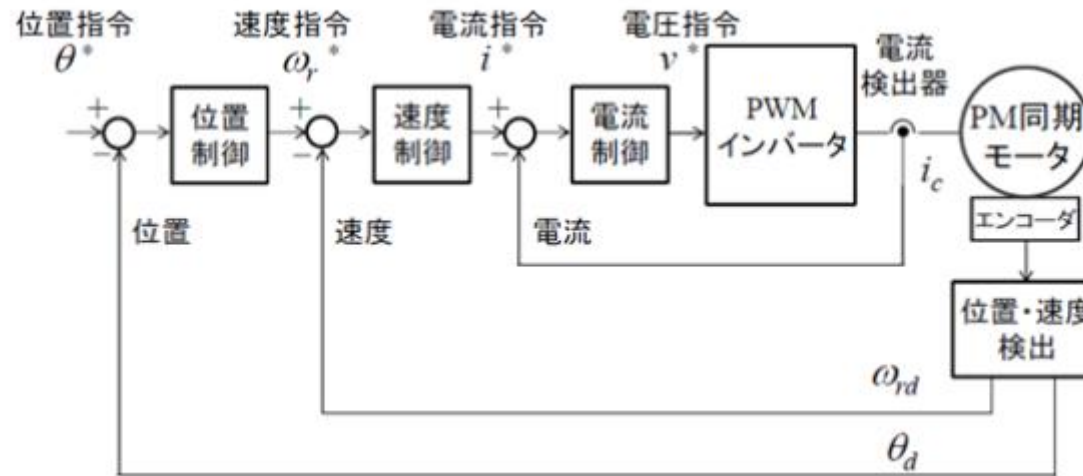
R_m : 制動係数[Nms], T_l : 負荷トルク[Nm]



$$v = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K\Phi \omega_m$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = K\Phi i_a - R_m \omega_m - T_l$$





目標位置を決める

位置制御

目標と現在位置の距離が離れているほど、早く動け

速度制御

今の速度と目標速度が離れているほど、力を出せ＝電流を増やせ

電流制御

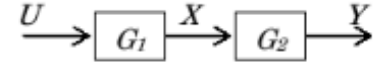
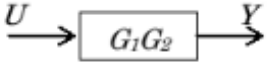
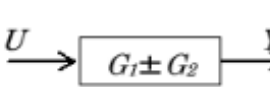
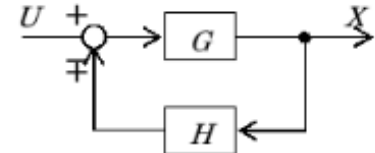
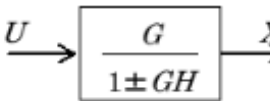
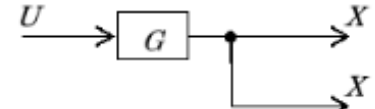
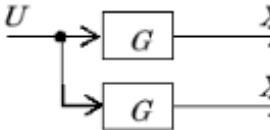
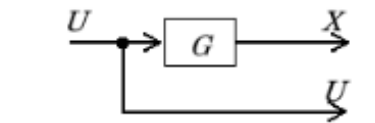
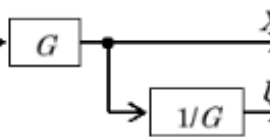
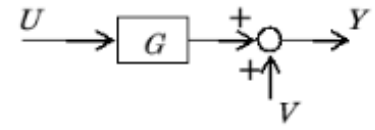
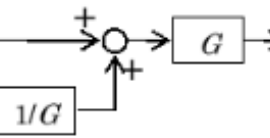
- ①電気, 機械, 化学等, 問いません, なんらかの物理モデルを仮定する
- ②物理モデルの入力と出力を定義して, 微分方程式で示す
1階もしくは2階の微分あるいは積分がないと制御する必要がないので, 微分, 積分を含むこと
- ③ ②で示した式をラプラス変換して, 入力と出力をつなぐ伝達関数の形で整理すること
- ④ ③で作った伝達関数をSCILABのXCOSを起動して, ブロック線図にすること
- ⑤ ④で作ったブロック線図に対してステップ応答を求めてみること
- ⑥ ④で作ったモデルに対してフィードバック制御を行い, 求める値に制御してみること

以上のプロセスをスクショして, PDFにまとめて, 提出してください

(参考資料を以降に作成したので, 適宜眺めて参照すれば, 何かはできると思います, ガンバレ)

$f(t)$	$\mathcal{L}[f(t)]$	$f(t)$	$\mathcal{L}[f(t)]$
$\delta(t)$	1	1	$\frac{1}{s}$
t	$\frac{1}{s^2}$	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}t^n$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$

ラプラス変換前	ラプラス変換後
$f(t)$	$F(s)$
$a \ (t > 0)$	$\frac{a}{s}$
$\frac{dx(t)}{dt}$	$sX(s) - x(0)$
$\int_0^\infty x(t)dt$	$\frac{1}{s}X(s)$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$

	変換動作	変 換 前	変 換 後
1	直列結合		
2	並列結合		
3	フィードバック結合		
4	引出し点の要素前への移動		
5	引出し点の要素後への移動		
6	加え合せ点の要素前への移動		
7	加え合せ点の要素後への移動	