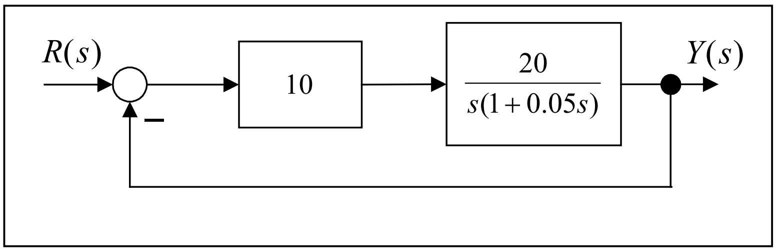
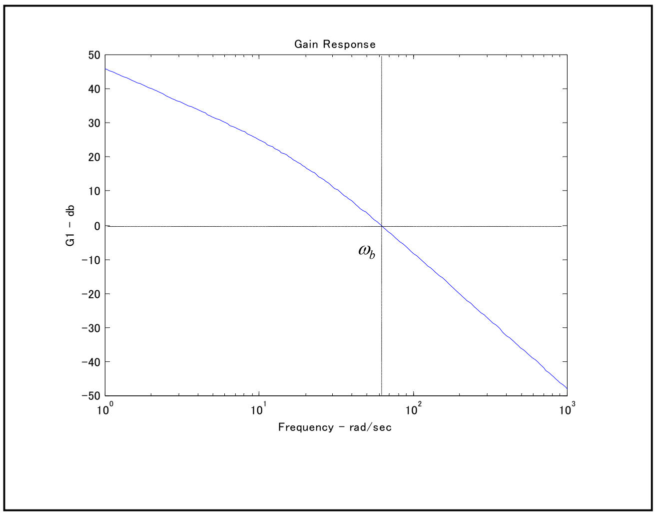
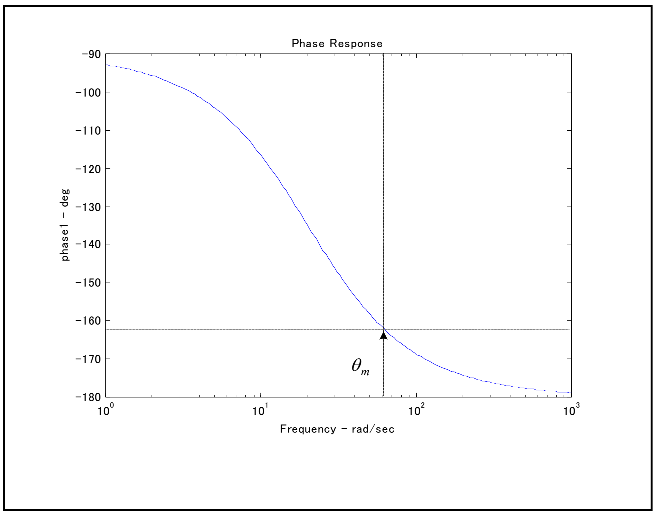


開ループ伝達関数　$G = \dfrac{200}{s(1+0.05s)}$

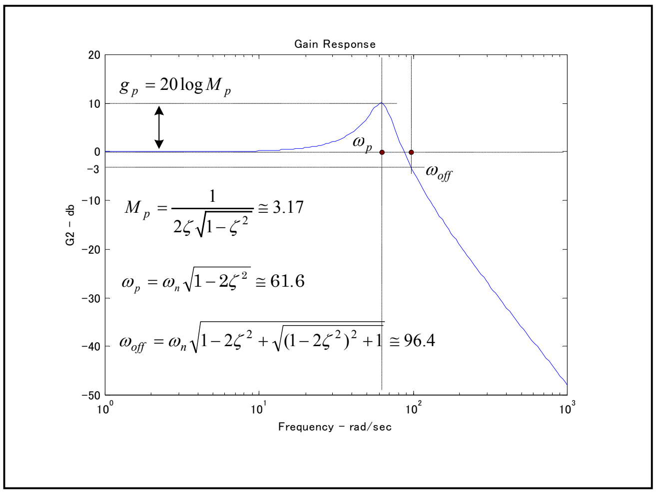
閉ループ伝達関数　$W = \dfrac{4000}{s^2 + 20s + 4000}$　,　固有角周波数　$\omega_n \cong 63.2$　,　減衰係数　$\zeta \cong 0.16$

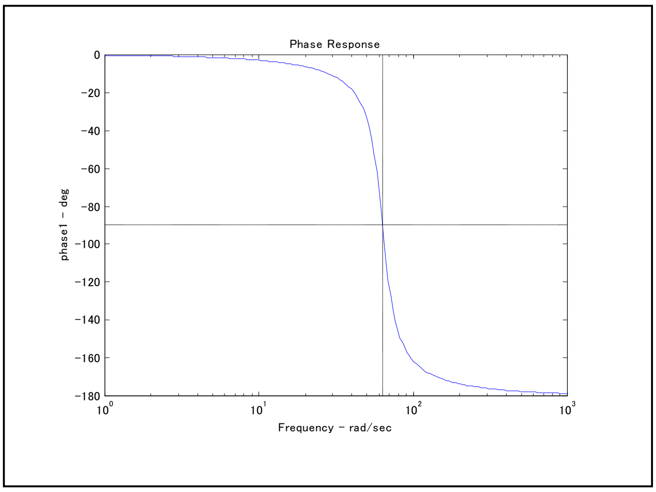
交差周波数　$\omega_b = \omega_n \sqrt{\sqrt{4\zeta^4 + 1} - 2\zeta^2}$　,　位相余裕　$\theta_m = 90^o - \tan^{-1}\left(\dfrac{1}{2\zeta}\sqrt{\sqrt{4\zeta^4 + 1} - 2\zeta^2}\right)$





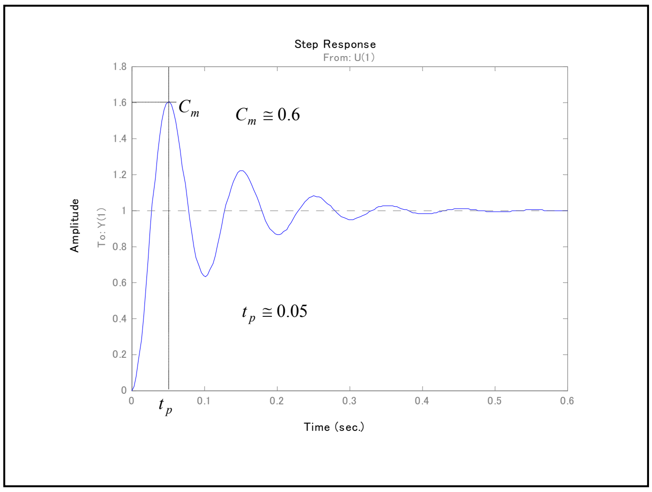
G の Bode 線図(ゲイン)　交差周波数　$\omega_b \cong 61.6$　　G の Bode 線図(位相)　位相余裕　$\theta_m \cong 18$ [deg]





W の Bode 線図　ピークゲイン　$M_p \cong 3.17$　　W の Bode 線図(位相)

$g_p = 20\log M_p \cong 10$　[dB]



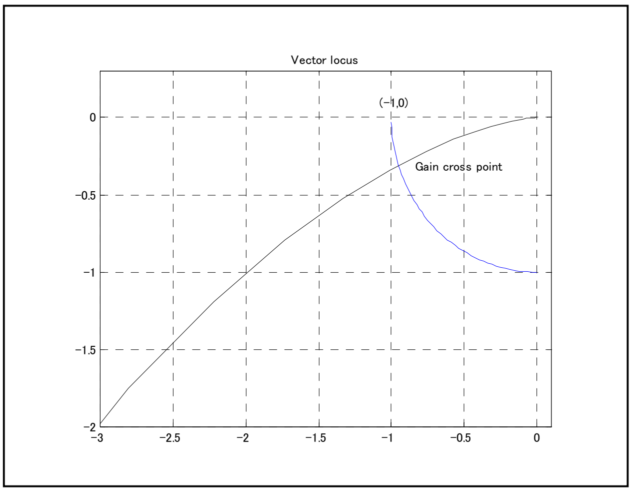
最大行過ぎ量

$$C_m = \exp\left(-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right) \cong 0.6$$

最大行過ぎ時間

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} \cong 0.05$$

閉ループ系のステップ応答（最大行過ぎ量 C_m =60%）



G のベクトル軌跡

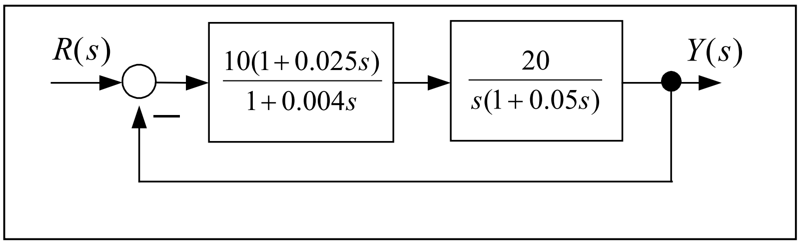
```
format short e
% 開ループ伝達関数

numvp=[200];
denvp=[0.05 1 0];

% ゲイン線図
w=logspace(0,3,200);
[mag1,phase1,w]=bode(numvp,denvp,w);
mag1=20*log10(mag1);
semilogx(w,mag1,'-')
title('Gain Response')
xlabel('Frequency - rad/sec')
ylabel('G1 - db')

pause
% 位相線図
semilogx(w,phase1,'-')
title('Phase Response')
xlabel('Frequency - rad/sec')
ylabel('phase1 - deg')
%-----------------------------------
% 閉ループ伝達関数について上記と同様
[a1,b1,c1,d1]=tf2ss(numvp,denvp);
[A,B,C,D]=interc(a1,b1,c1,d1,1,1,-1);
[numt,dent]=ss2tf(A,B,C,D,1)
w=logspace(0,3,200);
[mag2,phase2,w]=bode(numt,dent,w);
% 閉ループゲイン線図と位相線図

% ステップ応答
%step(numt,dent)
for i=1:100
t(i)=i*0.001;
end;
y=step(numt,dent,t) ;
plot(t,y,'-')
```

Bode 線図プログラム例

```
%      ベクトル軌跡   200/0.05s^2+s
% --------------------------------
format short e

num=200;
den=[0.05 1 0];
[re,im]=nyquist(num,den);
plot(re,im,'k-'),grid
axis([-3,0.1,-2,0.3]);

hold on
% ゲイン交点を示す為に
for i=1:50
ang=i*0.01*pi;
u(i)=-cos(ang);
v(i)=-sin(ang);
end;
plot(u,v,'-')
title('Vector locus')

gtext('(-1,0)')
gtext('Phase cross point')
```

ベクトル軌跡プログラム例

進相補償例



開ループ伝達関数

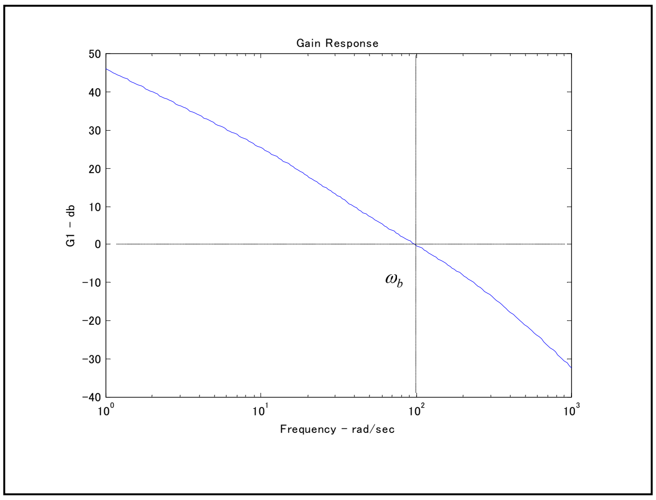
$$G = \frac{200(1+0.025s)}{s(1+0.004s)(1+0.05s)}$$

閉ループ伝達関数

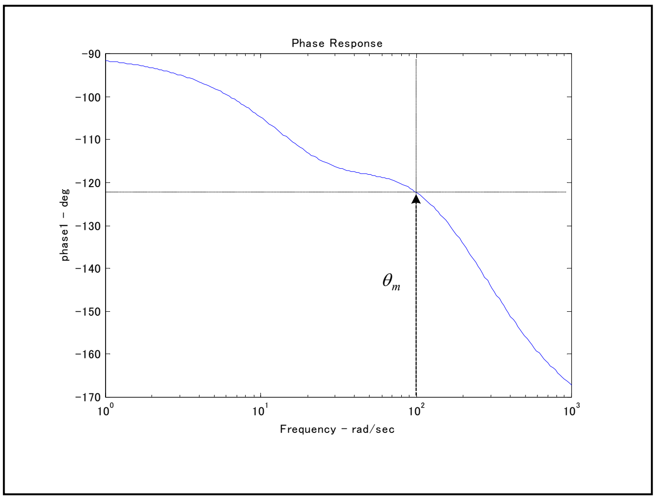
$$W = \frac{G}{1+G} = \frac{200(1+0.025s)}{s(1+0.004s)(1+0.05s)+200(1+0.025s)} = \frac{5s+200}{2\times10^{-4}s^3+0.054s^2+6s+200}$$

$$= \frac{2.5\times10^4(s+40)}{s^3+270s^2+3\times10^4 s+1\times10^6} \cong \frac{2.5\times10^4(s+40)}{(s+55)(s^2+215s+18175)}$$

位相補償　進相補償設計（位相余裕 60[deg]の設計）　確認用 Bode 線図

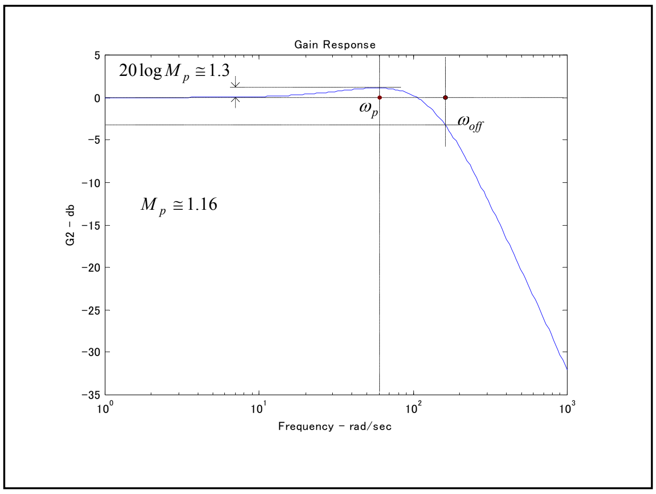


G の Bode 線図(ゲイン)　交差周波数　$\omega_b \cong 100$

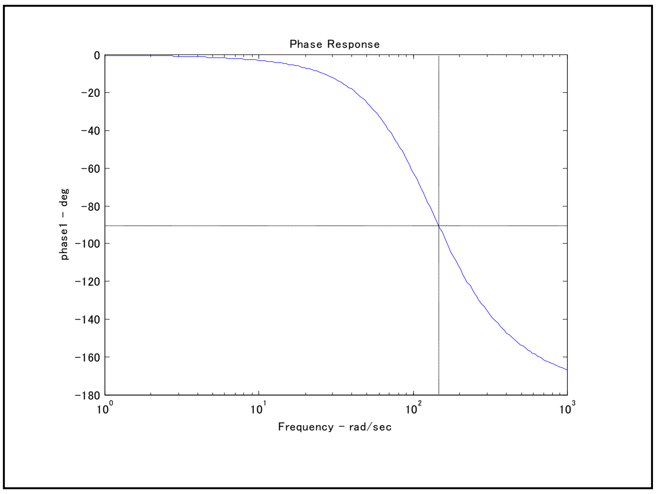


G の Bode 線図(位相)　位相余裕　$\theta_m \cong 58$ [deg]

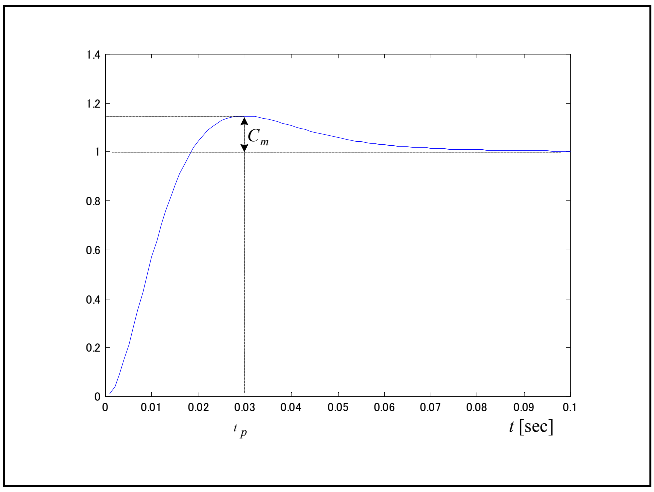
制御系設計後の閉ループ系の特性



W の Bode 線図　ピークゲイン　$M_p \cong 1.16$



W の Bode 線図(位相)



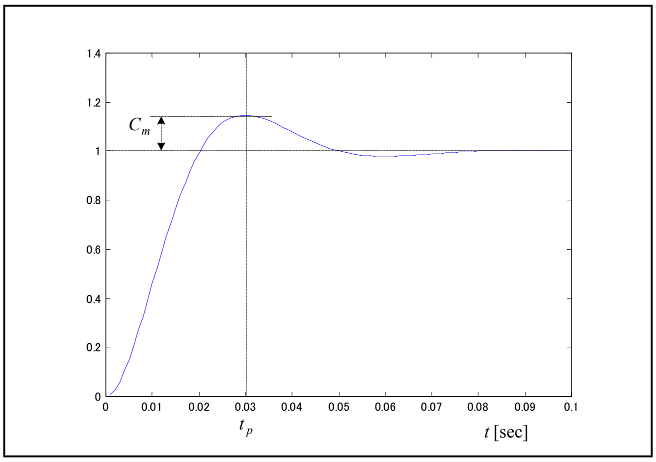
閉ループ系のステップ応答（最大行過ぎ量 C_m =15%）

$$C_m = \exp x \quad , \qquad x = -\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

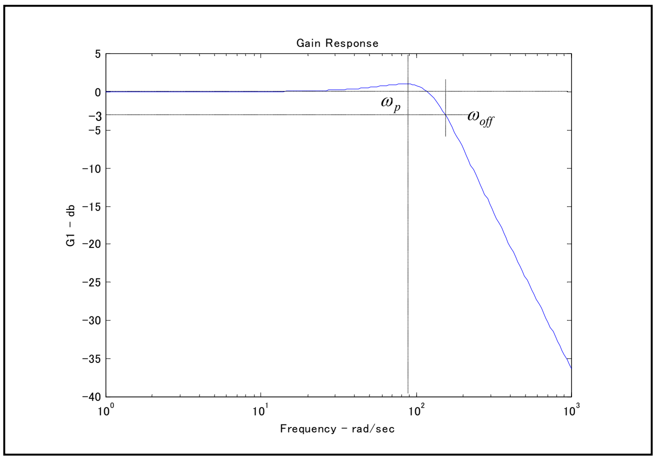
$$\zeta = \sqrt{\frac{x^2}{\pi^2 + x^2}} \quad , \qquad t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

このステップ応答の最大行過ぎ量 $C_m = 0.15$ と最大行過ぎ時間 $t_p = 0.03$ [sec]から近似系として 2 次系モデルを求める。上式より、$\zeta \cong 0.52 \quad \omega_n \cong 123$ が得られ、以下の近似伝達関数を得る。

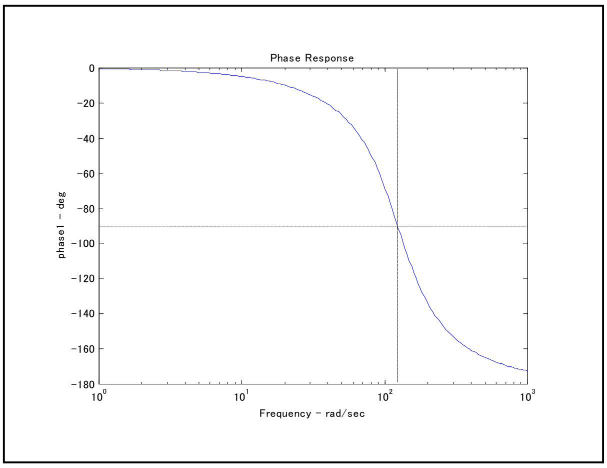
$$W_a = \frac{15129}{s^2 + 128s + 15129}$$



近似系のステップ応答



近似系 W_a の Bode 線図



近似系 W_a の Bode 線図(位相)