

第7章：フィードバック制御系のロバスト性解析

- 7.1 不確かさとロバスト性
- 7.2 ロバスト安定性
- 7.3 制御性能のロバスト性

キーワード：不確かさ、ロバスト安定性
ロバスト性能

学習目標：MATLABを用いて、モデルの不確かさ、ロバスト安定性、ロバスト性能を確認することができる。

1

MATLAB演習

7章 演習問題【5】

$$P(s) = \frac{1}{s} \quad K(s) = 1$$

$$W_2(s) = \frac{s}{1.5} \quad W_1(s) = \frac{1}{1.5s}$$

ロバスト安定

$$\left| \frac{W_2 L}{1 + L} \right| < 1, \quad \forall \omega \quad |T| < \frac{1}{|W_2|}, \quad \forall \omega$$

ノミナル性能

$$|W_1 S| < 1, \quad \forall \omega \quad |S| < \frac{1}{|W_1|}, \quad \forall \omega$$

2

file7_1.m を実行

```
P_nom = tf([1 0])
K = 1;
W2 = tf([1 0],[1.5]);
D = ultidyn('Delta',[1 1]);
T = feedback(P_nom*K,1);
figure(1)
nyquist(P_nom*K*(1 + W2*D))
figure(2)
hold on
bodemag(T)
hold on
bodemag(1/W2)
```

$$P(s) = \frac{1}{s}$$

$$K(s) = 1$$

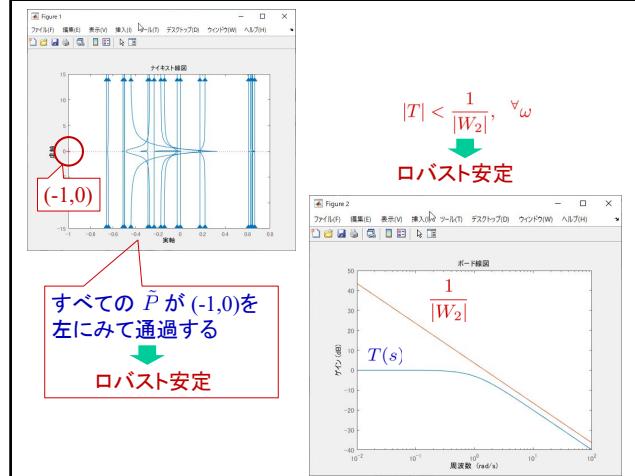
$$W_2(s) = \frac{s}{1.5}$$

$$T(s) = \frac{P(s)K(s)}{1 + P(s)K(s)}$$

$$\tilde{P} = (1 + \Delta(s)W_2(s))P(s)$$

$$\tilde{L} = (1 + \Delta(s)W_2(s))P(s)K(s)$$

3



4

file7_2.m を実行

```
P_nom = tf([1 0])
K = 1;
W1 = tf([1],[1.5 0]);
S = inv(1+P_nom*K)
figure(3)
bodemag(S)
hold on
bodemag(1/W1)
```

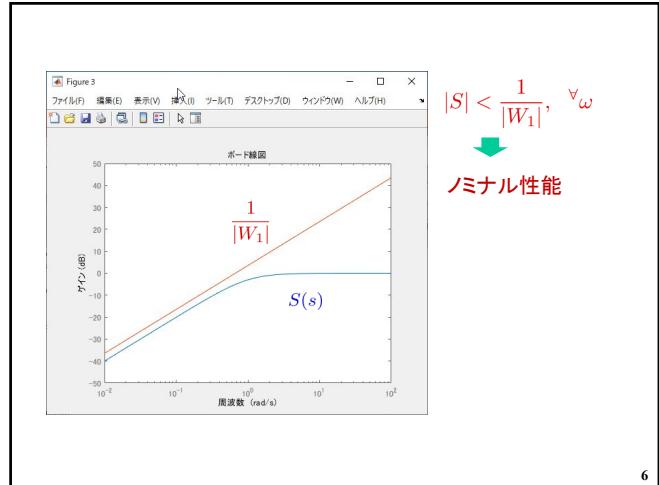
$$P(s) = \frac{1}{s}$$

$$K(s) = 1$$

$$W_1(s) = \frac{1}{1.5s}$$

$$T(s) = \frac{1}{1 + P(s)K(s)}$$

5



6

file7_3.m を実行

```

omega=logspace(-2,3,100);
P(s) =  $\frac{1}{s}$ 
P_nom=tf([1,0]);
K=1;
W1=tf([1],[1.5 0]);
W2=tf([1 0],[1.5]);
D=ultidyn('Delta',[1 1]);
T=feedback(P_nom*K,1);
Stilde=inv(1+P_nom*K*(1+W2*D));
S=inv(I+P_nom*K);

figure(4)
bodemag(Stilde)
hold on
bodemag(1/W1)
grid on

```

(続く)

7

```
[gain_W1S,phase_W1S]=bode(omega,W1*S);
gain_W1S_dB=20*log10(gain_W1S(:));
```

```
[gain_W2T,phase_W2T]=bode(omega,W2*T);
gain_W2T_dB=20*log10(gain_W2T(:));
```

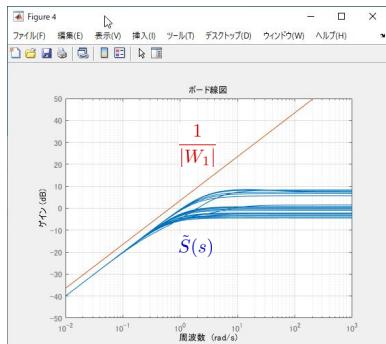
```
W1SW2T=gain_W1S+gain_W2T;
gain_W1SW2T_dB=20*log10(W1SW2T(:));
```

```
figure(5)
semilogx(omega,gain_W1S_dB(:,1),'b');
hold on
semilogx(omega,gain_W2T_dB(:,1),'r');
hold on
semilogx(omega,gain_W1SW2T_dB,'m');
grid on
```

8

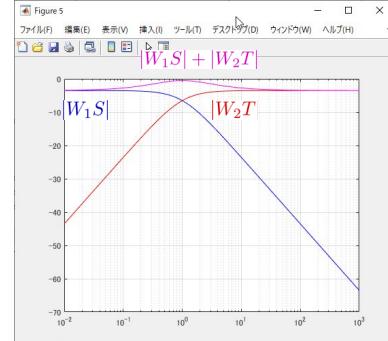
ロバスト性能

(i) ロバスト安定

(ii) $|W_1\tilde{S}| < 1, \forall \omega, \forall \tilde{P} \in \mathcal{P}$ 

9

ロバスト性能

 $|W_1S| + |W_2T| < 1, \forall \omega$ 

10

【課題1】不確かさ $W_2(s)$ を設定せよ。

	(a) 入力30	(b) 入力50	(c) 入力100
T	0.09	0.08	0.11
K	$\frac{300}{30} = 10$	$\frac{530}{50} = 10.6$	$\frac{940}{100} = 9.4$
不確かなモデル	$P_1(s) = \frac{10}{s(0.09s+1)}$	$P_2(s) = \frac{10.6}{s(0.08s+1)}$	$P_3(s) = \frac{9.4}{s(0.11s+1)}$

ノミナルモデル(モータの入力から角度)

$$P(s) = \frac{1}{s} P_1(s) = \frac{K}{s(Ts+1)} = \frac{10}{s(0.0933s+1)}$$

11

【課題2】

7章演習問題【5】において、ロバスト性能を満たす $K(s)$ を求め下記を描け。

$$(1) |T(s)| \leq \left| \frac{1}{W_2(s)} \right|$$

$$(2) |S(s)| \leq \left| \frac{1}{W_1(s)} \right|$$

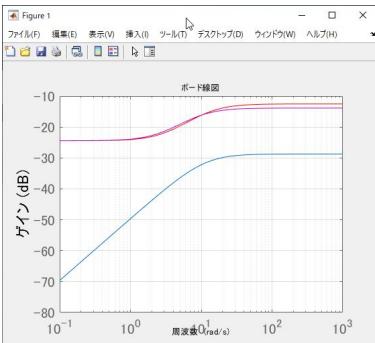
$$(3) |W_1S| \leq |W_2T| \leq |W_1S| + |W_2T|$$

12

MATLAB

file2.m を実行

$$\begin{aligned} \text{---} & \frac{P_1(s) - P(s)}{P(s)} \\ \text{---} & \frac{P_2(s) - P(s)}{P(s)} \\ \text{---} & \frac{P_3(s) - P(s)}{P(s)} \end{aligned}$$

乗法的な不確かさ $\frac{\tilde{P}(s) - P(s)}{P(s)}$ 

13

 $W_2(s)$ を設計

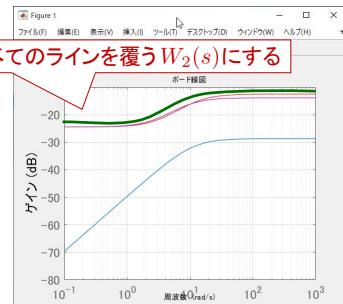
file2.m を実行

$$\begin{aligned} K_{\text{nom}} &= 10; \\ T_{\text{nom}} &= 0.0933; \\ P_{\text{nom}} &= \text{tf}(K_{\text{nom}}, [T_{\text{nom}} \ 1 \ 0]); \end{aligned}$$

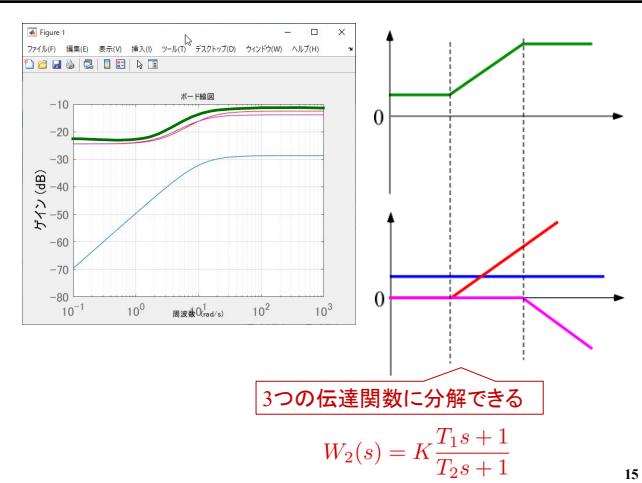
```
.....
figure(1)
bodemag(W2_1)
hold on
grid on
bodemag(W2_2, 'r')
hold on
bodemag(W2_3, 'm')
hold on
set(gca, 'fontsize', 16)
set(gca, 'xtick', [1e-2 1e-1 1 1e1 1e2 1e3])
```

$$W_2 = ;$$

% を外して、W2 に伝達関数を書く



14



15

表 5.1 基本要素のボード線図

$G(s)$	ゲイン曲線	位相曲線
K	$20 \log K $	0°
s	$20 \text{dB}/\text{dec}$	90°
$\frac{1}{s}$	$-20 \text{dB}/\text{dec}$	0°
$Ts + 1$	$20 \text{dB}/\text{dec}$	0°
$\frac{1}{Ts + 1}$	$-20 \text{dB}/\text{dec}$	0°
$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$	$20 \text{dB}/\text{dec}$	0°

16

第7章：フィードバック制御系のロバスト性解析

7.1 不確かさとロバスト性

7.2 ロバスト安定性

7.3 制御性能のロバスト性

キーワード : 不確かさ, ロバスト安定性
ロバスト性能

学習目標 : MATLABを用いて, モデルの不確かさ, ロバスト安定性, ロバスト性能を確認することができる。

17