## 第12回 フィードバック制御系の設計(2) ループ整形法

# 制御工学Ⅱ



## ループ整形法

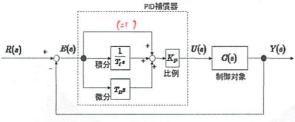
- PI制御について復習
- 望ましい開ループ周波数特性
- 補償要素とループ整形
- ■前回11:フィードバック系の設計(1)設計指標
  - ボード線図を用いたゲイン余裕、位相余裕の復習
  - 制御特性
  - ・時間応答の設計指標
  - 周波数応答の設計指標

# 1-1 比例制御を基準としたPID制御



PID制御は比例、積分、微分制御の長所を組み合わせたもの。その操作量は  $u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$  であるが、 $K_P, K_I, K_D$ を、 $K_P$ を基準として  $K_I = \frac{K_P}{T_I}, K_D = K_P T_D \ (T_I: 積分時間、<math>T_D$ : 微分時間)と表すことが多い。

この形式に改めると  $u(t)=K_P\left[e(t)+\frac{1}{T_I}\int e(t)dt+T_D\frac{de(t)}{dt}\right]$  となり、 更にラプラス変換を行って  $U(s)=K_P\left[1+\frac{1}{T_{rs}}+T_Ds\right]E(s)$  が得られる。



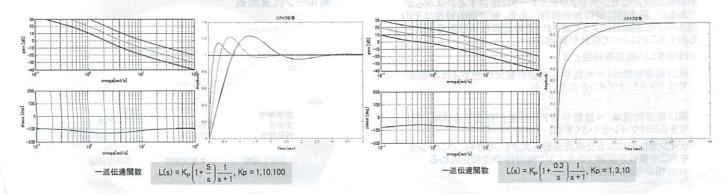
#### PID制御系

## 1-2 PI制御のゲインと応答特性

■1次遅れのシステムに対して積分ゲインを5で固定したPI制御の特性

# 1-3 PI制御のゲインと応答特性

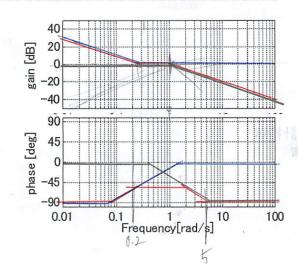
■1次遅れのシステムに対して積分ゲインを0.3で固定したPI制御の特性

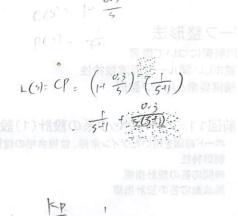


# PI制御器の演習



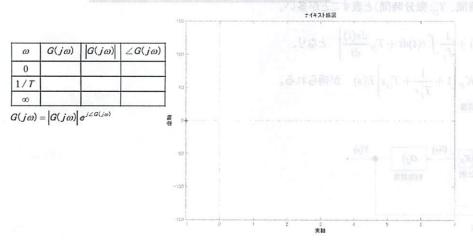
$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{0.3}{s}\right), \ P(s) = \frac{1}{s+1}$$
 
$$K_p = 1 としてそれぞれのボード線図を折れ線近似で示せ$$





# PI制御器の演習

一巡伝達関数が  $L(j\omega) = K_p \frac{0.7 - j(\omega + 0.3\omega^{-1})}{2}$ weouged Kp=1,10とするナイキスト線図を描け



## 2-1 開ループ伝達関数の理想

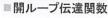
制御系の設計はセンサやアクチュエータに依存するのは明らか であるが、基本的に制御器の設計にある。制御器の特性はその 開ループ伝達関数によって表され、この周波数特性を望ましい ものすることによって設計が実現される。

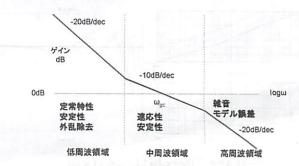
#### では望ましい周波数特性とは

- ■低い周波数領域(=外乱や目標値の変化が想定される領域) ではできるだけゲインを大きくする。 → 日本化を模型 → 外乳費衣
- 高い周波数領域(=雑音やモデル誤差が存在する領域)では できるだけゲインを小さくする。一分に使
- ■ゲインがOdBになる交差周波数を大きくしながら、ハンチング をおこす条件を回避できるように制御器の位相を決める =位相余裕を大きくとる。-

## 2-2 望ましい周波数特性







# 3-1 代表的な補償要素



■望ましい周波数特性を得るためのツール=補償要素

- ■これらをループに適用した時の特徴を知ることが必要

補償

$$G_c(s) = K$$

位相進み 補償

$$G_c(s) = \frac{K(1 + \alpha Ts)}{1 + Ts}, \quad \alpha > 1$$

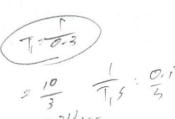
位相遅れ

$$G_c(s) = \frac{K(1 + \beta T s)}{1 + T s}, \quad 0 < \beta < 1$$

PID

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$





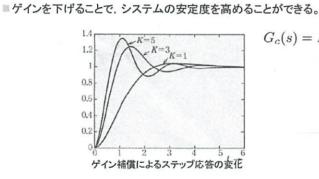
### 3-2 ゲイン補償



3-3 位相遅れ補償

低周波領域でゲインを大きくする。また、位相がω,,周辺で遅れる。

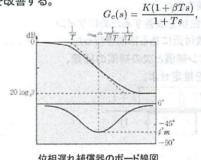
低周波領域でのみゲインを大きくすることで、減衰性を犠牲にせず に定常特性を改善する。



■ゲインを上げると速応性が良くなるが、減衰性が悪くなる。逆に、ゲ

インを下げると減衰性は良くなるが、速応性が悪くなる。



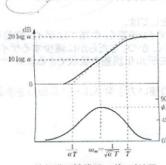


位相遅れ補償器のボード線図

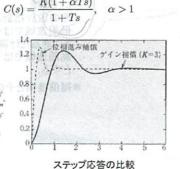
## 3-4 位相進み補償



■ 位相を進ませることで位相余裕を改善し、減衰性を確保しつつ、速 応性を改善することができる。

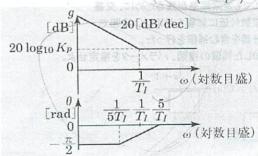


位相進み補償器のボード線図



# 》。 3-5 PI補備

- 。 高周波領域では変化が少ないが、低周波領域でゲイン特性を大きくしている。
- 積分要素により、ステップ入力に対する定常偏差をOにすることができる。
- ■位相遅れが安定性を損なう恐れもある。  $C(s) = K_n \left[ 1 + \right]$

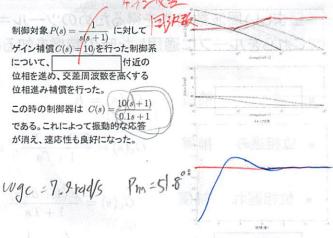


## 4-1 ゲイン補償の適用例

制御対象 $P(s) = \frac{1}{s(s+1)}$  に対して ゲイン補償C(s) = K をK = 1, 3, 10が減少して、振動的になった。 一个方定差 同波板 纤崎福 wgc=0.99 rad/3 Pm=51.80
wgc=1.59 rad/3 Pm=32-1 cogc = 3.00 rud/5

## 4-2 位相進み補償の適応例

について、「 付近の 位相を進め、交差周波数を高くする 位相進み補償を行った。 この時の制御器は C(s) である。これによって振動的な応答 が消え、速応性も良好になった。



# 4-3 ループ整形演習1

制御対象  $P(s)=\frac{10}{s^2+6s+10}$  に対してあるゲイン補償 C(s)=K を行い 緑線の結果を得た。

さらに振動性状を改善するためにゲイン 交差周波数付近にある補償を行った。 最初のゲイン補償と次の補償の種類、 パラメータを推定せよ。

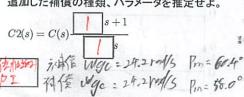
4个稀償 wgc= 9.58 red/s Pm= 35.11 wgc = 24,2 rad/s Prn = 60.40

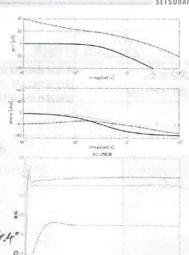
# 4-4 ループ整形演習2

制御対象  $P(s) = \frac{1}{s^2 + 6s + 10}$ あるゲイン補償C(s) = Kを行い さらに振動性状を改善するためにゲイン 交差周波数付近に位相進み補償を行い  $C(s)=K\,rac{0.3\mathrm{s}+1}{0.03s+1}$ 破線の結果を得た。

それでも定常偏差が残るために、交差 周波数付近に影響を与えない範囲で 積分器を含む補償を行った。

追加した補償の種類、パラメータを推定せよ。





まとめ

- ■比例従属型のPI制御を確認してステップ応答を比較した。
- ■望ましい制御特性を実現するための開ループ特性につ いて考え、

その設計指針としては、 低周波域ではゲインを高く、中域ではゲイン交差周波数 をできるだけ高く、かつ、なだらかに減少するゲイン特性、 高周波域ではモデル化誤差を吸収できるように低ゲイン とする。

■補償要素とその使い方を学びループ整形法を学習した。