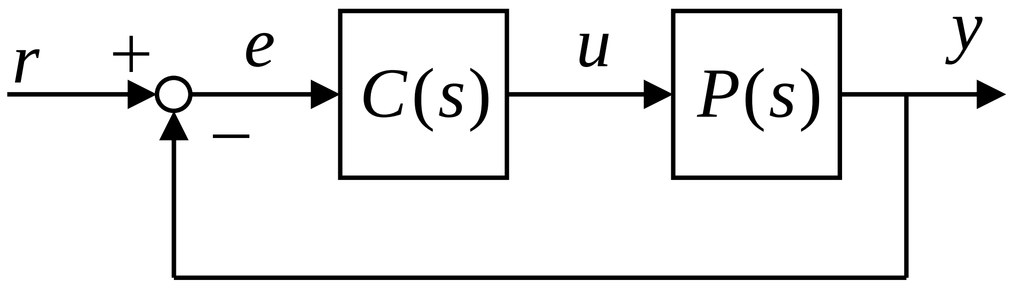
制御工学

２００８年度後期

宇都宮大学 工学部 電気電子工学科
平田　光男

11章　制御系設計仕様

制御系設計の基本的な考え方



開ループ伝達関数

$$L(s) = P(s)C(s)$$

目標値応答特性

$$y = \frac{L}{1+L} r = Wr$$

Wが望ましい特性を持つように, Lを設計する

特性方程式

$$1 + L(s) = 0$$

特性方程式の根（特性根）の配置が重要！

閉ループ特性Wに対する設計仕様

1. 極配置(s領域):
   固有振動数(ω_b), 減衰係数(ζ)

2. ステップ応答(時間領域):
   最大行き過ぎ量(O_s)
   立ち上がり時間(T_r)
   遅れ時間(T_d)
   整定時間(T_s)

3. 周波数応答(周波数領域)
   バンド幅(ω_b), ピークゲイン(M_p)

表 11.1　閉ループシステムの減衰性を与える特性値の望ましい値

パラメータ	サーボ系(追値制御)	プロセス制御(定値制御)
ζ	$0.6 \sim 0.8$	$0.2 \sim 0.4$
O_s	$0 \sim 0.25$	
M_p	$1.1 \sim 1.5$ (1.3 程度)	

例）オーバーシュート量

オーバーシュート量と減衰係数の関係

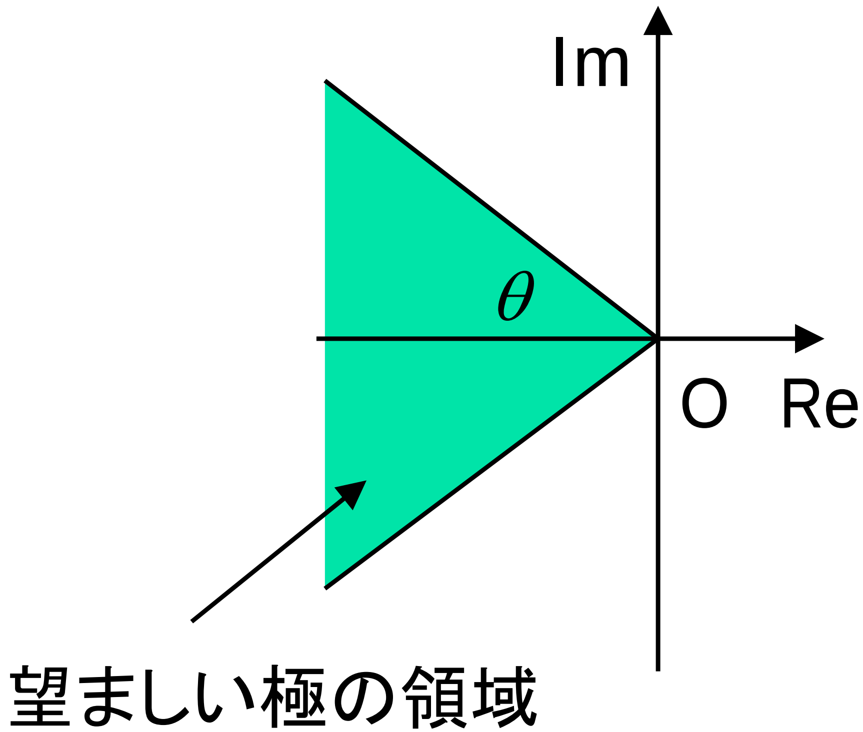
$$O_s \cong 1-\frac{\zeta}{0.6} < \alpha$$

$$\Leftrightarrow \zeta > 0.6(1-\alpha)$$

減衰係数と極配置

$$s = -\zeta\omega \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$



速応性

1. s領域：
   固有周波数(ω_n)
2. 時間領域：
   立ち上がり時間(T_r)
   遅れ時間(T_d)
3. 周波数領域：
   バンド幅(ω_b)

例）立ち上がり時間

$0.3 \le \zeta \le 0.8$ のとき

近似式

$$T_r = \frac{2.16\zeta + 0.6}{\omega_n}$$

ω_n及びζが求まるので
極配置が決定できる

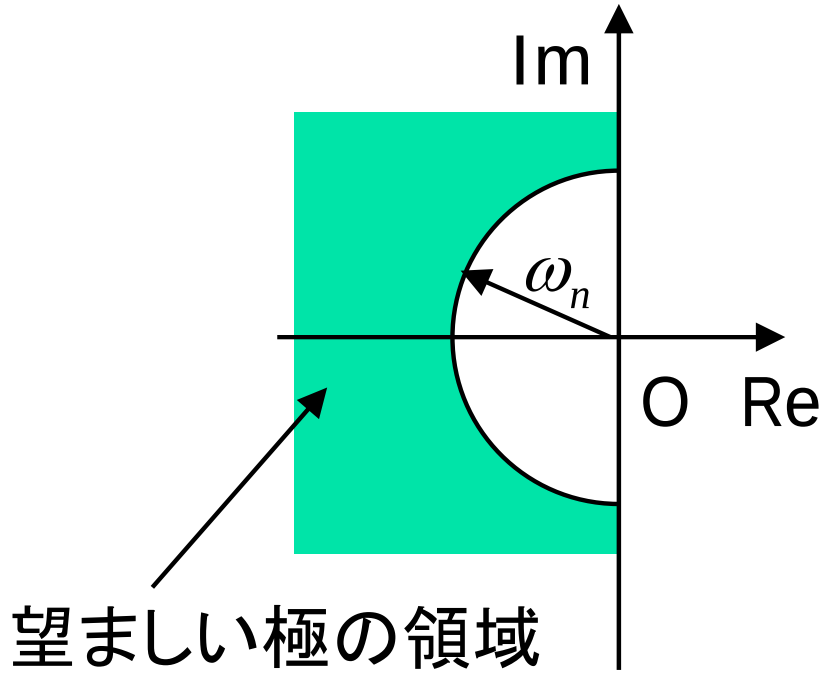
さらに近似

$$T_r = \frac{a}{\omega_n} < \alpha \Leftrightarrow \frac{a}{\alpha} < \omega_n$$

$$s = -\zeta\omega \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$|s| = \sqrt{(\zeta\omega_n)^2 + \omega_n{}^2(1-\zeta^2)}$$

$$= \omega_n$$



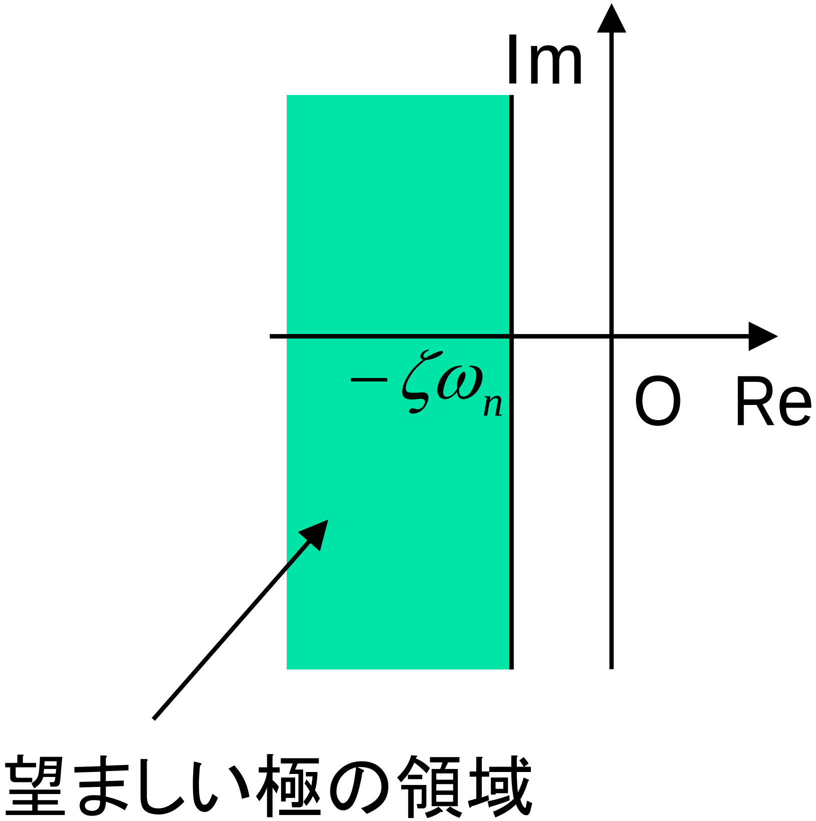
減衰性と速応性

整定時間

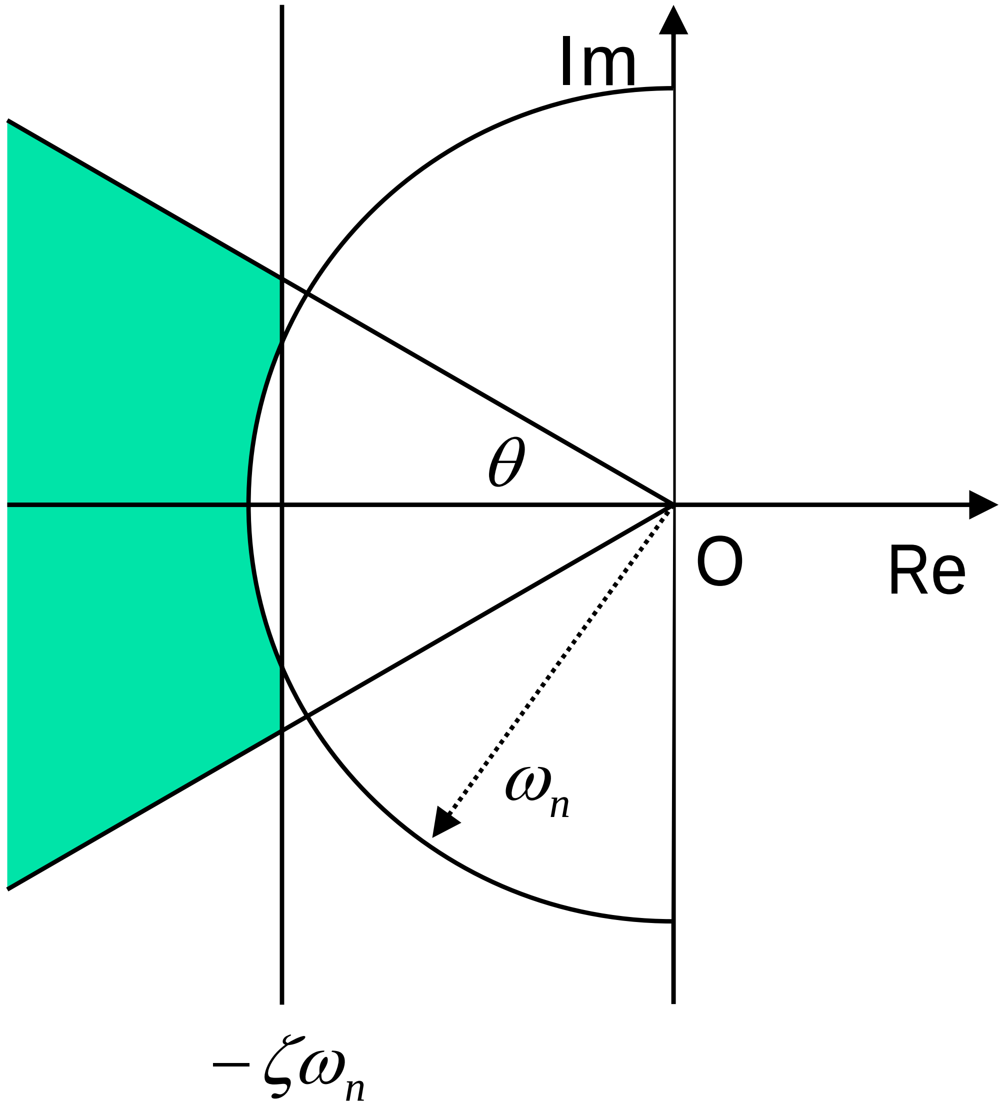
$$T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n}$$

ζ	減衰性
ω_n	速応性

$$s = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$



望ましい応答を得る極配置の一例



オーバーシュート量

$$O_s \cong 1 - \frac{\zeta}{0.6} < \alpha$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

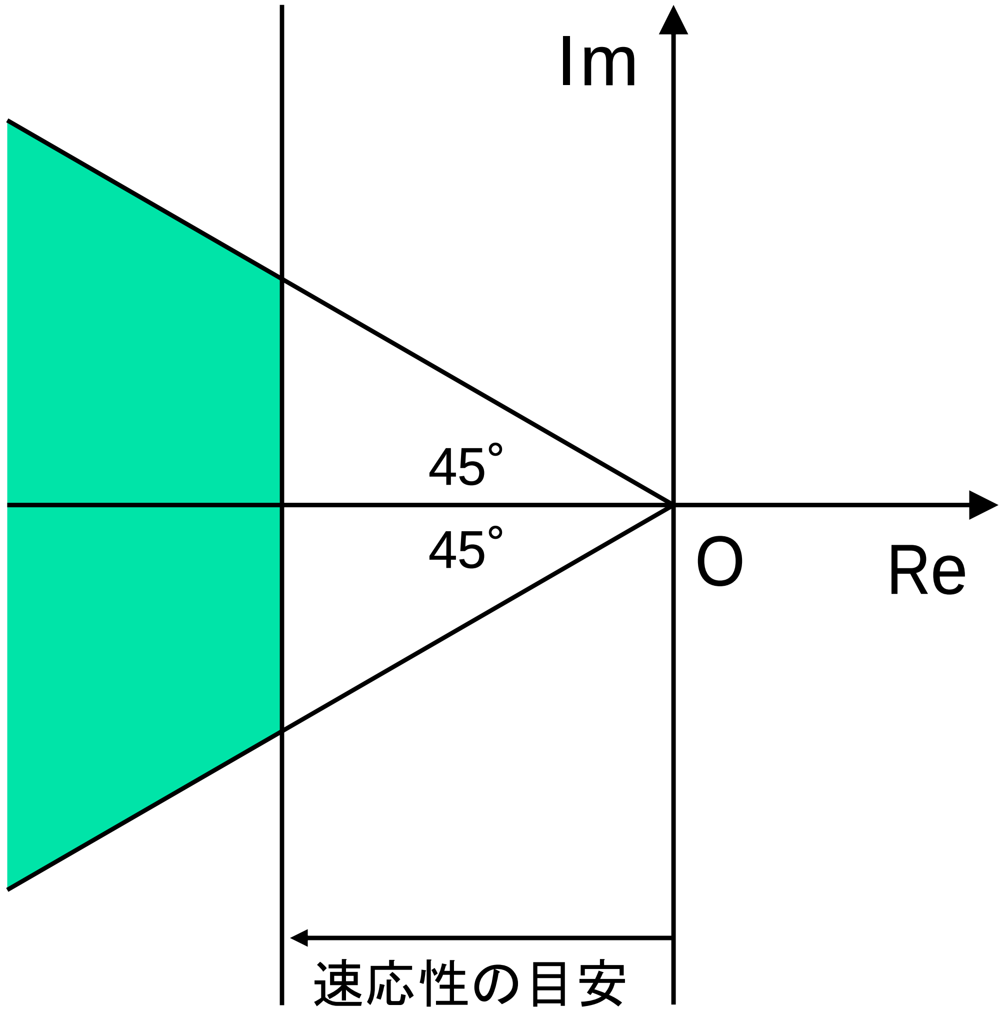
立ち上がり時間

$$T_r = \frac{a}{\omega_n} < \alpha \Leftrightarrow \frac{a}{\alpha} < \omega_n$$

整定時間

$$T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n}$$

よく用いられる極配置領域



12章　古典制御理論による制御系設計

直列補償

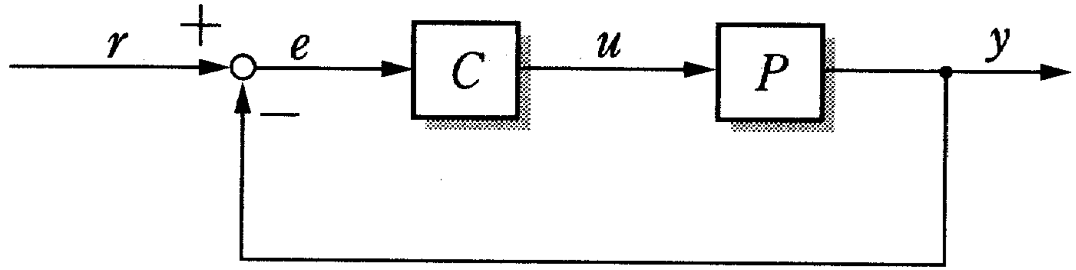


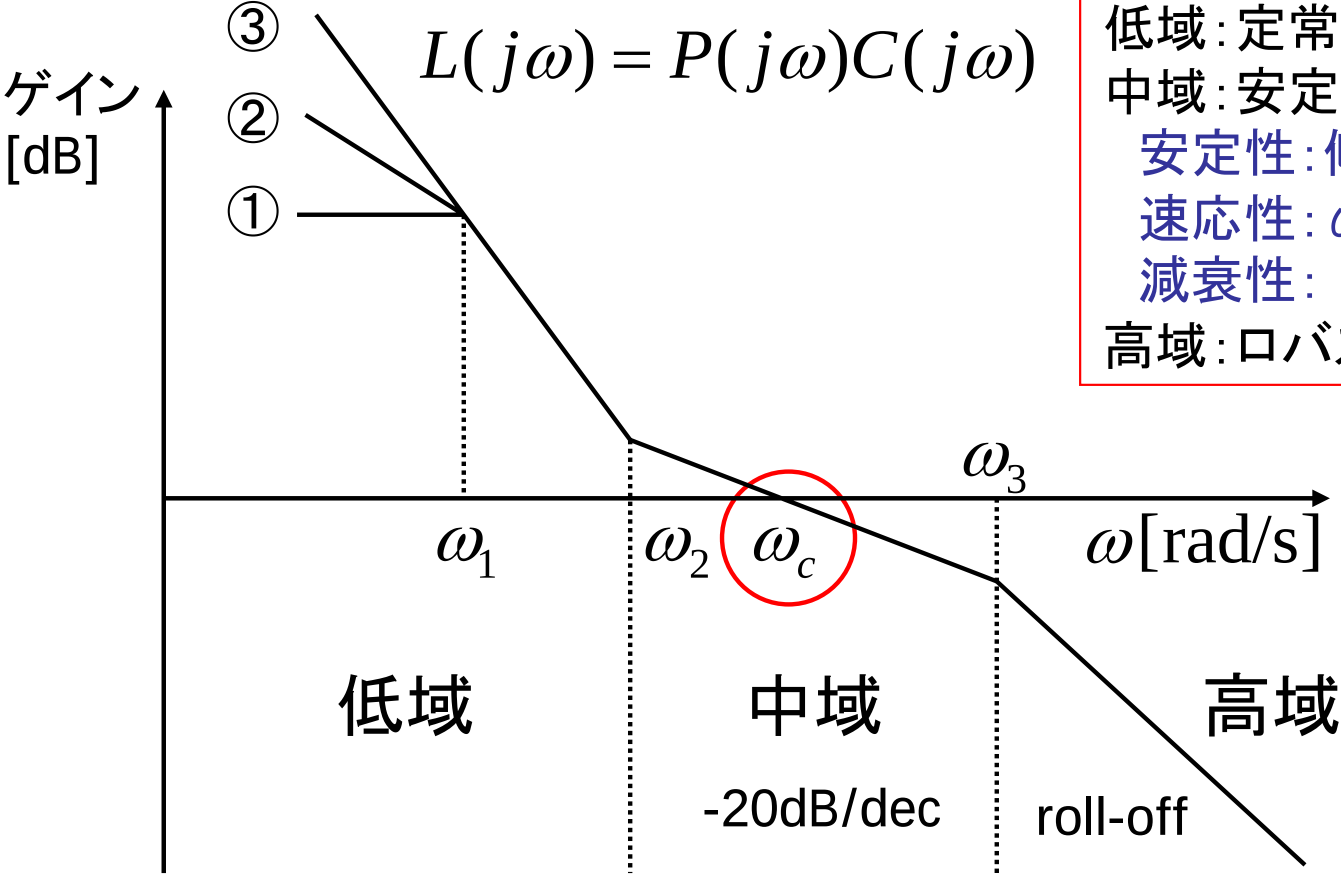
図 **12.1**　直列補償

開ループ伝達関数の特性が望ましい形になる様制御対象Pの特性を補償器Cによって補償する

1. ゲイン補償
2. 位相遅れ補償
3. 位相進み補償
4. 位相進み遅れ補償

開ループ特性の望ましい形

$$L(j\omega) = P(j\omega)C(j\omega)$$



低域：定常特性
中域：安定性と過渡特性
　安定性：傾きを-20dB/dec
　速応性：ω_cを高める
　減衰性： ω_cでの位相余裕を確保する
高域：ロバスト安定性

① 0dB/dec :0型の制御系
② -20dB/dec :1型の制御系
③ -40dB/dec :2型の制御系

ゲイン補償

補償器

$$C(s) = K$$

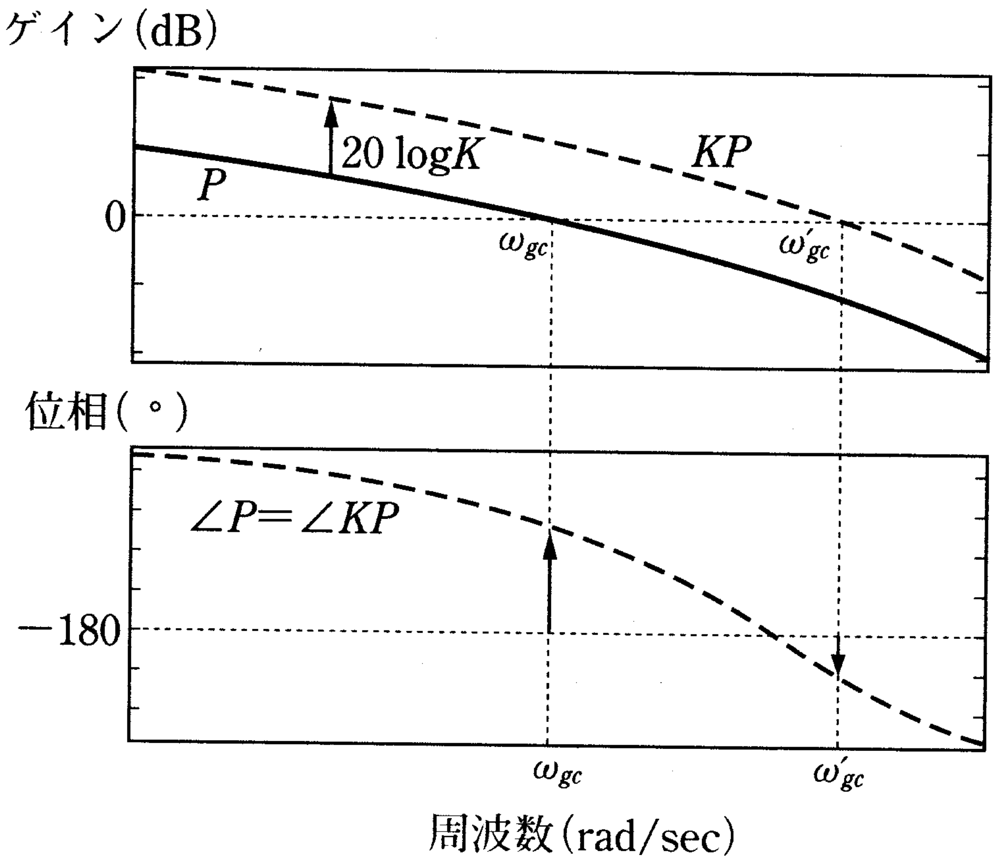


図 12.2 ゲイン補償

位相余裕，ゲイン余裕を見ながら，適切なKを選ぶ

位相遅れ補償

補償器

$$C(s)=\frac{1+aTs}{1+Ts}, \quad a<1$$

$$\omega_m=\frac{1}{T\sqrt{a}}$$

$$\phi_m=\arcsin\frac{a-1}{a+1}$$

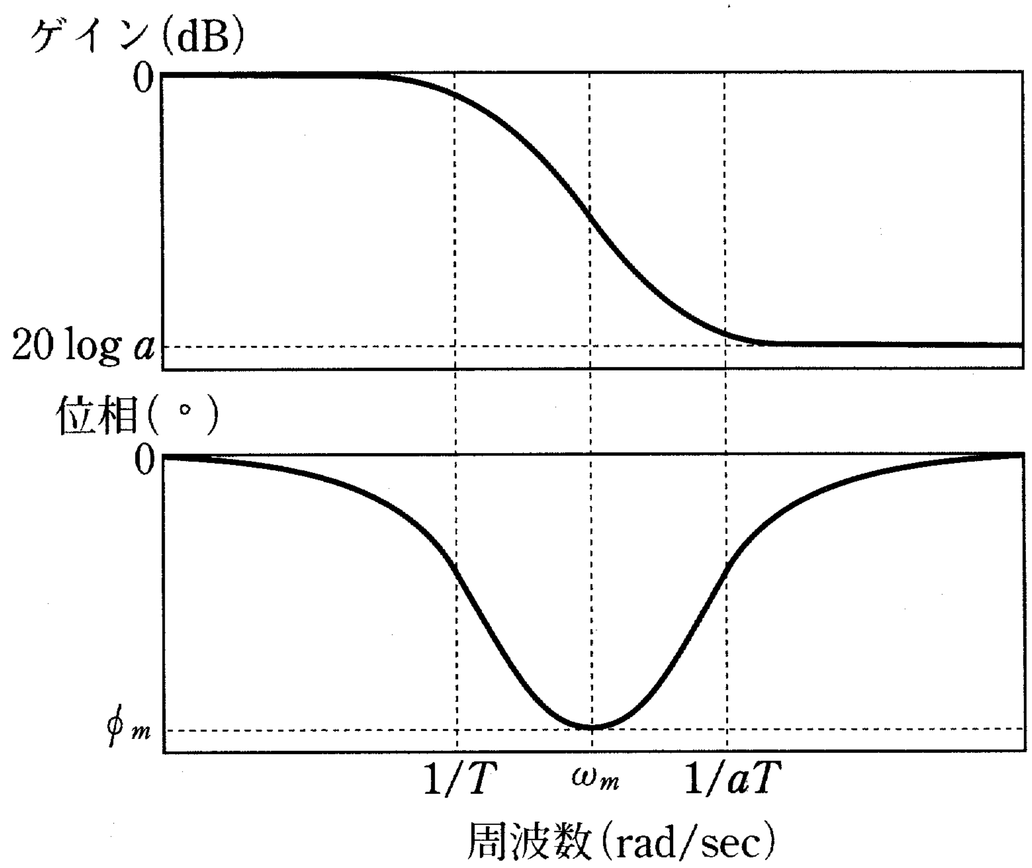


図 **12.3**　位相遅れ補償

低域のゲインを増大させ，定常特性を改善できる

位相進み補償

補償器

$$C(s) = \frac{1 + aTs}{1 + Ts}, \quad a > 1$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

$$\phi_m = \arcsin\frac{a-1}{a+1}$$

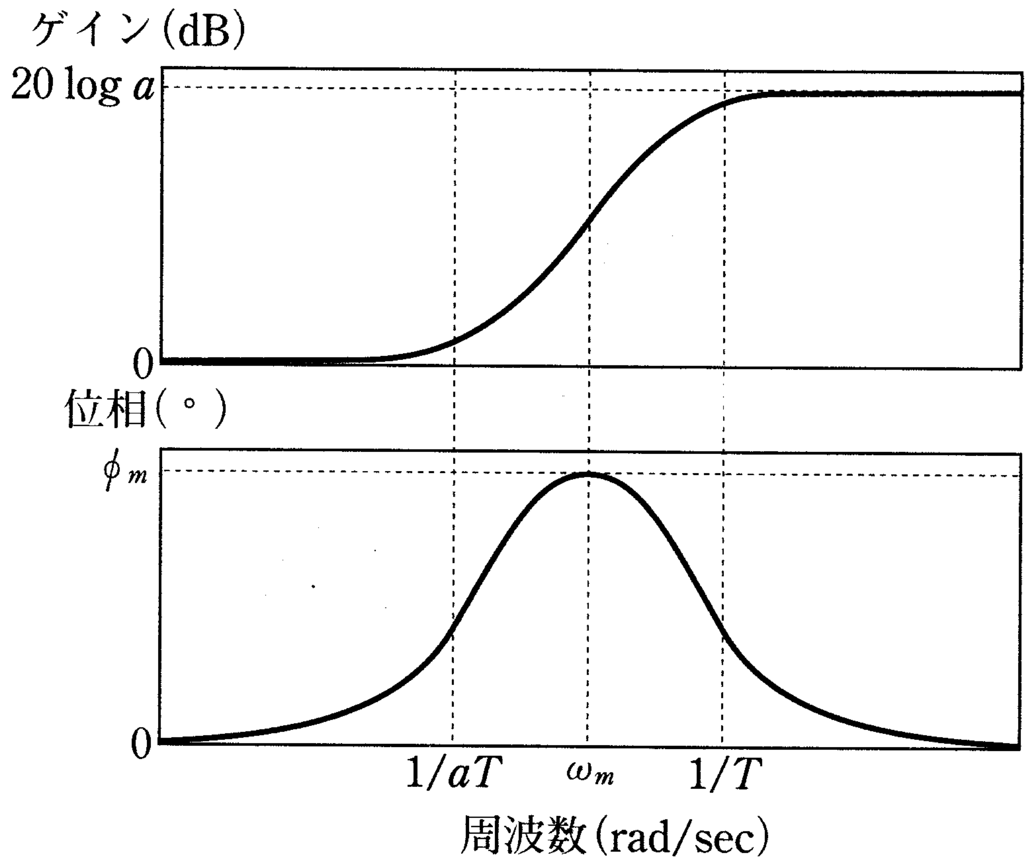


図 **12.4**　位相進み補償

ゲイン補償により低下した位相余裕を改善し速応性が増す

位相進み遅れ補償

位相遅れ補償器

$$C_{lag}(s) = \frac{1 + a_1 T_1 s}{1 + T_1 s}, \quad a_1 < 1$$

位相進み補償器

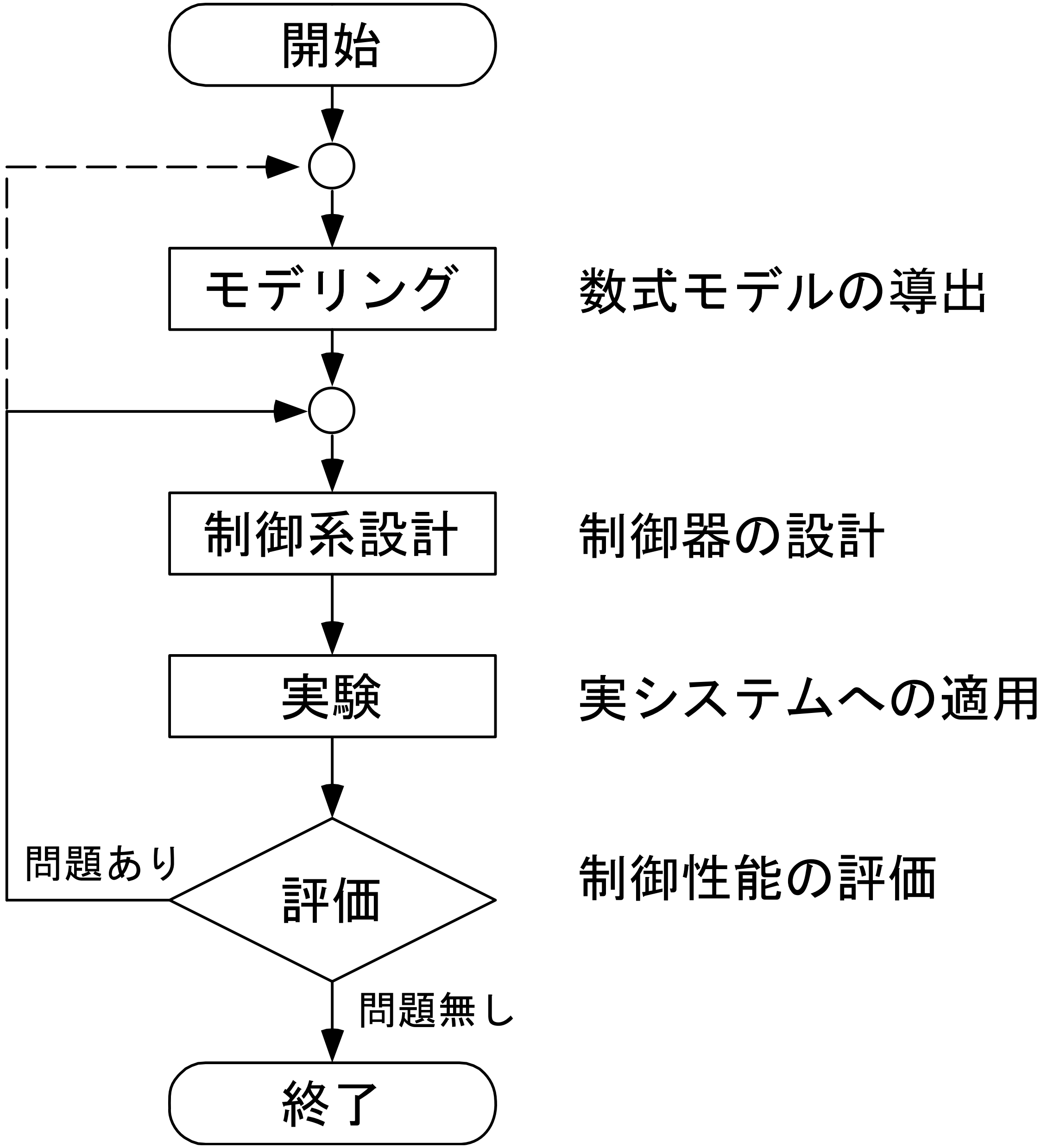
$$C_{lead}(s) = \frac{1 + a_2 T_2 s}{1 + T_2 s}, \quad a_2 > 1$$

位相進み遅れ補償器

$$C = K \cdot C_{lag} \cdot C_{lead}$$

定常特性の改善＆
過渡特性の改善

制御系設計の流れ


開始
モデリング
数式モデルの導出
制御系設計
制御器の設計
実験
実システムへの適用
評価
制御性能の評価
問題あり
問題無し
終了

定期試験

試験日：2008年2月7日（木）２２１教室
時　間：１４：３０～１６：００（7，8時限）

1. 両隣を空けて座ること。
2. 遅刻は試験開始後30分(15:00)まで認める。
3. 教科書，ノート等の持ち込み不可。また，電卓，計算機能付き時計，コンピュータ，携帯電話(時計としての使用も不可)等も使用できない。
4. 試験を受ける際は学生証を机上の見やすい場所に置くこと。学生証を忘れた場合には工学部の学生係で仮学生証の発行を受けること(通常は所要時間5分程度)。
5. 試験範囲は，講義で解説した内容とする。
6. 受験資格者一覧は1月31日中に掲示予定
   (今回を含め9回以上出席した者が有資格者)
7. http://hinf.ee.utsunomiya-u.ac.jp/~hirata/