

システム制御工学 II フィードバック制御系の設計

フィードバック vs フィードフォワード
フィードバック制御系の安定性

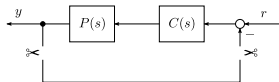
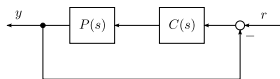
11/29 中間試験

ナイキストの安定判別法
ループ整形法によるフィードバック制御系の設計
二自由度制御系

01/31 期末試験

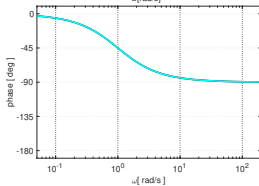
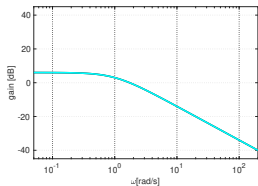
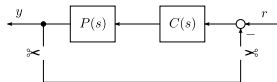
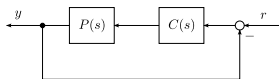
ループ整形法の考え方

ループ整形法によるフィードバック制御系の設計

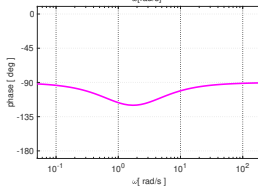
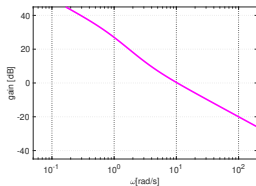


例題 14.1

ループ整形法の考え方



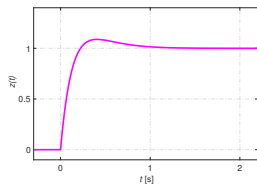
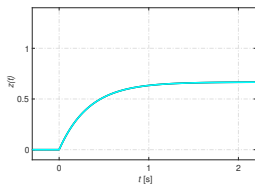
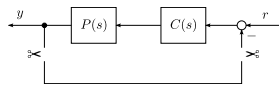
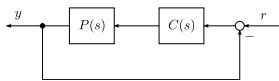
a $L_0(s) = P(s)$



b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

例題 14.1

ループ整形法の考え方



システム制御工学 II フィードバック制御系の設計

フィードバック vs フィードフォワード
フィードバック制御系の安定性

11/16 中間試験

ナイキストの安定判別法
ループ整形法によるフィードバック制御系の設計
ループ整形のポイント
ループ整形法

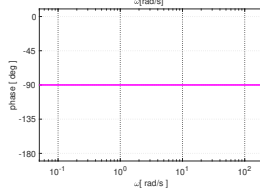
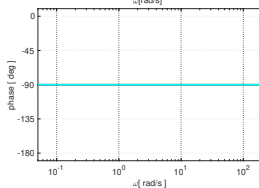
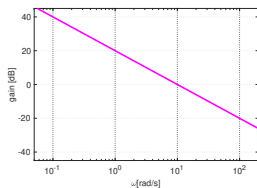
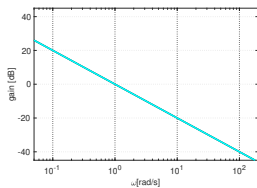
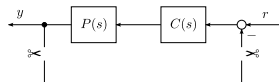
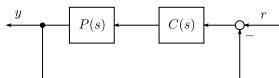
二自由度制御系

01/25 期末試験

ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

例題 14.2



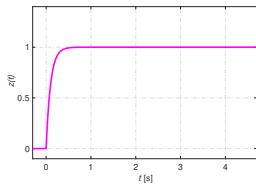
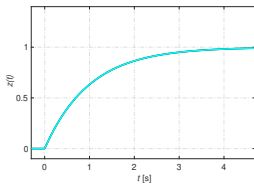
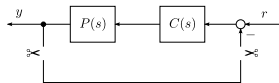
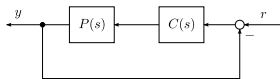
a $k = 1$

b $k = 10$

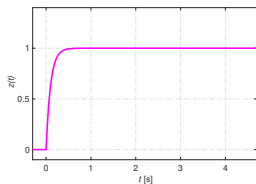
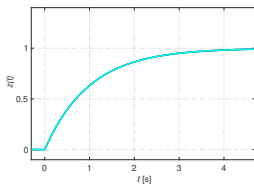
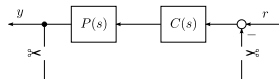
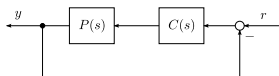
$$P(s) = \frac{1}{s}$$

$$C(s) = k$$

例題 14.2



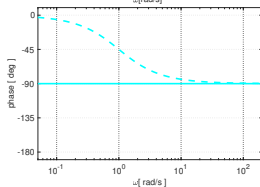
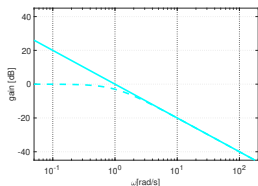
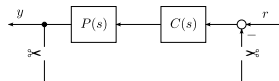
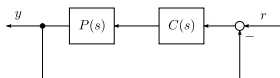
例題 14.2



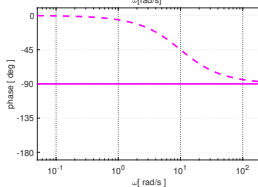
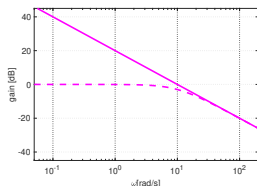
- バンド幅 ω_{bw} の広い制御系 \Leftrightarrow 応答の早い制御系

$$z = G_{zr}(s)r = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)}r = \frac{L(s)}{1 + L(s)}r = T(s)r$$

例題 14.2



a $k = 1$



b $k = 10$

- 開ループ特性 $L(j\omega)$ と閉ループ特性 $G_{zr}(j\omega) = T(j\omega)$

ループ整形のポイント: ゲイン交差周波数 ω_{gc}

$$L(s) = P(s)C(s) \quad |L(j\omega_{gc})| = 1$$

$$G_{zr}(s) = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)} = \frac{L(s)}{1 + L(s)} = T(s) \quad |T(j\omega_{bw})| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

ループ整形のポイント: ゲイン交差周波数 ω_{gc}

$$L(s) = P(s)C(s) \quad |L(j\omega_{gc})| = 1$$

$$G_{zr}(s) = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)} = \frac{L(s)}{1 + L(s)} = T(s) \quad |T(j\omega_{bw})| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$|L(j\omega_{gc})| = |\alpha + j\beta| = 1 \quad -90 \text{ deg} > \angle L(j\omega_{gc}) > -180 \text{ deg}$$

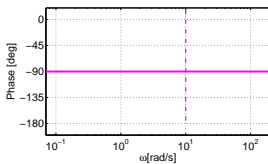
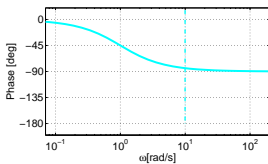
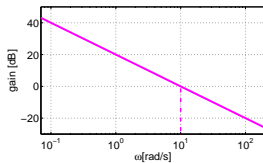
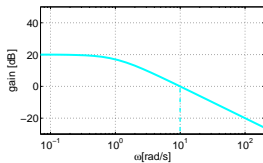
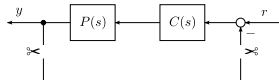
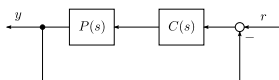
$$\begin{aligned} |T(j\omega_{gc})| &= \left| \frac{L(j\omega_{gc})}{1 + L(j\omega_{gc})} \right| = \frac{|L(j\omega_{gc})|}{|1 + \alpha + j\beta|} = \frac{1}{|1 + \alpha + j\beta|} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha}} > \frac{1}{\sqrt{2}} = |T(j\omega_{bw})| \end{aligned}$$

- $\omega_{gc} \approx \omega_{bw}$ より正確には $\omega_{gc} < \omega_{bw}$

ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

例題 14.3



a $L_1(s) = P_1(s)C(s)$

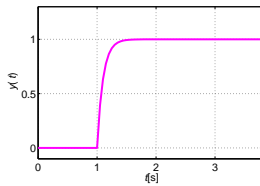
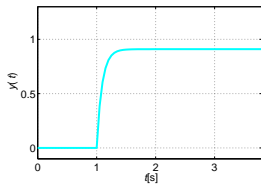
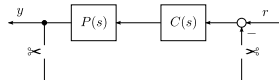
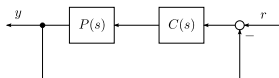
b $L_2(s) = P_2(s)C(s)$

$$P_1(s) = \frac{1}{s+1}$$

$$P_2(s) = \frac{1}{s}$$

$$C(s) = 10$$

例題 14.3



ループ整形のポイント: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)|$

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} se(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} \frac{1}{s} \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + L(s)} = \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} L(s)}\end{aligned}$$

ループ整形のポイント: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)|$

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} se(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + L(s)} \frac{1}{s} \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + L(s)} = \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} L(s)}\end{aligned}$$

例えば $L_1(s) = \frac{10}{s+1}$ $L_3(s) = \frac{1}{s+1}$

$$M_1 = \lim_{s \rightarrow 0} L_1(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{10}{s+1} = 10$$

$$M_3 = \lim_{s \rightarrow 0} L_3(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s+1} = 1$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_1(t) = \frac{1}{1 + M_1} = \frac{1}{1 + 10} < \frac{1}{1 + 1} = \frac{1}{1 + M_3} = \lim_{t \rightarrow \infty} e_3(t)$$

ループ整形のポイント: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)|$

- $\lim_{s \rightarrow 0} L(s) = \infty \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$

ループ整形のポイント: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)|$

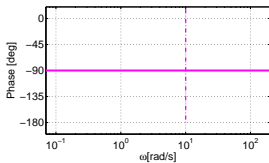
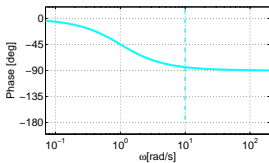
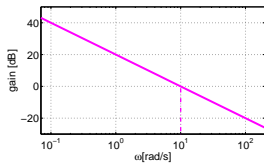
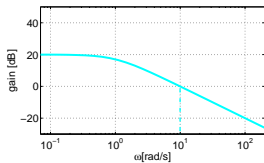
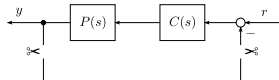
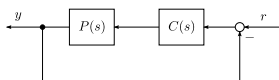
- $\lim_{s \rightarrow 0} L(s) = \infty \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$

例えば $L(s) = \frac{s+2}{s(s+1)}$ や $L(s) = \frac{s+1}{s^2(s+10)}$

$$\lim_{s \rightarrow 0} L(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s+2}{s(s+1)} = \infty \quad \lim_{s \rightarrow 0} L(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s+1}{s^2(s+10)} = \infty$$

- $L(s)$ に積分器 $1/s$ が一つ以上含まれていることが重要

例題 14.3



a $L_1(s) = P_1(s)C_1(s)$

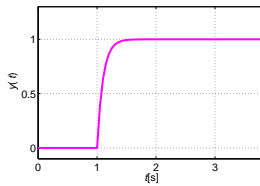
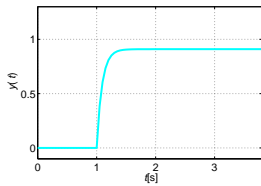
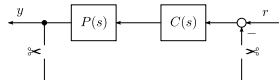
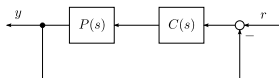
b $L_2(s) = P_2(s)C(s)$

$$P_1(s) = \frac{1}{s+1}$$

$$P_2(s) = \frac{1}{s}$$

$$C(s) = 10$$

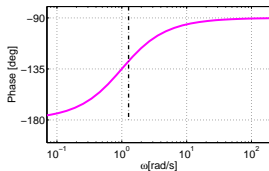
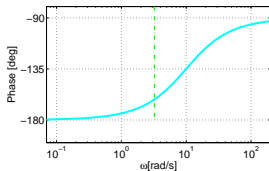
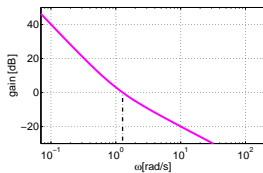
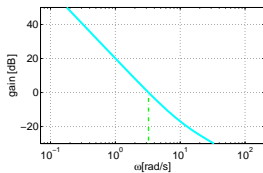
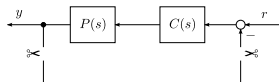
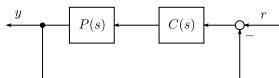
例題 14.3



ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

例題 14.4



a $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

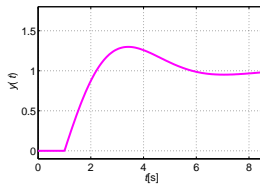
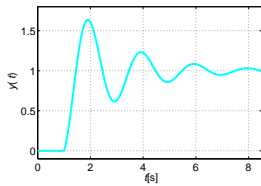
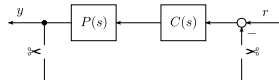
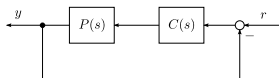
b $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

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

$$C_1(s) = \frac{s + 10}{s}$$

$$C_2(s) = \frac{s + 1}{s}$$

例題 14.4

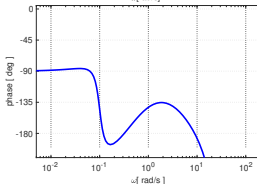
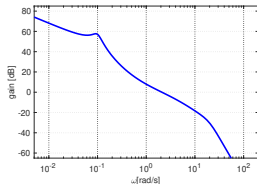
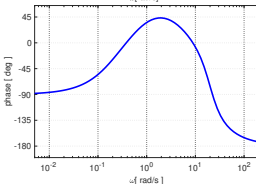
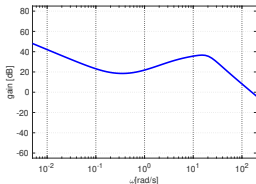
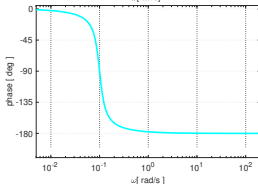
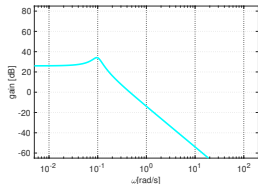


ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM



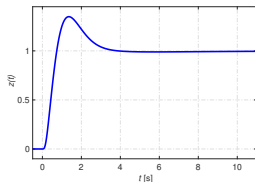
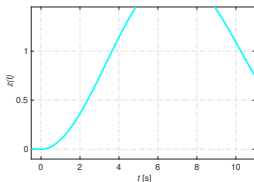
a 典型的な制御対象 $P(s)$ のボード線図

b 典型的なコントローラ $C(s)$ のボード線図

c 典型的な開ループ伝達関数 $L(s) = P(s)C(s)$ のボード線図

ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM



システム制御工学 II フィードバック制御系の設計

フィードバック vs フィードフォワード
フィードバック制御系の安定性

11/16 中間試験

ナイキストの安定判別法
ループ整形法によるフィードバック制御系の設計
ループ整形のポイント
ループ整形法

二自由度制御系

01/25 期末試験

ループ整形のポイント

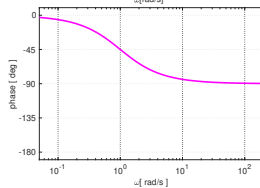
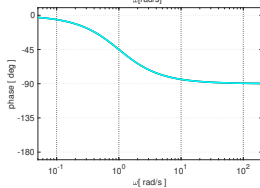
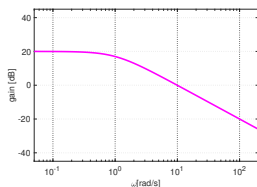
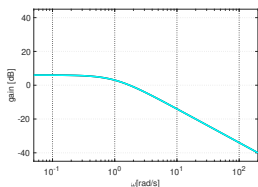
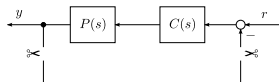
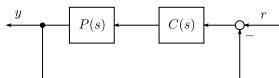
- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

ポイント 1 の改善: 比例コントローラ

比例コントローラ

$$C(s) = k$$

例題 14.5

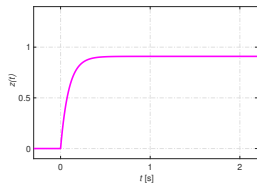
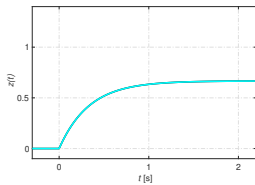
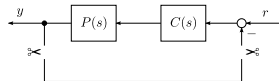
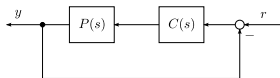


a $L_0(s) = P(s)$

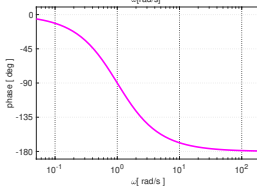
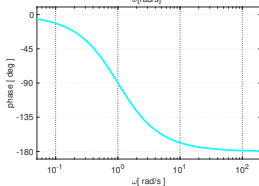
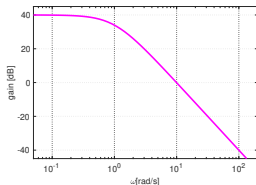
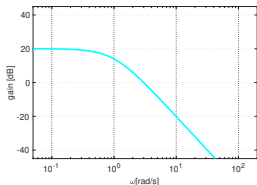
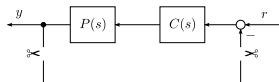
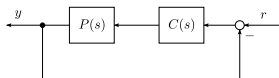
b $L_1(s) = k_1 P(s)$

$$P(s) = \frac{2}{s+1} \quad C_0(s) = k_0 = 1 \quad C_1(s) = k_1 = 5$$

例題 14.5



例題 14.6



a $L_1(s) = P(s)k_1$

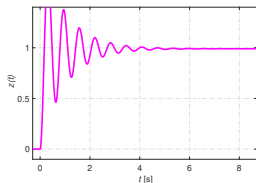
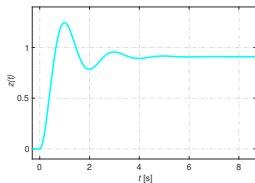
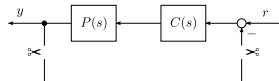
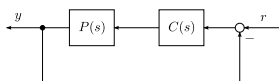
b $L_1(s) = P(s)k_2$

$$P(s) = \frac{2}{(s+1)^2}$$

$$C_1(s) = k_1 = 5$$

$$C_2(s) = k_2 = 50$$

例題 14.6



比例コントローラによる安定性の劣化

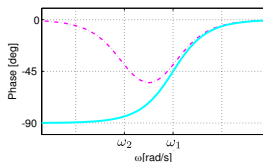
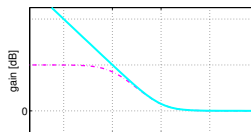
ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

ポイント 2 の改善: 位相遅れ (PI) コントローラ

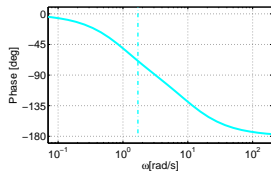
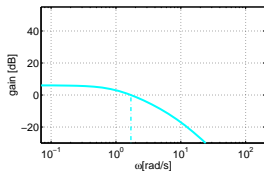
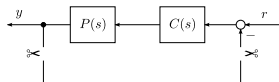
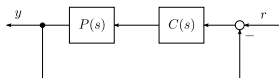
位相遅れコントローラ

$$C(s) = \frac{s + \omega_1}{s + \omega_2} \quad \omega_1 > \omega_2$$



$$C(s) = \frac{s + \omega_1}{s} \quad \omega_2 \rightarrow 0$$

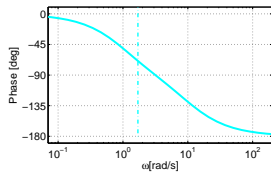
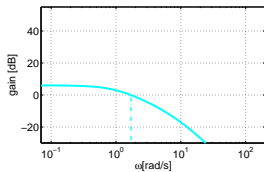
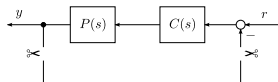
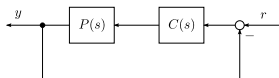
例題 14.7



a $L_0(s) = P(s)$

$$P(s) = \frac{20}{s^2 + 11s + 10}$$

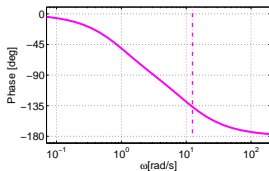
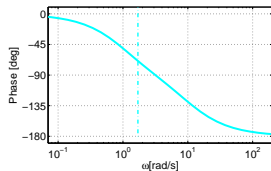
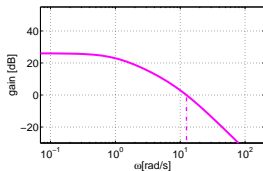
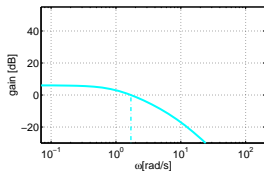
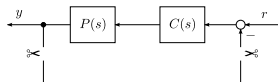
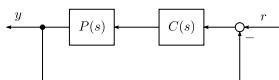
例題 14.7



a $L_0(s) = P(s)$

$$C_1(s) = k = 10$$

例題 14.7

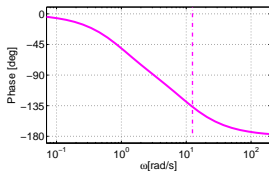
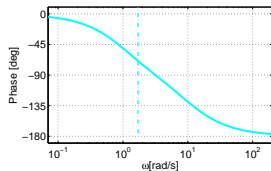
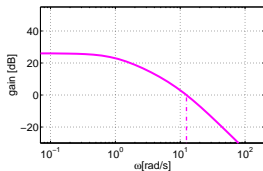
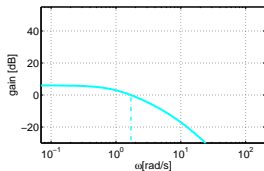
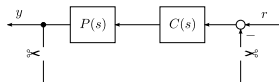
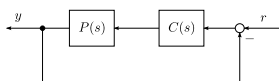


a $L_0(s) = P(s)$

b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

$$C_1(s) = k = 10$$

例題 14.7

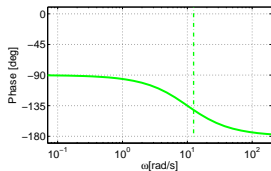
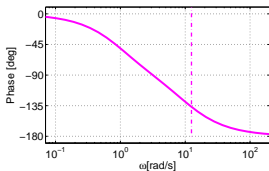
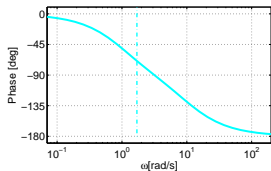
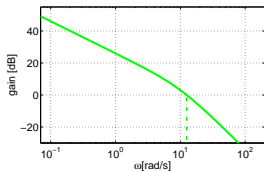
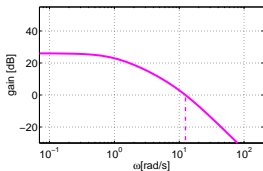
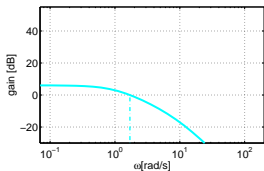
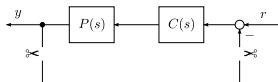
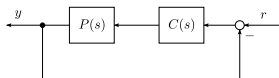


a $L_0(s) = P(s)$

b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

$$C_2(s) = C_1(s) \frac{s + \omega_1}{s} = k \frac{s + \omega_1}{s} = 10 \frac{s + \omega_1}{s} \quad \omega_1 = 1$$

例題 14.7



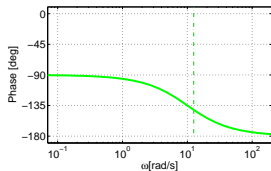
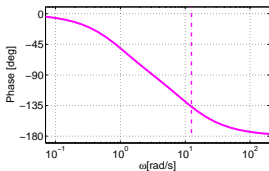
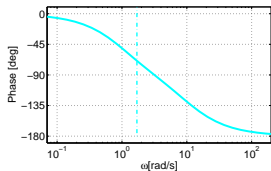
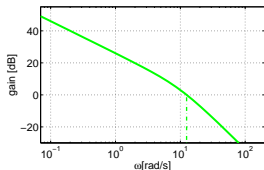
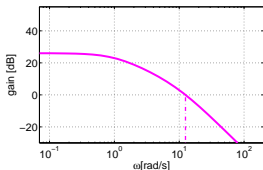
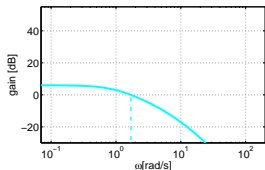
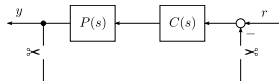
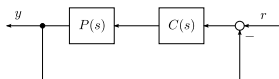
a $L_0(s) = P(s)$

b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

c $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

$$C_2(s) = C_1(s) \frac{s + \omega_1}{s} = k \frac{s + \omega_1}{s} = 10 \frac{s + \omega_1}{s} \quad \omega_1 = 1$$

例題 14.7



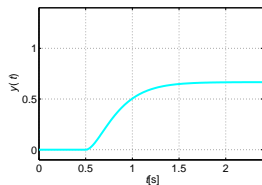
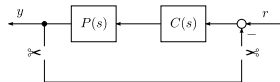
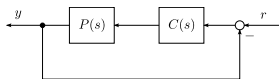
a $L_0(s) = P(s)$

b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

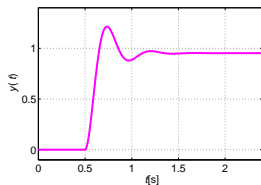
c $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

● ω_1 を ω_{gc} より 1 dec ほど低周波側

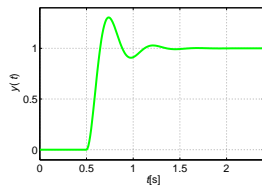
例題 14.7



a $C_0(s) = 1$



b $C_1(s) = k, k = 10$



c $C_2(s) = k \frac{s + \omega_1}{s},$
 $k = 10, \omega_1 = 1$

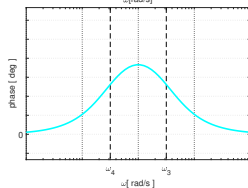
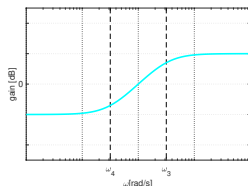
ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

ポイント 3 の改善: 位相進みコントローラ

位相進みコントローラ

$$C(s) = \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \omega_3 > \omega_4$$

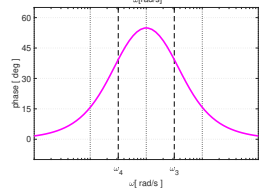
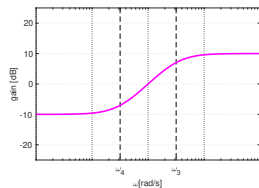


位相がもっとも進む周波数 $\omega_{\max} = \sqrt{\omega_3 \omega_4}$ [rad/s]

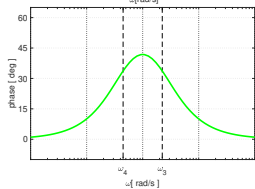
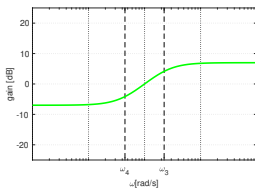
ポイント 3 の改善: 位相進みコントローラ

位相進みコントローラ

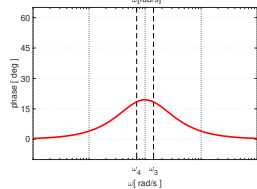
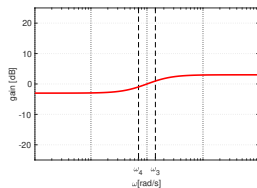
$$C(s) = \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \omega_3 > \omega_4$$



a $\frac{\omega_3}{\omega_4} = 10$ の場合

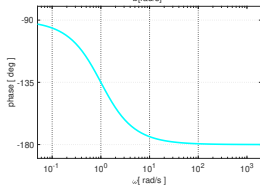
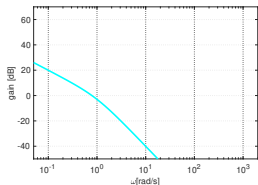
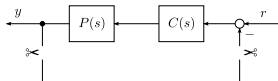
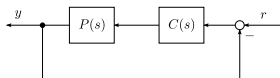


b $\frac{\omega_3}{\omega_4} = 5$ の場合



c $\frac{\omega_3}{\omega_4} = 2$ の場合

例題 14.8

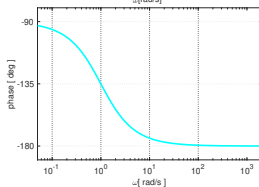
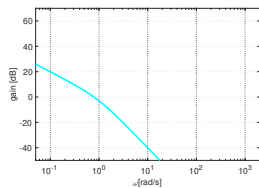
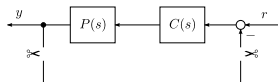
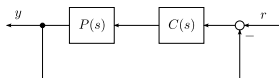


a $L_0(s) = P(s)$

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

設計仕様: $\omega_{bw} = 10$ rad/s 程度 PM = 45 deg 以上

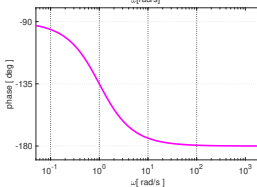
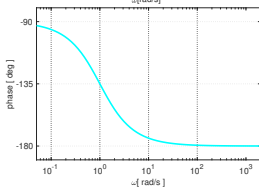
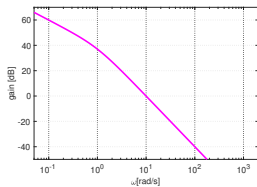
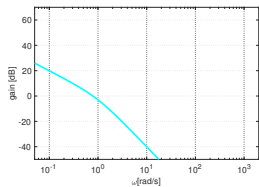
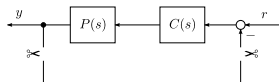
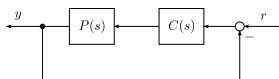
例題 14.8



$$a \quad L_0(s) = P(s)$$

$$C_1(s) = k \quad k = 100$$

例題 14.8

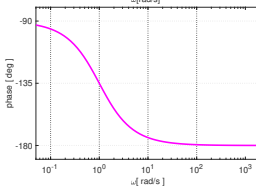
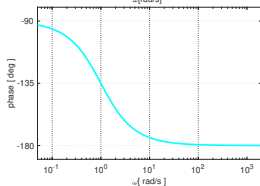
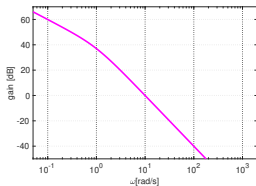
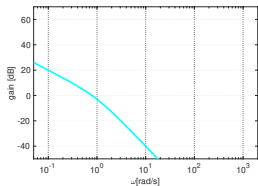
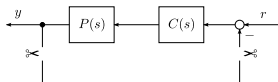
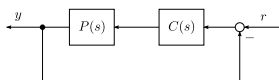


a $L_0(s) = P(s)$

b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

$C_1(s) = k \quad k = 100$

例題 14.8

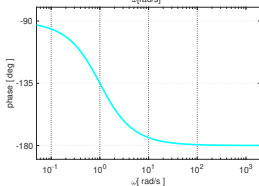
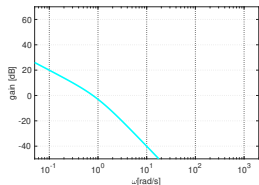
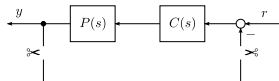
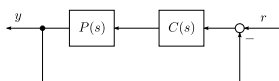


a $L_0(s) = P(s)$

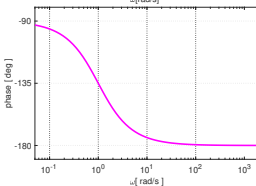
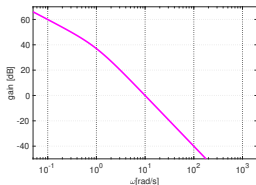
b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

$$C_2(s) = C_1(s) \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} = 100 \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \begin{matrix} \omega_3 = 10\sqrt{10} \\ \omega_4 = \sqrt{10} \end{matrix}$$

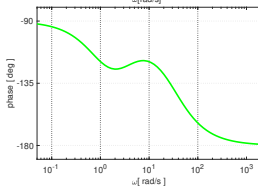
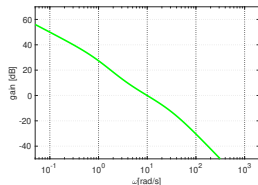
例題 14.8



a $L_0(s) = P(s)$



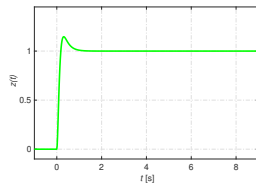
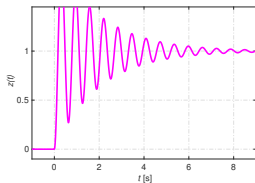
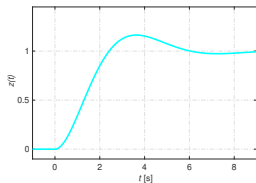
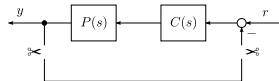
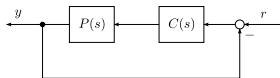
b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$



c $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

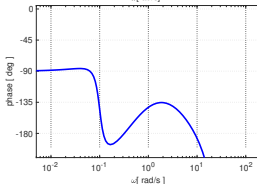
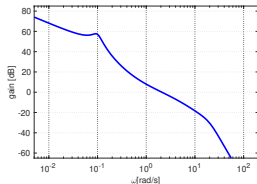
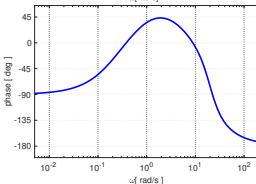
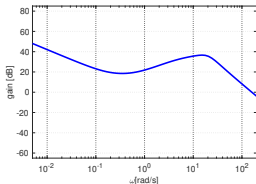
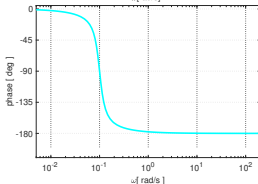
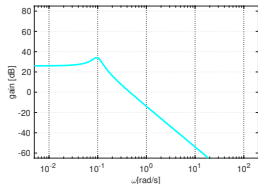
$$C_2(s) = C_1(s) \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} = 100 \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \begin{matrix} \omega_3 = 10\sqrt{10} \\ \omega_4 = \sqrt{10} \end{matrix}$$

例題 14.8



ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

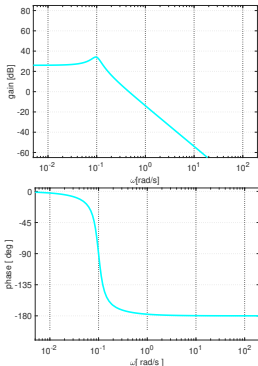


a 典型的な制御対象 $P(s)$ のボード線図

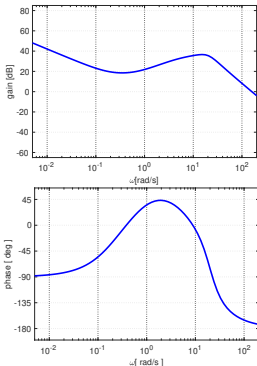
b 典型的なコントローラ $C(s)$ のボード線図

c 典型的な開ループ伝達関数 $L(s) = P(s)C(s)$ のボード線図

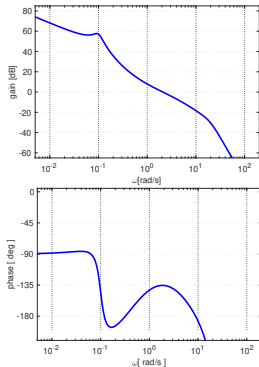
位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



a 典型的な制御対象 $P(s)$ のボード線図

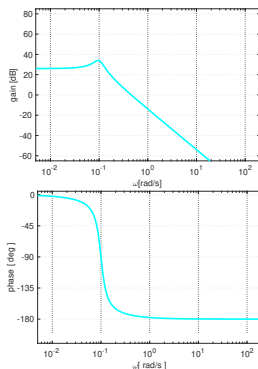


b 典型的なコントローラ $C(s)$ のボード線図



c 典型的な開ループ伝達関数 $L(s) = P(s)C(s)$ のボード線図

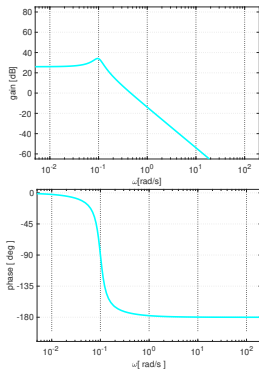
位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



a $P(s)$

$$P(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \omega_n = 0.1 \quad \zeta = 0.2 \quad K = 20$$

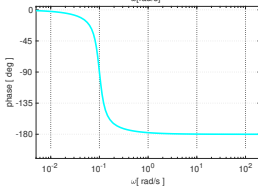
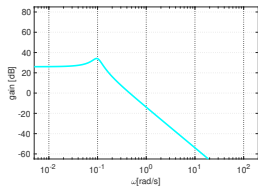
位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



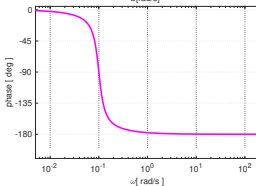
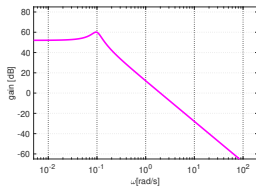
a $P(s)$

$$C_1(s) = k \quad k = 20$$

位相遅れ・進みコンローラによるフィードバック制御系の設計



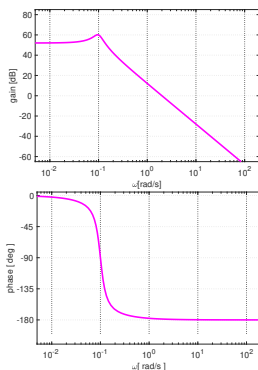
a $P(s)$



b $L_1(s) = P(s)C_1(s)$

$$C_1(s) = k \quad k = 20$$

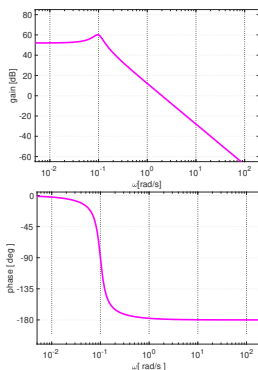
位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



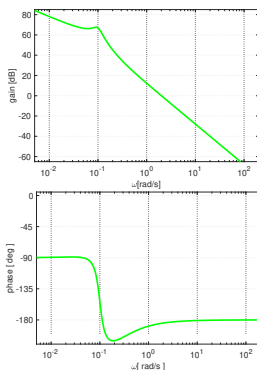
$$\text{a } L_1(s) = P(s)C_1(s)$$

$$C_2(s) = C_1(s) \frac{s + \omega_1}{s} = k \frac{s + \omega_1}{s} \quad \omega_1 = 0.2$$

位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



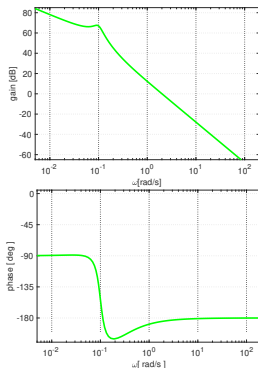
a $L_1(s) = P(s)C_1(s)$



b $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

$$C_2(s) = C_1(s) \frac{s + \omega_1}{s} = k \frac{s + \omega_1}{s} \quad \omega_1 = 0.2$$

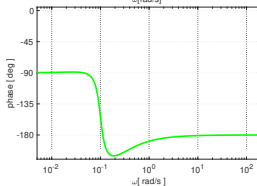
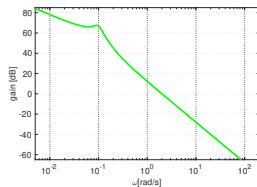
位相遅れ・進みコントローラによるフィードバック制御系の設計



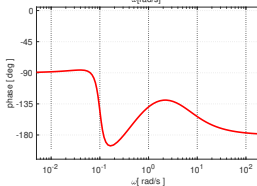
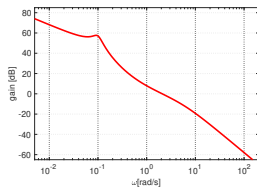
$$a \quad L_2(s) = P(s)C_2(s)$$

$$C_3(s) = C_2(s) \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} = k \frac{s + \omega_1}{s} \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \begin{array}{l} \omega_3 = 6 \\ \omega_4 = 0.6 \end{array}$$

位相遅れ・進みコンローラによるフィードバック制御系の設計



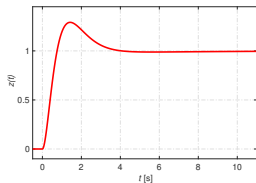
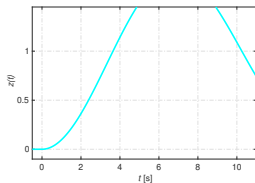
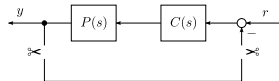
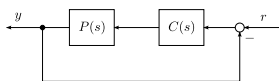
a $L_2(s) = P(s)C_2(s)$



b $L_3(s) = P(s)C_3(s)$

$$C_3(s) = C_2(s) \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} = k \frac{s + \omega_1}{s} \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \quad \begin{array}{l} \omega_3 = 6 \\ \omega_4 = 0.6 \end{array}$$

位相遅れ・進みコンローラによるフィードバック制御系の設計



$$C_3(s) = k \frac{s + \omega_1}{s} \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_4}} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$$

$$k = 20 \quad \omega_1 = 0.2 \quad \omega_3 = 6 \quad \omega_4 = 0.6$$

ループ整形のポイント

- ① 速応性: 高いゲイン交差周波数 ω_{gc}
- ② 定常特性: 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} |L(j\omega)| = \infty$
- ③ 安定性: 適切な位相余裕 PM

システム制御工学 II フィードバック制御系の設計

フィードバック vs フィードフォワード
フィードバック制御系の安定性

11/16 中間試験

ナイキストの安定判別法
ループ整形法によるフィードバック制御系の設計
ループ整形のポイント
ループ整形法

二自由度制御系

01/25 期末試験