

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

12/03 中間試験

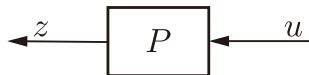
ナイキストの安定判別法
ループ整形法によるフィードバック制御系の設計
二自由度制御系

01/28 期末試験

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



動的なシステム

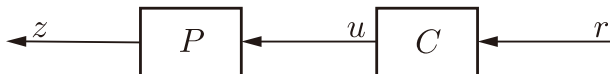


a 制御対象

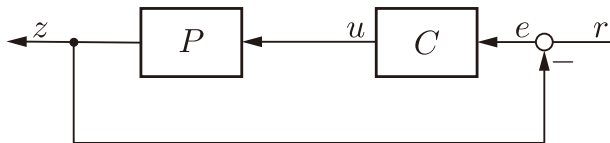


b コントローラ

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



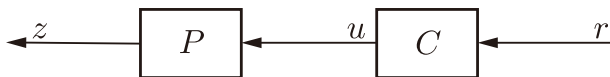
a フィードフォワード制御系



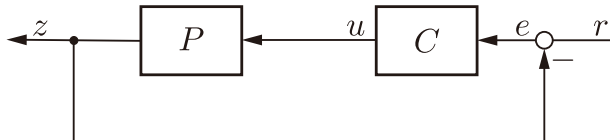
b フィードバック制御系

z 被制御量 あるいは 出力
 u 制御量 あるいは (制御) 入力
 r 参照入力 あるいは 目標値
 e 偏差

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



a フィードフォワード制御系



b フィードバック制御系

- 制御対象 P として自動車
- 自動車を 50 km/h の速さで走らせるのが制御目的
- 目標値 $r(t) = 50$ を想定
- 出力 z が $\lim_{t \rightarrow \infty} z(t) = 50 = r(t)$ となるような
- 適切な入力 $u(t)$ を自動的に生成してくれるコントローラ C の設計

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系

1 A の入力電流毎に 10 km/h の速度がでる電車の速度制御

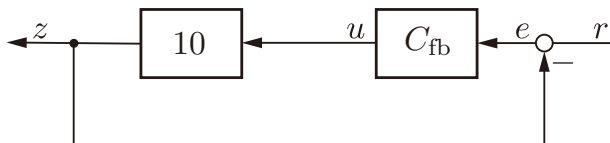


$$z = Pu = 10u$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



a フィードフォワード制御系



b フィードバック制御系

$$z = Pu = 10u$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$z = Pu = PC_{\text{ff}}r = 10C_{\text{ff}}r$$

適切なフィードフォワードコントローラ C_{ff} ?

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$z = Pu = PC_{\text{ff}}r = 10C_{\text{ff}}r$$

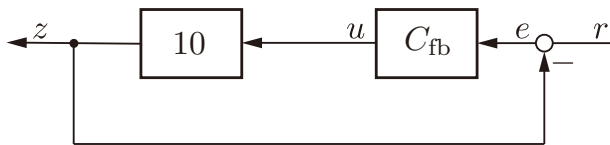
適切なフィードフォワードコントローラ C_{ff} ?

$$C_{\text{ff}} = 1/10 = 1/P$$

$$z = PC_{\text{ff}}r = 10 \times (1/10) \times r = r$$

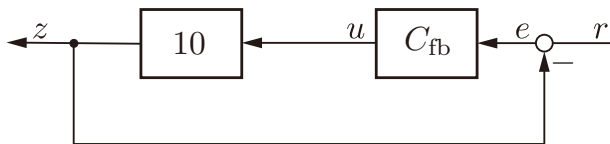
例えば $r(t) = 100 \text{ km/h}$ に対して $z(t) = 100 \text{ km/h}$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$z = Pu = PC_{fb}e = PC_{fb}(r - z)$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$z = Pu = PC_{fb}e = PC_{fb}(r - z)$$

$$z + PC_{fb}z = PC_{fb}r$$

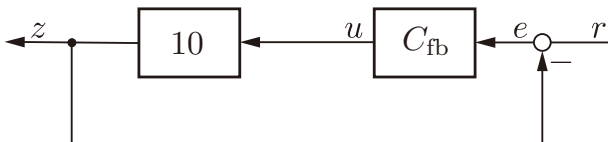
$$(1 + PC_{fb})z = PC_{fb}r$$

$$z = \frac{PC_{fb}}{1 + PC_{fb}}r = \frac{10C_{fb}}{1 + 10C_{fb}}r$$

例えば, $C_{fb} = 5$

$$z = \frac{10C_{fb}}{1 + 10C_{fb}}r = \frac{50}{1 + 50}r = \frac{50}{51}r$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



例えば, $C_{fb} = 5$

$$z = \frac{10C_{fb}}{1 + 10C_{fb}} r = \frac{50}{1 + 50} r = \frac{50}{51} r$$

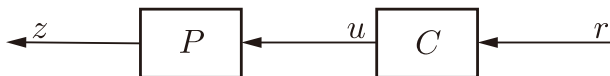
目標値 $r(t) = 100 \text{ km/h}$ に対して

$$z(t) = (50/51) \times 100 = 98.0 \text{ km/h}$$

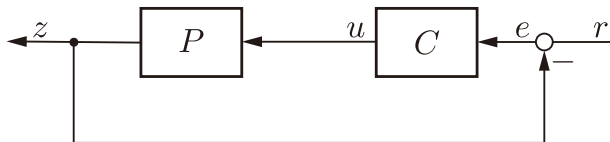
ほぼ $z(t) = 98.0 \approx 100 = r(t)$ を実現¹

¹ $C_{fb} = 10$ と選べば $z(t) = 99.0 \text{ km/h}$ とできるし, $C_{fb} = 100$ と選べば $z(t) = 99.9 \text{ km/h}$ とできる. 目標値 r から出力 z までの特性は $10C_{fb}/(1 + 10C_{fb})$ なので, C_{fb} がどんどん大きくなると, $10C_{fb}/(1 + 10C_{fb})$ はどんどん 1 に近づく.

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



a フィードフォワード制御系



b フィードバック制御系

フィードフォワード制御系でも、フィードバック制御系でも、出力 z を目標値 r に一致させることができそう

フィードバック構造の効用 1

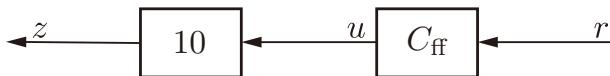
電車の速度制御の問題 $z = Pu = 10u$

電車が出発し、つぎの駅で沢山のお客が乗ったところ、1 A の入力電流毎に 8 km/h の速度しかでなくなった

$$P = 10 \quad \rightarrow \quad \hat{P} = 8$$

- 制御対象 (電車) の特性変動

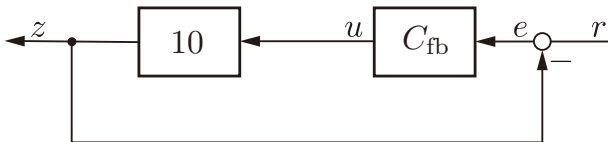
フィードバック構造の効用 1



$$z = \hat{P}u = \hat{P}C_{\text{ff}}r = 8 \times \frac{1}{10} \times r$$

$r(t) = 100 \text{ km/h}$ に対して $z(t) = 80 \text{ km/h}$ 20 km/h の誤差

フィードバック構造の効用 1



$$z = \frac{\hat{P}C_{fb}}{1 + \hat{P}C_{fb}} r = \frac{8C_{fb}}{1 + 8C_{fb}} r = \frac{8 \times 5}{1 + 8 \times 5} r = \frac{40}{41} r$$

$r(t) = 100 \text{ km/h}$ に対して $z(t) = 97.6 \text{ km/h}$

変動前の $z(t) = 98.0 \text{ km/h}$ に対してわずか 0.4 km/h の出力変動

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる。

フィードバック構造の効用 1

制御対象 P の特性変動: 電車にお客が乗る

特性変動は, 必ず存在する

- 経年変化
- パラメータの誤差
- 簡素なモデリングによる誤差
- ??????

実用的な制御系に要求される重要な性質:

- 制御対象 P に特性の変動があったとしても, その影響が出力 z には現れにくいようにする (制御対象 P の特性変動の影響を抑制できる)
- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる.

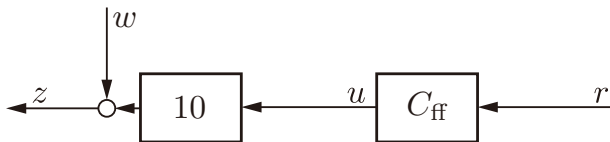
フィードバック構造の効用 2

電車の速度制御の問題をもう一度 $z = Pu = 10u$

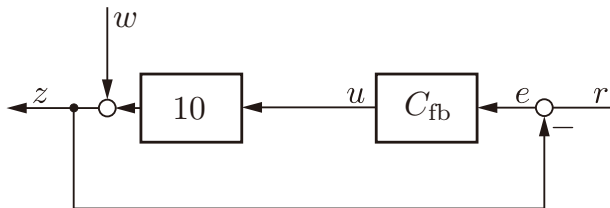
制御系に加わる予期せぬ入力 (外乱) の影響

向かい風 w [km/h] が電車の速度に直接的に影響を与える

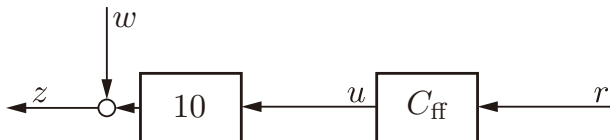
$$z = Pu + w$$



a フィードフォワード制御系



フィードバック構造の効用 2



$$z = Pu + w = PC_{\text{ff}}r + w$$

$P = 10$, $C_{\text{ff}} = 1/10 = 1/P$, $r(t) = 100 \text{ km/h}$ のとき, 30 km/h の予期せぬ向かい風 (外乱) $w = -30$

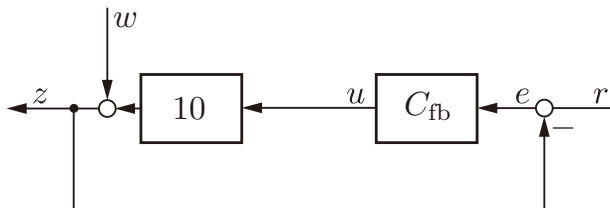
$$z = PC_{\text{ff}}r + w = 10 \times \frac{1}{10} \times 100 - 30 = 70$$

30 km/h の誤差

外乱 w の影響が出力 z にそのまま現れる

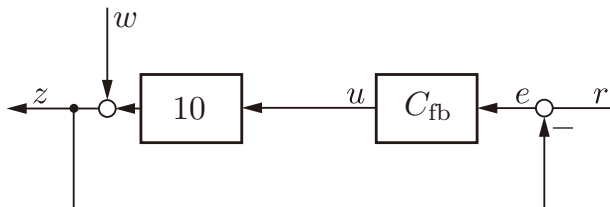
$$z = PC_{\text{ff}}r + w$$

フィードバック構造の効用 2



$$z = Pu + w = PC_{fb}e + w = PC_{fb}(r - z) + w$$

フィードバック構造の効用 2



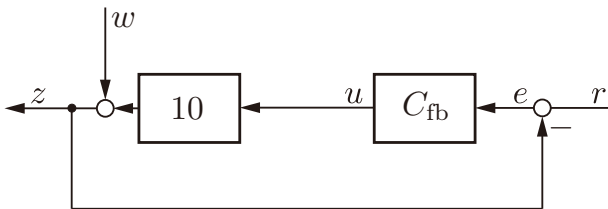
$$z = Pu + w = PC_{\text{fb}}e + w = PC_{\text{fb}}(r - z) + w$$

$$z + PC_{\text{fb}}z = PC_{\text{fb}}r + w$$

$$(1 + PC_{\text{fb}})z = PC_{\text{fb}}r + w$$

$$z = \frac{PC_{\text{fb}}}{1 + PC_{\text{fb}}}r + \frac{1}{1 + PC_{\text{fb}}}w$$

フィードバック構造の効用 2



$P = 10$, $C_{fb} = 5$, $r(t) = 100$ km/h のとき, $w = -30$ の外乱

$$\begin{aligned} z &= \frac{PC_{fb}}{1 + PC_{fb}} r + \frac{1}{1 + PC_{fb}} w \\ &= \frac{10 \times 5}{1 + 10 \times 5} r + \frac{1}{1 + 10 \times 5} w \\ &= \frac{50}{51} r + \frac{1}{51} w = \frac{50}{51} 100 - \frac{1}{51} 30 = 97.5 \end{aligned}$$

外乱 w が加わらないときの出力 $z(t) = 98.0$ mk/h に対する影響を
 $(1/51) \times w = 0.6$ km/h 以下に抑制

フィードバック構造の効用 2

制御系に加わる予期せぬ入力 (外乱) の影響: 向かい風 w [km/h] が電車の速度に直接的に影響を与える

外乱は加わる

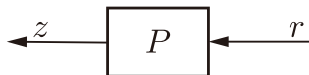
- 横風, 路面のうねり 車の制御
- 外気温の変化, 人の数 エアコン (温度) の制御
- 荷物の重さ ロボットアームの制御
- ?????

実用的な制御系に要求される重要な性質:

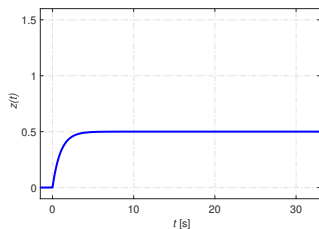
- 制御系に加わる予期せぬ入力 w の影響が出力 z には現れにくいようにする (外乱の影響を抑制できる)
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる.

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系

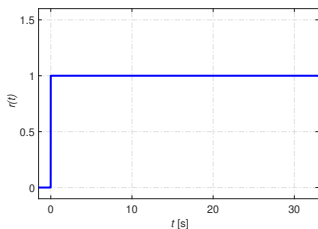
制御対象 $P(s) = K/(Ts + 1)$ $K = 0.5$ $T = 1$



参考までに

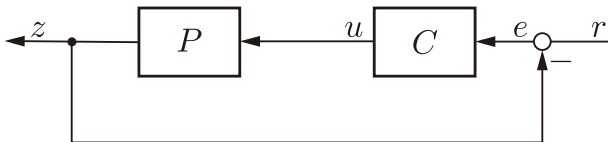


a 出力 z

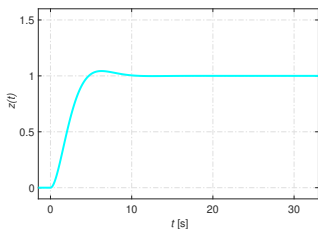


b ステップ入力 $r(t)$

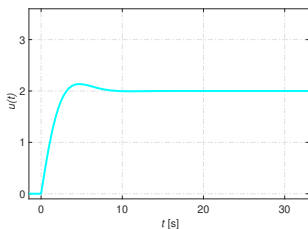
フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



コントローラ $C(s) = 1/s$ 積分器

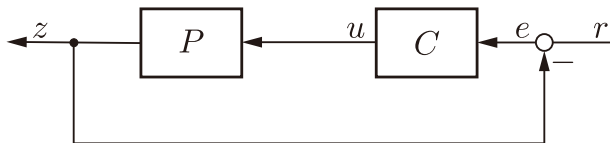


a 出力 z



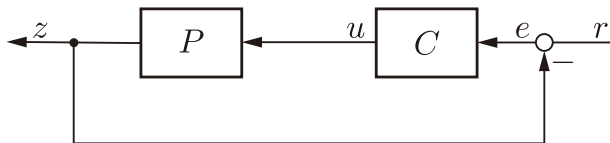
b 入力 $u(t)$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$e(s) = r(s) - z(s) = r(s) - P(s)u(s) = r(s) - P(s)C(s)e(s)$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系

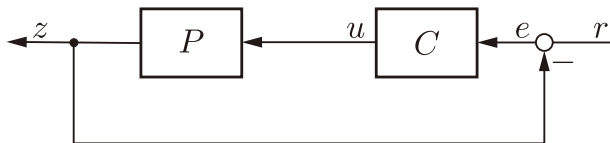


$$e(s) = r(s) - z(s) = r(s) - P(s)u(s) = r(s) - P(s)C(s)e(s)$$

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

$$e(s) = \frac{1}{1 + P(s)C(s)} r(s) = \frac{1}{1 + \frac{K}{Ts + 1} \frac{1}{s}} r(s) = \frac{(Ts + 1)s}{(Ts + 1)s + K} r(s)$$

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系



$$e(s) = r(s) - z(s) = r(s) - P(s)u(s) = r(s) - P(s)C(s)e(s)$$

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

$$e(s) = \frac{1}{1 + P(s)C(s)} r(s) = \frac{1}{1 + \frac{K}{Ts + 1} \frac{1}{s}} r(s) = \frac{(Ts + 1)s}{(Ts + 1)s + K} r(s)$$

ラプラス変換の最終値の定理 $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s e(s)$

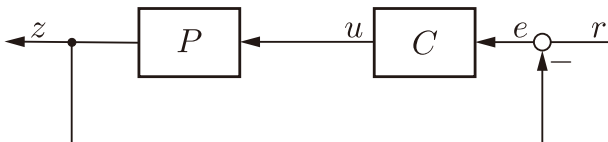
$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s e(s)$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{(Ts + 1)s}{(Ts + 1)s + K} \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{(Ts + 1)s}{(Ts + 1)s + K} = \frac{0}{K} = 0$$

フィードバック構造の効用 1

制御対象 $P(s) = K/(Ts + 1)$ $K = 0.5$ $T = 1$

コントローラ $C(s) = 1/s$ 積分器

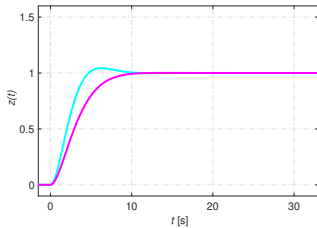


$K = 0.5 \rightarrow K = 0.3, 0.7$ に変動

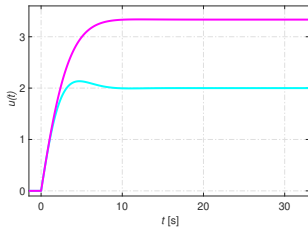
$T = 1 \rightarrow T = 0.6, 1.4$ に変動

フィードバック構造の効用 1

$K = 0.5 \rightarrow K = 0.3$

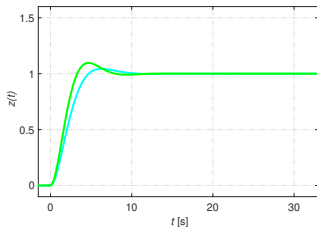


a 出力 z

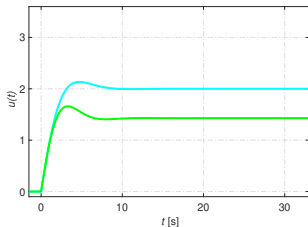


b 入力 $u(t)$

$K = 0.5 \rightarrow K = 0.7$



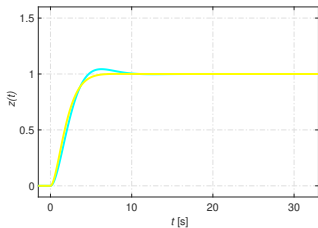
a 出力 z



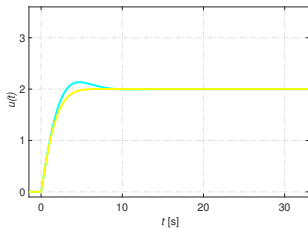
b 入力 $u(t)$

フィードバック構造の効用 1

$$T = 1 \rightarrow T = 0.6$$

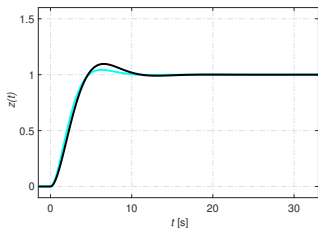


a 出力 z

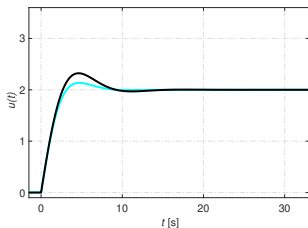


b 入力 $u(t)$

$$T = 1 \rightarrow T = 1.4$$



a 出力 z



b 入力 $u(t)$

フィードバック構造の効用 1

制御対象 P の特性変動: 電車にお客が乗る

特性変動は, 必ず存在する

- 経年変化
- パラメータの誤差
- 簡素なモデリングによる誤差
- ??????

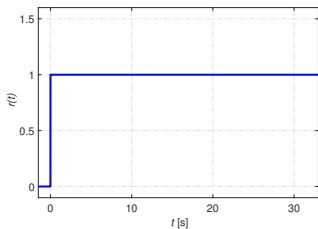
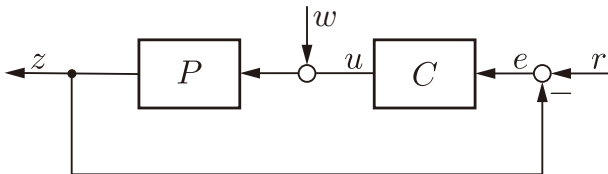
実用的な制御系に要求される重要な性質:

- 制御対象 P に特性の変動があったとしても, その影響が出力 z には現れにくいようにする (制御対象 P の特性変動の影響を抑制できる)
- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる.

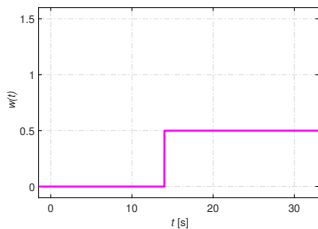
フィードバック構造の効用 2

制御対象 $P(s) = K/(Ts + 1)$ $K = 0.5$ $T = 1$

コントローラ $C(s) = 1/s$ 積分器

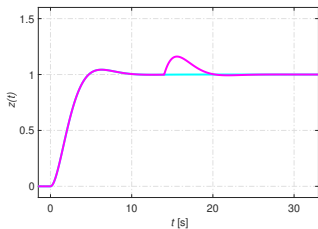


a ステップ入力 $r(t)$

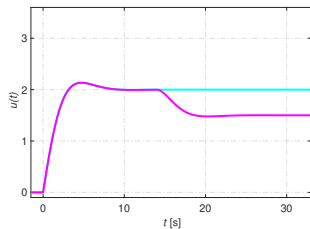


b 外乱 $w(t)$

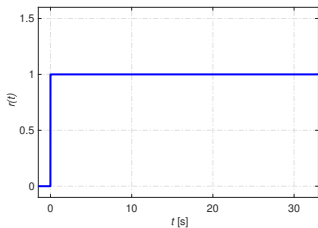
フィードバック構造の効用 2



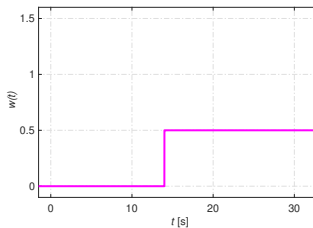
a 出力 z



b 入力 $u(t)$



c ステップ入力 $r(t)$



d 外乱 $w(t)$

フィードバック構造の効用 2

制御系に加わる予期せぬ入力 (外乱) の影響: 向かい風 w [km/h] が電車の速度に直接的に影響を与える

外乱は加わる

- 横風, 路面のうねり 車の制御
- 外気温の変化, 人の数 エアコン (温度) の制御
- 荷物の重さ ロボットアームの制御
- ?????

実用的な制御系に要求される重要な性質:

- 制御系に加わる予期せぬ入力 w の影響が出力 z には現れにくいようにする (外乱の影響を抑制できる)
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる.

システム制御工学 II フィードバック制御系の設計

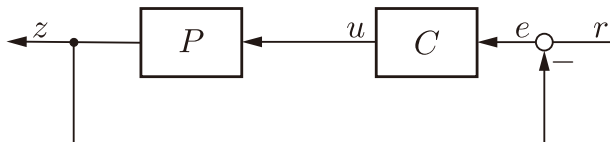
フィードバック vs フィードフォワード
フィードバック制御系の安定性

12/03 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

01/28 期末試験

感度関数と相補感度関数



制御対象の特性変動 $P \Rightarrow \hat{P}$

$$z = \frac{PC}{1 + PC} r$$

$$\hat{z} = \frac{\hat{P}C}{1 + \hat{P}C} r$$

感度関数と相補感度関数

$$\begin{aligned}\Delta z &= \frac{z - \hat{z}}{\hat{z}} = \frac{\frac{PC}{1+PC}r - \frac{\hat{P}C}{1+\hat{P}C}r}{\frac{\hat{P}C}{1+\hat{P}C}r} = \frac{\frac{PC}{1+PC} - \frac{\hat{P}C}{1+\hat{P}C}}{\frac{\hat{P}C}{1+\hat{P}C}} \\ &= \frac{\frac{PC}{1+PC}(1+\hat{P}C) - \hat{P}C}{\hat{P}C} \\ &= \frac{PC(1+\hat{P}C) - (1+PC)\hat{P}C}{(1+PC)\hat{P}C} \\ &= \frac{P(1+\hat{P}C) - (1+PC)\hat{P}}{(1+PC)\hat{P}} = \frac{1}{1+PC} \frac{P(1+\hat{P}C) - (1+PC)\hat{P}}{\hat{P}} \\ &= \frac{1}{1+PC} \frac{P - \hat{P}}{\hat{P}} = S\Delta P\end{aligned}$$

感度関数と相補感度関数

$$\Delta z = \frac{z - \hat{z}}{\hat{z}} = \frac{1}{1 + PC} \frac{P - \hat{P}}{\hat{P}} = S \Delta P$$

- 感度関数 $S = \frac{1}{1 + PC}$

感度関数 S の小さな制御系: 制御対象の特性変動の影響を抑制できる優れた制御系

感度関数 S が “小さい” ?

感度関数と相補感度関数

$$\Delta z = \frac{z - \hat{z}}{\hat{z}} = \frac{1}{1 + PC} \frac{P - \hat{P}}{\hat{P}} = S \Delta P$$

- 感度関数 $S = \frac{1}{1 + PC}$

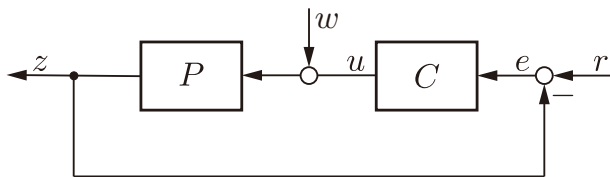
感度関数 S の小さな制御系: 制御対象の特性変動の影響を抑制できる優れた制御系

感度関数 S が “小さい” ?

- 相補感度関数 $T = 1 - S = 1 - \frac{1}{1 + PC} = \frac{PC}{1 + PC}$

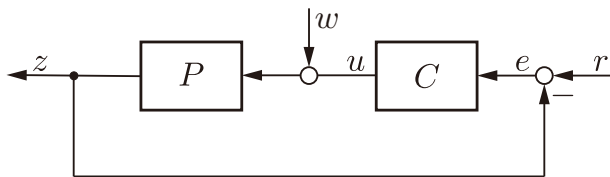
- $S + T = 1$

感度関数と相補感度関数



$$z = P(u + w) = PC(r - z) + Pw$$

感度関数と相補感度関数



$$z = P(u + w) = PC(r - z) + Pw$$

$$z = \frac{PC}{1 + PC}r + \frac{P}{1 + PC}w = Tr + PSw$$

感度関数と相補感度関数

$$z = \frac{PC}{1+PC}r + \frac{P}{1+PC}w = Tr + PSw$$

感度関数 S の小さな制御系: 制御対象の特性変動の影響を抑制できる優れた制御系

感度関数 S が “小さい” ?

感度関数と相補感度関数

$$z = \frac{PC}{1+PC}r + \frac{P}{1+PC}w = Tr + PSw$$

感度関数 S の小さな制御系: 制御対象の特性変動の影響を抑制できる優れた制御系

感度関数 S が “小さい” ?

感度関数 S の小さな制御系: 外乱 w の影響が出力にあらわれにくい優れた制御系

感度関数と相補感度関数

$$z = \frac{PC}{1+PC}r + \frac{P}{1+PC}w = Tr + PSw$$

感度関数 S の小さな制御系: 制御対象の特性変動の影響を抑制できる優れた制御系

感度関数 S が “小さい” ?

感度関数 S の小さな制御系: 外乱 w の影響が出力にあらわれにくい優れた制御系

制御目標 $z \approx r$ $T \approx 1$ が望ましい

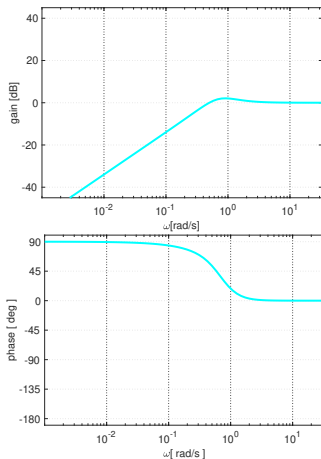
相補感度関数 T が 1 に “近い” ?

感度関数と相補感度関数

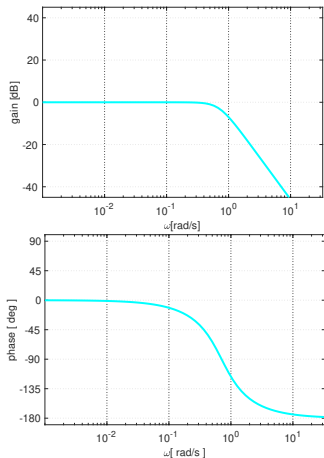
制御対象 $P(s) = K/(Ts + 1)$ $K = 0.5$ $T = 1$
コントローラ $C(s) = 1/s$ 積分器

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

感度関数と相補感度関数



感度関数 $S(j\omega)$ のボード線図



相補感度関数 $T(j\omega)$ のボード線図

低周波数域 $\omega \ll 1$ では: $|S(j\omega)| \approx 0$ および $|T(j\omega)| \approx 1$

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

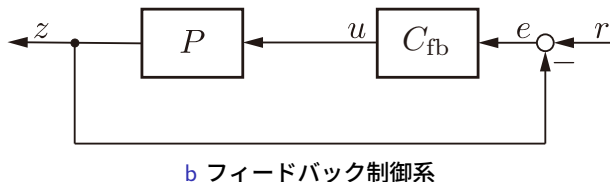
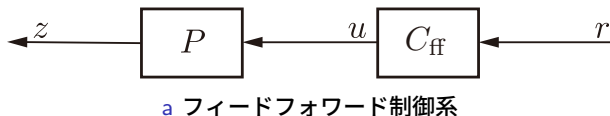
フィードバック制御のもう一つの利点: 不安定な制御対象を安定化

不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ

$$P(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)}$$

制御対象の極: $p_1 = 1, p_2 = -10$ $p_1 = 1 > 0$ 不安定



不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ

$$P(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)}$$



$$P(s)C_{\text{ff}}(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)}C_{\text{ff}}(s)$$

不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ

$$P(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)}$$



$$P(s)C_{\text{ff}}(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)}C_{\text{ff}}(s)$$

$$C_{\text{ff}}(s) = \frac{s-1}{s+2}$$

$$P(s)C_{\text{ff}}(s) = \frac{10}{(s-1)(s+10)} \frac{s-1}{s+2} = \frac{10}{(s+2)(s+10)}$$

$P(s)C_{\text{ff}}(s)$ の極: $-2, -10 < 0$ 安定化

不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ

制御対象 P の特性にわずかな変動:

$$\hat{P}(s) = \frac{10}{(s - 1.1)(s + 10)}$$

$$\begin{aligned}\hat{P}(s)C_{\text{ff}}(s) &= \frac{10}{(s - 1.1)(s + 10)} \frac{s - 1}{(s + 2)} \\ &= \frac{10(s - 1)}{(s - 1.1)(s + 2)(s + 10)}\end{aligned}$$

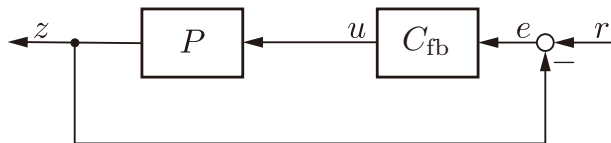
1.1 > 0 不安定

フィードフォワード制御:

- 微小な特性変動も許容できない
- 実用的な意味で不安定な制御系を安定化することはできない

不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ



例えば $C_{fb} = 3$

$$\begin{aligned}\frac{P(s)C_{fb}}{1 + P(s)C_{fb}} &= \frac{\frac{10}{(s-1)(s+10)} \cdot 3}{1 + \frac{10}{(s-1)(s+10)} \cdot 3} = \frac{30}{(s-1)(s+10) + 30} \\ &= \frac{30}{s^2 + 9s - 10 + 30} = \frac{30}{s^2 + 9s + 20} = \frac{30}{(s+4)(s+5)}\end{aligned}$$

$P(s)C_{fb}/(1 + P(s)C_{fb})$ の極: $-4, -5 < 0$

安定化

不安定な制御対象の安定化

フィードバック制御の難しさ

特性変動 $\hat{P}(s) = 10/((s - 1.1)(s + 10))$

$$\begin{aligned}\frac{\hat{P}(s)C_{fb}}{1 + \hat{P}(s)C_{fb}} &= \frac{\frac{10}{(s - 1.1)(s + 10)} \cdot 3}{1 + \frac{10}{(s - 1.1)(s + 10)} \cdot 3} = \frac{30}{(s - 1.1)(s + 10) + 30} \\ &= \frac{30}{s^2 + 8.9s - 11 + 30} = \frac{30}{s^2 + 8.9s + 19} \approx \frac{30}{(s + 3.6)(s + 5.3)}\end{aligned}$$

$\hat{P}C_{fb}/(1 + PC_{fb})$ の極: $-3.6, -5.3 < 0$ 安定化

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

フィードバック制御のもう一つの利点: 不安定な制御対象を安定化

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

フィードバック制御のもう一つの利点: 不安定な制御対象を安定化

あえてフィードバックを施したことにより

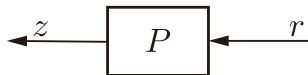
- 制御性能の劣化
- 制御系の不安定化

フィードバックによる不安定化

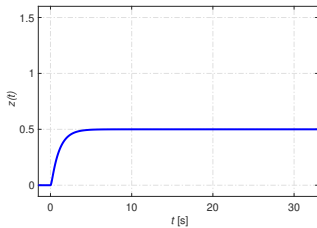
フィードバック制御の難しさ

制御対象

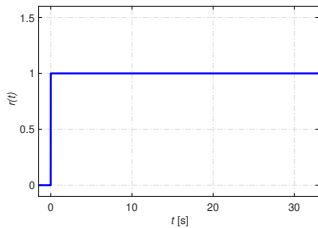
$$P(s) = \frac{5}{(s+1)(s+10)}$$



参考までに



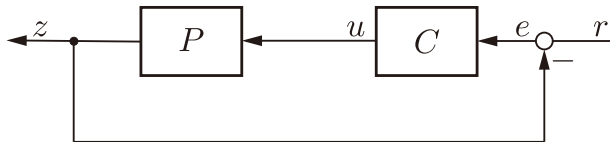
a 出力 z



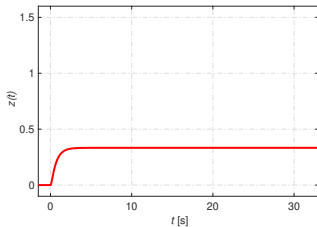
b ステップ入力

フィードバックによる不安定化

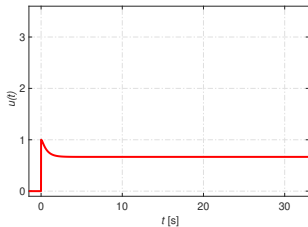
フィードバック制御の難しさ



$C(s) = 1$ ただ単にフィードバックループを繋いだだけ



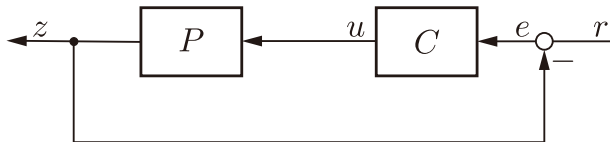
a 出力 z



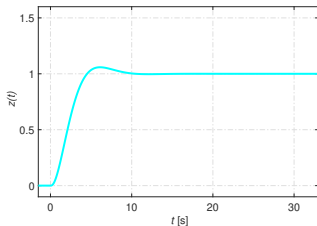
b 入力 u

フィードバックによる不安定化

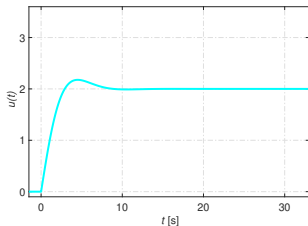
フィードバック制御の難しさ



$$C(s) = 1/s$$



a 出力 z

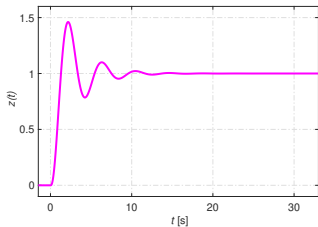


b ステップ入力

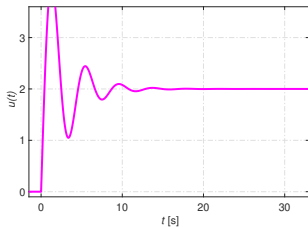
フィードバックによる不安定化

フィードバック制御の難しさ

$$C(s) = 5/s$$

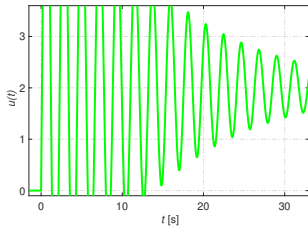
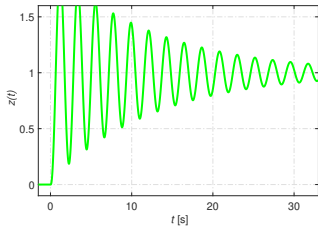


a 出力 z



b ステップ入力

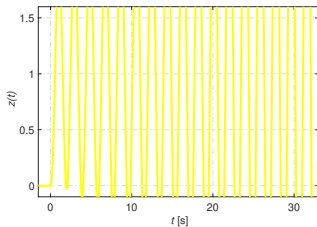
$$C(s) = 18/s$$



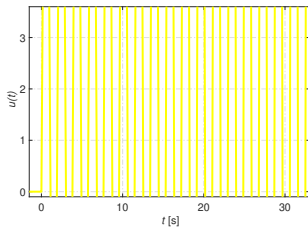
フィードバックによる不安定化

フィードバック制御の難しさ

$$C(s) = 24/s$$



a 出力 z



b ステップ入力

不安定化

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

フィードバック制御のもう一つの利点: 不安定な制御対象を安定化

あえてフィードバックを施したことにより:

- 制御性能の劣化
- 制御系の不安定化

フィードバック制御の難しさ

- フィードバック構造の効用: 制御対象 P の特性変動の影響を抑制することができる
- フィードバック構造の効用: 外乱 w の影響を抑制することができる

フィードバック制御のもう一つの利点: 不安定な制御対象を安定化

あえてフィードバックを施したことにより:

- 制御性能の劣化
- 制御系の不安定化

フィードバック制御系の安定性やフィードバックコントローラの適切な設計法を理解していることが重要

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

12/03 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

01/28 期末試験