

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

⑦ロボットの 均衡メカニズム (グループ討論・次回発表)

宇都宮大学 工学研究科
准教授 吉田勝俊

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

立位ロボットの実例

自然状態

不安定

発散

制御

→

人工的状态

発散 ⇒ 減衰振動(不完全)
ずらずと元に戻る

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

不安定性の原理モデル

■ 倒立振り子モデル(台車が付いた振り子)

振り子は直接支えない
倒れ角 q

制御力 F

簡略化した運動方程式 (2次系)

$$q''(t) - g q(t) = -F$$

※ $g \approx 9.8 \dots$ 重力加速度

どのような F を与えれば、振り子は安定に立つか？

ヒント: 安定に立つ ⇒ $q(t)$ が 0 に減衰する ⇒ 分類表

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

(復習) $x''(t) + a x'(t) + b x(t) = 0$ の安定性

■ 固有値の実部, 虚部から、すぐ分かる!

複素数 $\alpha + \beta i$
実部 虚部

分類表	虚部=0	虚部≠0
実部が全て(-)	立つ! 減衰・非振動	立つ! 減衰・振動
実部が0	一定値	単振動
実部が1つでも(+)	発散・非振動	発散・振動

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

制御しないとき ($F=0$) のダイナミクス

簡略化した運動方程式

$$q'' - g q = -F = 0$$

↓ 同じ係数の2次方程式

$$s^2 - g = 0$$

固有値

$$s_1 = -\sqrt{g}, s_2 = +\sqrt{g}$$

正の実部
虚部なし

非振動・発散

■ スイッチを切ったロボットは倒れる!

- 倒れ角 $q(t)$ が単調に増加する。
- 逆さにした単振り子の性質。

不安定

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

均衡を実現する制御 (比例制御)

■ 倒れ角 q に比例した力で、台車を押す。 比例制御という

$F = F_1 = K q$ とすると K をゲインという

$$q'' - g q = -F_1 = -K q$$

$$q'' - (g - K) q = 0$$

移項して整理

固有値 $s_1, s_2 = \pm \sqrt{g - K}$

■ ゲイン K を十分大きくすると, $g - K < 0$.
⇒ $s_1, s_2 = \pm \sqrt{K - g} i$ (純虚数) ⇒ 単振動

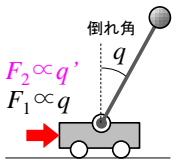
■ 比例制御で転倒はなくなるが、静止はできない。

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

安定を実現する制御（微分制御）

- 角速度 q' に比例した力も加える。 微分制御という



倒れ角 q

$$F = F_1 + F_2 = Kq + Lq'$$

とすると

$$q'' - gq = -F = -Kq - Lq'$$

$$q'' + Lq' - (g - K)q = 0$$

固有値 $s_1, s_2 = \frac{-L \pm \sqrt{L^2 + 4(g - K)}}{2}$

- s_1, s_2 の実部が全て(-)になる, K, L を選ぶ
⇒ 減衰・非振動 or 減衰・振動が実現する。
- 比例+微分制御で、ロボットは立つ！

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

授業のまとめ

- ヒトやロボットの立位バランスは、次の要素の組合せでモデル化できる。
 - 倒立振り子モデル（力学的な不安定性）
 - 比例制御・微分制御（平衡と安定の実現）
比例制御+微分制御を、PD制御という
- 制御のゲインの設計は、固有値で行う。
 - 実部 … 減衰するか(-), 発散するか(+).
 - 虚部 … 振動するか($\neq 0$), しないか($= 0$).

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

討論課題（ゲイン調整）

- グループで討論し、ロボットが立つゲイン K, L の具体値を提案せよ。
 - K, L の組み合わせは無数にとれる。
 - 減衰・振動 or 減衰・非振動の選択肢がある。
 - 皆さんは、エイヤーで1つ選定する。（設計技術者の臨場感）
- 次回の中盤で、各グループ5分程度、以下を発表せよ。
 - 提案するゲイン K, L の値。
 - 対応する固有値。
 - 選定の理由。

最悪、当て推量であろうが、
なんだろうが、必ず K, L の
値と理由を提示する。
- 選定の正否は、ロボット・シミュレータで検証する。

放送大学講義資料「動的均衡と複雑系の科学」