

ロボットはできた。
さあ、どう動かそう？

東京工業大学
制御システム工学科

三平 満司

制御システム工学科ホームページ

<http://www.ctrl.titech.ac.jp>

IDC国際ロボコンホームページ

(NHK放映)

<http://www-idc.ctrl.titech.ac.jp>



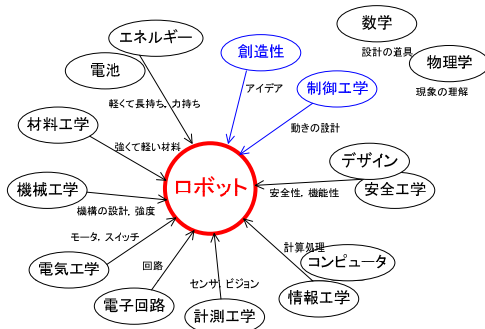
今日の授業で覚えてほしい言葉

「制御 (せいぎょ:コントロール)」

ある目的を達成するために対象に
操作を加えること

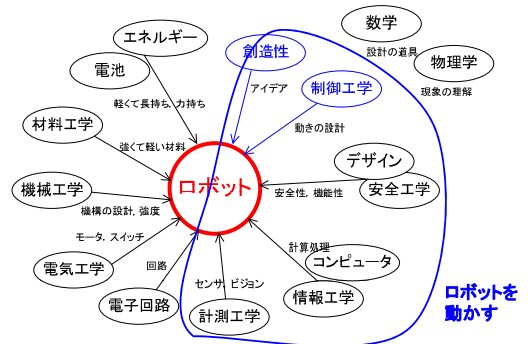
ロボットを思い通りに動かす技術
人間が直感で動かせないものも
動かす技術

ロボットは技術の総合デパート



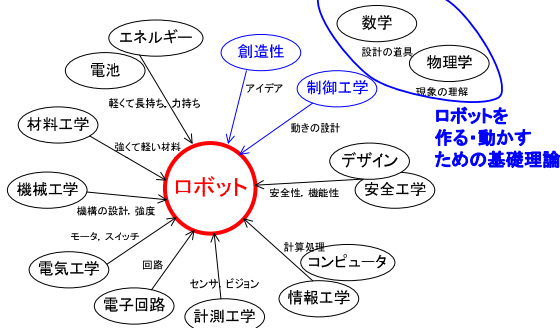
ロボットは技術の総合デパート、分化した学問の再融合(原始ものづくりへの回帰)

ロボットは技術の総合デパート



ロボットは技術の総合デパート、分化した学問の再融合(原始ものづくりへの回帰)

ロボットは技術の総合デパート



ロボットは総合工学、分化した学問の再融合(原始ものづくりへの回帰)

James Watt (1736-1819)

Wattの蒸気機関が産業革命を牽引した。

工夫としての制御

ワットの蒸気機関

- 蒸気力を用いて機械を動かす考えは、ワット以前からあった。
- ワットは「工夫」としての「制御」を導入して蒸気機関を改良し、実用化した。



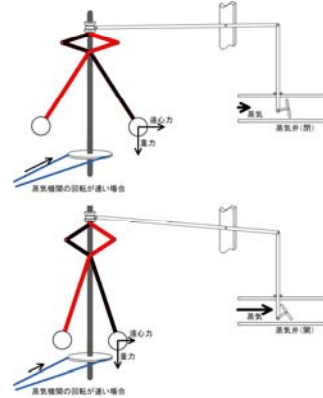
ガバナによる回転速度の制御

浮きを使ったボイラーの水位、圧力の制御

ガバナを用いた回転速度制御

蒸気機関の回転が負荷により変わると困る

工夫としての制御



回転が速くなる
⇒ガバナのおもりが上がる
⇒蒸気バルブが閉まる
⇒回転が遅くなる

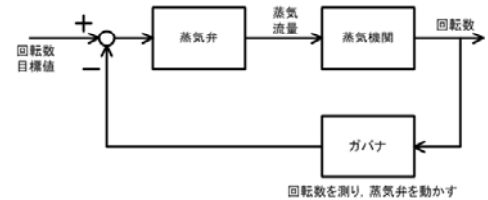
回転が遅くなる
⇒ガバナのおもりが下がる
⇒蒸気バルブが開く
⇒回転が速くなる

フィードバック制御

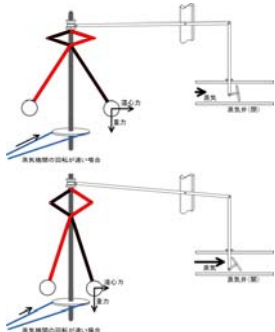
結果(回転速度)を元にシステム(蒸気機関)の入力(蒸気流量)を決定する(フィードバック)する制御

→ 外乱, システム変動があっても目的が達成できる

ボイラと蒸気機関の制御システム



工夫から理論へ

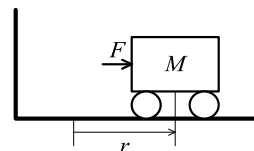


速度が速い
⇒急にバルブが閉まる
⇒回転速度が遅くなる
⇒回転速度が遅くなりすぎる
⇒バルブが開く
⇒回転速度が速くなる
⇒回転速度が速くなりすぎる

バルブの開閉の度合いを決定する理論が必要

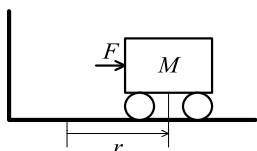
直感の限界

■ 台車の制御 ($r = 0$ としたい)



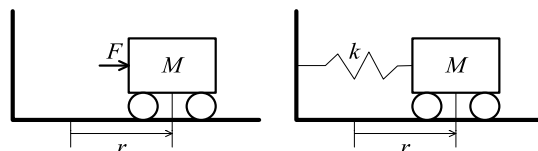
直感の限界

- 台車の制御 ($r = 0$ として)
台車が目標値の右にいれば左に、
左にいれば右に力をかければよい? $F = -kr$



直感の限界

- 台車の制御 ($r = 0$ として)
台車が目標値の右にいれば左に、
左にいれば右に力をかければよい? $F = -kr$



⇒ バネをつけたのと同じ
⇒ 単振動

直感の限界

- 台車の制御
理論的にいえば速度も0になるように制御

$$F = -kr - cv$$

行き過ぎなく1秒以内に物体を目標値で止める

→ k, c の選び方

→ 理論の必要性

工学的手法(制御工学)

- 対象のモデル化(モデリング)
制御対象:
微分方程式, ラプラス変換(複素数)
- 対象の解析(アナリシス)
可制御性, 安定性:
行列の固有値, ランク, 線形部分空間
微分幾何学(多様体)
- 設計(デザイン)
制御系の設計(対象の安定化):
線形代数, 微分幾何学

制御理論の世界

- 対象の記述
伝達関数 $y = G(s)u$
- 線形状態方程式 $\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$
 $y = Cx$
- 非線形状態方程式 $\frac{dx}{dt} = f(x) + g(x)u$
 $y = h(x)$

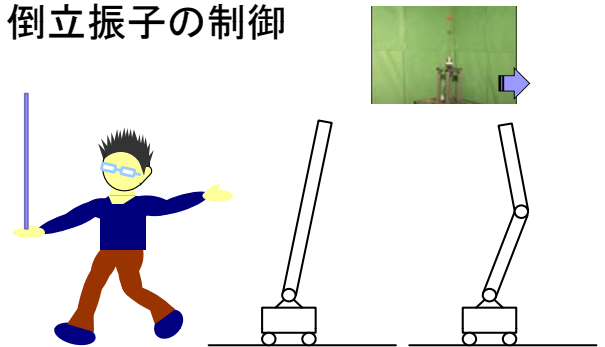
制御理論の世界

- 制御方法
フィードバック $u = C(s)y$
線形状態フィードバック $u = Fx$
動的フィードバック $u = C_z z + D_z y$
 $\frac{dz}{dt} = A_z z + B_z y$
- 非線形状態フィードバック $u = a(x)$
非線形動的フィードバック $u = c(z) + d(z)y$
 $\frac{dz}{dt} = a(z) + b(z)y$

工夫から工学へ

- 対象のモデル化(モデリング)
- 対象の解析(アナリシス)
- 設計(デザイン)

倒立振子の制御



人間の直感では制御できない
ものも制御してみよう。

トレーラーの後退制御

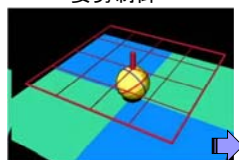


宇宙ロボットの制御



板にはさまれたボールの制御

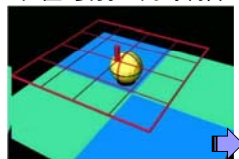
姿勢制御



位置制御

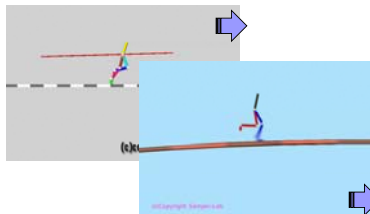


位置・姿勢の同時制御



人間はできるけど、
ロボットに教えるのは大変なもの

走る2足方向ロボット



しなりのある鉄棒の
大回転



デビルスティック
プロペラモーション



今日の授業で覚えてほしい言葉

「制御 (せいぎょ:コントロール)」

ある目的を達成するために対象に
操作を加えること

ロボットを思い通りに動かす技術
人間が直感で動かせないものも
動かす技術