

# 制御工学I

## 第一回 制御工学概論

平成29年4月10日

# 授業の予定

## シラバスより

- **制御工学概論(1回)**
  - 制御技術は現在様々な工学分野において重要な基本技術となっている。工学における制御工学の位置づけと歴史について説明する。さらに、制御システムの基本構成と種類を紹介する。
- **ラプラス変換(1回)**
  - 制御工学、特に古典制御ではラプラス変換が重要な役割を果たしている。ラプラス変換と逆ラプラス変換の定義を紹介し、微分方程式のラプラス変換について解説する。
- **制御システムのモデリングと伝達関数(3回)**
  - システムの相似性について概説し、システムの入出力特性を表す手法である伝達関数について詳述する。システムの図的表現であるブロック線図とその等価変換について解説する。
- **過渡特性(3回)**
  - システムの過渡状態を評価する方法であるインパルス応答とインディシャル応答について解説する。システムの速応性や安定性の指標である整定時間、立ち上がり量、行き過ぎ量について述べる。
- **安定性(2回)**
  - システムの安定性の概念を述べ、安定性を判定する代数的方法であるラウス-フルビッツの方法について説明する。
- **周波数特性(4回)**
  - 周波数領域におけるシステムの特性を周波数特性という。周波数特性と伝達関数との関係を説明し、ベクトル軌跡とボード線図の作成方法を説明する。

# 授業の目的

- 「制御」は現代社会を支える基盤技術
  - 「制御とは何か？」についての基本を理解
  - 「如何にして制御する」かの原理を修得

- 概略

- システムの伝達関数表現とその性質
- システムの過渡特性と周波数特性
- システム安定性解析
  - 制御器の設計において重要
- フィードバック制御



古典  
制御

1入力1出力

# 制御の定義(辞書)

- Control (webster:名詞)
  - Authority of ability to regulate, direct, or influence.
  - A restraining act or influence
  - A standard of comparison for checking or verifying the results of an experiment.
  - An instrument or set of instruments for operating, regulating, or guiding a machine or vehicle.
  - A spirit presumed to act through a spiritualist(霊媒師) medium.
  - An organization for directing a space flight.
- Control (webster:動詞)
  - To exercise authority or influence over
  - To hold restraint
  - To verify or regulate (a scientific experiment) by conducting a parallel experiment or by comparing with another standard.
  - To verify (e.g., an account) by using a duplicate register for comparison.
- 制御(広辞苑:岩波書店)
  - 相手が自由勝手にするのをおさえて自分の思うように支配すること。統御。
  - 機械や設備が目的どおり作動するように調節すること。

# 用語

- 制御 システムの制御変数を測定し, 制御信号により制御変数の値を指示した値にする
- 制御変数 測定・制御する状態量
- プラント 制御対象
- プロセス 制御操作
- システム 対象に対して一緒に動作する要素一式
- 擾乱(外乱, 雑音) システムの出力をずらそうと作用するもの。外的・内的要因がある
- フィードバック制御 擾乱が生じた場合に, 出力の偏差をなくそうと動作する制御
- ロバスト制御 制御に用いるモデルと実際のプラントが異なっても大丈夫なようにする制御

# 制御はどこで使われている？

- 派手な例
  - ロケット
  - ロボット
- 産業応用
  - プラント制御 石油化学プラント, 製鉄, 発電所
  - 新幹線 ATC
  - 自動運転 ITS

# 制御とは

- 制御とは
  - 対象に操作を加え, 目的を達成する
- 身の回りにおける制御に関する物
  - 挙げてみよう
    - いろいろな物に組み込みマイコンが入っている
- 対象の特性を数式で表す⇒モデル化
  - 代数方程式→値が決まると変化しない(静特性)
  - 微分方程式→時間変化する(動特性)

# 制御とは

- 産業革命 → James Wattの蒸気機関(18世紀, 遠心力ガバナによる回転速度制御)
  - 制御系の分類
    - 目標値の種類
    - 制御量の種類
    - 制御信号
      - 時間
      - 値
- 第一次産業革命 水や蒸気を動力源とした機械を使った生産  
第二次産業革命 電気機械と分業による大量生産  
第三次産業革命 はコンピュータ制御(PLC)による自動生産  
インダストリー4.0 IoT, CPS, ARを利用した生産



# 目標値による制御系の分類

- 定値制御（レギュレーション）
  - 目標値一定
  - 種々の外乱に対して、影響を受けないようにする
- 追従制御（トラッキング）
  - 目標入力への制御出力の追従
  - 目標値追従を良くする
- プログラム制御系（シーケンス制御系）
  - 目標値が予め定めたスケジュールに従って変化
  - 制御の種類・方式も変化させることがある

# 制御量による制御系の分類

- プロセス制御
  - 工業プロセス
    - 温度, 流量等物理・化学変化等
  - 定値制御(レギュレーション)が一般的
- サーボ機構
  - 位置決め等任意の目標値に制御
    - 位置・方位・角度
  - 追従制御(トラッキング)が一般的

# 制御信号(時間)による制御系の分類

- 連続時間制御 → 昔からの代表的制御
  - アナログ制御
  - 微分方程式でモデル化
- サンプル値制御 → 最近のデジタル制御
  - 離散時間(不連続)
  - 差分方程式でモデル化

# 制御信号(値)による制御系の分類

- 連続値制御
  - アナログ制御
- 離散値制御
  - 状態量が離散変化
    - 量子化
    - 状態遷移 (ON,OFFなど)
    - オートマトン
    - 連続時間動的システムと組み合わせたハイブリッドシステム

# 制御系の重要事項

- 安定性
  - 外乱を受けても、時間が経つと定常値に戻る性質
- ロバスト性
  - 制御対象の特性に誤差があっても、システムとしての特性が大きく変わらない性質
    - 低感度化 ⇒ 特性変化が大きくなると保証されない
    - ロバスト制御 ⇒ 特性変化が範囲内であれば仕様を満たす

# ラプラス変換

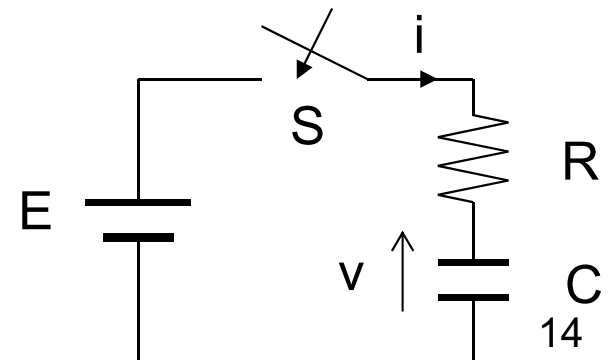
- 線形常微分方程式

- Laplace変換

- 微分・積分演算を，複素変数(演算子) $s$ を用いて表す事により，代数演算として扱う事を可能にする変換
- 代数方程式の解を求める事で，微分方程式を求解
- 逆Laplace変換により，通常の微分方程式の解として表す

$$\frac{d}{dt}q = i = \frac{d}{dt}Cv = C \frac{d}{dt}v$$
$$E = Ri + v = Ri + \frac{q}{C}$$

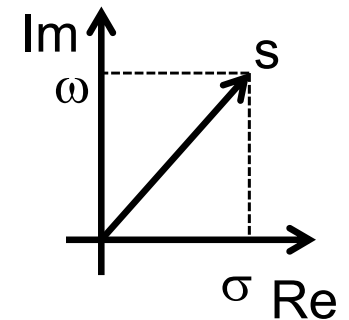
一般解  $q = ke^{-\frac{1}{RC}t}$  + 特解  $EC$



# 複素変数・関数

- ラプラス変換では実関数を複素関数へ変換
- 複素関数

- 複素変数の性質を持つ  $s = \sigma + j\omega$
- 複素変数に対する関数も複素量として表される



$$F(s) = F_x + jF_y$$

- 振幅  $\sqrt{F_x^2 + F_y^2}$
- 位相  $\arctan(F_y / F_x)$
- 逆回転の(共役)複素数  $\overline{F(s)} = F_x - jF_y$

- 制御工学Iで用いる複素関数は1変数s  
(線形システムの解析と制御)